



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ : ΕΞΕΤΑΣΗ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΟΥ
ΦΡΕΑΤΙΟΥ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΣΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΝΗΜΑΤΟΕΙΔΟΥΣ
ΔΙΟΓΚΩΣΗΣ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΛΥΟΣ**



ΜΑΘΙΟΣ ΒΑΣΙΛΗΣ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΜΑΜΑΗΣ ΔΑΝΙΗΛ
ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2012



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ : ΕΞΕΤΑΣΗ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΟΥ
ΦΡΕΑΤΙΟΥ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΣΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΝΗΜΑΤΟΕΙΔΟΥΣ
ΔΙΟΓΚΩΣΗΣ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΛΥΟΣ**

ΜΑΘΙΟΣ ΒΑΣΙΛΗΣ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΜΑΜΑΗΣ ΔΑΝΙΗΛ
ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2012

Το περιεχόμενο της ανά χείρας διπλωματικής εργασίας αποτελεί προϊόν δικής μου πνευματικής προσπάθειας. Η ενσωμάτωση σε αυτήν υλικού τρίτων, δημοσιευμένου ή μη, γίνεται με δόκιμη αναφορά στις πηγές, που δεν επιτρέπει ασάφειες ή παρερμηνείες.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	i
Περίληψη	ii
Summary	v
Κατάλογος Διαγραμμάτων	viii
Κατάλογος Πινάκων	x
Κατάλογος Εικόνων	xi
Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή	1
Κεφάλαιο 2 : Νηματοειδής Διόγκωση	
2.1 Προβλήματα Καθιζησιμότητας Ιλύος	
2.1.1 Εισαγωγή	5
2.1.2 Σχηματισμός Βιοκροκίδων (Bioflocs)	6
2.1.3 Αίτια Διόγκωσης Ιλύος	8
2.1.3.1 Προβλήματα που δεν οφείλονται στη νηματοειδή διόγκωση ιλύος	
2.1.3.2 Νηματοειδής διόγκωση (filament bulking)	10
2.1.3.3 Νηματοειδής αφρισμός	11
2.2 Νηματοειδείς Μικροοργανισμοί	
2.2.1 Αναγνώριση & Κατάταξη	14
2.2.2 Νηματοειδείς μικροοργανισμοί	
2.2.2.1 Εισαγωγή	17
2.2.2.2 <i>Microthrix Parvicella</i>	18
2.2.2.3 <i>Gordona Amarae</i>	21
2.2.2.4 Λοιπά Νηματοειδή Βακτηρίδια	22
2.2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη νηματοειδών μικροοργανισμών	
2.2.3.1 Διαθέσιμα κλάσματα οργανικής ύλης	24
2.2.3.2 Συγκέντρωση θρεπτικών	27
2.2.3.3 Συγκέντρωση επιφανειακών τασιενεργών, λιπιδίων και ενώσεων θείου	
2.2.3.4 Χρόνος παραμονής στερεών	28
2.2.3.5 Καθεστώς ροής	29
2.2.3.6 Αποδέκτης ηλεκτρονίων	30
2.2.3.7 Συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου	
2.2.3.8 Θερμοκρασία & pH	31
2.3 Έλεγχος νηματοειδούς διόγκωσης & αφρισμού	
2.3.1 Εισαγωγή	33
2.3.2 Μη- Ειδικές Μέθοδοι Ελέγχου	35
2.3.3 Ειδικές Μέθοδοι Ελέγχου	37

Κεφάλαιο 3 : Υπόθεση Εργασίας - ΚΕΛΨ	
3.1 Υπόθεση Εργασίας	43
3.2 Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυττάλειας	
3.2.1 Γενικά Στοιχεία	44
3.2.2 Παράμετροι Σχεδιασμού & Λειτουργικά Στοιχεία ΚΕΛΨ	46
Κεφάλαιο 4 : Περιγραφή Πιλοτικού Συστήματος & Μεθόδων Ανάλυσης	
4.1 Εισαγωγή	47
4.2 Περιγραφή Πιλοτικού Συστήματος	
4.2.1 Είσοδος Λυμάτων	48
4.2.2 Πιλοτικό Σύστημα	
4.2.2.1 Γεωμετρική Ομοιότητα	49
4.2.2.2 Παράμετροι Σχεδιασμού	50
4.2.2.3 Περιγραφή Δεξαμενών Συστήματος	51
4.2.3 Έξοδος Συστημάτων	59
4.2.4 Μηχανολογικός Εξοπλισμός	60
4.3 Πρόγραμμα παρακολούθησης Πιλοτικών Συστημάτων	62
4.4 Περιγραφή Αναλυτικών Μεθόδων	
4.4.1 Ολικά Στερεά (TSS) και Πτητικά Αιωρούμενα Στερεά (VSS)	63
4.4.2 Συγκέντρωση Διαλυμένου Οξυγόνου και Θερμοκρασία	66
4.4.3 Δείκτης Καθιζησιμότητας Ιλύος (DSVI)	67
4.4.4 Μέτρηση Χημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου (COD-soluble COD)	68
4.4.5 Μέτρηση Νιτρικού Αζώτου (NO ₃ -N)	70
Κεφάλαιο 5 : Επεξεργασία & Σχολιασμός Αποτελεσμάτων Πιλοτικού Συστήματος	
5.1 Εισαγωγή	73
5.2 Ημερολόγιο Πιλοτικού Συστήματος - Εξαγωγή Φάσεων	75
5.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων	77
5.3.1 Ολικά Αιωρούμενα Στερεά (TSS)- Πτητικά Αιωρούμενα Στερεά (VSS)	79
5.3.2 Συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου και Θερμοκρασία	87
5.3.3 Ολικό COD και Διαλυτό COD (sCOD)	89
5.3.4 Νιτρικό Άζωτο (NO ₃ -N)	99
5.3.5 DSVI & Μικροσκοπικές Αναλύσεις	108
Κεφάλαιο 6 : Συμπεράσματα	
6.1 Εισαγωγή	117
6.2 Λειτουργία των συστημάτων ενεργού ιλύος	118
6.3 Απόδοση Συστημάτων	119
6.4 Καθιζησιμότητα ιλύος	122
Βιβλιογραφικές Αναφορές	125
Παράρτημα	127

Ευχαριστίες

Στο συνάδελφο ερευνητή και μεταπτυχιακό φοιτητή της σχολής Πολιτικών Μηχανικών **Νίκο Νέλλα**, γιατί χωρίς αυτόν δεν θα είχε πραγματοποιηθεί αυτό το ερευνητικό,

Στον αναπληρωτή καθηγητή κ. **Δανιήλ Μαμάη**, γενικό επιβλέποντα του ερευνητικού πειράματος και της παρούσας εργασίας, για την εμπιστοσύνη και τη πολύτιμη βοήθειά του τόσο κατά τη περίοδο λειτουργίας των συστημάτων, όσο και τη περίοδο συγγραφής της διπλωματικής εργασίας,

Στην **Ευαγγελία Ανδρονίκου**, για την εκμάθηση όλων των πειραματικών μεθόδων ανάλυσης και το συνολικό συμβουλευτικό ρόλο που επιτέλεσε,

Στο **Νίκο Κουρή**, επιστημονικό συνεργάτη του Εργαστηρίου Υγειονομικής Τεχνολογίας, που βοήθησε σημαντικά στο στήσιμο των πειραματικών διατάξεων και στην ομαλή μας προσαρμογή στα δεδομένα της Ψυττάλειας και τέλος

Στη **Νικόλ Δερέμπη**, επιβλέπουσα μηχανικό του ΚΕΛ Ψυττάλειας, για τις σημαντικές συμβουλές και υπηρεσίες που μας παρείχε για τις ανάγκες του πειράματος.

Περίληψη

Η κακή καθιζησιμότητα ιλύος στις δεξαμενές τελικής καθίζησης συστημάτων ενεργού ιλύος αποτελεί σημαντικό λειτουργικό πρόβλημα στις Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων σε παγκόσμια κλίμακα. Για περισσότερα από 30 χρόνια, η ακαδημαϊκή έρευνα επιδιώκει την διερεύνηση των αιτιών που οδηγούν σε αυτό το φαινόμενο, κατατάσσοντας τα αίτια διόγκωσης στις εξής δύο κατηγορίες: τα προβλήματα διόγκωσης που οφείλονται σε νηματοειδείς μικροοργανισμούς και σε αυτά που δεν οφείλονται σε αυτούς. Οι εν λόγω μικροοργανισμοί γίνονται το επίκεντρο πολλών ερευνών που έχουν ως στόχο τον καθορισμό των παραμέτρων που επηρεάζουν τις κινητικές ανάπτυξης των νηματοειδών εντός των συστημάτων ενεργού ιλύος, με απώτερο στόχο τον περιορισμό τους και κατ' επέκταση τον έλεγχο των προβλημάτων διόγκωσης ιλύος. Ο έλεγχος της ανάπτυξης των νηματοειδών πραγματοποιείται προσωρινά με χρήση κροκιδωτικών και οξειδωτικών (χλωρίωση) αλλά δεν αντιμετωπίζει την γενεσιουργό αιτία του προβλήματος. Προκειμένου να αντιμετωπιστεί αποτελεσματικά το πρόβλημα, κρίνεται αναγκαίος ο σχεδιασμός της βιολογικής βαθμίδας με τρόπο τέτοιο ώστε η γεωμετρία της ροής να δίνει ανταγωνιστικό πλεονέκτημα ανάπτυξης στους συσσωματούμενους μικροοργανισμούς έναντι των νηματοειδών, ασκώντας κινητικές ή/και μεταβολικές πιέσεις. Η κινητική πίεση συνίσταται στην δημιουργία κλίσης τροφής στο σύστημα (προσομοίωση εμβολοειδούς ροής), η οποία θεωρητικά ευνοεί την ανάπτυξη των συσσωματούμενων βακτηρίων λόγω υψηλότερων ειδικών ταχυτήτων ανάπτυξης και επιτυγχάνεται με τη διαμερισματοποίηση των δεξαμενών για την αποτροπή της κατά μήκος διάχυσης του υποστρώματος τροφής στα κατάντη. Η μεταβολική πίεση ασκείται στους μικροοργανισμούς όταν η πρώτη δεξαμενή λειτουργεί υπό μη αερόβιες συνθήκες (ανοξικές/αναερόβιες). Η πρώτη δεξαμενή, επί της οποίας ασκούνται οι προαναφερόμενες πιέσεις, αποτελεί το φρεάτιο επιλογής του συστήματος ενεργού ιλύος.

Το Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυττάλειας (ΚΕΛΨ) αντιμετωπίζει προβλήματα διόγκωσης ιλύος τα οποία οφείλονται κυρίως σε δύο κατηγορίες νηματοειδών βακτηρίων. Στη πρώτη κατηγορία ανήκουν οι *M.parvicella* και *G.amarae* κυρίως, και οι T0092, T0041, T0675 δευτερευόντως και η επικράτησή τους οφείλεται στην ικανότητα ανάπτυξης τους χρησιμοποιώντας το δύσκολα διασπάσιμο κλάσμα της οργανικής τροφής. Τα αποτελέσματα των μέχρι τώρα ερευνών σχετικά με τον έλεγχο αυτής της ομάδας νηματοειδών είναι αντιφατικά και συχνά εξάγεται το συμπέρασμα ότι είναι δύσκολη η αντιμετώπιση της αιτίας εμφάνισής της και οι όποιες προσπάθειες ελέγχου επικεντρώνονται στον περιορισμό της παρουσίας τους και των προβλημάτων που δημιουργούν (π.χ. επιλεκτική αφαίρεση αφρού κ.τ.λ.). Αντίθετα, οι νηματοειδείς που ανήκουν στη δεύτερη κατηγορία, αναπτύσσονται χρησιμοποιώντας το εύκολα διασπάσιμο κλάσμα τροφής (*N.Limicola*, *H.hydrossis*, T1851, T021N, *Nocardia*forms) είναι πιο εφικτό να περιοριστούν εισάγοντας πιέσεις στο σύστημα.

Στο πλαίσιο της συνεργασίας των λειτουργιών του ΚΕΛΨ και του Εργαστηρίου Υγειονομικής Τεχνολογίας, κατασκευάστηκαν δύο συστήματα ενεργού ιλύος τα οποία προσομοιώνουν την λειτουργία του αντίστοιχου συστήματος ενεργού ιλύος πλήρους κλίμακας. Το Σύστημα Ελέγχου αποτελεί την προσομοίωση της σημερινής λειτουργίας του ΚΕΛΨ, με μια ανοξική και δύο αερόβιες δεξαμενές, καθώς η αρχικά σχεδιασμένη αναερόβια δεξαμενή λειτουργεί ως ανοξικός αντιδραστήρας λόγω φαινομένων αξονικής μίξης. Το δεύτερο σύστημα λειτουργεί έχοντας σαφώς διαχωρισμένο το αναερόβιο από το ανοξικό τμήμα, με το αναερόβιο φρεάτιο να λειτουργεί ως επιλογέας, ασκώντας ταυτόχρονα κινητική και μεταβολική πίεση στους μικροοργανισμούς. Τα δύο συστήματα εργαστηριακής κλίμακας λειτουργούν όσο το δυνατό πιο πιστά στο σύστημα του ΚΕΛΨ, αντλώντας πρωτοβάθμια επεξεργασμένα λύματα και λειτουργώντας σε δεξαμενές ανάλογων όγκων (έπειτα από την εξαγωγή κατάλληλης γεωμετρικής κλίμακας μοντέλου-πρωτοτύπου) και με τις ίδιες παραμέτρους σχεδιασμού (χρόνος παραμονής στερεών θ_c , θερμοκρασία, παροχή διαλυμένου οξυγόνου, παροχές εισόδου Q , εξωτερικής rQ και εσωτερικής ανακυκλοφορίας RQ).

Στόχος της έρευνας είναι η διερεύνηση της επιρροής της συνεργασίας κινητικής και μεταβολικής επιλογής του αναερόβιου φρεατίου στο Πειραματικό Σύστημα για τον έλεγχο της ανάπτυξης των νηματοειδών μικροοργανισμών και των προβλημάτων νηματοειδούς διόγκωσης κατ' επέκταση. Το ερευνητικό λειτούργησε τη περίοδο 18-10-2011/31-12-2011 (11 εβδομάδες) και εξήχθησαν 58 ημέρες (σημεία) μέτρησης. Ωστόσο, η συνεχής απώλεια στερεών κατά το πρώτο διάστημα, καθιστά τα αποτελέσματα του πρώτου μήνα (18-10/19-11) αναξιόπιστα και για το λόγο αυτό η λειτουργία του προγράμματος χωρίζεται σε δύο φάσεις (Φάση Α' και Β'). Η προσθήκη παγίδας στερεών κατάντη των ΔTK σε συνδυασμό με την αύξηση των συντελεστών ανακυκλοφορίας ($r=1,8$ & $R=2,1$) κατά τη Β' Φάση βελτίωσε σημαντικά τη λειτουργία και τις αποδόσεις των συστημάτων, συγκλίνοντας στο σύστημα πλήρους κλίμακας.

Συγκεκριμένα, η προσθήκη του φρεατίου επιλογής οδηγεί σε βελτίωση της συγκέντρωσης ολικών αιωρούμενων στερεών στη βιολογική βαθμίδα (MLSS) και στις καλύτερες αποδόσεις του Πειραματικού Συστήματος έναντι του Συστήματος Ελέγχου ως προς την απομάκρυνση ολικών/πτητικών στερεών (TSS/VSS) και ολικού/διαλυτού COD. Επιπλέον, η σχεδίαση του φρεατίου επιλογής κρίνεται επιτυχής, καθώς ικανοποιεί όλα τα κριτήρια που τίθενται βιβλιογραφικά και περιλαμβάνουν: η συγκέντρωση του sCOD αμέσως κατάντη του επιλογέα να είναι $< 60 \text{ mg/l}$, η οργανική φόρτιση εντός του επιλογέα να κυμαίνεται σε εύρος $5-10 \text{ mgCOD/mgVSS/d}$ και με υδραυλικό χρόνο παραμονής $10-30 \text{ min}$. Ωστόσο, από την υψηλή συγκέντρωση νιτρικών εντός του επιλογέα, συμπεραίνεται ότι λειτουργεί ως ανοξικό πρώτο διαμέρισμα μιας ενιαίας διαμερισματοποιημένης ανοξικής δεξαμενής με κλίση τροφής [$5,59-0,92 \text{ mgCOD/mgMLSS/d}$], διάταξη που συγκλίνει στην βιβλιογραφικά επαρκή οργανική κλιμάκωση φόρτισης ενός διαμερισματοποιημένου ανοξικού φρεατίου επιλογής 3 διαμερισμάτων [$6-3-1,5 \text{ mgCOD/mgMLSS/d}$] για την αποφυγή λειτουργικών προβλημάτων νηματοειδούς διόγκωσης ιλύος. Η αξονική μίξη που παρατηρείται στη βιολογική βαθμίδα του ΚΕΛΨ εμφανίζεται και σε εργαστηριακή κλίμακα και υποδεικνύει την ανάγκη για καλύτερο διαχωρισμό αναερόβιας και ανοξικής ζώνης. Παρ' όλα αυτά, η συνεργασία κινητικής και μεταβολικής πίεση ασκείται δίνοντας καλύτερα αποτελέσματα απονιτροποίησης στο Πειραματικό Σύστημα.

Η ευεργετική επιρροή του φρεατίου επιλογής αναδεικνύεται με τον πιο σαφή τρόπο στις παραμέτρους υπολογισμού της ποιότητας ιλύος, δηλαδή το δείκτη καθιζησιμότητας ιλύος (DSVI) και τις μικροσκοπικές μετρήσεις με έμφαση στον δείκτη νηματοειδών (FI). Όσον αφορά τις μετρήσεις του δείκτη καθιζησιμότητας ιλύος, η μέση τιμή του Πειραματικού Συστήματος είναι σημαντικά μειωμένη ($DSVI_E = 222 \text{ ml/gSS}$ έναντι $DSVI_C = 283 \text{ ml/gSS}$ για το Σύστημα Ελέγχου), ωστόσο και οι δύο τιμές είναι μεγαλύτερες από το άνω όριο νηματοειδούς διόγκωσης που δίνεται από τη βιβλιογραφία ($SVI > 150 \text{ ml/gSS}$). Χαρακτηριστικό της θετικής επίδρασης του επιλογέα στη βελτίωση της καθιζησιμότητας της ιλύος είναι το γεγονός ότι για κάθε ένα εκ των 56 σημείων μέτρησης ισχύει $DSVI_E < DSVI_C$. Το γεγονός ότι η ιλύς του Πειραματικού Συστήματος χαρακτηρίζεται από καλύτερες ιδιότητες καθίζησης από την αντίστοιχη του Συστήματος Ελέγχου επιβεβαιώνεται και από τις μικροσκοπικές αναλύσεις του δείκτη νηματοειδών (Filament Index). Έτσι, η τιμή του δείκτη FI στο Σύστημα Ελέγχου σταθεροποιείται μεσοσταθμικά στη περιοχή 4,5/5 ενώ η αντίστοιχη τιμή για το Πειραματικό Σύστημα είναι μειωμένη κατά μια μονάδα (3,5/5). Αξιοσημείωτη είναι η προοδευτικά μειούμενη συγκέντρωση των νηματοειδών χαμηλής οργανικής φόρτισης (T0092, T0041) με ταυτόχρονη επικράτηση του πληθυσμού των νηματοειδών της 2^{ης} ομάδας (T021N, T1851, N.Limicola) που χρησιμοποιούν το εύκολα διασπασίμο κλάσμα του οργανικού φορτίου που βρίσκεται σε αφθονία εντός του αναερόβιου επιλογέα. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί η απουσία του νηματοειδούς *M.parvicella* από τη βιοκοινότητα καθ' όλη τη διάρκεια των πειραμάτων με μια πιθανή εξήγηση να είναι η ιδιαίτερα υψηλή συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου στις αερόβιες δεξαμενές των συστημάτων καθώς και η λειτουργία των συστημάτων σε θερμοκρασιακό εύρος 18-20°C που δεν ευνοεί την εμφάνιση του *M.parvicella*.

Συμπερασματικά, η προσθήκη του επιλογέα στο Πειραματικό Σύστημα κρίνεται επιτυχής ως προς την θετική επιρροή του στη βελτιωμένη απόδοση του συστήματος στην απομάκρυνση στερεών, οργανικού άνθρακα και αζώτου, ενώ ταυτόχρονα προσδίδει καλύτερα χαρακτηριστικά καθίζησης στη λάσπη όπως αποδεικνύουν οι μακροσκοπικές (DSVI) και μικροσκοπικές (FI) μετρήσεις. Επιπλέον, στο πλαίσιο του πειράματος παρατηρήθηκε η επικράτηση του αερόβιου T021N έναντι των νηματοειδών χαμηλής οργανικής φόρτισης (T0092, T0041) και η απουσία των νηματοειδών που κυρίως ευθύνονται για τον νηματοειδή αφρισμό (*G.amarae*, *M.parvicella*).

Summary

On a global scale, poor sludge settling into final settling tanks in activated sludge systems is an important operating problem in Wastewater Treatment Plants. For more than 30 years, academic research seeks to investigate the causes leading to this phenomenon by classifying causes in the following two categories: the bulking issues which are due to filamentous microorganisms and those that are not. Therefore, filamentous organisms are the focus point of the research community in order to determine the parameters affecting the kinetics of filamentous growth in activated sludge systems, with a view to reducing them and thus controlling bulking sludge problems. The filamentous growth could be managed temporarily by using flocculants and oxidizers (chlorination) but this does not address the root cause of the problem. In order to effectively address the problem, it is necessary to design the activated sludge system in such way that the geometry of the flow gives a competitive growth advantage to the floc formers against the filamentous microorganisms by exercising kinetic and / or metabolic stresses. The kinetic pressure consists of a low dispersion rate and a sufficient substrate gradient, which theoretically favors the growth of floc forming bacteria because of their higher specific growth rates, and such pressure can be achieved by partitioning the tank to prevent the diffusion of the substrate downstream. The metabolic pressure is exerted on the microorganisms when the first reservoir is operated under non-aerobic conditions (anoxic / anaerobic). The first tank, on which the aforementioned pressures are exercised, is known as the selector tank of an activated sludge system.

The Psyttalia Wastewater Treatment Plant (PWWTP) is dealing with bulking sludge issues which is mainly due to two filamentous bacteria groups. Filamentous bacteria that represent the 1st group are mainly *M.parvicella* and *G.Amarae* and secondarily T0092, T0041, T0675 which prevail due to their ability to develop using the slowly biodegradable fraction of COD. The research results on whether the control of this filament group is possible are controversial and it is often concluded that it is practically very difficult to determine the cause of its bacteria overabundance and therefore preferable to address operating problems with non specific filamentous control methods. The 2nd group contains filamentous bacteria that grow on using readily biodegradable fractions of COD (*N.Limicola*, *H.hydraxis*, T1851, T021N, and *Nocardia*forms) and are proven to be more controllable with specific methods.

In order to study filamentous bulking problems at PWWTP, the Sanitary Engineering Laboratory (NTUA), constructed two pilot-scale activated sludge systems so that they simulated the operation of the corresponding full-scale system. The Control System was designed to simulate the current operational conditions of CWTP, which consisted of an anoxic and two aerobic tanks, where the originally designed full-scale anaerobic tank functions as an anoxic reactor because of axial mixing phenomena. The Experimental System was designed in such way that the anaerobic selector was separated from the anoxic section, simultaneously exerting kinetic and metabolic pressure to the microorganisms. Both laboratory-scale systems operate as close as possible to the full-scale CWTP system, receiving primary treated effluent, with proper-scaled tanks (after exporting appropriate model-to-prototype geometric scale) and with the same operating parameters (retention

time, temperature, dissolved oxygen supply, inlet flow Q , external rQ and internal recirculation RQ).

The research aims to investigate the influence of cooperating kinetic and metabolic pressures that the anaerobic selector tank applies at the Experimental System, in order to control the growth of filamentous bacteria and filamentous bulking problems by extension. The research took place at the time period 18-10-2011/31-12-2011 (11 weeks) and totally 58 days (points) of measurement were exported. However, because of the constant loss of total suspended solids (TSS) through the effluent during the first month (18-10/19-11), scientific results taken during that period are considered unreliable and thus the operation is divided into two phases (Phase A and B). During Phase B, by adding solid traps downstream to the final settling tank, combined with increased recirculation rates ($r = 1,8$ & $R = 2,1$), biological functions and the whole performance of both systems improved significantly, while converging to the full-scale system.

Specifically, the selector tank addition leads to improved concentration of total suspended solids in the activated sludge (MLSS) and higher performance of the Experimental System comparing to the Control System as far as the removal of total / volatile solids (TSS / VSS) and total / soluble COD is concerned. Furthermore, the design parameters of the selector tank are considered successful as they meet all the criteria met by literature and include: the concentration of sCOD immediately downstream of the selector to be <60 mg / l, the organic load in the selector being in the range 5-10 mgCOD / mgVSS / d and hydraulic retention time to be between 10-30min. However, the high nitrate concentration in the selector concluded that it really serves as the first anoxic compartment of a single partitioned anoxic tank with the following food escalation [5,59-0,92 mgCOD / mgMLSS / d], which converges sufficiently the organic escalation [6-3-1,5 mgCOD / mgMLSS / d] set by literature, in order to avoid operational problems caused by filamentous bulking. The axial mixing observed in biological gradient of CWTP occurs in laboratory scale too and indicates the need for better separation between the anaerobic and anoxic zone. Nevertheless, cooperation of kinetic and metabolic stress is giving better denitrification results in the Experimental System.

The beneficial influence of the selector tank emerges while comparing diluted sludge volume index (DSVI) and filament index (FI) results between the two activated sludge systems. As regards the measurement of the diluted sludge volume index, the average result of the Experimental system is significantly reduced (DSVIE = 222ml/gSS against DSVIC = 283 ml / gSS for the Control System), but both values are greater than the upper limit of filamentous bulking given by literature ($SVI > 150$ ml/gSS). A good sign of the positive effects provided by the selector, is the fact that for each of the 58 measurement points $DSVIE < DSVIC$. The fact that the sludge of the Experimental system has better properties than the corresponding Control System is confirmed by microscopic analysis of filamentous (Filament Index). Thus, the price index FI for the Control System stabilizes in the area of 4.5 / 5, while the corresponding value for the Experimental system is reduced by one unit (3.5 / 5). Noteworthy is considered to be the gradually decreasing concentration of filamentous low organic loading microorganisms (T0092, T0041) with a simultaneous increase in the filament bacteria population of second group (T021N, T1851, N.Limicola). Finally, it is worth noting

the absence of *M.parvicella* throughout the course of experiments with possible explanations been the very high concentration of dissolved oxygen in the aerobic tanks and the relatively high operating temperature range (18-20°C).

In conclusion, the addition of the selector in the Experimental system is considered successful, providing a positive influence to the Experimental system performance concerning the total suspended solids, COD and nitrogen removal, while having better settling properties as evidenced in both macroscopic (DSVI) and microscopic (FI) measurements. Furthermore, during the experiment, the prevalence of aerobic T021N is observed against low organic loading filamentous bacteria (T0092, T0041) while noting the absence of the two filament bacteria that are mainly responsible for the filamentous foaming (*G.amarae*, *M.parvicella*).

Κατάλογος Διαγραμμάτων

- Διάγραμμα 2.1 Συσχέτιση ανάπτυξης νηματοειδών μικροοργανισμών και θ_c (Πηγή : Richard 1989; Jenkins 1992)
- Διάγραμμα 2.2 Επίδραση της θερμοκρασίας στην ταχύτητα ανάπτυξης των μικροοργανισμών
- Διάγραμμα 2.3 Ταχύτητες ανάπτυξης συσσωματούμενων και νηματοειδών μικροοργανισμών συνάρτηση της διαθέσιμης διαλυτής οργανικής ύλης
- Διάγραμμα 5.1 Τιμές ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS) στην είσοδο του συστήματος
- Διάγραμμα 5.2 Τιμές ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS) στην έξοδο του συστήματος
- Διάγραμμα 5.3 Τιμές ολικών αιωρούμενων στερεών στη βιολογική βαθμίδα και στην έξοδο για το Σύστημα Ελέγχου
- Διάγραμμα 5.4 Τιμές ολικών αιωρούμενων στερεών στην ανοξική δεξαμενή C1 και στην έξοδο του Συστήματος Ελέγχου
- Διάγραμμα 5.5 Τιμές ολικών αιωρούμενων στερεών στη βιολογική βαθμίδα και στην έξοδο για το Πειραματικό Σύστημα
- Διάγραμμα 5.6 Τιμές ολικών αιωρούμενων στερεών στον αναερόβιο επιλογέα E1 και στην έξοδο του Πειραματικού Συστήματος
- Διάγραμμα 5.7 Τιμές πτητικών αιωρούμενων στερεών στη βιολογική βαθμίδα και στην έξοδο για το Σύστημα Ελέγχου
- Διάγραμμα 5.8 Τιμές πτητικών αιωρούμενων στερεών στη βιολογική βαθμίδα και στην έξοδο για το Πειραματικό Σύστημα
- Διάγραμμα 5.9 Συγκέντρωση διαλυμένου Οξυγόνου (DO) στα αερόβια διαμερίσματα Συστήματος Ελέγχου & Πειραματικού Συστήματος
- Διάγραμμα 5.10 Χρονοσειρά Θερμοκρασιών στις αερόβιες δεξαμενές των δύο συστημάτων
- Διάγραμμα 5.11 Ολικό και διαλυτό COD πρωτοβάθμια επεξεργασμένων λυμάτων για το Σύστημα Ελέγχου & Πειραματικό Σύστημα (κοινή είσοδος)
- Διάγραμμα 5.12 Ολικό και διαλυτό οργανικό φορτίο επεξεργασμένων λυμάτων στην εκροή του Συστήματος Ελέγχου
- Διάγραμμα 5.13 Ολικό και διαλυτό οργανικό φορτίο επεξεργασμένων λυμάτων στην εκροή του Πειραματικού Συστήματος
- Διάγραμμα 5.14 Συσχέτιση ολικών στερεών (TSS) εξόδου και ολικού οργανικού άνθρακα (COD) στην έξοδο για το Σύστημα Ελέγχου
- Διάγραμμα 5.15 Συσχέτιση ολικών στερεών (TSS) εξόδου και ολικού οργανικού άνθρακα (COD) στην έξοδο για το Πειραματικό Σύστημα
- Διάγραμμα 5.16 Τιμές διαλυτού οργανικού φορτίου (sCOD) κατά μήκος της γραμμής ροής για το Σύστημα Ελέγχου
- Διάγραμμα 5.17 Τιμές διαλυτού οργανικού φορτίου (sCOD) κατά μήκος της γραμμής ροής για το Πειραματικό Σύστημα
- Διάγραμμα 5.18 Απομάκρυνση διαλυτού οργανικού άνθρακα ανά ημέρα για τις δεξαμενές του Συστήματος Ελέγχου
- Διάγραμμα 5.19 Απομάκρυνση διαλυτού οργανικού άνθρακα ανά ημέρα για τις δεξαμενές του Πειραματικού Συστήματος

- Διάγραμμα 5.20 Συγκεντρώσεις νιτρικών (NO₃-N) στην έξοδο για το Σύστημα Ελέγχου και το Πειραματικό Σύστημα
- Διάγραμμα 5.21 Συγκεντρώσεις νιτρικών (NO₃-N) στις δεξαμενές και στην έξοδο για το Σύστημα Ελέγχου
- Διάγραμμα 5.22 Χρονοσειρά συγκεντρώσεων νιτρικών (NO₃-N) για τις δεξαμενές του Συστήματος Ελέγχου
- Διάγραμμα 5.23 Συγκεντρώσεις νιτρικών (NO₃-N) στις δεξαμενές και στην έξοδο για το Πειραματικό Σύστημα
- Διάγραμμα 5.24 Χρονοσειρά συγκεντρώσεων νιτρικών (NO₃-N) για τις δεξαμενές του Πειραματικού Συστήματος
- Διάγραμμα 5.25 Ρυθμοί απονιτροποίησης στις μη αερόβιες δεξαμενές για τα Συστήματα Ελέγχου και Πειραματικού
- Διάγραμμα 5.26 Χρονοσειρά DSVI για τα Συστήματα Ελέγχου και Πειραματικού (Α' & Β' Φάση)
- Διάγραμμα 5.27 Αθροιστικές καμπύλες DSVI για τα Συστήματα Ελέγχου και Πειραματικού για το σύνολο του πειράματος (Φάση Α & Β)
- Διάγραμμα 5.28 Αθροιστικές καμπύλες DSVI για τα Συστήματα Ελέγχου και Πειραματικού(Φάση Β)
- Διάγραμμα 5.29 Συσχέτιση συντελεστών DSVI - Filament Index για το Σύστημα Ελέγχου
- Διάγραμμα 5.30 Συσχέτιση συντελεστών DSVI - Filament Index για το Πειραματικό Σύστημα
- Διάγραμμα 5.31 Μέση εμφάνιση κυρίαρχων νηματοειδών στο ανάμεικτο υγρό για το Σύστημα Ελέγχου
- Διάγραμμα 5.32 Μέση εμφάνιση κυρίαρχων νηματοειδών στο ανάμεικτο υγρό για το Πειραματικό Σύστημα
- Διάγραμμα 5.33 Εβδομαδιαία μεταβολή πληθυσμού νηματοειδών βακτηριδίων για το Σύστημα Ελέγχου
- Διάγραμμα 5.34 Εβδομαδιαία μεταβολή πληθυσμού νηματοειδών βακτηριδίων για το Πειραματικό Σύστημα

Κατάλογος Πινάκων

- Πίνακας 2.1 Κατάταξη νηματοειδών μικροοργανισμών βάσει των μορφολογικών χαρακτηριστικών τους
- Πίνακας 2.2 Επικρατέστεροι νηματοειδείς μικροοργανισμοί σε δείγματα ενεργού ιλύος σε διεθνές επίπεδο
- Πίνακας 2.3 Συσχέτιση οργανικής φόρτισης και ελάχιστα απαιτούμενης συγκέντρωσης διαλυμένου οξυγόνου
- Πίνακας 2.4 Ταξινόμηση νηματοειδών μικροοργανισμών βάσει των μεταβολικών χαρακτηριστικών τους και της προτεινόμενης μεθόδου ελέγχου της ανάπτυξής τους
- Πίνακας 2.5 Παράμετροι σχεδιασμού φρεατίων επιλογής υπό αερόβιες, ανοξικές και αναερόβιες συνθήκες
- Πίνακας 3.1 Παράμετροι Σχεδιασμού ΚΕΛΨ
- Πίνακας 3.2 Μέσα Μηνιαία Ρυπαντικά Φορτία στην είσοδο της βιολογικής βαθμίδας του ΚΕΛΨ (Περίοδος Σεπτέμβριος 2009- Αύγουστος 2010)
- Πίνακας 4.1 Παροχή και φορτίο εισόδου για το ΚΕΛΨ και το Πιλοτικό Σύστημα
- Πίνακας 4.2 Εξαγωγή Τελικών Όγκων Διαμερισμάτων Συστήματος Ελέγχου
- Πίνακας 4.3 Λειτουργικές Παράμετροι Ελέγχου Πιλοτικού Συστήματος
- Πίνακας 4.4 Πρόγραμμα παρακολούθησης λειτουργίας πιλοτικού συστήματος
- Πίνακας 5.1 Παράμετροι λειτουργίας πιλοτικών συστημάτων
- Πίνακας 5.2 Πίνακας τιμών ολικών/πτητικών στερεών για το Σύστημα Ελέγχου
- Πίνακας 5.3 Πίνακας τιμών ολικών/πτητικών στερεών για το Πειραματικό Σύστημα
- Πίνακας 5.4 Πίνακας τιμών συγκέντρωσης διαλυμένου οξυγόνου και θερμοκρασιών στα αερόβια διαμερίσματα για το Σύστημα Ελέγχου
- Πίνακας 5.5 Πίνακας τιμών συγκέντρωσης διαλυμένου οξυγόνου και θερμοκρασιών στα αερόβια διαμερίσματα για το Πειραματικό Σύστημα
- Πίνακας 5.6 Πίνακας τιμών ολικού & διαλυτού οργανικού φορτίου στην είσοδο, έξοδο και βιολογική βαθμίδα για το Σύστημα Ελέγχου
- Πίνακας 5.7 Πίνακας τιμών ολικού & διαλυτού οργανικού φορτίου στην είσοδο, έξοδο και βιολογική βαθμίδα για το Πειραματικό Σύστημα
- Πίνακας 5.8 Τιμές Παροχών για τα Συστήματα Ελέγχου και Πειραματικό (Α' και Β' Φάση)
- Πίνακας 5.9 Οργανική φόρτιση μη αερόβιων δεξαμενών για τα Συστήματα Ελέγχου και Πειραματικού
- Πίνακας 5.10 Συγκεντρώσεις νιτρικών (NO₃-N) για το Σύστημα Ελέγχου
- Πίνακας 5.11 Συγκεντρώσεις νιτρικών (NO₃-N) για το Πειραματικό Σύστημα
- Πίνακας 5.12 Ρυθμοί απονιτροποίησης για τις μη αερόβιες δεξαμενές για τα Συστήματα Ελέγχου και Πειραματικού
- Πίνακας 5.13 Μέσο DSVI για τα Συστήματα Ελέγχου και Πειραματικού Α' & Β' Φάση
- Πίνακας 5.14 Συντελεστής Filament Index για τα Συστήματα Ελέγχου και Πειραματικού

Κατάλογος Εικόνων

- Εικόνα 2.1 (α) Μικροσκοπική εικόνα βιοκροκίδας και (β) συνύπαρξη συσσωματούμενων και νηματοειδών μικροοργανισμών
- Εικόνα 2.2 Αστοχία δεξαμενής τελικής καθίζησης ΕΕΛ λόγω νηματοειδούς διόγκωσης (Πηγή : Μαρνέρη,2010)
- Εικόνα 2.3 Κυψελοειδής δομή νηματοειδούς αφρού (Πηγή : Μαρνέρη,2010)
- Εικόνα 2.4 Νηματοειδής αφρός στη βιολογική βαθμίδα (α) στην ανοξική δεξαμενή και (β) στη δεξαμενή αερισμού
- Εικόνα 2.5 Νηματοειδής αφρός (γ) στη δεξαμενή τελικής καθίζησης και (δ) στο φρεάτιο συλλογής λύου (Πηγή : Μαρνέρη, 2010)
- Εικόνα 2.6 Μικροσκοπική αναγνώριση νηματοειδών βακτηρίων με τη χρωστική τεχνική Gram σε δείγμα ανάμεικτου υγρού με μεγέθυνση 1000x (Πηγή : ΕΥΤ)
- Εικόνα 2.7 Μικροσκοπική αναγνώριση νηματοειδών με φθορισμό σε δείγμα ανάμεικτου υγρού που έχει επεξεργαστεί με τη μοριακή μέθοδο FISH (Πηγή : ΕΥΤ)
- Εικόνα 2.8 Καθαρή καλλιέργεια *M.parvicella* (Πηγή : Blackhall et al., 1994)
- Εικόνα 3.1 Εγκαταστάσεις ΚΕΛΨ
- Εικόνα 3.2 Σύστημα Ενεργού Ιλύος
- Εικόνα 4.1 Δεξαμενή Ανάντη του Π.Σ
- Εικόνα 4.2 Ανοξική Δεξαμενή C1
- Εικόνα 4.3 Αερόβια Δεξαμενή C2
- Εικόνα 4.4 Αερόβια Δεξαμενή C3
- Εικόνα 4.5 Αναερόβιος Επιλογέας E1
- Εικόνα 4.6 Ανοξική Δεξαμενή E2
- Εικόνα 4.7 ΔΤΚ_E
- Εικόνα 4.8 Κακή Συμπύκνωση Ιλύος στη ΔΤΚ
- Εικόνα 4.9 Παγίδα στερεών
- Εικόνα 4.10 Έξοδος Βιολογικής Βαθμίδας
- Εικόνα 4.11 Αεροσυμπιεστής
- Εικόνα 4.12 (Από Αριστερά Προς Δεξιά) Υπόγεια και Περισταλτική Αντλία
- Εικόνα 4.13 (Από Αριστερά Προς Δεξιά): Μηχανικός και Μαγνητικός Αναδευτήρας
- Εικόνα 4.14 (Από Αριστερά Προς Δεξιά): Φούρνοι 103°C και 550 °C αντίστοιχα.
- Εικόνα 4.15 (Από Αριστερά Προς Δεξιά): Συσκευή Διήθησης Μονή & Αντλία Διήθησης
- Εικόνα 4.16 (Από Αριστερά Προς Δεξιά): Ζυγός Ακριβείας & Ξηραντήρας
- Εικόνα 4.17 Οξυγονόμετρο ΠΣ
- Εικόνα 4.18 (Από Αριστερά Προς Δεξιά) Φασματοφωτόμετρο DR2010 και Χωνευτής Φιαλιδίων (εταιρεία HACH)
- Εικόνα 4.19 Φιαλίδια Lange NO₃-N & Φασματοφωτόμετρο HACHDR2800
- Εικόνα 4.20 Πιπέτες 25ml, 5ml & 1ml αντίστοιχα

1.Εισαγωγή

Το σύστημα ενεργού ιλύος αποτελεί σήμερα την πλέον διαδεδομένη λύση στην απομάκρυνση ρυπαντικών φορτίων στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ) σε παγκόσμια κλίμακα. Στα πρώτα χρόνια εφαρμογής του συστήματος σε ΕΕΛ, στη βιολογική βαθμίδα επιτελούνταν αμιγώς αερόβιες διεργασίες για την απομάκρυνση του οργανικού άνθρακα. Ωστόσο, η εξέλιξη της έρευνας στο πεδίο της επεξεργασίας λυμάτων, ειδικότερα τη δεκαετία του 1980, σε συνδυασμό με την εμφάνιση προβλημάτων ευτροφισμού στους ευαίσθητους αποδέκτες των εγκαταστάσεων (λίμνες, ποτάμια) γέννησε την ανάγκη επιπλέον επεξεργασίας των λυμάτων για την απομάκρυνση των θρεπτικών (N,P). Έτσι, με τη πάροδο των ετών, η υγειονομική τεχνολογία γνωρίζει σημαντική πρόοδο, οπότε και εισάγονται στη βιολογική βαθμίδα ανοξικές δεξαμενές για την απονιτροποίηση των νιτρικών (NO₃) που επανακυκλοφορούν στο σύστημα από την αερόβια δεξαμενή, καθώς και αναερόβιες δεξαμενές για την βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου. Τα εν λόγω συστήματα απαντώνται στη βιβλιογραφία ως συστήματα BNR (biological nutrient removal). Σε Ευρωπαϊκό επίπεδο, οι διατάξεις της οδηγίας 91/271 υποδεικνύουν τις απαιτούμενες υποδομές των ΕΕΛ για τον βαθμό επεξεργασίας λυμάτων σύμφωνα με ένα συνδυασμό κριτηρίων, με κυριότερα τις μονάδες ισοδύναμου πληθυσμού των περιοχών που εξυπηρετεί η εγκατάσταση και τον χαρακτηρισμό του αποδέκτη σε κανονικό, ευαίσθητο ή λιγότερο ευαίσθητο (Ανδρεαδάκης,2008).

Η πλειονότητα των σύγχρονων ΕΕΛ λειτουργούν σε μέσους ή υψηλούς χρόνους παραμονής στερεών (θ_c) ώστε να είναι εφικτή η διαδικασία της νιτροποίησης και ο συντελεστής θ_c συσχετίζεται άμεσα με το λόγο μάζας οργανικής τροφής προς τη μάζα των μικροοργανισμών (F:M ratio). Οι ΕΕΛ που λειτουργούν υπό αυτές τις παραμέτρους σχεδιασμού (μέσο ή υψηλό θ_c, μέσο ή χαμηλό F:M) απαντώνται βιβλιογραφικά ως συστήματα μέσης ή χαμηλής οργανικής φόρτισης αντίστοιχα. Στο σύνολο της βιομάζας της βιολογικής βαθμίδας ενός συστήματος ενεργού ιλύος συναντώνται βακτήρια που είναι απαραίτητα για τις βιοχημικές διεργασίες απομάκρυνσης οργανικού άνθρακα, αζώτου και φωσφόρου (νιτροποιητές, ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί και πολυφωσφορικά βακτηρίδια) και συμβάλουν στην καλύτερη κροκίδωση της βιομάζας (συσσωματούμενα βακτήρια - floc formers) καθώς και βακτήρια που μικροσκοπικά παρουσιάζουν δομή νήματος και κατά συνέπεια στη βιβλιογραφία συναντώνται με την ονομασία νηματοειδείς (filament). Η ύπαρξη των εν λόγω νηματοειδών βακτηρίων ως ένα βαθμό διευκολύνουν τη δημιουργία βιοκροκίδων (bioflocs) με καλή μακροδομή, δημιουργώντας τις κατάλληλες προϋποθέσεις για την σύσταση βιομάζας με καλά χαρακτηριστικά καθίζησης (διαύγαση & συμπύκνωση). Ωστόσο, η υπερανάπτυξη των νηματοειδών επιφέρει ανεπιθύμητα αποτελέσματα καθώς η πυκνή γεφύρωση (bridging) των νημάτων δεν επιτρέπει τη συνεκτική δομή των μακροκροκίδων, τα κενά πληρώνονται από μόρια επεξεργασμένου λύματος με αποτέλεσμα η μη-συνεκτική βιομάζα να μην έχει καλά χαρακτηριστικά καθίζησης. Το εν λόγω φαινόμενο έχει συναντηθεί στη βιβλιογραφία με τον όρο «νηματοειδής διόγκωση» (filament bulking) και αποτελεί βασικό αντικείμενο έρευνας για περισσότερα από 30 χρόνια καθώς εμφανίζεται στη πλειονότητα των ΕΕΛ τύπου ενεργού ιλύος παγκοσμίως, συμπεριλαμβανομένου και του Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυττάλειας (ΚΕΛΨ).

Βασικός στόχος της ακαδημαϊκής έρευνας είναι ο έλεγχος της ανάπτυξης των εν λόγω βακτηριδίων με φυσικές μεθόδους και διεργασίες, καθώς η χρήση χημικών επιφέρει δυσανάλογη οικονομική επιβάρυνση στα λειτουργικά έξοδα των ΕΕΛ. Οι πλέον διαδεδομένες λύσεις που έχουν και την ευρύτερη εφαρμογή, αφορούν τη διαμόρφωση των επιμέρους δεξαμενών με τρόπο τέτοιο ώστε οι συσσωματούμενοι μικροοργανισμοί να αποκτούν συγκριτικό πλεονέκτημα ανάπτυξης έναντι των νηματοειδών. Οι λύσεις αυτές περιλαμβάνουν τη διαμερισματοποίηση των δεξαμενών με σκοπό τη δημιουργία κλίσης τροφής ή και τη χρήση ανοξικών ή αναερόβιων επιλογών (κινητική & μεταβολική επιλογή αντίστοιχα). Έχει αποδειχτεί ερευνητικά πως με αυτό το τρόπο ευνοείται η επικράτηση των συσσωματούμενων βακτηριδίων έναντι των νηματοειδών χωρίς να διαταραχθούν οι υπόλοιπες παράμετροι σχεδιασμού της εγκατάστασης. Πέρα από τις προαναφερθείσες λύσεις που επιδιώκουν την εξάλειψη του φαινομένου εν τη γενέσει του (ειδικές μέθοδοι), στη βιβλιογραφία απαντώνται και μη-ειδικές μέθοδοι για την αντιμετώπιση της νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού, όπως θα αναλυθεί στην αντίστοιχη ενότητα.

Στο πλαίσιο της ερευνητικής εργασίας, εξετάζεται η επιρροή της προσθήκης αναερόβιου επιλογέα (κινητική και μεταβολική πίεση των μικροοργανισμών) στο φαινόμενο νηματοειδούς διόγκωσης ιλύος. Για το λόγο αυτό, κατασκευάστηκαν δύο συστήματα ενεργού ιλύος εργαστηριακής κλίμακας τα οποία και θα αποκαλούνται Συστήματα Ελέγχου (Control) και Πειραματικό Σύστημα (Experimental). Με το Σύστημα Ελέγχου στοχεύουμε στην προσομοίωση του σχήματος επεξεργασίας που λειτουργεί στο σύστημα ευρείας κλίμακας του ΚΕΛΨ (ανοξική- αερόβια- τελική καθίζηση) ενώ το Πειραματικό Σύστημα λειτουργεί με την επιπλέον προσθήκη του αναερόβιου επιλογέα (αναερόβια- ανοξική- αερόβια- τελική καθίζηση). Στόχος της έρευνας είναι η αναχαίτιση της ανάπτυξης των νηματοειδών βακτηρίων στο Πειραματικό Σύστημα και κατ' επέκταση ο περιορισμός της νηματοειδούς διόγκωσης ιλύος στις δεξαμενές τελικής καθίζησης με την προσθήκη αναερόβιας δεξαμενής επιλογής. Στη περίπτωση που η συγκεκριμένη υπόθεση εργασίας ικανοποιηθεί, η προσθήκη του αναερόβιου επιλογέα στο σύστημα ευρείας κλίμακας θα αποτελέσει μια άμεση και φθηνή λύση, καθώς υπάρχει ήδη η τεχνική υποδομή (αναερόβια δεξαμενή) και θα χρειαστεί μόνο η καλύτερη διαμερισματοποίηση της. Σημειώνεται ότι στο ΚΕΛ Ψυττάλειας παρατηρούνται φαινόμενα αξονικής μίξης μεταξύ αναερόβιας και ανοξικής δεξαμενής που έχουν ως αποτέλεσμα τη λειτουργία του αναερόβιου επιλογέα ως ανοξικού αντιδραστήρα (Σύστημα Ελέγχου).

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από 6 Κεφάλαια. Στο Κεφάλαιο 2, επιχειρείται η βιβλιογραφική ανασκόπηση του φαινομένου της νηματοειδούς διόγκωσης, όπου και περιγράφονται τα λειτουργικά προβλήματα που προκαλεί η κακή καθιζησιμότητα της ιλύος στις δεξαμενές τελικής καθίζησης (ΔΤΚ), αναλύονται ποια είναι τα κυρίαρχα νηματοειδή βακτήρια που τα προκαλούν, την μικροβιολογία και φυσιολογία αυτών καθώς και ποιοι είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν το ρυθμό ανάπτυξης τους εντός του συστήματος ενεργού ιλύος. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι επικρατέστερες εφαρμογές όσον αφορά την αντιμετώπιση του προβλήματος της νηματοειδούς διόγκωσης ιλύος.

Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται τα βασικά στοιχεία της ΕΕΛ Ψυττάλειας (δυναμικότητα, φορτία εισόδου, εγκαταστάσεις) και διατυπώνεται η υπόθεση εργασίας της

έρευνας που πραγματοποιήθηκε το χρονικό διάστημα Οκτώβρης-Δεκέμβρης 2011 στο Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυττάλειας (ΚΕΛΨ).

Στο Κεφάλαιο 4 περιγράφονται αναλυτικά τα δύο συστήματα ενεργού ιλύος εργαστηριακής κλίμακας που κατασκευάστηκαν για τις ανάγκες της πειραματικής διαδικασίας. Επιπλέον, δίνονται τα πρωτόκολλα των πειραματικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν στο Χημείο του ΚΕΛΨ και το Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας (ΕΥΤ) της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου.

Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται τα συνολικά αποτελέσματα των πειραματικών αναλύσεων και σχολιάζονται σε συσχέτιση με την υπόθεση εργασίας.

Το Κεφάλαιο 6 αποτελεί την σύνοψη των πειραματικών αποτελεσμάτων και τα συμπεράσματα που εξάγονται σχετικά με την αποτελεσματικότητα του αναερόβιου επιλογέα στην αναχαίτιση της υπερανάπτυξης νηματοειδών βακτηριδίων (νβ).

Τέλος, επισυνάπτεται παράρτημα με τις τιμές των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στο χημείο του ΚΕΛΨ (MLSS, MLVSS), επιτόπια στα συστήματα (DO, θερμοκρασίες, DSVI) και στο εργαστήριο υγειονομικής τεχνολογίας (NO₃-N, COD, sCOD, μικροσκοπικές μετρήσεις).

2.Νηματοειδής Διόγκωση

2.1 Προβλήματα Καθιζσιμότητας Ιλύος

2.1.1 Εισαγωγή

Η καλή ποιότητα εκροής σε ένα σύστημα ενεργού ιλύος εξαρτάται τόσο από την αποτελεσματική απομάκρυνση οργανικού άνθρακα και θρεπτικών στη βιολογική βαθμίδα όσο και από την ποιότητα καθίζησης λάσπης στη ΔTK. Η επιτυχημένη απομάκρυνση θρεπτικών συμβάλλει στη σταθεροποίηση της ιλύος ενώ αντίστοιχα καλή συμπύκνωση και διαύγαση της ιλύος αποτελεί προϊόν καλής κροκίδωσης στη βιολογική βαθμίδα, επομένως παρατηρείται μονοσήμαντη σχέση μεταξύ δεξαμενών βιολογικής βαθμίδας και καθίζησης για την ισορροπία και τη βελτιστοποίηση απόδοσης του ενιαίου συστήματος. Ως διαύγαση νοείται το φαινόμενο σχηματισμού διεπιφάνειας (διαχωρισμού στερεών) μεταξύ βιολογικής ιλύος και επεξεργασμένου λύματος στις δεξαμενές τελικής καθίζησης και σχετίζεται με την ιδιότητα της ταχύτητας καθίζησης των βιοκροκίδων ενώ η συμπύκνωση αφορά τη πυκνότητα της ιλύος σε στερεά συγκριτικά με το ανάμεικτο υγρό στη βιολογική βαθμίδα.

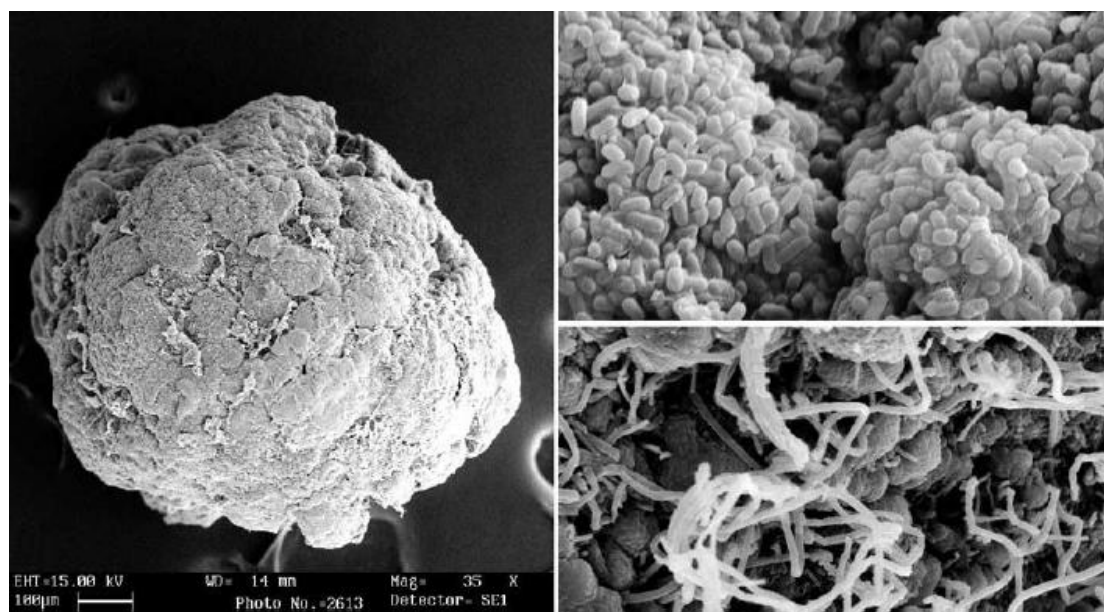
Η αργή καθίζηση ιλύος στις ΔTK συνεπάγεται συνεχή άνοδο της διεπιφάνειας λάσπης-επεξεργασμένου λύματος και απώλεια στερεών στην έξοδο, προκαλώντας αστοχία στις δεξαμενές καθίζησης. Η εν λόγω απώλεια βιομάζας συνεπάγεται την έκπλυση των νιτροποιητικών βακτηριδίων, γεγονός που αποσταθεροποιεί το ρυθμό νιτροποίησης στο σύστημα, ενώ η μείωση της συγκέντρωσης στερεών στο ανάμεικτο υγρό (MLSS) έχει ως αποτέλεσμα τον διαρκώς μεταβαλλόμενο χρόνο παραμονής στερεών (θ_c). Επιπλέον, τα στερεά που χάνονται στο ανάμεικτο υγρό διαθέτουν υψηλή θολότητα, επιβαρύνοντας την τριτοβάθμια επεξεργασία.

Όσον αφορά την κακή συμπύκνωση λάσπης, αυτή αποφέρει αναποτελεσματική ανακυκλοφορία ιλύος πίσω στο σύστημα, μειώνοντας συστηματικά τη συγκέντρωση των MLSS στη βιολογική βαθμίδα, αναγκάζοντας τον επιβλέποντα να αυξήσει τις ταχύτητες εξωτερικής (r_Q) και εσωτερικής (R_Q) ανακυκλοφορίας που πρωτίστως επιφέρουν τροποποιήσεις στις παραμέτρους λειτουργίας του συστήματος και δευτερευόντως αυξάνουν τις ενεργειακές ανάγκες της εγκατάστασης για άντληση λάσπης. Τέλος, η αραιή συγκέντρωση περίσσειας λάσπης (S_u) επιβαρύνει την κατάντη επεξεργασία ιλύος (αναερόβια χώνευση, στραγγίδια). Επομένως, κρίνεται απαραίτητη η αναζήτηση των σημαντικότερων αιτιών που προκαλούν τα φαινόμενα κακής καθίζησης, κυρίως σε μικροσκοπική κλίμακα. Αναζητούνται λοιπόν οι μηχανισμοί σχηματισμού των βιοκροκίδων και οι παράμετροι που επηρεάζουν ανασταλτικά την καλή συσσωμάτωση και συνοχή της λάσπης μακροσκοπικά στη ΔTK.

2.1.2 Σχηματισμός Βιοκροκίδων (Bioflocs)

Όπως προαναφέρθηκε, οι διεργασίες εντός της βαθμίδας είναι αμιγώς βιολογικές, επομένως χρειάζεται να υιοθετηθούν οι κατάλληλες συνθήκες περιβάλλοντος που να ευνοούν την ανάπτυξη κατάλληλων βακτηριδίων και λοιπών μικροοργανισμών που είναι σε θέση όχι μόνο να προσλαμβάνουν αιωρούμενες οργανικές ενώσεις, αλλά και να συσσωματώνονται αποτελεσματικά σε βιοκροκίδες (bioflocs) χωρίς χρήση χημικών κροκιδωτικών.

Στη βιοκοινότητα της ενεργού ιλύος, ο μηχανισμός κροκίδωσης βασίζεται ως επί το πλείστον στη δράση συγκεκριμένων ετεροτροφικών μικροοργανισμών, οι συσσωματούμενοι μικροοργανισμοί κατά τη βιβλιογραφία (floc formers), οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα να αποθηκεύουν ενδοκυτταρικά διαλυτές οργανικές ενώσεις ώστε να παράξουν εξ' αυτών εξωκυτταρικά πολυμερή με συστατικά που αυξάνουν το ιξώδες στην εξωτερική στοιβάδα του μικροοργανισμού, γεγονός που ευνοεί τη συσσωμάτωση μεταξύ τους σε ένα κολλώδες πλέγμα με καλή συνοχή μικροσκοπικά (microstructure). Το παρόν πλέγμα και η άμεση γειννίαση των κυττάρων, μειώνει το μεταξύ τους ηλεκτροστατικό φορτίο, γεγονός που βελτιώνει τη γεφύρωση τους (bridging) από πολυμερείς ενώσεις μεγάλου μοριακού βάρους. Η γεφύρωση των συσσωματούμενων μικροοργανισμών μάλιστα εμφανίζεται εντονότερα σε συστήματα χαμηλής οργανικής φόρτισης λόγω της ιδιότητας της άμεσης προσρόφησης οργανικών ενώσεων και της ενδογενούς ανάπτυξής τους (Li, Ganczarczyk). Έτσι, το σύμπλεγμα των συσσωματούμενων μικροοργανισμών και των εξωκυτταρικών πολυμερών κυρίως, αλλά και λοιπών οργανικών και ανόργανων σωματιδίων των λυμάτων που παγιδούνται στο πλέγμα δευτερευόντως, δημιουργούν συμπαιγείς και σφαιρικές κροκίδες που καθιζάνουν γρήγορα και συμπυκνώνονται καλά (Εικόνα 2.1α).



Εικόνα 2.1 (α) Μικροσκοπική εικόνα βιοκροκίδας και (β) συνύπαρξη συσσωματούμενων και νηματοειδών μικροοργανισμών

Σύμφωνα με τη «θεωρία σπονδυλικής στήλης» (backbone theory, Sezgin et al., 1978), οι βιοκροκίδες αποτελούν τη μικροδομή μεγαλύτερων κροκίδων που γεφυρώνονται με τη βοήθεια νηματοειδών βακτηριδίων (Εικόνα 2.1β). Το μέγεθος των βιοκροκίδων δεν ξεπερνά τα 75μm (Jenkins,1993) και δεν διέπεται από συνεκτικούς δεσμούς ικανούς να συγκρατήσουν τη δομή της κροκίδας σε περίπτωση έντονης μίξης (αερόβια διαμερίσματα βιολογικής βαθμίδας). Επομένως, για την αποτελεσματικότερη συσσωμάτωση και καθιζησιμότητα των κροκίδων, κρίνεται απαραίτητη η παρουσία νηματοειδών μικροοργανισμών σε χαμηλή συγκέντρωση, για την επίτευξη κροκίδων 10-15 φορές μεγαλύτερων σε μέγεθος(περίπου 100-500 μm) και αρκετά συνεκτικών ώστε να διατηρούν την δομή τους σε έντονη μίξη. Όπως προαναφέρθηκε και στην εισαγωγή ωστόσο, η υπερανάπτυξη νηματοειδών σε βάρος των συσσωματούμενων μικροοργανισμών, δημιουργεί χαλαρούς δεσμούς μεταξύ των μικροκροκίδων με αποτέλεσμα η παραγόμενη λάσπη να έχει φτωχές ιδιότητες καθίζησης, η κατά τη βιβλιογραφία νηματοειδής διόγκωση (filamentous bulking). Αναζητείται λοιπόν ερευνητικά η «φόρμουλα» που θα επιτρέπει την ισορροπημένη ανάπτυξη τόσο των συσσωματούμενων όσο και των νηματοειδών βακτηριδίων με στόχο την δημιουργία βέλτιστων μακροκροκίδων με καλή καθιζησιμότητα.

2.1.3 Αίτια Διόγκωσης Ιλύος

Τα προβλήματα διαχωρισμού των στερεών από τα υπερκείμενα επεξεργασμένα λύματα στη ΔΤΚ μπορούν να χωρισθούν, ανάλογα με το αίτιο που τα προκαλεί, σε αυτά που οφείλονται σε ανεπάρκεια ή υπερανάπτυξη εξωκυτταρικών πολυμερών και σε εκείνα που οφείλονται σε υπερβολική ανάπτυξη νηματοειδών μικροοργανισμών (Νουτσόπουλος, 2002). Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, μας απασχολούν περισσότερο τα προβλήματα διαχωρισμού των στερεών που οφείλονται στη διόγκωση της ιλύος (bulking problems), δηλαδή της νηματοειδούς διόγκωσης και του αφρισμού λόγω παρουσίας υδροφοβικών νηματοειδών βακτηριδίων. Ωστόσο, θα παρουσιαστούν συνοπτικά και τα προβλήματα που δεν οφείλονται στη διόγκωση της λάσπης (non bulking problems).

2.1.3.1 Προβλήματα που δεν οφείλονται στη νηματοειδή διόγκωση ιλύος

Διασπαρμένη ανάπτυξη (dispersed growth/deflocculation) : Ως διασπαρμένη ανάπτυξη νοείται το φαινόμενο όπου οι μικροοργανισμοί αδυνατούν, ή σωστότερα δεν χρειάζεται, να συσσωματωθούν για την σύσταση βιοκροκίδων. Μικροσκοπικά, παρατηρείται η εικόνα μεμονωμένων κυττάρων και μικρών κροκίδων (10-20μm) διάσπαρτα στο σύνολο της βιομάζας, χωρίς γεφύρωση μεταξύ τους και συνεπώς με φτωχές ιδιότητες καθίζησης.

Αποτέλεσμα των παραπάνω, η συμπαράσυρση της βιομάζας στην τελική εκροή και η έκπλυση των νιτροποιητών που, όπως έχει αναφερθεί και στην εισαγωγή, συνεπάγεται μείωση των MLSS στο ανάμεικτο υγρό και κατά συνέπεια μείωση του χρόνου παραμονής στερεών θ_c , δημιουργώντας λειτουργικό πρόβλημα στο σύστημα. Το φαινόμενο παρατηρείται σε εγκαταστάσεις που λειτουργούν με πολύ χαμηλό χρόνο παραμονής $\theta_c \leq 3d$, (Ανδρεαδάκης, 1993), όπου η υψηλή οργανική φόρτιση συνεπάγεται και ευκολία πρόσληψης ευκολοδιασπάσιμης οργανικής τροφής από τα εισερχόμενα λύματα. Έτσι, σε συνθήκες αφθονίας οργανικών ενώσεων, τα βακτηρίδια δεν χρειάζεται να συνθέσουν βιοπολυμερή για την συσσωμάτωσή τους σε μεγαλύτερες κροκίδες.

Ανάπτυξη Μικροκροκίδων (pinpoint floc) : Σύμφωνα με τη θεωρία σπονδυλικής στήλης, η μικροδομή των βιοκροκίδων βασίζεται στην κολλώδη φύση των βιοπολυμερών, η οποία όμως δεν δύναται να παρέχει την απαιτούμενη συνεκτικότητα στο συσσωμάτωμα για να διατηρήσει τη δομή του σε ένα δυναμικό περιβάλλον έντονης μίξης, όπως αυτό των αερόβιων διαμερισμάτων σε μια ΕΕΛ. Επομένως, σε ανάμεικτο υγρό όπου απουσιάζει πληθυσμός νηματοειδών βακτηριδίων σε επαρκή συγκέντρωση, οι βιοκροκίδες υπόκεινται σε καταπονήσεις που μειώνουν τη συνάφεια τους, προκαλώντας τη διάσπασή τους σε μικρότερες (50-100μm).

Προφανώς και σε αυτή τη περίπτωση, οι ιδιότητες καθίζησης θεωρούνται φτωχές αλλά υπάρχουν σημαντικές διαφορές από τη διάσπαρτη ανάπτυξη. Πρωτίστως, οι μικροκροκίδες έχουν μεγαλύτερο μέγεθος, με αποτέλεσμα η τελική εκροή να παρουσιάζει μικρότερη θολότητα και επομένως η τριτοβάθμια επεξεργασία λυμάτων επιβαρύνεται σε μικρότερο βαθμό. Επιπλέον, η ανάπτυξη μικροκροκίδων ως φαινόμενο εμφανίζεται,

αντίθετα με τη διάσπαρτη ανάπτυξη, σε ΕΕΛ που λειτουργούν σε υψηλούς χρόνους παραμονής. Σε συνθήκες χαμηλής οργανικής φόρτισης, τα ετεροτροφικά βακτηρίδια εντός των κροκίδων χρησιμοποιούν τα πολυμερή, που αποτελούν το συνεκτικό ιστό της σύστασης των κροκίδων, ως πηγή άνθρακα και ως συνέπεια το πλέγμα διασπάται οδηγώντας στην δημιουργία νέων μικρότερων κροκίδων.

Ανύψωση ιλύος (sludge rising) : Πρόκειται για ανύψωση λάσπης στην επιφάνεια της ΔTK, δημιουργώντας ένα λεπτό στρώμα ιλύος που «χάνεται» στην τελική εκροή. Η «φρέσκια» λάσπη που εισάγεται στη δεξαμενή τελικής καθίζησης, συμπυκνώνεται πολύ καλά και με μεγάλη ταχύτητα, με αποτέλεσμα να παρατηρούμε μια πολύ πυκνή στρώση λάσπης στο πυθμένα. Σε αυτή τη στρώση, οι (μικρές) συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου που μεταφέρονται από τα αερόβια διαμερίσματα, καταναλώνονται μέσα σε λίγα λεπτά και κατά συνέπεια σύντομα οι (πολύ μεγαλύτερες) συγκεντρώσεις νιτρικών αποτελούν τον μοναδικό αποδέκτη ηλεκτρονίων για τη λάσπη. Έτσι, σε διάστημα 0,5-1hr, πραγματοποιείται αθέμιτα μια ενδογενής απονιτροποίηση στη πυκνή στρώση λάσπης και με δεδομένο πως ο χρόνος παραμονής της ιλύος στη ΔTK είναι αρκετά μεγαλύτερος, παράγονται επαρκείς ποσότητες αερίου αζώτου ώστε να διασπάσουν και να συμπαρασύρουν μεγάλα τμήματα λάσπης στην επιφάνεια, μεγάλα τμήματα της οποίας δεν καθιζάνουν και κατά συνέπεια υπερχειλίζουν στην εκροή. Σύμφωνα με σχετική έρευνα (Henze et al., 1993), καθορίζονται ως κρίσιμες τιμές συγκεντρώσεως νιτρικών τα 6-8mg/l στους 20°C και ως προς το χρόνο παραμονής λάσπης περί τη 1 ώρα. Επομένως σε μεγάλες ΕΕΛ με απομάκρυνση θρεπτικών, όπου οι τιμές νιτρικών στη ΔTK είναι πολύ υψηλές και ο χρόνος παραμονής ξεπερνά τη 1 ώρα, το πρόβλημα της ανύψωσης ιλύος είναι πρακτικά άλυτο, εκτός και αν προβλεφτεί από τον ερευνητή μηχανικό δεξαμενή μετά-απονιτροποίησης κατάντη της βιολογικής βαθμίδας και πριν την ΔTK (διβάθμιο σύστημα). Σε μια τέτοια περίπτωση βέβαια αλλάζουν τελείως οι παράμετροι σχεδιασμού και λειτουργίας της εγκατάστασης.

Ιξώδης διόγκωση (viscous bulking) : Πρόκειται για φαινόμενο διόγκωσης λάσπης λόγω υπερβολικής παραγωγής πολυμερών (το αντίθετο δηλαδή φαινόμενο από τη διασπαρμένη ανάπτυξη αλλά με το ίδιο αποτέλεσμα), αποτελούμενα κυρίως από υδροφιλικά κολλοειδή με αποτέλεσμα να παγιδεύουν μόρια νερού, σχηματίζοντας μια υδαρή λάσπη με κακές ιδιότητες καθίζησης. Η υπερβολική παραγωγή πολυμερών αποδίδεται συνήθως σε διεργασίες της ετεροτροφικής βιομάζας υπό συνθήκες έλλειψης θρεπτικών (Νουτσόπουλος, 2002).

Η διογκωμένη μάζα δημιουργεί αφρισμό στην επιφάνεια της ΔTK, ειδικά σε περίπτωση όπου αυτή αερίζεται επιφανειακά. Ο αφρισμός λόγω ιξώδους διόγκωσης προσομοιάζει με τον αφρισμό λόγω νηματοειδούς διόγκωσης αλλά έχει αποδειχθεί πειραματικά πως ως φαινόμενο παρουσιάζεται κυρίως σε ΕΕΛ που έχουν σχεδιασθεί με κλίση τροφής, δηλαδή με στόχο την αναχαίτιση ανάπτυξης των νηματοειδών. Επομένως, προκειμένου ο ερευνητής μηχανικός να βγάλει πόρισμα για το αίτιο που προκαλεί τον αφρισμό, κρίνεται αναγκαία η μικροσκοπική ανάλυση στο ανάμεικτο υγρό (filament index).

2.1.3.2 Νηματοειδής διόγκωση (*filament bulking*)

Για την επίτευξη της βέλτιστης απόδοσης του συστήματος ενεργού ιλύος μιας ΕΕΛ (καλή ποιότητα εκροής και λάσπης), απαιτείται τόσο η δημιουργία συνεκτικών βιοκροκίδων και η καλή συσσωμάτωση τους (*microstructure*), όσο και η ισορροπημένη ανάπτυξη συσσωματούμενων και νηματοειδών βακτηρίων για την επίτευξη καλής μακροδομής στη λάσπη. Ωστόσο, η εν λόγω θεώρηση είναι εξιδανικευμένη και πρακτικά δεν συναντάται στις ΕΕΛ η λειτουργία της βιολογικής βαθμίδας αποτελεί δυναμικό και πολυπαραμετρικό φαινόμενο, ενώ επιπλέον η παρουσία νηματοειδών στις ΕΕΛ χωρικά και χρονικά παρουσιάζει διακυμάνσεις που δεν επιτρέπουν την εύρεση μοναδικής «φόρμουλας» για επίλυση του φαινομένου διόγκωσης. Κάθε νηματοειδής μικροοργανισμός εμφανίζεται κάτω από διαφορετικές περιβαλλοντικές/λειτουργικές συνθήκες και επομένως επιδέχεται μονοσήμαντης μεθόδου ελέγχου, όπως θα παρουσιαστεί σε επόμενη ενότητα του κεφαλαίου.

Σε περίπτωση έλλειψης νηματοειδών βακτηριδίων στο ανάμεικτο υγρό, η έντονη μίξη στα αερόβια διαμερίσματα συνεπάγεται το κατακερματισμό της συνάφειας και μοιραία τη διάσπαση των μικροκροκίδων (διασπαρμένη ανάπτυξη). Στην αντίθετη περίπτωση, η υπερβολική ανάπτυξη νηματοειδών στη βιολογική βαθμίδα, συνεπάγεται τη δημιουργία λάσπης με φτωχή καθαρισιμότητα, προκαλώντας τη διόγκωσή της. Αναλυτικότερα, τα νηματοειδή βακτηρίδια που αναπτύσσονται εντός των βιοκροκίδων (Type 0092) λόγω του μεγάλου λόγου A/V, δυσχεραίνουν τη καλή συσσωμάτωση των κροκίδων, με αποτέλεσμα τη δημιουργία κενών που πληρούνται από μόρια επεξεργασμένου λύματος. Όσο για τα νηματοειδή που αναπτύσσονται εκτός των βιοκροκίδων, λόγω του μεγάλου πληθυσμού νηματοειδών υπάρχει αραιή γεφύρωση μεταξύ τους με αποτέλεσμα μια διογκωμένη λάσπη με κακή συμπύκνωση. Ως αποτέλεσμα των παραπάνω, η διογκωμένη ιλύς υπερχειλίζει από τις δεξαμενές προκαλώντας την αστοχία τους, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.2.



Εικόνα 2.2 Αστοχία δεξαμενής τελικής καθίζησης ΕΕΛ λόγω νηματοειδούς διόγκωσης
(Πηγή : Μαρνέρη,2010)

Πρόκειται με άλλα λόγια για ένα λειτουργικό πρόβλημα που αφορά τη συμπύκνωση της ιλύος, όπως άλλωστε αποδεικνύεται από τις καθημερινές μετρήσεις SVI (sludge volume index). Σε μια μέτρηση διογκωμένης ιλύος, από τα 30' της μέτρησης η ζωνική καθίζηση επιτελείται στα πρώτα 5-10', ενώ στη συνέχεια η ταχύτητα καθίζησης ουσιαστικά προσεγγίζει το μηδέν. Επομένως, βιβλιογραφικά η διογκωση της λάσπης στη ΔTK προσδιορίζεται από το δείκτη SVI με το περιορισμό κάτω φράγματος : $SVI \geq 150$ ml/gMLSS. Εκτός της μακροσκοπικής ανάλυσης, το μέγεθος της διογκωσης προσδιορίζεται αρτιότερα με μικροσκοπικές μετρήσεις, όπου μπορούν να καθοριστούν ακόμα πιο αναλυτικές παράμετροι, όπως ο πληθυσμός νηματοειδών (filament index), και η συγκέντρωση των επικρατέστερων νηματοειδών στο δείγμα. Με αυτό τον τρόπο, ο ερευνητής ανατρέχοντας στη βιβλιογραφική έρευνα καλείται να επιλέξει τη καλύτερη μεθοδολογία για την αναχαίτιση ανάπτυξης της ομάδας των νηματοειδών που προκαλούν την ανεπιθύμητη διογκωση.

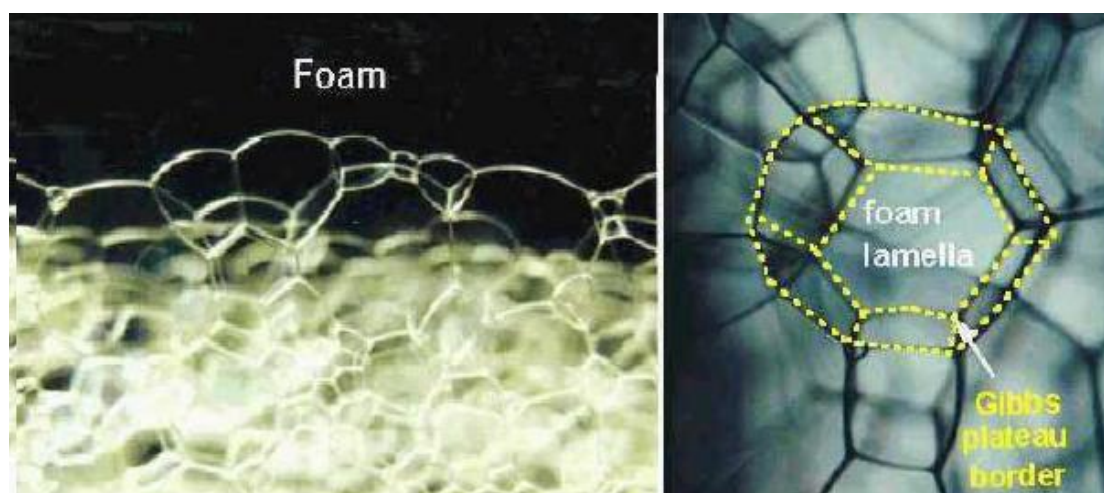
Οι δυσμενείς επιπτώσεις του φαινομένου διογκωσης επηρεάζουν όχι μόνο το σύστημα ενεργού ιλύος αλλά και τα κατάντη σχήματα επεξεργασίας. Αναλυτικά, εντός της βιολογικής βαθμίδας, λόγω της υπερχειλίσσης στερεών στην τελική εκροή, η έκπλυση των νιτροποιητών αποτρέπει τη κατανάλωση της αμμωνίας των λυμάτων, η συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών (MLSS) μειώνεται άρα και ο χρόνος παραμονής θ_c , με αποτέλεσμα την αποσταθεροποίηση και την μείωση των αποδόσεων του συστήματος. Η αύξηση οργανικού φορτίου στην εκροή συνεπάγεται την αύξηση της θολότητας των επεξεργασμένων λυμάτων και την επιβάρυνση της τριτοβάθμιας επεξεργασίας (απολύμανσης), καθώς οι διαδικασίες χλωρίωσης δεν επαρκούν για τη καταπολέμηση των παθογόνων μικροοργανισμών (κολοβακτηρίδια). Επιπλέον, η διογκωμένη λάσπη απαιτεί μεγαλύτερους συντελεστές εξωτερικής ανακυκλοφορίας από τους προβλεπόμενους συντελεστές σχεδιασμού λόγω κακής συμπυκνώσεως ιλύος, γεγονός που επιφέρει μεγαλύτερες ενεργειακές απαιτήσεις για το σύστημα. Τέλος, η χαμηλή συγκέντρωση στερεών στη περίσσεια λάσπης (S_u) που καταλήγει σε σχετική επεξεργασία, δημιουργεί προβλήματα στα στάδια της χώνευσης και της αφυδάτωσης (Μαρνέρη, 2010).

2.1.3.3 Νηματοειδής αφρισμός

Στις ΕΕΛ, ο αφρός που δημιουργείται οφείλεται συνήθως στην διασπορά οξυγόνου στο ανάμεικτο υγρό κατά την διεργασία ενεργού ιλύος ή αερίου αζώτου εντός της ΔTK λόγω (αθέμιτης) απονιτροποίησης. Ωστόσο, όπως θα αναλυθεί και στη συνέχεια, η υδροφοβική φύση ορισμένων νηματοειδών βακτηριδίων, σε συνδυασμό με άλλες βιοχημικές διεργασίες αυτών εντός του ανάμεικτου υγρού, προκαλεί την ανύψωση της λάσπης και τη δημιουργία ενός πυκνού καφέ στρώματος στην επιφάνεια της δεξαμενής τελικής καθίζησης. Πρόκειται για τον λεγόμενο νηματοειδή αφρισμό ο οποίος, λόγω της πυκνής του σύστασης και του χαρακτηριστικού χρώματος, μπορεί να διαχωριστεί μικροσκοπικά αλλά και μακροσκοπικά από τις άλλες μορφές αφρισμού (λόγω τασιενεργών ή λόγω απονιτροποίησης στη ΔTK).

Μικροσκοπικά, ο νηματοειδής αφρός παρουσιάζει κυψελοειδή δομή όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.3' μόρια οξυγόνου παγιδεύονται στο υγρό και συναντώνται για τη δημιουργία αφρού. Οι τάσεις συνάφειας μεταξύ των κυψελίδων είναι προφανώς

πολύ χαλαρές και η ροή του υγρού εντός του αφρού προκαλεί τη διάρρηξη του πλέγματος φυσαλίδων. Θεωρητικά λοιπόν πρόκειται για ένα ασταθές σύμπλεγμα που δεν επηρεάζει τη καλή λειτουργία της ενεργού ιλύος. Ωστόσο, έχει παρατηρηθεί ερευνητικά πως εντός του συστήματος συνυπάρχουν τασιενεργείς ενώσεις και υδροφοβικά βακτηρίδια που, εφόσον ενωθούν με το πλέγμα του αφρού, παρέχουν τον απαραίτητο συνεκτικό ιστό για την σταθεροποίησή του.



Εικόνα 2.3 Κυψελοειδής δομή νηματοειδούς αφρού
(Πηγή : Μαρνέρη,2010)

Ως τασιενεργά νοούνται συστατικά που είτε περιέχονται στα λύματα (υπολείμματα απορρυπαντικών) είτε παράγονται εξωκυτταρικά από τα νηματοειδή βακτηρίδια εντός της βαθμίδας (έλαια, λίπη, πρωτεΐνες και υδρογονάνθρακες). Η ικανότητα παραγωγής τασιενεργών ενώσεων προκειμένου να αυξήσουν την υδροφοβική φύση του κυτταρικού τους τοιχώματος, δίνει τη δυνατότητα στους νηματοειδείς να προσκολλώνται στη διεπιφάνεια υγρού-αέρα, καθιστώντας τον αφρό σταθεροποιημένο και συνεκτικό(Μαρνέρη,2010). Κατά συνέπεια, ο μεγάλος χρόνος παραμονής του βιολογικού αφρού στην επιφάνεια της ΔTK συνεπάγεται τη μεγάλη συγκέντρωση σε στερεά που μπορεί να φτάσει το 2%, πολύ ψηλό ποσοστό αν αναλογιστούμε ότι η βιολογική ιλύς μιας ΕΕΛ έχει συνήθως συγκεντρώσεις στερεών στη περιοχή του 0,8-1%.

Επιπλέον, έχει αποδειχθεί ότι νηματοειδείς μικροοργανισμοί βρίσκονται σε ιδιαίτερες υψηλές συγκεντρώσεις στο στρώμα του αφρού λόγω της υδροφοβικής τους κυτταρικής επιφάνειας. Οι κυριότεροι νηματοειδείς που έχουν παρατηρηθεί από σχετικές έρευνες είναι οι *G.Amarae*, *Microthrix Parvicella* (Soddell et al., 1990, Heard et al., 2008), Type0092, Type0041 (Jenkins, 1993) και η έντονη υδροφοβικότητα αυτών αποδίδεται στην ύπαρξη μικολικού οξέως στα κυτταρικά τοιχώματα.

Συνοψίζοντας, η δημιουργία αυτού του τριφασικού συμπλέγματος αερίων(O_2, N_2), νερού και νηματοειδών εντός της ΔΤΚ ορίζει τη σταθεροποίηση του βιολογικού αφρού, ο οποίος πρακτικά έχει άπειρο χρόνο παραμονής στο σύστημα όπου και παγιδεύεται (Εικόνες 2.4-2.5) καθώς η πολύ πυκνή του σύσταση δεν επιτρέπει την υπερχείλιση του επεξεργασμένου λύματος, προκαλώντας έντονα λειτουργικά προβλήματα στα κατάντη σχήματα επεξεργασίας. Επιπλέον, οι μεγάλες συγκεντρώσεις στερεών στον αφρό δημιουργούν σύγχυση και στη βιολογική βαθμίδα (μείωση MLSS, χρόνου παραμονής στερεών). Αντιλαμβάνεται κανείς την σημασία ελέγχου της ταχύτητας ανάπτυξης εκείνων των νηματοειδών που αποδεδειγμένα συμβάλουν στον βιολογικό αφρισμό με ειδικές μεθόδους, όπως αυτές θα αναλυθούν σε επόμενη ενότητα.



Εικόνα 2.4 Νηματοειδής αφρός στη βιολογική βαθμίδα
(α) στην ανοξική δεξαμενή και (β) στη δεξαμενή αερισμού



Εικόνα 2.5 Νηματοειδής αφρός (γ) στη δεξαμενή τελικής καθίζησης και
(δ) στο φρεάτιο συλλογής ιλύος (Πηγή : Μαρνέρη, 2010)

2.2 Νηματοειδείς Μικροοργανισμοί

2.2.1 Αναγνώριση & Κατάταξη

Η εμφάνιση νηματοειδών βακτηριδίων στις ΕΕΛ παγκοσμίως παρουσιάζει μια χρονική και χωρική μεταβλητότητα που εξαρτάται από τις συνθήκες περιβάλλοντος, τα χαρακτηριστικά των λυμάτων εισόδου, τις παραμέτρους λειτουργίας της εγκατάστασης κ.α. Επιπλέον, κάθε νηματοειδής παρουσιάζει σημαντικές διαφορές στη μορφολογία, το μεταβολισμό και τη κινητική ανάπτυξης από τους υπόλοιπους, με συνέπεια η αναγνώρισή τους και η κατάταξη τους σε ομάδες να καθίσταται δύσκολη και υποκειμενική στα κριτήρια του εκάστοτε ερευνητή. Επιπλέον, η κατάταξη των νηματοειδών θα πρέπει να γίνεται βασισμένη σε κοινώς αποδεκτά κριτήρια όπως η αντίδραση αυτών στη χρωστική τεχνική κατά Gram (+/-), με βάση τη μορφολογία και τις προτιμήσεις στις συνθήκες ανάπτυξης ή πρόσληψης τροφής.

Ιστορικά, έχουν δοκιμαστεί διαφορετικές μέθοδοι με ξεχωριστά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Οι ερευνητές αρχικά χρησιμοποιούσαν μια συμβατική μέθοδο αναγνώρισης που βασίζεται στην απομόνωση των νηματοειδών και τον έλεγχο της μορφολογίας και της φυσιολογίας τους. Τα αποτελέσματα αυτά διασταυρώνονταν έπειτα με τις πρότυπες αναφορές από σχετικά εγχειρίδια (Bergey's Manual of Determinative Bacteriology). Η ταξινόμηση του μικροοργανισμού κατ' αυτό τον τρόπο δεν επιδεχόταν αμφισβήτηση καθώς ακολουθούνταν μια πρωτοκολλημένη διαδικασία που επέτρεπε στον ερευνητή να γνωρίζει και τις βιοχημικές ιδιότητες του μικροοργανισμού προς εξέταση. Ωστόσο, αυτή η «βάση δεδομένων» ήταν αρκετά φτωχή καθώς ορισμένα βακτηρίδια δεν είχαν ακόμα αναγνωριστεί με αποτέλεσμα να μην αναφέρονται στα σχετικά εγχειρίδια. Επιπλέον η απομόνωση του μικροοργανισμού απαιτούσε χρόνο και η χρονική παράμετρος επηρέαζε τα αποτελέσματα, καθιστώντας τα ανακριβή και χρονοβόρα.

Παράλληλα, αναπτύχθηκε και μια ακόμα μέθοδος (Farquhar & Boyle, 1971) όπου οι μικροοργανισμοί εξετάζονταν μικροσκοπικά ως προς τα μορφολογικά χαρακτηριστικά και ταξινομούνταν με βάση την αντίδρασή τους σε χρωστικές τεχνικές. Τα αποτελέσματα των παρατηρήσεων αντιπαραβάλλονταν στα γνωστά είδη του εγχειριδίου του Bergey. Η μέθοδος αυτή αποτέλεσε τη βάση για τη σημερινή βιβλιογραφία εγχειριδίων αναγνώρισης νηματοειδών αλλά δεν έτυχε ευρείας εφαρμογής λόγω της πολυπλοκότητας των διαδικασιών. Αντίθετα, η μέθοδος αναγνώρισης και ταξινόμησης νηματοειδών του Eikelboom (1975), χρησιμοποιείται έως και σήμερα καθώς κατάφερε να απλοποιήσει σημαντικά τις τεχνικές αναγνώρισης των Farquhar & Boyle. Ο Eikelboom υπέθεσε πως οι νηματοειδείς μικροοργανισμοί ήταν πολύ περισσότεροι από όσους είχαν αναγνωριστεί ως τότε και κατάφερε να εντοπίσει συνολικά 26 διαφορετικά είδη, τα οποία και κατέταξε σύμφωνα με τα μορφολογικά τους χαρακτηριστικά και τις αντιδράσεις τους στις χρωστικές τεχνικές Gram (κυρίως) & Neisser (Νουτσόπουλος, 2002).

Τα σημαντικότερα μορφολογικά χαρακτηριστικά που πρέπει να καθοριστούν από τη μικροσκοπική παρατήρηση των νηματοειδών είναι :

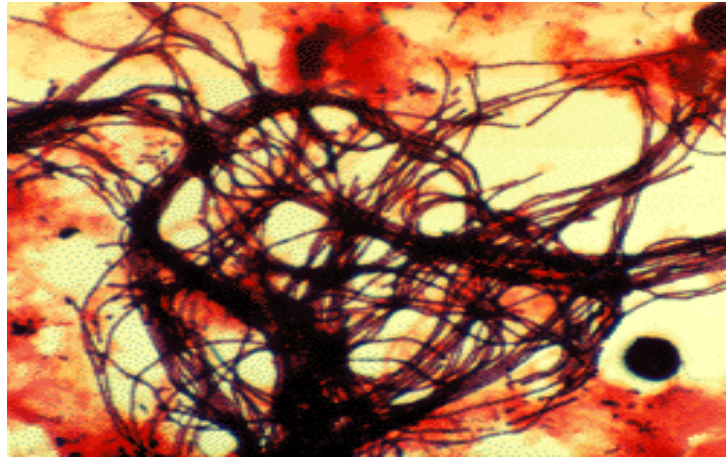
- Σχήμα και μήκος νήματος μικροοργανισμού (Filament shape and length)
- Σχήμα και διάμετρος κυττάρου (Cell shape and diameter)
- Τοποθεσία νηματοειδών, μέσα ή έξω από τις βιοκροκίδες (Filament location)
- Κινητικότητα (Mobility)
- Περίβλημα (Sheath)
- Διακλαδώσεις (Branching)

Ο ερευνητής, χρησιμοποιώντας οδηγούς κλειδιά, καταλήγει στην αναγνώριση των μικροοργανισμών στο δείγμα υλός ή λάσπης. Τέτοια κλειδιά αναγνώρισης (identification keys) υπάρχουν σε όλα τα εγχειρίδια αναγνώρισης νηματοειδών βακτηριδίων. Μια προκαταρκτική ταξινόμηση των νηματοειδών βακτηρίων βάσει των μορφολογικών τους χαρακτηριστικών επιχειρήθηκε από τον Eikelboom το 1975, βασιζόμενος στα αποτελέσματα των χρωστικών τεχνικών (Πίνακας 2.1)

Πίνακας 2.1 Κατάταξη νηματοειδών μικροοργανισμών βάσει των μορφολογικών χαρακτηριστικών τους
(Πηγή : Νουτσόπουλος, 2002)

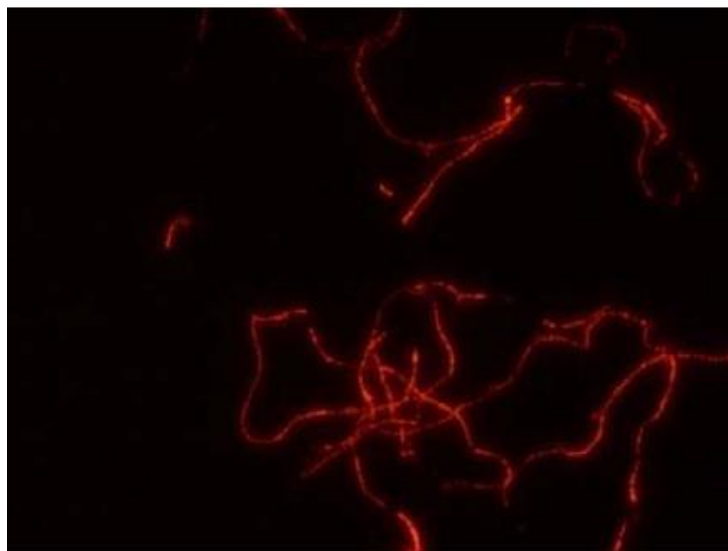
Μορφολογικά Χαρακτηριστικά	Νηματοειδείς Μικροοργανισμοί
Ύπαρξη περιβλήματος, Gram (-)	H.hydrossis, Type 1701, S.natans
Ύπαρξη περιβλήματος, Gram (+)	Type0041, Type0675, Type1851
Απουσία περιβλήματος	Type021N, N.Limicola
Λεπτά με ελικοειδή μορφή	M.parvicella, Type0581
Ίσια Gram (-)	Type0092, Type0961

Επιπλέον, αντίστοιχα κλειδιά αναγνώρισης υπάρχουν με κριτήριο ταξινόμησης τη χρωστική τεχνική Gram. Η αρχή της κηλίδωσης συνίσταται στον σχηματισμό ενός συμπλέγματος σύνθετης ύλης από μωβ κρυστάλλους και ιώδιο μέσα στα κύτταρα. Αυτό το σύμπλεγμα δεν είναι υδροδιαλυτό στην αιθανόλη, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να ξεπλυθεί από τα κύτταρα. Το σύμπλεγμα προσδίδει ένα σκούρο μωβ χρώμα στα κύτταρα με θετικό Gram (Εικόνα 2.6). Η κηλίδα χρωματίζεται επιπροσθέτως με φουξίνη ή σαρφανίνη ώστε να γίνουν ορατά και τα κύτταρα με αρνητικό Gram, τα οποία παίρνουν κόκκινο χρώμα. Οι διαφορετικές αποχρώσεις θετικού και αρνητικού Gram οφείλονται στις διαφορετικές χημικές συστάσεις των κυτταρικών τοιχωμάτων (Ανδρόνικου, 2001). Ωστόσο, παρατηρούνται διαφορετικά αποτελέσματα στις Gram μετρήσεις ορισμένων μικροοργανισμών, καθώς τα μορφολογικά τους χαρακτηριστικά εξαρτώνται από τις συνθήκες περιβάλλοντος και λειτουργίας κάθε ξεχωριστής ΕΕΛ.



Εικόνα 2.6 Μικροσκοπική αναγνώριση νηματοειδών βακτηρίων με τη χρωστική τεχνική Gram σε δείγμα ανάμεικτου υγρού με μεγέθυνση 1000x (Πηγή : EYT)

Προς αποφυγή τυχόν σύγχυσης που πιθανώς να προκληθεί από τα αντιφατικά αποτελέσματα των χρωστικών τεχνικών, επικρατούν πλέον τεχνικές υβριδισμού των κυττάρων με φθορίζοντα κύτταρα ή αντισώματα (Εικόνα 2.7). Σε αυτές, οι ανιχνευτές που χρησιμοποιούνται προσημειώνονται με φθορίζοντα στοιχεία ώστε οι μικροοργανισμοί που τους προσλαμβάνουν να ξεχωρίζουν ως φθορίζοντα στοιχεία στο μικροσκόπιο (Νουτσόπουλος,2002). Αντίστοιχα για τα αντισώματα, αναπτύσσονται εργαστηριακά και λειτουργούν ως δείκτες για τον εντοπισμό του μικροοργανισμού για τον οποίο και έχουν αναπτυχθεί. Συγκεκριμένα, αφού ο νηματοειδής προσλάβει τα αντισώματα, εμφανίζει φθορίζοντα στίγματα στο μικροσκόπιο, καθιστώντας δυνατή της μέτρησης μάζας του εν λόγω βακτηριδίου στο δείγμα γνωστής μάζας. Τέλος, αναπτύσσονται και μέθοδοι που στηρίζονται στις επιστήμες της μοριακής βιολογίας και αφορούν την αποκρυπτογράφηση της ακολουθίας RNA των νηματοειδών βακτηριδίων με ταυτόχρονη χρήση φθορίζόντων στοιχείων για την επιτόπια (in situ) αναγνώριση τους.



Εικόνα 2.7 Μικροσκοπική αναγνώριση νηματοειδών με φθορισμό σε δείγμα ανάμεικτου υγρού που έχει επεξεργαστεί με τη μοριακή μέθοδο FISH (Πηγή : EYT)

2.2.2 Νηματοειδείς μικροοργανισμοί

2.2.2.1 Εισαγωγή

Σε παγκόσμιο επίπεδο, αρκετές έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί σε ΕΕΛ χαμηλής οργανικής φόρτισης με στόχο την διερεύνηση των κυρίαρχων νηματοειδών μικροοργανισμών. Αυτές οι έρευνες καταγραφής των νηματοειδών βακτηρίων μας παρέχουν σημαντικές πληροφορίες αναφορικά με τη χωρική κατανομή τους. Τα αποτελέσματα ορισμένων ερευνών σε διεθνές επίπεδο παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.2. Ως κυρίαρχοι νηματοειδείς σε ΕΕΛ χαμηλής οργανικής φόρτισης παγκοσμίως (Low Food to Microorganisms Ratio, F:M Ratio) εμφανίζονται οι *Microthrix Parvicella*, *Gordona Amarae*, Type0092, Type0041 και Type0675 κυρίως και οι *N.Limicola*, Type021N και Type1851 δευτερευόντως. Η επεξεργασία των αστικών λυμάτων με απομάκρυνση οργανικού άνθρακα και θρεπτικών πραγματοποιείται πλέον αποκλειστικά σε ΕΕΛ που λειτουργούν με υψηλούς χρόνους παραμονής στερεών, επομένως η έρευνα εύλογα εστιάζεται στους μικροοργανισμούς χαμηλής οργανικής φόρτισης. Από τη βιβλιογραφία, ως χαμηλή οργανική φόρτιση μιας ΕΕΛ νοείται φόρτιση μικρότερη από 0,15 gCOD/gSS/day (Eikelboom et al. 1998). Λόγω της υδροφοβικής φύσης των κυττάρων τους, τα βακτηρίδια *M.parvicella* και *G.amarae* θεωρούνται υπεύθυνα για τη δημιουργία νηματοειδούς αφρισμού (Μαρνέρη,2010), σε αντίθεση με τη διόγκωση της λύσος, όπου όλοι οι προαναφερθέντες νηματοειδείς συμμετέχουν. Στην παρούσα ενότητα θα επιχειρηθεί η ανασκόπηση των σημαντικότερων χαρακτηριστικών της μορφολογίας και της φυσιολογίας των εν λόγω βακτηριδίων ώστε να διερευνηθεί ο τρόπος με τον οποίο εμπλέκονται στα φαινόμενα της νηματοειδούς διόγκωσης λύσος και αφρισμού και κατ' επέκταση η εύρεση μεθόδων ελέγχου με βιολογικές ή χημικές τεχνικές, σε επόμενη ενότητα.

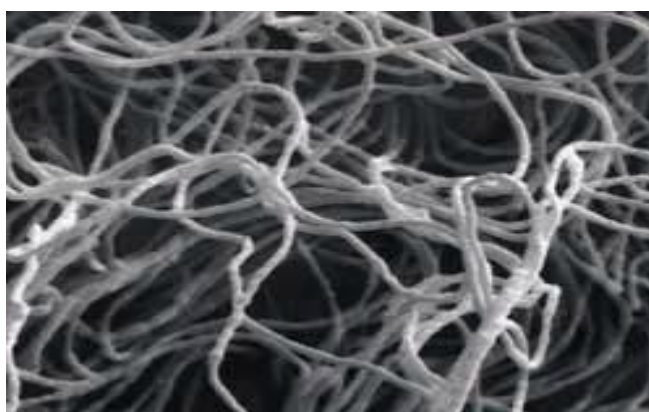
Πίνακας 2.2 Επικρατέστεροι νηματοειδείς μικροοργανισμοί σε δείγματα ενεργού λύσος σε διεθνές επίπεδο

Ήπειρος/ Χώρα	Κυρίαρχοι νηματοειδείς μικροοργανισμοί	Αναφορά
Αφρική		
Νότιος Αφρική	T0092, T0914, <i>M.parvicella</i> , T1851, T0675	Blackbeard et al., 1988
Ευρώπη		
Τσεχία	<i>M.parvicella</i> , <i>N.limicola</i> , T0092, T0041, T0803	Wanner et al., 1998
Δανία	<i>M.parvicella</i> , T0041, <i>N.limicola</i> , T0092, T0803	Eikelboom et al., 1998
Γαλλία	<i>M.parvicella</i> , T0041, T0675, T0092, <i>N.limicola</i>	Pujol et al., 1994
Γερμανία	T0092, <i>M.parvicella</i> , T0041, <i>G.amarae</i> , <i>H.hydrossis</i>	Wagner, 1992
Ιταλία	<i>M.parvicella</i> , T0041, <i>N.limicola</i> , <i>H.hydrossis</i> , T021N	Madoni et al., 2000
Ολλανδία	<i>M.parvicella</i> , Type021N, <i>H.hydrossis</i> , T0092, T1701	Eikelboom et al., 1998
Βόρεια Αμερική		
Ηνωμένες Πολιτείες	T1701, <i>G.amarae</i> , <i>M.parvicella</i> , T1851, T0675	Richard et al., 1989
Ωκεανία		
Αυστραλία	<i>M.parvicella</i> , T0041, T0675, T0092, <i>H.hydrossis</i>	Seviour et al., 1994

2.2.2.2 *Microthrix Parvicella*

Η κυρίαρχη παρουσίαση του *M.parvicella* στις ΕΕΛ (ειδικά κατά τους θερινούς μήνες λειτουργίας) και η συμμετοχή του τόσο στη διόγκωση της ιλύος όσο και στον αφρισμό, κατατάσσουν τον μικροοργανισμό στη κορυφή της έρευνας στην επιστήμη της υγειονομικής τεχνολογίας. Ωστόσο, η υψηλή προσαρμοστικότητα του στις εκάστοτε συνθήκες θερμοκρασίας, παρεχόμενης τροφής και pH, δυσκολεύουν σημαντικά την εφαρμογή μεθόδων για την αναχαίτιση της ανάπτυξής του. Επιπλέον, για πολλά χρόνια οι ερευνητές δεν μπορούσαν να ταξινομήσουν τον *M.parvicella* σε κάποιο γένος βακτηριδίων εξαιτίας της δυσκολίας ανάπτυξης καθαρής καλλιέργειας του μικροοργανισμού, λόγω των θρεπτικών απαιτήσεων του και της πολύ αργής του ανάπτυξης (Νουτσόπουλος,2002). Μετά από την απομόνωσή του σε καθαρή καλλιέργεια (Slijkhuis,1984) και τις μικροσκοπικές αναλύσεις με χρωστικές τεχνικές Gram από τους Eikelboom (1981) και Jenkins (1984), αναγνωρίστηκαν για πρώτη φορά τα μικροβιολογικά χαρακτηριστικά του μικροοργανισμού.

Μορφολογία : Ο *M.parvicella* ανήκει στο πληθυσμό των ακτινομυκητών (Wagner et al., 1994) και μορφολογικά παρουσιάζει πολλές ομοιότητες με τον *Gordona Amarae*, με βασικότερες την υδροφοβικότητα των κυττάρων, τη θετική αντίδραση κατά Gram και την αποθήκευση πολυφωσφορικών και λιπιδίων. Μικροσκοπικά εμφανίζεται ως ένας νηματοειδής με μακριά (50-200μm) και λεπτά (0,4-0,8μm) νήματα έντονα πεπλεγμένα (Eikelboom,1981) όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.8, με κυλινδρικά κύτταρα μεγέθους που κυμαίνεται μεταξύ 0,5 και 1,8μm. Τα νήματα βρίσκονται συνήθως στο εσωτερικό των κροκίδων ή σε κουβάρια, ενώ δεν παρουσιάζουν περίβλημα ή προσκολλημένη ανάπτυξη.



Εικόνα 2.8 Καθαρή καλλιέργεια *M.parvicella*
(Πηγή : Blackhall et al., 1994)

Μεταβολισμός : Η έρευνα του Slijkhuis σχετικά με τη διερεύνηση των μεταβολικών και κινητικών ιδιοτήτων του *M.parvicella*, αφού απομονωθεί σε καθαρές καλλιέργειες, κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική για την περαιτέρω κατανόηση του μικροοργανισμού. Ο *M.parvicella* προσλαμβάνει και χρησιμοποιεί για την ανάπτυξή του λιπαρά οξέα μεγάλου μοριακού βάρους (ελαϊκό οξύ και η εστερική μορφή του που βιβλιογραφικά συναντάται με την ονομασία Tween 80) και δεν χρησιμοποιεί απλές οργανικές ενώσεις για την ανάπτυξή του. Επιπλέον, αποθηκεύει ενδοκυτταρικά πηγές οργανικού άνθρακα (κυρίως λιπίδια), που φτάνουν το 35% του ξηρού τους βάρους, κατά τα πρώτα στάδια ανάπτυξής του σε αντίθεση με τους άλλους μικροοργανισμούς που λόγω περίσσειας οργανικής ύλης στα πρώτα στάδια, παράγουν και συσσωρεύουν προϊόντα αποθήκευσης κατά το τελευταίο στάδιο της ανάπτυξής τους.

Σε συστήματα ενεργού ιλύος όπου η συγκέντρωση οξυγόνου είναι υψηλή (>6mg/l), παρατηρείται αναχαίτιση του *M.parvicella* ακόμα και παρουσία τροφής (ελαϊκού οξέος), ενώ παρατηρείται η εγγενής του αδυναμία να οξειδώσει ανηγμένες μορφές αζώτου ($\text{NH}_4\text{-N}$) και θείου (SO_4) λόγω απουσίας των κατάλληλων ενζύμων. Επομένως, συμπεραίνουμε εύλογα πως, λόγω υψηλής παρουσίας νιτρικών (νιτροποίηση) στις σύγχρονες ΕΕΛ, ο *M.parvicella* χρειάζεται να είναι πολύ αποτελεσματικός στον ανταγωνισμό του με τα άλλα βακτηρίδια για την πρόσληψη ανηγμένων μορφών N και S, που έτσι κι αλλιώς απαντώνται σε μικρές συγκεντρώσεις σε ένα σύστημα ενεργού ιλύος. Επιπρόσθετα, η ανάπτυξη του μικροοργανισμού σταματάει στους 30°C (βέλτιστη θερμοκρασία οι 25°C) αλλά μπορεί να αναπτύσσεται και σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες κατά τους χειμερινούς μήνες (παρατηρείται ανάπτυξη ακόμα και σε 7°C).

Σε άλλη εργασία όπου ο *M.parvicella* μελετήθηκε σε καθαρή καλλιέργεια (Rossetti et al., 2002), ο μικροοργανισμός εμφάνισε υψηλή προσαρμοστικότητα καθώς αν και αερόβιος, μπορεί να επιβιώσει κάτω από αναερόβιες και ανοξικές συνθήκες (1 και 7 μέρες αντίστοιχα) χωρίς να χάνει την ιδιότητα του να αναπτύσσεται με ικανοποιητικούς ρυθμούς στα κατάντη όπου και αποκαθίστανται οι αερόβιες συνθήκες. Συγκεντρωτικά λοιπόν, ο *M.parvicella* παρουσιάζει συγκριτικό πλεονέκτημα έναντι των συσσωματούμενων αλλά και των υπόλοιπων νηματοειδών καθώς :

1. Έχει τη δυνατότητα να αποθηκεύει πηγές οργανικού άνθρακα ανεξαρτήτως συνθηκών περιβάλλοντος
2. Παρουσιάζει αντίσταση στη διάχυση σε αναερόβιες και ανοξικές συνθήκες ενώ ανακτά την κινητική ανάπτυξης στη συνέχεια όταν και αποκαθιστώνται οι αερόβιες συνθήκες
3. Αναπτύσσεται σε μεγάλο εύρος συγκεντρώσεων υποστρώματος (ειδικά σε χαμηλές συγκεντρώσεις έχει το απόλυτο πλεονέκτημα λόγω χαμηλού k_s) και θερμοκρασιών (7-25°C)

Τα πειραματικά αποτελέσματα από τις καθαρές καλλιέργειες ωστόσο οδηγούσαν διαχρονικά στην εξαγωγή αντικρουόμενων συμπερασμάτων για τη φυσιολογία του μικροοργανισμού, επομένως κρίθηκε απαραίτητη και η επιτόπια μελέτη της φυσιολογίας του *M.parvicella* σε δείγμα ενεργού ιλύος με μεθόδους όπως η μικροαυτοραδιογραφία. Συγκεκριμένα, οι Andreasen και Nielsen (2000) χρησιμοποιώντας την εν λόγω μέθοδο, απέδειξαν ότι ο *M.parvicella* δεν προσλαμβάνει ορθοφωσφορικές ενώσεις υπό ανοξικές ή αναερόβιες συνθήκες και άρα δεν ανήκει στη κατηγορία των μικροοργανισμών που αποθηκεύουν πολυφωσφορικές ενώσεις. Ωστόσο, έχει τη δυνατότητα πρόσληψης μακρών αλυσίδων λιπαρών οξέων σε αναερόβιες συνθήκες, όπου οι υπόλοιποι μικροοργανισμοί αδυνατούν να ανταγωνιστούν για το υπόστρωμα, καθώς και αποθήκευσης και χρήσης αυτών για ανάπτυξη. Με αυτό τον τρόπο, ο *M.parvicella* αναπτύσσεται όχι μόνο αερόβια αλλά και αναερόβια και ανοξικά, υπερτερώντας έναντι των υπόλοιπων βακτηριδίων σε συστήματα απομάκρυνσης θρεπτικών (Μαρνερη,2010).

Κινητική Ανάπτυξης : Λόγω της πολύ αργής ανάπτυξης του μικροοργανισμού, η δυσκολία απομόνωσης του για τη δημιουργία καλλιέργειας, έχει ως συνέπεια την ένδεια ερευνών επί τις κινητικής του *M.parvicella*. Οι βασικές μελέτες είναι των Slijkhuis (1983,1988), Tandoi et al. (1998), Rossetti et al. (2001) και Noutsopoulos et al. (2007). Παρατηρείται ότι σε συστήματα διακοπτόμενης ροής (batch) η τιμή του μ_{max} καλύπτει μια περιοχή τιμών που κρίνεται χαμηλή ($\mu_{max}= 0,38-0,68 d^{-1}$) σε σχέση με τα συνεχή συστήματα που προσομοιάζουν καλύτερα τη λειτουργία των συστημάτων ενεργού ιλύος, όπου και οι μέγιστοι ρυθμοί ανάπτυξης είναι μεγαλύτεροι ($\mu_{max}= 1,44 d^{-1}$). Ωστόσο, θεωρείται ασφαλής η υπόθεση πως η κινητική του μικροοργανισμού σε καλλιέργεια δεν παρουσιάζει μεγάλες διαφοροποιήσεις από την αντίστοιχη κινητική εντός του συστήματος ενεργού ιλύος.

2.2.2.3 *Gordona Amarae*

Πρώτος ο Lechevalier (1974) αναγνώρισε τον μικροοργανισμό σε μια προσπάθεια του ερευνητή να απομονώσει τα αίτια για το φαινόμενο του αφρισμού των βακτηριδίων σε καθαρές καλλιέργειες. Μεταξύ άλλων απομόνωσαν και ένα καινούργιο μικροοργανισμό ο οποίος εμφανιζόταν σε όλα τα δείγματα που εξήχθησαν από ΕΕΛ που παρουσίαζαν προβλήματα αφρισμού. Αρχικά ταξινομήθηκε στο γένος *Nocardia* και είχε την ονομασία *Nocardia Amarae*, ενώ θεωρούνταν η βασική αιτία εμφάνισης αφρισμού στις ΕΕΛ. Είκοσι χρόνια αργότερα ο Klatt (1994) πρότεινε, βασιζόμενος σε γενετικές τη μεταφορά του βακτηριδίου στο γένος *Gordona*, άποψη που υποστηριζόταν και από παρόμοιες έρευνες της εποχής, οπότε και επικράτησε η ονομασία *Gordona Amarae*. Μορφολογικά παρουσιάζει παρόμοια χαρακτηριστικά με τον *M.parvicella*.

Μεταβολισμός : Πρόκειται για αερόβιο βακτηρίδιο, που αδυνατεί να προσλάβει τροφή ή να συνθέσει υπό ανοξικές και αναερόβιες συνθήκες. Αναπτύσσεται σε υψηλό θερμοκρασιακό εύρος (Soddell and Seviour, 1990) και αυτή η προτίμηση του *Gordona Amarae* σε υψηλές θερμοκρασίες εξηγεί την εποχικότητα του νηματοειδούς αφρισμού. Πιο συγκεκριμένα, ο *Gordona Amarae* εμφανίζεται ως κυρίαρχος νηματοειδής σε δείγματα αφρού κατά τη θερινή περίοδο σε αντίθεση με τον *M.parvicella* που, όπως προαναφέρθηκε, μπορεί να αναπτυχθεί σε πολύ χαμηλότερες θερμοκρασίες που επικρατούν στα λύματα κατά τους χειμερινούς μήνες, οπότε και κυριαρχούν.

Το γεγονός ότι ο *Gordona Amarae* αδρανοποιείται υπό αναερόβιες και ανοξικές συνθήκες θεωρητικά θα σήμαινε και έκπλυση του από συστήματα ενεργού λύου που κάνουν χρήση αναερόβιων ή ανοξικών επιλογέων. Ωστόσο, η υδροφοβική φύση του βακτηριδίου συνεπάγεται τη μεγάλη συγκέντρωσή του στη μάζα του αφρού ο οποίος παγιδεύεται και ανακυκλώνεται εντός των αερόβιων διαμερισμάτων και των ΔΤΚ. Το κυτταρικό τοίχωμα του βακτηριδίου είναι υδροφοβικό, καθώς όπως διαπιστώθηκε από τον Muller (2005), οι λιποφιλικές ενώσεις που εισάγονται από τη πρωτοβάθμια επεξεργασία προσροφώνται από την υδάτινη φάση στην εξωκυτταρική δομή πολυμερών ενώσεων αυξάνοντας την υδροφοβικότητα και ενισχύοντας την ανάπτυξη του *Gordona Amarae*, που με τη σειρά του οδηγεί στη δημιουργία σταθεροποιημένου αφρού (Μαρνέρη,2010).

Κινητική : Ο *Gordona Amarae*, είναι σχετικά βραδέως αναπτυσσόμενο βακτήριο με $\mu_{\max}=2,3 \text{ d}^{-1}$ (Kim & Pagilla,2000), δηλαδή αναπτύσσεται σαφώς ταχύτερα από τον *M.parvicella*. Η κινητική ανάπτυξης ισχύει μόνο σε αερόβιο περιβάλλον καθώς ο *Gordona Amarae* δεν αναπτύσσεται ανοξικά και αναερόβια.

2.2.2.4 Λοιπά Νηματοειδή Βακτηρίδια

Το ερευνητικό έργο που αφορά τα εν λόγω βακτηρίδια εξαντλείται στην αναγνώριση των μορφολογικών τους χαρακτηριστικών, με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν εκτενείς αναφορές σχετικά με τις μεταβολικές τους ιδιότητες και τις κινητικές ανάπτυξής τους. Ωστόσο, η παρουσία των νηματοειδών Type0041, Type0675 και Type0092 είναι συνεχής και κυρίαρχη σε συστήματα ενεργού υλός χαμηλής οργανικής φόρτισης (SBR) και γι' αυτό ακολουθεί μια συνοπτική τους παρουσίαση.

Type0041 : Πρόκειται για βακτηρίδιο που ξεχωρίζει στη μικροσκοπική ανάλυση λόγω του μεγάλου μήκους νήματος (100-800 μm) και εμφανίζεται ελεύθερο στην υγρή φάση ή εντός των κροκίδων σπανιότερα. Το σχήμα των κυττάρων του είναι τετραγωνικό με διαστάσεις μεταξύ 0,6 και 1,5 μm. Συχνά παρουσιάζει προσκολλημένη ανάπτυξη που συχνά είναι έντονη. Διατηρεί περίβλημα το οποίο ωστόσο είναι διαφανές με αποτέλεσμα να αναγνωρίζεται δύσκολα από τον ερευνητή, ενώ η αντίδραση του μικροοργανισμού στη χρωστική Gram εξαρτάται από τη προσκολλημένη ανάπτυξη βιομάζας πάνω στα νήματα · σε περίπτωση που αυτή εμφανίζεται, η αντίδραση είναι Gram αρνητική ενώ σε αντίθετη περίπτωση είναι Gram θετική. Οι Strom και Jenkins υποστηρίζουν πως ο T0041 παρουσιάζει πολλές μορφολογικές ομοιότητες με τον T021N, με μοναδική διαφορά την ύπαρξη περιβλήματος στα νήματα του T0041, κάνοντας δύσκολη τη διαφοροποίησή τους από τον ερευνητή.

Οι μοναδικές μεταβολικές ιδιότητες που εντοπίστηκαν στη βιβλιογραφία αφορούν τη προτίμηση του Type0041 στο σωματιδιακό κλάσμα της οργανικής ύλης για την ανάπτυξή του (Eikelboom et al., 1998) καθώς και στην ικανότητα του να συνθέτει βιο-τασιενεργά με αποτέλεσμα τη παρουσία του στον βιολογικό αφρό.

Type0675 : Παρουσιάζει πολλές ομοιότητες με τον Type0041 εκτός από τις μικρότερες διαστάσεις μήκους νήματος (50-150μm) και διαμέτρου κυττάρου (0,8-1,0μm). Παρουσιάζει προσκολλημένη ανάπτυξη, περίβλημα και αρνητική χρωστική Gram. Όπως και στον Type0041, η σύνθεση βιολογικών τασιενεργών από τον νηματοειδή συνεπάγεται και την υψηλή του συγκέντρωση στον αφρό.

Type0092 : Πρόκειται για βακτήριο που βρίσκεται στο εσωτερικό των κροκίδων και κατά συνέπεια εντοπίζεται δύσκολα στο μικροσκόπιο, με αποτέλεσμα να μην έχουν αναγνωριστεί τα περισσότερα μορφολογικά του χαρακτηριστικά. Τα νήματα είναι συνήθως ίσια και έχουν μικρό μήκος (10-60μm) και διάμετρο περίπου 1μm. Δεν παρουσιάζουν προσκολλημένη ανάπτυξη και δεν έχουν περίβλημα ενώ αντιδρούν θετικά στη χρωστική Neisser.

Μεταβολικά, η συγκέντρωση του νηματοειδούς είναι υψηλή σε συστήματα ενεργού υλός με υψηλές θερμοκρασίες (>20°C) με ταυτόχρονα μικρή έως μηδενική παρουσία του *M.parvicella*. Εξ' αυτού συνάγεται η διαπίστωση ότι οι δύο μικροοργανισμοί προσλαμβάνουν για την ανάπτυξή τους το ίδιο κλάσμα οργανικής τροφής. Ο T0092 μπορεί να απονιτροποιεί και να καταναλώνει οργανική ύλη και υπό αναερόβιες/ανοξικές συνθήκες.

T021N : Παρουσιάζει πολλά κοινά μορφολογικά, κινητικά και μεταβολικά στοιχεία με τον *Thiotrix* sp. αλλά δεν τοποθετείται στο ίδιο γένος νηματοειδών βακτηρίων σύμφωνα με τον Eikelboom. Μορφολογικά, πρόκειται για μακριά και ίσια νήματα που τοποθετούνται εκτός των κροκίδων, προκαλώντας έντονη γεφύρωση και κατά συνέπεια, σε περίπτωση υψηλής συγκέντρωσης του T021N στο ανάμεικτο υγρό, παρατηρούνται πολύ υψηλές τιμές του δείκτη καθιζησιμότητας ιλύος (SVI). Δεν παρουσιάζει προσκολλημένη ανάπτυξη, όταν οι τιμές του pH είναι μεγαλύτερες από 5,5.

Ως προς τις μεταβολικές ιδιότητες, ο T021N προσλαμβάνει το εύκολα διασπάσιμο κλάσμα της οργανικής τροφής και του οργανικού άνθρακα (κυρίως σάκχαρα και οργανικά οξέα) και λόγω χαμηλής σταθεράς ημικορεσμού (Ks) παρουσιάζει ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στη πρόσληψη του συγκεκριμένου υποστρώματος. Ο Richard εξηγεί ότι ο T021N μπορεί να ανταγωνιστεί επάξια τους συσσωματούμενους μικροοργανισμούς σε συνθήκες μη-ισορροπημένης ανάπτυξης και ειδικά σε συνθήκες έλλειψης αμμωνιακού αζώτου λόγω της ικανότητάς του να προσροφά άμεσα και να αποθηκεύει αμμωνιακό άζωτο. Επομένως, η λύση στην υπερανάπτυξη του T021N είναι η προσθήκη θρεπτικών (NH₄-N) εντός του συστήματος ενεργού ιλύος ώστε να αρθεί το συγκεκριμένο ανταγωνιστικό πλεονέκτημα.

Haliscomenobacter hydrossis : Κατά Eikelboom, ο *H. hydrossis* αποτελεί έναν νηματοειδή με μικρό μήκος ίσιων νημάτων, με διάμετρο κυττάρων 0,35-0,45μm χωρίς να παρουσιάζει διακλαδώσεις και είναι Gram αρνητικός μικροοργανισμός. Μεταβολικά, καταναλώνει εύκολα διασπάσιμη οργανική τροφή και εμφανίζει κινητικές ανάπτυξης $\mu_{max}=1,2-2,2 d^{-1}$.

Nostocoida limicola : Πρόκειται για νηματοειδή με μακριά και λυγισμένα, ευδιάκριτα νήματα και τοποθετείται εντός και εκτός των βιοκροκίδων. Η αντίδρασή του στη χρωστική Gram εξαρτάται από τη σύσταση των λυμάτων (αστικά ή βιομηχανικά) και προτιμάται η χρωστική Neisser για την καλύτερη αναγνώρισή του.

Μεταβολικά, αναπτύσσεται χρησιμοποιώντας υδατάνθρακες και αλκοολικά οξέα και τέλος εντοπίζεται συχνά στον νηματοειδή αφρό αλλά δεν είναι η κυρίαρχη αιτία ύπαρξης αφρού, καθώς η υδροφοβικότητα των κυττάρων του δεν ξεπερνά την αντίστοιχη υδροφοβικότητα νηματοειδών όπως ο *G. amarae* και ο *M. parvicella*.

Συνοψίζοντας, η φτωχή βιβλιογραφικά αναγνώριση των ιδιοτήτων των εν λόγω νηματοειδών οφείλεται εν πολλοίς στη δυσκολία δημιουργίας κατάλληλων καλλιεργειών. Η ανάγκη περαιτέρω διερεύνησης της μορφολογίας, των μεταβολικών και κινητικών χαρακτηριστικών τους θεωρείται επιβεβλημένη καθώς, όπως θα παρουσιαστεί και στη σχετική ενότητα της ερευνητικής εργασίας, η συγκέντρωσή τους στα συστήματα ενεργού ιλύος είναι ιδιαίτερα σημαντική και συχνά κυρίαρχη. Η ανάπτυξη πιο εξελιγμένων τεχνικών αναγνώρισης επιτόπου στο σύστημα ενεργού ιλύος, όπως η μικροαυτοραδιογραφία (Fluorescent In Situ Hybridization- FISH) αναμένεται να δώσει απαντήσεις στα κενά της βιβλιογραφίας που υπάρχουν έως και σήμερα.

2.2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη νηματοειδών μικροοργανισμών

Στη προηγούμενη ενότητα επιχειρήθηκε η κατάταξη των νηματοειδών μικροοργανισμών με βάση τα μορφολογικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά τους καθώς και με τις κινητικές ανάπτυξή τους. Η εν λόγω προσέγγιση όμως δεν παρέχει τη προοπτική εύρεσης μεθόδων ελέγχου της ανάπτυξης των νηματοειδών καθώς εξαντλείται στη μικροσκοπική ανάλυση καλλιεργειών, χωρίς να λαμβάνει υπόψη τη συσχέτιση μεταξύ μικροοργανισμού και συστήματος ενεργού ιλύος. Η αλληλεπίδραση του κάθε νηματοειδούς βακτηριδίου με τα χαρακτηριστικά των λυμάτων εισόδου και τις παραμέτρους λειτουργίας μιας ΕΕΛ είναι ένα φαινόμενο δυναμικό με αμφίδρομη συσχέτιση. Επομένως, είναι κρίσιμη η διερεύνηση των παραμέτρων εκείνων που επηρεάζουν με κρίσιμο τρόπο τις κινητικές ανάπτυξης των νηματοειδών μικροοργανισμών, με στόχο τον εντοπισμό των κατάλληλων ενεργειών αναχαίτισης της υπερανάπτυξής τους.

Το σύνολο των παραμέτρων που βιβλιογραφικά θεωρούνται κρίσιμες για την ανάπτυξη των νηματοειδών βακτηριδίων μπορούν να χωρισθούν σε δύο βασικές ομάδες :

Χαρακτηριστικά λυμάτων εισόδου

- Διαθέσιμα κλάσματα οργανικής ύλης
- Συγκέντρωση θρεπτικών
- Συγκέντρωση επιφανειακών τασιενεργών, λιπιδίων και ενώσεων θείου

Σχεδιασμός ΕΕΛ

- Χρόνος παραμονής στερεών
- Καθεστώς ροής
- Αποδέκτης ηλεκτρονίων
- Συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου
- Θερμοκρασία
- pH

2.2.3.1 Διαθέσιμα κλάσματα οργανικής ύλης

Η οργανική ύλη των λυμάτων αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό οργανικών ενώσεων οι οποίες διαφέρουν ως προς το βαθμό διαθεσιμότητάς τους στους μικροοργανισμούς. Ο χαρακτηρισμός της οργανικής ύλης βασίζεται στη μέτρηση του COD και χωρίζεται σε τέσσερα κλάσματα ανάλογα με το βαθμό διασπασιμότητας : το εύκολα βιοδιασπάσιμο, το αργά βιοδιασπάσιμο, το διαλυτό μη-βιοδιασπάσιμο (αδρανές) και το σωματιδιακό μη-βιοδιασπάσιμο (αδρανές). Τα δύο αδρανή κλάσματα απομακρύνονται απ το σύστημα ενεργού ιλύος χωρίς να συμμετέχουν στις βιολογικές διεργασίες αυτού. Το μεν διαλυτό μη-βιοδιασπάσιμο κλάσμα απομακρύνεται με τη τελική εκροή για να καταλήξει στη τριτοβάθμια επεξεργασία, ενώ το σωματιδιακό μη-βιοδιασπάσιμο κλάσμα παγιδεύεται στις κροκίδες και απομακρύνεται με την περίσσεια ιλύος που καταλήγει στο κατάντη σχήμα επεξεργασίας της λάσπης. Ως εύκολα βιοδιασπάσιμο κλάσμα οργανικής ύλης νοούνται οι διαλυτές οργανικές ενώσεις ενώ ως αργά βιοδιασπάσιμο κλάσμα οι σωματιδιακές ενώσεις, δηλαδή οι ενώσεις που χρειάζεται να υποστούν υδρόλυση προκειμένου να καταναλωθούν από τους μικροοργανισμούς.

Το εύκολα βιοδιασπάσιμο κλάσμα της οργανικής ύλης αποτελούν διαλυτές οργανικές ενώσεις μικρού μοριακού βάρους (συνήθως γλυκόζη), μικρού μοριακού βάρους πτητικά λιπαρά οξέα (VFA), αλκοόλες (μεθανόλη, αιθανόλη) και αμινοξέα (Νουτσόπουλος, 2002). Ποσοστιαία το εύκολα διασπάσιμο κλάσμα αποτελεί το 10-30% του συνολικού COD των λυμάτων και απομακρύνεται εντός λίγων λεπτών από τη στιγμή που εισάγεται στο σύστημα ενεργού ιλύος. Η πρόσληψη των εύκολα βιοδιασπώμενων ενώσεων είναι άμεση όπως και η κατανάλωσή τους υπό αερόβιες, αναερόβιες και ανοξικές συνθήκες. Με δεδομένο ότι οι περισσότεροι μικροοργανισμοί, συσσωματούμενοι και νηματοειδείς, αναπτύσσονται προσλαμβάνοντας το συγκεκριμένο κλάσμα, είναι σαφής ο ανταγωνισμός για την λήψη του συγκεκριμένου υποστρώματος. Η μορφολογία των νηματοειδών βακτηριδίων, είτε αυτοί είναι εκτός είτε εντός των βιοκροκίδων, τους παρέχει το συγκριτικό πλεονέκτημα για τη λήψη του εν λόγω υποστρώματος.

Η υψηλή ταχύτητα πρόσληψης και συσσώρευσης εύκολα βιοδιασπάσιμων ενώσεων στα κύτταρα των μικροοργανισμών καθιστά αδύνατη την επίτευξη ισορροπημένης ανάπτυξης στο σύστημα. Ως ισορροπημένη ανάπτυξη νοείται η κατανάλωση οργανικής ύλης για την παραγωγή ενέργειας και η σύνθεση νέου κυτταρικού υλικού από τους μικροοργανισμούς με τον ίδιο ρυθμό. Αποτέλεσμα αυτού είναι ένα μέρος των συσσωρευμένων ενώσεων να χρησιμοποιείται για τον μεταβολισμό των κυττάρων και το υπόλοιπο κλάσμα να αποθηκεύεται με τη μορφή ενδοκυτταρικών πολυμερών (γλυκογόνο, πολυσακχαρίδια, πολυφωσφορικές αλυσίδες κ.α.). Η παραμονή των αποθηκών άνθρακα και ενέργειας απαιτεί ελάχιστη ενέργεια και διαρκεί για αρκετά μεγάλα χρονικά διαστήματα, ώστε να καταναλωθεί σε περιβάλλοντα έλλειψης εξωγενούς διαθέσιμης τροφής (ενδογενής φάση ανάπτυξης μικροοργανισμών).

Η ενδογενής φάση ανάπτυξης αποτελεί μια ιδιότητα των μικροοργανισμών που συγκεντρώνει έντονο ερευνητικό ενδιαφέρον. Συγκεκριμένα, σε μια υπόθεση εργασίας όπου μια ΕΕΛ κατασκευάζεται με τρόπο τέτοιο ώστε η ποσότητα διαθέσιμης τροφής να μειώνεται όσο κινούμαστε προς τα κατάντη (κλίση τροφής ή εμβολοειδής ροή - SBR), τα βακτηρίδια που δύνανται να αποθηκεύσουν ενδοκυτταρικά το εύκολα βιοδιασπάσιμο υπόστρωμα ώστε να καταναλωθεί αργότερα σε συνθήκες έλλειψης τροφής, αποκτούν το απόλυτο πλεονέκτημα έναντι των υπολοίπων.

Σε σχετικές έρευνες κατά το παρελθόν (Wanner et al., 1994; Jenkins et al., 1993), σε συνθήκες εμβολοειδούς ροής, οι συσσωματούμενοι μικροοργανισμοί πλεονεκτούν έναντι των νηματοειδών και ως προς το ρυθμό πρόσληψης τροφής αλλά και ως προς την ικανότητα αποθήκευσης οργανικών ενώσεων. Εξ' αυτών συνάγεται ότι σε συνθήκες μη ισορροπημένης ανάπτυξης, η κλίση τροφής συμβάλλει στην αναχαίτιση της νηματοειδούς διόγκωσης. Ωστόσο, τα αποτελέσματα αυτών των ερευνών αμφισβητούνται καθώς η διαμερισματοποίηση των δεξαμενών για τη δημιουργία εμβολοειδούς ροής δεν αποτελεί ικανή και αναγκαία συνθήκη για την επικράτηση των συσσωματούμενων μικροοργανισμών. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει είτε την ικανότητα ορισμένων νηματοειδών να αποθηκεύουν οργανικές ενώσεις με ρυθμούς συγκρίσιμους με τους αντίστοιχους των συσσωματούμενων, είτε την ικανότητα υδρόλυσης και κατανάλωσης του δύσκολα βιοδιασπάσιμου οργανικού κλάσματος.

Το δύσκολα βιοδιασπάσιμο κλάσμα του οργανικού άνθρακα ανάλογα με τη ταχύτητα υδρόλυσης χωρίζεται σε ταχέως και βραδέως υδρολύσιμο κλάσμα. Οι ταχέως υδρολύσιμες ενώσεις είναι συνήθως μεγάλου μοριακού βάρους διαλυτές ενώσεις, κολλοειδή και μικρού μοριακού βάρους σωματιδιακές ενώσεις. Οι εν λόγω ενώσεις μεταφέρονται τάχιστα στις κροκίδες μέσω φυσικής προσρόφησης (sorption) και από εκεί στο εσωτερικό των κυττάρων μέσω διάχυσης (diffusion) όπου και υδρολύονται. Αντίθετα, οι αργά υδρολύσιμες οργανικές ενώσεις είναι σύνθετες ενώσεις μεγάλου μοριακού βάρους όπως λιπίδια, λιπαρά οξέα, πρωτεΐνες κ.α., οι οποίες παγιδεύονται στις κροκίδες όπου και υδρολύονται με αργούς ρυθμούς (Νουτσόπουλος, 2002).

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα (2.2.2.2), ο νηματοειδής *M.parvicella* δεν συναντά συναγωνισμό στη πρόσληψη αργά υδρολύσιμου υποστρώματος (ελαϊκό οξύ), ενώ η παρουσία των *M.parvicella*, T0041 και T0675 τόσο εντός όσο και εκτός των κροκίδων, επιτρέπει την πρόσληψη τόσο των διαλυτών οργανικών ενώσεων των λυμάτων, όσο και των προϊόντων της υδρόλυσης εντός των βιοκροκίδων. Αντίθετα, οι συσσωματούμενοι μικροοργανισμοί, βρισκόμενοι εντός των κροκίδων, όχι μόνο προσλαμβάνουν το εύκολα βιοδιασπάσιμο οργανικό κλάσμα σε μικρές συγκεντρώσεις λόγω αντίστασης των κροκίδων σε διάχυση, αλλά συναντούν ανταγωνισμό και ως προς τα προϊόντα της υδρόλυσης από τους νηματοειδείς, ενώ σχετικές έρευνες (Ekama & Marais, 1986) ισχυρίζονται πως ένα ποσοστό των προϊόντων υδρόλυσης απελευθερώνεται στην υγρή φάση, διαφεύγοντας από το περίβλημα των βιοκροκίδων. Αντίθετα η έρευνα των Karpeler & Gujer (1992) αποδεικνύει το ακριβώς αντίθετο: τα προϊόντα υδρόλυσης είναι παγιδευμένα μέσα στις κροκίδες επομένως είναι πρωτίστως διαθέσιμα στους συσσωματωμένους μικροοργανισμούς.

Συμπερασματικά, η πρόσληψη του υποστρώματος που προκύπτει από την υδρόλυση του σωματιδιακού κλάσματος συνήθως πραγματοποιείται με ίδιους ρυθμούς από τις 2 ομάδες μικροοργανισμών που μας απασχολούν (νηματοειδείς & συσσωματούμενοι). Ειδικότερα δε, στη περίπτωση του αργά υδρολύσιμου κλάσματος, το οποίο σύμφωνα με τη βιβλιογραφία δύναται να φτάσει και το 30% κατά μέγιστο στο σύνολο του COD των λυμάτων εισόδου, ο *M.parvicella* έχει το απόλυτο πλεονέκτημα λόγω της μοναδικής του ιδιότητας να προσλαμβάνει και να καταναλώνει το εν λόγω κλάσμα για τη σύνθεση νέου κυτταρικού υλικού. Επομένως η κυριαρχία του μικροοργανισμού στα συστήματα ενεργού ιλύος ανά τον κόσμο βασίζεται εν πολλοίς, πέρα από τη προσαρμοστικότητα του στις διαφορετικές συνθήκες περιβάλλοντος, στη ξεχωριστή αυτή δίατα στη κοινότητα των βακτηριδίων.

2.2.3.2 Συγκέντρωση θρεπτικών

Οι περιβαλλοντικοί περιορισμοί της ευρωπαϊκής οδηγίας 91/271 εξαντλούνται στο άζωτο και τον φώσφορο, ως παράγοντες ευτροφισμού στους ευαίσθητους αποδέκτες των επεξεργασμένων λυμάτων των ΕΕΛ, και επομένως η έρευνα εστιάζει σε αυτά τα συστατικά. Στη βιοκοινότητα του συστήματος ενεργού ιλύος ωστόσο υπάρχουν πολλά περισσότερα θρεπτικά που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στις μεταβολικές διεργασίες των κυττάρων που αποτελούν τη βιομάζα. Πρόκειται για τα μακροθρεπτικά (macronutrients: C, N, P, S, K, Mg, Ca, Na, Fe) που αποτελούν τα βασικά στοιχεία των μακρομορίων (πρωτεϊνών, λιπιδίων, RNA, DNA) και επομένως η παρουσία τους είναι αναγκαία σε σημαντικές συγκεντρώσεις εντός του ανάμεικτου υγρού, και τα μικροθρεπτικά (micronutrients: Co, Pb, Mo, Cu, Mn, Ni) τα οποία λαμβάνουν μέρος στις διεργασίες παραγωγής ενέργειας και στη μεταφορά ηλεκτρονίων σε οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις (Νουτσόπουλος, 2002).

Οι νηματοειδείς μικροοργανισμοί, λόγω των γνωστών συγκριτικών πλεονεκτημάτων έναντι των υπόλοιπων βακτηριδίων (άμεση πρόσληψη θρεπτικών σε χαμηλές συγκεντρώσεις υποστρώματος λόγω χαμηλής σταθεράς ημικορεσμού και μεγάλο A/V), έχουν σημαντικό προβάδισμα σε ΕΕΛ όπου επικρατούν συνθήκες έλλειψης θρεπτικών. Το γεγονός αυτό όχι μόνο συμβάλει στη διόγκωση της ιλύος αλλά μπορεί να προκαλέσει και ανακοπή της παραγωγής νέου κυτταρικού υλικού για τους συσσωματωμένους μικροοργανισμούς που έχουν περιορισμένη πρόσβαση στο υπόστρωμα θρεπτικών. Επομένως, είναι κρίσιμος ο εντοπισμός του θρεπτικού συστατικού που βρίσκεται σε συγκέντρωση χαμηλότερη από το απαιτούμενο για την επιτέλεση των μεταβολικών διεργασιών των μικροοργανισμών και η προσθήκη του από τον ερευνητή. Βέβαια, απαιτείται η προσθήκη ακριβής δόσης, καθώς, ιδιαίτερα για το άζωτο και το φώσφορο, είναι απαραίτητη η επίτευξη των περιβαλλοντικών περιορισμών στην τελική εκροή.

2.2.3.3 Συγκέντρωση επιφανειακών τασιενεργών, λιπιδίων και ενώσεων θείου

Η παρουσία βιοτασιενεργών και χημικών τασιενεργών (υπολείμματα απορρυπαντικών στα λύματα εισόδου) στο ανάμεικτο υγρό, συμβάλει στην ανάπτυξη των *M. parvicella* και *Gordona amarae* και επομένως στη δημιουργία νηματοειδούς αφρισμού. Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα, η υδροφοβική φύση των κυττάρων των συγκεκριμένων νηματοειδών βακτηριδίων, οφείλεται στη πρόσληψη ελαϊκού οξέος που παράγεται από την υδρόλυση των τασιενεργών ενώσεων. Κατ' επέκταση, ενδοκυτταρικά παράγονται υδροφοβικά λιπίδια που φτάνουν και το 35% επί του συνολικού ξηρού βάρους του κυττάρου. Τέλος, η ύπαρξη θειούχων ενώσεων λειτουργεί αναχαιτιστικά στις διεργασίες νιτροποίησης, με συνέπεια σε περιστατικά αναχαιτίσις λόγω νιτροποίησης να παρατηρείται συσώρευση τοξικών ουσιών (NO₂ και NO), δίνοντας έμμεσο πλεονέκτημα στην επικράτηση των νηματοειδών (Ανδρεαδάκης, 1999).

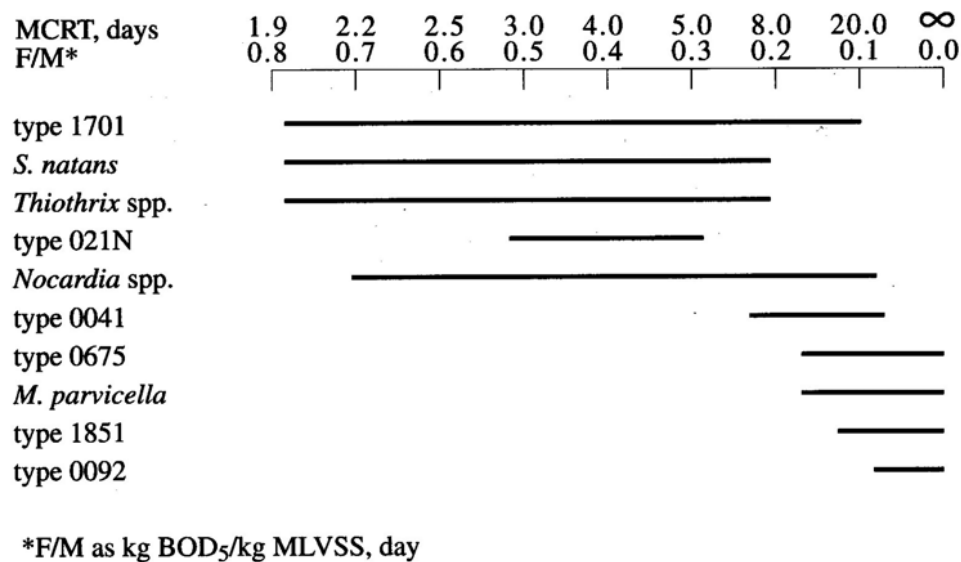
2.2.3.4 Χρόνος παραμονής στερεών

Ως χρόνος παραμονής στερεών (θ_c) νοείται ο χρόνος ανανέωσης των μικροοργανισμών εντός του συστήματος ενεργού ιλύος και προσεγγίζεται με τη σχέση 2.1 :

$$\theta_c = \frac{\text{Μάζα μικροοργανισμών στο ανάμεικτο υγρό}}{\text{Ταχύτητα απομάκρυνσης πλεονάζουσας ιλύος}} \quad (2.1)$$

Αποτελεί τη κρίσιμότερη παράμετρο σχεδιασμού μιας ΕΕΛ καθώς ο καθορισμός του θ_c καθορίζει το ποιοι μικροοργανισμοί θα εμφανιστούν στο ανάμεικτο υγρό, ποιες διεργασίες θα επιτελεστούν, τη μετέπειτα σχεδίαση και διάταξη των δεξαμενών του συστήματος κ.α. Στη σύγχρονη εποχή, η ανάγκη απομάκρυνσης του αζώτου, υπαγορεύει το σχεδιασμό του συστήματος σε υψηλούς χρόνους παραμονής καθώς οι νιτροποιητές έχουν πολύ αργή κινητική ανάπτυξης με αποτέλεσμα την εμφάνιση και των αντίστοιχων μικροοργανισμών χαμηλής οργανικής φόρτισης (low food to microorganisms ratio, F:M), δηλαδή τα συστήματα παρατεταμένου αερισμού.

Ο Richard (1989) και μετέπειτα ο Jenkins (1992) σε πειραματικές εργασίες κατάφεραν να συσχετίσουν το χρόνο παραμονής στερεών (θ_c) με την εκάστοτε επικράτηση νηματοειδών και την οργανική φόρτιση (F:M) και τα αποτελέσματα των εργασιών παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στο Διάγραμμα 2.1.



Διάγραμμα 2.1 Συσχέτιση ανάπτυξης νηματοειδών μικροοργανισμών και θ_c
(Πηγή : Richard 1989; Jenkins 1992)

2.2.3.5 Καθεστώς ροής

Το καθεστώς ροής σε ένα σύστημα ενεργού ιλύος διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην επικράτηση της μίας ομάδας μικροοργανισμών έναντι της άλλης και κατ' επέκταση στις ιδιότητες καθαρισιμότητας της λάσπης στη ΔΤΚ. Συγκεκριμένα, σε συστήματα χαμηλής οργανικής φόρτισης πλήρους μίξης, η διαθεσιμότητα της οργανικής τροφής σε κάθε δεξαμενή είναι χωρικά ίδια, δίνοντας το προβάδισμα στην ομάδα των νηματοειδών λόγω των γνωστών της πλεονεκτημάτων στη πρόσληψη υποστρώματος. Αντίθετα, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα (2.2.3.1 : Διαθέσιμα κλάσματα οργανικής ύλης), η προσομοίωση εμβολοειδούς ροής, η οποία επιτυγχάνεται με τη διαμερισματοποίηση των δεξαμενών, δημιουργεί κλίση τροφής στο σύστημα, δίνοντας το πλεονέκτημα στην ομάδα των μικροοργανισμών που μπορούν να αποθηκεύσουν ενδοκυτταρικά διαλυτές οργανικές ενώσεις, δηλαδή κυρίως οι συσσωματούμενοι και ορισμένοι νηματοειδείς (*M.parvicella*, T0092, T0021, T0675).

Ενώ λοιπόν έχει αποδειχθεί πως συγκεκριμένοι νηματοειδείς (οι χαμηλής οργανικής φόρτισης) μπορούν να προσροφήσουν το εύκολα βιοδιασπάσιμο κλάσμα εξίσου γρήγορα και άρα η λύση της διαμερισματοποίησης δεν είναι η «τέλεια λύση» για την νηματοειδή διόγκωση, πειραματικές μετρήσεις SVI αποδεικνύουν πως αυτή η λύση προσδίδει καλύτερες ιδιότητες καθίζησης στη βιομάζα. Μια εμπειριστωμένη εξήγηση της επίδρασης του καθεστώτος ροής δόθηκε από τους Chudoba, Ottova & Madera (1973), οι οποίοι και εισήγαγαν το μέγεθος του βαθμού διασποράς (D/υL). Πρόκειται για ένα αδιάστατο αριθμό που προκύπτει από το λόγο διασποράς της συγκέντρωσης μιας ουσίας, που στη περίπτωση μας είναι η διαθέσιμη οργανική τροφή, προς την «επιτάχυνση» του ανάμεικτου υγρού από τα ανάντη προς τα κατόντη του συστήματος. Υψηλές τιμές του συντελεστή διασποράς (D) συνεπάγονται την υψηλή τιμή διάχυσης της ουσίας στο μείγμα λόγω έντονης τύρβης ή υψηλού προφίλ ταχυτήτων στη διατομή της ροής και άρα απομάκρυνση από την (επιθυμητή) προσομοίωση στην εμβολοειδή ροή (SBR), η οποία θεωρητικά έχει άπειρο βαθμό διασποράς.

Στα πλαίσια του εν λόγω ερευνητικού πειράματος, χρησιμοποιήθηκαν 4 συστήματα εργαστηριακής κλίμακας ίδιου ωφέλιμου όγκου και ίδιας οργανικής φόρτισης. Ωστόσο κάθε σύστημα λειτουργούσε με διαφορετικό βαθμό διασποράς · ο πρώτος ως πλήρους μίξης, ο δεύτερος με λόγο διασποράς 1,06 (4 διαμερίσματα), ο τρίτος με λόγο 0,17 (8 διαμερίσματα) και ο τελευταίος με λόγο 0,033 (16 διαμερίσματα). Τα αποτελέσματα των μετρήσεων σε όρους SVI ήταν ιδιαίτερα εντυπωσιακά καθώς κατά μέσο όρο, ο δείκτης καθαρισιμότητας ήταν 517, 300, 91 και 51 ml/gSS αντίστοιχα (Νουτσόπουλος, 2002).

Συμπερασματικά, τα συστήματα πλήρους μίξης ευνοούν την επικράτηση των νηματοειδών βακτηριδίων καθώς σε περιβάλλοντα όπου οι συγκεντρώσεις οργανικού άνθρακα και θρεπτικών είναι χαμηλές (διάχυση των οργανικών ενώσεων λόγω μη-διαμερισματοποιημένων δεξαμενών), ο χαμηλότερος συντελεστής ημικορεσμού των νηματοειδών συνεπάγεται και μεγαλύτερη ταχύτητα ανάπτυξης, ενώ ο μεγάλος λόγος A/V συμβάλει στην αποτελεσματικότερη πρόσληψη του διαθέσιμου υποστρώματος. Αντίθετα, η ύπαρξη διαμερισμάτων έμπρακτα βελτιώνει τη καθαρισιμότητα της παραγόμενης ιλύος, αν και στη πραγματικότητα δεν αναχαιτίζει την ανάπτυξη ορισμένων «ευπροσάρμοστων»

νηματοειδών. Αυτή η διαπίστωση αποτελεί και μία εκ των θεωρήσεων της ερευνητικής που δυνητικά μπορεί να δώσει λύση ή να αντιμετωπίσει μερικώς το πρόβλημα νηματοειδούς διόγκωσης της ιλύος (κινητική επιλογή - χρήση αναερόβιων/ανοξικών επιλογών).

2.2.3.6 Αποδέκτης ηλεκτρονίων

Η εφαρμογή της οδηγίας για απομάκρυνση θρεπτικών (N,P) υπαγορεύει τη μετατροπή των αμιγώς αερόβιων ΕΕΛ σε σύγχρονες μονάδες με αναερόβιες και ανοξικές δεξαμενές. Έτσι, όλοι οι νηματοειδείς που αναπτύσσονται και απαντώνται σε αποκλειστικά αερόβιες συνθήκες (*T021N* και *Thiotrix spp.*), πρακτικά δεν εμφανίζονται σε συστήματα ενεργού ιλύος με απομάκρυνση αζώτου και φωσφόρου. Αντίθετα, οι νηματοειδείς χαμηλής οργανικής φόρτισης που έχει αποδειχθεί ότι προσαρμόζονται και στα υπόλοιπα περιβάλλοντα (αναερόβια & ανοξικά), με άλλα λόγια μπορούν να υδρολύσουν τα νιτρικά και τις πολυφωσφορικές ενώσεις και να τις χρησιμοποιήσουν ως αποδέκτη ηλεκτρονίων για τις μεταβολικές τους διεργασίες. Μάλιστα, ο *M.parvicella* μπορεί να επιβιώσει υπό ανοξικές συνθήκες για 7 ημέρες, προσλαμβάνοντας ελαϊκό οξύ και χρησιμοποιώντας το για παραγωγή ενέργειας και σύνθεση (Andreasen et al., 2000), γεγονός που εν μέρει δικαιολογεί την απόλυτη επικράτησή του στις ΕΕΛ παγκοσμίως, ειδικότερα κατά τους χειμερινούς μήνες.

2.2.3.7 Συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου

Η συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου καθορίζει την ανάπτυξη ή μη των νηματοειδών βακτηριδίων καθώς, όπως έχει αποδειχθεί πειραματικά, υπάρχει μονοσήμαντη σχέση μεταξύ της οργανικής φόρτισης του συστήματος ενεργού ιλύος και των νηματοειδών βακτηριδίων που αναπτύσσονται εντός της βιολογικής βαθμίδας και ευνοούνται από χαμηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου (με χαρακτηριστικότερο όλων τον *M.parvicella*).

Επομένως, απαιτείται να βρεθεί εκείνη η ελάχιστη απαιτούμενη συγκέντρωση DO (Dissolved Oxygen) για την αποφυγή υπερανάπτυξης εκείνων των νηματοειδών που προκαλούν το φαινόμενο νηματοειδούς διόγκωσης. Νοείται λοιπόν μια συσχέτιση οργανικής φόρτισης-ελάχιστης συγκέντρωσης DO που προφανώς θα έχει γραμμική γραφική απεικόνιση, καθώς για μεγαλύτερους λόγους F:M ratio, θα υπάρχουν και μεγαλύτερες απαιτήσεις σε διαθέσιμο οξυγόνο από τα κύτταρα των μικροοργανισμών, ή ακριβέστερα, θα αυξάνεται ο ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου (Oxygen Uptake Rate - OUR). Στον Πίνακα 2.3 παρουσιάζονται οι ελάχιστα απαιτούμενες συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου στις αερόβιες δεξαμενές της βιολογικής βαθμίδας για οργανικές φορτίσεις από 0,3 έως 0,9 kgCOD/kgMLSS/d, έτσι ώστε να αποφευχθεί η διόγκωση της ιλύος λόγω ανάπτυξης νηματοειδών βακτηρίων χαμηλής συγκέντρωσης διαλυμένου οξυγόνου.

Πίνακας 2.3 Συσχέτιση οργανικής φόρτισης και ελάχιστα απαιτούμενης συγκέντρωσης διαλυμένου οξυγόνου

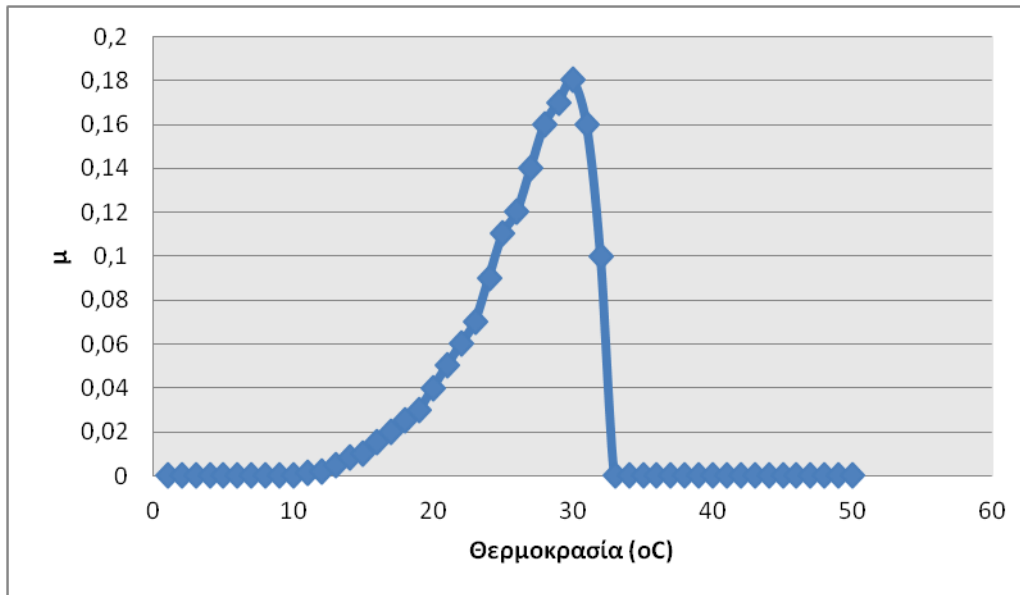
Οργανική Φόρτιση (kgCOD/kgMLSS/d)	Παροχή Διαλυμένου Οξυγόνου (mg/l)
0,3	1,0
0,5	2,0
0,75	3,0
0,9	4,0

Σε περιπτώσεις μεγάλου OUR, η μεγάλη ζήτηση οξυγόνου πιθανώς να μην ικανοποιείται για τα κύτταρα στο εσωτερικό των κροκίδων, κυρίως λόγω αντίστασης στη διάχυση. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται τη στρωματοποίηση των κροκίδων καθώς στην επιφάνεια αυτών επικρατούν αερόβιες συνθήκες ενώ στο εσωτερικό όχι. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η διασφάλιση υψηλότερης DO στο σύστημα αποτελεί αναγκαία συνθήκη για τη διατήρηση αερόβιων συνθηκών στο σύνολο του ανάμεικτου υγρού (Καγιά, 2011).

Αποτελεί γενική παραδοχή πως, για εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων όπου και η οργανική φόρτιση δεν ξεπερνά τα 0,5 kg sCOD/kg MLVSS/ d, μια ελάχιστη συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου σε πεδίο τιμών σταθερά μεγαλύτερο των 2mg/l είναι ικανοποιητική. Αξίζει να σημειωθεί, πως η παράμετρος της αντίστασης των κροκίδων στη διάχυση είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς η παροχή όλο και υψηλότερων συγκεντρώσεων DO στο σύστημα δεν συνεπάγεται αναγκαία την αναχαίτιση της ανάπτυξης των νηματοειδών που ευνοούνται από χαμηλές DO. Επομένως, ο δείκτης OUR είναι σαφώς αντιπροσωπευτικότερος του DO για τις συνθήκες που επικρατούν στις αερόβιες δεξαμενές μιας ΕΕΛ.

2.2.3.8 Θερμοκρασία & pH

Η θερμοκρασία στο ανάμεικτο υγρό επιδρά αποφασιστικά στην ανάπτυξη και επιβίωση της βιοκοινότητας στο ανάμεικτο υγρό. Όπως παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 2.2, η ταχύτητα ανάπτυξης μ των μικροοργανισμών αυξάνεται αυξανόμενης της θερμοκρασίας έως ένα άνω όριο, το οποίο και είναι διαφορετικό για κάθε μικροοργανισμό. Πέραν αυτού του ορίου, τα συστατικά του κυττάρου αδρανοποιούνται με αποτέλεσμα τη παύση των μεταβολικών διεργασιών.



Διάγραμμα 2.2 Επίδραση της θερμοκρασίας στην ταχύτητα ανάπτυξης των μικροοργανισμών

Εκτός της επίδρασης στη ταχύτητα ανάπτυξης των μικροοργανισμών, η θερμοκρασία επηρεάζει και τη διαλυτότητα του οξυγόνου στο ανάμεικτο υγρό. Η αύξηση της θερμοκρασίας έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της διαλυτότητας του οξυγόνου με ταυτόχρονη αύξηση των μεταβολικών διεργασιών με κατανάλωση οξυγόνου ως αποδέκτη ηλεκτρονίων (Νουτσόπουλος, 2002). Η ενδεδειγμένη αντιμετώπιση του προβλήματος της αύξησης της θερμοκρασίας του ανάμεικτου υγρού συνίσταται στην αύξηση της παρεχόμενης συγκέντρωσης DO, ώστε να διασφαλιστεί η απαιτούμενη παροχή διαλυμένου οξυγόνου για τις διεργασίες εντός της βιομάζας.

Σε συνήθεις συνθήκες, το θερμοκρασιακό εύρος του ανάμεικτου υγρού κινείται εντός τιμών (8-25 °C) που συμβάλουν στη ταχύτερη ανάπτυξη των νηματοειδών βακτηριδίων, ενώ συγκεκριμένα ο *M.parvicella* εμφανίζει τάσεις επικράτησης σε χαμηλό plateau θερμοκρασιών, που επικρατούν στις ΕΕΛ κατά τους χειμερινούς μήνες. Αντίθετα, τη περίοδο του καλοκαιριού, οι διαθέσιμες μελέτες ανά τον κόσμο εμφανίζουν ως επικρατέστερο βακτηρίδιο τον *G.amarae*, συμβάλλοντας έτσι στη θεωρία της εποχικότητας του νηματοειδούς αφρισμού, όπως τονίστηκε και προηγουμένα. Η ανάπτυξη των νηματοειδών συνήθως αναχαιτίζεται πλήρως για θερμοκρασίες >30°C, οι οποίες ωστόσο σπάνια θα εμφανιστούν σε ανάμεικτο υγρό. Βιβλιογραφικά πάντως συναντώνται και περιπτώσεις νηματοειδών, όπως ο T0914, του οποίου η ανάπτυξη έχει παρατηρηθεί και σε θερμοκρασίες της τάξεως των 50°C (Καγιά,2011).

Όσον αφορά το pH στο ανάμεικτο υγρό, το βέλτιστο εύρος για την ανάπτυξη τόσο των νηματοειδών (6,5-8,5), όσο και των συσσωματούμενων (7,2-9,0) ουσιαστικά συμπίπτει. Το pH των αστικών λυμάτων συνήθως είναι ουδέτερο επομένως είναι ασφαλές να υποθέσουμε πως τα λύματα διαθέτουν επαρκή αλκαλικότητα ώστε να διασφαλίσουν τις διεργασίες ανάπτυξης της βιοκοινότητας των μικροοργανισμών.

2.3 Έλεγχος νηματοειδούς διόγκωσης & αφρισμού

2.3.1 Εισαγωγή

Η ερευνητική κοινότητα, αφού ανέλυσε διεξοδικά τις μορφολογικές και μεταβολικές ιδιότητες των νηματοειδών μικροοργανισμών (ενότητα 2.2.2) αλλά και τις παραμέτρους που επηρεάζουν την ανάπτυξή τους (ενότητα 2.2.3), κατέταξε τους μικροοργανισμούς σε 4 κατηγορίες (Πίνακας 2.4) συσχετίζοντας τους με τις λειτουργικές παραμέτρους των ΕΕΛ και τα χαρακτηριστικά των λυμάτων εισόδου. Με αυτή τη ταξινόμηση, οι έρευνες μπορούσαν πλέον κατευθυνόμενα να ελέγχουν τον τρόπο με τον οποίο οι μεταβολές κάθε παραμέτρου χωριστά, αναχαιτίζουν τα προβλήματα νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού.

Πίνακας 2.4 Ταξινόμηση νηματοειδών μικροοργανισμών βάσει των μεταβολικών χαρακτηριστικών τους και της προτεινόμενης μεθόδου ελέγχου της ανάπτυξής τους (Πηγή : Jenkins 1993)

A/A	Νηματοειδείς Μικροοργανισμοί	Χαρακτηριστικά	Έλεγχος
<u>Ομάδα 1</u> : Μικροοργανισμοί που αναπτύσσονται σε χαμηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου (DO) υπό αερόβιες συνθήκες	S.natans, Type 1701, H.hydrossis	Προσρόφηση εύκολα βιοδιασπάσιμου οργανικού κλάσματος	Αερόβιοι, ανοξικοί & αναερόβιοι επιλογείς
		Χαμηλή συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου	Αύξηση συγκέντρωσης διαλυμένου οξυγόνου
		Ευρεία κλίμακας χρόνων παραμονής στερεών	Αύξηση χρόνου παραμονής στερεών
<u>Ομάδα 2</u> : Μικροοργανισμοί που αναπτύσσονται σε μικροτροφικές αερόβιες συνθήκες	Thiotrix spp., Type 021N	Εύκολα διασπάσιμο υπόστρωμα, κυρίως οργανικά οξέα χαμηλού μοριακού βάρους	Αερόβιοι, ανοξικοί & αναερόβιοι επιλογείς
		Μεσαίοι - υψηλοί χρόνοι παραμονής στερεών	Προσθήκη θρεπτικών
		Οξείδωση σουλφιδίων για την αποθήκευση θείου	Απομάκρυνση σουλφιδίων και υψηλών συγκεντρώσεων οργανικών οξέων (μείωση σηπτικότητας)
<u>Ομάδα 3</u> : Λοιποί αερόβιοι μικροοργανισμοί	Type 1851, N.limicola	Εύκολα διασπάσιμο υπόστρωμα	Αερόβιοι, ανοξικοί & αναερόβιοι επιλογείς
		Μεσαίοι - υψηλοί χρόνοι παραμονής	Μείωση χρόνου παραμονής στερεών
Ομάδα 4 : Αερόβιοι-ανοξικοί-αναερόβιοι μικροοργανισμοί	T0041, T0092, T0675, M.parvicella	Δύσκολα διασπάσιμο υπόστρωμα	Διαμερισματοποίηση επιλογέων
		Ανάπτυξη σε αερόβιες-ανοξικές-αναερόβιες συνθήκες	Διατήρηση υψηλών συγκεντρώσεων διαλυμένου οξυγόνου
		Υψηλοί χρόνοι παραμονής στερεών	Σαφής διαχωρισμός αναερόβιων-ανοξικών-αερόβιων συνθηκών

Για όλες τις κατηγορίες νηματοειδών πλην της τέταρτης, έχουν αναπτυχθεί επιτυχείς μέθοδοι ελέγχου της ανάπτυξής τους, βασιζόμενοι στην χρήση αερόβιων, ανοξικών και αναερόβιων δεξαμενών επιλογής (selector tanks) κατά κύριο λόγο, εκμεταλλευόμενοι τη συνεργασία της κινητικής και της μεταβολικής επιλογής για την αναχαιτίωση των νηματοειδών των 3 πρώτων ομάδων. Δευτερευόντως, ανάλογα με την ομάδα νηματοειδών, εφαρμόζονται επιμέρους λύσεις όπως η αύξηση του θ_c ή η αύξηση της συγκέντρωσης του DO (1^η ομάδα) και η προσθήκη θρεπτικών ή η μείωση του θ_c (2^η ομάδα).

Το σύνολο των παραπάνω εφαρμογών θα απαντάται πλέον με τον βιβλιογραφικό όρο «ειδικές μέθοδοι ελέγχου», καθώς πρόκειται για λύσεις που βασίζονται στον εντοπισμό της αιτίας που προκαλεί την υπερανάπτυξη της ομάδας νηματοειδών που μας ενδιαφέρει και στοχεύει στην εξειδικευμένη αντιμετώπιση αναχαίτισής της. Ουσιαστικά, οι ειδικές μέθοδοι επιδιώκουν τη δημιουργία εκείνων των λειτουργικών/μεταβολικών συνθηκών και συνθηκών περιβάλλοντος που θα συμβάλουν στην επικράτηση των συσσωματούμενων έναντι των νηματοειδών βακτηριδίων.

Αντίθετα, οι μη-ειδικές μέθοδοι ελέγχου εστιάζουν στη καταπολέμηση του αποτελέσματος (διόγκωση και αφρισμός), συνήθως με χρήση κατάλληλης δόσης χημικών (κροκιδωτικών, οξειδωτικών και συνθετικών πολυμερών). Η μη καταπολέμηση της αιτίας του προβλήματος καθιστά τα αποτελέσματα των μη-ειδικών μεθόδων παροδικά ενώ επιπλέον η χρήση χημικών συνεπάγεται τη καταστροφή όλων των νηματοειδών και όχι μόνο των υπεύθυνων για τα φαινόμενα διόγκωσης και αφρισμού. Όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα, συγκεκριμένοι νηματοειδείς που εντοπίζονται εντός των κροκίδων συμβάλουν σημαντικά στη μακροδομή της ιλύος και κατ' επέκταση στα καλύτερα χαρακτηριστικά καθίζησης. Επομένως, η απομάκρυνση των «χρήσιμων» νηματοειδών αποσταθεροποιεί τη λάσπη και το σύστημα ενεργού ιλύος γενικότερα και δεν ενδείκνυται για συστηματική εφαρμογή.

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν εν συντομία οι μη ειδικές μέθοδοι ενώ αντίθετα θα αναλυθούν εκτενέστερα οι ειδικές μέθοδοι ελέγχου, οι οποίες και χρησιμοποιήθηκαν στην εν λόγω πειραματική εργασία (αναερόβιος επιλογέας).

2.3.2 Μη- Ειδικές Μέθοδοι Ελέγχου

Οι μη-ειδικές μέθοδοι ελέγχου συνίστανται στη προσθήκη κροκιδωτικών, οξειδωτικών, συνθετικών πολυμερών και βακτηριδιακών σκευασμάτων χημικής σύστασης, σε κατάλληλη δοσολογία και τοποθεσία εντός της δεξαμενής αερισμού (συνήθως) ή της δεξαμενής τελικής καθίζησης (σπανιότερα). Ακολουθεί μια συνοπτική παρουσίαση των επιμέρους μεθόδων.

Κροκιδωτικά - Συνθετικά Πολυμερή : Η εν λόγω προσθήκη εφαρμόζεται με στόχο τη βελτίωση των ιδιοτήτων καθίζησης της λάσπης στη ΔΤΚ και όχι τόσο την απομάκρυνση των νηματοειδών βακτηριδίων (αν και υπάρχουν βιβλιογραφικές αναφορές για κάτι τέτοιο). Πρόκειται για συνθετικά χημικά μεγάλου μοριακού βάρους που υποβοηθούν τις φυσικές διεργασίες κροκίδωσης-συσσωμάτωσης και βελτιώνουν τη ταχύτητα καθίζησης και τη συμπύκνωση της ιλύος. Η προσθήκη των χημικών πραγματοποιείται στην έξοδο της δεξαμενής αερισμού ή σε σημεία της αερόβιας δεξαμενής με ικανοποιητική ανάμιξη.

Η δοσολογία και ο τύπος του κροκιδωτικού ή πολυμερούς που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται άμεσα από το μέγεθος της εγκατάστασης και του προβλήματος διόγκωσης ή αφρισμού. Όσον αφορά τα κροκιδωτικά, συνηθέστερα χρησιμοποιούνται ο χλωριούχος και ο θειικός σίδηρος, το θειικό αργίλιο και το υδροξείδιο του ασβεστίου (Νουτσόπουλος, 2002). Τα κροκιδωτικά αυξάνουν ελαφρά τα λειτουργικά έξοδα της εγκατάστασης καθώς είναι συνήθως φτηνά, αλλά έχουν σαν σημαντικό μειονέκτημα την μεγάλη αύξηση της παραγόμενης ιλύος κατά 15-25%, επιβαρύνοντας την κατάντη αντίστοιχη επεξεργασία. Αντίθετα, τα συνθετικά πολυμερή (πολυηλεκτρολύτες) είναι συγκριτικά ακριβότερα αλλά η ποσότητα της δοσολογίας είναι μικρότερη και δεν αυξάνουν τη ποσότητα της παραγόμενης ιλύος. Η διαφορά αυτή συνίσταται στο διαφορετικό μηχανισμό κροκίδωσης των δύο μεθόδων. Τα μεν κροκιδωτικά λειτουργούν σαν «κατακρήμνιση» μεγάλου μοριακού και ειδικού βάρους που συμπαρασύρει την διογκωμένη ιλύ, ενώ τα ελαφρύτερα πολυμερή λειτουργούν σαν «κόλλα συνοχής», συμβάλλοντας στη καλύτερη γεφύρωση των αραιών κροκίδων.

Οξειδωτικά : Σε αντίθεση με τη προηγούμενη μέθοδο, τα οξειδωτικά προστίθενται με στόχο την απομάκρυνση των νηματοειδών από το σύστημα, γι αυτό και η χρήση τους πρέπει να γίνεται με επιφύλαξη ως προς τη δοσολογία και μόνο σε περιόδους όπου το σύστημα έχει έντονο λειτουργικό πρόβλημα λόγω διόγκωσης ή αφρισμού. Το πλέον διαδεδομένο οξειδωτικό προς χρήση είναι το χλώριο, ενώ βιβλιογραφικές αναφορές εντοπίζονται για το υπεροξείδιο του υδρογόνου και το όζον.

Η συστηματική χρήση του χλωρίου αποτελεί μια αρκετά αμφιλεγόμενη μέθοδο ελέγχου του προβλήματος, καθώς τα μειονεκτήματα ίσως υπερσχύουν των πιθανών πλεονεκτημάτων. Μέσω της χλωρίωσης, επιτυγχάνεται η απομάκρυνση όλων των νηματοειδών που προεξέχουν από τις κροκίδες και είναι εκτεθειμένες σε οξειδωτικούς παράγοντες, ενώ αντίθετα, σε θεωρητικό επίπεδο τουλάχιστον, οι συσσωματούμενοι μικροοργανισμοί όπως και οι «χρήσιμοι» νηματοειδείς επιβιώνουν λόγω αντίστασης του χλωρίου σε διάχυση, λόγω περιβλήματος κροκίδας και κατανάλωσης της οξειδωτικής ουσίας στην υγρή φάση.

Πολύ κρίσιμη παράμετρος επιτυχίας της μεθόδου είναι η χρήση ακριβούς ποσότητας χλωρίου καθώς και η προσθήκη του σε σημεία έντονης ανάμιξης και χαμηλής ζήτησης οξυγόνου ώστε να ομογενοποιηθεί το διάλυμα χωρίς να διαταραχθούν οι φυσικές διεργασίες που χρειάζονται οξυγόνο. Ως προς τη δόση χλωρίου, σε περιπτώσεις έντονης διόγκωσης, η αρχική δόση ιλύος δεν πρέπει να ξεπερνά τα 8-12 g Cl₂/kg MLSS/d (Randall et al., 1992). Εάν τα προβλήματα είναι μικρότερης κλίμακας, η προτεινόμενη δοσολογία ξεκινά από τα 2-3 g Cl₂/kg MLSS/d με κλιμάκωση αυτής εάν το πρόβλημα δεν υποχωρεί εντός εύλογου χρονικού διαστήματος δύο-τριών ημερών. Η συγκέντρωση του χλωρίου στο σημείο προσθήκης δεν πρέπει να ξεπερνά τα 15-20 mg/l με συχνότητα προσθήκης τις 2,5-3 φορές τη μέρα (Νουτσόπουλος, 2002). Καταλληλότερο σημείο προσθήκης κατά τον Jenkins (1993), είναι ο αγωγός επανακυκλοφορίας της ιλύος, όπου είναι βέβαιη η καλή ανάμιξη με τη λάσπη αλλά και η διασφάλιση κανονικής λειτουργίας των διεργασιών του συστήματος. Θεμιτή είναι η προσθήκη χλωρίου απευθείας στη ΔTK εφόσον υπάρχει δυνατότητα ανάδευσης ενώ αντίθετα η προσθήκη του στις δεξαμενές αερισμού μπορεί να προκαλέσει διασπαρμένη ανάπτυξη και αναχαίτιση των φυσικών διεργασιών.

Ωστόσο, η περιορισμένη χρήση χλωρίωσης στο σύστημα ενεργού ιλύος οφείλεται στην ανησυχία των ερευνητών όσον αφορά τις επιπτώσεις υπέρμετρης χρήσης χλωρίου στην εύρυθμη λειτουργία του συστήματος. Συγκεκριμένα, η προσθήκη μεγάλων ποσοτήτων επιφέρει την αποκόλληση των κροκίδων, κυτταρική παραμόρφωση και συρρίκνωση, παρουσία κενών στα περιβλήματα των νηματοειδών ή και πλήρης απουσία αυτών και εμφάνιση διασπαρμένης ανάπτυξης. Επομένως, κατά τη περίοδο χλωρίωσης κρίνεται απαραίτητη η μικροσκοπική παρατήρηση του ανάμεικτου υγρού για την εποπτεία του συστήματος. Συν τοις άλλοις, τα βραδέως αναπτυσσόμενα βακτηρίδια, όπως οι νιτροποιητές, σε περίπτωση αδρανοποίησης λόγω χρήσης οξειδωτικών, απαιτούν μεγάλο χρονικό διάστημα προκειμένου να ανακάμψουν (5 ημέρες κατά τον Lakay, 1988), με αποτέλεσμα τη κακή ποιότητα εκροής και ουσιαστική αστοχία της εγκατάστασης το εν λόγω διάστημα (Καγιά, 2011). Μάλιστα αποδεικνύεται από άλλη σχετική μελέτη ότι οι νιτροποιητές είναι πιο ευαίσθητοι στο χλώριο απ' ό,τι οι νηματοειδείς.

Επιπλέον, όπως αναφέραμε και στην αρχή λειτουργίας της χλωρίωσης, η αντίσταση του οξειδωτικού σε διάχυση και το περίβλημα των κροκίδων προστατεύει τους νηματοειδείς που εντοπίζονται συνήθως εντός των κροκίδων (*M. parvicella*, *Gordona amarae*, Type 0092). Πρόκειται όμως για τους επικρατούντες μικροοργανισμούς σε διογκωμένα δείγματα λάσπης και νηματοειδή αφρό, επομένως η χλωρίωση ουσιαστικά δεν δίνει λύση στο πρόβλημα αναχαίτισης των εν λόγω βακτηριδίων και επομένως δεν προτείνεται η χρήση του, παρά μόνο σε ειδικές περιπτώσεις (αστοχία της ΕΕΛ, πολύ διογκωμένη λάσπη κτλ).

Το υπεροξείδιο του υδρογόνου βιβλιογραφικά προσδιορίζεται ως μια οξειδωτική ένωση που δεν είναι τόσο δραστική όσο το χλώριο, με αποτέλεσμα όχι μόνο να παρατηρείται η μη απομάκρυνση των νηματοειδών που προεξέχουν των κροκίδων αλλά επιπλέον να παρατηρείται η καταστροφή των συσσωματούμενων. Στα θετικά συμπεριλαμβάνεται η αδυναμία δημιουργίας τοξικών παραγώγων και η δυνητική προσθήκη μορίων διαλυμένου οξυγόνου κατά την αντίδραση με τις οργανικές ενώσεις του ανάμεικτου υγρού. Όσον αφορά το όζον, παρόλο που είναι αρκετά ισχυρότερο οξειδωτικό από το χλώριο και το υπεροξείδιο του υδρογόνου, δεν σχηματίζει επικίνδυνα παραπροϊόντα και δεν επηρεάζει τις βιολογικές διεργασίες αλλά αντίθετα τις υποβοηθά (νιτροποίηση), δεν χρησιμοποιείται λόγω του υψηλού κόστους.

2.3.3 Ειδικές Μέθοδοι Ελέγχου

Όπως προαναφέρθηκε, στόχος των ειδικών μεθόδων ελέγχου είναι η δημιουργία των κατάλληλων συνθηκών για την επιλογή των συσσωματούμενων μικροοργανισμών (σ.μ.) έναντι των νηματοειδών (ν.μ.), που είναι και υπεύθυνοι για τα λειτουργικά προβλήματα διόγκωσης και αφρισμού της ιλύος. Σε μια προσπάθεια κατανόησης και στρατηγικής επίτευξης του στόχου, έχουν διατυπωθεί θεωρίες που σχετίζονται με τις κινητικές ανάπτυξης, τις μεταβολικές επιλογές και την αποθηκευτική ικανότητα των δύο ομάδων βακτηριδίων και δύνανται να χρησιμοποιηθούν ως εργαλεία ελέγχου ή τουλάχιστον περιορισμού του προβλήματος.

Καμία εκ των παραπάνω προσεγγίσεων επίλυσης δεν εξαφανίζει το πρόβλημα της υπερανάπτυξης των νηματοειδών χαμηλής οργανικής φόρτισης (4^η ομάδα), τα οποία παρουσιάζουν παρόμοιες κινητικές ανάπτυξης και ικανότητες αποθήκευσης οργανικών ενώσεων με τους συσσωματωμένους, ενώ ταυτόχρονα εμφανίζουν σημαντικές αντοχές σε μη αερόβιες συνθήκες. Ωστόσο, τόσο με επιτόπιες μετρήσεις δειγμάτων ενεργού ιλύος (SVI) όσο και με μετρήσεις μικροσκοπίου, μπορεί να παρατηρηθεί μια βελτίωση της ποιότητας της λάσπης μεταξύ ενός συστήματος όπου εφαρμόζονται μέθοδοι ελέγχου και ενός παραδοσιακού συστήματος ενεργού ιλύος με απομάκρυνση θρεπτικών. Επομένως, επιτυγχάνεται μερική λύση του προβλήματος και γι αυτό κρίνεται σκόπιμη η περαιτέρω διερεύνηση των εν λόγω τεχνικών.

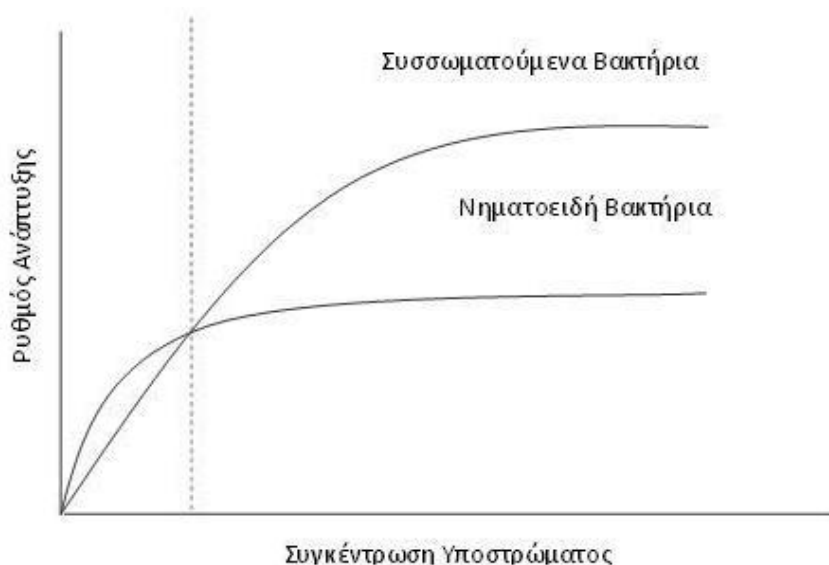
Η πλέον διαδεδομένη μέθοδος, που χρησιμοποιείται στη πλειονότητα των ΕΕΛ με προβλήματα καθιζημασιότητας, είναι η χωροθέτηση αερόβιων, αναερόβιων και ανοξικών επιλογέων ανάντη του παραδοσιακού σχήματος επεξεργασίας (δεξαμενές αερισμού - δεξαμενές τελικής καθίζησης). Ο επιλογέας ορίζεται ως μια δεξαμενή «υποδοχής» των εισερχόμενων λυμάτων και της επανακυκλοφορούμενης ιλύος, η οποία θα πρέπει να χαρακτηρίζεται από υψηλή συγκέντρωση εύκολα διασπάσιμων οργανικών ενώσεων και πολύ χαμηλούς χρόνους παραμονής.

Αερόβιοι Επιλογείς (Κινητική Επιλογή) : Η μονοσήμαντη σχέση μεταξύ της ταχύτητας ανάπτυξης των μικροοργανισμών και της συγκέντρωσης της διαλυτής οργανικής ύλης διατυπώνεται μέσω της κινητικής Monod,

$$\mu = \mu_{max} * \frac{S}{K_s + S}, \quad \mu_{max} = r_{max} * Y_{obs}, \text{ όπου :}$$

- μ : ταχύτητα ανάπτυξης των μικροοργανισμών
- μ_{max} : μέγιστη ταχύτητα ανάπτυξης για θεωρητικά άπειρο υπόστρωμα
- S : συγκέντρωση διαλυτής οργανικής ύλης
- K_s : συντελεστής ημικορεσμού οργανικής ύλης
- r_{max} : μέγιστη ταχύτητα κατανάλωσης οργανικής ύλης
- Y_{obs} : βαθμός ανάπτυξης μικροοργανισμών

Η κινητική αυτή εξίσωση πιστώνεται στην έρευνα του Chudoba (1973), ο οποίος σε ανάμεικτες καλλιέργειες με σαφώς ορισμένο υπόστρωμα διαλυτού COD, απέδειξε ότι συστήματα αερισμού με χαμηλό βαθμό αερότητας και υψηλής μακροκλίσης σε συγκεντρώσεις υποστρώματος, περιορίζουν την ανάπτυξη των νηματοειδών (Καγιά,2011). Η κλίση τροφής συνίσταται είτε στη διαμερισματοποίηση του επιλογέα για τη προσομοίωση αυτού σε καθεστώς εμβολοειδούς ροής, είτε τη δημιουργία επιλογέα μικρού όγκου με πολύ υψηλές συγκεντρώσεις τροφής και πολύ χαμηλούς χρόνους παραμονής. Η υπόθεση εργασίας στηρίζεται στην άποψη ότι οι συσσωματούμενοι μικροοργανισμοί είναι γρηγορότερα αναπτυσσόμενοι από τους νηματοειδείς (μεγαλύτερες τιμές του μ_{max} και K_s), επομένως σε συνθήκες μη-ισορροπημένης ανάπτυξης, όπου η ποσότητα διαθέσιμης τροφής είναι τόσο υψηλή με αποτέλεσμα οι ρυθμοί πρόσληψης υποστρώματος να είναι μεγαλύτεροι από τους ρυθμούς σύνθεσης βιομάζας, οι υπεύθυνοι για τη συσσωμάτωση μικροοργανισμοί έχουν το ανταγωνιστικό πλεονέκτημα, όπως παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 2.3.



Διάγραμμα 2.3 Ταχύτητες ανάπτυξης συσσωματούμενων και νηματοειδών μικροοργανισμών συνάρτηση της διαθέσιμης διαλυτής οργανικής ύλης

Επομένως, για τη κινητική επιλογή των σ.μ. έναντι των ν.μ., θα αρκούσε η διατήρηση υψηλών συγκεντρώσεων οργανικής ύλης κατά μήκος του συστήματος ενεργού ιλύος. Ωστόσο μια τέτοια λύση θα επιβάρυνε σημαντικά τη ποιότητα εκροής και κατά συνέπεια δεν θα συνέβαλε στη συμμόρφωση των κανόνων εκροής που έχει θεσπίσει η ευρωπαϊκή οδηγία 91/271. Επομένως, προκρίνεται η χρήση μιας μικρής δεξαμενής στα ανάντη του συστήματος, η οποία πλέον θα αποκαλείται επιλογέας (selector tank), όπου θα επικρατούν υψηλές συγκεντρώσεις διαλυτού οργανικού φορτίου (sCOD). Εντός του επιλογέα, σε συνθήκες περίσσειας οργανικής τροφής, επικρατούν διαχρονικά οι μικροοργανισμοί με τους υψηλότερους ρυθμούς πρόσληψης αυτής, σύνθεσης και ταυτόχρονης αποθήκευσης των παραγόμενων οργανικών πολυμερών στο κυτταρικό τους υλικό, τα οποία και θα χρησιμοποιηθούν στα κατάντη του συστήματος όπου και επικρατούν συνθήκες έλλειψης τροφής. Συγκεκριμένα, στις αερόβιες δεξαμενές, το σύνολο του διαλυτού και σωματιδιακού COD έχει καταναλωθεί, ενώ το αδρανές κλάσμα της οργανικής τροφής δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί, με αποτέλεσμα τη παντελή έλλειψη διαθέσιμων οργανικών ενώσεων. Έτσι, οι μικροοργανισμοί που μπορούν να αποθηκεύσουν οργανικά ενδοκυτταρικά, καταναλώνουν στο αερόβιο τμήμα ότι είχαν αποθηκεύσει ανάντη και επιβιώνουν ευρισκόμενοι σε ενδογενή φάση ανάπτυξης, ενώ όλοι οι υπόλοιποι εκλείπουν.

Για την επίτευξη κινητικής επιλογής των σ.β., απαιτείται η διαστασιολόγηση με κατάλληλους χρόνους παραμονής, τιμές οργανικής φόρτισης ή/και διαμερισματοποίηση του επιλογέα για προσομοίωση εμβολοειδούς ροής (χαμηλή διάχυση). Ο χρόνος επαφής της λυματολάσπης με τους μικροοργανισμούς πρέπει να είναι αρκετά μεγάλος ώστε να είναι εφικτή η προσρόφηση των διαλυτών ενώσεων αλλά και αρκετά μικρός ώστε να μην επικρατούν συνθήκες χαμηλής συγκέντρωσης υποστρώματος, που υποβοηθούν τη δημιουργία διόγκωσης και αφρισμού. Κατά τον Eikelboom, ένα εύρος του χρόνου παραμονής στερεών μεταξύ 10-20 λεπτών είναι αναγκαίος για την απομάκρυνση του sCOD σε ποσοστό 70-80% με ταυτόχρονη επιλογή των σ.β., χρόνοι αναμενόμενα χαμηλοί καθώς όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα, το διαλυτό κλάσμα της οργανικής ύλης προσροφάται στη βιομάζα εντός λίγων λεπτών.

Το εύρος των τιμών οργανικής φόρτισης του επιλογέα βρίσκεται σε ευθεία συσχέτιση με τα θεμιτά αποτελέσματα SVI (Tomlinson) και το βέλτιστο εύρος τιμών βρίσκεται μεταξύ 5-10 mgCOD/mgVSS/d. Για την αποφυγή κατά μήκους ανάμιξης και καλύτερη αντίσταση του οργανικού υποστρώματος σε διάχυση, προτείνεται η διαμερισματοποίηση των δεξαμενών επιλογής, με βέλτιστη τιμή τα 3 διαμερίσματα, εκ των οποίων τα δύο πρώτα ίδιου όγκου και το τρίτο διπλάσιου όγκου (Jenkins, 1993). Γενικότερα, όσο μικρότερη είναι η διάχυση κατά μήκος του επιλογέα, τόσο πιο επιτυχημένη αναμένεται να είναι η απομάκρυνση του sCOD με ταυτόχρονη επικράτηση των σ.β. και κατά συνέπεια καλύτερα αποτελέσματα SVI και καλύτερη ποιότητα λάσπης γενικότερα. Τέλος, κρίνεται αναγκαία η παροχή της απαιτούμενης ποσότητας οξυγόνου (15-30% του απομακρυνόμενου sCOD) για την αποφυγή προβλημάτων κακής καθιζησιμότητας.

Αναερόβιοι & Ανοξικοί Επιλογείς (Κινητική & Μεταβολική Επιλογή) : Η χρήση αναερόβιων και ανοξικών επιλογέων, εκμεταλλεύεται πέραν της κινητικής και τις μεταβολικές ιδιότητες των μικροοργανισμών. Συγκεκριμένα, τα βακτηρίδια που δεν διαθέτουν τα κατάλληλα ένζυμα για πρόσληψη οργανικού υποστρώματος με παράλληλη υδρόλυση των πολυφωσφορικών αλυσίδων αναερόβια και η υποβολή βακτηριδίων που αδυνατούν να απονιτροποιήσουν (να προσλάβουν οργανικές ενώσεις παρουσία νιτρικών ως αποδέκτη ηλεκτρονίων) σε ανοξικές συνθήκες αντίστοιχα, απομακρύνονται από το σύστημα. Τα νηματοειδή βακτηρίδια που είναι αμιγώς αερόβια και ουσιαστικά τα νηματοειδή των τριών πρώτων ομάδων, όπως αυτά ταξινομήθηκαν με βάση τη μεταβολική τους συμπεριφορά, απομακρύνονται παρουσία αναερόβιων και ανοξικών δεξαμενών επιλογής. Πρόκειται λοιπόν για τη σύμπραξη της κινητικής επιλογής και μιας επιλογής που βασίζεται στον μεταβολισμό των μικροοργανισμών και αποκαλείται μεταβολική επιλογή.

Στους αναερόβιους επιλογείς, ο χρόνος παραμονής στερεών καθορίζεται από τη ταχύτητα πρόσληψης της διαλυτής οργανικής ύλης, της απελευθέρωσης ορθοφωσφορικών ενώσεων μέσω υδρόλυσης των πολυφωσφορικών αλυσίδων και της παραγωγής πτητικών λιπαρών οξέων (Νουτσόπουλος, 2002). Για τον αποτελεσματικό έλεγχο της διόγκωσης κι επιτέλεσης των απαραίτητων διεργασιών απαιτείται χρόνος παραμονής 0,5-1,0h κατά Wanner ή 0,75-2,0h κατά Jenkins. Σε αντίθεση με τους αερόβιους επιλογείς η διαμερισματοποίηση δεν κρίνεται αναγκαία καθώς οι αντίστοιχες οργανικές φορτίσεις είναι μικρότερες. Όσο για τους ανοξικούς επιλογείς, ένας χρόνος παραμονής με εύρος 10-15min μπορεί να συμβάλει στη καλύτερη καθιζησιμότητα της ιλύος. Παρομοίως δεν κρίνεται αναγκαία η διαμερισματοποίηση της δεξαμενής, με εξαίρεση τη περίπτωση όπου ο ανοξικός επιλογέας χρησιμοποιείται ταυτόχρονα και για απονιτροποίηση, οπότε και προτείνεται η διαίρεση του σε 3 διαμερίσματα με φθίνουσα οργανική φόρτιση, κινούμενοι προς τα κατάντη.

Η χρήση ανοξικών/αναερόβιων επιλογέων προτιμάται από τους ερευνητές λόγω της συνεργασίας κινητικής και μεταβολικής επιλογής που ελέγχει αποτελεσματικά την ανάπτυξη των νηματοειδών που ανήκουν στις 3 πρώτες ομάδες. Συγκεκριμένα, συμμετέχει στην αναχαίτιση της ανάπτυξης εκείνων των βακτηρίων, συσσωματούμενων και νηματοειδών, που χρησιμοποιούν αποκλειστικά οξυγόνο ως αποδέκτη ηλεκτρονίων (δεν μπορούν να απονιτροποιήσουν και να υδρολύσουν πολυφωσφορικές αλυσίδες αντίστοιχα), έχουν χαμηλούς ρυθμούς πρόσληψης οργανικού υποστρώματος και αποθήκευσης των προϊόντων σύνθεσης αυτού ή παρουσιάζουν την εγγενή αδυναμία αποθήκευσης/συγκράτησης οργανικών ενώσεων. Τέτοιοι νηματοειδείς είναι οι Type021N, Thiotrix, S.natans κ.α.

Αντίθετα, όσον αφορά τους νηματοειδείς χαμηλής οργανικής φόρτισης, υπάρχουν αναφορές που μιλούν για σχετικό περιορισμό της ανάπτυξής τους αλλά και άλλες όπου ο έλεγχος της ανάπτυξης καθίσταται αδύνατος. Σε καμία περίπτωση πάντως δεν δίνουν την οριστική λύση στο πρόβλημα διόγκωσης και αφρισμού της ιλύος. Υπάρχουν διάφορες θεωρίες της επικράτησης των εν λόγω μικροοργανισμών (*M.parvicella*, *G.amarae*, T0092, T0675, T0041). Μεταξύ άλλων, παρατηρείται υψηλή προσαρμοστικότητα σε όλες τις συνθήκες λόγω τις ικανότητας τους όχι μόνο να απονιτροποιούν και να υδρολύσουν πολυφωσφορικές ενώσεις αλλά και να αναπτύσσονται ενδογενώς αφού έχουν τη δυνατότητα να προσλάβουν διαλυτό οργανικό κλάσμα και να αποθηκεύσουν προϊόντα αυτού με ρυθμούς συγκρίσιμους των συσσωματωμένων. Επιπλέον, αναφορές γίνονται για τη δυνατότητα αυτής της ομάδας να υδρολύει το σωματιδιακό κλάσμα του COD (ειδικά ο *M.parvicella*), υπόστρωμα όπου δεν υπάρχει ανταγωνισμός και αποτελεί σημαντικό ποσοστό του συνολικού COD των λυμάτων.

Η σύνοψη των παραμέτρων σχεδιασμού για τα αερόβια, ανοξικά και αναερόβια φρεάτια επιλογής δίνεται στον Πίνακα 2.5.

Πίνακας 2.5 Παράμετροι σχεδιασμού φρεατίων επιλογής
υπό αερόβιες, ανοξικές και αναερόβιες συνθήκες

Παράμετρος Σχεδιασμού	Μέγεθος Παραμέτρου	Αναφορά
Αερόβιος Επιλογέας		
Αριθμός Διαμερισμάτων	3 ή περισσότερα	Jenkins et al.
Χρόνος Παραμονής	10-30 λεπτά	Eikelboom et al.
Οργανική Φόρτιση	12-6-3 mgCOD/mgMLSS/d (για 3 διαμερίσματα)	Jenkins et al.
Συγκέντρωση DO	DO ≥ 2mg/l	Casey et al.
Ανοξικός Επιλογέας		
Αριθμός Διαμερισμάτων	3 ή περισσότερα	Jenkins et al.
Χρόνος Παραμονής	15-20 λεπτά	Jenkins et al.
Οργανική Φόρτιση	6-3-1,5 mgCOD/mgMLSS/d (για 3 διαμερίσματα)	Daigger and Nicholson
COD/NO ₃ -N	7-9 mgCOD/mgNO ₃ -N	Van Loosdrecht et al.
Αναερόβιος Επιλογέας		
Χρόνος Παραμονής	1-2 ώρες	Jenkins et al.
COD/PO ₄ -P	9-20 mgCOD/mgP	Wentzel et al.

3. Υπόθεση Εργασίας - ΚΕΛΨ

3.1 Υπόθεση Εργασίας

Η χρήση επιλογένων είναι μία από τις πλέον διαδεδομένες ειδικές μεθόδους ελέγχου των φαινομένων νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού σε ΕΕΛ παγκοσμίως. Ωστόσο, συχνές βιβλιογραφικές αναφορές κάνουν λόγω για μερική ή ολική αποτυχία των επιλογένων να ελέγξουν το φαινόμενο, ειδικότερα στην αναχαίτιση της ανάπτυξης των νηματοειδών χαμηλής οργανικής φόρτισης. Ως αποτέλεσμα της διόγκωσης και του αφρισμού, τα λειτουργικά προβλήματα οδηγούν σε αστοχίες της βιολογικής βαθμίδας και αδυναμία της εύρυθμης λειτουργίας της εγκατάστασης με ταυτόχρονη περιβαλλοντική επιβάρυνση του υδάτινου αποδέκτη.

Το Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυττάλειας (ΚΕΛΨ) αντιμετωπίζει παρόμοια προβλήματα τα οποία και αντιμετωπίζει προσωρινά με τη χρήση μη ειδικών μεθόδων (συνήθως με χλωρίωση). Ωστόσο, κρίνεται αναγκαία η εξεύρεση μιας μόνιμης λύσης, που θα επιδιώξει την επίλυση του προβλήματος εν τη γενέσει του. Σε αυτή τη προσπάθεια, το Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας (ΕΥΤ) της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, συνεργάζεται με τους λειτουργούς της εγκατάστασης. Στο πλαίσιο αυτής της συνεργασίας παρασκευάζεται ειδικό Πιλοτικό Σύστημα (Π.Σ.), στο οποίο λειτουργούν δύο προσομοιώσεις συστημάτων ενεργού ιλύος, με το πρώτο (Σύστημα Ελέγχου) να λειτουργεί ακριβώς όπως και το σύστημα ευρείας κλίμακας (ανοξική/ αερόβια/ τελική καθίζηση) και το δεύτερο (Πειραματικό Σύστημα) να λειτουργεί με την προσθήκη αναερόβιου επιλογέα.

Στα κεφάλαια που ακολουθούν (Κεφάλαιο 4 : Περιγραφή Πιλοτικού Συστήματος & Μεθόδων Ανάλυσης, Κεφάλαιο 5 : Επεξεργασία Και Σχολιασμός Αποτελεσμάτων Πιλοτικού Συστήματος), θα διερευνηθεί η επιρροή της κινητικής και μεταβολικής πίεσης του αναερόβιου επιλογέα στα φαινόμενα νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού στο πειραματικό σύστημα, σε ευθεία σύγκριση με το σύστημα ελέγχου. Συνοπτικά θα διερευνηθούν :

- Μπορεί να περιοριστεί το πρόβλημα νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού με τη χρήση του αναερόβιου επιλογέα και αν ναι σε τι βαθμό;
- Ποια συμπεράσματα εξάγονται ως προς την αποτελεσματικότητα του επιλογέα στα φαινόμενα νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού;

3.2 Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυττάλειας

3.2.1 Γενικά Στοιχεία

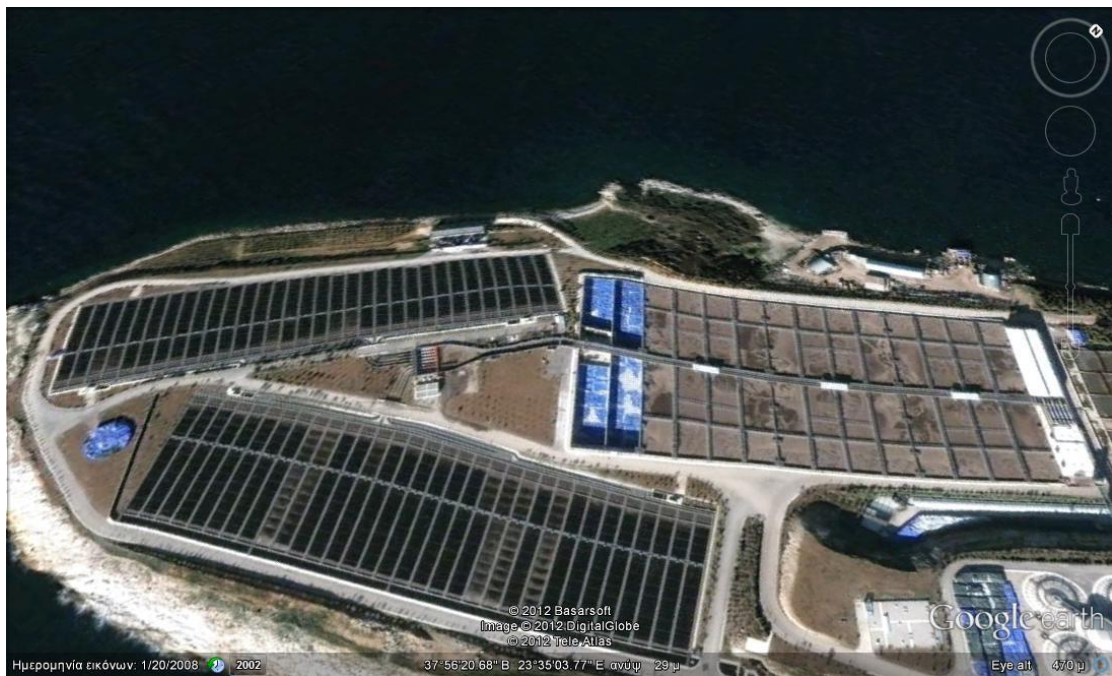
Η νήσος Ψυττάλεια βρίσκεται ανάμεσα στη Σαλαμίνα και τη Δραπετσώνα, απέναντι από τη περιοχή του Ακροκεράμου και έχει έκταση περίπου 650 στρέμματα. Τα έργα προεπεξεργασίας λειτουργούν από το 1994 στον Ακροκέραμο, ενώ η πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια επεξεργασία (ξεκίνησε τη λειτουργία της το 2004) μαζί με το σχήμα επεξεργασίας ιλύος έχουν κατασκευαστεί στην Ψυττάλεια.

Οι εγκαταστάσεις του ΚΕΛΨ έχουν σχεδιαστεί ώστε να επεξεργάζονται πλήρως 1.000.000 m³/d, που σε ισοδύναμες μονάδες πληθυσμού, η δυναμικότητα της εγκατάστασης φτάνει τα 5,6εκ. κατοίκους. Οι εγκαταστάσεις του ΚΕΛ Ψυττάλειας περιλαμβάνουν προεπεξεργασία λυμάτων στις εγκαταστάσεις του Ακροκεράμου, με απομάκρυνση των βαρέων στερεών, εσχάρωση, εξάμμωση και απόσπηση καθώς και προεπεξεργασία των λυμάτων της Σαλαμίνας στην Κυνόσουρα Σαλαμίνας. Τα προεπεξεργασμένα λύματα μεταφέρονται με δίδυμους υποθαλάσσιους αγωγούς στη νήσο Ψυττάλεια. Εκεί συνεχίζεται η επεξεργασία των λυμάτων στις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης στις οποίες συλλέγεται η πρωτοβάθμια ιλύς. Στην συνέχεια τα πρωτοβάθμια επεξεργασμένα λύματα υφίστανται προχωρημένη δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία με το σύστημα της ενεργού ιλύος για την απομάκρυνση του οργανικού φορτίου και τη σημαντική ελάττωση του φορτίου αζώτου. Αυτή η επεξεργασία συντελείται στη βιολογική βαθμίδα, που αποτελείται από τους βιοαντιδραστήρες και τις δεξαμενές τελικής καθίζησης, στις οποίες καθιζάνει η βιολογική ιλύς. Η τελική εκροή του ΚΕΛΨ έχει αποδέκτη τον Σαρωνικό Κόλπο στον οποίο διατίθεται μέσω υποθαλάσσιου συστήματος αγωγών βαθιάς διάχυσης. Μέσω της επεξεργασίας τα αιωρούμενα στερεά και το οργανικό φορτίο των λυμάτων μειώνονται κατά 93% περίπου και το ολικό άζωτο μειώνεται κατά 80% περίπου. Μέρος της τελικής εκροής υφίσταται διύλιση (με αμμόφιλτρα) και απολύμανση (με διατάξεις υπεριώδους ακτινοβολίας) για επαναχρησιμοποίηση κυρίως για αρδευτικούς σκοπούς.

Η παραγόμενη πρωτοβάθμια ιλύς και η περίσσεια βιολογική ιλύς από τις δεξαμενές τελικής καθίζησης περιέχουν τα βιοστερεά δηλαδή το οργανικό προϊόν της επεξεργασίας των αστικών λυμάτων. Στις εγκαταστάσεις του ΚΕΛ Ψυττάλειας, η επεξεργασία της ιλύος περιλαμβάνει τα επόμενα στάδια: πάχυνση της ιλύος (για την πρωτοβάθμια ιλύ σε δεξαμενές βαρύτητας και για την περίσσεια βιολογική ιλύ σε τράπεζες μηχανικής πάχυνσης), ακολούθως χώνευση για το σύνολο της ιλύος (αναερόβια, μεσοφιλική και υψηλού ρυθμού), αφυδάτωση και τελικά θερμική ξήρανση. Με την λειτουργία του ΚΕΛΨ επιτυγχάνεται συνεχής προστασία, ανάκαμψη και αύξηση της βιοποικιλότητας του οικοσυστήματος του Σαρωνικού Κόλπου. Το Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυττάλειας αποτελεί το μεγαλύτερο περιβαλλοντικό έργο στην Ελλάδα με αξιοσημείωτα στοιχεία αειφορίας (αξιοποίηση βιοστερεών και βιοαερίου) και η συμβολή του στην προστασία του περιβάλλοντος είναι καίριας σημασίας για τη χώρα μας.



Εικόνα 3.1 Εγκαταστάσεις ΚΕΛΨ



Εικόνα 3.2 Σύστημα Ενεργού Ιλύος

3.2.2 Παράμετροι Σχεδιασμού & Λειτουργικά Στοιχεία ΚΕΛΨ

Η δευτεροβάθμια επεξεργασία του ΚΕΛΨ σχεδιάστηκε με βάση τα λειτουργικά στοιχεία των λυμάτων εισόδου που παρουσιάζονται στον πίνακα 3.1. Δίνονται οι παράμετροι παροχής, φορτίων οργανικού άνθρακα και ολικών στερεών σχεδιασμού για τα πρωτοβάθμια επεξεργασμένα λύματα.

Πίνακας 3.1 Παράμετροι Σχεδιασμού ΚΕΛΨ

Παράμετροι Σχεδιασμού	Τιμή Σχεδιασμού	Μονάδες
Παροχή Εισερχόμενων Λυμάτων		
Μέση Ημερήσια Παροχή	1.000.000	m ³ /d
Μέγιστη Ημερήσια Παροχή	1.120.000	m ³ /d
Παροχή Αιχμής	16	m ³ /sec
Οργανικό Φορτίο Πρωτοβάθμιας Εκροής		
BOD		
Μέση Τιμή	162.000	kg/d
Αιχμή	218.000	kg/d
COD		
Μέση Τιμή	346.000	kg/d
Αιχμή	483.000	kg/d
TSS		
Μέση Τιμή	119.000	kg/d
Αιχμή	181.000	kg/d

Στον πίνακα 3.2 παρατίθενται τα μέσα μηνιαία ρυπαντικά φορτία στην είσοδο της βιολογικής βαθμίδας του ΚΕΛΨ για τη περίοδο Σεπτέμβριος 2009- Αύγουστος 2010.

Πίνακας 3.2 Μέσα Μηνιαία Ρυπαντικά Φορτία στην είσοδο της βιολογικής βαθμίδας του ΚΕΛΨ (Περίοδος Σεπτέμβριος 2009- Αύγουστος 2010)

Μήνας	TSS (kg/d)	COD (kg/d)	BOD ₅ (kg/d)	NH ₄ -N (kg/d)	TKN (kg/d)
Σεπτέμβριος 2009	121046	282272	102168	24647	28325
Οκτώβριος 2009	166700	364924	152575	27338	31607
Νοέμβριος 2009	167861	426796	188048	34648	39494
Δεκέμβριος 2009	177596	445491	174290	34377	40112
Ιανουάριος 2010	140345	411492	157909	38365	44155
Φεβρουάριος 2010	144705	405426	167885	35039	40570
Μάρτιος 2010	157260	414959	163669	31985	38595
Απρίλιος 2010	139468	388232	165053	33037	42381
Μάιος 2010	127923	362832	159015	29837	39644
Ιούνιος 2010	80880	316569	141999	29763	39728
Ιούλιος 2010	84418	274916	133295	26875	34787
Αύγουστος 2010	67732	207240	103710	18545	25872

4. Περιγραφή Πιλοτικού Συστήματος & Μεθόδων Ανάλυσης

4.1 Εισαγωγή

Στην παρούσα ερευνητική εργασία επιχειρήθηκε η δημιουργία δύο συστημάτων ενεργού ιλύος σε πειραματική κλίμακα. Το πρώτο σύστημα αποτέλεσε προσομοίωση της αντίστοιχης βαθμίδας του Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυττάλειας (ΚΕΛΨ), το οποίο και θα αποκαλείται Σύστημα Ελέγχου (Σ.Ε./Control), και αποτελείται από μια ανοξική δεξαμενή (C1), δυο αερόβιες δεξαμενές (C2 & C3) και μια δεξαμενή τελικής καθίζησης (C4). Το δεύτερο, θα αποκαλείται Πειραματικό Σύστημα (Π.Σ.-Experimental) και η μόνη διαφοροποίηση με το Σύστημα Ελέγχου είναι η προσθήκη μιας αναερόβιας δεξαμενής ανάντη του ανοξικού όγκου που θα λειτουργήσει ως επιλογέας (selector tank). Αξίζει να σημειωθεί πως το σύνολο του αναερόβιου-ανοξικού όγκου του Π.Σ. είναι ίδιο με τον ανοξικό όγκο στο Σ.Ε. Με την προσθήκη του αναερόβιου επιλογέα, το Π.Σ. ασκεί κινητικές και μεταβολικές πιέσεις στο σύνολο των μικροοργανισμών. Στόχος του πειράματος είναι η διερεύνηση των διαφορών στα χαρακτηριστικά καθίζησης της ιλύος (μέσω των καθημερινών μετρήσεων DSVI) και των διαφοροποιήσεων στις συγκεντρώσεις των πληθυσμών των νηματοειδών βακτηριδίων (με τις μικροσκοπικές μετρήσεις FI) των δύο συστημάτων.

Στο εν λόγω κεφάλαιο δίνονται οι απαραίτητες παραδοχές της προσομοίωσης, όπως η επιλογή πειραματικής κλίμακας και των παραμέτρων σχεδιασμού (θ_c, συντελεστές ανακυκλοφορίας, παροχή συγκεντρώσεων διαλυμένου οξυγόνου στα αερόβια τμήματα). Στη συνέχεια, ακολουθεί μια αναλυτική παρουσίαση των δύο συστημάτων, με ιδιαίτερη έμφαση στα τεχνικά χαρακτηριστικά των επιμέρους δεξαμενών και τις αναγκαίες παρεμβάσεις που πραγματοποιήθηκαν (τοποθέτηση σωληνώσεων, αναδευτήρων, φυσητήρων, παροχή αέρα) με τη χρήση κατάλληλου εξοπλισμού. Επιπρόσθετα, παρατίθεται το πρόγραμμα παρακολούθησης των συστημάτων, τόσο ως προς τη συχνότητα των μετρήσεων προς ανάλυση, όσο και ως προς τη λειτουργία της προσομοίωσης γενικότερα. Τέλος, παρουσιάζονται αναλυτικά οι διαδικασίες εξαγωγής δείγματος και τα πειραματικά πρωτόκολλα που ακολουθήθηκαν για όλες τις παραμέτρους προς μέτρηση (TSS, VSS, DO, COD, sCOD, NH₄-N, NO₃) εντός του κοντέινερ, στο χημείο του ΚΕΛΨ ή στο Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας (ΕΥΤ).

4.2 Περιγραφή Πιλοτικού Συστήματος

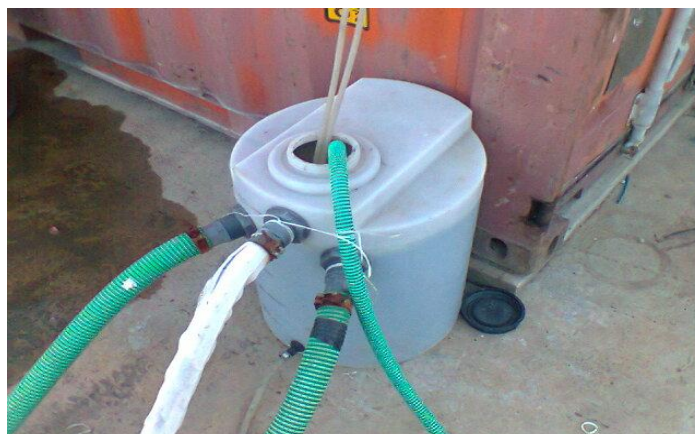
4.2.1 Είσοδος Λυμάτων

Το πιλοτικό σύστημα χωροθετήθηκε εντός εμπορικού κοντέινερ στην εγκατάσταση του ΚΕΛΨ, αμέσως κατάντη της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας και τροφοδοτούνταν με πρωτοβάθμια επεξεργασμένα λύματα μέσω υποβρύχιας αντλίας 24ωρης λειτουργίας. Τα στοιχεία παροχής λυμάτων εισόδου, οργανικού φορτίου και συνολικών στερεών για το σύστημα ευρείας κλίμακας και το πιλοτικό σύστημα παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1 Παροχή και φορτίο εισόδου για το ΚΕΛΨ και το Πιλοτικό Σύστημα

ΠΑΡΟΧΗ ΚΑΙ ΦΟΡΤΙΟ ΕΙΣΟΔΟΥ				
	ΚΕΛΨ		Πιλοτικό Σύστημα	
Q	1000000	m ³ /d	100	lt/d
TSS	181000	kg/d	186	mg/l
COD	483000	kg/d	467	mg/l

Έχοντας προαποφασίσει την είσοδο στο κάθε ένα από τα 2 συστήματα (Q=100l/d), κρίθηκε σκόπιμη η χρήση δεξαμενής χωρητικότητας 100lt που χωροθετείται ακριβώς έξω από το container, όπου και στεγάζεται το πιλοτικό σύστημα, και θα παρεμβάλλεται μεταξύ της υπόγειας αντλίας στο φρεάτιο συλλογής της ΔΠΚ του ΚΕΛΨ και της αντλίας εισόδου λυμάτων στο πιλοτικό σύστημα.



Εικόνα 4.1 Δεξαμενή Ανάντη του Π.Σ

Η δεξαμενή διαθέτει υπερχειλίση στη στάθμη των 100lt για λόγους ευστάθειας, η οποία καταλήγει πίσω στο σύστημα πλήρους κλίμακας. Τα σωληνάκια σιλικόνης βυθίζονται στην δεξαμενή εισόδου (ώστε να μην «τραβούν αέρα» ή λίπη και έλαια που πιθανώς να βρίσκονται στην επιφάνεια της δεξαμενής) και συνδέονται μέσω αντλίας περιστολής στα 2 συστήματα.

4.2.2 Πιλοτικό Σύστημα

4.2.2.1 Γεωμετρική Ομοιότητα

Πρωταρχικό ζήτημα κατά το σχεδιασμό μοντέλου είναι η εξαγωγή αντιπροσωπευτικής κλίμακας σχεδιασμού. Στη περίπτωση του πιλοτικού συστήματος (Π.Σ), η κλίμακα από την οποία προέκυψαν οι τελικοί όγκοι ανοξικών, αναερόβιων, αερόβιων και δεξαμενών τελικής καθίζησης, είχε ήδη διερευνηθεί (Καγιά, 2011) ωστόσο κρίνεται σκόπιμη μια σύντομη αναφορά. Με γνωστά τα στοιχεία μέσω ετήσιων παροχών στην έξοδο πρωτοβάθμιας καθίζησης και τους όγκους των διαμερισμάτων στη βιολογική βαθμίδα πλήρους κλίμακας ($V_{\text{ΑΝΟΞ}}$, $V_{\text{ΑΝΑΕΡ}}$, $V_{\text{ΑΕΡ1}}$, $V_{\text{ΑΕΡ2}}$), εξάγεται ο υδραυλικός χρόνος παραμονής στερεών για κάθε δεξαμενή, ο οποίος πολλαπλασιασμένος με τη παροχή εισόδου στο Π.Σ (100lt/d) δίνει ως αποτέλεσμα τον τελικό όγκο των δεξαμενών του μοντέλου.

Πίνακας 4.2 Εξαγωγή Τελικών Όγκων Διαμερισμάτων Συστήματος Ελέγχου

Διαμέρισμα	ΚΕΛΨ	θ(h)	V Σ.Ε. ΤΕΛΙΚΟ		
Αναερόβιο	1405	m3	0,55	2,4	m3
Ανοξικό	7880	m3	3,08	13,1	m3
Αερόβιο 1	9170	m3	3,58	15,3	m3
Αερόβιο 2	6390	m3	2,50	10,6	m3

Δευτερευόντως, χρειάστηκε η δημιουργία υδραυλικής κλίσης μεταξύ των δεξαμενών ώστε η γραμμή λυμάτων να έχει φθίνουσα πιεζομετρία, όπως άλλωστε επιτάσσει η διεθνής πρακτική στον σχεδιασμό μιας ΕΕΛ. Έτσι κατά μήκος της γραμμής ροής των λυμάτων και μεταξύ των διαφόρων δεξαμενών της βιολογικής βαθμίδας και των βοηθητικών διατάξεων δημιουργήθηκαν υψομετρικές διαφορές για την επίτευξη υδραυλικής ροής με βαρύτητα.

4.2.2.2 Παράμετροι Σχεδιασμού

Όσον αφορά τις υπόλοιπες παραμέτρους σχεδιασμού, ο χρόνος παραμονής στερεών (θ_c) λαμβάνεται ίσος με 8 ημέρες και καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος, η αφαίρεση περίσσειας ιλύος αποσκοπούσε στη σταθεροποίηση του Π.Σ στη τιμή αυτή ώστε να συμβαδίζει με το σύστημα του ΚΕΛ Ψυττάλειας. Παρατηρούμε στον παρακάτω τύπο πως η περίσσεια δεν εξάγεται από την ΔTK ως είθισται αλλά από την πρώτη κατά σειρά αερόβια δεξαμενή. Η κίνηση αυτή οφείλεται σε πρακτικούς λόγους καθώς ήταν ανέφικτη η αφαίρεση περίσσειας από τη ΔTK με χειρωνακτικό τρόπο χωρίς επιπτώσεις στην ισορροπία του ΠΣ.

$$\theta_c = \frac{V_{ANOΞ} * MLSS_{ANOΞ} + V_{AEP} * MLSS_{AEP} + V_{ANAEP} * MLSS_{ANAEP}}{(Q_{OUT} - W_{OUT}) * TSS_{OUT} + W * MLSS_{AEP1}}$$

Οι παροχές εσωτερικής και εξωτερικής ανακυκλοφορίας στην Α' φάση κυμάνθηκαν στη περιοχή των $1,8 * Q_{EΙΣ}$ (180lt/d) και $1,3 * Q_{EΙΣ}$ (130lt/d) αντίστοιχα καθώς σύμφωνα με τη βιβλιογραφία οι τιμές αυτές δεν αποτρέπουν την επιτέλεση διεργασιών απαραίτητων για την σταθεροποίηση του συστήματος (νιτροποίηση κυρίως). Ωστόσο, η έντονη εμφάνιση ανύψωσης ιλύος στις ΔTK, κυρίως κατά τη β' φάση, συνηγορούσε, εκτός της νηματοειδούς διόγκωσης, σε ελλειπή ή αναποτελεσματική ανακυκλοφορία της λάσπης πίσω στο σύστημα. Η συνηθέστερη αιτία του φαινομένου σε συστήματα ενεργού ιλύος εργαστηριακής κλίμακας είναι η δημιουργία γραμμών ροής επεξεργασμένου (διαυγασμένου) λύματος μέσα από την στρωματοποιημένη ιλύ και από την εξωτερική ανακυκλοφορία πίσω στο σύστημα. Η λάσπη στη ΔTK έχει μεγαλύτερο χρόνο παραμονής από το επιθυμητό και ανέρχεται για τους λόγους που έχουν ήδη αναλυθεί (ενότητα 2.1.: Προβλήματα Καθιζησιμότητας Ιλύος). Η πιο απλή λύση στο παρόν πρόβλημα είναι η ελαφρά αύξηση του συντελεστή εξωτερικής ανακυκλοφορίας που σε συνδυασμό με εντακτική χειροκίνητη ανάδευση της λάσπης επιλύει σε σημαντικό βαθμό το πρόβλημα. Στη προκειμένη περίπτωση, κατά τη Β' φάση, η παροχή εξωτερικής ανακυκλοφορίας ανέβηκε στα 180lt/d ($r=1,8$ έναντι $r=1,3$ στην Α' Φάση) και η εσωτερική ανακυκλοφορία στα 210lt/d ($R=2,1$ έναντι $R=1,8$ στην Α' Φάση).

Τέλος, όσον αφορά την συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου, συμφωνήθηκε η σταθερή παροχή περίσσειας O_2 στις αερόβιες δεξαμενές των 2 συστημάτων σε τιμές μεγαλύτερες από 2 mg O_2 /l. Αξίζει να σημειωθεί πως η παροχή οξυγόνου στις αερόβιες δεξαμενές των ΕΕΛ είναι θεμιτό να παρουσιάζει μια φθίνουσα κλίση προς τα κατάντη, καθώς καταναλώνεται η διαθέσιμη τροφή των λυμάτων. Έτσι μειώνεται και το κόστος αερισμού που σε συστήματα μεγάλης κλίμακας συνιστά σημαντικό παράγοντα σχεδιασμού. Ωστόσο στην περίπτωση του Π.Σ κάτι τέτοιο δεν ήταν πάντα εφικτό καθώς η παροχή αέρα ήταν ενιαία από τον αεροσυμπιεστή εξωτερικά του κοντέινερ και η χειροκίνητη ρύθμιση της παροχής σε κάθε μια εκ των δεξαμενών με πλαστικές βαλβίδες δεν επέτρεπε ακριβείς χειρισμούς. Σύμφωνα με τις καθημερινές μετρήσεις, η μέση τιμή σε όλες τις αερόβιες δεξαμενές κυμάνθηκε στη περιοχή 3,5-5,0 mg O_2 /l.

4.2.2.3 Περιγραφή Δεξαμενών Συστήματος

Σύστημα Ελέγχου

Το σύστημα ελέγχου αποτελούνταν από μια ανοξική δεξαμενή συνολικού όγκου 15,5 λίτρων όπου και επιτελείται η απονιτροποίηση του ανάμεικτου υγρού και ένα σημαντικό μέρος απομάκρυνσης του οργανικού άνθρακα των λυμάτων καθώς και από δύο αερόβιες δεξαμενές, όγκου 15,3 και 10,6 λίτρων αντίστοιχα, όπου επιτελείται η διαδικασία της νιτροποίησης (απομάκρυνση αμμωνίας λυμάτων) και ολοκληρώνεται η απομάκρυνση του οργανικού φορτίου. Τέλος, το σύστημα ενεργού ιλύος ολοκληρώνεται με την δεξαμενή τελικής καθίζησης και την κωνική φιάλη που τοποθετήθηκε κατόπιν αυτής για τη συγκράτηση των στερεών εντός του συστήματος.

Ανοξική Δεξαμενή C1

Ορθογωνική παραλληλόγραμμη δεξαμενή ωφέλιμου όγκου 15,5lt, με αεροστεγές καπάκι για την εξασφάλιση ανοξικών συνθηκών έλλειψης οξυγόνου, το οποίο άνοιγε για λίγα δευτερόλεπτα κάθε μέρα (εξαγωγή δείγματος για το χημείο και συντήρηση δεξαμενής και οπών). Η ανάδευση του ανάμεικτου υγρού επετεύχθη με χρήση μηχανικού αναδευτήρα σε σχετικά υψηλό αριθμό στροφών (500-600 στροφές/λεπτό).



Εικόνα 4.2 Ανοξική Δεξαμενή C1

Διαθέτει συνολικά 5 οπές διαμέτρου 1cm. Οι 2 οπές παράλληλα με τη ροή λυμάτων χρησιμοποιούνται για την είσοδο των λυμάτων από την ενδιάμεση δεξαμενή με τη βοήθεια περισταλτικής αντλίας και την μετάβαση στην επόμενη αερόβια δεξαμενή C2 αντίστοιχα. Εκ των 2 οπών στην εξωτερική πλευρά της δεξαμενής όπως απεικονίζεται, η αριστερά επιτρέπει την είσοδο της εξωτερικής ανακυκλοφορίας r από την ΔTK και η δεξιά αποτέλεσε την «ασφάλεια» του συστήματος σε περίπτωση αστοχίας. Πρόκειται ουσιαστικά για μια σωλήνωση bypass, που ενεργοποιείται στη περίπτωση όπου κάποια οπή/δικλείδα έχει φράξει και δεν επιτρέπει τη ροή στα κατάντη. Τέλος, η οπή στην εσωτερική πλευρά της δεξαμενής εισάγει την εξωτερική ανακυκλοφορία R , δηλαδή ανάμεικτο υγρό από το τελευταίο διαμέρισμα της δεύτερης αερόβιας δεξαμενής όπου έχει και τη μεγαλύτερη συγκέντρωση νιτρικών (νιτροποίηση). Έτσι, οι μικροοργανισμοί χρησιμοποιούν τα νιτρικά ως αποδέκτη ηλεκτρονίων και επιτυγχάνονται ανοξικές συνθήκες στην C1.

Αερόβιες Δεξαμενές C2 & C3

Ο αερόβιος όγκος (25,9lt) ήταν, για τα δεδομένα της προσομοίωσης του συστήματος πλήρους κλίμακας, μεγάλος και θεωρήθηκε προτιμότερη η διαίρεση του σε 2 δεξαμενές, C2 και C3. Έτσι, η δεξαμενή C2 είχε τετραγωνικό σχήμα και ωφέλιμο όγκο 15,3lt ενώ η δεξαμενή C3 σχήμα παραλληλογράμμου με ωφέλιμο όγκο 10,6lt. Και στις 2 δεξαμενές υπήρχαν μόνο 2 οπές διαμέτρου 1cm παράλληλα με τον άξονα της ροής των λυμάτων, εξοπλισμένες με βάνες εκατέρωθεν για έλεγχο της ροής ανάντη & κατάντη. Ο αερισμός των δεξαμενών επετεύχθη με τη βοήθεια δικτύου σωληνώσεων που συνδέονταν εξωτερικά με τον αεροσυμπιεστή που είχε εγκατασταθεί εξωτερικά του container για αυτό το σκοπό. Τα άκρα των σωληνώσεων κατέληγαν στον πυθμένα των δεξαμενών όπου και είχαν προσαρμοστεί διαχυτήρες που παρείχαν το απαραίτητο οξυγόνο στο σύνολο του ανάμεικτου υγρού. Η ρύθμιση της παροχής αέρα σε κάθε διαμέρισμα ελεγχόταν από βαλβίδες που παρεμβάλλονταν μεταξύ των κόμβων του δικτύου παροχής αέρα.



Εικόνα 4.3 Αερόβια Δεξαμενή C2

Για την όσο το δυνατό καλύτερη προσομοίωση του ΠΣ στις συνθήκες μίξης του συστήματος πλήρους κλίμακας, τοποθετήθηκαν διαχωριστικά με οπές υπερχείλισης στο ύψος ομοιόμορφης ροής, ένα στη δεξαμενή C2 και δύο στην C3, τα οποία όπως καταδεικνύουν τα στοιχεία του ΚΕΛΨ αλλά όπως θα δούμε και στην επεξεργασία των αποτελεσμάτων δεν επιτυγχάνουν την δημιουργία κλίσης τροφής κατά μήκος της βιολογικής βαθμίδας (κινητική επιλογή) και επομένως δεν λαμβάνονται σαν διαφορετικά διαμερίσματα. Μοναδική ίσως εξαίρεση το τρίτο «διαμέρισμα» της δεξαμενής C3, το οποίο έχει το μικρότερο όγκο (περίπου 1l) και κατασκευάστηκε για να τροφοδοτεί την εσωτερική ανακυκλοφορία καθώς εκεί αναμένονται οι υψηλότερες τιμές νιτρικών NO₃. Τέλος, οι αντίστοιχες αερόβιες δεξαμενές του πειραματικού συστήματος E3 & E4 έχουν κατασκευαστεί και σχεδιαστεί με επακριβώς τις ίδιες προδιαγραφές και δεν κρίνεται σκόπιμη η επανάληψη των ανωτέρω στο αντίστοιχο κεφάλαιο.



Εικόνα 4.4 Αερόβια Δεξαμενή C3

Πειραματικό Σύστημα

Αναερόβιος Επιλογέας Ε1

Ο επιλογέας έχει κυλινδρική διατομή και τον μικρότερο ωφέλιμο όγκο απ' όλες τις δεξαμενές του ΠΣ (2,4l) καθώς απαιτείται μικρός χρόνος παραμονής των εισερχόμενων λυμάτων. Η δεξαμενή είναι κλειστή αεροστεγώς για την επίτευξη συνθηκών έλλειψης οξυγόνου. Διαθέτει 3 οπές διαμέτρου 1cm για την είσοδο των λυμάτων από την ενδιάμεση δεξαμενή 100l, την έξοδο του επιλογέα καθώς και την εξωτερική ανακυκλοφορία που καταλήγουν σε αυτόν.



Εικόνα 4.5 Αναερόβιος Επιλογέας Ε1

Ο μικρός όγκος της αναερόβιας δεξαμενής βασίζεται στη θεωρία των επιλογέων, κατά την οποία είναι απαραίτητος ο πολύ μικρός χρόνος παραμονής των στερεών εντός του επιλογέα, όπως είχε εξηγηθεί και στην αντίστοιχη ενότητα των ειδικών μεθόδων ελέγχου. Επομένως, επιλέχθηκε μικρή δεξαμενή για την αποτελεσματική μικρή περίοδο επαφής των μικροοργανισμών με τις οργανικές ενώσεις των εισερχόμενων λυμάτων. Υπενθυμίζουμε πως η τιμή του όγκου δεν επιλέχθηκε τυχαία, καθώς το άθροισμα αναερόβιου-ανοξικού όγκου του πειραματικού συστήματος ισούται με τον ανοξικό όγκο του συστήματος ελέγχου.

Ανοξική Δεξαμενή E2

Δεξαμενή με παραλληλόγραμμη διατομή, συνολικού ωφέλιμου όγκου 13,1l και με αεροστεγές καπάκι για δημιουργία συνθηκών έλλειψης οξυγόνου. Δέχεται δύο εισόδους: από τον αναερόβιο επιλογέα στα ανάντη και την εσωτερική ανακυκλοφορία από τα κατάντη για την πρόσληψη νιτρικών ως αποδέκτη ηλεκτρονίων για τους μικροοργανισμούς (απονιτροποίηση). Η έξοδος καταλήγει στη πρώτη εκ των 2 αερόβιων δεξαμενών. Όλες οι οπές έχουν διάμετρο 1cm και διαθέτουν βάνες ελέγχου ροής.



Εικόνα 4.6 Ανοξική Δεξαμενή E2

Δεξαμενή Τελικής Καθίζησης (ΔTK_C, ΔTK_E)

Οι δεξαμενές τελικής καθίζησης των δύο συστημάτων έχουν ωφέλιμο όγκο 20l και ύψος περίπου 1,2m. Από τη διατομή πυθμένα και για περίπου 20cm, η δεξαμενή έχει σφηνοειδές σχήμα με στόχο τη δημιουργία κλίσης πυθμένα για καλύτερη συμπύκνωση της ιλύος που καθιζάνει (περίπου 3:2). Το υπόλοιπο σκέλος της δεξαμενής έχει κυλινδρικό σχήμα. Η δεξαμενή τοποθετείται στο έδαφος του κοντέινερ σε κατακόρυφη θέση, στερεωμένη στην επιφάνεια εργασίας όπου και λειτουργεί η βιολογική βαθμίδα του πιλοτικού συστήματος.

Τα λύματα καταλήγουν στις δύο ΔTK με σωληνάκια σιλικόνης τα οποία έχουν εισαχθεί σε μεγαλύτερα πλαστικά κατακόρυφα σκέλη εντός των δεξαμενών για να επιτευχθεί ελεύθερη πτώση των λυμάτων σε στάθμη που να μην διαταράσσεται η στρωματοποίηση της ιλύος. Όσον αφορά το σύστημα Control, εντός του πλαστικού σκέλους τοποθετούμε και το παρακαμπτήριο σωληνάκι που είχαμε τοποθετήσει ως ασφάλεια στη ανοξική δεξαμενή C1. Η είσοδος του ανάμεικτου υγρού πραγματοποιείται από την ελεύθερη επιφάνεια και προς τα κάτω όπως εξηγήθηκε και όχι από κάποια οπή ώστε να εκμεταλλευτούμε το μέγιστο δυνατό του ωφέλιμου όγκου της δεξαμενής. Έτσι, σε σύνολο 5 οπών σε διάφορα ύψη της δεξαμενής, χρησιμοποιούμε μόνο την ανώτερη για την υπερχειλίση των επεξεργασμένων λυμάτων και την κατώτερη για την τοποθέτηση του δικτύου εξωτερικής ανακυκλοφορίας.



Εικόνα 4.7 ΔΤΚ_ε

Αξίζει να σημειωθεί πως από την 1^η μέρα μετρήσεων παρατηρήθηκε ανύψωση (rising) μικρής κλίμακας που δεν αποδίδεται αποκλειστικά στην νηματοειδή διόγκωση αλλά σε άλλα προβλήματα καθαρισιμότητας της ιλύος όπως αυτά έχουν αναλυθεί στην αντίστοιχη ενότητα. Προκειμένου να αποτρέψουμε έστω και την ελάχιστη απώλεια λάσπης στην έξοδο, τοποθετήθηκε για αυτό το λόγο επιφανειακός διαχυτήρας που εκτρέπει την ανυψωμένη λάσπη από την οπή υπερχείλισης. Στις αερόβιες δεξαμενές C3 και E4 αλλά και στην δεξαμενή τελικής καθίζησης στην οπή εξόδου ιλύος εξωτερικής ανακυκλοφορίας, τοποθετούνται βάνες ελέγχου της ροής για λόγους συντήρησης, μετρήσεων ή διαχείριση απρόβλεπτων αστοχιών.

Κωνικές Φιάλες (Παγίδες Στερεών)

Από την 1^η μέρα μετρήσεων (19/10) και για τις πρώτες δύο εβδομάδες μετρήσεων (~2θ_c), τα αποτελέσματα καθαρισιμότητας και συμπύκνωσης της ιλύος ήταν σχετικά ικανοποιητικά αλλά το σύστημα ακόμα δεν είχε σταθεροποιηθεί, καθώς η τιμή των MLSS ήταν χαμηλότερη του επιδιωκόμενου (~2500-3000mg/l). Τα πρώτα προβλήματα κακής καθαρισιμότητας, ειδικά στο σύστημα ελέγχου, εμφανίζονται την 3^η και 4^η εβδομάδα, με οριακή ημερομηνία την 20/11 (~4θ_c) όπου και χάνεται περισσότερο από το 50% της λάσπης των 2 συστημάτων. Ενδεικτικά, την επόμενη ημερομηνία μέτρησης (Δευτέρα 21 Νοεμβρίου) τα MLSS των δύο συστημάτων σε όλες τις δεξαμενές τους φτάνουν κατά μέσο όρο τα 1500mg/l.

Τρεις ήταν οι σημαντικότερες αιτίες αυτού του φαινομένου :

1. Τα δύο συστήματα έχουν πλέον σταθεροποιηθεί, οπότε και αρχίζουν στις μικροσκοπικές μετρήσεις να εμφανίζονται και τα πρώτα συμπτώματα νηματοειδούς διόγκωσης. Η ιλύς και στις δύο ΔTK εμφανίζει πολύ κακή καθαρισιμότητα και συμπύκνωση, με αποτέλεσμα η διεπιφάνεια διαυγασμένου (επεξεργασμένου) λύματος και συμπυκνωμένης λάσπης να φτάνει λίγα εκατοστά κάτω από την υπερχειλίση. Κατά συνέπεια, μεγάλες ποσότητες στερεών «χάνονται» κατά την εκροή χωρίς να υπάρχει μια βοηθητική διάταξη ελέγχου που να επιτρέπει την επιστροφή του ανάμεικτου υγρού πίσω στο σύστημα.



Εικόνα 4.8 Κακή Συμπύκνωση Ιλύος στη ΔTK

2. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως στις παραμέτρους σχεδιασμού, η εξωτερική ανακυκλοφορία από μια οπή στο πυθμένα, δημιουργεί γραμμή ροής διαυγασμένου λύματος διαμέσου της στρωματοποιημένης ιλύος, με αποτέλεσμα να επανακυκλοφορεί πίσω στο σύστημα βιομάζα πολύ χαμηλής συγκέντρωσης. Έτσι, η συσσώρευση λάσπης στις ΔTK επιδεινώνει την ήδη υπάρχουσα κακή καθαρισιμότητα. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίστηκε με την αύξηση του συντελεστή εξωτερικής ανακυκλοφορίας με ταυτόχρονη χειροκίνητη ανάδευση των

ΔΤΚ για βελτίωση της συμπύκνωσης της λάσπης και διάλυση της γραμμής ροής επεξεργασμένου λύματος.

3. Από τις μετρήσεις νιτρικών που πραγματοποιούνταν κατά την διάρκεια ζωής του ΠΣ, παρατηρήθηκαν υψηλές τιμές NO_3 στα τελικά διαμερίσματα των αερόβιων δεξαμενών, γεγονός που συνηγορεί στη μετάβαση μέρους NO_3 στις ΔΤΚ. Έτσι, όσα νιτρικά δεν απονιτροποιούνται εντός των ανοξικών στα ανάντη της βιολογικής βαθμίδας, απονιτροποιούνται σε ανοξικές συνθήκες εντός των ΔΤΚ. Το αέριο άζωτο που παράγεται ως αποτέλεσμα της απονιτροποίησης συμπαρασύρει μέρος των κροκίδων στην επιφάνεια τα οποία και αποβάλλονται στην εκροή. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Πάντζιανου, 2010) η κρίσιμη περιοχή τιμών NO_3 για την εμφάνιση απονιτροποίησης και ανύψωσης ιλύος εντός των ΔΤΚ βρίσκεται μεταξύ 6-8mg/l.

Η λύση που προκρίθηκε ώστε να αμβλύνει το πρόβλημα διαφυγής στερεών στην εκροή ήταν η τοποθέτηση κωνικών φιαλών 5l (και ωφέλιμου όγκου 3,5l όπου και βρισκόταν η οπή υπερχειλίσσης στην τελική έξοδο) μεταξύ των ΔΤΚ και της εξόδου, με ρόλο την παγίδευση στερεών ώστε να επιστρέφονται χειροκίνητα πίσω στο σύστημα. Αυτή η διαδικασία δεν έλυσε το πρόβλημα εν τη γενέσει του, καθώς η απονιτροποίηση εντός των ΔΤΚ συνέχισε να επιτελείται, ωστόσο βελτίωσε σημαντικά τα MLSS στη βιολογική βαθμίδα, συμβάλλοντας έτσι στη σύγκλιση των αποτελεσμάτων του ΠΣ με τα στοιχεία του ΚΕΛΨ, άρα και στη καλύτερη δυνατή προσομοίωση του πιλότου με το σύστημα ευρείας κλίμακας.

Έτσι, ενώ στις 4-5 ώρες φυσικής παρουσίας στο ΠΣ η χειροκίνητη επιστροφή των στερεών της παγίδας πίσω στο σύστημα γινόταν 3 φορές και η συντήρηση των σωληνώσεων ήταν καθημερινή λόγω έμφραξης, υπήρχαν μέρες μετρήσεων όπου η εκροή είχε πολύ μεγάλη συγκέντρωση στερεών.

Η ημερομηνία όπου και τοποθετήθηκαν οι κωνικές φιάλες, οπότε και βελτιώθηκε η συνολική λειτουργία του ΠΣ, σηματοδοτεί την έναρξη της β' φάσης του ΠΣ όπως και θα εξηγηθεί στο επόμενο κεφάλαιο που σχετίζεται με την επεξεργασία των πειραματικών αποτελεσμάτων.



Εικόνα 4.9 Παγίδα στερεών

4.2.3 Έξοδος Συστημάτων (C4 & E5)

Η εκροή των δύο συστημάτων του ΠΣ κατέληγε σε ξεχωριστές πλαστικές δεξαμενές ημερήσιας ρύθμισης και συνολικού όγκου 300l. Είχαν κωλουροκωνικό σχήμα με είσοδο σε στάθμη ωφέλιμου όγκου ~120l και έξοδο μια βάνα στο πυθμένα των δεξαμενών. Ελεγχόταν καθημερινά η στάθμη εξόδου ώστε να εξεταστεί η ικανοποίηση της συνέχειας του ΠΣ (ισοζύγιο εισόδου-εξόδου). Πριν τη δειγματοληψία πραγματοποιούνταν χειροκίνητη ανάδευση για την ομογενοποίηση του μείγματος και έπειτα η δεξαμενή άδειαζε για να πληρωθεί και πάλι με την έξοδο του επόμενου 24ώρου.



Εικόνα 4.10 Έξοδος Βιολογικής Βαθμίδας

4.2.4 Μηχανολογικός Εξοπλισμός

Στο Πιλοτικό Σύστημα, εκτός από τις πρωτογενείς δεξαμενές (βιολογικής βαθμίδας, εξόδου) και τις δευτερεύουσες/βοηθητικές διατάξεις (δεξαμενή εισόδου, κωνικές φιάλες παγίδευσης στερεών), απαραίτητη ήταν και η χρήση μηχανολογικού εξοπλισμού που επιτελούσε τέσσερις βασικές ανάγκες για την εύρυθμη λειτουργία του ΠΣ :

1. Παροχή Διαλυμένου O_2 . Εκτός του εμπορικού container όπου και λειτουργούσε το ΠΣ, είχε τοποθετηθεί αεροσυμπιεστής με ρυθμιστικό μανόμετρο (περίπου στα 2-3 bar κατά τη διάρκεια του πειράματος). Η μεταφορά του οξυγόνου εντός των αερόβιων δεξαμενών του ΠΣ πραγματοποιούνταν με δίκτυο εύκαμπτων σωληνώσεων σιλικόνης επί των οποίων αναρτήθηκαν πορώδεις διαχυτήρες τοποθετημένοι στο πυθμένα των δεξαμενών. Έτσι η διάχυση οξυγόνου συνέβαλε και στην ανάδευση της βιομάζας. Η ρύθμιση της ποσότητας O_2 γινόταν με ειδικά πλαστικά τεμάχια (γωνιακά και ταυ με ρυθμιστικές δικλείδες), ενώ τέλος ο αεροσυμπιεστής αποσυμπιεζόταν δύο φορές την εβδομάδα από τους συντηρητές μηχανικούς.



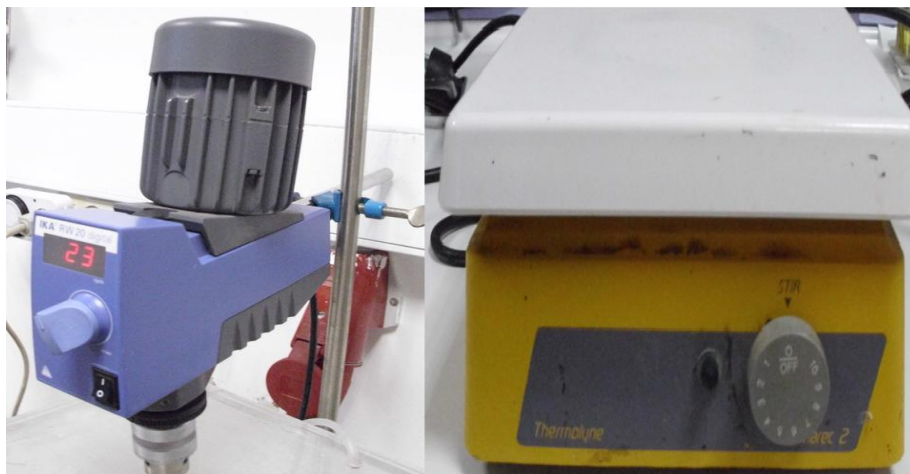
Εικόνα 4.11 Αεροσυμπιεστής

2. Άντληση. Εκτός του ΠΣ, χρησιμοποιήθηκε υπόγεια αντλία μεγάλης δυναμικότητας ($7,5 \text{ m}^3/\text{h}$) με στόχο την μεταφορά των λυμάτων από τη πρωτοβάθμια καθίζηση του ΚΕΛΨ στη δεξαμενή εισόδου. Εντός του ΠΣ, χρησιμοποιήθηκαν τρεις (3) όμοιες περισταλτικές αντλίες δυναμικότητας $\sim 400 \text{ l/d}$ για την άντληση λυμάτων κατά την είσοδο ($Q=100 \text{ l/d}$), την εσωτερική (RQ) και την εξωτερική (rQ) ανακυκλοφορία. Οι εν λόγω αντλίες είχαν δίδυμες κεφαλές, γεγονός που επέτρεπε τη ταυτόχρονη χρήση τους και για τα δύο συστήματα για ίση μεταφορά βιομάζας. Επίσης υπήρχε η δυνατότητα αντιστροφής της ροής (forward-rewind), γεγονός που βοήθησε κατά τη συνδεσμολογία των διατάξεων για την ανακυκλοφορία. Στη περιοχή κοντά στις κεφαλές, χρησιμοποιήθηκαν σωλήνες από καουτσούκ για μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.



Εικόνα 4.12 (Από Αριστερά Προς Δεξιά) Υπόγεια και Περισταλτική Αντλία

3. Ανάδευση βιομάζας. Στον αναερόβιο επιλογέα E1 του συστήματος Experimental τοποθετήθηκε μαγνητικός αναδευτήρας ενώ στις δύο ανοξικές δεξαμενές τοποθετήθηκαν μηχανικοί αναδευτήρες. Η ανάδευση σε αυτές τις περιπτώσεις πραγματοποιούνταν σε σχετικά υψηλό αριθμό στροφών (500-600 περιστροφές/λεπτό) λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης MLSS στο ανάμεικτο υγρό και της μεγάλης ταχύτητας καθίζησης που παρατηρήθηκε.



Εικόνα 4.13 (Από Αριστερά Προς Δεξιά): Μηχανικός και Μαγνητικός Αναδευτήρας

4. Θερμοκρασία Λυμάτων. Η περίοδος λειτουργίας του ΠΣ (18/10-31/12) συνοδευόταν από πολύ χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, γεγονός που επηρεάζει άμεσα τις βιολογικές διεργασίες της εγκατάστασης. Για θερμοκρασίες χαμηλότερες από τη περιοχή των 18-22°C, σε ΕΕΛ χαμηλής οργανικής φόρτισης, η κινητική ανάπτυξης των νηματοειδών είναι μεγαλύτερη από αυτή των συσσωματούμενων μικροοργανισμών (Νουτσόπουλος,2002), με αποτέλεσμα την εμφάνιση νηματοειδούς διόγκωσης στη λάσπη των ΔTK, ενώ ταυτόχρονα αναχαιτίζεται η κινητική ανάπτυξης των νιτροποιητών, αποτρέποντας την ισορροπία του συστήματος. Αποφασίστηκε λοιπόν η χρήση κλιματισμού εντός του container όλο το 24ωρο σε σταθερή θερμοκρασία δωματίου (25°C). Με αυτό το μέτρο επετεύχθη σταθερή θερμοκρασία λυμάτων στους 19 °C, τιμή αποδεκτή καθώς επιτρέπει την ανάπτυξη τόσο των νιτροποιητικών όσο και των νηματοειδών βακτηριδίων.

4.3 Πρόγραμμα παρακολούθησης Πιλοτικών Συστημάτων

Κατά τη λειτουργία του ΠΣ, πραγματοποιούνταν οι παρακάτω μετρήσεις, εκ των οποίων μόνο οι μετρήσεις ολικού και διαλυτού COD και νιτρικών NO₃ πραγματοποιούνταν στη Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου. Τα υπόλοιπα δείγματα εξάγονταν από το ΠΣ και αναλύονταν την ίδια ημέρα στο χημείο του Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυττάλειας.

Πίνακας 4.3 Λειτουργικές Παράμετροι Ελέγχου Πιλοτικού Συστήματος

A/A	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
1	ΟΛΙΚΑ ΣΤΕΡΕΑ (TSS)	INPUT	2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΗ ΒΔΟΜΑΔΑ
		C1-C4, E1-E5	ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΑ
2	ΠΤΗΤΙΚΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΤΕΡΕΑ (VSS)	INPUT, C1-C4, E1-E5	2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΗ ΒΔΟΜΑΔΑ
3	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΔΙΑΛΥΜΕΝΟΥ ΟΞΥΓΟΝΟΥ (mg/l)	C2-C3, E3-E4	ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΑ
4	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (οC)	C2-C3, E3-E4	ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΑ
5	DSVI	C2, E3	ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΑ
6	ΟΛΙΚΟ COD	INPUT, C4, E5	2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΗ ΒΔΟΜΑΔΑ
7	ΔΙΑΛΥΤΟ COD	INPUT, C1-C4, E1-E5	2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΗ ΒΔΟΜΑΔΑ
8	ΝΙΤΡΙΚΟ ΑΖΩΤΟ	C1-C4, E1-E5	2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΗ ΒΔΟΜΑΔΑ
9	ΑΜΜΩΝΙΑΚΟ ΑΖΩΤΟ	ΕΙΣΟΔΟΣ, C4, E5	5 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΥΝΟΛΙΚΑ

Επιπλέον ακολουθήθηκε καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής εργασίας το πρωτόκολλο παρακολούθησης λειτουργίας του πιλοτικού συστήματος, όπως αυτό παρουσιάζεται στο πίνακα 4.4.

Πίνακας 4.4 Πρόγραμμα παρακολούθησης λειτουργίας πιλοτικού συστήματος

A/A	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
1	ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ θ _c	ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΑ
2	ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΑΡΟΧΩΝ ΕΙΣΟΔΟΥ	1 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗ ΒΔΟΜΑΔΑ
3	ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΑΡΟΧΩΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ	
4	ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ	ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΑ
5	ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ	
6	ΑΝΑΔΕΥΣΗ ΔΤΚ	2-3 ΦΟΡΕΣ ΤΗΝ ΗΜΕΡΑ
7	ΑΔΕΙΑΣΜΑ ΠΑΓΙΔΑΣ ΣΤΕΡΕΩΝ	
8	ΚΑΛΙΜΠΡΑΡΙΣΜΑ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ	1 ΦΟΡΑ ΤΗ ΒΔΟΜΑΔΑ

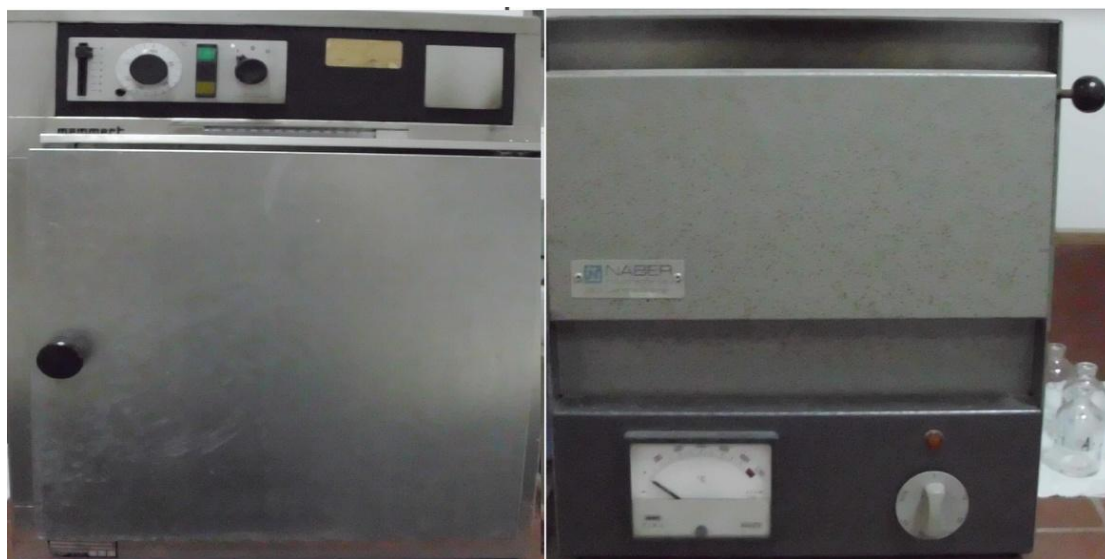
4.4 Περιγραφή Αναλυτικών Μεθόδων

4.4.1 Ολικά Στερεά (TSS) και Πτητικά Αιωρούμενα Στερεά (VSS)

Η διαδικασία ξεκινά με την εξαγωγή δείγματος από τις δεξαμενές εισόδου και εξόδου αφού πρώτα το περιεχόμενο των δεξαμενών έχει ομογενοποιηθεί χειρωνακτικά. Λόγω χαμηλής συγκέντρωσης στερεών, το δείγμα στην είσοδο ήταν 20ml ενώ στην έξοδο έφτανε τα 50ml. Έπειτα, σε μικρότερα δειγματοληπτικά δοκίμια συλλεγόταν δείγμα ανάμεικτου υγρού από τις δεξαμενές στο σύστημα ενεργού ιλύος. Με τη χρήση πιπέτας γινόταν εξαγωγή δείγματος 5ml, όγκος δείγματος ικανοποιητικός λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης MLSS στο ανάμεικτο υγρό. Τα δοκίμια ύστερα μεταφέρονταν στο Χημείο του ΚΕΛΨ, για να ακολουθήσει η διαδικασία μετρήσεων σύμφωνα με το πειραματικό πρωτόκολλο που έχει δοθεί από το Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας, που απαιτεί διήθηση του δείγματος για τον διαχωρισμό των αιωρούμενων (μη διηθήσιμων) και διαλυτών (διηθήσιμων) στερεών. Το πρώτο κλάσμα παγιδεύεται σε ειδικά στρωματικά φίλτρα που αποτελούνται από πλέγματα ανόργανων ινών και έπειτα θερμαίνονται σε θερμοκρασίες 103°C για την εξάτμιση του νερού που έχει παραμείνει εντός του φίλτρου. Τα φίλτρα ζυγίζονται για το προσδιορισμό των ολικών στερεών και έπειτα υποβάλλονται σε καύση (550 °C) με στόχο τον διαχωρισμό των στερεών σε οργανικό (πτητικό) και ανόργανο (μη πτητικό) κλάσμα. Η διαφορά της δεύτερης και της τρίτης ζύγισης αποτελεί το πτητικό κλάσμα του δείγματος (MLVSS).

ΣΥΣΚΕΥΕΣ

- A. Αναλυτικός Ζυγός Ακριβείας
- B. Φίλτρα GF/C διαμέτρου 4,7cm (Whatman)
- C. Φούρνοι 103°C και 550 °C
- D. Συσκευή διήθησης μονή
- E. Ξηραντήρας



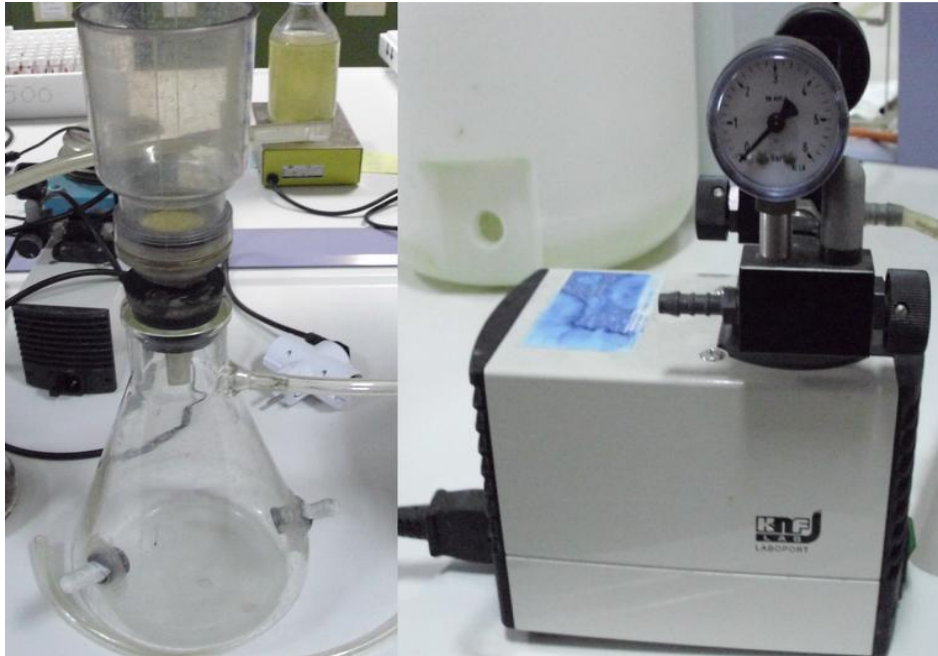
Εικόνα 4.14 (Από Αριστερά Προς Δεξιά): Φούρνοι 103°C και 550 °C αντίστοιχα.

Πειραματική Διαδικασία

- Εξαγωγή δέκα (10) φίλτρων από ξηραντήρα 103 °C (τοποθετούνταν από τη προηγούμενη ημέρα για να διατηρούνται χαμηλά τα ποσοστά υγρασίας) και ζύγιση τους στο ζυγό ακριβείας (ζύγιση m_1)
- Τοποθέτηση φίλτρου σε συσκευή διήθησης και χρησιμοποιώντας την αντλία κενού διηθείται το σύνολο του δείγματος. Αφαίρεση του φίλτρου από τη συσκευή με χρήση λαβίδας. Επανάληψη της διαδικασίας για το σύνολο των δέκα (10) δοκιμίων.
- Τοποθέτηση όλων των φίλτρων σε ειδική πλατφόρμα από αλουμίνιο και ξήρανση του δείγματος στο φούρνο των 103 °C για 1 ώρα.
- Δεύτερη ζύγιση όλων των φίλτρων στον ζυγό (m_2)
- Τοποθέτηση των δειγμάτων στο φούρνο των 550 °C για 20 λεπτά για την καύση των οργανικών στερεών.
- Τρίτη και τελευταία ζύγιση (m_3)

$$MLSS = \frac{(m_2 - m_1)}{V_{\Delta E I \Gamma}} * 10^6$$

$$MLVSS = \frac{(m_2 - m_3)}{V_{\Delta E I \Gamma}} * 10^6$$



Εικόνα 4.15 (Από Αριστερά Προς Δεξιά): Συσκευή Διήθησης Μονή & Αντλία Διήθησης



Εικόνα 4.16 (Από Αριστερά Προς Δεξιά): Ζυγός Ακριβείας & Ξηραντήρας

4.4.2 Συγκέντρωση Διαλυμένου Οξυγόνου και Θερμοκρασία

Η συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου στις αερόβιες δεξαμενές του συστήματος όπως προαναφέρθηκε είναι ιδιαίτερα κρίσιμη παράμετρος για την επιτέλεση των βιολογικών διεργασιών των μικροοργανισμών (νιτροποίηση και σύνθεση κυτταρικού υλικού), ενώ και η θερμοκρασία επιδρά καθοριστικά στον ρυθμό ανάπτυξης των νιτροποιητικών βακτηριδίων αλλά και των ετεροτροφικών μικροοργανισμών σε μικρότερο βαθμό. Κρίθηκε λοιπόν σκόπιμη η μέτρηση των παραμέτρων με στόχο την σύγκλιση των τιμών τους σε αυτές του ΚΕΛΨ αλλά και στις επιταγές της σύγχρονης βιβλιογραφίας των ΕΕΛ. Έτσι επιδιώχθηκε η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στη βιολογική βαθμίδα να είναι σταθερά μεγαλύτερη των 2mg/l και η θερμοκρασία του ανάμεικτου υγρού να βρίσκεται στη περιοχή των 18-20°C.

Συσκευές

- A. Οξυγονόμετρο Oxi330i (εταιρεία WTW)



Εικόνα 4.17 Οξυγονόμετρο ΠΣ

Πειραματική Διαδικασία

Για την μέτρηση τους χρησιμοποιήθηκε οξυγονόμετρο δύναται, ταυτόχρονα με τη συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου, να μετρά και τη θερμοκρασία της δεξαμενής. Η βαθμονόμηση του οργάνου γινόταν περιοδικά (2 φορές τη βδομάδα κατ' ελάχιστο) για να ελαχιστοποιηθούν τυχόν σφάλματα στις μετρήσεις. Το οξυγονόμετρο έφερε ηλεκτρόδιο το οποίο, αφού εμβαπτιστεί στο ανάμεικτο υγρό για λίγα δευτερόλεπτα, σταθεροποιείται σε ένα σετ τιμών οξυγόνου και θερμοκρασίας(βλέπε παράρτημα). Με το πέρας της μέτρησης, πραγματοποιούνταν καθαρισμός του μετρητή με απιονισμένο νερό και με απορροφητικό χαρτί ώστε να εκμηδενιστούν τα ποσοστά υγρασίας. Το ηλεκτρόδιο κατά τη διάρκεια της μέτρησης αλλά και της αποθήκευσης πρέπει να βρίσκεται μόνιμα σε κατακόρυφη θέση.

4.4.3 Δείκτης Καθιζισιμότητας Ιλύος (DSVI)

Ο δείκτης DSVI (Diluted Sludge Volume Index) αποτελεί βιβλιογραφικά τον απλούστερο και ακριβέστερο δείκτη ποιότητας καθίζησης της βιομάζας στη ΔTK, όπου ως ποιότητα καθίζησης νοείται:

- η διαύγαση των επεξεργασμένων λυμάτων από τη συμπυκνωμένη βιομάζα
- ο βαθμός συμπύκνωσης της βιομάζας ($m = \frac{Su}{S}$).

Η μέτρηση του αραιωμένου δείγματος (DSVI) επικράτησε του SVI (Sludge Volume Index) καθώς παρατηρήθηκε πειραματικά πως σε εγκαταστάσεις με υψηλά MLSS, η τιμή του SVI δεν ανταποκρινόταν στη πραγματικότητα (Ανδρεαδάκης, 2008). Επικράτησε κατ' αυτό τον τρόπο ο προσδιορισμός του δείκτη DSVI με επαρκή αραιώση, που στη περίπτωση του ΠΣ ήταν 1:1 για την α' φάση με μέσο όρο αποτελεσμάτων 220 και 3:2 για τη β' φάση με μέσο όρο αποτελεσμάτων 285.

Συσκευές

- A. Ογκομετρικός Κύλινδρος 1lt
- B. Χρονόμετρο

Πειραματική Διαδικασία

Σε ογκομετρικό κύλινδρο 1l τοποθετείται δείγμα 600ml (β' φάση) ανάμεικτου υγρού από την πρώτη αερόβια δεξαμενή των δύο συστημάτων και 400ml απιονισμένου νερού. Το διάλυμα αφήνεται για 30min σε απόλυτη ηρεμία να καθιζήσει. Πολύ σύντομα παρατηρείται από τον ερευνητή η ζωνική καθίζηση του δείγματος και η υποχώρηση της διεπιφάνειας που ορίζεται από το συμπυκνωμένο και το διαυγασμένο λύμα. Με τη πάροδο των 30 λεπτών, μετράται ο όγκος που καταλαμβάνεται από την ιλύ και υπολογίζεται ο δείκτης DSVI από το τύπο :

$$DSVI = \frac{\text{όγκος ιλύος} * \frac{10}{6}}{MLSS_{\text{αερ}}}$$

4.4.4 Μέτρηση Χημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου (COD-soluble COD)

Η μέτρηση του COD κρίνεται απαραίτητη για το προσδιορισμό του οργανικού φορτίου των λυμάτων. Πρακτικά, ως COD νοείται η ποσότητα του διχρωμικού καλίου που απαιτείται να καταναλωθεί για την οξείδωση των οργανικών και ανόργανων ενώσεων του δείγματος. Στη περίπτωση του ΚΕΛΨ, το φορτίο εισόδου ξεπερνά σε συγκέντρωση τα 50mg/l, επομένως η μέτρηση του COD είναι αντιπροσωπευτικότερη του BOD. Η συλλογή δειγμάτων ολικού COD πραγματοποιούνταν μόνο στην είσοδο και την έξοδο ενώ αντίθετα για το διαλυτό COD (soluble COD) λαμβάνονταν δείγματα και από τις 10 δεξαμενές (INPUT, C1-C4, E1-E5). Το διαλυτό COD συλλεγόταν έπειτα από επιτόπια διήθηση του δείγματος με ειδικές μεμβράνες Whatman διαμέτρου 0,45μm που παγιδεύουν τα αιωρούμενα στερεά.

Συσκευές

- Συσκευή χώνευσης φιαλιδίων
- Φιαλίδια COD (HR-LR), όγκου 10ml
- Φασματοφωτόμετρο ορατού φωτός τύπου HachDr2010
- Πιπέτες Ακριβείας

Αντιδραστήρια

- Διχρωμικό κάλιο 0,1N
- Πυκνό θειικό οξύ που περιέχει διαλυμένο Ag_2SO_4
- Θειικό Υδράργυρο



Εικόνα 4.18 (Από Αριστερά Προς Δεξιά) Φασματοφωτόμετρο DR2010 και Χωνευτής Φιαλιδίων (εταιρεία HACH)

Πειραματική Διαδικασία

Χρησιμοποιώντας φασματοφωτόμετρο ορατού φωτός μπορούμε σύμφωνα με το νόμο των Beer-Lambert να συσχετίσουμε την απορροφητικότητα του δείγματος σε δεδομένο μήκος κύματος με τη συγκέντρωση του COD για το ίδιο δείγμα. Εργαστηριακά, αρχικά απαιτείται η μέτρηση της συγκέντρωσης διχρωμικού καλίου στο αντιδραστήριο χρησιμοποιώντας φασματοφωτόμετρο ορατού φωτός (HachDR,2010) για να οριστεί το σημείο μηδενικής συγκέντρωσης COD στη βαθμονόμηση του οργάνου (blank). Έπειτα, προσθέτουμε 2,5ml δείγματος στα αντιδραστήρια, τα οποία περιέχουν στοιχειομετρικά ποσοστά διχρωμικού καλίου (Cr_2O_7), θειικού οξέως (H_2SO_4) και θειικού υδράργυρου (HgSO_4), και επιβάλλουμε την αντίδραση αυτών για 2 ώρες σε θερμοκρασία $150\text{ }^\circ\text{C}$ παρουσία καταλύτη (Ag_2SO_4). Η οργανική ύλη οξειδώνεται με το διχρωμικό κάλιο και απαιτείται η μέτρηση της υπολειπόμενης συγκέντρωσης διχρωμικού καλίου.

Το παρόν φασματοφωτόμετρο παρείχε τη δυνατότητα απευθείας μέτρησης συγκέντρωσης COD, είτε χρησιμοποιούμε φιαλίδια με εύρος μέτρησης 150-2000mg/l (High Range COD) είτε με εύρος μέτρησης 50-150mg/l (Low Range COD). Επιπλέον, ήταν δυνατή η εξαγωγή τιμών απορροφητικότητας για τη δημιουργία προσωπικής καμπύλης (HRCOD-LRCOD). Η καμπύλη αυτή δημιουργήθηκε με μετρήσεις απορροφητικότητας σε δείγματα με γνωστή συγκέντρωση. Έτσι καταρτίστηκαν οι παρακάτω καμπύλες ΕΜΠ (Ανδρονίκου,2011):

- $\text{COD}(\text{mg/l}) = 2182,5 * (\text{ABS}) - 5.7235$ {HRCOD}
- $\text{COD}(\text{mg/l}) = -308,89 * (\text{ABS}) - 1.0877$ {LRCOD}

4.4.5 Μέτρηση Νιτρικού Αζώτου ($\text{NO}_3\text{-N}$)

Με τη παρούσα μέτρηση ελέγχεται η αποδοτικότητα της απομάκρυνσης αζώτου από το ΠΣ σε συνδυασμό με τον έλεγχο της εύρυθμης λειτουργίας των επιμέρους δεξαμενών (νιτροποίηση στις αερόβιες δεξαμενές και απονιτροποίηση στις ανοξικές). Το νιτρικό άζωτο αποτελεί το προϊόν οξείδωσης της αμμωνίας των λυμάτων από αερόβια αυτοτροφικά βακτήρια, η διαδικασία δηλαδή της νιτροποίησης. Αντίστοιχα, κάτω από ανοξικές συνθήκες, το νιτρικό άζωτο λειτουργεί για τους μικροοργανισμούς ως αποδέκτης ηλεκτρονίων απαραίτητος για την οξείδωση της οργανικής ύλης από τα ετεροτροφικά βακτήρια.

Συσκευές

- Φιαλίδια LCK 339 (εύρος συγκεντρώσεων 0,23-13,50 $\text{mgNO}_3\text{-N/l}$)
- Φασματοφωτόμετρο HachDr2800
- Πιπέτες Ακριβείας



Εικόνα 4.19 Φιαλίδια Lange $\text{NO}_3\text{-N}$ & Φασματοφωτόμετρο HACHDR2800

Πειραματική Διαδικασία

Εργαστηριακά, για τις πρώτες 4 εβδομάδες λειτουργίας του ΠΣ, η συγκέντρωση των νιτρικών προσδιοριζόταν με τη μέθοδο αναγωγής καδμίου με το φασματοφωτόμετρο HachDr2010 (Method 355- $\lambda=500\text{nm}$). Ωστόσο η μέθοδος αυτή εγκαταλείφθηκε καθώς παρατηρήθηκαν μη ρεαλιστικές τιμές (αρνητικές τιμές ή υπερβολικά υψηλές) και ως αποτέλεσμα οι τιμές αυτές δεν λαμβάνονται υπ' όψη στα τελικά αποτελέσματα.

Στις υπολειπόμενες 7 εβδομάδες λειτουργίας, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των φιαλιδίων LCK 339 (Lange) και η μέτρηση συγκεντρώσεων από το φασματοφωτόμετρο τύπου HachDr3800, το οποίο δεν απαιτεί από τον ερευνητή το προσδιορισμό μήκους κύματος κατά τη μέτρηση, καθώς κάθε φιαλίδιο φέρει ειδικό barcode το οποίο

αναγνωρίζεται και δίνει αυτόματα τις παραμέτρους. Προκειμένου τα δείγματα να έχουν συγκεντρώσεις εντός του εύρους που μας παρέχει η μέθοδος (0,23-13,50 mgNO₃-N/l), πραγματοποιήθηκαν κατάλληλες αραιώσεις και συγκεκριμένα αραιώσεις 1:2 για το δείγμα εισόδου και 1:5 για τις δεξαμενές της βιολογικής βαθμίδας. Οι συγκεντρώσεις εξόδου αναμένονταν χαμηλές και κατ' επέκταση δεν θεωρήθηκε απαραίτητη η αραιώση του δείγματος με απιονισμένο νερό.



Εικόνα 4.20 Πιπέτες 25ml, 5ml & 1ml αντίστοιχα

Με τη χρήση μηχανικής πιπέτας ακριβείας, τοποθετούμε 1ml διαλύματος και 0,2ml από το αντιδραστήριο (διμεθυλφαινόλη) εντός του φιαλιδίου και αφού το ανακινήσουμε εντατικά, αναμένουμε 15min για την πλήρη αντίδραση του. Η μέτρηση του φασματοφωτόμετρου πραγματοποιήθηκε αυτόματα αλλά για λόγους ελέγχου μετρήθηκε και η απορρόφηση (απλό μήκος κύματος-επιλογές-λ=345nm) η οποία και χρησιμοποιήθηκε στην καμπύλη ΕΜΠ (Κουρής,2011):

- $NO_3-N(mg/l) = 8.8364 * (ABS) + 0,021$

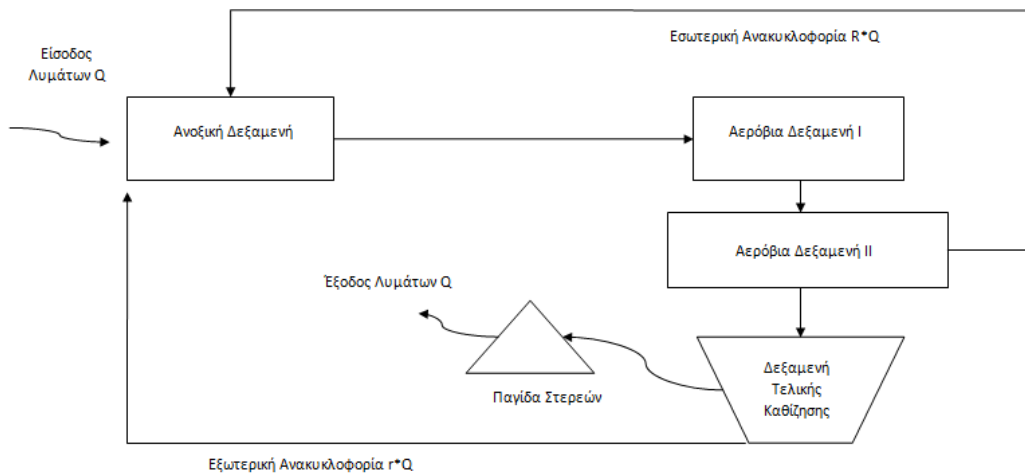
Το σφάλμα των 2 καμπυλών σε καμία εκ των μετρήσεων δεν υπερέβη λογικά πλαίσια (>15-20%) επομένως θεωρήθηκε σκόπιμη η χρήση των αποτελεσμάτων της καμπύλης ΕΜΠ.

5. Επεξεργασία & Σχολιασμός Αποτελεσμάτων Πιλοτικού Συστήματος

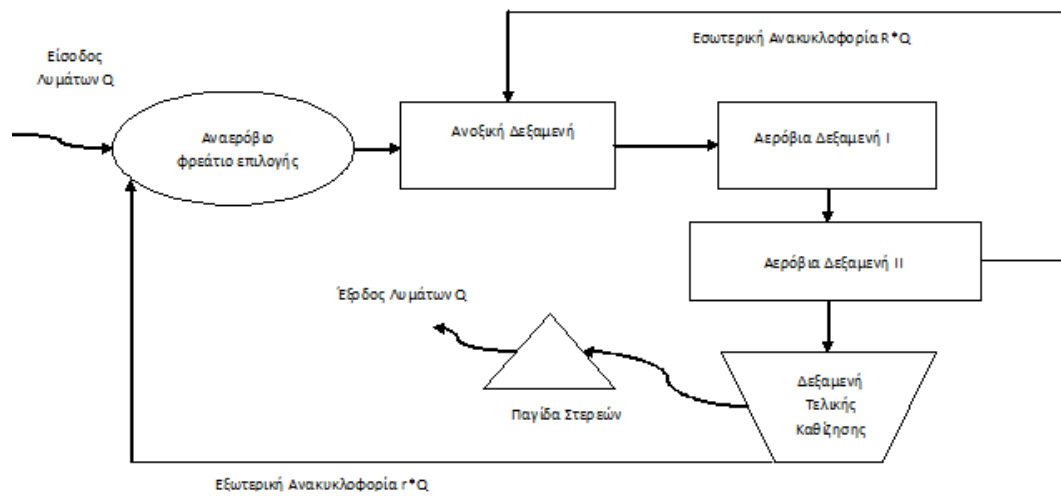
5.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο πρόκειται να παρουσιαστούν αναλυτικά και συγκεντρωτικά τα εργαστηριακά αποτελέσματα του Συστήματος Ελέγχου και του Πειραματικού Συστήματος, σύμφωνα με τις διατάξεις που περιγράφηκαν στο Κεφάλαιο 4, για τη περίοδο 18/10/2011-31/12/2011. Συνοπτικά υπενθυμίζεται πως το μεν Σύστημα Ελέγχου αποτελείται από μια ανοξική δεξαμενή και δύο αερόβιους αντιδραστήρες σε μια προσπάθεια προσομοίωσης της εγκατάστασης πλήρους κλίμακας του ΚΕΛΨ (Εικόνα 5.1), ενώ στο δε Πειραματικό Σύστημα προστέθηκε μια επιπλέον αναερόβια δεξαμενή (επιλογέας), όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.2. Στόχος του πειράματος είναι η διερεύνηση της δυνατότητας ελέγχου των φαινομένων νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού λόγω της κινητικής και μεταβολικής πίεσης στη βιοκοινότητα των μικροοργανισμών από τον αναερόβιο επιλογέα.

Το κεφάλαιο ξεκινά με μια σύνοψη όλων εκείνων των συμβάντων κατά τη διάρκεια λειτουργίας των πιλοτικών συστημάτων (αστοχίες, επιτόπιες παρατηρήσεις και επισημάνσεις καθηγητή) που οδήγησαν σε αλλαγές, μικρής αλλά και μεγάλης κλίμακας, στις παραμέτρους σχεδιασμού αλλά και τη διάταξη του συστήματος. Από τα παραπάνω προέκυψε η ανάγκη διαχωρισμού της χρονικής λειτουργίας του πειραματικού προσομοιώματος σε 2 επιμέρους φάσεις, για λόγους που θα εξηγηθούν παρακάτω. Στη συνέχεια, θα παρουσιαστούν και θα σχολιαστούν συγκεντρωτικοί πίνακες και διαγράμματα που αφορούν τις παραμέτρους μέτρησης της αποδοτικότητας των δύο συστημάτων ενεργού ιλύος, δηλαδή τα ολικά και πτητικά αιωρούμενα στερεά (TSS,VSS), τη συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου και τη θερμοκρασία των λυμάτων στο ΠΣ, τη καθιζησιμότητα της βιομάζας όπως αυτή μετρήθηκε με το συντελεστή DSVI, τις συγκεντρώσεις ολικού και διαλυτού COD αλλά και αζώτου (νιτροποίηση- απονιτροποίηση), ενώ τέλος θα παρουσιαστούν και τα αποτελέσματα των μικροσκοπικών αναλύσεων, όπως αυτές πραγματοποιήθηκαν από τον Αναπληρωτή Καθηγητή Δανιήλ Μαμάη και την κα Έλσα Ανδρόνικου.



Εικόνα 5.1 Ροικό Διάγραμμα Συστήματος Ελέγχου



Εικόνα 5.2 Ροικό Διάγραμμα Πειραματικού Συστήματος

5.2 Ημερολόγιο Πιλοτικού Συστήματος - Εξαγωγή Φάσεων

Τα δύο συστήματα ενεργού ιλύος εργαστηριακής κλίμακας λειτούργησαν τη χρονική περίοδο 18/10/2011-31/12/2011 εντός των εγκαταστάσεων του ΚΕΛΨ και τροφοδοτούνταν με πρωτοβάθμια επεξεργασμένα λύματα. Για τις ανάγκες του πειράματος, κατασκευάστηκε διάταξη συστήματος ενεργού ιλύος με αναερόβιο επιλογέα-ανοξική-αερόβιες δεξαμενές και δεξαμενή τελικής καθίζησης (πειραματικό σύστημα), και ένα δεύτερο σύστημα ελέγχου το οποίο λειτουργούσε με την ίδια διάταξη αλλά χωρίς επιλογέα. Τα δύο συστήματα λειτούργησαν σε όλη τη διάρκεια του πειράματος με επακριβώς ίδιες λειτουργικές συνθήκες :

- Παροχές εισόδου, εσωτερικής και εξωτερικής ανακυκλοφορίας,
- Χρόνος παραμονής στερεών θς,
- Είσοδος λυμάτων (κοινά χαρακτηριστικά),
- Καθεστώς ροής λυμάτων (δεξαμενές χωρίς διαμερίσματα και κοινοί αερόβιοι και ανοξικοί όγκοι)

Ως μόνη διαφοροποίηση των 2 συστημάτων λογίζεται ο αναερόβιος επιλογέας του πειραματικού συστήματος και αναμένεται να αποδειχθεί το κατά πόσο η προσθήκη του σε σύστημα ενεργού ιλύος βελτιώνει τις συνθήκες καθιζησιμότητας του ανάμεικτου υγρού στις ΔΤΚ (ταχύτητα καθίζησης και συμπύκνωση ιλύος) για την επαλήθευση ή μη της υποθέσεως εργασίας. Τα δύο συστήματα ενεργού ιλύος λειτούργησαν σε μία ενιαία φάση ως προς τη χρονική παράμετρο, καθώς δεν προβλέπονταν τροποποιήσεις στη διάταξη των συστημάτων κατά τη διάρκεια λειτουργίας τους. Ωστόσο, η καθημερινή παρατήρηση του συστήματος και τα απρόβλεπτα που προέκυψαν (αστοχία ΔΤΚς, απώλεια στερεών στην είσοδο, μη αποτελεσματική ανακυκλοφορία λάσπης), επέβαλαν αλλαγές στον αρχικό σχεδιασμό των συστημάτων, με βασικότερη την προσθήκη παγίδας στερεών κατάντη των ΔΤΚ, η οποία και συνέβαλε στην εύρυθμη λειτουργία των προσομοιώσεων συνολικά αλλά και στη σύγκλιση των αποτελεσμάτων με το σύστημα ευρείας κλίμακας σε βασικές παραμέτρους (MLSS, sCOD). Έτσι, προκρίνεται ο διαχωρισμός της χρονικής ακολουθίας στη λειτουργία των συστημάτων σε δύο φάσεις με σύνορο την ημερομηνία τοποθέτησης παγίδων στερεών (19/11), η οποία συνέβαλε σημαντικά στην επίτευξη ομαλής λειτουργίας στα δύο συστήματα ενεργού ιλύος εργαστηριακής κλίμακας.

A' Φάση

Ως πρώτη μέρα λειτουργίας των εγκαταστάσεων λογίζεται η Τρίτη 18 Οκτωβρίου 2011, μέρα κατά την οποία και δεν εξήχθησαν δείγματα. Στο κάθε σύστημα εισάγονται 10 λίτρα ανάμεικτου υγρού, τα οποία και εξήχθησαν από το φρεάτιο εξωτερικής ανακυκλοφορίας του συστήματος ενεργού ιλύος του ΚΕΛ Ψυττάλειας. Ταυτόχρονα, αρχίζει και η άντληση πρωτοβάθμια επεξεργασμένων λυμάτων.

Η πρώτη φάση διαρκεί ακριβώς ένα μήνα (19/10-19/11). Σε αυτή τη περίοδο και τα δύο συστήματα αντιμετώπισαν σοβαρά λειτουργικά προβλήματα είτε λόγω μικροαστοχιών της προσομοίωσης, είτε λόγω συστηματικής απώλειας στερεών λόγω ανύψωσης της ιλύος ή νηματοειδούς διόγκωσής της. Το διαρκώς χαμηλό θc λόγω απώλειας βιομάζας καθιστά τα αποτελέσματα της περιόδου μη αντιπροσωπευτικά της προσομοίωσης των συστημάτων στο σύστημα ευρείας κλίμακας του ΚΕΛΨ.

Ως αποτέλεσμα, η καθημερινή απώλεια σημαντικών ποσοτήτων λάσπης οδηγεί στη λήψη μη ειδικών μεθόδων ελέγχου από τον ερευνητή. Αυτές είναι η προσθήκη των παγίδων στερεών μεταξύ ΔTK-Εξόδου Λυμάτων καθώς και η αύξηση της εξωτερικής ανακυκλοφορίας από τα 130lt/d στα 180lt/d και της εσωτερικής ανακυκλοφορίας από τα 180lt/d στα 210lt/d.

B' Φάση

Η Β' Φάση ξεκινά χρονικά την Δευτέρα 21 Νοεμβρίου 2011 και ολοκληρώνεται 40 μέρες μετά στις 31 Δεκεμβρίου 2011. Σε αυτές τις 6 εβδομάδες λειτουργίας παρατηρείται μια σχετικά ομαλότερη λειτουργία των δύο συστημάτων που προσομοιώνει αποτελεσματικότερα τη λειτουργία του συστήματος ενεργού ιλύος του ΚΕΛ Ψυττάλειας.

Από τις πρώτες μέρες εφαρμογής των νέων δεδομένων παρατηρούνται τα εξής:

- Σταδιακή βελτίωση των MLSS στα δύο συστήματα και σύγκλιση των τιμών με τις αντίστοιχες του ΚΕΛΨ (~3500mg/l).
- Η χειρωνακτική επιστροφή των στερεών από τις παγίδες πίσω στη βιολογική βαθμίδα έχει ως αποτέλεσμα την σημαντικότερη βελτίωση της συγκέντρωσης στερεών στην έξοδο (εκτός από τις Δευτέρες που οι απώλειες ήταν αναπόφευκτες καθώς το σύστημα δεν ήταν υπό επίβλεψη τις Κυριακές).
- Παραμένουν τα προβλήματα ανύψωσης της ιλύος σε μικρότερο βαθμό καθώς βοήθησε η εντατικότερη ανακυκλοφορία λάσπης αλλά χωρίς να εξαλειφτεί το φαινόμενο, αναμενόμενο γεγονός λόγω της μη- ειδικής αντιμετώπισής του.
- Τα προβλήματα συμπίκνωσης λάσπης εντείνονται και στα δύο συστήματα, γεγονός που επιβεβαιώνεται από συνεχώς αυξανόμενες τιμές DSVI με τη πάροδο του χρόνου. Επιπλέον, οι μικροσκοπικές αναλύσεις καταδεικνύουν διαρκώς αυξανόμενη επικράτηση του πληθυσμού των νηματοειδών βακτηριδίων στα δείγματα ανάμεικτου υγρού (αύξηση του δείκτη FI).

- Τα 2 συστήματα παρουσιάζουν προβλήματα κακής καθίζησης και συμπύκνωσης λόγω νηματοειδούς διόγκωσης της ιλύος αλλά καθ' όλη τη διάρκεια της Β' Φάσης, η ιλύς που παράγεται από το Πειραματικό Σύστημα έχει καλύτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά από την αντίστοιχη παραγόμενη ιλύ του Συστήματος Ελέγχου. Μάλιστα αυτή η ποιοτική διαφοροποίηση (μετρήσεις DSVI & FI) γίνεται εμφανέστερη στις τελευταίες μέρες λειτουργίας των δύο συστημάτων.

5.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα των παραμέτρων λειτουργίας των πιλοτικών συστημάτων του Πίνακα 5.1, όπως αυτά εξήχθησαν στο χημείο του ΚΕΛΨ και το εργαστήριο υγειονομικής τεχνολογίας της σχολής Πολιτικών Μηχανικών. Η παρουσίαση συνοδεύεται και από ένα προκαταρκτικό σχολιασμό των αποτελεσμάτων από τον ερευνητή. Στο Κεφάλαιο 6 που ακολουθεί θα πραγματοποιηθεί η σύνοψη όλων των αποτελεσμάτων και τα συμπεράσματα που συνάγονται εξ αυτών.

Πίνακας 5.1 Παράμετροι λειτουργίας πιλοτικών συστημάτων

A/A	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
1	ΟΛΙΚΑ ΣΤΕΡΕΑ (TSS)	INPUT	2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΗ ΒΔΟΜΑΔΑ
		C1-C4, E1-E5	ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΑ
2	ΠΗΚΤΙΚΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΤΕΡΕΑ (VSS)	INPUT, C1-C4, E1-E5	2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΗ ΒΔΟΜΑΔΑ
3	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΔΙΑΛΥΜΕΝΟΥ ΟΞΥΓΟΝΟΥ (mg/l)	C2-C3, E3-E4	ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΑ
4	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (οC)	C2-C3, E3-E4	ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΑ
5	DSVI	C2, E3	ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΑ
6	ΟΛΙΚΟ COD	INPUT, C4, E5	2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΗ ΒΔΟΜΑΔΑ
7	ΔΙΑΛΥΤΟ COD	INPUT, C1-C4, E1-E5	2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΗ ΒΔΟΜΑΔΑ
8	ΝΙΤΡΙΚΟ ΑΖΩΤΟ	C1-C4, E1-E5	2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΗ ΒΔΟΜΑΔΑ
9	ΑΜΜΩΝΙΑΚΟ ΑΖΩΤΟ	ΕΙΣΟΔΟΣ, C4, E5	5 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΥΝΟΛΙΚΑ

Σε αυτό το σημείο κρίνεται σκόπιμο να ειπωθούν τα εξής :

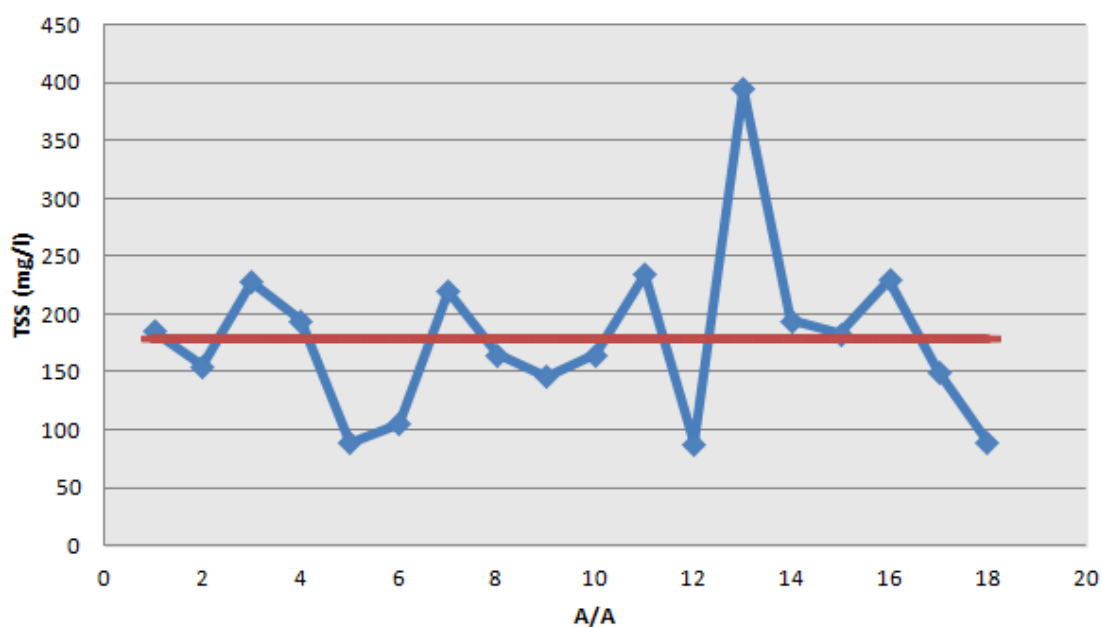
- Τα αποτελέσματα της Α' Φάσης, για τους λόγους που αναφέρθηκαν στη προηγούμενη ενότητα, δεν κρίνονται αντιπροσωπευτικά και επομένως δεν λογίζονται από τον ερευνητή με την ίδια βαρύτητα όσο τα αποτελέσματα της Β' Φάσης, κάτι το οποίο στη συνέχεια είναι εμφανές και κατά τον σχολιασμό των αποτελεσμάτων. Ωστόσο για λόγους πληρότητας της εργασίας, τα αποτελέσματα θα παρουσιαστούν στα γραφήματα και συνήθως διαχωρίζονται από αυτά της Β' Φάσης για να τονισθούν οι διαφοροποιήσεις και να είναι πιο ευδιάκριτες στον αναγνώστη.

- Για την, όσο το δυνατό καλύτερη, άντληση των πρωτοβάθμια επεξεργασμένων λυμάτων, υπενθυμίζεται πως τοποθετήθηκε δεξαμενή αποθήκευσης των λυμάτων με πολύ μικρό χρόνο παραμονής (15-30 λεπτών) η οποία θα λειτουργούσε και ως δικλείδα ασφαλείας σε περίπτωση που η αντλία σταματούσε να λειτουργεί λόγω βλάβης. Ο όγκος της δεξαμενής (100 λίτρα) θα επέτρεπε την απρόσκοπτη άντληση λύματος για ένα πλήρες 24ωρο.

- Οι συγκεντρώσεις ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS) και οργανικού φορτίου (COD) των λυμάτων εισόδου παρουσιάζουν σημαντική διακύμανση κατά τη διάρκεια της ημέρας, γεγονός που αποτελεί κρίσιμη παράμετρο για συστήματα μικρής κλίμακας όπως τα πιλοτικά συστήματα που εξετάζονται στο ερευνητικό. Ενδεικτικά, για μέτρηση TSS_{ΕΙΣ} στις 09:00πμ, τα αποτελέσματα είναι 50% μικρότερα από το μέσο όρο TSS στην είσοδο για όλη τη περίοδο μετρήσεων. Παρόμοια είναι και η διαφοροποίηση στη παράμετρο του οργανικού φορτίου. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στις ημερήσιες αιχμές των αστικών λυμάτων που «καθυστερούν» να φτάσουν στο ΚΕΛΨ λόγω υψηλού χρόνου συγκέντρωσης ($t > 3\text{hr}$). Για το λόγο αυτό, όλες οι μετρήσεις που βασίστηκαν σε εξαγωγή δείγματος ανάμεικτου υγρού πριν από τις 10π.μ., παρουσιάζουν χαμηλές τιμές ολικών στερεών και οργανικών ενώσεων και επομένως κρίνονται μη αντιπροσωπευτικές. Για τις 2 αυτές παραμέτρους και μόνο, οι τιμές που αντιστοιχούν σε πρωινή δειγματοληψία δεν λαμβάνονται υπ' όψη και απορρίπτονται. Οι υπόλοιπες παράμετροι αφορούν περισσότερο τη σωστή λειτουργία του συστήματος ενεργού ιλύος (απομάκρυνση αμμωνιακού και νιτρικού αζώτου, θερμοκρασία λυμάτων και συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου) παρά την ώρα δειγματοληψίας και θα ήταν άστοχο, από ερευνητικής άποψης, να απορριφθούν τα σημεία μέτρησης.

5.3.1 Ολικά Αιωρούμενα Στερεά (TSS)- Πτητικά Αιωρούμενα Στερεά (VSS)

Όσον αφορά τη συγκέντρωση ολικών αιωρούμενων στερεών στην είσοδο, τα αποτελέσματα παρουσιάζουν μια σχετικά ομοιόμορφη εικόνα που, με εξαίρεση το σημείο #13, προσεγγίζουν το μέσο όρο συγκεντρώσεως (178mg/l). Τα αποτελέσματα των μετρήσεων των ολικών αιωρούμενων στερεών στα πρωτοβάθμια επεξεργασμένα λύματα δίνονται στο Διάγραμμα 5.1. Σε σύνολο 18 σημείων, εξήχθη μέσος όρος $TSS_{EIS}=168\text{mg/l}$ κατά την Α' Φάση και $TSS_{EIS}=186\text{mg/l}$ για τη Β' Φάση, τιμές που προσεγγίζουν ικανοποιητικά τις τιμές του ΚΕΛΨ ($TSS_{EIS}=181\text{mg/l}$).

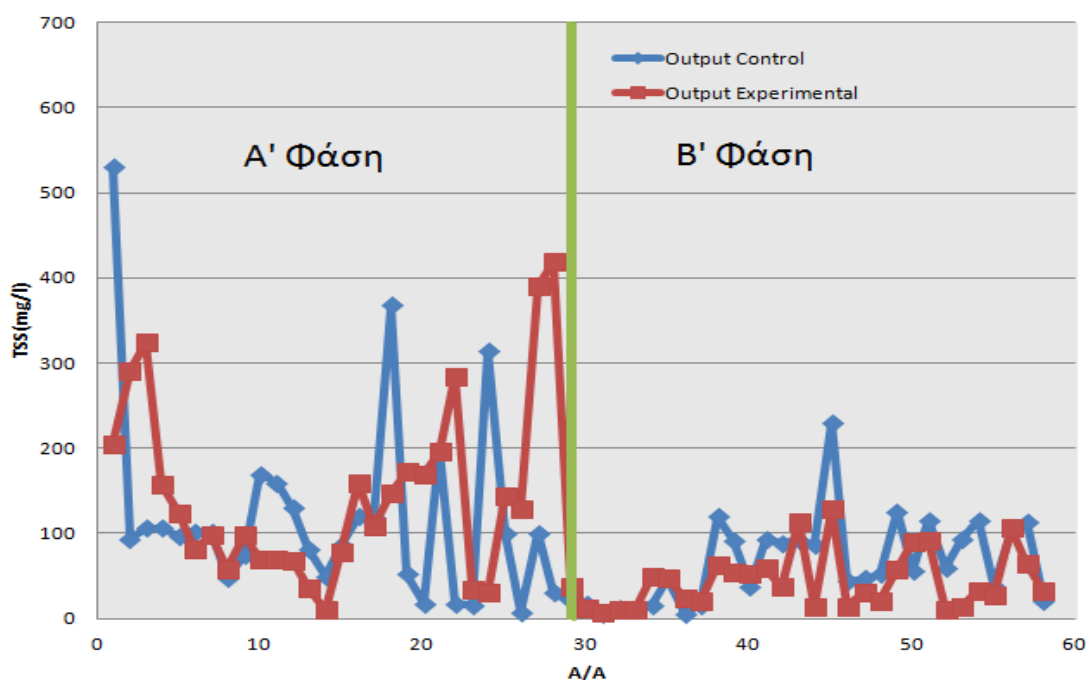


Διάγραμμα 5.1 Τιμές ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS) στην είσοδο του συστήματος

Στην έξοδο, παρατηρείται από τη πρώτη μέρα της Β' Φάσης, όταν και τοποθετήθηκαν οι παγίδες στερεών μεταξύ των ΔTK και της εξόδου, σημαντική βελτίωση ποιότητας της εκροής η οποία ωστόσο έχει υψηλές συγκεντρώσεις στερεών για τα δεδομένα των περιορισμών της οδηγίας 91/271 (Έξοδος_C=66mg/l και Έξοδος_E=54mg/l έναντι 35mg/l της οδηγίας). Η απομάκρυνση στερεών των συστημάτων Ελέγχου και Πειραματικού υπολογίσθηκε από τον τύπο (5.1) ίση με 65% και 71% αντίστοιχα, ποσοστά που δεν συμφωνούν με την ελάχιστη απομάκρυνση 90% που θεσπίζει η οδηγία 91/271.

$$\% \text{Απομ. Στερεών} = \frac{TSS_{EIS} - TSS_{EE}}{TSS_{EIS}} \quad (5.1)$$

Ωστόσο, σε συστήματα ενεργού ιλύος εργαστηριακής κλίμακας, είναι ουσιαστικά ανέφικτη η ικανοποίηση των περιορισμών ποιότητας εκροής για τα συστήματα ευρείας κλίμακας. Η «αστοχία» αυτή οφείλεται στις ατέλειες των εργαστηριακής κλίμακας ΔTK που δεν λειτουργούν ικανοποιητικά με αποτέλεσμα να παρατηρείται αυτή η διαφορά μεταξύ των αναλύσεων εργαστηριακής και πλήρους κλίμακας. Υπογραμμίζεται ωστόσο ότι η μειωμένη απόδοση των δεξαμενών τελικής καθίζησης στα συστήματα εργαστηριακής κλίμακας δεν επηρεάζει τη παρουσία των νηματοειδών βακτηρίων (πληθυσμός και γένη), καθώς ήταν απόλυτα εφικτή η διατήρηση του χρόνου παραμονής στερεών στα επιθυμητά επίπεδα. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της συγκέντρωσης ολικών αιωρούμενων στερεών στις εξόδους των δύο συστημάτων ενεργού ιλύος παρουσιάζονται στο διάγραμμα 5.2.



Διάγραμμα 5.2 Τιμές ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS) στην έξοδο του συστήματος

Είναι εμφανές πως, κατά τη μετάβαση από την Α' Φάση στη Β' Φάση, η προσθήκη των κωνικών φιαλών και η χειροκίνητη επαναφορά των στερεών πίσω στη βιολογική βαθμίδα, επιφέρει σημαντική διαφοροποίηση στην εικόνα της ποιότητας εκροής. Συγκεκριμένα, για το Σύστημα Ελέγχου, κατά τη Β' Φάση η συγκέντρωση ολικών αιωρούμενων στερεών στην έξοδο διαμορφώθηκε στα 66mg/l (έναντι 153mg/l κατά την Α' Φάση), ενώ για το Πειραματικό Σύστημα η τιμή έχει μέσο όρο τα 54mg/l (έναντι 215mg/l).

Συγκεντρωτικά, οι μέσοι όροι των αποτελεσμάτων των μετρήσεων των συγκεντρώσεων των ολικών και πτητικών στερεών στο ανάμεικτο υγρό στις αναερόβιες, ανοξικές και αερόβιες δεξαμενές των δύο συστημάτων ενεργού ιλύος δίνονται στα Διαγράμματα 5.3-5.8. Οι συγκεντρωτικοί μέσοι όροι ολικών και πτητικών στερεών στην είσοδο, έξοδο και βιολογική βαθμίδα στο Σύστημα Ελέγχου και το Πειραματικό Σύστημα δίνονται συνολικά στους Πίνακες 5.2-5.3. Οι μέσοι όροι των αποτελεσμάτων των ολικών αιωρούμενων στερεών στις βιολογικές βαθμίδες των δύο συστημάτων ενεργού ιλύος, ειδικά κατά τη διάρκεια της Β' Φάσης, κυμαίνονται στα επίπεδα των αντίστοιχων τιμών στο ΚΕΛ Ψυττάλειας, συμβάλλοντας έτσι στη καλύτερη προσομοίωση μεταξύ των συστημάτων εργαστηριακής και πλήρους κλίμακας.

Πίνακας 5.2 Πίνακας τιμών ολικών/πτητικών στερεών για το Σύστημα Ελέγχου

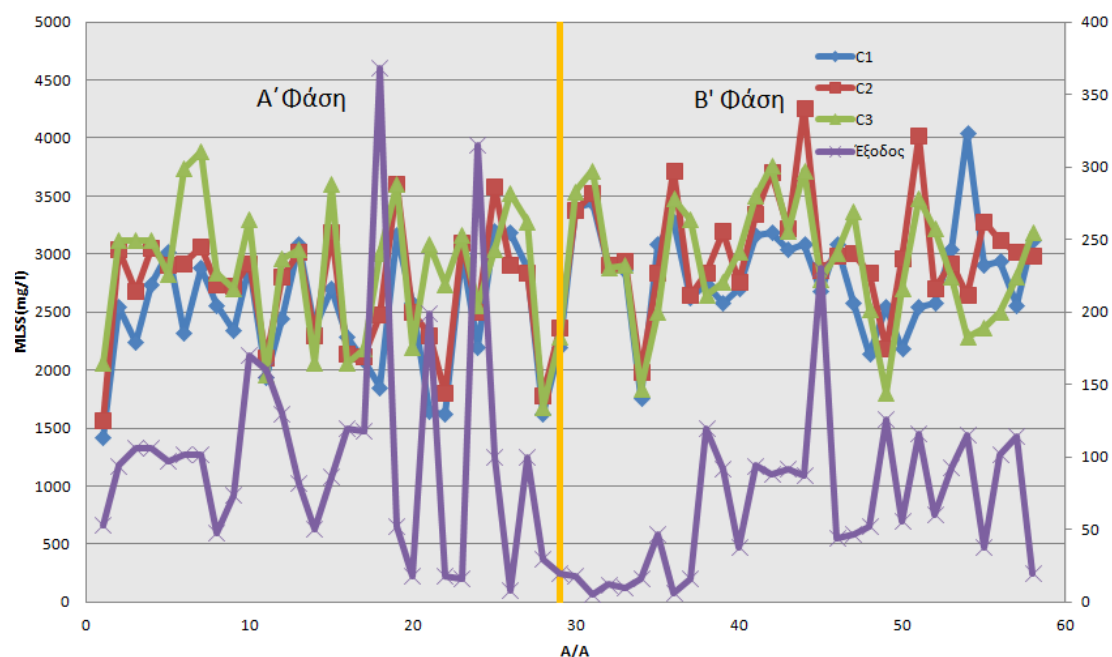
CONTROL	TSS (mg/ L)					VSS (mg/ L)				
	IN	C1	C2	C3	C4	IN	C1	C2	C3	C4
AVERAGE	179	2650	2857	2901	108	143	2467	2671	2647	44
PHASE A AVER	168	2456	2665	2872	153	134	2664	2815	2712	70
PHASE B AVER	186	2831	3037	2927	66	151	2368	2614	2614	31

Πίνακας 5.3 Πίνακας τιμών ολικών/πτητικών στερεών για το Πειραματικό Σύστημα

EXPERIMENTAL	TSS (mg/ L)						VSS (mg/ L)					
	IN	E1	E2	E3	E4	E5	IN	E1	E2	E3	E4	E5
AVERAGE	179	2789	2504	2750	2793	132	143	2503	2354	2421	2443	53
PHASE A AVER	168	2223	2175	2594	2663	215	134	2316	2265	2400	2324	90
PHASE B AVER	186	3318	2811	2895	2915	54	151	2607	2390	2432	2509	34

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων των συγκεντρώσεων ολικών στερεών (MLSS) στις δεξαμενές της βιολογικής βαθμίδας του Συστήματος Ελέγχου παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 5.3. Τα αποτελέσματα εξόδου, λόγω των πολύ χαμηλών τιμών σε σύγκριση με τις τιμές στο ανάμεικτο υγρό, συσχετίζονται με δευτερεύουσα κλίμακα. Με αυτό τον τρόπο είναι πιο ευδιάκριτα για τον ερευνητή αλλά και τον αναγνώστη.

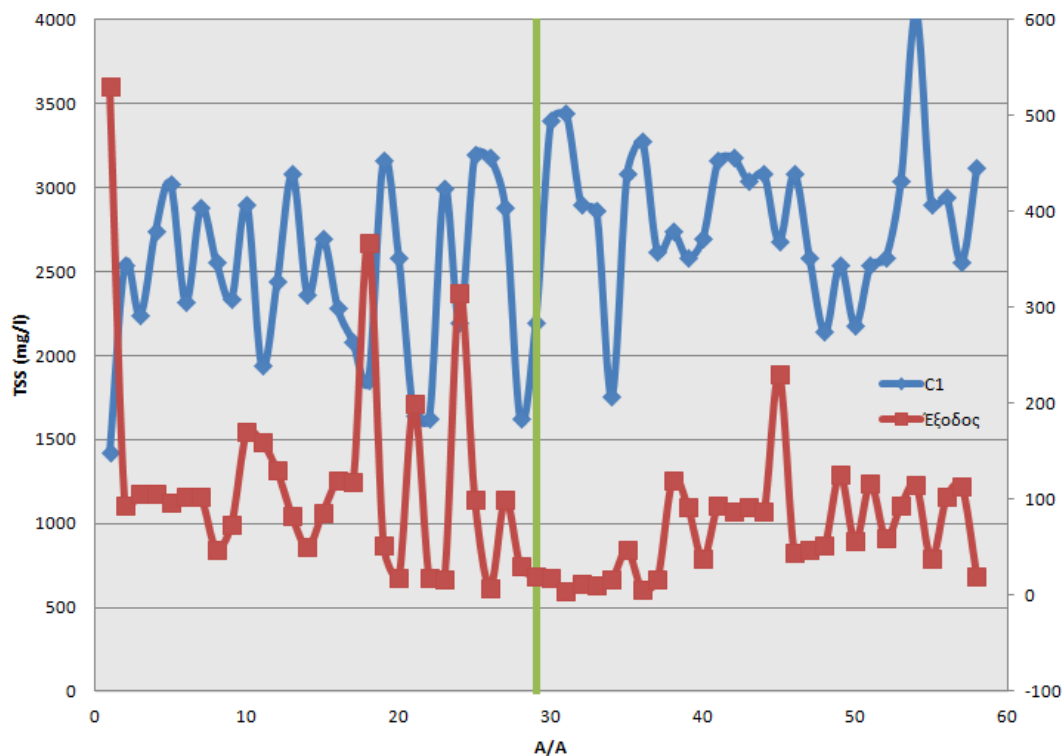
Στο Σύστημα Ελέγχου, παρατηρούμε πως η συγκέντρωση των στερεών στο ανάμεικτο υγρό εντός της βιολογικής βαθμίδας διατηρεί μια σταθερή τάση στη περιοχή των 2500-2900mg/l στην Α' Φάση και στη περιοχή των 2500-3500mg/l για την Β' Φάση. Ουσιαστικά δεν εμφανίζεται κάποια θεαματική βελτίωση της συγκέντρωσης των ολικών στερεών στο ανάμεικτο υγρό κυρίως γιατί οι απώλειες στερεών στην έξοδο δεν ήταν ποσοτικά κρίσιμες για την ευστάθεια του συστήματος καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος. Η προσέγγιση της τιμής στην αντίστοιχη τιμή της παραμέτρου στο σύστημα πλήρους κλίμακας ($MLSS_{\text{ΚΕΛΨ}} \sim 3000-3500\text{mg/l}$) κρίνεται ικανοποιητική.



Διάγραμμα 5.3 Τιμές ολικών αιωρούμενων στερεών στη βιολογική βαθμίδα και στην έξοδο για το Σύστημα Ελέγχου

Κρίνεται σημαντικό να σημειωθεί η διαρκώς επαναλαμβανόμενη τάση της καμπύλης των MLSS να σχηματίζει φατνώματα ή πιο απλά ότι τις ημέρες (σημεία) υψηλής συγκέντρωσης MLSS διαδέχονται σημεία χαμηλότερης συγκέντρωσης λόγω απώλειας στερεών στην είσοδο. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι στο παρόν πιλοτικό σύστημα, για συγκεντρώσεις MLSS μεγαλύτερες των 3500-4000mg/l παρατηρείται «αστοχία» διαφυγής στερεών με αποτέλεσμα την άμεση μείωση των MLSS της βιολογικής βαθμίδας σε χρονικό διάστημα 15-18 ωρών.

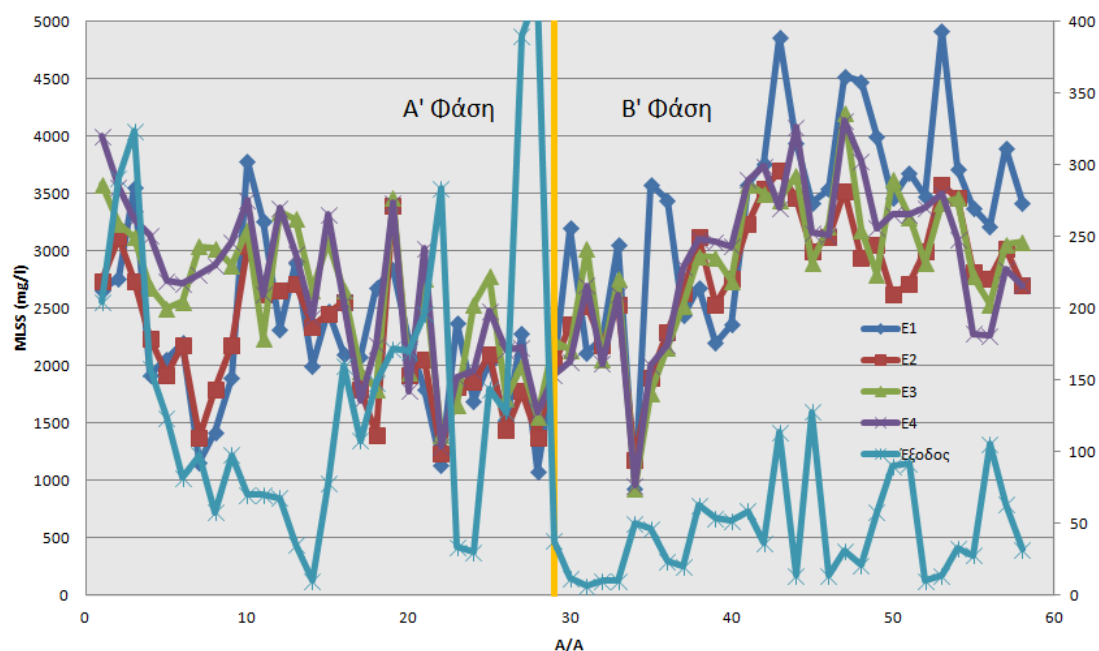
Η τάση αυτή όπως φαίνεται καλύτερα στο Διάγραμμα 5.4 εμφανίζεται από την 1^η μέρα, επομένως δεν σχετίζεται άμεσα με αιτίες όπως η νηματοειδής διόγκωση ή η ανύψωση ιλύος αλλά με το «άνω φράγμα» στη δυναμικότητα του πειραματικού προσομοιώματος που σχετίζεται την εγγενή αδυναμία του συστήματος να αναπληρώσει την περίσσεια ιλύος που αφαιρείται εντός τόσο μικρού χρονικού διαστήματος ή το μειωμένο φορτίο λύματος που εισάγεται αμέσως μετά την αφαίρεση περίσσειας, δηλαδή βραδινές και πολύ πρωινές ώρες. Για την καλύτερη «ανάγνωση» του φαινομένου, προτιμήθηκε η δημιουργία του Διαγράμματος 5.4 που συσχετίζει την ανοξική δεξαμενή, που παρουσιάζει και τη μεγαλύτερη συγκέντρωση ολικών αιωρούμενων στερεών από όλες τις δεξαμενές του Συστήματος Ελέγχου, με τη συγκέντρωση στερεών στην έξοδο. Είναι εμφανές ότι τα τοπικά μέγιστα της παραμέτρου στη δεξαμενή C1 εμφανίζονται τις ημέρες όπου στην έξοδο εμφανίζονται τοπικά ελάχιστα και το αντίστροφο. Φυσικά αυτή η παρατήρηση αφορά αποκλειστικά το σύστημα εργαστηριακής κλίμακας και σε καμία περίπτωση δεν επεξηγεί αντίστοιχα προβλήματα σε συστήματα πλήρους κλίμακας του ΚΕΛΨ ή άλλων ΕΕΛ.



Διάγραμμα 5.4 Τιμές ολικών αιωρούμενων στερεών στην ανοξική δεξαμενή C1 και στην έξοδο του Συστήματος Ελέγχου

Τα αντίστοιχα αποτελέσματα για το Πειραματικό Σύστημα δίνονται στα διαγράμματα 5.5 (Τιμές ολικών αιωρούμενων στερεών στη βιολογική βαθμίδα και στην έξοδο) και 5.6 (Τιμές ολικών αιωρούμενων στερεών στον αναερόβιο επιλογέα E1 και στην έξοδο).

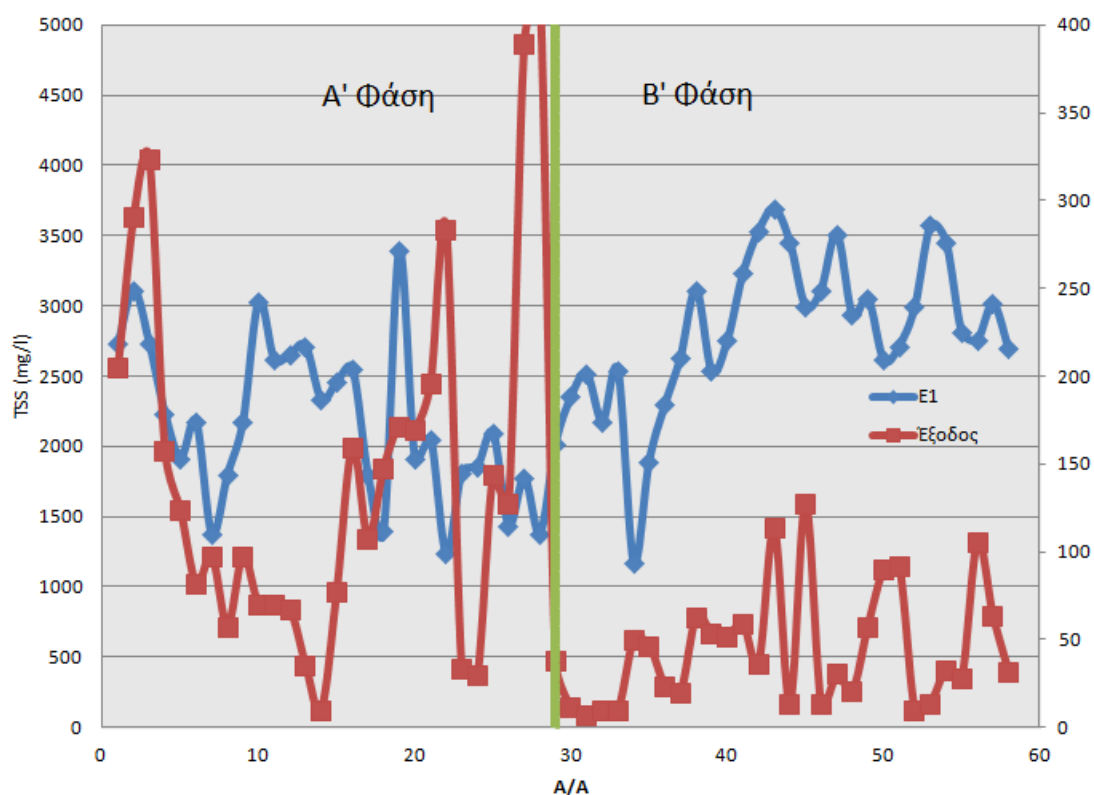
Οι διαπιστώσεις που σχετίζονται με τα αποτελέσματα των μετρήσεων των ολικών αιωρούμενων στερεών (MLSS) στο Πειραματικό Σύστημα είναι αρκετά διαφορετικές με τις αντίστοιχες που διατυπώθηκαν για το Σύστημα Ελέγχου. Κατά την Α' Φάση, το έντονο φαινόμενο ανύψωσης ιλύος που επισημαινόταν σε σχεδόν καθημερινή βάση είχε σημαντικές επιπτώσεις στις τιμές των συγκεντρώσεων ολικών αιωρούμενων στερεών που κρίνονται χαμηλές στη περιοχή των 1500-3000mg/l με καθημερινές διαφυγές μεγάλων ποσοτήτων στερεών, λόγω απονιτροποίησης που λάμβανε χώρα εντός της ΔΤΚ_E. Η παγίδα στερεών και η αύξηση της εξωτερικής ανακυκλοφορίας κατά τη Β' Φάση, βελτίωσε θεαματικά την συνολική εικόνα των MLSS στη βιολογική βαθμίδα για τα σημεία 37-58 (πρακτικά τις εβδομάδες 8-11), τα οποία σταθεροποιήθηκαν στη περιοχή 2800-3800mg/l. Ειδικά για τον αναερόβιο επιλογέα, οι συγκεντρώσεις MLSS συγκεντρώνονται στη περιοχή 3500-4500mg/l, γεγονός αναμενόμενο και επιθυμητό για την εκπλήρωση του ρόλου του επιλογέα (κατανάλωση COD και μεταβολική επιλογή).



Διάγραμμα 5.5 Τιμές ολικών αιωρούμενων στερεών στη βιολογική βαθμίδα και στην έξοδο για το Πειραματικό Σύστημα

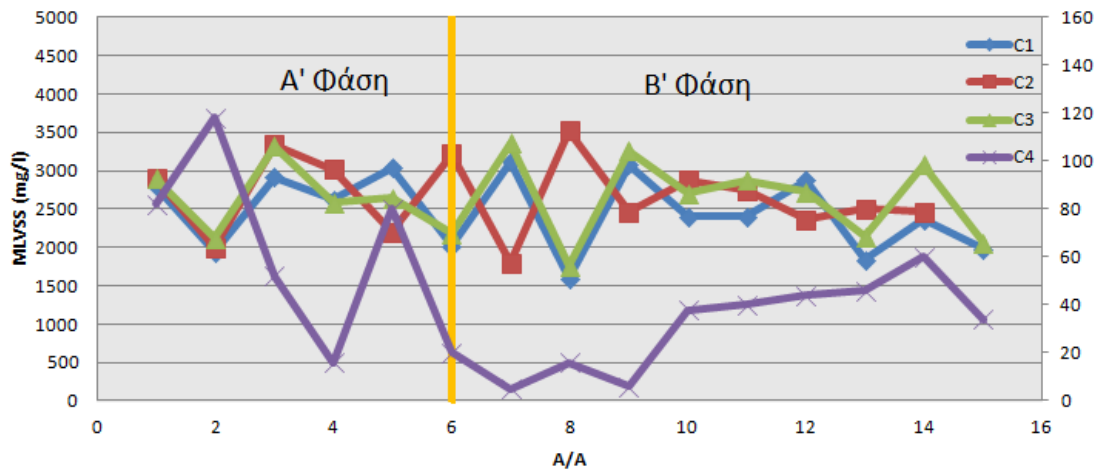
Η τάση των τιμών ολικών αιωρούμενων στερεών στο βιολογικό αντιδραστήρα να παρουσιάζουν αντίθετη συμπεριφορά από τις αντίστοιχες τιμές στην έξοδο που παρατηρήθηκε προηγούμενα στο Σύστημα Ελέγχου, εμφανίζεται και στο Πειραματικό Σύστημα. Όπως προαναφέρθηκε, το χαρακτηριστικό αυτό οφείλεται στην αδυναμία των εργαστηριακών συστημάτων να αναπληρώσουν σε λίγες ώρες την αφαιρούμενη περίσσεια ιλύος, ειδικά λόγω του εισερχόμενου λύματος χαμηλής φόρτισης που εισάγεται κατά τις βραδινές και πολύ πρωινές ώρες. Το φαινόμενο διακρίνεται πιο εύκολα από το Διάγραμμα 5.6 όπου τα ολικά στερεά εξόδου συσχετίζονται με τα ολικά αιωρούμενα στερεά εντός του αναερόβιου επιλογέα E1.

Υπενθυμίζεται ότι για την καλύτερη οπτική αντίληψη του φαινομένου από τον αναγνώστη, χρησιμοποιούνται δύο κατακόρυφες κλίμακες, εκ των οποίων η μία για τις τιμές στερεών στον αναερόβιο επιλογέα E1 με εύρος τιμών 0-5000mg/l και η δεύτερη για τις τιμές στερεών στην έξοδο με εύρος τιμών 0-400mg/l. Το φαινόμενο παρατηρείται πιο ευδιάκριτα κατά τη Β' Φάση, όταν και η συστηματική διαφυγή στερεών στην έξοδο μειώθηκε αισθητά.

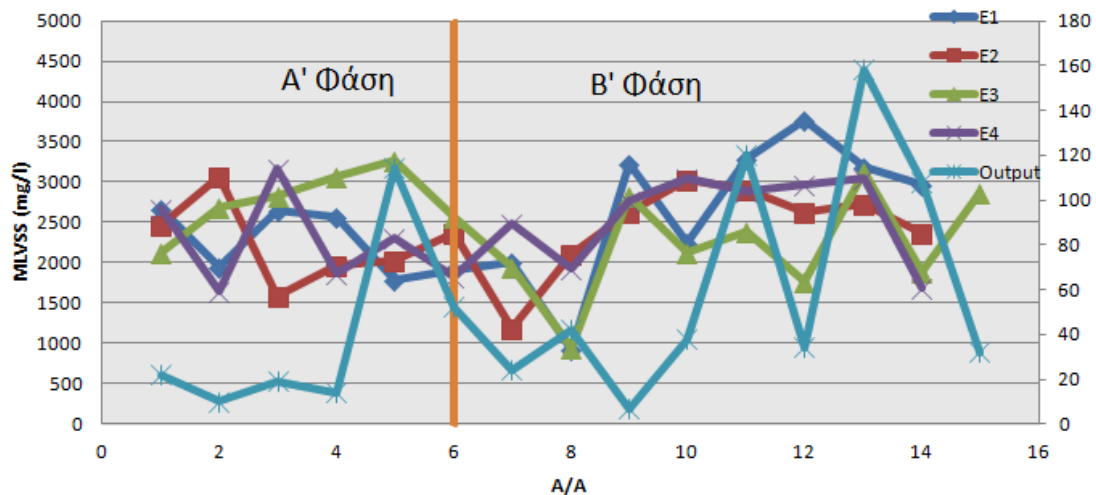


Διάγραμμα 5.6 Τιμές ολικών αιωρούμενων στερεών στον αναερόβιο επιλογέα E1 και στην έξοδο του Πειραματικού Συστήματος

Στα Διαγράμματα 5.7-5.8 δίνονται οι συγκεντρωτικές χρονοσειρές για τις τιμές συγκεντρώσεων πτητικών αιωρούμενων στερεών εντός των βιολογικών βαθμίδων και στην έξοδο του Συστήματος Ελέγχου και του Πειραματικού Συστήματος αντίστοιχα. Οι παρατηρήσεις επί των διαγραμμάτων συμπίπτουν με όσα ειρώθηκαν στα αντίστοιχα διαγράμματα για τα ολικά αιωρούμενα στερεά. Ο λόγος πτητικών στερεών προς ολικά στερεά εντός της βιολογικής βαθμίδας (VSS/TSS) κινείται σε εύρος τιμών μεταξύ 0,81-0,86 για το Σύστημα Ελέγχου και 0,78-0,85 για το Πειραματικό Σύστημα.



Διάγραμμα 5.7 Τιμές πτητικών αιωρούμενων στερεών στη βιολογική βαθμίδα και στην έξοδο για το Σύστημα Ελέγχου

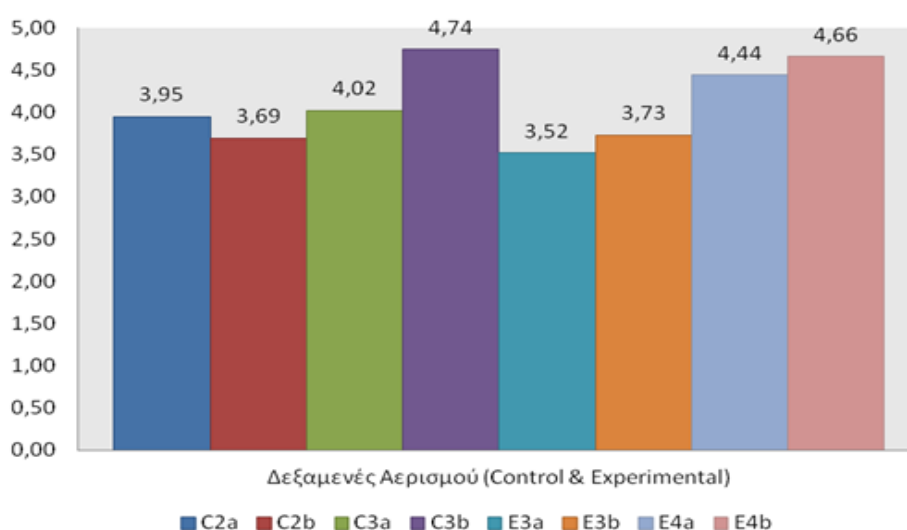


Διάγραμμα 5.8 Τιμές πτητικών αιωρούμενων στερεών στη βιολογική βαθμίδα και στην έξοδο για το Πειραματικό Σύστημα

5.3.2 Συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου και Θερμοκρασία

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Προχωρημένες Μέθοδοι Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων, Νουτσόπουλος- Μαμάης, 2010), σε συστήματα ενεργού ιλύος διακρίνεται η μονοσήμαντη συσχέτιση της οργανικής φόρτισης και της ελάχιστης απαιτούμενης συγκέντρωσης διαλυμένου οξυγόνου (DO), με στόχο την αποφυγή προβλημάτων διόγκωσης ιλύος. Το ελάχιστο ποσό παροχής διαλυμένου οξυγόνου διασφαλίζει την επιτέλεση των αερόβιων διεργασιών της βαθμίδας (νιτροποίηση) ενώ ταυτόχρονα αποτρέπει την επικράτηση των νηματοειδών βακτηριδίων που αναπτύσσονται σε συνθήκες χαμηλής συγκέντρωσης DO. Στην υπόθεση εργασίας θεωρήθηκε ως ελάχιστη οργανική φόρτιση στα πιλοτικά συστήματα η τιμή 0,5kgCOD/kgMLSS/d, η οποία και αντιστοιχεί σε ελάχιστη συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου της τάξης των 2,0mg/l. Έτσι, επιδίωξη του ερευνητή ήταν η απρόσκοπτη παροχή οξυγόνου σε τιμές μεγαλύτερες των 2,0mg/l. Η λογική διαχείρισης της παροχής διαλυμένου οξυγόνου παρέμεινε ενιαία καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας των δύο εργαστηριακών συστημάτων, επομένως δεν κρίθηκε κρίσιμος ο διαχωρισμός της παραμέτρου σε Φάσεις.

Τα αποτελέσματα των καθημερινών μετρήσεων συγκέντρωσης διαλυμένου οξυγόνου στα αερόβια διαμερίσματα των συστημάτων Ελέγχου και Πειραματικού παρουσιάζονται στο ιστόγραμμα του Διαγράμματος 5.9. Παρατηρείται πως οι μέσοι όροι είναι όλοι μεγαλύτεροι της προαναφερθείσας παραδοχής ($DO > 2\text{mg/l}$). Σε αυτό το σημείο κρίνεται σκόπιμο να σημειωθεί πως, σε καλλιέργειες μικροοργανισμών, έχει παρατηρηθεί από τους ερευνητές πως πολύ μεγάλες παροχές διαλυμένου οξυγόνου χαρακτηρίζονται τοξικές για την ανάπτυξη νηματοειδών μικροοργανισμών (κυρίως ο *M.parvicella* που αναχαιτίζεται πλήρως για $DO > 6\text{mg/l}$). Οι πολύ υψηλοί μέσοι όροι συγκέντρωσης διαλυμένου οξυγόνου πιθανώς να δικαιολογούν την πλήρη απουσία συγκεκριμένης ομάδας βακτηριδίων στις μικροσκοπικές μετρήσεις.



Διάγραμμα 5.9 Συγκέντρωση διαλυμένου Οξυγόνου (DO) στα αερόβια διαμερίσματα Συστήματος Ελέγχου & Πειραματικού Συστήματος

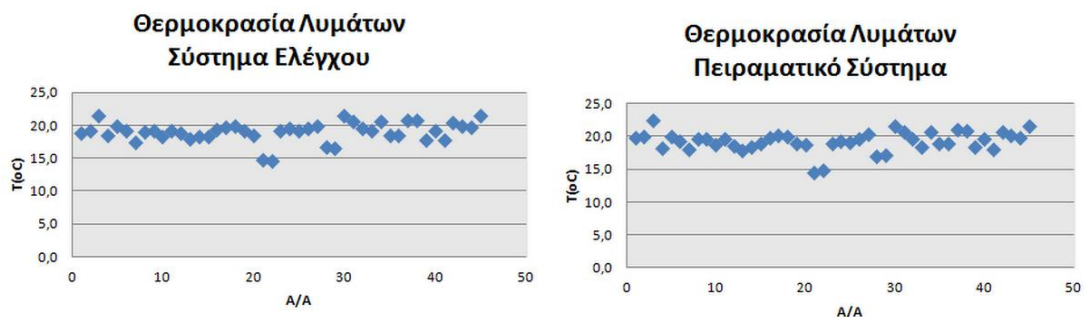
Πίνακας 5.4 Πίνακας τιμών συγκέντρωσης διαλυμένου οξυγόνου και θερμοκρασιών στα αερόβια διαμερίσματα για το Σύστημα Ελέγχου

CONTROL	DO (mg/l)				T (°C)	
	C2		C3		C2	C3
AVERAGE	3,95	3,69	4,02	4,74	19,1	19,0
PHASE A AVER	4,21	3,91	3,52	4,50	18,8	18,5
PHASE B AVER	3,68	3,47	4,54	5,00	19,4	19,4

Πίνακας 5.5 Πίνακας τιμών συγκέντρωσης διαλυμένου οξυγόνου και θερμοκρασιών στα αερόβια διαμερίσματα για το Πειραματικό Σύστημα

EXPERIMENTAL	DO (mg/l)				T (°C)	
	E3		E4		E3	E4
AVERAGE	3,52	3,73	4,44	4,66	19,2	18,9
PHASE A AVER	3,56	3,29	4,03	4,43	18,9	18,6
PHASE B AVER	3,47	4,18	4,87	4,90	19,5	19,3

Οι συγκεντρωτικοί μέσοι όροι των συγκεντρώσεων διαλυμένου οξυγόνου και θερμοκρασιών στα αερόβια διαμερίσματα για τα δύο συστήματα ενεργού ιλύος παρουσιάζονται στους Πίνακες 5.4 (Σύστημα Ελέγχου) και 5.5 (Πειραματικό Σύστημα). Η θερμοκρασία των λυμάτων στα δύο συστήματα διατηρήθηκε στη περιοχή των 18-20°C, που αντιστοιχεί και στη μέση περιοχή θερμοκρασιών που επικρατούν στους βιοαντιδραστήρες του συστήματος πλήρους κλίμακας του ΚΕΛ Ψυττάλειας. Τέλος, για λόγους πληρότητας, παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 5.10 η χρονοσειρά των θερμοκρασιών που μετρήθηκαν στις αερόβιες δεξαμενές των δύο συστημάτων. Η παρουσία του κλιματιστικού μηχανήματος εντός του πειραματικού χώρου επέτρεψε την πλήρως ελεγχόμενη θερμοκρασία λυμάτων, συμβάλλοντας έτσι στην ισορροπία των πιλοτικών συστημάτων.



Διάγραμμα 5.10 Χρονοσειρά Θερμοκρασιών στις αερόβιες δεξαμενές των δύο συστημάτων

5.3.3 Ολικό COD και Διαλυτό COD (sCOD)

Στη παρούσα ενότητα δίνονται αναλυτικά διαγράμματα χρονοσειρών για τις τιμές συγκεντρώσεων ολικού και διαλυτού COD στην είσοδο, έξοδο και στις δύο βιολογικές βαθμίδες του πειράματος, συγκεντρωτικοί πίνακες των μεσοσταθμικών τιμών των εν λόγω παραμέτρων σε κάθε δεξαμενή και επιπρόσθετα υπολογίζονται οι ρυθμοί κατανάλωσης του διαλυτού COD εντός των δεξαμενών των δύο συστημάτων ενεργού λύου. Στη συνέχεια δίνονται διαγράμματα συσχέτισης των ολικών αιρούμενων στερεών με τη συγκέντρωση ολικού COD στην έξοδο των δύο συστημάτων και τέλος υπολογίζονται οι οργανικές φορτίσεις στις μη αερόβιες δεξαμενές των δύο συστημάτων.

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή της παρούσας ενότητας, η συγκέντρωση ολικού και διαλυτού COD στην είσοδο παρουσίασε σημαντικές διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας. Συγκεκριμένα, τα στιγμιαία δείγματα που εξήχθησαν πριν τις 10:00πμ ήταν κατά μέσο όρο μειωμένα κατά 50% από τον αντίστοιχο ημερήσιο μέσο όρο στην εγκατάσταση πλήρους κλίμακας (ΚΕΛΨ) και προέκυπταν από σύνθετο δείγμα. Αντίθετα, τα δείγματα που εξήχθησαν μεσημεριανές ώρες (11:30πμ-1:00μμ) παρουσίαζαν πολύ ικανοποιητική συμφωνία με τον ημερήσιο μέσο όρο του ΚΕΛΨ (468mg/l στο ΠΣ έναντι 560mg/l στο ΚΕΛΨ). Έτσι, όσα σημεία (μετρήσεις στην είσοδο των δύο συστημάτων) εμφάνισαν σημαντική απόκλιση από τον ημερήσιο μέσο όρο του ΚΕΛΨ απορρίφθηκαν, γεγονός που δικαιολογεί την ένδεια των πειραματικών σημείων (λήφθηκαν υπ' όψη 9 σημεία και απορρίφθηκαν 5).

Στους Πίνακες 5.6 και 5.7 ωστόσο παρουσιάζονται και οι μέσοι όροι των σημείων που απορρίφθηκαν, για το Σύστημα Ελέγχου και το Πειραματικό Σύστημα αντίστοιχα, κατά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων, για λόγους πληρότητας. Όπως αναμέναμε, οι τιμές του διαλυτού οργανικού φορτίου (sCOD) εντός της βιολογικής βαθμίδας δεν επηρεάζονται από το «αδύναμο», ως προς το φορτίο, πρωινό δείγμα, επομένως θα ήταν λογικό σφάλμα η απόρριψη αυτών των τιμών. Έτσι στην ανάλυση που ακολουθεί για το διαλυτό COD εντός της βιολογικής βαθμίδας, θα χρησιμοποιηθούν κανονικά και τα 14 σημεία μέτρησης.

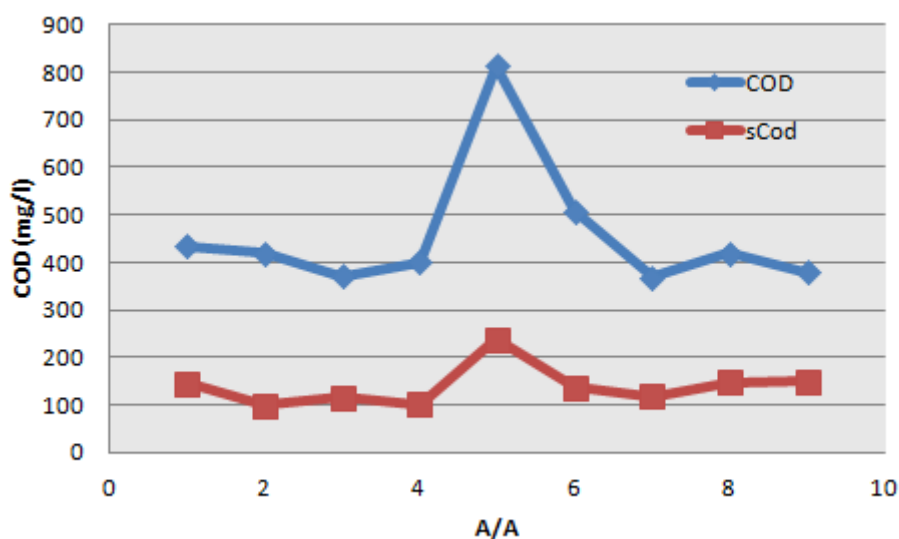
Πίνακας 5.6 Πίνακας τιμών ολικού & διαλυτού οργανικού φορτίου στην είσοδο, έξοδο και βιολογική βαθμίδα για το Σύστημα Ελέγχου

Σύστημα Ελέγχου	COD (mg/L)		sCOD (mg/L)				
	IN	C4	IN	C1	C2	C3	C4
Μέσος Όρος	457	95	139	39	37	36	30
Τυπική Απόκλιση	140	36	42	16	20	16	8

Πίνακας 5.7 Πίνακας τιμών ολικού & διαλυτού οργανικού φορτίου στην είσοδο, έξοδο και βιολογική βαθμίδα για το Πειραματικό Σύστημα

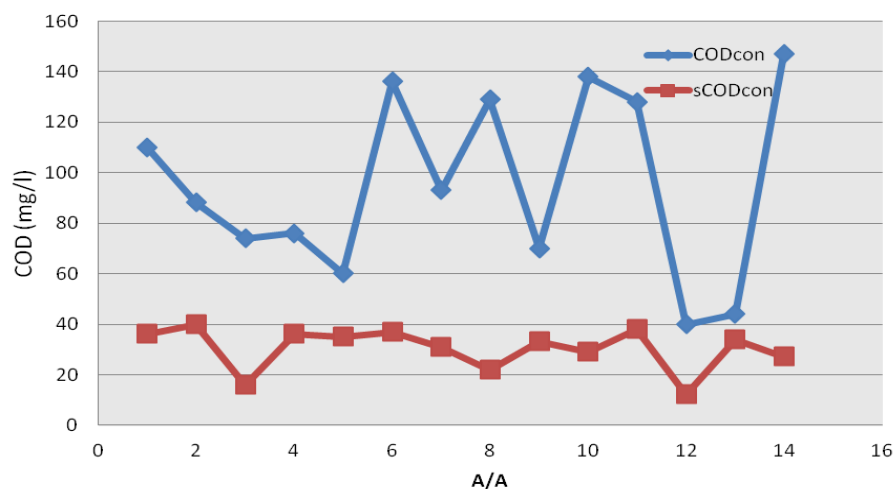
Πειραματικό Σύστημα	COD (mg/L)		sCOD (mg/L)					
	IN	E5	IN	E1	E2	E3	E4	E5
Μέσος Όρος	468	81	140	53	38	33	38	37
Τυπική Απόκλιση	137	41	41	30	19	16	12	17

Στο Διάγραμμα 5.11 δίνονται οι χρονοσειρές των συγκεντρώσεων ολικού και διαλυτού COD των πρωτοβάθμια επεξεργασμένων λυμάτων εισόδου στα δύο συστήματα ενεργού ιλύος. Τα σημεία του διαγράμματος για το ολικό COD, εάν εξαιρεθεί το σημείο 5 (μέτρηση 29/11), εμφανίζουν πολύ μικρή διασπορά και κινούνται στη περιοχή συγκεντρώσεων μεταξύ 380-450mg/l, γεγονός που κρίνεται ικανοποιητικό για την αξιοπιστία του δείγματος (μικρό σφάλμα). Η ομοιογένεια αυτή βασίζεται και στο γεγονός ότι και τα 9 σημεία εξήχθησαν χρονικά περίπου την ίδια ώρα της ημέρας. Παρομοίως, για το διαλυτό οργανικό κλάσμα, εμφανίζεται μια σταθερότητα των τιμών στη περιοχή των 100-150mg/l, με μοναδική εξαίρεση το σημείο 5, όπου η φόρτιση ήταν ιδιαίτερα υψηλή σε σχέση με το μέσο όρο (~200mg/l).

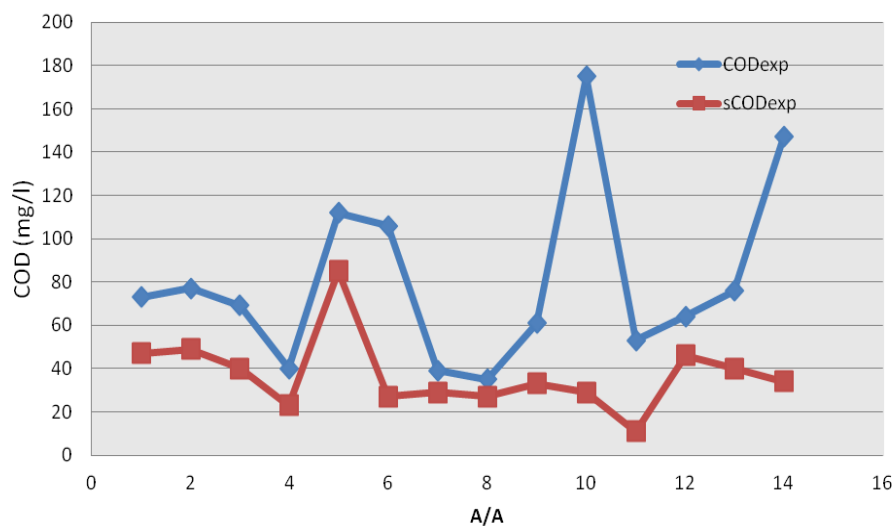


Διάγραμμα 5.11 Ολικό και διαλυτό COD πρωτοβάθμια επεξεργασμένων λυμάτων για το Σύστημα Ελέγχου & Πειραματικό Σύστημα (κοινή είσοδος)

Στα διαγράμματα 5.12 και 5.13 παρουσιάζονται οι χρονοσειρές των συγκεντρώσεων ολικού COD και διαλυτού sCOD στις εκροές του Συστήματος Ελέγχου και του Πειραματικού Συστήματος αντίστοιχα.



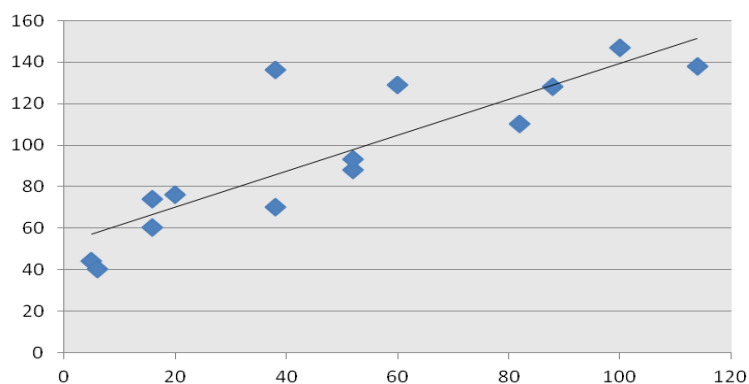
Διάγραμμα 5.12 Ολικό και διαλυτό οργανικό φορτίο επεξεργασμένων λυμάτων στην εκροή του Συστήματος Ελέγχου



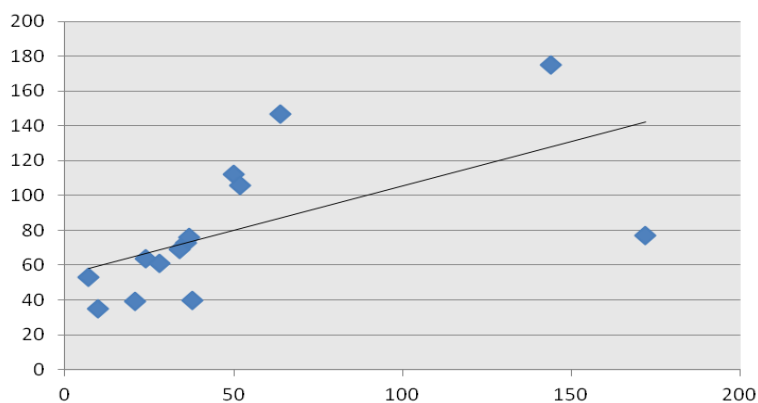
Διάγραμμα 5.13 Ολικό και διαλυτό οργανικό φορτίο επεξεργασμένων λυμάτων στην εκροή του Πειραματικού Συστήματος

Όπως φαίνεται στα διαγράμματα 5.12 και 5.13, οι συγκεντρώσεις διαλυτού COD στην έξοδο και στα δύο συστήματα εμφανίζουν σχετικά μικρή διακύμανση, με εύρος που κυμαίνεται μεταξύ 20-50 mg/l, με μοναδική εξαίρεση το σημείο μέτρησης #5 για το Πειραματικό Σύστημα, όπου η συγκέντρωση είναι ιδιαίτερα υψηλή (~85mg/l) και πιθανώς να οφείλεται σε προσωρινή αστοχία του συστήματος.

Οι συγκεντρώσεις ολικού COD στην έξοδο παρουσιάζουν πολύ υψηλή διακύμανση και στα δύο συστήματα ενεργού ιλύος (40-150mg/l για το Σύστημα Ελέγχου και 40-180mg/l για το Πειραματικό Σύστημα), γεγονός που είναι δυνατό να συσχετιστεί άμεσα με τις απώλειες ολικών στερεών στην έξοδο. Η ευθέως ανάλογη συσχέτιση μεταξύ ολικών αιωρούμενων στερεών στην έξοδο (TSS) και ολικού COD στην έξοδο παρουσιάζεται στα Διαγράμματα 5.14 (Σύστημα Ελέγχου) και 5.15 (Πειραματικό Σύστημα).



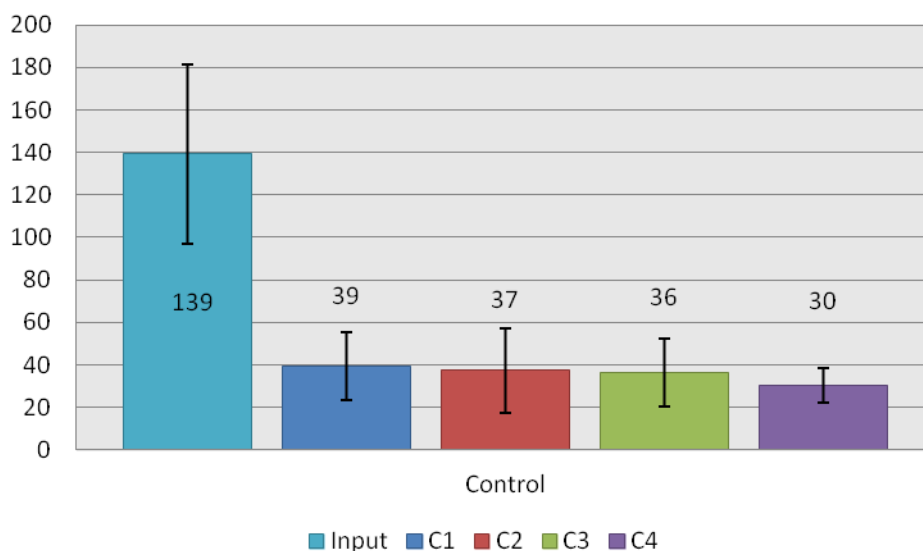
Διάγραμμα 5.14 Συσχέτιση ολικών στερεών (TSS) εξόδου και ολικού οργανικού άνθρακα (COD) στην έξοδο για το Σύστημα Ελέγχου



Διάγραμμα 5.15 Συσχέτιση ολικών στερεών (TSS) εξόδου και ολικού οργανικού άνθρακα (COD) στην έξοδο για το Πειραματικό Σύστημα

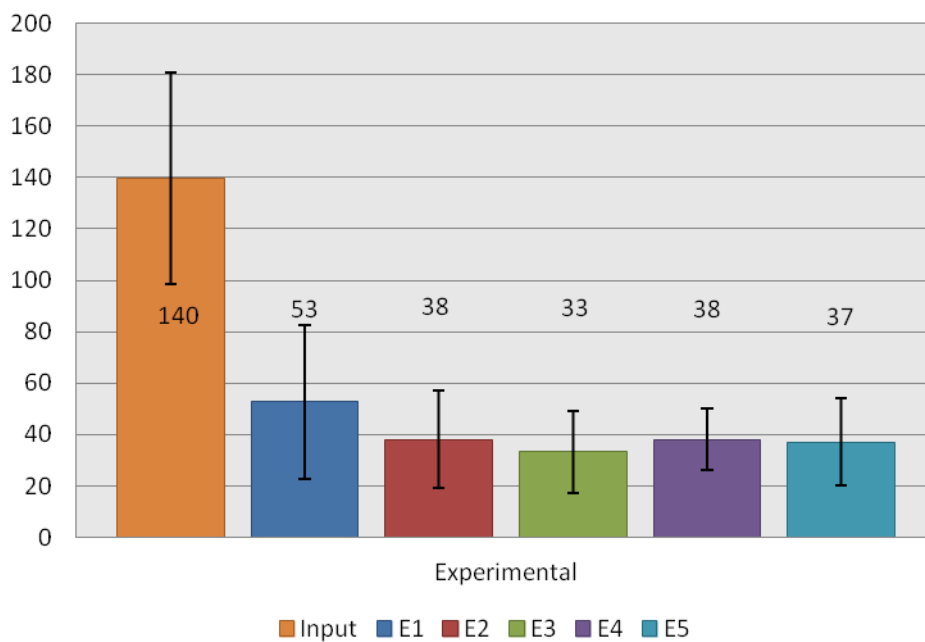
Η επιμέρους απομάκρυνση του διαλυτού COD από τα ανάντη προς τα κατάντη των δύο συστημάτων σε κάθε δεξαμενή χωριστά δίνεται στα Διαγράμματα 5.16 (για το Σύστημα Ελέγχου) και 5.17 (για το Πειραματικό Σύστημα) που ακολουθούν. Υπενθυμίζεται πως και τα δύο συστήματα ενεργού ιλύος αποτελούνται από αναερόβιες, ανοξικές και αερόβιες δεξαμενές που δεν έχουν διαμερισματοποιηθεί με στόχο τη δημιουργία κλίσης τροφής για την επικράτηση των συσσωματωμένων βακτηριδίων έναντι των νηματοειδών. Επομένως οι τιμές που δίνονται στα κάτωθι διαγράμματα αφορούν τις συγκεντρώσεις διαλυτών οργανικών ενώσεων άνθρακα που είναι ενιαίες σε όλο τον όγκο κάθε δεξαμενής.

Για το Σύστημα Ελέγχου, στο Διάγραμμα 5.16 είναι εμφανές ότι το διαλυτό κλάσμα που πρόκειται να καταναλωθεί εντός της βιολογικής βαθμίδας του Συστήματος Ελέγχου, ουσιαστικά απομακρύνεται εντός της ανοξικής δεξαμενής. Οι τιμές στις δύο αερόβιες δεξαμενές κατάντη και στην έξοδο είναι παραπλήσιες σε βαθμό τέτοιο που θεωρείται πως πρακτικά η κατανάλωση διαλυτού κλάσματος κατάντη του ανοξικού διαμερίσματος είναι μηδενική. Επιπλέον, παρατηρείται βιολογική απομάκρυνση εντός των ορίων της οδηγίας 91/271 και συγκεκριμένα, πραγματοποιείται απομάκρυνση 80% για το ολικό COD και 77% για το sCOD.



Διάγραμμα 5.16 Τιμές διαλυτού οργανικού φορτίου (sCOD) κατά μήκος της γραμμής ροής για το Σύστημα Ελέγχου

Όσον αφορά το Πειραματικό Σύστημα, η υψηλή οργανική φόρτιση που επιδιώχθηκε στον αναερόβιο επιλογέα συνεπάγεται και υψηλή κατανάλωση διαλυτού COD (sCOD) στο εσωτερικό του από το σύνολο των μικροοργανισμών που δύνανται να καταναλώσουν διαλυτό COD σε μη αερόβιες (αναερόβιες και ανοξικές) συνθήκες υψηλής οργανικής φόρτισης (συσσωματούμενα βακτήρια και μια ομάδα νηματοειδών). Το ποσοστό του οργανικού κλάσματος που δεν καταναλώνεται εντός του επιλογέα, απομακρύνεται πλήρως στην ανοξική δεξαμενή αμέσως κατόπιν. Πρακτικά, οι τιμές sCOD στις δεξαμενές E2-E5 παραμένουν ίδιες καθώς το σύνολο του ευκολοδιασπάσιμου sCOD έχει καταναλωθεί σε μη αερόβιες συνθήκες (αναερόβιος επιλογέας & ανοξική δεξαμενή) και τα 40mg/l της εξόδου αποτελούν το μη-βιοδιασπώμενο κλάσμα. Η απομάκρυνση ολικού COD φτάνει το 85% ενώ για το διαλυτό sCOD το 71%.



Διάγραμμα 5.17 Τιμές διαλυτού οργανικού φορτίου (sCOD) κατά μήκος της γραμμής ροής για το Πειραματικό Σύστημα

Σημαντική παράμετρος ανάλυσης αποτελεί η ποσότητα διαλυτού οργανικού άνθρακα που απομακρύνεται καθημερινά σε καθεμία από τις δεξαμενές των δύο βιολογικών βαθμίδων. Γνωρίζοντας τις 3 παροχές του συστήματος ενεργού ιλύος (παροχή εισόδου, εσωτερικής και εξωτερικής ανακυκλοφορίας), τους μέσους όρους μετρήσεων διαλυτού οργανικού φορτίου (sCOD) εντός των δεξαμενών της βιολογικής βαθμίδας και δίνονται στους Πίνακες 5.6 (Σύστημα Ελέγχου) και 5.7 (Πειραματικό Σύστημα) αλλά και τις τιμές παροχών για τα δύο πειραματικά συστήματα εργαστηριακής κλίμακας που δίνονται στον Πίνακα 5.8, υπολογίστηκε η ποσότητα του καταναλισκόμενου διαλυτού COD. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σχηματικά στα Διαγράμματα 5.18 και 5.19.

Για το σημείο (1) ακριβώς ανάντη της ανοξικής δεξαμενής C1 του Συστήματος Ελέγχου ισχύει:

$$Q_{IN} * sCOD_{IN} + Q_r * sCOD_{C4} + Q_R * sCOD_{C3} = (Q_{IN} + Q_r + Q_R) * sCOD_{C1\alpha\rho} \quad (5.2)$$

$$\Delta sCOD_{C1} = Q_{TOT} * (sCOD_{C1\alpha\rho} - sCOD_{C1}) \quad (5.3)$$

Σημεία (2), (3), (4) ανάντη των δύο αερόβιων δεξαμενών (C2-C3) και στην έξοδο (C4) αντίστοιχα:

$$sCOD_{C(i+1)\alpha\rho} = sCOD_{Ci} \quad (5.4)$$

$$\Delta sCOD_{C(i+1)} = Q_{TOT} * (sCOD_{C(i+1)\alpha\rho} - sCOD_{C(i+1)}) \quad (5.5)$$

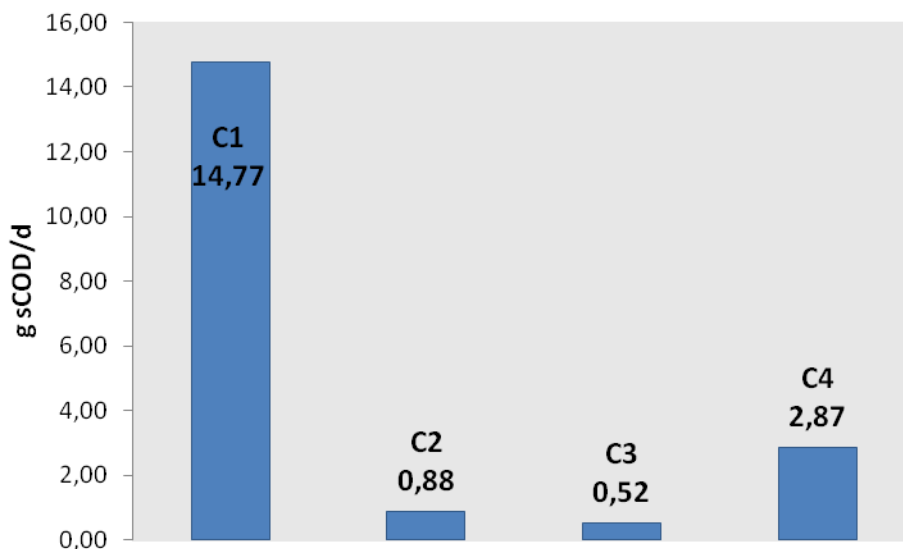
όπου :

$sCOD_{Ci\alpha\rho}$ = διαλυτό οργανικό φορτίο ανάντη της δεξαμενής Ci

$sCOD_{Ci}$ = διαλυτό οργανικό φορτίο εντός της δεξαμενής Ci

Πίνακας 5.8 Τιμές Παροχών για τα Συστήματα Ελέγχου και Πειραματικό (Α' και Β' Φάση)

	Q _{in}	Q _r	Q _R		Q _{tot}
Α' Φάση	100	130	180	(l/d)	410
Β' Φάση	100	180	210	(l/d)	490



Διάγραμμα 5.18 Απομάκρυνση διαλυτού οργανικού άνθρακα ανά ημέρα για τις δεξαμενές του Συστήματος Ελέγχου

Οι ρυθμοί απομάκρυνσης διαλυτού COD εντός των δεξαμενών των δύο συστημάτων ενεργού ιλύος αποτελούν χρήσιμη πληροφορία για την αποτελεσματικότητα και λειτουργικότητα των μη αερόβιων δεξαμενών, καθώς σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η χρήση των επιλογέων μπορεί να θεωρηθεί επιτυχημένη μόνο αν εντός αυτών απομακρύνεται το μεγαλύτερο ποσοστό οργανικού διασπάσιμου κλάσματος (70-80% κατά Jenkins, 1993).

Για το Σύστημα Ελέγχου, από τη συνολική απομάκρυνση διαλυτού sCOD, το 78% απομακρύνεται στην ανοξική δεξαμενή του συστήματος όπως αναμενόταν, μόλις το 7% εντός των αερόβιων διαμερισμάτων όπου και επικρατούν ουσιαστικά συνθήκες έλλειψης οργανικής τροφής, ενώ ένα 15% απομακρύνεται στην δεξαμενή τελικής καθίζησης. Ο μεγάλος όγκος της ΔTK συνεπάγεται μεγάλους χρόνους παραμονής και η απουσία διαλυμένου οξυγόνου οδηγούν στη λειτουργία της ΔTK ως ανοξικού αντιδραστήρα, με αποτέλεσμα τη κατανάλωση οργανικού άνθρακα.

Παρομοίως εφαρμόζουμε ισοζύγιο μάζας διαλυτού COD για να υπολογίσουμε τη καθημερινή απομάκρυνση του διαλυτού κλάσματος σε κάθε δεξαμενή του Πειραματικού Συστήματος, τα αποτελέσματα του οποίου δίνονται στο Διάγραμμα 5.19.

Ισοζύγιο μάζας για το διαλυτό COD στο αναερόβιο φρεάτιο E1:

$$Q_{IN} * sCOD_{IN} + Q_r * sCOD_{E5} = (Q_{IN} + Q_r) * sCOD_{E1\alpha\rho} \quad (5.6)$$

$$\Delta sCOD_{E1} = (Q_{IN} + Q_r) * (sCOD_{E1\alpha\rho} - sCOD_{E1}) \quad (5.7)$$

Ισοζύγιο μάζας διαλυτού COD για την ανοξική δεξαμενή E2:

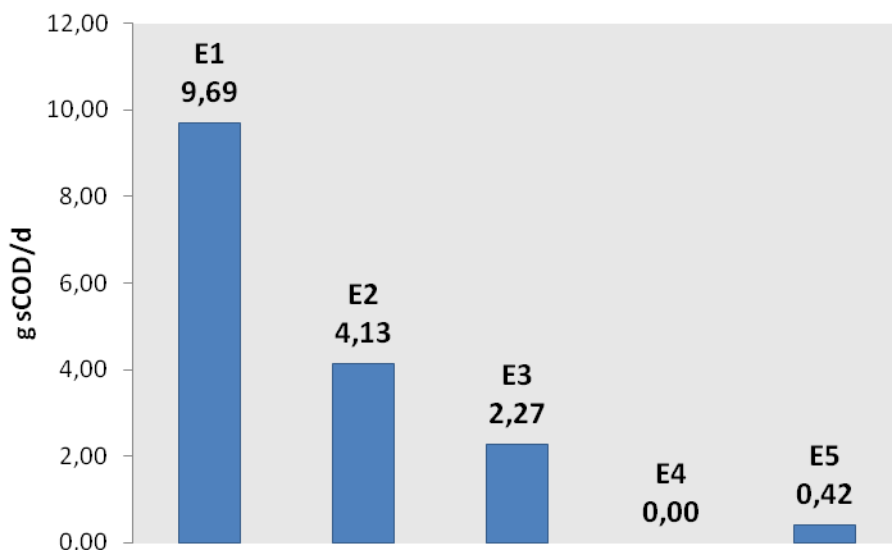
$$(Q_{IN} + Q_r) * sCOD_{E1} + Q_R * sCOD_{E4} = (Q_{IN} + Q_r + Q_R) * sCOD_{E2\alpha\rho} \quad (5.8)$$

$$\Delta sCOD_{E2} = (Q_{IN} + Q_r + Q_R) * (sCOD_{E2\alpha\rho} - sCOD_{E2}) \quad (5.9)$$

Αντίστοιχα για τον υπολογισμό του διαλυτού COD που απομακρύνεται στις δύο αερόβιες δεξαμενές (E3-E4) χρησιμοποιήθηκαν οι σχέσεις:

$$sCOD_{C(i+1)\alpha\rho} = sCOD_{Ci} \quad (5.10)$$

$$\Delta sCOD_{C(i+1)} = Q_{TOT} * (sCOD_{C(i+1)\alpha\rho} - sCOD_{C(i+1)}) \quad (5.11)$$



Διάγραμμα 5.19 Απομάκρυνση διαλυτού οργανικού άνθρακα ανά ημέρα για τις δεξαμενές του Πειραματικού Συστήματος

Αντίθετα με το Σύστημα Ελέγχου, στο Πειραματικό Σύστημα, η παρουσία του επιλογέα υψηλής οργανικής φόρτισης λειτουργεί ευεργετικά στην απόδοση του συστήματος όσον αφορά την απομάκρυνση sCOD. Συγκεκριμένα, το 84% του διαλυτού άνθρακα που απομακρύνεται συνολικά, καταναλώνεται σε μη αερόβιες συνθήκες και ως αποτέλεσμα παρατηρείται ελάχιστη κατανάλωση στην έξοδο. Με άλλα λόγια, η έξοδος του συστήματος αποτελείται αμιγώς από μη- βιοδιασπώμενο COD σε αντίθεση με το Σύστημα Ελέγχου. Χαρακτηριστική είναι η κατά μέσο όρο μηδενική κατανάλωση COD στην αερόβια δεξαμενή E4. Προφανώς και αυτή η τιμή δεν αντιπροσωπεύει την πραγματικότητα, καθώς το διάγραμμα εξήχθη με μέσους όρους αποτελεσμάτων και επομένως αποτελεί λογιστικό μέγεθος. Καταδεικνύει ωστόσο την έλλειψη βιοδιασπώμενου άνθρακα σε αερόβιες συνθήκες.

Τέλος, με γνωστές τις συγκεντρώσεις διαλυτού COD και τις συγκεντρώσεις ολικών αιωρούμενων στερεών στις δεξαμενές της βιολογικής βαθμίδας για τα δύο συστήματα καθώς και της παροχής εισόδου Q, υπολογίζεται η οργανική φόρτιση των μη αερόβιων δεξαμενών. Τα αποτελέσματα δίνονται στον Πίνακα 5.9.

Πίνακας 5.9 Οργανική φόρτιση μη αερόβιων δεξαμενών για τα Συστήματα Ελέγχου και Πειραματικού

A/A	COD IN	MLSS E1	OL E1	MLSS E2	OL E2	MLSS C1	OL C1
1	435	2900	6,25	2720	1,02	3080	0,91
2	420	2840	6,16	3400	0,82	3160	0,86
3	464	2380	8,11	1820	1,57	3000	1,00
4	230	2040	4,70	2100	0,71	3200	0,46
5	400	2000	8,33	2020	1,28	2200	1,17
6	252	2120	4,95	2520	0,66	3440	0,47
7	814	940	36,08	1180	4,60	1760	2,98
8	281	3440	3,40	2300	0,73	3280	0,55
9	508	2360	8,97	2760	1,21	2700	1,21
10	279	3760	3,09	3540	0,50	3180	0,57
11	370	4480	3,44	2940	0,75	2140	1,12
12	419	3480	5,02	3000	0,88	2580	1,05
13	380	3380	4,68	2820	0,84	2900	0,85
14	133	3900	1,42	3020	0,27	2560	0,34
M.O	369,79	2931,67	5,59	2662	0,92	2905	0,85
Τυπ.Αποκ.	89,26	786,59	2,00	533,70	0,30	418,23	0,28

Σε σύνολο 14 μετρήσεων, για την εξαγωγή των μέσων οργανικών φορτίσεων λήφθηκαν υπ' όψη οι 12, καθώς τα σημεία μέτρησης #7 και #14 απορρίφθηκαν λόγω σημαντικής απώλειας στερεών στην έξοδο και ασθενούς φορτίου στιγμιαίου δείγματος εισόδου αντίστοιχα. Παρατηρείται πως ο αναερόβιος επιλογέας λειτουργούσε με υψηλή οργανική φόρτιση (OL = 5,59 mgCOD/mgMLSS/d) ενώ αντίθετα οι δύο ανοξικές δεξαμενές των συστημάτων εργαστηριακής κλίμακας λειτουργούσαν υπό χαμηλή οργανική φόρτιση (OL ~ 0,9 mgCOD/mgMLSS/d).

5.3.4 Νιτρικό Άζωτο (NO₃-N)

Στόχος των συστημάτων ενεργού ιλύος με απομάκρυνση αζώτου, όσον αφορά τις τιμές NO₃-N, είναι η επαρκής κατανάλωσή νιτρικών σε μη αερόβιες συνθήκες και η χαμηλή συγκέντρωση NO₃-N στην έξοδο ώστε να πληρείται ο περιορισμός της οδηγίας 91/271. Για λόγους που εξηγήθηκαν παραπάνω (Κεφ. 5.3.3 Ολικό COD και Διαλυτό COD), κρίθηκε σκόπιμη η απόρριψη δειγμάτων που δεν συνέκλιναν στους ημερήσιους μέσους όρους του ΚΕΛΨ. Επομένως, η ανάλυση αφορά τα ίδια 9 σημεία που χρησιμοποιήθηκαν και για την ανάλυση των παραμέτρων COD, sCOD και πιο συγκεκριμένα 2 σημεία για την Α' και 7 σημεία για την Β' Φάση.

Η ανάλυση ξεκινά με την παραδοχή μηδενικής συγκέντρωσης NO₃-N στα λύματα που εισάγονται στο ΠΣ από τη πρωτοβάθμια καθίζηση. Η παραδοχή αυτή ανταποκρίνεται σε μεγάλο βαθμό στη πραγματική εικόνα των ΕΕΛ, καθώς το σύνολο των νιτρικών που καταναλώνονται στη βιολογική βαθμίδα είναι αποτέλεσμα νιτροποίησης της αμμωνίας των λυμάτων. Επιπλέον, οι θερμοκρασίες των λυμάτων διατηρήθηκαν σε εύρος τιμών τέτοιο που σε καμία περίπτωση δεν αναχαίτισαν τη κινητική ανάπτυξης των νιτροποιητών, σε όλη τη διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος. Εντός της βιολογικής βαθμίδας, αναμένουμε χαμηλές τιμές στις δεξαμενές όπου λαμβάνει χώρα η απονιτροποίηση (δεξαμενές C1 & E1-E2) και υψηλές τιμές NO₃-N στις αερόβιες συνθήκες λόγω νιτροποίησης.

Οι συγκεντρωτικοί μέσοι όροι συγκεντρώσεων νιτρικών για όλες τις δεξαμενές των δύο συστημάτων δίνονται στους Πίνακες 5.10 (Σύστημα Ελέγχου) και 5.11 (Πειραματικό Σύστημα).

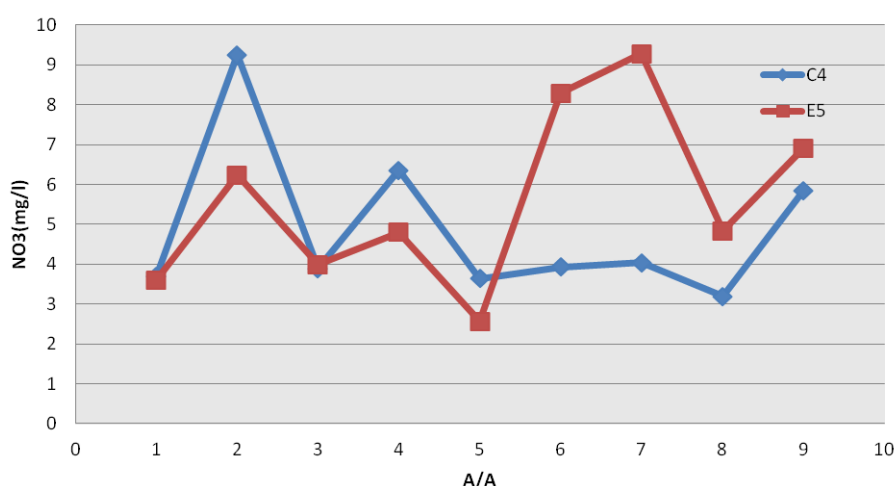
Πίνακας 5.10 Συγκεντρώσεις νιτρικών (NO₃-N) για το Σύστημα Ελέγχου

Σύστημα Ελέγχου	NO ₃ (mg/L)			
	C1	C2	C3	C4
Μέσος Όρος	1,69	6,51	8,07	4,88
Μ.Ο Α' Φάσης	1,35	6,57	7,65	6,48
Μ.Ο Β' Φάσης	1,79	6,49	8,19	4,42
Τυπική Απόκλιση	0,80	2,13	2,32	1,19

Πίνακας 5.11 Συγκεντρώσεις νιτρικών (NO₃-N) για το Πειραματικό Σύστημα

Πειραματικό Σύστημα	NO ₃ (mg/L)				
	E1	E2	E3	E4	E5
Μέσος Όρος	2,80	4,49	7,54	9,17	5,62
Μ.Ο Α' Φάσης	2,55	2,57	6,28	7,90	4,92
Μ.Ο Β' Φάσης	2,87	5,03	7,90	9,53	5,81
Τυπική Απόκλιση	2,05	4,33	4,63	4,44	2,43

Όσον αφορά την έξοδο των 2 συστημάτων, εισάγουμε περιορισμό ή με άλλα λόγια ένα «άνω φράγμα» στις αποδεκτές τιμές. Σύμφωνα με την οδηγία 91/271, η τιμή ολικού αζώτου στην έξοδο δεν πρέπει να ξεπερνά τα 10mg/l. Γνωρίζουμε από βιβλιογραφία ότι θα ισχύει: $TN_{EE} = Q_{EE} * [(NO_3 - N) + (NH_4 - N) + orgN]$ (5.12), εκ των οποίων υποθέτουμε εξ αρχής πως το συνολικά το οργανικό άζωτο και το αμμωνιακό άζωτο στην έξοδο δεν ξεπερνά τα 3-4mg/l. Επομένως, είναι λογικό να ορίζουμε ως κρίσιμο φράγμα τη τιμή των 7mg/l για τη συγκέντρωση NO₃-N στην έξοδο. Με γνωστές τις παραπάνω οριακές συνθήκες καταστρώνουμε και τις εξισώσεις ισοζυγίου για τον υπολογισμό της απομάκρυνσης αζώτου και την ταχύτητα απονιτροποίησης όπως θα δούμε αναλυτικότερα στη συνέχεια. Οι χρονοσειρές συγκεντρώσεων των νιτρικών (NO₃-N) στην εκροή των δύο συστημάτων ενεργού ιλύος εργαστηριακής κλίμακας δίνονται στο Διάγραμμα 5.20.

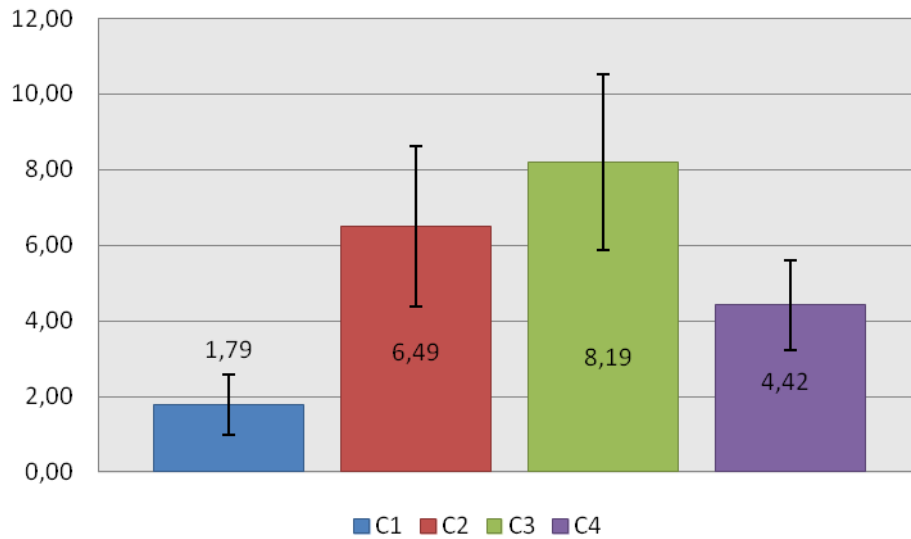


Διάγραμμα 5.20 Συγκεντρώσεις νιτρικών (NO₃-N) στην έξοδο για το Σύστημα Ελέγχου και το Πειραματικό Σύστημα

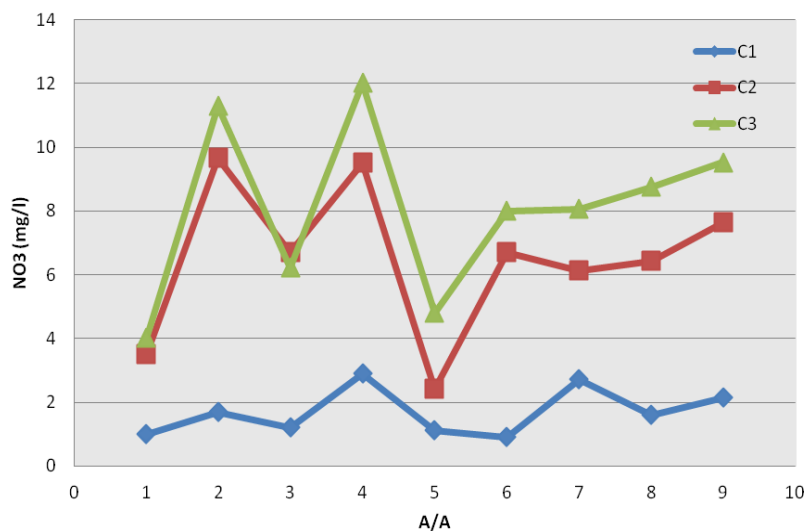
Παρατηρούμε πως ελάχιστα σημεία δεν πληρούν τον ανωτέρω περιορισμό και πως η γενικότερη εικόνα στην έξοδο μαρτυρά την εύρυθμη λειτουργία των διαδικασιών απομάκρυνσης αζώτου (νιτροποίηση- απονιτροποίηση) στα 2 συστήματα. Από άποψη μέσων όρων, οι τιμές νιτρικών στην έξοδο είναι 4,42mg/l και 5,81mg/l για τα συστήματα Control & Experimental αντίστοιχα, τιμές που κρίνονται άκρως ικανοποιητικές.

Στη διάρκεια λειτουργίας των δύο συστημάτων πραγματοποιήθηκαν σποραδικές μετρήσεις αμμωνίας (NH₄-N) στην είσοδο και τις εξόδους για το Σύστημα Ελέγχου και Πειραματικό Σύστημα από το Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας. Σε αυτές τις μετρήσεις, οι τιμές του αμμωνιακού αζώτου στις δύο εκροές κατά τη Β' Φάση ήταν μικρότερες από 1,5-2,0mg/l, επομένως στα σημεία (ημέρες) μέτρησης όπου οι συγκεντρώσεις αιωρούμενων στερεών στην εκροή των συστημάτων ήταν χαμηλές (NO₃-N<6-7mg/l), και τα δύο συστήματα ικανοποιούσαν τους περιορισμούς της Οδηγίας 91/271 για εκροή δευτεροβάθμια επεξεργασμένων λυμάτων σε ευαίσθητους αποδέκτες.

Για το Σύστημα Ελέγχου, στο Διάγραμμα 5.21 δίνονται οι μέσες συγκεντρώσεις νιτρικών στις δεξαμενές του συστήματος με τις σχετικές τυπικές αποκλίσεις (9 σημεία μέτρησης). Επιπλέον, στο Διάγραμμα 5.22 παρουσιάζεται η χρονοσειρά για τις συγκεντρώσεις νιτρικών (NO₃-N) για την ανοξική δεξαμενή C1 και τις αερόβιες δεξαμενές C2 και C3.

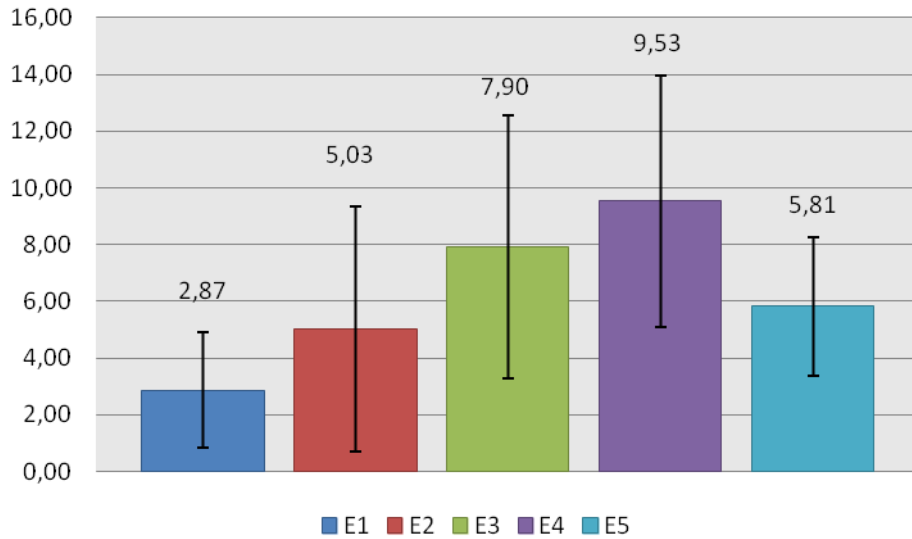


Διάγραμμα 5.21 Συγκεντρώσεις νιτρικών (NO₃-N) στις δεξαμενές και στην έξοδο για το Σύστημα Ελέγχου

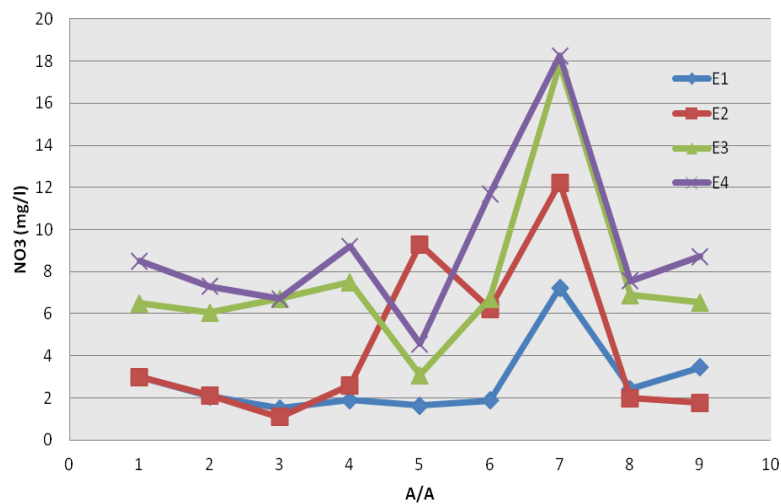


Διάγραμμα 5.22 Χρονοσειρά συγκεντρώσεων νιτρικών (NO₃-N) για τις δεξαμενές του Συστήματος Ελέγχου

Αντίστοιχα για το Πειραματικό Σύστημα, οι μέσες συγκεντρώσεις νιτρικών (NO₃-N) και οι τυπικές αποκλίσεις (σύνολο 9 σημείων μέτρησης) για τον αναερόβιο επιλογή E1, την ανοξική δεξαμενή E2 και τις αερόβιες δεξαμενές E3 και E4, δίνονται στο Διάγραμμα 5.23. Στο Διάγραμμα 5.24 παρουσιάζεται η αναλυτική χρονοσειρά για τις συγκεντρώσεις σε κάθε μία εκ των δεξαμενών χωριστά.



Διάγραμμα 5.23 Συγκεντρώσεις νιτρικών (NO₃-N) στις δεξαμενές και στην έξοδο για το Πειραματικό Σύστημα



Διάγραμμα 5.24 Χρονοσειρά συγκεντρώσεων νιτρικών (NO₃-N) για τις δεξαμενές του Πειραματικού Συστήματος

Σε επίπεδο μέσων όρων συγκεντρώσεων (Διαγράμματα 5.21 και 5.23), όπως αναμενόταν, και στα δύο συστήματα παρατηρείται μια «κλίση» νιτρικών με μέγιστο την τελευταία αερόβια δεξαμενή όπου και επιτελείται το μεγαλύτερο ποσοστό νιτροποίησης και ελάχιστο την ανοξική δεξαμενή C1 για το Σύστημα Ελέγχου και την αναερόβια δεξαμενή E1 για το Πειραματικό Σύστημα. Συγκεκριμένα για το Σύστημα Ελέγχου έχουμε κλίση συγκεντρώσεων νιτρικών [8,19-6,49-1,79 (mg/l)] και για το Πειραματικό Σύστημα αντίστοιχα συγκεντρώσεις νιτρικών [9,53-7,90-5,03-2,87(mg/l)].

Με βάση τη μέση συγκέντρωση νιτρικών στο αναερόβιο φρεάτιο επιλογής του Πειραματικού Συστήματος, προκύπτει το συμπέρασμα ότι η δεξαμενή αυτή λειτουργούσε ως ανοξικός αντιδραστήρας παρά ως αναερόβιος, όπως είχε αρχικά υποτεθεί κατά το σχεδιασμό. Επομένως, το Πειραματικό Σύστημα ουσιαστικά αποτελούνταν από δύο ανοξικές και δύο αερόβιες δεξαμενές ή λόγω του μικρού όγκου του φρεατίου επιλογής, μπορούμε απλοποιητικά να θεωρήσουμε ότι πρόκειται για μια ανοξική δεξαμενή με δύο διαμερίσματα (Ανοξικός I με όγκο 2,4 l και Ανοξικός II με όγκο 13,1 l). Υπενθυμίζεται ότι στην προηγούμενη ενότητα (5.3.3 Ολικό COD και Διαλυτό COD) και συγκεκριμένα στον Πίνακα 5.9 υπολογίστηκε κλίση οργανικής φόρτισης [5,59-0,92 mgCOD/mgSS/d] η οποία και συγκλίνει ικανοποιητικά στη κλιμάκωση οργανικής φόρτισης σε διαμερισματοποιημένους ανοξικούς επιλογείς που βιβλιογραφικά θεωρείται επαρκής για τη καταπολέμηση φαινομένων νηματοειδούς διόγκωσης [6-3-1,5 mgCOD/mgSS/d]. Αυτή η «κλίση τροφής» συνιστά την ειδοποιό διαφορά μεταξύ των δύο συστημάτων, καθώς η κινητική πίεση που ασκεί το φρεάτιο επιλογής στο Πειραματικό Σύστημα δεν ασκείται αντίστοιχα στο Σύστημα Ελέγχου.

Επιπρόσθετα παρατηρείται ότι οι μέσες συγκεντρώσεις νιτρικών και στα δύο πιλοτικά συστήματα παρουσιάζουν μια απότομη πτώση μεταξύ της τελευταίας αερόβιας δεξαμενής και της δεξαμενής εξόδου. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει ότι οι ΔTK των 2 συστημάτων λειτούργησαν σε μεγάλο βαθμό ως δεξαμενές απονιτροποίησης και τα προϊόντα αυτής (αέριο άζωτο N₂) συνέβαλαν στην κακή καθιζησιμότητα της ιλύος με το φαινόμενο της ανύψωσης ιλύος (Rising). Η χρήση μηχανικής ανάδευσης θα έλυνε το πρόβλημα της απονιτροποίησης αλλά δεν ήταν δυνατή στην πειραματικής κλίμακας ΔTK, ενώ η επιφανειακή παροχή οξυγόνου που επιχειρήθηκε με διαχυτήρα απλά απέτρεπε την έξοδο της διογκωμένης λάσπης από την υπερχειλίση (και αυτό σε μικρό βαθμό). Ως ένα βαθμό, το φαινόμενο αντιμετωπίστηκε κατά τη Β' Φάση με την αύξηση της παροχής εξωτερικής ανακυκλοφορίας σε συνδυασμό με την εντατική χειροκίνητη ανάδευση. Ο χρόνος παραμονής της λάσπης στις ΔTK μειώθηκε σημαντικά και η ανάδευση βελτίωσε τη μακροδομή των κροκίδων ενώ ταυτόχρονα απέτρεπε τη δημιουργία δικτύου ροής επεξεργασμένου λύματος εντός των σωληνώσεων εξωτερικής ανακυκλοφορίας, τουλάχιστον για το χρονικό διάστημα της φυσικής παρουσίας του ερευνητή. Η αποτελεσματικότητα των μέτρων αυτών ήταν εμφανής στις τιμές εξόδου άλλων παραμέτρων (TSS) αλλά η απονιτροποίηση συνεχίστηκε καθώς το πρόβλημα δεν λύθηκε εν τη γενέσει του.

Επιπλέον, παρατηρούνται πολύ υψηλές τιμές τυπικών αποκλίσεων στις συγκεντρώσεις των νιτρικών και ιδιαίτερα για το Πειραματικό Σύστημα. Έτσι, ενώ η γενική εικόνα του συστήματος εμφανίζει επαρκείς ποσότητες νιτρικών στις αερόβιες δεξαμενές και μικρές συγκεντρώσεις νιτρικών σε μη αερόβιες συνθήκες, που σημαίνει ότι οι διεργασίες της νιτροποίησης και της απονιτροποίησης γίνονται κανονικά, στη πραγματικότητα οι υψηλές αποκλίσεις μαρτυρούν ότι υπάρχουν ημέρες (σημεία μέτρησης) όπου οι διεργασίες δεν πραγματοποιήθηκαν λόγω κάποιας αστοχίας στα δύο συστήματα. Η παρατήρηση αυτή παρουσιάζεται εμφανέστερα στις χρονοσειρές των Διαγραμμάτων 5.22 και 5.24. Τέλος, το εύρος συγκεντρώσεων νιτρικών εντός του επιλογέα (1,5-2,0mg/l) οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το φρεάτιο λειτουργεί περισσότερο υπό ανοξικές παρά αναερόβιες συνθήκες, γεγονός που οφείλεται σε λάθος σχεδιασμό των παραμέτρων του Πειραματικού Συστήματος, χωρίς ωστόσο αυτό να επηρεάζει τους στόχους και τα αποτελέσματα της έρευνας σε βαθμό που να θεωρηθεί σημαντικό πρόβλημα.

Σε επίπεδο χρονοσειρών, τα σημεία εμφάνισαν σχετική ομοιογένεια εκτός ελαχίστων εξαιρέσεων. Συγκεκριμένα, για το Σύστημα Ελέγχου, παρουσιάστηκαν χαμηλές τιμές νιτρικών στα σημεία μέτρησης #1 και #5 εντός των αερόβιων δεξαμενών, γεγονός που δεν δικαιολογείται από χαμηλή συγκέντρωση αμμωνιακού αζώτου ή χαμηλές θερμοκρασίες λυμάτων (τις ίδιες ημέρες η νιτροποίηση πραγματοποιήθηκε κανονικά στο Πειραματικό Σύστημα), επομένως οφείλεται σε έλλειψη νιτροποιητικών βακτηριδίων στο Σύστημα Ελέγχου λόγω απώλειας στερεών στην έξοδο την προηγούμενη ημέρα. Ανατρέχοντας στα δεδομένα TSS, οι τιμές εξόδου 1 ημέρα πριν ήταν 368mg/l και 120mg/l αντίστοιχα.

Αντίθετα, για το σύστημα Experimental, ανομοιομορφία παρατηρείται μόνο στο σημείο #7 (ημερομηνία μέτρησης 20/12), όταν και όλες οι δεξαμενές εμφάνισαν πολύ ψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών, γεγονός που συνεπάγεται ανεπαρκή απονιτροποίηση στο σύστημα. Δεν παρατηρούνται ενδείξεις που να επεξηγούν το φαινόμενο καθώς τα χαρακτηριστικά των λυμάτων δεν εμφάνισαν κάποια αιχμή και στις αμέσως επόμενες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε κοντινές χρονικές στιγμές (28/12,30/12), οι τιμές νιτρικών εξομαλύνονται. Το φαινόμενο κρίθηκε μεμονωμένο και δεν κρίθηκε σκόπιμη περαιτέρω ανάλυση.

Για να υπολογιστούν οι ταχύτητες απονιτροποίησης στα μη αερόβια διαμερίσματα των δύο συστημάτων εργαστηριακής κλίμακας εκτελέστηκαν ισοζύγια αζώτου, χρησιμοποιώντας τους μέσους όρους συγκεντρώσεων νιτρικών όπως αυτοί δίνονται στους Πίνακες 5.9 (Σύστημα Ελέγχου) και 5.10 (Πειραματικό Σύστημα) και τις τιμές παροχών του Πίνακα 5.8. Για το Σύστημα Ελέγχου, εκτελέστηκε το ακόλουθο ισοζύγιο αζώτου για την ανοξική δεξαμενή C1 (τύπος 5.12) και η ταχύτητα απονιτροποίησης υπολογίστηκε από τον τύπο 5.13.

$$\Delta\text{NO}_3 - \text{N}_{\text{C1}} = [\text{Q}_{\text{IN}} * \text{NO}_3 - \text{N}_{\text{IN}} + \text{Q}_{\text{r}} * \text{NO}_3 - \text{N}_{\text{C4}} + \text{Q}_{\text{R}} * \text{NO}_3 - \text{N}_{\text{C3}}] - \text{Q}_{\text{TOT}} * \text{NO}_3 - \text{N}_{\text{C1}} \quad (5.12)$$

$$q_{\text{DN}} = \frac{\Delta\text{NO}_3 - \text{N}_{\text{C1}}}{V_{\text{C1}} * \text{MLVSS}_{\text{C1}}} \quad (5.13)$$

Αντίστοιχα, για το Πειραματικό Σύστημα, τα ισοζύγια για τον αναερόβιο επιλογέα E1 και την ανοξική δεξαμενή E2 δίνονται από τους τύπους 5.14-5.15 και η αντίστοιχη ταχύτητα απονιτροποίησης δίνεται από τον τύπο 5.16.

$$\Delta\text{NO}_3 - \text{N}_{\text{E1}} = [\text{Q}_{\text{IN}} * \text{NO}_3 - \text{N}_{\text{IN}} + \text{Q}_{\text{r}} * \text{NO}_3 - \text{N}_{\text{E5}}] - (\text{Q}_{\text{IN}} + \text{Q}_{\text{r}}) * \text{NO}_3 - \text{N}_{\text{C1}} \quad (5.14)$$

$$\Delta\text{NO}_3 - \text{N}_{\text{E2}} = [\text{Q}_{\text{IN}} + \text{Q}_{\text{r}}] * \text{NO}_3 - \text{N}_{\text{E1}} + \text{Q}_{\text{R}} * \text{NO}_3 - \text{N}_{\text{E4}}] - \text{Q}_{\text{TOT}} * \text{NO}_3 - \text{N}_{\text{E2}} \quad (5.15)$$

$$q_{\text{DN}} = \frac{\Delta\text{NO}_3 - \text{N}_{\text{Ei}}}{V_{\text{Ei}} * \text{MLVSS}_{\text{Ei}}} \quad (5.16)$$

όπου, Q_{IN} , Q_{r} , Q_{R} : Παροχή εισόδου, εξωτερικής και εσωτερικής ανακυκλοφορίας

$\text{NO}_3 - \text{N}_{\text{Ci}}$: Μέση συγκέντρωση νιτρικών στην i δεξαμενή

V_{Ci} : Όγκος Δεξαμενής

MLVSS_{Ci} : Μέση συγκέντρωση πτητικών αιρούμενων στερεών

q_{DN} : Ταχύτητα απονιτροποίησης

Στο άνωθεν τυπολόγιο, λαμβάνονται ως συγκεντρώσεις νιτρικών για την εξωτερική ανακυκλοφορία οι συγκεντρώσεις στις εξόδους των δύο πειραματικών συστημάτων και συγκεκριμένα η συγκέντρωση $\text{NO}_3 - \text{N}_{\text{C4}}$ για το Σύστημα Ελέγχου και η $\text{NO}_3 - \text{N}_{\text{E5}}$ για το Πειραματικό Σύστημα αντίστοιχα. Η παραδοχή αυτή λαμβάνεται καθώς δεν ήταν δυνατή η εξαγωγή δείγματος από τις δεξαμενές τελικής καθίζησης. Κατά την επίλυση του ισοζυγίου ωστόσο παρατηρήθηκαν πολύ χαμηλές ταχύτητες απονιτροποίησης που δεν ανταποκρίνονται στη πραγματικότητα και «υποδιαστασιοποιούν» τους πραγματικούς ρυθμούς των συστημάτων (1,85mg $\text{NO}_3 - \text{N}/\text{g MLVSS}/\text{h}$ για την ανοξική δεξαμενή C1 και

1,61mg NO₃-N/g MLVSS/h για τον αναερόβιο επιλογέα). Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Καγιά,2011), οι τιμές του ρυθμού απονιτροποίησης με εύρος 4-10 mg NO₃-N/g MLVSS/h αντιστοιχούν σε απονιτροποίηση παρουσία εύκολα διασπάσιμου COD, δηλαδή στην απονιτροποίηση που λαμβάνει χώρα στην πρώτη δεξαμενή της βιολογικής βαθμίδας όπου και το εύκολα διασπώμενο κλάσμα οργανικής ύλης δεν έχει προσροφηθεί από τους μικροοργανισμούς. Αντίστοιχα, τιμές μεταξύ 2-4 mg NO₃-N/g MLVSS/h αντιστοιχούν σε απονιτροποίηση δύσκολα διασπάσιμου οργανικού φορτίου, ενώ οι πολύ χαμηλοί ρυθμοί απονιτροποίησης (1-2 mg NO₃-N/g MLVSS/h) αντιστοιχούν σε συνθήκες έλλειψης τροφής, όπου και πραγματοποιείται ενδογενής αναπνοή των μικροοργανισμών.

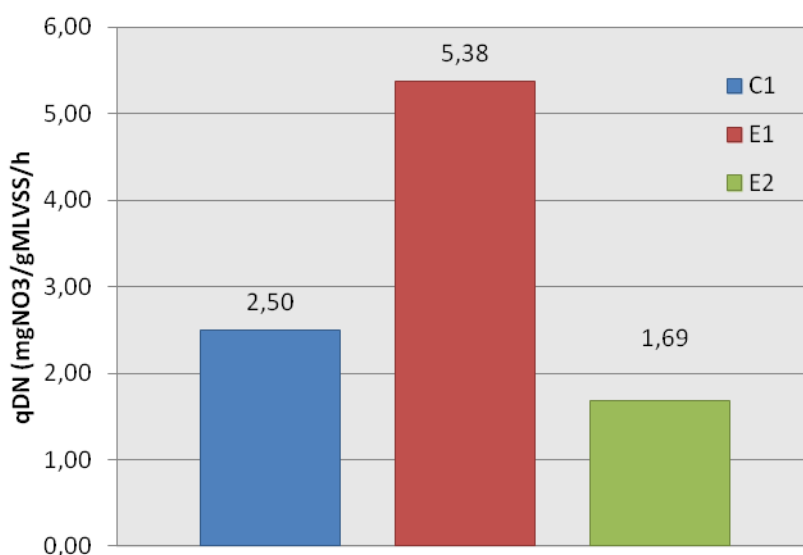
Το λογικό σφάλμα που προέκυψε αιτιολογείται σε μεγάλο βαθμό από το γεγονός ότι τόσο οι ΔTK και οι δεξαμενές εξόδου κυρίως αλλά πιθανώς και οι παγίδες στερεών, λειτουργούσαν ως ανοξικά διαμερίσματα με σημαντικό χρόνο παραμονής (12-15 h) και επομένως συμμετείχαν στην κατανάλωση νιτρικών για τα δύο συστήματα. Ωστόσο αυτή η κατανάλωση νιτρικών δεν πρέπει να ληφθεί υπ' όψη στους ρυθμούς απονιτροποίησης των δύο συστημάτων ενεργού ιλύος καθώς πραγματοποιούνταν αθέμιτα και εκτός των ορίων της βιολογικής βαθμίδας. Επομένως σε μια πιο ρεαλιστική προσέγγιση, ως συγκεντρώσεις νιτρικών στην εξωτερική ανακυκλοφορία λαμβάνονται οι συγκεντρώσεις της τελευταίας αερόβιας δεξαμενής. Αυτή η λύση πιθανώς να «υπερδιαστασιολογεί» τους πραγματικούς ρυθμούς απονιτροποίησης των συστημάτων αλλά προσεγγίζει σαφώς πιο ρεαλιστικά την πραγματικότητα.

Τα αποτελέσματα για την απομάκρυνση νιτρικών ανά ώρα (Δ NO₃-N) και τους ρυθμούς απονιτροποίησης (qDN) στις μη αερόβιες δεξαμενές στα δύο συστήματα δίνονται στον Πίνακα 5.12. Σε σύνολο 9 μετρήσεων νιτρικών, εξήχθησαν αντίστοιχα αποτελέσματα για τα οποία και υπολογίσθηκε ο μέσος όρος. Η προσέγγιση αυτή θεωρήθηκε ακριβέστερη από την εξαγωγή ρυθμών απονιτροποίησης για τους μέσους όρους συγκεντρώσεων νιτρικών, καθώς όπως φαίνεται με κόκκινο χρώμα στον Πίνακα 5.12, συγκεκριμένοι ρυθμοί προκύπτουν αρνητικοί και κατά συνέπεια απορρίπτονται από τον τελικό μέσο όρο. Οι αρνητικοί ρυθμοί απονιτροποίησης αντιστοιχούν σε μετρήσεις όπου η απώλεια στερεών στην έξοδο την προηγούμενη ημέρα είχε ως αποτέλεσμα την έκπλυση των νιτροποιητών και κατ' επέκταση την χαμηλή ανακυκλοφορία νιτρικών πίσω στις μη αερόβιες δεξαμενές των συστημάτων. Ακόμα, είναι δυνατό να οφείλεται σε πολύ υψηλούς ρυθμούς απονιτροποίησης ανάντη ή πειραματικό σφάλμα κατά την ανάλυση των δειγμάτων στο χημείο από τον ερευνητή.

Πίνακας 5.12 Ρυθμοί απονιτροποίησης για τις μη αερόβιες δεξαμενές για τα Συστήματα Ελέγχου και Πειραματικού

A/A	C1		E1		E2	
	$\Delta\text{NO}_3\text{-N}$ (mg NO ₃ -N/h)	qDN (mg NO ₃ -N/g MLVSS/h)	$\Delta\text{NO}_3\text{-N}$ (mg NO ₃ -N/h)	qDN (mg NO ₃ -N/g MLVSS/h)	$\Delta\text{NO}_3\text{-N}$ (mg NO ₃ -N/h)	qDN (mg NO ₃ -N/g MLVSS/h)
1	34,58	0,94	17,29	2,76	41,25	1,32
2	116,99	3,19	19,52	3,12	38,35	1,22
3	76,25	2,08	32,75	5,23	53,67	1,71
4	136,00	3,71	46,83	7,49	49,58	1,58
5	55,38	1,51	15,26	2,44	-130,87	-4,18
6	111,63	3,04	65,70	10,50	-2,98	-0,10
7	75,65	2,06	52,25	8,35	-4,81	-0,15
8	109,48	2,98	28,19	4,51	53,99	1,72
9	111,01	3,02	25,03	4,00	80,33	2,57
M.O	91,88	2,50	33,65	5,38	52,86	1,69

Ο ρυθμός απονιτροποίησης στον «αναερόβιο» επιλογέα E1 του Πειραματικού Συστήματος είναι υψηλότερος συγκριτικά με την ανοξική δεξαμενή C1 του Συστήματος Ελέγχου, λόγω υψηλότερης οργανικής φόρτισης. Τα συνοπτικά αποτελέσματα του ρυθμού απονιτροποίησης για τα δύο συστήματα δίνονται στο Διάγραμμα 5.25.



Διάγραμμα 5.25 Ρυθμοί απονιτροποίησης στις μη αερόβιες δεξαμενές για τα Συστήματα Ελέγχου και Πειραματικού

5.3.5 DSVI & Μικροσκοπικές Αναλύσεις

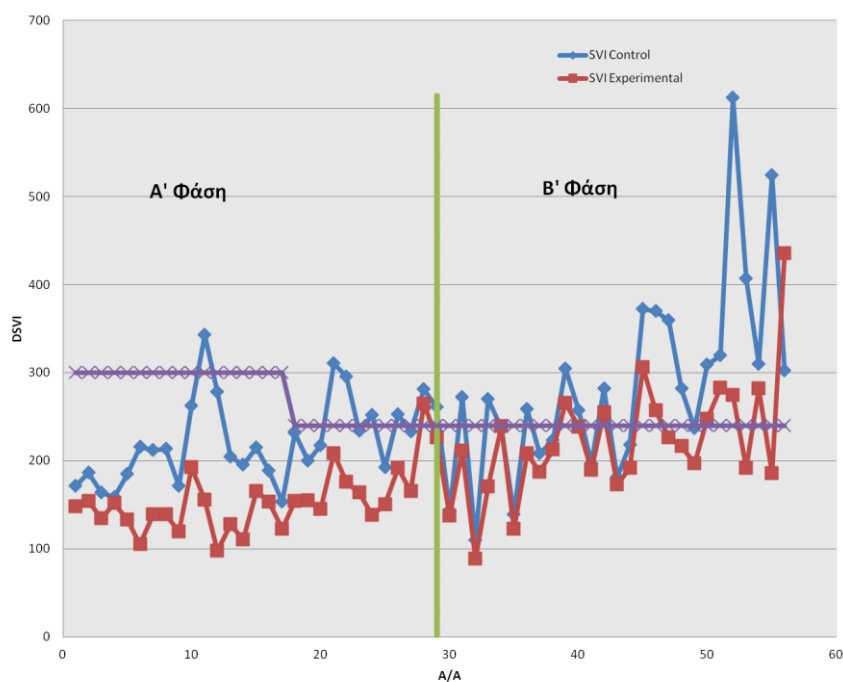
Η ύπαρξη νηματοειδών βακτηρίων στην ιλύ έως ένα βαθμό είναι θεμιτή καθώς συμμετέχουν στους βιολογικούς μηχανισμούς συσσωμάτωσης των βιοκροκίδων, παρέχοντας καλύτερη μακροδομή και συνεκτικότητα στην ιλύ η οποία έτσι αποκτά βελτιωμένες ιδιότητες (συμπύκνωση και ταχύτητα καθίζησης). Ωστόσο, υπερβολική ανάπτυξη νηματοειδών βακτηρίων στο ανάμεικτο υγρό συνεπάγεται την ένωση των βιοκροκίδων με χαλαρούς συνεκτικούς δεσμούς. Ο υπερπληθυσμός νηματοειδών έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία γεφυρών μεταξύ τους (bridging) και πλήρωση των κενών μεταξύ των κροκίδων με μόρια νερού. Η εν λόγω κατάσταση βιβλιογραφικά αποδίδεται με τον όρο νηματοειδής διόγκωση (filament bulking) και περιγράφεται από μια διογκωμένη λάσπη με αργή ταχύτητα καθίζησης και κακή συμπύκνωση. Ο χαρακτηρισμός της λάσπης γίνεται μακροσκοπικά με τις μετρήσεις του δείκτη καθιζησιμότητας (DSVI) και μικροσκοπικά με την ανάλυση δείγματος λάσπης για την εξαγωγή δείκτη συγκέντρωσης νηματοειδών (Filament Index).

Στο πλαίσιο της ενότητας δίνονται συνοπτικοί πίνακες με τα αποτελέσματα του δείκτη DSVI για τα δύο συστήματα ενεργού ιλύος (Πίνακας 5.13) και τα αποτελέσματα του Filament Index (Πίνακας 5.14). Επιπρόσθετα, παρουσιάζονται και σχολιάζονται οι χρονοσειρές για τον δείκτη DSVI στα συστήματα Ελέγχου και Πειραματικού (Διάγραμμα 5.26) και πραγματοποιείται η σύγκριση των δύο συστημάτων μέσω των αθροιστικών κατανομών DSVI (Διάγραμμα 5.27-5.28). Επιπλέον, επιχειρείται η συσχέτιση των παραμέτρων DSVI- Filament Index μέσω των σχετικών Διαγραμμάτων (5.29-5.30). Τέλος, η παρουσίαση των μικροσκοπικών αποτελεσμάτων εστιάζει στη μέση συγκέντρωση των κυρίαρχα εμφανιζόμενων νηματοειδών βακτηριδίων (Διαγράμματα 5.31-5.32) και στην εβδομαδιαία μεταβολή του πληθυσμού των νηματοειδών αυτών για τα δύο συστήματα εργαστηριακής κλίμακας (Διαγράμματα 5.33-5.34).

Πίνακας 5.13 Μέσο DSVI για τα Συστήματα Ελέγχου και Πειραματικού
Α' & Β' Φάση

DSVI	Control	Experimental
AVERAGE	253	187
PHASE A AVER	219	147
PHASE B AVER	283	222

Η καθημερινή μέτρηση του DSVI των 2 συστημάτων (εξαγωγή δείγματος από την πρώτη αερόβια δεξαμενή όπως αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 4) αποτέλεσε την πιο άμεση και αντιπροσωπευτική μέθοδο ελέγχου της νηματοειδούς διόγκωσης για τα δύο συστήματα ενεργού ιλύος. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, για τον δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος (SVI), τα προβλήματα καθιζησιμότητας ιλύος εντός της βιολογικής βαθμίδας μιας ΕΕΛ εμφανίζονται για τιμές του δείκτη μεγαλύτερες από 150ml/gSS. Αναλυτικά οι τιμές του συντελεστή DSVI δίνονται στο Διάγραμμα 5.28, στα οποία προστίθεται κατακόρυφη ευθεία για τον διαχωρισμό των χρονικών φάσεων Α' και Β'.

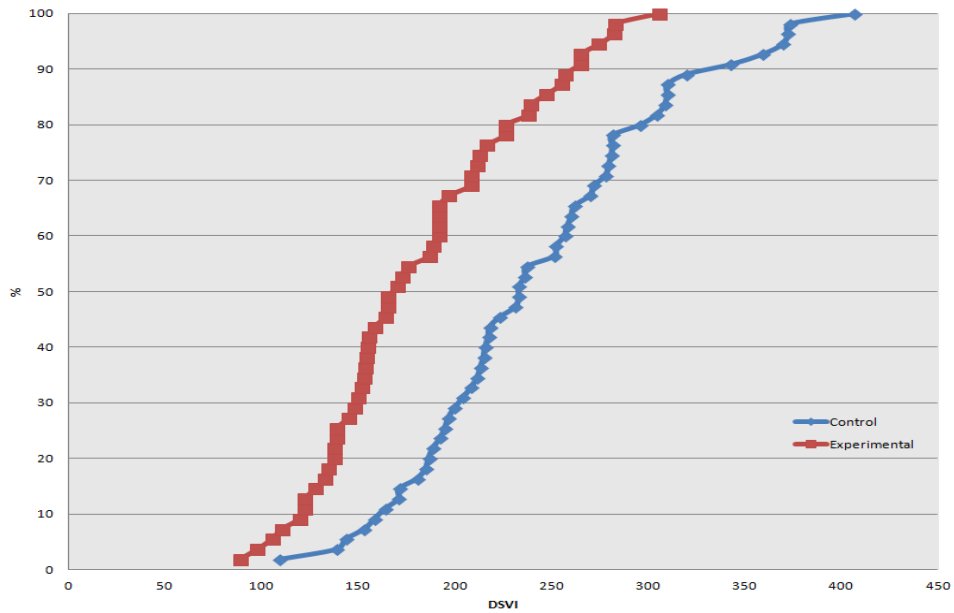


Διάγραμμα 5.26 Χρονοσειρά DSVI για τα Συστήματα Ελέγχου και Πειραματικού (A' & B' Φάση)

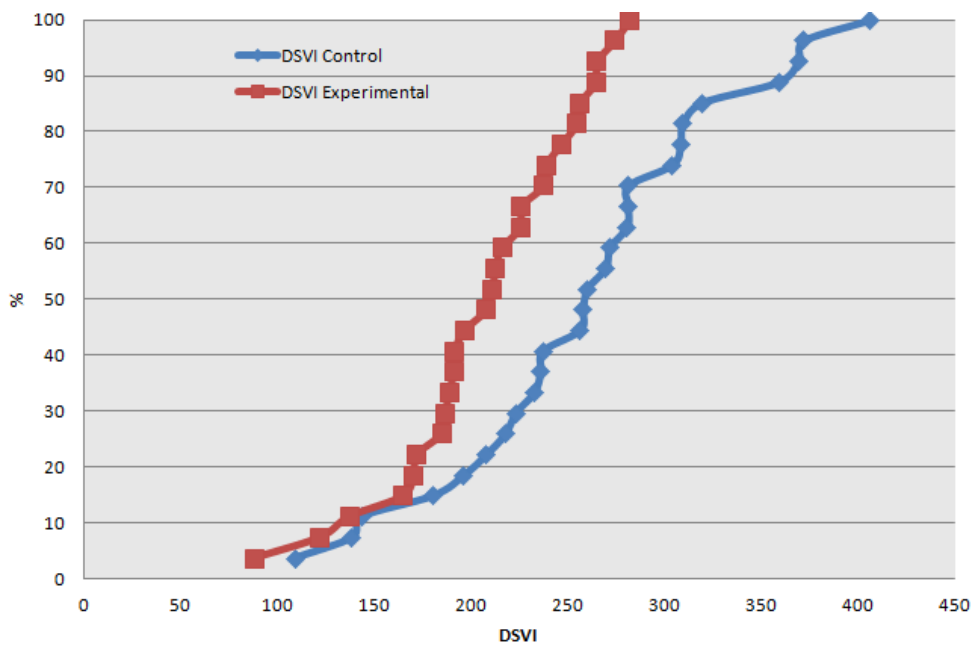
Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως για όλα τα σημεία μέτρησης ισχύει $DSVI_c > DSVI_e$, επομένως θεωρείται εκ προοιμίου θετική η επίδραση του αναερόβιου επιλογέα στα χαρακτηριστικά καθίζησης της λάσπης. Ειδικότερα, για τα τελευταία 10 σημεία μέτρησης, ο δείκτης καθιζησιμότητας για το Σύστημα Ελέγχου παραμένει σταθερά πάνω από τα επιτρεπτά όρια νηματοειδούς διόγκωσης, γεγονός που επιβεβαιώθηκε και από την επιτόπια παρατήρηση του συστήματος, καθώς τα προβλήματα διόγκωσης για την περίοδο αυτή ήταν ιδιαίτερα έντονα, επιβαρύνοντας συστηματικά την τελική εκροή λόγω διαφυγής στερεών. Αντίθετα, για το Πειραματικό Σύστημα, λιγοστά σημεία ξεπερνούν το όριο αυτό, χωρίς αυτό να σημαίνει όμως πως στο σύστημα δεν διαπιστώθηκαν κάποια προβλήματα διόγκωσης της λάσπης.

Η συγκριτικά καλύτερη χρονοσειρά τιμών DSVI για το Πειραματικό Σύστημα παρουσιάζεται παραστατικότερα στα Διαγράμματα 5.27-5.28. Στο διάγραμμα παρουσιάζονται οι αθροιστικές καμπύλες DSVI για τα δύο συστήματα ενεργού ιλύος όπου και είναι εμφανής η σαφώς καλύτερη ποιότητα λάσπης για το Πειραματικό Σύστημα, όπου το εύρος τιμών είναι μικρότερο ενώ ταυτόχρονα οι περισσότερες μετρήσεις κινούνται στην αποδεκτή περιοχή των 120-220mg/l (~95% διαστήματα εμπιστοσύνης). Αντίθετα, η κατανομή των τιμών DSVI για το Πειραματικό σύστημα εμφανίζει μεγάλες αποκλίσεις σε μη αποδεκτά εύρη τιμών (130-330mg/l). Όπως προαναφέρθηκε ωστόσο, η καλύτερη ποιότητα λάσπης του Συστήματος Ελέγχου, σε σύγκριση πάντα με την αντίστοιχη του Πειραματικού Συστήματος, δεν σημαίνει απαραίτητα πως σε αυτήν δεν εμφανίστηκαν συμπτώματα νηματοειδούς διόγκωσης. Η μακροσκοπική μέτρηση του δείκτη καθιζησιμότητας όμως δεν

δύναται να μας παρέχει επαρκείς πληροφορίες για τη μικροσκοπική σύνθεση και ποιότητα της λάσπης, για την εξαγωγή ακριβέστερων συμπερασμάτων. Τέλος, στο Διάγραμμα 5.30 δίνονται οι αθροιστικές καμπύλες DSVI για τα δύο συστήματα μόνο κατά τη Β' Φάση.



Διάγραμμα 5.27 Αθροιστικές καμπύλες DSVI για τα Συστήματα Ελέγχου και Πειραματικού για το σύνολο του πειράματος (Φάση A & B)



Διάγραμμα 5.28 Αθροιστικές καμπύλες DSVI για τα Συστήματα Ελέγχου και Πειραματικού (Φάση B)

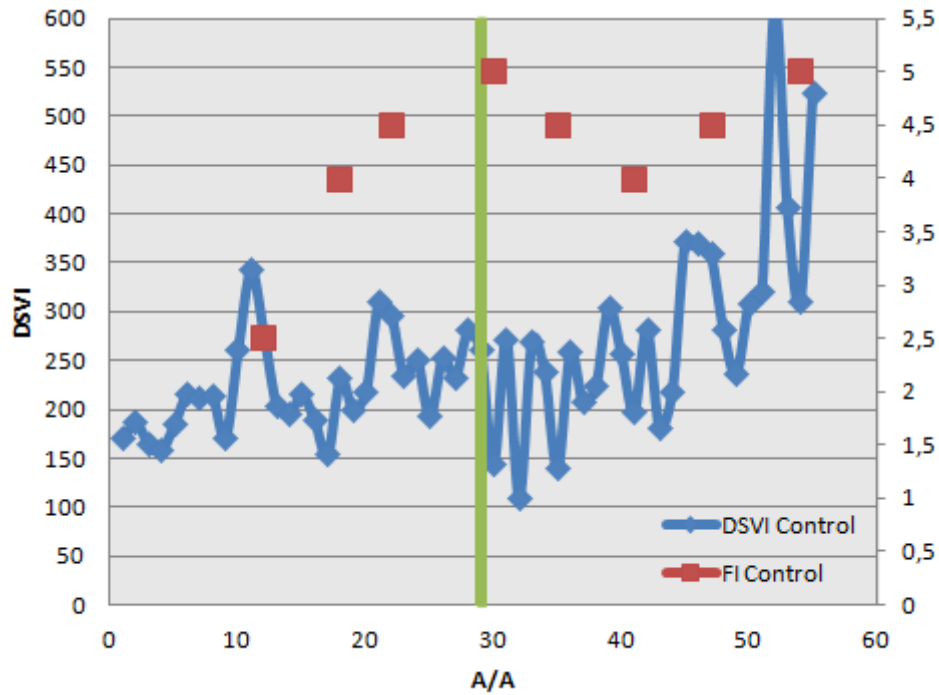
Οι μικροσκοπικές αναλύσεις παρέχουν επιπλέον πληροφορία σχετικά με τη συγκέντρωση νηματοειδών μικροοργανισμών στο ανάμεικτο υγρό, τη γεφύρωση τους, τους επικρατέστερους νηματοειδείς και το πληθυσμό τους, το μέγεθος των κροκίδων κ.α. Κρισιμότερος συντελεστής θεωρείται ο δείκτης νηματοειδών (Filament Index) ο οποίος και συσχετίζεται άμεσα με τα αποτελέσματα του DSVI των 2 συστημάτων του ΠΣ. Πρόκειται για δείκτη με εύρος τιμών 0-5 και υποδηλώνει το πλήθος και τη συγκέντρωση των νηματοειδών στο σύνολο των μικροοργανισμών του δείγματος, όπου ως 0 νοείται πλήρη απουσία νηματοειδών στο δείγμα και ως 5 υπερβολική παρουσία αυτών.

Τα αποτελέσματα των μικροσκοπικών αναλύσεων ως προς τον προσδιορισμό του δείκτη νηματοειδών (Filament Index) παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.14. Κατά την Α΄ Φάση, οι 3 μετρήσεις εμφανίζουν παρόμοια εικόνα στο μικροσκόπιο ἴδιο πληθυσμό νηματοειδών στο ανάμεικτο υγρό αλλά και ειδικότερα ίδιες συγκεντρώσεις νηματοειδών βακτηρίων όπως θα αναλυθεί στη συνέχεια. Αντίθετα, η εισαγωγή παγίδας στερεών κατά τη Β΄ Φάση συνέβαλε αποφασιστικά στην σταθεροποίηση των δύο συστημάτων και κατά συνέπεια στις 5 εναπομείναντες μετρήσεις διαφαίνονται οι διαφοροποιήσεις των δύο συστημάτων και σε επίπεδο μικροσκοπικής ανάλυσης. Έτσι, ενώ το Filament Index (FI) του συστήματος Control στη 2^η φάση είναι της τάξης του 4,5 κατά μέσο όρο, η αντίστοιχη τιμή για το σύστημα Experimental είναι 1 μονάδα μικρότερη (3,5 κατά μέσο όρο). Η διαφοροποίηση του δείκτη συνοψίζει την θετική επίπτωση των επιλογών στην αναχαίτιση της μεταβολικής ανάπτυξης των νηματοειδών βακτηρίων και επικυρώνει την ορθότητα της υποθέσεως εργασίας, σε συμφωνία με το πόρισμα που προκύπτει και από τις μετρήσεις καθιζησιμότητας της ιλύος (μετρήσεις DSVI).

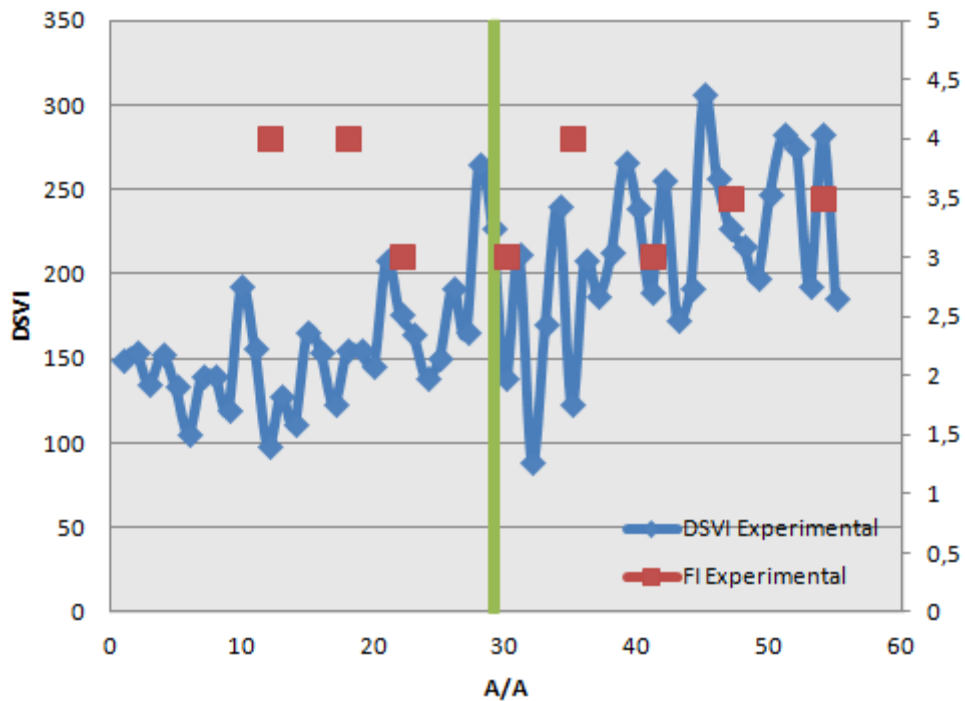
Πίνακας 5.14 Συντελεστής Filament Index για τα Συστήματα Ελέγχου και Πειραματικού

FILAMENT INDEX			
A/A	Date	CONTROL	EXPERIMENTAL
1	3-Νοε	2,5	4
2	10-Νοε	4	4
3	15-Νοε	4,5	3
4	24-Νοε	5	3
5	1-Δεκ	4,5	4
6	8-Δεκ	4	3
7	15-Δεκ	4,5	3,5
8	28-Δεκ	4,5	3,5

Παρατηρείται λοιπόν πως, στα πλαίσια λειτουργίας των συστημάτων ενεργού υλός με απομάκρυνση θρεπτικών, υπάρχει μονοσήμαντη σχέση μεταξύ των παραμέτρων του δείκτη καθαρισιμότητας και του δείκτη νηματοειδών (DSVI-FI) και έτσι κρίνεται σκόπιμη η κοινή παρουσίαση τους στα σχετικά Διαγράμματα 5.29 και 5.30.



Διάγραμμα 5.29 Συσχέτιση συντελεστών DSVI - Filament Index για το Σύστημα Ελέγχου

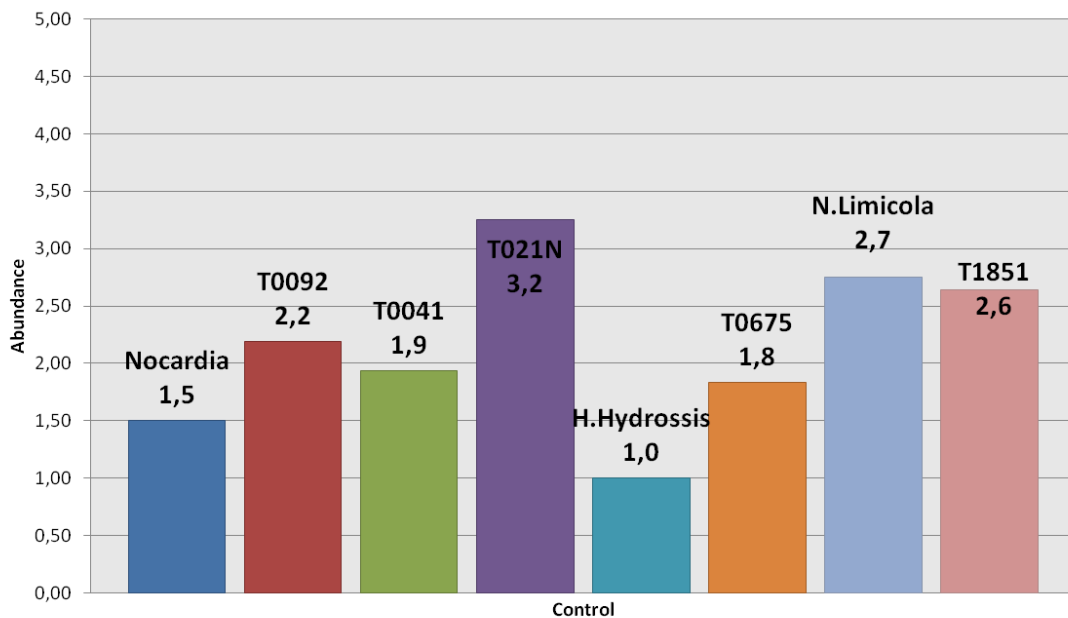


Διάγραμμα 5.30 Συσχέτιση συντελεστών DSVI - Filament Index για το Πειραματικό Σύστημα

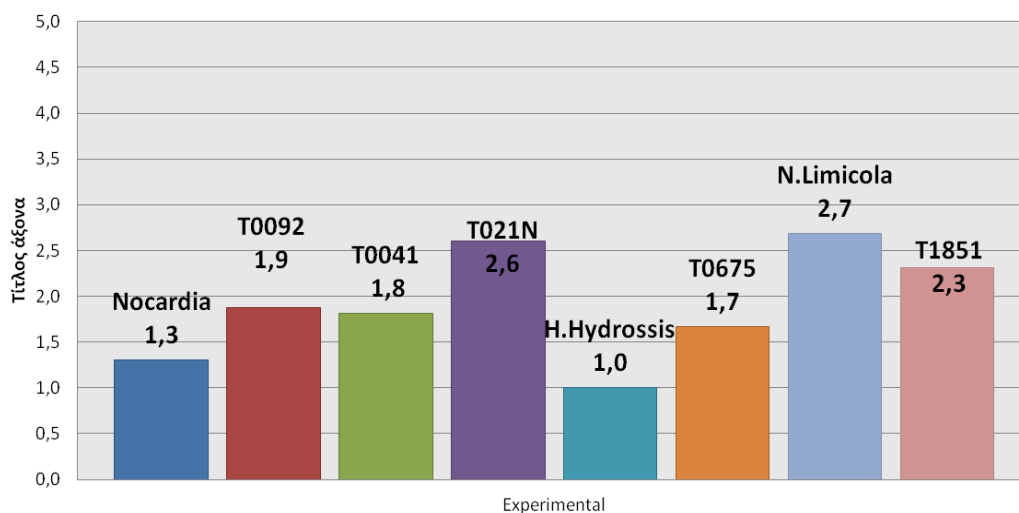
Στο Σύστημα Ελέγχου, από τη δεύτερη κιόλας μικροσκοπική μέτρηση (10 Νοεμβρίου), ο δείκτης νηματοειδών φτάνει στο 4 ενώ κατά τη Β' Φάση σταθεροποιείται σε τιμές μεταξύ 4,5-5. Ταυτόχρονα, η επικράτηση των νηματοειδών στη βιοκοινότητα της ενεργού ιλύος αποτυπώνεται και από την διαρκή αύξηση των τιμών του δείκτη καθιζησιμότητας DSVI, ο οποίος μάλιστα τις τελευταίες ημέρες λειτουργίας του Συστήματος Ελέγχου φτάνει σε υπερβολικά υψηλά επίπεδα (400-600mg/l). Σε αυτό το διάστημα τα φαινόμενα νηματοειδούς διόγκωσης είναι προφανή τόσο ως προς τη κακή συμπύκνωση της ιλύος εντός της ΔTK αλλά και από τις σημαντικές απώλειες στερεών στην έξοδο σε καθημερινή βάση.

Αντίθετα, για το Πειραματικό Σύστημα τα αποτελέσματα είναι αρκετά διαφορετικά. Ως προς το δείκτη νηματοειδών (σημεία FI στο Διάγραμμα 5.30), ενώ κατά την Α' Φάση κινείται σε υψηλά επίπεδα (περίπου 4), κατά τη Β' Φάση παρατηρείται μείωση του δείκτη κατά μισή μονάδα κατ' ελάχιστο και μια μονάδα κατά μέγιστο. Η μικρή αυτή διαφορά κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική όταν αυτή συσχετιστεί με την αυξανόμενη τάση του δείκτη καθιζησιμότητας κατά τη Β' Φάση. Με άλλα λόγια, ενώ η ποιότητα της λάσπης για το Πειραματικό Σύστημα υποβαθμίζεται, παρατηρείται σταδιακή μείωση του πληθυσμού των νηματοειδών κατά 1 μονάδα μεσοσταθμικά. Η μεταβολική πίεση από τον αναερόβιο επιλογέα όπως αναμέναμε συνέβαλε στη μείωση των συγκεντρώσεων των νηματοειδών βακτηριδίων εντός της βιομάζας του Πειραματικού Συστήματος, αλλά όχι σε βαθμό ικανό να αναχαιτίσει την ανάπτυξη τους η οποία και προκαλεί τα λειτουργικά προβλήματα διόγκωσης.

Εκτός από το δείκτη νηματοειδών, οι μικροσκοπικές αναλύσεις στοχεύουν στον εντοπισμό των κυρίαρχων νηματοειδών βακτηριδίων στο δείγμα του ανάμεικτου υγρού και στον καθορισμό του πληθυσμού τους με τον ειδικό δείκτη νηματοειδών (Specific Filament Index) ο οποίος βαθμονομείται ακριβώς όπως ο δείκτης νηματοειδών (από 0 έως 5, όπου 0 νοείται η πλήρης απουσία του μικροοργανισμού και ως 5 η ιδιαίτερα υψηλή συγκέντρωσή του στο δείγμα). Η βαθμονόμηση είναι καθαρά υποκειμενική καθώς υπόκειται στα κριτήρια του εκάστοτε ερευνητή. Οι μικροσκοπικές μετρήσεις του SFI πραγματοποιήθηκαν από τον αναπληρωτή καθηγητή και επιβλέποντα καθηγητή της παρούσας εργασίας, κ. Δανιήλ Μαμάη. Οι μέσες τιμές εμφάνισης για τους κυρίαρχους νηματοειδείς μικροοργανισμούς στο ανάμεικτο υγρό (σε σύνολο 9 μικροσκοπικών μετρήσεων) δίνονται στα Διαγράμματα 5.31 για το Σύστημα Ελέγχου και 5.32 για το Πειραματικό Σύστημα.



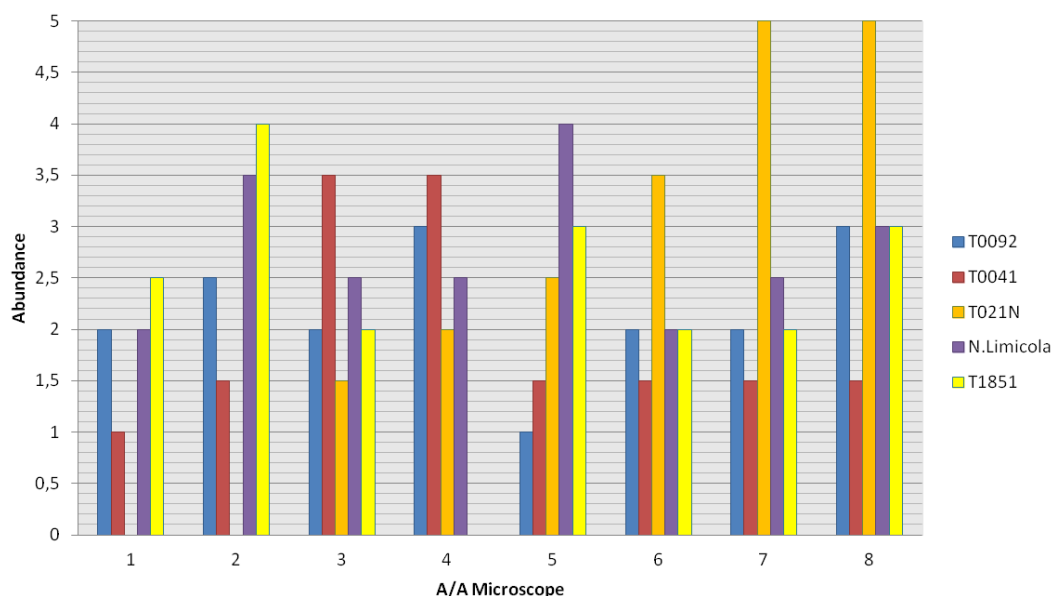
Διάγραμμα 5.31 Μέση εμφάνιση κυρίαρχων νηματοειδών στο ανάμεικτο υγρό για το Σύστημα Ελέγχου



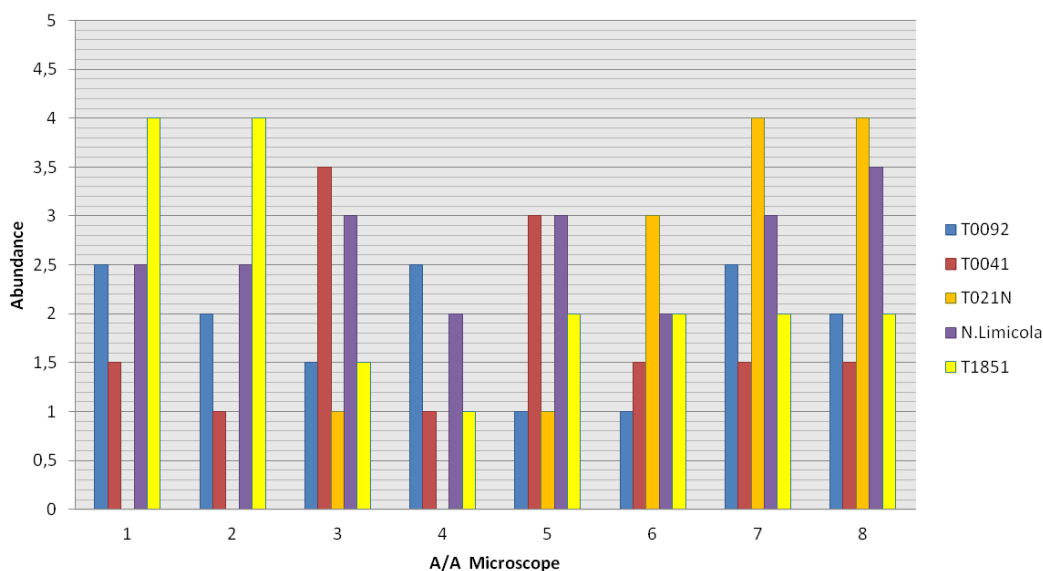
Διάγραμμα 5.32 Μέση εμφάνιση κυρίαρχων νηματοειδών στο ανάμεικτο υγρό για το Πειραματικό Σύστημα

Η κατά μέσο όρο 1 μονάδα διαφοράς του δείκτη νηματοειδών για τα Συστήματα Ελέγχου (~4,5) και Πειραματικού (~3,5), αποτυπώνεται και στις τιμές ειδικών δεικτών των Διαγραμμάτων 5.31 και 5.32. Τα δύο συστήματα εργαστηριακής κλίμακας παρουσιάζουν ακριβώς τα ίδια επικρατούντα νηματοειδή βακτήρια ως προς τα γένη και την κατάταξη αυτών ενώ, όπως αναμενόταν, οι τιμές του δείκτη SFI για τα νηματοειδή του Πειραματικού Συστήματος είναι ελαφρώς μειωμένες συγκριτικά με τις αντίστοιχες τιμές του Συστήματος Ελέγχου. Είναι σαφές ότι η μεταβολική πίεση του επιλογέα είναι αυτή που μας δίνει αυτή τη ποιοτική διαφοροποίηση στα δύο (μεσοσταθμικά) δείγματα λάσπης για τα συστήματα, ωστόσο αυτή η παρουσίαση δεν μας παρέχει επαρκή στοιχεία για τη χρονική παράμετρο, δηλαδή την εξέλιξη του πληθυσμού για κάθε ένα από τα κυρίαρχα νηματοειδή βακτηρίδια κατά τη διάρκεια του πειράματος και της διεξαγωγής των διαδοχικών μικροσκοπικών αναλύσεων.

Η χρονική εξέλιξη του πληθυσμού των νηματοειδών είναι ιδιαίτερα κρίσιμη καθώς μας δίνει τη δυνατότητα να κατανοήσουμε την επίδραση των λειτουργικών παραμέτρων μιας ΕΕΛ εντός του συστήματος ενεργού ιλύος (θc, συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου DO, χρήση επιλογένων, θερμοκρασία λυμάτων κ.α.) σε κάθε μία εκ των ομάδων νηματοειδών βακτηρίων όπως αυτές έχουν ταξινομηθεί με βάση τις συνθήκες περιβάλλοντος που επικρατούν. Η εβδομαδιαία μεταβολή του πληθυσμού των νηματοειδών παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 5.33 για το Σύστημα Ελέγχου και στο Διάγραμμα 5.34 για το Πειραματικό Σύστημα.



Διάγραμμα 5.33 Εβδομαδιαία μεταβολή πληθυσμού νηματοειδών βακτηριδίων για το Σύστημα Ελέγχου



Διάγραμμα 5.34 Εβδομαδιαία μεταβολή πληθυσμού νηματοειδών βακτηριδίων για το Πειραματικό Σύστημα

Όπως διαπιστώθηκε και στα Διαγράμματα 5.31-5.32, οι τάσεις της μικροβιακής κοινότητας ως προς την πληθυσμιακή εξέλιξη δεν παρουσιάζει διαφοροποιήσεις στα δύο συστήματα, εξαιρώντας φυσικά το γεγονός πως οι συγκεντρώσεις των επικρατούντων νηματοειδών στο Πειραματικό Σύστημα είναι μικρότερες, συγκριτικά με τις αντίστοιχες στο Σύστημα Ελέγχου. Ουσιαστικά παρατηρείται, και για τα δύο συστήματα, πως κατά τις πρώτες μικροσκοπικές αναλύσεις εμφανίζονται ως επικρατέστεροι οι νηματοειδείς T1851 και N.Limicola κυρίως (3^η ομάδα νηματοειδών) και οι T0092, T0041 δευτερευόντως (4^η ομάδα). Με τη πάροδο του χρόνου όπου το σύστημα σταθεροποιείται, ο επιλογέας ασκεί κινητική και μεταβολική πίεση στις συγκεκριμένες υποομάδες, ενώ αντίθετα τονώνει την υπερανάπτυξη του μικροοργανισμού T021N ο οποίος και ανήκει στη 2^η ομάδα μικροοργανισμών. Μάλιστα για το Σύστημα Ελέγχου, ο T021N παρουσιάζει πολύ υψηλές συγκεντρώσεις κατά τις αναλύσεις 8 και 9 (βαθμονόμηση 5/5). Αυτή η εξέλιξη θεωρείται μη αναμενόμενη καθώς, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η συγκεκριμένη ομάδα μικροοργανισμών αδυνατεί να επιβιώσει σε μη αερόβιες συνθήκες. Αξιοσημείωτη θα πρέπει να θεωρηθεί η πλήρης απουσία του νηματοειδούς *M.parvicella*, ο οποίος είναι ο συνηθέστερα επικρατών μικροοργανισμός σε συστήματα ενεργού ιλύος παγκοσμίως κατά τους χειμερινούς μήνες λειτουργίας. Μια πιθανή εξήγηση μπορεί να είναι η αρκετά υψηλή συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου (4-6mg/l) στα αερόβια διαμερίσματα των δύο συστημάτων, η οποία θεωρείται τοξική για την ανάπτυξη του *M.parvicella*, ή ακόμα η επικράτηση του T0092 έναντι του *M.parvicella*, λόγω των αρκετά υψηλών θερμοκρασιών λυμάτων (~20°C), λόγω χρήσης κλιματισμού στο κοντέινερ όπου και λειτουργούσαν τα συστήματα εργαστηριακής κλίμακας.

6. Συμπεράσματα

6.1 Εισαγωγή

Στα πλαίσια της ερευνητικής εργασίας, κατασκευάστηκαν εντός του χώρου του ΚΕΛΨ δύο συστήματα ενεργού ιλύος εργαστηριακής κλίμακας, τα οποία λειτούργησαν τη χρονική περίοδο 18/10/2011-31/12/2011 και τροφοδοτούνταν με πρωτοβάθμια επεξεργασμένα λύματα από το σύστημα πλήρους κλίμακας του ΚΕΛ Ψυττάλειας. Οι κατασκευαστικές διατάξεις των δύο συστημάτων (δεξαμενές και μηχανολογικός εξοπλισμός) αναλύονται εκτενώς στο Κεφάλαιο 4, ωστόσο συνοπτικά κρίνεται χρήσιμο να αναφερθεί ότι τα δύο πιλοτικά συστήματα απαρτίζονταν από :

- Το Σύστημα Ελέγχου, που αποτελούνταν από μια ανοξική μη-διαμερισματοποιημένη δεξαμενή (C1), δύο αερόβιες δεξαμενές (C2 & C3) και τη δεξαμενή τελικής καθίζησης. Το εν λόγω σύστημα αποτελούσε την προσομοίωση της εγκατάστασης ενεργού ιλύος του ΚΕΛΨ, τόσο ως προς το φορτίο εισόδου αλλά και ως προς τη γεωμετρία της ροής και τις διαστάσεις των δεξαμενών (με την εξαγωγή κατάλληλης γεωμετρικής κλίμακας), καθώς και
- Το Πειραματικό Σύστημα, που αποτελούνταν από έναν αναερόβιο επιλογέα (E1) με μικρό όγκο και πολύ μικρό χρόνο παραμονής, μια ανοξική (E2) και δύο αερόβιες δεξαμενές (E3 & E4) και τη δεξαμενή τελικής καθίζησης. Η μοναδική διαφορά για τη λειτουργία των δύο συστημάτων συνίστατο στην προσθήκη του επιλογέα, ο οποίος ασκεί στους μικροοργανισμούς τόσο την κινητική όσο και τη μεταβολική επιλογή (Ενότητα 2.3.3 Ειδικές Μέθοδοι Ελέγχου).

Στόχος της έρευνας είναι η διερεύνηση της επιρροής του αναερόβιου επιλογέα στα φαινόμενα νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού, η οποία είναι δυνατή λόγω της σύγκρισης των πειραματικών αποτελεσμάτων στα δύο συστήματα (Κεφάλαιο 5). Η επεξεργασία και ο σχολιασμός των πειραματικών αποτελεσμάτων χωρίζεται σε δύο κατηγορίες :

- A. Απόδοση συστημάτων
 - i. Απομάκρυνση ολικών αιωρούμενων/πτητικών στερεών (Ενότητα 5.3.1),
 - ii. Απομάκρυνση ολικού/διαλυτού COD και οργανική φόρτιση αναερόβιου επιλογέα (Ενότητα 5.3.3),
 - iii. Νιτροποίηση, απονιτροποίηση (Ενότητα 5.3.4)
- B. Καθιζησιμότητα Ιλύος
 - i. Δείκτης καθιζησιμότητας Ιλύος & μικροσκοπικές αναλύσεις (Ενότητα 5.3.5)

Στο παρόν κεφάλαιο θα πραγματοποιηθεί η σύνοψη των συμπερασμάτων που προέκυψαν τόσο από την λειτουργία των πιλοτικών συστημάτων (Ενότητα 6.2), δηλαδή οι παρατηρήσεις και τα λογικά σφάλματα που διαπιστώθηκαν, όσο και από τα πειραματικά αποτελέσματα για την απόδοση των συστημάτων και την καθιζησιμότητα της ιλύος (Ενότητες 6.3 και 6.4 αντίστοιχα).

6.2 Λειτουργία των συστημάτων ενεργού ιλύος

Στην ενότητα αυτή θα επισημανθούν τα σημαντικότερα συμπεράσματα που αφορούν τη λειτουργία ενός συστήματος ενεργού ιλύος εργαστηριακής κλίμακας, δίνοντας βαρύτητα σε τυχόν παραλήψεις του ερευνητή και τις επιπτώσεις που αυτές είχαν στην εύρυθμη λειτουργία των πιλοτικών συστημάτων.

Μια ιδιαίτερα σημαντική παράμετρος που επηρεάζει την ανάλυση των παραμέτρων λειτουργίας και καθορίζει τα πειραματικά αποτελέσματα είναι η αντιπροσωπευτική εξαγωγή δείγματος από τις δεξαμενές των συστημάτων. Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή της ενότητας 5.3, η διακύμανση του φορτίου εισόδου (ολικά αιωρούμενα στερεά - TSS και ολικό/διαλυτό COD) κατά τη διάρκεια της ημέρας μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένες εκτιμήσεις για την οργανική φόρτιση των συστημάτων. Συγκεκριμένα, ο μεγάλος χρόνος συγκέντρωσης των πρωινών λυμάτων που εξυπηρετεί το ΚΕΛΨ ($t > 3h$), καθιστά τα στιγμιαία δείγματα εισόδου που εξάγονται πριν τις 10π.μ. αδύναμα σε σχέση με το μέσο ημερήσιο φόρτο εισερχόμενων λυμάτων. Επομένως, προτείνεται η εξαγωγή δείγματος εισόδου κατά τις μεσημεριανές ώρες, όπου και η φόρτιση των λυμάτων προσεγγίζει καλύτερα τον ημερήσιο μέσο όρο του ΚΕΛΨ. Επίσης, η εξαγωγή δείγματος εξόδου πρέπει να γίνεται έπειτα από ανάδευση της δεξαμενής, καθώς ο μεγάλος χρόνος παραμονής των επεξεργασμένων λυμάτων συνεπάγεται την καθίζηση των ολικών αιωρούμενων στερεών. Τέλος, η εξαγωγή δειγμάτων ανάμεικτου υγρού από τις δεξαμενές της βιολογικής βαθμίδας, πρέπει να γίνεται έπειτα από εσωτερικό καθαρισμό των δεξαμενών και τον έλεγχο της καλής ανάδευσης από το μηχανολογικό εξοπλισμό, για την αποφυγή φαινομένων καθίζησης και κατ' επέκταση την υποεκτίμηση των παραμέτρων φόρτισης.

Υπογραμμίζεται ότι αν και επιδιώκεται η μέγιστη δυνατή προσομοίωση των συστημάτων με τις πραγματικές συνθήκες, υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ ενός συστήματος εργαστηριακής και πλήρους κλίμακας, τόσο ως προς τη γεωμετρία της ροής και των δεξαμενών, όσο και ως προς τον έλεγχο των παραμέτρων λειτουργίας της εγκατάστασης. Για παράδειγμα, στο σύστημα πλήρους κλίμακας του ΚΕΛΨ, η καθιζάνουσα λάσπη αντλείται υπό συνθήκες τέτοιες που δεν επιτρέπουν τη δημιουργία διαύλου νερού κάθετα στη στρωματοποιημένη ιλύ, ενώ αντίθετα σε εργαστηριακή κλίμακα το φαινόμενο αυτό είναι καθημερινό και ειδικότερα όταν η λάσπη είναι διογκωμένη. Ως αποτέλεσμα, επανακυκλοφορεί εντός του συστήματος εργαστηριακής κλίμακας μια «αραιωμένη» ιλύς που δεν επιτρέπει την απαιτούμενη επιστροφή βιομάζας πίσω στο σύστημα, μειώνοντας έτσι τη συγκέντρωση ολικών στερεών στο ανάμεικτο υγρό (MLSS), προκαλώντας αστάθεια στο χρόνο παραμονής στερεών (θ_c), την οργανική φόρτιση των μη αερόβιων δεξαμενών και κατ' επέκταση τις βιολογικές διεργασίες των συστημάτων (απονιτροποίηση, κατανάλωση οργανικού άνθρακα). Ταυτόχρονα, η συσσωρευμένη λάσπη έχει υψηλούς χρόνους παραμονής εντός των ΔTK, με αποτέλεσμα η δεξαμενή να λειτουργεί ως ανοξικός αντιδραστήρας και το παραγόμενο αέριο άζωτο (N_2) να προκαλεί την ανύψωση της ιλύος, η οποία είναι ήδη διογκωμένη λόγω υψηλής συγκέντρωσης νηματοειδών. Συνέπεια όλων αυτών είναι η απώλεια στερεών στην έξοδο που πέρα από την προαναφερόμενη μείωση του χρόνου παραμονής στερεών, αποσταθεροποιεί και τις διεργασίες νιτροποίησης, λόγω έκπλυσης των νιτροποιητών. Για τους παραπάνω λόγους κρίθηκε αναγκαία η χειροκίνητη ανάδευση των ΔTK για την καλύτερη στρωματοποίηση της ιλύος και η προσθήκη παγίδας

στερεών κατάντη των ΔTK κατά την Β΄ Φάση για την χειροκίνητη επιστροφή των διαφυγόντων στερεών πίσω στο σύστημα ενεργού ιλύος (Ενότητα 4.1.2.3).

Αντίθετα με τις παραμέτρους φόρτισης, παράμετροι όπως η θερμοκρασία των λυμάτων και η παροχή διαλυμένου οξυγόνου είναι πολύ ευκολότερο να ελεγχθούν στα πλαίσια των συστημάτων εργαστηριακής κλίμακας. Με αυτό τον τρόπο διασφαλίζεται η σύγκλιση αυτών των παραμέτρων στις αντίστοιχες συνθήκες που επικρατούν στο σύστημα του ΚΕΛΨ, με απώτερο σκοπό τη βέλτιστη δυνατή προσομοίωση στο πλήρες σύστημα ενεργού ιλύος. Επιπλέον, στα συστήματα πλήρους κλίμακας, οι συνδέσεις των δεξαμενών πραγματοποιούνται στον πυθμένα για την εκμετάλλευση του υδραυλικού ύψους των λυμάτων, με αποτέλεσμα φαινόμενα αφρισμού που σχετίζονται με την ελεύθερη επιφάνεια να «εγκλωβίζονται» στη βιολογική βαθμίδα. Έτσι, ο θεωρητικά άπειρος χρόνος παραμονής του νηματοειδούς αφρού στο σύστημα επιδεινώνει διαρκώς την ποιότητα της παραγόμενης λάσπης. Το εν λόγω φαινόμενο δεν εμφανίζεται σε εργαστηριακή κλίμακα, όπου ο αφρός που παράγεται υπερχειλίζει με ειδικό παρακαμπτήριο σωλήνα στη δεξαμενή τελικής καθίζησης. Τέλος, όσον αφορά τις μικροσκοπικές μετρήσεις, τα αποτελέσματα του μικροσκοπίου των συστημάτων εργαστηριακής και πλήρους κλίμακας δεν χρίζουν σύγκρισης, καθώς οι μηχανικοί του ΚΕΛΨ, στη προσπάθειά τους να βελτιώσουν τη ποιότητα της παραγόμενης λάσπης, κάνουν χρήση κροκιδωτικών και οξειδωτικών (χλωρίωση), δράσεις που επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά και τη βιοποικιλότητα στο ανάμεικτο υγρό. Γι' αυτό το λόγο, θεωρείται πιο ασφαλής η σύγκριση των μικροσκοπικών αποτελεσμάτων μεταξύ των δύο πιλοτικών συστημάτων (Σύστημα Ελέγχου και Πειραματικού) για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

6.3 Απόδοση Συστημάτων

Η παρούσα ενότητα παρουσιάζει τα συμπεράσματα που σχετίζονται με τις αποδόσεις των συστημάτων εργαστηριακής κλίμακας ως προς την απομάκρυνση των ολικών και πτητικών αιωρούμενων στερεών (TSS/VSS) καθώς και του ολικού και διαλυτού κλάσματος COD. Έπειτα, παρουσιάζεται η αποτελεσματικότητα του επιλογέα ως προς τους περιορισμούς της βιβλιογραφίας ενώ τέλος γίνεται ένας σύντομος σχολιασμός για τις υπόλοιπες βιολογικές διεργασίες, την νιτροποίηση και απονιτροποίηση των συστημάτων.

Τα δύο συστήματα παρουσίασαν παρόμοια συμπεριφορά ως προς την απομάκρυνση των ολικών αιωρούμενων στερεών καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας του πιλότου. Ειδικότερα κατά τη Β΄ Φάση, όταν και εφαρμόστηκε η λύση της παγίδας στερεών κατάντη των ΔTK, βελτιώθηκε σημαντικά η συγκράτηση των αιωρούμενων στερεών στο σύστημα. Με άλλα λόγια, η παγίδα στερεών στα δύο συστήματα βελτίωσε τη συσχέτιση $MLSS-TSS_{EE}$. Συνολικά κατά τη Β΄ Φάση παρατηρείται η καλύτερη σύγκλιση του Πειραματικού Συστήματος στο σύστημα ευρείας κλίμακας (MLSS, TSS) και στους στόχους που είχαν αρχικά τεθεί για τα πιλοτικά συστήματα ως προς αυτές τις παραμέτρους σχεδιασμού. Ως προς την απομάκρυνση του ολικού και διαλυτού κλάσματος του COD, τα δύο συστήματα ουσιαστικά ταυτίζονται. Για το Σύστημα Ελέγχου, επιτυγχάνεται απομάκρυνση του 80% για το ολικό COD και 77% για το sCOD, ενώ τα αντίστοιχα ποσοστά για το Πειραματικό Σύστημα είναι 85% και 71

Όσον αφορά τον επιλογέα και την αποτελεσματικότητα του σχετικά με τις πιέσεις που χρειάζεται να ασκήσει στους μικροοργανισμούς του συστήματος ενεργού ιλύος, η σχεδίαση του θα πρέπει να στηρίζεται στις εξής παραμέτρους (Νουτσόπουλος,2002) :

- Συγκέντρωση του sCOD αμέσως κατάντη του επιλογέα < 60 mg/l
- Οργανική φόρτιση εντός του επιλογέα 5-10 mgCOD/mgVSS/d
- Υδραυλικό χρόνο παραμονής 10-30min

Σε θεωρητικό βαθμό, ο σχεδιασμός του επιλογέα κρίνεται επιτυχής καθώς η μέση συγκέντρωση διαλυτού οργανικού φορτίου αμέσως κατάντη υπολογίστηκε στα 53mg/l, με μέση οργανική φόρτιση επιλογέα στα 5,59 mgCOD/mgVSS/d και υδραυλικό χρόνο παραμονής να έχει υπολογιστεί στα 11 λεπτά. Μια επιπλέον σημαντική παράμετρος επιτυχίας του φρεατίου επιλογής συνίσταται στο ποσοστό απομάκρυνσης του εύκολα διασπάσιμου οργανικού φορτίου σε συνθήκες υψηλής οργανικής φόρτισης (>5-6 kgCOD/kgSS/d) σε μη αερόβιες συνθήκες. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, σε μη αερόβιες συνθήκες χρειάζεται να καταναλωθεί το 70-80% του βιοδιασπάσιμου COD (διαλυτό και σωματιδιακό κλάσμα), ώστε στις αερόβιες δεξαμενές να επικρατούν συνθήκες έλλειψης τροφής (ενδογενής αναπνοή των μικροοργανισμών). Για το Σύστημα Ελέγχου, σε μη αερόβιες συνθήκες απομακρύνεται το 78% ενώ στο Πειραματικό Σύστημα απομακρύνεται το 73%. Και για τα δύο συστήματα παρατηρείται πως σε αερόβιες συνθήκες, οι συγκεντρώσεις sCOD παραμένουν ουσιαστικά σταθερές, καθώς πρόκειται για κλάσμα που είτε είναι αδρανές και απομακρύνεται στα κατάντη σχήματα επεξεργασίας ιλύος και λυμάτων, είτε είναι σωματιδιακό κλάσμα που δεν βιοδιασπάται στο χρόνο παραμονής εντός της βιολογικής βαθμίδας.

Από τις μέσες τιμές νιτρικών (2,05mg/l) εντός του επιλογέα ωστόσο διαπιστώνουμε πως η «αναερόβια» δεξαμενή του Πειραματικού Συστήματος ουσιαστικά λειτουργούσε ως ανοξικός αντιδραστήρας που μάλιστα συμμετείχε στις διεργασίες απονιτροποίησης για το Πειραματικό Σύστημα σε ποσοστό περίπου 40%. Το γεγονός αυτό όμως σε καμία περίπτωση δεν σημαίνει και την αποτυχία του επιλογέα καθώς ακόμα και υπό ανοξικές συνθήκες είναι σε θέση να ασκήσει μεταβολικές πιέσεις στις ομάδες των μικροοργανισμών που δεν μπορούν να προσλάβουν οργανική τροφή παρουσία νιτρικών ως αποδέκτη ηλεκτρονίων (δεν απονιτροποιούν). Έτσι το Πειραματικό Σύστημα θεωρούμε απλοποιητικά ότι λειτουργεί με την εξής διάταξη : ένας ανοξικός επιλογέας 2 σαφώς διαχωρισμένων διαμερισμάτων (αποφεύγεται η αξονική μίξη) με κλίση τροφής [5,59-0,92 mgCOD/mgMLSS/d], διάταξη που συγκλίνει ικανοποιητικά στην βιβλιογραφικά επαρκή οργανική κλιμάκωση φόρτισης ενός διαμερισματοποιημένου ανοξικού φρεατίου επιλογής 3 διαμερισμάτων [6-3-1,5 mgCOD/mgMLSS/d] για την αποφυγή λειτουργικών προβλημάτων νηματοειδούς διόγκωσης ιλύος.

Οι σποραδικές μετρήσεις αμμωνιακού αζώτου στην είσοδο και στις εξόδους των δύο συστημάτων δεν μας επιτρέπουν την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων σχετικά με την απόδοση της νιτροποίησης, αν και μας επιτρέπουν να γνωρίζουμε πως η απομάκρυνση αμμωνιακού αζώτου ήταν ιδιαίτερα υψηλή (>90%) και πως τα συστήματα ενεργού ιλύος λειτουργούσαν υπό συνθήκες πλήρους νιτροποίησης. Επιπλέον, οι χρονοσειρές νιτρικών παρουσιάζουν σταθερά υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών στις αερόβιες δεξαμενές, γεγονός

που αποδεικνύει την καλή απόδοση νιτροποίησης και στα δύο συστήματα. Σε αυτό το σημείο όμως χρειάζεται να τονιστεί ότι οι μετρήσεις νιτρικών που πραγματοποιούνταν μετά από σημαντική απώλεια στερεών στις εκροές των συστημάτων την αμέσως προηγούμενη ημέρα, ήταν ιδιαίτερα χαμηλές, γεγονός που υποδηλώνει την ευαισθησία των νιτροποιητών σε χαμηλούς χρόνους παραμονής. Η έκπλυση των νιτροποιητικών βακτηριδίων στις εξόδους αναχαιτίζει προσωρινά τις διεργασίες νιτροποίησης, ωστόσο το σύστημα επανέρχεται συστηματικά εντός σύντομου χρονικού διαστήματος (1-2 ημέρες).

Στον αντίποδα, αποδεικνύεται ότι κατά τις ημέρες όπου παρατηρούνται υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών στις αερόβιες δεξαμενές, πραγματοποιείται ανεπαρκής απονιτροποίηση σε μη αερόβιες συνθήκες (μέτρηση #7 για το Πειραματικό Σύστημα). Η ταχύτητα απονιτροποίησης στον επιλογέα ήταν η υψηλότερη από όλες τις μη αερόβιες δεξαμενές ($q_{DN} = 5,38 \text{ mg NO}_3\text{-N/g MLVSS/h}$) και εντάσσεται βιβλιογραφικά στο εύρος ταχυτήτων (4-10 $\text{mg NO}_3\text{-N/g MLVSS/h}$) που αντιστοιχούν σε κατανάλωση εύκολα διασπάσιμου COD. Αντίθετα, οι ταχύτητες απονιτροποίησης των δύο ανοξικών δεξαμενών ($q_{DN} = 2,50 \text{ mg NO}_3\text{-N/g MLVSS/h}$ για την ανοξική δεξαμενή C1 του Συστήματος Ελέγχου και $q_{DN} = 1,69 \text{ mg NO}_3\text{-N/g MLVSS/h}$ για την ανοξική δεξαμενή E2 του Πειραματικού Συστήματος) αντιστοιχούν βιβλιογραφικά σε εύρη τιμών που υποδηλώνουν την κατανάλωση δύσκολα διασπάσιμου COD (2-4 $\text{mg NO}_3\text{-N/g MLVSS/h}$) και την ενδογενή απονιτροποίηση (<2 $\text{mg NO}_3\text{-N/g MLVSS/h}$) αντίστοιχα.

6.4 Καθιζησιμότητα ιλύος

Η ανάλυση στην ενότητα που προηγήθηκε επιβεβαιώνει την θετική επίδραση της συνεργίας κινητικής και μεταβολικής πίεσης του (ανοξικού) επιλογέα στη διαμόρφωση μιας καλύτερης απόδοσης στις βιολογικές διεργασίες για το Πειραματικό Σύστημα σε σύγκριση με το Σύστημα Ελέγχου. Η ευεργετική επιρροή του επιλογέα αναμένεται να αναδειχθεί στις παραμέτρους υπολογισμού της ποιότητας ιλύος, δηλαδή το δείκτη καθιζησιμότητας ιλύος (DSVI) και τις μικροσκοπικές μετρήσεις με έμφαση στον δείκτη νηματοειδών (FI).

Όσον αφορά τις μετρήσεις του δείκτη καθιζησιμότητας ιλύος, η μέση τιμή του Πειραματικού Συστήματος είναι σημαντικά μειωμένη ($DSVI_E = 222 \text{ ml/gSS}$ έναντι $DSVI_C = 283 \text{ ml/gSS}$ για το Σύστημα Ελέγχου), ωστόσο και οι δύο τιμές είναι μεγαλύτερες από το άνω όριο νηματοειδούς διόγκωσης που δίνεται από τη βιβλιογραφία ($SVI > 150 \text{ ml/gSS}$). Χαρακτηριστικό της θετικής επίδρασης του επιλογέα στη βελτίωση της καθιζησιμότητας της ιλύος είναι το γεγονός ότι για κάθε ένα εκ των 56 σημείων μέτρησης ισχύει $DSVI_E < DSVI_C$. Οι ορισμένες ιδιαίτερα υψηλές τιμές του δείκτη DSVI για το Σύστημα Ελέγχου, πιθανά μπορούν να σχετίζονται με την υψηλή συγκέντρωση του T021N στην ιλύ του Συστήματος Ελέγχου, ο οποίος σύμφωνα με τη βιβλιογραφία ευθύνεται για έντονα φαινόμενα γεφύρωσης, όταν βρεθεί σε μεγάλες συγκεντρώσεις (Wanner). Επιπλέον, η σημαντική παρουσία των υδροφοβικών μικροοργανισμών T0092, N.Limicola και T0041 στην ιλύ του Συστήματος Ελέγχου συνεπάγεται τη δημιουργία νηματοειδούς αφρού που επιδεινώνει το πρόβλημα καθιζησιμότητας ιλύος στη ΔTK. Παρ' όλη τη βελτιωμένη συγκριτικά εικόνα του δείκτη DSVI για το Πειραματικό Σύστημα, δεν μπορούμε να πούμε ότι η προσθήκη του επιλογέα συνέβαλε στη μείωση του δείκτη DSVI σε βαθμό τέτοιο που να θεωρηθεί ότι αντιμετωπίζονται πλήρως τα προβλήματα διόγκωσης της λάσπης.

Το γεγονός ότι η ιλύς του Πειραματικού Συστήματος χαρακτηρίζεται από καλύτερες ιδιότητες καθίζησης από την αντίστοιχη του Συστήματος Ελέγχου επιβεβαιώνεται και από τις μικροσκοπικές αναλύσεις του δείκτη νηματοειδών (Filament Index). Έτσι, η τιμή του δείκτη FI στο Σύστημα Ελέγχου σταθεροποιείται μεσοσταθμικά στη περιοχή 4,5/5 ενώ η αντίστοιχη τιμή για το Πειραματικό Σύστημα είναι μειωμένη κατά μια μονάδα (3,5/5). Τα επικρατούντα βακτήρια και στα δύο συστήματα ταυτίζονται αλλά όπως εύκολα συνάγεται, οι τιμές του ειδικού δείκτη νηματοειδών (Specific Filament Index -SFI) για τα νηματοειδή του Πειραματικού Συστήματος είναι μειωμένες συγκριτικά με τις αντίστοιχες τιμές του Συστήματος Ελέγχου. Είναι σαφές ότι η πίεση του επιλογέα είναι αυτή που μας δίνει αυτή τη ποιοτική διαφοροποίηση στα δείγματα ιλύος για τα συστήματα.

Η επικράτηση των νηματοειδών μικροοργανισμών της 2^{ης} και 3^{ης} ομάδας (T021N, T1851, N.Limicola) υποδηλώνει την επιρροή της κινητικής επιλογής, καθώς χρησιμοποιούν το εύκολα διασπάσιμο κλάσμα του οργανικού φορτίου. Όσο για την πλήρη απουσία του, κατά τα άλλα επικρατούντα νηματοειδή στις ΕΕΛ κατά τους χειμερινούς μήνες, *M.parvicella*, μια πιθανή εξήγηση είναι η ιδιαίτερα υψηλή συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου στις αερόβιες δεξαμενές των συστημάτων, η οποία και θεωρείται τοξική για την ανάπτυξη του. Επιπλέον οι σχετικά υψηλές θερμοκρασίες για τα δεδομένα της εποχής λόγω του κλιματισμού που χρησιμοποιήθηκε (~20°C), πιθανολογείται πως έδωσε το συγκριτικό

πλεονέκτημα στον T0092 έναντι του *M.parvicella*, λόγω υψηλότερης κινητικής ανάπτυξης σε αυτή τη περιοχή θερμοκρασιών.

Συμπερασματικά, η προσθήκη του επιλογέα στο Πειραματικό Σύστημα κρίνεται επιτυχής ως προς την θετική επιρροή του στη βελτιωμένη απόδοση του συστήματος στην απομάκρυνση στερεών, οργανικού άνθρακα και αζώτου, ενώ ταυτόχρονα προσδίδει καλύτερα χαρακτηριστικά καθίζησης στη λάσπη όπως αποδεικνύουν οι μακροσκοπικές (DSVI) και μικροσκοπικές (FI) μετρήσεις. Επιπλέον, στο πλαίσιο του πειράματος παρατηρήθηκε η επικράτηση του αερόβιου T021N έναντι των νηματοειδών χαμηλής οργανικής φόρτισης (T0092, T0041) και η πλήρης απουσία των νηματοειδών που κυρίως ευθύνονται για τον νηματοειδή αφρισμό (*G.amarae*, *M.parvicella*).

Γνωρίζοντας πλέον πως για το Πειραματικό Σύστημα, ο αρχικά σχεδιασμένος αναερόβιος επιλογέας λειτουργούσε ως ανοξικό πρώτο διαμέρισμα ενός ανοξικού επιλογέα με κλίση τροφής, η ποιοτική διαφοροποίηση στη καθιζησιμότητα της ύλης του Πειραματικού Συστήματος οφείλεται αποκλειστικά στην κινητική πίεση που επιτυχώς προκάλεσε η κλιμάκωση της οργανικής φόρτισης (η μεταβολική πίεση ήταν κοινή και για τα δύο συστήματα). Έτσι, προτείνεται η μελλοντική διερεύνηση της θετικής επιρροής ενός ανοξικού επιλογέα 3 ή περισσότερων διαμερισμάτων (Πειραματικό Σύστημα), με τη διάταξη δηλαδή που χρησιμοποιήθηκε το αμέσως προηγούμενο χρονικό διάστημα Ιανουαρίου-Μαΐου 2011 (Καγιά,2011), έναντι του ίδιου Συστήματος Ελέγχου που χρησιμοποιήθηκε στο πλαίσιο αυτής της ερευνητικής εργασίας. Επιπρόσθετα, ενδιαφέρουσα θα ήταν η βελτίωση της υπάρχουσας διάταξης του Πειραματικού Συστήματος (αλλαγή παραμέτρων σχεδιασμού ώστε ο επιλογέας να λειτουργεί όντως υπό αναερόβιες συνθήκες, βελτίωση ΔTK με την αύξηση του όγκου του με στόχο την ελάχιστη δυνατή απώλεια στερεών στην τελική εκροή), με στόχο τη διερεύνηση της επιρροής της αναερόβιας μεταβολικής πίεσης στη βιοκοινότητα των μικροοργανισμών και στα φαινόμενα διόγκωσης και αφρισμού.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

- Ανδρεαδάκης Α., (2009). *Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων και Ιλύων*. Εκδόσεις ΕΜΠ.
- Ανδρονίκου Ε. (2001). *Επίδραση διαλυμένου οξυγόνου στις διεργασίες συστημάτων ενεργού ιλύος*. ΕΜΠ.
- Andreasen K. and P.H. Nielsen (2000). Growth of *Microthrix Parvicella* in nutrient removal activated sludge plants: studies of in situ physiology. *Wat. Res.*, Vol. 34, No5, pp.1559-1569.
- Chudoba J., V. Ottova and V. Mad (1973). Control of activated sludge filamentous bulking- I. Effect of the hydraulic regime of degree of mixing in aeration tanks. *Wat. Res.*, Vol. 7, pp. 1163-1182.
- Davoli D., P. Madoni, L. Guglielmi and M. Pergetti (2001). Testing the effect of selectors in the control of bulking and foaming in small activated sludge plants. *Proceedings of 3rd IWA International Specialized Conference on Microorganisms in Activated Sludge and Biofilm Processes*, Rome, June 2001.
- Eikelboom D.H. (1975). Filamentous organisms observed in activated sludge. *Wat. Res.*, Vol.9, pp.365-388.
- Ekama G. A. and G.v.R. Marais (1986). The implication of the IAWPRC hydrolysis hypothesis on low F:M bulking. *Wat. Sci. Tech.*, Vol.18, pp.11-19.
- Foot R.J., E. Kocianova and C.F. Forster (1992). Variable morphology of *Microthrix Parvicella* in activated sludge Systems. *Wat. Res.*, Vol.26, No7, pp. 875-880.
- Henze M., R. Dupont, P. Grau and A. De la Sota (1993). Rising Sludge in secondary settlers due to denitrification. *Wat. Res.*, Vol.27, No 2, pp. 231-236.
- Jenkins D., M.G. Richard and G.T. Daigger (1993). Manual on the causes and control of activated sludge bulking and foaming. *Lewis Publishers, USA*.
- Καγιά Κ. (2011). *Διερεύνηση της αποτελεσματικότητας ανοξικών δεξαμενών επιλογής για τον έλεγχο της νηματοειδούς διόγκωσης σε ΕΕΛ*. ΕΜΠ.
- Kappeler J. and W. Gujer (1992). Bulking in activated sludge systems: a qualitative simulation model for *Sphaerotilus Natans*, Type 021N and Type 0961. *Wat. Sci. Tech.*, Vol.26, No3-4, pp.473-482.
- Μαρνέρη Μ. (2011). *Ανάπτυξη και εφαρμογή της μοριακής τεχνικής FISH με στόχο τον ποσοτικό προσδιορισμό και τη διερεύνηση της ενεργότητας νηματοειδών βακτηρίων σε ΕΕΛ με απομάκρυνση θρεπτικών*. ΕΜΠ.
- Martins A. M. P, J. J. Heijnen , M. C. M. van Loosdrecht (2003). Effect of dissolved oxygen concentration on sludge settleability. *Appl Microbiol Biotechnol*, Vol.62, pp.586-593.

- Noutsopoulos C., A. Andreadakis, D. Mamais & E. Gavalakis (2010). Identification of Type and Causes of Filamentous Bulking under Mediterranean Conditions. *Environmental Technology*, Vol. 28. pp 115-122.
- Νουτσόπουλος Κ., Μαμάης Δ. (2009). Καθιζησιμότητα ιλύος, Προβλήματα καθίζησης, Νηματοειδής διόγκωση και αφρισμός, Παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη νηματοειδών βακτηρίων, Μέθοδοι αντιμετώπισης και ελέγχου. ΕΜΠ.
- Νουτσόπουλος Κ. (2002). Επίδραση εναλλακτικών σχημάτων επεξεργασίας στα χαρακτηριστικά καθίζησης συστημάτων ενεργού ιλύος με απομάκρυνση θρεπτικών. ΕΜΠ.
- Pavoni J.L., M.W. Tenney., W.F. Echelberger (1972). Bacterial exocellular polymers and biological flocculation. *Journal WPCF*, Vol.44.
- Richard (1989). Activated sludge microbiology. *The Water Pollution Control Federation*.
- Sezgin M. and D. Jenkins (1978). A unified theory of filamentous activated sludge bulking. *Journal WPCF*, pp. 362-381.
- Slijkhuis H. (1983). Microthrix Parvicella, a filamentous bacterium isolated from activated sludge: Cultivation in a chemically defined medium. *Appl. Environ. Microb.*, Vol.46, No4, pp.832-839.
- Tchobanoglous G. and F. Burton (1991). Wastewater Engineering. *McGraw-Hill Inc.*, USA.
- Tomlinson E.J. and B. Chambers (1979). Methods for prevention of bulking in activated sludge. *Journal WPCF*, Vol.78, pp.524-538.
- Wagner F. (1983). Studies on the causes and prevention of bulking sludge in Germany. *Proceedings of a Workshop on the Design and Operation of Large Wastewater Treatment Plants*, Vienna, Austria.
- Wanner J. (1994). Activated Sludge bulking and foaming control. *Technomic Publishing Co. Inc.*, USA.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

- I. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΟΛΙΚΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ & ΠΤΗΤΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ
- II. ΟΞΥΓΟΝΟ & ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ
- III. ΟΛΙΚΟ & ΔΙΑΛΥΤΟ COD
- IV. ΝΙΤΡΙΚΟ ΑΖΩΤΟ
- V. ΔΕΙΚΤΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΙΛΥΟΣ & ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

I. Ολικά Αιωρούμενα Στερεά Στο Σύστημα Ελέγχου (Α' & Β' Φάση)

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	TSS (mg/L)					22/11/2011	165	2200	2360	2280	20
	IN	C1	C2	C3	C4						
						23/11/2011		3400	3380	3540	18
19/10/2011		1420	1560	2060	53	24/11/2011	146	3440	3520	3720	5
20/10/2011		2540	3040	3120	94	25/11/2011	165	2900	2900	2880	12
21/10/2011		2240	2680	3120	106	26/11/2011		2860	2940	2900	10
22/10/2011		2740	3050	3120	106	29/11/2011	235	1760	1980	1840	16
25/10/2011		3020	2900	2820	97	30/11/2011		3080	2840	2500	47
26/10/2011		2320	2920	3740	102	1/12/2011	88	3280	3720	3480	6
27/10/2011		2880	3060	3880	102	2/12/2011		2620	2640	3300	16
28/10/2011		2560	2740	2840	48	3/12/2011	395	2740	2840	2640	120
29/10/2011		2340	2720	2700	74	5/12/2011		2580	3200	2760	92
31/10/2011		2900	2920	3300	170	6/12/2011	195	2700	2760	3020	38
1/11/2011		1940	2100	1960	160	7/12/2011		3160	3340	3500	94
2/11/2011		2440	2800	2960	130	8/12/2011	183	3180	3700	3760	88
3/11/2011	186	3080	3020	3040	82	9/12/2011	230	3040	3220	3200	92
4/11/2011		2360	2300	2060	50	10/12/2011		3080	4260	3720	87
5/11/2011		2700	3180	3600	86	12/12/2011		2680	2860	2780	230
7/11/2011		2280	2140	2060	120	13/12/2011		3080	2980	3000	44
8/11/2011	155	2080	2120	2180	118	14/12/2011		2580	3000	3360	47
9/11/2011		1850	2480	3000	368	15/12/2011	150	2140	2840	2520	52
10/11/2011	228	3160	3600	3600	52	16/12/2011		2540	2180	1800	126
11/11/2011		2580	2500	2200	18	17/12/2011		2180	2960	2700	56
12/11/2011		1640	2300	3080	199	19/12/2011		2540	4020	3480	116
14/11/2011		1620	1800	2740	18	20/12/2011		2580	2700	3220	60
τρίτη 15 /11	195	3000	3100	3160	16	21/12/2011		3040	2920	2800	93
16/11/2011		2200	2500	2560	315	24/12/2011		4040	2640	2280	115
17/11/2011	88,6	3200	3580	3040	100	28/12/2011		2900	3280	2360	38
18/11/2011	105	3180	2900	3520	8	29/12/2011		2940	3120	2500	102
19/11/2011		2880	2840	3280	100	30/12/2011	90	2560	3020	2800	114
21/11/2011	220	1620	1780	1680	30	31/12/2011		3120	2980	3180	20
						AVERAGE	179	2650	2857	2901	84
						PHASE A AVER	168	2456	2665	2872	104
						PHASE B AVER	186	2831	3037	2927	66

Ολικά Αιωρούμενα Στερεά Στο Πειραματικό Σύστημα (Α' & Β' Φάση)

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	TSS (mg/L)						22/11/2011	165	2000	2020	2220	1920	38
	IN	E1	E2	E3	E4	E5							
19/10/2011		2660	2740	3580	4000	205	23/11/2011		3200	2360	2140	2040	12
20/10/2011		2760	3120	3240	3560	291	24/11/2011	146	2120	2520	3020	2700	7
21/10/2011		3560	2740	3120	3280	324	25/11/2011	165	2240	2180	2060	2020	10
22/10/2011		1920	2240	2680	3140	158	26/11/2011		3060	2540	2760	2620	10
25/10/2011		2060	1920	2500	2740	124	29/11/2011	235	940	1180	940	960	50
26/10/2011		2200	2180	2560	2720	82	30/11/2011		3580	1900	1760	2000	47
27/10/2011		1160	1380	3040	2795	98	1/12/2011	88	3440	2300	2160	2180	24
28/10/2011		1420	1800	3020	2880	58	2/12/2011		2440	2640	2520	2860	20
29/10/2011		1900	2180	2880	3080	98	3/12/2011	395	2680	3120	2960	3100	63
31/10/2011		3780	3040	3180	3440	70	5/12/2011		2200	2540	2940	3080	54
1/11/2011		3260	2620	2240	2620	70	6/12/2011	195	2360	2760	2740	3040	52
2/11/2011		2320	2660	3340	3380	68	7/12/2011		3580	3240	3580	3620	59
3/11/2011	186	2900	2720	3280	2980	36	8/12/2011	183	3760	3540	3500	3740	37
4/11/2011		2000	2340	2660	2420	10	9/12/2011	230	4860	3700	3440	3380	114
5/11/2011		2480	2460	3080	3320	78	10/12/2011		3940	3460	3660	4080	14
7/11/2011		2100	2560	2660	2560	160	12/12/2011		3420	3000	2900	3160	128
8/11/2011	155	2080	1800	1960	1700	108	13/12/2011		3540	3120	3220	3140	14
9/11/2011		2680	1400	1800	2180	148	14/12/2011		4520	3520	4200	4140	31
10/11/2011	228	2840	3400	3460	3420	172	15/12/2011	150	4480	2940	3180	3780	21
11/11/2011		2220	1920	1940	1780	170	16/12/2011		4000	3060	2800	3200	58
12/11/2011		1800	2060	2760	3020	196	17/12/2011		3460	2620	3620	3320	90
14/11/2011		1140	1240	1400	1300	284	19/12/2011		3680	2720	3300	3320	92
τρίτη 15/11	195	2380	1820	1660	1900	34	20/12/2011		3480	3000	2900	3380	10
16/11/2011		1700	1860	2540	1960	30	21/12/2011		4920	3580	3420	3500	14
17/11/2011	88,6	2040	2100	2780	2480	144	24/12/2011		3720	3460	3460	3100	33
18/11/2011	105	1520	1440	1720	2140	128	28/12/2011		3380	2820	2780	2280	28
19/11/2011		2280	1780	2000	2160	390	29/12/2011		3220	2760	2540	2260	106
21/11/2011	220	1080	1380	1560	1600	420	30/12/2011	90	3900	3020	3060	2840	64
							31/12/2011		3420	2700	3080	2700	32
							AVERAGE	179	2789	2504	2750	2793	95
							PHASE A AVER	168	2223	2175	2594	2663	148
							PHASE B AVER	186	3318	2811	2895	2915	44

Ολικά Πτητικά Στερεά Στα Συστήματα Ελέγχου & Πειραματικού (Α' & Β' Φάση)

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	VSS (mg/ L)					ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	VSS (mg/ L)					
	IN	C1	C2	C3	C4		IN	E1	E2	E3	E4	E5
3/11/2011	143	2800	2900	2900	82	3/11/2011	143	2660	2460	2860	2660	32
8/11/2011	55	1940	2000	2120	118	8/11/2011	55	1940		1880	1640	108
10/11/2011	204	2920	3340	3320	52	10/11/2011	204	2640	3060	3120	3160	158
τρίτη 15 /11	190	2620	3020	2580	16	τρίτη 15 /11	190	2560	1580	1760	1860	34
17/11/2011	80	3040		2640	80	17/11/2011	80	1780	1960	2380	2300	120
22/11/2011	165	2020	2200	2180	20	22/11/2011	165	1900	2020	2120	1820	38
24/11/2011	126	3120	3220	3360	5	24/11/2011	126	2000	2360	2820	2480	7
29/11/2011	210	1600	1800	1760	16	29/11/2011	210	920	1180	940		42
1/12/2011	88	3080	3520	3260	6	1/12/2011	88	3220	2100	1940	1920	24
6/12/2011		2400	2460	2700	38	6/12/2011		2240	2620	2560	2760	52
8/12/2011	195	2400	2880	2880	40	8/12/2011	195		3020	3260	3040	114
13/12/2011		2880	2740	2720	44	13/12/2011		3280	2900	3060	2880	14
15/12/2011	122	1840	2360	2140	46	15/12/2011	122	3760	2620	2820	2960	19
20/12/2011		2360	2500	3080	60	20/12/2011		3180	2720	2680	3040	10
28/12/2011		1980	2460	2060	34	28/12/2011		2960	2360	2120	1680	22
AVERAGE	143	2467	2671	2647	44	AVERAGE	143	2503	2354	2421	2443	53
PHASE A AVER	134	2664	2815	2712	70	PHASE A AVER	134	2316	2265	2400	2324	90
PHASE B AVER	151	2368	2614	2614	31	PHASE B AVER	151	2607	2390	2432	2509	34

II. Οξυγόνο & Θερμοκρασία Στο Σύστημα Ελέγχου

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	DO (mg/l)				T (°C)		22/11/2011	4,23	4,20	4,32	4,75	16,6	16,2
	C2		C3		C2	C3							
19/10/2011	6,60	6,50	6,45	6,71	18,9	18,2	23/11/2011	2,23	2,50	6,00	6,70	21,5	21,8
20/10/2011	5,30	4,94	4,30	5,00	19,2	18,9	24/11/2011	2,77	2,40	3,26	5,50	20,6	20,5
21/10/2011	4,55	3,80	2,00	2,57	21,5	21,3	25/11/2011	3,95	3,40	4,30	5,62	19,5	19,7
22/10/2011	5,89	5,22	2,70	2,90	18,5	18,0	26/11/2011	4,20	4,25	7,20	7,65	19,2	19,2
25/10/2011	4,89	4,70	2,98	3,15	19,9	19,7	29/11/2011	3,03	3,47	4,54	4,71	20,7	20,9
26/10/2011	4,85	4,63	2,64	4,10	19,2	19,2	30/11/2011	3,70	3,70	5,20	7,00	18,5	18,4
27/10/2011	4,33	3,99	3,10	5,55	17,5	17,5	1/12/2011	3,50	3,27	4,44	5,97	18,6	18,7
28/10/2011	3,63	3,22	2,72	4,66	19,0	18,7	2/12/2011	3,96	3,41	5,63	6,20	20,8	21,0
29/10/2011	3,72	3,45	2,20	3,85	19,3	19,0	3/12/2011	3,95	3,63	4,34	5,10	20,8	20,8
31/10/2011	3,43	3,25	2,30	3,48	18,4	18,1	5/12/2011	3,47	3,54	4,74	4,73	17,8	17,6
1/11/2011	3,90	3,63	2,60	3,55	19,2	19,0	6/12/2011	2,14	2,36	3,79	4,02	19,3	19,1
2/11/2011	3,83	3,68	3,37	4,88	18,8	18,5	7/12/2011	3,95	3,30	4,30	4,37	17,9	17,7
3/11/2011	3,78	3,71	3,44	3,16	18,0	17,9	8/12/2011	3,25	2,20	3,64	4,90	20,5	20,6
4/11/2011	3,82	3,80	3,45	4,20	18,4	18,0	9/12/2011	3,79	2,98	4,73	5,52	20,0	20,0
5/11/2011	3,37	3,18	4,05	6,95	18,4	18,2	10/12/2011	4,54	3,90	5,70	6,23	19,7	19,9
7/11/2011	4,02	3,79	3,66	4,31	19,4	19,1	12/12/2011	2,58	3,09	4,68	5,24	21,6	21,7
8/11/2011	4,86	4,56	4,13	4,53	19,8	19,4	13/12/2011						
9/11/2011	3,14	3,10	1,00	2,58	20,0	19,8	14/12/2011	2,91	2,68	3,96	4,10	21,4	21,4
10/11/2011	2,60	2,00	3,77	4,60	19,2	18,8	15/12/2011	3,78	3,66	4,82	4,97	20,4	20,2
11/11/2011	3,00	2,40	2,57	3,51	18,6	18,3	16/12/2011	3,93	3,28	4,62	4,31	17,2	17,0
12/11/2011	4,45	4,28	2,20	2,80	14,8	14,5	17/12/2011	3,01	2,05	2,40	2,26	19,2	19,1
14/11/2011	3,51	3,38	2,52	2,83	14,7	14,7	19/12/2011	3,08	1,93	2,04	1,83	17,8	18,0
ΤΡΙΤΗ 15/11	2,53	1,96	3,08	3,29	19,2	19,2	20/12/2011	4,86	5,03	5,07	4,89	20,0	20,0
16/11/2011	4,45	3,70	5,40	6,45	19,5	19,5	21/12/2011	4,67	4,86	4,94	4,50	19,4	19,5
17/11/2011	4,05	3,10	6,01	7,46	19,3	19,3	24/12/2011	4,70	4,82	4,44	4,94	17,4	17,5
18/11/2011	4,33	3,28	3,63	5,84	19,6	19,6	28/12/2011	4,29	4,54	4,50	4,08	18,1	18,2
19/11/2011	6,30	7,00	7,00	7,40	20,0	20,0	29/12/2011	4,83	5,29	4,97	4,98	19,0	19,2
21/11/2011	4,83	5,11	5,36	5,55	16,8	16,5	AVERAGE	3,95	3,69	4,02	4,74	19,1	19,0
							PHASE A AVER	4,21	3,91	3,52	4,50	18,8	18,5
							PHASE B AVER	3,68	3,47	4,54	5,00	19,4	19,4

Οξυγόνο & Θερμοκρασία Στο Πειραματικό Σύστημα

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	DO (mg/l)				T (°C)		22/11/2011	3,86	4,37	5,58	5,69	17,1	16,7
	E3		E4		E3	E4							
19/10/2011	4,62	3,45	2,83	2,27	19,7	19,2	23/11/2011	3,00	3,35	4,94	4,96	21,6	21,6
20/10/2011	4,74	4,06	4,15	3,87	19,9	19,5	24/11/2011	2,78	3,50	4,73	4,54	20,6	20,4
21/10/2011	3,40	1,70	2,64	2,50	22,5	22,1	25/11/2011	4,10	4,54	5,67	5,38	19,6	19,3
22/10/2011	5,84	4,08	4,72	4,58	18,1	17,7	26/11/2011	3,60	4,14	5,60	6,00	18,4	18,4
25/10/2011	4,70	3,20	4,08	4,18	20,0	19,7	29/11/2011	3,11	5,14	5,81	5,94	20,6	20,4
26/10/2011	4,90	3,58	4,22	4,32	19,2	19,2	30/11/2011	2,50	3,50	4,86	5,13	18,8	18,6
27/10/2011	3,84	2,55	4,90	5,81	18,0	17,5	1/12/2011	2,73	3,00	4,46	4,58	18,9	19,0
28/10/2011	2,38	0,98	2,97	3,41	19,5	19,0	2/12/2011	3,51	3,52	4,35	4,53	21,0	20,7
29/10/2011	2,50	2,29	3,81	5,48	19,5	19,2	3/12/2011	2,93	3,43	4,43	4,40	20,8	20,6
31/10/2011	2,35	2,06	2,90	4,55	18,7	18,3	5/12/2011	2,15	4,05	4,10	4,32	18,4	18,0
1/11/2011	2,82	2,30	3,08	3,95	19,5	19,3	6/12/2011	2,25	2,73	3,60	4,01	19,5	19,3
2/11/2011	3,25	4,35	6,75	7,30	18,5	18,9	7/12/2011	3,90	4,55	4,50	4,40	18,0	17,9
3/11/2011	3,77	5,77	3,90	5,12	17,8	17,8	8/12/2011	3,10	4,10	3,60	3,60	20,7	20,4
4/11/2011	3,05	2,69	2,63	2,29	18,4	18,2	9/12/2011	3,12	4,08	3,05	3,42	20,2	19,8
5/11/2011	2,89	2,83	4,31	6,25	18,8	18,5	10/12/2011	4,36	4,96	5,14	5,70	19,7	19,6
7/11/2011	2,57	2,11	1,89	1,77	19,8	19,5	12/12/2011	2,84	4,21	4,56	4,75	21,5	21,3
8/11/2011	4,20	3,90	3,26	2,14	20,2	20,0	13/12/2011						
9/11/2011	4,97	4,81	5,00	5,18	19,9	19,7	14/12/2011	2,23	2,50	4,77	4,95	21,4	21,2
10/11/2011	3,00	2,45	2,88	4,55	18,8	18,6	15/12/2011	3,01	3,28	5,54	6,10	20,4	20,3
11/11/2011	3,17	2,73	2,73	3,07	18,7	18,5	16/12/2011	5,10	5,75	6,53	6,67	17,7	17,3
12/11/2011	4,80	4,85	5,30	5,42	14,5	14,2	17/12/2011	4,38	5,25	7,10	7,37	18,9	18,0
14/11/2011	3,50	4,37	5,72	5,60	14,8	14,1	19/12/2011	5,92	7,15	7,04	3,12	17,8	17,8
τρίτη 15 /11	2,90	3,37	2,38	2,59	18,8	18,8	20/12/2011	3,98	4,32	4,54	5,23	20,0	19,8
16/11/2011	1,37	1,40	4,52	5,25	19,2	19,0	21/12/2011	3,37	3,90	4,75	5,46	19,5	19,5
17/11/2011	3,15	4,10	5,20	5,70	19,1	18,9	24/12/2011	4,34	4,71	5,50	6,15	17,0	16,8
18/11/2011	3,63	4,01	5,27	5,61	19,5	19,5	28/12/2011	4,10	4,90	3,64	3,28	18,1	17,9
19/11/2011	3,00	3,50	4,90	5,11	20,3	20,1	29/12/2011	3,53	3,91	2,97	2,53	19,4	19,2
21/11/2011	4,34	4,75	6,03	6,15	16,9	16,7	AVERAGE	3,52	3,73	4,44	4,66	19,2	18,9
							PHASE A AVER	3,56	3,29	4,03	4,43	18,9	18,6
							PHASE B AVER	3,47	4,18	4,87	4,90	19,5	19,3

III. Ολικό και διαλυτό COD για το Σύστημα Ελέγχου

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	COD (mg/L)		sCOD (mg/L)				
	IN	C4	IN	C1	C2	C3	C4
3/11/2011	435	110	149	36	40	53	36
10/11/2011	420	88	119	36	36	42	40
τρίτη 15 /11	371	74	147	60	82	47	16
17/11/2011	230	147	75	31	25	23	27
22/11/2011	400	76	138	37	27	70	36
24/11/2011	252	44	84	31	34	31	34
29/11/2011	814	60	238	79	52	48	35
1/12/2011	281	40	46	20	23	24	12
6/12/2011	508	136	101	57	51	16	37
8/12/2011	279	128	57	34	35	37	38
15/12/2011	370	93	116	37	70	16	31
20/12/2011	419	129	99	16	16	16	22
28/12/2011	380	70	146	37	16	37	33
30/12/2011	133	138	133	37	16	48	29
AVERAGE	378		125				
PHASE A AVER	235		79				
PHASE B AVER	457	95	139	39	37	36	30

Ολικό και διαλυτό COD για το Πειραματικό Σύστημα

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	COD (mg/L)		sCOD (mg/L)					
	IN	E5	IN	E1	E2	E3	E4	E5
3/11/2011	435	73	149	53	36	29	47	47
10/11/2011	420	77	119	40	38	40	36	49
τρίτη 15 /11	464	69	147	71	38	16	38	40
17/11/2011	230	175	75	31	38	31	25	34
22/11/2011	400	40	138	71	38	36	47	23
24/11/2011	252	53	84	40	42	36	38	40
29/11/2011	814	112	238	99	94	63	62	85
1/12/2011	281	64	46	43	27	27	26	46
6/12/2011	508	106	105	54	57	69	45	27
8/12/2011	279	76	57	32	28	34	30	11
15/12/2011	370	39	116	37	37	27	37	29
20/12/2011	419	35	99	125	16	27	16	27
28/12/2011	380	61	146	27	27	27	48	33
30/12/2011	133	147	133	16	16	5	37	29
AVERAGE	385		125					
PHASE A AVER	235		79					
PHASE B AVER	468	81	140	53	38	33	38	37

IV. Νιτρικό Άζωτο για το Σύστημα Ελέγχου

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	NO3 (mg/L)			
	C1	C2	C3	C4
10/11/2011	1	3,5	4	3,7
15/11/2011	1,7	9,6	11,3	9,3
22/11/2011	1,2	6,7	6,2	3,9
24/11/2011	2,89	9,5	12	6,36
6/12/2011	1,1	2,4	4,79	3,64
15/12/2011	0,9	6,7	8	3,93
20/12/2011	2,71	6,11	8,06	4,05
28/12/2011	1,61	6,42	8,76	3,2
30/12/2011	2,14	7,62	9,52	5,85
AVERAGE	1,69	6,51	8,07	4,88
PHASE A AVER	1,35	6,57	7,65	6,48
PHASE B AVER	1,79	6,49	8,19	4,42

Νιτρικό Άζωτο για το Πειραματικό Σύστημα

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	NO3 (mg/L)				
	E1	E2	E3	E4	E5
10/11/2011	3	3	6,5	8,5	3,6
15/11/2011	2,09	2,14	6,07	7,31	6,25
22/11/2011	1,5	1,1	6,7	6,7	4,0
24/11/2011	1,9	2,6	7,5	9,2	4,8
6/12/2011	1,63	9,3	3,09	4,57	2,56
15/12/2011	1,89	6,24	6,7	11,7	8,3
20/12/2011	7,26	12,21	17,87	18,26	9,28
28/12/2011	2,45	2	6,91	7,57	4,83
30/12/2011	3,46	1,78	6,56	8,72	6,92
AVERAGE	2,89	4,49	7,54	9,17	5,62
PHASE A AVER	3,00	2,57	6,28	7,90	4,92
PHASE B AVER	2,87	5,03	7,90	9,53	5,81

V. Δείκτης Καθιζησιμότητας ιλύος

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	DSVlc	DSVle	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	DSVlc	DSVle
20/10/2011	171	148	22/11/2011	233	165
21/10/2011	187	154	23/11/2011	281	265
22/10/2011	164	134	24/11/2011	260	226
25/10/2011	159	152	25/11/2011	144	138
26/10/2011	185	133	26/11/2011	272	211
27/10/2011	216	105	29/11/2011	109	89
28/10/2011	212	139	30/11/2011	270	170
29/10/2011	213	139	1/12/2011	237	239
31/10/2011	171	119	2/12/2011	139	122
1/11/2011	262	192	3/12/2011	258	208
2/11/2011	343	156	5/12/2011	208	187
3/11/2011	278	98	6/12/2011	223	213
4/11/2011	204	128	7/12/2011	304	265
5/11/2011	195	110	8/12/2011	257	238
7/11/2011	215	165	9/12/2011	197	189
8/11/2011	189	153	10/12/2011	282	255
9/11/2011	153	122	12/12/2011	181	172
10/11/2011	231	154	13/12/2011	218	192
11/11/2011	200	155	14/12/2011	372	306
12/11/2011	217	145	15/12/2011	370	257
14/11/2011	310	208	16/12/2011	359	226
τριτη 15 /11	296	176	17/12/2011	282	216
16/11/2011	233	164	19/12/2011	236	197
17/11/2011	251	138	20/12/2011	309	247
18/11/2011	193	150	21/12/2011	320	283
19/11/2011	252	192	24/12/2011	612	275
			28/12/2011	407	192
			29/12/2011	310	282
			30/12/2011	524	185
			31/12/2011	302	435
			AVERAGE	253	187
			PHASE A AVER	219	147
			PHASE B AVER	283	222

Μικροσκοπικές Αναλύσεις

Δείκτης Νηματοειδών

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	FILAMENT INDEX	
	Control	Experimental
3/11/2011	2,5	4
10/11/2011	4	4
15/11/2011	4,5	3
24/11/2011	5	3
1/12/2011	4,5	4
8/12/2011	4	3
15/12/2011	4,5	3,5
28/12/2011	5	3,5

Ειδικός Δείκτης Νηματοειδών
Σύστημα Ελέγχου

CONTROL																		
		Nocardia		T0092		T0041		T021N		H. Hydrossis		T0675		N.Limicola		T1851		FI
A/A	Date	Rank	Ab	Rank	Ab	Rank	Ab	Rank	Ab	Rank	Ab	Rank	Ab	Rank	Ab	Rank	Ab	
1	3-Νοε			3	2	4	1							2	2	1	2,5	2,5
2	10-Νοε	4	2	3	2,5	5	1,5					6	1	2	3,5	1	4	4
3	15-Νοε			5	2	1	3,5	6	1,5	7	1	4	2	2	2,5	3	2	4,5
4	24-Νοε			2	3	1	3,5	5	2	6	1	4	2	3	2,5			5
5	1-Δεκ	6	1,5	7	1	5	1,5	4	2,5	8	1	3	3	1	4	2	3	4,5
6	8-Δεκ	7	1	4	2	5	1,5	1	3,5			6	1,5	3	2	2	2	4
7	15-Δεκ	7	1	4	2	5	1,5	1	5			6	1,5	3	2,5	2	2	4,5
8	28-Δεκ	5	2	3	3	6	1,5	1	5	7	1			2	3	4	3	4,5
AVERAGE		6	1,50	4	2,19	4	1,94	3	3,25	7	1,00	5	1,83	2	2,75	2	2,64	4

Ειδικός Δείκτης Νηματοειδών
Πειραματικό Σύστημα

EXPERIMENTAL																		
		Nocardia		T0092		T0041		T021N		H. Hydrossis		T0675		N.Limicola		T1851		FI
A/A	Date	Rank	Ab	Rank	Ab	Rank	Ab	Rank	Ab	Rank	Ab	Rank	Ab	Rank	Ab	Rank	Ab	
1	3-Νοε			3	2,5	4	1,5							2	2,5	1	4	4
2	10-Νοε	3	2,5	4	2	5	1					6	1	2	2,5	1	4	4
3	15-Νοε			5	1,5	1	3,5	6	1	7	1	3	2	2	3	4	1,5	4,5
4	24-Νοε		1	1	2,5	5	1			6	0,5	3	2	2	2	4	1	3
5	1-Δεκ			3	1	1	3	3	1	3	1	1	3	1	3	2	2	4
6	8-Δεκ	8	0,5	7	1	5	1,5	1	3	4	1,5	6	1	2	2	2	2	3
7	15-Δεκ	6	1,5	3	2,5	5	1,5	1	4			7	1	2	3	4	2	3,5
8	28-Δεκ	6	1	3	2	5	1,5	1	4	7	1			2	3,5	4	2	3,5
AVERAGE		6	1,3	4	1,9	4	1,8	2	2,6	5	1,0	4	1,7	2	2,7	3	2,3	4