

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**



**ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ**

**ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»**

**Διερεύνηση της εφαρμογής ειδικών  
και μη ειδικών μεθόδων στον  
έλεγχο της νηματοειδούς  
διόγκωσης σε συστήματα ενεργού  
ιλύος**

**Νικόλαος Η. Νέλλας**

**«ΕΠΙΣΤΗΜΗ  
& ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ**

**ΥΔΑΤΙΚΩΝ  
ΠΟΡΩΝ»**

Αθήνα, Οκτώβριος 2012

Επιβλέπων : Αναπληρωτής Καθηγητής Δ. Μαμάης



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**



**ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ**

**ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»**

**Διερεύνηση της εφαρμογής ειδικών  
και μη ειδικών μεθόδων στον  
έλεγχο της νηματοειδούς  
διόγκωσης σε συστήματα ενεργού  
ιλύος**

**Νικόλαος Η. Νέλλας**

**«ΕΠΙΣΤΗΜΗ  
& ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ**

**ΥΔΑΤΙΚΩΝ  
ΠΟΡΩΝ»**

Αθήνα, Οκτώβριος 2012

Επιβλέπων : Αναπληρωτής Καθηγητής Δ. Μαμάης

**Αφιερωμένη στην οικογένειά μου,**

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Με την ολοκλήρωση της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους συνέβαλαν στην ομαλή εκπόνησή της.

Πρώτα απ' όλους θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα αναπληρωτή Καθηγητή κύριο Μαμάη Δανιήλ για πολλούς λόγους. Αρχικά για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση ενός τόσο ενδιαφέροντος θέματος, για την εποικοδομητική συνεργασία μας και τη συνεχή καθοδήγησή και βοήθειά του όλο αυτό το διάστημα. Τέλος θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για την δυνατότητα που μου έδωσε να ζήσω, επί 6 μήνες, την εμπειρία της μεγαλύτερης εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων στην Ευρώπη.

Ευχαριστώ ιδιαίτερα τον Κουρή Νικόλαο διότι οποιαδήποτε ώρα ήταν έτοιμος να με βοηθήσει, να με καθοδηγήσει στις αναλύσεις και μεταξύ άλλων να ακούσει την γκρίνια μου σε κάθε αστοχία που παρουσιάστηκε.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω για τη συνεργασία, τις συμβουλές και το ευχάριστο κλίμα εργασίας που μου πρόσφεραν τη λειτουργό του ΚΕΛΨ Νικόλ Δερέμπεη, τα παιδιά από το χημείο, τον Δημήτρη Νικολόπουλο, τον Γιάννη Βεντούρη, τον Μαρίνο Αρμενάκα, τη Μαριάνθη Ζαχαρίου, την Τίνα Γιαννιά, τον Σταμάτη Σιδηρόπουλο, τον Γιάννη Ανδρικόπουλο και την Όλγα Νικηφόρου καθώς και τον Καπετάνιο Παναγιώτη Τσίγκο και το υπόλοιπο πλήρωμα (Αλέκο, Γιώργο και Γιάννη) του Ψυττάλεια II που με περίμεναν για το πρωινό δρομολόγιο προς το νησί.

Τέλος, οφείλω ένα τεράστιο ευχαριστώ στην οικογένεια μου, την αγαπημένη μου Νάσια και τους αδελφικούς μου φίλους Δημήτρη, Χρήστο και Ματθαίο για τη συμπαράσταση και την κατανόηση που έδειξαν καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής αυτής εργασίας

Νέλλας Νικόλαος

Οκτώβριος, 2012

## Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	1
2	Βιβλιογραφική ανασκόπηση	3
2.1	Εισαγωγή	3
2.2	Παράγοντες Επιρροής Της Ανάπτυξης των νηματοειδών βακτηρίων	7
2.2.1	Παράμετροι Σχεδιασμού	7
2.2.2	Λειτουργικές συνθήκες	9
2.2.3	είδος και σύσταση εισερχόμενων λυμάτων	11
2.3	Θεωρίες Επιλογής Μικροοργανισμών	14
2.4	Αντιμετώπιση αιτιών και συμπτωμάτων της νηματοειδούς διόγκωσης της ΕΙ.	17
2.4.1	Ειδικές/ Μόνιμες Μέθοδοι	17
2.4.2	Μη Ειδικές / Μη Μόνιμες Μέθοδοι	22
2.5	Στόχος της Εργασίας	30
3	Πειραματικό Πρωτόκολλο και Αναλυτικοί Μέθοδοι	33
3.1	Εισαγωγή	33
3.2	Περιγραφή των Υπό μελέτη συστημάτων	33
3.2.1	Α' Φάση	34
3.2.2	Β' Φάση	38
3.2.3	Γ' Φάση	42
3.2.4	Συντήρηση συστημάτων κατά τη διάρκεια όλων των φάσεων λειτουργίας	48
3.3	Εξοπλισμός Συστημάτων Εργαστηριακής Κλίμακας	49
3.4	Μηχανολογικός εξοπλισμός	57

3.5	Μεθοδολογία αναλύσεων	61
3.5.1	Θερμοκρασία και οξυγόνο	62
3.5.2	Αιωρούμενα και Πτητικά Στερεά	62
3.5.3	Δείκτης καθιζησιμότητας Ιλύος (SVI)	64
3.5.4	Χημικά απαιτούμενο Οξυγόνο (Χ.Α.Ο. - COD)	66
3.5.5	Νιτρικό άζωτο ( $\text{NO}_3^-$ - N)	68
3.5.6	Ρυθμός Κατανάλωσης Οξυγόνου (OUR)	69
3.5.7	Ρυθμός Κατανάλωσης Αμμωνίας (AUR)	72
3.5.8	Εργαστηριακός Αναλυτικός Εξοπλισμός	74
4	Παρουσίαση και Σχολιασμός Αποτελεσμάτων	78
4.1	Α' Φάση Πειραμάτων	78
4.2	Β' Φάση Πειραμάτων	83
4.3	Γ' Φάση	108
4.4	Συγκριτική αξιολόγηση της επίδρασης ειδικών και μη ειδικών μεθόδων ελέγχου της νηματοειδούς διόγκωσης	135
5	Συμπεράσματα	140
5.1	Εισαγωγή	140
6	Βιβλιογραφία	148

## Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 2.1: Συσχέτιση ανάπτυξης νηματοειδών μικροοργανισμών και Θ <sub>c</sub> (Jenkins et al., 2004).....	8
Εικόνα 2.2: Μηχανισμοί δράσης των βιοκτόνων (Bodik et al., 2008). ....	23
Εικόνα 3.1: ΣΕ και ΠΣ της Α' Φάσης (Μπροστά και πίσω αντίστοιχα).....	35
Εικόνα 3.2: Το ΠΣ κατά τη Β' Φάση λειτουργίας. Στο βάθος φαίνεται η ανοξική δεξαμενή του ΣΕ. ενώ η συνολική του εικόνα δεν διαφοροποιείται από το ΣΕ της Εικόνας 3.1. ....	39
Εικόνα 3.3: Πιλοτικά Συστήματα Γ' Φάσης. Το πρώτο σύστημα είναι το ΣΕ ενώ στο βάθος το ΠΣ.....	44
Εικόνα 3.4: Περισταλτική αντλία προσθήκης χλωρίου και το δοχείο χλωρίωσης. ....	45
Εικόνα 3.5: Container στέγασης συστημάτων.....	49
Εικόνα 3.6: Αναερόβια δεξαμενή - Ana2.4L.....	50
Εικόνα 3.7: Ανοξική 13,1 L (ANO13.1L).....	50
Εικόνα 3.8: Διαμερισματοποιημένη 13,1 L (ANOp13.1L).....	51
Εικόνα 3.9: Ανοξική 15,5 L (ANO15.5L).....	51
Εικόνα 3.10: Αερόβια 15,4 L (AEP15.4L).....	52
Εικόνα 3.11: Αερόβια 10,7 L (AEP10.7L).....	53
Εικόνα 3.12: Δεξαμενή Τελικής Καθίζησης (ΔΤΚ). ....	54
Εικόνα 3.13: Σημείο τροφοδοσίας (αριστερά) και Δεξαμενή Τροφοδοσίας Λυμάτων (ΔΤΛ) (δεξιά)....	55
Εικόνα 3.14: Δεξαμενή Συγκέντρωσης Εκροής.....	55
Εικόνα 3.15: Κωνικές Παγίδες Στερεών (ΚΠΣ).....	56
Εικόνα 3.16: Δοχείο Χλωρίωσης.....	57
Εικόνα 3.17: Μηχανικός αναδευτήρας.....	58
Εικόνα 3.18: Μαγνητικός Αναδευτήρας.....	58
Εικόνα 3.19: Αντλία ακαθάρτων υδάτων (αριστερά) και περισταλτική Αντλία (αριστερά).....	58
Εικόνα 3.20: Αεροσυμπιεστής και αεροφυλάκιο. ....	60
Εικόνα 3.21: Μειωτήρας παροχής.....	60
Εικόνα 3.22: Σωληνάκι σιλικόνης, ρυθμιστής παροχής, πορώδες διαχυτήρας (από αριστερά προς τα δεξιά).....	60
Εικόνα 3.23: Φιαλίδια μέτρησης COD.....	67
Εικόνα 3.24: Κιτ μέτρησης Νιτρικού αζώτου.....	68
Εικόνα 3.25: Θερμόμετρο - Οξυγονόμετρο.....	74
Εικόνα 3.26: Αναλυτικός ζυγός.....	74
Εικόνα 3.27: Φούρνος, πυραντήριο και ξηραντήρας (από αριστερά προς τα δεξιά).....	75
Εικόνα 3.28: Συσκευή διήθησης και αντλία κενού.....	75
Εικόνα 3.29: Φασματοφωτόμετρο Hach DR 2800.....	76
Εικόνα 3.30: Συσκευή χώνευσης φιαλιδίων COD.....	77



## Πίνακας Σχεδιαγραμμάτων

Σχεδιάγραμμα 3.1: ΣΕ κατά την Α' Φάση. ....	36
Σχεδιάγραμμα 3.2: ΠΣ κατά την Α' Φάση. ....	37
Σχεδιάγραμμα 3.3: ΣΕ κατά την Β' Φάση λειτουργίας. ....	40
Σχεδιάγραμμα 3.4: ΠΣ κατά την Β' Φάση. ....	41
Σχεδιάγραμμα 3.5: ΣΕ κατά την Γ' Φάση λειτουργίας. ....	46
Σχεδιάγραμμα 3.6: ΠΣ κατά την Γ' Φάση. ....	47
Σχεδιάγραμμα 4.1: Σύστημα Ελέγχου και θέσεις δειγματοληψίας. ....	84
Σχεδιάγραμμα 4.2: Πειραματικό Σύστημα και θέσεις δειγματοληψίας. ....	84
Σχεδιάγραμμα 4.3: Σύστημα Ελέγχου και θέσεις δειγματοληψίας. ....	109
Σχεδιάγραμμα 4.4: Πειραματικό Σύστημα και θέσεις δειγματοληψίας. ....	110

## Πίνακας Γραφημάτων

Γράφημα 2.1: Γραφική αναπαράσταση της κινητικής επιλογής σε μεικτές καλλιέργειες (Jenkins et al., 2004)	16
Γράφημα 4.1: Αθροιστικές καμπύλες DSVI για τα ΣΕ και ΠΣ (Φάση Α') (Μαθιός, 2012)	80
Γράφημα 4.2: Μέση εμφάνιση κυρίαρχων νηματοειδών στο ανάμεικτο υγρό στο ΣΕ (Μαθιός, 2012)	81
Γράφημα 4.3: Μέση εμφάνιση κυρίαρχων νηματοειδών στο ανάμεικτο υγρό στο ΠΣ (Μαθιός, 2012)	81
Γράφημα 4.4: Εβδομαδιαία μεταβολή πληθυσμού νηματοειδών βακτηριδίων	82
Γράφημα 4.5: Εβδομαδιαία μεταβολή πληθυσμού νηματοειδών βακτηριδίων	83
Γράφημα 4.6: Στερεά στην είσοδο των συστημάτων.	85
Γράφημα 4.7: Μετρήσεις εισερχομένων TSS στα συστήματα.	86
Γράφημα 4.8: Διακύμανση των στερεών στο βιοαντιδραστήρα του ΣΕ	88
Γράφημα 4.9: Διακύμανση των στερεών στο βιοαντιδραστήρα του ΠΣ	88
Γράφημα 4.10: Συγκέντρωση του O <sub>2</sub> σε κάθε δεξαμενή	90
Γράφημα 4.11: Συγκέντρωση ολικού και διαλυτού COD στην είσοδο	93
Γράφημα 4.12: Συγκέντρωση ολικού και διαλυτού COD στην έξοδο του ΣΕ	93
Γράφημα 4.13: Συγκέντρωση ολικού και διαλυτού COD στην έξοδο του ΠΣ.	94
Γράφημα 4.14: Συσχέτιση rCOD με TSS εξόδου στο ΣΕ.	94
Γράφημα 4.15: Συσχέτιση rCOD με TSS εξόδου στο ΠΣ.	95
Γράφημα 4.16: Προφίλ διαλυτού COD στο ΠΣ.	95
Γράφημα 4.17: Προφίλ διαλυτού COD στο ΣΕ	96
Γράφημα 4.18: Προφίλ NO <sub>3</sub> -N στα δύο συστήματα (μέσος όρος)	99
Γράφημα 4.19: Μέσος ρυθμός απονιτροποίησης στις μη αερόβιες δεξαμενές των δύο συστημάτων.	102
Γράφημα 4.20: Διακύμανση του DSVI των δύο συστημάτων	104
Γράφημα 4.21: Αθροιστική Κατανομή του DSVI στα δύο συστήματα	104
Γράφημα 4.22: Χρονική μεταβολή της αφθονίας των νηματοειδών βακτηριδίων στο σύστημα ελέγχου.	107
Γράφημα 4.23: Χρονική μεταβολή της αφθονίας των νηματοειδών βακτηριδίων στο πειραματικό σύστημα.	108
Γράφημα 4.24: Στερεά στην είσοδο των συστημάτων και στις τρεις περιόδους λειτουργίας.	111
Γράφημα 4.25: Διακύμανση στερεών με το χρόνο ΣΕ	113
Γράφημα 4.26: Διακύμανση στερεών με το χρόνο - ΠΣ	114
Γράφημα 4.27: Διακύμανση συγκέντρωσης D.O. σε κάθε αερόβια δεξαμενή και στα δύο συστήματα σε κάθε περίοδο.	115
Γράφημα 4.28: Διακύμανση ολικού και διαλυτού COD στο ΣΕ.	118
Γράφημα 4.29: Διακύμανση ολικού και διαλυτού COD στο ΠΣ.	118
Γράφημα 4.30: Συσχέτιση μεταξύ rCOD και TSS εξόδου στο ΣΕ.	119

Γράφημα 4.31: Συσχέτιση μεταξύ $pCOD$ και $TSS_{\xi\delta\delta\omicron\upsilon}$ στο ΠΣ. _____	119
Γράφημα 4.32: Γενική εικόνα της διακύμανσης του διαλυτού $COD$ στο ΣΕ. _____	119
Γράφημα 4.33: : Γενική εικόνα της διακύμανσης του διαλυτού $COD$ στο ΣΕ. _____	120
Γράφημα 4.34: Προφίλ $NO_3-N$ και στα δύο συστήματα ανά περίοδο λειτουργίας. _____	122
Γράφημα 4.35: Συγκεντώσεις $NO_3-N$ στην έξοδο των δύο συστημάτων. _____	123
Γράφημα 4.36: Διακύμανση $DSVI$ με το χρόνο στα δύο συστήματα. _____	128
Γράφημα 4.37: Αθροιστική Κατανομή 1ης Περιόδου και στα δύο συστήματα _____	129
Γράφημα 4.38: Αθροιστική Κατανομή 2ης Περιόδου και στα δύο συστήματα _____	130
Γράφημα 4.39: Αθροιστική Κατανομή 3ης Περιόδου και στα δύο συστήματα _____	131
Γράφημα 4.40: $DSVI$ και $FI$ για το ΣΕ. _____	132
Γράφημα 4.41: $DSVI$ και $FI$ για το ΠΣ. _____	132
Γράφημα 4.42: Χρονική μεταβολή της αφθονίας των νηματοειδών βακτηριδίων στο σύστημα ελέγχου. _____	133
Γράφημα 4.43: Χρονική μεταβολή της αφθονίας των νηματοειδών βακτηριδίων στο πειραματικό σύστημα. _____	134
Γράφημα 4.44: Αθροιστικές Κατανομές $DSVI$ και για τα τέσσερα συστήματα. _____	137
Γράφημα 4.45: Μέσος όρος των τιμών του $DSVI$ για τα τέσσερα συστήματα που λειτούργησαν. ____	138
Γράφημα 4.46: Μέσος $FI$ για τα τέσσερα συστήματα που λειτούργησαν. _____	139

## ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

ΣΕΙ : Σύστημα Ενεργού Ιλύος  
β/α : Βιοαντιδραστήρας  
ΚΕΛΨ: Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων νήσου Ψυττάλειας  
μ/οι : Μικροοργανισμοί  
μ/ο : Μικροσκόπιο  
ν.β.: Νηματοειδή βακτήρια  
ν.δ.: Νηματοειδής διόγκωση  
ΔΤΚ : Δεξαμενή Τελικής Καθίζησης  
ΕΕΛ: Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων  
ΠΣ: Πειραματικό Σύστημα  
ΣΕ: Σύστημα Ελέγχου  
ΧΨ: Χημείο Ψυττάλειας  
ΕΥΤ: Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας

BNR: Biological Nutrient Removal systems  
DSVI: Diluted Sludge Volume Index  
DO: Dissolved oxygen  
EPS : Extracellular Polymeric Substances  
F.ba: Filamentous Bacteria  
FI: Filament Index  
OL: Organic Load  
RAS: Returned Activated Sludge  
RBCOD: Readily Biodegradable Chemical Oxygen Demand  
SBCOD: Slowly Biodegradable Chemical Oxygen Demand  
SRT: Solids Retention Time  
SVI : Sludge Volume Index  
WWTP: Wastewater Treatment Plants

## Περίληψη

Στόχος της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής ήταν η διερεύνηση της αποτελεσματικότητας των αναερόβιων και ανοξικών φρεατίων επιλογής και της χλωρίωσης στον έλεγχο της νηματοειδούς διόγκωσης (ν.δ.) στο Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων της Ψυττάλειας (ΚΕΛΨ). Η βιολογική βαθμίδα του ΚΕΛΨ αποτελείται από μια αναερόβια δεξαμενή (λόγω έλλειψης ανοξικής στη στην εξωτερική ανακυκλοφορία –RAS δουλεύει σαν ανοξική) και μια δεξαμενή με ανοξικό και αερόβιο τμήμα.

Για τις πειραματικές ανάγκες λειτούργησαν δύο πιλοτικά συστήματα, τα οποία στεγάστηκαν σε container εντός της εγκατάστασης. Τα συστήματα λειτούργησαν σε τρεις φάσεις από τις οποίες οι δύο τελευταίες αφορούν αποκλειστικά αυτήν την εργασία, ενώ η πρώτη αφορά άλλη εργασία. Το ένα σύστημα (Control ή Σύστημα Ελέγχου - ΣΕ) αποτελούσε προσομοίωση της βιολογικής βαθμίδας του ΚΕΛΨ Ψυττάλειας, ενώ το δεύτερο (Experimental ή Πειραματικό Σύστημα - ΠΣ) διαφοροποιούνταν από το ΣΕ. Σε κάθε φάση λειτουργίας η διάταξη των συστημάτων διαφοροποιούνταν ανάλογα τις ανάγκες της μελέτης.

Καθημερινά μετρούνταν η συγκέντρωση των TSS στην έξοδο των συστημάτων, τα MLSS σε όλες τις δεξαμενές της βιολογικής βαθμίδας των δύο συστημάτων, η συγκέντρωση του D.O. και η θερμοκρασία στις αερόβιες δεξαμενές των συστημάτων. Από τα παραπάνω στοιχεία υπολογιζόταν καθημερινά ο δείκτης καθιζηματικότητας ύψος DSVI και η περίσσεια της ύψος που έπρεπε να απομακρυνθεί για τη διατήρηση του χρόνου παραμονής των στερεών (Θc) στις 8 ημέρες. Δύο φορές την εβδομάδα μετρούνταν η συγκέντρωση των TSS, VSS, sCOD και tCOD στην είσοδο, έξοδο και τη βιολογική βαθμίδα των συστημάτων των συστημάτων. Στην είσοδο και έξοδο μετρούνταν και το αμμωνιακό άζωτο δύο φορές την εβδομάδα. Δείγμα λαμβανόταν δύο φορές την εβδομάδα επίσης από την πρώτη αερόβια δεξαμενή του κάθε συστήματος για μικροσκοπική παρατήρηση. Μερικές από τις αναλύσεις έγιναν στο χημείο του ΚΕΛΨ (ΧΨ) και οι υπόλοιπες στο Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας (EYT) του ΕΜΠ.

Αρχικά, κατά τη Β' φάση λειτουργίας διερευνήθηκε η αποτελεσματικότητα των αναερόβιων και ανοξικών φρεατίων επιλογής (κινητική και μεταβολική επιλογή). Ο

βιοαντιδραστήρας του ΣΕ (ίδιου όγκου με του ΠΣ) αποτελούνταν από μια ανοξική και δύο αερόβιες δεξαμενές ενώ ο αντίστοιχος του ΠΣ από μία αναερόβια δεξαμενή (αναερόβιο φρεάτιο επιλογής), μία διαμερισματοποιημένη ανοξική (ανοξικό φρεάτιο επιλογής) και δύο δεξαμενές αερισμού. Επιπρόσθετα το ΣΕ λειτούργησε με τη βιομάζα του ΠΣ της Α' Φάσης και αντίστοιχα το ΠΣ λειτούργησε με τη βιομάζα του ΣΕ της Α' Φάσης. Πρέπει να τονιστεί ότι κατά την Α' Φάση η βιομάζα του ΠΣ παρουσίαζε πολύ καλύτερα χαρακτηριστικά καθίζησης από τη βιομάζα του ΣΕ.

Από το προφίλ του διαλυτού COD κατά μήκος των συστημάτων φάνηκε και στα δύο συστήματα ότι το μεγαλύτερο μέρος του RBCOD καταναλωνόταν εντός της πρώτης αναερόβιας δεξαμενής (στο σύστημα ελέγχου απομακρυνόταν πλήρως στον ανοξικό όγκο). Συγκεκριμένα συνολικά απομακρυνόταν του 98% του διαλυτού COD από το οποίο το 75% στον αναερόβιο επιλογέα και το υπόλοιπο στον διαμερισματοποιημένο ανοξικό επιλογέα. Η οργανική φόρτιση στο ΠΣ υπολογίστηκε ότι ήταν  $5 \rightarrow 2,6 \rightarrow 1,4 \rightarrow 0,9$  Kg COD/ Kg MLSS /d για την αναερόβια και τα τρία διαμερίσματα της διαμερισματοποιημένης ανοξικής αντίστοιχα. Η οργανική φόρτιση ήταν χαμηλή στο ΣΕ, υπολογίστηκε στα 1,2 Kg COD/ Kg MLSS /d. Ο ρυθμός απονιτροποίησης ήταν  $4,6 \rightarrow 1,5$  mg NO<sub>3</sub>-N / gr VSS /d για την αναερόβια και ανοξική δεξαμενή του ΠΣ και 2,6 mg NO<sub>3</sub>-N / gr VSS /d για την ανοξική του ΣΕ.

Η μέση τιμή του DSVI στο ΣΕ ήταν 479 mL/gr MLSS ενώ η αντίστοιχη στο ΠΣ ήταν 289 mL/gr MLSS. Η διακύμανση της αθροιστικής κατανομής του ΠΣ φαίνεται να είναι αρκετά περιορισμένη σε σχέση με αυτή του ΣΕ. Η τιμή του FI στο ΣΕ παρέμεινε σχετικά σταθερή με μέσο όρο τιμών 4,8 ενώ στο ΠΣ ήταν 3,7. Στο ΠΣ τα νηματοειδή βακτήρια – στόχοι (Type 1851 και Type 021N) παρουσίασαν σημαντικά μικρότερες τιμές ενώ άλλα νηματοειδή όπως οι *N. limicola* και *H. hydrossis* παρέμειναν αμετάβλητοι. Τα νηματοειδή βακτήρια Type 0092, Type 0041 και Type 0675 δεν μπορούν περιοριστούν από τη μεταβολική επιλογή ενώ εντύπωση προκάλεσε η απουσία *M. parvicella*. Παρόλα αυτά ο χρόνος λειτουργίας φάνηκε να μην ήταν ικανός να μειώσει το DSVI κάτω από τα 150mL/gr SS.

Από τα αποτελέσματα φάνηκε ότι οι συνθήκες που αναπτύχθηκαν (αναερόβιες και ανοξικές με υψηλή οργανική φόρτιση) είναι ικανές να μειώσουν το υψηλό DSVI του ΠΣ σε αντίθεση με την περίπτωση του ΣΕ στο οποίο τα χαρακτηριστικά καθίζησης υποβαθμίστηκαν.

Στη συνέχεια μελετήθηκε η αποτελεσματικότητα της χλωρίωσης. Πλέον οι βιοαντιδραστήρες των δύο συστημάτων είναι ίδιοι, αποτελούμενοι από μία ανοξική και δύο αερόβιες δεξαμενές. Στο ΠΣ προστέθηκε μία δεξαμενή χλωρίου (ΔΧ) και μια αντλία που παροχέτευε το διάλυμα χλωρίου στην ανοξική δεξαμενή. Επίσης ο ανοξικός όγκος του ΠΣ είναι κατά 2.4 L μικρότερος από αυτόν του ΣΕ, χωρίς όμως να επηρεάζει το πείραμα. Και τα δύο συστήματα λειτούργησαν με βιομάζα από το ΚΕΛΨ. Η Γ΄ Φάση χωρίστηκε σε τρεις περιόδους κατά τις οποίες άλλαζαν οι δόσεις του χλωρίου.

Στο ΠΣ κατά τη πρώτη περίοδο η συνολική μάζα δόσης ( $T_m$ ) ήταν 3.5 mg  $Cl_2$ / gr SS/d και ο δείκτης νημάτων (Filament Index FI) από το 4.5 έπεσε στο 4. Και στο ΣΕ όμως ο FI από το 3.5 έπεσε στο 3 χωρίς να χλωριώνεται. Το DSVI και στα δύο συστήματα αρχικά ανέβηκε μέχρι το 300 mL/gr SS και στη συνέχεια έπεσε μέχρι το 170 mL/gr SS. Αυτό στο ΠΣ δικαιολογείται λόγω της προσθήκης χλωρίου αλλά στο ΣΕ η πτώση του DSVI δεν μπορεί να δικαιολογηθεί. Ο ρυθμός απονιτροποίησης υπολογίστηκε στα 1,8 και 3,1 mg  $NO_3-N$  / gr VSS /d. Στο ΠΣ ο SFI ήταν μεγαλύτερος για τους *M. parvicella*, T.1851 και T.0092 παρά τη χλωρίωση.

Κατά τη δεύτερη περίοδο η δόση ( $T_m$ ) στο ΠΣ διπλασιάστηκε στα 7 mg  $Cl_2$ / gr SS/d και ο FI από το 3.5 έπεσε στο 2. Στο ΣΕ ο FI παρέμεινε στο 4.5. Το DSVI στο ΣΕ αυξήθηκε μέχρι και το 370 mL/gr SS ενώ στο ΠΣ κυμάνθηκε μεταξύ 150-250 mL/gr MLSS. Ο ρυθμός απονιτροποίησης ήταν 2,3 και 4,7 mg  $NO_3-N$  / gr VSS /d.

Κατά τη τρίτη περίοδο η αρχική δόση ( $T_m$ ) τριπλασιάστηκε στα 10.5 mg  $Cl_2$ / gr SS/d ενώ ο FI παρέμεινε στο 3. Στο ΣΕ ο FI παρέμεινε στο 4.5. Το DSVI στο ΣΕ μειώθηκε μέχρι και τα 125 mL/gr MLSS ενώ στο ΠΣ κυμάνθηκε μεταξύ 150-200 mL/gr MLSS. Η κατακόρυφη πτώση του DSVI στο ΣΕ ενώ όλοι οι παράμετροι παρέμειναν σταθερές μπορεί να δικαιολογηθεί μόνο μια πιθανή εισροή τοξικών λυμάτων η οποία δεν προκύπτει από το ημερολόγιο του πιλοτικού. Ο ρυθμός απονιτροποίησης υπολογίστηκε στα 2,8 και 4,0 mg  $NO_3-N$  / gr VSS /d.

Κατά τη διάρκεια και των τριών περιόδων χλωρίωσης, με εξαίρεση το πρώτο μισό της πρώτης περιόδου, το DSVI στο ΠΣ κυμάνθηκε μεταξύ 150 και 230 mL/gr MLSS. Αυτό δείχνει ότι η δόση του χλωρίου τελικά δεν επιδρά σημαντικά στο DSVI. Επίσης

κατά τη Β' περίοδο ο FI στο ΠΣ είχε τιμή 2 ενώ στη Γ' περίοδο με μεγαλύτερη δόση ο FI είχε τιμή 3. Σε αντίθεση με το DSVI τα μικροσκοπικά αποτελέσματα δείχνουν έντονη επίδραση του χλωρίου στα βακτήρια της βιομάζας καθώς τα νήματα ήταν άδεια και στο ανάμεικτο υγρό εκτός των κροκίδων δεν κυκλοφορούσαν βακτήρια.

Επίσης ερευνήθηκε η επίδραση της χλωρίωσης στην αναπνοή και τη νιτροποίηση. Για το OUR δεν παρουσιάστηκε αναχαίτιση στην 1<sup>η</sup> και 3<sup>η</sup> δόση αλλά παρουσιάστηκε στη 2<sup>η</sup> δόση. Η αναχαίτιση που προκάλεσε στην ετεροτροφική βιομάζα η δόση των 7 gr Cl<sub>2</sub> / kg MLSS / d, δεν μπορεί να δικαιολογηθεί από τη βιβλιογραφία. Επίσης η υψηλή δόση της 3<sup>ης</sup> περιόδου δε παρουσίασε αναχαίτιση οπότε σημειώνεται ότι το χλώριο δεν επηρεάζει την ετεροτροφική βιομάζα. Στη πρώτη περίοδο παρατηρήθηκε αναχαίτιση στο AUR κατά 41,4%, στη δεύτερη περίοδο κατά 20,8% αλλά στη τρίτη δεν υπήρξε αναχαίτιση της αυτοτροφικής βιομάζας. Από αυτό δύο συμπεράσματα μπορεί να προκύπτουν. Το πρώτο είναι ότι δεν υπάρχει αναχαίτιση και το δεύτερο ότι ίσως να υπάρχει προσαρμοστικότητα των μ/ών στο χλώριο. Βιβλιογραφικά δεν υπάρχουν αναφορές σχετικά με την προσαρμοστικότητα εκτός από μία περίπτωση που παρατηρήθηκε ο Type 021N ανθεκτικός στο χλώριο.

Συμπερασματικά κρίνοντας απ' όσα αναφέρθηκαν παραπάνω όλα τα συστήματα, από αυτά που χρησιμοποιήθηκαν, κατά τη διάρκεια των τριών φάσεων δεν κατάφεραν να δημιουργήσουν ιλύ με καλά χαρακτηριστικά καθίζησης (DSVI<150 mL/gr SS). Βέβαια θεωρείται επιτυχία η βελτιωμένη εικόνα που παρουσίασαν τα ΠΣ κατά τη διάρκεια όλων των φάσεων.

#### *❖ Συγκριτική αξιολόγηση της επίδρασης ειδικών και μη ειδικών μεθόδων ελέγχου της νηματοειδούς διόγκωσης*

Στο πλαίσιο της διερεύνησης της επίδρασης ειδικών και μη ειδικών μεθόδων ελέγχου της νηματοειδούς διόγκωσης, που διήρκησε 15 μήνες περίπου (Ιανουάριος 2011 – Απρίλιος 2012) δοκιμάστηκαν σε εργαστηριακή κλίμακα στο ΚΕΛ Ψυττάλειας τα ακόλουθα συστήματα ενεργού ιλύος:

- ✓ **Σύστημα 1 (Ano-Aer):** Αποτελούμενο από ανοξική δεξαμενή (Ano) και αερόβια διαμερισματοποιημένη δεξαμενή (Aer).



- ✓ **Σύστημα 2 (Ana-Ano-Aer):** Αποτελούμενο από αναερόβιο φρεάτιο επιλογής (Ana), ανοξική δεξαμενή (Ano) και αερόβια διαμερισματοποιημένη δεξαμενή (Aer).
- ✓ **Σύστημα 3 (Ana-Anop-Aer):** Αποτελούμενο από αναερόβιο φρεάτιο επιλογής (Ana), ανοξική δεξαμενή αποτελούμενη από τρία διαμερίσματα (Anop) και αερόβια διαμερισματοποιημένη δεξαμενή (Aer)
- ✓ **Σύστημα 4 (Ano-Aer – Cl<sub>2</sub>):** Αποτελούμενο από ανοξική δεξαμενή (Ano) και αερόβια διαμερισματοποιημένη δεξαμενή (Aer) στο οποίο εφαρμόστηκε χλωρίωση σε δόσεις 7.1 – 11.6 mg Cl<sub>2</sub> / gr MLSS /d.

Από τη συγκριτική αξιολόγηση (προς την αθροιστική κατανομή του DSVI και τον μέσο όρο του FI) των προαναφερθέντων συστημάτων προκύπτει ότι το Σύστημα 4 (Ano-Aer + Cl<sub>2</sub>) φαίνεται να παρουσιάζει καλύτερη καθιζησιμότητα απ' όλα τα συστήματα καθώς το εύρος της διακύμανσης των τιμών του DSVI (130-231 mL/gr MLSS) είναι ιδιαίτερα περιορισμένο. Ο μέσος όρος των τιμών του FI σε αυτό το σύστημα προέκυψε 3,0 και είναι ο μικρότερος απ' όλα τα συστήματα. .

Την χειρότερη κατανομή παρουσιάζει το Σύστημα 1 (Ano-Aer) στο οποίο οι τιμές κυμάνθηκαν μεταξύ 109 και 800 mL/gr MLSS. Η βιομάζα του Συστήματος 1 χαρακτηρίστηκε με τη μεγαλύτερη τιμή του FI απ' όλα τα συστήματα (μέσος όρος 4,5).

Μεταξύ των συστημάτων (Σύστημα 2 και Σύστημα 3) που στόχευαν στον έλεγχο της νηματοειδούς διόγκωσης με την εφαρμογή ειδικών μεθόδων το Σύστημα 2 (Ana-Ano-Aer) παρουσίασε τη καλύτερη αθροιστική κατανομή μεταξύ 89 και 489 mL/gr MLSS. Αξίζει να αναφερθεί ότι αν εξαιρεθεί μία τιμή 489 mL/gr MLSS η ανώτατη τιμή του DSVI μειωνόταν στα 306 mL/gr MLSS. Το Σύστημα 3 δεν ανέπτυξε, όπως αναμενότα βιομάζα με καλύτερα χαρακτηριστικά καθίζησης από το Σύστημα 2 καθώς το DSVI κυμάνθηκε μεταξύ 132 και 505 mL/gr MLSS). Πάντως ο μέσος όρος των τιμών του FI ήταν ίδιος και για τα δύο συστήματα (3,5).

Συμπερασματικά όλα τα σύστημα από αυτά που χρησιμοποιήθηκαν δεν κατάφεραν να δημιουργήσουν ιλύ με καλά χαρακτηριστικά καθίζησης ( $DSVI < 150 \text{ mL/gr SS}$ ). Βέβαια θεωρείται επιτυχία η βελτιωμένη εικόνα που παρουσίασαν τα συστήματα 2, 3 και 4 κατά τη διάρκεια των πειραμάτων.

## **Extended Abstract**

### **introduction**

The present MSc thesis was conducted in the context of the Inter-Departmental Graduate Studies Program: —Water Resources Science and Technology (Environmental and Water Quality Engineering specification), coordinated by the School of Civil and Environmental Engineering at the National Technical University of Athens. It aims to investigate the efficiency of the implementation of anaerobic and anoxic selector tanks (compartmentalized or not) in controlling filamentous bulking, a problem frequently occurring at several Waste Water Treatment Plants (WWTP). The impact of introducing a combined anaerobic- anoxic selector at the WWTP of Psittalia was investigated through pilot scale experiments within two Phases. Specifically the impact of anaerobic selector was investigated as well as a combined anaerobic-compartmentalized anoxic selector in Phase A and Phase B respectively. It is worth mentioned that the presentation and the

Furthermore the chlorine (as NaOCl) impact on the control of filamentous bulking was investigated. Three different overall mass dose rates ( $T_m$ ) of 3.5, 7.0 and 10.5 gr  $Cl_2$  / Kg MLSS / d were applied for each operating period respectively in Phase C. The pilot systems were located on the island of Psittalia, where the majority of the experiments was also held.

It must be clarified that the scope of this MSc thesis is neither the analytical presentation of the filamentous bacteria, nor their diet, the factors that affect their growth and the possible methods which could control or eliminate their growth. These are mentioned analytically in other MSc thesis (Kagia, 2011), review articles (Martins et al., 2004), Phds (Noutsopoulos, 2002) and specific manuals (Jenkins et al., 2004) regarding the control of filamentous bulking. For the reader's introduction to the filamentous bulking and its control theory, a brief presentation is dedicated.

The necessity of protection, primarily of public health and secondarily of the environment leads to the construction and operation of wastewater treatment plants (WWTP). In this way the input (addition) of organic load, nutrients (N & P) and pathogenic microorganisms in the aquatic ecosystems which leads to pollution, contamination and eutrophication could be eliminated. On the other hand the

Biological Nutrient Removal (BNR) systems demand a prolonged (extended) solid's retention time (SRT) which leads to the growth of undesirable filamentous bacteria (f.ba). To be honest due to “backbone theory” the filamentous bacteria are very important in limited concentrations. As a result of the presence and the excessive growth of Filamentous bacteria is the occurrence of the phenomenon of filamentous bulking (f.bu). Thus the presence and the excessive growth of Filamentous bacteria leads to the phenomenon called filamentous bulking. Filamentous bulking is a term which describes an activated sludge with pure settling and compaction characteristics and high Sludge Volume Index (SVI) and Filament Index (FI) values.

Filamentous bacteria, which are assumed to compete the floc-formers bacteria for organic substrate of wastewaters in the activated sludge, grows in a variety of environments and its growth depends on the **process design parameters** (SRT, organic load –OL, wastewater feeding regime and electron acceptor), **the operating conditions** (Dissolved Oxygen –DO- concentration, temperature and pH level) and the **wastewater characteristics** (nutrient's concentration and type of COD). Hence four Groups have been mentioned for the categorization of filamentous bacteria:

- **Group I:** Low DO aerobic zone growers which use readily biodegradable (RB) substrates and grow well at low DO concentration over wide range of SRTs. – *S. natns*, T1701, *H. hydrossis*.
- **Group II:** Mixotrophic aerobic zone growers which use RB substrates and grow over moderate and high SRTs. They are capable of sulfide oxidizing and storing sulphur granules. They have rapid nutrients uptake rates under nutrient deficiency: *Thiothrix* sp. And T. 021N.
- **Group III:** Other aerobic zone growers which use RB substrates and are present at high SRTs.: T.1851 and *N. limicola* spp.
- **Group IV:** Aerobic, anoxic and anaerobic zone growers which turn up at high SRTs and they possible use hydrolyzed particulate substrates: *M. parvicvella*, T.0092, T. 0041 and T.0675.

In order to eliminate, metabolic (implementation of anaerobic and anoxic zones), kinetic (implementation of aerobic, anoxic and anaerobic selectors) and other

selection theories like storage selection theory had been mentioned. The methods which aim to eliminate the causes of filamentous bulking are called Specific methods. Except from these **specific methods** a variety of simple **non-specific** methods could be used. The addition of chemicals and inert solids (synthetic organic polymers, inorganic coagulants and flocculants, PACT and minerals) and disinfectants such as chlorine solutions,  $H_2O_2$  and  $O_3$  are included to the non specific methods and are used to enhance activated sludge settling rates and selectively kill the filamentous bacteria respectively. Chlorine is assumed to be the most widespread disinfectant, because of its low price and its effectiveness, but when it comes in contact with organic matter it forms halogenated compounds which are accused of their carcinogenetic properties.

Chlorine's addition should be implemented in known and controlled doses at points where excellent mixing is possible and there is lack of nitrite. The contract between chlorine and ammonia forms another disinfectant called monochloramine. The efficiency of chlorination could be influenced from the below parameters:

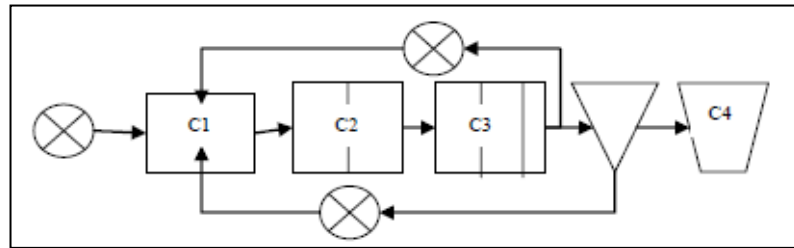
- Overall mass dose rate,  $T_m$  (grCl<sub>2</sub> / Kg MLSS /d)
- Chlorine concentration at the dose point, C (mgCl<sub>2</sub> /L)
- Local mass dose at the point, T (grCl<sub>2</sub> / Kg MLSS)
- Frequency of exposure of activated sludge to chlorine dose, F ( / d)

## **Methods**

As for the experimental reasons two lab-scale pilot systems were used in each Phase in different arrangement. These systems were used in previous experiments and have exactly the same volume. Monitor and maintenance of the pilot systems included total and volatile suspended solids, temperature, dissolved oxygen, total and soluble COD, ammonia nitrogen and nitrate DSVI, nitrogen measurements, along with microscopic evaluation. In a daily basis TSS, MLSS, D.O., temperature, DSVI were measured. The others were measured twice a week in A & B Phase and every five days in Phase C.

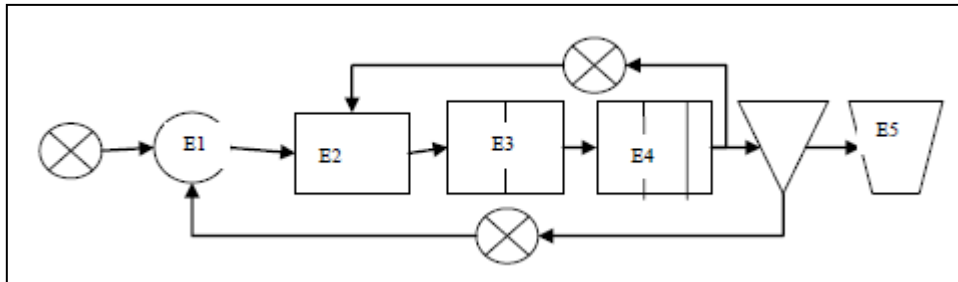
In **Phase A** (19/10-31/12/2011), in which the impact of an anaerobic selector was investigated, using the systems below:

- A Control system (CS), which was a model of the secondary treatment unit of Psittalia, included anoxic tank (C1), two aerated tanks (C2&C3) and a secondary clarifier. A conic tank was used as output collector (C4). (**Figure 1**)



**Figure 1: The Control System**

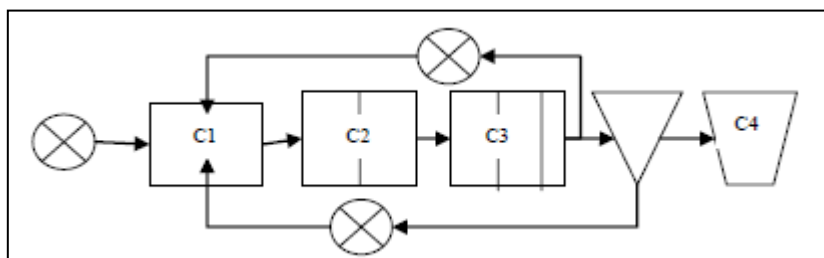
- An experimental system (ES) which consisted of a separate anaerobic (E1) and anoxic tank (E2), two aerated tanks (E3 & E4) and a secondary clarifier. A conic tank was used as output collector (E5). (**Figure 2**)



**Figure 2: The experimental system.**

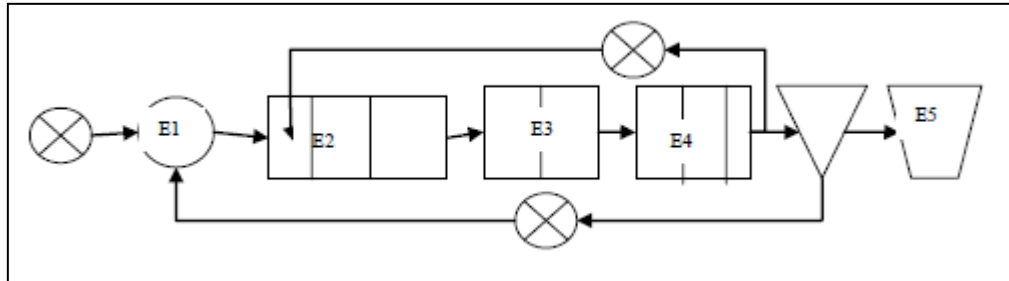
In **Phase B** (1/1/-17/2/12), the impact of an anaerobic and a compartmentalized anoxic selector were investigated, using the systems below:

- The Control system was exactly the same with the Control in Phase A (**Figure 3**).



**Figure 3: The Control system**

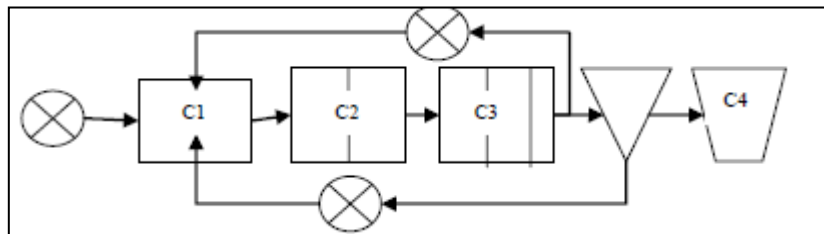
- The experimental system consisted of an anaerobic tank (E1), a compartmentalized in three sectors anoxic tank (E2), two aerated tanks (E3 & E4) and a secondary clarifier. A conic tank was used as output collector (E5). **(Figure 4)**



**Figure 4: The experimental system.**

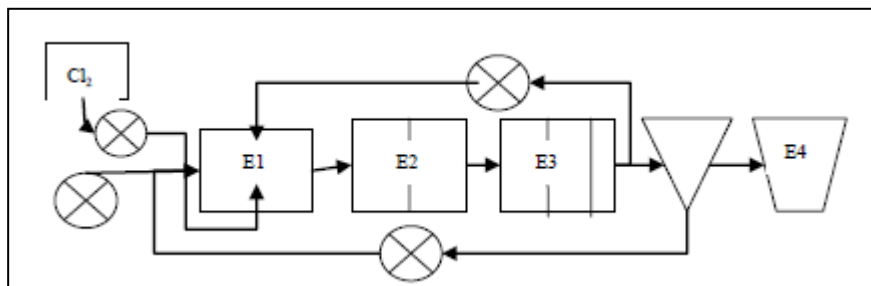
In **Phase C** (18/2 – 12/4/12), in which the impact of three chlorine's overall mass doses ( $T_m$ ) on filamentous bulking was investigated, the two systems were the same.

- The Control system was exactly the same with the Control in Phase A & B and included an anoxic tank (C1), two aerated tanks (C2&C3) and a secondary clarifier. A conic tank was used as output collector (C4). **(Figure 5).**



**Figure 5: The Control system**

- The experimental system consisted of an anoxic tank (E1), two aerated tanks (E2 & E3) and a secondary clarifier. A conic tank was used as output collector (E4). **(Figure 6)**



**Figure 6: The experimental system**

As a result of the high SRTs of Psitalia, low organic load filamentous bacteria was overgrowth. These filamentous bacteria can be divided into two main categories.

- Filamentous bacteria that grow on SBCOD (*M. parvicella* and Types 0041 & 0092) are not expected to be influenced from anoxic selector tanks.
- Filamentous bacteria that grow on RBCOD (*S. natans*, *N. limicola*, Types 1851, 1701 & 021N, *H. hydrossis* and *Thiothrix* spp.) are targeted through the use of kinetic selection.

In order to eliminate the appearance of first's category filamentous bacteria, the implementation of an anaerobic selector was chosen. The absence of an anoxic tank in RAS means that the anaerobic selector operates as anoxic selector, such as in Psitalia. A selector is defined as the entering part of a bioreactor and it is characterized by a low dispersion rate and a sufficient substrate gradient.

## **Results**

The ES and CS in Phase B' was operated with the biomass of Phase's A' control and experimental system respectively. In both systems the 98% of the input biodegradable COD was consumed under non aerated condition. Especially the 75% of the biodegradable COD was consumed in the anaerobic selector under high organic load.

The organic load in ES was  $5 \rightarrow 2,6 \rightarrow 1,4 \rightarrow 0,9$  kg COD/ Kg MLSS /d into the anaerobic selector and into each sector of the compartmentalized anoxic selector respectively. On the other hand, there were just 1.2 kg COD/ Kg MLSS /d. A sufficient pressure was applied (kinetic selection theory) to the biomass. The total RBCOD was consumed in the first tank of each system. The denitrification rate for the ES was  $4,6 \rightarrow 1,5$  mg NO<sub>3</sub>-N / gr VSS /d into the anaerobic and anoxic selector respectively and 2,6 mg NO<sub>3</sub>-N / gr VSS /d for the anoxic tank of CS.

The average of DSVI values were 479 and 289 mL/gr MLSS for the CS and ES respectively. The variance of the cumulative distribution of the ES seems to be limited enough relative to the CS. The FI at the ES dropped to 2.0 (the initial value was 4.5), while at the CS the value was 5.0, although at the last 2 checks we observed 4.5. The



Types 0041, 0092 and 0675 do not seem to have been affected by the high and decreasing organic load, which was something that we were expecting. Contrary to the above filamentous bacteria, the SFI was reduced in Types 021N and 1851. The presence and growth of *H. hydrossis* is difficult to be interpreted due to the high concentration of D.O.. Despite the above evidence, the duration of operation did not seem to be able to reduce DSVI below 150 mL/gr SS. Thus it cannot be assumed that the addition of an anaerobic and a compartmentalized anoxic selector contributed to the reduction of the DSVI index in such levels so that it can be considered that the filamentous bulking problems are faced efficiently despite the kinetic and metabolic pressure applied.

Thereinafter, the efficiency of chlorinating was studied. Now, the bioreactors of the two systems are the same, consisted of one anoxic and two aerobic tanks. A chlorine tank and a pump supplying with chlorine solution the anoxic tank of the experimental system. Moreover, the anoxic volume of the experimental system is 2.4 L smaller than the volume of the control system, although this fact does not affect the experiment. Both systems operated with biomass from WWTP of Psittalia. The C phase was divided in 3 periods in which the applied total chlorine mass dose was 3.5, 7.1 and 11.6 mg Cl<sub>2</sub>/gr MLSS /d respectively.

In the three periods the entire biodegradable COD was consumed under anoxic conditions and low organic load. The concentration of the soluble COD flocculated between 30 and 40 mg/L in the output of the two systems, so it can be assumed that the Cl<sub>2</sub> concentration did not inhibit the COD removal. Moreover it was observed that the doses of chlorine do not affect the autotrophic biomass. The two systems do achieve fully nitrification with nitrification rate between 87% and 100%.

These findings are confirmed by the results of measurements in batch experiments of oxygen uptake rate (OUR) and nitrification rate (AUR) in the experimental and control system. The maximum oxygen uptake rate of ES is approximately identical to the maximum rates measured in CS. Moreover, the rate of nitrification in SE was equal to the CS using a high dose of 11.6 mg Cl<sub>2</sub> / gr MLSS / d. In conclusively it is assumed that the application of chlorination did not inhibit the growth of heterotrophic and autotrophic bacteria.

During the 1<sup>st</sup> period in ES the overall mass dose (Tm) was 3.5 mg Cl<sub>2</sub>/gr SS/d and the Filament Index FI was reduced from 4.5 to 4. The FI was also reduced in CS from 3.5 to 3, without being chlorinating. The DSVI in both systems was initially raised till 300mL/gr SS and then was reduced to 170 mL/gr SS. The reduction in ES can be explained by the addition of chlorine, but the reduction of DSVI in CS cannot be explained in this way.

During the 2<sup>nd</sup> period the dose (Tm) at the ES was doubled to 7.1 mg Cl<sub>2</sub>/gr MLSS/d and the FI was reduced from 3.5 to 2. The FI at the CS remained 4.5. The DSVI at CS was raised till 370 mL/gr SS while at the ES it varied between 160-231 mL/ gr MLSS.

During the 3<sup>rd</sup> period the initial dose (Tm) was tripled to 11.6 mg Cl<sub>2</sub>/gr SS/d while the FI remained at 3. The FI remained at 4.5 in CS. During the third period, there was a clear differentiation between the two systems. Again, the range of variation in DSVI values in the control system was quite limited (165-210 mL / gr MLSS) contrary to the ES in which DSVI values flocculated between 124 and 361 mL / gr MLSS.

Conclusively, taking into consideration all the above, all the systems that were used did not manage to create sludge with good characteristics of sedimentation during the three phases (DSVI<150 mL/gr MLSS).

It should be mentioned that the results of Phase A are presented at Mathios (2012) thesis.

*Comparative evaluation of the effect of specific and non-specific methods of controlling filamentous bulking*

Investigating the effect of specific and non-specific control methods filamentous bulking, which lasted about 15 months (January 2011 - April 2012), the following activated sludge systems were tested on a laboratory scale on the WWTP of Psittalia:

- ✓ **1<sup>st</sup> System (Ano-Aer):** Consisted of an anoxic basin (Ano) and a compartmentalized aerobic basin(Aer).
- ✓ **2<sup>nd</sup> system (Ana-Ano-Aer):** Consisted of an anaerobic selector (Ana), an anoxic basin (Ano) and a compartmentalized aerobic basin(Aer).

- ✓ **3<sup>rd</sup> System (Ana-Anop-Aer):** Consisted of an anaerobic selector (Ana), an anoxic basin with three sectors (Anop) and a compartmentalized aerobic basin (Aer).
- ✓ **4<sup>th</sup> System (Ano-Aer – Cl<sub>2</sub>):** Consisted of an anoxic basin (Ano) and a compartmentalized aerobic basin (Aer) in which a dose between 7.1 and 11.6 mg Cl<sub>2</sub> / gr MLSS /d was applied.

The above systems were compared using a graph of a) the cumulative distribution of DSVI values and b) the average score of the FI values. According to the graph of the cumulative distribution (shown in the results section) the curve of System 4 (Ano-Aer + Cl<sub>2</sub>) seems to have better settling properties of all systems and the range of fluctuation of DSVI values (130-231 mL / gr MLSS) is very limited. The average value of FI in this system was 3.0 and it is the smallest of all the systems.

The worst distribution belongs to the 1<sup>st</sup> System (Ano-Aer) in which the DSVI values ranged between 109 and 800 mL / gr MLSS. The biomass of the 1<sup>st</sup> system was characterized by the highest value of FI foremost systems (average 4.5).

As for the systems (2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> System) that aimed to control filamentous bulking by applying specific methods, the 2<sup>nd</sup> System (Ana-Ano-Aer) showed the best cumulative distribution between 89 and 489 mL / gr MLSS. It is worth mentioning that if you exclude the value of 489 mL / gr MLSS, the highest DSVI value drops to 306 mL / gr MLSS. The 3<sup>rd</sup> System was expected to develop biomass with better settling properties than that of the 2<sup>nd</sup> system, but that was not actually confirmed by the variation of DSVI (132-505 mL / gr MLSS). However, the average value of FI was the same for both systems (3.5).

Conclusively, all three system used failed to create sludge with good settling properties (DSVI <150 mL / gr MLSS. The fact that the 2<sup>nd</sup> , 3<sup>rd</sup> and 4<sup>th</sup> system developed biomass with better settling properties than 1<sup>st</sup> system, it is considered itself a success.

# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανάγκη της προστασίας αρχικά της δημόσιας υγείας και δευτερευόντως του περιβάλλοντος οδήγησε στη κατασκευή και λειτουργία εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ). Με αυτόν τον τρόπο περιορίζεται σε μεγάλο βαθμό η εισαγωγή οργανικού φορτίου, θρεπτικών συστατικών (N & P) και παθογόνων μικροοργανισμών (μ/ών) στο υδατικό οικοσύστημα τα οποία οδηγούν σε φαινόμενα ρύπανσης, μόλυνσης και ευτροφισμού. Τα θρεπτικά και το οργανικό φορτίου καταναλώνονται συσσωματούμενα βακτήρια που αναπτύσσονται στη βιομάζα του συστήματος. Παράλληλα όμως αναπτύσσονται στη βιοκοινότητα και νηματοειδή βακτήρια που ανταγωνίζονται τα συσσωματούμενα για την εύρεση και κατανάλωση οργανικού υποστρώματος. Τα σημαντικότερα και πιο συχνά παρατηρούμενα νηματοειδή βακτήρια είναι τα *Microthrix parvicella*, *Nostocoida limicola*, *Gordona amarae* spp., *Halisconobacter hydrossis* και οι μορφότυποι Types 0092 / 0041 / 0675 / 021N / 1851.

Τα βακτήρια αυτά αναπτύσσονται κάτω από ποικίλες συνθήκες. Οι πιο σημαντικές παράμετροι μπορούν να ταξινομηθούν σε παραμέτρους σχεδιασμού (χρόνος παραμονής στερών / οργανική φόρτιση, καθεστώς ροής, αποδέκτης ηλεκτρονίων) σε λειτουργικές συνθήκες (συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου, θερμοκρασία, pH) και στο το είδος και την σύσταση των εισερχόμενων λυμάτων (κλάσματα οργανικής ύλης και συγκέντρωση θρεπτικών).

Η χρήση ειδικών (φρεάτια επιλογής για την άσκηση κινητικής και μεταβολικής πίεσης) και μη ειδικών μεθόδων (κροκιδωτικά, απολυμαντικά και άλλα) εφαρμόζονται στο μεγαλύτερο ποσοστό των Ε.Ε.Λ. για τον έλεγχο της νηματοειδούς διόγκωσης.

## **Αντικείμενο της εργασίας**

Στόχος της μεταπτυχιακής αυτής εργασίας είναι η διερεύνηση της δυνατότητας εφαρμογής ειδικών και μη ειδικών μέτρων ελέγχου της νηματοειδούς διόγκωσης στο Κ.Ε.Λ. Ψυττάλειας για τον περιορισμό της υπερανάπτυξης νηματοειδών βακτηρίων

όπως ο Type 021N, *N. limicola*, Type 1851, *Thiothrix* sp. που αναπτύσσονται καταναλώνοντας κυρίως RBCOD.

### **Διάρθρωση της εργασίας**

Πέραν του παρόντος κεφαλαίου της «Εισαγωγής» περιέχονται άλλα τέσσερα κεφάλαια τα οποία ολοκληρώνουν τη μεταπτυχιακή αυτή εργασία.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται βιβλιογραφική ανασκόπηση του θέματος της εργασίας. Παρουσιάζεται η έκταση του φαινομένου της νηματοειδούς διόγκωσης, αναλύονται οι παράγοντες που την επηρεάζουν, οι θεωρίες επιλογής των μικροοργανισμών στα συστήματα Ενεργού Ιλύος (ΕΙ) ενώ γίνεται και εκτενής αναφορά στους τρόπους αντιμετώπισης των αιτιών και των συμπτωμάτων της νηματοειδούς διόγκωσης. Έμφαση δίνεται στο κομμάτι που αφορά τη προσθήκη χλωρίου για το έλεγχο της νηματοειδούς διόγκωσης καθώς αποτέλεσε τον πρωταρχικό στόχο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται όλα τα αντικείμενα, αντιδραστήρια, αναλυτικές συσκευές και μηχανολογικός εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε κατά την διεξαγωγή των πειραμάτων. Επίσης αναφέρονται οι μεθοδολογίες των αναλύσεων που χρησιμοποιήθηκαν.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων και συγκρίνονται με τα αποτελέσματα άλλων εργασιών της βιβλιογραφίας. Τέλος επειδή η πτυχιακή αυτή εργασία αποτελεί το τελευταίο μέρος της συνεργασίας του ΕΥΤ με το ΚΕΛΨ, κατά την οποία πραγματοποιήθηκαν συνολικά τρεις διπλωματικές εργασίες, θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της συγκριτικής αξιολόγησης των συστημάτων που λειτούργησαν και στις τρεις διερευνητικές προσπάθειες.

Στο Πέμπτο κεφάλαιο παραθέτονται συνοπτικά τα βασικότερα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη διεξαγωγή των πειραμάτων καθώς και τα συμπεράσματα από τη συγκριτική αξιολόγηση των συστημάτων που χρησιμοποιήθηκαν.

## 2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

### 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το σύστημα της Ενεργού Ιλύος (ΣΕΙ) είναι το πιο διαδεδομένο σύστημα βιολογικής επεξεργασίας λυμάτων ανά τον κόσμο. Συνήθως αποτελείται από δύο τμήματα, τον βιο-αντιδραστήρα (β/α) και τη Δεξαμενή Τελικής Καθίζησης (ΔΤΚ) τα οποία έχουν διαστασιολογηθεί βάση κάποιον παραμέτρων, διαφορετικών σε κάθε περίπτωση. Οι μικροοργανισμοί (μ/οί) που αναπτύσσονται στον β/α καταναλώνουν το οργανικό φορτίο και τα θρεπτικά (κυρίως N και P) που υπάρχουν στα εισερχόμενα λύματα και πολλαπλασιάζονται. Στη συνέχεια εντός της ΔΤΚ, όπου επικρατούν συνθήκες ηρεμίας, διαχωρίζεται η υγρή φάση (η οποία απομακρύνεται από την υπερχειλίση) από την στερεή. Ένα μέρος της στερεής απομακρύνεται μέσω αντλιών και οδηγείται για περαιτέρω επεξεργασία ενώ το υπόλοιπο επιστρέφει στον β/α μέσω της εξωτερικής ανακυκλοφορίας (Returned Activated Sludge – RAS) για να καταναλώσει το οργανικό φορτίο. Αυτή είναι η γενική αρχή λειτουργίας του ΣΕΙ. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της βιομάζας που αναπτύσσεται εντός του β/α είναι υψίστης σημασίας καθώς η καλή συμπίκνωση και καθίζηση εξαρτάται από αυτά. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό, για την ομαλή λειτουργία κάθε Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ), η τιμή του δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος SVI (Sludge Volume Index) να είναι μικρότερη από 100-150 mL/ gr MLSS (Νουτσόπουλος, 2002).

Με το πέρασμα των χρόνων καθώς η επιστήμη εξελισσόταν, εξελισσόταν και το ΣΕΙ, όχι μόνο για να ικανοποιεί τις περιβαλλοντικές ανάγκες, αλλά και για να αντιμετωπιστούν προβλήματα που εμφανίστηκαν κατά τη λειτουργίας του. Ακόμα και τώρα, μετά από σχεδόν 100 χρόνια λειτουργίας του ΣΕΙ (Andern et al., 1914), όσο καλά μελετημένα και αν είναι τα συστήματα είναι δύσκολο να λειτουργήσουν χωρίς σοβαρά προβλήματα, όπως για παράδειγμα την έντονη και απρόβλεπτη διακύμανση της καθιζησιμότητας της ιλύος και τη δημιουργία πυκνού αφρού στην επιφάνεια. Αυτό φαίνεται και από το γεγονός ότι περισσότερο από 50% των εγκαταστάσεων διεθνώς αντιμετωπίζουν τέτοια προβλήματα (Andreadakis, 1996). Στον **Πίνακα 2.1** (Martins et al., 2004) παρουσιάζεται η γεωγραφική κατανομή των νηματοειδών βακτηρίων (ν.β).

Πίνακας 2.1: Γεωγραφική κατανομή των νηματοειδών βακτηρίων. σε ΣΕΙ (Martins et al., 2004).

Ήπειρος/ Χώρα	Κυρίαρχοι νηματοειδείς μικροοργανισμοί	Αναφορά
<b>Αφρική</b>		
Βόρειος Αφρική	<i>M. parvicella</i> και <i>Types 1851, 0041/0675</i> και <i>0914</i>	Blackbeard et al.
<b>Ασία</b>		
Ιαπωνία	<i>Type 021N, NALO, S. natans, Type 0041/0675,</i> και <i>Thiothrix sp.</i>	Mino
Ταϊλάνδη	<i>Types 021N, 1701, 0092, 0041/0675,</i> και <i>NALO</i>	Mino
<b>Ευρώπη</b>		
Τσεχία	<i>M. parvicella</i> και <i>Type 0092</i>	Krhutkova et al.
Δανία	<i>M. parvicella,</i> και <i>Types 0041/0675, 021N, 0092, 0914,</i> και <i>1851</i>	Kristensen et al.
Δανία, Γερμανία, Ελλάδα, Ολλανδία	<i>M. parvicella, Type 0041/0675, N. limicola,</i> και <i>Types 0092, 0803,</i> και <i>0914.</i>	Eikelboom et al.
Γαλλία	<i>M. parvicella, Types 0041/0675, 0092,</i> και <i>N. limicola</i>	Pujol και Canler
Γερμανία	<i>M. parvicella</i> και <i>Types 1701, 0041/0675,</i> και <i>0092</i>	Kunst και Reins
Ιταλία	<i>M. parvicella, NALO, Types 0092,</i> και <i>0041/0675</i>	Rossetti et al. και Madoni et al.
Ολλανδία	<i>M. parvicella, Type 021N, H. hydrossis,</i> και <i>Types 0092, 1701,</i> και <i>0041/0675</i>	Eikelboom και Kruit et al.
Ηνωμένο Βασίλειο	<i>M. parvicella, Type 021N, N. limicola,</i> και <i>NALO</i>	Foot και Lavender et al.
<b>Βόρειος Αμερική</b>		
ΗΠΑ	<i>Types 1701, 021N, 0092, 0041/0675, NALO,</i> και <i>M. parvicella</i>	Strom και Jenkins Switzenbaum et al.
<b>Ωκεανία</b>		
Αυστραλία	<i>M. parvicella</i> και <i>Types 0041/0675, 0092,</i> και <i>H. hydrossis</i>	Seviour et al.
<b>Νότιος Αμερική</b>		
Αργεντινή	<i>Type 1701, S. natans, NALO, M. parvicella,</i> και <i>Type 0041/0675</i>	Di Marzio

**Πίνακας 2.2: Προτεινόμενες ομάδες νηματοειδών βακτηρίων ανάλογα τις συνθήκες (Martins et al., 2004)**

	<b>Χαρακτηριστικά</b>	<b>Έλεγχος</b>
<b>1<sup>η</sup> ομάδα: Αερόβιοι μ/ο χαμηλού DO</b> ( <i>S. natans</i> , <i>Type 1701</i> , <i>H hydrossis</i> )	Χρησιμοποιούν ταχέως βιοδιασπάσιμο υπόστρωμα, βέλτιστη ανάπτυξη σε χαμηλές συγκεντρώσεις DO, αναπτύσσονται σε ένα ευρύ φάσμα χρόνων παραμονής στερεών	→ Αερόβιοι, αναερόβιοι ή ανοξικοί επιλογείς εμβολοειδούς ροής → Αύξηση χρόνου παραμονής στερεών → Αύξηση DO στη δεξαμενή αερισμού (> 1,5 mg O <sub>2</sub> / L)
<b>2<sup>η</sup> ομάδα: Αερόβιοι μιξοτροφικοί μ/ο</b> ( <i>Thiothrix sp. Type 021N</i> )	Χρησιμοποιούν ταχέως βιοδιασπάσιμο υπόστρωμα, ειδικά χαμηλού μοριακού βάρους οργανικά οξέα, παρόντες σε μεσαίους έως υψηλούς χρόνου παραμονής στερεών, ικανότητα οξειδωσης θειούχων ενώσεων και αποθήκευσης κόκκων θείου, χαρακτηρίζονται από υψηλούς ρυθμούς πρόσληψης θρεπτικών υπό συνθήκες έλλειψης τροφής	→ Αερόβιοι, αναερόβιοι ή ανοξικοί επιλογείς εμβολοειδούς ροής → Προσθήκη θρεπτικών → Αποκλεισμός θειούχων ενώσεων και υψηλών συγκεντρώσεων οργανικών οξέων (αποφυγή σηπτικών συνθηκών)
<b>3<sup>η</sup> ομάδα: Άλλοι αερόβιοι μ/ο</b> ( <i>Type 1851</i> , <i>N. Limicola spp.</i> )	Χρησιμοποιούν ταχέως βιοδιασπάσιμο υπόστρωμα, παρόντες σε μεσαίους έως υψηλούς χρόνου παραμονής στερεών	→ Αερόβιοι, αναερόβιοι ή ανοξικοί επιλογείς εμβολοειδούς ροής → Μείωση χρόνου παραμονής στερεών
<b>4<sup>η</sup> ομάδα: Αερόβιοι, ανοξικοί και αναερόβιοι μ/ο</b> ( <i>M parvicella</i> , <i>Types 0092, 0041, 0675</i> )	Παρουσιάζονται σε μεγάλες συγκεντρώσεις σε συστήματα που έχουν αερόβιες- αναερόβιες- ανοξικές ζώνες, παρόντες σε υψηλούς χρόνους παραμονής στερεών, πιθανή ανάπτυξη με χρήση προϊόντων υδρόλυσης	Υπάρχει ακόμη αβεβαιότητα αλλά τα συνήθη μέτρα περιλαμβάνουν: → Εσχάρωση για την απομάκρυνση σωματιδιακού υποστρώματος → Διατήρηση εμβολοειδούς ροής σε όλο το σύστημα → Σαφής διαχωρισμός αερόβιων/ αναερόβιων/ ανοξικών σταδίων → Διατήρηση υψηλής συγκέντρωσης οξυγόνου (> 1,5 mg O <sub>2</sub> / L) και χαμηλής συγκέντρωσης αμμωνίας (<1 mg NH <sub>4</sub> -N/ L) στο αερόβιο στάδιο



Παρότι η κατανομή των ν.β. παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις, τόσο γεωγραφικά όσο και εποχιακά, μπορεί με ασφάλεια να ειπωθεί ότι οι *Microthrix parvicella*, Type 0092, Type 0041 και Type 0675 αποτελούν τα ν.β. που φέρονται ως κυρίως υπεύθυνα για την εμφάνιση προβλημάτων ν.δ. στα συστήματα απομάκρυνσης θρεπτικών (Biological Nutrient Removal – BNR – Systems).

Έρευνες υποδεικνύουν (Martins et al., 2004), ότι η εμφάνιση των Type 021N, Type 0961, *Sphaerotilus natans* και *Thiothrix* sp. μπορεί να ελεγχθεί με την εισαγωγή αναερόβιων και ανοξικών τμημάτων (σε συστήματα απομάκρυνσης θρεπτικών).

Οι συνθήκες κάτω από τις οποίες δημιουργείται το φαινόμενο αυτό καθώς **(Πίνακας 2.2)** και ποιοι μ/οι το προκαλούν είναι αντικείμενο μελέτης πολλών ερευνητικών ομάδων μέχρι και σήμερα. Υπάρχουν αρκετές εργασίες (Jenkins et al., (2004), Wanner and Grau (1989), Eikelboom et al., (1975)) στις οποίες περιγράφονται τα μορφολογικά χαρακτηριστικά και οι διατροφικές συνήθειες των ν.β., ενώ παρουσιάζονται και φωτογραφίες από ν.β.. Τα αποτελέσματα των ερευνών αυτών δείχνουν ότι τα ν.β. είναι αυτά που δημιουργούν προβλήματα καθαρισιμότητας και συμπίκνωσης της ιλύος. Συγκεκριμένα, η υπερ-ανάπτυξη των ν.β. αποτελεί πρόβλημα και όχι η παρουσία τους αυτή καθ' αυτή στη βιοκοινότητα διότι, όπως αναφέρουν και οι Caravelli et al. (2007), τα ν.β. αποτελούν την «ραχοκοκαλιά» γύρω από την οποία συναθροίζονται τα συσσωματούμενα βακτήρια (“backbone theory- Sezgin et al., 1978). Στη προσκόλληση των σ.β. πάνω στα νηματοειδή βακτήρια βοηθάει η παρουσία εξωκυτταρικών πολυμερών ουσιών (Extracellular Polymeric Substances – EPS) που διαθέτουν τα νηματοειδή βακτήρια (Καγιά, 2011). Επίσης οι Jenkins et al. (2004), αναφέρουν ότι εκτός της ν.δ. έχει παρατηρηθεί και η μη ν/δης (non-filamentous bulking – zoogloeal bulking) και ιξώδης διόγκωσης (viscous bulking) της ιλύος.

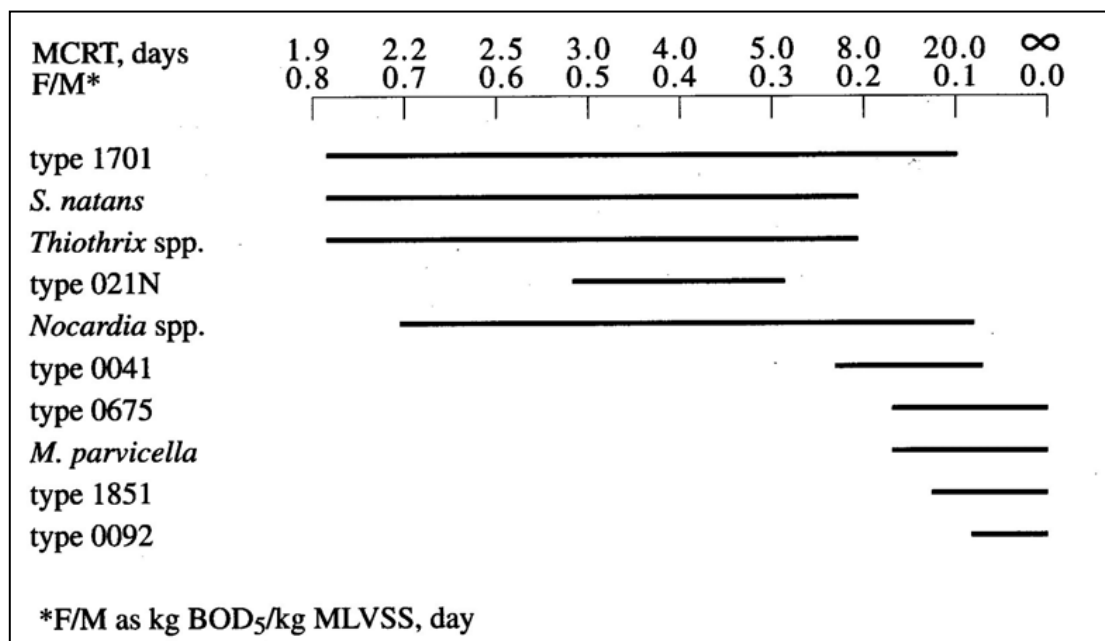
## 2.2 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΤΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΩΝ ΝΗΜΑΤΟΕΙΔΩΝ ΒΑΚΤΗΡΙΩΝ

Το πλήθος των εργασιών στη βιβλιογραφία οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η εμφάνιση ν.β. στις ΕΕΛ είναι ένα σύνθετο πρόβλημα. Οι Chiesa and Irvine (1985) αναφέρουν ότι η νηματοειδής διόγκωση σχετίζεται με το περιβάλλον ανάπτυξης των μ/ών και συγκεκριμένα τις ειδικές συνθήκες που επικρατούν σε αυτό. Τέτοιες συνθήκες είναι η χαμηλή και υψηλή συγκέντρωση D.O. στις δεξαμενές αερισμού, η χαμηλή και υψηλή οργανική φόρτιση, οι αντιδραστήρες πλήρους μίξης και στρωτής ροής, η έλλειψη μικροθρεπτικών, η αυξημένη συγκέντρωση μετάλλων, η αυξημένη συγκέντρωση θειούχων ενώσεων, έλλειψη θρεπτικών, το χαμηλό pH και η υπερανάπτυξη πρωτοζώων. Οι Wanner and Grau (1989) αναφέρουν ότι η παρουσία και μόνο ορισμένων ν.β. υποδεικνύει τα αίτια και τις συνθήκες που προκαλούν τη ν.δ. της ΕΙ. Οι πιο σημαντικές παράμετροι μπορούν να ταξινομηθούν σε **παραμέτρους σχεδιασμού** (χρόνος παραμονής στερεών / οργανική φόρτιση, καθεστώς ροής, αποδέκτης ηλεκτρονίων) σε **λειτουργικές συνθήκες** (συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου, θερμοκρασία, pH) και στο **είδος και την σύσταση των εισερχόμενων λυμάτων** (κλάσματα οργανικής ύλης και συγκέντρωση θρεπτικών). Τα πιο σημαντικά και συχνά παρατηρούμενα παρουσιάζονται ακολούθως.

### 2.2.1 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Όπως αναφέρουν οι Chudoba et al. (1974) έχει αποδειχθεί ότι η οργανική φόρτιση και ο χρόνος παραμονής επηρεάζουν το SVI της ΕΙ. Σύμφωνα με τον Νουτσόπουλο (2002) ο χρόνος παραμονής στερεών (Solids' Retention Time – SRT) διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη σύνθεση της βιοκοινότητας της ενεργού ιλύος, καθώς θέτει ένα “κατώφλι” στο ρυθμό ανάπτυξης που πρέπει να έχει ένας μικροοργανισμός ώστε να παραμείνει στο σύστημα ενεργού ιλύος και να μην “ξεπλυθεί”. Κάθε μ/ός έχει διαφορετική ταχύτητα ανάπτυξης συνεπώς η παρουσία ή απουσία του σ’ ένα ΣΕΙ εξαρτάται από τον SRT (**Εικόνα 2.1**). Ο χρόνος παραμονής στερεών είναι αντιστρόφως ανάλογος της οργανικής φόρτισης (λόγος F/M), συνεπώς όταν αναφερόμαστε σε μ/ούς χαμηλής οργανικής φόρτισης καταλαβαίνουμε ότι πρόκειται για σύστημα παρατεταμένου αερισμού.

Κατά κύριο λόγο τα ν.β. χαρακτηρίζονται από χαμηλούς ρυθμούς ανάπτυξης, και ευνοούνται σε συστήματα παρατεταμένου αερισμού. Θα μπορούσαμε να περιορίσουμε την ανάπτυξή τους σχεδιάζοντας συστήματα με μικρούς SRT. Με αυτό τον τρόπο τα συστήματα δεν μπορούν να νιτροποιήσουν γιατί οι νιτροποιητές έχουν χαμηλή ταχύτητα ανάπτυξης και δεν προλαβαίνουν να αναπτυχθούν.



Εικόνα 2.1: Συσχέτιση ανάπτυξης νηματοειδών μικροοργανισμών και Θc (Jenkins et al., 2004).

Πέρα του SRT και της οργανικής φόρτισης το καθεστώς ροής είναι επίσης ένας παράγοντας ο οποίος επηρεάζει άμεσα τα χαρακτηριστικά καθιζησιμότητας της ΕΙ. Έρευνες (Chuduba et al., 1973a) έχουν δείξει ότι η προσέγγιση της εμβολοειδούς ροής βελτιώνει σημαντικά την καθιζησιμότητα της ΕΙ. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την προσθήκη διαμερισμάτων σε δεξαμενές. Ως μέσο μέτρησης του κατά πόσο η ροή σε έναν βιοαντιδραστήρα προσομοιάζει την εμβολοειδή, χρησιμοποιείται ο βαθμός διασποράς  $D/(uL)$  όπου:

- $D$  : ο συντελεστής διασποράς ( $m^2/s$ )
- $u$  : η ταχύτητα του υγρού ( $m/sec$ )
- $L$  : το μήκος ροής ( $m$ )

Όσο μεγαλύτερες είναι οι τιμές του συντελεστή διασποράς η ροή προσομοιάζει την πλήρη μίξη, ενώ σε αντίθετη περίπτωση η ροή τείνει προς την εμβολοειδή.

Αρκετά ν.β. φαίνεται να έχουν μεγαλύτερους μέγιστους ρυθμούς ανάπτυξης και πρόσληψης τροφής (λόγω των μικρότερων συντελεστών ημικορεσμού για τον οργανικό άνθρακα) από τα σ.β. σε συνθήκες όπου επικρατούν χαμηλές συγκεντρώσεις οργανικής ύλης (ν.β. χαμηλής οργανικής φόρτισης). Έτσι εξηγείται και η υπερβολική ανάπτυξή τους σε συστήματα πλήρους μίξης, σε αντίθεση με τα συστήματα εμβολοειδούς ροής όπου οι μικροοργανισμοί βρίσκονται σε συνθήκες έντονης κλίσης τροφής. Στη διαπίστωση αυτή βασίζεται και η λειτουργία των επιλογέων για τους οποίους οι Chudoba et al. (1973b) αναφέρουν ότι μπορούν να περιορίσουν τα ν.β. σε συστήματα πλήρους μίξης.

Όπως ήδη ειπώθηκε, στη βιβλιογραφία αναφέρεται ότι η χρήση ανοξικών και αναερόβιων συνθηκών μπορεί να περιορίσει την ανάπτυξη συγκεκριμένων ν.β. που αναπτύσσονται σε πλήρως αεριζόμενα συστήματα. Παράλληλα όμως οι ανοξικές και αναερόβιες συνθήκες υποκινούν την ανάπτυξη άλλων ν.β. (Νουτσόπουλος, 2002) οι οποίοι διαθέτουν τα κατάλληλα ένζυμα για τη πρόσληψη της τροφής κάτω από αυτές τις συνθήκες. Όμως μερικά ν.β. δεν μπορούν να χρησιμοποιήσουν το νιτρικό άζωτο ως δέκτη ηλεκτρονίων (Wanner et al., 1987a) οπότε δεν ευνοείται η ανάπτυξή τους σε συστήματα με ανοξικά τμήματα. Γίνεται σαφές ότι και ο αποδέκτης ηλεκτρονίων διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη παρουσία συγκεκριμένων βακτηρίων στη βιοκοινότητα της ΕΙ.

### **2.2.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ**

Η συγκέντρωση του D.O. φαίνεται να επηρεάζει την ανάπτυξη ν.β.. Σύμφωνα με τους Wanner & Grau (1989) υπάρχουν ν.β. που αναπτύσσονται σε αερόβιες ζώνες (Type 0041, Type 0675) αλλά και ν.β. που αναπτύσσονται και επικρατούν σε αερόβιες, αναερόβιες και ανοξικές συνθήκες (Type 0092, *M. parvicella*). Οι Martins et al. (2003a) σε πειράματα που έκαναν παρατήρησαν ότι η χαμηλή συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου (< 1,1 mg O<sub>2</sub>/L) έχει ισχυρά αρνητική επίδραση στην καθιζηματικότητα της ΕΙ, οδηγώντας στην εμφάνιση ν.β. όπως τα *Thiothrix* sp., Type 021N & Type 1851, ιδιαίτερα όταν η οργανική φόρτιση είναι υψηλή. Επιπροσθέτως

οι Wilen & Balmer (1999) αναφέρουν ότι σε χαμηλές συγκεντρώσεις D.O. (0.5-2.0 mg/L) παράγεται ιλύς με φτωχότερα χαρακτηριστικά καθίζησης και υψηλότερη θολότητα στην εκροή απ' ότι σε υψηλότερες συγκεντρώσεις D.O. (2.0-5.0 mg/L). Τα παραπάνω εξηγούνται με την θεωρία της κινητικής επιλογής κατά την οποία τα ν.β. αναπτύσσονται ταχύτερα από τα σ.β. σε συνθήκες χαμηλής συγκέντρωσης D.O. καθώς έχουν μικρότερους συντελεστές ημι-κορεσμού ( $K_o$ ), ενώ σε συνθήκες υψηλής συγκέντρωσης D.O. ισχύει το αντίθετο (Guo et al., 2010). Οι Jenkins et al. (2004) όμως αναφέρουν ότι αν η ζήτηση του  $O_2$  από τους μ/ούς είναι μεγάλη (ταχύτητα κατανάλωσης του οξυγόνου (Oxygen Uptake Rate – OUR)) μπορεί να υπάρξουν συνθήκες έλλειψης  $O_2$ , ακόμα και αν η συγκέντρωση του D.O. είναι υψηλή.

Σύμφωνα με τους Wilen & Balmer (1999) η συγκέντρωση του D.O. και η οργανική φόρτιση επηρεάζουν την κατανομή μεγέθους των κροκίδων και ότι με την αύξηση της συγκέντρωσης του D.O. αυξάνεται και το μέγεθος της κροκίδας. Άλλοι ερευνητές προσπαθούν να δουν και τη θετική πλευρά του φαινομένου της ν.δ.. Οι Guo et al. (2010) για παράδειγμα αναφέρουν ότι αν η ανάπτυξη μικρών ποσοτήτων ν.β (λόγω χαμηλής συγκέντρωσης D.O.) δεν οδηγεί σε σοβαρά προβλήματα ν.δ. τότε μειώνεται η κατανάλωση ενέργειας (40-50% της ενέργειας καταναλώνεται στον αερισμό) στο σύστημα τουλάχιστον 10%. Τονίζουν δε (Guo et al., 2012) ότι η ισορροπία μεταξύ ν.β. και σ.β. μπορεί να επιτευχθεί με τον έλεγχο του D.O. και της οργανικής φόρτισης.

Άλλος σημαντικός περιβαλλοντικός παράγοντας που επηρεάζει την επιβίωση και την ανάπτυξη των μ/ών είναι η θερμοκρασία. Κάθε μικροοργανισμός μπορεί να αναπτυχθεί και να ευδοκιμήσει σε ένα συγκεκριμένο θερμοκρασιακό εύρος. Με την άνοδο της θερμοκρασίας αυξάνονται οι ενζυμικές αντιδράσεις εντός του κυττάρου, συνεπώς και η ταχύτητα ανάπτυξης. Σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες, οι πρωτεΐνες, τα νουκλεϊκά οξέα και άλλα συστατικά του κυττάρου μπορεί είτε να καταστούν ανενεργά είτε να καταστραφούν. Σύμφωνα με τον Νουτσόπουλο (2002) η αύξηση της θερμοκρασίας έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της διαλυτότητας του οξυγόνου στο ανάμεικτο υγρό και επιτάχυνσης των μεταβολικών διεργασιών που πραγματοποιούνται με κατανάλωση οξυγόνου ως αποδέκτη ηλεκτρονίων.

Φαίνεται επομένως ότι η επίδραση της θερμοκρασίας είναι ίσως μεγαλύτερη στους νηματοειδείς μικροοργανισμούς χαμηλών συγκεντρώσεων διαλυμένου οξυγόνου. Για

την αποφυγή επομένως φαινομένων διόγκωσης της ιλύος λόγω ανάπτυξης των νηματοειδών αυτών μικροοργανισμών απαιτείται ανάλογη αύξηση της παροχής του οξυγόνου έτσι ώστε η συγκέντρωσή του στο ανάμεικτο υγρό κατά τις περιόδους σημαντικής αύξησης της θερμοκρασίας να είναι επαρκής προκειμένου να ελεγχθεί η ανάπτυξη των ν.β..

Κοινή παρατήρηση σε ψυχρότερα κλίματα είναι ότι το χειμώνα ο αφρισμός οφείλεται κυρίως στο ν.β. *M. parvicella*, ενώ το καλοκαίρι στο ν.β. *Nocardia*. Το ν.β. *M. parvicella* κυριαρχεί σε θερμοκρασίες κάτω των 15°C, ενώ το *Type 0092* σε θερμοκρασίες άνω των 15°C

Όπως και στην περίπτωση της θερμοκρασίας έτσι και στο pH, κάθε μικροοργανισμός μπορεί να αναπτύσσεται σε ένα συγκεκριμένο εύρος τιμών. Τα συνήθη όρια τιμών είναι μεταξύ 6.5 και 8.5. Τιμές εκτός αυτών των ορίων μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα αναχαίτισης της μεταβολικής δράσης των βακτηρίων. Τιμές του pH μικρότερες από 6 ευνοούν την ανάπτυξη μυκήτων καθώς σε όξινες μόνο συνθήκες, οι μύκητες έχουν την ικανότητα να ανταγωνισθούν τα ετεροτροφικά βακτηρίδια στη πρόσληψη τροφής.

### 2.2.3 ΕΙΔΟΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΣΗ ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ

Η οργανική ύλη των λυμάτων αποτελείται από έναν μεγάλο αριθμό οργανικών ενώσεων οι οποίες διαφέρουν ως προς το βαθμό διαθεσιμότητάς τους στους μικροοργανισμούς. Η οργανική ύλη των λυμάτων εκφρασμένη ως COD μπορεί να χωρισθεί ανάλογα με το βαθμό βιοδιασπασιμότητας και την φυσική κατάσταση σε τέσσερα επιμέρους κλάσματα (Νουτσόπουλος, 2002):

- το εύκολα βιοδιασπάσιμο (RBCOD, διαλυτές οργανικές ενώσεις μικρού μοριακού βάρους όπως υδρογονάνθρακες (συνηθέστερα γλυκόζη), μικρού μοριακού βάρους πτητικά λιπαρά οξέα (VFAs), αλκοόλες (μεθανόλη, αιθανόλη), και αμινοξέα (γλυκίνη, λευκίνη κα.))

- το δύσκολα βιοδιασπάσιμο (χρειάζεται καταρχήν να υποστεί υδρόλυση/ διαλυτοποίηση (solubilisation) έτσι ώστε να είναι σε θέση να χρησιμοποιηθεί από τα κύτταρα των μικροοργανισμών)
- το διαλυτό μη-βιοδιασπάσιμο (αδρανές)
- το σωματιδιακό μη-βιοδιασπάσιμο (αδρανές).

Το διαλυτό και το σωματιδιακό αδρανές κλάσμα απομακρύνονται από το σύστημα ενεργού ιλύος χωρίς να λαμβάνουν μέρος σε καμία βιολογική διεργασία.

Το δύσκολα βιοδιασπάσιμο κλάσμα του οργανικού άνθρακα ανάλογα με την ταχύτητα υδρόλυσης χωρίζεται σε ταχέως και βραδέως υδρολύσιμο τμήμα (30-60% της οργανικής ύλης κατά τους Gujer et al. (1995). Η υδρόλυση, γίνεται στην επιφάνεια, ή εντός των κροκίδων με τη βοήθεια ενζύμων που εκλύουν οι μ/οί. Στη συνέχεια τα προϊόντα υδρόλυσης (εύκολα βιοδιασπάσιμες ενώσεις πλέον) μεταφέρονται στο εσωτερικό των κυττάρων είτε διαμεμβρανικά είτε λόγω διάχυσης (Νουτσόπουλος 2002). Οι Ekama & Marais (1986) αναφέρουν ότι τα προϊόντα υδρόλυσης δεν καταναλώνονται αποκλειστικά στις κροκίδες αλλά απελευθερώνονται στο ανάμεικτο υγρό και με αυτόν τον τρόπο είναι διαθέσιμο και στα ν.β.. Οι Martins et al. (2004) αναφέρουν ότι τα ν.β. παρουσιάζουν υψηλές ταχύτητες ανάπτυξης εξωτερικά των κροκίδων με αποτέλεσμα να υπερισχύουν του ανταγωνισμού με τα σ.β.. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας των νημάτων που προεξέχουν από τις κροκίδες και έχουν ευκολότερη πρόσβαση στη τροφή του ανάμεικτου υγρού. Παράλληλα όμως η προεξοχή των νημάτων, που προσφέρει στα ν.β. το πλεονέκτημα αυτό, αποτελεί την «Αχίλλειο πτέρνα» των ν.β.. Τα πειράματα των Caravelli et al. (2003; 2004) επιβεβαίωσαν τη θεωρία ότι τα ν.β. εξαιτίας της θέσης τους στις κροκίδες και των εξωτερικά αποθηκευμένων πολυμερών είναι πιο ευαίσθητα στη χλωρίωση σε ΣΕΙ. Για τη χλωρίωση θα υπάρχει εκτενής αναφορά στη συνέχεια.

Το εύκολα βιοδιασπάσιμο κλάσμα είναι αυτό το οποίο καταναλώνεται άμεσα από τους μ/ούς είτε σε αερόβιες, είτε σε ανοξικές είτε σε αναερόβιες συνθήκες. Είναι μικρό σε ποσοστό και το πιο εύκολα αφομοιώσιμο κλάσμα, συνεπώς ο ανταγωνισμός μεταξύ νηματοειδών και συσσωματούμενων βακτηρίων είναι μεγάλος.

Το βιοδιασπάσιμο κλάσμα της οργανικής ύλης χρησιμοποιείται από τους μ/ούς για αναβολικές και καταβολικές αντιδράσεις. Σε συνθήκες έντονης κλίσης εύκολα

διασπάσιμης τροφής οι μ/οί χρησιμοποιούν μέρος των συσσωρευμένων ενώσεων για τον μεταβολισμό τους ενώ το υπόλοιπο μέρος το αποθηκεύουν εσωτερικά ως PHA (PHB, γλυκογόνο, πολυφωσφορικές ενώσεις) χωρίς να τους κοστίζει ενεργειακά. Σε αυτό βασίζεται και η φιλοσοφία των αντιδραστήρων εμβολοειδούς ροής. Τα συσσωματούμενα βακτήρια, σε συνθήκες έλλειψης τροφής καταναλώνουν τις εσωτερικά αποθηκευμένες οργανικές ενώσεις και αποκτούν συγκριτικό πλεονέκτημα έναντι των ν.β.. Υπάρχουν όμως έρευνες (Wanner et al., 1987β) που αναφέρουν ότι υπάρχουν ν.β. τα οποία μπορούν να αποθηκεύσουν PHB's όπως ο type 021N και Thiothrix.

Εκτός από τα διάφορα κλάσματα της οργανικής ύλης, τα εισερχόμενα στη ΕΕΛ λύματα περιέχουν θρεπτικά (μακροθρεπτικά και μικροθρεπτικά), ενώσεις του θείου και διάφορα λιπίδια τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πηγή ενέργειας από τα ν.β.. Η έλλειψη θρεπτικών, αναφέρει ο Νουτσόπουλος (2002), μπορεί να οδηγήσει σε εμφάνιση ιξώδους και νηματοειδούς διόγκωσης της ιλύος. Αυτό γίνεται διότι συνήθως τα ν.β. λόγω των μικρότερων συντελεστών ημι-κορεσμού πλεονεκτούν σε συνθήκες χαμηλής συγκέντρωσης θρεπτικών.

Σύμφωνα με τα όσα παρουσιάστηκαν παραπάνω γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι οι αιτίες της εμφάνισης της νηματοειδούς διόγκωσης είναι ποικίλες. Στον **Πίνακα 2.3** παρουσιάζονται συνοπτικά οι αιτίες εμφάνισης νηματοειδών βακτηρίων καθώς και τα νηματοειδή βακτήρια που αναπτύσσονται σε κάθε μία από αυτές.

**Πίνακας 2.3: Νηματοειδή βακτήρια και αιτίες εμφάνισης τους σε συστήματα ενεργού ιλύος (Jenkins et al., 2004)**

Αιτία	Νηματοειδή βακτήρια
Χαμηλό DO (για την εφαρμοζόμενη οργανική φόρτιση)	S. natans, type 1701 & H. Hydrossis
Χαμηλή οργανική φόρτιση (F/M)	Type 0041, Type 0675, Type 1851 & Type 0803
Υψηλές συγκεντρώσεις οργανικών οξέων χαμηλού μοριακού βάρους	Type 021N, Thiothrix I & II, N. Limicola I, II & III & Type 0092, Type 0914, Type 0581, Type 0961 &
Σηπτικότητα λυμάτων (H <sub>2</sub> S)	Thiothrix I & II, Beggiatoa spp., type 021N & Type 0914
Έλλειψη θρεπτικών (N και/ή P)	Thiothrix I & II, N. limicola III, H. Hydrossis, S. natans & type 021N
Χαμηλό pH	Μύκητες



### 2.3 ΘΕΩΡΙΕΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ

Υπάρχουν διάφορες θεωρίες σχετικά με την επιλογή των βακτηρίων που αναπτύσσονται σε ένα σύστημα EI, που αφορούν τη μεταβολική και κινητική επιλογή καθώς και την επιλογή βάσει της αποθηκευτικής ικανότητας.

Κατά τη θεωρία της μεταβολικής επιλογής ανάλογα τις συνθήκες (αερόβιες, αναερόβιες, ανοξικές) που επικρατούν σ' ένα σύστημα αναπτύσσονται και αντίστοιχα βακτήρια στη βιοκοινότητα που παρουσία του αντίστοιχου αποδέκτη ηλεκτρονίων και ενζύμων προσλαμβάνουν τροφή. Ο δέκτης ηλεκτρονίων καθορίζει ποιοι μ/οί θα αναπτυχθούν. Συνεπώς νιτροποιητές δεν θα αναπτυχθούν σε μη – αερόβια συστήματα, όπως αντίστοιχα δεν θα αναπτυχθούν απονιτροποιητές σε πλήρως αερόβια ή θα ξεπλυθούν αν μεταβληθούν οι συνθήκες. Όπως αναφέρουν και οι Chiesa and Irvine (1985) όταν οι συνθήκες λειτουργίας μεταβάλλονται με το χρόνο, τα κυρίαρχα βακτήρια που είναι παρόντα στην EI, πρέπει να αλλάζουν αντίστοιχα. Αντίστοιχα οι Wanner et al. (1987β) αναφέρουν ότι η ικανότητα των μ/ών να χρησιμοποιούν και να συσσωρεύουν οργανικό υπόστρωμα κάτω από αναερόβιες συνθήκες μεταφράζεται ως «μεταβολική επιλογή» των μ/ών της βιοκοινότητας σε συστήματα EI όπου αναερόβιες ζώνες ακολουθούνται από ανοξικές. Όμως ταυτόχρονη παρουσία του DO και του NO<sub>3</sub>-N καταστέλλει την αποθήκευση των πολυφωσφορικών, την υδρόλυση και το μεταβολισμό του γλυκογόνου (Jenkins et al., 2004). Παρ' όλα αυτά και τα τρία μεταβολικά «μονοπάτια» μπορούν να λάβουν χώρα στα συστήματα EI, καθώς στην επιφάνεια της κροκίδας μπορεί να επικρατούν αερόβιες συνθήκες ενώ στο εσωτερικό της κροκίδας ανοξικές ή αναερόβιες.

Ο Νουτσόπουλος (2002) αναφέρει ότι τα συστήματα διακοπτόμενου αερισμού ευνοούν την ανάπτυξη ν.β. ενώ τα πλήρως αερόβια και τα πλήρως ανοξικά δημιουργούν λάσπη με καλύτερα χαρακτηριστικά καθίζησης. Βάσει της θεωρίας της αερόβιας απονιτροποίησης (Casey et al., 1992; Casey, 1993) τα ν.β. αποκτούν συγκριτικό πλεονέκτημα σε αερόβιες συνθήκες έναντι των σ.β.. Η θεωρία αυτή χρειάζεται περισσότερη έρευνα.

Σε αντίθεση με το παραπάνω, από το 1987 οι Wanner et al. (1987a; 1987b) αναφέρουν ότι επαναλαμβανόμενα οι ανοξικές και αναερόβιες συνθήκες περιορίζουν

την ανάπτυξη μερικών ανεπιθύμητων ν.β. (type 021N και *Sphaerotilus natans*), ενώ προσθέτουν (Wanner et al., 1988) πως, στα συστήματα ΕΙ με απομάκρυνση θρεπτικών, η ν.δ. οφείλεται κυρίως στην ανάπτυξη ν.β. στα αερόβια τμήματα του αντιδραστήρα. Συγκεκριμένα οι Martins et al. (2004), αναφέρουν ότι η χρήση αναερόβιων και ανοξικών τμημάτων μπορεί να περιορίσει την εμφάνιση των *Sphaerotilus. natans*, Type 021N, Type 0961 και *Thiothrix* sp.. Όμως οι Jenkins et al. (2004) παρουσίασαν τον **Πίνακα 2.4** όπου δείχνουν ότι ορισμένα ν.β. όπως ο Type 021N, *M. parvicella* και *G. amarae*, μπορούν να απονιτροποιούν αλλά με χαμηλούς ρυθμούς.

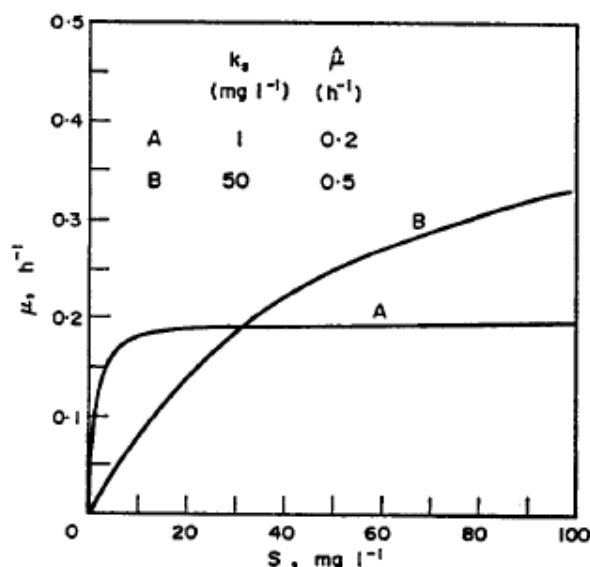
**Πίνακας 2.4: Ρυθμοί απονιτροποίησης βακτηρίων.**

Βακτήριο	Είδος	Ρυθμός Απονιτροποίησης (mg NO <sub>3</sub> -N / gr SS / min)
Type 021N	Νηματοειδές (διόγκωση)	8.3 x 10 <sup>-4</sup>
<i>G. amarae</i> ASF3	Νηματοειδές (αφρισμός)	3.2 x 10 <sup>-4</sup>
<i>G. amarae</i> ASAC1	Νηματοειδές (αφρισμός)	2.4 x 10 <sup>-3</sup>
<i>Z. ramigera</i>	Συσσωματούμενο	3.3 x 10 <sup>-1</sup>
<i>M. parvicella</i> (Κυρίαρχο στην ΕΙ)	Νηματοειδές (διόγκωση & αφρισμός)	1.8 με 2.7 x 10 <sup>-1</sup>

Οι Chudoba et al. (1985) επαλήθευσαν εμμέσως **την θεωρία της κινητικής επιλογής** (Chudoba et al., 1973b) σύμφωνα με την οποία οι μ/οί με μικρές τιμές μέγιστου ρυθμού ανάπτυξης ( $\mu_{max}$ ) και σταθεράς ημι-κορεσμού ( $K_s$ ) (slow growers) πρέπει να επικρατούν σε συστήματα αερισμού με μικρές τιμές συγκέντρωσης διαλυτής οργανικής ύλης ( $S$ ) και το αντίστροφο. Συνεπώς η ταχύτητα πρόσληψης (και κατανάλωσης) του εύκολα βιοδιασπάσιμου κλάσματος της τροφής, μπορεί να διαμορφώσει τη βιομάζα σ' ένα σύστημα. Υποθέτοντας ότι τα ν.β. είναι αργά αναπτυσσόμενοι μ/οί, με μέγιστους ρυθμούς ανάπτυξης ( $\mu_{max}$ ) και σταθερές ημι-κορεσμού ( $K_s$ ) μικρότερους από τα σ.β., με τη βοήθεια της εξίσωσης Monod (**Γράφημα 2.1**), παρατηρούμε ότι σε συνθήκες υψηλής συγκέντρωσης διαλυτής οργανικής ύλης τα σ.β. αποκτούν συγκριτικό πλεονέκτημα έναντι των ν.β.. Στην περίπτωση μικρής συγκέντρωσης διαλυτού υποστρώματος τα αποτελέσματα αντιστρέφονται.

Οι Jenkins et al. (2004), αναφέρουν ότι η κινητική επιλογή ευνοεί τα σ.β. τα οποία παρουσιάζουν υψηλούς ρυθμούς πρόσληψης των εύκολα βιοδιασπάσιμων οργανικών

ενώσεων και μεγάλη ικανότητα αποθήκευσης οργανικών ενώσεων. Έτσι δηλαδή γίνεται η επιλογή των μ/ών βάσει των κινητικών τους επιλογών. Θεωρητικά για την αποφυγή της ν.δ. αυτό που χρειάζεται είναι κατά μήκος του β/α να επικρατούν συνθήκες υψηλής κλίσης τροφής, το οποίο βέβαια οδηγεί σε επιβαρυσμένη έξοδο.



Γράφημα 2.1: Γραφική αναπαράσταση της κινητικής επιλογής σε μεικτές καλλιέργειες (Jenkins et al., 2004)

$$\mu = \mu_{max} \frac{S}{K_S + S} \quad \text{και} \quad \mu_{max} = r_{xmax} Y_{obs}$$

Όπου:

$\mu$  : ταχύτητα ανάπτυξης μικροοργανισμών

$\mu_{max}$  : μέγιστη ταχύτητα ανάπτυξης μικροοργανισμών (σε θεωρητικά άπειρη συγκέντρωση οργανικής ύλης)

$r_{xmax}$  : μέγιστη ταχύτητα κατανάλωσης οργανικής ύλης

$K_S$  : συντελεστής ημι-κορεσμού για την οργανική ύλη

$Y_{obs}$  : συντελεστής παραγωγής των μικροοργανισμών

$S$  : συγκέντρωση διαλυτής οργανικής ύλης

Οι Martins et al. (2004), αναφέρουν και την θεωρία της επιλογής βάσει της αποθηκευτικής ικανότητας η οποία μάλλον αποτελεί κομμάτι της κινητικής επιλογής. Σύμφωνα με αυτή όταν τα μη ν.β. εκτεθούν σε συνθήκες υψηλής οργανικής

φόρτισης αφομοιώνουν ταχέως το διαλυτό κλάσμα της τροφής και το μετατρέπουν σε εσωτερικά αποθηκευμένα προϊόντα έτσι ώστε σε συνθήκες έλλειψης τροφής να το χρησιμοποιήσουν. Τα ν.β. τα οποία δεν έχουν την ικανότητα αυτή συνεπώς δεν αναπτύσσονται στο σύστημα ή ξεπλένονται από αυτό.

## **2.4 ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΑΙΤΙΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΠΤΩΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΝΗΜΑΤΟΕΙΔΟΥΣ ΔΙΟΓΚΩΣΗΣ ΤΗΣ ΕΙ.**

Η αντιμετώπιση των αιτιών και των συμπτωμάτων της ν.δ. πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικές προσεγγίσεις. Όπως αναφέρουν οι Lakay et al. (1988) εφαρμόζονται ειδικοί και μη – ειδικοί τρόποι για την καταπολέμηση της νηματοειδούς διόγκωσης. Η αντιμετώπιση των συμπτωμάτων είναι «επιφανειακή» και αφορά «πυροσβεστικά» μέτρα τα οποία έχουν άμεσα αποτελέσματα και η εφαρμογή τους είναι σχετικά εύκολη. Οι μέθοδοι ελέγχου ονομάζονται μη ειδικές ή μη μόνιμες. Οι ειδικές/ μόνιμες μέθοδοι ελέγχου μπορούν να εφαρμοστούν δυσκολότερα σε μια ΕΕΛ αλλά αντιμετωπίζουν την αιτία του προβλήματος.

### **2.4.1 ΕΙΔΙΚΕΣ/ ΜΟΝΙΜΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ**

Στόχος των ειδικών μεθόδων είναι η επιβολή των απαραίτητων συνθηκών για την αναχαίτιση της ανάπτυξης των υπεύθυνων για τη διόγκωση ν.β. και την επιλογή των σ.β. στο σύστημα.

Οι Chudoba et al. (1973b) αναφέρουν ότι οι επιλογείς ( ή φρεάτια επιλογής ή ζώνες επαφής) μπορούν να ασκήσουν πίεση στα ν.β. σε μικτές καλλιέργειες. Οι ίδιοι ορίζουν τους επιλογείς ως το αρχικό μέρος ενός βιοαντιδραστήρα μέσα στο οποίο πρέπει να επικρατούν συνθήκες υψηλής οργανικής φόρτισης και υψηλού ρυθμού πρόσληψης RBCOD ώστε να καταναλώνεται όλη η τροφή. Μετά από τον επιλογέα, όπως αναφέρουν οι Van den Eynde et al. (1984) πρέπει να επικρατούν συνθήκες έλλειψης τροφής για να ασκηθεί πίεση. Συνεπώς για να καταφέρει να παραμείνει ένα βακτήριο στο σύστημα πρέπει να έχει υψηλό βαθμό κατανάλωσης διαλυτού υποστρώματος και μεγάλη αποθηκευτική ικανότητα υποστρώματος.

Οι αντιδραστήρες πλήρους μίξης υποστηρίζουν την ανάπτυξη των ν.β., ενώ οι αντιδραστήρες με μικρό βαθμό αζονικής ανάμιξης (μικρή διάχυση και υψηλές συγκεντρώσεις υποστρώματος κατά μήκος του αντιδραστήρα) αποθαρρύνουν την ανάπτυξη τους (Chudoba et al., 1973a). Με τη χρησιμοποίηση των επιλογέων για τον έλεγχο της υπερβολικής ανάπτυξης των ν.β. συνεπώς και της ν.δ. και του αφρισμού συμφωνούν και οι Wanner and Grau (1989).

Ο χρόνος επαφής/ παραμονής και το μέγεθος αποτελούν πολύ σημαντικά κριτήρια επιτυχίας του επιλογέα. Πρέπει να είναι αρκετός ώστε να καταναλώνεται όλο το RBCOD αλλά παράλληλα να μην δημιουργούνται συνθήκες έλλειψης τροφής. Προτεινόμενοι χρόνοι των λυμάτων σε αερόβιους επιλογείς παρουσιάζονται στον **Πίνακα 2.5**. Οι Shao and Jenkins (1989) παρατήρησαν ότι, αν η τιμή του RBCOD στην έξοδο του ανοξικού επιλογέα είναι μικρότερη από 60 mg/L τότε η τιμή του SVI θα είναι μικρότερη από 100 mL/gr.

**Πίνακας 2.5: Προτεινόμενοι χρόνοι παραμονής για αερόβιες δεξαμενές επιλογής (Καγιά, 2011)**

Χρόνος παραμονής στις δεξαμενές επιλογής (min)	Αναφορές
12-18	Van Niekerk et al., 1984
15	Daigger et al., 1985
>10	Rensink et al., 1991
5-30	Ramadori et al., 1992
30	Rensink et al., 1992
15-30	Foot et al., 1993
10-20	Eikelboom 199
15	Pujol et al., 1993
10-30	Eikelboom 2000

Άλλος σημαντικός παράγοντας για την επιτυχία του επιλογέα είναι η διατήρηση της οργανικής φόρτισης σε υψηλά επίπεδα. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως οι υψηλές τιμές F/M μπορούν να ελέγξουν την ανάπτυξη των ν.β.. Μάλιστα οι Jenkins et al. (2004) προτείνουν **αερόβιες δεξαμενές επιλογής** τριών διαμερισμάτων με μειούμενη οργανική φόρτιση (12, 6 , 3 kg COD/kg MLSS/ d). Προσθέτει, επίσης, ότι φορτίσεις πάνω από 12 Kg COD/kg MLSS/ d πρέπει να αποφεύγονται για να μην δημιουργείται ιξώδης διόγκωση Επιπρόσθετα οι υψηλές φορτίσεις πρέπει να συνοδεύονται και από

υψηλές συγκεντρώσεις D.O. ειδάλλως θα εμφανιστούν τα φαινόμενα που περιγράφουν οι Wilen & Balmer (1999).

Πέρα όμως από τα πλήρως αερόβια συστήματα που δικαιολογούν αερόβια φρεάτια επιλογής υπάρχει ανάγκη ελέγχου της ν.δ. και σε συστήματα απομάκρυνσης θρεπτικών. Σε αυτά τα συστήματα τα φρεάτια επιλογής αναγκαστικά θα είναι είτε ανοξικά είτε αναερόβια συνεπώς πέραν της κινητικής επιλογής θα επιτυγχάνεται και μεταβολική επιλογή. Για το λόγο αυτό οι Jenkins et al. (2004) αναφέρουν ότι αρκεί η μισή οργανική φόρτιση (6, 3, 1.5 kg COD/kg MLSS/ d) σε ανοξικά φρεάτια επιλογής σε σχέση με τα αερόβια φρεάτια επιλογής. Ο ανοξικός επιλογέας πρέπει να έχει τέτοιο μέγεθος ώστε στην έξοδό του το διαλυτό COD να είναι μικρότερο από 60 mg/L. Για την επίτευξη αυτού του στόχου πρέπει να εξασφαλίζεται ικανοποιητική συγκέντρωση NO<sub>3</sub>-N (περίπου 8 mg διαλυτό COD καταναλώνονται για κάθε mg NO<sub>3</sub>-N) έτσι ώστε να καταναλώνεται σχεδόν όλο το RBCOD. Προσθέτουν δε ότι χρόνος επαφής 10-15 λεπτών μπορεί να προσδώσει ιλύ με καλά χαρακτηριστικά καθίζησης. Επιπλέον αναφέρουν και άλλες εργασίες στις οποίες παρουσιάζονται τρόποι που μπορούν να βελτιώσουν την καθιζησιμότητα της ιλύς. Τέτοιοι είναι οι δεξαμενές προ-απονιτροποίησης και οι αρχικές ανοξικές συνθήκες ακολουθούμενες από αερόβια διαμερισματοποιημένη δεξαμενή.

Οι Tracy et al. (1986) απέδειξαν ότι αναερόβιες συνθήκες στην είσοδο του συστήματος παρέχουν μεγαλύτερη βελτίωση στα χαρακτηριστικά καθίζησης από μια διαμερισματοποιημένη αερόβια δεξαμενή. Άρχισαν λοιπόν να χρησιμοποιούνται αναερόβιοι επιλογείς. Όπως τα ανοξικά, αντίστοιχα και τα αναερόβια φρεάτια επιλογής πρέπει να έχουν τέτοιο μέγεθος ώστε οι μ/οί να προσλάβουν σχεδόν όλο το RBCOD με την ταυτόχρονη απελευθέρωση ορθοφωσφορικών με επιθυμητό αποτέλεσμα η συγκέντρωση του sCOD στην έξοδό να είναι μικρότερη από 60 mg/L . Ο χρόνος επαφής πρέπει να είναι μεταξύ 0.75 και 2.0 ώρες (Jenkins et al., 2004).

Παρά τις πολλές αναφορές για τη χρησιμότητα των επιλογέων τα πειράματα των (Wanner et al., 1987a) έδειξαν ότι δεν είναι το φρεάτιο επιλογής αλλά οι ανοξικές συνθήκες που ακούν πίεση στα ν.β.. Οι Martins et al. (2003a), αναφέρουν ότι ενώ οι δεξαμενές επαφής (επιλογείς) είναι το πιο διαδεδομένο εργαλείο ελέγχου της ν.δ., υπάρχουν ακόμα αναφορές σχετικά με την αστοχία τους, ότι δεν είναι σαφή τα αίτια της αστοχίας (κακός σχεδιασμός, πρόσκαιρες συνθήκες, χρόνος επαφής ή άλλοι

παράγοντες). Οι Jenkins et al. (2004) υποστηρίζουν ότι τα ν.β. *M.parvicella*, Types 0041, 0675 και 0092, τα οποία καταναλώνουν και δύσκολα βιοδιασπάσιμο κλάσμα του COD, δεν επηρεάζονται πάντα από τα φρεάτια επιλογής σε αντίθεση με τα *S. natans*, Types 1701, 021N, 1851, *Thiothrix* spp, *N. limicola*, *H. hydrossis* και *Nocardioform* βακτήρια. Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι οι επιλογείς δεν είναι αποτελεσματικοί για το έλεγχο των ν.β τα οποία αναπτύσσονται σε λύματα με χαμηλό pH, σηπτικά ή λύματα που περιέχουν ενώσεις του θείου και σε λύματα που παρουσιάζουν έλλειψη θρεπτικών. Στον **Πίνακα 2.6** παρουσιάζονται οι παράμετροι σχεδιασμού των επιλογέων.

Πίνακας 2.6: Παράμετροι σχεδιασμού επιλογέων (Martins et al., 2004).

Παράμετρος	Τιμή	Αναφορά
<b>Αερόβιος Επιλογέας</b>		
Αριθμός Διαμερισμάτων	$\geq 3$	Jenkins et al.
Χρόνος Επαφής	10-15 min αλλά εξαρτάται και από την οργανική φόρτιση, τη θερμοκρασία και τη σύσταση των λυμάτων (πχ κλάσμα RBCOD)	Eikelboom, Daigger et al., Van Niekerk et al., and Martins et al.
Οργανική Φόρτιση	12 $\rightarrow$ (1 <sup>ο</sup> Διαμ) $\rightarrow$ 6 (2 <sup>ο</sup> Διαμ) $\rightarrow$ 3 (3 <sup>ο</sup> Διαμ) kg COD/ kg MLSS/ d	Jenkins et al.
Συγκέντρωση DO	$\geq 2$ mg O <sub>2</sub> / L αλλά εξαρτάται και από την οργανική φόρτιση και/ή το ρυθμό πρόσληψης υποστρώματος. Συνίσταται η τοποθέτηση αισθητήρα στο πρώτο διαμέρισμα	Casey et al., Sezgin et al., Palm et al., <b>Albertson Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.</b> and Martins et al.
<b>Ανοξικός Επιλογέας</b>		
Αριθμός Διαμερισμάτων	$\geq 3$	Jenkins et al.
Χρόνος Επαφής	45-60 min	Kruit et al.
Οργανική Φόρτιση	6 $\rightarrow$ (1 <sup>ο</sup> Διαμ) $\rightarrow$ 3 (2 <sup>ο</sup> Διαμ) $\rightarrow$ 1,5 (3 <sup>ο</sup> Διαμ) kg COD/ kg MLSS/ d	Daigger and Nicholson, Albertson, and Jenkins et al.
(RBCOD/NO <sub>3</sub> -N) <sub>ΚΑΤΑΝΑΛ.</sub>	Συνήθως υψηλότερος από 7-9 mg RBCOD/ mg NO <sub>3</sub> -N λόγω αποθήκευσης	Van Loosdrecht et al., WEF, and Beun et al.
<b>Αναερόβιος Επιλογέας</b>		
Αριθμός Διαμερισμάτων	$\geq 3$ , συνίστανται κανάλια (λόγος μήκους προς πλάτος μεγαλύτερος του 10:1)	Albertson and Kruit et al.
Χρόνος Επαφής	1-2 h	WEF and Kruit et al.
(COD/PO <sub>4</sub> -P) <sub>ΠΡΟΣΛΑΜΒ.</sub>	9-20 gr COD/ gr P	Wentzel et al. and Smolders et al.



## **2.4.2 ΜΗ ΕΙΔΙΚΕΣ / ΜΗ ΜΟΝΙΜΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ**

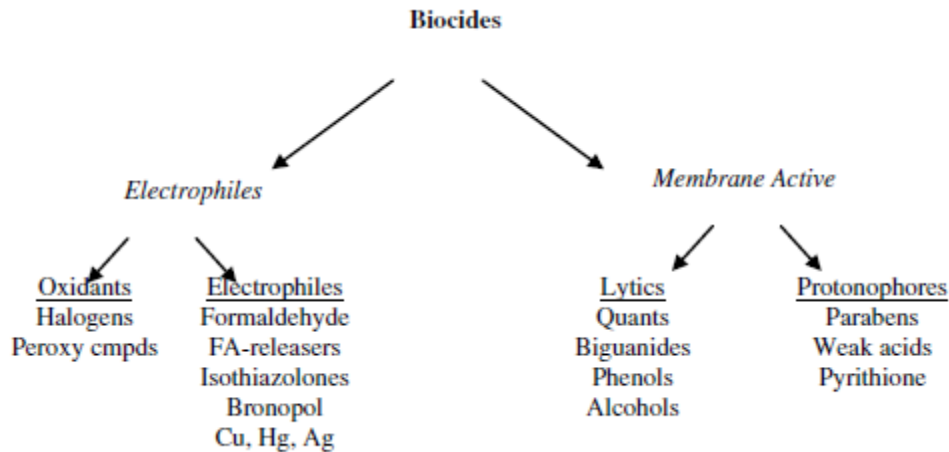
Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως οι ειδικές μέθοδοι στοχεύουν στην καταπολέμηση των αιτιών του πολλαπλασιασμού των νηματοειδών, ενώ οι μη – ειδικές εφαρμόζονται για την καταστολή των νηματοειδών. Κατά τη διάρκεια της αναζήτησης πιθανών μεθόδων καταπολέμησης της ν.δ. έχουν προταθεί αρκετές ουσίες οι οποίες άλλοτε δρουν ως κροκιδωτικά και άλλοτε οξειδώνουν τα ν.β.. Ο Νουτσόπουλος (2002) εκτιμά ότι τα παραπάνω μπορούν να χωριστούν σε τέσσερις κατηγορίες τις οποίες και αναλύει λεπτομερώς. Οι κατηγορίες των σκευασμάτων είναι α) κροκιδώτικά, β) ισχυρά οξειδωτικά, γ) συνθετικά πολυμερή και δ) βακτηριαδικά παρασκευάσματα.

### **2.4.2.1 ΚΡΟΚΙΔΩΤΙΚΑ ΚΑΙ ΠΟΛΥΜΕΡΗ**

Με τη προσθήκη πολυμερών και ανόργανων κροκιδωτικών προσπαθούμε να αναγκάσουμε τις κροκίδες να συσσωματωθούν ώστε να καθιζάνουν καλύτερα. Τα περισσότερα από αυτά είναι συνθετικά υψηλού μοριακού βάρους, κατιονικά και ανιονικά. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανόργανα κροκιδωτικά όπως το υδροξείδιο του ασβεστίου, ο γλωριούχος και θειούχος σίδηρος (Jenkins et al., 2004) και το θειικό αργίλιο σε κατάλληλες δόσεις που προκύπτουν έπειτα από jar tests.

### **2.4.2.2 ΒΑΚΤΗΡΙΑΚΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣΜΑΤΑ – ΒΙΟΚΤΟΝΑ**

Τα βακτηριακά παρασκευάσματα, ή βιοκτόνα, όπως αναφέρονται στη βιβλιογραφία, είναι οργανικά ή συνθετικά οργανικά μόρια που χρησιμοποιούνται για να απολυμάνουν και να αποστειρώσουν αντικείμενα και επιφάνειες και να διατηρήσουν υλικά ή διεργασίες από τη μικροβιακή υποβάθμιση (Bodik et al., 2008). Στην **Εικόνα 2.2** δίνονται οι κατηγορίες των διαθέσιμων βιοκτόνων.



Εικόνα 2.2: Μηχανισμοί δράσης των βιοκτόνων (Bodik et al., 2008).

Άλλοι ερευνητές (Caravelli et al., 2007) αναφέρουν ότι μοντέρνα συνθετικά απολυμαντικά (όπως το Triton X-100 - Octyphenol ethoxylate,  $C_{14}H_{22}O(C_2H_4O)_n$ ), (Sigma Chemical Co.) γενικά θεωρούνται βιοδιασπάσιμα και ως εκ τούτου όπου χρησιμοποιούνται κατάλληλα μπορεί να είναι χρήσιμα για την επίλυση των προβλημάτων διόγκωσης χωρίς να επηρεάζουν τα σ.β.. Οι Jenkins et al., (2004) αναφέρουν την ύπαρξη νηματοειδοκτόνων (filamenticides) για τα οποία όμως δεν επεκτείνονται καθώς αναφέρουν ότι δημιουργούν τοξικά παραπροϊόντα.

#### 2.4.2.3 ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΑ

Πέρα όμως από τα κροκιδωτικά, τα πολυμερή και τα βιοκτόνα η πιο συνηθισμένη μη ειδική μέθοδος για τον έλεγχο της ν.δ. είναι η χρήση οξειδωτικών όπως το χλώριο (ως αέριο και NaOCl), το όζον ( $O_3$ ) και το υπεροξείδιο του υδρογόνου ( $H_2O_2$ ) (Caravelli et al., 2007). Καθένα από τα οξειδωτικά παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα όπως για παράδειγμα το κόστος εφαρμογής, τις επιπτώσεις στα βακτήρια και την δραστηριότητα αυτών και τα παραπροϊόντα που δημιουργούνται μετά την χρήση τους. Το ιδανικό σύστημα απολύμανσης πρέπει να εγγυάται τη μέγιστη αποτελεσματικότητα κατά των παθογόνων μικροβίων χωρίς να δημιουργεί τοξικά και ανεπιθύμητα παραπροϊόντα (Vescheti et al., 2003). Η επαφή του ελεύθερου χλωρίου όμως με αμμωνία σχηματίζει μονοχλωραμίνη (monochloramine) (Neethling et al., 1985a) η οποία έχει και αυτή απολυμαντική δράση και επίσης δεν

αντιδρά με τα νιτρώδη. Οι Lakay et al. (1988) αναφέρουν ότι για να σχηματιστεί μονοχλωραμίνη χρειάζονται περισσότερα από 0,4 mg NH<sub>3</sub>-N/ mg Cl<sub>2</sub>.

Η επιλογή των οξειδωτικών για την καταπολέμηση της ν.δ. βασίζεται στη μορφολογία των ν.β.. Τα ν.β. διαθέτουν νήματα τα οποία εξέχουν από τις κροκίδες και τα οποία, πέρα από το γεγονός ότι τους επιτρέπει ευκολότερη πρόσβαση στο διαλυτό κλάσμα της τροφής, τα καθιστά προσβάσιμα στα οξειδωτικά, ενώ τα σ.β. παραμένουν προστατευμένα μέσα στις κροκίδες. Συνεπώς τα οξειδωτικά επιτίθενται στο περίβλημα των βακτηρίων και μπορούν να προκαλέσουν λύση του κυττάρου των ν.β.. Η αποτελεσματικότητα των οξειδωτικών, πέρα από τη μείωση του SVI, φαίνεται μικροσκοπικά. Δείκτες είναι τα άδεια περιβλήματα (σε ν.β. που έχουν έλυτρο, η απουσία θεικών κόκκων (σε ν.β. που διαθέτουν) και η κυτταρική παραμόρφωση και συρρίκνωση του κυτοπλάσματος (Νουτσόπουλος, 2002).

Η εφαρμογή και των τριών οξειδωτικών πρέπει να γίνεται σε σημείο έντονης ανάμειξης (Jenkins et al., 2004) με τη βοήθεια δοσομετρικής αντλίας και σε σημεία που η απαίτηση για χλώριο θα είναι η ελάχιστη. Επίσης σε μονάδες που εφαρμόζεται χλωρίωση πρέπει να αποφεύγονται σημεία με μεγάλη συγκέντρωση νιτρωδών καθώς το ελεύθερο χλώριο αντιδρά γρήγορα και στοιχειομετρικά με τα νιτρώδη μέχρι τα δεύτερα να καταναλωθούν πλήρως (Neethling et al., 1985a). Διάφορα σημεία της εξωτερικής ανακυκλοφορίας (RAS) είναι κατάλληλα όπως οι γωνίες σωληνώσεων, τα πτερύγια των αντλιών, το σημείο διάθεσης ή το σημείο μέτρησης παροχής. Στη περίπτωση όμως συστημάτων παρατεταμένου αερισμού, οι Jenkins et al. (2004) προτείνουν την απευθείας προσθήκη χλωρίου στη δεξαμενή αερισμού διότι η προσθήκη στη RAS δεν διασφαλίζει σαφή συχνότητα έκθεσης της ιλύος με το χλώριο. Επίσης μπορεί να προστεθεί σε διατάξεις όπου το ανάμεικτο υγρό αντλείται και επιστρέφεται στη δεξαμενή αερισμού όπως επίσης και στην έξοδο από την δεξαμενή αερισμού προς τις δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης (Lakay et al. 1988).

Για τον προσδιορισμό της επίδρασης των οξειδωτικών στα ν.β και τα σ.β. άλλοι ερευνητές χρησιμοποιούν την INT dehydrogenase activity test (Caravelli et al., 2006 b), άλλοι το ATP (Chu et al., 2009; Neethling et al., 1985b)) και άλλοι (Caravelli et al., 2003; Bodik et al., 2008) το OUR.

Οι Keller and Cole (1973) χρησιμοποίησαν  $H_2O_2$  για τον έλεγχο της ν.δ. (μείωση SVI κατά 50%) σε αρκετές μονάδες πλήρους κλίμακας σε συγκεντρώσεις από 0.1-0.4 Kg  $H_2O_2$  / Kg MLSS/d.. Ίσως η χρήση του  $H_2O_2$  να είναι η λιγότερο εφαρμοσμένη από τις τρεις, κυρίως λόγω του κόστους του (πέντε φορές πιο ακριβό και χρειάζεται διπλάσια ποσότητα Jenkins et al., (2004). Το  $H_2O_2$  δρα όπως ακριβώς και το χλώριο. Άλλοι ερευνητές (Tusseau-Vuillemin et al., 2002) αναφέρουν ότι η προσθήκη  $H_2O_2$  εμπλουτίζει το ανάμεικτο υγρό με  $O_2$  χωρίς να επηρεάζει τον μεταβολισμό των βακτηρίων

Οι Lyko et al. (2012) εφάρμοσαν τη μέθοδο της οζόνωσης σε ΕΕΛ πλήρους κλίμακας και διαπίστωσαν ότι επιδρά θετικά στην καθιζηματικότητα της λάσπης. Οι Caravelli et al. (2006a) είδαν ότι για ολική δόση 66.0 mg  $O_3$  / gr VSS (ρυθμός προσθήκης όζοντος: 3.3 mg  $O_3$  / gr VSS /min για χρόνο επαφής 20 λεπτών) αποτελεί την πιο κατάλληλη συνθήκη για τον έλεγχο της νηματοειδούς διόγκωσης. Παράλληλα σε πειράματα που έγιναν σε καθαρές καλλιέργειες βρέθηκε ότι το  $O_3$  έχει πιο έντονη αντιμικροβιακή δράση, όμως διαπιστώθηκε, σε αντίθεση με τη χλωρίνη, ότι μείωνε τη συγκέντρωση της βιομάζας οξειδώνοντας τα συστατικά της και προκαλώντας λύση των κυττάρων (Caravelli et al., 2006a). Οι Chu et al. (2009) αναφέρουν ότι η διαδικασία της νιτροποίησης – απονιτροποίησης δεν φαίνεται να επηρεάζεται κατά την οζόνωση ακόμα και με δόσεις 30 mg  $O_3$  /gr TSS /d.

Οι ίδιοι χρησιμοποιούν τη συγκέντρωση ATP στα βακτήρια για να δουν πόσο τα επηρεάζει το  $O_3$ . Συγκεκριμένα ότι η συγκέντρωση του ATP δεν επηρεάζεται σε συγκεντρώσεις μέχρι 5 mg $O_3$ /gr TSS αλλά σε συγκεντρώσεις 10 mg $O_3$ /gr TSS μειώνεται το ATP κατά 15%. Από πειράματα των Caravelli et al. (2006b) φαίνεται ότι με δόση 18 mg  $O_3$  / gr VSS η δραστηριότητα της αναπνοής των ν.β περιορίστηκε κατά 87%. Οι Saaymant et al (1996) αναφέρουν ότι το όζον σε μικρές συγκεντρώσεις έχει μικρή αλλά θετική επίδραση στον έλεγχο της ν.δ.. Προσθέτουν ότι η επίδραση του  $H_2O_2$  είναι αισθητή μόνο σε μεγάλες δόσεις, ενώ καταλήγουν ότι η χλωρίνη είναι αποτελεσματικότερη του  $H_2O_2$  (Yilmaz et al., 2008), αλλά πρέπει να χρησιμοποιείται με προσοχή για να μην διαταραχθεί η διαδικασία της βιολογικής απομάκρυνσης φωσφόρου.

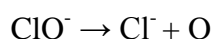
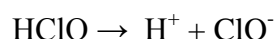
Η χλωρίωση πάντως είναι η πλέον διαδεδομένη μέθοδος ελέγχου της ν.δ. εξαιτίας κυρίως του μικρότερου κόστους. (Καγιά, 2011). Υπάρχουν αναφορές ότι η χλωρίωση

έχει χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της ν.δ. της ΕΙ από το 1930 (Neethling et al., 1985a). Το χλώριο χρησιμοποιείται τόσο σε υγρή (ως διάλυμα NaOCl) όσο και αέρια μορφή. Οι Yilmaz et al. (2008) εφάρμοσαν όλες τις διαθέσιμες μεθόδους απολύμανσης καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι χλωρίωση είναι η πιο αποτελεσματική μέθοδος.

Οι Bodik et al. (2008) αναφέρουν ότι το hypochlorite acid σχηματίζεται όταν υποχλωριώδες νάτριο (Sodium hypochlorite – NaClO) διαλύεται σε νερό.



Το hypochlorous acid που σχηματίζεται είναι σημαντικά πιο αποτελεσματικό/δραστικό ως βιοκτόνο από τα hypochlorite ions. HClO και ClO<sup>-</sup>, παράλληλα όμως είναι ένα ασθενές οξύ (pKa=7.6) και υπόκειται σε μερική διάσπαση ως ακολούθως:



(βακτηριδιακό παρασκεύασμα)

Η αποτελεσματικότητα της χλωρίωσης για τον έλεγχο της ν.δ. της ΕΙ εξαρτάται, εκτός από το σημείο προσθήκης και από τις ακόλουθες παραμέτρους (Lakay et al., 1988; Neethling et al., 1985a).

- Συνολική μάζα δόσης **Tm** (Overall mass dose rate)

$$Tm \left( \frac{\text{gr Cl}_2}{\text{Kg mlss} * d} \right) = \frac{\text{Ημερήσια μάζα χλωρίνης}}{\text{στερεά στο σύστημα (και ΔTK)}} = \frac{M}{Vp * Xt}$$

- Συγκέντρωση Cl<sub>2</sub> στο σημείο προσθήκης **C** (Cl<sub>2</sub> concentration at dose point)

$$C \left( \frac{\text{mg Cl}_2}{L} \right) = \frac{\text{ημερήσια δόση Cl}_2}{\text{Παροχή στο σημείο προσθήκης}} = \frac{M}{Q}$$

- Τοπική συγκέντρωση δόσης στο σημείο προσθήκης: **T**

$$T \left( \frac{\text{gr Cl}_2}{\text{Kg mlss}} \right) = \frac{\text{ημερήσια μάζα Cl}_2}{\text{Ημερήσια μάζα mlss που πέρασε απο το σημείο προσθήκης}} = \frac{M}{Q * Xq} = \frac{C}{Xq}$$

- Συχνότητα έκθεσης EI στη δόση Cl<sub>2</sub> **F ( / d)**

$$F \left( \frac{\text{d}}{\text{d}} \right) = \frac{\text{Ημερήσια μάζα mlss που πέρασε απο το σημείο προσθήκης}}{\text{Μάζα mlss στο σύστημα}} = \frac{Q * Xq}{Vp * Xt} = \frac{Tm}{T}$$

Οι **Neethling et al. (1985a)** κατέληξαν ότι η οριακή συχνότητα της έκθεσης των στερεών στη χλωρίνη (F) εξαρτάται από

- Τη διαφορά των ρυθμών ανάπτυξης των ν.β. και σ.β. (bulking potential)
- Τις σχετικές ποσότητες ν.β. και σ.β. στην ιλύ
- Τη σχετική επιβίωση των ν.β. και σ.β. μετά τη προσθήκη χλωρίου (survival ratio)

Πολλοί ερευνητές έχουν προσπαθήσει να βρουν την ιδανική συγκέντρωση απολυμαντικού που απαιτείται για τον έλεγχο της ν.δ. αλλά απ' ότι φαίνεται από τη βιβλιογραφία εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους διότι οι αναφορές ποικίλουν. Οι (Lakay et al., 1988), αναφέρουν ότι πριν τη χλωρίωση πρέπει να προσδιοριστεί το SVI-στόχος και όταν αυτός επιτευχθεί η χλωρίωση διακόπτεται. Αρχικά εφαρμόζεται μικρή δόση, ειδικά αν δεν υπάρχει προηγούμενη εμπειρία, 2-3 gr Cl<sub>2</sub> / kg MLSS / d για 3 με 4 ημέρες. Αν δεν υπάρχει βελτίωση αυξάνεται η δόση στα 4 με 5 gr Cl<sub>2</sub> / kg mlss / d για 3 με 4 ημέρες και 5 με 6 gr Cl<sub>2</sub> / Kg MLSS / d αργότερα. Οι Caravelli et al. (2006a) έδειξαν ότι η αρχική δόση 7.9 mgCl<sub>2</sub> / gr VSS για χρόνο επαφής 5 λεπτών (αρχική συγκέντρωση = 6.0 mgCl<sub>2</sub>/L) αποτελεί την πιο κατάλληλη συνθήκη για τον έλεγχο της νηματοειδούς διόγκωσης.

Σε πειράματά τους οι Lakay et al. (1988) παρατήρησαν ότι δόση 8 gr Cl<sub>2</sub> / kg MLSS / d επί 19 ημέρες απέδωσε στη βιομάζα απαλό καφέ χρώμα, ενώ κομμάτια από κροκίδες συσσωρεύτηκαν στην επιφάνεια σχηματίζοντας πυκνό αφρό στην επιφάνεια (αποτελέσματα -και αύξηση θολότητας- υπερδοσολογίας για μεγάλο διάστημα). Το

ίδιο παρατήρησαν στα πειράματά τους και οι Chang et al. (2004) οι οποίοι αναφέρουν ότι με την αύξηση της συγκέντρωσης του NaClO, παρόλο που βελτιώθηκαν τα χαρακτηριστικά καθίζησης (SVI, ταχύτητα ζωνικής καθίζησης), μειώθηκε και η ποιότητα του υπερκείμενου υγρού (COD, SS, TP) κυρίως λόγω των περισσότερων TSS λόγω των σπάσιμων κροκίδων. Οι Lakay et al. (1988) επίσης είχαν παρατηρήσει ότι με αύξηση της δόσης χλωρίου αυξάνονταν και τα στερεά της εξόδου.

Σχετικά γρήγορα λύθηκε η απορία για το αν και πόσο επηρεάζεται από το χλώριο η διαδικασία της νιτροποίησης και της απονιτροποίησης. Οι Lakay et al. (1988) παρατήρησαν ότι για δόσεις μέχρι και 16 gr Cl<sub>2</sub> / kg MLSS / d τα Nitrosomonas και τα Nitrobacter δεν επηρεάζονται από το χλώριο, ενώ όσο αφορά την απονιτροποίηση μόνο σε τόσο μεγάλες δόσεις ασκείται πίεση στους μ/ους.

Τα πειράματα έδειξαν ότι τα απολυμαντικά που περιέχουν sodium hypochlorite προκαλούν αρκετά μεγαλύτερη παρεμπόδιση στο OUR και απομάκρυνση του COD από αυτά που βασίζονται σε άλλα χημικά (Bodik et al., 2008).

Για τον προσδιορισμό της επίδρασης της χλωρίνης στην ανάπτυξη των μ/ων οι Caravelli et al., (2003) χρησιμοποίησαν τη μέθοδο του OUR. Το OUR έχει χρησιμοποιηθεί επίσης ως δείκτης της μεταβολικής ενεργότητας αερόβιων μ/ών, για τον προσδιορισμό κινητικών παραμέτρων, του BOD και ως δείκτης της επίδρασης τοξικών στους μ/ούς. Το κλάσμα της αναπνευστικής δραστηριότητας των μ/ών (FR) υπολογίζεται με τη βοήθεια του ακόλουθου τύπου όπου το OUR<sub>0</sub> αφορά το δείγμα ελέγχου (control) και το OUR το δείγμα μετά τη προσθήκη των χημικών, τα X<sub>R</sub> και X αφορούν τη συγκέντρωση της βιομάζας στο δείγμα ελέγχου και στο δείγμα μετά τη προσθήκη χημικών αντίστοιχα.

$$F_R = OUR / OUR_0 = X_R / X_{R_0}$$

Άλλες εργασίες (Caravelli et al., 2004) αναφέρουν ότι η προσθήκη δόσης 4,7 mgCl<sub>2</sub>/grVSS και χρόνο επαφής 20 λεπτών μειώνεται η δραστηριότητα αναπνοής (respiratory activity RA) των ν/ών κατά 80%, ενώ η αναπνοή των σ.β. στις κροκίδες μειώθηκε κατά 50-60%. Επίσης με δόση 7,9 mgCl<sub>2</sub>/grVSS και χρόνο επαφής 10 λεπτά περιορίζεται πλήρως η αναπνοή των ν.β. ενώ η αναπνοή των κροκίδων μειώθηκε κατά 45-65%. Φαίνεται λοιπόν ότι τα ν.β. παρουσιάζονται πιο ευαίσθητα από τα σ.β. σε δείγματα EI.

Είναι γνωστό (Lakay et al., 1988) ότι καθώς αυξάνεται η τιμή του SVI, η τιμή των στερεών εξόδου μειώνεται εξαιτίας των σωματιδίων που εγκλωβίζονται μεταξύ του δικτύου που σχηματίζουν τα ν.β..

Από τις μέχρι στιγμής έρευνες παρατηρείται διαφοροποίηση της αντίστασης των ν.β. και σ.β. στο χλώριο ανάλογα τα μορφολογικά χαρακτηριστικά τους αλλά και τις συνθήκες που ευνοούν την ανάπτυξή τους. Συγκεκριμένα υπάρχουν αναφορές κατά τις οποίες τα χαμηλής οργανικής φόρτισης ν.β. (*M. parvicella*, *Nocardia* και οι type 0042, 0675, 0092, 0803, 0961, 0581, 021N) είναι πιο ευαίσθητα από αυτοά που σχετίζονται με συνθήκες χαμηλής συγκέντρωσης O<sub>2</sub> (*S. natans*, type1701) (Lakay et al., 1988). Σε άλλες (Caravelli et al., 2003) διαπιστώθηκε ότι σε καθαρές καλλιέργειες μ/ών, ο ρυθμός κατανάλωσης της χλωρίνης εξαρτάται απ' τον τύπο και τη συγκέντρωση των μ/ών. Οι ίδιοι μελέτησαν τις αρχικές κρίσιμες δόσεις χλωρίου σε καθαρές καλλιέργειες και διαπίστωσαν ότι τα σ.β. (*Acinetobacter anitratus* – 4,5 mgCl<sub>2</sub>/grVSS) είναι πιο ευπαθή στη δράση του χλωρίου από το ν.β. *S. natans* (11.9 mgCl<sub>2</sub>/grVSS). Σε επόμενη εργασία τους (Caravelli et al., 2007) προσδιόρισαν ότι είναι και 2-3 φορές πιο ευαίσθητοι. Ενώ όμως το χλώριο μπορεί να περιορίσει την ανάπτυξη ή να θανατώσει το μεγαλύτερο μέρος των ν.β. χωρίς να επηρεάσει σημαντικά τη βιομάζα υπάρχουν ν.β. τα οποία απ' ότι φαίνεται δεν τα ενοχλεί το χλώριο. Οι Neethling et al. (1985a) και Lakay et al. (1988) συμφωνούν στο γεγονός ότι ο *M. Parvicella* παρουσιάζει υψηλή ανθεκτικότητα στη χλωρίνη. Οι Seka et al. (2001) σε πειράματα διερεύνησης της επίδρασης της χλωρίνης στην EI δύο συστημάτων παρατήρησαν ότι στο ένα σύστημα έναν χλωριο-ευπαθή Type 021N ενώ στο άλλο ένα χλωριο-ανθεκτικό Type 021N. Πέρα από την παρατήρηση των Seka et al. (2001) δεν υπάρχουν άλλες αναφορές σχετικά με τη προσαρμοστικότητα των ν.β. στην έκθεση του χλωρίου.

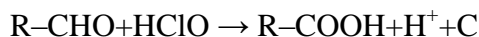
Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως η χρήση των οξειδωτικών αφορά προσωρινό μέτρο και θα πρέπει αννα αναζητούνται και να αντιμετωπίζονται οι αιτίες που προκαλούν τα προβλήματα διόγκωσης. Αυτό επιβεβαιώνεται από τους Yilmaz et al. (2008) οι οποίοι διαπίστωσαν ότι παρόλο που τα νηματοειδή σκοτώθηκαν, από απολυμαντικά, η τιμή του SVI παρέμεινε υψηλή. Άφησαν πάντως να εννοηθεί ότι η πρόληψη της ανάπτυξης φαινομένων διόγκωσης έχει προτεραιότητα σε σχέση με τη καταστολή.



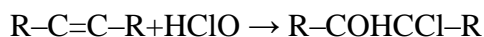
Παρά την ευρεία χρήση της όμως η χρήση του χλωρίου έχει και αρνητικές επιπτώσεις. Μία από αυτές είναι και ο σχηματισμός ανεπιθύμητων ενώσεων όπως τα trihalomethanes όπως αναφέρουν και οι Caravelli et al. (2006a). Το χλώριο, είτε σε αέρια μορφή είτε σε μορφή NaOCl είτε σε διοξείδιο του χλωρίου (ClO<sub>2</sub>), προκαλεί ανησυχίες για τις τοξικές, μεταλλαξιογόνες και καρκινογενετικές της χλωρίωσης ιδιότητες των παραπροϊόντων του (Vescheti et al., 2003). Τέτοια για παράδειγμα είναι οι αλογονωμένες ενώσεις, όπως το χλωροφόρμιο (Morris et al., 1992).

Σύμφωνα με τους Bodik et al. (2008) η αντίδραση της χλωρίνης με οργανικά συστατικά σε υδατικό διάλυμα μπορεί να κατηγοριοποιηθεί στους ακόλουθους τύπους:

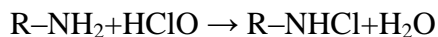
- Οξείδωση, όπου η χλωρίνη μειώνεται σε chloride ions



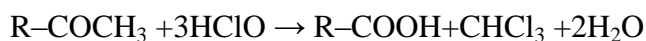
- Προσθήκη σε ακόρεστους διπλούς δεσμούς (Addition, to unsaturated double bonds, e.g.)



- Αντικατάσταση για τον σχηματισμό N-χλωριωμένες ενώσεις (Substitution to form N-χλωριωμένες ενώσεις)



- C- χλωριωμένες ενώσεις



Η επιβάρυνση της εξόδου των ΕΕΛ με αυτές τις ουσίες αλλά και οι επιπτώσεις στο θαλάσσιο οικοσύστημα αλλά και την τροφική αλυσίδα είναι σημαντική και για το λόγο αυτό οι ερευνητικές προσπάθειες έχουν στραφεί προς τον τομέα αυτό.

## 2.5 ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Τα συστήματα απομάκρυνσης θρεπτικών συνεχούς ροής, όπως αυτό του Κ.Ε.Λ.Ψ. είναι τα πιο ευάλωτα στην εμφάνιση φαινομένων ν.δ.. Για τη διερεύνηση της βελτιστοποίησης της λειτουργίας του Κ.Ε.Λ.Ψ. ξεκίνησε η συνεργασία του Εργαστηρίου Υγειονομικής Τεχνολογίας του Ε.Μ.Π. και της Κοινοπραξίας που έχει

αναλάβει τη λειτουργία του Κ.Ε.Λ. Ψυττάλειας. Για τις πειραματικές ανάγκες στήθηκαν δύο πιλοτικά συστήματα (σύστημα ελέγχου και πειραματικό σύστημα) στο Κ.Ε.Λ.Ψ.. Στόχος της μεταπτυχιακής αυτής εργασίας είναι η διερεύνηση της δυνατότητας εφαρμογής ειδικών και μη ειδικών μέτρων ελέγχου της νηματοειδούς διόγκωσης στο Κ.Ε.Λ. Ψυττάλειας για τον περιορισμό της υπερανάπτυξης νηματοειδών βακτηρίων όπως ο Type 021N, *N. limicola*, Type 1851, *Thiothrix* sp. κλπ που αναπτύσσονται καταναλώνοντας κυρίως RBCOD. Για την υλοποίηση του ανωτέρου στόχου πραγματοποιήθηκαν πειράματα στο Κ.Ε.Λ.Ψ. που περιγράφονται κατωτέρω.

Η πρώτη προσπάθεια αφορούσε τη διερεύνηση της επιρροής αναερόβιων και ανοξικών φρεατίων επιλογής στην εμφάνιση των φαινομένων ν.δ.. Ο βιοαντιδραστήρας του συστήματος ελέγχου, που προσομοίωνε τον βιοαντιδραστήρα του Κ.Ε.Λ.Ψ., αποτελούσαν από μια αναερόβια δεξαμενή ακολουθούμενη από μία ανοξική και δύο αερόβιες δεξαμενές. Το πειραματικό σύστημα ήταν ίδιο με το σύστημα ελέγχου μόνο που η ανοξική δεξαμενή ήταν διαμερισματοποιημένη. Τα πειράματα διήρκησαν από 11/1/2011 μέχρι 2/5/11 και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στην πτυχιακή της Καγιά (2011).

Η δεύτερη προσπάθεια χωρίστηκε σε τρεις φάσεις πειραμάτων.

Η Α' Φάση επίσης αφορούσε της διερεύνηση της επιρροής αναερόβιων και ανοξικών φρεατίων επιλογής στην εμφάνιση των φαινομένων ν.δ.. Αυτή τη φορά όμως θεωρήθηκε ότι η αναερόβια και η ανοξική δεξαμενή του βιοαντιδραστήρα του Κ.Ε.Λ.Ψ. ως μια δεξαμενή. Ο βιοαντιδραστήρας του συστήματος ελέγχου αποτελούνταν από μια ανοξική και δύο αερόβιες δεξαμενές ενώ το πειραματικό σύστημα διάθετε μια αναερόβια, μία ανοξική και δύο αερόβιες δεξαμενές. Τα πειράματα διήρκησαν από 19/10/2011 μέχρι 31/12/11 και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συνοπτικά στο κεφάλαιο «Αποτελέσματα». Αναλυτικά παρουσιάζονται στη πτυχιακή του Μαθιού (2012).

Η Β' Φάση επίσης αφορούσε τη διερεύνηση της επιρροής αναερόβιων και ανοξικών φρεατίων επιλογής στην εμφάνιση των φαινομένων ν.δ.. Το Πειραματικό σύστημα παρέμεινε ίδιο με αυτό της Α' Φάσης ενώ το σύστημα ελέγχου διέθετε διαμερισματοποιημένη ανοξική δεξαμενή. Τα πειράματα διήρκησαν από 1/1/2012

μέχρι 17/2/12 και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά στο κεφάλαιο «Αποτελέσματα».

Η Γ' Φάση αφορούσε τη διερεύνηση της επίδρασης της χλωρίωσης στην εμφάνιση των φαινομένων ν.δ.. Ο βιοαντιδραστήρας των δύο συστημάτων αποτελούνταν από μία ανοξική και δύο αερόβιες δεξαμενές. Στο πειραματικό σύστημα όμως εφαρμόστηκε χλωρίωση (διάλυμα NaOCl) σε τρεις διαφορετικές δόσεις οι οποίες οριοθέτησαν τρεις περιόδους. Τα πειράματα διήρκησαν από 18/2/2012 μέχρι 11/4/12 και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά στο κεφάλαιο «Αποτελέσματα».

## **3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΙ ΜΕΘΟΔΟΙ**

### **3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Για τους σκοπούς της έρευνας στήθηκαν δύο πιλοτικά συστήματα στο χώρο του Κ.Ε.Λ.Ψυττάλειας. Τα δύο αυτά συστήματα φιλοξενήθηκαν σε container και τροφοδοτούνταν με πρωτοβάθμια επεξεργασμένα λύματα. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε τρεις φάσεις και διήρκησαν 175 ημέρες (19/10/2011- 11/4/2012). Σε κάθε φάση λειτουργούσαν δύο συστήματα, ένα ελέγχου (ΣΕ - control) και ένα πειραματικό (ΠΣ - experimental) τα οποία είχαν συνολική χωρητικότητα ίδια και μοιράζονταν τις ίδιες αντλίες. Στη συνέχεια του κεφαλαίου περιγράφεται το πειραματικό πρωτόκολλο, οι αναλυτικοί μέθοδοι που εφαρμόστηκαν και ο μηχανολογικός και εργαστηριακός αναλυτικός εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της λειτουργίας των πιλοτικών συστημάτων.

### **3.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε τρεις φάσεις και διήρκησαν 175 ημέρες (19/10/2011- 11/4/2012). Σε κάθε φάση λειτουργούσαν παράλληλα δύο πιλοτικά συστήματα, ένα ελέγχου (ΣΕ - control) και ένα πειραματικό (ΠΣ - experimental). Τα ΣΕ, και στις τρεις φάσεις λειτουργίας, προσομοιάζαν την υφιστάμενη βιολογική βαθμίδα του Κ.Ε.Λ.Ψ., δηλαδή είχαν έναν ανοξικό όγκο πλήρους μίξης και ένα αερόβιο όγκο πέντε τμημάτων. Τα ΠΣ σε κάθε φάση τροποποιούνταν. Σκοπός ήταν τα ΣΕ να προσομοιάζουν την λειτουργία του Κ.Ε.Λ.Ψ. και τα πειραματικά συστήματα να δείχνουν αν οι τροποποιήσεις του συστήματος περιορίζουν την εμφάνιση της νηματοειδούς διόγκωσης της λάσπης. Οι αλλαγές που δοκιμάστηκαν στα ΠΣ είναι εφαρμόσιμες για το Κ.Ε.Λ.Ψ. πλήρους κλίμακας.

Σε κάθε κύρια δεξαμενή του βιοαντιδραστήρα και στην δεξαμενή συγκέντρωσης της εκροής (ΔΣΕ) των συστημάτων είχε δοθεί κωδική ονομασία η οποία δίνεται συνοπτικά σε πίνακα παρακάτω όπου παρουσιάζεται κάθε φάση ξεχωριστά.

Όταν συναρμολογήθηκαν και τα δύο συστήματα, πληρώθηκαν με ανάμεικτο υγρό από τους βιοαντιδραστήρες του Κ.Ε.Λ.Ψ.. Στη συνέχεια ρυθμίστηκαν οι παροχές των αντλιών, όπως αυτές παρουσιάζονται στον **Πίνακα 3.2** και ξεκίνησε η πειραματική περίοδος. Σε μερικές περιπτώσεις χρειάστηκε να μεταβληθεί η παροχή σε κάποιες αντλίες για μερικές ώρες έως μερικές μέρες.

**Πίνακας 3.1: Παροχές των αντλιών.**

Αντλία	Ονομασία	Παροχή (L/d)
Εισόδου ( Qin)	In	100
Εσωτερική Ανακυκλοφορία	R	190
Εσωτερική Ανακυκλοφορία	r	130

### 3.2.1 Α' ΦΑΣΗ

Η Α' Φάση ξεκίνησε στις 19/10/11 και ολοκληρώθηκε έπειτα από 74 ημέρες στις 31/12/11. Σκοπός αυτής της φάσης ήταν να μελετηθεί η επίδραση της κινητικής επιλογής στον έλεγχο της νηματοειδούς διόγκωσης. Συγκεκριμένα διερευνήθηκε η αποτελεσματικότητα ενός αναερόβιου φρεατίου επιλογής (ANA2.4L) (selector) στον έλεγχο της νηματοειδούς διόγκωσης. Στα **Σχήματα 3.1** και **3.2** παρουσιάζονται τα ροϊκά διαγράμματα του ΣΕ και ΠΣ αντίστοιχα. Σημειώνεται ότι όπως και στο Κ.Ε.Λ.Ψ. έτσι και στο ΠΣ παρόλο που αναφερόμαστε σε αναερόβια δεξαμενή εννοούμε ανοξική λόγω της παρουσίας νιτρικών. Ουσιαστικά μελετήθηκε η επίδραση της κινητικής επιλογής στον έλεγχο της νηματοειδούς διόγκωσης. Στον **Πίνακα 3.2** δίνονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και οι συνθήκες που επικρατούσαν σε κάθε δεξαμενή επεξεργασίας του συστήματος ελέγχου και του πειραματικού συστήματος.

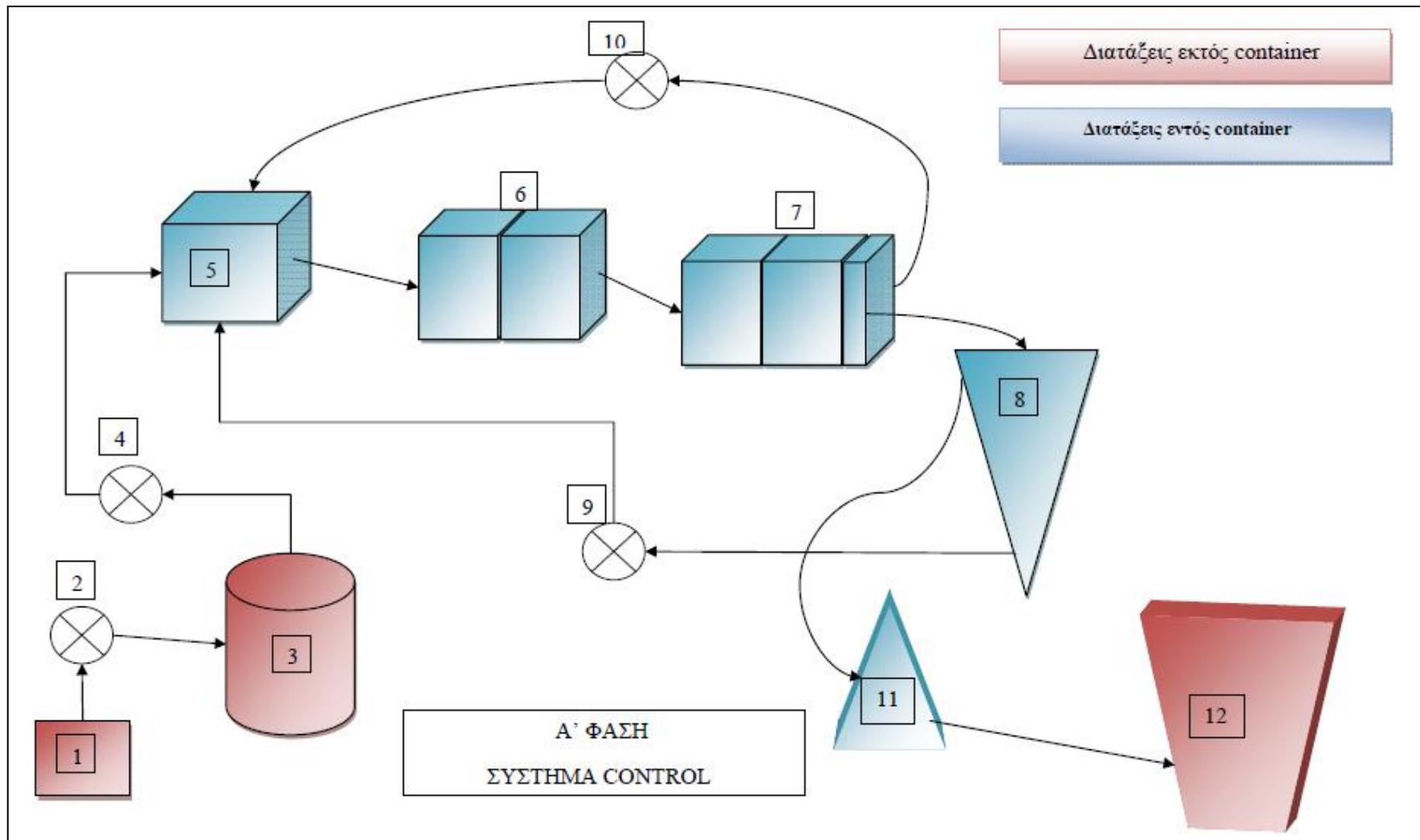
**Πίνακας 3.2: Σχετικές πληροφορίες για τις χρησιμοποιηθείσες δεξαμενές κατά την Α' Φάση.**

	Συνθήκες	Όγκος (L)	κωδικοποίηση	Σημείο Δειγματοληψίας
<b>Βιολογική βαθμίδα</b>	Αναερόβιες	2,4	Ana2.4L	E1
	Ανοξικές	13,1	Ano13.1L	E2
		15,5	Ano15.5L	C1
	Αερόβιες	15,4	Aer15.4L	E3, C2
		10,7	Aer10.7L	E4, C3

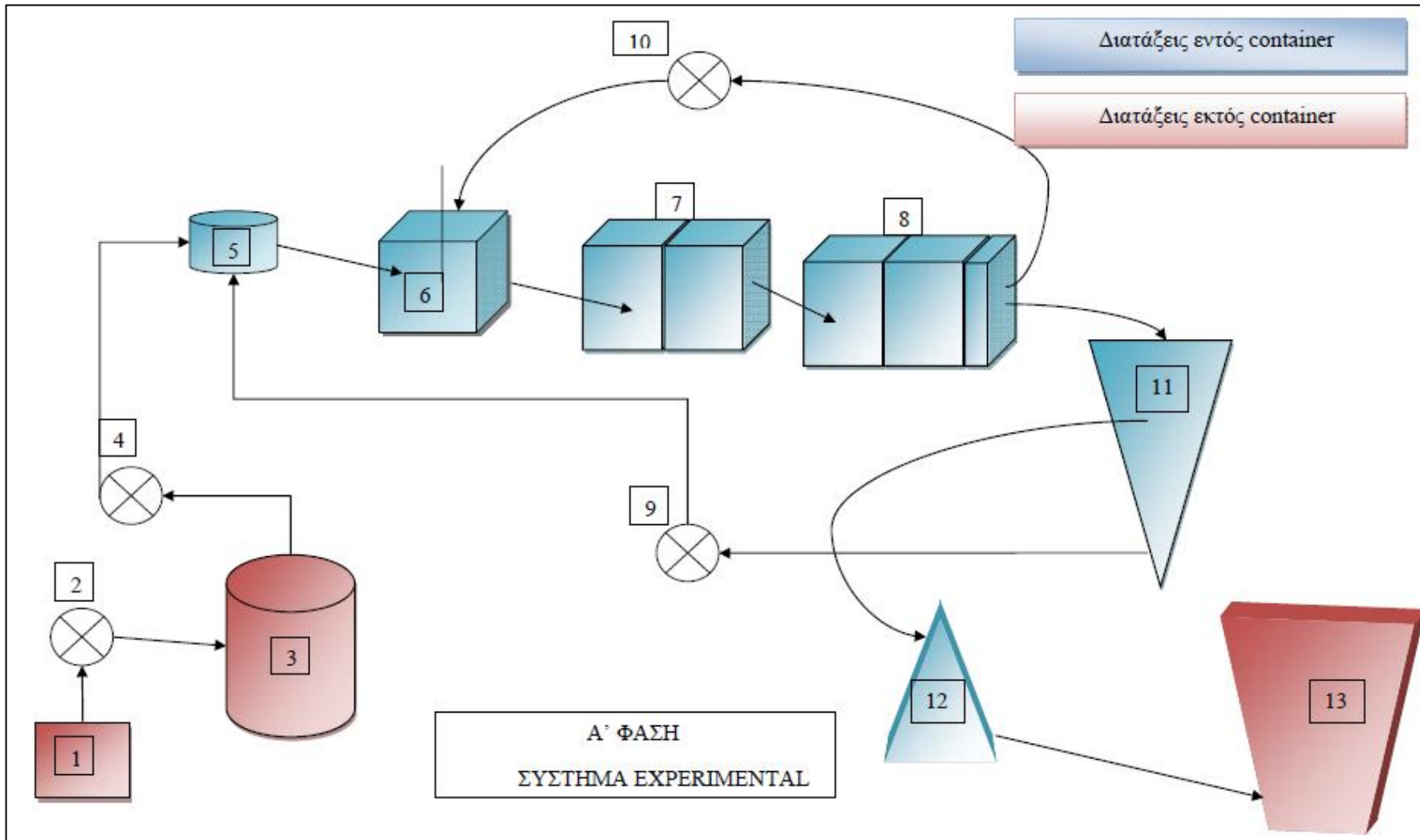
Στην **Εικόνα 3.1** παρουσιάζονται τα δύο πιλοτικά συστήματα επεξεργασίας που λειτούργησαν κατά την Α' Φάση. Στο βάθος βρίσκεται το ΠΣ ενώ στο αριστερό μέρος της εικόνας το ΣΕ.



**Εικόνα 3.1: ΣΕ και ΠΣ της Α' Φάσης (Μπροστά και πίσω αντίστοιχα)**



**Σχεδιάγραμμα 3.1: ΣΕ κατά την Α' Φάση.** 1. Σημείο Δειγματοληψίας, 2. Αντλία ακαθάρτων λυμάτων, 3. Δεξαμενή τροφοδοσίας λυμάτων (ΔΤΛ), 4. Περισταλτική αντλία τροφοδοσίας λυμάτων, 5. Ανοξική δεξαμενή (Apo15.5L), 6. Δεξαμενή αερισμού ΑΕΡ15.4L, 7. Δεξαμενή αερισμού ΑΕΡ10.7L, 8. ΔΤΚ, 9. Περισταλτική αντλία εξωτερικής ανακυκλοφορίας (RAS), 10. Περισταλτική αντλία εσωτερικής ανακυκλοφορίας, 11. Κωνικές παγίδες στερεών (ΚΠΣ), 12. Δεξαμενή συλλογής εκροής (ΔΣΕ).



**Σχεδιάγραμμα 3.2: ΠΣ κατά την Α' Φάση.** 1. Σημείο Δειγματοληψίας, 2. Αντλία ακαθάρτων λυμάτων, 3. Δεξαμενή τροφοδοσίας λυμάτων (ΔΤΛ), 4. Περισταλτική αντλία τροφοδοσίας λυμάτων, 5. Αναερόβιος επιλογέας (Ana2.4L), 6. Ανοξική δεξαμενή (Apo13.1L), 7. Δεξαμενή αερισμού AEP15.4L, 8. Δεξαμενή αερισμού AEP10.7L, 9. Περισταλτική αντλία εξωτερικής ανακυκλοφορίας (RAS), 10. Περισταλτική αντλία εσωτερικής ανακυκλοφορίας, 11. ΔΤΚ, 12. Κωνικές παγίδες στερεών (ΚΠΣ), 13. Δεξαμενή συλλογής εκροής (ΔΣΕ).



### 3.2.2 Β' ΦΑΣΗ

Η Β' φάση ξεκίνησε στις 31/12/11 και ολοκληρώθηκε έπειτα από 45 ημέρες στις 17/2/12. Σε αυτή τη φάση χρησιμοποιήθηκε στο πειραματικό σύστημα πάλι ο αναερόβιος επιλογέας (ANA2.4L) ενώ ως ανοξικό φρεάτιο επιλογής χρησιμοποιήθηκε η διαμερισματοποιημένη ανοξική δεξαμενή (ANOp13.1L). Σκοπός αυτής της φάσης ήταν να διερευνηθεί η αποτελεσματικότητα του συνδυασμού του ανοξικού φρεατίου επιλογής και της διαμερισματοποιημένης ανοξικής στον έλεγχο της νηματοειδούς διόγκωσης (κινητική και μεταβολική επιλογή).

Κατά την έναρξη λειτουργίας των συστημάτων, στο ΠΣ (Β' φάσης) μεταφέρθηκε σχεδόν το σύνολο της βιομάζας (εκτός μέρος του περιεχομένου της ΔTK  $\approx 15$  L.) του ΣΕ της Α' φάσης η οποία δεν παρουσίαζε καλά χαρακτηριστικά καθίζησης (ως προς το DSVI). Αντίστοιχα η βιομάζα του ΠΣ της Α' φάσης, με σχετικά καλά χαρακτηριστικά καθίζησης (ως προς το DSVI), μεταφέρθηκε στο ΣΕ της Β' φάσης. Συνεπώς τα πειράματα της Β' φάσης ξεκινούν με βιομάζα με υψηλές και σχετικά κανονικές τιμές DSVI στο ΠΣ και ΣΕ αντίστοιχα.

Στην διαμερισματοποιημένη ανοξική δεξαμενή (ANOp13.1L) αρχικά η ανάδευση γινόταν με μαγνητικούς αναδευτήρες στα ακριανά διαμερίσματα και με μηχανικό αναδευτήρα στο μεσαίο διαμέρισμα. Στη συνέχεια λόγω βλάβης ο μηχανικός αντικαταστάθηκε από μαγνητικό. Αυτή η αλλαγή δεν επηρέασε τη λειτουργία του συστήματος αν και δύο φορές είχε σταματήσει προσωρινά η ανάδευση. Οι παροχές των αντλιών δεν μεταβλήθηκαν.

Στα **Σχήματα 3.3** και **3.4** δίνονται τα ροϊκά διαγράμματα του ΣΕ και ΠΣ αντίστοιχα κατά τη Β' Φάση των πειραμάτων. Στον **Πίνακα 3.2** δίνονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και οι συνθήκες που επικρατούσαν σε κάθε δεξαμενή επεξεργασίας του συστήματος ελέγχου και του πειραματικού συστήματος.

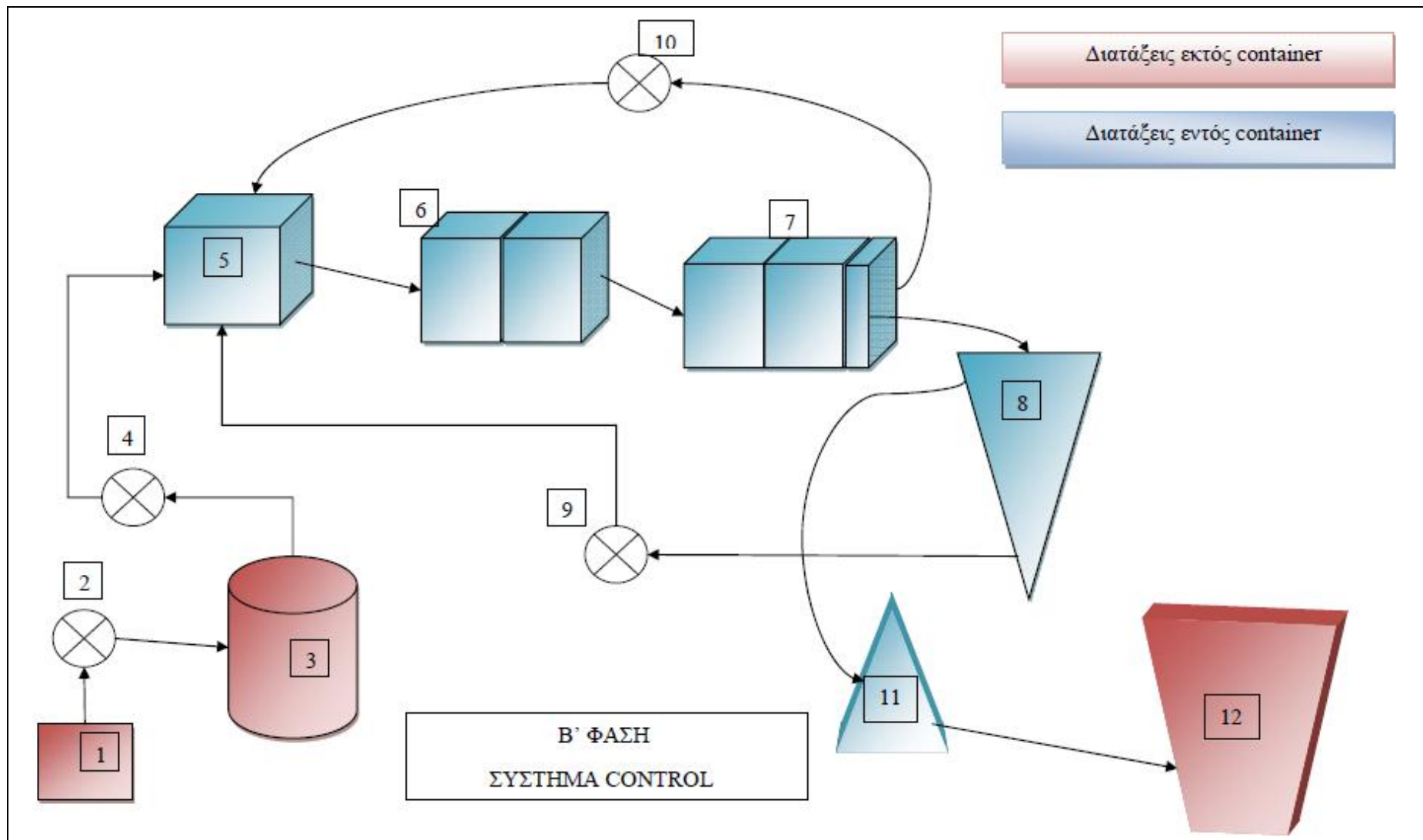
Πίνακας 3.3: Σχετικές πληροφορίες για τις χρησιμοποιηθείσες δεξαμενές κατά την Β' Φάση

	Συνθήκες	Όγκος (L)	κωδικοποίηση	Σημείο Δειγματοληψίας
<b>Βιολογική βαθμίδα</b>	Αναερόβιες	2,4	Apa2.4L	E1
	Ανοξικές	13,1	Apo13.1L	E2
		15,5	Apo15.5L	C1
	Αερόβιες	15,4	Aer15.4L	E3, C2
		10,7	Aer10.7L	E4, C3
	Ανοξικές	100	ΔΣΕ	E5, C4

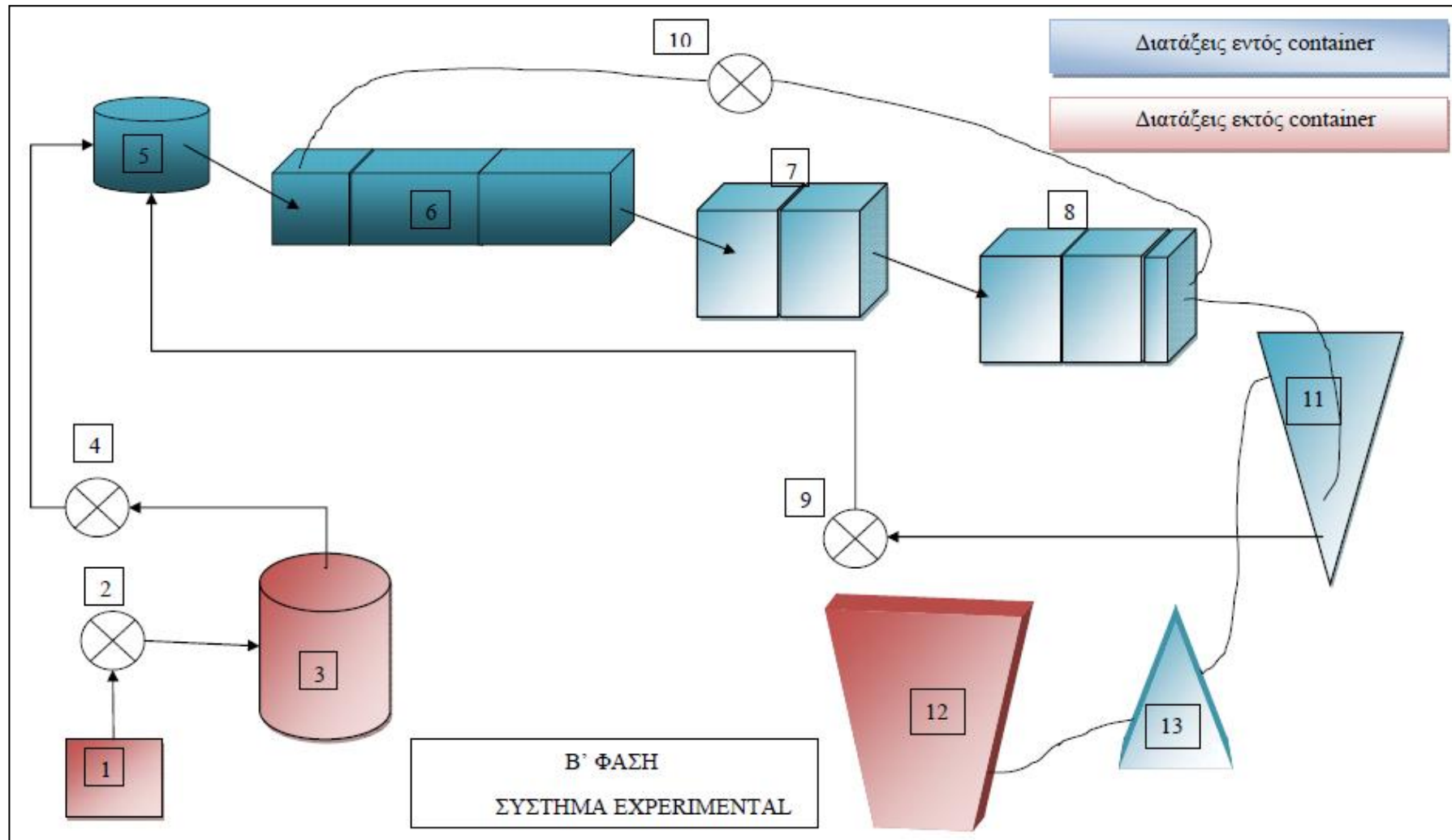
Στην **Εικόνα 3.2** παρουσιάζονται τα δύο πιλοτικά συστήματα επεξεργασίας που λειτούργησαν κατά την Β' Φάση. Το ΠΣ φαίνεται ολόκληρο ενώ στο βάθος βρίσκεται φαίνεται η ανοξική δεξαμενή του ΣΕ. Το ΣΕ κατά τη Α' και Β' Φάση είναι ίδιο οπότε η συνολική εικόνα του ΣΕ μπορεί να φανεί στην **Εικόνα 3.1**.



**Εικόνα 3.2:** Το ΠΣ κατά τη Β' Φάση λειτουργίας. Στο βάθος φαίνεται η ανοξική δεξαμενή του ΣΕ, ενώ η συνολική του εικόνα δεν διαφοροποιείται από το ΣΕ της Εικόνας 3.1.



**Σχεδιάγραμμα 3.3: ΣΕ κατά την Β' Φάση λειτουργίας.** 1. Σημείο Δειγματοληψίας, 2. Αντλία ακαθάρτων λυμάτων, 3. Δεξαμενή τροφοδοσίας λυμάτων (ΔΤΛ), 4. Περισταλτική αντλία τροφοδοσίας λυμάτων, 5. Ανοξική δεξαμενή (Apo15.5L), 6. Δεξαμενή αερισμού ΑΕΡ15.4L, 7. Δεξαμενή αερισμού ΑΕΡ10.7L, 8. ΔΤΚ, 9. Περισταλτική αντλία εξωτερικής ανακυκλοφορίας (RAS), 10. Περισταλτική αντλία εσωτερικής ανακυκλοφορίας, 11. Κωνικές παγίδες στερεών (ΚΠΣ), 12. Δεξαμενή συλλογής εκροής (ΔΣΕ).



**Σχεδιάγραμμα 3.4: ΠΣ κατά την Β' Φάση.** 1. Σημείο Δειγματοληψίας, 2. Αντλία ακαθάρτων λυμάτων, 3. Δεξαμενή τροφοδοσίας λυμάτων (ΔΤΛ), 4. Περισταλτική αντλία τροφοδοσίας λυμάτων, 5. Αναερόβιος επιλογέας (Ana2.4L), 6. Ανοξική δεξαμενή (Apo13.1L), 7. Δεξαμενή αερισμού AEP15.4L, 8. Δεξαμενή αερισμού AEP10.7L, 9. Περισταλτική αντλία εξωτερικής ανακυκλοφορίας (RAS), 10. Περισταλτική αντλία εσωτερικής ανακυκλοφορίας, 11. ΔΤΚ, 12. Κωνικές παγίδες στερεών (ΚΠΣ), 13. Δεξαμενή συλλογής εκροής (ΔΣΕ).

### 3.2.3 Γ' ΦΑΣΗ

Η Γ' φάση ξεκίνησε στις 18/4/12 και ολοκληρώθηκε έπειτα από 55 ημέρες στις 12/4/12. Αυτή τη φορά δεν μελετήθηκε η επίδραση μόνιμων/ ειδικών μέτρων ελέγχου της νηματοειδούς διόγκωσης αλλά η επίδραση του NaOCl στην καταπολέμηση αυτής.

Για το λόγο αυτό τα δύο συστήματα δεν διέφεραν ουσιαστικά. Η βασική διαφορά τους ήταν η προσθήκη χλωρίνης στο πειραματικό σύστημα (ΠΣ). Το ροϊκό διάγραμμα του ΣΕ και του ΠΣ δίνονται στα **Σχήματα 3.5** και **3.6** αντίστοιχα.

Νέα βιομάζα από τους βιοαντιδραστήρες του Κ.Ε.Λ.Ψ. προστέθηκε στα δύο συστήματα και αφέθηκε μέχρι και τις 22/2/12 χωρίς προσθήκη χλωρίου. Αυτό το χρονικό διάστημα χωρίς χρήση απολυμαντικού μέσου στόχευε στην υποβάθμιση των χαρακτηριστικών καθίζησης έτσι ώστε να φανούν τα αποτελέσματα της χλωρίωσης πιο έντονα.

Ερευνήθηκε η επίδραση τριών δόσεων σε τρεις χρονικές περιόδους. Εφαρμόστηκε συντηρητική δόση (3.5 mg Cl<sub>2</sub> / gr SS /d), μέτρια δόση (7.0 mg Cl<sub>2</sub> / gr SS /d) και υψηλή δόση 10.5 mg Cl<sub>2</sub> / gr SS /d στην 1<sup>η</sup>, 2<sup>η</sup> και 3<sup>η</sup> περίοδο αντίστοιχα (**Πίνακας 3.5**). Η προσθήκη του διαλύματος χλωρίου γινόταν στην ανοξική δεξαμενή του ΠΣ με σωληνάκι το οποίο εμβαπτιζόταν στο ανάμεικτο υγρό.

Για την επίτευξη των δόσεων αυτών έπρεπε να υπολογιστεί η συνολική μάζα των στερεών στο σύστημα, συμπεριλαμβανομένου και της δεξαμενής καθίζησης χρησιμοποιώντας τα στοιχεία του **Πίνακα 3.4** και του παρακάτω τύπου:

$$SS = V_{\text{bioreactor}} * MLSS_{\text{bioreactor}} + V_{\text{settler}} * SS_{\text{settler}}$$

**Πίνακας 3.4: Στοιχεία υπολογισμού μάζας των στερεών.**

<b>V<sub>αντιδραστήρα</sub> (L)</b>	<b>MLSS (mg/L)</b>	<b>V<sub>ΔΤΚ</sub> (L)</b>	<b>SS<sub>ΔΤΚ</sub> (L)</b>	<b>Μάζα SS (gr)</b>
<b>41,6</b>	3000	21	1500	<b>156.3</b>

Πηγή χλωρίου αποτέλεσε διάλυμα χλωρίνης εμπορίου συγκέντρωσης 58 gr/L (τιμή μέτρησης από EYT). Γίνεται αντιληπτό ότι για την επίτευξη της συνολικής δόσης 3.5 mg Cl<sub>2</sub> / gr SS /d σε ανάμεικτο υγρό με μάζα στερεών 156 gr χρησιμοποιώντας

διάλυμα χλωρίου συγκέντρωσης 58 gr/L απαιτείται παροχή μικρότερη του 1mL/d. Η παροχή αυτή είναι αδύνατο να επιτευχθεί με τις υπάρχουσες περισταλτικές αντλίες συνεπώς κρίθηκε απαραίτητη η αραίωση του διαλύματος περί τις 500 φορές για να μπορεί να οριστεί εφικτή παροχή. Με αυτή την αραίωση η συγκέντρωση του διαλύματος χλωρίου έφτανε τα 116 mg/L. Με τα νέα δεδομένα η παροχή υπολογίστηκε στα 4.7 L/d.

Εξαιτίας της εξαήμερης συντήρησης του συστήματος αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί δοχείο όγκου 10 L για να μπορεί να καλύπτει την παροχή για δύο συνεχόμενες ημέρες και να διατηρεί μικρή περισσευόμενη ποσότητα για λόγους ασφαλείας. Στο δοχείο της χλωρίωσης (ΔΧ) εξωτερικά σημειώθηκε με μαρκαδόρο ο όγκος ανά 100, 200 και 500 mL όπως φαίνεται στην **Εικόνα 3.4** για να είναι δυνατός ο έλεγχος της ποσότητας που διαλύματος που τροφοδοτήθηκε κάθε ημέρα.

Για την παρασκευή διαλύματος χλωρίου με συγκέντρωση 116 mg/L, 0.020 L διαλύματος χλωρίνης συγκέντρωσης 58 gr/L μεταφέρονταν στο δοχείο χλωρίωσης (ΔΧ) και συμπληρωνόταν μέχρις όγκου 10L με νερό. Κάθε δεύτερη μέρα παρασκευάζονταν διάλυμα χλωρίου. Το διάλυμα που είχε μείνει από το προηγούμενο διήμερο απορρίπτονταν και το δοχείο πλενόταν για να απομακρυνθούν τα κατάλοιπα. Στη συνέχεια το δοχείο γέμιζε με διάλυμα χλωρίου μέχρις όγκου 10L.

Περίοδος	Συγκέντρωση διαλύματος (mg/L)	Δόση σχεδιασμού (mg Cl <sub>2</sub> / gr SS/d)	Παροχή (L/d)
1 <sup>η</sup>	116	3,5	4,7
2 <sup>η</sup>	232	7,0	
3 <sup>η</sup>	348	10,5	

**Πίνακας 3.5: Στοιχεία χλωρίωσης της 1ης, 2ης και 3ης Περιόδου**

Κατά τη 2<sup>η</sup> περίοδο για την επίτευξη δόσης 7.0 mg Cl/ gr SS/d διπλάσια ποσότητα διαλύματος χλωρίου (0,040 L) συγκέντρωσης 58gr/L προσθέτονταν στα 10 L νερό με αποτέλεσμα το διάλυμα χλωρίωσης να έχει 232 mg/L. Η παροχή παρέμεινε σταθερή.

Κατά τη 3<sup>η</sup> περίοδο για την επίτευξη δόσης 10.5 mg Cl/ gr SS/d τριπλάσια ποσότητα διαλύματος χλωρίου (0,060 L) συγκέντρωσης 58gr/L προσθέτονταν στα 10 L νερό με αποτέλεσμα το διάλυμα χλωρίωσης να έχει 348 mg/L. Η παροχή παρέμεινε σταθερή.

Στον Πίνακα 3.6 δίνονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και οι συνθήκες που επικρατούσαν σε κάθε δεξαμενή επεξεργασίας του συστήματος ελέγχου και του πειραματικού συστήματος.

Πίνακας 3.6: Σχετικές πληροφορίες για τις χρησιμοποιηθείσες δεξαμενές κατά την Γ' Φάση

	Συνθήκες	Όγκος (L)	κωδικοποίηση	Σημείο Δειγματοληψίας
<b>Βιολογική βαθμίδα</b>	Ανοξικές	13,1	Ano13.1L	C1
		15,5	Ano15.5L	E1
	Αερόβιες	15,4	Aer15.4L	E2, C2
		10,7	Aer10.7L	E3, C3
	Ανοξικές	100	ΔΣΕ	E4, C4

Στην Εικόνα 3.3 παρουσιάζονται τα δύο πιλοτικά συστήματα επεξεργασίας που λειτούργησαν κατά την Γ' Φάση. Στο βάθος βρίσκεται το ΠΣ ενώ στο αριστερό μέρος της εικόνας το ΣΕ.



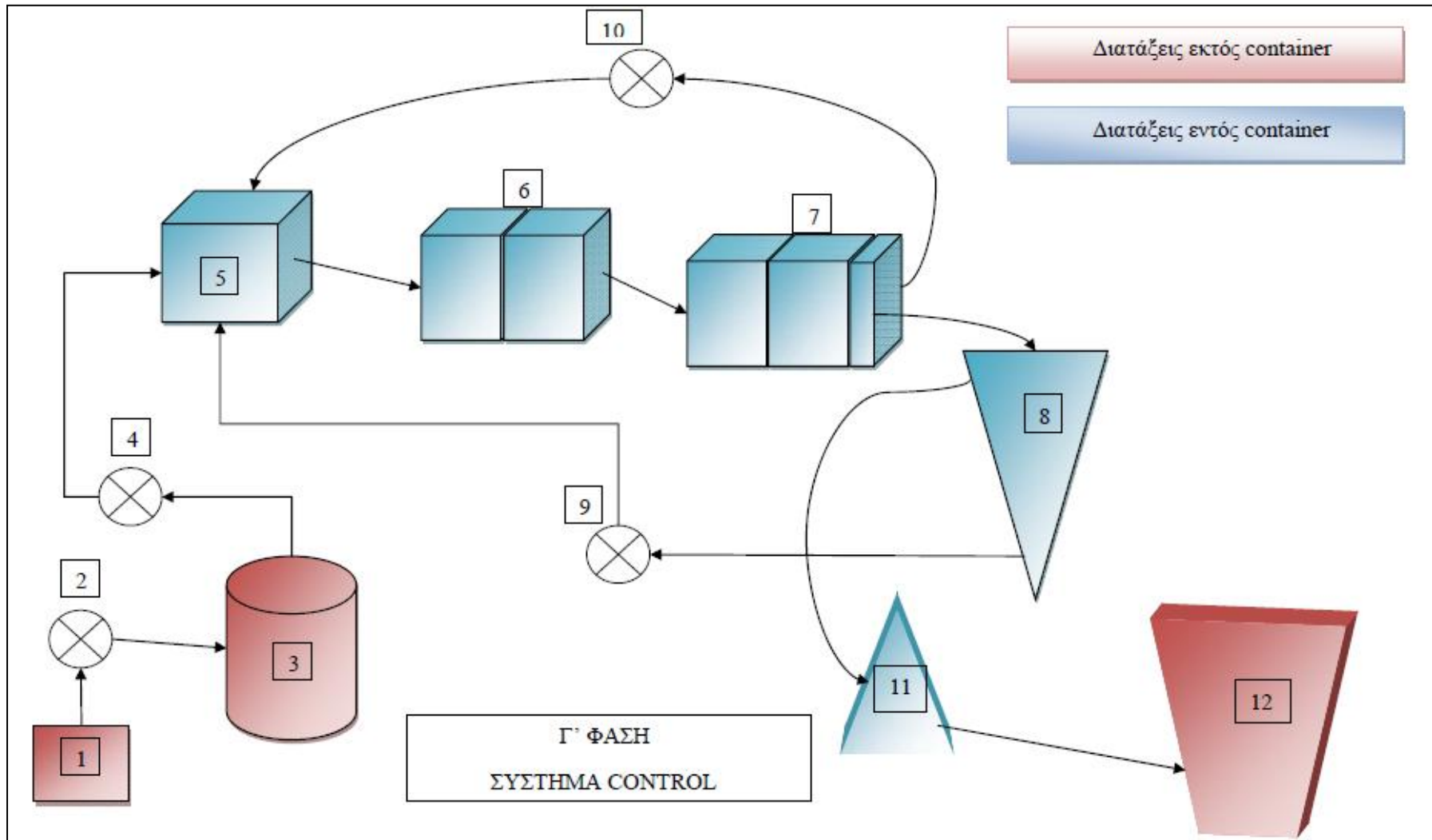
Εικόνα 3.3: Πιλοτικά Συστήματα Γ' Φάσης. Το πρώτο σύστημα είναι το ΣΕ ενώ στο βάθος το ΠΣ.

Στην Εικόνα 3.4 παρουσιάζεται το δοχείο της χλωρίωσης και η περισταλτική αντλία που τροφοδοτούσε το διάλυμα χλωρίου στην ανοξική δεξαμενή του ΠΣ. Φαίνεται ότι στην εξωτερική πλευρά του δοχείου έχουν σημειωθεί διάφοροι όγκοι για τον έλεγχο της ημερήσια ποσότητας διαλύματος χλωρίου που τροφοδοτούνταν στο ΠΣ.

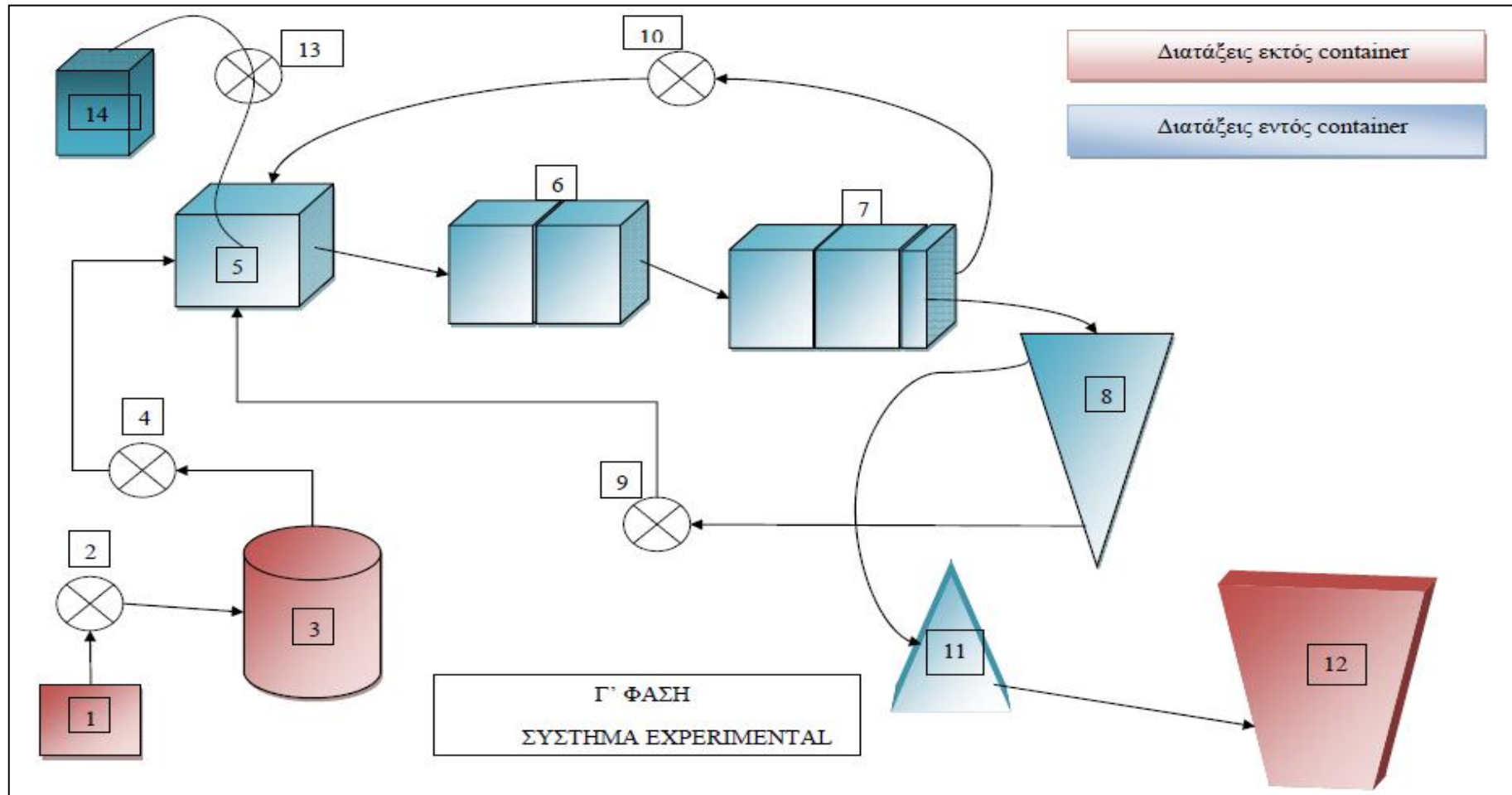


**Εικόνα 3.4:** Περισταλτική αντλία προσθήκης χλωρίου και το δοχείο χλωρίωσης.





**Σχεδιάγραμμα 3.5: ΣΕ κατά την Γ' Φάση λειτουργίας. 1.** Σημείο Δειγματοληψίας, **2.** Αντλία ακαθάρτων λυμάτων, **3.** Δεξαμενή τροφοδοσίας λυμάτων (ΔΤΛ), **4.** Περισταλτική αντλία τροφοδοσίας λυμάτων, **5.** Ανοξική δεξαμενή (Απο15.5L), **6.** Δεξαμενή αερισμού ΑΕΡ15.4L, **7.** Δεξαμενή αερισμού ΑΕΡ10.7L, **8.** ΔΤΚ, **9.** Περισταλτική αντλία εξωτερικής ανακυκλοφορίας (RAS), **10.** Περισταλτική αντλία εσωτερικής ανακυκλοφορίας, **11.** Κωνικές παγίδες στερεών (ΚΠΣ), **12.** Δεξαμενή συλλογής εκροής (ΔΣΕ).



**Σχεδιάγραμμα 3.6: ΠΣ κατά την Γ' Φάση.** 1. Σημείο Δειγματοληψίας, 2. Αντλία ακαθάρτων λυμάτων, 3. Δεξαμενή τροφοδοσίας λυμάτων (ΔΤΛ), 4. Περισταλτική αντλία τροφοδοσίας λυμάτων, 5. Αναερόβιος επιλογέας (Ana2.4L), 6. Ανοξική δεξαμενή (Apo13.1L), 7. Δεξαμενή αερισμού ΑΕΡ15.4L, 8. Δεξαμενή αερισμού ΑΕΡ10.7L, 9. Περισταλτική αντλία εξωτερικής ανακυκλοφορίας (RAS), 10. Περισταλτική αντλία εσωτερικής ανακυκλοφορίας, 11. ΔΤΚ, 12. Κωνικές παγίδες στερεών (ΚΠΣ), 13. Δεξαμενή συλλογής εκροής (ΔΣΕ).

### 3.2.4 ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΦΑΣΕΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Έξι ημέρες την εβδομάδα γινόταν συντήρηση στα δύο συστήματα και λαμβάνονταν δείγματα για τον υπολογισμό της βιομάζας και του DSVI. Δύο φορές την εβδομάδα γινόταν δειγματοληψία για τον προσδιορισμό του οργανικού φορτίου (διαλυτό και σωματιδιακό), του νιτρικού και αμμωνιακού αζώτου καθώς και για μικροσκοπική παρατήρηση.

Αρχικά η δειγματοληψία γινόταν άλλες φορές περίπου στις 10:30 και άλλες περίπου στις 12:00. Μετά από ένα μήνα πειραμάτων, κατόπιν έντονων διακυμάνσεων του COD μεταξύ των δύο ωρών δειγματοληψίας, αποφασίστηκε η δειγματοληψία να γίνεται περίπου στις 12:30 - 13:00. Οι τιμές του πρώτου μήνα δεν συμπεριλήφθησαν στα αποτελέσματα. Διαπιστώθηκε δε, ότι η σωστή συντήρηση στα πιλοτικά συστήματα είναι υψίστης σημασίας για την επιτυχία του πειράματος.

Κατά την καθημερινή συντήρηση των συστημάτων, το πρωί, επιστρέφονταν το περιεχόμενο των κωνικών παγίδων των στερεών (ΚΠΣ) στα συστήματα και συνδέονταν πάλι με το σύστημα, αναδεύονταν οι δεξαμενές συγκράτησης στερεών (ΔΣΕ) και συλλέγονταν δείγμα με ονομασία E5 (για την Α' και Β' φάση και E4 για τη Γ' φάση) και C4 ανάλογα το σύστημα. Μετά τη συλλογή των δειγμάτων E5 (E4) και C4 οι ΔΣΕ αποσυνδέονταν, ανατρέπονταν για να αδειάσει το περιεχόμενο και επανασυνδέονταν στα συστήματα.

Στη συνέχεια, μετά την ανάδευση των ΔTK με σκουπόξυλο, αντικαθιστούνταν τα σωληνάκια της εισόδου (από την δεξαμενή τροφοδοσίας λυμάτων (ΔΤΛ) -αντλία εισόδου – E1 και C1) και πλένονταν με πίεση έτσι ώστε να απομακρυνθεί το βιοφίλμ που αναπτυσσόταν στο εσωτερικό. Τα σωληνάκια αυτά πρέπει να είναι τελείως καθαρά γιατί το βιοφίλμ καταναλώνει μέρος του RBCOD. Μέχρι να συλλεχθούν τα δείγματα E5 (E4) και C4, να αδειάσουν οι ΚΠΣ και ΔΣΕ και να ανακατευτούν οι ΔTK (συνολικά < 5') η έξοδος της δεύτερης αερόβιας δεξαμενής (προς την ΔTK) έκλεινε για να μην χάνεται βιομάζα.

Έπειτα με βουρτσάκι καθαρίζονταν οι εσωτερικές επιφάνειες των δεξαμενών για να απομακρυνθεί το βιοφίλμ. Πολλές φορές μεγάλου μεγέθους στερεά εισέρχονταν στο

σύστημα και έφραζαν τα μικρής διατομής σωληνάκια τα οποία επίσης καθαρίζονταν αναλόγως. (εσωτερική διέλευση εργαλείου καθαρισμού)

Τα λοιπά σωληνάκια σύνδεσης των δεξαμενών πιέζονταν με το χέρι μέχρι την απομάκρυνση του βιοφίλμ. Επειδή τα συγκεκριμένα δεν μετέφεραν τροφή (λόγω της διάταξης) δεν αποσυνδέονταν από το σύστημα για να πλυθούν. Όμως σχεδόν κάθε μήνα αντικαθιστούνταν, τοποθετούνταν σε δοχείο με αραιό διάλυμα χλωρίνης και αφού ξεπλένονταν ήταν έτοιμα για χρήση.

### 3.3 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ

Για τη λειτουργία των δύο συστημάτων χρησιμοποιήθηκαν δεξαμενές από Plexiglas, δεξαμενές πλαστικές και υάλινες καθώς και ο κατάλληλος μηχανολογικός εξοπλισμός. Τα δύο συστήματα στεγάστηκαν σε container διαστάσεων (L x W x H) 7m x 2.3m x 2.3m το οποίο ήταν τοποθετημένο πάνω από το φρεάτιο συλλογής της πρωτοβάθμιας εκροής (Εικόνα 3.1).



Εικόνα 3.5: Container στέγασης συστημάτων

Στο φρεάτιο αυτό βυθίστηκε υποβρύχια αντλία για την τροφοδοσία των λυμάτων στα συστήματα.

#### ❖ Δεξαμενές Plexiglas

Για τις ανάγκες των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκαν δεξαμενές κατασκευασμένες από Plexiglas. Οι δεξαμενές αυτές είχαν κατασκευαστεί για τις ανάγκες παλαιότερων πειραμάτων. Το πάχος των δεξαμενών είναι 1 cm και όλες φέρουν τουλάχιστον δύο οπές. Σε κάθε οπή ήταν προσαρμοσμένη, στεγανά και ανάλογα τις ανάγκες, είτε ακροσωλήνιο είτε κάνουλα ελέγχου ροής, εσωτερικής διαμέτρου 0,9 cm. Μέσω των οπών αυτών πραγματοποιείται η ροή των λυμάτων μεταξύ των δεξαμενών.

❖ Αναερόβια (ANA2.4L)

Κυλινδρική δεξαμενή διαμέτρου 16 cm, ωφέλιμου βάθους 12 cm και συνολικού όγκου 2,4 L. Διαθέτει τρεις οπές στις οποίες έχουν προσαρμοστεί ακροσωλήνια για την είσοδο των λυμάτων, την έξοδο του ανάμεικτου υγρού προς το ανοξικό διαμερίσμα και την εξωτερική ανακυκλοφορία της ύλης. Η ανάδευση γινόταν με μαγνητικό αναδευτήρα, δημιουργώντας δύνη. Για την αποφυγή της εισροής οξυγόνου από την επιφάνεια η δεξαμενή διαθέτει καπάκι.



Εικόνα 3.6: Αναερόβια δεξαμενή - Ana2.4L

❖ Ανοξικές Δεξαμενές

➤ Ανοξική 13,1 L (ANO13.1L)

Αφορά δεξαμενή ορθογώνιο παραλληλογράμμου σχήματος εξωτερικών διαστάσεων (L x W x H) 37cm x 27cm x 26cm, ωφέλιμων διαστάσεων 35 cm x 25cm x 15cm και συνολικού όγκου 13,1 L. Διαθέτει τρεις οπές στις οποίες έχουν προσαρμοστεί κάνουλες (είσοδος, έξοδος και εσωτερική ανακυκλοφορία). Η ανάδευση γινόταν με μηχανικό αναδευτήρα.



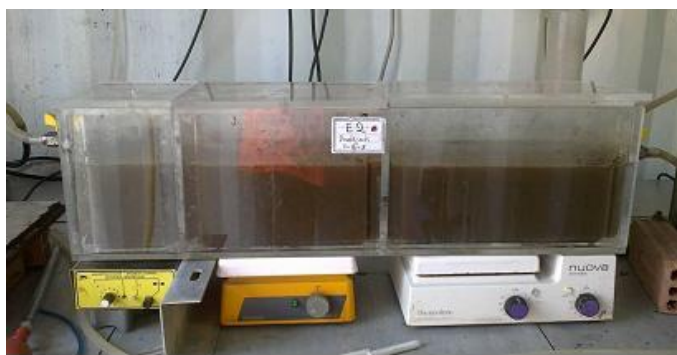
Εικόνα 3.7: Ανοξική 13,1 L (ANO13.1L)

Για την αποφυγή της εισροής οξυγόνου από την επιφάνεια η δεξαμενή διαθέτει καπάκι με οπή για να διέρχεται ο άξονας του αναδευτήρα. Χρησιμοποιήθηκε σε συνδυασμό με την αναερόβια δεξαμενή και στο σύνολο έχουν όγκο 15,5 L.

➤ Διαμερισματοποιημένη 13,1 L (ANOp13.1L)

Η δεξαμενή αυτή, χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα της 2<sup>ης</sup> φάσης, είναι ορθογώνιο παραλληλογράμμου σχήματος εξωτερικών διαστάσεων (L x W x H) 76,6cm x 17cm x 20cm. Η δεξαμενή είναι χωρισμένη σε τρία διαμερίσματα με τη βοήθεια δύο

επιφανειών από Plexiglas. Οι επιφάνειες αυτές φέρουν μόνο μία οπή που επιτρέπει τη ροή μεταξύ των τριών διαμερισμάτων και είναι στεγανές στη περιμέτρώ τους. Το πρώτο διαμέρισμα έχει όγκο 2,34 L (13cm x 15cm x 12cm), το δεύτερο 4,68 L (26cm x 15cm x 12cm) και το τρίτο 6,12 L (35cm x 15cm x 12cm). Η δεξαμενή διαθέτει τρεις οπές στις οποίες έχουν προσαρμοστεί κάνουλες (είσοδος, έξοδος και εσωτερική ανακυκλοφορία). Η ανάδευση αρχικά γινόταν με έναν μηχανικό και δύο μαγνητικούς αναδευτήρες και στη συνέχεια με τρεις μαγνητικούς λόγω βλάβης του μηχανικού. Για την αποφυγή της εισροής οξυγόνου από την επιφάνεια και τα τρία διαμερίσματα της δεξαμενής διαθέτουν καπάκι. Χρησιμοποιήθηκε σε συνδυασμό με την αναερόβια δεξαμενή και στο σύνολο έχουν όγκο 15,5 L.



**Εικόνα 3.8: Διαμερισματοποιημένη 13,1 L (ANOp13.1L)**

➤ **Ανοξική 15,5 L (ANO15.5L)**



Δεξαμενή ορθογώνιου παραλληλογράμμου σχήματος συνολικού όγκου 15,5 L. Διαθέτει έξι οπές στις οποίες έχουν προσαρμοστεί ακροσωλήνια (είσοδος, έξοδος και εσωτερική και εξωτερική ανακυκλοφορία και δύο εφεδρικές εξόδους by-pass). Η ανάδευση γινόταν με μηχανικό αναδευτήρα. Για την αποφυγή της εισροής οξυγόνου από την επιφάνεια η δεξαμενή διαθέτει καπάκι

**Εικόνα 3.9: Ανοξική 15,5 L (ANO15.5L)** με οπή για να διέρχεται ο άξονας του αναδευτήρα και οι στροφές είχαν ρυθμιστεί ανάλογα.

## ❖ Δεξαμενές Αερισμού

### ➤ Αερόβια 15,4 L (AEP15.4L)

Πρόκειται για δεξαμενή τετράγωνου σχήματος εξωτερικών διαστάσεων (L x W x H) 34,8cm x 34cm x 31cm. Η δεξαμενή αποτελείται από δύο επιμέρους διαμερίσματα ωφέλιμων διαστάσεων 16cm x 32cm x 15cm έκαστο και συνολικού όγκου 15,36 L.

Ο διαχωρισμός γίνεται από επιφάνεια Plexiglas (πάχους 0,8cm) η οποία στερεώνεται σε οδηγούς στο μέσο της δεξαμενής. Η επιφάνεια αυτή φέρει 5 οπές διαμέτρου 1cm, για την ανεμπόδιστη διέλευση του ρευστού, και δεν είναι στεγανά κολλημένη περιμετρικά. Ουσιαστικά με αυτό τον τρόπο δεν πρόκειται



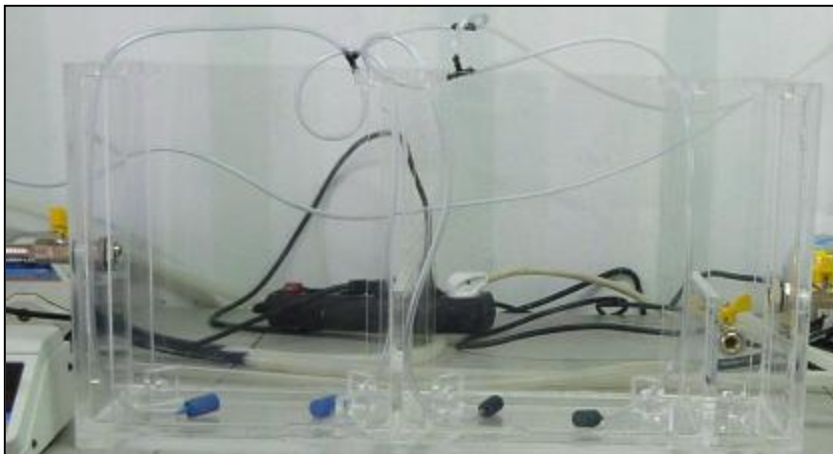
**Εικόνα 3.10: Αερόβια 15,4 L (AEP15.4L)**

για δύο ξεχωριστά διαμερίσματα. Διαθέτει δύο οπές διαμέτρου 1 cm στις οποίες έχουν προσαρμοστεί κάνουλες (είσοδος και έξοδος). Στο πυθμένα υπάρχουν βάσεις στήριξης για τα σωληνάκια που μεταφέρουν τον αέρα από τον αεροσυμπιεστή στη δεξαμενή. Συγκεκριμένα σε κάθε διαμέρισμα καταλήγει μια ομάδα από δύο σωληνάκια στην άκρη των οποίων υπάρχουν διαχύτες αέρα από πορώδες υλικό. Σε κάθε ομάδα έχει προσαρμοστεί βαλβίδα ελέγχου παροχής αέρα για την αυξομείωση της παροχής ανάλογα τη περίπτωση. Η ανάδευση γινόταν με την παροχή του αέρα.

### ➤ Αερόβια 10,7 L (AEP10.7L)

Πρόκειται για δεξαμενή ορθογώνιου παραλληλόγραμμου σχήματος εξωτερικών διαστάσεων (L x W x H) 59,6cm x 18cm x 31cm. Η δεξαμενή αποτελείται από τρία επιμέρους διαμερίσματα τα δύο από τα οποία έχουν ωφέλιμες διαστάσεις 25cm x 16cm x 12cm έκαστο, ενώ το τρίτο 6cm x 16cm x 12cm. Το τρίτο διαμέρισμα αρχικά είχε σχεδιαστεί για να συμπεριφέρεται ως διαμέρισμα απαερίωσης αλλά λόγω του μεγέθους δεν ήταν δυνατό να χρησιμοποιηθεί είτε μηχανικός είτε μαγνητικός αναδευτήρας οπότε τελικά χρησιμοποιήθηκε αέρας για την ανάδευση. Ο συνολικός όγκος των διαμερισμάτων είναι 10,75 L.

Τα διαμερίσματα αυτά χωρίζονται από επιφάνεια Plexiglas (πάχους 0,8cm) η οποία στερεώνεται σε οδηγούς στο μέσο της δεξαμενής. Η επιφάνεια αυτή φέρει τρεις οπές διαμέτρου 1cm, για την ανεμπόδιστη διέλευση του ρευστού, και δεν είναι στεγανά κολλημένη περιμετρικά. Ουσιαστικά με αυτό τον τρόπο δεν πρόκειται για τρία ξεχωριστά διαμερίσματα. Διαθέτει τρεις οπές διαμέτρου 1 cm στις οποίες έχουν προσαρμοστεί κάνουλες (είσοδος, έξοδος και εσωτερική ανακυκλοφορία). Στο πυθμένα υπάρχουν βάσεις στήριξης για τα σωληνάκια που μεταφέρουν τον αέρα από τον αεροσυμπιεστή στη δεξαμενή. Συγκεκριμένα σε κάθε διαμέρισμα, πέραν του τρίτου που καταλήγει ένα, καταλήγει μια ομάδα από δύο σωληνάκια στην άκρη των οποίων υπάρχουν διαχυτήρες πορώδους υλικού. Σε κάθε ομάδα έχει προσαρμοστεί βαλβίδα ελέγχου παροχής αέρα για την αυξομείωση της παροχής ανάλογα τη περίπτωση. Η ανάδευση γινόταν με την παροχή του αέρα.



**Εικόνα 3.11: Αερόβια 10,7 L (AEP10.7L)**

#### Δεξαμενή Τελικής Καθίζησης (ΔΤΚ)

Κάθε σύστημα περιλάμβανε μία δεξαμενή τελικής καθίζησης από Plexiglas. Κάθε δεξαμενή, κυλινδρικού σχήματος είχε εσωτερικές διαστάσεις (R x h) 120cm x 14cm, ενώ στο κάτω μέρος η δεξαμενή είχε σφηνοειδές σχήμα ώστε η κλίση (60° ως προς την οριζόντιο) να βοηθά την καθίζηση. Ο ωφέλιμος όγκος της δεξαμενής ήταν 18 L περίπου. Η δεξαμενή διέθετε συνολικά έξι οπές στις οποίες έχουν προσαρμοστεί





**Εικόνα 3.12:** Δεξαμενή Τελικής Καθίζησης (ΔTK).

ακροσωλήνια. Στο κάτω μέρος υπάρχουν δύο οπές από τις οποίες μόνο η μία είχε προσαρτημένη κάνουλα έτσι ώστε να επιτρέπει την ανακυκλοφορία της λάσπης. Επίσης ανοικτή ήταν και η ανώτερη οπή η οποία αποτελούσε την υπερχειλίση της δεξαμενής (προς τη δεξαμενή-παγίδα και στη συνέχεια στη δεξαμενή εξόδου) ενώ οι υπόλοιπες τέσσερις ήταν κλεισμένες με πώμα.

Εσωτερικά της δεξαμενής σωλήνα πλυντηρίου διαστάσεων (R x h) 4cm x 80cm είχε στηριχθεί έτσι ώστε να δέχεται το ανάμεικτο υγρό, μέσω

σωλήνα σιλικόνης διατομής 2cm, από τη δεξαμενή αερισμού και να το οδηγεί στο κάτω μέρος της δεξαμενής καθίζησης χωρίς να διαταράσσει την επιφάνεια της δεξαμενής. Πολλές φορές λόγω της απονιτροποίησης που λάμβανε χώρα στη δεξαμενή καθίζησης, ιλύος ανέβαινε στην επιφάνεια με αποτέλεσμα να βουλώνει την οπή υπερχειλίσης του διαυγασμένου. Για το λόγο αυτό τοποθετήθηκε στην επιφάνεια διαχυτήρες πορώδους υλικού έτσι ώστε να διαλύει την παχύρρευστη βιομάζα.

❖ Άλλες Δεξαμενές

➤ Δεξαμενή Τροφοδοσίας Λυμάτων (ΔΤΛ)

Η τροφοδοσία των λυμάτων γινόταν, με τη βοήθεια υποβρύχιας αντλίας, από το φρεάτιο συλλογής της εξόδου των δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης του Κ.Ε.Λ.

Ψυτάλειας και με σωλήνα οδηγούνταν σε άσπρη κυλινδρική δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης. Η κυλινδρική δεξαμενή αυτή είχε χωρητικότητα 100 L ενώ έφερε 3

οπές για την υπερχείλιση των λυμάτων (η μία εφεδρική), μία οπή για την απομάκρυνση των στερεών που καθιζάνουν και μία οπή στο πάνω μέρος της

δεξαμενής μέσα από την οποία περνάει η σωλήνα που φέρει τα λύματα από το φρεάτιο.



**Εικόνα 3.13: Σημείο τροφοδοσίας (αριστερά) και Δεξαμενή Τροφοδοσίας Λυμάτων (ΔΤΛ) (δεξιά)**

➤ Δεξαμενή Συγκέντρωσης Εκροής (ΔΣΕ)

Κάθε σύστημα διαθέτει μια δεξαμενή για να συγκεντρώνει την ημερήσια επεξεργασμένη εκροή του συστήματος. Οι δεξαμενές αυτές είχαν τοποθετηθεί στην εξωτερική πλευρά του container και

επικοινωνούσαν με τη ΔΤΚ του συστήματος με σωληνάκια. Για τον σκοπό αυτό ανοίχτηκαν τρύπες στο container. Πρόκειται για πλαστική δεξαμενή συνολικού όγκου περίπου 300 L και ωφέλιμου όγκου περίπου 100 L. Η δεξαμενή διαθέτει τρεις οπές, οι δυο που αφορούν την είσοδο (περίπου στα 120 L) και την έξοδο (περίπου 100 L) έχουν



**Εικόνα 3.14: Δεξαμενή Συγκέντρωσης Εκροής**

διάμετρο 2 cm ενώ στη τρίτη, με διάμετρο 10 cm, που βρίσκονταν κοντά στον πυθμένα είχε προσαρμοστεί βάνα για έλεγχο της ροής. Με αυτό τον τρόπο η δειγματοληψία ήταν αντιπροσωπευτική γιατί συλλέγονταν η εκροή όλου του 24ώρου.

Κάθε πρωί το περιεχόμενο των δεξαμενών αναδεύονταν με σκουπόξυλο και αφού λαμβάνονταν δείγμα η δεξαμενή εκκενωνόταν ανοίγοντας τη βάνα στη συνέχεια ανατρεπόταν. Στις περιπτώσεις που οι δεξαμενές αυτές περιείχαν μεγάλη ποσότητα βιομάζας, η τελευταία αποθηκευόταν προσωρινά σε δοχεία για επιστροφή στο σύστημα στη περίπτωση που ήταν αναγκαίο για τη διατήρηση του χρόνου παραμονής της βιομάζας στα επιθυμητά επίπεδα.

#### ➤ Κωνικές «Παγίδες» Στερεών (ΚΠΣ)

Για να αποφευχθεί η διαφυγή στερεών προς τη Δεξαμενή Συγκέντρωσης Εκροής, ανάμεσα στη τελευταία και τη ΔΤΚ τοποθετήθηκε γυάλινη κωνική δεξαμενή. Η συγκεκριμένη δεξαμενή δεχόταν την εκροή από την ΔΤΚ από ένα σωληνάκι ενώ από την οπή υπερχείλισης (προσαρτημένο ακροσωλήνιο), που βρισκόταν περίπου στα 3,5 L, η εκροή οδηγούνταν στη ΔΣΕ. Τα στερεά καθίζαναν και έτσι το διαυγασμένο υγρό υπερχείλιζε. Αρκετές φορές λόγω έντονης απονιτροποίησης διέφευγαν αρκετά στερεά τόσο από την ΔΤΚ όσο και από την παγίδα των στερεών τα οποία κατέληγαν στη ΔΣΕ. Κάθε πρωί που γίνονταν η συντήρηση του συστήματος τα στερεά που είχαν συγκεντρωθεί στις ΠΣ επιστρέφονταν στα συστήματα.



Εικόνα 3.15: Κωνικές Παγίδες Στερεών (ΚΠΣ)

➤ Δοχείο Χλωρίωσης (ΔΧ)



Εικόνα 3.16: Δοχείο Χλωρίωσης

Για τις ανάγκες των πειραμάτων της Γ' φάσης χρησιμοποιήθηκε διαβαθμισμένο πλαστικό μπιτόνι όγκου 10L το οποίο ονομάστηκε Δοχείο Χλωρίωσης (ΔΧ). Μέσα στο ΔΧ αποθηκεύονταν το διάλυμα χλωρίου (υποχλωριώδες Νάτριο, NaOCl. Στο κάτω μέρος της ΔΧ η διαβάθμιση ήταν πιο πυκνή (0,3 – 0,5 L) ενώ από τη μέση και επάνω αραιώνε (κάθε 1 L). Περισταλτική αντλία

χρησιμοποιήθηκε για την παροχή του διαλύματος χλωρίου προς την ανοξική δεξαμενή του ΠΣ. Το σωληνάκι σιλικόνης που ξεκίναγε από τον πάτο της ΔΧ κατέληγε στην ανοξική δεξαμενή από μια πλαϊνή οπή (ακροσωλήνιο) και βυθιζόταν στο ανάμεικτο υγρό για καλύτερη ανάμειξη. Για την αποφυγή της διάσπασης των ενώσεων του διαλύματος από το φώς η δεξαμενή καλυπτόταν με χαρτόκουτο.

### 3.4 ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Για τη συνεχή λειτουργία των δύο συστημάτων χρησιμοποιήθηκε ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός ο οποίος παρουσιάζεται παρακάτω. Επίσης παρουσιάζονται τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για τις χημικές αναλύσεις των λυμάτων.

❖ Μηχανισμοί ανάδευσης

Για την ανάδευση του ανάμεικτου υγρού χρησιμοποιήθηκαν, ανάλογα τις ανάγκες κάθε δεξαμενής, τόσο μηχανικοί όσο και μαγνητικοί αναδευτήρες. Οι μαγνητικοί αναδευτήρες ήταν της εταιρείας Thermo Scientific, τύπου Thermolyne – Cimarec 2 και χρησιμοποιήθηκαν στις αναερόβιες δεξαμενές καθώς και στη διαμερισματοποιημένη ανοξική δεξαμενή.

Για τις μεγαλύτερου όγκου δεξαμενές χρησιμοποιήθηκαν μηχανικοί αναδευτήρες των εταιρειών IKA (τύπου RW20 digital και RW20n) και Heidolph (τύπου RZR 2020). Αυτό συμβαίνει διότι οι μηχανικοί αναδευτήρες μπορούν να επιτύχουν έως και 1500 στροφές / λεπτό και έτσι



**Εικόνα 3.18: Μαγνητικός Αναδευτήρας**



**Εικόνα 3.17: Μηχανικός αναδευτήρας**

και υπάρχουν πολύ καλές συνθήκες μίξης στη δεξαμενή. Ωστόσο λόγω του ότι χρησιμοποιούνται κυρίως στις ανοξικές δεξαμενές η ταχύτητα περιστροφής τους κυμαίνονταν περίπου από 150 μέχρι 450 στροφές / λεπτό ανάλογα το μέγεθος της δεξαμενής διότι δεν πρέπει να δημιουργείται δύνη η οποία θα εισάγει αέρα στο εσωτερικό της υδατικής μάζας. Αρκετές φορές λόγω των προβλημάτων που παρουσίαζαν οι μηχανικοί αναδευτήρες αντικαθιστούνταν με μαγνητικούς προσωρινά ή γίνονταν οι απαραίτητες τροποποιήσεις για να την ορθή ανάδευση κάθε δεξαμενής.

#### ❖ Αντλίες

Για την παροχέτευση των πρωτοβάθμια επεξεργασμένων λυμάτων στη ΔΤΛ των 100 L χρησιμοποιήθηκε αντλία ακαθάρτων υδάτων της εταιρείας Amtech (τύπου Unique power) (**Εικόνα 3.19**) . Η συγκεκριμένη αντλία έχει μέγιστη παροχή  $7,5 \text{ m}^3 / \text{hr}$  και μπορεί να ανυψώσει τα λύματα σε ύψος 5 m. Για την τροφοδοσία των λυμάτων, από τη ΔΤΛ, στα συστήματα καθώς και τη κίνηση του ανάμεικτου



υγρού λόγω της εσωτερικής και εξωτερικής ανακυκλοφορίας και

**Εικόνα 3.19: Αντλία ακαθάρτων υδάτων (αριστερά) και περισταλτική Αντλία (αριστερά)**

χλωρίωσης (μόνο στη Γ' φάση) χρησιμοποιήθηκαν

περισταλτικές αντλίες. Οι αντλίες αυτές (Masterflex, τύπου Easy load) είχαν διπλές κεφαλές συνεπώς και στα δύο συστήματα οι παροχή ήταν ίδια. Οι αντλίες αυτές απαρτίζονται από δύο μέρη, την περισταλτική αντλία και το μηχανισμό ρύθμισης της παροχής (**Εικόνα 3.19**). Ο διακόπτης ρύθμισης της παροχής είναι αρκετά ευαίσθητος με αποτέλεσμα η παροχή να αλλάζει ακόμα και με το τράνταγμα ή μετακίνηση της αντλίας. Για το λόγο αυτό η παροχή μετρούνταν σε συχνά διαστήματα.

Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τρεις αντλίες:

- Αντλία Εισόδου: Μεταφορά των πρωτοβάθμια επεξεργασμένων λυμάτων από το βαρέλι αποθήκευσης χωρητικότητας 100 L προς τα δύο συστήματα εντός του κοντέινερ με παροχή  $Q = 100 \text{ L/d}$ . Σωληνάκια σιλικόνης, συνδεδεμένα με τα ειδικής αντοχής σωληνάκια της αντλίας, μετέφεραν τα λύματα από το βαρέλι στα συστήματα.
- Αντλία εσωτερικής ανακυκλοφορίας: Μεταφορά του ανάμεικτου υγρού από το τελευταίο διαμέρισμα (διαμέρισμα απαερίωσης) στο πρώτο διαμέρισμα της ανοξικής δεξαμενής σε κάθε σύστημα. Η παροχή της αντλίας ήταν περίπου  $1,9 Q$  δηλαδή 190 L/d.
- Αντλία εξωτερικής ανακυκλοφορίας (RAS): Μεταφορά της συμπυκνωμένης ιλύος από τον πάτο της δεξαμενής τελικής καθίζησης στην δεξαμενή εισόδου κάθε συστήματος με παροχή περίπου  $1,3 Q$  δηλαδή 130 L/d.
- Αντλία χλωρίωσης: Μεταφορά διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου ( $\text{NaOCl}$ ) προς την ανοξική δεξαμενή του ΠΣ. Η παροχή ανερχόταν στα 4,7 L/d. Λόγω της μικρής παροχής, η ρύθμισή της ήταν αρκετά δύσκολη και απαιτούσε λεπτούς χειρισμούς που δεν ήταν εφαρμόσιμοι.

## ❖ Σύστημα αερισμού

Η παροχή αέρα στις δεξαμενές αερισμού των πιλοτικών συστημάτων είναι αναγκαία. Ο αέρας στις δεξαμενές αερισμού έχει διττό ρόλο. Αφενός αποτελεί πηγή οξυγόνου για αερόφιλους μ/ούς και αφετέρου διατηρεί το σύνολο των στερεών σε αιώρηση (συνθήκες πλήρους μίξης) εντός των δεξαμενών αερισμού. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε αεροσυμπιεστής – αεροφυλάκιο, της εταιρείας



**Εικόνα 3.20: Αεροσυμπιεστής και αεροφυλάκιο.**

Topros, ο οποίος είχε τοποθετηθεί έξω από το container. Ο αέρας, αφού περνούσε από έναν μειωτήρα πίεσης, οδηγούταν με σωληνάκι στο εσωτερικό του container. Ο μειωτήρας, της εταιρείας Unitech (μοντέλο FRB14), είναι απαραίτητος καθώς η πίεση του αέρα από το αεροφυλάκιο είναι υψηλή και αυτός την περιόριζε περίπου στα 1,5 – 1,8 bar.



**Εικόνα 3.21: Μειωτήρας παροχής**

Στο σωληνάκι που μετέφερε αέρα στο εσωτερικό του container, στην άκρη, προσαρμόστηκε ταυ / διακλάδωση και χωρίστηκε η παροχή σε δύο γραμμές τροφοδοσίας αέρα στα δύο συστήματα μέσω «σωλήνα τροφοδοσίας οξυγόνου» που χρησιμοποιούν και στην ιατρική. Τα σωληνάκια αυτά ήταν είτε πλαστικά είτε σιλικόνης. Κάθε γραμμή τροφοδοσίας έχει εννέα απολήξεις σε διαχυτήρες πορώδους υλικού. Οι διαχυτήρες αυτοί είναι στερεωμένοι σε ειδικές βάσεις στο πυθμένα των δεξαμενών αερισμού. Σε κάθε διαμέρισμα των δεξαμενών κατέληγε μια ομάδα από σωληνάκια. Κάθε ομάδα είχε προσαρτημένη μια βαλβίδα ρύθμισης παροχής του αέρα η οποία χρησιμοποιείται όταν κρίνεται απαραίτητο.



**Εικόνα 3.22: Σωληνάκι σιλικόνης, ρυθμιστής παροχής, πορώδες διαχυτήρας (από αριστερά προς τα δεξιά)**

### 3.5 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

Για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων ήταν απαραίτητη η διεξαγωγή αναλύσεων σε συχνότητες που παρουσιάζονται στον **Πίνακα 3.7**.

**Πίνακας 3.7: Πρόγραμμα πειραματικών αναλύσεων**

<b>ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ</b>		
<b>Παράμετρος</b>	<b>Σημείο Μέτρησης</b>	<b>Συχνότητα</b>
<b>Θερμοκρασία και D.O.</b>	Αερόβιες δεξαμενές	Καθημερινά
<b>Ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS)</b>	Είσοδος, έξοδος συστημάτων και δεξαμενές β/α	Καθημερινά εκτός IN(2/εβδ)
<b>Πτητικά αιωρούμενα στερεά (VSS)</b>	Είσοδος, έξοδος συστημάτων και δεξαμενές β/α	2/ εβδομάδα
<b>Δείκτης καθιζηματικότητας ιλύος (DSVI)</b>	1 <sup>η</sup> αερόβια κάθε συστήματος	Καθημερινά
<b>tCOD</b>	Είσοδος και έξοδος συστημάτων	2/ εβδομάδα
<b>sCOD</b>	Είσοδος, έξοδος συστημάτων και δεξαμενές β/α	2/ εβδομάδα
<b>NO<sub>3</sub> - N</b>	Αναερόβια, ανοξική και 2 <sup>η</sup> αερόβια δεξαμενή	2/ εβδομάδα
<b>NH<sub>4</sub>-N</b>	Είσοδος και έξοδος συστημάτων	2/ εβδομάδα
<b>Μικροσκοπική παρατήρηση</b>	1 <sup>η</sup> αερόβια κάθε συστήματος	1-2/ εβδομάδα

Παρακάτω αναφέρεται η μεθοδολογία των αναλύσεων και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε στις αναλύσεις.



### 3.5.1 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΚΑΙ ΟΞΥΓΟΝΟ

Σημαντική παράμετρος για την ανάπτυξη της βιομάζας μέσα στο σύστημα είναι τόσο η θερμοκρασία όσο και η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου (D.O.). Η μέτρηση των παραμέτρων αυτών γινόταν με τη χρήση οξυγονομέτρου, με ενσωματωμένο θερμόμετρο, μοντέλο Oxi 330i της εταιρείας WTW (**Εικόνα 3.25**). Για αξιόπιστα αποτελέσματα γινόταν καθαρισμός και βαθμονόμηση του οργάνου ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Η διαδικασία της μέτρησης του D.O. και της θερμοκρασίας είναι απλή. Το ηλεκτρόδιο, αφού βγει από την αποθηκευτική θήκη, εμβαπτίζεται και ανακινείται αργά μέσα στις αερόβιες δεξαμενές των συστημάτων σε όρθια στάση. Όταν η ένδειξη σταθεροποιηθεί σχετικά ολοκληρώνεται η μέτρηση. Μετά το πέρας όλων των μετρήσεων το ηλεκτρόδιο πλένεται με απιονισμένο νερό και αφού σκουπιστεί με απορροφητικό χαρτί, αποθηκεύεται στη θήκη του, πάντα κάθετα με το οριζόντιο επίπεδο.

### 3.5.2 ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΚΑΙ ΠΤΗΤΙΚΑ ΣΤΕΡΕΑ

Η μέτρηση της συγκέντρωσης των ολικών αιωρούμενων στερεών και πτητικών αιωρούμενων στερεών έχει βάση της μεθόδου που περιγράφεται από το Standard Methods for Examination of Water and Wastewater.

Χρησιμοποιήθηκαν:

- Αναλυτικός ζυγός (των εταιρειών Kern και Ohaus)
- Φούρνος 103oC (της εταιρείας Binder)
- Πυραντήριο 550oC (της εταιρείας Nabertherm)
- Ξηραντήρας
- Ηθμοί GF/C διαμέτρου 4,7 cm (της εταιρείας Whatmann)
- Συσκευή διήθησης (της εταιρείας Whatmann)
- Αντλία κενού

**Ολικά Αιωρούμενα Στερεά (Total Suspended Solids)**

Διαδικασία μέτρησης:

- Προθέρμανση των ηθμών στους 103°C για τουλάχιστον μια ώρα (οι ηθμοί ήταν μονίμως αποθηκευμένοι στους 103°C) (Στη περίπτωση που έπρεπε να γίνει και μέτρηση των VSS οι ηθμοί προθερμαίνονταν στους 550°C για όση ώρα θα παρέμεναν και μετά τη διήθηση και ξήρανση)
- Ζύγιση ηθμών GF/C σε αναλυτικό ζυγό -  $m_{\eta\theta\mu\acute{o}\upsilon}$ , αφού περίμεναν στον ξηραντήρα για τουλάχιστον 5 λεπτά.
- Λήψη κατάλληλου όγκου δείγματος (προσαρμοζόταν ανάλογα την αναμενόμενη συγκέντρωση στερεών) με πιπέτα,  $V_{\delta\epsilon\acute{\iota}\gamma\mu\alpha\tau\omicron\varsigma}$ , και διήθηση του στη συσκευή διήθησης με τη βοήθεια της αντλίας κενού. (για ανάμεικτο υγρό με 3.5gr/L 5-10 mL είναι αρκετά, ενώ για καθαρή έξοδο (10-50 mg/L) πρέπει να διηθηθεί τουλάχιστον 100 mL.
- Τοποθέτηση των ηθμών σε βάση καλυμμένη με αλουμινόχαρτο, πάνω στην οποία είχαν σχεδιαστεί κατάλληλα ονοματισμένα πλαίσια για κάθε ηθμό, στα οποία αναγράφονταν το σημείο προέλευσης του δείγματος (π.χ. E1, C1).
- Τοποθέτηση των ηθμών (με τη βάση) στο φούρνο των 103oC για μία ώρα για να εξατμιστεί η υγρασία.
- Τοποθέτηση των φίλτρων στον ξηραντήρα μέχρι θερμοκρασία περιβάλλοντος
- Ζύγιση των ηθμών στον αναλυτικό ζυγό -  $m_{\eta\theta\mu\acute{o}\upsilon}^{103}$
- Προσδιορισμός των TSS από τον τύπο:

$$\text{MLSS (ή TSS) (mg/L)} = [m_{\eta\theta\mu\acute{o}\upsilon}^{103} \text{ (mg)} - m_{\eta\theta\mu\acute{o}\upsilon} \text{ (mg)}] / V_{\delta\epsilon\acute{\iota}\gamma\mu\alpha\tau\omicron\varsigma} \text{ (L)}$$

### Πτητικά Αιωρούμενα Στερεά (Volatile Suspended Solids)

Διαδικασία μέτρησης:

- Όπως αναφέρθηκε και πριν στη περίπτωση που γινόταν και μέτρηση των VSS οι ηθμοί προθερμαίνονταν στους 550°C για σχεδόν 20 λεπτά.
- Μετά τη ζύγιση ηθμών GF/C σε αναλυτικό ζυγό -  $m_{\eta\theta\mu\acute{o}\upsilon}^{103}$ , τοποθέτησή τους (χωρίς τη βάση από αλουμινόχαρτο αλλά με τη σειρά για να μην μπερδευτούν) στο πυραντήριο (550°C για 20 λεπτά).
- Εξαγωγή των ηθμών από το πυραντήριο, τοποθέτησή τους πάνω στη βάση από αλουμινόχαρτο και στη συνέχεια στον ξηραντήρα για 10 λεπτά.
- Ζύγιση των ηθμών στον ίδιο ζυγό-  $m_{\eta\theta\mu\acute{o}\upsilon}^{550oC}$
- Προσδιορισμός των VSS από τον τύπο:

$$\text{MLVSS (ή VSS) (mg/L)} = [m_{\eta\theta\mu\acute{o}\upsilon}^{103} \text{ (mg)} - m_{\eta\theta\mu\acute{o}\upsilon}^{550oC} \text{ (mg)}] / V_{\delta\epsilon\acute{\iota}\gamma\mu\alpha\tau\omicron\varsigma} \text{ (L)}$$

### 3.5.3 ΔΕΙΚΤΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΙΛΥΟΣ (SVI)

Ο SVI (Sludge Volume Index) είναι ο πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενος δείκτης για την εκτίμηση των χαρακτηριστικών καθιζησιμότητας της ενεργού ιλύος. Η μέτρηση του είναι μια απλή και γρήγορη διαδικασία. Για τον προσδιορισμό του είναι απαραίτητη η γνώση του αριθμού των MLSS (Mixed liquor Suspended Solids) η μέτρηση του οποίου, όπως περιγράφηκε παραπάνω, είναι το πλέον χρονοβόρο τμήμα στον υπολογισμό του SVI. Οι μονάδες του SVI δίνονται σε mL/gr MLSS και στην ουσία υποδεικνύουν πόσο όγκο καταλαμβάνει ποσότητα ανάμεικτου υγρού η οποία περιέχει 1 gr στερεών. Τιμές του SVI μικρότερες από 100-150 mL/gr MLSS υποδεικνύουν καλά χαρακτηριστικά καθιζησιμότητας.

Σύμφωνα με το πειραματικό πρωτόκολλο, λαμβάνεται δείγμα ανάμεικτου υγρού, όγκου 1 L ( $V_{\text{καθ}}$ ), τοποθετείται σε ογκομετρικό κύλινδρο του 1 L και αφήνεται να καθιζάνει σε συνθήκες ηρεμίας για 30 λεπτά. Μετά το πέρας του χρόνου μετράται ο όγκος ( $V_{\text{συμπ}}$ ) που καταλαμβάνει η συμπυκνωμένη βιομάζα. Η τιμή του SVI προκύπτει από τον ακόλουθο τύπο.

$$SVI \left( \frac{ml}{g} \right) = \frac{V_{\text{συμπ}} (ml)}{V_{\text{καθ}} (L) * MLSS \left( \frac{g}{L} \right)}$$

Σε περίπτωση κακής καθιζησιμότητας και υψηλής συγκέντρωσης στερεών στο υπό εξέταση ανάμεικτο υγρό, είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται ο δείκτης DSVI (Diluted Sludge Volume Index). Σε αυτή τη περίπτωση το υπό εξέταση δείγμα αραιώνεται (αριθμός αραιώσεων 'n') και η μέτρηση γίνεται όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Έτσι ο τύπος του DSVI που προκύπτει είναι ο εξής:

$$DSVI \left( \frac{ml}{g} \right) = \frac{V_{\text{συμπ}} (ml)}{V_{\text{καθ}} (L) * \frac{MLSS}{n} \left( \frac{g}{L} \right)}$$

Ο λόγος που προτιμάται το DSVI έναντι του SVI σε περιπτώσεις κακής καθιζησιμότητας είναι ότι τα αποτελέσματα του δευτέρου ενδέχεται να προκύπτουν πλασματικά ικανοποιητικά. Για παράδειγμα, έστω ένα δείγμα ανάμεικτου υγρού συγκέντρωσης 4 gr /L, το οποίο μετά από 30' ηρεμίας έχει μηδενική καθίζηση ( $V_{\text{καθ}} = 1L$ ). Το SVI σε αυτή τη περίπτωση προκύπτει:

$$SVI \left( \frac{ml}{g} \right) = \frac{1000 (ml)}{1 (L) * 4 \left( \frac{g}{L} \right)} = 250 \frac{ml}{g}$$

Η τιμή αυτή του SVI, παρόλο που στην πραγματικότητα δεν έχει καθιζάνει, δεν φαίνεται και τόσο αρνητική. Γενικότερα είναι προτιμητέο να γίνεται κατάλληλη αραιώση ώστε το καθιζάνον στρώμα να μην υπερβαίνει τον όγκο των 300 mL.

Στη παρούσα εργασία ανάλογα την κατάσταση της ενεργού ιλύος χρησιμοποιούταν αραιώση 1:1 (500mL βιομάζα: 500 mL νερό) και (600mL βιομάζα: 400 mL νερό), δηλαδή ο συντελεστής n = 2 και 1,66.

### 3.5.4 ΧΗΜΙΚΑ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΟΞΥΓΟΝΟ (Χ.Α.Ο. - COD)

Το COD ορίζεται ως η ποσότητα του διχρωμικού καλίου που καταναλώνεται για την οξείδωση των οργανικών ενώσεων που περιέχονται στο υπό εξέταση δείγμα. Η μέτρηση του COD διαρκεί περίπου δύο ώρες και πραγματοποιείται σε ιδιαίτερα όξινο περιβάλλον (50% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), σε θερμοκρασία 150°C και παρουσία Ag<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, που προστίθεται σαν καταλύτης για την αποτελεσματικότερη οξείδωση ορισμένων οργανικών ενώσεων. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, οι οργανικές ενώσεις οξειδώνονται σε CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> και το διχρωμικό ανιόν Cr<sup>+6</sup> (πορτοκαλί) σε χρωμικό Cr<sup>+3</sup> (πράσινο). Οι ενώσεις που παρουσιάζουν κάποιο μειωμένο ποσοστό οξείδωσης είναι πτητικά οργανικά οξέα που λόγω της πτητικότητάς τους δεν οξειδώνονται τόσο αποτελεσματικά. Για την καλύτερη οξείδωση αυτών των ενώσεων προστίθεται Ag<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Η διαφορά μεταξύ μέτρησης ολικού και διαλυτού COD έγκειται στο γεγονός ότι στο δεύτερο προηγείται διήθηση του δείγματος για κατακράτηση των μη διαλυτών στερεών.

Η μέτρηση του ολικού COD στηρίζεται στην εφαρμογή της μεθόδου που προτείνεται από του Standard Methods for Examination of Water and Wastewater.

Χρησιμοποιήθηκαν:

- Συσκευή χώνευσης φιαλιδίων (θερμοριάκτορας της εταιρείας HACH)
- Φιαλίδια LCK 514 της εταιρείας HACH με εύρος μέτρησης 150-2000 mg COD/L (High Range COD – HRCOD) και φιαλίδια LCK 314 της εταιρείας HACH LANGE με εύρος μέτρησης 50-150 mg COD/L (Low Range COD – LRCOD). Ανάλογα με τα αναμενόμενα επίπεδα COD σε κάθε δείγμα επιλέγονταν και το κατάλληλο από τα δύο παραπάνω αντιδραστήρια. Σε περίπτωση έλλειψης φιαλιδίων HRCOD γινόντουσαν αραιώσεις στο υπό ανάλυση δείγμα.
- Φασματοφωτόμετρο ορατού φωτός HACH DR 3800



Εικόνα 3.23: Φιαλίδια μέτρησης COD

Διαδικασία μέτρησης:

- Ανακίνηση του αντιδραστηρίου ώστε να έρθει σε αιώρηση το ίζημα που είχε καθιζάνει στον πυθμένα του.
- Προσεκτικό άνοιγμα του πώματος του αντιδραστηρίου και τοποθέτηση 2 ml δείγματος σε αυτό με μηχανική πιπέτα. Εάν η συγκέντρωση COD του υπό εξέταση δείγματος αναμενόταν να είναι πάνω από το όριο μέτρησης του αντιδραστηρίου, το δείγμα αραιωνόταν με απεσταγμένο νερό(άρτιος αριθμός αραιώσεων n) και 2 ml αραιωμένου δείγματος.
- Κλείσιμο πώματος και ανακίνηση του φιαλιδίου (ανάπτυξη θερμοκρασίας λόγω ανάμειξης αντιδραστηρίων και δείγματος)
- Θέρμανση στη συσκευή χώνευσης για 2 h σε θερμοκρασία 150oC
- Αφαίρεση από τη συσκευή χώνευσης και τοποθέτηση του φιαλιδίου σε κατάλληλη βάση μέχρι να έρθει σε θερμοκρασία δωματίου
- Καθαρισμός του φιαλιδίου με ακετόνη
- Τοποθέτηση του φιαλιδίου στο φασματοφωτόμετρο HACH DR 3800 και ανάγνωση της μέτρησης του COD
- Στη περίπτωση που είχε προηγηθεί αραιώση, το αποτέλεσμα της τιμής πολλαπλασιαζόταν με το συντελεστή αραιώσης ώστε να προκύψει η πραγματική τιμή COD στο αρχικό δείγμα

Τα δείγματα της μέτρησης του COD συγκεντρώνονταν, στο χώρο φιλοξενίας των δύο συστημάτων, σε πλαστικά δοχεία. Στα δείγματα διαλυτού COD προηγούνταν διήθηση, ακριβώς μετά τη δειγματοληψία, με χρήση ηθμών της εταιρείας Whatman με πόρους διαμέτρου 0,45 μm. Στη συνέχεια τα δείγματα μεταφέρονταν στο χημείο του Κ.Ε.Λ.Ψ. και διεξαγόταν ανάλυση. Στη περίπτωση που ανάλυση δεν ήταν δυνατό να συμβεί εκείνη την ώρα τα δείγματα αποθηκεύονταν σε ψυγείο στους 4οC.

### 3.5.5 ΝΙΤΡΙΚΟ ΑΖΩΤΟ ( $\text{NO}_3^- - \text{N}$ )

Αρχικά η μέτρηση του  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  γινόταν με τη χρήση σκόνης καδμίου-θεικού χαλκού για πέντε εβδομάδες. Στη συνέχεια όμως λόγω προβλημάτων αξιοπιστίας της μεθόδου, αποφασίστηκε να συνεχιστούν οι αναλύσεις με τη χρήση έτοιμων αντιδραστηρίων της εταιρείας Hach- Lange. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων των πρώτων πέντε εβδομάδων απορρίφθηκαν.



Εικόνα 3.24: Κιτ μέτρησης  
Νιτρικού αζώτου

Η αρχή της μέτρησης βασίζεται στο γεγονός ότι τα νιτρικά ιόντα σε διαλύματα που περιέχουν θειικό και φωσφορικό οξύ αντιδρούν με την 2,6-διμέθυλοφαινόλη προς σχηματισμό 4-νίτρο -2,6-διμέθυλφαινόλης. Το εύρος μέτρησης των χρησιμοποιούμενων αντιδραστηρίων (Nitrate LCK 339) ήταν από 0,23 έως 13,5 mg  $\text{NO}_3\text{-N/L}$ .

Χρησιμοποιήθηκαν:

- Φιαλίδια LCK 339 της εταιρείας HACH
- Αντιδραστήριο LCK 339 A
- Φασματοφωτόμετρο ορατού φωτός HACH DR 3800

Ακολούθως περιγράφονται τα βήματα της πειραματικής διαδικασίας.

- Λήψη και διήθηση δειγμάτων (προς αποφυγή της απονιτροποίησης μέχρι την διεξαγωγή της μέτρησης) με χρήση μεμβρανών Whatman με πόρους, διαμέτρου 0,45 μm. Η διήθηση γινόταν στο container και στη συνέχεια τα δείγματα είτε χρησιμοποιούνταν για τις αναλύσεις επιτόπου είτε

αποθηκεύονται σε ψυγείο του χημείου για μελλοντική ανάλυση είτε μεταφέρονταν στο Ε.Υ.Τ.. Κατά τη Α' και Β' φάση όλες οι αναλύσεις έγιναν στο Ε.Υ.Τ. ενώ κατά την Γ' φάση όλες έγιναν στο χημείο του Κ.Ε.Λ.Ψ..

- Προσεκτικό άνοιγμα του πώματος του αντιδραστηρίου και τοποθέτηση 1 ml δείγματος σε αυτό με μηχανική πιπέτα. Σε περίπτωση που η συγκέντρωση του υπό εξέταση δείγματος αναμενόταν να είναι πάνω από το όριο μέτρησης γινόταν αραιώση στο αρχικό δείγμα με απεσταγμένο νερό (άρτιος αριθμός αραιώσεων “n”) και αντίστοιχα γινόταν 1 ml αραιωμένου δείγματος.
- Τοποθέτηση 0,2 ml του διαλύματος LCK 339 A με μηχανική πιπέτα.
- Κλείσιμο του πώματος και ανακίνηση φιαλιδίου.
- Τοποθέτηση του δείγματος σε βάση και αναμονή 15' για την ολοκλήρωση της αντίδρασης
- Καθαρισμός φιαλιδίου με ακετόνη
- Τοποθέτηση του φιαλιδίου στο φασματοφωτόμετρο HACH DR 3800 και ανάγνωση της μέτρησης NO<sub>3</sub>-N
- Εάν έχει προηγηθεί αραιώση, πολλαπλασιασμός της τιμής που μετρήθηκε στο αραιωμένο δείγμα με το συντελεστή αραιώσης ώστε να προκύψει η τιμή του NO<sub>3</sub>-N στο αρχικό δείγμα.

### **3.5.6 ΡΥΘΜΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΟΞΥΓΟΝΟΥ (OUR)**

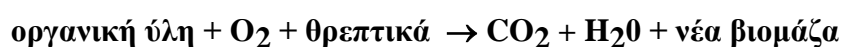
Το τεστ αποξυγόνωσης (OUR) μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές και κυρίως στη κλασματοποίηση του οργανικού φορτίου των λυμάτων, στον προσδιορισμό της μέγιστης δραστηριότητας ετεροτροφικών βακτηριδίων στην ενεργό ιλύ, στον βαθμό σταθεροποίησης της βιομάζας καθώς και στον προσδιορισμό πιθανής τοξικότητας βιομηχανικών λυμάτων σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων.

Στην συνέχεια περιγράφεται η χρήση του τέστ για τον προσδιορισμό της τοξικότητας λυμάτων. Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη εργαστηριακή άσκηση, με μικρές αλλαγές η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τις υπόλοιπες εφαρμογές που αναφέρθηκαν στην παραπάνω παράγραφο.

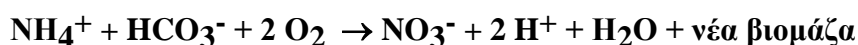


Η μέθοδος μέτρησης OUR αποσκοπεί στη μέτρηση της ταχύτητας κατανάλωσης οξυγόνου από μικροοργανισμούς για την ικανοποίηση των αναγκών της ενδογενούς αναπνοής, της οξείδωσης οργανικής ύλης από ετεροτροφικούς οργανισμούς και την οξείδωση αμμωνίας από αυτοτροφικά βακτηρίδια. Κατά την επεξεργασία των λυμάτων υπό αερόβιες συνθήκες οι κυριότερες αντιδράσεις που συμβάλλουν στην κατανάλωση οξυγόνου είναι οι ακόλουθες:

Ετεροτροφικά βακτήρια:



Αυτοτροφικά βακτήρια:



Στη περίπτωση τοξικότητας των λυμάτων επειδή παρατηρείται αναχαίτιση των βιολογικών διεργασιών αναμένεται μείωση του ρυθμού κατανάλωσης οξυγόνου. Η μείωση του ρυθμού κατανάλωσης οξυγόνου που παρατηρείται στη περίπτωση επεξεργασίας τοξικών λυμάτων σε σχέση με μη τοξικά λύματα αποτελεί τον βαθμό τοξικότητας των υπόψη λυμάτων.

Το τεστ πραγματοποιείται σε εργαστηριακούς αντιδραστήρες διακοπτόμενων κύκλων λειτουργίας (batch) όπου βιομάζα και αραιώσεις των επικινδύνων αποβλήτων με μη τοξικά λύματα αναμειγνύονται και αερίζονται. Συνήθως χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ταχύτητας κατανάλωσης οξυγόνου που αντιστοιχεί στην διάσπαση του οργανικού άνθρακα. Για τον λόγο αυτό προσθέτουμε thiourea για την πλήρη αναχαίτιση της νιτροποίησης ώστε η κατανάλωση οξυγόνου που παρατηρούμε να προκαλείται αποκλειστικά από ετεροτροφικά βακτηρίδια.

Η μέτρηση του OUR στηρίζεται στην εφαρμογή της μεθόδου όπως αυτή προτείνεται από τον Μαμάη Δ. (2009).

Χρησιμοποιήθηκαν τα κάτωθι όργανα:

- δοχεία ενός λίτρου
- μπουκάλια BOD (βιοχημικά απαιτούμενα οξυγόνο)
- οξυγονόμετρο (ηλεκτρόδιο μέτρησης συγκέντρωσης διαλυμένου οξυγόνου)

- μαγνητικός αναδευτήρας
- θερμόμετρο
- όργανο μέτρησης pH
- όργανο μέτρησης αιωρούμενων και πτητικών στερεών

Διαδικασία μέτρησης:

- Βιομάζα από εγκατάσταση βιολογικού καθαρισμού αστικών λυμάτων μεταφέρεται σε δοχείο όπου ρυθμίζεται η θερμοκρασία της στους 20°C περίπου και αερίζεται ώστε το διαλυμένο οξυγόνο να μην είναι χαμηλότερο των 4 mg/L. Τα ετεροτροφικά βακτηρίδια δεν είναι πολύ ευαίσθητα στο pH και το pH μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 7-9.
- Προσθέτουμε thiourea που να αντιστοιχεί σε 10-12 mg/L στο τελικό μείγμα βιομάζας και λυμάτων.
- Προτού αναμειξουμε τα λύματα με την βιομάζα μετρούμε την ταχύτητα αποξυγόνωσης που αντιστοιχεί στην ενδογενή φάση ανάπτυξης των βακτηριδίων.
- Στην συνέχεια αναμειγνύουμε την βιομάζα και μη τοξικά λύματα και μετρούμε με οξυγονόμετρο την ταχύτητα αποξυγόνωσης.
- Επαναλαμβάνουμε την ανωτέρω διαδικασία προσθέτοντας βιομάζα και διάφορες αραιώσεις των τοξικών αποβλήτων με αστικά μη τοξικά λύματα. Για κάθε δόση προσδιορίζουμε τον αντίστοιχο ρυθμό αποξυγόνωσης και υπολογίζουμε τον λόγο του ρυθμού αποξυγόνωσης με τοξικά απόβλητα προς τον ρυθμό αποξυγόνωσης με μη τοξικά αστικά λύματα, που χρησιμοποιείται για το προσδιορισμό του βαθμού τοξικότητας των τοξικών αποβλήτων (βαθμός τοξικότητας =  $1 - \text{OUR}_{\text{τοξ. λυμ.}} / \text{OUR}_{\text{λυμ.}}$ ).
- Κατά την διάρκεια του τεστ απαιτείται η μέτρηση των αιωρούμενων και πτητικών στερεών ώστε να είναι δυνατή η αναγωγή της ταχύτητας αποξυγόνωσης ανά γραμμάριο πτητικών στερεών (mgO<sub>2</sub>/gVSS-hr).

### 3.5.7 ΡΥΘΜΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΑΜΜΩΝΙΑΣ (AUR)

Το τεστ νιτροποίησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές και κυρίως στον προσδιορισμό της δραστηριότητας των αυτοτροφικών βακτηριδίων στην ενεργό ιλύ. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό πιθανής τοξικότητας βιομηχανικών λυμάτων σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων.

Στην συνέχεια περιγράφεται η χρήση του τέστ για τον προσδιορισμό τοξικότητας βιομηχανικών αποβλήτων. Με μικρές αλλαγές η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε άλλες εφαρμογές.

Το τεστ πραγματοποιείται σε εργαστηριακούς αντιδραστήρες διακεκομένων κύκλων λειτουργίας (batch) όπου βιομάζα και αραιώσεις των επικινδύνων αποβλήτων με αστικά μη τοξικά λύματα αναμειγνύονται και αερίζονται. Προσθέτουμε αμμωνία και μετρούμε κατα τακτά χρονικά διαστήματα την συγκέντρωση της αμμωνίας και του νιτρικού και νιτρώδους αζώτου. Η βασική αρχή λειτουργίας της μεθόδου δίδεται στο σχήμα.

Η μέτρηση του AUR στηρίζεται στην εφαρμογή της μεθόδου όπως αυτή προτείνεται από τον Μαμάη Δ. (2009).

Χρησιμοποιήθηκαν τα κάτωθι όργανα:

- δοχεία ενός λίτρου
- φίλτρα (GF/A)
- συσκευή για φιλτράρισμα δειγμάτων
- συσκευή για ανάλυση αμμωνιακού, νιτρικού + νιτρώδους αζώτου
- οξυγονόμετρο (ηλεκτρόδιο μέτρησης συγκέντρωσης διαλυμένου οξυγόνου)
- μαγνητικός αναδευτήρας
- θερμόμετρο
- όργανο μέτρησης pH
- όργανο μέτρησης αιωρούμενων και πτητικών στερεών

Η διαδικασία έχει ως εξής:

- Βιομάζα από εγκατάσταση βιολογικού καθαρισμού αστικών λυμάτων μεταφέρεται σε δοχείο όπου ρυθμίζεται η θερμοκρασία της στους 20°C περίπου και αερίζεται ώστε το διαλυμένο οξυγόνο να μην είναι χαμηλότερο των 4 mg/L. Η επιθυμητή συγκέντρωση στερεών επιτυγχάνεται με αραιώση με απεσταγμένο νερό. Τα νιτροποιητικά βακτηρίδια είναι ευαίσθητα στο pH και το pH πρέπει να

κυμαίνεται μεταξύ 7-8.5. Για την ρύθμιση του pH προτείνεται χρήση οξίνου ανθρακικού νατρίου ( $\text{NaHCO}_3$ ).

- Προσθέτουμε αμμωνιακό άζωτο (χλωριούχο αμμώνιο) ώστε να έχουμε μια αρχική συγκέντρωση της τάξης των 20-30 mgN/L.
- Στην συνέχεια αναμειγνύουμε την βιομάζα και μή τοξικά λύματα. Παίρνουμε δείγματα κάθε 20 λεπτά και αμέσως τα φιλτράρουμε ώστε να αποφύγουμε περαιτέρω νιτροποίηση μέχρι την ανάλυση των δειγμάτων. Αναλύουμε τα δείγματα ως προς τη συγκέντρωση νιτρικών και νιτρωδών. Η διάρκεια του τεστ πρέπει να είναι αρκετή ώστε να πάρουμε μια καλή εκτίμηση της ταχύτητας νιτροποίησης (80-150 min).
- Επαναλαμβάνουμε την ανωτέρω διαδικασία προσθέτοντας βιομάζα και διάφορες αραιώσεις των τοξικών αποβλήτων με αστικά μη τοξικά λύματα. Για κάθε δόση προσδιορίζουμε τον αντίστοιχο ρυθμό νιτροποίησης και υπολογίζουμε τον λόγο του ρυθμού νιτροποίησης με τοξικά απόβλητα προς τον ρυθμό νιτροποίησης με μη τοξικά αστικά λύματα, που αποτελεί τον βαθμό τοξικότητας των τοξικών αποβλήτων. Κατά την διάρκεια του τεστ απαιτείται η μετρηση των αιωρούμενων και πτητικών στερεών ώστε να είναι δυνατή η αναγωγή της ταχύτητας νιτροποίησης ανά γραμμάριο πτητικών στερεών (mgN/gVSS-hr). Επίσης πρέπει να μετρούνται περιοδικά η θερμοκρασία και το pH.

Η ταχύτητα νιτροποίησης υπολογίζεται από την μεταβολή στην συγκέντρωση του νιτρικού αζώτου κατά την διάρκεια του πειράματος όπως φαίνεται στο σχήμα. Η μεταβολή της συγκέντρωσης αμμωνίας μετριέται επίσης αλλά δεν χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της νιτροποίησης καθώς τμήμα της αμμωνίας καταναλώνεται για την ανάπτυξη βακτηριδίων. Συνήθως η μεταβολή της συγκέντρωσης αμμωνίας και νιτρικού αζώτου ακολουθεί γραμμική σχέση. Η κλίση της ευθείας στο διάγραμμα δίνει την ταχύτητα νιτροποίησης της βιομάζας (mgN/gVSS-hr).

### 3.5.8 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

#### ❖ ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΟ - ΟΞΥΓΟΝΟΜΕΤΡΟ

Σημαντική παράμετρος για την ανάπτυξη της βιομάζας μέσα στο σύστημα είναι τόσο η θερμοκρασία όσο και η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου (D.O.). Η μέτρηση των παραμέτρων αυτών γινόταν με τη χρήση οξυγονομέτρου, με ενσωματωμένο θερμόμετρο, μοντέλο Oxi 330i της εταιρείας WTW. Για αξιόπιστα αποτελέσματα γινόταν καθαρισμός και βαθμονόμηση του οργάνου ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Η διαδικασία της μέτρησης του D.O. και της θερμοκρασίας είναι απλή. Το ηλεκτρόδιο, αφού βγει από την αποθηκευτική θήκη, εμβαπτίζεται και ανακινείται αργά μέσα στις αερόβιες δεξαμενές των συστημάτων σε όρθια στάση. Όταν η ένδειξη σταθεροποιηθεί σχετικά ολοκληρώνεται η μέτρηση. Μετά το πέρας όλων των μετρήσεων το ηλεκτρόδιο πλένεται με απιονισμένο νερό και αφού σκουπιστεί με απορροφητικό χαρτί, αποθηκεύεται στη θήκη του, πάντα κάθετα με το οριζόντιο επίπεδο.



Εικόνα 3.25: Θερμόμετρο - Οξυγονόμετρο

#### ❖ ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΙ ΖΥΓΟΙ



Εικόνα 3.26:  
Αναλυτικός ζυγός

Λόγω του ότι τα πειράματα έγιναν στην Ψυττάλεια χρησιμοποιήθηκαν οι αναλυτικοί ζυγοί του χημείου. Οι αναλυτικοί ζυγοί χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση της μάζας των ηθμών και άλλων αντικειμένων. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν δύο ζυγοί, ο ένας είναι της εταιρείας Kern και ο άλλος της εταιρείας Ohaus. Για λόγους αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων καθημερινά γινόταν βαθμονόμηση.

## ❖ ΦΟΥΡΝΟΣ, ΠΥΡΑΝΤΗΡΙΟ, ΞΗΡΑΝΤΗΡΑΣ

Για τις ανάγκες των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκε φούρνος και πυραντήριο που υπάρχουν στο χημείο του Κ.Ε.Λ. Ψυττάλειας. Για τη μέτρηση των ολικών αιωρούμενων στερεών (Total Suspended Solids, TSS) χρησιμοποιήθηκε φούρνος της εταιρείας Binder (σταθερή θερμοκρασία στους 103 οC), ενώ για τη μέτρηση των πτητικών αιωρούμενων στερεών (Volatile Suspended Solids, VSS) χρησιμοποιήθηκε πυραντήριο (σταθερή θερμοκρασία στους 550 οC) της εταιρείας Nabetherm, μοντέλο controller b170. Οι ηθμοί, αφού έβγαιναν από το φούρνο ή το πυραντήριο, αποθηκεύονταν προσωρινά, μέχρι να ζυγιστούν, σε ξηραντήρα. Ο ξηραντήρας είναι ένα κλειστό δοχείο το οποίο στο πυθμένα του περιέχει ξηραντικά υλικά έτσι ώστε να τραβάνε την υγρασία και να διατηρούνται τα προς αποθήκευση αντικείμενα ξηρά. Με αυτό τον τρόπο η ζύγιση των αντικειμένων είναι ακριβέστερη, λόγω του περιορισμού των σφαλμάτων.



Εικόνα 3.27: Φούρνος, πυραντήριο και ξηραντήρας (από αριστερά προς τα δεξιά)

## ❖ ΣΥΣΚΕΥΗ ΔΙΗΘΗΣΗΣ

Η συσκευή διήθησης που χρησιμοποιήθηκε είναι της εταιρείας Whatman. Η βάση της αποτελείται από μία κωνική φιάλη η οποία διαθέτει οπή με πλαστικό ακροσωλήνιο για τη σύνδεση με αντλία κενού. Στο επάνω μέρος προσαρμόζεται λαστιχένιο πώμα που φέρει οπή μέσα από την οποία περνάει γυάλινο στέλεχος της βάσης στήριξης του ηθμού/ μεμβράνης. Στη βάση στήριξης του ηθμού εφάπτεται γυάλινη διάταξη στην οποία παραμένει το προς διήθηση υγρό. Η αντλία κενού έχει δυνατότητα

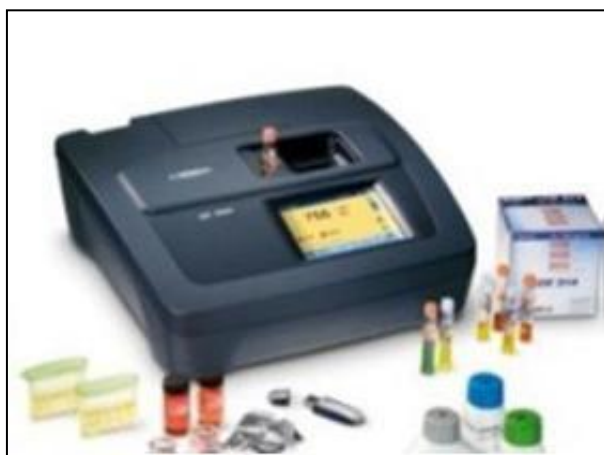


Εικόνα 3.28: Συσκευή διήθησης και αντλία κενού

ρύθμισης της παροχής. Στη περίπτωση που πρέπει να ληφθεί διήθημα τοποθετείται στο εσωτερικό της κωνικής πλαστικό ογκομετρικός κύλινδρος.

### ❖ ΦΑΣΜΑΤΟΦΩΤΟΜΕΤΡΟ

Για τον προσδιορισμό των τιμών COD, sCOD, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub> χρησιμοποιήθηκε φασματοφωτόμετρο DR 3800, ένα από τα πιο σύγχρονα μοντέλα της εταιρείας Hach.



Εικόνα 3.29: Φασματοφωτόμετρο Hach DR 2800

Διαθέτει εσωτερικές καμπύλες βαθμονόμησης με αποτέλεσμα να μην απαιτείται η δημιουργία καμπυλών με χρήση δειγμάτων γνωστής συγκέντρωσης.

Προσδιορίζει την απορρόφηση του δείγματος και μέσω εσωτερικής καμπύλης βαθμονόμησης τη

μετατρέπει σε συγκέντρωση (mg/L), την οποία την εμφανίζει στην οθόνη

του (ισχύει και για τις τέσσερις μετρήσεις). Είναι βέβαια εφικτή και η ανάγνωση των τιμών απορρόφησης (ABS). Επιπλέον, στο συγκεκριμένο όργανο, δεν χρειάζεται να οριστεί από τον αναλυτή το μήκος κύματος διότι με τη εισαγωγή του φιαλιδίου μπορεί να “διαβάσει” το barcode που φέρει το κάθε φιαλίδιο, αντιλαμβάνεται περί ποιιάς μέτρησης πρόκειται, με αποτέλεσμα να εφαρμόζει τις κατάλληλες ρυθμίσεις. Σε περιπτώσεις που χρησιμοποιείται παλαιότερο φιαλίδιο χωρίς barcode ο χρήστης ρυθμίζει το μήκος κύματος. Τέλος το φιαλίδιο περιστρέφεται αυτόματα και λαμβάνεται δείγμα από οκτώ διαφορετικά σημεία (αποτέλεσμα είναι η μέση τιμή των μετρήσεων) έτσι ώστε να αποφεύγονται σφάλματα λόγω π.χ. ενδεχομένων ακαθαρσιών στα φιαλίδια.

Την ίδια συσκευή διέθετε και το Ε.Υ.Τ. στο οποίο έγιναν οι μετρήσεις της Α' και Β' φάσης. Οι μετρήσεις της Γ' φάσης έγιναν αποκλειστικά στο χημείο του Κ.Ε.Λ.Ψ. και χρησιμοποιήθηκε η εσωτερική καμπύλη του οργάνου. Για τον έλεγχο λαμβάνονταν

και οι τιμές της απορρόφησης για κάθε δείγμα και χρησιμοποιούνταν στις εξισώσεις των καμπυλών που είχαν αναπτυχθεί στο Ε.Υ.Τ..

#### ❖ ΣΥΣΚΕΥΗ ΧΩΝΕΥΣΗΣ

Η συσκευή χώνευσης φιαλιδίων που χρησιμοποιήθηκε είναι της εταιρείας Hach. Είναι ένα μηχάνημα που φέρει θερμαινόμενη μεταλλική πλάκα που φέρει οπές στις οποίες τοποθετούνται τα φιαλίδια μέτρησης του COD. Διαθέτει ρυθμιζόμενο χρονόμετρο έτσι ώστε να διακόπτει τη λειτουργία του στον επιθυμητό χρόνο. Επίσης διαθέτει διακόπτη για αυτόματο περιορισμό της θερμοκρασίας της πλάκας στους 150οC. Χωράει 25 φιαλίδια τα οποία τοποθετούνται αφού ανακινηθούν καλά και αναπτύξει η πλάκα θερμοκρασία.



**Εικόνα 3.30: Συσκευή χώνευσης φιαλιδίων COD.**



## **4 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ**

Για τους σκοπούς της έρευνας στήθηκαν δύο πιλοτικά συστήματα στο χώρο του Κ.Ε.Λ.Ψυττάλειας. Τα δύο αυτά συστήματα φιλοξενήθηκαν σε container και τροφοδοτούνταν με πρωτοβάθμια επεξεργασμένα λύματα. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε τρεις φάσεις και διήρκησαν 175 ημέρες (19/10/2011-11/4/2012). Σε κάθε φάση λειτουργούσαν δύο συστήματα, ένα ελέγχου (ΣΕ - control) και ένα πειραματικό (ΠΣ - experimental) τα οποία είχαν συνολική χωρητικότητα ίδια και μοιράζονταν τις ίδιες αντλίες

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα από τις τρεις φάσεις πειραμάτων (Φάση Α', Β' και Γ') που πραγματοποιήθηκαν. Πρέπει να επισημανθεί ότι η επεξεργασία των δεδομένων της Α' Φάσης καθώς και ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων παραθέτονται αναλυτικά σε άλλη πτυχιακή εργασία (Μαθιός, 2012) που διεξήχθη παράλληλα. Λόγω του ότι η εργασία αυτή είναι η τελευταία ενός ερευνητικού κύκλου θα παρατεθούν συνοπτικά τα κυρίως αποτελέσματα και από προηγούμενες εργασίες (Καγιά, 2011; Μαθιός, 2012) από τον κύκλο αυτό. Για την πληρέστερη αξιολόγηση του συνόλου των αποτελεσμάτων και των τριών εργασιών θα γίνει και σχολιασμός των συγκεντρωτικών γραφημάτων που αφορούν συνολικά τη διερεύνηση της δυνατότητας εφαρμογής ειδικών και μη ειδικών μεθόδων ελέγχου νηματοειδούς διόγκωσης σε ΕΕΛ.

Στην αρχή της κάθε Φάσης λειτουργία θα γίνεται μια σύντομη περιγραφή των συστημάτων και των παραμέτρων λειτουργίας τους. Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν και θα σχολιαστούν οι πίνακες και τα γραφήματα που προκύπτουν από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων.

### **4.1 Α' ΦΑΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ**

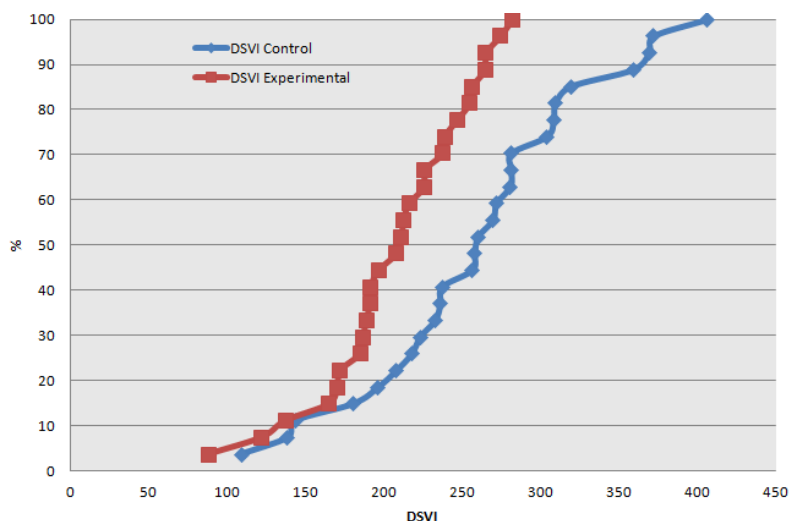
Για τις ανάγκες του πειράματος, κατασκευάστηκε διάταξη συστήματος ενεργού ιλύος με αναερόβιο επιλογέα-ανοξική-αερόβιες δεξαμενές και δεξαμενή τελικής καθίζησης (πειραματικό σύστημα), και ένα δεύτερο σύστημα ελέγχου το οποίο λειτουργούσε με την ίδια διάταξη αλλά χωρίς επιλογέα. Στόχος του πειράματος είναι 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. 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. Λόγω προβλημάτων κατά το πρώτο μήνα λειτουργίας όλες οι τιμές των μετρήσεων των παραμέτρων απορρίφθηκαν οπότε ουσιαστικά η περίοδος λειτουργίας της Α' Φάσης ήταν από 19 Νοέμβρη έως 31 Δεκέμβρη του 2011. Τα δύο συστήματα λειτούργησαν σε όλη τη διάρκεια του πειράματος με επακριβώς ίδιες λειτουργικές συνθήκες :

- Παροχές εισόδου (100L/d), εσωτερικής (210L/d) και εξωτερικής (180L/d) ανακυκλοφορίας,
- Χρόνος παραμονής στερεών θε (8d),
- Είσοδος λυμάτων (κοινά χαρακτηριστικά),
- Καθεστώς ροής λυμάτων (δεξαμενές χωρίς διαμερίσματα και κοινοί αερόβιοι και ανοξικοί όγκοι)

Σύμφωνα με τον Μαθιός (2012) η οργανική φόρτιση (OL) στο πειραματικό σύστημα ήταν 5,59 mg COD/mg MLSS/d και 0,92 mg COD/mg MLSS/d για την αναερόβια και την ανοξική δεξαμενή αντίστοιχα. Για το σύστημα ελέγχου η οργανική φόρτιση ήταν 0,85 mg COD/mg MLSS/d στην ανοξική δεξαμενή. Όπως φαίνεται ασκήθηκε η αναγκαία κινητική και μεταβολική πίεση.

Η συγκριτικά καλύτερη χρονοσειρά τιμών DSVI για το ΠΣ παρουσιάζεται παραστατικότερα στο **Γράφημα 4.1**. Στο διάγραμμα παρουσιάζονται οι αθροιστικές καμπύλες DSVI για τα δύο συστήματα ενεργού ιλύος όπου και είναι εμφανής η σαφώς καλύτερη ποιότητα ιλύος για το ΠΣ. Βάσει της εικόνας αυτής μπορεί να υποστηριχθεί ότι το αναερόβιο φρεάτιο επιλογής μπορεί να βελτιώσει τα χαρακτηριστικά καθιζησιμότητας της ιλύος. Παρ' όλα αυτά η τιμή του DSVI αποκλίνει κατά πολύ από τις ενδεικτικές τιμές (<150 mL/gr SS).



**Γράφημα 4.1: Αθροιστικές καμπύλες DSVI για τα ΣΕ και ΠΣ (Φάση Α') (Μαθιός, 2012)**

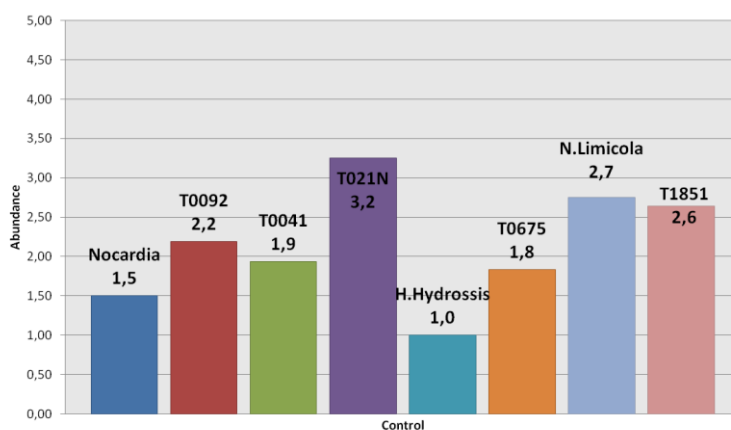
Τα αποτελέσματα των μικροσκοπικών αναλύσεων ως προς τον προσδιορισμό του δείκτη νηματοειδών (Filament Index) παρουσιάζονται στον **Πίνακα 4.1**. Ο Filament Index (FI) του ΣΕ είναι της τάξης του 4,5 κατά μέσο όρο, η αντίστοιχη τιμή για το ΠΣ είναι μία μονάδα μικρότερη (3,5 κατά μέσο όρο). Η διαφοροποίηση 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 4.1: Δείκτης Νημάτων (FI) για το ΣΕ και ΠΣ (Μαθιός, 2012).**

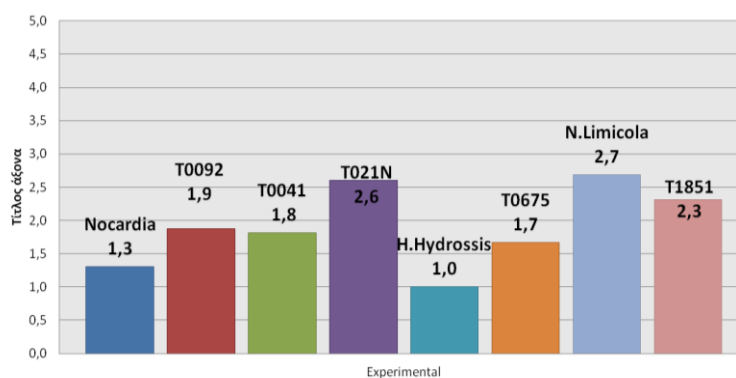
Δείκτης Νημάτων			
A/A	Ημερομηνία	ΣΕ	ΠΣ
1	24/11	5	3
2	1/12	4.5	4
3	8/12	4	3
4	15/12	4.5	3.5
5	28/12	4.5	3.5

Η κατά μέσο όρο 1 μονάδα διαφοράς του δείκτη νηματοειδών για τα ΣΕ (~4,5) και ΠΣ (~3,5), αποτυπώνεται και στις τιμές ειδικών δεικτών των **Γραφημάτων 4.2 και 4.3**. 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 ΠΣ είναι ελαφρώς μειωμένες συγκριτικά με τις αντίστοιχες τιμές του ΣΕ. Είναι σαφές ότι η μεταβολική πίεση του επιλογέα είναι αυτή που μας δίνει αυτή τη ποιοτική διαφοροποίηση στα δύο (μεσοσταθμικά) δείγματα υλός 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.



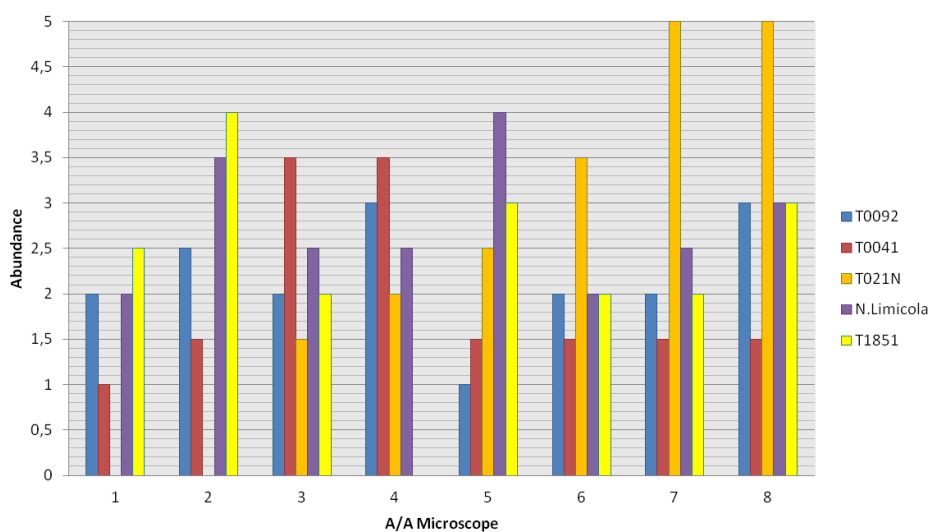
**Γράφημα 4.2: Μέση εμφάνιση κυρίαρχων νηματοειδών στο ανάμεικτο υγρό στο ΣΕ (Μαθιός, 2012)**



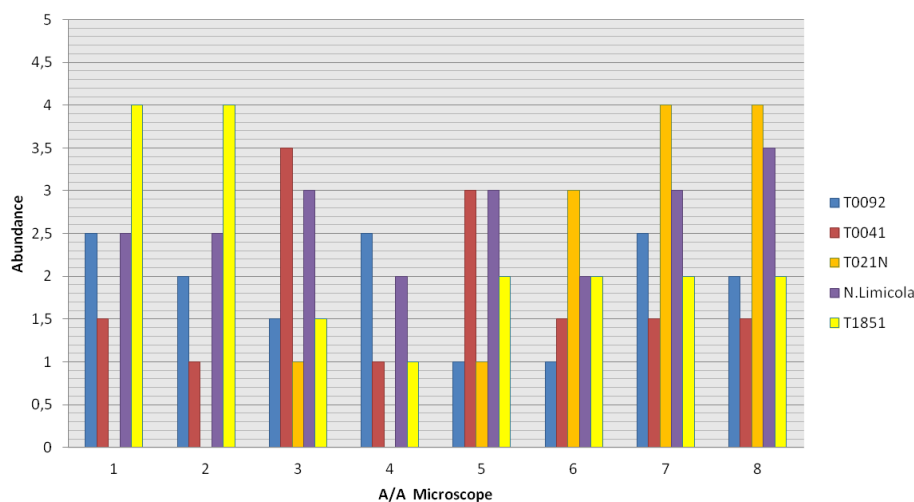
**Γράφημα 4.3: Μέση εμφάνιση κυρίαρχων νηματοειδών στο ανάμεικτο υγρό στο ΠΣ (Μαθιός, 2012)**

Ουσιαστικά παρατηρείται, και για τα δύο συστήματα, πως κατά τις πρώτες μικροσκοπικές αναλύσεις εμφανίζονται ως επικρατέστεροι οι νηματοειδείς T1851 και N. limicola κυρίως (3<sup>η</sup> ομάδα νηματοειδών) και οι T0092, T0041 δευτερευόντως (4<sup>η</sup> ομάδα). Με τη πάροδο του χρόνου όπου, όπως φαίνεται στα **Γραφήματα 4.4** και **4.5**, 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<sup>η</sup> ομάδα μικροοργανισμών. Μάλιστα για το ΣΕ, 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 κατά τη διάρκεια της Α' Φάσης των πειραμάτων που κυμαίνονταν μεταξύ 18 και 20 οC.



**Γράφημα 4.4: Εβδομαδιαία μεταβολή πληθυσμού νηματοειδών βακτηριδίων**



**Γράφημα 4.5: Εβδομαδιαία μεταβολή πληθυσμού νηματοειδών βακτηριδίων**

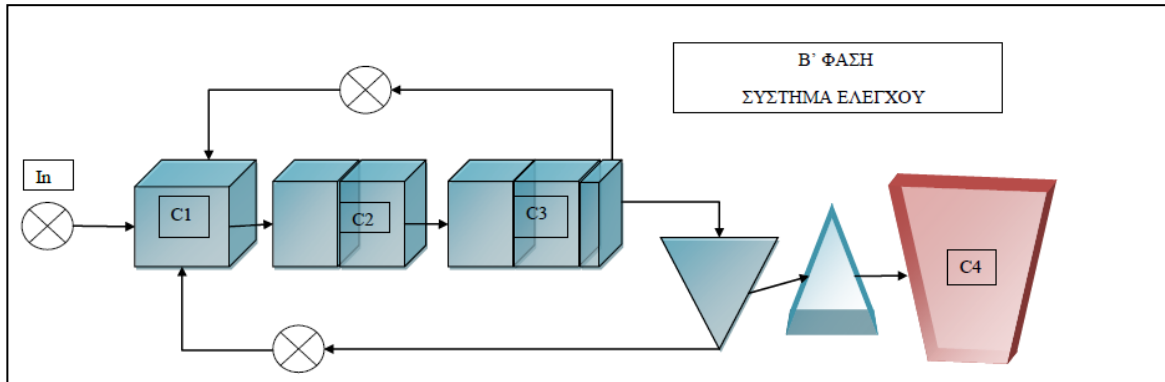
## 4.2 Β' ΦΑΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

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 και τον διαμερισματοποιημένο σε τρεις όγκους ανοξικό επιλογέα. Τα δύο συστήματα ενεργού ύλους εργαστηριακής κλίμακας λειτούργησαν τη χρονική περίοδο 1/1/2012-17/2/2012 εντός των εγκαταστάσεων του ΚΕΛΨ και τροφοδοτούνταν με πρωτοβάθμια επεξεργασμένα λύματα. Για τις ανάγκες του πειράματος το Πειραματικό Σύστημα (ΠΣ) είχε την ακόλουθη διάταξη: αναερόβιος επιλογέας (ANA2.4L) - διαμερισματοποιημένη ανοξική (ANOp13.1L) - αερόβιες δεξαμενές (AEP15.4L, AEP10.7L) και δεξαμενή τελικής καθίζησης (ΔΤΚ) ενώ το Σύστημα Ελέγχου (ΣΕ) είχε την ίδια διάταξη όπως και στην Α' Φάση (ανοξική - ANO15.5L και αερόβιες δεξαμενές - AEP15.4L & AEP10.7L και ΔΤΚ). Το ΣΕ ουσιαστικά προσομοιώνει τη βιολογική βαθμίδα του ΚΕΛΨ. Οι θέσεις δειγματοληψίας για το ΠΣ αναφέρονται με Ε (πχ Ε1, Ε2 κλπ) ενώ οι αντίστοιχες του ΣΕ με C (πχ C1, C2 κλπ). Τα δύο συστήματα λειτούργησαν σε όλη τη διάρκεια του πειράματος με επακριβώς ίδιες λειτουργικές συνθήκες :

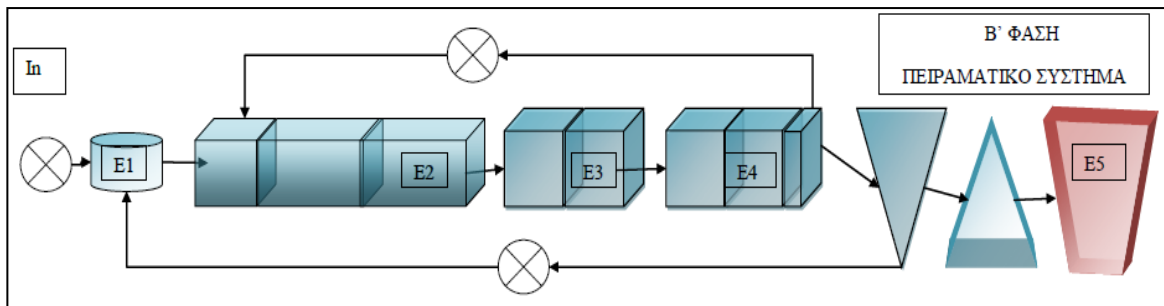
- Παροχές εισόδου (100L/d), εσωτερικής (190 L/d) και εξωτερικής (130L/d) ανακυκλοφορίας,
- Χρόνος παραμονής στερεών θε (8d),

➤ Είσοδος λυμάτων (κοινά χαρακτηριστικά)

Στα Σχεδιαγράμματα 4.1 και 4.2 παρουσιάζεται η διάταξη των δύο συστημάτων κατά τη Β' Φάση λειτουργίας. Στα σημεία που υπάρχει ταμπέλα υποδεικνύονται οι θέσεις δειγματοληψίας.



Σχεδιάγραμμα 4.1: Σύστημα Ελέγχου και θέσεις δειγματοληψίας. In: είσοδος, C1: ανοξική δεξαμενή, C2: αερόβια δεξαμενή, C3:αερόβια δεξαμενή, C4: δεξαμενή συλλογής εκροής.



Σχεδιάγραμμα 4.2: Πειραματικό Σύστημα και θέσεις δειγματοληψίας. In: είσοδος, E1: αναερόβιος επιλογέας, E2: ανοξικός επιλογέας, E3: αερόβια δεξαμενή, E4: αερόβια δεξαμενή, E5: δεξαμενή συλλογής εκροής.

Στον Πίνακα 4.2 παρουσιάζονται οι παρακολουθούμενες παράμετροι και η συχνότητα μέτρησής τους και στα δύο συστήματα.

Πίνακας 4.2: Παράμετροι Λειτουργίας Πιλοτικών Συστημάτων

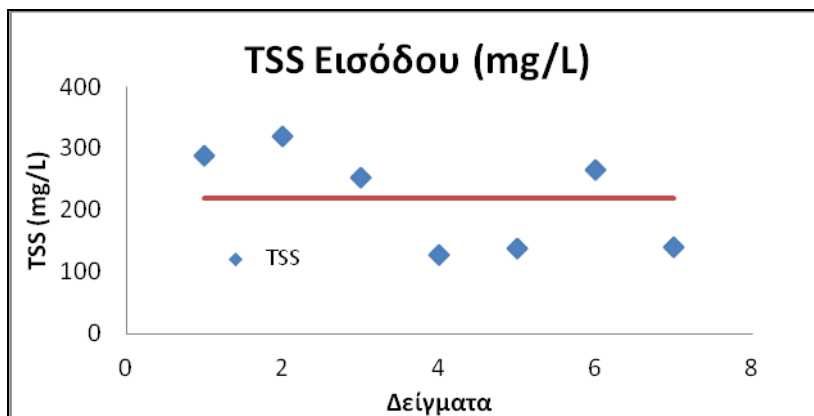
Παράμετρος	Δεξαμενές	Συχνότητα Μέτρησης
Ολικά αιωρούμενα στερεά	Είσοδος	2 μετρήσεις την εβδομάδα
	C1-C4, E1-E5	Καθημερινά
Πτητικά αιωρούμενα στερεά	Είσοδος, C1-C4, E1-E5	2 μετρήσεις την εβδομάδα
Συγκέντρωση διαλυμένου	C2-C3, E3-E4	Καθημερινά
Θερμοκρασία	C2-C3, E3-E4	Καθημερινά

DSVI	C2, E3	Καθημερινά
Ολικό COD	Είσοδος, C4, E5	2 μετρήσεις την εβδομάδα
Διαλυτό COD	Είσοδος, C1-C4, E1-E5	2 μετρήσεις την εβδομάδα
Νιτρικό Άζωτο	C1, C3, C4, E1, E2, E4, E5	2 μετρήσεις την εβδομάδα
Αμμωνιακό Άζωτο	Είσοδος, C4, E5	Συχνά

❖ Μέτρηση στερεών στην είσοδο, στην έξοδο και στις δεξαμενές των συστημάτων

Η συγκέντρωση των ολικών αιωρούμενων στερεών στα πρωτοβάθμια επεξεργασμένα εισερχόμενα λύματα, τα οποία αποτελούσαν την είσοδο των συστημάτων, μετρούνταν σύμφωνα με το πειραματικό πρωτόκολλο δύο φορές την εβδομάδα.

Στο **Γράφημα 4.6** παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των TSS στην είσοδο των συστημάτων όπου φαίνεται μια σχετικά έντονη διακύμανση των συγκεντρώσεων. Η απόκλιση των τιμών δεν έχει να κάνει με την ώρα δειγματοληψίας, καθώς αυτή ήταν μεταξύ 12:20- 13:00 σε όλες τις περιπτώσεις, αλλά με τις ΔΠΚ που ήταν σε λειτουργία και την κατάσταση της ΔΤΛ.



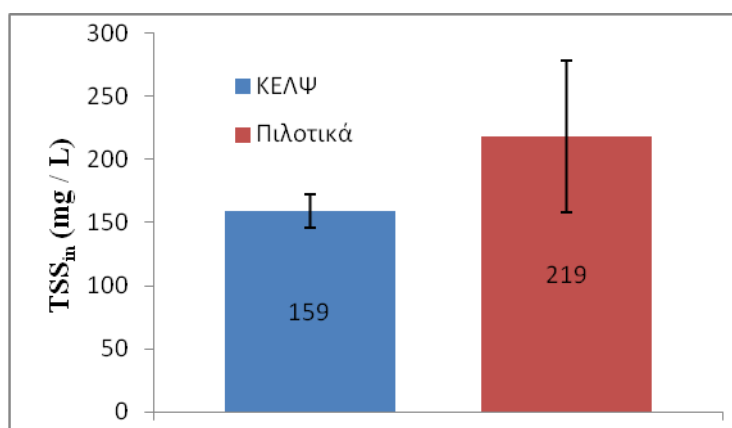
**Γράφημα 4.6:** Στερεά στην είσοδο των συστημάτων.

Αρκετές φορές είχαν τεθεί σε λειτουργία μόνο οι 4 από τις 6 ΔΠΚ του Κ.Ε.Λ.Ψ. για λόγους συντήρησης και άλλες φορές οι 5 στις 6. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα το κανάλι συγκέντρωσης της παροχής των ΔΠΚ, από το οποίο αντλούνταν τα λύματα, να δέχεται μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στερεών. Επίσης αρκετές φορές στο διάστημα των πειραμάτων παρατηρήθηκε έμφραξη της οπής απ' όπου απομακρυνόταν η λάσπη



που καθίζανε στη ΔΤΛ, παρά το συχνό καθάρισμά της. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την επιβάρυνση της εισόδου με στερεά. Επίσης αρκετές φορές παρατηρήθηκε πυκνός αφρός στην επιφάνεια της ΔΤΛ ο οποίος περνούσε στα συστήματα.

Αυτό φαίνεται και από τις μετρήσεις της συγκέντρωσης των στερεών στο φρεάτιο άντλησης (φρεάτιο συγκέντρωσης πρωτοβάθμια επεξεργασμένων λυμάτων) και στα λύματα που τροφοδοτούνται στα συστήματα μετά τη περισταλτική αντλία. Ο μέσος όρος των στερεών που εισήλθαν στα συστήματα, όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα των μετρήσεων, ήταν  $TSS_m = 219 \text{ mg/L}$  ενώ ο μέσος όρος των τιμών στο φρεάτιο άντλησης που μετρήθηκαν από το χημείο του ΚΕΛΨ (ΧΨ) ήταν  $159 \text{ mg/L}$  (Γράφημα 4.7).



Γράφημα 4.7: Μετρήσεις εισερχομένων TSS στα συστήματα.

Παρ' ότι οι δύο μέσοι όροι δεν έχουν στατιστικά σημαντική διαφορά παρατηρώντας τις τιμές του Πίνακα 4.3 βλέπουμε ότι υπάρχει έντονη διαφοροποίηση στις 4 από τις 6 μέρες σύγκρισης. Συνεπώς πέραν του αναλυτικού σφάλματος η παρουσία του δοχείου τροφοδοσίας λυμάτων (ΔΤΛ) έχει επίδραση στη συγκέντρωση των στερεών των εισερχόμενων λυμάτων. Πρέπει να επισημανθεί ότι οι τιμές των στερεών του ΚΕΛΨ προκύπτουν από σύνθετα δείγματα εικοσιτετραώρου ενώ αυτά των πιλοτικών από στιγμιαία δείγματα.

Πίνακας 4.3: Σύγκριση ίδιας μέρας τιμών των στερεών στο φρεάτιο άντλησης των λυμάτων .

	Στερεά (mg/L)	
	ΚΕΛΨ	ΠΙΛΟΤΙΚΑ
10/1	157	288

19/1	157	319
25/1	133	252
30/1	146	128
8/2	172	138
13/2	185	266
M.O.	158	232
Τυπ. Αποκλ.	17	73
Σφάλμα (95%)	13	58

Συγκεντρωτικά οι μέσοι όροι των ολικών και πτητικών αιωρούμενων στερεών στην είσοδο, έξοδο και βιολογική βαθμίδα στο ΣΕ και το ΠΣ δίνονται συνολικά στους Πίνακες 4.4 και 4.5. Η έξοδος και των δύο συστημάτων ήταν αρκετά επιβαρυνμένη, 152 και 132 mg/L για το ΣΕ και ΠΣ αντίστοιχα, αλλά αυτό δεν οφείλεται αποκλειστικά στη νηματοειδή διόγκωση. Μεγάλο μέρος διαδραματίζει η συνεχής απονιτροποίηση στη ΔΤΚ. Δεν αναμενόταν η διαυγής εκροή από τις ΔΤΚ των πιλοτικών.

**Πίνακας 4.4:** Τιμές ολικών και πτητικών αιωρούμενων στερεών στο ΣΕ. Τα σημεία δειγματοληψίας παρουσιάζονται στο Σχεδιάγραμμα 4.1.

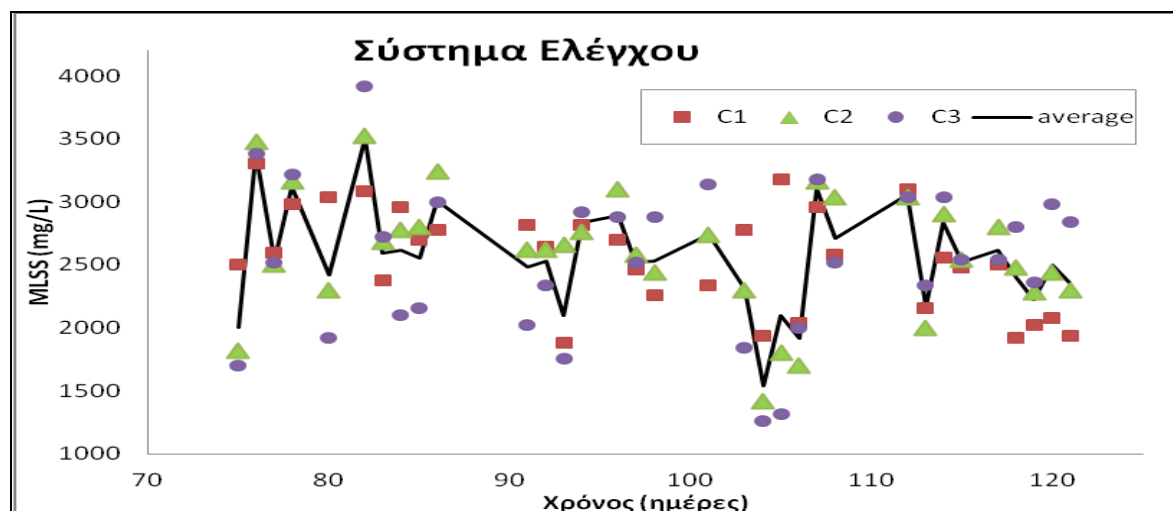
ΣΕ	TSS (mg /L)					VSS (mg /L)				
	IN	C1	C2	C3	C4	IN	C1	C2	C3	C4
M.O.	219	2560	2606	2536	152	179	2320	2420	2305	129
Τυπ. Απόκλιση	81	407	494	603	123	60	440	390	514	60
Σφάλμα (95%)	60	139	169	206	42	48	305	270	356	42

**Πίνακας 4.5:** Τιμές ολικών και πτητικών αιωρούμενων στερεών στο ΠΣ. Τα σημεία δειγματοληψίας παρουσιάζονται στο Σχεδιάγραμμα 4.2.

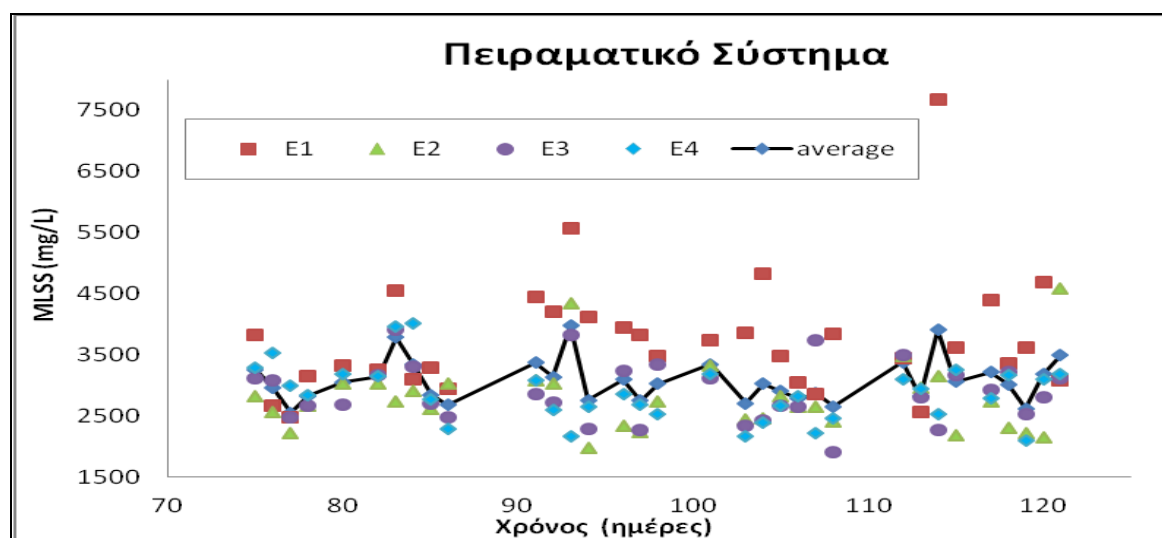
ΠΣ	TSS (mg /L)						VSS (mg /L)					
	IN	E1	E2	E3	E4	E5	IN	E1	E2	E3	E4	E5
M.O.	219	3763	2781	2885	2865	132	179	2945	2540	2515	2440	134
Τυπ. Απόκλιση	81	986	565	480	472	128	60	657	662	505	462	168
Σφάλμα (95%)	60	337	193	161	161	44	48	455	459	350	320	116

Η διακύμανση της βιομάζας στα δύο συστήματα παρουσιάζεται στα **Γραφήματα 4.8** και **4.9**. Ο μέσος όρος της συγκέντρωσης της βιομάζας στη βιολογική βαθμίδα είναι 2500 mg/L και 3000 mg/L για το ΣΕ και ΠΣ αντίστοιχα, παρόλο που στο ΠΣ έτυχαν

περισσότερες αστοχίες. Η επιστροφή της βιομάζας που είχε παγιδευτεί στις κωνικές φιάλες συνέβαλε στην διατήρηση της συνολικής μάζας σε καλά επίπεδα.



Γράφημα 4.8: Διακύμανση των στερεών στο βιοαντιδραστήρα του ΣΕ



Γράφημα 4.9: Διακύμανση των στερεών στο βιοαντιδραστήρα του ΠΣ

Από τα δύο γραφήματα φαίνεται ότι η λειτουργία του ΠΣ ήταν ομαλότερη, χωρίς μεγάλες μεταβολές της βιομάζας. Βέβαια σε αυτό βοήθησε κατά πολύ η χειρονακτική επιστροφή των στερεών που είχαν παγιδευτεί στις κωνικές παγίδες στερεών (ΚΠΣ). Με μαύρη γραμμή παρουσιάζεται ο μέσος όρος των τιμών των MLSS απ' όλες τις δεξαμενές του βιοαντιδραστήρα, η οποία έχει αρκετές διακυμάνσεις όχι απαραίτητα λόγω αστοχιών. Για παράδειγμα στο ΣΕ την 104<sup>η</sup> ημέρα παρουσιάζεται μια πολύ

μεγάλη πτώση της συγκέντρωσης των MLSS παρ' όλο που δεν υπήρχε κάποια αστοχία την ίδια μέρα είτε τις αμέσως προηγούμενες.

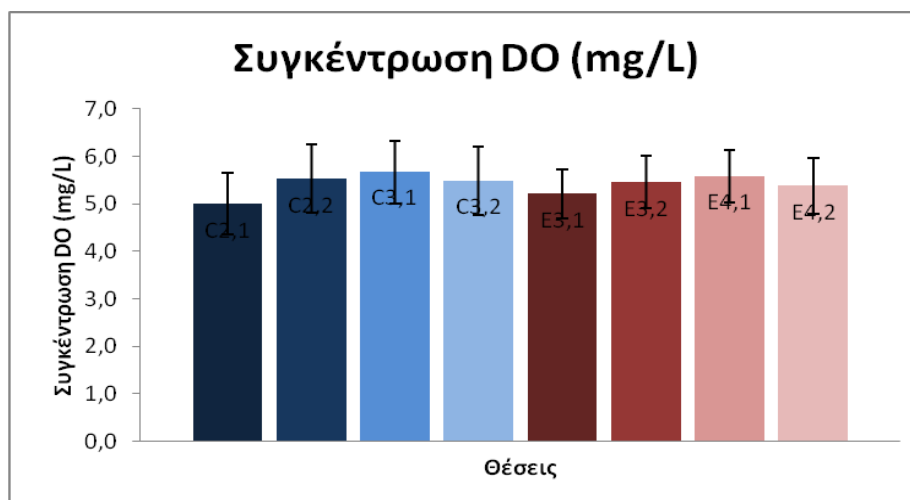
Κάθε αστοχία όμως μπορεί να είχε διαφορετικές επιπτώσεις στο σύστημα. Η διόρυξη σε σωληνάκι στη ΔTK οδηγεί σε απώλεια μεγάλου τμήματος της βιομάζας, ενώ η διακοπή της ανάδευσης λόγω βλάβης οδηγεί σε καθίζηση των στερεών στη δεξαμενή συνεπώς και διακοπή της κυκλοφορίας τους στο σύστημα. Επίσης η έμφραξη στα σωληνάκια οδηγούσε σε ανύψωση της στάθμης των δεξαμενών και απώλεια βιομάζας λόγω υπερχειλίσης. Το πιο συχνό και συνάμα σημαντικό πρόβλημα / αστοχία που παρουσιάζονταν ήταν τα ρεύματα υγρού δίχως στερεά τα οποία δημιουργούταν μέσα στη ΔTK και εκτόπιζαν τα συμπυκνωμένα στερεά από την οπή της εξωτερικής ανακυκλοφορίας με αποτέλεσμα να μην ανακυκλοφορούν τα στερεά στο σύστημα, να συσσωρεύονται στη ΔTK και να δημιουργείται ανύψωση ιλύος λόγω απονιτροποίησης στη ΔTK, και εν τέλει διαφυγή στερεών.

Όταν τα ρεύματα αυτά δεν υπήρχαν η μεταφορά των στερεών προς τη δεξαμενή εισόδου του συστήματος ήταν ιδανική. Όταν δε η συμπύκνωση ήταν ικανοποιητική τότε η συγκέντρωση της εξωτερικής ανακυκλοφορίας έφτανε και τα 8,5gr/ L την ώρα που οι σύνηθες τιμές ήταν περίπου 3,8 gr/ L. Έτσι εξηγείται και η τιμή της E1 της 114<sup>ης</sup> μέρας καθώς και αυτές πάνω από τα 4 gr/L. Ανάλογα συμπεριφέρεται και στη περίπτωση που υπάρχουν έντονα ρεύματα στη ΔTK.

#### ❖ Συγκέντρωση του D.O. και θερμοκρασία συστημάτων

Η μέτρηση συγκεντρώσεων του διαλυμένου οξυγόνου σε συστήματα ενεργού ιλύος είναι κρίσιμη παράμετρος. Σε μικρές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου είναι γνωστό από τη βιβλιογραφία ότι αναπτύσσονται ν.β. γι' αυτό προτείνεται μια ελάχιστη συγκέντρωση στο ανάμεικτο υγρό περίπου στα 2.0 mg/L. Στη περίπτωση πολύ υψηλής οργανικής φόρτισης, σε φρεάτιο επιλογής για παράδειγμα, η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου πρέπει να είναι υψηλότερη γιατί ο κίνδυνος εμφάνισης νηματοειδών είναι ορατός. Σύμφωνα όμως με τους Palm et al. (1980) η συγκέντρωση του D.O. πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 4 mg/L για οργανικές φορτίσεις μεγαλύτερες από 0,9 kg COD/ kg MLVSS/ d ειδικά αναπτύσσονται ν.β.. Στις ΕΕΑ πλήρους κλίμακας η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου ακολουθεί την ζήτηση, μεγάλη στην αρχή και μειώνεται σταδιακά. Οι μέσοι όροι των

τιμών της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου σε κάθε δεξαμενή και των δύο συστημάτων παρουσιάζονται στο **Γράφημα 4.8**.



**Γράφημα 4.10:** Συγκέντρωση του O<sub>2</sub> σε κάθε δεξαμενή

Έγινε προσπάθεια να προσαρμοστεί η παροχή του O<sub>2</sub> ανάλογα τη ζήτηση από τους μ/ούς (αυξημένη στο πρώτο διαμέρισμα και μειούμενο προς την έξοδο) ωστόσο αυτό δεν ήταν εύκολο να επιτευχθεί για δύο λόγους. Ο πρώτος έχει να κάνει με τη συνεχή μεταβολή της συγκέντρωσης των MLSS, συνεπώς για την ίδια παροχή αέρα η συγκέντρωση του O<sub>2</sub> σε μεγάλη συγκέντρωση MLSS (5 gr/L) θα ήταν μικρότερη απ' ότι σε μικρότερες συγκεντρώσεις MLSS. Καθημερινά μετά τη μέτρηση των MLSS γινόταν μέτρηση της συγκέντρωσης O<sub>2</sub> και ρυθμιζόταν προσεγγιστικά η παροχή ανάλογα. Ο δεύτερος λόγος αφορά την ανάδευση. Σε αρκετές περιπτώσεις παρά την υψηλή παροχή αέρα (αλλά και O<sub>2</sub> σε περιπτώσεις μεγάλης συγκέντρωσης MLSS) παρατηρήθηκαν επιστρώσεις στερεών στον πυθμένα της δεξαμενής, κυρίως στα γωνιακά σημεία. Αυτό φαίνεται στο **Γράφημα 4.10** όπου και στα δύο συστήματα η τιμή της πρώτης δεξαμενής είναι μικρότερη από της δεύτερης λόγω περισσότερης ζήτησης λογικά ενώ σε κάθε σύστημα συγκέντρωση του O<sub>2</sub> στη C3 είναι μεγαλύτερη από αυτή του C2. Και στα δύο συστήματα πάντως για την αποφυγή ανάπτυξης νηματοειδών βακτηρίων χαμηλού διαλυμένου οξυγόνου η συγκέντρωση του οξυγόνου ήταν πάνω από 2 mg/L.

Η θερμοκρασία στο ανάμεικτο υγρό παίζει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Όλοι οι μικροοργανισμοί επιβιώνουν μέσα σε ένα θερμοκρασιακό φάσμα και έχουν μια συγκεκριμένη θερμοκρασία όπου παρουσιάζουν το μέγιστο

ρυθμό ανάπτυξή τους. Στους μεσόφιλους μικροοργανισμούς οι χαμηλές θερμοκρασίας δεν τους επιτρέπουν τη γρήγορη κατανάλωση τροφής συνεπώς και την ανάλογη ανάπτυξη. Μάλιστα σε χαμηλές θερμοκρασίες νηματοειδής όπως ο *M. parvicella* αναπτύσσεται αρκετά γρήγορα. Η σταθεροποίηση της θερμοκρασίας των λυμάτων στους 18-20 °C ήταν αναγκαία καθώς το container ήταν εκτεθειμένο στις χαμηλές θερμοκρασίες του χειμώνα και για το λόγο αυτό το κλιματιστικό ήταν μονίμως ανοιχτό.

Στον Πίνακα 4.6 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των θερμοκρασιών για τα δύο συστήματα. Η μικρή διαφορά που προκύπτει μεταξύ τους παρατηρήθηκε στις καθημερινές μετρήσεις και οφείλεται στη θέση του κλιματιστικού το οποίο ήταν μπροστά από το ΠΣ. Οι χαμηλές θερμοκρασίες, οι μικροί όγκοι των δεξαμενών και μερικές διακοπές ρεύματος δεν επέτρεψαν τη διατήρηση της θερμοκρασίας σταθερή και παρατηρήθηκαν στο δύο συστήματα θερμοκρασίες μεταξύ 8 και 21 °C.

**Πίνακας 4.6: Μέση θερμοκρασία στα δύο συστήματα.**

	Θερμοκρασία (°C)			
	ΣΕ		ΠΣ	
	C2	C3	E3	E4
<b>Μ.Ο.</b>	16,3	16,2	16,9	17,0
<b>Τυπ. Απ.</b>	3,5	3,7	3,0	3,0
<b>Σφάλμα (95%)</b>	1,3	1,4	1,1	1,1

❖ Ολικό και διαλυτό COD

Η μέτρηση της συγκέντρωσης του εισερχόμενου οργανικού φορτίου (ως προς ολικό και διαλυτό COD) καθώς και πώς αυτό μεταβάλλεται εντός των συστημάτων και στην έξοδό τους είναι απαραίτητη. Συνεπώς ακολούθως παρουσιάζονται σε πίνακες και γραφήματα οι συγκεντρώσεις του ολικού και διαλυτού COD στην είσοδο, εντός και την έξοδο των δύο συστημάτων. Στη συνέχεια δίνονται διαγράμματα συσχέτισης των ολικών αιρούμενων στερεών με τη συγκέντρωση σωματιδιακού COD στην έξοδο των δύο συστημάτων και τέλος υπολογίζονται οι οργανικές φορτίσεις στις μη αερόβιες δεξαμενές των δύο συστημάτων. Όλα τα δείγματα που ελήφθησαν για το ολικό και διαλυτό COD ήταν στιγμιαία και η λήψη τους πραγματοποιήθηκε μεταξύ 12:20 – 13:00.

Στους Πίνακες 4.7 και 4.8 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του COD στο ΠΣ και ΣΕ αντίστοιχα καθώς και οι διακυμάνσεις αυτών σε διάστημα εμπιστοσύνης 95%.

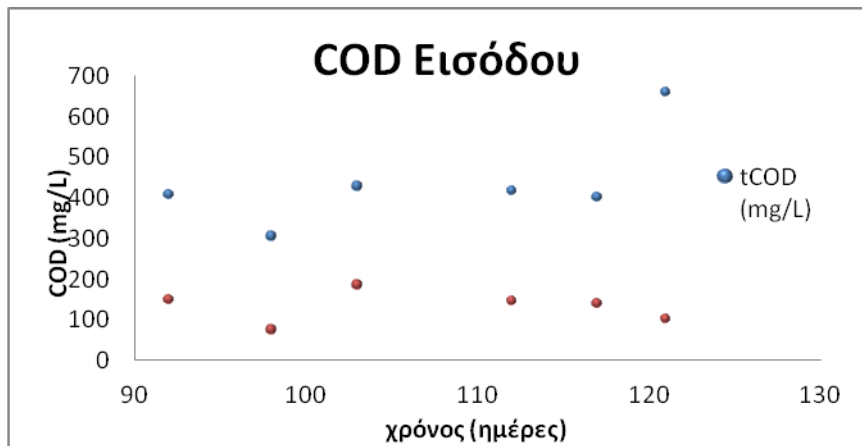
**Πίνακας 4.7: Αποτελέσματα μετρήσεων COD στο ΠΣ.**

	tCODin	sCODin	sE1	sE2	sE3	sE4	sE5	tE5
	(mg/L)							
<b>M.O.</b>	437	133	62	40	40	38	33	131
<b>Τυπ. Απόκλιση</b>	118	39	11	9	9	9	8	131
<b>Σφάλμα 95%</b>	94	31	9	7	7	8	7	104

**Πίνακας 4.8: Αποτελέσματα μετρήσεων COD στο ΣΕ.**

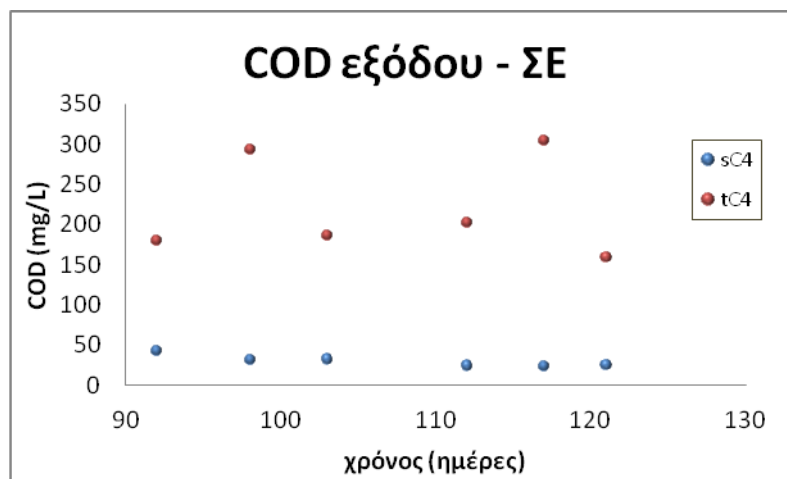
	tCODin	sCODin	sC1	sC2	sC3	sC4	tC4
	(mg/L)						
<b>M.O.</b>	437	133	40	37	38	30	221
<b>Τυπ. Απόκλιση</b>	118	39	10	11	11	7	62
<b>Σφάλμα 95%</b>	94	31	8	9	9	6	50

Το ολικό και διαλυτό κλάσμα του COD των πρωτοβάθμια επεξεργασμένων λυμάτων εισόδου στα δύο πιλοτικά συστήματα παρουσιάζεται στο **Γράφημα 4.11**. Όλα τα δείγματα ελήφθησαν περίπου την ίδια ώρα (12:20-13:00) συνεπώς ο παράγοντας χρόνος δεν επηρεάζει τις τιμές. Ο μέσος όρος των τιμών του ολικού COD κυμάνθηκε στα 400 mg/L ενώ το αντίστοιχος του διαλυτού COD στα 130 mg/L. Εξαίρεση παρουσιάζει το τελευταίο σημείο μέτρησης του ολικού COD. Ο λόγος του tCOD/sCOD είναι σχεδόν 3 (χωρίς να έχει ληφθεί υπόψη το τελευταίο σημείο (121<sup>η</sup> μέρα) και συμφωνεί με τη βιβλιογραφία που το προσδιορίζει στο 2,7 (Metcalf & Eddy, 2006).



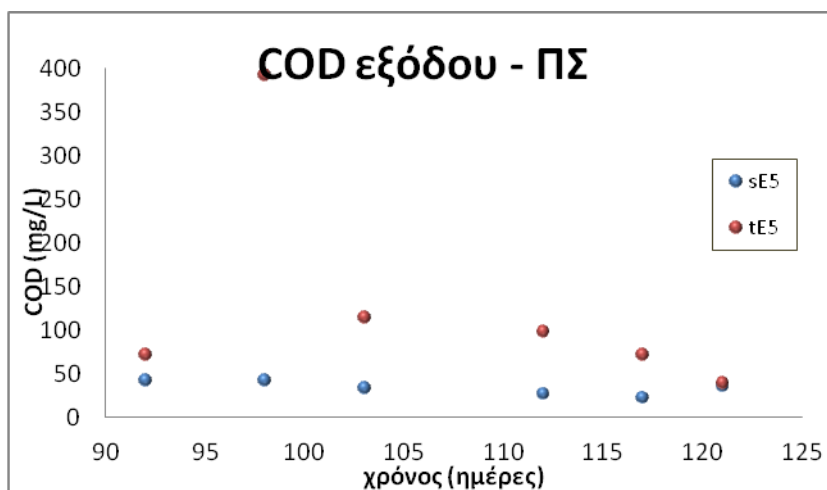
**Γράφημα 4.11:** Συγκέντρωση ολικού και διαλυτού COD στην είσοδο

Στα **Γραφήματα 4.12** και **4.13** παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της εξόδου για τα τις δύο μορφές του COD για το ΣΕ και ΠΣ αντίστοιχα. Φαίνεται ότι το διαλυτό COD είναι σταθερά 30-40 mg/L, ενώ το ολικό COD μεταβάλλεται ανάλογα τη συγκέντρωση της εξόδου σε TSS.



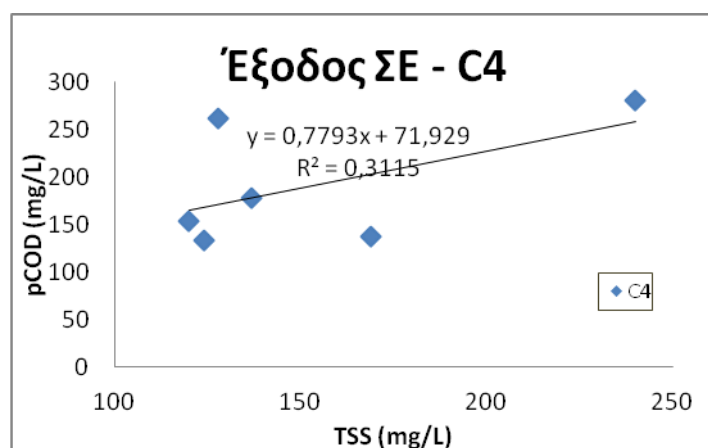
**Γράφημα 4.12:** Συγκέντρωση ολικού και διαλυτού COD στην έξοδο του ΣΕ



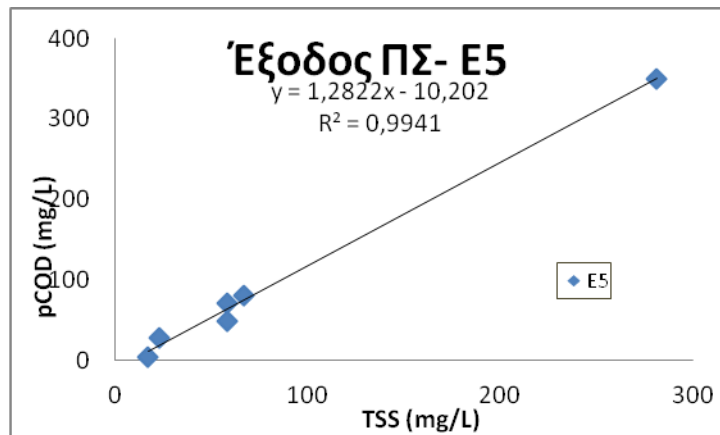


Γράφημα 4.13: Συγκέντρωση ολικού και διαλυτού COD στην έξοδο του ΠΣ.

Το **Γράφημα 4.14** δείχνει ξεκάθαρα ότι δεν υπάρχει γραμμική συσχέτιση ( $R^2 = 0.3115$ ) μεταξύ του σωματιδιακού COD και TSS της εξόδου για το ΣΕ, σε αντίθεση με το **Γράφημα 4.15**, που παρουσιάζει το ΠΣ, στο οποίο υπάρχει γραμμική συσχέτιση ( $R^2 = 0.9941$ ).

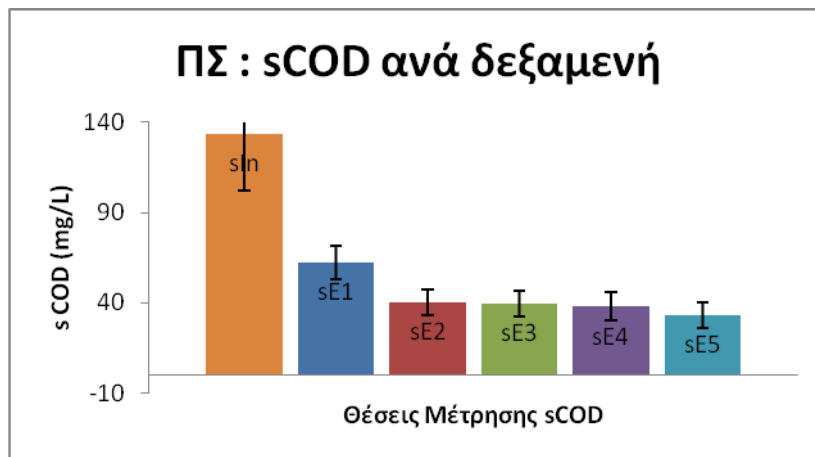


Γράφημα 4.14: Συσχέτιση pCOD με TSS εξόδου στο ΣΕ.



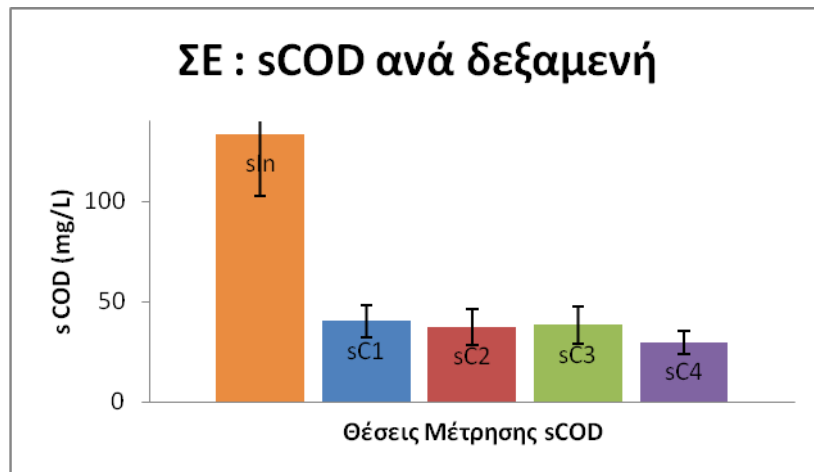
Γράφημα 4.15: Συσχέτιση pCOD με TSS εξόδου στο ΠΣ.

Η τύχη του διαλυτού COD μέσα στα συστήματα παρουσιάζεται στα **Γραφήματα 4.16** και **4.17**. Η προσθήκη ενός αναερόβιου φρεατίου επιλογής σύμφωνα με τη βιβλιογραφία προσδίδει στους συσσωματούμενους μικροοργανισμούς συγκριτικό πλεονέκτημα ανάπτυξης λόγω της μεγάλης κλίσης τροφής. Συνεπώς το μεγαλύτερο μέρος του εύκολα βιοδιασπάσιμου COD (RBCOD) πρέπει να καταναλωθεί στο φρεάτιο επιλογής όπως και πράγματι συμβαίνει σύμφωνα με το **Γραφήματα 4.16** ενώ και στις υπόλοιπες δεξαμενές η κατανάλωση είναι ελάχιστη. Σημαντική κατανάλωση μέρους του RBCOD παρατηρείται και στην E2. Αφού καταναλώνεται η «εύκολη» τροφή, μένει το δύσκολα βιοδιασπάσιμο μέρος του COD και το αδρανές κλάσμα.



Γράφημα 4.16: Προφίλ διαλυτού COD στο ΠΣ.

Όπως φαίνεται στο **Γράφημα 4.17** λόγω της απουσίας του φρεατίου επιλογής, καταναλώνεται το σύνολο του RBCOD στην ανοξική δεξαμενή σε χαμηλή οργανική φόρτιση. Στις δεξαμενές C2 και C3 δεν φαίνεται να υπάρχει κατανάλωση σε αντίθεση με τη C4 στην οποία πάλι, όπως και στο ΠΣ, η τιμή του sCOD είναι μικρότερη.



Γράφημα 4.17: Προφίλ διαλυτού COD στο ΣΕ

Συνοπτικά παρατηρείται ότι στο ΠΣ καταναλώνεται το 98% του εισερχόμενου βιοδιασπάσιμου COD ενώ στο πρώτο διαμέρισμα του φρεατίου επιλογής (E1) καταναλώνεται το 75% του ποσοστού αυτού. Στα υπόλοιπα διαμερίσματα του ανοξικού επιλογέα πρακτικά καταναλώνεται όλο το υπόλοιπο. Στο ΣΕ καταναλώνεται συνολικά το 98% του εισερχόμενου διαλυτού COD και μάλιστα σχεδόν όλο στην ανοξική δεξαμενή C1. Σημειώνεται ότι στην απόδοση των συστημάτων στη απομάκρυνση του διαλυτού COD ορίζεται ως έξοδος η τελευταία αερόβια δεξαμενή και όχι η ΔTK του κάθε συστήματος.

Γνωρίζοντας τις συγκεντρώσεις του COD και των MLSS στις δεξαμενές αλλά και τις παροχές, μπορεί να υπολογισθεί η οργανική φόρτιση (Organic Load – OL) σε κάθε δεξαμενή με τον ακόλουθο τρόπο:

#### ➤ Πειραματικό Σύστημα

Για τον αναερόβιο επιλογέα (Ana2.4L):

$$OL_{E1} \left( \frac{kg \text{ COD}}{kg \text{ MLSS} * d} \right) = \frac{[tCOD]_{in} \left( \frac{mg}{L} \right) * Qin \left( \frac{L}{d} \right)}{MLSS_{E1} \left( \frac{mg}{L} \right) * V_{E1} (L)}$$

Για τον ανοξικό διαμερισματοποιημένο επιλογέα (Anox13.1L):

$$OL_{E2'1} \left( \frac{kg \text{ COD}}{kg \text{ MLSS} * d} \right) = \frac{[tCOD]_{in} \left( \frac{mg}{L} \right) * Qin \left( \frac{L}{d} \right)}{MLSS_{E1} \left( \frac{mg}{L} \right) * V_{E1}(L) + MLSS_{E2} \left( \frac{mg}{L} \right) * V_{E2'1}(L)}$$

$$OL_{E2'2} \left( \frac{kg \text{ COD}}{kg \text{ MLSS} * d} \right) = \frac{[tCOD]_{in} \left( \frac{mg}{L} \right) * Qin \left( \frac{L}{d} \right)}{MLSS_{E1} \left( \frac{mg}{L} \right) * V_{E1}(L) + MLSS_{E2} \left( \frac{mg}{L} \right) * (V_{E2'1} + V_{E2'2})(L)}$$

$$OL_{E2'3} \left( \frac{kg \text{ COD}}{kg \text{ MLSS} * d} \right) = \frac{[tCOD]_{in} \left( \frac{mg}{L} \right) * Qin \left( \frac{L}{d} \right)}{MLSS_{E1} \left( \frac{mg}{L} \right) * V_{E1}(L) + MLSS_{E2} \left( \frac{mg}{L} \right) * V_{E2}(L)}$$

### ➤ Σύστημα Ελέγχου

Για την ανοξική δεξαμενή (Aνο15.5L):

$$OL_{C1} \left( \frac{kg \text{ COD}}{kg \text{ MLSS} * d} \right) = \frac{[tCOD]_{in} \left( \frac{mg}{L} \right) * Qin \left( \frac{L}{d} \right)}{MLSS_{C1} \left( \frac{mg}{L} \right) * V_{C1}(L)}$$

Τα αποτελέσματα των παραπάνω υπολογισμών της οργανικής φόρτισης στις αρχικές δεξαμενές των δύο συστημάτων παρουσιάζονται στον **Πίνακα 4.9**. Επίσης παραθέτονται στοιχεία για το ολικό COD στα εισερχόμενα λύματα και τη συγκέντρωση των MLSS σε κάθε δεξαμενή του συστήματος. Για τον ανοξικό επιλογέα του ΠΣ έχει θεωρηθεί ότι και τα τρία διαμερίσματα έχουν την ίδια συγκέντρωση MLSS το οποίο βέβαια στην πραγματικότητα πιθανών να διαφέρει. Οι οργανικές φορτίσεις αναφέρονται σε Kg COD/Kg MLSS/d, ενώ το COD και τα MLSS σε mg/L. Με OL συμβολίζεται η οργανική φόρτιση.

**Πίνακας 4.9: Οργανικές φορτίσεις (OL) στις δεξαμενές των δύο συστημάτων. E2'1, E2'2 και E2'3 ονομάστηκαν το 1<sup>ο</sup>, 2<sup>ο</sup> και 3<sup>ο</sup> διαμέρισμα του ανοξικού επιλογέα.**

	(mg/L)			(kg COD/ kg MLSS/d)					
	tCOD	MLSS E1	MLSS E2	MLSS C1	OL E1	OL E2'1	OL E2'2	OL E2'3	OL C1
	407	4200	3020	2640	4,0	2,4	1,3	0,8	1,0
	306	3480	2740	2260	3,7	2,1	1,1	0,7	0,9
	428	3860	2440	2780	4,6	2,9	1,6	1,0	1,0
	417	3440	3480	3100	5,1	2,5	1,3	0,8	0,9
	402	4400	2740	2500	3,8	2,4	1,3	0,9	1,0

	660	3080	4580	1940	8,9	3,6	1,7	1,0	2,2
<b>M.O.</b>	<b>437</b>	<b>3740</b>	<b>3170</b>	<b>2540</b>	<b>5,0</b>	<b>2,6</b>	<b>1,4</b>	<b>0,9</b>	<b>1,2</b>
<b>Σφάλμα</b>		<b>400</b>	<b>620</b>	<b>320</b>					

Πράγματι φαίνεται να υπάρχει αρχικά μια ικανοποιητική οργανική φόρτιση στο αναερόβιο φρεάτιο επιλογής του ΠΣ, ενώ στη συνέχεια για κάθε διαμέρισμα του ανοξικού επιλογέα μειώνεται. Οι Jenkins et al. (2004) προτείνουν οι οργανικές φορτίσεις σε μη αεριζόμενους επιλογείς να είναι  $6 \rightarrow 3 \rightarrow 1,5$  Kg COD / Kg MLSS /d για το 1<sup>ο</sup>, 2<sup>ο</sup>, και 3<sup>ο</sup> διαμέρισμα του επιλογέα αντίστοιχα. Κατά τη Β' Φάση στο ΠΣ ακολουθήθηκαν οι συνιστώμενες αυτές φορτίσεις όπου για τον αναερόβιο επιλογέα και τα τρία διαμερίσματα του ανοξικού επιλογέα κατά μέσο όρο ήταν  $5 \rightarrow 2,6 \rightarrow 1,4 \rightarrow 0,9$  Kg COD / kg MLSS /d. Στο ΣΕ η οργανική φόρτιση στην ανοξική δεξαμενή ήταν 1,2 Kg COD / kg MLSS /d.

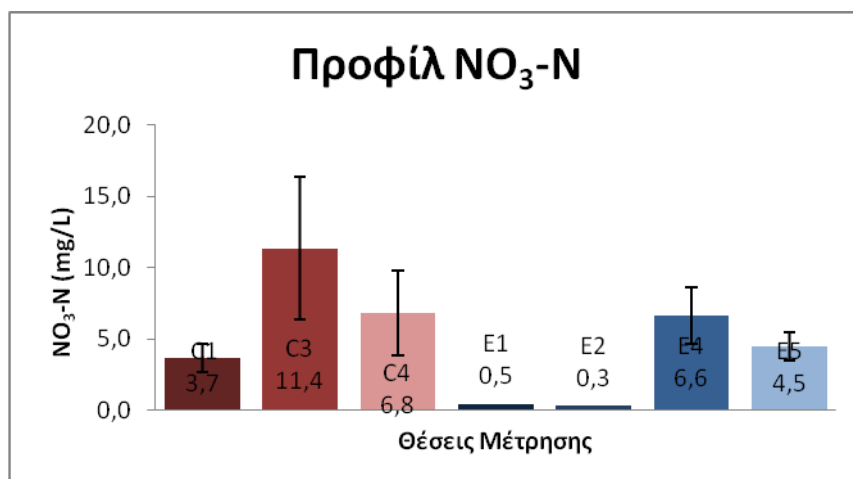
❖ Νιτρικό και αμμωνιακό άζωτο

Εκτός από τη μέτρηση του COD, πραγματοποιήθηκαν και μετρήσεις του NO<sub>3</sub>-N σε επιλεγμένα σημεία των συστημάτων όπως αυτά παρουσιάζονται στον **Πίνακα 4.10** και στο **Γράφημα 4.18**.

**Πίνακας 4.10: Αποτελέσματα μετρήσεων NO<sub>3</sub>-N κάθε θέσης δειγματοληψίας και στα δύο συστήματα.**

		NO <sub>3</sub> -N (mg / L)							
Ημέρες		E1	E2	E4	E5	C1	C3	C4	
19/1/12	92	0,4	0,3	6,2	4,7	0,6	5,9	3,1	
25/1/12	98	0,4	0,4	6,0	3,2	8,7	15,9	6,4	
30/1/12	103	0,1	0,1	4,8	4,4	0,2	3,3	2,9	
8/2/12	112	0,2	0,2	5,6	3,9	2,9	10,3	7,2	
13/2/12	117	0,2	0,1	5,7	3,5	0,2	15,5	7,2	
17/2/12	121	1,5	1	11,5	7,1	9,4	17,3	14,2	
M.O		0,5	0,3	6,6	4,5	3,7	11,4	6,8	
Τυπ. Απόκλιση		1	0	2	1	4	6	4	
Σφάλμα 95%		0	0	2	1	3	5	3	

Βλέπουμε ότι οι τιμές του νιτρικού αζώτου στην αερόβια δεξαμενή (C3) του ΣΕ είναι μεγαλύτερες από αυτές στην αντίστοιχη δεξαμενή (E4) του ΠΣ. Επίσης όπως και στη περίπτωση του διαλυτού COD, η συγκέντρωση του νιτρικού αζώτου στις δεξαμενές συλλογής εκροής (ΔΣΕ) (C4, E5) είναι μικρότερη από τις αντίστοιχες στις δεξαμενές αερισμού (C3, E4). Η συγκέντρωση του νιτρικού αζώτου στην E1 είναι ελάχιστη οπότε αν και ελλείπει ανοξική, μεταξύ της ΔTK και E1, οι συνθήκες εντός της δεξαμενής είναι αναερόβιες.



Γράφημα 4.18: Προφίλ NO<sub>3</sub>-N στα δύο συστήματα (μέσος όρος)

Από τον Πίνακα 4.10 και το Γράφημα 4.18 παρατηρούμε ότι αν δεν υπήρχε η απονιτροποίηση στη ΔTKc και C4 η έξοδος θα ήταν ιδιαίτερα επιβαρυνμένη. Η συνεχής απονιτροποίηση στη ΔTK και των δύο συστημάτων επιβάρυνε καθημερινά την τελική εκροή με στερεά αλλά και δυσχέραινε την καθίζηση λόγω των φυσαλίδων αερίου αζώτου. Έγινε προσπάθεια περιορισμού με χειροκίνητη αργή ανάμειξη κατά το διάστημα που γινόταν η συντήρηση (09:00-14:30) αλλά τις υπόλοιπες ώρες δεν γινόταν κάτι ανάλογο. Η τροφοδοσία αέρα μέσω του πορώδους διαχυτήρα που είχε τοποθετηθεί στην επιφάνεια της ΔTK απλά έσπαγε σε μικρότερα τα μεγάλα κομμάτια βιομάζας που ανέβαιναν από την πυθμένα και τα εμπόδιζε να διαφύγουν με την εκροή. Καλή καθιζησιμότητα παρατηρήθηκε κατά τις ημέρες με χαμηλή θερμοκρασία πιθανών γιατί δεν γινόταν ικανοποιητική νιτροποίηση. Η αύξηση της εξωτερικής ανακυκλοφορίας θα μπορούσε να μετριάσει το φαινόμενο αυτό αλλά πέραν ελαχίστων περιπτώσεων δεν προτιμήθηκε.

Θα είχε ενδιαφέρον να παρακολουθούσαμε το προφίλ των νιτρικών εντός της διαμερισματοποιημένης ανοξικής δεξαμενής. Εάν γινόταν αυτό θα βλέπαμε ότι στο

πρώτο διαμέρισμα η συγκέντρωση των νιτρικών θα ήταν μεγαλύτερη από αυτή της αναερόβιας δεξαμενής καθώς δέχεται τα νιτρικά του αερόβιου τμήματος. Η συγκέντρωση του NO<sub>3</sub>-N θα μειωνόταν στα ακόλουθα διαμερίσματα της διαμερισματοποιημένης ανοξικής δεξαμενής, όπως παρουσιάζει και η Καγιά (2011).

Γνωρίζοντας τις συγκεντρώσεις του NO<sub>3</sub>-N και των MLSS στις δεξαμενές αλλά και τις παροχές, μπορεί να υπολογισθεί ο ρυθμός απονιτροποίησης σε κάθε δεξαμενή με τον ακόλουθο τρόπο:

### ➤ Πειραματικό Σύστημα

Χρησιμοποιώντας τους ακόλουθους τύπους και τους μέσους όρους των VSS και NO<sub>3</sub>-N, μπορούμε να υπολογίσουμε την ταχύτητα απονιτροποίησης σε κάθε δεξαμενή.

Για τον αναερόβιο επιλογέα (Ana2.4L):

$$qDN_{E1} \frac{(\text{mgNO}_3 - \text{N})}{(\text{gr VSS} * \text{hr})} = \frac{Q_{ras} \left(\frac{L}{\text{hr}}\right) * [\text{NO}_3 - \text{N}]_{E4} \left(\frac{\text{mg}}{L}\right) - (Q_{ras} + Q_{in}) \left(\frac{L}{\text{hr}}\right) * [\text{NO}_3 - \text{N}]_{E1} \left(\frac{\text{mg}}{L}\right)}{[\text{MLSS}]_{E1} \left(\frac{\text{gr}}{L}\right) * V_{E1} (L)}$$

Για τον ανοξικό διαμερισματοποιημένο επιλογέα (Ano13.1L):

$$qDN_{E2} = \frac{(Q_{in} + Q_{ras}) \left(\frac{L}{\text{hr}}\right) * [\text{NO}_3 - \text{N}]_{E1} \left(\frac{\text{mg}}{L}\right) + Q_{ri} * [\text{NO}_3 - \text{N}]_{E4} \left(\frac{\text{mg}}{L}\right) - (Q_{in} + Q_{ras} + Q_{ir}) * [\text{NO}_3 - \text{N}]_{E2} \left(\frac{\text{mg}}{L}\right)}{[\text{MLSS}]_{E2} \left(\frac{\text{gr}}{L}\right) * V_{E2} (L)}$$

### ➤ Σύστημα Ελέγχου

Για την ανοξική δεξαμενή (Ano15.5L):

$$qDN = \frac{(Q_{ri} + Q_{ras}) * [\text{NO}_3 - \text{N}]_{C3} \left(\frac{\text{mg}}{L}\right) - (Q_{in} + Q_{ras} + Q_{ir}) * [\text{NO}_3 - \text{N}]_{C1} \left(\frac{\text{mg}}{L}\right)}{[\text{MLSS}]_{C1} \left(\frac{\text{gr}}{L}\right) * V_{C1} (L)}$$

Όπου με Q<sub>ir</sub> (L/d) συμβολίζεται η εσωτερική ανακυκλοφορία, με Q<sub>ras</sub> (L/d) η εξωτερική ανακυκλοφορία και με Q<sub>in</sub> (L/d) η παροχή εισόδου.

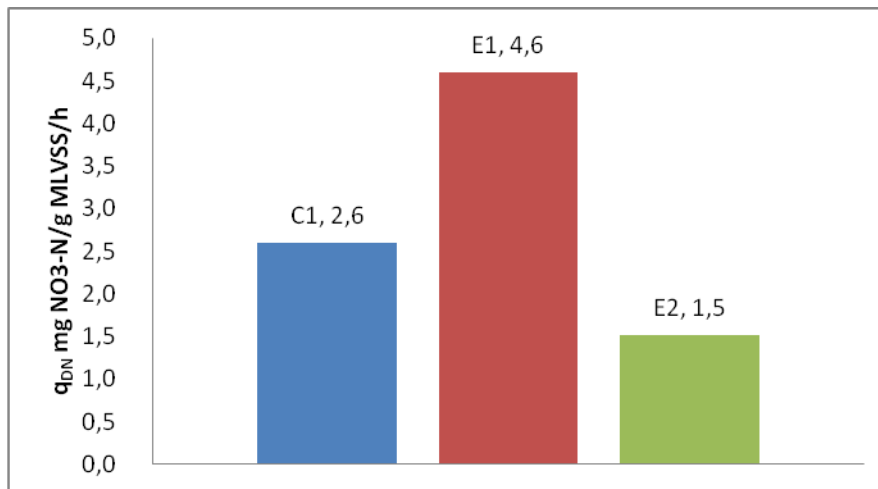
Οι παραπάνω υπολογισμοί έγιναν με τους μέσους όρους των τιμών, ωστόσο στον **Πίνακα 4.11** παρουσιάζονται οι ρυθμοί απονιτροποίησης και τα πτητικά στερεά κάθε δεξαμενής για κάθε μέρα μέτρησης του νιτρικού αζώτου.

**Πίνακας 4.11: Ρυθμοί απονιτροποίησης της κάθε δεξαμενής.**

Ημέρα	VSS (mg/L)			$q_{DN}$ (mg NO <sub>3</sub> -N/g MLVSS/h)		
	E1	E2	C1	E1	E2	C1
92	1,76	1,56	1,72	7,0	2,3	2,6
98	3	2,52	2,1	3,8	1,4	1,8
103	3,58	2,30	2,56	2,9	1,2	1,0
112	3,16	3,18	2,88	3,7	1,0	1,9
117	3,78	2,46	2,3	3,2	1,4	5,7
121	2,96	3,76	1,8	6,7	1,8	2,4
<b>M.O.</b>	<b>3,07</b>	<b>2,63</b>	<b>2,2</b>	<b>4,6</b>	<b>1,5</b>	<b>2,6</b>

Από τις τιμές του ρυθμού απονιτροποίησης στον αναερόβιο (E1) και ανοξικό διαμερισματοποιημένο επιλογέα (E2) γίνεται αντιληπτό ότι στη μεν E1 καταναλώνεται το διαλυτό κλάσμα και εύκολα βιοδιασπάσιμο κλάσμα του COD ενώ στη E2 και ανοξική δεξαμενή (C1) καταναλώνεται το δύσκολα βιοδιασπάσιμο κλάσμα του COD. Τα αποτελέσματα αυτά συνάδουν με τη βιβλιογραφία όπου αναφέρονται για ρυθμούς απονιτροποίησης 4-10 mg NO<sub>3</sub>-N/g MLVSS/h και 2-4 mg NO<sub>3</sub>-N/g MLVSS/h καταναλώνεται το εύκολα και δύσκολα βιοδιασπάσιμο κλάσμα COD αντίστοιχα. Στη φάση της ενδογενούς αναπνοής παρατηρούνται ρυθμοί μικρότεροι από 2 mg NO<sub>3</sub>-N/g MLVSS/h (Καγιά, 2011). Στο **Γράφημα 4.19** παρουσιάζεται ο μέσος όρος των ρυθμών απονιτροποίησης στις μη αερόβιες δεξαμενές των δύο συστημάτων.





**Γράφημα 4.19: Μέσος ρυθμός απονιτροποίησης στις μη αερόβιες δεξαμενές των δύο συστημάτων.**

Στον **Πίνακα 4.12** παρουσιάζονται οι τιμές του αμμωνιακού αζώτου της εισόδου και της εξόδου του κάθε συστήματος. Υπενθυμίζεται ότι με Ε αναφέρονται οι θέσεις δειγματοληψίας στο ΠΣ και με C οι αντίστοιχες στο ΣΕ.

**Πίνακας 4.12: Μετρήσεις NH<sub>4</sub>-N και απόδοση κάθε συστήματος.**

Ημερομηνία	Ημέρα	In	E5	C4	%E5	%C4	TSS E5	TSS C4
25/1/2012	98	62	4,6	0,5	92,6	99,1	281	128
8/2/2012	112	49,3	0,5	3,3	99,0	93,4	58	137
13/2/2012	117	53,1	1,2	0,6	97,8	98,9	58	240
17/2/2012	121	59,2	0,2	1,2	99,6	97,9	17	124
<b>Μ.Ο.</b>		<b>55,9</b>	<b>1,6</b>	<b>1,4</b>	<b>97,3</b>	<b>97,3</b>	<b>104</b>	<b>157</b>
<b>Τυπ. Απόκλιση</b>		<b>5,8</b>	<b>2,0</b>	<b>1,3</b>			<b>120</b>	<b>55</b>
<b>Σφάλμα 95%</b>		<b>5,6</b>	<b>2,0</b>	<b>1,3</b>			<b>118</b>	<b>54</b>

Βλέπουμε ότι το NH<sub>4</sub>-N μετατρέπεται σχεδόν στο ακέραιο σε NO<sub>3</sub>-N και εν τέλει απομακρύνεται από τα συστήματα κατά 97% και στα δύο συστήματα.

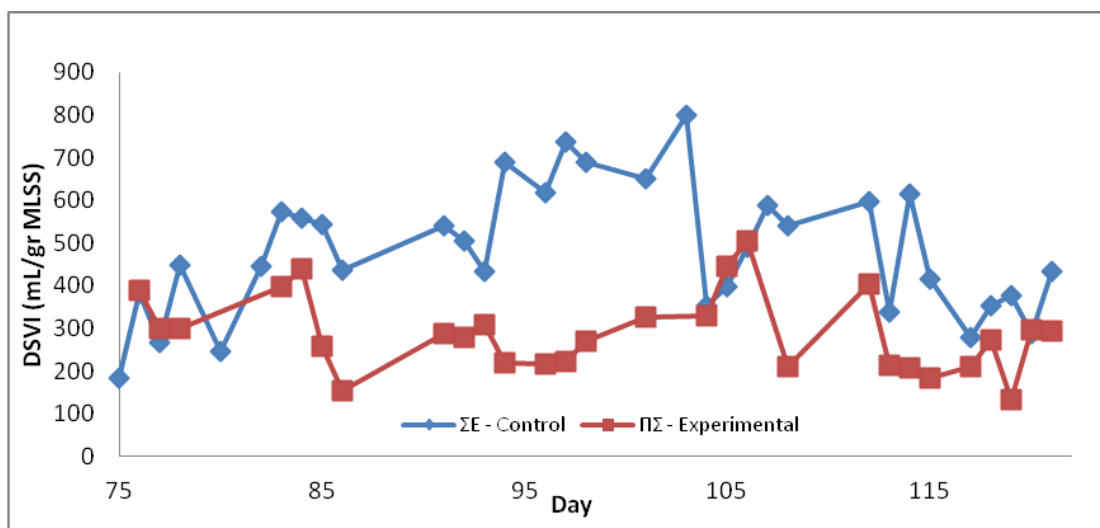
❖ DSVI και Μικροσκοπικές Αναλύσεις

Η απομάκρυνση του οργανικού φορτίου και των θρεπτικών δεν εξασφαλίζει την απόλυτη επιτυχία ενός συστήματος ενεργού ιλύος. Χρειάζεται να υπάρχει σωστή συμπύκνωση και διαύγαση στη ΔTK. Ωστόσο αυτό σε ελάχιστες περιπτώσεις συμβαίνει δίχως προβλήματα. Αιτία αποτελούν τα νηματοειδή βακτήρια (ν.β) τα οποία αναπτύσσονται στη βιομάζα παράλληλα με τα συσσωματούμενα βακτήρια

(σ.β). Μέχρι ένα βαθμό τα ν.β είναι χρήσιμα σύμφωνα με τη θεωρία της «σπονδυλικής στήλης», η υπερανάπτυξή τους όμως οδηγεί σε φαινόμενα νηματοειδούς διόγκωσης (ν.δ.). Οι λάσπες αυτές χαρακτηρίζονται από φτωχά χαρακτηριστικά καθίζησης όπως κακή συμπύκνωση και αργή ταχύτητα καθίζησης. Με πειράματα καθίζησης όπως το SVI και DSVI μπορεί να εκτιμηθεί σχετικά γρήγορα η ποιότητα καθίζησης και συμπύκνωσης της ιλύος. Όμως για την ταυτοποίηση των ν.β. και τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας της ιλύος σε ν.β. απαιτείται η μικροσκοπική παρατήρησή του όπου υποδεικνύεται ο δείκτης νημάτων (FI). Η μικροσκοπική παρατήρηση των δειγμάτων που θα παρουσιαστούν στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε από τους κ.κ. Μαμάη Δανιήλ και Νουτσόπουλο Κων/νο.

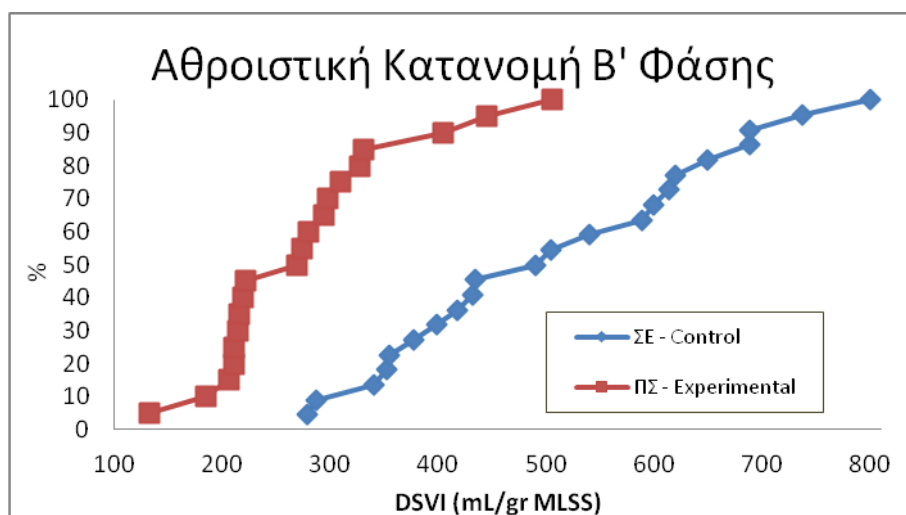
Παρακάτω παρουσιάζονται σε γραφήματα και πίνακες στοιχεία σχετικά με το DSVI και το FI και για τα δύο υπό μελέτη συστήματα. Στη συνέχεια γίνεται προσπάθεια συσχέτισης του DSVI με τον FI, την εφαρμοσμένη οργανική φόρτιση και τη θερμοκρασία.

Η μέτρηση του DSVI ήταν καθημερινή και στα δύο συστήματα. Τα δείγματα λαμβάνονταν από τη πρώτη αερόβια δεξαμενή κάθε συστήματος. Στο **Γράφημα 4.20** παρουσιάζεται η διακύμανση του DSVI και των δύο συστημάτων κατά τη Β' Φάση. Από το ΠΣ αφαιρέθηκαν οι τιμές της 75<sup>ης</sup>, 80<sup>ης</sup>, 82<sup>ης</sup>, 103<sup>ης</sup> και 107<sup>ης</sup> ημέρας λειτουργίας καθώς σε αυτές υπήρξαν αστοχίες οι οποίες κυρίως είχαν να κάνουν με την διακοπή της ανάδευσης στις μη αερόβιες δεξαμενές. Στο ΣΕ δεν παρατηρήθηκαν τέτοιου είδους ή άλλες αστοχίες οπότε δεν αφαιρέθηκε κάποια τιμή. Και στα δύο συστήματα παρατηρούνται έντονες διακυμάνσεις των τιμών του DSVI.



**Γράφημα 4.20: Διακύμανση του DSVI των δύο συστημάτων**

Όπως ειπώθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο η βιομάζα του ΣΕ της Α' φάσης μεταφέρθηκε στο ΠΣ της Β' φάσης και αντίστροφα η βιομάζα του ΠΣ της Α' φάσης τοποθετήθηκε στο ΣΕ της Β' φάσης. Για το λόγο αυτό οι πρώτες 16 τιμές (2/1/12 μέχρι 18/1/12), σχεδόν δύο Θc, δεν ελήφθησαν υπόψη στον υπολογισμό της αθροιστικής κατανομής του DSVI και του μέσου όρου. Η μέση τιμή του DSVI στο ΣΕ ήταν 509 mL/gr MLSS ενώ η αντίστοιχη στο ΠΣ ήταν 278 mL/gr MLSS.



**Γράφημα 4.21: Αθροιστική Κατανομή του DSVI στα δύο συστήματα**

Παρατηρώντας το **Γράφημα 4.21** βλέπουμε ότι τα δύο συστήματα παρουσιάζουν πολύ μεγάλες διαφορές. Ακόμα και στο 40% των τιμών το ΠΣ έχει τη μισή τιμή

DSVI απ' ότι το ΣΕ. Οι τιμές και στα δύο συστήματα υπερβαίνουν τα 150 mL/gr SS και αυτό αποτελεί ένα μειονέκτημα. Αυτό είναι πιθανό να συμβαίνει διότι έτοιμη βιομάζα εισήχθη στα συστήματα και δεν αναπτύχθηκε σε αυτά. Ίσως η χρονικής περιόδου λειτουργίας της Β' Φάσης δεν ήταν ικανή να επιφέρει τα αναμενόμενα αποτελέσματα, μπορεί να χρειαζόταν περισσότερο χρόνο.

Στον **Πίνακα 4.13** παρουσιάζονται ανά ημέρα μέτρησης το DSVI και ο FI για κάθε σύστημα. Ο μέσος όρος των τιμών του FI διαφέρει κατά μία μονάδα. Παρατηρείται ότι κατά την 105<sup>η</sup> και 112<sup>η</sup> ημέρα λειτουργίας οι τιμές του DSVI είναι αρκετά αυξημένες συγκριτικά με τις υπόλοιπες τιμές που παρουσιάζονται στον πίνακα για το ΠΣ. Κατά τη περίοδο που σημειώθηκαν οι υψηλές αυτές τιμές του DSVI δεν παρατηρήθηκε απόκλιση από τον μέσο όρο των τιμών του διαλυτού COD και νιτρικού αζώτου στον αναερόβιο και ανοξικό επιλογέα και στις δεξαμενές αερισμού αντίστοιχα.

**Πίνακας 4.13: Παρουσίαση του DSVI και του FI για το κάθε σύστημα**

Ημερομηνία	Ημέρα	ΠΣ		ΣΕ	
		DSVI	FI	DSVI	FI
19/1/2012	92	279	4	504	5
25/1/2012	98	269	4,5	689	5
1/2/2012	105	445	4	398	5
8/2/2012	112	405	3,5	599	5
13/2/2012	117	211	3,5	279	4,5
17/2/2012	121	294	2,5	435	4,5
<b>M.O.</b>			3,7		4,8

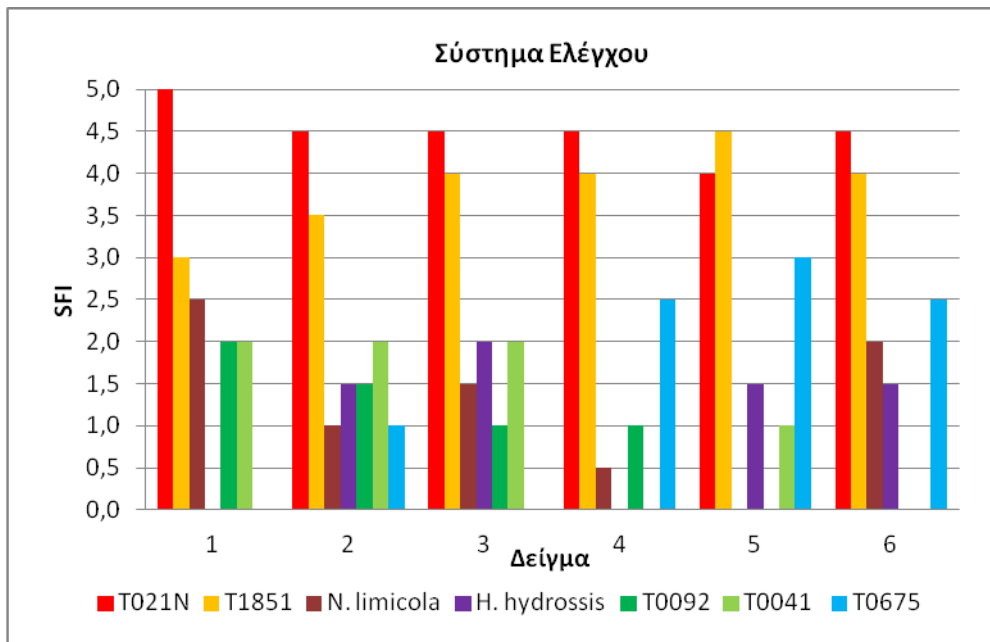
Όσο μεγαλύτερος είναι ο FI τόσο μεγαλύτερη θα αναμένεται και η τιμή του DSVI και αντίστροφα, χωρίς να είναι απόλυτο. Οπότε εφόσον πέφτει η τιμή του FI αναμένεται να πέσει και η τιμή του DSVI. Ωστόσο δεν επηρεάζουν το ίδιο όλα τα ν.β. τα χαρακτηριστικά καθίζησης καθώς άλλα αναπτύσσονται εντός και άλλα εκτός των κροκίδων. Αυτό ίσως να οφείλεται στο ότι η βιομάζα δεν αναπτύχθηκε εξ' αρχής στα δύο συστήματα, απλά μεταβλήθηκαν οι συνθήκες. Και όπως εύστοχα αναφέρουν οι Chiesa et al. (1985), όταν οι συνθήκες λειτουργίας μεταβάλλονται με το χρόνο, τα κυρίαρχα βακτήρια που είναι παρόντα στην ΕΙ, πρέπει να αλλάζουν αντίστοιχα. Οι ίδιοι ωστόσο στα πειράματά τους αντιμετώπισαν την ίδια κατάσταση και συμπέραναν ότι η πρόληψη είναι σημαντικότερη της αντιμετώπισης. Ενδεχομένως αν διαρκούσαν

παραπάνω τα πειράματα η τιμή του DSVI να μειωνόταν τελικά σε επιθυμητά επίπεδα.

Η χρήση ανοξικών φρεατίων επιλογής στοχεύει στον περιορισμό της ανάπτυξης νηματοειδών βακτηρίων (*N. limicola*, Types 1851 & 021N και *Thiothrix* spp.) που αναπτύσσονται με ταχέως βιοδιασπάσιμο κλάσμα COD.

Στα **Γραφήματα 4.22** και **4.23** παρουσιάζεται η χρονική εμφάνιση και μεταβολή της αφθονίας των νηματοειδών βακτηρίων στην ιλύ του ΣΕ και ΠΣ αντίστοιχα. Οι τιμές στον άξονα X αντιπροσωπεύουν τα δείγματα ης βιομάζας που παρατηρήθηκαν μικροσκοπικά στις ημερομηνίες που παρουσιάζονται και στον **Πίνακα 4.13** ενώ στον άξονα Y αντιπροσωπεύουν τον ειδικό δείκτη νημάτων SFI. Ο ειδικός δείκτης νηματοειδών (Specific Filament Index) είναι παράμετρος αντίστοιχη του FI, με τη διαφοροποίηση ότι αφορά κάθε ένα νηματοειδές βακτήριο ξεχωριστά και όχι το πόσο έντονη είναι η παρουσία του συνόλου αυτών στη βιοκοινότητα της ενεργού ιλύος. Όπως ακριβώς και στο FI έτσι και στο SFI η κλίμακα είναι από το 0 (απουσία νηματοειδών) έως 5 (υψηλή εμφάνιση του εκάστοτε είδους).

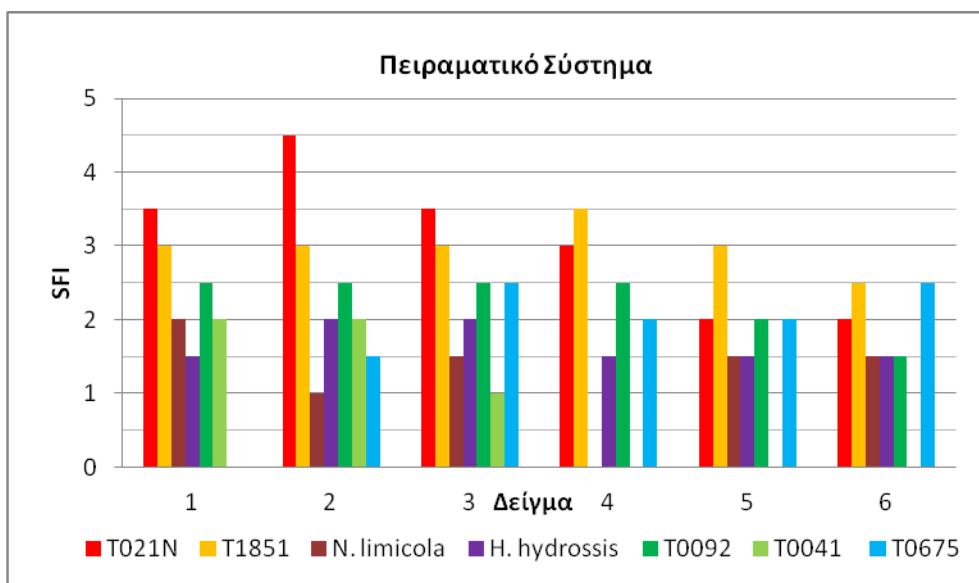
Όπως φαίνεται από τα **Γραφήματα 4.22** και **4.23** και στα δύο συστήματα αναπτύχθηκαν νηματοειδή βακτήρια που καταναλώνουν RBCOD (Type 021N, Type 1851 και *N. limicola*). Ο αναερόβιος και ανοξικός επιλογέας που χρησιμοποιήθηκε στο ΠΣ στόχευε στον περιορισμό της ανάπτυξης των συγκεκριμένων βακτηρίων. Επίσης αναπτύχθηκαν και ν.β. (Type 0041, Type 0092 και Type0675) τα οποία δεν μπορούν να ελεγχθούν από αναερόβιους και ανοξικούς επιλογείς.



**Γράφημα 4.22: Χρονική μεταβολή της αφθονίας των νηματοειδών βακτηριδίων στο σύστημα ελέγχου.**

Στο ΣΕ ο SFI για τα Type 021N και Type 1851 (αύξουσα πορεία) παρέμεινε σε υψηλά επίπεδα ενώ η αφθονία των υπολοίπων ν.β. κυμαινόταν σε χαμηλές τιμές (< 3) κατά τη διάρκεια όλης της διάρκειας της Β' Φάσης. Στο ΣΕ στα δύο τελευταία δείγματα παρουσιάστηκε και ο *G. amarae* σε μικρές τιμές (1-2). Στο ΠΣ η τιμή του SFI του Type 021N μειώνεται με το χρόνο αλλά αυτή του Type 1851 παραμένει γύρω στο 3. Οι αντίστοιχες τιμές για τα *N. limicola* και *H. hydrossis* κυμάνθηκαν κάτω του 2 σε όλη τη διάρκεια.

Μεταξύ των δύο συστημάτων βλέπουμε διαφοροποίηση στο SFI. Ενώ ο Type 021N στο ΣΕ είναι το βακτήριο με το μεγαλύτερο δείκτη SFI στο ΠΣ δεν εμφανίζεται σε τόσο μεγάλο βαθμό, αν και είχε παρατηρηθεί μέσα στις κροκίδες, πράγμα που σημαίνει ότι ο αναερόβιος και διαμερισματοποιημένος ανοξικός επιλογέας τον περιόρισε όπως αναμενόταν. Το ίδιο συμβαίνει και με τον T1851 όπου παρουσιάζει μικρότερες τιμές στο ΠΣ απ' ότι στο ΣΕ, σε αντίθεση με το τον T0092 ο οποίος εμφανίζει μικρότερες τιμές στο ΣΕ. Επίσης παρατηρούμε ότι στο ΠΣ δεν εμφανίζεται ο *G. amarae*, που φαίνεται να ενοχλείται από το φρεάτιο επιλογής του ΠΣ. Βλέπουμε ότι οι Type 0041, Type 0092, Type 0675 και *Nocardia* sp., υπεύθυνοι για τη δημιουργία αφρού (Blackbeard et al., 1988), παρουσιάζουν μικρές τιμές και για το λόγο αυτό δεν παρατηρήθηκε πρόβλημα αφρισμού.



**Γράφημα 4.23: Χρονική μεταβολή της αφθονίας των νηματοειδών βακτηριδίων στο πειραματικό σύστημα.**

Εντύπωση προκαλεί η απουσία του *M. parvicella* από τη βιομάζα των δύο συστημάτων καθώς τα πειράματα διεξήχθησαν μέσα στο χειμώνα και οι θερμοκρασίες των συστημάτων κυμάνθηκαν από 8 έως 21°C οι οποίες ευνοούν την ανάπτυξή του. Βέβαια δεν αναμενόταν να επηρεαστεί το συγκεκριμένο βακτήριο από τους μη αερόβιους επιλογείς. Επίσης δεν φαίνεται να επηρεάζεται ο *H. hydrossis* και ο *N. limicola*, ενώ αναμενόταν αναχαίτιση λόγω της κινητικής και μεταβολικής επιλογής που ασκήθηκε.

### 4.3 Γ' ΦΑΣΗ

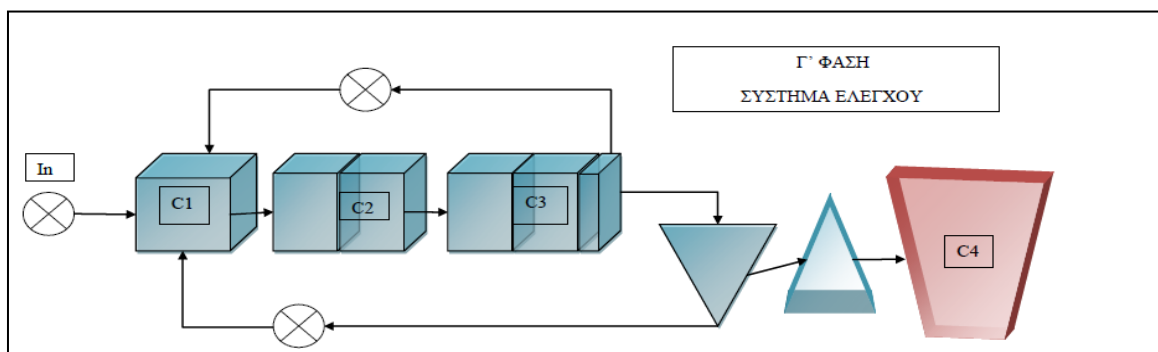
Τα δύο συστήματα ενεργού ιλύος εργαστηριακής κλίμακας λειτούργησαν τη χρονική περίοδο 18/2/2012-11/4/2012 εντός των εγκαταστάσεων του ΚΕΛΨ και τροφοδοτούνταν με πρωτοβάθμια επεξεργασμένα λύματα. Για τις ανάγκες του πειράματος το Πειραματικό Σύστημα (ΠΣ) είχε την ακόλουθη διάταξη: ανοξική δεξαμενή (ΑΝΟ15.5L) - αερόβιες δεξαμενές (ΑΕΡ15.4L, ΑΕΡ10.7L) και δεξαμενή τελικής καθίζησης (ΔΤΚ) ενώ το Σύστημα Ελέγχου (ΣΕ) είχε την ίδια διάταξη όπως και στην Α' και Β' Φάση με τη διαφορά ότι χρησιμοποιήθηκε η ανοξική των 13.1 L

και όχι αυτή των 15.5 (ανοξική - ANO13.1L και αερόβιες δεξαμενές - ΑΕΡ15.4L & ΑΕΡ10.7L και ΔTK). Στο ΠΣ τοποθετήθηκε πλαστικό δοχείο χωρητικότητας 10L (ΔX) από το οποίο αντλούνταν το διάλυμα χλωρίου με τη βοήθεια περισταλτικής αντλίας και οδηγούταν στην ανοξική δεξαμενή. Το ΣΕ ουσιαστικά προσομοιώνει τη βιολογική βαθμίδα του ΚΕΛΨ.

Στόχος του πειράματος είναι η διερεύνηση της δυνατότητας ελέγχου των φαινομένων νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού με την εφαρμογή μη ειδικών μεθόδων στο σύστημα της ενεργού ιλύος με τη προσθήκη χλωρίου. Τα δύο συστήματα λειτούργησαν σε όλη τη διάρκεια του πειράματος με επακριβώς ίδιες λειτουργικές συνθήκες :

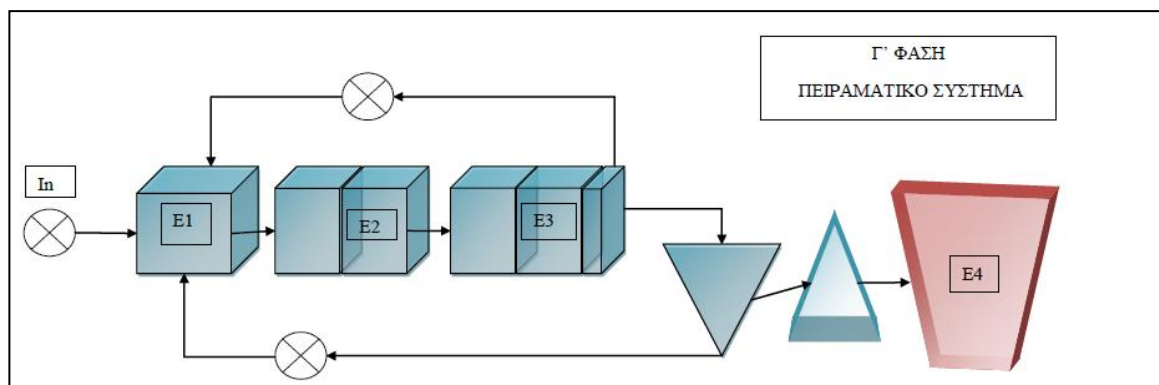
- Παροχές εισόδου (100L/d), εσωτερικής (190 L/d) και εξωτερικής (130L/d) ανακυκλοφορίας,
- Χρόνος παραμονής στερεών θε (8d),
- Είσοδος λυμάτων (κοινά χαρακτηριστικά)

Στα **Σχεδιαγράμματα 4.3** και **4.4** παρουσιάζεται η διάταξη των δύο συστημάτων κατά τη Γ' Φάση λειτουργίας. Στα σημεία που υπάρχει ταμπέλα υποδεικνύονται οι θέσεις δειγματοληψίας.



**Σχεδιάγραμμα 4.3:** Σύστημα Ελέγχου και θέσεις δειγματοληψίας. In: είσοδος, C1: ανοξική δεξαμενή, C2: αερόβια δεξαμενή, C3:αερόβια δεξαμενή, C4: δεξαμενή συλλογής εκροής.





Σχεδιάγραμμα 4.4: Πειραματικό Σύστημα και θέσεις δειγματοληψίας. In: είσοδος, E1: ανοξική δεξαμενή, E2: αερόβια δεξαμενή, E3: αερόβια δεξαμενή, E4: δεξαμενή συλλογής εκροής.

Στον Πίνακα 4.14 παρουσιάζονται οι παρακολουθούμενες παράμετροι και η συχνότητα μέτρησής τους και στα δύο συστήματα.

Πίνακας 4.14: Παράμετροι Λειτουργίας Πιλοτικών Συστημάτων

Παράμετρος	Δεξαμενές	Συχνότητα Μέτρησης
Ολικά αιωρούμενα στερεά	Είσοδος	Ανά 5 ημέρες
	C1-C4, E1-E4	Καθημερινά
Πτητικά αιωρούμενα στερεά	Είσοδος, C1-C4, E1-E4	Ανά 5 ημέρες
Συγκέντρωση διαλυμένου	C2-C3, E2-E3	Καθημερινά
Θερμοκρασία	C2-C3, E2-E3	Καθημερινά
DSVI	C2, E2	Καθημερινά
Ολικό COD	Είσοδος, C4, E4	Ανά 5 ημέρες
Διαλυτό COD	Είσοδος, C1-C4, E1-E4	Ανά 5 ημέρες
Νιτρικό Άζωτο	C1, C3, C4, E1, E3, E4	Ανά 5 ημέρες
Αμμωνιακό Άζωτο	Είσοδος, C4, E4	Ανά 5 ημέρες

Κατά τη Γ' Φάση τα συστήματα λειτούργησαν με καινούρια βιομάζα από το Κ.Ε.Λ.Ψ. η οποία προστέθηκε την 122<sup>η</sup> ημέρα ενώ η προσθήκη χλωρίου στο ΠΣ ξεκίνησε την 127<sup>η</sup> ημέρα. Πρέπει να αναφερθεί ότι η βιομάζα του Κ.Ε.Λ.Ψ. χλωριωνόταν ήδη. Σε όλη τη διάρκεια παρατηρήθηκε πυκνός καφέ αφρός και στα δύο συστήματα αλλά πιο έντονο ήταν το φαινόμενο στο ΠΣ.

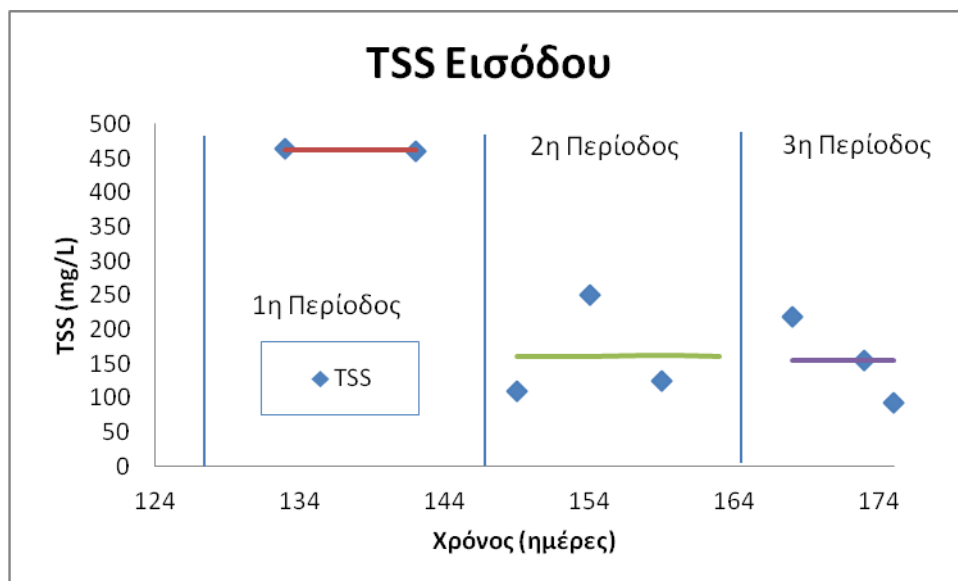
Η Γ' Φάση χωρίστηκε σε τρεις (3) περιόδους που αντιστοιχούν σε δόσεις των 3.5, 7.0 και 10.5 mg Cl<sub>2</sub>/ gr SS/d όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.15.

Πίνακας 4.15: Στοιχεία της Γ' Φάσης λειτουργίας

Περίοδος	Ημέρες	Διάστημα	Δόση (mg Cl <sub>2</sub> / gr MLSS/d)	mg Cl <sub>2</sub> /L
προσαρμογή	122-126	18/2-22/2	-	-
1 <sup>η</sup>	127-146	23/2-13/3	3.5	1.3
2 <sup>η</sup>	147-163	14/3-30/3	7.0	2.4
3 <sup>η</sup>	164-175	31/3-11/4	10.5	

❖ Μέτρηση στερεών στην είσοδο, στην έξοδο και στις δεξαμενές των συστημάτων

Η συγκέντρωση των ολικών αιωρούμενων στερεών στα πρωτοβάθμια επεξεργασμένα εισερχόμενα λύματα, τα οποία αποτελούσαν την είσοδο των συστημάτων, μετρούνταν σύμφωνα με το πειραματικό πρωτόκολλο δύο φορές την εβδομάδα. Στο **Γράφημα 4.24** παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των TSS στην είσοδο των συστημάτων όπου φαίνεται μια σχετικά έντονη διακύμανση των συγκεντρώσεων. Παρατηρείται πτώση στα στερεά εισόδου σε κάθε περίοδο. Για την 1<sup>η</sup> περίοδο ο μέσος όρος των τιμών ήταν 462 mg/L, στη 2<sup>η</sup> 161 mg/L και 155 mg/L στη 3<sup>η</sup> περίοδο λειτουργίας.



Γράφημα 4.24: Στερεά στην είσοδο των συστημάτων και στις τρεις περιόδους λειτουργίας.

Συγκεντρωτικά οι μέσοι όροι των ολικών και πτητικών αιωρούμενων στερεών στην είσοδο, έξοδο και βιολογική βαθμίδα στο ΣΕ και το ΠΣ δίνονται συνολικά στους **Πίνακες 4.17 και 4.18**. Η έξοδος και των δύο συστημάτων ήταν επιβαρυνμένη και για τις τρεις περιόδους λειτουργίας, κατά μέσο όρο 76 και 57 mg/L για το ΣΕ και ΠΣ αντίστοιχα, αλλά αυτό δεν οφείλεται αποκλειστικά στη νηματοειδή διόγκωση. Σημαντική επιβάρυνση προκαλούσε η συνεχής απονιτροποίηση στις ΔΤΚ. Δεν αναμενόταν η διαυγής εκροή από τις ΔΤΚ των πιλοτικών συστημάτων και γι' αυτό δεν θα σχολιαστεί περαιτέρω εφόσον ο χρόνος παραμονής διατηρήθηκε στα επιθυμητών όρια των 8 ημερών.

**Πίνακας 4.16: Τιμές ολικών και πτητικών αιωρούμενων στερεών στο ΣΕ.**

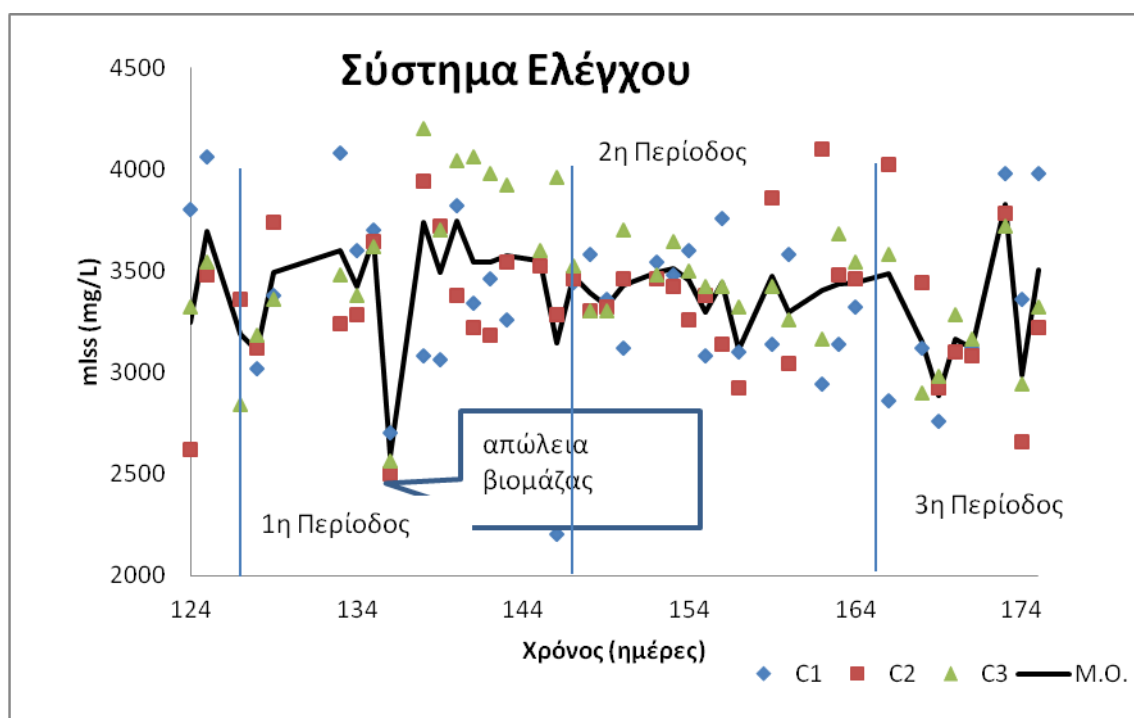
ΣΕ	MLSS (mg /L)					VSS (mg /L)				
	IN	C1	C2	C3	C4	IN	C1	C2	C3	C4
<b>M.O. 1<sup>ης</sup></b>	342	3305	3377	3592	82	297	3133	2993	3433	121
<b>Σφάλμα (95%)</b>	235	233	172	238	35	195	287	573	509	102
<b>M.O. 2<sup>ης</sup></b>	396	3340	3395	3431	70	364	3045	3215	3170	85
<b>Σφάλμα (95%)</b>	464	133	158	85	21	411	181	259	179	51
<b>M.O. 3<sup>ης</sup></b>	155	3289	3298	3269	76	142	3473	3233	3067	80
<b>Σφάλμα (95%)</b>	71	285	277	195	45	58	428	321	449	110

**Πίνακας 4.17: Τιμές ολικών και πτητικών αιωρούμενων στερεών στο ΠΣ.**

ΠΣ	MLSS (mg /L)					VSS (mg /L)				
	IN	E1	E2	E3	E4	IN	E1	E2	E3	E4
<b>M.O. 1<sup>ης</sup></b>	342	2629	2891	3092	90	297	2507	2620	2940	42
<b>Σφάλμα (95%)</b>	235	173	116	216	45	195	250	99	158	14
<b>M.O. 2<sup>ης</sup></b>	396	2524	2783	2966	48	364	2200	2625	2825	51
<b>Σφάλμα (95%)</b>	464	144	152	175	11	411	244	244	119	29
<b>M.O. 3<sup>ης</sup></b>	155	2170	2210	2890	70	155	2060	2040	2830	70
<b>Σφάλμα (95%)</b>	71	220	240	400	17	71	450	252	388	312

Η διακύμανση της βιομάζας στα δύο συστήματα παρουσιάζεται στα **Γραφήματα 4.25 και 4.26**. Ο μέσος όρος της συγκέντρωσης της βιομάζας στη βιολογική βαθμίδα είναι 3420 mg/L, 3400 mg/L και 3290 mg/L για κάθε μία από τις τρεις περιόδους στο ΣΕ. Στο ΠΣ αντίστοιχα ο μέσος όρος είναι 2870 mg/L, 2760 mg/L και 2420 mg/L για

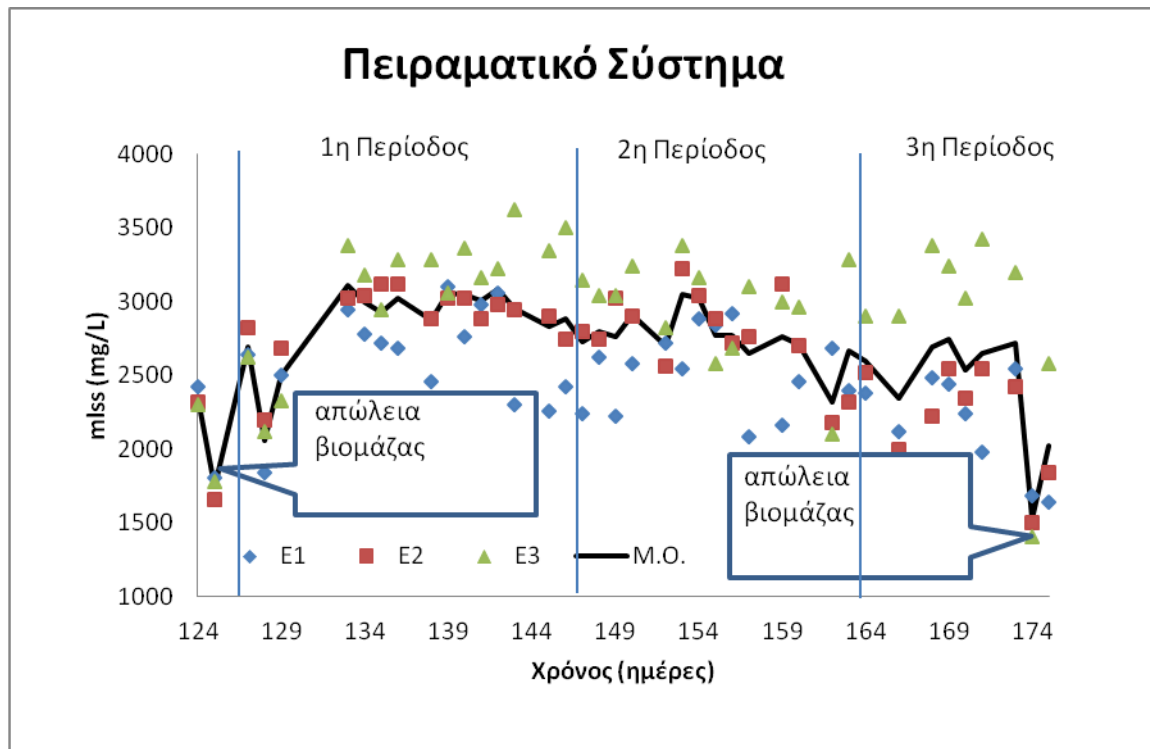
κάθε μία από τις τρεις περιόδους αντίστοιχα. Η επιστροφή της βιομάζας που είχε παγιδευτεί στις κωνικές φιάλες συνέβαλε στην διατήρηση της συνολικής μάζας σε καλά επίπεδα.



Γράφημα 4.25: Διακύμανση στερεών με το χρόνο ΣΕ

Η μαύρη γραμμή αντιστοιχεί στο μέσο όρο της συνολικής βιομάζας στα συστήματα. Στο ΣΕ βλέπουμε ότι η βιομάζα ήταν σχετικά σταθερή, αν εξαιρέσουμε το περιστατικό απώλειας της 136<sup>ης</sup> ημέρας, ενώ αυτή της 169<sup>ης</sup> ημέρας οφείλεται στην υψηλή συγκέντρωση στερεών εξόδου (208mg/L) της προηγούμενης ημέρας. Τις περισσότερες φορές που υπήρχε απώλεια βιομάζας, λόγω αστοχίας, η ποσότητα που χάθηκε (φαινόταν από τον καθημερινό υπολογισμό του  $\Theta_c$ ) αναπληρώνονταν με βιομάζα προηγούμενης μέρας, προσεγγιστικά.

Πρέπει να τονιστεί ότι και τα δύο συστήματα, με την προσθήκη της νέας βιομάζας, αντιμετώπισαν αρκετά προβλήματα έμφραξης στα σωληνάκια ελεύθερης κυκλοφορίας. Από την αρχή υπήρχε έντονη παρουσία αφρού και στα δύο συστήματα. Ο αφρός αυτός άρχισε να υποχωρεί στο ΣΕ, σε αντίθεση με το ΠΣ στο οποίο παρέμεινε μέχρι σχεδόν και τη λήξη των πειραμάτων.

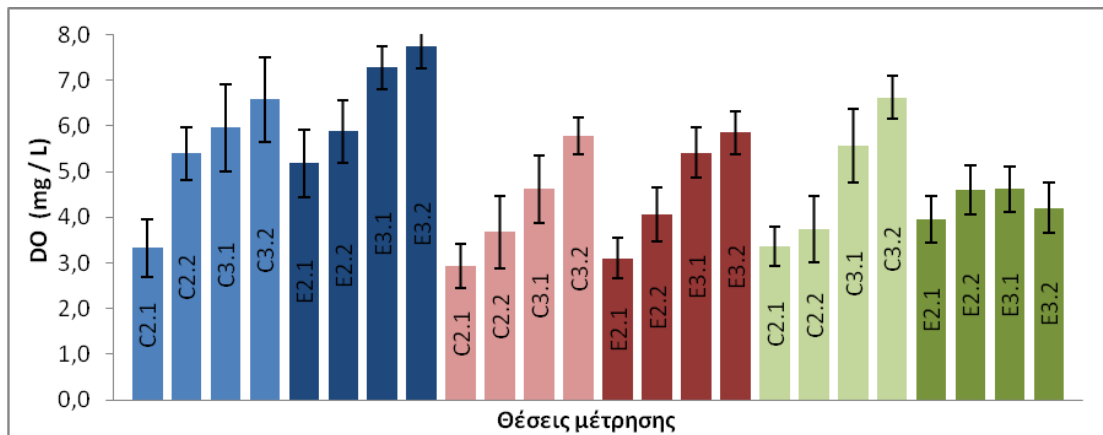


Γράφημα 4.26: Διακύμανση στερεών με το χρόνο - ΠΣ

Στο ΠΣ παρατηρούμε ότι τα MLSS κυμάνθηκαν περί τα 2500 mg/L στη μεγαλύτερη διάρκεια του πειράματος ενώ παρατηρείται και σταδιακή πτώση με το χρόνο. Την 127<sup>η</sup> ημέρα υπήρξε απώλεια βιομάζας λόγω αστοχίας στη ΔTK. Επίσης την 173<sup>η</sup> υπήρξε έμφραξη της εξόδου της E3 και χάθηκε αρκετή βιομάζα. Και στις δύο περιπτώσεις η βιομάζα αναπληρώθηκε με προηγούμενης ημέρας βιομάζα του ίδιου συστήματος.

❖ Συγκέντρωση του D.O. και θερμοκρασία συστημάτων

Οι μέσοι όροι των τιμών της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου σε κάθε δεξαμενή και των δύο συστημάτων παρουσιάζονται στο **Γράφημα 4.27**. Η μπλε απόχρωση αφορά την 1<sup>η</sup> περίοδο, η κόκκινη την 2<sup>η</sup> ενώ η πράσινη την 3<sup>η</sup> περίοδο.



**Γράφημα 4.27: Διακύμανση συγκέντρωσης D.O. σε κάθε αερόβια δεξαμενή και στα δύο συστήματα σε κάθε περίοδο.**

Έγινε προσπάθεια να προσαρμοστεί η παροχή του  $O_2$  ανάλογα τη ζήτηση από τους μ/ούς (αυξημένη στο πρώτο διαμέρισμα και μειούμενο προς την έξοδο) ωστόσο αυτό δεν ήταν εύκολο να επιτευχθεί για δύο λόγους. Ο πρώτος έχει να κάνει με τη συνεχή μεταβολή της συγκέντρωσης των MLSS, συνεπώς για την ίδια παροχή αέρα η συγκέντρωση του  $O_2$  σε μεγάλη συγκέντρωση MLSS (5 gr/L) θα ήταν μικρότερη απ' ότι σε μικρότερες συγκεντρώσεις MLSS. Καθημερινά μετά τη μέτρηση των MLSS γινόταν μέτρηση της συγκέντρωσης  $O_2$  και ρυθμιζόταν προσεγγιστικά η παροχή ανάλογα. Ο δεύτερος λόγος αφορά την ανάδευση. Σε αρκετές περιπτώσεις παρά την υψηλή παροχή αέρα (αλλά και  $O_2$  σε περιπτώσεις μεγάλης συγκέντρωσης MLSS) παρατηρήθηκε συσσώρευση στερεών στον πυθμένα της δεξαμενής, κυρίως στα γωνιακά σημεία. Αυτό φαίνεται στο **Γράφημα 4.27** όπου και στα δύο συστήματα η τιμή της συγκέντρωσης του οξυγόνου της πρώτης δεξαμενής είναι μικρότερη από της δεύτερης. Και στα δύο συστήματα πάντως για την αποφυγή ανάπτυξης νηματοειδών βακτηρίων χαμηλού διαλυμένου οξυγόνου η συγκέντρωση του οξυγόνου ήταν πάνω από 2 mg/L.

Η θερμοκρασία στο ανάμεικτο υγρό παίζει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Όλοι οι μικροοργανισμοί επιβιώνουν μέσα σε ένα θερμοκρασιακό φάσμα και έχουν μια συγκεκριμένη θερμοκρασία όπου παρουσιάζουν το μέγιστο ρυθμό ανάπτυξή τους. Στους μεσόφιλους μικροοργανισμούς οι χαμηλές θερμοκρασίες δεν τους επιτρέπουν τη γρήγορη κατανάλωση τροφής συνεπώς και την ανάλογη ανάπτυξη. Μάλιστα σε χαμηλές θερμοκρασίες νηματοειδής όπως ο *M. parvicella* αναπτύσσεται αρκετά γρήγορα. Η σταθεροποίηση της θερμοκρασίας των

λυμάτων στους 18-20 οC ήταν αναγκαία καθώς το container ήταν εκτεθειμένο στις χαμηλές θερμοκρασίες του χειμώνα και για το λόγο αυτό το κλιματιστικό ήταν μονίμως ανοιχτό.

Στον **Πίνακα 4.19** παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των θερμοκρασιών των δύο συστημάτων και στις τρεις περιόδους λειτουργίας. Η μικρή διαφορά που προκύπτει μεταξύ τους στη 1<sup>η</sup> περίοδο οφείλεται στη θέση του κλιματιστικού το οποίο ήταν μπροστά από το ΣΕ. Όταν αυξήθηκε η εξωτερική θερμοκρασία το κλιματιστικό ήταν περιττό και τα δύο συστήματα είχαν ίδια θερμοκρασία. Κατά τη 1<sup>η</sup> περίοδο η θερμοκρασία κυμάνθηκε μεταξύ 15-21 °C στο ΣΕ και 13-21 °C στο ΠΣ. Στις άλλες δύο περιόδους η θερμοκρασία και στα δύο συστήματα κυμάνθηκε μεταξύ 19- 23 °C.

**Πίνακας 4.18: Μέση θερμοκρασία στις αερόβιες δεξαμενές των δύο συστημάτων και στις τρεις περιόδους λειτουργίας.**

		<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>
		°C			
<b>23/2-23/3</b>	1η περίοδος	19	19	17,4	17,5
<b>24-31/3</b>	2η περίοδος	21,5	21,4	21,5	21,3
<b>1-11/4</b>	3η περίοδος	21,6	21,3	21,5	21,4

#### ❖ Ολικό και διαλυτό COD

Η μέτρηση της συγκέντρωσης του εισερχόμενου οργανικού φορτίου (ως προς ολικό και διαλυτό COD) καθώς και πώς αυτό μεταβάλλεται εντός των συστημάτων και στην έξοδό τους είναι απαραίτητη. Συνεπώς ακολούθως παρουσιάζονται σε πίνακες και γραφήματα οι συγκεντρώσεις του ολικού και διαλυτού COD στην είσοδο, εντός και την έξοδο των δύο συστημάτων. Στη συνέχεια δίνονται διαγράμματα συσχέτισης των ολικών αιωρούμενων στερεών με τη συγκέντρωση σωματιδιακού COD στην έξοδο των δύο συστημάτων και τέλος υπολογίζονται οι οργανικές φορτίσεις στις μη αερόβιες δεξαμενές των δύο συστημάτων. Όλα τα δείγματα που ελήφθησαν για το ολικό και διαλυτό COD ήταν στιγμιαία η λήψη τους πραγματοποιήθηκε μεταξύ 12:20 – 13:00.

Στους Πίνακες 4.20 και 4.21 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του COD στο ΠΣ και ΣΕ. Η 1<sup>η</sup> περίοδος περιλαμβάνει τις μετρήσεις της 133<sup>ης</sup>, 138<sup>ης</sup> και 142<sup>ης</sup> ημέρας, η 2<sup>η</sup> περίοδος την 149<sup>η</sup> μέχρι την 163<sup>η</sup> και η 3<sup>η</sup> περίοδος τις υπόλοιπες.

Πίνακας 4.19: Αποτελέσματα μετρήσεων COD στο ΣΕ.

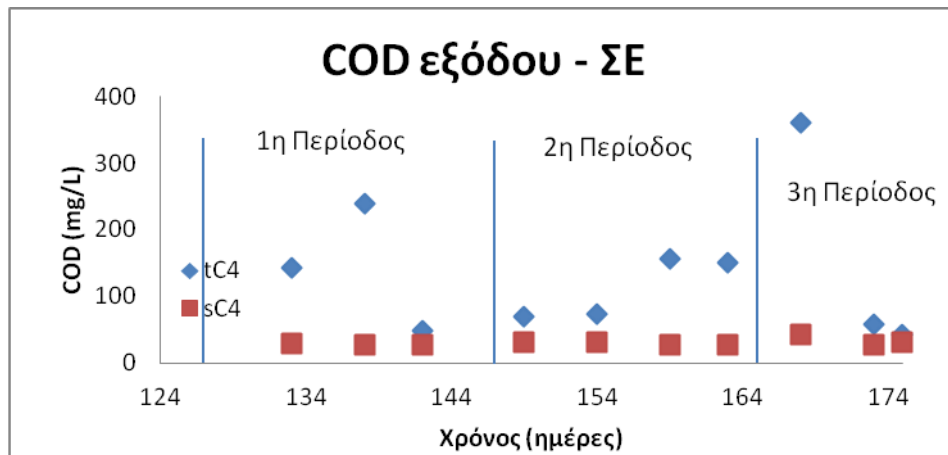
Ημερομηνία	ημέρα	tCOD (mg/L)	sCOD (mg/L)	sC1	sC2	sC3	sC4	tC4
29/2/2012	133	434	147	34	35	28	30	142
5/3/2012	138	625	167	39	26	21	28	239
9/3/2012	142	885	136	28	25	27	27	48,9
16/3/2012	149	346	70	24	28	29	31	71
21/3/2012	154	900	113	37	31	33	32	74
26/3/2012	159	375	105	43	35	35	27	156
30/3/2012	163	1086	67	35	36	32	28	151
4/4/2012	168	380	182	55	54	52	43	360
9/4/2012	173	258	86	42	24	27	28	58
11/4/2012	175	246	56	33	30	28	32	43

Πίνακας 4.20: Αποτελέσματα μετρήσεων COD στο ΠΣ.

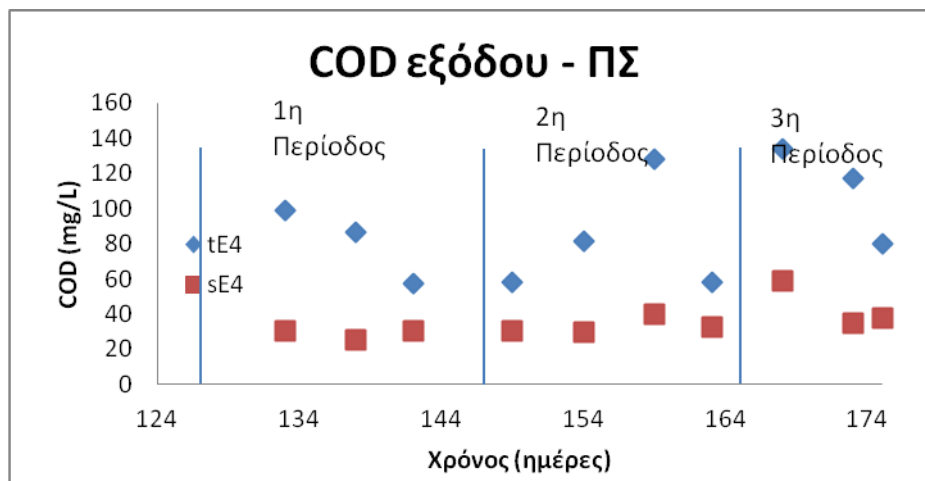
Ημερομηνία	ημέρα	tCOD (mg/L)	sCOD (mg/L)	sE1	sE2	sE3	sE4	tE4
29/2/2012	133	434	147	47	48	58	30	99
5/3/2012	138	625	167	23	36	32	25	87
9/3/2012	142	885	136	30	35	33	30	57
16/3/2012	149	346	70	34	33	32	30	58
21/3/2012	154	900	113	35	42	41	29	81,6
26/3/2012	159	375	105	53	49	45	40	128
30/3/2012	163	1086	67	40	39	40	32	58
4/4/2012	168	380	182	66	64	55	59	134
9/4/2012	173	258	86	40	40	39	35	117
11/4/2012	175	246	56	50	49	49	38	80

Στα Γραφήματα 4.28 και 4.29 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της εξόδου για τα τις δύο μορφές του COD για το ΣΕ και ΠΣ αντίστοιχα. Όπως φαίνεται στα δύο γραφήματα οι συγκεντρώσεις διαλυτού COD και στα δύο συστήματα κυμαινόταν μεταξύ 30 και 40 mg/L και παρουσίασαν μικρή διασπορά. Κατά συνέπεια δεν φαίνεται να προκλήθηκε κάποια αναχαίτιση της απομάκρυνσης του οργανικού φορτίου με την εφαρμογή της χλωρίωσης.



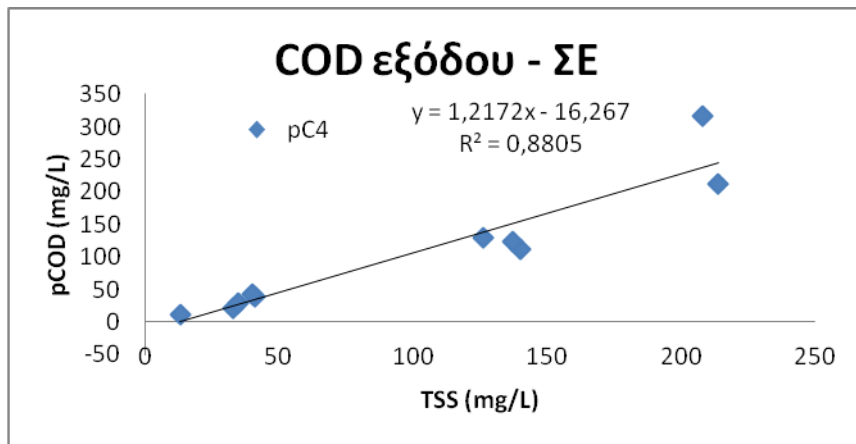


Γράφημα 4.28: Διακύμανση ολικού και διαλυτού COD στο ΣΕ.

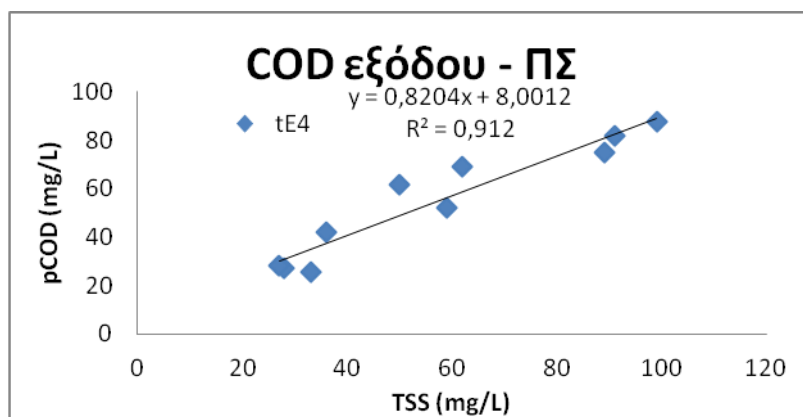


Γράφημα 4.29: Διακύμανση ολικού και διαλυτού COD στο ΠΣ.

Η συγκέντρωση του ολικού COD στα επεξεργασμένα λύματα είναι ανάλογη της συγκέντρωσης αιωρούμενων στερεών στην εκροή. Το **Γράφημα 4.30** δείχνει ότι υπάρχει γραμμική συσχέτιση ( $R^2 = 0.88$ ) μεταξύ του σωματιδιακού COD και TSS της εξόδου για το ΣΕ, όπως επίσης και το **Γράφημα 4.31**, το οποίο δείχνει γραμμική συσχέτιση ( $R^2 = 0.912$ ).

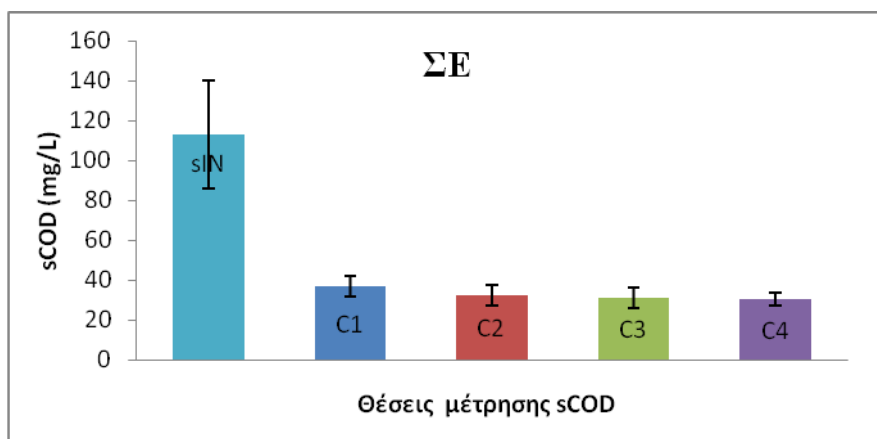


Γράφημα 4.30: Συσχέτιση μεταξύ pCOD και TSSεξόδου στο ΣΕ.

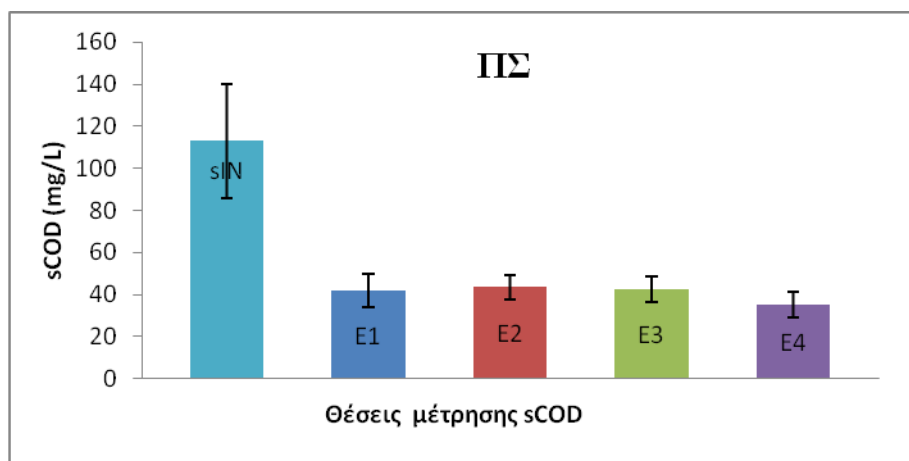


Γράφημα 4.31: Συσχέτιση μεταξύ pCOD και TSSεξόδου στο ΠΣ.

Η τύχη του διαλυτού COD μέσα στα συστήματα παρουσιάζεται στα **Γραφήματα 4.32** και **4.33**. Και στα δύο συστήματα φαίνεται να καταναλώνεται όλο το βιοδιασπάσιμο COD στην ανοξική δεξαμενή του κάθε συστήματος σε χαμηλή οργανική φόρτιση.



Γράφημα 4.32: Γενική εικόνα της διακύμανσης του διαλυτού COD στο ΣΕ.



Γράφημα 4.33: : Γενική εικόνα της διακύμανσης του διαλυτού COD στο ΣΕ.

Συνοπτικά παρατηρείται ότι στο ΠΣ και στο ΣΕ καταναλώνεται σχεδόν το 100% του εισερχόμενου βιοδιασπάσιμου COD στην ανοξική δεξαμενή του κάθε συστήματος.

Τα αποτελέσματα του υπολογισμού της οργανικής φόρτισης στις αρχικές δεξαμενές των δύο συστημάτων παρουσιάζονται στον **Πίνακα 4.22**.

Πίνακας 4.21: Οργανικές φορτίσεις στις ανοξικές δεξαμενές του ΠΣ και ΣΕ σε όλες τις περιόδους.

Ημερομηνία	Ημέρα	tCOD (mg/L)	MLSS E1(mg/L)	OL (kg COD / kg MLSS / d)		MLSS C1(mg/L)
				OL E1	OL C1	
29/2/2012	133	434	2940	0,95	0,81	4080
5/3/2012	138	625	2460	1,64	1,55	3080
9/3/2012	142	885	3060	1,87	1,95	3460
<b>M.O.</b>				<b>1,49</b>	<b>1,44</b>	
16/3/2012	149	346	2220	1,01	0,79	3360
21/3/2012	154	900	2880	2,02	1,91	3600
26/3/2012	159	375	2160	1,12	0,91	3140
30/3/2012	163	1086	2400	2,92	2,64	3140
<b>M.O.</b>				<b>1,77</b>	<b>1,56</b>	
4/4/2012	168	380	2480	0,99	0,93	3120
9/4/2012	173	258	2540	0,66	0,49	3980
11/4/2012	175	246	1640	0,97	0,47	3980
<b>M.O.</b>				<b>0,87</b>	<b>0,63</b>	
<b>M.O.</b>				<b>1,41</b>	<b>1,25</b>	

Βλέπουμε ότι οι μέσες τιμές οργανικής φόρτισης των δύο συστημάτων, σε κάθε περίοδο λειτουργίας, αντιπροσωπεύουν αντιδραστήρα χαμηλής φόρτισης.

❖ Νιτρικό και αμμωνιακό άζωτο

Εκτός από τη μέτρηση του COD, πραγματοποιήθηκαν και μετρήσεις των νιτρικών σε επιλεγμένα σημεία των συστημάτων όπως αυτά παρουσιάζονται στον **Πίνακα 4.23** και στο **Γράφημα 4.34**.

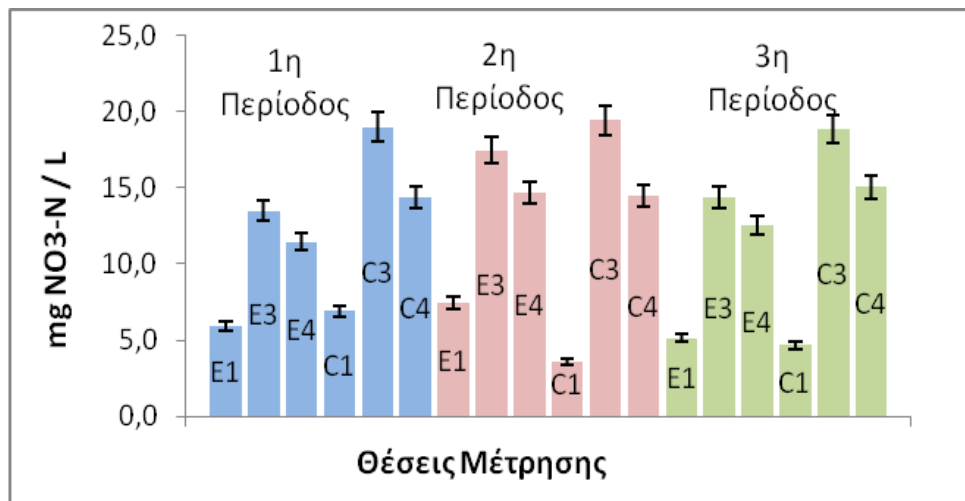
**Πίνακας 4.22: Αποτελέσματα μετρήσεων NO<sub>3</sub>-N στο ΠΣ και ΣΕ.**

Ημέρες		E1	E3	E4	C1	C3	C4
29/2/2012	133	8,9	14,7	14,7	11,2	20,9	16,2
5/3/2012	138	0,7	8,8	6,5	4,1	16,8	10,8
9/3/2012	142	8,3	17	13,1	5,5	19,2	16
M.O.		5,9	13,5	11,4	6,9	19	14,3
16/3/2012	149	10,5	17,8	14,0	6,23	18,8	14,8
21/3/2012	154	6,9	17,1	15,8	2,41	18,4	14,3
26/3/2012	159	8,5	18,7	16,2	2,6	18,7	13,9
30/3/2012	163	6,9	16,6	12,1	3,04	21,8	14,9
M.O.		7,5	17,5	14,7	3,6	19,4	14,5
4/4/2012	168	2,4	11,4	9,4	6,46	21	14,9
9/4/2012	173	3,0	13,5	12,3	4,94	19,4	14,9
11/4/2012	175	10,0	18,3	15,9	2,67	16,16	15,4
M.O.		5,1	14,4	12,5	4,7	18,9	15,1
M.O		6,6	15,4	13,0	4,9	19,1	14,6
Τυπ. Απόκλιση		3	3	3	3	2	2
Σφάλμα 95%		2	2	2	2	1	1

Στον **Πίνακα 4.25** παρουσιάζονται οι μετρήσεις του αμμωνιακού αζώτου για κάθε μέρα μέτρησης και στα δύο συστήματα. Επίσης παρουσιάζονται οι αποδόσεις των δύο συστημάτων στην απομάκρυνση του αμμωνιακού αζώτου και τα στερεά της εξόδου.

Πίνακας 4.23: Μετρήσεις NH<sub>4</sub>-N και απόδοση κάθε συστήματος.

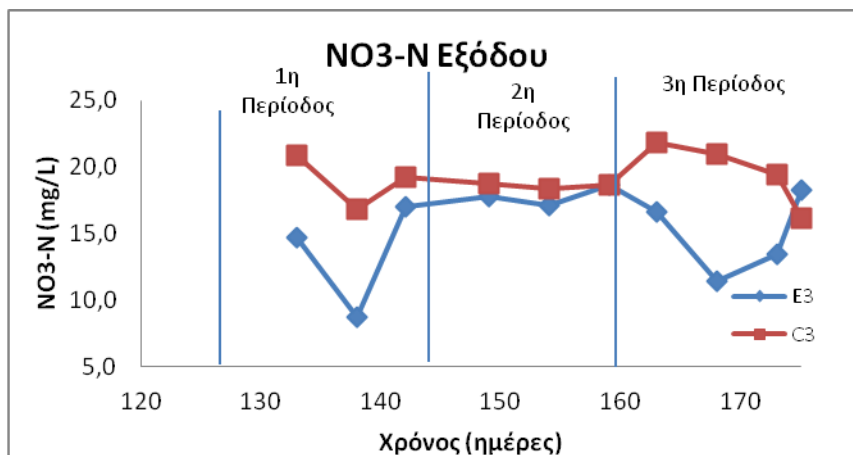
Ημερομηνία	Ημέρα	In	E4	C4	%E5	%C4	TSS E5	TSS C4
29/2/2012	133	68	0,944	0,162	98,6	99,8	62	140
5/3/2012	138	74,8	0,079	0,143	99,9	99,8	50	214
9/3/2012	142	55,7	0,074	0,147	99,9	99,7	28	33
16/3/2012	149	40	0,015	0,015	100,0	100,0	27	41
21/3/2012	154	63,4	0,071	0,07	99,9	99,9	59	40
26/3/2012	159	63,2	0,11	0,015	99,8	100,0	99	126
30/3/2012	163	55	0,09	0,302	99,8	99,5	33	137
4/4/2012	168	56,7	1,74	0,25	96,9	99,6	89	208
9/4/2012	173	48	1,48	0,217	96,9	99,5	91	35
11/4/2012	175	36,7	4,67	0,311	87,3	99,2	36	13



Γράφημα 4.34: Προφίλ NO<sub>3</sub>-N και στα δύο συστήματα ανά περίοδο λειτουργίας.

Στο παραπάνω γράφημα παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των νιτρικών της κάθε δεξαμενής και στα δύο συστήματα για κάθε περίοδο λειτουργίας. Παρατηρούμε ότι οι δόσεις του χλωρίου δεν επηρεάζουν την αυτοτροφική βιομάζα παρά το γεγονός ότι οι τιμές των νιτρικών στις δεξαμενές E3 και C3 παρουσιάζουν κάποια διαφορά. Όπως φαίνεται στους πίνακες 4.23 και 4.24 το ΠΣ και το ΣΕ επιτυγχάνουν πλήρη νιτροποίηση με ποσοστό νιτροποίησης μεταξύ 87% και 100%. Μόνο κατά τη 3<sup>η</sup> περίοδο χλωρίωσης όπου η δόση χλωρίωσης αυξήθηκε στα 11,6 mg Cl<sub>2</sub> / gr MLSS / d ο βαθμός νιτροποίησης μειώθηκε με αποτέλεσμα οι συγκεντρώσεις του αμμωνιακού αζώτου στην εκροή του ΠΣ να κυμαίνεται μεταξύ 1,5 και 4,5 mg/L (Πίνακας 4.23).

Στο **Γράφημα 4.35** παρουσιάζεται η συγκέντρωση του νιτρικού αζώτου στην έξοδο των δύο συστημάτων.



**Γράφημα 4.35:** Συγκεντώσεις NO<sub>3</sub>-N στην έξοδο των δύο συστημάτων.

Με βάση τις συγκεντρώσεις των νιτρικών σε κάθε διαμέρισμα υπολογίστηκε ο ρυθμός απονιτροποίησης για το ΠΣ και το ΣΕ όπως δίνεται κατωτέρω.

#### ➤ Πειραματικό Σύστημα

Για την ανοξική δεξαμενή (Aνο15.5L):

Χρησιμοποιώντας τον ακόλουθο τύπο και τους μέσους όρους των VSS και NO<sub>3</sub>-N, μπορούμε να υπολογίσουμε την ταχύτητα απονιτροποίησης.

$$q_{DN} = \frac{(Q_{ir} + Q_{ras}) * [E3] - (Q_{in} + Q_{ras} + Q_{ir}) * [E1]}{[mlss]A_{no15.5L} * VA_{no15.5L}}$$

#### ➤ Σύστημα Ελέγχου

Για την ανοξική δεξαμενή (Aνο13.1L):

$$q_{DN} = \frac{(Q_{ir} + Q_{ras}) * [C3] - (Q_{in} + Q_{ras} + Q_{ir}) * [C1]}{[mlss]13.1L * VA_{no13.1L}}$$

Όπου με Q<sub>ir</sub> (L/d) συμβολίζεται η εσωτερική ανακυκλοφορία, με Q<sub>ras</sub> (L/d) η εξωτερική ανακυκλοφορία και με Q<sub>in</sub> (L/d) η παροχή εισόδου.

Τα αποτελέσματα των παραπάνω υπολογισμών παρουσιάζονται στον **Πίνακα 4.24** όπως και η συγκέντρωση των πτητικών αιωρούμενων στερεών για κάθε μέρα υπολογισμού του ρυθμού απονιτροποίησης.

**Πίνακας 4.24:** Ρυθμοί απονιτροποίησης για τα δύο συστήματα και στις τρεις περιόδους λειτουργίας.

Ημερομηνία	Ημέρα	VSS E1 (mg/L)	$q_{DN}$ E1	$q_{DN}$ C1	VSS C1 (mg/L)
		(gr NO <sub>3</sub> -N / kg VSS /hr)			
<b>29/2/2012</b>	133	2480	1,0	2,1	3360
<b>5/3/2012</b>	138	2300	2,5	3,4	2860
<b>9/3/2012</b>	142	2740	1,9	3,8	3180
<b>Μ.Ο.</b>			<b>1,8</b>	<b>3,1</b>	
<b>Σφάλμα</b>			<b>0,9</b>	<b>1,0</b>	
<b>16/3/2012</b>	149	2080	1,4	3,6	3000
<b>21/3/2012</b>	154	2560	2,6	4,9	3300
<b>26/3/2012</b>	159	2000	2,6	4,9	2860
<b>30/3/2012</b>	163	2160	2,6	5,6	3020
<b>Μ.Ο.</b>			<b>2,3</b>	<b>4,7</b>	
<b>Σφάλμα</b>			<b>0,6</b>	<b>0,8</b>	
<b>4/4/2012</b>	168	2240	2,9	4,3	3040
<b>9/4/2012</b>	173	2340	3,3	3,7	3640
<b>11/4/2012</b>	175	1600	2,3	3,9	3740
<b>Μ.Ο.</b>			<b>2,8</b>	<b>4</b>	
<b>Σφάλμα</b>			<b>0,6</b>	<b>0,3</b>	
<b>Μ.Ο.</b>			<b>1,8</b>	<b>3,1</b>	

Στον **Πίνακα 4.25** παραθέτονται τα στοιχεία για κάθε περίοδο για τον μέσο όρο της μάζας των μικροοργανισμών στο ΠΣ, της παροχής του διαλύματος χλωρίου, της συνολικής δόσης χλωρίου ανά μάζα και ημέρα ( $T_m$ ) σε gr Cl<sub>2</sub> /kg MLSS / d, της

τοπικής συγκέντρωσης χλωρίου στο σημείο προσθήκης ( C ) σε mgCl<sub>2</sub>/L, της μάζας του χλωρίου ανά μάζα MLSS (T) σε mgCl<sub>2</sub>/ kg MLSS και η συχνότητα έκθεσης F σε φορές /d.

**Πίνακας 4.25: Μέσοι όροι των λειτουργικών συνθηκών της χλωρίωσης για το ΠΣ. .**

Περίοδος	Ημέρες	gr MLSS	Q (L/d)	Tm (gr Cl <sub>2</sub> / kg MLSS / d)	C (mgCl <sub>2</sub> /L)	T (mgCl <sub>2</sub> /gr MLSS)	F (/d)
1 <sup>η</sup>	127-146	149	4.4 (4.7)	3.5 (3.5)	1.3	0.4	8.6
2 <sup>η</sup>	146-164	145	4.1 (4.7)	7.1 (7.0)	2.4	0.8	8.8
3 <sup>η</sup>	165-175	129	4.5 (4.7)	11.6 (10.5)	3.8	1.3	10.1

Οι τιμές του **Πίνακα 4.26** που βρίσκονται εντός των παρενθέσεων υποδηλώνουν τις τιμές- στόχους που έχουν υπολογιστεί. Βλέπουμε ότι κατά την 3η περίοδο η συνολική μάζα δόσης (Tm) απέχει περίπου 10% από τη τιμή – στόχο εξαιτίας της μείωσης της βιομάζας. Η συνολική δόση χλωρίου ανά μάζα (Tm) στις πρώτες δύο περιόδους τηρήθηκε κατά το μέσο όρο των τιμών αλλά ξέφυγε στην 3<sup>η</sup> περίοδο. Στη βιβλιογραφία (**Jenkins et al., 2004**) τονίζεται ότι η τιμές της Tm πρέπει να είναι μικρότερες από 15 gr Cl<sub>2</sub> /gr MLSS / d ενώ μέχρι τη μέγιστη δόση πρέπει να αυξάνεται σταδιακά και προσεκτικά, όπως και έγινε. Η τιμή της μάζας του χλωρίου ανά μάζα MLSS (T) κυμάνθηκε στα επίπεδα της βιβλιογραφίας (**Lakay et al., 1988**) όπως επίσης και η τοπική συγκέντρωση του χλωρίου ( C ) (<35 mg Cl<sub>2</sub> /L) και η συχνότητα επαφής F (>2.5.d).

❖ Batch πειράματα για μέτρηση της τοξικότητας

Ο στόχος των πειραμάτων αυτών ήταν να προσδιοριστεί πιθανή τοξικότητα. Για τον προσδιορισμό πιθανής επίδρασης του χλωρίου στους ετερότροφους μικροοργανισμούς πραγματοποιήθηκαν πειράματα OUR. Το πρώτο μέρος περιελάμβανε τη μέτρηση του ρυθμού κατανάλωσης του οξυγόνου κατά την ενδογενή φάση των μικροοργανισμών ενώ το κατά το δεύτερο μετρήθηκε ο ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου μετά τη προσθήκη οξικού οξέως ως διαλυτή τροφή. Τα



αποτελέσματα των μετρήσεων για κάθε περίοδο λειτουργίας παρουσιάζονται στον **Πίνακα 4.26**.

**Πίνακας 4.26: Αποτελέσματα του OUR και στις τρεις περιόδους.**

Περίοδος	OUR (mg O <sub>2</sub> / gr VSS / hr)			
	Ενδογενής Αναπνοή		Προσθήκη οξικού οξέος	
	ΣΕ	ΠΣ	ΣΕ	ΠΣ
A	7,68	10,62	19	18
B	8,01	10,18	19	13
Γ	6,85	6,61	15	14

Με βάση τις μετρήσεις OUR στο ΣΕ και στο ΠΣ, η εφαρμογή της χλωρίωσης δεν φαίνεται να προκαλεί αναχαίτιση στην ανάπτυξη των ετεροτροφικών βακτηρίων. Οι μέγιστοι ρυθμοί αποξυγόνωσης του ΠΣ είναι περίπου ίδιοι με τους μέγιστους ρυθμούς OUR που μετρήθηκαν στο ΣΕ. Μόνη εξαίρεση αποτελεί η ταχύτητα κατανάλωσης οξυγόνου που μετρήθηκε κατά τη 2<sup>η</sup> περίοδο που διαφέρει κατά 30% από την αντίστοιχη που μετρήθηκε στο ΣΕ. Δεν υπάρχει κάποια λογική εξήγηση για το φαινόμενο αυτό καθώς στη μεγαλύτερη δόση δεν παρουσιάζεται διαφορά μεταξύ των μεταξύ των δύο συστημάτων και κατά συνέπεια θα μπορούσε να αποδοθεί σε πειραματικό σφάλμα. Σημειώνεται ότι σε μεγαλύτερες δόσεις χλωρίου δεν μετρήθηκε καμιά αναχαίτιση. Φαινόμενα εγκλιματισμού δεν έχουν αναφερθεί βιβλιογραφικά για τις περιπτώσεις χλωρίωσης.

Για τον προσδιορισμό πιθανής επίδρασης του χλωρίου στους αυτότροφους μικροοργανισμούς πραγματοποιήθηκαν πειράματα AUR. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων για κάθε περίοδο λειτουργίας παρουσιάζονται στον **Πίνακα 4.27**.

**Πίνακας 4.27: Αποτελέσματα του AUR και στις τρεις περιόδους**

Περίοδος	AUR (mg N / gr VSS / hr)		
	ΣΕ	ΠΣ	Αναχαίτιση (%)
A	2,51	1,37	41,4
B	2,93	2,32	20,8
Γ	2,76	2,74	0,7

Στον **Πίνακα 4.27** βλέπουμε ότι κατά τη πρώτη περίοδο υπάρχει αρκετά μεγάλη αναχαίτιση (40%). Πρέπει να διευκρινιστεί ότι η τιμή του ΠΣ της Α' περιόδου αποτελεί το μέσο όρο των τιμών 1,47 και 1,26 mg N / gr VSS / hr. Αυτό συμβαίνει διότι η πρώτη τιμή θεωρήθηκε μικρή και προκάλεσε ανάγκη επαλήθευσης. Η δεύτερη τιμή όμως υπέδειξε ότι δεν έγινε κάποιο σφάλμα κατά τη μέτρηση. Η επαλήθευση δυστυχώς έγινε μόνο στο ΠΣ και όχι στο ΣΕ αλλά απ' ότι φαίνεται και από τις τρεις τιμές του ΣΕ δεν έγινε λάθος. Κατά τη Β' περίοδο η δόση διπλασιάστηκε και έτσι αναμενόταν μεγαλύτερη αναχαίτιση. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων ήταν διαφορετικά από τα αναμενόμενα καθώς το ποσοστό της αναχαίτισης έπεσε στο 20%. Με τον τριπλασιασμό της αρχικής δόσης η αναχαίτιση είναι μηδαμινή (!). Αυτό δείχνει ότι η αυτοτροφική βιομάζα δεν φαίνεται να επηρεάζεται σημαντικά από την εφαρμογή της χλωρίωσης. Αυτό φαίνεται και από τις τιμές του NH<sub>4</sub>-N στα επεξεργασμένα λύματα που είναι σχετικά χαμηλές σε όλες τις περιόδους χλωρίωσης καθώς και τον βαθμό νιτροποίησης που διατηρείται πάνω από 90%.

Οι περισσότερες εργασίες (**Caravelli, 2003; Caravelli, 2004; Lakay et al., 1988**) αναφέρουν ότι το χλώριο δεν επηρεάζει ούτε την ετεροτροφική ούτε την αυτοτροφική βιομάζα ακόμα και σε μεγάλες δόσεις. Η αναχαίτιση που παρουσιάζεται στη 1<sup>η</sup> και 2<sup>η</sup> περίοδο το πιο πιθανό είναι να οφείλεται σε άλλους παράγοντες. Συγκεντρωτικά απ' ότι φαίνεται από τον **Πίνακα 4.27** θα μπορούσε να ειπωθεί ότι το χλώριο δεν επηρέασε την αυτοτροφική βιομάζα χωρίς αυτό να αποτελεί ασφαλές συμπέρασμα. Περισσότερα πειράματα AUR θα έπρεπε να είχαν διεξαχθεί για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων.

#### ❖ DSVI και Μικροσκοπικές Αναλύσεις

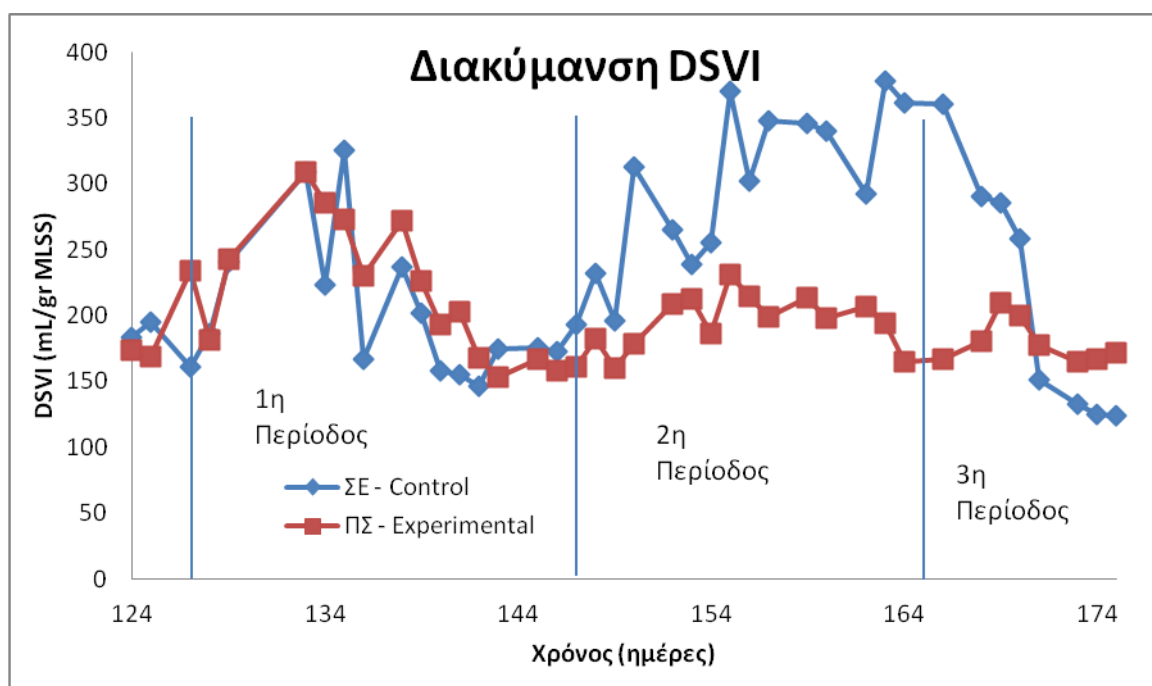
Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων χλωρίωσης η καθαρισιμότητα των δύο συστημάτων προσδιορίζονταν τακτικά μέσω μετρήσεων DSVI, FI και SFI. Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν γραφήματα και πίνακας που αφορούν την διακύμανση του DSVI καθ' όλη τη διάρκεια και των τριών περιόδων λειτουργίας των συστημάτων. Επίσης θα παρουσιαστούν οι τιμές του FI και πώς κυμάνθηκε κατά τη διάρκεια των πειραμάτων σε κάθε σύστημα καθώς και οι τιμές του SFI.

Η μέτρηση του DSVI ήταν καθημερινή και στα δύο συστήματα. Τα δείγματα λαμβάνονταν από τη πρώτη αερόβια δεξαμενή κάθε συστήματος. Στο **Γράφημα 4.36**

παρουσιάζεται η διακύμανση του DSVI και των δύο συστημάτων κατά τη Γ' Φάση και στον Πίνακα οι μέσοι όροι των τιμών του DVI (σε διάστημα εμπιστοσύνης 95%) ανά σύστημα και περίοδο λειτουργίας.

**Πίνακας 4.28: Μέσοι όροι τιμών του DSVI για τις διάφορες δόσεις χλωρίωσης για το ΠΣ και το ΣΕ.**

	1η Περίοδος		2η Περίοδος		3η Περίοδος	
	3.5 gr Cl <sub>2</sub> /kg MLSS / d		7.1 gr Cl <sub>2</sub> /kg MLSS / d		11.6 gr Cl <sub>2</sub> /kg MLSS / d	
	ΣΕ	ΠΣ	ΣΕ	ΠΣ	ΣΕ	ΠΣ
<b>Μ.Ο.</b>	202	220	295	194	216	180
<b>95%</b>	28	25	32	11	65	11



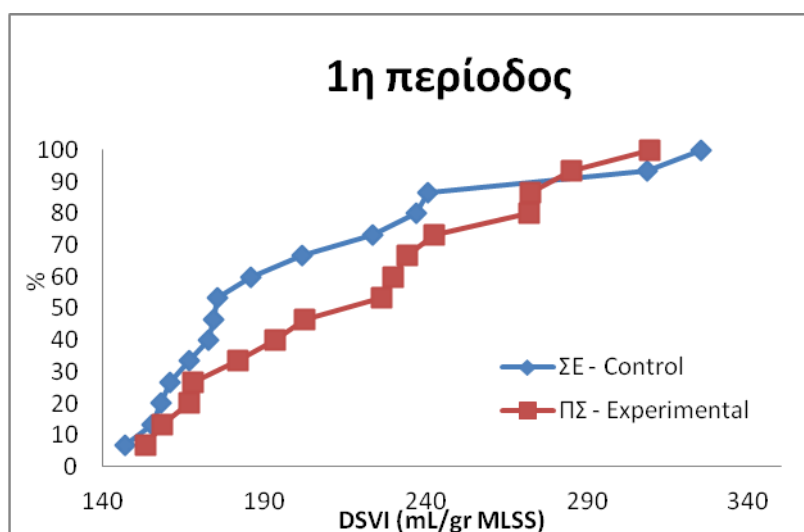
**Γράφημα 4.36: Διακύμανση DSVI με το χρόνο στα δύο συστήματα.**

Από το **Γράφημα 4.36** βλέπουμε ότι τα δύο συστήματα ξεκινούν με το ίδιο DSVI, καθώς έχουν την ίδια βιομάζα, ενώ στη συνέχεια μέχρι την 133<sup>η</sup> ημέρα αυξάνουν την τιμή τους. Τα δύο συστήματα δεν φαίνεται να διαφοροποιούνται ως προς τις τιμές του DSVI παρά τη χλωρίωση. Έπειτα ακολουθεί μείωση των τιμών του DSVI, μέχρι την 147<sup>η</sup> ημέρα, και στο ΠΣ που χλωριώνεται αλλά και στο ΣΕ που δεν χλωριώνεται. Κατά τη 2<sup>η</sup> περίοδο που η συνολική δόση (Tm) διπλασιάζεται, το ΠΣ παρουσιάζει πολύ καλύτερη εικόνα χωρίς μεγάλες μεταβολές στο DSVI όπως συμβαίνει στο ΣΕ.

Με την έναρξη της 3<sup>ης</sup> περιόδου παρατηρείται σχετικά απότομη μείωση στο DSVI του ΣΕ ενώ στο τέλος της 3<sup>ης</sup> περιόδου οι τιμές του DSVI είναι μικρότερες και από αυτές του ΠΣ που χλωριωνόταν με υψηλή δόση (11.6 gr Cl<sub>2</sub> / gr MLSS /d κατά μέσο όρο). Οι τιμές του DSVI του ΠΣ κατά την 3<sup>η</sup> περίοδο δεν μεταβλήθηκαν σημαντικά με την αύξηση της δόσης του χλωρίου και παρατηρήθηκε μόνο μια μικρή μείωση με αποτέλεσμα ο μέσος όρος DSVI να ισούται με 159 mL/gr MLSS σε σχέση με 194 mL/gr MLSS που ήταν στη 2<sup>η</sup> περίοδο.

Τα τρία ακόλουθα γραφήματα παρουσιάζουν την αθροιστική κατανομή των τιμών DSVI του κάθε συστήματος κατά την διάρκεια των τριών περιόδων λειτουργίας της Γ' Φάσης των πειραμάτων. Παρατηρώντας τα αποτελέσματα, γίνεται αντιληπτό ότι σε κάθε περίοδο το ΠΣ παρουσιάζει μικρότερες τιμές DSVI.

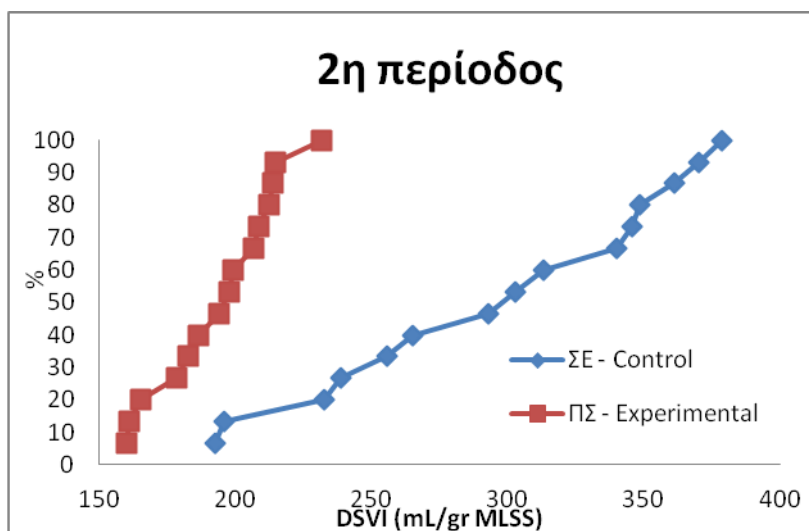
Κατά τη διάρκεια της 1<sup>ης</sup> περιόδου οι τιμές δεν υπερέβαιναν τα 325 και 305 mL/gr MLSS για το ΣΕ και ΠΣ αντίστοιχα. Τα δύο συστήματα επέδειξαν ίδια καθιζησιμότητα παρά τη χλωρίωση με δόση 3.5 gr Cl<sub>2</sub> / gr MLSS /d (**Γράφημα 4.37**).



**Γράφημα 4.37: Αθροιστική Κατανομή 1ης Περιόδου και στα δύο συστήματα**

Στο **Γράφημα 4.45** παρουσιάζεται η αθροιστική κατανομή των δύο συστημάτων κατά τη διάρκεια της 2<sup>ης</sup> περιόδου όπου η δόση διπλασιάστηκε (7 mgCl<sub>2</sub> /gr MLSS/d). Όπως φαίνεται και στο σχήμα οι τιμές του DSVI στο ΠΣ μειώθηκαν και ο μέσος όρος μειώθηκε στο 230 mL/gr MLSS. Στο ΣΕ ο μέσος όρος ήταν 378 mL/gr MLSS. Κατά συνέπεια κατά τη 2<sup>η</sup> περίοδο των πειραμάτων το σύστημα που δέχθηκε χλώριο ανέπτυξε βιομάζα με σημαντικά καλύτερα χαρακτηριστικά καθίζησης.

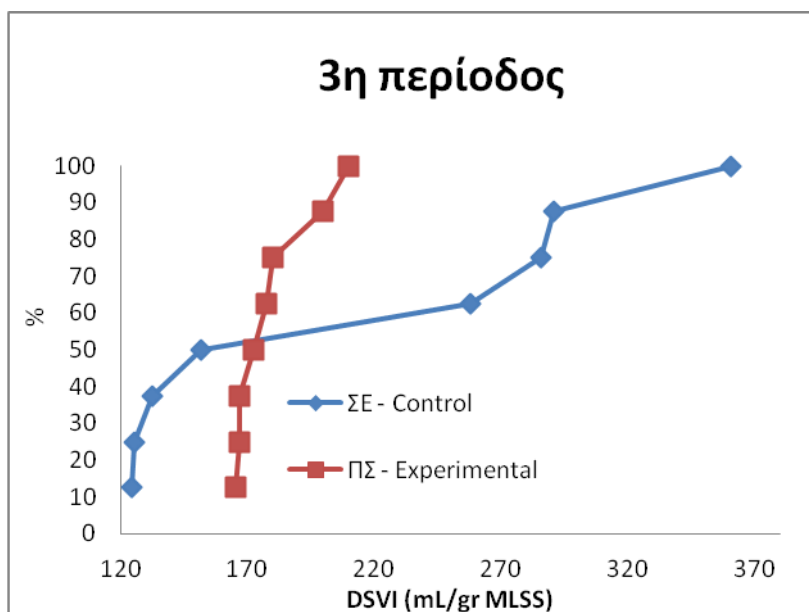
Σημειώνεται και το ιδιαίτερα στενό εύρος διακύμανσης του DSVI στο ΠΣ που κυμαίνεται μεταξύ 160 και 231 mL/gr MLSS ενώ το ΣΕ κυμαινόταν μεταξύ 193 και 378 mL/gr MLSS.



Γράφημα 4.38: Αθροιστική Κατανομή 2ης Περιόδου και στα δύο συστήματα

Κατά την διάρκεια της 3<sup>ης</sup> περιόδου παρατηρήθηκε μια σαφής διαφοροποίηση των δύο συστημάτων όπως φαίνεται και στο **Γράφημα 4.39**. Πάλι το εύρος διακύμανσης τιμών του DSVI στο ΠΣ ήταν ιδιαίτερα περιορισμένο (165-210 mL/gr MLSS ) σε σχέση με το ΣΕ στο οποίο οι τιμές DSVI κυμαίνονταν μεταξύ 124 και 361 mL/gr MLSS.

Εντύπωση προκαλεί το γεγονός ότι ο μέσος όρος των τιμών του DSVI παρέμεινε σχετικά υψηλός (180mL/gr MLSS) μετά από 10 ημέρες χλωρίωσης με υψηλή δόση. Στη βιβλιογραφία αναφέρονται περιπτώσεις που οι τιμές του DSVI μειώνονται κάτω των 100 mL/gr MLSS με μικρότερες δόσεις χλωρίωσης και με λιγότερες μέρες εφαρμογής.



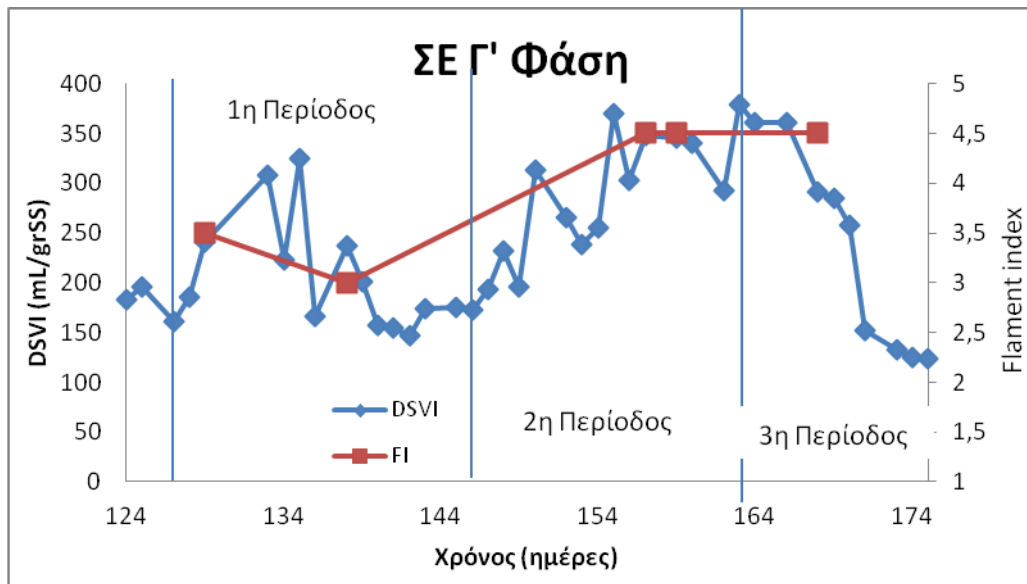
Γράφημα 4.39: Αθροιστική Κατανομή 3ης Περιόδου και στα δύο συστήματα

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν σε πίνακες και γραφήματα ο FI και ο SFI του κάθε συστήματος ανά περίοδο λειτουργίας και η συσχέτιση των τιμών του FI με τις τιμές DSVI. Από τον Πίνακα 4.2 και τα Γραφήματα 4.50 και 4.51 παρατηρούμε ότι στο ΣΕ η τιμή του FI αυξάνεται όπως και το DSVI. Στη τελευταία τιμή παρατηρείται πτώση του DSVI χωρίς να μπορεί να αιτιολογηθεί. Σε αντίθεση με το ΣΕ στο ΠΣ παρατηρείται παράλληλη πτώση των τιμών του DSVI και του FI.

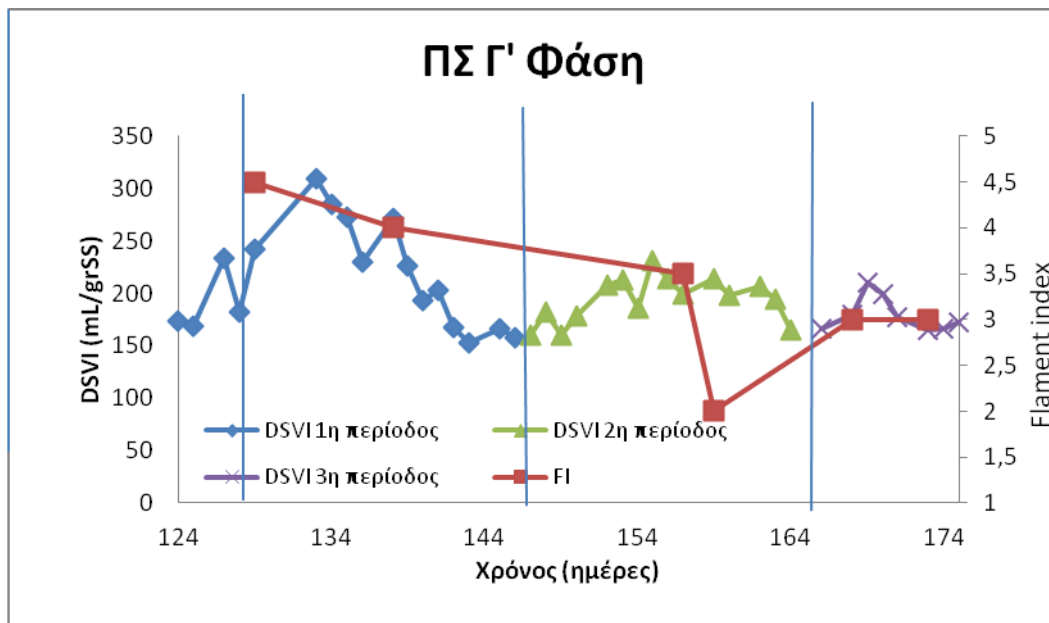
Πίνακας 4.29: Παρουσίαση του DSVI και FI για κάθε σύστημα και περίοδο λειτουργίας

Ημερομηνία	Ημέρα	ΠΣ		ΣΕ	
		DSVI	FI	DSVI	FI
25/2/2012	129	243	4,5	241	3,5
5/3/2012	138	272	4	237	3
24/3/2012	157	199	3,5	348	4,5
26/3/2012	159	214	2	345	4,5
4/4/2012	168	180	3	291	4,5
9/4/2012	173	165	3		

Στα Γραφήματα 4.40 και 4.41 παρουσιάζεται η διακύμανση του DSVI και οι παρατηρούμενες τιμές του FI. Και από τα δύο γραφήματα φαίνεται να υπάρχει συσχέτιση των δύο παραμέτρων.



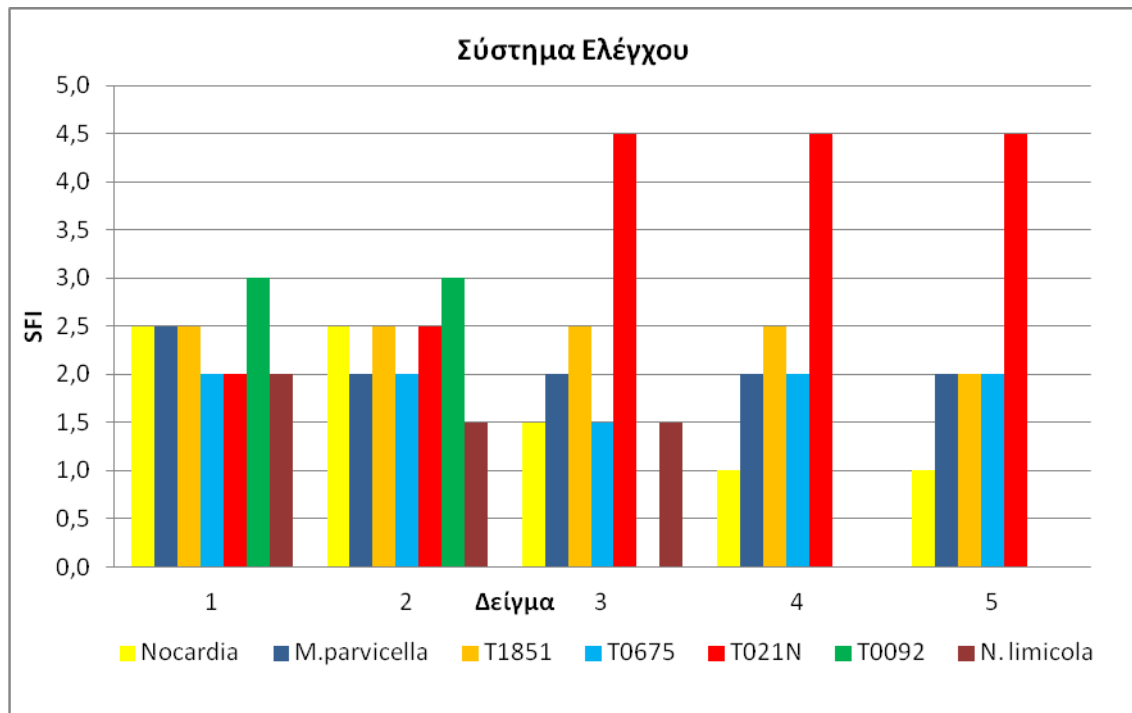
Γράφημα 4.40: DSVI και FI για το ΣΕ.



Γράφημα 4.41: DSVI και FI για το ΠΣ.

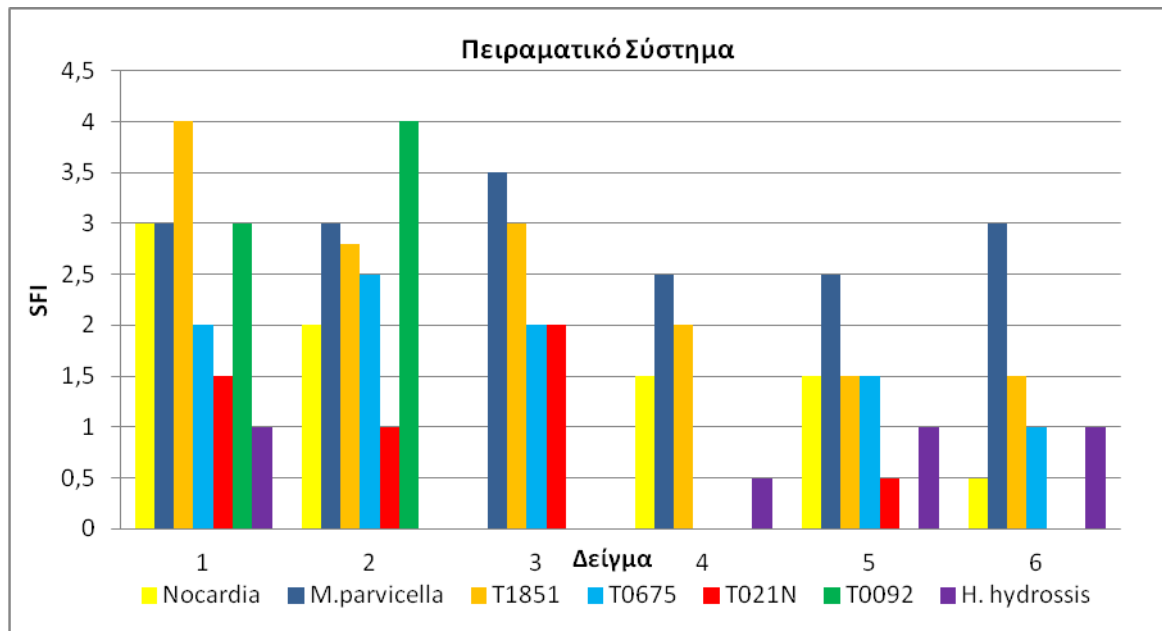
Η μεταβολή της παρουσίας και της αφθονίας των νηματοειδών βακτηρίων στο ΣΕ και ΠΣ παρουσιάζονται στα **Γραφήματα 4.42** και **4.43** αντίστοιχα. Τα δείγματα 1 και 2 ελήφθησαν κατά τη διάρκεια της 1<sup>ης</sup> περιόδου, τα 3-4 και 5-6 κατά τη διάρκεια της 2<sup>ης</sup> και 3<sup>ης</sup> αντίστοιχα. Όπως έχει ξαναειπωθεί η Γ' Φάση των πειραμάτων πραγματοποιήθηκε με βιομάζα από το Κ.Ε.Λ.Ψ. και γι' αυτό η βιομάζα παρουσιάζει διαφορετικά νηματοειδή βακτήρια από τη Β' Φάση. Παρακάτω παρουσιάζονται γραφήματα με τις τιμές του SFI για κάθε σύστημα και περίοδο λειτουργίας.

Όπως φαίνεται στο **Γράφημα 4.42** στο ΣΕ υπάρχουν αρκετά νηματοειδή βακτήρια σε αφθονία που μεταφράζεται σε τιμές SFI μεταξύ 2 και 2,5. Με το πέρασμα του χρόνου ο Type 021N φαίνεται να γίνεται το κυρίαρχο βακτήριο στο ΣΕ ενώ βακτήρια όπως ο Type 0092 και *N. limicola* εκλείπουν από τη βιομάζα στο τέλος της Γ' Φάσης. Τα υπόλοιπα νηματοειδή βακτήρια διατηρήθηκαν στα ίδια επίπεδα των τιμών SFI αν και στο τέλος διαπιστώνεται μικρή πτώση. Η πτώση των τιμών του SFI δεν μπορεί να ερμηνευτεί με κάποιο τρόπο. Υπενθυμίζεται ότι την ίδια περίοδο και οι τιμές του DSVI μειώθηκαν. Ο FI κατά την 1<sup>η</sup> περίοδο (δείγματα 1&2) ήταν 3,3 ενώ στις υπόλοιπες δύο περιόδους 4,5 (δείγματα 3 &4 και 5 αντίστοιχα).



**Γράφημα 4.42:** Χρονική μεταβολή της αφθονίας των νηματοειδών βακτηριδίων στο σύστημα ελέγχου.





**Γράφημα 4.43: Χρονική μεταβολή της αφθονίας των νηματοειδών βακτηριδίων στο πειραματικό σύστημα.**

Από το **Γράφημα 4.43** διαπιστώνεται η ομοιογένεια, ως προς τα νηματοειδή βακτήρια, που παρουσιάζουν τα δύο συστήματα κατά τα δύο πρώτα δείγματα (1<sup>η</sup> περίοδος). Αυτό που προκαλεί εντύπωση, παρατηρώντας τα δύο προηγούμενα γραφήματα, είναι ότι η τιμή του T1851 είναι 3,5 στο ΠΣ, στο οποίο εφαρμόζεται χλωρίωση, ενώ στο ΣΕ στο οποίο δεν εφαρμόζεται χλωρίωση η τιμή του T1851 είναι 2,5. Σε αντιθεση με το ΣΕ όπου το κυρίαρχο βακτήριο από την αρχή ως το τέλος ήταν ο Type 021N, στο ΠΣ κυρίαρχο φαίνεται να είναι ο Type 1851 ενώ στη συνέχεια κυριαρχούσε ο M. parvicella ο οποίος φαίνεται να μην επηρεάζεται από την προσθήκη του χλωρίου ακόμα και στη δόση των 11,6 mgCl<sub>2</sub> /gr MLSS/d. Οι Type 1851, 0675, 021N και οι N. limicola & G. amarae φαίνεται να επηρεάστηκαν από τη χλωρίωση ενώ ο Type 0092 δεν εμφανίζεται στη βιομάζα της 2<sup>ης</sup> και 3<sup>ης</sup> περιόδου. Ο FI κατά την 1<sup>η</sup> περίοδο (δείγματα 1&2) ήταν 4,3, στην 2<sup>η</sup> περίοδο 2,8 (δείγματα 3 & 4) ενώ στην 3<sup>η</sup> περίοδο 3 (δείγματα 5 & 6).

Στο ΠΣ φαίνεται και η επίδραση του χλωρίου, εντός των κροκίδων, στα νήματα τα οποία παρουσιάζονται κενά. Εκτός των κροκίδων δεν παρατηρήθηκαν πρωτόζωα και νηματοειδή όπως στις προηγούμενες περιόδους. Φαίνεται ότι τα ν.β. υποχώρησαν σημαντικά με εξαίρεση τον M. Parvicella ο οποίος όπως προκύπτει και από τη βιβλιογραφία (Lakay et al., 1988; Neethling et al., 1985) παρουσιάζεται πολύ ανθεκτικός στη χλωρίωση.

#### 4.4 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΕΙΔΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗ ΕΙΔΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΗΣ ΝΗΜΑΤΟΕΙΔΟΥΣ ΔΙΟΓΚΩΣΗΣ

Στο πλαίσιο της διερεύνησης της επίδρασης ειδικών και μη ειδικών μεθόδων ελέγχου της νηματοειδούς διόγκωσης, που διήρκησε 15 μήνες περίπου (Ιανουάριος 2011 – Απρίλιος 2012) δοκιμάστηκαν σε εργαστηριακή κλίμακα στο ΚΕΛ Ψυττάλειας τα ακόλουθα συστήματα ενεργού ιλύος:

- ✓ **Σύστημα 1 (Ano-Aer):** Αποτελούμενο από ανοξική δεξαμενή (Ano) και αερόβια διαμερισματοποιημένη δεξαμενή (Aer).
- ✓ **Σύστημα 2 (Ana-Ano-Aer):** Αποτελούμενο από αναερόβιο φρεάτιο επιλογής (Ana), ανοξική δεξαμενή (Ano) και αερόβια διαμερισματοποιημένη δεξαμενή (Aer).
- ✓ **Σύστημα 3 (Ana-Anop-Aer):** Αποτελούμενο από αναερόβιο φρεάτιο επιλογής (Ana), ανοξική δεξαμενή αποτελούμενη από τρία διαμερίσματα (Anop) και αερόβια διαμερισματοποιημένη δεξαμενή (Aer)
- ✓ **Σύστημα 4 (Ano-Aer – Cl<sub>2</sub>):** Αποτελούμενο από ανοξική δεξαμενή (Ano) και αερόβια διαμερισματοποιημένη δεξαμενή (Aer) στο οποίο εφαρμόστηκε χλωρίωση σε δόσεις 7.1 – 11.6 mg Cl<sub>2</sub> / gr MLSS /d.

Παρότι μέρος των ανωτέρων συστημάτων λειτούργησαν στα πλαίσια προηγούμενων εργασιών (Καγιά, 2011; Μαθιός, 2012) κρίθηκε σκόπιμη, για λόγους πληρότητας, η συναξιολόγηση της λειτουργίας όλων των συστημάτων. Η αξιολόγηση των συστημάτων πραγματοποιήθηκε με βάση τα ακόλουθα κριτήρια

❖ DSVI

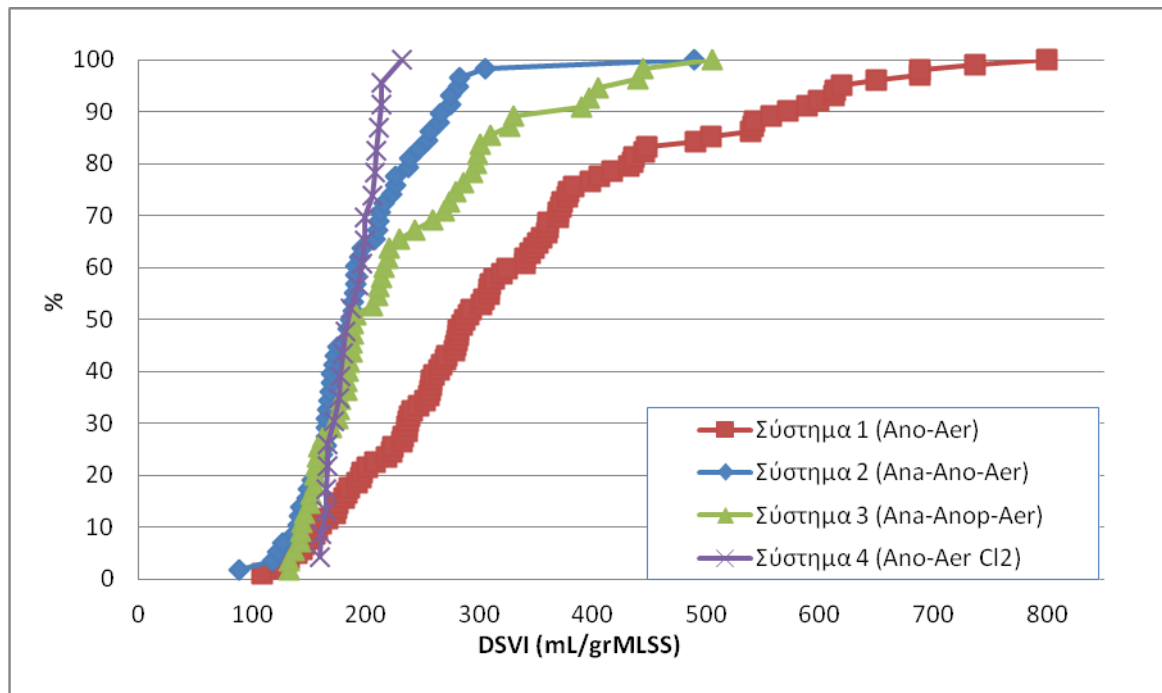
❖ FI

❖ SFI

Στο **Γράφημα 4.44** δίνονται οι αθροιστικές κατανομές των DSVI για τα τέσσερα συστήματα που περιγράφηκαν παραπάνω. Παρατηρείται σαφής διαφοροποίηση του Συστήματος 1 (Ano-Aer), το οποίο προσομοιάζει τον βιοαντιδραστήρα του ΚΕΛΨ, από τα υπόλοιπα τρία συστήματα καθώς η κατανομή του είναι ιδιαίτερα εκταταμένη με το 50% των τιμών να παρουσιάζει DSVI μικρότερο από 290 mL/gr MLSS. Μόνο η μεταβολική επιλογή δεν είναι ικανή να δημιουργήσει βιομάζα με καλά χαρακτηριστικά καθίζησης.

Στο δεύτερο (Ana- Ano- Aer) και στο τρίτο σύστημα (Ana- Ano- Aer) φαίνεται η θετική επίδραση της κινητικής επιλογής καθώς η κατανομή των τιμών του DSVI είναι περιορισμένη κατά πολύ σε σχέση με το Σύστημα 1. Τα δύο συστήματα μέχρι το 50% των τιμών παρουσιάζουν την ίδια εικόνα αλλά σε μεγαλύτερο ποσοστό τιμών το δεύτερο σύστημα παρουσιάζει μικρότερες τιμές DSVI. Μάλιστα αν εξαιρεθεί η τελευταία τιμή του DSVI στα 489 mL/gr MLSS τότε όλες οι τιμές θα είναι κάτω από 310 mL/gr MLSS. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία το Σύστημα 3 αναμενόταν να αναπτύξει βιομάζα με καλύτερα χαρακτηριστικά καθίζησης ως προς το DSVI σε σχέση με το Σύστημα 2 λόγω της διαμερισματοποίησης του ανοξικού όγκου.

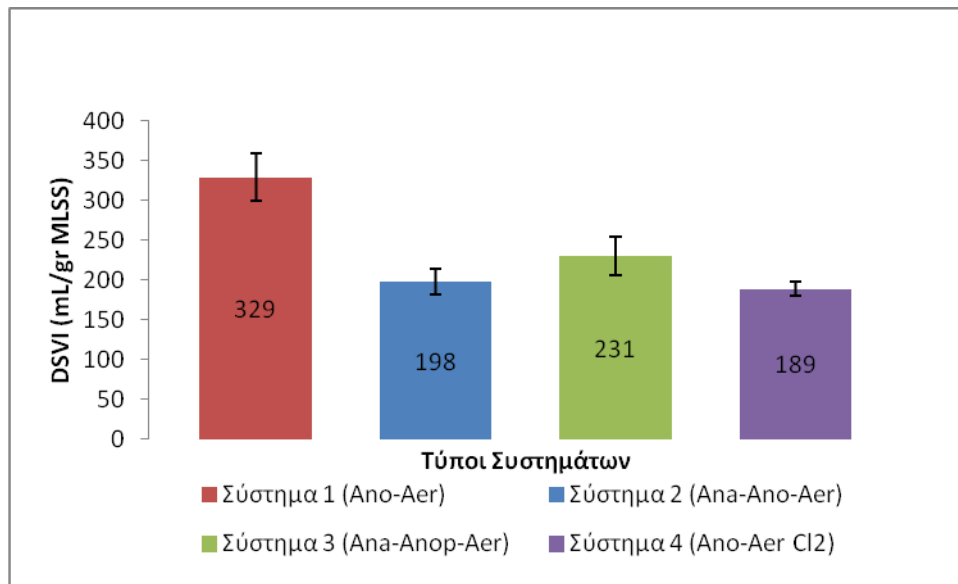
Το Σύστημα 3, στο οποίο εφαρμόστηκε χλωρίωση με δόσεις 7,1 - 11,6 mg Cl<sub>2</sub> / gr MLSS /d, φαίνεται να παρουσιάζει καλύτερη καθιζησιμότητα απ' όλα τα συστήματα καθώς το εύρος της διακύμανσης των τιμών του DSVI (130-231 mL/gr MLSS) είναι ιδιαίτερα περιορισμένο.



**Γράφημα 4.44: Αθροιστικές Κατανομές DSVI και για τα τέσσερα συστήματα.**

Ο μέσος όρος των τιμών του DSVI παραθέτεται στο **Γράφημα 4.45**. Όπως και στο γράφημα των αθροιστικών κατανομών έτσι και στο γράφημα των μέσων όρων του DSVI φαίνεται να διαφοροποιείται σημαντικά το Σύστημα 1 από τα υπόλοιπα συστήματα αφού ο μέσος όρος των τιμών του DSVI που παρατηρήθηκαν σε αυτό είναι 329 mL/gr MLSS. Το δεύτερο σύστημα παρουσίασε μέσο όρο τιμών στα 198 mL/gr MLSS ενώ το τρίτο σύστημα 231 mL/gr MLSS. Τα δύο συστήματα δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντική διαφορά (95%). Η εφαρμογή χλωρίωσης με δόσεις από 7,1 μέχρι 11,6 mg Cl<sub>2</sub> / gr MLSS / d διατήρησε τις τιμές του DSVI σε ένα περιορισμένο εύρος τιμών (130-231 mL/gr MLSS) και τον μέσο όρο αυτών στα 189 mL/gr MLSS ο οποίος αποτελεί και τον μικρότερο που παρατηρήθηκε και στα τέσσερα συστήματα. Υπάρχουν όμως αναφορές στις οποίες μικρότερες εφαρμοζόμενες δόσεις χλωρίου κατάφεραν να περιορίσουν τις τιμές του DSVI κάτω από τα 100 mL/gr MLSS.

Κανένα από τα μελετούμενα, προαναφερμένα, συστήματα παρουσίασε μέσο όρο τιμών DSVI μικρότερο από το ενδεδειγμένο (<150 mL/gr MLSS). Και στις καμπύλες της αθροιστικής κατανομής πάνω από το 80% των τιμών είναι μεγαλύτερες από το mL/gr MLSS.

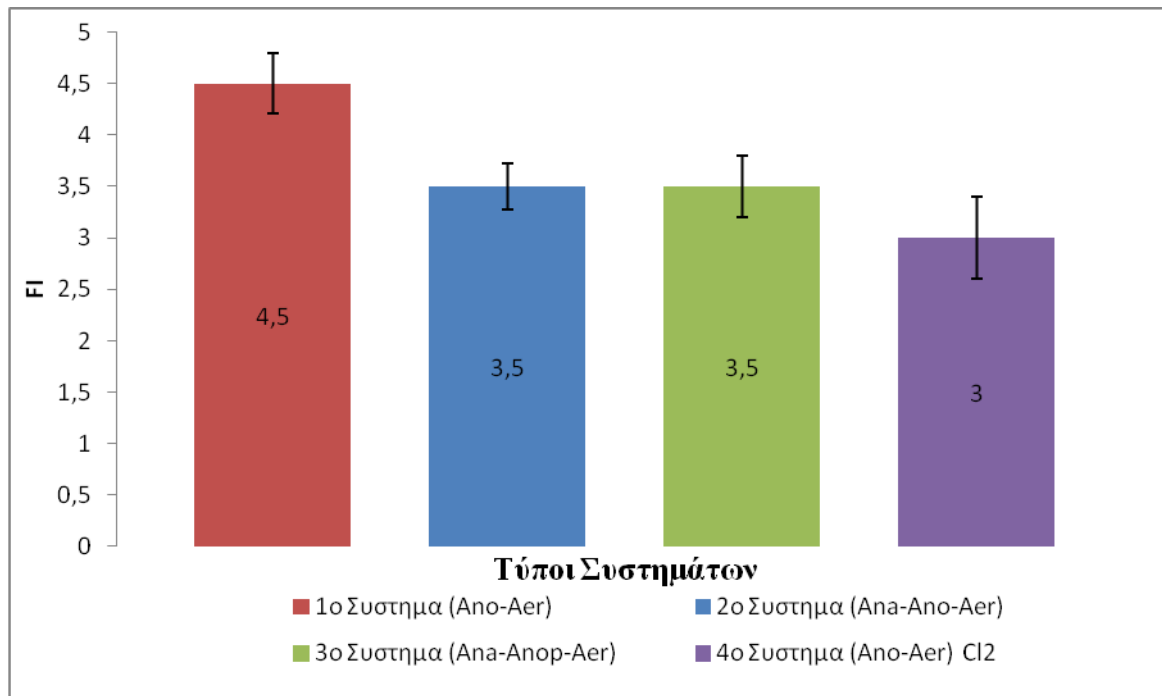


**Γράφημα 4.45:** Μέσος όρος των τιμών του DSVI για τα τέσσερα συστήματα που λειτουργήσαν.

Στο **Γράφημα 4.46** παρουσιάζεται ο μέσος όρος των τιμών του FI όπως αυτός εκτιμήθηκε στα τέσσερα συστήματα. Και σε αυτή τη περίπτωση τα συστήματα που αποτελούνταν από ανοξική και διαμερισματοποιημένη δεξαμενή αερισμού (Σύστημα 1) παρουσίασαν το μεγαλύτερο μέσο όρο τιμών ως προς τον FI (4.5). Στα Συστήματα 2 και 3 ο FI παρουσίασε ίδιο μέσο όρο τιμών (3.5). Στο σύστημα, 4 για δόσεις από 7,1 μέχρι 11,6 mg Cl<sub>2</sub> / gr MLSS /d, ο FI εκτιμήθηκε κατά μέσο όρο 3.

Τα επικρατέστερα νηματοειδή βακτήρια στα τέσσερα συστήματα ήταν τα εξής:

- ✓ **Σύστημα 1 (Ano-Aer):** T021N (4.0), T1851 (2.9), N. limicola (2.7), T0675 (2.1)
- ✓ **Σύστημα 2 (Ana-Ano-Aer):** N. limicola (3), T1851 (2.6), T021N (2.6) T0092 (2.1)
- ✓ **Σύστημα 3 (Ana-Anop-Aer):** N. limicola (3.4), T021N (3.1), T1851 (3.1), M. parvicella (3)
- ✓ **Σύστημα 4 (Ano-Aer-Cl<sub>2</sub>):** M. parvicella (2.9), T1851 (2), T0675 (1.6), T021N (1.3)



**Γράφημα 4.46: Μέσος FI για τα τέσσερα συστήματα που λειτούργησαν.**

## 5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στα πλαίσια της μεταπτυχιακής αυτής εργασίας, λειτούργησαν εντός του χώρου του ΚΕΛ Ψυττάλειας συνολικά τέσσερα συστήματα ενεργού ιλύος εργαστηριακής κλίμακας, τη χρονική περίοδο 1/1/2012-11/4/2012 και τροφοδοτούνταν με πρωτοβάθμια επεξεργασμένα λύματα από το σύστημα πλήρους κλίμακας του ΚΕΛΨ. Το διάστημα λειτουργίας χωρίστηκε σε δύο Φάσεις ( Β' και Γ'). Σημειώνεται ότι και στις δύο Φάσεις λειτουργίας το Σύστημα ελέγχου (ΣΕ) 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).

Στόχος και των δύο Φάσεων είναι η διερεύνηση της δυνατότητας εφαρμογής ειδικών (Β') και μη ειδικών (Γ' Φάση) μέτρων ελέγχου της νηματοειδούς διόγκωσης στο ΚΕΛ Ψυττάλειας για τον περιορισμό της υπερανάπτυξης νηματοειδών βακτηρίων, όπως τον Type 021N, Type 1851, N. limicola και Thiothrix κλπ, που αναπτύσσονται καταναλώνοντας κυρίως RBCOD.

Στο παρόν κεφάλαιο θα πραγματοποιηθεί η σύνοψη των συμπερασμάτων που προέκυψαν από τα αποτελέσματα των πειραμάτων στη Β' και Γ' Φάση λειτουργίας των συστημάτων. Επιπλέον θα αποτυπωθούν τα συμπεράσματα της συγκριτικής αξιολόγησης των συστημάτων που λειτούργησαν στα πλαίσια αυτής της πτυχιακής και αυτών που λειτούργησαν στα πλαίσια της πτυχιακής της Καγιά (2011) και του Μαθιού (2012). Πρέπει να σημειωθεί ότι η Α' Φάση αποτελεί κύριο μέρος άλλης πτυχιακής εργασίας (Μαθιός, 2012). Λόγω παράλληλης εποπτείας των συστημάτων θα παρουσιαστούν τα συμπεράσματα συνοπτικά. Η πτυχιακή αυτή ολοκληρώνει την ερευνητική προσπάθεια που ξεκίνησε με την πτυχιακή της Καγιά Κ. (2011) και συνεχίστηκε με την πτυχιακή του Μαθιού (2012).

### ❖ Συμπεράσματα Α' Φάσης

Το σύνολο του βιοδιασπάσιμου διαλυτού κλάσματος του COD καταναλώνεται και στα δύο συστήματα σε μη αερόβιες συνθήκες. Στο σύστημα ελέγχου (ΣΕ) καταναλώνεται σε ανοξικές συνθήκες χαμηλής οργανικής φόρτισης (0,85 mg COD / mg MLSS/d) σε αντίθεση με το πειραματικό σύστημα (ΠΣ) στο οποίο καταναλώνεται το 85 % του βιοδιασπάσιμου διαλυτού κλάσματος του COD στον αναερόβιο επιλογέα σε συνθήκες υψηλής οργανικής φόρτισης (5,59 mg COD / mg MLSS/d) και το υπόλοιπο στην ανοξική δεξαμενή σε χαμηλή οργανική φόρτιση (0,92 mg COD / mg MLSS/d).

Η ταχύτητα απονιτροποίησης στον επιλογέα ήταν η υψηλότερη από όλες τις μη αερόβιες δεξαμενές ( $q_{DN} = 5,38 \text{ mg NO}_3\text{-N/gr VSS/h}$ ) και εντάσσεται βιβλιογραφικά στο εύρος ταχυτήτων (4-10 mg NO<sub>3</sub>-N/gr VSS/h) που αντιστοιχούν σε κατανάλωση εύκολα διασπάσιμου COD. Αντίθετα, οι ταχύτητες απονιτροποίησης των δύο ανοξικών δεξαμενών ( $q_{DN} = 2,50 \text{ mg NO}_3\text{-N/gr VSS/h}$  για την ανοξική δεξαμενή C1 του ΣΕ και  $q_{DN} = 1,69 \text{ mg NO}_3\text{-N/gr VSS/h}$  για την ανοξική δεξαμενή E2 του ΠΣ) αντιστοιχούν βιβλιογραφικά σε εύρη τιμών που υποδηλώνουν την κατανάλωση δύσκολα διασπάσιμου COD (2-4 mg NO<sub>3</sub>-N/gr VSS/h) και την ενδογενή απονιτροποίηση (<2 mg NO<sub>3</sub>-N/gr VSS/h) αντίστοιχα. Η απομάκρυνση του αμμωνιακού αζώτου και στα δύο συστήματα ήταν μεγαλύτερη από 90%.

Η μέση τιμή του DSVI του ΠΣ είναι σημαντικά μειωμένη σε σχέση με το ΣΕ ( $DSVI_E = 222 \text{ mL/gr SS}$  έναντι  $DSVI_C = 283 \text{ mL/gr SS}$ ). Επιπλέον η καμπύλη της αθροιστικής κατανομής του ΠΣ δεν είναι τόσο διευρυμένη όσο του ΣΕ. Στα πλαίσια 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*).

Παρ' όλο που από τα παραπάνω επιβεβαιώνεται α) η εφαρμογή κινητικής και μεταβολικής πίεσης, από τον (ανοξικό) επιλογέα, στη βιομάζα του ΠΣ β) η καλή απομάκρυνση COD και νιτρικών και γ) η καλύτερη εικόνα ως προς την καθιζησιμότητα (DSVI & FI) του ΠΣ σε σχέση με το ΣΕ δεν φαίνεται ότι το ΠΣ



επιτυγχάνει πλήρη περιορισμό της νηματοειδούς διόγκωσης (τιμές SVI > 150ml/gr SS).

#### ❖ *Συμπεράσματα Β' Φάσης*

Τα δύο συστήματα παρουσίασαν παρόμοια συμπεριφορά ως προς την απομάκρυνση του βιοδιασπάσιμου COD καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας των συστημάτων. Στο σύστημα ελέγχου (ΣΕ) επιτυγχάνεται απομάκρυνση του συνόλου του βιοδιασπάσιμου COD σε ανοξικές συνθήκες που επικρατούν στην δεξαμενή C1 σε χαμηλή οργανική φόρτιση (1,2 kg COD/ kg MLSS /d. Στο πειραματικό σύστημα (ΠΣ) το 98% του βιοδιασπάσιμου COD απομακρύνεται υπό μη αερόβιες συνθήκες. Συγκεκριμένα το 75 % του συγκεκριμένου κλάσματος καταναλώνεται στο αναερόβιο φρεάτιο επιλογής σε υψηλή οργανική φόρτιση. Η οργανική φόρτιση στον αναερόβιο επιλογέα και στα τρία διαμερίσματα της ανοξικής ζώνης υπολογίστηκε στα 5.0 → 2.6 → 1.4 → 0.9 kg COD / kg MLSS /d αντίστοιχα. Οι τιμές της οργανικής φόρτισης που αναπτύχθηκαν πλησιάζουν τις προτεινόμενες τιμές οργανικής φόρτισης για βιοαντιδραστήρα με τρία διαμερίσματα (6→3→1.5 kg COD / kg MLSS /d) που προτείνουν οι **Jenkins et al. (2004)**.

Η ταχύτητα απονιτροποίησης στον αναερόβιο επιλογέα του ΠΣ ήταν 4,6 mg NO<sub>3</sub>-N/gr VSS/h ενώ στο διαμερισματοποιημένο ανοξικό 1.5 mg NO<sub>3</sub>-N/gr VSS/h. Χαμηλότερη ήταν στο ΣΕ (2.6 mg NO<sub>3</sub>-N/gr VSS/h). Η απομάκρυνση του αμμωνιακού αζώτου και στα δύο συστήματα ήταν μεγαλύτερη από 95% το οποίο υποδηλώνει την άριστη νιτροποίηση.

Η μέση τιμή του DSVI στο ΣΕ ήταν 479 mL/gr MLSS ενώ η αντίστοιχη στο ΠΣ 289 mL/gr MLSS. Η διακύμανση της αθροιστικής κατανομής του ΠΣ φαίνεται να είναι αρκετά περιορισμένη σε σχέση με αυτή του ΣΕ. Η τιμή του FI στο ΣΕ παρέμεινε σχετικά σταθερή με μέσο όρο τιμών 4,8 ενώ στο ΠΣ ήταν 3,7. Συγκρίνοντας τις τιμές των SFI παρατηρείται ότι στο ΠΣ τα νηματοειδή βακτήρια – στόχοι, όπως για παράδειγμα ο Type 1851 και Type 021N, παρουσίασαν σημαντικά μικρότερες τιμές ενώ άλλα νηματοειδή όπως οι N. limicola και H. hydrossis παρέμειναν αμετάβλητοι. Τα νηματοειδή βακτήρια Type 0092, Type 0041 και Type 0675 δεν μπορούν να περιοριστούν πλήρως από τη μεταβολική επιλογή ενώ εντύπωση προκάλεσε η

απουσία *M.parvicella*. Η προσθήκη τους επιλογέα στο ΠΣ είχε θετική επίδραση στον περιορισμό της ανάπτυξης νηματοειδών βακτηρίων που καταναλώνουν RBCOD.

Παρ' όλα αυτά και οι δύο τιμές είναι μεγαλύτερες από το άνω που δίνεται στη βιβλιογραφία ( $SVI > 150\text{ml/gr SS}$ ) για καλή καθιζησιμότητα ιλύος, συνεπώς δεν μπορούμε να πούμε ότι η προσθήκη του αναερόβιου και του διαμερισματοποιημένου ανοξικού επιλογέα επέτυχε τη μείωση του δείκτη DSVI σε βαθμό τέτοιο που να θεωρηθεί ότι αντιμετωπίζονται πλήρως τα προβλήματα διόγκωσης της ιλύος παρά τη κινητική και μεταβολική πίεση που ασκήθηκε. Πρέπει να τονισθεί όμως ότι η λάσπη των δύο συστημάτων δεν αναπτύχθηκε εξ' αρχής και αυτό αποτελεί μειονέκτημα καθώς ιδιαίτερα στο ΠΣ παρουσίαζε χαρακτηριστικά κακής καθιζησιμότητας.

#### ❖ *Συμπεράσματα Γ' Φάσης*

Η Γ' Φάση χωρίστηκε σε τρεις περιόδους λειτουργίας διότι χρησιμοποιήθηκαν τρεις δόσεις χλωρίωσης ( $Tm = 3.5\text{ gr Cl}_2 / \text{kg MLSS} / \text{d}$ ,  $7.6\text{ gr Cl}_2 / \text{kg MLSS} / \text{d}$  και  $11,6\text{ gr Cl}_2 / \text{kg MLSS} / \text{d}$  κατά μέσο όρο).

Συνοπτικά παρατηρείται ότι και στο σύστημα ελέγχου και στο πειραματικό σύστημα καταναλώνεται σχεδόν το 100% του εισερχόμενου βιοδιασπάσιμου COD στην ανοξική δεξαμενή του κάθε συστήματος σε χαμηλή οργανική φόρτιση. Οι συγκεντρώσεις διαλυτού COD και στα δύο συστήματα κυμαινόταν μεταξύ 30 και 40 mg/L και παρουσίασαν μικρή διασπορά. Κατά συνέπεια δεν φαίνεται να προκλήθηκε κάποια αναχαίτιση της απομάκρυνσης του οργανικού φορτίου με την εφαρμογή της χλωρίωσης.

Παρατηρήθηκε ότι οι δόσεις του χλωρίου δεν επηρεάζουν την αυτοτροφική βιομάζα. Τα δύο συστήματα επιτυγχάνουν πλήρη νιτροποίηση με ποσοστό νιτροποίησης μεταξύ 87% και 100%. Μόνο κατά τη 3<sup>η</sup> περίοδο χλωρίωσης όπου η δόση χλωρίωσης αυξήθηκε στα  $11,6\text{ mg Cl}_2 / \text{gr MLSS} / \text{d}$  ο βαθμός νιτροποίησης μειώθηκε με αποτέλεσμα οι συγκεντρώσεις του αμμωνιακού αζώτου στην εκροή του ΠΣ να κυμαίνονται μεταξύ 1,5 και 4,5 mg/L.

Τα παραπάνω συμπεράσματα επιβεβαιώνονται από τα αποτελέσματα των μετρήσεων σε batch πειράματα του ρυθμού αποξυγόνωσης (OUR) και του ρυθμού νιτροποίησης (AUR) στο ΣΕ και στο ΠΣ. Οι μέγιστοι ρυθμοί αποξυγόνωσης του ΠΣ είναι περίπου

ίδιοι με τους μέγιστους ρυθμούς OUR που μετρήθηκαν στο ΣΕ. Παράλληλα στη δόση των 11.6 mg Cl<sub>2</sub> / gr MLSS / d ο ρυθμός της νιτροποίησης στο ΠΣ ήταν ίσος με του ΣΕ. Συμπερασματικά αναφέρεται ότι η εφαρμογή της χλωρίωσης δεν φαίνεται να προκαλεί αναχαίτιση στην ανάπτυξη των ετεροτροφικών και αυτοτροφικών βακτηρίων της βιομάζας.

Η συνολική δόση χλωρίου ανά μάζα (Tm) στις πρώτες δύο περιόδους τηρήθηκε κατά το μέσο όρο των τιμών αλλά ξέφυγε στην 3<sup>η</sup> περίοδο. Στη βιβλιογραφία (**Jenkins et al., 2004**) τονίζεται ότι οι τιμές της Tm πρέπει να είναι μικρότερες από 15 gr Cl<sub>2</sub> /gr MLSS / d ενώ μέχρι τη μέγιστη δόση πρέπει να αυξάνεται σταδιακά και προσεκτικά, όπως και έγινε. Η τιμή της μάζας του χλωρίου ανά μάζα MLSS (T = 0.4, 0.8 και 1.3 για τις τρεις περιόδους αντίστοιχα) κυμάνθηκε στα επίπεδα της βιβλιογραφίας (**Lakay et al., 1988**) όπως επίσης και η τοπική συγκέντρωση του χλωρίου (C= 1.3, 2.4 και 3.8 mg Cl<sub>2</sub> /L) (<35 mg Cl<sub>2</sub> /L) και η συχνότητα επαφής F (>2.5.d) η οποία υπολογίστηκε στις 8.6, 8.8 και 10.1/d για κάθε περίοδο αντίστοιχα.

Κατά τη διάρκεια της 1<sup>ης</sup> περιόδου οι τιμές του DSVI δεν υπερέβαιναν τα 325 και 305 mL/gr MLSS για το ΣΕ και ΠΣ αντίστοιχα. Τα δύο συστήματα επέδειξαν ίδια καθιζησιμότητα παρά τη χλωρίωση με δόση 3.5 gr Cl<sub>2</sub> / gr MLSS /d. Κατά τη 2<sup>η</sup> περίοδο των πειραμάτων το σύστημα που δέχθηκε χλώριο ανέπτυξε βιομάζα με σημαντικά καλύτερα χαρακτηριστικά καθίζησης. Σημειώνεται και το ιδιαίτερα στενό εύρος διακύμανσης του DSVI στο ΠΣ που κυμαίνεται μεταξύ 160 και 231 mL/gr MLSS ενώ το ΣΕ κυμαινόταν μεταξύ 193 και 378 mL/gr MLSS. Κατά τη διάρκεια της 3<sup>ης</sup> περιόδου παρατηρήθηκε μια σαφής διαφοροποίηση των δύο συστημάτων. Πάλι το εύρος διακύμανσης τιμών του DSVI στο ΠΣ ήταν ιδιαίτερα περιορισμένο (165-210 mL/gr MLSS ) σε σχέση με το ΣΕ στο οποίο οι τιμές DSVI κυμαίνονταν μεταξύ 124 και 361 mL/gr MLSS.

Στο ΣΕ παρατηρήθηκαν αρκετά νηματοειδή βακτήρια σε αφθονία με τιμές SFI μεταξύ 2 και 4,5. Με το πέρασμα του χρόνου ο Type 021N φαίνεται να γίνεται το κυρίαρχο βακτήριο στο ΣΕ ενώ βακτήρια όπως ο Type 0092 και N. limicola εκλείπουν από τη βιομάζα στο τέλος της Γ' Φάσης. Τα υπόλοιπα νηματοειδή βακτήρια διατηρήθηκαν στα ίδια επίπεδα των τιμών SFI αν και στο τέλος διαπιστώνεται μικρή πτώση. Υπενθυμίζεται ότι την ίδια περίοδο και οι τιμές του

DSVI μειώθηκαν. Ο FI κατά την 1<sup>η</sup> περίοδο ήταν 3,3 ενώ στις υπόλοιπες δύο περιόδους 4,5.

Σε αντιθεση με το ΣΕ όπου το κυρίαρχο βακτήριο από την αρχή ως το τέλος ήταν ο Type 021N, στο ΠΣ κυρίαρχο φαίνεται να είναι ο Type 1851 ενώ στη συνέχεια κυριαρχούσε ο *M. parvicella* ο οποίος φαίνεται να μην επηρεάζεται από την προσθήκη του χλωρίου ακόμα και στη δόση των 11,6 mgCl<sub>2</sub> /gr MLSS/d. Οι Type 1851, 0675, 021N και οι *N. limicola* & *G. amarae* φαίνεται να επηρεάστηκαν από τη χλωρίωση ενώ ο Type 0092 δεν εμφανίζεται στη βιομάζα της 2<sup>ης</sup> και 3<sup>ης</sup> περιόδου. Ο FI κατά την 1<sup>η</sup> περίοδο (δείγματα 1&2) ήταν 4,3, στην 2<sup>η</sup> περίοδο 2,8 (δείγματα 3 & 4 ) ενώ στην 3<sup>η</sup> περίοδο 3 (δείγματα 5 & 6). Φαίνεται ότι τα ν.β. υποχώρησαν σημαντικά με εξαίρεση τον *M. parvicella* ο οποίος όπως προκύπτει και από τη βιβλιογραφία (Lakay et al., 1988; Neethling et al., 1985) παρουσιάζεται πολύ ανθεκτικός στη χλωρίωση.

Τόσο από τις τιμές του DSVI όσο και από τις αντίστοιχες τιμές του FI για τα ΠΣ της 2<sup>ης</sup> και 3<sup>ης</sup> περιόδου δεν φαίνεται να υπάρχουν σημαντικά διαφοροποιημένα αποτελέσματα μεταξύ των δόσεων των 7.1 και 11.6 mgCl<sub>2</sub> /gr MLSS/d.

#### *❖ Συγκριτική αξιολόγηση της επίδρασης ειδικών και μη ειδικών μεθόδων ελέγχου της νηματοειδούς διόγκωσης*

Στο πλαίσιο της διερεύνησης της επίδρασης ειδικών και μη ειδικών μεθόδων ελέγχου της νηματοειδούς διόγκωσης, που διήρκησε 15 μήνες περίπου (Ιανουάριος 2011 – Απρίλιος 2012) δοκιμάστηκαν σε εργαστηριακή κλίμακα στο ΚΕΛ Ψυττάλειας τα ακόλουθα συστήματα ενεργού ιλύος:

- ✓ **Σύστημα 1 (Ano-Aer):** Αποτελούμενο από ανοξική δεξαμενή (Ano) και αερόβια διαμερισματοποιημένη δεξαμενή (Aer).
- ✓ **Σύστημα 2 (Ana-Ano-Aer):** Αποτελούμενο από αναερόβιο φρεάτιο επιλογής (Ana), ανοξική δεξαμενή (Ano) και αερόβια διαμερισματοποιημένη δεξαμενή (Aer).

- ✓ **Σύστημα 3 (Ana-Ano-Aer):** Αποτελούμενο από αναερόβιο φρεάτιο επιλογής (Ana), ανοξική δεξαμενή αποτελούμενη από τρία διαμερίσματα (Ano) και αερόβια διαμερισματοποιημένη δεξαμενή (Aer)
- ✓ **Σύστημα 4 (Ano-Aer – Cl<sub>2</sub>):** Αποτελούμενο από ανοξική δεξαμενή (Ano) και αερόβια διαμερισματοποιημένη δεξαμενή (Aer) στο οποίο εφαρμόστηκε χλωρίωση σε δόσεις 7.1 – 11.6 mg Cl<sub>2</sub> / gr MLSS /d.

Τα προαναφερθέντα συστήματα συγκρίθηκαν με τη βοήθεια γραφημάτων α) της αθροιστικής κατανομής των τιμών του DSVI, και β) του μέσου όρου των τιμών του FI. Από το γράφημα της αθροιστικής κατανομής (παρουσιάζεται στο κεφάλαιο των αποτελεσμάτων) η καμπύλη του Συστήματος 4 (Ano-Aer + Cl<sub>2</sub>) φαίνεται να παρουσιάζει καλύτερη καθιζησιμότητα απ' όλα τα συστήματα καθώς το εύρος της διακύμανσης των τιμών του DSVI (130-231 mL/gr MLSS) είναι ιδιαίτερα περιορισμένο. Ο μέσος όρος των τιμών του FI σε αυτό το σύστημα προέκυψε 3,0 και είναι ο μικρότερος απ' όλα τα συστήματα. .

Την χειρότερη κατανομή παρουσιάζει το Σύστημα 1 (Ano-Aer) στο οποίο οι τιμές κυμάνθηκαν μεταξύ 109 και 800 mL/gr MLSS. Η βιομάζα του Συστήματος 1 χαρακτηρίστηκε με τη μεγαλύτερη τιμή του FI απ' όλα τα συστήματα (μέσος όρος 4,5).

Μεταξύ των συστημάτων (Σύστημα 2 και Σύστημα 3) που στόχευαν στον έλεγχο της νηματοειδούς διόγκωσης με την εφαρμογή ειδικών μεθόδων το Σύστημα 2 (Ana-Ano-Aer) παρουσίασε τη καλύτερη αθροιστική κατανομή μεταξύ 89 και 489 mL/gr MLSS. Αξίζει να αναφερθεί ότι αν εξαιρεθεί μία τιμή 489 mL/gr MLSS η ανώτατη τιμή του DSVI μειωνόταν στα 306 mL/gr MLSS. Το Σύστημα 3 αναμενόταν να αναπτύξει βιομάζα με καλύτερα χαρακτηριστικά καθίζησης αλλά δεν το επιβεβαίωσε η διακύμανση του DSVI (132-505 mL/gr MLSS). Πάντως ο μέσος όρος των τιμών του FI ήταν ίδιος και για τα δύο συστήματα (3,5).

Συμπερασματικά κρίνοντας όσα αναφέρθηκαν παραπάνω όλα τα σύστημα από αυτά που χρησιμοποιήθηκαν δεν κατάφεραν να δημιουργήσουν λάσπη με καλά

χαρακτηριστικά καθίζησης ( $DSVI < 150 \text{ mL/gr SS}$ ). Βέβαια θεωρείται επιτυχία η βελτιωμένη εικόνα που παρουσίασαν τα συστήματα 2, 3 και 4 κατά τη διάρκεια των πειραμάτων.

Ενδιαφέρον θα είχε η διεξαγωγή άλλης μίας σειράς πειραμάτων κατά την οποία θα εξεταζόταν η παράλληλη επίδραση ειδικών και μη ειδικών μέτρων ελέγχου της νηματοειδούς διόγκωσης. Από τα αποτελέσματα φάνηκε ότι η χρήση αναερόβιου επιλογέα και διαμερισματοποιημένης ανοξικής δεξαμενής (ΠΣ Β' Φάσης και ΠΣ Καγιά) είχε ως συνέπεια τη διατήρηση του FI στο 3,5. Από την άλλη η χλωρίωση του ΠΣ (Γ' Φάσης- 2<sup>η</sup> και 3<sup>η</sup> περίοδος) δείχνει ότι δόσεις 7.0 και 11.6 mg Cl<sub>2</sub> / gr MLSS / d οδηγεί σε βιομάζα με FI 3. Συνεπώς ένας συνδυασμός των δύο μεθόδων ίσως να οδηγήσει σε καλύτερα αποτελέσματα ελέγχου.

## 6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Ξενογλώσση

**Ardern E, Lockett WT (1914).** *Experiment on the oxidation of sewage without the aids of filters.* J Soc Chem Ind; 33:523–39.

**Andreadakis A.D. (1996).** *Filamentous bulking in nutrient removal plants, in Protection and restoration of the environment III.* Proceedings of International Conference organized by the Technical University of Crete. Chania, Crete, August 1996, pp 182-188 .

**Bodik I, Gasparikova E., Dancova L., Kalina A., Hutnan M., Drtil M. (2008).** *Influence of disinfectants on domestic wastewater treatment plant performance.* Bioresource Technology 99 532-539.

**Caravelli A., Contreres M. E., Giannuzzi L., Zaritzky N. (2003).** *Modeling of chlorine effect on floc forming and filamentous micro-organisms of activated sludges.* Water Research 37 2097-2105.

**Caravelli A., Giannuzzi L., Zaritzky N. (2004).** *Effect of chlorine on filamentous microorganisms present in activated sludge as evaluated by respirometry and INT-dehydrogenase activity.* Water Research 38 2395-2405.

**Caravelli A., Giannuzzi L., Zaritzky N. (2006a).** *Effectiveness of chlorination and ozonation methods on pure cultures of floc-forming micro-organisms and activated sludge: a comparative study.* Water S.A. Vol. 32, issue 4, p 585-595.

**Caravelli, A., Giannuzzi L., Zaritzky N., (2006b).** *Effect of ozone on filamentous bulking in a laboratory scale activated sludge reactor using respirometry and INTdehydrogenase activity.* Journal of Environmental Engineering,132, 1001–1010

**Caravelli, A., Giannuzzi L., Zaritzky N., (2007).** *Inhibitory effect of surfactant on pure cultures of a filamentous and floc forming micro-organism.* Environmental Technology, Vol 28, pp 137-146.

**Casey TG (1992).** *Authors' replay.* Water Research, Vol 27, No 3, pp 528-530.

- Casey TG, Wentzel MC, Loewenthal RE, Ekama GA, Marais GvR. (1992).** *A hypothesis for the cause of low F/M filament bulking in nutrient removal activated sludge systems.* Water Res;26(6):867–869.
- Chang W.C., Jou S.J., Chien C.C., He J.A. (2004).** *Effect of chlorination bulking control on water quality and phosphate release/uptake in anaerobic – oxic activated sludge systems.* Water Science and Technology, Vol 50, issue 8, p 177-183.
- Chiesa S.C. and Irvine R.L. (1985).** *Growth and control of filamentous microbes in activated sludge: An integrated hypothesis.* Water Research. Vol 19, no 4, pp 471-479.
- Chu L., Wang J., Wang B., Xing Xin-Hui, Yan S., Sun X., Jurcik B. (2009).** *Changes in biomass activity and characteristics of activated sludge exposed to low ozone dose.* Chemosphere, 77 269–272
- Chudoba J., Ottova V., Madera V. (1973a).** *Control of activated sludge filamentous bulking — I. Effect of the hydraulic regime or degree of mixing in an aeration tank.* Water Res;7(9):1163–1182.
- Chudoba J., Grau P., Ottova V. (1973b).** *Control of activated sludge filamentous bulking — II. Selection of microorganisms by means of a selector.* Water Res. Vol 7 pp 1389–1406.
- Chudoba J, Blaha J., Madera V. (1974).** *Control of activated sludge filamentous bulking — III. Effect of Sludge Loading.* Water Res. Vol 8 pp 233-237.
- Chudoba J., Cech J.S., Farkac J., Grau P. (1985).** *Control of activated sludge filamentous bulking. Experimental Verification of kinetic selection theory.* Water Research Vol. 19 pp 191-196.
- Ekama G. A. and Marais G.v.R. (1986).** *The implication of the IAWPRC hydrolysis hypothesis on low fm bulking.* Wat. Sci. Tech., vol 18, pp 11-19
- Eikelboom D.H. (1975).** *Filamentous organisms observed in activated sludge.* Water Research Vol. 9 pp 365 – 388.



**Gujer W., Henze M., Mino T., Matsuo T., Wentzel C. et al., (1995).** *The activated sludge model vol. 2 : biological phosphorus removal.* Wat. Sci. Tech., Vol 31, No 2, pp. 1-11

**Guo J., Peng Y., Peng C., Wang S. et al. (2010).** *Energy saving achieved by limited filamentous bulking sludge under low dissolved oxygen.* Bioresource Technology, 101, 1120- 1126.

**Guo J., Peng Y., Wang S., Yang X., Wang Z., Zho A. (2012).** *Stable limited filamentous bulking through keeping the competition between floc-formers and filaments in balance.* Bioresource Technology, 103, 7-15.

**Jenkins D., Richard G. M., Daigger T. G..** *Manual on the causes and control of activated sludge bulking, foaming, and other solids separation problems*, 3<sup>rd</sup> edition.. Lewis Publishers, 2004.

**Keller P.J. and Cole C.A. (1973).** *Dosage and operational control measures are critical when H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> controls bulking according to studies at a number of industrial and municipal activated sludge plants.* Water Wastes Engng, Volume 10, Issue 9, September 1973, Pages E4-E7

**Lakay M. T., Wentzel M. C., Ekama G.A., Marais G v R (1988).** *Bulking control with chlorination in a nutrient removal activated sludge system.* Water SA 14 (1) 35-42.

**Lyko, S. , Teichgräber, B., Kraft, A.(2012).** *Bulking control by low-dose ozonation of returned activated sludge in a full-scale wastewater treatment plant.* Water Science and Technology. Vol 65, Issue 9, p 1654-1659

**Martins A.M.P., Pagilla K., Heijnen J.J., van loosdrecht M.C.M. (2004).** *Filamentous Bulking – a critical review.* Water Research 38, 793-817.

**Martins A.M.P., Heijnen J.J., van loosdrecht M.C.M. (2003a).** *Effect of dissolved oxygen concentration on sludge settleability.* Appl Microbiol Biotechnol 62: 586-593.

**Martins AMP, Van Loosdrecht MCM, Heijnen JJ.( 2003b).** *Effect of feeding pattern and storage on the sludge settleability under aerobic conditions.* Water Res;37(11): 2555–2570.

- Morris RD, Audet AM, Angelillo IF, Chalmers TC, Mosteller F (1992).** *Chlorination, chlorination by-products, and cancer: a meta-analysis*, Am J Public Health. 82(7):955-963.
- Neethling J. B., Jenkins D and Johnson K. M. (1985a).** *Chemistry, microbiology and modelling of chlorination for activated sludge bulking control*. Journal WPCF 57 (8) 882-889.
- Neethling J. B., Johnson K. M. and Jenkins D (1985b).** *Using ATP to determine the chlorine resistance of filamentous bacteria associated with activated sludge bulking*. Journal WPCF 57 (8) 890-894.
- Séka, M.A., Kalogo, Y., Hammes, F., Kielemoes, J., Verstraete, W (2001).** *Chlorine-Susceptible and Chlorine-Resistant Type 021N Bacteria Occurring in Bulking Activated Sludges*. Applied and Environmental Microbiology, Volume 67, Issue 3-12, 2001, Pages 5303-5307
- Saaymant G.B., C.F. Schutte, J. van Leeuwen (1996).** *The effect of chemical bulking control on biological nutrient removal in a full scale activated sludge plant*. Water Science and Technology Volume 34, Issues 3–4, 1996, Pages 275–282
- Tusseau-Vuillemin M.-H., Lagarde F., Chauviere C., Hedit A. (2002).** *Hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) as a source of dissolved oxygen in COD-degradation respirometric experiments*. Water Research 36, 793–798
- Tracy K.D., Adams M.E. and Flammino A. (1986).** *Control of Activated Sludge Settling Characteristics with anaerobic selectors*, Proc. 59<sup>th</sup> Annu. Conf. Water Pollut. Control Fed., Los Angeles.
- Van den Eynde E., Vriens L., De Cuyper P., Verachtert H. (1984).** *Plug flow simulating and completely mixed reactors with a primixing tank, in the control of filamentous bulking*. Appl Microbiol Biotechnol. 19: 288-295.
- Veschetti E., Cutilli D., Bonadonna L. et al. (2003).** *Pilot – plant comparative study of paracetic acid and sodium hypochlorite wastewater disinfection*. Water Research 37 78-94

**Wanner, J., Chudoba, J., Kucman, K., Proske, L. (1987a).** *Control of activated sludge filamentous bulking - VII. Effect of anoxic conditions.* Water Research 21 (12), pp. 1447-1451

**Wanner, J., Kucman, K., Ottova, V., Grau, P. (1987b).** *Effect of anaerobic conditions on activated sludge filamentous bulking in laboratory systems.* Water Research 21 (12), pp. 1541-1546

**Wanner J., Grau P. (1988).** *Filamentous bulking in nutrient removal activated sludge systems.* Water Science and Technology. Vol 20, issue 4-5, p 1-8.

**Wilen Britt- Marie and Balmer P. (1999).** *The effect of dissolved oxygen concentration on the structure, size and size distribution of activated sludge flocs.* Water Research, Vol 33, No 2, pp 391-400.

**Yilmaz I., Icemer G.T., Topkaya B. (2008).** *Controlling options of bulking sludge.* Fresenius Environmental Bulletin, Volume 17, issue 11A, pp 1816-1821

### **Ελληνική**

**Καγιά Κ. (2011).** *Διερεύνηση της αποτελεσματικότητας ανοξικών δεξαμενών επιλογής για τον έλεγχο της νηματοειδούς διόγκωσης σε Ε.Ε.Α.. (Ανέκδοτη Μεταπτυχιακή Διατριβή του Δ.Π.Μ.Σ. «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων»), Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.*

**Μαμάης Δ. (2009).** *Εργαστηριακές Μέθοδοι Υγειονομικής Τεχνολογίας (Σημειώσεις μαθήματος), ΔΠΜΣ «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων»), ΕΜΠ, Αθήνα.*

**Μαθιός Β. (2012).** *Εξέταση επιρροής αναερόβιου φρεατίου επιλογής στον έλεγχο της νηματοειδούς διόγκωσης σε συστήματα ενεργού ιλύος. (Πτυχιακή εργασία), Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα.*

**Νουσόπουλος Κ. (2002).** *Επίδραση εναλλακτικών σχημάτων επεξεργασίας στα χαρακτηριστικά καθίζησης συστημάτων ενεργού ιλύος με απομάκρυνση θρεπτικών. (Ανέκδοτη Διδακτορική Διατριβή). ΕΜΠ, Αθήνα.*