



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

« ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ »

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ
ΕΙΣΡΟΗΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΜΗ
ΤΥΠΙΚΗΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ
ΣΤΗ ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ
ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΛΥΟΣ ΣΕ
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ
ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ**

Μιχαήλ Σ. Σκάρλος

Αθήνα, Οκτώβριος 2018

Επιβλέπων: Καθηγητής Α. Ανδρεαδάκης

Ευχαριστίες

Μετά την ολοκλήρωση της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους με βοήθησαν κατά τη διάρκεια εκπόνησής της.

Καταρχήν, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Ανδρέα Ανδρεαδάκη που μου εμπιστεύτηκε την ανάληψη της συγκεκριμένης εργασίας. Η επιστημονική του καθοδήγηση, συμπαράσταση και η διάθεσή του για συνεργασία συνέβαλαν καταλυτικά στην ολοκλήρωσή της.

Εξαιρετικά σημαντική ήταν η βοήθεια του Νίκου Κουρή που με καθοδηγούσε και με συμβούλευε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της μεταπτυχιακής μου εργασίας. Θα ήθελα να ευχαριστήσω, επίσης, όλους τους υπόλοιπους εργαζόμενους στο Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας για το κλίμα συνεργασίας και την προθυμία τους να με βοηθήσουν σε κάθε δυσκολία που αντιμετώπισα.

Τέλος οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου και στους φίλους μου με στηρίζουν όλα αυτά τα χρόνια που χρειάστηκαν ώστε να ολοκληρώσω τη φοίτησή μου στη σχολή Πολιτικών Μηχανικών, αλλά και στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών.

Σκάρλος Μιχαήλ

Οκτώβριος, 2018

Περίληψη

Τα Συστήματα Ενεργού Ιλύος αποτελούν τον πιο διαδεδομένο τρόπο επεξεργασίας και απαλλαγής των λυμάτων από το οργανικό φορτίο και τα θρεπτικά, ώστε να αποφεύγονται φαινόμενα ρύπανσης και ευτροφισμού στους υδάτινους αποδέκτες που θα τα δεχθούν. Σε πολλές Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων αστικών κέντρων με ανεπτυγμένη βιομηχανία, όμως, παρατηρούνται συχνά φαινόμενα στιγμιαίων εισροών που διαφέρουν από τις συνήθειες σε οσμή και χρώμα. Αυτή η διαφοροποίηση των εισροών πιθανότατα οφείλεται σε ανεπεξέργαστα ή ανεπαρκώς επεξεργασμένα βιομηχανικά απόβλητα, τα οποία δημιουργούν παρεμβολές στην ομαλή λειτουργία της εγκατάστασης. Η επιστημονική κοινότητα έχει μελετήσει εκτενώς την επίδραση διαφόρων ουσιών που συναντώνται συχνά σε αστικά λύματα και ενδεχομένως είναι τοξικά.

Στις τοξικές ουσίες για την ομαλή λειτουργία μίας εγκατάστασης ανήκουν και οι οργανικοί διαλύτες ΒΤΕΧ. Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι η διερεύνηση της επίδρασης των οργανικών διαλυτών ΒΤΕΧ στη νιτροποιητική ικανότητα των συσσωματούμενων μικροοργανισμών σε Σύστημα Ενεργού Ιλύος. Επιπρόσθετα στην παρούσα διπλωματική μελετάται η τοξικότητα δειγμάτων που λήφθηκαν από το Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων της Ψυττάλειας και διέφεραν σε μακροσκοπικά χαρακτηριστικά όπως οσμή ή και χρώμα, γεγονός που ενδεχομένως τα κάνει λύματα μη τυπικής σύστασης. Για τη μελέτη αυτή διενεργήθηκαν πειράματα στο Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας της σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. και διήρκησαν από το Σεπτέμβριο 2017 έως το Μάιο 2018. Επιπλέον στήθηκε ένας αντιδραστήρας εναλλασσόμενων φάσεων SBR με αρχική βιομάζα από ανάμικτο υγρό από την Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων της Ψυττάλειας.

Για τη μελέτη αυτή διεξήχθησαν πειράματα AUR με βιομάζα από τον αντιδραστήρα SBR και από το ΚΕΛ Ψυττάλειας. Από τα αποτελέσματα των πειραμάτων προέκυψε πως συγκεντρώσεις ΒΤΕΧ άνω των 80 mg/lt προκαλούν αναχαιτίσεις άνω του 20% και συγκεντρώσεις άνω των 180 mg/lt προκαλούν αναχαιτίσεις άνω του 80%. Επιπλέον από τα δεκαέξι δείγματα μη τυπικής σύστασης που εξετάστηκαν, τα έξι παρουσίασαν όντως αξιοσημείωτες αναχαιτίσεις, ενώ τα πέντε από αυτά σημείωσαν αναχαιτίσεις μεγαλύτερες από 80%. Αν και οι συγκεντρώσεις τους σε ΒΤΕΧ ήταν ιδιαίτερα χαμηλές, το μόνο κοινό τους χαρακτηριστικό ήταν η υψηλή συγκέντρωση COD. Τέλος παρατηρήθηκε πως οι νιτροποιητές αναχαιτίζονταν περισσότερο από τους νιτρίδοποιητές, καθώς επίσης οι νιτροποιητές του SBR αναχαιτίζονταν περισσότερο από τους νιτροποιητές του ΚΕΛ Ψυττάλειας.

Abstract

Activated Sludge Systems are the most widely used way of treating and discharging wastewater from organic cargo and nutrients to avoid pollution and eutrophication in the water recipients. However, in many Wastewater Treatment Plants located at an area with great industrial activity, are oftenly observed some instant incidents of incoming sewage with suspicious color or scent. These incidents are probably caused by unprocessed or insufficiently processed industrial waste, which are causing malfunctions of the system. The scientific community has extensively studied the effects that variant toxic sewage substances may cause to the system.

Some of those toxic sewage substances are the BTEX organic solutants. The purpose of this postgraduate thesis is to investigate the effect of BTEX on the nitrification capacity of floc-forming microorganisms in Activated Sludge System. In addition to that, this thesis exams some samples of sewage with suspicious odour or colour. For this study experiments were carried out at the Laboratory of Sanitary Technology of the School of Civil Engineering, NTUA and lasts from September 2017 to May 2018. Additionally an SBR reactor with mixed fluid from the Psyttalia Wastewater Treatment Plant was installed. The reactor was supplied daily with synthetic sewage and its operating conditions (pH, O₂, temperature, conductivity, ammonia at the final effluent) were controlled.

For this study various AUR experiments were conducted with biomass from the Psyttalia Wastewater Treatment Plant and from the SBR. The results of the experiments showed that concentrations of BTEX greater than 80mg/l inhibited nitrification more process than 20% and concentrations greater than 180mg/l inhibited nitrification process more than 80%. Furthermore, among sixteen samples of non-typical composition, six were actually toxic. One of them inhibited the nitrification process 70% while the rest of them inhibited the nitrification process more than 80%. Although the BTEX concentration of those samples were significantly low, they shared o common trait; high COD concentration. Finally it was observed that nitrobacter was more sensitive than nitrosomonas with sewage toxicity and nitrobacter from the SBR was more sensitive than the nitrobacter from Psyttalia's Activated Sludge Reactor.

Στις τοξικές ουσίες για την ομαλή λειτουργία μίας εγκατάστασης ανήκουν και οι οργανικοί διαλύτες BTEX. Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι η διερεύνηση της επίδρασης των οργανικών διαλυτών BTEX στη νιτροποιητική ικανότητα των συσσωματούμενων μικροοργανισμών σε Σύστημα Ενεργού Ιλύος. Επιπρόσθετα στην παρούσα διπλωματική μελετάται η τοξικότητα δειγμάτων που λήφθηκαν από το Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων της Ψυττάλειας και διέφεραν σε μακροσκοπικά χαρακτηριστικά όπως οσμή ή και χρώμα, γεγονός που ενδεχομένως τα κάνει λύματα μη τυπικής σύστασης. Για τη μελέτη αυτή διενεργήθηκαν πειράματα στο Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας της σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. και διήρκησαν από το Σεπτέμβριο 2017 έως το Μάιο 2018. Επιπλέον στήθηκε ένας αντιδραστήρας εναλλασσόμενων φάσεων SBR με αρχική βιομάζα από ανάμικτο υγρό από την Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων της Ψυττάλειας.

Για τη μελέτη αυτή διεξήχθησαν πειράματα AUR με βιομάζα από τον αντιδραστήρα SBR και από το ΚΕΛ Ψυττάλειας. Από τα αποτελέσματα των πειραμάτων προέκυψε πως συγκεντρώσεις BTEX άνω των 80 mg/lt προκαλούν αναχαιτίσεις άνω του 20% και συγκεντρώσεις άνω των 180 mg/lt προκαλούν αναχαιτίσεις άνω του 80%. Επιπλέον από τα δεκαέξι δείγματα μη τυπικής σύστασης που εξετάστηκαν, τα έξι παρουσίασαν όντως αξιοσημείωτες αναχαιτίσεις, ενώ τα πέντε από αυτά σημείωσαν αναχαιτίσεις μεγαλύτερες από 80%. Αν και οι συγκεντρώσεις τους σε BTEX ήταν ιδιαίτερα χαμηλές, το μόνο κοινό τους χαρακτηριστικό ήταν η υψηλή συγκέντρωση COD. Τέλος παρατηρήθηκε πως οι νιτροποιητές αναχαιτίζονταν περισσότερο από τους νιτρίδοποιητές, καθώς επίσης οι νιτροποιητές του SBR αναχαιτίζονταν περισσότερο από τους νιτροποιητές του ΚΕΛ Ψυττάλειας.

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2.1 Μοριακή δομή χημικών ενώσεων BTEX	16
Εικόνα 3.1 Αντιδραστήρας εναλλασσόμενων φάσεων SBR.....	28
Εικόνα 3.2 Αεραντλία οκτώ εξόδων ρυθμιζόμενης έντασης.....	28
Εικόνα 3.3 Περισταλτική αντλία διπλή ρυθμιζόμενης έντασης.....	29
Εικόνα 3.4 Διαλύματα BTEX.....	36
Εικόνα 3.5 Φίλτρα διήθησης (α) και ζυγός ακριβείας (β).....	39
Εικόνα 3.6 Φούρνος 105οC (α) και φούρνος 550οC (β).....	39
Εικόνα 3.7 Μεμβράνες Whatman με διάμετρο πόρων 0,45μm.....	40
Εικόνα 3.8 Αντιδραστήρια μέτρησης συγκέντρωσης νιτρικού αζώτου	40
Εικόνα 3.9 Αντιδραστήρια μέτρησης συγκέντρωσης νιτρώδους αζώτου	41
Εικόνα 3.10 Αποστακτήρας BUCHI 324 για τη μέτρηση της συγκέντρωσης αμμωνιακού αζώτου	42
Εικόνα 3.11 Μέτρηση αλκαλικότητας με χρήση μαγνητικού αναδευτήρα και pH-μέτρου.....	43
Εικόνα 3.12 Αντιδραστήρια μέτρησης οργανικού άνθρακα σε όρους COD.....	43

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 2.1 Βαθμός συσσώρευσης νιτρώδων συναρτήσει της συγκέντρωσης της ελεύθερης αμμωνίας [Πηγή: Kim <i>et al.</i> (2006)]	10
Διάγραμμα 2.2 Επίδραση της θερμοκρασίας στη νιτροποίηση [Πηγή: Hao <i>et al.</i> , 1997]	10
Διάγραμμα 2.3 Επίδραση του pH στους νιτροποιητές [Πηγή: Grady and Lim 1980]	12
Διάγραμμα 2.4 Ποσοστιαία αναχαίτιση των ΒΤΧ στη νιτροποιητική δράση βιομάζας.....	17
Διάγραμμα 2.5 Διαγράμματα μεταβολής των συγκεντρώσεων αμμωνίας, νιτρώδους οξέος, νιτρικού οξέος και βενζολίου συναρτήσει του χρόνου για διαφορετικές αρχικές συγκεντρώσεις βενζολίου	18
Διάγραμμα 2.6 Ποσοστιαία αναχαίτιση ετεροτροφικών μικροοργανισμών συναρτήσει της συγκέντρωσης των μετάλλων Cu, Pb, Zn, Ni....	20
Διάγραμμα 2.7 Ποσοστιαία αναχαίτιση νιτροποιητικής ικανότητας βιομάζας ενεργού ιλύος συναρτήσει της συγκέντρωσης των μετάλλων Ni, Cd.....	20
Διάγραμμα 2.8 Επίδραση του χαλκού στην απομάκρυνση οργανικού φορτίου. ..	21
Διάγραμμα 2.9 Επίδραση του χαλκού στην απομάκρυνση αμμωνιακού αζώτου. ..	22
Διάγραμμα 2.10 Επίδραση του χαλκού στην απομάκρυνση νιτρικού και νιτρώδους αζώτου.....	22
Διάγραμμα 2.11 Επίδραση του χαλκού στη νιτροποίηση (IRN) και στην απονιτροποίηση (IRD).....	23
Διάγραμμα 4.1 Συγκέντρωση COD δειγμάτων τυπικής σύστασης.	49
Διάγραμμα 4.2 Τιμή pH δειγμάτων τυπικής σύστασης.....	49
Διάγραμμα 4.3 Συγκέντρωση COD δειγμάτων μη τυπικής σύστασης.....	51
Διάγραμμα 4.4 Τιμή pH δειγμάτων μη τυπικής σύστασης.....	52
Διάγραμμα 4.5 Σύγκριση αναχαιτίσεων που παρατηρήθηκαν από τις βιομάζες EYT (μπλε) και ΨYT (πράσινο).....	56
Διάγραμμα 4.6 Ποσοστιαία αναχαίτιση που παρουσιάστηκε σε βιομάζα EYT λόγω δειγμάτων μη τυπικής σύστασης.....	63

Διάγραμμα 4.7α Ποσοστιαία αναχαιτίση που παρουσιάστηκε σε βιομάζα του ΚΕΛ Ψυττάλειας λόγω δειγμάτων μη τυπικής σύστασης	63
Διάγραμμα 4.7β Ποσοστιαία αναχαιτίση που παρουσιάστηκε σε βιομάζα του ΚΕΛ Ψυττάλειας λόγω δειγμάτων μη τυπικής σύστασης	64
Διάγραμμα 4.8 Σύγκριση αναχαιτίσεων που παρατηρήθηκαν από τις βιομάζες ΕΥΤ (μπλε) και ΨΥΤ (πράσινο)	64
Διάγραμμα 4.9 Ποσοστιαία αναχαιτίση των ΒΤΕΧ στη νιτροποίηση	66
Διάγραμμα 4.10 Ποσοστιαία αναχαιτίση των ΒΤΕΧ στη νιτροποίηση και στη νιτριδοποίηση.....	67
Διάγραμμα 4.11 Ποσοστιαία αναχαιτίση που παρουσιάστηκε σε βιομάζα του ΚΕΛ Ψυττάλειας λόγω των οργανικών διαλυτών ΒΤΕΧ.....	67

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1 Τοξικές οργανικές ενώσεις [Πηγή: Randall et al., 1992].....	13
Πίνακας 3.1 Σύσταση τροφοδοσίας συστήματος.	30
Πίνακας 3.2: Φάσεις ενός ημερήσιου κύκλου του συστήματος.....	31
Πίνακας 4.1.α Κωδική ονομασία δειγμάτων και ημερομηνίες δειγματοληψίας και πειράματος	48
Πίνακας 4.1.β Κωδική ονομασία δειγμάτων και ημερομηνίες δειγματοληψίας και πειράματος	48
Πίνακας 4.2 Ανάλυση δειγμάτων τυπικής σύστασης από το ΕΥΤ του ΕΜΠ.	49
Πίνακας 4.3 Ανάλυση δειγμάτων μη τυπικής σύστασης από το ΕΥΤ του ΕΜΠ. .	51
Πίνακας 4.4 Αποτελέσματα πειράματος 1.....	54
Πίνακας 4.5 Αποτελέσματα πειράματος 9.....	55
Πίνακας 4.6 Αποτελέσματα πειράματος 11.....	55
Πίνακας 4.7 Αποτελέσματα πειράματος 2.....	56
Πίνακας 4.8 Αποτελέσματα πειράματος 3.....	57
Πίνακας 4.9 Αποτελέσματα πειράματος 4.....	57
Πίνακας 4.10 Αποτελέσματα πειράματος 5.....	57
Πίνακας 4.11 Αποτελέσματα πειράματος 6.....	58
Πίνακας 4.12 Αποτελέσματα πειράματος 7.....	58
Πίνακας 4.13 Αποτελέσματα πειράματος 8.....	58
Πίνακας 4.14 Αποτελέσματα πειράματος 10.....	59
Πίνακας 4.15 Αποτελέσματα πειράματος 12.....	59
Πίνακας 4.16 Αποτελέσματα πειράματος 13.....	59
Πίνακας 4.17 Αποτελέσματα πειράματος 14.....	60
Πίνακας 4.18 Αποτελέσματα πειράματος 15.....	60
Πίνακας 4.19 Αποτελέσματα πειράματος 16.....	60
Πίνακας 4.20 Αποτελέσματα πειράματος 17.....	61
Πίνακας 4.21 Αποτελέσματα πειράματος 18.....	61

Πίνακας 4.22 Αποτελέσματα πειράματος 1 με ΒΤΕΧ	65
Πίνακας 4.23 Αποτελέσματα πειράματος 2 με ΒΤΕΧ	66
Πίνακας 4.24 Αποτελέσματα πειράματος 3 με ΒΤΕΧ	66
Πίνακας 4.25 Αποτελέσματα πειράματος 4 με ΒΤΕΧ	66

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
---------------	---

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	7
2.2 ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ	7
2.2.1 Περιγραφή της διαδικασίας.....	7
2.2.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τη νιτροποίηση.....	9
2.3 ΤΟΞΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ ΠΟΥ ΣΥΝΑΝΤΟΝΤΑΙ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΛΥΜΑΤΑ	13
2.3.1 Γενικά.....	13
2.3.2 Μέθοδοι υπολογισμού τοξικότητας στα λύματα	14
2.3.3 Παρουσία ΒΤΕΧ και βαρέων μετάλλων σε αστικά λύματα	15

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	27
3.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΩΝ ΦΑΣΕΩΝ SBR.....	27
3.2.1 Ανάλυση τροφοδοσίας συστήματος.....	29
3.2.2 Ανάλυση λειτουργίας συστήματος.....	30
3.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ	32
3.3.1 Πειράματα AUR.....	32
3.3.2 Πειράματα με δείγματα από το ΚΕΛ Ψυττάλειας	34
3.3.3 Πειράματα με προσθήκη ΒΤΕΧ.....	36
3.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ	37

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	47
4.2 ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΝΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ.....	47
4.2.1 Δείγματα ανεπεξέργαστων αστικών λυμάτων τυπικής σύστασης	48
4.2.2 Δείγματα ανεπεξέργαστων αστικών λυμάτων μη τυπικής σύστασης	50
4.3.1 Αποτελέσματα των πειραμάτων με δείγματα ανεπεξέργαστων αστικών λυμάτων τυπικής και μη τυπικής σύστασης.....	54
4.4 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΛΥΤΩΝ ΒΤΕΧ ΣΤΗ ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΛΥΟΣ ΣΕ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ	65

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	69
--------------------------	-----------

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τις τελευταίες δεκαετίες οι περισσότερες ανεπτυγμένες χώρες σημείωσαν έντονη τεχνολογική και βιομηχανική ανάπτυξη. Η πρόοδος αυτή έχει βελτιώσει σημαντικά το επίπεδο ζωής των κατοίκων και τους προσφέρει πληθώρα αγαθών και προϊόντων. Όμως η εν λόγω ανάπτυξη δημιούργησε και ένα μεγάλο ρεύμα στερεών και υγρών αποβλήτων. Για το λόγο αυτό θεσπίστηκαν ειδικές νομοθεσίες για την επεξεργασία των λυμάτων και των αποβλήτων πριν τη διάθεσή τους στο περιβάλλον. Ένας από τους πιο διαδεδομένους και αποτελεσματικούς τρόπους επεξεργασίας λυμάτων είναι τα συστήματα ενεργού ιλύος. Τέτοια συστήματα παραλαμβάνουν τα λύματα πόλεων ή συννοικισμών και ύστερα από επεξεργασία τα διαθέτουν στο περιβάλλον. Τα επεξεργασμένα πλέον λύματα αποτελούνται από δύο κλάσματα, ένα υγρό και ένα στερεό και τηρούν τα όρια που καθορίζουν οι ισχύοντες νομοθεσίες.

Δεδομένου ότι μία τέτοια εγκατάσταση κατασκευάζεται για να παραλαμβάνει αστικά λύματα, σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να επεξεργαστεί λύματα τυπικής αστικής σύστασης. Έτσι εάν κάποια βιομηχανία επιθυμεί να διαθέσει τα απόβλητά της στο αποχετευτικό δίκτυο της πόλης, οφείλει να τα έχει προεπεξεργαστεί με τον τρόπο που ορίζει η ισχύουσα νομοθεσία. Όμως επειδή η προεπεξεργασία αυτή είναι πολυδάπανη, αρκετά συχνά παρατηρείται το φαινόμενο παράνομης διάθεσης υγρών αποβλήτων στο αποχετευτικό δίκτυο της πόλης. Ένα τέτοιο γεγονός έχει ως άμεσο αποτέλεσμα τη δυσλειτουργία και την αναποτελεσματικότητα της εγκατάστασης για μικρό ή μεγάλο χρονικό διάστημα.

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία διερευνήθηκε η αναχαιτιστική δράση των οργανικών διαλυτών ΒΤΕΧ στη νιτροποιητική δράση βιομάζας ενός συστήματος ενεργού ιλύος καθώς επίσης αναλύθηκαν κάποια μεμονωμένα περιστατικά εισροής τοξικών λυμάτων που παρατηρήθηκαν σε διάστημα 8 μηνών σε μία εγκατάσταση της Αττικής, το Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων της Ψυττάλειας. Σαν κρίσιμη διεργασία επιλέχθηκε αυτή της νιτροποίησης καθώς είναι η πιο ευαίσθητη διεργασία που λαμβάνει χώρα σε μία εγκατάσταση ενεργού ιλύος.

Η παρούσα εργασία διαρθρώνεται σε πέντε κεφάλαια των οποίων το περιεχόμενο περιγράφεται επιγραμματικά κάτωθεν.

- Το πρώτο και παρόν κεφάλαιο αποτελεί μία εισαγωγή με τη βοήθεια της οποίας γνωστοποιείται ο στόχος της εν λόγω εργασίας.
- Το δεύτερο κεφάλαιο αποτελεί το θεωρητικό υπόβαθρο στο οποίο βασίζεται η εκπόνηση της εργασίας καθώς και η εξαγωγή συμπερασμάτων. Πιο συγκεκριμένα πρόκειται για μία βιβλιογραφική ανασκόπηση που περιγράφει και αναλύει ότι είναι απαραίτητο για την κατανόηση των πειραμάτων που ακολουθούν.
- Το τρίτο κεφάλαιο αποτελεί μια περιγραφή του πειραματικού μέρους της έρευνας. Στο κεφάλαιο αυτό αναλύεται ο σχεδιασμός και η λειτουργία τους αντιδραστήρα εναλλασσόμενων φάσεων (SBR) που κατασκευάστηκε

στο Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας του ΕΜΠ. Επιπλέον σε αυτό το κεφάλαιο αναλύονται τα πειραματικά πρωτόκολλα που ακολουθήθηκαν για δύο σειρές πειραμάτων, μία με δείγματα εισροής μη τυπικής σύστασης στο κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων της Ψυττάλειας και μία με οργανικούς διαλύτες ΒΤΕΧ.

- Το τέταρτο κεφάλαιο αποτελεί την παρουσίαση των αποτελεσμάτων των πειραμάτων που διεκπεραιώθηκαν στο Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας. Πιο συγκεκριμένα σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται οι αναλύσεις των δειγμάτων του ΚΕΛ Ψυττάλειας που πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας καθώς και τα αποτελέσματα των πειραμάτων (ρυθμοί νιτροποίησης και ποσοστά αναχαίτισης).
- Το πέμπτο κεφάλαιο αποτελεί την καταγραφή των συμπερασμάτων που προέκυψαν συγκρίνοντας και παρατηρώντας τις αναλύσεις των δειγμάτων και τα αποτελέσματα των πειραμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το αποτέλεσμα της χρήσης του νερού για οικιακούς, αλλά και άλλους σκοπούς, όπως εμπορικές και βιομηχανικές δραστηριότητες, είναι να αλλοιώνονται τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του και να αυξάνονται οι συγκεντρώσεις ρυπαντικών ουσιών (οργανικό φορτίο, άζωτο, φώσφορος, παθογόνα, ενδεχόμενα τοξικές ύλες). Η απόρριψη του χρησιμοποιημένου αυτού νερού, δηλαδή των λυμάτων ή αστικών υγρών αποβλήτων, στο περιβάλλον οδηγεί συχνά στην περιβαλλοντική του επιβάρυνση. Για την αποφυγή των επιπτώσεων αυτών, τα λύματα, αφού συλλεχθούν υφίστανται κατάλληλη επεξεργασία, στην Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ), με στόχο την ελαχιστοποίηση των ενδεχόμενων δυσμενών επιπτώσεων στον αποδέκτη (Ανδρεαδάκης, 2008).

Η αρχή λειτουργίας μίας Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων βασίζεται στο συνδυασμό φυσικοχημικών και βιολογικών διεργασιών. Τα κύρια στάδια επεξεργασίας είναι η προεπεξεργασία και η πρωτοβάθμια επεξεργασία, η δευτεροβάθμια επεξεργασία, καθώς και έργα επεξεργασίας ιλύος. Τα στάδια της προεπεξεργασίας και της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας περιλαμβάνουν, συνήθως, εσχάρεις, εξαμμωτές, απολιπαντές και δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης. Βασίζονται σε φυσικοχημικές διαδικασίες και επιτυγχάνουν μερική απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών και του BOD. Το στάδιο της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας περιλαμβάνει το βιολογικό αντιδραστήρα και δεξαμενές τελικής καθίζησης. Η λειτουργία του βιολογικού αντιδραστήρα βασίζεται κυρίως σε βιολογικές διαδικασίες, όπου ετεροτροφικοί και αυτοτροφικοί μικροοργανισμοί απομακρύνουν το οργανικό φορτίο και τα θρεπτικά (άζωτο, φώσφορο) από τα λύματα. Η δεξαμενή τελικής καθίζησης έχει ως στόχο τη διαύγαση των λυμάτων και το διαχωρισμό της στερεής με την υγρή φάση. Η υγρή φάση διατίθεται στον υδάτινο αποδέκτη ενώ μέρος της στερεής επιστρέφεται στον βιολογικό αντιδραστήρα και το υπόλοιπο οδηγείται στα έργα επεξεργασίας ιλύος (πάχυνση, χώνευση, αφυδάτωση).

2.2 ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ

2.2.1 Περιγραφή της διαδικασίας

Νιτροποίηση είναι η μετατροπή του αμμωνιακού αζώτου ($\text{NH}_4\text{-N}$) σε νιτρικό άζωτο ($\text{NO}_3\text{-N}$) που συντελείται κυρίως από αυτοτροφικούς μικροοργανισμούς. Αν και έχουν αναφερθεί ορισμένα είδη ετεροτροφικών μικροοργανισμών που είναι σε θέση να εκτελούν τη μετατροπή των $\text{NH}_4\text{-N}$ σε $\text{NO}_3\text{-N}$ είναι εξαιρετικά

αμφίβολο αν είναι σπουδαίες οι ποσότητες των νιτρικών που παράγονται από ετεροτροφικούς μικροοργανισμούς. Έτσι θεωρείται ότι κύριοι για τη νιτροποίηση είναι οι αυτοτροφικοί μικροοργανισμοί.

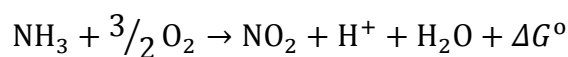
Η διαδικασία της νιτροποίησης, αν και γίνεται σε δύο στάδια, μπορεί να περιγραφεί αθροιστικά στην παρακάτω αντίδραση:



Παρακάτω αναλύονται τα επιμέρους στάδια στα οποία πραγματοποιείται η νιτροποίηση.

Στάδιο A:

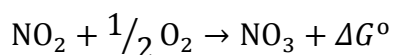
Το στάδιο αυτό ονομάζεται νιτρωδοποίηση (nitritation) και πραγματοποιείται από τα βακτήρια: *Nitrosomonas europaea*, *Nitrosomonas monocella* και *Nitrosococcus*. Η περιγραφή του σταδίου αυτού γίνεται στην αντίδραση που ακολουθεί.



όπου $\Delta G^\circ = -271 \text{ KJ / mole } [\text{NH}_3\text{-N}]$

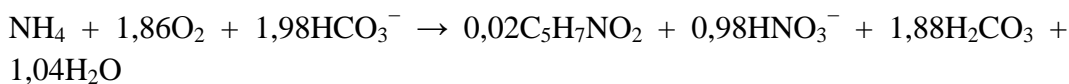
Στάδιο B:

Το δεύτερο στάδιο ονομάζεται νιτρικοποίηση (nitrataion) και πραγματοποιείται από τα βακτήρια: *Nitrobacter agilis*, *Nitrobacter winogradskyi* και *Nitrocystis*. Η περιγραφή του σταδίου αυτού γίνεται στην αντίδραση που ακολουθεί.



όπου $\Delta G^\circ = -78 \text{ KJ / mole } [\text{NO}_2\text{-N}]$

Οι μικροοργανισμοί που δρουν στα στάδια A (νιτροσομονάδες) και B (νιτροβακτηρίδια) αποκτούν την απαιτούμενη ενέργεια από χημικές αντιδράσεις (χημικοτροφικοί), αλλά με οξείδωση ανόργανων ενώσεων οπότε και κατατάσσονται στους χημικολιθοτροφικούς μικροοργανισμούς. Κατά βάση τα νιτροποιητικά βακτηρίδια (ή νιτροποιητές) είναι αυτοτροφικοί οργανισμοί που χρησιμοποιούν ανόργανο άνθρακα ως τροφή. Κατά συνέπεια δεν ανταγωνίζονται τα ετεροτροφικά βακτηρίδια για πρόσληψη άνθρακα. Η συνολική θεωρητική στοιχειομετρική εξίσωση που περιγράφει τη νιτροποίηση για μία τυπική τιμή του συντελεστή μετατροπής βιομάζας των νιτροποιητών ($Y_n \sim 0,16$) είναι:



Οι παραπάνω εξισώσεις είναι πολύ χρήσιμες καθώς δείχνουν το ότι το απαιτούμενο οξυγόνο για την οξείδωση της αμμωνίας είναι $4,57 \text{ g O}_2 / \text{g NH}_4\text{-N}$ που οξειδώνεται, και ότι απαιτούνται $7,14 \text{ mg}$ αλκαλικότητας ως $\text{CaCO}_3 / \text{mg NH}_4^+\text{-N}$ που οξειδώνεται, για την εξισορρόπηση των ιόντων υδρογόνου, που παράγονται κατά το πρώτο στάδιο της νιτροποίησης, δηλαδή κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της νιτροδοποίησης. Αν τα λύματα δεν περιέχουν επαρκή ποσότητα αλκαλικότητας, η διαδικασία της νιτροποίησης αναχαιτίζεται και μπορεί να προκληθούν ανεπιθύμητες καταστάσεις σε μία Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων. Για το λόγο αυτό κρίνεται σκόπιμη η συνεχής παρακολούθηση του pH και της αλκαλικότητας των λυμάτων (Ανδρεαδάκης, 2008).

2.2.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τη νιτροποίηση

Η νιτροποίηση είναι μία ευαίσθητη διαδικασία και επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Οι σημαντικότεροι από αυτούς είναι:

- η συγκέντρωση της αμμωνίας
- η θερμοκρασία
- το pH
- η αλκαλικότητα
- η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου
- η επίδραση τοξικών ουσιών

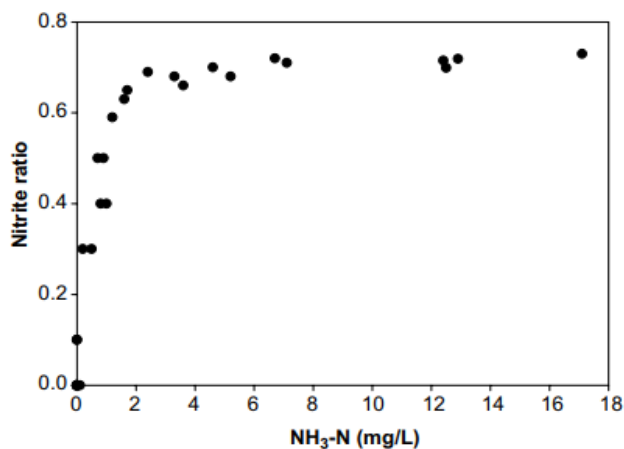
Στη συνέχεια αυτής της παραγράφου αναλύονται οι παράγοντες που αναφέρθηκαν άνωθεν και η επίδραση αυτών στη διαδικασία της νιτροποίησης.

Συγκέντρωση αμμωνίας

Η υψηλή συγκέντρωση αμμωνίας αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για τη νιτροποίηση. Η αμμωνία μπορεί να βρίσκεται είτε με τη μορφή αμμωνίου (NH_4^+) είτε με τη μορφή ελεύθερης αμμωνίας (NH_3), ανάλογα με το pH. Πιο συγκεκριμένα, σε όξινο περιβάλλον η αμμωνία συναντάται με τη μορφή αμμωνίου, ενώ σε βασικά με τη μορφή ελεύθερης αμμωνίας. Η ελεύθερη αμμωνία (NH_3) είναι τοξική όχι μόνο για τα βακτήρια που οξειδώνουν νιτρώδη (Nitrite Oxidizing Bacteria – NOB), τα οποία είναι και πιο ευαίσθητα, αλλά και για τα βακτήρια που οξειδώνουν την αμμωνία (Ammonia Oxidizing Bacteria – AOB).

Οι Kim et al. (2006) μελέτησαν την επίδραση της αμμωνίας στη νιτροποίηση. Παρατήρησαν ότι σε υψηλές συγκεντρώσεις αμμωνίας (έως και 78 mg/L) η νιτροποίηση είχε αναχαιτιστεί πλήρως, ενώ σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις μόνο τα NOB είχαν αναχαιτιστεί σε ένα βαθμό, ενώ η αμμωνία μετατρεπόταν σε

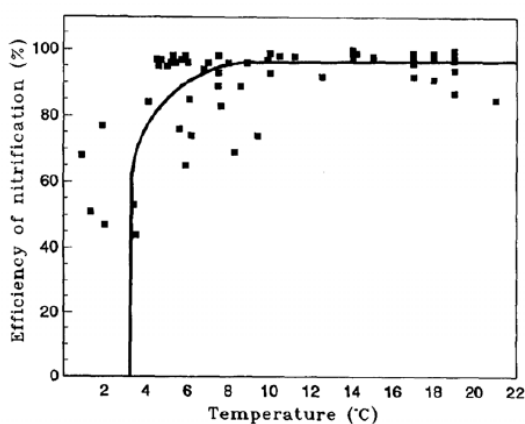
νιτρώδη. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται ο βαθμός συσσώρευσης νιτρωδών σε σχέση με τη συγκέντρωση της ελεύθερης αμμωνίας.



Διάγραμμα 2.1 Βαθμός συσσώρευσης νιτρωδών συναρτήσει της συγκέντρωσης της ελεύθερης αμμωνίας [Πηγή: Kim *et al.* (2006)]

Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία παίζει καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη των αυτοτροφικών μικροοργανισμών, και κατά συνέπεια, και στη νιτροποίηση. Η βέλτιστη θερμοκρασία νιτροποίησης κυμαίνεται από 28 έως 32°C, ενώ μείωση της θερμοκρασίας συνεπάγεται σημαντική μείωση της ταχύτητας της αντίδρασης. Η νιτροποίηση αναχαιτίζεται σχεδόν πλήρως για θερμοκρασίες μικρότερες από 5°C και μεγαλύτερες από 45°C (Γεωργιοπούλου, 2007). Σύμφωνα με το Λυμπεράτο (2001) αύξηση της θερμοκρασίας των λυμάτων κατά 1°C συνεπάγεται αύξηση της ταχύτητας νιτροποίησης κατά 10% περίπου. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η συσχέτιση της θερμοκρασίας και της νιτροποίησης.



Διάγραμμα 2.2 Επίδραση της θερμοκρασίας στη νιτροποίηση [Πηγή: Hao *et al.*, 1997]

Συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου (DO)

Η συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου (DO) επηρεάζει τη δραστηριότητα των νιτροποιητικών βακτηριδίων κατά τρόπο που περιγράφεται από τη σχέση του Monod:

$$\mu_n = \mu_{nmT} * \frac{DO}{DO + K_{DO}}$$

όπου:

μ_n ο ειδικός ρυθμός ανάπτυξης των νιτροποιητών

μ_{nmT} ο μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης για θερμοκρασία T_a

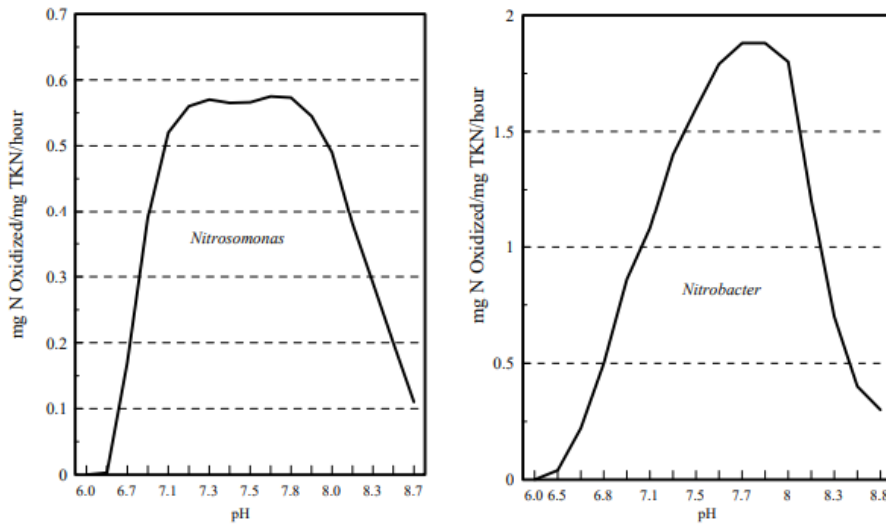
DO η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου

K_{DO} η σταθερά κορεσμού για το οξυγόνο (mg/l) που έχει τιμή περίπου 0,5-1 mg O₂/l και δείχνει ότι η συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου πρέπει να είναι τουλάχιστον 2-3 mg/l για να αποφευχθεί η μείωση της ταχύτητας νιτροποίησης λόγω έλλειψης οξυγόνου (Ανδρεαδάκης,2011).

Έχει αποδειχτεί ότι για πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου (<0,50 mg/L) αναχαιτίζονται κυρίως τα βακτήρια *Nitrobacter* με αποτέλεσμα η νιτροποίηση να μην είναι πλήρης και να υπάρχει συσσώρευση νιτροδών (Metcalf & Eddy, 2003).

Αλκαλικότητα και pH

Πολύ σημαντική, επίσης, είναι και η επίδραση του pH στη διαδικασία της νιτροποίησης. Η βέλτιστη τιμή κυμαίνεται μεταξύ 7,2 και 9, ενώ επέρχεται πλήρης αδρανοποίηση του συστήματος για τιμές μικρότερες από 6 και μεγαλύτερες από 10 (Ανδρεαδάκης, 2011). Για τιμές pH 5,8 ~ 6 ο ρυθμός νιτροποίησης μπορεί να είναι ίσος με το 10 ~ 20% του ρυθμού νιτροποίησης σε pH 7 (Metcalf & Eddy, 2004). Εξαιτίας της οξειδωσης των οργανικών υλικών παράγεται CO₂ το οποίο τείνει να μειώσει το pH. Η μείωση αυτή, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, εξουδετερώνεται από τη ρυθμιστική ικανότητα του συστήματος εφόσον υπάρχει η απαιτούμενη αλκαλικότητα, δηλαδή τουλάχιστον 50 mg/l CaCO₃ (Ανδρεαδάκης, 2011). Στο ακόλουθο διάγραμμα φαίνεται η επίδραση του pH στα βακτήρια *Nitrosomonas* και *Nitrobacter*.



Διάγραμμα 2.3 Επίδραση του pH στους νιτροποιητές [Πηγή: Grady and Lim 1980]

Επίδραση τοξικών ουσιών

Η διαδικασία της νιτροποίησης μπορεί να αναχαιτιστεί από μία σειρά οργανικών και ανόργανων ενώσεων. Οι ουσίες αυτές όταν βρίσκονται σε υψηλές συγκεντρώσεις προκαλούν αναχαιτίση είτε καταστρέφοντας το μεταβολισμό του κύτταρου είτε διακόπτοντας τις βασικές αντιδράσεις οξείδωσης. Οι πλέον επικίνδυνες ουσίες για τη νιτροποίηση είναι αυτές που περιέχουν θείο, βαρέα μέταλλα και μη ιονικές μορφές αμμωνίας (NH_3). Έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι η οξείδωση της αμμωνίας, δηλαδή το 1ο στάδιο της νιτροποίησης, προσβάλλεται πιο δύσκολα και από λιγότερες αναχαιτιστικές ουσίες σε σχέση με την οξείδωση των νιτρωδών (NO_2), δηλαδή το 2ο στάδιο της νιτροποίησης. Έτσι εμφανίζεται ότι η *Nitrobacter* είναι ο «αδύναμος κρίκος» της νιτροποίησης με συνέπεια σε περιστατικά αναχαιτίσης να παρατηρείται συχνά η συσσώρευση των τοξικών ουσιών N_2O και NO ως αποτέλεσμα μη ολοκλήρωσης της διαδικασίας (Ανδρεαδάκης, 2011). Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται ορισμένες τοξικές οργανικές ενώσεις καθώς και οι συγκεντρώσεις για τις οποίες παρατηρείται 75% αναχαιτίση της νιτροποίησης.

Πίνακας 2.1 Τοξικές οργανικές ενώσεις [Πηγή: Randall et al., 1992]

Compound	Concentration (mg/L) at Approximately 75% Inhibition
Acetone	2000
Allyl alcohol	19.5
Allyl chloride	180
Allyl isothiocyanate	1.9
Benzothiazole disulfide	38
Carbon disulfide	35
Chloroform	18
o-Cresol	12.8
Di-allyl ether	100
Dicyandiamide	250
Diguanide	50
2,4-Dinitrophenol	460
Dithio-oxamide	1.1
Ethanol	2400
Guanidine carbonate	16.5
Hydrazine	58
8-Hydroxyquinoline	72.5
Mercaptobenzothiazole	3.0
Methylamine hydrochloride	1550
Methyl isothiocyanate	0.8
Methyl thiuronium sulfate	6.5
Phenol	5.6
Potassium thiocyanate	300
Skatol	7
Sodium dimethyl dithiocarbamate	13.6
Sodium methyl dithiocarbamate	0.9
Tetramethyl thiuram disulfide	30
Thioacetamide	0.53
Thiosemicarbazide	0.18
Thiourea	0.076
Trimethylamine	118

2.3 ΤΟΞΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ ΠΟΥ ΣΥΝΑΝΤΟΝΤΑΙ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΛΥΜΑΤΑ

2.3.1 Γενικά

Όπως αναφέρει ο Ανδρεαδάκης στο βιβλίο του «Επεξεργασία και Διαχείριση Λυμάτων και Ιλύος», οι ποσότητες και τα χαρακτηριστικά των βιομηχανικών υγρών αποβλήτων ποικίλου επειδή οι διαδικασίες παραγωγής μπορεί να διαφέρουν. Σε αντίθεση με αυτά όμως, οι ποσότητες και τα χαρακτηριστικά των αστικών υγρών αποβλήτων παρουσιάζουν, με αναγωγή στον εξυπηρετούμενο ισοδύναμο κάτοικο, μία σχετική σταθερότητα. Η έννοια των αστικών υγρών αποβλήτων καλύπτει όχι μόνον αυστηρά οικιακά απόβλητα αλλά και αυτά που προκύπτουν από τις εγγενείς εμπορικές, διοικητικές και βιοτεχνικές δραστηριότητες της πόλης, ενώ κανονικά δεν περιλαμβάνει ενδεχόμενες ανεπεξέργαστες εκροές από μεγάλες ή/και ιδιαίτερα ρυπογόνες βιομηχανίες.

Οι κύριες ρυπαντικές ουσίες των αστικών λυμάτων, στην απομάκρυνση των οποίων αποσκοπεί η επεξεργασία των λυμάτων, είναι τα ογκώδη στερεά, η άμμος και τα λίπη, τα οργανικά στερεά, οι διαλυμένες οργανικές ενώσεις, τα θρεπτικά συστατικά (άζωτο και φώσφορος) και σε ορισμένες περιπτώσεις οι παθογόνοι

μικροοργανισμοί. Στο βαθμό που δεν υπάρχουν σημαντικές εισροές βιομηχανικών υγρών αποβλήτων στο δίκτυο, ή εφαρμόζονται αποτελεσματικά μέτρα προεπεξεργασίας τους, η παρουσία τοξικών ουσιών (βαρέα μέταλλα, οργανικές συνθετικές ενώσεις) στα αστικά λύματα είναι περιορισμένη και κατά κανόνα οφείλεται σε ορισμένες οικιακές, εμπορικές ή μικρής κλίμακας βιομηχανικές δραστηριότητες.

Καθώς δεν εφαρμόζονται πάντα πλήρως τα μέτρα πρόληψης, που προαναφέρθηκαν, η παρουσία τοξικών ουσιών σε συγκεντρώσεις άνω του επιτρεπτού είναι συχνό φαινόμενο σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων που εξυπηρετούν αστικά κέντρα με αναπτυσσόμενη βιομηχανική δράση. Αποτέλεσμα αυτού του γεγονότος είναι να αναχαιτίζονται σε αξιόλογο βαθμό οι βιομηχανικές διεργασίες και κατά συνέπεια να μειώνεται η αποδοτικότητα του συστήματος. Σε αυτή την παράγραφο περιγράφονται και αναλύονται αυτές οι τοξικές ουσίες, για την καλύτερη κατανόηση ενός τέτοιου προβλήματος.

2.3.2 Μέθοδοι υπολογισμού τοξικότητας στα λύματα

Ο υπολογισμός της τοξικότητας των λυμάτων αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της επεξεργασίας αυτών πριν την τελική διάθεσή τους σε κάποιον υδάτινο αποδέκτη. Γενικά έχουν εφαρμοσθεί αρκετές μέθοδοι που βασίζονται στα εξής βιολογικά φαινόμενα:

- ρυθμός αύξησης (βιωσιμότητα κυττάρων, απομάκρυνση υποστρώματος κλπ
- ενζυμική δραστηριότητα (αφυδρογονάση, τριφωσφορική αδενοσίνη)
- βακτηριακή βιοφωταύγεια
- παραγωγή μεταβολικής θερμότητας.(μικροθερμιδομετρική τεχνική)
- ρυθμός αποξυγόνωσης.

Στη συνέχεια αναλύονται οι κυριότερες μέθοδοι που έχουν εφαρμοσθεί και πως αυτές εφαρμόζονται για τον προσδιορισμό της τοξικότητας

Ammonium Uptake Rate (AUR)

Η μέθοδος AUR εξετάζει την εν γένει αναχαίτιση των νιτροποιητικών οργανισμών. Πρόκειται για μία μέθοδο με μεγάλη ευαισθησία στην τοξικότητα. Παρόλα αυτά στην περίπτωση που δεν γίνεται απομάκρυνση αμμωνίας σε εγκατάσταση τέτοια τεστ δεν μπορούν να δώσουν ασφαλή στοιχεία.

Το τεστ πραγματοποιείται σε εργαστηριακούς αντιδραστήρες διακεκομμένων κύκλων λειτουργίας (batch) όπου βιομάζα και αραιώσεις των επικινδύνων αποβλήτων με αστικά μη τοξικά λύματα αναμειγνύονται και αερίζονται (kristensen et al 1992). Προστίθεται αμμωνία και μετρείται κατά τακτά χρονικά διαστήματα η συγκέντρωση της αμμωνίας και του νιτρικού και νιτρώδες αζώτου.

Βασικό μειονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι δεν παρέχει πληροφορίες για την επίδραση των τοξινών στους ετεροτροφικούς οργανισμούς οι οποίοι συνδέονται με διάγκωση της λάσπης στις δεξαμενές τελικής καθίζησης και σχετίζονται με την απομάκρυνση του BOD.

Oxygen Uptake Rate (OUR)

Η μέθοδος OUR εξετάζει την εν γένει αναχαίτιση των ετεροτροφικών οργανισμών. Πρόκειται για μία μέθοδο που χρησιμοποιείται ευρύτατα για τον έλεγχο πιθανής τοξικότητας βιομηχανικών και αστικών λυμάτων. Πολλές έρευνες που έχουν γίνει με στόχο το προσδιορισμό της τοξικότητας υγρών αποβλήτων εφαρμόζουν την μέθοδο αυτή είτε αποκλειστικά είτε σε συσχέτιση με τη μέθοδο AUR.

Βιοφωταύγεια

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην ανάμιξη των λυμάτων με καλλιέργεια ενάλιων βακτηρίων που παρουσιάζουν το φαινόμενο της φωταύγειας. Η μείωση της έντασης της φωταύγειας αποτελεί μέτρο τοξικότητας του λύματος. Σαν αρχή αυτό το τεστ μοιάζει με το τεστ αναχαίτισης ετεροτροφικών αφού η βιοφωταύγεια σχετίζεται και αυτή με την κατανάλωση οξυγόνου. Το πιο διαδεδομένο τεστ φωταύγειας είναι το Microtox test το οποίο χρησιμοποιεί ως βακτήρια εκπομπής φωτός το *Vibrio Fisheri*, το οποίο χρειάζεται 15 λεπτά για να δράσει και απαιτεί θερμοκρασία 15°C.

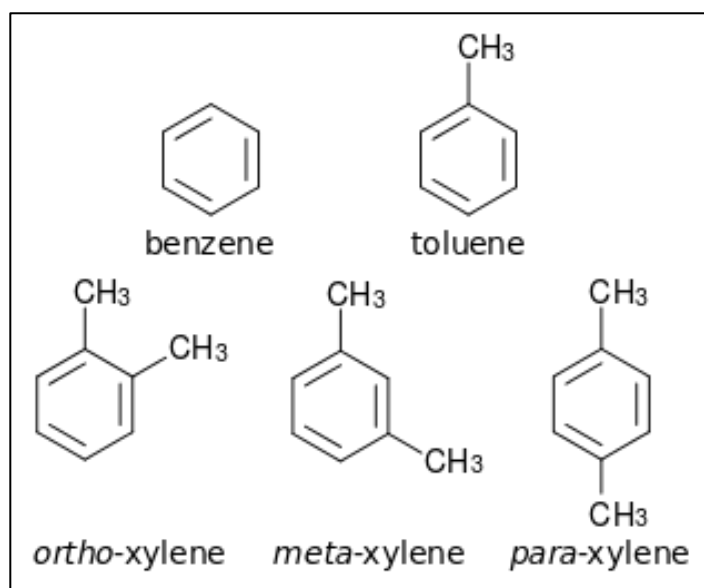
2.3.3 Παρουσία BTEX και βαρέων μετάλλων σε αστικά λύματα

Σε προηγούμενη παράγραφο έγινε αναφορά για την ανασταλτική δράση των τοξικών ουσιών στη διαδικασία της νιτροποίησης και αναφέρθηκαν στον πίνακα 2.1 αρκετές από αυτές. Πέρα από τις τοξικές ουσίες που προαναφέρθηκαν όμως, συχνά συναντώνται σε αστικά λύματα οι χημικές ενώσεις BTEX αλλά και βαρέα μέταλλα. Η επίδραση των χημικών ενώσεων BTEX και κάποιων από τα βαρέα μέταλλα όπως χαλκός, ψευδάργυρος, χρώμιο αναλύονται στη συνέχεια της παρούσας παραγράφου.

BTEX

Οι χημικές ενώσεις BTEX αποτελούν αρωματικούς υδρογονάνθρακες και είναι παράγωγα διύλισης πετρελαίου. Πιο συγκεκριμένα με τον όρο BTEX περιγράφονται οι εξής χημικές ενώσεις: βενζόλιο (B) με μοριακό τύπο C_6H_6 , τολουένιο (T) με μοριακό τύπο C_7H_8 , αιθυλοβενζόλιο (E) με μοριακό τύπο C_8H_{10} και ξυλόλιο (X) με μοριακό τύπο C_8H_{10} . Σε αντίθεση με τις υπόλοιπες ενώσεις, το ξυλόλιο αποτελείται από τρία ισομερή, το πάρα – ξυλόλιο (p-xylene), το μέτα –

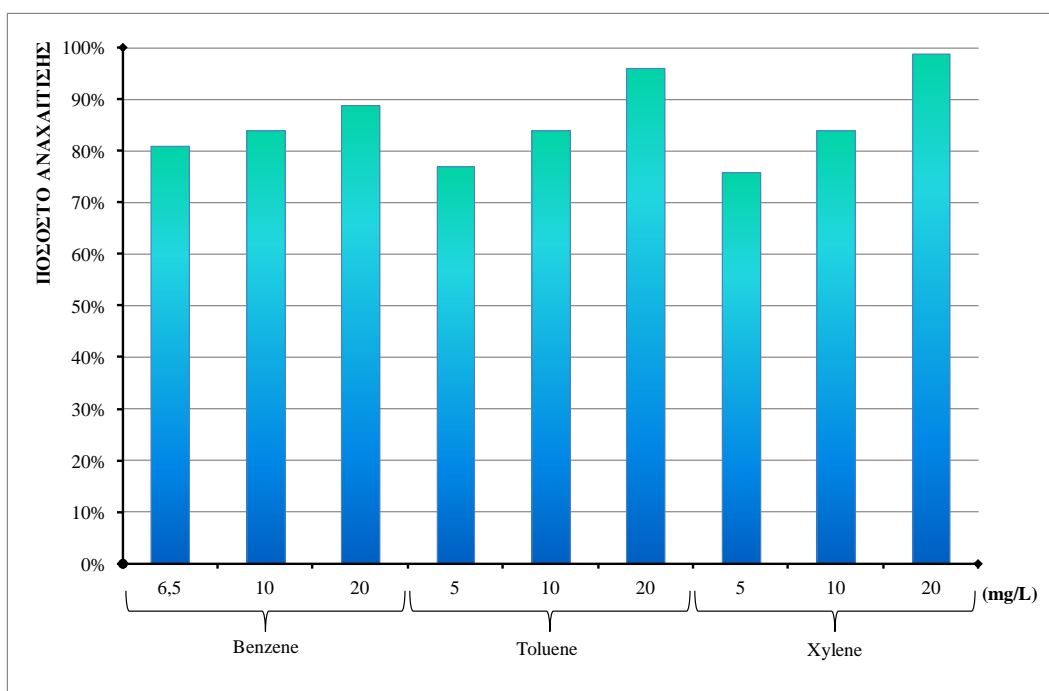
ξυλόλιο (m-xylene) και το όρθο – ξυλόλιο (o-xylene). Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται η μοριακή δομή του βενζολίου του τολουενίου και των τριών ισομερών του ξυλολίου.



Εικόνα 2.1 Μοριακή δομή χημικών ενώσεων BTEX. [Πηγή: Wikipedia]

Σύμφωνα με την επίσημη βάση δεδομένων του υπουργείου υγείας των ΗΠΑ, η διαλυτότητα του βενζολίου στο νερό σε θερμοκρασία 20°C είναι 1,79 kg/m³ και η διαλυτότητα του τολουόλιο στο νερό σε θερμοκρασία 20°C είναι 0,53 kg/m³. Ακόμα, σύμφωνα με το World Health Organization, Geneva, 1996 η διαλυτότητα του αίθυλο - βενζολίου στο νερό σε θερμοκρασία 20°C είναι 0,152 kg/m³ και ενώ διαλυτότητα των ισομερών του ξυλολίου στο νερό σε θερμοκρασία 20°C είναι 0,175 kg/m³ για το o-xylene, 0,160 kg/m³ για το m-xylene και 0,198 kg/m³ για το p-xylene.

Η τοξικότητα που προκαλούν αυτές οι χημικές ενώσεις στα συστήματα ενεργού ιλύος έχει αποτελέσει αντικείμενο έρευνας πολλών επιστημονικών ομάδων και διερευνάται και στην παρούσα εργασία. Σύμφωνα με έρευνα των Zepeda, Texier, Razo-Flores και Gomez το 2006, η αναχαιτιστική δράση του βενζολίου, του τολουενίου και του m-xylene ισομερούς του ξυλολίου αρκετά έντονη. Πιο συγκεκριμένα οι ερευνητές μελέτησαν τη νιτροποιητική δράση βιομάζας η οποία προηγουμένως ήταν σε επαφή με διάφορες συγκεντρώσεις σε κάθε ένα από τα χημικά BTX για δεκαέξι ώρες. Πριν τα πειράματα η βιομάζα ξεπλένονταν πολλάκις και αμέσως μετά ξεκίναγαν, απουσία BTX. Μετά το ξέπλυμα η βιομάζα ανακτούσε ένα μέρος της νιτροποιητικής της ικανότητας αλλά σε καμία περίπτωση δεν ανέκαμπτε πλήρως. Στο διάγραμμα που ακολουθεί φαίνονται τα ποσοστά απώλειας νιτροποιητικής ικανότητας συναρτήσει των συγκεντρώσεων BTX.



Διάγραμμα 2.4 Ποσοστιαία αναχαίτιση των BTX στη νιτροποιητική δράση βιομάζας. [Πηγή: Zepeda et al 2006]

Όπως γίνεται κατανοητό, η παρουσία BTEX σε μια εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων μπορεί να είναι καταστροφική σε ότι αφορά την απομάκρυνση του αζώτου. Αρκετοί ερευνητές πιστεύουν πως αυτού του είδους η αναχαίτιση πιθανότατα οφείλεται στο ότι η παρουσία υδρογονανθράκων μπορεί να είναι βλαβερή για την ορθή λειτουργία των κυτταρικών μεμβρανών των μικροοργανισμών. Σε μια προσπάθεια να γίνεται υπολογίσιμη η αναχαιτισμένη ταχύτητα νιτροποίησης παρουσία βενζολίου, οι C. Ben-Youssef et al. το 2009 κατέληξε στο μαθηματικό μοντέλο που ακολουθεί.

Ταχύτητα Οξείδωσης Αμμωνίας σε Νιτρώδες οξύ

$$r_{NH_4} = r_{max,NH_4} * \frac{S_{NH_4}}{K_{S,A} + S_{NH_4}} * \frac{K_{i,A}}{K_{i,A} + S_{BZ}}$$

Ταχύτητα Οξείδωσης Νιτρώδους οξέος σε Νιτρικό οξύ

$$r_{NO_2} = r_{max,NO_2} * \frac{S_{NO_2}}{K_{S,N} + S_{NO_2}} * \frac{K_{i,N}}{K_{i,N} + S_{BZ}}$$

όπου: $r_{(max, NH_4)}$ μέγιστη ταχύτητα οξείδωσης αμμωνίας

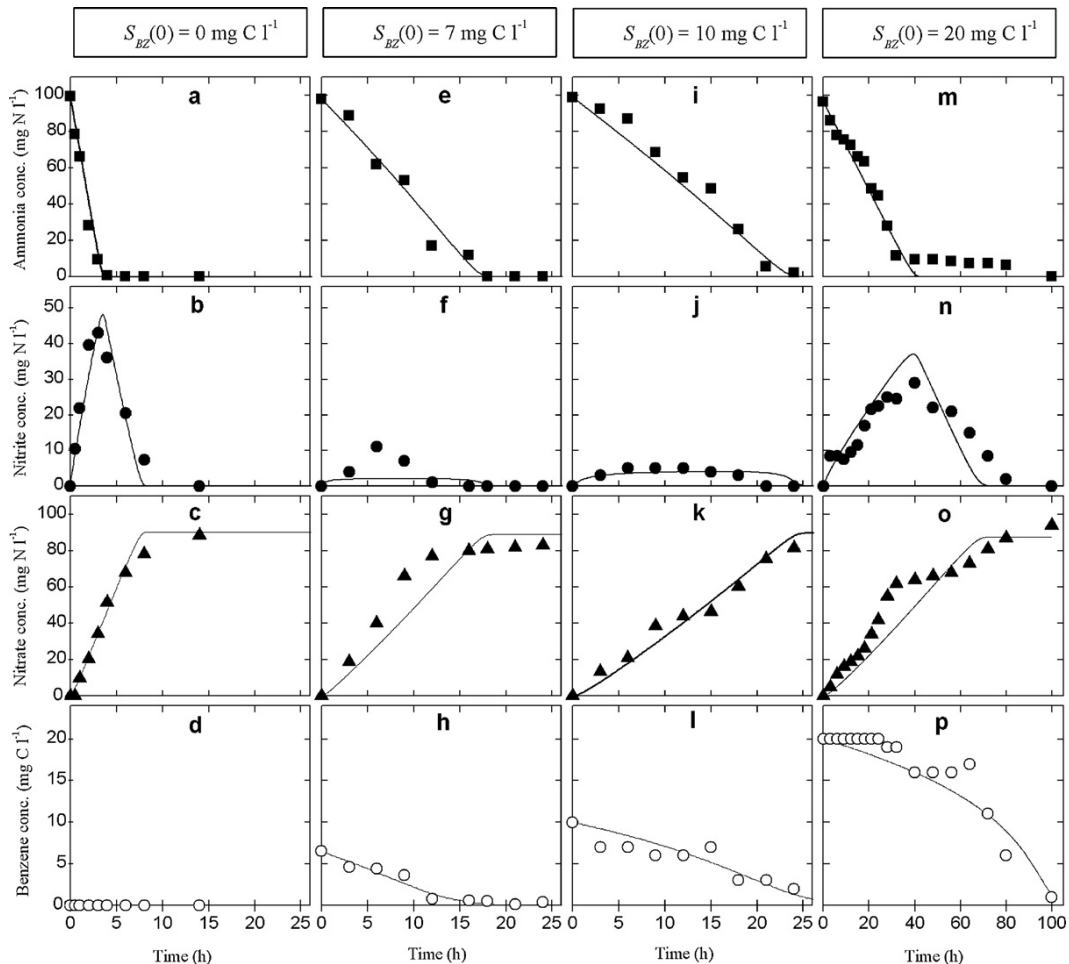
$r_{(max, NO_2)}$ μέγιστη ταχύτητα οξείδωσης νιτρώδους οξέος

$K_{S,A}$ σταθερά οξείδωσης αμμωνίας

- $K_{S,N}$ σταθερά οξείδωσης νιτρώδους οξέος
- $K_{i,A}$ σταθερά αναχαίτισης βενζολίου στην οξείδωση αμμωνίας
- $K_{i,N}$ σταθερά αναχαίτισης βενζολίου στην οξείδωση νιτρώδους οξέος

Οι τιμές των σταθερών $K_{i,A}$ και $K_{i,N}$ είναι 23,8 και 36,2 αντίστοιχα.

Για την επαλήθευση της εγκυρότητας αυτού του μοντέλου, πραγματοποιήθηκε μια σειρά από πειράματα, κατά την οποία λειτούργησαν παράλληλα τέσσερα batch για δεκαέξι ώρες. Η βιομάζα κάθε batch είχε διαφορετικές συγκεντρώσεις βενζολίου (0, 7, 10 και 20 mg/l) και πριν χρησιμοποιηθεί στα πειράματα ξεπλύθηκε με διάλυμα NaCl συγκέντρωσης 9gr/l. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων φαίνονται στα διαγράμματα της παρακάτω εικόνας, όπως αυτά δημοσιεύτηκαν στο περιοδικό Chemical Engineering Journal 152 (2009).



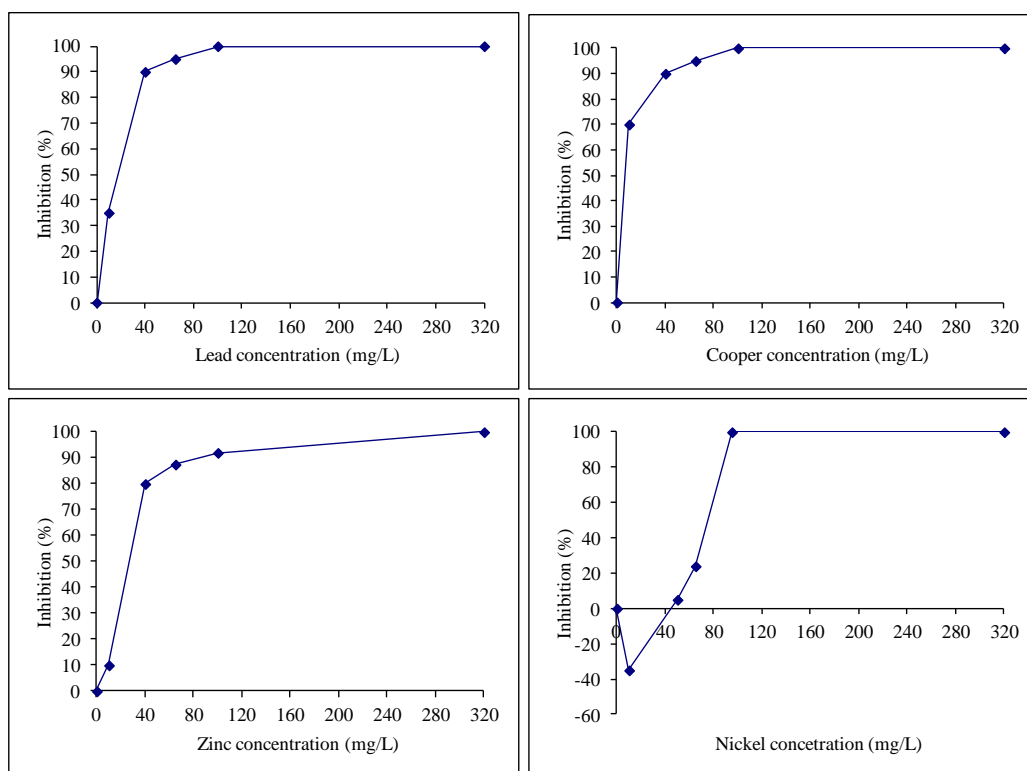
Διάγραμμα 2.5 Διαγράμματα μεταβολής των συγκεντρώσεων αμμωνίας, νιτρώδους οξέος, νιτρικού οξέος και βενζολίου συναρτήσει του χρόνου για διαφορετικές αρχικές συγκεντρώσεις βενζολίου. [Πηγή: Ben-Youssef et al. 2009]

Βαρέα μέταλλα

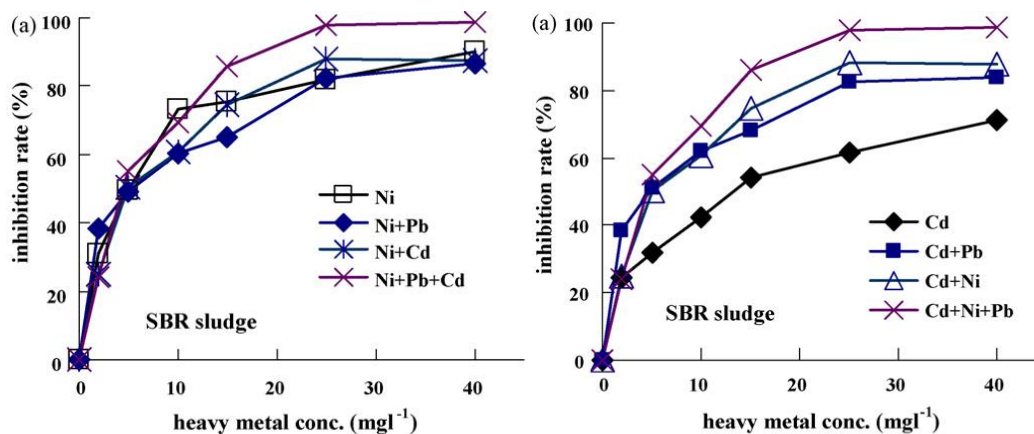
Με τον όρο βαρέα μέταλλα περιγράφονται συνήθως εκείνα τα μέταλλα που έχουν πυκνότητα μεγαλύτερη από $5,0 \text{ gr/cm}^3$, εκείνα δηλαδή που είναι σχετικά πυκνά. Τα βαρέα μέταλλα καταλήγουν στο περιβάλλον συνήθως ως αποτέλεσμα βιομηχανικής δραστηριότητας και ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ορισμένα βαρέα μέταλλα, ειδικά το κάδμιο, ο υδράργυρος και ο μόλυβδος, είναι δυνητικά επικίνδυνα, λόγω της εγγενούς ή επιλεκτικής τοξικότητάς τους, ιδιαίτερα σε ότι αφορά στο περιβαλλοντικό πλαίσιο. Άλλα συνήθη τοξικά βαρέα μέταλλα είναι το χρώμιο, το κοβάλτιο, το νικέλιο, ο χαλκός, ο ψευδάργυρος, το αρσενικό και το σελήνιο.

Όπως προαναφέρθηκε η παρουσία βαρέων μετάλλων στα αστικά λύματα είναι συχνό φαινόμενο και για το λόγο αυτό η τοξικότητά τους έχει αποτελέσει αντικείμενο μελέτης τα τελευταία χρόνια για πολλούς ερευνητές. Σύμφωνα με άρθρο του Simos Malamis et al. 2012, που δημοσιεύτηκε στο “Journal of Environmental Science and Health”, στο οποίο διερευνήθηκε η τοξικότητα του χαλκού, του μολύβδου, του ψευδαργύρου και του νικελίου, ο χαλκός ήταν ο τοξικότερος όλων. Πιο συγκεκριμένα σε αυτή τη μελέτη εξετάστηκε η ανασταλτική δράση των άνωθεν μετάλλων (Cu, Pb, Zn, Ni) στην ανάπτυξη ετεροτροφικών οργανισμών και η εν δυνάμει μείωση της συγκέντρωσης των μετάλλων με χρήση φυσικών ορυκτών όπως ο ζεόλιθος και μπετονίτης. Για τη διεκπεραίωση αυτής της μελέτης, πραγματοποιήθηκαν πειράματα OUR, τα οποία ανέδειξαν το χαλκό ως των τοξικότερο μεταξύ των τεσσάρων μετάλλων. Μετά το χαλκό, η σειρά τοξικότητας είναι μόλυβδος, ψευδάργυρος και νικέλιο. Στο διάγραμμα 2.6 φαίνεται η ποσοστιαία αναχαίτιση που εμφανίζουν οι ετεροτροφικοί οργανισμοί, συναρτήσει της συγκέντρωσης του κάθε μετάλλου. Όπως είναι εμφανές, συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 320 mg/l αδρανοποιούν πλήρως τους ετεροτροφικούς μικροοργανισμούς.

Την επιρροή βαρέων μετάλλων στη νιτροποιητική ικανότητα βιομάζας ενεργού ιλύος μελέτησαν οι Sheng-Jie You, Yung-Pin Tsai και Ru-Yi Huang. Σε άρθρο τους, μελέτησαν την τοξικότητα του μολύβδου, του κάδμιου και του νικελίου στη νιτροποίηση. Πιο συγκεκριμένα διεξήγαγαν πολλαπλά πειράματα AUR στα οποία εξέτασαν τα τρία αυτά μέταλλα και συνδυασμούς αυτών (Pb, Ni, Cd, Pb+Ni, Ni+Cd, Pb+Cd και Pb+Ni+Cd) σε επτά διαφορετικές συγκεντρώσεις (0 mg/l , 2 mg/l , 5 mg/l , 10 mg/l , 15 mg/l , 25 mg/l και 40 mg/l). Ο μόλυβδος δεν παρουσίασε αναχαίτιση ακόμα και σε συγκέντρωση 40 mg/l , ενώ τα υπόλοιπα μέταλλα και οι συνδυασμοί αυτών εμφάνισαν αναχαίτισεις όπως φαίνεται στο διάγραμμα 2.7.

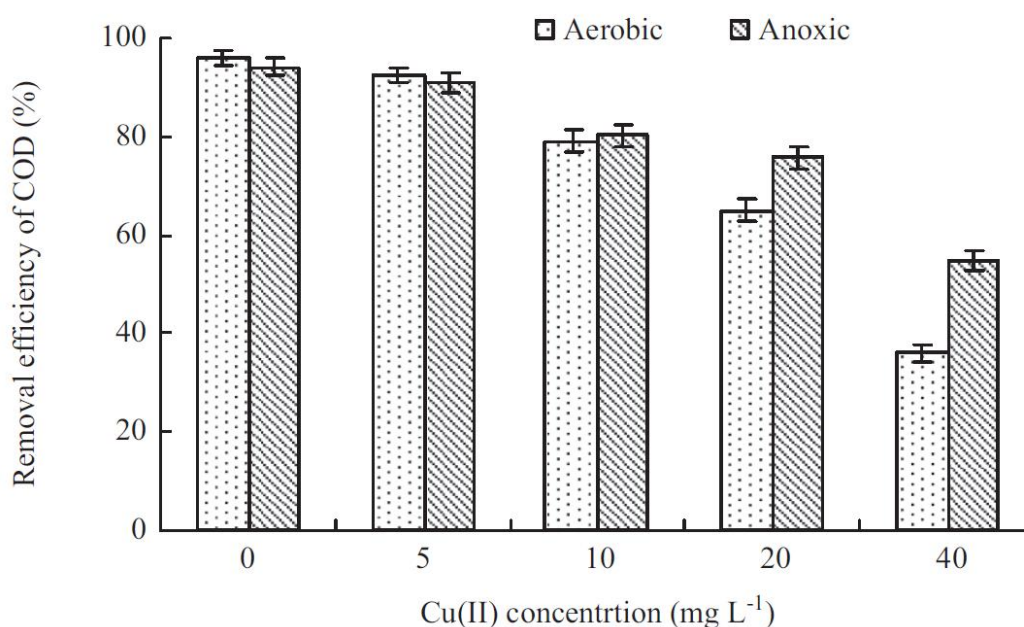


Διάγραμμα 2.6 Ποσοστιαία αναχαιτίση ετεροτροφικών μικροοργανισμών συναρτήσε της συγκέντρωσης των μετάλλων Cu, Pb, Zn, Ni. [Πηγή: Malamis et al. 2012]



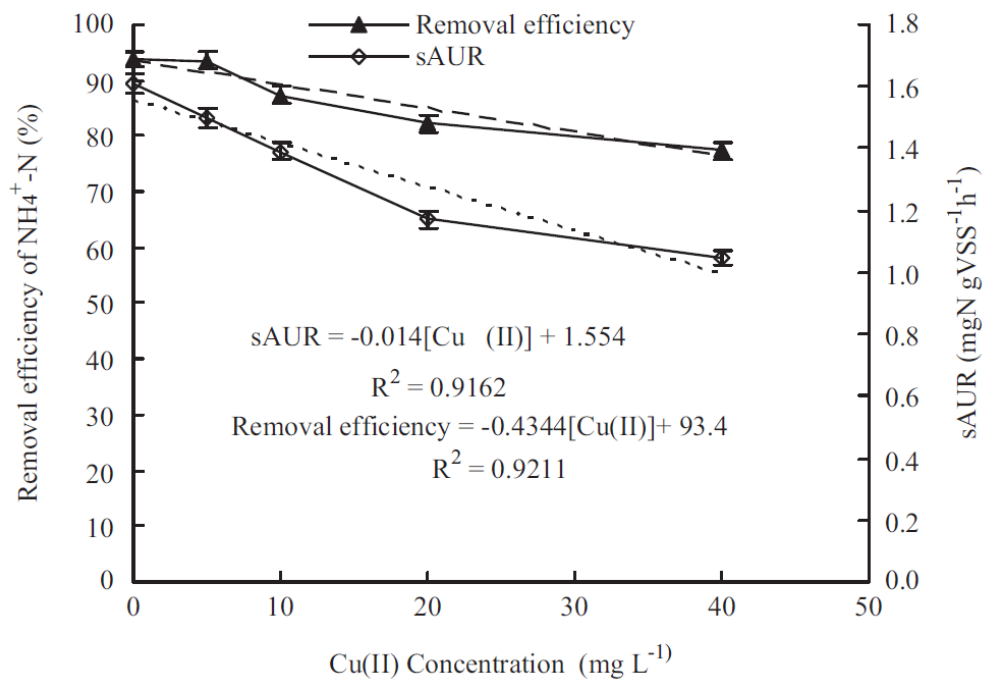
Διάγραμμα 2.7 Ποσοστιαία αναχαιτίση νιτροποιητικής ικανότητας βιομάζας ενεργού ιλύος συναρτήσε της συγκέντρωσης των μετάλλων Ni, Cd. [Πηγή: You et al.]

Από τα βαρέα μέταλλα, αυτό που εμφανίζεται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στα λύματα είναι ο χαλκός. Την επίδραση του χαλκού στις διεργασίες που πραγματοποιούνται σε μία εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων μελέτησαν οι Ruixue Jiang, Shujuan Sun, Kai Wang, Zhaomu Hou και Xiaochen Li. Σε άρθρο τους, μελέτησαν την αναχαίτιση που προκαλεί ο χαλκός στην απομάκρυνση οργανικού φορτίου, στη νιτροποίηση και στην απονιτροποίηση. Σε ότι αφορά την απομάκρυνση οργανικού φορτίου μετρημένου σε όρους COD, παρατηρήθηκε ότι σε αερόβιες συνθήκες η αναχαίτιση ήταν μεγαλύτερη από ότι σε ανοξικές, γεγονός που δείχνει πως οι αερόβιοι ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί προσβάλλονται σε μεγαλύτερο βαθμό από την τοξικότητα του χαλκού από τους μικροοργανισμούς που είναι υπεύθυνοι για την απονιτροποίηση. Επιπλέον, όπως φαίνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί, σημαντικές αναχαίτισεις (άνω του 20%) παρατηρούνται σε συγκεντρώσεις χαλκού μεγαλύτερες των 20 mg/l.



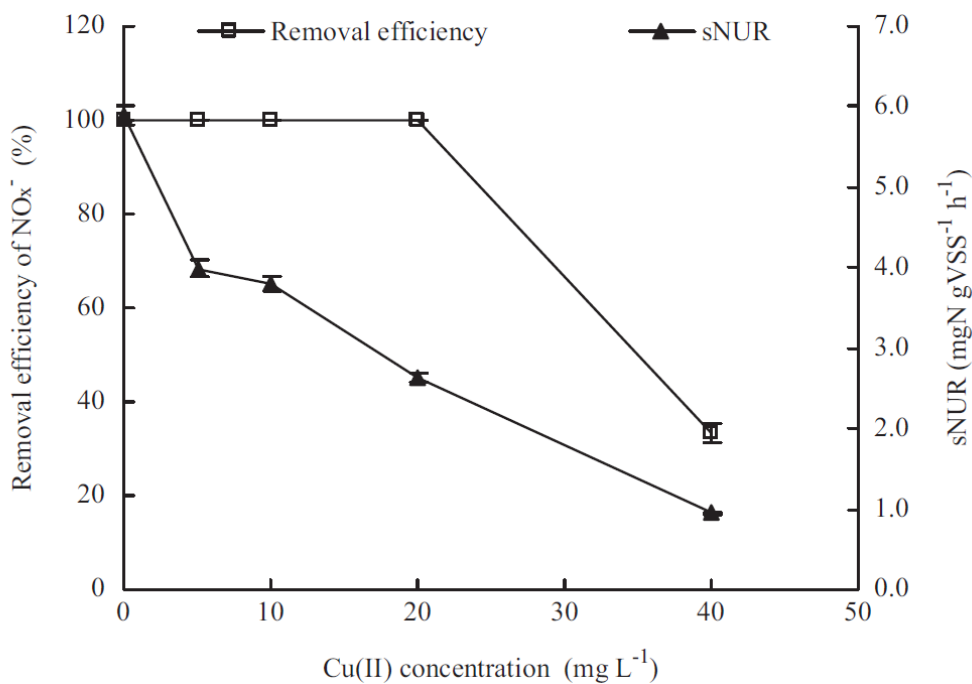
Διάγραμμα 2.8 Επίδραση του χαλκού στην απομάκρυνση οργανικού φορτίου.
[Πηγή: Jiang et al. 2013]

Σε ότι αφορά την επίδραση του χαλκού στη νιτροποιητική ικανότητα της βιομάζας, όπως παρατηρείται στο διάγραμμα που ακολουθεί, σημαντικές αναχαίτισεις (άνω του 20%) παρατηρούνται σε συγκεντρώσεις χαλκού μεγαλύτερες των 20 mg/l.



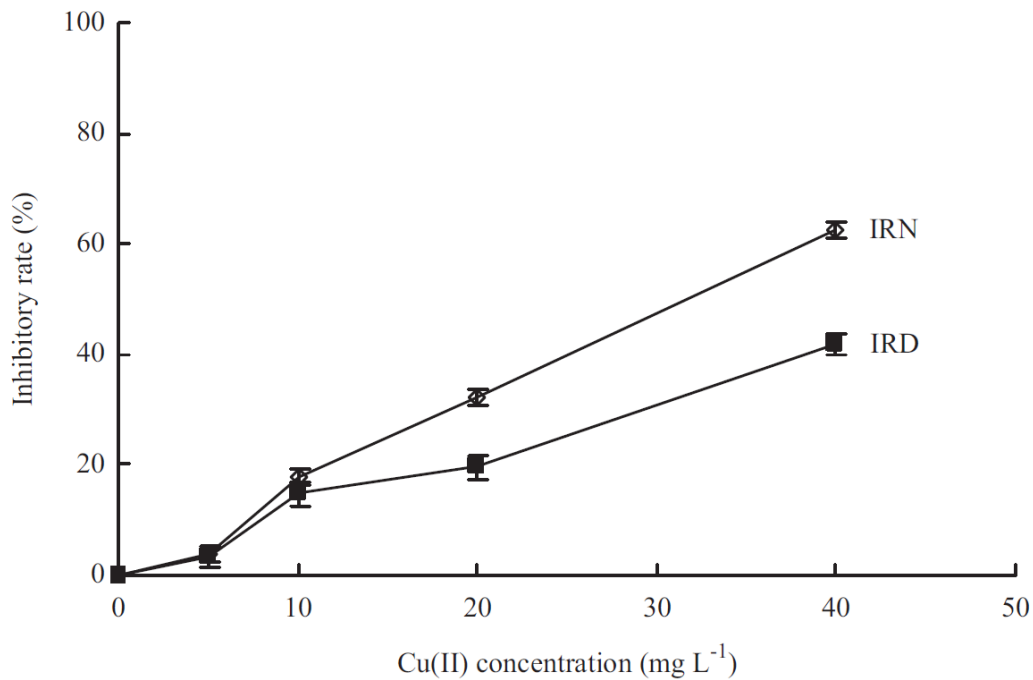
Διάγραμμα 2.9 Επίδραση του χαλκού στην απομάκρυνση αμμωνιακού αζώτου. [Πηγή: Jiang et al. 2013]

Σε ότι αφορά την επίδραση του χαλκού στη απονιτροποιητική ικανότητα της βιομάζας, όπως παρατηρείται στο διάγραμμα που ακολουθεί, παρά το ότι η ταχύτητα απονιτροποίησης μειώνεται απότομα, η συνολική δυναμική του συστήματος να απονιτροποιεί δεν επηρεάζεται καθόλου για συγκεντρώσεις 20 mg/lt και κάτω.



Διάγραμμα 2.10 Επίδραση του χαλκού στην απομάκρυνση νιτρικού και νιτρώδους αζώτου. [Πηγή: Jiang et al. 2013]

Τέλος αξίζει να σημειωθεί πως με τα πειράματα που έγιναν και όπως φαίνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί, οι νιτροποιητικοί οργανισμοί επηρεάζονται περισσότερο από τους απονιτροποιητικούς οργανισμούς. Έτσι συνοψίζοντας για τους μικροοργανισμούς, κατατάσσονται με σειρά από τον ανθεκτικότερο προς τον ευπαθέστερο ως εξής: ετεροτροφικοί αερόβιοι, απονιτροποιητικοί και νιτροποιητικοί μικροοργανισμοί.



Διάγραμμα 2.11 Επίδραση του χαλκού στη νιτροποίηση (IRN) και στην απονιτροποίηση (IRD). [Πηγή: Jiang et al. 2013]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Όπως είναι προφανές από το προηγούμενο κεφάλαιο, η παρουσία BTEX και βαρέων μετάλλων στα αστικά λύματα προκαλεί αναχαίτιση στη νιτροποίηση. Στο Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων της Ψυττάλειας κάποιες μέρες παρατηρείται μειωμένη νιτροποιητική δραστηριότητα η οποία συνοδεύεται από οσμές που πιθανόν οφείλονται σε οργανικούς διαλύτες. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με το ότι η παρουσία οργανικών διαλυτών BTEX στα αστικά λύματα προκαλεί την αναχαίτιση της νιτροποίησης, όπως αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, καθιστά απαραίτητη την περαιτέρω διερεύνηση του φαινομένου.

Έτσι για την εκπόνηση αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας αποφασίστηκε να γίνουν δύο σειρές πειραμάτων. Στην πρώτη σειρά πειραμάτων ελέγχεται η αναχαίτιση της νιτροποιητικής ικανότητας μιας βιομάζας παρουσία ανεπεξέργαστων αστικών λυμάτων μη τυπικής σύστασης από το ΚΕΛ της Ψυττάλειας. Στη δεύτερη σειρά ελέγχεται, πιο στοχευμένα, η αναχαίτιση της νιτροποιητικής ικανότητας μιας βιομάζας παρουσία BTEX. Τα πειράματα διεξήχθησαν στο Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας της σχολής Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ και για τη διεξαγωγή τους συστήθηκε αντιδραστήρας διαλείποντος έργου εναλλασσόμενων φάσεων λειτουργίας (SBR) και ασυνεχούς τροφοδοσίας (batch). Η λειτουργία του αντιδραστήρα, η πειραματική διαδικασία και οι μέθοδοι ανάλυσης των δειγμάτων που ελήφθησαν από τα πειράματα αναλύονται στις επόμενες παραγράφους.

3.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΩΝ ΦΑΣΕΩΝ SBR

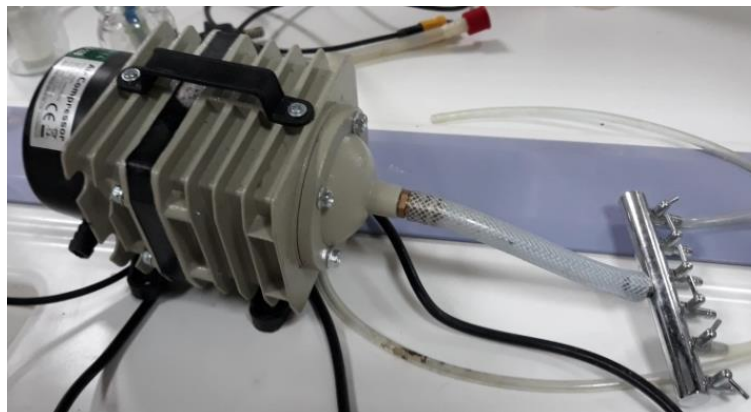
Η έναρξη του συστήματος έγινε με βιομάζα από το ΚΕΛ Ψυττάλειας. Ο αντιδραστήρας SBR λειτούργησε συνολικά οκτώ μήνες (Σεπτέμβριος 2017 – Απρίλιος 2018) σε σταθερή θερμοκρασία 20°C και χωρίς να έρχεται σε επαφή με ηλιακή ακτινοβολία.

Ο βιολογικός σχεδιασμός του αντιδραστήρα είναι τέτοιος που να επιτρέπει την ανάπτυξη τόσο αυτοτροφικής όσο και ετεροτροφικής βιομάζας. Σε ότι αφορά το μηχανολογικό σχεδιασμό του, επιλέχθηκε αντιδραστήρας τετραγωνικής διατομής, για καλύτερη ανάδευση, και όγκου 12 λίτρων. Σαν υλικό κατασκευής επιλέχθηκε το plexiglass λόγω των ιδιοτήτων του.



Εικόνα 3.1 Αντιδραστήρας εναλλασσόμενων φάσεων SBR

Το plexiglass είναι ένα υλικό αρκετά ανθεκτικό και διάφανο, ώστε να επιτρέπει την εποπτεία του συστήματος σε όλο το βάθος. Ο αντιδραστήρας διαθέτει οπές και συρόμενο καπάκι τα οποία καθιστούν εύκολη τη μηχανική ανάδευση, την τροφοδοσία και την απομάκρυνση περίσσειας και τελικής εξόδου. Η ανάδευση του συστήματος επιτυγχάνεται με μηχανικό αναδευτήρα ο οποίος λειτουργεί στις 300 rpm αλλά και με τον αερισμό. Ο αερισμός του συστήματος επιτυγχάνεται με αντλία η οποία διοχετεύει στο σύστημα ατμοσφαιρικό αέρα διαμέσου πλαστικών σωλήνων και διαχυτήρων. Η αυτόματη τροφοδοσία γίνεται με περισταλτική αντλία. Η επιλεκτική ενεργοποίηση των μηχανημάτων που αναφέρθηκαν ανωτέρω πραγματοποιήθηκε με χρήση ηλεκτρονικών προγραμματιζόμενων χρονοδιακοπών.



Εικόνα 3.2 Αεραντλία οκτώ εξόδων ρυθμιζόμενης έντασης



Εικόνα 3.3 Περισταλτική αντλία διπλή ρυθμιζόμενης έντασης

Ιδιαίτερη βάση δόθηκε στην εποπτεία του συστήματος. Καθημερινά ελέγχονταν το pH, το οξυγόνο, η θερμοκρασία και η αγωγιμότητα. Σε εβδομαδιαία βάση μετρούταν η συγκέντρωση της αμμωνίας, των νιτρικών, των νιτρωδών και του οργανικού άνθρακα σε όρους COD στην έξοδο καθώς και η συγκέντρωση των ολικών και των πτητικών αιωρούμενων στερεών, τόσο στην έξοδο όσο και στο ανάμικτο υγρό του αντιδραστήρα. Εβδομαδιαίως επίσης παρακολουθούνταν και η αλκαλικότητα του συστήματος.

3.2.1 Ανάλυση τροφοδοσίας συστήματος

Για την καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας του συστήματος προτιμάται να αναλυθεί πρώτα η τροφοδοσία αυτού. Η τροφοδοσία ενός συστήματος μπορεί να γίνει είτε με συνθετικά λύματα είτε με μη συνθετικά λύματα. Ο όρος «συνθετικά λύματα» περιγράφει ένα διάλυμα νερού με χημικές ενώσεις και άλλα πρόσμικτα, ώστε οι συγκεντρώσεις του σε θρεπτικά να είναι υπολογίσιμες και συγκεκριμένες, ενώ μη συνθετικά είναι τα ανεπεξέργαστα λύματα που έρχονται απευθείας από μία εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων. Εν τέλει επιλέχθηκαν τα συνθετικά λύματα ως καταλληλότερα καθώς με την επιλογή αυτή αποφεύγονται οι αστάθμητοι παράγοντες των κανονικών λυμάτων (ενδεχόμενη ύπαρξη τοξικών, πιθανή αλλοίωση, διαφοροποιήσεις στις συγκεντρώσεις τους σε θρεπτικά κ.α.) και βελτιστοποιούνται οι συνθήκες του συστήματος.

Στόχος του συστήματος τέθηκε η ημερήσια επεξεργασία 600mg NH₄-N για την ανάπτυξη ενός ικανοποιητικού αυτοτροφικού πληθυσμού. Καθώς η αμμωνία είναι τοξική για τους νιτροποιητές σε υψηλές συγκεντρώσεις, τόσο για τα βακτήρια που οξειδώνουν νιτρώδη (Nitrite Oxidizing Bacteria – NOB) όσο και για τα βακτήρια που οξειδώνουν την αμμωνία (Ammonia Oxidizing Bacteria – AOB), επιλέχθηκε ο επιμερισμός της δόσης αυτής σε τρεις ίσες δόσεις των 200mg. Με τον τρόπο αυτό θα έχει νιτροποιηθεί η κάθε δόση πριν εισέλθει η επόμενη. Ακόμα προστίθενται στο σύστημα 3000mg COD μέσω οξικού οξέος υπό μορφή άλατος CH₃COONa για την ανάπτυξη της ετεροτροφικής βιομάζας. Τέλος καθώς ο φώσφορος είναι απαραίτητος για τη σύνθεση των μικροοργανισμών, προστίθενται 90mg PO₄-P ημερησίως. Τέλος προστίθενται στο

σύστημα 800ml πρωτοβάθμια επεξεργασμένων λυμάτων και 800ml δευτεροβάθμια επεξεργασμένων λυμάτων καθώς και 3gr γάλα σε μορφή σκόνης και επωνυμίας «Regilait». Η προσθήκη αυτών γίνεται ώστε να υπάρχουν στο σύστημα τα απαραίτητα για την ανάπτυξη βιομάζας μέταλλα ιχνοστοιχεία και βιταμίνες. Επομένως, έχοντας ορίσει τι θα εισέρχεται στο σύστημα ημερησίως, επιμερίζονται αυτές οι ποσότητες σε τρεις επιμέρους τροφοδοσίες, από τις οποίες η πρώτη είναι χειροκίνητη ενώ οι υπόλοιπες δύο είναι αυτόματες.

Η χειροκίνητη τροφοδοσία περιλαμβάνει 200mg NH₄-N, 1000mg COD, 30mg PO₄-P αραιωμένα με νερό βρύσης μέχρι το 1lt. Ακόμη προστίθενται 3gr γάλα, 0,8lt πρωτοβάθμια και 0,8lt δευτεροβάθμια επεξεργασμένα λύματα και νερό βρύσης μέχρι ο συνολικός όγκος του αντιδραστήρα να γίνει 7lt.

Σε ότι αφορά την αυτόματη τροφοδοσία, παρασκευάζεται ένα διάλυμα το οποίο περιέχει 400mg NH₄-N, 2000mg COD, 60mg PO₄-P και νερό βρύσης, συνολικού όγκου 1lt. Το διάλυμα αυτό τοποθετείται σε ενδεδειγμένο περιέκτη και με τη βοήθεια περισταλτικής αντλίας εισέρχεται στο σύστημα σε δύο ισόποσες δόσεις των 0,5lt.

Αξιίζει να σημειωθεί ότι προτιμήθηκε το νερό βρύσης έναντι του εμφιαλωμένου πρωτίστως λόγω των ιχνοστοιχείων που περιέχει και κρίνονται αναγκαία για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών αλλά και για οικονομικούς λόγους.

Στον πίνακα που ακολουθεί περιγράφεται συνοπτικά η σύσταση της κάθε δόσης τροφοδοσίας.

Πίνακας 3.1 Σύσταση τροφοδοσίας συστήματος.

	NH ₄ -N	COD	PO ₄ -P	Γάλα	Πρωτοβάθμια Λύματα	Δευτεροβάθμια Λύματα
Χειροκίνητη	200mg	1000mg	30mg	3 gr	800 ml	800 ml
Αυτόματη 1	200mg	1000mg	30mg	-	-	-
Αυτόματη 2	200mg	1000mg	30mg	-	-	-

3.2.2 Ανάλυση λειτουργίας συστήματος

Όπως προαναφέρθηκε, η έναρξη του συστήματος έγινε με βιομάζα από το ΚΕΛ της Ψυττάλειας. Πιο συγκεκριμένα αναμίχθηκαν 4 λίτρα από τη γραμμή ανακυκλοφορίας της εγκατάστασης με συνθετικά λύματα και τόσο νερό βρύσης ώστε ο τελικός όγκος να είναι 8 λίτρα. Μετά την ανάμιξη το σύστημα τέθηκε σε αδιάκοπη λειτουργία μέχρι και τη λήξη του.

Η λειτουργία του συστήματος σχεδιάστηκε σε ημερήσιους κύκλους. Ο κάθε κύκλος ξεκινάει με τη φάση της καθίζησης η οποία ακολουθείται από ανοξική

φάση και αερόβια φάση, οι οποίες εναλλάσσονται 3 φορές μέσα στη μέρα. Ο σχεδιασμός αυτός επιλέχθηκε με τη βοήθεια της ομάδας του Εργαστηρίου Υγειονομικής Τεχνολογίας του ΕΜΠ για τη βέλτιστη λειτουργία και απόδοση του συστήματος. Στον πίνακα που ακολουθεί περιγράφεται με ακρίβεια ο ημερήσιος κύκλος του συστήματος.

Πίνακας 3.2: Φάσεις ενός ημερήσιου κύκλου του συστήματος

Χρόνος	Διάρκεια	Φάση
13:00 – 14:00	1 hr	Καθίζηση
14:00 – 15:00	1 hr	Ανοξική
15:00 – 21:00	6 hr	Αερόβια
21:00 – 23:00	2 hr	Ανοξική
23:00 – 05:00	6 hr	Αερόβια
05:00 – 07:00	2 hr	Ανοξική
07:00 – 13:00	6 hr	Αερόβια

Πιο συγκεκριμένα ο χρόνος παραμονής στερεών που επιλέγεται είναι 10 ημέρες και επιτυγχάνεται απομακρύνοντας καθημερινά πριν την έναρξη της καθίζησης 800ml ανάμικτου υγρού. Στη συνέχεια το σύστημα ξεκινά τον ημερήσιο κύκλο του με πρώτη τη φάση της καθίζησης, κατά την οποία αφήνεται για μία ώρα σε ηρεμία (απενεργοποιούνται αερισμός και ανάδευση) ώστε να καθιζάνει η βιομάζα και γίνει εφικτή η απομάκρυνση του υπερκείμενου υγρού. Στο τέλος της καθίζησης, ο αντιδραστήρας αδειάζει στα 4 λίτρα, απομακρύνοντας τα υπερκείμενα επεξεργασμένα λύματα και γίνεται η πρώτη χειροκίνητη τροφοδοσία μέχρι ο όγκος του αντιδραστήρα να φτάσει τα 7 λίτρα. Μετά την πρώτη τροφοδοσία ενεργοποιείται ο μηχανικός αναδευτήρας και ξεκινά η πρώτη ανοξική φάση, η οποία διαρκεί 1 ώρα. Σε αυτή τη φάση λαμβάνει χώρα η απονιτροποίηση και το νιτρικό άζωτο μετατρέπεται σε ελεύθερο άζωτο και απομακρύνεται από το σύστημα. Με το πέρας της μίας ώρας ενεργοποιείται και ο αερισμός και το σύστημα περνά στην πρώτη αερόβια φάση κατά την οποία γίνεται η νιτροποίηση κατά την οποία το αμμωνιακό άζωτο που προστέθηκε από την τροφοδοσία μετατρέπεται σε νιτρικό άζωτο. Επειδή η νιτροποίηση είναι μια διεργασία πολύ απαιτητική σε οξυγόνο δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στην ορθή ρύθμιση της αεραντλίας, ώστε η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου να μην είναι μικρότερη από 1mg/l. Το τέλος της πρώτης αερόβιας φάσης ακολουθούν η πρώτη αυτόματη τροφοδοσία, η δεύτερη ανοξική φάση, διάρκειας δύο ωρών και η δεύτερη αερόβια φάση, διάρκειας έξι ωρών. Μετά το τέλος της δεύτερης αερόβιας το σύστημα περνά στο τρίτο και τελευταίο μέρος του ημερήσιου κύκλου

του όπου λαμβάνουν χώρα η δεύτερη αυτόματη τροφοδοσία, η τρίτη ανοξική φάση, διάρκειας δύο ωρών και η τρίτη αερόβια φάση, διάρκειας έξι ωρών.

3.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ

Η νιτροποιητική ικανότητα των αυτοτροφικών μικροοργανισμών του συστήματος ελέγχεται μέσω πειραμάτων AUR (Ammonia Uptake Rate), κατά τα οποία μετράται η ταχύτητα νιτροποίησης της βιομάζας. Πιο συγκεκριμένα τα πειράματα αυτά γίνονται σε ανάμικτο υγρό υπό αερόβιες συνθήκες, παρουσία αμμωνίας. Καθώς η βιομάζα νιτροποιεί την αμμωνία, λαμβάνονται δείγματα ανά τακτά χρονικά διαστήματα και μετριούνται οι συγκεντρώσεις των νιτρικών και το νιτρωδών. Στη συνέχεια με βάση τη συγκέντρωση των πτητικών αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό (MLVSS) υπολογίζεται ο αηγημένος ρυθμός παραγωγής νιτρικών και νιτρωδών της βιομάζας, ανά γραμμάριο MLVSS. Συνεπώς μπορεί εύκολα να υπολογιστεί η αναχαίτιση ενός παράγοντα στην νιτροποιητική δράση μιας βιομάζας, αν διεξαχθούν παράλληλα δύο πειράματα AUR με ίδια βιομάζα και συνθήκες, αλλά απουσία του εν λόγω παράγοντα στο ένα πείραμα (Control). Με αυτό τον τρόπο πραγματοποιούνται οι δύο σειρές πειραμάτων που αναφέρθησαν στην αρχή του κεφαλαίου.

3.3.1 Πειράματα AUR

Όπως προαναφέρθηκε, η τοξικότητα ενός παράγοντα μπορεί εύκολα να υπολογιστεί, μετρώντας την αναχαίτιση στη νιτροποιητική δράση μιας βιομάζας με τη μέθοδο AUR.

Για τη διεξαγωγή ενός πειράματος AUR απαιτείται βιομάζα η οποία να περιέχει ποσοστό νιτροποιητικών βακτηριδίων. Η βιομάζα αυτή μπορεί να αναπτύσσεται είτε στο εργαστήριο είτε να προέρχεται από εγκατάσταση βιολογικού καθαρισμού αστικών λυμάτων. Η βιομάζα λοιπόν 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. Επειδή τα νιτροποιητικά βακτηρίδια είναι ευαίσθητα στο pH, αυτό πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 7 – 8,5 ώστε να μην προκληθεί αναχαίτιση των αυτοτροφικών βακτηριδίων λόγω χαμηλού ή υψηλού pH.

Ανάλογα με το τελικό στόχο του πειράματος καθορίζεται ο αριθμός και το μέγεθος των αραιώσεων. Συνήθεις τιμές αραιώσεων των λυμάτων είναι 1:2 , 1:3 και 1:6.

Η θερμοκρασία των λυμάτων θα πρέπει να κυμαίνεται κοντά στους 20°C. Αν δεν συμβαίνει αυτό (πχ συντήρηση δειγμάτων στο ψυγείο) τότε θερμαίνονται σε

ποτήρι ζέσεως με την βοήθεια θερμαντικής πλάκας. Όταν η θερμοκρασία είναι η επιθυμητή μετριέται το pH και ρυθμίζεται στο εύρος 7-8. Για αστικά λύματα το pH είναι της τάξης του 7,3 - 7,5 ενώ για βιομηχανικά λύματα συνήθως απαιτείται κάποια ρύθμιση που επιτυγχάνεται με καυστικό νάτριο ή υδροχλώριο.

Παρακάτω γίνεται περιγραφή της μεθόδου για έλεγχο της τοξικότητας ενός δείγματος λυμάτων πραγματοποιώντας τρεις αραιώσεις.

Πάνω σε τέσσερις μαγνητικούς αναδευτήρες τοποθετούνται ισάριθμες φιάλες χωρητικότητας 1 λίτρου και μεταφέρεται σε αυτές όγκος βιομάζας γνωστής συγκέντρωσης πτητικών στερεών που έχει υπολογισθεί με βάση την τελική επιθυμητή συγκέντρωση στερεών. Η μία φιάλη επιλέγεται ως αντιδραστήρας ελέγχου (χωρίς προσθήκη λυμάτων) ενώ οι υπόλοιπες τρεις χρησιμοποιούνται ως αντιδραστήρες λυμάτων. Στην συνέχεια προστίθενται τα λύματα ή νερό ή λύματα και νερό ανάλογα με την αραιώση που επιδιώκεται. Οι παραπάνω όγκοι υπολογίζονται λαμβάνοντας υπόψη

- ότι ο τελικός όγκος που θα προκύψει σε κάθε φιάλη θα πρέπει να είναι της τάξης των 500ml,
- η τελική συγκέντρωση στερεών να είναι περίπου ίδια για όλους τους αντιδραστήρες (φιάλες) (3-4gr/lit ή λιγότερο 1500mg/lit σε περίπτωση όπου δεν διατίθεται αρκετή βιομάζα),
- τον όγκο διαλύματος αμμωνιακού αζώτου (χλωριούχο αμμώνιο) ώστε στον τελικό όγκο η συγκέντρωση αμμωνιακού αζώτου να είναι 30-50mg/lit.

Αφού εισαχθεί η βιομάζα, τα λύματα, το νερό και το διάλυμα αμμωνιακού αζώτου αναδεύονται και αερίζονται για ένα μικρό χρονικό διάστημα (περίπου 10 λεπτά) και εξάγεται το πρώτο δείγμα από κάθε φιάλη. Ο όγκος του δείγματος εξαρτάται άμεσα από τον όγκο που απαιτείται για να μετρηθεί η συγκέντρωση σε αυτό της αμμωνίας ή των νιτρικών ή νιτροδών. Τα δείγματα αυτά αφού φυγοκεντρισθούν, φιλτράρονται ώστε να αποφευχθεί περαιτέρω νιτροποίηση μέχρι την ανάλυση των δειγμάτων. Ο χρόνος δειγματοληψίας διαφέρει ανάλογα με το πότε θεωρείται ότι έχει διακοπή η νιτροποίηση. Στην εργασία αυτή καθορίστηκε ο χρόνος έναρξης της φυγοκέντρωσης.

Ο αριθμός και το χρονικό διάστημα μεταξύ των δειγμάτων διαφέρει και εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες (πχ συγκέντρωση στερεών, μέθοδος και παράμετρος που αναλύεται, χρόνος που απαιτείται για να απομακρυνθούν τα στερεά από τα συλλεγόμενα δείγματα). Η διάρκεια του τεστ πρέπει να είναι αρκετή ώστε να γίνει μια καλή εκτίμηση της ταχύτητας νιτροποίησης (110-150 min). Πραγματοποιείται συνεχώς ανάδευση και αερισμός ενώ μετρούνται περιοδικά η θερμοκρασία και το pH. Σε περίπτωση μεταβολών του pH η ρύθμιση μπορεί να επιτυγχάνεται με αραιό καυστικό νάτριο ή υδροχλώριο.

Αφού συλλεχθούν τα δείγματα γίνεται ανάλυσή τους ως προς την περιεχόμενη αμμωνία ή περιεχόμενα νιτρικά και νιτρώδη. Για κάθε αραίωση προσδιορίζεται ο αντίστοιχος ρυθμό νιτροποίησης ως $\text{mgN/grVSS} \cdot \text{h}$ και υπολογίζεται ο λόγος του ρυθμού νιτροποίησης με τοξικά απόβλητα προς τον ρυθμό νιτροποίησης του αντιδραστήρα ελέγχου, που αποτελεί τον βαθμό τοξικότητας των αποβλήτων.

3.3.2 Πειράματα με δείγματα από το ΚΕΛ Ψυττάλειας

Σύμφωνα με την επίσημη ιστοσελίδα της ΕΥΔΑΠ, το ΚΕΛ Ψυττάλειας λειτουργεί από το 1994. Η επεξεργασία λυμάτων περιλαμβάνει προεπεξεργασία, πρωτοβάθμια επεξεργασία και προχωρημένη δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία με απομάκρυνση αζώτου, επεξεργασία ιλύος και συμπαραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Πρόκειται για μία από τις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων στην Ευρώπη και διεθνώς, με δυναμικότητα κάλυψης πληθυσμού 5.600.000 κατοίκων. Η μέση παροχή των εισερχόμενων λυμάτων είναι της τάξεως των 730.000 m^3 ημερησίως. Ανά διαστήματα οι υπεύθυνοι της εγκατάστασης παρατηρούν πως η νιτροποιητική δράση της βιομάζας μειώνεται απροσδόκητα. Όποτε συμβαίνουν τέτοια περιστατικά, παρατηρείται ότι η εισροή στο σύστημα έχει έντονη οσμή οργανικού διαλύτη. Δεδομένου ότι το δίκτυο που καταλήγει στο ΚΕΛ είναι τόσο εκτεταμένο υπάρχουν βάσιμες υποψίες ότι εισέρχονται σε αυτό βιομηχανικά απόβλητα τα οποία περιέχουν οργανικούς διαλύτες. Βάσει αυτών των υποψιών αποφασίστηκε να γίνει αυτή η σειρά πειραμάτων.

Συνεπώς, όποτε συνέβαινε ένα τέτοιο περιστατικό, λαμβάνονταν δείγμα και ενημερώνονταν άμεσα το Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας (ΕΥΤ). Την επομένη το δείγμα έφτανε στο εργαστήριο και εντός δύο ημερών διεξάγονταν το πείραμα για τη μη περαιτέρω αλλοίωσή του. Για τη διασταύρωση και επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων, το κάθε δείγμα εξετάστηκε και με βιομάζα από το ΚΕΛ Ψυττάλειας (βιομάζα ΚΕΛΨ) και με βιομάζα από το σύστημα SBR (βιομάζα ΕΥΤ). Εξάιρεση αποτελούν κάποια τελευταία δείγματα που ελήφθησαν μετά τη λήξη του συστήματος SBR και εξετάστηκαν μόνο με βιομάζα από το ΚΕΛ Ψυττάλειας.

Τα πειράματα γίνονται εξωτερικά σε μικρούς γυάλινους αντιδραστήρες ασυνεχούς τροφοδοσίας (batch) που λειτουργούν παράλληλα. Ο αερισμός τους γίνεται με αεραντλία, πλαστικούς σωλήνες και διαχυτήρες, όπως και στον σύστημα SBR.

Πριν ξεκινήσει το πείραμα μετρώνται τα ολικά και πτητικά αιωρούμενα στερεά της βιομάζας και του υπό εξέταση δείγματος καθώς και η συγκέντρωση του δείγματος σε $\text{NH}_4\text{-N}$.

Για τη διεξαγωγή των πειραμάτων προστίθεται σε κάθε batch ποσότητα διαλύματος χλωριούχου αμμωνίου, ώστε η αρχική συγκέντρωση σε $\text{NH}_4\text{-N}$ να είναι 50 mg/l. Ακόμη προστίθεται σε κάθε batch ποσότητα διαλύματος φωσφορικού καλίου, ώστε η αρχική συγκέντρωση σε $\text{PO}_4\text{-P}$ να είναι 5 mg/l.

Όπως προαναφέρθηκε, για είναι δυνατή η σύγκριση δύο ταχυτήτων νιτροποίησης AUR πρέπει οι συνθήκες διεξαγωγής των πειραμάτων να ελέγχονται και να είναι ίδιες. Οι συνθήκες που επιλέχθηκαν, παρέμειναν ίδιες για όλα τα πειράματα αυτής της σειράς και είναι οι εξής:

pH = $7,5 \pm 0,1$

θερμοκρασία = 20 ± 1 °C

συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου ≥ 2 mg/l

όγκος αντιδραστήρα = 400 ή 500 ml

MLSS ≈ 2500 mg/l

Το pH και η θερμοκρασία που επιλέχθηκαν είναι οι ευμενέστερες για τη νιτροποιητική δράση μιας βιομάζας.

Με την ανάμιξη του υπό εξέταση δείγματος με τη βιομάζα ξεκινάει το πείραμα, αφήνοντας μηδενικό αρχικό χρόνο επαφής. Το κάθε πείραμα διαρκεί 4 ώρες και λαμβάνονται τέσσερα δείγματα (3 και 1 εφεδρικό) ισοκαταναμημένα στο χρόνο αυτό. Καθώς ο αρχικός χρόνος επαφής είναι μηδενικός, η πρώτη δειγματοληψία γίνεται 10 ~ 15 λεπτά μετά την έναρξη. Τα δείγματα που λαμβάνονται είναι όγκου 50ml και περνάνε από φυγοκέντρηση και διήθηση. Τα διηθήματα αριθμούνται και φυλάσσονται σε ειδικό ψυγείο μέχρι να μετρηθούν οι συγκεντρώσεις τους σε νιτρικό άζωτο και νιτρώδες άζωτο. Οι αναλύσεις αυτές γίνονται την ίδια μέρα του πειράματος ή την επομένη, για την αποφυγή της αλλοίωσής τους.

3.3.3 Πειράματα με προσθήκη BTEX

Τα δείγματα που εξετάστηκαν στην προηγούμενη σειρά πειραμάτων, αναλύθηκαν και από το ΚΕΛ Ψυτάλλειας για τη συγκέντρωσή τους σε οργανικούς διαλύτες BTEX και άλλες ουσίες. Επομένως υπάρχει μια αντιστοιχία συγκέντρωσης BTEX και αναχαίτισης νιτροποίησης. Για να επαληθευθεί ότι η αναχαίτιση που παρατηρήθηκε οφείλεται στα BTEX, κρίνεται αναγκαία η δεύτερη σειρά πειραμάτων. Στα πειράματα αυτά ελέγχεται η αναχαίτιση της νιτροποιητικής ικανότητας της βιομάζας του ΚΕΛ Ψυτάλλειας παρουσία συγκεκριμένων συγκεντρώσεων BTEX. Η χρήση συνθετικών λυμάτων επιβεβαιώνει ότι όποια αναχαίτιση παρατηρηθεί, οφείλεται στην παρουσία οργανικών διαλυτών. Αυτό συμβαίνει καθώς αποκλείεται η είσοδος κάποιας τοξικής ουσίας στο batch, που ενδεχομένως εμπεριέχεται στα κανονικά λύματα. Τα χημικά που χρησιμοποιήθηκαν φαίνονται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 3.4 Διαλύματα BTEX

Πριν ξεκινήσει το πείραμα μετρώνται τα ολικά και πτητικά αιωρούμενα στερεά της βιομάζας.

Οι συνθήκες που επιλέχθηκαν για αυτή τη σειρά πειραμάτων, παρέμειναν ίδιες για όλα τα πειράματα αυτής και είναι οι εξής:

$\text{pH} = 7,5 \pm 0,1$

θερμοκρασία = 20 ± 1 °C

συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου ≥ 2 mg/l

όγκος αντιδραστήρα = 1 lt

MLSS \approx 2500 mg/l

Η προσθήκη ορισμένης συγκέντρωσης BTEX σε κάθε batch σημαίνει πως το batch έχει τόση συγκέντρωση σε κάθε έναν από τους οργανικούς διαλύτες BTEX (βενζόλιο, τολουένιο, αίθυλο-βενζόλιο και ξυλόλιο). Με την ανάμιξη των οργανικών διαλυτών με τη βιομάζα, την ενεργοποίηση του αερισμού και την προσθήκη 10 mg/l $\text{NH}_4\text{-N}$ και 1 mg/l $\text{PO}_4\text{-P}$ ξεκινάει το πείραμα. Σε αυτή τη σειρά πειραμάτων κρίθηκε καταλληλότερο να υπάρχει αρχικός χρόνος επαφής διάρκειας τριών ωρών.

Για τη συνέχεια των πειραμάτων προστίθεται σε κάθε batch ποσότητα διαλύματος χλωριούχου αμμωνίου, ώστε η αρχική συγκέντρωση σε $\text{NH}_4\text{-N}$ να είναι 50 mg/l. Ακόμη προστίθεται σε κάθε batch ποσότητα διαλύματος φωσφορικού καλίου, ώστε η αρχική συγκέντρωση σε $\text{PO}_4\text{-P}$ να είναι 5 mg/l.

Για τις υπόλοιπες 4 ώρες λαμβάνονται τέσσερα δείγματα (3 και 1 εφεδρικό) ισοκατανεμημένα στο χρόνο αυτό. Τα δείγματα που λαμβάνονται είναι όγκου 50ml και περνάνε από φυγοκέντρωση και διήθηση. Τα διηθήματα αριθμούνται και φυλάσσονται σε ειδικό ψυγείο μέχρι να μετρηθούν οι συγκεντρώσεις τους σε νιτρικό άζωτο και νιτρώδες άζωτο. Οι αναλύσεις αυτές γίνονται την ίδια μέρα του πειράματος ή την επομένη, για την αποφυγή της αλλοίωσής τους.

3.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

Σε αυτή την παράγραφο περιγράφονται λεπτομερώς οι μέθοδοι που εφαρμόστηκαν τόσο για την παρακολούθηση του συστήματος, όσο και για την ανάλυση των δειγμάτων.

Μέτρηση pH

Η μέτρηση του pH γίνεται με φορητό ηλεκτρονικό pH-μετρο WTW315I. Το pH-μετρο ελέγχεται μία φορά το μήνα ως προς την κλίση του και το ισοηλεκτρικό σημείο (0 mV, pH 7,00). Γίνεται βαθμονόμηση του οργάνου (calibration) στις περιοχές pH 4,00 και 7,00 με κατάλληλα διαλύματα buffer. Ο αντιδραστήρας λειτουργεί σε pH περίπου 8,5 ενώ φτάνει ως και 7,7 κατά τη διάρκεια της νιτροποίησης. Το pH-μετρο διαθέτει και ένδειξη της θερμοκρασίας η οποία κυμαίνεται από 18 έως 21 °C, με τις μικρότερες θερμοκρασίες να παρουσιάζονται τις ημέρες του χειμώνα.

Μέτρηση διαλυμένου οξυγόνου (DO)

Η μέτρηση του διαλυμένου οξυγόνου γίνεται μέσω φορητού οξυγονόμετρου τύπου oxī 330i WTW. Το οξυγόνο κυμαίνεται από 5-8,3 mgO₂/l με τις χαμηλότερες τιμές να σημειώνονται όταν στο σύστημα γίνονται διεργασίες.

Μέτρηση αγωγιμότητας

Για τη μέτρηση της αγωγιμότητας χρησιμοποιείται φορητό πολύμετρο Multi 3410 της εταιρείας WTW. Η αγωγιμότητα είναι κυμαίνεται μεταξύ 1,9 και 2,3 mS/l.

Υπολογισμός ολικών και πτητικών αιωρούμενων στερεών

Τόσο στην παρακολούθηση του συστήματος, όσο και στη διεξαγωγή των πειραμάτων, ήταν απαραίτητος ο υπολογισμός της συγκέντρωσης ολικών και πτητικών αιωρούμενων στερεών. Ο υπολογισμός των στερεών γίνεται με χρήση φίλτρων GF/C. Πριν ακόμα ξεκινήσει η διαδικασία υπολογισμού των στερεών, τα φίλτρα θα πρέπει να έχουν προεπεξεργαστεί έτσι ώστε η υγρασία τους να είναι μηδενική. Αυτό επιτυγχάνεται τοποθετώντας αρχικώς τα φίλτρα στο φούρνο των 105 °C για μία ώρα, ώστε να εξατμιστεί η υγρασία τους και τέλος φυλάσσοντάς τα στον ξηραντήρα μέχρι τη στιγμή που θα χρησιμοποιηθούν. Σημαντικό είναι πριν τη χρήση τους να έχουν επανέλθει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Ο υπολογισμός της συγκέντρωσης ολικών αιωρούμενων στερεών ξεκινά ζυγίζοντας ένα φίλτρο με ηλεκτρονικό ζυγό και σημειώνοντας το βάρος του. Στη συνέχεια τοποθετείται σε διηθησιόμετρο και με τη βοήθεια πιπέτας λαμβάνεται δείγμα ορισμένου όγκου ανάμικτου υγρού. Για ανάμικτο υγρό συγκέντρωσης στερεών από 3.000 έως 5.000 mg/l, ο όγκος που συνιστάται είναι 5 ml. Μετά τη διήθηση το φίλτρο με τα στερεά τοποθετείται σε αλουμινόχαρτο και μπαίνει στο φούρνο των 105 °C όπου και παραμένει για μία τουλάχιστον ώρα. Τέλος το φίλτρο, αφού πρώτα μείνει στον ξηραντήρα ώστε να επανέλθει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, ζυγίζεται και καταγράφεται η μάζα του. Η συγκέντρωση των ολικών αιωρούμενων στερεών υπολογίζεται από τη σχέση:

$$MLSS = (m_{105} - m_0)/V$$

Όπου,

m_0 η μάζα του προεπεξεργασμένου χωρίς υγρασία φίλτρου, σε γραμμάρια

m_{105} η μάζα του φίλτρου, μετά την καύση του στους 105 °C και την ξήρανση, σε γραμμάρια

V ο όγκος του δείγματος, σε λίτρα

Αφού υπολογιστούν τα MLSS σειρά παίρνει ο υπολογισμός της συγκέντρωσης πτητικών αιωρούμενων στερεών. Το φίλτρο χρησιμοποιήθηκε στα MLSS μπαίνει στο φούρνο των 550 °C όπου και παραμένει για 15 με 20 λεπτά. Τέλος το φίλτρο, αφού πρώτα μείνει στον ξηραντήρα ώστε να επανέλθει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, ζυγίζεται και καταγράφεται η μάζα του. Η συγκέντρωση των ολικών αιωρούμενων στερεών υπολογίζεται από τη σχέση:

$$MLSS = (m_{105} - m_{550})/V$$

Όπου,

m_{105} η μάζα του φίλτρου, μετά την καύση του στους 105 °C και την ξήρανση, σε γραμμάρια

m_{550} η μάζα του φίλτρου, μετά την καύση του στους 550 °C και την ξήρανση, σε γραμμάρια

V ο όγκος του δείγματος, σε λίτρα



(α)



(β)

Εικόνα 3.5 Φίλτρα διήθησης (α) και ζυγός ακριβείας (β)



(α)

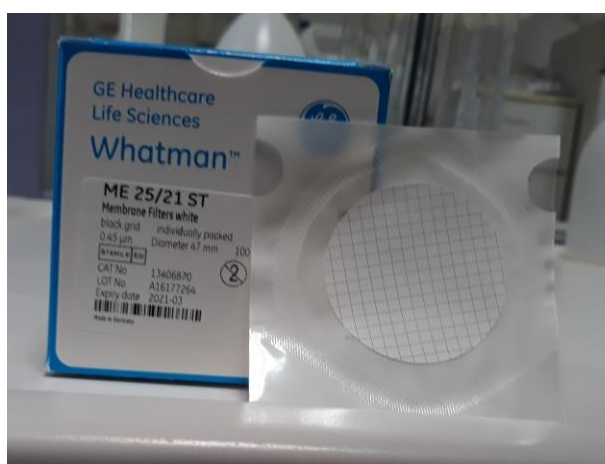


(β)

Εικόνα 3.6 Φούρνος 105°C (α) και φούρνος 550°C (β)

Μέτρηση νιτρικού αζώτου

Η μέτρηση του νιτρικού αζώτου γίνεται με χρήση αντιδραστηρίων και φασματοφωτόμετρου της εταιρείας HACH. Δείγμα ανάμικτου υγρού λαμβάνεται από τον αντιδραστήρα και διηθείται με χρήση μεμβρανών Whatman με διάμετρο πόρων 0,45μm. Στη συνέχεια, αφού πρώτα γίνει μια εκτίμηση της αναμενόμενης τιμής, το διήθημα αραιώνεται ώστε η συγκέντρωση να είναι ανάμεσα στις οριακές τιμές που δίνονται από την εταιρεία και 1 ml του αραιωμένου διαλύματος τοποθετείται σε ένα φιαλίδιο. Προστίθενται, επιπλέον, 200 μL από το ειδικό αντιδραστήριο A που βρίσκεται στη συσκευασία και ύστερα από 15 λεπτά τοποθετείται στο φασματοφωτόμετρο. Η ένδειξη που αναγράφεται στην οθόνη είναι η συγκέντρωση του νιτρικού αζώτου.



Εικόνα 3.7 Μεμβράνες Whatman με διάμετρο πόρων 0,45μm



Εικόνα 3.8 Αντιδραστήρια μέτρησης συγκέντρωσης νιτρικού αζώτου

Μέτρηση νιτρώδους αζώτου

Η μέτρηση των νιτρωδών γίνεται επίσης με χρήση αντιδραστηρίων και φασματοφωτόμετρου της εταιρείας HACH. Το διήθημα του δείγματος που λήφθηκε, αραιώνεται ώστε η συγκέντρωση να είναι ανάμεσα στις οριακές τιμές που δίνονται από την εταιρεία. Σε κυψελίδα τοποθετούνται 10 ml αραιωμένου δείγματος και ένα αντιδραστήριο. Ύστερα από καλή ανάδευση αφήνεται σε ηρεμία για 20 λεπτά και τοποθετώντας το στο φασματοφωτόμετρο προκύπτει η συγκέντρωση του νιτρώδους αζώτου. Απαραίτητο για τη μέτρηση αυτή είναι να περισσέψουν τουλάχιστον 10ml διηθημένου δείγματος, για το μηδενισμό του φασματοφωτόμετρου.



Εικόνα 3.9 Αντιδραστήρια μέτρησης συγκέντρωσης νιτρώδους αζώτου

Μέτρηση αμμωνίας

Η μέτρηση της αμμωνίας γίνεται με απόσταξη με χρήση της συσκευής BUCHI 324. Μικρή ποσότητα διηθήματος από το ανάμικτο υγρό τοποθετείται σωλήνες διήθησης μαζί με μερικές σταγόνες πυκνό καυστικού νατρίου κανονικότητας 6 N. Στόχος αυτού είναι να αυξηθεί το pH και να πτητικοποιηθεί η αμμωνία. Στη συνέχεια, μέσω της συσκευής απόσταξης, η αμμωνία απομακρύνεται με τη μορφή υδρατμών, οι οποίοι στη συνέχεια υγροποιούνται και εισέρχονται σε κωνική φιάλη. Στη φιάλη αυτή περιέχονται 10 ml βορικού οξέος. Το όξινο περιβάλλον έχει ως αποτέλεσμα τη μετατροπή της αμμωνίας σε αμμώνιο. Σε αυτή τη μορφή το αμμωνιακό άζωτο παραμένει σε διαλυτή μορφή και μπορεί να μετρηθεί χωρίς απώλειες. Η απόσταξη σταματάει, αφού γίνει έλεγχος με Nessler, όπου εξασφαλίζεται ότι όλη η αμμωνία έχει αποσταχτεί. Σε ογκομετρική φιάλη των 50 ml τοποθετούνται 50 ml αποστάγματος μαζί με 2 ml Nessler. Το διάλυμα αφήνεται για 10 λεπτά και μετρείται με το φασματοφωτόμετρο σε μήκος κύματος 425 nm. Τέλος ογκομετρείται ο συνολικός

όγκος αποστάγματος, συμπεριλαμβανομένων και των 50 ml που χρησιμοποιήθηκαν στη μέτρηση. Η συγκέντρωση της αμμωνίας υπολογίζεται με τον ακόλουθο τύπο:

$$[NH_4 - N] = (2,6386 * ABS_{\Delta E I Γ M} - 0,0721) * V_{T E Λ} / V_0$$

Όπου,

$[NH_4-N]$ η συγκέντρωση της αμμωνίας, σε mg/l

$ABS_{\Delta E I Γ M}$ η απορροφητικότητα του δείγματος της αμμωνίας στο μήκος κύματος 425 nm

$V_{T E Λ}$ ο συνολικός όγκος του αποστάγματος, σε λίτρα

V_0 ο αρχικός όγκος του προς απόσταξη δείγματος, σε λίτρα



Εικόνα 3.10 Αποστακτήρας BUCHI 324 για τη μέτρηση της συγκέντρωσης αμμωνιακού αζώτου

Μέτρηση αλκαλικότητας

Η μέτρηση της αλκαλικότητας γίνεται με τιτλοδότηση. Λαμβάνεται δείγμα όγκου 60 ml, το οποίο για να μετρηθεί, πρέπει πρώτα να διηθηθεί. Στη συνέχεια το διήθημα μεταγγίζεται σε ένα κατάλληλο ποτήρι ζέσεως και τίθεται σε ανάδευση. Για κατάλληλη ανάδευση προτείνεται μαγνητικός αναδευτήρας. Στη συνέχεια τοποθετείται προσεκτικά ένα pH-μετρο στο διήθημα ώστε να μην εμποδίζεται η ανάδευση. Τέλος, με χρήση προχοϊδας διοχετεύεται στο διήθημα, αραιό διάλυμα θεικού οξέος (H_2SO_4), κανονικότητας, 0,1 N μέχρις ότου το pH του υγρού φτάσει 4,5. Η αλκαλικότητα του δείγματος σε όρους $CaCO_3$ υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$ALKALICITY = \frac{50.000 * N * V_{OΞΕΟΣ}}{V_{ΔΕΙΓΜ}}$$

Όπου,

N η κανονικότητα του θεικού οξέος

$V_{OΞΕΟΣ}$ ο όγκος του θεικού οξέος που χρειάστηκε, σε ml

$V_{ΔΕΙΓΜ}$ ο όγκος του δείγματος, σε ml



Εικόνα 3.11 Μέτρηση αλκαλικότητας με χρήση μαγνητικού αναδευτήρα και pH-μέτρου

Μέτρηση οργανικού άνθρακα σε όρους COD

Η μέτρηση του COD γίνεται επίσης με χρήση αντιδραστηρίων και φασματοφωτόμετρου της εταιρείας HACH. Το διήθημα του δείγματος που λήφθηκε, αραιώνεται ώστε η συγκέντρωση να είναι ανάμεσα στις οριακές τιμές που δίνονται από την εταιρεία. Στο ενδεδειγμένο φιαλίδιο τοποθετούνται 2 ml αραιωμένου δείγματος. Ύστερα από καλή ανάδευση το αντιδραστήριο θερμαίνεται στους 200°C για δύο ώρες. Αφού επανέλθει σε θερμοκρασία δωματίου, το φιαλίδιο τοποθετείται στο φασματοφωτόμετρο και έτσι προκύπτει η συγκέντρωση οργανικού άνθρακα του δείγματος σε όρους COD.



Εικόνα 3.12 Αντιδραστήρια μέτρησης οργανικού άνθρακα σε όρους COD

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το ΚΕΛ Ψυττάλειας είναι μία από τις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων στην Ευρώπη, με δυναμικότητα κάλυψης πληθυσμού 5.600.000 κατοίκων και μέση παροχή εισερχόμενων λυμάτων της τάξεως των 730.000 m³ ημερησίως. Η επεξεργασία λυμάτων περιλαμβάνει προεπεξεργασία, πρωτοβάθμια επεξεργασία και προχωρημένη δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία με απομάκρυνση αζώτου, επεξεργασία ιλύος και συμπαραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Ανά διαστήματα παρατηρείται πως η νιτροποιητική δράση της βιομάζας μειώνεται απροσδόκητα και η αναχαιτίσιμη αυτή πιθανώς οφείλεται στην παρουσία ΒΤΕΧ και γενικότερα οργανικών διαλυτών.

Για την εξακρίβωση αυτών των υποψιών έγιναν πειράματα, των οποίων τα αποτελέσματα αναλύονται σε αυτό το κεφάλαιο. Μέρος της πειραματικής έρευνας ήταν ο έλεγχος της αναχαιτιστικής δράσης των οργανικών διαλυτών ΒΤΕΧ στη νιτροποιητική ικανότητα μιας βιομάζας. Πιο συγκεκριμένα, για τη διεξαγωγή αυτών των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκε βιομάζα, αποκλειστικά από το ΚΕΛ Ψυττάλειας, από τη γραμμή ανακυκλοφορίας. Για την εξαγωγή βάσιμων συμπερασμάτων ελέγχθηκε ένα εύρος συγκεντρώσεων ΒΤΕΧ, και κάθε συγκέντρωση ελέγχθηκε περισσότερες από μία φορές.

Τέλος η έρευνα ολοκληρώθηκε εξετάζοντας δείγματα λυμάτων απευθείας από το ΚΕΛ Ψυττάλειας, τόσο τυπικής, όσο και μη τυπικής σύστασης. Σε αυτή τη σειρά πειραμάτων ελέγχθηκε η αναχαιτιστική δράση των δειγμάτων στη νιτροποιητική ικανότητα μιας βιομάζας. Πιο συγκεκριμένα, για τη διεξαγωγή αυτών των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκε βιομάζα από το ΚΕΛ Ψυττάλειας, από τη γραμμή ανακυκλοφορίας και βιομάζα που αναπτύχθηκε από το ΕΥΤ στον αντιδραστήρα SBR που αναλύθηκε άνωθεν.

4.2 ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΝΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ

Σε αυτή τη παράγραφο περιγράφονται τα χαρακτηριστικά των λυμάτων τα οποία είναι απαραίτητο να είναι γνωστά για την εξαγωγή ορθών αποτελεσμάτων. Όλα τα δείγματα ήταν στιγμιαία και συλλέχθηκαν από τους υπεύθυνους του Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων της Ψυττάλειας. Από το σύνολο των δεκαεννέα δειγμάτων, τα τρία χαρακτηρίστηκαν ως δείγματα αστικών λυμάτων τυπικής σύστασης, ενώ τα υπόλοιπα χαρακτηρίστηκαν ως δείγματα μη τυπικής σύστασης καθώς παρουσίασαν κάποιο έντονο φαινομενικά χαρακτηριστικό, το οποίο τα διαφοροποιούσε από τα υπόλοιπα. Τέτοια χαρακτηριστικά ήταν η παρουσία οσμής, αφρού, λιπών και ελαίων. Για να γίνει πιο εύκολα κατανοητή η περιγραφή

των δειγμάτων, καθίσταται αναγκαία η διακριτοποίησή τους. Στον πίνακα που ακολουθεί, φαίνεται η κωδική ονομασία του κάθε δείγματος καθώς και η ημερομηνίες δειγματοληψίας και διεξαγωγής του πειράματος batch.

Πίνακας 4.1.α Κωδική ονομασία δειγμάτων και ημερομηνίες δειγματοληψίας και πειράματος

Sample Code	Δ 01	Δ 02	Δ 03	Δ 04	Δ 05	Δ 06	Δ 07	Δ 08	Δ 09
Date of Sample	24/10/17	06/11/17	22/11/17	06/12/17	11/12/17	21/12/17	17/01/18	22/01/18	01/02/18
Date of Batch	26/10/17	08/11/17	24/11/17	07/12/17	13/12/17	22/12/17	19/01/18	24/01/18	02/02/18

Πίνακας 4.1.β Κωδική ονομασία δειγμάτων και ημερομηνίες δειγματοληψίας και πειράματος

Sample Code	Δ 10	Δ 11	Δ 12	Δ 13	Δ 14	Δ 15	Δ 16	Δ 17	Δ 18	Δ 19
Date of Sample	05/03/18	13/03/18	23/04/18	03/05/18	08/05/18	16/05/18	22/05/18	30/05/18	05/06/18	11/06/18
Date of Batch	07/03/18	16/03/18	24/04/18	11/05/18	11/05/18	22/05/18	29/05/18	04/06/18	11/06/18	12/06/18

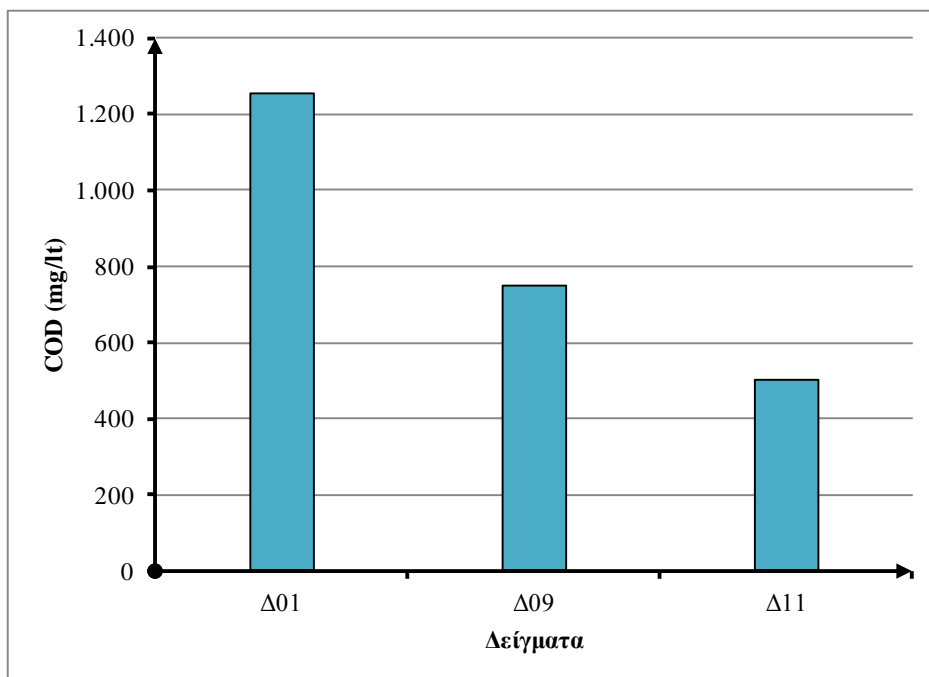
4.2.1 Δείγματα ανεπεξέργαστων αστικών λυμάτων τυπικής σύστασης

Τα δείγματα λυμάτων τυπικής σύστασης που εξετάστηκαν σε αυτή τη σειρά πειραμάτων είναι τρία και η δειγματοληψία τους έγινε τον Οκτώβριο, τον Ιανουάριο και το Φεβρουάριο. Εκ πρώτης όψεως παρατηρείται πώς, σε ότι αφορά οσμή και χρώμα, τα δείγματα δε διαφοροποιούνται από τα συνήθη αστικά λύματα.

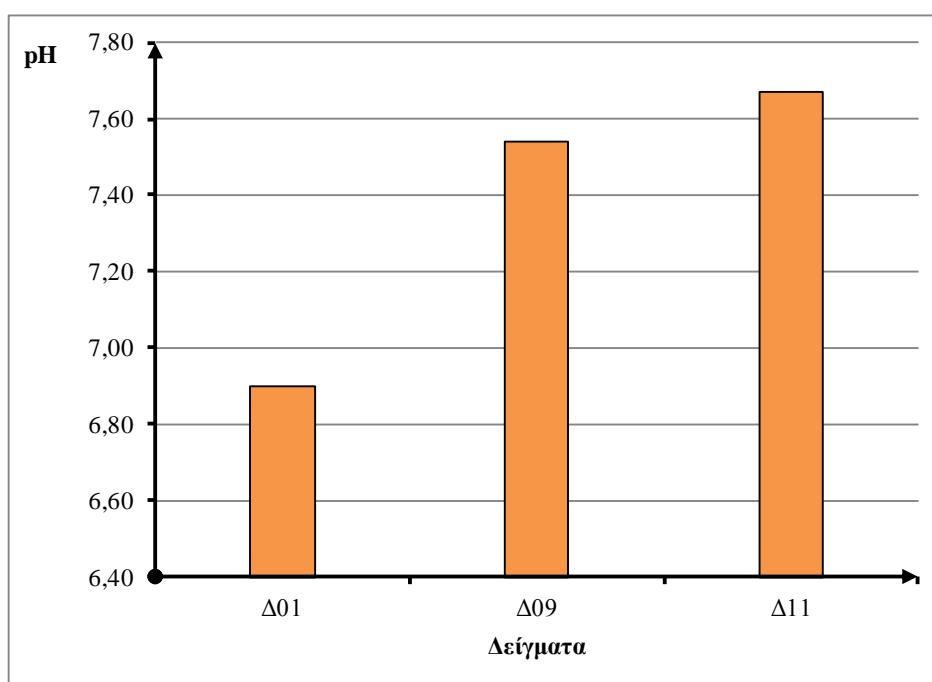
Πριν τη διεξαγωγή των πειραμάτων έγινε μια πρώτη φυσικοχημική ανάλυση των δειγμάτων στο EYT. Η συγκέντρωσή των δειγμάτων τυπικής σύστασης σε αμμωνιακό άζωτο δεν είχε έντονες διακυμάνσεις (40 - 53 - 48 αντίστοιχα) με μέσο όρο 47 mg[NH₄-N]/lt. Εξίσου ομαλά διακυμάνθηκαν και το pH (6,9 - 7,5 - 7,7 αντίστοιχα) με μέσο όρο 7,4 και η αγωγιμότητα (1,6 - 1,5 - 2,1 αντίστοιχα) με μέσο όρο 1,7. Σε ότι αφορά τη συγκέντρωση οργανικού άνθρακα, σε όρους COD, το πρώτο δείγμα παρουσίασε ιδιαίτερα αυξημένη τιμή (1.254 mg/l) ενώ τα υπόλοιπα δύο δεν παρέκλιναν του αναμενόμενου με τιμές 750 mg/l και 500 mg/l αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν στο EYT παρουσιάζονται εκτενέστερα στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 4.2 Ανάλυση δειγμάτων τυπικής σύστασης από το ΕΥΤ του ΕΜΠ.

Sample Code	NH ₄ -N (mg/l)	COD _{ΟΛ} (mg/l)	pH	COND. (mS/cm)	TSS (mg/l)	VSS (mg/l)
Δ 01	40	1.254	6,9	1,6	560	450
Δ 09	53	750	7,5	1,5	387	347
Δ 11	48	500	7,7	2,1	256	248



Διάγραμμα 4.1 Συγκέντρωση COD δειγμάτων τυπικής σύστασης.



Διάγραμμα 4.2 Τιμή pH δειγμάτων τυπικής σύστασης.

Τέλος η περιγραφή των δειγμάτων τυπικής σύστασης ολοκληρώνεται με τη φυσικοχημική ανάλυση που διεξήχθη από το ίδιο το ΚΕΛ Ψυττάλειας. Τα δείγματα αναλύθηκαν σε πολλές παραμέτρους οι οποίες ομαδοποιούνται στις εξής κατηγορίες: Διαλύτες, Πετρελαιοειδή, Μέταλλα και Απορρυπαντικά. Το δείγμα Δ01 ξεχώρισε στη συγκέντρωση τετραχλωροαιθυλενίου (260 $\mu\text{g}/\text{lt}$), φαινολών (3 mg/lt), πετρελαιοειδών (ορυκτέλαιο 26 mg/lt και TPHC 28 mg/lt) και μετάλλων (χαλκός 0,35 mg/lt και αργίλιο 22 mg/lt). Επίσης το πρώτο δείγμα παρουσίασε ψηλές συγκεντρώσεις απορρυπαντικών. Το δείγμα Δ09 ξεχώρισε στις συγκεντρώσεις λοιπών χλωριωμένων Tetrachloroethyle (220 $\mu\text{g}/\text{lt}$), χλωροφόρμιου (3 $\mu\text{g}/\text{lt}$) και αργιλίου (13 mg/lt). Στο τρίτο δείγμα τυπικής σύστασης (Δ11) δεν έγιναν αναλύσεις. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν στο ΚΕΛ Ψυττάλειας παρουσιάζονται εκτενέστερα στους πίνακες που ακολουθούν.

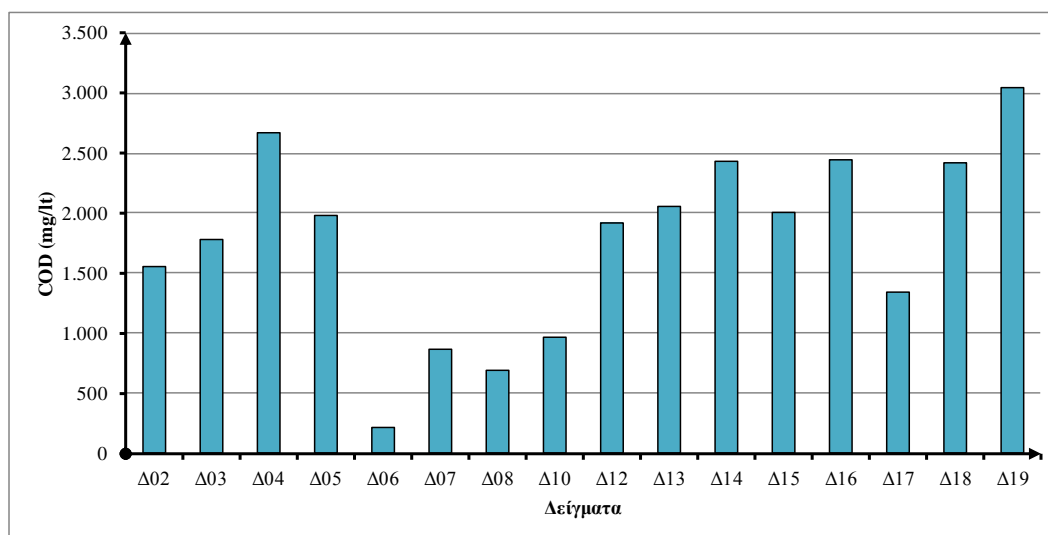
4.2.2 Δείγματα ανεπεξέργαστων αστικών λυμάτων μη τυπικής σύστασης

Τα δείγματα λυμάτων μη τυπικής σύστασης που εξετάστηκαν σε αυτή τη σειρά πειραμάτων είναι δεκαέξι και η δειγματοληψία τους έγινε από το Νοέμβριο μέχρι τον Ιούνιο. Εκ πρώτης όψεως παρατηρείται πώς, σε ότι αφορά οσμή και χρώμα, τα δείγματα εμφανίζουν μία ποικιλομορφία, καθώς διαφοροποιούνται τόσο από τα συνήθη αστικά λύματα όσο και μεταξύ τους.

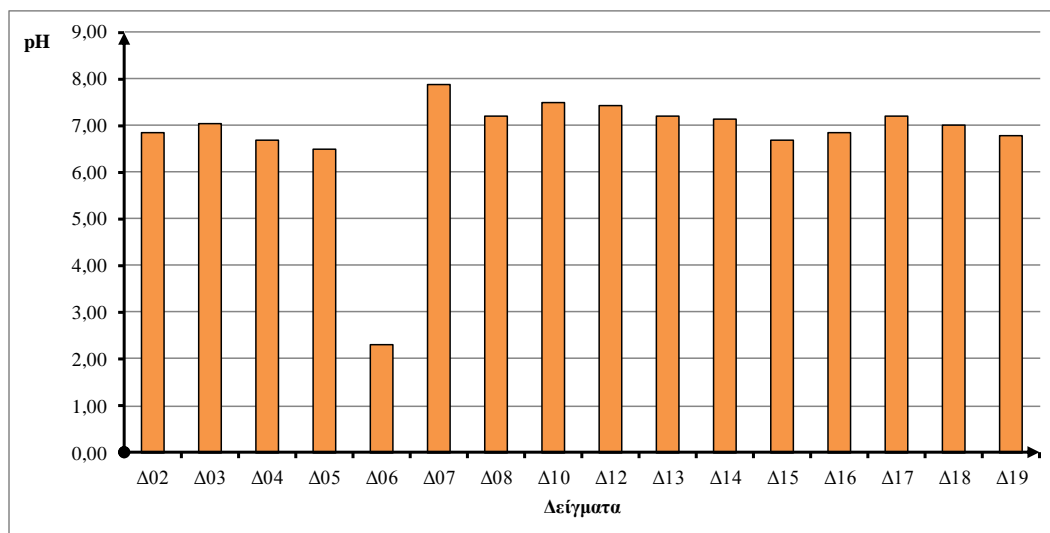
Πριν τη διεξαγωγή των πειραμάτων έγινε μια πρώτη φυσικοχημική ανάλυση των δειγμάτων στο EYT. Η συγκέντρωσή των δειγμάτων μη τυπικής σύστασης σε αμμωνιακό άζωτο δεν είχε έντονες διακυμάνσεις με ελάχιστο 20 $\text{mg}[\text{NH}_4\text{-N}]/\text{lt}$, μέγιστο 76 $\text{mg}[\text{NH}_4\text{-N}]/\text{lt}$, μέσο όρο 48 $\text{mg}[\text{NH}_4\text{-N}]/\text{lt}$ και τυπική απόκλιση 17. Η συγκέντρωση οργανικού άνθρακα σε όρους COD παρουσίασε ελάχιστο 213 mg/lt , μέγιστο 3050 mg/lt , μέσο όρο 1766 mg/lt και τυπική απόκλιση 784. Σε ότι αφορά pH και αγωγιμότητα, τα δείγματα εμφάνισαν σημαντική ομοιομορφία εκτός από το δείγμα Δ06, το οποίο είχε pH 2,30 και αγωγιμότητα 4,60. Πέραν αυτού, στα υπόλοιπα δείγματα το pH παρουσίασε ελάχιστο 6,50, μέγιστο 7,87, μέσο όρο 7,06 και τυπική απόκλιση 0,36 ενώ η αγωγιμότητα σημείωσε ελάχιστο 1,22 mS/cm , μέγιστο 2,11 mS/cm , μέσο όρο 1,67 mS/cm και τυπική απόκλιση 0,28. Τέλος τα ολικά αιωρούμενα στερεά παρουσίασαν ελάχιστο 112 mg/lt , μέγιστο 990 mg/lt , μέσο όρο 498 mg/lt και τυπική απόκλιση 258 ενώ τα πτητικά αιωρούμενα στερεά σημείωσαν ελάχιστο 96 mg/lt , μέγιστο 890 mg/lt , μέσο όρο 416 mg/lt και τυπική απόκλιση 202. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν στο EYT παρουσιάζονται εκτενέστερα στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 4.3 Ανάλυση δειγμάτων μη τυπικής σύστασης από το ΕΥΤ του ΕΜΠ.

Smple Code	NH ₄ -N (mg/l)	COD _{ΟΛ} (mg/l)	pH	COND. (mS/cm)	TSS (mg/l)	VSS (mg/l)
Δ 02	35	1.560	6,85	1,35	410	400
Δ 03	30	1.778	7,05	1,22	770	670
Δ 04	65	2.668	6,70	1,93	980	890
Δ 05	40	1.984	6,50	1,65	590	580
Δ 06	20	213	2,30	4,60	112	96
Δ 07	76	860	7,87	2,11	410	400
Δ 08	57	696	7,20	1,37	156	152
Δ 10	36	971	7,50	1,82	620	580
Δ 12	53	1.920	7,44	1,76	593	433
Δ 13	66	2.060	7,20	2,05	240	216
Δ 14	49	2.428	7,13	1,83	410	375
Δ 15	28	2.012	6,70	1,92	305	275
Δ 16	62	2.440	6,86	1,63	530	505
Δ 17	69	1.348	7,20	1,41	990	470
Δ 18	50	2.420	7,00	1,71	347	273
Δ 19	36	3.050	6,77	1,36	500	340



Διάγραμμα 4.3 Συγκέντρωση COD δειγμάτων μη τυπικής σύστασης.



Διάγραμμα 4.4 Τιμή pH δειγμάτων μη τυπικής σύστασης.

Τέλος η περιγραφή των δειγμάτων μη τυπικής σύστασης ολοκληρώνεται με τη φυσικοχημική ανάλυση που διεξήχθη από το ίδιο το ΚΕΛ Ψυττάλειας. Τα δείγματα αναλύθηκαν σε πολλές παραμέτρους και όπως ήταν αναμενόμενο, δεν παρουσίαζαν κοινά χαρακτηριστικά. Λίπη και διάφορα έλαια εμφανίστηκαν μόνο στα δείγματα Δ05, Δ14, Δ17 και Δ18. Δύο από αυτά (Δ17 και Δ18) εμφάνισαν χαμηλές συγκεντρώσεις (1,17mg/lit και 0,58mg/lit) με μέσο όρο 0,87mg/lit, ενώ τα άλλα δύο (Δ05 και Δ14) εμφάνισαν σημαντικά υψηλές τιμές (126,4mg/lit και 101,9mg/lit) με μέσο όρο 114,15mg/lit.

Επίσης ελέγχθηκε η ύπαρξη οργανικών διαλυτών στα δείγματα μη τυπικής σύστασης. Το νέφτι (white spirit) εμφανίζεται σε έντεκα από τα δεκάξι δείγματα που αναλύθηκαν (Δ02, Δ03, Δ05, Δ08, Δ10, Δ14, Δ15, Δ16, Δ17, Δ18 και Δ19). Η ελάχιστη τιμή που παρουσιάστηκε είναι 0,17mg/lit ενώ η μέγιστη τιμή είναι 56mg/lit και ο μέσος όρος αυτών είναι 22mg/lit. Σε ότι αφορά τους οργανικούς διαλύτες ΒΤΕΧ, σχεδόν όλα τα δείγματα παρουσίασαν τιμές κάτω του ορίου μέτρησης, το οποίο για το βενζόλιο είναι 0,05mg/lit για το τολουένιο είναι 0,10mg/lit για το ξυλόλιο είναι 0,10mg/lit και για το αιθυλοβενζόλιο είναι 0,10mg/lit. Συγκεντρώσεις άνω του ορίου μέτρησης σημείωσαν μόνο τα δείγματα Δ10, Δ16 και Δ17 αλλά οι τιμές τους είναι της τάξης των μονάδων mg/lit. Η μόνη τιμή που ξεχωρίζει είναι η συγκέντρωση του Δ10 σε ξυλόλιο, η οποία είναι 10,2mg/lit. Η συγκέντρωση των δειγμάτων σε ελαφριά κλάσματα πετρελαίου κυμάνθηκε μεταξύ 1,5 mg/lit και 21 mg/lit με μέσο όρο 10,4 mg/lit ενώ τα δείγματα Δ12 και Δ14 παρουσίασαν σημαντικά μεγαλύτερη συγκέντρωση (3100 mg/lit και 3050 mg/lit αντίστοιχα). Η συγκέντρωση των δειγμάτων σε βαριά κλάσματα πετρελαίου κυμάνθηκε μεταξύ 1,1 mg/lit και 18,4 mg/lit με μέσο όρο 7,8 mg/lit ενώ τα δείγματα Δ10, Δ15 και Δ16 παρουσίασαν αρκετά μεγαλύτερη συγκέντρωση (31 mg/lit, 56 mg/lit και 38 mg/lit αντίστοιχα). Η συγκέντρωση των δειγμάτων σε τετραχλωροαιθυλένιο παρουσίασε χαμηλές τιμές της τάξεως των δεκάδων mg/lit με εξαίρεση το δείγμα Δ02 που ξεχώρισε με συγκέντρωση 220 mg/lit. Τέλος οι

συγκεντρώσεις των λοιπών χλωριωμένων tetrachloroethylene που μετρήθηκαν, παρουσίασαν ομοίως χαμηλές τιμές με εξαίρεση τα δείγματα Δ07, Δ15 και Δ18 των οποίων η συγκέντρωση ήταν 140 µg/lit, 740 µg/lit και 120 µg/lit αντίστοιχα. Οι συγκεντρώσεις των υπολοίπων διαλυτών (Φαινόλες,, Ανιλίνη, Φορμαλδεΐδη, Χλωροφόρμιο, Τριχλωρομεθάνιο, Διφθοροχλωρομεθάνιο, Οξικός αιθυλεστέρας, Κυανιούχα, Θειούχα, Τετραχλωράνθρακας, Ασφαλτένια και Ναφθαλένιο) κυμάνθηκαν σε αρκετά χαμηλές συγκεντρώσεις.

Επιπρόσθετα ελέγχθηκε η ύπαρξη μετάλλων και μεταλλοειδών στα δείγματα μη τυπικής σύστασης. Η συγκέντρωση των δειγμάτων σε χαλκό κυμάνθηκε μεταξύ 0,16 mg/lit και 2,63 mg/lit με μέσο όρο 1,10 mg/lit ενώ η συγκέντρωση σε αργίλιο κυμάνθηκε μεταξύ 0,2 mg/lit και 12,0 mg/lit με μέσο όρο 6,77 mg/lit. Οι συγκεντρώσεις των υπόλοιπων μετάλλων (Νικέλιο, Μόλυβδος, Ψευδάργυρος, Χρώμιο και Βανάδιο) έμειναν σε χαμηλά επίπεδα και δεν ξεπέρασαν την τάξη των δεκάδων µg/lit.

Τέλος στα δείγματα μη τυπικής σύστασης ελέγχθηκε η ύπαρξη πετρελαιοειδών απορρυπαντικών και μερκαπτανών. Τα απορρυπαντικά (Ανιονικά, Κατιονικά και Linear Alkylbenzene Sulfonate) και οι μερκαπτάνες παρουσίασαν ιδιαίτερα χαμηλές συγκεντρώσεις. Οι συγκεντρώσεις των δειγμάτων σε πετρελαιοειδή και πιο συγκεκριμένα σε ορυκτέλαια C10 και C40, κυμάνθηκε μεταξύ 14 mg/lit και 240 mg/lit με μέσο όρο 77 mg/lit με εξαίρεση τα δείγματα Δ12, Δ14 και Δ18 των οποίων η συγκέντρωση ήταν 325 mg/lit, 565 mg/lit και 550 mg/lit αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν στο ΚΕΛ Ψυττάλειας παρουσιάζονται εκτενέστερα στους πίνακες που ακολουθούν.

4.3 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΑΝΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ ΜΗ ΤΥΠΙΚΗΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ ΣΤΗ ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΛΥΟΣ ΣΕ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ

Όπως προαναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, η νιτροποιητική ικανότητα της βιομάζας μιας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων ελέγχεται μέσω πειραμάτων AUR (Ammonia Uptake Rate). Πιο συγκεκριμένα κατά τη διεξαγωγή ενός τέτοιου πειράματος η εξεταζόμενη βιομάζα (από οποιοδήποτε σημείο της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας της ΕΕΛ) έρχεται σε επαφή με λύματα, υπό αερόβιες συνθήκες και παρουσία επαρκούς ποσότητας αμμωνίας, για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Καθώς η βιομάζα νιτροποιεί την αμμωνία, λαμβάνονται δείγματα ανά τακτά χρονικά διαστήματα και μετριοούνται οι συγκεντρώσεις των νιτρικών και το νιτροδών. Τέλος με βάση τη συγκέντρωση

των πτητικών αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό (MLVSS) υπολογίζεται ρυθμός νιτροποίησης.

Συνεπώς μπορεί εύκολα να υπολογιστεί η αναχαιτίση ενός παράγοντα στην νιτροποιητική δράση μιας βιομάζας, αν διεξαχθούν παράλληλα δύο πειράματα AUR με ίδια βιομάζα και συνθήκες, αλλά απουσία του εν λόγω παράγοντα στο ένα πείραμα (Control). Με αυτό τον τρόπο διερευνάται η ενδεχομένως ανασταλτική επίδραση των δειγμάτων, που περιγράφησαν στην προηγούμενη παράγραφο, στη νιτροποιητική ικανότητα της βιομάζας του ΚΕΛ Ψυττάλειας. Για το πείραμα Control επιλέχθηκαν τα συνθετικά λύματα ως καταλληλότερα καθώς με την επιλογή αυτή αποφεύγονται οι αστάθμητοι παράγοντες των κανονικών λυμάτων όπως ενδεχόμενη ύπαρξη τοξικών και βελτιστοποιούνται οι συνθήκες του πειράματος. Όπως προαναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, για να είναι βάσιμα τα συμπεράσματα που θα προκύψουν από την πειραματική διαδικασία, στα περισσότερα δείγματα έγιναν πειράματα AUR και με βιομάζα καλλιεργημένη στο EYT του ΕΜΠ.

4.3.1 Αποτελέσματα των πειραμάτων με δείγματα ανεπεξέργαστων αστικών λυμάτων τυπικής και μη τυπικής σύστασης

Τα πειράματα με δείγματα μη τυπικής σύστασης αναμένεται να παρουσιάσουν μειωμένη νιτροποιητική ικανότητα από τα πειράματα Control. Συνεπώς τα πειράματα με δείγματα ανεπεξέργαστων λυμάτων τυπικής σύστασης πραγματοποιήθηκαν για να βεβαιωθεί ότι η αναχαιτίση που παρατηρήθηκε οφείλεται σε λόγους τοξικότητας και όχι στη χρήση συνθετικών λυμάτων.

Το «Πείραμα 1» έγινε με δείγμα λυμάτων τυπικής σύστασης, το οποίο έφερε την επιγραφή «Είσοδος». Η δειγματοληψία έγινε στις 24/10/2017 ενώ το πείραμα διεξήχθη στις 26/10/2017. Οι συνθήκες θερμοκρασίας κατά τη διεξαγωγή του πειράματος ήταν σταθερές στους 20°C και το pH ελέγχονταν ανά τακτά χρονικά διαστήματα (2 – 4 min) και ρυθμίζονταν στην τιμή 7,5 με χρήση καυστικού νατρίου ή θειικού οξέος.

Πίνακας 4.4 Αποτελέσματα πειράματος 1

ΠΕΙΡΑΜΑ 01													
CONTROL EYT			Δ01 EYT			CONTROL ΨΥΤ			Δ01 ΨΥΤ				
t	NO ₃ -N	NO ₂ -N	TN	NO ₃ -N	NO ₂ -N	TN	t	NO ₃ -N	NO ₂ -N	TN	NO ₃ -N	NO ₂ -N	TN
(min)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(min)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
0	8,65	0,45	9,10	3,97	0,30	4,27	0	4,23	0,30	4,53	0,50	0,10	0,60
50	12,95	2,65	15,60	8,65	2,60	11,25	50	13,65	0,30	13,95	10,05	0,35	10,40
110	16,75	3,75	20,50	11,90	4,55	16,45	110	20,30	0,35	20,65	17,60	0,45	18,05
235	27,80	9,30	37,10	23,00	9,20	32,20	235	40,00	1,45	41,45	36,30	1,15	37,45
	PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)			PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)				PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)			PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)		
	3,41	-	4,97	2,95	-	4,33		3,99	-	4,13	3,45	-	3,55

Το «Πείραμα 9» έγινε με δείγμα λυμάτων τυπικής σύστασης, το οποίο έφερε την επιγραφή «Είσοδος». Η δειγματοληψία έγινε στις 1/2/2017 ενώ το πείραμα διεξήχθη στις 2/2/2017. Οι συνθήκες θερμοκρασίας κατά τη διεξαγωγή του πειράματος ήταν σταθερές στους 20°C και το pH ελέγχονταν ανά τακτά χρονικά διαστήματα (2 – 4 min) και ρυθμιζόνταν στην τιμή 7,5 με χρήση καυστικού νατρίου ή θεικού οξέος.

Πίνακας 4.5 Αποτελέσματα πειράματος 9

ΠΕΙΡΑΜΑ 09

CONTROL EYT			Δ09 EYT			CONTROL ΨΥΤ			Δ09 ΨΥΤ																										
t	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN	t	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN																						
(min)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(min)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)																						
0	0,00	0,40	0,40	0,00	0,30	0,30	0	8,20	1,00	9,20	3,20	1,90	5,10																						
150	8,40	1,50	9,90	6,60	1,70	8,30	150	24,50	0,40	24,90	25,70	1,10	26,80																						
220	16,80	7,80	24,60	13,50	7,80	21,30	220	37,70	5,00	42,70	39,20	5,00	44,20																						
PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)			PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)			PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)			PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)																										
3,27			-			4,59			2,62			-			3,98			3,36			-			3,74			4,18			-			4,46		

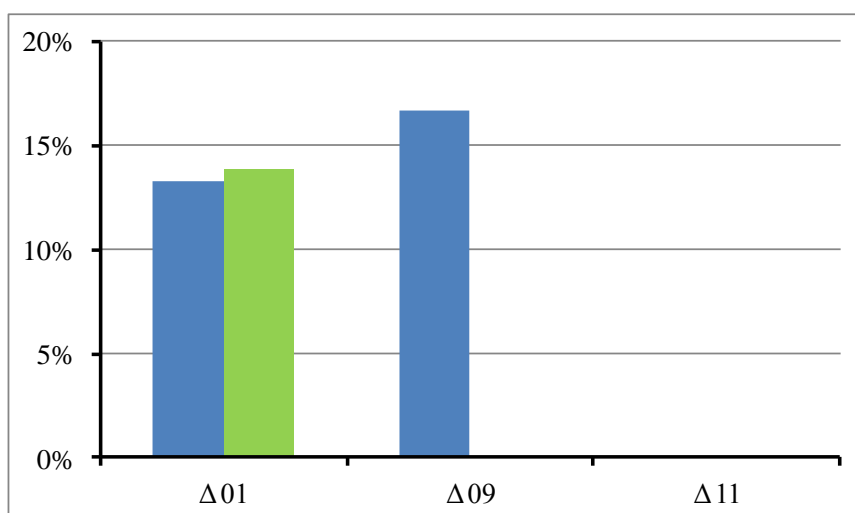
Το «Πείραμα 11» έγινε με δείγμα λυμάτων τυπικής σύστασης, το οποίο έφερε την επιγραφή «Είσοδος». Η δειγματοληψία έγινε στις 13/3/2018 ενώ το πείραμα διεξήχθη στις 16/3/2018. Οι συνθήκες θερμοκρασίας κατά τη διεξαγωγή του πειράματος ήταν σταθερές στους 20°C και το pH ελέγχονταν ανά τακτά χρονικά διαστήματα (2 – 4 min) και ρυθμιζόνταν στην τιμή 7,5 με χρήση καυστικού νατρίου ή θεικού οξέος.

Πίνακας 4.6 Αποτελέσματα πειράματος 11

ΠΕΙΡΑΜΑ 11

CONTROL EYT			Δ11 EYT			CONTROL ΨΥΤ			Δ11 ΨΥΤ																										
t	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN	t	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN																						
(min)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(min)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)																						
0	6,68	3,30	9,98	4,26	3,10	7,36	0	12,70	0,90	13,60	9,54	0,70	10,24																						
150	15,60	10,70	26,30	17,90	9,10	27,00	150	33,40	2,50	35,90	30,50	3,70	34,20																						
240	23,20	13,70	36,90	21,00	13,60	34,60	240	44,70	6,40	51,10	42,40	7,00	49,40																						
PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)			PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)			PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)			PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)			PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)																							
2,23			-			3,67			2,36			-			3,78			3,60			-			4,18			3,69			-			4,38		

Τα πειράματα με ανεπεξέργαστα αστικά λύματα τυπικής σύστασης πραγματοποιήθηκαν με βιομάζα από το ΚΕΛ Ψυττάλειας και από το ΕΥΤ του ΕΜΠ. Όπως παρατηρήθηκε στα πειράματα αυτά και φαίνεται στο ακόλουθο διάγραμμα, οι αναχαιτίσεις που σημειώθηκαν είναι κάτω του 20%. Συνεπώς προκύπτει πως η χρήση συνθετικών λυμάτων προσομοιάζει ικανοποιητικά τα λύματα τυπικής σύστασης καθώς τέτοια μεγέθη αναχαιτίσης δε θεωρούνται σημαντικά.



Διάγραμμα 4.5 Σύγκριση αναχαιτίσεων που παρατηρήθηκαν από τις βιομάζες ΕΥΤ (μπλε) και ΨΥΤ (πράσινο)

Σε ότι αφορά τα πειράματα με ανεπεξέργαστα αστικά λύματα μη τυπικής σύστασης, τα οκτώ πρώτα πραγματοποιήθηκαν με βιομάζα από το ΚΕΛ Ψυττάλειας και από το ΕΥΤ του ΕΜΠ, ενώ τα οκτώ τελευταία πραγματοποιήθηκαν μόνο με βιομάζα από το ΚΕΛ Ψυττάλειας.

Το «Πείραμα 2» έγινε με δείγμα λυμάτων τυπικής σύστασης, το οποίο έφερε την επιγραφή «Είσοδος». Η δειγματοληψία έγινε στις 6/11/2017 ενώ το πείραμα διεξήχθη στις 8/11/2017. Οι συνθήκες θερμοκρασίας κατά τη διεξαγωγή του πειράματος ήταν σταθερές στους 20°C και το pH ελέγχονταν ανά τακτά χρονικά διαστήματα (2 – 4 min) και ρυθμιζόνταν στην τιμή 7,5 με χρήση καυστικού νατρίου ή θειικού οξέος.

Πίνακας 4.7 Αποτελέσματα πειράματος 2

ΠΕΙΡΑΜΑ 02													
CONTROL EYT			Δ02 EYT				CONTROL ΨΥΤ			Δ02 ΨΥΤ			
t	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN	t	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN
(min)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(min)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
0	13,65	7,10	20,75	5,25	3,85	9,10	0	8,10	0,10	8,20	5,15	0,20	5,35
80	14,10	9,40	23,50	5,02	5,40	10,42	80	16,60	0,40	17,00	14,40	0,30	14,70
170	17,90	12,30	30,20	3,77	8,40	12,17	170	32,50	0,60	33,10	26,50	0,20	26,70
265	21,65	15,75	37,40	11,20	11,25	22,45	265	51,50	0,10	51,60	42,85	0,95	43,80
PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)			PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)				PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)			PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)			
1,07			-				2,17			0,77			
-			-				1,89			3,69			
-			-				3,69			3,28			
-			-				-			3,33			

Το «Πείραμα 3» έγινε με δείγμα λυμάτων τυπικής σύστασης, το οποίο έφερε την επιγραφή «Είσοδος Ακροκέραμου». Η δειγματοληψία έγινε στις 22/11/2017 ενώ το πείραμα διεξήχθη στις 24/11/2017. Οι συνθήκες θερμοκρασίας κατά τη διεξαγωγή του πειράματος ήταν σταθερές στους 20°C και το pH ελέγχονταν ανά τακτά χρονικά διαστήματα (2 – 4 min) και ρυθμιζόνταν στην τιμή 7,5 με χρήση καυστικού νατρίου ή θειικού οξέος.

Πίνακας 4.8 Αποτελέσματα πειράματος 3

ΠΕΙΡΑΜΑ 03

t	CONTROL EYT			Δ03 EYT			t	CONTROL ΨYT			Δ03 ΨYT		
	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN		NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN
(min)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(min)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
0	41,70	1,45	43,15	22,30	1,30	23,60	0	11,60	0,15	11,75	6,30	0,70	7,00
60	47,00	5,05	52,05	29,20	5,10	34,30	60	17,95	0,15	18,10	12,10	0,15	12,25
120	53,00	8,30	61,30	36,95	7,60	44,55	120	24,80	0,35	25,15	18,15	0,40	18,55
165	57,50	12,00	69,50	42,15	10,90	53,05	165	31,30	1,20	32,50	26,20	0,65	26,85
	PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)			PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)				PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)			PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)		
	2,40	-	3,97	2,67	-	3,91		2,50	-	2,62	2,60	-	2,60

Το «Πείραμα 4» έγινε με δείγμα λυμάτων τυπικής σύστασης, το οποίο έφερε την επιγραφή «Είσοδος Δ.Π.Κ.». Η δειγματοληψία έγινε στις 6/12/2017 ενώ το πείραμα διεξήχθη στις 7/12/2017. Οι συνθήκες θερμοκρασίας κατά τη διεξαγωγή του πειράματος ήταν σταθερές στους 20°C και το pH ελέγχονταν ανά τακτά χρονικά διαστήματα (2 – 4 min) και ρυθμιζόνταν στην τιμή 7,5 με χρήση καυστικού νατρίου ή θειικού οξέος.

Πίνακας 4.9 Αποτελέσματα πειράματος 4

ΠΕΙΡΑΜΑ 04

t	CONTROL EYT			Δ04 EYT			t	CONTROL ΨYT			Δ04 ΨYT		
	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN		NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN
(min)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(min)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
0	6,10	0,30	6,40	4,10	0,50	4,60	0	6,90	0,30	7,20	5,40	1,20	6,60
60	9,10	0,90	10,00	5,90	1,30	7,20	60	11,50	0,70	12,20	7,40	2,30	9,70
145	19,70	2,70	22,40	12,70	3,80	16,50	145	22,40	0,50	22,90	14,50	1,90	16,40
215	19,70	2,70	22,40	12,70	3,80	16,50	215	22,40	0,50	22,90	14,50	1,90	16,40
	PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)			PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)				PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)			PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)		
	3,45	-	4,03	3,23	-	4,17		1,97	-	2,01	1,52	-	1,57

Το «Πείραμα 5» έγινε με δείγμα λυμάτων τυπικής σύστασης, το οποίο έφερε την επιγραφή «Είσοδος». Η δειγματοληψία έγινε στις 11/12/2017 ενώ το πείραμα διεξήχθη στις 13/12/2017. Οι συνθήκες θερμοκρασίας κατά τη διεξαγωγή του πειράματος ήταν σταθερές στους 20°C και το pH ελέγχονταν ανά τακτά χρονικά διαστήματα (2 – 4 min) και ρυθμιζόνταν στην τιμή 7,5 με χρήση καυστικού νατρίου ή θειικού οξέος.

Πίνακας 4.10 Αποτελέσματα πειράματος 5

ΠΕΙΡΑΜΑ 05

t	CONTROL EYT			Δ05 EYT			t	CONTROL ΨYT			Δ05 ΨYT		
	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN		NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN
(min)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(min)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
0	9,70	5,20	14,90	1,10	2,40	3,50	0	6,90	0,30	7,20	3,50	0,90	4,40
45	14,30	7,40	21,70	3,10	3,40	6,50	45	11,50	0,70	12,20	2,90	3,50	6,40
125	23,20	10,50	33,70	8,90	5,10	14,00	125	22,40	0,50	22,90	10,70	3,80	14,50
210	23,20	10,50	33,70	8,90	5,10	14,00	210	22,40	0,50	22,90	10,70	3,80	14,50
	PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)			PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)				PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)			PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)		
	1,54	-	2,02	1,33	-	1,84		1,97	-	2,01	1,42	-	1,62

Το «Πείραμα 6» έγινε με δείγμα λυμάτων τυπικής σύστασης, το οποίο έφερε την επιγραφή «Είσοδος». Η δειγματοληψία έγινε στις 21/12/2017 ενώ το πείραμα διεξήχθη στις 22/12/2017. Οι συνθήκες θερμοκρασίας κατά τη διεξαγωγή του πειράματος ήταν σταθερές στους 20°C και το pH ελέγχονταν ανά τακτά χρονικά διαστήματα (2 – 4 min) και ρυθμιζόνταν στην τιμή 7,5 με χρήση καυστικού νατρίου ή θειικού οξέος.

Πίνακας 4.11 Αποτελέσματα πειράματος 6

ΠΕΙΡΑΜΑ 06

CONTROL EYT			Δ06 EYT			CONTROL ΨYT			Δ06 ΨYT				
t	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN	t	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN
(min)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(min)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
0	2,38	1,10	3,48	1,11	1,00	2,11	0	10,50	1,00	11,50	7,92	1,10	9,02
60	10,00	5,00	15,00	7,50	6,10	13,60	60	16,30	1,10	17,40	16,00	1,00	17,00
120	14,30	9,20	23,50	14,00	10,20	24,20	120	22,50	0,60	23,10	21,50	0,40	21,90
195	20,50	13,10	33,60	20,70	15,40	36,10	195	30,50	0,60	31,10	29,80	0,90	30,70
	PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)			PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)				PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)			PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)		
	1,90	-	3,18	2,23	-	3,94		2,64	-	2,57	2,20	-	2,15

Το «Πείραμα 7» έγινε με δείγμα λυμάτων τυπικής σύστασης, το οποίο έφερε την επιγραφή «Είσοδος Δ.Π.Κ.». Η δειγματοληψία έγινε στις 17/1/2018 ενώ το πείραμα διεξήχθη στις 19/1/2018. Οι συνθήκες θερμοκρασίας κατά τη διεξαγωγή του πειράματος ήταν σταθερές στους 20°C και το pH ελέγχονταν ανά τακτά χρονικά διαστήματα (2 – 4 min) και ρυθμιζόνταν στην τιμή 7,5 με χρήση καυστικού νατρίου ή θεικού οξέος.

Πίνακας 4.12 Αποτελέσματα πειράματος 7

ΠΕΙΡΑΜΑ 07

CONTROL EYT			Δ07 EYT			CONTROL ΨYT			Δ07 ΨYT				
t	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN	t	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN
(min)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(min)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
0	11,60	0,90	12,50	8,30	0,90	9,20	0	9,50	5,20	14,70	2,90	8,10	11,00
60	15,10	3,60	18,70	9,60	2,80	12,40	60	18,70	5,10	23,80	10,90	7,90	18,80
120	17,80	5,80	23,60	12,20	4,00	16,20	120	28,20	3,00	31,20	21,60	5,40	27,00
180	19,10	7,40	26,50	14,70	6,40	21,10	180	34,90	1,50	36,40	30,20	2,40	32,60
	PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)			PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)				PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)			PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)		
	1,37	-	2,55	1,15	-	2,29		3,19	-	2,68	3,39	-	2,57

Το «Πείραμα 8» έγινε με δείγμα λυμάτων τυπικής σύστασης, το οποίο έφερε την επιγραφή «ΣΚΑΑ». Η δειγματοληψία έγινε στις 22/1/2018 ενώ το πείραμα διεξήχθη στις 24/1/2018. Οι συνθήκες θερμοκρασίας κατά τη διεξαγωγή του πειράματος ήταν σταθερές στους 20°C και το pH ελέγχονταν ανά τακτά χρονικά διαστήματα (2 – 4 min) και ρυθμιζόνταν στην τιμή 7,5 με χρήση καυστικού νατρίου ή θεικού οξέος.

Πίνακας 4.13 Αποτελέσματα πειράματος 8

ΠΕΙΡΑΜΑ 08

CONTROL EYT			Δ08 EYT			CONTROL ΨYT			Δ08 ΨYT				
t	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN	t	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN
(min)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(min)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
0	2,00	0,40	2,40	0,00	0,40	0,40	0	4,40	1,90	6,30	0,00	2,60	2,60
60	2,00	1,80	3,80	0,00	1,60	1,60	60	9,80	2,20	12,00	0,00	2,30	2,30
120	7,50	3,30	10,80	1,40	3,10	4,50	120	15,60	1,20	16,80	0,20	2,30	2,50
180	10,30	3,20	13,50	2,60	5,20	7,80	180	20,20	1,20	21,40	0,70	3,00	3,70
	PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)			PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)				PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)			PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)		
	1,72	-	2,18	0,57	-	1,48		2,80	-	2,72	0,26	-	0,35

Το «Πείραμα 10» έγινε με δείγμα λυμάτων τυπικής σύστασης, το οποίο έφερε την επιγραφή «ΑΚΡ ΙΝ». Η δειγματοληψία έγινε στις 5/3/2018 ενώ το πείραμα διεξήχθη στις 7/3/2018. Οι συνθήκες θερμοκρασίας κατά τη διεξαγωγή του πειράματος ήταν σταθερές στους 20°C και το pH ελέγχονταν ανά τακτά χρονικά διαστήματα (2 – 4 min) και ρυθμιζόνταν στην τιμή 7,5 με χρήση καυστικού νατρίου ή θεικού οξέος.

Πίνακας 4.14 Αποτελέσματα πειράματος 10

ΠΕΙΡΑΜΑ 10

CONTROL EYT			Δ10 EYT			CONTROL ΨYT			Δ10 ΨYT				
t	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN	t	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN
(min)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(min)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
0	3,76	5,50	9,26	2,56	0,40	2,96	0	12,70	0,90	13,60	8,71	0,70	9,41
120	21,50	14,20	35,70	13,10	6,30	19,40	120	33,40	2,50	35,90	29,20	4,50	33,70
240	39,00	22,50	61,50	28,80	15,80	44,60	240	44,70	6,40	51,10	43,30	8,00	51,30
	PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)			PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)				PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)			PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)		
	2,98	-	4,41	2,22	-	3,52		3,60	-	4,18	3,86	-	4,66

Το «Πείραμα 12» έγινε με δείγμα λυμάτων τυπικής σύστασης, το οποίο έφερε την επιγραφή «Είσοδος». Η δειγματοληψία έγινε στις 23/4/2018 ενώ το πείραμα διεξήχθη στις 24/4/2018. Οι συνθήκες θερμοκρασίας κατά τη διεξαγωγή του πειράματος ήταν σταθερές στους 20°C και το pH ελέγχονταν ανά τακτά χρονικά διαστήματα (2 – 4 min) και ρυθμιζονταν στην τιμή 7,5 με χρήση καυστικού νατρίου ή θεικού οξέος.

Πίνακας 4.15 Αποτελέσματα πειράματος 12

ΠΕΙΡΑΜΑ 12

CONTROL ΨYT			Δ12 ΨYT			
t	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN
(min)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
0	31,00	1,50	32,50	1,40	0,40	1,80
120	59,80	6,00	65,80	4,68	0,30	4,98
240	77,50	7,20	84,70	9,65	0,40	10,05
	PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)			PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)		
	3,90	-	4,38	0,85	-	0,85

Το «Πείραμα 13» έγινε με δείγμα λυμάτων τυπικής σύστασης, το οποίο έφερε την επιγραφή «Είσοδος». Η δειγματοληψία έγινε στις 3/5/2018 ενώ το πείραμα διεξήχθη στις 11/5/2018. Οι συνθήκες θερμοκρασίας κατά τη διεξαγωγή του πειράματος ήταν σταθερές στους 20°C και το pH ελέγχονταν ανά τακτά χρονικά διαστήματα (2 – 4 min) και ρυθμιζονταν στην τιμή 7,5 με χρήση καυστικού νατρίου ή θεικού οξέος.

Πίνακας 4.16 Αποτελέσματα πειράματος 13

ΠΕΙΡΑΜΑ 13

CONTROL EYT			Δ13 EYT			
t	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN
(min)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
0	0,00	0,30	0,30	0,00	0,90	0,90
120	46,10	2,70	48,80	47,50	2,70	50,20
240	78,90	4,50	83,40	76,60	5,50	82,10
	PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)			PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)		
	6,13	-	6,45	5,63	-	5,97

Το «Πείραμα 14» έγινε με δείγμα λυμάτων τυπικής σύστασης, το οποίο έφερε την επιγραφή «Είσοδος». Η δειγματοληψία έγινε στις 8/5/2018 ενώ το πείραμα διεξήχθη στις 11/5/2018. Οι συνθήκες θερμοκρασίας κατά τη διεξαγωγή του πειράματος ήταν σταθερές στους 20°C και το pH ελέγχονταν ανά τακτά χρονικά διαστήματα (2 – 4 min) και ρυθμιζονταν στην τιμή 7,5 με χρήση καυστικού νατρίου ή θεικού οξέος.

Πίνακας 4.17 Αποτελέσματα πειράματος 14

ΠΕΙΡΑΜΑ 14

t	CONTROL EYT			Δ14 EYT		
	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN
(min)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
0	0,00	0,30	0,30	0,00	1,10	1,10
120	46,10	2,70	48,80	35,50	1,60	37,10
240	78,90	4,50	83,40	69,00	5,70	74,70
	PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)			PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)		
	6,13	-	6,45	6,33	-	6,75

Το «Πείραμα 15» έγινε με δείγμα λυμάτων τυπικής σύστασης, το οποίο έφερε την επιγραφή «Είσοδος». Η δειγματοληψία έγινε στις 16/5/2018 ενώ το πείραμα διεξήχθη στις 22/5/2018. Οι συνθήκες θερμοκρασίας κατά τη διεξαγωγή του πειράματος ήταν σταθερές στους 20°C και το pH ελέγχονταν ανά τακτά χρονικά διαστήματα (2 – 4 min) και ρυθμιζονταν στην τιμή 7,5 με χρήση καυστικού νατρίου ή θεικού οξέος.

Πίνακας 4.18 Αποτελέσματα πειράματος 15

ΠΕΙΡΑΜΑ 15

t	CONTROL EYT			Δ15 EYT		
	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN
(min)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
0	2,88	4,30	7,18	1,85	4,20	6,05
120	27,00	6,00	33,00	2,21	4,30	6,51
240	55,60	6,50	62,10	7,84	4,50	12,34
	PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)			PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)		
	5,94	-	6,18	0,70	-	0,73

Το «Πείραμα 16» έγινε με δείγμα λυμάτων τυπικής σύστασης, το οποίο έφερε την επιγραφή «Είσοδος». Η δειγματοληψία έγινε στις 22/5/2018 ενώ το πείραμα διεξήχθη στις 29/5/2018. Οι συνθήκες θερμοκρασίας κατά τη διεξαγωγή του πειράματος ήταν σταθερές στους 20°C και το pH ελέγχονταν ανά τακτά χρονικά διαστήματα (2 – 4 min) και ρυθμιζονταν στην τιμή 7,5 με χρήση καυστικού νατρίου ή θεικού οξέος.

Πίνακας 4.19 Αποτελέσματα πειράματος 16

ΠΕΙΡΑΜΑ 16

t	CONTROL EYT			Δ16 EYT		
	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN
(min)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
0	8,74	1,10	9,84	2,31	0,70	3,01
120	31,90	3,40	35,30	23,00	2,70	25,70
240	53,70	8,50	62,20	44,60	6,20	50,80
	PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)			PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)		
	5,25	-	6,12	5,89	-	6,66

Το «Πείραμα 17» έγινε με δείγμα λυμάτων τυπικής σύστασης, το οποίο έφερε την επιγραφή «AKP IN». Η δειγματοληψία έγινε στις 30/5/2018 ενώ το πείραμα διεξήχθη στις 4/6/2018. Οι συνθήκες θερμοκρασίας κατά τη διεξαγωγή του πειράματος ήταν σταθερές στους 20°C και το pH ελέγχονταν ανά τακτά χρονικά διαστήματα (2 – 4 min) και ρυθμιζονταν στην τιμή 7,5 με χρήση καυστικού νατρίου ή θεικού οξέος.

Πίνακας 4.20 Αποτελέσματα πειράματος 17

ΠΕΙΡΑΜΑ 17

t	CONTROL EYT			Δ17 EYT		
	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN
(min)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
0	21,90	0,50	22,40	12,30	0,60	12,90
120	66,80	6,10	72,90	41,00	2,90	43,90
240	96,40	2,90	99,30	63,60	4,70	68,30
	PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)			PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)		
	4,00	-	4,13	5,47	-	5,90

Το «Πείραμα 2» έγινε με δείγμα λυμάτων τυπικής σύστασης, το οποίο έφερε την επιγραφή «Είσοδος». Η δειγματοληψία έγινε στις 5/6/2018 ενώ το πείραμα διεξήχθη στις 11/6/2018. Οι συνθήκες θερμοκρασίας κατά τη διεξαγωγή του πειράματος ήταν σταθερές στους 20°C και το pH ελέγχονταν ανά τακτά χρονικά διαστήματα (2 – 4 min) και ρυθμίζονταν στην τιμή 7,5 με χρήση καυστικού νατρίου ή θειικού οξέος.

Πίνακας 4.21 Αποτελέσματα πειράματος 18

ΠΕΙΡΑΜΑ 18

t	CONTROL EYT			Δ18 EYT		
	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN
(min)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
0	21,90	0,50	22,40	2,77	0,40	3,17
120	66,80	6,10	72,90	5,29	0,30	5,59
240	96,40	2,90	99,30	8,45	0,40	8,85
	PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)			PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)		
	4,00	-	4,13	0,64	-	0,64

Από τα πρώτα οκτώ πειράματα, τα οποία διεξήχθησαν και με τις δύο βιομάζες, μόνο το δείγμα Δ08 παρουσίασε σημαντική αναχαίτιση. Πιο συγκεκριμένα, στο πείραμα με βιομάζα EYT παρατηρήθηκε αναχαίτιση νιτροποίησης 67% ενώ η αναχαίτιση νιτροποίησης και νιτριδοποίησης 32%. Τα υπόλοιπα επτά δείγματα παρουσίασαν αναχαίτισεις μέσα στα όρια του αποδεκτού (κάτω του 20%). Η αναχαίτιση που προκάλεσε αυτό το δείγμα δε φαίνεται να προκλήθηκε από χημικά BTEX καθώς η συγκέντρωσή τους ήταν κάτω του ορίου μέτρησης. Επιπροσθέτως οι συγκεντρώσεις σε μέταλλα και άλλες ύποπτες για τοξικότητα ουσίες κινήθηκαν σε συνήθη πλαίσια για αστικά λύματα.

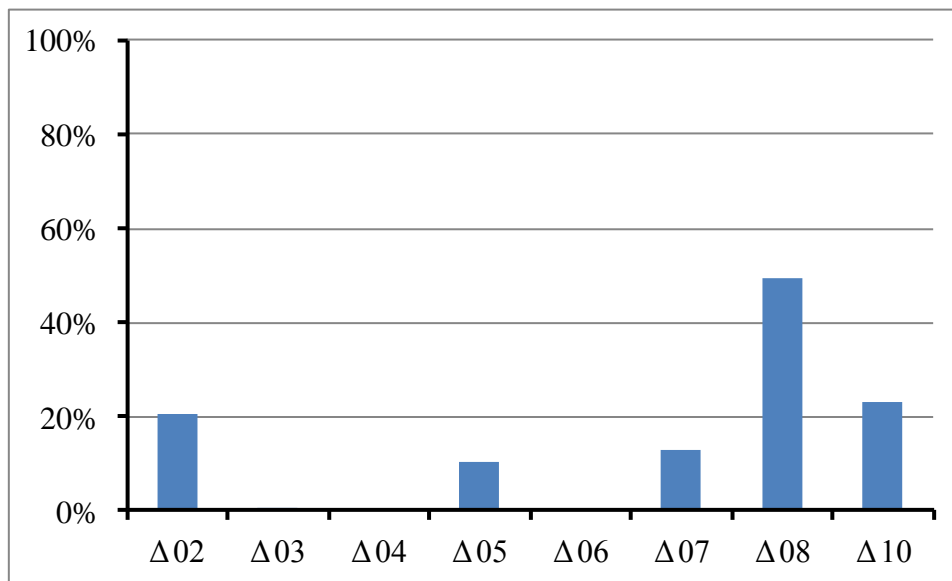
Αξίζει να αναφερθεί πως το δείγμα Δ06 εμφάνισε αρκετά χαμηλό pH (2,30). Έτσι για τη διεξαγωγή αυτού του πειράματος κρίθηκε αναγκαία η πραγματοποίηση δύο παράλληλων πειραμάτων, εκ των οποίων στο ένα το δείγμα έμεινε ανέπαφο ενώ στο δεύτερο πραγματοποιήθηκε αύξηση του pH αυτού στις επτά μονάδες πριν την ανάμιξη του με τη βιομάζα. Το πείραμα με το χαμηλό pH αναχαίτιστηκε πλήρως, όμως η αναχαίτιση αυτή προσδόθηκε στο πολύ όξινο περιβάλλον, το οποίο είναι μοιραίο για τη νιτροποιητική βιομάζα, όπως προαναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 2.

Σε ότι αφορά τα οκτώ τελευταία πειράματα, τα οποία διεξήχθησαν μόνο με βιομάζα Ψυτάλειας, αρκετά από αυτά παρουσίασαν σημαντική αναχαίτιση. Πιο συγκεκριμένα, τέσσερα δείγματα (Δ12, Δ13, Δ15 και Δ18) παρουσίασαν

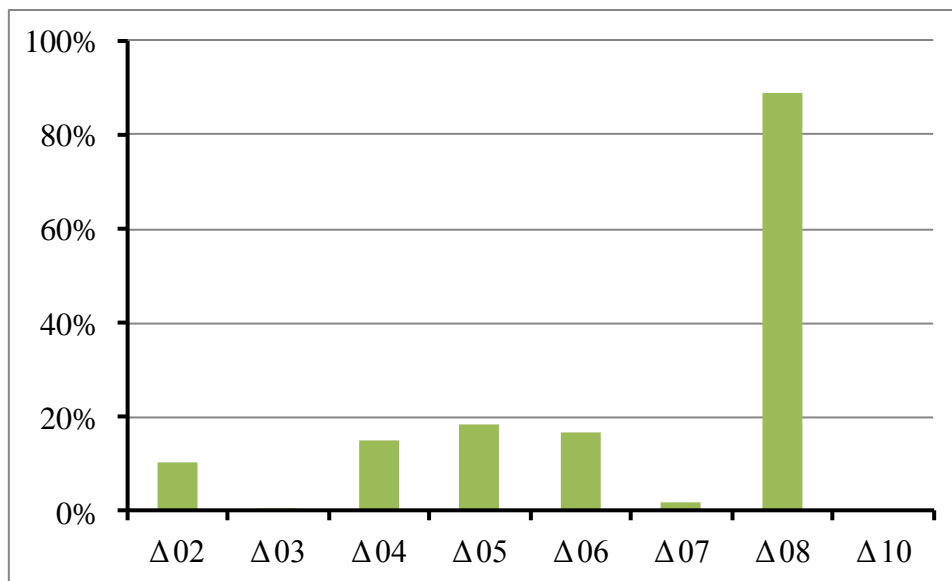
αναχαίτιση που κυμάνθηκε από 80% έως 85% ενώ το δείγμα Δ19 εμφάνισε 92% αναχαίτιση. Η τοξικότητα του δείγματος Δ12 πιθανότατα οφείλεται στην ιδιαίτερα υψηλή συγκέντρωση ελαφρών κλασμάτων πετρελαίου (C5-C10 ως η C7H16) η οποία είναι τάξεις μεγέθους μεγαλύτερη από τις συνήθεις τιμές. Το δείγμα αυτό περιείχε και χρώμιο σε υψηλή συγκέντρωση (108 mg/l) αλλά δε θεωρείται πιθανόν να είναι αυτό η αιτία της τοξικότητάς του καθώς το δείγμα Δ11 περιείχε χρώμιο σε υψηλότερη συγκέντρωση και δεν ήταν τοξικό. Η τοξικότητα του δείγματος Δ15 πιθανότατα οφείλεται είτε στην ιδιαίτερα υψηλή συγκέντρωση λοιπών χλωριωμένων οργανικών διαλυτών (Tetrachloroethylene) η οποία είναι 740 mg/lt είτε στην ιδιαίτερα υψηλή συγκέντρωση χλωροφορμίου η οποία είναι 64 mg/l. Αμφότερες οι συγκεντρώσεις που προαναφέρθηκαν είναι οι μέγιστες όλων των δειγμάτων που μετρήθηκαν. Το δείγμα αυτό περιείχε και ορυκτέλαιο σε υψηλή συγκέντρωση (210 mg/l) αλλά δε θεωρείται πιθανόν να είναι αυτό η αιτία της τοξικότητάς του καθώς το δείγμα Δ14 περιείχε ορυκτέλαιο σε υψηλότερη συγκέντρωση και δεν ήταν τοξικό. Η τοξικότητα του δείγματος Δ18 πιθανότατα οφείλεται στην ιδιαίτερα υψηλή συγκέντρωση μολύβδου (Pb) η οποία είναι 340 mg/l και είναι η μέγιστη όλων όσων μετρήθηκαν. Το δείγμα αυτό περιείχε και ορυκτέλαιο σε υψηλή συγκέντρωση (550 mg/l) αλλά δε θεωρείται πιθανόν να είναι αυτό η αιτία της τοξικότητάς του καθώς το δείγμα Δ14 περιείχε ορυκτέλαιο σε υψηλότερη συγκέντρωση και δεν ήταν τοξικό. Επιπλέον το δείγμα αυτό περιείχε και λοιπούς χλωριωμένους οργανικούς διαλύτες (Tetrachloroethylene) σε υψηλή συγκέντρωση (120 mg/l) αλλά δε θεωρείται πιθανόν να είναι αυτό η αιτία της τοξικότητάς του καθώς το δείγμα Δ07 περιείχε ορυκτέλαιο σε υψηλότερη συγκέντρωση και δεν ήταν τοξικό. Τέλος σε ότι αφορά την τοξικότητα του δείγματος Δ19 οι πιθανοί υπαίτιοι παράγοντες είναι το νέφτι (white spirit) με συγκέντρωση 56mg/l και ο ψευδάργυρος με συγκέντρωση 700mg/l. Η συγκέντρωση του νέφτι ήταν οριακά μεγαλύτερη όλων όσων μετρήθηκαν ενώ η συγκέντρωση του ψευδαργύρου ήταν τάξεις μεγέθους μεγαλύτερη όλων. Το δείγμα ακόμη περιείχε υψηλές συγκεντρώσεις σε τετραχλωροαιθυλένιο, ορυκτέλαιο και χρώμιο, όμως και για τις τρεις αυτές παραμέτρους έχουν παρατηρηθεί μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σε δείγματα που δεν εμφάνισαν τοξικότητα.

Αξίζει να αναφερθεί πως όσο μεγαλύτερη αναχαίτιση παρατηρούνταν, τόσο περισσότερο διαφοροποιούνταν οι ταχύτητες νιτροποίησης και νιτροποίησης και νιτριδοποίησης μαζί.

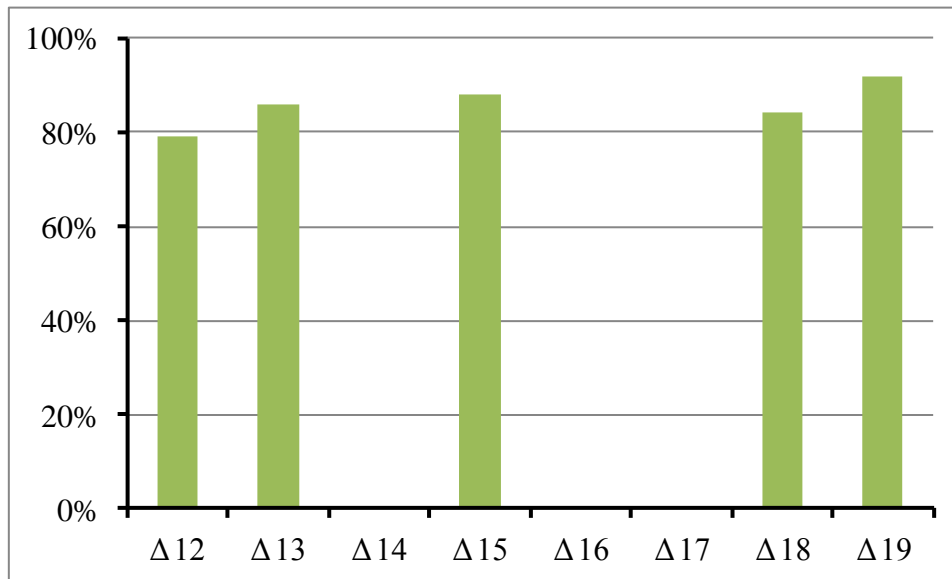
Τα αποτελέσματα των πειραμάτων φαίνονται συνοπτικά στα διαγράμματα που ακολουθούν.



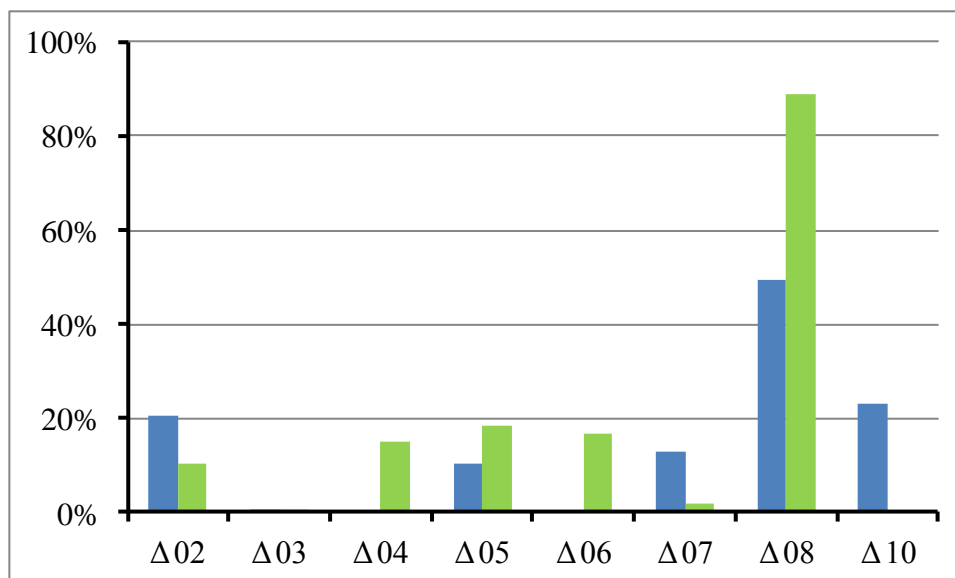
Διάγραμμα 4.6 Ποσοστιαία αναχίτιση που παρουσιάστηκε σε βιομάζα ΕΥΤ λόγω δειγμάτων μη τυπικής σύστασης



Διάγραμμα 4.7α Ποσοστιαία αναχίτιση που παρουσιάστηκε σε βιομάζα του ΚΕΛ Ψυττάλειας λόγω δειγμάτων μη τυπικής σύστασης



Διάγραμμα 4.7β Ποσοστιαία αναχαιτίση που παρουσιάστηκε σε βιομάζα του ΚΕΛ Ψυττάλειας λόγω δειγμάτων μη τυπικής σύστασης



Διάγραμμα 4.8 Σύγκριση αναχαιτίσεων που παρατηρήθηκαν από τις βιομάζες ΕΥΤ (μπλε) και ΨΥΤ (πράσινο)

Υπογραμμίζεται πως η μετρηθείσα αναχαιτίση της νιτροποίησης είναι σχεδόν απίθανο να εμφανιστεί και στο ΚΕΛ Ψυττάλειας καθώς τα ύποπτα δείγματα είναι στιγμιαία και η διάρκεια εισροής των μη τυπικών αστικών λυμάτων δεν είναι μεγάλη και καθώς επίσης τα έργα της γραμμής επεξεργασίας λυμάτων προσφέρουν σημαντική αραιώση στα προς επεξεργασία λύματα και στις τοξικές ουσίες που ενδέχεται να εμπεριέχουν.

4.4 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΛΥΤΩΝ ΒΤΕΧ ΣΤΗ ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΛΥΟΣ ΣΕ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ

Και σε αυτή τη σειρά πειραμάτων, για να προσδιοριστεί η αναχαιτιστική ικανότητα των οργανικών διαλυτών ΒΤΕΧ στη νιτροποιητική δράση μιας βιομάζας, διεξάγονται παράλληλα δύο πειράματα ΑUR με ίδια βιομάζα και συνθήκες, αλλά απουσία των οργανικών διαλυτών στο ένα πείραμα (Control). Αφορμή για την παρούσα διερεύνηση είναι η καταγραφή σε στιγμιαία δείγματα ανεπεξέργαστων λυμάτων κατά την περίοδο του Φεβρουαρίου του 2017 συγκεντρώσεων ΒΤΕΧ της τάξης των 8 με 415 mg/L (ως άθροισμα των τεσσάρων ενώσεων). Σε αυτή τη σειρά πειραμάτων επιλέχθηκε η καθολική χρήση συνθετικών λυμάτων ως καταλληλότερα καθώς με την επιλογή αυτή αποφεύγονται οι αστάθμητοι παράγοντες των κανονικών λυμάτων όπως ενδεχόμενη ύπαρξη τοξικών και βελτιστοποιούνται οι συνθήκες του πειράματος. Τέλος, όπως προαναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, τα πειράματα αυτά διεξήχθησαν με βιομάζα από το ΚΕΛ Ψυττάλειας, από τη γραμμή ανακυκλοφορίας της εγκατάστασης.

Σε αυτά τα πειράματα εξετάστηκε ένα εύρος συγκεντρώσεων οργανικών διαλυτών ΒΤΕΧ. Κρίνεται απαραίτητο να αναφερθεί και πάλι, πως όπου γίνεται λόγος για συγκέντρωση σε ΒΤΕΧ ενός διαλύματος, εννοείται πως αυτό το διάλυμα έχει την εν λόγω συγκέντρωση σε κάθε έναν από τους οργανικούς διαλύτες ΒΤΕΧ (βενζόλιο, τολουένιο, αίθυλο-βενζόλιο και ξυλόλιο).

Οι συγκεντρώσεις που εξετάστηκαν είναι 25mg/lit, 50mg/lit, 75mg/lit, 100mg/lit και 200mg/lit. Για την κάθε συγκέντρωση πραγματοποιήθηκαν περισσότερα από ένα πειράματα για επαλήθευση, καθώς η ανάμιξη αυτών των οργανικών διαλυτών με νερό είναι μια άκρως ευαίσθητη διαδικασία. Στους πίνακες που ακολουθούν φαίνεται η εξέλιξη των πειραμάτων με ΒΤΕΧ.

Πίνακας 4.22 Αποτελέσματα πειράματος 1 με ΒΤΕΧ

t	CONTROL			50 mg/lit			100 mg/lit		
	NO ₃ - N (mg/lit)	NO ₂ - N (mg/lit)	TN (mg/lit)	NO ₃ - N (mg/lit)	NO ₂ - N (mg/lit)	TN (mg/lit)	NO ₃ - N (mg/lit)	NO ₂ - N (mg/lit)	TN (mg/lit)
0	31	1,5	32,5	26,5	0,4	26,9	29,8	0,6	30,4
120	59,8	6	65,8	53	1,2	54,2	57,2	1,4	58,6
240	77,5	7,2	84,7	72,2	5,5	77,7	79,3	6,5	85,8
	PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)			PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)			PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)		
	3,90	-	4,38	3,69	-	4,10	4,04	-	4,53

Πίνακας 4.23 Αποτελέσματα πειράματος 2 με ΒΤΕΧ

t	CONTROL			100 mg/lt		
	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN
(min)	(mg/lt)	(mg/lt)	(mg/lt)	(mg/lt)	(mg/lt)	(mg/lt)
0	37,5	0,6	38,1	13,7	0,4	14,1
120	66,6	5,1	71,7	24,4	0,4	24,8
225	82,6	2,8	85,4	35,9	0,3	36,2
	PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)			PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)		
	4,29	-	4,51	2,08	-	2,07

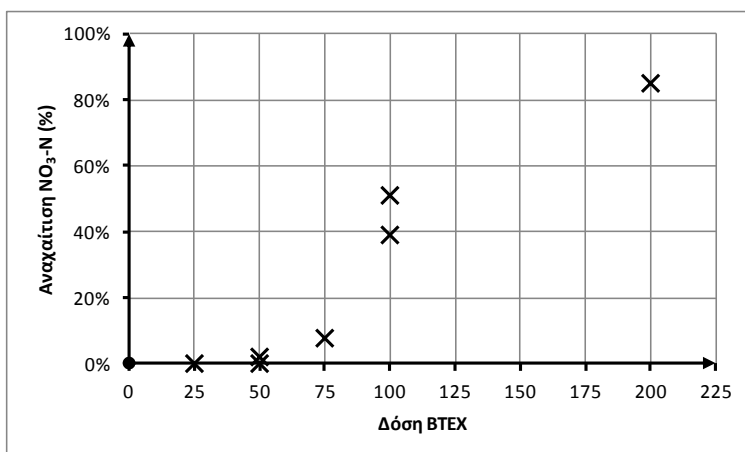
Πίνακας 4.24 Αποτελέσματα πειράματος 3 με ΒΤΕΧ

t	CONTROL			25 mg/lt			50 mg/lt			100 mg/lt		
	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN
(min)	(mg/lt)	(mg/lt)	(mg/lt)	(mg/lt)	(mg/lt)	(mg/lt)	(mg/lt)	(mg/lt)	(mg/lt)	(mg/lt)	(mg/lt)	(mg/lt)
0	41,4	1,7	43,1	28,6	0,4	29	24,3	0,4	24,7	16,6	0,5	17,1
120	59,4	3,2	62,6	51,8	2,5	54,3	47,1	2,1	49,2	27,1	0,4	27,5
225	78,9	6,4	85,3	75,1	1,8	76,9	69	1,8	70,8	39,2	0,4	39,6
	PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)			PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)			PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)			PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)		
	3,44	-	3,87	3,94	-	4,07	4,16	-	4,30	2,10	-	2,09

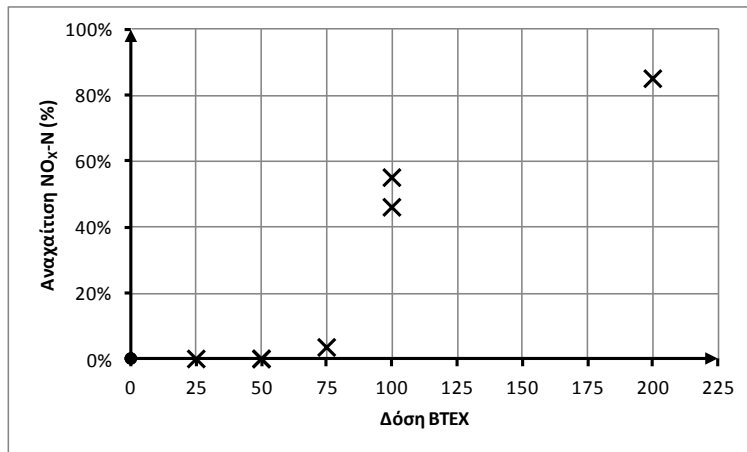
Πίνακας 4.25 Αποτελέσματα πειράματος 4 με ΒΤΕΧ

t	CONTROL			50 mg/lt			75 mg/lt			200 mg/lt		
	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN	NO ₃ - N	NO ₂ - N	TN
(min)	(mg/lt)	(mg/lt)	(mg/lt)	(mg/lt)	(mg/lt)	(mg/lt)	(mg/lt)	(mg/lt)	(mg/lt)	(mg/lt)	(mg/lt)	(mg/lt)
0	39,2	0,4	39,6	29,4	0,4	29,8	29	0,4	29,4	5,97	0,5	6,47
120	70,2	1,3	71,5	54,3	0,5	54,8	56,9	0,7	57,6	8,76	0,5	9,26
230	96,5	0,4	96,9	79,4	1,8	81,2	80,8	2,8	83,6	14,7	0,5	15,2
	PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)			PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)			PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)			PYΘΜΟΣ (mg/grVSS/hr)		
	5,23	-	5,23	5,13	-	5,27	4,83	-	5,05	0,81	-	0,81

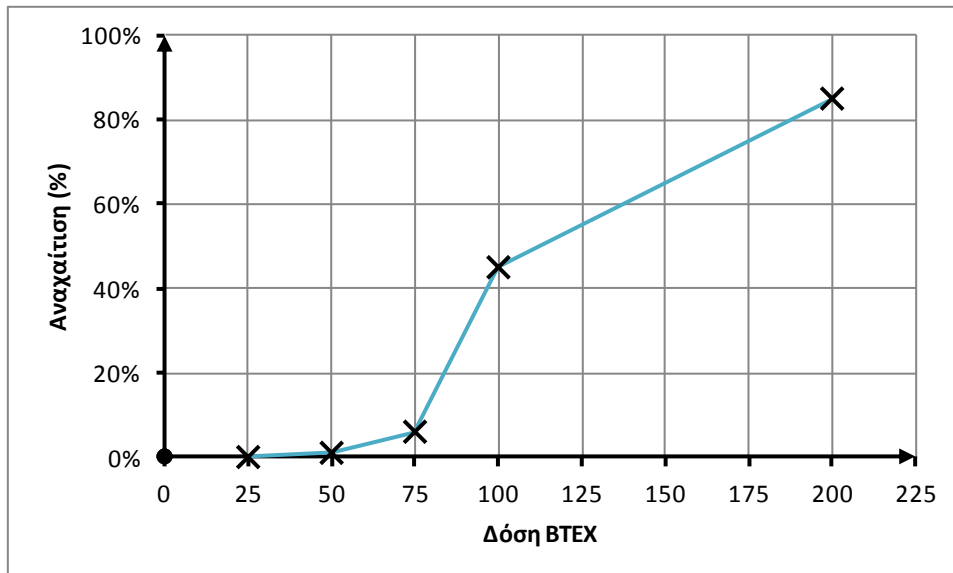
Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων μέτρησης της αναχαιτίσης της ταχύτητας νιτροποίησης της βιομάζας του ΚΕΛΨ συναρτήσεως της συγκέντρωσης των ΒΤΕΧ στα λύματα. Επισημαίνεται ότι οι συγκεντρώσεις των ΒΤΕΧ στον άξονα των x αντιστοιχούν σε κάθε ένωση χωριστά και συνεπώς η συνολική συγκέντρωση των ΒΤΕΧ σε κάθε πείραμα είναι τετραπλάσια αυτής του διαγράμματος.



Διάγραμμα 4.9 Ποσοστιαία αναχαιτίση των ΒΤΕΧ στη νιτροποίηση



Διάγραμμα 4.10 Ποσοστιαία αναχαίτιση των ΒΤΕΧ στη νιτροποίηση και στη νιτρίδοποίηση



Διάγραμμα 4.11 Ποσοστιαία αναχαίτιση που παρουσιάστηκε σε βιομάζα του ΚΕΛ Ψυττάλειας λόγω των οργανικών διαλυτών ΒΤΕΧ.

Όπως παρατηρήθηκε από τα αποτελέσματα, σημαντικές αναχαίτισεις αρχίζουν να εμφανίζονται από τη συγκέντρωση των 100mg/l (45%) ενώ στη συγκέντρωση των 200mg/l η ανασταλτική δράση των ΒΤΕΧ στη νιτροποιητική ικανότητα της βιομάζας του ΚΕΛ Ψυττάλειας αγγίζει το 85%.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο πλαίσιο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας διερευνήθηκε η επίδραση της εισροής αποβλήτων μη τυπικής αστικής προέλευσης στη νιτροποιητική ικανότητα της ενεργού ιλύος σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων. Επιπρόσθετα διερευνήθηκε η επίδραση των οργανικών διαλυτών BTEX στη νιτροποιητική ικανότητα της ενεργού ιλύος σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. σε μία περίοδο οκτώ μηνών (Σεπτέμβριος 2017 έως Μάιος 2018). Για τη διεξαγωγή της πειραματικής έρευνας χρησιμοποιήθηκε ένας αντιδραστήρας SBR που τροφοδοτούνταν με συνθετικά λύματα. Πειράματα έγιναν τόσο σε βιομάζα από το πειραματικό σύστημα SBR του EYT όσο και σε βιομάζα της Ψυττάλειας.

Ολοκληρώνοντας λοιπόν την παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, εξήχθησαν σημαντικά συμπεράσματα όσον αφορά την αναχαιτιστική ικανότητα λυμάτων μη τυπικής αστικής σύστασης και οργανικών διαλυτών BTEX, τα οποία θα μπορούσαν με τη σειρά τους να χρησιμοποιηθούν ως δεδομένα για περαιτέρω έρευνα.

Τα κυριότερα συμπεράσματα από αυτά συνοψίζονται στη συνέχεια αυτού του κεφαλαίου:

- Όπως παρατηρήθηκε από τις αναλύσεις των δειγμάτων, το μόνο κοινό χαρακτηριστικό που εμφάνισαν τα δείγματα που παρουσίαζαν υψηλή αναχαιτίση είναι η καταγραφή υψηλών συγκεντρώσεων οργανικού άνθρακα μετρημένου σε όρους COD. Πιο συγκεκριμένα οι τιμές που παρατηρήθηκαν ξεπερνούσαν τα 2000mg/lit. Ακόμη το κυρίαρχο γνώρισμά τους ήταν η έντονη οσμή διαλυτικού, η οποία επαληθεύονταν με υψηλές τιμές συγκέντρωσης διαλυτικού white spirit.
- Σε ότι αφορά τα λύματα μη τυπικής σύστασης, όσο πιο τοξικά ήταν (μεγαλύτερη αναχαιτίση), οι νιτροποιητές αναχαιτίζονταν περισσότερο από τους νιτροδοποιητές, με αποτέλεσμα την παρουσία μεγαλύτερων συγκεντρώσεων νιτροδών στο τέλος του πειράματος, από ότι συνήθως. Το φαινόμενο αυτό παρουσιάζονταν εντονότερα στα πειράματα με βιομάζα από τον SBR του EYT.
- Η βιομάζα που καλλιεργήθηκε στον αντιδραστήρα εναλλασσόμενων φάσεων του EYT παρήγαγε νιτρώδη με μεγαλύτερο ρυθμό από αυτόν με τον οποίο μετέτρεπε να νιτρώδη σε νιτρικά. Το φαινόμενο αυτό δεν παρατηρείται στη βιομάζα του ΚΕΛ Ψυττάλειας και ίσως οφείλεται στη μικρή κλίμακα του αντιδραστήρα του εργαστηρίου.
- Οι συγκεντρώσεις BTEX των δειγμάτων μη τυπικής σύστασης που εξετάστηκαν στην πρώτη σειρά πειραμάτων είναι σημαντικά μικρότερες από τις συγκεντρώσεις που προέκυψαν τοξικές στη δεύτερη σειρά

πειραμάτων. Επομένως η τοξικότητά των δειγμάτων μη τυπικής σύστασης δεν οφείλεται στην παρουσία ΒΤΕΧ.

- Στη δεύτερη σειρά πειραμάτων, οι συγκεντρώσεις ΒΤΕΧ που εξετάστηκαν, εμφάνισαν πολύ μικρότερες αναχαιτίσεις από ότι αναμένονταν από την βιβλιογραφική ανασκόπηση που διεξήχθη. Πιθανότατα αυτό συνέβη διότι ο χρόνος επαφής με τα ΒΤΕΧ ήταν λίγος, δηλαδή η βιομάζα δεν ήταν εγκλιματισμένη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική βιβλιογραφία

- ❖ Brock Biology of Microorganisms – Brock: Βιολογία των μικροοργανισμών, Ελληνική μετάφραση (2005). Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.
- ❖ Ανδρεαδάκης Α. (2011). Επεξεργασία Λυμάτων – Βασικές αρχές και διεργασίες. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ
- ❖ Ανδρεαδάκης Α., Πανταζίδου Μ., Σταθόπουλος Α. (2008). Περιβαλλοντική Τεχνολογία, Εκδ. Συμμετρία.
- ❖ Γεωργιοπούλου Γ. Μ. (2007). Διδακτορική Διατριβή «Ανάπτυξη μεθόδων για την επιλογή της καλύτερης διαθέσιμης τεχνολογίας για την επεξεργασία υγρών βιομηχανικών αποβλήτων». Πανεπιστήμιο Πατρών
- ❖ Λυμπεράτος Γ. (2001). Μηχανική Υγρών Αποβλήτων, Πανεπιστήμιο Πατρών
- ❖ Νουτσόπουλος Κ., Μαμάης Δ., Σημειώσεις Μεταπτυχιακού Μαθήματος ΕΜΠ «Προχωρημένες Μέθοδοι Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων»
- ❖ Μαμάης Δ., Σημειώσεις Μεταπτυχιακού Μαθήματος ΕΜΠ «Εργαστηριακές Μέθοδοι Υγειονομικής Τεχνολογίας»
- ❖ Κουρής Ν. Α. (2005). Μεταπτυχιακή Διατριβή «Διερεύνηση εναλλακτικών μεθόδων προσδιορισμού τοξικότητας υγρών αποβλήτων»

Διεθνής Βιβλιογραφία

- ❖ «Ethylbenzene in Drinking-water», Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality
- ❖ «Xylenes in Drinking-water», Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality
- ❖ Ben-Youssef C., Zepeda A., Texier A.-C. and Gomez J. (2008). «A two-step nitrification model of ammonia and nitrite oxidation under benzene inhibitory and toxic effects in nitrifying batch cultures». Chemical Engineering Journal 152 (2009) 264–270
- ❖ Zepeda A., Texier A.-C. and Gomez J. (2007). «Batch nitrifying cultures in presence of mixtures of benzene, toluene and m-xylene». Article in Environmental Technology · March 2007
- ❖ Zepeda A., Texier A.-C. and Gomez J. (2003). «Benzene Transformation in Nitrifying Batch Cultures». Biotechnol. Prog. 2003, 19, 789-793
- ❖ Lajoie C. A., Lin S.-C. and Kelly C. J. (2003). «Comparison of Bacterial Bioluminescence with Activated Sludge Oxygen Uptake Rates during Zinc Toxic Shock Loads in a Wastewater Treatment System». Journal of environmental engineering © ASCE / September 2003 / 879
- ❖ Braam F. and Klapwijk A. (1980). «Effect of Copper on nitrification in activated sludge». *Water Research* Vol. 15. pp. 1093 to 1098. 1981

- ❖ You S. J., Tsai Y. P. and Huangb R. Y. (2008). «Effect of heavy metals on nitrification performance in different activated sludge processes». *Journal of Hazardous Materials* 165 (2009) 987–994
- ❖ Yetis U. and Gokcay C. (1989). «Effect of nickel on activated sludge». *Wat. Res.* Vol. 23, No. 8, pp. 1003-1007, 1989
- ❖ Chen Y., Li J., Lei C. and Shim H. «Effects of Temperature, pH, and DO on the Bioremoval of Mixtures of BTEX/TPH/TCE from Contaminated Water». Department of Civil and Environmental Engineering Faculty of Science and Technology, University of Macau 978-1-4244-5089-3/11/\$26.00 ©2011 IEEE
- ❖ Jiang R., Sun S., Wang K., Hou Z. and Li X. (2013) «Impacts of Cu(II) on the kinetics of nitrogen removal during the wastewater treatment process». *Ecotoxicology and Environmental Safety* 98 (2013) 54–58
- ❖ Lee Y. W., Tian Q., Ong S. K., Sato C. and Chung J. (2009). «Inhibitory Effects of Copper on Nitrifying Bacteria in Suspended and Attached Growth Reactors». *Water Air Soil Pollut* (2009) 203:17–27 DOI 10.1007/s11270-009-9988-9
- ❖ Malamis S., Katsou E., Daskalakis N. and Haralambous K. (2012). «Investigation of the inhibitory effects of heavy metals on heterotrophic biomass activity and their mitigation through the use of natural minerals». *Journal of Environmental Science and Health, Part A*
- ❖ Zepeda A., Texier A.-C., Razo-Flores E. and Gomez J. (2006). « Kinetic and metabolic study of benzene, toluene and m-xylene in nitrifying batch cultures». *Water Research* 40 (2006) 1643 – 1649