



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΔΥΟΣ
ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΧΑΜΗΛΗ ΣΤΑΘΜΗ ΟΞΥΓΟΝΟΥ**

ΝΙΚΟΛΑΟΣ Α. ΤΡΙΧΩΝΑΣ

ΕΞΕΤΑΣΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Ν . ΚΑΛΟΓΕΡΑΚΗΣ (Επιβλέπων Καθηγητής)

Ε . ΓΙΔΑΡΑΚΟΣ

Δ . ΜΑΝΤΖΑΒΙΝΟΣ

ΧΑΝΙΑ 2005

Ευχαριστίες οφείλονται στον καθηγητή κ.Ν.Καλογεράκη, επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας, για την καθοριστική παρουσία του. Καθώς και στην εξεταστική επιτροπή, τους κυρίους Ε.Γιδαράκο και Δ.Μαντζαβίνο.

Ακόμη ευχαριστίες οφείλονται :

- στον κ Γ.Χατζηκωσταντίνου για την καθοδήγησή του κατά την διάρκεια των πειραματικών μετρήσεων, την βοήθεια του στις εργαστηριακές μετρήσεις, αλλά και για την επίλυση των προβλημάτων που συναντήσαμε και αντιμετωπίσαμε επιτυχώς κατά τη διάρκεια της εξάμηνης συνεργασίας μας.
- στην Ε.ΥΔ.ΑΠ. Α.Ε για την παροχή της δυνατότητας πραγματοποίησης των πειραμάτων στο Κέντρο Ερευνών και Εφαρμογών Υγειονομικής Τεχνολογίας (Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ) στη Μεταμόρφωση Αττικής, καθώς και στο διοικητικό, επιστημονικό και τεχνικό προσωπικό του Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ για την συμβολή τους στη διεξαγωγή των πειραμάτων.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	7
Πρόλογος	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	9
Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	9
Νιτροποίηση	9
2.1 Στοιχειομετρία	10
2.2 Κινητικές	12
Παράγοντες που Επιδρούν στην Νιτροποίηση	15
2.3 Διαλυμένο Οξυγόνο	15
2.4 Θερμοκρασία	15
2.5 pH	18
2.6 Αναχαιτιστικές Ουσίες	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	21
Περιγραφή Εγκατάστασης	21
Εργαστηριακές Μετρήσεις	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	29
Παρουσίαση Αποτελεσμάτων Πειραματικής Έρευνας	29
4.1 1 ^η Φόρτιση	29
4.2 2 ^η Φόρτιση	36
4.3 3 ^η Φόρτιση	42
4.4 4 ^η Φόρτιση	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	55
Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων	55
5.1 Απομάκρυνση Οργανικού Φορτίου	55
5.2 Απομάκρυνση Αζώτου	61
5.2.1 Επίδραση της φόρτισης στην νιτροποίηση	61
5.2.2 Επίδραση της θερμοκρασίας στη νιτροποίηση	69
5.2.3 Συσχέτιση της νιτροποίησης με τη στάθμη του διαλυμένου οξυγόνου	72
5.3 Αναχαίτιση	74

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	77
Συμπεράσματα	77
Βιβλιογραφία	79

Περίληψη

Στην εργασία αυτή εξετάζεται πειραματικά μονοβάθμιο σύστημα προ απονιτροποίησης ενεργού ιλύος για την πραγματοποίηση βιολογικής απομάκρυνσης αζώτου καθώς και οργανικού φορτίου. Η μονάδα στην οποία πραγματοποιήθηκαν τα πειράματα βρίσκεται στο Κέντρο Ερευνών και Εφαρμογών Υγειονομικής Τεχνολογίας (Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ) της ΕΥΔΑΠ στην Μεταμόρφωση Αττικής. Στην συγκεκριμένη μονάδα η νιτροποίηση και η απονιτροποίηση πραγματοποιούνται ταυτόχρονα κάτω από χαμηλή στάθμη διαλυμένου οξυγόνου σε δυο διαφορετικές φορτίσεις καθώς και κάτω από μεγαλύτερες συγκεντρώσεις οξυγόνου.

Η πειραματική περίοδος χωρίστηκε σε τέσσερις υποπεριόδους. Οι συνθήκες λειτουργίας της μονάδας σε κάθε μια από τις περιόδους ήταν διαφορετικές. Οι παράμετροι που μεταβλήθηκαν ήταν α) η οργανική φόρτιση και β) η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου. Στην πρώτη περίοδο οι παράμετροι κυμάνθηκαν περί των τιμών, οργανική φόρτιση $F/M = 0.11 \text{ kg COD/kg MLSS.d}$, συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου $DO = 0.31 \text{ mg/l}$, θερμοκρασία $T = 23.8^\circ\text{C}$. Στην δεύτερη περίοδο περί των τιμών, οργανική φόρτιση $F/M = 0.08 \text{ kg COD/kg MLSS.d}$, συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου $DO = 1.34 \text{ mg/l}$, θερμοκρασία $T = 24.6^\circ\text{C}$. Στην τρίτη περίοδο οι τιμές των παραμέτρων ήταν, οργανική φόρτιση $F/M = 0.23 \text{ kg COD/kg MLSS.d}$, συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου $DO = 2.38 \text{ mg/l}$, θερμοκρασία $T = 24.4^\circ\text{C}$. Τέλος στην τέταρτη περίοδο οι παράμετροι κυμάνθηκαν περί των τιμών, οργανική φόρτιση $F/M = 0.24 \text{ kg COD/kg MLSS.d}$, συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου $DO = 0.9 \text{ mg/l}$, θερμοκρασία $T = 22.4^\circ\text{C}$.

Τα συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν ύστερα από την εξάμηνη παρακολούθηση της μονάδας κάτω από διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας επιγραμματικά είναι : α) Οι υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούν στην Ελλάδα ευνοούν την λειτουργία συστημάτων κάτω απο περιοριστικές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου. β) Η απομάκρυνση τόσο της αμμωνίας όσο και του οργανικού φορτίου μπορεί να είναι ικανοποιητική και κάτω από χαμηλή συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου ($DO=1.0\text{mg/l}$). γ) Το σύστημα αερισμού το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην μονάδα (στατικοί διαχυτές PULSAR) μας παρείχε την δυνατότητα να μπορούμε να δουλεύουμε τη μονάδα κάτω από χαμηλή στάθμη οξυγόνου

διατηρώντας έντονη ανάδευση στις δεξαμενές. Ακόμα η ένταση της ανάδευσης ήταν υψηλή με συνέπεια το μέγεθος των κροκίδων να είναι σχετικά μικρό και κατ' επέκταση να ευνοείται η λειτουργία του συστήματος κάτω από χαμηλή στάθμη διαλυμένου οξυγόνου.

δ) Οι επιπτώσεις των φαινομένων αναχαίτισης της νιτροποίησης στο σύστημα είναι τόσο μεγαλύτερες όσο μικρότερη είναι η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Πρόλογος

Στην εποχή μας η ανάγκη για προστασία του περιβάλλοντος έχει γίνει επιτακτική. Η κάθε μορφή ρύπανσης και καταστροφής του οικοσυστήματος δημιουργεί σοβαρά προβλήματα για την ίδια τη ζωή του ανθρώπου. Μια σημαντική μορφή ρύπανσης είναι αυτή που οφείλεται στα αστικά και βιομηχανικά λύμματα. Η διάθεση των αποβλήτων αυτών σε αποδέκτες (θάλασσες, λίμνες, υδατορέματα, υπόγεια νερά) χωρίς προηγούμενη επεξεργασία τους μπορεί να έχει καταστροφικές συνέπειες λόγω της υψηλής τους συγκέντρωσης σε οργανικές ύλες, άζωτο, φώσφορο, και σε ανόργανες τοξικές ύλες.

Για το λόγο αυτό είναι πλέον αναγκαία η μείωση των συγκεντρώσεων αυτών ανάλογα με τη φύση του αποδέκτη. Πιο συγκεκριμένα το άζωτο υπάρχει στα λύμματα σε σημαντικές ποσότητες με τη μορφή κυρίως αμμωνίας και οργανικού αζώτου. Με τη διάθεση των λυμάτων σε επιφανειακούς αποδέκτες ή στο έδαφος έχει διαπιστωθεί ότι μπορεί να δημιουργηθούν ορισμένα σημαντικά προβλήματα που οφείλονται σε μια σειρά από διαφορετικούς λόγους : α) στο ότι η αμμωνία είναι τοξική για τους υδρόβιους οργανισμούς και ιδιαίτερα για τις ανώτερες μορφές όπως τα ψάρια, β) στην αποξυγόνωση των αποδεκτών κατά την νιτροποίηση, την οξείδωση δηλαδή των αμμωνιακών προς νιτρικά, με σημαντική ζήτηση οξυγόνου, γ) την τοξικότητα των νιτρικών λόγω υψηλών συγκεντρώσεων τους στα υπόγεια αλλά και στα επιφανειακά νερά, καθώς και δ) στην παρουσία αζώτου ανεξαρτήτως μορφής που ως βασικό θρεπτικό συστατικό για τα υδρόβια φυτά και τα άλγη, μπορεί να οδηγήσει τους αποδέκτες σε ευτροφισμό.

Η επεξεργασία που μπορούν να υποστούν τα υγρά απόβλητα διακρίνεται σε πρωτοβάθμια, δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια και σε αυτές εμπλέκονται πληθώρα φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών. Η πιο συχνή και συστηματοποιημένη διαδικασία εκτέλεσης των παραπάνω τριών σταδίων επεξεργασίας των λυμάτων είναι τα συμβατικά ή μηχανικά συστήματα επεξεργασίας όπου οι διεργασίες συντελούνται διαδοχικά και σε διαφορετικούς σε σειρά αντιδραστήρες ή σε δεξαμενές με επιταχυνόμενους ρυθμούς σε σχέση με τους φυσικούς.

Η πρωτοβάθμια επεξεργασία περιλαμβάνει απλές φυσικές διεργασίες όπως είναι ο εσχαρισμός, η επίπλευση, η διήθηση, η χρήση λιποσυλλεκτών και αμμοσυλλεκτών. Σκοπός της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας είναι η απομάκρυνση με φυσικό τρόπο των αιωρούμενων στερεών.

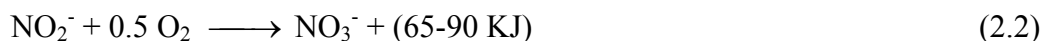
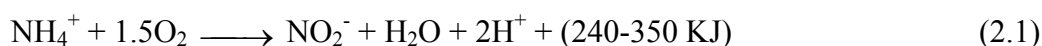
Η δευτεροβάθμια επεξεργασία των αποβλήτων διακρίνεται σε αερόβια και αναερόβια. Σκοπός της επεξεργασίας αυτής είναι η διάσπαση των οργανικών ουσιών από τους μικροοργανισμούς παρουσία ή απουσία οξυγόνου. Η αναερόβια επεξεργασία χρησιμοποιείται κυρίως για τη χώνευση λάσπης, που προέρχεται από τα αερόβια συστήματα βιολογικής επεξεργασίας. Η αερόβια επεξεργασία αποτελεί τη συνηθέστερη μορφή δευτεροβάθμιου καθαρισμού. Είναι πολύ ταχύτερη από την αναερόβια και δίνει τελική απορροή αποδέκτη για απευθείας διάθεση στο περιβάλλον. Η λειτουργία συστημάτων αερόβιας επεξεργασίας βασίζεται στην ανάμιξη του υγρού απόβλητου με κατάλληλες καλλιέργειες αερόβιων μικροοργανισμών, σε κατάλληλους αεριζόμενους βιοαντιδραστήρες όπου τα διαλυτά και κolloειδή ρυπαντικά φορτία του αποβλήτου εκφρασμένα σαν BOD, ολικό άζωτο, ολικό φώσφορο κ.α. βιομετατρέπονται σε προϊόντα εύκολα διαχωριζόμενα από την υγρή φάση. Τα προϊόντα αυτά είναι CO₂, N₂ και νέα κυτταρική μάζα. Οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι αερόβιας βιολογικής επεξεργασίας που συναντούμε σε μονάδες επεξεργασίας λυμμάτων είναι οι αεριζόμενες δεξαμενές, τα βιολογικά φίλτρα, οι βιόπυργοι, οι περιστρεφόμενοι βιολογικοί δίσκοι και οι μέθοδοι ενεργούς ιλύος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Νιτροποίηση

Η νιτροποίηση είναι η βιολογική διεργασία μετατροπής του αμμωνιακού αζώτου ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), σε νιτρικά ($\text{NO}_3\text{-N}$). Είναι μια αυτοτροφική διεργασία, κατά την οποία η ενέργεια που απαιτείται από τους μικροοργανισμούς που την πραγματοποιούν λαμβάνεται από την οξείδωση ανόργανων ενώσεων του αζώτου, ενώ για την σύνθεση νέας κυτταρικής μάζας χρησιμοποιείται ανόργανος άνθρακας. Πραγματοποιείται σε δυο στάδια, σύμφωνα με τις παρακάτω αντιδράσεις (Painter, 1970; E.P.A., 1975) :

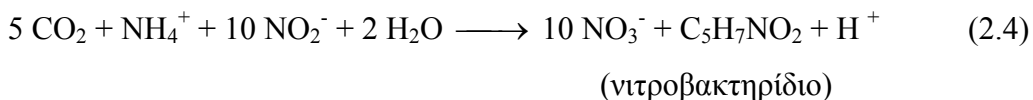
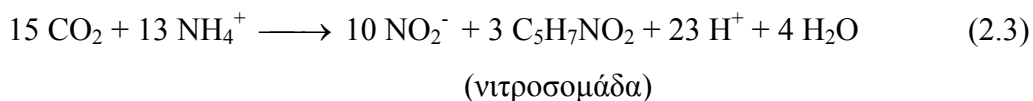


Στο πρώτο στάδιο η οξείδωση του αμμωνιακού αζώτου προς νιτρώδη ($\text{NO}_2\text{-N}$) πραγματοποιείται από μικροοργανισμούς που ανήκουν στα γένη *Nitrosomonas* (Νιτρισομονάδα). Στο δεύτερο στάδιο η μετατροπή των νιτρώδων σε νιτρικά ($\text{NO}_3\text{-N}$), πραγματοποιείται κυρίως από μικροοργανισμούς που ανήκουν στα γένη *Nitrobacteria* (Νιτροβακτηρίδιο). Η Νιτροσομάδα όσο και το Νιτροβακτηρίδιο, είναι αυστηρά αερόβιοι μικροοργανισμοί, απαιτούν δηλαδή την παρουσία οξυγόνου για την ανάπτυξη τους, χρησιμοποιώντας ως τροφή τις αντίστοιχες μορφές αζώτου ($\text{NH}_4\text{-N}$ και $\text{NO}_2\text{-N}$). Η συμπεριφορά τους ωστόσο κάτω από συνθήκες έλλειψης οξυγόνου, είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα. Το Νιτροβακτηρίδιο έχει την δυνατότητα, κάτω από συνθήκες απουσίας οξυγόνου, να ανάγει τα νιτρικά προς νιτρώδη σύμφωνα με την αντίστροφη αντίδραση αυτής που παρουσιάζεται στην εξίσωση 2.2 (Sharma & Ahlert, 1977)

2.1 Στοιχειομετρία

Οι νιτροποιητές εκτός από άζωτο ως τροφή για απόληψη ενέργειας και οξυγόνο, απαιτούν επίσης ανόργανο άνθρακα για την σύνθεση οργανικής κυτταρικής ύλης, με το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας, που παράγεται κατά την οξείδωση των ανόργανων μορφών αζώτου (NH_4^+ , $\text{NO}_2\text{-N}$), να καταναλώνεται στην αναγωγή του ανόργανου άνθρακα προς οργανικές μορφές (Γ.Ι.Χατζηκωσταντινίου, 2000).

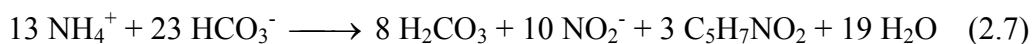
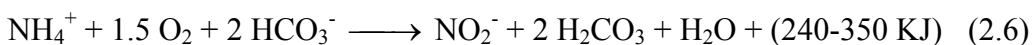
Με την υπόθεση ότι η χημική σύσταση της κυτταρικής μάζας της Νιτροσομάδας και του Νιτροβακτηριδίου μπορεί να αντιπροσωπευθεί από τον τύπο $\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$, η στοιχειομετρία της κυτταρικής ανάπτυξης μπορεί να εκφραστεί με τις παρακάτω εξισώσεις (E.P.A. 1975 ; Sharma & Ahlert, 1977)

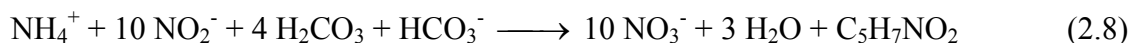


Το διοξείδιο του άνθρακα CO_2 , θεωρούμενο ως πηγή άνθρακα, βρίσκεται στα συστήματα σε ισορροπία με άλλες μορφές σύμφωνα με την αντίδραση :

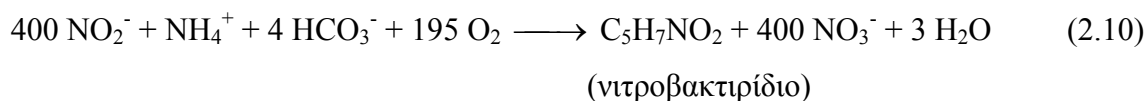
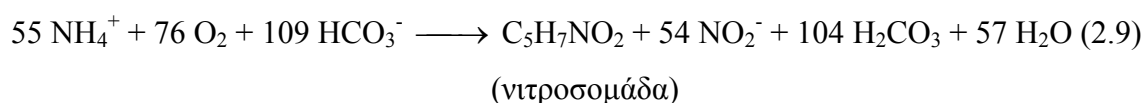


Τα ιόντα υδρογόνου που παράγονται κατά τις αντιδράσεις 2.1, 2.3 και 2.4, αντιδρούν με τις διττανθρακικές ρίζες σύμφωνα με την αντίδραση 2.5 η οποία μπορεί να ενσωματωθεί στις προαναφερθείσες για να δώσει :

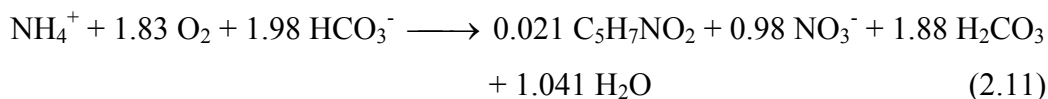




Καθώς η ενέργεια που παράγεται κατά την αντίδραση 2.6, χρησιμοποιείται για την σύνθεση της κυτταρικής μάζας κατά την αντίδραση 2.7, οι δυο αντιδράσεις μπορούν να συνδυαστούν υποθέτοντας ένα συντελεστή απόδοσης για την νιτροσομάδα ίσο με 0.15 gVSS/gNH₄⁺-N. Με παρόμοιο τρόπο, οι αντιδράσεις 2.1 και 2.8, μπορούν επίσης να συνδυαστούν για να δώσουν (E.P.A.,1975):



Η συνολική αντίδραση για την σύνθεση των νιτροποιητών και την οξείδωση, που προκύπτει από τον συνδυασμό των παραπάνω αντιδράσεων 2.9 και 2.10 είναι :



Η εξίσωση 2.11 αναδεικνύει τρεις σημαντικούς παράγοντες που επηρεάζουν την νιτροποίηση στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων :

1. Την πολύ χαμηλή ανάπτυξη κυτταρικής μάζας ανά μονάδα βάρους οξειδούμενου αζώτου
2. Τις σημαντικές απαιτήσεις οξυγόνου που ανέρχονται περίπου σε 4.2 gO₂ για κάθε gNH₄⁺-N που απομακρύνεται
3. Την απαιτούμενη αλκαλικότητα, για την εξισορρόπηση των ιόντων υδρογόνου, που παράγονται κατά την νιτροποίηση. Αυτή η αλκαλικότητα ανέρχεται περίπου σε 7 gCaCO₃ για κάθε gNH₄⁺-N (Γ.Ι.Χατζηκωσταντίνου, 2000)

2.2 Κινητικές

Ο όρος κινητικές, χρησιμοποιείται για τις σχέσεις εκείνες που περιγράφουν τον ρυθμό με τον οποίο πραγματοποιούνται οι αντιδράσεις ανάπτυξης των μικροοργανισμών. Η ευρύτερα υιοθετούμενη προσέγγιση, για την περιγραφή της διεργασίας και την προσαρμογή δεδομένων από διάφορες μελέτες της νιτροποίησης, είναι η χρήση των σχέσεων τύπου Monod (W.P.C.F 1983) . Η σχέση Monod είναι :

$$\mu = \hat{\mu} \cdot S / (K_s + S)$$

όπου : μ = ειδικός ρυθμός ανάπτυξης των μικροοργανισμών (d^{-1})

$\hat{\mu}$ = μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης των μικροοργανισμών (d^{-1})

S = συγκέντρωση περιοριστικού παράγοντα (τροφής) στην υγρή φάση (mg/l)

K_s = σταθερά κορεσμού για τον περιοριστικό παράγοντα (mg/l).

Για την περιγραφή επομένως του ρυθμού ανάπτυξης της νιτροσομάδας και του νιτροβακτηριδίου χρησιμοποιούνται αντίστοιχα οι σχέσεις :

$$\mu_{NS} = \hat{\mu}_{NS} \times [NH_4^+ - N] / (K_{NS} + [NH_4^+ - N])$$

$$\mu_{NB} = \hat{\mu}_{NB} \times [NO_2^- - N] / (K_{NB} + [NO_2^- - N])$$

Ο ρυθμός κατανάλωσης τροφής ($NH_4^+ - N$ και $NO_2^- - N$) προκύπτει ως το πηλίκο του ειδικού ρυθμού ανάπτυξης των μικροοργανισμών δια του συντελεστή απόδοσης, σύμφωνα με τη γενική σχέση :

$$U = \mu / Y$$

όπου : U = ειδικός ρυθμός κατανάλωσης τροφής (d^{-1})

Y = συντελεστής απόδοσης (mg/mg)

Οι αναφορές σχετικά με τους ρυθμούς ανάπτυξης των νιτροποιητών ποικίλουν, καθώς όμως η νιτροποίηση είναι μια αλληλουχία διεργασιών (δηλ. $\text{NH}_4^+ \longrightarrow \text{NO}_2^- \longrightarrow \text{NO}_3^-$), ο συνολικός ρυθμός της συνήθως καθορίζεται από τον ρυθμό της αντίδρασης που πραγματοποιείται από την νιτροσομάδα, κατά συνέπεια είναι δυνατή η περιγραφή όλης της διεργασίας με την κινητική ανάπτυξη της νιτροσομάδας και η χρησιμοποίηση των σχέσεων (W.P.C.F, 1983) :

$$\mu_N = \hat{\mu}_N \times [\text{NH}_4^+ - \text{N}] / (K_N + [\text{NH}_4^+ - \text{N}])$$

$$U = \mu_N / Y_N$$

Ο δείκτης N, υποδηλώνει ότι πρόκειται για κινητικές σχέσεις και παραμέτρους που αφορούν την νιτροποίηση και τους νιτροποιητικούς οργανισμούς συνολικά.

Ο χρόνος παραμονής ιλύος αποτελεί την κρισιμότερη παράμετρο σχεδιασμού σε ένα σύστημα νιτροποίησης και ορίζεται ως ο λόγος της ολικής βιομάζας στο υπό εξέταση σύστημα, προς την ποσότητα της βιομάζας που απομακρύνεται από το σύστημα καθημερινά. Η ελάχιστη τιμή αυτής της παραμέτρου προκύπτει θεωρώντας ότι κάτω από συνθήκες ισορροπίας, η ποσότητα των νιτροποιητών που αναπτύσσονται καθημερινά, ισούται με την ποσότητα που εγκαταλείπει το σύστημα συμπεριλαμβανομένου και του ειδικού ρυθμού θανάτωσης των μικροοργανισμών (Γ.Ι.Χατζηκωσταντίνου, 2000) :

$$1/\theta_c = \hat{\mu}_N - b_N \quad (2.12)$$

όπου : θ_c = χρόνος παραμονής ιλύος (d),

b_N = συντελεστής θανάτωσης των μικροοργανισμών (d^{-1}).

Για να είναι επομένως δυνατή η ανάπτυξη των νιτροποιητών, είναι αναγκαίο ο εφαρμοζόμενος χρόνος παραμονής της ιλύος να μην είναι μικρότερος από την τιμή που προκύπτει από την σχέση 2.12. Ενδεικτικές τιμές των κινητικών και στοιχειομετριών σταθερών που υπεισέρχονται στην εξέταση της νιτροποίησης, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Γ.Ι.Χατζηκωσταντίνου, 2000).

Παράμετρος	Νιτροσομάδα	Νιτροβακτηρίδιο
συντελεστής απόδοσης Y	0.03 – 0.13	0.02 – 0.08
μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης $\hat{\mu}$ (d^{-1})	0.46 – 2.2	0.28 – 1.44
σταθερά κορεσμού mg/l	0.15 – 2.0	
τροφή $[N]$	0.06 -5.6	0.06 – 8.4

Πίνακας 1. Κινητικές και στοιχειομετρικές παράμετροι των νιτροποιητών

Η ανάπτυξη των νιτροποιητών μπορεί, εκτός από την διαθεσιμότητα της τροφής εκείνης που αποτελεί την πηγή ενέργειας (NH_4^+-N και NO_2^--N), μπορεί να περιοριστεί και από την τροφή που είναι απαραίτητη ως πηγή άνθρακα (CO_2 , H_2CO_3 , HCO_3^-) για τη σύνθεση.

Στα συνήθως εξεταζόμενα συστήματα επεξεργασίας λυμάτων, το διοξείδιο του άνθρακα βρίσκεται σε περίσσεια ως προϊόν οξείδωσης οργανικών ενώσεων και δεν αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για την ανάπτυξη των νιτροποιητών, εκτός από την περίπτωση πολύ πυκνών μικροβιακών κοινοτήτων, στις οποίες η μοναδική πηγή ανόργανου άνθρακα είναι το διοξείδιο του άνθρακα στον αέρα που χρησιμοποιείται για την ανάδευση και τον αερισμό της βιομάζας (Loveless & Painter, 1968)

Άλλοι παράγοντες όπως η παρουσία του διαλυμένου οξυγόνου, το pH, η θερμοκρασία καθώς και η παρουσία διάφορων χημικών ουσιών, ασκούν σημαντική επίδραση στην ανάπτυξη των νιτροποιητών και για τον λόγο αυτό έχουν εξεταστεί από πολλούς ερευνητές. Τα σημαντικότερα σημεία παρουσιάζονται παρακάτω.

Παράγοντες που Επιδρούν στην Νιτροποίηση

2.3 Διαλυμένο Οξυγόνο

Η παρουσία του οξυγόνου είναι απολύτως απαραίτητη για την ανάπτυξη τόσο της νιτροσομάδας όσο και του νιτροβακτηρίδιου. Σε χαμηλές συγκεντρώσεις η επίδραση του διαλυμένου οξυγόνου D.O, μπορεί να περιγραφεί με μια σχέση Monod. Η σταθερά κορεσμού, όπως φαίνεται και από τον παραπάνω πίνακα, κυμαίνεται σε αρκετά ευρύ φάσμα τιμών, γεγονός που υποδηλώνει μια σχετική αβεβαιότητα όσον αφορά τις αναμενόμενες τιμές της σταθεράς κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες (Γ.Ι.Χατζηκωσταντινίου, 2000).

Το μέγεθος των κροκίδων, που θα πρέπει να είναι επαρκώς μεγάλο ώστε να απομακρύνονται κατά την τελική καθίζηση, εξαρτάται και από την ένταση με την οποία πραγματοποιείται η ανάδευση στην δεξαμενή αερισμού. Οι μεγάλες κροκίδες, ως αποτέλεσμα ηπιότερης ανάδευσης, οδηγούν σε μεγαλύτερο κλάσμα των μικροοργανισμών κάτω από περιοριστικές συγκεντρώσεις οξυγόνου στο εσωτερικό τους, επομένως και στην ανάγκη διατήρησης υψηλότερης στάθμης D.O στο ανάμικτο υγρό. Έτσι το αποτέλεσμα της χαμηλότερης έντασης ανάδευσης και του μεγαλύτερου μεγέθους των κροκίδων, προκύπτει ότι είναι η αύξηση της τιμής της φαινόμενης σταθεράς κορεσμού (Γ.Ι.Χατζηκωσταντινίου, 2000).

2.4 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία ασκεί έντονη επίδραση στην νιτροποίηση, τόσο στους ρυθμούς ανάπτυξης των νιτροποιητών όσο και στις αντίστοιχες σταθερές κορεσμού (E.P.A 1985, W.P.C.F 1983). Η βέλτιστη θερμοκρασία φαίνεται ότι βρίσκεται στο εύρος από 28 έως 36 °C ενώ παράλληλα έχει αναφερθεί ότι οι νιτροποιητικές διεργασίες δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν σε θερμοφιλικές θερμοκρασίες 50 έως 60 °C (Sharma & Ahlert 1977, Henze et al 1995b).

Η απόκριση των νιτροποιητών στις μεταβολές της θερμοκρασίας έχει βρεθεί ότι ακολουθεί περίπου μια εξίσωση του τύπου (Knowles et al. 1965) :

$$\hat{\mu}_T = \hat{\mu}_{15} \cdot \exp[K \cdot (T-15)]$$

όπου : $\hat{\mu}_T$ & $\hat{\mu}_{15}$ = ο μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης των νιτροποιητών σε θερμοκρασία T & 15 °C (d⁻¹)
K = η σταθερά θερμοκρασίας (°C⁻¹).

Μια εναλλακτική μέθοδος για την έκφραση της επίδρασης της θερμοκρασίας, είναι μέσω του καθορισμού του λόγου των ρυθμών ανάπτυξης για μια αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10 °C, Q₁₀ δηλαδή :

$$Q_{10} = \hat{\mu}_{(T+10)} / \hat{\mu}_T$$

Οι Knowles et al (1965) υπολόγισαν ότι η σταθερά θερμοκρασίας, η αύξηση δηλαδή στον μέγιστο ειδικό ρυθμό ανάπτυξης, για την νιτροσομάδα σε ενεργό ίλη ήταν K = 0.12 ανά °C στο διάστημα μεταξύ 8 °C & 30 °C, με $\hat{\mu}_{15} = 0.18 \text{ d}^{-1}$ και συνεπαγόμενο Q₁₀ = 3.32 . Η σταθερά θερμοκρασίας για το νιτροβακτηρίδιο βρέθηκε ίση με K = 0.059 ανά °C. Οι τιμές ωστόσο που συναντώνται στην βιβλιογραφία διαφέρουν σημαντικά (Sharma & Ahlert 1977). Οι περισσότερες από αυτές αφορούν την νιτροσομάδα, μια και το περιοριστικό στάδιο για την νιτροποίηση σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων, είναι το πρώτο στάδιο, αυτό της οξειδωσης της αμμωνίας από την νιτροσομάδα.

Όσον αφορά τις σταθερές κορεσμού για την νιτροσομάδα και το νιτροβακτηρίδιο, τόσο σχετικά με την τροφή, αμμωνιακά και νιτρώδη, όσο και σχετικά με το οξυγόνο, έχει βρεθεί ότι αυξάνονται με την θερμοκρασία. Οι Knowles et al, πιο συγκεκριμένα, αναφέρουν για την τροφή τις σχέσεις :

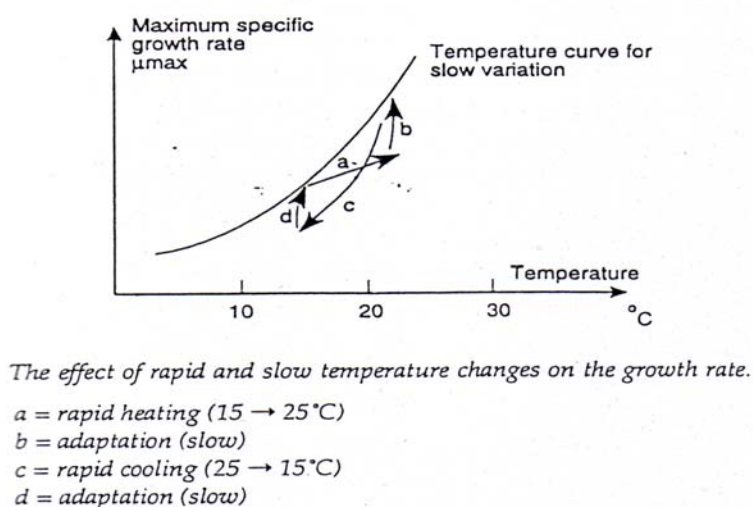
$$K_{NS,T} = K_{NS,15} \cdot \exp[0.118 \cdot (T-15)], \text{ για την νιτροσομάδα \&}$$

$$K_{NB,T} = K_{NB,15} \cdot \exp[0.146 \cdot (T-15)], \text{ για το νιτροβακτηρίδιο,}$$

με $K_{NS,15} = 0.405$ & $K_{NB,15} = 0.625$.

Πέρα από τα παραπάνω, έχει ουσιαστική σημασία να γίνει διάκριση ανάμεσα σε βραχυπρόθεσμη θερμοκρασιακή εξάρτηση, την απόκριση δηλαδή σε θερμοκρασιακή μεταβολή τύπου shock, και σε μακροπρόθεσμη θερμοκρασιακή εξάρτηση. Η βραχυπρόθεσμη εξάρτηση αντανακλά τη δυνατότητα των μικροοργανισμών για άμεση αλλαγή του ρυθμού δραστηριοποίησης τους. Η μακροπρόθεσμη είναι ένας συνδυασμός προσαρμογής των μικροοργανισμών που αρχικά υπάρχουν, καθώς και επιλογή αυτών που ευνοούνται από τις νέες συνθήκες θερμοκρασίας (Henze et.al 1995b).

Από το σχήμα 1 (Henze et.al 1995b) φαίνεται ότι οι νιτροποιητές είναι ιδιαίτερα ευαίσθητοι σε ξαφνικές μεταβολές θερμοκρασίας. Όταν η αύξηση της θερμοκρασίας είναι ταχεία, η αύξηση του ρυθμού ανάπτυξης είναι χαμηλότερη από την αναμενόμενη, ενώ μια απότομη πτώση της θερμοκρασίας οδηγεί σε μια υψηλότερη μείωση της νιτροποιητικής δραστηριότητας, σε σχέση με αυτή που θα μπορούσε να αναμένεται (Γ.Ι.Χατζηκωσταντίνου, 2000).

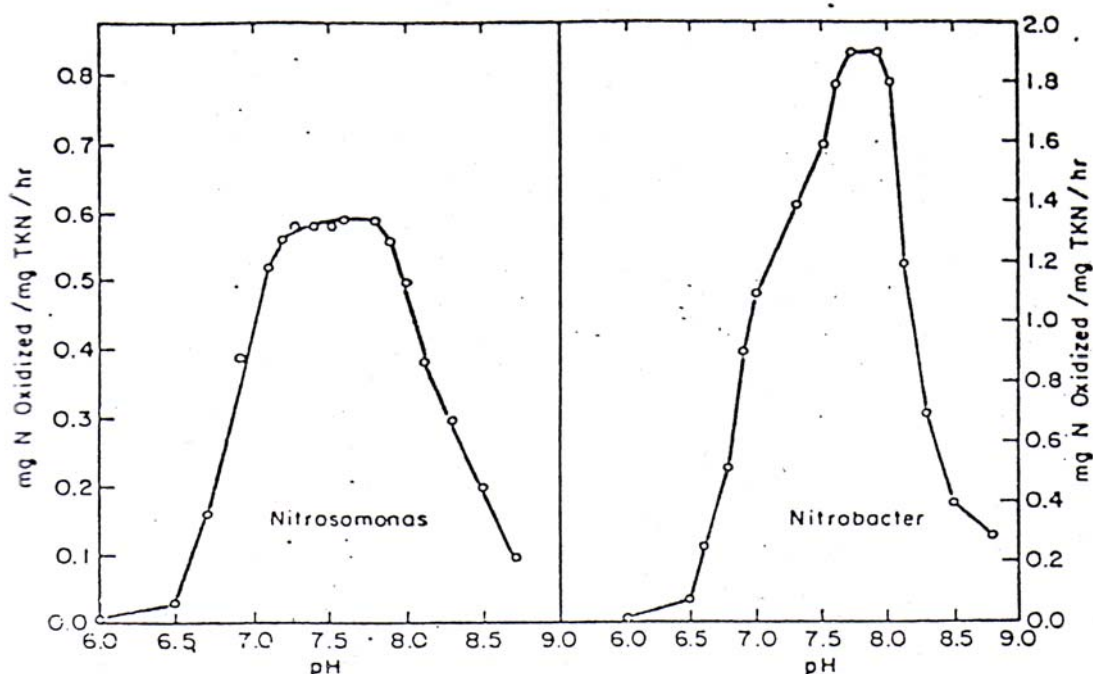


Σχήμα 1. Επίδραση της μεταβολής της θερμοκρασίας στον ρυθμό ανάπτυξης των νιτροποιητών

Η θερμοκρασία αν και επηρεάζει σημαντικά τον ρυθμό της νιτροποίησης είναι μια παράμετρος που είναι εξαιρετικά δύσκολο να ελεγχθεί κατά την λειτουργία μιας εγκατάστασης.

2.5 pH

Κατά την πραγματοποίηση της νιτροποίησης δυο γεγονότα οδηγούν στην ανάγκη θεώρησης του pH. Το πρώτο προκύπτει από το γεγονός ότι η νιτροποίηση προκαλεί μια σημαντική κατανάλωση αλκαλικότητας, δημιουργώντας τη δυνατότητα για μια δραστική μείωση του pH, άρα πιθανότατα και την ανάγκη προσθήκης χημικών (π.χ ασβέστη) για τον έλεγχο του, παράλληλα όμως η διάσπαση της οργανικής ύλης παράγει CO₂, που τείνει να διατηρεί εξισορροπητικά το pH κοντά στην ουδέτερη τιμή. Το δεύτερο είναι ότι οι νιτροποιητές παρουσιάζουν όπως φαίνεται στο σχήμα 2 υψηλή ευαισθησία στο pH (Gray & Lim, 1980).



Σχήμα 2. Επίδραση του pH στην δραστηριότητα των νιτροποιητών σε εμπλουτισμένες καλλιέργειες (Gray & Lim, 1980).

Από το παραπάνω σχήμα όπως επίσης και από άλλους ερευνητές (Sharma & Ahlert, 1977), φαίνεται ότι η βέλτιστη τιμή του pH βρίσκεται στο διάστημα pH = 7.5 έως 8.0 τόσο για την νιτροσομάδα όσο και για το νιτροβακτηρίδιο.

Για την απεικόνιση της επίδρασης του pH στον ρυθμό ανάπτυξης της νιτροσομάδας οι Downing et al, (Downing et al, 1964) πρότειναν για την περιοχή του pH = 6.0 έως 7.2 την έκφραση :

$$\mu = \hat{\mu} \cdot [1 - 0.833 \cdot (7.2 - \text{pH})]$$

όπου $\hat{\mu}$ = ο μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης που λαμβάνεται σταθερός μεταξύ
pH 7.2 & 8.0

ενώ καθώς η νιτροποίηση τείνει να ταπεινώνει το pH, τιμές μεγαλύτερες από pH = 8.0 δεν εξετάστηκαν

2.6 Αναχαιτιστικές Ουσίες

Η διεργασία της νιτροποίησης μπορεί να αναχαιτιστεί από μια ευρεία γκάμα οργανικών και ανόργανων ουσιών. Ανάμεσα στους παράγοντες που επηρεάζουν την ένταση της ανάσχεσης από οποιαδήποτε αναχαιτιστική ουσία, είναι α) η παρουσία άλλων μικροοργανισμών εκτός από τους νιτροποιητές, β) η συγκέντρωση της αναχαιτιστικής ουσίας, γ) η συγκέντρωση των νιτροποιητών, δ) ο τρόπος και η διάρκεια της έκθεσης στην αναχαιτιστική ουσία, ε) το καθεστώς μίξης κάτω από το οποίο πραγματοποιείται η έκθεση, καθώς και στ) η ενδεχόμενη παρουσία άλλων αναχαιτιστικών ουσιών (Sharma & Ahlert, 1977).

Οι ουσίες που προκαλούν αναχαίτιση, δρουν είτε παρεμβαίνοντας γενικά στον μεταβολισμό του κύτταρου είτε διακόπτοντας την αλληλουχία των βασικών αντιδράσεων οξείδωσης

Οι περισσότεροι ισχυρά αναχαιτιστικές ουσίες, που δεν αναχαιτίζουν γενικά την μικροβιακή ανάπτυξη, περιέχουν θείο και δρουν σαν ενώσεις που σχηματίζουν σύμπλοκα μετάλλων. Οι νιτροποιητές είναι ιδιαίτερα ευάλωτοι στην επίδραση παρόμοιων ενώσεων, καθώς πολλά από τα ένζυμα τους απαιτούν την παρουσία μετάλλων για να ενεργοποιηθούν (Gray & Lim, 1980).

Από τις ανόργανες ενώσεις που αναχαιτίζουν την νιτροποίηση, πιο σημαντική κατηγορία είναι τα βαρέα μέταλλα με επιπτώσεις που κυμαίνονται σημαντικά ανάλογα με τις συνθήκες (Henze et.al 1995b).

Μια αντιθέτως χρήσιμη και ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα σε συνδυασμό με την προαναφερόμενη δράση των οργανικών ενώσεων που περιέχουν θείο, ιδιότητα των βαρέων μετάλλων, είναι η ικανότητα του χαλκού και του υδράργυρου να σχηματίζουν σύνθετες ενώσεις με την οργανική ύλη και να αδρανοποιούν με αυτόν το τρόπο ουσίες αναχαιτίσθηκες όπως η θειουρία (Tomlinson et al, 1966).

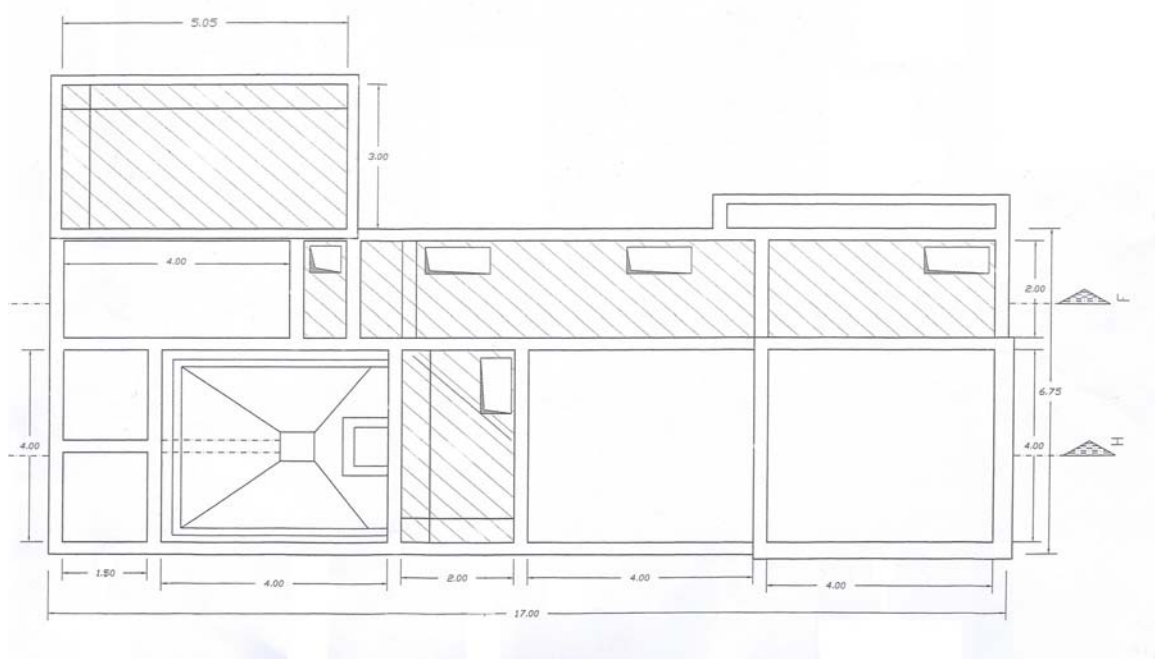
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Περιγραφή Εγκατάστασης

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν στο Κέντρο Ερευνών και Εφαρμογών Υγειονομικής Τεχνολογίας (ΚΕΡΕΦΥΤ) στην Μεταμόρφωση Αττικής. Τα εισερχόμενα λύματα προέρχονται από την μονάδα βιολογικής επεξεργασίας της Μεταμόρφωσης, στην οποία εισρέουν κατά κύριο λόγο αστικά λύματα αλλά σε αρκετές περιπτώσεις παρατηρείται και εισροή αναχαιτιστικών ουσιών.

Η πιλοτική μονάδα στο ΚΕΡΕΦΥΤ αποτελείται από :

- 1) Το αντλιοστάσιο ανύψωσης λυμάτων, το οποίο διοχετεύει τα λύματα που εισέρχονται, μέσω ενός καταθλιπτικού αγωγού
- 2) Χειροκαθαριζομενη σχάρα
- 3) Δεξαμενές αερισμού με σύστημα (AIR LIFT) μεταξύ των δεξαμενών για την ελεγχόμενη διοχέτευση των λυμάτων καθώς και για την ρύθμιση της ανακυκλοφορίας και την εξαγωγή της λάσπης
- 4) Μονάδα δευτεροβάθμιας καθίζησης
- 5) Δεξαμενές με κατάλληλα τοποθετημένες αντλίες ώστε τα διοχετεύουν την αφαιρούμενη λάσπη και την εκροή στην κεντρική μονάδα της Μεταμόρφωσης



Σχήμα 3.1. Κάτοψη Μονάδας.



Εικόνα 1. Γενική άποψη της μονάδας.



Εικόνα 2. Αντλιοστάσιο ανύψωσης λυμάτων.



Εικόνα 3. Χειροκαθαριζόμενη σχάρα.



Εικόνα 4. Κεντρική δεξαμενή αερισμού.



Εικόνα 5. Δεξαμενή τελικής καθίζησης.



Εικόνα 6. Σύστημα αερισμού (στατικοί διάχυτες PULSAR).

Εργαστηριακές Μετρήσεις

Οι εργαστηριακές μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά την διάρκεια λειτουργίας της μονάδας φιλοξενήθηκαν στο εργαστήριο της πιλοτικής εγκατάστασης του Κ.Ε.Ρ.Ε.Φ.Υ.Τ, το οποίο μας παρέχει το σύγχρονο και διεθνώς αναγνωρισμένο εξοπλισμό του.

Κατά την λειτουργία της μονάδας πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις ολικού και διαλυμένου COD (COD_t και COD_s), αμμωνιακών NH_4-N , νιτρικών NO_3-N , ολικού αζώτου TKN, ολικών και εξαερώσιμων αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό MLSS και VSS, μετρήσεις θερμοκρασίας, συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου D.O. στο ανάμικτο υγρό, του δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος (D)SVI, καθώς και μετρήσεις του ρυθμού ζήτησης οξυγόνου O.U.R. Αυτές οι αναλύσεις και μετρήσεις, πραγματοποιήθηκαν σε στιγμιαία δείγματα που λήφθηκαν από την τροφοδοσία, την έξοδο αλλά και από τους αντιδραστήρες. Τέλος μετρήθηκε και η παροχή εισόδου των λυμμάτων

Τα δείγματα εισόδου της μονάδας ήταν σύνθετα $24^{ωv}$ ωρών (ή και 48 τα σαββατοκύριακα) και λήφθηκαν με αυτόματο δειγματολήπτη τύπου E.BUHLER. Αυτοί οι δειγματολήπτες, ένας από τους οποίους φαίνεται στην Εικόνα 7, εκτός από το σύστημα λήψης του δείγματος, παρέχουν και την δυνατότητα διατήρησης του σε χαμηλές θερμοκρασίες $4^{\circ}C$ περίπου, καθώς διαθέτουν ψυγείο



Εικόνα 7. Αυτόματος δειγματολήπτης.

Για τις μετρήσεις των αμμωνιακών $[\text{NH}_4^+-\text{N}]$, νιτρικών $[\text{NO}_3^--\text{N}]$, ολικού αζώτου TKN και COD_t , COD_s χρησιμοποιήθηκε φασματοφωτόμετρο τύπου Spectorguant Nova 400 καθώς και χωνευτήρας TR 620 (Εικόνα 8), με προκατασκευασμένα αντιδραστήρια σε διάφορες κλίμακες συγκεντρώσεων, παρέχοντας την δυνατότητα μεγαλύτερης ακρίβειας όσο αναφορά στις μετρήσεις.



Εικόνα 8. Όργανα μέτρησης συγκεντρώσεων ($[\text{NH}_4^+-\text{N}]$, $[\text{NO}_3^--\text{N}]$, TKN, COD).

Για τις μετρήσεις των αιωρούμενων στέρεων εφαρμόστηκαν οι κλασικές μέθοδοι. Για τις μετρήσεις της στάθμης του διαλυμένου οξυγόνου D.O. στους αντιδραστήρες χρησιμοποιήθηκαν φορητό οξυγονόμετρο τύπου exical-sl, καθώς και οξυγονόμετρα υψηλής ακρίβειας τοποθετημένα σε διάφορα βάθη μέσα στις δεξαμενές. Επίσης για τον έλεγχο και την ευκολότερη αλλαγή της στάθμης οξυγόνου στις δεξαμενές τοποθετήθηκαν παροχόμετρα (Εικόνα 9). Για την εκτίμηση του δείκτη SVI χρησιμοποιήθηκε γυάλινος ογκομετρικός κύλινδρος 1l. Για την καθημερινή μέτρηση της παροχής χρησιμοποιήθηκε μετρητής εγκατεστημένος στον καταθλιπτικό αγωγό του αντλιοστασίου της εγκατάστασης.



Εικόνα 9. Μετρητής παροχής αέρα.

Οι μετρήσεις του ρυθμού κατανάλωσης (OUR), οξυγόνου στο ανάμικτο υγρό, πραγματοποιήθηκαν σε ειδική διάταξη που διαμορφώθηκε για το σκοπό αυτό και φαίνεται στην Εικόνα 10. Οι μετρήσεις του OUR βασίστηκαν στις μεθόδους που εφάρμοσαν οι Kristensen et al. (1992), Nowak et al (1994). Σύμφωνα με τις μεθόδους αυτές, για τον προσδιορισμό του O.U.R που οφείλεται στην αυτοτροφική ζήτηση οξυγόνου, σε ποσότητα βιομάζας που λαμβάνεται από την κεντρική μονάδα αερισμού, γίνεται αρχικά προσθήκη 3.0 ml διαλύματος αμμωνίας, συγκέντρωσης 1000mg/l, ώστε το μίγμα να βρίσκεται σε συγκέντρωση κορεσμού ως προς την αμμωνία. Έπειτα προσθέτουμε 3.0 ml διάλυμα αλλυθειουρίας (A.T.U), συγκέντρωσης 1200mg/l, για την πλήρη ανασχεση της νιτροποίησης. Στις δυο περιπτώσεις μετράμε την τιμή του οξυγόνου σε τακτά χρονικά διαστήματα και υπολογίζουμε τους ρυθμούς κατανάλωσης του (οι τιμές οι οποίες παίρνονται στην αρχή των μετρήσεων καθώς και αυτές που λαμβάνονται σε τιμές χαμηλότερες από 0.5mg/l απορρίπτονται). Ο ρυθμός κατανάλωσης του οξυγόνου από τους

νιτροποιητές συνδέεται με τον ειδικό ρυθμό κατανάλωσης του σύμφωνα με την παρακάτω σχέση.

$$q^N_{O_2} = OUR_N / X_N$$

Όπου : $q^N_{O_2}$: είναι ο ειδικός ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου από τους νιτροποιητές.

OUR_N : είναι ο ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου από τους νιτροποιητές

X_N : είναι η ποσότητα των νιτροποιητών που περιέχονται στη βιομάζα



Εικόνα 10. Διάταξη υπολογισμού O.U.R.

Κατά την διάρκεια των πειραματικών μετρήσεων η ποσότητα των νιτροποιητών που περιέχεται στην βιομάζα δεν ήταν γνωστή. Όμως με την βοήθεια της παρακάτω σχέσης το $q^N_{O_2}$ μπορεί να δοθεί συναρτήσει του $SOUR_N$.

$$q^N_{O_2} = OUR_N / X_N = (OUR_N / X_T) \times (X_T / X_N) = SOUR_N \times (X_T / X_N) \quad \eta$$

$$SOUR_N = q^N_{O_2} \times Y_N$$

Όπου Y_N : είναι το ποσοστό των νιτροποιητών που περιέχονται στην βιομάζα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Παρουσίαση Αποτελεσμάτων Πειραματικής Έρευνας

Φορτίσεις Υπό Μόνιμες Συνθήκες

Η πειραματική περίοδος χωρίστηκε σε τέσσερις υποπεριόδους. Οι συνθήκες λειτουργίας της μονάδας σε κάθε μια από της περιόδους ήταν διαφορετικές. Οι παράμετροι που μεταβλήθηκαν ήταν α) η οργανική φόρτιση και β) η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου.

Στην 1^η Φόρτιση οι παράμετροι κυμάνθηκαν περί των τιμών, οργανική φόρτιση $F/M = 0.11 \text{ kgCOD/kgMLSS.d}$, συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου $DO = 0.31 \text{ mg/l}$, θερμοκρασία $T = 23.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Στην 2^η Φόρτιση περί των τιμών, οργανική φόρτιση $F/M = 0.08 \text{ kgCOD/kgMLSS.d}$, συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου $DO = 1.34 \text{ mg/l}$, θερμοκρασία $T = 24.6^{\circ}\text{C}$. Στην 3^η Φόρτιση οι τιμές των παραμέτρων ήταν, οργανική φόρτιση $F/M = 0.23 \text{ kgCOD/kgMLSS.d}$, συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου $DO = 2.38 \text{ mg/l}$, θερμοκρασία $T = 24.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Τέλος στην 4^η Φόρτιση οι παράμετροι κυμάνθηκαν περί των τιμών, οργανική φόρτιση $F/M = 0.24 \text{ kgCOD/kgMLSS.d}$, συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου $DO = 0.9 \text{ mg/l}$, θερμοκρασία $T = 22.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

4.1 1^η Φόρτιση

Η πρώτη φόρτιση πραγματοποιήθηκε κατά το διάστημα 8/6 έως 9/7. Σε αυτό το διάστημα έχουμε διακοπτόμενη παροχή λυμάτων δηλαδή τροφοδοτούμε το σύστημα με λύματα 21 ώρες το 24 ωρο. Το σύστημα λειτουργεί κάτω από χαμηλή στάθμη οξυγόνου σε όλες τις δεξαμενές. Τα λειτουργικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στα ακόλουθα διαγράμματα. Στα διαγράμματα αυτά παρουσιάζεται, η κατά την διάρκεια της φόρτισης, ημερήσια διακύμανση των ακόλουθων παραμέτρων : της θερμοκρασίας στην κεντρική δεξαμενή αερισμού, του υδραυλικού χρόνου παραμονής, του λόγου άνθρακα προς άζωτο C/N των εισερχόμενων λυμάτων σε όρους COD προς TKN, της οργανικής φόρτισης F/M,

της συνολικής απομάκρυνσης αμμωνιακού αζώτου, της συγκέντρωσης του ανάμικτου υγρού σε όρους ολικών αιωρούμενων στέρεων, του δείκτη καθιζησιμότητας της λάσπης SVI, καθώς και της φόρτισης της δεξαμενής τελικής καθίζησης.

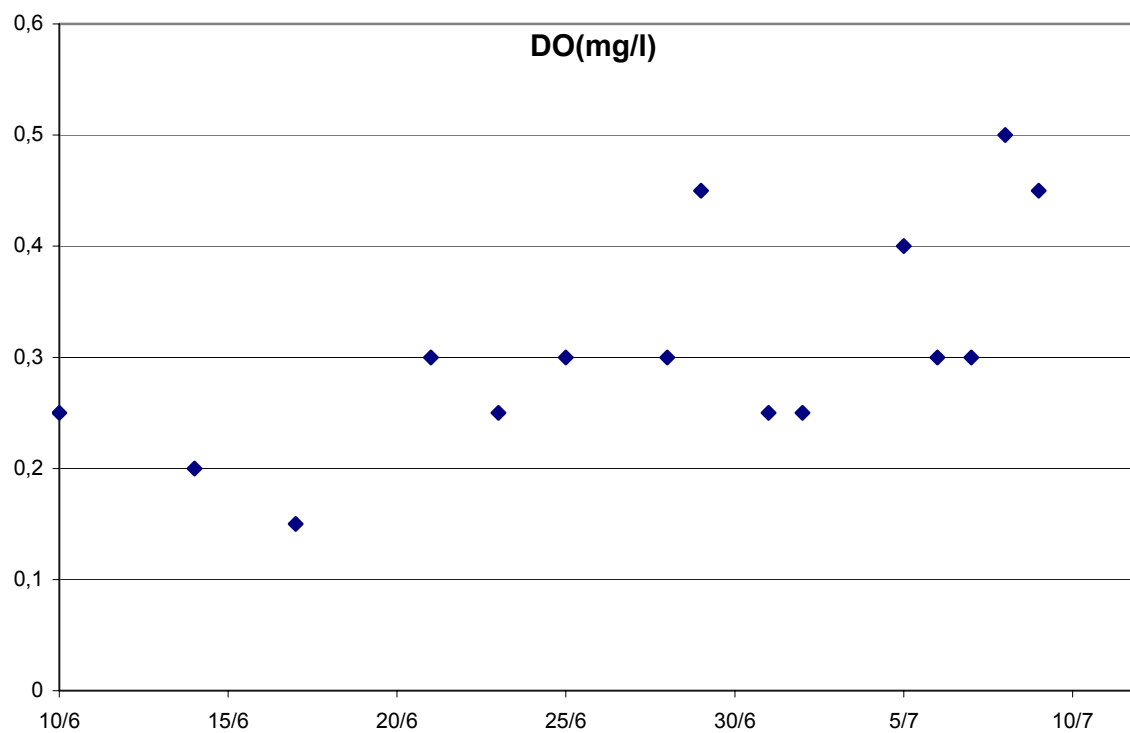
Η ισχύς των εισερχόμενων λυμμάτων ήταν σε μέσες τιμές 695 mg/l COD και TKN= 66 mg/l με λόγο C/N = 10.5. Το σύστημα λειτούργησε με υδραυλικό χρόνο παραμονής HRT = 1d, θερμοκρασία T = 23.8 °C. Η συγκέντρωση του ανάμικτου υγρού κυμάνθηκε περί της τιμής MLSS = 6192 mg/l, η στάθμη του διαλυμένου οξυγόνου ήταν μικρότερη από 1.0 mg/l με μέση τιμή D.O. = 0.31 mg/l, ενώ η ανακυκλοφορία ιλύος από την δεξαμενή καθίζησης ήταν περίπου 120% της παροχής εισόδου. Η οργανική φόρτιση κυμάνθηκε περί τα F/M = 0.11 kgCOD/kgMLSS.d και τα χαρακτηριστικά εξόδου ήταν σε μέσες τιμές COD = 27.5 mg/l, $[\text{NH}_4^+ - \text{N}] = 3.96 \text{ mg/l}$, $[\text{NO}_3 - \text{N}] = 1.22 \text{ mg/l}$

Η απομάκρυνση του οργανικού φορτίου ήταν 96% σε όρους COD. Το ποσοστό απομάκρυνσης του εισερχόμενου φορτίου αμμωνιακού αζώτου ήταν 91.1%, ενώ η ολική απομάκρυνση του αζώτου ήταν 90.5%. Ο δείκτης καθιζησιμότητας κυμάνθηκε έντονα από 141 έως 222. ενώ συχνό ήταν το φαινόμενο διαφυγής στέρεων. Από τις τιμές φόρτισης της δεξαμενής καθίζησης σε συνδυασμό με τα επιτρεπόμενα όρια μπορούμε να δώσουμε μια εξήγηση για την εικόνα της δεξαμενής, αφού οι περισσότερες τιμές ήταν πάνω από το μέγιστο όριο και καμία μέσα στο επιτρεπόμενο εύρος τιμών.

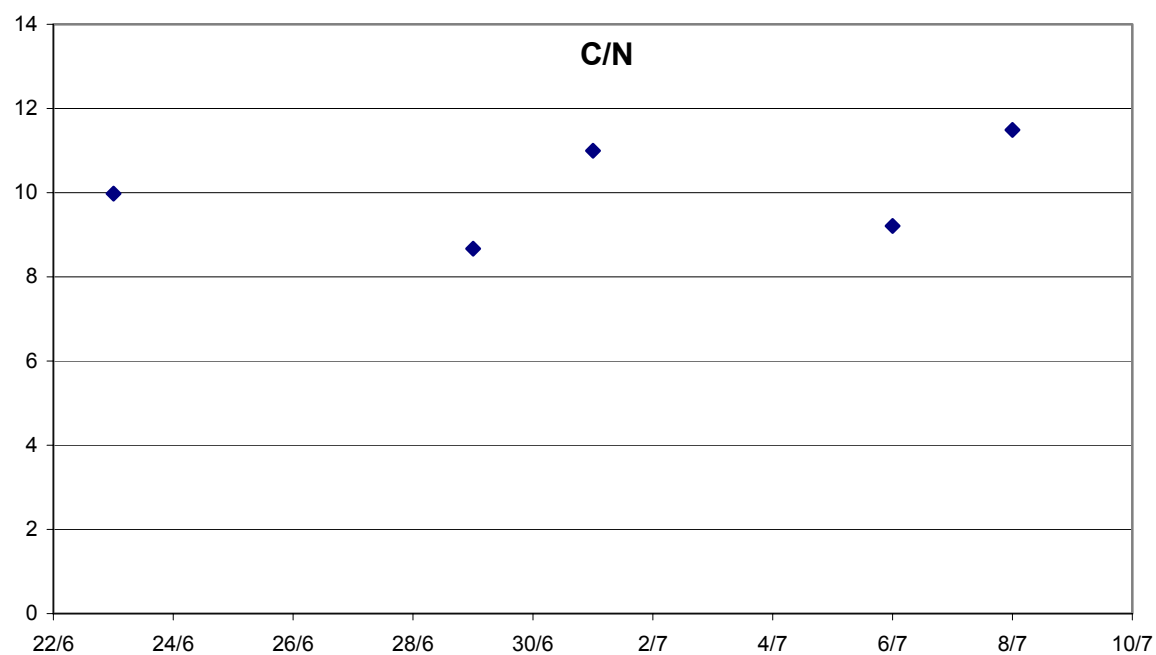
ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ

1η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ (ΙΟΥΝΙΟΣ - ΙΟΥΛΙΟΣ)

ΧΑΜΗΛΗ ΣΤΑΘΜΗ D.O



Σχήμα Α1 Συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου στην κεντρική μονάδα αερισμού.

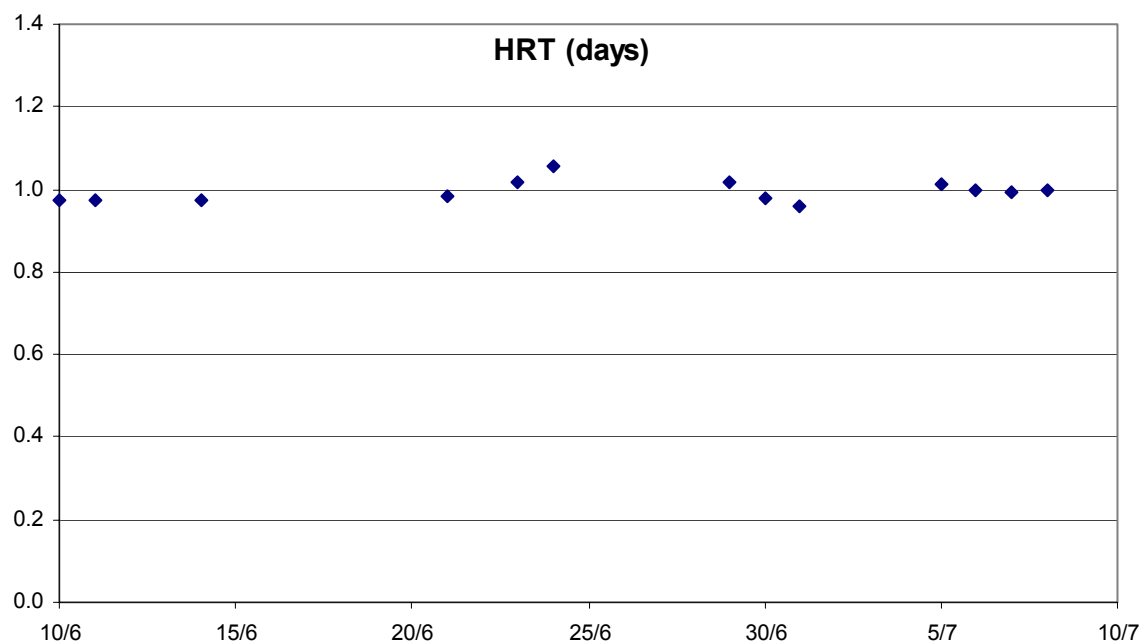


Σχήμα Α2. Λόγος C/N (COD ολικό εισόδου προς άζωτο εισόδου).

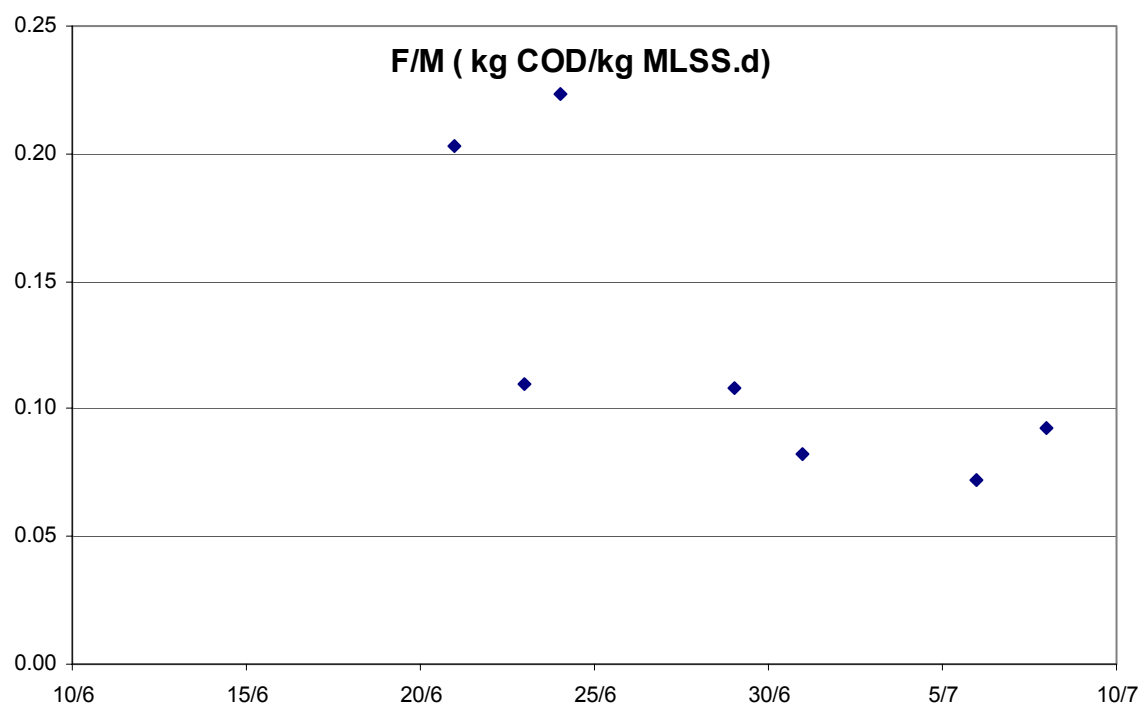
ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ

1η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ (ΙΟΥΝΙΟΣ - ΙΟΥΛΙΟΣ)

ΧΑΜΗΛΗ ΣΤΑΘΜΗ D.O



Σχήμα Α3. Υδραυλικός χρόνος παραμονής.

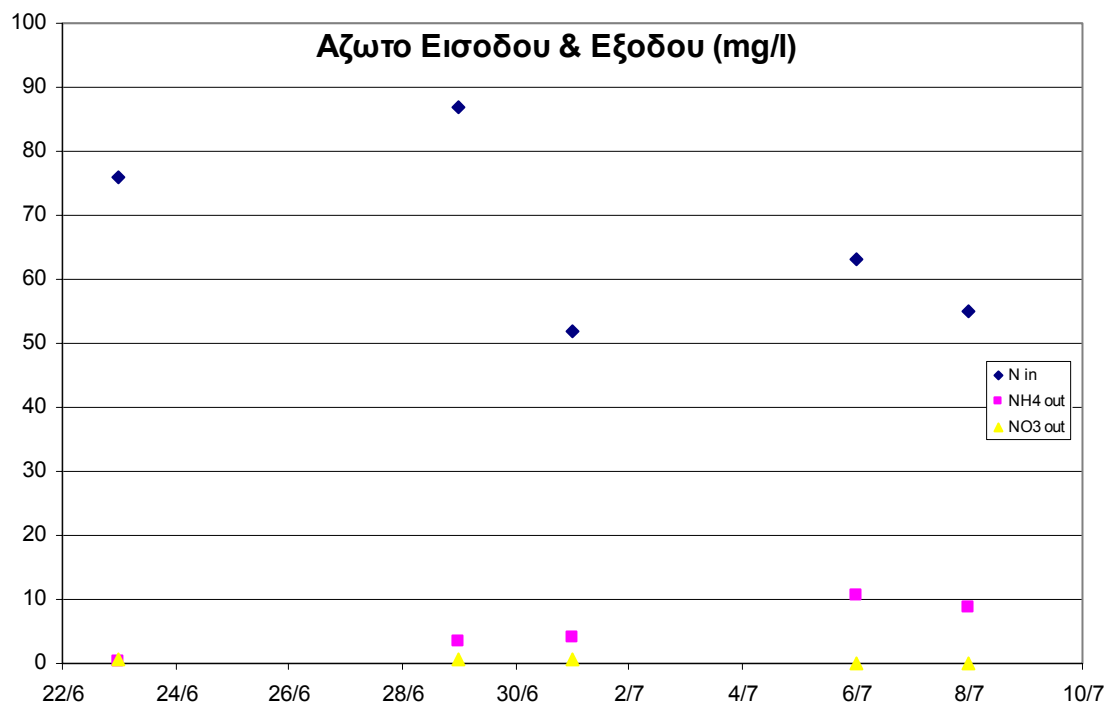


Σχήμα Α4. Οργανική φόρτιση.

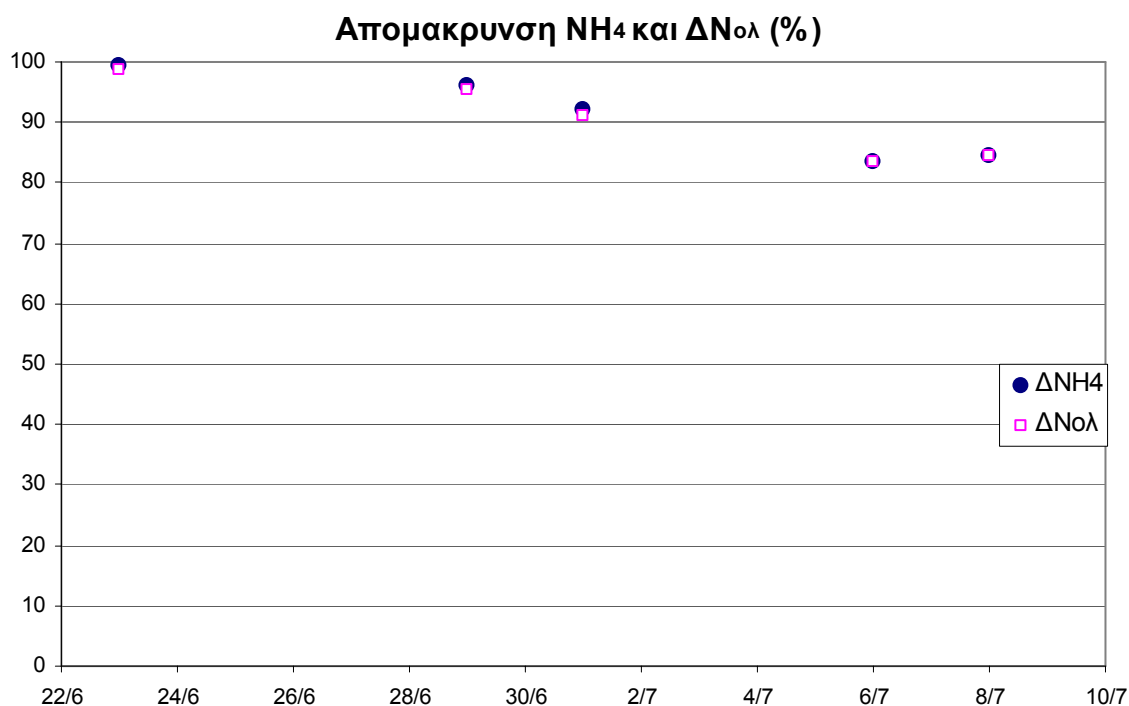
ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ

1η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ (ΙΟΥΝΙΟΣ - ΙΟΥΛΙΟΣ)

ΧΑΜΗΛΗ ΣΤΑΘΜΗ D.O



Σχήμα Α5. Συγκεντρώσεις αζώτου στην είσοδο και έξοδο της μονάδας.

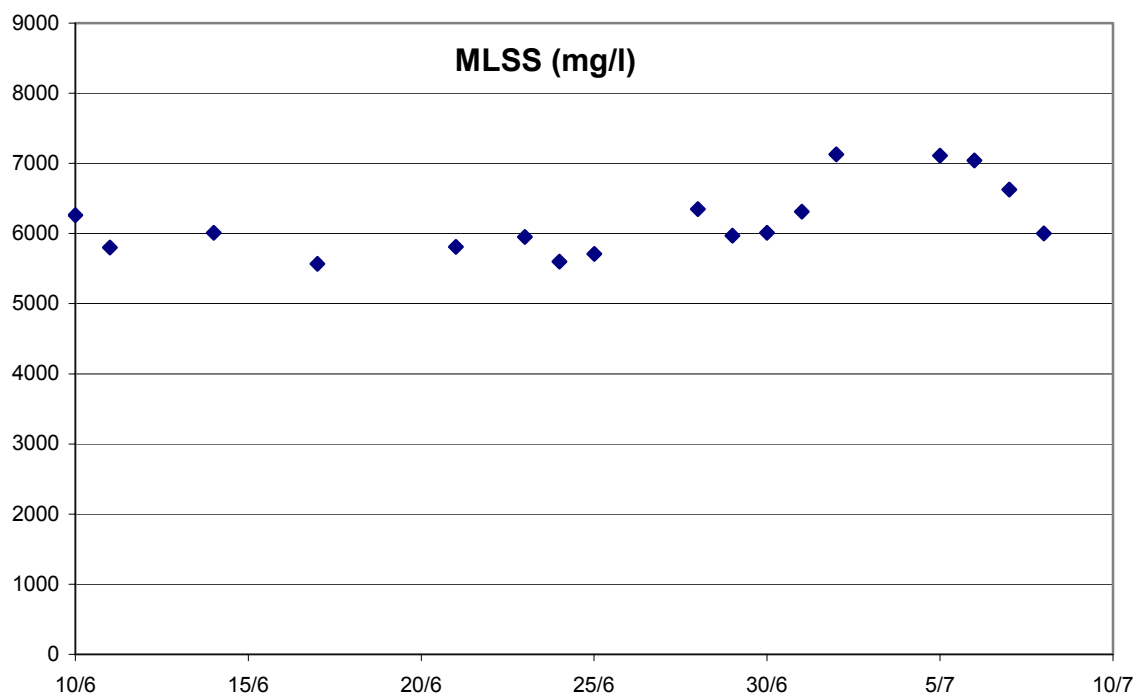


Σχήμα Α6. Επί της εκατό απομάκρυνση αμμωνίας & αζώτου.

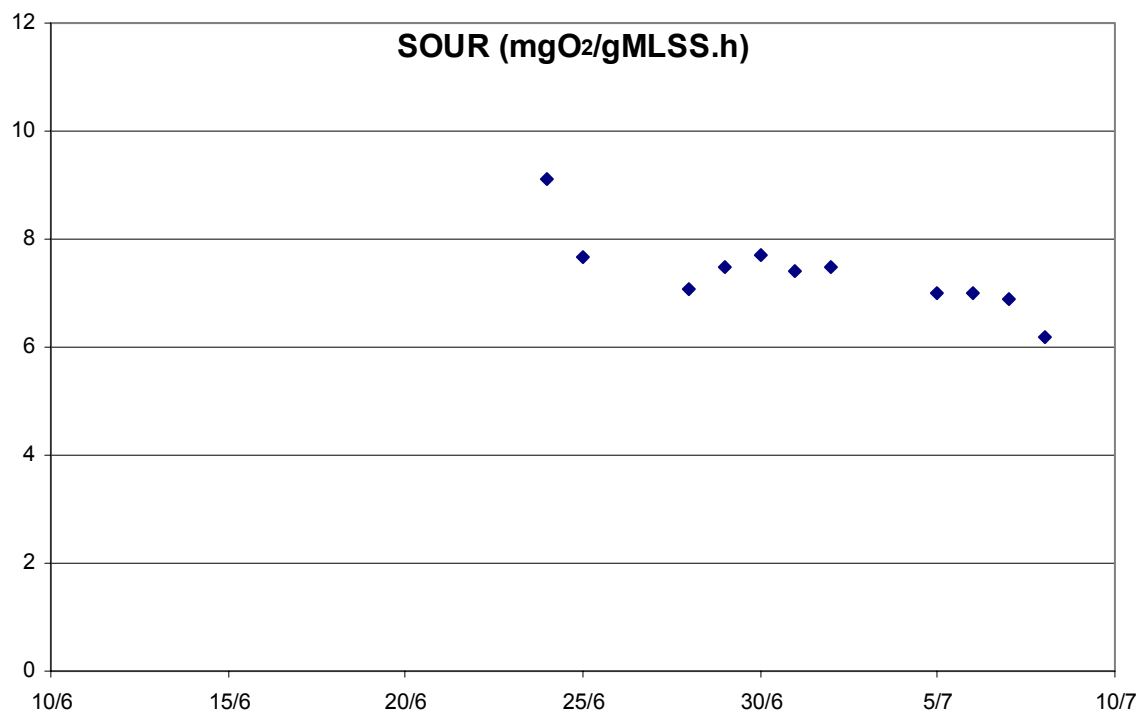
ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ

1η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ (ΙΟΥΝΙΟΣ - ΙΟΥΛΙΟΣ)

ΧΑΜΗΛΗ ΣΤΑΘΜΗ D.O



Σχήμα A7. Συγκέντρωση στερεών.

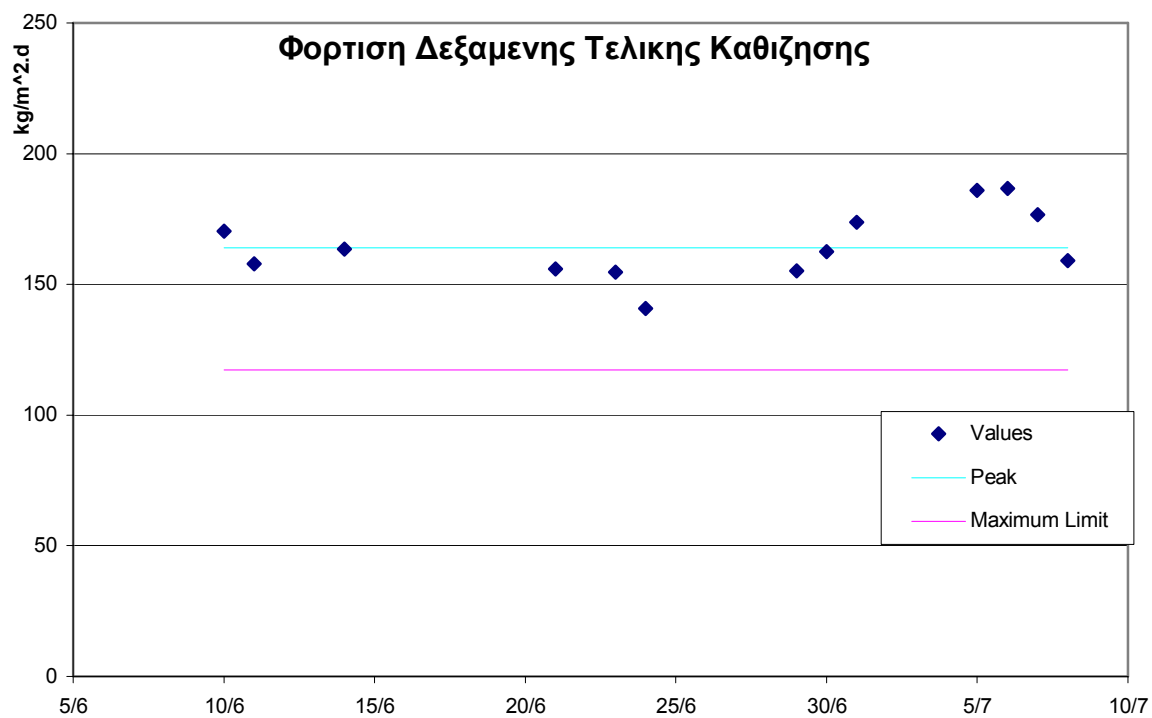


Σχήμα A8. Ειδικός ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου από τους νιτροποιητες.

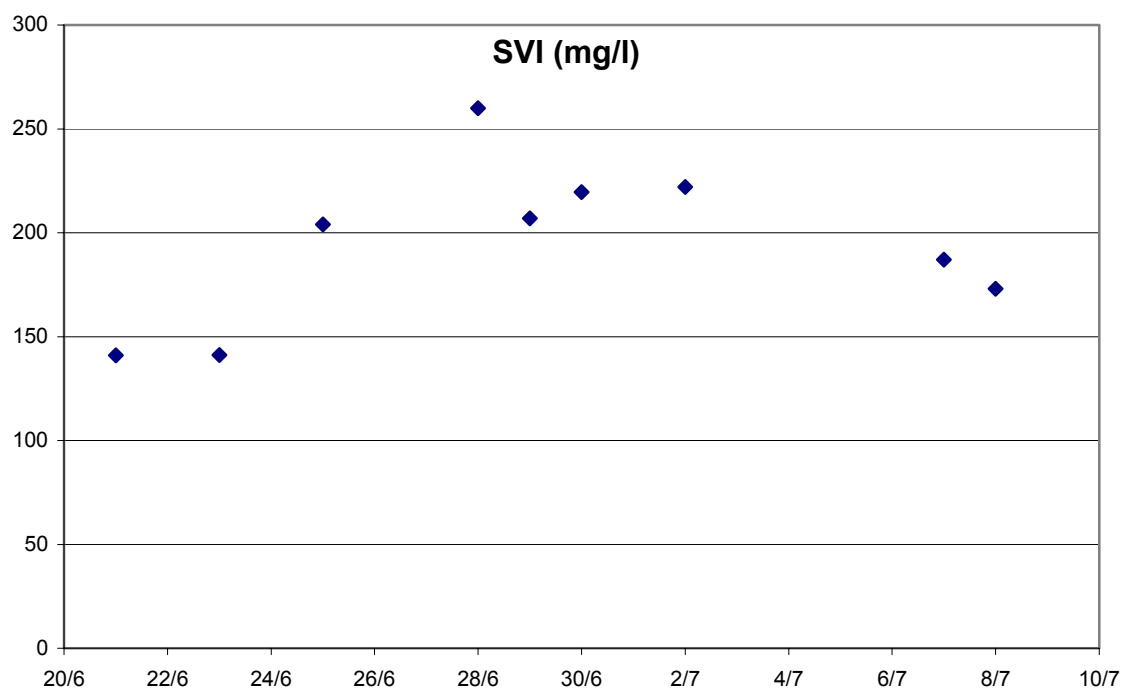
ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ

1η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ (ΙΟΥΝΙΟΣ - ΙΟΥΛΙΟΣ)

ΧΑΜΗΛΗ ΣΤΑΘΜΗ D.O



Σχήμα Α9. Φόρτιση δεξαμενής τελικής καθίζησης.



Σχήμα Α10. Δείκτης καθιζησημότητας της λάσπης.

4.2 2^η Φόρτιση

Η δεύτερη φόρτιση πραγματοποιήθηκε κατά το διάστημα 14/7 έως 31/7. Σε αυτό το διάστημα έχουμε συνεχή παροχή λυμάτων. Η συγκέντρωση του οξυγόνου σε αυτή την περίοδο στην κεντρική δεξαμενή αερισμού κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών $1.0 < D.O < 2.0$ (mg/l), με μέση τιμή $D.O = 1.34$ mg/l ενώ οι υπόλοιπες δεξαμενές λειτούργησαν κάτω από χαμηλή στάθμη οξυγόνου. Τα λειτουργικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στα ακόλουθα διαγράμματα. Στα διαγράμματα αυτά παρουσιάζεται, η κατά την διάρκεια της φόρτισης, ημερήσια διακύμανση των ακόλουθων παραμέτρων: της θερμοκρασίας στον αντιδραστήρα, του υδραυλικού χρόνου παραμονής, του λόγου άνθρακα προς άζωτο C/N των εισερχόμενων λυμάτων σε όρους COD προς TKN, της οργανικής φόρτισης F/M, της συνολικής απομάκρυνσης αμμωνιακού αζώτου, της συγκέντρωσης του ανάμικτου υγρού σε όρους ολικών αιωρούμενων στερεών, του δείκτη καθίζησιμότητας της λάσπης SVI, καθώς και των τιμών φόρτισης της δεξαμενής τελικής καθίζησης.

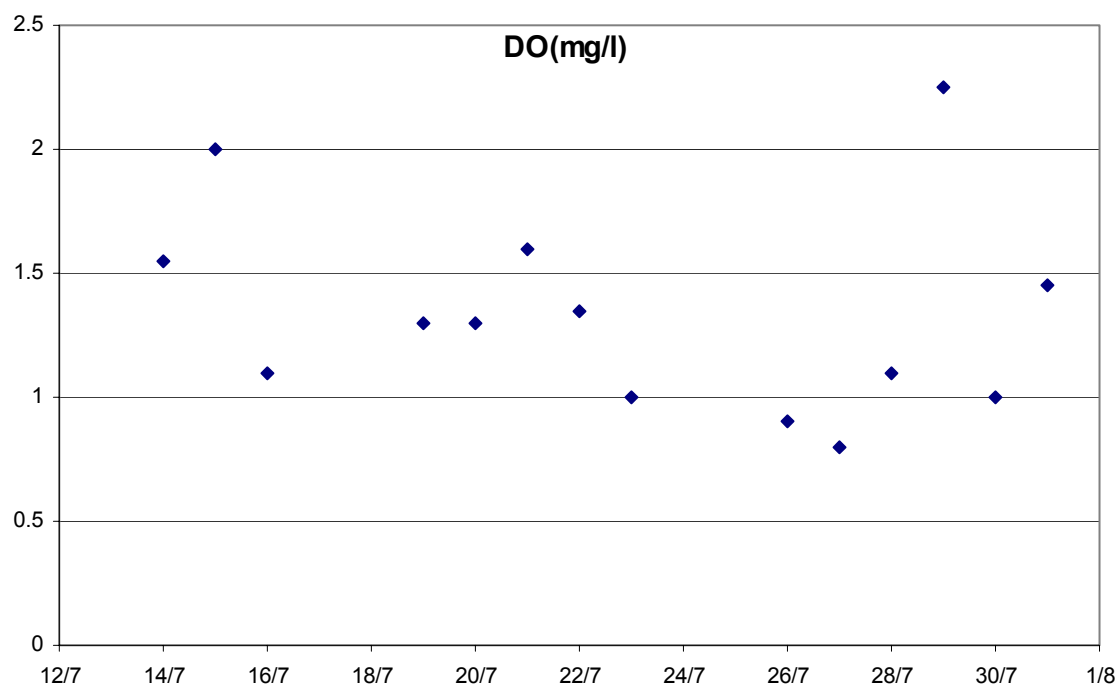
Η ισχύς των εισερχόμενων λυμάτων ήταν σε μέσες τιμές 570 mg/l COD και TKN= 67 mg/l με λόγο C/N = 8.5. Το σύστημα λειτούργησε με υδραυλικό χρόνο παραμονής HRT = 1.1d, θερμοκρασία $T = 24.6^{\circ}\text{C}$. Η συγκέντρωση του ανάμικτου υγρού κυμάνθηκε περί της τιμής MLSS = 6279 mg/l, η στάθμη του διαλυμένου οξυγόνου ήταν μεταξύ των τιμών $D.O. = 1.0$ mg/l, και $D.O. = 2.0$ mg/l ενώ η ανακυκλοφορία ιλύος από την δεξαμενή καθίζησης ήταν περίπου 120% της παροχής εισόδου. Η οργανική φόρτιση (F/M) κυμάνθηκε περί τα 0.08 kgCOD/kgMLSS.d και τα χαρακτηριστικά εξόδου ήταν σε μέσες τιμές COD = 37 mg/l, $[\text{NH}_4^+-\text{N}] = 0.74$ mg/l, $[\text{NO}_3-\text{N}] = 6.41$ mg/l

Η απομάκρυνση του οργανικού φορτίου ήταν 93.5% σε όρους COD. Το ποσοστό απομάκρυνσης του εισερχόμενου φορτίου αμμωνιακού αζώτου ήταν 98.8%, ενώ η ολική απομάκρυνση του αζώτου ήταν 89.4%. ενώ συχνά παρατηρήθηκαν φαινόμενα διαφυγής στερεών. Από τις τιμές φόρτισης της δεξαμενής καθίζησης σε συνδυασμό με τα επιτρεπόμενα όρια μπορούμε να δώσουμε μια εξήγηση για την εικόνα της δεξαμενής αφού οι περισσότερες τιμές ήταν πάνω από το μέγιστο όριο και καμία μέσα στο επιτρεπόμενο εύρος τιμών

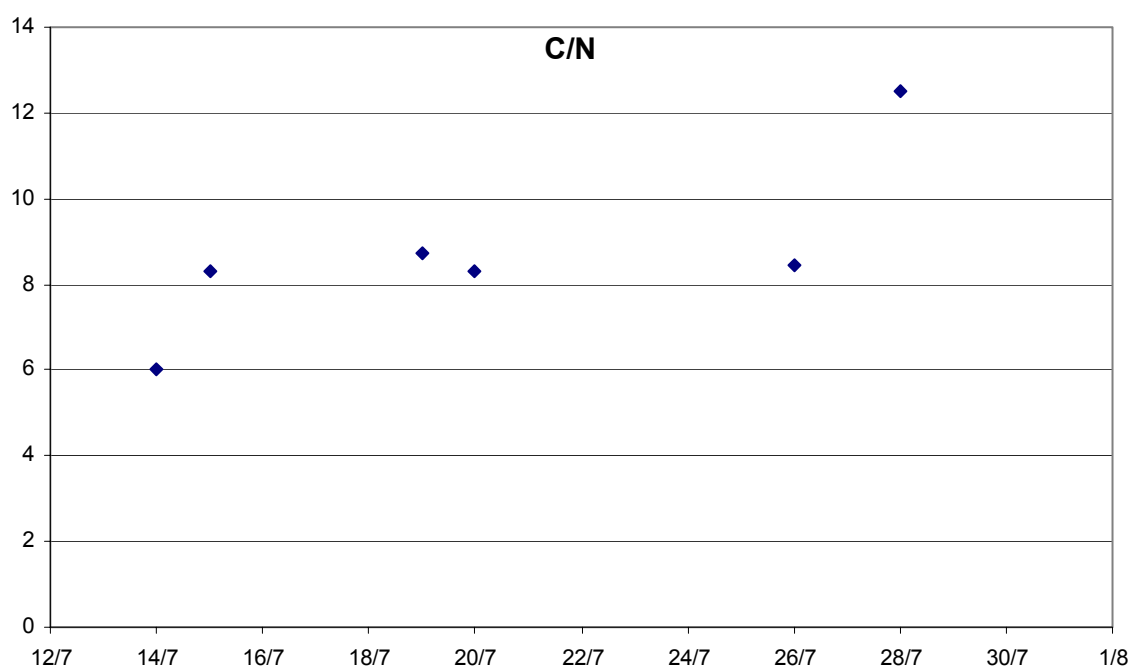
ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ

2η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ (ΙΟΥΛΙΟΣ)

ΣΤΑΘΜΗ ΟΞΥΓΟΝΟΥ ($1.0 < D.O < 2.0$)



Σχήμα Β1 Συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου στην κεντρική μονάδα αερισμού.

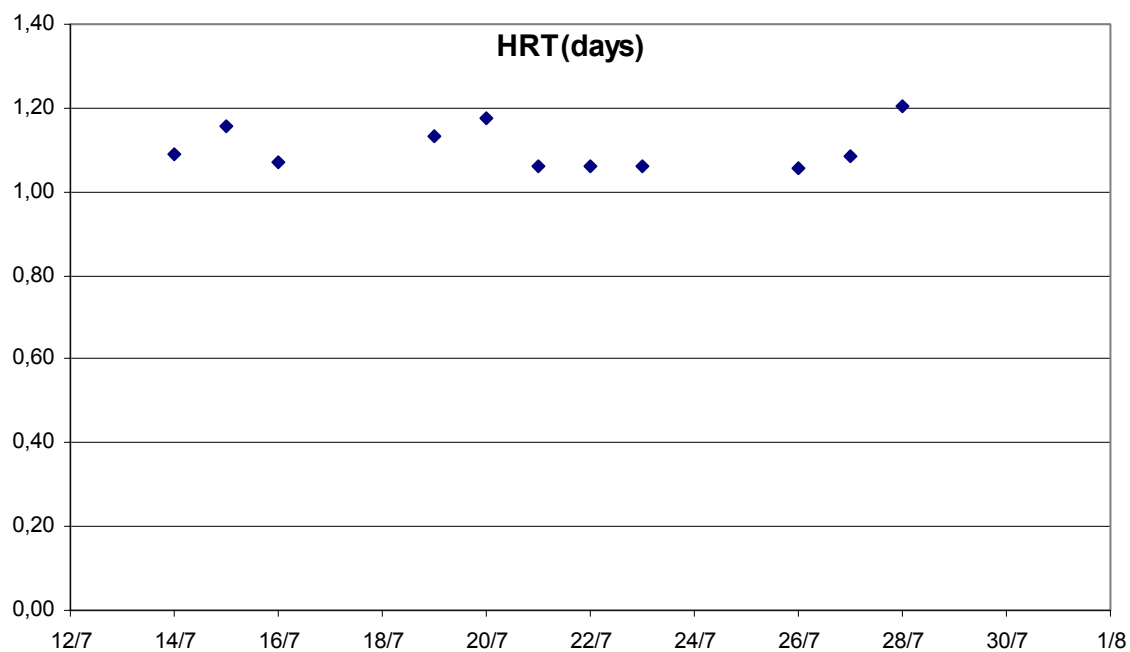


Σχήμα Β2. Λόγος C/N (COD ολικό εισόδου προς άζωτο εισόδου).

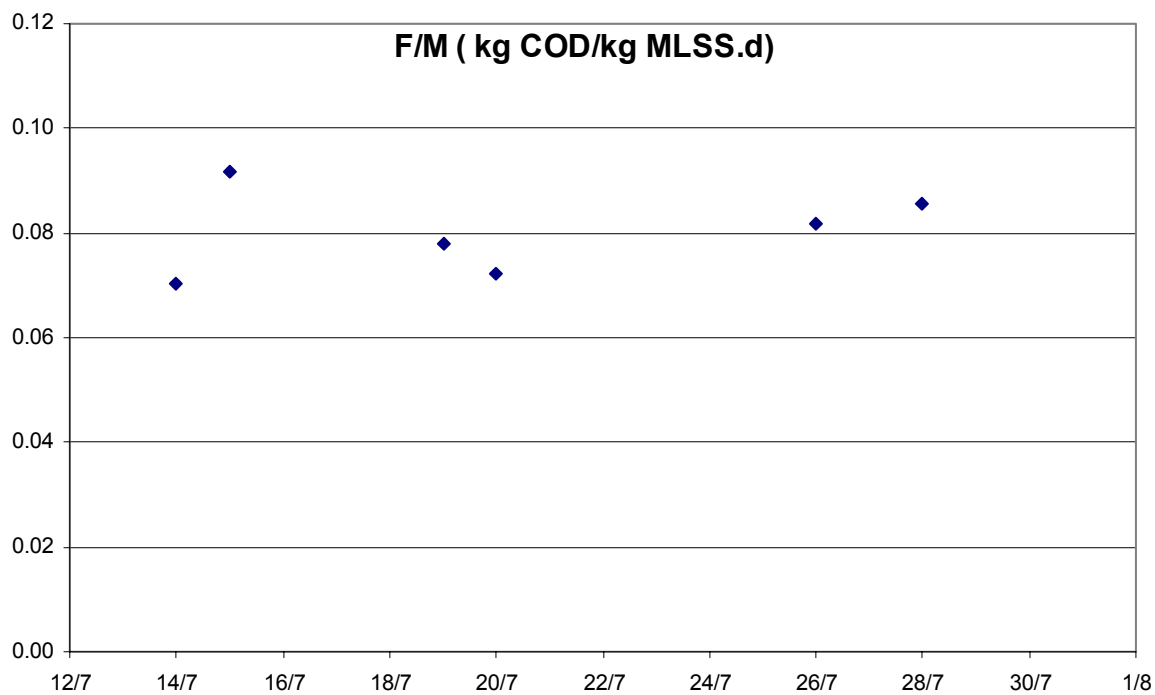
ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ

2η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ (ΙΟΥΛΙΟΣ)

ΣΤΑΘΜΗ ΟΞΥΓΟΝΟΥ ($1.0 < D.O < 2.0$)

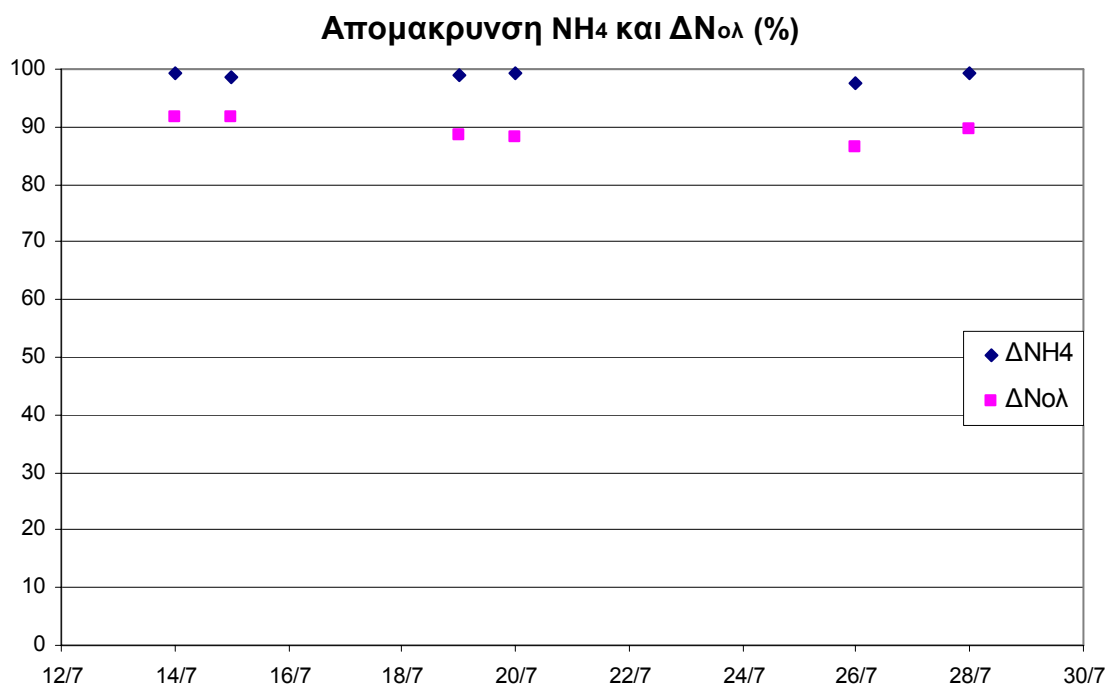


Σχήμα Β3. Υδραυλικός χρόνος παραμονής.

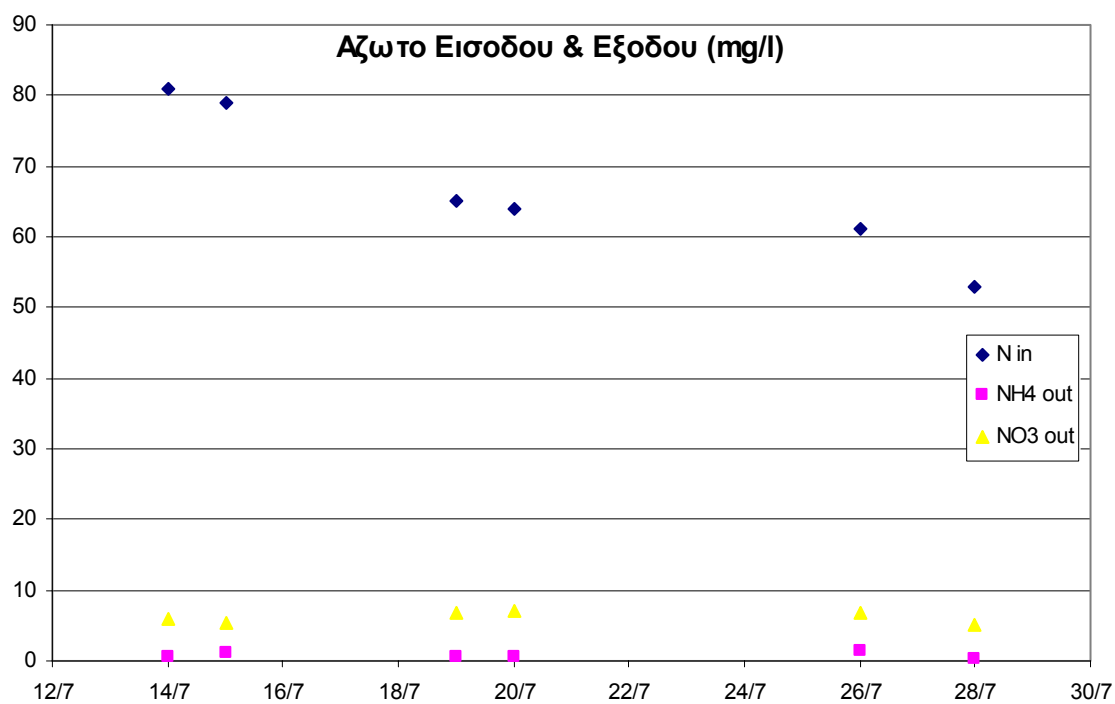


Σχήμα Β4. Οργανική φόρτιση.

ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ
2η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ (ΙΟΥΛΙΟΣ)
ΣΤΑΘΜΗ ΟΞΥΓΟΝΟΥ ($1.0 < D.O < 2.0$)



Σχήμα B5. Επί της εκατό απομάκρυνση αμμωνίας & αζώτου.

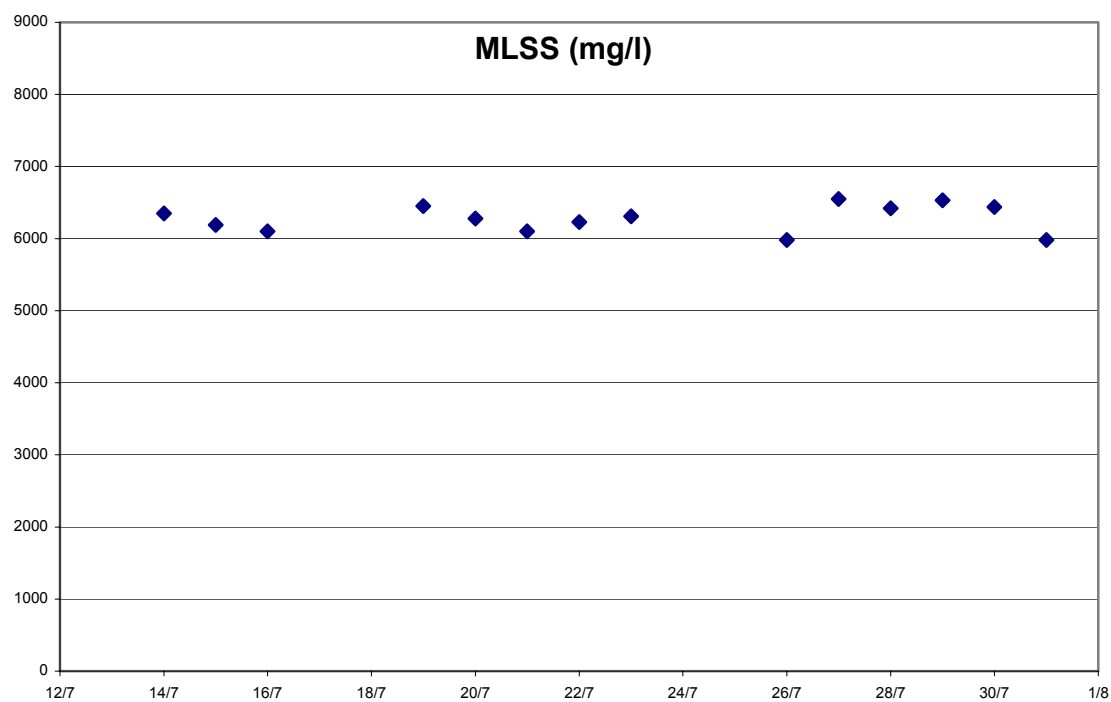


Σχήμα B6. Συγκεντρώσεις αζώτου στην είσοδο και έξοδο της μονάδας.

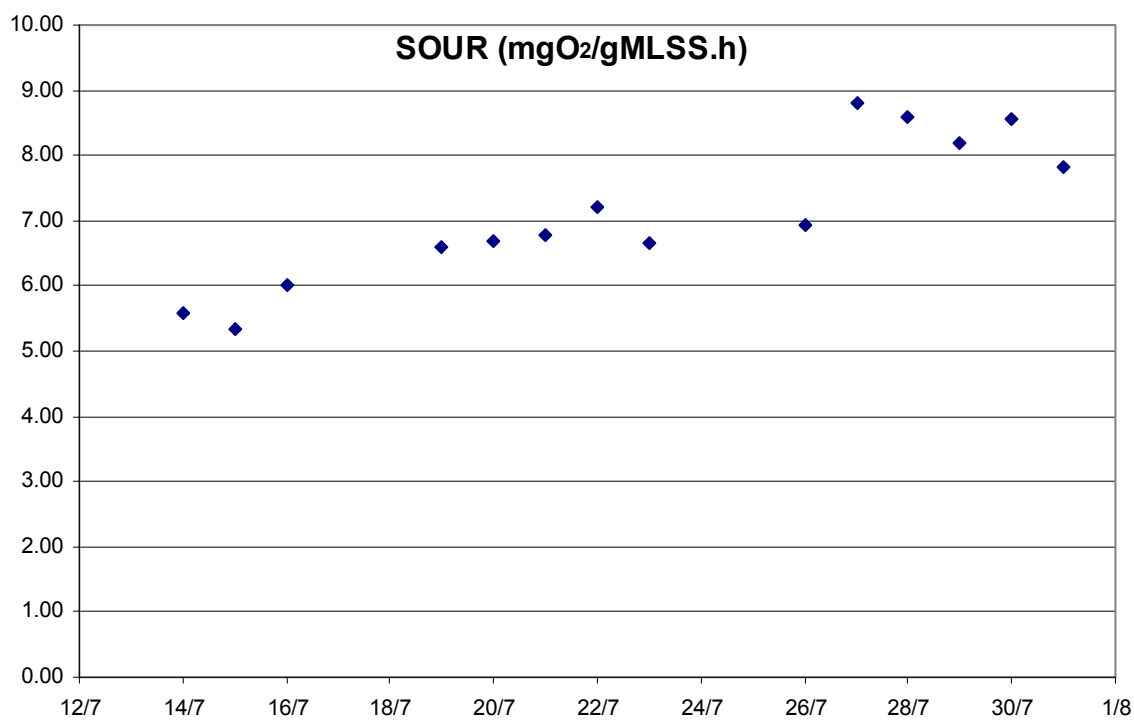
ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ

2η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ (ΙΟΥΛΙΟΣ)

ΣΤΑΘΜΗ ΟΞΥΓΟΝΟΥ ($1.0 < D.O < 2.0$)



Σχήμα Β7. Συγκέντρωση στερεών.

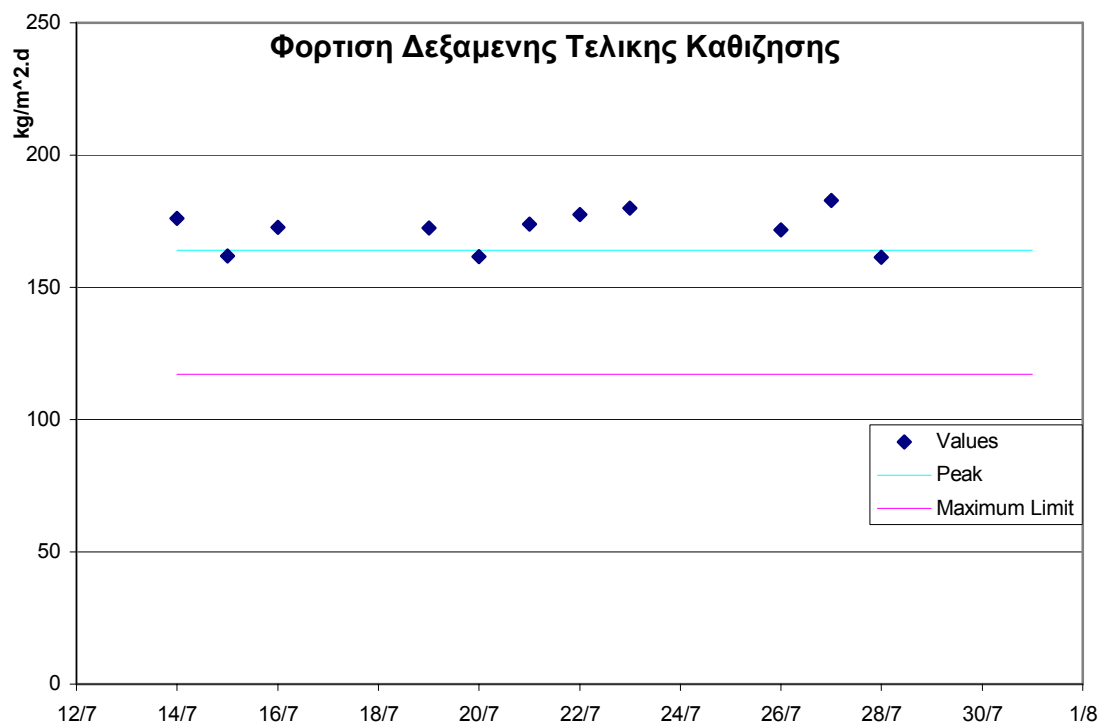


Σχήμα Β8. Ειδικός ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου από τους νιτροποιητές.

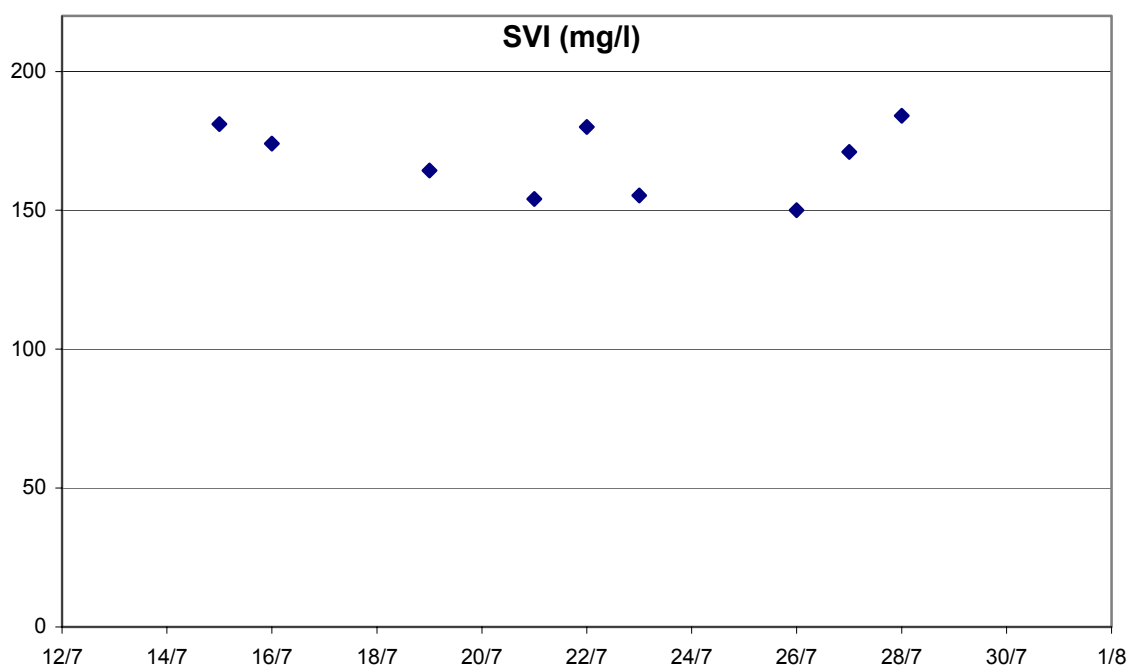
ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ

2η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ (ΙΟΥΛΙΟΣ)

ΣΤΑΘΜΗ ΟΞΥΓΟΝΟΥ ($1.0 < D.O < 2.0$)



Σχήμα B9. Φόρτιση δεξαμενής τελικής καθίζησης.



Σχήμα B10. Δείκτης καθιζησημοτητας της λάσπης.

4.3 3^η Φόρτιση

Η τρίτη φόρτιση πραγματοποιήθηκε κατά το διάστημα 9/8 έως 16/10. Σε αυτό το διάστημα έχουμε συνεχή παροχή λυμμάτων. Σε αυτή την περίοδο η συγκέντρωση του οξυγόνου στην κεντρική δεξαμενή αερισμού διατηρήθηκε σε επίπεδα μεγαλύτερα από $D.O > 1.6$, με μέση τιμή $D.O = 2.38 \text{ mg/l}$, ενώ οι υπόλοιπες δεξαμενές λειτούργησαν κάτω από χαμηλή στάθμη οξυγόνου εκτός από την δεξαμενή (PRFST) που βρίσκεται μεταξύ της κύριας δεξαμενής αερισμού και της δεξαμενής τελικής καθίζησης, στην οποία η συγκέντρωση του οξυγόνου κυμαινόταν διαρκώς όλη την περίοδο μεταξύ των τιμών $0.35 < D.O < 3.5 \text{ (mg/l)}$. Τα λειτουργικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στα ακόλουθα διαγράμματα. Στα διαγράμματα αυτά παρουσιάζεται, η κατά την διάρκεια της φόρτισης, ημερήσια διακύμανση των ακόλουθων παραμέτρων : της θερμοκρασίας στον αντιδραστήρα, του υδραυλικού χρόνου παραμονής, του λόγου άνθρακα προς άζωτο C/N των εισερχόμενων λυμμάτων σε όρους COD προς TKN, της οργανικής φόρτισης F/M, της συνολικής απομάκρυνσης αμμωνιακού αζώτου, της συγκέντρωσης του ανάμικτου υγρού σε όρους ολικών αιωρούμενων στερεών, του δείκτη καθιζεσιμότητας της λάσπης SVI, καθώς και των τιμών φόρτισης της δεξαμενής τελικής καθίζησης.

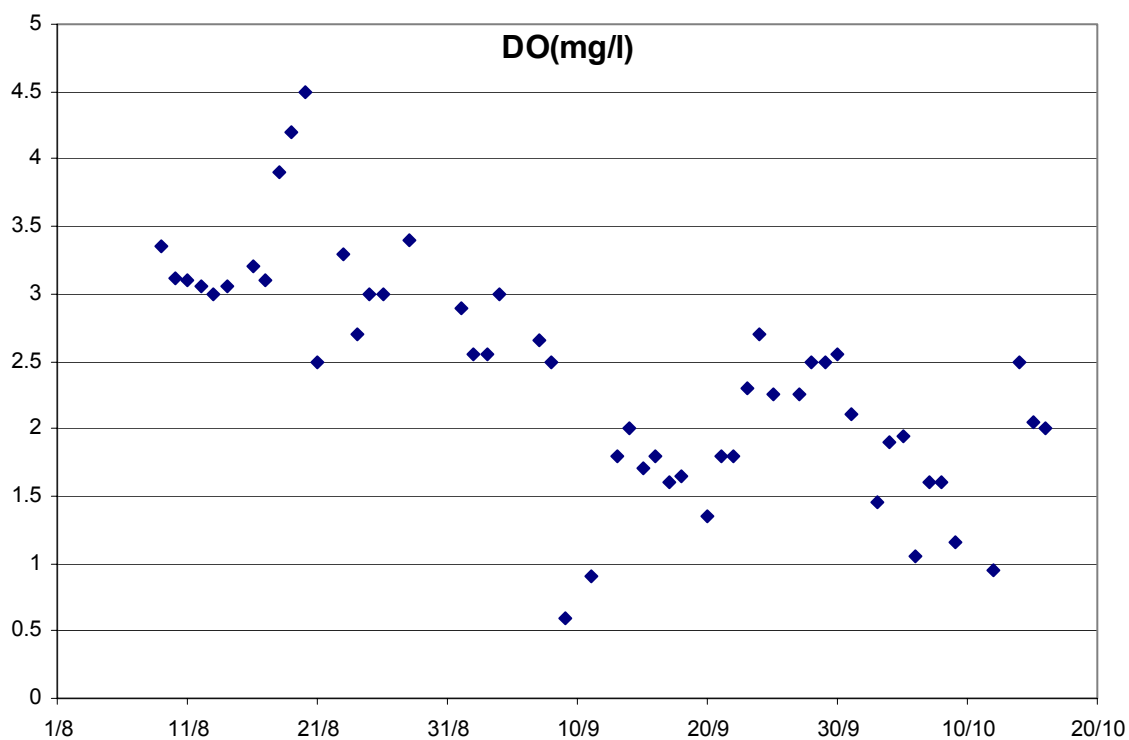
Η ισχύς των εισερχόμενων λυμμάτων ήταν σε μέσες τιμές 668 mg/l COD και $TKN = 58 \text{ mg/l}$ με λόγο $C/N = 11.5$. Το σύστημα λειτούργησε με υδραυλικό χρόνο παραμονής $HRT = 0.91\text{d}$, θερμοκρασία $T = 24.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Η συγκέντρωση του ανάμικτου υγρού κυμάνθηκε περί της τιμής $MLSS = 2983 \text{ mg/l}$, ενώ η ανακυκλοφορία ιλύος από την δεξαμενή καθίζησης ήταν περίπου 120% της παροχής εισόδου. Η οργανική φόρτιση (F/M) κυμάνθηκε περί τα $0.24 \text{ kgCOD/kgMLSS.d}$ και τα χαρακτηριστικά εξόδου ήταν σε μέσες τιμές $COD = 31 \text{ mg/l}$, $[\text{NH}_4^+ - \text{N}] = 0.50 \text{ mg/l}$, $[\text{NO}_3 - \text{N}] = 11.18 \text{ mg/l}$

Η απομάκρυνση του οργανικού φορτίου ήταν 95.3% σε όρους COD. Το ποσοστό απομάκρυνσης του εισερχόμενου φορτίου αμμωνιακού αζώτου ήταν 99,3% ενώ η ολική απομάκρυνση του αζώτου ήταν 75.2%. ενώ ελάχιστα φαινόμενα διαφυγής στερεών παρατηρήθηκαν. Τις τελευταίες δέκα μέρες της περιόδου παρατηρήθηκε η συνεχή πτώση του ρυθμού κατανάλωσης οξυγόνου καθώς και η αδυναμία απομάκρυνσης της αμμωνίας από το σύστημα μας

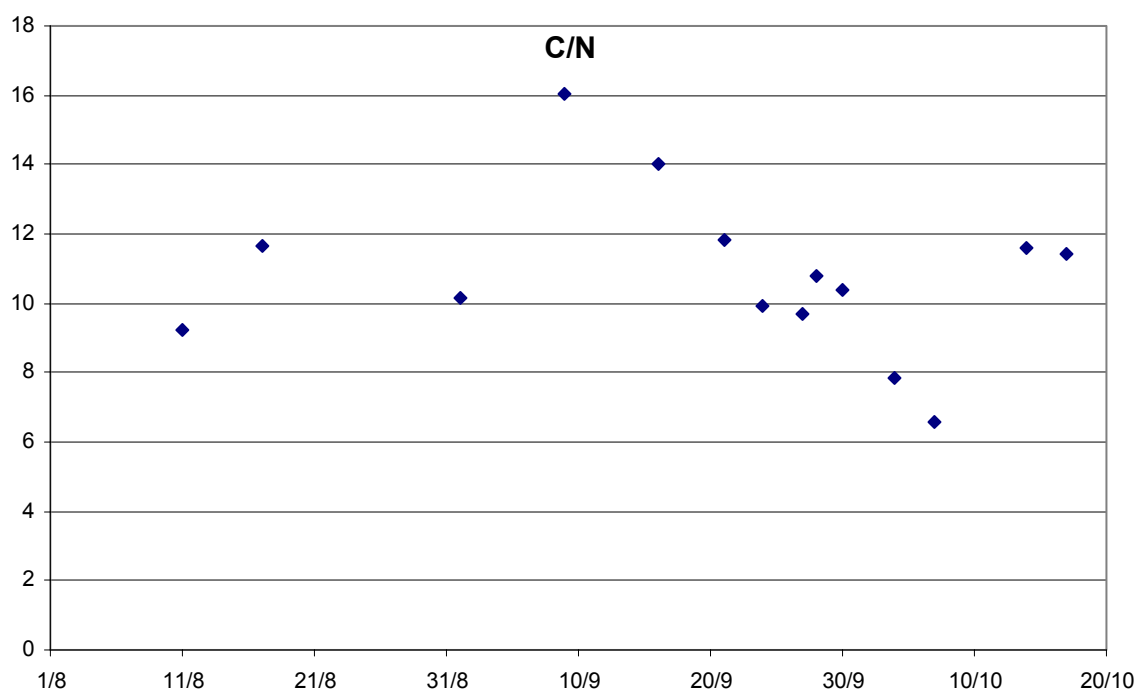
ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ

3η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ (ΙΟΥΛΙΟΣ-ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ)

ΣΤΑΘΜΗ ΟΞΥΓΟΝΟΥ ($D.O > 1.6$)



Σχήμα Γ1. Συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου στην κεντρική μονάδα αερισμού.

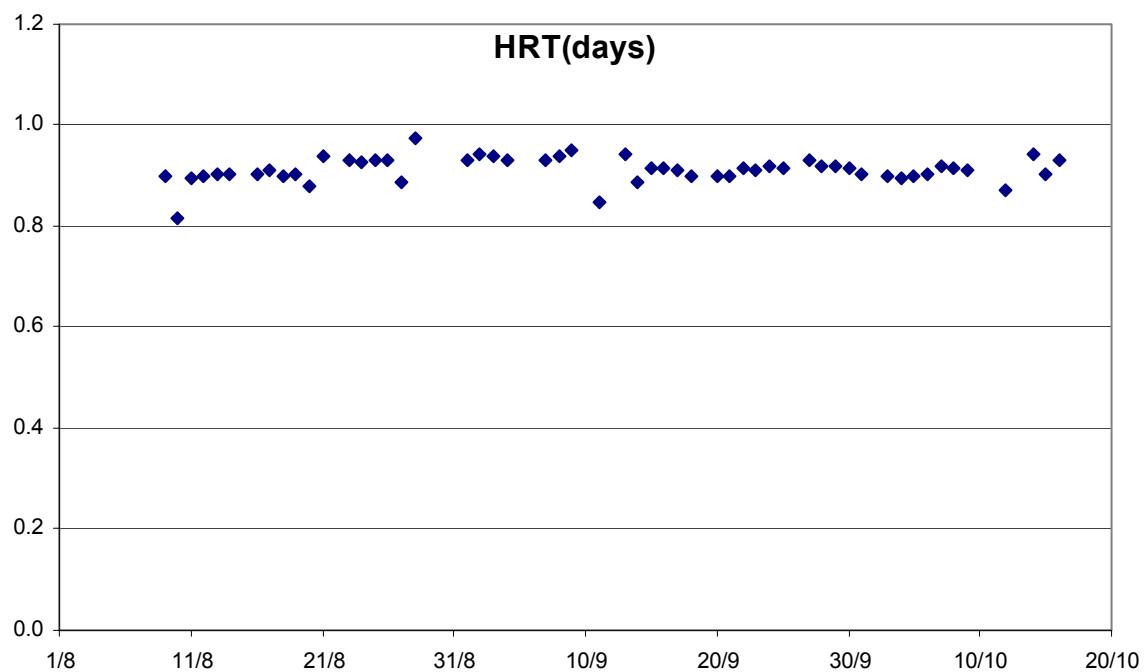


Σχήμα Γ2. Λόγος C/N (COD ολικό εισόδου προς άζωτο εισόδου).

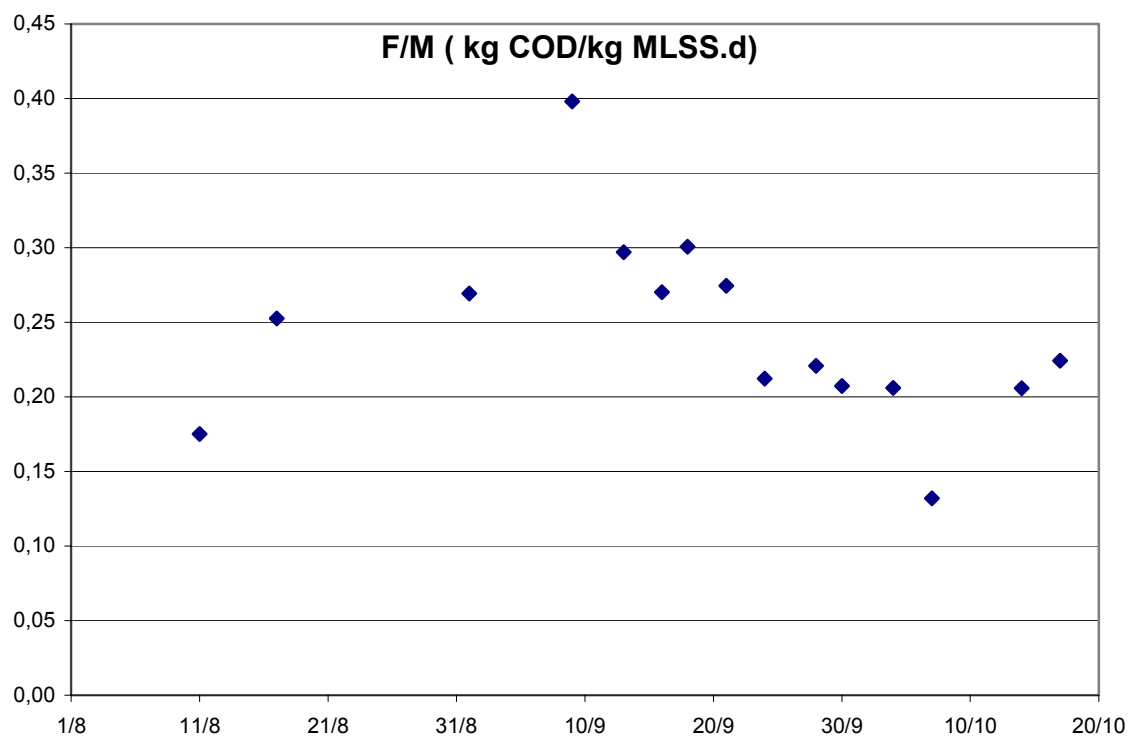
ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ

3η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ (ΙΟΥΛΙΟΣ-ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ)

ΣΤΑΘΜΗ ΟΞΥΓΟΝΟΥ (D.O>1.6)



Σχήμα Γ3. Υδραυλικός χρόνος παραμονής.

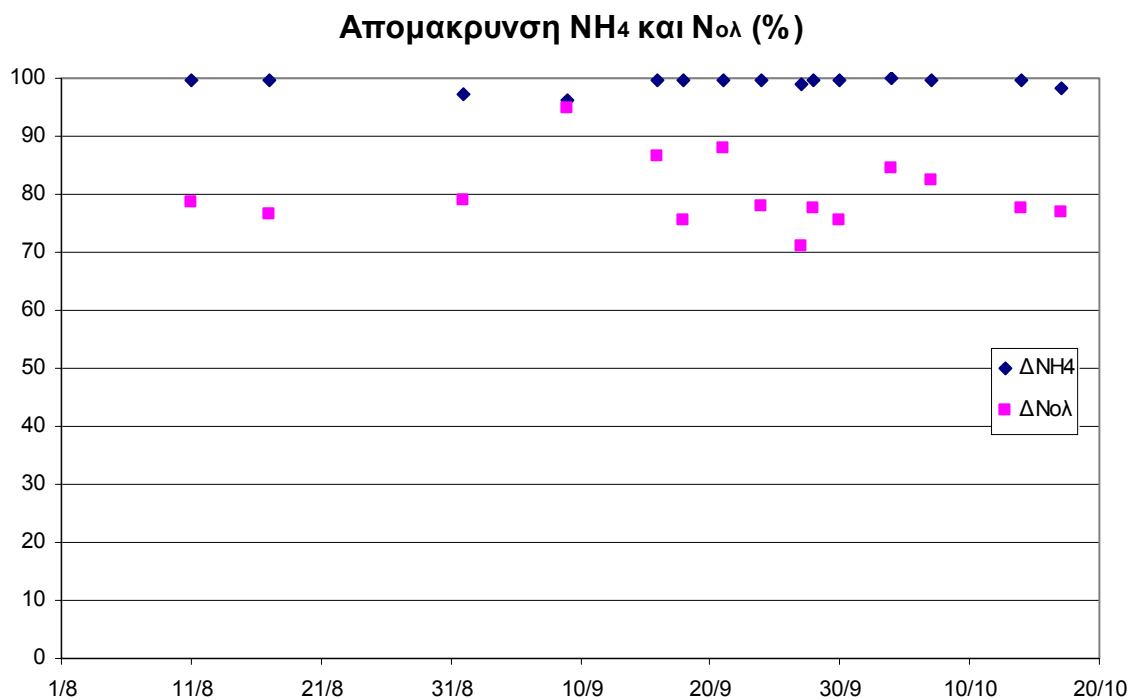


Σχήμα Γ4. Οργανική φόρτιση.

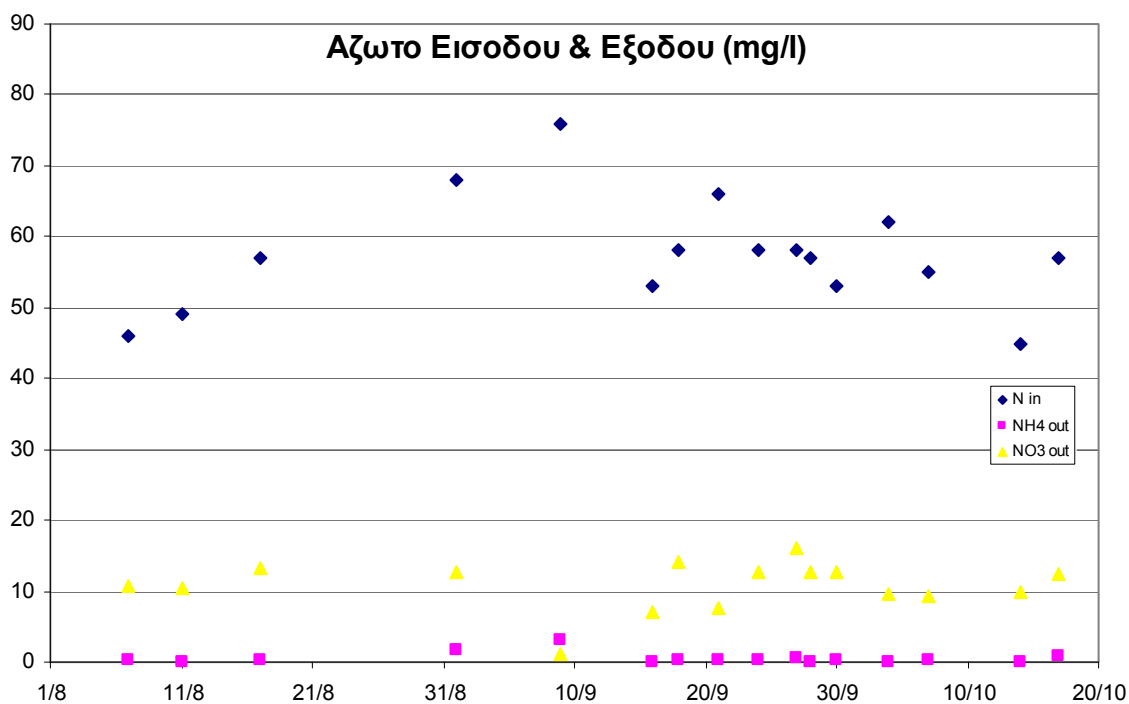
ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ

3η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ (ΙΟΥΛΙΟΣ-ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ)

ΣΤΑΘΜΗ ΟΞΥΓΟΝΟΥ (D.O>1.6)



Σχήμα Γ5. Επί της εκατό απομάκρυνση αμμωνίας & αζώτου.

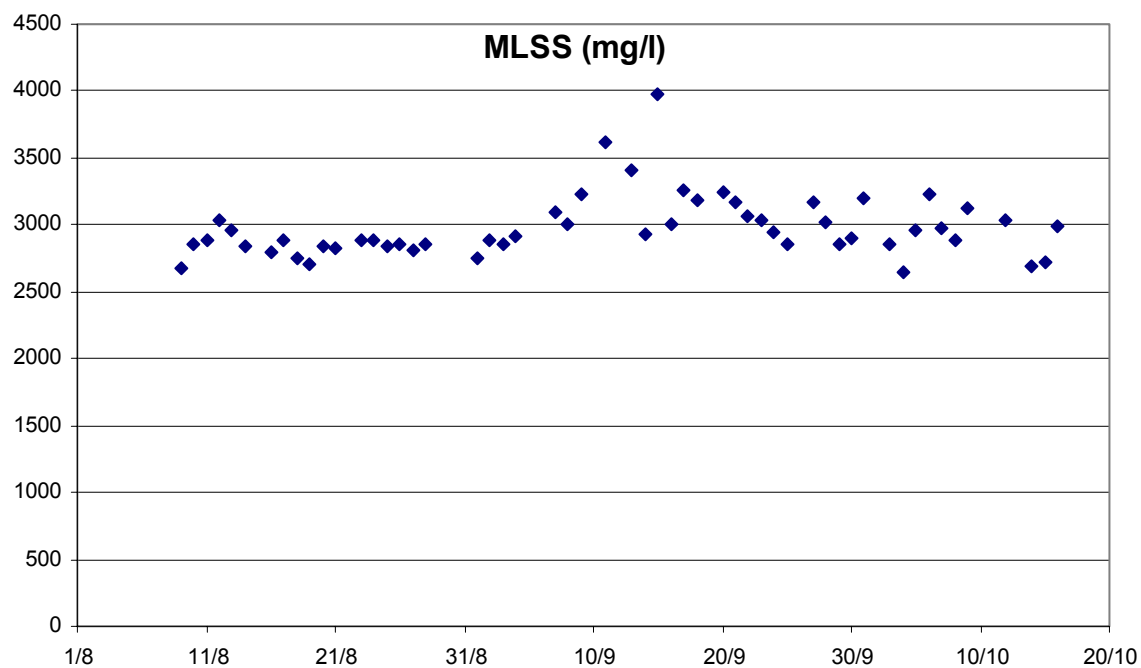


Σχήμα Γ6. Συγκεντρώσεις αζώτου στην είσοδο και έξοδο της μονάδας.

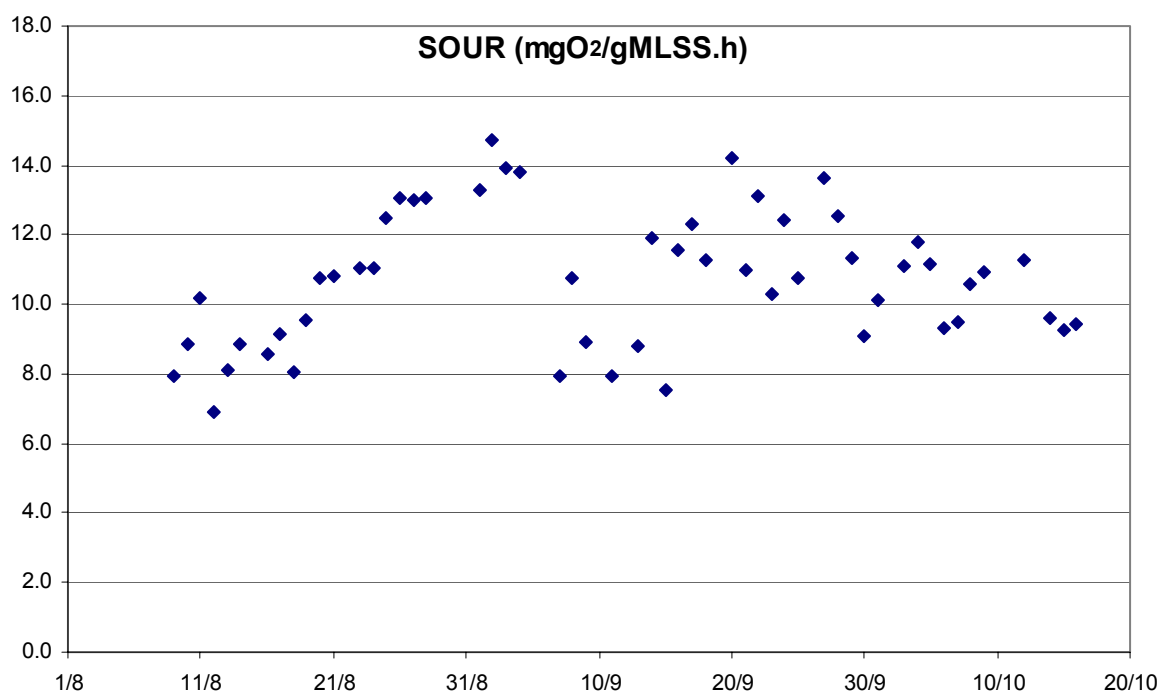
ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ

3η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ (ΙΟΥΛΙΟΣ-ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ)

ΣΤΑΘΜΗ ΟΞΥΓΟΝΟΥ (D.O>1.6)



Σχήμα Γ7. Συγκέντρωση στερεών.

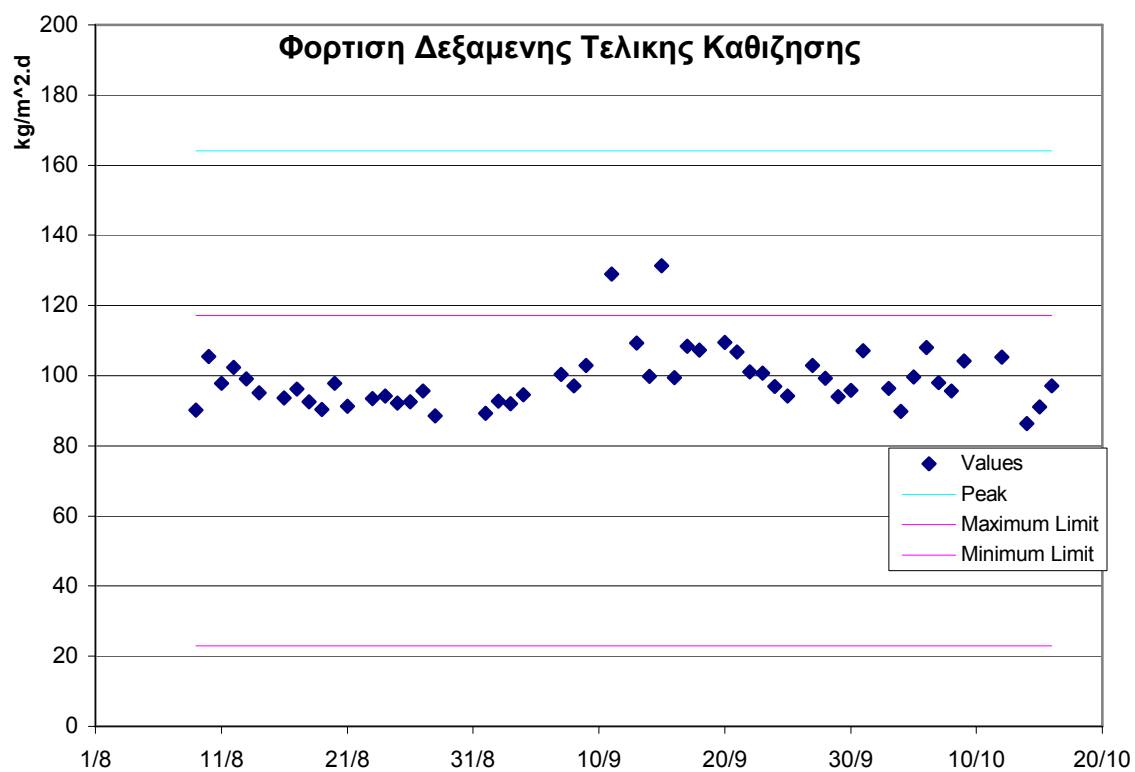


Σχήμα Γ8. Ειδικός ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου από τους νιτροποιητές.

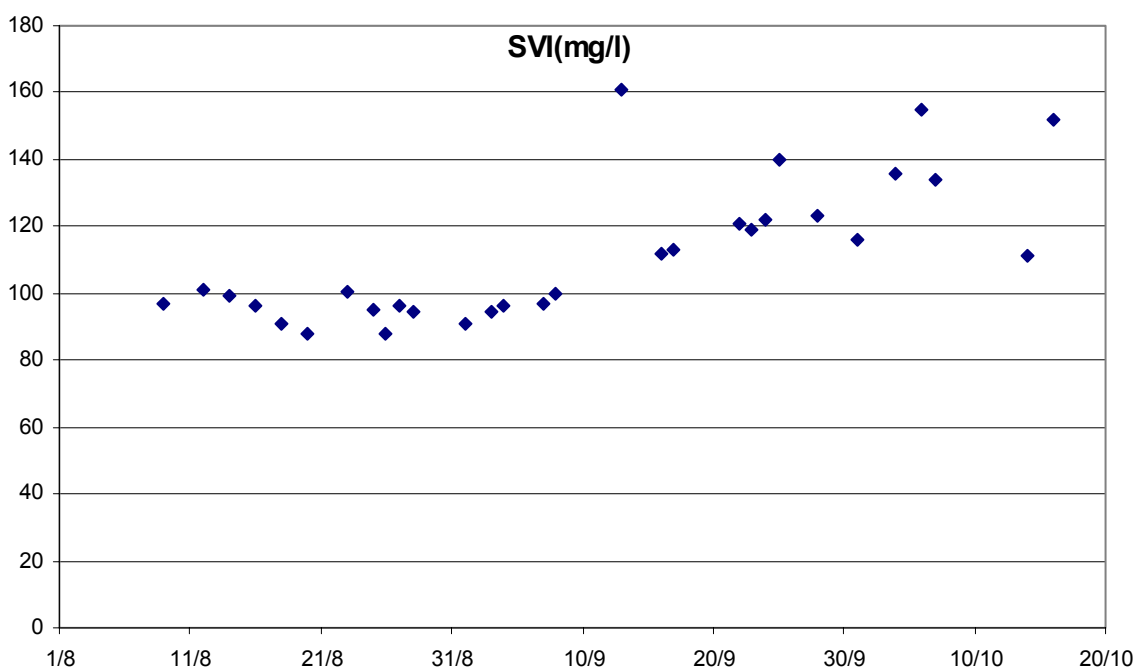
ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ

3η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ (ΙΟΥΛΙΟΣ-ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ)

ΣΤΑΘΜΗ ΟΞΥΓΟΝΟΥ (D.O>1.6)



Σχήμα Γ9. Φόρτιση δεξαμενής τελικής καθίζησης.



Σχήμα Α10. Δείκτης καθιζησημότητας της λάσπης.

4.4 4^η Φόρτιση

Η τέταρτη φόρτιση πραγματοποιήθηκε κατά το διάστημα 19/10 έως 29/11. Σε αυτό το διάστημα έχουμε συνεχή παροχή λυμμάτων. Η συγκέντρωση του οξυγόνου αυτή την περίοδο στην κεντρική δεξαμενή αερισμού διατηρήθηκε μικρότερη από $D.O < 1.0$ (mg/l) με μέση τιμή $D.O = 0.9$ mg/l, ενώ οι υπόλοιπες δεξαμενές λειτούργησαν κάτω από χαμηλή στάθμη οξυγόνου. Τα λειτουργικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στα ακόλουθα διαγράμματα. Στα διαγράμματα αυτά παρουσιάζεται, η κατά την διάρκεια της φόρτισης, ημερήσια διακύμανση των ακόλουθων παραμέτρων : της θερμοκρασίας στον αντιδραστήρα, του υδραυλικού χρόνου παραμονής, του λόγου άνθρακα προς άζωτο C/N των εισερχόμενων λυμμάτων σε όρους COD προς TKN, της οργανικής φόρτισης F/M, της συνολικής απομάκρυνσης αμμωνιακού αζώτου, της συγκέντρωσης του ανάμικτου υγρού σε όρους ολικών αιωρούμενων στερεών, του δείκτη καθιζσιμότητας της λάσπης SVI, καθώς και των τιμών φόρτισης της δεξαμενής τελικής καθίζησης.

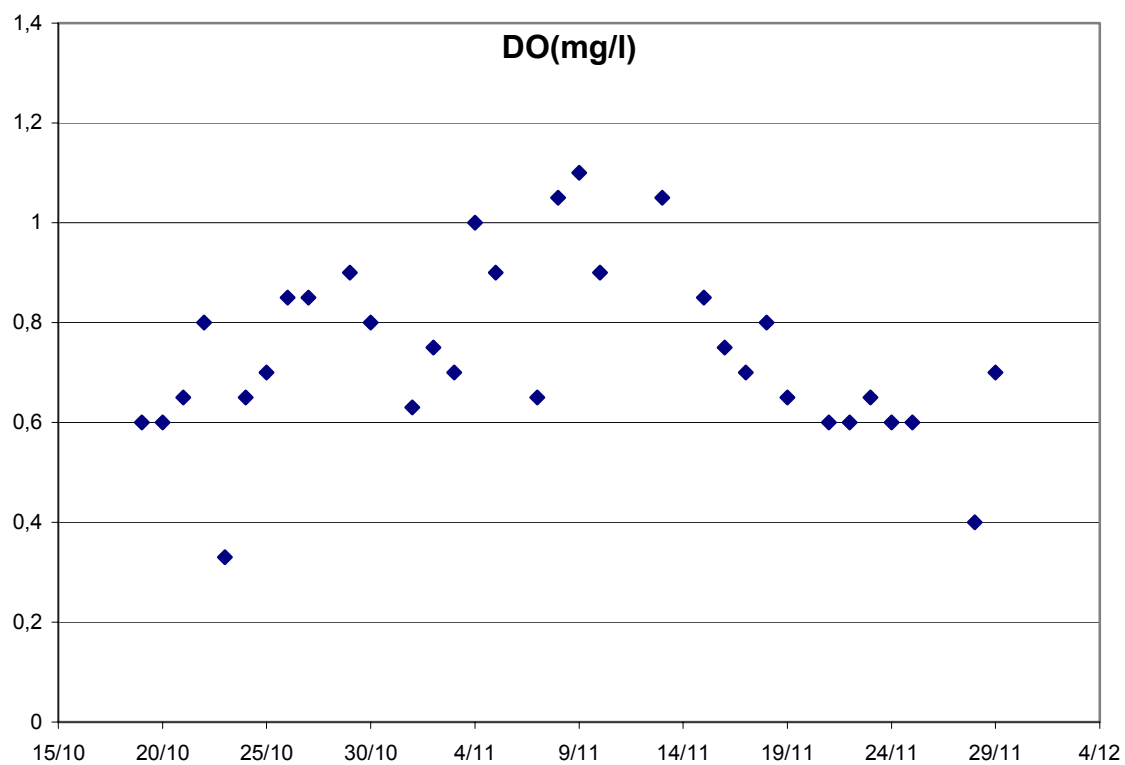
Η ισχύς των εισερχόμενων λυμμάτων ήταν σε μέσες τιμές 644 mg/l COD και TKN= 62 mg/l με λόγο $C/N = 10.4$. Το σύστημα λειτούργησε με υδραυλικό χρόνο παραμονής $HRT = 0.95d$, θερμοκρασία $T = 22.4$ °C. Η συγκέντρωση του ανάμικτου υγρού κυμάνθηκε περί της τιμής $MLSS = 2861$ mg/l, ενώ η ανακυκλοφορία ιλύος από την δεξαμενή καθίζησης ήταν περίπου 120% της παροχής εισόδου. Η οργανική φόρτιση (F/M) κυμάνθηκε περί τα 0.24 kgCOD/kgMLSS.d και τα χαρακτηριστικά εξόδου ήταν σε μέσες τιμές $COD = 31$ mg/l, $[NH_4^+-N] = 4.9$ mg/l, $[NO_3-N] = 7.79$ mg /l.

Η απομάκρυνση του οργανικού φορτίου ήταν 95.2% σε όρους COD. Το ποσοστό απομάκρυνσης του εισερχόμενου φορτίου αμμωνιακού αζώτου ήταν 97% ενώ η ολική απομάκρυνση του αζώτου ήταν 83.2%. ενώ ελάχιστα φαινόμενα διαφυγής στερεών παρατηρήθηκαν. Ακόμα τις τελευταίες δέκα μέρες παρατηρήθηκε η πτώση του ρυθμού ζήτησης οξυγόνου καθώς και η αδυναμία της εγκατάστασης να απομακρύνει τις εισερχόμενες ποσότητες αζώτου.

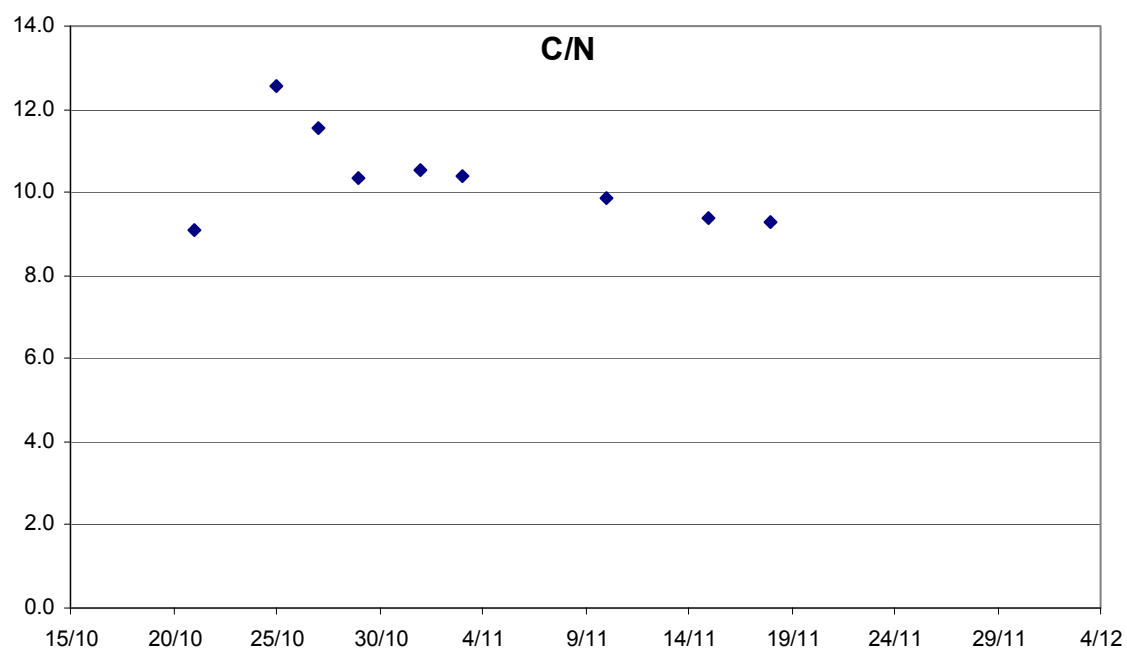
ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ

4η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ (ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ-ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ)

ΣΤΑΘΜΗ ΟΞΥΓΟΝΟΥ ($D.O < 1.0$)



Σχήμα Δ1 Συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου στην κεντρική μονάδα αερισμού.

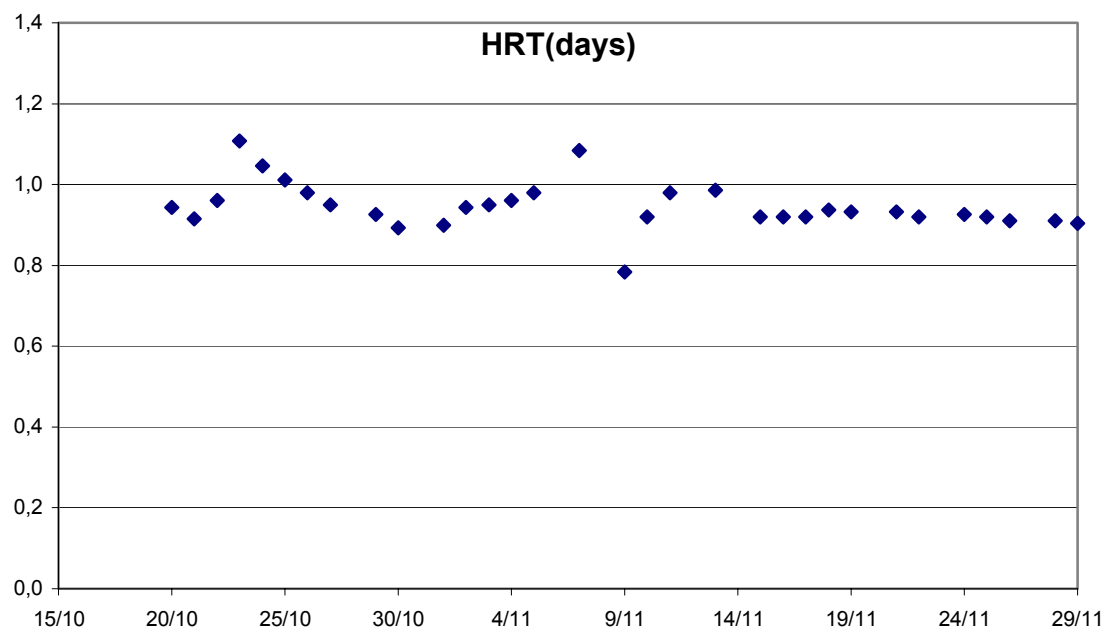


Σχήμα Δ2. Λόγος C/N (COD ολικό εισόδου προς άζωτο εισόδου).

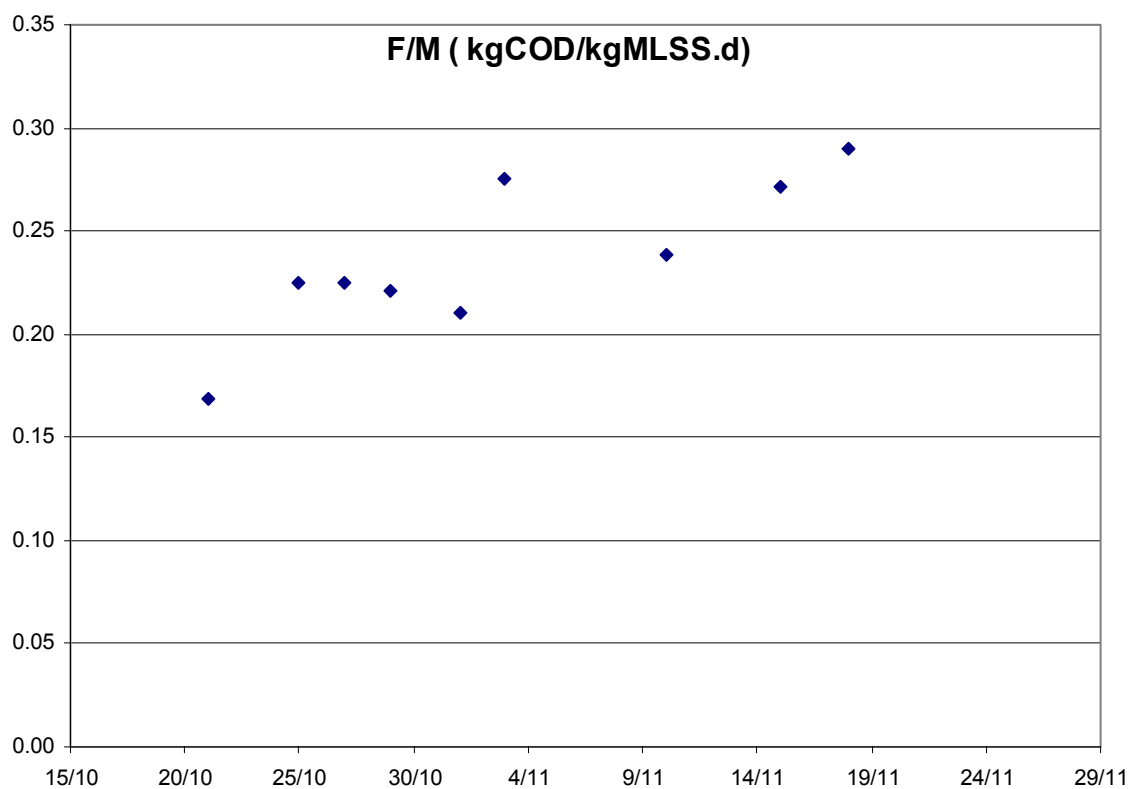
ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ

4η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ (ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ-ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ)

ΣΤΑΘΜΗ ΟΞΥΓΟΝΟΥ ($D.O < 1.0$)



Σχήμα Δ3. Υδραυλικός χρόνος παραμονής.

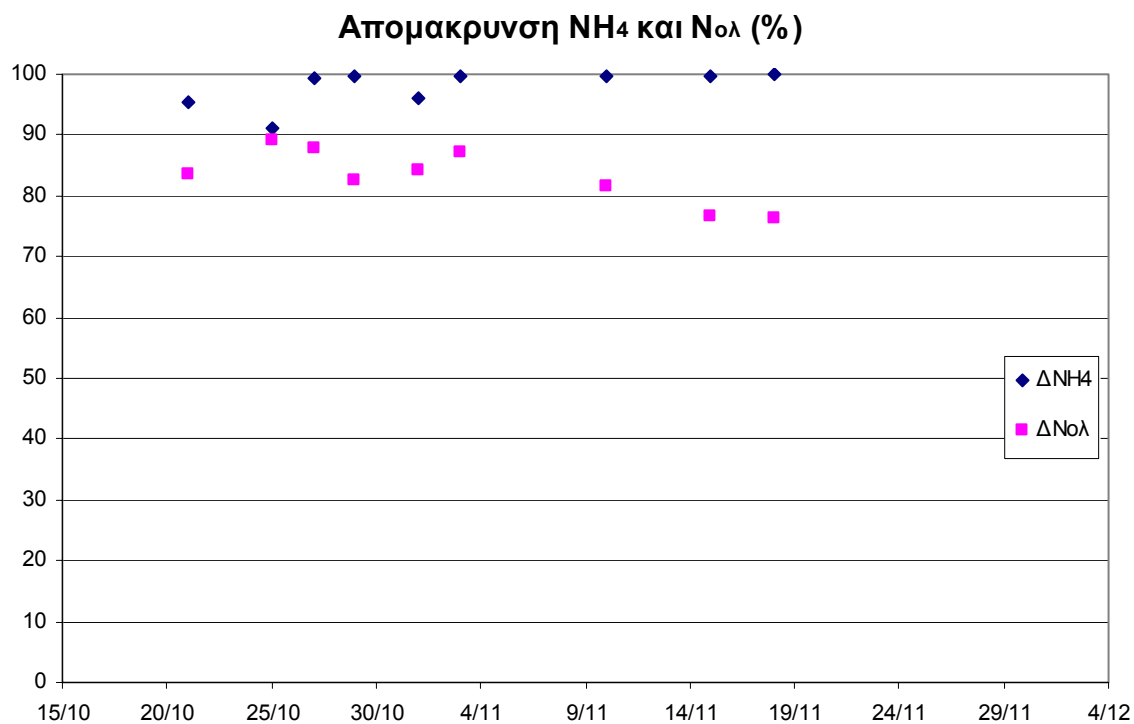


Σχήμα Δ4. Οργανική φόρτιση.

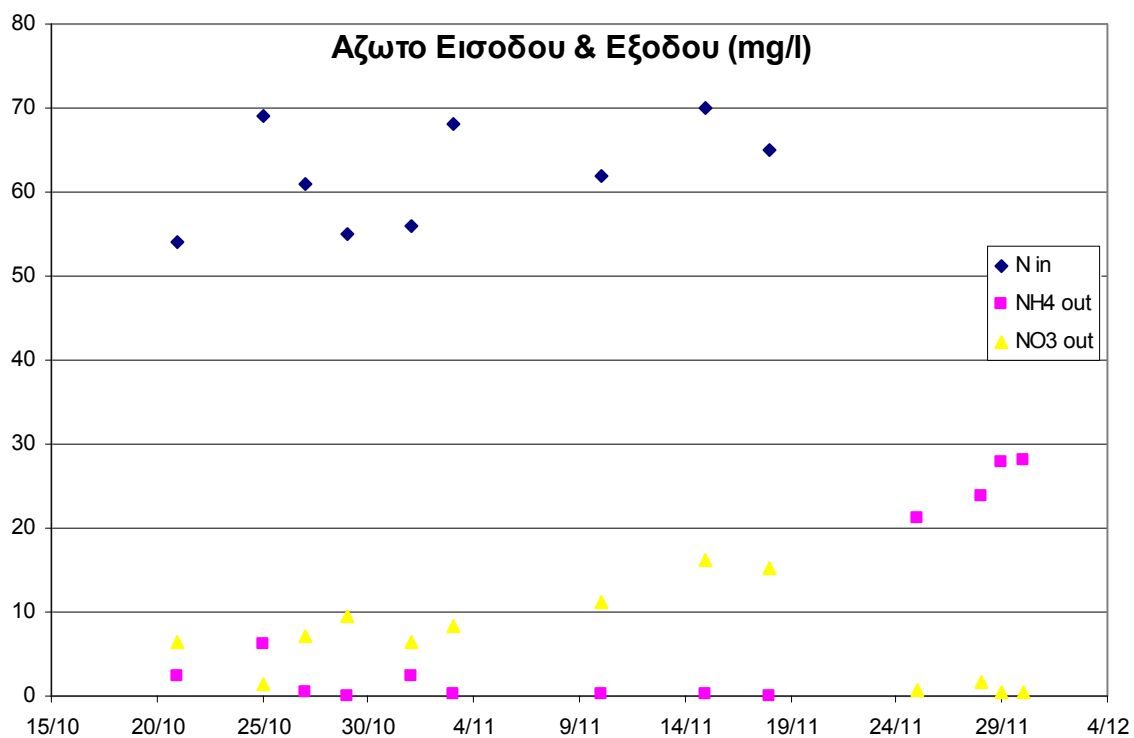
ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ

4η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ (ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ-ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ)

ΣΤΑΘΜΗ ΟΞΥΓΟΝΟΥ (D.O<1.0)



Σχήμα Δ5. Επί της εκατό απομάκρυνση αμμωνίας & αζώτου.

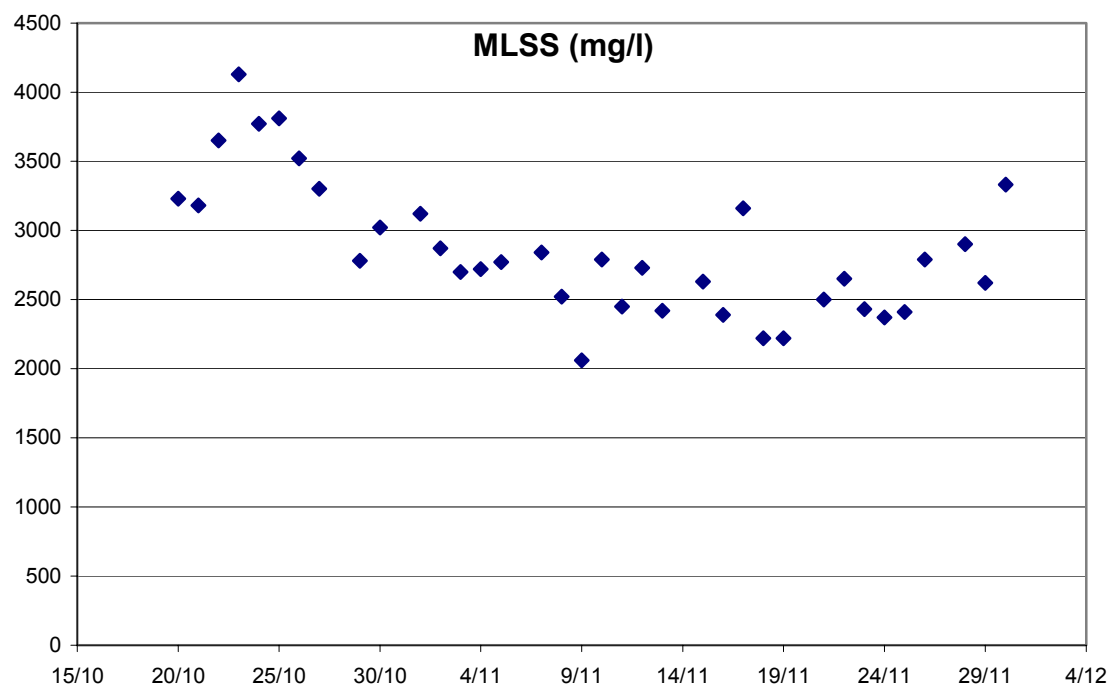


Σχήμα Δ6. Συγκεντρώσεις αζώτου στην είσοδο και έξοδο της μονάδας.

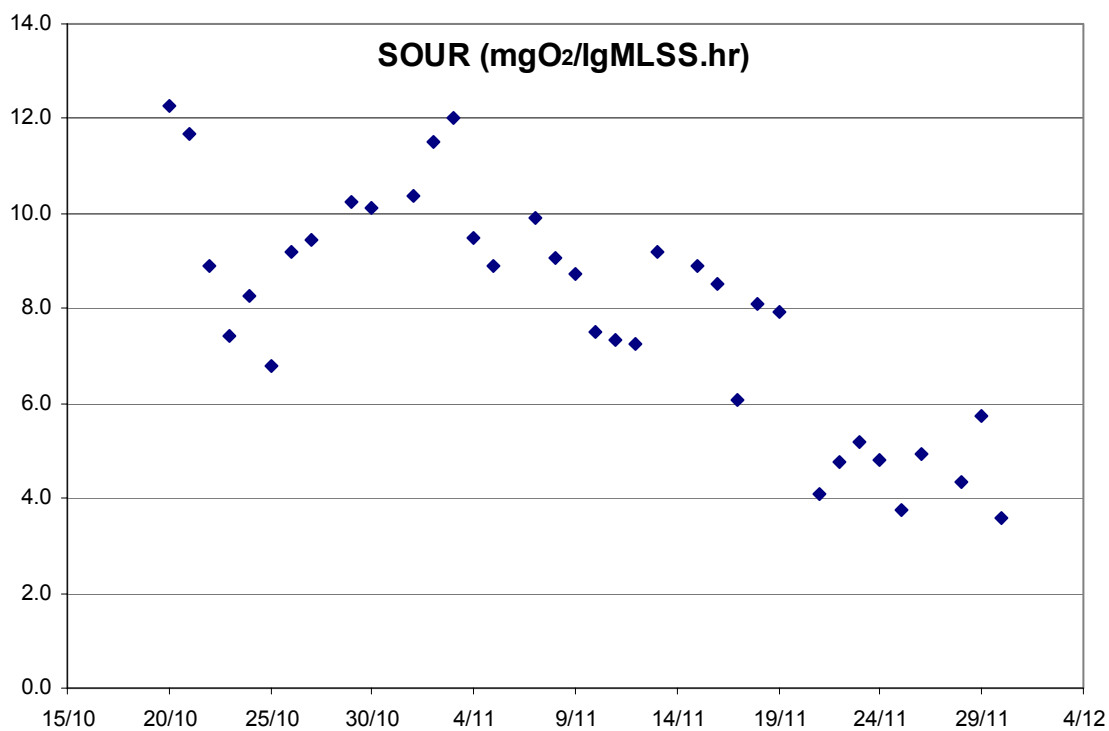
ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ

4η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ (ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ-ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ)

ΣΤΑΘΜΗ ΟΞΥΓΟΝΟΥ ($D.O < 1.0$)



Σχήμα Δ7. Συγκέντρωση στερεών.

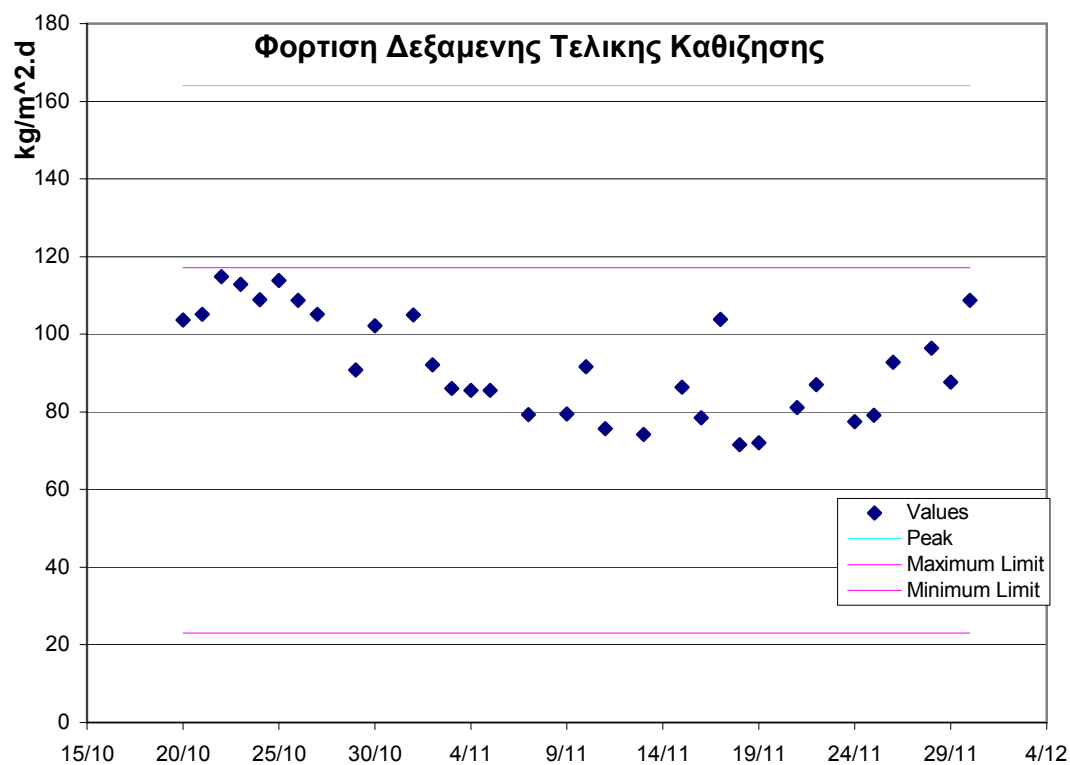


Σχήμα Δ8. Ειδικός ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου από τους νιτροποιητες.

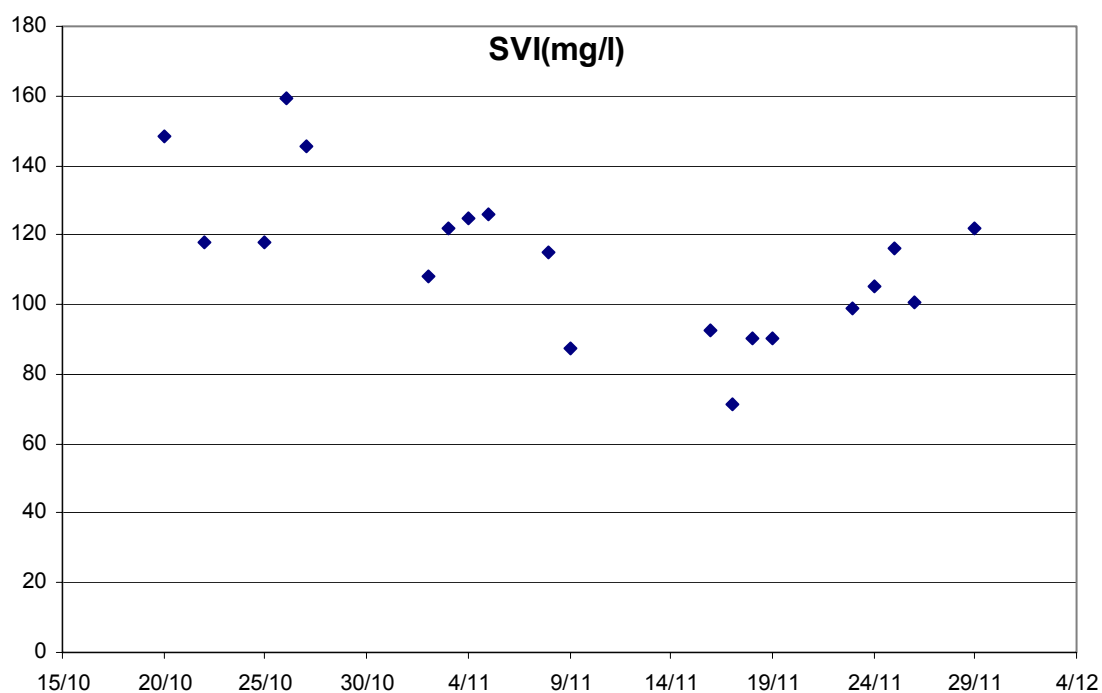
ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ

4η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ (ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ-ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ)

ΣΤΑΘΜΗ ΟΞΥΓΟΝΟΥ (D.O<1.0)



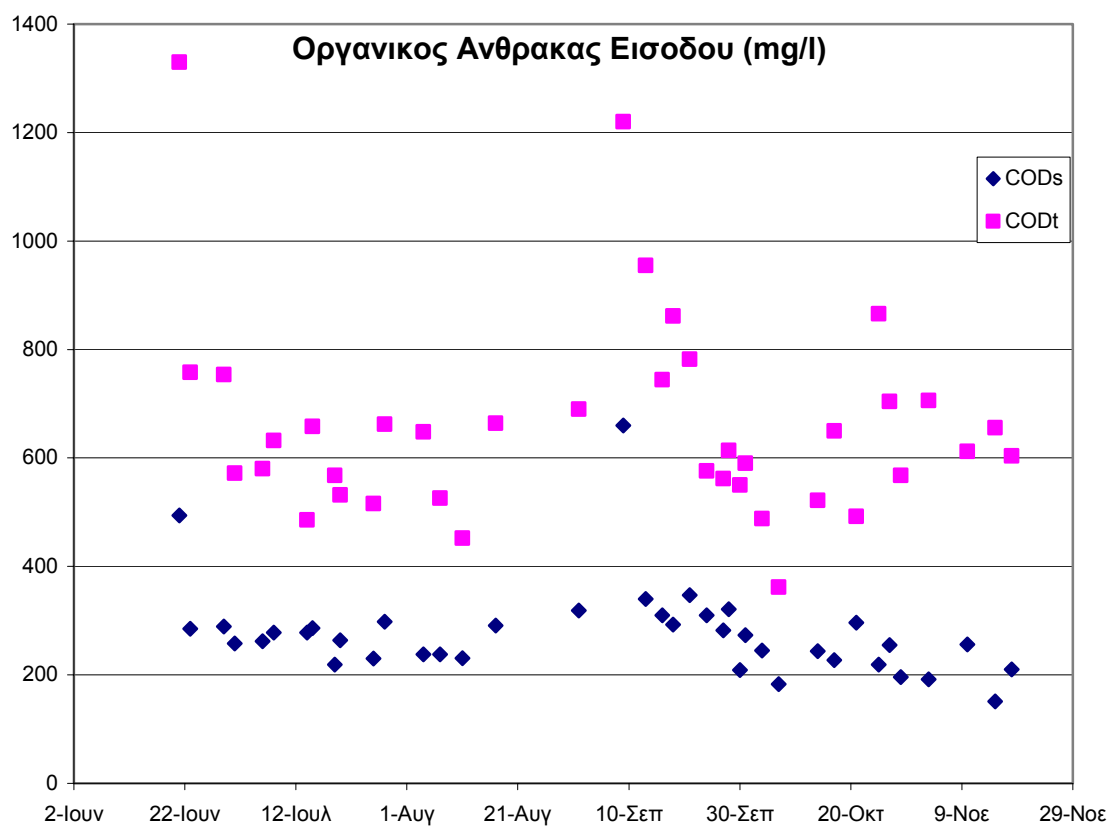
Σχήμα Δ9. Φόρτιση δεξαμενής τελικής καθίζησης.



Σχήμα Α10. Δείκτης καθιζησημότητας της λάσπης.

ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ

ΓΙΑ ΟΛΗ ΤΗΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ (ΙΟΥΝΙΟΣ-ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ)



Σχήμα Ε1. Συγκεντρώσεις διαλυμένου και ολικού COD στην είσοδο.

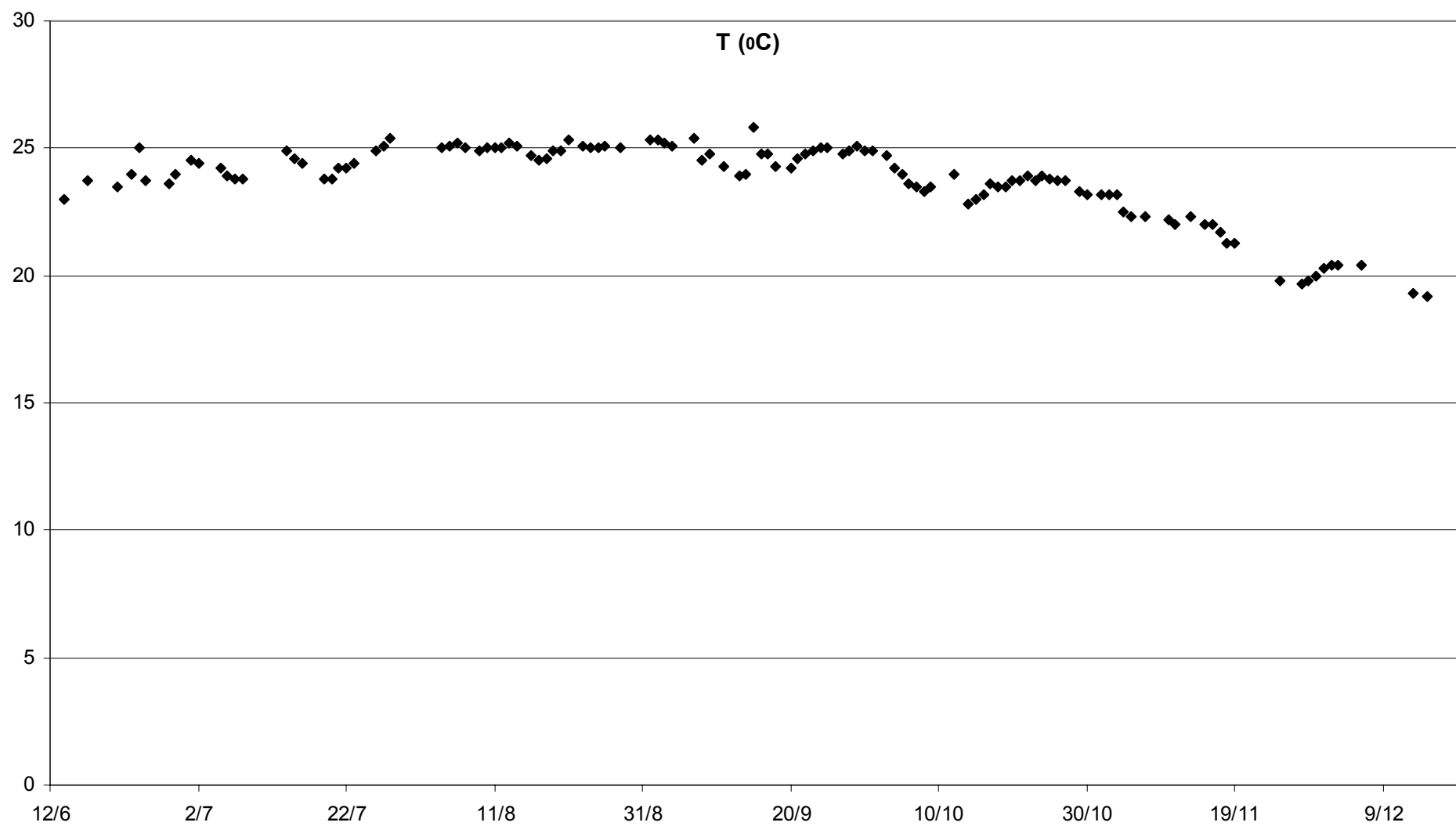
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

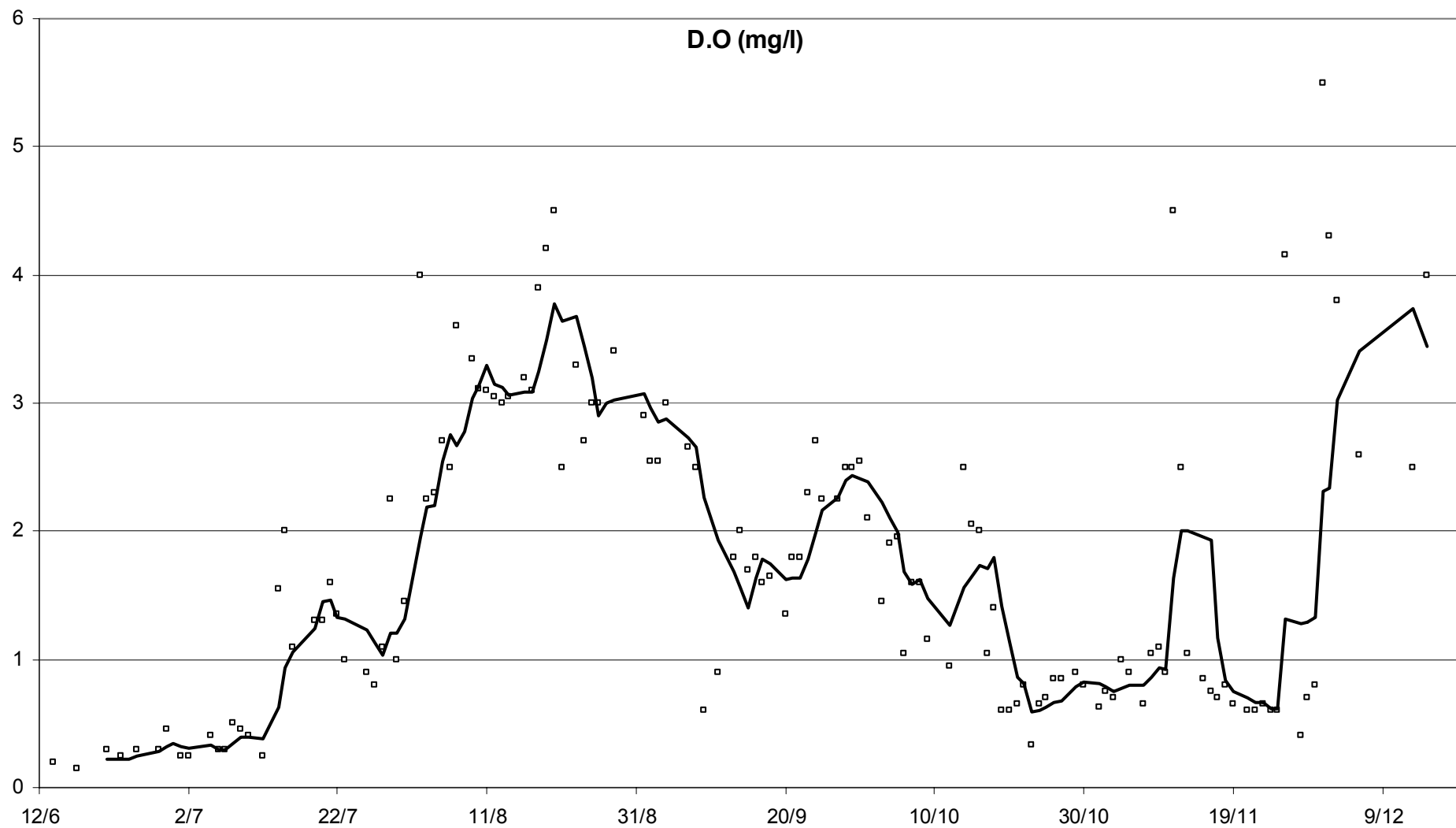
5.1 Απομάκρυνση Οργανικού Φορτίου

Οι φορτίσεις που εφαρμόστηκαν στην πιλοτική μονάδα του Κ.ΕΡ.ΕΦ.Υ.Τ κυμάνθηκαν σε σχετικά μεγάλο εύρος τιμών και συγκεκριμένα από 0.07 kgCOD/kgMLSS.d έως 0.4 kgCOD/kg MLSS.d. Οι συγκεντρώσεις εισόδου του COD κυμάνθηκαν από 400 έως 1200 mgCOD_i/l με λόγο διαλυμένου προς ολικό COD ίσο με $COD_s/COD_t = 0.43$. Η συγκεντρώσεις εκροής ήταν χαμηλές, περίπου $COD_{s_{εξ}} = 33$ mg/l. Η μέτρηση του $COD_{s_{εξ}}$ πριν από την πειραματική περίοδο έδειξε ότι η τιμή του δεν είχε σημαντικές διακυμάνσεις. Για αυτό το λόγο πάρθηκαν ενδεικτικά δείγματα κατά την διάρκεια των πειραματικών μετρήσεων στα οποία η τιμή του $COD_{s_{εξ}}$ παρέμεινε σταθερή σε όλα τα δείγματα σε επίπεδα ίδια με τις τιμές των προκαταρκτικών μετρήσεων.

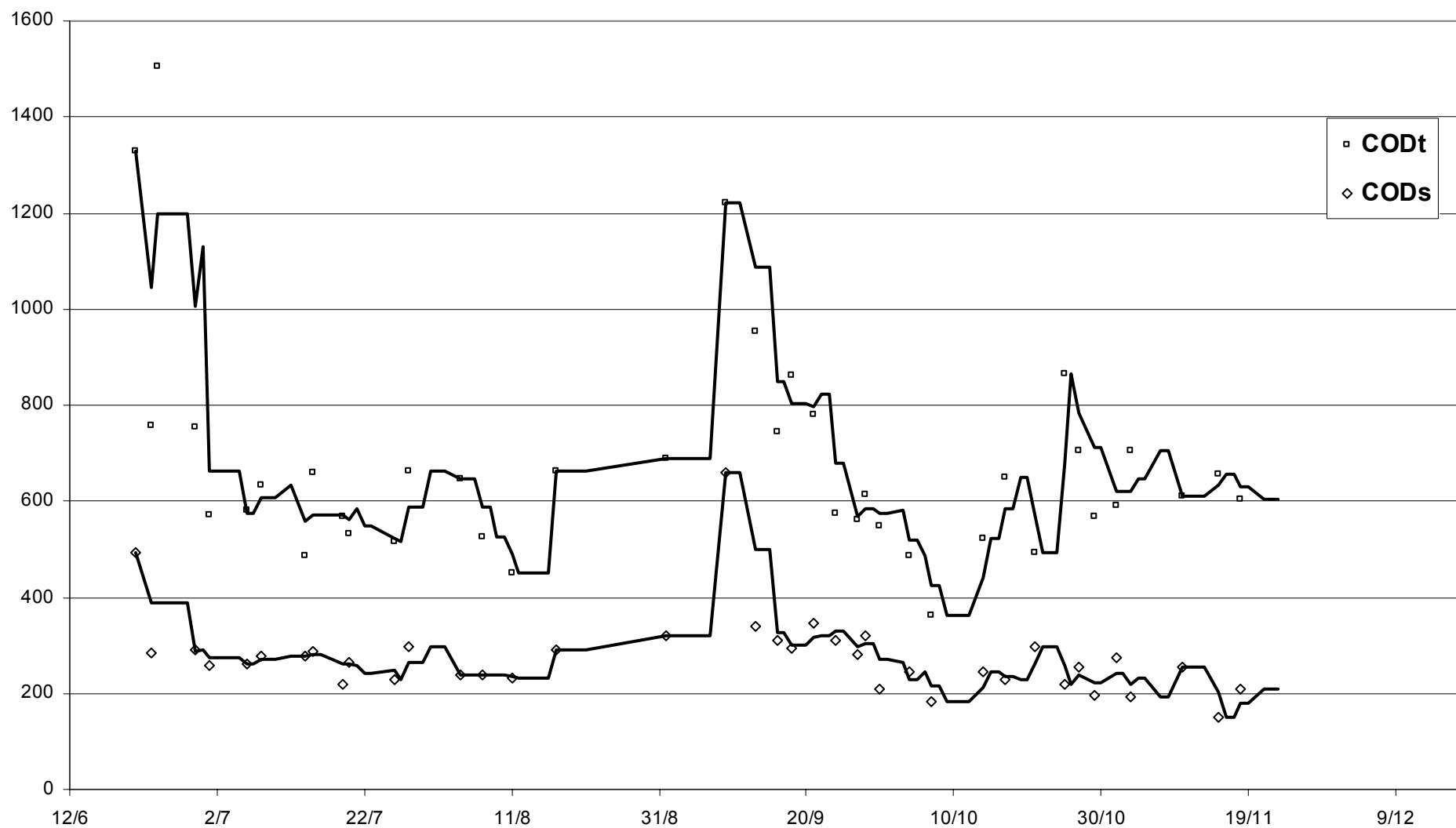
Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται η θερμοκρασία, η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου D.O σε mg/l οι συγκεντρώσεις του COD_{εισόδου} σε mg/l, αλλά και η φόρτιση F/M σε kgCOD/kg MLSS.d κατά την διάρκεια των πειραματικών μετρήσεων. Στα διαγράμματα αυτά τα δεδομένα παρουσιάζονται ως τιμές κινουμένων μέσων όρων 7 ημερών, έτσι ώστε με την εξομάλυνση που επιτυγχάνεται, να αντιμετωπίζεται η επίδραση τυχόν θορύβου προερχόμενου από περιστατικά διαταραχής των πραγματοποιούμενων διεργασιών, λόγω λειτουργικών προβλημάτων είτε λόγω εισροής αναχαιτιστικών ουσιών.



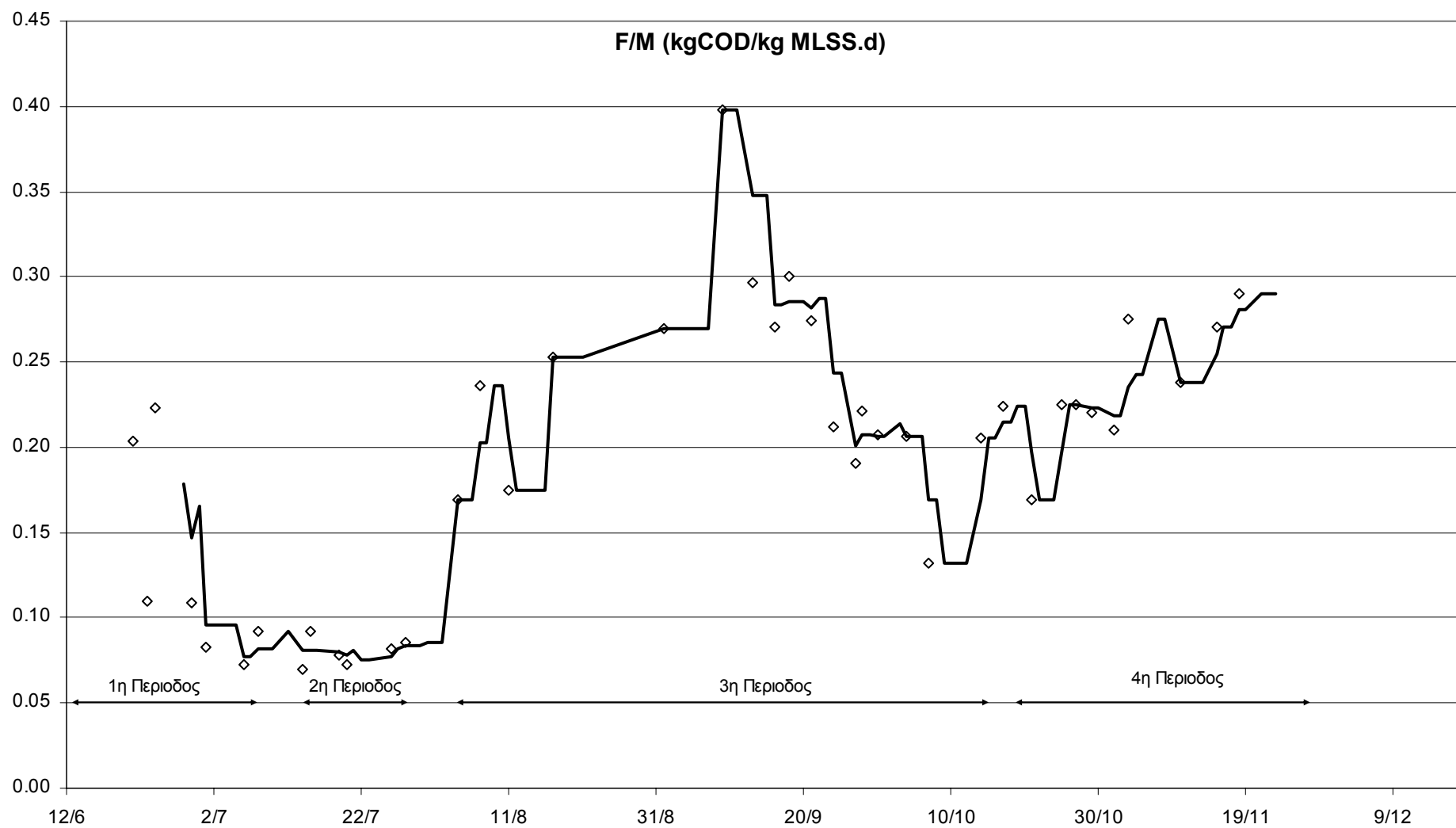
Σχήμα 5.1. Διακύμανση της θερμοκρασίας κατά την διάρκεια των πειραμάτων.



Σχήμα 5.2. Διακύμανση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου στην κεντρική μονάδα αερισμού.



Σχήμα 5.3. Συγκεντρώσεις στην είσοδο της μονάδας ολικού και διαλυμένου COD.



Σχήμα 5.4. Διακύμανση της φόρτισης κατά την διάρκεια των πειραματικών μετρήσεων.

Παρατηρήθηκε ότι για το εύρος τιμών των φορτίσεων, της συγκέντρωσης του D.O αλλά και των θερμοκρασιών που επικρατούσαν στην μονάδα κατά την διάρκεια των πειραμάτων η απομάκρυνση του οργανικού φορτίου ήταν σχεδόν πλήρης σε όλη την διάρκεια λειτουργίας της. Ο βαθμός απόδοσης κυμάνθηκε σε επίπεδα υψηλότερα από 93.1% και φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 5.5. Επί της εκατό απομάκρυνση οργανικού φορτίου κατά την διάρκεια των πειραμάτων.

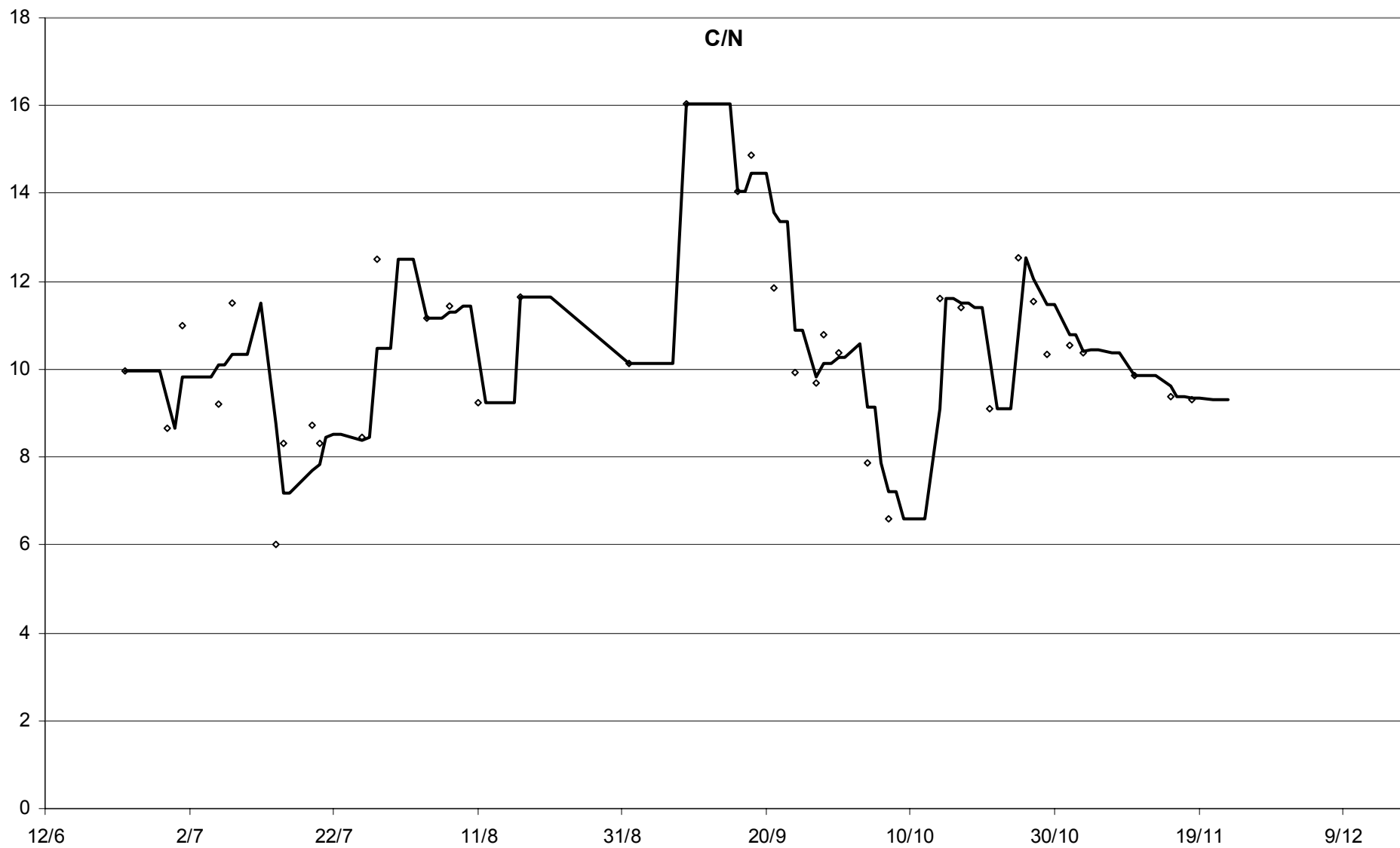
Στην υψηλή απόδοση της μονάδας ως προς την απομάκρυνση του οργανικού φορτίου έπαιξαν σημαντικό ρόλο οι παρακάτω παράμετροι, α) *ΦΟΡΤΙΣΗ* : η φόρτιση της μονάδας ήταν σχετικά χαμηλή. Αλλά ακόμα και στην περίοδο όπου η φόρτιση ήταν 0.24 kgCOD/kgMLSS.d και η συγκέντρωση του οξυγόνου ήταν χαμηλή, D.O = 0.9 mg/l η απόδοση της μονάδας ως προς την απομάκρυνση του οργανικού φορτίου ήταν 95.2% β) *ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ* : η θερμοκρασίες στην διάρκεια των πειραματικών μετρήσεων κυμάνθηκαν σε υψηλά επίπεδα με μέση τιμή $T = 24,1^{\circ}\text{C}$, και χαμηλότερη τιμή $T = 19.7^{\circ}\text{C}$ στις 28/11.

5.2 Απομάκρυνση Αζώτου

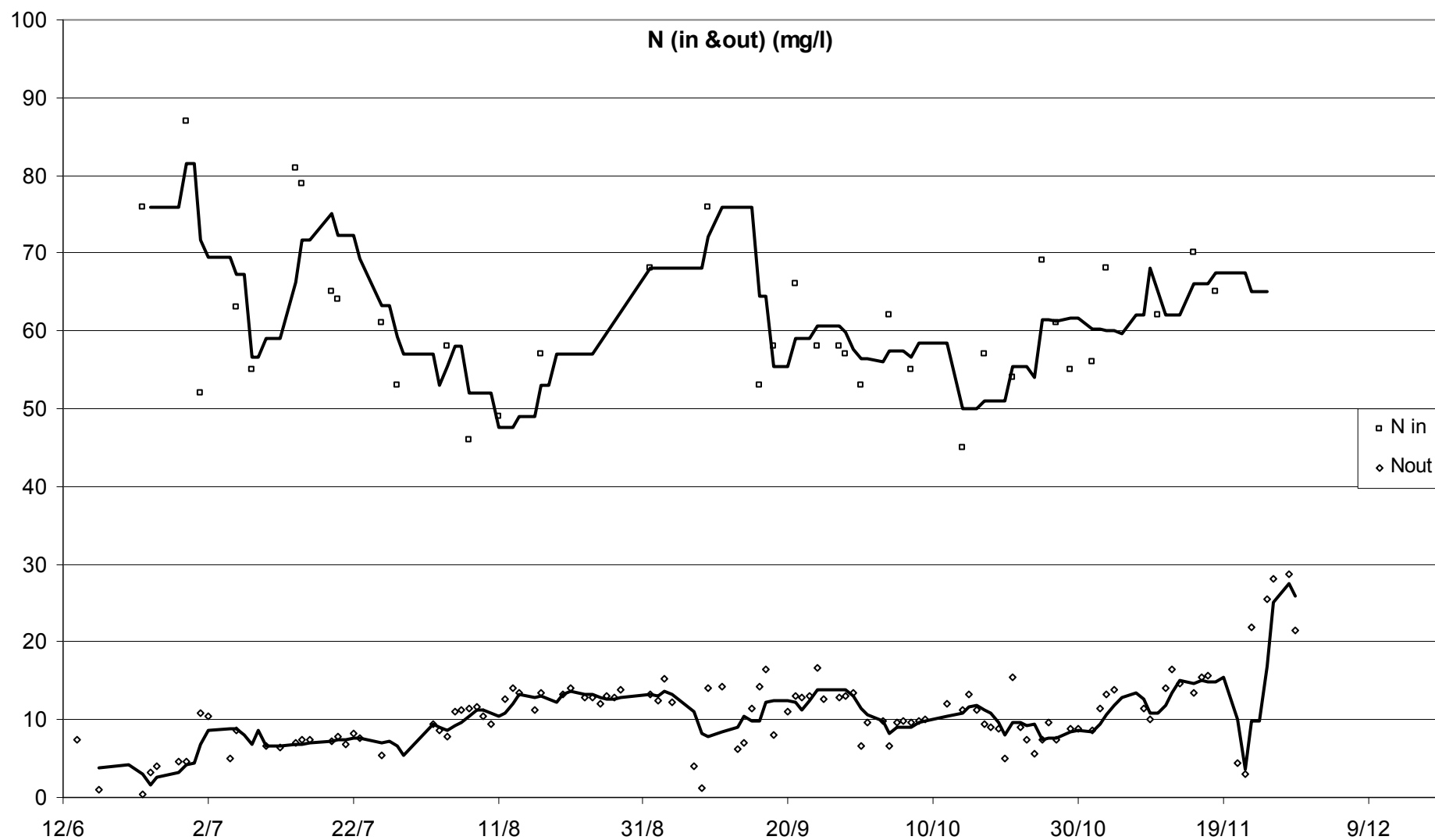
5.2.1 Επίδραση της φόρτισης στην νιτροποίηση

Όπως γνωρίζουμε η διεργασία της νιτροποίησης καθώς και η απόδοση του συστήματος όσο αναφορά την νιτροποίηση σχετίζεται άμεσα με την φόρτιση της μονάδας. Για την διερεύνηση αυτής της επίδρασης στο σύστημα παρουσιάζονται σε διαγράμματα παρακάτω η φόρτιση F/M, ο λόγος C/N, η συγκέντρωση της αμμωνίας στην είσοδο και στην έξοδο της μονάδας, καθώς και ο ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου O.U.R καθ' όλη την διάρκεια των πειραμάτων. Στα διαγράμματα αυτά τα δεδομένα παρουσιάζονται ως τιμές κινουμένων μέσων όρων 7 ημερών, έτσι ώστε με την εξομάλυνση που επιτυγχάνεται, να αντιμετωπίζεται, η επίδραση τυχόν θορύβου προερχόμενου από περιστατικά διαταραχής των πραγματοποιούμενων διεργασιών, λόγω λειτουργικών προβλημάτων είτε λόγω εισροής αναχαιτιστικών ουσιών.

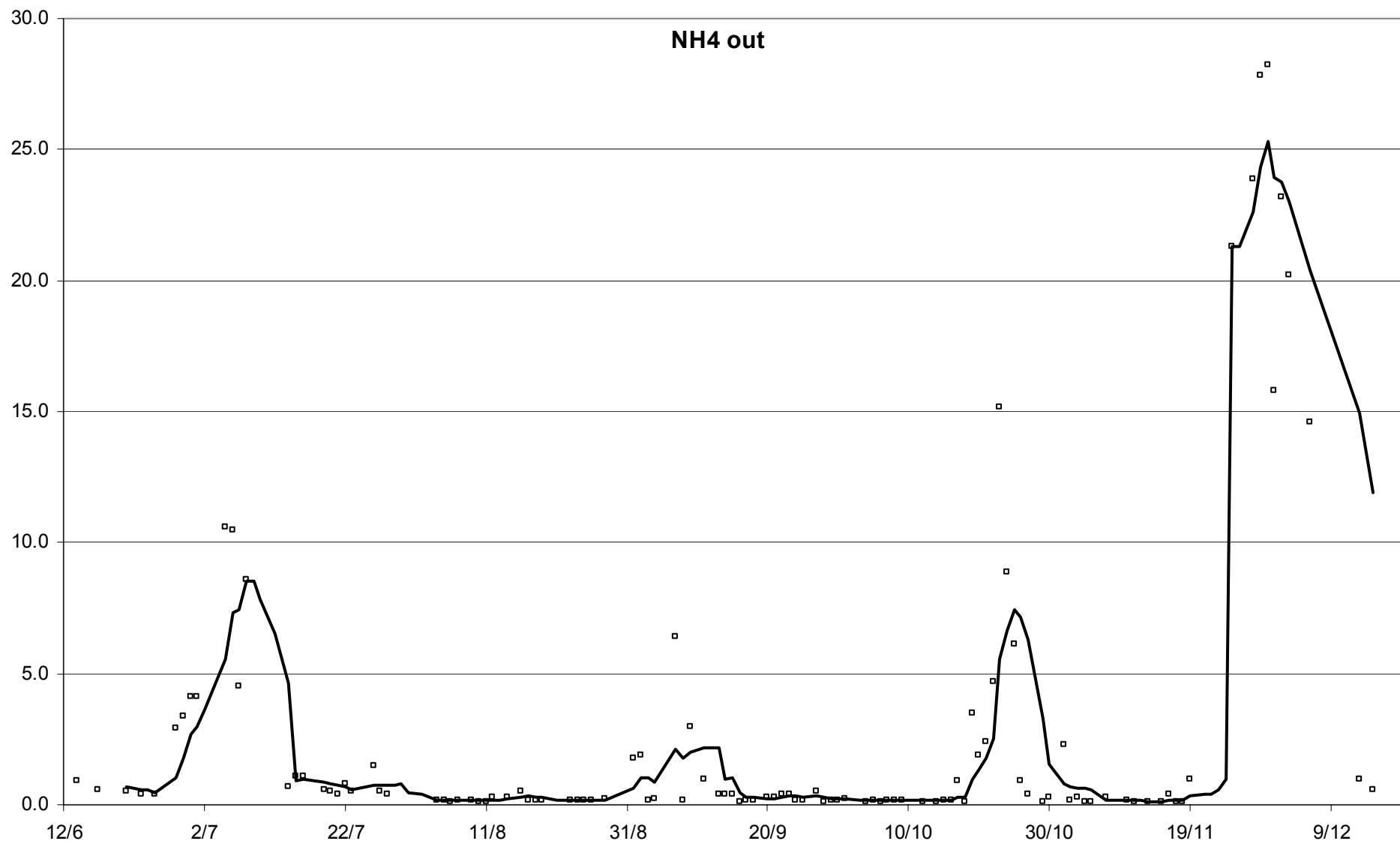
Οι φορτίσεις κάτω από τις οποίες λειτούργησε το σύστημα κατά την διάρκεια των πειραμάτων όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα είναι χαμηλές από 0.15 έως 0.4 kgCOD/kgMLSS.d, η απομάκρυνση της αμμωνίας από το σύστημα ήταν σχεδόν πλήρης. Η συγκέντρωση του αζώτου στην έξοδο παρέμεινε σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια των πειραματικών μετρήσεων, περίπου ίση με 10 mg/l. Η απομάκρυνση της αμμωνίας παρέμεινε σε υψηλά επίπεδα (94.5%) ακόμα και όταν η φόρτιση για ένα μικρό διάστημα κυμάνθηκε σε υψηλά επίπεδα της τάξης των 0.4 kgCOD/kgMLSS.d



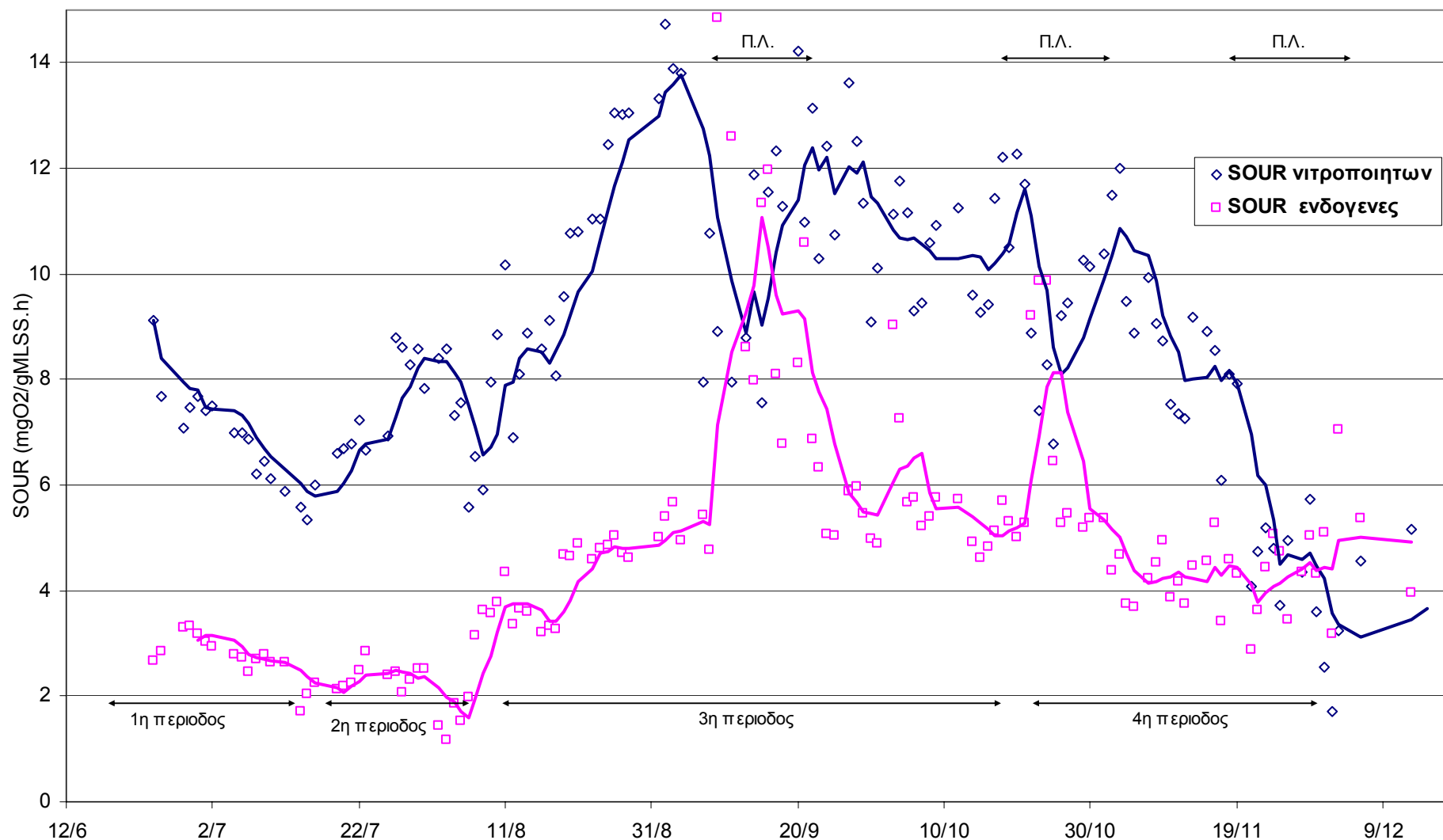
Σχήμα 5.6. Λόγος C/N (COD ολικό εισόδου προς άζωτο εισόδου).



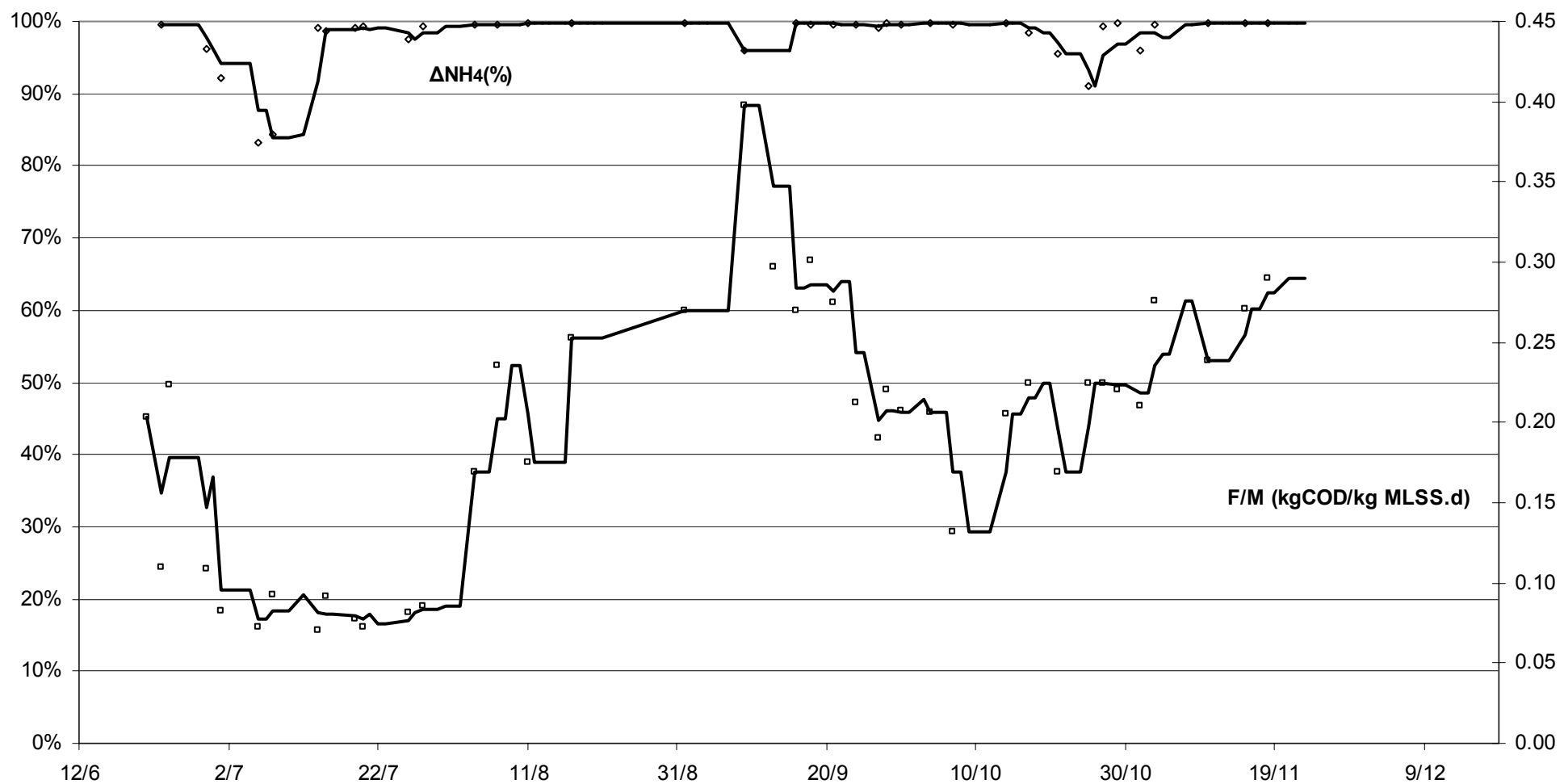
Σχήμα 5.7. Συγκεντρώσεις αζώτου στην είσοδο & έξοδο της μονάδας (mg/l).



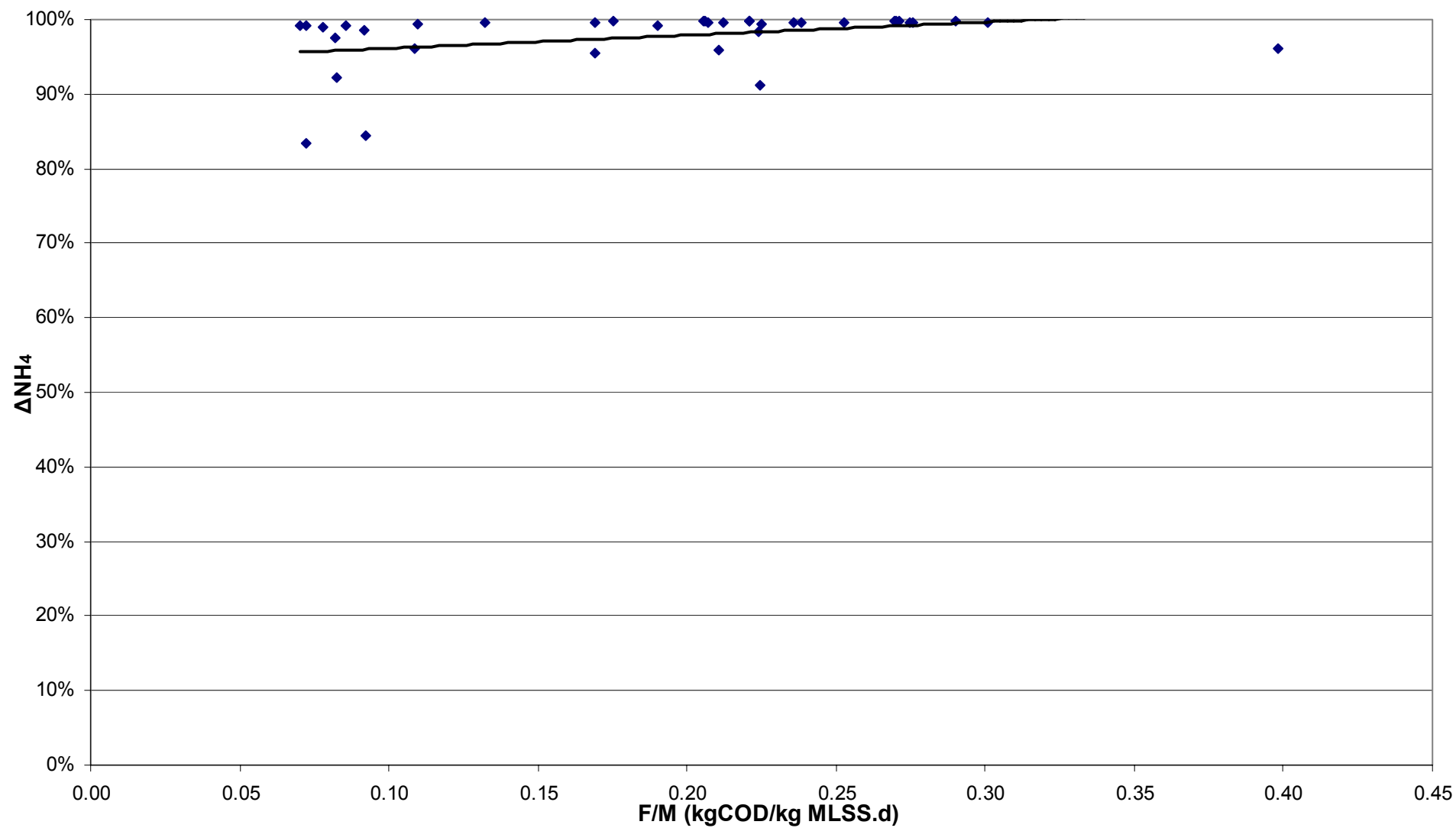
Σχήμα 5.8. Συγκεντρώσεις αμμωνίας στην έξοδο (mg/l).



Σχήμα .5.9. Ειδικός ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου από τους νιτροποιητες & ενδογενώς όπου Π.Λ. είναι περίοδος προβληματικής λειτουργίας (αναχαίτιση νιτροποίησης).

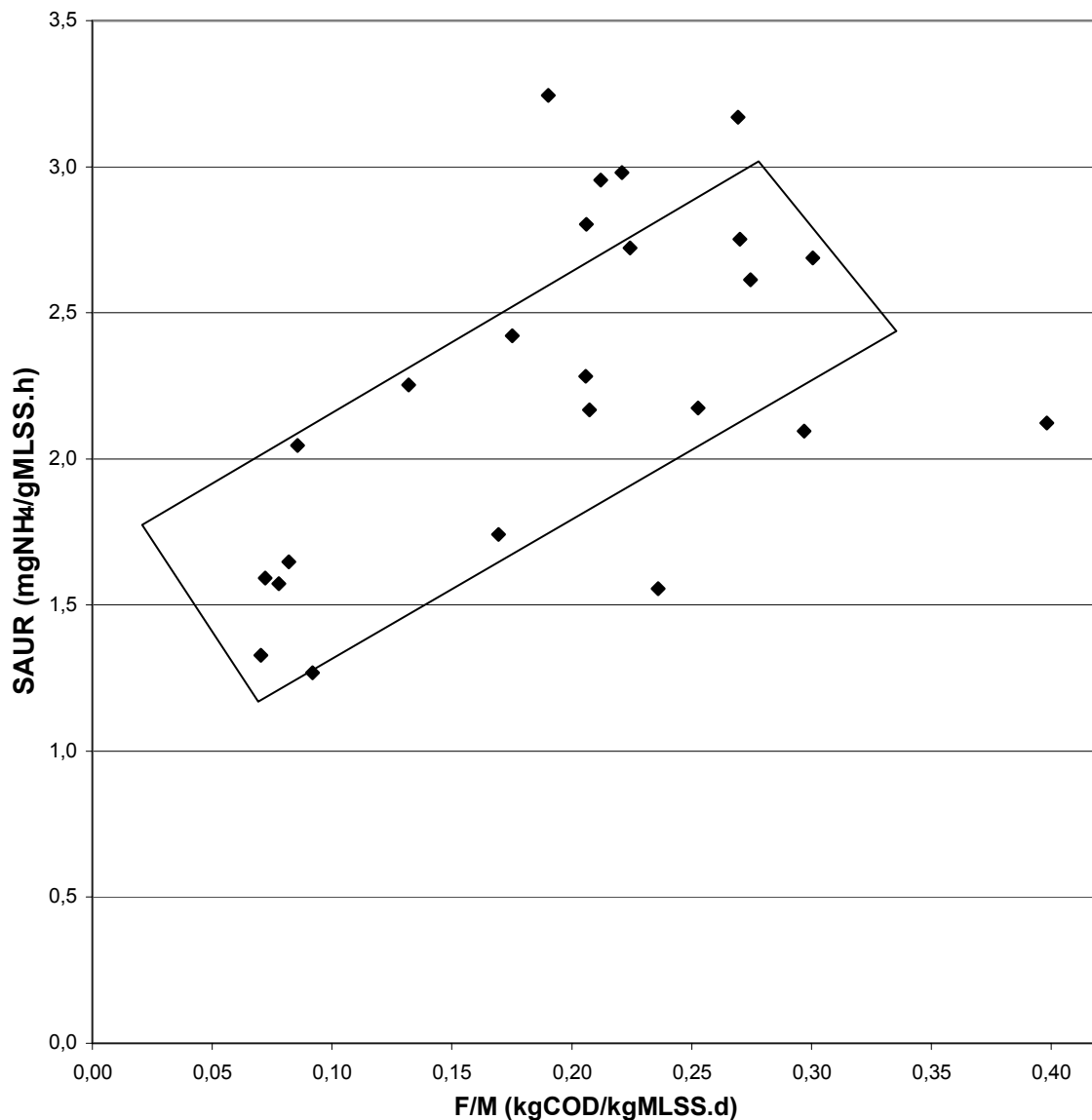


Σχήμα 5.10. Επί της εκατό απομάκρυνση της αμμωνίας & διακύμανση της φόρτισης.



Σχήμα 5.11. Συσχέτιση επί της εκατό απομάκρυνση της αμμωνίας, με την οργανική φόρτιση.

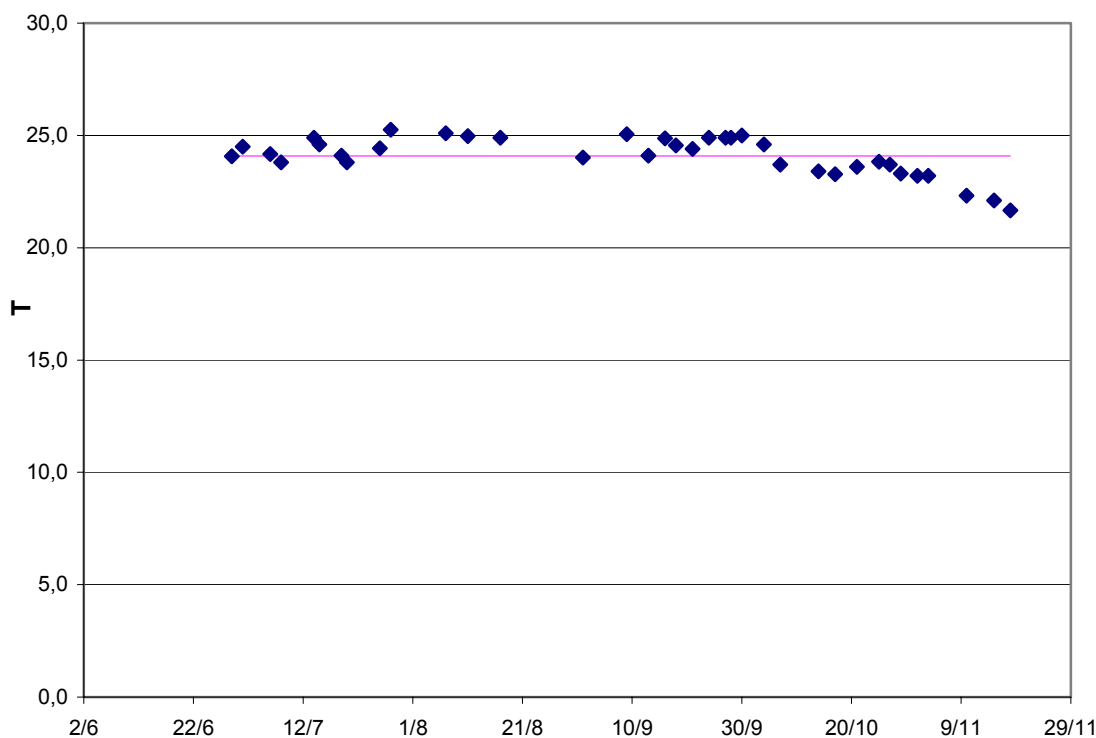
Κάτω από χαμηλή οργανική φόρτιση η απόδοση της νιτροποίησης είναι υψηλή, η συγκέντρωση του αμμωνιακού αζώτου στην έξοδο χαμηλή και η πραγματοποιούμενη ταχύτητα νιτροποίησης επίσης χαμηλή. Με την αύξηση της φόρτισης η ταχύτητα νιτροποίησης αυξάνεται. Αυξάνεται γιατί οι ίδιες ποσότητες αζώτου νιτροποιούνται από μικρότερο πληθυσμό νιτροποιητών. Όσο αυτή η ταχύτητα παραμένει μικρότερη από την μέγιστη ειδική ταχύτητα νιτροποίησης, κάτω από ευνοϊκές συνθήκες λειτουργίας, η νιτροποίηση είναι σταθερή και η ταχύτητα ανάλογη της φόρτισης. Παρακάτω παρουσιάζεται ο ρυθμός κατανάλωσης της αμμωνίας συναρτήσει της φόρτισης (οι τιμές των οποίων αντιστοιχούν σε περίπου ίδιες τιμές θερμοκρασίας).



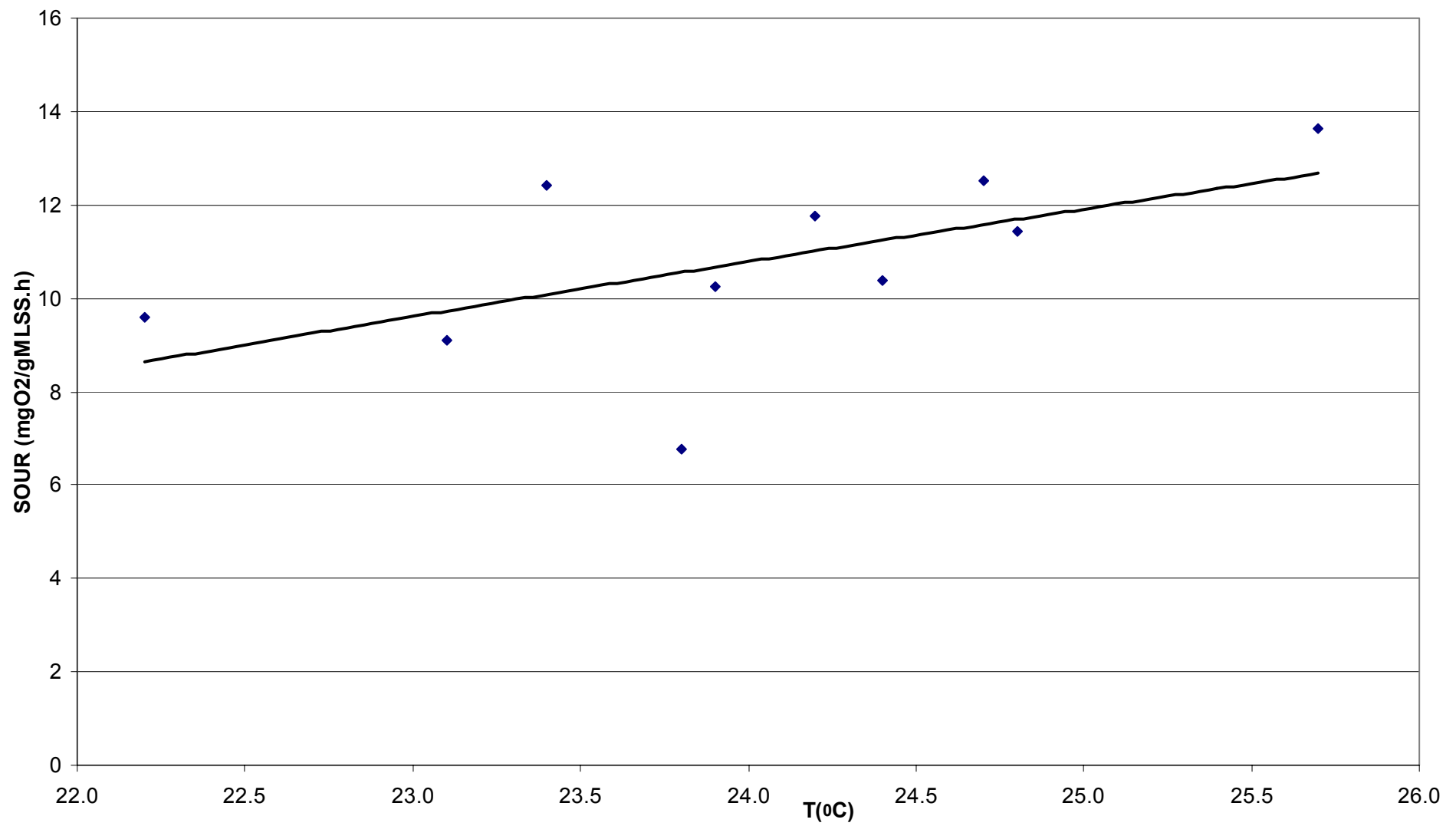
Σχήμα 5.12. Συσχέτιση του ειδικού ρυθμού κατανάλωσης αμμωνίας, με την οργανική φόρτιση.

5.2.2 Επίδραση της θερμοκρασίας στη νιτροποίηση

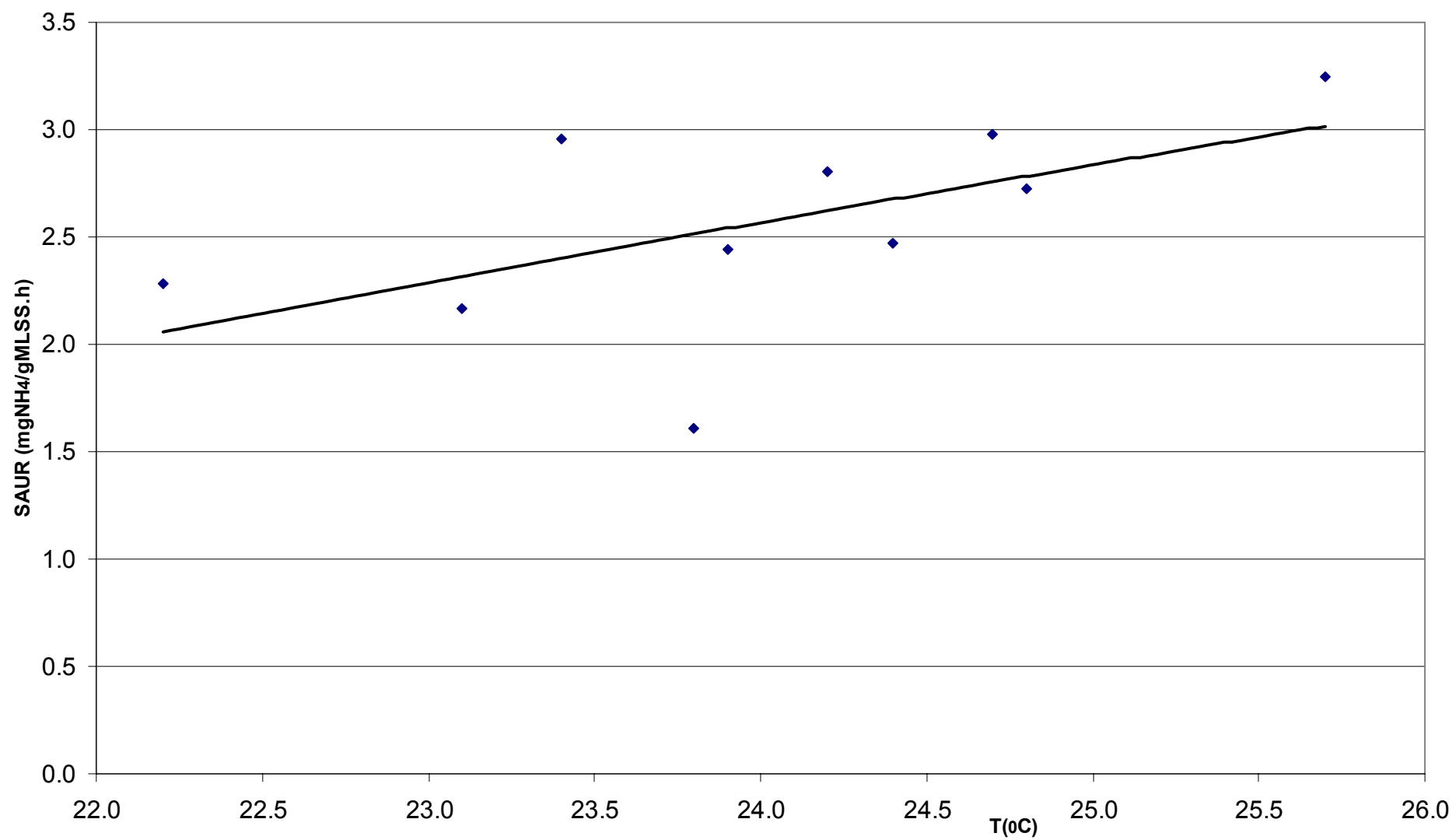
Η θερμοκρασία καθ' όλη την διάρκεια των μετρήσεων παρέμεινε σε υψηλά επίπεδα. Αναλυτικά η διακύμανση της θερμοκρασίας στην περίοδο των πειραμάτων φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα. Η μέση τιμή της για όλο το εύρος των πειραματικών μετρήσεων ήταν $T = 24,1^{\circ}\text{C}$.



Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται ο ρυθμό κατανάλωσης οξυγόνου συναρτήσει θερμοκρασίας. Οι τιμές αυτές αναφέρονται σε φορτίσεις της τάξης των $0.21 \text{ kgCOD/kgMLSS.d}$. Στο διάγραμμα αυτό βλέπουμε την άμεση επίδραση της θερμοκρασίας στον ρυθμό κατανάλωσης του οξυγόνου και κατ' επέκταση στον ρυθμό κατανάλωσης της αμμωνίας και στην απομάκρυνση της από το σύστημα. Ο ρυθμός κατανάλωσης της αμμωνίας όπως ήταν αναμενόμενο αυξάνεται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία. Αυτή η αύξηση του ρυθμού λόγω της θερμοκρασίας μας επιτρέπει να έχουμε υψηλά ποσοστά απομάκρυνσης αμμωνίας παρόλο που το σύστημα λειτουργεί κάτω από χαμηλή στάθμη διαλυμένου οξυγόνου. Όπως έχουμε αναφέρει στο δεύτερο κεφάλαιο στην βιβλιογραφική ανασκόπηση για κάθε gNH_4^+-N που απομακρύνεται απαιτούνται 4.2gO_2 . Έτσι ο ρυθμός κατανάλωσης της αμμωνίας συναρτήσει της θερμοκρασίας παρουσιάζεται παρακάτω.



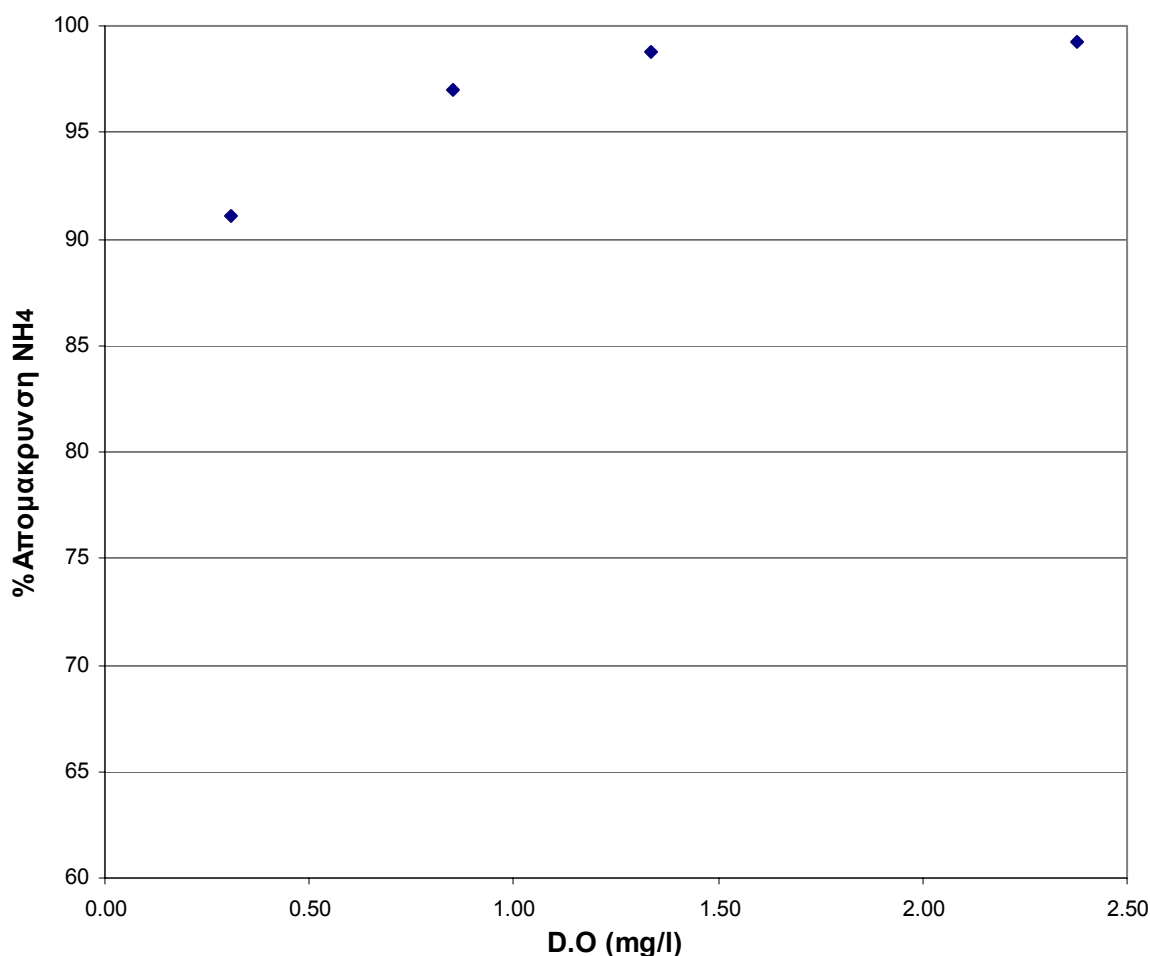
Σχήμα 5.13. Συσχέτιση του ειδικού ρυθμού κατανάλωσης οξυγόνου με τη θερμοκρασία.



Σχήμα 5.13. Συσχέτιση του ειδικού ρυθμού κατανάλωσης αμμωνίας με τη θερμοκρασία.

5.2.3 Συσχέτιση της νιτροποίησης με τη στάθμη του διαλυμένου οξυγόνου

Κατά την διάρκεια της πρώτης και της τέταρτης πειραματικής περιόδου η στάθμη του διαλυμένου οξυγόνου ήταν χαμηλή. Στην πρώτη πειραματική περίοδο η μέση τιμή της στάθμης του διαλυμένου οξυγόνου ήταν $D.O = 0.31 \text{ mg/l}$ ενώ στην δεύτερη $D.O = 0.9 \text{ mg/l}$. Οι μέσες τιμές της θερμοκρασίας και της φόρτισης στην πρώτη και τέταρτη περίοδο ήταν $F/M = 0.11$ και $0.24 \text{ kgCOD/kgMLSS.d}$ και $T = 23.8^\circ\text{C}$ και 22.4°C αντίστοιχα. Στις άλλες δυο περιόδους η συγκέντρωση του οξυγόνου κυμαίνεται σε υψηλές τιμές μεγαλύτερες από $D.O = 1.6 \text{ mg/l}$, και η μέση φόρτιση, θερμοκρασία έχουν τιμές $0.24 \text{ kgCOD/kgMLSS.d}$, και 24.5°C



Σχήμα 5.14. Συσχέτιση της επί τις εκατό απομάκρυνσης της αμμωνίας με τη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου.

Στη διάρκεια της πρώτης περιόδου όπου η μέση τιμή της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου ήταν $D.O = 0.31 \text{ mg/l}$, η επί τις εκατό απομάκρυνση της αμμωνίας είχε μέση τιμή 91.1%. Στην δεύτερη περίοδο η τιμή του διαλυμένου οξυγόνου ήταν $D.O = 1.34 \text{ mg/l}$, με απομάκρυνση αμμωνίας 98.8%. Στην τρίτη περίοδο η τιμή του διαλυμένου οξυγόνου ήταν $D.O = 2.38 \text{ mg/l}$, με απομάκρυνση αμμωνίας 99.3% και τέλος στην τετάρτη περίοδο η τιμή του διαλυμένου οξυγόνου ήταν $D.O = 0.9 \text{ mg/l}$, με απομάκρυνση αμμωνίας 97%.

Η απομάκρυνση της αμμωνίας ήταν ικανοποιητική καθ' όλη την διάρκεια της πειραματικής περιόδου ακόμα και στις περιόδους όπου η στάθμη του διαλυμένου οξυγόνου ήταν χαμηλή. Επομένως παρατηρούμε ότι χαμηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου δεν είναι περιοριστικές για την απόδοση του συστήματος όσον αφορά την νιτροποίηση, αντίθετα η απόδοση του μπορεί να κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα.

Οι υψηλές αποδόσεις απομάκρυνσης της αμμωνίας από το σύστημα παρά την ύπαρξη χαμηλής στάθμης οξυγόνου οφείλονται κυρίως σε τρεις παράγοντες :

1. Στις σχετικά χαμηλές φορτίσεις κάτω από τις οποίες λειτουργούσε η μονάδα
2. Στις υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούσαν στο σύστημα
3. Στην έντονη ανάδευση που δημιουργούσε το σύστημα αερισμού στις δεξαμενές του συστήματος ακόμα και κάτω από χαμηλή στάθμη οξυγόνου

Οι φορτίσεις κάτω από τις οποίες λειτουργούσε το σύστημα μπορεί να είναι σχετικά χαμηλές, της τάξης των $0.3 \text{ kgCOD/kgMLSS.d}$ αλλά είναι φορτίσεις οι οποίες επικρατούν σε πολλές μικρές εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων στην Ελλάδα. Ακόμα οι υψηλές θερμοκρασίες που μετρήθηκαν κατά τη διάρκεια των πειραμάτων, τις τάξεις των $T = 20^\circ\text{C}$ είναι θερμοκρασίες, οι οποίες επικρατούν στον Ελλαδικό χώρο, τουλάχιστον 8 μήνες τον χρόνο.

5.3 Αναχαίτιση

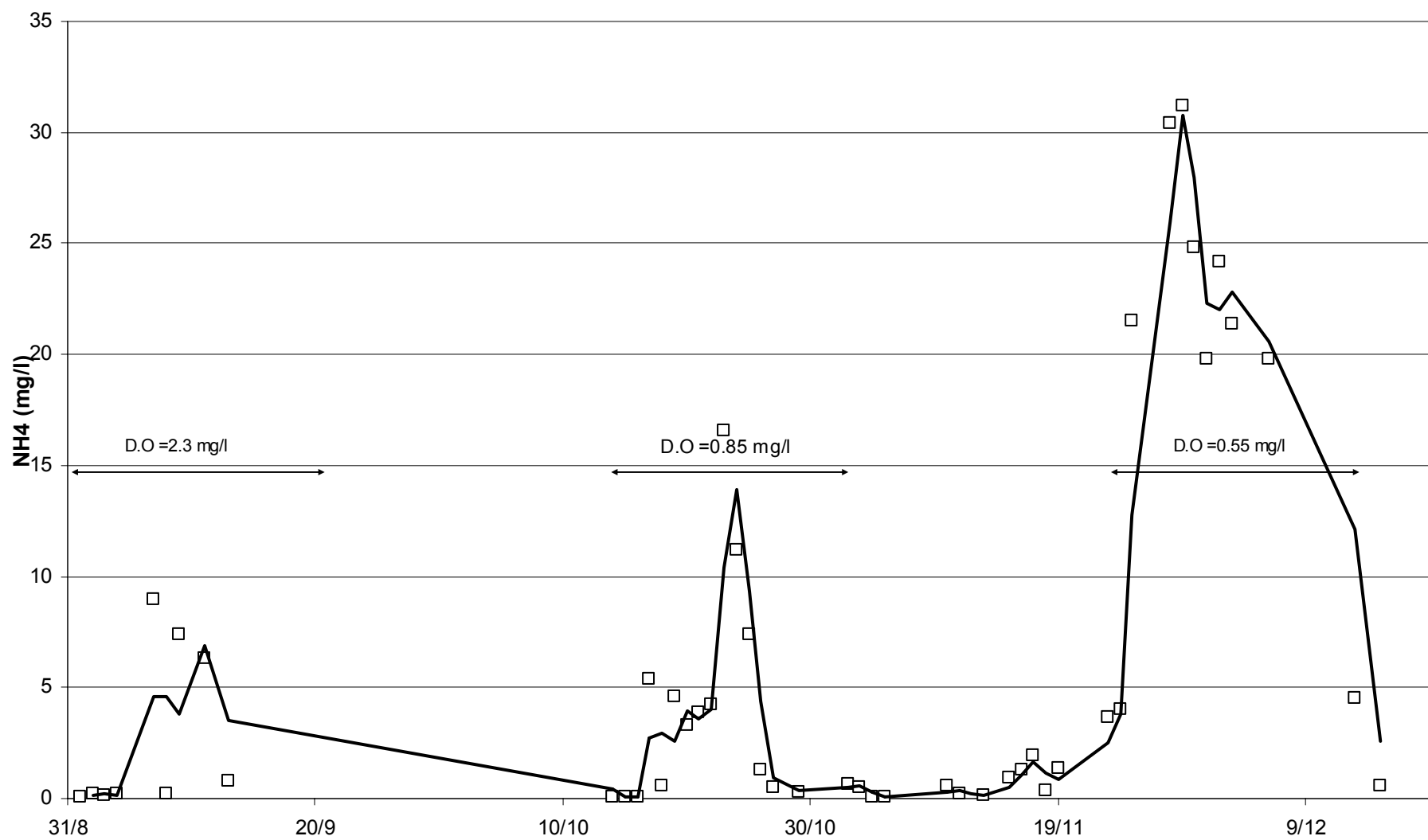
Κατά την διάρκεια των πειραματικών μετρήσεων παρατηρήθηκαν φαινόμενα μειωμένης δραστηριότητας ή μειωμένης ανάπτυξης των νιτροποιητικών μικροοργανισμών. Καθώς οι υπόλοιποι περιβαλλοντικοί παράγοντες, όπως το pH, η θερμοκρασία, η οργανική φόρτιση, και η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου παρέμειναν σταθεροί προκύπτει ότι αυτά τα φαινόμενα μείωσης του ρυθμού ανάπτυξης των νιτροποιητών, οφείλονται στα χαρακτηριστικά των εισερχόμενων λυμάτων και πιο συγκεκριμένα στην συμμετοχή βιομηχανικών εισροών στην τροφοδοσία της εγκατάστασης. Το συμπέρασμα αυτό ενισχύεται και από την παρατήρηση της διακύμανσης της συγκέντρωσης $\text{NH}_4\text{-N}$ στην εκροή.

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η διακύμανση της αμμωνίας στην κεντρική δεξαμενή αερισμού. Η εισροή αναχαιτιστικών ουσιών στην μονάδα έγινε αντιληπτή τουλάχιστον τρεις φορές. Στις τρεις αυτές περιπτώσεις τόσο ο ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου (O.U.R) όσο και η συγκέντρωση της αμμωνίας είχαν τιμές αρκετά διαφορετικές από τις αναμενόμενες καθώς και από τις τιμές των προηγούμενων ημερών. Έτσι παρατηρώντας αυτές τις διακυμάνσεις, χωρίς να υπάρχουν μεταβολές στις συνθήκες λειτουργίας της μονάδας, συμπεραίνουμε ότι αυτή η δυσλειτουργία του συστήματος οφείλεται σε αναχαιτιστικές ουσίες.

Όπως φαίνεται στις τρεις αυτές περιπτώσεις το μέγεθος της αναχαίτισης είναι διαφορετικό. Η αναχαίτιση είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μικρότερη είναι η επικρατούσα τιμή της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου εκείνη την περίοδο στην κεντρική μονάδα αερισμού. Δηλαδή το σύστημα έχει μεγαλύτερη ευαισθησία σε τέτοια φαινόμενα όταν λειτουργεί κάτω από περιοριστικές συνθήκες ως προς τη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου.

Περιπτώσεις στις οποίες, δεν είναι αναμενόμενη ή συχνή η παρουσία εξωτερικών παραγόντων που επηρεάζουν αρνητικά τους νιτροποιητές, η εξαρχής υιοθέτηση ενός συντελεστή ασφαλείας εκτιμάται ότι είναι μια κατά κάποιο τρόπο τυφλή παρέμβαση, που εφαρμόζεται δίχως να είναι βέβαιο ότι είναι αναγκαίο. Αντίθετα η λειτουργία χωρίς προσανυζήμενους χρόνους παραμονής ιλύος ακόμα και κάτω από περιοριστικές συνθήκες

οξυγόνου εκτιμάται ότι κάτω από συστηματική παρακολούθηση του νιτροποιητικού δυναμικού της βιομάζας επιτρέπει την επίτευξη πλήρους νιτροποίησης.



Σχήμα 5.15. Μεταβολές των συγκεντρώσεων αμμωνίας στην έξοδο στις πιθανές περιόδους μερικής αναχαίτισης της νιτροποίησης
Παρατήρηση της έντασης της αναχαίτισης σε σχέση με την συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα της εργασίας συνοψίζονται παρακάτω :

1. Οι υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούν στην Ελλάδα ευνοούν την λειτουργία συστημάτων κάτω από περιοριστικές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου. Οι υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούσαν στην μονάδα κατά τη διάρκεια των πειραματικών μετρήσεων ήταν ευνοϊκές για το σύστημα, τόσο για την απομάκρυνση του οργανικού φορτίου, όσο και για την απομάκρυνση της αμμωνίας. Οι υψηλές αυτές θερμοκρασίες επικρατούν στην χώρα μας τουλάχιστον 8 μήνες τον χρόνο.
2. Η απομάκρυνση της αμμωνίας από το σύστημα ήταν σχεδόν πλήρης, ανεξάρτητα από την διακύμανση της φόρτισης αλλά και της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου στην κεντρική δεξαμενή αερισμού. Δηλαδή για φορτίσεις της τάξης των $F/M = 0.30 \text{ kgCOD/kgMLSS.d}$ είναι δυνατόν το σύστημα να λειτουργεί κάτω από χαμηλή στάθμη οξυγόνου της τάξης του $D.O = 1.0 \text{ mg/l}$ με ποσοστά απομάκρυνσης αμμωνίας και οργανικού φορτίου γύρω στο 90%
3. Το σύστημα αερισμού το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην μονάδα (στατικοί διαχυτες PULSAR) μας παρείχε την δυνατότητα να μπορούμε να δουλεύουμε το σύστημα κάτω από χαμηλή στάθμη διαλυμένου οξυγόνου διατηρώντας έντονη ανάδευση στις δεξαμενές. Η υψηλή ένταση της ανάδευσης είχε ως συνέπεια το μέγεθος των κροκίδων να είναι σχετικά μικρό. Έτσι η απόληψη του οξυγόνου από τους μικροοργανισμούς διευκολύνεται και κατ' επέκταση ευνοείται η λειτουργία του συστήματος κάτω από χαμηλή συγκέντρωση οξυγόνου (λόγω του μεγέθους των κροκίδων παρατηρήθηκε σε μερικές περιπτώσεις δυσλειτουργία στη δεξαμενή τελικής καθίζησης).
4. Η αναχαίτιση της νιτροποίησης μπορεί άλλοτε να είναι συχνό και άλλοτε σπάνιο φαινόμενο ανάλογα με την προέλευση και τα χαρακτηριστικά των λυμάτων (π.χ

περιέχουν λυπαντικές, τοξικές ουσίες). Οι επιπτώσεις τέτοιων φαινομένων στο σύστημα είναι τόσο μεγαλύτερες όσο μικρότερη είναι η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου. Παρόλα αυτά η τυφλή υιοθέτηση ενός συντελεστή ασφάλειας (π.χ η αύξηση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου στις δεξαμενες) δεν είναι η σωστότερη αντιμετώπιση του φαινομένου. Αντίθετα η λειτουργία του συστήματος χωρίς συντελεστή ασφαλείας αλλά κάτω από συστηματική παρακολούθηση του νιτροποιητικού δυναμικού της βιομάζας επιτρέπει την επίτευξη πλήρους νιτροποίησης ακόμα και κάτω από περιοριστικές συνθήκες ως προς το διαλυμένο οξυγόνο.

Βιβλιογραφία

1. Bailey, w.f., Bonomo, J.D. and Jones, E.R (1983). Nitrification Facilities Start-Up and Initial Operation. Journal W.P.C.F.
2. Downing, A.L., Painter, H.A and Knowles, G (1964). Nitrification in the Activated Sludge Process.
3. Grady, C.P.L.Jr. and Lim, H.C. (1980). Biological Wastewater Treatment. Theory and Applications
4. Henze, M., Harremoës, P., Jansen Jes la Cour and Arvin, E. (1995). Wastewater Treatment. Biological and Chemical Processes.
5. Knowles, G., Downing, A.L. and Barrett, M.J. (1965). Determination of Kinetic Constants for Nitrifying Bacteria in Mixed Culture, with Aid of an Electronic Computer.
6. Loveless, J.E. and Painter, H.A. (1968). The Influence of Metal Ion Concentration and pH Value on the Growth of a Nitrosomonas Strain Isolated from Activated Sludge.
7. Painter, H.A. (1970). A Review Of Literature on Inorganic Nitrogen Metabolism in Micro-organisms.
8. Sharma, B. and Ahlert, R.C. (1977). Nitrification and Nitrogen Removal.
9. Tomilson, T.G., Boon, A.G. and Trotman, G.N.A. (1966). Inhibition of Nitrification in the Activated Sludge Process of Sewage Disposal.
10. Χατζηκωσταντίνου Γ. (2000) Νιτροποίηση Απονιτροποίηση σε Σύστημα Ενεργού Ιλύος, *Διδακτορική Διατριβή Ε.Μ.Π.*