

# Επανασχεδιασμός και λειτουργία του κλειστού κυκλώματος εκτροφής του εργαστηρίου Βιολογίας & Καλλιέργειας Ιχθύων, Τμήματος Τεχνολογίας Αλιείας & Υδατοκαλλιεργειών, ΤΕΙ Δ.Ελλάδας



Σταύρος Σουρουπής  
Επιβλέπων: Π. Δενδρινός,  
Επίκουρος Καθηγητής

Μεσολόγγι 2015

## Περίληψη

Ο επανασχεδιασμός του συστήματος ανακυκλοφορίας του νερού για την εκτροφή ψαριών στον εργαστηριακό χώρο «Βιολογίας & Καλλιέργειας Ιχθύων» του Τμήματός μας, βελτίωσε τη λειτουργικότητα του κυκλώματος και του χώρου συνολικά και τακτοποίησε το θέμα της θερμορύθμισης του νερού στη διάρκεια του έτους. Επίσης στο αρχικό σύστημα επεξεργασίας του νερού, ειδικό για εκτροφές σε θαλασσινό νερό<sup>1</sup>, ενσωματώθηκε και ένα επιπλέον βιολογικό φίλτρο, με το οποίο είναι πλέον δυνατή και η εκτροφή ψαριών ειδών του γλυκού νερού.

---

<sup>1</sup> TMC System 2500P Marine

## Abstract

Κατά τη διάρκεια της εξάμηνης λειτουργίας του, το σύστημα ανταποκρίθηκε πλήρως στις απαιτήσεις των εκτροφών ιχθυδίων κεφάλου του είδους *Mugil cephalus* σε γλυκό νερό, σε πυκνότητες που ξεπέρασαν τα 4,5 kg/m<sup>3</sup> με ημερήσιες προσθήκες αμμωνιακού αζώτου στο κύκλωμα που έφθασαν τα 4 mg/L τουλάχιστον (ή 240 περίπου g τροφής ημερησίως). Οι μέσες τιμές συγκέντρωσης της αμμωνίας και των νιτρικών οξέων κατά την εκτροφή κυμάνθηκαν σε πολύ ικανοποιητικά για την υγεία των ψαριών επίπεδα, 0,91±0,59 mg/L και 0,36±0,40 mg/L αντίστοιχα, ενώ τα νιτρικά της εκτροφής έφθασαν τα 250 mg/L μετά τον τρίτο μήνα. Το pH των εκτροφών παρουσίασε φυσιολογική πτωτική πορεία από την αρχική μέγιστη τιμή 8,3 (του δικτύου ύδρευσης), έως 6,9-7,3 ήδη με την συμπλήρωση του πρώτου δίμηνου της εκτροφής.

## Πρόλογος

Η αποδόμηση και το ξαναστήσιμο του συστήματος ανακυκλοφορίας του νερού για την εκτροφή ψαριών στον εργαστηριακό χώρο «Βιολογίας & Καλλιέργειας Ιχθύων» του Τμήματός μας, σκόπευε στη βελτίωση τη λειτουργικότητας του χώρου συνολικά (οικονομία χώρου), την αντιμετώπιση ζητημάτων λειτουργίας των δεξαμενών (κυκλοφορία του νερού, διαρροές, ασυμβατότητα υλικών), την επίλυση του θέματος της θερμορύθμισης του νερού στη διάρκεια του έτους, στην ενσωμάτωση εξοπλισμού για εκπαιδευτικούς σκοπούς (λ.χ. ροόμετρα).

Αυτό, γιατί το σύστημα επεξεργασίας του νερού TMC System 2500P Marine (TMC, 2015) προορίζεται για εκτροφές σε θαλασσινό νερό. Βασίζει δε την καλή λειτουργία του στον Διαχωριστή Αφρού, ο οποίος είναι ένας σημαντικός παράγοντας ελάφρυνσης της λειτουργίας του βιολογικού φίλτρου (βλ. 2.3.2.2). Όμως, ο διαχωριστής αφρού λειτουργεί καλά μόνο με νερά υψηλής αλατότητας και υψηλού pH, δηλαδή όχι με γλυκά νερά. Έτσι λοιπόν, στο σύστημα ενσωματώθηκε και ένα επιπλέον βιολογικό φίλτρο, με το οποίο είναι πλέον δυνατή στο σύστημα και η εκτροφή ψαριών ειδών του γλυκού νερού.

Στα πλαίσια της πτυχιακής μου εργασίας, είχα λοιπόν την ευκαιρία να εργαστώ κάτω από τις οδηγίες του Επίκουρου Καθηγητή Πάνου Δενδρινού στην υλοποίηση αυτού εγχειρήματος και να αποκτήσω πολύτιμες εμπειρίες σε σχετικά κατασκευαστικά ζητήματα. Ακολούθως επιμελήθηκα της ενεργοποίησης του βιολογικού φίλτρου του συστήματος και στη συνέχεια, παράλληλα με πειραματικές εκτροφές κεφάλου, αντικείμενο πτυχιακής άλλου συναδέλφου, παρακολούθησα τη λειτουργία του, καθώς και την εξέλιξη των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κο Δενδρινό συνολικά για τις γνώσεις και την εμπειρία που μου προσέφερε, καθώς και τον Καθηγητή κο Γιάννη Κλαδά και το μέλος ΕΤΠ του Τμήματος κα Αθηνά Σαμαρά για τη βοήθεια και τη συνεργασία τους στη υλοποίηση αυτής της εργασίας.



Εικόνα 1. Η αρχή

# Περιεχόμενα

[Περίληψη](#)

[Abstract](#)

[Πρόλογος](#)

[1 Εισαγωγή](#)

[1.1 Οι Υδατοκαλλιέργειες σήμερα](#)

[1.1.1 Ο Προσανατολισμός των υδατοκαλλιεργειών σε παγκόσμιο επίπεδο](#)

[1.1.2 Ο Ευρωπαϊκός προσανατολισμός της παραγωγής](#)

[1.2 Η τεχνολογική εκπαίδευση στις Υδατοκαλλιέργειες](#)

[2 Μεθοδολογία και Υλικά](#)

[2.1 Εκτροφή ψαριών](#)

[2.2 Λειτουργία δεξαμενής εκτροφής](#)

[2.3 Επεξεργασία και ανακύκλωση του νερού](#)

[2.3.1 Τροποποιήσεις του νερού του δικτύου ύδρευσης](#)

[2.3.2 Στάδια επεξεργασίας νερού εκτροφών](#)

[2.4 Διαχείριση του συστήματος](#)

[2.4.1 Μετρήσεις παραμέτρων](#)

[2.4.2 Νέο νερό](#)

[2.4.3 Ενεργοποίηση και παρακολούθηση Βιολογικού φίλτρου](#)

[3 Αποτελέσματα & Συζήτηση](#)

[3.1 Ρύθμιση της σκληρότητας του νερού](#)

[3.2 Βιολογική Επεξεργασία του νερού των Εκτροφών](#)

[3.2.1 Ενεργοποίηση του βιολογικού φίλτρου](#)

[3.2.2 Εξέλιξη των παραμέτρων ποιότητας του νερού κατά η διάρκεια της εκτροφής](#)

[4 Συμπεράσματα & Προτάσεις](#)

[5 Βιβλιογραφία](#)

[5.1 Ξενόγλωσση βιβλιογραφία](#)

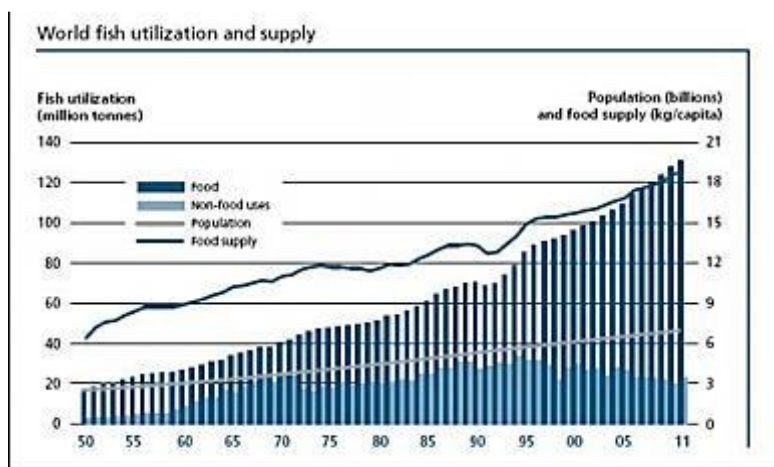
[5.2 Ελληνική βιβλιογραφία](#)

# 1 Εισαγωγή

## 1.1 Οι Υδατοκαλλιέργειες σήμερα

Ο όρος Υδατοκαλλιέργειες αναφέρεται στις εκτροφές υδρόβιων οργανισμών σε κατά το δυνατόν ελεγχόμενες συνθήκες. Όμως πόσο σημαντική είναι σήμερα αυτή η δραστηριότητα;

Με σκοπό να καταδείξουμε τη δυναμική των κλάδων που ασχολούνται με την αξιοποίηση των υδρόβιων πόρων, παραθέτουμε σε συντομία στοιχεία και προβλέψεις του FAO σχετικά με την εξέλιξη, της αλιευτικής παραγωγής και της ζήτησης αλιευτικών προϊόντων (εικ.1)



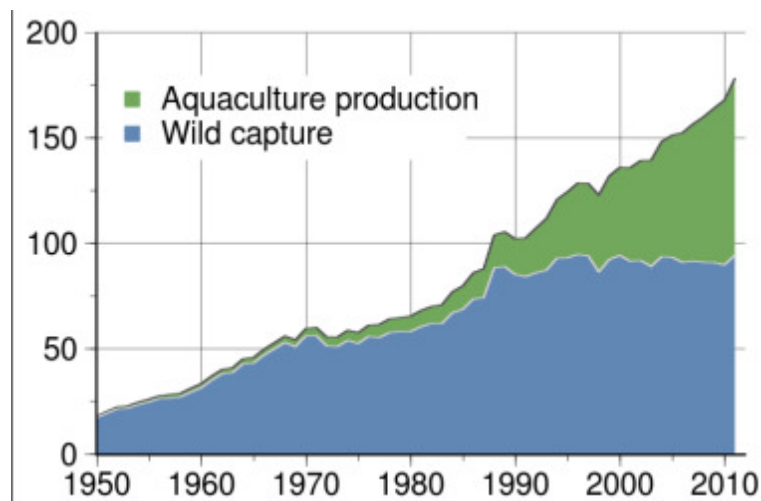
Εικόνα 2 Εξέλιξη της παγκόσμιας ετήσιας κατανάλωσης αλιευμάτων για τροφή και ως πρώτη ύλη για άλλα προϊόντα σε εκατομμύρια τόνους, καθώς και της κατά κεφαλήν κατανάλωση, σε σχέση με την αύξηση του πληθυσμού του πλανήτη, από το έτος 1950 έως το 2011.

Διαπιστώνεται ότι η παγκόσμια κατανάλωση υδρόβιων πόρων αυξάνει σταθερά λόγω της αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού αφενός και της αναζήτησης καλύτερης ποιότητας διατροφής αφετέρου. Από τα στατιστικά στοιχεία του FAO προκύπτει ακόμη ότι η παγκόσμια κατά κεφαλήν ετήσια κατανάλωση αλιευμάτων υπολογίζεται στα 18,5 περίπου kg, κάτι που αντιστοιχεί στο 16,5% τοις εκατό της πρόσληψης ζωικών πρωτεϊνών από το παγκόσμιο πληθυσμό, ή στο 6,4% του συνόλου των πρωτεϊνών που καταναλώνονται. Να σημειωθεί ότι ο ρυθμός αύξησης της κατανάλωσης είναι μεγαλύτερος από τον ρυθμό αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού (εικ. 1), εξέλιξη που αποδίδεται, εκτός των άλλων και στο ότι έχει γίνει συνείδηση στον καταναλωτή το ότι τα αλιευτικά προϊόντα συμβάλλουν λόγω της μεγάλης διατροφικής αξίας τους στην δημόσια υγεία.

Για παράδειγμα στην Ελλάδα, πριν τριάντα χρόνια, η κατά κεφαλήν κατανάλωση των πάσης φύσης αλιευτικών προϊόντων ήταν 13 κιλά έναντι 25 τότε της γειτονικής Ιταλίας. Σήμερα καταναλώνουμε κοντά στα 25 κιλά αλιευμάτων, ενώ και των άλλων μεσογειακών χωρών η αντίστοιχη κατανάλωση αυξήθηκε σημαντικά επίσης.



Η αύξηση των υδατοκαλλιεργειών έρχεται να ανταποκριθεί στην ζήτηση ιδιαίτερα μετά την σταθεροποίηση της αλιευτικής παραγωγής (90 περίπου εκατομμύρια τόνοι, εικ2). Η τελευταία χρήζει διαχειριστικών μέτρων καθώς το 60% των αλιευτικών πηγών βρίσκονται σε κίνδυνο λόγω υπεραλίευσης. ενώ δεν υπάρχουν πλέον αναξιοποίητα αλιευτικά πεδία.

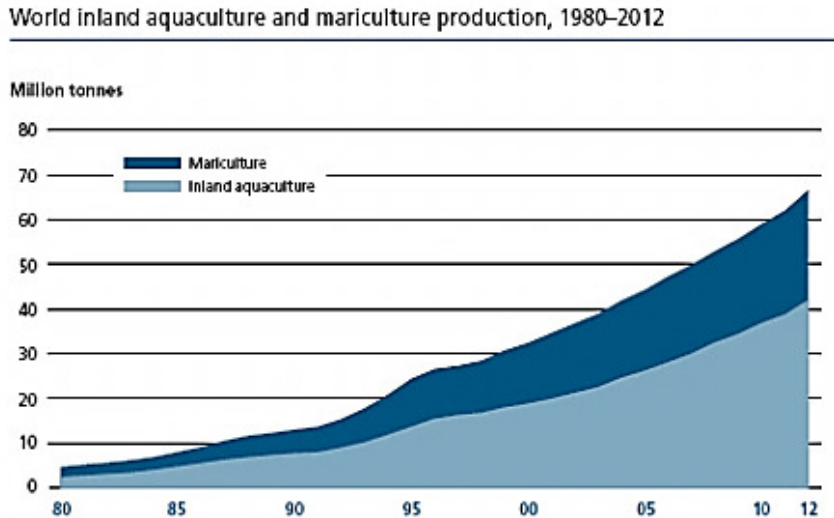


Εικόνα 3 Εξέλιξη της παγκόσμιας ετήσιας παραγωγής αλιευμάτων από αλιεία και υδατοκαλλιέργειες από το 1950 έως το 2011.

Στις μέρες μας η μισή περίπου ποσότητα από τα προϊόντα υδρόβιας προέλευσης προέρχεται από τις υδατοκαλλιέργειες. Ο αριθμός των εργαζομένων στο τομέα εκτιμάται στα 55 εκατομμύρια εκ των οποίων, το ένα τρίτο περίπου απασχολείται στις υδατοκαλλιέργειες, ενδεικτικό της δυναμικής του κλάδου.

### 1.1.1 Ο προσανατολισμός των υδατοκαλλιεργειών σε παγκόσμιο επίπεδο

Οι ημιεκτατικού τύπου καλλιέργειες, (κατ' άλλους ημιεντατικές) παράγουν τελικά πολύ περισσότερο ψάρι στον πλανήτη σε σχέση με τα εντατικά συστήματα εκτροφής (εικ. 4).



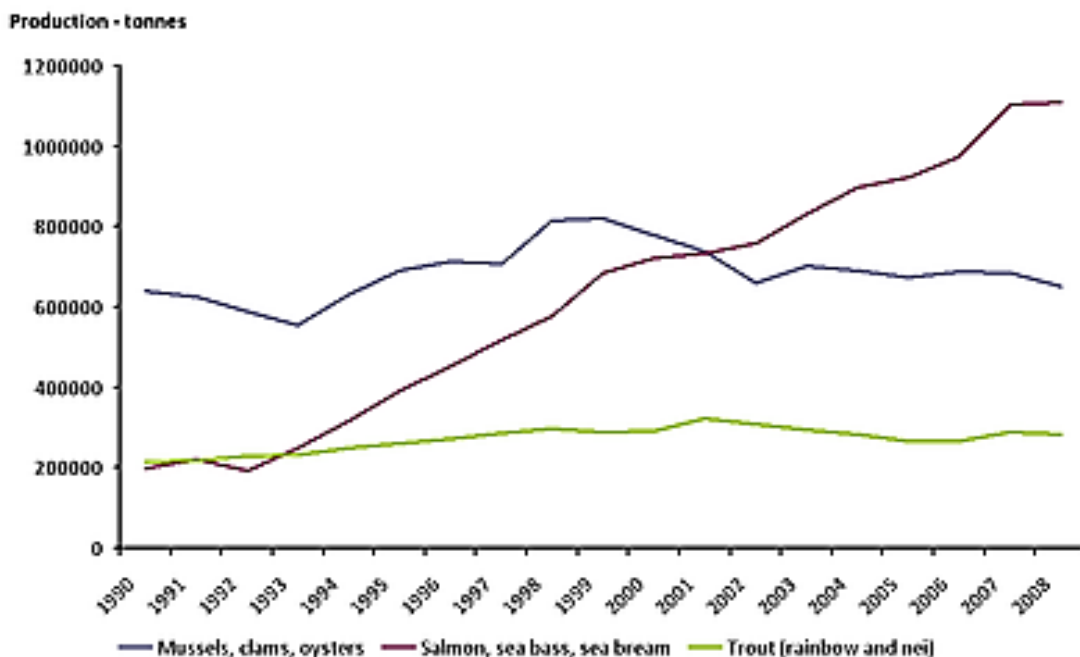
Εικόνα 4 Εξέλιξη της παγκόσμιας παραγωγής από ιχθυοκαλλιέργειες του γλυκού νερού και θαλασσοκαλλιέργειες

Βέβαια τα είδη των εντατικών υδατοκαλλιεργειών, τα οποία είναι σαρκοφάγα αντιπροσωπεύουν συνολικά διπλάσιο ποσοστό σε οικονομική αξία.

Όμως οι ημιεντατικές εκτροφές φυτοφάγων και παμφάγων ειδών του γλυκού νερού σε υδροστάσια παρέχουν πολύτιμες πρωτεΐνες στους πληθυσμούς αναπτυσσόμενων χωρών της Ασίας κύρια αλλά και της Αφρικής. Τέτοια είδη είναι διάφορα είδη κυπρίνων, τιλάπιων, αλλά και οι κέφαλοι, το γαλακτόψαρο, κá.

### 1.1.2 Ο Ευρωπαϊκός προσανατολισμός της παραγωγής

Ο ευρωπαϊκός προσανατολισμός είναι τελείως διαφορετικός. Λογικό, είμαστε ακόμη ένα από τα πλουσιότερα τμήματα του πλανήτη και έτσι η παραγωγή ακριβών ψαριών είναι μία επιχειρηματική προτεραιότητα (εικ.5).



Εικόνα 5 Εξέλιξη της ευρωπαϊκής παραγωγής από υδατοκαλλιέργειες, ανά τύπο δραστηριότητας, ή είδος [μπλε γραμμή, μύδια, στρείδια και άλλα δίθυρα μαλάκια, μωβ γραμμή, ιχθυοκλωβοί θαλάσσης (σολομός, τσιπούρα, λαβράκι) και πράσινη γραμμή, πέστροφα σε ποταμοκαλλιέργειες].

Έτσι, στην Ευρώπη:

- Η παραγωγή σαρκοφάγων θαλασσιών ψαριών (σολομός, λαυράκι τσιπούρα) ξεπερνά το 1 εκατομμύριο τόνους και συνεχώς αυξάνεται.
- Η παραγωγή οστράκων τους 600 χιλιάδες τόνους
- και της πέστροφας τους 200 χιλιάδες τόνους.

Στην Ελλάδα, ακολουθώντας τον ίδιο δρόμο (φυσιολογικό, απευθυνόμαστε στις ίδιες αγορές) οι υδατοκαλλιέργειες έχουν σχεδόν ταυτιστεί με την παραγωγή τσιπούρας και λαβρακιού (>100 χιλ τόνου, έναντι 3 χιλιάδων τόνων περίπου της πέστροφας, ενώ τα λοιπά είδη του γλυκού νερού παράγονται σε πολύ μικρότερες ποσότητες (FEAP 20014).

## 1.2 Η τεχνολογική εκπαίδευση στις Υδατοκαλλιέργειες

Είναι βασικό στην τριτοβάθμια εκπαίδευση η έρευνα να συνδέεται με την εκπαίδευση. Το ερευνητικό έργο που παράγεται μέσα στα Ιδρύματα προϋποθέτει παρακολούθηση, αφομοίωση και άρα ανανέωση των γνώσεων και των τεχνικών σε κάθε τομέα, στην περίπτωση μας του τομέα των υδατοκαλλιεργειών. Όλα αυτά θα πρέπει να επενδύονται σε επικαιροποιημένα προγράμματα σπουδών, ώστε να προσφέρονται στους σπουδαστές σύγχρονες γνώσεις, και να τους καλλιεργούνται δεξιότητες και ικανότητες που θα τους χρησιμεύσουν στην αγορά εργασίας.

Παράλληλα οι ερευνητικοί άξονες σε ένα Τεχνολογικό Τμήμα που σχετίζεται με τις Υδατοκαλλιέργειες, όπως το δικό μας, πρέπει να είναι προσανατολισμένοι σε θέματα εφαρμογής, δηλαδή σε πειράματα σε πιλοτικές εγκαταστάσεις, τα αποτελέσματα των οποίων θα είναι άμεσα χρήσιμα στη βιομηχανία των υδατοκαλλιεργειών.

Η χρήση συστημάτων επανακυκλοφορίας των νερών των εκτροφών υδρόβιων οργανισμών είναι μονόδρομος σε ένα τέτοιο πλαίσιο. Αφενός γιατί ως εκπαιδευτικό ίδρυμα το Τμήμα μας στο Μεσολόγγι δεν έχει πρόσβαση σε άφθονο τρεχούμενο καθαρό γλυκό νερό, ή ανοικτή θάλασσα, και αφετέρου γιατί σε ένα ανακυκλούμενο σύστημα, όπως θα διαπιστώσουμε και από τα αποτελέσματά μας, υπάρχει πλήρης έλεγχος των βασικών παραμέτρων της ποιότητας του νερού, ιδιαίτερα της θερμοκρασίας εκτροφής που τόσο πολύ επηρεάζει την ανάπτυξη των ψαριών.

Η εξασφάλιση της ίδιας ποιότητας νερού σε πολυάριθμες δεξαμενές, που εξασφαλίζουν την σύγχρονη επαναληψιμότητα των πειραμάτων σε ψάρια της ίδιας παρτίδας, είναι εντελώς απαραίτητες προϋποθέσεις για την πραγματοποίηση πειραμάτων εκτροφής. Στο συγκεκριμένο σύστημα συγκεκριμένα υπάρχουν 18 δεξαμενές, οπότε μπορούν να πραγματοποιηθούν συγκρίσιμα τεστ για έξι διαφορετικούς παράγοντες με τριπλή επανάληψη (triplicate), δηλαδή με τον ελάχιστο αριθμό επαναλήψεων που απαιτούνται για επιστημονικά πειράματα.

## **2 Μεθοδολογία και Υλικά**

### **2.1 Η εκτροφή ψαριών**

Στο κύκλωμα είχαμε 3000 ψάρια κέφαλος (*Mugil cephalus*) με μέσο βάρος 2.5γρ. (150-160 ψάρια περίπου ανά δεξαμενή). Τα ταΐζαμε 4 φορές τη μέρα με 6 διαφορετικές τροφές (ανά τρεις δεξαμενές), οι οποίες είχαν διαφορετική σύσταση ως προς την περιεκτικότητα πρωτεϊνών.

## 2.2 Η λειτουργία της δεξαμενής εκτροφής

Το σύστημα, όπως προαναφέραμε, αποτελείται από 18 όμοιες κυλινδροκωνικές δεξαμενές. Το σχήμα τους επιλέχτηκε γιατί η υδροδότηση και η αποχέτευση μπορούν να οργανωθεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε να δημιουργείται μια δίνη που θα απαγάγει τα περισσότερα από τα άχρηστα υλικά της καλλιέργειας. Το εσωτερικό των δεξαμενών είναι μπλε προς αποφυγήν του στρες φωτεινότητας των οργανισμών. Ο καθαρός όγκος εκτροφής ψαριών για κάθε δεξαμενή είναι 78l. Η ροή του νερού είναι συνεχής. Από τη δεξαμενή αποθήκευσης του κλειστού κυκλώματος, το νερό μέσω αντλίας οδηγείται σε τρεις σωλήνες φ.63 (μια για κάθε συστοιχία δεξαμενών) και καταλήγει δια μέσω σωλήνας φ.20 στην κάθε δεξαμενή. Στο σωλήνα φ.20 έχει προσαρμοστεί βάνα με την οποία ρυθμίζουμε την παροχή.

Η αποχέτευση του νερού γίνεται από το πάνω μέρος της δεξαμενής, διαμέσου διάτρητης σωλήνας φ.50, τοποθετημένης κάθετα στον πυθμένα. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζουμε τον σταθερό όγκο εκτροφής και την ομοιόμορφη κυκλική κυκλοφορία του νερού μέσα στη δεξαμενή.

Ο πυθμένας της δεξαμενής είναι κωνικός και καταλήγει σε βάνα, μέσω της οποίας απομακρύνουμε καθημερινά τα καθιζόμενα στερεά υπολείμματα (περίσσεια τροφής και περιττώματα ψαριών).

Τέλος σε κάθε δεξαμενή καταλήγει σωληνάκι σιλικόνης με αερόπετρα για την παροχή αέρα, ο οποίος προέρχεται από blower που βρίσκεται εντός της αίθουσας.









## 2.3 Επεξεργασία και ανακύκλωση του νερού

### 2.3.1 Ρύθμιση της θερμοκρασίας

Ένα από τα πολλά πλεονεκτήματα των κλειστών κυκλωμάτων σχετίζεται με τη μειωμένη ανάγκη για θέρμανση ή ψύξη του νερού, η οποία απαιτεί μεγάλη ποσότητα ενέργειας και έτσι αυξάνεται πολύ το κόστος παραγωγής. Με τη μείωση του νέου παρεχόμενου νερού οι ενεργειακές απαιτήσεις μειώνονται. Η θερμοκρασία ρυθμίστηκε από ένα ψυκτικό μηχάνημα με τα εξής χαρακτηριστικά:

τύπος AS-H094A4/HSLR

Rester voltage 220-240vol

Το οποίο αποτελείται από μια σωλήνα χαλκού σε σχήμα σπирάλ και βρίσκεται μέσα στο ρεζερβουάρ του νερού, επίσης εκεί βρίσκεται και θερμοστάτης ο οποίος είναι ρυθμισμένος στους 22 βαθμούς .



### **2.3.2 Τροποποιήσεις του νερού του δικτύου ύδρευσης**

Το νερό του δικτύου είναι δυνατόν να περιέχει ίχνη τοξικών στοιχείων, επιζήμιων για τους εκτρεφόμενους υδρόβιους οργανισμούς, στοιχεία που οφείλονται κυρίως στην επεξεργασία του για ανθρώπινη χρήση. Η συνήθης επεξεργασία είναι η προσθήκη χλωριούχων ενώσεων για τη εξόντωση βακτηρίων και ελάττωσης του pH.

#### **2.3.2.1 Απορρόφηση ιόντων**

Για την απομάκρυνση των χλωριούχων ενώσεων του δικτύου χρησιμοποιήθηκε φίλτρο ενεργού άνθρακα (activated ή active carbon), φού προηγουμένως το ίδιο νερό είχε υποστεί μηχανική διήθηση σε πολυεστερικό φίλτρο φυσιγγίου πόρων 2μm.

Η ονομασία ενεργός άνθρακας (activated ή active carbon) είναι ένας γενικός όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει μία μεγάλη ποικιλία ανθρακούχων προσροφητικών υλικών, στα οποία έχει αναπτυχθεί μία εκτενής δομή εσωτερικών πόρων

#### **2.3.2.2 Τροποποίηση σκληρότητας**

Έχοντας αποφασίσει να δουλέψουμε με ένα θαλασσινό ψάρι, το οποίο ακόμη και στα πιο υφάλμυρα νερά είναι φτιαγμένο να ζει και να αναπτύσσεται σε σκληρότητες πολύ ψηλότερες από αυτές του νερού του δικτύου. Όλα σχεδόν τα φυσικά νερά περιέχουν, εκτός από τα όξινα ανθρακικά άλατα, και άλλα άλατα που διαλύονται στο νερό, όταν αυτό έρχεται σε επαφή με το έδαφος, όπως π.χ. χλωριούχο νάτριο (NaCl), θειικό ασβέστιο (CaSO<sub>4</sub>), θειικό μαγνήσιο (MgSO<sub>4</sub>) κ.λπ.

### **2.3.3 Στάδια επεξεργασίας νερού εκτροφών**

#### **2.3.3.1 Μηχανική διήθηση**

Ένα βασικό πρόβλημα των κλειστών κυκλωμάτων αποτελεί το φορτίο των αιωρούμενων στερεών και ιδίως τα πολύ μικρού μεγέθους σωματίδια. Η παρουσία και η συσσώρευση

των στερεών σωματιδιακών αποβλήτων (περιττώματα, υπολείμματα τροφών) επηρεάζουν αρνητικά τόσο την ποιότητα του νερού όσο και την απόδοση των μονάδων επεξεργασίας του. Η μηχανική διήθηση του νερού μετά την έξοδό του από τις δεξαμενές καλλιέργειας έχει αποδειχτεί ο μόνος αποτελεσματικός τρόπος απομάκρυνσης αυτών των σωματιδίων. Στο κύκλωμά μας χρησιμοποιήσαμε συστοιχία τεσσάρων καλτσών με άνοιγμα ματιού 100μ.

Η συσσώρευση μεγάλου φορτίου μέσα στο σώμα του φίλτρου μπορεί να οδηγήσει σε φραγή και παρεμπόδιση της ανακύκλωσης του νερού του συστήματος με ότι προβλήματα συνεπάγεται αυτό. Για το λόγω αυτό, οι κάλτσες μηχανικού φιλτραρίσματος αλλάζονταν καθημερινά, πλένονταν με πιεστικό και τοποθετούνταν σε ελαφρύ διάλυμα υπεροξειδίου του οξυγόνου (30%) για 24 ώρες.





### 2.3.3.2 Διαχωριστής Αφρού

Με τον διαχωριστή αφρού (Protein skimmer, Foam Fractionator) γίνεται συνεχής απομάκρυνση πολλών ρύπων και βελτίωση της λειτουργίας των βιολογικών φίλτρων, μέσω της μείωσης του οργανικού φορτίου που περιέχει μεγάλες ποσότητες πρωτεϊνικού αζώτου, αλλά και άλλων οργανικών ενώσεων με αποτέλεσμα να αφήνεται περισσότερος χώρος στο βιολογικό φίλτρο για τα αυτότροφα βακτήρια που επεξεργάζονται τις τοξικές ενώσεις του αζώτου (αμμωνία και νιτρώδεις ρίζες). Στην επιφάνεια των φυσαλίδων του δημιουργούμενου αφρού προσροφούνται διαλυμένες οργανικές ενώσεις (Dissolved Organic Compounds, DOC) και παγιδεύονται αιωρούμενα σωματίδια Suspended Particulate Matter (SPM). Τόσο τα DOC, όσο και οι SPM σύνθετες οργανικές ουσίες από αποσύνθεση των τροφών, ουρία, βλέννα ψαριών, υποπροϊόντα μεταβολισμού αλλά επίσης και πιθανά μικροφύκη, φαινόλες, σαπροφυτικά βακτήρια (Κλαδάς 2014).

Όμως, ο διαχωριστής αφρού λειτουργεί καλά μόνο με νερά υψηλής αλατότητας και υψηλού pH, δηλαδή όχι με γλυκά νερά.

Έτσι λουπόν, στο σύστημα ενσωματώθηκε και ένα πρόσθετο βιολογικό φίλτρο, με το οποίο είναι πλέον δυνατή στο σύστημα και η εκτροφή ψαριών ειδών του γλυκού νερού.

### 2.3.3.3 Υπεριώδης ακτινοβολία

**Υπεριώδης ακτινοβολία** ονομάζεται η περιοχή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας της οποίας το μήκος κύματος στο κενό κυμαίνεται περίπου μεταξύ 380 και 60 νανομέτρων<sup>[1]</sup>.

Υπάρχουν τρία είδη υπεριώδους ακτινοβολίας<sup>[2]</sup>:

- UV-A: Αυτή η ακτινοβολία κυμαίνεται στο κενό μεταξύ 315 και 400 νανόμετρα. Είναι το πιο ακίνδυνο είδος.
- UV-B: Αυτή η ακτινοβολία κυμαίνεται στο κενό μεταξύ 280 και 315 nm. Αυτή προκαλεί το μαύρισμα, αλλά μπορεί να γίνει επικίνδυνη.

- UV-Γ: Αυτή η ακτινοβολία κυμαίνεται στο κενό μεταξύ 40 nm και 280 nm . Είναι το πιο επικίνδυνο είδος της υπεριώδους ακτινοβολίας, καθώς με αυτήν έχουν επιτευχθεί εργαστηριακά **μεταλλάξεις**.
- Όταν η υπεριώδης ακτινοβολία αλληλεπιδράσει με το DNA προκαλεί μια αναδιάταξή του όπου υπάρχουν δύο συνεχόμενες βάσεις **θυμίνης** δημιουργώντας τα **διμερή θυμίνης**. Το σχήμα του DNA αλλάζει τοπικά στο σημείο όπου σχηματίζονται τα διμερή, με αποτέλεσμα οι πολυμεράσες τόσο του DNA όσο και του RNA να τα προσπερνούν, αλλάζοντας με αυτό το τρόπο το πλαίσιο ανάγνωσης, με αποτέλεσμα την εμφάνιση μεταλλάξεων. Οι οργανισμοί έχουν αναπτύξει αρκετούς διαφορετικούς μηχανισμούς για να επιδιορθώσουν τα διμερή θυμίνης, όπως το **ένζυμο φωτοϋλάση** που ενεργοποιείται με **μπλε ακτινοβολία** και διαχωρίζει τα διμερή. Άλλοι μηχανισμοί αποκόπτουν το σημείο που σχηματίστηκαν τα διμερή και η DNA πολυμεράση συμπληρώνει τις ελλειπείς βάσεις.

([https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A5%CF%80%CE%B5%CF%81%CE%B9%CF%8E%CE%B4%CE%B7%CF%82\\_%CE%B1%CE%BA%CF%84%CE%B9%CE%BD%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CE%AF%CE%B1](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A5%CF%80%CE%B5%CF%81%CE%B9%CF%8E%CE%B4%CE%B7%CF%82_%CE%B1%CE%BA%CF%84%CE%B9%CE%BD%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CE%AF%CE%B1))

Στις υδατοκαλλιέργειες οι οργανισμοί που πρέπει να εξαλείφονται είναι τα παθογόνα βακτήρια και οι μονοκύτταροι μικροοργανισμοί. Κατά την απολύμανση το νερό του συστήματος περνά μέσα από το σώμα του βιολογικού φίλτρου και μετά έρχεται σε άμεση έκθεση με την ακτινοβολία UV.





#### 2.3.3.4 Βιολογικό φιλτράρισμα

Το βιολογικό φίλτρο αποτελεί το ζωτικότερο τμήμα ενός κλειστού κυκλώματος. Όπως υποδεικνύει το όνομά του πρόκειται για ένα ζωντανό φίλτρο στο σώμα του οποίου τοποθετούνται διάφορα υλικά (πολλές μικρές κυματοειδείς πλαστικές επιφάνειες, κύλινδροι ή σφαιρίδια), τα οποία αποτελούν το κατάλληλο υπόστρωμα για την αποίκηση και ανάπτυξη από ωφέλημα βακτήρια. Τα βακτήρια αυτά φροντίζουν για τη βιολογική διήθηση του νερού του συστήματος αφαιρώντας από αυτό τους ρύπους που προέρχονται από τις μεταβολικές διαδικασίες των καλλιεργούμενων ψαριών και των υπολειμμάτων της τροφής τους. Η χωρητικότητα του βιολογικού φίλτρου καθώς και η ποσότητα και η ποιότητα των υποστρωμάτων στα οποία μπορούν να αναπτυχθούν τα βακτήρια παίζουν καθοριστικό ρόλο στη φέρουσα ικανότητα του συστήματος.

##### 2.3.3.4.1 Βιολογικό φίλτρο ρευστοποιημένης άμμου

Το φίλτρο ρευστοποιημένης άμμου είναι ένας κύλινδρος με διαστάσεις....., που περιέχει 30 κιλά χαλαζιακής άμμου, κοκκομετρίας 0.1-0,4mm. Η άμμος κινείται αδιάκοπα και τυχαία με τη ροή του νερού μέσα στο κύλινδρο. Το νερό μέσω αντλίας τύπου, οδηγείται από το ρεζερβουάρ του νερού του συστήματος στο κάτω μέρος του φίλτρου (κύλινδρου) και με υπερχειλίση ρέει στο βιοφίλτρο απόσταξης.

#### 2.3.3.4.3 Πρόσθετο Βιοφίλτρο (Submerged)

Για την καλύτερη λειτουργία του κλειστού κυκλώματος έχουμε παρεμβάλει ανάμεσα στην αντλία ανακυκλοφορίας του νερού και στο βιολογικό φίλτρο μια δεξαμενή 100λίτρων με επιπλέοντα Biofilm elements. Σ' αυτή εισέρχεται μέρος του νερού που κυκλοφορεί η αντλία, μεταξύ του ρεζερβουάρ και του βιολογικού φίλτρου, με σωλήνα Φ16 και με υπερχειλίση , μέσω διάτρητου σωλήνα επιστρέφει στο ρεζερβουάρ.





### **2.3.3.5 Κυκλοφορία του νερού**

Το νερό από τις δεξαμενές αποχετεύονται διαμέσου ενός κεντρικού δικτύου σωληνώσεων PVC διαμέτρου 110Φ στο ρεζερβουάρ, το οποίο χωρίζεται σε δύο μέρη τα οποία επικοινωνούν μεταξύ τους. Το πρώτο και πολύ μικρότερο αποτελεί το μηχανικό φίλτρο. Εκεί τοποθετούνται οι κάλτσες φιλτραρίσματος. Το νερό με διήθηση περνά στο δεύτερο μέρος το οποίο αποτελεί και το κύριο σώμα του ρεζερβουάρ.

Από κει διαμέσου αντλίας model AV150-2DM-5, M max 13m, Q max 16 m<sup>3</sup>/h, rpm 2800, ένα μέρος του νερού ακολουθεί την εξής διαδρομή : Διαχωριστής αφρού , φίλτρο άμμου, Tricling , ενώ ένα άλλο οδηγείται στο πρόσθετο φίλτρο . Και τα δυο μέρη του νερού με φυσική ροή επιστρέφουν στο ρεζερβουάρ, από όπου με άλλη ίδιου τύπου αντλία καταλήγουν στις δεξαμενές καλλιέργειας ψαριών.

## 2.4 Διαχείριση του συστήματος

### 2.4.1 Μετρήσεις παραμέτρων

#### 2.4.2 Νέο νερό

Από τα στοιχεία που καταγράψαμε, υπολογίσαμε ότι η κατανάλωση νέου νερού από το δίκτυο ύδρευσης κυμάνθηκε στα επίπεδα του 3,6% του όγκου του κυκλώματος, δηλαδή 100 περίπου λίτρα την ημέρα

#### 2.4.3 Ενεργοποίηση και παρακολούθηση Βιολογικού φίλτρου

Οι υπολογισμοί των ποσοτήτων αμμωνιακού αζώτου ανάλογα με την ουσία ή το υλικό που προστέθηκαν για την ενεργοποίηση του βιολογικού φίλτρου (και αργότερα για την εκτροφή) έγιναν βάσει των εξής σχέσεων:

- Προσθήκη διαλύματος αμμωνίας 25% (υγρό): Ποσότητα διαλύματος σε ml x 0,25x 14/17 (όπου 14 και 17 το ατομικό βάρος του αζώτου και το μοριακό βάρος της αμμωνίας αντίστοιχα)
- Προσθήκη Ιχθυοτροφής. Εκτίμηση παραγωγής αμμωνίας (Spotte 1979):

Κατά την ενεργοποίηση του ΒΦ	Στη διάρκεια των εκτροφών
Ποσότητα τροφής (g) x $N_L$	Ποσότητα τροφής (g) x $N_L$ x $N_U$ x $N_E$

Όπου,

- $N_L$  κλάσμα του πρωτεϊνικού N στην τροφή = 0,064
- $N_U$  (use) κλάσμα της πρωτεΐνης που χρησιμοποιείται = (0,80 παραδοχή)
- $N_E$  (excretion) κλάσμα του N απεκκρινόμενου ως αμμωνία = (0,90 παραδοχή)

Να σημειωθεί ότι στη φάση της ενεργοποίησης του βιολογικού φίλτρου, στο διάστημα πριν την έναρξη των εκτροφών έγινε χρήση, τόσο διαλύματος αμμωνίας, όσο και ιχθυοτροφής, ανεξάρτητα, ή σε συνδυασμό μεταξύ τους κατά περίπτωση. Τα αποτελέσματα εκφράζονται σε mg αμμωνιακού αζώτου ανά λίτρο, που προκύπτει από την διαίρεση της εισαγόμενης ποσότητας αζώτου, υπολογισμένης ως ανωτέρω, δια του συνολικού όγκου του μέσου εκτροφής.

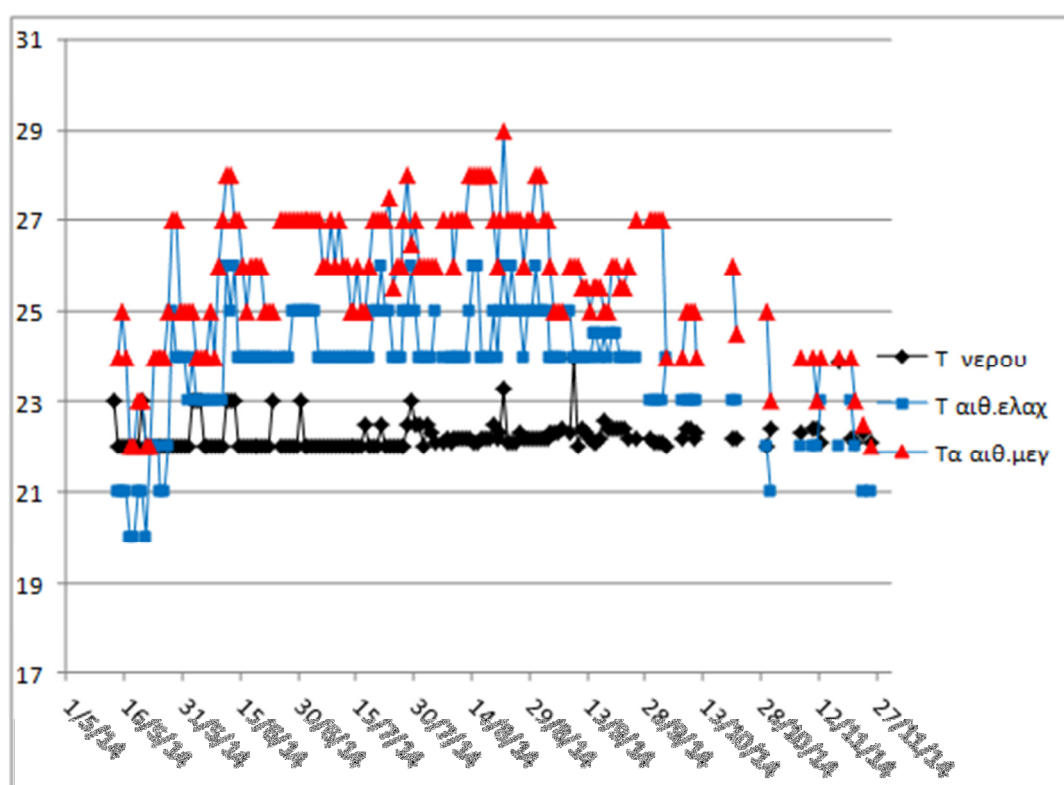


## 3 Αποτελέσματα & Συζήτηση

### 3.1 Ρύθμιση θερμοκρασίας του νερού

Επιλέξαμε να εργαστούμε στους 22 °C. Οι αντλίες ανακυκλοφορίας προσθέτουν θερμότητα στο κύκλωμα, έτσι ώστε συμβάλουν στην άνοδο της θερμοκρασίας. Επίσης ο χώρος εκτροφής έχει παράθυρα στην βορεινή πλευρά και σε μικρότερο εύρος στην ανατολική, γεγονός που σημαίνει ότι θα έπρεπε να αντιμετωπιστούν κυρίως οι χαμηλές θερμοκρασίες του χειμώνα.

Οι καταγραφές της θερμοκρασίας του νερού απέδειξαν την αποτελεσματικότητα του συστήματος θερμομόνωσης του χώρου σε συνδυασμό με τη λειτουργία του ψυκτικού στο νερό του κυκλώματος (εικ.).

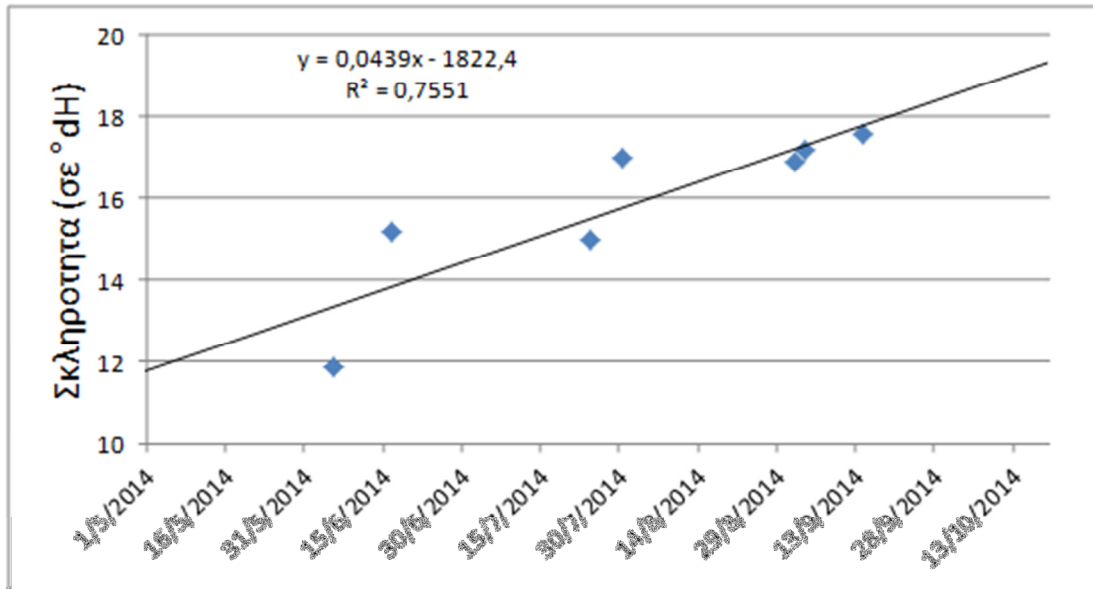


Εικόνα 6. Εξέλιξη της θερμοκρασίας του νερού, σε σχέση με τις ελάχιστες και τις μέγιστες θερμοκρασίες του χώρου

Ενώ λοιπόν οι θερμοκρασίες του χώρου κυμάνθηκαν από 20-26 °C (MO = 23,77±1,30) οι ελάχιστες, και από 22-28 °C (MO = 25,76±1,48) οι μέγιστες, οι θερμοκρασίες του νερού παρουσίασαν πολύ μικρότερες διακυμάνσεις, κυμαινόμενες από 22-23 °C (MO = 22,23±0,35)

### 3.2 Ρύθμιση της σκληρότητας του νερού

Στην αρχή του πειράματος το νερό ήταν μέτρια σκληρό, ενώ μετά από 150 ημέρες εκτροφής πέρασε στην κατηγορία του σκληρού νερού. Συγκεκριμένα στις αρχές Ιουνίου η σκληρότητα σε γερμανικούς βαθμούς ήταν 11,9 °dH (που αντιστοιχεί σε 213,01 mg/L CaCO<sub>3</sub>), ενώ στα τέλη Σεπτεμβρίου έφθασε τους 17,6 °dH (315,04 mg/L CaCO<sub>3</sub>).



Εικόνα 7 Εξέλιξη της σκληρότητας κατά την πρόοδο της εκτροφής

Η άνοδος της σκληρότητας εν μέρει οφείλεται στον αραγωνίτη του βιοφίλτρου της «ρευστοποιημένης» άμμου και σε ασβεστολιθικό βράχο που βάλαμε ηθελημένα στο κύκλωμα για περεταίρω αύξηση της σκληρότητας του μέσου εκτροφής.

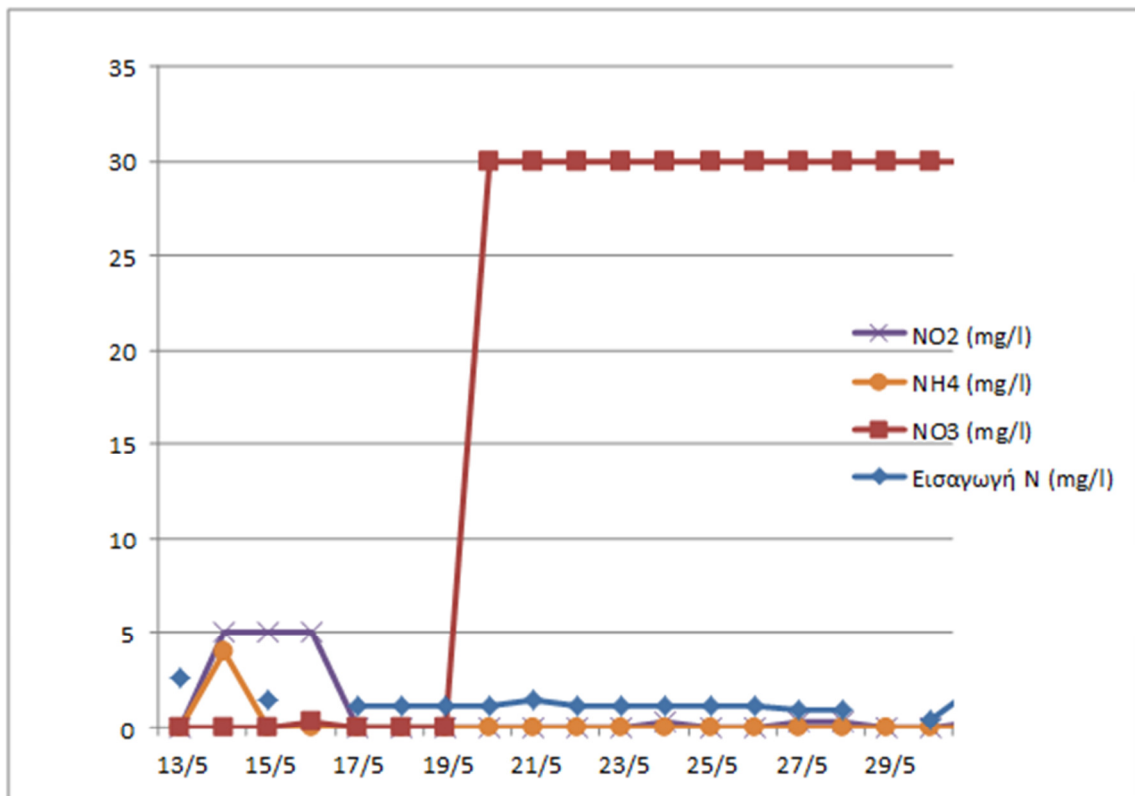
Το Βιοφίλτρο «ρευστοποιημένης» άμμου (Fluidized Sand Biofilters), ήταν γεμάτο με αραγωνίτη γιατί η αρχική αποστολή του εξοπλισμού ήταν για εκτροφές σε θαλασσινό νερό. Το υλικό αυτό το κρατήσαμε γιατί, αν και εκτροφή σε γλυκό νερό, δουλέψαμε με ένα θαλασσινού ψάρι, το οποίο είναι φτιαγμένο να ζεί και να αναπτύσσεται σε σκληρότητες πολύ ψηλότερες. Π.χ τα υφάλμυρα νερά, στα οποία συχνάζει χαρακτηρίζονται από σκληρότητες 1000 έως 6000 mg/L CaCO<sub>3</sub> (Boyd 1998)

### 3.3 Βιολογική Επεξεργασία του νερού των Εκτροφών

#### 3.3.1 Ενεργοποίηση του βιολογικού φίλτρου

Μια πρώτη περίοδος ενεργοποίησης του φίλτρου έγινε από τα τέλη του Απριλίου με εισαγωγή ποσοτήτων υγρής αμμωνίας αλλά κάπως άναρχα, λόγω έλλειψης εμπειρίας και μεθοδικότητας εκ μέρους μου.

Τελικά, από 13/5 έγιναν συστηματικά τεστ που είχαν σκοπό την ανίχνευση της αποτελεσματικότητας της βιολογικής επεξεργασίας του κυκλώματος στην κατάσταση που ήταν. Τα τεστ αυτά αφορούσαν την απόκριση του βιολογικού φίλτρου στην είσοδο αμμωνιακού αζώτου στο κύκλωμα, σε ποσότητες που αντιστοιχούσαν στην εκτροφή με τις προβλεπόμενες αρχικές βιομάζες.



Εικόνα 8 Εισαγόμενες ποσότητες αζώτου και παραγωγή αζωτούχων ενώσεων σε mg/l κατά την περίοδο του ντοπαρίσματος για την ποσοτική προσαρμογή των βακτηρίων του κύκλου του άνθρακα

Στην αρχή η καθημερινή προσθήκη αμμωνιακού αζώτου οδήγησε σε αύξηση της αμμωνίας έως τα 4 mg/l για μία μόνο μέρα και των νιτρικών έως τα 5 mg/l για τρεις μέρες. Μετά από αυτή τη σύντομη άνοδο των τοξικών νιτρικών ενώσεων, κατά το αμέσως επόμενο διάστημα

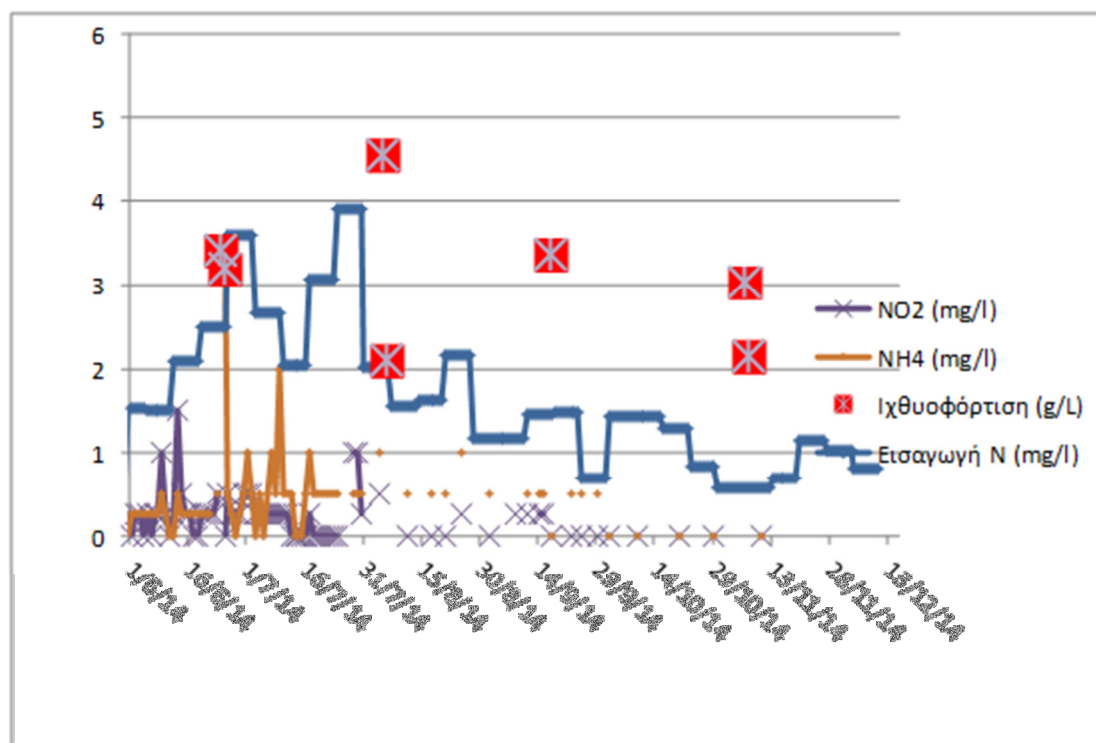
οι τιμές αυτές μηδενίστηκαν, παρά τον συστηματικό εμπλουτισμό του κυκλώματος σε αμμωνιακό άζωτο. Από τις 19/5 άρχισαν να ανιχνεύονται σημαντικές συγκεντρώσεις νιτρικών, τα οποία έκτοτε συνέχισαν φυσιολογικά να συσσωρεύονται.

Συμπερασματικά, θεωρούμε ότι το φίλτρο ήταν ήδη ποιοτικά ενεργοποιημένο με τις προηγούμενες μου ενέργειες, αλλά έως τις 13/5 δεν είχε τους πληθυσμούς των βακτηριών σε ικανοποιητικά επίπεδα για να αρχίσει η εκτροφή. Από 13/5 έως 29/5 πραγματοποιήθηκε λοιπόν η ποσοτική ενεργοποίηση του βιολογικού φίλτρου.



### 3.3.2 Εξέλιξη των παραμέτρων ποιότητας του νερού κατά η διάρκεια της εκτροφής

Στην εικόνα 8 παρουσιάζεται η εξέλιξη της συγκέντρωσης της αμμωνίας και των νιτρικών ιόντων στο κύκλωμα κατά τη διάρκεια της εκτροφής, σε σχέση με την μέση ιχθυοφόρτιση<sup>2,3</sup> των δεξαμενών και την μέση ημερήσια προσθήκη αμμωνιακού αζώτου στο σύστημα



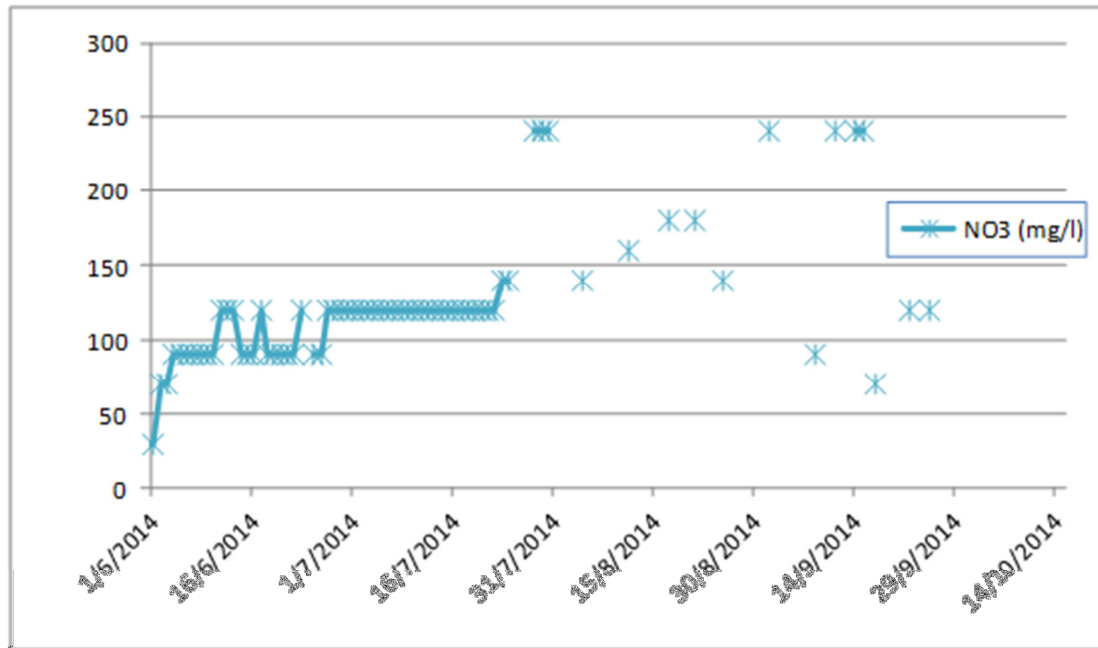
Εικόνα 9 Εξέλιξη της αμμωνίας και των νιτρικών ιόντων κατά τη διάρκεια της εκτροφής

Διαπιστώνουμε ότι κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του, το σύστημα ανταποκρίθηκε πλήρως στις απαιτήσεις των εκτροφών σε πυκνότητες που ξεπέρασαν τα 4,5 kg/m<sup>3</sup> και με ημερήσιες προσθήκες αμμωνιακού αζώτου στο κύκλωμα που έφθασαν τα 4 mg/L τουλάχιστον (ή 240 περίπου g τροφής ημερησίως). Οι μέσες τιμές συγκέντρωσης της αμμωνίας και των νιτρικών οξέων κατά την εκτροφή κυμάνθηκαν σε πολύ ικανοποιητικά

<sup>2</sup> Οι απότομες (μέσα στο 24ωρο) αλλαγές της ιχθυοφόρτισης μετά το 1<sup>ο</sup>, 2<sup>ο</sup> και 4<sup>ο</sup> ζύγισμα για την εκτίμηση της βιομάζας, οφείλονταν σε εκούσιες αραιώσεις των πληθυσμών.

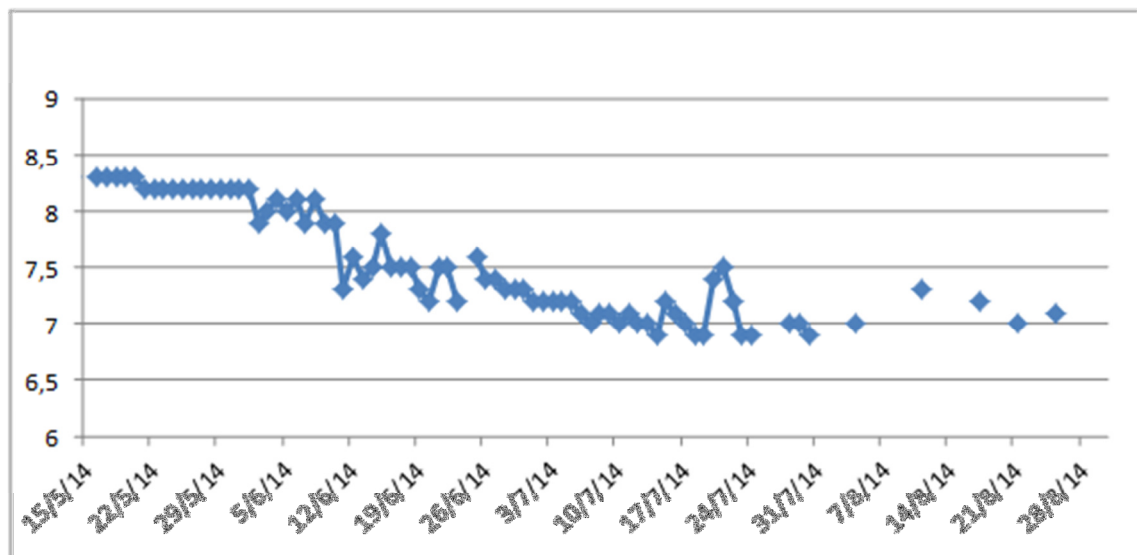
<sup>3</sup> Στασιμότητα, ή και πτώση της βιομάζας μετά το 3<sup>ο</sup> ζύγισμα είχαν να κάνουν σχέση με προβληματική αύξηση σε συνδυασμό με μεγάλη θνησιμότητα, μάλλον λόγω ακαταλληλότητας των τροφών όπως αποδείχτηκε στη συνέχεια, με το τέλος του πειράματος.

για την υγεία των ψαριών επίπεδα,  $0,91 \pm 0,59$  mg/L και  $0,36 \pm 0,40$  mg/L αντίστοιχα, ενώ τα νιτρικά της εκτροφής έφθασαν τα 250 mg/L μετά τον τρίτο μήνα (εικ.5), εξέλιξη αναμενόμενη λόγω της συσσώρευσής τους στο σύστημα.



Εικόνα 10 Εξέλιξη των νιτρικών ιόντων κατά τη διάρκεια της εκτροφής

Το pH των εκτροφών παρουσίασε φυσιολογική πτωτική πορεία, από την αρχική μέγιστη τιμή 8,3 (του δικτύου ύδρευσης), έως τα επίπεδα 6,9-7,3 ήδη με την συμπλήρωση του πρώτου δίμηνου της εκτροφής (εικ.6).



Εικόνα 11 Εξέλιξη της τιμής της οξύτητας (pH) κατά τη διάρκεια της εκτροφής

Η πτώση του pH οφείλεται στην δέσμευση από το νερό του διοξειδίου του άνθρακα από την αναπνοή των ψαριών και των αερόβιων βακτηρίων του βιολογικού φίλτρου.

## 4 Συμπεράσματα & Προτάσεις

Θεωρούμε ότι το κύκλωμα ανακυκλοφορίας στήθηκε λειτούργησε χωρίς προβλήματα. Και οι συνθήκες εκτροφής ήταν απόλυτα ελεγχόμενες σε όλο το εξάμηνο της διάρκειάς τους. Ειδικότερα.

- Ο κλιματισμός του χώρου σε συνδυασμό με τη λειτουργία του ψυκτικού διατήρησαν αποτελεσματικά την σταθερή θερμοκρασία στο νερό των εκτροφών.
- Δεν παρουσιάστηκε καμία διαρροή στο σύστημα
- Η σκληρότητα του νερού αυξήθηκε κατά την πρόοδο της εκτροφής από 11,9 °dH σε 17,6 °dH , λόγω της παρουσίας του αραγωνίτη στο βιοφίλτρου της «ρευστοποιημένης» άμμου και σε ασβεστολιθικό βράχο που τοποθετήσαμε στο
- Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του, το σύστημα ανταποκρίθηκε πλήρως στις απαιτήσεις των εκτροφών, Οι μέσες τιμές συγκέντρωσης της αμμωνίας και των νιτρικών οξέων κατά την εκτροφή κυμάνθηκαν σε πολύ ικανοποιητικά για την υγεία των ψαριών επίπεδα.



Εικόνα 12. ...και το τέλος

## 5 Βιβλιογραφία

### 5.1 Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

Boyd CE (1998) Water Quality for Pond Aquaculture. Research and development series No. 43. pp. 37. International Centre for aquaculture and aquatic Environments. Alabama Agricultural Experiment Station. Auburn University

FAO (2014) *The State of World Fisheries and Aquaculture 2012*. ISBN 978-92-5-107225-7

FEAP (2014) European Aquaculture Production Report 2003-2012 (updated February 2014), <http://www.feap.info/default.asp?SHORTCUT=582> (ημερομηνία πρόσβασης 11/2/2014)

Spotte S ( 1979) *Seawater Aquariums: The Captive Environment*. John Wiley and Sons, New York, 413 pp.

TMC (2015) <http://images.tropicalmarinecentre.co.uk/documents/328.pdf> (ημερομηνία πρόσβασης 24/2/2015)

### 5.2 Ελληνική βιβλιογραφία

Κλαδάς Ι (2014) Σημειώσεις Μαθήματος «Ενυδρεία», Τμήμα Τεχνολογίας Αλιείας & Υδατοκαλλιεργειών, ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας (ημερομηνία πρόσβασης 24/2/2015) <https://openeclass.teimes.gr/courses/YDAD106/>