

**ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΩΝΙΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ  
ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΛΙΞΙΑΣ –ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ**

**«Ενυδρειοπονία ένα τέλειο οικοσύστημα για  
την ανάπτυξη διακοσμητικών ψαριών και φυτών»**

**Ιωάννης Καλτσής**

**ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ  
ΧΩΤΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**ΜΕΣΟΛΟΓΓΙ 2014**

*Στην οικογένεια μου*

## Ευχαριστίες

Μέσα από την παρούσα εργασία θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους κάτωθι:

- Το Δρ Γεώργιο Χώτο, επιβλέπων της εργασίας για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση κατά τη διάρκεια συγγραφή της εργασίας.
- Το Δρ Νικόλαο Βλάχο, συνεπιβλέπων της εργασίας, για την αμέριστη και διαρκεί συμπαράστασή του, την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.
- Στα μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής Δρ Κων/νο Πούλο και Δρ Κοσμά Βιδάλη, για τις χρήσιμες συμβουλές και παρατηρήσεις τους.
- Τέλος, εκφράζω τις εγκάρδιες ευχαριστίες μου στην οικογένειά μου, και στους γονείς μου για την υλική και ψυχολογική υποστήριξη που μου παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

## Περίληψη

Τα συστήματα Ενυδρειοπονίας έχουν σαν στόχο την εκμετάλλευση των πλεονεκτημάτων που προσφέρουν η υδατοκαλλιέργεια και η υδροπονία. Παράλληλα με την εκτροφή των ψαριών γίνεται καλλιέργεια φυτών η οποία επωφελείται από τα πλούσια σε θρεπτικά συστατικά των αποβλήτων των ψαριών, συνεισφέροντας με τον τρόπο αυτό στη βελτίωση της ποιότητας του νερού εκτροφής, μειώνοντας την αμμωνία και τα νιτρώδη ιόντα. Στην παρούσα εργασία αναδεικνύεται ο σχεδιασμός και η λειτουργία των συστημάτων Ενυδρειοπονίας μικρής κλίμακας.

Σύμφωνα με βιβλιογραφικές αναφορές η εκτροφή ψαριών μεσαίου μεγέθους με την αντίστοιχη επιβάρυνση εξαιτίας των θρεπτικών συστατικών προϋποθέτουν παραγωγή και συγκομιδή φυτών σε αναλογία που κυμαίνεται από 1:4 έως 1:5 (ιχθυοτροφές που παρέχονται : βιομάζα φυτών) ανάλογα με το αρχικό μέγεθος των φυτών. Πολύ μικρά φυτά με ευαίσθητο ριζικό σύστημα, καθώς και αυξημένα επίπεδα αμμωνίας συνίσταται να αποφεύγονται. Βελτιώσεις στη λειτουργία ενός συστήματος ενυδρειοπονίας επιτυγχάνονται λαμβάνοντας υπόψη τη ροή του συστήματος, το προφίλ της ποιότητας του νερού, την κατάλληλη επιλογή του υποστρώματος και την προσθήκη φίλτρων.

**Λέξεις κλειδιά:** Υδροπονία, Ενυδρειοπονία, Είδη ψαριών, Σχεδιασμός και Λειτουργία λειτουργικά χαρακτηριστικά

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες .....	3
Περίληψη .....	4
1. Εισαγωγή .....	7
1.1. Βιβλιογραφική ανασκόπηση .....	8
1.2. Ενυδρειοπονία στην Ελλάδα.....	10
2. Υδροπονία-Ενυδρειοπονία.....	11
2.1. Εισαγωγή στην Υδροπονία .....	11
2.2. Εισαγωγή στην Ενυδρειοπονία .....	12
2.3. Τύποι ενυδρειοπονικών συστημάτων .....	15
2.3.1. Ανοιχτό σύστημα υδροπονίας.....	15
2.3.2. Κλειστά συστήματα .....	16
3. Λειτουργία συστήματος ενυδρειοπονίας-Ρύθμιση συστήματος.....	17
3.1. Λειτουργία συστήματος ενυδρειοπονίας .....	17
3.2. Ρύθμιση ενός ενυδρειοπονικού συστήματος .....	19
3.2.1. Παρασκευή – προετοιμασία νερού ενυδρείου .....	19
3.2.2. Έναρξη λειτουργίας ενυδρείου (διαδικασία start-up).....	19
3.2.3. Στρώσιμο με ψάρια .....	20
3.2.4. Με ζωντανό βράχο .....	20
3.2.5. Με ζωντανή άμμο. ....	20
3.2.6. Με βιολογικό υλικό .....	20
4. Βασικές αρχές ενός συστήματος ενυδρειοπονίας.....	21
4.1. Ρυθμός παροχής τροφής και σχεδιασμός συστήματος .....	21
4.2. Παροχή τροφής .....	22
4.3. Προσθήκη ανόργανων (ασβέστιο, κάλιο και σίδηρος).....	23
4.4. Αερισμός.....	23
4.5. Απομάκρυνση στερεών.....	23
4.6. Χειρισμός αδρανών υλικών .....	24
4.7. Αυξημένα επίπεδα οργανικών .....	24
4.8. Βιολογικό φίλτρο .....	24
4.9. Επαρκής βιολογικός καθαρισμός.....	25
4.10. pH.....	25
5. Βασικοί παράμετροι σχεδιασμού.....	26

5.1.Σχεδιασμός δεξαμενής .....	26
5.2.Υλικά κατασκευής .....	27
5.3. Πυκνότητα εκτροφής .....	27
5.4.Παροχή νερού στις δεξαμενές εκτροφής-ρευστοδυναμική .....	27
5.5.Παροχή νερού και ποιότητα νερού .....	28
5.6.Ροή του νερού και συγκεντρώσεις στερεών .....	30
5.7. Δεξαμενή ψαριών και επιφάνεια προς όγκο .....	31
6. Κατασκευή ενός συστήματος ενυδραιοπονίας.....	32
6.1.Κατασκευή ενός απλού και οικονομικού συστήματος ενυδραιοπονίας .....	32
6.2.Εμπειρικές πρακτικές.....	32
6.3.Περιγραφή του συστήματος.....	39
6.3.1. Διαλείπουσα ροή.....	41
6.3.2.Συνεχής ροή - τεχνική θρεπτικών ταινιών .....	41
6.3.3.Πλημμυρίδα και άμπωτη (πλήρωση και αποστράγγιση) .....	42
6.3.4.Βαρελο-πονικό σύστημα.....	42
6.3.5.Άξονας Εξόδου .....	43
6.3.6. Εξωτερικό δοχείο του άξονα εξόδου .....	44
6.3.7.Τύποι σιφονιών (autosiphon).....	45
6.3.8. Κύρτωση - J (συσκευή πίδακα Carlson )/Κύρτωση – U.....	45
6.3.9.Υπερχείλιση .....	46
6.3.10. Σιφόνι Βρόχος.....	46
6.3.11.Καμπάνα .....	47
7. Τύποι υποστρωμάτων που χρησιμοποιούνται στην ενυδραιοπονία.....	48
8. Βασικά στοιχεία και προβληματισμοί .....	49
8.1. Τα θρεπτικά συστατικά των αποβλήτων της Υδατοκαλλιέργειας:.....	49
8.2.Φυτά Προσαρμοσμένα στην Υδροπονία .....	50
8.3.Είδη ψαριών .....	50
8.4.Ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού .....	50
8.5.Φίλτρα και αιωρούμενα στερεά .....	51
8.6.Αναλογία συστατικών.....	52
9. Συμπεράσματα .....	53
10. Abstract .....	55
11. Βιβλιογραφία .....	56

## 1. Εισαγωγή

Η ενυδραιοπονία αποτελεί τεχνολογία αιχμής για μια οικολογική παραγωγή γεωργικών προϊόντων, της οποίας το κόστος των μεταβλητών και των εξόδων κίνησης μειώνεται σημαντικά, από την σχεδόν καθόλου χρησιμοποίηση τεχνικών της συμβατικής γεωργίας και της υδροπονίας, (λιπάσματα, φυτοφάρμακα κλπ.). Το σύστημα εισέρχεται σε παραγωγή και αυτοματοποιείται από καθαρά βιολογικούς παράγοντες ενώ τα προϊόντα που παράγονται θεωρούνται βιολογικά. Η ενυδραιοπονία είναι μια απλή αλλά παλιά διαδικασία της φύσης, που πρώτοι μιμήθηκαν οι αρχαίοι Αιγύπτιοι οι οποίοι καλλιεργούσαν την τιλάπια του Νείλου σε δεξαμενές με φυτά (Εικ.1), στη συνέχεια οι Αζτέκοι γνωστή με την ονομασία Chinampas, αργότερα οι Κινέζοι και οι Ταϊλανδοί.

Οι Αμερικάνοι ενδιαφέρθηκαν για αυτήν τη δεκαετία του '60, όταν διερευνούσαν τρόπους αυτοτροφοδοτούμενης καλλιέργειας στο διάστημα. Μελετήθηκε στην Νότιο Κορέα και στην Ταϊλάνδη με την πολυκαλλιέργεια της γαρίδας σε ορυζώνες η οποία με την πάροδο των χρόνων την μετονόμασαν σε υδροπονία (aquaponics). Η ενυδραιοπονία προσθέτει στη μεθοδολογία της υδροπονίας την ιχθυοκαλλιέργεια δημιουργώντας ένα ανατροφοδοτούμενο σύστημα, το οποίο είναι ένα κλειστό σύστημα παραγωγής τροφίμων (ψαριών και φυτών), χωρίς την προσθήκη χημικών (Παπουτσόγλου 2008).



**Εικόνα 1.** Υδροπονία στην αρχαία Αίγυπτο (Πηγή: [www.aquaponics.com](http://www.aquaponics.com))

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι αφενός μεν να παρουσιάσει τα βασικά χαρακτηριστικά που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη στον σχεδιασμό ενός συστήματος μικρής κλίμακας και αφετέρου δε να αναδείξει όλους τους παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη για τη λειτουργία του συστήματος.

### 1.1. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Η Υδροπονία είναι μια σύγχρονη μορφή βιολογικής πολυκαλλιέργειας που συνδυάζει την εκτροφή ψαριών και την καλλιέργεια φυτών σε ένα ενιαίο σύστημα. Πρόσφατες μελέτες ερευνητών αλλά και φυτοκαλλιεργητών σε αυτό το τομέα, εμφανίζουν την υδροπονία ως ένα σύγχρονο μοντέλο αειφορικής παραγωγής των ψαριών αλλά και των φυτών, συμφωνά με τις παρακάτω αρχές:

- Τα άχρηστα προϊόντα (περιττώματα) του ενός βιολογικού συστήματος χρησιμεύουν ως θρεπτικά συστατικά του άλλου συστήματος.
- Η ενοποίηση της καλλιέργειας των ψαριών και των φυτών έχει ως αποτέλεσμα μια πολυκαλλιέργεια που μεγαλώνει την διαφορετικότητα των ειδών και αποδίδει πολλαπλά αποτελέσματα.
- Το νερό ξαναχρησιμοποιείται διαμέσου του βιολογικού φιλτραρίσματος και της επανακυκλοφορίας του.
- Η παραγωγή των θρεπτικών συστατικών τοπικά, δίνει πρόσβαση σε υγιείς τροφές και ενισχύει την τοπική οικονομία.

Τα πλούσια σε θρεπτικά συστατικά απόβλητα, από τις δεξαμενές των ψαριών, χρησιμοποιούνται για την λίπανση των υποστρωμάτων παραγωγής των φυτών. Αυτό λειτουργεί θετικά για τα ψάρια, επειδή οι ρίζες των φυτών και τα ριζοβακτήρια αφαιρούν θρεπτικά συστατικά από το νερό, άρα, τα θρεπτικά συστατικά που δημιουργούνται από τα λύματα των ψαριών, τα φύκια αλλά και την αποσύνθεση των ιχθυοτροφών, που διαφορετικά θα δημιουργούσαν τοξικά επίπεδα στις δεξαμενές των ψαριών, αλλά αντ' αυτού χρησιμεύουν ως υγρό λίπασμα για τα φυτά που καλλιεργούνται με την μέθοδο της υδροπονίας. Με τη σειρά του, το υπόστρωμα λειτουργεί ως ένα βιολογικό φίλτρο που απομακρύνει την αμμωνία, τα νιτρικά, τα νιτρώδη ιόντα και το φώσφορο, έτσι ώστε το πρόσφατα καθαρισμένο νερό να μπορεί να επανακυκλοφορήσει στις δεξαμενές των ψαριών. Τα νιτροποιητικά βακτήρια που ζουν στο υπόστρωμα και στις ρίζες των φυτών, παίζουν σημαντικό ρόλο στην κυκλοφορία των θρεπτικών ουσιών χωρίς αυτούς τους μικροοργανισμούς ολόκληρο το σύστημα θα έπαυε να λειτουργεί (Παπουτσόγλου 2008).

Οι καλλιεργητές που κάνουν χρήση θερμοκηπίων και οι αγρότες λαμβάνουν υπόψη την μέθοδο της υδροπονίας για διάφορους λόγους:



- Οι καλλιεργητές θεωρούν ότι το νερό άρδευσης που έχει λιπανθεί από τα ψάρια, είναι πηγή οργανικού λιπάσματος που επιτρέπει στα φυτά να αναπτύσσονται καλύτερα.
- Οι υδατοκαλλιεργητές θεωρούν αυτό το είδος πολυκαλλιέργειας ως μια μέθοδο βιολογικού φιλτραρίσματος για τη διευκόλυνση των υπερεντατικών συστημάτων εκτροφής.
- Καλλιεργητές θερμοκηπίων θεωρούν την υδροπονία ένα τρόπο για την εισαγωγή οργανικού υλικού στην παραγωγή τους, δεδομένου ότι η μόνη βοήθεια στη γονιμότητα είναι οι σύσταση των ιχθυοτροφών και όλα τα θρεπτικά συστατικά διέρχονται μέσω της βιολογικής διαδικασίας.
- Τα θερμοκήπια παραγωγής τροφίμων αποφέρουν κατ' αυτό τον τρόπο δύο προϊόντα από μία μονάδα παραγωγής και αποτελεί φυσικά έκκληση για μάρκετινγκ του τομέα και αυτών των βιολογικών προϊόντων.
- Η πολυκαλλιέργεια αυτή μπορεί να επιτρέψει την παραγωγή φρέσκων λαχανικών και πρωτεΐνες ψαριών σε άνυδρες περιοχές και περιοχές με λιγιστό νερό, δεδομένου ότι το νερό επαναχρησιμοποιείτε από το σύστημα.
- Η Υδροπονία είναι ένα μοντέλο εργασίας όπου η ολοκληρωμένη και βιώσιμη παραγωγή τροφίμων φυτικής και ζωικής προέλευσης συνδέονται ενεργά με την ανακύκλωση των θρεπτικών συστατικών μέσω της επανακυκλοφορίας του νερού.
- Εκτός από την εμπορική του εφαρμογή, αυτό το είδος πολυκαλλιέργειας έχει γίνει μια δημοφιλή εκπαιδευτική διαδικασία για τα επαγγέλματα που ανήκουν στον τομέα της γεωργίας και τα εκπαιδευτικά προγράμματα βιολογίας για μαθητές Γυμνασίου και Λυκείου.

Η τεχνολογία που σχετίζεται με την υδροπονία είναι πολύπλοκη. Απαιτεί την ικανότητα να διαχειρίζεσαι ταυτόχρονα την παραγωγή και την εμπορία δύο διαφορετικών προϊόντων. Μέχρι τη δεκαετία του 1980, οι περισσότερες προσπάθειες ενοποίησης μεταξύ υδροπονίας και υδατοκαλλιέργειας είχαν περιορισμένη επιτυχία. Ωστόσο, οι καινοτομίες από το 1980 και έκτοτε έχουν μετατρέψει την υδροπονία σε

ένα βιώσιμο σύστημα παραγωγής τροφίμων. Τα σύγχρονα συστήματα υδροπονίας μπορεί να είναι άκρως επιτυχημένα, αλλά απαιτούν εντατική διαχείριση και έχουν ειδική μελέτη (Παπουτσόγλου 2008).

## **1.2. Ενυδραιοπονία στην Ελλάδα**

Η μέθοδος καλλιέργειας είναι σχεδόν άγνωστη στην Ελλάδα, αλλά έχει ραγδαία ανάπτυξη πάνω από δέκα χρόνια σε ολόκληρο τον κόσμο σε μικρά αστικά οικιακά συστήματα που καλύπτουν τις ανάγκες της οικογένειας με ελάχιστο χώρο, χωρίς χώμα και ανταγωνιστικό κόστος, αλλά και σε εμπορικές εκμεταλλεύσεις.

Ένα σύνηθες φυτό που καλλιεργείται σε ενυδραιοπονία είναι το μαρούλι, μπορεί να αποτελέσει ένα αρκετά ανταγωνιστικό προϊόν εξαγωγής σε Ευρωπαϊκό επίπεδο και αυτό διότι, πέραν της υψηλής του ποιότητας ως βιολογικό προϊόν έχει χαμηλό κόστος παραγωγής. Τα πλεονεκτήματα παραγωγής του μαρουλιού στα συστήματα ενυδραιοπονίας είναι ίδια με εκείνα της απλής υδροπονίας σε συστήματα επίπλευσης και υπερτερούν της συμβατικής παραγωγής μαρουλιού σε οικονομικοτεχνικό επίπεδο μιας και η εγκατάσταση χαρακτηρίζεται απλή, λειτουργική και χωρίς προβλήματα εγκατάσταση. Το κόστος λειτουργίας είναι χαμηλό και αποσβέσιμο σε σύντομο χρονικό διάστημα, ενώ παράλληλα ο τύπος καλλιέργειας ενδείκνυται για την προστασία του περιβάλλοντος (Παπουτσόγλου 2008).

Τα τρόφιμα που παράγονται θεωρούνται βιολογικά επειδή δεν χρησιμοποιούνται χημικά λιπάσματα ή φυτοφάρμακα. Η μέθοδος αυτή βρίσκεται στα αρχικά στάδια, αλλά στην ουσία είναι μία φυσική συμβιωτική λειτουργία που συμβαίνει δισεκατομμύρια χρόνια στη γη. Τα φυτά και τα υδρόβια ζώα στις λίμνες, τα ποτάμια και τις θάλασσες αλληλοτροφοδοτούνται με χρήσιμα θρεπτικά συστατικά.

## 2. Υδροπονία-Ενυδραιοπονία

### 2.1. Εισαγωγή στην Υδροπονία

Υδροπονία είναι η μέθοδος καλλιέργειας κατά την οποία η ανάπτυξη των φυτών γίνεται δίχως εδαφικό υπόστρωμα. Όλα τα θρεπτικά συστατικά που χρειάζονται τα φυτά για να αναπτυχθούν, παρέχονται μέσω του νερού (Εικ.2). Τα φυτά για να μεγαλώσουν χρειάζονται νερό, θρεπτικά συστατικά και οξυγόνο. Με την υδροπονία τα φυτά μεγαλώνουν στο νερό αντί για το χώμα.



**Εικόνα 2.** Σύστημα υδροπονίας (Πηγή: [www.aquaponics.com](http://www.aquaponics.com))

Η υδροπονική καλλιέργεια διακρίνεται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- αυτές που γίνονται σε νερό
- αυτές που γίνονται σε αδρανή υποστρώματα όπως ο πετροβάμβακας, ο περλίτης κ.λπ. Το αδρανές υπόστρωμα είναι ο χώρος στον οποίο αναπτύσσεται η ρίζα του φυτού. Δεν περιέχει θρεπτικά συστατικά που χρειάζονται για την ανάπτυξη του φυτού, γι' αυτό τα παρέχουμε εμείς μέσω του θρεπτικού διαλύματος.

Τα υδροπονικά συστήματα διακρίνονται σε κλειστά, όπου το θρεπτικό διάλυμα ανακυκλώνεται και σε ανοιχτά, όπου το ποσό θρεπτικού διαλύματος που περισσεύει από την άρδευση (περίπου 10-15%) χάνεται στο έδαφος το είναι και το πιο διαδεδομένο σύστημα (Calfó & Williams 2007).

## 2.2. Εισαγωγή στην Ενυδραιοπονία

Η ενυδραιοπονία συνδυάζει την υδροπονία με την εκτροφή των υδρόβιων ζώων σε συστήματα ανακυκλωμένης υδατοκαλλιέργειας, (Recirculating Aquaculture Systems, RAS). Ο Παπουτσόγλου (2008) και ο Nelson (2008) αναφέρουν ότι η ενυδραιοπονία είναι μία βιώσιμη μέθοδος παραγωγής οργανικών τροφίμων (ψάρια & φυτά) που συνδυάζει την Υδατοκαλλιέργεια (ανάπτυξη υδρόβιων ζώων όπως ψάρια, γαρίδες, καραβίδες σε δεξαμενές) με την υδροπονία (καλλιέργεια φυτών σε νερό χωρίς χώμα).

Η υδατοκαλλιέργεια είναι η καλλιέργεια των υδρόβιων φυτών και των ζώων, ενώ η υδροπονία περιλαμβάνει την ανάπτυξη των φυτών σε εμπλουτισμένα θρεπτικά διαλύματα χωρίς την παρουσία εδάφους. Το διάλυμα παρασκευάζεται με την παροχή των απαραίτητων θρεπτικών συστατικών στο νερό μέσα στο οποίο αναπτύσσεται η ρίζα των φυτών.

Στην ανακυκλωμένη υδατοκαλλιέργεια, το νερό αυξάνει τα θρεπτικά του λόγω του μεταβολισμού και της απέκκρισης των τροφών από τα ψάρια, παρέχοντας στα φυτά τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά και τις σωστές αναλογίες για την σωστή τους αύξηση και ανάπτυξη. Τα υγρά απόβλητα φιλτράρονται και αποβάλλονται προκειμένου να διατηρηθεί το νερό καθαρό. Κατά συνέπεια, τα συστήματα ενυδραιοπονίας είναι συστήματα που συνδυάζει την υδατοκαλλιέργεια και την καλλιέργεια φυτών σε μία κοινή πολύ-δραστηριότητα. Τα προϊόντα που παράγονται από την ενυδραιοπονία, (ψάρια και φυτά) όπως αναφέρθηκε θεωρούνται προϊόντα βιολογικής καλλιέργειας υψηλής αξίας.

Στην ενυδραιοπονία, τα υγρά απόβλητα των ψαριών διανέμονται στη ρίζα των φυτών, (αντικαθιστώντας το παραδοσιακό υδροπονικό θρεπτικό μίγμα), παρέχοντας έτσι τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά για την ανάπτυξη των φυτών. Τα φυτά στην συνέχεια παρέχουν ένα φυσικό φίλτρο και συνεπώς το νερό δύναται να επαναχρησιμοποιηθεί από τα ψάρια. Αυτό δημιουργεί ένα μίνι οικοσύστημα, όπου φυτά και ψάρια μπορούν να αναπτυχθούν ταυτόχρονα. Η μεθοδολογία αυτή χρησιμοποιείται κυρίως στην Ασία, ενώ έχει ελεγχθεί και εφαρμοστεί και σε διάφορες άλλες χώρες όπως στις ΗΠΑ, την Αυστραλία, την Κεντρική Αμερική και τον Καναδά (Nelson 2008).

Με την αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού και την αυξανόμενη ζήτηση για τα τρόφιμα και ταυτόχρονη μείωση της αγροτικής γης, η ενυδρευσιμότητα αποτελεί αποτελέσει μια από τις πολλά υποσχόμενες λύσεις των προβλημάτων διατροφής σε ολόκληρο τον κόσμο. Το ενδιαφέρον για την ενυδρευσιμότητα αυξάνεται ραγδαία στην Ευρώπη και αυτή η προσέγγιση εκτιμάται ότι θα αποτελέσει μία από τις μελλοντικές μεθόδους παραγωγής τροφίμων για τις τοπικές αγορές, όπως για παράδειγμα στην αστική παραγωγή με μικρές μονάδες κατάλληλες για σπίτια και εστιατόρια.

Μερικά από τα σημαντικά πλεονεκτήματα τη ενυδρευσιμότητας είναι:

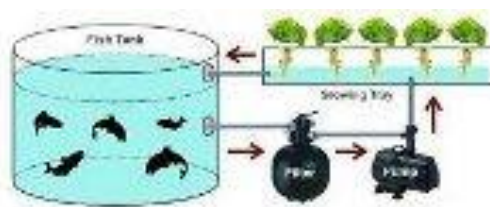
- ο χώρος εγκατάστασης είναι μικρός και ανεξάρτητος από τις κλιματολογικές συνθήκες
- αύξηση της παραγωγικότητας. Ο χρόνος ανάπτυξης των φυτών μειώνεται όπως για παράδειγμα για μια συμβατική καλλιέργεια χρειάζονται 30-35 ημέρες σε αντίθεση με τις 50-60 ημέρες που χρειάζονται στη συμβατική καλλιέργεια
- τα απόβλητα των ψαριών χρησιμοποιούνται ως εναλλακτικός τρόπος λίπανσης των φυτών. Τα φυτά συνεισφέρουν στον καθαρισμό του νερού, μειώνοντας τα επικίνδυνα χημικά στοιχεία από τα απόβλητα της υδατοκαλλιέργειας,
- διατηρεί σταθερή την ποσότητα του νερού μειώνοντας τις ανάγκες για προσθήκη μεγάλων όγκων νερού, ενέργεια, θέρμανση ή ψύξη,
- παράγει προϊόντα (φυτά και ψάρια) με υψηλή αξία
- χρησιμοποιεί ουδέτερο υπόστρωμα κατάλληλο για τις ρίζες των φυτών (χαλίκι, ελαφρόπετρα, διογκωμένη άργιλο)
- έχει αυξημένη πυκνότητα φύτευσης σε σχέση με τη συμβατική καλλιέργεια σε χώρο.
- παρατηρείται ελαχιστοποίηση των ασθενειών των φυτών, ειδικά αυτές που προσβάλλουν τις ρίζες.
- τα φυτά δεν χρειάζονται πότισμα και συνεχή βοτάνισμα (απομάκρυνση των παρασιτικών φυτών)
- είναι μια βιολογική μέθοδο καλλιέργειας αφού δεν χρησιμοποιεί χημικά λιπάσματα και φυτοφάρμακα, προστατεύοντας παράλληλα το φυσικό αποδέκτη από τα απόβλητα

Τα μειονεκτήματα της μεθόδου καλλιέργειας είναι:

- συχνές μετρήσεις της ποιότητας του νερού μέχρι έως ότου σταθεροποιηθούν (pH, νιτρικά ιόντα, νιτρώδη ιόντα, σκληρότητα) με ειδικά test χρωματομετρίας
- στην Ελλάδα, υπάρχει ελάχιστη εμπειρία και τεχνογνωσία σε αντιθέσει άλλες Ευρωπαϊκές χώρες όπου υπάρχει πολυετή εμπειρία

Σε ένα απλό σύστημα ενυδρειοπονίας, τα ψάρια αναπτύσσονται κανονικά στις δεξαμενές εκτροφής, ενώ η τροφή συνεχίζει να τους παρέχεται όπως θα συνέβαινε και στην κανονική υδατοκαλλιέργεια. Τα ψάρια αναπτύσσονται σε δεξαμενές και τα απόβλητά τους συσσωρεύονται στο νερό και γίνονται τοξικά. Με την κυκλοφορία του νερού και τη βοήθεια διάφορων ωφέλιμων βακτηριδίων τα οποία αναπτύσσονται σε αποικίες στο υπόστρωμα κάτω από τις ρίζες των φυτών, αλλά και σε βιολογικά φίλτρα (όπως στα ενυδρεία), τα τοξικά απόβλητα των ψαριών και τα υπολείμματα τροφών τους, μετατρέπονται σε χρήσιμα για τα φυτά θρεπτικά συστατικά. Το νερό κυκλοφορεί συνεχώς ή κατά διαστήματα από τις δεξαμενές προς τα φυτά, διαρκώς φιλτράρεται και επιστρέφει καθαρό στις δεξαμενές των ψαριών (Pade & Nelson 2007).

Αφού το νερό ανάπτυξης κορεστεί από τα στερεά και τα υγρά τους απόβλητα, εξάγεται μέσω σωληνώσεων από τις δεξαμενές εκτροφής. Το νερό στην συνέχεια φιλτράρεται μηχανικά (προκειμένου να απομακρυνθούν τα στερεά απόβλητα) και βιολογικά (προκειμένου να μειωθούν τα επίπεδα της τοξικής αμμωνίας για τα φυτά) με τη βοήθεια αζωτοδεσμευτικών βακτηριδίων (*Nitrosomonas sp* και *Nitrobacter sp*) και παρέχεται στα φυτά τα οποία αναπτύσσονται σε υδροπονικά συστήματα επίπλευσης ή σε συστήματα NFT (nutrient film technique) (Εικ.3).



**Εικόνα 3.** Σύστημα ενυδρειοπονίας (Πηγή: [www.aquaponics.com](http://www.aquaponics.com))

Κατάλληλα ψάρια για την ενυδρειοπονία είναι η τιλάπια του είδους *Oreochromis niloticus*, χωρίς όμως αυτό να αποτελεί απαραίτητο κανόνα. Σε

συστήματα ενυδρειοπονίας χρησιμοποιούνται ακόμη και οστρακόδερμα, όπως οι γαρίδες και οι αστακοί του γλυκού νερού (Εικ.4). Με την ενυδρειοπονία μπορούν να παραχθούν πολλά και διαφορετικά είδη φυτών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το μαρούλι το οποίο παρουσιάζει αυξημένη αποτελεσματικότητα σε ανοιχτά συστήματα επίπλευσης (Al-Hafedh *et al.* 2008).



**Εικόνα 4.** Σύστημα ενυδρειοπονίας με τιλάπια (Πηγή: [www.aquaponics.com](http://www.aquaponics.com))

## 2.3. Τύποι ενυδρειοπονικών συστημάτων

### 2.3.1. Ανοιχτό σύστημα υδροπονίας

Είναι η τεχνική υδροπονίας στην οποία το νερό δεν είναι τρεχούμενο και οι ρίζες των φυτών μεγαλώνουν εξ ολοκλήρου σε αυτό. Με την χρήση τρόμπας αέρος και ειδικής πέτρας, τοποθετημένης στο νερό, δημιουργούνται φυσαλίδες οξυγόνου στις ρίζες των φυτών. Το βασικό μειονέκτημα της μεθόδου είναι η έλλειψη αρκετού οξυγόνου στις ρίζες, που είναι απαραίτητο για αυξημένη παραγωγή. Στα θετικά χαρακτηριστικά του συγκαταλέγεται η ευκολία λειτουργίας του συστήματος.

Τα εν λόγω συστήματα είναι τα πιο απλά και τα πρώτα που αναπτύχθηκαν, μιας και έχουν λιγότερες απαιτήσεις. Έχουν διαδοθεί περισσότερο και έχουν λιγότερες απαιτήσεις. Στα ανοιχτά συστήματα, ο νερό δεν ανακυκλώνεται αλλά απορρίπτεται στο περιβάλλον, με αποτέλεσμα να υπάρχουν αυξημένες απώλειες

λιπασμάτων και να μολύνεται το έδαφος και ο υδροφόρος ορίζοντας, όπως συμβαίνει και στην συμβατική καλλιέργεια (Endut *et al.* 2011).

### **2.3.2.Κλειστά συστήματα**

Είναι η μέθοδος υδροπονίας, όπου οι ρίζες των φυτών αναπτύσσονται σε ένα μέσο-υποκατάστατο του χώματος, όπως ο περλίτης, οι κόκκοι φοίνικα, ο πετροβάμβακας κ.ά. Με την χρήση μια τρόμπας νερού μεταφέρεται συνεχώς νερό συμπληρωμένο με ωφέλιμα ιχνοστοιχεία από μια δεξαμενή στις ρίζες των φυτών, το οποίο χάρη στη βαρύτητα καταλήγει πάλι στην δεξαμενή. Δημιουργείται με τον τρόπο αυτό μια συνεχής ανακύκλωση στο νερό, που εμπλουτίζεται με χρήσιμα στοιχεία και οξυγόνο με αποτέλεσμα να αυξάνεται η παραγωγικότητα. Στα κλειστά συστήματα το διάλυμα της απορροής ανακυκλώνεται και επαναχρησιμοποιείται σε μεγάλο ποσοστό. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνουμε οικονομία στην κατανάλωση λιπασμάτων (μέχρι 50%) και σημαντική μείωση της ρύπανσης.

Σύμφωνα με μελέτες οικονομικών, τεχνικών και περιβαλλοντικών στοιχείων κλειστών συστημάτων για διάφορες ομάδες φυτών στα κλειστά συστήματα η κατανάλωση νερού και λιπασμάτων μειώνεται σε σημαντικό βαθμό. Η διατήρηση εύρωστων φυτών και καλού αέριου και ριζικού περιβάλλοντος, καθώς και η προσεκτική ρύθμιση της ανακύκλωσης είναι φυσικοί τρόποι μείωσης της πιθανότητας ρύπανσης. Στην περίπτωση αυτή απαιτούνται καλή γνώση και συνεχής παρακολούθηση ώστε να γίνεται ελάχιστη χρήση χημικών απολυμαντικών και μόνο όταν οι συνθήκες επιβάλλουν προληπτικά μέτρα (Seawright *et al.* 1998).



### 3. Λειτουργία συστήματος ενυδρειοπονίας-Ρύθμιση συστήματος

#### 3.1. Λειτουργία συστήματος ενυδρειοπονίας

Ο συνδυασμός της καλλιέργειας φυτών και ψαριών μέσω ενός συστήματος ενυδρειοπονίας είναι μια περιβαλλοντική, προσοδοφόρα και οικονομικά διαχειρίσιμη δραστηριότητα έχοντας αποτελέσει το ενδιαφέρον πολλών επενδυτών.

Πραγματοποιείται σε κλειστό σύστημα εκτροφής ψαριών (ανακυκλούμενα συστήματα εκτροφής) κατάλληλα τροποποιημένο, χωρίς να προστίθενται χημικές ουσίες και απαιτεί ελάχιστο όγκο νερού (περίπου 10 %) που χρησιμοποιείται σε μια συμβατική καλλιέργεια φυτών. Η ανανέωση του νερού είναι μικρή μιας και προστίθεται ο όγκος του νερού που μειώνεται λόγω εξάτμισης ή λόγω κάποιων εργασιών που γίνονται το σύστημα.

Η λειτουργία του συστήματος έγκειται στην επαναχρησιμοποίηση του ίδιου όγκου νερού μιας και το νερό αυτό διέρχεται από πρωτοβάθμιο (μηχανικό φίλτρο) και δευτεροβάθμιο καθαρισμό (βιολογικό φίλτρο). Ο ρόλος της επεξεργασίας του νερού είναι να μειώσει την παραγόμενη ποσότητα αμμωνίας από τα ψάρια και να την οξειδώσει μέσω των βακτηριδίων *Nitrosomonas sp* και *Nitrobacter sp* σε νιτρικά ιόντα τα οποία δεν είναι τοξικά για τα ψάρια (Walker *et al.* 2001, Boroujerdnia & Ansari 2007).

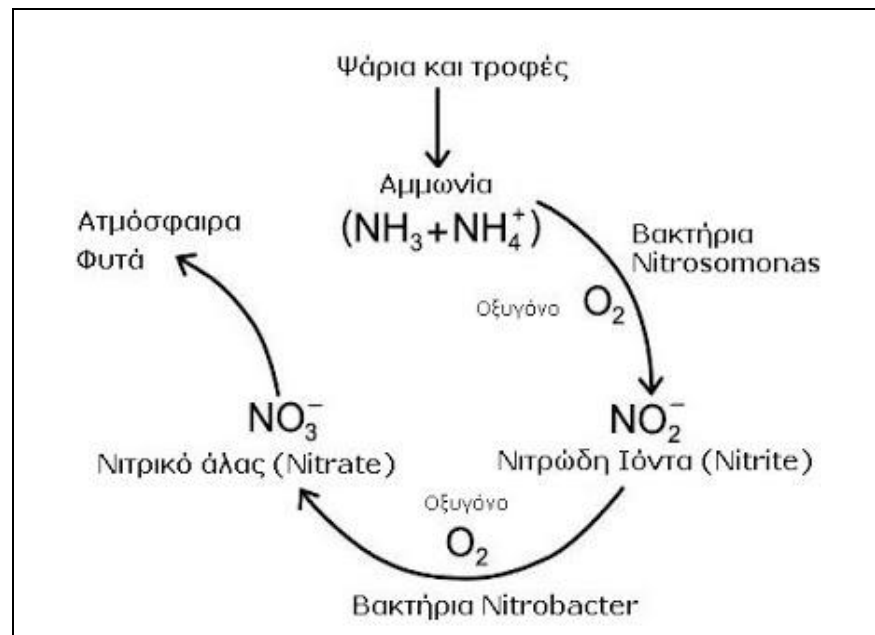
Στο σύστημα ενυδρειοπονίας τα νιτρικά ιόντα που παράγονται απορροφώνται από τα φυτά που προστίθενται ως πηγή θρεπτικών στοιχείων και χρησιμοποιούνται ως βασικό στοιχείο για την ανάπτυξή τους. Η ενυδρειοπονία προτείνεται και ως ένας εναλλακτικός τρόπος διαχείρισης των αποβλήτων ενός κλειστού κυκλώματος εκτροφής ψαριών με απόλυτα ελεγχόμενες συνθήκες.

Η λειτουργία του συστήματος περιγράφεται ως εξής:

Τα ψάρια εκλύουν αμμωνία ως μεταβολικό προϊόν σε ποσοστό 80%. Ως γνωστό η αμμωνία είναι τοξική για τα ψάρια σε υψηλές συγκεντρώσεις, με αποτέλεσμα θα πρέπει να απομακρύνεται από το σύστημα διατηρώντας το περιβάλλον εκτροφής κατάλληλο και υγιές (Εικ.5).

Το νερό διέρχεται από το φίλτρο και υποβάλλεται σε επεξεργασία με τη βοήθεια των νιτροποιητικών βακτηριδίων *Nitrosomonas sp* και *Nitrobacter sp*. Τα *Nitrosomonas* είναι υπεύθυνα για τη μετατροπή της αμμωνίας σε νιτρώδη ιόντα, ενώ τα *Nitrobacter* οξειδώνουν τα νιτρώδη σε νιτρικά ιόντα. Τόσο τα νιτρώδη όσο και τα

νιτρικά ιόντα χρησιμοποιούνται ως λίπασμα για τα φυτά στο σύστημα ενυδρείοποιίας (Walker *et al.* 2001, Boroujerdnia & Ansari 2007).



**Εικόνα 5.** Κύκλος του αζώτου (Πηγή: [www.aquariumnet.com](http://www.aquariumnet.com))

Το νερό που περιέχει νιτρικά ιόντα εισέρχεται στο σύστημα υδροπονίας και στα υδροπονικά αναπτυσσόμενα φυτά (φυτά που μεγαλώνουν χωρίς χώμα), τα οποία τοποθετούνται σε υποστρώματα με νερό. Το νερό ενισχύεται από τα νιτρικά ιόντα που προέρχονται από τα απόβλητα των ψαριών. Οι ρίζες των φυτών αιωρούνται μέσω του υποστρώματος στο γεμάτο θρεπτικά συστατικά νερό.

Τα φυτά απορροφούν τα νιτρικά ιόντα που είναι πλούσια σε θρεπτικά συστατικά και χρησιμοποιούνται ως τροφή για τα φυτά. Η αυξημένη συγκέντρωση των νιτρικών οφείλεται όπως προαναφέρθηκε αφενός μεν στην αμμωνία και αφετέρου δε στα φύκη που αναπτύσσονται στο ενυδρείο και χρησιμεύουν για λίπασμα για τα φυτά. Οι ρίζες των φυτών απορροφούν και δεσμεύουν την αμμωνία, τα νιτρώδη ιόντα, τα νιτρικά ιόντα και τα φωσφορικά ιόντα από το νερό, με αποτέλεσμα το νερό απαλλαγμένο από τα θρεπτικά άλατα, επαναχρησιμοποιείται και να μην αποτελεί περιοριστικό παράγοντα ανάπτυξης για τα ψάρια.

Τα απόβλητα των ψαριών χρησιμοποιούνται ως λίπασμα, δεν υπάρχει καμία ανάγκη για χρησιμοποίηση χημικών λιπασμάτων, με αποτέλεσμα να μειώνεται το

κόστος λειτουργίας του συστήματος υπό την προϋπόθεση να παρέχεται σε ημερήσια βάση τροφή στα ψάρια (Boroujerdnia & Ansari 2007).

### **3.2. Ρύθμιση ενός ενυδρειοπονικού συστήματος**

#### **3.2.1. Παρασκευή – προετοιμασία νερού ενυδρείου**

Το νερό, περιέχει διάφορες ουσίες οι οποίες δεν συνεισφέρουν στην ανάπτυξη και διατήρηση των οργανισμών αλλά τα συστατικά αυτά συνεισφέρουν στην ανάπτυξη μικροφυκών. Θρεπτικά συστατικά όπως νιτρικά ιόντα, φωσφορικά, πυριτικά δημιουργούν σημαντικά προβλήματα στα θαλασσινά ενυδρεία και είναι χρήσιμο να μην εισαχθούν με το νερό που παρασκευάζεται καθώς επίσης εισέρχονται και από άλλους χειρισμούς όπως η τροφή, τα ψάρια και τα χημικά πρόσθετα (Calfo & Williams 2007).

#### **3.2.2. Έναρξη λειτουργίας ενυδρείου (διαδικασία start-up)**

Το στρώσιμο του ενυδρείου είναι από τις πιο χρονοβόρες εργασίες που μπορεί ένα ενυδρείο να μας προσφέρει, αλλά ταυτόχρονα ίσως είναι και η πλέον απαραίτητη. Τρόποι να στρωθεί το ενυδρείο υπάρχουν αρκετοί, και εδώ θα αναλύσουμε ποιοί είναι αυτοί οι τρόποι, και ποιά είναι τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους. Σκοπός της διαδικασίας αυτής είναι να ξεκινήσει σωστά ο κύκλος του αζώτου για να λειτουργήσει το ενυδρείο, με απώτερο σκοπό η αμμωνία να εξαλειφθεί και να παραχθούν τα μη τοξικά και ακίνδυνα νιτρικά ιόντα (βιολογική διεργασία οξειδωσης αμμωνίας (Boroujerdnia & Ansari 2007).

Στο θαλασσινό νερό ως πρώτο στάδιο δεν έχουμε την αμμωνία, αλλά τα οργανικά και την ουρία τα οποία συγκεκριμένα βακτηρίδια αναλαμβάνουν να τα μετατρέψουν σε αμμωνία και έτσι να ξεκινήσει ο κύκλος του αζώτου. Το Skimmer συνεισφέρει σε απίστευτο βαθμό στη διαδικασία, αφού τα συστατικά του απομακρύνονται από το νερό και σαν αποτέλεσμα είναι να έχουμε λιγότερο φορτίο στο βιολογικό φίλτρο άρα και αρκετά λιγότερα νιτρικά ιόντα. Η εκκίνηση ενός ενυδρείου μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους εκ των οποίων οι βασικότεροι αναφέρονται στην συνέχεια.

### **3.2.3. Στρώσιμο με ψάρια**

Η διαδικασία αυτή είναι επικίνδυνη, γιατί τα ψάρια δεινοπαθούν και σε περίπτωση που ψοφήσουν, τους προκαλούνται τουλάχιστον μόνιμες ζημιές, όπως μερικό κάψιμο στα βράγχια και σαφώς μικρότερη διάρκεια ζωής.

### **3.2.4. Με ζωντανό βράχο**

Η διαδικασία ρύθμισης με ζωντανό βράχο, με την προϋπόθεση ότι ο βράχος είναι στρωμένος (κουραρισμένος) γιατί σε διαφορετική περίπτωση θα αυξηθεί το βιολογικό φορτίο στο ενυδρείο.

### **3.2.5. Με ζωντανή άμμο.**

Τα πράγματα είναι παρόμοια με το στρώσιμο του ενυδρείου με ζωντανό βράχο, δεν χρειάζεται η απίστευτη ποσότητα ζωντανής άμμου στο ενυδρείο, απλά να υπάρχει αρκετή ποσότητα για να καλυφθεί το βαθύ στρώμα του νεκρού αραγωνίτη που υπάρχει σαν βάση στο ενυδρείο. Καλύπτουμε τον νεκρό αραγωνίτη σε όλο το ενυδρείο γύρω στο μισό με ένα εκατοστό (0,5-1cm) με το ζωντανό, με σκοπό τον "εμβολιασμό" και το ζωντάνεμα του.

### **3.2.6. Με βιολογικό υλικό**

Χρησιμοποιείται βιολογικό υλικό από κάποιο άλλο ενυδρείο το οποίο λειτουργεί ικανοποιητικά. Αυτή είναι ίσως η καλύτερη λύση σε όλες τις περιπτώσεις. Απαιτείται προσοχή όμως γιατί ενώ σε ένα ενυδρείο με ψάρια είναι το καλύτερο και σε μόνιμη βάση, σε ένα ενυδρείο με κοράλλια στην πορεία όμως δεν είναι, όταν ο ερασιτέχνης αντιληφθεί πως έχει στρώσει και είναι σίγουρος για το υπόλοιπο ενυδρείο, καλό θα ήταν να το βγάλει από το σύστημα και να αφήσει τον ζωντανό βράχο, την άμμο και το skimmer να αναλάβουν το φιλτράρισμα. Σε όλη την διαδικασία στρωσίματος συνεισφέρει σε μεγάλο βαθμό το skimmer, διότι δεν επιτρέπει να επιμολυνθεί το νερό σε μεγάλο βαθμό, αφού διασπά τις οργανικές ενώσεις, ελαχιστοποιώντας το φορτίο ρύπανσης του ενυδρείου (Liedl *et al.* 2004).

#### 4. Βασικές αρχές ενός συστήματος ενυδραιοπονίας

Η ενυδραιοπονία παίζει καθοριστικό ρόλο στην εξέλιξη και ανάπτυξη ενός νέου κλάδου της βιομηχανίας που ως άπώτερο στόχο έχει την οικονομική ανάπτυξη αλλά και την αύξηση της παραγωγής γεωργικών προϊόντων (Nelson 2008). Τα θετικά αποτελέσματα επιτυγχάνονται από τον πλήρη έλεγχο της παραγωγικής ικανότητας του συστήματος, υπό την προϋπόθεση ότι για να είναι παραγωγικό το σύστημα θα πρέπει να εφαρμόζονται δέκα (10) βασικές και σημαντικές αρχές.

##### 4.1. Ρυθμός παροχής τροφής και σχεδιασμός συστήματος

Σε ένα σωστά σχεδιασμένο και ισορροπημένο σύστημα ενυδραιοπονίας σημαντικό ρόλο παίζει η αναλογία μεταξύ ψαριών και φυτών η οποία στηρίζεται στο ρυθμό παροχής της τροφής. Η αναλογία αυτή εκφράζει την ποσότητα της τροφής που παρέχεται στα ψάρια ημερησίως για τα φυτά που καλύπτουν μια συγκεκριμένη επιφάνεια για την ανάπτυξή τους. Η αναλογία κυμαίνεται από 60 έως 100 g / m<sup>2</sup> / ημέρα. Για παράδειγμα, εάν στα ψάρια χορηγείται τροφή 1,000 g ανά ημέρα κατά μέσο όρο, η παραγωγή θα πρέπει να είναι 16.7 m<sup>2</sup> όταν η παροχή τροφής είναι 60 g / m<sup>2</sup> / ημέρα (Calfo & Williams 2007).

Σε περίπτωση που επιχειρηθεί να φυτευτούν φυτά σε μια έκταση επιφάνειας 200 m<sup>2</sup>, τότε οι δεξαμενές των ψαριών, ο όγκος, τα ποσοστά εκτροφής των ψαριών, και η τα χρονοδιαγράμματα παραγωγής θα πρέπει να ελεγχθούν με τέτοιο τρόπο ώστε η μέση ημερήσια παροχή τροφής που θα χορηγείται στο σύστημα είναι 20,000 g εάν ο επιθυμητός ρυθμός παροχής της τροφής είναι 100 g / m<sup>2</sup> / ημέρα.

Η βέλτιστη αναλογία του ρυθμού παροχής τροφής εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως ο τύπος του υδροπονικού συστήματος, τα φυτά που καλλιεργούνται, η ποιότητα του νερού και η ποσότητα του νερού που χάνεται κατά τη διάρκεια απομάκρυνσης των στερεών αποβλήτων. Ο βέλτιστος ρυθμός παροχής της τροφής κατά μέσο όρο σ' ένα σύστημα ενυδραιοπονίας πλησιάζει περίπου το 25% της ποσότητας που χρησιμοποιείται σ' ένα μεγάλο αριθμό συστημάτων.

## 4.2. Παροχή τροφής

Η ποσότητα της τροφής που χορηγείται σ' ένα σύστημα ενυδρειοπονίας γίνεται με δυο τρόπους και θα πρέπει να διατηρείται σε σταθερά επίπεδα σταθερή. Η πρώτη μέθοδος περιλαμβάνει τη χρησιμοποίηση πολλαπλών δεξαμενών εκτροφής για διαβαθμισμένη αύξηση της τροφής. Στην περίπτωση αυτή ένα σύστημα υδροπονίας αποτελείται από τέσσερις δεξαμενές εκτροφής τιλάπιας με κύκλο παραγωγής 24 εβδομάδες. Οι τιλάπιες θα εξαλιεύονται κάθε έξι εβδομάδες μιας και κάθε δεξαμενή θα περιλαμβάνει τιλάπιες σε διαφορετικό στάδιο ανάπτυξης.

Όταν η δεξαμενή εφοδιάζεται εκ νέου με ιχθύδια τιλάπιας τότε η παροχή της τροφής μειώνεται κατά 25 έως 30%. Η ποσότητα της τροφής σταδιακά αυξάνεται έως το διάστημα των έξι εβδομάδων. Όταν η παροχή της τροφής παρουσιάζει διακυμάνσεις τότε η περιεκτικότητά της σε θρεπτικά είναι μέτρια. Μετά τη συγκομιδή και την ανανέωση του πληθυσμού των ψαριών σε μια δεξαμενή, η παροχή της τροφής μειώνεται κατά 90% και σταδιακά αυξάνεται στο μέγιστο στις 24 εβδομάδες. Αρχικά τα θρεπτικά συστατικά είναι σε χαμηλά επίπεδα και αυξάνονται κατά τη διαδικασία της συγκομιδής της παραγωγής (Jorgensen *et al.* 2009).

Η δεύτερη μέθοδος περιλαμβάνει τον εφοδιασμό των δεξαμενών με πολλαπλές ομάδες ψαριών παρόμοιου μεγέθους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η χρησιμοποίηση τιλάπιας όπου μετά από μια περίοδο 6 μηνών, οι δεξαμενές θα περιέχουν 6 διαφορετικές ομάδες ψαριών με διαφορετικά μεγέθη. Κάθε μήνα θα εξαλιεύονται τα μεγαλύτερα άτομα τιλάπιας, ενώ ένας παρόμοιος αριθμός νεαρών ατόμων θα προστίθεται στη δεξαμενή μετά τη μερική εξαλίευση.

Ο ρυθμός παροχής της τροφής θα είναι μέτριος κατά τη διάρκεια του κάθε μηνιαίου κύκλου. Με τον τρόπο αυτό εξοικονομείται χώρος στο σύστημα, μειώνεται το κόστος. Η θνησιμότητα και η μηνιαία προσθήκη ατόμων στο σύστημα είναι από τα βασικά μειονεκτήματα της μεθόδου. Τα ψάρια παραμένουν στο σύστημα για αρκετό διάστημα με αποτέλεσμα το οποίο ερμηνεύεται ως σπατάλη τροφής και αύξηση των λειτουργικών εξόδων του συστήματος (Jorgensen *et al.* 2009).

### 4.3. Προσθήκη ανόργανων (ασβέστιο, κάλιο και σίδηρος)

Τα φυτά για την ανάπτυξή τους χρειάζονται 13 θρεπτικά συστατικά οι ιχθυοτροφές περιέχουν 10 θρεπτικά συστατικά σε κατάλληλα ποσότητες. Ωστόσο, τα επίπεδα του ασβεστίου, του κάλιο και του σίδηρο σε ένα σύστημα ενυδρειοπονίας είναι σε χαμηλά επίπεδα και θα πρέπει να συμπληρώνονται. Η προσθήκη ασβεστίου και καλίου γίνεται μέσω της προσθήκης βασικών ενώσεων όπως για παράδειγμα υδροξείδιο του ασβεστίου και υδροξείδιο του καλίου για τη ρύθμιση του pH. Ο σίδηρος προστίθεται σε οργανική μορφή (Walker *et al.* 2001).

### 4.4. Αερισμός

Τα ψάρια, τα φυτά και τα βακτήρια τα συστήματα υδροπονίας απαιτούν επαρκή επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου τα οποία χρησιμοποιούνται για μέγιστη υγεία και την ανάπτυξη. Επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου μικρότερα από 5 mg / L ή υψηλότερα θα πρέπει να διατηρούνται στη δεξαμενή εκτροφής ψαριών και στο νερό που περιβάλλει τις ρίζες των φυτών. Ο αερισμός είναι απαραίτητος για τη διατήρηση των πληθυσμών των βακτηρίων νιτροποίησης, τα οποία μετατρέπουν τα τοξικά επίπεδα αμμωνίας και νιτρώδη σε μη-τοξικά νιτρικά ιόντα. Η αμμωνία εκκρίνεται από τα ψάρια κυρίως από τα βράγχια τους σε ποσοστό 80% (ως μεταβολικό προϊόν). Τα βακτήρια *Nitrosomonas sp* μετατρέπουν την αμμωνία σε νιτρώδη ιόντα, ενώ τα *nitrobacter sp*, μετατρέπει τα νιτρώδη σε νιτρικά ιόντα. Η νιτροποίηση είναι μια αερόβια διαδικασία (Walker *et al.* 2001).

### 4.5. Απομάκρυνση στερεών

Περίπου το 25% των ζωοτροφών που χορηγούνται στα ψάρια απεκκρίνεται με τη μορφή στερεών αποβλήτων. Το υγρό βάρος των στερεών αποβλήτων που παράγεται είναι μεγαλύτερο. Όταν τα στερεά απόβλητα δεν απομακρύνονται από το σύστημα υδροπονίας, δημιουργούνται αρνητικές επιπτώσεις στην ανάπτυξη των φυτών, μιας και αυτά προσκολλώνται στις ρίζες των φυτών μειώνοντας σημαντικά το οξυγόνο με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η ανάπτυξη των νιτροποιητικών βακτηρίων (Boroujerdnia & Ansari 2007). Τα στερεά απόβλητα κατά την αποσύνθεσή τους καταναλώνουν το οξυγόνο παράγοντας περισσότερο αμμωνία (Rakocy *et al.* 2006).

#### 4.6. Χειρισμός αδρανών υλικών

Υλικά όπως το χαλίκι, η άμμος και ο περλίτης είναι κατάλληλα υλικά για την καλλιέργεια φυτών σε υδροπονικά συστήματα. Ωστόσο, η στερεή οργανική ύλη που παράγεται σε ένα σύστημα ενυδρείοποιίας φράζει το υλικό πλήρωσης με αποτέλεσμα η ροή του νερού να περιορίζεται και να μην είναι μεγάλη. Το νερό είναι στάσιμο με αποτέλεσμα να αναπτύσσονται αναερόβιες συνθήκες, καθώς η οργανική ύλη αποσυντίθεται, θανατώνοντας με τον τρόπο αυτό τις ρίζες των φυτών. Σε περίπτωση που η σωματιδιακή οργανική ύλη δεν απομακρύνεται από τη ροή του ρεύματος πριν το νερό εισέλθει στο σύστημα ενυδρείοποιίας, τότε ευνοείται η ανάπτυξη βακτηρίων και άλλων παρασιτικών οργανισμών. Η ανάπτυξη των βακτηρίων οδηγεί στην βελτίωση της νιτροποιητικής διαδικασίας. Τα νεκρά και τα ζωντανά βακτήρια που συσσωρεύονται μπορούν επίσης να φράξουν στο σύνολό τους το υλικό πλήρωσης. Για να αποφευχθεί κάτι τέτοιο θα πρέπει να μειωθεί η ποσότητα της χορηγούμενης τροφής και το οργανικό φορτίο (Broadley *et al.*2003).

#### 4.7. Αυξημένα επίπεδα οργανικών

Υψηλά επίπεδα διαλυμένης οργανικής ύλης στα συστήματα ενυδρείοποιίας προωθούν την ανάπτυξη των νηματοειδών βακτηριδίων μέσα στους αγωγούς περιορίζοντας τη ροή. Οι λεπτοί σωλήνες δημιουργούν προβλήματα στην παροχή του νερού. Σωλήνες 4'' περιορίζουν τη ροή του νερού. Σωλήνες που βρίσκονται κατάντη από το συστατικό απομάκρυνσης στερεών και βιοφίλτρου είναι λιγότερο πιθανό να φράξει επειδή η διαλυμένη οργανική ύλη έχει αφαιρεθεί ή μειώθηκε μέσω των βιολογικών δραστηριοτήτων στο βιολογικό φίλτρο (Broadley *et al.*2003).

#### 4.8. Βιολογικό φίλτρο

Τα φυτοφάρμακα δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των εντόμων και των ασθeneιών των φυτών σε ένα σύστημα ενυδρείοποιίας, μιας και τα περισσότερα είναι τοξικά για τα ψάρια. Οι βιολογικές μέθοδοι ελέγχου είναι η μόνη επιλογή για τον έλεγχο εντόμων και των ασθeneιών. Η χρησιμοποίηση ανθεκτικών ειδών ψαριών όπως για παράδειγμα η τιλάπια συγκαταλέγεται στην ευρύτερη πρακτική διαχείρισης της υγείας των ψαριών (παράσιτα, εκδήλωση ασθeneιών) (Broadley *et al.*2003).



#### 4.9. Επαρκής βιολογικός καθαρισμός

Μετά την απομάκρυνση των στερεών αποβλήτων, το επόμενο στάδιο στη διαδικασία επεξεργασίας ενός συστήματος ο βιολογικός καθαρισμός ή η οξείδωση της αμμωνίας σε νιτρικά ιόντα μέσω βακτηρίων νιτροποίησης. Στην πραγματικότητα όταν η βέλτιστη αναλογία του ρυθμού παροχής διατηρείται σταθερή, υπάρχει πλεονάζουσα παραγωγική ικανότητα. Η τεχνική επεξεργασίας του νερού στα υδροπονικά συστήματα είναι αναγκαία. Τα βιολογικά φίλτρα που χρησιμοποιούνται στα υδροπονικά συστήματα απαιτούν άριστη ποιότητα του νερού (Liedl *et al.* 2004).

#### 4.10. pH

Το pH επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα του νερού. Η νιτροποίηση είναι περισσότερο αποτελεσματική όταν το pH είναι 7,5, ενώ παρεμποδίζεται σε pH 6,0. Η νιτροποίηση είναι μια διαδικασία μείωσης του pH. Ως εκ τούτου, το pH θα πρέπει να μετράται καθημερινά. Η βέλτιστη τιμή του pH για τη διαλυτότητα των θρεπτικών συστατικών είναι 6,5 ή ελαφρώς μικρότερο. Σ' ένα σύστημα ενυδρειοπονίας το pH θα πρέπει να είναι της τάξης του 7,0 γιατί το σύστημα έρχεται σε ισορροπία.

Εάν το pH είναι πολύ υψηλό, τα θρεπτικά συστατικά καθιζάνουν με αποτέλεσμα τα φυτά να εμφανίζουν ελλείψεις θρεπτικών ουσιών, και η ανάπτυξή τους και κατ' επέκταση η παραγωγή να μειώνεται. Εάν το pH είναι πάρα πολύ χαμηλό, η αμμωνία συσσωρεύεται σε επίπεδα που είναι τοξικά για τα ψάρια και ένα διαφορετικό σύνολο των θρεπτικών ουσιών καθιζάνουν από το διάλυμα με παρόμοιες επιζήμια επιδράσεις στον έλεγχο της παραγωγής. Ως εκ τούτου, την παρακολούθηση και ο έλεγχος του pH είναι αναγκαίος (Rakocy *et al.* 2006).

## 5. Βασικοί παράμετροι σχεδιασμού

Όπως έχει ήδη αναφερθεί ένα ενυδρειοπονικό συστήματα αποτελείται από ένα σύνολο παραγόντων (ψάρια, δεξαμενές, φυτά, φίλτρα κλπ) οι οποίοι θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό του. Η διαθεσιμότητα του χώρου που ζει και αναπτύσσεται το ψάρι είναι ένας παράγοντας ζωτικής σημασίας για το σύστημα ενυδρειοπονίας. Ο όγκος, το σχήμα και ο αριθμός των δεξαμενών παίζουν ιδιαίτερο ρόλο στη διαμόρφωση των παραμέτρων που λαμβάνονται υπόψη κατά τη λειτουργία του συστήματος, ακόμη και όταν η δραστηριότητα γίνεται σε μικρή κλίμακα. Το σχήμα και ο σχεδιασμός της δεξαμενής όπου θα γίνει η εκτροφή είναι πιστά αντίγραφα εκείνων που εφαρμόζονται στην συμβατική υδατοκαλλιέργεια (Calfo & Williams 2007).

### 5.1. Σχεδιασμός δεξαμενής

Η υγεία των ψαριών είναι ζωτικής σημασίας για τη βελτίωση της απόδοσης ενός συστήματος ενυδρειοπονίας. Τα ψάρια, όπως και όλα τα υπόλοιπα ζώα, αξίζουν μίας καλύτερης μεταχείρισης προκειμένου να διαπιστωθεί αν ζουν υγιή και να ευημερούν χωρίς να αναπτύσσονται προβλήματα. Ο σχεδιασμός της δεξαμενής επιχειρεί μια τομή κρίσιμη λαμβάνοντας υπόψη όλους τους παράγοντες εκείνους που είναι υπεύθυνοι για την ευζωία και ανάπτυξη των ψαριών. Ο έλεγχος της ποιότητας του νερού είναι μεγάλης σημασίας για την υγεία και ευζωία των ψαριών. Μεγάλο μέρος της επιστημονικής έρευνας εστίασε στην προσπάθεια της στη βελτίωση των συνθηκών εκτροφής και στο σωστό σχεδιασμό του συστήματος. Ο έλεγχος της ποιότητας στις δεξαμενές των ψαριών έχει αποδεκτά αλλά αποτελέσματα όσον αφορά την ανάπτυξη του ψαριού και σχετίζεται άμεσα με τη ρευστοδυναμική και το σχήμα των ψαριών στη δεξαμενή (Calfo & Williams 2007).

Η βελτίωση της απόδοσης (κίνηση) του νερού από τις δεξαμενές των ψαριών σχετίζονται με τους εξής παραμέτρους:

1. Ο ρυθμός ροής μέσω της δεξαμενής ψαριών (L / h).
- 2 Το ποσοστό του κύκλου εργασιών του νερού (π.χ.: δεξαμενή ψαριών όγκοι που ανταλλάσσονται ανά ώρα)
3. Η βελτιστοποίηση του ρευστού η δυναμική της ροής, που εξασφαλίζει ALL εισέρχεται και εξέρχεται από τη δεξαμενή στο νερό η απαιτούμενη τρόπο.

4. Η δεξαμενή είναι κατασκευασμένη από αποδεκτά υλικά που εξασφαλίζουν τη χαμηλότερη έκθεση των ψαριών σε πιθανούς κινδύνους τοξικότητας.

## 5.2.Υλικά κατασκευής

Τα ασφαλέστερα και συχνά οικονομικά υλικά κατασκευής των δεξαμενών των ψαριών είναι το ύαλο-ύφασμα (fiberglass) και το πολυαιθυλένιο (PE). Τα υλικά αυτά είναι κατάλληλα μιας και δεν παράγουν τοξικές ενώσεις ( οι ενώσεις επηρεάζουν τα ψάρια και συχνά ταξινομούνται ως "ασφαλή τρόφιμα"). Άλλα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι ο ανοξείδωτος χάλυβας και το PE ως επένδυση (Calfo & Williams 2007).

## 5.3. Πυκνότητα εκτροφής

Ως πυκνότητα εκτροφής ψαριών ορίζεται το βάρος των ψαριών που πραγματοποιήθηκε η μέτρηση και σχετίζεται με τον αριθμό των ψαριών στη μονάδα του όγκου. Οι μονάδες που χρησιμοποιούνται είναι τα χιλιόγραμμα (βάρος) των ψαριών ανά λίτρο (όγκος) νερού. Συχνά αναφέρεται και ως  $\text{kg} / \text{m}^3$ . Στα κλειστά συστήματα εκτροφής ψαριών η πυκνότητα εκτροφής αυξάνεται και κυμαίνεται από  $50 \text{ kg}/\text{m}^3$  έως  $150 \text{ kg}/\text{m}^3$  ή ακόμη και μεγαλύτερες πυκνότητες υπό τη προϋπόθεση να υπάρχει αυξημένη παροχή οξυγόνου. Παρόλα αυτά κατά το σχεδιασμό της δεξαμενής θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η μέγιστη πυκνότητα εκτροφής που μπορεί να δεχθεί το σύστημα. Η πυκνότητα εκτροφής που μπορεί να δεχθεί ένα σύστημα ενυδρείοπνοίας είναι  $20 \text{ kg} / \text{m}^3$  το μέγιστο (Endut *et al.* 2011).

## 5.4.Παροχή νερού στις δεξαμενές εκτροφής-ρευστοδυναμική

Έχει αποδειχθεί επιστημονικά ότι οι δεξαμενές με στρογγυλεμένες γωνίες παρουσιάζουν καλύτερη ρευστοδυναμική, εξαιτίας του γεγονότος ότι οι στρογγυλές δεξαμενές δεν εμφανίζουν «γωνίες» στην κάθετη διάσταση και έτσι νερό ελεύθερα ρέει μέσα και έξω από τη δεξαμενή. Οι δεξαμενές που εμφανίζουν γωνίες (τετράγωνα ή παραλληλόγραμμες) δημιουργούν μια επιβράδυνση του νερού σε συγκεκριμένα τμήματα της δεξαμενής. Τα προβλήματα αυτά δεν αντικατοπτρίζουν την απαιτούμενη ροή νερού στο σύστημα με αποτέλεσμα να παρεμποδίζεται η λειτουργία του συστήματος (Endut *et al.* 2011).

Οι κύριοι λόγοι για τη διασφάλιση της σωστής ροής νερού στις δεξαμενές εκτροφής είναι:

1 Άμεση απομάκρυνση των στερεών αποβλήτων των ψαριών από τη δεξαμενή εκτροφής

2 Η βιολογική επεξεργασία του νερού προκειμένου να μετατραπεί η αμμωνία σε νιτρικά ιόντα τα οποία δεν είναι τοξικά

3 Εξασφάλιση μιας επαρκούς ποσότητας διαλυμένου οξυγόνου όπου θα διατηρείται σε σταθερά επίπεδα καθ' όλη τη διάρκεια της εκτροφής

Σε περίπτωση που η ροή του νερού στο εσωτερικό των δεξαμενών δεν είναι ικανοποιητική, τότε στη δεξαμενή δημιουργούνται περιοχές με αυξημένα επίπεδα αμμωνίας και μειωμένη συγκέντρωση οξυγόνου. Επίσης, στις νεκρές ζώνες η ποιότητα του νερού είναι ακατάλληλη (αυξημένη αμμωνία, στερεά υπολείμματα) λόγω της μικρής ανανέωσης του νερού που δημιουργείται. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στο χαμηλό pH, στην αγωγιμότητα, στη θερμοκρασία του νερού και στο διαλυμένο οξυγόνο (Kotzen *et al.* 2010).

Στα συστήματα ενυδρείοπονίας μικρής κλίμακας οι πυκνότητα των ψαριών είναι σε χαμηλά επίπεδα, ενώ σημαντικό ρόλο παίζει η ποιότητα του νερού η οποία δεν μεταβάλλεται ιδιαίτερα λόγω της μικρής πυκνότητας ψαριών. Το αντίθετο παρατηρείται σε εμπορική κλίμακα όπου η πυκνότητα εκτροφής είναι αυξημένη και η ποιότητα του νερού θα πρέπει να διατηρείται σε σταθερά επίπεδα.

### **5.5. Παροχή νερού και ποιότητα νερού**

Ένας πρακτικό τρόπος για τη μέτρηση της παροχής του νερού είναι η μέθοδος του βυθισμένου αντίχειρα στη δεξαμενή.

Οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη είναι:

1. Ταχύτητα νερού: εάν η ταχύτητα του νερού είναι μεγάλη, τότε το ψάρι πρέπει συνεχώς να κολυμπάει αντίθετα από το ρεύμα και μερικές φορές αυτό επηρεάζει αρνητικά την υγεία των ψαριών. Σε περίπτωση που είναι χαμηλή, τότε τα ψάρια δεν κολυμπούν αρκετά και δημιουργούνται πολλές επιπτώσεις στην υγεία των ψαριών.

2. Ρυθμός ανανέωσης νερού: η ανανέωση του νερού θα πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μην μεταβάλλεται η ποιότητα του νερού.

3. Συγκέντρωση στερεών αποβλήτων: η παροχή του νερού θα πρέπει να ικανοποιεί σε μεγάλο βαθμό τη λειτουργικότητα του συστήματος. Δηλαδή η παροχή του νερού δεν θα πρέπει να δημιουργεί αναταράξεις στη δεξαμενή ώστε τα στερεά απόβλητα να συγκεντρώνονται σε ένα σημείο της δεξαμενής και να μην αιωρούνται επηρεάζοντας την ποιότητα του νερού.

4. Απόβλητα ψαριών: Το νερό θα πρέπει να ανανεώνεται (με συχνές αλλαγές) για να διασφαλιστεί ότι η αμμωνία που παράγεται από τα ψάρια δεν φτάνει σε συγκεντρώσεις που θα επηρεάσουν αρνητικά την υγεία των ψαριών.

5. Είσοδος νερού στη δεξαμενή: το νερό θα πρέπει να κατευθύνεται εντός της δεξαμενής έτσι ώστε να υπάρχει επαρκής ανάμιξη για να εξασφαλιστεί η απαιτούμενη ταχύτητα του νερού και όχι να την υπερβεί.

6. Κατανάλωση ενέργειας: η ενέργεια για την επίτευξη της απαιτούμενης ροής θα πρέπει να είναι εξίσου αποτελεσματική και οικονομικά αποδεκτή.

Όπως έχει αναφερθεί, στα ερασιτεχνικά συστήματα Υδροπονίας συνήθως χρησιμοποιείτε χαμηλή πυκνότητα ψαριών. Τα εμπορικά συστήματα είναι διαφορετικά και πιο απαιτητικά και η παραπάνω απαιτήσεις είναι κρίσιμες για την βελτίωση της παραγωγής. Σε γενικές γραμμές, ο πιο σημαντικός παράγοντας είναι η προϋπόθεση να καλυφτεί επαρκώς ο ρυθμός του κύκλου εργασιών του νερού στη δεξαμενή των ψαριών (Calfo & Williams 2007).

Το ποσοστό του κύκλου εργασιών είναι η συνάρτηση της πυκνότητας εκτροφής των ψαριών, όσο μεγαλύτερη είναι η πυκνότητα, τόσο πιο περισσότερες θα είναι οι απαιτήσεις του κύκλου εργασιών. Το ποσοστό του κύκλου εργασιών στη δεξαμενή των ψαριών θα πρέπει να είναι τουλάχιστον το ήμισυ του όγκου του νερού της δεξαμενής των ψαριών κάθε ώρα, όταν η πυκνότητα εκτροφής των ψαριών είναι λιγότερο από  $15 \text{ kg} / \text{m}^3$ . Περιπτώσεις με αυξημένη πυκνότητα ψαριών, το ποσοστό του κύκλου εργασιών θα πρέπει να είναι όσο πιο κοντά γίνεται στον όγκο νερού ανά ώρα σε μια δεξαμενή εκτροφής. Σε εμπορικές καταστάσεις, ο όγκος του κύκλου εργασιών ανά ώρα πρέπει να υπολογίζεται με απλά κριτήρια και δεν θα πρέπει να είναι αυξημένος όταν η ταχύτητα του νερού είναι αυξημένη για τα είδη ψαριών που εκτρέφονται. Διαμέσου των ποσοστών του κύκλου εργασιών εξασφαλίζεται ότι τα διαλυμένα απόβλητα των ψαριών (αμμωνία) δεν συσσωρεύονται σε τοξικές

συγκεντρώσεις και οι συγκεντρώσεις του διαλυμένου οξυγόνου θα είναι επαρκής (Walker *et al.* 2001).

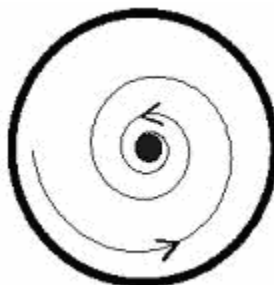
Στις στρογγυλές δεξαμενές μια εφαπτομενική ροή του νερού εισέρχονται στην δεξαμενή (δηλαδή: παράλληλες προς το τοίχωμα της δεξαμενής) εξασφαλίζοντας επαρκή ανάμιξη της δεξαμενής, ώστε το ποσοστό ανταλλαγής του νερού να είναι όσο το δυνατόν αυξημένο για το σύνολο του όγκου της δεξαμενής. Για τις μη-στρογγυλές δεξαμενές των ψαριών, στη περίπτωση που επιλέγεται η παροχή του νερού να γίνεται στην δυνατή προσέγγιση ο προσδιορισμός είναι συχνά πολύ δύσκολος και οφείλεται στην πολύπλοκη φύση της ροής του νερού στις μη-κυκλικές δεξαμενές.

### 5.6.Ροή του νερού και συγκεντρώσεις στερεών

Εάν το νερό εισέρχεται στη δεξαμενή νερού, όταν χρησιμοποιούμε στρογγυλές δεξαμενές ψαριών, τότε αυτό κατευθύνεται εφαπτόμενο στο σύνολο του όγκου του νερού της δεξαμενής και να αρχίσει να στροβιλίζεται στη δεξαμενή. Αυτή η δίνη προκαλεί την καθίζηση των στερεών (δηλαδή εκείνων που καθιζάνουν στον πυθμένα της δεξαμενής γρήγορα) και κινείται προς το κέντρο της δεξαμενής ως μια κεντρομόλος δύναμη. Αυτό παρέχει πλεονεκτήματα όσον αφορά την απομάκρυνση των στερεών σε δύο περιπτώσεις:

1. Προς τα κάτω, χρησιμοποιείται το κέντρο απορροής της δεξαμενής των ψαριών - τα στερεά μεταφέρονται γρήγορα στο κέντρο της δεξαμενής και ως εκ τούτου, εξέρχονται γρήγορα από το κέντρο.(αυτοκαθαριζόμενες δεξαμενές).

2. Όταν χρησιμοποιείται μια εσωτερική αντλία, βυθισμένη στο νερό τότε στο κέντρο της δεξαμενής, τα στερεά απόβλητα αντλούνται γρήγορα από τη δεξαμενή των ψαριών και απομακρύνονται γρήγορα.



**Εικόνα 6.** Διάγραμμα κίνησης των στερεών προς το κέντρο της στρογγυλής δεξαμενής των ψαριών με εφαπτόμενη ροή των υδάτων (Πηγή: [www.aquaponic.com](http://www.aquaponic.com))

Η υποβρύχια αντλία του νερού θα πρέπει να τοποθετείται σε μη-κυκλικές δεξαμενές ψαριών, όπου τα στερεά απόβλητα στην πραγματικότητα είναι δύσκολο να εγκατασταθούν και να επηρεάσουν το σύστημα. Και αυτός είναι το πιο σημαντικός παράγοντας στην επιλογή στρογγυλής ή κυκλικής δεξαμενής των ψαριών που επιτρέπουν την προβλεπόμενη ροή του νερού και την απομάκρυνση των στερεών (Jorgensen *et al.* 2009).

### 5.7. Δεξαμενή ψαριών και επιφάνεια προς όγκο

Η αναλογία της επιφάνειας όγκου του νερού από οποιοδήποτε δεξαμενή ψαριών (οποιασδήποτε μορφής) είναι επίσης σημαντική για την σωστή λειτουργία της δεξαμενής των ψαριών. Η επιφάνειας της δεξαμενής των ψαριών προς τον όγκο είναι σημαντική από την άποψη της ικανότητας ανταλλαγής αερίων της δεξαμενής νερού. Αυτό επειδή η πλειοψηφία της ανταλλαγής αερίων είναι ισότιμη του συνόλου του νερού στην επιφάνεια της δεξαμενής (π.χ πρόσληψη οξυγόνου, απελευθέρωση διοξειδίου του άνθρακα). Εάν η επιφάνεια είναι πολύ χαμηλή σε σύγκριση με τον όγκο του νερού (π.χ βαθιά, στενή δεξαμενή), τότε η πιθανή ανταλλαγή αερίων μπορεί να περιορίζεται στο σημείο όπου το ποσοστό του οξυγόνου που πιθανόν να εισέρχεται στο νερό δεν είναι αρκετό με αποτέλεσμα να μην είναι αρκετό και το διοξείδιο του άνθρακα που απελευθερώνεται. Ως εκ τούτου, η επιφάνεια της δεξαμενής των ψαριών προς τον όγκο πρέπει να είναι τόσο αυξημένη και πρακτικά δυνατή, με την ελάχιστη αναλογία να είναι στο 1.0 (Seawright *et al.* 1998).

Για παράδειγμα, σε μια στρογγυλή δεξαμενή ψαριών με όγκο του νερού  $2\text{m}^3$  (2,000L) με διάμετρο 2m, ακτίνα 1m και βάθος 1m, αποδίδουν με υπολογισμούς μια επιφάνεια της τάξης των  $3,14\text{m}^2$ . Αυτό σημαίνει ότι η αναλογία της επιφάνειας της δεξαμενής προς τον όγκο της είναι μεγαλύτερη από 1 ( $3,14 / 2 = 1,57$ ).

## 6. Κατασκευή ενός συστήματος ενυδραιοπονίας

### 6.1.Κατασκευή ενός απλού και οικονομικού συστήματος ενυδραιοπονίας

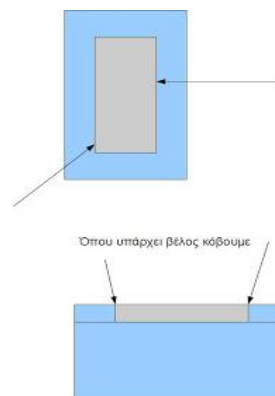
Η ενυδραιοπονία όπως έχει αναφερθεί συνδυάζει μια μέθοδος καλλιέργειας φυτών και εκτροφής ψαριών στο ίδιο σύστημα με τρόπο ώστε τα παραγόμενα θρεπτικά συστατικά που παράγονται από τα ψάρια να χρησιμοποιούνται προς όφελος τόσο των φυτών όσο και των ζώων. Για την κατασκευή ενός συστήματος ενυδραιοπονίας απαιτούνται πρακτικές οι οποίες στηρίζονται στη γνώση της τεχνοτροπίας κατασκευής και σε κοινές εμπειρικές πρακτικές. Εμπειρικές πρακτικές και τεχνικές εφαρμόζονται σήμερα κατά κόρον προκειμένου να σχεδιαστεί και να κατασκευασθεί ενός συστήματος ενυδραιοπονίας (Calfo & Williams 2007).

### 6.2.Εμπειρικές πρακτικές

Για την κατασκευή ενός απλού και οικονομικού συστήματος ενυδραιοπονίας χρειαζόμαστε τα εξής υλικά: 2 πλαστικά δοχεία 200 L , μαύρο λάστιχο ποτίσματος, 1 αντλία παροχής 1000 L/h. 1 χρονοδιακόπτη ρεύματος, συνδετικά τύπου "ταφ" (3), γωνίες (8), διακόπτες (6), ξύλα για κατασκευή στηριγμάτων για τα πλαστικά δοχεία, 6 χρυσόψαρα μεγέθους 10 cm, 200 L χαλίκι, βότσαλο ή ελαφρόπετρα και 200 L αποχλωριωμένο νερό.

Η μεθοδολογία κατασκευής περιλαμβάνει την εξής διαδικασία:

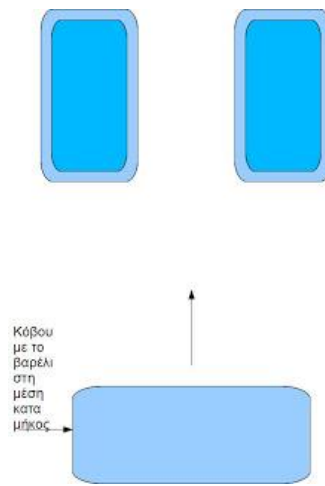
Το πλαστικό δοχείο προορίζεται για δεξαμενή εκτροφής ψαριών, αρχικά κάνουμε μια ορθογώνια πλευρική τομή διαστάσεων 85 x 30 cm στο δοχείο χωρίς να επηρεαστεί η σταθερότητα του δοχείου. Το δοχείο τοποθετείται σε οριζόντια θέση, με το τμήμα του δοχείου που κόπηκε να βρίσκεται στο επάνω μέρος (Εικ.7)



**Εικόνα 7.** Τομή του δοχείου για την κατασκευή του συστήματος ενυδραιοπονίας (Πηγή: [www.aquarticles.com](http://www.aquarticles.com))

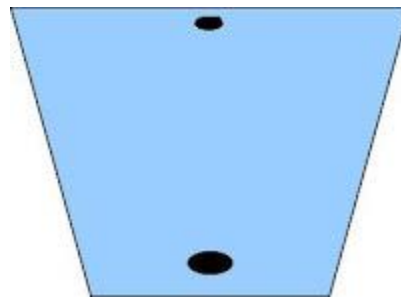


Στη συνέχεια στο δεύτερο δοχείο κάνουμε μια τομή κατά μήκος της μεγαλύτερης πλευράς στο μέσο. Τα κομμάτια που προκύπτουν θα τοποθετηθούν σε σημείο πιο ψηλό δίπλα από τη δεξαμενή με το ανοικτό μέρος να είναι στραμμένο προς τα επάνω (Εικ.8). Στην κάθετη πλευρά (η οποία είναι προς το έδαφος) του ημίσεως τμήματος του δοχείου κάνουμε μια οπή περίπου πέντε εκατοστά από τον πυθμένα του δοχείου που θα χρησιμοποιηθεί για την απορροή του νερού.



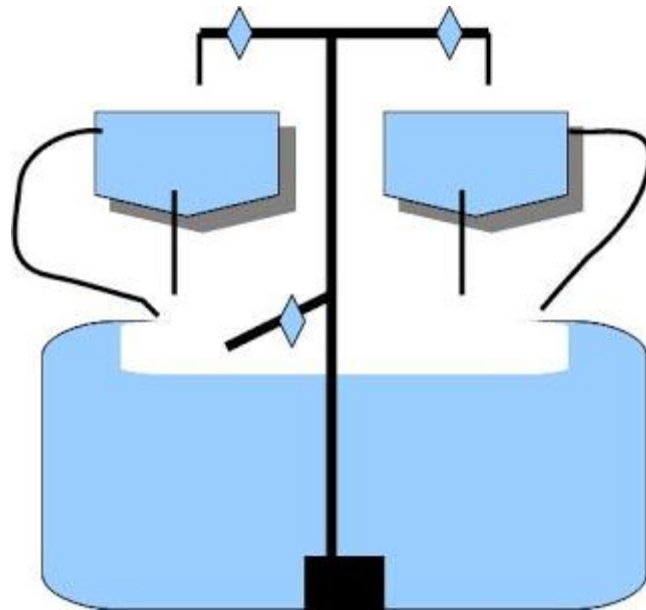
**Εικόνα 8.** Κάτοψη των πλευρικών τοιχωμάτων του δοχείου (Πηγή: [www.aquarticles.com](http://www.aquarticles.com))

Στη συνέχεια ανοίγουμε μια οπή δύο εκατοστά από την κορυφή η οποία θα λειτουργεί σαν υπερχειλίση και θα οδηγεί το πλεονάζον νερό στη δεξαμενή σε περίπτωση που γεμίσει πιο γρήγορα και υπάρχει πρόβλημα με την απορροή. Στις οπές προσαρμόζεται το λάστιχο (Εικ.9).



**Εικόνα 9.** Σχεδιασμός υπερχειλίσης και απορροής της δεξαμενής εκτροφής των ψαριών (Πηγή: [www.aquarticles.com](http://www.aquarticles.com))

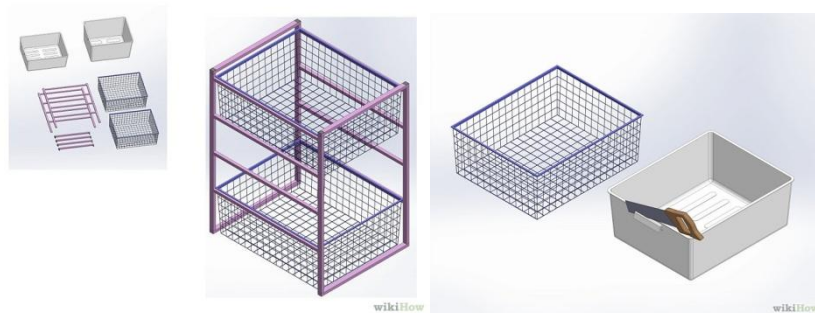
Το δοχείο πληρώνεται με το υλικό πλήρωσης το οποίο μπορεί να είναι είτε από χαλίκι, είτε από βότσαλο ή από ελαφρόπετρα. Απαραίτητη προϋπόθεση πριν την τοποθέτηση του υποστρώματος στο δοχείο να έχει ξεπλυθεί καλά προκειμένου να μην γεμίσει η δεξαμενή με χώμα και θολώσει το νερό. Το δοχείο πληρώνεται με νερό του οποίου έχει απομακρυνθεί κάθε ίχνος χλωρίου. Προστίθεται η αντλία η οποία θα μεταφέρει το νερό από τη δεξαμενή με τα ψάρια στη δεξαμενή με τα φυτά. Συνίσταται η αντλία να συνδεθεί με χρονοδιακόπτη προκειμένου να ελέγχεται η πλήρωση του συστήματος με νερό (Εικ.10). Τέλος πριν προστεθούν τα ψάρια στο σύστημα θα πρέπει το σύστημα να έχει ρυθμιστεί.



**Εικόνα 10.** Σύστημα ενυδρείοποινας (Πηγή: [www.aquarticles.com](http://www.aquarticles.com))

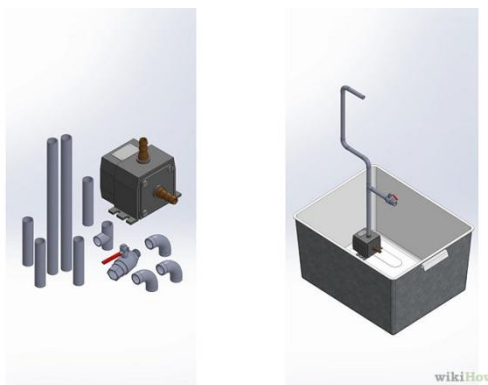
Για την κατασκευή ενός άλλου συστήματος ενυδρείοποινας ακολουθείται η εξής διαδικασία.

Αρχικά κατασκευάζεται το πλαίσιο υποστήριξης του συστήματος (Εικ.11)



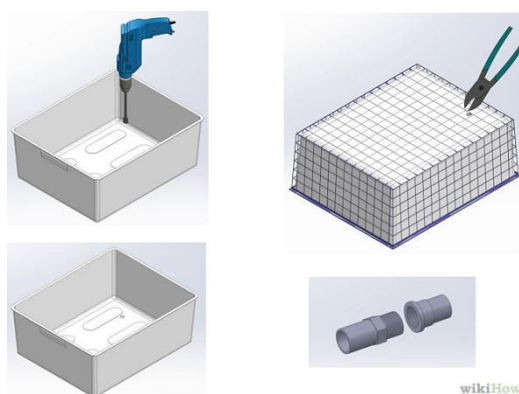
**Εικόνα.11** Κατασκευή πλαισίου (Πηγή: [www.aquarticles.com](http://www.aquarticles.com))

Για την εκτροφή των ψαριών χρησιμοποιείται μια πλαστική δεξαμενή (ως ενυδρείο) 50 L η οποία τοποθετείται στο κάτω μέρος του πλαισίου στήριξης που αρχικά κατασκευάστηκε. Για την ανάπτυξη των φυτών χρησιμοποιείται μια πλαστική δεξαμενή 25 L (Εικ.12). Στη συνέχεια στη δεξαμενή ανάπτυξης των ψαριών τοποθετείται σωλήνας από PVC διαμέτρου 13 mm, ο οποίος συνδέεται με αντλία παροχής 600 L/h η οποία θα μεταφέρει το νερό από τη δεξαμενή των ψαριών στη δεξαμενή με τα φυτά (Εικ.13).



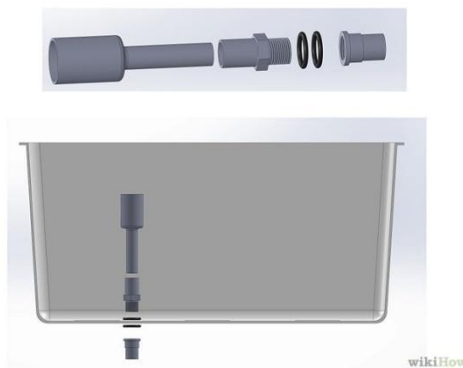
**Εικόνα 13.** Σύνδεση αντλία στο ενυδρείο εκτροφής των ψαριών (Πηγή: [www.aquarticles.com](http://www.aquarticles.com))

Στο σωλήνα που συνδέεται με την αντλία συνδέεται μια βαλβίδα (Εικ.14) η θα επιστρέφει μια ορισμένη ποσότητα νερού στο ενυδρείο. Με τη βαλβίδα ελέγχεται η ποσότητα του νερού που καταλήγει στη δεξαμενή των φυτών, δημιουργώντας ελαφρύ κυματισμό στο ενυδρείο, δημιουργώντας αερισμό στο ενυδρείο.



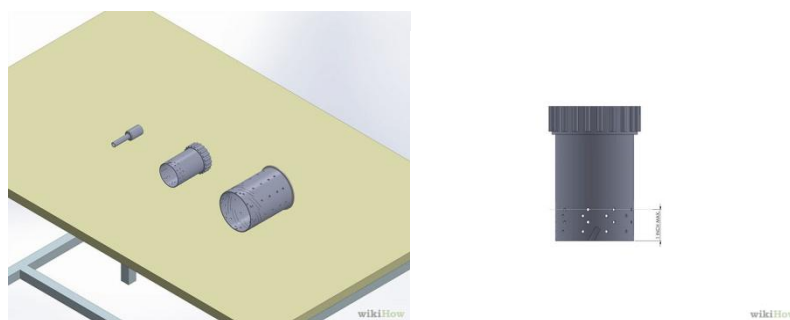
**Εικόνα 14.** Εργασίες σύνδεσης στο ενυδρείο εκτροφής των ψαριών (Πηγή: [www.aquarticles.com](http://www.aquarticles.com))

Στο κάτω μέρος της δεξαμενής ανάπτυξης των φυτών ανοίγεται μια οπή διαμέτρου 6-7 cm προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για την απορροή του νερού (Εικ.15).



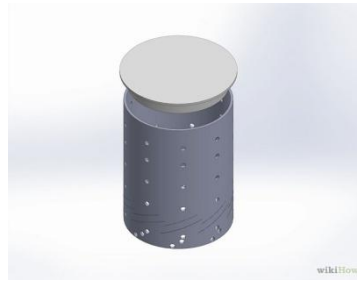
**Εικόνα 15.** Σύνδεση σωλήνα απορροής στο ενυδρείο εκτροφής των ψαριών (Πηγή:www.aquarticles.com)

Η απορροή του νερού από τη δεξαμενή ανάπτυξης των φυτών πραγματοποιείται με τους συστολείς διαμέτρου 25mm και 13 mm όπως φαίνονται στην Εικόνα 16.



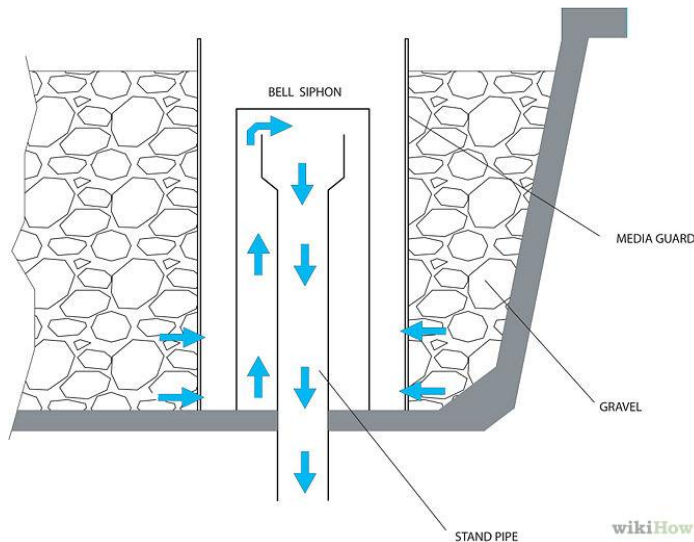
**Εικόνα 16.** Συστολείς απορροής στη δεξαμενή καλλιέργειας των φυτών (Πηγή:www.aquarticles.com)

Το σифόνιο αποτελείται από ένα αεροστεγές καπάκι στην κορυφή έχει διάμετρο 60 mm και τοποθετείται στο μέσον της δεξαμενής. Οι οπές που έχουν διανοιχθεί στα πλευρικά τμήματα του σιφονίου απέχουν λιγότερο από 2,5 cm από το κάτω μέρος του σωλήνα (Εικ.17).



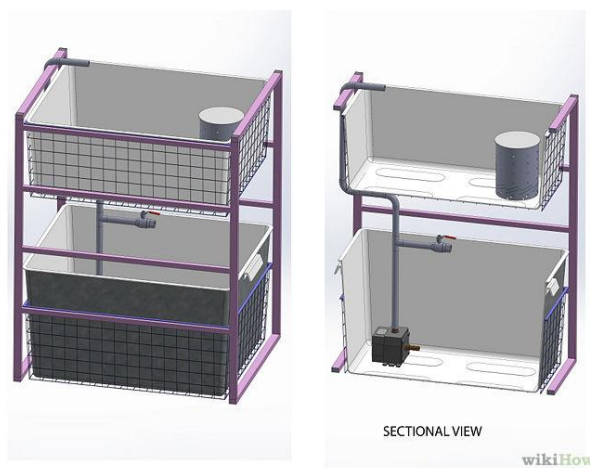
**Εικόνα 17.** Σιφόνιο απορροής στη δεξαμενή καλλιέργειας των φυτών (Πηγή: [www.aquarticles.com](http://www.aquarticles.com))

Το κανάλι διαμέτρου 100 mm στο κάτω μέρος της δεξαμενής λειτουργεί ως προστατευτικό τοίχιο ανάμεσα στο χαλίκι και στο σιφόνιο. Μικρές οπές επιτρέπουν στο νερό να εισέρχεται στο εσωτερικό του καναλιού παρεμποδίζοντας τις ρίζες των φυτών και το χαλίκι να εισέρχονται στο εσωτερικό του καναλιού. (Εικ.18)



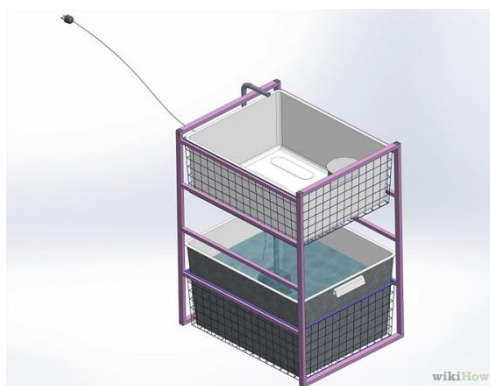
**Εικόνα 18.** Προστατευτικό κανάλι στη δεξαμενή καλλιέργειας των φυτών (Πηγή: [www.aquarticles.com](http://www.aquarticles.com))

Συνίσταται η προσθήκη μιας βαλβίδας σε κάθε είσοδο της βάσης ώστε να ελεγχθεί ο χρόνος πλήρωσης της δεξαμενής με νερό, με αποτέλεσμα να δημιουργείται πίεση στην αντλία επιτρέποντας την επιστροφή του νερού στη δεξαμενή ψαριών για μεγαλύτερη οξυγόνωση του νερού του ενυδρείου (Εικ.19).



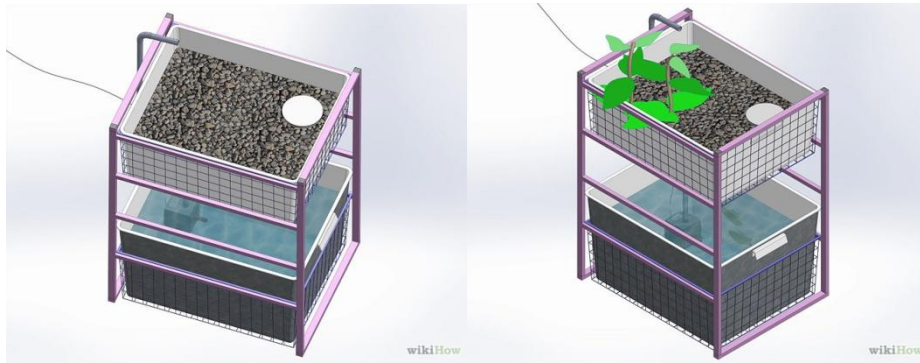
**Εικόνα 19.** Προσθήκη βαλβίδων στις σωληνώσεις ώστε στο ενυδρείο να δημιουργείται περισσότερο οξυγόνο (Πηγή: [www.aquarticles.com](http://www.aquarticles.com))

Η Εικόνα 20 παρουσιάζει την αντλία ροής στο σύστημα με παροχή 600 L/h καθώς και ένα μικρό κομμάτι σωλήνα διαμέτρου 13 mm που εξέρχεται. Ο σωλήνας ανεβαίνει προς το άνω μέρος του ενυδρείου με τη βοήθεια ενός πλαστικού «Τ» δημιουργώντας γωνία 90° βοηθώντας το νερό να κατευθυνθεί στη δεξαμενή ανάπτυξης των φυτών.



**Εικόνα 20.** Βαλβίδες ροής στο σύστημα (Πηγή: [www.aquarticles.com](http://www.aquarticles.com))

Το ενυδρείο που θα αναπτυχθούν τα φυτά πληρώνεται με υπόστρωμα (χαλίκι, χώμα, πετροβάμβακας, περλίτης, διογκωμένη άργιλος). Το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να ελεγχθεί ότι διασφαλίζει καλή κυκλοφορία του νερού και ότι δεν δημιουργεί τοξικό περιβάλλον. Στη συνέχεια το σύστημα πληρώνεται με νερό, αφού γίνει έλεγχος για τυχόν απώλειες νερού. Η αντλία μπαίνει σε λειτουργία γεμίζοντας με νερό το ενυδρείο των φυτών (Εικ.21). Αφού το σύστημα ρυθμιστεί προστίθενται τα υπόλοιπα ψάρια και τα φυτά.



**Εικόνα 21.** Λειτουργία συστήματος ενυδρείοπονίας (Πηγή: [www.aquarticles.com](http://www.aquarticles.com))

Η ενυδρείοπονία βασίζεται στην κοινή πεποίθηση μιας βιολογικής παραγωγής φυτών και ψαριών. Στη παραγωγή ψαριών με την ενυδρείοπονική μέθοδο χρησιμοποιούνται συνήθως ψάρια όπως η Τιλάπια, τα Bluegill και τα γατόψαρα. Άλλα κοινά ψάρια που χρησιμοποιούνται σε ένα ενυδρείοπονικό περιβάλλον, αλλά όχι απαραίτητα για εκτροφή ψαριών, είναι: ο κυπρίνος, η πέρκα, η πέστροφα και το λαβράκι. Άλλα ψάρια, όπως χρυσόψαρα και τροπικά ψάρια, είναι κατάλληλα να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή φυτών και λαχανικών, ακόμα και σε μικρές δεξαμενές αρκεί να είναι ανεκτικά σε αυτό το περιβάλλον. Η φυτική παραγωγή ποικίλλει ανάλογα με την ποσότητα τροφής που μπορούν να καταναλώσουν τα ψάρια, με αποτέλεσμα τη δημιουργία των αποβλήτων ως τροφή για τα ευεργετικά βακτήρια και τα φυτά. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν επίσης και άλλα ζώα του γλυκού νερού, όπως караβίδες, γαρίδες και μύδια.

Τα ενυδρείοπονικά συστήματα κυμαίνονται σε μέγεθος από μικρά ενυδρεία σε μεγάλες εγκαταστάσεις εμπορικών επιχειρήσεων που παράγουν φυτά και τα ψάρια προς πώληση σε εστιατόρια και καταναλωτές (Nelson 2008).

### 6.3. Περιγραφή του συστήματος

Ένα βασικό σύστημα αποτελείται από ένα ενυδρείο με ψάρια, μια βάση καλλιέργειας με φυτά, και μια αντλία νερού. Επίσης, χρησιμοποιούνται συνήθως αντλίες αέρα και επιπλέον βιομηχανικά φίλτρα διήθησης. Τα ενυδρείοπονικά οικοσυστήματα πρέπει να έχουν την κατάλληλη ισορροπία για να διατηρήσουν υγιή τα ψάρια και τα φυτά.



**Εικόνα 22.** Σύστημα ενυδρειοπονίας (Πηγή: [www.backyardaquaponics.com](http://www.backyardaquaponics.com))

Στην Εικόνα 22, παρουσιάζεται ένα σύστημα ενυδρειοπονίας τύπου πάνελ πάνω από φυτά τα σκιάζουν και τα προστατεύουν την βάση καλλιέργειας από τη θερμότητα της ημέρας. Τα σκέπαστρα χρησιμοποιούνται ευρέως για την σκίαση του ενυδρείου και για την προστασία των ψαριών από τα αρπακτικά ζώα καθώς και για να αποτρέψουν τα ψάρια που πηδούν έξω από το ενυδρείο. Υπάρχουν 3 τύποι συστημάτων Ενυδρειοπονίας που χρησιμοποιούνται επαγγελματικά.

Ο πιο απλός τύπος συστήματος είναι η υδατοσυλλογή σε αγρόκτημα, γνωστή και ως πράσινη λίμνη καλλιέργειας. Τα φύκια είναι το κυρίαρχο φυτό σε αυτόν τον τύπο συστήματος. Μερικά ψάρια θα τρώνε τα φύκη όπως και τα μικρότερα ψάρια αλλά και τα έντομα και ζώφια που μπαίνουν στη δεξαμενή. Ο άνεμος και η άγρια δραστηριότητα των ζώων προλαμβάνουν το στάσιμο νερό. Αυτά είναι συνήθως ελαφρά εξοπλισμένα για την επίτευξη ισορροπίας του συστήματος. Συνήθως δεν συγκομίζονται φυτά από αυτόν τον τύπο συστήματος.

Ο δεύτερος τύπος συστήματος είναι ένα ενυδρείο ψαριών με επιπλέοντα φυτά που δημιουργούν οξυγόνο, όπως το μαρούλι του νερού ή άλλα φυτά, πάνω σε πλωτά μέσα (φελιζόλ) με τις ρίζες τους μέσα στο νερό.

Ο τρίτος τύπος είναι ένα σύστημα με μια αντλία νερού που αντλεί νερό από τη δεξαμενή ψαριών ψηλά σε ένα βιολογικό/μηχανικό φίλτρο ή και σε cadrige/δεξαμενή υπερχειλίσης και στη βάση καλλιέργειας, όπου το νερό φιλτράρεται από τα ευεργετικά βακτήρια και τα φυτά και η βαρύτητα φέρνει το νερό πίσω στη δεξαμενή με τα ψάρια. Αν χρησιμοποιείται φίλτρο τύπου cadrige, τότε ρυθμίζεται ώστε τα



επίπεδα του νερού να είναι σε σταθερή στάθμη στην δεξαμενή με τα ψάρια. Η σειρά και η τοποθέτηση των αποδόσεων της άντλησης και της βαρύτητας μπορεί να αλλάξουν για να ταιριάζουν σε ένα συγκεκριμένο σύστημα. Αυτή η δραστηριότητα μπορεί να είναι συνεχής ή διακεκομμένη. Αυτός ο οδηγός περιγράφει κυρίως την εγκατάσταση του τρίτου τύπου συστήματος με τη χρήση γλυκού νερού. Τα συστήματα ενυδρείοπονίας με αλμυρό νερό μπορούν να λειτουργήσουν με την διαφορά ότι χρησιμοποιούν φύκια ως φυτά. Το νερό τρέχει μέσα από το σύστημα χρησιμοποιώντας μία από τις πολλές μεθόδους (Calfo & Williams 2007).

### **6.3.1. Διαλείπουσα ροή**

Η διαλείπουσα ροή γίνεται γενικά με μια αντλία νερού με χρονοδιακόπτη η οποία αντλεί νερό μια φορά ανά ώρα. Το νερό αντλείται μέσα από τις βάσεις καλλιέργειας και εξέρχεται από τις διόδους αποστράγγισης και επιστρέφει πίσω στη δεξαμενή με τα ψάρια.

### **6.3.2. Συνεχής ροή - τεχνική θρεπτικών ταινιών**

Η συνεχής ροή ή τεχνική θρεπτικών ταινιών είναι η μέθοδος όπου η αντλία αντλεί και διανέμει συνεχώς νερό στο σύνολο του συστήματος. Αυτός είναι ο απλούστερος τρόπος για να κατασκευαστεί, αλλά παράγονται φυτά ευαίσθητα στη ρίζα, η οποία σαπίζει λόγω έλλειψης οξυγόνου. Η φυτική παραγωγή συνήθως περιορίζεται σε μαρούλια και άλλα φυτά που μπορούν να αντέξουν την συνεχή ροή του νερού. Πλωτά συστήματα αποτελούνται γενικά από φελιζόλ που επιπλέει ακριβώς πάνω από τη δεξαμενή των ψαριών. Οι ρίζες των φυτών αναπτύσσονται βυθισμένες μέσα στο νερό. Μερικές φορές οι ρίζες των φυτών αναπτύσσονται και αιωρούνται στο εσωτερικό των δοχείων που βυθίζονται στο νερό, είτε στην ίδια δεξαμενή των ψαριών ή κάποιο κανάλι περιορισμένης ροής νερού. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται για παραγωγές μεγάλης κλίμακας (Nelson 2008, Calfo & Williams 2007).

### **6.3.3.Πλημμυρίδα και άμπωτη (πλήρωση και αποστράγγιση)**

Άμπωτη και πλημμυρίδα συμβαίνει όταν το νερό αντλείται περιοδικά από το σύστημα είτε μέσω ενός χρονοδιακόπτη για την αντλία νερού (και τις τρύπες αποστράγγισης των βάσεων καλλιέργειας) είτε όταν η αντλία νερού έχει συνεχή ροή και το νερό πλημμυρίζει και αποστραγγίζεται από τις βάσεις καλλιέργειας μέσω μιας συσκευής αυτοματοποιημένης διαρροής ή εισροής. Το οξυγόνο έχει τη δυνατότητα να φτάσει στις ρίζες των φυτών, όταν το νερό αποστραγγίζεται. Η αποστράγγιση των υδάτων στην δεξαμενή με τα ψάρια, παρέχει επίσης, επιπλέον οξυγόνο που αναμιγνύεται με την επιστροφή του νερού. Οι χρόνοι πλήρωσης και αποστράγγισης διαφέρουν ανάλογα με τις ρυθμίσεις. Αφήστε λίγο χρόνο στεγνώματος για να μην σαπίσουν οι ρίζες, αλλά όχι πάρα πολύ έτσι ώστε οι ρίζες να στεγνώσουν τελείως. Δεν υπάρχει ιδανική διάρκεια για την πλήρωση και την αποστράγγιση.

Η άμπωτη και πλημμυρίδα της ροής είναι η μέθοδος που χρησιμοποιείται πιο συχνά αλλά έχουν επίσης αναπτυχθεί και άλλες μέθοδοι. Τα αυτόματα σιφώνια είναι πολύ σχολαστικά με το ποσό και το ποσοστό της ροής των υδάτων που έρχονται καθώς και ως προς το είδος σιφονιών και τα μεγέθη των σωλήνων τους. Ένα σιφόνι για να σταματήσει την αποστράγγιση, θα πρέπει να τραβήξει αρκετό αέρα για να σπάσει την ένταση του νερού. Η απόδοση του νερού μπορεί να ρυθμιστεί με τη χρήση βαλβίδων συνδεδεμένες σε σειρά με τις σωληνώσεις (Calfa & Williams 2007).

### **6.3.4.Βαρελο-πονικό σύστημα**

Το βαρελο-πονικό σύστημα εφευρέθηκε από τον W. Travis Hughey (ορισμένα συστήματα έχουν δεξαμενές πλήρωσης με χωρητικότητες πάνω από 700 γαλόνια) όπου μία βαλβίδα έκλυσης είναι τοποθετημένη στο κάτω μέρος της δεξαμενής πλήρωσης. Όταν το νερό φτάσει το προκαθορισμένο ύψος (Όγκο) στη δεξαμενή υπερχειλίσης ένα μικρό σιφόνι αρχίζει να γεμίζει. Όσο το αντίβαρο γεμίζει και παίρνει αρκετό βάρος ώστε να ξεπεράσει την πίεση και το βάρος του νερού, η βαλβίδα είναι ανοικτή και επιτρέπει στο περιεχόμενο της δεξαμενής να αδειάσει στις βάσεις καλλιέργειας. Όταν η στήλη του νερού είναι αρκετά χαμηλή ώστε να σταματήσει το μικρό σιφόνι, το αντίβαρο αρχίζει να αδειάζει από μια μικρή τρύπα στον πάτο του. Όταν το αντίβαρο ελαφρύνει αρκετά η βαλβίδα κλείνει και ο κύκλος επαναλαμβάνεται. Η στάθμη του νερού ελέγχεται από το ύψος του μικρού σιφονιού και η διάρκεια του κύκλου (του νερού) ελέγχεται από την προσαρμογή της εισροής

από την δεξαμενή των ψαριών. Αυτό το σύστημα επιτρέπει πολύ χαμηλά ποσοστά ροής για μεγάλες ποσότητες νερού συγκριτικά με την πλήρωση των βάσεων καλλιέργειας και τους κύκλους αποστράγγισης (Εικ.23).



**Εικόνα 23.** Σωληνώσεις (Πηγή: [www.fastonline.org](http://www.fastonline.org))

### 6.3.5. Άξονας Εξόδου

Το εσωτερικό δοχείο της εξόδου είναι γνωστό ως η πλωτή έξοδος (Εικ.24).



**Εικόνα 24.** Άξονας εξόδου δεξαμενής (Πηγή: [www.backyardaquaponics.com](http://www.backyardaquaponics.com))

Η είσοδος του νερού βρίσκεται στο εσωτερικό του δοχείου και εφάπτεται οριζόντια στον πυθμένα. Το άνοιγμα της εσωτερικής άκρης βρίσκεται μέσα σε μια ανοιχτή κατασκευή με μορφή «κυπέλου» που συμπεριφέρεται σαν φλοτέρ. Καθώς το νερό αυξάνεται στο δοχείο, ο εσωτερικός άξονας ανυψώνεται εξαιτίας του φλοτέρ. Μόλις το πλωτό άκρο φτάσει στο μέγιστο ύψος, το νερό θα ανέβει λίγο περισσότερο και έπειτα θα εισέλθει στο ανοικτό κουτί και θα συνεχίσει να γεμίζει μέχρι να

περάσει από την τρύπα εξόδου του σωλήνα που βρίσκεται περίπου στο μισό ύψος από το κουτί και αρχίζει η εκκένωση από το άλλο άκρο. Όσο λαμβάνει χώρα αυτή η διαδικασία, το επιπλέον νερό μέσα στο κουτί βοηθά το άκρο αυτό να βυθιστεί μέχρι όλο το νερό να αποστραγγιστεί, συμπεριλαμβανομένου του μεγαλύτερου μέρους του νερού. Είναι πολύ σημαντικό όλος ο αέρας που υπάρχει μέσα στο κουτί να διαφεύγει καθώς αυτό βυθίζεται γιατί διαφορετικά δεν θα μπορέσει να βυθιστεί εντελώς, το επιπλέον βάρος μπορεί επίσης να το βοηθήσει να βυθιστεί. Όταν το κουτί αδειάσει σιγά σιγά, το νερό, θα αρχίσει και πάλι να επιπλέει καθώς ανεβαίνει η στάθμη του νερού και ο κύκλος επαναλαμβάνεται.

### 6.3.6. Εξωτερικό δοχείο του άξονα εξόδου

Το εξωτερικό δοχείο του άξονα εξόδου είναι σχεδιασμένο παρόμοια με μια χαρακτηριστική κατασκευή με άξονα από μπαμπού. Ο σωλήνας διατηρείται σε κλίση με τη χρήση ενός περιστρεφόμενου στοπ και ενός αντισταθμιζόμενου βάρους προσαρμοσμένου στο άλλο άκρο. Το νερό εισέρχεται στο σωλήνα (συνήθως στο σημείο του άξονα) και γεμίζει τον κεκλιμένο σωλήνα, μόλις το νερό φτάσει αρκετά ψηλά στο σωλήνα έτσι ώστε το βάρος του να υπερνικά την ισορροπία του αντίβαρου στο άλλο άκρο, βυθίζεται προς τα κάτω και αδειάζει το νερό ξεκινώντας με αυτό τον τρόπο την απορροή (Εικ.25).



**Εικόνα 25.** Εξωτερικό δοχείο άξονα (Πηγή: [www.backyardaquaponics.com](http://www.backyardaquaponics.com))

Το πάνω μέρος που συγκεντρώνει το νερό θα πρέπει να είναι σφραγισμένο, εκτός από το σημείο απορροής απ' όπου θα διαφύγει το νερό μόλις περιστραφεί προς τα κάτω. Το σημείο θα πρέπει να βρίσκεται σε τέτοια θέση έτσι ώστε ο αέρας να μην μπορεί να εισέλθει μέχρι να ολοκληρωθεί η λειτουργία του σιφωνίου, διατηρώντας έτσι το επιπλέον νερό στο άκρο αποστράγγισης για να το κρατά αντισταθμισμένο (και

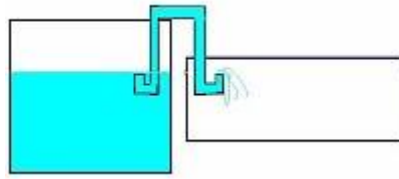
προς τα κάτω) μέχρι να ολοκληρωθεί η αποστράγγιση. Τοποθετούνται μεγαλύτερα δοχεία στα άκρα του σωλήνα ώστε να συγκεντρώνονται τα νερά, έτσι ώστε η μονάδα λειτουργεί πιο αποτελεσματικά. Αν το άκρο συσσώρευσης του νερού δεν μπορεί να μείνει κάτω μέχρι ο κύκλος αποστράγγισης να ολοκληρωθεί, ο άξονας θα πάλλεται.

### **6.3.7. Τύποι σιφονιών (autosiphon)**

Οι πιο γνωστοί τύποι σιφονιών είναι: το σιφόνι με κύρτωση-J, το σιφόνι βρόχος, το σιφόνι καμπάνα και το σιφόνι άξονας. Οι μελετητές χρησιμοποιούν όλα τα είδη και συνήθως προτιμούν και κάτι πιο εξειδικευμένο, αλλά αυτό εξαρτάται από τις εμπειρίες του κατασκευαστή. Ένας καλός εμπειρικός κανόνας για τις σωληνώσεις είναι να χρησιμοποιούμε το ίδιο μέγεθος σωλήνα ή ένα μέγεθος μεγαλύτερο, από εκείνο που χρησιμοποιεί η αντλία νερού. Το μέγιστο ύψος του νερού στα σιφόνια θα πρέπει να ταιριάζει με το μέγιστο ύψος του νερού στο δοχείο, έτσι θα χρειαστεί να ρυθμιστεί το μέγεθος και η θέση του σιφονιού ανάλογα, έτσι ώστε να λειτουργεί με την σωστή στάθμη νερού. Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο που πρέπει να σημειωθεί είναι ότι αν τα σιφόνια παγιδέψουν στην κορυφή τους, ενδέχεται να μην λειτουργούν σωστά, άρα είναι καλύτερα να έχουν σχήμα σωληνοειδές (Calfó & Williams 2007).

### **6.3.8. Κύρτωση - J (συσκευή πίδακα Carlson )/Κύρτωση – U**

Το σιφόνι με κύρτωση-J (Εικ.26) είναι ένας λυγισμένος σωλήνας και χρησιμοποιείται ανάποδα. Το μακρύ άκρο του είναι και το άκρο απορροής. Το κοντό είναι το άκρο, απ' όπου θα εισέλθει το νερό και θα σφραγίσει το άνοιγμα. Όταν η στάθμη του νερού είναι αρκετά υψηλή ώστε να καλύψει το πάνω μέρος του ανάποδου "J", το σιφόνι ξεκίνα τη λειτουργία του. Αυτά χρησιμοποιούνται στο εσωτερικό του δοχείου με το μακρύ άκρο να προεξέχει στο εσωτερικό του. Μια μικρή παγίδα νερού με κύρτωση U στο κάτω μέρος της εξόδου του σωλήνα μπορεί να είναι χρήσιμη, εάν προκύψουν δυσκολίες με αυτό το είδος σιφονιού.



**Εικόνα 26.** Κύρτωση τύπου J (Πηγή: [www.backyardaquaponics.com](http://www.backyardaquaponics.com))

### 6.3.9. Υπερχείλιση

Τρεις σωλήνες σε σχήμα U χρησιμοποιούνται μαζί για να δημιουργήσουν ένα σιφόνι που ενεργοποιεί μια υπερχείλιση στη δεξαμενή, για να μεταφέρει νερό έξω από αυτήν χωρίς να ανοιχτούν τρύπες και χωρίς να αναβλύζει νερό από την κορυφή της. Γι' αυτό το λόγο θα πρέπει να γεμίσει με νερό, να αφαιρεθεί όλος ο εσωτερικός αέρας και τα δύο άκρα θα πρέπει να βρίσκονται στο ίδιο ύψος για την πρόληψη της διαρροής αέρα προς τα μέσα.

**ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΣΗ:** Οι Υπερχειλίσεις θα πρέπει να ελέγχονται τακτικά για να διασφαλιστεί ότι δεν έχει συσσωρευτεί αέρας στο εσωτερικό τους, στην κορυφή τους, πράγμα που θα εμποδίσει την κανονική τους λειτουργία και συνήθως δεν είναι ορατό, όταν συμβαίνει. Το φίλτρο υπερχείλισης είναι ένα ανάποδο σιφόνι με κύρτωση-U/Σωλήνας-U με τις δύο άκρες του σε ξεχωριστά κουτιά και λειτουργεί με τις ίδιες αρχές.

### 6.3.10. Σιφόνι Βρόχος

Το σιφόνι βρόχος (Εικ.27) είναι ένας σωλήνας σε σχήμα θηλιάς με το άκρο εξόδου συνήθως να κοιτάει προς τα κάτω. Από το ελεύθερο άκρο εισόδου το νερό θα εισέλθει και θα σφραγίσει το άνοιγμα. Όταν η στάθμη του νερού φτάνει το ύψος της κορυφής του βρόχου, αρχίζει να σπρώχνει τον αέρα και το νερό κάτω προς την έξοδο η οποία δραστηριοποιεί την λειτουργία του σιφονιού. Λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο όπως το σιφόνι με κύρτωση J, αλλά η σωλήνωση διαγράφει έναν πλήρη κύκλο. Ένα σιφόνι βρόχος μπορεί να χρησιμοποιηθεί μέσα και έξω από την δεξαμενή.



**Εικόνα 27.** Σιφόνι τύπου βρόχου (Πηγή: [www.synaptoman.files.wordpress.com](http://www.synaptoman.files.wordpress.com))

### 6.3.11.Καμπάνα

Το σιφόνι τύπου καμπάνα αποτελείται από ένα ανοικτό κάθετο σωλήνα για να εκρεύσει το νερό μέσα του. Ιδανικά, αυτός ο σωλήνας πρέπει να είναι σε ευθεία με τα δύο του άκρα ανοικτά. Γύρω από αυτόν υπάρχει ένας άλλος σωλήνας με τρύπες για τη ροή του νερού προς το κάτω μέρος και ένα αεροστεγές καπάκι στην κορυφή επιτρέποντας τη δημιουργία μιας δίνης όταν το νερό φτάσει στην κορυφή του εσωτερικού σωλήνα. Βεβαιωθείτε ότι το καπάκι του σωλήνα σιφόνι δεν σφραγίζει στην κορυφή το ανοικτό μέρος του σωλήνα. Είναι καλύτερο να έχουμε ένα πάρα πολύ ψηλό σωλήνα από ένα σιφόνι που είναι πάρα πολύ κοντό. Μια τρύπα στο κάτω μέρος ελαφρώς υψηλότερα από τις υπόλοιπες μπορεί επίσης να λειτουργήσει ως φρένο για τον αέρα.

Μερικοί χρησιμοποιούν ένα διαφορετικό φρένο αέρα, με μια μικρή τρύπα αέρα κοντά στην κορυφή του σωλήνα-σιφόνι, με έναν σωλήνα αέρα που κατεβαίνει ακριβώς πάνω από τις τρύπες του σωλήνα-σιφόνι. Αυτός ο σωλήνας αέρα βοηθά να σπάσει τη λειτουργία του σιφονιού όταν η στάθμη του νερού πέσει χαμηλά και αυτό βοηθά να ξεπεραστούν τα προβλήματα του σωλήνα-σιφονιού με το μέγεθος των οπών, δεδομένου ότι ο σωλήνας αέρα δημιουργεί μια οριζόντια είσοδο αέρα (Εικ.28).



**Εικόνα 28.** Σιφόνι τύπου καμπάνα (Πηγή: [www.aquaponicshq.com](http://www.aquaponicshq.com))

## 7. Τύποι υποστρώματων που χρησιμοποιούνται στην ενυδραιοπονία

Τα βασικότερα υποστρώματα που χρησιμοποιούνται στην ενυδραιοπονία είναι:

**Πετροβάμβακας:** Ο πετροβάμβακας είναι ανόργανο ινώδες υλικό, που παρασκευάζεται βιομηχανικά με θερμική επεξεργασία φυσικών πετρωμάτων. Έχει ολικό πορώδες 92- 96% και ειδικό βάρος 60-100 kg/m<sup>3</sup>. Είναι χημικά αδρανές, αποστειρωμένο υλικό, τυποποιημένο και με σταθερή ποιότητα. Έχει πολύ καλή συμπεριφορά ως υλικό, γι' αυτό και χρησιμοποιείται ευρέως ως υπόστρωμα υδροπονίας. Συνήθως για τα λαχανικά χρησιμοποιούνται πλάκες διαστάσεων 7,5 x 15 x 100 cm.

**Περλίτης:** Ο περλίτης είναι ηφαιστειακό, υαλώδες αργιλλοπυριτικό πέτρωμα λευκού χρώματος, το οποίο περιέχει εγκλωβισμένο κρυσταλλικό νερό 3-6%. Παρασκευάζεται με θέρμανση του πρωτογενούς ορυκτού στους 1300 °C, οπότε και διογκώνεται στο 10πλάσιο με 20πλάσιο του αρχικού του όγκου. Το ολικό του πορώδες είναι περίπου 95%, το ειδικό βάρος είναι 60-80 kg /m<sup>3</sup> και η ικανότητα συγκράτησης νερού σε 200- 450% του βάρους του.

**Κοκοφοίνικας:** Ο κοκοφοίνικας είναι φυσικό υλικό. Προέρχεται από το παχύ μεσοκάρπιο του καρπού της καρύδας και συνεπώς είναι υλικό απαλλαγμένο από ασθένειες. Σε σύγκριση με τα παραπάνω υποστρώματα, ο κοκοφοίνικας είναι οργανικό υλικό. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι 0,5 mS/cm ή και μικρότερη και το pH κυμαίνεται από 5,5 έως 6 (Calfo & Williams 2007).



## 8. Βασικά στοιχεία και προβληματισμοί

Μια επιτυχημένη επιχείρηση υδροπονίας απαιτεί ειδική εκπαίδευση, δεξιότητες, και καλή διαχείριση. Τα παραπάνω στοιχεία δείχνουν τα βασικά χαρακτηριστικά και το σκεπτικό που μπορεί να βοηθήσει τους μελλοντικούς παραγωγούς στην ένταξη της υδροπονίας με την υδατοκαλλιέργεια.

Υδροπονία είναι η παραγωγή των φυτών σε ένα υγρό περιβάλλον όπου όλα τα θρεπτικά συστατικά που παρέχονται στην καλλιέργεια είναι διαλυμένα στο νερό. Τα υγρά υδροπονικά συστήματα χρησιμοποιούν την τεχνική του θρεπτικού φιλμ, πλωτές σχεδίες, και τη μη-κυκλοφορία του νερού στη καλλιέργεια. Συγκεντρωτικά, τα συστήματα υδροπονίας χρησιμοποιούν, αδρανή, οργανικό και μικτό μέσο που περικλείετε σε σάκο, γούρνα, τάφρο και σωλήνες. Τα συγκεντρωτικά μέσα που χρησιμοποιούνται σε αυτά τα συστήματα περιλαμβάνουν περλίτη, βερμικουλίτη, χαλίκι, άμμος, διογκωμένη άργιλο, τύρφη και πριονίδι (Calfo & Williams 2007).

Κανονικά, τα υδροπονικά φυτά λιπαίνονται (με έγχυση υδατοδιαλυτών λιπασμάτων στο νερό άρδευσης) σε ένα περιοδικό κύκλο για να διατηρούνται υγρές οι ρίζες και να παρέχεται μια σταθερή παροχή θρεπτικών ουσιών που συνήθως προέρχεται από συνθετικά εμπορικά λιπάσματα, όπως το νιτρικό ασβέστιο που είναι ευδιάλυτο στο νερό. Ωστόσο, τα οργανικά λιπάσματα (βασίζονται σε ευδιάλυτα οργανικά λιπάσματα, όπως τα προϊόντα που προέρχονται από την υδρόλυση ψαριών) είναι μια ανερχόμενη υδροπονική πρακτική. Οι συνταγές βασίζονται σε χημικά σκευάσματα που παρέχουν ακριβείς συγκεντρώσεις ανόργανων στοιχείων. Η ελεγχόμενη παράδοση των θρεπτικών ουσιών, το νερό, και οι περιβαλλοντικές τροποποιήσεις υπό συνθήκες θερμοκηπίου είναι ένας σημαντικός λόγος για τον οποίο η υδροπονία έχει τόσο μεγάλη επιτυχία (Al-Hafedh *et al.* 2008).

### 8.1. Τα θρεπτικά συστατικά των αποβλήτων της Υδατοκαλλιέργειας:

Οι καλλιεργητές θερμοκηπίων ελέγχουν την προσθήκη συγκεκριμένων ιχνοστοιχείων στα υδροπονικά φυτά. Ωστόσο, στην υδατοκαλλιέργεια τα θρεπτικά συστατικά παραδίδονται μέσω των αποβλήτων υδατοκαλλιέργειας. Τα απόβλητα των ψαριών περιέχουν επαρκή επίπεδα αμμωνίας, νιτρικών, νιτρωδών, φωσφόρου, καλίου, και άλλα δευτερεύοντα και μικροθρεπτικά συστατικά για την παραγωγή

υδροπονικών φυτών. Φυσικά, ορισμένα φυτικά είδη προσαρμόζονται καλύτερα σε αυτό το σύστημα σε σχέση με άλλα (Rakocy *et al.* 2006).

## **8.2.Φυτά Προσαρμοσμένα στην Υδροπονία**

Η επιλογή των φυτικών ειδών που καλλιεργούνται μέσω της υδροπονίας στα θερμοκήπια, σχετίζεται άμεσα με την πυκνότητα εκτροφής των ψαριών στο σύστημα και με τη μετέπειτα συγκέντρωση των θρεπτικών αποβλήτων της υδατοκαλλιέργειας. Μαρούλι, βότανα, και ειδικά χόρτα (σπανάκι, πράσο, βασιλικός και κάρδαμο) έχουν χαμηλές έως μέτριες διατροφικές απαιτήσεις και είναι καλά προσαρμοσμένα στα συστήματα υδροπονίας (Seawright *et al.* 1998). Τα φυτά με καρπό (ντομάτες, πιπεριές και αγγούρια) έχουν μια υψηλότερη διατροφική ζήτηση και αποδίδουν καλύτερα σε ένα μεγάλο και εφοδιασμένο και καλά φτιαγμένο σύστημα υδροπονίας. Η ποικιλία των ντοματών θερμοκηπίου είναι καλύτερα προσαρμοσμένες σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού και υψηλής υγρασίας, από τις ποικιλίες που καλλιεργούνται στο έδαφος (Nelson 2008).

## **8.3.Είδη ψαριών**

Αρκετά είδη θερμοφίλων και ψυχρόφιλων ψαριών εκτρέφονται στα κλειστά συστήματα εκτροφής, συμπεριλαμβανομένων των ψαριών όπως η τιλάπια, η πέστροφα, η πέρκα, ο σαλβελίνος, και το λαβράκι. Ωστόσο, τα περισσότερα εμπορικά υδροπονικά συστήματα στη Βόρεια Αμερική βασίζονται στην τιλάπια. Η τιλάπια είναι θερμοφιλό είδος και αναπτύσσεται καλά στις δεξαμενές υδατοκαλλιέργειας με επανακυκλοφορία νερού. Επιπλέον, η τιλάπια (Εικ.29) είναι ανεκτική στις αλλαγές των συνθηκών του νερού όπως το pH, η θερμοκρασία, το οξυγόνο και τα διαλυμένα στερεά. Η τιλάπια είναι κατάλληλο είδος ψαριού για τις τοπικές αγορές και τις αγορές χονδρικής πώλησης. Τα είδη Barramundi (λαβράκι της Ασίας) και Murray (γάδος) έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία στα υδροπονικά συστήματα στην Αυστραλία (Calfo & Williams 2007).

## **8.4.Ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού**

Τα ψάρια που εκτρέφονται σ' ένα κλειστό κύκλωμα απαιτούν καλή ποιότητα του νερού. Τα test kit ελέγχου της ποιότητας του νερού είναι θεμελιώδους σημασίας

για την υδατοκαλλιέργεια. Οι παράμετροι που ελέγχονται είναι το διαλυμένο οξυγόνο, το διοξείδιο του άνθρακα, η αμμωνία, τα νιτρικά ιόντα, τα νιτρώδη ιόντα, το pH και το χλώριο (Walker *et al.* 2001). Η πυκνότητα εκτροφής των ψαριών, ο ρυθμός ανάπτυξης των ψαριών, ο ρυθμός παροχής της τροφής και ο όγκος τους, σχετίζονται με τις περιβαλλοντικές διακυμάνσεις και μπορεί να προκαλέσουν ραγδαίες αλλαγές στην ποιότητα του νερού. Η σταθερή και προσεκτική παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων είναι απαραίτητη.



**Εικόνα 29.** Αρσενική τιλάπια ενυδρείοπονίας (Πηγή: [www.aqua.ait.ac.th](http://www.aqua.ait.ac.th))

### **8.5. Φίλτρα και αιωρούμενα στερεά**

Τα απόβλητα των Υδατοκαλλιεργειών περιέχουν θρεπτικά συστατικά, διαλυμένα στερεά και υποπροϊόντα των αποβλήτων. Μερικά υδροπονικά συστήματα είναι σχεδιασμένα με ενδιάμεσα φίλτρα για να συλλέγουν τα αιωρούμενα στερεά και τα απόβλητα των ψαριών διευκολύνοντας τη μετατροπή της αμμωνίας και άλλων προϊόντων σε μορφές περισσότερο κατάλληλες στα φυτά πριν από την παράδοση τους στα υδροπονικά υποστρώματα. Η προσθήκη των αποβλήτων των ψαριών μπορεί να γίνει απευθείας στο έδαφος των υδροπονικών φυτών (υπόστρωμα). Το χαλίκι λειτουργεί ως υπόστρωμα, απομακρύνοντας τα διαλυμένα στερεά και παρέχει ενδιαίτημα για τα νιτροποιητικά βακτήρια που εμπλέκονται στη μετατροπή τους σε θρεπτικά συστατικά. Τα εγχειρίδια σχεδιασμού και η τεχνική τεκμηρίωση που είναι διαθέσιμα μπορεί να βοηθήσουν τους εκτροφείς ώστε να αποφασίσουν ποιο σύστημα είναι κατάλληλο (Calfo & Williams 2007).

### 8.6. Αναλογία συστατικών

Η αντιστοίχιση του όγκου του νερού, στη δεξαμενή ψαριών, με τον όγκο των υδροπονικών μέσων, είναι γνωστή ως αναλογία συστατικών. Τα πρώτα συστήματα υδροπονίας βασίστηκαν στην αναλογία 1:1, αλλά είναι πλέον κοινή η αναλογία 1:2 και η αναλογία στο υπόστρωμα της δεξαμενής που χρησιμοποιείτε είναι τόσο υψηλή όσο 1:4. Η διακύμανση εξαρτάται από τον τύπο του υδροπονικού συστήματος (μικρό χαλίκι), τα είδη των ψαριών, την πυκνότητα των ψαριών, το ρυθμό τροφοδοσίας, τα είδη των φυτών κ.λπ. Για παράδειγμα, το σύστημα τύπου Speraneo, σχεδιάστηκε για ένα κυβικό μέτρο νερού και δύο κυβικά μέτρα υποστρώματος (χαλίκι). Όταν στα ρηχά υποστρώματα, χρησιμοποιούνται μόνο τρεις ίντσες σε βάθος, για την παραγωγή ειδικών φυτών, όπως το μαρούλι και ο βασιλικός, το εμβαδόν του χώρου μεγαλώνει περίπου τέσσερις φορές. Ανάλογα με το σχεδιασμό του συστήματος, η αναλογία των συστατικών μπορεί να ευνοήσει σε μεγαλύτερη υδροπονική παραγωγή ή αύξηση της παραγωγής του ψαριού (Calfa & Williams 2007).

## 9. Συμπεράσματα

Τα συστήματα ενυδραιοπονίας είναι ένας ισορροπημένος συνδυασμός ανμέσα στην υδατοκαλλιέργεια και στην υδροπονία όπου μπορεί να επηρεάσουν αποτελεσματικά την παραγωγή ψαριών και φυτών σε ερασιτεχνικό και επαγγελματικό επίπεδο. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα πτυχιακή εργασία συνοψίζονται στα εξής:

- Τα συστήματα αυτά μπορούν να εξασφαλίσουν την τροφή σε οικογενειακές επιχειρήσεις μικρής κλίμακας και είναι ένα συστήματα όπου δεν απαιτείται η προσθήκη ανόργανων-οργανικών λιπασμάτων για τη λίπανση των φυτών, η οποία εξασφαλίζεται διαμέσου των απεκκρίσεων των ψαριών (αμμωνία, νιτρώδη και νιτρικά ιόντα).
- Ο σχεδιασμός ενός συστήματος ενυδραιοπονίας θα πρέπει να γίνεται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο που γίνεται και στα κλειστά συστήματα εκτροφής ψαριών, μιας και στοχεύουν στην αύξηση της παραγωγικής διαδικασίας ψαριών και φυτών. Η βελτιστοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας εξαρτάται από παράγοντες όπως ο αριθμός των ψαριών, η παροχή του νερού, ο ρυθμός ανταλλαγής των αερίων, η πυκνότητα της εκτροφής, η απομάκρυνση των στερεών αποβλήτων και το σχήμα της δεξαμενής.
- Η ενασχόληση με την ενυδραιοπονία ερασιτεχνικά προϋποθέτει τη διατήρηση των ψαριών σε χαμηλά σχετικά πυκνότητες, με την εκτροφή να γίνεται σε στρογγυλές δεξαμενές όπου εξασφαλίζεται κανονικότητα στη κυκλοφορία του νερού. Όσοι ασχολούνται με την ενυδραιοπονία επαγγελματικά, θα πρέπει η πυκνότητα των ψαριών να είναι σε μεγάλες τιμές. Η αποτελεσματικότητα του συστήματος εξαρτάται από τη λειτουργία και τις απαιτήσεις του συστήματος και την ποιότητα του νερού. Η διατήρηση του περιβάλλοντος εκτροφής επηρεάζει τη βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που ελέγχονται είναι το pH, η αμμωνία, τα νιτρώδη ιόντα και τα νιτρικά ιόντα.
- Σε ένα σύστημα ενυδραιοπονίας η ανάπτυξη και η παραγωγή των φυτών εξαρτάται από την ημερήσια ποσότητα τροφής που χορηγείται στα ψάρια και την ημερήσια παραγόμενη συγκέντρωση αμμωνίας από τα ψάρια, προκειμένου η παραγωγή των φυτών να φτάσει σε μέγιστα δυνατά επίπεδα.

Τα μικρής κλίμακας συστήματα ενυδρευσιμότητας είναι ικανά να παράγουν διάφορα φυτά από τα περιττώματα των ψαριών και την ακατανάλωτη τροφή υπό την προϋπόθεση της συχνής παρακολούθησης και ελέγχου της ποιότητας του νερού.

- Επίσης σημαντικό ρόλο παίζει η επιλογή του ψαριού που θα χρησιμοποιηθεί για εκτροφή σ' ένα σύστημα ενυδρευσιμότητας, όπως για παράδειγμα η τιλápια, η ανάπτυξη της οποίας εξαρτάται από την πυκνότητα εκτροφής. Η πυκνότητα εκτροφής που συνίσταται να εφαρμοστεί σ' ένα σύστημα ενυδρευσιμότητας μικρής κλίμακας κυμαίνεται από 1,0 έως 3,76 kg/m<sup>3</sup>. Η χαμηλή πυκνότητα εκτροφής εξασφαλίζει και την ισορροπία του συστήματος ενυδρευσιμότητας.

## 10. Abstract

Aquaponic systems aim to exploit the advantages of aquaculture and hydroponic systems. A reasonable fish production can be sustained and at the same time a wide range of green plants and vegetables will be benefitted from the nutrient-rich outflow of the fish tanks, providing nitrification services to reduce the ammonia and nitrite loads. In the present work, provides the performance of a small-scale modular aquaponic system and how we can design the system without problems.

It was evident from the bibliography that mid-range fish stocking densities and accordingly nutrient loads are able to support a plant harvest at a ratio of 1:4 to 1:5 (amount of fish feed provided: harvestable biomass) in both species, depending on the initial size of the plants. Very small plants with sensitive root system should be avoided, as well as increased ammonia loads. Further improvements could be achieved by fine-tuning of the flow characteristics of the system, the standardization of water quality profile, the appropriate selection of substrate and the addition of extra biofiltration compartment.

**Key Words:** aquaponics, hydroponics, fish species, design and function of aquaponics.

## 11. Βιβλιογραφία

### A. Διεθνής βιβλιογραφία

- Al-Hafedh Y. S., Alam A., Beltagi M. S., (2008) Food production and water conservation in a recirculating aquaponic system in Saudi Arabia at different ratios of fish feed to plants. *J World Aquac Soc* 39(4):510-520.
- Boroujerdnia M., Ansari N. A., (2007) Effect of different levels of nitrogen fertilizer and cultivars on growth, yield and yield components of Romaine Lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Middle East Rus J Plant Sci Biotech* 1(2):47-53.
- Broadley M. R., Seginer I., Burns A., Escobar-Gutierrez A. J., Burns I. G., White P. J., (2003) The nitrogen and nitrate economy of butter head lettuce (*Lactuca sativa* var. *capitata* L.). *J Exp Bot* 54(390):2081-2090.
- Calfo, A & Williams, C. (2007). Book of coral propagation, Reef gardening for aquarist Publ. by Eric H. Borneman Vol.1 Edits 2. pp 250
- Endut A., Jusohb A., Alib N., Nikc W. B. W., (2011) Nutrient removal from aquaculture wastewater by vegetable production in aquaponics recirculation system. *Desalin Water Treat* 32(1-3):422-430.
- Jorgensen B., Meisel E., Schilling C., Swenson D., Thomas B., (2009) Developing food production systems in population centers. *Biocycle* 50(2):27-29.
- Kotzen B., Appelbaum S. (2010) An investigation of aquaponics using brackish water resources in the Negev desert. *J Appl Aquac* 22(4):297-320.
- Liedl B. E., Cummins M., Young A., Williams M. L., Chatfield J. M., (2004) Hydroponic lettuce production using liquid effluent from poultry waste bioremediation as a nutrient source. *Acta Hort (ISHS)* 659:721-728.
- Nelson R. L., (2008) Aquaponics food production: Raising fish and plants for food and profit. Montello: Nelson and Pade Inc. 218 pp.
- Pade J. S., Nelson R. L., (2007) Village Aquaponics. *Acta Hort (ISHS)* 742:197-199.
- Rakocy J. E., Masser M. P., Losordo T. M., (2006) Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics - Integrating fish and plant culture. Southern Regional Aquaculture Center, Publication No. 454:1-16. < <http://www.ca.uky.edu/wkrec/454fs.PDF>>. Downloaded on 5 April 2012.
- Seawright D. E., Stickney R. R., Walker R. B., (1998) Nutrient dynamics in integrated aquaculture-hydroponics systems. *Aquaculture* 160(34):215-237.



Walker R. L., Burns I. G., Moorby J.,(2001) Responses of plant growth rate to nitrogen supply: a comparison of relative addition and N interruption treatments. J Exp Bot 52(355):309-317.

### ***B. Ελληνόγλωσση βιβλιογραφία***

Παπουτσόγλου Σ. (2008) Διατροφή Ιχθύων. Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα, σελ. 976

### ***Γ. Διαδικτυακή βιβλιογραφία***

[www.aquaponics.com](http://www.aquaponics.com)

[www.aquariumnet.com](http://www.aquariumnet.com)

[www.aquarticles.com](http://www.aquarticles.com)

[www.backyardaquaponics.com](http://www.backyardaquaponics.com)

[www.fastonline.org](http://www.fastonline.org)

[www.backyardaquaponics.com](http://www.backyardaquaponics.com)

[www.synaptoman.files.wordpress.com](http://www.synaptoman.files.wordpress.com)

[www.aquaponicshq.com](http://www.aquaponicshq.com)

[www.aqua.ait.ac.th](http://www.aqua.ait.ac.th)