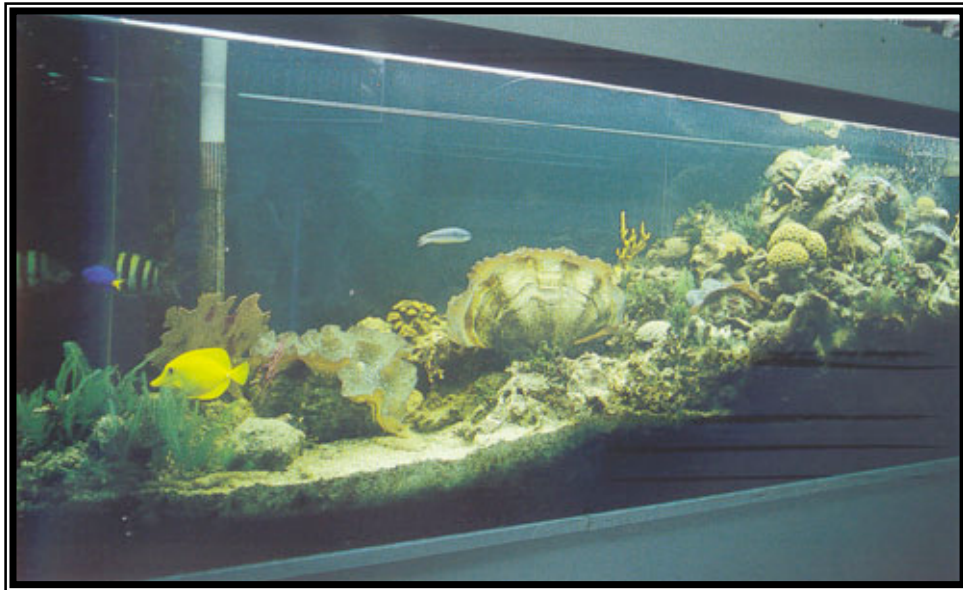


**Τ.Ε.Ι. ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ**  
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ-ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΙΧΘΥΟΚΟΜΙΑΣ – ΑΛΙΕΙΑΣ**

*διά της*

*Επιτροπής Εκπαίδευσης και Ερευνών Τ.Ε.Ι./Μ.*



**ΠΡΟΤΑΣΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΔΗΜΟΣΙΟΥ ΕΝΥΔΡΕΙΟΥ ΣΤΟ ΔΗΜΟ  
ΜΕΝΙΔΙΟΥ Ν. ΑΙΤΩΛΟΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ  
(ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΡΟΜΕΛΕΤΗ)**

**Συντάκτης της μελέτης: Γεώργιος Χώτος, καθηγητής**

**Επιστημονικός Υπεύθυνος: Δρ. Γεώργιος Κατσέλης  
(Επίκουρος Καθηγητής)**

**ΟΜΑΔΑ ΜΕΛΕΤΗΣ**

**Δρ. Γεώργιος Χώτος (Ιχθυολόγος - Καθηγητής)**

**Δρ. Γεώργιος Κατσέλης (Ιχθυολόγος - Επίκουρος Καθηγητής)**

**Δρ. Κοσμάς Βιδάλης (Ιχθυολόγος - Αναπλ. Καθηγητής)**

**Μεσολόγγοι 2008**

## Εισαγωγή

Η παρούσα προμελέτη σκοπεύει να αναλύσει το θέμα της δημιουργίας δημόσιου ενυδρείου στο Δήμο Μενιδίου Αιτωλοακαρνανίας. Ο Δήμος Μενιδίου είναι παράλιος στο Ανατολικό μέρος του Αμβρακικού κόλπου και χαρακτηρίζεται από φυσικό ανάγλυφο με όμορφη ακτογραμμή. Είναι δήμος διαμέσου του οποίου και κατά το μεγαλύτερο μήκος του, διασχίζεται από την εθνική οδό Αντιρρίου – Ιωαννίνων, συνεπώς παρουσιάζει μεγάλη κινητικότητα ταξιδιωτών οι οποίοι μέχρι τώρα σταματούν σε αυτόν για ξεκούραση κυρίως και για φαγητό.

Η Δημοτική Αρχή Μενιδίου ορθά σκεπτόμενη επιθυμεί να καταστήσει το Δήμο κέντρο προσέλκυσης επισκεπτών και για το λόγο αυτό επιθυμεί τη δημιουργία ενός αξιοθέατου που θα συνάδει με τη φυσιογνωμία της περιοχής στην οποία κυρίαρχο λόγο έχει η θάλασσα.

Ένα δημόσιο ενυδρείο (public aquarium) μπορεί να θεωρηθεί ως ένα παράθυρο στον υδάτινο κόσμο ο οποίος όσο θαυμαστός και αν είναι παραμένει απόμακρος και μη προσβάσιμος για τους περισσότερους ανθρώπους. Με ένα ενυδρείο ακόμα και αν θεωρήσουμε ότι μέσω αυτού ρίχνουμε απλώς μια φευγαλέα ματιά στην υδρόβια ζωή που βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του νερού, είτε αυτή ανήκει σε ένα κοραλλιογενές ενυδρείο (coral reef aquarium) είτε στην ντόπια υδρόβια πανίδα και χλωρίδα, κερδίζουμε σε πληροφόρηση για τη ζωή, ευχαριστιόμαστε και (κυρίως για την παιδική ηλικία) μορφωνόμαστε. Ειδικότερα ένα ενυδρείο βοηθά τους επισκέπτες του να κατανοήσουν την ποικιλότητα και την ευθραυστότητα των βιοκοινωνιών οι οποίες βρίσκονται μακριά από το οπτικό μας πεδίο στα δύο περίπου τρίτα του πλανήτη. Η ρύπανση την οποία σήμερα υφίστανται οι ωκεανοί,

οι κλειστές θάλασσες, τα ποτάμια οι λίμνες μας καθώς επίσης και οι επιζήμιες αλιευτικές πρακτικές ομού μετά της υπεραλίευσης που εξασκούν οι άνθρωποι, όλα αποτελούν απειλές για τα υδρόβια είδη και τα οικοσυστήματα.

Σήμερα περισσότερο από ποτέ υπάρχει επείγουσα ανάγκη για μια ευρύτερη κατανόηση από τους πολίτες, των δεσμών μεταξύ ενός υγιούς φυσικού περιβάλλοντος και της αειφορίας του για το μέλλον της ανθρωπότητας.

Ένα ενυδρείο μπορεί να θεωρηθεί και ως ζωντανό μουσείο με εκθέματα ζωντανούς οργανισμούς και κατά άλλη προσέγγιση μπορεί να θεωρηθεί ως το ανάλογο ενός ζωολογικού κήπου. Τα μοντέρνα δημόσια ενυδρεία αναδεικνύουν την αποστολή τους και εστιάζονται στη μόρφωση του κοινού για να ενθαρρύνουν τη διατήρηση της φύσης, θέλοντας να «δηλώσουν» ότι συμβάλουν και αυτά στην αναζήτηση οικολογικών δράσεων του τύπου: *«πως μπορούμε να προστατέψουμε αυτά τα οποία δεν μπορούμε να δούμε;»*. Χωρίς βούληση για προστασία και ενημέρωση – μόρφωση του, ο αντίκτυπος της ανθρωπότητας από τις δράσεις της στις μη ανεξάντλητες πηγές ζωής των θαλασσών, θα συνεχίζει να μεγαλώνει παράλληλα με την άγνοιά μας μέχρι την απευκταία κατάρρευση.

Συγχωνεύοντας την αξία «διασκέδαση» ενός «ζωντανού μουσείου» με το μήνυμα της υπευθυνότητας από ένα δημόσιο ενυδρείο, καλλιεργούμε και ενθαρρύνουμε την ενημερότητα στους επισκέπτες του και συνάμα αναδεικνύουμε την ανάγκη για προστασία ευαίσθητων οικοσυστημάτων. Τα προσεκτικά διαλεγμένα εκθέματα γίνονται έτσι οι «πρεσβευτές» του υδάτινου περιβάλλοντός των.

Συνάδοντας με τον εκθεσιακό τους χαρακτήρα, τα δημόσια ενυδρεία μπορούν να δραστηριοποιηθούν και σε άλλες δράσεις ή τομείς. Μπορούν να είναι συνδεδεμένα με ανώτατα εκπαιδευτικά ιδρύματα, ερευνητικά κέντρα, οικολογικούς φορείς και το εκπαιδευτικό σύστημα εν γένει, έτσι που να έχουν πλειάδα πεδίων δράσης πέραν του εκθεσιακού. Μέσω των δράσεων αυτών (ερευνητικών, οικολογικών, σεμιναριακών, κ.ά.) μπορούν και να καλύψουν μέρος των εξόδων λειτουργίας των.

### Προσέγγιση του θέματος της σύνταξης της προμελέτης

Η παρούσα προμελέτη έχει ως σκοπό να ενημερώσει το Δήμο Μενιδίου για τον τρόπο με τον οποίο θα διαμορφωθεί το επιθυμητό δημόσιο ενυδρείο και τα στοιχεία που αυτό θα περιλαμβάνει. Είναι μια προσέγγιση από βιολογική κυρίως άποψη με έμφαση στα έμβια όντα που θα διατηρούνται εκεί, τις ανάγκες τους και την τεχνολογία που θα στηρίζει αυτή την κατάσταση. Δεν θα προχωρήσει σε λεπτομέρειες κατασκευής διότι αυτό θα αποτελέσει στοιχείο της τελικής μελέτης όταν θα έχουν γίνει γνωστά τα οριστικά στοιχεία χρηματοδότησης, διαθέσιμου χώρου και της τεχνολογικής πολυπλοκότητας που είναι επιθυμητή και εφικτή.

Στην παρούσα προμελέτη θα αναλυθούν τα παρακάτω πεδία τα οποία θα ληφθούν υπ' όψη, θα αναλυθούν περαιτέρω και θα εισέλθουν σε φάση υλοποίησης όταν το σχέδιο ωριμάσει.

1. Αρχές λειτουργίας ενυδρείων. Απαραίτητο για να κατανοηθεί η ιδιαίτερη κατάσταση και απαιτήσεις λειτουργίας αυτών των τεχνητών κατασκευών.
2. Η ιχθυοπανίδα της ευρύτερης περιοχής του Αμβρακικού και του Ιονίου. Απαραίτητο για να τεθούν τα όρια του

- αριθμού των ειδών τα οποία θα εκτεθούν στα ενυδρεία και θα καθορίσουν τη φυσιογνωμία του ενυδρείου ως Μεσογειακού με έμφαση στην ιχθυοπανίδα του Ιονίου.
3. Αρχές υδροληψίας και χρήσης - καθαρισμού του νερού στα ενυδρεία. Απαραίτητο διότι πρόκειται για ενυδρείο θαλασσινού τύπου (χωρίς να αποκλείονται και ορισμένα εκθέματα γλυκού νερού), και η άντληση νερού από τη θάλασσα θα πρέπει να είναι υψηλών προδιαγραφών.
  4. Αρχές σωστής έκθεσης των ψαριών στα ενυδρεία. Ακρως απαραίτητο διότι λαμβάνοντας υπ' όψη τα αναφερόμενα στο παρόν η κατασκευή του ενυδρείου θα σχεδιαστεί έτσι που να προσφέρει εργονομία, πρακτικότητα και απόλαυση στο κοινό.
  5. Διάρθρωση της τελικής πρότασης ως προς τις κατευθυντήριες γραμμές για την οριστική μελέτη του ενυδρείου του Δήμου Μενιδίου. Πρόκειται για συγκερασμό των παραπάνω εδαφίων 1,2,3,4 κ' 5 και θα δίνει το γενικό περίγραμμα υλοποίησης.

## **1. ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΝΥΔΡΕΙΩΝ**

### **Το ενυδρείο - Γενικές αρχές κατασκευής**

Ένα ενυδρείο είναι ένας περιορισμένος όγκος νερού που περιέχει ένα συνδυασμό αιχμαλωτισμένων οργανισμών, επιθυμητών και ανεπιθύμητων. Πρόκειται για ένα ασταθές σύστημα το οποίο για να εξομαλύνει τη λειτουργία του πρέπει να έχει σχεδιαστεί και λειτουργήσει ορθολογικά.

Με το που γεμίζει με νερό ένα ενυδρείο αρχίζουν και οι αλλαγές στη χημεία του νερού και οι οποίες μεγεθύνονται όσο αυξάνεται η βιομάζα των αιχμάλωτων ζώων. Σε αντίθεση με

συστήματα ενυδρείων όπου υπάρχει συνεχής ροή και ανανέωση του νερού με φρέσκο, δηλαδή τα επονομαζόμενα ενυδρεία ροής ανοικτού τύπου, το κλασικού τύπου ενυδρείο το οποίο μας απασχολεί και στην παρούσα προμελέτη είναι αυτό του κλειστού τύπου, δηλαδή αυτό κατά τον οποίο το νερό που περιέχεται στο ενυδρείο συνεχώς ανακυκλώνεται δηλαδή επαναχρησιμοποιείται. Τα κλειστά ή ανακυκλούμενου νερού ενυδρεία διαθέτουν ανεξαρτησία απέναντι στις περιβαλλοντικές μεταβολές κάτι που δεν διαθέτουν τα ανοικτά συστήματα, όμως από την άλλη μεριά οι οργανισμοί των ενυδρείων με ανακυκλούμενο νερό συνεχώς μεταβάλλουν τη σύνθεση του ενυδρειακού νερού. Χωρίς έλεγχο αυτών των μεταβολών του νερού πολύ σύντομα το περιβάλλον θα γίνει τοξικό για τη ζωή των διατηρούμενων ζώων (ψαριών κ.ά.). Όταν κατασκευάζεται ένα ενυδρείο με ανακυκλούμενο νερό, ανεξάρτητα από το μέγεθός του, πρωταρχικό σκοπό αποτελεί η τιθάσευση της διαδικασίας τοξικότητας του νερού και ως εξ' αυτού ο έλεγχος της ποιότητας του νερού.

Οι μέθοδοι ελέγχου της ποιότητας ποικίλουν, εξαρτώμενοι από παραμέτρους όπως το μέγεθος και η πολυπλοκότητα του συστήματος καθώς και το πλήθος των αιχμάλωτων ζώων ομού μετά της ευαισθησίας των ειδών που θα υποστούν την αιχμαλωσία. Γενικά οι μέθοδοι χαρακτηρίζονται πρωτίστως από τη διασφάλιση της παροχής καλής ποιότητας φρέσκου νερού προς τα ενυδρεία και κατόπιν από τη διατήρηση της ποιότητάς του με συνεχή απομάκρυνση των συσσωρευόμενων μεταβολιτών όπως η αμμωνία και το διοξείδιο του άνθρακα και με τη διατήρηση των κατάλληλων επιπέδων της θερμοκρασίας του pH και του διαλυμένου οξυγόνου. Η διατήρηση της ποιότητας του νερού επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας ορισμένους συνδυασμούς (ως

προς την ένταση και αριθμό διαδικασιών) ενεργειών όπως η οξυγόνωση του νερού, το φιλτράρισμα (καθαρισμός του), η ρύθμιση της θερμοκρασίας και όλα αυτά σε περιβάλλον με ποικίλη ένταση ανακύκλωσης του νερού. Παρακάτω αναλύονται οι μέθοδοι και διαδικασίες ελέγχου της ποιότητας των ενυδρειακών νερών.

### **Φίλτρανση του νερού – Τύποι φίλτρων**

Ο σκοπός των φίλτρων είναι να απομακρύνουν τις βρώμικες ή ρυπαντικές ύλες από το νερό του ενυδρείου. Τα φίλτρα απαιτούν συνεχή συντήρηση δεδομένου ότι συσσωρεύουν βρώμικο υλικό και από αυτή τη βρώμικη ύλη (η οποία επιβάλλει απόρριψη μετά από ορισμένο χρόνο) θα διέρχεται συνεχώς το νερό. Τα φίλτρα διακρίνονται στους παρακάτω τύπους ανάλογα με το κύριο καθαριστικό – εξυγιαντικό έργο που επιτελούν:

**Μηχανικά φίλτρα – μηχανικό φιλτράρισμα.** Απομακρύνουν δια της κατακράτησης τα αιωρούμενα στερεά σωματίδια του νερού ανόργανα ή οργανικά.

**Χημικά φίλτρα – χημικό φιλτράρισμα.** Απομακρύνουν διαλυμένες ενώσεις – μόρια του νερού.

**Βιολογικά φίλτρα – βιολογικό φιλτράρισμα.** Αποτελούν τη βασικότερη μονάδα καθαρισμού του νερού δεδομένου ότι με τη βοήθεια βακτηριδιακών πληθυσμών (βακτηρίδια των γενών *Nitrosomonas* και *Nitrobacter*) που αναπτύσσονται στο εσωτερικό τους, οξειδώνουν (και απομακρύνουν) την τοξική αμμωνία που παράγεται από το μεταβολισμό των τροφών σε ακίνδυνα νιτρικά ιόντα. Επίσης ρυθμίζουν το pH του νερού. Το βιολογικό φιλτράρισμα είναι η σπουδαιότερη διεργασία καθαρισμού στο ενυδρείο.

Στα μηχανικά και χημικά φίλτρα ο καθαρισμός του νερού γίνεται δια της διέλευσης μέσω του κατάλληλου υλικού, το οποίο βρίσκεται «πακεταρισμένο» σε ένα ειδικό δοχείο ή κύλινδρο τοποθετημένο μέσα ή έξω από το ενυδρείο. Στην πλειονότητα των περιπτώσεων το υλικό βρίσκεται σε στρώσεις όπου η μία στρώση (ή περισσότερες) επιτελεί μηχανική κατακράτηση (π.χ. υαλοβάμβακας, χαλίκι, κ.λπ.) και η άλλη χημική κατακράτηση (ενεργός άνθρακας), δηλαδή μηχανικό και χημικό φιλτράρισμα ταυτοχρόνως (σε κάθε μία διέλευση του νερού).

Στο μηχανικό φίλτρο το υλικό πλήρωσης πρέπει να είναι ειδικό για ενυδρεία και μη τοξικό. Όταν στομώσει μπορεί να καθαριστεί καλά δια κατάλληλων πλύσεων και να ξαναχρησιμοποιηθεί.

Ο ενεργός άνθρακας είναι το καλύτερο υλικό για το χημικό φιλτράρισμα. Χαρακτηρίζεται από πολύ μεγάλη επιφάνεια των κόκκων του για τον όγκο που καταλαμβάνουν και η δράση του μπορεί να παρομοιασθεί με την απορρόφηση ενός σφουγγαριού. Μέσα στους πόρους του μπορεί να συγκρατήσει αζωτούχα υποπροϊόντα (και την αμμωνία), και κάθε είδους διαλυμένα μόρια – ρυπαντές. Μπορεί όμως να συγκρατήσει και ενδεχόμενα χρήσιμα υλικά που εμείς κατά περίπτωση προσθέτουμε στο νερό π.χ. φάρμακα, γι' αυτό δεν συνιστάται να λειτουργεί το χημικό φίλτρο σε τέτοιες περιπτώσεις. Δυστυχώς παρ' όλη την εξαιρετική δουλειά που κάνει, οι πόροι του φράσουν γρήγορα και χρειάζεται αντικατάσταση. Όταν ο ενεργός άνθρακας έχει στομώσει δεν μπορεί πλέον να συγκρατήσει άλλο υλικό. Η διαπίστωση όμως αυτής της αδυναμίας μπορεί να περάσει απαρατήρητη, μια και το νερό θα κυκλοφορεί και τίποτε δεν μπορεί να μας ειδοποιήσει οπτικά. Είναι θέμα εμπειρίας, και συνιστάται να γίνεται το εξής

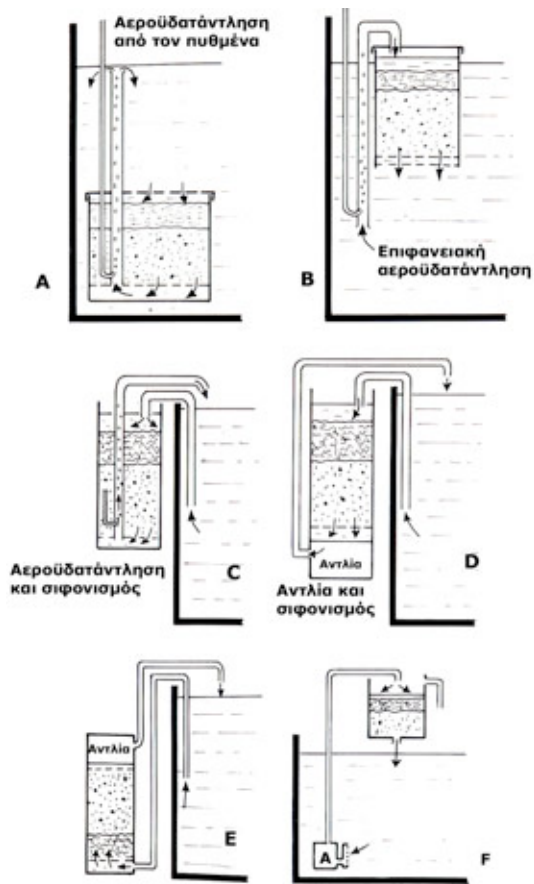


τεστ: Προσθέτοντας λίγες σταγόνες μη τοξικής χρωστικής (π.χ. μπλε του μεθυλενίου) στο σημείο εισόδου του νερού στο χημικό φίλτρο, παρατηρούμε το χρώμα του νερού που θα εξέλθει από το στόμιο εξόδου. Εάν επανεμφανισθεί η χρωστική σημ αίνει ότι ο ενεργός άνθρακας δεν έχει πλέον περαιτέρω ικανότητα συγκράτησης ουσιών. Χρειάζεται αντικατάσταση. Επιπρόσθετα με τις παραπάνω βασικές τους διεργασίες, τα φίλτρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για να αλλάξουν κατά τα επιθυμητά τη χημική σύσταση του νερού. Μπορούν να περιέχουν τύρφη για να σταθεροποιήσουν όξινα γλυκά νερά για μερικά ψάρια (π.χ. δίσκοι), ή ειδικές ιοντοανταλλακτικές ρητίνες οι οποίες μπορούν να μειώσουν την σκληρότητα του νερού.

Η πλήρης κατανόηση της λειτουργίας των φίλτρων είναι ουσιαστικότερη για το σχεδιασμό των ενυδρείων. Εάν το μηχανικό και το βιολογικό φίλτρο πρόκειται εκ του σχεδιασμού να αποτελέσουν μια ενιαία μονάδα καθαρισμού του νερού (όπως είναι το σύνηθες), τότε θα πρέπει το μηχανικό φιλτράρισμα να προηγείται του βιολογικού, χρησιμοποιώντας πρώτα τα πιο αδρά υλικά πλήρωσης του φίλτρου στη σειρά στη ροή του νερού, έτσι ώστε να καθυστερήσει χρονικά όσο το δυνατόν περισσότερο η φραγή (μπούκωμα) του φίλτρου. Στα μικρού μεγέθους φίλτρα θα πρέπει να δίδεται η δυνατότητα για την μετακίνηση και τον καθαρισμό του υλικού πλήρωσης είτε πρόκειται για τούλι, σπόγγο, ή νημ άτια, χωρίς να επηρεάζεται το αντίστοιχο υλικό του βιολογικού φίλτρου (άμμος, χαλίκι, πλαστικά δαχτυλίδια κ.ά.). Είναι γεγονός ότι οποιαδήποτε στερεά επιφάνεια στο φίλτρο (μηχανικό και βιολογικό) θα συμβάλλει στη βιολογική δράση, εφόσον η ροή του νερού διαμέσου του φίλτρου διατηρείται σε μη απαγορευτικές ταχύτητες. Αυτό θα γίνει επειδή οι μικροβιακοί πληθυσμοί θα

αναπτυχθούν επάνω σε κάθε είδους στερεό που βρέχεται από το νερό. Το πόσο μεγάλοι θα γίνουν αυτοί οι πληθυσμοί εξαρτάται από τη συνολική διαθέσιμη επιφάνεια δηλαδή τη λεγόμενη ειδική επιφάνεια (SSA – Specific Surface Area), η οποία αυξάνεται ανά μονάδα όγκου υλικών ( $m^2/m^3$ ) όσο το πορώδες των μέσων πλήρωσης του φίλτρου αυξάνεται.

Μια σημαντική παράμετρος για την αδιατάρακτη λειτουργία του φίλτρου είναι η σταθερή ροή νερού δια μέσου αυτού. Κάτι τέτοιο απαιτείται για την επιβίωση και λειτουργία των αερόβιων βακτηριδίων του φίλτρου μια και τα επιθυμητά είδη που επιδιώκουμε να αποικίσουν το φίλτρο είναι αερόβια και έχουν ανάγκη από ικανή συγκέντρωση οξυγόνου η οποία δεν μπορεί παρά να εξασφαλίζεται με το διερχόμενο από το φίλτρο νερό. Διακοπή της ροής του νερού σημαίνει αναστολή της βιολογικής λειτουργίας των χρήσιμων νιτροποιητικών βακτηριδίων (*Nitrosomonas – Nitrobacter*), ή και χάσιμο των πληθυσμών τους, αύξηση αναερόβιων βακτηριδίων με τοξικά μεταβολικά προϊόντα (π.χ. υδρόθειο) και τελικά αναστολή της εν γένει λειτουργίας του φίλτρου. Αν κάτι τέτοιο ήθελε παρόλα αυτά συμβεί, τότε το φίλτρο θα πρέπει τάχιστα να καθαριστεί - ξεπλυθεί έξω από το ενυδρείο.



Σχήμα 1. Τρόποι και τοποθετήσεις φίλτρων σε ενυδρεία. Α & Β: εσωτερικά στο ενυδρείο.

Γ, Δ, Ε & Ζ: εξωτερικά του ενυδρείου. Όλα τα φίλτρα πραγματοποιούν μηχανικό (κατακράτηση στερεών) και βιολογικό (οξειδωση αμμωνίας) φιλτράρισμα.

Στα Δ, Ε & Ζ το νερό αντλείται με αντλία. Στα υπόλοιπα με τη διοχέτευση αέρα (air-lift ή αερούδατάντληση).

Με τη χρήση εξωτερικού φίλτρου και σιφωνισμό του νερού (Σχήμα 1, Γ & Δ), το νερό αντλείται από το ενυδρείο προς το φίλτρο είτε με αντλία είτε με αερο-υδατάντληση. Για πολύ μεγάλα ενυδρεία το φίλτρο μπορεί να τοποθετηθεί εξωτερικά και πάνω από το ενυδρείο (Σχήμα 1, Ζ), μόνο που σε αυτή την περίπτωση απαιτείται επισταμένη επιθεώρηση και καθαρισμός του φίλτρου δεδομένου ότι αν αυτό φράξει, το νερό υπερχειλίζοντας θα επιστρέφει στο ενυδρείο μεταφέροντας πίσω τους στερεούς ρυπαντές που δεν συγκρατήθηκαν στο φίλτρο.

Ο καθαρισμός του ενυδρειακού νερού με φίλτρο βυθού συνίσταται σε μια παχιά στρώση χαλικιών – άμμου στο βυθό του ενυδρείου επάνω από ένα διάτρητο ψευδοπυθμένα. Το νερό διαπερνά το χαλικοειδές στρώμα και φιλτράρεται σε αυτό με τη βοήθεια αερούδατάντλησης που το υποχρεώνει να κινηθεί

κατάλληλα. Στο Σχήμα 2 φαίνονται δύο τρόποι κίνησης του νερού διαμέσου του φίλτρου βυθού. Το φίλτρο βυθού χρησιμοποιείται σε ενυδρεία είτε αυτόνομα είτε σε συνδυασμό με φίλτρα υψηλής κατακράτησης όπως αυτό της διατομικής γης τα οποία είναι μηχανικά φίλτρα πολύ μεγάλης δυνατότητας καθαρισμού του νερού από κάθε τύπο μικροσωματιδίων. Το φίλτρο βυθού καλύπτει όλη την επιφάνεια του πυθμένα και θεωρείται πολύ αποδοτικό στο βιολογικό καθαρισμό του νερού.

Η καλή λειτουργία του φίλτρου βυθού έγκειται στην ομαλή και ισοκατανεμημένη ροή του νερού διαμέσου όλης της έκτασής του. Πιθανοί καναλισμοί σε αυτό λόγω μπουκώματος ορισμένων περιοχών του μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα στο ενυδρείο και να ακυρώσουν την ευεργετική δράση του φίλτρου. Αυτό θα συμβεί επειδή οι όποιες περιοχές που δεν επιτρέπουν τη διέλευση του νερού θα γίνουν αναερόβιες με συσσώρευση οργανικών σκουπιδιών και παραγωγή τοξικών ουσιών (υδρόθειο, νιτρώδη). Τα φίλτρα βυθού απαιτούν συχνό καθαρισμό των επιφανειακών τους στρωμάτων, επειδή εκεί συγκρατούνται τα σωματίδια του φιλτραριζόμενου νερού σε ποσότητες που ποικίλουν με το οργανικό φορτίο του ενυδρείου. Σε κάθε περίπτωση πάντως, τα ενυδρεία που χρησιμοποιούν φίλτρο βυθού πρέπει να οξυγονώνονται με αερισμό του νερού (για να μην στερηθούν του οξυγόνου τα αερόβια νιτροποιητικά βακτηρίδια που αναπτύσσονται στην επιφάνεια των χαλικιών).



Σχήμα 2. Φίλτρο βυθού σε ενυδρείο με κανονική (συνήθη) ροή νερού (επάνω σχήμα) και αντίστροφη ροή (κάτω σχήμα).

Και τα δύο λειτουργούν με αερούδατάντληση (air-lift pump). Στο κανονικής ροής, τα όποια σκουπίδια συκρατούνται στα πάνω στρώματα του φίλτρου, στο αντίστροφης ροής συκρατούνται εν δυνάμει στα κάτω στρώματα. Όμως στο φίλτρο βυθού αντίστροφης ροής, η ροή του νερού μπορεί πριν εισέλθει στο φίλτρο βυθού να περάσει με αντλία διαμέσου ενός δοχείου μηχανικού φίλτρου, έτσι που εκεί να συκρατηθούν τα αιωρούμενα στερεά (σκουπίδια). Έτσι το φίλτρο νερού απαλλαγμένο από το φορτίο των στερεών θα δράσει πολύ αποτελεσματικά μόνο ως βιολογικό φίλτρο.

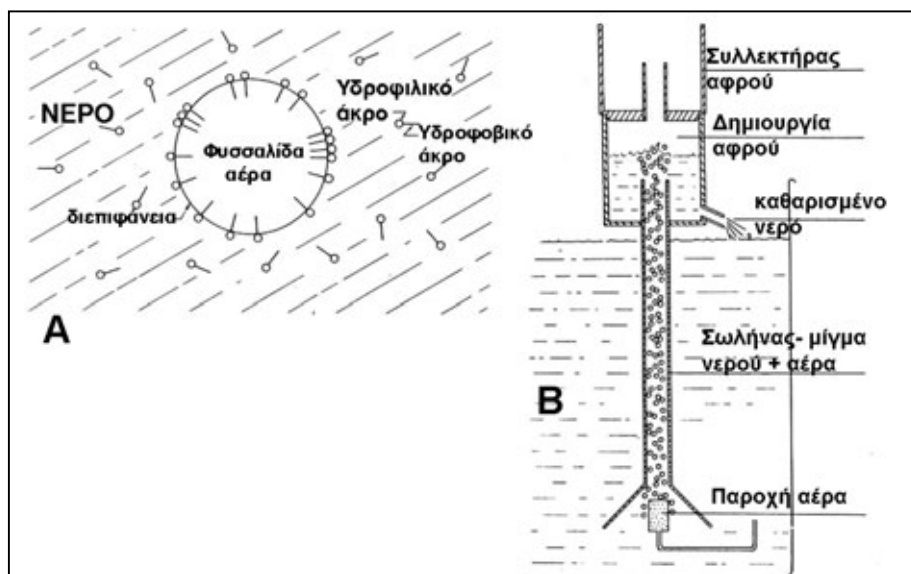
### Απομάκρυνση πολύ λεπτών αιωρούμενων στερεών και διαλυμένων στερεών

Η μεγαλύτερη ποσότητα, από τα πολύ λεπτά αιωρούμενα και τα διαλυμένα στερεά που δημιουργούνται στο νερό ενός κλειστού συστήματος, δεν μπορούν να απομακρυνθούν με τις συνήθεις διαδικασίες μηχανικού φιλτραρίσματος. Για να απαλλάξουμε το σύστημα από αυτά, χρησιμοποιείται η διαδικασία του διαχωρισμού δια αφρού ή άλλως πως, **αφροποίηση** (foam fractionation ή air-stripping ή **protein skimming**). Αν και με τη διαδικασία αυτή, δεν απαλλάσσεται πλήρως το νερό από αυτά, η συνεχής λειτουργία της αφροποίησης τα διατηρεί σε χαμηλά επίπεδα.

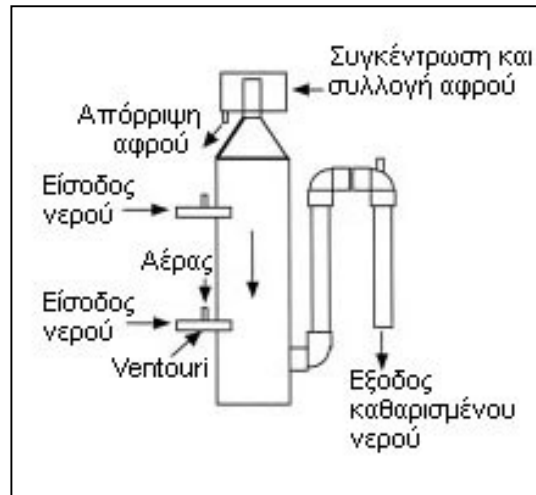
Ο όρος αφροποίηση γενικά, σημαίνει τη διοχέτευση αέρα στο κάτω μέρος ενός κλειστού σωλήνα γεμάτο με νερό, με αποτέλεσμα το σχηματισμό αφρού στην επιφάνεια του σωλήνα. Η αφροποίηση απομακρύνει τις διαλυμένες στο νερό οργανικές ενώσεις (Dissolved Organic Compounds – DOC), δια της φυσικής

διαδικασίας της προσρόφησής των (προσοχή! **προσρόφηση και όχι απορρόφηση**) στην επιφάνεια των φυσαλίδων του αέρα. Τελικά, τόσο τα διαλυμένα οργανικά συστατικά, όσο και τα λεπτά αιωρούμενα που παγιδεύονται στον αφρό της επιφάνειας, καταλήγουν ως μια βρώμικη υγρή μάζα που συλλέγεται σε ειδικά προσαρμοσμένο δοχείο και αποχετεύεται κατάλληλα (Σχήμα 3).

Οι κύριοι παράγοντες που καθορίζουν την αποτελεσματικότητα της αφροποίησης, είναι το μέγεθος των φυσαλίδων και ο χρόνος επαφής μεταξύ των φυσαλίδων και των οργανικών ενώσεων. Αν ο σχεδιασμός γίνει έτσι που το νερό να ρέει αντίθετα προς την ανοδική κίνηση των φυσαλίδων, τότε ο χρόνος επαφής μεγιστοποιείται με αποτέλεσμα περισσότερη δημιουργία αφρού (Σχήματα 3 & 4).



Σχήμα 3. Διαγραμματική απεικόνιση της αρχής λειτουργίας της αφροποίησης. Δεξιά (B) απεικονίζεται η βασική και απλή κατασκευή ενός αφροποιητή. Στο κάτω μέρος του σωλήνα παρέχεται αέρας. Ο αέρας υπό μορφή φυσαλίδων αναμιγνυόμενος με το νερό, δημιουργεί ανυψούμενο ρεύμα στη στήλη. Κατά την άνοδό τους, οι φυσαλίδες έρχονται σε επαφή με τα οργανικά μόρια του νερού. Τα οργανικά μόρια (A) έχουν ένα υδρόφοβο και ένα υδρόφιλο άκρο. Στη φυσαλίδα του αέρα και στη διεπιφάνεια νερού-αέρα, τα οργανικά μόρια προσροφούνται και διατάσσονται κατάλληλα. Τελικά με το «σκάσιμο» των φυσαλίδων στην επιφάνεια δημιουργείται βρώμικος αφρός (B) ο οποίος συλλέγεται και απορρίπτεται.



Σχήμα 4.. Διαγραμματική απεικόνιση εξελεγμένου τύπου αφροποιητή. Το νερό εισέρχεται στη στήλη βεβιασμένα με τη χρήση αντλίας. Κατά την είσοδό του, υπάρχει ανοιχτή οπή από την οποία αναρροφάται ατμοσφαιρικός αέρας, ο οποίος θα αναμιχθεί με το νερό (ventouri). Μέσα στη στήλη, νερό και αέρας ρέουν αντίθετα και αναμιγνύονται καλά, με αποτέλεσμα μεγάλη παραγωγή αφρού. Ο σωλήνας εξόδου του νερού είναι σχήματος Π με σκοπό τη διατήρηση στάθμης νερού.

### Βιολογικό φιλτράρισμα

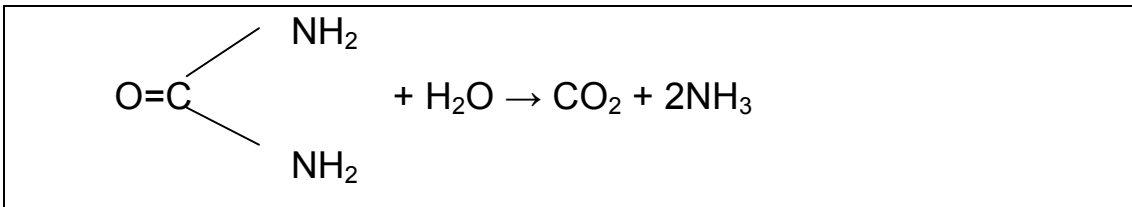
Ως βιολογικό φιλτράρισμα αναγνωρίζεται η παρακάτω αλληλουχία διεργασιών:

1. Μετατροπή των οργανικών αζωτούχων ενώσεων σε αμμωνία
2. Νιτροποίηση
3. Απονιτροποίηση

Ολες αυτές οι χημικές διεργασίες εκτελούνται από βακτηρίδια που υπάρχουν μέσα στο κάθε σύστημα. Υπάρχουν είτε ελεύθερα σε όλη τη στήλη του νερού, είτε προσκολλημένα σε κάθε στερεό σώμα ή επιφάνεια που βρέχεται από το νερό. Η πυκνότητά τους είναι μεγαλύτερη σε στερεά σώματα με μεγάλο λόγο επιφάνειας/όγκου και ως εκ τούτου το κύριο μέρος συγκέντρωσής των βρίσκεται στους κόκκους του φίλτρου (βυθού ή εξωτερικό) που εξυπηρετεί το ενυδρείο ή το κλειστό σύστημα. Υπάρχουν

βακτηρίδια από όλες τις κατηγορίες δηλαδή αερόβια, αναερόβια, αυτότροφα και ετερότροφα.

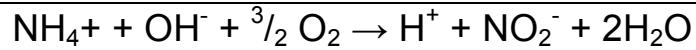
Η πρώτη χημική διεργασία στο βιολογικό φίλτρο γίνεται σε δύο φάσεις, την λεγόμενη αμμωνοποίηση και την απαμμωνοποίηση. Η αμμωνοποίηση γίνεται δια μέσου ετερότροφων βακτηριδίων. Τα ετερότροφα χρησιμοποιούν ως πηγή ενέργειας οργανικές αζωτούχες ενώσεις που απεκκρίνονται από τα ψάρια (ή άλλους υδρόβιους οργανισμούς) και τις οποίες μετατρέπουν σε απλές ενώσεις όπως η αμμωνία ( $\text{NH}_3$ ). Κατά την αμμωνοποίηση οι πρωτεΐνες και τα νουκλεϊκά οξέα των οργανικών ουσιών μετατρέπονται σε αμινοξέα και οργανικές αζωτοβάσεις. Κατά την απαμμωνοποίηση αυτά τα προϊόντα μετατρέπονται μαζί και με ένα άλλο μέρος των πρωτεϊνών και νουκλεϊκών οξέων σε αμμωνία. Ένα παράδειγμα είναι η διάσπαση της ουρίας [ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ] σε διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) και αμμωνία κατά την αντίδραση:



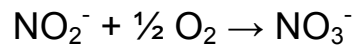
Με τη μετατροπή των αζωτοβάσεων σε αμμωνία ενεργοποιείται και η δεύτερη διεργασία του βιολογικού φιλτραρίσματος η νιτροποίηση. Ως νιτροποίηση αναγνωρίζεται η βιολογική οξειδωση της αμμωνίας σε νιτρώδη ( $\text{NO}_2^-$ ) και νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ ) ιόντα. Οι οξειδώσεις αυτές πραγματοποιούνται από αυτότροφα βακτηρίδια. Τα αυτότροφα νιτροποιητικά βακτηρίδια χρησιμοποιούν ως πηγή ενέργειας ανόργανο αζωτούχο υπόστρωμα (αμμωνία) και ως πηγή άνθρακα διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ). Τα βακτηρίδια αυτά ανήκουν κυρίως στα γένη *Nitrosomonas* και *Nitrobacter*. Τα βακτηρίδια *Nitrosomonas* spp.



οξειδώνουν την αμμωνία σε νιτρώδη. Τα *Nitrobacter* spp. οξειδώνουν τα νιτρώδη σε νιτρικά. κατά τις παρακάτω αντιδράσεις:



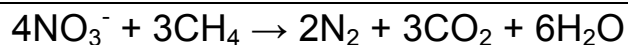
$$\Delta G^\circ = -59,4 \text{ Kcal}$$



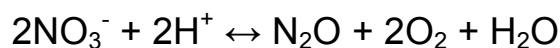
$$\Delta G^\circ = -18 \text{ Kcal}$$

Καθώς φαίνεται από τις παραπάνω αντιδράσεις οι οξειδώσεις αυτές παρουσιάζουν μια πτώση της ελεύθερης ενέργειάς τους ( $\Delta G^\circ$ ). Η σπουδαιότητα αυτών των αντιδράσεων για το βιολογικό φιλτράρισμα έγκειται στο ότι μετατρέπουν την τοξική αμμωνία σε μη τοξικά νιτρικά.

Η τρίτη και τελευταία διεργασία στο βιολογικό φιλτράρισμα είναι η απονιτροποίηση. Ως απονιτροποίηση ορίζεται η βιολογική αναγωγή των νιτρικών ή των νιτρωδών ιόντων, είτε σε υποοξείδιο του αζώτου ( $\text{N}_2\text{O}$ ), είτε σε αέριο άζωτο ( $\text{N}_2$ ). Η απονιτροποίηση μπορεί να πραγματοποιηθεί από αμ φότερα ετερότροφα και αυτότροφα βακτηρίδια. Μπορεί επίσης να γίνει και σε αερόβιες και σε αναερόβιες συνθήκες. Οι χημικές αντιδράσεις που επισυμβαίνουν είναι οι παρακάτω:



$$\Delta G^\circ = -475 \text{ Kcal}$$

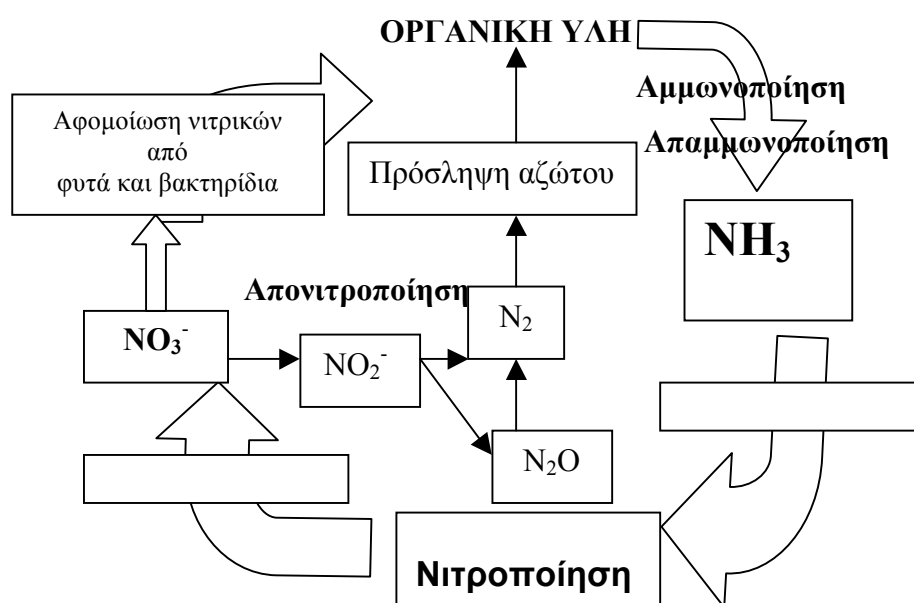


$$\Delta G^\circ = +21 \text{ Kcal}$$

Όπως φαίνεται από τις παραπάνω αντιδράσεις όταν το υδρογόνο (H) το απαιτούμενο για την αναγωγή προέρχεται από οργανική ένωση (π.χ.  $\text{CH}_4$ ) τότε υπάρχει μείωση της ελεύθερης ενέργειας. Αντίθετα, όταν προέρχεται από ιονισμό ( $\text{H}^+$ ) τότε υπάρχει αύξηση της ελεύθερης ενέργειας.

Η απονιτροποίηση διχάζει τους ειδικούς. Άλλοι υποστηρίζουν ότι πρέπει να ενθαρρύνεται στα κλειστά συστήματα επειδή μετατρέπει τα νιτρικά σε αέριο άζωτο που διαφεύγει στην ατμόσφαιρα, και άλλοι ότι πρέπει να αποφεύγεται επειδή ανεξάρτητα από το τελικό προϊόν της ( $N_2$  ή  $N_2O$ ) ενδιάμεσα δημιουργούνται νιτρώδη ( $NO_2^-$ ) τα οποία είναι τοξικά για τα ψάρια. Σε τέτοιες περιπτώσεις μπορεί τα νιτρώδη να σταθεροποιηθούν σε υψηλά τοξικά επίπεδα και ότι κερδήθηκε με τη νιτροποίηση (οξειδωση των τοξικών νιτρωδών σε ακίνδυνα νιτρικά) να ξαναχθεί δια της επανεμφάνισης των νιτρωδών δια μέσου μιας ατελώς λειτουργούσας απονιτροποίησης.

Όλες οι παραπάνω διεργασίες που αναφέρθηκαν είναι μέρη του κύκλου του αζώτου. Οι μηχανισμοί είναι οι ίδιοι στη φύση και στην αιχμαλωσία, τα αποτελέσματα όμως όχι. Η διασπορά των ζώων στη φύση ως μέτρο αντιμετώπισης των περιβαλλοντικών πιέσεων δεν μπορεί να αντιγραφεί στην αιχμαλωσία. Τα αιχμαλωτισμένα ζώα βρίσκονται στο «έλεος» του περιορισμένου χώρου και η επιβίωσή τους εξαρτάται από το ρυθμό των ζωτικών μετατροπών που αναφέρθηκαν παραπάνω.



Τα πλέον χρησιμοποιούμενα βιολογικά φίλτρα στα συστήματα ενυδρείων ανήκουν σε δύο τύπους. Τα φίλτρα καταιονισμού (trickling filters) και τα φίλτρα ρευστοποιημένης κλίνης (fluidized bed filters).

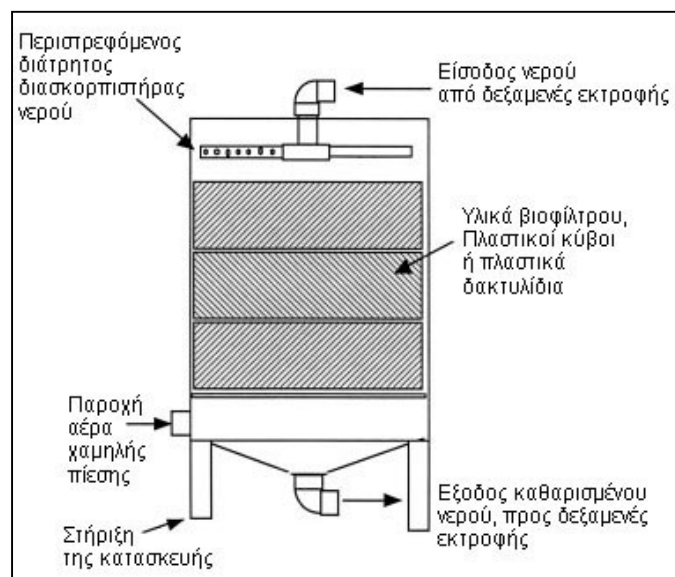
### **Φίλτρα καταιονισμού (Trickling filters)**

Τα φίλτρα καταιονισμού που χρησιμοποιούνται στα ενυδρεία, έχουν εξελιχθεί από αυτά που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων. Αυτός ο τύπος φίλτρου, αποτελείται από ένα σύστημα διανομής νερού επάνω από ένα κύλινδρο (αντιδραστήρα), γεμάτο με αδρανή (συνήθως πλαστικά) υλικά τα οποία έχουν ειδική επιφάνεια λιγότερο από  $330 \text{ m}^2/\text{m}^3$ . Η όλη κατασκευή (Σχήμα 5), δημιουργεί μεγάλο όγκο κενού (**αναλογία κενού**), στον όγκο που καταλαμβάνει το υλικό πλήρωσης.

Τα φίλτρα καταιονισμού, λειτουργούν χωρίς να βρίσκονται βυθισμένα στο νερό και εξ' αυτού του λόγου, παρέχουν νιτροποίηση, αερισμό και σε ένα βαθμό απαερισμό του διοξειδίου του άνθρακα, στην ίδια μονάδα ταυτόχρονα. Ο ρυθμός της ροής του νερού δια μέσου ενός φίλτρου καταιονισμού, περιορίζεται μόνο από τον κενό χώρο μέσα από τον οποίον μπορεί να περάσει το νερό. Σε γενικές γραμμές, όσο πιο μεγάλο είναι το κενό (void fraction) των στοιβαγμένων πλαστικών μέσων πλήρωσης, τόσο πιο πολύ νερό μπορεί να διέλθει ανά  $\text{m}^2$  εγκάρσιας επιφάνειας του φίλτρου. Το κύριο μειονέκτημα των φίλτρων καταιονισμού, είναι ο σχετικά μεγάλος όγκος που καταλαμβάνουν και η μάλλον ακριβή τιμή των πλαστικών μέσων πλήρωσης. Επιπρόσθετα, και πριν το προς κατεργασία νερό εισέλθει σε αυτά, θα πρέπει να έχει πρώτα φιλτραριστεί καλά σε μηχανικό φίλτρο, έτσι ώστε να έχει απαλλαγεί από τα αιωρούμενα στερεά του. Νερό με μεγάλη περιεκτικότητα σε

στερεά, σημ αίνει γρήγορο στόμωμα (μπούκωμα) του φίλτρου καταιονισμού. Θα πρέπει να έχει ληφθεί υπόψη για το σχεδιασμό και την κατασκευή της στήριξης του φίλτρου καταιονισμού, το πρόσθετο βάρος που σταδιακά αυτό αποκτά, λόγω της ανάπτυξης βιομάζας επάνω στα υλικά πλήρωσης.

Με τα φίλτρα καταιονισμού αναμένεται ικανότητα απομάκρυνσης  $90\text{g TAN/m}^3/\text{day}$ . Γενικά, χρησιμοποιώντας τα φίλτρα καταιονισμού στα κλειστά συστήματα ως βιολογικά φίλτρα και υποθέτοντας (με αρκετή ακρίβεια) ό τι το 2,5% της τροφής μετατρέπεται σε TAN, τότε για το σχεδιασμό του φίλτρου θεωρούμε ότι η ικανότητά του βρίσκεται στην περιοχή των  $3,6\text{ kg τροφής/ημέρα/m}^3$  υλικού πλήρωσης.

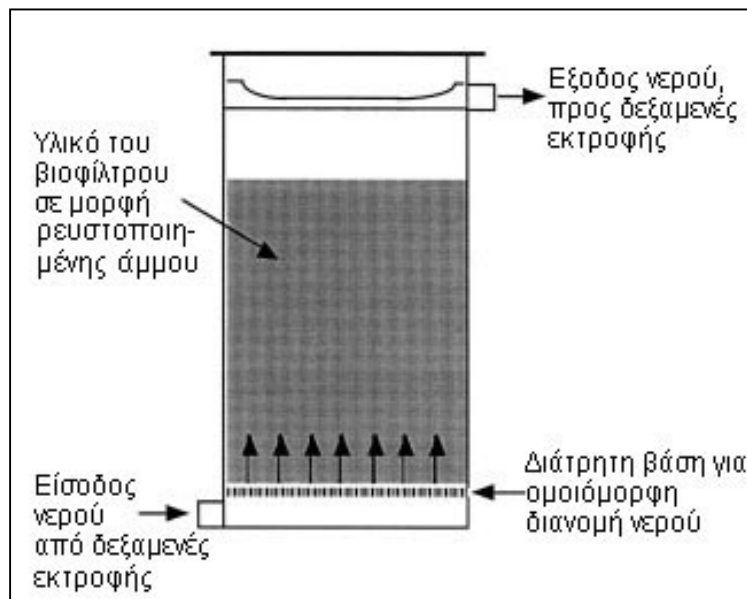


Σχήμα 5.. Βιολογικό φίλτρο καταιονισμού (trickling filter). Πρόκειται για βιολογικό φίλτρο μη βυθισμένο στο νερό. Το νερό διασκορπίζεται ομοιόμορφα στο πάνω μέρος του αντιδραστήρα.

### Φίλτρα ρευστοποιημένης κλίνης (ή άμμου) (Fluidized bed filters)

Τα φίλτρα ρευστοποιημένης κλίνης (άμμου) είναι στην ουσία φίλτρα άμμου, τα οποία λειτουργούν συνεχώς στην κατάσταση

διόγκωσης, (δηλαδή διόγκωση του στρώματος της άμμου όπως κατά τον καθαρισμό του φίλτρου μέσω αντιστροφής της ροής του νερού- backwashing). Το νερό ρέει προς τα άνω δια μέσου της κλίνης της άμμου, με ταχύτητα τέτοια που σηκώνει και διογκώνει (ρευστοποιεί) το στρώμα της άμμου και διατηρεί τους κόκκους της σε κίνηση, έτσι που πλέον δεν βρίσκονται σε σταθερή επαφή μεταξύ τους (Σχήμα 6).



Σχήμα 6.. Διαγραμματική και απλοποιημένη αναπαράσταση βιολογικού φίλτρου τύπου ρευστοποιημένης κλίνης άμμου.

Τα φίλτρα ρευστοποιημένης κλίνης, χρησιμοποιούν άμμο με μέση διάμετρο κόκκων μικρότερη από αυτήν που χρησιμοποιείται στις ανάλογες κατασκευές για την απομάκρυνση των στερεών. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και πλαστικές χάντρες με πυκνότητα ελαφρώς μεγαλύτερη από το νερό.

Η ρευστοποιημένη κλίνη, αποτελεί εξαιρετικό μέσο για την ανάπτυξη των νιτροποιητικών βακτηριδίων, δημιουργώντας έτσι υψηλή νιτροποιητική ικανότητα σε μια εξαιρετικά συμπαγή (μικρών διαστάσεων) κατασκευή. Η τυρβώδης ροή του νερού που επικρατεί στο εσωτερικό του φίλτρου, αποτρέπει το σχηματισμό

υπερβολικής βιομάζας και έτσι το φίλτρο είναι αυτοκαθαριζόμενο (self-cleaning).

Η άμμος παρουσιάζει πολύ χαμηλό κόστος αγοράς. Η ρευστοποίηση προκαλείται από ειδική αντλία νερού, της οποίας η ισχύς (και κατ' επέκταση το κόστος λειτουργίας), εξαρτάται από το μέγεθος της κατασκευής και το βάρος της προς ρευστοποίηση κλίνης (άμμου, πλαστικών χαντρών). Θα πρέπει να σημειωθεί, ότι η πλευστότητα του μέσου της κλίνης εξαρτάται από τη βιολογική ανάπτυξη βιομάζας επάνω στο υλικό (άμμος ή πλαστικές χάντρες), διαδικασία που εξαρτάται με τη σειρά της από τη θερμοκρασία και το ρυπαντικό φορτίο του νερού. Μεγαλύτερη ανάπτυξη βιομάζας σημαίνει και μεγαλύτερη δυσκολία για να βρεθεί σε αιώρηση.

Για τα φίλτρα που χρησιμοποιούν άμμο, θα υπάρχει πάντοτε μια ποσότητα αυτής (της άμμου), που θα διαφεύγει με το νερό που αφήνει το φίλτρο. Αν δεν υπάρχει σύστημα συγκράτησης και επανάκτησης αυτής της παρασυρόμενης ποσότητας, τότε θα πρέπει να προβλεφθεί η συνεχής αντικατάστασή της με καινούργια.

Ανάλογα με τη θερμοκρασία, τη συγκέντρωση των ρυπαντών και το μέγεθος των υλικών πλήρωσης και υποθέτοντας (με αρκετή ακρίβεια) ότι το 2,5% της τροφής μετατρέπεται σε TAN, τότε για το σχεδιασμό τους θεωρούμε ότι η ικανότητα των βιοφίλτρων ρευστοποιημένης κλίνης βρίσκεται στην περιοχή των 20 - 40 kg τροφής/ημέρα/m<sup>3</sup> υλικού πλήρωσης.

### **Αερισμός – οξυγόνωση**

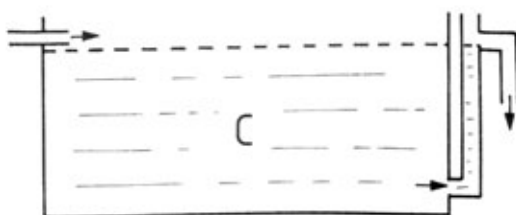
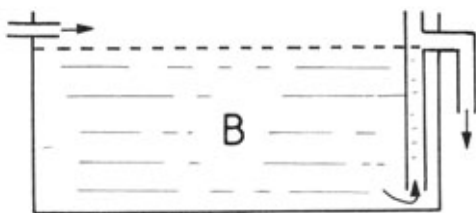
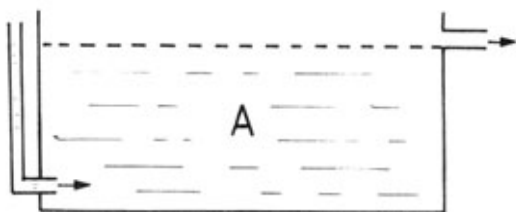
Εισάγοντας ένα ρεύμα από φουσαλίδες αέρα στο νερό του ενυδρείου δημιουργούμε τοπικά υψηλή συγκέντρωση οξυγόνου. Συν το χρόνο και ανάλογα με την ένταση του αερισμού και το φορτίο του ενυδρείου σε ψάρια το οξυγόνο θα σταθεροποιηθεί σε

επαρκή επίπεδα σε όλη τη μάζα του νερού. Εκτός όμως από την οξυγόνωση ο αερισμός του νερού προκαλεί τη συνεχή κυκλοφορία του εξομοιώνοντας τυχόν τοπικές θερμοκρασιακές διαφορές και προκαλεί την απομάκρυνση από το νερό του τοξικού διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) που συνεχώς παράγεται από την αναπνοή των ζώων. Γενικώς η ανταλλαγή όλων αυτών των αερίων (προσθήκη οξυγόνου, απομάκρυνση διοξειδίου του άνθρακα, απομάκρυνση αζώτου), εξαρτάται ως προς την αποτελεσματικότητα από το μέγεθος των φυσαλίδων του αερισμού. Όσο μικρότερες οι φυσαλίδες τόσο μεγαλύτερη η συνολική επιφάνειά τους για μια δεδομένη παροχή αέρα. Ως γενικός κανόνας ισχύει ό τι: μικρές φυσαλίδες = καλός αερισμός και δυνατότητες αερο-υδατάντλησης, μεγάλες φυσαλίδες = αναταραχή του νερού. Οι φυσαλίδες δημιουργούνται όταν στο άκρο του σωλήνα παροχής αέρα τοποθετηθεί πορώδες στερεό υλικό (ξύλο, κεραμικό, πλαστικό κ.ά.).

### Η κυκλοφορία του νερού

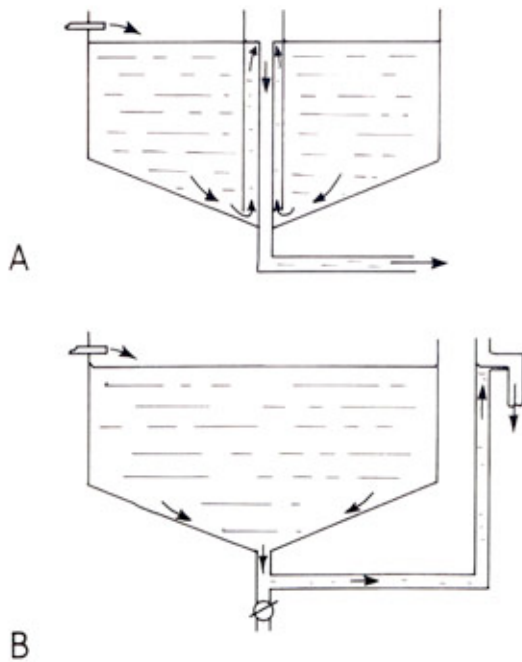
Όταν στήνεται ένα σύστημα διάταξης από διάφορα εκθεσιακά ενυδρεία, συνήθως χρησιμοποιείται ένα κοινό σύστημα καθαρισμού του νερού τους. Τέτοια συστήματα συνήθως διαθέτουν μια δεξαμενή αποθήκευσης νερού μεγάλης χωρητικότητας (ειδικά όταν δεν διατίθεται σταθερή ροή φρέσκου νερού) από την οποία τροφοδοτούνται με νερό. Η δεξαμενή αυτή χρησιμεύει όχι μόνο ως αποθήκη νερού, αλλά και ως ουδετεροποιητής (buffer), ομογενοποιώντας θερμοκρασιακές ή άλλες διαφορές παραμέτρων του νερού μεταξύ των ενυδρείων. Παρόλο που υπάρχουν ποικίλες μέθοδοι σχετικά με την κοινή κυκλοφορία του νερού των πολλαπλών ενυδρείων, ορισμένα χαρακτηριστικά πρέπει να ικανοποιηθούν χάριν της

λειτουργικότητας. Σε κάθε ενυδρείο η είσοδος και η έξοδος του νερού θα πρέπει να τοποθετηθούν με τρόπο που θα διασφαλίζει ότι όλη η μάζα του νερού θα ανακυκλώνεται ή ανανεώνεται. Όταν το νερό φεύγει από το ενυδρείο με υπερχείλιση (Σχήμα 7, Α) θα επανέρχεται σε αυτό με είσοδο στον πυθμένα. Όμως το αντίθετα λειτουργούν σύστημα δηλαδή απορροή από τον πυθμένα και είσοδος στην επιφάνεια (Σχήμα 7, Β & C & Σχήμα 8) έχει περισσότερα πλεονεκτήματα ειδικά αν το νερό καταιονίζεται στην επιφάνεια ως πίδακες. Οι πίδακες ή τα σπρέϊ οξυγονώνουν έντονα το νερό εμποδίζοντάς το να υπερκορεσθεί με άζωτο. Η απορροή από τον πυθμένα επιτρέπει στο σωλήνα απορροής να λειτουργεί και ως ρυθμιστής στάθμης, πέραν του πλεονεκτήματος που προσφέρει στο να απομακρύνει τα συσσωρευμένα στερεά από τον πυθμένα του ενυδρείου.



Σχήμα 7. Διατάξεις ροής νερού σε ορθογώνια ενυδρεία. Α: Είσοδος νερού στον πυθμένα, απορροή τύπου υπερχείλισης, Β : Είσοδος νερού στην επιφάνεια και έξοδος από υπερχείλιση δια μέσου εσωτερικού σωλήνα αναρρόφησης νερού από τον πυθμένα, C: Είσοδος νερού στην επιφάνεια και έξοδος από υπερχείλιση δια μέσου εξωτερικού σωλήνα αναρρόφησης νερού από τον πυθμένα.





Σχήμα 8. Αυτοκαθαριζόμενα ενυδρεία..

A: εσωτερική υπερχείλιση, B : εξωτερική υπερχείλιση.

Η υπερχείλιση μπορεί να ρυθμίζεται διαμορφώνοντας τη στάθμη του νερού στο επιθυμητό ύψος. Αυτού του τύπου τα ενυδρεία - δεξαμενές επιτρέπουν υψηλές πυκνότητες ψαριών και υψηλούς ρυθμούς διατροφής. Κατάλληλος τύπος για κυλινδρικά ενυδρεία.

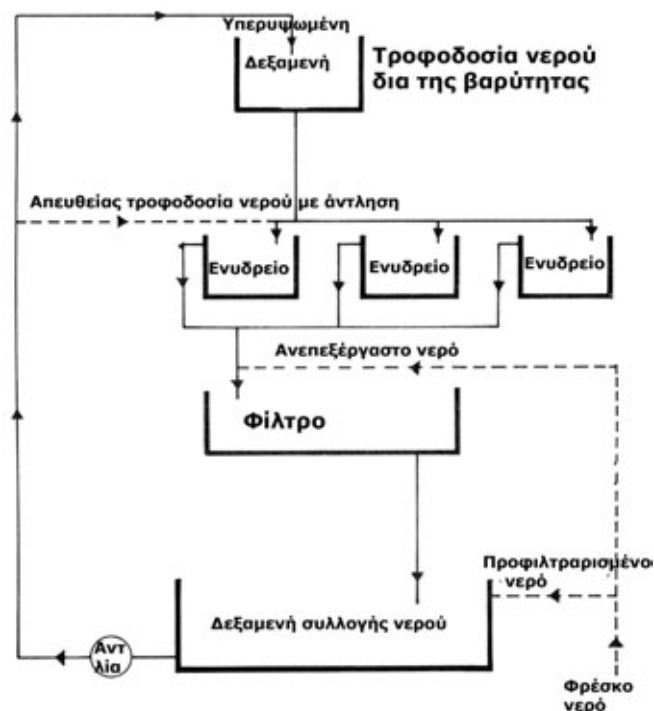
Ολη η μάζα του νερού που εξέρχεται των ενυδρείων θα πρέπει να φιλτραρισθεί πριν επανέλθει στα ενυδρεία. Τα φίλτρα εξυγιαίνουν το νερό απορρυπαίνοντάς το και έτσι βοηθούν και στην αποφυγή των ασθενειών. Ιδιαίτερα στο θέμα των ασθενειών και πέραν των φίλτρων, σε περίπλοκα συστήματα χρησιμοποιούνται αποστειρωτικές συσκευές χρησιμοποιώντας υπεριώδη ακτινοβολία, όζον ή άλλα μέσα. Σε τέτοιες περιπτώσεις η μεταχείριση του νερού θα πρέπει να γίνεται σε νερό που έχει περάσει πρώτα από τα φίλτρα.

Ολο το νερό που επιστρέφει στη δεξαμενή αποθήκευσης – εξισορρόπησης σε ένα κλειστό κύκλωμα θα πρέπει να έχει καθαριστεί. Φρέσκο νερό μπορεί να μπει στη δεξαμενή αποθήκευσης εάν έχει πρώτα φιλτραρισθεί αλλιώς θα πρέπει πρώτα να περάσει από το σύστημα φιλτραρίσματος του συστήματος.

Ορισμένα μεγάλα ενυδρεία δεν χρησιμοποιούν καθόλου σύστημα φιλτραρίσματος αλλά αντ' αυτού χρησιμοποιούν μεγάλες

δεξαμενές καθίζησης στις οποίες το νερό που φεύγει από το ενυδρείο εισέρχεται, ηρεμεί και τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν αρκετό χρόνο για να υποστούν καθίζηση. Κατόπιν συλλέγονται και απορρίπτονται. Η τεχνική αυτή συνδυαζόμενη με τους μεγάλους όγκους νερού που εμπλέκονται και την άμεση γειτνίαση με κάποιον φυσικό υδατοαποδέκτη (θάλασσα, λίμνη) απ' όπου αντλείται φρέσκο νερό, διασφαλίζει την ποιότητα και διαφάνεια του νερού. Όμως η ικανότητα φόρτισης με ψάρια αυτών των άνευ φίλτρου συστημάτων είναι μικρότερη συγκρινόμενη με τα ενυδρεία με φίλτρο. Παρόλα αυτά, επειδή ορισμένοι πλαγκτονικοί οργανισμοί παραμένουν στο νερό, τα ενυδρεία αυτά είναι τα πλέον κατάλληλα για τη διατήρηση πλαγκτονοφάγων οργανισμών.

Σε κάθε είδους ενυδρειακό σύστημα, μια αντλία – κυκλοφορητής θα αφαιρεί νερό από τη δεξαμενή αποθήκευσης και θα το προωθεί είτε απ' ευθείας στα ενυδρεία, είτε σε μια υπερυψωμένη δεξαμενή απ' όπου θα ρέει με τη βαρύτητα πίσω στα εν παραλλήλω τοποθετημένα ενυδρεία (Σχήμα 9).



Σχήμα 9. Πιθανές διατάξεις ανακύκλωσης του νερού σε σύστημα ενυδρείων με φίλτρο.

Η δια της βαρύτητας επιστροφή του νερού στα ενυδρεία έχει το πλεονέκτημα ότι παρουσιάζει σταθερή πίεση, συνυπολογιζόμενων των απωλειών από τις διαμέτρους και τα μήκη των σωλήνων παροχής. Όμως απαιτεί είτε κάποιο επίπεδο σε υψηλό μέρος του όποιου κτηρίου, είτε ένα ξεχωριστό πύργο υδροδότησης. Συνήθως το νερό της δεξαμενής αποθήκευσης αερίζεται για να εξομοιώσει τη θερμοκρασία, να οξυγονώσει το νερό και για να καταπολεμήσει την πιθανότητα υπερκορεσμού σε αέρια του νερού.

Η απ' ευθείας δια της αντλήσεως επιστροφή του νερού στα ενυδρεία προσφέρει πλεονεκτήματα ευκαμψίας στη διάταξη και εξάλειψη της ανάγκης για μεγάλα ύψη, αλλά είναι πολύ ευάλωτη στη διακύμανση της ροής του νερού στις παροχές καθώς το κάθε ενυδρείο πιθανόν να απαιτεί διαφορετική παροχή. Η σύγχρονη τεχνολογία με αισθητήρες, ηλεκτροβάνες κ.λπ. προσφέρει λύσεις αλλά αυτές ως σύνθετες μπορεί να καταλήξουν πολύπλοκες και προβληματικές αν κάτι δεν δουλέψει σωστά. Όμως παρ'όλα αυτά η απευθείας δια της αντλήσεως παροχή προσφέρει και σημαντικά πλεονεκτήματα. Ένα από αυτά είναι και η δυνατότητα για προσαρμογή συσκευής ρύθμισης της θερμοκρασίας (εναλλάκτες θερμότητας) του νερού (συνήθως ψύξης) σε σημείο της κυκλοφορίας πριν την είσοδό του στο ενυδρείο. Οι συσκευές αυτές επειδή προκαλούν πτώση στην πίεση του νερού δεν μπορούν να λειτουργήσουν σε ροές βαρύτητας παρά σε ροές που προκαλούνται από αντλίες εξ' αιτίας της προσδιδομένης πίεσης στο νερό.

## Η ρύθμιση της θερμοκρασίας

Εάν η θερμοκρασία του νερού των ενυδρείων είναι μέσα στα αποδεκτά όρια για την ευχάριστη διαμονή του ανθρώπου τότε μπορεί να επιτευχθεί δια της συνήθους μεθόδου κλιματισμού του εκθεσιακού χώρου. Όταν η θερμοκρασία του νερού σταθεροποιηθεί στα επιθυμητά επίπεδα είναι πλέον θέμα αξιοπιστίας του κλιματισμού για δημιουργία σταθερής θερμοκρασίας. Η μεγάλη θερμοχωρητικότητα του νερού θα εμποδίσει τη γρήγορη αλλαγή της στο νερό έστω και αν στην περιβάλλουσα ατμόσφαιρα ποικίλλει ελαφρά.

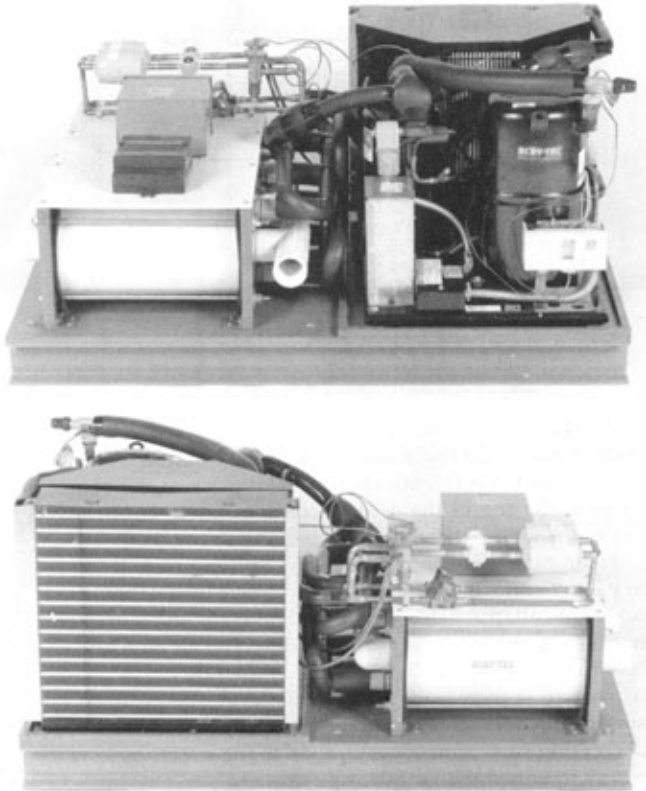
Όμως για πολύ μεγάλα ενυδρεία και ειδικά για ειδικές θερμοκρασίες διαφορετικές από αυτές που προβλέπονται για τους επισκέπτες του χώρου, απαιτείται η επέμβαση στο νερό του ενυδρείου. Η θέρμανση γίνεται με εμβάπτιση στο νερό ηλεκτρικών θερμαντικών σωμάτων με κάλυμμα από γυαλί ή πυρίτιο οι οποίοι διαθέτουν κομβίο θερμοκρασίας και θερμοστάτη. Αν και είναι πιο εύθραυστοι από τους μεταλλικούς προτιμώνται επειδή είναι λιγότερο τοξικοί. Το πρόβλημα με κάθε τύπο εμβαπτισμένου ηλεκτρικού θερμαντήρα είναι ότι δημιουργεί τοπική υπερθέρμανση η οποία μπορεί να είναι επικίνδυνη για μικρά ζώα που θα καθίσουν επάνω του κατά τον κύκλο της ανενεργούς κατάστασής του (off).

Η ψύξη του νερού επιτυγχάνεται με εναλλάκτη θερμότητας κατά τον οποίο το ψυκτικό υγρό έρχεται σε θερμική επαφή με το νερό κατά μήκος μιας θερμοαγωγιμης επιφάνειας (σωληνώσεις). Η απλούστερη μορφή συνίσταται σε μια σπείρα μεταλλικού ή υάλινου σωλήνα βυθισμένου στο νερό, μέσα στον οποίο ρέει το ψυκτικό υγρό. Οι σύγχρονοι ψύκτες (Σχήμα 10) οι οποίοι μπορούν να ρυθμιστούν και για να θερμάνουν το νερό, έχουν σπείρες από τιτάνιο μέταλλο ουδέτερο για το θαλασσινό νερό.

Στα ανακυκλούμενα συστήματα με παροχή νερού στα ενυδρεία δια της απευθείας άντλησης, το νερό έχει ρυθμιστεί θερμοκρασιακά σε μια δεξαμενή «εξισορρόπησης» (η δεξαμενή συλλογής νερού του Σχήματος 9) η οποία παρεμβάλλεται στο κύκλωμα και στην οποία συνδέονται τα συστήματα θέρμανσης ή ψύξης του νερού.

Στα ανακυκλούμενα συστήματα με παροχή νερού στα ενυδρεία δια της βαρύτητας, η θερμοκρασιακή ρύθμιση του νερού είναι καλύτερα να γίνεται σε μια δεξαμενή γειτονική της υπερυψωμένης. Εάν αυτό δεν είναι πρακτικά δυνατό τότε οδηγούμαστε στη λύση της τοποθέτησης άλλης μια δεξαμενής εξισορρόπησης σε χαμηλότερο επίπεδο, στην οποία θα γίνεται η θερμοκρασιακή ρύθμιση και το νερό θα οδηγείται δια αντλίας πίσω στην υπερυψωμένη δεξαμενή. Το σύστημα όμως αυτό απαιτεί προσεκτικό έλεγχο του δευτερεύοντος κλειστού κυκλώματος που δημιουργείται μεταξύ των δύο υπερυψωμένων δεξαμενών.

Η ακριβής ρύθμιση της θερμοκρασίας είναι ζωτικής σημασίας για τη ζωή των ψαριών στα εκθεσιακά ενυδρεία και πρέπει να γίνεται με τη δέουσα προσοχή. Επειδή τα μηχανικά μέρη μπορούν να αποτύχουν και η προκύπτουσα θερμοκρασία να είναι θανατηφόρα για τα εκθέματα απαιτείται υψηλού επιπέδου εποπτεία και σε κάθε περίπτωση δεξαμενή εξισορρόπησης.



Σχήμα 10. Σύγχρονη συσκευή θέρμανσης – ψύξης νερού ενυδρείων με σπείρα από τιτάνιο.

### Ο έλεγχος της Θερμοκρασίας

Το ποσό της θερμότητας που απαιτείται σε ένα ενυδρείο υπολογίζεται με τον ίδιο τρόπο ανεξαρτήτως του αν πρόκειται για θέρμανση ή για ψύξη. Όταν υπολογίζονται οι απαιτήσεις ψύξης του νερού η υπολογιζόμενη παράμετρος είναι η ικανότητα της μονάδος ψύξης εκφρασμένη σε ίππους (hp). Όταν υπολογίζεται η θέρμανση η υπολογιζόμενη παράμετρος είναι η ισχύς σε βατ (W). Σε κάθε περίπτωση η ροή της θερμότητας μεταξύ του μέσα και του έξω του ενυδρείου περιβάλλοντος υπολογίζεται στη βάση του γενικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας. Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας ( $U$ ) ορισμένων υλικών κατασκευής καθώς και της τιμής του στην επιφάνεια του νερού, δίδεται στον Πίνακα 1. Η ροή της θερμότητας υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας κάθε επιφάνεια  $A$  σε  $\text{cm}^2$  διά της οποίας ρέει θερμότητα, με το συντελεστή θερμικής της αγωγιμότητας και κατόπιν προστίθενται τα

επιμέρους. Η προκύπτουσα τιμή στη συνέχεια πολλαπλασιάζεται με την θερμοκρασιακή διαφορά,  $\Delta T$ . Η ροή της θερμότητας,  $Q$  σε cal/s δίδεται από τον τύπο:

$$Q = (A_1U_1 + A_2U_2 + \dots) \Delta T$$

Η μετατροπή σε Btu/h γίνεται με πολλαπλασιασμό του αποτελέσματος επί 14,3. Διαιρώντας κατόπιν με το 12.000 μετατρέπει το αποτέλεσμα σε τόνους ψύξης, η οποία είναι το ανάλογο των απαιτήσεων σε ιπποδύναμη. Στην περίπτωση ενός θερμαινόμενου ενυδρείου η ροή θερμότητας σε Btu/h πολλαπλασιάζεται με το 3,41 για να βρεθεί η συνεχής ισχύ σε W που απαιτείται για να διατηρηθεί η επιθυμητή θερμοκρασία.

**Πίνακας 1. Συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας (U) για κοινά κατασκευαστικά υλικά.**

Υλικό	$U, \text{ cal(s} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{° C)}$
Τζάμι απλό	$0,63 \times 10^{-4}$
Διπλό τζάμι με κενό αέρα	$0,34 \times 10^{-4}$
5-cm μπετόν	$0,57 \times 10^{-4}$
15-cm μπετόν	$0,47 \times 10^{-4}$
1-cm πλαστικό ενισχυμένο με φάιμπεργκλάς	$0,54 \times 10^{-4}$
1-cm πλαστικό ενισχυμένο με φάιμπεργκλάς με επιπλέον εμποτισμένη μοριοσανίδα 2-cm	$0,21 \times 10^{-4}$
2-cm μοριοσανίδα επικαλυμμένη εποξικά	$0,48 \times 10^{-4}$
Επιφάνεια νερού	$0,65 \times 10^{-4}$

Πηγή: Spotte (1979b).

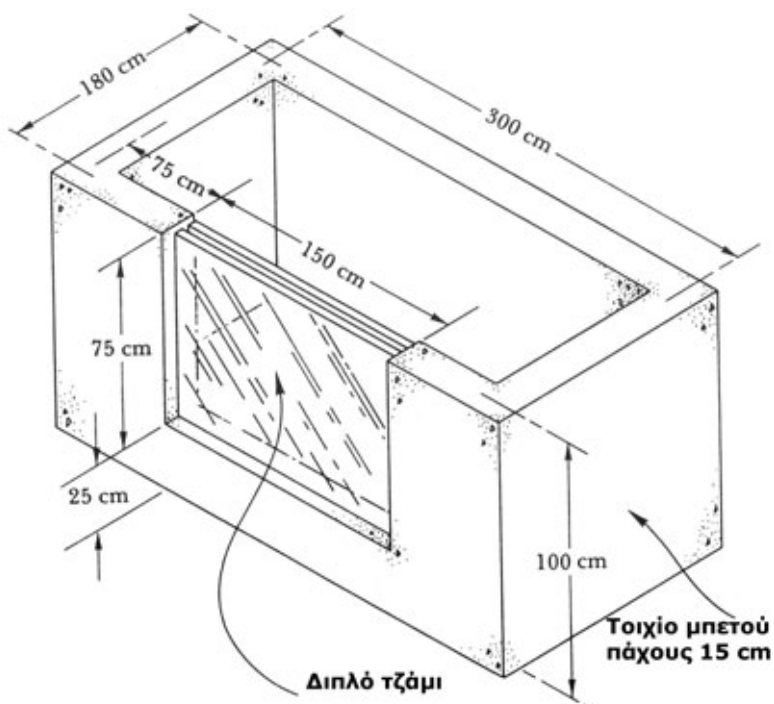
## Ενδεικτικό παράδειγμα υπολογισμού απαιτήσεων σε ψύξη και θέρμανση ενυδρείου

### Ψύξη του νερού

Οι συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας για ορισμένα κοινά υλικά δίδονται στον Πίνακα 1. Οι απαιτήσεις σε ψύξη μπορούν να υπολογιστούν όπως στο παρακάτω παράδειγμα:

Ένα εκθεσιακό ενυδρείο είναι κατασκευασμένο από μπετόν με βιτρίνα από διπλό τζάμι με αέρα ανάμεσα στα τζάμια (Σχήμα 11). Η θερμοκρασία του νερού του επιθυμείται να είναι  $11\text{ }^{\circ}\text{C}$  χαμηλότερη από την του περιβάλλοντα χώρου, δηλαδή  $\Delta T = 11^{\circ}\text{C}$ . Ζητείται να υπολογιστεί η ιπποδύναμη που απαιτείται για να ψύξει το νερό.

Σύμφωνα με τις διαστάσεις του εκθεσιακού ενυδρείου του Σχήματος 11, η μεταφορά της θερμότητας θα γίνεται στις θέσεις του ενυδρείου που αναφέρονται στον Πίνακα 2. Οι διαστάσεις των θέσεων αυτών, το υλικό κατασκευής του ενυδρείου και τιμές για τα  $U$  και  $AU$  δίδονται επίσης στον Πίνακα ....



Σχήμα 11. Εκθεσιακό ενυδρείο κατασκευασμένο από μπετόν και με βιτρίνα από διπλό τζάμι. Το ενυδρείο του σχήματος χρησιμεύει για τους θερμικούς υπολογισμούς που δίδονται στο κείμενο.



Πίνακας 2. Θέσεις στις οποίες γίνεται η ανταλλαγή (ροή) της θερμότητας στο ενυδρείο του Σχήματος 11.

Θέση	Επιφάνεια, cm <sup>2</sup>	Υλικό	U, cal(s·cm <sup>2</sup> ·°C)	A x U
Γωνιές	3,60 x 10 <sup>4</sup>	15-cm μπετόν	0,45 x 10 <sup>-4</sup>	1,62
Πίσω	3,00 x 10 <sup>4</sup>	15-cm μπετόν	0,45 x 10 <sup>-4</sup>	1,35
Μπροστά	1,88 x 10 <sup>4</sup>	15-cm μπετόν	0,45 x 10 <sup>-4</sup>	0,85
Βυθός	5,40 x 10 <sup>4</sup>	15-cm μπετόν	0,45 x 10 <sup>-4</sup>	2,43
Γυαλί	1,13 x 10 <sup>4</sup>	Διπλό τζάμι με αέρα	0,34 x 10 <sup>-4</sup>	0,38
Επιφάνεια νερού	4,70 x 10 <sup>4</sup>	—	0,65 x 10 <sup>-4</sup>	3,05

Πηγή: Spotte (1979b).

Χρησιμοποιώντας την εξίσωση:  $Q = (A_1U_1 + A_2U_2 + \dots) \Delta T$

θα έχουμε:

$$Q = [3,6(0,45) + 3(0,45) + 1,9(0,45) + 5,4(0,45) + 4,7(0,65) + 1,13(0,34)] 11 = 106,6 \text{ cal/s}$$

δηλαδή:

$$Q = (\Sigma AU) \Delta T = 9,69 \times 11 = 106,6 \text{ cal/s}$$

Για να μετατρέψουμε σε Btu/h,

$$106,6 \text{ cal/s} \left( \frac{1 \text{ Kg/cal}}{1000 \text{ cal}} \right) \left( \frac{3,97 \text{ Btu}}{1 \text{ Kg/cal}} \right) \left( \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \right) = 1523,5 \text{ Btu/h}$$

$$\text{και: } \text{hp} = 1523,5 \text{ Btu/h} \left( \frac{1 \text{ hp}}{12.000 \text{ Btu/h}} \right) = 0,13$$

### Θέρμανση του νερού

Η θέρμανση του νερού ενός εκθεσιακού ενυδρείου θαλασσινού νερού, θα γίνει με βυθισμένα στο νερό θερμαντικά σώματα με κάλυμμα τιτανίου και θερμοστάτη (Σχήμα 12).

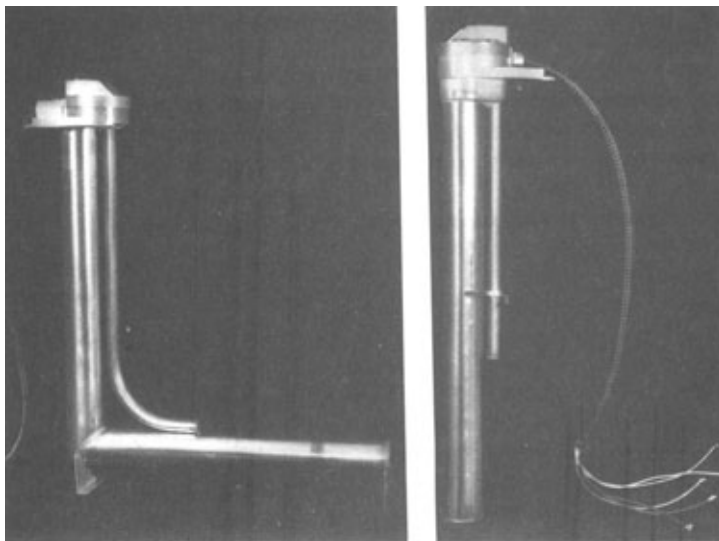
Στο ενυδρείο του Σχήματος 11 επιθυμείται η θερμοκρασία του νερού να διατηρείται κατά 4 °C υψηλότερη του περιβάλλοντος χώρου. Τα απαιτούμενα βατ (W) της ισχύος που απαιτούνται θα υπολογιστούν από την εξίσωση  $Q = (A_1U_1 + A_2U_2 + \dots) \Delta T$  κατά ανάλογο τρόπο με το παράδειγμα της ψύξης, δηλαδή:

$$Q = [3,6(0,45) + 3(0,45) + 1,9(0,45) + 5,4(0,45) + 4,7(0,65) + 1,13(0,34)] 4 = 38,8 \text{ cal/s}$$

$$38,8 \text{ cal/s} \left( \frac{1 \text{ Kg/cal}}{1000 \text{ cal}} \right) \left( \frac{3,97 \text{ Btu}}{1 \text{ Kg/cal}} \right) \left( \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \right) = 555 \text{ Btu/h}$$

και:

$$555 \text{ Btu/h} \left( \frac{1 \text{ W}}{3,41 \text{ Btu/h}} \right) = 163 \text{ W}$$



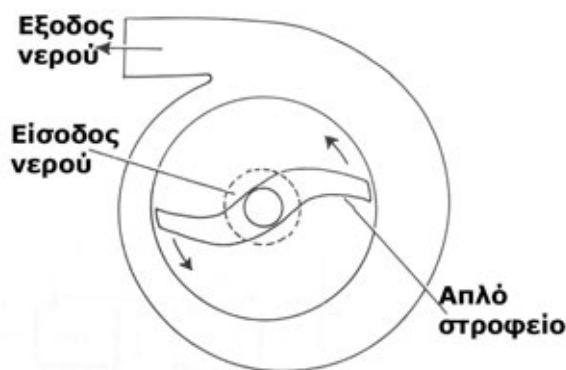
Σχήμα 12.  
Θερμαντικά σώματα  
εμβαπτιζόμενα στο νερό του  
ενυδρείου κατασκευασμένα  
από τιτάνιο.

### Αντλίες και άντληση του νερού

Κατά το σχεδιασμό του ενυδρείου είναι βασικότατο να προβλεφθεί η χρησιμοποίηση του κατάλληλου τύπου και δυναμικότητας αντλίας από τις πολλές που διατίθενται και κατόπιν να προσαρμοστεί σωστά στο κύκλωμα. Το υλικό κατασκευής των δεν πρέπει να περιέχει μέταλλα (π.χ. χαλκό) τα οποία μπορούν να γίνουν δια της διάβρωσής των τοξικά στο ανακυκλούμενο θαλασσινό νερό. Το υλικό κατασκευής του διαμερίσματος πτερωτής της αντλίας θα πρέπει κατά προτίμηση να είναι από αδρανές συνθετικό υλικό με τα όποια μεταλλικά μέρη απομονωμένα από το αντλούμενο νερό. Ιδιαίτερα ο άξονας

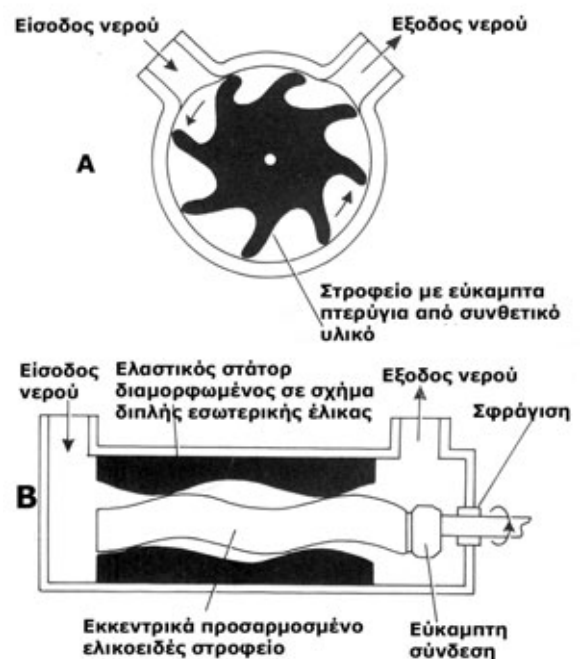
κίνησης της πτερωτής και στο σημείο της στεγανοποίησής του (δαχτυλίδια, φλάντζες κ.λπ.), όπου αυτός εισέρχεται στο θάλαμο άντλησης, παρουσιάζεται το πιο ευαίσθητο σημείο. Το σημείο αυτό θα πρέπει να ελέγχεται τακτικά για διαρροές και διαβρώσεις των μεταλλικών μερών. Εκτός των αντλιών και το όλο σύστημα των σωληνώσεων συμπεριλαμβανομένων των συνδέσμων του και των βανών του θα πρέπει να είναι κατασκευασμένο από μη μεταλλικά υλικά με προτιμητέο το PVC.

Οι αντλίες που χρησιμοποιούνται στα ενυδρεία ανήκουν σε δύο βασικές κατηγορίες, φυγοκεντρικές και θετικού εκτοπίσματος (Σχήματα 13 και 14).



Σχήμα 13. Απλή φυγοκεντρική αντλία.

Σχήμα 14. Αντλίες θετικού εκτοπίσματος. Αυτοεναυσματική αντλία με στροφέιο εύκαμπτων πτερυγίων (Α) και αυτοεναυσματική κοχλιωτή αντλία (Β).



Οι αντλίες θετικού εκτοπίσματος (ιδιαίτερα οι κοχλιωτές) μετακινούν το νερό υπό μορφή παλμών και μπορούν να αντλήσουν νερό ακόμα και με σημαντική περιεκτικότητα σε αιωρούμενα στερεά. Οι περιστροφικές αντλίες αποτελούνται από κάποια περιστρεφόμενα εξαρτήματα (έκκεντρα, πτερύγια, πιστόνια, κοχλίες, γρανάζια κ.ά.) (Σχήμα 15) μέσα σε ένα προστατευτικό κάλυμμα. Γενικά λειτουργούν με πολύ μικρή απόσταση (clearance) του περιστρεφόμενου εξαρτήματος από το προστατευτικό του κάλυμμα, με αποτέλεσμα κάθε περιστροφή να δημιουργεί θετικό εκτόπισμα στο νερό. Η ενέργεια που δημιουργείται από το περιστρεφόμενο εξάρτημα της αντλίας μετακινεί το νερό από τη μεριά της χαμηλότερης πίεσης στη μεριά με τη μεγαλύτερη πίεση. Υπάρχουν πολλές ποικιλίες περιστροφικών αντλιών και χαρακτηριστικά αναφέρονται οι **αντλίες εύκαμπτων πτερυγίων** (flexible vane pumps) (Σχήμα 14, Α). Μια αντλία εύκαμπτων πτερυγίων αποτελείται από ένα στροφέα (rotor) τοποθετημένο εκκεντρικά (μη κεντραρισμένο) σε ένα θάλαμο. Επάνω στον στροφέα είναι προσαρμοσμένα διάφορα πτερύγια κατασκευασμένα από εύκαμπτο υλικό. Στα σημεία που ο στροφέας απέχει περισσότερο από το τοίχωμα του θαλάμου, τα πτερύγια είναι λυγισμένα στο ελάχιστο και σε αυτό το σημείο το νερό εισέρχεται στο θάλαμο. Αντίθετα, στα σημεία που ο στροφέας απέχει λιγότερο από το τοίχωμα του θαλάμου, τα πτερύγια είναι λυγισμένα στο μέγιστο και σε αυτό το σημείο το νερό εξέρχεται βεβιασμένα από το θάλαμο. Το λύγισμα των πτερυγίων μειώνει το χώρο που καταλαμβάνει το υγρό και συνεπώς αυξάνει την πίεση σε αυτό, με αποτέλεσμα τη βεβιασμένη εκτόπισή του προς την έξοδο της αντλίας. Σε γενικές γραμμές, πρόκειται για μικρές αντλίες

με μέγιστη παροχή περί τα 500 L/min, αυτοεναυσματικές (self-priming) και σχετικά απλές στην επισκευή τους.

Μια **φυγοκεντρική αντλία** σε γενικές γραμμές είναι ένας μεταλλικός θάλαμος (κοιλότητα), με ένα στόμιο εισόδου και ένα εξόδου του νερού και μέσα του μια φτερωτή (στροφείο-προπέλα) που στριφογυρίζει και εξωθεί το νερό προς την έξοδο. Χρησιμοποιούν τη δύναμη της φυγοκέντρου για να «ανυψώσουν» το προς άντληση υγρό. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των φυγοκεντρικών αντλιών είναι η δυνατότητά τους για «στραγγαλισμό» (choked) της ροής, δηλαδή για κατά το δοκούν περιορισμό της ροής εξόδου, χωρίς αρνητική επίπτωση στη λειτουργία τους.

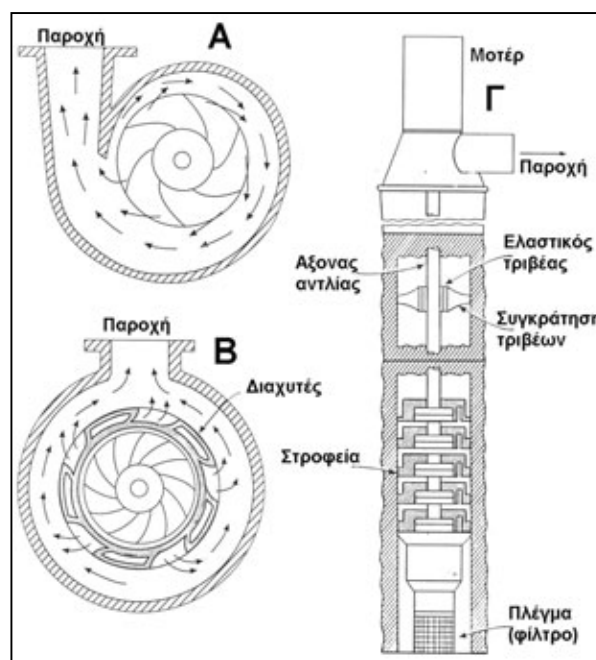
Το υγρό εισέρχεται στο θάλαμο από το κέντρο της φτερωτής και εξαναγκάζεται να κινηθεί προς τα έξω εξαιτίας της φυγοκέντρου. Καθώς αφήνει τη φτερωτή για να στροβιλισθεί γρήγορα στο θάλαμο, η κινητική του ενέργεια μετατρέπεται σε πίεση και συγχρόνως δημιουργείται υποπίεση στο κέντρο της φτερωτής, με αποτέλεσμα αναρρόφηση νέας ποσότητας.

Δύο είναι οι κύριοι τύποι φυγοκεντρικών αντλιών: ο **σπειροειδής τύπος** (volute centrifugal pump) και ο **διαχέοντας τύπος** (diffuser centrifugal pump). Στον σπειροειδή τύπο (Σχήμα 15, A), η φτερωτή είναι τοποθετημένη στο θάλαμο με σπειροειδή τρόπο (με κέντρο το σημείο εισόδου του νερού). Καθώς ο όγκος του νερού στο θάλαμο αυξάνεται, η ταχύτητα του νερού που έχει αφήσει τη φτερωτή μειώνεται και η κινητική ενέργεια μετατρέπεται σε δυναμική (πίεση).

Στον διαχέοντα τύπο, η φτερωτή προκαλεί επιτάχυνση του υγρού προς τα έξω δια μέσου ανοιγμάτων, σε ειδικά ελάσματα-διαχυτές (Σχήμα 15, B). Το νερό αποκτά μεγάλη δυναμική ενέργεια

(πίεση). Γενικά αυτός ο τύπος δημιουργεί μεγάλη πίεση στο νερό και παρουσιάζει μεγαλύτερη απόδοση απ' ό,τι ο σπειροειδής τύπος. Είναι όμως πιο ακριβός και δεν τα καταφέρνει τόσο καλά με τα αιωρούμενα στερεά.

Αμφότεροι οι παραπάνω τύποι φυγοκεντρικών αντλιών μπορούν να έχουν μία ή περισσότερες βαθμίδες (stages). Μια μονοβάθμια αντλία είναι αυτή που δημιουργεί τη δεδομένη μέγιστη πίεση (μανομετρικό) από μια φτερωτή. Εάν το επιθυμητό ολικό μανομετρικό είναι μεγαλύτερο απ' αυτό που παράγει η μία φτερωτή, τότε πρέπει να χρησιμοποιηθεί μια πολυβάθμια αντλία (Σχήμα 15, Γ). Σε μια πολυβάθμια αντλία χρησιμοποιούνται δύο ή και περισσότερες φτερωτές, με την κάθε μία απ' αυτές να παραλαμβάνει το υγρό που μετακινήθηκε από την προηγούμενη προσθέτοντάς του περισσότερη ενέργεια.



Σχήμα 15. Φυγοκεντρικές αντλίες. **A:** σπειροειδής (volute) φυγοκεντρική αντλία, **B:** διαχέουσα (diffuser) φυγοκεντρική αντλία, **Γ:** πολυβάθμια φυγοκεντρική αντλία.

Σημείωση: Οι αντλίες που προορίζονται για να μετακινήσουν μικρές ποσότητες νερού σε μεγάλα ύψη έχουν μεγάλες φτερωτές και μικρές κοιλότητες, ενώ αυτές που μετακινούν μεγάλες ποσότητες σε μικρό ύψος, μικρές φτερωτές σε μεγάλες κοιλότητες.

Οι φυγοκεντρικές αντλίες δεν είναι αντλίες θετικού εκτοπίσματος, δηλαδή οι σχέσεις μεταξύ της ταχύτητας της φτερωτής, του όγκου του μετακινούμενου υγρού και του παραγόμενου μανομετρικού δεν είναι γραμμικές. Παρόλα αυτά υπάρχουν κάποιες σχέσεις μεταξύ τους. Οι σχέσεις αυτές ισχύουν για αντλίες με ποικίλες ταχύτητες περιστροφής και για αντλίες με ίδιο σχεδιασμό στη φτερωτή αλλά διαφορετικό μέγεθος, σύμφωνα με τις παρακάτω ομαδοποιήσεις (set):

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2}, \quad \frac{h_1}{h_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2, \quad \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3 \quad \text{για αντλίες ίδιου μεγέθους}$$

και,

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^3, \quad \frac{h_1}{h_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2, \quad \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^5 \quad \text{για παρόμοιες αντλίες αλλά}$$

με διαφορετικό μέγεθος,

όπου: **Q** = η παροχή, **N** = η ταχύτητα περιστροφής, **D** = η διάμετρος της φτερωτής, **h** = το μανομετρικό της αντλίας και **P** = οι απαιτήσεις σε ενέργεια.

### Το εκθεσιακό ενυδρείο ως σχήμα και κατασκευή

Το σχήμα του ενυδρείου και τα υλικά κατασκευής του (ειδικά σε μεγάλα ενυδρεία) είναι υψίστης σημασίας όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί ως εκθεσιακό. Η σύγχρονη τάση είναι προς το να ξεφύγει από το κλασικό τύπου «κουτιού» ορθογώνιο σχήμα. Με την κλίση των πλευρών ενός ενυδρείου κατά 45° προς τα έξω από εμπρός προς τα πίσω, σχηματίζοντας δηλαδή τραπέζιο, τα πλευρικά τοιχώματα γίνονται αόρατα στον επισκέπτη καθώς αυτός περιεργάζεται κοιτώντας από την εμπρόσθια βιτρίνα του ενυδρείου. Σε ένα φαρδύ ενυδρείο, η τεχνική αυτή δημιουργεί την ψευδαίσθηση του υποβρύχιου κόσμου και εκτός των άλλων γίνεται

ευκολότερη η ευχάριστη και πλησιέστερη στο φυσικό περιβάλλον διακόσμησή του. Την ίδια αίσθηση μπορεί να δημιουργήσει και ένα εκθεσιακό ενυδρείο με κυρτές πλευρές. Στη διάταξη των τραπεζοειδών ενυδρείων οι τριγωνικοί χώροι που δημιουργούνται μεταξύ των γειτονικών ενυδρείων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για κατασκευή και άλλων ενυδρείων (τριγωνικών με πλευρές από μπετόν και βιτρίνα) για βενθικά αργοκίνητα εκθέματα όπως καρκινοειδή, κοιλεντερωτά, μαλάκια κ.λπ.

Το πιο κοινό υλικό κατασκευής εκθεσιακών ενυδρείων είναι το γυαλί και αποτελεί σε κάθε περίπτωση πλην των κυρτών επιφανειών, μια απόλυτα ικανοποιητική και δοκιμασμένη λύση. Εναλλακτικά διατίθεται σήμερα στο εμπόριο και το ακρυλικό υλικό με το οποίο πρακτικά μπορεί να δημιουργηθεί κάθε είδους σχήματος και μεγέθους ενυδρείο. Τα ενυδρεία από γυαλί έχουν περιορισμούς όσον αφορά το μέγεθός τους αλλά το μειονέκτημα αυτό μπορεί να ξεπεραστεί κατασκευάζοντας το μεγαλύτερο μέρος ενός μεγάλου έως πολύ μεγάλου ενυδρείου (πίσω πλευρά, πλάγιες πλευρές, πυθμένας και μέρος της εμπρόσθιας) από συμπαγές υλικό (μπετόν) αφήνοντας ένα άνοιγμα στο εμπρόσθιο όπου θα προσαρμοστεί η υάλινη επιφάνεια της βιτρίνας του ενυδρείου (παραδειγματικά βλέπε Σχήμα 11).

Σε κάθε τύπο ενυδρείου οι γωνίες συνιστάται να είναι αποστρογγυλεμένες για να διευκολύνουν τον καθαρισμό. Το ενυδρείο συνιστάται να περιέχει την ελάχιστη ποσότητα άμμου, χαλικιών ή άλλου τύπου υπόστρωμα που απαιτείται, κάτι που επίσης διευκολύνει τον καθαρισμό. Επίσης ανάλογα με τις απαιτήσεις των εκθεμάτων καλό είναι το ενυδρείο να είναι ρηχό για να εξυπηρετείται η κάθε είδους πρόσβαση εντός του αλλά και για να εμποδίζεται η θερμική στρωμάτωση του νερού. Εάν επιλεγεί να



στρωθεί ο βυθός του με φυσικό υλικό όπως λασπώδης άμμος θα πρέπει να λαμβάνεται η απαραίτητη προφύλαξη να μην εισέλθει το υλικό αυτό στο σύστημα ανακυκλοφορίας του νερού.

### **Το ενυδρείο ως ένας δημόσιος χώρος και χώρος εργασίας**

Οι εργαζόμενοι σε ένα δημόσιο ενυδρείο καθώς και οι επισκέπτες αυτού, έχουν τις δικές τους συνήθειες και ανάγκες οι οποίες πολλές φορές ανταγωνίζονται με αυτές των ζωντανών εκθεμάτων. Επειδή τα αιχμάλωτα ζώα βρίσκονται σε ένα τεχνητό και στρεσογόνο περιβάλλον, είναι καλύτερο οι άνθρωποι να προσαρμόζονται στις απαιτήσεις συνθηκών των ζώων παρά το αντίστροφο.

### **Χώρος και προσβάσεις στα ενυδρεία**

Κατά πρώτον είναι δελεαστικό το να προσπαθήσουμε να γεμίσουμε τον διατιθέμενο εκθεσιακό χώρο με ενυδρεία. Όμως συνάμα είναι άκρως απαραίτητο το να προνοήσουμε για να υπάρχει χώρος για να κινηθούν οι επισκέπτες, χώρος για να γίνονται εργασίες συντήρησης (τάϊσμα, καθάρισμα, κ .λπ.) και ενδεχομένως χώρος για να γίνουν και ερευνητικές εργασίες. Ο χώρος για τη συντήρηση του ενυδρείου είναι σημαντικότερος. Η κατανομή του πέριξ του (των) ενυδρείου-(ων) εξαρτάται από το σχήμα, τη διάταξη και την παρουσία σωληνώσεων και φίλτρων στο ενυδρείο.

Στα εκθεσιακά ενυδρεία είναι βασικότατο τα σώματα φωτισμού, οι σωληνώσεις, οι αντλίες, τα φίλτρα κ.λπ. να είναι κρυμμένα από το οπτικό πεδίο των επισκεπτών. Αυτό επιτυγχάνεται ενσωματώνοντας τα ενυδρεία σε πλαίσια (από ξύλο, μπετό ή άλλο ασφαλές για τα ψάρια υλικό) με μόνη βιτρίνα στο εμπρόσθιο μέρος απ' όπου διέρχονται οι επισκέπτες. Στο πίσω μέρος της σειράς των ενυδρείων θα τρέχουν οι σωληνώσεις, θα

υπάρχουν τα φίλτρα κ.λπ. Κατά μήκος της διάταξης των ενυδρείων στο πίσω μέρος θα υπάρχει διάδρομος εργασίας με όλες τις ευκολίες πρόσβασης σε ενυδρεία και μηχανήματα για κάθε τύπο και είδος συντήρησης που θα απαιτηθεί.

### **Θερμοκρασία**

Η θερμοκρασία του εκθεσιακού χώρου απαιτείται να θερμορυθμίζεται, με ιδανική τιμή θερμοκρασίας ίδια με αυτή που θα επικρατεί στο νερό των ενυδρείων. Όμως αυτό δεν μπορεί να επιτευχθεί τις περισσότερες φορές, επειδή στα ενυδρεία απαιτείται ιδιαίτερο θερμοκρασιακό καθεστώς διαφορετικό από τη θερμοκρασία δωματίου που δημιουργεί ευχάριστο περιβάλλον για το κοινό (20-22 °C). Ευτυχώς στο περιβάλλον της Δυτικής Ελλάδας το κλίμα είναι ήπιο με σπάνιες ακραίες θερμοκρασίες. Παρ' όλα αυτά και με δεδομένο ότι για το νερό των ενυδρείων θα υπάρχει ανάγκη θέρμανσης το χειμώνα και ψύξης το καλοκαίρι επειδή η επιθυμητή μέση θερμοκρασία θα κυμαίνεται στους 18 – 21 °C θα καταναλώνεται αρκετή ενέργεια από τα θερμαντικά σώματα ή τους ψύκτες του νερού.

### **Υγρασία**

Το ποσοστό υγρασίας στο περιβάλλον των ενυδρείων είναι κατά κανόνα υψηλό καθιστώντας το περιβάλλον άλλες φορές υγρό και κρύο και άλλες φορές δυσάρεστα ζεστό. Τα παράθυρα, οι τοίχοι, τα ταβάνια και οι σωληνώσεις αποτελούν υποψήφια μέρη για συμπύκνωση και δημιουργία υγρασίας. Ως εξ' αυτού θα πρέπει όλα να φέρουν την κατάλληλη επίστρωση ή μόνωση. Επίσης όλες οι ηλεκτρονικές συσκευές θα υφίστανται την αρνητική επίδραση της υγρασίας και θα πρέπει να βρίσκονται σε ασφαλή μέρη.

## Φωτισμός και ήχοι

Πολύ λίγοι υδρόβιοι οργανισμοί (με την εξαίρεση των φυτικών) απαιτούν υψηλό επίπεδο φωτισμού. Οι περισσότεροι απαιτούν αμ υδρό ή μειωμένο φωτισμό, κάτι που επιτυγχάνεται καλύτερα με τεχνητά μέσα. Για το λόγο αυτό υπάρχουν ελάχιστα παράθυρα στα κτήρια των εκθεσιακών ενυδρείων (πέραν και του φαινομένου της υγρασίας που προαναφέρθηκε) από τα οποία υπάρχει σταθερός φυσικός φωτισμός. Παράθυρα δικαιολογούνται να υπάρχουν μόνο σε δωμάτια εργασίας ή διατήρησης υδρόβιων φυτών. Ο εκθεσιακός χώρος του ενυδρείου μόνο κατά τις σύντομες περιόδους της καθαριότητας ή της συντήρησης χρειάζεται να φωτιστεί έντονα. Τα φωτιστικά σώματα είναι καλό να ρυθμίζονται ροοστατικά. Η επικοινωνία δια θυρών δωματίων με έντονο φως και του εκθεσιακού χώρου με τον αμυδρό-απαλό φωτισμό, πρέπει να μην είναι άμεση δεδομένου ότι το άνοιγμα - κλείσιμο των θυρών θα διαταράσσει τα υδρόβια ζώα που θα έχουν προσαρμοστεί σε ένα ορισμένο επίπεδο φωτισμού. Καλό είναι σε τέτοιες περιπτώσεις να χρησιμοποιούνται διπλές πόρτες.

Οι απότομοι ήχοι καθώς μεταφέρονται μέσα στο νερό μπορούν επίσης να αναστατώσουν τα ζώα. Τα πλέον ευαίσθητα είδη πρέπει να τοποθετούνται στα πιο απομακρυσμένα από πιθανούς θορύβους σημεία του εκθεσιακού χώρου. Γενικά πρέπει να ληφθεί πρόνοια για ελαχιστοποίηση της ύπαρξης χώρων και ενεργειών που παράγουν θόρυβο.

## Ηλεκτρική ασφάλεια

Η γεινίαση των παροχών ηλεκτρισμού και του νερού στον ενυδρειακό χώρο αποτελεί πηγή κινδύνων. Το πρόβλημα καθίσταται ιδιαίτερα σοβαρό στο περιβάλλον του θαλασσινού νερού λόγω της αυξημένης αγωγιμότητας και του αυξημένου

βαθμού διάβρωσης από την αλμυρότητα των ηλεκτρικών συσκευών, πριζών και διακοπών. Όλες οι πρίζες πρέπει να βρίσκονται τοποθετημένες πάνω από τη στάθμη του νερού (και από τη δυνατή απόσταση πιτσιλισμάτων), να είναι της καλύτερης ποιότητας από άποψη στεγανότητας (αν και απόλυτη στεγανότητα δεν πρόκειται να διασφαλιστεί) και να διαθέτουν καπάκι απόλυτης στεγανότητας όταν δεν χρησιμοποιούνται. Τα όποια ηλεκτρικά στοιχεία περιέχουν χαλκό θα πρέπει απολύτως να προστατεύονται από πιτσιλίσματα τα οποία συν το χρόνο διαβρώνουν τον τοξικό για τους υδρόβιους οργανισμούς χαλκό και μπορούν να εισαχθούν στο νερό. Η λειτουργία κάθε είδους ηλεκτρικής συσκευής θα πρέπει να διαθέτει κύκλωμα προστασίας βραχυκυκλώματος (ρελέ διακοπής) κά τι που εκτός από προστασία βοηθά στο να διαπιστώνεται εγκαίρως και να εντοπίζεται η όποια διαρροή. Η χρήση μπαλαντεζών και επεκτάσεων παροχών με καλώδια θα πρέπει να αποφεύγεται και όπου κρίνεται ως η μόνη λύση τα καλώδια να τρέχουν χωρίς καμιά πιθανότητα να βραχούν από το νερό. Όπου χρησιμοποιούνται καλώδια τυλιγμένα σε καρούλια δεν θα πρέπει να αφήνονται τυλιγμένα σφιχτά στα καρούλια τους ιδιαίτερα όταν μέσω αυτών διοχετεύεται ισχυρό ρεύμα (π.χ. σε θερμαντικά σώματα) καθώς η αναπτυσσόμενη θερμότητα μπορεί να λειώσει το μονωτικό κάλυμμα.

Γενικά είναι απαραίτητο να επισημαίνεται σε όλους τους εργαζόμενους στο χώρο για τους κινδύνους ηλεκτροπληξίας στο ιδιαίτερο υγρό αυτό περιβάλλον ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιούν τα υγρά χέρια ή ρούχα τους. Πινακίδες με προειδοποιήσεις για τους ηλεκτρικούς κινδύνους θα πρέπει να βρίσκονται ανηρτημένες σε πολλά και εμφανή σημεία.

## Βοηθητικές εγκαταστάσεις

Ένα εκθεσιακό ενυδρείο που φιλοδοξεί να λειτουργήσει με επιστημονικά στάνταρντ δεν μπορεί να αποτελείται μόνο από κάποιες αίθουσες με ενυδρεία, αλλά πρέπει να περιλαμβάνει και κάποιες βοηθητικές εγκαταστάσεις. Γενικά θα πρέπει να διατηρεί χωριστά τις «υγρές» από τις «στεγνές» περιοχές του. Οι στεγνές περιοχές όπου το προσωπικό διατηρεί την πλειονότητα των επιστημονικών του οργάνων, τα χημικά αντιδραστήρια και άλλα αναλώσιμα, είναι οι χώροι όπου επίσης εργάζεται υποστηρικτικά. Στις στεγνές περιοχές πρέπει να υπάρχουν νιπτήρες, χαρτί σκουπίσματος, ξηρό και καλά αεριζόμενα ντουλάπια υάλινων σκευών, ικανούς αποθηκευτικούς χώρους, καταψύκτες, ψυγεία, κάδους απορριμμάτων και πάγκους εργασίας. Οι υγρές περιοχές όπου βρίσκονται κυρίως οι εγκαταστάσεις υποστήριξης της παροχής και του καθαρισμού του νερού των ενυδρείων, χρειάζονται πάνω απ' όλα και πρακτικές παροχές άφθονου γλυκού νερού και ένα αποτελεσματικό σύστημα αποχέτευσης νερού διά επιδαπέδιου, εσχαρωμένου με μη διαβρώσιμο υλικό και προσβάσιμου καναλιού.

Γενικά το κτήριο του ενυδρείου θα πρέπει να έχει φαρδιές πόρτες και διαδρόμους, με λίγες αλλαγές στην υψομετρία του δαπέδου (για να διευκολύνεται η μεταφορά ογκωδών αντικειμένων προς και από τους διάφορους χώρους) και να διαθέτει κάποια είσοδο (εξοπλισμένη και με ανυψωτικό) κατάλληλη για διευθέτηση παρκαρίσματος φορητών αυτοκινήτων. Θα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπ' όψη στο σχεδιασμό, ότι τα περισσότερα εκθεσιακά ενυδρεία δεν παραμένουν στην πορεία του χρόνου αμετάβλητα αλλά αντιθέτως προοδευτικά επεκτείνονται και μεγαλώνουν. Θα πρέπει λοιπόν εξ' αρχής να σχεδιάζονται με αυτό κατά νου, έτσι

ώστε όταν απαιτηθεί, να επεκτείνονται εύκολα και ο εξοπλισμός τους να είναι αναβαθμίσιμος.

### 3. ΑΡΧΕΣ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ - Η ΠΑΡΟΧΗ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ

Σε παράκτιες εγκαταστάσεις δημόσιων ενυδρείων η απαιτούμενη ποσότητα θαλασσινού νερού μπορεί να αντλείται από τη γειτονική θαλάσσια περιοχή και να αποθηκεύεται σε δεξαμενές απ' όπου θα διοχετεύεται με τη βαρύτητα στα ενυδρεία. Ένα σωστό σύστημα συλλογής φρέσκου θαλασσινού νερού αντλεί τις απαραίτητες ποσότητες καθαρού νερού με αξιοπιστία και με λογικό κόστος. Η ποιότητα του φρέσκου αντλούμενου νερού καθορίζεται πρωτίστως από την χαμηλή θολερότητά του δηλαδή τη χαμηλή του περιεκτικότητα σε μικροσωματιδιακό οργανικό άνθρακα (POC – Particulate Organic Carbon).

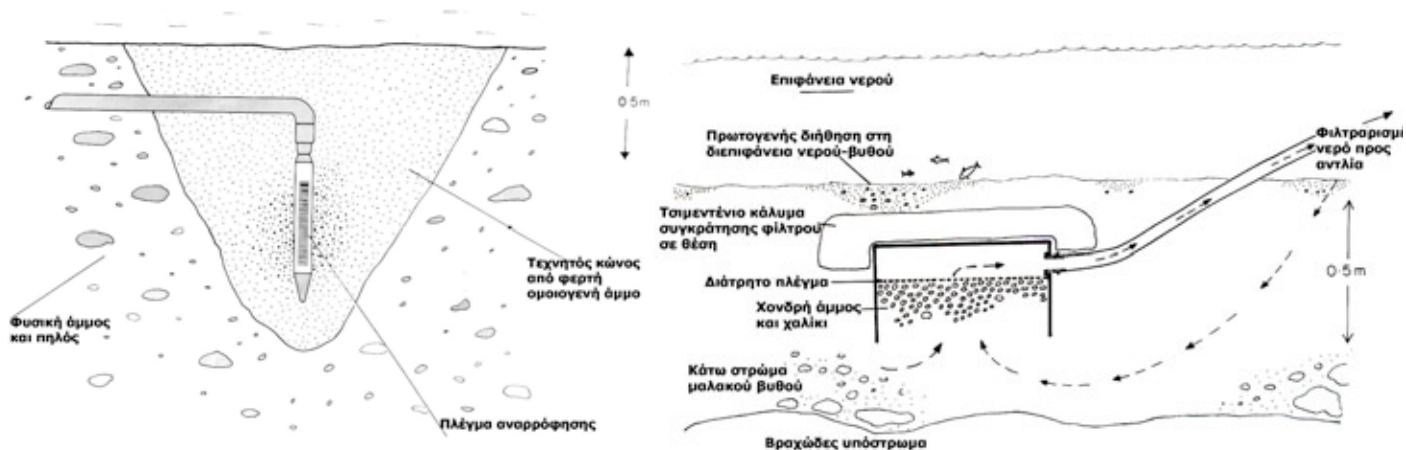
Τα συστήματα παροχής θαλασσινού νερού μπορεί να είναι (και να αντλούν) **επιφανειακής άντλησης** ή **υπο-επιφανειακής άντλησης**.

Το σύστημα επιφανειακής άντλησης δουλεύει με άντληση νερού διαμέσου ενός ανοικτού στομίου σωλήνα που βρίσκεται σε σημείο της θάλασσας μακράν της ακτής. Η διαδικασία αυτή θα πρέπει οπωσδήποτε να ακολουθείται με φιλτράρισμα του νερού στη χερσαία εγκατάσταση προτού αυτό γίνει διαθέσιμο για τα ενυδρεία. Η επιφανειακή πρόσληψη νερού υπόκειται σε περιοδικά υψηλά επίπεδα POC εξαιτίας αυξήσεων του πλαγκτού, βρόχινων νερών και θολερότητας προξενούμενης από καταιγίδες.

Η βιοεπίστρωση (biofouling) που συνίσταται στην συσσώρευση στο στόμιο του σωλήνα από υπερβολική ανάπτυξη διαφόρων ασπονδύλων όπως μυδιών, πεταλίδων και άλλων προσκολλητικών οργανισμών, προκαλεί μείωση της παροχής συν

τω χρόνω και αποτελεί ένα από τα σοβαρότερα προβλήματα στην επιφανειακή άντληση. Η αντιμετώπισή του συνίσταται στην τοποθέτηση διπλού συστήματος σωλήνων. Όταν το ένα από αυτά βρίσκεται σε λειτουργία το άλλο παραμένει ανενεργό και ευρισκόμενο σε ανοξικές συνθήκες ή διαρρεόμενο από γλυκό νερό με σκοπό τη θανάτωση των παραπάνω αναφερόμενων προσκολλητικών οργανισμών. Πάντως εάν η ροή του θαλασσινού νερού είναι σταθερά πολύ μεγάλη ( $> 2,5 \text{ m/s}$ ) η προσκόλληση των οργανισμών δυσκολεύεται κατά πολύ και αργεί να προκαλέσει φράξιμο. Επιπρόσθετα η ροή υψηλής ταχύτητας έχει το επιπρόσθετο πλεονέκτημα της ευχέρειας χρησιμοποίησης σωλήνα μικρότερης διαμέτρου με ότι αυτό συνεπάγεται σε οικονομία χώρου και εξόδων.

Τα συστήματα υπο-επιφανειακής άντλησης σε γενικές γραμμές αντλούν νερό από φρεάτια στο βυθό της θάλασσας (Σχήμα 16).

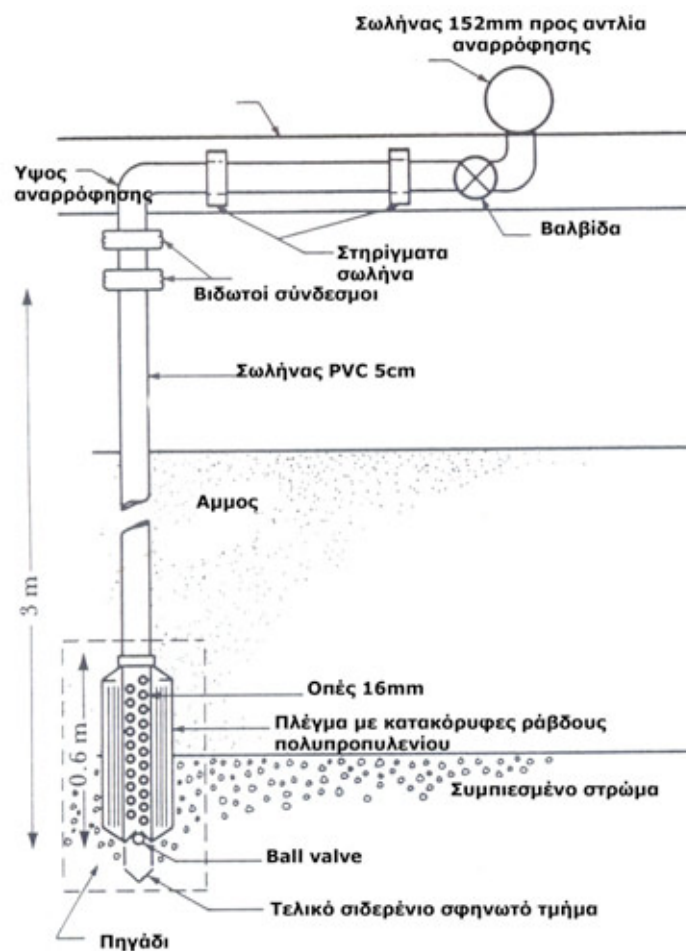


Σχήμα 16. Τοποθέτηση σωλήνα υποεπιφανειακής άντλησης θαλασσινού νερού για βυθούς με παχύ στρώμα άμμου (αριστερά) ή με λεπτό στρώμα (δεξιά).

Στα σύγχρονα συστήματα οι σωληνώσεις είναι κατασκευασμένες από υλικό PVC και η κεφαλή αναρρόφησης του

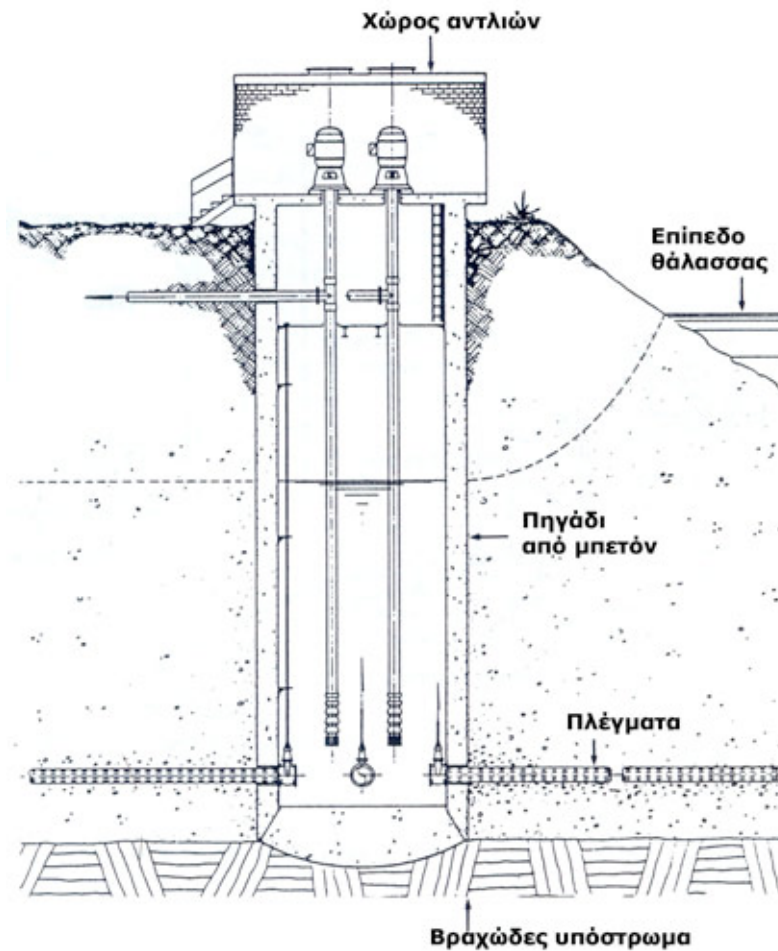


πηγαδιού βρίσκεται στέρα τοποθετημένη στο αμμώδες υπόστρωμα κάτω από τη στάθμη κατωτάτης ρηχίας (Σχήμα 16). Εναλλακτικά μπορεί επίσης να αντληθεί θαλασσινό νερό από υπόγεια πηγάδια στη στεριά και κοντά στη θάλασσα (Σχήματα 17 & 18) εφόσον αποδεδειγμένα υπάρχει εισχώρηση θαλασσινού νερού και η στάθμη του πηγαδιού παραμένει σταθερή στη διάρκεια του έτους. Η χρήση των υπο-επιφανειακών αντλητικών συστημάτων απαλείφει την ανάγκη για επιπρόσθετη κατεργασία φιλτραρίσματος του νερού επειδή το θαλασσινό νερό έχει ήδη φιλτραριστεί δια μέσου των στρωμάτων χαλικιού και άμμου που έχει διαπεράσει.



Σχήμα 17. Σύστημα άντλησης θαλασσινού νερού με σωληνώσεις από PVC και κεφαλή άντλησης του πηγαδιού βυθισμένο στο στρώμα της άμμου.

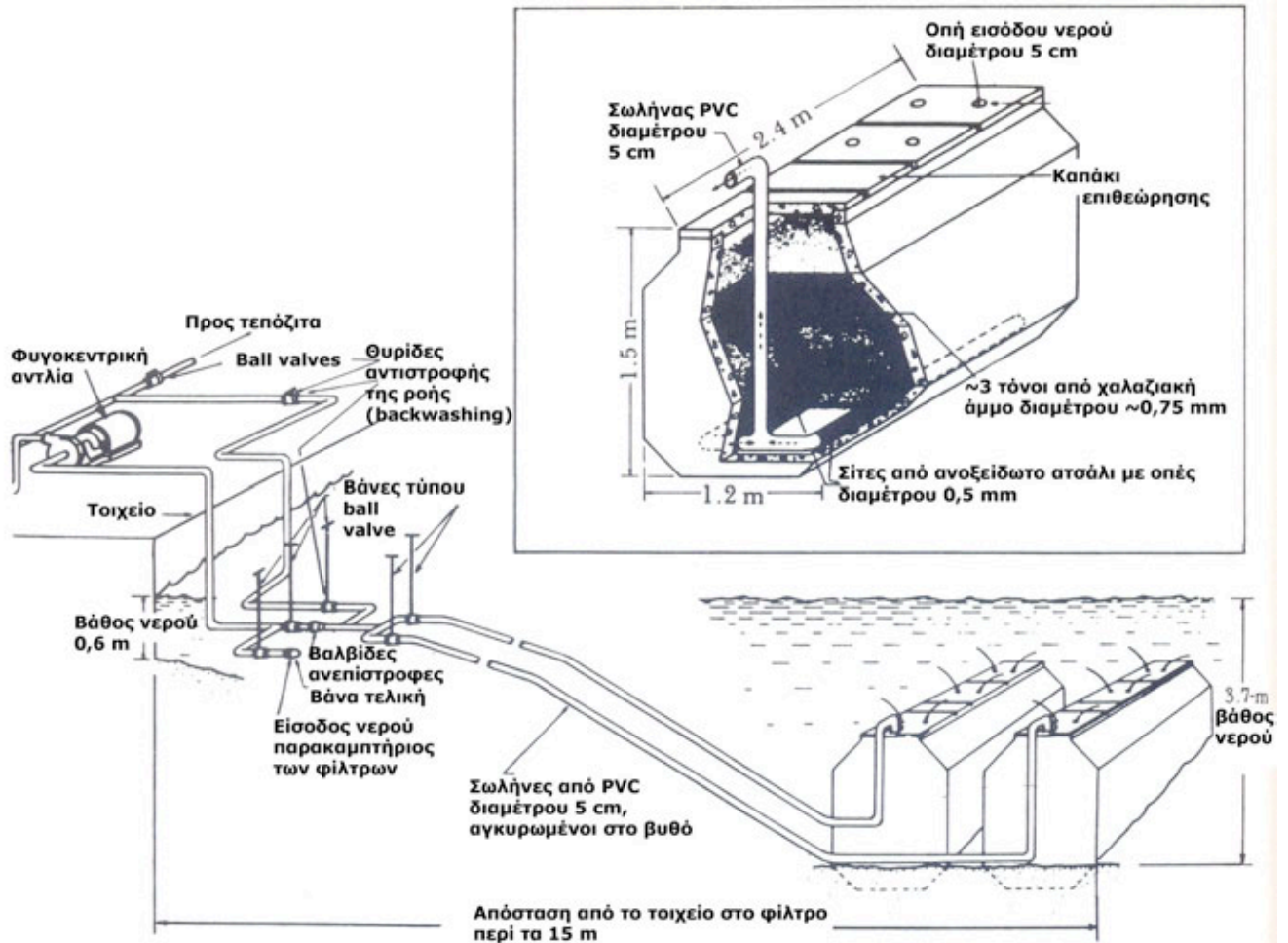




Σχήμα 18. Συμπαγής μεγάλη κατασκευή συλλεκτήρα θαλασσινού νερού.

Μια εναλλακτική μέθοδος άντλησης θαλασσινού νερού ενδιάμεση ή υβριδική των δύο παραπάνω περιγραφέντων μεθόδων (επιφανειακή – υπο-επιφανειακή) είναι αυτή της **βυθισμένου φίλτρου άμμου** (Σχήμα 19). Κατ' αυτήν αντλείται νερό από τη θάλασσα σε ικανή απόσταση από την ακτή και αποτελείται από ειδικά διαμορφωμένους διάτρητους θαλάμους από μπετόν τοποθετημένους επάνω στο βυθό πέραν της γραμμής κατωτάτης ρηχίας. Το φιλτραρισμένο νερό μεταφέρεται σε τεπόζιτα συλλογής από σύστημα άντλησης λειτουργούν στην ακτή. Το σύστημα αυτό χρειάζεται περιοδικό καθαρισμό των στρωμάτων

της άμμου που περιέχει όταν αυτοί στομώσουν με τα υλικά που συγκράτησαν. Ο καθαρισμός γίνεται με αντιστροφή της ροής (backwashing).



Σχήμα 19. Βυθισμένο φίλτρο άμμου στη θάλασσα για παροχή φιλτραρισμένου θαλασσινού νερού σε συγκρότημα εκθεσιακών ενυδρείων.

#### 4. ΑΡΧΕΣ ΣΩΣΤΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ ΤΩΝ ΨΑΡΙΩΝ ΣΕ ΕΝΥΔΡΕΙΑ

##### Η σωστή προσέγγιση στην παρουσίαση των ψαριών σε εκθεσιακά ενυδρεία

Οι επισκέπτες ενός «ενυδρείου για το κοινό» ή «δημόσιου ενυδρείου» (public aquarium), μερικές φορές απογοητεύονται όταν τα εκθέματα δεν ικανοποιούν τον φανταστικό τους κόσμο της υποθαλάσσιας ζωής που τους έχει δημιουργηθεί από πλήθος εγκεφαλικά αποκτηθέντων εικόνων κυρίως μέσω του κινηματογράφου.

Είναι γεγονός ότι όσο και αν υπερέχει ένα εκθεσιακό έκθεμα σε ρεαλισμό έναντι του κινηματογράφου, τόσο χάνει έναντι αυτού σε μεγαλείο.

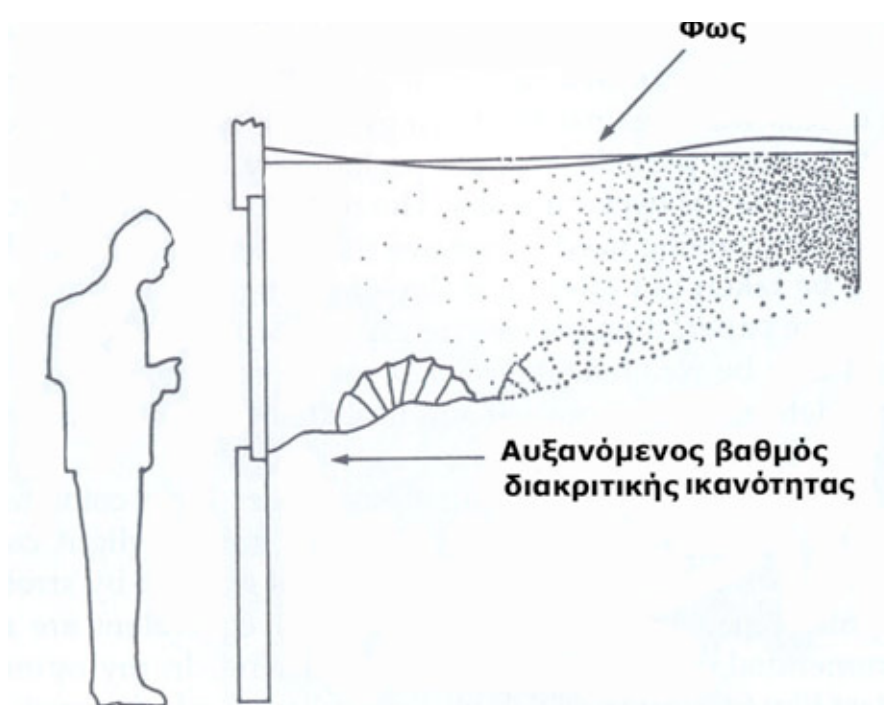
Ετσι λοιπόν κανένα από τα προηγούμενα μέσα (ενυδρείο ή κινηματογράφος) δεν μπορεί να είναι απόλυτα επιτυχημένο επειδή απλά η φύση δεν μπορεί να αντιγραφεί.

Όμως παρόλα αυτά αν και το δημόσιο ενυδρείο έχει λίγα κοινά με τις κινηματογραφικές ταινίες, έχει πολλά κοινά με το θέατρο όπου η προσκόλληση στο ρεαλισμό έχει σαφή όρια τα οποία είναι και γίνονται κατανοητά και αποδεκτά από τους θεατές. Ένα δραματικό έργο παιγμένο επιδέξια παράγει μια ψευδαίσθηση της πραγματικότητας με την προϋπόθεση ότι οι θεατές εστιάζονται συγκεντρωμένα στους ηθοποιούς και όχι στο σκηνικό. Απαξ και η κουρτίνα σηκωθεί τότε οι τοίχοι δεν αποτελούν πλέον αντικείμενα προσοχής ούτε και τα όποια στηρίγματα που υπάρχουν. Μια καρέκλα θα είναι απλώς μια καρέκλα για να καθίσει ο ηθοποιός. Το φως ως προς την έντασή του και το χρώμα του θα δρα ως αλληγορία συναισθήματος. Στην πραγματικότητα αυτό που μετρά είναι οι ηθοποιοί, το παίξιμό τους, τα λόγια τους.

Ο σκοπός των εκθεμάτων ενός δημόσιου ενυδρείου είναι να εκθέσει τα ψάρια σε γυάλες και η καλύτερη προσέγγιση είναι ανάλογη του στησίματος ενός θεατρικού έργου. Τα τοιχώματα των ενυδρείων αντιπροσωπεύουν τους τοίχους της σκηνής. Τα όποια κοράλλια, βράχοι και άλλα άψυχα αντικείμενα επιλεγούν είναι το ντεκόρ και το συναίσθημα δημιουργείται με το φωτισμό.

Το να κατευθυνθεί η προσοχή προς τα ψάρια είναι θέμα φόντου, φωτισμού και σωστής τοποθέτησης των αντικειμένων παρά λεπτομερειών. Η τελειοθηρική αναπαράσταση των λεπτομερειών του βραχώδους βυθού ή ενός κοραλλιογενούς ενυδρείου δεν έχει τόση σημασία εάν ο σκοπός ενός εκάστοτε ενυδρείου είναι η επικέντρωση στα ψάρια και όχι στα βράχια.

Η επιτυχής αυταπάτη της δημιουργίας ενός κόσμου βυθού π.χ. κοραλλιογενούς ενυδρείου (coral reef aquarium) μπορεί να δημιουργηθεί βάζοντας λίγα εξαιρετικής λεπτομέρειας αντικείμενα στο ενυδρείο ακριβώς μπροστά στο οπτικό πεδίο του επισκέπτη. Η επιθυμητή αυταπάτη συντηρείται από άλλα αντικείμενα με λιγότερες λεπτομέρειες τοποθετημένα προς το πίσω μέρος του ενυδρείου όπου ο φωτισμός σταδιακά έχει ελαχιστοποιηθεί και οι επισκέπτες αποδεδειγμένα δεν εστιάζονται έντονα (Σχήμα 20). Ακόμα και όταν το βλέμμα τους περιδιαβαίνει τα υπόλοιπα εκτός των μπροστινών αντικειμένων στο ενυδρείο, αυτό που καταλαμβάνει εντυπωσιακά την προσοχή τους είναι τα πιο κοντινά αντικείμενα, εφόσον βεβαίως και τα τοποθετημένα πιο πίσω και μακριά στο οπτικό του πεδίο είναι του ίδιου περίπου σχεδίου, όγκου και χρωματισμού με τα μπροστινά.



Σχήμα 20 Διαγραμματική απεικόνιση της σχέσης μεταξύ της έντασης του φωτισμού και του βαθμού διάκρισης λεπτομερειών που απαιτείται σε εκθεσιακό ενυδρείο, ως συνάρτηση της απόστασης από το μάτι του επισκέπτη των τοποθετημένων αντικειμένων μέσα στο ενυδρείο.

### Διάταξη των εκθεσιακών ενυδρείων

Τα εκθεσιακά ενυδρεία είτε θα έχουν σχεδιαστεί για ειδικές λειτουργίες είτε για αμιγώς αισθητικούς σκοπούς όπως αυτός της έκθεσης των ψαριών. Στην μεν πρώτη περίπτωση το σχήμα των ενυδρείων καθορίζεται από την επιθυμητή λειτουργία που πρέπει να επιτελέσουν, στη δεύτερη όμως το σχήμα δηλαδή η φόρμα τους είναι υψίστης και κύριας σημασίας δεδομένου ότι θα πρόκειται για εκθεσιακά ενυδρεία.

Μια διάταξη ζωντανών εκθεμάτων όπως είναι τα ψάρια απαιτεί περισσότερα από μια απλή αρχιτεκτονική συμμετρία. Εφόσον σκοπός είναι η μόρφωση – πληροφόρηση των επισκεπτών τότε θα πρέπει να κερδηθεί η προσοχή τους και να μην ταξιδεύει από εδώ και κει το βλέμμα και ο λογισμός τους. Το κάθε έκθεμα (ενυδρείο) που βρίσκεται κάθε φορά μπροστά τους θα είναι κάθε φορά το κέντρο της προσοχής και του ενδιαφέροντός των και όχι αυτά που ακολουθούν ούτε αυτά που έχουν ήδη δει.

## Σχήματα εκθεσιακών ενυδρείων

Εκτός από το κλασικό υλικό κατασκευής ενυδρείων, αυτό της υάλου, σήμερα έχουν εξελιχθεί διάφανα ακρυλικά υλικά που επιτρέπουν στα εκθεσιακά ενυδρεία να πλαστούν σε κάθε πιθανό σχήμα. Δύο από τα πιο δημοφιλή και πρακτικά σχήματα είναι αυτά του κυλίνδρου και του ημικυλίνδρου (Σχήμα 21).



Σχήμα 21. Αυτόνομα κυλινδρικά (Α) και ημικυλινδρικά (Β μπροστά από τοίχο), εκθεσιακά ενυδρεία.

Άλλα σχήματα είναι το εξαγωνικό, το πρισματικό και το κωνικό. Αν και όλα αυτά τα σχήματα δεν είναι λειτουργικότερα του κλασικού ορθογωνίου και εκτός των άλλων οι κυρτές επιφάνειές τους προκαλούν οπτική παραμόρφωση στα εκθέματα σε οπτική



επαφή μικρής απόστασης, είναι πολύ όμορφα στην εμφάνιση και εκεί οφείλουν την αξία τους.

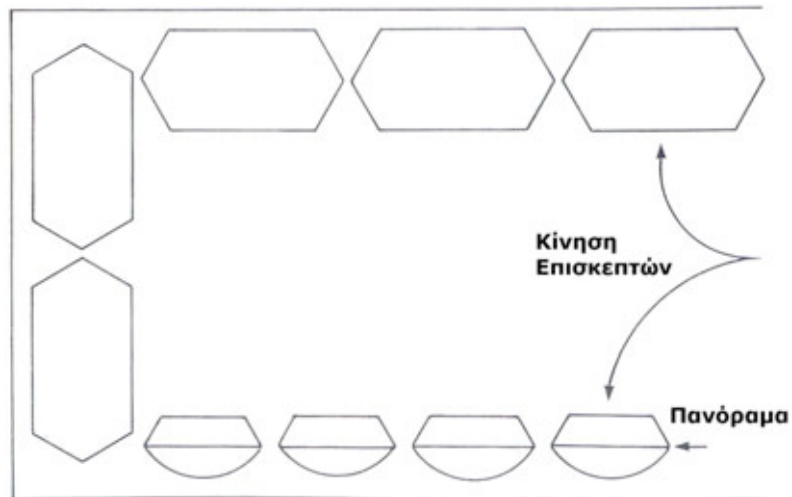
### **Διάταξη ενυδρείων και κίνηση επισκεπτών**

Δεν έχουν γίνει μελέτες που να καταλήγουν ξεκάθαρα στο τι είναι αυτό ή αυτά τα στοιχεία που καθορίζουν τη βέλτιστη διάταξη των εκθεσιακών ενυδρείων. Ίσως η τέλεια διάταξη να είναι αδύνατον να επιτευχθεί. Η προσέγγιση στο θέμα αυτό δεν μπορεί παρά να είναι κατά πολύ υποκειμενική, παρόλο που η λογική και η εκάστοτε εμπειρία υποδεικνύουν ότι ορισμένες διατάξεις ενυδρείων είναι καλύτερες από κάποιες άλλες, υπό τον όρο όμως ότι ορισμένες προϋποθέσεις έχουν ληφθεί υπόψη.

Αυτές οι προϋποθέσεις είναι:

1. Στους επισκέπτες πρέπει να «παρουσιάζεται» ένα έκθεμα κάθε φορά.
2. Περισπασμοί της προσοχής των όπως ανακλώμενα φώτα και μη απαραίτητα φυσικά εμπόδια στη διαδρομή τους, είναι αισθητικώς δυσάρεστα και τους περισπούν από την εμπειρία της μάθησης.

Η συνήθης διάταξη των δημόσιων ενυδρείων παραδοσιακά αντέγραφε τις εκθέσεις τέχνης και τα μουσεία φυσικής ιστορίας. Δηλαδή οι επισκέπτες διασχίζουν το διάδρομο με τα εκθέματα κατά μήκος ενός τοίχου και κατόπιν «ξανά πίσω» για να βαδίσουν κατά μήκος των απέναντι εκθεμάτων (Σχήμα 22).



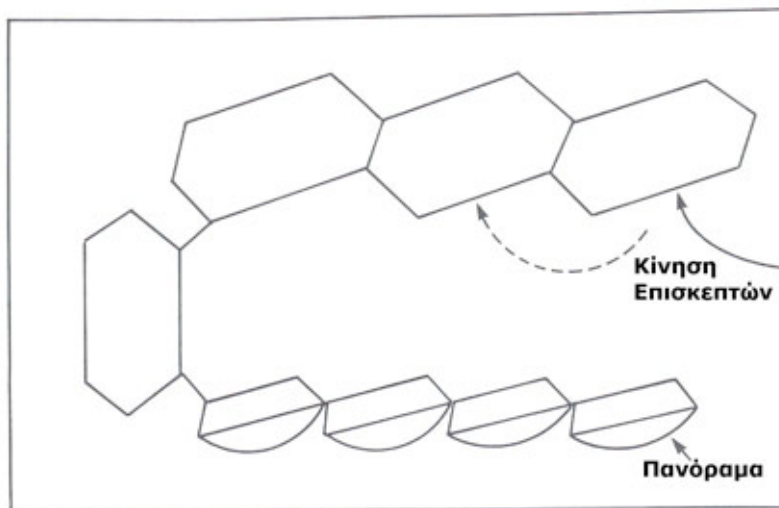
Σχήμα 22. Διάταξη ενυδρείων σε δημόσιο εκθεσιακό ενυδρειακό χώρο σε διάταξη «διαδρόμου». Μη επιθυμητή.

Μια τέτοια διάταξη είναι μη ικανοποιητική σε όλα τα είδη των εκθεσιακών χώρων και ειδικά σε αυτόν των ενυδρείων. Ειδικά για τον ενυδρειακό χώρο είναι μη ικανοποιητική επειδή ο χώρος του κοινού είναι συνήθως σκοτεινότερος (από μουσεία και εκθέσεις τέχνης) και υπάρχουν περισσότερες υάλινες ανακλαστικές επιφάνειες που προκαλούν σύγχυση και εκνευρισμό. Η μουσειακού τύπου διάταξη επιτρέπει στους επισκέπτες να βλέπουν και εκθέματα άλλα από αυτά που βρίσκονται ακριβώς μπροστά τους με αποτέλεσμα μη εστιασμένη και αφηρημένη παρατήρηση όλων και κανενός (μην ξεχνάμε ότι τα ενυδρεία βρίσκονται σε μια κατά τα άλλα άδεια αίθουσα). Επιπρόσθετα η ανυπαρξία κανόνων κίνησης των επισκεπτών και ιδιαίτερα σε ημέρες συνωστισμού, εμποδίζει τη ροή της κίνησης των ανθρώπων και αποθαρρύνει τη σωστή λειτουργία κάποιου συστήματος παροχής πληροφοριών ή αφήγησης ιστοριών για το κάθε έκθεμα, που θα μπορούσε έτσι να ενταχθεί σε μια αλληλουχία κατάλληλα συγκροτημένων μοναδικών εκθεμάτων. Επιπλέον ο



οπίσθιος φωτισμός από τα ενυδρεία στον απέναντι τοίχο δημιουργεί αντανάκλασεις των περιγραμμάτων των άλλων επισκεπτών στη διάφανη επιφάνεια του ενυδρείου που εκάστοτε παρατηρούν. Όλες οι παραπάνω αδυναμίες μπορούν σε ένα βαθμό να αντιμετωπισθούν με την τοποθέτηση ενός διαχωριστικού που θα δράσει ως φράκτης αντανάκλασης.

Μια ορθολογική, εργονομική και απολαυστική διάταξη είναι αυτή με ενυδρεία τοποθετημένα στρατηγικώς στην πορεία των επισκεπτών, με τρόπο τέτοιο που να «κάνουν απλώς νύξη» για το τι ακολουθεί μετά από αυτό που κοιτάζει την εκάστοτε στιγμή. Η διάταξη που επιτρέπει κάτι τέτοιο συνίσταται στην τοποθέτηση των ενυδρείων σε διάταξη ευθεία και υπό γωνία (Σχήμα 23).



Σχήμα 23. Διάταξη ενυδρείων σε «διάδρομο και υπό γωνία». Μεγιστοποίηση της προσοχής του επισκέπτη λόγω της μη πλήρους ορατότητας άλλων ενυδρείων κάθε φορά. Επιθυμητή.

Ετσι, με τη διάταξη αυτή, ο κάθε επισκέπτης που παρατηρεί μπροστά στο εκάστοτε ενυδρείο συγκεντρώνεται σε αυτό και το οπτικό του πεδίο δεν περισπάται εύκολα να αποσπαστεί και να κοιτάζει και τα γειτονικά ενυδρεία. Αποτέλεσμα: Συγκρατεί περισσότερα πράγματα για τα ψάρια του κάθε ενυδρείου, συγκεντρώνεται και συγκρατεί περισσότερες πληροφορίες από τα

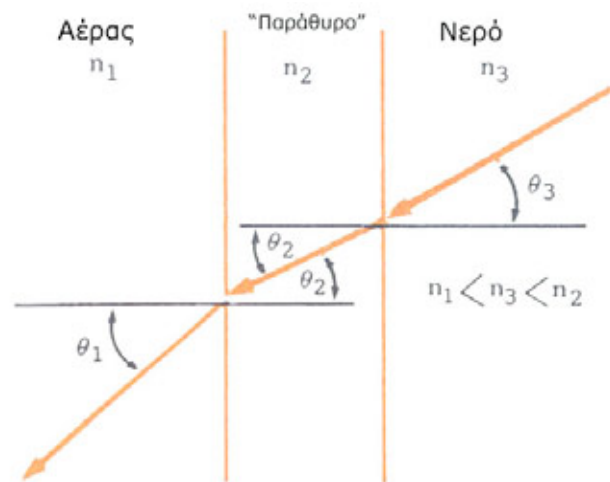
αυτοματοποιημένα ή δια ζώσης (ξεναγός) μέσα παροχής υπηρεσιών – πληροφοριών που ενδεχομένως υπάρχουν στο χώρο. Ειδικά για επισκέπτες μαθητές ή φοιτητές, η παραπάνω ιδιότητα είναι προφανούς σπουδαιότητας.

### Οπτική των ενυδρείων

Το παράθυρο παρατήρησης (βιτρίνα) ενός εκθεσιακού ενυδρείου μπορεί να είναι επίπεδο ή καμ πυλόγραμμα (κοίλο ή κυρτό). Το σχήμα της βιτρίνας και η απόσταση του επισκέπτη απ' αυτήν επηρεάζουν τη φαινομενική θέση των ψαριών στην επίδειξη.

Στην περίπτωση επίπεδης βιτρίνας με δείκτη διαθλάσεως  $n_2$  που διαχωρίζει αέρα και νερό με δείκτες διαθλάσεως  $n_1$  και  $n_3$  αντίστοιχα η κατάσταση έχει ως αποτυπώνεται στο Σχήμα 24.

Σχήμα 24. Γωνίες ακτίνας φως που περνά από το νερό στον αέρα διαμέσου της υάλου. Κατάσταση τυπική ενός γυάλινου εκθεσιακού ενυδρείου με φωτισμό από επάνω.



Υποθέτοντας ότι:  $n_1 < n_3$  και  $n_2 < n_3$  το φως από ένα βυθισμένο στο νερό αντικείμενο διαθλάται κατ'αρχήν στην επιφάνεια του γυαλιού και κατόπιν καθώς φεύγει από το γυαλί. Σύμφωνα με το νόμο του Snell:

$$n_3 \eta \mu \theta_3 = n_2 \eta \mu \theta_2$$

και

$$n_2 \eta \mu \theta_2 = n_1 \eta \mu \theta_1$$

συνδυάζοντας τις παραπάνω λαμβάνουμε:

$$n_3 \eta \mu \theta_3 = n_1 \eta \mu \theta_1$$

Αψηφώντας το πάχος του γυαλιού θεωρούμε ότι η κάμψη της ακτίνας φωτός που περνά από το νερό στον αέρα (και το αντίστροφο) είναι ανεξάρτητη από το δείκτη διαθλάσεως του γυαλιού.

### Τρόποι καθορισμού της μέγιστης δυνατής γωνίας όρασης Δια μέσου επίπεδης βιτρίνας

1. Χρησιμοποιούμε το Σχήμα 25. Υποτίθεται ότι ο δείκτης διαθλάσεως του νερού είναι 1,33 και ότι:

$$a = \varepsilon \varphi \alpha \pi^{-1} \left( \frac{h}{d} \right)$$

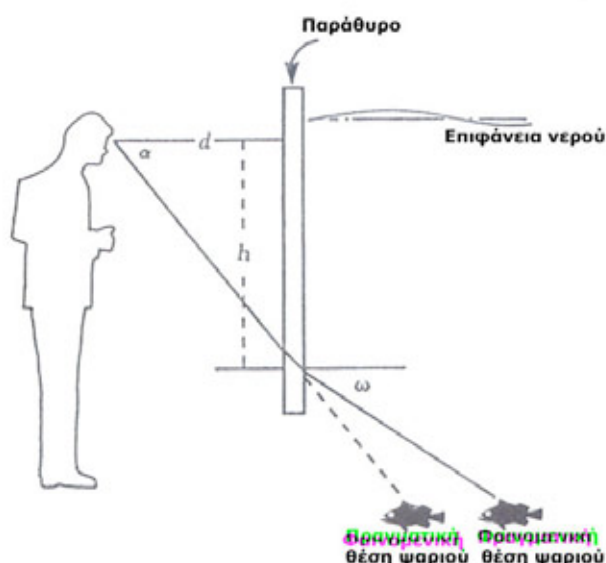
όπου:  $h$  = ύψος (cm) και  $d$  = απόσταση του παρατηρητή από τη βιτρίνα (cm). Η μέγιστη γωνία όρασης αντιπροσωπεύεται με το  $\omega$ . Επιλύοντας το νόμο του Snell για τη γωνία  $\omega$  έχουμε:

$$\omega = \eta \mu^{-1} \left( \frac{\eta \mu \alpha}{1,33} \right)$$

ή

$$\omega = \eta \mu^{-1} \left[ \frac{\eta \mu (\varepsilon \varphi \alpha \pi^{-1} [h/d])}{1,33} \right]$$

Σχήμα 25. Παραλλαγή στην φαινομενική και πραγματική θέση ενός ψαριού σε ένα εκθεσιακό ενυδρείο προκαλούμενη από τη γωνία του δείκτη διαθλάσεως.



2. Εάν π.χ.  $d = 30$  cm και  $h = 70$  cm βρίσκουμε τη μέγιστη γωνία όρασης  $\omega$  σύμφωνα με τις παραπάνω εξισώσεις. Θα έχουμε:

$$a = \varepsilon \varphi \alpha \pi^{-1} \left( \frac{70}{30} \right) = 66,8$$

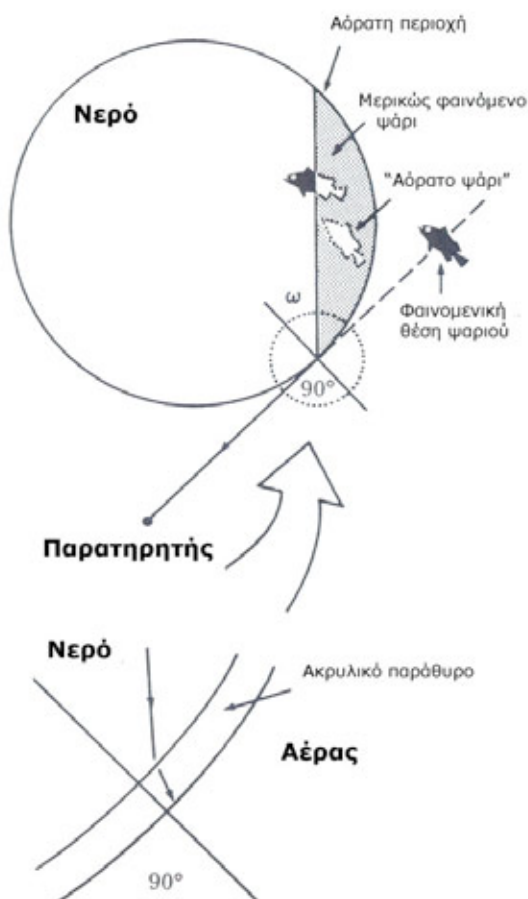
και συνεπώς:

$$\omega = \eta \mu^{-1} (\eta \mu 66,8 / 1,33) = \eta \mu^{-1} (0,92 / 1,33) = 43,7^\circ$$

Συνεπώς οποιοδήποτε τμήμα του ενυδρείου (και ψάρια) βρίσκεται πέραν της νοητής γραμμής που ορίζει η γωνία των  $\omega = 43,7^\circ$  είναι αόρατο στον παρατηρητή.

### Τρόποι καθορισμού της μέγιστης δυνατής γωνίας όρασης Δια μέσου κυρτής βιτρίνας

Ως διαγραμματικό παράδειγμα χρησιμοποιείται αυτό του Σχήματος 26.



Σχήμα 26. Οπτική σε ένα ενυδρείο με κυρτό τοίχωμα κατασκευασμένο από διαφανές ακρυλικό υλικό. Ένα ψάρι στο γραμμοσκιασμένο μέρος του σχήματος θα είναι αόρατο από την υποδεικνυόμενη θέση του παρατηρητή ακόμα και σε απουσία φυσικών εμποδίων για την όραση.

1. Ο δείκτης διαθλάσεως του νερού θα είναι 1,33. Σύμφωνα με το νόμο του Snell,  $n_{\alpha} / n_{\omega} = 1,33$  (δείκτης διαθλάσεως αέρα =1). Επειδή  $\alpha = 90^{\circ}$  και  $n_{90^{\circ}} = 1$ , τότε  $\omega = n_{\alpha}^{-1}(1/1,33) = 48,7^{\circ}$ .
2. Υποθέτοντας ότι η βιτρίνα είναι κατασκευασμένη από ακρυλικό με δείκτη διαθλάσεως 1,54 η γωνία διαθλάσεως στη βιτρίνα θα είναι:

$$\omega = n_{\alpha}^{-1}\left(\frac{1}{1,54}\right) = 40,5^{\circ}$$

Η γωνία στη διεπιφάνεια ακρυλικού – νερού θα είναι ίδια εάν η διάμετρος του ενυδρείου είναι μεγάλη.

3. Η γωνία στο νερό βρίσκεται από τη σχέση:

$$\frac{n_{\omega} \sin 40,5^{\circ}}{n_{\alpha}} = \frac{1,33}{1,54} \text{ συνεπώς:}$$

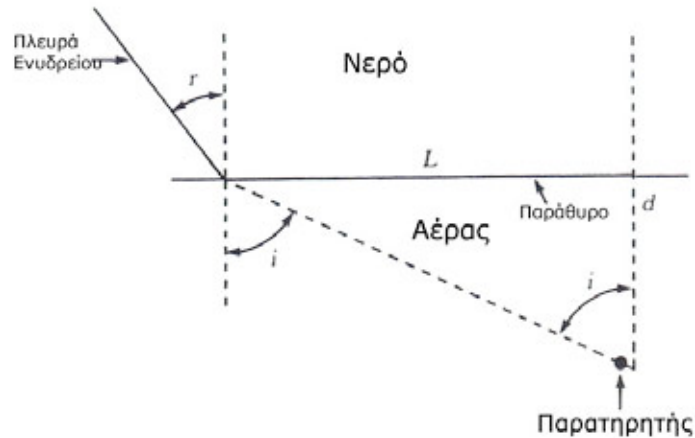
$$\omega = n_{\alpha}^{-1}\left(\frac{1,54 n_{\omega} \sin 40,5^{\circ}}{1,33}\right) = 48,8^{\circ}$$

Είναι αξιοσημείωτο ότι τα χαρακτηριστικά της βιτρίνας δεν επηρεάζουν σημαντικά τη γωνία εκτός και αν το πάχος του ακρυλικού είναι μεγάλο σε σχέση με τη διάμετρο του ενυδρείου.

### **Απάλειψη των τοιχωμάτων των ενυδρείων από το οπτικό πεδίο των επισκεπτών**

Οι πλευρές των εκθεσιακών ενυδρείων μπορούν να ενωθούν με τη βιτρίνα του υπό αμβλεία γωνία τέτοια που να μην είναι ορατοί στους επισκέπτες κατά την προκαθορισμένη διαδρομή που αυτοί θα ακολουθούν. Στο διάγραμμα του Σχήματος 27 αναζητείται η τιμή της γωνίας  $r$  που σχηματίζει η πλευρά του ενυδρείου με την

κάθετο στη βιτρίνα (παράθυρο του ενυδρείου), με την οποία η πλευρά του ενυδρείου δεν θα είναι ορατή από τους επισκέπτες.



Σχήμα 27. Διαγραμματική απεικόνιση εκθεσιακού ενυδρείου με την πλευρά του μη ορατή από τον παρατηρητή. Υπολογισμοί στο κείμενο.

Στο παράδειγμα του Σχήματος 27,  $i$  είναι η γωνία πρόσπτωσης και ισούται με:  $i = \text{εφαπ}^{-1}(L/d)$ ,  $r$  = γωνία διαθλάσεως,  $L$  = μήκος βιτρίνας ενυδρείου (cm), και  $d$  = απόσταση του παρατηρητή από τη βιτρίνα (cm). Υποθέτουμε πάλι ότι ο δείκτης διαθλάσεως του νερού είναι 1,33. Εφαρμόζοντας το νόμο του Snell θα έχουμε:

$$\frac{\eta_{\mu'}'}{\eta_{\mu''}} = 1,33 \text{ , συνεπώς: } r = \eta_{\mu''}^{-1}\left(\frac{\eta_{\mu'}'}{1,33}\right) = \eta_{\mu''}^{-1}\left[\frac{\eta_{\mu'}(\text{εφαπ}^{-1}[L/d])}{1,33}\right]$$

Εάν  $d = 30$  cm και  $L = 50$  cm, τότε  $r = 39,8^\circ$ . Παρομοίως εάν  $L = 100, 200$  και  $300$  cm, η τιμή του  $r$  θα γίνει  $45,6^\circ, 47,6^\circ$  και  $47,9^\circ$ . Οι τιμές αυτές αντιπροσωπεύουν τις γωνίες υπό τις οποίες αποκλίνει η πλευρά του ενυδρείου από την κάθετο στη βιτρίνα για να εξαφανιστεί από το οπτικό πεδίο του παρατηρητή. Η τιμή του  $r$  δεν επηρεάζεται από τις μεγάλες βιτρίνες ή από τη μείωση της απόστασης του επισκέπτη από τη βιτρίνα του ενυδρείου. Για

μηχανικούς λόγους όμως η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι περί τις 49°.

### Επιλογή χρώματος φόντου στο ενυδρείο

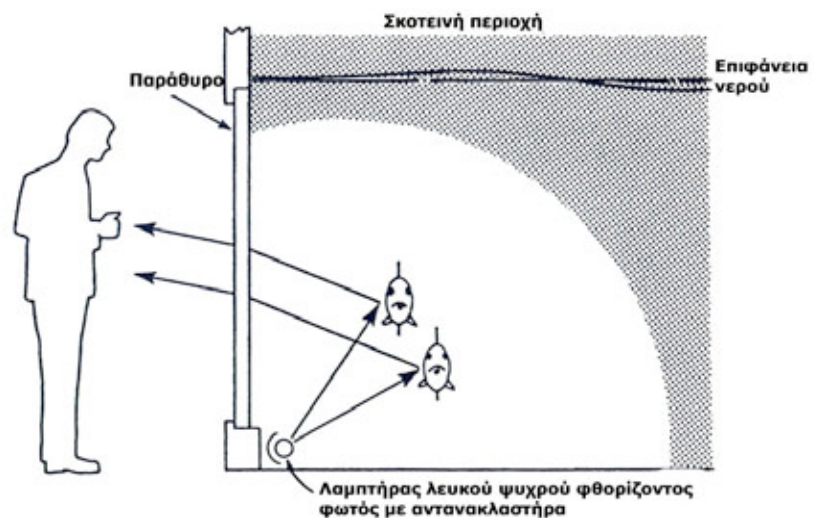
Κατά τη γνώμη μας το φόντο σε ένα εκθεσιακό ενυδρείο πρέπει να βαφτεί με διάφορα χρώματα αντί για ένα. Τα μονά χρώματα δεν δημιουργούν την αυταπάτη ενός οριζόντιου βάθους που είναι επιθυμητό, επειδή έχουν ελάχιστη αντίθεση (contrast). Τα χρώματα που θα επιλεγούν είναι κατά προτίμηση της ίδιας απόχρωσης και κορεσμού και διαφέρουν μόνο στην τιμή αυτών των παραμέτρων. Οι βαφές θα πρέπει να είναι μη ανακλαστικές (π.χ. με ματ τελείωμα) μπλε και πράσινες. Το χρώμα του φόντου που θα επιλεγεί θα πρέπει να ταιριάζει (να μιμείται) το χρώμα που επικρατεί στη γειτονική θαλάσσια περιοχή.

### Αντανάκλαση φωτός από αργυρόχρωμα ψάρια

Τα αργυρόχρωμα ψάρια στα ενυδρεία είναι από τα πιο εντυπωσιακά εκθέματα. Για να επιδειχθούν σωστά στο πως αντανακλούν το φως από τα πλευρά τους, θα πρέπει να τοποθετηθεί μια πηγή φωτός μέσα στο ενυδρείο ενώ η περιοχή άνω του φωτιστικού να διατηρείται σκοτεινή (Σχήμα 28).

#### Σχήμα 28.

Τα αργυρόχρωμα ψάρια αναδεικνύουν τα ανακλαστικά χαρακτηριστικά τους φωτίζοντάς τα από το πλάϊ. Η ένταση του φωτισμού από τα κάτω του ενυδρείου πρέπει να είναι μεγαλύτερη από αυτήν που έρχεται από πάνω και πίσω.

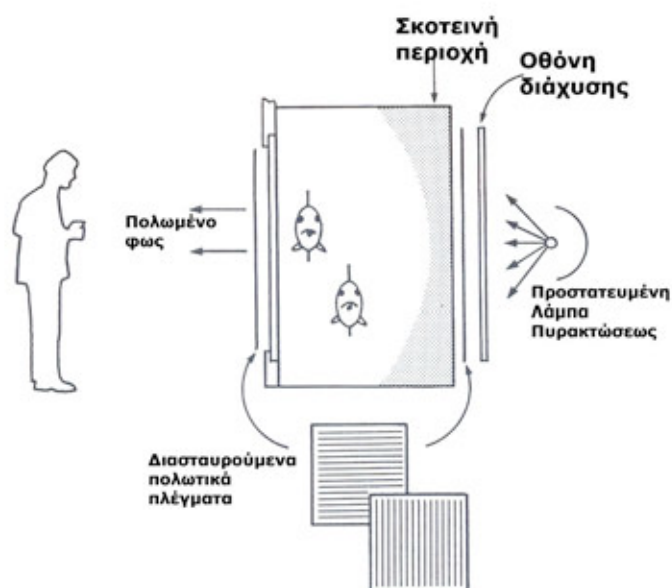


Η μέθοδος αυτή πρωτοχρησιμοποιήθηκε στα Ιαπωνικά δημόσια ενυδρεία αλλά σήμερα εφαρμόζεται στην Αμερική και στην Ευρώπη. Χρησιμοποιείται λευκός ψυχρός φθορίζον φωτισμός με λαμπτήρα σφραγισμένο σε επιμήκη διαφανή ακρυλικό σωλήνα. Για να είναι το όλο σύστημα του λαμπτήρα αόρατο από τους επισκέπτες, τοποθετείται κάτω από το κατώτατο επίπεδο της βιτρίνας του ενυδρείου και όσο το δυνατόν πιο κοντά σε αυτήν. Χρησιμοποιείται ανακλαστήρας καθ' όλο το μήκος του σωλήνα με σκοπό να αποφευχθούν οι σκόρπιες ακτίνες φωτός που θα δημιουργούσαν ανεπιθύμητα φαινόμενα φωτισμού του χώρου μεταξύ των ψαριών και της βιτρίνας.

### **Εκθέματα με τη χρήση πολωμένου φωτός**

Ένα από τα πιο εντυπωσιακά εκθέματα σε ένα δημόσιο ενυδρείο είναι αυτό με ψάρια που είναι ημι-διαφανή. Τα ψάρια με ημι-διαφανή σώματα τα κάνει ιδανικά εκθέματα για την επίδειξη των εσωτερικών τους οργάνων όπως η νηκτική κύστη και η σπονδυλική τους στήλη. Αυτά τα ανατομικά όργανα αποκαλύπτονται καλύτερα σε φωτισμό σκοτεινού πεδίου (dark-field illuminator). Το όλο σύστημα (Σχήμα 29) αποτελείται από λαμπτήρα πυρακτώσεως με ανακλαστήρα, μια οθόνη διάχυσης του φωτός, μια πλαστική πολωτική επιφάνεια, ένα ενυδρείο με ψάρια και μια δεύτερη πλαστική πολωτική επιφάνεια.





Σχήμα 29. Εκθέματα ενυδρείου με τη χρήση πολωμένου φωτός.

Οι πολωτικές επιφάνειες διασταυρώνονται με τρόπο που μειώνουν τη λαμπρότητα του φόντου έτσι που όλο σχεδόν το φως εξαλείφεται. Τα ψάρια περιστρέφουν το επίπεδο πόλωσης δια της διάχυσης του εκπεμπόμενου φωτός και δια των ανισότροπων (διπλής διάθλασης) ιδιοτήτων των ιστών του σώματός των. Αυτό προκαλεί τα εσωτερικά τους όργανα να φωτίζονται ζυηρά συγκριτικά με το μαύρο φόντο πέριξ των.

## 5. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΝΥΔΡΕΙΑΚΟΥ ΕΚΘΕΣΙΑΚΟΥ ΧΩΡΟΥ ΔΗΜΟΥ ΜΕΝΙΔΙΟΥ

Το συγκρότημα του ενυδρειακού χώρου θα περιλαμβάνει τα παρακάτω τμήματα:

1. Το τμήμα **υποστήριξης παροχής θαλασσινού νερού** από τον θαλάσσιο χώρο. Στο τμήμα αυτό περιλαμβάνεται κάθε είδους τεχνικο-μηχανολογική εγκατάσταση που διασφαλίζει την συνεχή παροχή μέσω άντλησης καθαρού νερού από τη θάλασσα στα ενυδρεία.
2. Τον κύριο **εκθεσιακό χώρο εκθεσιακών ενυδρείων** και τις εγκαταστάσεις καθαρισμού του νερού τους.
3. **Υποστηρικτικούς χώρους** για ποικίλες δραστηριότητες.

Παρακάτω θα αναλυθούν οι γενικές προδιαγραφές για τα παραπάνω τμήματα τα οποία με την περάτωση των τελικών μελετών με βάση τις προδιαγραφές του παρόντος θα λάβουν την τελική τους μορφή.

### Παροχή θαλασσινού νερού

Η τροφοδοσία του νερού που απαιτείται θα γίνεται με άντληση από τον παρακείμενο Αμβρακικό κόλπο. Η ακριβής τοποθεσία του συγκροτήματος του ενυδρείου θα καθορίσει την απόσταση από το σημείο άντλησης μέχρι την είσοδο του νερού στο κτήριο και τη διαμοίρασή του στα τμήματα που το απαιτούν.

Τα υδραυλικά και μηχανικά χαρακτηριστικά των μηχανημάτων άντλησης θα καθοριστούν με την εκπόνηση της οριστικής μελέτης.

Πριν την άντληση του νερού θα πρέπει να διεξαχθεί η ανάλυση του νερού από την περιοχή άντλησης για να διασφαλιστεί η καταλληλότητά του. Στον Πίνακα 3 παρακάτω αναφέρονται οι τιμές και τα ασφαλή εύρη των διαφόρων φυσικοχημικών παραμέτρων σύμφωνα με τα διεθνή ιχθυολογικά στάνταρντ.

Πίνακας 3. Τιμές φυσικοχημικών παραμέτρων θαλασσινού νερού κατάλληλου για ασφαλή διατήρηση ψαριών.

Παράμετρος	Αποδεκτό εύρος	Βέλτιστο εύρος	Προσοχή
Ειδική Βαρύτητα (σε 25 °C ή 77 °F)	1,020 – 1,027	1,022 – 1,025	< 1,020 ή > 1,027
Αγωγιμότητα	43 - 60 mS/cm	45 - 55 mS/cm	< 43 mS/cm ή > 60 mS/cm
Οξειδοαναγωγικό Δυναμικό REDOX	150 - 450 mV	250 - 350 mV	< 150 mV ή < 450 mV
pH	7,8 – 8,4	8,1 – 8,4	< 7,8 ή > 8,6
Σκληρότητα Αλκαλική/Ανθρακική	5-18 dKH	7-16 dKH	< 5 dKH ή > 18 dKH
Φωσφορικά (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	< 0,15 mg/l	< 0,05 mg/l	> 0,15 mg/l
Ολική Αμμωνία(TAN- NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /NH <sub>3</sub> )	< 0,05 mg/l	< 0,01 mg/l	> 0,05 mg/l
Νιτρώδη (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	0,02 mg/l	0 mg/l	> 0,02 mg/l
Νιτρικά (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	1-20 mg/l	2-10 mg/l	< 1 mg/l ή > 20 mg/l
Ασβέστιο (Ca <sup>2+</sup> )	300 - 450 mg/l	400 - 420 mg/l	< 300 mg/l
Μαγνήσιο (Mg <sup>2+</sup> )	1000 - 1600 mg/l	1200 - 1350 mg/l	< 1000 mg/l ή > 1600 mg/l
Ολική πίεση αερίων	20 – 76 mmHg		>76 mmHg
Διοξείδιο του άνθρακα (CO <sub>2</sub> )	<20 mg/l		>20 mg/l
Υδρόθειο (H <sub>2</sub> S)	<0,002 mg/l	<0,001 mg/l	>0,005 mg/l
Υπολειμματικό χλώριο	<0,01 mg/l	<0,001 mg/l	>0,01 mg/l
<b>Βαρέα μέταλλα</b>			
Κάδμιο (Cd)	<0,003 mg/l	<0,001 mg/l	>0,003 mg/l
Χρώμιο (Cr)	<0,025 mg/l	<0,01 mg/l	>0,03 mg/l
Χαλκός (Cu)	<0,003 mg/l	<0,001 mg/l	>0,003 mg/l
Σίδηρος (Fe)	<0,3 mg/l	<0,1 mg/l	>0,4 mg/l
Υδράργυρος (Hg)	<0,0001 mg/l	<0,00005 mg/l	>0,0001 mg/l
Μαγγάνιο (Mn)	<0,050 mg/l	<0,025 mg/l	>0,05 mg/l
Νικέλιο (Ni)	<0,005 mg/l	<0,002 mg/l	>0,005 mg/l
Μόλυβδος (Pb)	<0,004 mg/l	<0,002 mg/l	>0,005 mg/l
Ψευδάργυρος (Zn)	<0,025 mg/l	<0,010 mg/l	>0,025 mg/l
<b>Εντομοκτόνα</b>			
Aldrin- Dieldrin	<0,000003 mg/l	0	>0,000005 mg/l
Chlordane	<0,000005 mg/l	0	>0,000005 mg/l
DDT	<0,000001 mg/l	0	>0,000001 mg/l

Demeton	<0,0001 mg/l	0	>0,0001 mg/l
Σουλφαντάν	<0,000001 mg/l	0	>0,000001 mg/l
Endrin	<0,00001 mg/l	0	>0,00001 mg/l
Guthion	<0,00001 mg/l	0	>0,00001 mg/l
Heptachlor	<0,00001 mg/l	0	>0,00001 mg/l
Lindexan	<0,00005 mg/l	0	>0,00005 mg/l
Lindane	<0,000056 mg/l	0	>0,000056 mg/l
Μαλαθείο	<0,0001 mg/l	0	>0,0001 mg/l
<b>Διάφορες οργανικές ενώσεις</b>			
Φαινόλες	<0,001 mg/l	0	>0,001 mg/l
Φθαλικοί εστέρες	<0,003 mg/l	0	>0,003 mg/l
Πολυχλωριωμένα διφαινύλια	<0,000001 mg/l	0	>0,000001 mg/l
Πετρέλαια	<0,00001 mg/L	0	<0,00001 mg/L

Εφόσον οι τιμές που βρεθούν από τη χημική ανάλυση του νερού είναι εντός των ασφαλών ορίων, το σημείο άντλησης του νερού μπορεί να διασφαλιστεί. Από τον παραπάνω Πίνακα 3 ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στα βαρέα μέταλλα, εντομοκτόνα και φαινόλες, πολυχλωριωμένα διφαινύλια. Η ύπαρξη ασφαλών τιμών για τα παραπάνω επιτρέπει να σκεφτούμε για λύσεις καθαρισμού του νερού, εάν προκύψει ότι υπάρχει μικρή και έξω από τα παραπάνω καθορισμένα αποδεκτά όρια ρύπανση με αζωτούχες ή φωσφορικές ενώσεις που δεν σημαίνουν τίποτε άλλο παρά ευτροφισμό. Ηπιος ευτροφισμός δεν σημαίνει και ακαταλληλότητα του νερού αλλά επιβάλλει αυξημένο επίπεδο βιολογικής επεξεργασίας του στα φίλτρα που θα υπάρχουν στο ενυδρείο κάτι που μπορεί εύκολα να γίνει.

Η μέθοδος άντλησης συνιστάται να γίνει με βυθισμένο φίλτρο άμμου κατά τα περιγραφέντα στα προηγούμενα και ενδεικτικά στο Σχήμα 19. Με τη μέθοδο αυτή γίνεται μια ικανοποιητική πρώτη φίλτραση του νερού στο σημείο ακριβώς της αναρρόφησής του,

κατόπιν το νερό διαμοιράζεται στο κτήριο και στα ενυδρεία. Η συγκεκριμένη μέθοδος προσφέρει σταθερή αγκύρωση του σημείου αναρροφήσεως και επιπλέον αποφυγή στομώματός του. Το μόνο του μειονέκτημα αυτό της ανάγκης για καθαρισμό όταν τα στρώματα της άμμου φράξουν, ξεπερνιέται με την αντιστροφή της ροής του νερού (backwashing) κάτι που ρυθμίζεται να γίνεται αυτόματα όταν απαιτηθεί.

### **Εκθεσιακός χώρος ενυδρείων**

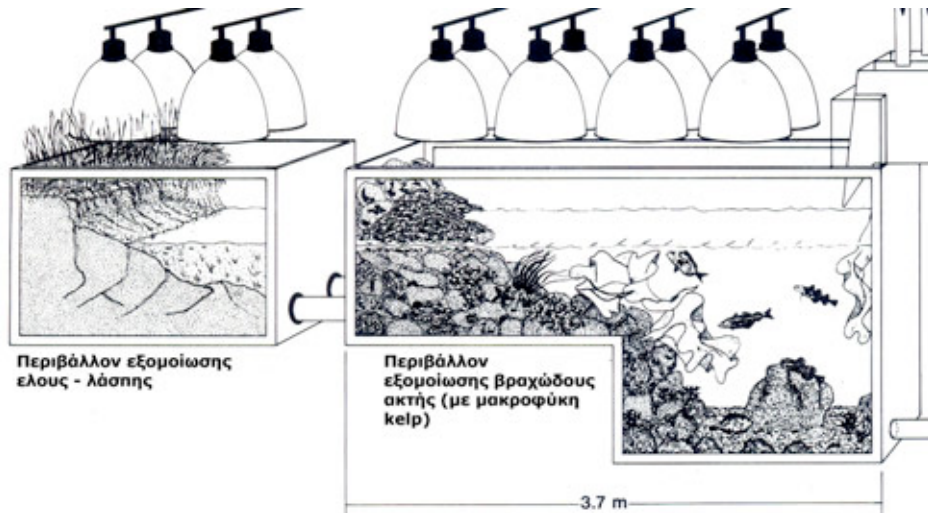
Το κύριο τμήμα της όλης κατασκευής θα αποτελέσουν οι αίθουσες με τα εκθεσιακά ενυδρεία. Η έκταση που θα διατεθεί για την κάλυψη με τα ενυδρεία και τα υποστηρικτικά τους συστήματα θα πρέπει να διαμορφωθεί σε ένα βασικό επίπεδο στο οποίο όμως δεν αποκλείονται μικρές διαφοροποιήσεις σε λίγο ανυψωμένα επίπεδα για ειδικούς εκθεσιακούς χώρους. Υπολογίζεται ότι για το σύνολο του χώρου τα εκθεσιακά ενυδρεία στο σύνολό τους θα καταλαμβάνουν έκταση περί το 20% με το υπόλοιπο 80% περίπου να αντιπροσωπεύει χώρο περιήγησης περίξ αυτών και εγκαταστάσεις καθαρισμού και κυκλοφορίας του νερού.

Τα ενυδρεία θα περιέχουν θαλασσινό καθαρισμένο νερό το οποίο θα ανακυκλώνεται συνεχώς μέσω της διαδρομής ενυδρείο – φίλτρα – ενυδρείο. Η κυκλοφορία του νερού μέσα και έξω από το κάθε ενυδρείο δεν θα είναι ορατή για το κοινό με τις αντλίες, σωληνώσεις, φίλτρα, θερμορυθμιστές κ.λπ. καλυμμένα και όπισθεν των ενυδρείων δηλαδή αόρατα για τους επισκέπτες.

Θα επιλεγεί η έκθεση κυρίως μεγάλων ενυδρείων της τάξεως των 1000 λίτρων και άνω με λίγα μόνο ενυδρεία χωρητικότητας 100-200 λίτρων για μικρού μεγέθους ζώα που έρπουν στο βυθό.

Τα μεγάλα ενυδρεία θα αποτελούνται ενίοτε από δύο επικοινωνούντα μέρη με ένα πιο μικρό και υπερυψωμένο και ένα

μεγαλύτερο στο επίπεδο του πατώματος (Σχήμα 30), έτσι που να διαχειρίζονται πιο αποτελεσματικά τα απομιμούμενα φυσικά περιβάλλοντα.



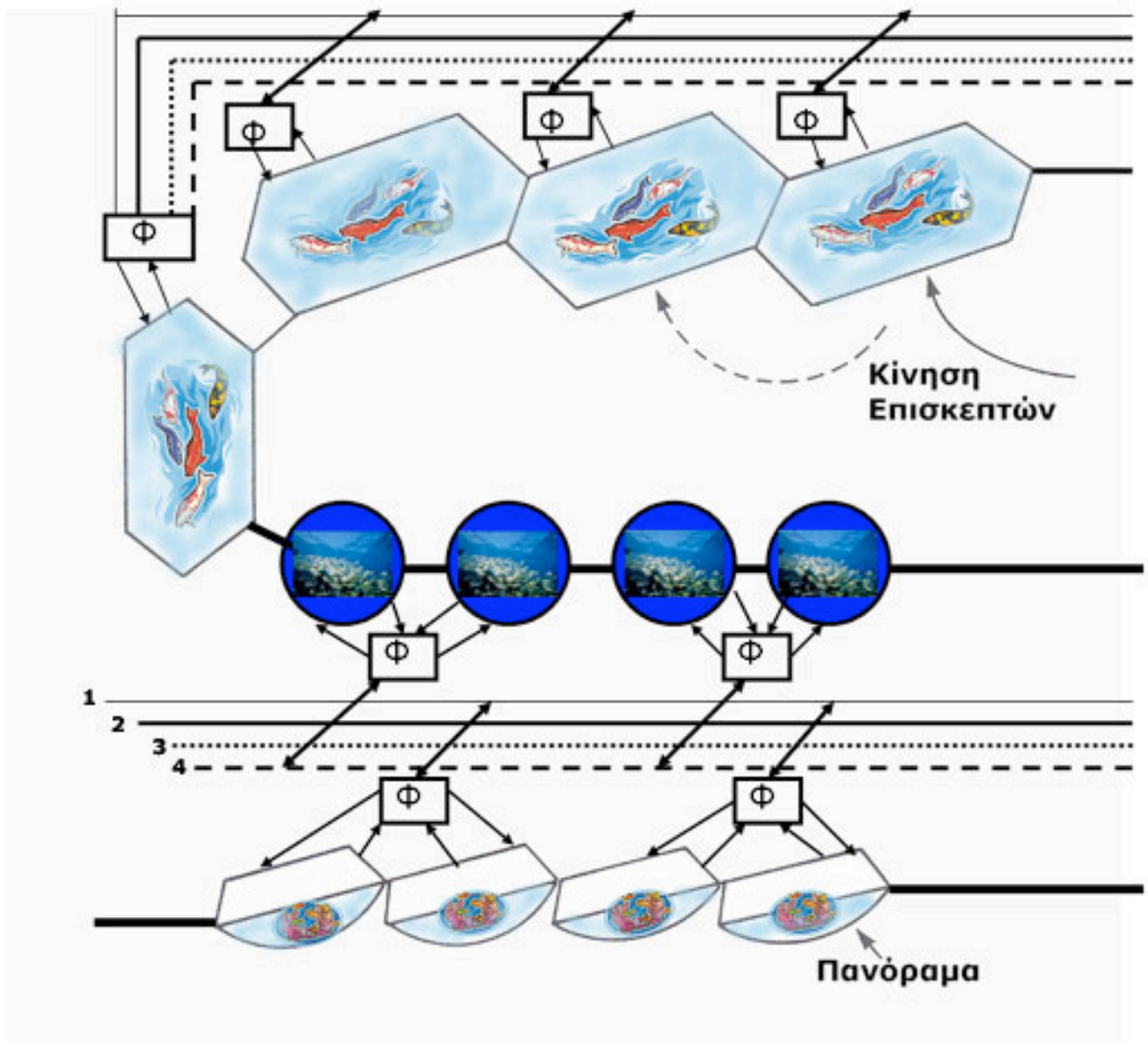
Σχήμα 30. Σχηματική αναπαράσταση (επάνω) και φωτογραφία πραγματικού (κάτω αριστερά) μεγάλου εκθεσιακού ενυδρείου με συγκοινωνούντα δύο επιμέρους τμήματα. Στο μικρό εξομοιώνεται λασπώδης πυθμένας και στο μεγάλο βραχώδης βυθός. Η συνολική ποσότητα νερού τους είναι περί τα 2,5 m<sup>3</sup>.





Σχήμα 31. Εκθεσιακό ενυδρείο μέσης – μεγάλης χωρητικότητας με κυρτή βιτρίνα.

Για τις τεχνικές διάταξης των ενυδρείων στο χώρο έτσι ώστε να είναι ελκυστικά στην περιήγηση καθώς και για την απρόσκοπτη από άποψης οπτικής παρουσίαση των εκθεμάτων, αναφέρονται οι σχετικές τεχνικές στις προηγούμενες ενότητες. Στα πλαίσια της εφαρμογής των τεχνικών της ορθής περιήγησης στον εκθεσιακό χώρο θα προτιμηθεί η διάταξη του Σχήματος 32. Τα ενυδρεία θα είναι τοποθετημένα υπό γωνία στην πορεία περιήγησης. Στο Σχήμα 32 αποτυπώνεται η διάταξη του χώρου με τρεις τύπους ενυδρείων και τις βοηθητικές εγκαταστάσεις καθαρισμού του νερού.



Σχήμα 32. Διαγραμματική απεικόνιση της διάταξης των εκθεσιακών ενυδρείων στο χώρο επίσκεψης. Τρεις τύποι ενυδρείων: Μεγάλα (~2,5 m<sup>3</sup>) εξαγωγικά με απομίμηση του φυσικού περιβάλλοντος, κυλινδρικά με πελαγικά ψάρια και πανοραμικά με κυρτή βιτρίνα επίσης μεγάλου μεγέθους. Με 1,2,3 και 4, οι γραμμές παροχής: 1=αλμυρό νερό, 2=γλυκό νερό, 3=αέρας, 4=καθαρό οξυγόνο. Τα τετραγωνίδια με τη σήμανση (Φ) είναι οι ολοκληρωμένες μονάδες καθαρισμού (φίλτρα) του νερού των Σχημάτων 33 και 34. Το κάθε φίλτρο θα μπορεί να εξυπηρετεί με μεγάλα περιθώρια ασφάλειας ενυδρεία συνολικής χωρητικότητας 5 m<sup>3</sup>. Τα βέλη αναπαριστούν ροή νερού προς και από τα φίλτρα καθώς και από τις γραμμές παροχής. Παράλληλα με τις γραμμές παροχής τρέχει και το σύστημα απορροής (αποχέτευσης) του νερού (δεν αποτυπώνεται) εξ' ου και το αμφίδρομο βέλος στην σύνδεση των φίλτρων και των γραμμών παροχής στο διάγραμμα. Οι επισκέπτες βλέπουν μόνο τη βιτρίνα των ενυδρείων και τίποτα από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας ή τροφοδοσίας που αποτυπώνονται στο Σχήμα.



Για το κάθε ενυδρείο προκρίνεται η λύση του ενιαίου συστήματος καθαρισμού του νερού του με μία ενιαία μονάδα φίλτρου η οποία συμπεριλαμβάνει διακριτά τμήματα επεξεργασίας του νερού. Η ενιαία μονάδα καθαρισμού που αποτυπώνεται στο Σχήμα 33 αποτελείται από:

1. **Μηχανικό φίλτρο** υπό μορφή **πορωδών σάκων** με διάμετρο πόρων περί τα 100  $\mu\text{m}$  ( $1 \mu\text{m} = 1/1000 \text{ mm}$ ). Το νερό από τα ενυδρεία θα καταλήγει μέσω των σάκων στην υποκείμενη δεξαμενή νερού έχοντας χάσει το μεγαλύτερο μέρος των αιωρούμενων στερεών (ρυπαντών) του τα οποία θα κατακρατούνται στους σάκους. Οι σάκοι περιοδικά θα συντηρούνται (καθαρίζονται) με ξέπλυμά τους και θα επανατοποθετούνται.

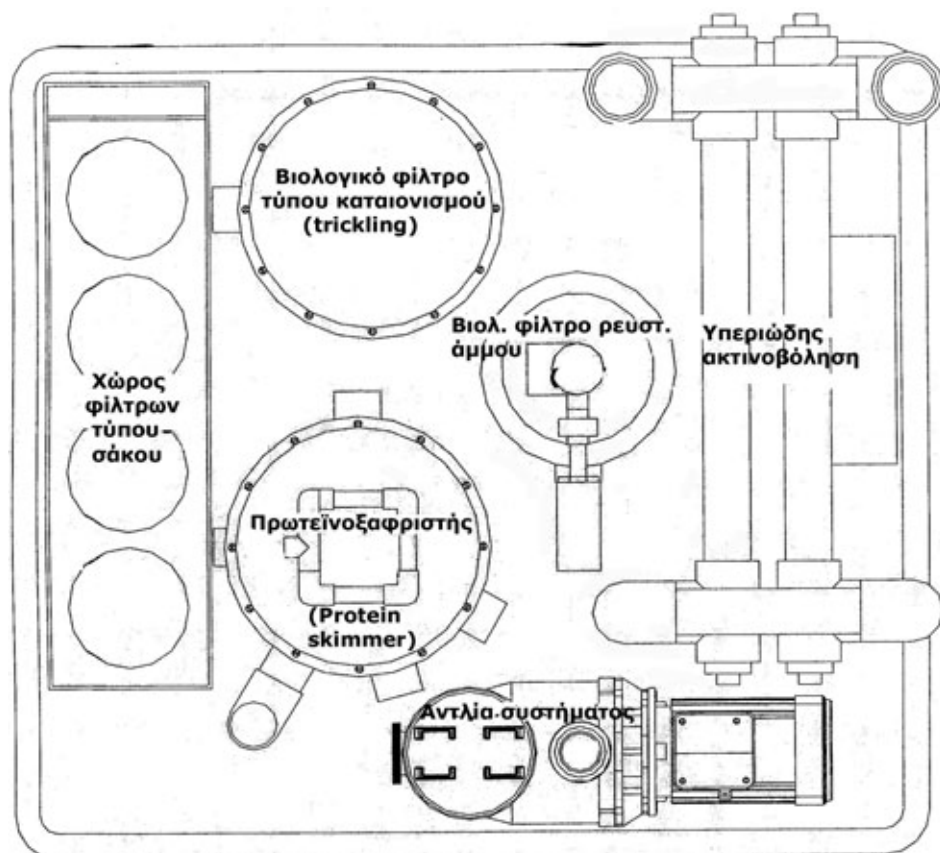
2. **Βιολογικό φίλτρο τύπου καταιονισμού** (trickling filter) υπό μορφή κυλινδρόπυργου στον οποίο το νερό καταιονίζεται και διαβρέχοντας τα στερεά υλικά με τον οποίο είναι γεμάτος απαλλάσσεται από την τοξική αμμωνία δια της δράσης των νιτροποιητικών βακτηριδίων που έχουν αναπτυχθεί στην επιφάνεια των υλικών πλήρωσης (βιολογικά μέσα).

3. **Βιολογικό φίλτρο ρευστοποιημένης άμμου** (fluidized sand bed biological filter) υπό μορφή όρθιου κυλίνδρου γεμάτο κατά το ήμισυ με λεπτόκοκκη άμμο και η οποία κατά τη φάση λειτουργίας του φίλτρου με την παροχή του νερού από τα κάτω προς τα πάνω διατηρείται σε αιώρηση (ρευστοποιείται). Το φίλτρο αυτό δρα επίσης βιολογικά, συμπληρωματικό του βιολογικού φίλτρου καταιονισμού με τα βιολογικώς δραστικά του μέρη τις νιτροποιητικές βακτηριδιακές αποικίες που έχουν αναπτυχθεί στις επιφάνειες των κόκκων της άμμου. Η συνεχής αιώρηση των

κόκκων αποτρέπει την παγίδευση στερεών σωματιδίων και το επακόλουθο στόμωμα του φίλτρου.

4. **Πρωτεϊνοξαφριστή** (protein skimmer) δια του οποίου κατά πως περιγράφεται στα προηγούμενα επιτυγχάνεται η διά του αφρίσματος απομάκρυνση από το νερό των διαλυμένων οργανικών μακρομορίων (πρωτεΐνες, λίπη) τα οποία συμβάλλουν στην υποβάθμιση της ποιότητάς του.

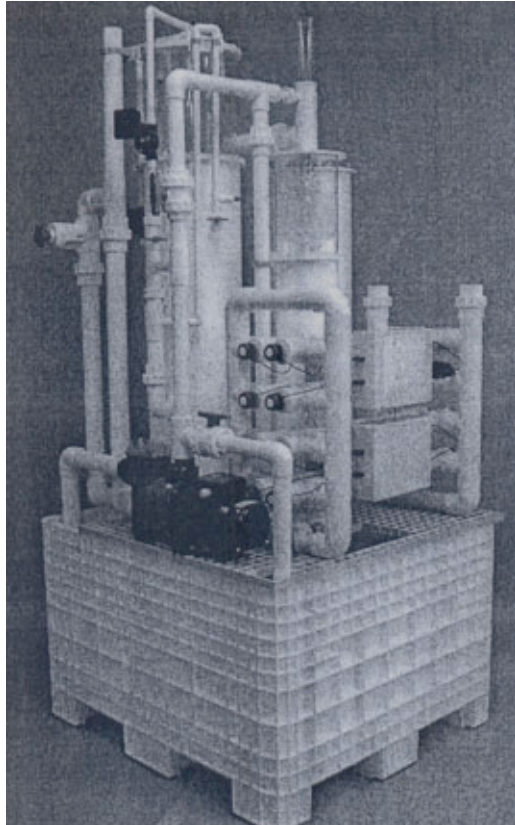
5. **Υπεριώδη ακτινοβολία**. Στο τμήμα αυτό το νερό υφίσταται την ευεργετική δράση των υπεριωδών ακτίνων που δημιουργούνται από την συσκευή παραγωγής ακτίνων UV και απαλλάσσεται από τους εν δυνάμει παθογόνους μικροοργανισμούς που πολλαπλασιάζονται ανεξέλεγκτα αν αφεθούν ως έχουν.



Σχήμα 33. Διαγραμματική κάτοψη ολοκληρωμένης μονάδας καθαρισμού του νερού μεγάλων ενυδρείων με τμήματα φίλτρων, υπεριώδη ακτινοβολία και αντλία. Κάτω από όλα αυτά ευρίσκεται η δεξαμενή συλλογής – εξισορρόπησης νερού (φαίνεται καλύτερα στο Σχήμα 34).

Το νερό από όλα τα παραπάνω συστήματα θα καταλήξει στην υποκείμενη δεξαμενή συλλογής και μέσω της αντλίας του συστήματος θα επανέλθει στο ενυδρείο. Η δεξαμενή συλλογής δρα ως εξισορροπιστής στο σύστημα επιτρέποντας στο νερό να υποστεί οποιαδήποτε ευεργετική επίδραση από τον άνθρωπο (ρύθμιση θερμοκρασίας, pH κ.λπ.) πριν αυτό επανέλθει στο ενυδρείο.

Στο Σχήμα 34 φαίνεται γενικώς η όλη διάταξη σε συγκροτημένη μορφή και έτοιμη για χρήση. Μια τέτοια μονάδα επεξεργασίας του νερού έτοιμη για χρήση, μπορεί να εξυπηρετήσει 2500 λίτρα νερού φορτισμένου με τα μεταβολικά προϊόντα των ψαριών και μάλιστα σε επίπεδο εκτροφής των και θεωρείται υπερεπαρκής και ασφαλέστατη για το επίπεδο διατήρησης ψαριών σε ενυδρεία.



Σχήμα 34. Μονάδα καθαρισμού νερού ενυδρείων. Κάτω από τα υπερυψωμένα κυλινδρικά φίλτρα, βρίσκεται η ορθογωνίου σχήματος δεξαμενή συλλογής - εξισορρόπησης του νερού.

Στη δεξαμενή συλλογής – εξισορρόπησης του νερού θα γίνεται η προσθήκη του οξυγόνου στο νερό για να βρίσκεται σε επίπεδο κορεσμού μέσω πορωδών παροχών οξυγόνου, η ρύθμιση της θερμοκρασίας μέσω των τοποθετημένων θερμαντικών ηλεκτρικών σωμάτων ή ακόμα και ψυκτών, η πιθανή ρύθμιση του pH, ο έλεγχος και η διόρθωση της κατάλληλης αλατότητας και γενικά κάθε είδους χειρισμός πριν το νερό επανέλθει στο ενυδρείο. Με τον τρόπο αυτό οι πολλές φορές στρεσογόνοι για τα ψάρια χειρισμοί, γίνονται σε ένα χώρο στον οποίο δεν υπάρχουν ψάρια και αποφεύγεται η τοπική διατάραξη του μικροπεριβάλλοντος διαβίωσής των.

Η περιοδική συντήρηση του φίλτρου είναι πολύ απλή και δεν θα αναστατώνει τη λειτουργία του εκθεσιακού χώρου. Η μάζα των στερεών ρυπαντών που κατακρατούνται στο φίλτρο είναι συγκεντρωμένη κυρίως στους πορώδεις σάκους και απομακρύνεται με το περιοδικό ξέπλυμά τους. Ό,τι στερεά επίσης διέφυγαν των σάκων και κατακάθισαν στη δεξαμενή εξισορρόπησης, θα απομακρύνονται με σιφωνισμό. Ο βρώμικος αφρός που θα συγκεντρώνεται στον πρωτεϊνοξαφριστή (skimmer) θα απομακρύνεται πολύ εύκολα περιοδικά (μπορεί να γίνεται και αυτόματα).

Το προτεινόμενο σύστημα ολοκληρωμένης μονάδας φίλτρου έχει ανάγκη ηλεκτρικής ισχύος 1,03 kW υπολογιζομένων ως 0,33 kW για τον υπεριώδη ακτινοβολητή και τα υπόλοιπα 0,7 kW για τις ανάγκες της αντλίας.

Επειδή όπως προαναφέρθηκε, το φίλτρο αυτό προορίζεται να αντιμετωπίσει οργανικά φορτία σε επίπεδο εκτροφής ψαριών, στο ιδιαίτερο περιβάλλον των ενυδρείων όπου σκοπός είναι η διατήρηση και όχι η εκτροφή, οι φορτίσεις σε οργανικούς ρυπαντές

αναμένονται πολύ ηπιότερες. Συνεπώς ανάλογα με τον τύπο και τη διάταξη των εκθεσιακών ενυδρείων, κάθε μονάδα φίλτρου θα μπορούσε να εξυπηρετήσει και δύο γειτνιάζοντα ενυδρεία.

Ειδικότερα για τη σωστή προσέγγιση της διασφάλισης της νιτροποιητικής διαδικασίας καθαρισμού του νερού από την τοξική αμμωνία που θα γίνεται στο βιολογικό φίλτρο της κάθε μονάδας καθαρισμού ως βάση των υπολογισμών θα έχουμε τους παρακάτω υπολογισμούς.

Παραγωγή αποβλήτων και κατανάλωση οξυγόνου. Η προσέγγιση ισορροπίας της μάζας για τις απαιτήσεις οξυγόνου και την παραγωγή αποβλήτων από τα ψάρια ενυδρείου φαίνεται παρακάτω. Αυτή η προσέγγιση καθορίζει τις απαιτήσεις οξυγόνου ενός συστήματος ψαριών (συμπεριλαμβανομένου του βιολογικού φιλτραρίσματος), βασισμένου στη μάζα της τροφής που χορηγείται ημερησίως όπως παρακάτω:

1 kg τροφής απαιτεί:	0,21 kg οξυγόνο
1 kg τροφής παράγει:	0,28 kg διοξείδιο του άνθρακα και 0,30 kg στερεά και 0,03 kg ολική αμμωνία (TAN)

**Πίνακας 4. Χαρακτηριστικά των υλικών πλήρωσης για βιολογικά φίλτρα καταιονισμού (trickling) και ρευστοποιημένης άμμου.**

Παράμετρος	Τιμή
<b>Χαρακτηριστικά φίλτρου καταιονισμού</b>	
Τύπος	πλαστικοί δακτύλιοι
Διάμετρος	2,5 cm
Αναλογία κενού	0,92
Ειδική επιφάνεια υλικών (μέσων πλήρωσης) - SSA	200 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
<b>Χαρακτηριστικά φίλτρου ρευστοποιημένης άμμου</b>	
Τύπος	άμμος
Διάμετρος	1-3 mm
Αναλογία κενού	-
Ειδική επιφάνεια υλικών (μέσων πλήρωσης) - SSA	150 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>

Στο συγκρότημα του φίλτρου που θα χρησιμοποιείται και που από εργοστασιακές προδιαγραφές προορίζεται να καλύψει τις ανάγκες καθαρισμού ενός κλειστού συστήματος (και ενυδρείου) συνολικού όγκου  $2,5 \text{ m}^3$  νερού, όπως φαίνεται στο Σχήμα 33 χρησιμοποιούνται δύο βιολογικά φίλτρα. Ένα φίλτρο καταιονισμού και ένα ρευστοποιημένης άμμου.

Ο κύλινδρος του βιολογικού φίλτρου καταιονισμού έχει ύψος  $h = 1,2 \text{ m}$  και διατομή  $d = 0,2 \text{ m}$ . Συνεπώς ο διαθέσιμος όγκος του θα είναι  $\pi \cdot R^2 \cdot h = 3,14 \cdot 0,1^2 \cdot 1,2 = 0,038 \text{ m}^3$ . Ο όγκος αυτός θα γεμίσει με πλαστικά διάτρητα σφαιρίδια ως υλικά πλήρωσης βιολογικών φίλτρων με χαρακτηριστικά που αναφέρονται στον Πίνακα 4.

Εφόσον η ειδική τους επιφάνεια (SSA) που προσφέρουν για την ανάπτυξη των νιτροποιητικών βακτηριδιακών αποικιών είναι  $200 \text{ m}^2/\text{m}^3$  τότε για τα  $0,038 \text{ m}^3$  προσφέρονται  $7,6 \text{ m}^2$  επιφάνειας για ανάπτυξη νιτροποιητικών βακτηριδίων.

Στα ενυδρεία η ιχθυοπυκνότητα προβλέπεται να κυμανθεί στα  $2 - 4 \text{ Kg}$  ψαριών/ $\text{m}^3$  νερού. Στην περίπτωση της χαμηλής ιχθυοπυκνότητας των  $2 \text{ Kg}$  ψαριών/ $\text{m}^3$  νερού και για χωρητικότητα ενυδρείου  $2,5 \text{ m}^3$ , η συνολική ιχθυομάζα θα είναι  $5 \text{ Kg}$ .

Για τα ψάρια αυτής της μάζας και με ποσοστό τροφής  $1,5\%$  επί του σωματικού τους βάρους ανά ημέρα θα χορηγείται  $0,075 \text{ Kg}$  τροφής / ημέρα (d).

Όπως προαναφέρθηκε  $1 \text{ Kg}$  τροφής μεταβολιζόμενο καταλήγει σε παραγωγή  $30 \text{ g}$  ολικής αμμωνίας (ως TAN). Συνεπώς τα  $0,075 \text{ Kg}$  τροφής / d θα δώσουν  $2,25 \text{ g TAN/d}$ .

Από γνωστά στοιχεία εκτροφής ψαριών και κατά συντηρητικούς υπολογισμούς  $1 \text{ m}^2$  επιφάνειας μέσω πλήρωσης βιολογικών φίλτρων μπορεί να οξειδώσει (καθαρίσει)  $0,75 \text{ g TAN}$ ,

συνεπώς τα 7,6 m<sup>2</sup> επιφάνειας που υπολογίστηκαν παραπάνω ως διαθέσιμα στο συγκεκριμένο βιολογικό φίλτρο μπορούν να καθαρίσουν 5,7 g TAN. Η ποσότητα αυτή είναι υπερδιπλάσια της παραγόμενης 2,25 g TAN/d που υπολογίστηκε παραπάνω. Συνεπώς το βιολογικό φίλτρο καταιονισμού από μόνο του είναι υπεραρκετό για τον καθαρισμό του νερού σε ενυδρείο με ιχθυοπυκνότητα 2 Kg ψαριών/m<sup>3</sup> και συνολική ιχθυομάζα 6 Kg ψαριών.

Ακόμα όμως και για ιχθυοπυκνότητα 4 Kg ψαριών/m<sup>3</sup> και συνολική ιχθυομάζα 10 Kg ψαριών στο ενυδρείο των 2,5 m<sup>3</sup>, και πραγματοποιώντας παρόμοιους υπολογισμούς καταλήγουμε ότι η συνολική ημερήσια παραγωγή αμμωνίας θα είναι 4,5 g TAN/d. Όμως το βιολογικό φίλτρο έχει όπως προαναφέρθηκε ικανότητα να αντιμετωπίσει 5,7 g TAN, συνεπώς υπερκαλύπτει και τις ανάγκες και αυτής της αυξημένης ιχθυοπυκνότητας. Στην πραγματικότητα όμως οι παραπάνω τιμές είναι πολύ συντηρητικές και η πραγματική δυνατότητα καθαρισμού του φίλτρου είναι πολύ μεγαλύτερη, ιδιαίτερα αν στους υπολογισμούς ληφθεί υπ'όψιν ότι, η αντλία – κυκλοφορητής του φίλτρου ικανότητας παροχής 18 m<sup>3</sup>/h, θα ανακυκλοφορεί το νερό πολλές φορές δια μέσου των βιολογικών φίλτρων με αποτέλεσμα τον εξαντλητικό καθαρισμό του. Συνεπώς κατά μια ρεαλιστική προσέγγιση το συγκεκριμένο φίλτρο θα μπορεί να αντιμετωπίσει ~10 g TAN/d. Για περισσότερη σιγουριά θα επιλεγούν φίλτρα ικανότητας αντιμετώπισης ρυπαντικού φορτίου από ενυδρεία χωρητικότητας 2,5 m<sup>3</sup> οπότε και θα μπορούν για απλούστευση στη συντήρηση κάθε ένα από τα συγκεκριμένα φίλτρα να εξυπηρετεί δύο γειτονικά ενυδρεία.

Τα εκθέματα των ενυδρείων θα αποτελούνται κατά τη συντριπτική τους πλειονότητα από ψάρια. Το περιβάλλον που θα

δημιουργηθεί θα αντανakλά την ιδιαίτερη φυσιογνωμία του μεσογειακού περιβάλλοντος και θα καλύπτει τις ανάγκες των ψαριών ως προς τις συνθήκες διαβίωσης. Η θερμοκρασία θα διατηρείται σε μια μέση κατάσταση ως προς το εύρος διαβίωσης των ειδών με τιμές της που θα σταθεροποιούνται προς το θερμό μέρος του εύρους για να διατηρεί τα ψάρια ενεργά και κινητικά. Τα ψάρια θα ανήκουν στην κατηγορία είτε των πελαγικών είτε των βενθικών ψαριών. Από τα πελαγικά ψάρια κάποια είδη θα είναι κοπαδιαστά και κάποια όχι (ή περιστασιακά κοπαδιαστά). Τα βενθικά είδη θα είναι κυρίως μονήρη με αρκετό ατομικό χώρο για τα ευμεγέθη άτομα.

Εκτός από ψάρια θα υπάρχουν και ασπόνδυλα όπως γαρίδες, μύδια, στρείδια, αχινοί κ .λπ., είτε τοποθετημένα στα ενυδρεία των ψαριών, είτε σε ξεχωριστά μικρότερα ενυδρεία.

Στα ενυδρεία ορθογωνίου ή πολυγωνικού σχήματος θα τοποθετηθούν τα ευμεγέθη είδη (τσιπούρες, λαβράκια, κεφαλόπουλα, ροφοί, συναγρίδες κ .λπ.) και γενικώς είδη που διαβιούν στον βυθό ή κοντά σε αυτόν ή τρέφονται με βενθικούς οργανισμούς. Στα ενυδρεία κυλινδρικού τύπου θα τοποθετηθούν κοπαδιαστά πελαγικά είδη με μάλλον μικρό ή ενδιάμεσο μέγεθος που ζουν κοπαδιαστά και βρίσκονται σε συνεχή κίνηση (σαρδελοειδή, γάβρος, αθερίνες κ.λπ.). Στα κυλινδρικά ενυδρεία το σχήμα τους προκαλεί τη συνεχή κίνηση των ψαριών τα οποία υπό μορφή μεγάλων κοπαδιών θα προσφέρουν εντυπωσιακό θέαμα. Επίσης αυτού του τύπου τα ψάρια έχουν ιδιαίτερες διατροφικές ανάγκες με απαίτηση για ζωντανούς μικροσκοπικούς πλαγκτονικούς οργανισμούς οι οποίοι θα παράγονται σε ιδιαίτερο χώρο που θα διαμορφωθεί κατάλληλα και θα ονομάζεται **χώρος πολλαπλασιασμού ζωντανής τροφής**.



Η διατροφή όλων των οργανισμών θα γίνεται με καθορισμένο πρόγραμμα που θα διαμορφωθεί κατάλληλα και θα περιλαμβάνει κυρίως ξηρά τροφή του εμπορίου υψηλής ποιότητας με βάση ιχθυάλευρα καθώς και επιλεγμένες μικρές ποσότητες νωπής τροφής θαλάσσιας προέλευσης. Η παροχή τα τροφής θα γίνεται με κατάλληλα διαμορφωμένο πρόγραμμα και οι ποσότητες θα είναι τέτοιες που με παρακολούθηση του προσωπικού θα διασφαλίζεται η απόλυτη κατανάλωσή της διασφαλίζοντας έτσι την ελάχιστη παραγωγή περιττωμάτων τα οποία θα υφίστανται είτε παράσυρση και εγκλωβισμό τους στο μηχανικό φίλτρο, είτε φυσική διάσπαση και φυσική μεταλλοποίησή τους. Περιοδικά και όσο το δυνατόν πιο αραιά χρονικώς (εξαρτάται από την καλή λειτουργία των φίλτρων και το πρόγραμμα διατροφής) θα γίνεται και σιφωνισμός των όποιων κατακαθιών από τους πυθμένες των ενυδρείων.

Οι **χώροι υποστήριξης** της όλης εκθεσιακής εγκατάστασης θα προσφέρουν υπηρεσίες ζωτικής σημασίας. Θα αποτελούν ιδιαίτερο χώρο στην εγκατάσταση και εκεί θα πραγματοποιούνται:

1. Ο έλεγχος των φυσικοχημικών παραμέτρων του νερού σε εργαστηριακού τύπου διαμορφωμένο χώρο με όλα τα όργανα ελέγχου.
2. Η παρασκευή των τροφών με τα κατάλληλα μηχανήματα και χώρους συντήρησης (ψυγεία κ.λπ.).
3. Ο ιδιαίτερος χώρος πολλαπλασιασμού της φυτοζωοπλαγκτονικής ζωντανής τροφής.
4. Ο ηλεκτρομηχανολογικός χώρος που θα περιλαμβάνει τα απαραίτητα εργαλεία τεχνικών εργασιών συντήρησης – επισκευής, τους αεριστήρες - οξυγονωτήρες προμήθειας ατμοσφαιρικού αέρα ή καθαρού οξυγόνου στις γραμμές

διανομής στα ενυδρεία, καθώς και τη μονάδα εφεδρικής ηλεκτρικής υποστήριξης (ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος) με τη δεξαμενή πετρελαίου του.

5. Ο χώρος συλλογής και διανομής του αντλούμενου θαλασσινού νερού από τον παρακείμενο κόλπο.

Συνολικά οι παραπάνω χώροι υποστήριξης προβλέπεται να καλύψουν επιφάνεια ίση προς το 20% περίπου της εκθεσιακής έκτασης.