

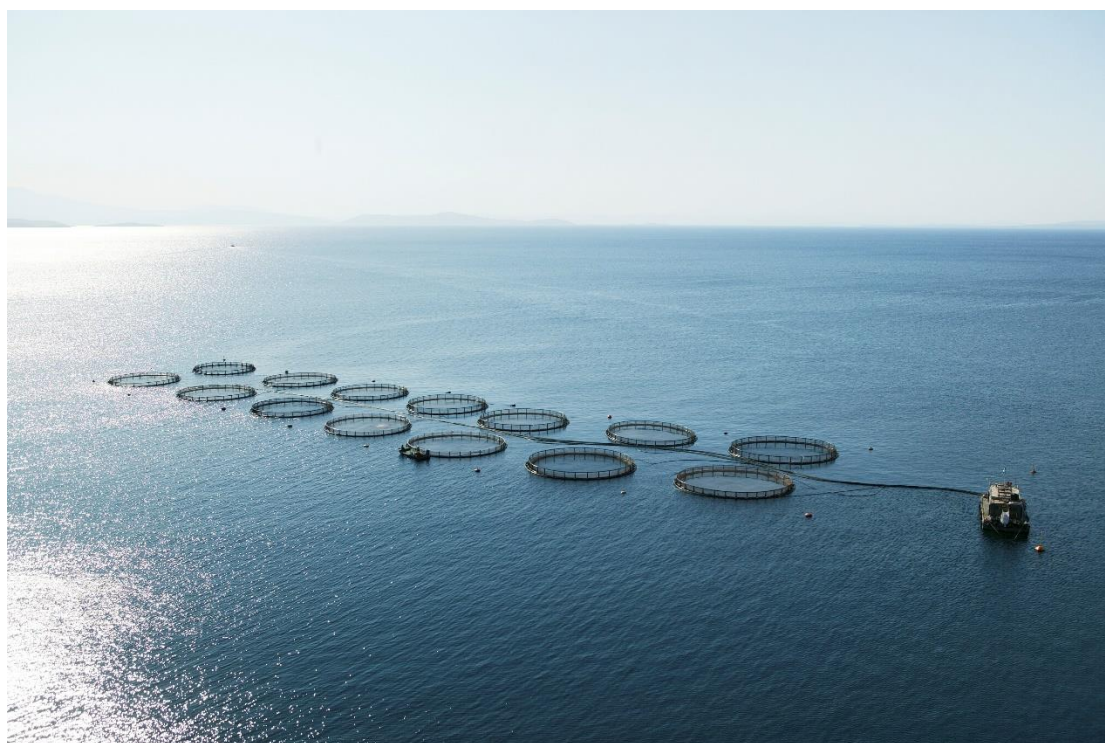


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

## ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΙΧΘΥΟΚΛΩΒΟΥ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΝΟΙΧΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ



Διπλωματική Εργασία  
Ευάγγελος Δημητρίου

ΕΜΚ ΔΕ 2017 34

Επιβλέπων: Καθηγητής Χάρης Γαντές

Αθήνα, Οκτώβριος 2017

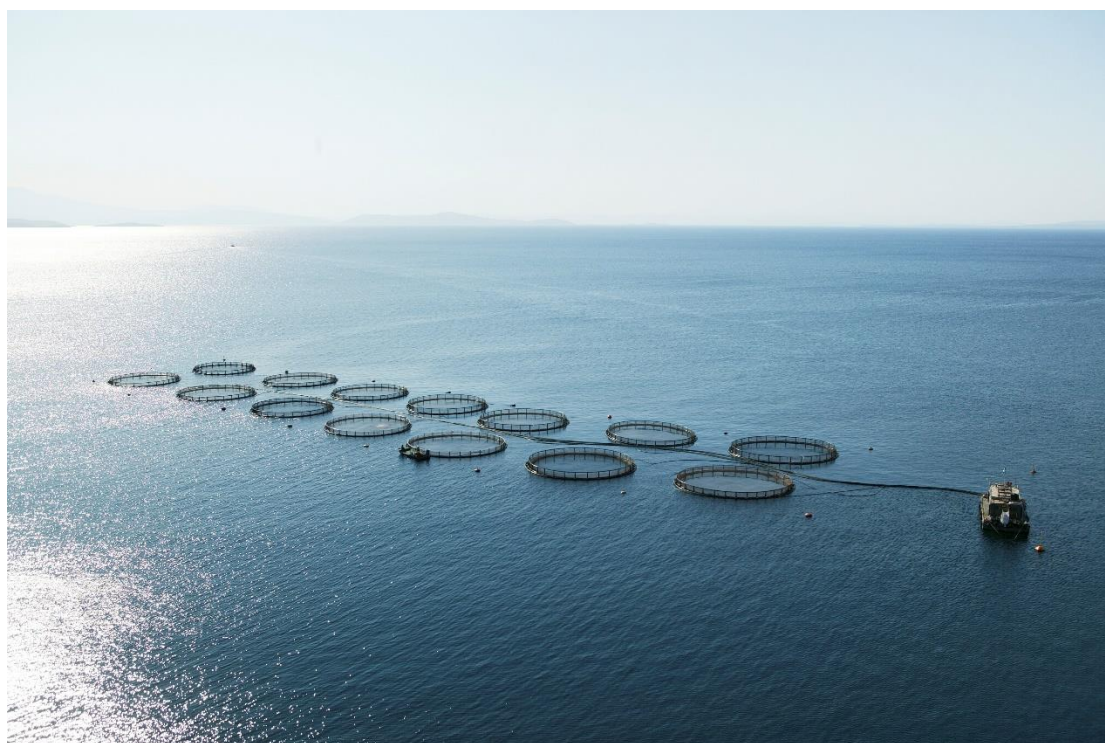


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

## ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΙΧΘΥΟΚΛΩΒΟΥ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΝΟΙΧΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ



Διπλωματική Εργασία  
Ευάγγελος Δημητρίου

ΕΜΚ ΔΕ 2017 34

Επιβλέπων: Καθηγητής Χάρης Γαντές

Αθήνα, Οκτώβριος 2017



Copyright © Ευάγγελος Δημητρίου, 2017

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση σε αρχείο πληροφοριών, διανομή, αναπαραγωγή, μετάφραση ή μετάδοση της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό, υπό οποιαδήποτε μορφή και με οποιοδήποτε μέσο επικοινωνίας, ηλεκτρονικό ή μηχανικό, χωρίς την προηγούμενη έγγραφη άδεια του συγγραφέα. Επιτρέπεται η αναπαραγωγή, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από τη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/1932, Άρθρο 202).

Copyright © Evagelos Dimitriou, 2017

All Rights Reserved

Neither the whole nor any part of this diploma thesis may be copied, stored in a retrieval system, distributed, reproduced, translated, or transmitted for commercial purposes, in any form or by any means now or hereafter known, electronic or mechanical, without the written permission from the author. Reproducing, storing and distributing this thesis for non-profitable, educational or research purposes is allowed, without prejudice to reference to its source and to inclusion of the present text. Any queries in relation to the use of the present thesis for commercial purposes must be addressed to its author.

Approval of this diploma thesis by the School of Civil Engineering of the National Technical University of Athens (NTUA) does not constitute in any way an acceptance of the views of the author contained herein by the said academic organisation (L. 5343/1932, art. 202).

Ευάγγελος Δημητρίου (2017)  
Διερεύνηση συμπεριφοράς ιχθυοκλωβού σε συνθήκες ανοιχτής θάλασσας  
Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ ΔΕ 2017 34  
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Evangelos Dimitriou (2017)  
Diploma Thesis EMK ΔΕ 2017 34  
Investigation of the response of a fishcage in offshore conditions  
Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece

## Ευχαριστίες

Από αυτή τη θέση θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους βοήθησαν στην ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Πρώτα, τον επιβλέποντα καθηγητή μου, Χάρη Γαντέ για την συνεχή και ολοκληρωμένη υποστήριξη κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, τον καθηγητή Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πατρών, Αθανάσιο Δήμα για τη βοήθεια του σε θέματα θαλάσσιας υδραυλικής και τους υποψήφιους διδάκτορες του εργαστηρίου Μεταλλικών Κατασκευών και συγκεκριμένα τον Ηλία Θανάσουλα.



## Αφιέρωση

Στον αγαπημένο μου αδερφό Αντώνη που έφυγε τόσο νωρίς







ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΕΜΚ ΔΕ 2017 34

## **Διερεύνηση συμπεριφοράς ιχθυοκλωβού σε συνθήκες ανοιχτής θάλασσας**

**Ευάγγελος Δημητρίου**

Επιβλέπων: Καθηγητής Χάρης Γαντές

Οκτώβριος 2017

### **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η ραγδαία ανάπτυξη του τομέα των θαλάσσιων ιχθυοκαλλιέργειών έχει οδηγήσει σε κατάληψη μεγάλου μήκους των ακτών με αποτέλεσμα τη σύγκρουση συμφερόντων από διαφορετικούς τομείς, όπως η αλιεία, ο τουρισμός κλπ. Επίσης, η ανάγκη για αύξηση της παραγωγής αλλά και της ποιότητας των εκτρεφόμενων ειδών προκαλεί σε συνδυασμό με τα παραπάνω ακόμη μια δυσκολία στην εξέλιξη του τομέα της ιχθυοκαλλιέργειας. Για να ξεπεραστούν λοιπόν αυτά τα εμπόδια αναπτύχθηκε εδώ και 10 χρόνια η τάση της εγκατάστασης μονάδων ιχθυοκαλλιέργειας σε ανοιχτή θάλασσα, μακριά από την ακτή και σε βαθιά νερά. Τέτοιες προσπάθειες έχουν γίνει πολλές, με αποτέλεσμα το σχεδιασμό και υλοποίηση διάφορων κατασκευών για μονάδες ιχθυοκαλλιέργειας.

Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση της συμπεριφοράς ενός πλωτού ιχθυοκλωβού, σύστημα που χρησιμοποιείται ευρέως στις παράκτιες περιοχές, σε συνθήκες ανοιχτής θάλασσας, ώστε να εκτιμηθεί το κατά πόσον αυτή η κατασκευή μπορεί να αντέξει σε αυτό το περιβάλλον. Η υλοποίηση στιβαρών κατασκευών που αντέχουν σε δυσμενείς συνθήκες συνεπάγεται και μεγάλο κόστος. Επομένως, παρουσιάζει ενδιαφέρον η διερεύνηση της δυνατότητας επιλογής μια σχετικά φθηνής λύσης.

Στο 1<sup>ο</sup> και 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο γίνεται εκτενής περιγραφή των χαρακτηριστικών του πλωτού ιχθυοκλωβού και γίνεται αναφορά στην ελληνική νομοθεσία τη σχετική με τις ιχθυοκαλλιέργειες. Στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο γίνεται περιγραφή των υλικών και του υπολογιστικού προσομοιώματος που διαμορφώθηκε για την εκτίμηση της αντοχής και των παραμορφώσεων του φορέα. Για την κατανόηση της συμπεριφοράς και τη βελτιστοποίηση της κατασκευής γίνονται παραμετρικές αναλύσεις στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο. Τέλος, στο 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο αναφέρονται τα βασικά συμπεράσματα από τις αναλύσεις και γίνεται μια πρόταση διαστασιολόγησης, ενώ προτείνονται και θέματα για περαιτέρω διερεύνηση.





NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS  
SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF STEEL STRUCTURES

DIPLOMA THESIS  
EMK ΔΕ 2017 34

## **Investigation of the response of a fishcage in offshore conditions**

**Evangelos Dimitriou**

Supervisor: Professor Charis Gantes

October 2017

### **ABSTRACT**

The rapid development in the field of fish farming lead to the occupancy of many coastal areas, as a result the conflict among different sectors, like fishing and tourism. In conjunction with the previous ones, the need to increase production and quality of farmed species causes another difficulty in the development of aquaculture sector. To overcome these obstacles, the trend of unit installation in offshore areas has been developed over the last ten years. A lot of projects has been designed and implemented.

The purpose of this thesis is the investigation of the response of a floating fishcage, which is usually used close to coastal areas, in open-sea environment in order to estimate the resistance of the structure. Stiff structures suitable for these reasons cost a lot. So, it is interesting to look at a cheaper solution.

In the first and second chapters a detailed description of the features of a floating fishcage is made. Also, a reference is made to Greek laws relating to aquaculture. The third chapter includes a description of materials and the computational model, used in the FEM (Finite Element Method) program. Afterwards, the parametric analysis, in chapter 4, contributes to the optimization and the comprehension of the structure behavior. Finally, in chapter 5 there are some conclusions, proposals for the design (dimensioning) and subjects for further investigation.



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>1</b>
1.1. ΣΚΟΠΟΣ & ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΙΧΘΥΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ, ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ.....	1
1.2. ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΓΙΑ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΣΕ ΑΝΟΙΧΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ .....	5
1.3. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΤΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ.....	7
1.4. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ, ΝΟΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ, ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ.....	12
<b>2. ΤΕΧΝΙΚΑ/ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ – ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....</b>	<b>15</b>
2.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΚΑΙ ΥΠΕΡΑΚΤΙΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΙΧΘΥΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ.....	15
2.1.1. Πλωτοί ιχθυοκλωβοί.....	15
2.1.2. Βυθιζόμενοι ιχθυοκλωβοί .....	25
2.1.3. Άλλα συστήματα ιχθυοκλωβών.....	30
2.1.4. Επιστημονική έρευνα σχετική με το σχεδιασμό ιχθυοκλωβών.....	41
2.2. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΠΟ ΤΗ ΘΕΩΡΙΑ ΚΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ.....	47
2.2.1. Γραμμική και μη γραμμική θεωρία κυμάτων.....	47
2.2.2. Παραδοχές σχετικές με το θαλάσσιο περιβάλλον.....	49
<b>3. ΜΟΡΦΩΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ.....</b>	<b>50</b>
3.1. ΥΛΙΚΑ – ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ.....	50
3.1.1. Μηχανικές ιδιότητες των υλικών.....	50
3.1.2. Παράμετροι σχεδιασμού .....	54
3.2. ΦΟΡΤΙΣΗ – ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ.....	55
3.2.1. Είδη φορτίσεων.....	55
3.2.2. Φορτία σχεδιασμού.....	55
3.3. ΕΙΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (ΓΡΑΜΜΙΚΗ – ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ, ΣΤΑΤΙΚΗ – ΔΥΝΑΜΙΚΗ).....	57
3.4. ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ.....	57
3.5. ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....	59
3.5.1. Λεπτομερής περιγραφή του προσομοιώματος.....	59
3.5.1.1. Γεωμετρία.....	61
3.5.1.2. Ορισμός πεπερασμένων στοιχείων των μελών.....	61
3.5.1.3. Λεπτομέρειες προσομοίωσης.....	62
3.5.2. Στάδια μόρφωσης – βελτίωσης του προσομοιώματος.....	62
3.6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ.....	64

<b>4. ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ.....</b>	<b>74</b>
4.1. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ.....	74
4.2. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΥΛΙΚΟ ΚΑΙ ΤΟ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΑΓΚΥΡΩΣΕΩΣ.....	80
<b>5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>81</b>
5.1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	81
5.2. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ.....	82
5.3. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ.....	83
<b>6. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....</b>	<b>85</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΠΗΓΕΣ.....</b>	<b>88</b>





# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται οι βασικοί λόγοι που καθιστούν αναγκαία τη δραστηριοποίηση στον τομέα των ιχθυοκαλλιεργειών. Γίνεται εκτενής αναφορά στις ανάγκες της παραγωγής ενώ ταυτόχρονα παρουσιάζονται οι κυρίαρχες εξελίξεις και νέες τεχνολογίες που πλέον χρησιμοποιούνται. Προς αυτή την κατεύθυνση συνέβαλε και η ανάγκη για επέκταση των ιχθυοκαλλιεργειών σε ανοιχτή θάλασσα. Υπάρχουν ακόμα πολλά παραδείγματα και φωτογραφίες που απεικονίζουν χαρακτηριστικά τις θαλάσσιες κατασκευές που απαιτούνται για την υλοποίηση τέτοιων μονάδων. Τέλος όλη αυτή δραστηριότητα όπως και κάθε παρέμβαση στο φυσικό περιβάλλον πρέπει να γίνεται με σεβασμό προς αυτό και να συμμορφώνεται προς το σχετικό νομικό πλαίσιο.

## 1.1. ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΙΧΘΥΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ, ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

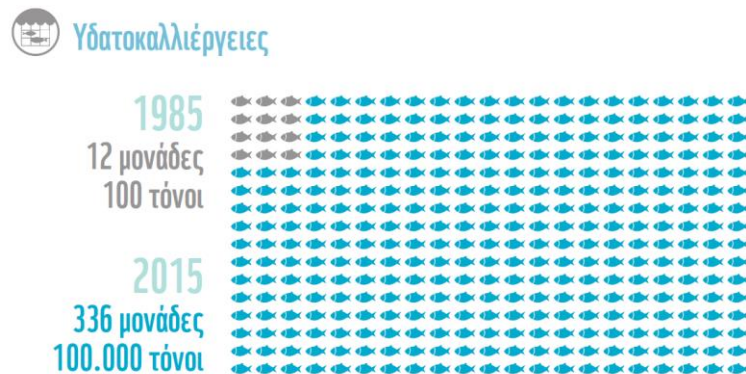
Future trends of maritime sectors		
Sector	Expected development trend of sector	Estimations
Oil and gas exploration and extraction	↗	<ul style="list-style-type: none"><li>Offshore oil production could increase by 60% between 2010 and 2020 at the Mediterranean regional level, rising from 0.7 mbd to 1.12 mbd.</li><li>Offshore gas production could increase five-fold from 2010 to 2030, from 55 Mtoe/year to 250 Mtoe/year at the Mediterranean regional level.</li></ul>
Maritime transport and ports	↗	4% per annum growth rate in global trade over the next decade can be anticipated and will be reflected in international maritime traffic routes at the Mediterranean regional level (Suez-Gibraltar axis, Aegean Sea, Adriatic Sea, and to a lesser extent the northwestern Mediterranean)
Professional fishing	↘	A downward trend is expected at an uncertain rate at the Mediterranean regional level.
Recreational fishing	↗	An upward trend is expected at an uncertain rate in the Mediterranean countries of the EU.
Marine aquaculture	↗	Forecast of fish aquaculture production in the Mediterranean countries of the EU anticipates a 112% increase between 2010 and 2030. Production could jump from 280,000 tonnes to nearly 600,000 tonnes.
Tourism (coastal tourism, cruise tourism, recreational boating)	↗	International tourist arrivals in the Mediterranean should increase by 60% between 2015 and 2030 to reach 500 million arrivals in 2030 at the Mediterranean regional level. France, Italy and Spain will remain the three biggest destinations.
Renewable energy	↗	While no marine renewable energy was produced in 2014, predicted production of electricity by offshore wind farms could reach 12 gigawatts (GW) in 2030 in the Mediterranean countries of the EU.
Marine mining	↗	An upward trend is expected at an uncertain rate in the mid-term, mainly in the Mediterranean countries of the EU
Coastal development	↗	5,000 km of additional coastline will be artificialised by 2025 as compared to the 2005 situation at the Mediterranean regional level.
Land-based pollution sources	↗ ↘	In the Mediterranean countries of the EU: <ul style="list-style-type: none"><li>Pollution from wastewater is expected to keep decreasing over the next 15 years.</li><li>Persistent Organic Pollutants (POPs) are expected to slowly decline.</li><li>An upward trend in heavy metal pollution can be observed for mercury and lead.</li><li>Nutrient discharges are expected to increase slightly over the next 15 years.</li></ul>

Στον διπλανό πίνακα(Εικόνα 1.1), που προέρχεται από μια έκθεση της WWF, έχουμε μια σύντομη απεικόνιση των τάσεων ανάπτυξης που επικρατούν στον τομέα των οικονομικών δραστηριοτήτων σχετικών με το θαλάσσιο περιβάλλον. Βλέπουμε ότι από τις ανερχόμενες δραστηριότητες φαίνεται να είναι και οι ιχθυοκαλλιέργειες. Μάλιστα αναμένεται εντυπωσιακή αύξηση της παραγωγής μέσα στα επόμενα 20 χρόνια, πράγμα το οποίο αποτελεί ένδειξη ότι αξίζει η ενασχόληση με αυτό τον τομέα. Και είναι πράγματι λογική μια τέτοια προσδοκία για τους λόγους που αναφέρονται στη συνέχεια.

Εικόνα 1.1: Future trends of maritime sectors. Πηγή: [www.wwf.gr](http://www.wwf.gr)

Η παγκόσμια αύξηση του πληθυσμού οδηγεί προφανώς και στην αύξηση των διατροφικών του αναγκών και επομένως και της παγκόσμιας ζήτησης για αλιευτικά προϊόντα σύμφωνα και με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας (FAO : Food and Agricultural Organization of the United Nations). Μάλιστα το 2012 η κατανάλωση αλιευμάτων εκτιμήθηκε **19,2** κιλά κατά κεφαλή παγκοσμίως και στην Ε.Ε. **23** κιλά κατά κεφαλή, ενώ το 1960 ήταν μόλις **9,9** κιλά κατά κεφαλή παγκοσμίως. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι η ΕΕ είναι ο μεγαλύτερος εισαγωγέας προϊόντων αλιείας και υδατοκαλλιέργειών : 40% των παγκόσμιων εισαγωγών. Πέρα όμως από αυτό η υπεραλίευση έχει οδηγήσει στη φτωχοποίηση του Ελληνικού βυθού αλλά και των χωρών όπου η αλιεία κατέχει πρωταρχική θέση στην οικονομία τους. Για το λόγο επομένως αυτό οι ανάγκες σε αλιεύματα απαιτείται να καλυφθούν και με άλλους τρόπους, δηλαδή τις υδατοκαλλιέργειες.

Η δραστηριότητα της ιχθυοκαλλιέργειας περιλαμβάνει κλάδους όλων των τομέων παραγωγής. Στον **πρωτογενή** τομέα κατατάσσονται οι δραστηριότητες της καθαυτό παραγωγής σε θαλάσσιο ή χερσαίο χώρο. Στον **δευτερογενή** οι δραστηριότητες που συνδέονται με την υποστήριξη της παραγωγικής διαδικασίας, τη συσκευασία και την επεξεργασία των παραγόμενων προϊόντων. Στον **τριογενή** κατατάσσονται οι δραστηριότητες διακίνησης, και εμπορίας των παραγόμενων προϊόντων.



Εικόνα 1.2 : Μονάδες και παραγωγή στην Ελλάδα. **Πηγή:** [www.wwf.gr](http://www.wwf.gr)

Για την κάλυψη αυτών των αναγκών της ζήτησης οι μεσογειακές χώρες που συμβάλλουν περισσότερο είναι η Ελλάδα, η Ισπανία και η Τουρκία. Η Ελλάδα μάλιστα διαθέτει τη μεγαλύτερη ακτογραμμή της Ε.Ε. με συνολικό μήκος που ξεπερνά τα 16.000 km. Ο κλάδος των ελληνικών υδατοκαλλιεργειών είναι ένας από τους πλέον αναπτυσσόμενους τομείς της πρωτογενούς παραγωγής της χώρας, με σαφή εξαγωγικό χαρακτήρα και σημαντική θέση στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Παρόλο που τα τελευταία χρόνια ο κλάδος περνάει μια περίοδο αναδιάρθρωσης και σημειώνει κάμψη, οι στόχοι που έχουν τεθεί για την αύξηση της παραγωγής ξεπερνούν τον στρατηγικό στόχο της ετήσιας αύξησης 4% που έχει τεθεί από την ΕΕ.

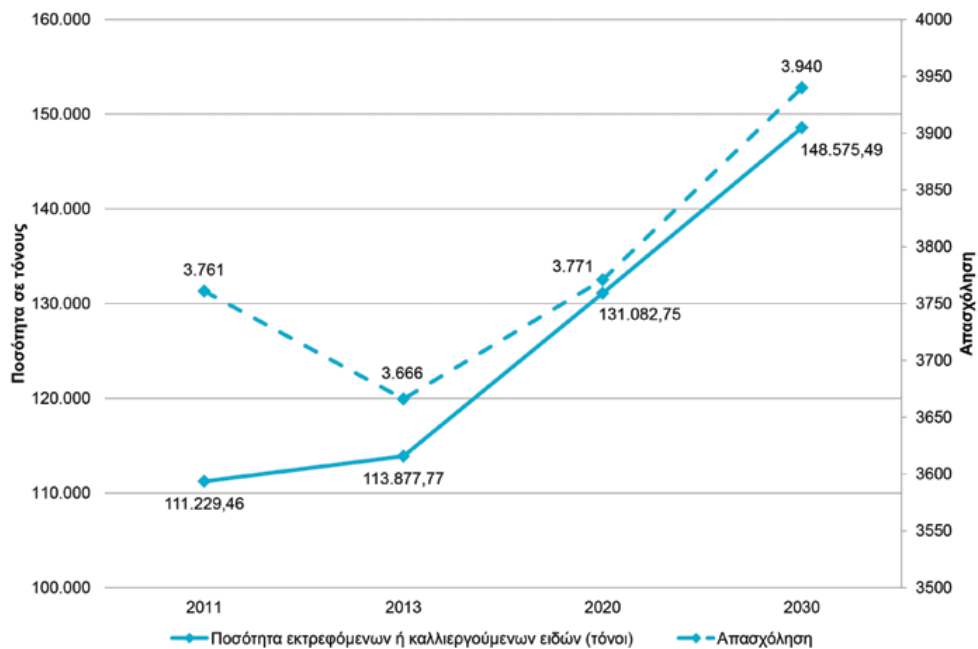
Μέχρι τις αρχές τη 10ετίας του 1980 ο κλάδος των υδατοκαλλιεργειών περιλάμβανε τις ιχθυοκαλλιέργειες εκτατικής μορφής των λιμνοθαλασσών, τις εντατικές ιχθυοκαλλιέργειες εσωτερικών υδάτων κυρίως πέστροφας και τη μυδοκαλλιέργεια. Την τελευταία 30ετία στον κλάδο των ιχθυοκαλλιεργειών αναδείχθηκαν οι εντατικές καλλιέργειες θαλασσιών μεσογειακών ειδών(κυρίως τσιπούρα και λαβράκι). Η δραστηριότητα αυτή εξελίχθηκε σε έναν από τους πλέον αναπτυσσόμενους τομείς της πρωτογενούς παραγωγής της χώρας και κατέχει την πρώτη θέση στην Ε.Ε. στα είδη τσιπούρα και λαβράκι. Ενδεικτικό της ραγδαίας αύξησης της ιχθυοκαλλιέργειας είναι ότι το 1985 η συνολική παραγωγή κυμαινόταν περί τους 100 τόνους από τη λειτουργία 12 μονάδων εκτροφής, ενώ τρεις δεκαετίες αργότερα η παραγωγή είχε αυξηθεί κατά πολύ, ξεπερνώντας τους 100.000 τόνους(Εικόνα 1.2) με τις μονάδες εκτροφής να ανέρχονται στις 340. Τα κυριότερα εκτρεφόμενα είδη των θαλάσσιων ιχθυοκαλλιεργειών είναι η τσιπούρα και το λαβράκι τα οποία αντανakλούν σε 55% και 40% της συνολικής παραγωγής ιχθύων ενώ σε μικρότερη κλίμακα (5%) εκτρέφονται μυτάκι, φαγκρί, λυθρίνι, κраниός, συναγρίδα, τόνος κ.α.





Εικόνα 1.4 : Κατανόμη μονάδων εκτροφής στην Ελλάδα. **Πηγή:** Υπουργείο Παραγωγικής Ανασυγκρότησης-Περιβάλλοντος και Ενέργειας

Το 2012, ο κύκλος εργασιών της θαλάσσιας ιχθυοτροφίας ανήλθε στα €800 εκ. (0,38% του ΑΕΠ), με τα μισά εξ αυτών να αντιστοιχούν σε εξαγωγές. Η ολική μισθωμένη θαλάσσια έκταση των μονάδων ιχθυοκαλλιέργειας ανέρχεται σε περίπου 8 km<sup>2</sup>. Στην εικόνα 1.5 παρουσιάζεται εκτίμηση για τα επόμενα 20 χρόνια ορισμένων μεγεθών στις υδατοκαλλιέργειες στην Ελλάδα.



Εικόνα 1.5: Εκτιμήσεις εξελίξεων βασικών μεγεθών για την υδατοκαλλιέργεια στην Ελλάδα.

**Πηγή:** Εκτιμήσεις μελετητών

Η ανάγκη αύξησης της παραγωγής αναμένεται να αυξήσει και την ανάγκη για περισσότερους απασχολούμενους στον τομέα της ιχθυοκαλλιέργειας.

## 1.2. ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΓΙΑ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΣΕ ΑΝΟΙΧΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ

Η πρώτη γενιά θαλάσσιων συστημάτων εκτροφής (κλωβών) ήταν κυρίως ξύλινες κατασκευές (Εικόνα 1.7). Η γρήγορη επέκταση της θαλάσσιας ιχθυοκαλλιέργειας σε κλωβούς σε ορισμένες περιοχές, δημιούργησε έλλειψη κατάλληλων περιοχών για μελλοντική επέκταση. Τα παραπάνω, σε συνδυασμό με την αύξηση της ζήτησης των παράκτιων περιοχών για άλλες ανταγωνιστικές χρήσεις (π.χ. τουρισμός, αλιεία), που είχε σαν αποτέλεσμα την αναπόφευκτη σύγκρουση μεταξύ των διαφόρων χρηστών και την περιβαλλοντική ανησυχία του κοινού, δημιούργησαν την ανάγκη ανάπτυξης μιας τρίτης γενιάς θαλάσσιων κλωβών. Η τρίτη αυτή γενιά είναι τα συστήματα που λειτουργούν σε περιοχές ανοιχτής θάλασσας και χρησιμοποιούν διχτυοκλωβούς μεγάλου όγκου. Οι περιοχές ανοιχτής θάλασσας διαφοροποιούνται σε δύο κατηγορίες: α) **ημιεκτεθειμένες** περιοχές (**σημαντικό ύψος** κύματος ως **2 μέτρα** και **μέγιστο ύψος** κύματος ως **4 μέτρα**) και β) **εκτεθειμένες** περιοχές (**σημαντικό ύψος** κύματος ως **4 μέτρα** και **μέγιστο ύψος** κύματος ως **8 μέτρα**). Χαρακτηριστικά παραδείγματα των περιοχών αυτών όπου επικρατούν και οι αντίστοιχες συνθήκες παρουσιάζονται στην Εικόνα 1.6.



Εικόνα 1.6: Μονάδες ιχθυοκαλλιέργειών πλωτών ιχθυοκλωβών (Β.Εύβοια) – Α.Προστατευμένη, Β.Ημικτεθειμένη, Γ.Εκτεθειμένη. **Πηγή:** Google Maps

Ταυτόχρονα όμως συντρέχουν και περιβαλλοντικοί λόγοι που ωθούν τις ιχθυοκαλλιέργειες προς την ανοιχτή θάλασσα. Οι δικτυοκλωβοί μεγάλου όγκου έχουν καλύτερο περιβαλλοντικό αποτέλεσμα αφού συντελούν στη μείωση των απωλειών τροφής. Σύμφωνα με αποτελέσματα εμπορικών μονάδων που λειτουργούν με κλωβούς μεγάλων διαστάσεων, η εκτροφή σε δικτυοκλωβούς μεγάλου όγκου σε συνδυασμό με τη χαμηλή ιχθυοφόρτιση, έχει πολύ μεγαλύτερη απόδοση (καλύτερος ρυθμός μετατρεψιμότητας, μικρότερος χρόνος για επίτευξη εμπορεύσιμου μεγέθους) σε σύγκριση με την εκτροφή σε συμβατικούς ιχθυοκλωβούς. Οι συνθήκες στην ανοιχτή θάλασσα είναι επίσης πολύ ευνοϊκότερες για τον εκτρεφόμενο πληθυσμό καθώς υπάρχουν περισσότερα ρεύματα και επομένως κυκλοφορία θρεπτικών ουσιών και ανανέωση του νερού με αποτέλεσμα τα ιχθύδια να αναπτύσσονται όσο πιο κοντά στο φυσικό τους περιβάλλον. Τέλος η επιβάρυνση του θαλάσσιου περιβάλλοντος με οργανικά είναι μειωμένη καθώς αυτά διαλύονται λόγω μεγάλου βάθους και ρευμάτων.

Στον Πίνακα 1.2 φαίνονται μερικά από τα προβλήματα που πιθανώς να δημιουργούνται στο περιβάλλον από τη λειτουργία των ιχθυοκαλλιέργειών. Τα περισσότερα από αυτά αναφέρονται σε περιοχές κοντά στην ακτή όπου ρεύματα δεν είναι ισχυρά και γενικά το νερό δεν ανανεώνεται επαρκώς. Σε συνθήκες ανοιχτής θάλασσας όμως οι κυριότερα από αυτά τα προβλήματα εξαλείφονται αφού η ποιότητα του νερού μένει σχεδόν αναλείωτη λόγω των έντονων ρευμάτων και του μεγαλύτερου βάθους.

Χαρακτηριστικά ποιοτικής περιγραφής	Επιπτώσεις από τις υδατοκαλλιέργειες	Μελλοντικές τάσεις
Βιοποικιλότητα	Περιορισμένης έντασης και έκτασης επιπτώσεις. Ο κύριος όγκος των επιπτώσεων φαίνεται ότι εντοπίζεται 50-150 m περιμετρικά των κλωβών και μπορεί να αντιμετωπιστεί μέσω υδρανάπαυσης.	→
Ξενικά είδη	Τα εκτρεφόμενα είδη στην Ελλάδα είναι ιθαγενή. Κίνδυνος γενετικής «αραίωσης» των άγριων πληθυσμών εξαιτίας πιθανών διαφυγών των καλλιεργούμενων ψαριών.	→
Εμπορικώς εκμεταλλεύσιμα αλιεύματα	Τα ιχθυέλαια και ιχθυάλευρα που χρησιμοποιούνται προέρχονται από φυσικούς ιχθυοπληθυσμούς, οι οποίοι υφίστανται ήδη πλήρη ή υπερβολική εκμετάλλευση.	↗
Ευτροφισμός	Απελευθέρωση σημαντικών ποσοτήτων αποβλήτων με άζωτο και φωσφόρο. Συνολικά το ποσό αζώτου που εισέρχεται στη θάλασσα από τις υδατοκαλλιέργειες ανέρχεται σε 1.600 τόνους. Στις ολιγοτροφικές ελληνικές θάλασσες καταγράφονται ελάχιστες επιδράσεις κοντά σε ιχθυοτροφεία.	↗
Ακεραιότητα θαλάσσιου βυθού	Βενθικός εμπλουτισμός κάτω από κλωβούς από το αποκαλούμενο «ίζημα ιχθυοκαλλιέργειας» το οποίο χαρακτηρίζεται από χαμηλές τιμές δυναμικού οξειδοαναγωγής, υψηλή περιεκτικότητα σε οργανικό υλικό και συσσώρευση αζωτούχων και φωσφορικών ενώσεων. Μελέτες σε παράκτιες περιοχές της Ελλάδας έδειξαν πως ακόμη και ακριβώς κάτω από ιχθυοκλωβούς δεν παρατηρήθηκε εκτεταμένη «αζωική» ζώνη.	↗
Ρυπογόνες ουσίες	Οργανικές, φαρμακευτικές, αντισηπτικές και αντιρρυπαντικές ουσίες, που σε μικρές ποσότητες ανιχνεύονται και στο νερό. Η χρήση αντιβιοτικών αν και μειούμενη, μπορεί να προκαλέσει δυσμενή αποτελέσματα.	→
Ρυπογόνες ουσίες σε ψάρια & άλλα θαλάσσια τρόφιμα	Αφομοίωση τοξικών ουσιών και αντιβιοτικών.	→
Απορρίμματα στη θάλασσα	Συσσώρευση αχρησιμοποίητης τροφής, νεκρών ψαριών και περιττωμάτων. Η ζώνη του βυθού που επηρεάζεται δεν ξεπερνά τα 10-25 m απόσταση από τα όρια των κλωβών.	↗
Ενέργεια & θόρυβος	Ανθρωπογενής δραστηριότητα, θόρυβος, χερσαία και θαλάσσια κυκλοφορική κίνηση, κατασκευή πλωτών και χερσαίων δομών.	↗

Πίνακας 1.2: Επιπτώσεις και κίνδυνοι για την Καλή Περιβαλλοντική Κατάσταση και μελλοντικές τάσεις

### 1.3. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΤΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ

Τα συστήματα ιχθυοκαλλιέργειών αναπτύχθηκαν πρώτα στις Βόρειες Ευρωπαϊκές χώρες και κυρίως στη Νορβηγία. Την τεχνογνωσία αυτή πήραν και εξέλιξαν και οι μεσογειακές χώρες με εντυπωσιακά αποτελέσματα αποκτώντας έτσι κι αυτές μεγάλη εμπειρία στον τομέα. Ενώ παράλληλα σε χώρες που βρέχονται από ωκεανούς έχουν αναπτυχθεί ιδιαίτερα συστήματα για να αντέχουν σε πολύ δυσμενείς συνθήκες, τα οποία βέβαια ακόμα δεν είναι ευρέως εφαρμόσιμα. Μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι τα εξής:

Οι πρώτοι κλωβοί που χρησιμοποιήθηκαν ήταν κυρίως ξύλινοι(Εικόνα 1.7) και ονομάστηκαν πρώτης γενιάς. Η γρήγορη επέκταση της θαλάσσιας ιχθυοκαλλιέργειας σε κλωβούς σε ορισμένες περιοχές, δημιούργησε έλλειψη κατάλληλων περιοχών για μελλοντική επέκταση. Τα παραπάνω, σε συνδυασμό με την αύξηση της ζήτησης των παράκτιων περιοχών για άλλες ανταγωνιστικές χρήσεις (π.χ. τουρισμός, αλιεία), που είχε σαν αποτέλεσμα την αναπόφευκτη σύγκρουση μεταξύ των διαφόρων χρηστών και την περιβαλλοντική ανησυχία του κοινού, δημιούργησαν την ανάγκη ανάπτυξης μιας τρίτης γενιάς θαλάσσιων κλωβών. Πέρα από τους ξύλινους χρησιμοποιήθηκαν και μεταλλικοί σωλήνες για τους ιχθυοκλωβούς αλλά σιγά σιγά εγκαταλείφθηκαν καθώς το υλικό δεν επέτρεπε μεγάλη ευλυγισία στην κατασκευή οπότε αστοχούσε. Για το λόγο αυτό στην τρίτης γενιάς συστήματα που περιγράφονται παρακάτω το υλικό του πλωτήρα είναι πολυαιθυλένιο που επιτρέπει ακόμα μεγαλύτερες παραμορφώσεις και ευλυγισία από το χάλυβα.



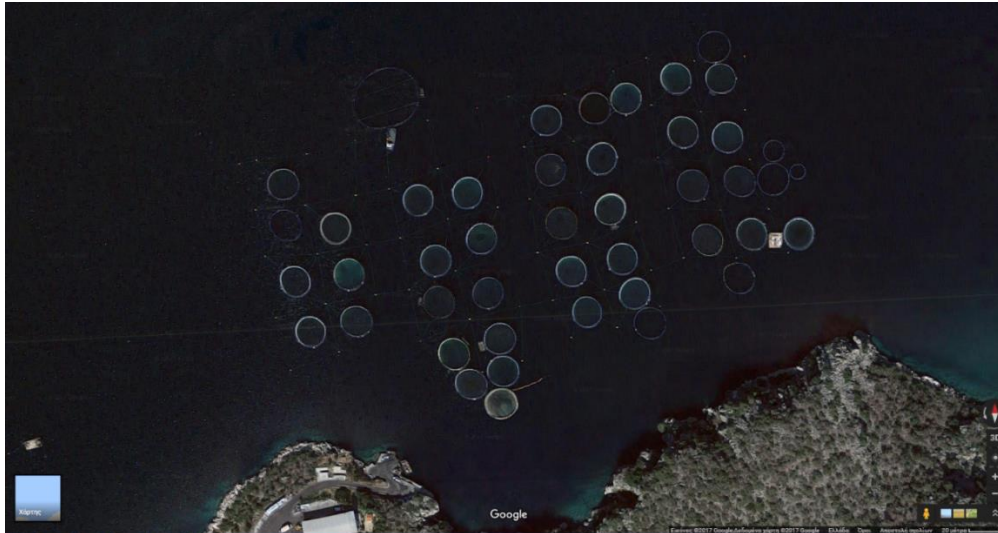
Εικόνα 1.7: Ξύλινοι ιχθυοκλωβοί

Στον Ελλαδικό χώρο τελευταία αλλά και στις περισσότερες ιχθυοπαραγωγικές χώρες απαντώνται θαλάσσιες ιχθυοκαλλιέργειες με πλωτούς ιχθυοκλωβούς τρίτης γενιάς(Εικόνες 1.8-1.10). Μια αδρομερής περιγραφή τους είναι ότι αποτελούνται από κάποιες μορφής πλαίσιο-κυκλικό(πιο συνηθισμένο), τετράγωνο(πλέον δε χρησιμοποιείται πολύ)-που κατασκευάζεται από σωλήνες και φέρει δίκτυα μέσα στα οποία εκτρέφονται τα ψάρια. Αυτή η κατασκευή συγκρατείται στο βυθό με σχοινιά και αλυσίδες ώστε να περιορίζονται οι μετακινήσεις στα επιθυμητά και επιτρεπτά όρια. Αυτή είναι η βασική φιλοσοφία των κατασκευών αυτών η οποία εφαρμόζεται με διάφορες παραλλαγές.

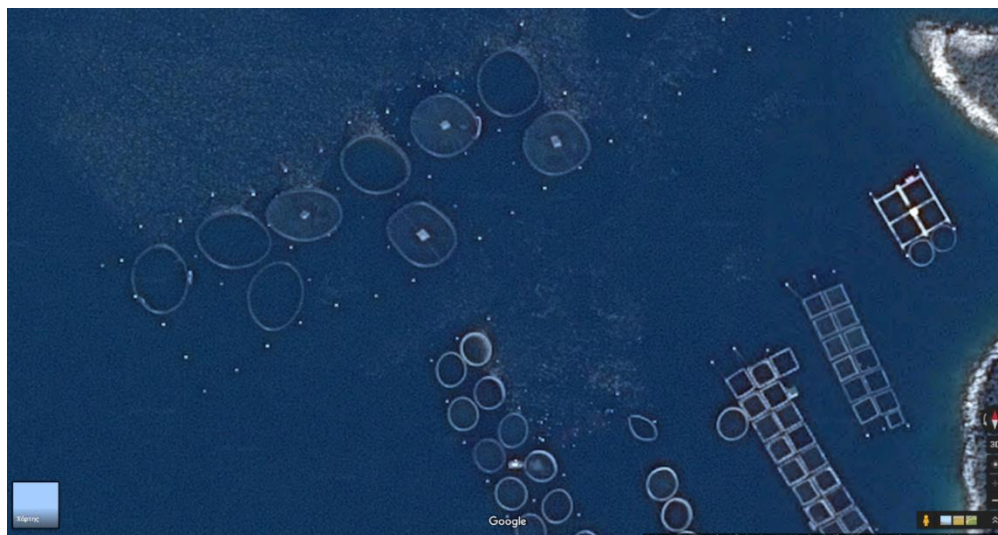


Εικόνα 1.8: Πλωτοί ιχθυοκλωβοί (Πελοπόννησος, κοντά Πόρτο Χέλι). **Πηγή:** Google Maps





Εικόνα 1.9: Πλωτοί ιχθυοκλωβοί (Πελοπόννησος, κοντά Πόρτο Χέλι). **Πηγή:** Google Maps



Εικόνα 1.10: Πλωτοί ιχθυοκλωβοί (Β.Εύβοια). **Πηγή:** Google Maps

Κοιτάζοντας τις μονάδες αυτές σε μεγέθυνση βλέπουμε ότι αποτελούνται από επιμέρους μέλη τα οποία εξηγούνται διεξοδικά στο Κεφάλαιο 2 και κάποια από αυτά φαίνονται στις Εικόνες 1.11-1.14.



Εικόνα 1.11: Πλωτοί ιχθυοκλωβοί



Εικόνα 1.12: Πλωτοί ιχθυοκλωβοί



Εικόνα 1.13: Πλωτοί ιχθυοκλωβοί



Εικόνα 1.14: Πλωτοί ιχθυοκλωβοί

Πέρα από αυτή την κατασκευή που είναι ευρέως εφαρμόσιμη υπάρχουν και άλλες παραλλαγές που παρουσιάζονται πιο αναλυτικά στο κεφάλαιο 2. Ενδεικτικά ένα άλλο σύστημα που έχει δοκιμαστεί τελευταία σε συνθήκες ανοιχτής θάλασσας είναι το παρακάτω:



Εικόνα 1.14: Πλωτός ιχθυοκλωβός σε σχήμα σφαίρας

Και σε αυτή την περίπτωση η σύνδεση με το βυθό γίνεται με σχοινιά και αλυσίδες όπως ακριβώς στους πλωτήρες που περιεγράφηκαν πιο πάνω.

Βέβαια αυτή η κατασκευή όπως μπορεί να γίνει αντιληπτό είναι ακόμη πιο εφαρμοσμένη σε εξαιρετικά δυσμενείς συνθήκες.

#### 1.4. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ, ΝΟΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ, ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ

Κάθε ιχθυοπαραγωγική δραστηριότητα έχει κάποιες συγκεκριμένες απαιτήσεις για να λειτουργήσει σωστά και αποδοτικά ενώ ταυτόχρονα πρέπει να συμμορφώνεται με το υπάρχον νομικό πλαίσιο και να περιορίζει τη δραστηριότητα της στις περιοχές που επιτρέπεται και με τον κατάλληλο τρόπο. Στη συνέχεια αναφέρονται αυτά που ισχύουν στην Ελλάδα.

Βασικές **προτεραιότητες και στρατηγικές** που προβλέπεται να ακολουθηθούν στον τομέα των ιχθυοκαλλιεργειών είναι :

- **Βελτίωση της ανταγωνιστικότητας** των υδατοκαλλιεργειών
- **Ίδρυση νέων μονάδων σε κατάλληλες θέσεις** είτε μεμονωμένα, ιδιαίτερα σε περιοχές που δεν αναμένονται σημαντικές πιέσεις ή και παρουσιάζουν αναπτυξιακή υστέρηση, είτε σε οργανωμένους υποδοχείς,
- Σταδιακή **απομάκρυνση όσων λειτουργούν σε ακατάλληλες θέσεις** με την παροχή σχετικών κινήτρων και **λήψη μέριμνας για τη αρνητική βιωσιμότητα του κλάδου.**
- **Προώθηση Περιοχών Οργανωμένης Ανάπτυξης Υδατοκαλλιεργειών (Π.Ο.Α.Υ.)** σε περιοχές μεγάλης συγκέντρωσης υδατοκαλλιεργειών, με στόχο την ορθολογική διαχείριση και ανάπτυξη τους, την επίτευξη οικονομικών κλίμακας και τη δημιουργία σύγχρονων εγκαταστάσεων υποστήριξης
- Βελτίωση του συντονισμού των δράσεων, που προωθούνται από τις ενδιαφερόμενες αρχές σε εθνικό, περιφερειακό και τοπικό επίπεδο, τόσο στη θάλασσα, με **σχέδια διαχείρισης θαλάσσιων περιοχών όπου χρειάζεται**, όσο και στην ξηρά για τη διαχείριση των παράκτιων ζωνών, ώστε να εξασφαλίζεται η αναγκαία **συμβατότητα, συμπληρωματικότητα και συνεργεία των αναπτυξιακών δραστηριοτήτων** και να διατηρούνται και οι **απαραίτητες ζώνες ελεύθερης πρόσβασης και αναψυχής των πολιτών.**

**Κατευθύνσεις για την χωροθέτηση σε εθνικό επίπεδο :**

- Καθορισμός θαλάσσιων Περιοχών Ανάπτυξης Υδατοκαλλιέργειας (Π.Α.Υ.), που διαθέτουν ευνοϊκά χαρακτηριστικά για την ανάπτυξη των υδατοκαλλιεργειών μετά από εκτίμηση περιβαλλοντικών και χωρικών παραμέτρων
- Προώθηση οργανωμένων υποδοχέων
- Μεμονωμένες μονάδες υπό προϋποθέσεις
- Απαιτήσεις ελάχιστης επιφάνειας για ανάπτυξη οργανωμένων υποδοχέων

**Βασικοί περιορισμοί:**

- Η χωροθέτηση μονάδων θαλάσσιας υδατοκαλλιέργειας δεν επιτρέπεται στις περιοχές με λιβάδια Ποσειδωνίας, και ιδιαίτερα όταν αυτά βρίσκονται εντός περιοχών Natura. Στις υπόλοιπες περιοχές του δικτύου Natura 2000 μπορούν να χωροθετηθούν μονάδες με ειδικούς όρους και δεσμεύσεις ως προς τον τρόπο διαχείρισής τους.
- Απαγορεύεται η οστρακοκαλλιέργεια και καλλιέργεια γλυκέων υδάτων (πεστροφοκαλλιέργεια, κυπρινοκαλλιέργεια) σε περιοχές που τα ύδατά τους έχουν **κριθεί ακατάλληλα** για καλλιέργεια και αλιεία οστρακοειδών
- Απαγορεύεται η θαλάσσια υδατοκαλλιέργεια σε περιοχές που χρησιμοποιούνται ως πεδία βολής, σε περιοχές διαύλων ναυσιπλοΐας και εγκαταστάσεις καλωδίων ή αγωγών μεταφοράς ενέργειας, τηλεπικοινωνιών κ.ά.

- Η θαλάσσια υδατοκαλλιέργεια σε βυθούς με θαλάσσια βλάστηση γίνεται σύμφωνα με τους ιδιαίτερους όρους και περιορισμούς που καθορίζονται από την κοινοτική και εθνική νομοθεσία που διέπει τα οικοσυστήματα αυτά.
- Απαγορεύεται η ίδρυση μονάδων καλλιέργειας γλυκών υδάτων σε πλωτές εγκαταστάσεις **εντός λιμνών, οι οποίες χρησιμοποιούνται για ύδρευση.**
- Απαγορεύεται η ίδρυση εγκαταστάσεων μεταποίησης προϊόντων υδατοκαλλιέργειας σε γη υψηλής παραγωγικότητας

#### **Κριτήρια και συμβατότητες χωροθέτησης μονάδων:**

Τα όρια της μισθωμένης θαλάσσιας έκτασης εγκατάστασης των μονάδων, είτε πρόκειται για τις μονάδες των Π.Ο.Α.Υ. και των άτυπων συγκεντρώσεων (Π.Α.Σ.Μ.), είτε για μεμονωμένες μονάδες είναι σκόπιμο να απέχουν:

- 1.000 μέτρα τουλάχιστον από λειτουργούσα τουριστική μονάδα ή εγκατάσταση και από υφιστάμενες οικιστικές αναπτύξεις
- 1.000 μέτρα τουλάχιστον από μη συμβατές χρήσεις (βιομηχανικές μονάδες, εξορυκτικές εγκαταστάσεις κ.λπ.).
- 1.000 μέτρα τουλάχιστον από λιμενικές εγκαταστάσεις διακίνησης πετρελαιοειδών ή βιομηχανικών μονάδων που εγκυμονούν σοβαρούς κινδύνους θαλάσσιας ρύπανσης.
- 500 μέτρα τουλάχιστον από καταδυτικά πάρκα του Ν. 3409/2005 (με εξαίρεση της συνδυασμένης χωροθέτησης) και παραλίες κολύμβησης που βρίσκονται σε άμεση γειτνίαση με τουριστικές εγκαταστάσεις ή οικιστικές περιοχές.
- 2 ναυτικά μίλια από αεροδρόμια που βρίσκονται στην ακτογραμμή

#### **Ενδεικτικές κανονιστικές διατάξεις :**

- Τα όρια της μισθωμένης έκτασης εγκατάστασης μονάδας απέχουν τουλάχιστον πενήντα (50) μ. από την ακτογραμμή.
- Η απόσταση μεταξύ δύο γειτονικών πάρκων εκτροφής της ίδιας μονάδας, να είναι μεγαλύτερη των 100 και μικρότερη των 250 μέτρων.
- Η ελάχιστη απόσταση μεταξύ γειτονικών μονάδων ιχθυοκαλλιέργειας είναι πεντακόσια (500) μέτρα. Η απόσταση μπορεί να μειώνεται στα τριακόσια (300) μέτρα όταν αμφότερες οι γειτονικές μονάδες είναι μονάδες βιολογικής ιχθυοκαλλιέργειας
- Το ανώτερο ποσοστό κάλυψης της μισθωμένης έκτασης εγκατάστασης των μονάδων, από τους ιχθυοκλωβούς και τις λοιπές πλωτές εγκαταστάσεις ορίζεται στο 50%.
- Το ποσοστό κάλυψης αυξάνεται σε 60% στην περίπτωση βιολογικών ιχθυοκαλλιεργειών.
- Η απόσταση μεταξύ ΠΟΑΥ είναι τουλάχιστον τρία (3) χιλιόμετρα.

#### **Προϋποθέσεις για ΠΟΑΥ:**

Οργάνωση μονάδων υδατοκαλλιέργειας με βάση ένα σύστημα ζωνών

#### Προϋποθέσεις:

- Έκταση > 100.000 m<sup>2</sup>.
- Φορέας Διαχείρισης
- Κανονισμό λειτουργίας

#### Διαδικασία ίδρυσης ΠΟΑΥ (με Π.Δ/γμα)

- Τεχνικοοικονομική Μελέτη
- Μελέτη Σκοπιμότητας – Βιωσιμότητας,
- Στρατηγική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Σ.Μ.Π.Ε.) με τεκμηριωμένη εκτίμηση φέρουσας ικανότητας της περιοχής και ποιότητας των υδάτων.

**Δε νοείται χορήγηση άδειας ίδρυσης και λειτουργίας μονάδας υδατοκαλλιέργειας, χωρίς την εξασφάλιση χερσαίας έκτασης σε εγγύς περιοχή** για την εξυπηρέτηση των θαλάσσιων εγκαταστάσεων. Οι συνοδές χερσαίες υποδομές που λόγω της φύσης και των λειτουργικών αναγκών των πλωτών μονάδων, πρέπει να χωροθετούνται σε σχετική εγγύτητα με τις θαλάσσιες εγκαταστάσεις, είναι οι παρακάτω:

- α) **Εγκαταστάσεις ελλιμενισμού (προβλήτες)** β) **Σύστημα άντλησης θαλασσινού νερού** (π.χ. γεωτρήσεις) και απορροής υδάτων  
 γ) **Σύστημα όδευσης τροφών (σιλό, σωληνώσεις κ.λπ.)** δ) **Αποθήκες** ε) Φυλάκια  
 στ) **Χώροι φύλαξης διχτυών** ζ) **Κλίβανος αποτέφρωσης**  
 η) **Χώροι παραμονής προσωπικού** θ) **Απόληξη οδού πρόσβασης και χώρος κίνησης οχημάτων** ι) **υποδομές μεταφόρτωσης** οστράκων από το βοηθητικό σκάφος εκτροφής σε φορτηγό ψυγείο.

Παρακάτω εξηγούνται κάποιοι βασικοί όροι που αναφέρθηκαν προηγουμένως:

**Περιοχές ανάπτυξης υδατοκαλλιέργειών ΠΑΥ** : ευρύτερες περιοχές αναζήτησης θέσεων οργανωμένων υποδοχέων και μεμονωμένων μονάδων

Οι ΠΑΥ χαρακτηρίζονται ως εξής:

- A: Περιοχές ιδιαίτερα αναπτυγμένες που χρήζουν παρεμβάσεων βελτίωσης, εκσυγχρονισμού των μονάδων και των υποδομών προστασίας και αναβάθμισης του περιβάλλοντος.  
 Β. Περιοχές με σημαντικά περιθώρια περαιτέρω ανάπτυξης  
 Γ. Δυσπρόσιτες περιοχές με σημαντικές δυνατότητες ανάπτυξης των θαλάσσιων υδατοκαλλιέργειών  
 Δ. Περιοχές με ιδιαίτερη ευαισθησία ως προς το φυσικό περιβάλλον  
 Ε. Περιοχές με κατάλληλα χαρακτηριστικά για ανάπτυξη υδατοκαλλιέργειών αλλά με ιδιαιτερότητες που δεν επιτρέπουν την οργανωμένη ανάπτυξη.

### **Περιοχές Οργανωμένης Ανάπτυξης Υδατοκαλλιέργειών (Π.Ο.Α.Υ.)**

Θαλάσσιες εκτάσεις εντός Π.Α.Υ., με έκταση μίσθωσης μεγαλύτερη των 100 στρεμμάτων.

### **Περιοχές Άτυπης Συγκέντρωσης Μονάδων (Π.Α.Σ.Μ.)**

Θαλάσσιες εκτάσεις εντός Π.Α.Υ., μέχρι πέντε μονάδες υδατοκαλλιέργειας και κατ' ανώτατο 100 στρέμματα.

Οι Π.Α.Σ.Μ. αποτελούν μεταβατική κατάσταση πριν τη θεσμοθέτηση Π.Ο.Α.Υ.

### **Μεμονωμένη μονάδα**

Μονάδα θαλάσσιας υδατοκαλλιέργειας εντός ή εκτός Π.Α.Υ. για την οποία ισχύουν κατά περίπτωση ειδικοί περιορισμοί και όροι.

**Έκταση εγκατάστασης θαλάσσιας μονάδας:** η θαλάσσια μισθωμένη έκταση ενιαία ή σε πάρκα, για την οποία αδειοδοτείται η μονάδα και η οποία οριοθετείται με τις συντεταγμένες των άκρων της.

**Πάρκο εκτροφής:** Η ενιαία μισθωμένη έκταση στην οποία πραγματοποιείται εκτροφή υδρόβιων οργανισμών και η οποία αποτελεί το σύνολο ή τμήμα μονάδας υδατοκαλλιέργειας.

**Ωφέλιμη ή παραγωγική έκταση θαλάσσιας μονάδας:** Το ανώτατο ποσοστό της μισθωμένης θαλάσσιας έκτασης, που μπορεί να καλυφθεί από τις εγκαταστάσεις

# 2 ΤΕΧΝΙΚΑ/ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

## ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Στο παρόν γίνεται μια προσπάθεια καταγραφής των διαφόρων συστημάτων εκτροφής που έχουν εφαρμοστεί στις ιχθυοκαλλιέργειες σε θαλάσσιο χώρο στην Ελλάδα. Σκοπός είναι η γνωριμία με τις συνήθεις πρακτικές, το είδος των κατασκευών και διατάξεων που απαιτούνται για την εγκατάσταση μιας ολοκληρωμένης μονάδας, τα υλικά που χρησιμοποιούνται και γενικά τις λεπτομέρειες τις σχετικές με την κατασκευή και εγκατάσταση. Με βάση αυτά παρουσιάζονται και διάφορες παραλλαγές, δηλαδή συστήματα που έχουν σχεδιαστεί αποκλειστικά για ανοιχτή θάλασσα και κάποια στοιχεία από την έρευνα γύρω από αυτές τις κατασκευές. Τέλος γίνεται και μια αναφορά σε βασικά σημεία της κυματικής θεωρίας και κάποιες παραδοχές με βάση τις οποίες θα ληφθεί υπόψη η φόρτιση από τον κυματισμό στη συνέχεια.

### 2.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΚΑΙ ΥΠΕΡΑΚΤΙΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΙΧΘΥΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ

Γενικά για την εγκατάσταση ενός συστήματος ιχθυοκαλλιέργειας απαιτούνται:

- Κάποιας μορφής ιχθυοκλωβοί (π.χ. πλωτοί, βυθιζόμενοι)
- Εξέδρες εργασίας
- Σύστημα αγκύρωσης ιχθυοκλωβών
- Σημαδούρες και φανοί σήμανσης και οριοθέτησης του πάρκου

Τα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή των ιχθυοκλωβών είναι:

- Χάλυβας
- Ξύλο
- Πλαστικό
- Καουτσούκ(λάστιχο).

Παλιότερα χρησιμοποιούνταν μεταλλικά πλαίσια για τον κλωβό. Τελευταία επικρατεί η χρήση πλαστικών ιχθυοκλωβών καθώς το πλαστικό επιτρέπει ακόμα μεγαλύτερη ευλυγισία που είναι απαραίτητο χαρακτηριστικό της συμπεριφοράς αυτών των κατασκευών για μην αστοχήσουν υπό τα φορτία που δέχονται.

Τα κυριότερα είδη είναι τα παρακάτω:

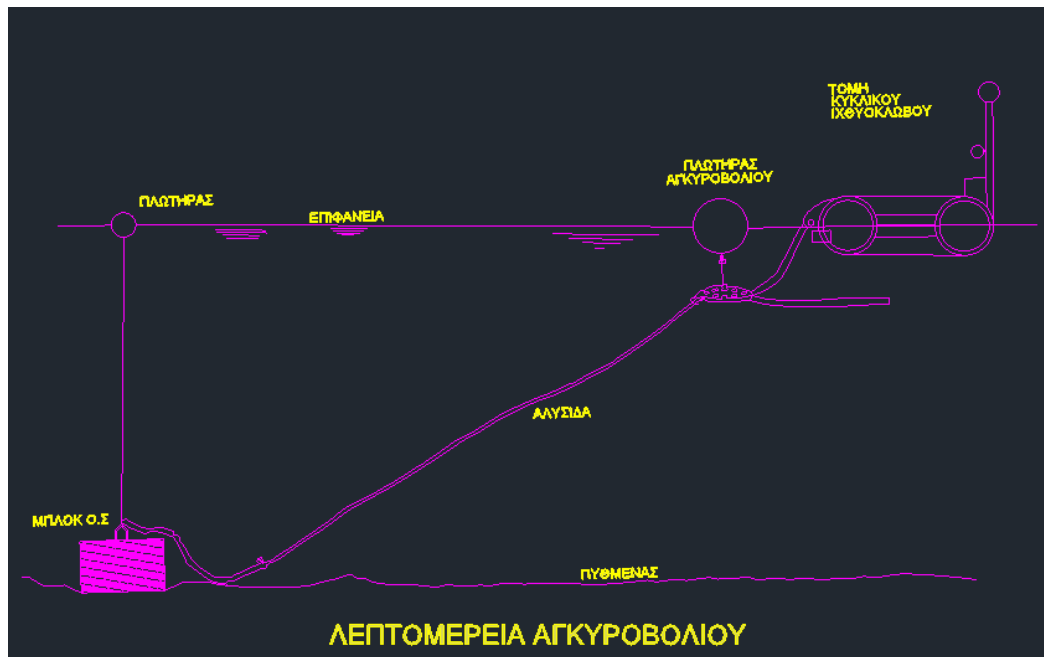
#### 2.1.1. Πλωτοί ιχθυοκλωβοί - floating cages

Είναι ευρέως διαδεδομένη τακτική που εφαρμόζεται συνήθως σε προστατευμένες ή ημιπροστατευμένες περιοχές κοντά στην ακτή. Η απόσταση από την ακτή συνήθως δεν ξεπερνά τα 500 μ ενώ σε βάθος φτάνει μέχρι και 80 μ. Επομένως συνήθως εφαρμόζεται σε παράκτιες περιοχές και όχι τόσο σε βαθύτερα νερά. Αν και τελευταία γίνεται προσπάθεια για τη μεταφορά τους σε βαθύτερα νερά.



Εικόνα 2.1: Γενική άποψη πλωτών ιχθυοκλωβών

Μια τέτοια εγκατάσταση περιλαμβάνει ένα σύνολο αντικειμένων τα οποία απεικονίζονται στις Εικόνες 2.1-2.2 και είναι τα εξής:



Εικόνα 2.2: Λεπτομέρεια αγκυροβολίου

#### Α. Τυπικός κλωβός

- Τοποθετείται ένας ή συνηθέστερα δύο κυκλικοί σωλήνες πολυαιθυλενίου HDPE (Εικόνα 2.3) πάνω στους οποίους θα στηριχθούν τα δίχτυα που περιλαμβάνουν τα ιχθύδια.



Εικόνα 2.3: Πλαίσιο ιχθυοκλωβού από σωλήνες HDPE





Εικόνα 2.4: Σωλήνες πολυαιθυλενίου HDPE και φελιζόλ

Στο εσωτερικό των σωλήνων τοποθετούνται φελιζόλ για λόγους άνωσης (Εικόνα 2.4).

Στον πίνακα 2.1 δίνονται μερικοί από τους πρότυπους σωλήνες του εμπορίου.

Πίνακας 2.1: Σωλήνες εμπορίου

Pipe Diameter (mm)	PN UNI EN 12201	Wall pipe thickness (mm)
200	10	11,9
250	16	14,8
250	16	22,7
315	16	28,6
400	16	36,3

- Μπρακέτα (Brackets-εικόνα 2.5) που χρησιμεύουν για να δέσουν τους σωλήνες και να στηριχθεί πάνω σε αυτά ένα κάγκελο προστασίας. Το υλικό για αυτά τα αντικείμενα είναι συνήθως HDPE ή και χάλυβας.



Εικόνα 2.5: Bracket

- Κάγκελο προστασίας (Handrail-Εικόνα 2.6) από HDPE



Εικόνα 2.6: Κάγκελο προστασίας

- Δίχτυα(Εικόνα 2.7-2.10). Υπάρχουν διάφορες ποιότητες στην αγορά. Ενδεικτικά παρουσιάζονται ορισμένα παρακάτω. Συνήθως επενδύονται με ειδικές προστατευτικές βαφές για να αντέχουν στο δυσμενές θαλάσσιο περιβάλλον. Δίχτυα χρησιμοποιούνται και για άλλους σκοπούς πέρα από τη συγκράτηση των ψαριών που εκτρέφονται. Τέτοιες χρήσεις είναι τα προστατευτικά δίχτυα που τοποθετούνται σε κάθε κλωβό στην στάθμη της επιφάνειας της θάλασσας για την απομάκρυνση των πτηνών όπως επίσης και δίχτυα που υπάρχουν μέσα στη θάλασσα και γύρω από τον κλωβό για να κρατηθούν οι θηρευτές μακριά από τα εκτρεφόμενα ψάρια.



Εικόνα 2.7: Δίχτυ Νάυλον



Εικόνα 2.8: Δίχτυ πολυεστέρα



Εικόνα 2.9: Δίκτυο συνδυασμού πολυαιθυλαινίου και νάυλον



Εικόνα 2.10: Προστασία δικτύων με βαφή

### B. Πλωτήρες

Οι πλωτήρες τοποθετούνται δίπλα σε κάθε κλωβό και ενώνονται με αυτόν ώστε να μην βυθίζεται υπό την επίδραση των φορτίων που δρουν σε αυτόν όπως το ίδιο βάρος της αλυσίδας αλλά και τα φορτία από τον άνεμο και τον κυματισμό. Η επιλογή του μεγέθους τους γίνεται με βάση την ικανότητα τους να μη βυθίζονται υπό τα φορτία που έχουν προδιαγραφεί.



Εικόνα 2.11: Πλωτήρες

Η ικανότητα πλευστότητας των πλωτήρων σαν τάξη μεγέθους κυμαίνεται από 250 – 2500 kg.

### Γ. Αλυσίδες

Η σύνδεση του ιχθυοκλωβού με το 'στερεό' έδαφος γίνεται με εύκαμπτα συστήματα τύπου καλωδίου. Συγκεκριμένα στη βάση κοντά στον πυθμένα χρησιμοποιούνται μεταλλικές αλυσίδες με κρίκους μεγάλης αντοχής όπως αυτές που φαίνονται στην εικόνα 2.12, καθώς η επαφή με τον πυθμένα και οι τριβές προκαλούν φθορές. Στη συνέχεια το καλώδιο συνεχίζεται με αλυσίδες πιο ελαφρές (εικόνα 2.13) και τέλος με σχοινιά δένονται πάνω στον ιχθυοκλωβό χωρίς αυτό να είναι κανόνας. Στους πίνακες 2.2, 2.3 δίνονται χαρακτηριστικά κάποιων αλυσίδων εμπορίου.



Εικόνα 2.12: Αλυσίδα σχήματος 'Θ'

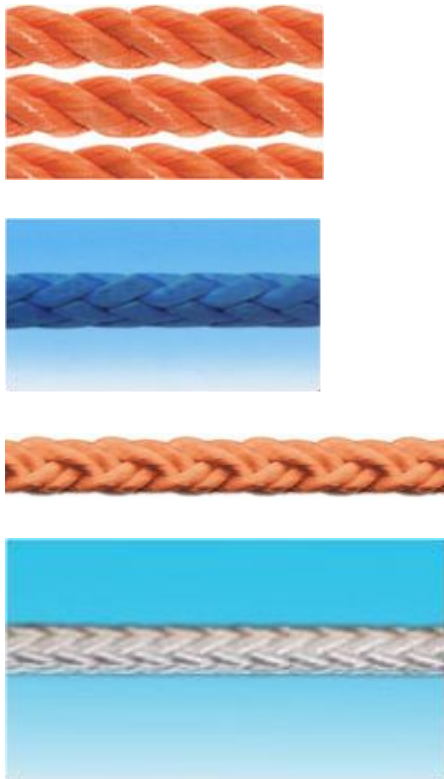
Εικόνα 2.13: Απλή αλυσίδα

Πίνακας 2.2: Κατηγορίες αλυσίδων υψηλής αντοχής

CHAIN GRADE 80 - HIGH STRENGTH					
A	E	L	S.W.L.	B.L.	Weight
[mm]	[mm]	[mm]	[Ton]	[Ton]	[Kg]
10	15	40	2,514	12,570	2,207
13	19,5	52	4250	21,240	3,720
16	24	64	6,435	32,175	5,640
19	28,5	76	9,000	45,370	7,140

Πίνακας 2.3: Κατηγορίες απλών αλυσίδων

CHAIN: RAW - BLACK - HOT GALVANIZED				
D	E	S.W.L.	B.L.	Weight
[mm]	[mm]	[mm]	[Ton]	[Kg]
6	7,8	0,560	1,410	0,820
8	10,4	1,000	2,510	1,450
10	13	1,500	3,920	2,250
12	15,6	2,250	5,650	3,240
14	18,2	3,000	7,670	4,390
16	20,8	4,000	10,050	5,710
18	23,4	5,000	12,720	7190
20	26	6,260	15,650	8,830
22	28,6	7,600	19,000	10,700
24	31,2	9,040	22,600	12,700



Εικόνα 2.14: Σχοινιά

POLYSTEEL ROPE			
Diameter	B.L.	Roll weight x 100 mts	Tollerancy
[mm]	[daN]	[kg]	[%]
4	311	0,8	10%
5	436	1,1	
6	680	1,7	
7	917	2,3	
8	1190	3,0	
9	1495	3,8	8%
10	1780	4,5	
12	2590	6,5	
14	3540	8,9	
16	4490	11,6	
18	5720	14,8	5%
20	6830	18,1	
22	8340	22,1	
24	9780	26,3	
26	11300	30,3	
28	12800	35,6	
30	14600	41,1	
32	15300	45,3	
34	17333	51,7	
36	19270	57,3	
38	21411	63,8	
40	24200	71,9	
42	26060	79,8	
44	29000	87,6	
46	31247	95,7	
48	33700	104,4	
50	36903	113,0	
52	39000	122,5	
56	44700	142,5	
60	51000	163,6	
64	58000	185,9	
72	72500	235,0	
80	89000	291,2	
88	106740	352,3	

Πίνακας 2.4: Κατηγορίες σχοινιών

**Δ. Αγκύρωση**

Στον πυθμένα θα πρέπει να αγκυρωθούν αυτά τα καλώδια επαρκώς με μια βάση η οποία να παραμένει αμετακίνητη. Στον τύπο αυτής της ακύρωσης παίζει ρόλο και η μορφολογία και το υλικό του πυθμένα. Έτσι σε αμμώδεις βυθούς (εικόνα 2.15) προτιμώνται κάποιου τύπου άγκυρες οι οποίες εμπήγνουν εύκολα μέσα στη άμμο και αποκτούν με αυτό τον τρόπο πολύ μεγάλη ικανότητα αγκύρωσης. Σε άλλες περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί και μπλοκ σκυροδέματος ως σώμα αγκύρωσης. Αυτό βασίζεται κυρίως στην τριβή που προκαλείται λόγω βαρύτητας.



Εικόνα 2.15: Άγκυρες

COMPARISON TABLE BETWEEN STINGRAY AND SAMSON12 ANCHORS		
Loading Power	Models	
		Stingray 375kg
MAX [Ton]	42,64	43,1
Mud-sand ground [Ton]	23,84	10,09
	Stingray 500kg	Samson 600 and 700k
MAX [Ton]	53,6	48,7 and 53,9
Mud-sand ground [Ton]	29,97	12 and 14
	Stingray 750kg	Samson 849 - 900 and 1000kg
MAX [Ton]	73,00	58 - 63,7 and 68,7
Mud-sand ground [Ton]	41,37	13,9 - 15,28 and 16,48
	Stingray 1000kg	No equiv
MAX [Ton]	93	
Mud-sand ground [Ton]	52	
	Stingray 1500kg	No equiv
MAX [Ton]	128,37	
Mud-sand ground [Ton]	71,78	

Πίνακας 2.5: Κατηγορίες ακυρών

### Ε. Μέσα σύνδεσης

Για την πραγματοποίηση των διάφορων συνδέσεων όπου συμβάλουν πολλά μέλη της κατασκευής χρησιμοποιούνται μέσα σαν αυτά της εικόνας 2.16. Και αυτά βέβαια υπάρχουν στην αγορά σε πρότυπα μεγέθη και αντίστοιχες αντοχές.



Σχήμα 2.16: Κρίκοι - Δακτύλιοι

Προφανώς για αυτά τα μεταλλικά αντικείμενα είναι γαλβανισμένα για να αντέχουν τη διάβρωση που προκαλεί το θαλασσινό νερό. Όλα αυτά τα αντικείμενα έχουν προδιαγραφές ασφαλούς λειτουργίας οι οποίες αναγράφονται σε πιστοποιητικά της κάθε εταιρίας και πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη για την ασφάλεια της κατασκευής. Στους πίνακες 2.6, 2.7 δίνονται με λεπτομέρεια οι διαστάσεις, το βάρος τους και η αντοχή τους.

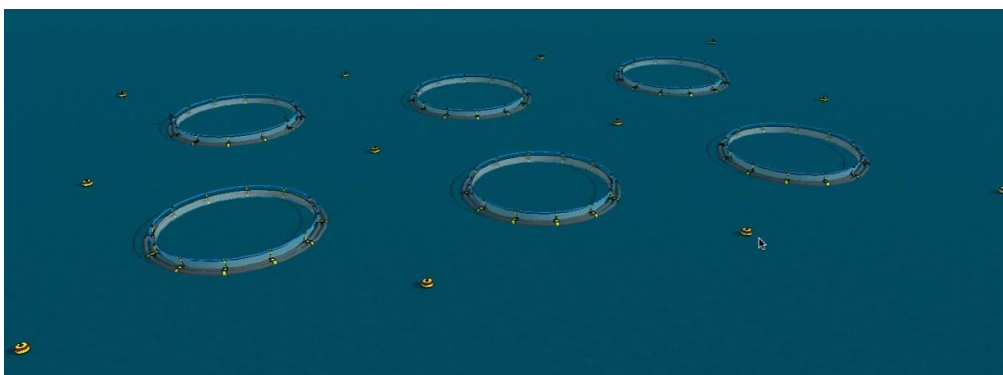
Πίνακας 2.6: Κατηγορίες κρίκων

BOW SHACKLES (Bolt type/Circular eyed pin)						
S.W.L.	A	B	C	D	O	Weight
[Ton]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[Kg]
2	13	16	22	51	32	0,360
3,25	16	19	27	64	43	0,620
4,75	19	22	31	76	51	1,210
6,5	22	25	36	83	58	1,480
8,5	25	28	43	95	68	2,500
9,5	28	32	47	108	75	3,465
12	32	35	51	115	83	4,500
13,5	35	38	57	133	92	6,600
17	38	42	60	146	99	7,150
25	45	50	74	178	126	13,240
35	50	57	83	197	138	19,000
42,5	57	65	95	222	160	28,000
55	65	70	105	254	180	38,500
85	75	83	127	330	190	62,300

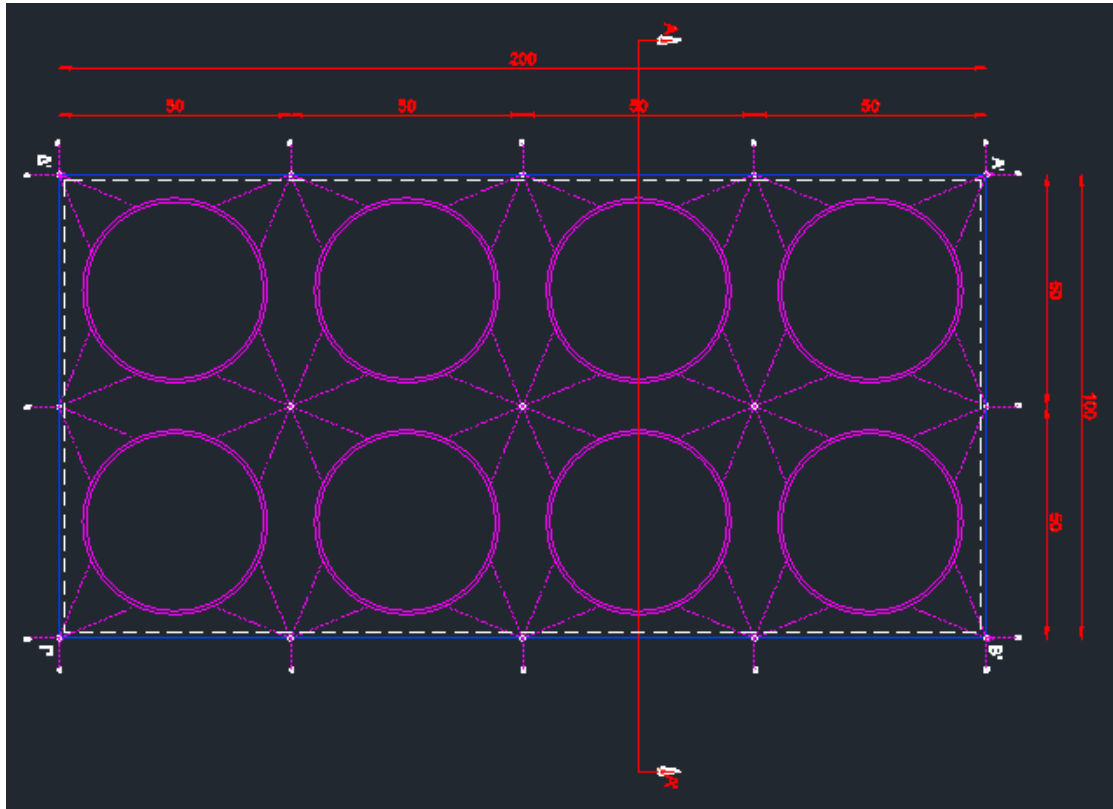
Πίνακας 2.7: Κατηγορίες δακτυλίων

OVAL RINGS					
A	E	L	S.W.L.	B.L.	Weight
			[Ton]	[Ton]	[Kg]
10	15	40	2,500	12,500	0,080
13	19	52	4,300	21,500	0,175
16	24	64	6,500	32,500	0,325
19	30	76	9,200	46,000	0,650
22	40	100	10,000	50,000	0,900
25	40	100	11,000	55,000	1,300
28	45	100	12,000	60,000	1,700
30	50	110	13,000	65,000	2,100

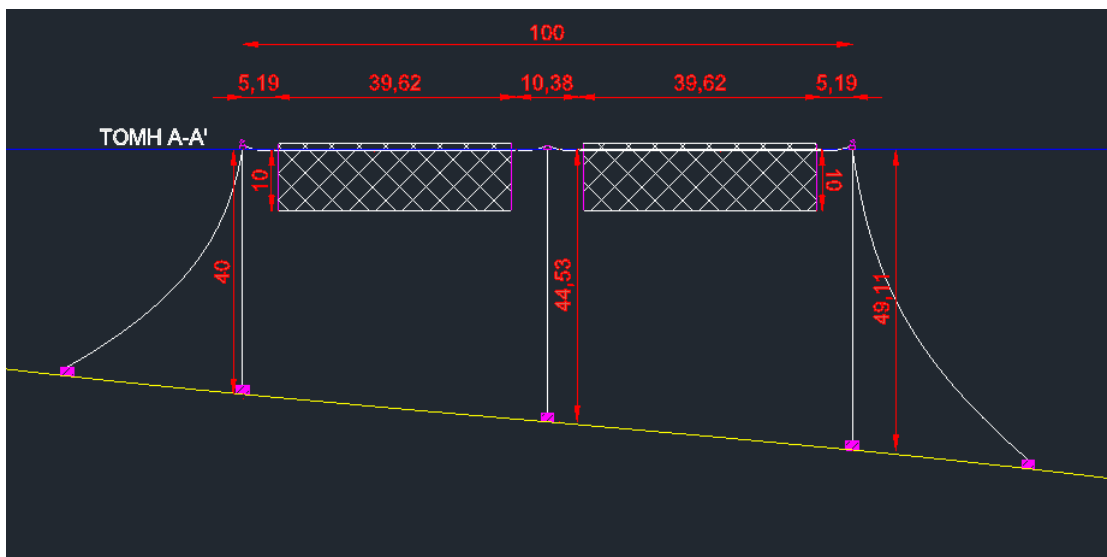
Μια τυπική διάταξη είναι η παρακάτω (Εικόνα 2.17) στην οποία φαίνονται ενδεικτικά κάποιες διαστάσεις ενός πάρκου και της κατασκευής σε κάτοψη και τομή(Εικόνες 2.18, 2.19).



Εικόνα 2.17: Παράδειγμα διάταξης ιχθυοκλωβών



Εικόνα 2.18: Παράδειγμα διάταξης ιχθυοκλωβών – κάτοψη




Εικόνα 2.19: Παράδειγμα διάταξης ιχθυοκλωβών – τομή

Μια πλήρης περιγραφή των τεχνικών χαρακτηριστικών ενός πλωτού ιχθυοκλωβού είναι η παρακάτω (εικόνα 2.20). Γενικά φαίνεται μια προσπάθεια στην αγορά προτυποποίησης των ιχθυοκλωβών κατ'αντιστοιχία με τις πρότυπες διατομές που χρησιμοποιούνται στις μεταλλικές κατασκευές για παράδειγμα.



<b>Model: STEEL 200-500</b>	
Production Technology	Welded + bolts
Material	Hot dipped galvanized steel
Dimension : Height	various
Lenght	various
Weight	up to 60 kg
Wall thickness	up to 12mm
Color	-
PE treatment	-
Pipe Ø diamater	200mm/500mm
Handrai pipe Ø diamater	110mm/160 mm
Cage dimensions Ø diamater	From 60mt to 160mt
Site conditions recommended	High Energy marine areas, Offshore locations



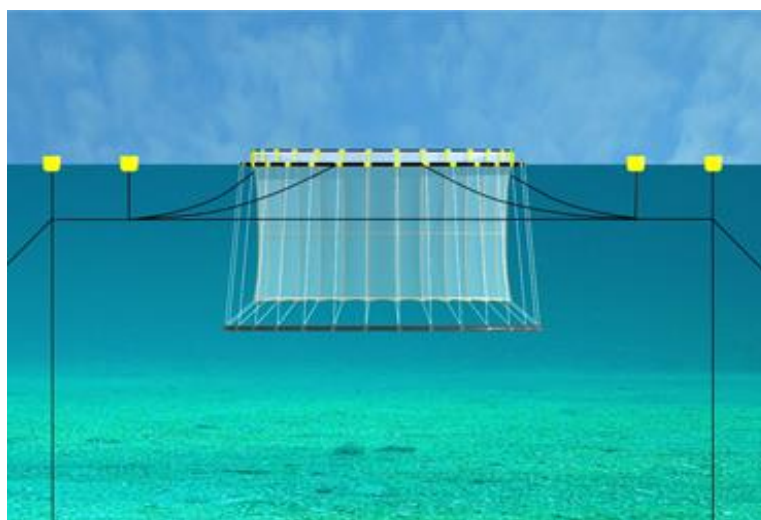
Εικόνα 2.20: Περιγραφή χαρακτηριστικών κλωβού

Για τη διάταξη των αγκυριών γίνεται εκτίμηση των ανεμολογικών χαρακτηριστικών της περιοχής και οι κύριες κατευθύνσεις πνοής του ανέμου. Οπότε αυτές οι πλευρές του πάρκου που δέχονται την επίδραση των ισχυρότερων ανέμων ενισχύονται με περισσότερα αγκύρια.

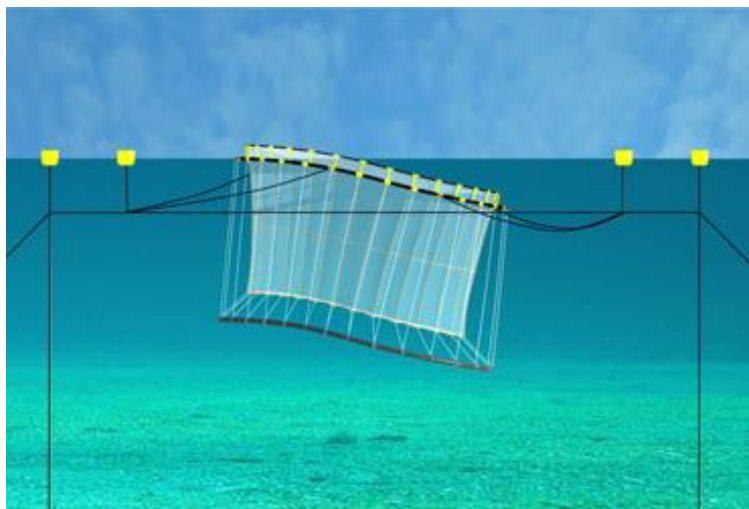
### 2.1.2. Βυθιζόμενοι ιχθυοκλωβοί - submersible cages

Είναι συστήματα που εφαρμόζονται σε εκτεθειμένες και απροστάτευτες θαλάσσιες εκτάσεις (offshore fish farming). Με αυτή τη μέθοδο μειώνεται το ρίσκο απώλειας βιομάζας και επομένως και το οικονομικό ρίσκο. Είναι όμως ακριβότερη λύση ως προς την κατασκευή και τη λειτουργία.

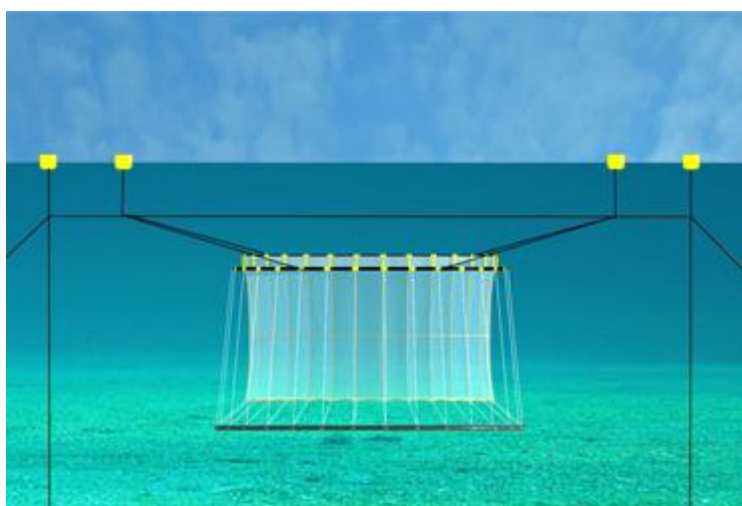
Η διάταξη αυτή εμφανίζει ομοιότητες με αυτήν που περιεγράφηκε προηγουμένως με τη διαφορά ότι σε αυτή υπάρχει η δυνατότητα βύθισης όλης της κατασκευής μέσα στη θάλασσα σε περιπτώσεις έντονων καιρικών συνθηκών. Η λειτουργία της περιγράφεται συνοπτικά στις Εικόνες 2.21-2.23.



Εικόνα 2.21: Κλωβός στην επιφάνεια



Εικόνα 2.22: Κλωβός κατά το βύθισμα



Εικόνα 2.23: Κλωβός μέσα στο νερό



Εικόνα 2.24: Κλωβός στην επιφάνεια



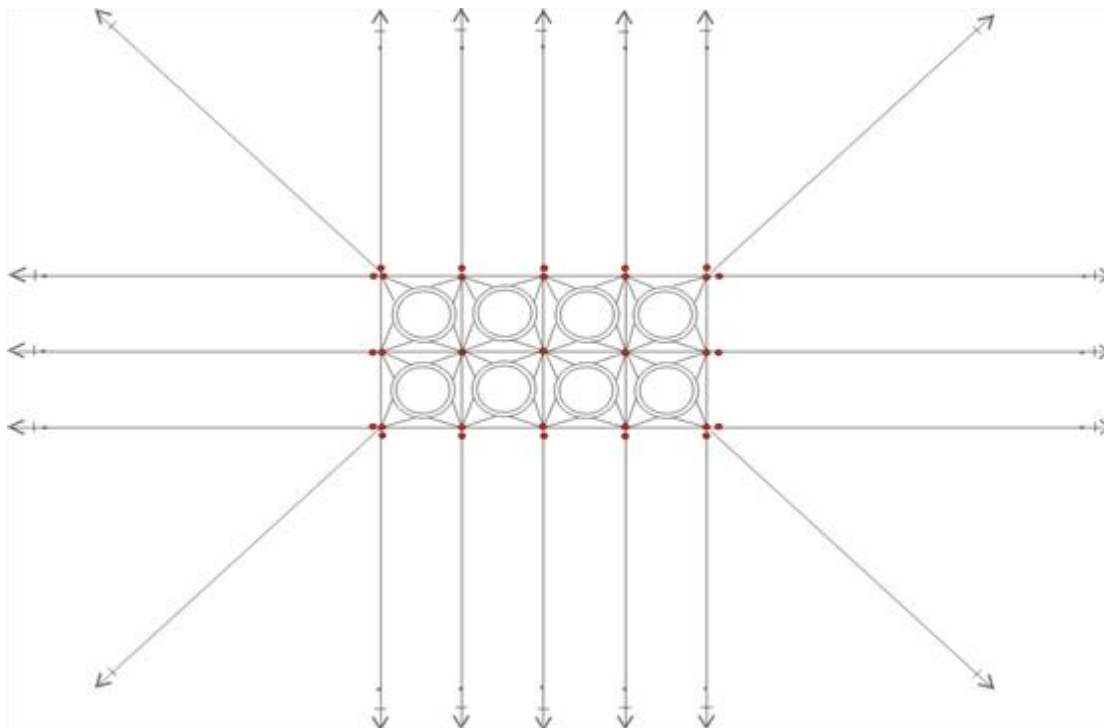
Εικόνα 2.25: Κλωβός κατά το βύθισμα

Το σύστημα αυτό έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Σωλήνα HDPE στην επιφάνεια της θάλασσας ο οποίος γεμίζεται με αέρα ή νερό ανάλογα αν πρέπει να μείνει στην επιφάνεια ή να βυθιστεί αντιστοίχως.
- Άλλο ένα σωλήνα κάτω από τον κλωβό οποίος βοηθά στο βύθισμα αλλά και στη συνολική ευστάθεια και τη διατήρηση του σχήματος του κλωβού.

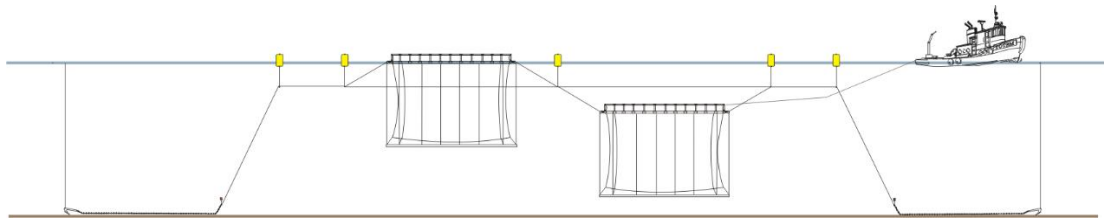
Γενικά αυτές οι κατασκευές διαθέτουν βαλβίδες νερού στους σωλήνες για να βυθιστούν οι κλωβοί.

Μια άλλη διαφορά με τους πλωτούς ιχθυοκλωβούς είναι ότι κατά το βύθισμα οι πλωτήρες πρέπει να αντέχουν το βάρος του βυθιζόμενου κλωβού. Οπότε προτιμάται να χρησιμοποιείται μια ομάδα πλωτήρων για την αγκύρωση (δυνάμεις από το σώμα αγκύρωσης) και μια ομάδα που να 'ελέγχουν' το βύθισμα του κλωβού(βλ. εικόνες 2.21-2.25).



Εικόνα 2.26: Διάταξη αγκύρωσης

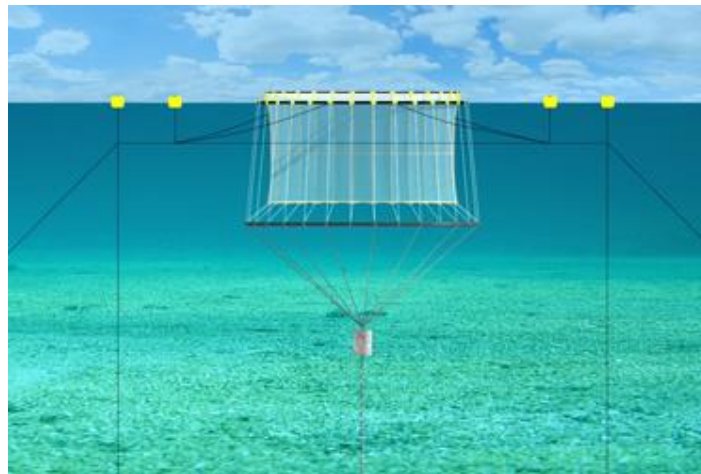
Η αγκύρωση ακολουθεί τις ίδιες αρχές όπως και στους πλωτούς ιχθυοκλωβούς (εικόνα 2.26). Κατά την έννοια του βάθους η διάταξη είναι η γνωστή μας από τους πλωτους ιχθυοκλωβούς(Εικόνα 2.27).



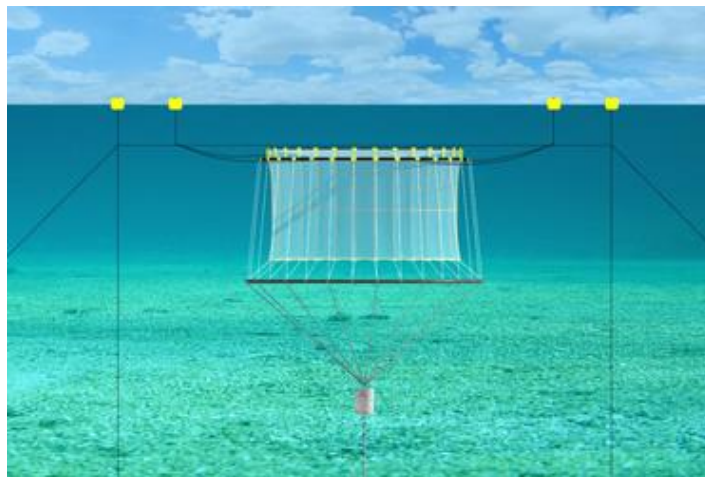
Εικόνα 2.27: Ενδεικτική τομή

Μια παραλλαγή του παραπάνω συστήματος είναι η εξής:

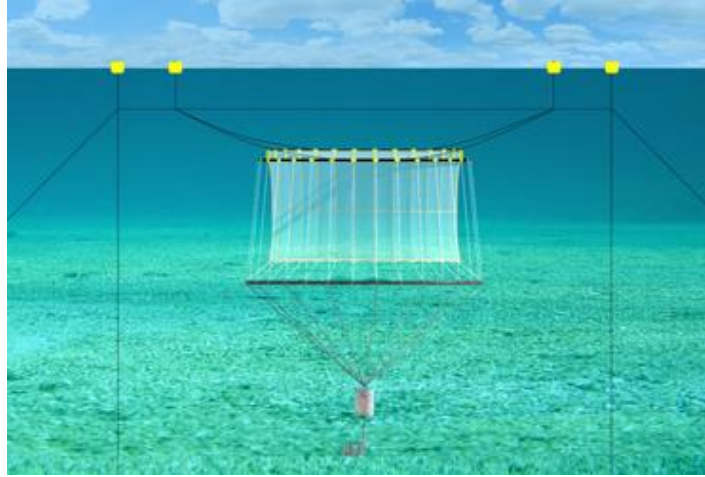
Η διάταξη είναι η ίδια με πριν αλλά στο κάτω μέρος του συστήματος τοποθετούνται κάποια βάρη ώστε να είναι ακόμα πιο σταθερός ο κλωβός(Εικόνες 2.28-2.30).



Εικόνα 2.28: Κλωβός στην επιφάνεια

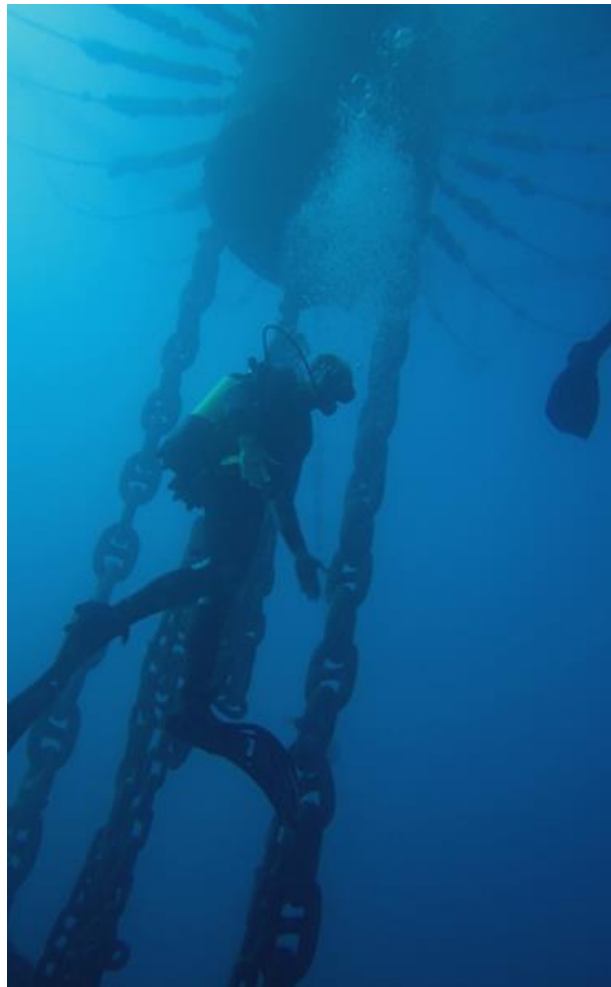


Εικόνα 2.29: Κλωβός κατά το βύθισμα



Εικόνα 2.30: Κλωβός μέσα στο νερό

Όπως φαίνεται και στο σχήμα κάτω από τον κλωβό συνδέεται με αλυσίδες ένα μεταλλικό κελί σχήματος καμπάνας (είναι κλειστό μόνο στην κορυφή του) το οποίο με τη σειρά του αγκυρώνεται με αλυσίδες στον πυθμένα (εικόνα 2.31). Το γέμισμα και άδειασμα της καμπάνας γίνεται από την επιφάνεια χάρη σε έναν εύκαμπτο σωλήνα αέρα με μια βαλβίδα.

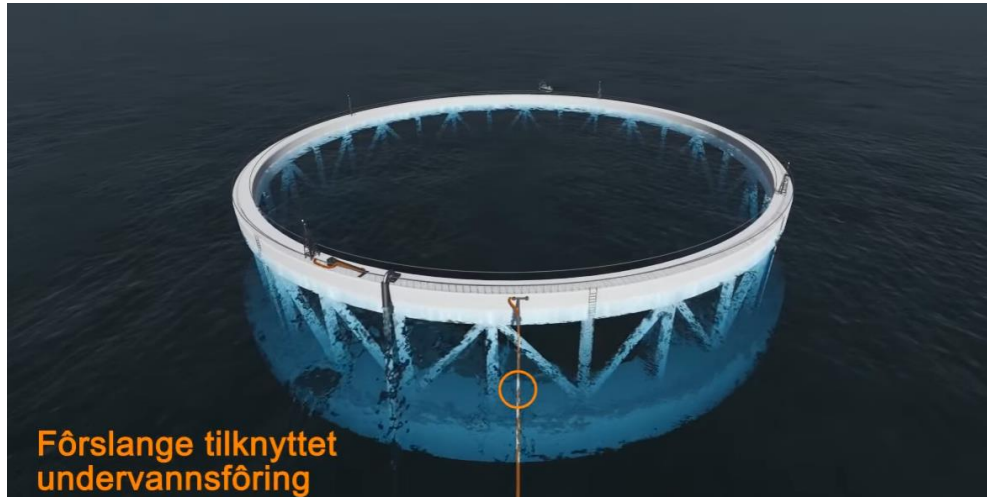


Εικόνα 2.31: Μεταλλικό κελί (καμπάνα)

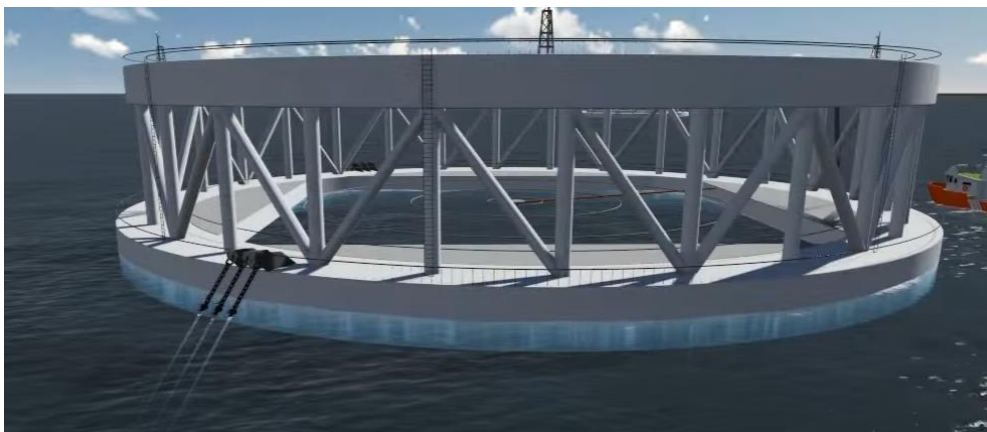
### 2.1.3. Διάφορα συστήματα ιχθυοκαλλιεργειών

Τα παρακάτω συστήματα έχουν σχεδιαστεί για ανοιχτή θάλασσα και δυσμενείς συνθήκες. Έχει γίνει προσπάθεια τελευταία να μεταφερθούν σε βαθύτερα νερά και σε πιο εκτεθειμένες περιοχές και οι συμβατικοί πλωτοί ιχθυοκλωβοί γιατί είναι πιο φτηνή λύση. Ωστόσο σε πολύ έντονες καιρικές συνθήκες έχουν σχεδιαστεί πιο ενισχυμένες κατασκευές.

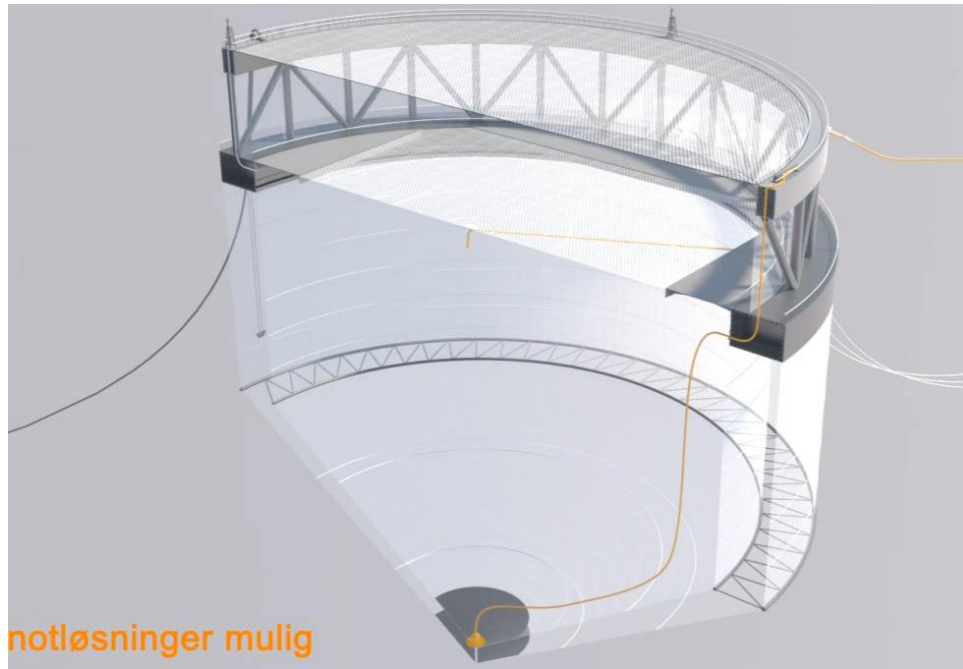
Βυθιζόμενος μεταλλικός κυκλικός ιχθυοκλωβός:



Εικόνα 2.32: Μεταλλικός δικτυωτός κλωβός. Πηγή: Akersolutions



Εικόνα 2.33: Μεταλλικός δικτυωτός κλωβός-όψη. Πηγή: Akersolutions



Εικόνα 2.34: Μεταλλικός κλωβός-τομή. **Πηγή:** Akersolutions

Κλειστή μεταλλική δεξαμενή-ιχθυοκλωβός:



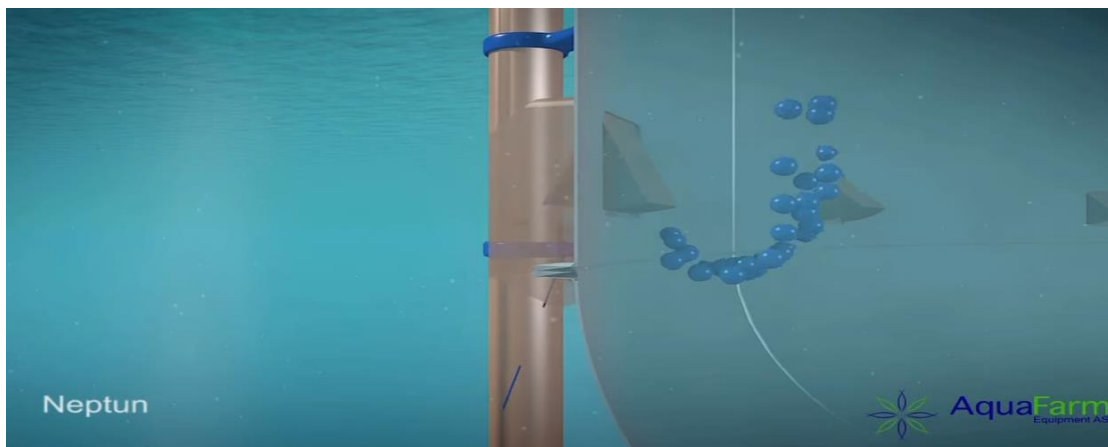
Εικόνα 2.35: Μεταλλικός κλωβός. **Πηγή:** Aquafarm equipment

Οι κατασκευές που φαίνονται στις εικόνες 2.32-2.35 είναι εξ'ολοκλήρου μεταλλικές επομένως το κόστος αρχίζει να αυξάνεται αρκετά καθώς απαιτείται να είναι γαλβανισμένο το μέταλλο για λόγους ανθεκτικότητας.



Εικόνα 2.36: Μεταλλικός κλωβός-μεταφορά. **Πηγή:** Aquafarm equipment

Η μεταφορά της κάθε κατασκευής έχει άλλες ιδιαιτερότητες(Εικόνα 2.36)



Εικόνα 2.37: Μεταλλικός κλωβός-ανανέωση νερού. **Πηγή:** Aquafarm equipment

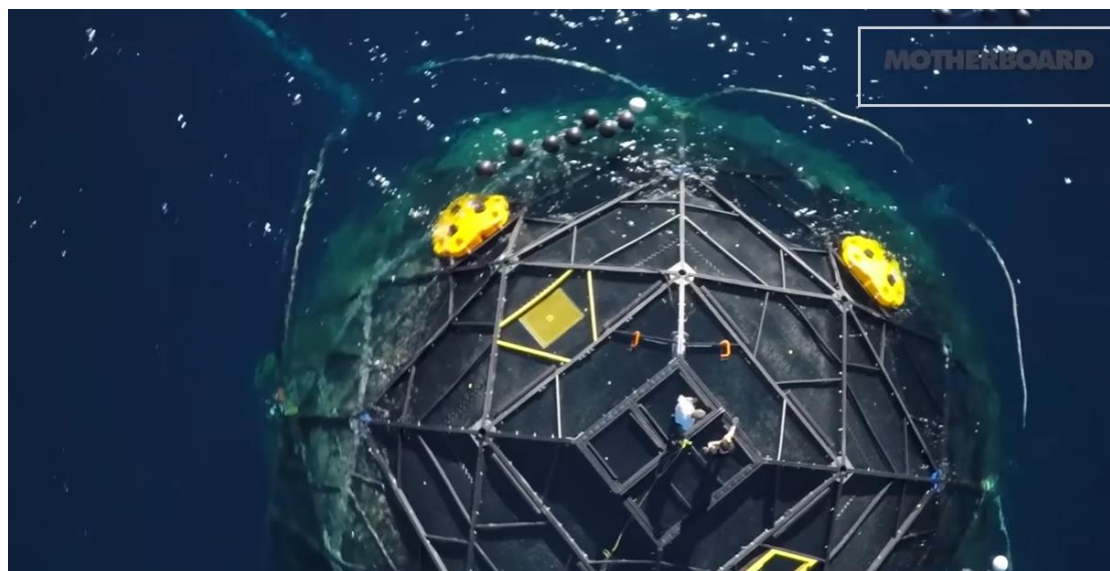
Η ειδική μορφή που δίνεται στη δεξαμενή δημιουργεί άλλες λειτουργικές δυσκολίες που πρέπει να βρεθεί τρόπος αντιμετώπισης τους(Εικόνα 2.37).



Σφαιρικός ιχθυοκλωβός που έχει αρχίσει να γίνεται αρκετά δημοφιλής στις offshore κατασκευές:



Εικόνα 2.38: Σφαιρικός ιχθυοκλωβός από πολυαιθυλένιο. Πηγή: [www.livingoceanproductions.com](http://www.livingoceanproductions.com)



Εικόνα 2.39: Σφαιρικός ιχθυοκλωβός από πολυαιθυλένιο. Πηγή: [www.livingoceanproductions.com](http://www.livingoceanproductions.com)

Πολύ ελαφρύτερη κατασκευή από τις προηγούμενες. Αποτελείται κατά κυριο λόγο από πολυαιθυλαίνιο. Ο τρόπος δεσίματος φαίνεται στην εικόνα 2.40. Ο κύριος όγκος της κατασκευής βρίσκεται μέσα στη θάλασσα εκτός από ένα μόνο κομμάτι που χρησιμοποιείται για να μπορεί να περπατήσει το προσωπικό αφού δεν είναι εύκολο σε αυτή την περίπτωση να υπάρχει περιμετρικός διάδρομος(Εικόνα 2.41,2.42).



Εικόνα 2.40: Σφαιρικός ιχθυοκλωβός από πολυαιθυλένιο-δέσιμο σχοινού αγκύρωσης.  
Πηγή: [www.livingoceanproductions.com](http://www.livingoceanproductions.com)



Εικόνα 2.41: Σφαιρικός ιχθυοκλωβός από πολυαιθυλένιο. Πηγή: [www.livingoceanproductions.com](http://www.livingoceanproductions.com)

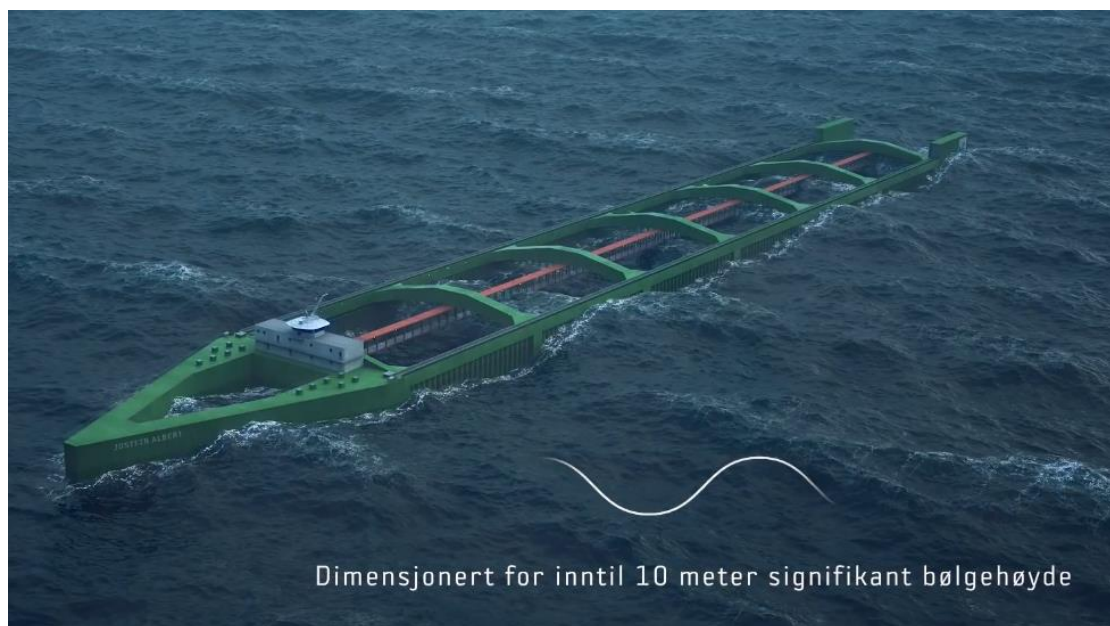


Εικόνα 2.42: Σφαιρικός ιχθυοκλωβός από πολυαιθυλένιο. Πηγή: [www.livingoceanproductions.com](http://www.livingoceanproductions.com)

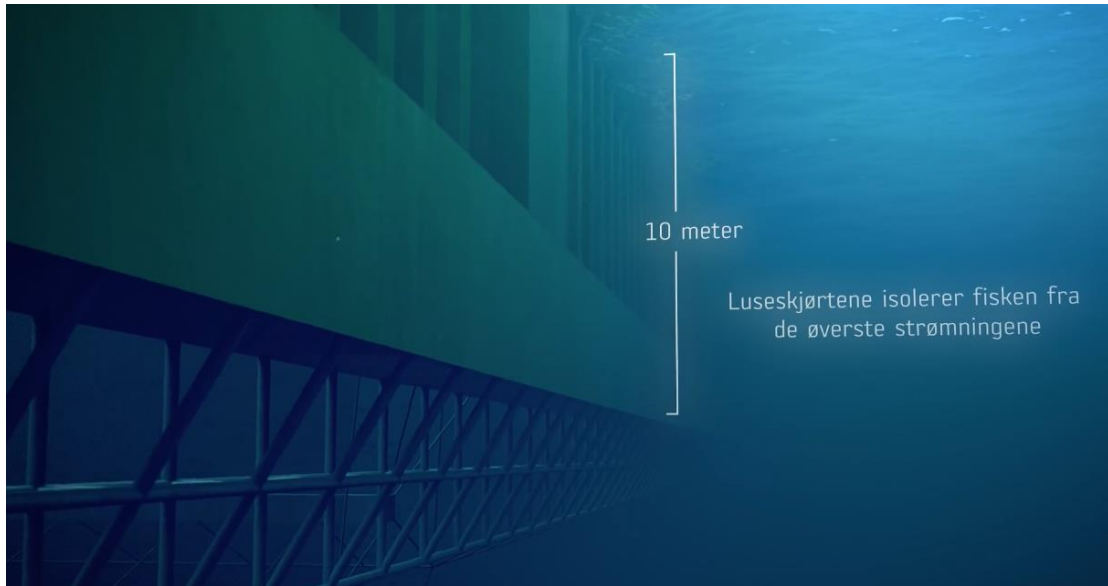
Μια κάπως διαφορετική φιλοσοφία: ιχθυοκλωβός – πλοίο. Το πλοίο είναι αγκυρωμένο στο βυθό και περιστρέφεται γύρω από ένα σημείο.



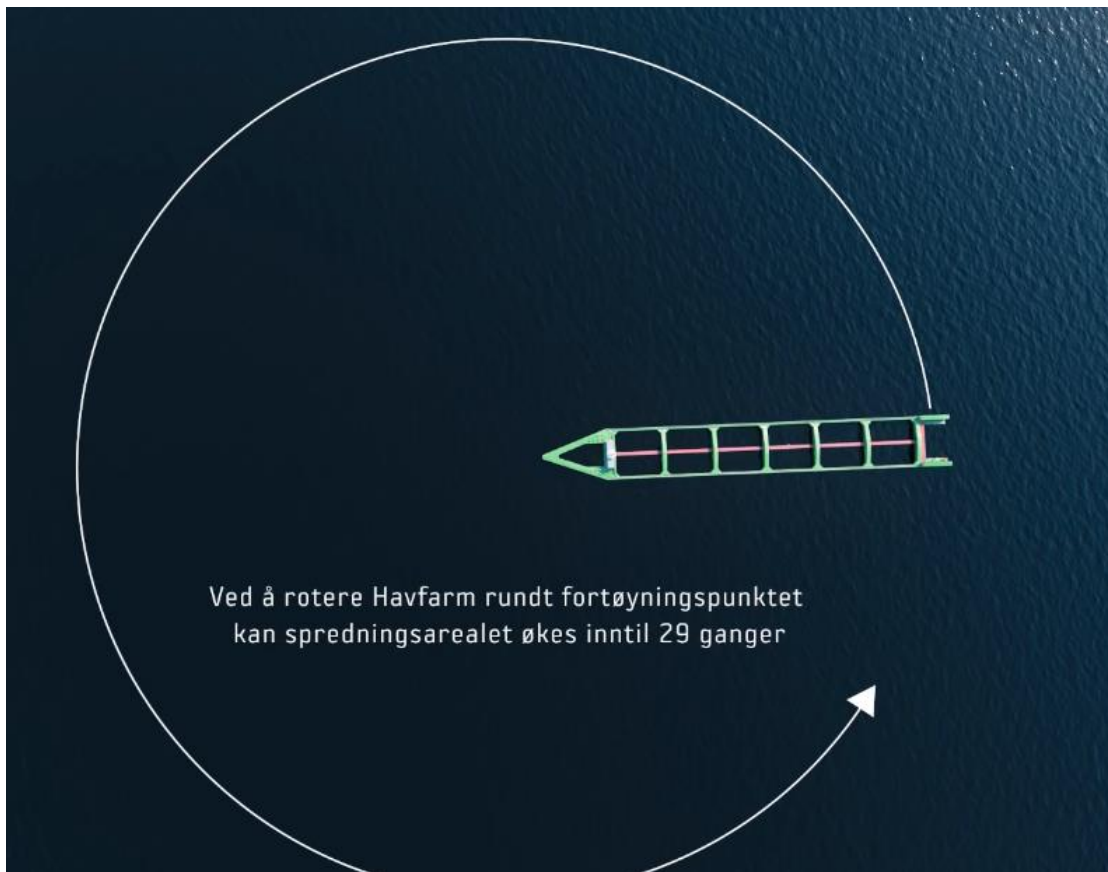
Εικόνα 2.43: Ιχθυοκλωβός-πλοίο. Πηγή: [www.havfarm.no](http://www.havfarm.no)



Εικόνα 2.44: Ιχθυοκλωβός-πλοίο σχεδιασμένο για ύψος κύματος 10 m. Πηγή: [www.havfarm.no](http://www.havfarm.no)



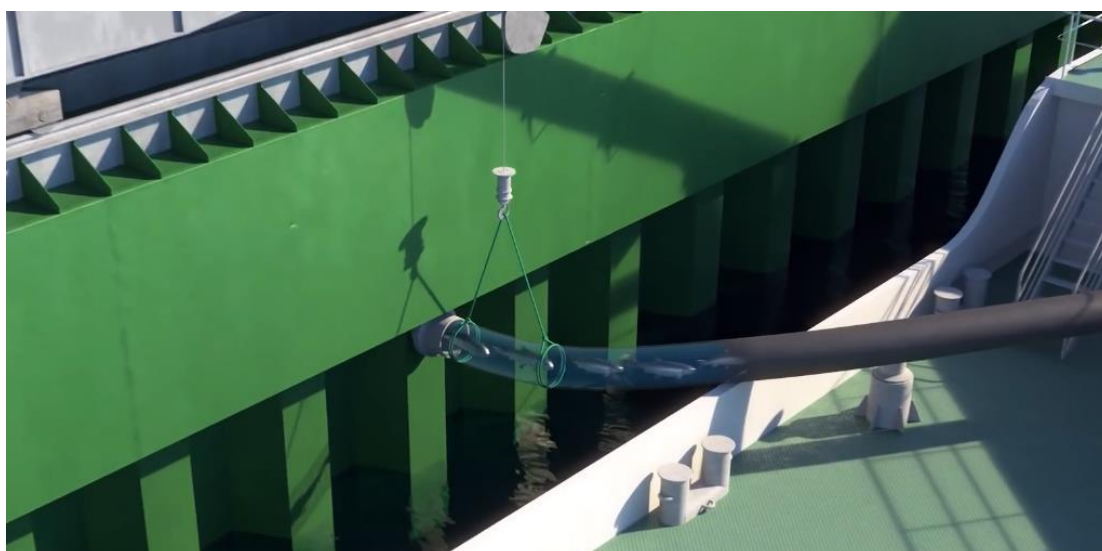
Εικόνα 2.45: Ιχθυοκλωβός-πλοίο βύθισμα 10 m. Πηγή: [www.havfarm.no](http://www.havfarm.no)



Εικόνα 2.46: Ιχθυοκλωβός-πλοίο ακτίνα περιστροφής. Πηγή: [www.havfarm.no](http://www.havfarm.no)



Εικόνα 2.47: Ιχθυοκλωβός-πλοίο όψη. Πηγή: [www.havfarm.no](http://www.havfarm.no)



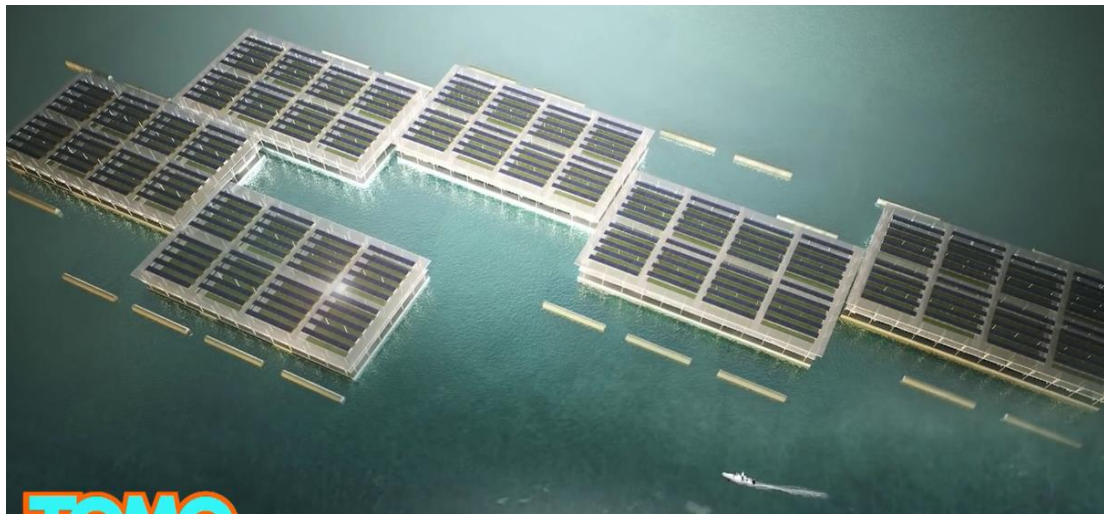
Εικόνα 2.48: Ιχθυοκλωβός-πλοίο μεταφορά ψαριών. Πηγή: [www.havfarm.no](http://www.havfarm.no)

Κατασκευές όπως αυτές που φαίνονται στις εικόνες 2.43-2.47, 2.49-2.53 είναι πολύ μεγαλύτερης κλίμακας και επομένως δε μπορούν να συγκριθούν με τις υπόλοιπες που περιεγράφηκαν προηγουμένως και από άποψη οικονομίας και παραγωγής και αντοχής.

Μια τεράστια πλατφόρμα διαστάσεων όσο 6 γήπεδα ποδοσφαίρου (Εικόνα 2.53) που φιλοξενεί ιχθυοκαλλιέργειες αλλά και καλλιέργειες λαχανικών. Η καινοτομία σε αυτό έγκειται στο ότι κατά κάποιον τρόπο 'αυτοσυντηρείται' χρησιμοποιώντας την ηλιακή και αιολική ενέργεια και το βρόχινο νερό (Εικόνα 2.54).



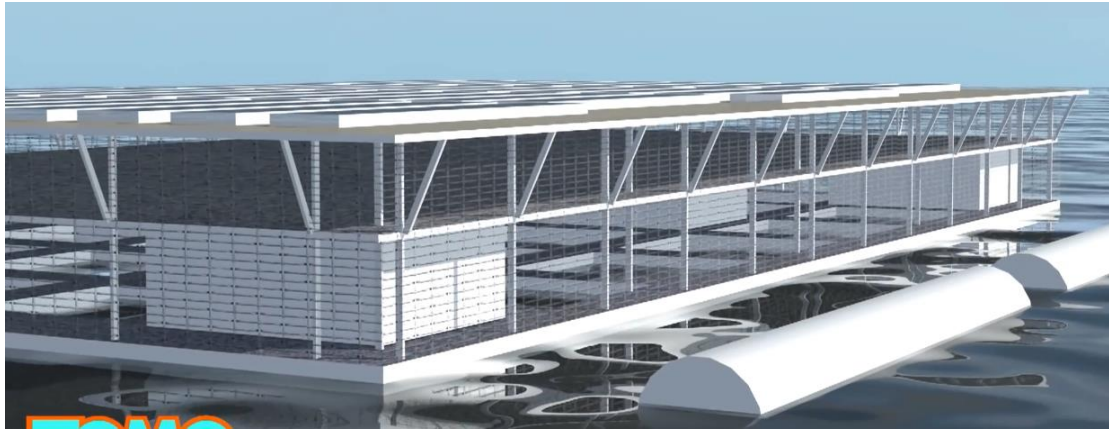
Εικόνα 2.49: Πλατφόρμα που φιλοξενεί ιχθυοτροφείο. **Πηγή:** TOMOnews



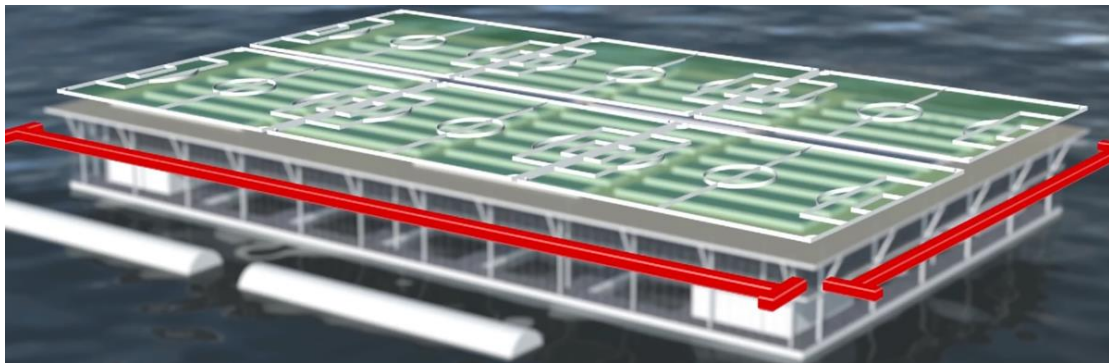
Εικόνα 2.50: Σύνολο μονάδων. **Πηγή:** TOMOnews



Εικόνα 2.51: Στάδιο κατασκευής πλατφόρμας. **Πηγή:** TOMOnews



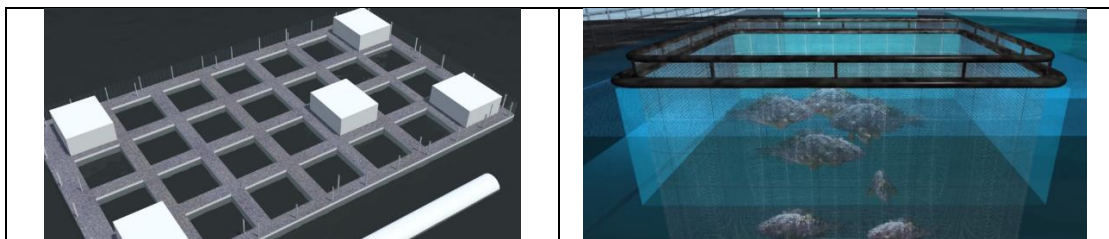
Εικόνα 2.52: Πλωτή πλατφόρμα. **Πηγή:** TOMOnews



Εικόνα 2.53: Διαστάσεις πλατφόρμας. **Πηγή:** TOMOnews

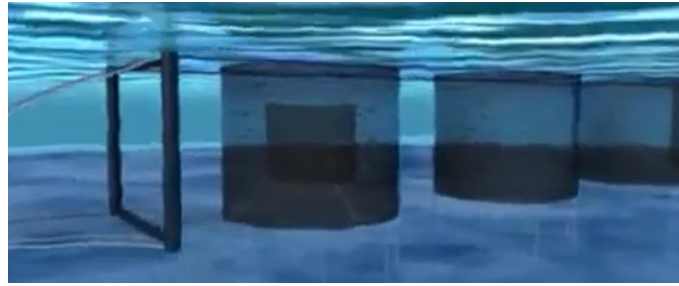


Εικόνα 2.54: φωτοβολταικά, συλλογή νερού, ανεμογεννήτριες. **Πηγή:** TOMOnews



Εικόνα 2.55: Κλωβοί. **Πηγή:** TOMOnews

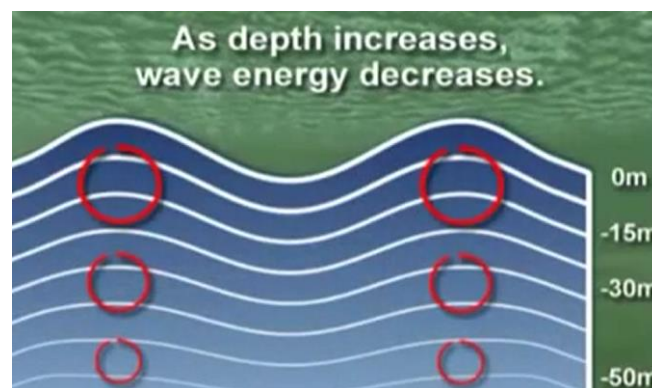
Το παρακάτω πρόκειται για ένα πρωτοποριακό σύστημα βυθιζόμενων ιχθυοκλωβών:



Εικόνα 2.56: Κλωβοί στην επιφάνεια της θάλασσας. **Πηγή:** Subflex ocean SPM netcages



Εικόνα 2.57: Κλωβοί στο βυθό. **Πηγή:** Subflex ocean SPM netcages

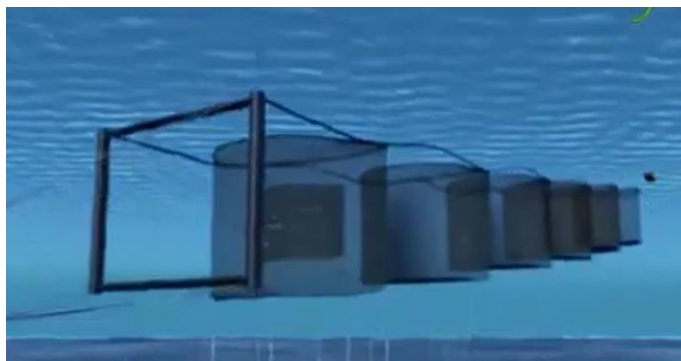


Εικόνα 2.58: Μείση της επίδρασης κύματος με το βάθος. **Πηγή:** Subflex ocean SPM netcages

Η φιλοσοφία εδώ είναι η μείωση της κυματικής ενέργειας όσο πιο βαθιά βρίσκονται οι κλωβοί(Εικόνα 2.58).

Επιτυγχάνεται ενιαία συμπεριφορά των κλωβών πράγμα που διευκολύνει τη λειτουργία της μονάδας(Εικόνα 2.59).





Εικόνα 2.59: Κλωβοί κατά την ανύψωση. Πηγή: Subflex ocean SPM netcages

#### 2.1.4 Επιστημονική έρευνα σχετική με το σχεδιασμό ιχθυοκλωβών

Στην Ελλάδα υπάρχουν πολλές μονάδες ιχθυοκαλλιέργειας για τους λόγους που έχουν ήδη αναφερθεί. Ωστόσο, ο σχεδιασμός τους γίνεται κατά κύριο λόγο εμπειρικά. Από τη μακροχρόνια δραστηριότητα υπάρχει μεγάλη εμπειρία στο χώρο της ιχθυοκαλλιέργειας και για αυτό το λόγο δεν έχει συστηματοποιηθεί η μελέτη των κατασκευών αυτών. Αυτό βέβαια έχει ως αποτέλεσμα ίσως να επιβαρύνεται η οικονομικότητα της κατασκευής ή σπανιότερα να προκαλούνται αστοχίες.

Πέρα από αυτά όμως, έχουν γίνει αρκετές ερευνητικές μελέτες και προτάσεις για θαλάσσιες κατασκευές και συγκεκριμένα για πλωτές κατασκευές, κάποιες από τις οποίες παρουσιάζονται εδώ για σύγκριση μεταξύ τους αλλά και για σύγκριση με την μελέτη που γίνεται στην παρούσα εργασία.

Παρά το γεγονός ότι έχουν γίνει ήδη διάφορες μελέτες, η καθεμία αφορά και διαφορετική κατασκευή γι' αυτό και έχει ενδιαφέρον να μελετηθεί και ξεχωριστά η κάθε κατασκευή.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται δύο μελέτες. Μια πιο γενική που εστιάζει περισσότερο στην θεωρητική περιγραφή ενός προβλήματος με πλωτήρα και αγκύρωση ενώ η δεύτερη είναι μια πρόταση που έχει εφαρμοστεί και είναι μια πλήρης περιγραφή ενός συστήματος ανοιχτής θάλασσας.

Όσο αφορά την **πρώτη** μελέτη πρόκειται για ένα τρισδιάστατο μοντέλο για υπεράκτιες κατασκευές με γραμμική και μη γραμμική αγκύρωση. Εξετάζεται η επίδραση : 1. Της μη γραμμικότητας της αγκύρωσης και 2. Της μη γραμμικότητας της φόρτισης από τον κυματισμό.

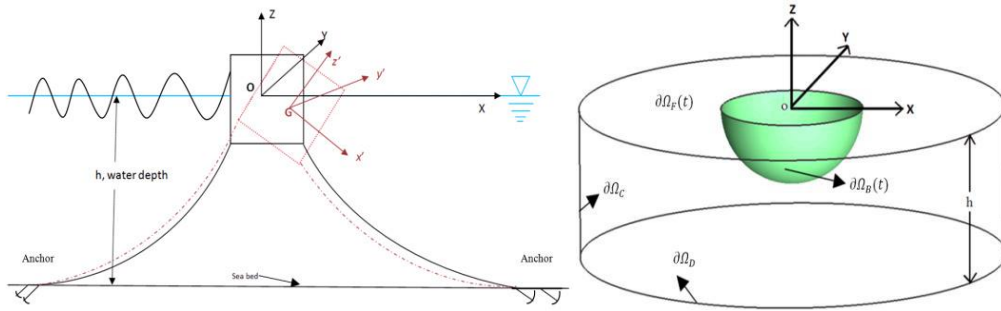
Αναφέρεται ότι από πολλές μελέτες που έχουν γίνει (Van Oortmerssen (1976) and Wichers (1979), Chen et al. (2001), Kim and Sclavounos (2001), Tahar et al. (2006), Zhang et al. (2008), Chen and Zhu (2011), and Yang et al. (2012), Ormberg and Larsen (1998), Heurtier et al. (2001) and Kim et al. (2013) κ.α.) σε σχετικά θέματα έχει προκύψει ότι τα δυναμικά φορτία στην αγκύρωση έχουν σημαντική επίδραση στην κίνηση του πλωτήρα σε βάθη από 1000 m και πάνω, το οποίο είναι ένα βάθος εξωπραγματικό για τις κατασκευές ιχθυοτροφείων.

Για τη μελέτη της συνδυασμένης επίδρασης ανέμου, κύματος και ρευμάτων επιλέχθηκε να γίνει ανάλυση στο πεδίο του χρόνου και όχι των συχνοτήτων καθώς τα φορτία αυτά είναι μη γραμμικά στη φύση.

Η μελέτη αποτελείται από δύο μέρη: 1. Μαθηματική προσέγγιση με αναλυτικές σχέσεις και 2.Αριθμητικό μοντέλο

##### 1.Μαθηματική προσέγγιση

Θεωρείται η παρακάτω γεωμετρία(Εικόνα 2.60):



Εικόνα 2.60: Υπολογιστικό μοντέλο

Το πρόβλημα της κίνησης του ρευστού περιγράφεται από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$\nabla^2 \varphi(x, y, z; t) = 0 \text{ πεδίο ρευστού } \Omega \quad (2-1)$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial n} = 0 \text{ στο } \partial \Omega_D \quad (2-2)$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial n} = \vec{V}_B \cdot \vec{n} \text{ στο } \partial \Omega_B(t) \quad (2-3)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial \varphi}{\partial x} \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\partial \varphi}{\partial y} \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{\partial \varphi}{\partial z} = 0 \text{ στο } z = \eta \quad \partial \Omega_F(t) \quad (2-4)$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + g\eta + \frac{1}{2} \vec{\nabla} \varphi \cdot \vec{\nabla} \varphi = 0 \text{ στο } z = \eta \quad \partial \Omega_F(t) \quad (2-5)$$

$\vec{V}_B$  διάνυσμα ταχύτητας

$\vec{n}$  διάνυσμα κάθετο στο σώμα

$\partial \Omega_D$  επιφάνεια πυθμένα

$\partial \Omega_B(t)$  βρεχόμενη επιφάνεια σώματος

$\partial \Omega_F(t)$  ελεύθερη επιφάνεια θάλασσας

Οι εξισώσεις κίνησης του σώματος είναι:

$$[M] \cdot \{\ddot{\vec{r}}\} = \{\vec{F}\}; \{\vec{F}\} = \{\vec{F}_{HS} + \vec{F}_{HD} + \vec{F}_{Moor} + \vec{F}_{other}\} \quad (2-6)$$

$[M]$  το μητρώο μάζας

$\vec{F}_{HS}$  οι υδροστατικές δυνάμεις

$\vec{F}_{HD}$  οι υδροδυναμικές δυνάμεις

$\vec{F}_{Moor}$  οι δυνάμεις αγκύρωσης

$\vec{F}_{other}$  άλλες δυνάμεις, όπως απόσβεση

Οι δυνάμεις και οι ροπές που δρουν κάθε στιγμή στο σώμα υπολογίζονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$\vec{F} = \iint_{\partial \Omega_B(t)} p \vec{n} d(\partial \Omega) \quad (2-7)$$

$$\vec{M} = \iint_{\partial \Omega_B(t)} p (\vec{r} \times \vec{n}) d(\partial \Omega) \quad (2-8)$$

$$p = -\rho \frac{\partial \varphi}{\partial t} - \frac{1}{2} \rho [\nabla \varphi \cdot \nabla \varphi] \quad (2-9)$$

$\vec{r}$  η διανυσματική απόσταση από το κέντροειδές ως το κέντρο μάζας του σώματος

$p$  η υδροδυναμική πίεση

Η οριζόντια δυσκαμψία που προσφέρει το νήμα, δηλαδή η οριζόντια δύναμη που ασκούν τα νήματα στον πλωτήρα δίνονται από τις σχέσεις:

$$S - S_0 = \frac{H}{w} \sinh^{-1} \left( \frac{wL}{H} \right) - \frac{H_0}{w} \sinh^{-1} \left( \frac{wL_0}{H} \right) + \frac{L_T}{AE} (H - H_0) - (L - L_0) \quad (2-10)$$

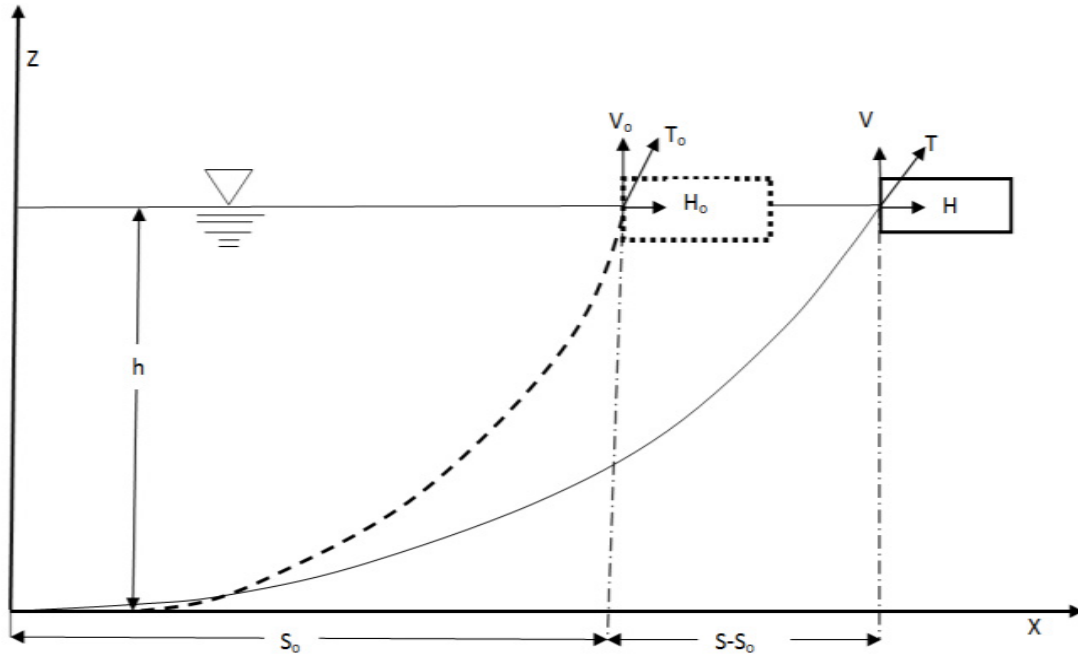
$$H = AE \sqrt{\left( \frac{T}{AE} + 1 \right)^2 - \frac{2wh}{AE}} ; L = \frac{1}{w} \sqrt{T^2 - H^2} \quad (2-11)$$

$$H_0 = AE \sqrt{\left( \frac{T_0}{AE} + 1 \right)^2 - \frac{2wh}{AE}} ; L_0 = \frac{1}{w} \sqrt{T_0^2 - H_0^2} \quad (2-12)$$

$L_T$  συνολικό μήκος νήματος

L ευθύγραμμη απόσταση από την κορυφή του νήματος ως το σημείο αγκύρωσης

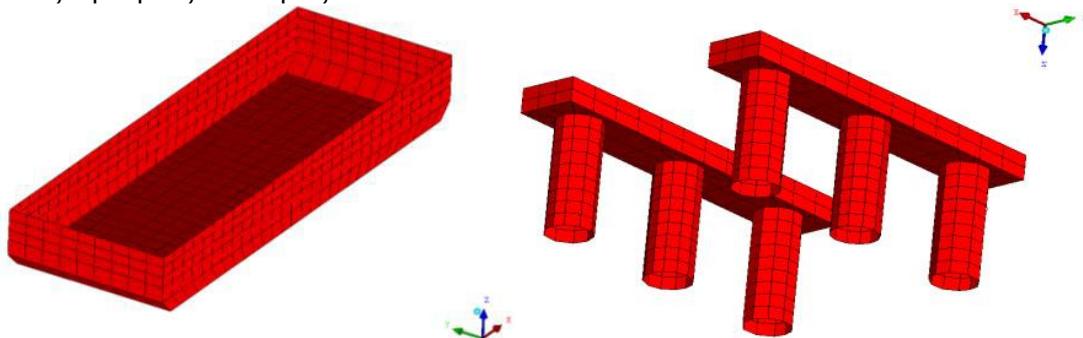
Τα υπόλοιπα σύμβολα εξηγούνται στην εικόνα 2.61.



Εικόνα 2.61: Αρχική και τελική θέση κλωβού

2.Αριθμητικό μοντέλο

Εξετάζονται δύο διαφορετικές κατασκευές(Εικόνα 2.62) και μελετάται η επίδραση της κίνησης στους 6 βαθμούς ελευθερίας.



Εικόνα 2.62: Αριστερά:Μια ενιαία σκάφη, Δεξιά:Δυο μέλη με κολώνες που βυθίζονται

Έχει θεωρηθεί γραμμική και μη γραμμική απόκριση της αγκύρωσης αλλά και μη γραμμικός και γραμμικός κυματισμός.

Τα γενικά συμπεράσματα που προκύπτουν είναι:

1. Η σημασία της μη γραμμικότητας των φορτίων
2. Η επίδραση της μη γραμμικότητας της αγκύρωσης στην οριζόντια κίνηση είναι πιο σημαντική στα ρηχά νερά.

Η **δεύτερη** μελέτη είναι μια πρόταση για σχεδιασμό ενός συστήματος ιχθυοκαλλιέργειας σε ανοιχτή θάλασσα.

Η πρωτοτυπία του έγκειται στο ότι είναι ένα ημιβυθιζόμενο σύστημα (οι κλωβοί ανεβαίνουν στην επιφάνεια ή βυθίζονται ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες) και αγκύρωση όλης της κατασκευής γίνεται σε ένα σημείο.

Παρά το ενδιαφέρον για τις υπεράκτιες κατασκευές λίγα συστήματα είναι ικανά να λειτουργήσουν σε συνθήκες ανοιχτής θάλασσας. Το παρόν λειτουργεί επιτυχώς από το 2006.

Προτείνεται η παρακάτω γενική διαδικασία σχεδιασμού:

1. Ορισμός των λειτουργικών απαιτήσεων (καλές συνθήκες ανάπτυξης του πληθυσμού, δυνατότητα βύθισης)
2. Κατανόηση του θαλάσσιου περιβάλλοντος: κατάλληλη προσομοίωση των φορτίων
3. Περιβαλλοντικές συνθήκες για σχεδιασμό π.χ.  $H_s$ ,  $V_c$  κλπ.
4. α) concept design: περιλαμβάνει τη σύλληψη της κατασκευής και την επίλυση των βασικών προβλημάτων με απλό τρόπο.  
β) basic design: προδιαστασιολόγηση  
γ) detailed design: τελική διαστασιολόγηση, τεχνικές λεπτομέρειες.

## 2. Κατανόηση του θαλάσσιου περιβάλλοντος

Θεωρείται ότι το κύμα έχει δύο συνιστώσες: 1. Δύναμη σύρσεως (drag) και 2. Δύναμη λόγω αδράνειας (inertia).

Για τα **μεγάλα** σώματα σημαντική είναι η **αδράνεια** ενώ για τα **μικρά** σώματα όπως οι ιχθυοκλωβοί που αποτελούνται από λεπτά μέλη σημαντικότερη είναι η **δύναμη σύρσεως**. Αυτά τα φορτία περιγράφονται από την εξίσωση Morison:

$$F = \frac{1}{2} \rho C_D A |u_f - u_s| (u_f - u_s) + \rho V [C_M (\dot{u}_f - \dot{u}_s) + \dot{u}_s] \quad (2-13)$$

Πέρα από τα κύματα υπάρχουν και τα θαλάσσια ρεύματα. Τα πρώτα προκαλούν ταλάντωση ενώ τα δεύτερα είναι σταθερά φορτία. Γι αυτό απαιτείται μια πολύ εύκαμπτη κατασκευή.

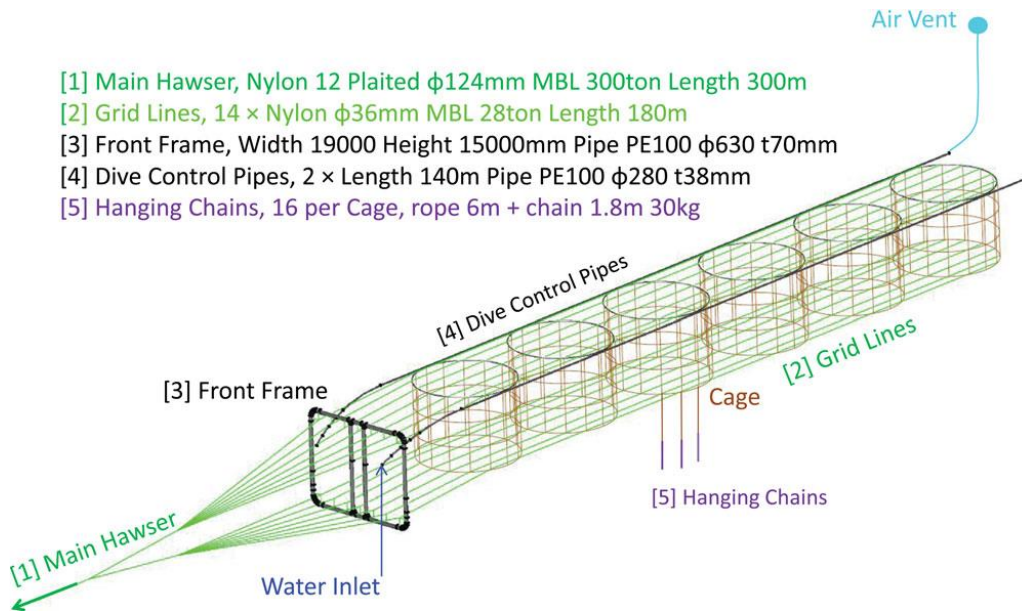
## 3. Περιβαλλοντικές συνθήκες για σχεδιασμό

Ορίζονται οι παράμετροι σχεδιασμού όταν η κατασκευή είναι στην επιφάνεια ( $H_s=9$  m,  $H_{max}=16$  m,  $V_c=1.3$  m/s) και όταν είναι βυθισμένη ( $H_s=2$  m,  $H_{max}=4$  m,  $V_c=1$  m/s)

### 4.a. concept design

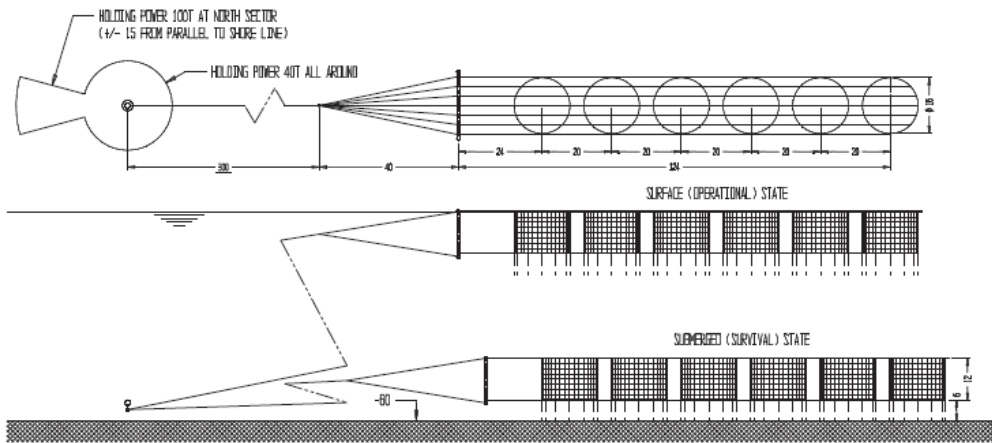
Σε αυτό το στάδιο γίνεται η μόρφωση της κατασκευής λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις λειτουργικότητας.

Στην Εικόνα 2.63 δίνεται μια εικόνα των βασικών μελών της κατασκευής.

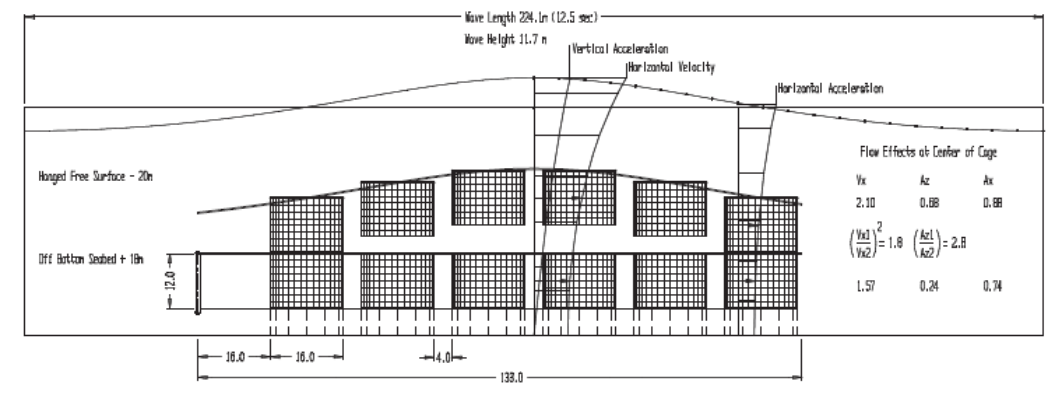


Εικόνα 2.63: Μέλη της κατασκευής

Τα παρακάτω σχέδια(Εικόνες 2.64, 2.65) δίνουν μια αίσθηση του μεγέθους της πραγματικής κατασκευής.



Εικόνα 2.64: Κάτοψη-Όψη



Εικόνα 2.65: Διαστάσεις κατασκευής και χαρακτηριστικά κύματος

#### 4.β.basic design

Υπολογισμός αγκύρωσης (σχήμα 2.63 [1]): Λαμβάνονται υπόψη τα μόνιμα φορτία, η μέση μετατόπιση των κλωβών λόγω της τροχιάς των σωματιδίων και η φόρτιση λόγω ρεύματος.

#### Κύμα

Από τη γραμμική θεωρία κυμάτων η μέση οριζόντια μετατόπιση των κλωβών δίνεται:

$$d_x = \frac{H}{2} \frac{\cosh[k(d+z)]}{\sinh(kd)} \quad (2-14)$$

#### Ρεύμα

Για τη δύναμη λόγω ρεύματος:

$$F = \frac{1}{2} \rho C_D A u^2 \quad (2-15)$$

Για να ληφθεί υπόψη η γεωμετρία του δικτύου και η μείωση της δύναμης του ρεύματος στα επόμενα μετά το πρώτο πάνελ γίνεται μια τροποποίηση στην προσβαλλόμενη επιφάνεια στην σχέση αυτή:

$$F = \frac{1}{2} \rho C_D A u^2 [1 + r^2 + (n_p - 2)r^4] \quad (2-16)$$

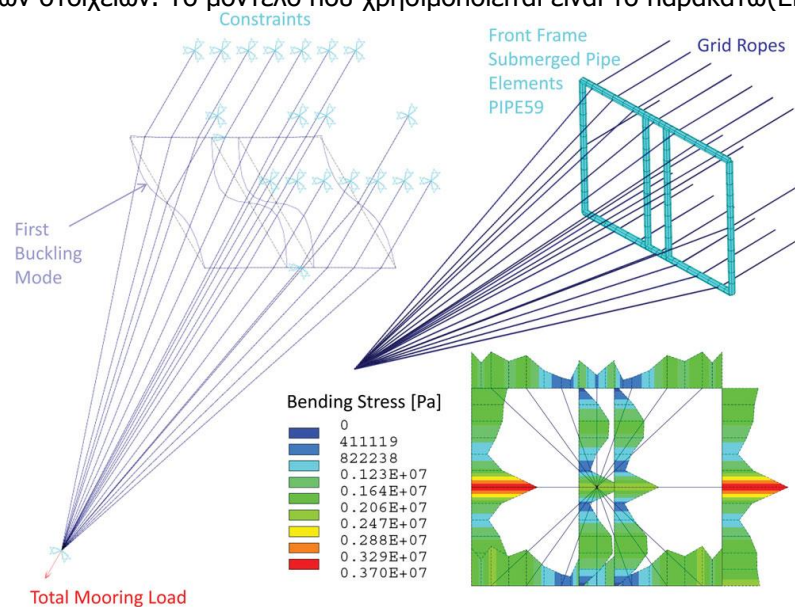
$$C_D = S + 1.24S^2 + 13.7S^4 \quad (2-17)$$

$$S = 2 \frac{\gamma}{a} \quad (2-18)$$

Όπου  $\gamma$  η διάμετρος του νήματος του δικτύου και  $a$  το 'μάτι' του δικτύου. Το  $S$  αντιπροσωπεύει την 'πυκνότητα' του δικτύου.

$$r = 1 - 0.46C_D \quad (2-19)$$

Υπολογισμός του μπροστινού πλαισίου (Εικόνα 2.63 [3]): Γίνεται με τη βοήθεια λογισμικού πεπερασμένων στοιχείων. Το μοντέλο που χρησιμοποιείται είναι το παρακάτω (Εικόνα 2.66):

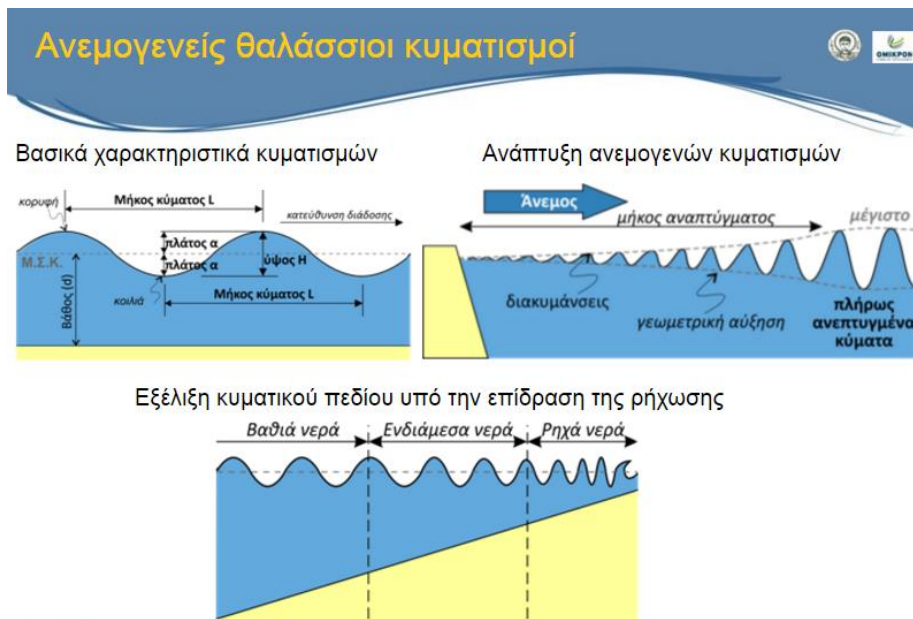


Εικόνα 2.66: Ένταση μπροστινού πλαισίου

## 2.2. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΠΟ ΤΗ ΘΕΩΡΙΑ ΚΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

### 2.2.1 Γραμμική και μη γραμμική θεωρία κυμάτων

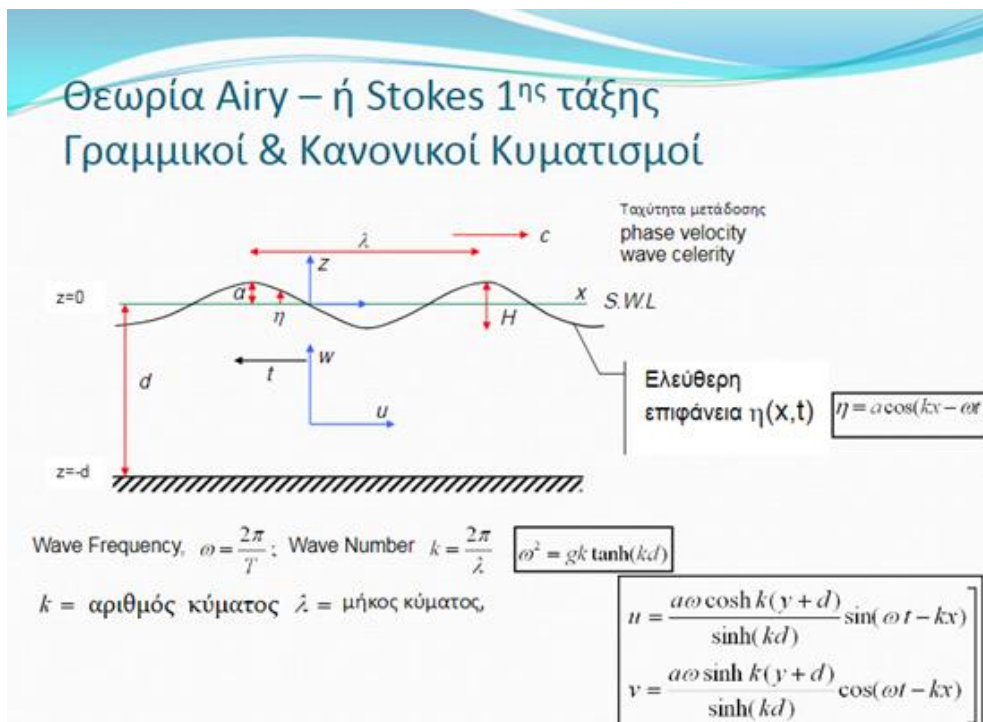
Βασικά χαρακτηριστικά των κυμάτων παρουσιάζονται στην εικόνα 2.67.



2.67: Χαρακτηριστικά κυμάτων

Εικόνα

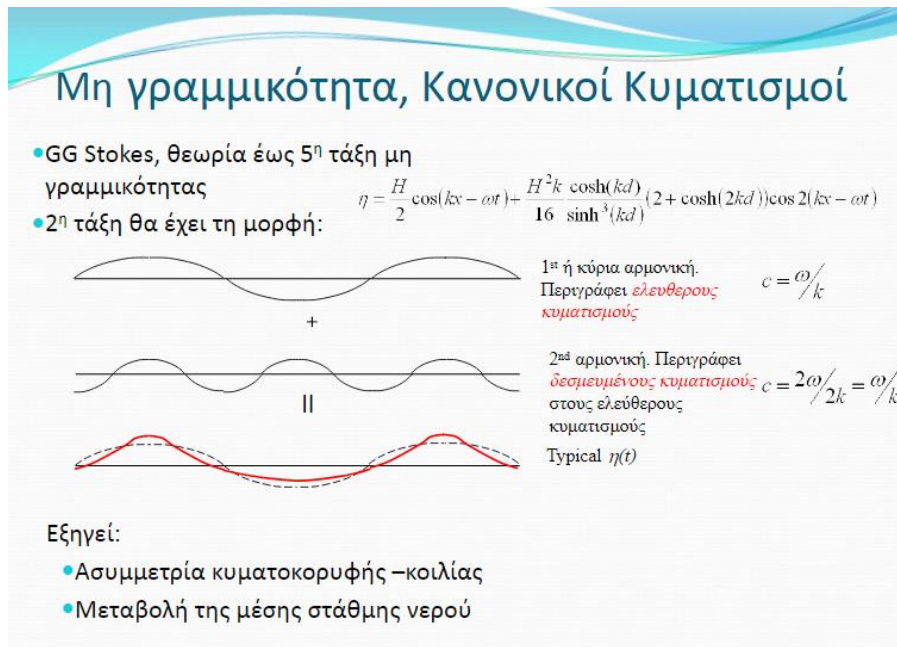
Το πιο απλό κύμα είναι το γραμμικό όπως περιγράφεται στη θεωρία Airy (ή Stokes 1<sup>ης</sup> τάξης- Εικόνα 2.68) και μπορεί να περιγράψει ικανοποιητικά το κύμα όταν  $H < d$ . Αυτό σημαίνει πως είναι κατάλληλο για μεγάλα βάθη και σχετικά μικρά ύψη κύματος. Οι τροχιές των σωματιδίων είναι κλειστές και μάλιστα στα βαθιά νερά κυκλικές.



Εικόνα 2.68: Θεωρία γραμμικών κυμάτων

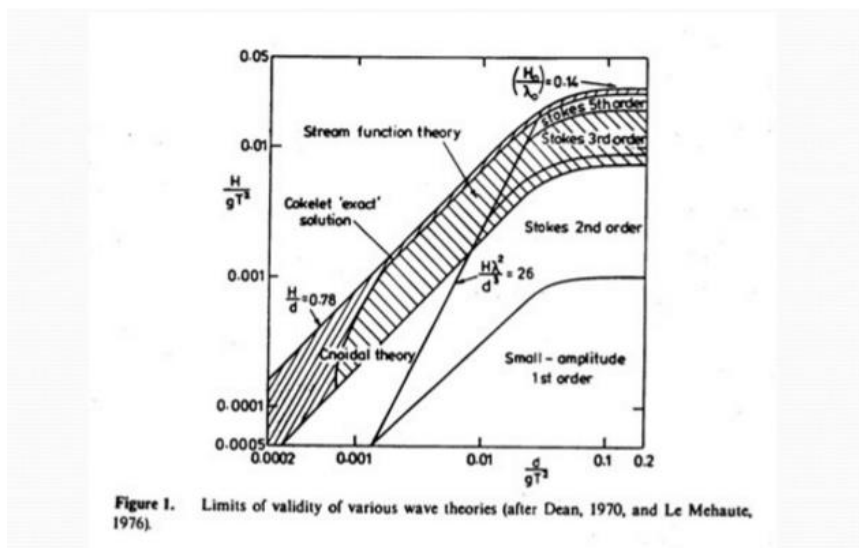
Όσο πιο μεγάλο γίνεται το κύμα σε ύψος τόσο η επίδραση της μη γραμμικότητας γίνεται πιο έντονη. Δηλαδή υπάρχουν συχνότητες κυμάτων περισσότερων της μιας σε αντίθεση με το γραμμικό κύμα και η σύνθεση τους δίνει μια διαφορετική κυματική εικόνα όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.69. Αυτό το σχήμα περιγράφει τη σύνθεση 2 διαφορετικών κυμάτων οπότε είναι περιγράφεται από τη θεωρία Stokes 2<sup>ης</sup> τάξης. Όσο αυξάνονται οι τάξεις τόσο προσεγγίζουμε το πραγματικό κύμα, φυσικά στον επιθυμητό βαθμό πάντοτε. Σε αυτά τα κύματα δεν είναι κλειστές οι τροχιές των σωματιδίων οπότε έχουμε και οριζόντια μετακίνηση τους.

Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθούν και καταγραφές από πραγματικούς κυματισμούς.



Εικόνα 2.69: Μη γραμμική θεωρία κυμάτων

Άρα, όσο πιο βαθιά είναι τα νερά τόσο μικρότερη είναι η επίδραση της ρήχωσης και επομένως και της μη γραμμικότητας. Όσο όμως πιο εκτεθειμένη είναι μια περιοχή τόσο πιο μεγάλα είναι τα κύματα και η επίδραση της μη γραμμικότητας. Οπότε η επιλογή της θεωρίας για την περιγραφή των κυματισμών απαιτεί την κρίση και εμπειρία του μηχανικού. Μια προσέγγιση στο θέμα δίνει το διάγραμμα της εικόνας 2.70, που είναι σαν οδηγός επιλογής θεωριών.



Εικόνα 2.70: Πεδίο εφαρμογής κυματικών θεωριών



### 2.2.2 Παραδοχές σχετικές με το θαλάσσιο περιβάλλον

Συγκεκριμένα για τη δεδομένη εργασία έχει θεωρηθεί μια μέση περίοδος  $T_m=7,1$  sec που είναι σχετικά αντιπροσωπευτική για ανοιχτή θάλασσα. Σημαντικό ύψος κύματος που αντιστοιχεί σε αυτή την περίοδο είναι  $H=4,5$  m. Με βάση αυτή έχει υπολογιστεί ένα μήκος κύματος από τη σχέση:

$$L = g \frac{T^2}{2\pi} \text{ που ισχύει για } d/L=50/80=0.625 > 0.5 \text{ (βαθιά νερά)} \rightarrow L=40\text{m}$$

Αυτά τα μεγέθη αντιστοιχούν σε άνεμο 9 Beaufort.

Ένα άλλο ζευγάρι τιμών θα μπορούσε να ήταν για 7 Beaufort  $H=2,9\text{m}$   $T=6,1$  sec και επομένως  $L=60$  m (Πίνακας 2.8).

Πίνακας 2.8: Χαρακτηριστικά κυμάτων ανάλογα με την ένταση του ανέμου

Ένταση Ανέμου	H(m)	T(sec)	L(m)
9 B	4,5	7,1	80
7 B	2,9	6,1	60

Επομένως έχουν χρησιμοποιηθεί τα χαρακτηριστικά ενός ισοδύναμου γραμμικού κύματος για λόγους απλοποίησης.



# 3 ΜΟΡΦΩΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ

Εδώ παρουσιάζεται το προσομοίωμα ενός πλωτού ιχθυοκλωβού, όπως αυτός που έχει περιγραφεί στο κεφάλαιο 2, το οποίο επιλύεται με τη βοήθεια προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων. Επίσης γίνεται προσέγγιση του προβλήματος και με αναλυτικές σχέσεις και γίνεται μια σύγκριση των αποτελεσμάτων στο τέλος.

## 3.1 ΥΛΙΚΑ – ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

### 3.1.1. Μηχανικές ιδιότητες των υλικών

Για τον **πλωτήρα** χρησιμοποιείται πολυαιθυλένιο HDPE (Πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας PE-HD ή HDPE-Πίνακας 3.1),  $\rho=950$  [kg/m<sup>3</sup>]). Το πολυαιθυλένιο στην καθαρή του μορφή είναι ένα διαφανές και σκληρό υλικό. Είναι ευαίσθητο στη θερμοκρασία, αλλά και στην υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία. Για τον λόγο αυτό προστίθενται στην μάζα του πρόσθετες βελτιωτικές ουσίες.

Το πολυαιθυλένιο είναι ένα υλικό εν μέρει κρυσταλλικό και εν μέρει άμορφο. Οι μηχανικές και χημικές ιδιότητες εξαρτώνται από την κρυσταλλικότητα και τον βαθμό πολυμερισμού, ο οποίος χαρακτηρίζεται από τον δείκτη ροής τήξης MFI (Melt Flow Index, DIN 16776).

Η κρυσταλλικότητα χαρακτηρίζεται από την πυκνότητα. Αυξημένη πυκνότητα σημαίνει αυξημένη κρυσταλλικότητα και άρα αυξημένο μέτρο ελαστικότητας, αυξημένη σκληρότητα, αυξημένη αντοχή σε εφελκυσμό και κάμψη, αυξημένη χημική αντοχή, αυξημένη αδιαπερατότητα έναντι των αερίων και ατμών και αυξημένη αντοχή στην θερμότητα. Αυξημένη μοριακή μάζα σημαίνει, αυξημένο βαθμό πολυμερισμού και άρα αυξημένη αντοχή σε κρούση, σε σχηματισμό ρωγμών τάσης και σε χάραξη. Με αύξηση του βαθμού πολυμερισμού μειώνεται ο δείκτης MFI. Για αυτούς τους λόγους προτιμάται υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο.

Πίνακας 3.1: Ιδιότητες HDPE

Ιδιότητα	τιμή	Μονάδα SI:	Μέθοδος δοκιμής κατά DIN:
Μέση πυκνότητα	0,94-0,95	g/m <sup>3</sup>	53497
Συντελεστής θερμικής διαστολής	$\sim 1,3 \cdot 10^{-4}$	K <sup>-1</sup>	52328
Συντελεστής θερμ. αγωγιμότητας	$\sim 0,45$	mK/W	52612
Μέτρο ελαστικότητας	$\sim 1200$	N/mm <sup>2</sup>	53457
Επιφανειακή αντίσταση	$> 10^{12}$	$\Omega$	53482
Δείκτης τήξης MFI	0,45	g/10 min	53735 MFI 1900C/50N
Περιοχή κρυσταλλικής τήξης	$\sim 125-135$	°C	Μικροσκόπιο πόλωσης
Τάση εφελκυσμού	$> 20$	N/mm <sup>2</sup>	53455
Αντοχή χάραξης	$\sim 30$	N/mm <sup>2</sup>	53455

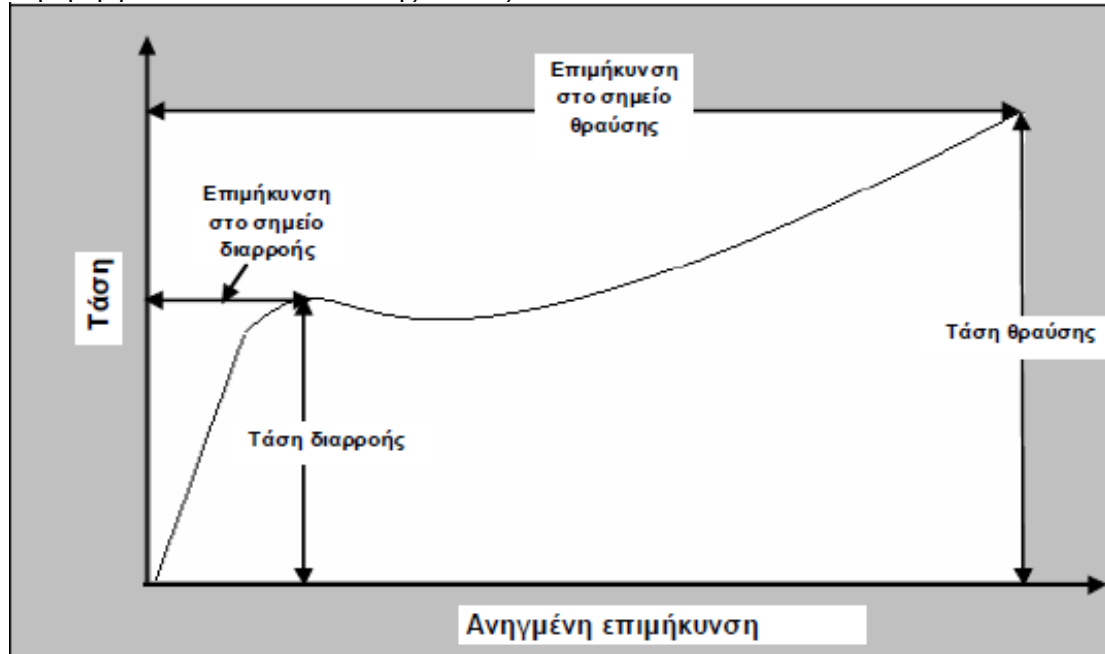
Οι σωλήνες πολυαιθυλενίου έχουν :

-υψηλή αντοχή στην ταχεία διάδοση ρήγματος και την ψαθυρή θραύση, ιδιότητες οι οποίες συντέλεσαν στην ευρεία διάδοσή τους.

-υψηλό συντελεστή θερμικής διαστολής, 10 έως 20 φορές μεγαλύτερο από εκείνους των χαλύβων. Αυτό πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψιν κατά την εγκατάσταση των πλαστικών σωλήνων, ιδιαίτερα το καλοκαίρι.

Στην πράξη, σημαντική είναι η συμπεριφορά αντοχής για μια αποδεκτή διάρκεια χρήσης 50 ετών.

Αυξημένη μοριακή μάζα σημαίνει, αυξημένο βαθμό πολυμερισμού και άρα αυξημένη αντοχή σε κρούση, σε σχηματισμό ρωγμών τάσης και σε χάραξη. Το HDPE είναι όλκιμο υλικό πολύ περισσότερο και από το χάλυβα με τυπικό διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων σαν και αυτό της εικόνας 3.1.



Εικόνα 3.1: Τυπικό διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης όλκιμου υλικού

Η επιμήκυνση στο σημείο θραύσης μπορεί να φτάσει και 700-800%

Λόγω της επίδρασης της ακτινοβολίας UV μπορεί να επηρεάζεται σημαντικά η αντοχή αλλά κυρίως η παραμορφωσιμότητά τους. Γι αυτό χρησιμοποιούνται διάφορα πρόσθετα (π.χ. νανοϊνών Cu) για αντοχή στην υπεριώδη ακτινοβολία τα οποία διασπώμενα προστατεύουν τη μήτρα του HDPE. Λόγω αυτής της επίδρασης η παραμόρφωση στη θραύση μειώνεται στο 220-300%. Ωστόσο είναι ένα υλικό που δεν αστοχεί υπό πολύ μεγάλες παραμορφώσεις αλλά χρειάζεται συντήρηση ή και αντικατάσταση.

Τυπικές τιμές του ορίου διαρροής και θραύσης καθώς και του μέτρου ελαστικότητας των υλικών αυτών είναι:

$$f_y = 20-25 \text{ MPa (όριο διαρροής)}$$

$$f_u = 28-32 \text{ MPa (όριο θραύσης)}$$

$$E = 800-1200 \text{ MPa}$$

Για την **αγκύρωση** σχοινιά από συνθετικά υλικά(π.χ. από πολυεστέρα, νάιλον, πολυαιθυλένιο, πολυπροπυλένιο) και μεταλλικές αλυσίδες.

Είδη σχοινιών:

#### α. Σχοινί από νάιλον

Όπως φανερώνει και ο τίτλος του το σχοινί αυτό φτιάχνεται με ένα καθαρά συνθετικό υλικό, το νάιλον. Είναι σχοινί με μεγάλη αντοχή και ελαστικότητα, ενώ δεν επηρεάζεται από τη υγρασία. Έχει πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής και έχει τη δυνατότητα να επιμηκυνθεί ως και 25% του μήκους του αν ενταθεί με τάση ίση με την τάση αντοχής για ασφαλή εργασία. Γενικά είναι πολύ γερό σχοινί και όταν βραχεί χάνει ένα μικρό ποσοστό της αντοχής του(περίπου 10%). Δεν

επιπλέει στο νερό αφού η μέση πυκνότητα του είναι μεγαλύτερη από του νερού. Ένα μειονέκτημα είναι ότι οι ίνες του φθείρονται όταν έρθουν σε επαφή με οξέα.

### β. Σχοινί από πολυεστέρα

Είναι σχοινί με αντοχή περίπου τη μισή από το νάιλον και δεν επηρεάζεται από την υγρασία. Επίσης έχει μεγάλη αντοχή στις τριβές πάνω σε ράουλα κλπ. Δεν είναι τόσο ελαστικό όσο το νάιλον (παραμόρφωση 15% μέχρι την αντοχή). Δεν επιπλέει στο νερό και είναι ευπαθές με τα αλκάλια, ενώ δεν φθείρεται από την επαφή του με τα οξέα

### γ. Σχοινί από πολυαιθυλένιο

Είναι ελαφρύ και ελαφρύτερο από το νερό, οπότε επιπλέει. Δεν επηρεάζεται η αντοχή του από την υγρασία. Είναι ανθεκτικό σε πολλές χημικές ουσίες και στην ηλιακή ακτινοβολία. Επιμηκύνεται ως 14% στο φορτίο αντοχής.

### δ. Σχοινί από πολυπροπυλένιο

Είναι από κάθε άποψη το σχοινί με τα περισσότερα πλεονεκτήματα. Είναι οικονομικότερο στην κατασκευή του από το νάιλον και τον πολυεστέρα, επιπλέει στο νερό και δεν επηρεάζεται από την υγρασία και το νερό. Επιμηκύνεται ως 14% στο φορτίο αντοχής.

Όλα αυτά τα σχοινιά που υπάρχουν στην αγορά ελέγχονται ως προς την αντοχή τους και την ανθεκτικότητα και πιστοποιούνται. Συνοδεύονται λοιπόν από πιστοποιητικό δοκιμής (Εικόνα 3.2). Σε αυτό αναφέρονται στοιχεία όπως: το είδος, διάμετρος, ποιότητα, ημερομηνία δοκιμής, όνομα κατασκευαστή, αντοχή κλπ.

TEST CERTIFICATE  
No: 4255

CERTIFICATE OF TEST AND EXAMINATION OF FIBER ROPE  
BEFORE TAKEN INTO USE

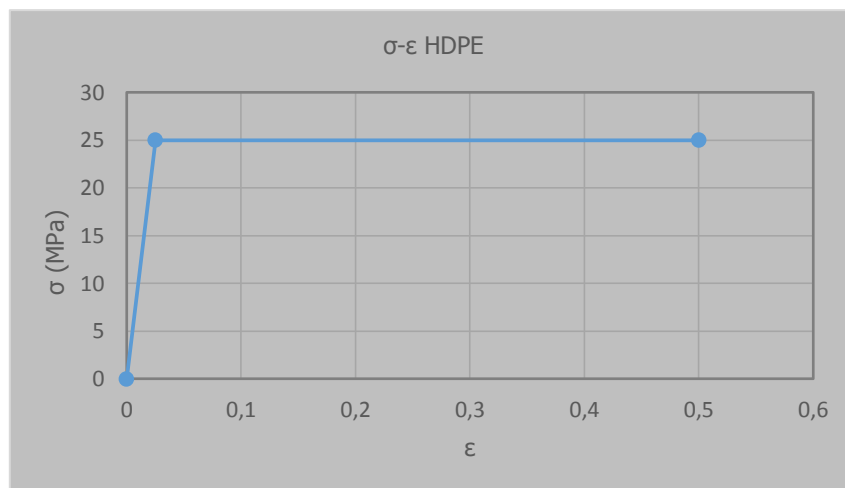
Supplier of Rope	AEROLIKI INC
Type/Construction of Rope	: 8-STRAND PLAITED
Rope Raw Material	: HIGH TENACITY
	POLYPROLYLENE
Specific Gravity	:
Colour/Rope Identification	: WHITE
Ultra - Violet Stabilization at Plypropelene	: YES
Size-Diameter in mm/Circumference in inches	: 72 MM
Breaking Strength	: 70.000 KGS
Name and Address of Buyer - M/V	: AGIOS NICOLAOS
Length	: 4 COILS X 120 FATHOMS WITH EYES AT BOTH ENDS
Date of Shipment	: 30 / 10 / 01
We certify that the above particulars are correct and that the test and the examination were carried out by a competent person.	
SIGNATURE:	DATE: 30 / 10 / 01

Εικόνα 3.2: Πιστοποιητικό σχοινοίου

### 3.1.2. Παράμετροι σχεδιασμού

Με βάση τα προηγούμενα στοιχεία για τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των ιχθυοκλωβών επιλέγονται τα διαγράμματα των υλικών και οι μηχανικές ιδιότητες που θα χρησιμοποιηθούν στις αναλύσεις ώστε να είναι αντιπροσωπευτικές οι τιμές για τα υλικά. Διαφορετικά μπορούν να ληφθούν ανώτερα και κατώτερα όρια των παραμέτρων και να γίνουν διαφορετικές αναλύσεις για να εξεταστεί πόσο επηρεάζει η διακύμανση των τιμών. Οπότε για το κάθε υλικό έχουμε:

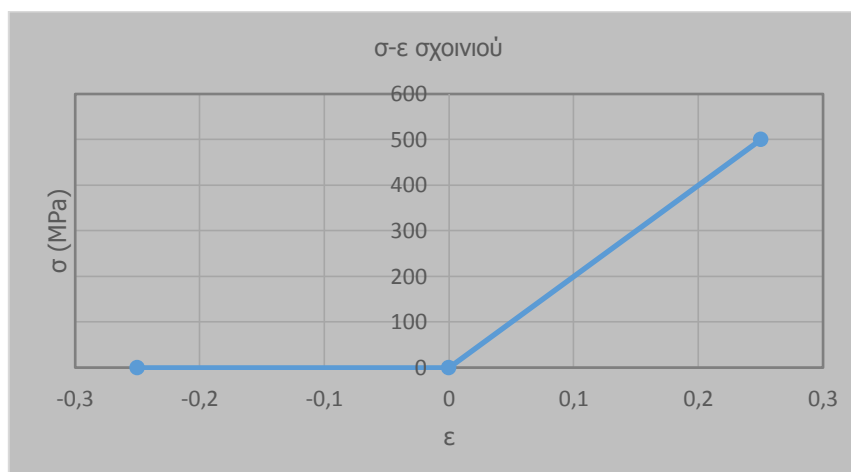
**Πολυαιθυλένιο HDPE :** Θα χρησιμοποιηθεί διγαμμικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων με όριο διαρροής  $f_y=25$  MPa, μέτρο ελαστικότητας  $E=1000$  MPa, παραμόρφωση διαρροής  $\epsilon_y=2.5\%$  και μέγιστη επιτρεπτή παραμόρφωση  $\epsilon_{max}=50\%$ . Το ειδικό βάρος του υλικού  $\gamma=9.5$  kN/m<sup>3</sup>.



Εικόνα 3.3 : Διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης HDPE

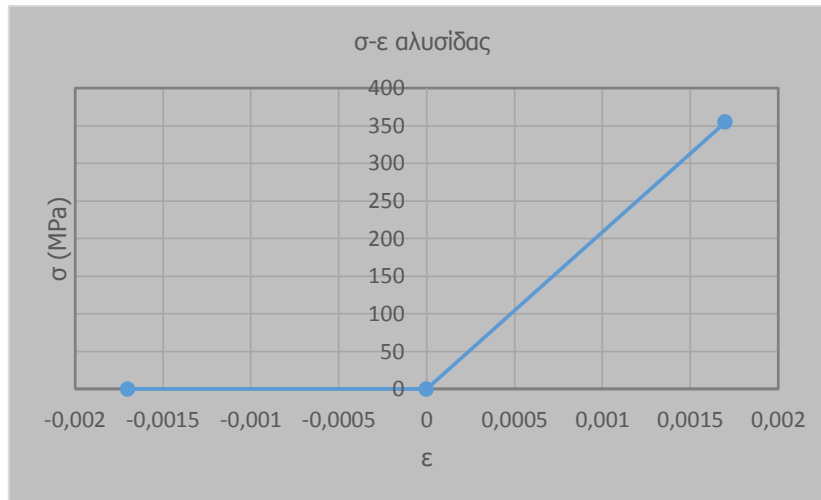
Τα χαρακτηριστικά του διαγράμματος της Εικόνας 3.3 επιλέχθηκαν σαν μέσες τιμές τάσης διαρροής και μέτρου ελαστικότητας.

**Συνθετικά σχοινιά :** Τα συνθετικά σχοινιά προσομοιώθηκαν με ελαστική συμπεριφορά μέχρι τη θραύση. Επίσης, έχουν μηδενική ικανότητα παραλαβής θλίψης. Μια μέση τιμή του μέτρου ελαστικότητας ενός νάιλον σχοινιού είναι  $E=2$  GPa. Η διάμετρος του σχοινιού που χρησιμοποιείται είναι 4 cm. Αν υποθέσουμε ότι έχουμε νάιλον σχοινί που φτάνει μέχρι το 25% του μήκους του στο ασφαλές φορτίο λειτουργίας (περίπου 630 kN με τη διάμετρο που επιλέχθηκε) η μέγιστη τάση είναι 500 MPa (βλ. Εικόνα 3.4).



Εικόνα 3.4 : Διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης σχοινιού νάιλον

**Μεταλλική αλυσίδα** : Χρησιμοποιείται ελαστικός νόμος υλικού με τα χαρακτηριστικά του μαλακού χάλυβα S355(χωρίς πλαστική περιοχή-Εικόνα 3.5).



Εικόνα 3.5 : Διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης αλυσίδας

Σε ορισμένες περιπτώσεις όπου χρησιμοποιούνται και τα δύο υλικά επειδή η αξονική δυσκαμψία της αλυσίδας είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή του σχοινιού αναμένουμε να παραμορφωθεί το σχοινί κυρίως. Σε αυτό το κεφάλαιο στις αναλύσεις έχει θεωρηθεί μόνο σχοινί.

### 3.2 ΦΟΡΤΙΣΗ – ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

#### 3.2.1. Είδη φορτίσεων

Τα φορτία που επηρεάζουν κυρίως την κατασκευή είναι:

- ίδια βάρη
- κυματισμός
- άνεμος
- ρεύματα
- υδροστατική άνωση

Στο προσομοίωμα που αναπτύσσεται δεν έχει προσομοιωθεί το ρευστό, επομένως η επίδραση του πάνω στον κλωβό έγινε με ισοδύναμες στατικές μεθόδους. Για το λόγο αυτό τα ίδια βάρη του κλωβού αντισταθμίζονται με ελατήρια που αντισταθμίζουν αυτές τις δυνάμεις. Επιπλέον αγνοείται η διακύμανση πίεσης λόγω άνωσης επειδή είναι ασήμαντη. Αυτό συμβαίνει γιατί έχει υποτεθεί ότι η κατασκευή είναι τόσο εύκαμπτη που ακολουθεί την ελεύθερη επιφάνεια. Ο άνεμος δεν επιδρά άμεσα καθώς η προσβαλλόμενη επιφάνεια είναι ασήμαντη. Γι αυτό λαμβάνεται με ένα συντελεστή ασφαλείας στην οριζόντια δύναμη του ρεύματος.

#### 3.2.2. Φορτία σχεδιασμού

##### Κύμα

Για άνεμο έντασης 9B έχουμε  $H=4,5$  m  $T=7,1$  sec και  $L=80$  m

Η ελεύθερη επιφάνεια έχει την παρακάτω εξίσωση:

$$\eta(x, t) = \frac{H}{2} \cos(kx - \omega t) \quad (3-1)$$

Από το κύμα προκαλούνται κατακόρυφες μετακινήσεις:

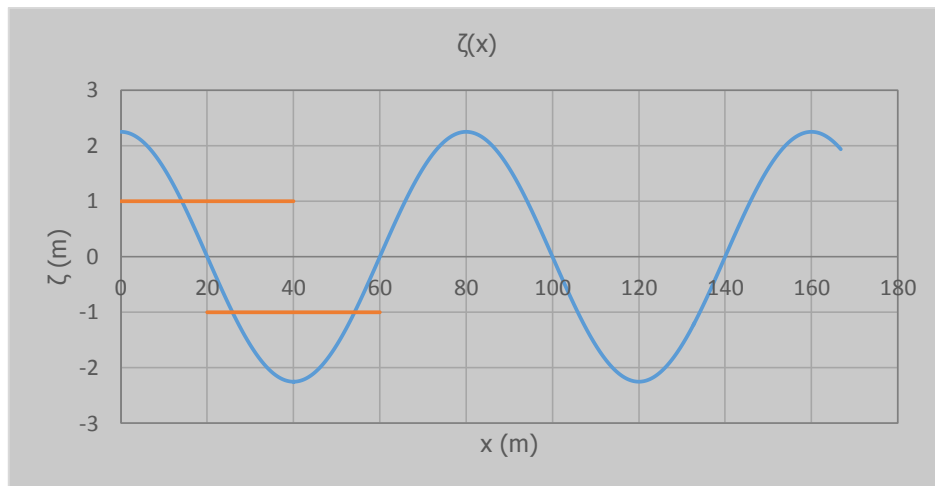
$$\zeta(x, t) = \frac{\sinh(k(d+z))}{\sinh(kd)} \cos(kx - \omega t) \quad (3-2)$$

και οριζόντιες μετακινήσεις:

$$\xi(x, t) = \frac{\cosh(k(d+z))}{\sinh(kd)} \sin(kx - \omega t) \quad (3-3)$$

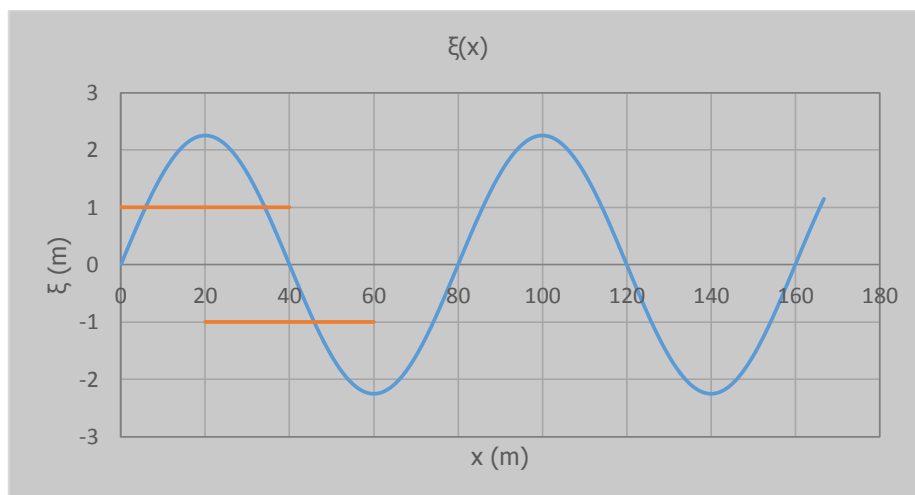
των σημείων του ρευστού σε κάθε χρονική στιγμή.

Θεωρούμε ότι η κατακόρυφη κίνηση του κλωβού παρακολουθεί την κίνηση της ελεύθερης επιφάνειας λόγω της μεγάλης ευκαμψίας του στο κατακόρυφο επίπεδο. Επιβάλλονται επομένως οι ακόλουθες μετατοπίσεις (Εικόνα 3.6) ανάλογα σε ποια θέση βρίσκεται ο κλωβός μέσα στο νερό:



Εικόνα 3.6: Κατακόρυφες μετατοπίσεις σωματιδίων ρευστού και θέσεις κλωβού

Στο οριζόντιο επίπεδο θεωρούμε ότι τα σημεία του κλωβού δεν ακολουθούν την οριζόντια μετακίνηση των σημείων του ρευστού επειδή στο επίπεδο του είναι πιο δύσκαμπτο. Επομένως δίνονται οι οριζόντιες μετατοπίσεις στις σηματοδούρες-πλωτήρες και ο σωλήνας παραμορφώνεται σύμφωνα με την ευκαμψία του. Στην Εικόνα 3.7 φαίνονται οι οριζόντιες μετατοπίσεις των σημείων του ρευστού και η θέση του ιχθυοκλωβού κατά μήκος του άξονα x.



Εικόνα 3.7: Οριζόντιες μετατοπίσεις σωματιδίων ρευστού και θέσεις κλωβού



## Ρεύματα

Το θέμα των ρευμάτων είναι σύνθετο και ως προς τη μορφή των ρευμάτων καθώς επηρεάζονται από τη μορφολογία κάθε περιοχής αλλά και ως προς την πρόγνωση. Γι αυτό απλοποιητικά θα ληφθεί ως μια οριζόντια δύναμη σε όλη την έκταση του πλωτήρα αφού τον επηρεάζουν κυρίως τα επιφανειακά ρεύματα.

Η μέγιστη ταχύτητα ρευμάτων που έχει παρατηρηθεί στο Μεξικό είναι 2 m/sec ενώ στο Αιγαίο 35 cm/sec. Θα χρησιμοποιηθεί η ταχύτητα 45 cm/sec.

### 3.3 ΕΙΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ(ΓΡΑΜΜΙΚΗ-ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ, ΣΤΑΤΙΚΗ-ΔΥΝΑΜΙΚΗ)

#### Γραμμική-μη γραμμική

- Εφόσον στο φορέα υπάρχουν σχοινιά και αλυσίδες, τα οποία αλλάζουν τη γεωμετρία τους ανάλογα με τα φορτία που τους ασκούνται χρειάζεται μη γραμμική ανάλυση γεωμετρίας. Αυτό για τον προσδιορισμό των μετατοπίσεων. Το φορτίο αντοχής τους φυσικά εξαρτάται από το υλικό αποκλειστικά(μονοαξονικός εφελκυσμός).
- Όσο αφορά στον πλωτήρα που είναι ένας σωλήνας σε μορφή δακτυλίου διαμέτρου 40 μέτρων ακόμη και διαισθητικά γίνεται αντιληπτό ότι είναι πολύ εύκαμπτος, οπότε με την δράση των φορτίων αλλάζει εύκολα η γεωμετρία του και επομένως η αντοχή του και η παραμόρφωση του είναι θέμα μη γραμμικότητας γεωμετρίας και υλικού.

Επομένως στη συνέχεια οι αναλύσεις είναι μη γραμμικές ως προς τη γεωμετρία και το υλικό. Μη γραμμικότητα υλικού λαμβάνεται υπόψη μόνο στον πλωτήρα ο οποίος μπορεί να παραλάβει θλίψη και να λυγίσει.

#### Στατική-δυναμική

Αυτό είναι θέμα της φύσεως των φορτίων που ασκούνται στο φορέα. Κατά βάση έχουμε κυματισμούς και ρεύματα που είναι γενικά δυναμικά φορτία. Έχει γίνει προσέγγιση με ισοδύναμα στατικά φορτία.

Συγκεκριμένα μια κατηγοριοποίηση των φορτίων ανάλογα με την περίοδο του φορτίου και την ιδιοπερίοδο της κατασκευής είναι η εξής:

$t_d < T_1$  (ωστικό): Άφηση φορτίου, έκρηξη

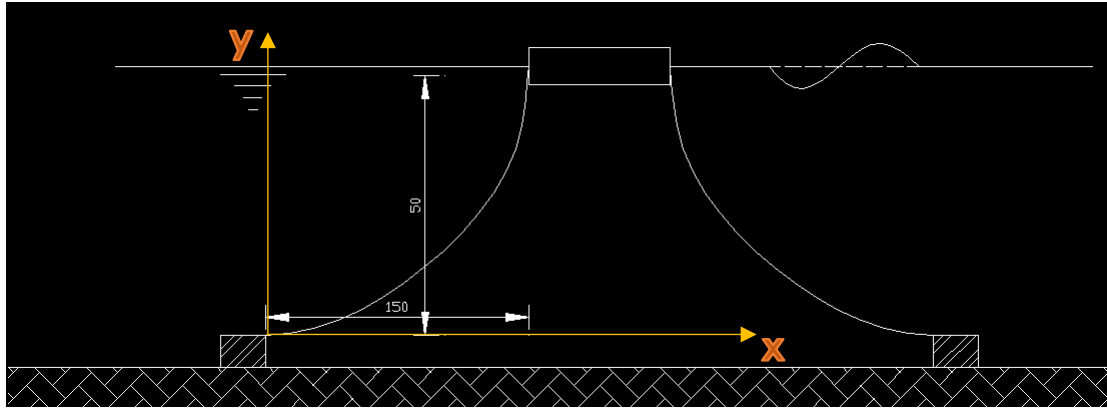
$t_d \sim 1-5 * T_1$  (βραχυχρόνιο): ριπή ανέμου(wind gust), υψηλό κύμα, σεισμός

$t_d >> T_1$  (μόνιμο, ημιμόνιμο): άνεμος, κύμα, βάδισμα

Λόγω της αυξημένης περιόδου κύματος σε ανοιχτή θάλασσα και σχετικά μικρής μάζας της κατασκευής σε πρώτη προσέγγιση έχουν επιβληθεί τα φορτία ως στατικά.

### 3.4 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ

Η προσέγγιση αυτή θα γίνει θεωρώντας επίπεδο πρόβλημα. Δηλαδή ένα πλωτήρα στην επιφάνεια της θάλασσας που συγκρατείται από 2 σχοινιά ένα από δεξιά και ένα από αριστερά(Εικόνα 3.8). Η γεωμετρία τους είναι η ίδια με αυτή του αριθμητικού προσομοιώματος. Επίσης για απλοποίηση ο πλωτήρας θεωρείται σημειακός και επομένως δε λαμβάνονται υπόψη οι παραμορφώσεις του. Ακόμα θεωρούμε μόνο οριζόντια φορτία. Με τη βοήθεια της εξίσωσης της αλυσοειδούς καμπύλης προσδιορίζουμε τις μετατοπίσεις και τις δυνάμεις υπό τα ίδια βάρη. Επομένως εδώ θα δοθεί υπολογισμός μόνο της αγκύρωσης.



Εικόνα 3.8: Σκαρίφημα επίπεδου προβλήματος

### Μετατοπίσεις

Πιο αναλυτικά από τις εξισώσεις:

$$x = \frac{T_0}{P} * \sinh^{-1} \left( \frac{P*s}{T_0} \right) \quad (3-4)$$

$$y = \frac{T_0}{P} * \left( \cosh \left( \frac{P*x}{T_0} \right) - 1 \right) \quad (3-5)$$

$$s = \frac{T_0}{P} * \left( \sinh \left( \frac{P*x}{T_0} \right) \right) \quad (3-6)$$

$P$  είναι το υπό άνωση βάρος ανά μέτρο μήκους.

Με τις συνθήκες:

$x=0, y=0, \varphi_0=0$  (αρχική γωνία στην αρχή των αξόνων)

$x=200 \text{ m}, y=50 \text{ m}$

βρίσκεται η αρχική προένταση  $T_0$  που αναπτύσσεται λόγω ιδίου βάρους και το συνολικό μήκος της καμπύλης  $s$ .

Η αρχή των αξόνων είναι όπως στην εικόνα 3.8.

### Δυνάμεις

Από τις σχέσεις:

$$T_0 = T * \cos \varphi \quad (3-7)$$

$$P * s = T * \sin \varphi \quad (3-8)$$

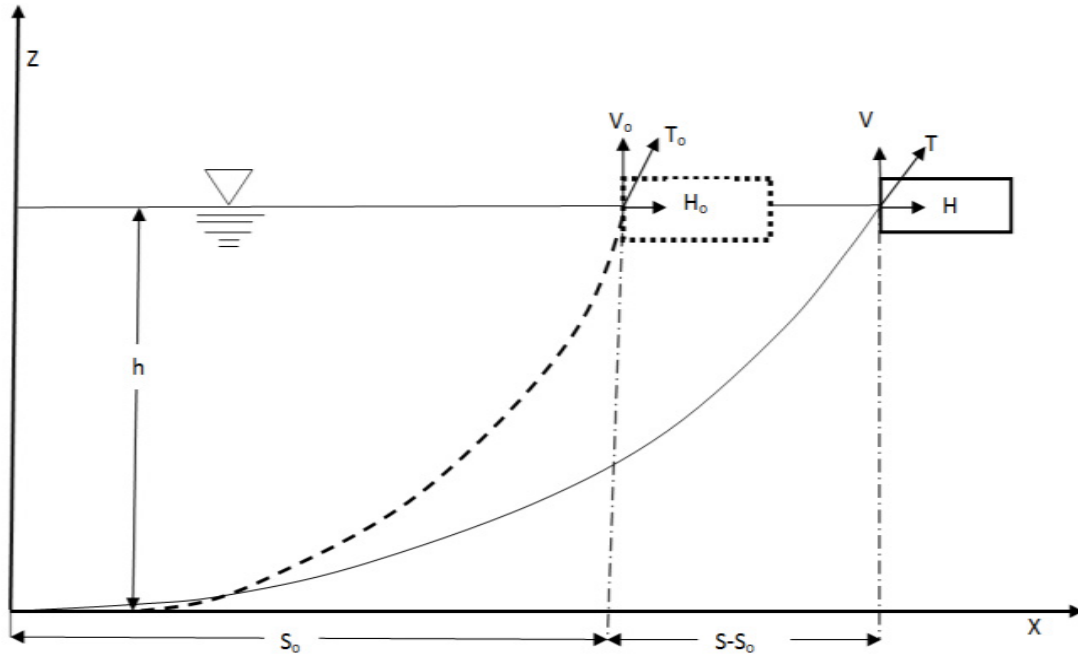
Για  $s$  το συνολικό μήκος παίρνουμε τη δύναμη που ασκείται στην κορυφή του σχοινοῦ αλλά και την γωνία κλίσης του όταν υπάρχουν μόνο τα ίδια βάρη.

Στη συνέχεια για τη μελέτη της αγκύρωσης σε οριζόντια φόρτιση κατασκευάζεται καμπύλη οριζόντιας μετακίνησης-οριζόντιας δύναμης με βάση τις σχέσεις του Barltrop, που περιγράφουν την απόκριση του σχοινοῦ υπό οριζόντια φόρτιση (Εικόνα 3.9):

$$S - S_0 = \frac{H}{w} \sinh^{-1} \left( \frac{wL}{H} \right) - \frac{H_0}{w} \sinh^{-1} \left( \frac{wL_0}{H} \right) + \frac{L_T}{AE} (H - H_0) - (L - L_0) \quad (2-10)$$

$$H = AE \sqrt{\left(\frac{T}{AE} + 1\right)^2 - \frac{2wh}{AE}} ; L = \frac{1}{w} \sqrt{T^2 - H^2} \quad (2-11)$$

$$H_0 = AE \sqrt{\left(\frac{T_0}{AE} + 1\right)^2 - \frac{2wh}{AE}} ; L_0 = \frac{1}{w} \sqrt{T_0^2 - H_0^2} \quad (2-12)$$



Εικόνα 3.9: Αρχική και μετατοπισμένη θέση κλωβού

Η οριζόντια συνιστώσα του κύματος προκαλεί μετακίνηση που δίνεται από τη σχέση της γραμμικής θεωρίας κυμάτων:

$$d_x = \frac{H \cosh[k(d+z)]}{2 \sinh(kd)} \quad (2-14)$$

Από την καμπύλη του σχοινιού που κατασκευάζεται από τις προηγούμενες σχέσεις προσδιορίζεται με βάση τη μετακίνηση  $d_x$  η δύναμη που ασκείται στο σχοινί.

Σε αυτή προστίθεται η επιπλέον δύναμη λόγω ρεύματος,

$$F = \frac{1}{2} \rho C_D A u^2 [1 + r^2 + (n_p - 2)r^4] \quad (2-16)$$

Οι παράμετροι της σχέσης αυτής εξηγούνται στην παράγραφο 2.1.4.

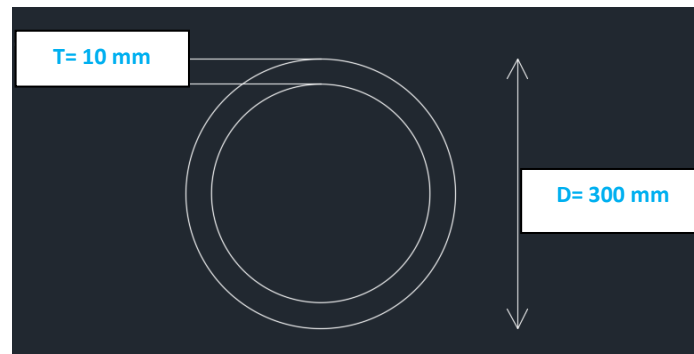
### 3.5 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

#### 3.5.1. Λεπτομερής περιγραφή του προσομοιώματος

Στη συνέχεια παρουσιάζεται αναλυτικά το προσομοίωμα όπως διαμορφώθηκε μετά από μια διαδικασία διαδοχικών αλλαγών που περιγράφεται στην επόμενη παράγραφο.

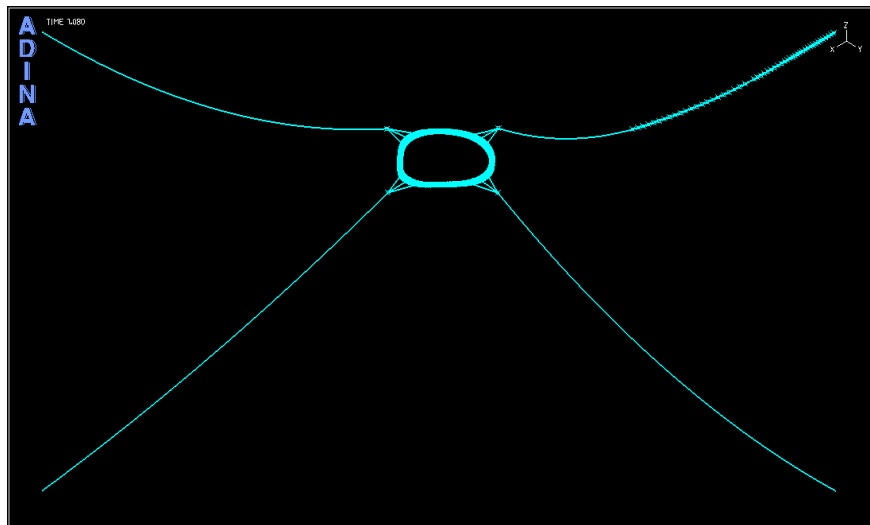
##### 3.5.1.1. Γεωμετρία

Πρόκειται για ένα κυκλικό σωλήνα ο οποίος έχει καμφθεί και έχει πάρει τη μορφή ενός δακτυλίου ακτίνας  $R=20 \text{ m}$ . Η διατομή έχει τα παρακάτω γεωμετρικά χαρακτηριστικά (Εικόνα 3.10).

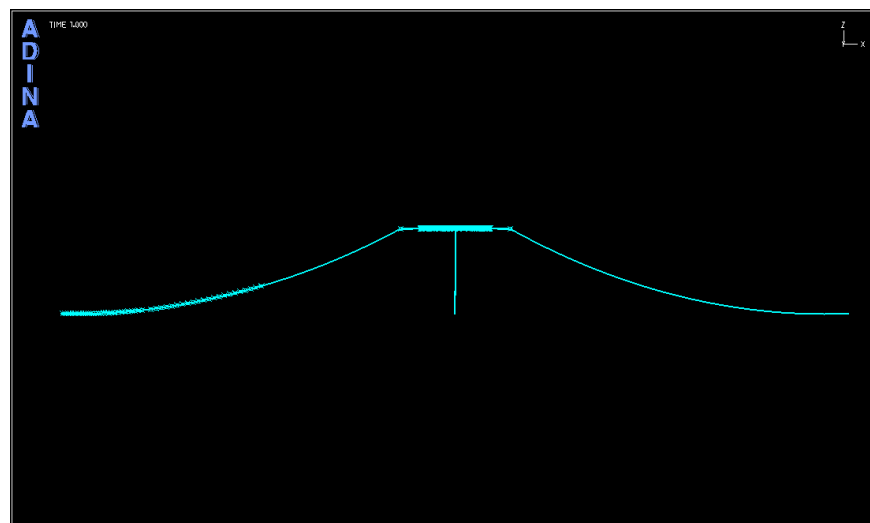


Εικόνα 3.10: Διατομή σωλήνα

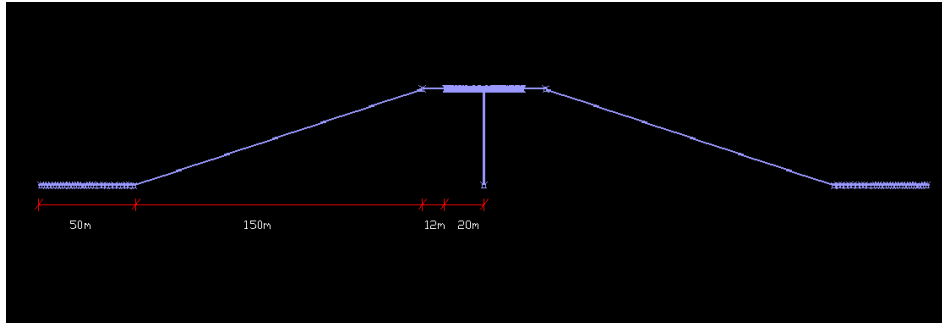
Συγκρατείται από **4 σχοινιά** διατεταγμένα συμμετρικά (γωνία 90 μοιρών μεταξύ τους-Εικόνες 3.11-3.13) γύρω από τον κύκλο. Επίσης υπάρχουν και κάποια σχοινιά στο ίδιο επίπεδο με τον κυκλικό πλωτήρα για καλύτερη συγκράτηση. Τα σχοινιά θεωρούνται αρθρωμένα στο βυθό ενώ για τις υπόλοιπες συνοριακές συνθήκες λόγος γίνεται παρακάτω στην παράγραφο 3.5.1.3 (Λεπτομέρειες προσομοίωσης).



Εικόνα 3.11: Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατασκευής



Εικόνα 3.12: Όψη της κατασκευής



Εικόνα 3.13: Διαστάσεις (απαραμόρφωτη εικόνα)

Έχει θεωρηθεί βάθος στα σημεία αγκυροβόλησης **50 m**. Η περιφέρεια του κλωβού απέχει σε οριζόντια προβολή από τα σημεία αγκυροβόλησης **212 m**.

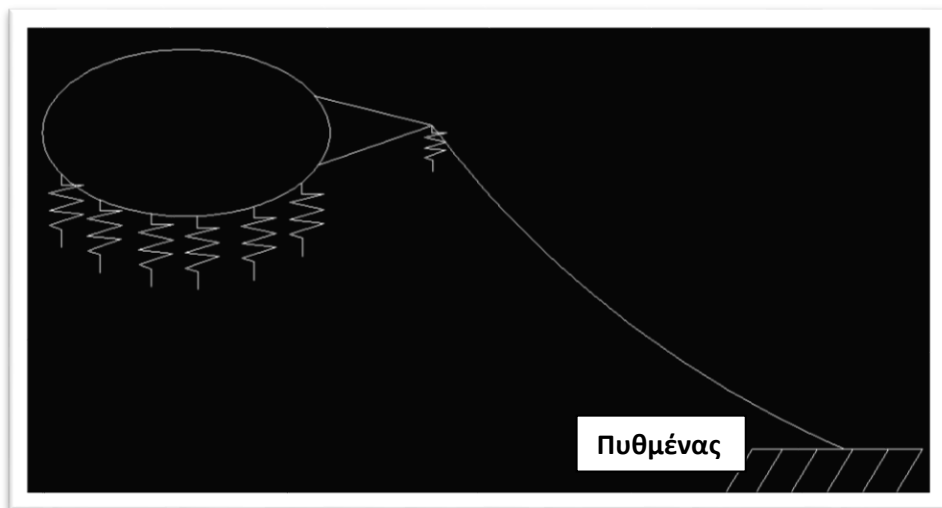
### 3.5.1.2. Ορισμός πεπερασμένων στοιχείων μελών

Η κατασκευή αποτελείται από **σχοινιά** τα οποία από τη φύση τους παραλαμβάνουν μόνο εφελκυσμό. Επομένως κρίθηκε ότι τα στοιχεία δικτυώματος(truss elements) είναι επαρκή για την προσομοίωση τους. Το κάθε στοιχείο είναι δικομβικό. Το κάθε σχοινί επομένως έχει χωριστεί σε πολλά τέτοια στοιχεία δικτυώματος ώστε να μπορεί να πάρει την 'καμπυλωμένη' μορφή.

Ο **πλωτήρας** αποτελείται από έναν σωλήνα κυκλικής διατομής σε σχήμα δακτυλίου, ο οποίος θα σχεδιαστεί ώστε να παραλαμβάνει κάμψη, αξονική και διάτμηση. Επομένως για αυτό το μέρος της κατασκευής χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση στοιχεία δοκού(beam elements).

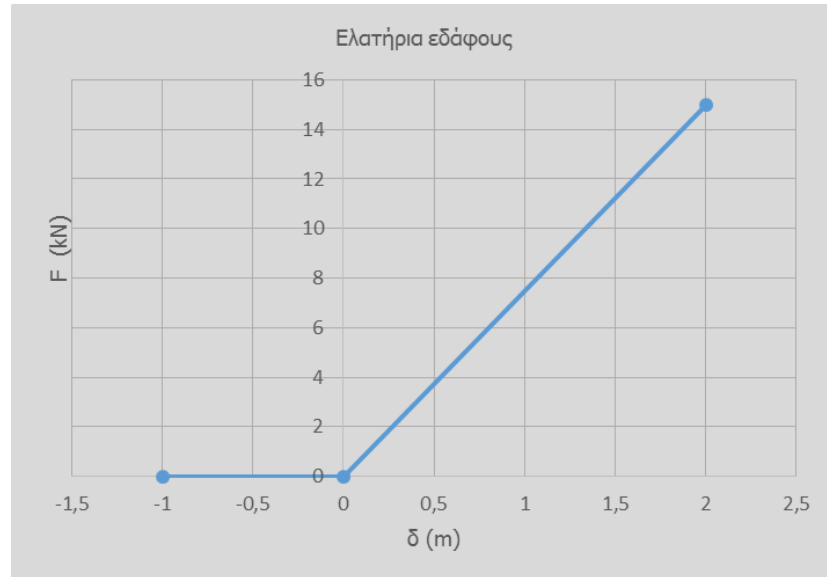
### 3.5.1.3. Λεπτομέρειες προσομοίωσης

- Η κατασκευή βρίσκεται εντός του νερού επομένως πρέπει σε πρώτη φάση να προσδιοριστούν με κάποιο τρόπο τα υδροστατικά φορτία που δρουν σε αυτή. Μάλιστα λόγω αυτών διατηρείται και η ισορροπία του φορέα. Συγκεκριμένα υπάρχει η άνωση στον πλωτήρα και τις σηματοδούρες-πλωτήρες. Η διακύμανση της άνωσης λόγω βύθισης του σωλήνα και της σηματοδούρας θεωρήθηκε αμελητέα και επομένως δεν προσομοιώθηκε. Έτσι τοποθετήθηκαν ελατήρια που έχουν μια σταθερή τιμή και ίση με το βάρος του κλωβού ή της σηματοδούρας αντίστοιχα σε κάθε σημείο (εικόνα 3.14).



Εικόνα 3.14: Γραφική απεικόνιση θέσης ελατηρίων

- Επίσης λόγω του μήκους των σχοινιών και της παραμόρφωσης τους συμβαίνει το σχοινί να έρχεται σε επαφή με το έδαφος. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν μη γραμμικά ελατήρια στους κόμβους των δικτυωμάτων με τη λογική να έχουν μεγάλη δυσκαμψία(πρακτικά απαραμόρφωτα) στην μετακίνηση προς τα κάτω και μηδενική στη μετακίνηση προς τα πάνω. Για κάθε κόμβο έχει χρησιμοποιηθεί διαφορετικό ελατήριο γιατί είναι διαφορετική η απόσταση του καθενός από το βυθό. Ένα τυπικό διάγραμμα που περιγράφει αυτά τα ελατήρια είναι στην Εικόνα 3.15:

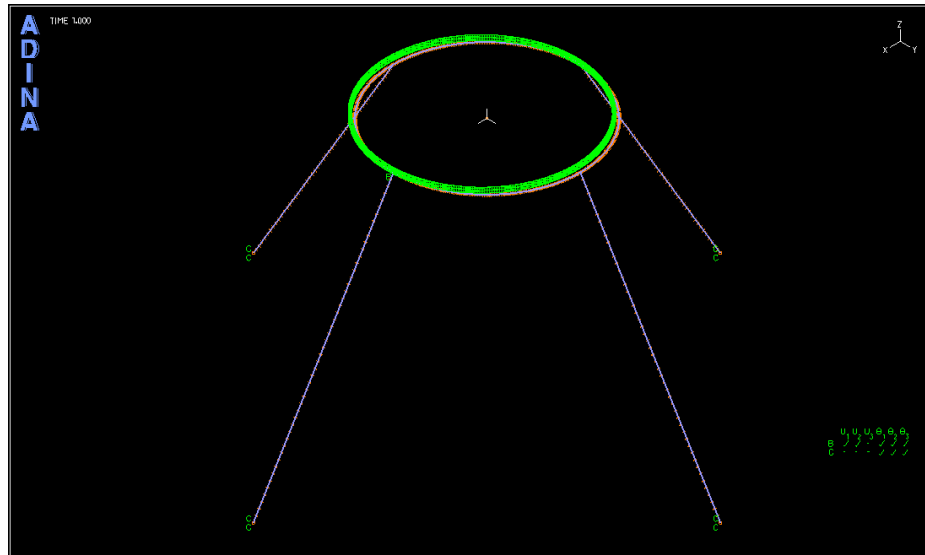


Εικόνα 3.15: Ελατήρια για προσομοίωση εδάφους

- Προσομοίωση σχοινιών:** Γενικά τα σχοινιά που συγκροτούν αυτές τις κατασκευές δεν έχουν μήκος όσο η ευθεία απόσταση των σημείων που ενώνουν κάτι που είναι εύλογο διότι διαφορετικά αν δεν υπήρχε η δυνατότητα κάποιας μετακίνησης θα αστοχούσαν πολύ ευκολότερα. Επομένως υπάρχει μια χαλαρότητα στο σχοινί. Για να προσομοιωθεί αυτό θεωρήθηκε στην απαραμόρφωτη κατάσταση (Εικόνα 3.13) ένα ευθύγραμμο τμήμα του σχοινιού που ενώνει ένα σημείο του βυθού με τον πλωτήρα και ένα άλλο ευθύγραμμο σχοινί που εφάπτεται στο βυθό. Έπειτα από την επιβολή των φορτίων τα σχοινιά παίρνουν την τελική τους μορφή.

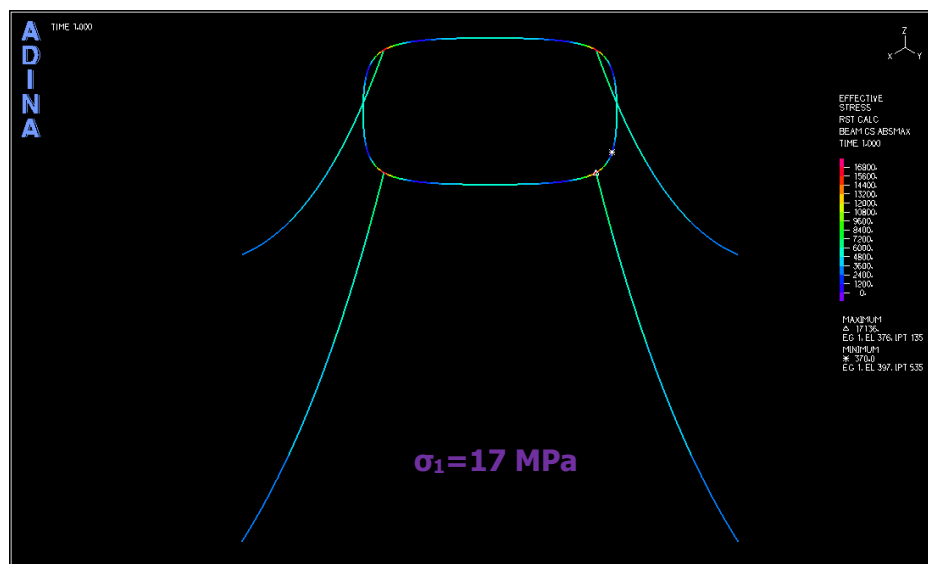
### 3.5.2. Στάδια μόρφωσης-βελτίωσης του προσομοιώματος

Αρχικά, χρειάζεται να αγκυρωθεί ο κλωβός. Αυτό έγινε με σχοινιά που δένονται απευθείας στο σωλήνα και καταλήγουν στον πυθμένα(Εικόνα 3.16).



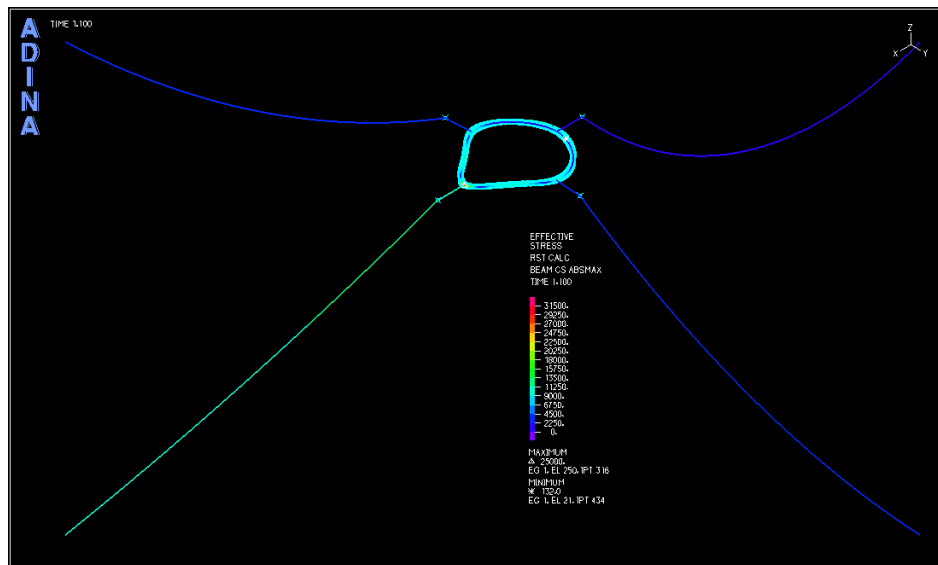
Εικόνα 3.16: Αρχικό προσομοίωμα

Με τον τρόπο αυτό όμως ήδη με την επιβολή του ίδιου βάρους η ένταση και η παραμόρφωση είναι σε μη αποδεκτές τιμές(Εικόνα 3.17).



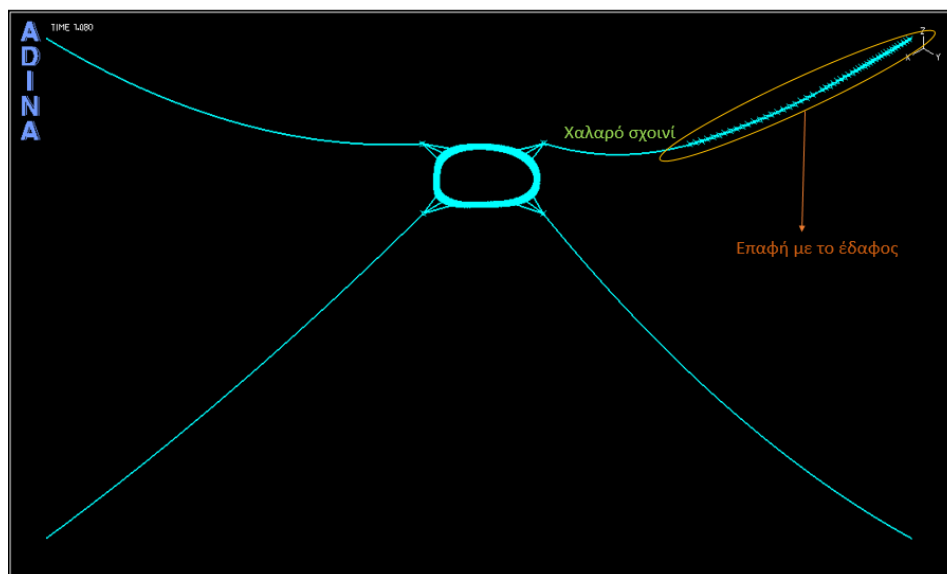
Εικόνα 3.17: Τάσεις υπό το ίδιο βάρος

Για το λόγο αυτό επιλέχθηκε τα σχοινιά να στηρίζονται ουσιαστικά σε κάποιους πλωτήρες περιμετρικά του κλωβού(Εικόνα 3.18). Έτσι τα σχοινιά εντείνουν τον κλωβό μόνο όταν επιβάλλονται τα περιβαλλοντικά φορτία.



Εικόνα 3.18: Βελτιωμένο προσομοίωμα

Ωστόσο, το κάθε σχοινί ενώνεται με τον κλωβό σε ένα σημείο οπότε συγκεντώνονται οι τάσεις σε συγκεκριμένα σημεία. Για το λόγο αυτό αυξάνεται το πλήθος των περιμετρικών δεσιμάτων του κάθε πλωτήρα με τον κλωβό. Επίσης, προσομοιώνεται η επαφή των σχοινιών με τον πυθμένα για να προσεγγιστεί η πραγματική γεωμετρία (επιρροή στις μετακινήσεις). Η τελική γεωμετρία φαίνεται στην Εικόνα 3.19.



Εικόνα 3.19: Τελικό προσομοίωμα

### 3.6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΑ ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ

Ξεκινώντας από την **αναλυτική** μέθοδο:

Ειδικό βάρος υπό άνωση:  $\gamma=8,5 \text{ kN/m}^3$

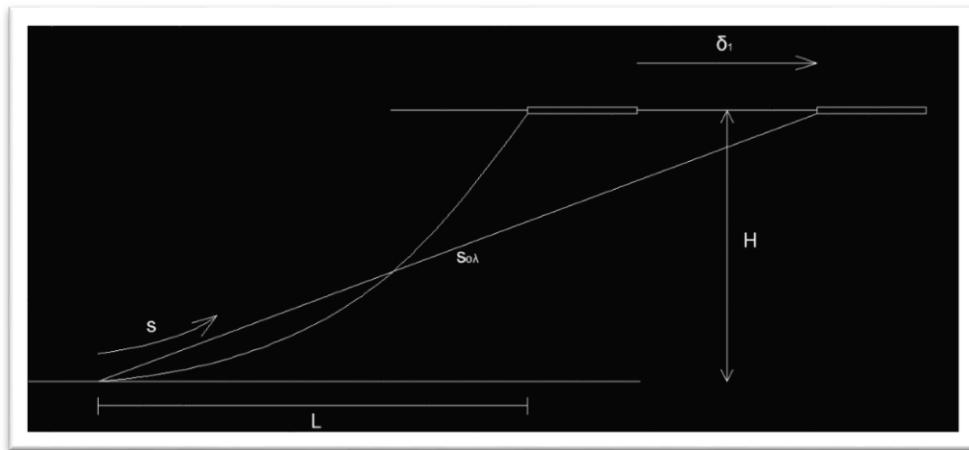
Το ανά μέτρο μήκους βάρος του σχοινιού:  $P= \gamma * \Phi^4=0,01068 \text{ kN/m}$

Η τάση του σχοινιού στην κορυφή:  $T_0=4,55 \text{ kN}$

Το συνολικό μήκος της καμπύλης:  $s_{ολ}=208,11 \text{ m}$

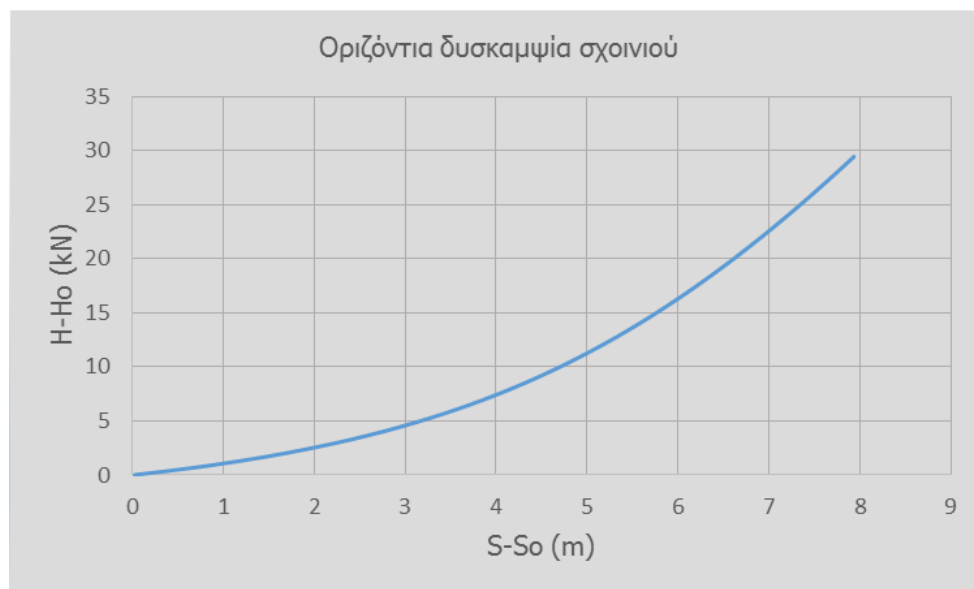


Τα σύμβολα εξηγούνται στην εικόνα 3.20



Εικόνα 3.20 : Μετατόπιση πλωτήρα

Η συμπεριφορά σε οριζόντια φόρτιση περιγράφεται από το διάγραμμα της εικόνας 3.21.



Εικόνα 3.21: Διάγραμμα δύναμης-μετατόπισης για την κορυφή του σχοινιού

Η μετατόπιση λόγω κύματος στην κορυφή προκύπτει από τη σχέση (2-14)

$$d_x = 2,25 \text{ m}$$

θέτοντας  $d=50 \text{ m}$ ,  $z=0$  (επιφάνεια θάλασσας),  $H=4,5 \text{ m}$ ,  $k=2\pi/L=2\pi/80$

Από την παραπάνω καμπύλη για οριζόντια μετατόπιση 2,25 m η οριζόντια δύναμη προκύπτει  $H-H_0=3 \text{ κΝ}$ .

Η οριζόντια δύναμη λόγω ρεύματος από τη σχέση (2-16)

$$F_C = 18 \text{ κΝ}$$

θέτοντας  $A=40 \cdot 10=400 \text{ m}^2$  (προσβαλλόμενη επιφάνεια έχοντας θεωρήσει βάθος διχτυού 10 m και διάμετρο κλωβού 40 m),  $\rho=1025 \text{ kg/m}^3$  (πυκνότητα θαλασσινού νερού),  $\gamma=2,4 \text{ mm}$  (διάμετρος σχοινιού του διχτυού),  $a=18 \text{ mm}$  (μάτι' διχτυού),  $u=0,45 \text{ m/s}$  (μέγιστη ταχύτητα ρευμάτων που έχει παρατηρηθεί στο Αιγαίο) και  $n_p=2$ . Από αυτά προκύπτει ο συντελεστής  $C_D=0,438$ .

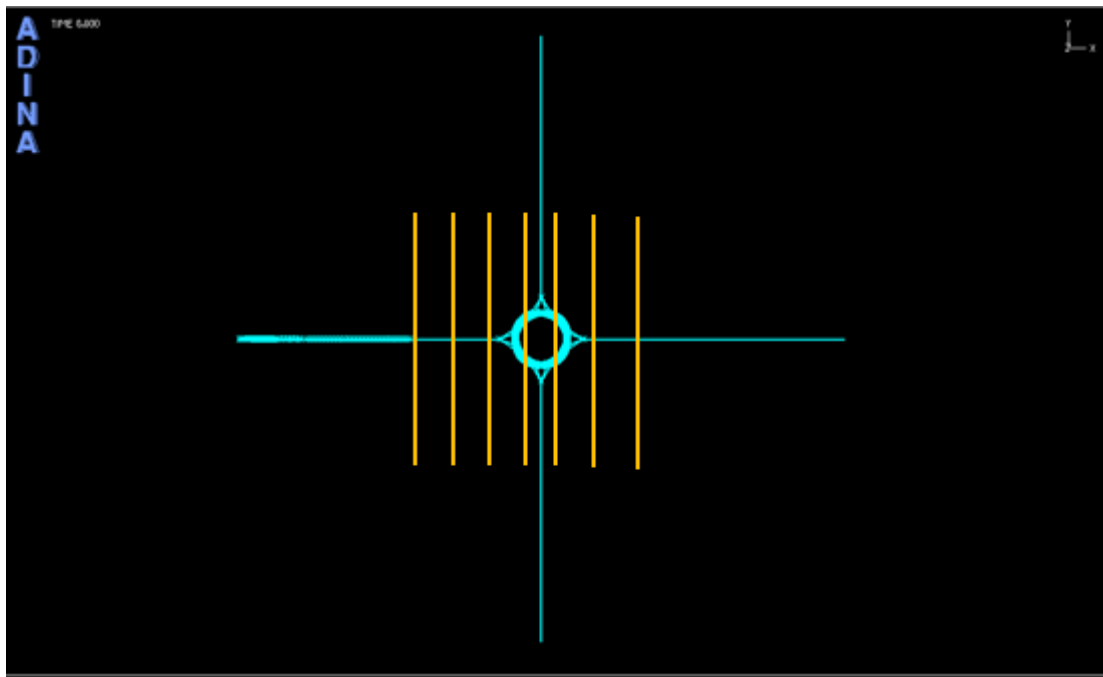
Για να ληφθεί υπόψη η δράση επιπλέον δευτερευουσών δυνάμεων όπως του ανέμου (αμελητέα επιφάνεια προσβολής) πολλαπλασιάζεται το φορτίο του ρεύματος με ένα συντελεστή 1,35.

Συνολικό φορτίο  $1,35 \cdot 18 + 3 = 27,3 \text{ kN}$ . Αυτή είναι η μέγιστη οριζόντια δύναμη για την οποία η αξονική του σχοινιού προκύπτει 31,87 kN. Η μετατόπιση σε αυτή την κατάσταση προκύπτει 7,66 m.

Για φορτίο ίσο με την οριζόντια δύναμη λόγω ρεύματος  $1,35 \cdot 18 = 24,3 \text{ kN}$  η μετατόπιση προκύπτει 7,25 m.

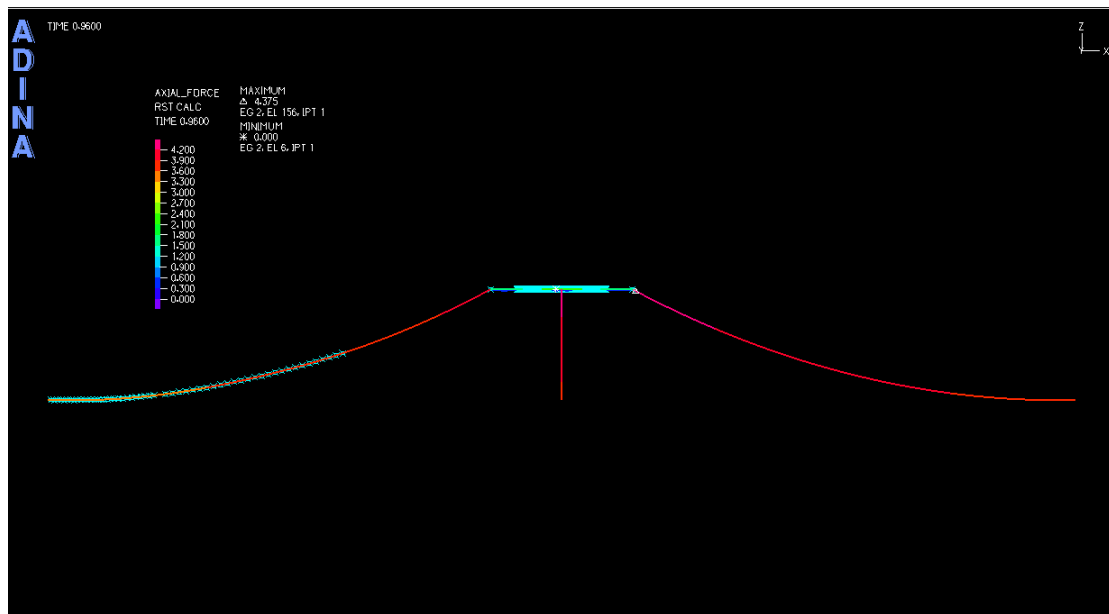
Αποτελέσματα από το λογισμικό **ADINA**:

Η διεύθυνση διάδοσης του κύματος φαίνεται στην Εικόνα 3.22:



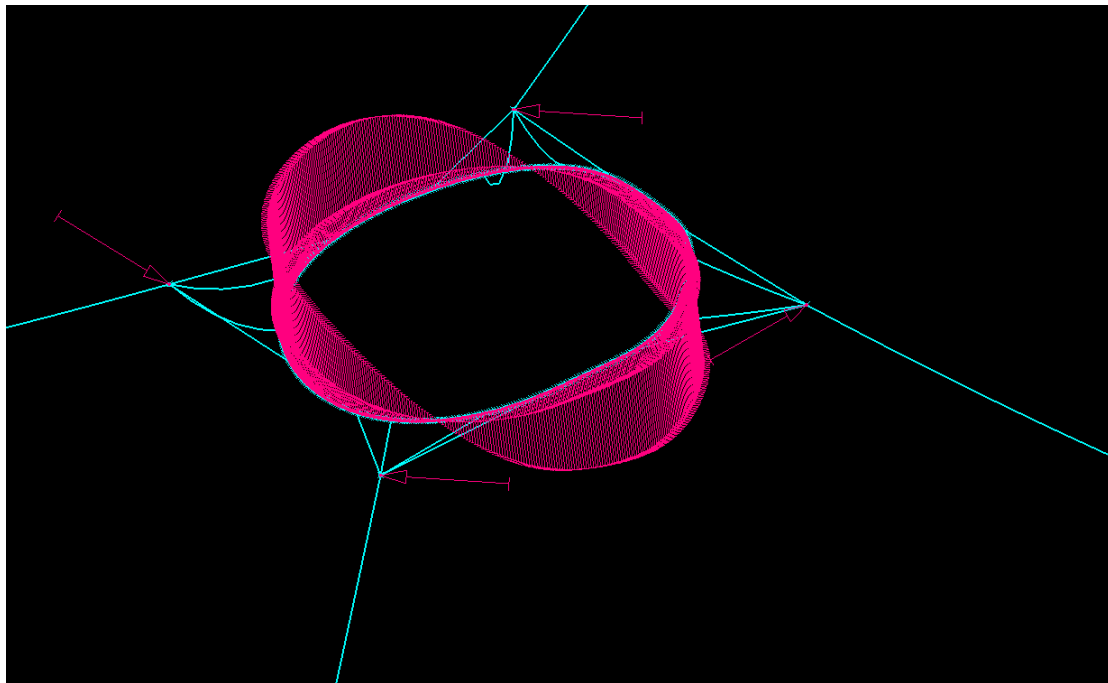
Εικόνα 3.22: Διεύθυνση φόρτισης

Αρχικά, παρουσιάζονται οι παραμορφώσεις και η ένταση στη κατάσταση ηρεμίας, δηλαδή όταν ασκούνται μόνο τα ίδια βάρη.



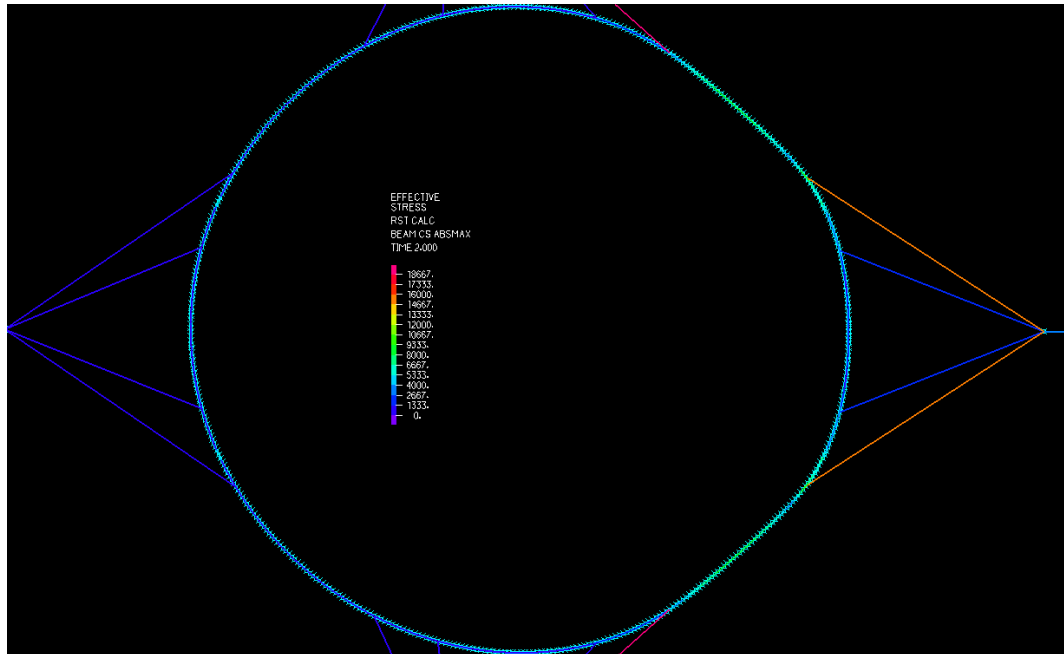
Εικόνα 3.23: Αξονικές υπό το ίδιο βάρος

Η μέγιστη αξονική παρουσιάζεται στην κορυφή των σχοινιών και είναι 4,4 kN(Εικόνα 3.23). Ο κλωβός είναι απαραμόρφωτος. Επιβάλλεται η φόρτιση μόνο από το κύμα όπως περιγράφηκε προηγουμένως(Εικόνα 3.24).



Εικόνα 3.24 : Φόρτιση για κύμα

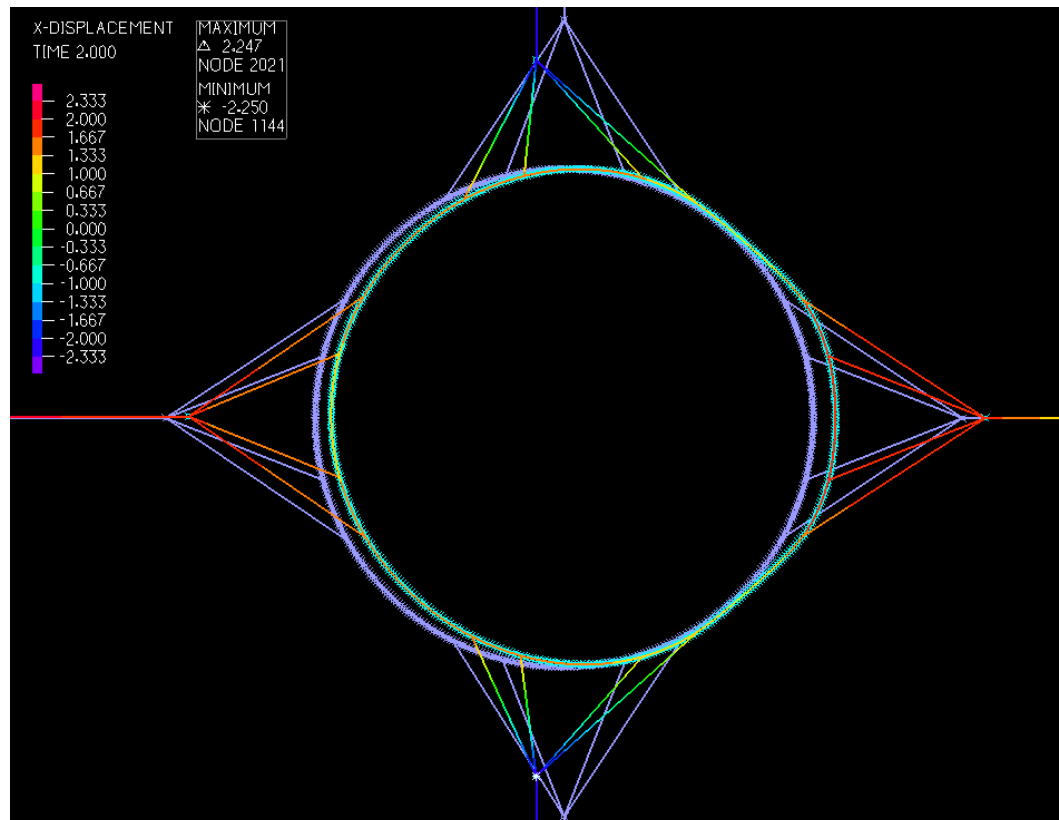
Μετά την επιβολή των μετατοπίσεων λόγω κύματος η εντατική κατάσταση του κλωβού είναι η εξής(Εικόνα 3.25):



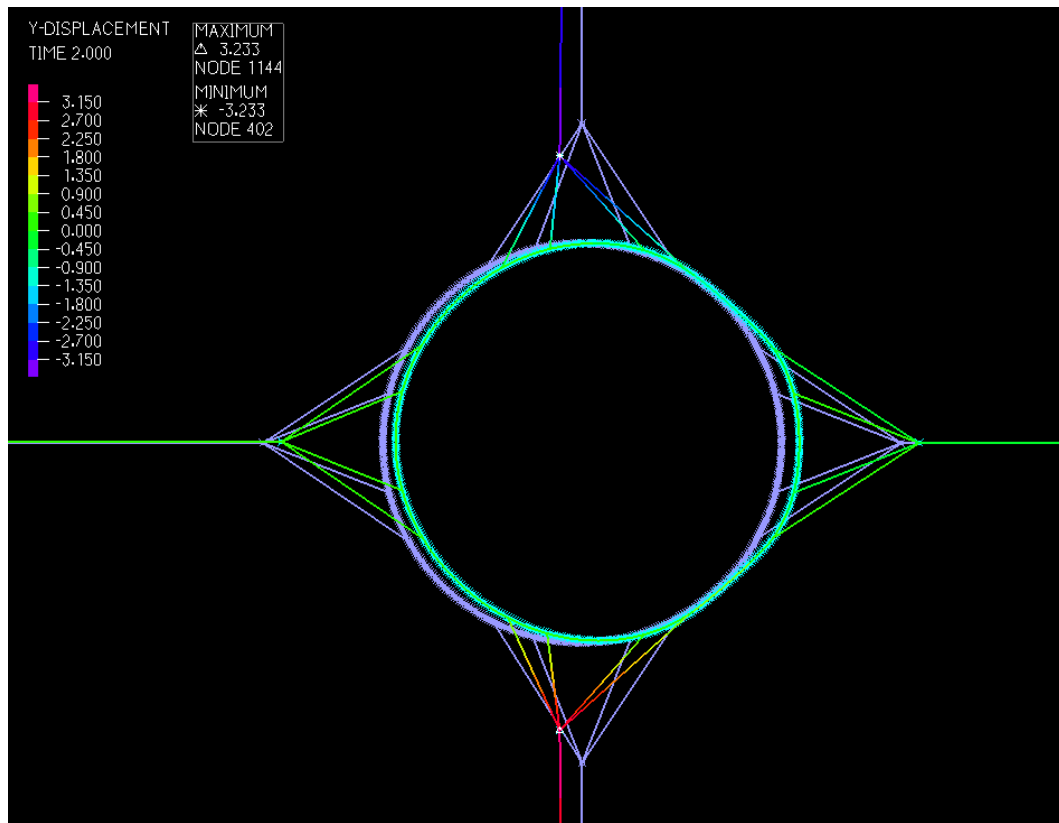
Εικόνα 3.25: Ένταση λόγω κύματος

Η μέγιστη τάση λόγω κάμψης στον κλωβό είναι 10,78 MPa στις περιοχές που είναι χρωματισμένες με πράσινο στην Εικόνα 3.25.

Οι οριζόντιες μετακινήσεις στις σηματούρες-πλωτήρες φαίνονται στην εικόνα 3.26, 3.27:

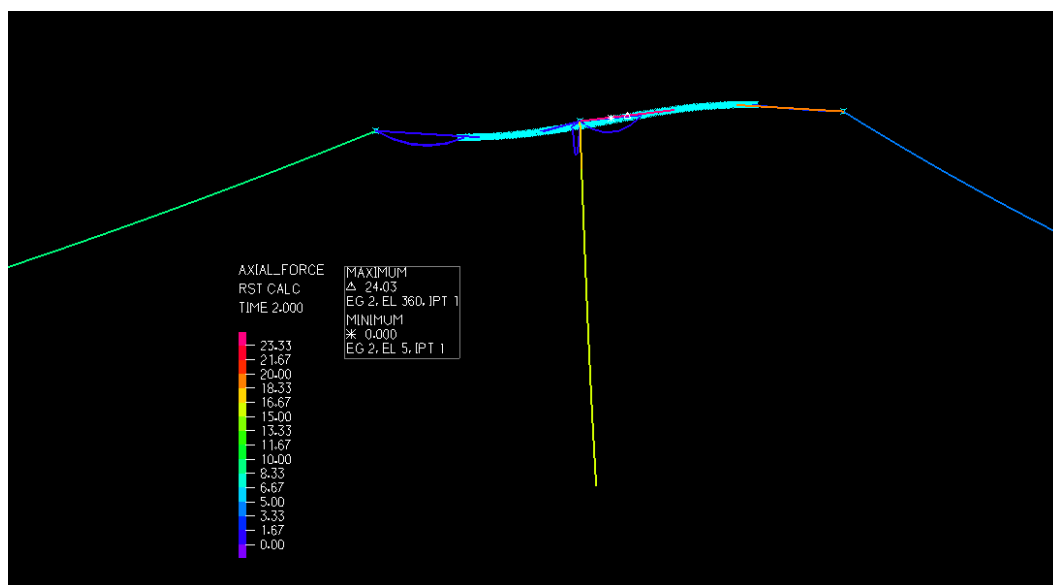


Εικόνα 3.26 : Οριζόντιες μετακινήσεις κατά τη διεύθυνση φόρτισης



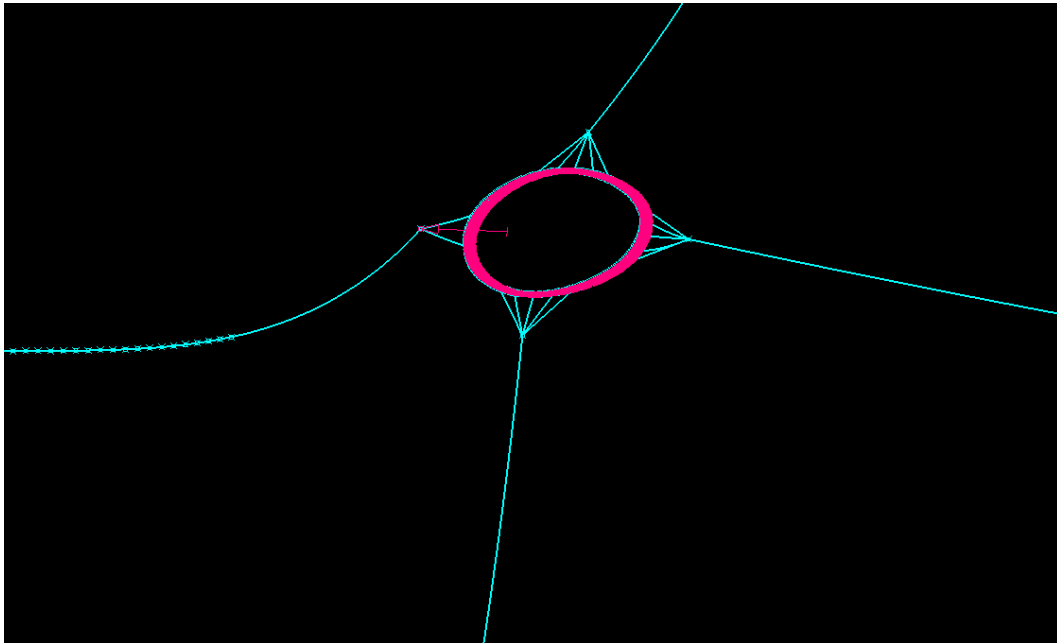
Εικόνα 3.27: Οριζόντιες μετακινήσεις κάθετα στη διεύθυνση φόρτισης

Εικόνα παραμορφωσης-έντασης(Εικόνα 3.28):



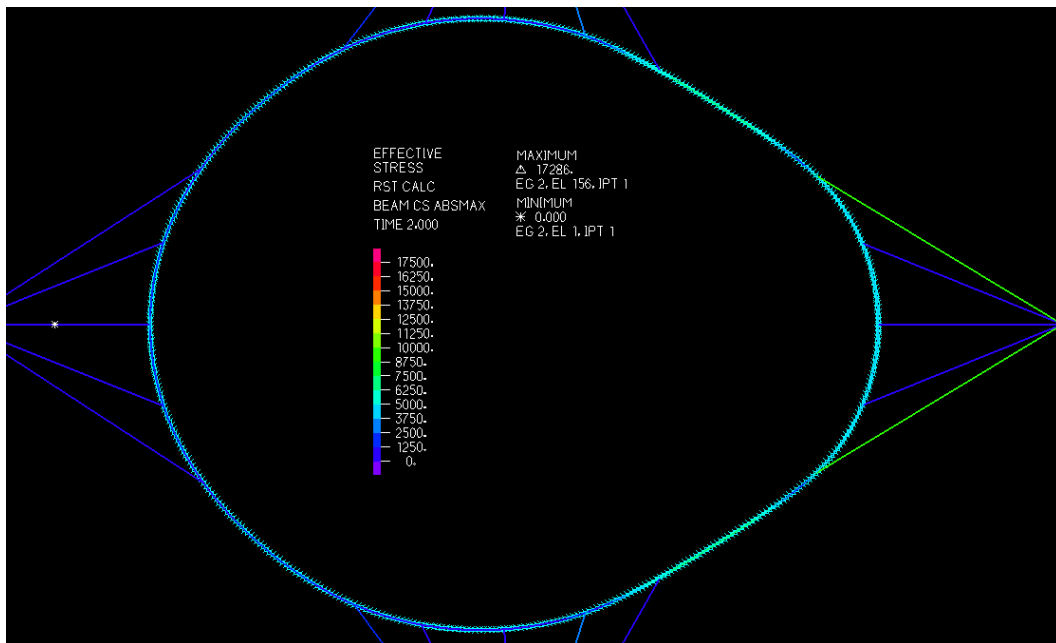
Εικόνα 3.28: Αξονικές λόγω κύματος

Επιβάλλεται μόνο η οριζόντια φόρτιση λόγω ρεύματος στον κλωβό και όχι οι μετατοπίσεις λόγω κύματος(Εικόνα 3.29).



Εικόνα 3.29: Φόρτιση λόγω ρεύματος

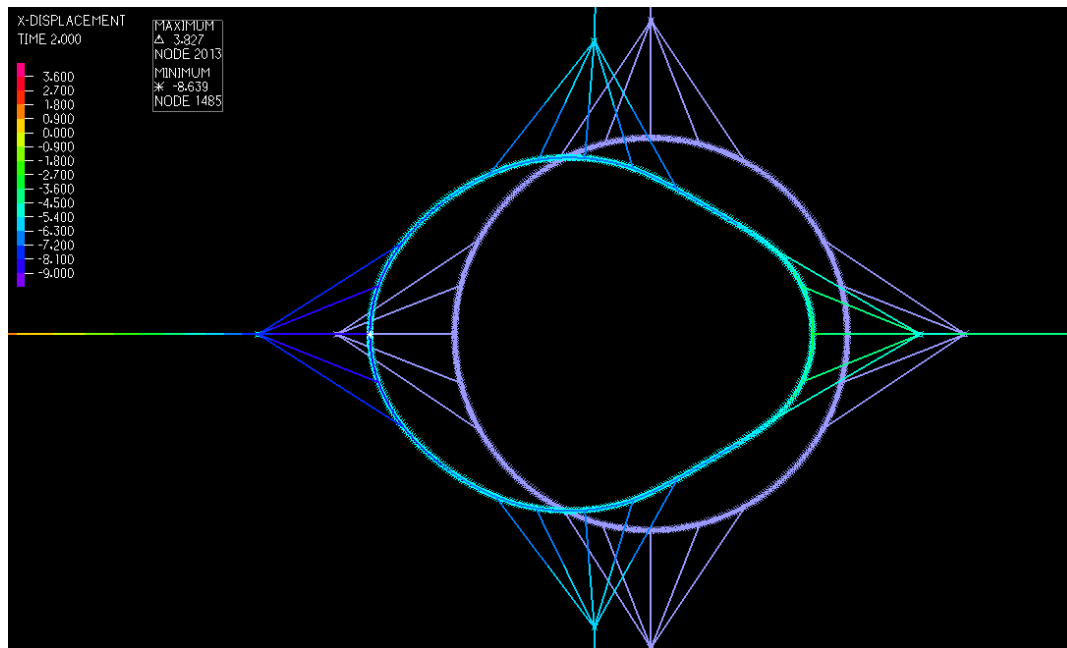
Εντατική κατάσταση του κλωβού(Εικόνα 3.30):



Εικόνα 3.30: Ένταση λόγω ρεύματος

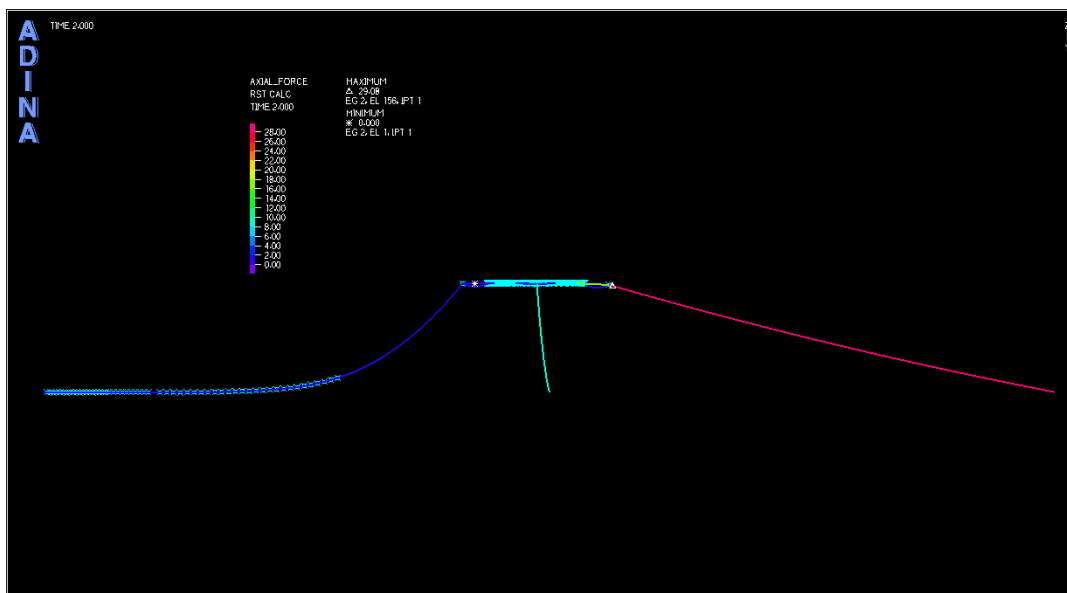
Η μέγιστη τάση λόγω κάμψης στον κλωβό είναι 8,51 MPa στις περιοχές που είναι χρωματισμένες με πράσινο(Εικόνα 3.30).

Οι οριζόντιες μετακινήσεις στις σηματοδούρες-πλωτήρες φαίνονται στην Εικόνα 3.31:



Εικόνα 3.31: Παραμόρφωση λόγω ρεύματος

Εικόνα παραμορφωσης-έντασης(Εικόνα 3.32):



Εικόνα 3.32: Αξονικές λόγω ρεύματος

Τέλος επιβάλλεται η φόρτιση λόγω κύματος και λόγω ρεύματος.

Για τη διαστασιολόγηση των μελών λαμβάνονται υπόψη τα δυσμενέστερα μεγέθη από όλες τις φορτίσεις.

Συγκεντρωτικά, παρουσιάζονται στον πίνακα 3.2 τα μέγιστα μεγέθη έντασης για κάθε φόρτιση:

Πίνακας 3.2: Μέγιστες τιμές μεγεθών από όλους τους συνδυασμούς

	ΚΥΜΑ		ΡΕΥΜΑ		ΚΥΜΑ+ΡΕΥΜΑ	
	$\sigma_{\max}$ (Μρα)	$d_{\max}$ (m)	$\sigma_{\max}$ (Μρα)	$d_{\max}$ (m)	$\sigma_{\max}$ (Μρα)	$d_{\max}$ (m)
Κλωβός	10,78	1,85	8,46	8,64	8,8	7,94
Εφελκούμενο Σχοιλι	19,12	3,23	23	4,56	23	4,06
Χαλαρό Σχοιλι		3,23		8,02		7,29

Στην αναλυτική μέθοδο έχει θεωρηθεί ότι δεν υπάρχει ο κλωβός, οπότε αγνοούνται και οι παραμορφώσεις του. Επίσης, δε λαμβάνονται υπόψη τα σχοιλιά που βρίσκονται στο εκτός φόρτισης επίπεδο.





## 4 ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

Εδώ γίνεται μια διερεύνηση των χαρακτηριστικών του φορέα που επηρεάζουν την αντοχή και τη λειτουργία του. Σκοπός είναι να γίνει κατανοητό ποια από αυτά και σε ποιο βαθμό μπορούν να ικανοποιήσουν τις λειτουργικές απαιτήσεις της μονάδας και πως μπορεί αυτή να αντέξει σε ακραίες καιρικές συνθήκες.

A. Τα **λειτουργικά** κριτήρια που πρέπει να ικανοποιεί η κατασκευή είναι τα εξής:

1. Περιορισμός των μετακινήσεων σε αποδεκτά όρια που σημαίνει ότι δεν πρέπει πρώτον, να έχουμε μετακινήσεις των κλωβών έξω από το χώρο που ορίζεται από τη νομοθεσία και δεύτερον να μην έρχονται σε επαφή μεταξύ τους οι ιχθυοκλωβοί.
2. Διατήρηση του όγκου των κλωβών άρα και του σχήματος.

B. Όσο αφορά την **αντοχή** επιθυμητό είναι να μην έχουμε αστοχία κάποιου από τα μέλη της κατασκευής είτε αυτό είναι ο πλωτήρας, είτε τα σχοινιά είτε η αγκύρωση πράγμα που μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια βιομάζας.

Γ. Τέλος, στόχος είναι η **οικονομία** της κατασκευής δηλαδή να μην υπερδιαστασιολογούνται τα μέλη της.

### 4.1 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που θα εξεταστούν είναι:

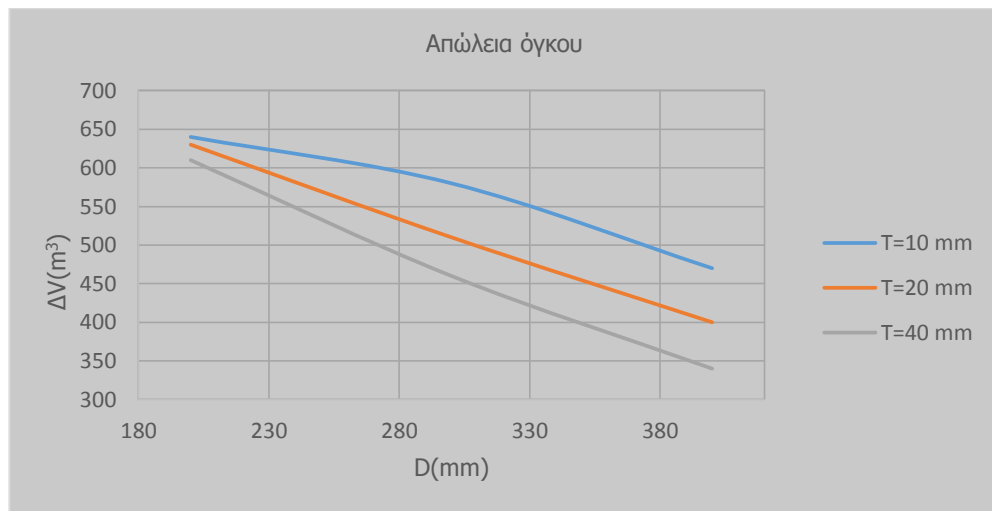
#### 1. Οι διαστάσεις της διατομής (διάμετρος D και πάχος T)

Γίνονται οι παρακάτω συνδυασμοί D,T (Πίνακας 4.1):

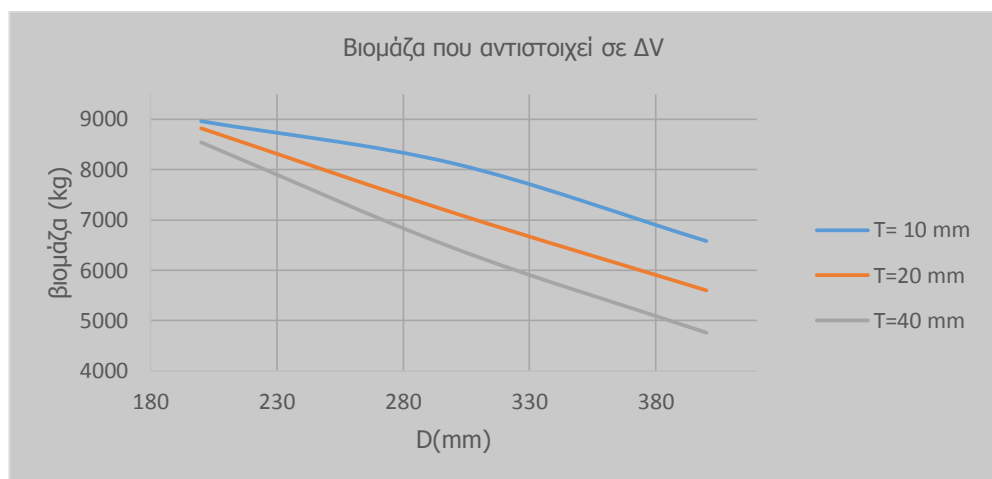
Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικά διατομών πλωτήρα

D	T	A	W(kN/m)
0,14	0,01	0,004084	0,038799
0,2	0,01	0,005969	0,056706
0,2	0,015	0,008718	0,08282
0,2	0,02	0,01131	0,107442
0,2	0,03	0,016022	0,15221
0,2	0,04	0,020106	0,191009
0,25	0,01	0,00754	0,071628
0,25	0,015	0,011074	0,105204
0,25	0,02	0,014451	0,137288
0,25	0,03	0,020735	0,196978
0,25	0,04	0,026389	0,250699
0,3	0,01	0,009111	0,086551
0,3	0,015	0,01343	0,127588
0,3	0,02	0,017593	0,167133
0,3	0,03	0,025447	0,241746
0,3	0,04	0,032673	0,310389
0,4	0,01	0,012252	0,116396
0,4	0,015	0,018143	0,172356
0,4	0,02	0,023876	0,226823
0,4	0,03	0,034872	0,331281
0,4	0,04	0,045239	0,42977
0,5	0,01	0,015394	0,146241
0,5	0,015	0,022855	0,217123
0,5	0,02	0,030159	0,286513
0,5	0,03	0,044296	0,420816
0,5	0,04	0,057805	0,54915

Έχοντας υπόψη τον ιχθυοπληθυσμό που απαιτείται να εκτραφεί επιλέγεται ο όγκος που θα πρέπει να έχει ο κλωβός (Εικόνα 4.1, 4.2).

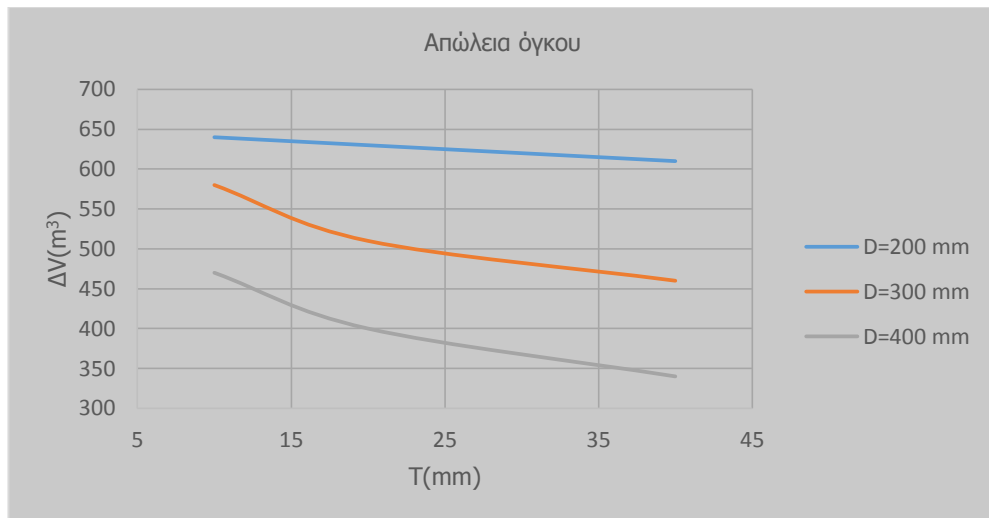


Εικόνα 4.1: Μείωση όγκου λόγω παραμόρφωσης

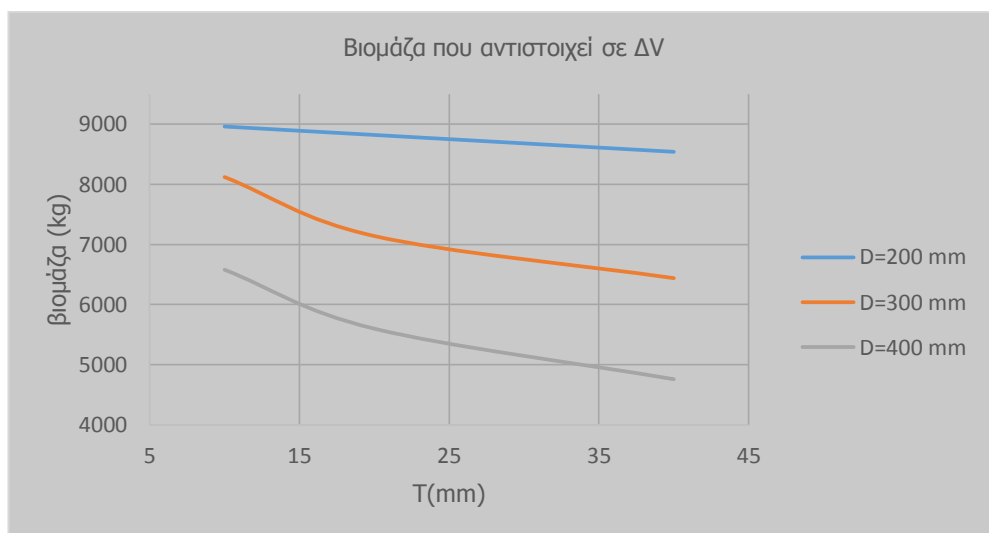


Εικόνα 4.2: Βιομάζα που αντιστοιχεί σε μείωση όγκου λόγω παραμόρφωσης

Τα παραπάνω διαγράμματα βοηθούν στη αρχική επιλογή μιας διαμέτρου για να επιτευχθεί ο απαιτούμενος όγκος. Και τα αμέσως επόμενα διαγράμματα (Εικόνα 4.3, 4.4) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον ίδιο σκοπό με τη διαφορά ότι στον οριζόντιο άξονα είναι το πάχος του τοιχώματος της διατομής. Ο όγκος είναι βασική απαίτηση επομένως ίσως είναι το κριτήριο που πρέπει να ικανοποιείται πρώτο καθώς συνδέεται με τη δημιουργία κατάλληλων συνθηκών για τον ιχθυοπληθυσμό. Η διατήρηση του όγκου του κλωβού έχει έντονη εξάρτηση από την αύξηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της διατομής του σωλήνα. Η αύξηση βέβαια της διατομής πρέπει να γίνεται σε συσχέτιση με τη μέγιστη τάση του κλωβού καθώς η αύξηση των διαστάσεων της διατομής οδηγεί σε μεγαλύτερη δυσκαμψία άρα και μεγαλύτερη αντίσταση στο να παρακολουθεί ο σωλήνας την ελεύθερη επιφάνεια.



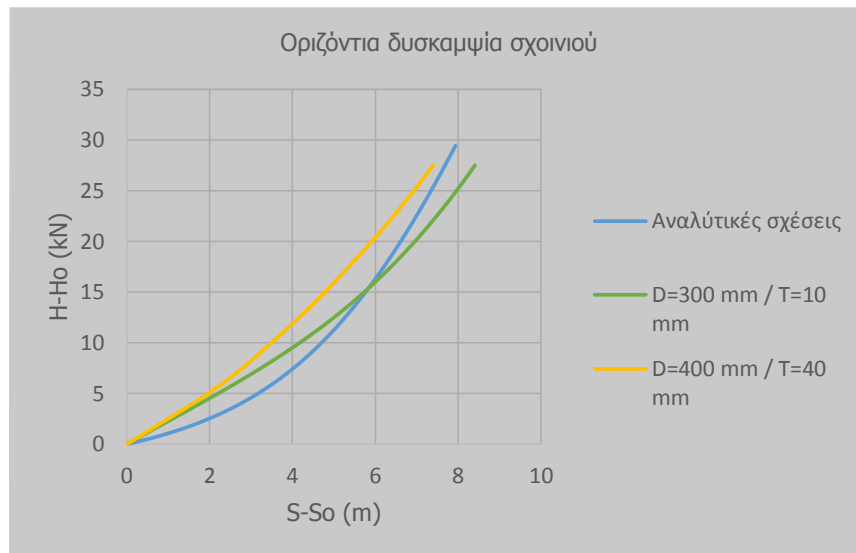
Εικόνα 4.3: Μείωση όγκου λόγω παραμόρφωσης



Εικόνα 4.4: Βιομάζα που αντιστοιχεί σε μείωση όγκου λόγω παραμόρφωσης

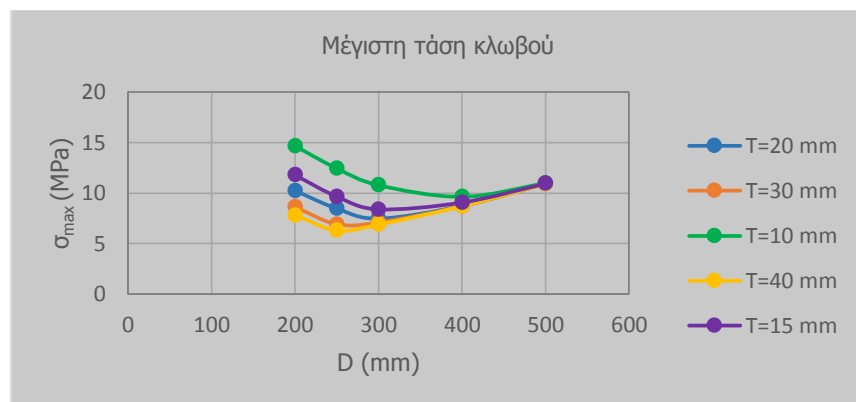
Ο όγκος έχει υπολογιστεί με βάθος δικτύων 10 m και η ιχθυοπυκνότητα έχει ληφθεί 14 kg/m<sup>3</sup>.

Οι μετακινήσεις έχουν σχέση με την ευκαμψία του σωλήνα. Φαίνεται η μέγιστη μετακίνηση να αυξάνεται όσο πιο εύκαμπτος είναι ο σωλήνας. Δίνεται και η καμπύλη που προκύπτει από τις θεωρητικές σχέσεις για σύγκριση (Εικόνα 4.5).

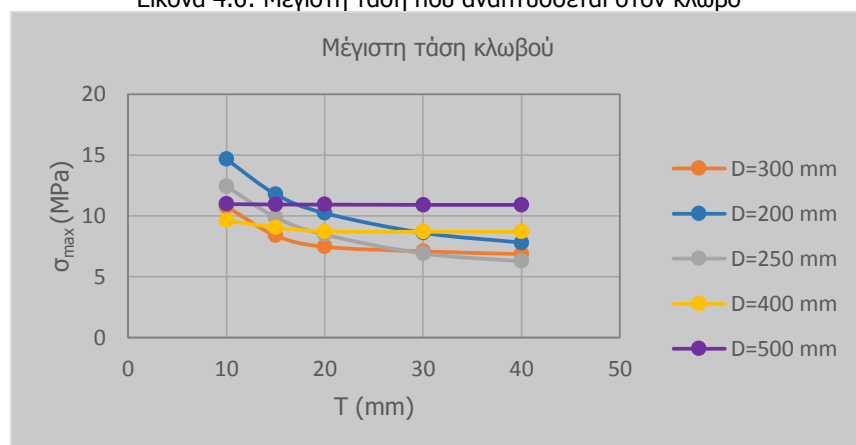


Εικόνα 4.5: Μέγιστες μετατοπίσεις κορυφής σχοινού

Στη συνέχεια για συνθήκες ανοιχτής θάλασσας παρουσιάζονται οι μέγιστες τάσεις στον κλωβό για διάφορες διατομές (εικόνες 4.6, 4.7). Με βάση αυτό μπορεί να επιλεγεί μια πιο οικονομική διατομή.



Εικόνα 4.6: Μέγιστη τάση που αναπτύσσεται στον κλωβό



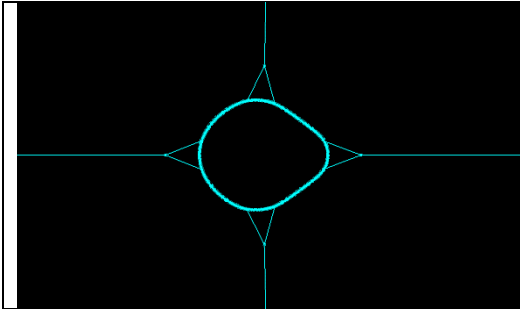
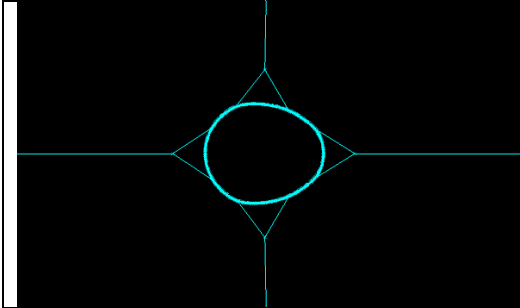
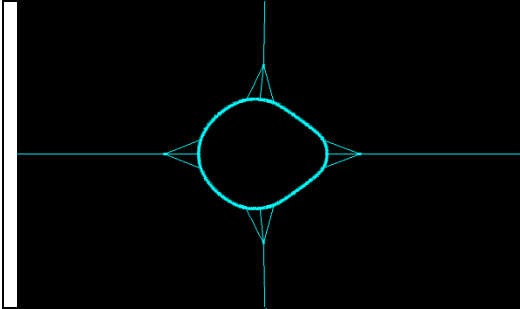
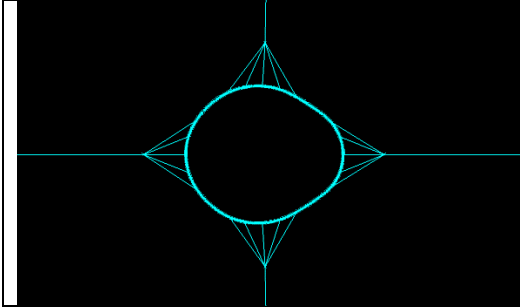
Εικόνα 4.7: Μέγιστη τάση που αναπτύσσεται στον κλωβό

Από ένα πάχος και άνω φαίνεται να παύει να μειώνεται η μέγιστη καταπόνηση του κλωβού που σημαίνει πως για τα φορτία σχεδιασμού δεν έχει νόημα να αυξάνουμε αυτή τη διάσταση. Μάλιστα όσο αυξάνεται η διάμετρος η διακύμανση του πάχους δεν παίζει ρόλο αφού ο σωλήνας γίνεται πιο δύσκαμπτος.

## 2. Διάταξη σχοινιών (περιμετρικών δεσιμάτων πλωτήρα)

Η διάταξη των περιμετρικών δεσιμάτων επηρεάζει τις μετακινήσεις και τη μεταβολή του όγκου του κλωβού αλλά και τη μέγιστη ένταση του κλωβού. Μια συσχέτιση της διαμόρφωσης αυτών των σχοινιών με την ένταση και παραμόρφωση του κλωβού δίνεται στον πίνακα 4.1.

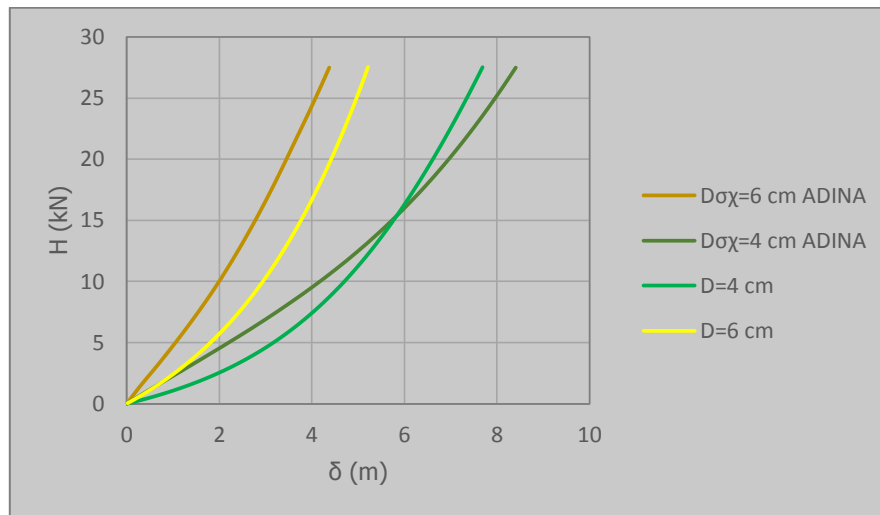
Πίνακας 4.1: Μέγιστες μετακινήσεις στην κορυφή των σχοινιών

	$\sigma_{\max}=18,17 \text{ MPa}$ $\delta_{\max}=9,70 \text{ m}$
	$\sigma_{\max}=13,46 \text{ MPa}$ $\delta_{\max}=8,92 \text{ m}$
	$\sigma_{\max}=11,56 \text{ MPa}$ $\delta_{\max}=8,73 \text{ m}$
	$\sigma_{\max}=10,78 \text{ MPa}$ $\delta_{\max}=8,02 \text{ m}$

Όσο περισσότερα είναι τα δεσίματα οι μετακινήσεις λόγω παραμόρφωσης του κλωβού περιορίζονται το ίδιο και η ένταση καθώς επιτυγχάνεται πιο ομοιόμορφη κατανομή της. Το ίδιο συμβαίνει και με τον όγκο του κλωβού ο οποίος διατηρείται όσο πιο πολλά είναι τα περιμετρικά σχοινιά. Όσο μεγαλύτερη είναι η  $\delta_{\max}$  σημαίνει ότι και η μεταβολή όγκου είναι σημαντικότερη.

### 3. Διάμετρος σχοινιών

Για τον περιορισμό των μετακινήσεων παίζει σημαντικό ρόλο το βάρος των σχοινιών(Εικόνα 4.8).



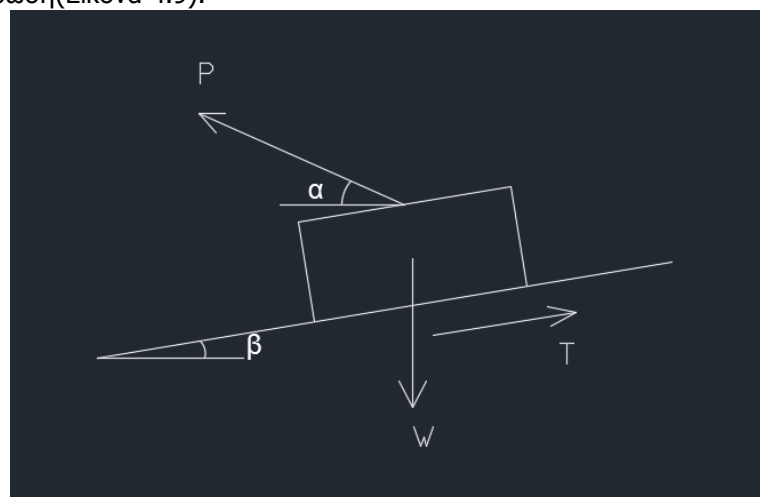
Εικόνα 4.8: Μέγιστες μετακινήσεις στην κορυφή των σχοινιών

Όπως θα φανεί παρακάτω αυτή η ιδιότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με την τοποθέτηση μεταλλικής αλυσίδας στον πυθμένα. Το αν θα χρησιμοποιηθεί η μια ή η άλλη λύση εξαρτάται και από το εδαφικό υλικό του πυθμένα. Σε ένα αμμώδη πυθμένα μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια μεταλλική άγκυρα η οποία χρειάζεται να συρθεί και να εισχωρήσει στον πυθμένα. Αντίθετα σε ένα βράχώδη πυθμένα αυτό που θα κρατήσει την κατασκευή αγκυρωμένη στο επιθυμητό σημείο είναι το βάρος και η τριβή που αυτό κινητοποιεί.

Η αύξηση του βάρους των σχοινιών πιθανώς να απαιτεί και μεγαλύτερες σηματοδούρες.

### 4. Μήκος και κλίση σχοινιών αγκύρωσης

Η κλίση πρέπει να είναι κατά το δυνατό μικρότερη γιατί τα σχοινιά ενεργοποιούνται και αντιστέκονται και στα μικρά φορτία. Επίσης η μικρή κλίση είναι ευμενέστερη και για την αγκύρωση(Εικόνα 4.9).



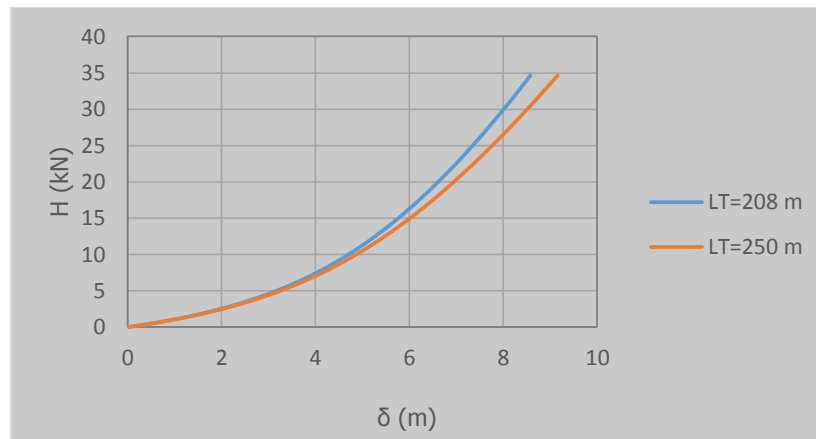
Εικόνα 4.9: Σώμα αγκύρωσης

Το υπό άνωση βάρος της άγκυρας που απαιτείται, ώστε να μπορεί να αναπτυχθεί η τάση συγκράτησης P:

$$W = \frac{P \left[ \frac{\cos(\alpha + \beta)}{\mu} + \sin(\alpha + \beta) \right]}{\left( \cos\beta - \frac{\sin\beta}{\mu} \right)}$$

Τα σύμβολα επεξηγούνται στην Εικόνα 4.9.

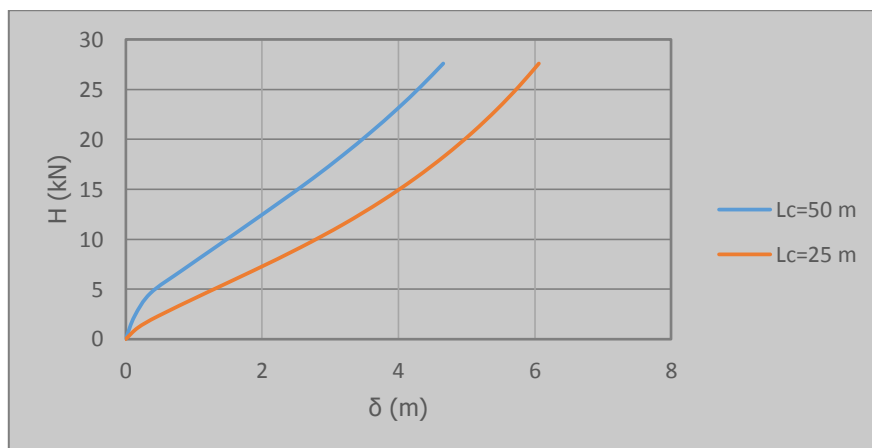
Όσο αυξάνεται το συνολικό μήκος αγκύρωσης μειώνεται η ένταση των σχοινιών αλλά απαιτείται περισσότερος χώρος όπως δείχνει το διάγραμμα στην Εικόνα 4.10.



Εικόνα 4.10: Μέγιστες μετακινήσεις στην κορυφή των σχοινιών

#### 4.2 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΥΛΙΚΟ

Το χαρακτηριστικό που θα εξεταστούν είναι το μήκος της μεταλλικής αλυσίδας.



Εικόνα 4.11: Μέγιστες μετακινήσεις στην κορυφή των σχοινιών

Η μέγιστη τάση του ιχθυοκλωβού παραμένει περίπου σταθερή όπως και η αξονική του σχοινιού.

Τοποθετώντας τη μεταλλική αλυσίδα στον πυθμένα επιτυγχάνεται μείωση της μετακινήσεων λόγω του μεγαλύτερου βάρους έως και 40 % όπως μπορεί να εκτιμηθεί και από το διάγραμμα της Εικόνας 4.11 κι έτσι δε χρειάζεται να μεγαλώσει η διάμετρος του σχοινιού σε όλο το μήκος του. Επίσης στην περίπτωση της μεταλλικής άγκυρας είναι αναγκαίο το βάρος της αλυσίδας γιατί βοηθάει στη συγκράτηση της άγκυρας σε οριζόντια θέση ώστε να γίνει η σύρση και η έμψη της στον πυθμένα.

Μόλις επιλεγούν τα μέλη της κατασκευής γίνεται η ανάλυση και επιλέγονται τα μέσα σύνδεσης και το σώμα αγκύρωσης.



# 5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

## 5.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο πλωτός ιχθυοκλωβός φαίνεται πως επηρεάζεται κυρίως από τον κυματισμό ο οποίος είναι και το σημαντικότερο φορτίο στην κατασκευή μας. Για να αντεπεξέλθει η κατασκευή στις δυσμενείς συνθήκες και μάλιστα να μένει πάντα στην επιφάνεια της θάλασσας έπρεπε να επιλεχθούν πολύ εύκαμπτα μέλη. Για τα σχοινιά σημαντικότερη είναι η επιρροή του ρεύματος. Σε γενικές γραμμές η καταπόνηση των σχοινιών ήταν πολύ χαμηλότερη από την αντοχή τους και το επιτρεπτό φορτίο λειτουργίας. Το βασικό πρόβλημα είναι ο περιορισμός των μετακινήσεων σε αποδεκτά όρια.

Οι κατασκευές σαν και αυτή που μελετήθηκε φαίνεται να μπορούν να λειτουργήσουν σε συνθήκες ανοιχτής θάλασσας. Βέβαια όταν αναφερόμαστε σε ανοιχτή θάλασσα παίζει ρόλο και η περιοχή εγκατάστασης. Για παράδειγμα, άλλες θα είναι οι συνθήκες στο Αιγαίο Πέλαγος και άλλες σε μια εκτεθειμένη περιοχή του Ατλαντικού Ωκεανού. Επομένως, για συνθήκες που αντιστοιχούν σε άνεμο έντασης 9 Beaufort με ύψος κύματος  $H=4,5$  m και ταχύτητα ρευμάτων  $V_c=0,45$  m/sec μπορούν να εγκατασταθούν τέτοιοι ιχθυοκλωβοί.

Στην Ελλάδα μάλιστα υπάρχουν κατάλληλες προϋποθέσεις για εγκατάσταση πλωτων ιχθυοκλωβών σε πιο εκτεθειμένες περιοχές αφού οι καιρικές συνθήκες είναι πιο ήπιες στα πελάγη ενώ οι ακτές χρειάζονται και για άλλες χρήσεις. Επομένως καλό θα ήταν να μην γεμίσουν με υπερβολικά πολλές ιχθυοκαλλιέργειες.

Όσο αφορά στην κατασκευή η τεχνολογία των υλικών έχει αναπτυχθεί σε σχέση με το παρελθόν με ραγδαίους ρυθμούς. Οπότε η αξιοπιστία των υλικών συντείνει και στην αξιοπιστία της κατασκευής εν γένει.

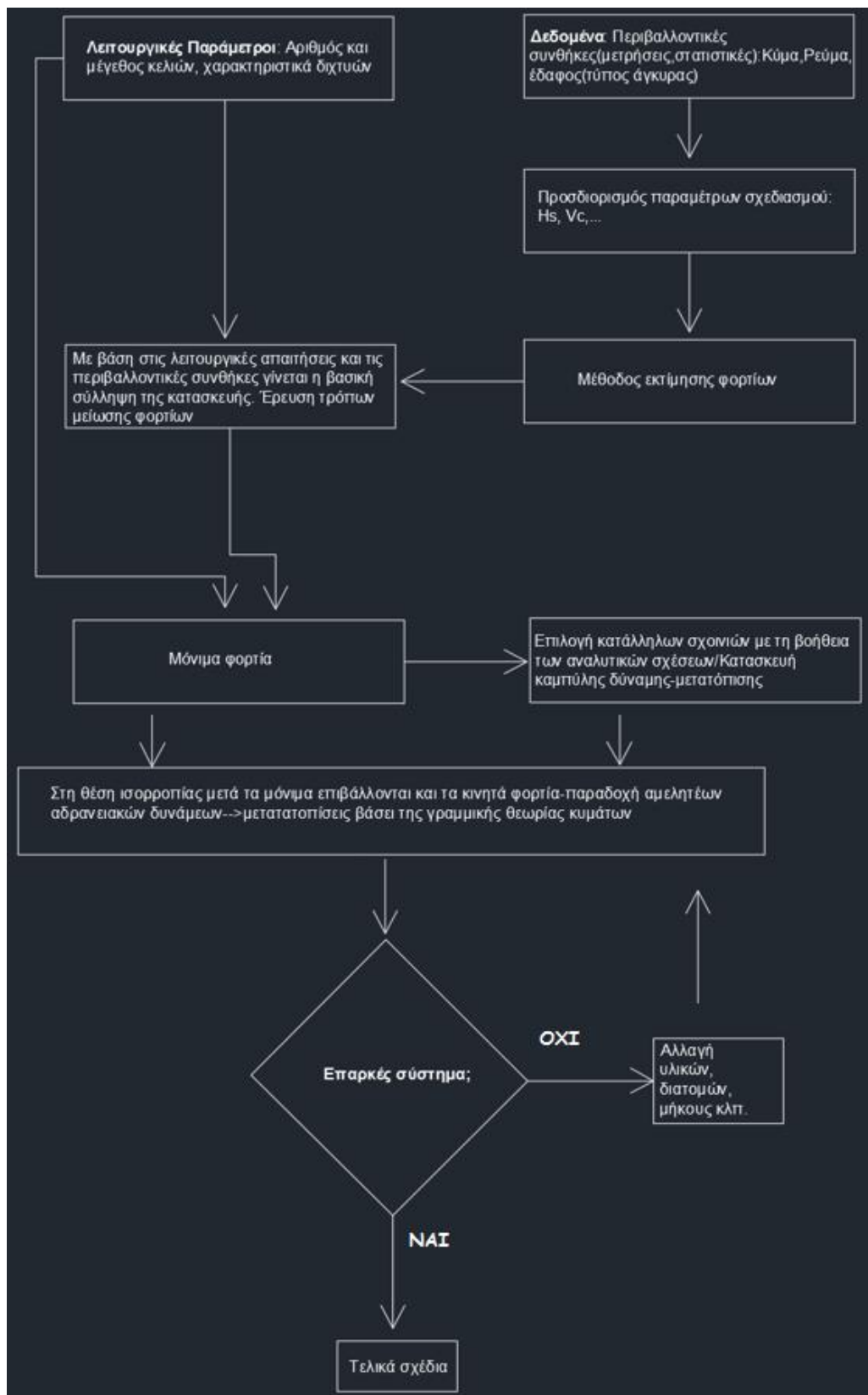
Τα υπολογιστικά εργαλεία επίσης σήμερα έχουν πολλές δυνατότητες. Ωστόσο είναι πολύ σημαντικό να πιστοποιηθεί και ο βαθμός αξιοπιστίας αναλυτικών μεθόδων που θα χρησιμοποιηθούν στην προδιαστασιολόγηση και θα είναι καθοριστικές για την επιτυχία της ανάλυσης.

Ο σωστός συνδυασμός των υλικών και η ρύθμιση των παραμέτρων της κατασκευής που αναφέρονται στο κεφάλαιο 4 παίζουν σημαντικό ρόλο για τη διαμόρφωση μιας ασφαλούς, λειτουργικής και οικονομικής κατασκευής.

Τέλος, για το θέμα της κόπωσης δεν έγινε κάποια μελέτη οπότε είναι σημαντικό να τηρούνται τα φορτία ασφαλούς λειτουργίας σε όλα τα μέλη της κατασκευής.

## 5.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ

Βασισμένοι στα έως τώρα αποτελέσματα προτείνεται στη συνέχεια μια διαδικασία διαστασιολόγησης. Σχηματικά περιγράφεται στην Εικόνα 5.1.



Εικόνα 5.1: Διαδικασία σχεδιασμού

Θεωρείται ότι το σύστημα είναι επαρκές όταν ικανοποιούνται σε κάποιο επιθυμητό βαθμό τα εξής κριτήρια:

1. Λειτουργικότητα (π.χ. Μετακινήσεις, Όγκος, Βύθισμα)
2. Αντοχή
3. Οικονομία

Ο βαθμός στον οποίο ικανοποιείται το κάθε ένα από αυτά εξαρτάται :

1. Λειτουργικότητα : Νομοθεσία και απαιτήσεις από ιχθυολόγους
2. Αντοχή : Πειράματα, Μελέτες
3. Οικονομία: κύριος έργου

Είναι σημαντικό να συνυπολογίζεται η επίδραση όλων των χαρακτηριστικών της κατασκευής στην ικανοποίηση των κριτηρίων αυτών. Όμως έχει σημασία αυτά να ικανοποιούνται με την οικονομικότερη λύση.

Αναφέρονται ενδικοεικτικά ορισμένα σημεία στα οποία πρέπει να δοθεί προσοχή στη μελέτη:

Η υλοποίηση της αγκύρωσης της κατασκευής στο βυθό πρέπει να εξασφαλίζει την αμεταθετότητα του σώματος αγκύρωσης. Πολλές φορές ο βυθός δεν παρουσιάζει τις τέλειες συνθήκες ώστε να επιλέξουμε ξεκάθαρα τον τύπο αγκύρωσης που θα εφαρμοστεί. Γι' αυτό σε τέτοιες περιπτώσεις μια καλή πρακτική θα ήταν να χρησιμοποιηθεί άγκυρα βαρύτητας σε συνδυασμό με άγκυρα έμπυξης.

Επίσης, είναι καλό να προβλέπονται και εφεδρικοί σωλήνες γύρω από τους ήδη υπάρχοντες για λόγους ασφάλειας αν αστοχήσει ο βασικός. Αλλά και για λειτουργικούς λόγους, ώστε να μπορεί να στηριχτεί πάνω ένας διάδρομος για τους εργαζομένους.

Το μήκος του σχοινιού πρέπει να είναι τουλάχιστον 3 φορές το βάθος στο σημείο αγκύρωσης.

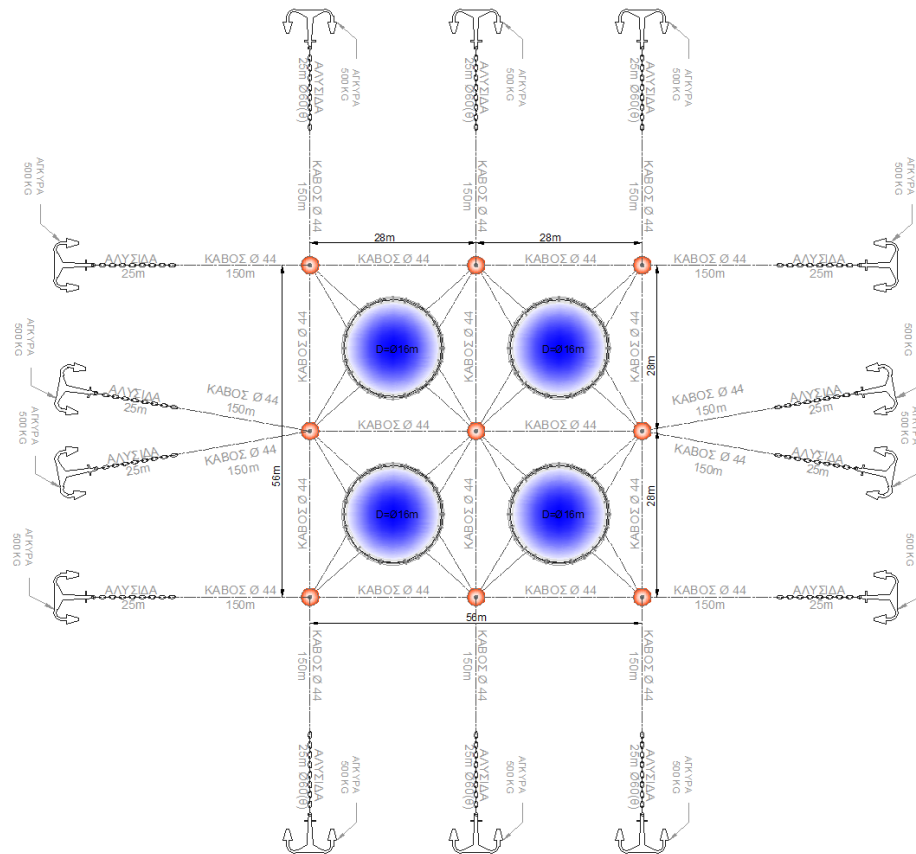
### **5.3 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ**

Σε αυτή την διπλωματική εργασία έγινε η αρχή της διερεύνησης της συμπεριφοράς ενός πλωτού ιχθυοκλωβού. Η περαιτέρω διερεύνηση του θέματος αφορά τη βελτίωση του προσομοιώματος και των αναλύσεων. Επομένως, η πραγματοποίηση δυναμικής ανάλυσης μπορεί να γίνει για μεγαλύτερη ακρίβεια αλλά και για την εκτίμηση της ακρίβειας του στατικού προσομοιώματος. Ακόμα, στην πραγματικότητα σε μια μονάδα υπάρχουν πολλοί ιχθυοκλωβοί δεμένοι μεταξύ τους οπότε λειτουργούν σε συνεργασία. Έχει ενδιαφέρον λοιπόν, να γίνει προσομοίωση με περισσότερους κλωβούς. Για την καλύτερη περιγραφή του της απόκρισης της κατασκευής μπορεί να γίνει προσομοίωση του ρευστού και της αλληλεπίδρασης του με τον κλωβό. Αν και οι δυνάμεις σύρσεως είναι σημαντικότερες από τις δυνάμεις αδρανείας έχει σημασία να φανεί η επίδραση της κίνησης των σωματιδίων του ρευστού στην κίνηση και ένταση του κλωβού. Επίσης, έχει σημασία να προσομοιωθεί και η τριβή της αλυσίδας με τον πυθμένα γιατί είναι και η τριβή ένας μηχανισμός στον οποίο βασίζεται εν μέρει η αγκύρωση. Τέλος, ένα θέμα προς διερεύνηση θα μπορούσε να ήταν και η επίδραση της κόπωσης στα μέλη και τις συνδέσεις ώστε να προδιαγραφεί ο χρόνος αντικατάστασης τους.

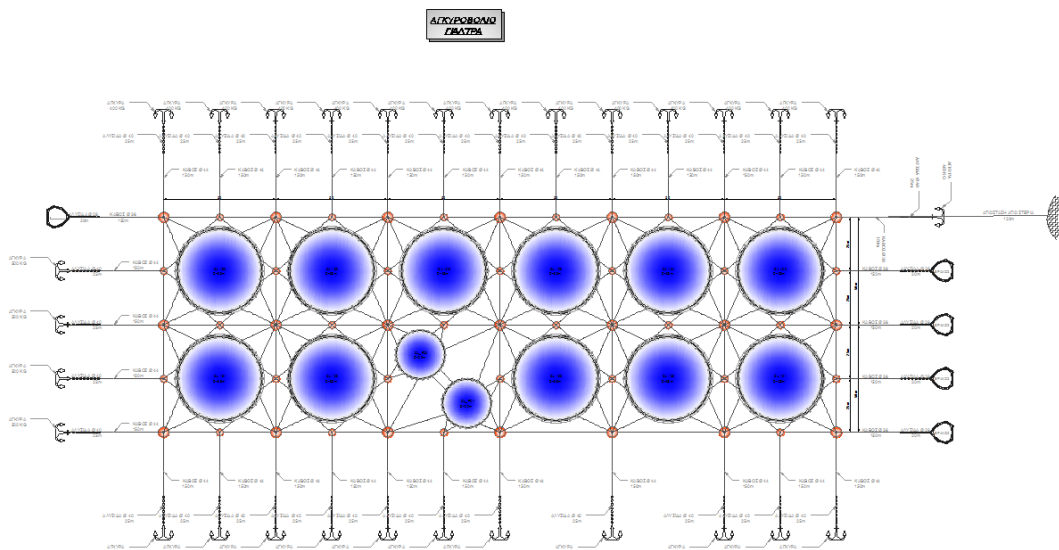


# 6 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

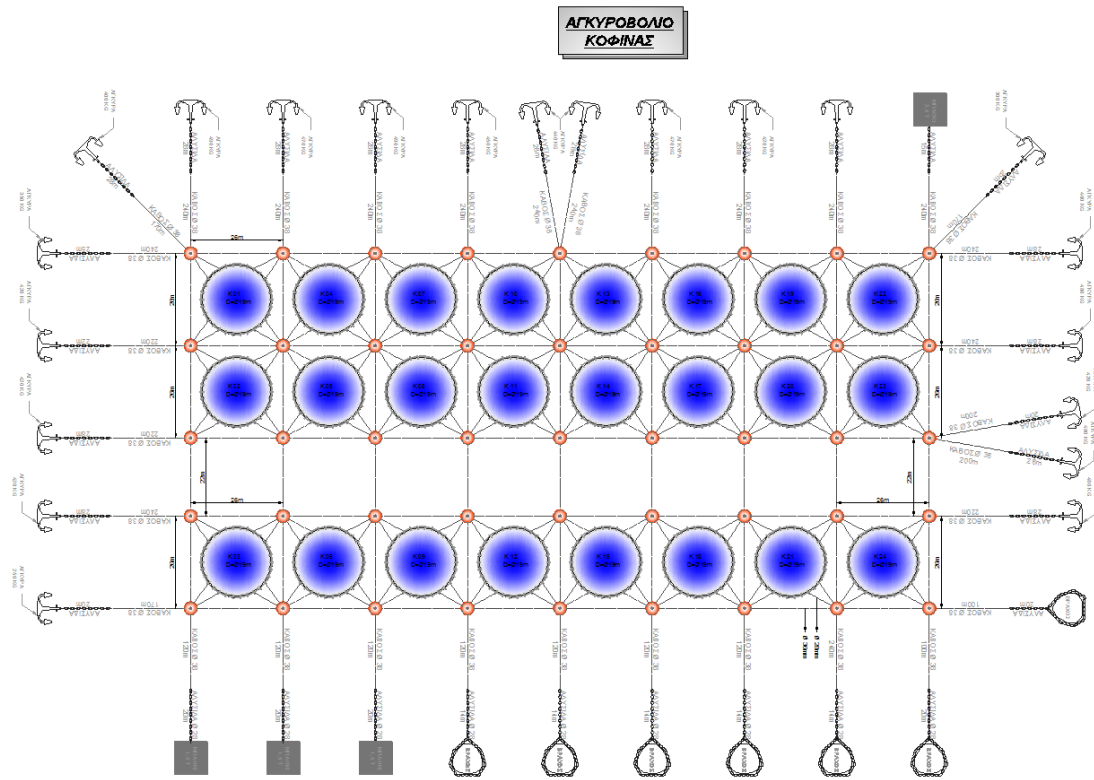
## 1. Διάφορες διατάξεις από μελέτες



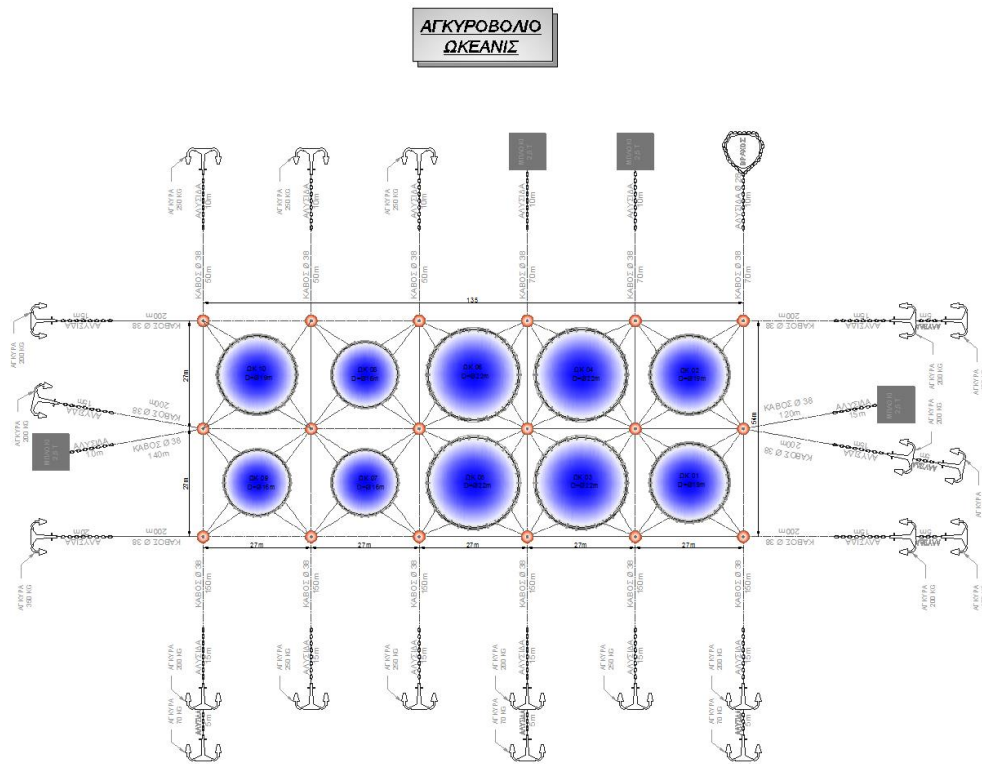
Εικόνα 6.1: Μονάδα στο Άγιο Όρος



Εικόνα 6.2: Μονάδα στα Γιάλτρα Ευβοίας



Εικόνα 6.3: Μονάδα στη Λίμνη Ευβοίας



Εικόνα 6.4: Μονάδα ΟΚΕΑΝΙΣ

Με βάση τα παραπάνω σχέδια (Εικόνες 6.1-6.4) παρατηρούμε ότι μπορούν χρησιμοποιηθούν και συνδυασμένοι τύποι αγκύρωσης γιατί πιθανώς δεν επαρκεί ο ένας μόνο τρόπος. Αυτό έγκειται στην εμπειρία και κρίση του μελετητή.

## 2. Σημπληρωματικά έργα

### Εξέδρα για φορτηγά



Εικόνα 6.5: Εξέδρα μεταφορών

Πρόκειται για μια ορθογωνικού σχήματος εξέδρα που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά των ψαριών από τις αλιευτικές βάρκες στα συσκευαστήρια. Είναι σχεδιασμένη ώστε να αντέχει τα φορτία φορτηγού οχήματος. Το φορτηγό προσεγγίζει τη θάλασσα μέσω αυτής της κατασκευής. Αποτελείται από ένα πάτωμα που στηρίζεται σε πλωτήρες περιφερειακά που εξασφαλίζουν την πλευστότητα. Επίσης κάτω από το κατάστρωμα υπάρχουν μεταλλικά υποστυλώματα τα οποία αντιστηρίζονται στον πυθμένα όταν η επιφάνεια φορτιστεί.

## 3. Λεπτομέρειες

### Λεπτομέρεια αγκυροβολίου



Εικόνα 6.6: Ειδικό δέσιμο

Χρησιμοποιείται για το δέσιμο του σχοινιού με την άγκυρα ή με την αλυσίδα.

