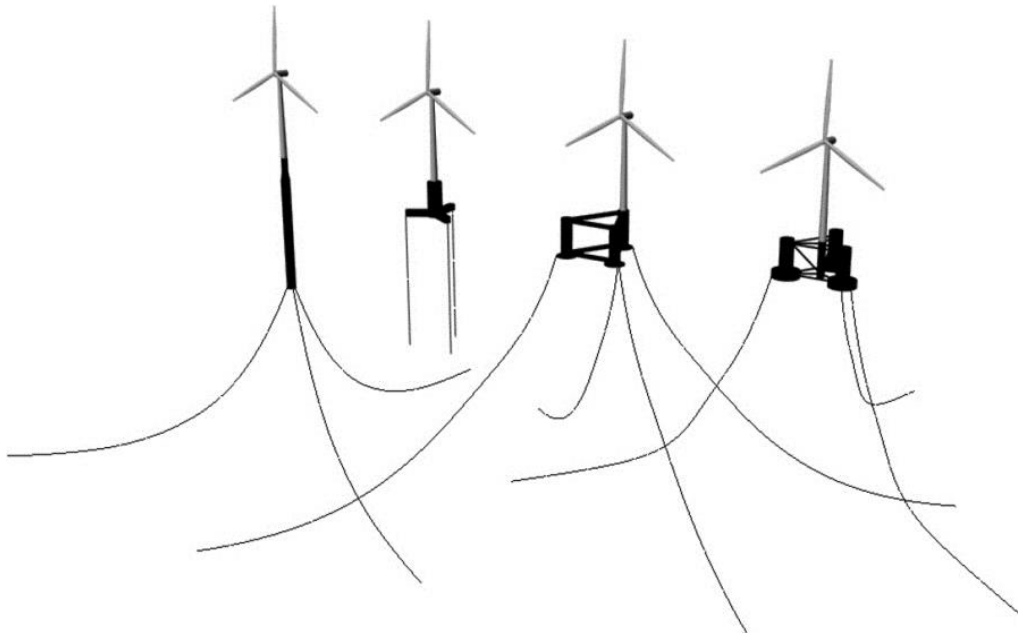




**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ**  
**ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**Δ.Π.Μ.Σ. ΝΑΥΤΙΚΗ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ**  
**ΕΠΙΣΤΗΜΗ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**



**ΥΠΕΡΑΚΤΙΕΣ ΠΛΩΤΕΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ**  
**ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΓΚΥΡΩΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΕ**  
**ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΥΣ ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟΥΣ ΚΛΑΔΟΥΣ (TLP)**

**Επιβλέπων Καθηγητής: Σ.Α. Μαυράκος**

**ΘΩΜΑΣ ΓΡΑΨΑΣ**

**Αθήνα 2015**

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται το θέμα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με ιδιαίτερη έμφαση στις πλωτές ανεμογεννήτριες μεγάλου βάθους. Πιο συγκεκριμένα γίνεται ανάλυση πλωτής ανεμογεννήτριας, εδρασμένης σε πλατφόρμα τύπου TLP (Tension Leg Platform) - κατασκευή με κατακόρυφους κλάδους αγκύρωσης, υπό σταθερή προένταση. Η εν λόγω κατασκευή αποτελεί πρόταση του ΕΜΠ για περαιτέρω διερεύνηση της συμπεριφοράς των πλωτών κατασκευών μεγάλου βάθους και την αξιοποίησής τους για εφέδρανα ανεμογεννητριών (σε επόμενο στάδιο ενσωματώνονται και μηχανές ανάκτησης κυματικής ενέργειας για μεγιστοποίηση της παραγόμενης ενέργειας). Οι εν λόγω κατασκευές παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την χώρα μας όπου τα μεγάλα βάθη πυθμένων δεν ευνοούν την ανάπτυξη υπεράκτιων αιολικών πάρκων με τις συνήθεις μεθόδους έδρασης.

Η ανάπτυξη της παρούσης διπλωματικής εργασίας γίνεται σε πέντε ενότητες ως εξής: Στην πρώτη Ενότητα γίνεται μια ιστορική αναδρομή για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας φτάνοντας ως τις σύγχρονες τεχνολογίες αξιοποίησής τους. Η δεύτερη Ενότητα περιλαμβάνει την ιστορική εξέλιξη της αξιοποίησης του ανέμου και την εξέλιξη της τεχνολογίας εκμετάλλευσης του αιολικού δυναμικού. Η τρίτη Ενότητα ασχολείται με τις δυνατότητες και την τεχνολογία των υπεράκτιων κατασκευών παραγωγής ενέργειας με ιδιαίτερη έμφαση στις πλωτές και στην κατασκευή τύπου TLP (Tension Leg Platform). Στην τέταρτη ενότητα περιγράφεται η προτεινόμενη διάταξη της κατασκευής καθώς και το μαθηματικό μοντέλο προσομοίωσης των συνθηκών λειτουργίας. Παρουσιάζονται επίσης όλες οι κρίσιμες παράμετροι σχεδιασμού και λειτουργίας του. Στην Πέμπτη Ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την εφαρμογή του προγράμματος HYDRAEROFLOAT (Mazarakos et al., 2014) με τα παραγόμενα από το πρόγραμμα hydroGAST για διάφορες ταχύτητες ανέμου και διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης. Τέλος και παρουσιάζονται τα τελικά συμπεράσματα καθώς και προτάσεις για μελλοντικές έρευνες.

## Abstract

This Master's thesis focuses on the subject of renewable energy, with an emphasis on offshore floating wind turbines. More specifically, a floating wind turbine mounted on a tension leg platform (TLP) is analyzed – a construction with vertical mooring lines (tendons), under constant pretension. This particular construction is proposed by NTUA for further investigation of the behavior of deep water floating constructions and their usage for wind turbines bearings (at a later stage, wave energy device can be integrated to maximize the produced energy). These particular constructions are of special interest in Greece, where large water depths do not favor the development of offshore wind farms with conventional mounting methods.

The Thesis is structured into five sections. The first section presents an historical overview on renewable energy sources, up to their modern exploitation technologies. The second section includes the historical evolution of the exploitation of wind and the corresponding technological development for the usage of wind potential. The third section discusses the features and technology of offshore energy production constructions, with particular emphasis on floating constructions and those of TLP type. In the fourth section, the proposed layout of the structure construction and the mathematical model that simulates its operating conditions, are described. In addition, all the crucial design and operating parameters are presented. In the fifth section, the results obtained from the implementing of the HYDRAEROFLOAT program (Mazarakos et al., 2014) are compared with those produced by the hydroGAST program, for several wind speeds and different angles of incidence. Finally, the results are analyzed and final conclusions are presented, together with specific suggestions for future research.

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών κ. Σπυρίδωνα Α. Μαυράκο, για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπο μου με την ανάθεση της συγκεκριμένης διπλωματικής.

Επίσης τον κ. Θωμά Π. Μαζαράκο Ναυπηγό Μηχανολόγο Μηχανικό Μεταδιδασκτορικό Ερευνητή του Εργαστηρίου Πλωτών Κατασκευών και Συστημάτων Αγκύρωσης της σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π.

Τέλος θέλω να ευχαριστήσω όλους τους διδάσκοντες του Δ.Π.Μ.Σ. που μου χάρισαν απλόχερα τις γνώσεις τους, καθώς και όλους τους συναδέλφους, συμφοιτητές μου στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα.

# Περιεχόμενα

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΓΕΝΙΚΑ</b>	<b>7</b>
<b>1.1 Ενέργεια</b>	<b>7</b>
1.1.1 Μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας:	8
1.1.2 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ):	8
<b>1.2 Τύποι ανανεώσιμων πηγών ενέργειας</b>	<b>11</b>
1.2.1 Ηλιακή ενέργεια:	11
1.2.2 Υδροηλεκτρική ενέργεια:	14
1.2.3 Γεωθερμία:	18
1.2.4 Βιομάζα:	20
1.2.5 Ενέργεια από τη θάλασσα:	23
1.2.6 Αιολική Ενέργεια:	27
<b>2. Η ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΤΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΑ</b>	<b>28</b>
<b>2.1 Δημιουργία των ανέμων</b>	<b>28</b>
<b>2.2 Ιστορική αναδρομή</b>	<b>28</b>
<b>2.3 Οι πρώτες ανεμογεννήτριες</b>	<b>29</b>
<b>2.4 Αιολικά πάρκα</b>	<b>35</b>
<b>2.5 Η αιολική ενέργεια στην Ελλάδα</b>	<b>36</b>
<b>2.5 Αρχή Λειτουργίας Ανεμογεννητριών</b>	<b>38</b>
2.5.1 Λειτουργικά χαρακτηριστικά Α/Γ	40
2.5.2 Τύποι ανεμογεννητριών	40
<b>3. ΥΠΕΡΑΚΤΙΕΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΚΑΙ ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ</b>	<b>43</b>
<b>3.1 Σύγκριση χερσαίων και υπεράκτιων κατασκευών</b>	<b>44</b>
<b>3.2 Κριτήρια Εγκατάστασης</b>	<b>45</b>
<b>3.3 Φορτία υπολογισμού</b>	<b>47</b>
3.3.1 Φορτία περιβάλλοντος	48
3.3.2 Φορτία κατασκευής	48
<b>3.2 Κατηγορίες κατασκευών στήριξης υπεράκτιων Α/Γ</b>	<b>49</b>
3.2.1 Κατασκευές σταθερής έδρασης	51
3.2.2 Πλωτές – αγκυρωμένες κατασκευές	58
<b>3.3 Πλωτές Α/Γ εδρασμένες σε κατασκευές τύπου TLP</b>	<b>63</b>
3.3.1 Εξέλιξη ανεμογεννητριών εδρασμένες σε πλωτές εξέδρες TLP.	64
3.3.2 Αντιπροσωπευτικές Κατασκευές TLP έως σήμερα	72
3.3.3 Συστήματα πρόσδεσης (mooring lines) TLP	79

<b>4. ΠΛΩΤΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΓΙΑ ΈΔΡΑΣΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ 5 MW. Η ΠΡΟΤΑΣΗ ΤΟΥ Ε.Μ.Π.</b>	<b>89</b>
<b>4.1 Περιγραφή πρότυπης ανεμογεννήτριας 5MW του NREL.</b>	<b>89</b>
<b>4.2 Επιλογή της γεωμετρίας της πλωτής κατασκευής</b>	<b>91</b>
<b>4.3 Ανάλυση της πλωτής κατασκευής</b>	<b>97</b>
4.3.1 Υδροδυναμική ανάλυση της κατασκευής	98
4.3.2 Δυνάμεις διέγερσης, πρόσθετες μάζες, υδροδυναμικές αποσβέσεις	104
4.3.3 Μέσες δυνάμεις και ροπές δεύτερης τάξης (drift forces and moments)	108
4.3.3 Δευτεροτάξια υδροδυναμική απόσβεση (Wave Drift Damping)	111
<b>4.4 Υδροδυναμικοί υπολογισμοί πλωτής κατασκευής για βάθος, 200m</b>	<b>113</b>
4.4.1 Δυνάμεις διέγερσης	115
4.4.2 Κινήσεις της κατασκευής	118
4.4.3 Δυνάμεις έκπτωσης	121
4.4.4 Υδροδυναμικές μάζες	122
4.4.5 Υδροδυναμική απόσβεση	125
4.4.6 Δευτεροτάξια υδροδυναμική απόσβεση	127
<b>4.5 Μοντέλο (ROM) Ανεμογεννήτριας</b>	<b>134</b>
<b>4.6 Συνδυασμένη ανάλυση</b>	<b>135</b>
<b>5. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΆ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ</b>	<b>137</b>
<b>5. 1 Ιδιοτιμές της κατασκευής</b>	<b>137</b>
<b>5.2 Απόκριση της κατασκευής στο πεδίο των Συχνοτήτων</b>	<b>137</b>
<b>5.3 Διαγράμματα αποτελεσμάτων</b>	<b>138</b>
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ</b>	<b>149</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΠΗΓΕΣ</b>	<b>151</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι</b>	<b>155</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ</b>	<b>156</b>

# 1. Εισαγωγή - Γενικά

## 1.1 Ενέργεια

Η ενέργεια αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο της ομαλής λειτουργίας και ευημερίας του σύγχρονου κόσμου. Η ενεργειακή απεξάρτηση των κοινωνιών αποτελεί το μεγαλύτερο στοίχημα του σύγχρονου πολιτισμού. Η αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού και η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας -από τα χρόνια της βιομηχανικής επανάστασης έως σήμερα- δημιουργεί συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες και καθιστά την βιώσιμη και αειφόρο λύση του “ενεργειακού” την απαραίτητη προϋπόθεση για την ευημερία των λαών, αλλά και προαπαιτήση για την λύση όλων των άλλων προβλημάτων του σύγχρονου κόσμου (σίτιση, ιατροφαρμακευτική περίθαλψη, κλπ).

Οι παραδοσιακές πηγές ενέργειας (μή ανανεώσιμες) έχει καταστεί σαφές ότι έχουν πλησιάσει πολύ κοντά στα όρια τους από άποψη επάρκειας με εξαίρεση ίσως την πυρηνική που όμως παρουσιάζει μεγάλα προβλήματα ασφάλειας σε πιθανή αστοχία. Παράλληλα δημιουργούν τεράστια προβλήματα μόλυνσης και ρύπανσης από τα στάδια που μεσολαβούν κατά την απαιτούμενη μεταποίηση (διύλιση, εξόρυξη), αλλά και κατά την χρήση τους (καυσαέρια).

Αντιθέτως οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εκτός από το ότι όπως προκύπτει και από τον ορισμό τους συνεχώς ανανεώνονται και αναπαράγονται, είναι επιπλέον καθαρές καθώς τα προκύπτοντα από την χρήση τους προϊόντα τόσο κατά την διαδικασία παραγωγής τους όσο και κατά την χρήση τους είναι ελάχιστα. Επιπλέον με τη τεχνολογική πρόοδο και την έρευνα επικεντρωμένη στην ανάπτυξη ολοένα και πιο αποδοτικών συστημάτων εκμετάλλευσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τα κόστη τους βαίνουν συνεχώς μειούμενα αντιθέτως με τα κόστη των μη ανανεώσιμων πηγών που λόγω της φύσης τους και της σταδιακής εξάντλησης τους το κόστος αυξάνεται.

Παρακάτω παρατίθενται οι βασικές κατηγορίες ενέργειας τόσο για τις μη ανανεώσιμες πηγές όσο και για τις ανανεώσιμες αντίστοιχα.

### 1.1.1 Μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας:

Αποτελούνται από τα διάφορα ορυκτά καύσιμα καθώς και από την πυρηνική ενέργεια:

- τα στερεά καύσιμα των γαιανθράκων, όπως ο λιγνίτης και ο ανθρακίτης
- τα υγρά καύσιμα που λαμβάνονται ως προϊόντα κατεργασίας των υδρογονανθράκων, όπως το πετρέλαιο και η βενζίνη
- τα αέρια καύσιμα, όπως το φυσικό αέριο και το υγραέριο
- η πυρηνική ενέργεια η οποία λαμβάνεται μετά την πυρηνική σχάση ή σύντηξη των ατομικών πυρήνων

### 1.1.2 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ):

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούν τεχνολογίες, οι οποίες αξιοποιούν διάφορα στοιχεία ή φαινόμενα του φυσικού περιβάλλοντος όπως:

Οι μορφές των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι:

- ο ήλιος - ηλιακή ενέργεια, με υποτομείς τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα, τα παθητικά ηλιακά συστήματα και το φωτοβολταϊκό φαινόμενο
- ο άνεμος - αιολική ενέργεια,
- οι υδατοπτώσεις - υδροηλεκτρική ενέργεια,
- η γεωθερμία - γεωθερμική ενέργεια: υψηλής και χαμηλής ενθαλπίας,
- η βιομάζα: θερμική ή χημική ενέργεια με την παραγωγή βιοκαυσίμων, τη χρήση υπολειμμάτων δασικών εκμεταλλεύσεων και την αξιοποίηση βιομηχανικών αγροτικών (φυτικών και ζωικών) και αστικών αποβλήτων,
- οι θάλασσες: ενέργεια κυμάτων, παλιρροϊκή ενέργεια και ενέργεια των ωκεανών από τη διαφορά θερμοκρασίας των νερών στην επιφάνεια και σε μεγάλο βάθος.



Μια από τις παρεμβάσεις του ανθρώπου, που δημιουργούν τεράστια προβλήματα για το φυσικό περιβάλλον, είναι οι αναγκαίες σήμερα μεγάλες ποσότητες ενέργειας, που απαιτούνται στη σύγχρονη κοινωνία, θέρμανση, ηλεκτρισμός, μεταφορές είναι αναγκαία σε κάθε νοικοκυριό, ενώ και η παραγωγή αγαθών βασίζεται σήμερα στην ενέργεια (βιομηχανία, βιοτεχνία, γεωργία, ορυκτός πλούτος).

Για να περιοριστεί η ρύπανση του φυσικού περιβάλλοντος από την παραγωγή ενέργειας, γίνονται πολλές προτάσεις, μια από τις οποίες είναι οι ΑΠΕ. Καταρχήν πρέπει να τονίσουμε ότι και οι ΑΠΕ έχουν κάποιες αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις είτε κατά την διάρκεια κατασκευής των συσκευών αξιοποίησης τους είτε κατά την λειτουργία τους, όμως σε πολύ μικρότερο βαθμό από την παραγωγή ενέργειας με καύσιμη πρώτη ύλη.

Το πιο σημαντικό πλεονέκτημα που έχουν οι ΑΠΕ έναντι των καυσίμων είναι ότι δεν έχουν ημερομηνία λήξης, αφού έχουν διαρκή ανανέωση και ως εκ τούτου συμβάλουν στο ζητούμενο-την αειφόρο ανάπτυξη. Η αξιοποίησή τους περιορίζεται μόνον από την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδεκτών τεχνολογιών που θα έχουν σαν σκοπό την δέσμευση του δυναμικού τους. Αντίθετα τα καύσιμα, που σήμερα καλύπτουν το μεγαλύτερο ποσοστό σε ενέργεια, έχουν περιορισμένα και άρα εξαντλήσιμα αποθέματα. π.χ. τα υγρά καύσιμα και το φυσικό αέριο προβλέπεται ότι θα εξαντληθούν τα επόμενα χρόνια ή θα απομείνουν μόνο εκείνα που η εξόρυξη τους θα είναι τεχνικά και οικονομικά πρακτικά αδύνατη. Το ενδιαφέρον για την ανάπτυξη των τεχνολογιών αυτών εμφανίσθηκε αρχικά μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση του 1974 και παγιώθηκε μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων σοβαρών περιβαλλοντικών προβλημάτων την τελευταία δεκαετία. Για πολλές χώρες, οι ΑΠΕ αποτελούν μια εγχώρια πηγή ενέργειας με ευνοϊκές προοπτικές συνεισφοράς στο ενεργειακό τους ισοζύγιο, συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από το ακριβό εισαγόμενο πετρέλαιο και στην ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού τους εφοδιασμού. Παράλληλα, συμβάλλουν στη βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος, καθώς έχει πλέον διαπιστωθεί ότι ο ενεργειακός τομέας είναι ο κλάδος που ευθύνεται κατά κύριο λόγο για τη ρύπανση του περιβάλλοντος.

### 1.1.2.1 Τα κύρια πλεονεκτήματα των ΑΠΕ:

- Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από τους συμβατικούς ενεργειακούς πόρους οι οποίοι με το πέρασμα του χρόνου εξαντλούνται.
- Είναι εντόπιες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε τοπικό αλλά και εθνικό επίπεδο.
- Είναι γεωγραφικά διεσπαρμένες και οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος. Έτσι, δίνετε η δυνατότητα να καλύπτονται οι ενεργειακές ανάγκες σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, ανακουφίζοντας τα συστήματα υποδομής ενώ παράλληλα μειώνονται οι απώλειες μεταφοράς ενέργειας.
- Δίνουν τη δυνατότητα επιλογής της κατάλληλης μορφής ενέργειας που είναι προσαρμοσμένη στις ανάγκες του χρήστη (π.χ. ηλιακή ενέργεια για θερμότητα χαμηλών θερμοκρασιών έως αιολική ενέργεια για ηλεκτροπαραγωγή), επιτυγχάνοντας πιο ορθολογική χρησιμοποίηση των ενεργειακών πόρων.
- Έχουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος, το οποίο επιπλέον δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων που ελέγχονται από ολιγοπώλια.
- Οι επενδύσεις των ΑΠΕ είναι εντάσεως εργασίας, δημιουργώντας πολλές θέσεις εργασίας ιδιαίτερα σε τοπικό επίπεδο.
- Μπορούν να αποτελέσουν σε πολλές περιπτώσεις πυρήνα για την αναζωογόνηση υποβαθμισμένων, οικονομικά και κοινωνικά, περιοχών και πόλο για την τοπική ανάπτυξη, με την προώθηση επενδύσεων που στηρίζονται στη συμβολή των ΑΠΕ (π.χ. καλλιέργειες θερμοκηπίου με γεωθερμική ενέργεια).
- Είναι φιλικές προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο και η αξιοποίησή τους είναι γενικά αποδεκτή από το κοινό.

Εκτός από τα παραπάνω πλεονεκτήματα οι ΑΠΕ παρουσιάζουν και ορισμένα χαρακτηριστικά που δυσχεραίνουν την αξιοποίηση και ταχεία ανάπτυξή τους:

- Το διεσπαρμένο δυναμικό τους είναι δύσκολο να συγκεντρωθεί σε μεγάλα μεγέθη ισχύος ώστε να μεταφερθεί και να αποθηκευτεί.

- Έχουν χαμηλή πυκνότητα ισχύος και ενέργειας και συνεπώς για μεγάλη παραγωγή απαιτούνται συχνά εκτεταμένες εγκαταστάσεις.
- Παρουσιάζουν συχνά διακυμάνσεις στη διαθεσιμότητά τους (πχ παραγωγή από φωτοβολταϊκά συστήματα το καλοκαίρι και το χειμώνα) που μπορεί να είναι μεγάλης διάρκειας απαιτώντας την εφεδρεία άλλων ενεργειακών πηγών (ή γενικά δαπανηρές μεθόδους αποθήκευσης). Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι η έρευνα στην τεχνολογία των συσσωρευτών ενέργειας (μπαταριών) έχει κάνει άλματα προόδου τα τελευταία χρόνια και είναι παράλληλα τεχνολογικά “στοιχήματα” για περαιτέρω εξάπλωση των ΑΠΕ.
- Η χαμηλή διαθεσιμότητά τους συνήθως οδηγεί σε χαμηλό συντελεστή χρησιμοποίησης των εγκαταστάσεων εκμετάλλευσής τους.
- Το κόστος επένδυσης ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος σε σύγκριση με τις σημερινές τιμές των συμβατικών καυσίμων παραμένει ακόμη υψηλό.<sup>[1][2]</sup>

Ο στόχος είναι η δημιουργία ενέργειας μέσα από φιλικές μεθόδους οι οποίες ρυπαίνουν ελάχιστα το περιβάλλον και συντελούν στην αειφόρο ανάπτυξη μιας περιοχής.

## 1.2 Τύποι ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

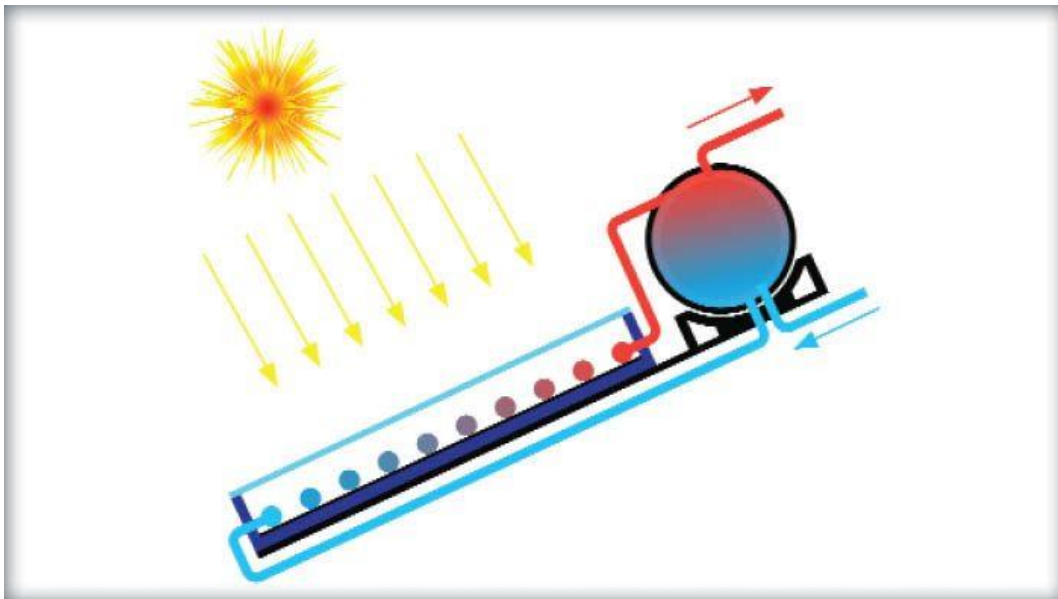
### 1.2.1 Ηλιακή ενέργεια:

Με τον όρο Ηλιακή Ενέργεια χαρακτηρίζουμε το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον Ήλιο. Το φως και η θερμότητα που ακτινοβολούνται, απορροφούνται από στοιχεία και ενώσεις στη Γη και μετατρέπονται σε άλλες μορφές ενέργειας. Η ακτινοβολία του ήλιου (ηλιακή ακτινοβολία) αποτελεί την κυριότερη πηγή ενέργειας για τη γη εδώ και πολλά χρόνια με ουσιαστική συμβολή στη δημιουργία των ορυκτών καυσίμων. Η ενέργεια του ήλιου, αποτελεί εδώ και πολλά χρόνια μια σημαντική πηγή ενέργειας, την οποία ο άνθρωπος χρησιμοποίησε είτε άμεσα, (ξήρανση τροφών, στέγνωμα κλπ.), είτε έμμεσα (μέσω της γεωργίας για την παραγωγή σιτηρών). Η τεχνολογία σήμερα αξιοποιεί ένα μηδαμινό ποσοστό της προσπίπτουσας στην επιφάνεια του πλανήτη μας ηλιακής ενέργειας με

τριών ειδών συστήματα: τα θερμικά ή ενεργητικά ηλιακά, τα παθητικά ηλιακά και τα φωτοβολταϊκά συστήματα.

### 1.2.1.1 Θερμικά Ηλιακά Συστήματα:

Η πιο απλή και διαδεδομένη μορφή των θερμικών ηλιακών συστημάτων είναι οι γνωστοί σε όλους μας ηλιακοί θερμοσίφωνες, οι οποίοι απορροφούν την ηλιακή ενέργεια και στη συνέχεια, τη μεταφέρουν με τη μορφή θερμότητας σε κάποιο ρευστό, όπως το νερό για παράδειγμα. Η απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας γίνεται μέσω ηλιακών συλλεκτών, σκουρόχρωμων δηλαδή επιφανειών με τον κατάλληλο προσανατολισμό στον ήλιο, οι οποίες βρίσκονται σε επαφή με νερό και του μεταδίδουν μέρος της θερμότητας που παρέλαβαν. Το παραγόμενο ζεστό νερό χρησιμοποιείται για απλή οικιακή ή πιο σύνθετη βιομηχανική χρήση, τελευταία δε ακόμη και για τη θέρμανση και ψύξη χώρων μέσω κατάλληλων διατάξεων.

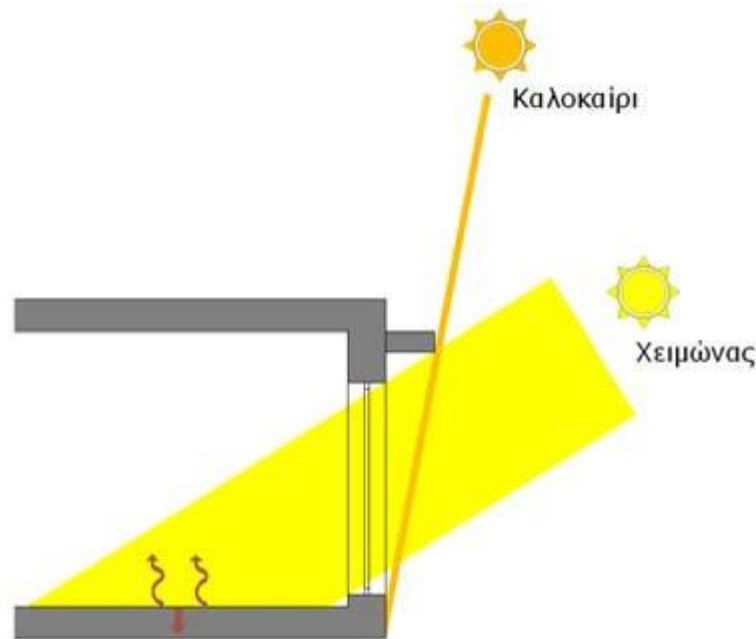


Εικόνα 1.1: Ηλιακός Θερμοσίφωνας

### 1.2.1.2 Παθητικά Ηλιακά Συστήματα:

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα αποτελούνται από δομικά στοιχεία, κατάλληλα σχεδιασμένα και συνδυασμένα μεταξύ

τους, ώστε να υποβοηθούν την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για τον φυσικό φωτισμό των κτιρίων ή για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας μέσα σε αυτά. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα αποτελούν την αρχή της Βιοκλιματικής Αρχιτεκτονικής και μπορούν να εφαρμοσθούν σε όλους σχεδόν τους τύπους κτιρίων.<sup>[3]</sup>



Εικόνα 1.2: Αρχή λειτουργίας σκίασης Βιοκλιματικής Αρχιτεκτονικής

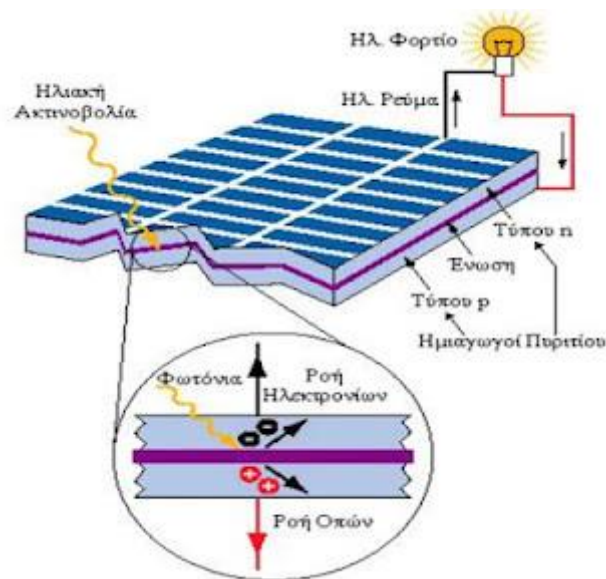
### 1.2.1.3 Φωτοβολταϊκά Συστήματα:

Πρόκειται για συστήματα που μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια και που, εδώ και πολλά χρόνια, χρησιμοποιούνται για την ηλεκτροδότηση μη διασυνδεδεμένων στο ηλεκτρικό δίκτυο καταναλώσεων. Δορυφόροι, φάροι και απομονωμένα σπίτια χρησιμοποιούν παραδοσιακά τα φωτοβολταϊκά για την ηλεκτροδότησή τους. Στην Ελλάδα, η προοπτική ανάπτυξης και εφαρμογής των Φ/Β συστημάτων είναι τεράστια, λόγω του ιδιαίτερα υψηλού δυναμικού ηλιακής ενέργειας-ενώ έτυχε και ευνοϊκής αντιμετώπισης από το κράτος με πολλές διευκολύνσεις προς τους υποψήφιους επενδυτές. Η ηλεκτροπαραγωγή από φωτοβολταϊκά έχει ένα μεγάλο πλεονέκτημα: αποδίδει την μέγιστη ισχύ της κατά τη διάρκεια της ημέρας που παρουσιάζεται η μέγιστη ζήτηση, μειώνοντας έτσι την ανάγκη για

απομακρυσμένη διανομή ή αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας.

Ανάλογα με τη χρήση του παραγόμενου ρεύματος, τα Φ/Β κατατάσσονται σε:

1. Αυτόνομα συστήματα, η παραγόμενη ενέργεια των οποίων καταναλώνεται επιτόπου και εξολοκλήρου από την παραγωγή στην κατανάλωση
2. Διασυνδεδεμένα συστήματα, η παραγόμενη ενέργεια των οποίων διοχετεύεται στο ηλεκτρικό δίκτυο για να μεταφερθεί και να καταναλωθεί αλλού.<sup>[2]</sup>



Εικόνα 1.3: Αρχή λειτουργίας ηλιακού συσσωρευτή (φωτοβολταϊκού)

### 1.2.2 Υδροηλεκτρική ενέργεια:

Η Υδροηλεκτρική Ενέργεια (Υ/Ε) είναι η ενέργεια η οποία στηρίζεται στην εκμετάλλευση και τη μετατροπή της δυναμικής ενέργειας του νερού των λιμνών και της κινητικής ενέργειας του νερού των ποταμών σε ηλεκτρική ενέργεια. Η μετατροπή αυτή γίνεται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, μέσω της πτερωτής του στροβίλου, έχουμε την μετατροπή της κινητικής ενέργειας του νερού σε μηχανική ενέργεια με την μορφή περιστροφής του άξονα της πτερωτής και στο δεύτερο στάδιο, μέσω της γεννήτριας, επιτυγχάνουμε τη μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική.<sup>[7]</sup>

Η υδροηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από το νερό που βρίσκεται σε κίνηση. Στον υδρολογικό κύκλο, το νερό της ατμόσφαιρας φθάνει στην επιφάνεια της γης ως βροχόπτωση. Ένα μέρος από αυτό το νερό εξατμίζεται, αλλά το μεγαλύτερο μέρος του είτε διηθείται στο έδαφος είτε γίνεται επιφανειακή απορροή. Το νερό από τη βροχή και το χιόνι που λιώνει φθάνει τελικά σε λίμνες, σε ταμιευτήρες ή στη θάλασσα, όπου η εξάτμισή του είναι συνεχής. Η υγρασία που διαχέεται στο έδαφος μπορεί να μετατραπεί σε υπόγειο νερό, μέρος του οποίου εισέρχεται επίσης στα υδατικά συστήματα μέσω πηγών ή υπογείων ρευμάτων. Το υπόγειο νερό μπορεί να κινηθεί προς τα επάνω μέσω του εδάφους κατά την διάρκεια ξηρών περιόδων και μπορεί να επιστρέψει στην ατμόσφαιρα μέσω της εξάτμισης. Οι υδρατμοί περνούν στην ατμόσφαιρα μέσω της εξάτμισης, κυκλοφορούν, συμπυκνώνονται στα σύννεφα, και ένα μέρος επιστρέφει στη γη ως βροχή. Έτσι, κλείνει ο κύκλος του νερού. Η φύση εξασφαλίζει ότι το νερό είναι μία ανανεώσιμη πηγή.<sup>[4]</sup>



Εικόνα 1.4: Κύκλος νερού

Από την εποχή της αρχαίας Αιγύπτου, οι άνθρωποι έχουν χρησιμοποιήσει την ενέργεια σε ρέοντα ύδατα για τη λειτουργία μηχανημάτων και άλεσμα σιτηρών και καλαμποκιού (νερόμυλοι).

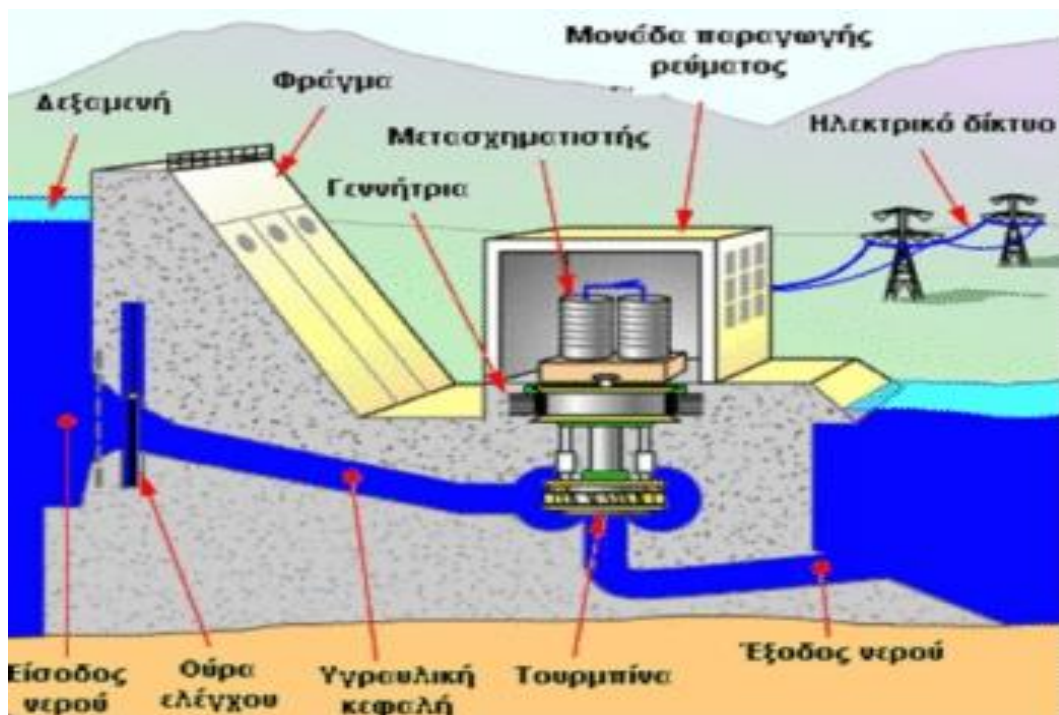


Εικόνα 1.5: Νερόμυλος (www.monumenta.org)

Ωστόσο, η υδροηλεκτρική ενέργεια έχει τη μεγαλύτερη επιρροή στις ζωές ανθρώπων κατά τη διάρκεια του 20ου αιώνα από ό, τι σε οποιαδήποτε άλλη στιγμή στην ιστορία. Η υδροηλεκτρική ενέργεια έπαιξε σημαντικό ρόλο στην υλοποίηση των θαυμάτων της ηλεκτρικής ενέργειας και βοήθησε στην ώθηση της βιομηχανικής ανάπτυξης. Υδροηλεκτρική ενέργεια συνεχίζει να παράγει 24% της παγκόσμιας ηλεκτρικής ενέργειας. Ο πρώτος υδροηλεκτρικός σταθμός χτίστηκε το 1882 στο Appleton, Wisconsin και παρήγαγε 12,5kw, και παρείχε φως σε δύο χαρτοβιομηχανίες και ένα σπίτι. Υδροηλεκτρικά εργοστάσια ποικίλουν σε μέγεθος από αρκετές εκατοντάδες κιλοβάτ σε αρκετές εκατοντάδες MW, αλλά μερικοί υδροηλεκτρικοί σταθμοί έχουν ικανότητες μέχρι και 10.000MW, και παρέχουν ηλεκτρισμό σε εκατομμύρια ανθρώπους. Σε παγκόσμιο επίπεδο, υδροηλεκτρικά εργοστάσια έχουν χωρητικότητα 675.000 μεγαβάτ ετησίως και παράγουν πάνω από 2,3 τρισεκατομμύρια-κιλοβατώρες ηλεκτρικής ενέργειας, ισοδύναμη ενέργεια με 3,6 δισ. βαρέλια πετρελαίου.



Η λειτουργία των υδροηλεκτρικών μονάδων βασίζεται στην κίνηση του νερού λόγω διαφοράς μανομετρικού ύψους μεταξύ των σημείων εισόδου και εξόδου. Για το σκοπό αυτό κατασκευάζεται ένα φράγμα που συγκρατεί την απαιτούμενη ποσότητα νερού στον δημιουργούμενο ταμιευτήρα. Κατά τη διέλευσή του από τον αγωγό πτώσεως κινεί έναν στρόβιλο ο οποίος θέτει σε λειτουργία τη γεννήτρια. Μία τουρμπίνα που είναι εγκατεστημένη σε μεγάλη μονάδα μπορεί να ζυγίζει μέχρι 172 τόνους και να περιστρέφεται με 90rpm. Η ποσότητα του ηλεκτρισμού που παράγεται καθορίζεται από αρκετούς παράγοντες. Δύο από τους σημαντικότερους είναι ο όγκος του νερού που ρέει και η διαφορά μανομετρικού ύψους μεταξύ της ελεύθερης επιφάνειας του ταμιευτήρα και του στροβίλου. Η ποσότητα ηλεκτρισμού που παράγεται είναι ανάλογη των δύο αυτών μεγεθών. Συνεπώς, ο παραγόμενος ηλεκτρισμός εξαρτάται από την ποσότητα του νερού του ταμιευτήρα. Για το λόγο αυτόν μόνο σε περιοχές με σημαντικές βροχοπτώσεις, πλούσιες πηγές και κατάλληλη γεωλογική διαμόρφωση είναι δυνατόν να κατασκευαστούν υδροηλεκτρικά έργα. Συνήθως η ενέργεια που τελικώς παράγεται, χρησιμοποιείται μόνο συμπληρωματικά ως προς άλλες συμβατικές πηγές ενέργειας, καλύπτοντας φορτία αιχμής.



Εικόνα 1.6: Αρχή λειτουργίας μονάδας παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας

Τα υδροηλεκτρικά έργα ταξινομούνται σε μεγάλης και μικρής κλίμακας. Τα μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά έργα διαφέρουν σημαντικά από της μεγάλης κλίμακας σε ότι αφορά τις επιπτώσεις τους στο περιβάλλον. Οι μεγάλης κλίμακας υδροηλεκτρικές μονάδες απαιτούν τη δημιουργία φραγμάτων και τεράστιων δεξαμενών με σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η κατασκευή φραγμάτων περιορίζει τη μετακίνηση των ψαριών, της άγριας ζωής και επηρεάζει ολόκληρο το οικοσύστημα καθώς μεταβάλλει ριζικά τη μορφολογία της περιοχής. Αντίθετα, τα μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά εγκαθίστανται δίπλα σε ποτάμια ή κανάλια και η λειτουργία τους παρουσιάζει πολύ μικρότερη περιβαλλοντική όχληση. Στη χώρα μας η υδροηλεκτρική ενέργεια ικανοποιεί περίπου το 9% των ενεργειακών μας αναγκών σε ηλεκτρισμό. <sup>[8][9][10]</sup>



Εικόνα 1.7: Φράγμα και υδροηλεκτρικός σταθμός Κρεμαστών.

### 1.2.3 Γεωθερμία:

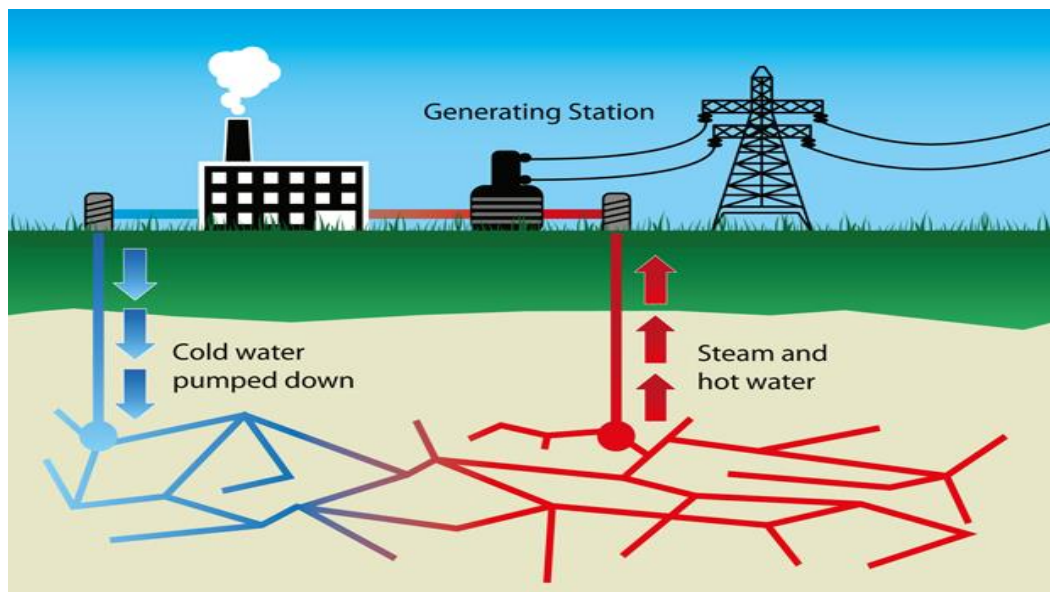
Ως γεωθερμική ενέργεια χαρακτηρίζεται η ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης, μεταφέρεται στην επιφάνεια με αγωγή θερμότητας και με την είσοδο στο φλοιό της γης λειωμένου μάγματος από τα βαθύτερα στρώματά της, και γίνεται αντιληπτή με τη μορφή θερμού νερού ή ατμού. Είναι μία καθαρή, ανανεώσιμη πηγή ενέργειας

επειδή η θερμότητα που προέρχεται από το εσωτερικό της Γης είναι πρακτικά απεριόριστη.<sup>[11]</sup>

Η πηγή της γεωθερμικής ενέργειας, η θερμότητα της Γης, είναι διαθέσιμη 24 ώρες την ημέρα, 365 ημέρες το χρόνο. Αντιθέτως, η ηλιακή και η αιολική ενέργεια εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων των ημερησίων και εποχιακών διακυμάνσεων και των εναλλαγών του καιρού. Γι' αυτούς τους λόγους, η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται με την χρήση γεωθερμικής ενέργειας είναι σταθερά πιο αξιόπιστη, από τη στιγμή που επιλεγεί η αξιοποίηση της, από πολλές άλλες μορφές ηλεκτρικής ενέργειας. Η θερμότητα που ρέει συνεχώς από το εσωτερικό της Γης υπολογίζεται ότι αντιστοιχεί σε 42 εκατομμύρια μεγαβάτ ηλεκτρικής ενέργειας. Σημειώνεται ότι ένα μεγαβάτ μπορεί να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες περίπου 1.000 σπιτιών.

Η κύρια κατάταξη των γεωθερμικών πεδίων γίνεται με βάση τη θερμοκρασία τους. Πεδία χαμηλής ή μέσης θερμοκρασίας (50– 150°C) αξιοποιούνται στη μεταφορά θερμότητας σε οικισμούς, θερμοκήπια, αλλά και μικρές βιομηχανικές μονάδες. Πεδία υψηλής θερμοκρασίας (άνω των 150°C) είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή ηλεκτρισμού. Οι γεωθερμικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος είναι ιδιαίτερα οικονομικές και η λειτουργία τους έχει μικρή περιβαλλοντική επίδραση. Παράγουν μόνο το 1/6 του CO<sub>2</sub> από ό,τι θα παρήγαγε μια μονάδα ίσης δυναμικότητας που λειτουργεί με φυσικό αέριο. <sup>[6][11]</sup>

Γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας ικανά για την παραγωγή ηλεκτρισμού στην χώρα μας (υπολογιζόμενης δυναμικότητας πάνω από τα 25 MW) υπάρχουν σε αρκετές περιοχές και κυρίως στα νησιά της Μήλου και της Νισύρου. Μέχρι σήμερα η εφαρμογή της γεωθερμίας στον Ελλαδικό χώρο περιορίζονται σε εφαρμογές άμεσης χρήσης (θέρμανση θερμοκηπίων και κατοικιών).



Εικόνα 1.8: Σύστημα εκμετάλλευσης γεωθερμίας

#### 1.2.4 Βιομάζα:

Ως βιομάζα ορίζεται η ύλη που έχει βιολογική (οργανική) προέλευση. Πρακτικά περιλαμβάνεται σε αυτήν οποιοδήποτε υλικό προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από τον φυτικό κόσμο. Πιο συγκεκριμένα, με τον όρο βιομάζα εννοούμε τα φυτικά και δασικά υπολείμματα (καυσόξυλα, κλαδοδέματα, άχυρα, πριονίδια, ελαιοπυρήνες, κουκούτσια), τα ζωικά απόβλητα (κοπριά, άχρηστα αλιεύματα), τα φυτά που καλλιεργούνται στις ενεργειακές φυτείες για να χρησιμοποιηθούν ως πηγή ενέργειας, καθώς επίσης και τα αστικά απορρίμματα και τα υπολείμματα της βιομηχανίας τροφίμων, της αγροτικής βιομηχανίας και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των αστικών απορριμμάτων.<sup>[12]</sup>

Ειδικότερα, η βιομάζα για ενεργειακούς σκοπούς, περιλαμβάνει κάθε τύπο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή στερεών, υγρών και / ή αέριων καυσίμων. Στην πράξη υπάρχουν δύο τύποι βιομάζας. Πρώτον, οι υπολειμματικές μορφές (τα κάθε είδους φυτικά υπολείμματα και ζωικά απόβλητα και τα απορρίμματα) και δεύτερον η βιομάζα που παράγεται από ενεργειακές καλλιέργειες.

#### 1.2.4.1 Υπολειμματικές μορφές:

- Βιομάζα γεωργικής προέλευσης: Η γεωργική βιομάζα που θα μπορούσε να αξιοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας διακρίνεται στη βιομάζα των υπολειμμάτων των γεωργικών καλλιεργειών (στελέχη, κλαδιά, φύλλα, άχυρο, κλαδοδέματα κ.λπ.) και στη βιομάζα των υπολειμμάτων επεξεργασίας γεωργικών προϊόντων (υπολείμματα εκκοκκισμού βαμβακιού, πυρηνόξυλο, πυρήνες φρούτων κ.λπ.).
- Βιομάζα ζωικής προέλευσης: Το διαθέσιμο δυναμικό βιομάζας ζωικής προέλευσης, περιλαμβάνει κυρίως απόβλητα εντατικής κτηνοτροφίας από πτηνοτροφεία, χοιροστάσια, βουστάσια και σφαγεία.
- Βιομάζα δασικής προέλευσης: Η βιομάζα δασικής προέλευσης που αξιοποιείται ή μπορεί να αξιοποιηθεί για ενεργειακούς σκοπούς συνίσταται στα καυσόξυλα, στα υπολείμματα καλλιέργειας των δασών (αραιώσεων, υλοτομιών), στα προϊόντα καθαρισμών για την προστασία τους από πυρκαγιές καθώς και στα υπολείμματα επεξεργασίας του ξύλου.
- Αστικά απόβλητα: Το οργανικό τμήμα των αστικών αποβλήτων. Προϋποθέτει τον διαχωρισμό των αστικών αποβλήτων-ιδανικά στην πηγή τους-ενώ παράλληλα δημιουργεί τις προϋποθέσεις για ανακύκλωση των μη οργανικών αποβλήτων με τα γνωστά ευεργετικά αποτελέσματα για το περιβάλλον.

#### 1.2.4.2 Ενεργειακές καλλιέργειες:

Οι ενεργειακές καλλιέργειες είναι παραδοσιακές καλλιέργειες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων (όπως θα εξηγήσουμε παρακάτω) είτε φυτά που δεν καλλιεργούνται, προς το παρόν, εμπορικά όπως ο μίσχανθος, η αγριαγκινάρα και το καλάμι που το τελικό προϊόν τους προορίζεται για την παραγωγή ενέργειας και βιοκαυσίμων. Οι ενεργειακές καλλιέργειες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες οι οποίες είναι:

- Ετήσιες: σακχαρούχο ή γλυκό σόργο (*Sorghumbicolor* L. Moench), ινώδες σόργο (*Sorghumbicolor* L. Moench), κενάφ

(*Hibiscuscannabinus* L.), ελαιοκράμβη (*Brassicnapus* L.),  
βρασσυκή η αιθίοπια (*Brassicacarinata* L. Braun)



Εικόνα 1.9: Καλλιέργεια Ελαιοκράμβης

- Πολυετείς:
- Γεωργικές: Αγριαγκινάρα (*Cynaracardunculus*), καλάμι (*Arundodonax* L.), μίσχανθος (*Miscanthusxgiganteus*), switchgrass (*Panicumvirgatum*)
- Δασικές: Ευκάλυπτος (*Eucalyptuscamaldulensis* Dehnh. & E. *Globulus* Labill.), ψευδακακία (*Robiniapseudoacacia*).

Τα πιο συνηθισμένα υγρά βιοκαύσιμα του εμπορίου είναι το βιοντίζελ ο οποίος παράγεται κυρίως από ελαιούχους σπόρους (ηλίανθος, ελαιοκράμβη, κ.ά.) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε μόνο του ή σε μίγμα με πετρέλαιο κίνησης σε πετρελαιοκινητήρες λόγω της παραπλήσιας χημικής του σύστασης με το ορυκτό ντίζελ και η βιοαιθανόλη η οποία παράγεται από σακχαρούχα, κυτταρινούχα κι αμυλούχα φυτά (σιτάρι, καλαμπόκι, σόργο, τεύτλα, κ.ά.) και χρησιμοποιείται είτε ως έχει σε βενζινοκινητήρες που έχουν υποστεί μετατροπή, είτε σε μίγμα με βενζίνη σε κανονικούς βενζινοκινητήρες, είτε για να μετατραπεί σε ETBE (πρόσθετο βενζίνης).<sup>161</sup>

### 1.2.5 Ενέργεια από τη θάλασσα:

Η θάλασσα έχει θεωρηθεί από καιρό ως πηγή ενέργειας. κατά τον Μεσαίωνα (1200-1500) οι αγρότες παγίδευαν το θαλάσσιο νερό στις λίμνες μύλων, για να το χρησιμοποιήσουν στους υδρόμυλους δύναμης. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων πενήντα ετών, οι μηχανικοί έχουν αρχίσει να εξετάζουν την παλιρροιακή δύναμη και τη δύναμη των κυμάτων σε μια μεγαλύτερη, βιομηχανική κλίμακα. Οι μορφές θαλάσσιας ενέργειας είναι πολλές και οι ποσότητες ενέργειας οι οποίες μπορούν να αξιοποιηθούν τεράστιες. Η θαλάσσια επιφάνεια απορροφά τεράστιες ποσότητες ηλιακής και αιολικής ενέργειας, η οποία εμφανίζεται στη θάλασσα σε διάφορες μορφές, όπως κύματα ή ρεύματα. Επιπλέον, διάφορες άλλες πηγές ενέργειας στο θαλάσσιο περιβάλλον είναι το φαινόμενο της παλίρροιας και το θερμικό δυναμικό μεταξύ των ανώτερων (θερμότερων) και των κατώτερων (ψυχρότερων) θαλάσσιων στρωμάτων.<sup>[13][14]</sup>

#### 1.2.5.1 Κυματική ενέργεια:

Η ενέργεια του θαλάσσιου κυματισμού είναι, όπως όλες οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ανεξάντλητη. Υπολογίζεται ότι η αξιοποίηση του 1% του κυματικού δυναμικού του πλανήτη μας θα κάλυπτε στο τετραπλάσιο την παγκόσμια ενεργειακή ζήτηση. Μεταξύ των διάφορων μορφών κυματισμού, τα ανεμογενή κύματα, που δημιουργούνται από την αλληλεπίδραση του ανέμου με τη θαλάσσια επιφάνεια, παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον για ενεργειακή εκμετάλλευση. Η παραγωγή ενέργειας από τα κύματα συγκεντρώνει τα πλεονεκτήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και επιπλέον σε αντίθεση με άλλες ανανεώσιμες, οι εγκαταστάσεις κυματικής ενέργειας δεν δεσμεύουν γη, ενώ η οπτική και ακουστική όχληση είναι μηδαμινή. Οι τεχνολογίες που αναφέρονται πιο κάτω μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ηλεκτροδότηση παράκτιων περιοχών, νησιών:

- Παλλόμενη στήλη ύδατος: πρόκειται για έναν θάλαμο αέρα, βυθισμένο κατακόρυφα στο μισό μήκος του περίπου, ανοικτό προς την πλευρά του πυθμένα. Η παλινδρομική κίνηση της θαλάσσιας επιφάνειας προκαλεί ρυθμική συμπίεση - αποσυμπίεση της αέριας μάζας μέσα στον θάλαμο, η οποία χρησιμοποιείται για την κίνηση αεροστρόβιλου
- Πλωτήρες: αγκυρωμένοι στον θαλάσσιο πυθμένα, οι οποίοι ακολουθούν την κατακόρυφη κίνηση της θαλάσσιας επιφάνειας. Η παλινδρομική κίνηση του πλωτήρα

μετατρέπεται μέσω μηχανικών ή υδραυλικών συστημάτων σε περιστροφική για την κίνηση ηλεκτρογεννήτριας.

- Πλωτές δεξαμενές: οι οποίες περισυλλέγουν το νερό των κυμάτων σε στάθμη υψηλότερη από τη μέση στάθμη της θαλάσσιας επιφάνειας. Η διαφορά στάθμης χρησιμοποιείται για την κίνηση ενός ή περισσότερων υδροστροβίλων.
- Πλωτά αρθρωτά συστήματα: τα οποία στις αρθρώσεις φέρουν αντλίες. Με τις κινήσεις του κυματισμού οι αντλίες συμπιέζουν υδραυλικό υγρό και δίνουν κίνηση σε υδραυλικούς κινητήρες.



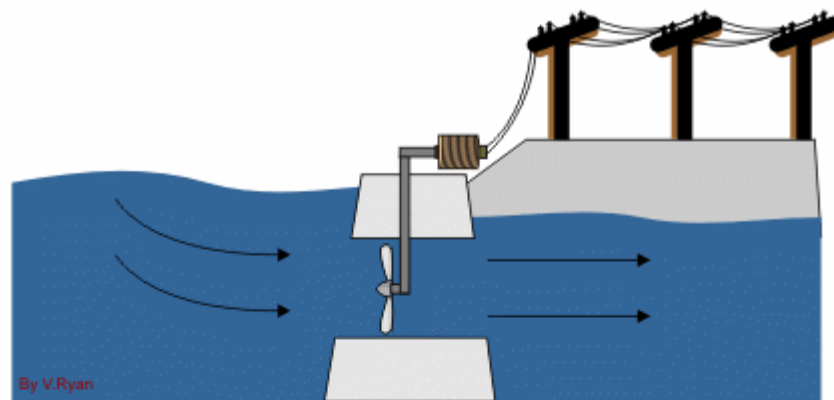
Εικόνα 1.10: Συσκευές εκμετάλλευσης ενέργειας κυμάτων

#### 1.2.5.2 Παλιρροιακή ενέργεια:

Οι τεχνολογίες παλιρροιακής ενέργειας αξιοποιούν την αυξομείωση της θαλάσσιας στάθμης κατά την παλίρροια. Οι αυξομειώσεις της θαλάσσιας στάθμης κατά την παλίρροια είναι συνυφασμένες με «παλιρροιακά ρεύματα», οριζόντιες μετατοπίσεις θαλάσσιας μάζας, οι οποίες έχουν περίπου την ίδια περιοδικότητα. Τα ρεύματα είναι ισχυρά, και θεωρούνται ιδιαίτερα κατάλληλα για ενεργειακή αξιοποίηση, επειδή εμφανίζονται σε σχετικά μικρά βάθη. Η εκμετάλλευση της δυναμικής ενέργειας της παλίρροιας γίνεται με την κατασκευή ενός φράγματος στην είσοδο ενός κόλπου ή θαλάσσιου διαύλου, δημιουργώντας έτσι μία φυσική δεξαμενή. Κατά την άνοδο της παλίρροιας το νερό εισέρχεται στη φυσική αυτή δεξαμενή μέσα από υδατοφράκτες, οι οποίοι κλείνουν όταν η παλίρροια φτάσει στο ζενίθ. Οι υδατοφράκτες ανοίγουν πάλι στο ναδίρ της παλίρροιας,

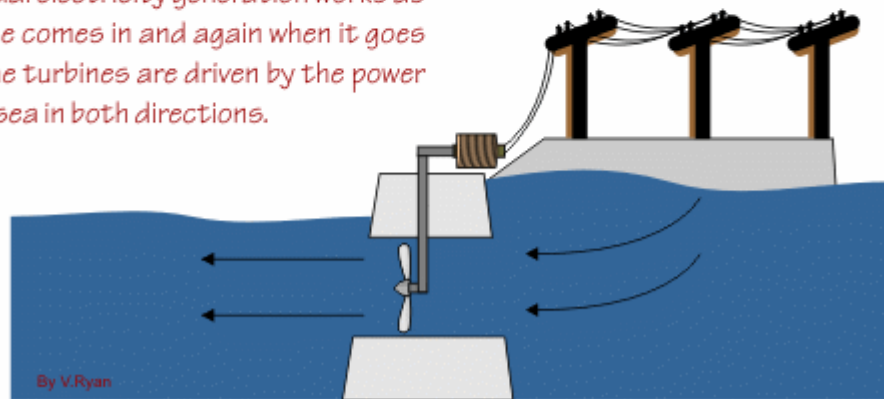


επιτρέποντας την έξοδο του νερού διά μέσου υδροστροβίλων. Οι τεχνολογίες εκμετάλλευσης τους είναι παρόμοιες προς αυτές της αιολικής ενέργειας, χρησιμοποιούν δηλαδή στροβίλους οριζόντιου ή κατακόρυφου άξονα, πλωτούς ή πακτωμένους στον θαλάσσιο πυθμένα. Λόγω της πολύ μεγαλύτερης πυκνότητας του ύδατος, το μέγεθος ενός στροβίλου παλιρροιακού ρεύματος είναι πολύ μικρότερο, περίπου το 1/4, από αυτό μίας ανεμογεννήτριας της ίδιας ηλεκτρικής ισχύος. Επιπλέον, η οπτική και ακουστική όχληση από στροβίλους παλιρροιακών ρευμάτων είναι μηδαμινή.



TIDE COMING IN

*This tidal electricity generation works as the tide comes in and again when it goes out. The turbines are driven by the power of the sea in both directions.*



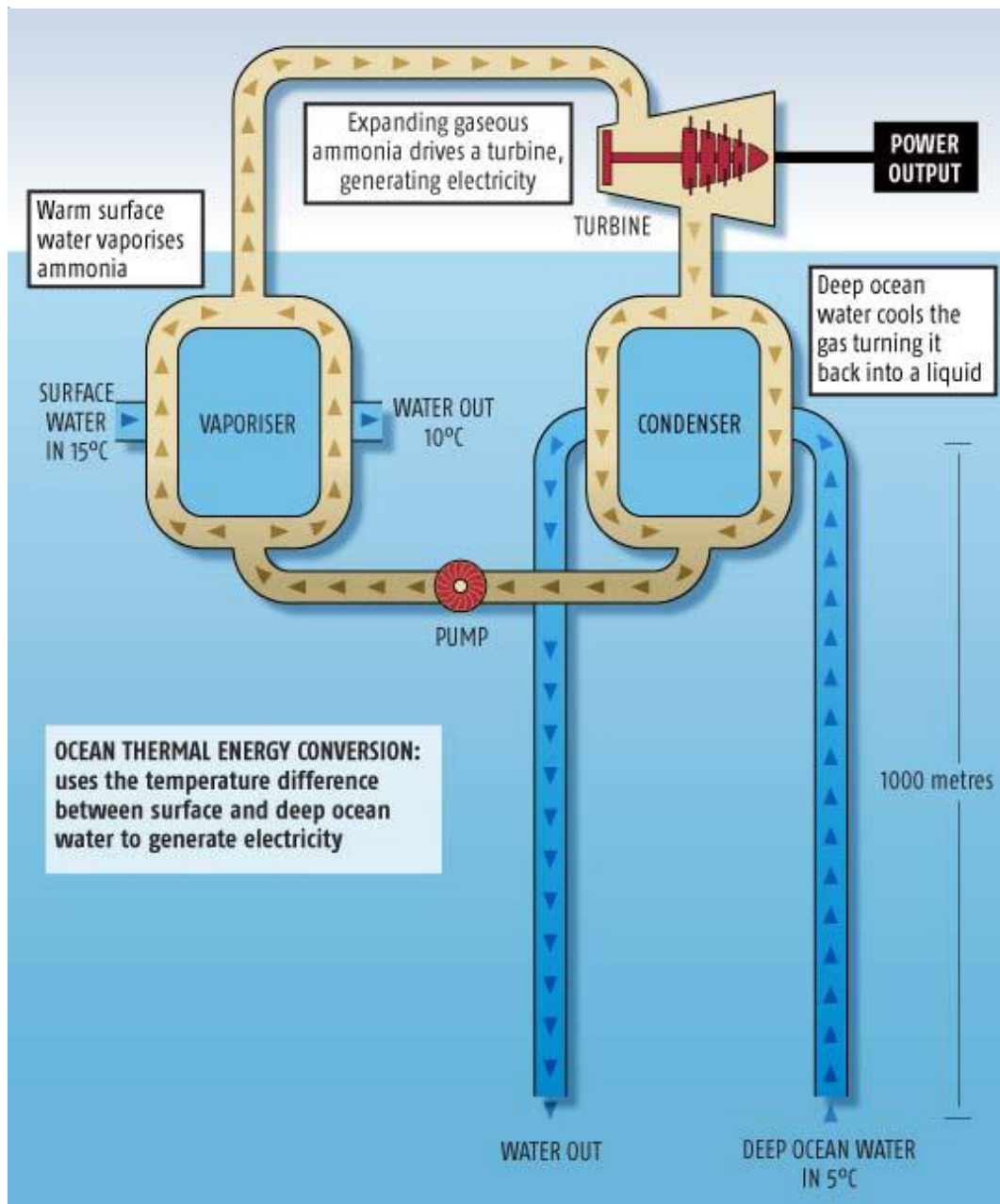
TIDE GOING OUT

Εικόνα 1.11: Διάταξη εκμετάλλευσης παλιρροιακής ενέργειας

### 1.2.5.3 Θερμοκρασιακές διαφορές νερού θάλασσας:

1. Η θερμική ενέργεια των ωκεανών μπορεί επίσης να αξιοποιηθεί με την εκμετάλλευση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του θερμότερου επιφανειακού νερού και του ψυχρότερου του πυθμένα. Η τεχνολογία μετατροπής της ωκεάνειας θερμικής ενέργειας, χρησιμοποιεί σε πρώτη

φάση το θερμό νερό για να ζεστάνει σε ειδικό θάλαμο μια ποσότητα υγρού που έχει χαμηλό σημείο βρασμού, όπως η αμμωνία ή ένα μείγμα αμμωνίας και νερού. Όταν το μείγμα αυτό βράσει, το αέριο που απελευθερώνεται δημιουργεί αρκετή πίεση ώστε να οδηγήσει έναν αεριοστρόβιλο ο οποίος παράγει την ενέργεια. Στη συνέχεια το αέριο αυτό παγώνει καθώς διέρχεται μέσα από το ψυχρό νερό του πυθμένα του ωκεανού.<sup>[15]</sup>



Εικόνα 1.12: Διάταξη εκμετάλλευσης θερμικής ενέργειας των ωκεανών

### **1.2.6 Αιολική Ενέργεια:**

Η αιολική ενέργεια αποτελεί την κινητήρια δύναμη των ανεμογεννητριών και για αυτό θα εξετασθεί περαιτέρω.

## 2. Η Εκμετάλλευση της Αιολικής Ενέργειας Διαχρονικά

### 2.1 Δημιουργία των ανέμων

Τα πεδία ανέμου στην ατμόσφαιρα που κινούνται κυκλικά γύρω από τη γη δημιουργούνται λόγω της ανομοιομορφής θέρμανσης της επιφάνειας της γης από τον ήλιο (με τους πόλους να δέχονται λιγότερη ηλιακή ενέργεια από τον ισημερινό) και λόγω της περιστροφικής κίνησης του πλανήτη. Ο θερμός αέρας έχει μικρότερη πυκνότητα και είναι ελαφρύτερος από τον ψυχρό. Ο αέρας στις θερμές περιοχές κινείται προς τα επάνω και στη θέση του εισρέουν ψυχρότερες, και άρα και πυκνότερες αέριες μάζες, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ανέμου.

Λόγω του ότι η στεριά και το νερό έχουν διαφορετικές θερμοχωρητικότητες (το νερό έχει μεγαλύτερη), απορροφούν τη θερμότητα του ήλιου σε διαφορετικό βαθμό. Ο αέρας της στεριάς θερμαίνεται και ψύχεται ταχύτερα απ' ό,τι ο αέρας που βρίσκεται πάνω από το νερό. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, ο αέρας πάνω από την ξηρά διαστέλλεται, αρχίζει να κινείται προς τα επάνω και αντικαθίσταται από τον ψυχρότερο αέρα της θάλασσας, δημιουργώντας έτσι τις θαλάσσιες αύρες στις ακτές. Κατά τη διάρκεια της νύχτας, η κίνηση των ανέμων αντιστρέφεται. <sup>[17]</sup>

### 2.2 Ιστορική αναδρομή

Η αιολική ενέργεια μια από τις παλαιότερα χρησιμοποιούμενες μορφές φυσικής ενέργειας, αξιοποιήθηκε από πολύ νωρίς για την παραγωγή μηχανικού έργου και έπαιξε αποφασιστικό ρόλο στην εξέλιξη της ανθρωπότητας. Η σημασία της ενέργειας του ανέμου φαίνεται στην Ελληνική μυθολογία όπου ο Αίολος διορίζεται από τους Θεούς του Ολύμπου ως «Ταμίας των ανέμων». Ο άνθρωπος πρωτοχρησιμοποίησε την αιολική ενέργεια στα ιστιοφόρα πλοία, γεγονός που συνέβαλε αποφασιστικά στην ανάπτυξη της ναυτιλίας, του εμπορίου και κατ' επέκταση στην εξάπλωση του πολιτισμού. Μια άλλη -αρχαία- εφαρμογή της αιολικής ενέργειας είναι οι ανεμόμυλοι.

Μαζί με τους νερόμυλους συγκαταλέγονται στους αρχικούς κινητήρες που αντικατέστησαν τους μυς των ζώων ως πηγές ενέργειας. Ανεμόμυλοι πρωτοχρησιμοποιήθηκαν στην Περσία γύρω στο 700 π.Χ. Ενώ υπάρχουν ενδείξεις για ακόμη αρχαιότερες πρακτικές εφαρμογές τους στην Κίνα. Στην Ευρώπη πρώτη φορά συναντιώνται γύρω στο 1000 μ.Χ. και από τότε η παρουσία τους είναι σταθερή και συνεχώς επεκτεινόμενη. <sup>[16]</sup>

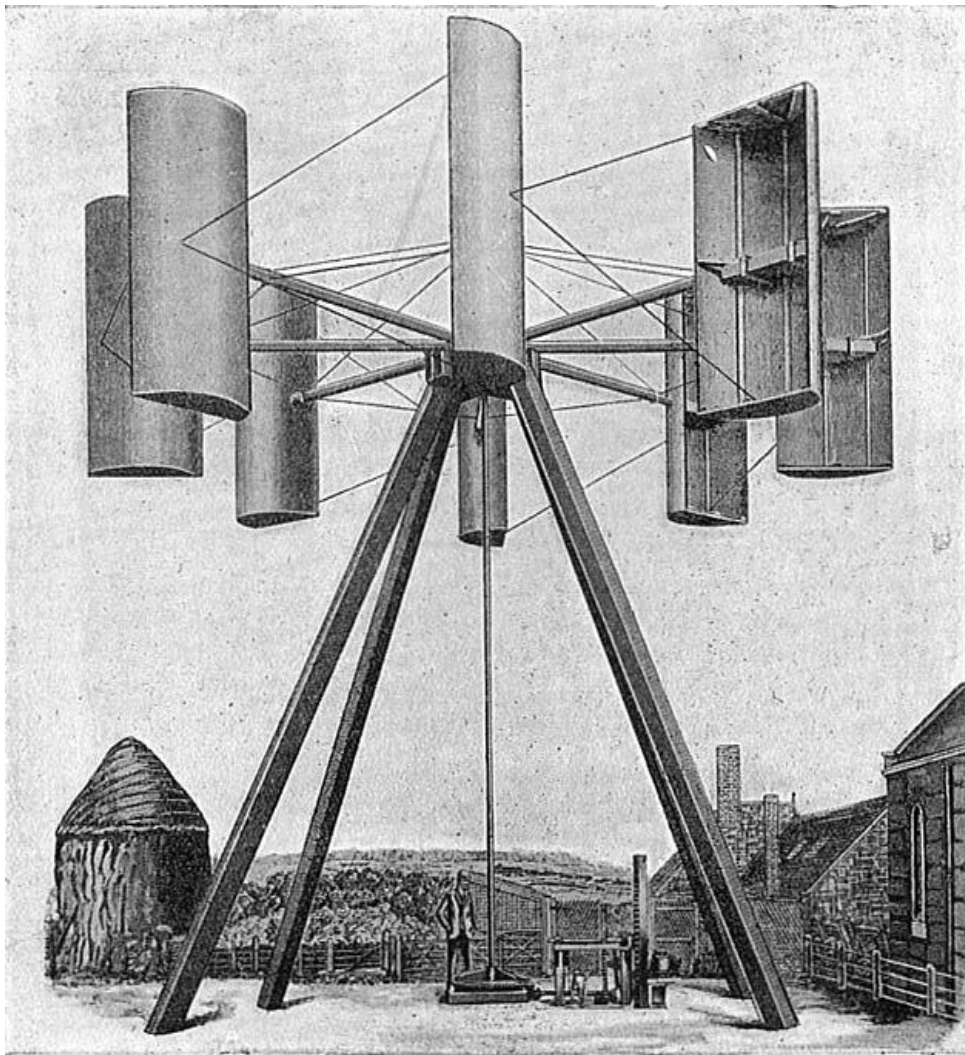


Εικόνα 2.1: Ανεμόμυλος σε Ελληνικό νησί

### 2.3 Οι πρώτες ανεμογεννήτριες

Ο πρώτος ανεμόμυλος που παρήγαγε ηλεκτρικό ρεύμα κατασκευάστηκε από τον σκωτσέζο καθηγητή James Blyth. Τον Ιούλιο

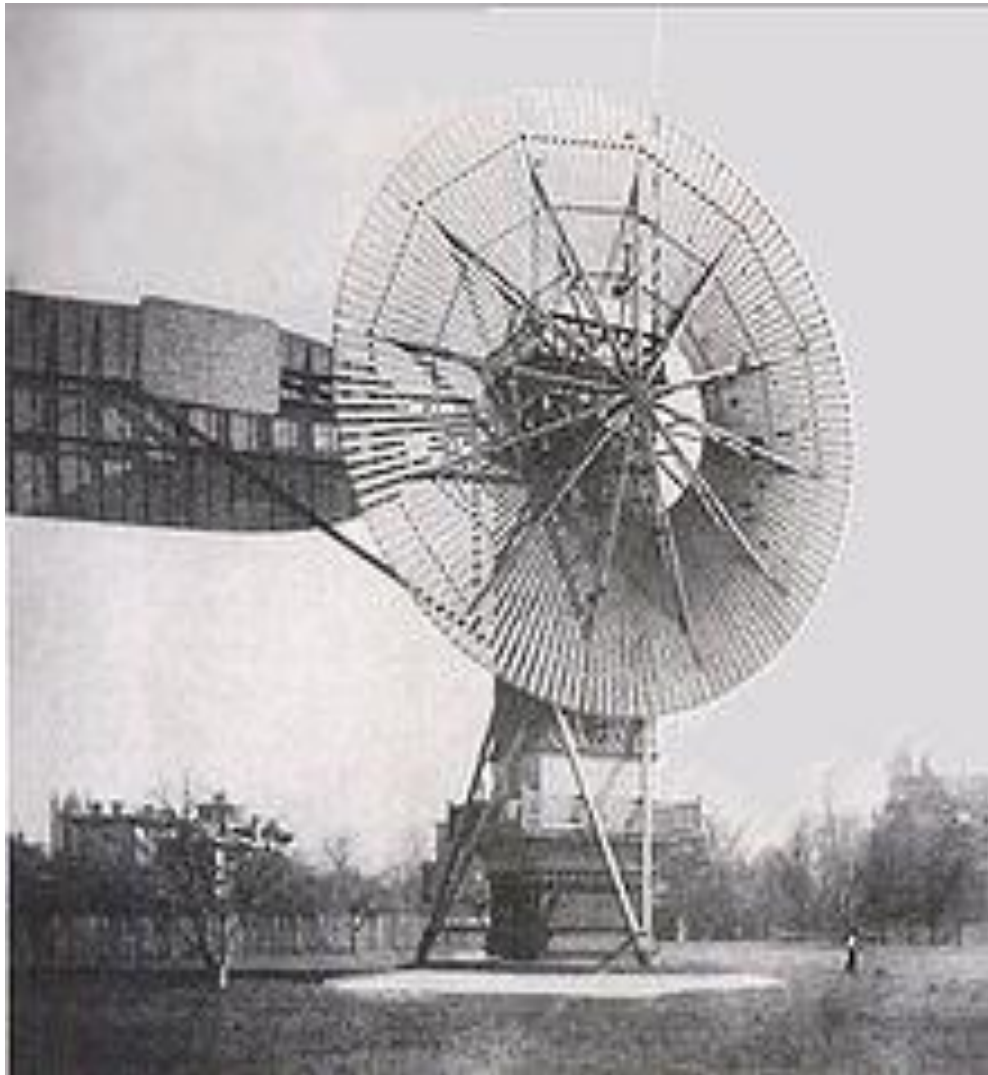
του 1887 ο Blyth εγκατέστησε στον κήπο του σπιτιού του έναν ανεμόμυλο, τον οποίο χρησιμοποιούσε για να φορτίζει συσσωρευτές. Με την αποθηκευμένη αυτή ηλεκτρική ενέργεια φώτιζε με τη βοήθεια λαμπτήρων το εσωτερικό του σπιτιού του, που έγινε το πρώτο σπίτι που τροφοδοτούνταν αποκλειστικά με ηλεκτρισμό που παραγόταν από αιολική ενέργεια.



Εικόνα 2.2: Ανεμόμυλος του Blyth

Το χειμώνα του έτους 1887-1888 ο Charles F. Brush κατασκεύασε την πρώτη τροφοδοτούμενη από τον άνεμο γεννήτρια πίσω από το προσωπικό του μέγαρο. Ο βάρους 40 τόνων σιδερένιος πύργος αποτελούνταν από 144 έλικες με επιφάνεια 1800 τετραγωνικά πόδια. Ένα στέλεχος μέσα στον πύργο γυρνούσε με τροχαλίες περιστρέφοντας

ένα δυναμό με μέχρι και 500 στροφές το λεπτό. Η ανεμογεννήτρια αυτή λειτουργούσε επί 12 χρόνια μεταφέροντας γύρω στα 16kW ενέργειας στο μέγαρο του Brush μέχρι και το θάνατό του το 1929. [3] [4] [5] [6]



Εικόνα 2.3: Ανεμογεννήτρια Charles F. Brush

Το 1922 ο Σουηδός Sigurd Johannes Savonius κατασκευάζει την Savonius η οποία ήταν μια ανεμογεννήτρια κάθετου άξονα. Είναι μια από τις πιο απλές ανεμογεννήτριες, αφού αποτελείτε από δυο ημικυκλικά πτερύγια με κενό ανάμεσα τους και η κάτοψή τους έχουν το σχήμα "S".



Εικόνα 2.4: Ανεμογεννήτρια κάθετου άξονα του Savonius

Το 1931 ο G.J.M. Darrieus κατασκευάζει μια ανεμογεννήτρια καθέτου άξονα η οποία είχε καμπυλωτά πτερύγια.





Εικόνα 2.5: Ανεμογεννήτρια κάθετου άξονα του Darrieus

Οι Smith-Putman το 1941 κατασκεύασαν την μεγαλύτερη μέχρι τότε ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα με δύο λεπίδες σε παραγωγή ρεύματος η οποία ήταν σε θέση να παράγει 1 MW. <sup>[18]</sup> Η ανεμογεννήτρια

ήταν επίσης η πρώτη διασυνδεδεμένη στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 2.6: Ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα των Smith-Putman. Η μεταφορά της μιας λεπίδας ενώ στο βάθος φαίνεται ο πύργος.  
(<http://www.situstudio.com/blog/2010/09/01/smith-putnam>)

Παρόλο που οι ανεμογεννήτριες έδωσαν το παρόν από τα πρώτα βήματα της βιομηχανικής επανάστασης και στο πρώτο μισό του εικοστού αιώνα, στη συνέχεια παρατηρήθηκε μια μείωση ενδιαφέροντος για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και για πολλά χρόνια μπήκαν στο περιθώριο. Κατά την πάροδο αυτών των χρόνων υπήρξε μια κάποια μικρή εξέλιξη στην τεχνολογία των ανεμόμυλων. Σ Η ανακάλυψη του αερίου όμως καθώς και η επέκταση της χρήσης του πετρελαίου στις μηχανές εσωτερικής καύσης οδήγησαν στην στροφή της βιομηχανίας προς την ανεξέλεγκτη κατανάλωση ενεργειακών πόρων και στην γενικότερη εξάρτησή της ανθρωπότητας από το πετρέλαιο και τα παράγωγά του. Παράλληλα, οι περιβαλλοντολογικές

συνέπειες της αλόγιστης κατανάλωσης ενέργειας διαφαίνονται όλο και εντονότερα, συντελώντας στην ωρίμανση της ιδέας της εξασφάλισης της απαραίτητης για τον άνθρωπο ενέργειας, από εναλλακτικές πηγές, ανεξάντλητες και φιλικές προς το περιβάλλον.

#### **2.4 Αιολικά πάρκα**

Την δεκαετία του '70, και με έναυσμα την πετρελαϊκή κρίση των μέσων της δεκαετίας, ανακινείται το ενδιαφέρον για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, που διατηρείται αμείωτο έως και σήμερα. Σαν φυσική εξέλιξη όλων αυτών κατασκευάστηκε το πρώτο αιολικό πάρκο στον κόσμο το Δεκέμβριο του 1980. Κατασκευάστηκε από την εταιρία US Windpower που ιδρύθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες το 1979 στη Μασαχουσέτη. Ήταν συνολικής ισχύος 0,6mW και αποτελούνταν από 20 ανεμογεννήτριες ισχύος 30kW η κάθε μια. Η ραγδαία ανάπτυξη των ανεμογεννητριών συνεχίζεται μέχρι και σήμερα.

Η ανάπτυξη αυτή δεν περιορίστηκε μόνο στην κατασκευή χερσαίων αιολικών πάρκων. Όσο μεγαλύτερη η ταχύτητα του ανέμου, τόσο περισσότερη ενέργεια περικλείει. Οι ταχύτητες των ανέμων στην ανοικτή θάλασσα είναι γενικά μεγαλύτερες από αυτές στην ξηρά. Καθώς ο άνεμος κινείται επάνω από την επιφάνεια του νερού και δημιουργεί κύματα, χάνει μέρος της ενέργειας του λόγω της τριβής. Η ενέργεια που περικλείει ο άνεμος είναι μεγαλύτερη σε μεγαλύτερες αποστάσεις από την ακτή και αυξάνει σε μέγεθος με την αύξηση της απόστασης επάνω από την επιφάνεια του νερού. Το πλεονέκτημα αυτό του θαλάσσιου αιολικού δυναμικού, σε συνδυασμό με την έλλειψη χώρου που αντιμετωπίζουν οι παράκτιες περιοχές οδήγησαν στην κατασκευή και υπεράκτιων αιολικών πάρκων.

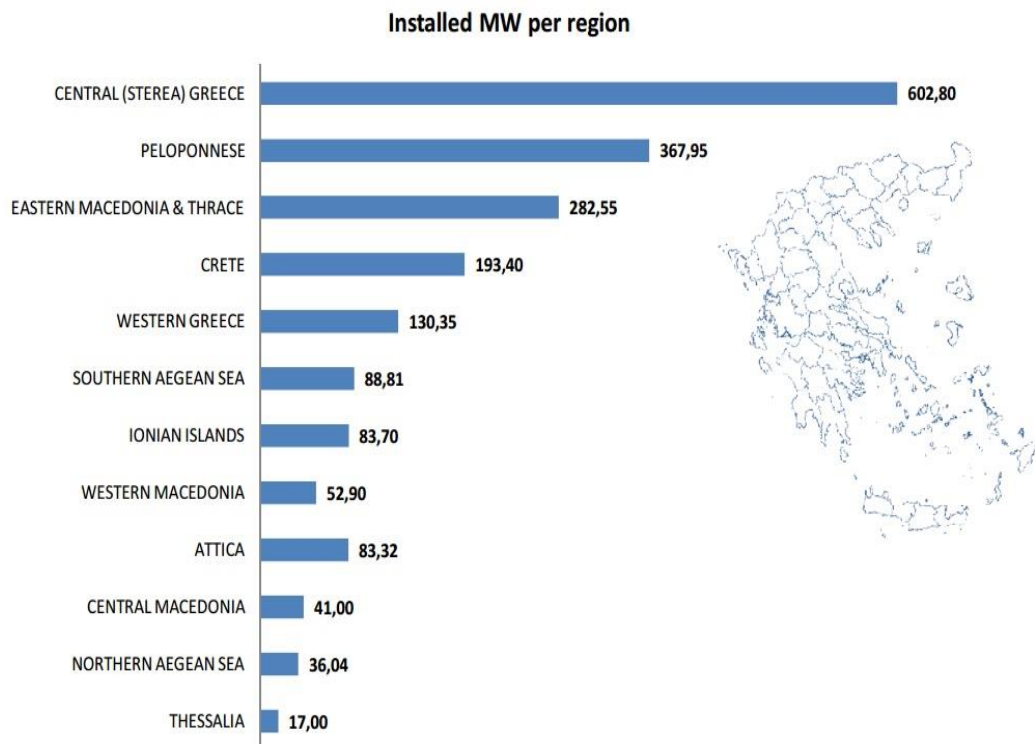
Το πρώτο υπεράκτιο αιολικό πάρκο κατασκευάστηκε στη Δανία, συνολικής δυναμικής 4,95MW αποτελούμενο από 11 ανεμογεννήτριες των 0,45MW η κάθε μια. Σήμερα το ενδιαφέρον για τα υπεράκτια πάρκα συνεχίζει να υπάρχει και να μετουσιώνεται σε πράξη με πρωτοπόρο αυτή τη στιγμή την Αγγλία η οποία ολοκλήρωσε το 2012 το μεγαλύτερο υπεράκτιο αιολικό πάρκο, London Array, δυναμικότητας 630MW.



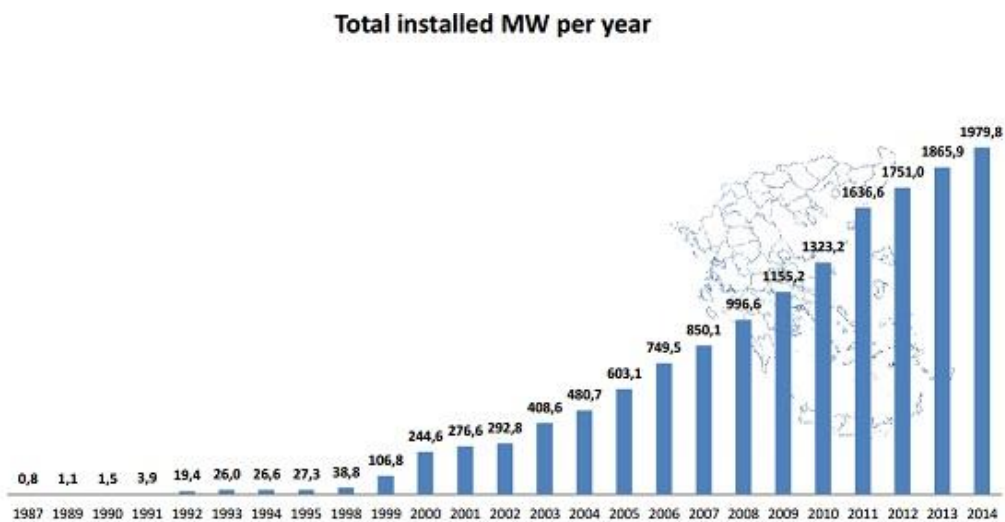
Εικόνα 2.7: Αιολικό πάρκο London Array ([www.greenprophet.com](http://www.greenprophet.com))

## 2.5 Η αιολική ενέργεια στην Ελλάδα

Η αιολική ενέργεια παρουσιάζει σημαντικές επενδυτικές δυνατότητες και στην Ελλάδα. Το εξαιρετικά υψηλό αιολικό δυναμικό της χώρας κατατάσσεται μεταξύ των πλέον ελκυστικών στην Ευρώπη, με μέση ταχύτητα ανέμου πάνω από 8 m/s σε πολλά σημεία της χώρας. Το πρώτο αιολικό πάρκο στην Ελλάδα κατασκευάστηκε στην Κύθνο το 1982 και αποτελείται από 5 ανεμογεννήτριες MAN των 20kW η κάθε μια. Στη συνέχεια επεκτάθηκε και με εγκατάσταση φωτοβολταϊκών καλύπτοντας σήμερα το 75% των ενεργειακών αναγκών του νησιού. Εκτιμάται ότι σήμερα λειτουργούν περίπου 1800MW από αιολικά πάρκα, και στόχος είναι να εγκατασταθούν 7.500MW μέχρι το 2020, από τα οποία τα 300MW αφορούν υπεράκτια αιολικά πάρκα. <sup>[17]</sup><sup>[19]</sup>



Εικόνα 2.8: Εγκατεστημένη ισχύς αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα (2014, Πηγή ΕΛΕΤΑΕΝ)



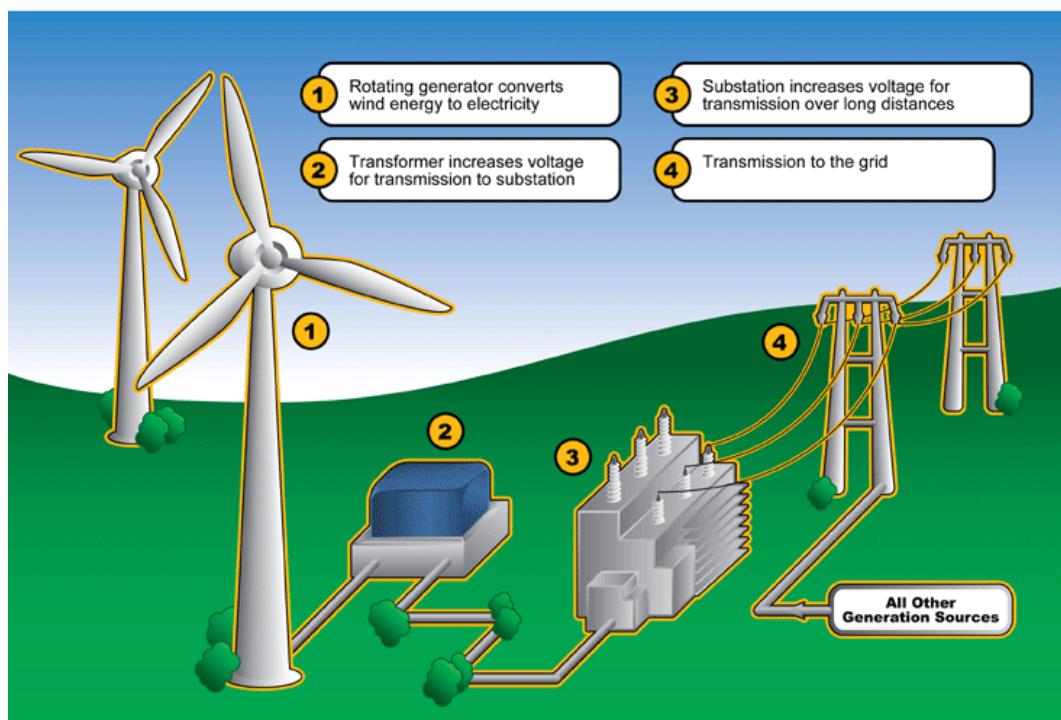
Εικόνα 2.9: Χρονική εξέλιξη εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα (2014, Πηγή ΕΛΕΤΑΕΝ)

## 2.5 Αρχή Λειτουργίας Ανεμογεννητριών

Οι ανεμογεννήτριες είναι μηχανές οι οποίες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια. Η μετατροπή αυτή γίνεται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, μέσω της πτερωτής, έχουμε την μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε μηχανική ενέργεια με την μορφή περιστροφής του άξονα της πτερωτής και στο δεύτερο στάδιο, μέσω της γεννήτριας, επιτυγχάνουμε την μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Οι Α/Γ χρησιμοποιούνται για την πλήρη κάλυψη ή και τη συμπλήρωση των ενεργειακών αναγκών. Το παραγόμενο από τις ανεμογεννήτριες ηλεκτρικό ρεύμα είτε καταναλώνεται επιτόπου, είτε εγχέεται και διοχετεύεται στο ηλεκτρικό δίκτυο για να καταναλωθεί αλλού. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τις Α/Γ, όταν η παραγωγή είναι μεγαλύτερη από τη ζήτηση, συχνά αποθηκεύεται για να χρησιμοποιηθεί αργότερα, όταν η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την παραγωγή.

Η αποθήκευση σήμερα γίνεται με οικονομικά βιώσιμους τρόπους, ανάλογα με το μέγεθος της παραγόμενης ενέργειας. Οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές (μπαταρίες) είναι η πλέον γνωστή και διαδεδομένη μέθοδος αποθήκευσης Η/Ε, η οποία χρησιμοποιείται για μικρής κλίμακας παραγωγικές μη διασυνδεδεμένες στο κεντρικό δίκτυο μονάδες. Η άντληση ύδατος με χρήση Η/Ε παραγόμενης από Α/Γ και η ταμίευσή του σε τεχνητές λίμνες κατασκευασμένες σε υψόμετρο το οποίο είναι ικανό να τροφοδοτήσει μικρό υδροηλεκτρικό σταθμό, είναι μια μέθοδος αποθήκευσης που χρησιμοποιείται όταν η παραγόμενη Η/Ε είναι μεγάλη. Άλλη μέθοδος που έχει αναπτυχθεί πρόσφατα είναι η προσωρινή αποθήκευση της ενέργειας με τη μορφή πεπιεσμένου αέρα σε ελαστικά αεροφυλάκια τύπου μπαλονιού που εγκαθίστανται στον βυθό της θάλασσας, σε περίπτωση υπεράκτιου αιολικού πάρκου. Αυτός ο τρόπος αποθήκευσης έχει πολλά πλεονεκτήματα για μεγάλα βάθη αφού εκεί η πίεση είναι μεγάλη και σταθερή. Έτσι ισοσταθμίζεται η εσωτερική μεγάλη πίεση του πεπιεσμένου αέρα με την εξωτερική και δεν χρειάζονται υλικά κατασκευής των μπαλονιών με μεγάλα περιθώρια αντοχής, με αποτέλεσμα να μειώνεται το κόστος. Τα μπαλόνια αυτά δύνανται να αποθηκεύσουν μεγάλα ποσά ενέργειας, αναλόγως του μεγέθους τους και του βάθους που είναι βυθισμένα.

## WIND



Εικόνα 2.10: Ανεμογεννήτριες συνδεδεμένη με το ηλεκτρικό δίκτυο

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η απορρόφηση της κινητικής ενέργειας που μεταφέρει ο άνεμος γίνεται με τη βοήθεια των ανεμογεννητριών (Α/Γ). Η Α/Γ αποτελείται από:

1. Τον **πύργο**, ο οποίος είναι κυλινδρικής μορφής, συνήθως κατασκευάζεται από χάλυβα και αποτελείται από δύο ή τρία συνδεδεμένα τμήματα.
2. Την **άτρακτο**, η οποία περιέχει τα μηχανικά υποσυστήματα (κύριος άξονας, σύστημα πέδησης, κιβώτιο ταχυτήτων και ηλεκτρογεννήτρια).
3. Τον **δρομέα**, ο οποίος αποτελείται από πτερώγια τα οποία περιστρέφονται λόγω του ανέμου.

### 2.5.1 Λειτουργικά χαρακτηριστικά Α/Γ

- **Ταχύτητα εκκίνησης:** είναι η ταχύτητα του ανέμου στην οποία η Α/Γ αρχίζει να παράγει καθαρή ισχύ. Αυτή η ταχύτητα είναι μεγαλύτερη από αυτή που απαιτείται για να αρχίσουν να στρέφονται τα πτερύγια.
- **Ταχύτητα αποκοπής:** για αποφυγή υπερφόρτισης της Α/Γ, διακόπτεται η λειτουργία της μόλις η ταχύτητα του ανέμου ξεπεράσει την ταχύτητα αποκοπής.
- **Ονομαστική ισχύς:** είναι η μέγιστη ισχύς που μπορεί να παραχθεί συνεχώς κατά την κανονική λειτουργία.
- **Ονομαστική ταχύτητα:** η ταχύτητα του ανέμου υπό την οποία παράγεται η ονομαστική ισχύς.

Οι Α/Γ διακρίνονται σε δύο κύριους τύπους: **κατακόρυφου άξονα περιστροφής** και **οριζόντιου άξονα περιστροφής**. Στις Α/Γ οριζόντιου άξονα ο δρομέας είναι τύπου έλικας και βρίσκεται συνεχώς παράλληλος με την κατεύθυνση του ανέμου και του εδάφους. Στις Α/Γ κατακόρυφου άξονα ο δρομέας παραμένει σταθερός και είναι κάθετος προς την επιφάνεια του εδάφους.

### 2.5.2 Τύποι ανεμογεννητριών

#### 2.5.2.1 Ανεμογεννήτριες Κατακόρυφου Άξονα (τύποι):

- Πανεμόνιο
- Κυπελλοφόρο ανεμόμετρο
- Μηχανές τύπου Savonius
- Μηχανές τύπου Lafond
- Μηχανές τύπου Darrieus
- Προφυλαγμένες μηχανές
- Μηχανές με κινούμενα πτερύγια
- Μηχανές Tornado



### 2.5.2.2 Ανεμογεννήτριες Οριζόντιου Άξονα (τύποι):

- Ανεμόμυλος
- Αργές αιολικές μηχανές
- Γρήγορες αιολικές μηχανές
- Μονόπτερες αιολικές μηχανές
- Μηχανές με εγκάρσιες επιφάνειες
- Μηχανές με χοάνη διάχυσης

Οι Α/Γ **οριζόντιου άξονα** μπορούν να διακριθούν σε αρκετές κατηγορίες σύμφωνα με τη λειτουργία τους, όπως οι παραπάνω. Υπάρχουν όμως και Α/Γ **τύπου κατάντη**, όπου τον άνεμο τον συναντά πρώτα ο δρομέας και έπειτα τα πτερούγια ενώ οι Α/Γ **τύπου ανάντη** ο άνεμος προσβάλλει πρώτα τα πτερούγια και μετά τον δρομέα.

Επίσης, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με τον τρόπο ρύθμισης της ισχύος τους σε υψηλές ταχύτητες ανέμου. Μια τέτοια κατηγορία είναι οι Α/Γ ρύθμισης μέσω αποκόλλησης της ροής (stall-regulated). Αυτές έχουν σταθερή γωνία βήματος των πτερυγίων του ρότορα και με την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου, τα πτερούγια σταδιακά υφίστανται απώλεια στήριξης και έτσι ρυθμίζεται η ταχύτητα περιστροφής του ρότορα.

Μια άλλη κατηγορία περιλαμβάνει τις Α/Γ μεταβλητού βήματος. Αυτές, αντί να χρησιμοποιούν μια σταθερή γωνία δρομέα, η γωνία τους μεταβάλλεται προκειμένου να ρυθμιστεί η ισχύς της Α/Γ.

Στην παγκόσμια αγορά, έχουν επικρατήσει οι Α/Γ οριζόντιου άξονα για την ηλεκτροπαραγωγή σε ποσοστό 90%. Η ισχύς τους φτάνει τα 5MW, ενώ σε επίπεδο έρευνας αντιμετωπίζονται σχεδιάσεις Α/Γ 10MW, η διάμετρος του δρομέα φτάνει τα 140m, το ύψος του πύργου αγγίζει τα 120m και λειτουργούν σε ένα πεδίο ταχυτήτων ανέμου από 3 έως 30m/s.



Εικόνα 2.11: Τα μέρη του δομέα

### 3. Υπεράκτιες Ανεμογεννήτριες και Αιολικά Πάρκα

Η αιολική ενέργεια όπως προαναφέρθηκε είναι μια ταχέως αναπτυσσόμενη πηγή ενέργειας με ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης της τάξης του 25- 30%, με τη συντριπτική πλειοψηφία της να παράγεται σε χερσαία αιολικά πάρκα. Η ανάπτυξη τους όμως περιορίζεται λόγω της οπτικής όχλησης και της έλλειψης φθηνής γης. Έτσι τα υπεράκτια αιολικά πάρκα κοντά σε μεγάλα αστικά κέντρα είναι το επόμενο σύνορο.

Τεράστιες θαλάσσιες εκτάσεις που χαρακτηρίζονται από σταθερότερους και ισχυρότερους ανέμους είναι πλέον διαθέσιμες προς εκμετάλλευση. Πλωτές ανεμογεννήτριες σε απόσταση 20 χιλιομέτρων από την ακτογραμμή είναι μετά βίας ορατές. Οι τρέχουσες υπεράκτιες ανεμογεννήτριες είναι εδρασμένες κατά ένα συντριπτικό ποσοστό σε κατασκευές μονού πυλώνα (monopiles) σε μικρή απόσταση από την ακτογραμμή και σε βάθη νερού 10- 15 μέτρα. Το μεγαλύτερο πρόβλημα αυτών των κατασκευών είναι η οπτική τους επίδραση καθώς και το αυξημένο κόστος όσο το βάθος του νερού αυξάνεται. Αναπόφευκτα το ενδιαφέρον στρέφεται πλέον στις πλωτές ανεμογεννήτριες καθώς και στις πλωτές κατασκευές που θα τις υποστηρίζουν.

Τα πρώτα υπεράκτια αιολικά πάρκα, έκαναν την εμφάνισή τους γύρω στις αρχές της δεκαετίας του '90. Οι λόγοι που εμπόδιζαν την μέχρι τότε κατασκευή τους ήταν:

- Το υψηλό κόστος κατασκευής (τοποθέτηση, ηλεκτρική διασύνδεση, χρήση υλικών με αντοχή στο θαλάσσιο διαβρωτικό περιβάλλον)
- Το υψηλό κόστος συντήρησης
- Προστασία του εξοπλισμού
- Μεταφορά πληρώματος

Με την πάροδο των χρόνων, την εξέλιξη της τεχνολογίας, των υλικών και την ταυτόχρονη ανάπτυξη των υπεράκτιων κατασκευών για την εξόρυξη πετρελαίου και φυσικού αερίου, τα υπεράκτια αιολικά πάρκα αποτελούν πια, πραγματικότητα.

### 3.1 Σύγκριση χερσαίων και υπεράκτιων κατασκευών

Τα πρώτο αιολικό πάρκο το 1991 στην Δανία, ήταν το πρώτο που εκμεταλλεύθηκε τα πλεονεκτήματα του θαλάσσιου περιβάλλοντος για εκμετάλλευση αιολικής ενέργειας. Μέχρι σήμερα αρκετά ακόμη έχουν κατασκευασθεί με προοπτική να φτάσουν τα 40 GW, έως το 2020. Τα πλεονεκτήματα χάρη στα οποία τα αιολικά αυξάνουν το μερίδιό τους τα τελευταία χρόνια είναι:

Πλεονεκτήματα:

Η ταχύτητα του ανέμου είναι κατά μέσο όρο 50% μεγαλύτερη στη θάλασσα απ' ό,τι στη στεριά καθιστώντας τις ανεμογεννήτριες πιο αποδοτικές.

Οι οπτική όχληση, καθώς και ο θόρυβος των μηδενίζεται, με την κατάλληλη απόσταση από την ακτή.

Δεν δεσμεύεται γη, που είναι πολύ πιο περιορισμένη από τις θαλάσσιες εκτάσεις

Το μέγεθος μιας Α/Γ δεν περιορίζεται από υλικοτεχνικές υποδομές όπως οδικά και σιδηροδρομικά.

Ο αέρας πάνω από τη θάλασσα παρουσιάζει λιγότερους στροβιλισμούς, καταπονώνοντας λιγότερο τις Α/Γ. Αυτό προσδίδει στο πάρκο μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Αλλά και καλύτερη απόδοση της Α/Γ.

Υπάρχει ήδη τεχνογνωσία από την εξέδρες εξόρυξης <sup>[19]</sup>

*Τα υπεράκτια αιολικά πάρκα παρουσιάζουν ορισμένα μειονεκτήματα σε σχέση με τα χερσαία:*

- Απαιτείται υψηλότερο αρχικό επενδυτικό κεφάλαιο για τις υπεράκτιες Α/Γ, λόγω του κόστους που συνδέεται με την εγκατάσταση της Α/Γ στη θάλασσα και την πρόσθετη περιπλοκότητα έδρασης/ θεμελίωσης της υποστηρικτικής κατασκευής.
- Παρουσιάζουν συνήθως προβλήματα πρόσβασης κάνοντας τη συντήρησή τους πιο ακριβή και πιο χρονοβόρα.
- Πρέπει να αντέχουν σε ακραίες υδροδυναμικές συνθήκες φόρτισης που προέρχονται από τα κύματα και τα υποθαλάσσια ρεύματα.

Για το σχεδιασμό μιας πλωτής ανεμογεννήτριας απαιτείται η μελέτη τεσσάρων επιπλέον παραγόντων:

- Βάθος νερού: Για τη σωστή μελέτη της κατασκευής και τη σωστή επιλογή των χαρακτηριστικών της.
- Φορτία Κυμάτων: Τα κύματα προκαλούν περισσότερα φορτία και ροπές στην πλωτή κατασκευή από την ανεμογεννήτρια.
- Κατάσταση εδάφους: Για την επίτευξη σταθερότητας και αξιοπιστίας στην κατασκευή.
- Φορτία λόγω ανεμογεννήτριας: Η ανεμογεννήτρια δρα και αντιδρά με τα φορτία κυμάτων, υποβάλλοντας σε νέα και πιθανότατα μεγαλύτερα φορτία την κατασκευή τα οποία πρέπει να ληφθούν υπόψη.

### 3.2 Κριτήρια Εγκατάστασης

Προκειμένου να προχωρήσει η μελέτη εγκατάστασης μιας υπεράκτιας ανεμογεννήτριας, θα πρέπει να επιλεγεί αρχικά, η τοποθεσία εγκατάστασης σύμφωνα με συγκεκριμένα κριτήρια, που λαμβάνουν υπόψη τους τα εξής. Το συγκεκριμένο στάδιο αποκτά μεγαλύτερη σημασία για τις υπεράκτιες σε σχέση με τα χερσαίες εγκαταστάσεις λόγω του μεγαλύτερου αρχικού κόστους επένδυσης και των ιδιαίτερων τεχνικών δυσκολιών του θαλάσσιου περιβάλλοντος :

#### - **Αιολικό δυναμικό**

Ο βασικός σκοπός κατά το σχεδιασμό του έργου είναι η μεγιστοποίηση της παραγόμενης ενέργειας. Για το λόγο αυτό, είναι απαραίτητο να εξετάζονται και να αξιολογούνται οι μετεωρολογικές συνθήκες και οι ανεμολογικές προβλέψεις στην ευρύτερη περιοχή που θα εγκατασταθούν οι ανεμογεννήτριες. Προκειμένου να βρούμε τις βέλτιστες περιοχές για τη τοποθέτηση των ανεμογεννητριών, χρησιμοποιούνται πληροφορίες από χάρτες υπεράκτιου αιολικού δυναμικού, από μετεωρολογικούς ιστούς, δορυφορικά αρχεία ή και δεδομένα από κοντινές περιοχές προσαρμοσμένα κατάλληλα. Είναι δυνατή η προσομοίωση των χαρακτηριστικών του ανέμου σε κάθε σημείο εγκατάστασης στη δεδομένη περιοχή για τον υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας κάθε ανεμογεννήτριας.

#### - **Βάθος και μορφολογία πυθμένα**

Το βάθος και η φύση του βυθού της θάλασσας είναι παράγοντες που πρέπει να εξετάζονται. Οι επιλογές που υπάρχουν όσον αφορά τις κατασκευές έδρασης είναι περιορισμένες και αυτό έχει σημαντική επίπτωση στο συνολικό κόστος εγκατάστασης. Για αυτό τον λόγο είναι απαραίτητο να προηγηθεί γεωτεχνική και σεισμική μελέτη. Σε αυτό το στάδιο παίζει ρόλο η αποκτηθείσα εμπειρία από τις εγκαταστάσεις άντλησης φυσικού αερίου και αργού πετρελαίου.

#### - Πρόσβαση για συντήρηση

Οι ανεμογεννήτριες θα πρέπει να είναι εύκολα προσβάσιμες για τις εργασίες της συντήρησης και επισκευής. Θα πρέπει λοιπόν, να εξετάζεται η απόσταση από την ακτή και τους σταθμούς εξυπηρέτησης, αφού μπορεί να επηρεάσουν τόσο το χρόνο όσο και το κόστος ανέγερσης του αιολικού πάρκου, καθώς και τις εργασίες συντήρησης. Επιπλέον, μπορεί να οδηγήσουν στην ανάγκη κατασκευής πλωτών εγκαταστάσεων συντήρησης, ιδίως για τα μεγάλα αιολικά πάρκα.

#### - Οπτική όχληση

Αν και δεν είναι τόσο σημαντικός παράγοντας όπως στα χερσαία πάρκα, μπορεί και εδώ να υπολογίζεται η ζώνη του οπτικού αντίκτυπου υπό τη μορφή χάρτη. Η απόσταση που θα έχει η περιοχή εγκατάστασης από την ακτή πρέπει να είναι:

$$L > \sqrt{2HR}$$

L : η απόσταση από την ακτή,

R : η ακτίνα της γης

H : το ύψος του δρομέα

Ένα αιολικό πάρκο με λιγότερες αλλά μεγάλες ανεμογεννήτριες είναι συνήθως προτιμότερο από πολλές μικρές.

#### - Θόρυβος

Αυτός ο παράγοντας δεν έχει πλέον ιδιαίτερη βαρύτητα, δεδομένου ότι ο θόρυβος που δημιουργείται από τις ανεμογεννήτριες έχει μειωθεί. Τα επίπεδα του θορύβου μπορούν επίσης να υπολογιστούν και να εξεταστούν ώστε το πάρκο να είναι συμβατό με τα αποδεκτά επίπεδα ήχου όπως ορίζονται από την εθνική νομοθεσία, κυρίως για την επιρροή τους στη θαλάσσια ζωή.

#### - Απόσταση μεταξύ των ανεμογεννητριών

Υπάρχει μια ελάχιστη αποδεκτή απόσταση μεταξύ των ανεμογεννητριών, λαμβάνοντας υπόψη τις επιπτώσεις από τη δημιουργία όμορου μεταξύ των ανεμογεννητριών.

- **Τύπος ανεμογεννήτριας**

Ο τύπος της ανεμογεννήτριας που θα χρησιμοποιηθεί στις διάφορες τοποθεσίες εξαρτάται από τις συνθήκες του ανέμου, των κυμάτων, του βάθους και της μορφολογίας του βυθού.

- **Επιπτώσεις στο οικοσύστημα**

Το αιολικό πάρκο ενδέχεται να έχει επιπτώσεις στο οικοσύστημα, καθώς ενδέχεται να διαταράξει τους ζώντες οργανισμούς στην περιοχή (ψάρια, θαλάσσια θηλαστικά, πτηνά). Επίσης πρέπει να μελετηθεί ο τρόπος διαχείρισης των προϊόντων σε περίπτωση παύσης της λειτουργίας τους (πχ απομάκρυνση, βύθιση για δημιουργία τεχνικού υφάλου)

- **Θεσμικοί περιορισμοί**

Πρέπει να λαμβάνονται υπόψη η ναυσιπλοΐα, η αλιεία και οι θαλάσσιες μεταφορές. Ανάλογα με το μέγεθος του αιολικού πάρκου, είναι πιθανό να επηρεάζονται τα δρομολόγια των εμπορικών πλοίων. Υπάρχουν διάφοροι περιορισμοί, που διαφοροποιούνται από χώρα σε χώρα, στην τοποθέτηση των υπεράκτιων κατασκευών, που συνοψίζονται στους παρακάτω τίτλους:

- εμπορική ναυτιλία
- αλιεία και αναπαραγωγή ψαριών
- βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου
- προστατευόμενες περιοχές
- εθνική άμυνα
- αισθητική παρέμβαση

### **3.3 Φορτία υπολογισμού**

Για την κατασκευή μιας υπεράκτιας Α/Γ είναι απαραίτητο να γίνει πρώτα λεπτομερής αναλυτική μελέτη, στην οποία θα υπολογίζονται όλα τα πιθανά φορτία τα οποία μπορεί να δεχτεί η ίδια η κατασκευή. Τα

φορτία αυτά διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες, τα φορτία περιβάλλοντος και τα φορτία κατασκευής.

### **3.3.1 Φορτία περιβάλλοντος**

Τα περιβαλλοντικά φορτία που ασκούνται στην κατασκευή μεταβάλλονται κατά μέγεθος και διεύθυνση κατά τη διάρκεια του χρόνου ζωής της κατασκευής και σχετίζονται με τις συνθήκες λειτουργίας και τις ακραίες φορτίσεις που ασκούνται στη κατασκευή. Διακρίνονται δε σε:

- Φορτία ανέμου
- Υδροδυναμικά φορτία που παράγονται από κύματα και ρεύματα, συμπεριλαμβανομένων των δυνάμεων αντίστασης και αδράνειας
- Σεισμικά φορτία
- Φορτία παραγόμενα από ρεύματα
- Παλιρροιακά φαινόμενα
- Θαλάσσια ανάπτυξη
- Φορτία λόγω χιονιού και πάγου
- Φορτία λόγω πιθανής πρόσκρουσης (πχ πλοίου)

### **3.3.2 Φορτία κατασκευής**

Τα φορτία κατασκευής είναι φορτία που εμφανίζονται με την ύπαρξη της κατασκευής και των φορτίων που επάγονται πάνω της κατά την εκπλήρωση της αποστολής της. Αυτά μπορούν να διακριθούν στα εξής:

- Φορτία λόγω βάρους της κατασκευής
- Φορτία λόγω βάρους του εξοπλισμού
- Δυναμικά ή στατικά φορτία κατά τη διάρκεια εκτέλεσης εργασιών
- Αντιδράσεις στη δράση των λειτουργικών φορτίων (π.χ. άντωση)



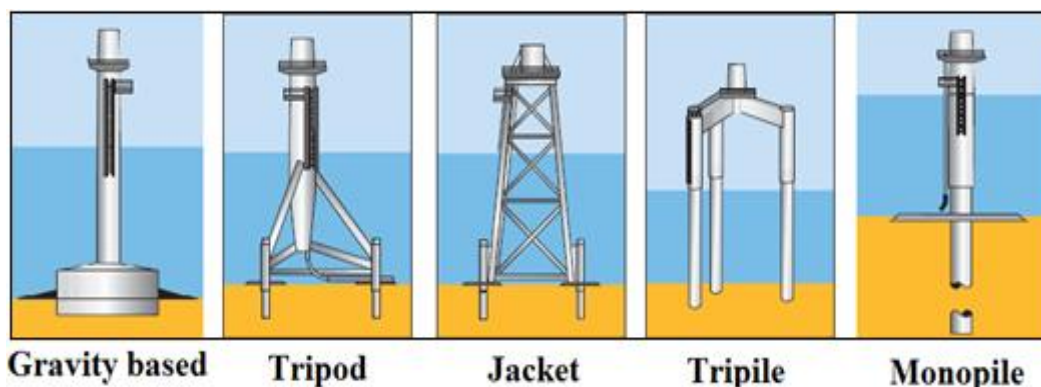
### 3.2 Κατηγορίες κατασκευών στήριξης υπεράκτιων Α/Γ

Κατά τη μελέτη και σχεδίαση υπεράκτιων ανεμογεννητριών προσφέρεται ένα μεγάλο εύρος λύσεων όσον αφορά την επιλογή της κατασκευής στήριξης που θα καταλήξει ο μελετητής. Τα θετικά και τα αρνητικά της κάθε λύσης είναι δύσκολο να αξιολογηθούν συνολικά, έτσι η επιλογή έγκειται καθαρά στην κρίση του μελετητή και στα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος που θα γίνει η εγκατάσταση, μερικά από τα οποία είναι:

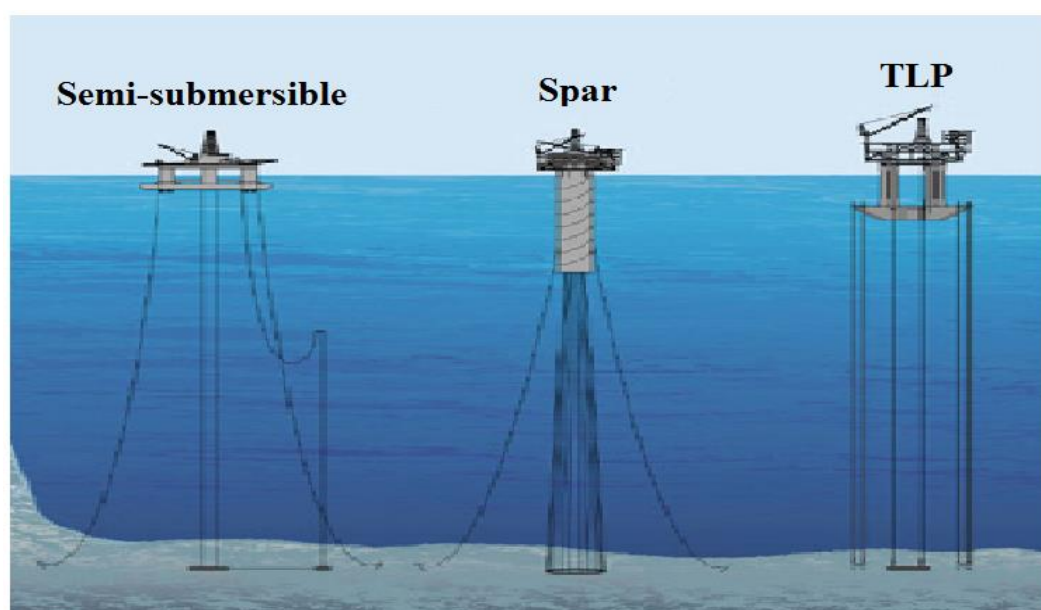
- 1 Βάθος του νερού που θα γίνει η εγκατάσταση.
- 2 Συνολικό βάρος κατασκευής.
- 3 Δυνάμεις που αναπτύσσονται στην κατασκευή (π.χ. κάμψη).
- 4 Ειδικά χαρακτηριστικά της περιοχής που γίνεται η εγκατάσταση.(π.χ. δυνάμεις από άνεμο και κυματισμούς)
- 5 Μορφολογία του βυθού στο συγκεκριμένο περιβάλλον.
- 6 Περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις που τυχόν προκύπτουν.
- 7 Απαιτήσεις κατασκευής και τοποθέτησης.

Οι κατασκευές που χρησιμοποιούνται για την τοποθέτηση ανεμογεννητριών χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

1. Σε αυτές που είναι γειωμένες, δηλαδή εδρασμένες στο βυθό, τις κατασκευές σταθερής έδρασης:
  - Μεταλλικοί πύργοι (Jacket)
  - Μονού πυλώνα (Monopile)
  - Βαρύτητας (Gravity based)
  - Τριπλού πυλώνα (Tripile)
  - Τριπόδου (Tripod)
2. Σε αυτές που επιπλέουν στην επιφάνεια του νερού, δηλαδή στις πλωτές- αγκυρωμένες κατασκευές:
  - Spar
  - Semi Submersible
  - TLP



Εικόνα 3.1: Κατασκευές σταθερής έδρασης



Εικόνα 3.2: Πλωτές- αγκυρωμένες κατασκευές

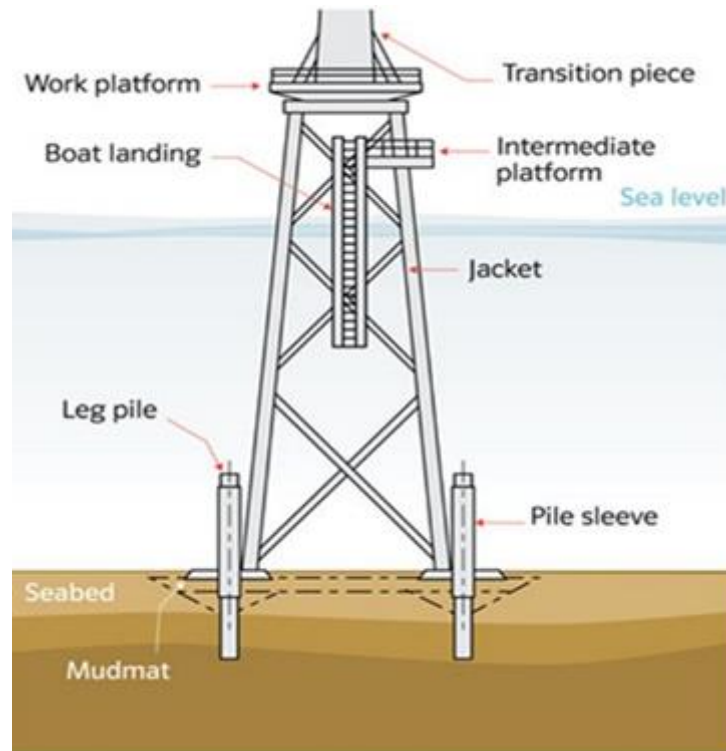
Παρακάτω παρατίθενται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των πλωτών και των εδρασμένων κατασκευών. Προκύπτει ότι το “κρίσιμο” βάθος όπου η επιλογή γέρνει προς την πλευρά των πλωτών είναι γύρω στα 50 μ. Η χώρα μας έχοντας μεγάλα βάθη θαλασσών ακόμα και σε μικρές αποστάσεις από την ακτή, προκειμένου να αναπτύξει μεγάλης έκτασης θαλάσσια αιολικά πάρκα πρέπει να στραφεί στην λύση των πλωτών κατασκευών.

	<b>Πλωτές (floating)</b>	<b>Εδρασμένες (grounded)</b>
<b>+</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Υποστηρίζουν μεγάλα βάθη.</li> <li>• Η κατασκευή τους μπορεί να γίνει εξ ολοκλήρου στο ναυπηγείο.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αισθητά φθηνότερες.</li> <li>• Προσφέρουν μεγάλες δυνατότητες για βάθη έως 50m και κάποιες φορές περισσότερο.</li> </ul>
<b>-</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Πολύ μεγάλο κόστος κτίσης.</li> <li>• Εμπορικά αδιάφορες για χώρες με μεγάλες εκτάσεις ρηχού νερού.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μεγάλο κόστος μεταφοράς και εγκατάστασης.</li> <li>• Οι περισσότερες από αυτές έχουν χρησιμοποιηθεί σε βάθη που δεν υπερβαίνουν τα 25m.</li> </ul>

### 3.2.1 Κατασκευές σταθερής έδρασης

#### 3.2.1.1 Μεταλλικοί πύργοι (Jacket):

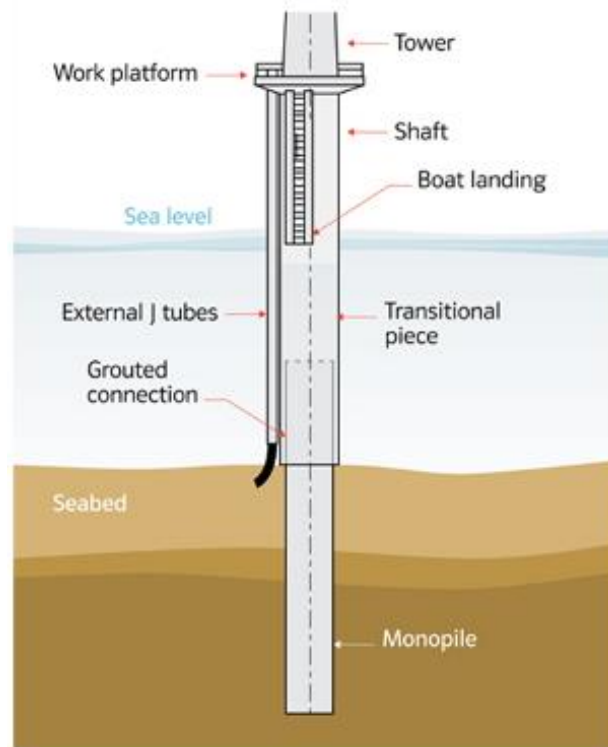
Πρόκειται για μεταλλικούς πύργους τριών η τεσσάρων πασσάλων οι οποίοι τοποθετούνται μέσα στο πυθμένα της θάλασσας σε τέτοιο βάθος ώστε να προσδίδουν σταθερότητα στην κατασκευή. Πρόκειται για μία χωροδικτυωμένη κατασκευή. Έχουν καλή εφαρμογή σε βάθος νερού από 20 έως 50 μέτρα. Το μικρότερο βάθος που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι 3,5 μέτρα στο αιολικό πάρκο Tamra της Νότιας Κορέας . Υπάρχει και προοπτική χρησιμοποίησής τους και σε μεγαλύτερα βάθη ως 60- 70 μέτρα. Προπαρασκευάζονται και ρυμουλκούνται μέχρι το σημείο πόντισης τους όπου και εδράζονται στο βυθό.



Εικόνα 3.3: Μεταλλικός πύργος (Jacket)

### 3.2.1.2 Μονού πυλώνα (Monopile):

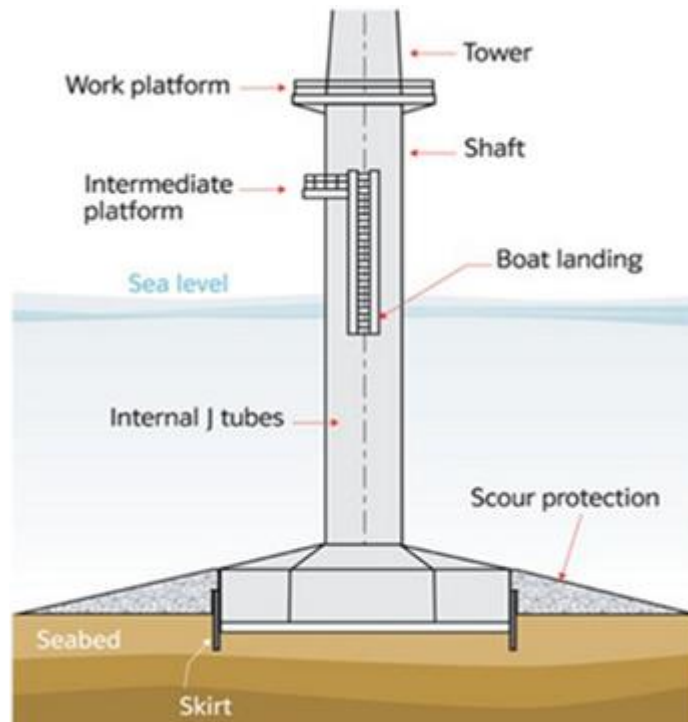
Η κατασκευή αποτελείται από ένα χαλύβδινο κυλινδρικό σωλήνα με διάμετρο μεταξύ 3 m και 4.5 m, μάζας από 100 ως 400 t. Η δομή στήριξης αυτών των κατασκευών, είναι σχετικά απλού σχεδιασμού. Ο πύργος της πλατφόρμας υποστηρίζεται από τον πυλώνα, είτε άμεσα είτε μέσω ενός μεταβατικού τεμαχίου. Ο πυλώνας είναι καρφωμένος στο βυθό της θάλασσας. Το βάθος διείσδυσης του πυλώνα είναι ρυθμιζόμενο για την καλύτερη απόκριση της κατασκευής στις συνθήκες περιβάλλοντος. Οι κατασκευές μονού πυλώνα είναι κατάλληλες για βάθη από 0 ως 30 μέτρα και είναι οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες για την τοποθέτηση υπεράκτιων ανεμογεννητριών λόγω της ευκολίας τοποθέτησης τους.



Εικόνα 3.4: Μονού πυλώνα (Monopile)

### 3.2.1.3 Βαρύτητας (Gravity based):

Αυτές οι κατασκευές βασίζονται στη χρήση της δύναμης της βαρύτητας και αποτελούνται από σκυρόδεμα ή χάλυβα. Έχουν ένα κεντρικό άξονα, είτε από χάλυβα είτε από σκυρόδεμα, στον οποίο στηρίζεται ο πύργος  $\tau$  και αυτός με τη σειρά του στηρίζεται σε μια μεγάλη επίπεδη βάση από σκυρόδεμα και ατσάλι. Το έργο που απαιτείται για να αποκτήσει η βάση την αναγκαία στιβαρότητα αποτελείται από άμμο, σιδηρομετάλλευμα ή πέτρα. Όπως είναι κατανοητό απαιτείται μια σχετικά επίπεδη βάση ώστε να τοποθετηθεί και απαιτούνται μέτρα προστασίας κατά της αποσάθρωσης του εδάφους τα οποία καθορίζονται κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού.



Εικόνα 3.5: Βαρύτητας (Gravity based)

#### 3.2.1.4 Τριπλού πυλώνα (Tripile):

Αυτής της κατηγορίας οι κατασκευές ακολουθούν τη λογική σχεδίασης αυτών του μονού πυλώνα , με τη διαφορά ότι ο πύργος στηρίζεται σε τρεις πυλώνες αντί για έναν. Οι πάσσαλοι καρφώνονται στον πυθμένα και μετά συνδέονται μεταξύ τους. Το μήκος των πασσάλων κυμαίνεται μεταξύ 65 και 90 μέτρων και η διάμετρός τους από 1,5 έως και 3 μέτρα. Τα βάθη που χρησιμοποιούνται είναι 25-40 μέτρα σύμφωνα με τον DNV.

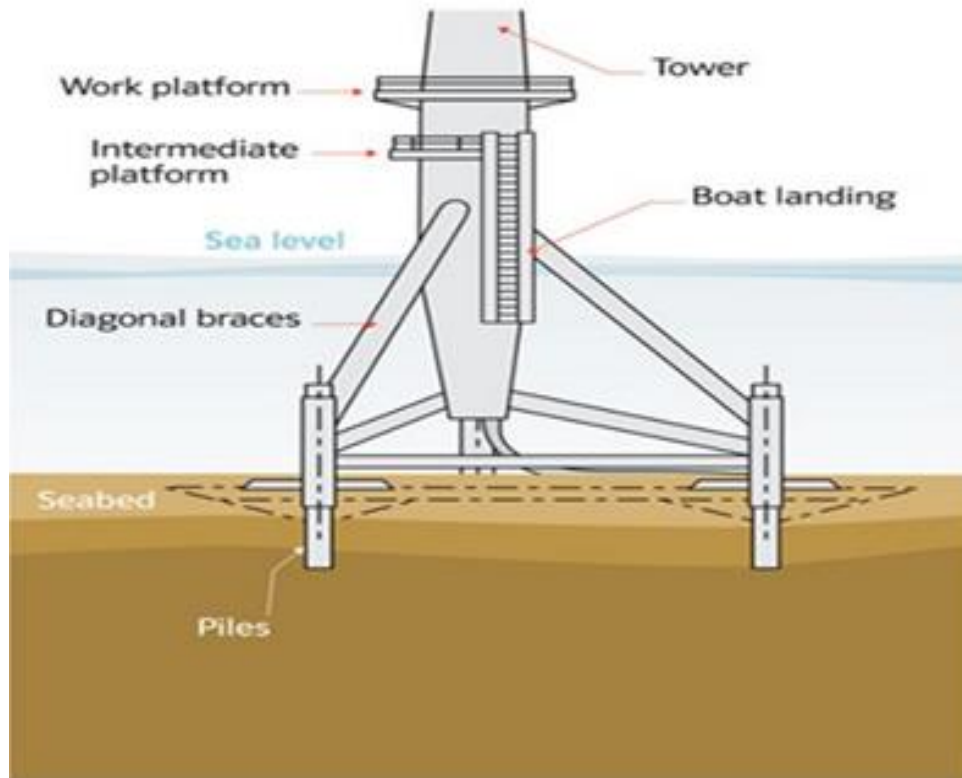


Εικόνα 3.6: Τριπλού πυλώνα (Tripile)

#### **3.2.1.5 Τριπόδου (Tripod):**

Οι κατασκευή τριπόδου θεωρείται μια ελαφριά Jacket κατασκευή τριών χαλύβδινων ποδιών. Κάτω από την κεντρική στήλη χάλυβα, η οποία είναι κάτω από την Α/Γ, υπάρχει ένα χαλύβδινο πλαίσιο το οποίο μεταφέρει τις δυνάμεις από τον πύργο στα τρία χαλύβδινα πόδια. Η

κατασκευή τριπόδου έχει καλή σταθερότητα και συνολική ακαμψία. Ωστόσο, δεν είναι κατάλληλη σε βάθη νερού μικρότερα των 6- 7m, καθώς αυτό προκαλεί προβλήματα στα πλοία που προσεγγίζουν τη βάση. Είναι κατάλληλη για βάθη πάνω από 30 μέτρα.



Εικόνα 3.7: Τριπόδου (Tripod)



### 3.2.1.6 Με έδραση κενού/αναρροφήσεως- Suction/bucket



Εικόνα 3.8: Πόντιση κατασκευής με έδραση κενού/ αναρροφήσεως

Οι κατασκευές αυτές συγκαταλέγονται στην κατηγορία του μονού πυλώνα, αλλά διαφέρει ο τρόπος θεμελίωσής τους. Αποτελούνται από ένα κύριο, χαλύβδινο άξονα κωνικής μορφής, με το κάτω μέρος του να αποτελείται από κοιλότητες, δημιουργώντας διαμερίσματα περιμετρικά του άξονα. Όταν εγκαθίσταται, και το κάτω άκρο του κωνικού άξονα ακουμπά τον πυθμένα, αντλείται το νερό από την εσωτερική κοιλότητα. Έτσι, εμφανίζεται διαφορά πίεσης η οποία δημιουργεί μια δύναμη προς τα κάτω. Μόλις γίνει η εγκατάσταση της κατασκευής αφαιρούνται οι αντλίες και κάθε έξοδος σφραγίζεται με βαλβίδες. Η συμπεριφορά αυτών των κατασκευών μπορεί να θεωρηθεί ως ένας συνδυασμός έδρασης βαρύτητας και θεμελίωσης πασσάλων. Η διαφορά αυτών των κατασκευών από όλες τις υπόλοιπες είναι πως δεν χρειάζεται να γίνει διάτρηση ή κάποια ειδική προετοιμασία του εδάφους. Επίσης, μπορεί να μετακινηθεί ή να αφαιρεθεί εύκολα αφήνοντας νερό να κατακλύσει τα διαμερίσματα δημιουργώντας

διαφορά πίεσης που έχει σαν αποτέλεσμα δημιουργία ανωστικής δύναμης. Τοποθετείται σε βάθη έως 25m.

### 3.2.2 Πλωτές – αγκυρωμένες κατασκευές

Η ιδέα ενός υπεράκτιου πλωτού αιολικού πάρκου δόθηκε το 1972 από τον καθηγητή William E. Heronemus.

Μια πλωτή κατασκευή στήριξης Α/Γ διαφέρει από μια σταθερή, λόγω της ανυπαρξίας επαφής της με το έδαφος. Αποτελείται από μια επιπλέουσα πλατφόρμα και το σύστημα αγκύρωσης που την συγκρατεί. Επαφή ωστόσο με το έδαφος υπάρχει μέσω των γραμμών (κλάδων) αγκύρωσης όπου κρατούν την πλατφόρμα προσδεμένη στην θέση της.

Ο πλωτήρας σχεδιάζεται ώστε να παρέχει κατ' αρχήν άνοση που θα μπορεί να υποστηρίξει το βάρος της Α/Γ και να περιορίζει σε ικανοποιητικό βαθμό τις κινήσεις προνευτασμού (pitching), διατοιχισμού (rolling), και κατακόρυφης κίνησης (heaving).

Κύρια πλεονεκτήματα των πλωτών κατασκευών έναντι των σταθερών είναι ότι μια πλωτή κατασκευή:

- μειώνει σημαντικά το συνολικό βάρος της κατασκευής (άρα και το κόστος)
- μπορεί να συναρμολογηθεί επί ξηράς και να ρυμουλκηθεί στην συνέχεια στον τόπο εγκατάστασής της μακριά από την ακτή
- μπορεί να εγκατασταθεί σε βάθη μεγαλύτερα των 50m
- επιτρέπει τοποθέτηση αρκετά μακριά από τις ακτές ώστε να γίνεται καλύτερη εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού (ισχυρότεροι και με καλύτερη ροή άνεμοι)
- είναι πιο φιλική προς το περιβάλλον γιατί μπορεί να απομακρυνθεί και να αποσυναρμολογηθεί χωρίς να αφήσει κανένα κατάλοιπο στην περιοχή εγκατάστασής της
- δέχεται εν γένει μικρότερα φορτία από τα κύματα

Η αγκυροβόληση των πλωτών πλατφορμών γίνεται με δύο διαφορετικούς τρόπους. Με **συμβατικούς κλάδους αγκύρωσης** (catenary moorings) και με **γραμμές υπό υψηλή ένταση** (taut-leg moorings).

Μειονέκτημα της αγκύρωσης με τους συμβατικούς κλάδους αγκύρωσης είναι ότι η κάθετη δύναμη στην άγκυρα είναι ανεπαρκής για να εξασφαλίσει ότι η πλατφόρμα δε θα ανατραπεί, κυρίως διότι το βάρος της Α/Γ και οι οριζόντιες δυνάμεις ασκούνται σε μεγάλη απόσταση από το κέντρο άνωσης.

Πλεονέκτημα της αγκύρωσης με τένοντες είναι το γεγονός ότι μπορεί να εξασφαλίσει περισσότερη ευστάθεια, καθώς λόγω περίσσειας άνωσης έχει τη δυνατότητα να βυθίζει κάτω από το επιφάνεια της θάλασσας ένα μεγάλο μέρος της κατασκευής. Επίσης, μπορεί να εφαρμοστεί σε μεγαλύτερα βάθη έναντι της αλυσοειδούς αγκύρωσης που εν γένει προτιμάται σε σχετικά ρηχά νερά.

Οι άγκυρες που χρησιμοποιούνται ώστε να σταθεροποιηθεί η κατασκευή μέσω των γραμμών αγκύρωσης, εξαρτώνται από τις δυνάμεις που δέχεται η κατασκευή, το βάθος εγκατάστασης και την κατάσταση του πυθμένα. Οι κύριες κατηγορίες αγκυρών είναι οι εξής:

- Άγκυρες βαρύτητας (gravity-based anchor)
- Άγκυρες που εμφυτεύονται καθώς σύρονται (drag-embedded anchor)
- Άγκυρες πάσσαλοι (driven pile anchor)
- Άγκυρες αναρρόφησης (suction anchor)
- Άγκυρες που εμφυτεύονται (torpedo embedded anchor)
- Άγκυρες – πάσσαλοι από σκυρόδεμα (drilled and grouted pile)

Υπάρχουν διαφορετικού τύπου πλωτές κατασκευές, η μορφή των οποίων έχει επηρεαστεί σημαντικά από τις τεχνολογικές εξελίξεις και την εκτεταμένη εμπειρία που έχει αποκτηθεί από τη βιομηχανία υπεράκτιας εκμετάλλευσης πετρελαίου και φυσικού αερίου. Κάθε μια από αυτές εφαρμόζεται ανάλογα με τις ανάγκες κατασκευής και το περιβάλλον εγκατάστασής τους.

Οι Α/Γ μπορούν να τοποθετηθούν είτε σε πλωτήρες μιας Α/Γ, είτε σε πλωτήρες πολλών Α/Γ. Σε αυτού του είδους τα πλωτά συστήματα ο πλωτήρας φέρει περισσότερες από μια Α/Γ, ώστε να παρέχεται ευστάθεια και να μοιράζονται το κόστος αγκύρωσης. Όμως, δέχονται μεγάλα φορτία κυματισμού και παρουσιάζουν υψηλό κόστος στήριξης.



Εικόνα 3.9 Πλωτό σύστημα πολλών ανεμογεννητριών (Hexicon)

Αντίθετα, ο πλωτήρας μιας Α/Γ εμφανίζει περισσότερα πλεονεκτήματα καθώς είναι πιο απλός στο σχεδιασμό του, μπορεί να τυποποιηθεί η κατασκευή του, παρουσιάζει σημαντικό έλεγχο της περιστροφικής του κίνησης καθώς έχει και χαμηλότερες κατασκευαστικές απαιτήσεις. Το μόνο μειονέκτημα του είναι πως απαιτεί ξεχωριστό κόστος για το σύστημα αγκύρωσής του.

Οι κύριες κατηγορίες πλωτών κατασκευών που μπορούν να υποστηρίξουν μια Α/Γ είναι οι εξής:

#### **3.2.2.1 Spar Buoy:**

Αποτελούνται από έναν κατακόρυφο κύλινδρο μεγάλης διαμέτρου που υποστηρίζει την Α/Γ. Αυτός ο κύλινδρος επιπλέει λόγω του αέρα που βρίσκεται στην κορυφή του και του έρματος στο κάτω μέρος του. Είναι σχετικά μια καινούρια κατασκευή και για πρώτη φορά χρησιμοποιήθηκε το 1997. Το κέντρο πλευστότητας τους είναι πολύ πιο πάνω από το κέντρο βάρους τους κάνοντάς αυτές τις κατασκευές αρκετά σταθερές. Ακυρώνονται είτε με συμβατικούς κλάδους αγκύρωσης είτε με συρματόσχοινα υπό προένταση. Να σημειωθεί ότι είναι κατάλληλες και για πολύ μεγάλα βάθη.

Η πρώτη πλωτή ανεμογεννήτρια που κατασκευάστηκε χρησιμοποιούσε πλωτή κατασκευή τύπου Spar. Η Hywind είναι σχέδιο της Statoil και εγκαταστάθηκε στη δυτική ακτή της Νορβηγίας το Σεπτέμβριο του 2009. Είναι εξοπλισμένη με μια ανεμογεννήτρια 2.3MW από τη Siemens Wind Power.

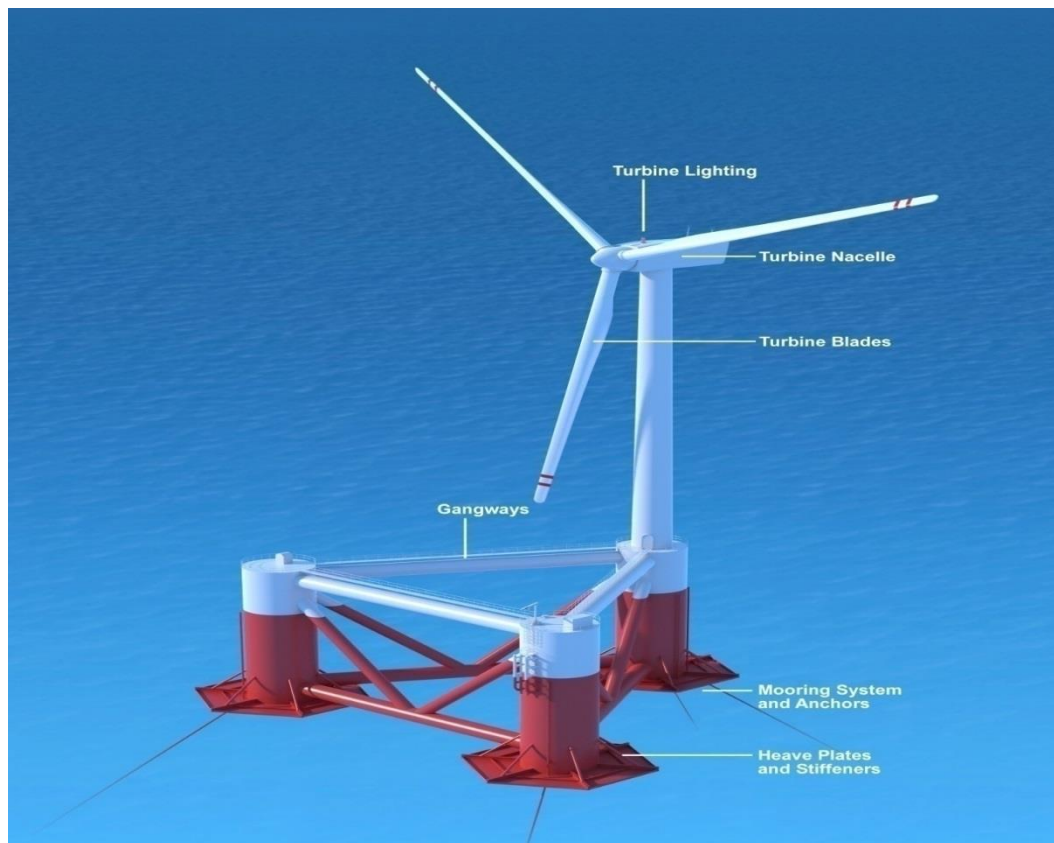


Εικόνα 3.10: Ανεμογεννήτρια Hywind (<http://www.statoil.com>)

### 3.2.2.2 Semi Submersible:

Όπως λέει και το όνομά τους πρόκειται για ημιβυθισμένες πλατφόρμες. Αποτελούνται από μία ημιβυθισμένη φορηγίδα αγκυρωμένη με συμβατικούς κλάδους αγκύρωσης. Αποκτούν την πλευστότητά τους από ποντόνια με έρμα που βρίσκονται κάτω από την

επιφάνεια του νερού. Η υποστηριζόμενη κατασκευή μπορεί να τοποθετηθεί σε αρκετά μεγάλο ύψος σε σχέση με την επιφάνεια της θάλασσας λόγω της καλής ευστάθειας που προσδίδει μια Semi Submersible, κρατώντας την μακριά από τα θαλάσσια κύματα. Όμως λόγω της μικρής επιφάνειας που έχει με το νερό μια Semi Submersible, είναι αρκετά ευάλωτη σε απότομες αλλαγές φορτίου. Κατασκευάζονται και συναρμολογούνται πλήρως στην ξηρά και μετά ρυμουλκούνται μέχρι την περιοχή χρήσης τους.



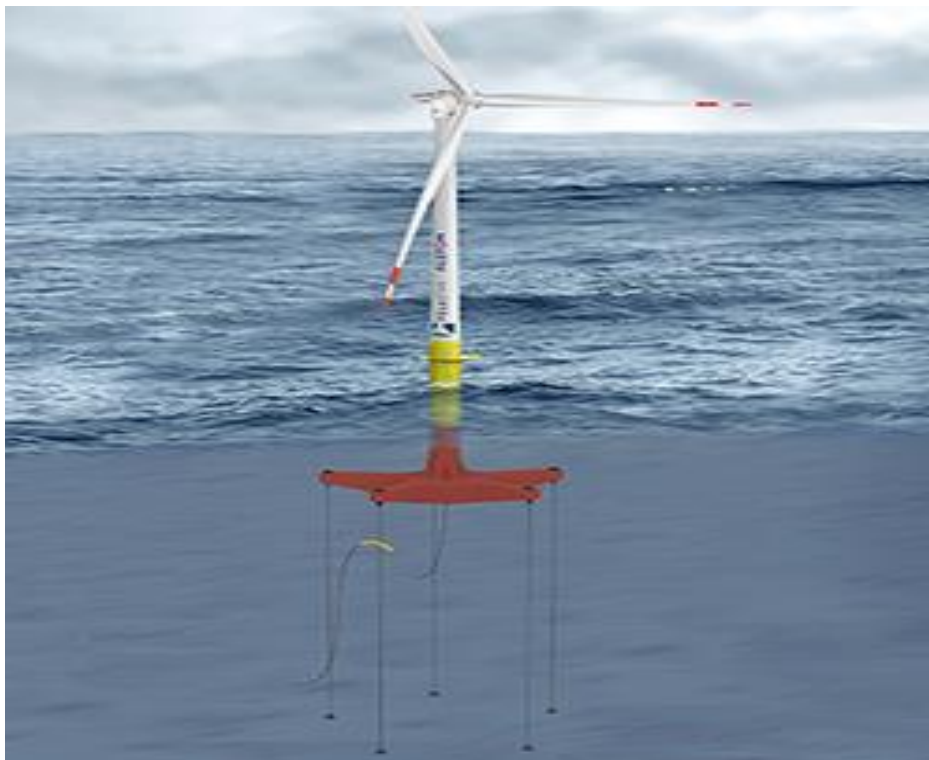
Εικόνα 3.11: Semi Submersible (windfloat)

### 3.2.2.3 TLP (Tension Leg Platform):

Οι TLP είναι πλωτές κατασκευές δεμένες στον πυθμένα της θάλασσας με κυρίως με κάθετους σωλήνες από χάλυβα αλλά (αν και σε μικρότερη έκταση) αλλιώς συρματόσχοινα ή αλυσίδες. Αυτή η δομή τους προσδίδει πολύ ακαμψία στο κάθετο επίπεδο και ευελιξία στο

οριζόντιο, κάνοντάς τις ιδιαίτερα ανθεκτικές στις επιπτώσεις των κυμάτων. Οι TLP έχουν περίσσεια πλευστότητα κρατώντας τα συρματόσχοινα υπό προένταση συνέχεια. Είναι ευαίσθητες όταν φέρουν μεγάλα φορτία στην κορυφή καθώς επηρεάζονται τα υπό προένταση συρματόσχοινα. Ο βασικός σχεδιασμός μιας TLP περιλαμβάνει τέσσερις κολώνες γεμάτες με αέρα σχηματίζοντας ένα τετράγωνο. Αυτές οι κολώνες υποστηρίζονται και συνδέονται από ποντόνια.

Να σημειωθεί επίσης ότι λόγω της ιδιότυπης αγκύρωσης τους, δεν προκαλούν τόσες συνέπειες στο τοπικό οικοσύστημα που τοποθετούνται αλλά ούτε σε τυχόν περαστικά πλοία σε σχέση με τις άλλες κατασκευές αυτής της κατηγορίας. [24][25]



Εικόνα 3.12: Πλατφόρμα τύπου TLP με 5 κλάδους αγκύρωσης.

### 3.3 Πλωτές Α/Γ εδρασμένες σε κατασκευές τύπου TLP

Οι ανεμογεννήτριες εδρασμένες σε πλωτές εξέδρες τύπου TLP (Tension Leg Platform Wind Turbines - TLPWT) αντιπροσωπεύουν μια

πιθανή μέθοδο για πρόσβαση στο υπεράκτιο αιολικό δυναμικό. Οι περιορισμένες κινήσεις της TLP αναμένεται να μειώσουν το δυναμικό φορτίο που αναπτύσσεται στον πύργο και τη φτερωτή σε σχέση με τις άλλες πλωτές κατασκευές, χωρίς να απαιτείται το μεγάλο βύθισμα μιας Spar, ή ο συμβατικός κλάδος αγκύρωσης μιας semi-submersible. Αν και οι TLPWT αποτελούν τομέα έρευνας ακόμα και σήμερα, δεν υπάρχουν σαφή αποτελέσματα για το βέλτιστο σχεδιασμό τους.

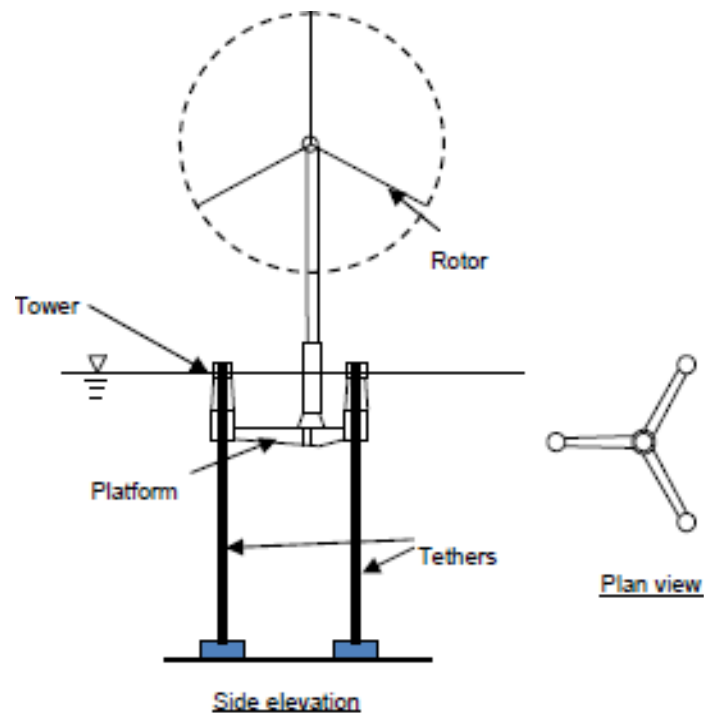
### 3.3.1 Εξέλιξη ανεμογεννητριών εδρασμένες σε πλωτές εξέδρες TLP.

Ο Withee κι ο Σκλαβούνος το 2004 εκτέλεσαν μια προσομοίωση στο πεδίο του χρόνου, των αποκρίσεων μιας ανεμογεννήτριας 1,5 MW εδρασμένης σε TLP, υπό την επίδραση του ανέμου και των δυνάμεων κυματισμού. Παρουσίασαν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης τους, που πραγματοποιείται για την εκτίμηση της απόσβεσης, που προκύπτουν από το ρότορα της ανεμογεννήτριας και της απόσβεσης του κύματος και του ιξώδους, που προκύπτουν από την πλωτή κατασκευή. Παρατήρησαν ότι οι δύο μηχανισμοί απόσβεσης ήταν συγκρίσιμοι και ότι η απόσβεση της φτερωτής φαίνεται να υπακούει σε έναν γραμμικό νόμο. Δόθηκαν επίσης οι αποκρίσεις του συστήματος και οι ροπές που προκύπτουν λόγω της φτερωτής, για μια συγκεκριμένη ταχύτητα ανέμου.<sup>[29]</sup>

Ο Lee την ίδια χρονιά πραγματοποίησε ανάλυση της απόκρισης στο πεδίο συχνοτήτων δύο μοντέλων πλωτών ανεμογεννητριών, μιας εδρασμένης σε TLP και μιας σε Spar, προκειμένου να συγκρίνει τις επιδόσεις των δύο μοντέλων. Ανακάλυψε ότι οι TLP παρουσίαζαν μια πιο ήπια απόκριση στη διαμήκη οριζόντια ταλάντωση (surge) και στην εγκάρσια οριζόντια ταλάντωση (sway) ενώ ήταν εξαιρετικά άκαμπτες σε περιστροφή. Αντίθετα η Spar ήταν άκαμπτη στη διαμήκη-οριζόντια ταλάντωση (surge-sway), αλλά παρουσίαζε μια πιο ήπια συμπεριφορά σε περιστροφή.<sup>[30]</sup>

Ο Suzuki το 2009 ανέπτυξε ένα σχέδιο πλωτής κατασκευής τύπου TLP για υπεράκτια αιολικά πάρκα. Ο σχεδιασμός του βασίστηκε στην προηγούμενη εμπειρία στο σχεδιασμό και στην κατασκευή TLP, που λαμβάνει υπόψη τη σταθερότητα της κατασκευής, την αγκύρωση και την ευκολία συντήρησης. Από τη δυναμική ανάλυση της συγκεκριμένης κατασκευής, διαπιστώθηκε ότι η συγκεκριμένη TLP έχει εξαιρετικά χαρακτηριστικά στην δυναμική απόκριση και ότι έχει πολύ καλή αντοχή σε εξαιρετικά ακραίες συνθήκες περιβάλλοντος, φορτίων ανέμου, ακόμα και σεισμών.<sup>[31]</sup>





Εικόνα 3.13: Πλωτή ανεμογεννήτρια εδρασμένη σε TLP (Suzuki, 2009)

Ο Weinzettel το ίδιο έτος πραγματοποίησε μια εκτίμηση του κύκλου ζωής μιας υπεράκτιας ανεμογεννήτριας που είναι εδρασμένη σε TLP. Η προκαταρκτική εκτίμηση του κύκλου ζωής εξέτασε τις περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις της πλωτής ανεμογεννήτριας και τόνισε τη σημασία του σεναρίου παροπλισμού σύμφωνα με την οποία τα υλικά ανακυκλώνονται για να αμβλύνουν τις αρνητικές συνέπειες που προκύπτουν για το περιβάλλον.<sup>[32]</sup>

Ο Bae το 2010 πραγματοποίησε μια δυναμική ανάλυση μιας μικρής TLP πλωτής ανεμογεννήτριας. Η προσομοίωση στο πεδίο του χρόνου περιλάμβανε δυναμική ανάλυση του συστήματος φτερωτής-ρότορα και της αγκύρωσης καθώς και μελέτη των κινήσεων της πλωτής κατασκευής. Η δυναμική σύζευξη μεταξύ της περιστρεφόμενης φτερωτής και της πλωτής κατασκευής, επιπρόσθετα με την δυναμική σύζευξη αγκύρωσης και πλωτής κατασκευής, αξιολογήθηκε σε αυτήν την έρευνα. Σε σχέση με τα μη συζευγμένα μοντέλα παρατηρήθηκε μια πιο έντονη δυναμική επίδραση του ρότορα σε υψηλές συχνότητες, που έχει σαν αποτέλεσμα τη σκληρότερη καταπόνηση της κατασκευής και τη μείωση της διάρκειας ζωής της. Η μελέτη αυτή προσπάθησε να μεταφέρει το μήνυμα ότι αυτή η μεθοδολογία ήταν εφαρμόσιμη στις πλωτές ανεμογεννήτριες που υπόκεινται σε τυχαίους κυματισμούς, ανέμους και σταθερά ρεύματα.<sup>[33]</sup>

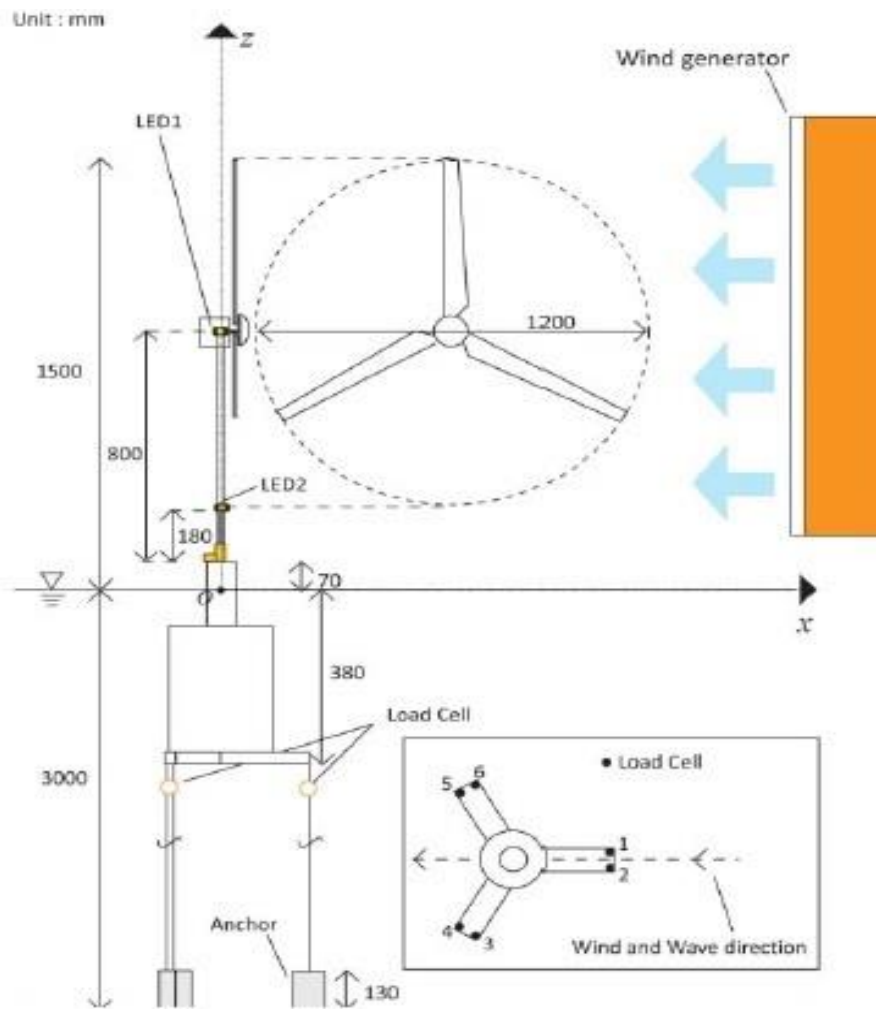
Οι Nihei και Fujioka την ίδια περίοδο διερεύνησαν τις χαρακτηριστικές κινήσεις μιας TLPWT υπό την επίδραση των δυνάμεων κυματισμού και ανέμου. Πραγματοποίησαν δοκιμές με ένα μοντέλο κλίμακας 1:100 , μετρώντας τις τάσεις που αναπτύσσονταν στο σύστημα αγκύρωσης, τις ροπές που δημιουργούσε η ανεμογεννήτρια και παρατηρώντας τις χαρακτηριστικές κινήσεις του μοντέλου. Τα πειράματά τους έδειξαν ότι στην περίπτωση εφαρμογής κυμάτων και ανέμου, η επίδραση του ανέμου είχε ευεργετικά αποτελέσματα στη σταθεροποίηση της κατασκευής ως προς τον προνευτασμό (pitch) αλλά και στη μείωση των δονήσεων των κλάδων αγκύρωσης. Επίσης παρατηρήθηκε μια μείωση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας λόγω της κλίσης της κατασκευής. Τέλος τονίστηκε ότι η μείωση λόγω του προνευτασμού (pitch) δε λήφθηκε υπόψη.<sup>[34]</sup>

Ο Yasunori Nihei μαζί με τους Midori Matsuura, Hiroyuki Fujioka και Hideyuki Suzuki διετέλεσαν μια έρευνα το 2011 για τη βέλτιστη σχεδίαση ανεμογεννήτριας εδρασμένης σε πλωτή εξέδρα τύπου TLP. Πραγματοποίησαν μια καινούρια προσέγγιση για αυτές τις κατασκευές. Οι TLP που χρησιμοποιούνται για εξόρυξη πετρελαίου σε βαθύ νερό έχουν υψηλό κόστος. Όμως μια ανεμογεννήτρια των 5MW ζυγίζει περίπου 450 τόνους, βάρος πολύ χαμηλότερο από ότι εκείνο των εξεδρών εξόρυξης πετρελαίου. Ως εκ τούτου το εκτόπισμα καθώς και η επιφάνεια επαφής της πλατφόρμας με το νερό θα μπορούσε να είναι μικρότερα. Αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση των δυνάμεων του κυματισμού. Αυτή η ιδέα, που οδηγεί σε χαμηλό κόστος, δοκιμάστηκε σε δύο μοντέλα TLP κλίμακας 1:100. Οι δοκιμές έγιναν σε μια δεξαμενή υπό την ταυτόχρονη επίδραση ανέμων και κυματισμού. Μέτρησαν όχι μόνο τις χαρακτηριστικές κινήσεις και τις δυνάμεις που δέχονται οι κλάδοι τις αγκύρωσης, αλλά και την ταχύτητα των πτερυγίων της ανεμογεννήτριας.

Τα χαρακτηριστικά των δύο μοντέλων που χρησιμοποιήσαν παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Μοντέλο 350	Πλήρες μέγεθος		Μέγεθος
Στοιχείο	μονάδα	τιμή	Μονάδα
Εκτόπισμα	tons	846	G
Βύθισμα	meters	21.5	Cm

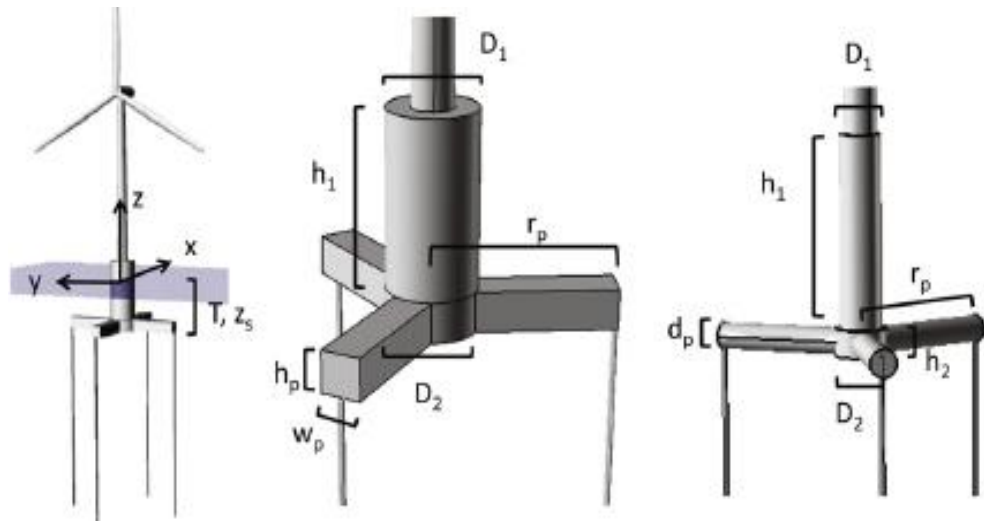
Αρχική τάση	kg	900	G
Αριθμός κλάδων αγκύρωσης	-	6	-
Μοντέλο 550	Πλήρες μέγεθος		Μέγεθος
Στοιχείο	μονάδα	τιμή	Μονάδα
Εκτόπισμα	tons	3500	G
Βύθισμα	meters	38	Cm
Αρχική τάση	kg	2260	G
Αριθμός κλάδων αγκύρωσης	-	6	-



Εικόνα 3.14: Πειραματική διάταξη Suzuki et al.

Μετά το πέρας της έρευνας είχε εκτιμηθεί το κατάλληλο εκτόπισμα που πρέπει να έχει μια TLP που φέρει ανεμογεννήτρια 5MW. Επίσης εκτιμήθηκαν τα φορτία στα οποία υποβάλλεται η αγκύρωση λόγω των δυνάμεων και των ροπών που προκύπτουν από τα κύματα με τη βοήθεια του τύπου του Morison. Η δύναμη του ανέμου στην ανεμογεννήτρια υπολογίστηκε με τη βοήθεια της θεωρίας της ορμής. Για το μοντέλο 550 επιβεβαιώθηκε ότι οι κλάδοι της αγκύρωσης παραμένουν υπό προένταση ακόμα και σε ακραίες συνθήκες. Τέλος για το μοντέλο 350 παρατηρήθηκαν φαινόμενα ανατροπής και αποκοπής κλάδου αγκύρωσης (slacking) για κάποιες ταχύτητες ανέμου. Γι αυτά τα φαινόμενα ευθύνεται η κλίση της κατασκευής και η περιστροφή της ανεμογεννήτριας κατά την λειτουργία της.<sup>[35]</sup>

Το 2012 οι Erin E. Bachynski, Torgeir Moan ανέλυσαν ένα μεγάλο εύρος παραμέτρων των πλωτών ανεμογεννητριών που είναι εδρασμένες σε κατασκευές TLP. Εκτέλεσαν τις δοκιμές σε τέσσερις διαφορετικές συνθήκες ανέμου-κύματος χρησιμοποιώντας τα προγράμματα RIFlex, Simo και AeroDyn για την αξιολόγηση των κινήσεων της πλατφόρμας και των φορτίων που δέχεται η ανεμογεννήτρια και η αγκύρωση. Η προσεκτική επιλογή της φυσικής περιόδου, διαμέτρου στην ίσαλο γραμμή, προέντασης, και ακτίνας ποντονίων οδηγεί σε βελτίωση της συμπεριφοράς της κατασκευής σε διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες και βάθη νερού. Επειδή το κόστος της κατασκευής αυξάνεται περίπου γραμμικά με το εκτόπισμα και την προένταση, ο στόχος του σχεδιασμού είναι η επίτευξη της καλύτερης δυνατής απόδοσης με το ελάχιστο απαιτούμενο εκτόπισμα και προένταση.



Εικόνα 3.15: Γεωμετρία της κατασκευής που μελέτησαν οι Bachynski, και Moan

Τα πειράματα έγιναν στα εξής πέντε μοντέλα:

Baseline designs (water depth 150 m).

	TLPWT 1	TLPWT 2	TLPWT 3	TLPWT 4	TLPWT 5
Pontoons	Rect.	Rect.	Rect.	Rect.	Round
$D_1$ (m)	18.0	14.0	14.0	6.5	6.5
$D_2$ (m)	18.0	14.0	14.0	10.0	6.5
$h_1$ (m)	52.6	40.0	26.0	33.0	23.0
$h_2$ (m)	2.4	5.0	6.0	6.0	5.0
$r_p$ (m)	27.0	32.0	28.0	25.0	32.5
$h_p/w_p$ or $d_p$ (m)	2.4/2.4	5.0/5.0	6.0/6.0	6.0/6.0	5.0
BF	0.55	0.60	0.40	0.40	0.40
$n_p$	4	3	3	4	3
$z_s$	-43.8	-32.5	-19.0	-19.0	-15.5
$d_t$ (m)	1.4	1.1	1.3	1.2	0.9
$t_t$ (mm)	46.2	36.3	42.9	39.6	29.7
Steel mass (tonnes)	2322	1518	1293	859	505
$V$ (m <sup>3</sup> )	11,866	7263	5655	4114	2320
$T_t$ (kN)	6868	4963	8262	5556	3384

Εικόνα 3.16: Μοντέλα δοκιμών

Συνοψίζοντας κατέληξαν ότι γενικά τα σχέδια με μεγαλύτερο εκτόπισμα παρουσίασαν λιγότερες κινήσεις και αυτά με την υψηλότερη προένταση λιγότερη διακύμανση τάσης. Οι αποκρίσεις των κατασκευών επηρεάζονταν περισσότερο από αλλαγές στην περίοδο και την ακαμψία από ότι στη διάμετρο, το βάθος νερού, το έρμα και την ακτίνα των ποντονίων. Αν και τελικά δεν βρέθηκε ο βέλτιστος σχεδιασμός για μια πλωτή ανεμογεννήτρια εδρασμένη σε TLP, τα μοντέλα 3 και 4 με αυξημένη ακτίνα ποντονίων, έτειναν να δείχνουν καλύτερη συνολική συμπεριφορά. Τέλος τονίζεται ότι η εξέταση των διαφορετικών περιβαλλοντικών συνθηκών ήταν πολύ περιορισμένη, έτσι απαιτούνται περαιτέρω δοκιμές για να προβλεφθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η καταπόνηση της κατασκευής και οι αποκρίσεις της σε πιο ακραίες συνθήκες.<sup>[36]</sup>

Το 2012 οι Yongsheng Zhao, Jianmin Yang και Yanping He, έκαναν μια προκαταρκτική μελέτη για μια κατασκευή TLP πολλαπλού πυλώνα (Windstar TLP) για μια ανεμογεννήτρια ισχύος 5MW (NREL 5MW), σε περιβαλλοντικές συνθήκες ίδιες με αυτών που έγιναν οι δοκιμές της OC3 - Hywind (NREL). Διεξήγαγαν μια αερο-υδρο-ελαστική ανάλυση στο πεδίο του χρόνου με το πρόγραμμα FAST. Λήφθηκαν και αναλύθηκαν στατιστικά στοιχεία για τις βασικές παραμέτρους.

Στοιχείο	Τιμή
Διάμετρος κεντρικής κολώνας (m)	6
Διαστάσεις γωνιακής κολώνας (m)	4,8x4,8
Απόσταση γωνιακής-κεντρικής κολώνας (m)	20
Βάθος (m)	42,8
Βύθισμα σχεδιασμού (m)	21,5
Προένταση (t)	1950
Συνολικό εκτόπισμα (t)	4275

Πίνακας 2.4: Στοιχεία Windstar TLP



Εικόνα 3.17: Windstar TLP

Συνοψίζοντας κατέληξαν ότι η Windstar TLP, με μια ελαφρύτερη και μικρότερη δομή παρουσίασε αρκετά ικανοποιητικές επιδόσεις, έτσι η προτεινόμενη κατασκευή μπορεί να χαρακτηριστεί ως έχουσα σημαντική προοπτική για περαιτέρω ανάπτυξη. Παρουσίασε πολύ καλά χαρακτηριστικά απόκρισης κάτω από ακραίες συνθήκες κυμάτων και ανέμου. Τέλος αναφέρθηκε ότι πρέπει να διεξαχθούν περαιτέρω πειράματα για την βελτιστοποίηση των διαστάσεων της κατασκευής και για μεγαλύτερο εύρος καταστάσεων φόρτισης ώστε να αξιολογηθεί η δομική ακεραιότητά της.<sup>[37]</sup>

Το ίδιο έτος έγινε μια δοκιμή από τους G.K.V. Ramachadran, H. Bremdose, J.N. Sorensen και J.J. Jensen, που αφορούσε την τρισδιάστατη δυναμική απόκριση μιας TLPWT υπό φορτίσεις ανέμου και κυματισμού. Το συνολικό σύστημα διαμορφώνεται με τη χρήση 17 βαθμών ελευθερίας, 6 για τις κινήσεις της πλατφόρμας και 11 για την ανεμογεννήτρια. Τριών διαστάσεων υδροδυναμικά φορτία χρησιμοποιήθηκαν. Τα φορτία κύματος υπολογίζονται από την κινηματική χρησιμοποιώντας τον τύπο του Morison. Τα αεροδυναμικά φορτία μοντελοποιούνται με τη θεωρία BEM (Blade-Element-Momentum), συμπεριλαμβάνοντας το συντελεστή διόρθωσης Glauert. Το αεροδυναμικό μοντέλο λαμβάνει υπόψη του τη διάτμηση του ανέμου καθώς και την επίδραση των αναταράξεων.

Συνοψίζοντας η έρευνα έδειξε ότι από τα κύματα των 90 και 180 μοιρών προκύπτουν οι κρίσιμες καταστάσεις φόρτισης της κατασκευής, αν και αυτό απαιτεί περαιτέρω υπολογισμούς για ακραίες καταστάσεις θάλασσας. Οι υπολογισμοί τους έδειξαν ότι η διακυμάνσεις της ροπής του ρότορα της ανεμογεννήτριας προκαλούν μεγάλα φαινόμενα διατοιχισμού (roll), το οποίο απαιτεί βελτιστοποίηση του σχεδιασμού της πλωτής κατασκευής. Από τα αποτελέσματα φάνηκε ότι η στροφική οριζόντια ταλάντωση (yaw), μπορεί να μειωθεί με την ενσωμάτωση αποσβεστήρα ή με την αύξηση μάζας επιλέγοντας κατάλληλες διαστάσεις ακτινών μέσα από μια παραμετρική μελέτη. Τέλος τονίστηκε ότι οι παραπάνω παρατηρήσεις πρέπει να επικυρωθούν από προχωρημένο αερο-ελαστικό κώδικα.<sup>[38]</sup>

### 3.3.2 Αντιπροσωπευτικές Κατασκευές TLP έως σήμερα

Παρακάτω παρουσιάζονται, ενδεικτικές κατασκευές TLPWT που έχουν κατασκευασθεί ή βρίσκονται σε ερευνητικό στάδιο σε όλο τον κόσμο.

#### 3.3.2.1 Hywind 2

Η εταιρεία statoil που κατασκεύασε την πρώτη πλωτή ανεμογεννήτρια το 2009, προτείνει για το άμεσο μέλλον το πρώτο αιολικό πάρκο πλωτών ανεμογεννητριών αποτελούμενο από 6 ανεμογεννήτριες 6 MW η κάθεμία, στα ανοιχτά της Σκωτίας.

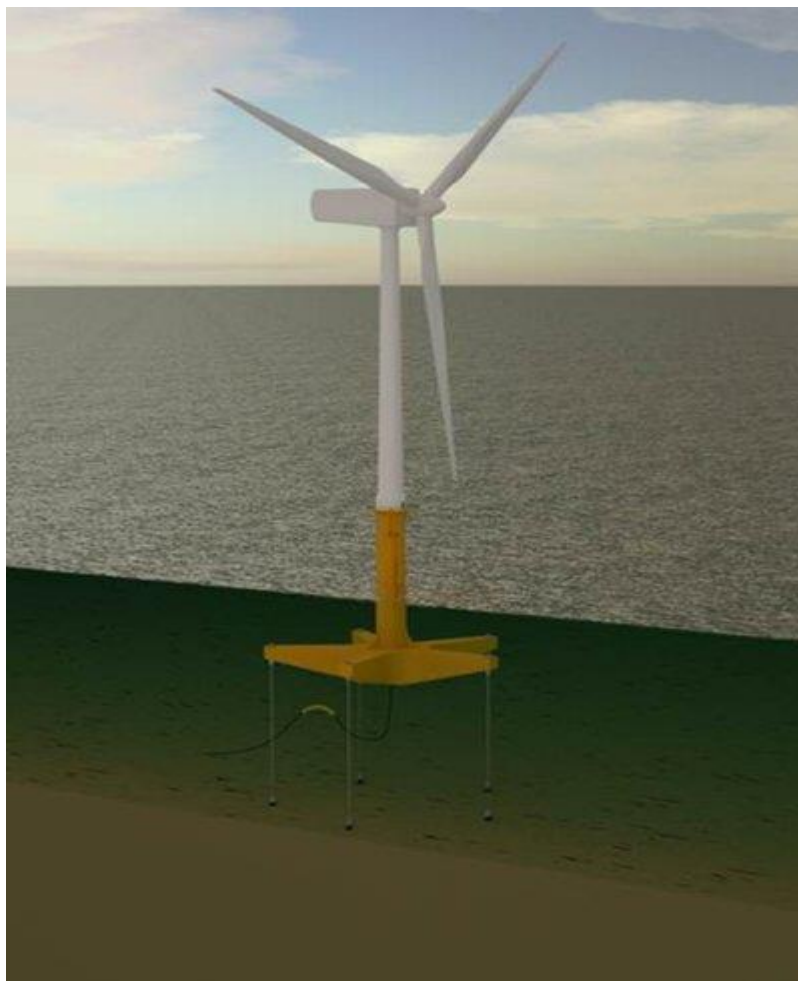


Εικόνα 3.18 Hywind 2 <http://www.rechargenews.com/>



### 3.3.2.2 Glosten Pelastar

Η εταιρεία Glosten Associates από το Seattle άρχισε από το 2006 να μελετά την κατασκευή πλωτής υπεράκτιας Α/Γ. Η πρότασή της εν τέλει ήταν το Pelastar. Η κατασκευή αυτή είναι πλατφόρμα μορφής TLP. Μπορεί να υποστηρίξει διάφορα μεγέθη πυλώνων καθώς και ποικιλία ισχύος Α/Γ. Η πρόσδεσή της στον πυθμένα θα γίνεται είτε μέσω χαλύβδινων προεντεταμένων καλωδίων, είτε μέσω τενόντων από σύνθετα υλικά υψηλής αντοχής. Για το 2015 προβλέπεται η κατασκευή πλήρους κλίμακας μοντέλου ισχύος 6MW , όπου θα λειτουργήσει στις νότιες ακτές του Ηνωμένου Βασιλείου.



Εικόνα 3.29 Glosten Pelastar <http://www.harland-wolff.com>

### 3.3.2.3 Advanced Floating Turbine AFT

Η εταιρεία Nautica Windpower σχεδίασε την πλωτή ανεμογεννήτρια Advanced Floating Turbine (AFT). Παρ' ότι μοιάζει με κατασκευή spar-buoy προκειται για υβρίδιο TLP και Semisubmersible. Ο σχεδιασμός του είναι ιδιαίτερα ριζοσπαστικός επιτυγχάνοντας σημαντική μείωση

κόστους σε κάθε στάδιο από την κατασκευή και την μεταφορά έως και την συντήρηση. Έτσι λόγω της μειωμένης έκτασης της βάσης έδρασης (εν αντιθέσει με τις TLP και Semisubmersible), της χρήσης μόνο μιας γραμμής αγκύρωσης, της ύπαρξης μόνο δυο πτερυγίων έναντι τριών έχουμε μείωση του κόστους κατασκευής κατά 75%. Επιπλέον στην μείωση του κόστους συνεπικουρούν: η ευκολία μεταφοράς από το λιμάνι κατασκευής της με απλές φορηγίδες, η απλή διαδικασία πόντισής της και η απλουστευμένη (λόγω της μορφής της) συντήρησή της .

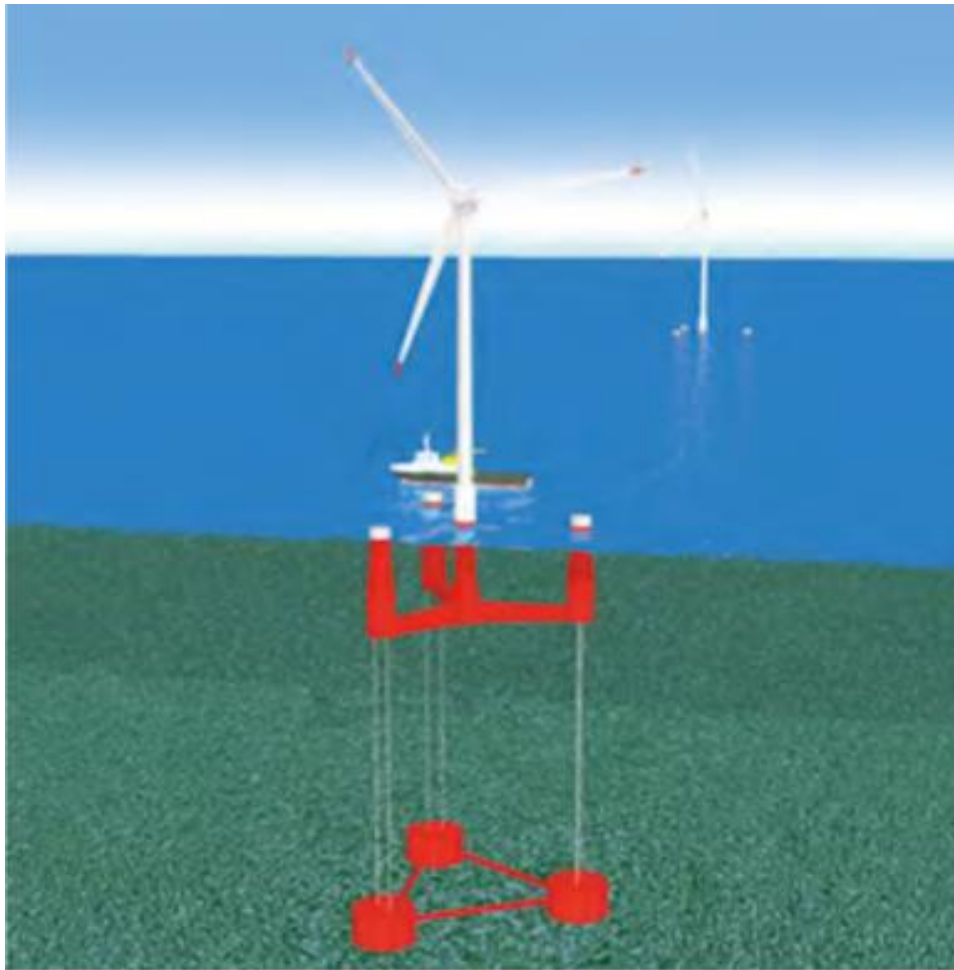
Οι δοκιμές που ακολούθησαν του σχεδιασμού έλαβαν μέρος σε ειδικές δεξαμενές, καθώς και σε μεγάλες λίμνες (με μοντέλο κλίμακας 1/2). Τα αποτελέσματα κατέδειξαν πως το είδος της κατασκευής είναι αρκετά σταθερό ακόμη και σε πιθανό τυφώνα. Το 2016 προβλέπεται η δοκιμαστική πόντιση του προαναφερθέντος μοντέλου κλίμακος 1:2 σε θαλάσσιο περιβάλλον μεγάλου βάθους και εν συνεχεία η έναρξη παραγωγής του AFT πλήρους μεγέθους το 2018.



Εικόνα 3.20 Advanced Floating Turbine  
<http://www.nauticawindpower.com>

### 3.3.2.4 Mitsui Zosen

Η εταιρεία ναυπήγησης Mitsui έχει αναπτύξει το παρακάτω μοντέλο TLP πλατφόρμας Α/Γ σε συνεργασία με το Πανεπιστήμιο του Τόκιο, το Ινστιτούτο Θαλασσιών Ερευνών της Ιαπωνίας, την Shimizu Corporation και την Tokyo Electric Power Company. Σύμφωνα με την εταιρεία έχουν αρχίσει ήδη η δοκιμές σε δεξαμενές υπό κλίμακα μοντέλων.



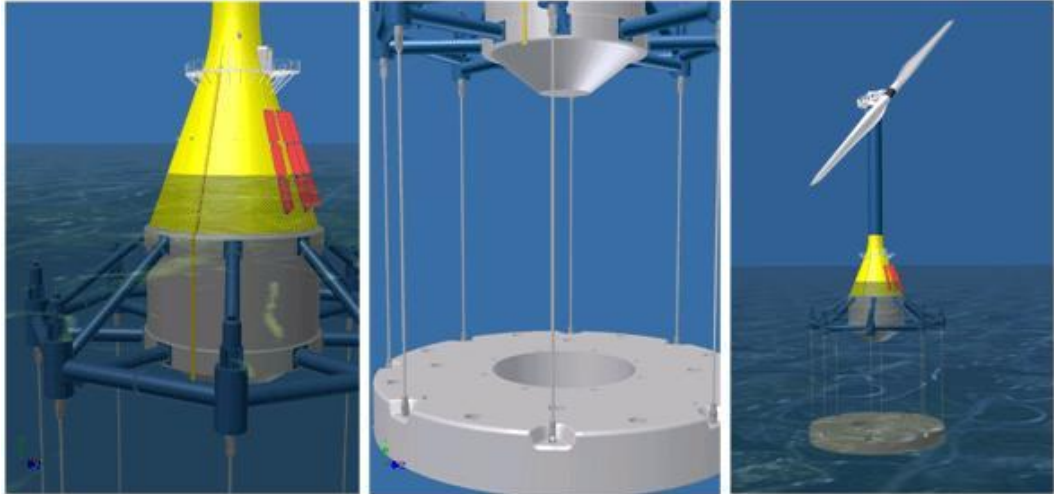
Εικόνα 3.20 Mitsui Zosen TLP

<http://windeng.t.u-tokyo.ac.jp>

### 3.3.2.5 Blue H

Το 2008 μοντέλο υπό κλίμακα 75% της Α/Γ Blue H δοκιμάστηκε με επιτυχία για έναν χρόνο σε νερά βάθους 113m, σε απόσταση 23km από την ιταλική ακτογραμμή και έχοντας απόδοση 2MW. Ακολούθησε

επεξεργασία των αποτελεσμάτων και επιπλέον δοκιμές σε δεξαμενές ώστε εντός του 2015 να αναμένεται η πόντιση μοντέλου πλήρους μεγέθους και το 2016 η έναρξη της εμπορικής του διάθεσης. Η προβλεπόμενη ισχύς της εν λόγω TLPWT θα είναι 5MW.



Εικόνα 3.21 Blue H. <http://www.renewableenergymagazine.com/>

### 3.3.2.6 GICON-SOF, Germany

Η αγκύρωσης TLP A/T GICON-SOF (Schwimmendes Offshore Fundament), δύναται να λειτουργήσει τόσο σε ρηχά όσο και σε βαθιά νερά ( από 20-700m). Μπορεί να σχεδιαστεί με διαφορετικά είδη πρόσδεσης, αναλόγως του πυθμένα στην περιοχή πόντισης. Επιπλέον αποτρέπει τις υψηλές επιταχύνσεις και μετακινήσεις.

Το 2012 μοντέλο κλίμακας 1:25 δοκιμάστηκε με υπέρ το δέον επιτυχία στην δεξαμενή HSVA στο Αμβούργο. Δοκιμάστηκε και ανταπεξήλθε σε προσομοιώσεις συνθηκών τόσο λειτουργίας όσο και οριακές.



Εικόνα 3.22 GICON-SOF <http://www.gicon.de>

### 3.3.2.7 FLOTTEK project, Spain

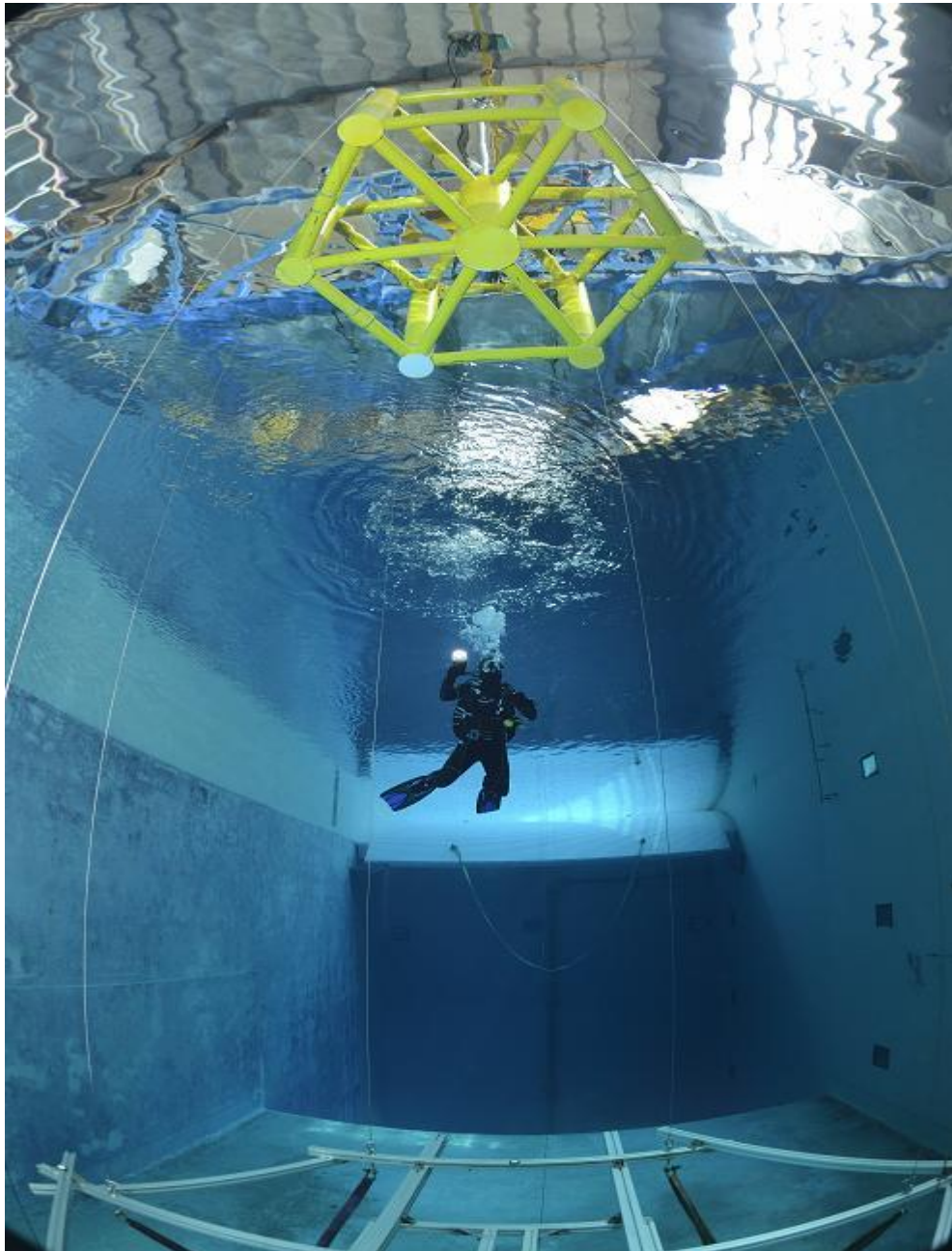
Η Iberdrola σχεδιάζει δυο μοντέλα Α/Γ με αγκύρωση TLP. Το μεν πρώτο θα δέχεται ανεμογεννήτρια 2MW, ενώ το δε δεύτερο 5MW. Έχει ήδη κάνει πειράματα σε δεξαμενές με μοντέλα κλίμακας 1/35 και 1/40 αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα επιβεβαίωσαν τους φιλόδοξους στόχους που είχαν τεθεί για τα έργα αυτά, συμπεριλαμβανομένης της επίδοσης σε συνθήκες κύματος ύψους έως 31 μέτρα.



Εικόνα 3.23 FLOTTEK <http://www.iberdrola.com>

### 3.3.2.8 HEXWIND platform

Η HEXWIND είναι μια πρόταση για πλατφόρμα τύπου TLP, πάνω στην οποία γίνονται δοκιμές στα πλαίσια του προγράμματος MARINET από το ερευνητικό κέντρο Beaufort Research (Ιρλανδία). Θα φέρει ανεμογεννήτρια 5 ή 6 MW. Έχει ήδη κάνει πειράματα σε δεξαμενές με μοντέλα κλίμακας 1/30

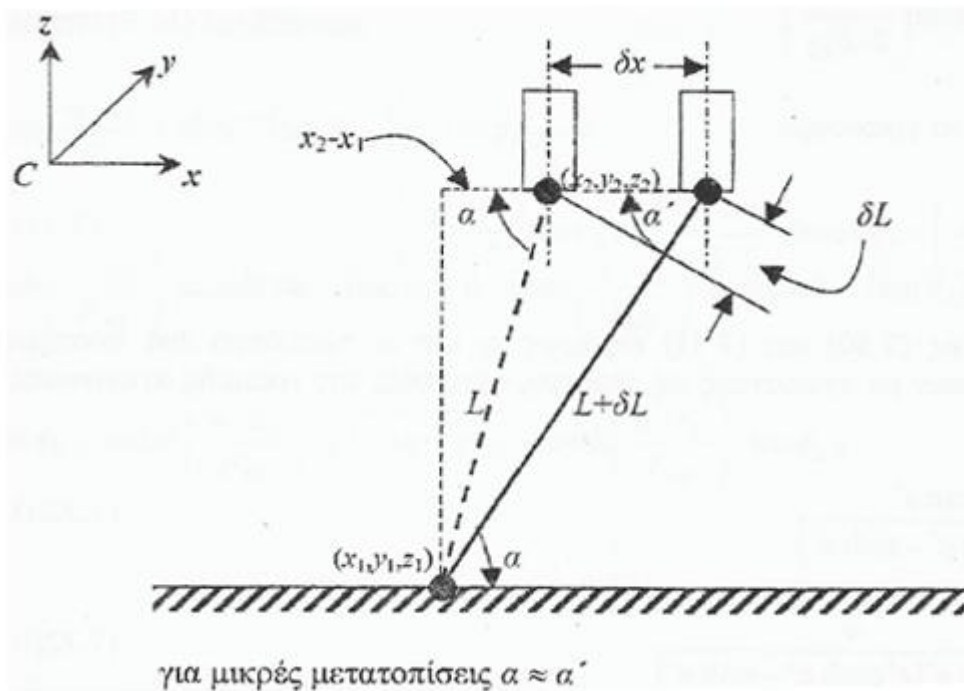


Εικόνα 3.23 HEXWIND <http://www.fp7-marinet.eu>

### 3.3.3 Συστήματα πρόσδεσης (mooring lines) TLP

#### 3.3.3.1 Υπολογισμός μεγεθών αγκυρωμένων κατασκευών

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει αναφορά στην διαδικασία υπολογισμού των συντελεστών επαναφοράς για πλωτή κατασκευή που συγκρατείται στην θέση ισορροπίας της μέσω προεντεταμένων τενόντων (TLP) εικόνα (4.1), όπως και η κατασκευή που μελετάμε.



Εικόνα 3.24 Ισορροπία προεντεταμένης κατασκευής

Οι ασκούμενες δυνάμεις επαναφοράς μπορούν να γραφούν στην ακόλουθη μητρική μορφή:

$$F_{Mi} = k_{ij} \cdot \xi_j \quad (3.1)$$

όπου:

$F_{Mi}$ : είναι η  $i$  συνιστώσα του διανύσματος της δύναμης αγκύρωσης.

$\xi_j$ : είναι ένα 6X1 διάνυσμα που περιέχει τις κινήσεις στους 6 βαθμούς ελευθερίας κίνησης της κατασκευής.

και

$k_{ij}$ : είναι το 6X6 μητρώο ακαμψίας. Τα στοιχεία του υποδηλώνουν τη συνεισφορά στην  $i$  κατεύθυνση της δύναμης αγκύρωσης που προκαλείται λόγω της μετατόπισης στη  $j$  διεύθυνση της κατασκευής.

Έστω  $T$  η σταθερή κατά μήκος της γραμμής αγκύρωσης ένταση,  $\lambda$  η σταθερά της ελαστικής ακαμψίας,  $(x_1, y_1, z_1)$  οι συντεταγμένες του σημείου πρόσδεσης στον πυθμένα και  $(x_2, y_2, z_2)$  οι συντεταγμένες του σημείου πρόσδεσης στην πλωτή κατασκευή.

Τότε:

$$\cos\alpha = \frac{x_2 - x_1}{L}; \cos\beta = \frac{y_2 - y_1}{L}; \cos\gamma = \frac{z_2 - z_1}{L} \quad (3,2)$$

$$L = \{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2\}^{\frac{1}{2}} \quad (3.3)$$

Εάν  $\delta x$  είναι η μικρή οριζόντια απόσταση μετακίνησης της πλατφόρμας, τότε υπό την προϋπόθεση ότι  $\alpha \approx \alpha'$  μπορούμε να καταλήξουμε στην ακόλουθη σχέση:

$$L + \delta L \approx L + \delta x \cdot \cos\alpha = L + \frac{x_2 - x_1}{L} \cdot \delta x \quad (3.4)$$

Η δύναμη επαναφοράς κατά μήκος του  $x$ - άξονα μπορεί να υπολογιστεί ως:

$$\delta T_x = (T + \delta T) \cdot \cos\alpha' - T \cdot \cos\alpha \quad (3.5)$$

Επίσης



$$\cos \alpha' = \frac{x_2 - x_1 + \delta x}{L + \delta L} = \frac{(x_2 - x_1) \left[ 1 + \frac{\delta x}{(x_2 - x_1)} \right]}{L \cdot \left( 1 + \frac{\delta L}{L} \right)} \quad (3.6)$$

Συνδυάζοντας τις 4.4.5 και 4.4.6 εξάγουμε:

$$\delta T_x = (T + \delta T) \cdot \left( \frac{x_2 - x_1}{L} \right) \cdot \left[ \frac{1 + \frac{\delta x}{(x_2 - x_1)}}{1 + \frac{\delta L}{L}} \right] - \frac{T \cdot (x_2 - x_1)}{L} \quad (3.7)$$

Αναπτύσσοντας τον παρονομαστή στην αγκύλη της παραπάνω εξίσωσης σε σειρά Taylor λαμβάνουμε :

$$\frac{1}{1 + \frac{\delta L}{L}} = 1 - \frac{\delta L}{L} + \left( \frac{\delta L}{L} \right)^2 + O(\varepsilon^3) = 1 - \frac{\delta L}{L} + O(\varepsilon^2) \quad (3.8)$$

Από τις 4.4.7 και 4.4.8 παίρνουμε:

$$\delta T_x = (T + \delta T) \cdot \cos \alpha \cdot \left[ 1 + \frac{\delta x}{(x_2 - x_1)} \right] \cdot \left[ 1 - \frac{\delta L}{L} \right] - T \cdot \cos \alpha \quad (3.9)$$

ή αλλιώς

$$\delta T_x = T \cdot \cos \alpha \cdot \left[ \frac{\delta x}{(x_2 - x_1)} - \frac{\delta L}{L} + \frac{\delta T}{T} \right] + O(\varepsilon^2) \quad (3.10)$$

ή ισοδύναμα δεδομένου ότι  $\delta L = \delta x \cdot \cos \alpha$

$$\begin{aligned} \delta T_x &= \frac{T}{L} \cdot \cos \alpha \cdot \left\{ \left[ \frac{L \cdot \delta x}{(x_2 - x_1)} \right] \cos \alpha \cdot \delta x + \frac{\lambda \cdot (x_2 - x_1)}{T} \cdot \delta x \right\} \\ &= \left( \lambda \cdot \cos^2 \alpha + \frac{T}{L} \cdot \sin^2 \alpha \right) \cdot \delta x \end{aligned} \quad (3.11)$$

Στο όριο, καθώς  $\delta x \rightarrow 0$

$$\lim_{\delta x \rightarrow 0} \frac{\delta T_x}{\delta x} = \frac{\partial T_x}{\partial x} = k_{11} = \lambda \cdot \cos^2 \alpha + \frac{T}{L} \cdot \sin^2 \alpha \quad (3.12)$$

Οι υπόλοιποι όροι που δίνουν τους συντελεστές επαναφοράς λόγω μετατοπίσεων, μπορούν να εξαχθούν κατά αναλογία με το συντελεστή  $k_{11}$  και είναι:

$$k_{21} = k_{12} = \left[ \lambda + \left( \frac{T}{L} \right) \right] \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta \quad (3.13)$$

$$k_{31} = k_{13} = \left[ \lambda + \left( \frac{T}{L} \right) \right] \cdot \cos \alpha \cdot \cos \gamma \quad (3.14)$$

$$k_{22} = \lambda \cdot \cos^2 \beta + \frac{T}{L} \cdot \sin^2 \beta \quad (3.15)$$

$$k_{32} = k_{23} = \left[ \lambda + \left( \frac{T}{L} \right) \right] \cdot \cos \beta \cdot \cos \gamma \quad (3.16)$$

$$k_{33} = \lambda \cdot \cos^2 \gamma + \frac{T}{L} \cdot \sin^2 \gamma \quad (3.17)$$

Οι υπόλοιποι όροι που εκφράζουν :

- ροπές λόγω μεταφορικών κινήσεων
- δυνάμεις λόγω περιστροφών, και
- ροπές λόγω περιστροφών

προκύπτουν από τους εννέα πρώτους όρους:

$$k_{41} = k_{31} \cdot y_2 - k_{21} \cdot z_2 \quad (3.18)$$

$$k_{51} = k_{11} \cdot z_2 - k_{31} \cdot x_2 \quad (3.19)$$

$$k_{61} = k_{22} \cdot x_2 - k_{11} \cdot y_2 \quad (3.20)$$

$$k_{42} = k_{32} \cdot y_2 - k_{22} \cdot z_2 \quad (3.21)$$

$$k_{52} = k_{21} \cdot z_2 - k_{32} \cdot x_2 \quad (3.22)$$

$$k_{62} = k_{22} \cdot x_2 - k_{21} \cdot y_2 \quad (3.23)$$

$$k_{43} = k_{33} \cdot y_2 - k_{32} \cdot z_2 \quad (3.24)$$

$$k_{53} = k_{31} \cdot z_2 - k_{33} \cdot x_2 \quad (3.25)$$

### 3.3.3.2 Σύγχρονες μέθοδοι πρόσδεσης

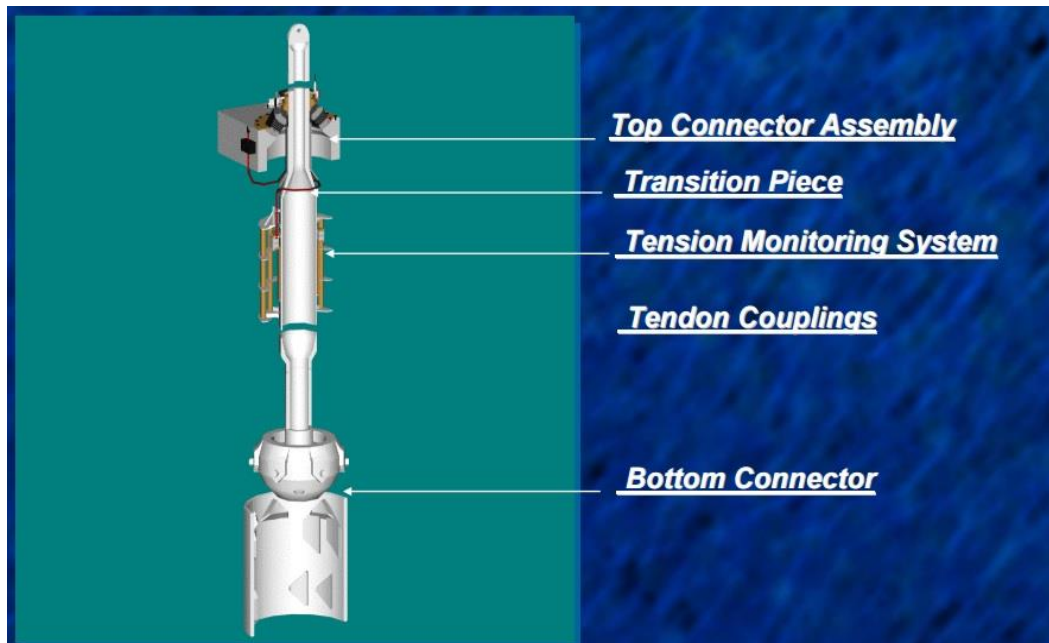
Το σύστημα πρόσδεσης των πλατφορμών με προεντεταμένους κλάδους αγκύρωσης, αποτελείται από έναν ή περισσότερους τένοντες, συνδεδεμένους τόσο με την κατασκευή όσο και με τη θεμελίωση, ώστε να κρατούν την κατασκευή σταθερή και εντός των ορίων της κατάστασης λειτουργίας που έχουν τεθεί από την μελέτη. Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει αναφορά στα είδη και στις παραδοχές τις μελέτης για την επιλογή του κατάλληλου είδους τενόντων. Από την επιλογή αυτή εξαρτάται και το σύστημα/είδος της άγκυρας καθώς και η σύνδεση με το κέλυφος της κατασκευής, για τα οποία δεν θα γίνει εκτενέστερη αναφορά.

Για την επιλογή των κατάλληλων τενόντων πρέπει να ληφθούν υπόψη οι εξής παράγοντες:

- Η αγκύρωση των τενόντων στο σώμα της πλατφόρμας. Προτεινόμενες κατασκευές όπως η windstar TLP, έχουν επεκτάσεις στο κοίτος της κατασκευής ώστε να μπορεί εύκολα να γίνει η πρόσδεση καθώς και η εφαρμογή της προέντασης. Επίσης ανάλογα με το είδος των τενόντων διαμορφώνεται και το είδος των ενώσεων με την άγκυρα και το κέλυφος.
- Οι διαστάσεις καθώς και το βάρος των τενόντων δεν επηρεάζει μόνο την πρόσδεση αυτή κάθε αυτή, αλλά μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στο σύνολο της κατασκευής λόγω συντονισμού.
- Ο σχεδιασμός πρέπει να γίνει έτσι ώστε σε περίπτωση αστοχίας ενός τένοντα να μην έχουμε αλυσιδωτή αστοχία και των υπολοίπων τενόντων και τελικά κατάρρευση της πλατφόρμας.
- Αύξηση των δυναμικών κινήσεων της πλωτής κατασκευής, μπορεί να οδηγήσει σε μηδενισμό της προέντασης σε έναν ή περισσότερους τένοντες (καθώς δεν είναι σχεδιασμένοι να

φέρουν θλιπτικά φορτία), και κατά συνέπεια εκτροπή της κατασκευής πέρα από τα όρια λειτουργίας.

- Κατά την διάρκεια της κίνησης της κατασκευής και κατά την μεταπήδηση της κατασκευής από την χαλαρή κατάσταση στην τεταμένη, είναι δυνατόν να παρουσιαστή πολύ απότομη εφαρμογή του φορτίου προέντασης με κίνδυνο ακόμη και για αστοχία του τένοντα. **Προκειμένου να αποφευχθεί η καταστρεπτική επίδραση της μεταπήδησης καλό είναι να υιοθετηθεί διάταξη ασφαλείας για την περίπτωση αστοχίας του τένοντα με την εφαρμογή διάταξης απόσβεσης της απότομης επιβολής φορτίου (ειδικά εφέδρανα απόσβεσης στην σύνδεση των τενόντων, παράλληλη εφαρμογή πρόσδεσης με ελαστικό μέλος - σχοινί πολυπροπυλενίου)**
- Η φθορά των τενόντων λόγω κόπωσης, διαβρωτικού περιβάλλοντος και αλληλεπίδρασης με την θαλάσσια ζωή. Η συνθήκη αυτή οδηγεί στο να προτιμώνται πιο “απλές” μορφές των τενόντων (πχ σωλήνες αντί για συρματόσχοινα)
- Η συμπεριφορά των υλικών στο έντονο διαβρωτικό περιβάλλον της θάλασσας, καθώς και η αντίδραση στην αλληλεπίδραση με το θαλάσσιο βιότοπο.
- Η ευκολία εγκατάστασης, συντήρησης και αντικατάστασης σε περίπτωση φθοράς ή βλάβης.
- Η δυνατότητα παραγωγής στα μεγάλα απαιτούμενα μήκη, χωρίς την ανάγκη χρήσης ειδικών στοιχείων σύνδεσης.



Εικόνα 3.25: Τένοντας μορφής σωλήνα μεταβλητής διατομής. Το κυρίως σώμα είναι αισθητά μεγαλύτερο σε σχέση με τα σημεία σύνδεσης, όπου απαιτείται ειδική διαμόρφωση.

Το κυρίως σώμα του τένοντα μπορεί να αποτελείται από τα ακόλουθα υλικά:

- Χαλύβδινα καλώδια (Συρματόσχοινα)
- Χαλύβδινοι Σωλήνες
- Καλώδια από σύνθετα υλικά (Κevlar, ανθρακονήματα κλπ)
- Σχοινιά συνθετικά (πολυπροπυλένου κ.α.)
- Χαλύβδινες αλυσίδες
- Συνδυασμούς των παραπάνω (υβριδικά συστήματα)



Εικόνα 3.25: Τένοντες με ειδικό σύνδεσμο επέκτασης (firstsubsea)

Όλα τα παραπάνω έχουν δοκιμαστεί για διάφορες εφαρμογές στην θάλασσα (πλοία, πλωτές εξέδρες, ιχθυοτροφεία κλπ), ανάλογα με τις κατά περίπτωση απαιτήσεις. Η τεχνολογία TLP, παρουσιάζει ιδιαιτερότητες λόγω της εφαρμοζόμενης προέντασης, που αυξάνει τους κινδύνους απώλειας του συνόλου της κατασκευής σε περίπτωση τοπικής αστοχίας των τενόντων.

Η συνήθης επιλογή έγκειται σε σωλήνες από χάλυβα-τεχνολογία ήδη δοκιμασμένη σε TLP για εξόρυξη πετρελαίου και φυσικού αερίου, η οποία έχει την δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί σε πολύ μεγάλα βάθη (>1000μ) ενώ σχεδιάζεται στο άμεσο μέλλον να τοποθετηθούν σε βάθη μεγαλύτερα από 2500 m. Οι εξέδρες για έδραση ανεμογεννητριών, σχεδιάζονται για βάθη της τάξης των 100-200 m, ενώ και στο μέλλον δεν αναμένεται να παρουσιαστεί ανάγκη για ανάπτυξή τους σε πολύ μεγάλα βάθη (όπως οι αντίστοιχες πλατφόρμες εξόρυξης).

Έτσι, ενώ η βιομηχανία είναι ικανή να προσφέρει σωλήνες σε πολύ μεγάλες διατομές (>1m και πάχους αρκετών cm), δεν έχει αναπτυχθεί επαρκώς η βιομηχανία εναλλακτικών μορφών πρόσδεσης πλωτών προεντεταμένων κατασκευών.

Όσον αφορά τα συρματόσχοινα η χρήση τους στην τεχνολογία προεντεταμένων κατασκευών αφορά κυρίως κατασκευές πολιτικού μηχανικού (γέφυρες, στέγαστρα σταδίων κλπ),

Τα δε σύνθετα υλικά που έχουν το πλεονέκτημα της αυξημένης αντοχής έναντι διάβρωσης και του μειωμένου βάρους ανά μονάδα μήκους (για αντίστοιχη αντοχή) αποτελούν πεδίο για περαιτέρω έρευνα.



Εικόνα 3.26: Τένοντες με ειδική διαμόρφωση για μείωση των κραδασμών και αποφυγή συντονισμού

Ενδεικτικές διαστάσεις και βάρη τενόντων διαφόρων ειδών και υλικών, για την ίδια εφαρμοζόμενη δύναμη.:

Είδος Τένοντα	D (mm)	Δύναμη θραύσης <sup>2</sup> (kN)	Δύναμη διαρροής	Βάρος (kg/m)	Ενδεικτικός Αριθμός τενόντων για δυναμη της τάξης των 10.000 kN <sup>3</sup>
Χάλυβας (σωλήνας)	250 mm (50 mm τοίχωμα)	15000	10000	230	1
Χάλυβας <sup>1</sup> (αλυσίδα)	78	5700	3800	120	3
Χάλυβας (αλυσίδα)	130	15000	10000	350	1
Χάλυβας (συρματός χοινο)	120	14500	-	83	1
Σύνθετα Υλικά (CFCC)	40	1200	-	1,5	9

<sup>1</sup>Η διατομή αλυσίδας ορίζεται ως η διατομή του δαχτυλιδιού του κρίκου, παρόλα αυτά για τον υπολογισμό των υδροδυναμικών μεγεθών πρέπει να ληφθεί υπόψιν το συνολικό μέγεθος της κατασκευής (>3,5D)

<sup>2</sup>οι συντελεστές ασφάλειας, θραύσης κλπ. μπορεί να διαφέρουν για τα διάφορα υλικά, και επομένως και ο απαιτούμενος αριθμός τενόντων.

<sup>3</sup>Η τιμή είναι ενδεικτική. Σε κάθε περίπτωση η απαιτούμενη αντοχή σε θραύση πρέπει να είναι πολλαπλάσια της εφαρμοζόμενης προέντασης, ανάλογα πάντα με τους επιθυμητούς συντελεστές ασφάλειας.



## 4. Πλωτή Κατασκευή για Έδραση Ανεμογεννήτριας 5 MW. Η Πρόταση του Ε.Μ.Π.

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλυθούν τα επιμέρους χαρακτηριστικά της εξεταζόμενης κατασκευής, τα στοιχεία που την αποτελούν καθώς και το θεωρητικό υπόβαθρο γύρω από τις πλωτές κατασκευές σε μεγάλα βάθη.

### 4.1 Περιγραφή πρότυπης ανεμογεννήτριας 5MW του NREL.

Για την υποστήριξη των μελετών που στοχεύουν στην αξιολόγηση της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας, το NREL (National Renewable Energy Laboratory) ανέπτυξε τις προδιαγραφές μιας αντιπροσωπευτικής κλίμακας ανεμογεννήτριας γνωστή ως "NREL offshore 5MW baseline wind turbine". Πρόκειται για μια συμβατική ανεμογεννήτρια τριών λεπίδων σε προσήνεμη διάταξη. Το μοντέλο αυτό βασίστηκε σε κάποιες γενικές πληροφορίες που αφορούν το σχεδιασμό ανεμογεννητριών, από δημοσιεύσεις που προέρχονται από κατασκευαστικές εταιρίες ανεμογεννητριών, με έμφαση στο μοντέλο Repower 5M με το οποίο έχει περίπου όμοια χαρακτηριστικά. Το μοντέλο ήταν και θα συνεχίσει να είναι κατά πάσα πιθανότητα, ένα σημείο αναφοράς για να τυποποιηθούν οι έρευνες που διεξάγονται πάνω στο θέμα των υπεράκτιων αιολικών πάρκων.

Ο βασικός λόγος που επέλεξαν μια ανεμογεννήτρια των 5MW, είναι το ότι για να θεωρηθεί κερδοφόρο ένα υπεράκτιο πάρκο που εδράζεται σε βαθύ νερό, πρέπει να φέρει ανεμογεννήτριες που η κάθε μια να είναι τουλάχιστον τέτοιας ισχύος. Έτσι περιορίσαν την επιλογή τους σε ένα εύρος ισχύος από 5 έως 20MW. Δευτερευόντως επέλεξαν αυτή την ισχύ για να υποστηριχθούν κάποιες έρευνες που ήταν εκείνη την περίοδο υπό μελέτη, ή είχαν ήδη ολοκληρωθεί και στηρίζονταν σε ιδιότητες που αντιπροσωπεύουν ανεμογεννήτριες των 5MW. Παρακάτω ακολουθούν τα βασικά χαρακτηριστικά της εν λόγω ανεμογεννήτριας.<sup>[39]</sup>

Βασικές ιδιότητες της NREL 5MW	
Ισχύς	5 MW
Προσανατολισμός του ρότορα	Προσήνεμα
Αριθμός πτερυγίων	3

Σύστημα μετάδοσης	Υψηλής ταχύτητας, πολλαπλών βαθμίδων κιβώτιο ταχυτήτων
Διάμετρος ρότορα, πλήμνης	126 m, 3 m
Υψος πλήμνης	90 m
Μέγιστη ταχύτητα	80 m/s
Προεξοχή, κλίση άξονα	5 m , 5°
Μάζα ρότορα	110,000 kg
Μάζα πύργου	347,460 kg
Συντεταγμένες ολικού C <sub>M</sub>	(-0.2m,0.0m,64.0m)
<b>Δομικές ιδιότητες πτερυγίων</b>	
Μήκος	61.5 m
Συντελεστής προσαύξησης μάζας	4,536 %
Συνολική μάζα	17,740 kg
Δεύτερη ροπή αδράνειας	11,776,047 kg·m <sup>2</sup>
Πρώτη ροπή αδράνειας	363,231 kg·m
Υψος C <sub>M</sub>	20,475 m
Λόγος διαρθρωτικής απόσβεσης	0,477465 %
<b>Ιδιότητες ατράκτου και πλήμνης</b>	
Μάζα ατράκτου	240,000 kg
Μάζα πλήμνης	56,780 kg
Αδράνεια πλήμνης γύρω από τον άξονα χαμηλής ταχύτητας	115,926 kg·m <sup>2</sup>
Αδράνεια ατράκτου γύρω από τον άξονα εκτροπής	2,607,890 kg·m <sup>2</sup>
Ονομαστικός λόγος ατράκτου- στροφικής ταλάντωσης	0,3 %
<b>Ιδιότητες μετάδοσης</b>	
Ονομαστική ταχύτητα του ρότορα	12,1 rpm
Ονομαστική ταχύτητα γεννήτριας	1173,7 rpm
Σχέση κιβωτίου ταχυτήτων	97:1
Απόδοση ηλεκτρικής γεννήτριας	94,4 %
Αδράνεια γεννήτριας γύρω από τον άξονα υψηλής ταχύτητας	534,116 kg·m <sup>2</sup>
Ισοδύναμη σταθερά άξονα-οδήγησης με αποσβεστήρα-στρέψης	19,160,000 N·m/(rad/s)

Πλήρως ανεπτυγμένη ροπή πέδησης άξονα υψηλής ταχύτητας	28,116.2 N·m
Σταθερά χρόνου φρένου άξονα υψηλής ταχύτητας	0,6 s
<b>Ιδιότητες πύργου</b>	
Ύψος από το έδαφος	87,6 m
Ύψος C <sub>M</sub>	38.234 m
Λόγος διαρθρωτικής απόσβεσης	1 %

Πίνακας 4.11: Ιδιότητες της NREL 5MW

## 4.2 Επιλογή της γεωμετρίας της πλωτής κατασκευής

Η διαδικασία επιλογής της κατάλληλης γεωμετρικής διάταξης βασίστηκε στην βασική παραδοχή ότι από κατασκευαστική άποψη είναι σκόπιμο να αναζητηθούν απλές κατά το δυνατόν γεωμετρικές κάτοψης πλωτών ημιβυθισμένων κατασκευών πολλαπλού σκοπού στα πλαίσια του POSEIDON. Με την σκέψη αυτή, αποφασίστηκε η πλωτή κατασκευή να φέρει κατακόρυφες κυλινδρικές συσκευές ταλαντευόμενης υδάτινης στήλης κυκλικής διατομής, κάθε μια από τις οποίες να είναι τοποθετημένη στις κορυφές του καταστρώματος της κατασκευής. Το τελευταίο κρίθηκε σκόπιμο για λόγους κατασκευαστικής απλότητας να έχει κάτοψη ισοπλεύρου τριγώνου, μήκους πλευράς 50m. Η τιμή αυτή έχει επιλεγεί μετά από εκτενή βιβλιογραφική αναζήτηση.

Ειδικότερα, λαμβάνοντας υπόψη ότι η εξεταζόμενη πλωτή κατασκευή πολλαπλού σκοπού θα στηρίζει δεδομένο μέγεθος ανεμογεννήτριας, αυτή των 5MW του NREL, για τον προσδιορισμό της συνολικής της γεωμετρίας ώστε αφ' ενός μεν να εξασφαλίζονται οι απαιτούμενες συνθήκες υδροστατικής ευστάθειας για την λειτουργία της Α/Γ αφ' ετέρου δε να μπορεί να ενσωματωθούν σε μεταγενέστερο στάδιο συσκευές ταλαντευόμενης υδάτινης στήλης χωρίς να επηρεαστεί η βασική συμπεριφορά της κατασκευής.

Με βάση την πρόταση του προγράμματος POSEIDON, θα μελετηθεί κατ' αρχήν πλωτή κατασκευή σχήματος ισοπλεύρου τριγώνου, το κύριο χαρακτηριστικό των οποίων είναι ότι η Α/Γ στηρίζεται σε ανεξάρτητο κυλινδρικό σώμα, ο κατακόρυφος άξονας συμμετρίας του οποίου διέρχεται από το γεωμετρικό κέντρο της κάτοψης του καταστρώματος, και όχι σε έναν από τους τρεις κυλινδρικούς πυλώνες που στηρίζουν το κατάστρωμα.

Κατά την έννοια αυτή η προτεινόμενη σχεδίαση διαφοροποιείται από την προταθείσα κατασκευή WindFloat. Αυτό κρίθηκε σκόπιμο ώστε:

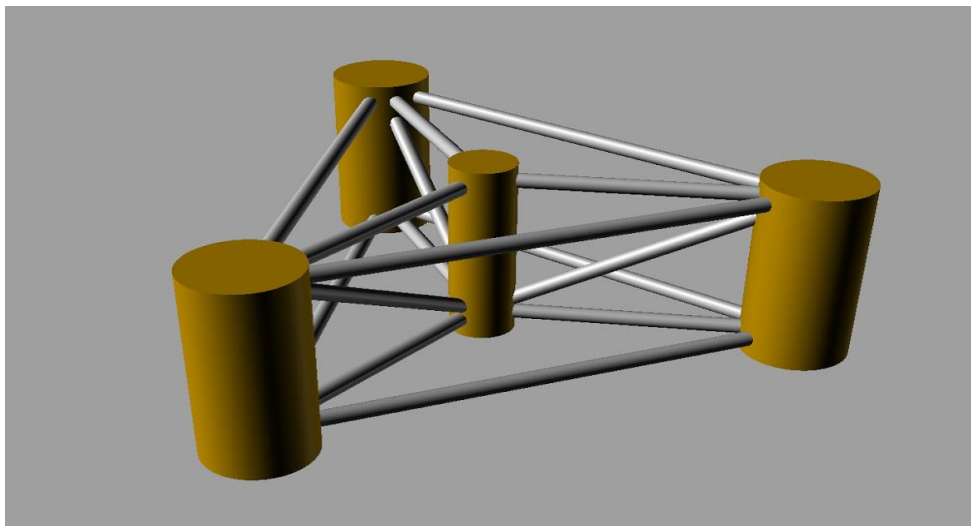


Εικόνα 4.1: WindFloat

(α) να υπάρχει δυνατότητα εκμετάλλευσης και του τρίτου κυλινδρικού πυλώνα για την εγκατάσταση κυματικής μηχανής ταλαντευόμενης υδάτινης στήλης, που σε διαφορετική περίπτωση (στήριξη της Α/Γ σε έναν από αυτούς) θα ήταν ανέφικτη. Η κυματικές μηχανές θα προστεθούν σε επόμενη φάση στο σύστημα ανεμογεννήτρια – πλωτήρας.

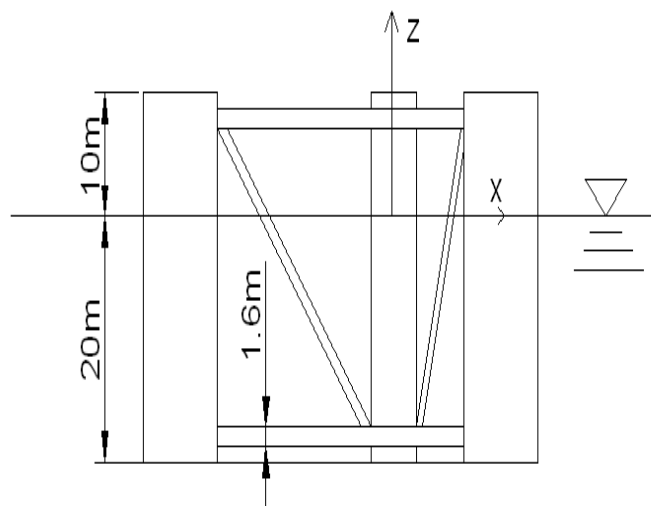
(β) να υπάρχει καλύτερη ευστάθεια της κατασκευής (συμμετρική θέση επιβολής του βάρους της Α/Γ σε σχέση με τους κυλινδρικούς πυλώνες άνωσης στις κορυφές του τριγωνικού καταστρώματος) με μειωμένη ανάγκη προσφυγής σε κατά περίπτωση ερματισμό (όπως στην windfloat) των άλλων κυλίνδρων της διάταξης για την εξισορρόπηση της δημιουργούμενης διαγωγής τόσο στην στατική κατάσταση ισορροπίας όσο και κατά την κατάσταση λειτουργίας της Α/Γ (όπου δημιουργείται ροπή κλίσεως από την δύναμη ώσης του ανέμου στην κορυφή του πύργου της Α/Γ).

Παράλληλα, με σκοπό να μειωθούν οι μεταβιβαζόμενες δυνάμεις και ροπές από τον κεντρικό κύλινδρο στήριξης της Α/Γ προς τους περιφερειακούς της πυλώνες μέσω των ελασμάτων και μπρακέτων σύνδεσής τους, αποφασίστηκε ο κύλινδρος στήριξης της Α/Γ να έχει τέτοιες διαστάσεις, ώστε αποτελώντας ουσιαστικά συνέχεια του πύργου της Α/Γ στο νερό να προσφέρει άντωση που να εξισορροπεί σε στατική κατάσταση το βάρος της Α/Γ.

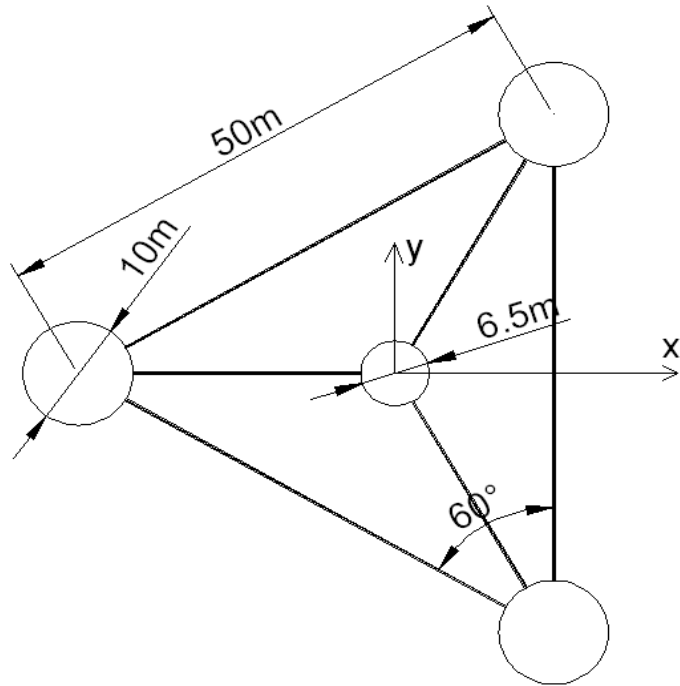


Εικόνα 4.2: Η πλωτή κατασκευή έδρασης της ανεμογεννήτριας. (3-D model)

Γεωμετρία πλωτής κατασκευής	
Βάθος κατασκευής κάτω από την ίσαλο γραμμή	20.00 m
Απόσταση βάσης στήριξης πύργου από την ίσαλο	10.00 m
Απόσταση κορυφής πλωτήρων από την ίσαλο	10.00 m
Απόσταση κέντρων ποντωνιών	50.00m
Απόσταση βάσης κελύφους από ίσαλο	20.00m
Διάμετρος κεντρικής κολώνας	6.50m
Διάμετρος πλωτήρων	10.00m
Διάμετρος συνδετικών στοιχείων	1.60m



Εικόνα 4.3: Πλάγια όψη της πλωτής κατασκευής



Εικόνα 4.5: Κάτοψη της πλωτής κατασκευής



Εικόνα 4.6: Γραφική αναπαράσταση της πλωτής κατασκευής με την ανεμογεννήτρια . (3-D model)

**Χαρακτηριστικά συστήματος αγκύρωσης:**

Αριθμός γραμμών αγκύρωσης	3
Βάθος αγκύρωσης	200m
Βάθος πρόσδεσης των γραμμών αγκύρωσης στην κατασκευή	20m
Μήκος τενόντων	180m
Διάμετρος γραμμών αγκύρωσης	130mm
Ισοδύναμη μάζα ανά μονάδα μήκους	104 kg/m
Ισοδύναμο βυθισμένο βάρος ανά μονάδα μήκους	888.6 N/m
Ακαμψία $k_{xx}$ της κάθε γραμμής αγκύρωσης	60 kN/m
Ακαμψία $k_{zz}$ της κάθε γραμμής αγκύρωσης	14700 kN/m
Προένταση κάθε γραμμής αγκύρωσης	101400 kN

**Λοιπά χαρακτηριστικά του συστήματος:**

Μάζα πλωτής κατασκευής (με ενδεχόμενο έρμα)	2,1836 X 106 Kg
Εκτόπισμα (μάζα)	6.086,3 t



Κέντρο μάζας της πλωτής κατασκευής (κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια)	4,05m
Μαζική ροπή αδράνειας της πλατφόρμας στο roll γύρω από το ΚΜ	1,1×10 <sup>9</sup> kg.m <sup>2</sup>
Μαζική ροπή αδράνειας της πλατφόρμας στο pitch γύρω από το ΚΜ	1,1×10 <sup>9</sup> kg.m <sup>2</sup>
Μαζική ροπή αδράνειας της πλατφόρμας στο yaw γύρω από το ΚΜ	1,99×10 <sup>9</sup> kg.m <sup>2</sup>

### 4.3 Ανάλυση της πλωτής κατασκευής

Η ανάλυση των σύνθετων κατασκευών και η ακριβής προσομοίωση τους στον υπολογιστή γίνεται από σύνθετα προγράμματα που συνδυάζουν όλα τα υδραυλικά, στατικά και αεροδυναμικά δεδομένα. Τα πιο προηγμένα προγράμματα του είδους χρησιμοποιούν αεροδυναμική φόρτιση που βασίζεται σε μοντελοποίηση blade element momentum (BEM), υδροδυναμική στη γραμμική θεωρία δυναμικού συμπεριλαμβάνοντας τετραγωνικούς όρους ιξώδους αντίστασης κατά τον τύπο του Morison και οι τένοντες αγκύρωσης προσομοιώνονται με συστροφικά μη γραμμικά στοιχεία ράβδου. Ένα τέτοιο πρόγραμμα είναι και το hydroGAST (Riziotis et al., 1997, 2004, Manolas et al. 2012) που έχει αναπτυχθεί στο ΕΜΠ. Το hydroGAST έχει δοκιμαστεί και πιστοποιηθεί και θεωρείται state of the art για τα προγράμματα σύνθετης ανάλυσης πλωτών κατασκευών.

Η απαιτούμενη υπολογιστική ισχύς του hydroGAST (καθώς και των αντίστοιχων ξένων προγραμμάτων) είναι πολύ μεγάλη και έτσι δημιουργήθηκε η ανάγκη για την δημιουργία ενός προγράμματος με μειωμένες υπολογιστικές απαιτήσεις, για τον υπολογισμό των δυναμικών μεγεθών στα πρώτα στάδια της μελέτης με όσο το δυνατόν λιγότερες υποχωρήσεις στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Τα μοντέλα προσομοίωσης που χρησιμοποιούνται (Reduced order models -ROMs) μπορούν να οριστούν με διάφορους τρόπους. Για δυναμικά συστήματα (όπως η κατασκευή που εξετάζουμε) συνήθως η προσομοίωση γίνεται με ανάλυση στο πεδίο των συχνοτήτων.

Με δεδομένο ότι η παρούσα εργασία έχει σαν απώτερο σκοπό την σχεδίαση της πλωτής κατασκευής υποστήριξης της ανεμογεννήτριας η

εφαρμογή των δυνάμεων που ασκεί η ανεμογεννήτρια στην πλωτή κατασκευή, μπορεί να γίνει προσομοιώνοντας τα φορτία της στους αντίστοιχους βαθμούς ελευθερίας. Με γραμμικοποίηση των εξισώσεων που προκύπτουν παίρνουμε την ανάλυση της κατασκευής στο πεδίο των συχνοτήτων.

Το πρόγραμμα HYDRAEROFLOAT (Mazarakos et al., 2014) δημιουργήθηκε σαν μετεξέλιξη των προγραμμάτων HAMVAB (Hydrodynamic Analysis of Multiple Vertical Axisymmetric Bodies) (Mavrakos, 1996), SEMISUB (Mavrakos, 1994) και ROM (Papadakis et al., 2014) για συνδυασμένη ανάλυση των πλωτών κατασκευών.

Για να διαπιστωθεί η ακρίβεια των δεδομένων που εξάγονται από το πρόγραμμα γίνεται σύγκριση με τα αποτελέσματα του προγράμματος hydroGAST.

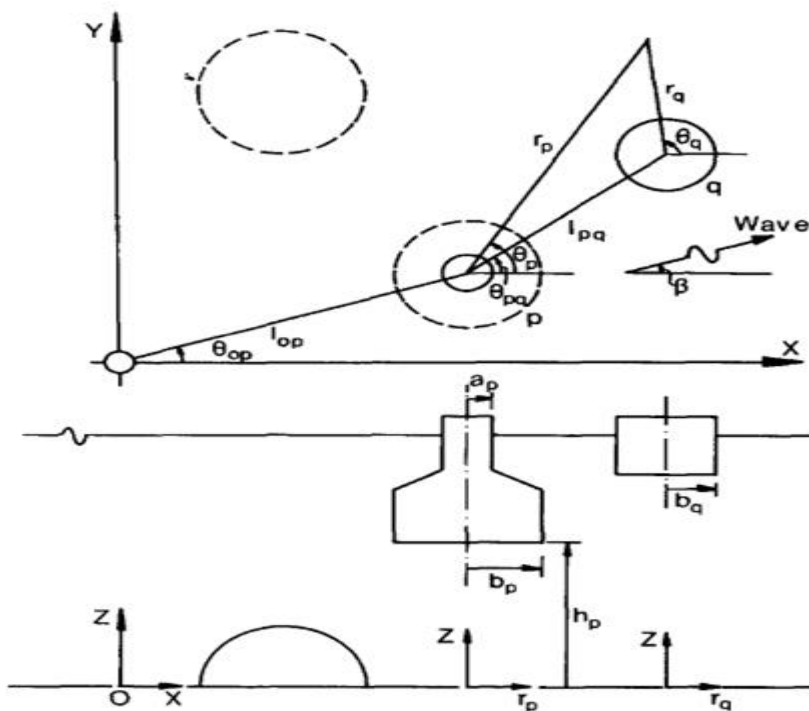
#### 4.3.1 Υδροδυναμική ανάλυση της κατασκευής

Στα πλαίσια της υδροδυναμικής ανάλυσης, απαιτήθηκε τόσο η επίλυση του προβλήματος περίθλασης των κυματισμών γύρω από κάθε σώμα της κατασκευής σε τρόπο ώστε να εκτιμηθούν τα φορτία που δέχεται αυτό παρουσία απλών αρμονικών κυματισμών όσο και του προβλήματος ακτινοβολίας για τον προσδιορισμό των κινήσεων κάθε σώματος

Εξετάζεται συστάδα  $N$  πλωτών κατασκευών με γεωμετρικά χαρακτηριστικά της συσκευής  $q$  της διάταξης,  $q=1,2,\dots,N$ , δηλαδή εξωτερική ακτίνα του κυλινδρικού σώματος,  $a_q$  βύθισμα,  $(d-h_q)$ , οι οποίες απέχουν απόσταση, μεταξύ των νοητών κατακόρυφων αξόνων τους, ίση με  $\ell_{pq}$ . (βλέπε Σχήμα ...). Η συσκευή  $q$  της διάταξης ταλαντώνεται εκτελώντας κινήσεις στερεού σώματος κατά τους άξονες  $xx'$  (surge),  $yy'$  (sway),  $zz'$  (heave), και περιστροφή γύρω από τους άξονες  $xx'$  (roll),  $yy'$  (pitch),  $zz'$  (yaw), υπό την επίδραση απλών αρμονικών κυματισμών πλάτους  $H/2$ , κυκλικής συχνότητας  $\omega$ , σε νερό σταθερού βάθους  $d$ . Η ροή του ρευστού θεωρείται αστρόβιλη, ασυμπίεστη και μη συνεκτική, οπότε μπορεί να περιγραφεί από δυναμικό ταχύτητας. Το σύστημα συντεταγμένων έχει ληφθεί στον πυθμένα. Λόγω της γεωμετρίας των σωμάτων ορίζονται  $N$  τοπικά συστήματα κυλινδρικών συντεταγμένων  $(r_q, \theta_q, z_q)$ , όπου  $q=1,2,\dots,N$  με αρχή τον πυθμένα της

θάλασσας, πάνω στον νοητό άξονα συμμετρίας της  $q$  συσκευής, με διεύθυνση προς τα πάνω.

Ο υπολογισμός του πεδίου ροής γύρω από τη  $q$  πλωτή κατασκευή όταν αυτή δέχεται την επίδραση απλών αρμονικών κυματισμών σε πεπερασμένο βάθος νερού, στηρίζεται στις συζευγμένες ιδιοδιανυσματικές αναπαραστάσεις του δυναμικού της ροής σε κατάλληλα ορισμένες δακτυλιοειδείς περιοχές γύρω από κάθε κατασκευή (Miles και Gilbert, 1968; Garrett, 1971; Yeung, 1981, Kokkinowrachos, et al., 1986). Η επιλεγείσα διάταξη στήριξης της Α/Γ αποτελείται από τέσσερα κυλινδρικά στοιχεία, δύο διακριτών τύπων. Ο πρώτος τύπος είναι τα τρία κυλινδρικά στοιχεία στις κορυφές του ισοπλεύρου τριγώνου και ο δεύτερος τύπος είναι ο κεντρικός κύλινδρος στήριξης της Α/Γ. Το πεδίο ροής, ακολουθώντας τη γεωμετρική μορφή κάθε κυλινδρικού σώματος, χωρίζεται σε δύο περιοχές που παριστάνονται με τα στοιχεία I, IV (βλέπε Σχήμα .....). Το πεδίο ροής I, που περιβάλλει τη συσκευή  $q$ , εκτείνεται μέχρι το άπειρο, το πεδίο II περιλαμβάνει τον όγκο ρευστού που βρίσκεται κάτω από το εξεταζόμενο σώμα  $q$ . Τα πεδία ροής φαίνονται στο Σχήμα 3 με τη σχηματική απεικόνιση του πεδίου ροής.



Εικόνα 4.7: Επεξηγηματικό σκαρίφημα διάταξης πολλών σωμάτων (από το Mavrakos & Koumoutsakos, 1987)

Το ζητούμενο δυναμικό της ταχύτητας ροής του ρευστού, πρώτης τάξης, γύρω από το σώμα  $q$ , εκφράζεται ως:

$$\Phi^q(r_q, \theta_q, z; t) = \text{Re} \left\{ \phi^q(r_q, \theta_q, z) \cdot e^{-i\omega t} \right\} \quad (4.1)$$

Το παραπάνω δυναμικό μπορεί να αναλυθεί στα πλαίσια της γραμμικής θεωρίας σε επιμέρους τρία δυναμικά:

$$\Phi^q(r_q, \theta_q, z; t) = \text{Re} \left\{ \phi_0^q(r_q, \theta_q, z) \cdot e^{-i\omega t} + \phi_7^q(r_q, \theta_q, z) \cdot e^{-i\omega t} + \sum_{p=1}^N \sum_{j=1}^6 \dot{x}_{j0}^p \cdot \phi_j^{qp}(r_q, \theta_q, z) \cdot e^{-i\omega t} \right\} \quad (4.2)$$

Όπου για τη συσκευή  $q$ , ο όρος  $\phi_0^q$ , είναι το δυναμικό της ταχύτητας του προσπίπτοντος αρμονικού κυματισμού,  $\phi_7^q$  είναι το δυναμικό σκέδασης γύρω από τη συσκευή όταν θεωρείται ακίνητη στη μέση θέση ισορροπίας της και  $\phi_j^{qp}$  είναι το δυναμικό ακτινοβολίας που αποκαθίσταται γύρω από τη συσκευή  $q$  της διάταξης, λόγω ταλάντωσης της συσκευής  $p$  με μοναδιαίο πλάτος ταχύτητας, στην  $j$ -διεύθυνση, θεωρώντας τα υπόλοιπα σώματα της συστάδας ακίνητα. Ο όρος  $\dot{x}_{j0}^p$  δηλώνει το μιγαδικό πλάτος ταχύτητας της κίνησης της συσκευής  $p$ , στην  $j$ -διεύθυνση.

Το δυναμικό του απλού αρμονικού κυματισμού,  $\phi_0^q$ , του σώματος  $q$  της διάταξης,  $q=1,2,\dots,N$ , υπό γωνία πρόσπτωσης,  $\beta$ , μπορεί να γραφεί σε κυλινδρικές συντεταγμένες της  $q$  συσκευής ως (Mavrakos & Koumoutsakos, 1987):

$$\phi_0^q(r_q, \theta_q, z) = -i\omega H/2 \sum_{m=-\infty}^{\infty} i^m \Psi_{0,m}^q(r_q, z) \cdot e^{im\theta_q} \quad (4.3)$$

όπου:

$$\frac{1}{d} \Psi_{0,m}^q(r_q, z) = e^{ik\ell_{0q} \cos(\theta_{0q} - \beta)} \frac{Z_0(z)}{dZ'_0(d)} J_m(kr_q) e^{-im\beta} \quad (4.4)$$

Το μέγεθος  $\ell_{0q}$  παριστάνει την απόσταση του κατακόρυφου άξονα της συσκευής  $q$  από την αρχή του αδρανειακού συστήματος αναφοράς, το μέγεθος  $\theta_{0q}$  ορίζει τη γωνία μεταξύ του οριζόντιου άξονα στο αδρανειακό σύστημα αναφοράς και της απόστασης  $\ell_{0q}$ ,  $J_m$  είναι η  $m$ -

τάξης συνάρτηση *Bessel* πρώτου είδους. Η ορθοκανονική συνάρτηση,  $Z_0$ , ορίζεται από τη σχέση:

$$Z_0(z) = N_0^{-1/2} \cosh(kz) = \left[ \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{\sinh(2kd)}{2kd} \right] \right]^{-1/2} \cosh(kz) \quad (4.5)$$

με  $Z_0'$  την παράγωγό της ως προς  $z$ , όταν  $z=d$  και ο κυματαριθμός  $k$  και η κυκλική συχνότητα  $\omega$  συνδέονται μέσω της εξίσωσης διασποράς:

$$\omega^2 = kg \tanh(kd) \quad (4.6)$$

Αντίστοιχα, τα δυναμικά περιθλάσης και ακτινοβολίας λόγω κίνησης των σωμάτων μπορεί να γραφούν ως προς τις συντεταγμένες του σώματος  $q$  της διάταξης, αντίστοιχα ως:

$$\phi_D^q(r_q, \theta_q, z) = -i\omega H/2 \sum_{m=-\infty}^{\infty} i^m \Psi_{D,m}^q(r_q, z) \cdot e^{im\theta_q} \quad (4.7)$$

$$\phi_j^{qq}(r_q, \theta_q, z) = -i\omega \sum_{m=-\infty}^{\infty} \Psi_{j,m}^{qq}(r_q, z) \cdot e^{im\theta_q} \quad (4.8)$$

Στις συναρτήσεις  $\Psi_{i,m}^j$ ,  $j = q, qq$ , των παραπάνω εξισώσεων ο πρώτος δείκτης  $i = D, 1, 2, \dots, 6$  δηλώνει το αντίστοιχο πρόβλημα οριακών τιμών, ενώ ο δεύτερος τις τιμές  $m$  που πρέπει να ληφθούν υπ όψη στη λύση του συγκεκριμένου προβλήματος. Στην επίλυση των προβλημάτων περιθλάσης και ακτινοβολίας για τη συσκευή  $q$ , οι συναρτήσεις  $\Psi_{i,m}^j$  παραμένουν οι βασικοί άγνωστοι.

Τα μιγαδικά δυναμικά ταχύτητας της ροής  $\phi_i^\ell$  ( $i = D, 1, \dots, 6, P$ ;  $\ell = q, qp$ ;  $p, q = 1, \dots, N$ ), πρέπει να αποτελούν λύση της εξίσωσης Laplace σε ολόκληρο το πεδίο του ρευστού:

$$\nabla^2 \phi_i^\ell = \left( \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) \phi_i^\ell = 0 \quad (4.9)$$

και να ικανοποιούν τις οριακές συνθήκες:  
στην ελεύθερη επιφάνεια:

$$\omega^2 \phi_i^\ell - g \frac{\partial \phi_i^\ell}{\partial z} = \begin{cases} 0 & \text{όταν } r_q \geq a_q; \quad \ell \equiv q, i = D; \quad \text{ή } \ell \equiv qp, i = 1, 2, \dots, 6 \end{cases}, \text{για } z = d \quad (4.10)$$

όπου  $\delta_{q,p}$  το δέλτα του Kronecker και  $\rho$  η πυκνότητα του ρευστού στον πυθμένα της θάλασσας:

$$\frac{\partial \phi_i^\ell}{\partial z} = 0, \text{ όπου } z = 0, \ell \equiv q, i \equiv 7; \text{ ή } \ell \equiv qp, i \equiv 1, \dots, 6 \quad (4.11)$$

στη βρεχόμενη επιφάνεια  $S_0^q$ , στη μέση θέση ισορροπίας της συσκευής  $q$ :

$$\frac{\partial \phi_i^\ell}{\partial n^p} = 0, \text{ όπου } \ell \equiv q, i \equiv D; \text{ ή } \ell \equiv qp \quad (4.12)$$

$$\frac{\partial \phi_i^{qp}}{\partial n^p} = -i\omega \delta_{q,p} n_i^q, \text{ όπου } i = 1, \dots, 6 \quad (4.13)$$

όπου ο όρος  $\frac{\partial}{\partial n^p}$  δηλώνει την παράγωγο ως προς το μοναδιαίο κάθετο διάνυσμα  $\vec{n}^p$  πάνω στην επιφάνεια  $S_0^p$  της συσκευής με κατεύθυνση προς το ρευστό, και ο όρος  $n_i^q$  απεικονίζει τις γενικευμένες συνιστώσες του κάθετου διανύσματος, όπου:

$$\vec{n}^q = (n_1^q, n_2^q, n_3^q) \text{ και } \vec{r}^q \times \vec{n}^q = (n_4^q, n_5^q, n_6^q) \quad (4.14)$$

και  $\vec{r}^q$  είναι το διάνυσμα θέσης ενός σημείου πάνω στη βρεχόμενη επιφάνεια  $S_0^q$ , αναφορικά με το τοπικό σύστημα συντεταγμένων  $(r_q, \theta_q, z)$ .

Για την επίλυση των προβλημάτων ακτινοβολίας λόγω κίνησης των σωμάτων, αναπαριστούμε τα αντίστοιχα δυναμικά  $\phi_j^{qp}$ , γύρω από το σώμα  $q$ , λόγω μοναδιαίας ταλάντωσης της συσκευής  $p$  κατά τη  $j$  διεύθυνση, ως:

$$\phi_j^{qp}(r_q, \theta_q, z) = -i\omega \sum_{m=-\infty}^{\infty} \Psi_{j,m}^{qp}(r_q, z) \cdot e^{im\theta_q} \quad (4.15)$$

Επιπλέον τα δυναμικά της ταχύτητας της ροής,  $\phi_i^l$  ( $i = D, 1, \dots, 6$ ;  $l = q, qp$ ;  $p, q = 1, \dots, N$ ) πρέπει να ικανοποιούν τη συνθήκη συνέχειας της ροής και της παραγώγου της στο όριο παρακείμενων περιοχών, δηλαδή για  $0 \leq z \leq h_q$ , θα πρέπει

$$\Psi_{i,m}^{I,\ell}(a_q, z) = \Psi_{i,m}^{II,\ell}(a_q, z) \quad (4.16)$$

$$\left. \frac{\partial \Psi_{i,m}^{I,\ell}}{\partial r} \right|_{r=a_q} = \left. \frac{\partial \Psi_{i,m}^{II,\ell}}{\partial r} \right|_{r=a_q} \quad (4.17)$$

Με τη μέθοδο των χωριζόμενων μεταβλητών μπορούν να δημιουργηθούν κατάλληλες εκφράσεις για τους όρους  $\Psi_{i,m}^{k,\ell}$ , σε κάθε μακροστοιχείο  $k=I, II$  (Garrett, 1971; Mei, 1983; Mavrakos, 1985). Οι εκφράσεις αυτές, οι οποίες αποτελούν λύση της διαφορικής εξίσωσης Laplace σε κάθε πεδίο ροής, επιλέγονται με τέτοιο τρόπο ώστε να ικανοποιούνται η κινηματική οριακή συνθήκη στα οριζόντια τοιχώματα κάθε συσκευής, η γραμμικοποιημένη συνθήκη στην ελεύθερη επιφάνεια και η κινηματική συνθήκη στον πυθμένα της θάλασσας. Η ουσιώδης διαφορά μεταξύ συστάδας συσκευών ταλαντευόμενης υδάτινης στήλης και μεμονωμένης συσκευής έγκειται στο γεγονός πως, στη συστάδα, ο προσπίπτων κυματισμός σε κάθε συσκευή δεν προέρχεται μόνο από τον απλό αρμονικό κυματισμό αλλά, επιπλέον, και από τις ανακλάσεις σε όλες της συσκευές της διάταξης. Επομένως, κάθε συσκευή σκεδάζει-ακτινοβολεί κυματισμούς προς τα υπόλοιπα σώματα της διάταξης, τα οποία σκεδάζουν με τη σειρά τους κυματισμούς λόγω της ύπαρξής τους, δημιουργώντας μια ακολουθία διαταραχών. Μέσω της μεθόδου αυτής, η οποία ονομάζεται μέθοδος των πολλαπλών περιθλάσεων (Twersky, 1952; Okhusu, 1974; Mavrakos & Koumoutsakos, 1987; Mavrakos, 1991), προσδιορίζονται τα επιμέρους δυναμικά περίθλασης, κίνησης-πίεσης-ακτινοβολίας γύρω από κάθε συσκευή  $q$  της διάταξης.

### 4.3.2 Δυνάμεις διέγερσης, πρόσθετες μάζες, υδροδυναμικές αποσβέσεις

Η ολική δύναμη (δύναμη λόγω του προβλήματος περίθλασης και λόγω του προβλήματος πίεσης - ακτινοβολίας) που ασκείται κατά τη *i*-διεύθυνση στο *p* σώμα μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$\sum_{j=1}^6 \left[ \omega^2 (M_{ij}^p + \alpha_{ij}^p) + i\omega b_{ij}^p + c_{ij}^p \right] s_{jo}^p = F_{io}^p \quad (4.18)$$

όπου  $M_{ij}^p$  και  $c_{ij}^p$  η μάζα και οι συντελεστές επαναφοράς, αντίστοιχα, του *p*- σώματος και  $a_{ij}^p, b_{ij}^p$  οι συντελεστές πρόσθετης μάζας και υδροδυναμικής απόσβεσης αντίστοιχα.

Η δύναμη διέγερσης  $F_{ex_{i0}}^p$  μπορεί να υπολογιστεί με ολοκλήρωση της πίεσης πάνω στη μέση βρεχόμενη επιφάνεια του σώματος  $S_0$  κάνοντας χρήση της παρακάτω έκφρασης:

$$F_{ex_{i0}}^p = -i\omega\rho \iint_{S_0} (\Phi_0^p + \Phi_7^p) n_i dS_0 \quad (4.19)$$

όπου  $n_i$  είναι το μοναδιαίο κάθετο διάνυσμα στη *i*- διεύθυνση, με φορά προς το ρευστό.

Οι υδροδυναμικές μάζες και αποσβέσεις  $a_{ij}^p, b_{ij}^p$  υπολογίζονται από τη σχέση:

$$-p \iint_{S_0} \Phi_j^p n_i dS_0 = a_{ij}^p + \frac{i}{\omega} b_{ij}^p \quad (4.20)$$

Οι όροι  $a_{ij}^p$  και  $b_{ij}^p$  δηλώνουν το πραγματικό και το φανταστικό μέρος των υδροδυναμικών δυνάμεων αντίδρασης που ασκούνται στο σώμα *p* κατά την *i*- διεύθυνση υπό την κίνηση του ίδιου σώματος κατά τη *j*-διεύθυνση.



Η συνολική υδροδυναμική φόρτιση της σύνθετης κατασκευής μας λαμβάνεται από την εξής σχέση:

$$F_{i,total} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N=4} [B^{(i)}] [F_i^{(i)}] \quad (4.21)$$

όπου για N σώματα (N=1,2,3,4 στην προκειμένη περίπτωση) έχουμε τις δυνάμεις διέγερσης  $F_i$  (4.21) του εκάστοτε σώματος και  $B_i$  τις συντεταγμένες του (μητρώο 6x6) ως προς το κεντρικό σύστημα συντεταγμένων της κατασκευής.

Η μιγαδική μορφή  $f_{ij}^{qp}$  των υδροδυναμικών δυνάμεων και ροπών αντίδρασης  $F_{ij}^{qp}$  που ασκούνται σε καθένα από τα q-σώματα και A/Γ, q=1,2,3,4 στην κατεύθυνση i λόγω ταλάντωσης του σώματος p, p=1,2,3,4 στην κατεύθυνση j, μπορεί να γραφεί ως εξής (Newman 1977):

$$f_{ij}^{qp} = \omega^2 \left( a_{ij}^{qp} + \frac{i}{\omega} b_{ij}^{qp} \right) x_{j0}^p = \omega^2 \pi_{ij}^{qp} x_{j0}^p \quad (4.22)$$

Οι ποσότητες  $a_{ij}^{qp}$  και  $b_{ij}^{qp}$  είναι οι γνωστοί συντελεστές πρόσθετης μάζας και απόσβεσης αντίστοιχα, πραγματικοί και εξαρτώμενοι από την συχνότητα  $\omega$ .

Για την εκτίμηση των υδροδυναμικών παραμέτρων ολόκληρης της κατασκευής, θεωρούμενη σαν ενιαίο σώμα, πρέπει οι αντίστοιχες δυνάμεις που ασκούνται σε κάθε ανεξάρτητα κινούμενο σώμα της (4.22) να γραφούν κατάλληλα υπερτιθέμενες ως προς το σημείο αναφοράς της κίνησης, G, ολόκληρου του συστήματος. Για αυτόν τον σκοπό θα συμβολίσουμε με  $x=(x_1, x_2, x_3)$  και  $\theta=(x_4, x_5, x_6)$  τα διανύσματα γραμμικής μετάθεσης και περιστροφής του G. Η μετατόπιση και περιστροφή,  $x^p$  και  $\theta^p$ , αντίστοιχα, του σημείου αναφοράς  $G_p$  του σώματος p, μπορούν να εκφραστούν ως προς το G ως εξής:

$$x^p = x + \theta \times r^p \quad (4.23)$$

$$\theta^p = \theta$$

Εδώ το  $r^p$  υποδηλώνει το διάνυσμα θέσης του  $G_p$  εν σχέσει με το  $G$ . Αντικαθιστώντας τα στοιχεία της (4.23) για  $x_{j0}^p$ , ( $j=1,2,\dots, 5$ ), στην (4.22) και προσθέτοντας τις ιδιοσυναρτήσεις των μετακινήσεων των  $p$  σωμάτων που προκαλούν δυνάμεις στο σώμα κατά τη διεύθυνση  $i$ , η συνολική δύναμη  $f_i^{qp}$  που ασκείται στο σώμα  $q$  κατά τη διεύθυνση  $i$  λόγω της κίνησης του σώματος  $p$  μπορεί να εκφραστεί με όρους των συνιστωσών κίνησης της όλης κατασκευής  $x_{j0}$  ( $j=1,2,\dots,6$ ) ως εξής

$$f_i^{qp} = \sum_{j=1}^6 f_i^{qp} = \omega^2 \sum_{j=1}^6 (\mu_{ij}^{qp} + \frac{i}{\omega} \lambda_{ij}^{qp}) x_{j0} = \omega^2 \sum_{j=1}^6 M_{ij}^{qp} x_{j0} \quad (24)$$

Όπου  $M_{ij}^{qp}$  είναι στοιχεία του  $6 \times 6$  μητρώου  $[M^{qp}]$  που ορίζεται ως:

$$[M^{qp}] = [\pi^{qp}][B^p]^T \quad (4.25)$$

Με  $[\pi^{qp}]$  να είναι ένας τετραγωνικός πίνακας του οποίου τα στοιχεία δόθηκαν στην (4.20) και  $[B^p]^T$  ο ανάστροφος μετασχηματισμένος πίνακας  $[B^p]$ :

$$[B^p] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -z^i & y^i & 1 & 0 & 0 \\ z^i & 0 & -x^i & 0 & 1 & 0 \\ -y^i & x^i & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.26)$$

Οι υδροδυναμικές δυνάμεις αντίδρασης που εκφράστηκαν ως τώρα είναι εκφρασμένες σε σχέση με το σημείο αναφοράς της κίνησης του  $q$  σώματος,  $G_p$ . Για να υπολογίσουμε όμως την συνεισφορά της  $f_i^{qp}$  στην συνολική δύναμη αντίδρασης ολόκληρης της κατασκευής, πρέπει η  $f_i^{qp}$  να γραφθεί ως προς το σημείο αναφοράς  $G$  του συσσωματώματος.

Συμβολίζοντας με  $F_i^{qp}$  τις αντίστοιχες δυνάμεις ( $i=1,2,3$ ) και ροπές ( $i=4,5,6$ ) λαμβάνουμε από την κλασσική μηχανική τα εξής:

$$F_i^{qp} = f_i^{qp} \text{ για } (i = 1,2,3) \quad (4.27)$$

και

$$F_i^{qp} = f_i^{qp} + (r^q \times f^{qp})_i \text{ για } (i = 4,5,6) \quad (4.28)$$

όπου  $r^q = (x^q, y^q, z^q)$  είναι το διάνυσμα θέσης του σημείου αναφοράς του σώματος  $q$ ,  $G_p$  ως προς το σημείο αναφοράς  $G$  της συνολικής κατασκευής και  $f^{qp} = (f_1^{qp} + f_2^{qp} + f_3^{qp})$ . Αντικαθιστούμε την (4.24) για  $f_i^{qp}$  στην (28) και χρησιμοποιώντας τον συμβολισμό:

$$\Pi_{ij}^{qp} = A_{ij}^{qp} + \frac{i}{\omega} B_{ij}^{qp} \quad (4.29)$$

για τις υδροδυναμικές παραμέτρους ως προς το σημείο  $G$ , όπου  $A_{ij}^{qp}$  και  $B_{ij}^{qp}$  είναι οι πρόσθετες μάζες και το δυναμικό απόσβεσης του σώματος  $q$  στην διεύθυνση  $i$  λόγω της κίνησης του σώματος  $p$  στην  $j$  διεύθυνση, λαμβάνουμε τα εξής:

$$F_i^{qp} = \omega^2 \sum_{j=1}^6 \Pi_{ij}^{qp} x_{j0} \quad (4.30)$$

Τα στοιχεία  $\Pi_{ij}^{qp}$  του  $6 \times 6$  τετραγωνικού πίνακα  $[\Pi^{qp}]$  δίνονται ως εξής:

$$[\Pi^{qp}] = [M^{qp}][B^q] \approx [B^q][\pi^{qp}][B^p]^T \quad (4.31)$$

όπου το μητρώο  $[B^i]$ , ( $i=p,q$ ) δίνεται από τον πίνακα στη σχέση (4.26). Οι υδροδυναμικές μάζες και το δυναμικό απόσβεσης ολόκληρης της κατασκευής λαμβάνονται από την άθροιση όλων των τιμών των  $p$  και  $q$  ( $p,q=1,2,\dots,N$ , όπου εδώ είναι  $N=4$ ).

Έτσι έχουμε:

$$\Pi_{ij} = \sum_{q=1}^N \sum_{p=1}^N \Pi_{ij}^{qp} \quad (4.33)$$

Οι συνολικές υδροδυναμικές δυνάμεις μπορούν να υπολογιστούν για την όλη διάταξη με κατάλληλη υπέρθεση των αντίστοιχων δυνάμεων σε κάθε σώμα ως προς το σημείο αναφοράς κίνησης της ενιαίας κατασκευής,  $G$

### 4.3.3 Μέσες δυνάμεις και ροπές δευτέρας τάξης (drift forces and moments)

Η μέθοδος υπολογισμού των μέσων γενικευμένων δυνάμεων έκπτωσης πραγματοποιείται με δύο τρόπους. Οι μέσες γενικευμένες δυνάμεις έκπτωσης υπολογίζονται τόσο με το θεώρημα μεταβολής της ορμής, όσο και με την μέθοδο της απευθείας ολοκλήρωσης όλων των όρων της συνολικής πίεσης που συνεισφέρουν σε δυνάμεις δευτέρας τάξης.

Η χρήση του θεωρήματος της μεταβολής της ορμής, πραγματοποιείται, μέσα σ' έναν όγκο αναφοράς του ρευστού που περικλείεται από την ελεύθερη επιφάνεια, τον πυθμένα, τη βρεχόμενη επιφάνεια του σώματος και μια κατακόρυφη κυλινδρική επιφάνεια που περιβάλλει το εξεταζόμενο σώμα. Η μέθοδος αυτή, εισήχθη από τον Maruo (1960) για τις οριζόντιες δυνάμεις, επεκτάθηκε από τον Newman (1967), που περιέλαβε και τις ροπές περί τον κατακόρυφο άξονα (yaw drift moments) για την περίπτωση άπειρου βάθους νερού και επεκτάθηκε στη συνέχεια από τους Faltinsen & Michelsen (1974), για την περίπτωση πεπερασμένου βάθους νερού. Η μέθοδος υπολογισμού των μέσων δευτεροτάξιων δυνάμεων με χρήση του θεωρήματος μεταβολής της ορμής προτάθηκε και εφαρμόστηκε αρχικά για τον υπολογισμό των οριζόντιων δυνάμεων εκπεσμού και της αντίστοιχης ροπής περί τον κατακόρυφο άξονα σε επιπλέουσες κατασκευές, διευθύνσεις για τις οποίες εξάλλου οι δυνάμεις αυτές έχουν ιδιαίτερη σημασία στον υπολογισμό του συστήματος αγκύρωσης λόγω των ελλειπουσών υδροστατικών δυνάμεων επαναφοράς. Για τον υπολογισμό των δυνάμεων αυτών, απαιτείται ο υπολογισμός ολοκληρωμάτων στην κατακόρυφη κυλινδρική επιφάνεια αναφοράς και μόνον. Σε αντίθεση

με αυτό, ο υπολογισμός των υπόλοιπων δυνάμεων εκπεσμού με την μέθοδο μεταβολής της ορμής στην κατακόρυφη διεύθυνση και στις ροπές εκπεσμού περί τον x- και y- άξονα της κατασκευής, που σε περιπτώσεις επιπλέοντων σωμάτων μικρής ισάλου επιφάνειας ή βυθισμένων σωμάτων μπορεί να έχει σημασία, περιλαμβάνει εκτενείς ολοκληρώσεις παραστάσεων στην ελεύθερη επιφάνεια και στον πυθμένα της θάλασσας (για την περίπτωση πεπερασμένου βάθους νερού), οι οποίες για τυχαίας μορφής σώματα πρέπει να γίνουν αριθμητικά και είναι πολύ εκτενείς.

Για την περίπτωση αξονοσυμμετρικών σωμάτων όμως με κατακόρυφο άξονα συμμετρίας ο Μανρακος (1988), αφού αρχικά έδωσε τις γενικές εκφράσεις για τον υπολογισμό των κατακόρυφων δυνάμεων και ροπών ανατροπής στον προνευτασμό και τον διατοιχισμό με την μέθοδο της μεταβολής της ορμής, έδειξε ότι οι προκύπτουσες εκφράσεις ολοκληρώνονται αναλυτικά. Έτσι, παρουσίασε σχετικά αριθμητικά αποτελέσματα για τυχαίας μορφής κατακόρυφα αξονοσυμμετρικά σώματα (επιπλέοντες απλούς ή σύνθετους κυλίνδρους ή γενικότερης μορφής αξονοσυμμετρικά σώματα). Στο βαθμό που οι προκύπτουσες εκφράσεις ολοκληρώνονται αναλυτικά, τα αποτελέσματα είναι απαλλαγμένα αριθμητικών σφαλμάτων ή σφαλμάτων οφειλόμενων στη διακριτοποίηση των εξεταζόμενων κατασκευών.

Σε όλες τις μεθοδολογίες που αναφέρθηκαν προηγούμενα και βασίζονται στη χρήση του θεωρήματος της μεταβολής της ορμής για τον υπολογισμό των δευτεροτάξιων δυνάμεων εκπεσμού, η κατακόρυφη κυλινδρική επιφάνεια που περιβάλλει το σώμα τέθηκε σε μεγάλη απόσταση (άπειρη) από αυτό. Με τον τρόπο αυτό, για την ολοκλήρωση των παραγώγων του απαιτούμενου πρωτοτάξιου δυναμικού στην κατακόρυφη κυλινδρική επιφάνεια απαιτείται η γνώση της ασυμπτωτικής συμπεριφοράς του δυναμικού αυτού για  $R \rightarrow \infty$  (όπου  $R$  η ακτίνα του «θεωρητικού» κυλίνδρου). Αυτή προκύπτει από ασυμπτωτική θεώρηση του πρωτοτάξιου δυναμικού που περιγράφει το πεδίο ροής γύρω από το σώμα και είναι πολύ απλούστερης μαθηματικά μορφής από την αντίστοιχη που ισχύει κοντά στο σώμα.

Ένας περαιτέρω περιορισμός που προκύπτει από την εφαρμογή της μεθόδου της μεταβολής της ορμής, είναι ότι στην περίπτωση των πολλών σωμάτων που αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους, η τοποθέτηση της

κατακόρυφης κυλινδρικής επιφάνειας μακριά από το σώμα και η θεώρηση του συνολικού δυναμικού εκεί, έχει σαν αποτέλεσμα τον υπολογισμό της συνολικής δύναμης εκπεσμού στο συγκρότημα των αλληλεπιδρουσών κατασκευών και όχι σε κάθε μεμονωμένο σώμα της διάταξης που απαιτείται πολλές φορές. Επίσης στη περίπτωση των αλληλεπιδρώντων σωμάτων η χρήση του θεωρήματος μεταβολής της ορμής για τον υπολογισμό των κατακόρυφων δυνάμεων και των ροπών ανατροπής στις διευθύνσεις του προνευτασμού και του διατοιχισμού, είναι εξαιρετικά δυσχερής λόγω του γεγονότος ότι η επιφάνεια ολοκλήρωσης (ελεύθερη επιφάνεια) διακόπτεται από τις ισάλους των σωμάτων που συμμετέχουν στην διάταξη.

Για τον λόγο αυτό, ο Mavrakos (1995), για την περίπτωση των κατακόρυφων αξονοσυμμετρικών σωμάτων, εισήγαγε τη χρήση του θεωρήματος μεταβολής της ορμής σε πεπερασμένης έκτασης όγκους αναφοράς που περιβάλλουν κάθε σώμα της διάταξης σε τρόπο ώστε να υπολογίζονται οι δυνάμεις και ροπές εκπεσμού σε κάθε ένα εκ των αλληλεπιδρώντων σωμάτων χωριστά. Στη συνέχεια οι δυνάμεις σε κάθε μεμονωμένο σώμα της διάταξης μπορούν να συντεθούν κατάλληλα για να ευρεθεί η δύναμη εκπεσμού στη συνολική κατασκευή. Οι εξισώσεις υπολογισμού των μέσων δυνάμεων έκπτωσης, δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$F_{x_0}^{(2)} = -\iint_{S_\infty} \overline{p \cos \theta + p v_r (v_r \cos \theta - v_\theta \sin \theta)} r d\theta dz \quad (4.34)$$

$$F_{y_0}^{(2)} = -\iint_{S_\infty} \overline{p \sin \theta + p v_r (v_r \sin \theta - v_\theta \cos \theta)} r d\theta dz \quad (4.35)$$

$$M_{z_0}^{(2)} = -p \iint_{S_\infty} \overline{v_r v_\theta} r^2 d\theta dz \quad (4.36)$$

Το διάνυσμα της μέσης δευτεροτάξιας δύναμης και ροπής έκπτωσης, με τη μέθοδο της απευθείας ολοκλήρωσης, σύμφωνα με τους Pinkster και Van Oortmensen (1977), δίνεται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$F_{x_0}^{(2)} = -\int_{WL} \frac{1}{2} \rho \cdot \overline{g \cdot \zeta_r^{2,p}} n_1 dl + M \cdot R \cdot \overline{X_g^p} + \int_{S_0} \int \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \overline{|\nabla \Phi^p|^2} n_1 dS_0 + \int \int_{S_0} \rho \cdot \overline{X^p \cdot \nabla \Phi_t^p} n_1 dS_0 \quad (4.37)$$

$$F_{y_0}^{(2)} = -\int_{WL} \frac{1}{2} \rho \cdot g \cdot \overline{\zeta_r^{2,p}}^T n_2 dl + M \cdot R \cdot \overline{X_g^p}^T + \int \int_{S_0} \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \overline{|\nabla \Phi^p|^2}^T n_2 dS_0 + \int \int_{S_0} \rho \cdot \overline{X^p \cdot \nabla \Phi_t^p}^T n_2 dS_0 \quad (4.38)$$

$$M_{z_0}^{(2)} = M \cdot R \cdot \overline{X_g^p}^T + \int \int_{S_0} \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \overline{|\nabla \Phi^p|^2}^T n_6 dS_0 + \int \int_{S_0} \rho \cdot \overline{X^p \cdot \nabla \Phi_t^p}^T n_6 dS_0 \quad (4.39)$$

όπου, ο συμβολισμός « $-T$ » δηλώνει τη μέση χρονική στιγμή,  $\zeta_r$  είναι η σχετική ανύψωση της ελεύθερης επιφάνειας,  $\overline{X^p}, \overline{X_g^p}$ , είναι το διάνυσμα θέσης ενός τυχαίου σημείου στη βρεχόμενη επιφάνεια και του κέντρου βάρους της συσκευής  $p$ , αντίστοιχα,  $M$  είναι ο πίνακας της μάζας και  $R$  ο πίνακας μετασχηματισμού, ο οποίος περιέχει τις περιστροφές της συσκευής  $p$  ως προς τους τρεις άξονες.

### 4.3.3 Δευτεροτάξια υδροδυναμική απόσβεση (Wave Drift Damping)

Είναι ευρέως γνωστό ότι υπό την επίδραση του αέρα και των μη γραμμικών κυμάτων οι πλωτές κατασκευές κάνουν μεγάλο πλάτους και χαμηλών-συχνοτήτων κινήσεις συντονισμού. Η αριθμητική πρόβλεψη αυτού του τύπου κινήσεων απαιτεί την αποτίμηση όλων των μηχανισμών απόσβεσης, από τους οποίους η αποκαλούμενη δευτεροτάξια υδροδυναμική απόσβεση λόγω κυμάτων (wave-drift damping) είναι μια πολύ σημαντική συνιστώσα. Από θεωρητικής σκοπιάς αυτό σημαίνει λύση του προβλήματος περίθλασης-ακτινοβολίας με μικρή πρόσω ταχύτητα της κατασκευής και παραγωγή της πρόσθετης αντίστασης, η οποία, στη γραμμική της επίλυση με τον όρο της πρόσω ταχύτητας  $U$  μπορεί να γραφεί ως (Mavrakos et al, 2010; Mazarakos & Mavrakos 2012):

$$F(U, \omega_0) = F_d(\omega_0) - B(\omega_0)U \quad (4.40)$$

Όπου  $F_d$  είναι η μέση δευτεροτάξια δύναμη (drift) χωρίς πρόσω ταχύτητα,  $B$  είναι ο παράγοντας της δευτεροτάξιας υδροδυναμικής απόσβεσης λόγω κυμάτων και  $\omega_0$  είναι η συχνότητα του προσπίπτοντος

κυματισμού στο αδρανειακό σύστημα συντεταγμένων, χωρίς την επίδραση της πρόσω ταχύτητας ή του θαλάσσιου ρεύματος.

Στο πρόσφατο παρελθόν έχουν γίνει πολλές ερευνητικές εργασίες γι' αυτό το πρόβλημα ακολουθώντας διαφορετικές προσεγγίσεις. Όλοι υποθέτουν αριθμούς Froude  $U/\sqrt{gL}$  και Brard  $\tau = U\omega/g$  μικρούς, όπου  $U = |U|$  είναι η πρόσω ταχύτητα στην x-διεύθυνση,  $L$  είναι χαρακτηριστικό μήκος  $\omega$  είναι η συχνότητα συνάντησης και  $g$  είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας. Στο βαθύ νερό η συχνότητα συνάντησης συσχετίζεται με την πραγματική συχνότητα κυμάτων με τον τύπο:  $\omega = \omega_0 - (U\omega_0^2/g)\cos\beta$ , όπου  $\beta$  είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της πρόσω ταχύτητας του σώματος και της διεύθυνσης των προσπιπτόντων κυματισμών. Επομένως το δυναμικό ταχύτητας μπορεί να γραφεί ως:

$$\Phi(x, y, z, t) = \Phi_0(x, y, z) + \varepsilon\Phi_U(x, y, z, t) + O(\varepsilon^2) \quad (4.41)$$

Όπου  $\Phi_0$  είναι το δυναμικό σώματος διπλής ροής και  $\Phi_U$  είναι το δυναμικό του κύματος.

Στην ελεύθερη επιφάνεια το  $\Phi_U$  ικανοποιεί μια γραμμική οριακή συνθήκη, αλλά με σταθερές εξαρτημένες από το  $\Phi_0$ , οι οποίες περιπλέκουν το πρόβλημα. Υπάρχουν επίσης προβλήματα σχετικά με την συμπεριφορά το  $\Phi_U$  στο άπειρο (far-field) όταν οι τάξεις των  $\varepsilon$  και  $\varepsilon\tau$  είναι τυπικά χωρισμένες στον τρόπο που διατυπώνεται και υπολογίζεται η πρόσθετη αντίσταση (με ολοκλήρωση της πίεσης στην ελεύθερη επιφάνεια ή από τη μέθοδο των ροπών στο άπειρο).

Η πρώτη στήλη του πίνακα των συνιστωσών της δευτεροτάξιας υδροδυναμικής απόσβεσης εκπεσμού (wave drift damping, WDD), που είναι σχετική με την κίνηση surge και την ταχύτητα  $U_x$ , δίνεται από την έκφραση:



$$\begin{Bmatrix} B_{11}(\omega, \beta) \\ B_{21}(\omega, \beta) \\ B_{61}(\omega, \beta) \end{Bmatrix} = \frac{\omega}{g} \left[ \omega \cos \beta \frac{\partial}{\partial \omega} - 2 \sin \beta \frac{\partial}{\partial \beta} + 4 \cos \beta \right] \begin{Bmatrix} D_x(\omega, \beta) \\ D_y(\omega, \beta) \\ N_z(\omega, \beta) \end{Bmatrix} \quad (4.42\alpha)$$

Η δεύτερη στήλη του πίνακα των συνιστωσών της δευτεροτάξιας υδροδυναμικής απόσβεσης (WDD), που είναι σχετική με την κίνηση sway και την ταχύτητα  $U_y$ , δίνεται από την έκφραση:

$$\begin{Bmatrix} B_{12}(\omega, \beta) \\ B_{22}(\omega, \beta) \\ B_{62}(\omega, \beta) \end{Bmatrix} = \frac{\omega}{g} \left[ \omega \sin \beta \frac{\partial}{\partial \omega} + 2 \cos \beta \frac{\partial}{\partial \beta} + 4 \sin \beta \right] \begin{Bmatrix} D_x(\omega, \beta) \\ D_y(\omega, \beta) \\ N_z(\omega, \beta) \end{Bmatrix} \quad (4.42\beta)$$

για τα οποία υπάρχουν αποτελέσματα στους Aranha (1995), Mavrakos et al.(2007), Mazarakos (2010).

#### 4.4 Υδροδυναμικοί υπολογισμοί πλωτής κατασκευής για βάθος, 200m

Στις παρακάτω ενότητες παρουσιάζεται η υδροδυναμική ανάλυση της πλωτής κατασκευής, όταν αυτή βρίσκεται σε περιοχή εγκατάστασης 200m.

Πιο συγκεκριμένα:

Στα Σχήματα 1- 6, παρουσιάζονται οι δυνάμεις διέγερσης που ασκούνται στην κατασκευή στους 6 βαθμούς ελευθερίας κίνησης της, για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από 0°- 180°.

Στα Σχήματα 7- 12, παρουσιάζονται οι γενικευμένες κινήσεις της κατασκευής, για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από 0°- 180°

Στα Σχήματα 13-15, παρουσιάζονται οι γενικευμένες δυνάμεις έκπτωσης, για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από 0°- 180°

Στα Σχήματα 16-20, παρουσιάζονται οι πρόσθετές μάζες της

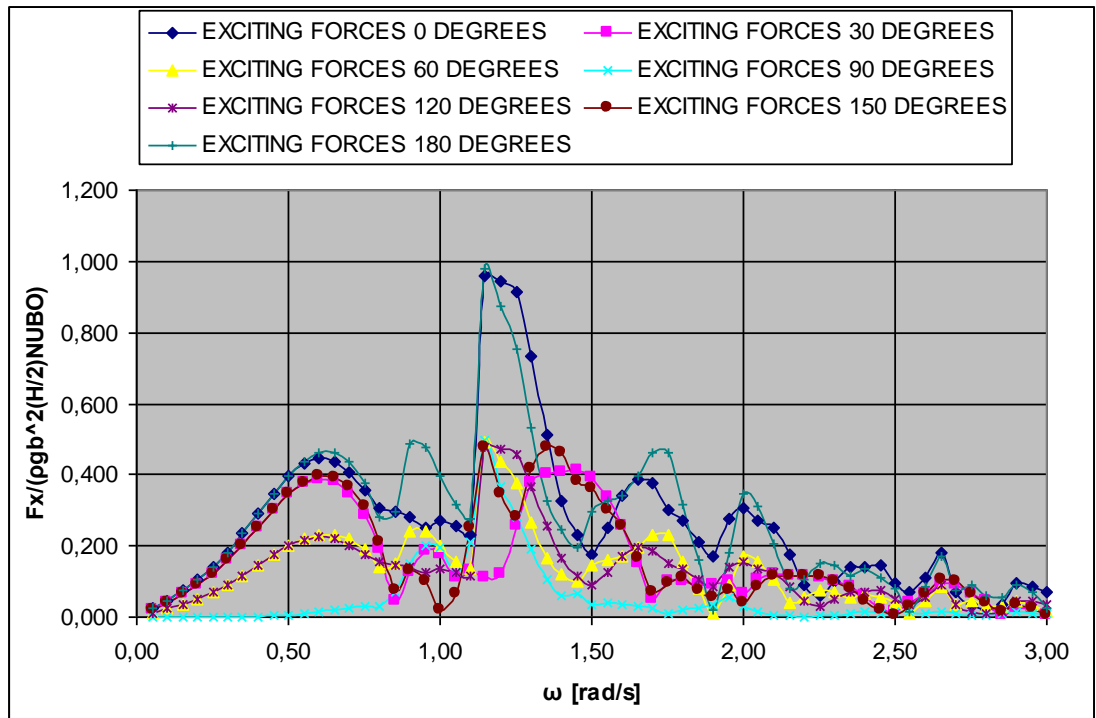
Στα Σχήματα 21-25, παρουσιάζονται οι υδροδυναμικές αποσβέσεις της κατασκευής.

Στα Σχήματα 26- 37, παρουσιάζεται η Δευτεροτάξια Υδροδυναμική Απόσβεση

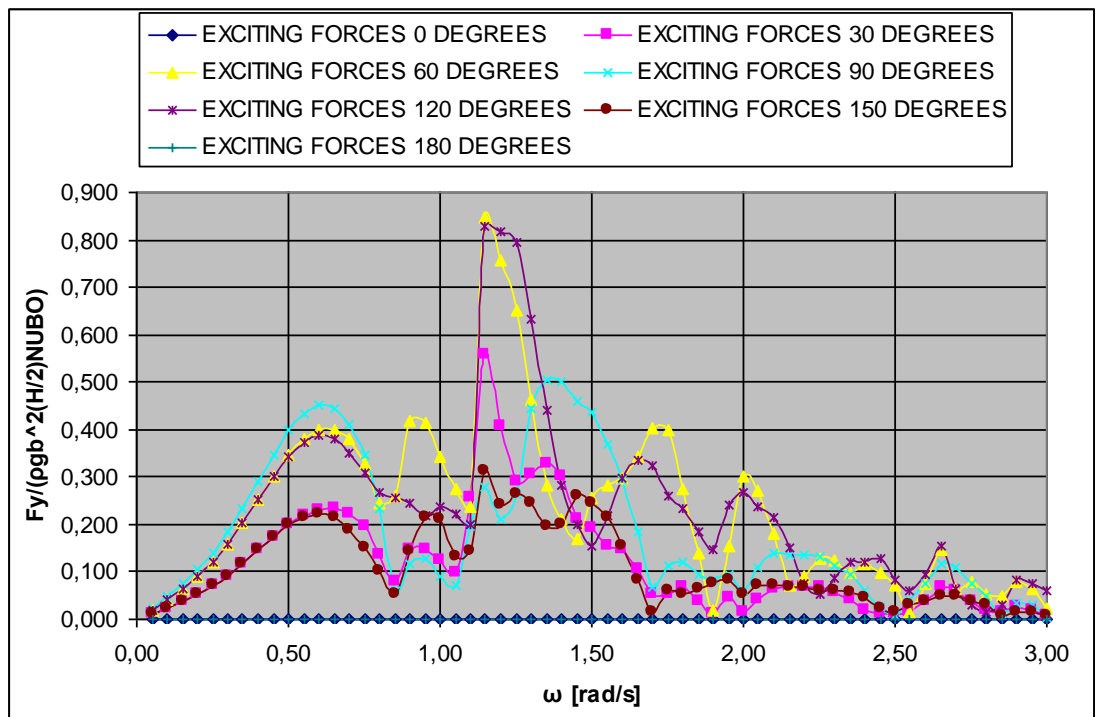
*(Στο Παράρτημα I, παρουσιάζονται οι αδιαστατοποιήσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων.*

*Στο Παράρτημα II, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σε πινακοποιημένη μορφή.)*

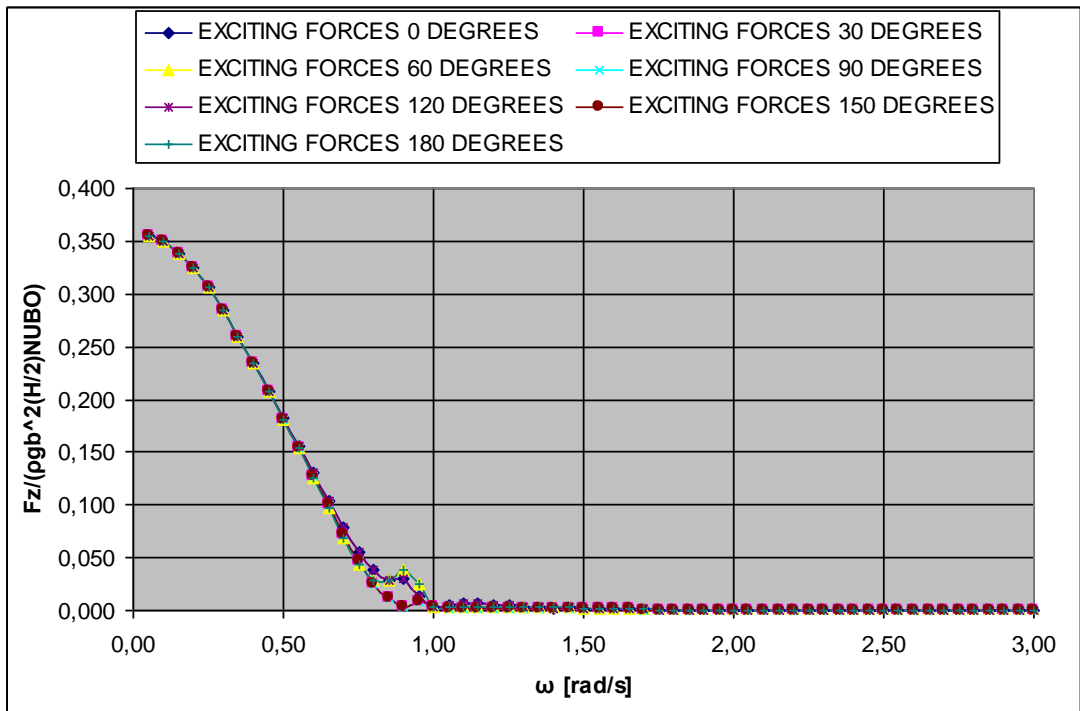
#### 4.4.1 Δυνάμεις διέγερσης



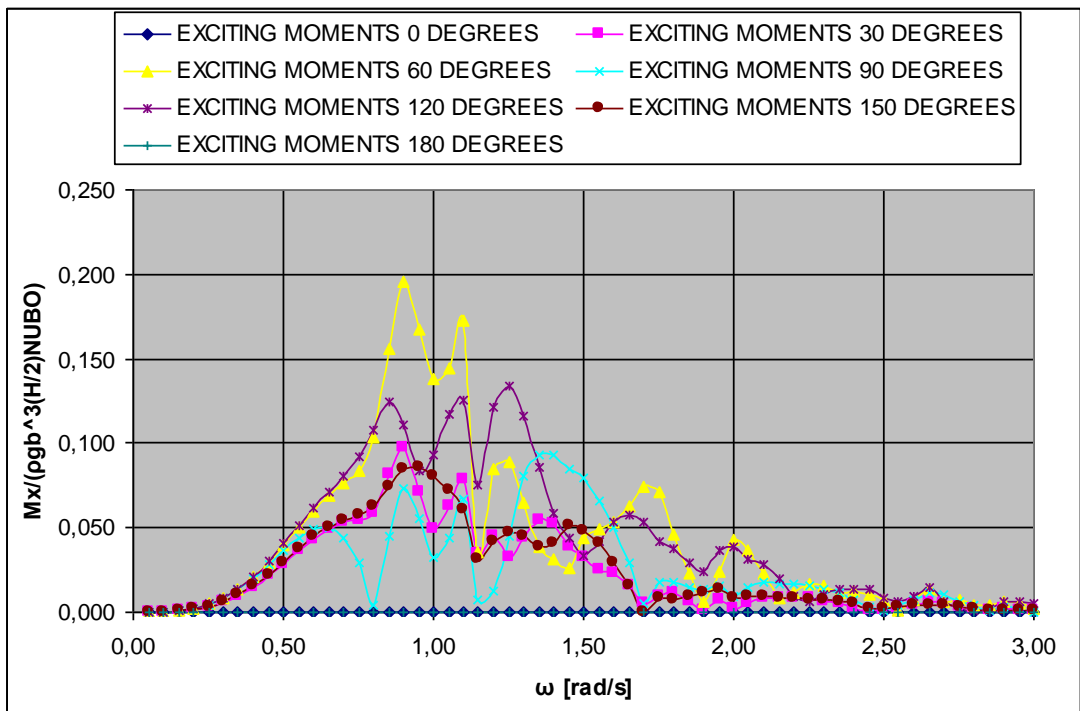
Σχήμα 4.1: Δυνάμεις διέγερσης στη x- Διεύθυνση, για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από 0°- 180°



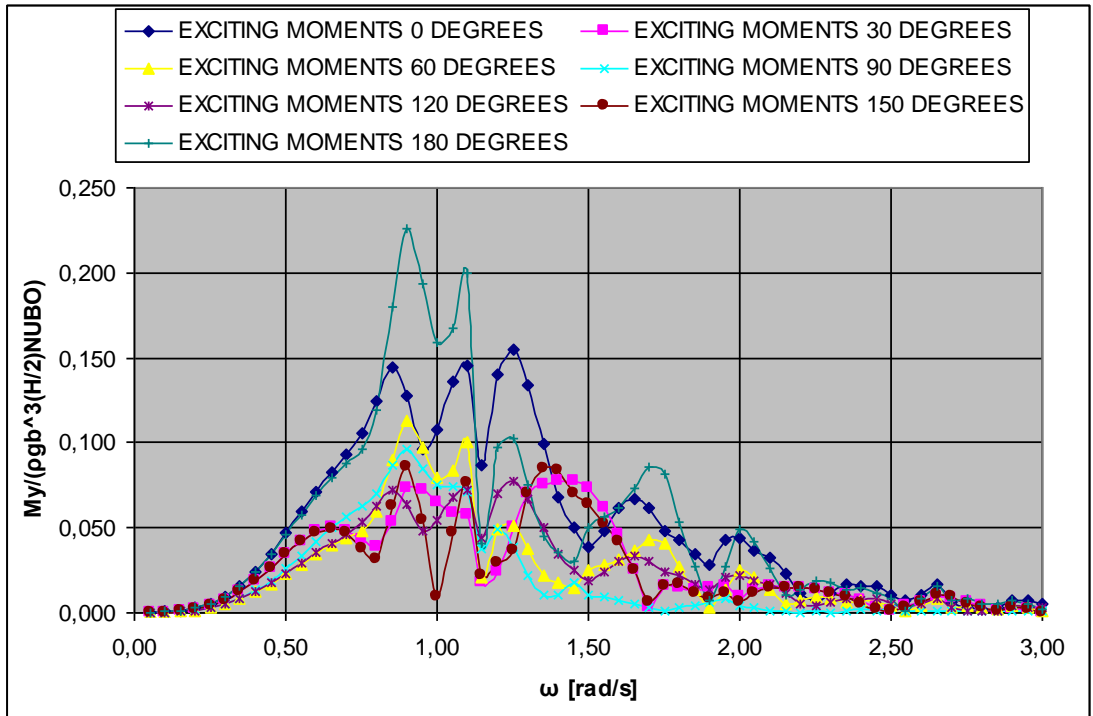
Σχήμα 4.2: Δυνάμεις διέγερσης στην y- Διεύθυνση, για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από 0°- 180°



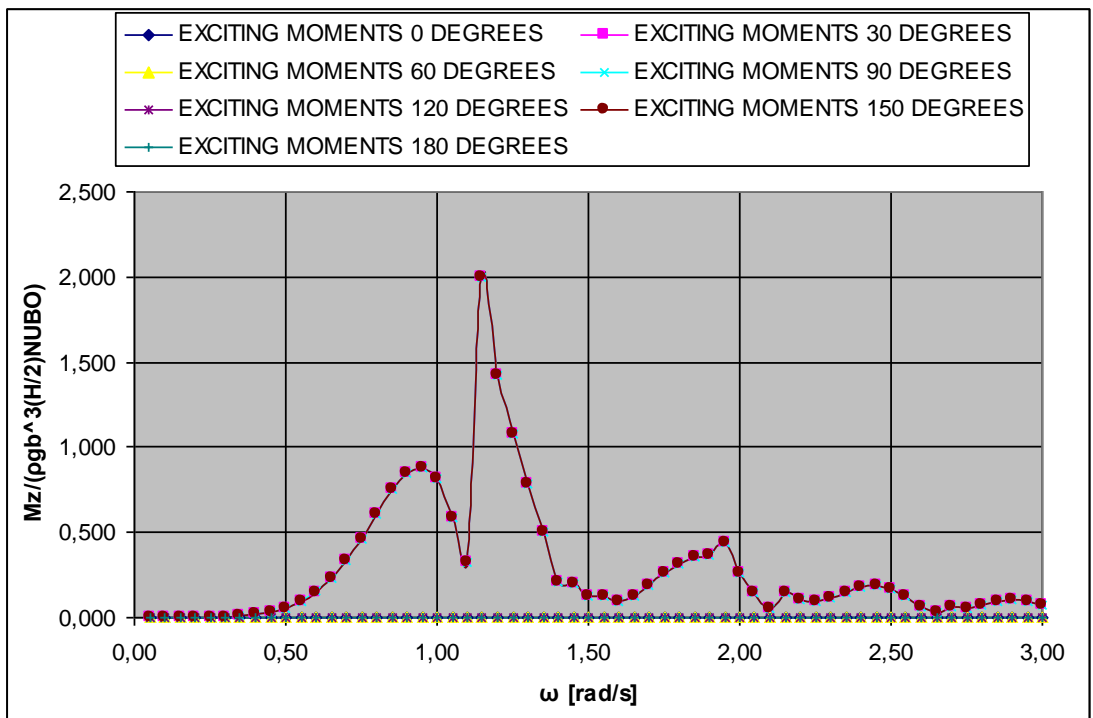
Σχήμα 4.3: Δυνάμεις διέγερσης στην z- Διεύθυνση, για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από 0°- 180°



Σχήμα 4.4: Ροπές διέγερσης περί την x- Διεύθυνση, για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από 0°- 180°

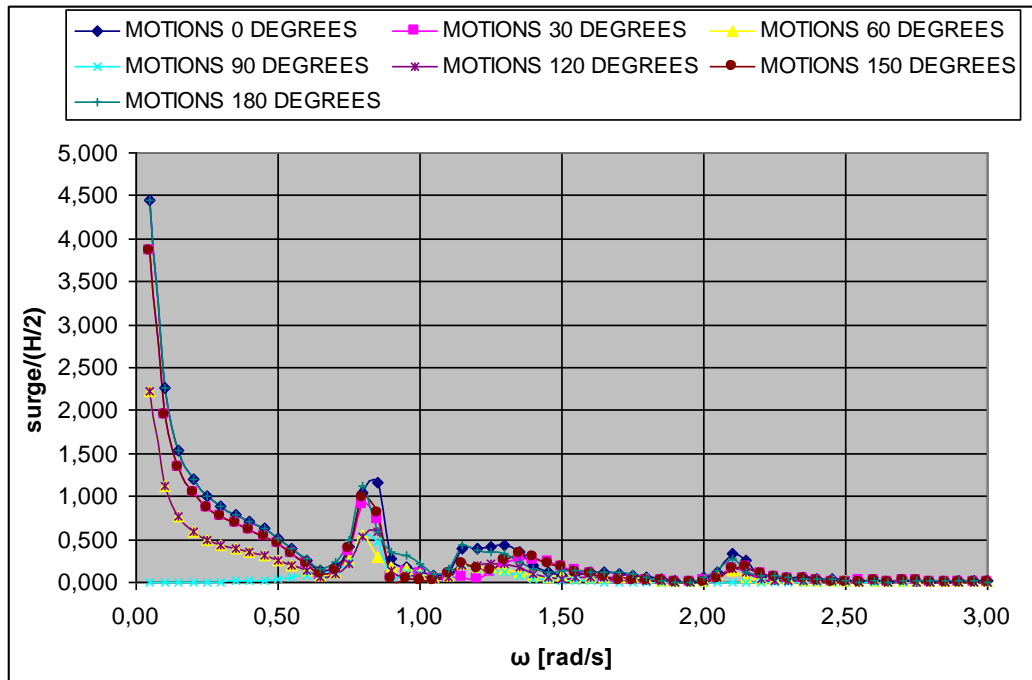


Σχήμα 4.5: Ροπές διέγερσης περί την  $y$ - Διεύθυνση, για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από  $0^\circ$ -  $180^\circ$

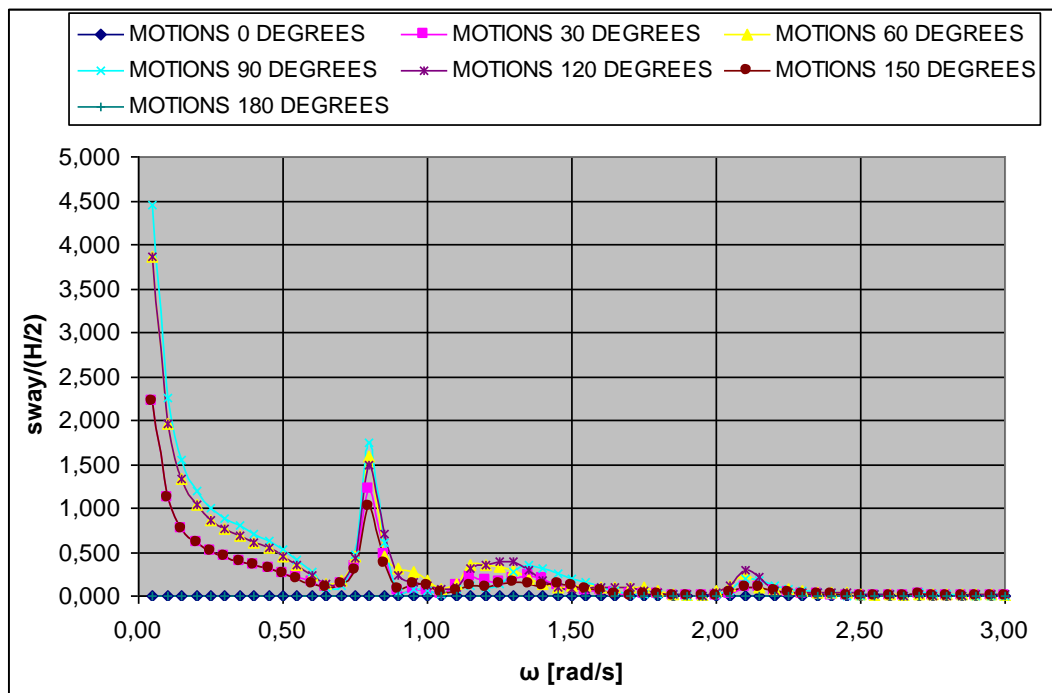


Σχήμα 4.6: Ροπές διέγερσης περί την  $z$ - Διεύθυνση, για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από  $0^\circ$ -  $180^\circ$

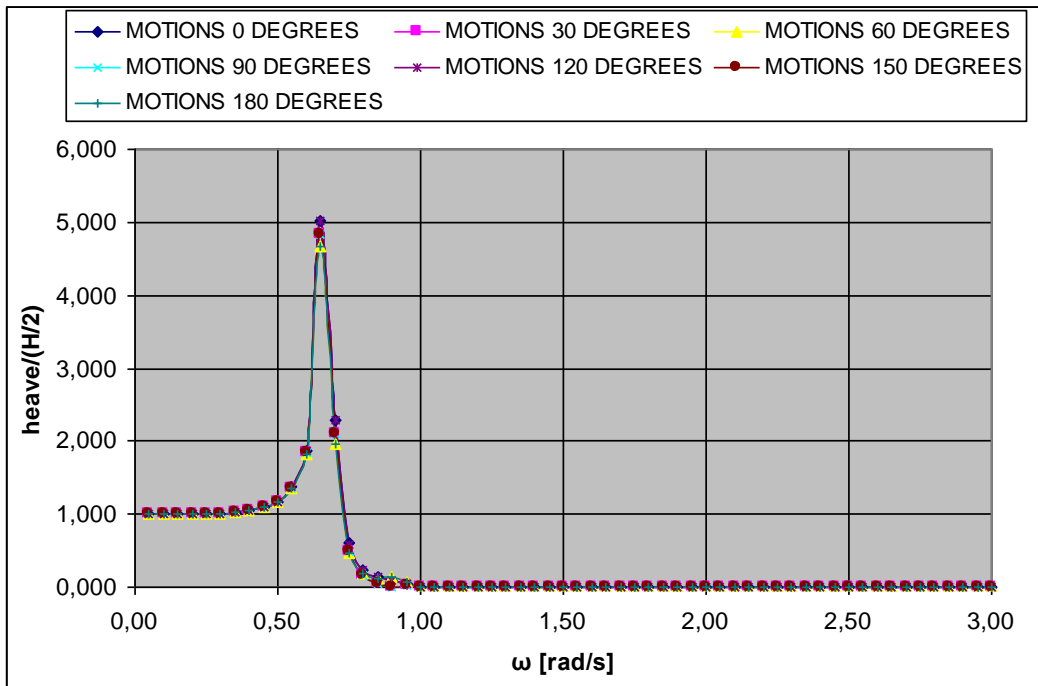
#### 4.4.2 Κινήσεις της κατασκευής



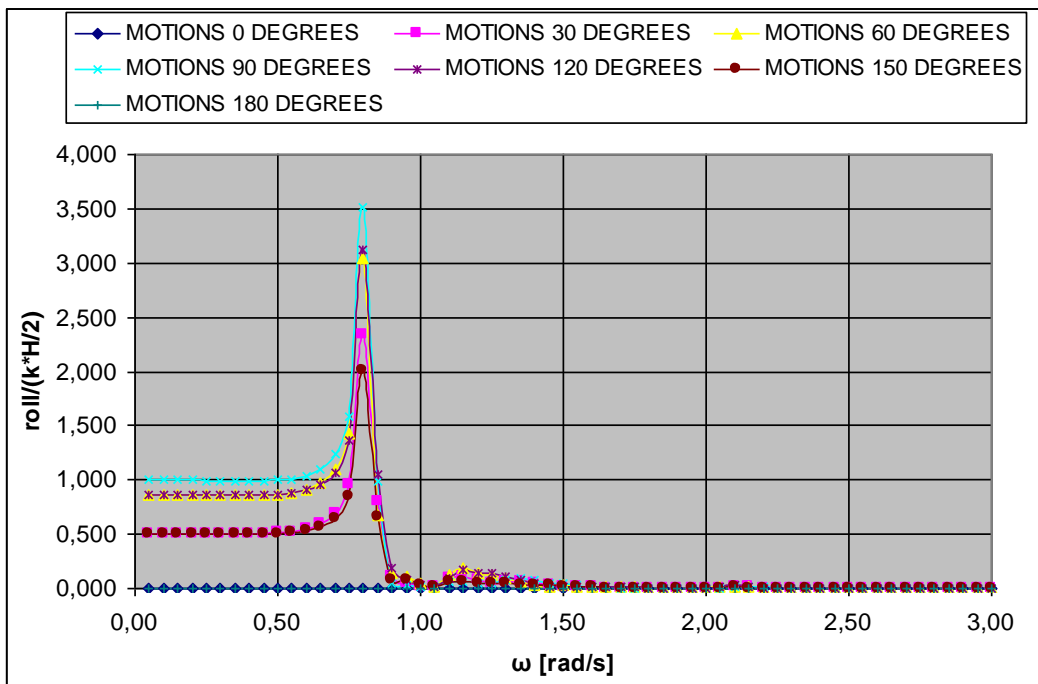
Σχήμα 4.7: Κινήσεις της κατασκευής στη x- Διεύθυνση, για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από 0°- 180°



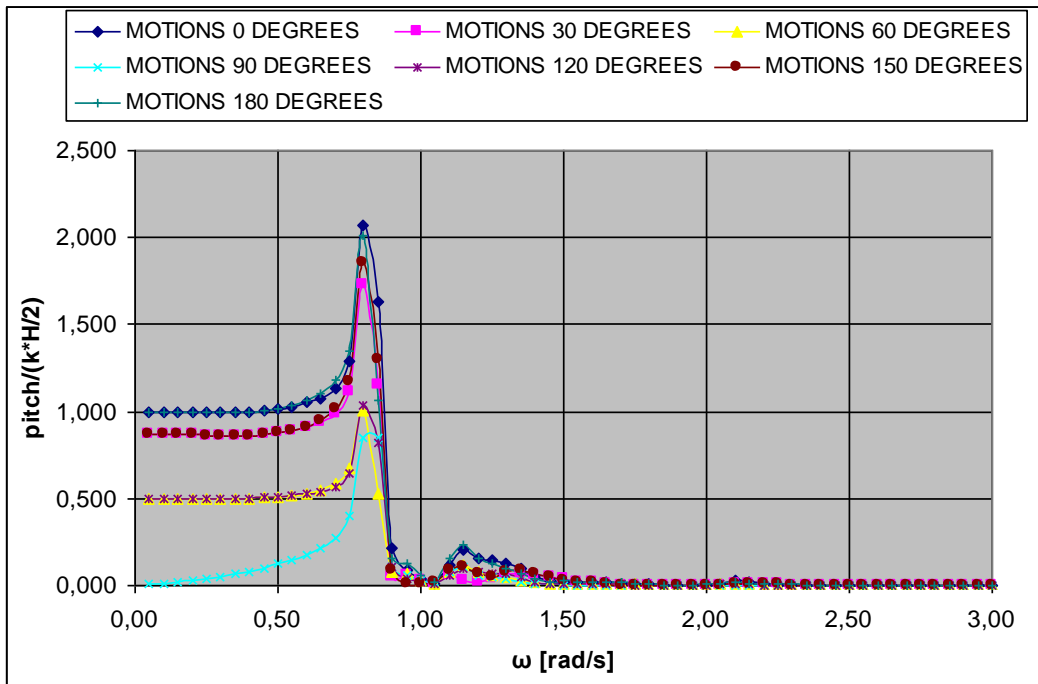
Σχήμα 4.8: Κινήσεις της κατασκευής στην y- Διεύθυνση, για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από 0°- 180°



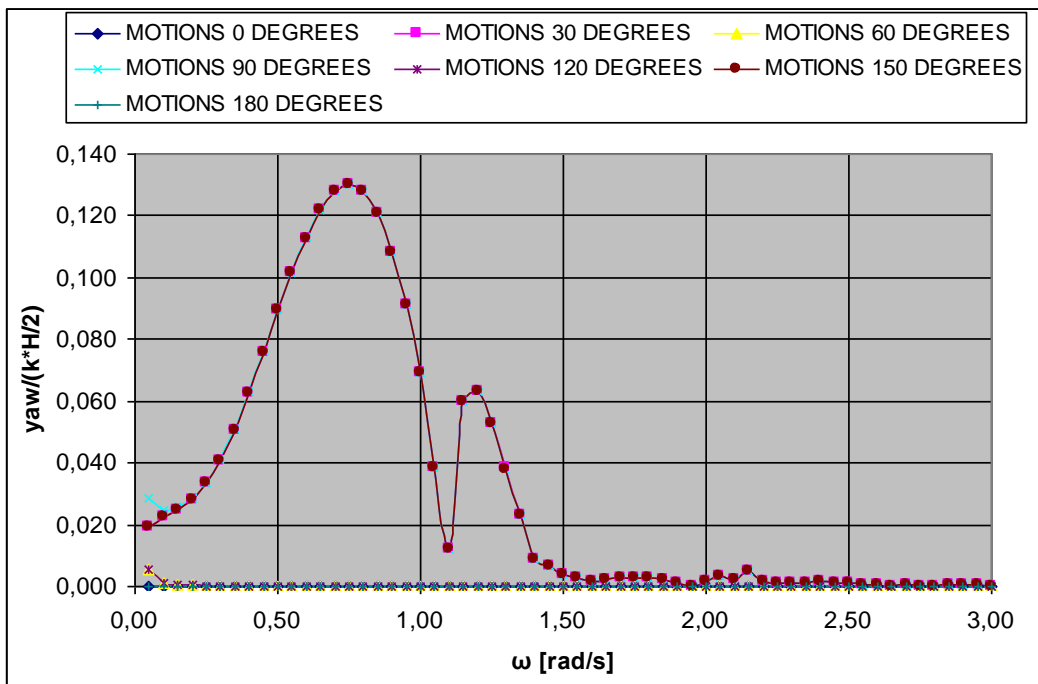
Σχήμα 4.9: Κινήσεις της κατασκευής στη z- Διεύθυνση, για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από 0°- 180°



Σχήμα 4.10: Περιστροφές της κατασκευής περί την x- Διεύθυνση, για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από 0°- 180°



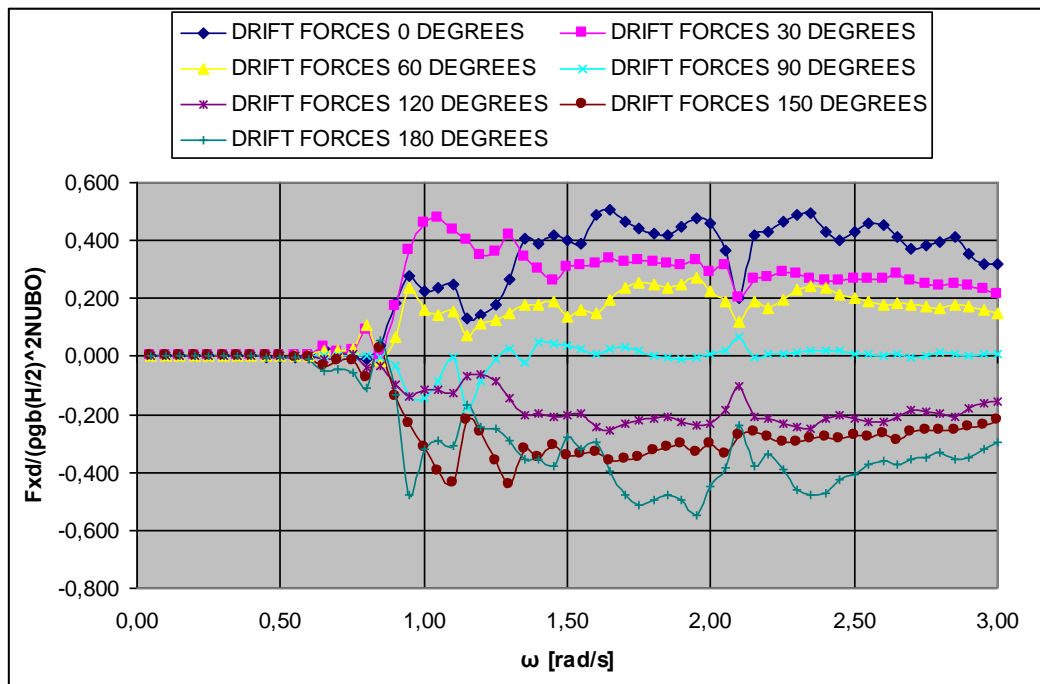
Σχήμα 4.11: Περιστροφές της κατασκευής περί την y- Διεύθυνση, για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από 0°- 180°



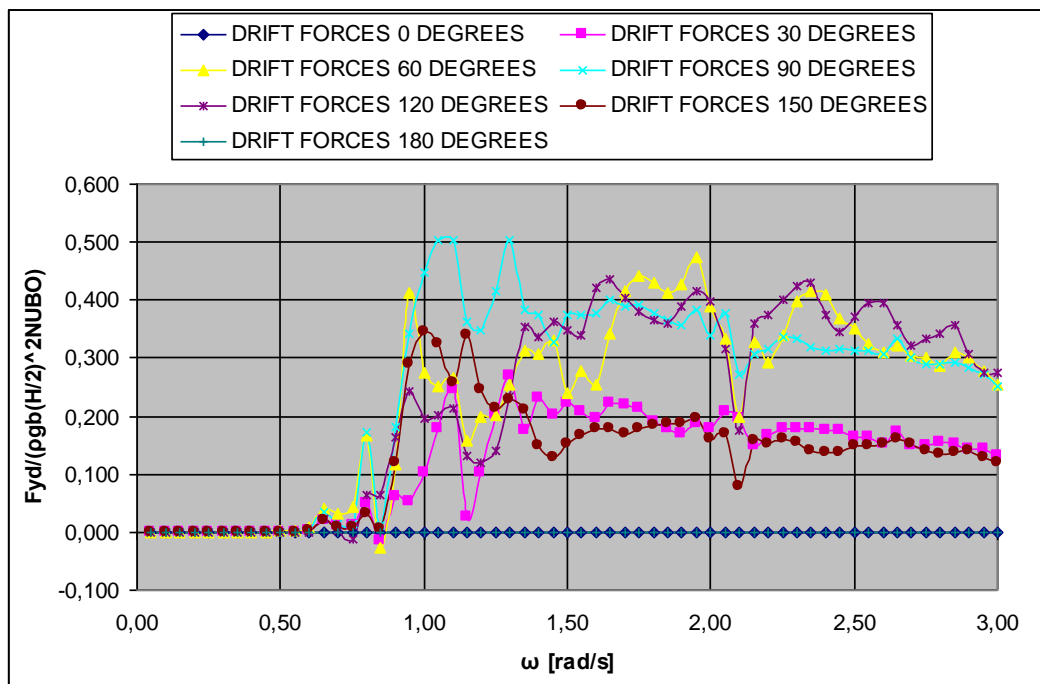
Σχήμα 4.12: Περιστροφές της κατασκευής περί την z- Διεύθυνση, για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από 0°- 180°



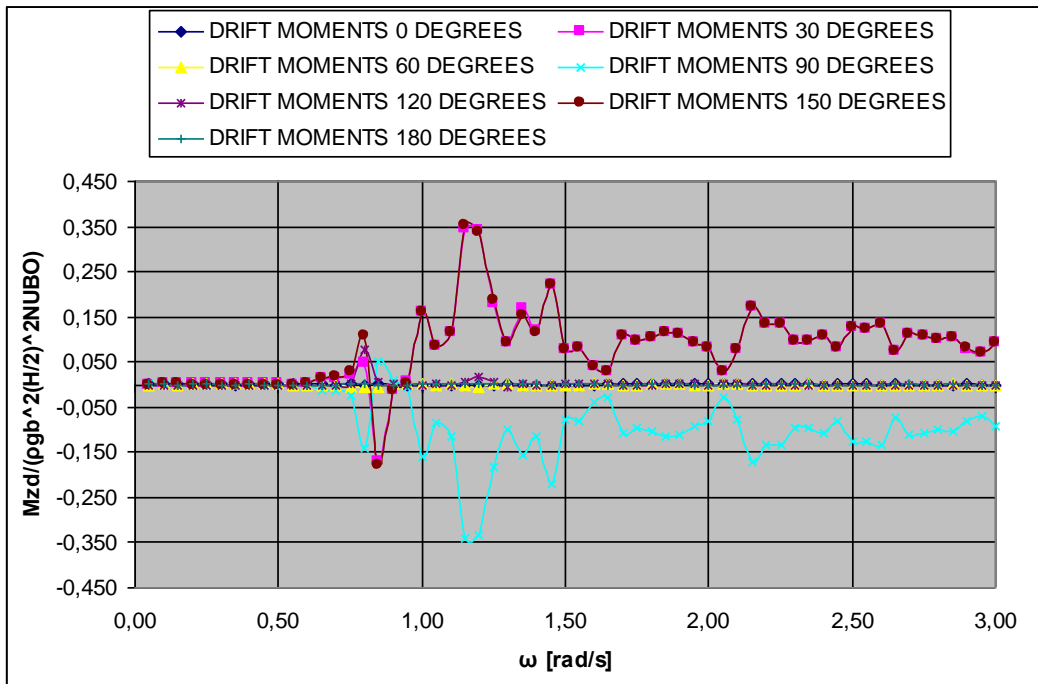
#### 4.4.3 Δυνάμεις έκπτωσης



Σχήμα 4.13: Δυνάμεις έκπτωσης στη x- Διεύθυνση, για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από 0°- 180°

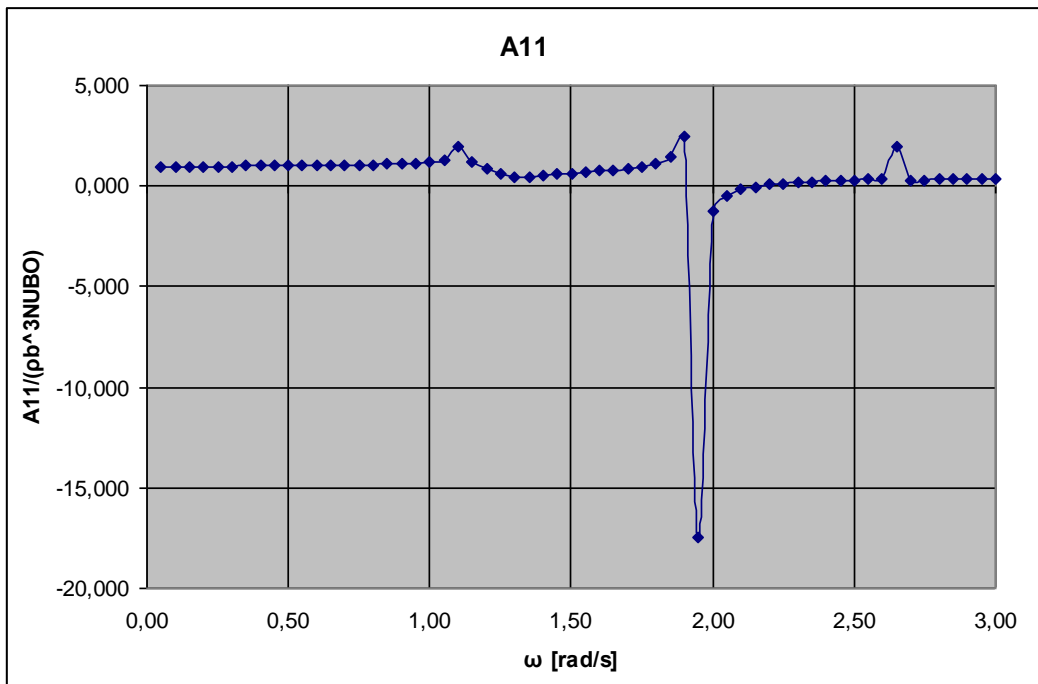


Σχήμα 4.14: Δυνάμεις έκπτωσης στην y- Διεύθυνση, για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από 0°- 180°

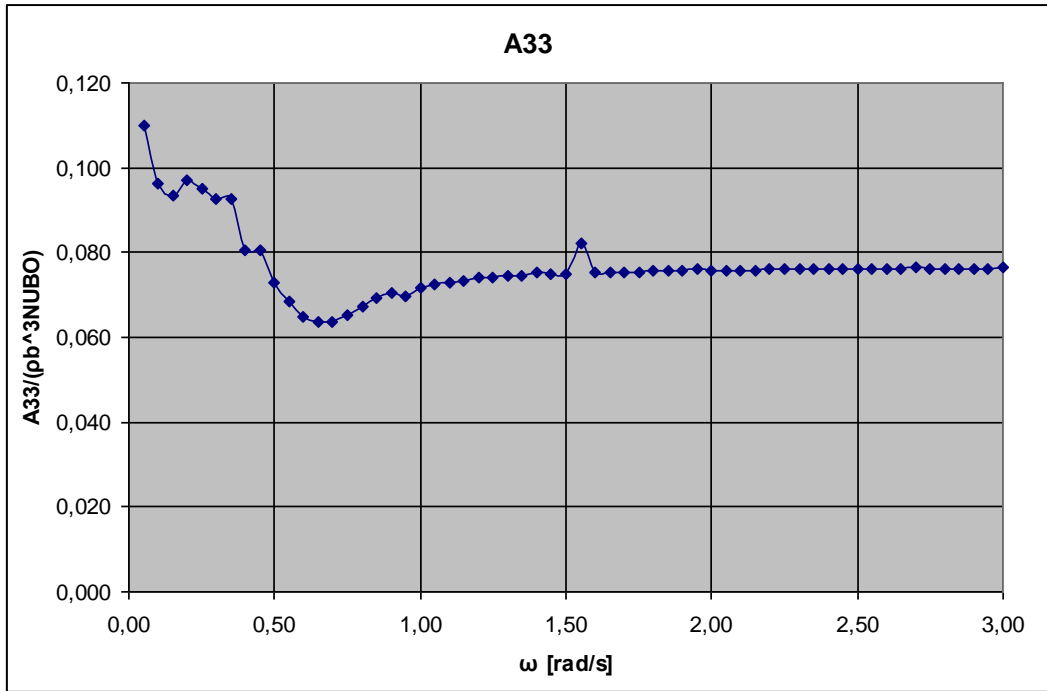


Σχήμα 4.15: Ροπές έκπτωσης περί την z- Διεύθυνση, για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από 0°- 180°

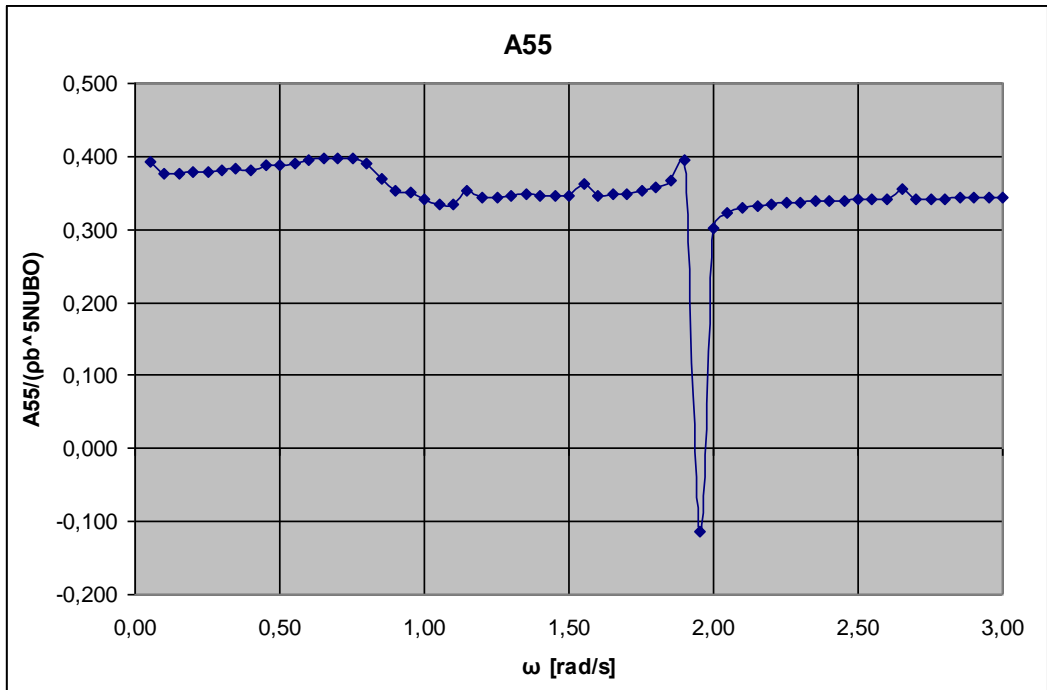
#### 4.4.4 Υδροδυναμικές μάζες



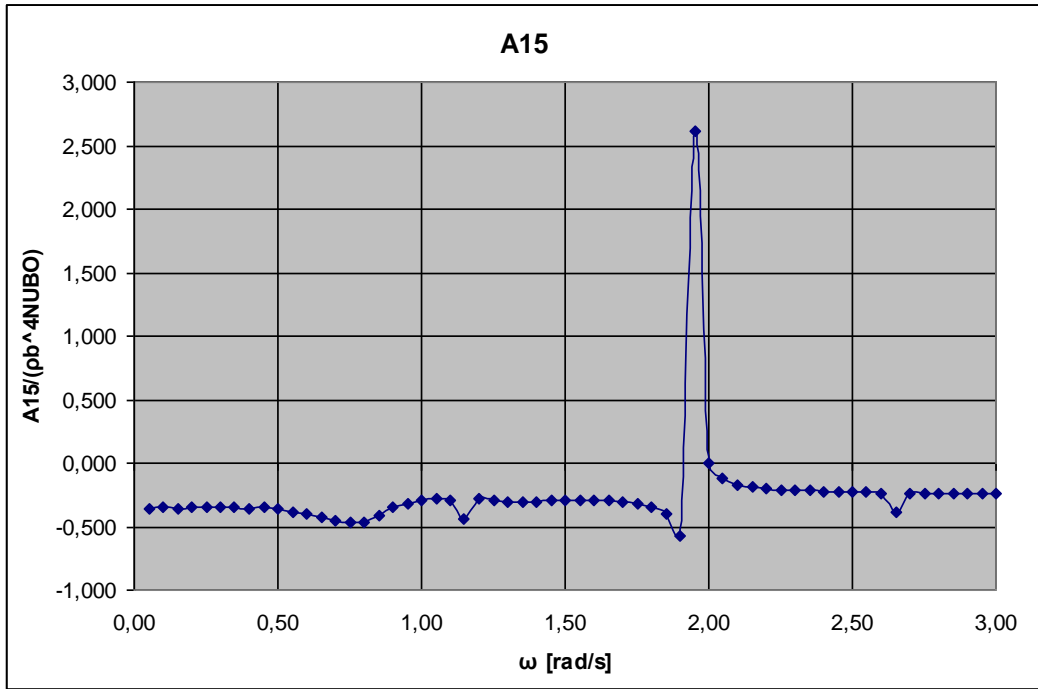
Σχήμα 4.16: Πρόσθετη Μάζα A11



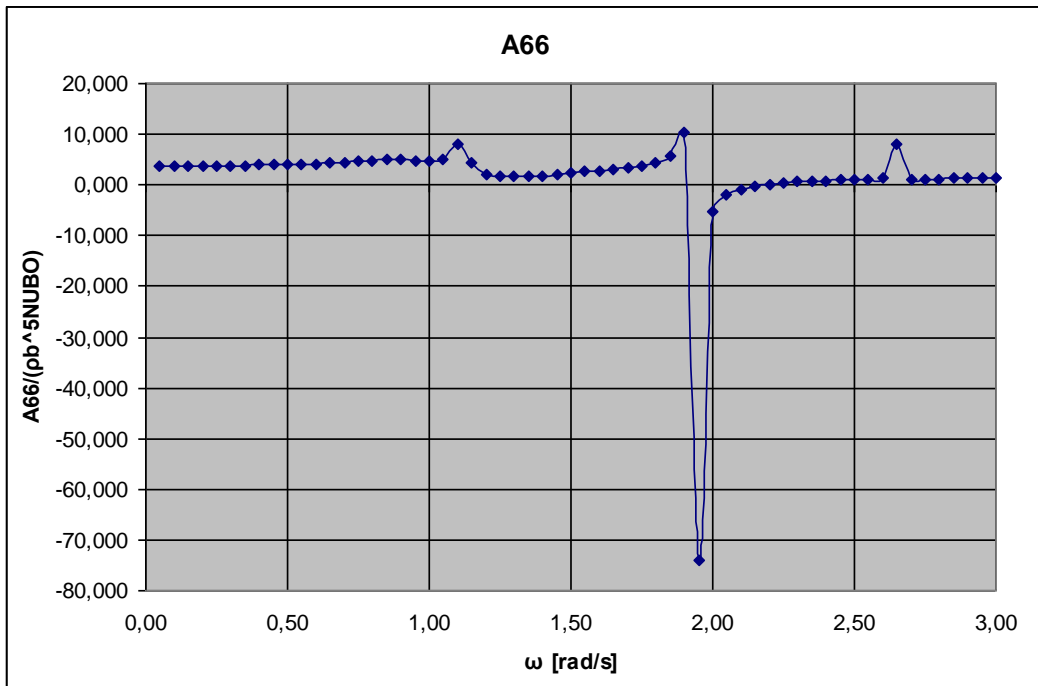
Σχήμα 4.17: Πρόσθετη Μάζα A33



Σχήμα 4.18: Πρόσθετη Μάζα A55

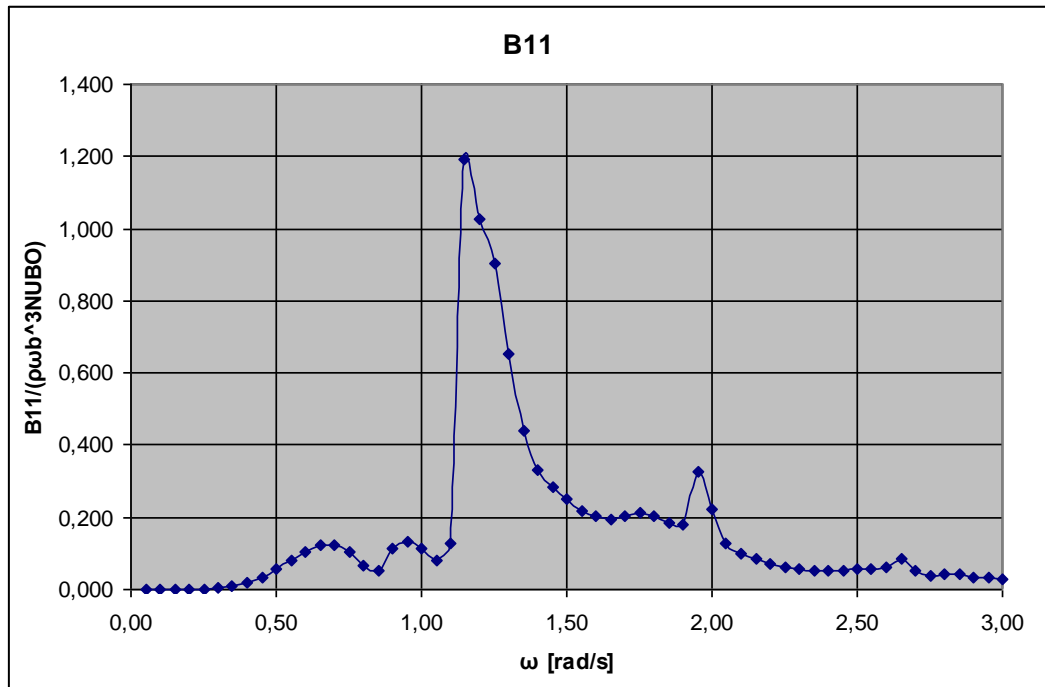


Σχήμα 4.19: Πρόσθετη Μάζα A15

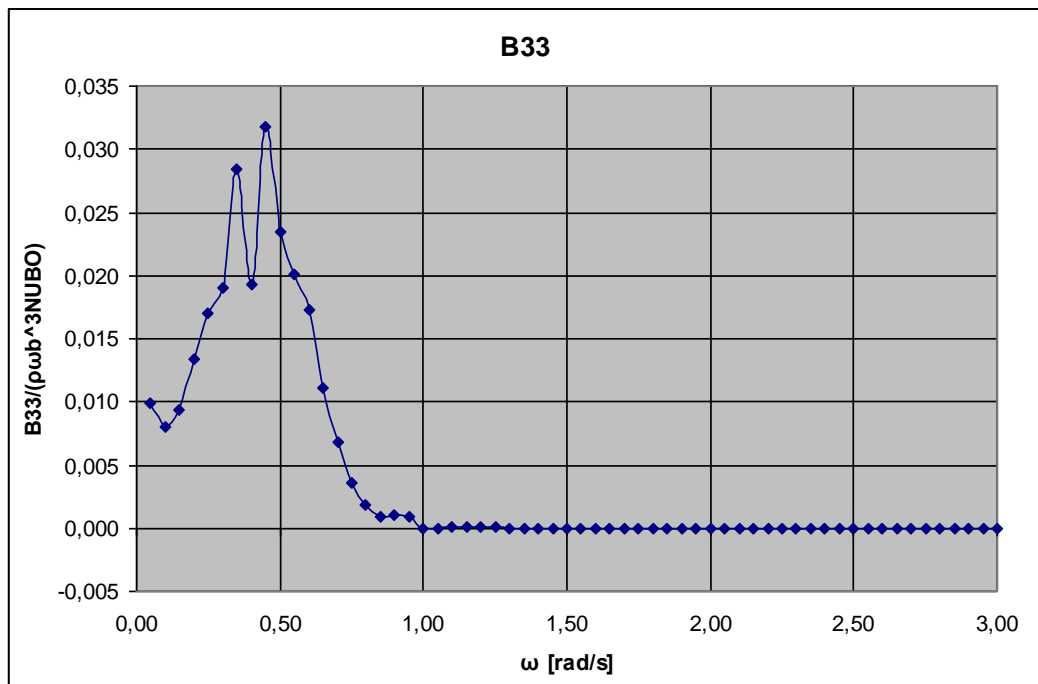


Σχήμα 4.20: Πρόσθετη Μάζα A66

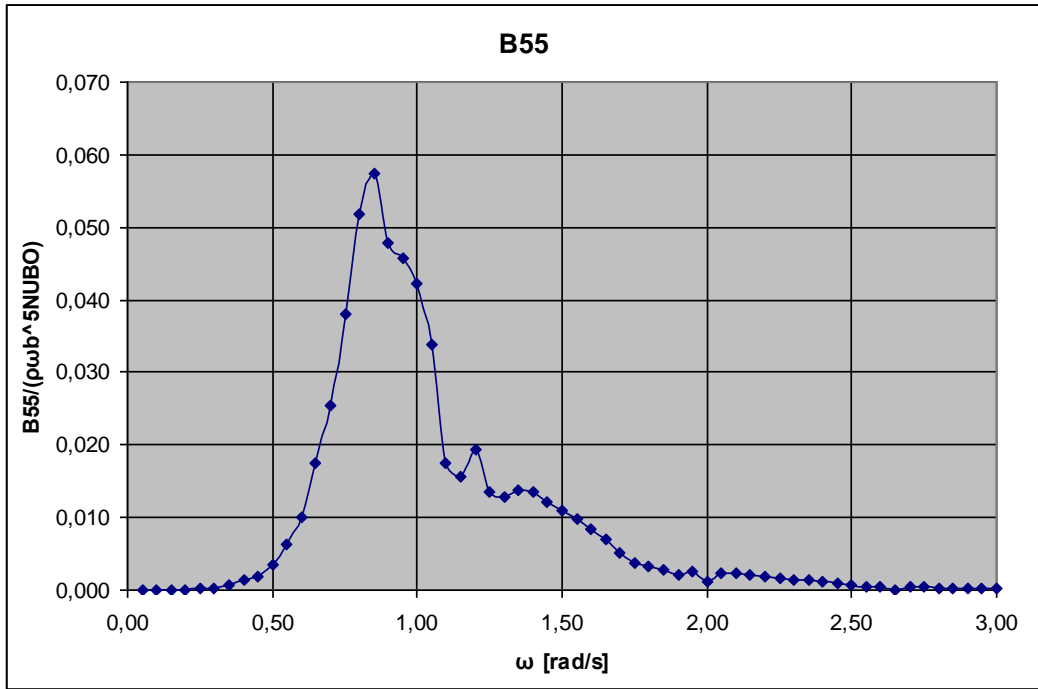
#### 4.4.5 Υδροδυναμική απόσβεση



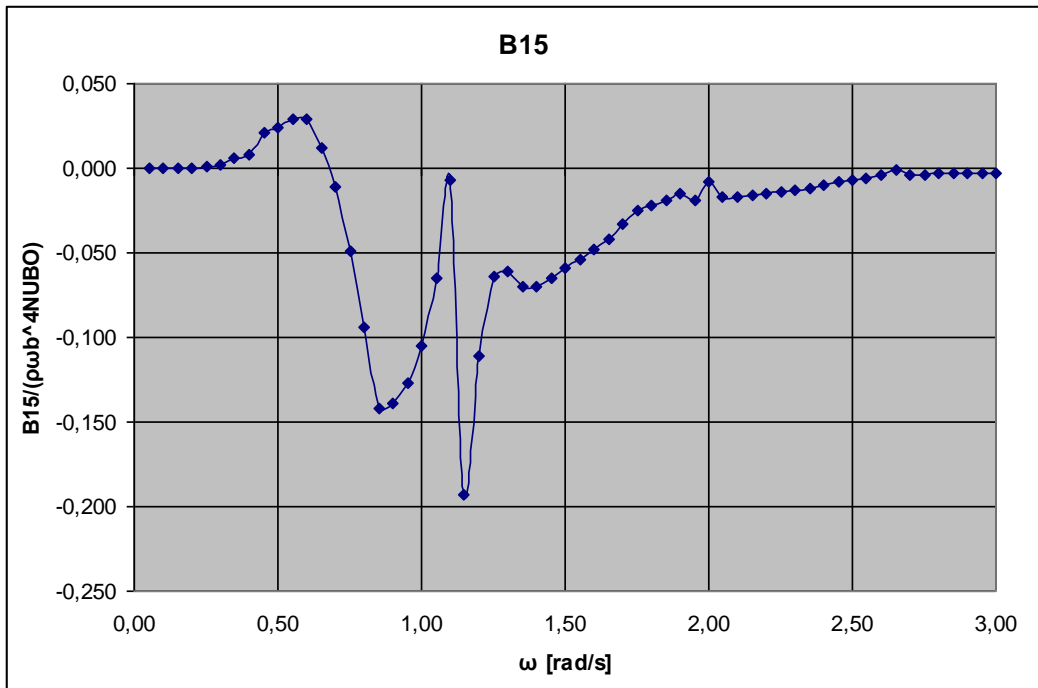
Σχήμα 4.21: Υδροδυναμική απόσβεση B11



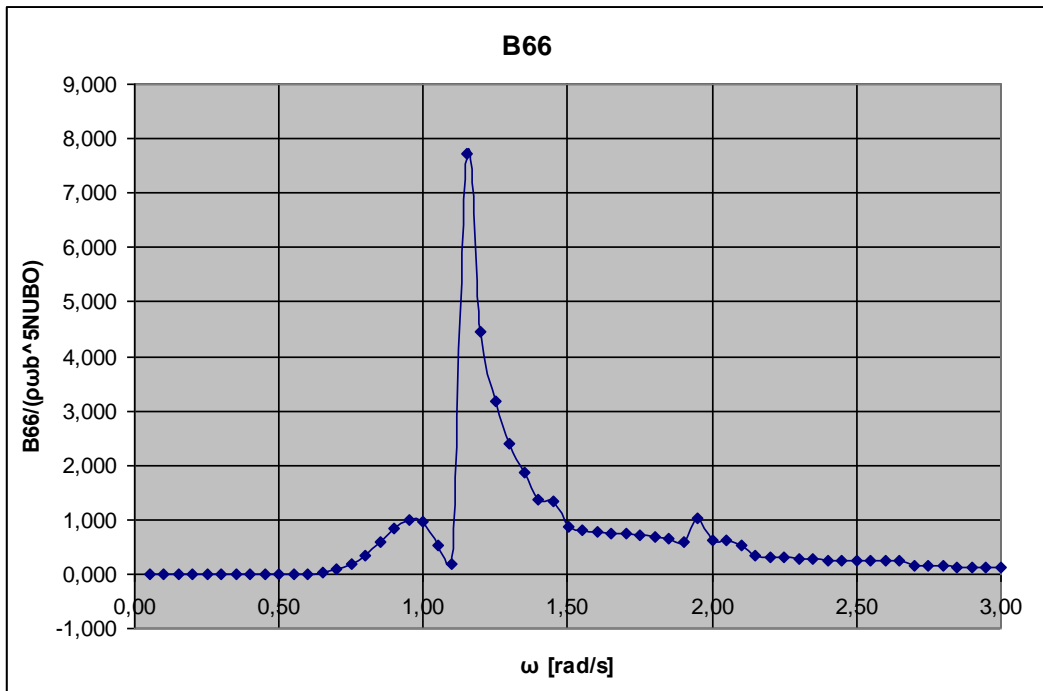
Σχήμα 4.22: Υδροδυναμική απόσβεση B33



Σχήμα 4.23: Υδροδυναμική απόσβεση B55

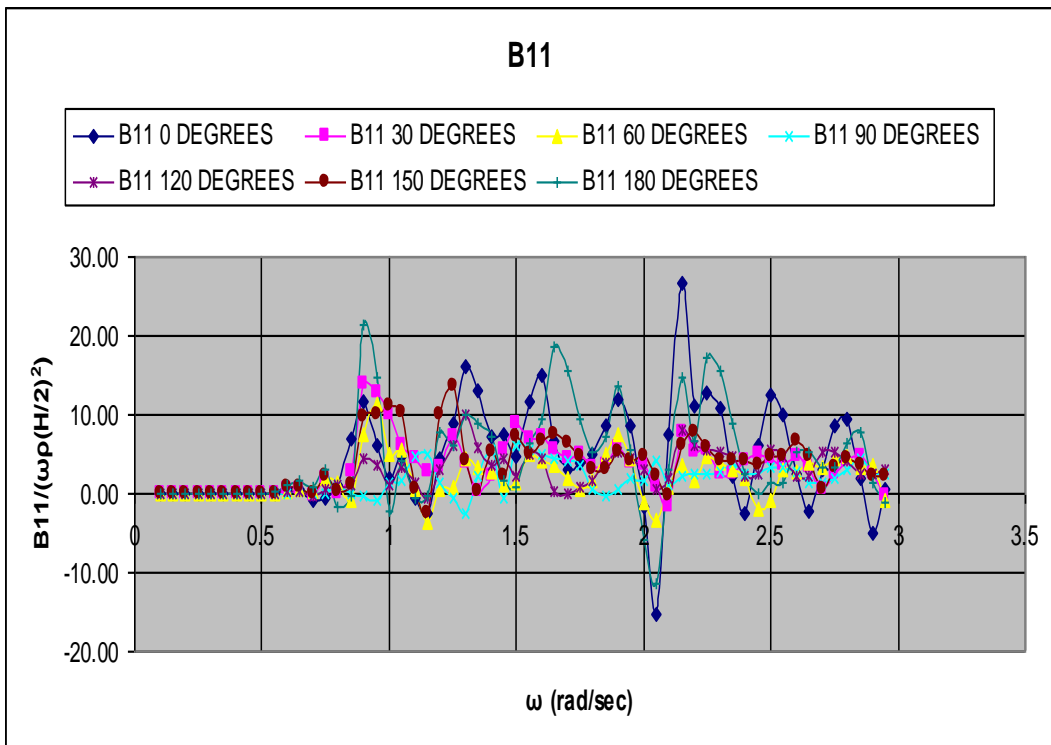


Σχήμα 4.24: Υδροδυναμική απόσβεση B15

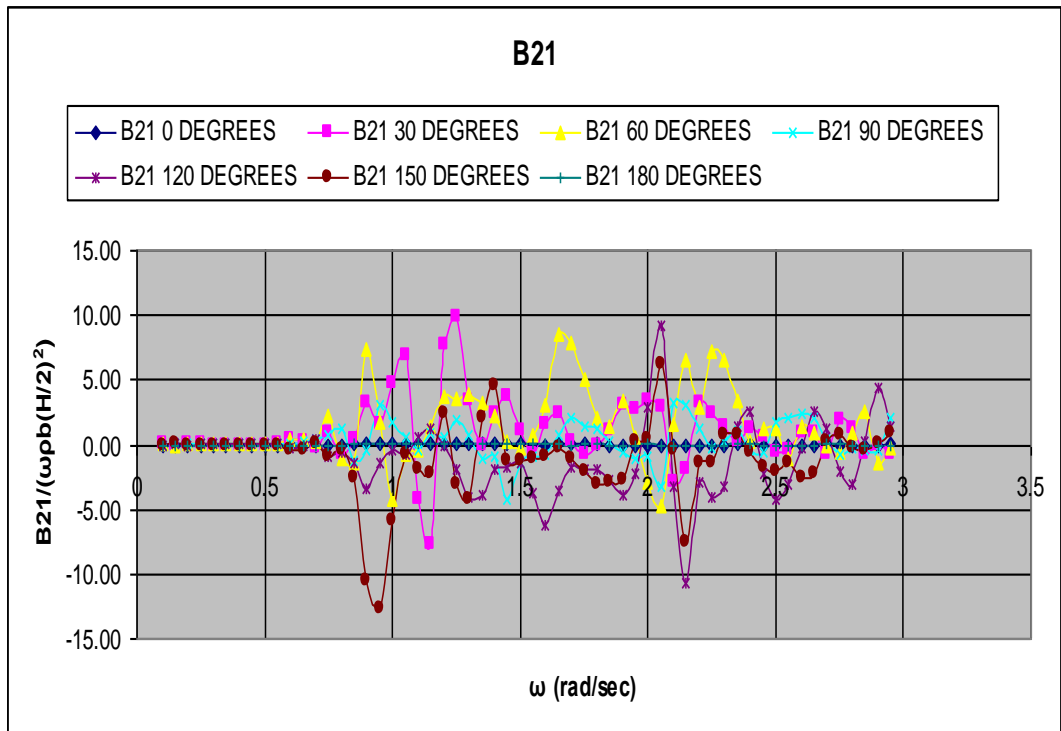


Σχήμα 4.25: Υδροδυναμική απόσβεση B66

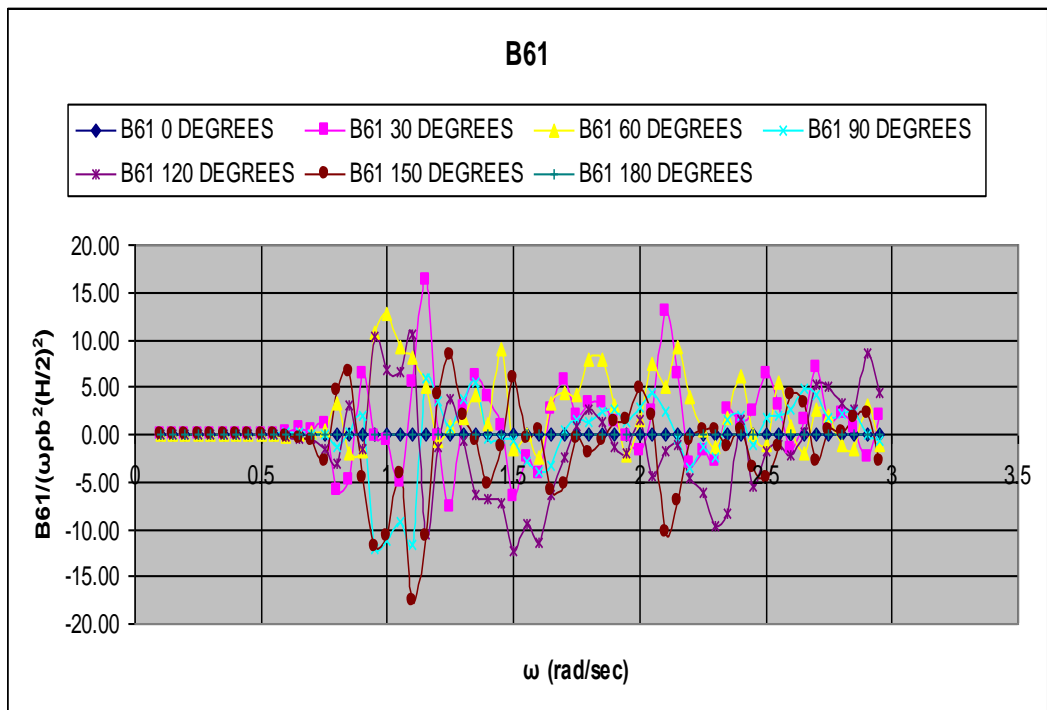
#### 4.4.6 Δευτεροτάξια υδροδυναμική απόσβεση



Σχήμα 4.26: Δευτεροτάξια Υδροδυναμική Απόσβεση B11 στη χ-Διεύθυνση, για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από 0°- 180°

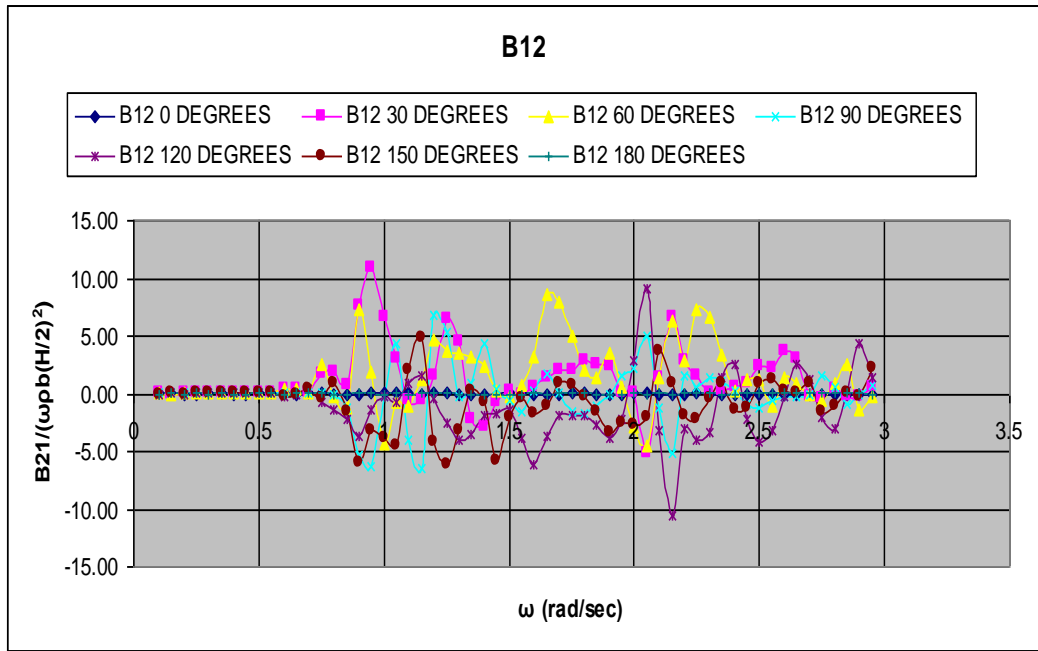


Σχήμα 4.27: Δευτεροτάξια Υδροδυναμική Απόσβεση B21 στη x-Διεύθυνση προκαλούμενη από sway κίνηση, για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από 0°- 180°

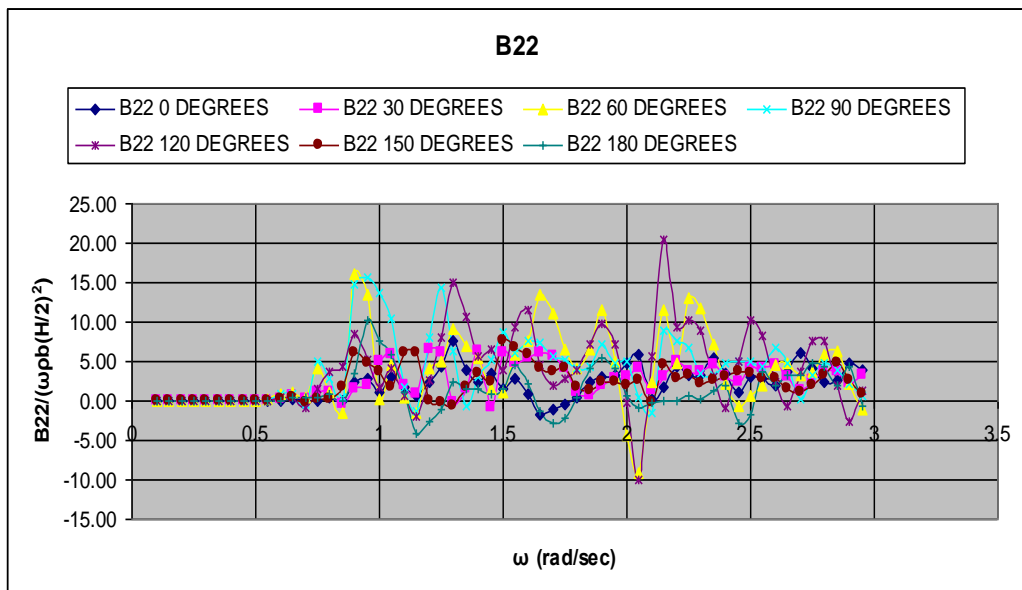


Σχήμα 4.28: Δευτεροτάξια Υδροδυναμική Απόσβεση B61 στη x-Διεύθυνση προκαλούμενη από yaw περιστροφή, για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από 0°- 180°

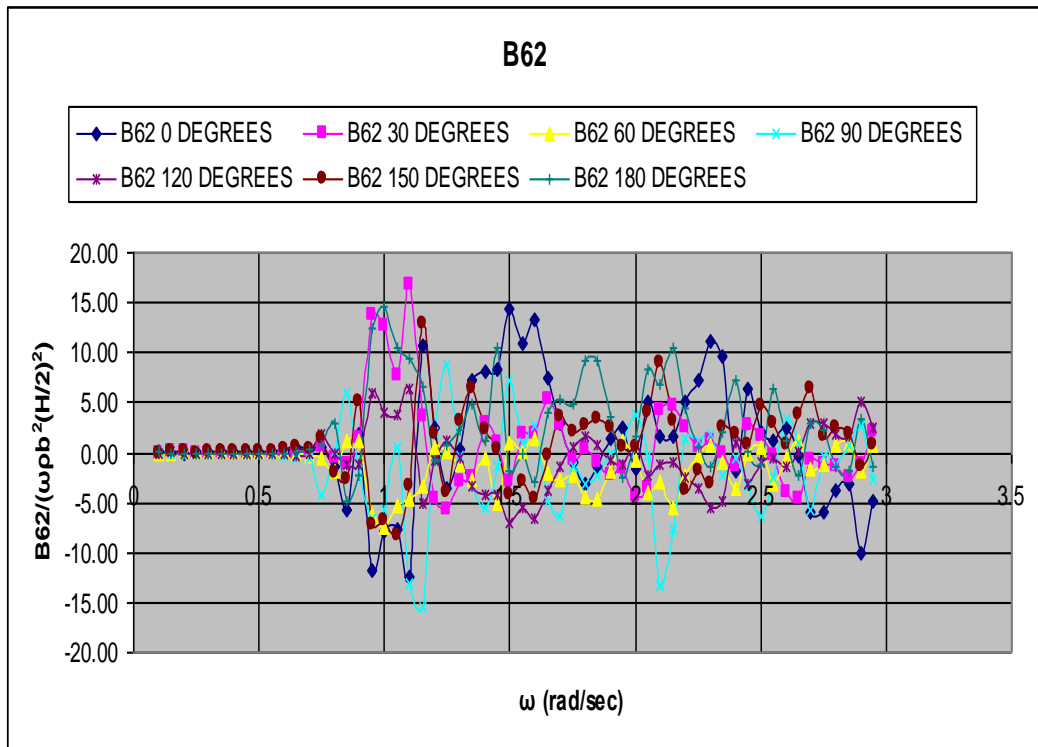




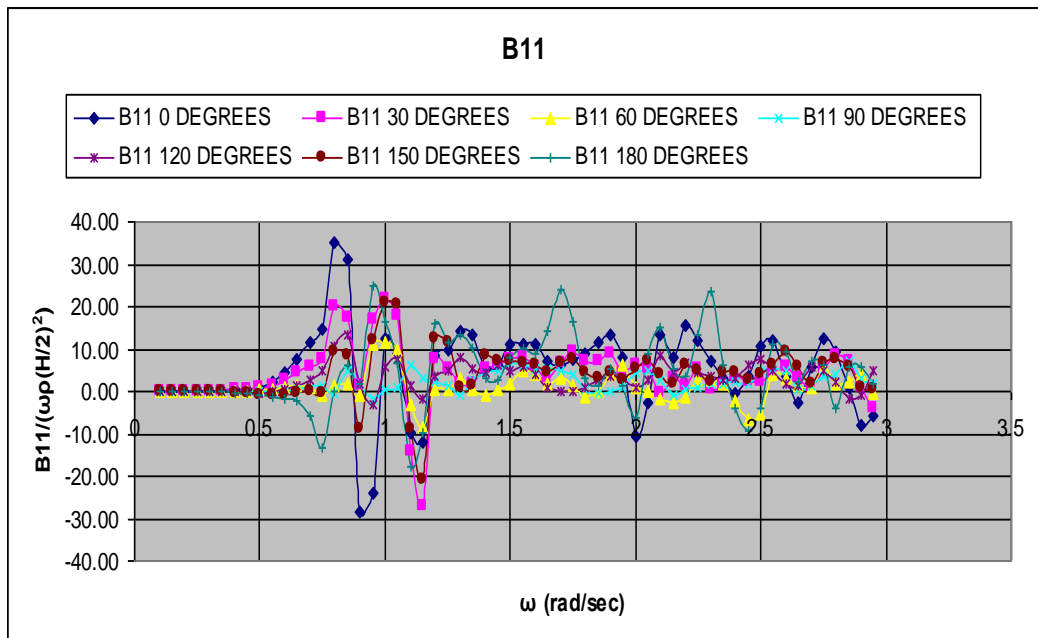
Σχήμα 4.29: Δευτεροτάξια Υδροδυναμική Απόσβεση B12 στην γ-Διεύθυνση προκαλούμενη από surge κίνηση, για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από 0°- 180°



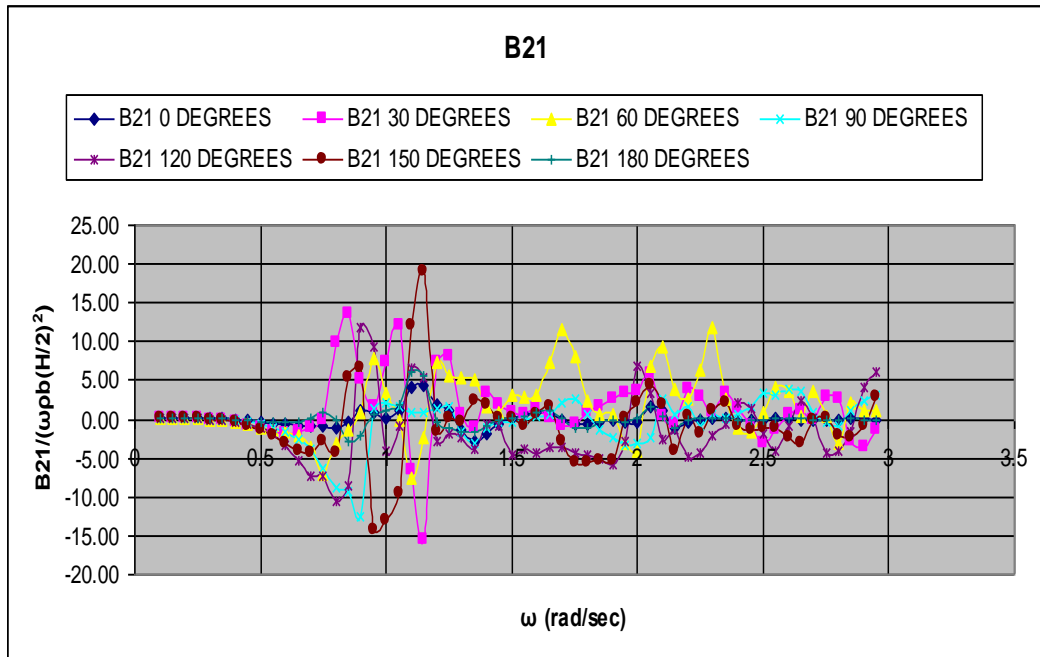
Σχήμα 4.30: Δευτεροτάξια Υδροδυναμική Απόσβεση B22 στην γ-Διεύθυνση, για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από 0°- 180°



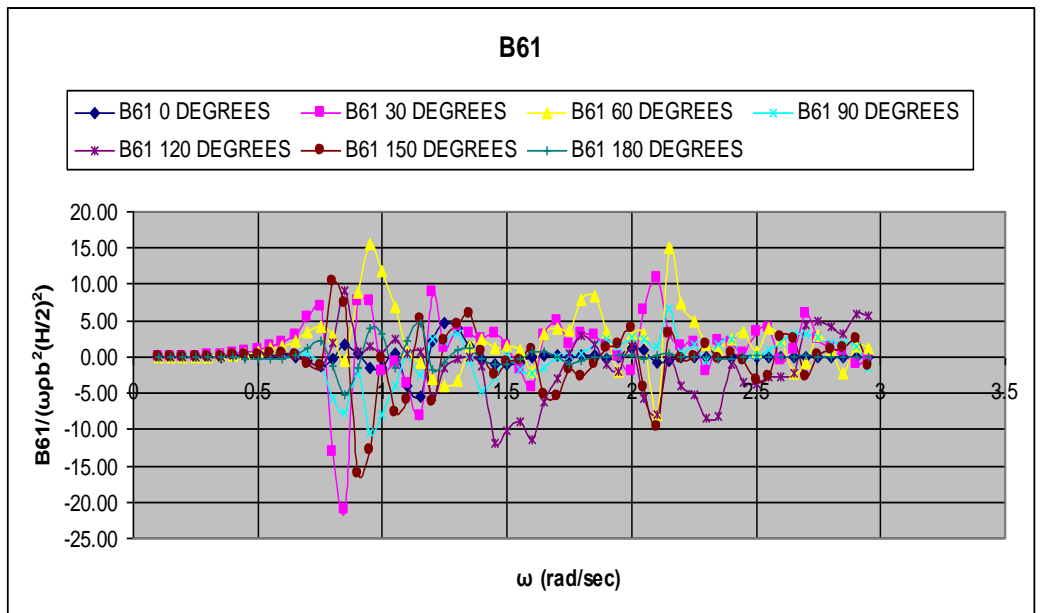
Σχήμα 4.31: Δευτεροτάξια Υδροδυναμική Απόσβεση B62 στην y-Διεύθυνση προκαλούμενη από γαω περιστροφή, για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από 0°- 180°



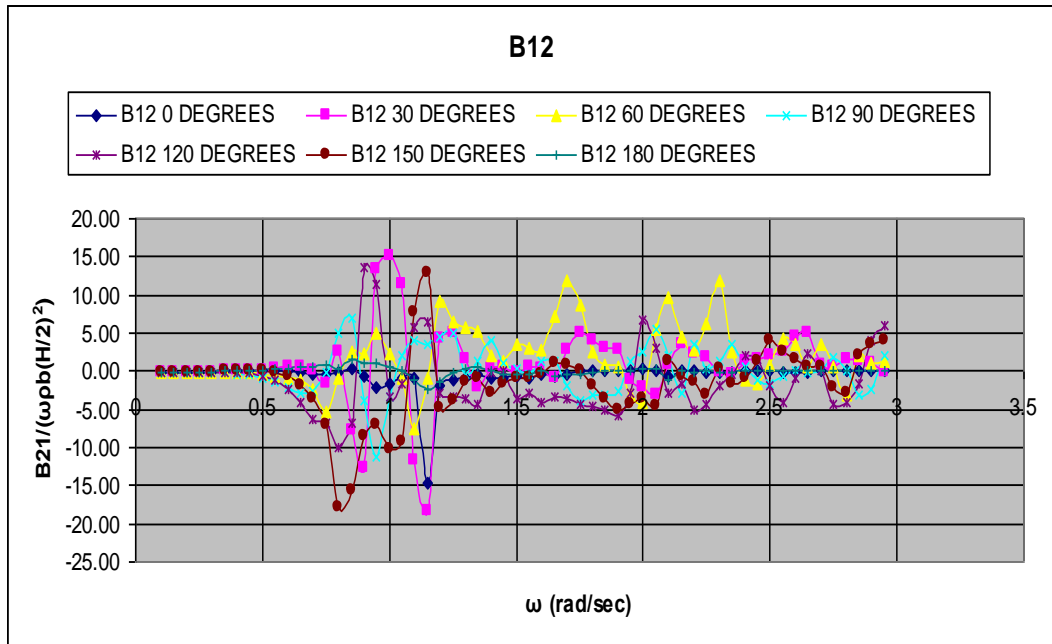
Σχήμα 4.32: Δευτεροτάξια Υδροδυναμική Απόσβεση B11 στη x-Διεύθυνση, για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από 0°- 180°



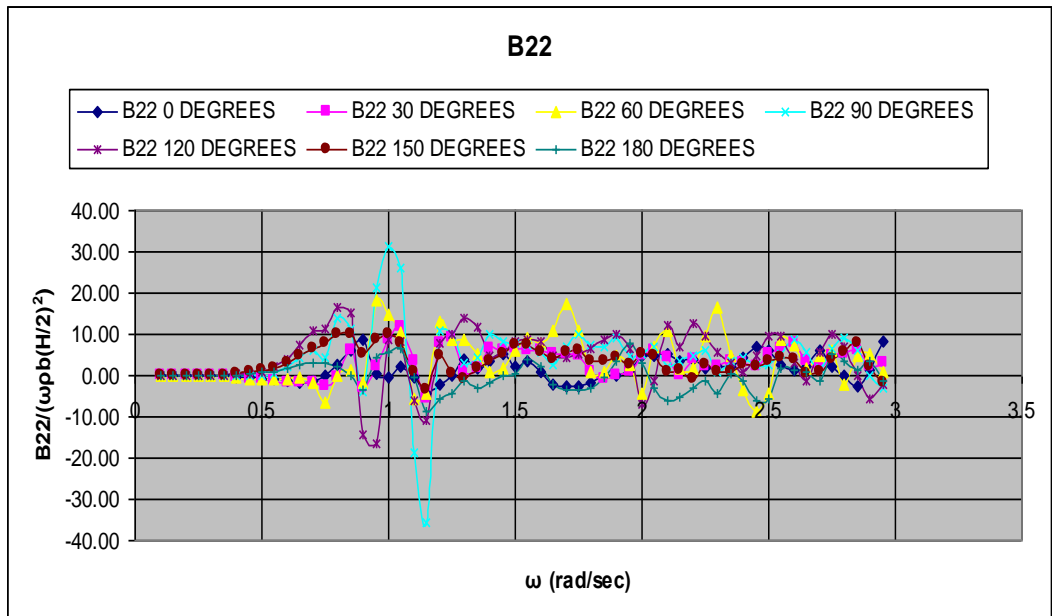
Σχήμα 4.33: Δευτεροτάξια Υδροδυναμική Απόσβεση B21 στη x-Διεύθυνση προκαλούμενη από sway κίνηση, για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από 0°- 180°



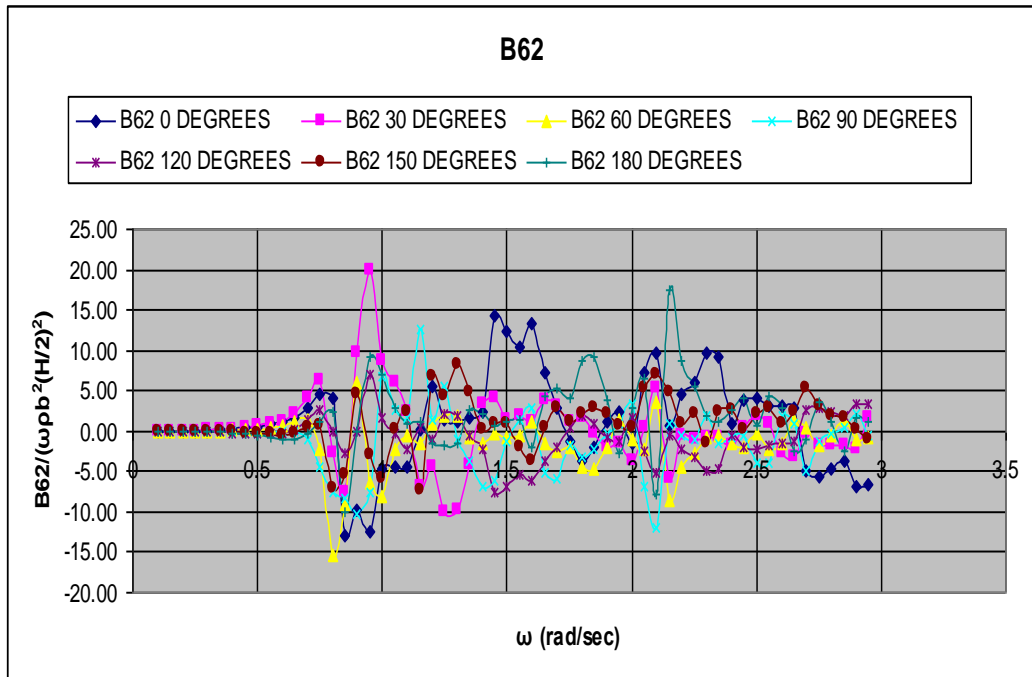
Σχήμα 4.34: Δευτεροτάξια Υδροδυναμική Απόσβεση B61 στη x-Διεύθυνση προκαλούμενη από yaw περιστροφή, για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από 0°- 180°



Σχήμα 4.35: Δευτεροτάξια Υδροδυναμική Απόσβεση B12 στην γ-Διεύθυνση προκαλούμενη από surge κίνηση, για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από 0°- 180°



Σχήμα 4.36: Δευτεροτάξια Υδροδυναμική Απόσβεση B22 στην γ-Διεύθυνση, για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από 0°- 180°



Σχήμα 4.37: Δευτεροτάξια Υδροδυναμική Απόσβεση B62 στην y-Διεύθυνση προκαλούμενη από yaw περιστροφή, για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από 0°- 180°

#### 4.5 Μοντέλο (ROM) Ανεμογεννήτριας

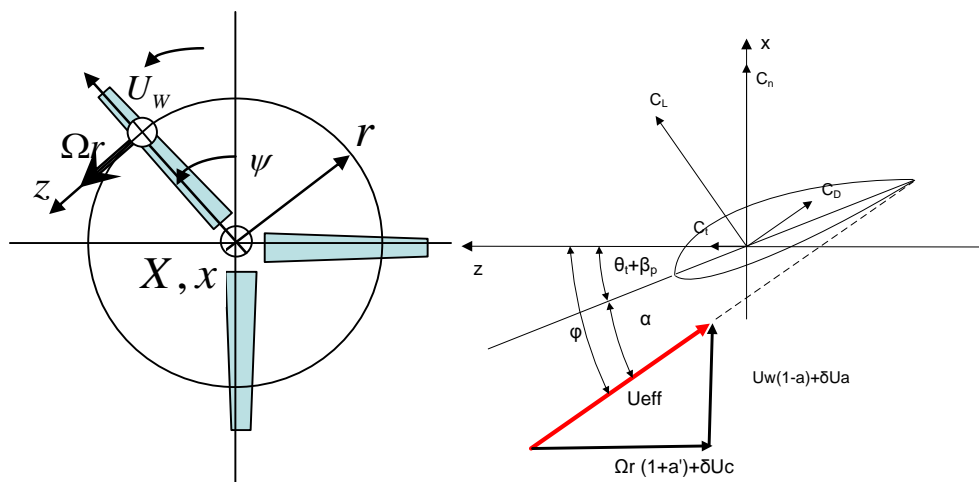
Με ανάλυση στο πεδίο συχνότητας μπορεί να προβληθεί η συνεισφορά της Α/Γ στην κίνηση 6 βαθμών ελευθερίας του πλωτού σώματος. Αυτό επιτυγχάνεται με χρήση δυναμικού μοντέλου τύπου-Hamilton θεωρώντας το βάρος και το αεροδυναμικό φορτίο ως τους παράγοντες εξωτερικών δυνάμεων. Η θεωρία Blade Element Momentum (BEM) προσδιορίζει την αεροδυναμική φόρτιση ως συνάρτηση των συνθηκών λειτουργίας και των κινήσεων του πλωτήρα που μεταβάλλουν τις ενεργές γωνίες προσβολής των «λεπίδων» από τον άνεμο. Με γραμμικοποίηση όλων των όρων ως προς τη στατική θέση του πλωτήρα (μηδενικές κινήσεις), μπορούν να προσδιοριστούν τα μητρώα πρόσθετης μάζας, απόσβεσης και ακαμψίας που συνεισφέρουν στην Α/Γ ως αδρανειακές, αεροδυναμικές και βαρυτικές φορτίσεις.

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \left( \frac{\partial L}{\partial q_i} \right) = Q_i = \sum \frac{\partial (f_j * r_j)}{\partial q_i} * L = (q, \dot{q})$$

L: Λανγκρατζινά φορτία

Q: Εξωτερικές φορτίσεις

q: οι κινήσεις του πλωτήρα σε μορφή πίνακα 6Χ6



Εικόνα 4.7: Αεροδυναμικό μοντέλο της ανεμογεννήτριας

#### 4.6 Συνδυασμένη ανάλυση

Με το πρόγραμμα HYDRAEROFLOAT (Mazarakos et al., 2014) θα υπολογίσουμε την σύνθετη κατασκευή μας (Πλωτήρας + Σύστημα αγκύρωσης + Ανεμογεννήτρια) .

Η διερεύνηση της δυναμικής ισορροπίας των δυνάμεων που ασκούνται στο αγκυρωμένο κατασκευαστικό σύστημα (πλωτήρας-Α/Γ) οδηγεί στο ακόλουθο, σύστημα διαφορικών εξισώσεων κίνησης που περιγράφουν το συνδυασμένο υδρο-αεροελαστικό πρόβλημα της διερευνώμενης κατασκευής στο πεδίο των συχνοτήτων:

$$\sum_{j=1}^6 \left[ -\omega^2 \left( M_{i,j} + A_{i,j} + M^{WT} + \frac{i}{\omega} B_{i,j} + \frac{i}{\omega} B_{i,j}^{WT} \right) + K_{i,j} + K_{i,j}^{WT} + C_{mooring} \right] x_{j0} = F_i \quad (4.30)$$

Για  $i=1, \dots, 6$ , όπου  $M_{i,j}$ ,  $K_{i,j}$  τα στοιχεία των μητρώων (6X6) μάζας και ακαμψίας της συνολικής εγκατάστασης,  $A_{i,j}$ ,  $B_{i,j}$  οι υδροδυναμικές μάζες και η απόσβεση δυναμικού επίσης της συνολικής εγκατάστασης,  $F_i$  οι δυνάμεις διέγερσης που ασκούνται κατά την  $i$ -κατεύθυνση,  $x_{j0}$  η μετατόπιση του συνολικού συστήματος στην  $j$ -κατεύθυνση ως προς το γενικό σύστημα αναφοράς  $G$ ,  $M^{WT}$ ,  $B^{WT}$  και  $K^{WT}$  η μάζα, η απόσβεση και η ακαμψία που συνεισφέρουν στην αδρανειακή, αεροδυναμική και βαρυντική φόρτιση της Α/Γ αντίστοιχα, ενώ  $C_{mooring}$  η ακαμψία του συστήματος αγκύρωσης.

Οι εξισώσεις κίνησης που σε μορφή πινάκων θα μας δώσουν τα αποτελέσματα περιγράφονται από την (4.31):

$$\begin{aligned}
& [M_{ij}^{structure} + A_{ij}^{structure}(\omega) + M^{WT}] \ddot{x} + \\
& [B_{ij}^{structure}(\omega) + B_{ij}^{WT}] \dot{x} + \\
& [C_{ij}^{structure} + C_{moorings}(\omega) + B_{ij}^{WT}] x = F(\omega) e^{i\omega t} \quad (4.31)
\end{aligned}$$

Όπου *structure* αφορά την πλωτή κατασκευή, <sup>WT</sup> την ανεμογεννήτρια και *moorings* το σύστημα αγκύρωσης . Τα πεδία που αφορούν την κατασκευή υπολογίζονται με βάση το πρόγραμμα HAMVAB, ενώ αυτά που αφορούν την ανεμογεννήτρια με το πρόγραμμα ROM.



## 5. Αριθμητικά Αποτελέσματα – Σύγκριση Αποτελεσμάτων

### 5.1 Ιδιοτιμές της κατασκευής

Οι ιδιοτιμές που προκύπτουν από την εφαρμογή των παραπάνω μεθόδων φαίνονται παρακάτω:

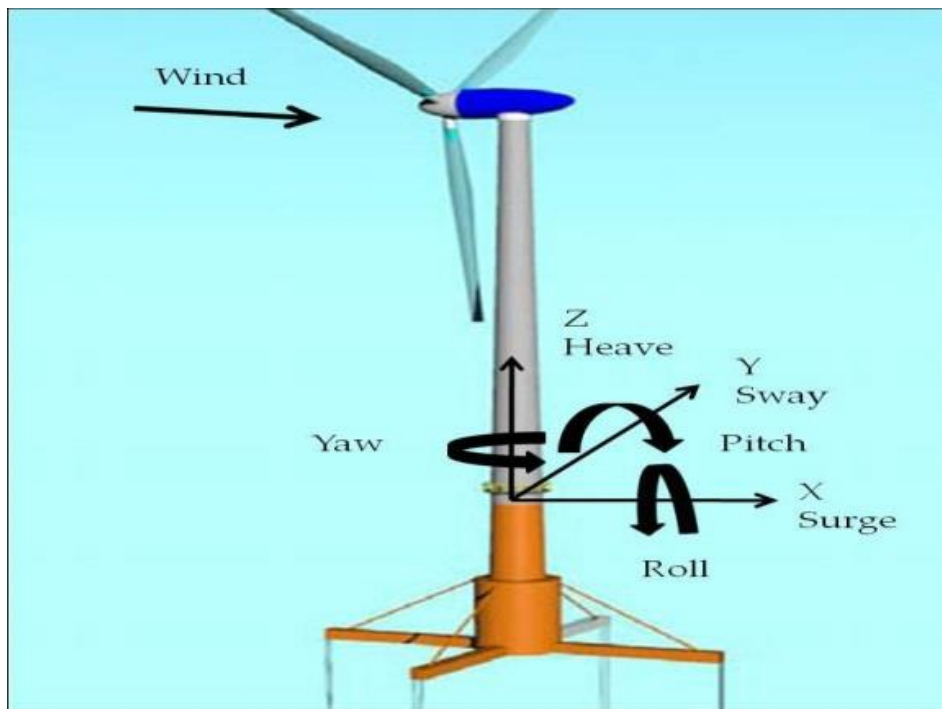
Κίνηση	Άκαμπτη κατασκευή πύργου A/Γ [Hz]	Έυκαμπτη κατασκευή πύργου A/Γ [Hz]
Surge	0.026	0.026
Sway	0.026	0.026
Heave	0.573	0.572
Roll	0.864	0.301
Pitch	0.857	0.301
Yaw	0.028	0.028
Tower fore-aft		0.244
Tower side to side		0.245

### 5.2 Απόκριση της κατασκευής στο πεδίο των Συχνοτήτων

Οι συναρτήσεις RAOs εκτιμώνται από τις χρονοσειρές δεδομένων με την ακόλουθη εξίσωση:

$$RAO(\omega) = \frac{|P_{xy}(\omega)|}{P_{xx}(\omega)} \quad (5,1)$$

Όπου  $P_{xx}$  αυτόματη πυκνότητα η (auto power spectral density) φασματικής ισχύος και  $P_{xy}$  η κάθετη πυκνότητα ισχύος (cross power spectral density). Οι συναρτήσεις  $P_{xx}$ ,  $P_{xy}$  υπολογίζονται με τη μέθοδο Welch για έναν επαρκή αριθμό διαχωρισμένων δεδομένων και για επικαλυπτόμενο εύρος 50% μεταξύ των διαχωρισμένων τμημάτων δεδομένων. Με x αναφέρεται η κίνηση εισόδου (ανύψωση κύματος) και με y οι υπολογισμένες κινήσεις (κάθε κίνηση). Οι προσομοιώσεις διήρκεσαν 3600sec (εξαιρουμένων των πρώτων 600sec) υποθέτοντας ομοιόμορφη ταχύτητα ανέμου και κύματα λευκού θορύβου με σημαντικό ύψος 1m.



Εικόνα 5.1: Βαθμοί ελευθερίας πλωτής κατασκευής

### 5.3 Διαγράμματα αποτελεσμάτων

Στα Γραφήματα 1 έως 3 παρουσιάζεται το πρόβλημα με γωνία πρόσπτωσης  $0^\circ$  και μηδενική ταχύτητα.

Τα αποτελέσματα του προγράμματος hydroGAST στο πεδίο του χρόνου, δίνονται για δύο περιπτώσεις, μία για εύκαμπτη

ανεμογεννήτρια και μία για άκαμπτη. Οι κινήσεις που εξετάζονται είναι στους 3 κρίσιμους βαθμούς ελευθερίας του συστήματος, (surge, heave, pitch). Τα αποτελέσματα που εξάγονται από το πρόγραμμα HYDRAEROFLOAT στο πεδίο των συχνοτήτων, φαίνεται να συμβαδίζουν ικανοποιητικά με αυτά του hydroGAST.

Παρόλο που η ανάλυση στο πεδίο των συχνοτήτων κοντά στις συχνότητες συντονισμού δίνει μεγαλύτερα πλάτη, μπορεί αυτό να δικαιολογηθεί εν μέρει λόγω δυναμικών μη γραμμικών φαινομένων.

Στη διαδικασία μοντελοποίησης των αποσβέσεων τα πλάτη απόκρισης μπορεί να παρουσιάσουν μεγάλες αποκλίσεις.

Η ευκαμψία της ανεμογεννήτριας φαίνεται να παίζει σημαντικό ρόλο μόνο στην διεύθυνση pitch.

Στα επόμενα Γραφήματα (4-9) παρουσιάζονται οι αποκρίσεις για ταχύτητες ανέμου 0 m/s, 8m/s, 11.4m/s and 18m/s και για κυματισμούς με γωνία πρόσπτωσης 30<sup>ο</sup> μοιρών. Η σύγκριση γίνεται με τα αποτελέσματα για εύκαμπτη Α/Γ. Η συγκεκριμένη γωνία φαίνεται να δίνει τα αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα και για αυτό δεν θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα για άλλες γωνίες πρόσπτωσης.

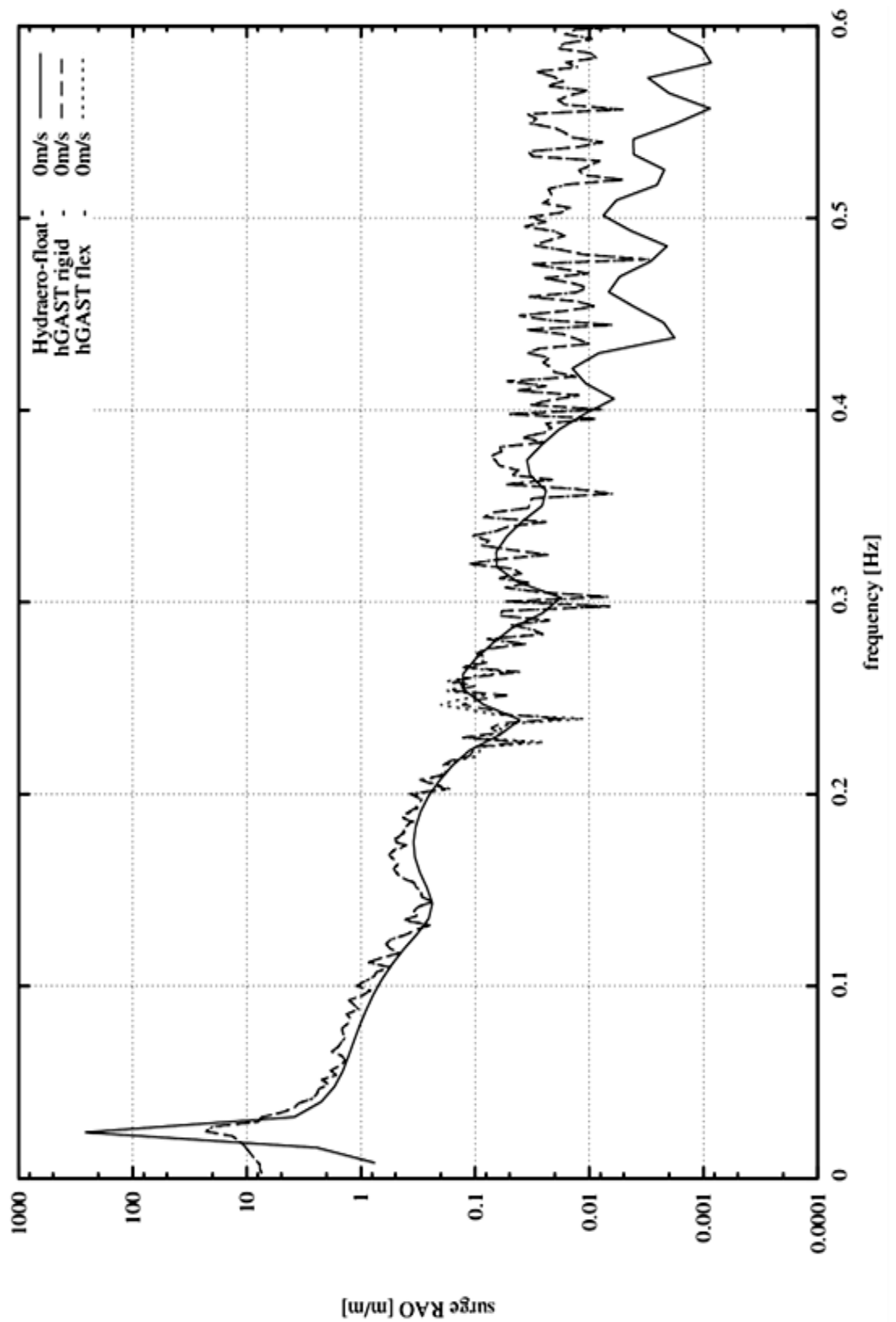
Και εδώ βλέπουμε ότι τα αποτελέσματα των δύο προγραμμάτων είναι πολύ κοντά μεταξύ τους. Οι ακραίες τιμές φαίνεται να είναι μεγαλύτερες στο πεδίο των συχνοτήτων.

Η ευκαμψία της ανεμογεννήτριας (που λαμβάνεται υπόψιν μόνο στο πρόγραμμα hydroGAST), επηρεάζει τα αποτελέσματα μόνο στις διευθύνσεις roll και pitch.

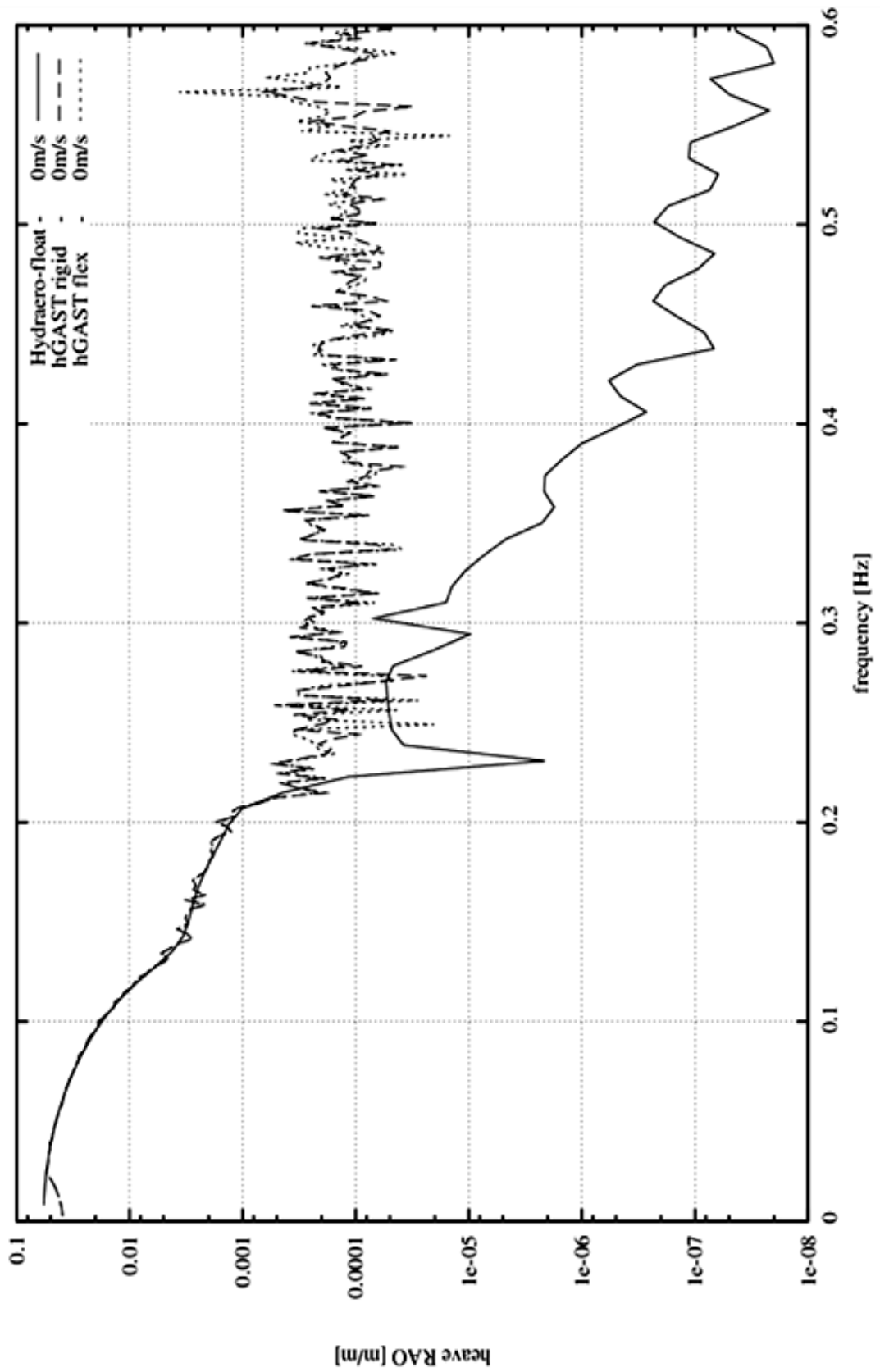
Στην διεύθυνση yaw που αποτελεί και την κρίσιμη κίνηση κυρίως για κατασκευές με συμβατικούς κλάδους αγκύρωσης λόγω του γυροσκοπικού φαινομένου, εμφανίζονται πολύ μικρά πλάτη και με τα δύο προγράμματα.

Γενικώς παρατηρείται ότι τα πλάτη των αποκρίσεων στις περισσότερες διευθύνσεις μειώνονται παρουσία του αέρα, ενώ όπως αναμένονταν αυξάνεται χωρίς όμως να προκαλεί ανησυχία η απόκριση στην διεύθυνση yaw.

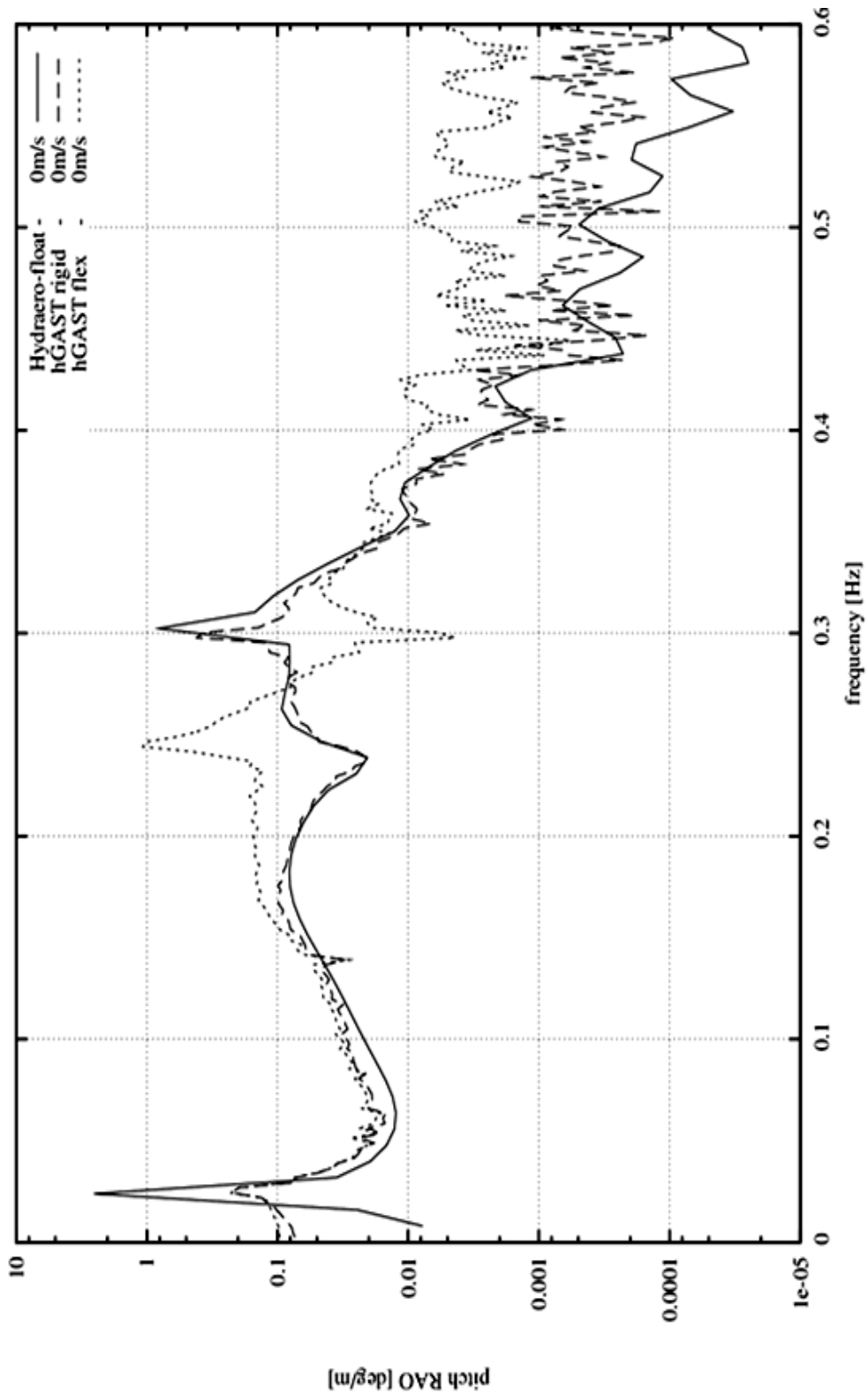
Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω οι διαφορές που παρατηρούνται στα αποτελέσματα των δύο προγραμμάτων οφείλονται στα μη γραμμικά φαινόμενα λόγω του αέρα στην ανεμογεννήτρια που λαμβάνονται υπόψιν μόνο από το hydro GAST, στο πεδίο του χρόνου.



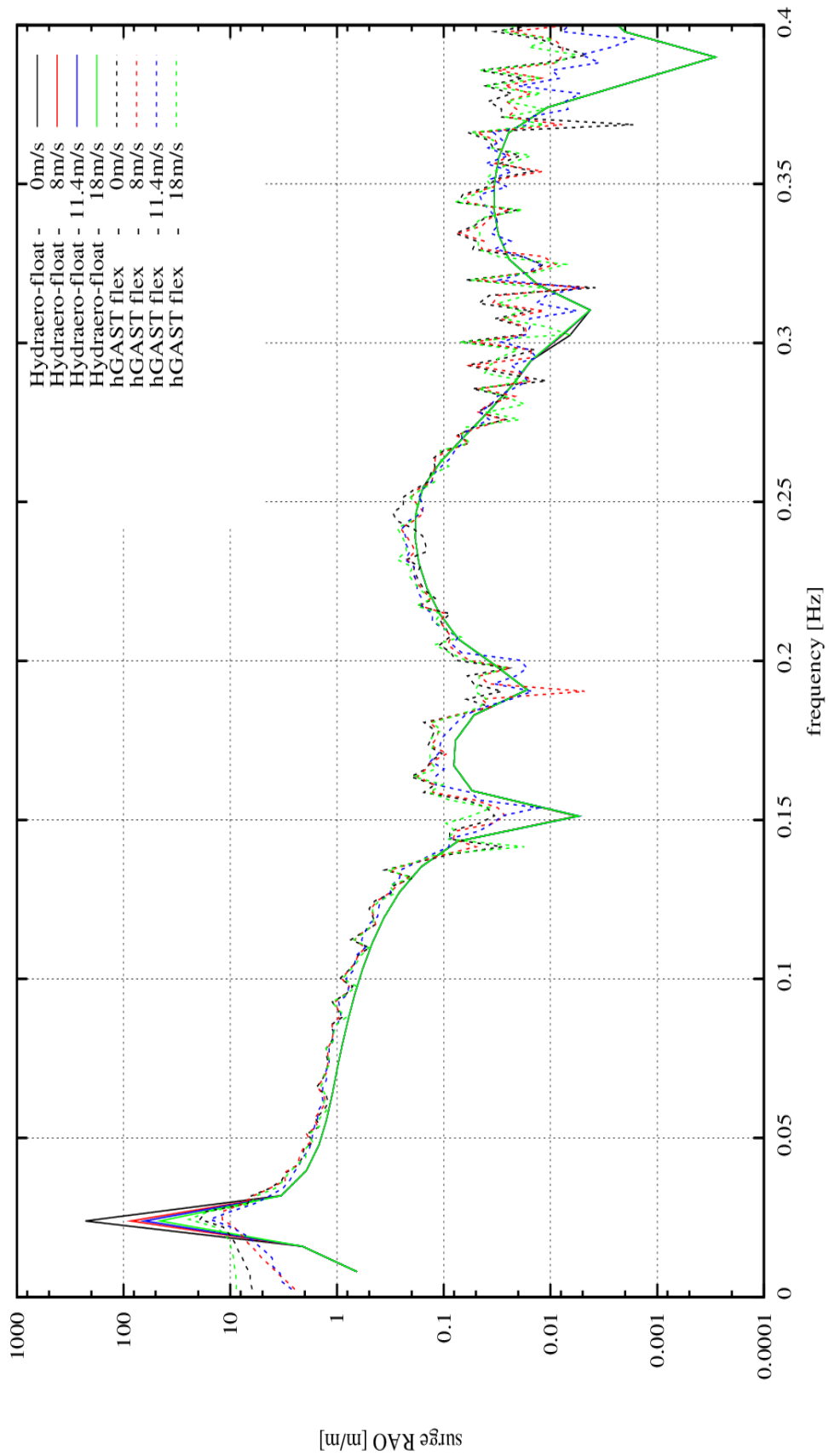
Γράφημα 5.1. Surge motion of the TLP combined floating platform and wind turbine system. Wave heading 0 degrees and no wind.



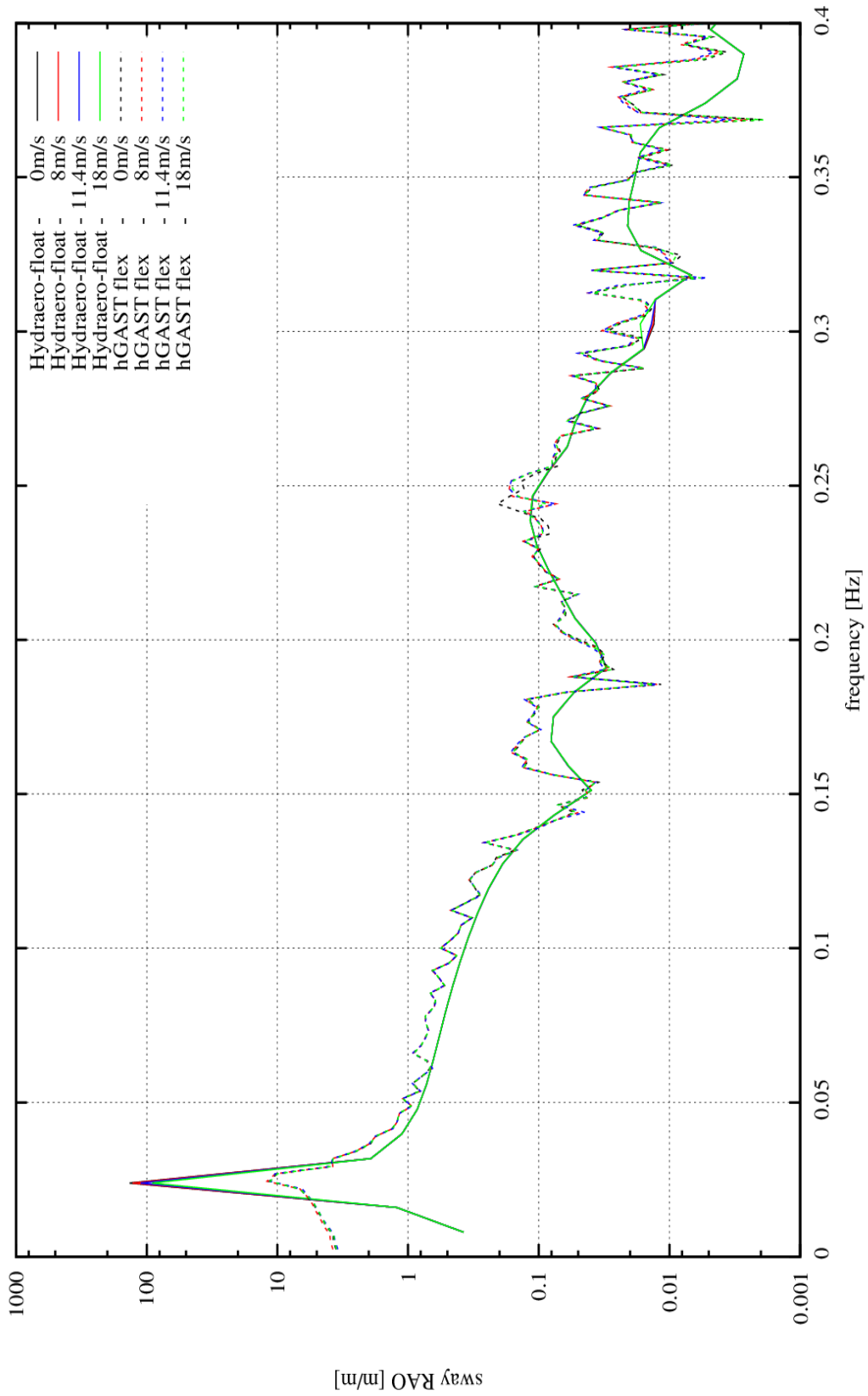
Γράφημα 5.2: Heave motion of the TLP combined floating platform and wind turbine system. Wave heading 0 degrees and no wind.



Γράφημα 5.3 Pitch motion of the TLP combined floating platform and wind turbine system. Wave heading 0 degrees and no wind.

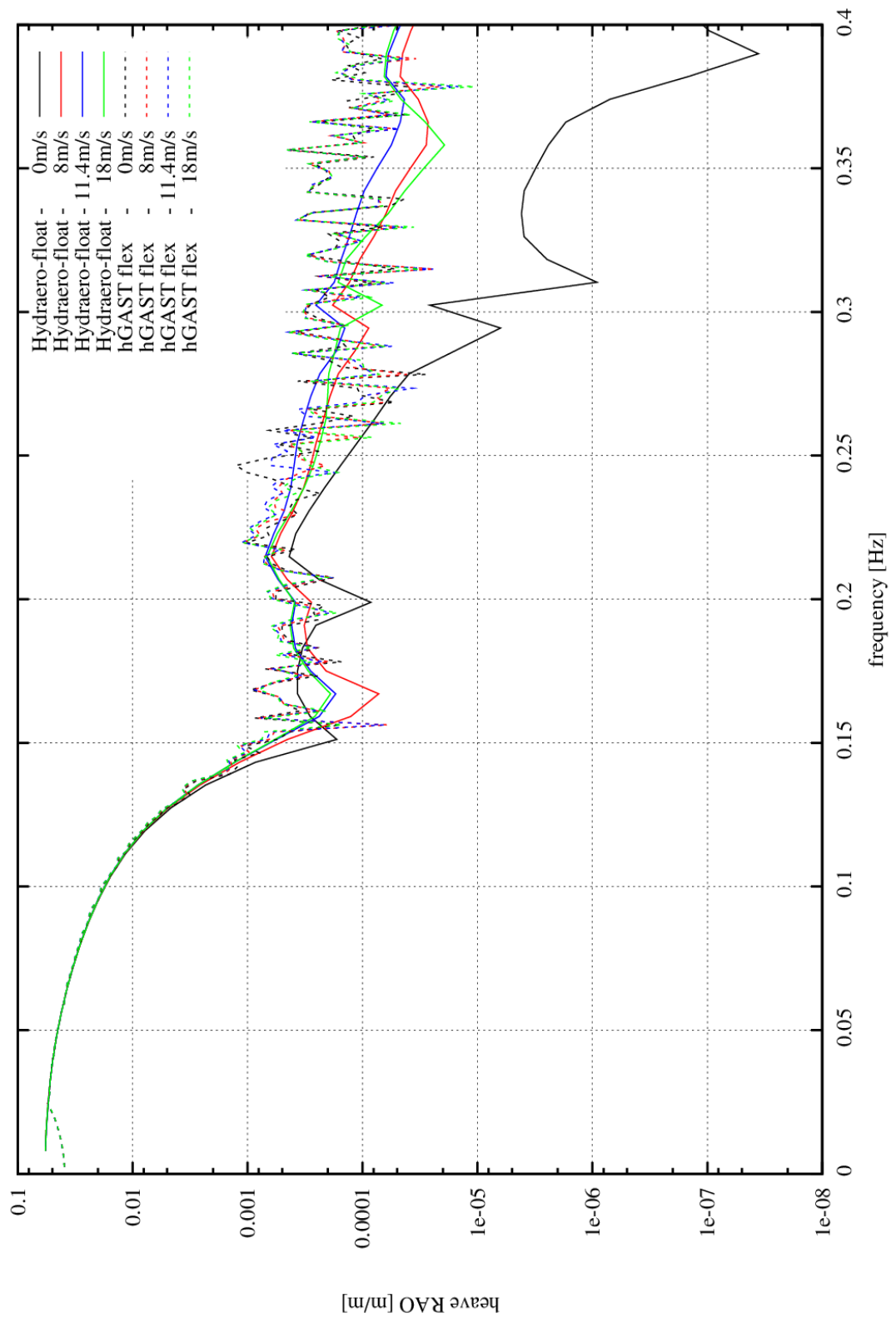


Γράφημα 5.4 Surge motion for wave heading 30 degrees.

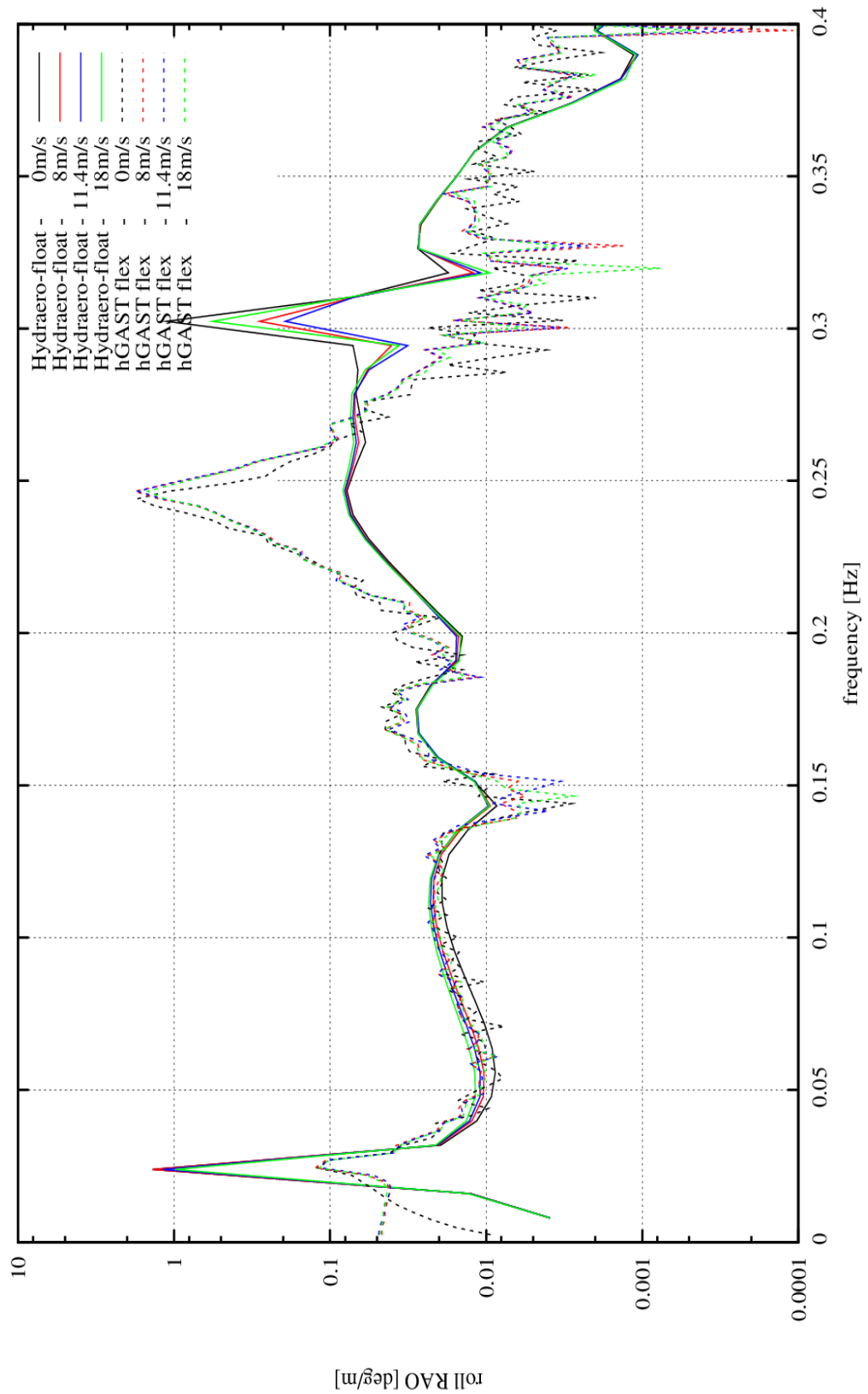


Γράφημα 5.5. Sway motion for wave heading 30 degrees.

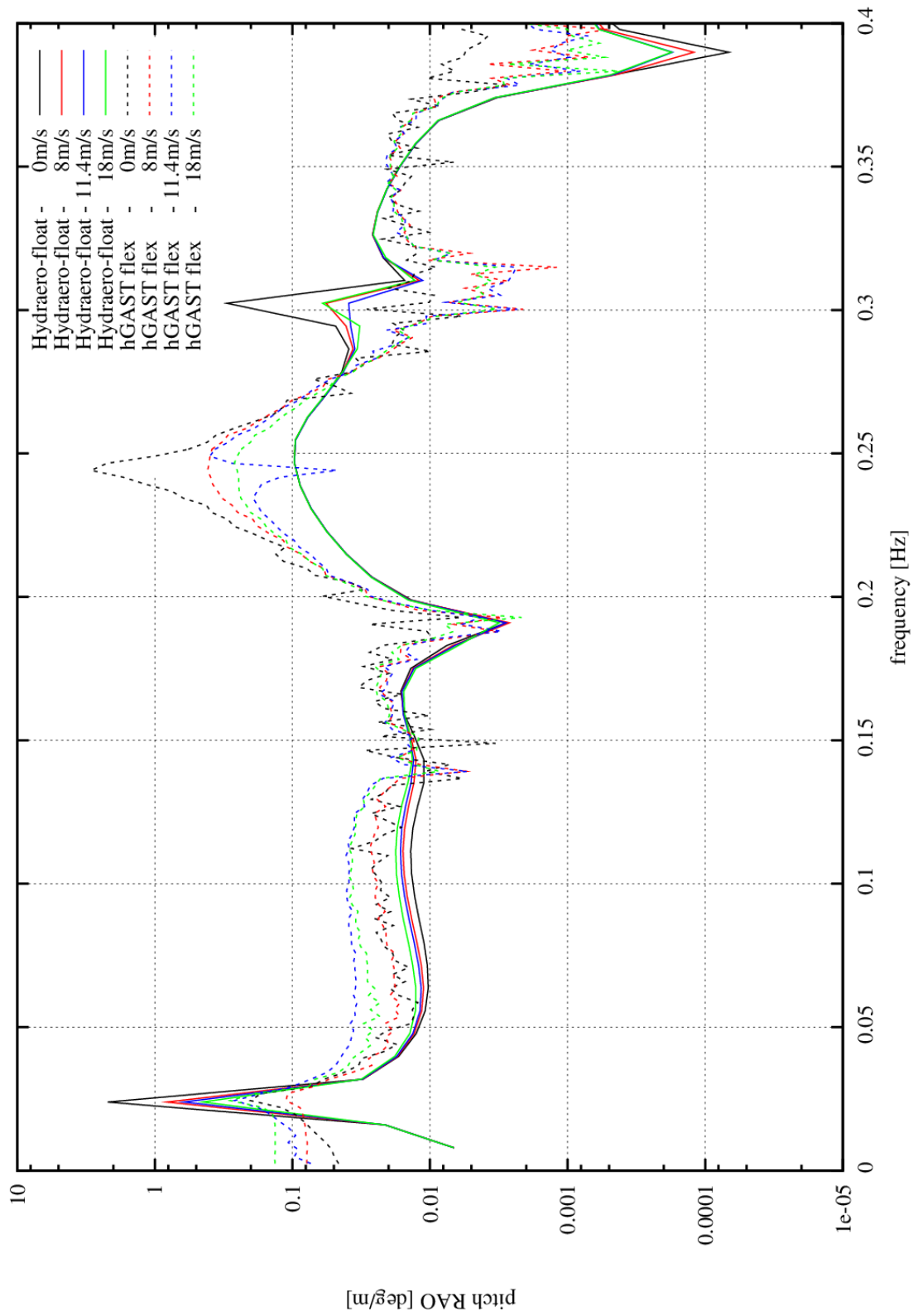




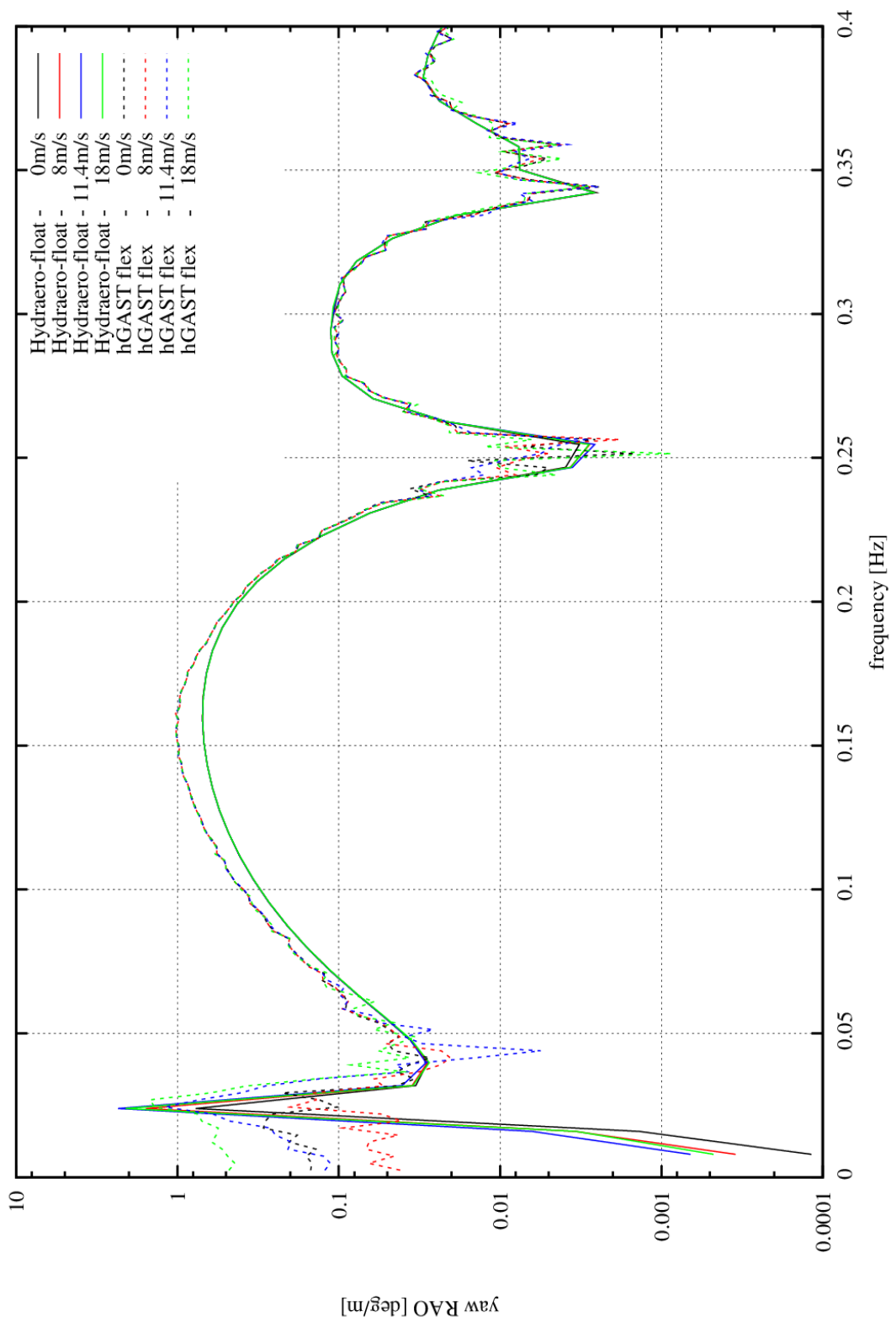
Γράφημα 5.6. Heave motion for wave heading 30 degrees.



Πίνακας 5.7. Roll motion for wave heading 30 degrees.



Πίνακας 5.8. Pitch motion for wave heading 30 degrees.



Πίνακας 5.9. Yaw motion for wave heading 30 degrees.

## Συμπεράσματα - Προτάσεις

Όπως αναμένονταν τα μέγιστα πλάτη των αποκρίσεων της κατασκευής διαπιστώθηκαν για τις τιμές κοντά στις ιδιοπεριόδους της κατασκευής.

Η διεύθυνση που δίνει τις μεγαλύτερες μετακινήσεις είναι η surge.

Στην περιστροφή γύρω από τον κάθετο άξονα yaw, που στις θεωρήσεις κατασκευών έδρασης ανεμογεννητριών με συμβατικούς κλάδους αγκύρωσης αντιμετωπίζονται καταστάσεις εκτός των ορίων λειτουργίων δεν συναντάμε ακρεές τιμές λόγω του είδους αγκύρωσης (TLP).

Και τα δύο προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν έδωσαν παραπλήσια αποτελέσματα ενώ όπου είχαμε αποκλίσεις αυτές μπορούν να ερμηνευτούν από τις διαφορετικές παραδοχές κάθε μεθόδου. Έτσι, μπορούμε να πούμε με σιγουριά ότι το πρόγραμμα HYDRAEROFLOAT, μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ασφάλεια στην αρχική τουλάχιστον αντιμετώπιση του προβλήματος.

Η διαφορά μεταξύ των ιδιοσυχνοτήτων της κατασκευής που παρουσιάζονται ανάλογα με την θεώρηση εύκαμπτης ή άκαμπτης ανεμογεννήτριας δίνει διαφοροποιήσεις στα αποτελέσματα για roll και για pitch, που όμως στην περίπτωση των κατασκευών αγκυρωμένων με τη μέθοδο TLP είναι πολύ χαμηλού εύρους και μη σημαντικές για το σχεδιασμό της σύνθετης κατασκευής. Παρόλο που η προσθήκη στοιχείων για την δυναμική συμπεριφορά της ανεμογεννήτριας στο πρόγραμμα δεν θα είχε ιδιαίτερη υπολογιστική επιβάρυνση κάτι τέτοιο θα είχε μεγαλύτερη αξία για την μελέτη κατασκευών με συμβατικούς κλάδους αγκύρωσης.

Ο συνολικός σχεδιασμός της σύνθετης κατασκευής, προκειμένου να λειτουργήσει εκτός του εύρους συχνοτήτων των κυμάτων μπορεί να συνεισφέρει στην βέλτιστη συμπεριφορά της. Κάτι τέτοιο μπορεί να γίνει με σχεδιασμό πιο άκαμπτης ανεμογεννήτριας για αύξηση της ιδιοσυχνότητας της (από 0.24Hz σε > 0.40Hz)

Ο χώρος των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας δίνει τις δυνατότητες για έρευνα σε όλους τους σχετικούς τομείς. Ειδικά η Αιολική ενέργεια παρουσιάζει μεγάλες δυνατότητες εφαρμογών και ειδικά για υπεράκτιες κατασκευές που δεν υπάρχει ανάγκη δέσμευσης γης.

Οι ανεμογεννήτριες μεγάλου βάθους και οι ειδικά οι κατασκευές TLP αποτελούν ένα νέο επιστημονικά πεδίο έρευνας , μόλις μερικών χρόνων και ως εκ τούτου παρουσιάζουν δυνατότητες για ανάπτυξη σε όλα τα σχετικά πεδία.

Όσον αφορά τις σχετικές με την παρούσα εργασία δυνατότητες, το πρόγραμμα HYDRAEROFLOAT, μπορεί να επεκταθεί περαιτέρω και να δοκιμαστεί για διαφορετικού τύπου ανεμογεννήτριες με δυναμική συμπεριφορά, και πιθανώς ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα.

Η κατασκευή που εξετάστηκε εδώ και που σε επόμενο στάδιο θα φέρει και μηχανές ανάκτησης κυματικής ενέργειας, μπορεί να σχεδιαστεί ώστε να φέρει και φωτοβολταϊκά στοιχεία στο κέλυφος, κυρίως για την εξυπηρέτηση των ιδίων ενεργειακών αναγκών.

Μεγάλο ενδιαφέρον επίσης παρουσιάζει η συμπεριφορά προτεινόμενης κατασκευής με σύνθετα συστήματα, αποτελούμενα από συσκευές αποθήκευσης πεπιεσμένου αέρα για την προσωρινή αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας στον βυθό και συσκευές παραγωγής ενέργειας από τον πεπιεσμένο αέρα για διάθεση της στο δίκτυο όταν το αιολικό δυναμικό είναι χαμηλό.

Όσον αφορά τις κατασκευές TLP για έδραση ανεμογεννητριών φαίνεται να υπάρχει αρκετό πρόσφορο έδαφος για «μετατροπή» της υφιστάμενης τεχνολογίας TLP εξόρυξης σε TLPWT, αφού παρουσιάζεται το παράδοξο, η αποκτηθείσα έως τώρα εμπειρία στις εφαρμογές εξόρυξης να έχει επικεντρωθεί σε όλο και μεγαλύτερα βάθη (σχετικά αδιάφορο για τις κατασκευές TLPWT).

## Βιβλιογραφία - Πηγές

1. Υπουργείο περιβάλλοντος ενέργειας και κλιματικής αλλαγής  
(<http://www.ypreka.gr/Default.aspx?tabid=285&language=el-GR>).
2. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας  
(<http://www.allaboutenergy.gr/Piges23.html>).
3. Βιοκλιματικός Σχεδιασμός-Προγραμματισμός μεθόδου LT για Windows  
(Θωμάς Γράψας 2003)
4. Ο κύκλος του νερού  
<http://www.watersave.gr/files/PDF/02math.pdf>
5. Αιολική ενέργεια  
(<http://el.wikipedia.org/wiki...>)
6. Αιολική ενέργεια  
(<http://www.allaboutenergy.gr/AiolikiEnergeia.html>).
7. Αιολική ενέργεια  
([http://users.sch.gr/kpara/ape2009\\_10/wind\\_energy.html](http://users.sch.gr/kpara/ape2009_10/wind_energy.html)).
8. Ενεργειακή αποδοτικότητα και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας  
([http://www.ener-supply.eu/downloads/ENER\\_handbook\\_gr.pdf](http://www.ener-supply.eu/downloads/ENER_handbook_gr.pdf)).
9. Υδροηλεκτρική ενέργεια  
(<http://www.ypreka.gr/Default.aspx?tabid=484&language=el-GR>).
10. Υδραυλική ενέργεια  
(<http://www.allaboutenergy.gr/YdravlikiEnergeia.html>).
11. Υδροηλεκτρική ενέργεια  
(<http://www.cie.org.cy/sxoliko.html#menu2-3-4>).
12. Γεωθερμική ενέργεια  
(<http://www.allaboutenergy.gr/GeothermikiEnergeia.html>).
13. Βιομάζα  
([http://users.sch.gr/kpara/ape2009\\_10/biomaza.html](http://users.sch.gr/kpara/ape2009_10/biomaza.html)).
14. Ενέργεια κυμάτων  
(<http://www.allaboutenergy.gr/EnergeiaOkeanon.html>).
15. Παραγωγή ενέργειας από τη θάλασσα  
([http://bioenergynews.blogspot.gr/2008/04/blog-post\\_1246.html](http://bioenergynews.blogspot.gr/2008/04/blog-post_1246.html)).
16. Ανεμόμυλος  
<http://www.iene.gr/energy-development2010/articlefiles/7thSession/bourdoulis.pdf>
16. Wind turbine  
([http://en.wikipedia.org/wiki/Wind\\_turbine](http://en.wikipedia.org/wiki/Wind_turbine)).
17. Άνεμος ως πηγή ενέργειας  
([http://blogs.sch.gr/8lyk-pat/files/2012/02/anemos\\_ergasia.pdf](http://blogs.sch.gr/8lyk-pat/files/2012/02/anemos_ergasia.pdf)).
18. Smith-Putman (<http://www.wired.com/2009/10/1019wind-turbine>)
19. Ελληνική Επιστημονική Ένωση Αιολικής Ενέργειας  
<http://eletaen.gr/>
19. Floating Wind Turbines, Paul D. Sclavounos  
(<http://web.mit.edu/windenergy/windweek/Presentations/P6%20-%20Sclavounos.pdf>).
21. How do wind turbines work ?  
(<http://energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work>).
22. Αιολική Ενέργεια και Ανεμογεννήτριες  
(<http://www.anemogennitria.gr/>).

23. Ανεμογεννήτριες, Γιάννης Κατσιγιαννης  
([http://ape.chania.teicrete.gr/gr/files/HPIESI\\_Pres\\_02\\_Wind\\_Turbines.pdf](http://ape.chania.teicrete.gr/gr/files/HPIESI_Pres_02_Wind_Turbines.pdf)).
24. Support Structures for offshore wind turbines  
<http://www.4coffshore.com/windfarms/support-structures-for-offshore-wind-turbines-aid268.html>).
25. Support Structures for offshore wind turbines  
(<http://www.lorc.dk/>).
28. Ben C. Gerwick, *Construction of Marine and Offshore Structures Second edition, 2000.*
29. Withee J.E. and Sclavounos P.D. (2004). Fully coupled dynamic analysis of a floating wind turbine system. *Proceedings of the 8th World Renewable Energy Congress, Denver, Colorado, USA.*
30. Lee K.H. (2004). Responses of floating wind turbines to wind and wave excitation, *Master of Science Thesis, Massachusetts Institute of Technology.*
31. Suzuki K., Yamaguchi H., Akase M., Nakada S and Imakita A. (2009b). Development of TLP type floating structure for offshore wind farms, *Technology Report of Mitsui Engineering and Shipbuilding Co., Ltd., No. 198 (In Japanese).*
32. Weinzettel J., Reenaas M., Solli C., Hertwich E.G. (2009). Life cycle assessment of a floating offshore wind turbine, *Renewable Energy, 34 (3), 742- 747.*
33. Bae, Y. H., Kim, M. H., & Shin, Y. S. (2010). Rotor-floater-mooring coupled dynamic analysis of mini TLP-type offshore floating wind turbines. *Proceedings of the 29th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, June 6-11, 2010, OMAE 2010- 20555.*
34. Nihei, Y., & Fujioka, H. (2010). Motion characteristics of a TLP type offshore wind turbine in waves and wind. *Proceedings of the 29th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, June 6-11, 2010, OMAE2010-21126.*
35. Nihei Y., Matsuura M., Fujioka H., Suzuki H.. AN APPROACH FOR THE OPTIMUM DESIGN OF TLP TYPE OFFSHORE WIND TURBINES. *Proceedings of the Asme 2011 30th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, June 19-24, 2011, OMAE 2011-50258.*
36. Erin E. Bachynski, Torgeir Moan. *Design considerations for tension leg platform wind turbines, September 16, 2012.*
37. Zhao Y., Yang J., He Y., *Preliminary Design of a Multi-Column TLP Foundation for a 5-MW Offshore Wind Turbine, October 15, 2012.*
38. G.K.V. Ramachandran, H. Bremdøse, J.N. Sørensen, J.J. Jensen, FULLY COUPLED THREE-DIMENSIONAL DYNAMIC RESPONSE OF A TLP FLOATING WIND TURBINE IN WAVES AND WIND, *Proceedings of the ASME 2012 31st International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, July 1-6, 2012, Rio de Janeiro, Brazil, OMAE2012-83371*
39. Jonkman J., Butterfield S., Musial W., Scott G., *Definition of a 5-MW Reference Wind Turbine for Offshore System Development, February, 2009.*
40. D'Alessandro F., Armenio E., *Dynamic response of floating offshore wind turbines under random waves and wind action HyIV- DHI- 01 Offshore wave basin, DHI, Data Storage Report, January 22, 2013.*
41. Μαυράκος, Σ. Α., *Μελέτη και σχεδίαση πλωτών κατασκευών, 1999.*



42. Μαυράκος, Σ. Α., *Συνθήκες περιβάλλοντος και φορτίσεις θαλάσσιων κατασκευών*, 2012
43. Kokkinowrachos, K., Mavrakos, S. A., Asorakos, S., *Behaviour of vertical bodies of revolution in waves*, *Ocean Engng.* vol.13, no.6, pages 505-538, 1986.
44. Mavrakos, S. A., Koumoutsakos, P., *Hydrodynamic interaction among vertical axisymmetric bodies restrained in waves*, 1987.
45. Μαυράκος, Σ. Α., Χατζηγεωργίου, Ι. Κ., *Αγκυρώσεις πλωτών κατασκευών*, Νοέμβριος, 2007.
46. Mavrakos, S., A., (2014). *User's Manual for the software SEMISUB- VER.10*. School of Naval Architecture and Marine Engineering, Laboratory for Floating Structures and Mooring Systems.
47. Mazarakos, K. P., *Analysis of loads and motions on a TLP on the time domain and comparisons with experiments*, Master Thesis, NTUA, 2008.
48. Mazarakos, T. P., *Second-Order Wave Loading and Wave Drift Damping on Floating Marine Structures*, Ph.D. Thesis, NTUA, pages 1-272, 2010
49. Mazarakos, T. P., Mavrakos, S. A., *Wave current interaction on a vertical truncated cylinder floating in finite depth waters*, *Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 227(3), pages 243-255, 2013
50. BSEE TA&R 669 (Contract M11PC00004): *Floating Wind Turbines*
51. Abramowitz, M., Stegun, I.A. 1970. *Handbook of Mathematical Functions*. 9th Ed. Dover Publications.
52. Goupee, A.J., Koo, B.J., Lambrakos, K.F. and Kimball, R.W. 2012. *Model Tests for Three Floating Wind Turbine Concepts*, "Offshore Technology Conference.
51. Jonkman, J., Butterfield, S., Musial, W. and Scott G. 2009 *Definition of a 5-MW Reference Wind Turbine for Offshore System Development*, Technical Report, NREL/TP-500-38060, USA.
52. Jonkman, J. 2010. *Definition of the Floating System for Phase IV of OC3*, Technical Report NREL/TP-500-47535, USA,.
53. Jonkman, J., Musial W., 2010. *Final Report, Subtask 2, The Offshore Code Comparison Collaboration (OC3)*, IEA Wind Task 23.
54. Manolas, D., Riziotis, V., Voutsinas, S., 2012. *Assessment of 3D aerodynamic effects on the behaviour of floating wind turbines*, *The science of making torque from Wind*, TORQUE 2012, Oldenbourg, Germany.
55. Manolas, D., Riziotis, V., Voutsinas, S., 2014. *Assessing the importance of geometric non-linear effects in the prediction of wind turbine blade loads*, (submitted for publication to ASME JSE)
56. Mavrakos, S.A. 1996. *User's Manual for the software HAMVAB*, School of Naval Architecture and Marine Engineering, Laboratory for Floating Structures and Mooring Systems.
57. Mazarakos, T.P., Mavrakos, S.A., Konispoliatis, D.N., Voutsinas, S.G., Manolas, D. 2014. *Multi-purpose floating structures for offshore wind and wave energy sources exploitation*. COCONET Workshop for Offshore Wind Farms in the Mediterranean and Black Seas, Anavyssos- Greece, 9- 10 June 2014.
58. Papadakis, G., Riziotis, V., Voutsinas, S., Mavrakos, S.A. 2014. *W/T's reduced order aeroelastic models (in Greek)*. Technical Report No. D3.2, Program POSEIDON (2014), Greek General Secretariat for Research and Technology.

59. Wojciech P. et al., 2012. *Offshore Code Comparison Collaboration Continuation (OC4), Phase I – Results of Coupled Simulations of an Offshore Wind Turbine with Jacket Support Structure*, ISOPE 2012, Rhodes, Greece.
60. Ramachandran G., Robertson, A., Jonkman, J. and Masciola, M. D., 2013. *Investigation of Response Amplitude Operators for Floating Offshore Wind Turbines Preprint*, ISOPE 2013 Anchorage, Alaska.
61. Riziotis, V.A., Voutsinas, S.G. 1997. *GAST: A general aerodynamic and structural prediction tool for wind turbines. Proceedings of the EWEC' 97, Dublin, Ireland, 1997.*
62. Riziotis, V., S.G. Voutsinas, E.S. Politis, P.K. Chaviaropoulos 2004. *Aeroelastic Stability of Wind Turbines: the problem, the methods, the issues*”, *Wind Energy*, 7, pp 373-392
63. Robertson Amy et al., 2014. *Offshore code comparison collaboration, continuation within IEA wind task 30: phase II results regarding a floating semisubmersible wind system*, OMAE 2014, San Francisco, USA.
64. Sclavounos, P.D., Wayman, E.N., 2006. *Coupled Dynamic Modelling of Floating Wind turbine Systems. Offshore Technology Conference, Texas, 2006.*
65. Stewart, G., Lackner, M., Robertson, A. and Jonkman, J., 2012. *Calibration and Validation of a FAST Floating Wind Turbine Model of the DeepCwind Scaled Tension-Leg Platform*, 22nd International Offshore and Polar Engineering Conference Rhodes, Greece, June 17-22, 2012.
66. Welch, P.D., 1967. *The Use of Fast Fourier Transform for the Estimation of Power Spectra: A Method Based on Time Averaging*

Επίσης ιδιαίτερα χρήσιμες και επιβοηθητικές για την σύνταξη της παρούσης εργασίας ήταν προηγούμενες διπλωματικές του τομέα πάνω σε παραπλήσια θέματα, και ιδιαίτερα οι Διπλωματικές Εργασίες «Υδροδυναμική Ανάλυση πλωτής Ανεμογεννήτριας αγκυρωμένης με κατακόρυφους κλάδους αγκύρωσης (TLP) Tension Leg Platform», Γιώργος Ι. Κοζύρης, 2014, Επιβλέπων Καθηγητής : Σ.Α. Μαυράκος και η «Διερεύνηση της δυναμικής συμπεριφοράς σε κυματισμούς, πλωτής συσκευής ανάκτησης κυματικής και υπεράκτιας αιολικής ενέργειας», Χάντζος Ηλίας, 2015, Επιβλέπων Καθηγητής : Σ.Α. Μαυράκος

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

### ΑΔΙΑΣΤΑΤΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ:

❖ Δυνάμεις διέγερσης

$$\text{Αδιαστατοποίηση: } \frac{F}{\rho g b^2 (H/2) NUBO} \text{ ή } \frac{M}{\rho g b^3 (H/2) NUBO}$$

❖ Συναρτήσεις μεταφοράς των κινήσεων

$$\text{Αδιαστατοποίηση: } \frac{S_j}{H/2} \left[ \frac{m}{m} \right] \text{ } j=1,2,3 \text{ και } \frac{S_j}{kH/2} \left[ \frac{\text{degrees}}{m/m} \right] \text{ } j=4,5,6$$

❖ Δυνάμεις έκπτωσης (drift forces)

$$\text{Αδιαστατοποίηση: } \frac{F}{\rho g b (H/2)^2 NUBO} \text{ ή } \frac{M}{\rho g b^2 (H/2)^2 NUBO}$$

❖ Υδροδυναμικές μάζες και αποσβέσεις

$$\text{Αδιαστατοποίηση: } \frac{m_{ij}}{\rho b^3 NUBO} \text{ ή } \frac{b_{ij}}{\omega \rho b^3 NUBO} \text{ για } 1 \leq i \leq 3, 1 \leq j \leq 3$$

$$\frac{m_{ij}}{\rho b^5 NUBO} \text{ ή } \frac{b_{ij}}{\omega \rho b^5 NUBO} \text{ για } 4 \leq i \leq 6, 4 \leq j \leq 6$$

❖ Δευτεροτάξια Υδροδυναμική Απόσβεση (wave drift damping)

$$\text{Αδιαστατοποίηση: } \frac{B_{ij}}{\omega \rho b (H/2)^2} \text{ για } 1 \leq i \leq 2, 1 \leq j \leq 2$$

$$\frac{B_{ij}}{\omega \rho b^2 (H/2)^2} \text{ για } i=6 \text{ ή } j=6$$

Με:

$$g=9.81\text{m/sec}^2$$

$$\rho=1.025\text{t/m}^3$$

$$b=14.05\text{m}$$

$(H/2)$  = ύψος κύματος

$NUBO$  = Πλήθος σωμάτων = 4

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

### ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Πίνακας 1. Απεικόνιση δυνάμεων διέγερσης στη x- Διεύθυνση,  $f_x / (\rho g b^2 (H/2) NUBO)$ , για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από 0°- 180°

$\omega$	$\theta=0$	$\theta=30$	$\theta=60$	$\theta=90$	$\theta=120$	$\theta=150$	$\theta=180$
0,0500	0,0231	0,0200	0,0116	0,0000	0,0116	0,0200	0,0231
0,1000	0,0473	0,0409	0,0236	0,0000	0,0236	0,0409	0,0473
0,1500	0,0736	0,0638	0,0368	0,0001	0,0368	0,0638	0,0736
0,2000	0,1037	0,0898	0,0519	0,0001	0,0519	0,0898	0,1037
0,2500	0,1396	0,1209	0,0698	0,0003	0,0698	0,1209	0,1396
0,3000	0,1831	0,1586	0,0915	0,0005	0,0915	0,1586	0,1831
0,3500	0,2347	0,2033	0,1174	0,0009	0,1173	0,2033	0,2347
0,4000	0,2914	0,2524	0,1458	0,0017	0,1457	0,2524	0,2915
0,4500	0,3475	0,3010	0,1741	0,0031	0,1737	0,3013	0,3481
0,5000	0,3971	0,3442	0,1995	0,0053	0,1986	0,3451	0,3990
0,5500	0,4324	0,3750	0,2188	0,0088	0,2162	0,3777	0,4377
0,6000	0,4474	0,3884	0,2297	0,0136	0,2237	0,3946	0,4595
0,6500	0,4381	0,3802	0,2304	0,0197	0,2190	0,3923	0,4609
0,7000	0,4045	0,3471	0,2186	0,0259	0,2022	0,3672	0,4373
0,7500	0,3545	0,2867	0,1890	0,0291	0,1772	0,3114	0,3780
0,8000	0,3074	0,1912	0,1412	0,0303	0,1537	0,2116	0,2824
0,8500	0,2943	0,0459	0,1492	0,0692	0,1472	0,0742	0,2984
0,9000	0,2834	0,1242	0,2423	0,1525	0,1417	0,1288	0,4847
0,9500	0,2519	0,1860	0,2388	0,1986	0,1260	0,0991	0,4775
1,0000	0,2721	0,1737	0,1988	0,1940	0,1360	0,0223	0,3975
1,0500	0,2553	0,1088	0,1580	0,1263	0,1276	0,0637	0,3161
1,1000	0,2309	0,1316	0,1375	0,2105	0,1155	0,2510	0,2750
1,1500	0,9570	0,1119	0,4901	0,4953	0,4785	0,4750	0,9802
1,2000	0,9426	0,1192	0,4368	0,3658	0,4712	0,3452	0,8736
1,2500	0,9157	0,2561	0,3771	0,2810	0,4578	0,2818	0,7544
1,3000	0,7323	0,3752	0,2663	0,1888	0,3661	0,4156	0,5329
1,3500	0,5102	0,3994	0,1640	0,1077	0,2551	0,4781	0,3281
1,4000	0,3279	0,4045	0,1228	0,0589	0,1639	0,4628	0,2455
1,4500	0,2294	0,4127	0,0988	0,0632	0,1148	0,3831	0,1976
1,5000	0,1776	0,3939	0,1475	0,0351	0,0888	0,3628	0,2948
1,5500	0,2503	0,3366	0,1628	0,0387	0,1251	0,3028	0,3254
1,6000	0,3435	0,2574	0,1719	0,0363	0,1718	0,2539	0,3435
1,6500	0,3878	0,1523	0,1977	0,0282	0,1939	0,1661	0,3954
1,7000	0,3741	0,0486	0,2318	0,0239	0,1869	0,0710	0,4638
1,7500	0,2992	0,0980	0,2305	0,0096	0,1496	0,0949	0,4613
1,8000	0,2688	0,1009	0,1578	0,0176	0,1344	0,1095	0,3159
1,8500	0,2112	0,0911	0,0803	0,0275	0,1057	0,0743	0,1609
1,9000	0,1710	0,0915	0,0111	0,0370	0,0856	0,0545	0,0225
1,9500	0,2768	0,0997	0,0900	0,0542	0,1385	0,0730	0,1797
2,0000	0,3084	0,0658	0,1729	0,0287	0,1543	0,0409	0,3458
2,0500	0,2725	0,1036	0,1569	0,0172	0,1363	0,0864	0,3138
2,1000	0,2489	0,1221	0,1036	0,0047	0,1244	0,1175	0,2073

2,1500	0,1753	0,1158	0,0410	0,0061	0,0876	0,1159	0,0819
2,2000	0,0882	0,1179	0,0530	0,0023	0,0441	0,1164	0,1059
2,2500	0,0619	0,1105	0,0744	0,0064	0,0310	0,1152	0,1488
2,3000	0,0980	0,0997	0,0725	0,0049	0,0490	0,0979	0,1450
2,3500	0,1407	0,0866	0,0575	0,0125	0,0704	0,0779	0,1150
2,4000	0,1394	0,0607	0,0668	0,0161	0,0697	0,0465	0,1337
2,4500	0,1457	0,0273	0,0560	0,0122	0,0729	0,0213	0,1121
2,5000	0,0957	0,0130	0,0406	0,0156	0,0478	0,0063	0,0815
2,5500	0,0696	0,0397	0,0081	0,0137	0,0347	0,0309	0,0160
2,6000	0,1108	0,0636	0,0437	0,0114	0,0554	0,0647	0,0872
2,6500	0,1793	0,0949	0,0842	0,0147	0,0896	0,1072	0,1684
2,7000	0,0727	0,0904	0,0371	0,0109	0,0363	0,0986	0,0742
2,7500	0,0332	0,0645	0,0458	0,0060	0,0165	0,0635	0,0915
2,8000	0,0188	0,0440	0,0303	0,0066	0,0094	0,0386	0,0607
2,8500	0,0351	0,0060	0,0284	0,0120	0,0175	0,0135	0,0568
2,9000	0,0944	0,0260	0,0452	0,0145	0,0472	0,0346	0,0904
2,9500	0,0868	0,0232	0,0361	0,0100	0,0434	0,0268	0,0721
3,0000	0,0711	0,0061	0,0136	0,0088	0,0355	0,0042	0,0273

Πίνακας 2. Απεικόνιση δυνάμεων διέγερσης στη  $y$ - Διεύθυνση,  $f_y / (\rho g b^2 (H/2) NUBO)$ , για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από  $0^\circ$ -  $180^\circ$

$\omega$	$\theta=0$	$\theta=30$	$\theta=60$	$\theta=90$	$\theta=120$	$\theta=150$	$\theta=180$
0,0500	0,0000	0,0116	0,0200	0,0231	0,0200	0,0116	0,0000
0,1000	0,0000	0,0236	0,0409	0,0473	0,0409	0,0236	0,0000
0,1500	0,0000	0,0368	0,0638	0,0736	0,0638	0,0368	0,0000
0,2000	0,0000	0,0519	0,0898	0,1037	0,0898	0,0519	0,0000
0,2500	0,0000	0,0698	0,1209	0,1396	0,1209	0,0698	0,0000
0,3000	0,0000	0,0915	0,1586	0,1831	0,1586	0,0915	0,0000
0,3500	0,0000	0,1174	0,2033	0,2347	0,2032	0,1173	0,0000
0,4000	0,0000	0,1458	0,2525	0,2914	0,2523	0,1457	0,0000
0,4500	0,0000	0,1742	0,3015	0,3477	0,3009	0,1736	0,0000
0,5000	0,0000	0,1998	0,3456	0,3979	0,3439	0,1982	0,0000
0,5500	0,0000	0,2197	0,3790	0,4345	0,3745	0,2151	0,0000
0,6000	0,0000	0,2316	0,3979	0,4520	0,3874	0,2209	0,0000
0,6500	0,0000	0,2339	0,3991	0,4459	0,3794	0,2128	0,0000
0,7000	0,0000	0,2240	0,3787	0,4123	0,3503	0,1893	0,0000
0,7500	0,0000	0,1944	0,3274	0,3451	0,3070	0,1518	0,0000
0,8000	0,0000	0,1352	0,2446	0,2321	0,2662	0,1003	0,0000
0,8500	0,0000	0,0785	0,2584	0,0589	0,2549	0,0526	0,0000
0,9000	0,0000	0,1463	0,4197	0,1166	0,2454	0,1423	0,0000
0,9500	0,0000	0,1459	0,4136	0,1284	0,2182	0,2147	0,0000
1,0000	0,0000	0,1240	0,3443	0,0889	0,2356	0,2122	0,0000
1,0500	0,0000	0,0969	0,2737	0,0728	0,2211	0,1310	0,0000
1,1000	0,0000	0,2565	0,2382	0,1969	0,2000	0,1418	0,0000
1,1500	0,0000	0,5566	0,8489	0,2776	0,8288	0,3109	0,0000
1,2000	0,0000	0,4049	0,7566	0,2106	0,8163	0,2429	0,0000
1,2500	0,0000	0,2894	0,6533	0,2654	0,7929	0,2643	0,0000
1,3000	0,0000	0,3032	0,4613	0,4440	0,6340	0,2449	0,0000
1,3500	0,0000	0,3269	0,2840	0,5048	0,4417	0,1946	0,0000
1,4000	0,0000	0,3008	0,2127	0,5007	0,2839	0,2001	0,0000

1,4500	0,0000	0,2091	0,1712	0,4583	0,1987	0,2594	0,0000
1,5000	0,0000	0,1919	0,2554	0,4367	0,1538	0,2458	0,0000
1,5500	0,0000	0,1559	0,2819	0,3690	0,2167	0,2145	0,0000
1,6000	0,0000	0,1474	0,2975	0,2945	0,2975	0,1536	0,0000
1,6500	0,0000	0,1057	0,3424	0,1833	0,3359	0,0825	0,0000
1,7000	0,0000	0,0544	0,4016	0,0689	0,3239	0,0164	0,0000
1,7500	0,0000	0,0536	0,3995	0,1112	0,2591	0,0588	0,0000
1,8000	0,0000	0,0695	0,2735	0,1212	0,2328	0,0546	0,0000
1,8500	0,0000	0,0378	0,1392	0,0947	0,1830	0,0647	0,0000
1,9000	0,0000	0,0102	0,0194	0,0843	0,1482	0,0742	0,0000
1,9500	0,0000	0,0469	0,1559	0,0958	0,2398	0,0825	0,0000
2,0000	0,0000	0,0148	0,2996	0,0611	0,2672	0,0536	0,0000
2,0500	0,0000	0,0400	0,2718	0,1098	0,2360	0,0697	0,0000
2,1000	0,0000	0,0652	0,1795	0,1383	0,2155	0,0731	0,0000
2,1500	0,0000	0,0672	0,0710	0,1337	0,1517	0,0670	0,0000
2,2000	0,0000	0,0664	0,0918	0,1353	0,0763	0,0690	0,0000
2,2500	0,0000	0,0694	0,1288	0,1303	0,0536	0,0611	0,0000
2,3000	0,0000	0,0557	0,1255	0,1141	0,0849	0,0586	0,0000
2,3500	0,0000	0,0406	0,0996	0,0948	0,1219	0,0555	0,0000
2,4000	0,0000	0,0196	0,1157	0,0617	0,1207	0,0437	0,0000
2,4500	0,0000	0,0125	0,0970	0,0274	0,1262	0,0210	0,0000
2,5000	0,0000	0,0115	0,0705	0,0076	0,0829	0,0162	0,0000
2,5500	0,0000	0,0154	0,0140	0,0403	0,0602	0,0292	0,0000
2,6000	0,0000	0,0391	0,0757	0,0738	0,0960	0,0372	0,0000
2,6500	0,0000	0,0693	0,1458	0,1166	0,1552	0,0481	0,0000
2,7000	0,0000	0,0619	0,0642	0,1090	0,0629	0,0479	0,0000
2,7500	0,0000	0,0363	0,0793	0,0738	0,0287	0,0382	0,0000
2,8000	0,0000	0,0193	0,0526	0,0476	0,0161	0,0288	0,0000
2,8500	0,0000	0,0144	0,0490	0,0099	0,0303	0,0078	0,0000
2,9000	0,0000	0,0268	0,0783	0,0344	0,0817	0,0138	0,0000
2,9500	0,0000	0,0192	0,0625	0,0284	0,0751	0,0137	0,0000
3,0000	0,0000	0,0072	0,0236	0,0034	0,0615	0,0085	0,0000

Πίνακας 3. Αλεικόνιση δυνάμεων διέγερσης στη z- Διεύθυνση,  $f_z / (\rho g b^2 (H/2) NUBO)$ , για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από 0°- 180°

$\omega$	$\theta=0$	$\theta=30$	$\theta=60$	$\theta=90$	$\theta=120$	$\theta=150$	$\theta=180$
0,0500	0,3550	0,3550	0,3550	0,3550	0,3550	0,3550	0,3550
0,1000	0,3493	0,3493	0,3493	0,3493	0,3493	0,3493	0,3493
0,1500	0,3385	0,3385	0,3385	0,3385	0,3385	0,3385	0,3385
0,2000	0,3245	0,3245	0,3245	0,3245	0,3245	0,3245	0,3245
0,2500	0,3064	0,3064	0,3064	0,3064	0,3064	0,3064	0,3064
0,3000	0,2843	0,2843	0,2843	0,2843	0,2843	0,2843	0,2843
0,3500	0,2602	0,2602	0,2602	0,2602	0,2602	0,2602	0,2602
0,4000	0,2345	0,2345	0,2344	0,2345	0,2345	0,2345	0,2344
0,4500	0,2079	0,2078	0,2076	0,2078	0,2079	0,2078	0,2076
0,5000	0,1817	0,1813	0,1809	0,1813	0,1817	0,1813	0,1809
0,5500	0,1556	0,1546	0,1537	0,1546	0,1556	0,1546	0,1537
0,6000	0,1298	0,1277	0,1258	0,1277	0,1298	0,1277	0,1258
0,6500	0,1042	0,1002	0,0969	0,1002	0,1042	0,1002	0,0969
0,7000	0,0789	0,0724	0,0680	0,0724	0,0789	0,0724	0,0680

0,7500	0,0556	0,0462	0,0431	0,0462	0,0556	0,0462	0,0431
0,8000	0,0380	0,0254	0,0292	0,0254	0,0380	0,0254	0,0292
0,8500	0,0292	0,0111	0,0285	0,0111	0,0292	0,0111	0,0285
0,9000	0,0309	0,0034	0,0385	0,0034	0,0309	0,0034	0,0385
0,9500	0,0135	0,0082	0,0245	0,0082	0,0135	0,0082	0,0245
1,0000	0,0035	0,0028	0,0038	0,0028	0,0035	0,0028	0,0038
1,0500	0,0058	0,0018	0,0025	0,0018	0,0058	0,0018	0,0025
1,1000	0,0059	0,0018	0,0026	0,0018	0,0059	0,0018	0,0026
1,1500	0,0066	0,0015	0,0032	0,0015	0,0066	0,0015	0,0032
1,2000	0,0057	0,0011	0,0029	0,0011	0,0057	0,0011	0,0029
1,2500	0,0049	0,0015	0,0036	0,0015	0,0049	0,0015	0,0036
1,3000	0,0032	0,0014	0,0029	0,0014	0,0032	0,0014	0,0029
1,3500	0,0025	0,0020	0,0037	0,0020	0,0025	0,0020	0,0037
1,4000	0,0015	0,0017	0,0025	0,0017	0,0015	0,0017	0,0025
1,4500	0,0040	0,0014	0,0026	0,0014	0,0040	0,0014	0,0026
1,5000	0,0010	0,0017	0,0020	0,0017	0,0010	0,0017	0,0020
1,5500	0,0009	0,0016	0,0015	0,0016	0,0009	0,0016	0,0015
1,6000	0,0012	0,0015	0,0009	0,0015	0,0012	0,0015	0,0009
1,6500	0,0017	0,0010	0,0009	0,0010	0,0017	0,0010	0,0009
1,7000	0,0010	0,0001	0,0010	0,0001	0,0010	0,0001	0,0010
1,7500	0,0007	0,0003	0,0007	0,0003	0,0007	0,0003	0,0007
1,8000	0,0005	0,0002	0,0004	0,0002	0,0005	0,0002	0,0004
1,8500	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
1,9000	0,0001	0,0001	0,0003	0,0001	0,0001	0,0001	0,0003
1,9500	0,0002	0,0001	0,0003	0,0001	0,0002	0,0001	0,0003
2,0000	0,0002	0,0001	0,0003	0,0001	0,0002	0,0001	0,0003
2,0500	0,0002	0,0000	0,0002	0,0000	0,0002	0,0000	0,0002
2,1000	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0002	0,0001	0,0001
2,1500	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
2,2000	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
2,2500	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
2,3000	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
2,3500	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000
2,4000	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000
2,4500	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,5000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,5500	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,6000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,6500	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,7000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,7500	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,8000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,8500	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,9000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,9500	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Πίνακας 4. Απεικόνιση των ροπών διέγερσης περί την x- Διεύθυνση,  $M_x / (\rho g b^3 (H/2) NUBO)$ , για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από 0°- 180°

$\omega$	$\theta=0$	$\theta=30$	$\theta=60$	$\theta=90$	$\theta=120$	$\theta=150$	$\theta=180$
----------	------------	-------------	-------------	-------------	--------------	--------------	--------------

0,0500	0,0000	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000
0,1000	0,0000	0,0004	0,0005	0,0004	0,0005	0,0004	0,0000
0,1500	0,0000	0,0009	0,0012	0,0011	0,0012	0,0009	0,0000
0,2000	0,0000	0,0019	0,0026	0,0024	0,0026	0,0019	0,0000
0,2500	0,0000	0,0035	0,0048	0,0046	0,0048	0,0035	0,0000
0,3000	0,0000	0,0061	0,0084	0,0082	0,0084	0,0061	0,0000
0,3500	0,0000	0,0099	0,0137	0,0134	0,0138	0,0100	0,0000
0,4000	0,0000	0,0151	0,0209	0,0202	0,0211	0,0153	0,0000
0,4500	0,0000	0,0215	0,0298	0,0284	0,0303	0,0219	0,0000
0,5000	0,0000	0,0287	0,0395	0,0367	0,0404	0,0294	0,0000
0,5500	0,0000	0,0362	0,0497	0,0442	0,0512	0,0372	0,0000
0,6000	0,0000	0,0434	0,0596	0,0491	0,0615	0,0445	0,0000
0,6500	0,0000	0,0494	0,0687	0,0498	0,0711	0,0505	0,0000
0,7000	0,0000	0,0531	0,0762	0,0443	0,0805	0,0547	0,0000
0,7500	0,0000	0,0541	0,0837	0,0291	0,0917	0,0577	0,0000
0,8000	0,0000	0,0586	0,1032	0,0041	0,1081	0,0626	0,0000
0,8500	0,0000	0,0818	0,1560	0,0453	0,1247	0,0744	0,0000
0,9000	0,0000	0,0968	0,1957	0,0736	0,1104	0,0852	0,0000
0,9500	0,0000	0,0709	0,1678	0,0553	0,0835	0,0853	0,0000
1,0000	0,0000	0,0490	0,1376	0,0321	0,0935	0,0810	0,0000
1,0500	0,0000	0,0630	0,1448	0,0436	0,1174	0,0723	0,0000
1,1000	0,0000	0,0780	0,1731	0,0668	0,1257	0,0603	0,0000
1,1500	0,0000	0,0341	0,0357	0,0075	0,0756	0,0319	0,0000
1,2000	0,0000	0,0445	0,0846	0,0126	0,1217	0,0414	0,0000
1,2500	0,0000	0,0323	0,0885	0,0452	0,1343	0,0473	0,0000
1,3000	0,0000	0,0442	0,0652	0,0804	0,1160	0,0446	0,0000
1,3500	0,0000	0,0549	0,0387	0,0928	0,0861	0,0383	0,0000
1,4000	0,0000	0,0525	0,0309	0,0926	0,0589	0,0410	0,0000
1,4500	0,0000	0,0384	0,0259	0,0847	0,0438	0,0508	0,0000
1,5000	0,0000	0,0321	0,0437	0,0795	0,0335	0,0479	0,0000
1,5500	0,0000	0,0249	0,0491	0,0658	0,0418	0,0410	0,0000
1,6000	0,0000	0,0230	0,0536	0,0504	0,0534	0,0289	0,0000
1,6500	0,0000	0,0153	0,0631	0,0291	0,0579	0,0152	0,0000
1,7000	0,0000	0,0056	0,0740	0,0052	0,0534	0,0004	0,0000
1,7500	0,0000	0,0096	0,0709	0,0183	0,0415	0,0087	0,0000
1,8000	0,0000	0,0115	0,0465	0,0181	0,0374	0,0071	0,0000
1,8500	0,0000	0,0058	0,0231	0,0142	0,0296	0,0099	0,0000
1,9000	0,0000	0,0015	0,0061	0,0132	0,0242	0,0117	0,0000
1,9500	0,0000	0,0076	0,0239	0,0154	0,0369	0,0131	0,0000
2,0000	0,0000	0,0023	0,0427	0,0091	0,0382	0,0081	0,0000
2,0500	0,0000	0,0049	0,0364	0,0143	0,0319	0,0094	0,0000
2,1000	0,0000	0,0081	0,0228	0,0176	0,0282	0,0095	0,0000
2,1500	0,0000	0,0082	0,0088	0,0167	0,0196	0,0086	0,0000
2,2000	0,0000	0,0080	0,0120	0,0167	0,0099	0,0087	0,0000
2,2500	0,0000	0,0084	0,0162	0,0158	0,0068	0,0074	0,0000
2,3000	0,0000	0,0067	0,0153	0,0136	0,0101	0,0069	0,0000
2,3500	0,0000	0,0048	0,0115	0,0110	0,0141	0,0064	0,0000
2,4000	0,0000	0,0022	0,0126	0,0070	0,0134	0,0049	0,0000
2,4500	0,0000	0,0013	0,0102	0,0031	0,0137	0,0023	0,0000
2,5000	0,0000	0,0011	0,0072	0,0009	0,0088	0,0018	0,0000



2,5500	0,0000	0,0016	0,0013	0,0041	0,0062	0,0030	0,0000
2,6000	0,0000	0,0039	0,0075	0,0073	0,0095	0,0037	0,0000
2,6500	0,0000	0,0066	0,0140	0,0112	0,0148	0,0046	0,0000
2,7000	0,0000	0,0057	0,0060	0,0101	0,0058	0,0044	0,0000
2,7500	0,0000	0,0033	0,0072	0,0066	0,0026	0,0034	0,0000
2,8000	0,0000	0,0017	0,0046	0,0041	0,0014	0,0025	0,0000
2,8500	0,0000	0,0012	0,0041	0,0009	0,0025	0,0007	0,0000
2,9000	0,0000	0,0022	0,0064	0,0028	0,0067	0,0011	0,0000
2,9500	0,0000	0,0015	0,0049	0,0023	0,0059	0,0011	0,0000
3,0000	0,0000	0,0006	0,0018	0,0002	0,0047	0,0007	0,0000

Πίνακας 5. Απεικόνιση των ροπών διέγερσης περί την  $y$ - Διεύθυνση,  $M_y / (\rho g b^3 (H/2) NUBO)$ , για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από  $0^\circ$ -  $180^\circ$

$\omega$	$\theta=0$	$\theta=30$	$\theta=60$	$\theta=90$	$\theta=120$	$\theta=150$	$\theta=180$
0,0500	0,0001	0,0001	0,0001	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001
0,1000	0,0005	0,0004	0,0003	0,0004	0,0003	0,0004	0,0005
0,1500	0,0014	0,0010	0,0008	0,0010	0,0008	0,0010	0,0014
0,2000	0,0029	0,0022	0,0015	0,0018	0,0015	0,0022	0,0029
0,2500	0,0055	0,0043	0,0028	0,0032	0,0028	0,0043	0,0055
0,3000	0,0097	0,0075	0,0049	0,0053	0,0049	0,0075	0,0097
0,3500	0,0159	0,0123	0,0080	0,0086	0,0080	0,0123	0,0159
0,4000	0,0244	0,0187	0,0121	0,0131	0,0122	0,0186	0,0242
0,4500	0,0349	0,0265	0,0172	0,0190	0,0175	0,0262	0,0344
0,5000	0,0467	0,0346	0,0228	0,0260	0,0234	0,0340	0,0456
0,5500	0,0591	0,0423	0,0287	0,0339	0,0296	0,0414	0,0574
0,6000	0,0710	0,0480	0,0344	0,0421	0,0355	0,0469	0,0689
0,6500	0,0821	0,0504	0,0397	0,0501	0,0411	0,0493	0,0793
0,7000	0,0930	0,0486	0,0440	0,0568	0,0465	0,0468	0,0880
0,7500	0,1059	0,0425	0,0483	0,0623	0,0530	0,0375	0,0966
0,8000	0,1248	0,0385	0,0596	0,0700	0,0624	0,0315	0,1191
0,8500	0,1440	0,0531	0,0901	0,0864	0,0720	0,0631	0,1801
0,9000	0,1275	0,0730	0,1130	0,0964	0,0638	0,0863	0,2260
0,9500	0,0964	0,0722	0,0969	0,0847	0,0482	0,0544	0,1937
1,0000	0,1080	0,0653	0,0794	0,0750	0,0540	0,0099	0,1589
1,0500	0,1356	0,0586	0,0836	0,0742	0,0678	0,0466	0,1672
1,1000	0,1452	0,0580	0,0999	0,0707	0,0726	0,0763	0,1999
1,1500	0,0873	0,0181	0,0206	0,0379	0,0437	0,0218	0,0412
1,2000	0,1406	0,0243	0,0488	0,0491	0,0703	0,0292	0,0977
1,2500	0,1551	0,0501	0,0511	0,0389	0,0776	0,0362	0,1022
1,3000	0,1340	0,0706	0,0376	0,0218	0,0670	0,0703	0,0753
1,3500	0,0995	0,0756	0,0223	0,0107	0,0497	0,0852	0,0447
1,4000	0,0681	0,0769	0,0178	0,0100	0,0340	0,0836	0,0357
1,4500	0,0506	0,0775	0,0149	0,0179	0,0253	0,0700	0,0298
1,5000	0,0387	0,0735	0,0252	0,0106	0,0193	0,0643	0,0504
1,5500	0,0482	0,0616	0,0283	0,0097	0,0241	0,0523	0,0566
1,6000	0,0616	0,0455	0,0310	0,0077	0,0308	0,0421	0,0619
1,6500	0,0669	0,0253	0,0364	0,0054	0,0334	0,0253	0,0729
1,7000	0,0616	0,0028	0,0427	0,0035	0,0308	0,0062	0,0855
1,7500	0,0479	0,0156	0,0409	0,0009	0,0240	0,0161	0,0819
1,8000	0,0432	0,0144	0,0268	0,0035	0,0216	0,0170	0,0537

1,8500	0,0342	0,0137	0,0133	0,0046	0,0171	0,0111	0,0267
1,9000	0,0280	0,0144	0,0035	0,0059	0,0140	0,0084	0,0070
1,9500	0,0425	0,0159	0,0138	0,0086	0,0213	0,0118	0,0276
2,0000	0,0441	0,0098	0,0246	0,0044	0,0221	0,0061	0,0493
2,0500	0,0368	0,0137	0,0210	0,0026	0,0184	0,0111	0,0421
2,1000	0,0326	0,0156	0,0131	0,0010	0,0163	0,0148	0,0263
2,1500	0,0226	0,0146	0,0051	0,0008	0,0113	0,0143	0,0102
2,2000	0,0114	0,0146	0,0069	0,0004	0,0057	0,0143	0,0138
2,2500	0,0078	0,0134	0,0094	0,0007	0,0039	0,0140	0,0187
2,3000	0,0117	0,0118	0,0088	0,0004	0,0058	0,0117	0,0177
2,3500	0,0163	0,0100	0,0066	0,0014	0,0081	0,0091	0,0133
2,4000	0,0154	0,0069	0,0073	0,0018	0,0077	0,0053	0,0146
2,4500	0,0158	0,0031	0,0059	0,0013	0,0079	0,0024	0,0118
2,5000	0,0101	0,0015	0,0042	0,0016	0,0051	0,0006	0,0084
2,5500	0,0072	0,0041	0,0008	0,0014	0,0036	0,0032	0,0015
2,6000	0,0110	0,0063	0,0043	0,0011	0,0055	0,0064	0,0086
2,6500	0,0171	0,0091	0,0081	0,0014	0,0086	0,0103	0,0161
2,7000	0,0067	0,0084	0,0034	0,0010	0,0033	0,0091	0,0069
2,7500	0,0030	0,0058	0,0041	0,0005	0,0015	0,0057	0,0083
2,8000	0,0017	0,0038	0,0026	0,0006	0,0008	0,0034	0,0053
2,8500	0,0030	0,0005	0,0024	0,0010	0,0015	0,0012	0,0048
2,9000	0,0077	0,0021	0,0037	0,0012	0,0038	0,0028	0,0074
2,9500	0,0069	0,0018	0,0028	0,0008	0,0034	0,0021	0,0057
3,0000	0,0054	0,0005	0,0010	0,0007	0,0027	0,0003	0,0021

Πίνακας 6. Απεικόνιση των ροπών διέγερσης περί την z- Διεύθυνση,  $M_z / (\rho g b^3 (H/2) NUBO)$ , για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από 0°- 180°

$\omega$	$\theta=0$	$\theta=30$	$\theta=60$	$\theta=90$	$\theta=120$	$\theta=150$	$\theta=180$
0,0500	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,1000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000
0,1500	0,0000	0,0002	0,0000	0,0002	0,0000	0,0002	0,0000
0,2000	0,0000	0,0005	0,0000	0,0006	0,0000	0,0005	0,0000
0,2500	0,0000	0,0014	0,0000	0,0014	0,0000	0,0014	0,0000
0,3000	0,0000	0,0033	0,0000	0,0034	0,0000	0,0033	0,0000
0,3500	0,0000	0,0075	0,0000	0,0076	0,0000	0,0075	0,0000
0,4000	0,0000	0,0159	0,0001	0,0160	0,0001	0,0159	0,0000
0,4500	0,0000	0,0310	0,0001	0,0311	0,0001	0,0310	0,0000
0,5000	0,0000	0,0560	0,0001	0,0561	0,0001	0,0560	0,0000
0,5500	0,0000	0,0949	0,0001	0,0950	0,0001	0,0949	0,0000
0,6000	0,0000	0,1516	0,0001	0,1518	0,0001	0,1516	0,0000
0,6500	0,0000	0,2305	0,0001	0,2306	0,0001	0,2305	0,0000
0,7000	0,0000	0,3343	0,0001	0,3345	0,0001	0,3344	0,0000
0,7500	0,0000	0,4627	0,0001	0,4629	0,0001	0,4627	0,0000
0,8000	0,0000	0,6081	0,0000	0,6081	0,0000	0,6081	0,0000
0,8500	0,0000	0,7493	0,0000	0,7493	0,0000	0,7493	0,0000
0,9000	0,0000	0,8524	0,0001	0,8523	0,0000	0,8524	0,0000
0,9500	0,0000	0,8821	0,0001	0,8821	0,0000	0,8822	0,0000
1,0000	0,0000	0,8135	0,0001	0,8135	0,0000	0,8136	0,0000
1,0500	0,0000	0,5829	0,0001	0,5828	0,0000	0,5829	0,0000
1,1000	0,0000	0,3239	0,0001	0,3238	0,0000	0,3239	0,0000

1,1500	0,0000	1,9994	0,0002	1,9991	0,0001	1,9992	0,0000
1,2000	0,0000	1,4229	0,0002	1,4227	0,0002	1,4228	0,0000
1,2500	0,0000	1,0754	0,0002	1,0753	0,0002	1,0753	0,0000
1,3000	0,0000	0,7834	0,0002	0,7835	0,0002	0,7834	0,0000
1,3500	0,0000	0,5068	0,0001	0,5070	0,0001	0,5069	0,0000
1,4000	0,0000	0,2061	0,0001	0,2063	0,0001	0,2061	0,0000
1,4500	0,0000	0,1979	0,0001	0,1980	0,0001	0,1979	0,0000
1,5000	0,0000	0,1283	0,0001	0,1281	0,0000	0,1282	0,0000
1,5500	0,0000	0,1206	0,0001	0,1205	0,0000	0,1206	0,0000
1,6000	0,0000	0,0976	0,0001	0,0976	0,0001	0,0976	0,0000
1,6500	0,0000	0,1275	0,0001	0,1276	0,0001	0,1275	0,0000
1,7000	0,0000	0,1929	0,0001	0,1929	0,0001	0,1929	0,0000
1,7500	0,0000	0,2596	0,0001	0,2596	0,0001	0,2596	0,0000
1,8000	0,0000	0,3181	0,0001	0,3181	0,0001	0,3181	0,0000
1,8500	0,0000	0,3604	0,0001	0,3604	0,0001	0,3604	0,0000
1,9000	0,0000	0,3687	0,0001	0,3686	0,0000	0,3687	0,0000
1,9500	0,0000	0,4421	0,0001	0,4420	0,0001	0,4421	0,0000
2,0000	0,0000	0,2632	0,0000	0,2631	0,0001	0,2631	0,0000
2,0500	0,0000	0,1459	0,0001	0,1458	0,0001	0,1458	0,0000
2,1000	0,0000	0,0494	0,0001	0,0494	0,0001	0,0494	0,0000
2,1500	0,0000	0,1455	0,0001	0,1455	0,0001	0,1455	0,0000
2,2000	0,0000	0,0998	0,0000	0,0997	0,0000	0,0997	0,0000
2,2500	0,0000	0,0901	0,0000	0,0902	0,0000	0,0901	0,0000
2,3000	0,0000	0,1117	0,0000	0,1117	0,0000	0,1117	0,0000
2,3500	0,0000	0,1417	0,0000	0,1418	0,0000	0,1417	0,0000
2,4000	0,0000	0,1808	0,0000	0,1809	0,0000	0,1809	0,0000
2,4500	0,0000	0,1897	0,0000	0,1897	0,0000	0,1897	0,0000
2,5000	0,0000	0,1623	0,0000	0,1623	0,0001	0,1623	0,0000
2,5500	0,0000	0,1212	0,0000	0,1212	0,0000	0,1212	0,0000
2,6000	0,0000	0,0679	0,0000	0,0679	0,0000	0,0679	0,0000
2,6500	0,0000	0,0357	0,0000	0,0357	0,0001	0,0357	0,0000
2,7000	0,0000	0,0676	0,0001	0,0675	0,0001	0,0676	0,0000
2,7500	0,0000	0,0537	0,0000	0,0537	0,0000	0,0537	0,0000
2,8000	0,0000	0,0711	0,0000	0,0711	0,0000	0,0711	0,0000
2,8500	0,0000	0,0926	0,0000	0,0926	0,0000	0,0926	0,0000
2,9000	0,0000	0,1044	0,0000	0,1044	0,0000	0,1045	0,0000
2,9500	0,0000	0,0971	0,0000	0,0971	0,0000	0,0971	0,0000
3,0000	0,0000	0,0742	0,0000	0,0741	0,0000	0,0741	0,0000

Πίνακας 7: Απεικόνιση των κινήσεων της κατασκευής στη x- Διεύθυνση,  $x_{10}/(H/2)$ , για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από 0°- 180°

$\omega$	$\theta=0$	$\theta=30$	$\theta=60$	$\theta=90$	$\theta=120$	$\theta=150$	$\theta=180$
0,0500	4,4516	3,8552	2,2258	0,0013	2,2258	3,8552	4,4516
0,1000	2,2552	1,9530	1,1276	0,0016	1,1276	1,9530	2,2552
0,1500	1,5382	1,3321	0,7690	0,0023	0,7691	1,3320	1,5381
0,2000	1,1945	1,0344	0,5972	0,0033	0,5972	1,0343	1,1943
0,2500	1,0003	0,8662	0,5000	0,0052	0,5001	0,8661	1,0000
0,3000	0,8786	0,7608	0,4391	0,0082	0,4393	0,7605	0,8781
0,3500	0,7897	0,6837	0,3944	0,0131	0,3949	0,6832	0,7887

0,4000	0,7074	0,6120	0,3527	0,0208	0,3537	0,6111	0,7055
0,4500	0,6176	0,5334	0,3070	0,0318	0,3088	0,5317	0,6141
0,5000	0,5172	0,4445	0,2555	0,0472	0,2586	0,4416	0,5110
0,5500	0,4071	0,3442	0,1984	0,0682	0,2036	0,3397	0,3969
0,6000	0,2910	0,2306	0,1407	0,0974	0,1455	0,2271	0,2814
0,6500	0,1996	0,1119	0,1069	0,1372	0,0998	0,1229	0,2139
0,7000	0,2201	0,0875	0,1435	0,1946	0,1100	0,1344	0,2870
0,7500	0,3684	0,2457	0,2578	0,2882	0,1842	0,3067	0,5157
0,8000	0,5927	0,4726	0,4380	0,4521	0,2964	0,5644	0,8759
0,8500	0,6362	0,5898	0,5302	0,5839	0,3182	0,6989	1,0604
0,9000	0,3058	0,3648	0,3170	0,4262	0,1531	0,4031	0,6338
0,9500	0,1446	0,2402	0,1812	0,3222	0,0723	0,2103	0,3622
1,0000	0,0891	0,1508	0,0981	0,2119	0,0446	0,0862	0,1961
1,0500	0,0636	0,0704	0,0483	0,1102	0,0318	0,0433	0,0966
1,1000	0,1212	0,0745	0,0829	0,1316	0,0606	0,1278	0,1659
1,1500	0,2734	0,0697	0,1512	0,1407	0,1367	0,1649	0,3024
1,2000	0,2925	0,0337	0,1408	0,0815	0,1462	0,1011	0,2817
1,2500	0,3158	0,0550	0,1343	0,0693	0,1579	0,0714	0,2687
1,3000	0,2977	0,1244	0,1141	0,0698	0,1488	0,1497	0,2282
1,3500	0,2172	0,1511	0,0788	0,0503	0,1086	0,1899	0,1576
1,4000	0,1250	0,1471	0,0558	0,0254	0,0625	0,1725	0,1116
1,4500	0,0596	0,1340	0,0468	0,0103	0,0298	0,1374	0,0936
1,5000	0,0447	0,1201	0,0474	0,0085	0,0224	0,1123	0,0948
1,5500	0,0634	0,0934	0,0458	0,0100	0,0317	0,0855	0,0915
1,6000	0,0818	0,0645	0,0420	0,0088	0,0409	0,0650	0,0840
1,6500	0,0843	0,0345	0,0423	0,0066	0,0421	0,0390	0,0846
1,7000	0,0723	0,0113	0,0432	0,0057	0,0361	0,0164	0,0865
1,7500	0,0513	0,0173	0,0382	0,0031	0,0256	0,0160	0,0765
1,8000	0,0390	0,0155	0,0226	0,0033	0,0195	0,0158	0,0453
1,8500	0,0232	0,0114	0,0091	0,0040	0,0116	0,0085	0,0183
1,9000	0,0105	0,0068	0,0008	0,0031	0,0053	0,0037	0,0015
1,9500	0,0034	0,0010	0,0011	0,0006	0,0017	0,0009	0,0022
2,0000	0,0540	0,0111	0,0304	0,0046	0,0270	0,0070	0,0608
2,0500	0,1946	0,0731	0,1120	0,0110	0,0973	0,0620	0,2241
2,1000	0,1572	0,0770	0,0655	0,0024	0,0786	0,0747	0,1312
2,1500	0,0691	0,0458	0,0166	0,0026	0,0346	0,0461	0,0331
2,2000	0,0267	0,0361	0,0163	0,0005	0,0134	0,0358	0,0326
2,2500	0,0154	0,0282	0,0189	0,0017	0,0077	0,0294	0,0378
2,3000	0,0185	0,0189	0,0138	0,0010	0,0092	0,0187	0,0275
2,3500	0,0251	0,0155	0,0103	0,0023	0,0126	0,0139	0,0205
2,4000	0,0234	0,0102	0,0112	0,0026	0,0117	0,0078	0,0225
2,4500	0,0232	0,0043	0,0090	0,0019	0,0116	0,0034	0,0179
2,5000	0,0145	0,0019	0,0062	0,0023	0,0072	0,0009	0,0124
2,5500	0,0100	0,0057	0,0012	0,0020	0,0050	0,0045	0,0024
2,6000	0,0153	0,0088	0,0060	0,0016	0,0076	0,0089	0,0120
2,6500	0,0239	0,0126	0,0112	0,0020	0,0119	0,0143	0,0224
2,7000	0,0099	0,0123	0,0050	0,0015	0,0049	0,0134	0,0101
2,7500	0,0042	0,0081	0,0058	0,0008	0,0021	0,0080	0,0115
2,8000	0,0022	0,0053	0,0036	0,0008	0,0011	0,0046	0,0073
2,8500	0,0041	0,0007	0,0033	0,0014	0,0020	0,0016	0,0066

2,9000	0,0105	0,0029	0,0050	0,0016	0,0053	0,0039	0,0101
2,9500	0,0093	0,0025	0,0039	0,0011	0,0046	0,0029	0,0077
3,0000	0,0073	0,0006	0,0014	0,0009	0,0036	0,0004	0,0028

Πίνακας 8: Απεικόνιση των κινήσεων της κατασκευής στη  $y$ - Διεύθυνση,  $x_{20}/(H/2)$ , για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από  $0^\circ$ -  $180^\circ$

$\omega$	$\theta=0$	$\theta=30$	$\theta=60$	$\theta=90$	$\theta=120$	$\theta=150$	$\theta=180$
0,0500	0,0000	2,2259	3,8553	4,4517	3,8553	2,2259	0,0000
0,1000	0,0000	1,1277	1,9533	2,2554	1,9533	1,1277	0,0000
0,1500	0,0000	0,7692	1,3324	1,5385	1,3324	0,7693	0,0000
0,2000	0,0000	0,5974	1,0348	1,1949	1,0349	0,5975	0,0000
0,2500	0,0000	0,5003	0,8666	1,0008	0,8668	0,5005	0,0000
0,3000	0,0000	0,4394	0,7611	0,8790	0,7615	0,4398	0,0000
0,3500	0,0000	0,3947	0,6837	0,7897	0,6844	0,3954	0,0000
0,4000	0,0000	0,3532	0,6118	0,7067	0,6130	0,3544	0,0000
0,4500	0,0000	0,3084	0,5335	0,6159	0,5352	0,3099	0,0000
0,5000	0,0000	0,2594	0,4470	0,5141	0,4489	0,2610	0,0000
0,5500	0,0000	0,2083	0,3539	0,4007	0,3552	0,2088	0,0000
0,6000	0,0000	0,1626	0,2623	0,2744	0,2564	0,1562	0,0000
0,6500	0,0000	0,1417	0,2013	0,1378	0,1735	0,1205	0,0000
0,7000	0,0000	0,1717	0,2308	0,0382	0,1734	0,1402	0,0000
0,7500	0,0000	0,2763	0,3946	0,2215	0,2855	0,2264	0,0000
0,8000	0,0000	0,4677	0,6812	0,4722	0,4638	0,3806	0,0000
0,8500	0,0000	0,5949	0,8375	0,5929	0,5001	0,4911	0,0000
0,9000	0,0000	0,4206	0,5467	0,3616	0,2681	0,3867	0,0000
0,9500	0,0000	0,2803	0,3220	0,1848	0,1360	0,3037	0,0000
1,0000	0,0000	0,1686	0,1779	0,0763	0,0861	0,2105	0,0000
1,0500	0,0000	0,0911	0,0852	0,0233	0,0569	0,1069	0,0000
1,1000	0,0000	0,1461	0,1441	0,0948	0,1033	0,1034	0,0000
1,1500	0,0000	0,1655	0,2598	0,1221	0,2327	0,0825	0,0000
1,2000	0,0000	0,1053	0,2483	0,0780	0,2554	0,0410	0,0000
1,2500	0,0000	0,0755	0,2386	0,0624	0,2797	0,0586	0,0000
1,3000	0,0000	0,1150	0,1998	0,1554	0,2614	0,0786	0,0000
1,3500	0,0000	0,1344	0,1354	0,1960	0,1876	0,0699	0,0000
1,4000	0,0000	0,1136	0,0958	0,1838	0,1075	0,0701	0,0000
1,4500	0,0000	0,0814	0,0809	0,1561	0,0514	0,0756	0,0000
1,5000	0,0000	0,0602	0,0820	0,1338	0,0386	0,0738	0,0000
1,5500	0,0000	0,0449	0,0793	0,1030	0,0549	0,0587	0,0000
1,6000	0,0000	0,0385	0,0728	0,0746	0,0708	0,0376	0,0000
1,6500	0,0000	0,0254	0,0733	0,0424	0,0730	0,0178	0,0000
1,7000	0,0000	0,0127	0,0750	0,0160	0,0628	0,0041	0,0000
1,7500	0,0000	0,0088	0,0664	0,0192	0,0445	0,0110	0,0000
1,8000	0,0000	0,0096	0,0393	0,0180	0,0338	0,0092	0,0000
1,8500	0,0000	0,0040	0,0159	0,0114	0,0201	0,0085	0,0000
1,9000	0,0000	0,0004	0,0013	0,0061	0,0091	0,0058	0,0000
1,9500	0,0000	0,0007	0,0019	0,0010	0,0029	0,0008	0,0000
2,0000	0,0000	0,0024	0,0528	0,0104	0,0469	0,0090	0,0000
2,0500	0,0000	0,0298	0,1969	0,0792	0,1710	0,0493	0,0000
2,1000	0,0000	0,0415	0,1129	0,0871	0,1353	0,0456	0,0000
2,1500	0,0000	0,0267	0,0286	0,0528	0,0595	0,0263	0,0000

2,2000	0,0000	0,0204	0,0281	0,0413	0,0230	0,0209	0,0000
2,2500	0,0000	0,0177	0,0327	0,0332	0,0133	0,0155	0,0000
2,3000	0,0000	0,0107	0,0238	0,0217	0,0160	0,0111	0,0000
2,3500	0,0000	0,0073	0,0177	0,0169	0,0217	0,0099	0,0000
2,4000	0,0000	0,0033	0,0195	0,0104	0,0203	0,0073	0,0000
2,4500	0,0000	0,0019	0,0155	0,0044	0,0201	0,0033	0,0000
2,5000	0,0000	0,0017	0,0107	0,0011	0,0125	0,0024	0,0000
2,5500	0,0000	0,0022	0,0021	0,0058	0,0087	0,0042	0,0000
2,6000	0,0000	0,0054	0,0104	0,0102	0,0132	0,0051	0,0000
2,6500	0,0000	0,0092	0,0194	0,0155	0,0207	0,0064	0,0000
2,7000	0,0000	0,0084	0,0087	0,0148	0,0085	0,0065	0,0000
2,7500	0,0000	0,0046	0,0100	0,0093	0,0036	0,0048	0,0000
2,8000	0,0000	0,0023	0,0063	0,0057	0,0019	0,0034	0,0000
2,8500	0,0000	0,0016	0,0057	0,0011	0,0035	0,0009	0,0000
2,9000	0,0000	0,0030	0,0087	0,0038	0,0091	0,0015	0,0000
2,9500	0,0000	0,0020	0,0067	0,0030	0,0080	0,0015	0,0000
3,0000	0,0000	0,0007	0,0024	0,0003	0,0063	0,0009	0,0000

Πίνακας 9: Απεικόνιση των κινήσεων της κατασκευής στη z- Διεύθυνση,  $x_{30}/(H/2)$ , για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από 0°- 180°

$\omega$	$\theta=0$	$\theta=30$	$\theta=60$	$\theta=90$	$\theta=120$	$\theta=150$	$\theta=180$
0,0500	1,0816	1,0816	1,0816	1,0816	1,0816	1,0816	1,0816
0,1000	1,0825	1,0825	1,0825	1,0826	1,0825	1,0825	1,0825
0,1500	1,0754	1,0753	1,0754	1,0755	1,0754	1,0753	1,0754
0,2000	1,0746	1,0745	1,0746	1,0748	1,0746	1,0745	1,0746
0,2500	1,0685	1,0683	1,0685	1,0687	1,0685	1,0683	1,0685
0,3000	1,0642	1,0639	1,0642	1,0646	1,0642	1,0639	1,0642
0,3500	1,0542	1,0535	1,0540	1,0547	1,0542	1,0535	1,0540
0,4000	1,0396	1,0385	1,0391	1,0401	1,0396	1,0385	1,0391
0,4500	1,0292	1,0273	1,0275	1,0294	1,0292	1,0273	1,0275
0,5000	1,0152	1,0114	1,0100	1,0135	1,0152	1,0114	1,0100
0,5500	1,0001	0,9920	0,9856	0,9930	1,0001	0,9920	0,9857
0,6000	0,9841	0,9662	0,9482	0,9634	0,9840	0,9662	0,9483
0,6500	0,9546	0,9158	0,8756	0,9047	0,9545	0,9158	0,8758
0,7000	0,8958	0,8169	0,7460	0,7875	0,8957	0,8170	0,7463
0,7500	0,8089	0,6599	0,5888	0,5885	0,8086	0,6601	0,5894
0,8000	0,6895	0,4336	0,5277	0,2796	0,6891	0,4340	0,5282
0,8500	0,5913	0,1697	0,5976	0,0174	0,5911	0,1703	0,5973
0,9000	1,1058	0,1754	1,2766	0,2216	1,1057	0,1752	1,2765
0,9500	0,4640	0,1869	0,5281	0,1208	0,4640	0,1869	0,5281
1,0000	0,2474	0,1276	0,2693	0,0831	0,2474	0,1276	0,2693
1,0500	0,1658	0,0798	0,1756	0,0713	0,1658	0,0798	0,1756
1,1000	0,1170	0,0655	0,1218	0,0527	0,1170	0,0655	0,1217
1,1500	0,0951	0,0584	0,0869	0,0216	0,0951	0,0584	0,0869
1,2000	0,0721	0,0409	0,0639	0,0349	0,0721	0,0409	0,0639
1,2500	0,0618	0,0242	0,0590	0,0370	0,0618	0,0242	0,0590
1,3000	0,0343	0,0172	0,0397	0,0344	0,0343	0,0172	0,0397
1,3500	0,0319	0,0157	0,0425	0,0262	0,0320	0,0157	0,0425
1,4000	0,0122	0,0219	0,0237	0,0173	0,0122	0,0219	0,0237
1,4500	0,0082	0,0125	0,0189	0,0128	0,0082	0,0125	0,0189

1,5000	0,0075	0,0096	0,0104	0,0136	0,0075	0,0096	0,0104
1,5500	0,0035	0,0098	0,0097	0,0129	0,0035	0,0098	0,0097
1,6000	0,0098	0,0110	0,0050	0,0123	0,0098	0,0110	0,0050
1,6500	0,0131	0,0077	0,0058	0,0090	0,0131	0,0077	0,0058
1,7000	0,0066	0,0011	0,0067	0,0027	0,0066	0,0011	0,0067
1,7500	0,0036	0,0040	0,0041	0,0008	0,0036	0,0040	0,0041
1,8000	0,0026	0,0031	0,0024	0,0012	0,0026	0,0031	0,0024
1,8500	0,0011	0,0024	0,0013	0,0013	0,0011	0,0024	0,0013
1,9000	0,0006	0,0013	0,0014	0,0009	0,0006	0,0013	0,0014
1,9500	0,0009	0,0004	0,0014	0,0003	0,0009	0,0004	0,0014
2,0000	0,0013	0,0015	0,0014	0,0016	0,0013	0,0015	0,0014
2,0500	0,0009	0,0026	0,0011	0,0030	0,0008	0,0026	0,0011
2,1000	0,0011	0,0025	0,0006	0,0021	0,0011	0,0025	0,0006
2,1500	0,0005	0,0042	0,0007	0,0052	0,0005	0,0042	0,0007
2,2000	0,0006	0,0016	0,0003	0,0022	0,0006	0,0016	0,0003
2,2500	0,0004	0,0016	0,0003	0,0011	0,0004	0,0016	0,0003
2,3000	0,0003	0,0013	0,0003	0,0009	0,0003	0,0013	0,0003
2,3500	0,0003	0,0014	0,0002	0,0012	0,0003	0,0014	0,0002
2,4000	0,0003	0,0016	0,0002	0,0015	0,0003	0,0016	0,0002
2,4500	0,0002	0,0015	0,0001	0,0016	0,0002	0,0015	0,0001
2,5000	0,0000	0,0013	0,0001	0,0012	0,0000	0,0013	0,0001
2,5500	0,0000	0,0009	0,0001	0,0009	0,0000	0,0009	0,0001
2,6000	0,0000	0,0005	0,0000	0,0005	0,0000	0,0005	0,0000
2,6500	0,0000	0,0002	0,0000	0,0003	0,0000	0,0002	0,0000
2,7000	0,0000	0,0004	0,0000	0,0005	0,0000	0,0004	0,0000
2,7500	0,0000	0,0003	0,0000	0,0003	0,0000	0,0003	0,0000
2,8000	0,0000	0,0004	0,0000	0,0004	0,0000	0,0004	0,0000
2,8500	0,0000	0,0005	0,0000	0,0005	0,0000	0,0005	0,0000
2,9000	0,0000	0,0005	0,0000	0,0005	0,0000	0,0005	0,0000
2,9500	0,0000	0,0005	0,0000	0,0005	0,0000	0,0005	0,0000
3,0000	0,0000	0,0004	0,0000	0,0004	0,0000	0,0004	0,0000

Πίνακας 10: Απεικόνιση των περιστροφών της κατασκευής περί την x- Διεύθυνση,  $x_{40}/(kH/2)$ , για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από 0°- 180°.

$\omega$	$\theta=0$	$\theta=30$	$\theta=60$	$\theta=90$	$\theta=120$	$\theta=150$	$\theta=180$
0,1000	0,0000	0,5287	0,9152	1,0561	0,9142	0,5278	0,0000
0,1500	0,0000	0,5421	0,9379	1,0818	0,9365	0,5408	0,0000
0,2000	0,0000	0,5486	0,9482	1,0931	0,9463	0,5466	0,0000
0,2500	0,0000	0,5526	0,9539	1,0985	0,9511	0,5498	0,0000
0,3000	0,0000	0,5572	0,9596	1,1034	0,9554	0,5531	0,0000
0,3500	0,0000	0,5622	0,9646	1,1061	0,9581	0,5558	0,0000
0,4000	0,0000	0,5672	0,9675	1,1046	0,9570	0,5571	0,0000
0,4500	0,0000	0,5753	0,9729	1,1033	0,9557	0,5591	0,0000
0,5000	0,0000	0,5836	0,9754	1,0948	0,9473	0,5581	0,0000
0,5500	0,0000	0,5952	0,9787	1,0821	0,9338	0,5559	0,0000
0,6000	0,0000	0,6112	0,9841	1,0649	0,9150	0,5538	0,0000
0,6500	0,0000	0,6400	1,0032	1,0546	0,9026	0,5614	0,0000
0,7000	0,0000	0,6895	1,0449	1,0585	0,9065	0,5891	0,0000
0,7500	0,0000	0,7814	1,1342	1,0998	0,9543	0,6614	0,0000
0,8000	0,0000	0,9209	1,2582	1,1648	1,0449	0,7888	0,0000

0,8500	0,0000	0,9361	1,1536	1,0267	0,9723	0,8229	0,0000
0,9000	0,0000	0,5337	0,5452	0,4680	0,4768	0,4862	0,0000
0,9500	0,0000	0,3243	0,2547	0,2037	0,2387	0,3081	0,0000
1,0000	0,0000	0,2118	0,1197	0,0823	0,1276	0,2063	0,0000
1,0500	0,0000	0,1440	0,0600	0,0264	0,0786	0,1320	0,0000
1,1000	0,0000	0,1226	0,0529	0,0384	0,0447	0,1002	0,0000
1,1500	0,0000	0,0832	0,0412	0,0443	0,0266	0,0696	0,0000
1,2000	0,0000	0,0500	0,0379	0,0413	0,0328	0,0419	0,0000
1,2500	0,0000	0,0220	0,0360	0,0271	0,0395	0,0206	0,0000
1,3000	0,0000	0,0062	0,0290	0,0122	0,0360	0,0061	0,0000
1,3500	0,0000	0,0099	0,0189	0,0110	0,0247	0,0011	0,0000
1,4000	0,0000	0,0093	0,0117	0,0118	0,0142	0,0025	0,0000
1,4500	0,0000	0,0055	0,0059	0,0087	0,0051	0,0033	0,0000
1,5000	0,0000	0,0040	0,0047	0,0077	0,0018	0,0037	0,0000
1,5500	0,0000	0,0030	0,0038	0,0061	0,0013	0,0031	0,0000
1,6000	0,0000	0,0024	0,0028	0,0045	0,0025	0,0021	0,0000
1,6500	0,0000	0,0018	0,0025	0,0029	0,0030	0,0011	0,0000
1,7000	0,0000	0,0010	0,0027	0,0013	0,0027	0,0004	0,0000
1,7500	0,0000	0,0003	0,0027	0,0007	0,0019	0,0007	0,0000
1,8000	0,0000	0,0002	0,0018	0,0008	0,0014	0,0008	0,0000
1,8500	0,0000	0,0001	0,0009	0,0005	0,0008	0,0006	0,0000
1,9000	0,0000	0,0001	0,0004	0,0003	0,0003	0,0004	0,0000
1,9500	0,0000	0,0001	0,0003	0,0001	0,0003	0,0002	0,0000
2,0000	0,0000	0,0001	0,0017	0,0004	0,0015	0,0004	0,0000
2,0500	0,0000	0,0008	0,0055	0,0022	0,0048	0,0014	0,0000
2,1000	0,0000	0,0011	0,0031	0,0023	0,0037	0,0012	0,0000
2,1500	0,0000	0,0007	0,0008	0,0014	0,0016	0,0007	0,0000
2,2000	0,0000	0,0005	0,0007	0,0010	0,0006	0,0005	0,0000
2,2500	0,0000	0,0004	0,0008	0,0008	0,0003	0,0004	0,0000
2,3000	0,0000	0,0003	0,0005	0,0005	0,0004	0,0003	0,0000
2,3500	0,0000	0,0002	0,0004	0,0004	0,0005	0,0002	0,0000
2,4000	0,0000	0,0001	0,0004	0,0002	0,0004	0,0002	0,0000
2,4500	0,0000	0,0000	0,0003	0,0001	0,0004	0,0001	0,0000
2,5000	0,0000	0,0000	0,0002	0,0000	0,0002	0,0000	0,0000
2,5500	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0002	0,0001	0,0000
2,6000	0,0000	0,0001	0,0002	0,0002	0,0002	0,0001	0,0000
2,6500	0,0000	0,0002	0,0003	0,0003	0,0004	0,0001	0,0000
2,7000	0,0000	0,0001	0,0001	0,0002	0,0001	0,0001	0,0000
2,7500	0,0000	0,0001	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001	0,0000
2,8000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0001	0,0000	0,0001	0,0000
2,8500	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000
2,9000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000
2,9500	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000
3,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000

Πίνακας 11: Απεικόνιση των περιστροφών της κατασκευής περί την  $y$ - Διεύθυνση,  $x_{50}/(kH/2)$ , για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από  $0^\circ$ -  $180^\circ$ .

$\omega$	$\theta=0$	$\theta=30$	$\theta=60$	$\theta=90$	$\theta=120$	$\theta=150$	$\theta=180$
0,1000	1,0557	0,9144	0,5284	0,0176	0,5278	0,9149	1,0568
0,1500	1,0815	0,9367	0,5415	0,0276	0,5407	0,9375	1,0831



0,2000	1,0928	0,9464	0,5475	0,0393	0,5464	0,9475	1,0951
0,2500	1,0985	0,9512	0,5509	0,0535	0,5492	0,9528	1,1018
0,3000	1,1037	0,9554	0,5543	0,0716	0,5518	0,9578	1,1085
0,3500	1,1070	0,9578	0,5573	0,0942	0,5535	0,9615	1,1145
0,4000	1,1060	0,9564	0,5591	0,1211	0,5530	0,9622	1,1180
0,4500	1,1044	0,9545	0,5622	0,1525	0,5522	0,9640	1,1243
0,5000	1,0940	0,9452	0,5632	0,1875	0,5469	0,9605	1,1264
0,5500	1,0764	0,9304	0,5641	0,2273	0,5381	0,9543	1,1281
0,6000	1,0508	0,9093	0,5651	0,2732	0,5253	0,9449	1,1300
0,6500	1,0302	0,8923	0,5725	0,3314	0,5150	0,9425	1,1449
0,7000	1,0256	0,8871	0,5911	0,4096	0,5127	0,9539	1,1820
0,7500	1,0721	0,9202	0,6371	0,5288	0,5359	1,0052	1,2740
0,8000	1,2038	1,0159	0,7248	0,7249	0,6019	1,1210	1,4495
0,8500	1,2220	1,0107	0,7250	0,9004	0,6112	1,1213	1,4501
0,9000	0,5679	0,4714	0,3248	0,5405	0,2843	0,5232	0,6496
0,9500	0,2773	0,2379	0,1480	0,3478	0,1386	0,2587	0,2958
1,0000	0,1470	0,1336	0,0689	0,2360	0,0735	0,1418	0,1378
1,0500	0,0912	0,0722	0,0348	0,1594	0,0456	0,0924	0,0696
1,1000	0,0518	0,0518	0,0307	0,1279	0,0259	0,0879	0,0614
1,1500	0,0311	0,0477	0,0240	0,0857	0,0155	0,0664	0,0481
1,2000	0,0371	0,0377	0,0215	0,0467	0,0185	0,0462	0,0429
1,2500	0,0446	0,0242	0,0203	0,0185	0,0223	0,0254	0,0407
1,3000	0,0411	0,0104	0,0165	0,0010	0,0205	0,0105	0,0331
1,3500	0,0286	0,0070	0,0109	0,0051	0,0143	0,0120	0,0219
1,4000	0,0165	0,0083	0,0068	0,0040	0,0083	0,0122	0,0136
1,4500	0,0059	0,0070	0,0034	0,0013	0,0030	0,0082	0,0069
1,5000	0,0021	0,0066	0,0027	0,0002	0,0011	0,0068	0,0055
1,5500	0,0015	0,0053	0,0022	0,0003	0,0007	0,0052	0,0044
1,6000	0,0029	0,0038	0,0016	0,0004	0,0015	0,0040	0,0033
1,6500	0,0035	0,0023	0,0014	0,0004	0,0018	0,0027	0,0028
1,7000	0,0031	0,0009	0,0015	0,0005	0,0016	0,0013	0,0031
1,7500	0,0022	0,0008	0,0016	0,0005	0,0011	0,0004	0,0032
1,8000	0,0016	0,0009	0,0010	0,0004	0,0008	0,0005	0,0021
1,8500	0,0009	0,0007	0,0005	0,0004	0,0005	0,0003	0,0011
1,9000	0,0003	0,0004	0,0002	0,0003	0,0002	0,0001	0,0004
1,9500	0,0004	0,0001	0,0002	0,0002	0,0002	0,0001	0,0004
2,0000	0,0017	0,0005	0,0010	0,0002	0,0009	0,0003	0,0019
2,0500	0,0055	0,0021	0,0031	0,0004	0,0027	0,0017	0,0063
2,1000	0,0043	0,0020	0,0018	0,0000	0,0021	0,0020	0,0036
2,1500	0,0018	0,0012	0,0005	0,0001	0,0009	0,0012	0,0009
2,2000	0,0007	0,0009	0,0004	0,0000	0,0003	0,0009	0,0008
2,2500	0,0003	0,0007	0,0004	0,0001	0,0002	0,0007	0,0009
2,3000	0,0004	0,0004	0,0003	0,0000	0,0002	0,0004	0,0006
2,3500	0,0005	0,0003	0,0002	0,0001	0,0003	0,0003	0,0004
2,4000	0,0005	0,0002	0,0002	0,0001	0,0002	0,0002	0,0005
2,4500	0,0005	0,0001	0,0002	0,0000	0,0002	0,0001	0,0004
2,5000	0,0003	0,0000	0,0001	0,0000	0,0001	0,0000	0,0002
2,5500	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,0001	0,0001	0,0000
2,6000	0,0003	0,0002	0,0001	0,0000	0,0001	0,0002	0,0002
2,6500	0,0004	0,0002	0,0002	0,0000	0,0002	0,0002	0,0004

2,7000	0,0002	0,0002	0,0001	0,0000	0,0001	0,0002	0,0002
2,7500	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0001	0,0002
2,8000	0,0000	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0001	0,0001
2,8500	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001
2,9000	0,0002	0,0000	0,0001	0,0000	0,0001	0,0001	0,0001
2,9500	0,0001	0,0000	0,0001	0,0000	0,0001	0,0000	0,0001
3,0000	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Πίνακας 12: Απεικόνιση των περιστροφών της κατασκευής περί την z- Διεύθυνση,  $x_{60}/(kH/2)$ , για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από 0°- 180°

$\omega$	$\theta=0$	$\theta=30$	$\theta=60$	$\theta=90$	$\theta=120$	$\theta=150$	$\theta=180$
0,0500	0,0000	0,0190	0,0049	0,0275	0,0049	0,0190	0,0000
0,1000	0,0000	0,0222	0,0012	0,0244	0,0012	0,0222	0,0000
0,1500	0,0000	0,0246	0,0005	0,0255	0,0005	0,0246	0,0000
0,2000	0,0000	0,0279	0,0003	0,0284	0,0003	0,0279	0,0000
0,2500	0,0000	0,0329	0,0002	0,0333	0,0002	0,0329	0,0000
0,3000	0,0000	0,0403	0,0001	0,0405	0,0001	0,0403	0,0000
0,3500	0,0000	0,0502	0,0001	0,0504	0,0001	0,0502	0,0000
0,4000	0,0000	0,0623	0,0001	0,0624	0,0001	0,0623	0,0000
0,4500	0,0000	0,0754	0,0001	0,0755	0,0001	0,0754	0,0000
0,5000	0,0000	0,0885	0,0000	0,0886	0,0000	0,0885	0,0000
0,5500	0,0000	0,1010	0,0000	0,1011	0,0000	0,1010	0,0000
0,6000	0,0000	0,1120	0,0000	0,1121	0,0000	0,1120	0,0000
0,6500	0,0000	0,1209	0,0000	0,1209	0,0000	0,1209	0,0000
0,7000	0,0000	0,1268	0,0000	0,1268	0,0000	0,1268	0,0000
0,7500	0,0000	0,1288	0,0000	0,1289	0,0000	0,1288	0,0000
0,8000	0,0000	0,1264	0,0000	0,1264	0,0000	0,1264	0,0000
0,8500	0,0000	0,1187	0,0000	0,1187	0,0000	0,1187	0,0000
0,9000	0,0000	0,1057	0,0000	0,1057	0,0000	0,1057	0,0000
0,9500	0,0000	0,0874	0,0000	0,0874	0,0000	0,0874	0,0000
1,0000	0,0000	0,0637	0,0000	0,0636	0,0000	0,0637	0,0000
1,0500	0,0000	0,0296	0,0000	0,0296	0,0000	0,0296	0,0000
1,1000	0,0000	0,0280	0,0000	0,0280	0,0000	0,0280	0,0000
1,1500	0,0000	0,0707	0,0000	0,0707	0,0000	0,0707	0,0000
1,2000	0,0000	0,0672	0,0000	0,0672	0,0000	0,0672	0,0000
1,2500	0,0000	0,0543	0,0000	0,0543	0,0000	0,0543	0,0000
1,3000	0,0000	0,0387	0,0000	0,0387	0,0000	0,0387	0,0000
1,3500	0,0000	0,0233	0,0000	0,0233	0,0000	0,0233	0,0000
1,4000	0,0000	0,0083	0,0000	0,0083	0,0000	0,0083	0,0000
1,4500	0,0000	0,0016	0,0000	0,0016	0,0000	0,0016	0,0000
1,5000	0,0000	0,0038	0,0000	0,0038	0,0000	0,0038	0,0000
1,5500	0,0000	0,0029	0,0000	0,0029	0,0000	0,0029	0,0000
1,6000	0,0000	0,0019	0,0000	0,0019	0,0000	0,0019	0,0000
1,6500	0,0000	0,0021	0,0000	0,0021	0,0000	0,0021	0,0000
1,7000	0,0000	0,0025	0,0000	0,0025	0,0000	0,0025	0,0000
1,7500	0,0000	0,0028	0,0000	0,0028	0,0000	0,0028	0,0000
1,8000	0,0000	0,0027	0,0000	0,0027	0,0000	0,0027	0,0000
1,8500	0,0000	0,0022	0,0000	0,0022	0,0000	0,0022	0,0000
1,9000	0,0000	0,0012	0,0000	0,0012	0,0000	0,0012	0,0000
1,9500	0,0000	0,0002	0,0000	0,0002	0,0000	0,0002	0,0000

2,0000	0,0000	0,0017	0,0000	0,0017	0,0000	0,0017	0,0000
2,0500	0,0000	0,0031	0,0000	0,0031	0,0000	0,0031	0,0000
2,1000	0,0000	0,0023	0,0000	0,0023	0,0000	0,0023	0,0000
2,1500	0,0000	0,0047	0,0000	0,0047	0,0000	0,0047	0,0000
2,2000	0,0000	0,0018	0,0000	0,0018	0,0000	0,0018	0,0000
2,2500	0,0000	0,0012	0,0000	0,0012	0,0000	0,0012	0,0000
2,3000	0,0000	0,0010	0,0000	0,0010	0,0000	0,0010	0,0000
2,3500	0,0000	0,0011	0,0000	0,0011	0,0000	0,0011	0,0000
2,4000	0,0000	0,0013	0,0000	0,0013	0,0000	0,0013	0,0000
2,4500	0,0000	0,0012	0,0000	0,0012	0,0000	0,0012	0,0000
2,5000	0,0000	0,0009	0,0000	0,0009	0,0000	0,0009	0,0000
2,5500	0,0000	0,0006	0,0000	0,0006	0,0000	0,0006	0,0000
2,6000	0,0000	0,0003	0,0000	0,0003	0,0000	0,0003	0,0000
2,6500	0,0000	0,0002	0,0000	0,0002	0,0000	0,0002	0,0000
2,7000	0,0000	0,0003	0,0000	0,0003	0,0000	0,0003	0,0000
2,7500	0,0000	0,0002	0,0000	0,0002	0,0000	0,0002	0,0000
2,8000	0,0000	0,0003	0,0000	0,0003	0,0000	0,0003	0,0000
2,8500	0,0000	0,0003	0,0000	0,0003	0,0000	0,0003	0,0000
2,9000	0,0000	0,0003	0,0000	0,0003	0,0000	0,0003	0,0000
2,9500	0,0000	0,0003	0,0000	0,0003	0,0000	0,0003	0,0000
3,0000	0,0000	0,0002	0,0000	0,0002	0,0000	0,0002	0,0000

Πίνακας 13: Απεικόνιση των δυνάμεων έκπτωσης στη y- Διεύθυνση,  $f_y^2 / (\rho g b (H/2)^2 NUBO)$ , για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από 0°- 180°

$\omega$	$\theta=0$	$\theta=30$	$\theta=60$	$\theta=90$	$\theta=120$	$\theta=150$	$\theta=180$
0,0500	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,1000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,1500	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,2000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,2500	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,3000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,3500	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	-0,0001	0,0000	0,0000
0,4000	0,0000	0,0000	0,0003	0,0001	-0,0002	0,0000	0,0000
0,4500	0,0000	0,0000	0,0007	0,0002	-0,0004	0,0000	0,0000
0,5000	0,0000	0,0001	0,0016	0,0003	-0,0011	0,0001	0,0000
0,5500	0,0000	0,0004	0,0035	0,0010	-0,0018	0,0005	0,0000
0,6000	0,0000	0,0022	0,0085	0,0040	-0,0012	0,0024	0,0000
0,6500	0,0000	0,0190	0,0407	0,0356	0,0220	0,0188	0,0000
0,7000	0,0000	0,0103	0,0313	0,0146	0,0013	0,0096	0,0000
0,7500	0,0000	0,0103	0,0421	0,0132	-0,0131	0,0085	0,0000
0,8000	0,0000	0,0489	0,1669	0,1731	0,0646	0,0311	0,0000
0,8500	0,0000	-0,0158	-0,0273	0,0125	0,0651	0,0056	0,0000
0,9000	0,0000	0,0618	0,1181	0,1806	0,1640	0,1191	0,0000
0,9500	0,0000	0,0536	0,4115	0,3428	0,2416	0,2896	0,0000
1,0000	0,0000	0,1007	0,2758	0,4465	0,1968	0,3459	0,0000
1,0500	0,0000	0,1781	0,2518	0,5041	0,2031	0,3261	0,0000
1,1000	0,0000	0,2469	0,2670	0,5043	0,2143	0,2566	0,0000
1,1500	0,0000	0,0264	0,1563	0,3617	0,1313	0,3379	0,0000

1,2000	0,0000	0,1016	0,1982	0,3483	0,1192	0,2455	0,0000
1,2500	0,0000	0,2010	0,2023	0,4148	0,1389	0,2144	0,0000
1,3000	0,0000	0,2695	0,2551	0,5020	0,2346	0,2270	0,0000
1,3500	0,0000	0,1739	0,3118	0,3822	0,3547	0,2091	0,0000
1,4000	0,0000	0,2299	0,3063	0,3756	0,3366	0,1484	-0,0001
1,4500	0,0001	0,2018	0,3292	0,3285	0,3636	0,1273	0,0000
1,5000	0,0001	0,2232	0,2390	0,3749	0,3488	0,1527	-0,0001
1,5500	0,0001	0,2083	0,2782	0,3751	0,3385	0,1673	-0,0002
1,6000	0,0001	0,1968	0,2554	0,3764	0,4227	0,1796	-0,0003
1,6500	0,0001	0,2212	0,3418	0,4004	0,4369	0,1789	-0,0003
1,7000	0,0002	0,2206	0,4149	0,3903	0,4032	0,1696	-0,0003
1,7500	0,0002	0,2130	0,4425	0,3925	0,3811	0,1795	-0,0002
1,8000	0,0002	0,1911	0,4297	0,3762	0,3658	0,1849	-0,0002
1,8500	0,0002	0,1775	0,4115	0,3650	0,3603	0,1875	-0,0002
1,9000	0,0001	0,1696	0,4269	0,3573	0,3895	0,1878	-0,0001
1,9500	0,0001	0,1883	0,4752	0,3828	0,4153	0,1945	-0,0001
2,0000	0,0001	0,1797	0,3896	0,3400	0,3987	0,1604	-0,0001
2,0500	0,0001	0,2072	0,3332	0,3765	0,3159	0,1697	-0,0001
2,1000	0,0001	0,1952	0,2002	0,2705	0,1744	0,0779	-0,0001
2,1500	0,0000	0,1477	0,3285	0,3072	0,3606	0,1581	0,0000
2,2000	0,0000	0,1667	0,2928	0,3171	0,3746	0,1510	0,0000
2,2500	0,0000	0,1771	0,3392	0,3373	0,4011	0,1605	0,0000
2,3000	0,0000	0,1789	0,3985	0,3332	0,4253	0,1546	0,0000
2,3500	0,0000	0,1787	0,4156	0,3175	0,4297	0,1389	0,0000
2,4000	0,0000	0,1749	0,4108	0,3128	0,3732	0,1380	0,0000
2,4500	0,0000	0,1762	0,3686	0,3144	0,3459	0,1383	0,0000
2,5000	0,0000	0,1629	0,3509	0,3123	0,3714	0,1493	0,0000
2,5500	0,0000	0,1650	0,3241	0,3143	0,3957	0,1494	0,0000
2,6000	0,0000	0,1532	0,3110	0,3058	0,3947	0,1526	0,0000
2,6500	0,0000	0,1710	0,3210	0,3320	0,3567	0,1610	0,0000
2,7000	0,0000	0,1489	0,3055	0,3017	0,3225	0,1529	0,0000
2,7500	0,0000	0,1490	0,3013	0,2896	0,3333	0,1407	0,0000
2,8000	0,0000	0,1545	0,2874	0,2890	0,3428	0,1346	0,0000
2,8500	0,0000	0,1531	0,3096	0,2913	0,3564	0,1383	0,0000
2,9000	0,0000	0,1435	0,3026	0,2831	0,3070	0,1396	0,0000
2,9500	0,0000	0,1424	0,2775	0,2719	0,2758	0,1295	0,0000
3,0000	0,0000	0,1321	0,2556	0,2508	0,2736	0,1187	0,0000

Πίνακας 14: Απεικόνιση των ροπών έκπτωσης περί την z- Διεύθυνση,  $M_z^2 / (\rho g b^2 (H/2)^2 NUBO)$ , για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από 0°- 180°

$\omega$	$\theta=0$	$\theta=30$	$\theta=60$	$\theta=90$	$\theta=120$	$\theta=150$	$\theta=180$
0,0500	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,1000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,1500	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,2000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,2500	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,3000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,3500	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,4000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,4500	0,0000	0,0001	0,0001	0,0000	-0,0001	-0,0001	0,0000

0,5000	0,0000	0,0001	0,0000	-0,0001	-0,0002	-0,0002	0,0000
0,5500	0,0000	0,0000	0,0000	-0,0002	-0,0003	-0,0003	0,0000
0,6000	0,0000	0,0001	-0,0003	-0,0007	-0,0005	0,0000	0,0000
0,6500	0,0000	0,0121	-0,0008	-0,0130	-0,0004	0,0131	0,0000
0,7000	0,0000	0,0132	-0,0022	-0,0138	-0,0001	0,0162	0,0000
0,7500	0,0000	0,0205	-0,0053	-0,0227	0,0018	0,0288	0,0000
0,8000	0,0000	0,0456	-0,0061	-0,1405	0,0769	0,1067	0,0000
0,8500	0,0000	-0,1716	-0,0040	0,0512	0,0054	-0,1805	0,0000
0,9000	0,0000	-0,0128	0,0009	0,0091	0,0007	-0,0123	0,0000
0,9500	0,0000	0,0057	0,0012	-0,0047	-0,0007	0,0035	0,0000
1,0000	0,0000	0,1607	0,0007	-0,1603	-0,0006	0,1600	0,0000
1,0500	0,0000	0,0855	-0,0001	-0,0856	0,0000	0,0855	0,0000
1,1000	0,0000	0,1146	0,0016	-0,1156	-0,0016	0,1144	0,0000
1,1500	0,0000	0,3436	-0,0005	-0,3396	0,0072	0,3524	0,0000
1,2000	0,0000	0,3409	-0,0066	-0,3345	0,0153	0,3352	0,0000
1,2500	0,0000	0,1772	0,0036	-0,1837	0,0041	0,1846	0,0000
1,3000	0,0000	0,0940	0,0037	-0,1002	-0,0046	0,0913	0,0000
1,3500	0,0000	0,1686	-0,0012	-0,1578	0,0018	0,1532	0,0000
1,4000	0,0000	0,1176	-0,0010	-0,1152	-0,0011	0,1166	0,0000
1,4500	0,0000	0,2212	-0,0005	-0,2216	-0,0007	0,2213	0,0000
1,5000	0,0000	0,0776	-0,0003	-0,0776	0,0001	0,0778	0,0000
1,5500	0,0000	0,0814	0,0000	-0,0813	0,0004	0,0810	0,0000
1,6000	0,0000	0,0399	0,0001	-0,0398	0,0004	0,0394	0,0000
1,6500	0,0000	0,0285	0,0000	-0,0287	0,0001	0,0283	-0,0001
1,7000	0,0001	0,1074	-0,0002	-0,1077	-0,0001	0,1072	-0,0001
1,7500	0,0001	0,0959	-0,0002	-0,0962	-0,0001	0,0959	0,0000
1,8000	0,0001	0,1047	0,0001	-0,1050	0,0000	0,1047	0,0002
1,8500	0,0001	0,1149	0,0002	-0,1154	0,0001	0,1149	0,0002
1,9000	0,0001	0,1113	0,0001	-0,1116	0,0002	0,1113	0,0001
1,9500	0,0002	0,0920	-0,0002	-0,0921	0,0002	0,0920	-0,0001
2,0000	0,0001	0,0795	-0,0003	-0,0796	-0,0002	0,0794	-0,0001
2,0500	0,0001	0,0285	0,0001	-0,0284	0,0001	0,0285	-0,0001
2,1000	0,0001	0,0768	0,0022	-0,0784	0,0032	0,0774	0,0000
2,1500	0,0000	0,1729	-0,0010	-0,1722	-0,0021	0,1725	0,0000
2,2000	0,0000	0,1349	-0,0003	-0,1346	-0,0003	0,1348	0,0000
2,2500	0,0000	0,1325	-0,0001	-0,1323	-0,0001	0,1323	0,0000
2,3000	0,0000	0,0975	-0,0001	-0,0975	-0,0001	0,0975	0,0000
2,3500	0,0000	0,0943	0,0000	-0,0943	-0,0002	0,0943	0,0000
2,4000	0,0000	0,1059	0,0000	-0,1060	0,0000	0,1059	0,0000
2,4500	0,0000	0,0815	0,0000	-0,0816	0,0000	0,0815	0,0000
2,5000	0,0000	0,1266	-0,0001	-0,1267	-0,0001	0,1265	0,0000
2,5500	0,0000	0,1242	-0,0001	-0,1243	-0,0001	0,1242	0,0000
2,6000	0,0000	0,1321	-0,0001	-0,1321	-0,0001	0,1320	0,0000
2,6500	0,0000	0,0720	-0,0001	-0,0721	-0,0002	0,0719	0,0000
2,7000	0,0000	0,1117	-0,0001	-0,1118	-0,0001	0,1117	0,0000
2,7500	0,0000	0,1084	-0,0001	-0,1085	0,0000	0,1084	0,0000
2,8000	0,0000	0,0999	-0,0001	-0,1000	0,0000	0,0999	0,0000
2,8500	0,0000	0,1047	0,0000	-0,1047	-0,0001	0,1047	0,0000
2,9000	0,0000	0,0790	-0,0001	-0,0792	-0,0001	0,0792	0,0000
2,9500	0,0000	0,0706	-0,0001	-0,0707	-0,0001	0,0705	0,0000

3,0000	0,0000	0,0931	-0,0001	-0,0931	-0,0001	0,0930	0,0000
--------	--------	--------	---------	---------	---------	--------	--------

Πίνακας 15: Απεικόνιση των δυνάμεων έκπτωσης στη x- Διεύθυνση,  $f_x^2 / (\rho g b (H/2)^2 NUBO)$ , για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από 0°- 180°

$\omega$	$\theta=0$	$\theta=30$	$\theta=60$	$\theta=90$	$\theta=120$	$\theta=150$	$\theta=180$
0,0500	0,0001	-0,0044	-0,0081	-0,0099	-0,0087	-0,0049	-0,0001
0,1000	-0,0001	-0,0047	-0,0085	-0,0103	-0,0090	-0,0049	0,0001
0,1500	0,0001	-0,0043	-0,0082	-0,0101	-0,0088	-0,0048	0,0000
0,2000	0,0002	-0,0041	-0,0081	-0,0102	-0,0088	-0,0045	0,0003
0,2500	0,0007	-0,0032	-0,0074	-0,0101	-0,0085	-0,0039	0,0007
0,3000	0,0017	-0,0017	-0,0067	-0,0103	-0,0082	-0,0024	0,0018
0,3500	0,0039	0,0012	-0,0055	-0,0108	-0,0075	0,0005	0,0044
0,4000	0,0079	0,0057	-0,0044	-0,0127	-0,0069	0,0053	0,0092
0,4500	0,0151	0,0123	-0,0040	-0,0171	-0,0071	0,0127	0,0173
0,5000	0,0266	0,0210	-0,0055	-0,0256	-0,0092	0,0232	0,0304
0,5500	0,0477	0,0344	-0,0089	-0,0399	-0,0169	0,0337	0,0467
0,6000	0,0879	0,0572	-0,0130	-0,0619	-0,0367	0,0386	0,0634
0,6500	0,1656	0,0993	-0,0146	-0,0908	-0,0798	0,0266	0,0763
0,7000	0,2786	0,1498	-0,0229	-0,1159	-0,1482	-0,0008	0,1100
0,7500	0,4208	0,1948	-0,0620	-0,1187	-0,2382	-0,0341	0,2265
0,8000	0,5437	0,2370	-0,1550	-0,0600	-0,3012	-0,0905	0,4368
0,8500	1,2483	0,6549	0,0084	0,0714	-0,5232	-0,5244	0,0078
0,9000	0,8689	0,2603	-0,0700	0,1093	-0,4185	-0,2865	0,2537
0,9500	0,0738	0,3912	0,0799	-0,0850	-0,0371	-0,3056	-0,1591
1,0000	0,2083	0,6610	0,1548	-0,1478	-0,1004	-0,5233	-0,3300
1,0500	0,2997	0,7839	0,2126	-0,1090	-0,1431	-0,6790	-0,4399
1,1000	0,3105	0,8625	0,1700	-0,0588	-0,1682	-0,7956	-0,3231
1,1500	-0,0326	0,0574	-0,0337	0,0011	0,0145	-0,1307	0,0772
1,2000	0,0590	0,1351	0,0722	0,0174	-0,0318	-0,2147	-0,1337
1,2500	0,1220	0,1888	0,1132	0,0882	-0,0674	-0,3308	-0,2151
1,3000	0,2136	0,2188	0,1522	0,0903	-0,1152	-0,3488	-0,2952
1,3500	0,3298	0,1628	0,1919	0,0530	-0,1696	-0,2493	-0,3781
1,4000	0,3606	0,1775	0,1865	0,0983	-0,1825	-0,3016	-0,3711
1,4500	0,3187	0,1956	0,1641	0,0950	-0,1599	-0,3162	-0,3277
1,5000	0,3807	0,2224	0,1652	0,0921	-0,1905	-0,3378	-0,3305
1,5500	0,4003	0,2454	0,1856	0,0756	-0,2001	-0,3380	-0,3716
1,6000	0,4557	0,2724	0,2005	0,0672	-0,2278	-0,3501	-0,4006
1,6500	0,4605	0,2554	0,2044	0,0788	-0,2304	-0,3398	-0,4073
1,7000	0,4494	0,2436	0,2593	0,0691	-0,2251	-0,3179	-0,5154
1,7500	0,4453	0,3056	0,3200	0,0331	-0,2232	-0,3420	-0,6363
1,8000	0,4558	0,3238	0,3045	0,0079	-0,2284	-0,3345	-0,6079
1,8500	0,4683	0,3448	0,2738	-0,0129	-0,2343	-0,3343	-0,5473
1,9000	0,5100	0,3546	0,2552	-0,0298	-0,2550	-0,3261	-0,5103
1,9500	0,5374	0,3907	0,2552	-0,0407	-0,2685	-0,3498	-0,5107
2,0000	0,5017	0,3183	0,2089	-0,0039	-0,2509	-0,3137	-0,4202
2,0500	0,3019	0,3791	0,1757	-0,0073	-0,1512	-0,3667	-0,3474
2,1000	0,4090	0,2814	0,2316	0,0641	-0,2053	-0,3482	-0,4599
2,1500	0,3816	0,3247	0,2209	0,0060	-0,1908	-0,3335	-0,4413
2,2000	0,4286	0,2742	0,2213	0,0304	-0,2142	-0,3080	-0,4415
2,2500	0,4803	0,3017	0,2001	0,0416	-0,2401	-0,3451	-0,3996

2,3000	0,4764	0,2818	0,2589	0,0260	-0,2383	-0,3090	-0,5177
2,3500	0,4726	0,2569	0,2819	0,0515	-0,2364	-0,3094	-0,5632
2,4000	0,4304	0,2501	0,2445	0,0550	-0,2153	-0,3062	-0,4888
2,4500	0,3976	0,2537	0,2200	0,0471	-0,1989	-0,3019	-0,4398
2,5000	0,4031	0,2364	0,1597	0,0360	-0,2017	-0,2733	-0,3201
2,5500	0,4399	0,2459	0,1748	0,0251	-0,2200	-0,2715	-0,3496
2,6000	0,4526	0,2458	0,1880	0,0258	-0,2264	-0,2720	-0,3759
2,6500	0,4028	0,2780	0,1909	0,0220	-0,2015	-0,3005	-0,3818
2,7000	0,3648	0,2512	0,1686	0,0212	-0,1825	-0,2730	-0,3372
2,7500	0,4007	0,2523	0,1983	0,0205	-0,2003	-0,2731	-0,3966
2,8000	0,4206	0,2596	0,1691	0,0345	-0,2102	-0,2943	-0,3378
2,8500	0,4248	0,2878	0,1566	0,0162	-0,2124	-0,3040	-0,3133
2,9000	0,3697	0,2804	0,1729	0,0049	-0,1849	-0,2856	-0,3457
2,9500	0,3043	0,2584	0,1582	-0,0040	-0,1522	-0,2548	-0,3166
3,0000	0,2791	0,2145	0,1586	0,0226	-0,1396	-0,2373	-0,3174

Πίνακας 16: Απεικόνιση των δυνάμεων έκπτωσης στη  $y$ - Διεύθυνση,  $f_y^2 / (\rho g b (H/2)^2 NUBO)$ , για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από  $0^\circ$ -  $180^\circ$

$\omega$	$\theta=0$	$\theta=30$	$\theta=60$	$\theta=90$	$\theta=120$	$\theta=150$	$\theta=180$
0,0500	0,0097	0,0115	0,0079	-0,0001	-0,0081	-0,0118	-0,0100
0,1000	0,0102	0,0103	0,0064	-0,0001	-0,0067	-0,0105	-0,0104
0,1500	0,0100	0,0094	0,0056	0,0001	-0,0055	-0,0094	-0,0101
0,2000	0,0099	0,0085	0,0047	0,0000	-0,0048	-0,0086	-0,0100
0,2500	0,0093	0,0070	0,0034	0,0001	-0,0032	-0,0069	-0,0093
0,3000	0,0083	0,0042	0,0009	0,0000	-0,0008	-0,0040	-0,0082
0,3500	0,0062	-0,0014	-0,0040	-0,0003	0,0036	0,0014	-0,0060
0,4000	0,0030	-0,0108	-0,0121	-0,0011	0,0105	0,0102	-0,0027
0,4500	-0,0015	-0,0248	-0,0241	-0,0019	0,0216	0,0240	0,0018
0,5000	-0,0073	-0,0445	-0,0407	-0,0024	0,0380	0,0434	0,0072
0,5500	-0,0138	-0,0681	-0,0581	0,0031	0,0658	0,0716	0,0126
0,6000	-0,0206	-0,0920	-0,0715	0,0234	0,1155	0,1124	0,0168
0,6500	-0,0273	-0,1087	-0,0728	0,0746	0,2065	0,1719	0,0186
0,7000	-0,0336	-0,1117	-0,0771	0,1499	0,3362	0,2357	0,0161
0,7500	-0,0400	-0,1103	-0,1424	0,2124	0,4820	0,2840	0,0052
0,8000	-0,0449	-0,0988	-0,3108	0,1803	0,5302	0,2956	-0,0150
0,8500	-0,0496	0,1972	-0,0377	0,5573	0,8245	0,4087	0,0133
0,9000	-0,0298	0,2430	-0,2757	0,2524	0,6537	0,1165	0,0602
0,9500	-0,0083	0,1693	0,0525	0,3376	0,0237	0,2706	0,0482
1,0000	-0,0059	0,2408	0,2161	0,6676	0,1422	0,4444	0,0242
1,0500	-0,0013	0,3364	0,3233	0,8566	0,2036	0,4972	0,0089
1,1000	0,0214	0,5001	0,3080	0,9640	0,2424	0,5446	-0,0224
1,1500	0,0841	0,0662	0,0122	0,0782	-0,0816	0,0701	-0,1202
1,2000	0,0870	0,1203	0,1911	0,1575	0,0096	0,1247	-0,1009
1,2500	0,0928	0,2422	0,2599	0,2502	0,0820	0,1085	-0,0771
1,3000	0,0793	0,2726	0,3117	0,2792	0,1736	0,0956	-0,0520
1,3500	0,0407	0,1774	0,3609	0,2206	0,2856	0,0780	-0,0280
1,4000	0,0125	0,2201	0,3382	0,2904	0,3140	0,0526	-0,0137
1,4500	0,0021	0,2251	0,2920	0,3138	0,2751	0,0620	-0,0083
1,5000	0,0019	0,2365	0,2944	0,3426	0,3285	0,0769	-0,0079
1,5500	0,0055	0,2295	0,3300	0,3523	0,3444	0,0995	-0,0094

1,6000	0,0114	0,2352	0,3578	0,3681	0,3916	0,1205	-0,0131
1,6500	0,0166	0,2378	0,3680	0,3477	0,3957	0,1043	-0,0194
1,7000	0,0168	0,2194	0,4657	0,3256	0,3869	0,1041	-0,0250
1,7500	0,0098	0,2147	0,5657	0,3765	0,3851	0,1564	-0,0170
1,8000	0,0043	0,1975	0,5313	0,3814	0,3948	0,1818	-0,0040
1,8500	0,0013	0,1860	0,4756	0,3922	0,4057	0,2069	-0,0005
1,9000	0,0004	0,1715	0,4425	0,3929	0,4416	0,2224	0,0000
1,9500	-0,0003	0,1785	0,4425	0,4276	0,4652	0,2493	0,0001
2,0000	-0,0041	0,1794	0,3588	0,3651	0,4359	0,1858	0,0047
2,0500	-0,0044	0,2114	0,2961	0,4223	0,2579	0,2220	-0,0012
2,1000	0,0153	0,2366	0,4135	0,3675	0,3532	0,1258	-0,0148
2,1500	0,0057	0,1969	0,3849	0,3805	0,3307	0,1827	-0,0027
2,2000	0,0015	0,1937	0,3837	0,3387	0,3711	0,1414	-0,0013
2,2500	0,0005	0,2224	0,3480	0,3751	0,4160	0,1498	-0,0015
2,3000	0,0011	0,1931	0,4496	0,3420	0,4128	0,1473	-0,0013
2,3500	0,0028	0,2083	0,4896	0,3272	0,4097	0,1183	-0,0015
2,4000	0,0017	0,2084	0,4255	0,3211	0,3727	0,1127	-0,0020
2,4500	0,0012	0,2011	0,3818	0,3203	0,3444	0,1198	-0,0006
2,5000	0,0005	0,1785	0,2778	0,2940	0,3492	0,1161	-0,0003
2,5500	0,0002	0,1713	0,3028	0,2986	0,3810	0,1277	-0,0001
2,6000	0,0007	0,1719	0,3262	0,2993	0,3920	0,1271	-0,0005
2,6500	0,0014	0,1860	0,3323	0,3350	0,3490	0,1479	-0,0012
2,7000	0,0005	0,1696	0,2927	0,3038	0,3160	0,1326	-0,0005
2,7500	0,0001	0,1691	0,3436	0,3041	0,3470	0,1335	-0,0004
2,8000	0,0000	0,1895	0,2926	0,3200	0,3641	0,1298	-0,0001
2,8500	0,0001	0,1846	0,2718	0,3417	0,3679	0,1569	-0,0002
2,9000	0,0004	0,1676	0,3002	0,3269	0,3202	0,1593	-0,0005
2,9500	0,0003	0,1448	0,2744	0,2963	0,2636	0,1516	-0,0002
3,0000	0,0002	0,1502	0,2749	0,2608	0,2418	0,1108	-0,0001

Πίνακας 17: Αλεικόνιση των ροπών έκπτωσης περί την z- Διεύθυνση,  $M_z^2 / (\rho g b^2 (H/2)^2 NUBO)$ , για γωνίες πρόσπτωσης κυματισμού από 0°- 180°

$\omega$	$\theta=0$	$\theta=30$	$\theta=60$	$\theta=90$	$\theta=120$	$\theta=150$	$\theta=180$
0,0500	0,0003	-0,0063	-0,0064	0,0000	0,0065	0,0067	0,0003
0,1000	0,0002	-0,0031	-0,0033	-0,0001	0,0032	0,0034	0,0002
0,1500	0,0002	-0,0017	-0,0019	-0,0003	0,0018	0,0019	0,0002
0,2000	0,0003	-0,0006	-0,0010	-0,0005	0,0008	0,0010	0,0002
0,2500	0,0005	0,0009	0,0001	-0,0008	-0,0004	-0,0001	0,0004
0,3000	0,0010	0,0033	0,0016	-0,0015	-0,0019	-0,0014	0,0009
0,3500	0,0021	0,0075	0,0040	-0,0029	-0,0043	-0,0034	0,0018
0,4000	0,0040	0,0142	0,0074	-0,0053	-0,0075	-0,0060	0,0034
0,4500	0,0070	0,0240	0,0123	-0,0084	-0,0114	-0,0094	0,0063
0,5000	0,0113	0,0370	0,0186	-0,0121	-0,0158	-0,0138	0,0101
0,5500	0,0159	0,0534	0,0274	-0,0147	-0,0196	-0,0195	0,0144
0,6000	0,0190	0,0726	0,0399	-0,0133	-0,0207	-0,0259	0,0174
0,6500	0,0183	0,0976	0,0590	-0,0064	-0,0178	-0,0329	0,0157
0,7000	0,0109	0,1554	0,0889	-0,0112	-0,0036	-0,0177	0,0024
0,7500	-0,0077	0,2460	0,1119	-0,0353	0,0320	0,0165	-0,0284
0,8000	-0,0286	0,3276	0,0345	-0,1396	0,0745	0,0183	-0,0529
0,8500	-0,0019	-0,3149	-0,2757	-0,2044	-0,0359	-0,3852	0,0361



0,9000	0,0206	-0,1726	-0,0698	-0,2853	-0,1128	-0,0660	0,0864
0,9500	0,0049	0,0807	0,0218	-0,3650	0,0005	0,0950	0,0372
1,0000	-0,0243	0,2291	-0,0191	-0,3332	0,0269	0,1500	-0,0327
1,0500	-0,0234	0,0556	0,0025	-0,0632	0,0203	-0,0329	-0,0313
1,1000	-0,0058	0,2626	0,0152	-0,2474	-0,0152	0,3227	0,0167
1,1500	-0,1095	-0,0832	-0,0073	0,0642	-0,0201	-0,0076	-0,0854
1,2000	-0,0874	0,0634	-0,0176	0,0060	-0,0058	0,1491	-0,0544
1,2500	-0,0343	0,0108	-0,0170	0,0902	0,0195	0,1240	-0,0300
1,3000	0,0175	-0,0188	-0,0199	0,0890	0,0375	0,1154	-0,0274
1,3500	0,0365	-0,0078	-0,0112	0,0441	0,0418	0,0917	-0,0385
1,4000	0,0316	-0,0043	-0,0173	0,0085	0,0193	0,0353	-0,0371
1,4500	0,0207	0,0598	-0,0070	-0,0797	0,0151	0,0710	-0,0244
1,5000	0,0084	0,0594	-0,0083	-0,0736	0,0046	0,0600	-0,0114
1,5500	-0,0004	0,0777	-0,0034	-0,0809	-0,0009	0,0745	-0,0043
1,6000	-0,0019	0,0320	-0,0070	-0,0302	0,0010	0,0329	-0,0073
1,6500	0,0000	0,0221	-0,0018	-0,0275	0,0037	0,0248	-0,0129
1,7000	0,0032	0,0933	-0,0016	-0,1002	-0,0004	0,0978	-0,0169
1,7500	0,0010	0,0877	-0,0022	-0,0899	0,0001	0,0907	-0,0076
1,8000	0,0019	0,1029	-0,0009	-0,1034	0,0018	0,1068	-0,0004
1,8500	0,0035	0,1133	-0,0004	-0,1120	0,0020	0,1162	-0,0001
1,9000	0,0025	0,1122	-0,0002	-0,1108	0,0009	0,1138	-0,0001
1,9500	-0,0004	0,0924	0,0000	-0,0921	0,0000	0,0926	-0,0001
2,0000	0,0007	0,0820	0,0029	-0,0806	-0,0002	0,0797	-0,0027
2,0500	0,0157	0,0300	0,0079	-0,0342	0,0086	0,0380	-0,0013
2,1000	0,0080	0,1454	-0,0021	-0,1575	0,0069	0,1508	0,0010
2,1500	0,0037	0,1464	-0,0003	-0,1474	0,0007	0,1503	-0,0038
2,2000	0,0025	0,1165	-0,0009	-0,1183	0,0013	0,1179	-0,0039
2,2500	0,0017	0,1357	-0,0033	-0,1333	0,0002	0,1367	-0,0035
2,3000	0,0006	0,1051	-0,0004	-0,1047	-0,0004	0,1057	-0,0024
2,3500	0,0003	0,0933	-0,0007	-0,0938	-0,0003	0,0940	-0,0015
2,4000	-0,0002	0,1049	-0,0008	-0,1058	0,0005	0,1058	0,0001
2,4500	0,0001	0,0841	-0,0007	-0,0851	0,0005	0,0852	0,0008
2,5000	0,0006	0,0965	-0,0004	-0,0974	0,0000	0,0972	0,0000
2,5500	0,0010	0,1078	-0,0001	-0,1089	-0,0001	0,1085	-0,0002
2,6000	0,0007	0,1171	-0,0002	-0,1182	-0,0004	0,1176	0,0001
2,6500	0,0011	0,0715	-0,0003	-0,0728	-0,0001	0,0719	0,0007
2,7000	0,0001	0,0983	0,0000	-0,0987	-0,0004	0,0984	-0,0004
2,7500	-0,0001	0,1028	-0,0009	-0,1028	0,0000	0,1027	-0,0005
2,8000	0,0000	0,0954	-0,0004	-0,0956	0,0001	0,0955	-0,0003
2,8500	0,0002	0,0907	0,0001	-0,0910	0,0000	0,0910	-0,0001
2,9000	0,0001	0,0802	0,0000	-0,0799	0,0001	0,0804	0,0000
2,9500	0,0000	0,0622	-0,0004	-0,0620	-0,0001	0,0623	0,0001
3,0000	0,0002	0,0762	-0,0002	-0,0764	0,0000	0,0763	-0,0001

Πίνακας 18: Απεικόνιση των πρόσθετων μαζών της κατασκευής

$\omega$	$\frac{a_{11}}{\rho b^3 NUBO}$	$\frac{a_{33}}{\rho b^3 NUBO}$	$\frac{a_{55}}{\rho b^5 NUBO}$	$\frac{a_{15}}{\rho b^4 NUBO}$	$\frac{a_{66}}{\rho b^5 NUBO}$
0,0500	0,9554	0,1098	0,3922	-0,3535	3,7778
0,1000	0,9575	0,0962	0,3769	-0,3527	3,7836
0,1500	0,9611	0,0935	0,3763	-0,3543	3,7933

0,2000	0,9666	0,0972	0,3781	-0,3519	3,8071
0,2500	0,9744	0,0950	0,3787	-0,3529	3,8255
0,3000	0,9848	0,0927	0,3798	-0,3519	3,8490
0,3500	0,9981	0,0926	0,3824	-0,3475	3,8782
0,4000	1,0130	0,0806	0,3807	-0,3574	3,9143
0,4500	1,0275	0,0806	0,3879	-0,3512	3,9588
0,5000	1,0382	0,0730	0,3877	-0,3660	4,0141
0,5500	1,0414	0,0683	0,3914	-0,3833	4,0837
0,6000	1,0349	0,0649	0,3942	-0,4016	4,1725
0,6500	1,0197	0,0636	0,3982	-0,4306	4,2863
0,7000	1,0014	0,0635	0,3972	-0,4472	4,4295
0,7500	0,9907	0,0651	0,3972	-0,4622	4,5975
0,8000	1,0097	0,0671	0,3910	-0,4607	4,7670
0,8500	1,0837	0,0692	0,3687	-0,4104	4,8854
0,9000	1,1364	0,0706	0,3536	-0,3513	4,8974
0,9500	1,1347	0,0698	0,3497	-0,3230	4,8153
1,0000	1,1867	0,0716	0,3411	-0,2965	4,7757
1,0500	1,3024	0,0724	0,3339	-0,2780	5,1504
1,1000	1,9833	0,0727	0,3355	-0,2946	8,1427
1,1500	1,1884	0,0735	0,3532	-0,4345	4,3671
1,2000	0,8710	0,0739	0,3433	-0,2843	1,9922
1,2500	0,5889	0,0740	0,3434	-0,2923	1,6964
1,3000	0,4339	0,0743	0,3469	-0,3111	1,6731
1,3500	0,4554	0,0743	0,3474	-0,3105	1,7133
1,4000	0,5291	0,0752	0,3471	-0,3020	1,8352
1,4500	0,5786	0,0749	0,3463	-0,2975	2,0659
1,5000	0,6343	0,0751	0,3462	-0,2943	2,4145
1,5500	0,6806	0,0822	0,3615	-0,2939	2,6459
1,6000	0,7362	0,0751	0,3467	-0,2944	2,8606
1,6500	0,7958	0,0752	0,3477	-0,2979	3,0941
1,7000	0,8738	0,0755	0,3494	-0,3053	3,3766
1,7500	0,9556	0,0753	0,3527	-0,3231	3,7777
1,8000	1,0994	0,0756	0,3580	-0,3518	4,4529
1,8500	1,4245	0,0756	0,3666	-0,4050	5,8425
1,9000	2,4899	0,0757	0,3939	-0,5748	10,3220
1,9500	-17,4729	0,0759	-0,1126	2,6100	-74,0059
2,0000	-1,2672	0,0756	0,3028	-0,0011	-5,2253
2,0500	-0,4905	0,0758	0,3229	-0,1266	-1,9493
2,1000	-0,1908	0,0758	0,3296	-0,1676	-0,9208
2,1500	-0,0316	0,0759	0,3331	-0,1880	-0,2735
2,2000	0,0636	0,0762	0,3355	-0,2007	0,1726
2,2500	0,1358	0,0759	0,3366	-0,2084	0,4499
2,3000	0,1836	0,0759	0,3377	-0,2147	0,6371
2,3500	0,2252	0,0761	0,3387	-0,2188	0,7835
2,4000	0,2577	0,0761	0,3393	-0,2221	0,8969
2,4500	0,2828	0,0759	0,3398	-0,2252	0,9843
2,5000	0,3037	0,0760	0,3404	-0,2279	1,0650
2,5500	0,3222	0,0760	0,3409	-0,2308	1,1467
2,6000	0,3485	0,0761	0,3415	-0,2340	1,2520
2,6500	1,9680	0,0762	0,3547	-0,3806	8,0729

2,7000	0,2644	0,0764	0,3424	-0,2369	1,0349
2,7500	0,3120	0,0761	0,3423	-0,2374	1,1604
2,8000	0,3340	0,0761	0,3425	-0,2384	1,2278
2,8500	0,3381	0,0762	0,3430	-0,2405	1,2799
2,9000	0,3457	0,0760	0,3432	-0,2422	1,3268
2,9500	0,3585	0,0762	0,3435	-0,2433	1,3728
3,0000	0,3729	0,0764	0,3437	-0,2444	1,4251

Πίνακας 19: Απεικόνιση των υδροδυναμικών αποσβέσεων της κατασκευής

$\omega$	$\frac{b_{11}}{\omega pb^3 NUBO}$	$\frac{b_{33}}{\omega pb^3 NUBO}$	$\frac{b_{55}}{\omega pb^5 NUBO}$	$\frac{b_{15}}{\omega pb^4 NUBO}$	$\frac{b_{66}}{\omega pb^5 NUBO}$
0,0500	0,0000	0,0100	0,0000	0,0000	0,0000
0,1000	0,0001	0,0080	0,0000	0,0001	0,0000
0,1500	0,0003	0,0093	0,0000	0,0001	0,0000
0,2000	0,0007	0,0134	0,0001	0,0004	0,0000
0,2500	0,0017	0,0170	0,0001	0,0011	0,0000
0,3000	0,0040	0,0190	0,0003	0,0023	0,0000
0,3500	0,0093	0,0284	0,0006	0,0062	0,0000
0,4000	0,0192	0,0193	0,0013	0,0083	0,0001
0,4500	0,0350	0,0318	0,0019	0,0207	0,0003
0,5000	0,0567	0,0234	0,0036	0,0242	0,0011
0,5500	0,0819	0,0201	0,0064	0,0286	0,0039
0,6000	0,1057	0,0172	0,0100	0,0293	0,0119
0,6500	0,1214	0,0111	0,0175	0,0120	0,0322
0,7000	0,1221	0,0069	0,0255	-0,0110	0,0785
0,7500	0,1024	0,0035	0,0380	-0,0494	0,1725
0,8000	0,0651	0,0018	0,0519	-0,0942	0,3390
0,8500	0,0497	0,0009	0,0573	-0,1420	0,5811
0,9000	0,1128	0,0011	0,0477	-0,1390	0,8434
0,9500	0,1306	0,0009	0,0458	-0,1274	1,0072
1,0000	0,1158	0,0000	0,0422	-0,1052	0,9502
1,0500	0,0820	0,0000	0,0339	-0,0651	0,5387
1,1000	0,1276	0,0000	0,0176	-0,0068	0,1828
1,1500	1,1944	0,0001	0,0155	-0,1933	7,7115
1,2000	1,0258	0,0000	0,0193	-0,1109	4,4628
1,2500	0,9012	0,0000	0,0136	-0,0636	3,1690
1,3000	0,6545	0,0000	0,0128	-0,0612	2,3967
1,3500	0,4394	0,0000	0,0137	-0,0698	1,8565
1,4000	0,3326	0,0000	0,0134	-0,0700	1,3682
1,4500	0,2842	0,0000	0,0122	-0,0647	1,3227
1,5000	0,2470	0,0000	0,0110	-0,0595	0,8821
1,5500	0,2143	0,0000	0,0100	-0,0553	0,8233
1,6000	0,1971	0,0000	0,0087	-0,0497	0,7751
1,6500	0,1965	0,0000	0,0069	-0,0415	0,7461
1,7000	0,2202	0,0000	0,0045	-0,0295	0,7262
1,7500	0,2231	0,0000	0,0034	-0,0231	0,7055
1,8000	0,1926	0,0000	0,0035	-0,0233	0,6819
1,8500	0,1810	0,0000	0,0030	-0,0202	0,6401
1,9000	0,1755	0,0000	0,0022	-0,0157	0,5892

1,9500	0,3191	0,0000	0,0029	-0,0202	1,0289
2,0000	0,2132	0,0000	0,0012	-0,0087	0,6347
2,0500	0,1507	0,0000	0,0020	-0,0138	0,6183
2,1000	0,1010	0,0000	0,0023	-0,0171	0,5377
2,1500	0,0778	0,0000	0,0022	-0,0171	0,3347
2,2000	0,0680	0,0000	0,0020	-0,0157	0,3194
2,2500	0,0617	0,0000	0,0017	-0,0142	0,3000
2,3000	0,0597	0,0000	0,0015	-0,0125	0,2812
2,3500	0,0526	0,0000	0,0013	-0,0116	0,2784
2,4000	0,0543	0,0000	0,0011	-0,0098	0,2672
2,4500	0,0539	0,0000	0,0009	-0,0084	0,2486
2,5000	0,0543	0,0000	0,0008	-0,0071	0,2385
2,5500	0,0610	0,0000	0,0005	-0,0054	0,2371
2,6000	0,0707	0,0000	0,0003	-0,0034	0,2435
2,6500	0,0721	0,0000	0,0002	-0,0025	0,2432
2,7000	0,0517	0,0000	0,0003	-0,0037	0,1661
2,7500	0,0429	0,0000	0,0003	-0,0038	0,1481
2,8000	0,0436	0,0000	0,0003	-0,0031	0,1411
2,8500	0,0389	0,0000	0,0002	-0,0030	0,1348
2,9000	0,0316	0,0000	0,0003	-0,0031	0,1280
2,9500	0,0294	0,0000	0,0002	-0,0028	0,1217
3,0000	0,0291	0,0000	0,0002	-0,0024	0,1182

Πίνακας 20: Απεικόνιση της δευτεροτάξιας υδροδυναμικής απόσβεσης για γωνία πρόσπτωσης κυματισμού από 0°

$\omega$	$B11/(\rho\omega b(H/2)^2)$	$B21/(\rho\omega b(H/2)^2)$	$B61/(\rho\omega b^2(H/2)^2)$	$B12/(\rho\omega b(H/2)^2)$	$B22/(\rho\omega b(H/2)^2)$	$B62/(\rho\omega b^2(H/2)^2)$
0.10	2.97E-04	-8.80E-07	6.66E-08	2.75E-05	1.58E-04	6.49E-06
0.15	-1.16E-04	-1.49E-06	1.16E-07	2.21E-05	4.77E-06	-4.11E-05
0.20	8.68E-05	-1.89E-06	2.46E-07	-7.94E-06	-1.66E-05	-5.16E-05
0.25	-1.35E-04	-3.68E-06	5.57E-07	-1.15E-05	1.26E-04	2.94E-04
0.30	-1.96E-03	-5.89E-06	2.65E-07	5.61E-06	-3.20E-04	5.75E-04
0.35	-4.99E-03	-5.29E-06	2.03E-08	2.55E-05	-7.43E-04	1.73E-03
0.40	-1.27E-02	-8.42E-06	1.96E-06	-6.87E-07	-2.33E-03	5.49E-03
0.45	-3.01E-02	-1.44E-05	1.28E-06	-4.31E-05	-4.76E-03	1.45E-02
0.50	-5.88E-02	-1.49E-05	3.24E-06	2.30E-06	-1.13E-02	3.45E-02
0.55	-3.87E-02	-1.64E-05	8.80E-06	3.90E-05	-1.86E-02	7.10E-02
0.60	6.48E-01	7.51E-06	2.27E-05	2.75E-05	-8.70E-03	1.43E-01
0.65	6.25E-01	-1.81E-05	-4.19E-06	0.00E+00	2.28E-01	6.12E-01
0.70	-7.53E-01	-6.41E-05	-2.38E-05	1.60E-05	7.08E-02	4.24E-01
0.75	-4.96E-01	-5.93E-05	-2.33E-07	5.27E-05	1.26E-02	4.85E-01
0.80	1.21E+00	-3.18E-05	3.29E-05	-2.30E-05	3.40E-01	-1.48E+00
0.85	7.08E+00	6.50E-06	4.40E-05	-6.89E-05	-5.89E-02	-5.66E+00

0.9 0	1.17E+01	2.83E-06	-8.13E-05	-2.31E-04	2.30E+00	1.75E+00
0.9 5	6.10E+00	4.75E-05	-8.24E-05	2.28E-04	2.74E+00	-1.18E+01
1.0 0	1.85E+00	4.08E-05	-1.06E-04	2.28E-04	1.06E+00	-7.82E+00
1.0 5	4.62E+00	9.36E-05	-1.78E-04	2.28E-04	3.00E+00	-7.67E+00
1.1 0	-4.56E-01	2.55E-04	-5.57E-04	2.28E-04	1.79E+00	-1.24E+01
1.1 5	-2.58E+00	3.21E-04	-3.51E-04	-6.84E-04	6.99E-01	1.07E+01
1.2 0	4.33E+00	2.89E-04	8.18E-05	2.34E-04	2.47E+00	2.47E+00
1.2 5	8.94E+00	3.26E-04	3.52E-04	4.63E-04	4.40E+00	-3.53E+00
1.3 0	1.62E+01	8.91E-04	-6.63E-04	-2.34E-04	7.50E+00	4.07E-01
1.3 5	1.30E+01	2.42E-03	-1.74E-03	-2.29E-03	3.84E+00	7.27E+00
1.4 0	7.11E+00	4.21E-03	3.74E-04	-6.91E-04	2.46E+00	8.05E+00
1.4 5	7.55E+00	1.97E-03	-3.10E-04	-2.07E-03	3.49E+00	8.38E+00
1.5 0	4.67E+00	3.50E-03	-1.51E-03	2.74E-03	1.55E+00	1.43E+01
1.5 5	1.16E+01	3.83E-03	-1.05E-03	9.13E-04	2.80E+00	1.09E+01
1.6 0	1.51E+01	-4.13E-04	2.92E-03	-6.18E-03	7.89E-01	1.32E+01
1.6 5	6.61E+00	1.10E-02	1.11E-02	-1.08E-02	-1.75E+00	7.47E+00
1.7 0	3.06E+00	1.13E-02	6.75E-03	-4.80E-03	-1.10E+00	2.83E+00
1.7 5	3.99E+00	2.79E-03	-3.29E-03	1.61E-03	-3.38E-01	-1.01E+00
1.8 0	5.01E+00	3.85E-03	-1.87E-03	8.26E-03	5.12E-01	-3.13E+00
1.8 5	8.66E+00	-2.48E-03	5.84E-03	-1.38E-03	2.37E+00	-1.42E+00
1.9 0	1.20E+01	-3.47E-03	1.16E-02	-1.40E-02	3.11E+00	1.42E+00
1.9 5	8.51E+00	-2.27E-04	2.05E-03	-8.71E-03	3.21E+00	2.38E+00
2.0 0	-1.72E+00	-2.24E-03	-7.32E-03	2.75E-03	4.86E+00	-1.62E+00
2.0 5	-1.54E+01	-3.12E-03	-1.88E-03	2.29E-03	5.93E+00	5.01E+00
2.1 0	7.43E+00	-3.64E-03	-4.78E-03	-2.52E-03	1.30E-01	1.63E+00
2.1 5	2.65E+01	-2.36E-03	-4.31E-03	-1.83E-03	1.67E+00	1.54E+00
2.2 0	1.11E+01	-1.51E-03	4.80E-04	-2.28E-04	4.33E+00	5.16E+00
2.2 5	1.27E+01	-1.93E-03	7.74E-05	2.34E-04	3.23E+00	7.15E+00
2.3 0	1.09E+01	-7.05E-04	-4.21E-04	-2.28E-04	3.30E+00	1.11E+01
2.3 5	2.29E+00	1.46E-04	-1.36E-03	-4.56E-04	5.41E+00	9.58E+00
2.4 0	-2.40E+00	2.80E-05	-3.35E-04	-2.34E-04	3.57E+00	-1.81E+00
2.4 5	6.17E+00	-2.43E-04	4.14E-04	0.00E+00	1.09E+00	6.32E+00
2.5 0	1.26E+01	-8.65E-05	-1.05E-04	0.00E+00	3.02E+00	2.14E+00
2.5 5	1.01E+01	-2.87E-05	-2.27E-04	0.00E+00	2.79E+00	1.19E+00
2.6 0	2.61E+00	-5.85E-05	4.50E-06	-2.22E-04	1.98E+00	2.56E+00

2.6 5	-2.23E+00	-1.86E-05	-6.58E-06	0.00E+00	3.76E+00	-3.37E-01
2.7 0	3.05E+00	1.83E-05	-4.10E-05	0.00E+00	6.07E+00	-5.99E+00
2.7 5	8.73E+00	-9.10E-06	2.22E-05	0.00E+00	4.08E+00	-5.91E+00
2.8 0	9.31E+00	-8.66E-06	1.32E-05	0.00E+00	2.39E+00	-3.74E+00
2.8 5	1.86E+00	-2.52E-07	9.77E-06	0.00E+00	2.58E+00	-3.07E+00
2.9 0	-5.12E+00	-3.45E-06	-2.41E-06	0.00E+00	4.87E+00	-9.98E+00
2.9 5	5.48E-01	1.24E-06	-1.37E-05	0.00E+00	3.89E+00	-4.95E+00

Πίνακας 21: Απεικόνιση της δευτεροτάξιας υδροδυναμικής απόσβεσης για γωνία πρόσπτωσης κυματισμού από 30°

$\omega$	$B11/(\rho\omega b(H/2)^2)$	$B21/(\rho\omega b(H/2)^2)$	$B61/(\rho\omega b^2(H/2)^2)$	$B12/(\rho\omega b(H/2)^2)$	$B22/(\rho\omega b(H/2)^2)$	$B62/(\rho\omega b^2(H/2)^2)$
0.1 0	1.84E-04	1.46E-05	5.21E-05	2.13E-04	2.80E-04	-8.24E-05
0.1 5	-3.92E-05	-3.04E-05	-7.12E-05	-7.23E-05	-3.17E-05	1.39E-04
0.2 0	1.39E-04	6.94E-05	2.96E-05	1.84E-04	1.21E-04	2.57E-05
0.2 5	2.67E-04	1.78E-05	1.35E-04	2.96E-04	3.98E-04	-5.47E-05
0.3 0	-5.33E-04	-3.19E-04	4.65E-04	6.69E-04	3.93E-04	-2.75E-04
0.3 5	-4.80E-04	-3.44E-04	1.32E-03	2.30E-03	1.43E-03	-8.22E-04
0.4 0	-2.18E-03	-1.45E-03	3.54E-03	6.56E-03	4.14E-03	-3.03E-03
0.4 5	-4.40E-03	-2.79E-03	8.06E-03	1.34E-02	8.35E-03	-1.01E-02
0.5 0	-4.16E-03	-2.72E-03	1.57E-02	3.53E-02	2.20E-02	-2.83E-02
0.5 5	4.27E-02	2.39E-02	3.50E-02	9.71E-02	6.38E-02	-6.22E-02
0.6 0	6.32E-01	3.69E-01	3.24E-01	4.80E-01	3.24E-01	2.32E-02
0.6 5	6.93E-01	2.57E-01	6.25E-01	4.80E-01	5.84E-01	-1.29E-02
0.7 0	-2.08E-01	-2.26E-01	4.43E-01	1.47E-01	2.32E-01	1.24E-01
0.7 5	1.91E+00	9.31E-01	1.13E+00	1.70E+00	1.03E+00	6.36E-01
0.8 0	-2.10E-02	-7.41E-01	-5.90E+00	1.94E+00	1.17E+00	-6.24E-01
0.8 5	2.91E+00	4.66E-01	-4.81E+00	6.56E-01	-4.39E-01	-1.14E+00
0.9 0	1.39E+01	3.18E+00	6.34E+00	7.66E+00	1.46E+00	1.37E+00
0.9 5	1.29E+01	1.59E+00	-2.70E-01	1.10E+01	1.92E+00	1.38E+01
1.0 0	9.89E+00	4.67E+00	-6.69E-01	6.62E+00	5.09E+00	1.27E+01
1.0 5	6.12E+00	6.95E+00	-5.12E+00	3.11E+00	5.94E+00	7.74E+00
1.1 0	4.40E+00	-4.28E+00	5.55E+00	-5.96E-01	1.96E+00	1.68E+01
1.1 5	2.83E+00	-7.75E+00	1.63E+01	-6.03E-01	9.03E-01	3.65E+00
1.2 0	3.37E+00	7.74E+00	-1.96E-01	1.53E+00	6.60E+00	-4.73E+00
1.2 5	7.16E+00	9.83E+00	-7.66E+00	6.46E+00	6.19E+00	-5.75E+00

1.30	3.91E+00	3.44E+00	2.96E+00	4.59E+00	-1.50E-01	-3.01E+00
1.35	2.91E-01	-1.47E-01	6.08E+00	-2.21E+00	1.54E+00	-2.58E+00
1.40	2.18E+00	2.40E+00	3.90E+00	-2.94E+00	6.32E+00	2.89E+00
1.45	5.42E+00	3.79E+00	8.92E-01	-6.56E-01	-8.89E-01	8.92E-01
1.50	8.98E+00	1.10E+00	-6.53E+00	2.70E-01	6.01E+00	-2.97E+00
1.55	7.01E+00	-7.43E-01	-2.31E+00	-6.44E-02	4.68E+00	1.93E+00
1.60	7.14E+00	1.51E+00	-4.28E+00	5.95E-01	5.34E+00	1.93E+00
1.65	5.53E+00	2.34E+00	2.59E+00	1.38E+00	6.16E+00	5.33E+00
1.70	4.41E+00	1.92E-01	5.71E+00	2.12E+00	5.60E+00	2.71E+00
1.75	4.97E+00	-7.82E-01	1.94E+00	2.05E+00	4.04E+00	-6.67E-01
1.80	3.40E+00	-9.55E-02	3.31E+00	2.86E+00	1.17E+00	3.59E-01
1.85	3.64E+00	1.09E+00	3.27E+00	2.55E+00	6.04E-01	-1.01E+00
1.90	5.70E+00	3.00E+00	1.40E+00	2.38E+00	1.88E+00	-2.34E+00
1.95	3.82E+00	2.75E+00	-2.42E-01	3.29E-02	2.84E+00	-1.61E+00
2.00	3.57E+00	3.35E+00	-1.84E+00	1.32E-01	2.99E+00	-4.43E+00
2.05	7.40E-01	2.94E+00	2.36E+00	-5.18E+00	4.10E+00	-3.60E+00
2.10	-1.59E+00	-2.93E+00	1.30E+01	1.34E+00	1.32E+00	4.26E+00
2.15	7.77E+00	-1.82E+00	6.28E+00	6.56E+00	2.97E+00	4.65E+00
2.20	5.39E+00	3.16E+00	-3.03E+00	2.82E+00	5.02E+00	2.44E+00
2.25	5.60E+00	2.43E+00	-1.79E+00	1.57E+00	3.65E+00	6.15E-01
2.30	2.57E+00	1.35E+00	-2.95E+00	1.40E-01	3.69E+00	1.21E+00
2.35	2.37E+00	2.41E-01	2.71E+00	2.93E-01	4.55E+00	-1.11E-01
2.40	4.24E+00	1.24E+00	1.36E+00	5.60E-01	2.96E+00	-1.41E+00
2.45	4.98E+00	5.48E-01	2.32E+00	9.59E-01	2.35E+00	2.65E+00
2.50	4.33E+00	-6.13E-01	6.35E+00	2.30E+00	4.03E+00	1.59E+00
2.55	3.49E+00	-4.80E-01	3.16E+00	2.16E+00	4.13E+00	-3.94E-01
2.60	4.79E+00	8.78E-01	-1.52E+00	3.69E+00	4.65E+00	-4.00E+00
2.65	3.21E+00	8.30E-01	1.56E+00	3.10E+00	3.11E+00	-4.71E+00
2.70	4.38E-01	-7.54E-01	7.01E+00	-1.71E-01	1.30E+00	-7.04E-01
2.75	2.52E+00	1.93E+00	1.24E+00	-3.42E-01	2.66E+00	-1.29E+00
2.80	4.18E+00	1.29E+00	2.17E+00	4.88E-01	3.64E+00	-1.40E+00
2.85	4.66E+00	-7.41E-01	6.30E-01	-2.68E-01	3.67E+00	-2.50E+00
2.90	2.50E+00	-4.88E-02	-2.38E+00	-3.02E-01	2.20E+00	-1.26E+00
2.95	-2.10E-01	-8.09E-01	2.05E+00	5.52E-01	3.27E+00	2.02E+00

Πίνακας 22: Απεικόνιση της δευτεροτάξιας υδροδυναμικής απόσβεσης για γωνία πρόσπτωσης κυματισμού από 60°

$\omega$	$B_{11}/(\rho_w b(H/2)^2)$	$B_{21}/(\rho_w b(H/2)^2)$	$B_{61}/(\rho_w b^2(H/2)^2)$	$B_{12}/(\rho_w b(H/2)^2)$	$B_{22}/(\rho_w b(H/2)^2)$	$B_{62}/(\rho_w b^2(H/2)^2)$
0.10	2.17E-04	9.39E-05	1.25E-04	5.33E-05	2.53E-04	-7.15E-05
0.15	-6.65E-06	-5.08E-05	4.09E-05	-2.15E-05	-1.81E-05	-2.23E-05
0.20	1.03E-04	9.78E-05	5.38E-05	1.77E-04	3.48E-04	6.81E-06
0.25	5.36E-04	3.43E-04	1.67E-06	2.92E-04	8.34E-04	9.62E-05
0.30	6.61E-04	5.57E-04	-1.23E-04	6.05E-04	1.38E-03	3.90E-04
0.35	2.46E-03	2.49E-03	-7.22E-04	2.55E-03	5.41E-03	1.00E-03
0.40	6.32E-03	5.60E-03	-3.11E-03	5.87E-03	1.33E-02	3.05E-03
0.45	1.38E-02	1.33E-02	-9.85E-03	1.40E-02	3.05E-02	7.29E-03
0.50	3.35E-02	3.32E-02	-2.78E-02	3.43E-02	7.47E-02	1.43E-02
0.55	8.20E-02	8.92E-02	-6.46E-02	8.84E-02	1.89E-01	2.70E-02
0.60	3.49E-01	4.83E-01	-1.26E-01	4.68E-01	9.09E-01	4.50E-02
0.65	6.29E-01	4.74E-01	-4.18E-02	4.51E-01	1.16E+00	-4.58E-02
0.70	3.97E-01	1.85E-01	1.32E-01	1.60E-01	5.18E-01	-2.62E-01
0.75	1.87E+00	2.23E+00	3.90E-01	2.46E+00	4.19E+00	-4.59E-01
0.80	1.35E+00	-1.16E+00	3.24E+00	-1.83E-01	1.19E+00	-1.93E+00
0.85	-9.28E-01	-1.44E+00	-1.88E+00	-1.25E+00	-1.59E+00	1.28E+00
0.90	7.61E+00	7.33E+00	-1.84E+00	7.28E+00	1.62E+01	1.29E+00
0.95	1.14E+01	1.80E+00	1.08E+01	1.86E+00	1.35E+01	-6.20E+00
1.00	5.11E+00	-4.29E+00	1.27E+01	-4.31E+00	1.95E-01	-7.39E+00
1.05	5.48E+00	-7.14E-01	9.18E+00	-6.87E-01	4.64E+00	-5.26E+00
1.10	5.09E-01	-4.81E-01	8.21E+00	-1.12E+00	3.58E-01	-4.73E+00
1.15	-3.57E+00	1.48E+00	4.97E+00	1.22E+00	-1.62E+00	-3.31E+00
1.20	5.15E-01	3.75E+00	-6.18E-01	4.68E+00	4.05E+00	4.61E-01
1.25	9.46E-01	3.50E+00	8.08E-01	3.73E+00	5.01E+00	1.94E-01
1.30	4.38E+00	3.82E+00	1.84E+00	3.48E+00	9.09E+00	-1.28E+00
1.35	3.32E+00	3.29E+00	4.16E+00	3.12E+00	7.05E+00	-2.72E+00
1.40	2.89E+00	2.27E+00	1.17E+00	2.33E+00	5.48E+00	-6.47E-01
1.45	1.11E+00	2.67E-01	9.05E+00	2.84E-01	1.42E+00	-5.18E+00
1.50	1.29E+00	-2.30E-01	-1.64E+00	-2.38E-01	1.01E+00	9.74E-01
1.55	4.96E+00	7.97E-01	-5.70E-02	7.94E-01	5.86E+00	6.24E-02
1.60	4.03E+00	3.12E+00	-2.51E+00	3.12E+00	7.62E+00	1.46E+00
1.65	3.63E+00	8.58E+00	3.38E+00	8.58E+00	1.35E+01	-1.98E+00



1.70	1.82E+00	7.93E+00	4.47E+00	7.93E+00	1.10E+01	-2.60E+00
1.75	6.16E-01	5.04E+00	4.13E+00	5.03E+00	6.47E+00	-2.36E+00
1.80	1.70E+00	2.10E+00	7.91E+00	2.10E+00	4.15E+00	-4.53E+00
1.85	4.92E+00	1.42E+00	7.88E+00	1.41E+00	6.55E+00	-4.55E+00
1.90	7.51E+00	3.46E+00	3.18E+00	3.45E+00	1.15E+01	-1.88E+00
1.95	4.45E+00	5.73E-01	-2.23E+00	5.42E-01	5.09E+00	1.25E+00
2.00	-9.76E-01	-2.87E+00	1.52E+00	-2.89E+00	-4.27E+00	-8.56E-01
2.05	-3.45E+00	-4.70E+00	7.39E+00	-4.47E+00	-9.07E+00	-4.03E+00
2.10	8.03E-01	1.53E+00	4.97E+00	1.47E+00	2.36E+00	-2.93E+00
2.15	3.65E+00	6.59E+00	9.23E+00	6.35E+00	1.15E+01	-5.59E+00
2.20	1.57E+00	2.87E+00	3.93E+00	2.88E+00	4.85E+00	-2.19E+00
2.25	4.74E+00	7.22E+00	4.90E-01	7.24E+00	1.31E+01	-2.62E-01
2.30	4.02E+00	6.61E+00	-1.25E+00	6.63E+00	1.17E+01	7.41E-01
2.35	3.19E+00	3.37E+00	1.73E+00	3.36E+00	7.07E+00	-9.92E-01
2.40	2.04E+00	2.01E-01	6.18E+00	1.97E-01	2.26E+00	-3.58E+00
2.45	-2.05E+00	1.21E+00	2.06E-02	1.20E+00	-6.64E-01	-2.81E-02
2.50	-9.12E-01	1.30E+00	-1.00E+00	1.30E+00	5.97E-01	5.73E-01
2.55	3.12E+00	-1.06E+00	5.56E+00	-1.05E+00	1.89E+00	-3.20E+00
2.60	2.89E+00	1.43E+00	9.68E-01	1.43E+00	4.54E+00	-5.58E-01
2.65	3.80E+00	8.45E-01	-1.98E+00	8.46E-01	4.77E+00	1.14E+00
2.70	3.28E+00	-4.38E-02	2.63E+00	-4.04E-02	3.22E+00	-1.52E+00
2.75	4.40E+00	-6.50E-01	1.98E+00	-6.47E-01	3.64E+00	-1.14E+00
2.80	4.78E+00	9.15E-01	-1.13E+00	9.01E-01	5.85E+00	6.62E-01
2.85	3.36E+00	2.51E+00	-1.54E+00	2.51E+00	6.27E+00	8.89E-01
2.90	3.61E+00	-1.33E+00	2.98E+00	-1.33E+00	2.07E+00	-1.73E+00
2.95	-7.98E-01	-2.69E-01	-1.18E+00	-2.73E-01	-1.12E+00	6.80E-01

Πίνακας 23: Απεικόνιση της δευτεροτάξιας υδροδυναμικής απόσβεσης για γωνία πρόσπτωσης κυματισμού από 90°

$\omega$	$B11/(\rho\omega b(H/2)^2)$	$B21/(\rho\omega b(H/2)^2)$	$B61/(\rho\omega b^2(H/2)^2)$	$B12/(\rho\omega b(H/2)^2)$	$B22/(\rho\omega b(H/2)^2)$	$B62/(\rho\omega b^2(H/2)^2)$
0.10	1.55E-04	-2.45E-05	3.18E-05	8.68E-07	3.03E-04	4.29E-06
0.15	1.19E-05	1.41E-04	-1.26E-05	1.48E-06	-8.16E-05	-7.78E-06
0.20	1.70E-05	6.13E-05	-7.01E-07	1.94E-06	2.51E-04	-1.48E-05
0.25	2.30E-04	2.95E-04	1.24E-04	4.07E-06	4.66E-04	-1.39E-05
0.30	2.37E-05	9.67E-04	4.82E-04	6.24E-06	-1.40E-05	-9.62E-07

0.35	1.91E-04	2.55E-03	1.82E-03	5.49E-06	1.41E-03	-3.12E-04
0.40	6.14E-04	7.74E-03	5.17E-03	7.91E-06	3.28E-03	-9.63E-04
0.45	1.19E-03	1.55E-02	1.51E-02	1.51E-05	7.12E-03	-2.37E-03
0.50	2.58E-03	3.67E-02	3.51E-02	5.44E-05	2.15E-02	-6.01E-03
0.55	7.22E-03	7.39E-02	7.43E-02	7.09E-04	9.67E-02	-1.78E-02
0.60	2.98E-02	1.35E-01	1.42E-01	1.31E-02	8.96E-01	-3.18E-01
0.65	2.71E-01	2.56E-01	3.10E-01	2.38E-02	8.45E-01	-5.49E-01
0.70	1.10E-01	4.09E-01	5.65E-02	3.23E-02	-3.95E-01	-4.92E-01
0.75	6.40E-02	7.56E-01	-1.04E-01	4.16E-02	4.97E+00	-4.16E+00
0.80	1.21E+00	1.29E+00	-1.34E+00	-1.35E-01	2.75E+00	1.14E-01
0.85	-1.37E-02	-1.32E+00	2.45E-01	-1.20E+00	4.55E-01	5.91E+00
0.90	-1.51E-01	-4.41E-01	2.06E+00	-5.30E+00	1.48E+01	-1.86E+00
0.95	-8.07E-01	3.09E+00	-1.21E+01	-6.33E+00	1.56E+01	-6.51E+00
1.00	1.40E+00	1.73E+00	-1.13E+01	-2.28E-01	1.36E+01	-5.80E+00
1.05	1.63E+00	5.15E-01	-9.26E+00	4.36E+00	1.05E+01	5.07E-01
1.10	4.72E+00	-4.34E-01	-1.17E+01	-4.08E+00	1.80E+00	-1.30E+01
1.15	5.04E+00	8.82E-01	5.89E+00	-6.52E+00	-1.39E+00	-1.55E+01
1.20	1.47E+00	5.37E-01	3.46E+00	6.75E+00	8.12E+00	2.13E+00
1.25	-5.96E-01	1.94E+00	6.47E-01	5.39E+00	1.43E+01	8.78E+00
1.30	-2.60E+00	7.49E-01	3.82E+00	-3.23E-01	6.34E+00	-2.56E-01
1.35	2.28E+00	-1.13E+00	5.54E+00	8.57E-01	-7.12E-01	-3.34E+00
1.40	5.52E+00	-9.61E-01	-4.81E-01	4.32E+00	3.00E+00	-5.41E+00
1.45	-6.78E-01	-4.17E+00	-3.52E-01	3.39E-01	5.22E+00	-1.36E+00
1.50	6.14E+00	-1.34E+00	-7.35E-01	-5.27E-01	8.79E+00	7.17E+00
1.55	5.60E+00	-8.56E-01	-2.88E+00	-1.55E+00	6.09E+00	1.04E+00
1.60	4.88E+00	-6.94E-01	-3.86E+00	1.93E-01	7.64E+00	2.73E+00
1.65	4.40E+00	7.47E-01	-3.35E+00	1.68E+00	7.32E+00	-4.94E+00
1.70	4.30E+00	2.08E+00	5.12E-01	1.28E-01	5.71E+00	-6.31E+00
1.75	3.72E+00	1.33E+00	1.56E+00	-1.51E+00	5.29E+00	-1.35E+00
1.80	5.23E-01	1.20E+00	1.34E+00	-1.76E+00	4.04E+00	-3.06E+00
1.85	-2.24E-01	3.18E-01	2.52E+00	-1.14E+00	4.44E+00	-2.34E+00
1.90	4.96E-01	-6.31E-01	2.73E+00	-9.90E-03	7.07E+00	-2.07E-02
1.95	1.87E+00	-1.09E+00	1.26E+00	1.63E+00	4.78E+00	1.02E+00
2.00	1.63E+00	-9.89E-01	2.90E+00	2.24E+00	4.94E+00	3.83E+00
2.05	4.24E+00	-3.16E+00	4.31E+00	4.97E+00	3.28E-01	-3.54E-01

2.1 0	1.22E+00	3.18E+00	2.36E+00	-1.25E+00	-1.49E+00	-1.33E+01
2.1 5	2.21E+00	3.11E+00	-4.89E-01	-5.09E+00	8.92E+00	-7.59E+00
2.2 0	2.52E+00	1.17E+00	-3.53E+00	1.51E+00	7.71E+00	1.35E+00
2.2 5	2.40E+00	-2.72E-01	-1.40E+00	5.97E-01	6.85E+00	1.22E+00
2.3 0	2.77E+00	2.50E-01	-2.51E+00	1.45E+00	3.52E+00	1.94E+00
2.3 5	3.77E+00	1.09E+00	1.46E+00	1.05E+00	3.16E+00	-2.30E+00
2.4 0	2.50E+00	-4.51E-01	1.90E+00	2.31E-01	4.71E+00	-4.75E-01
2.4 5	2.36E+00	-5.60E-01	-1.12E+00	-9.70E-01	4.98E+00	-3.34E+00
2.5 0	3.38E+00	1.75E+00	1.80E+00	-1.16E+00	4.99E+00	-6.30E+00
2.5 5	3.24E+00	2.02E+00	1.92E+00	-6.16E-01	4.37E+00	-2.54E+00
2.6 0	2.71E+00	2.48E+00	2.69E+00	-3.24E-01	6.73E+00	3.32E+00
2.6 5	1.44E+00	2.08E+00	4.86E+00	-1.94E-01	4.87E+00	1.00E+00
2.7 0	1.49E+00	4.32E-01	4.13E+00	-1.51E-01	2.42E-01	-5.72E+00
2.7 5	1.93E+00	-6.81E-01	1.74E+00	1.60E+00	3.24E+00	-4.31E-01
2.8 0	3.01E+00	-1.87E-01	2.31E+00	6.08E-01	4.81E+00	-1.18E+00
2.8 5	4.36E+00	-4.36E-01	2.48E+00	-9.18E-01	3.99E+00	6.89E-01
2.9 0	2.43E+00	-3.43E-01	-9.89E-02	-9.52E-02	2.28E+00	2.69E+00
2.9 5	2.51E+00	2.12E+00	-7.18E-01	7.61E-01	5.44E-01	-2.77E+00

Πίνακας 24: Αλεικόνιση της δευτεροτάξιας υδροδυναμικής απόσβεσης για γωνία πρόσπτωσης κυματισμού από 120°

$\omega$	$B11/(\rho\omega b(H/2)^2)$	$B21/(\rho\omega b(H/2)^2)$	$B61/(\rho\omega b^2(H/2)^2)$	$B12/(\rho\omega b(H/2)^2)$	$B22/(\rho\omega b(H/2)^2)$	$B62/(\rho\omega b^2(H/2)^2)$
0.1 0	2.26E-04	-1.26E-04	-1.05E-04	-4.61E-05	2.35E-04	-6.41E-05
0.1 5	-3.18E-05	6.51E-05	3.68E-05	5.45E-05	-8.52E-05	1.45E-05
0.2 0	-8.99E-06	-1.31E-05	-1.22E-05	-6.06E-05	9.30E-05	-4.36E-05
0.2 5	5.77E-05	1.24E-04	-4.28E-05	9.46E-05	-2.59E-05	-1.23E-04
0.3 0	-7.02E-04	6.89E-04	-2.90E-04	6.41E-04	-1.40E-03	-5.28E-04
0.3 5	-1.63E-03	1.67E-03	-7.01E-04	1.59E-03	-3.41E-03	-1.19E-03
0.4 0	-4.38E-03	4.02E-03	-3.08E-03	3.81E-03	-8.61E-03	-4.27E-03
0.4 5	-9.87E-03	9.88E-03	-8.30E-03	9.42E-03	-2.02E-02	-1.04E-02
0.5 0	-2.12E-02	1.91E-02	-2.49E-02	1.85E-02	-4.12E-02	-2.28E-02
0.5 5	-2.38E-02	8.87E-03	-5.60E-02	1.12E-02	-3.20E-02	-4.65E-02
0.6 0	1.45E-01	-2.86E-01	-1.23E-01	-2.65E-01	4.75E-01	-8.35E-02
0.6 5	2.86E-01	-1.32E-01	-5.38E-01	-1.10E-01	4.07E-01	-3.08E-01
0.7 0	-2.09E-01	4.58E-01	-3.93E-01	4.76E-01	-8.46E-01	-1.58E-01

0.75	4.75E-01	-9.04E-01	-1.64E+00	-8.19E-01	1.43E+00	1.75E+00
0.80	1.11E+00	-5.27E-01	-3.00E+00	-1.42E+00	3.78E+00	-1.74E-01
0.85	1.20E+00	-1.44E+00	3.04E+00	-2.18E+00	4.27E+00	-1.13E+00
0.90	4.47E+00	-3.40E+00	-1.55E+00	-3.73E+00	8.41E+00	-1.13E+00
0.95	3.56E+00	-1.33E+00	1.02E+01	-1.36E+00	5.14E+00	5.84E+00
1.00	1.25E+00	-3.36E-01	6.78E+00	-3.15E-01	1.66E+00	3.94E+00
1.05	3.41E+00	-6.91E-01	6.66E+00	-7.04E-01	4.20E+00	3.80E+00
1.10	1.25E+00	6.32E-01	1.06E+01	9.36E-01	6.74E-01	6.48E+00
1.15	-5.88E-01	1.16E+00	-1.06E+01	1.59E+00	-1.95E+00	-5.10E+00
1.20	3.04E+00	-3.30E-02	-1.37E+00	-4.85E-01	2.61E+00	-6.81E-01
1.25	6.07E+00	-1.95E+00	3.76E+00	-2.61E+00	8.10E+00	1.10E+00
1.30	9.87E+00	-4.13E+00	-7.10E-01	-3.99E+00	1.49E+01	-6.31E-01
1.35	5.86E+00	-3.90E+00	-6.35E+00	-3.59E+00	1.07E+01	-3.41E+00
1.40	3.55E+00	-1.88E+00	-6.84E+00	-1.91E+00	5.72E+00	-4.13E+00
1.45	4.52E+00	-1.75E+00	-7.30E+00	-1.78E+00	6.52E+00	-4.15E+00
1.50	2.34E+00	-1.37E+00	-1.24E+01	-1.37E+00	3.91E+00	-7.08E+00
1.55	4.99E+00	-3.80E+00	-9.51E+00	-3.81E+00	9.35E+00	-5.46E+00
1.60	4.37E+00	-6.19E+00	-1.15E+01	-6.21E+00	1.15E+01	-6.66E+00
1.65	3.38E-01	-3.60E+00	-6.48E+00	-3.63E+00	4.50E+00	-3.78E+00
1.70	-6.08E-02	-1.80E+00	-2.47E+00	-1.81E+00	2.03E+00	-1.44E+00
1.75	7.47E-01	-1.88E+00	8.46E-01	-1.87E+00	2.93E+00	4.95E-01
1.80	1.65E+00	-1.95E+00	2.68E+00	-1.95E+00	3.90E+00	1.56E+00
1.85	3.94E+00	-2.73E+00	1.21E+00	-2.73E+00	7.10E+00	7.17E-01
1.90	5.33E+00	-3.85E+00	-1.24E+00	-3.86E+00	9.80E+00	-7.04E-01
1.95	4.53E+00	-2.27E+00	-2.05E+00	-2.29E+00	7.19E+00	-1.21E+00
2.00	3.17E+00	2.89E+00	1.45E+00	2.90E+00	-1.47E-01	8.22E-01
2.05	6.39E-01	9.20E+00	-4.47E+00	9.17E+00	-1.01E+01	-2.26E+00
2.10	1.87E+00	-3.27E+00	-1.80E+00	-3.21E+00	5.67E+00	-1.18E+00
2.15	7.95E+00	-1.07E+01	-1.13E+00	-1.06E+01	2.04E+01	-1.04E+00
2.20	6.05E+00	-2.91E+00	-4.52E+00	-2.99E+00	9.35E+00	-2.42E+00
2.25	5.58E+00	-4.09E+00	-6.20E+00	-4.09E+00	1.03E+01	-3.55E+00
2.30	5.19E+00	-3.29E+00	-9.62E+00	-3.29E+00	9.00E+00	-5.56E+00
2.35	4.63E+00	1.36E+00	-8.29E+00	1.36E+00	3.06E+00	-4.78E+00
2.40	2.09E+00	2.59E+00	1.55E+00	2.58E+00	-8.94E-01	9.11E-01
2.45	2.36E+00	-2.21E+00	-5.46E+00	-2.21E+00	4.92E+00	-3.17E+00

2.50	5.42E+00	-4.15E+00	-1.86E+00	-4.15E+00	1.02E+01	-1.08E+00
2.55	4.60E+00	-3.14E+00	-1.05E+00	-3.15E+00	8.24E+00	-6.00E-01
2.60	2.14E+00	-2.65E-01	-2.23E+00	-2.69E-01	2.45E+00	-1.31E+00
2.65	2.27E+00	2.60E+00	3.08E-01	2.60E+00	-7.42E-01	1.74E-01
2.70	5.31E+00	1.31E+00	5.17E+00	1.30E+00	3.80E+00	3.00E+00
2.75	5.23E+00	-2.02E+00	5.12E+00	-2.02E+00	7.57E+00	2.96E+00
2.80	4.12E+00	-3.00E+00	3.25E+00	-3.00E+00	7.59E+00	1.87E+00
2.85	2.40E+00	3.16E-01	2.67E+00	3.18E-01	2.05E+00	1.53E+00
2.90	2.37E+00	4.33E+00	8.63E+00	4.32E+00	-2.62E+00	4.98E+00
2.95	3.05E+00	1.45E+00	4.29E+00	1.44E+00	1.39E+00	2.48E+00

Πίνακας 25: Απεικόνιση της δευτεροτάξιας υδροδυναμικής απόσβεσης για γωνία πρόσπτωσης κυματισμού από 150°

$\omega$	$B11/(\rho w b(H/2)^2)$	$B21/(\rho w b(H/2)^2)$	$B61/(\rho w b^2(H/2)^2)$	$B12/(\rho w b(H/2)^2)$	$B22/(\rho w b(H/2)^2)$	$B62/(\rho w b^2(H/2)^2)$
0.10	2.82E-04	-7.31E-05	-3.69E-05	-3.87E-05	1.80E-04	-5.87E-05
0.15	-4.56E-05	3.15E-05	4.19E-05	6.26E-05	-2.38E-05	7.00E-05
0.20	2.43E-04	-1.33E-04	2.93E-05	-1.34E-05	2.54E-05	1.48E-05
0.25	5.45E-04	-1.85E-04	5.42E-05	1.68E-04	1.36E-04	-6.14E-05
0.30	3.45E-04	-2.01E-04	4.14E-04	7.87E-04	-4.42E-04	5.97E-05
0.35	1.84E-03	-9.78E-04	1.03E-03	1.54E-03	-7.36E-04	8.63E-04
0.40	4.80E-03	-2.57E-03	3.77E-03	4.92E-03	-2.44E-03	2.94E-03
0.45	1.00E-02	-5.48E-03	1.00E-02	9.57E-03	-4.75E-03	8.44E-03
0.50	3.11E-02	-1.74E-02	2.06E-02	1.92E-02	-9.05E-03	2.46E-02
0.55	1.16E-01	-6.49E-02	3.44E-02	1.19E-02	1.93E-03	6.01E-02
0.60	7.80E-01	-4.33E-01	-2.10E-01	-2.85E-01	2.04E-01	2.77E-01
0.65	9.54E-01	-3.64E-01	-3.95E-01	-9.56E-02	3.47E-01	5.75E-01
0.70	1.22E-01	6.57E-02	-5.85E-01	4.74E-01	-1.53E-01	3.88E-01
0.75	2.14E+00	-8.37E-01	-2.80E+00	-3.85E-01	1.14E-01	1.49E+00
0.80	3.72E-01	-3.39E-01	4.57E+00	8.74E-01	2.21E-01	-2.06E+00
0.85	1.13E+00	-2.56E+00	6.48E+00	-1.56E+00	1.73E+00	-2.64E+00
0.90	9.63E+00	-1.05E+01	-4.52E+00	-6.02E+00	6.09E+00	5.02E+00
0.95	1.01E+01	-1.26E+01	-1.18E+01	-3.19E+00	4.69E+00	-7.19E+00
1.00	1.12E+01	-5.88E+00	-1.07E+01	-3.92E+00	3.80E+00	-6.89E+00
1.05	1.04E+01	-6.92E-01	-4.16E+00	-4.54E+00	1.73E+00	-8.30E+00
1.10	4.29E-01	-1.85E+00	-1.76E+01	2.03E+00	6.04E+00	-3.38E+00

1.1 5	-2.37E+00	-2.18E+00	-1.09E+01	4.91E+00	6.02E+00	1.28E+01
1.2 0	9.99E+00	2.33E+00	4.19E+00	-4.11E+00	3.32E-02	1.88E+00
1.2 5	1.36E+01	-3.01E+00	8.31E+00	-6.17E+00	-1.94E-01	-4.09E+00
1.3 0	4.10E+00	-4.25E+00	1.99E+00	-3.25E+00	-6.41E-01	3.11E+00
1.3 5	2.10E-01	2.03E+00	-6.65E-01	2.29E-01	1.72E+00	6.48E+00
1.4 0	5.14E+00	4.57E+00	-5.21E+00	-6.61E-01	3.49E+00	2.34E+00
1.4 5	2.09E+00	-1.23E+00	-1.31E+00	-5.75E+00	2.43E+00	3.06E-01
1.5 0	7.35E+00	-1.20E+00	5.86E+00	-2.03E+00	7.61E+00	-4.21E+00
1.5 5	4.92E+00	-1.13E+00	-4.82E-01	-4.69E-01	6.74E+00	-3.00E+00
1.6 0	6.71E+00	-8.51E-01	4.68E-01	-1.76E+00	5.77E+00	-4.67E+00
1.6 5	7.61E+00	-1.88E-01	-5.93E+00	-1.12E+00	4.09E+00	-4.11E-01
1.7 0	6.30E+00	-1.04E+00	-5.21E+00	9.10E-01	3.71E+00	3.60E+00
1.7 5	4.82E+00	-2.13E+00	-4.01E-01	6.96E-01	4.19E+00	2.02E+00
1.8 0	2.93E+00	-3.13E+00	-1.97E+00	-1.82E-01	1.64E+00	2.69E+00
1.8 5	2.94E+00	-2.95E+00	-7.57E-01	-1.49E+00	1.30E+00	3.34E+00
1.9 0	5.16E+00	-2.69E+00	1.33E+00	-3.31E+00	2.42E+00	2.38E+00
1.9 5	4.28E+00	2.42E-01	1.52E+00	-2.48E+00	2.37E+00	5.89E-01
2.0 0	4.63E+00	4.50E-01	4.75E+00	-2.74E+00	1.94E+00	6.15E-01
2.0 5	2.33E+00	6.13E+00	1.91E+00	-2.04E+00	2.54E+00	3.90E+00
2.1 0	-1.43E-01	-4.21E-01	-1.02E+01	3.75E+00	-1.94E-01	8.93E+00
2.1 5	6.15E+00	-7.49E+00	-7.06E+00	9.24E-01	4.66E+00	3.17E+00
2.2 0	7.73E+00	-1.47E+00	-6.21E-01	-1.85E+00	2.72E+00	-3.83E+00
2.2 5	5.89E+00	-1.39E+00	3.52E-01	-2.27E+00	3.36E+00	-1.86E+00
2.3 0	4.06E+00	7.13E-01	4.15E-01	-4.84E-01	2.21E+00	-3.16E+00
2.3 5	4.24E+00	7.83E-01	-1.26E+00	8.34E-01	2.69E+00	2.41E+00
2.4 0	4.06E+00	-6.59E-01	5.49E-01	-1.34E+00	3.14E+00	1.88E+00
2.4 5	3.66E+00	-1.71E+00	-3.44E+00	-1.31E+00	3.67E+00	6.76E-01
2.5 0	4.84E+00	-2.01E+00	-4.55E+00	9.11E-01	3.53E+00	4.70E+00
2.5 5	4.70E+00	-1.46E+00	-1.25E+00	1.18E+00	2.92E+00	2.94E+00
2.6 0	6.66E+00	-2.61E+00	4.23E+00	2.04E-01	2.78E+00	6.77E-01
2.6 5	4.83E+00	-2.16E+00	3.30E+00	1.19E-01	1.48E+00	3.70E+00
2.7 0	6.82E-01	3.14E-01	-2.91E+00	8.98E-01	1.06E+00	6.42E+00
2.7 5	3.32E+00	8.02E-01	4.89E-01	-1.48E+00	1.86E+00	1.72E+00
2.8 0	4.55E+00	-2.82E-01	1.26E-01	-1.07E+00	3.28E+00	2.59E+00
2.8 5	3.48E+00	-4.19E-01	1.84E+00	7.08E-02	4.85E+00	1.81E+00

2.90	2.13E+00	8.61E-02	2.29E+00	-1.68E-01	2.58E+00	-1.43E+00
2.95	2.28E+00	9.03E-01	-2.75E+00	2.24E+00	7.81E-01	7.61E-01

Πίνακας 26: Απείκονιση της δευτεροτάξιας υδροδυναμικής απόσβεσης για γωνία πρόσπτωσης κυματισμού από 180°

$\omega$	$B11/(\rho wb(H/2)^2)$	$B21/(\rho wb(H/2)^2)$	$B61/(\rho wb^2(H/2)^2)$	$B12/(\rho wb(H/2)^2)$	$B22/(\rho wb(H/2)^2)$	$B62/(\rho wb^2(H/2)^2)$
0.10	3.04E-04	-9.00E-07	-1.18E-06	-1.11E-05	1.61E-04	2.83E-04
0.15	-4.26E-05	-1.48E-06	2.26E-06	6.63E-05	2.03E-05	-7.55E-06
0.20	4.05E-04	-1.88E-06	-3.19E-06	-1.66E-05	4.60E-05	-9.31E-05
0.25	1.02E-03	-3.79E-06	-2.83E-06	5.85E-05	3.35E-04	-1.96E-04
0.30	1.61E-03	-5.96E-06	5.62E-06	-3.43E-07	3.28E-04	-5.13E-04
0.35	6.46E-03	-5.19E-06	7.00E-07	6.19E-06	9.70E-04	-1.79E-03
0.40	1.54E-02	-7.61E-06	-4.45E-07	-6.87E-06	2.90E-03	-5.02E-03
0.45	3.61E-02	-1.46E-05	7.27E-06	-4.63E-05	5.76E-03	-1.55E-02
0.50	9.44E-02	-1.36E-05	3.29E-06	1.15E-05	1.39E-02	-3.63E-02
0.55	2.59E-01	-1.58E-05	2.78E-06	6.85E-06	3.28E-02	-7.69E-02
0.60	1.24E+00	-1.14E-05	2.52E-06	-2.31E-05	8.63E-02	-1.36E-01
0.65	1.59E+00	-2.41E-05	3.48E-06	1.39E-07	3.95E-01	9.87E-03
0.70	8.25E-01	-3.86E-05	-2.17E-06	7.21E-08	3.30E-01	3.45E-01
0.75	2.96E+00	-5.37E-05	-3.30E-05	4.62E-05	4.66E-01	8.22E-01
0.80	-1.78E+00	-4.66E-05	2.09E-05	-1.55E-07	8.13E-01	2.83E+00
0.85	-1.48E-01	8.46E-06	4.22E-05	-6.89E-05	5.11E-02	-4.89E+00
0.90	2.13E+01	7.98E-06	1.46E-04	2.30E-04	3.46E+00	-2.31E+00
0.95	1.47E+01	1.69E-05	1.34E-05	2.29E-04	1.03E+01	1.24E+01
1.00	-2.32E+00	6.88E-06	-2.97E-04	-2.03E-07	7.59E+00	1.47E+01
1.05	4.27E+00	6.50E-05	-2.20E-05	3.73E-07	5.88E+00	1.06E+01
1.10	-5.02E-01	2.00E-04	-2.09E-05	-4.39E-08	1.14E+00	9.43E+00
1.15	-2.41E-01	1.37E-04	-5.40E-04	2.28E-04	-4.15E+00	6.60E+00
1.20	7.89E+00	1.61E-04	-1.16E-03	6.90E-07	-2.51E+00	-7.31E-01
1.25	6.16E+00	4.53E-04	-1.91E-03	5.39E-07	-1.06E+00	6.72E-01
1.30	1.00E+01	1.40E-03	-7.76E-04	-6.90E-04	2.45E+00	2.23E+00
1.35	9.02E+00	2.69E-03	1.84E-03	-2.29E-03	1.48E+00	4.82E+00
1.40	7.17E+00	1.84E-03	3.45E-03	-3.20E-03	1.58E+00	1.26E+00
1.45	1.65E+00	5.70E-03	6.80E-04	-3.21E-03	9.54E-01	1.05E+01
1.50	9.04E-01	9.12E-03	-2.32E-03	-2.06E-03	1.44E+00	-1.93E+00

1.5 5	6.35E+00	1.29E-02	-1.33E-03	-2.29E-03	4.50E+00	-1.01E-01
1.6 0	9.42E+00	1.11E-02	8.51E-03	2.29E-03	2.23E+00	-2.88E+00
1.6 5	1.85E+01	1.05E-03	1.30E-02	-3.67E-03	-1.33E+00	3.95E+00
1.7 0	1.56E+01	-2.41E-03	-3.95E-03	9.14E-04	-2.76E+00	5.23E+00
1.7 5	9.34E+00	1.33E-04	-2.17E-02	1.03E-02	-2.28E+00	4.80E+00
1.8 0	5.35E+00	9.44E-03	-2.21E-02	1.01E-02	4.82E-01	9.10E+00
1.8 5	7.35E+00	-1.71E-03	2.06E-03	-8.71E-03	4.10E+00	9.14E+00
1.9 0	1.35E+01	-1.14E-02	2.64E-02	-2.45E-02	5.51E+00	3.67E+00
1.9 5	5.42E+00	-9.34E-04	2.02E-02	-1.17E-02	4.14E+00	-2.55E+00
2.0 0	-5.80E+00	2.32E-03	-5.48E-03	5.27E-03	7.09E-01	1.70E+00
2.0 5	-1.13E+01	-2.36E-03	-6.62E-03	-2.99E-03	-8.51E-01	8.25E+00
2.1 0	3.09E+00	-1.76E-03	-2.12E-03	1.14E-03	-2.48E-01	6.73E+00
2.1 5	1.47E+01	-3.60E-03	-2.86E-03	-4.55E-04	3.43E-02	1.05E+01
2.2 0	6.65E+00	-2.82E-03	-2.28E-03	2.35E-04	-9.50E-02	4.38E+00
2.2 5	1.73E+01	-2.04E-03	-9.97E-04	2.23E-04	5.52E-01	4.99E-01
2.3 0	1.55E+01	-4.13E-04	-4.41E-04	2.36E-04	1.95E-01	-1.47E+00
2.3 5	9.02E+00	4.04E-04	1.33E-03	-4.55E-04	1.24E+00	1.99E+00
2.4 0	2.37E+00	1.93E-05	8.70E-04	-4.56E-04	1.94E+00	7.16E+00
2.4 5	2.00E-02	-1.12E-04	-8.95E-05	1.75E-09	-2.73E+00	6.35E-02
2.5 0	1.35E+00	-1.14E-04	-3.05E-04	1.18E-07	-1.65E+00	-1.16E+00
2.5 5	1.29E+00	-2.16E-05	3.31E-05	1.13E-07	3.73E+00	6.41E+00
2.6 0	5.36E+00	-3.00E-05	-5.30E-05	4.69E-07	2.06E+00	1.12E+00
2.6 5	5.26E+00	-2.01E-05	-3.77E-05	4.60E-07	3.30E+00	-2.29E+00
2.7 0	3.22E+00	1.10E-05	3.21E-05	2.81E-07	3.29E+00	3.01E+00
2.7 5	3.28E+00	6.72E-06	9.27E-06	2.87E-07	4.77E+00	2.29E+00
2.8 0	6.34E+00	-1.12E-05	-2.76E-05	5.54E-07	4.26E+00	-1.31E+00
2.8 5	7.68E+00	-3.01E-06	8.21E-06	6.72E-07	1.91E+00	-1.76E+00
2.9 0	1.30E+00	-3.42E-06	9.94E-06	1.13E-07	4.37E+00	3.44E+00
2.9 5	-1.25E+00	-5.04E-06	2.86E-06	-1.09E-07	-6.48E-01	-1.37E+00