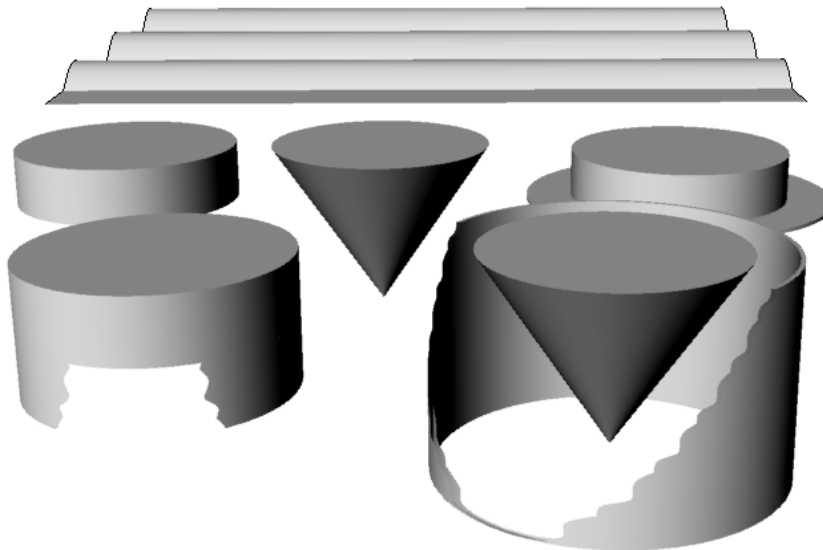




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*«Παραμετρική διερεύνηση της απόδοσης σημειακών απορροφητήρων κυματικής ενέργειας
(Power Point Wave Energy Converters)»*



ΜΙΧΑΗΛ Σ. ΑΠΟΣΤΟΛΙΔΗΣ

Επιβλέπων Καθηγητής:

Σπυρίδων Α. Μαυράκος

ΑΘΗΝΑ 2009

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*«Παραμετρική διερεύνηση της απόδοσης σημειακών απορροφητήρων κυματικής ενέργειας
(Power Point Wave Energy Converters)»*

ΜΙΧΑΗΛ Σ. ΑΠΟΣΤΟΛΙΔΗΣ

Επιβλέπων Καθηγητής:

Σπυρίδων Α. Μαυράκος

ΑΘΗΝΑ 2009

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	13
1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	15
1.2 ΠΕΡΙ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	16
1.3 ΚΥΡΙΟΙ ΤΥΠΟΙ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	17
1.3.1 Παράκτιες εγκαταστάσεις.....	17
1.3.2 Εγκαταστάσεις κοντά στη στεριά.....	19
1.3.2.1 Σημειακοί απορροφητήρες κυματικής ενέργειας (point absorbers)	19
1.3.2.2 Συσκευές περιστροφής (Wave roller).....	20
1.3.3 Εγκαταστάσεις ανοιχτής θάλασσας.....	21
1.3.3.1 Pelamis.....	21
1.3.3.2 Συσκευές υπερχείλισης (Overtopping devices)	22
1.3.3.3 Σημειακοί απορροφητήρες κυματικής ενέργειας (point absorbers)	23
1.3.3.4 Υποβρύχιες συσκευές διαφορικής υδροστατικής πίεσης	24
ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	26
2.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ ΡΟΗΣ ΜΕ ΟΜΟΑΞΟΝΙΚΑ ΔΑΚΤΥΛΙΟΕΙΔΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	27
2.2 ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΠΡΩΤΗΣ ΤΑΞΗΣ (ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ ΚΑΙ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ)	28
2.3 ΓΡΑΜΜΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΟΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	30
2.3.1 Οριζόντια όρια.....	31
2.3.2 Κάθετα όρια.....	32
2.4 ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ ΚΑΙ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΔΑΚΤΥΛΙΟΕΙΔΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	34
2.5 ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ	39
ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	42
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	43
3.2 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	44
3.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ	51
ΚΩΔΙΚΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ	56
4.1 ΚΩΔΙΚΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΠΡΩΤΟΤΑΞΙΩΝ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ	57
4.1.1 ΑΡΧΕΙΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ: input file.....	57
4.1.2 Ενδεικτικά αρχεία χρήσης (εισαγωγής δεδομένων) του προγράμματος cylinder3.f.....	64
4.1.2.1 Ενδεικτικό αρχείο για κύλινδρο (όνομα: c11)	64
4.1.2.2 Ενδεικτικό αρχείο για κώνο (όνομα:k11).....	65
4.1.2.3 Ενδεικτικό αρχείο για κύλινδρο με κάθετη ποδιά (όνομα: s11).....	66
4.1.2.4 Ενδεικτικό αρχείο για σύνθετο κύλινδρο (όνομα: n11).....	67

4.2	ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΙΣΤΟΡΙΑΣ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ (RETARDATION FUNCTIONS)	68
4.2.1	Input_file (αρχείο δεδομένων).....	68
4.2.2	output_file (αρχείο παραγόμενων αποτελεσμάτων).....	69
4.2.3	ref (μονάδα αδιαστατοποίησης)	69
4.2.4	Ενδεικτικό αρχείο χρήσης του προγράμματος retardw	70
4.3	ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΓΙΑ ΤΗ ΧΡΟΝΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΩΝ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΑΞΟΝΟΣΥΜΜΕΤΡΙΚΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	73
4.3.1	ΕΝΤΟΛΗ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ.....	73
4.3.2	ΑΡΧΕΙΟ ΓΕΝΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (GENERAL_DATA_FILE).....	73
4.3.3	ΑΡΧΕΙΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ-ΣΚΕΔΑΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ: DIFFRACTION_FILE	78
4.3.4	ΑΡΧΕΙΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΡΟΣΠΙΠΤΩΝΤΟΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ: SPECTRUM_FILE.....	78
4.3.5	ΑΡΧΕΙΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ RETARDATION: RETARDATION_FILE	80
4.3.6	ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟ ΑΡΧΕΙΟ ΓΕΝΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ: GENERAL_DATA_FILE.....	81
4.3.7	ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟ ΑΡΧΕΙΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ: DIFFRACTION_FILE	82
4.3.8	ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟ ΑΡΧΕΙΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΡΟΣΠΙΠΤΩΝΤΟΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ: SPECTRUM_FILE.....	85
4.3.8.1	Ενδεικτικό αρχείο φάσματος κυματισμών.....	85
4.3.8.2	Ενδεικτικό αρχείο προσπίπτοντος μονοχρωματικού κυματισμού	86
4.3.9	ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟ ΑΡΧΕΙΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ RETARDATION: RETARDATION_FILE	87
	ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΩΝ.....	91
5.1	ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΩΝ	92
5.2	ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΕΩΜΕΤΡΙΩΝ	95
5.3	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ. ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ.....	112
5.4	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΙΣΤΟΡΙΑΣ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΑΝΑΦΟΡΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΘΕΤΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ (RETARDATION FUNCTIONS R_{33})	134
	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΩΝ	140
6.1	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΩΝ	141
	ΣΧΟΛΙΑ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	162
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	165
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι	168
I.1	ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΚΩΝΟΥ ΜΕ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΔΑΚΤΥΛΙΟΕΙΔΕΣ ΣΤΟΙΧΕΙΟ	169
I.2	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΚΩΝΟΥ ΜΕ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΔΑΚΤΥΛΙΟΕΙΔΕΣ ΣΤΟΙΧΕΙΟ	183

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ.....	190
ΙΙ.1 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΣΤΑΘΕΡΗ ΤΙΜΗ ΤΟΥ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ.....	191

Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 1.1 Παγκόσμιο ετήσιο κυματικό δυναμικό	16
Εικόνα 1.2 Λειτουργία ταλαντευόμενης υδάτινης στήλης	17
Εικόνα 1.3 European Pilot OWC Plant.....	18
Εικόνα 1.4 Limpet OWC	18
Εικόνα 1.5 Παράδειγμα σημειακού απορροφητήρα κυματικής ενέργειας.....	20
Εικόνα 1.6 Συσκευή περιστροφής Wave Roller	21
Εικόνα 1.7 Συσκευή Pelamis εγκατεστημένη ανοιχτά της ακτής.....	22
Εικόνα 1.8 Συσκευή υπερχείλισης.....	23
Εικόνα 1.9 Σημειακός απορροφητήρας κυματικής ενέργειας εγκατεστημένος στην ανοιχτή θάλασσα.....	24
Εικόνα 1.10 Υποβρύχια συσκευή διαφορικής υδροστατικής πίεσης	24
Εικόνα 1.11 Αρχή λειτουργίας υποβρύχιας συσκευής διαφορικής υδροστατικής πίεσης	25
Εικόνα 3.1 Αρχή λειτουργίας του εναλλάκτη κυματικής ενέργειας.....	44
Εικόνα 3.2 Δυναμικό ισοδύναμο πλωτήρα.....	46
Εικόνα 5.1 Μοντελοποίηση κυλίνδρου	93
Εικόνα 5.2 Μοντελοποίηση κώνου.....	93
Εικόνα 5.3 Μοντελοποίηση κυλίνδρου με κάθετη ποδιά	94
Εικόνα 5.4 Μοντελοποίηση σύνθετου κυλίνδρου	94
Εικόνα I.1 Τρισδιάστατη αναπαράσταση γεωμετρίας κώνου με εξωτερικό δακτυλιοειδές στοιχείο	169
Εικόνα I.2 Διαστασιολόγηση γεωμετρίας κώνου με εξωτερικό δακτυλιοειδές στοιχείο	170

Περιεχόμενα Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 5.1 Αδιάστατοι συντελεστές πρόσθετης μάζας αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=6.28m^3$).....	112
Διάγραμμα 5.2 Αδιάστατοι συντελεστές υδροδυναμικής απόσβεσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=6.28m^3$).....	112
Διάγραμμα 5.3 Δυνάμεις διέγερσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=6.28m^3$)	113
Διάγραμμα 5.4 Αδιάστατοι συντελεστές πρόσθετης μάζας αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=9.28m^3$).....	114
Διάγραμμα 5.5 Αδιάστατοι συντελεστές υδροδυναμικής απόσβεσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=9.28m^3$).....	114
Διάγραμμα 5.6 Δυνάμεις διέγερσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=9.28m^3$)	115
Διάγραμμα 5.7 Αδιάστατοι συντελεστές πρόσθετης μάζας αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=12.57m^3$).....	116
Διάγραμμα 5.8 Αδιάστατοι συντελεστές υδροδυναμικής απόσβεσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=12.57m^3$).....	116
Διάγραμμα 5.9 Δυνάμεις διέγερσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=12.57m^3$)	117
Διάγραμμα 5.10 Αδιάστατοι συντελεστές πρόσθετης μάζας αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=14.14m^3$).....	118
Διάγραμμα 5.11 Αδιάστατοι συντελεστές υδροδυναμικής απόσβεσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=14.14m^3$).....	118

Διάγραμμα 5.12 Δυνάμεις διέγερσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=14.14m^3$)	119
Διάγραμμα 5.13 Αδιάστατοι συντελεστές πρόσθετης μάζας αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=19.63m^3$)	120
Διάγραμμα 5.14 Αδιάστατοι συντελεστές υδροδυναμικής απόσβεσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=19.63m^3$)	120
Διάγραμμα 5.15 Δυνάμεις διέγερσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=19.63m^3$)	121
Διάγραμμα 5.16 Αδιάστατοι συντελεστές πρόσθετης μάζας αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=25.13m^3$)	122
Διάγραμμα 5.17 Αδιάστατοι συντελεστές υδροδυναμικής απόσβεσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=25.13m^3$)	122
Διάγραμμα 5.18 Δυνάμεις διέγερσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=25.13m^3$)	123
Διάγραμμα 5.19 Αδιάστατοι συντελεστές πρόσθετης μάζας αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=28.27m^3$)	124
Διάγραμμα 5.20 Αδιάστατοι συντελεστές υδροδυναμικής απόσβεσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=28.27m^3$)	124
Διάγραμμα 5.21 Δυνάμεις διέγερσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=28.27m^3$)	125
Διάγραμμα 5.22 Αδιάστατοι συντελεστές πρόσθετης μάζας αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=42.41m^3$)	126
Διάγραμμα 5.23 Αδιάστατοι συντελεστές υδροδυναμικής απόσβεσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=42.41m^3$)	126
Διάγραμμα 5.24 Δυνάμεις διέγερσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=42.41m^3$)	127
Διάγραμμα 5.25 Αδιάστατοι συντελεστές πρόσθετης μάζας αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=50.27m^3$)	128
Διάγραμμα 5.26 Αδιάστατοι συντελεστές υδροδυναμικής απόσβεσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=50.27m^3$)	128
Διάγραμμα 5.27 Δυνάμεις διέγερσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=50.27m^3$)	129
Διάγραμμα 5.28 Αδιάστατοι συντελεστές πρόσθετης μάζας αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=75.4m^3$)	130
Διάγραμμα 5.29 Αδιάστατοι συντελεστές υδροδυναμικής απόσβεσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=75.4m^3$)	130
Διάγραμμα 5.30 Δυνάμεις διέγερσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=75.4m^3$)	131
Διάγραμμα 5.31 Αδιάστατοι συντελεστές πρόσθετης μάζας αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=100.53m^3$)	132
Διάγραμμα 5.32 Αδιάστατοι συντελεστές υδροδυναμικής απόσβεσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=100.53m^3$)	132
Διάγραμμα 5.33 Δυνάμεις διέγερσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=100.53m^3$)	133
Διάγραμμα 6.1 Συνάρτηση χρονικής ιστορίας της δύναμης (retardation functions R_{33}) για τις τέσσερις γεωμετρίες με σταθερό εκτοπιζόμενο όγκο $V=6.28m^3$	134
Διάγραμμα 6.2 Συνάρτηση χρονικής ιστορίας της δύναμης (retardation functions R_{33}) για τις τέσσερις γεωμετρίες με σταθερό εκτοπιζόμενο όγκο $V=9.28m^3$	135
Διάγραμμα 6.3 Συνάρτηση χρονικής ιστορίας της δύναμης (retardation functions R_{33}) για τις τέσσερις γεωμετρίες με σταθερό εκτοπιζόμενο όγκο $V=12.57m^3$	135

Διάγραμμα 6.4 Συνάρτηση χρονικής ιστορίας της δύναμης (retardation functions R_{33}) για τις τέσσερις γεωμετρίες με σταθερό εκτοπιζόμενο όγκο $V=14.14m^3$	136
Διάγραμμα 6.5 Συνάρτηση χρονικής ιστορίας της δύναμης (retardation functions R_{33}) για τις τέσσερις γεωμετρίες με σταθερό εκτοπιζόμενο όγκο $V=19.63m^3$	136
Διάγραμμα 6.6 Συνάρτηση χρονικής ιστορίας της δύναμης (retardation functions R_{33}) για τις τέσσερις γεωμετρίες με σταθερό εκτοπιζόμενο όγκο $V=25.13m^3$	137
Διάγραμμα 6.7 Συνάρτηση χρονικής ιστορίας της δύναμης (retardation functions R_{33}) για τις τέσσερις γεωμετρίες με σταθερό εκτοπιζόμενο όγκο $V=28.29m^3$	137
Διάγραμμα 6.8 Συνάρτηση χρονικής ιστορίας της δύναμης (retardation functions R_{33}) για τις τέσσερις γεωμετρίες με σταθερό εκτοπιζόμενο όγκο $V=42.41m^3$	138
Διάγραμμα 6.9 Συνάρτηση χρονικής ιστορίας της δύναμης (retardation functions R_{33}) για τις τέσσερις γεωμετρίες με σταθερό εκτοπιζόμενο όγκο $V=50.27m^3$	138
Διάγραμμα 6.10 Συνάρτηση χρονικής ιστορίας της δύναμης (retardation functions R_{33}) για τις τέσσερις γεωμετρίες με σταθερό εκτοπιζόμενο όγκο $V=75.4m^3$	139
Διάγραμμα 6.11 Συνάρτηση χρονικής ιστορίας της δύναμης (retardation functions R_{33}) για τις τέσσερις γεωμετρίες με σταθερό εκτοπιζόμενο όγκο $V=100.53m^3$	139
Διάγραμμα 6.12 Συγκριτικό διάγραμμα μέσης απόδοσης τεσσάρων γεωμετριών σταθερού εκτοπίσματος $V=6.28m^3$	146
Διάγραμμα 6.13 Συγκριτικό διάγραμμα μέσης απόδοσης τεσσάρων γεωμετριών σταθερού εκτοπίσματος $V=12.57m^3$	149
Διάγραμμα 6.14 Συγκριτικό διάγραμμα μέσης απόδοσης τεσσάρων γεωμετριών σταθερού εκτοπίσματος $V=28.27m^3$	152
Διάγραμμα 6.15 Συγκριτικό διάγραμμα μέσης απόδοσης τεσσάρων γεωμετριών σταθερού εκτοπίσματος $V=42.41m^3$	155
Διάγραμμα 6.16 Συγκριτικό διάγραμμα μέσης απόδοσης τεσσάρων γεωμετριών σταθερού εκτοπίσματος $V=50.27m^3$	158
Διάγραμμα 6.17 Συγκριτικό διάγραμμα μέσης απόδοσης τεσσάρων γεωμετριών σταθερού εκτοπίσματος $V=75.4m^3$	161
Διάγραμμα I.1 Αδιάστατος συντελεστής πρόσθετης μάζας αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=6.28m^3$)	171
Διάγραμμα I.2 Αδιάστατος συντελεστής υδροδυναμικής απόσβεσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=6.28m^3$)	171
Διάγραμμα I.3 Δύναμη διέγερσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=6.28m^3$)	172
Διάγραμμα I.4 Αδιάστατος συντελεστής πρόσθετης μάζας αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=12.57m^3$)	173
Διάγραμμα I.5 Αδιάστατος συντελεστής υδροδυναμικής απόσβεσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=12.57m^3$)	173
Διάγραμμα I.6 Δύναμη διέγερσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=12.57m^3$)	174
Διάγραμμα I.7 Αδιάστατος συντελεστής πρόσθετης μάζας αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=28.27m^3$)	175
Διάγραμμα I.8 Αδιάστατος συντελεστής υδροδυναμικής απόσβεσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=28.27m^3$)	175
Διάγραμμα I.9 Δύναμη διέγερσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=28.27m^3$)	176
Διάγραμμα I.10 Αδιάστατος συντελεστής πρόσθετης μάζας αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=42.41m^3$)	177
Διάγραμμα I.11 Αδιάστατος συντελεστής υδροδυναμικής απόσβεσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=42.41m^3$)	177

Διάγραμμα I.12 Δύναμη διέγερσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=42.41\text{m}^3$)	178
Διάγραμμα I.13 Αδιάστατος συντελεστής πρόσθετης μάζας αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=50.27\text{m}^3$)	179
Διάγραμμα I.14 Αδιάστατος συντελεστής υδροδυναμικής απόσβεσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=50.27\text{m}^3$)	179
Διάγραμμα I.15 Δύναμη διέγερσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=50.27\text{m}^3$)	180
Διάγραμμα I.16 Αδιάστατος συντελεστής πρόσθετης μάζας αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=75.4\text{m}^3$)	181
Διάγραμμα I.17 Αδιάστατος συντελεστής υδροδυναμικής απόσβεσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=75.4\text{m}^3$)	181
Διάγραμμα I.18 Δύναμη διέγερσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=75.4\text{m}^3$)	182

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 5.1 Γεωμετρίες τεσσάρων διαφορετικών περιπτώσεων κυλίνδρου εκτοπισμάτων από $V=6.28\text{m}^3$ έως $V=25.13\text{m}^3$	96
Πίνακας 5.2 Γεωμετρίες τεσσάρων διαφορετικών περιπτώσεων κυλίνδρου εκτοπισμάτων από $V=12.57\text{m}^3$ έως $V=50.27\text{m}^3$	97
Πίνακας 5.3 Γεωμετρίες τεσσάρων διαφορετικών περιπτώσεων κυλίνδρου εκτοπισμάτων από $V=18.85\text{m}^3$ έως $V=75.40\text{m}^3$	98
Πίνακας 5.4 Γεωμετρίες τεσσάρων διαφορετικών περιπτώσεων κυλίνδρου εκτοπισμάτων από $V=25.13\text{m}^3$ έως $V=100.53\text{m}^3$	99
Πίνακας 5.5 Γεωμετρίες τεσσάρων διαφορετικών περιπτώσεων κώνου εκτοπισμάτων από $V=6.28\text{m}^3$ έως $V=25.13\text{m}^3$	100
Πίνακας 5.6 Γεωμετρίες τεσσάρων διαφορετικών περιπτώσεων κώνου εκτοπισμάτων από $V=12.57\text{m}^3$ έως $V=50.27\text{m}^3$	101
Πίνακας 5.7 Γεωμετρίες τεσσάρων διαφορετικών περιπτώσεων κώνου εκτοπισμάτων από $V=18.85\text{m}^3$ έως $V=75.40\text{m}^3$	102
Πίνακας 5.8 Γεωμετρίες τεσσάρων διαφορετικών περιπτώσεων κώνου εκτοπισμάτων από $V=25.13\text{m}^3$ έως $V=100.53\text{m}^3$	103
Πίνακας 5.9 Γεωμετρίες τεσσάρων διαφορετικών περιπτώσεων κυλίνδρου με κάθετη ποδιά εκτοπισμάτων από $V=6.28\text{m}^3$ έως $V=25.13\text{m}^3$	104
Πίνακας 5.10 Γεωμετρίες τεσσάρων διαφορετικών περιπτώσεων κυλίνδρου με κάθετη ποδιά εκτοπισμάτων από $V=12.57\text{m}^3$ έως $V=50.27\text{m}^3$	105
Πίνακας 5.11 Γεωμετρίες τεσσάρων διαφορετικών περιπτώσεων κυλίνδρου με κάθετη ποδιά εκτοπισμάτων από $V=18.85\text{m}^3$ έως $V=75.40\text{m}^3$	106
Πίνακας 5.12 Γεωμετρίες τεσσάρων διαφορετικών περιπτώσεων κυλίνδρου με κάθετη ποδιά εκτοπισμάτων από $V=25.13\text{m}^3$ έως $V=100.53\text{m}^3$	107
Πίνακας 5.13 Γεωμετρίες τεσσάρων διαφορετικών περιπτώσεων σύνθετου κυλίνδρου εκτοπισμάτων από $V=6.28\text{m}^3$ έως $V=25.13\text{m}^3$	108
Πίνακας 5.14 Γεωμετρίες τεσσάρων διαφορετικών περιπτώσεων σύνθετου κυλίνδρου εκτοπισμάτων από $V=12.57\text{m}^3$ έως $V=50.27\text{m}^3$	109
Πίνακας 5.15 Γεωμετρίες τεσσάρων διαφορετικών περιπτώσεων σύνθετου κυλίνδρου εκτοπισμάτων από $V=18.85\text{m}^3$ έως $V=75.40\text{m}^3$	110
Πίνακας 5.16 Γεωμετρίες τεσσάρων διαφορετικών περιπτώσεων σύνθετου κυλίνδρου εκτοπισμάτων από $V=25.13\text{m}^3$ έως $V=100.53\text{m}^3$	111

Πίνακας 6.2.17 Βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά τεσσάρων σωμάτων εκτοπίσματος $V=6.28m^3$	141
Πίνακας 6.2.18 Βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά τεσσάρων σωμάτων εκτοπίσματος $V=12.57m^3$	142
Πίνακας 6.2.19 Βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά τεσσάρων σωμάτων εκτοπίσματος $V=28.27m^3$	142
Πίνακας 6.2.20 Βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά τεσσάρων σωμάτων εκτοπίσματος $V=42.41m^3$	142
Πίνακας 6.2.21 Βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά τεσσάρων σωμάτων εκτοπίσματος $V=50.27m^3$	142
Πίνακας 6.2.22 Βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά τεσσάρων σωμάτων εκτοπίσματος $V=75.4m^3$	142
Πίνακας 6.2.23 Μέση ενέργεια προσπίπτοντος κυματισμού για μέτωπο κυματισμού $A=4m$	143
Πίνακας 6.2.24 Μέση παραγόμενη ενέργεια απλού κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=6.28m^3$	144
Πίνακας 6.2.25 Μέση απόδοση απλού κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=6.28m^3$	144
Πίνακας 6.2.26 Μέση παραγόμενη ενέργεια κώνου εκτοπίσματος $V=6.28m^3$	144
Πίνακας 6.2.27 Μέση απόδοση κώνου εκτοπίσματος $V=6.28m^3$	144
Πίνακας 6.2.28 Μέση παραγόμενη ενέργεια κυλίνδρου με κάθετη ποδιά εκτοπίσματος $V=6.28m^3$	145
Πίνακας 6.2.29 Μέση απόδοση κυλίνδρου με κάθετη ποδιά εκτοπίσματος $V=6.28m^3$	145
Πίνακας 6.2.30 Μέση παραγόμενη ενέργεια σύνθετου κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=6.28m^3$	145
Πίνακας 6.2.31 Μέση απόδοση σύνθετου κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=6.28m^3$	145
Πίνακας 6.2.32 Μέση ενέργεια προσπίπτοντος κυματισμού για μέτωπο κυματισμού $A=4m$	147
Πίνακας 6.2.33 Μέση παραγόμενη ενέργεια απλού κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=12.57m^3$	147
Πίνακας 6.2.34 Μέση απόδοση απλού κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=12.57m^3$	147
Πίνακας 6.2.35 Μέση παραγόμενη ενέργεια κώνου εκτοπίσματος $V=12.57m^3$	148
Πίνακας 6.2.36 Μέση απόδοση κώνου εκτοπίσματος $V=12.57m^3$	148
Πίνακας 6.2.37 Μέση παραγόμενη ενέργεια κυλίνδρου με κάθετη ποδιά εκτοπίσματος $V=12.57m^3$	148
Πίνακας 6.2.38 Μέση απόδοση κυλίνδρου με κάθετη ποδιά εκτοπίσματος $V=12.57m^3$	148
Πίνακας 6.2.39 Μέση παραγόμενη ενέργεια σύνθετου κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=12.57m^3$	149
Πίνακας 6.2.40 Μέση απόδοση σύνθετου κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=12.57m^3$	149
Πίνακας 6.2.41 Μέση ενέργεια προσπίπτοντος κυματισμού για μέτωπο κυματισμού $A=6m$	150
Πίνακας 6.2.42 Μέση παραγόμενη ενέργεια απλού κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=28.27m^3$	150
Πίνακας 6.2.43 Μέση απόδοση απλού κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=28.27m^3$	150
Πίνακας 6.2.44 Μέση παραγόμενη ενέργεια κώνου εκτοπίσματος $V=28.27m^3$	151
Πίνακας 6.2.45 Μέση απόδοση κώνου εκτοπίσματος $V=28.27m^3$	151
Πίνακας 6.2.46 Μέση παραγόμενη ενέργεια κυλίνδρου με κάθετη ποδιά εκτοπίσματος $V=28.27m^3$	151
Πίνακας 6.2.47 Μέση απόδοση κυλίνδρου με κάθετη ποδιά εκτοπίσματος $V=28.27m^3$	151
Πίνακας 6.2.48 Μέση παραγόμενη ενέργεια σύνθετου κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=28.27m^3$	152

Πίνακας 6.2.49 Μέση απόδοση σύνθετου κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=28.27m^3$	152
Πίνακας 6.2.50 Μέση ενέργεια προσπίπτοντος κυματισμού για μέτωπο κυματισμού $A=6m$	153
Πίνακας 6.2.51 Μέση παραγόμενη ενέργεια απλού κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=42.41m^3$	153
Πίνακας 6.2.52 Μέση απόδοση απλού κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=42.41m^3$	153
Πίνακας 6.2.53 Μέση παραγόμενη ενέργεια κώνου εκτοπίσματος $V=42.41m^3$	154
Πίνακας 6.2.54 Μέση απόδοση κώνου εκτοπίσματος $V=42.41m^3$	154
Πίνακας 6.2.55 Μέση παραγόμενη ενέργεια κυλίνδρου με κάθετη ποδιά εκτοπίσματος $V=42.41m^3$	154
Πίνακας 6.2.56 Μέση απόδοση κυλίνδρου με κάθετη ποδιά εκτοπίσματος $V=42.41m^3$	154
Πίνακας 6.2.57 Μέση παραγόμενη ενέργεια σύνθετου κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=42.41m^3$	155
Πίνακας 6.2.58 Μέση απόδοση σύνθετου κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=42.41m^3$	155
Πίνακας 6.2.59 Μέση ενέργεια προσπίπτοντος κυματισμού για μέτωπο κυματισμού $A=8m$	156
Πίνακας 6.2.60 Μέση παραγόμενη ενέργεια απλού κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=50.27m^3$	156
Πίνακας 6.2.61 Μέση απόδοση απλού κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=50.27m^3$	156
Πίνακας 6.2.62 Μέση παραγόμενη ενέργεια κώνου εκτοπίσματος $V=50.27m^3$	157
Πίνακας 6.2.63 Μέση απόδοση κώνου εκτοπίσματος $V=50.27m^3$	157
Πίνακας 6.2.64 Μέση παραγόμενη ενέργεια κυλίνδρου με κάθετη ποδιά εκτοπίσματος $V=50.27m^3$	157
Πίνακας 6.2.65 Μέση απόδοση κυλίνδρου με κάθετη ποδιά εκτοπίσματος $V=50.27m^3$	157
Πίνακας 6.2.66 Μέση παραγόμενη ενέργεια σύνθετου κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=50.27m^3$	158
Πίνακας 6.2.67 Μέση απόδοση σύνθετου κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=50.27m^3$	158
Πίνακας 6.2.68 Μέση ενέργεια προσπίπτοντος κυματισμού για μέτωπο κυματισμού $A=8m$	159
Πίνακας 6.2.69 Μέση παραγόμενη ενέργεια απλού κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=75.4m^3$	159
Πίνακας 6.2.70 Μέση απόδοση απλού κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=75.4m^3$	159
Πίνακας 6.2.71 Μέση παραγόμενη ενέργεια κώνου εκτοπίσματος $V=75.4m^3$	160
Πίνακας 6.2.72 Μέση απόδοση κώνου εκτοπίσματος $V=75.4m^3$	160
Πίνακας 6.2.73 Μέση παραγόμενη ενέργεια κυλίνδρου με κάθετη ποδιά εκτοπίσματος $V=75.4m^3$	160
Πίνακας 6.2.74 Μέση απόδοση κυλίνδρου με κάθετη ποδιά εκτοπίσματος $V=75.4m^3$.	160
Πίνακας 6.2.75 Μέση παραγόμενη ενέργεια σύνθετου κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=75.4m^3$	161
Πίνακας 6.2.76 Μέση απόδοση σύνθετου κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=75.4m^3$	161
Πίνακας I.1 Βασικές διαστάσεις γεωμετρίας κώνου με εξωτερικό δακτυλιοειδές στοιχείο	170
Πίνακας I.2 Μέση ενέργεια προσπίπτοντος κυματισμού για μέτωπο κυματισμού $A=4m$	184
Πίνακας I.3 Μέση παραγόμενη ενέργεια κώνου με εξωτερικό δακτυλίδι εκτοπίσματος $V=6.28m^3$	184
Πίνακας I.4 Μέση απόδοση κώνου με εξωτερικό δακτυλίδι εκτοπίσματος $V=6.28m^3$.	184
Πίνακας I.5 Μέση ενέργεια προσπίπτοντος κυματισμού για μέτωπο κυματισμού $A=4m$	185

Πίνακας 9.6 Μέση παραγόμενη ενέργεια κώνου με εξωτερικό δακτυλίδι εκτοπίσματος $V=12.57m^3$	185
Πίνακας I.7 Μέση απόδοση κώνου με εξωτερικό δακτυλίδι εκτοπίσματος $V=12.57m^3$	185
Πίνακας I.8 Μέση ενέργεια προσπίπτοντος κυματισμού για μέτωπο κυματισμού $A=6m$	186
Πίνακας I.9 Μέση παραγόμενη ενέργεια κώνου με εξωτερικό δακτυλίδι εκτοπίσματος $V=28.27m^3$	186
Πίνακας I.10 Μέση απόδοση κώνου με εξωτερικό δακτυλίδι εκτοπίσματος $V=28.27m^3$	186
Πίνακας I.11 Μέση ενέργεια προσπίπτοντος κυματισμού για μέτωπο κυματισμού $A=6m$	187
Πίνακας I.12 Μέση παραγόμενη ενέργεια κώνου με εξωτερικό δακτυλίδι εκτοπίσματος $V=42.41m^3$	187
Πίνακας I.13 Μέση απόδοση κώνου με εξωτερικό δακτυλίδι εκτοπίσματος $V=42.41m^3$	187
Πίνακας I.14 Μέση ενέργεια προσπίπτοντος κυματισμού για μέτωπο κυματισμού $A=8m$	188
Πίνακας I.15 Μέση παραγόμενη ενέργεια κώνου με εξωτερικό δακτυλίδι εκτοπίσματος $V=50.27m^3$	188
Πίνακας I.16 Μέση απόδοση κώνου με εξωτερικό δακτυλίδι εκτοπίσματος $V=50.27m^3$	188
Πίνακας I.17 Μέση ενέργεια προσπίπτοντος κυματισμού για μέτωπο κυματισμού $A=8m$	189
Πίνακας I.18 Μέση παραγόμενη ενέργεια κώνου με εξωτερικό δακτυλίδι εκτοπίσματος $V=75.4m^3$	189
Πίνακας I.19 Μέση απόδοση κώνου με εξωτερικό δακτυλίδι εκτοπίσματος $V=75.4m^3$	189
Πίνακας II.1 Μέση παραγόμενη ενέργεια απλού κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=12.57m^3$	191
Πίνακας II.2 Μέση απόδοση απλού κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=12.57m^3$	191
Πίνακας II.3 Μέση παραγόμενη ενέργεια κώνου εκτοπίσματος $V=12.57m^3$	192
Πίνακας II.4 Μέση απόδοση κώνου εκτοπίσματος $V=12.57m^3$	192
Πίνακας II.5 Μέση παραγόμενη ενέργεια κυλίνδρου με κάθετη ποδιά εκτοπίσματος $V=12.57m^3$	192
Πίνακας II.6 Μέση απόδοση κυλίνδρου με κάθετη ποδιά εκτοπίσματος $V=12.57m^3$...	192
Πίνακας II.7 Μέση παραγόμενη ενέργεια σύνθετου κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=12.57m^3$	193
Πίνακας II.8 Μέση απόδοση σύνθετου κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=12.57m^3$	193
Πίνακας II.9 Μέση παραγόμενη ενέργεια απλού κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=42.41m^3$	193
Πίνακας II.10 Μέση απόδοση απλού κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=42.41m^3$	193
Πίνακας II.11 Μέση παραγόμενη ενέργεια κώνου εκτοπίσματος $V=42.41m^3$	194
Πίνακας II.12 Μέση απόδοση κώνου εκτοπίσματος $V=42.41m^3$	194
Πίνακας II.13 Μέση παραγόμενη ενέργεια κυλίνδρου με κάθετη ποδιά εκτοπίσματος $V=42.41m^3$	194
Πίνακας II.14 Μέση απόδοση κυλίνδρου με κάθετη ποδιά εκτοπίσματος $V=42.41m^3$.	194
Πίνακας II.15 Μέση παραγόμενη ενέργεια σύνθετου κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=42.41m^3$	195
Πίνακας II.16 Μέση απόδοση σύνθετου κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=42.41m^3$	195

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

**Διπλωματική Εργασία του Φοιτητή της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων
Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Μιχαήλ Αποστολίδη**

Θέμα:

*«Παραμετρική διερεύνηση της απόδοσης σημειακών απορροφητήρων κυματικής ενέργειας
(Power Point Wave Energy Converters)»*

Η διπλωματική εργασία στοχεύει να συνεισφέρει στην ανάδειξη της αποδοτικότερης γεωμετρίας ανωστικού σώματος, το οποίο αποτελεί κομμάτι σημειακού απορροφητήρα κυματικής ενέργειας. Για τον λόγο αυτό εξετάζονται διαφορετικές γεωμετρίες που συγκρίνονται μεταξύ τους με βάση το σταθερό όγκο τους και τη σταθερή ακτίνα στην ίσαλο επιφάνεια. Αρχικά γίνεται υδροδυναμική ανάλυση των γεωμετριών στο πεδίο των συχνοτήτων με τη χρήση γραμμικοποιημένης ημι-αναλυτικής μεθόδου περίθλασης-ακτινοβολίας, η οποία στηρίζεται στο διαχωρισμό του πεδίου ροής γύρω από το σώμα, σε δακτυλιοειδή στοιχεία. Με χρήση των υδροδυναμικών συντελεστών που παράγονται από την παραπάνω διαδικασία, υπολογίζονται οι συναρτήσεις χρονικής ιστορίας της δύναμης (Retardation functions) ενώ με κατάλληλο δυναμικό μοντέλο αξιολογείται η απόδοση της κάθε γεωμετρίας στο πεδίο των χρόνων.

Diploma Thesis: Michalis Apostolidis

“Parametric evaluation of the Power Point Wave energy Converters’ efficiency”

The diploma thesis deals with the investigation of the effect that floaters’ hydrodynamics has on the performance characteristics of tightly moored vertical axisymmetric wave energy converters that are allowed to move in the heave. To this end a linearized diffraction – radiation semi-analytical method of analysis is introduced to calculate the floats’ first order hydrodynamic characteristics in the frequency domain. Based on these characteristics, the retardation forcing terms are calculated and a dynamical model for evaluating the floaters’ performance in time domain, is developed.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

1.1 Ιστορική Αναδρομή

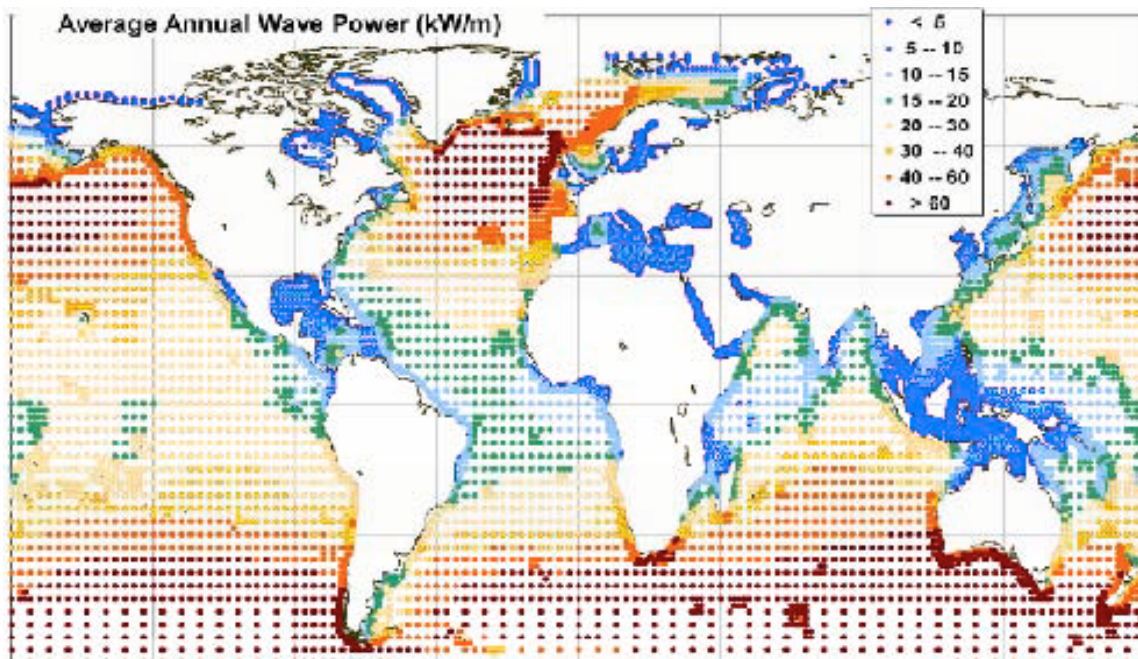
Η πρώτη καταγεγραμμένη προσπάθεια για την κατασκευή συσκευής που θα εκμεταλλευόταν την κυματική ενέργεια έγινε από το Γάλλο μηχανικό Pierre Girard το 1799, που όμως δεν κατασκευάστηκε ποτέ. Έκτοτε και για 200 περίπου χρόνια δεν υπήρξε σημαντική εξέλιξη στον τομέα αυτό. Το 1970 και ενώ η ενεργειακή κρίση ήταν γεγονός (ραγδαία αύξηση στην τιμή του πετρελαίου), αρκετές κυβερνήσεις χρηματοδότησαν προγράμματα για την παραγωγή κυματικής ενέργειας μεταξύ των οποίων η Ιαπωνία, η Νορβηγία και το Ηνωμένο Βασίλειο. Τα προγράμματα αυτά προχώρησαν ιδιαίτερα την τεχνολογία στο πεδίο αυτό και είχαν πολύ ενθαρρυντικά αποτελέσματα με αποκορύφωση την εγκατάσταση πρωτοτύπων. Παρόλα αυτά, οι υψηλές προσδοκίες σε παραγωγή ενέργειας σε συνδυασμό με τις αντίστοιχα μεγάλες εγκαταστάσεις, οδήγησαν σε αυξημένα κόστη και δαπάνη μεγάλων κεφαλαίων. Άλλη μια παράμετρος που αποτελούσε τροχοπέδη στην περαιτέρω εξέλιξη της εκμετάλλευσης κυματικής ενέργειας, ήταν το γεγονός, ότι πολλές επιστήμες όπως ωκεανογραφία, μηχανική των ρευστών, μηχανική κ.α. έπρεπε να συνδυαστούν για το επιθυμητό αποτέλεσμα, κάτι που έκανε επιτακτική την ανάγκη για επιστροφή των ερευνητικών δραστηριοτήτων στον ακαδημαϊκό χώρο. Από τα μέσα της δεκαετίας του 1990, υπήρξε μια αναγέννηση στον τομέα της κυματικής ενέργειας, οφειλόμενη κυρίως στις προσπάθειες μικρών εταιριών. Αποτέλεσμα αυτού, ήταν να δημιουργηθούν πολλά πρωτότυπα μικρών σχετικά διαστάσεων και εγκατεστημένης ισχύος ακολουθώντας τον γενικό κανόνα του χαμηλού κόστους εγκατάστασης και συντήρησης, μειώνοντας περαιτέρω το κόστος παραγωγής της ενέργειας. Η εμπειρία σχεδόν δύο δεκαετιών στην κατασκευή, τοποθέτηση και λειτουργία πλατφορμών εξόρυξης πετρελαίου συνέβαλε επίσης ευεργετικά στην ανάπτυξη (τεχνολογία πέρασε από αυτόν τον κλάδο στην παραγωγή κυματικής ενέργειας). Σήμερα πολλά προγράμματα έχουν περατωθεί και πολλά άλλα βρίσκονται σε εξέλιξη, μερικά εκ' των οποίων και στον ελλαδικό χώρο.[1,2]

1.2 Περί κυματικής ενέργειας

Με το όρο κυματική ενέργεια, εννοείται η ενέργεια που μεταφέρει ένα θαλάσσιο κύμα. Τα θαλάσσια κύματα περικλείουν δύο μορφές ενέργειας: την κινητική ενέργεια των μορίων του νερού, τα οποία γενικά ακολουθούν τις κυκλικές πορείες και την ενδεχόμενη ενέργεια των ανυψωμένων μορίων νερού. Κύρια πηγή δημιουργίας θαλάσσιων κυματισμών είναι ο άνεμος. Μεταξύ των διαφορετικών τύπων ωκεάνιων κυμάτων, τα παραγμένα από αέρα κύματα έχουν την υψηλότερη ενεργειακή συγκέντρωση.

Το παγκόσμιο δυναμικό ανέρχεται σε 8.000 – 80.000 TWh / έτος παρόλα αυτά όμως, όπως συμβαίνει και με τις υπόλοιπες ανανεώσιμες μορφές ενέργειας, κατανέμεται άνισα ανά τον κόσμο. Αυξημένη δραστηριότητα κυμάτων βρίσκεται μεταξύ των γεωγραφικών πλατών $\sim 30^\circ$ και $\sim 60^\circ$ και στα δύο ημισφαίρια, που προκαλούνται από τους επικρατούντες δυτικούς ανέμους (Westerlies) που φυσούν σε αυτές τις περιοχές. Ιδιαίτερα υψηλά ποσά κυματικής ενέργειας βρίσκονται κατά μήκος της δυτικής ευρωπαϊκής ακτής, στις ακτές του Καναδά και των ΗΠΑ, καθώς και στις νότιες ακτές της Αυστραλίας και της Νότιας Αμερικής. Σε αυτές τις περιοχές το κυματικό δυναμικό κυμαίνεται μεταξύ 20 – 70 KW / m μετώπου του κυματισμού. Αντίστοιχα το μέγεθος αυτό για τις ακτές των Ευρωπαϊκών χωρών της Μεσογείου το είναι περίπου 4 – 11 KW / m (νότιο- δυτικό Αιγαίο).

Το συνολικά διαθέσιμο δυναμικό της κυματικής ισχύος για την περιοχή του βορειοανατολικού ατλαντικού (συμπεριλαμβανομένης της Βόρειας Θάλασσας) είναι περίπου 290 GW, ενώ το ποσό αυτό για τη Μεσόγειο είναι 30 GW [1,3,4].



Εικόνα 1.1 Παγκόσμιο ετήσιο κυματικό δυναμικό

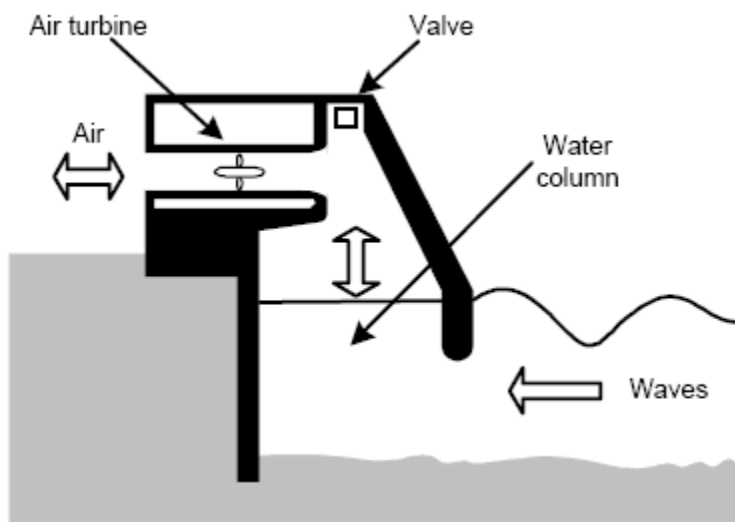
1.3 Κύριοι τύποι συσκευών εκμετάλλευσης κυματικής ενέργειας

Οι εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης της κυματικής ενέργειας μπορούν να διαχωριστούν με βάση την τοποθεσία εγκατάστασής τους [1,4] :

1.3.1 Παράκτιες εγκαταστάσεις

Συσκευές εγκατεστημένες στην ακτογραμμή, κάτι που διευκολύνει πολύ την τοποθέτηση και την συντήρησή τους. Δεν απαιτείται κάποιου είδους αγκύρωση, ενώ η μεταφορά του παραγόμενου ρεύματος γίνεται εύκολα αφού πρόκειται για εγκατάσταση στην στεριά (απουσία ποντισμένων καλωδίων). Παρόλα αυτά το γεγονός ότι πρόκειται για μια στατική εγκατάσταση, κάνει επιτακτική την ανάγκη επιλογής κατάλληλου μέρους, ώστε η απόληψη ισχύος να μεγιστοποιείται.

Βασικός εκπρόσωπος της κατηγορίας αυτής είναι η Ταλαντευόμενη Υδάτινη Στήλη (Oscillating Water Column, OWC). Πρόκειται για μια κεκλιμένη κοίλη στήλη, το κάτω μέρος της οποίας είναι μόνιμα βυθισμένο στο νερό (βρίσκεται κάτω από την ίσαλο γραμμή). Ο επερχόμενος κυματισμός ο οποίος συναντά την ακτή, ανεβάζει τη στάθμη του νερού μέσα στη στήλη. Η απότομη αλλαγή ισάλου συμπιέζει τον αέρα ο οποίος είναι εγκλωβισμένος στο πάνω μέρος της στήλης. Ο συμπιεσμένος πλέον αέρας, διοχετεύεται σε μια τουρμπίνα (Wells turbine), η οποία συζευγμένη με μια γεννήτρια μετατρέπει την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική. Η ανάστροφη διαδικασία (πτώση της ισάλου) συνοδεύεται από αναρρόφηση αέρα, που πληρώνει το κενό του ήδη εκτονωμένου. Η συνεχής συμπίεση και εκτόνωση του αέρα προκαλεί ταλάντωσή του μέσω της τουρμπίνας.



Εικόνα 1.2 Λειτουργία ταλαντευόμενης υδάτινης στήλης

Οι δύο Ευρωπαϊκές εγκαταστάσεις που βασίζουν την λειτουργία τους στη λεγόμενη Ταλαντευόμενη Υδάτινη Στήλη είναι οι εξής :

1. European Pilot OWC Plant που βρίσκεται στο νησί Pico στις Αζόρες με ονομαστική παραγόμενη ισχύ 400 kW (Εικόνα 1.3)



Εικόνα 1.3 European Pilot OWC Plant

2. Limpet OWC που βρίσκεται στο νησί Islay στη δυτική ακτή της Σκωτίας με δύο τουρμπίνες Wells οι οποίες κινούν δύο γεννήτριες ονομαστικής ισχύος 250kW η κάθε μια (συνολική ισχύς 500kW) (Εικόνα 1.4)



Εικόνα 1.4 Limpet OWC

1.3.2 Εγκαταστάσεις κοντά στη στεριά

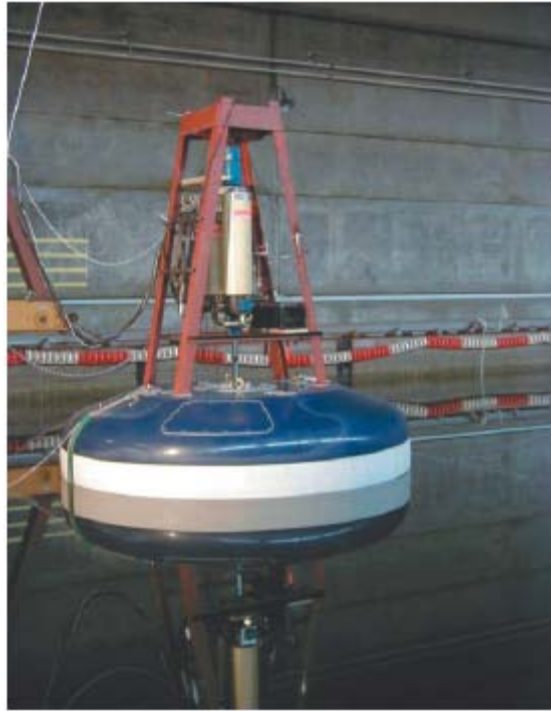
Πρόκειται για εγκαταστάσεις που βρίσκονται όχι μακρύτερα από 500 μέτρα από την ακτογραμμή και που είναι αγκυρωμένες σε σχετικά μικρά βάθη (της τάξεως των 20 με 30 μέτρων ή και μικρότερα). Έχουν τα πλεονεκτήματα του χαμηλού κόστους εγκατάστασης και συντήρησης εξ' αιτίας της μικρής απόστασης, ενώ ταυτόχρονα συναντούν υψηλότερο κυματικό δυναμικό από αυτό που υπάρχει συνήθως στην ακτή.

1.3.2.1 Σημειακοί απορροφητήρες κυματικής ενέργειας (point absorbers)

Είναι συσκευές που εκμεταλλεύονται την ανύψωση και πτώση της ελεύθερης επιφάνειας του νερού (κορυφή και κοιλάδα κύματος), προκειμένου να κινήσουν μέσω διαφόρων μηχανισμών, γεννήτριες. Συγκεκριμένα αποτελούνται από πλωτήρα ο οποίος βρίσκεται στην επιφάνεια και ακολουθεί την καθ' ύψος κίνησή της και ένα πιστόνι το οποίο είναι συνδεδεμένο με τον πλωτήρα και το ακολουθεί στην καθ' ύψος ταλάντωσή του. Το πιστόνι με τη σειρά του συμπιέζει νερό σε ένα φυλάκιο το οποίο όταν φτάσει συγκεκριμένη τιμή πίεσης (~200 bar), εκτονώνει το νερό σε ένα υδραυλικό κινητήρα συζευγμένο με ηλεκτρική γεννήτρια (πατέντα εταιρίας Wave energy S.A.). Γενικότερα η καθ' ύψος ταλάντωση του πλωτήρα, μπορεί να εκμεταλλευτεί με ποικίλους τρόπους, να αποθηκευτεί με μορφή μηχανικής ή υδραυλικής ενέργειας και τέλος να μετατραπεί σε ηλεκτρική. Ενδεικτικό παράδειγμα συσκευής αυτού του είδους παρουσιάζεται στην εικόνα 1.5.

Η συσκευή αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, είτε και για αφαλάτωση θαλασσινού νερού εκμεταλλευόμενη επιτόπου την παραγόμενη ενέργεια.

Συγκεκριμένη εγκατάσταση της ελληνικής εταιρίας Wave energy S.A. μπορεί να παράγει 2~3 kW ηλεκτρικής ισχύος ανά πλωτήρα, για μέτριο κυματικό δυναμικό της τάξεως των 10 kW/m μετώπου κυματισμού.



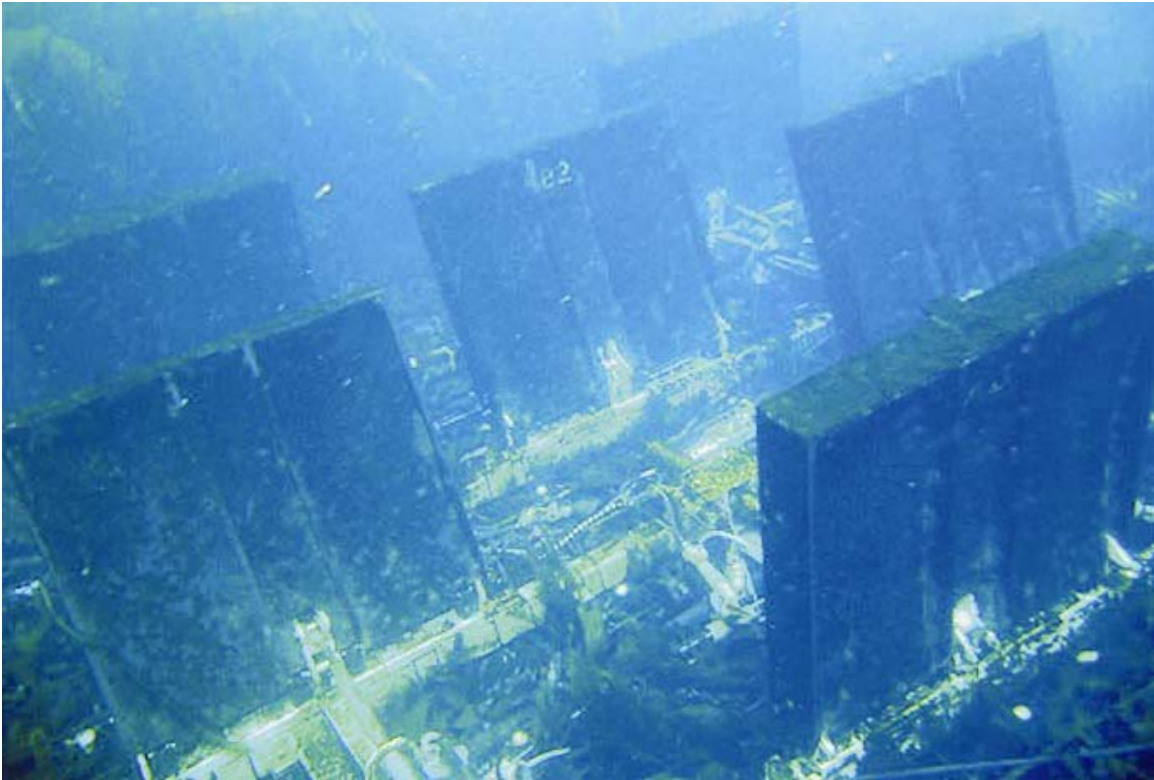
Εικόνα 1.5 Παράδειγμα σημειακού απορροφητήρα κυματικής ενέργειας

1.3.2.2 Συσκευές περιστροφής (Wave roller)

Πρόκειται για ορθογώνιες πλάκες τοποθετημένες κάθετα ως προς τον πυθμένα της θάλασσας, οι οποίες είναι ελεύθερες να περιστρέφονται γύρω από άξονα που περνάει από την πλευρά της πλάκας που ακουμπάει στον πυθμένα. Τοποθετούνται σε βάθη όχι μεγαλύτερα των 20 μέτρων και εκμεταλλεύονται την «πίσω-εμπρός» κίνηση των κυμάτων του βυθού, προκειμένου να παράγουν περιστροφική κίνηση στον άξονά τους, η οποία αποθηκεύεται μέσω εμβολοφόρου αντλίας.

Η ονομαστική ισχύς ανά πλάκα (συνήθως εγκαθίσταται ένα πλέγμα από 3-5 πλάκες) είναι της τάξης των 13 kW.

Η συγκεκριμένη συσκευή Wave Roller είναι εγκατεστημένη υπό κλίμακα 1:3 στο European Marine Energy Center που βρίσκεται στο Orkney (UK). (**Ocean Energy Conversion in Europe**, Recent advancements and prospects, Centre for Renewable Energy Sources 2006)



Εικόνα 1.6 Συσσκευή περιστροφής Wave Roller

1.3.3 Εγκαταστάσεις ανοιχτής θάλασσας

1.3.3.1 Pelamis

Είναι μια εγκατάσταση, που αποτελείται από ενωμένα μεταξύ τους κυλινδρικά τμήματα μεγάλων διαστάσεων, τα οποία επιπλέουν ημιβυθισμένα στην ελεύθερη επιφάνεια. Η μεταξύ τους ένωση, επιτυγχάνεται με εύκαμπτους συνδέσμους οι οποίοι εξαναγκάζονται σε κίνηση, εξ' αιτίας της κίνησης όλης της κατασκευής (διέγερση από τους κυματισμούς). Μέσω πιστονιών η κίνηση αυτή αυξάνει την πίεση λαδιού το οποίο περνώντας από υδραυλικούς κινητήρες κινεί ηλεκτρικές γεννήτριες. Η κατασκευή μπορεί να προσανατολίζεται ώστε να ακολουθεί τους κυματισμούς, όπως ένα πλοίο, ενώ συγκρατείται στην θέση της με ειδικό σύστημα αγκύρωσης. Η μεγάλη επιτυχία της ιδέας αυτής είναι ότι δεν εκμεταλλεύεται μόνο μια κίνηση (π.χ. την πάνω-κάτω, ένας βαθμός ελευθερίας) αλλά και ενδεχόμενες κινήσεις στο επίπεδο του νερού κάτι που κάνει την απορρόφηση ενέργειας ακόμα μεγαλύτερη.

Σήμερα λειτουργούν τρεις κατασκευές Pelamis εγκατεστημένες βόρεια της Πορτογαλίας, ονομαστικής ισχύος 2.25 MW (750 kW κάθε μια) ενώ πρόκειται να δημιουργηθεί πάρκο με 28 τέτοιες μηχανές, το οποίο θα παράγει περί τα 20 MW.



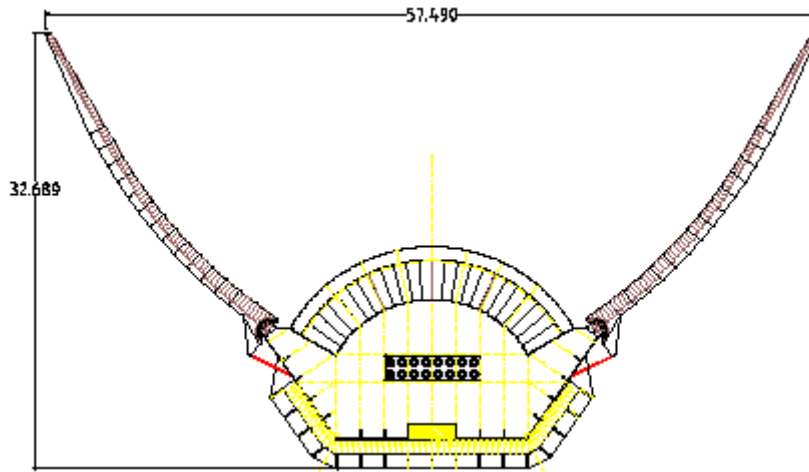
Εικόνα 1.7 Συσσκευή Pelamis εγκατεστημένη ανοιχτά της ακτής

1.3.3.2 Συσσκευές υπερχείλισης (Overtopping devices)

Πρόκειται για εγκαταστάσεις που συγκεντρώνουν το νερό σε κάποια δεξαμενή, υπερυψωμένη σε σχέση με το επίπεδο της θάλασσας και έπειτα το αποδεσμεύουν σε χαμηλής πίεσης τουρμπίνες εκμεταλλευόμενες τη μηχανική ενέργεια που έχει αποκτήσει. Ο επερχόμενος κυματισμός και συγκεκριμένα η κορυφή του, τροφοδοτεί συνεχώς με θαλασσινό νερό την δεξαμενή.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τέτοιου είδους εγκαταστάσεις είναι δυνατό να τοποθετηθούν είτε παράκτια, είτε αγκυρωμένες μακριά από την ακτογραμμή.

Εκπρόσωπος της κατηγορίας αυτής είναι η κατασκευή Wave Dragon η οποία είναι εγκατεστημένη ως πρωτότυπο (υπό κλίμακα) στο Nissum. Πρόκειται για μια συσκευή υπερχείλισης τοποθετημένη μακριά από την ακτή που επιπλέον χρησιμοποιεί ένα είδος ημικυκλικού κυματικού συλλέκτη, προκειμένου να οδηγούνται οι κυματισμοί προς τη δεξαμενή. Σε σύντομο χρονικό διάστημα θα εγκατασταθεί μια τέτοια συσκευή έξω από τις δυτικές ακτές της Ουαλίας ονομαστικής ισχύος 7 MW.



Εικόνα 1.8 Συσκευή υπερχειλίσης

1.3.3.3 Σημειακοί απορροφητήρες κυματικής ενέργειας (point absorbers)

Οι σημειακοί απορροφητήρες κυματικής ενέργειας, είναι αντίστοιχες κατασκευές με εκείνες που περιγράφηκαν παραπάνω και αφορούσαν τοποθέτηση κοντά στην στεριά, προσαρμοσμένες όμως στο αφιλόξενο περιβάλλον της ανοιχτής θάλασσας. Κατά κύριο λόγο εκμεταλλεύονται την καθ' ύψος διέγερσή τους από τους κυματισμούς για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω υδραυλικών εναλλακτών. Τα βάθη εγκατάστασής τους συνήθως ξεπερνούν τα 70 μέτρα ενώ είναι εφοδιασμένοι με συστήματα διακοπής της παραγωγής ενέργειας (προς αποφυγή καταστροφής του εξοπλισμού) όταν οι συνθήκες είναι ακραίες.

Κατασκευές αυτού του είδους αποτελούν :

PowerBuoy : εγκαταστάσεις 40 kW υπάρχουν στην Χαβάη και στο Atlantic City, New Jersey ενώ έχει ξεκινήσει η κατασκευή πάρκου στις βόρειες ακτές της Ισπανίας εγκατεστημένης ισχύος 1.25 MW

Wavebob : κάθε κατασκευή του τύπου αυτού είναι εφοδιασμένη με τρεις υδραυλικές γεννήτριες ισχύος 500 kW (συνολική ισχύς 1.5 MW)



Εικόνα 1.9 Σημειακός απορροφητήρας κυματικής ενέργειας εγκατεστημένος στην ανοιχτή θάλασσα

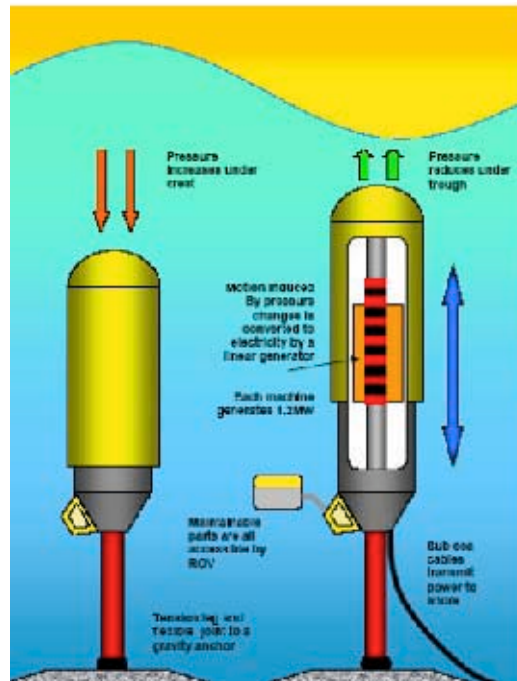
1.3.3.4 Υποβρύχιες συσκευές διαφορικής υδροστατικής πίεσης

Πρόκειται για συσκευές που εκμεταλλεύονται τη διαφορά στην υδροστατική πίεση που παρουσιάζεται από την ανύψωση και πτώση της ελεύθερης επιφάνειας. Το κοίλο μεταλλικό περίβλημα της κατασκευής «αντιλαμβάνεται» τη διαφοροποίηση στη δύναμη που του ασκείται, εξ' αιτίας του συγκεντρωμένου όγκου νερού από πάνω του και εξαναγκάζεται σε ταλάντωση κατά τον κατακόρυφο άξονα. Η ενέργεια της καθ' ύψος ταλάντωσης αυτής, μετατρέπεται σε ηλεκτρική μέσω μιας γραμμικής γεννήτριας.

Κατασκευή αυτού του τύπου αποτελεί το Archimedes Wave Swing (AWS) πρωτότυπο του οποίου είναι εγκατεστημένο από το 2005 ανοικτά των ακτών της Πορτογαλίας (ισχύος 2 MW)



Εικόνα 1.10 Υποβρύχια συσκευή διαφορικής υδροστατικής πίεσης



Εικόνα 1.11 Αρχή λειτουργίας υποβρύχιας συσκευής διαφορικής υδροστατικής πίεσης

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ II

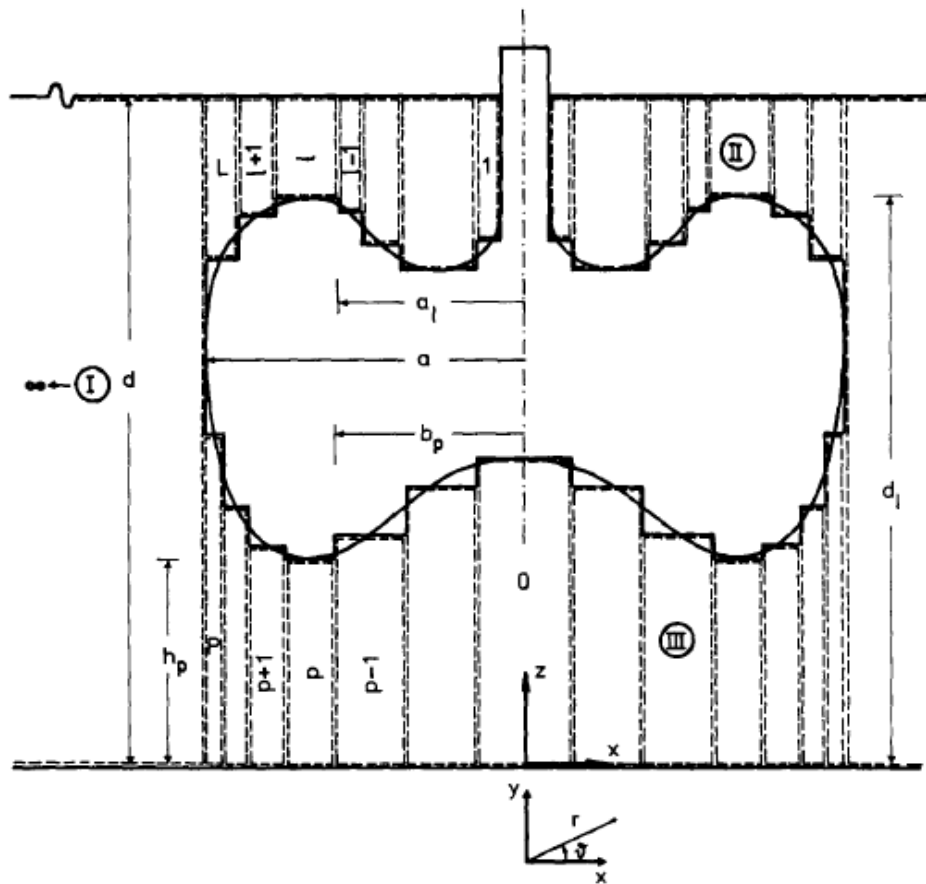
Η μέθοδος που περιγράφεται στο παρόν κεφάλαιο αποτελεί μια ημιαναλυτική προσέγγιση της υδροδυναμικής ανάλυσης σωμάτων με κατακόρυφο άξονα συμμετρίας. Πρωτοπαρουσιάστηκε λεπτομερώς από τους Kokkinowrachos, Asorakos και Mavrakos [5]. Η μέθοδος μπορεί να θεωρηθεί σαν μια επέκταση εκείνης των Miles και Gilbert [6] και Garrett [7] για την επίλυση του προβλήματος περίθλασης κυλινδρικού επιπλέοντος σώματος καθώς και του Kokkinowrachos [8] για επιπλέοντα ή πλήρως βυθισμένα, απλά ή σύνθετα σώματα. Επίσης με βάση τη θεωρία του Yeung [9] έχει δοθεί λύση του προβλήματος ακτινοβολίας για σώματα απλής κυλινδρικής γεωμετρίας. Η αναλυτική περιγραφή της μεθόδου αναπτύχθηκε και παρουσιάστηκε από τους Kokkinowrachos, Mavrakos και Asorakos [10].

2.1 Μέθοδος διαχωρισμού ροής με ομοαξονικά δακτυλιοειδή στοιχεία

Το γραμμικοποιημένο υδροδυναμικό πρόβλημα πρώτης τάξης περίθλασης και ακτινοβολίας (diffraction and radiation) της αλληλεπίδρασης απλών ημιτονοειδών κυματισμών μικρού πλάτους που προσπίπτουν σε μεγάλα αξονοσυμμετρικά σώματα, με κατακόρυφο άξονα συμμετρίας, λύνεται με τη μέθοδο των «δακτυλιοειδών στοιχείων».

Η μέθοδος βασίζεται στο διαχωρισμό του πεδίου της ροής γύρω από το σώμα, χρησιμοποιώντας ομοαξονικά δακτυλιοειδή στοιχεία τα οποία δημιουργούνται όταν προσεγγίζουμε την γενέτειρα του σώματος με κατάλληλη «κλιμακοειδή» καμπύλη (σχήμα 2.1). Παρατηρούμε ότι κάθε σώμα που εμφανίζει συμμετρία ως προς κατακόρυφο άξονα, μπορεί να προσεγγιστεί με ομοαξονικά κυλινδρικά δακτυλιοειδή στοιχεία και ταυτόχρονα το πεδίο ροής γύρω του διαχωρίζεται από αντίστοιχα κυλινδρικά δακτυλιοειδή στοιχεία, τα οποία ορίζονται τώρα από την βρεχόμενη επιφάνεια και τον πυθμένα.

Για τον υπολογισμό των δυνάμεων «έκπτωσης» (drift forces), χρησιμοποιείται σαν όγκος ελέγχου ένας κύλινδρος μεγάλης ακτίνας γύρω από το σώμα που περιορίζεται από τον πυθμένα της θάλασσας και την ελεύθερη επιφάνεια του ρευστού (μέθοδος μεταβολής της ορμής). Επομένως έχουμε πεπερασμένα δακτυλιοειδή στοιχεία, που καλύπτουν το πεδίο ροής γύρω από το σώμα αλλά και αυτά που επεκτείνονται στο άπειρο. Τα τελευταία «απείρου μεγέθους» δακτυλιοειδή στοιχεία χαρακτηρίζονται σαν τύπου I ενώ τα «πεπερασμένα» δακτυλιοειδή στοιχεία διακρίνονται σε δύο τύπους, II και III. Τύπου II είναι αυτά που εκτείνονται μεταξύ του σώματος και ελεύθερης επιφάνειας ενώ τύπου III είναι αυτά που εκτείνονται μεταξύ σώματος και πυθμένα.



Σχήμα 2.1 Διαχωρισμός ροής γύρω από αξονοσυμμετρικό σώμα με κατακόρυφο άξονα συμμετρίας.

2.2 Διατύπωση του υδροδυναμικού προβλήματος πρώτης τάξης (προβλήματα περίθλασης και ακτινοβολίας)

Θεωρούμε ένα ελεύθερα επιπλέον στερεό σώμα εκ περιστροφής γύρω από κάθετο άξονα, το οποίο δέχεται προσπίπτοντα αρμονικό κυματισμό. Για την περίπτωση κατασκευής αυτής, εισάγεται ένα σύστημα πολικών συντεταγμένων (r, ϑ, z) το οποίο στην συγκεκριμένη περίπτωση έχει την αρχή του στον πυθμένα της θάλασσας. Επίσης θεωρούμε ότι το ρευστό είναι ασυμπίεστο και ότι δεν υπάρχουν φαινόμενα συνεκτικότητας. Θεωρείται ότι το βάθος του νερού d , είναι σταθερό και ότι η ελεύθερη επιφάνεια είναι άπειρη προς όλες τις κατευθύνσεις. Οι κινήσεις του σώματος και του περιρρέοντος ρευστού θεωρούνται μικρές ώστε το πρόβλημα των οριακών τιμών για την περίθλαση και την ακτινοβολία να θεωρείται γραμμικό.

Υπό την επίδραση ενός αρμονικού κυματισμού και με βάση την παραδοχή ότι το σώμα έχει ισοκατανεμημένη μάζα, εκτελεί κίνηση σε τρεις βαθμούς ελευθερίας στο επίπεδο διάδοσης του κυματισμού, για παράδειγμα δύο μεταφορικές κινήσεις (στον άξονα x , χ_1 , καθ' ύψος μετατόπιση στον άξονα z , χ_3) και μια περιστροφή γύρω από τον άξονα z , χ_5 .

Υποθέτοντας ιδανικό ρευστό, μπορούμε να περιγράψουμε το πεδίο ταχυτήτων του ρευστού γύρω από το σώμα κάνοντας χρήση του δυναμικού ταχύτητας, το ανάδελτα του οποίου, δίνει την ταχύτητα του ρευστού σε κάθε σημείο του πεδίου.

Το δυναμικό της ταχύτητας πρώτης τάξης για αμετάβλητες συνθήκες μπορεί να εκφραστεί :

$$\Phi(r, \vartheta, z, t) = \phi_0(r, \vartheta, z)e^{-i\omega t} + \phi_7(r, \vartheta, z)e^{-i\omega t} + \sum_{i=1,3,5} \dot{x}_{i0} \phi_i(r, \vartheta, z)e^{-i\omega t} \quad (2.1)$$

όπου $\phi_0(r, \vartheta, z)e^{-i\omega t}$ είναι το δυναμικό της ταχύτητας του προσπίπτοντος αρμονικού κυματισμού, $\phi_7(r, \vartheta, z)e^{-i\omega t}$ είναι το δυναμικό περίθλασης του σώματος όταν αυτό είναι ακίνητο στον κυματισμό, $\phi_j e^{-i\omega t}$, ($j=1,3,5$) είναι το δυναμικό ακτινοβολίας, το οποίο προκύπτει από την καθ' ύψος ταλάντωση του σώματος στην j-διεύθυνση της κίνησης με μοναδιαίο πλάτος ταχύτητας και \dot{x}_{i0} είναι το μιγαδικό πλάτος ταχύτητας της κίνησης του σώματος στην j-διεύθυνση.

Το δυναμικό της περίθλασης περιγράφεται :

$$\Phi_D(r, \vartheta, z, t) = \phi_D e^{-i\omega t} = (\phi_0 + \phi_7) e^{-i\omega t} \quad (2.2)$$

Το δυναμικό της ταχύτητας προσπίπτοντος κυματισμού μπορεί να εκφραστεί κάνοντας χρήση του αναπτύγματος του Jacobis ως εξής :

$$\phi_0(r, \vartheta, z) e^{-i\omega t} = -i\omega \frac{H}{2} \frac{\cosh(kz)}{k \sinh(kd)} \left[\sum_{m=0}^{\infty} \epsilon_m i^m J_m(kr) \cos(m\vartheta) \right] e^{-i\omega t} \quad (2.3)$$

όπου J_m είναι συνάρτηση Bessel πρώτου είδους και m τάξης και ϵ_m είναι το σύμβολο του Neumann για το οποίο ισχύει :

$$\epsilon_0 = 1, \epsilon_m = 2(m \geq 1) \quad (2.4)$$

Η κυκλική συχνότητα ω και ο κυματικός αριθμός συνδέονται μέσω της εξίσωσης διασποράς :

$$\omega^2 = gk \tanh(kd) \quad (2.5)$$

Συμφώνα με τη σχέση (2.3) το συνολικό δυναμικό της ταχύτητας της ροής γύρω από την κατασκευή, η οποία παραμένει ακίνητη μπορεί να γραφεί στη μορφή :

$$\phi_D e^{-i\omega t} = -i\omega \frac{H}{2} \left[\sum_{m=0}^{\infty} \epsilon_m i^m \psi_{Dm}(r, z) \cos(m\vartheta) \right] e^{-i\omega t} \quad (2.6a)$$

ενώ τα δυναμικά ακτινοβολίας γράφονται :

$$\phi_j e^{-i\omega t} = -i\omega \frac{H}{2} \left[\sum_{m=0}^{\infty} \epsilon_m i^m \psi_{jm}(r, z) \cos(m\vartheta) \right]_{j=1,3,5} e^{-i\omega t} \quad (2.6b)$$

Η ροή του ρευστού, που προκαλείται από την ταλαντωτική καθ' ύψος κίνηση του σώματος, σε ήρεμο νερό είναι συμμετρική με αναφορά το επίπεδο $\vartheta = 0^\circ$ και αντισυμμετρική αναφορικά με το επίπεδο $\vartheta = \frac{\pi}{2}$ για την μετατόπιση στον x-άξονα (surge, $j=1$) και για την περιστροφή γύρω από τον z (pitch, $j=5$), ενώ είναι συμμετρική αναφορικά και με τα δύο επίπεδα για την καθ' ύψος μετατόπιση στον άξονα z (heave, $j=3$). Για το λόγο αυτό τα αντίστοιχα δυναμικά ταχύτητας για τις τρεις γενικευμένες κινήσεις, μπορούν να εκφραστούν :

$$\phi_1 e^{-i\omega t} = \psi_{11}(r, z) \cos \vartheta e^{-i\omega t} \quad (2.7)$$

$$\phi_3 e^{-i\omega t} = \psi_{30}(r, z) e^{-i\omega t} \quad (2.8)$$

$$\phi_5 e^{-i\omega t} = \psi_{51}(r, z) \cos \vartheta e^{-i\omega t} \quad (2.9)$$

Στις συναρτήσεις ψ_{jm} των εξισώσεων (2.6)-(2.9) ο πρώτος δείκτης $j = D, 1, 3, 5$ δηλώνει το αντίστοιχο πρόβλημα οριακών τιμών, ενώ ο δεύτερος τις τιμές m που πρέπει να ληφθούν υπ' όψη στη λύση του συγκεκριμένου προβλήματος. Για τον λόγο αυτό οι συναρτήσεις ψ_{Dm} ($m = 0, 1, 2, \dots$), ψ_{11} , ψ_{30} και ψ_{51} παραμένουν οι βασικοί άγνωστοι του προβλήματος.

2.3 Γραμμικοποιημένες οριακές συνθήκες

Τα μιγαδικά δυναμικά της ταχύτητας φ_j ($j = 0, 1, 3, 5, 7$) πρέπει να ικανοποιούν τις παρακάτω σχέσεις :

$$\Delta \varphi_j = \frac{\partial^2 \varphi_j}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi_j}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \varphi_j}{\partial \vartheta^2} + \frac{\partial^2 \varphi_j}{\partial z^2} = 0, \text{ σε όλο τον όγκο ελέγχου του ρευστού} \quad (2.10)$$

$$-\omega^2 \varphi_j + g \frac{\partial \varphi_j}{\partial z} = 0 \text{ για } z = d \text{ (συνθήκη ελεύθερης επιφανείας)} \quad (2.11)$$

$$\frac{\partial \varphi_j}{\partial z} = 0 \text{ για } z = 0 \text{ (συνθήκη για τον πυθμένα της θάλασσας)} \quad (2.12)$$

Επιπλέον τα δυναμικά φ_j με $j = 1, 3, 5, 7$ πρέπει να ικανοποιούν τη συνθήκη ακτινοβολίας :

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \sqrt{kr} \left(\frac{\partial \varphi_j}{\partial r} - ik \varphi_j \right) = 0 \quad (2.13)$$

Η τελευταία συνθήκη πρέπει να ικανοποιείται από τα δυναμικά ταχύτητας και ακτινοβολίας, εξασφαλίζοντας έτσι ότι δεν θα δημιουργείται διαταραχή από την κίνηση του σώματος σε άπειρη απόσταση από αυτό, κάτι που δεν θα είχε φυσική σημασία. Η εξίσωση Laplace (2.10) είναι ουσιαστικά η συνθήκη συνέχειας του ρευστού, ενώ η συνθήκη στον πυθμένα, εκφράζει το φυσικό μέγεθος της κάθετης μηδενικής ταχύτητας του ρευστού που βρίσκεται σε επαφή με τον πυθμένα της θάλασσας.

Τέλος οι κινηματικές συνθήκες για την βρεχόμενη επιφάνεια, σε μια μέση θέση ισορροπίας του σώματος, πρέπει να ικανοποιούν τις εξισώσεις :

$$\left. \frac{\partial \varphi_7}{\partial n} \right|_{S_0} = - \left. \frac{\partial \varphi_0}{\partial n} \right|_{S_0} \quad \text{ή} \quad \left. \frac{\partial \varphi_D}{\partial r} \right|_{S_0} = 0 \quad (2.14)$$

$$\left. \frac{\partial \varphi_j}{\partial n} \right|_{S_0} = n_j, \quad (j=1,3,5) \quad (2.15)$$

Στις εξισώσεις (2.14) και (2.15) το $\partial/\partial n$ δηλώνει την παράγωγο του μοναδιαίου διανύσματος n με κατεύθυνση προς τα έξω, πάνω στη επιφάνεια S_0 του σώματος και το n_j προσδιορίζεται ως :

$$(n_1, n_2, n_3) = n, \quad (n_4, n_5, n_6) = r \times n \quad (2.16)$$

όπου r είναι το διάνυσμα θέσης αναφορικά με την αρχή των αξόνων.

Θεωρώντας τώρα τη συγκεκριμένη γεωμετρία εξιδανικευμένης αξονοσυμμετρικής κατασκευής, η συνθήκη μη εισχώρησης της βρεχόμενης επιφάνειας όπως αυτή εκφράστηκε στις εξισώσεις (2.14) και (2.15) μπορεί να μοντελοποιηθεί επιμέρους για το πρόβλημα περίθλασης ($j = D$) και το πρόβλημα ακτινοβολίας ($j = 1, 3, 5$) όπως φαίνεται παρακάτω:

2.3.1 Οριζόντια όρια

για $l=1,2,\dots,L$ και $p=0,1,\dots,P(b_0=0, a_{L+1}=b_{p+1}=a)$:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \psi_{jm}}{\partial z} = V_j, \quad \text{στο } z = d_j \text{ για } a_j \leq r \leq a_{j+1} \\ \text{, στο } z = h_p \text{ για } b_p \leq r \leq b_{p+1} \end{aligned} \quad (2.17)$$

$$\text{όπου } V_D = V_1 = 0, \quad V_3 = 1 \quad \text{και} \quad V_5 = -r \quad (2.18)$$

2.3.2 Κάθετα όρια

για $l=1,2,\dots,L$ και $p=1,2,\dots,P(d_0=d)$:

$$\begin{aligned} & \text{στο } r=a \text{ για } h_p \leq z \leq D_L \\ \frac{\partial \psi_{jm}^I}{\partial z} = U_j & \quad \text{στο } r=a_l \text{ για } \min\{d_l, d_{l-1}\} \leq z \leq \max\{d_l, d_{l-1}\} \\ & \quad \text{στο } r=b_p \text{ για } \min\{h_p, h_{p-1}\} \leq z \leq \max\{h_p, h_{p-1}\} \end{aligned} \quad (2.19)$$

$$\text{όπου } U_D = U_1 = 0, U_3 = 1, U_5 = (z-e) \quad (2.20)$$

Η εξαναγκασμένη πρόνευση ($j=5$), της κατασκευής, θεωρείται ότι εκτελείται γύρω από τον οριζόντιο άξονα ο οποίος βρίσκεται σε αυθαίρετη απόσταση πάνω από τον πυθμένα $z=e$.

Επιπλέον, το δυναμικό της ταχύτητας καθώς και η παράγωγός του $\partial \varphi_j / \partial r, (j=D,1,3,5)$, πρέπει να είναι συνεχείς στα κάθετα όρια των γειτονικών στοιχείων. Κατά συνέπεια :

$$\psi_{jm}^I(a, z) = \psi_{jm}^{(L)}(a, z) \quad \text{για } d_L \leq z \leq d \quad (2.21)$$

$$\left. \frac{\partial \psi_{jm}^I}{\partial r} \right|_{r=a} = \left. \frac{\partial \psi_{jm}^{(L)}}{\partial r} \right|_{r=a} \quad (2.22)$$

$$\psi_{jm}^I(a, z) = \psi_{jm}^{(P)}(a, z) \quad \text{για } 0 \leq z \leq h_p \quad (2.23)$$

$$\left. \frac{\partial \psi_{jm}^I}{\partial r} \right|_{r=a} = \left. \frac{\partial \psi_{jm}^{(P)}}{\partial r} \right|_{r=a} \quad (2.24)$$

$$\psi_{jm}^{(l)}(a_l, z) = \psi_{jm}^{(l-1)}(a_{l-1}, z) \quad \text{για } \max\{d_l, d_{l-1}\} \leq z \leq d \quad (2.25)$$

$$l = 2, 3, \dots, L$$

$$\left. \frac{\partial \psi_{jm}^{(l)}}{\partial r} \right|_{r=a_l} = \left. \frac{\partial \psi_{jm}^{(l-1)}}{\partial r} \right|_{r=a_{l-1}} \quad \text{για } \max\{d_l, d_{l-1}\} \leq z \leq d \quad (2.26)$$

$$l = 2, 3, \dots, L$$

$$\psi_{jm}^{(P)}(b_p, z) = \psi_{jm}^{(P-1)}(b_{p-1}, z) \quad \text{για } 0 \leq z \leq \min\{h_p, h_{p-1}\} \quad (2.27)$$

$$p = 1, 2, \dots, P$$

$$\left. \frac{\partial \psi_{jm}^{(p)}}{\partial r} \right|_{r=b_p} = \left. \frac{\partial \psi_{jm}^{(p-1)}}{\partial r} \right|_{r=b_p} \quad (2.28)$$

Στην παραπάνω ανάλυση οι εκθέτες l και p που χρησιμοποιούνται υποδηλώνουν ποσότητες που αντιστοιχούν στο l -οστό και p -οστό μακροστοιχείο τύπου II και III αντίστοιχα, ενώ ο εκθέτης l σχετίζεται με τα μακροστοιχεία του απειροστού δακτυλιοειδούς στοιχείου.

Ξεκινώντας με την μέθοδο χωριζομένων μεταβλητών της διαφορικής εξίσωσης Laplace, μπορούν να δημιουργηθούν κατάλληλες εκφράσεις για τα δυναμικά ταχύτητας σε κάθε μακροστοιχείο όπως για παράδειγμα για τις συναρτήσεις ψ_{jm} . Οι εκφράσεις αυτές αναλυμένες σε σειρές Fourier επιλέγονται με τέτοιο τρόπο ώστε να ικανοποιούνται:

- η κινηματική οριακή συνθήκη στα οριζόντια τοιχώματα του εξιδανικευμένου σώματος
- η γραμματικοποιημένη συνθήκη στην επιφάνεια τις θάλασσας
- η κινηματική συνθήκη για τον πυθμένα
- η συνθήκη ακτινοβολίας σε άπειρο ρευστό.

2.4 Δυναμικά ταχύτητας περίθλασης και ακτινοβολίας για διαφορετικούς τύπους δακτυλιοειδών στοιχείων

Το δυναμικό ταχύτητας πρώτης τάξης είναι υπέρθεση των δυναμικών περίθλασης και ακτινοβολίας όπως φαίνεται στην εξίσωση (2.1). Για κάθε είδος μακροστοιχείου παράγονται οι ακόλουθες εκφράσεις για τις συναρτήσεις $\psi_{Dm}, \psi_{11}, \psi_{30}$ και ψ_{51} οι οποίες προσδιορίζονται στις εξισώσεις (2.6)-(2.9).

(a) απειροστό δακτυλιοειδές στοιχείο Τύπου I ($r \geq a, 0 \leq z \leq d$)

$$\frac{1}{d_j} \psi_{jm}^I(r, z) = g_{jm}^I(r, z) + \sum_a F_{j,ma} \frac{K_m(\alpha r)}{K_m(a\alpha)} Z_a(z) \quad (2.29)$$

Όπου

$$g_{jm}^I(r, z) = \left\{ J_m(kr) - \frac{J_m(ka)}{H_m(ka)} H_m(kr) \right\} \frac{Z_k(z)}{dZ'_k(z)} \quad (2.30)$$

$$g_{11}^I(t, z) = g_{30}^I(r, z) = g_{51}^I(r, z) = 0 \quad (2.31)$$

$$\delta_D = \delta_1 = \delta_3 = d, \delta_5 = d^2 \quad (2.32)$$

H_m και K_m είναι οι συναρτήσεις Hankel πρώτου είδους και m τάξης και οι τροποποιημένες συναρτήσεις Bessel δεύτερου είδους m τάξης αντίστοιχα.

Επιπλέον $Z_a(z)$ είναι οι ορθοκανονικές συναρτήσεις στο διάστημα $[0, d]$ οι οποίες ορίζονται ως εξής :

$$Z_k(z) = N_k^{-1/2} \cosh(kz) \quad (2.33)$$

$$Z_a(z) = N_a^{-1/2} \cos(az), a : real \quad (2.34)$$

Όπου

$$N_k = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{\sinh(2kd)}{2kd} \right] \quad (2.35)$$

$$N_a = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{\sin(2ad)}{2ad} \right], a = real \quad (2.36)$$

και α είναι οι ρίζες της εξίσωσης διασποράς :

$$\frac{\omega^2}{g} + a \tan(\alpha d) = 0 \quad (2.37)$$

Η εξίσωση (2.37) έχει μια φανταστική και άπειρο αριθμό πραγματικών λύσεων. Στην συγκεκριμένη περίπτωση λαμβάνονται υπ' όψη η φανταστική ρίζα $a = -ik, k > 0$ και οι θετικές πραγματικές ρίζες. Αντικαθιστώντας το $a = -ik$ στις εξισώσεις (2.36) και (2.34), παράγονται άμεσα οι εξισώσεις (2.35) και (2.33).

Η προσέγγιση του δυναμικού ταχύτητας για ψ_{Dm}^I όπως μοντελοποιήθηκε στις εξισώσεις (2.29) και (2.39) ταυτίζεται με την παρουσίαση του Garrett [7].

(b) l -οστό δακτυλιοειδές στοιχείο τύπου II ($a_l \leq r \leq a_{l+1}, d_l \leq z \leq d, l = 1, 2, \dots, L$)

$$\frac{1}{\delta_j} \psi_{jm}^{(l)}(r, z) = g_{jm}^{(l)}(r, z) + \sum_{a_l} \left[R_{ma_l}(r) F_{j,ma_l} + R_{ma_l}^*(r) F_{j,ma_l}^* \right] Z_{a_l}(z) \frac{K_m(\alpha r)}{K_m(\alpha a)} \quad (2.38)$$

όπου το δ_j έχει οριστεί στην εξίσωση (2.32).

$$g_{Dm}^{(l)}(r, z) = g_{11}^{(l)}(r, z) = 0 \quad (2.39)$$

$$g_{30}^{(l)}(r, z) = \frac{z}{d} - 1 + \frac{g}{\omega^2} \quad (2.40)$$

$$g_{51}^{(l)}(r, z) = -\frac{z}{d^2} \left[(z - d) + \frac{g}{\omega^2} \right] \quad (2.41)$$

$$R_{ma_l}(r) = \frac{I_m(\alpha_l r) K_m(\alpha_l a_l) - I_m(\alpha_l a_l) K_m(\alpha_l r)}{I_m(\alpha_l a_{l+1}) K_m(\alpha_l a_l) - I_m(\alpha_l a_l) K_m(\alpha_l a_{l+1})} \quad (2.42)$$

$$R_{ma_l}^*(r) = \frac{I_m(\alpha_l a_{l+1}) K_m(\alpha_l r) - K_m(\alpha_l a_{l+1}) I_m(\alpha_l r)}{I_m(\alpha_l a_{l+1}) K_m(\alpha_l a_l) - I_m(\alpha_l a_l) K_m(\alpha_l a_{l+1})} \quad (2.43)$$

όπου I_m είναι οι τροποποιημένες συναρτήσεις Bessel πρώτου είδους και m τάξης και $Z_{a_l}(z)$ είναι οι ορθοκανονικές ιδιοσυναρτήσεις στο διάστημα $[z = d - d_l, d]$ που ορίζονται ως εξής :

$$Z_{k_l}(z) = N_k^{-1/2} \cosh[k_l(z - d_l)] \quad (2.44)$$

$$Z_{a_l}(z) = N_k^{-1/2} \cos[a_l(z - d_l)], a_l : real \quad (2.45)$$

Όπου

$$N_{k_l} = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{\sinh[2k_l(d-d_l)]}{2k_l(d-d_l)} \right] \quad (2.46)$$

$$N_{a_l} = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{\sin[2a_l(d-d_l)]}{2a_l(d-d_l)} \right], a_l = real \quad (2.47)$$

και a_l είναι οι ρίζες της εξίσωσης :

$$\frac{\omega^2}{g} + a_l \tan[a_l(d-d_l)] = 0 \quad (2.48)$$

με το φανταστικό $a_l = -ik_l$ να θεωρείται όπως και προηγούμενα.

Στην εξίσωση (2.38), $g_{jm}^{(l)}$ αντιπροσωπεύει συγκεκριμένες λύσεις για διάφορες καταστάσεις κίνησης, οι οποίες ικανοποιούν τις κινηματικές συνθήκες στα οριζόντια σύνορα των στοιχείων του τύπου II, $[z = d_l, d]$, για παράδειγμα εξισώσεις (2.11) και (2.17).

(c) p -οστό δακτυλιοειδές στοιχείο Τύπου III ($b_p \leq r \leq b_{p+1}, 0 \leq z \leq h_p, p = 1, 2, \dots, P$)

Για τον τύπο δακτυλιοειδούς στοιχείου αυτού η συνάρτηση δυναμικού $\psi_{jm}^{(p)}(r, z)$ προσεγγίζεται ως εξής :

$$\frac{1}{\delta_j} \psi_{jm}^{(p)}(r, z) = g_{jm}^{(p)}(r, z) + \sum_{n_p=0}^{\infty} \epsilon_{n_p} \left[R_{mn_p}(r) F_{j,mn_p} + R_{ma_p}^*(r) F_{j,ma_p}^* \right] \cos \left(\frac{n_p \pi z}{h_p} \right) \quad (2.49)$$

όπου το δ_j προσδιορίζεται στην εξίσωση (2.32).

$$g_{Dm}^{(p)}(r, z) = g_{11}^{(p)}(r, z) = 0 \quad (2.50)$$

$$g_{30}^{(p)}(r, z) = \frac{z^2 - (1/2)r^2}{2h_p d} \quad (2.51)$$

$$g_{51}^{(p)}(r, z) = \frac{-r[z^2 - (4)r^2]}{2h_p d^2} \quad (2.52)$$

$$R_{m0}(r) = \frac{\left(\frac{r}{b_p}\right)^m - \left(\frac{b_p}{r}\right)^m}{\left(\frac{b_{p+1}}{b_p}\right)^m - \left(\frac{b_p}{b_{p+1}}\right)^m}, R_{m0}^*(r) = \frac{\left(\frac{b_{p+1}}{r}\right)^m - \left(\frac{r}{b_{p+1}}\right)^m}{\left(\frac{b_{p+1}}{b_p}\right)^m - \left(\frac{b_p}{b_{p+1}}\right)^m} \text{ για } n_p = 0 \quad (2.53)$$

$$R_{mm_p}(r) = \frac{K_m\left(\frac{n_p \pi b_p}{h_p}\right) I_m\left(\frac{n_p \pi r}{h_p}\right) - I_m\left(\frac{n_p \pi b_p}{h_p}\right) K_m\left(\frac{n_p \pi r}{h_p}\right)}{I_m\left(\frac{n_p \pi b_{p+1}}{h_p}\right) K_m\left(\frac{n_p \pi b_p}{h_p}\right) - I_m\left(\frac{n_p \pi b_p}{h_p}\right) K_m\left(\frac{n_p \pi b_{p+1}}{h_p}\right)}, n_p \neq 0 \quad (2.54)$$

$$R_{mm_p}^*(r) = \frac{I_m\left(\frac{n_p \pi b_{p+1}}{h_p}\right) K_m\left(\frac{n_p \pi r}{h_p}\right) - K_m\left(\frac{n_p \pi b_{p+1}}{h_p}\right) I_m\left(\frac{n_p \pi r}{h_p}\right)}{I_m\left(\frac{n_p \pi b_{p+1}}{h_p}\right) K_m\left(\frac{n_p \pi b_p}{h_p}\right) - I_m\left(\frac{n_p \pi b_p}{h_p}\right) K_m\left(\frac{n_p \pi b_{p+1}}{h_p}\right)}, n_p \neq 0 \quad (2.55)$$

Ειδικά για $p = 0$ το δυναμικό της ταχύτητας δίνεται από την παρακάτω σχέση :

$$\frac{1}{\delta_j} \psi_{jm}^{(0)}(r, z) = g_{jm}^{(0)}(r, z) + \sum_{n_0=0}^{\infty} \epsilon_{n_0} F_{j, mn_0} \frac{I_m\left(\frac{n_0 \pi r}{h_0}\right)}{I_m\left(\frac{n_0 \pi b_1}{h_0}\right)} \text{co} \left\{ \frac{n_0 \pi z}{h_0} \right\} \quad (2.56)$$

όπου $g_m^{(0)}$ προσδιορίζεται στις εξισώσεις (2.50)-(2.54). Η τροποποιημένη συνάρτηση Bessel K_m δεν εμφανίζεται στην έκφραση για τον τύπο στοιχείου αυτό (με $p = 0$). Η συνάρτηση K_m έχει μια αναλογική συνεισφορά στο λόγο $(b_1/r)^m$ για $m \neq 0$ και ο λογάριθμος $\log(r)$ για $m = 0$ στο $r \rightarrow 0$ [11]. Παρόλα αυτά αναλογιζόμενοι τις οριακές μορφές των συναρτήσεων Bessel για $b_p \rightarrow 0$ παρατηρούμε ότι το δυναμικό της ταχύτητας το οποίο περιγράφηκε στην εξίσωση (2.56) μπορεί να εξαχθεί κατευθείαν από τις εξισώσεις (2.54) και (2.55). Στην συγκεκριμένη περίπτωση παρατηρούνται οι ακόλουθες οριακές τιμές :

$$\left. \begin{aligned} \lim_{b_p \rightarrow 0} R_{mm_p}^*(r) &\rightarrow 0 \\ \lim_{b_p \rightarrow 0} R_{mm_p}(r) &= \frac{I_m\left(\frac{n_p \pi r}{h_p}\right)}{I_m\left(\frac{n_p \pi b_{p+1}}{h_p}\right)} \end{aligned} \right\} \quad (2.57)$$

Οι συναρτήσεις δυναμικού ψ_{Dm} που εκφράστηκαν μέσω των εξισώσεων (2.29), (2.38), (2.49) και (2.56) έχουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν να περιγραφούν για όλες τις κάθετες οριακές συνθήκες $r = a_l, (l = 1, 2, \dots, L), r = b_p, (p = 1, 2, \dots, P)$ και $r = a$ με απλή σειρά Fourier όπως φαίνεται στις παρακάτω σχέσεις :

$$\frac{1}{d} \psi_{Dm}^I(a, z) = \sum_a^{\infty} F_{D,ma} Z_a(z), \text{ για } 0 \leq z \leq d \quad (2.58)$$

$$\frac{1}{d} \psi_{Dm}^{(l)}(a_l, z) = \sum_{a_l}^{\infty} F_{D,ma_l}^* Z_{a_l}(z), \text{ για } d_l \leq z \leq d \quad (2.59)$$

$$\frac{1}{d} \psi_{Dm}^{(l)}(a_{l+1}, z) = \sum_{a_l}^{\infty} F_{D,ma} Z_{a_l}(z), \text{ για } d_l \leq z \leq d \quad (2.60)$$

$$\frac{1}{d} \psi_{Dm}^{(p)}(b_p, z) = \sum_{n_p=0}^{\infty} \epsilon_{n_p} F_{D,mn_p}^* \cos\left(\frac{n_p \pi z}{h_p}\right), 0 \leq z \leq h_p \quad (2.61)$$

Και

$$\frac{1}{d} \psi_{Dm}^{(p)}(b_{p+1}, z) = \sum_{n_p=0}^{\infty} \epsilon_{n_p} F_{D,mn_p} \cos\left(\frac{n_p \pi z}{h_p}\right), 0 \leq z \leq h_p \quad (2.62)$$

Επιπλέον οι λύσεις για τις συναρτήσεις $\psi_{jm}, (j = D, 1, 3, 5)$ επιλέγονται με τέτοιο τρόπο ώστε οι συνθήκες για όλα τα οριζόντια όρια να ικανοποιούνται εκ των προτέρων. Οι κινηματικές συνθήκες στα κάθετα τοιχώματα του σώματος (εξίσωση 2.19), καθώς και η απαίτηση για συνέχεια της συνάρτησης δυναμικού και της παραγώγου της, εξισώσεις (2.21)-(2.28), στα κάθετα όρια των γειτονικών μακροστοιχείων απομένουν να εκπληρωθούν. Με βάση αυτά παράγεται ένα σύστημα εξισώσεων για τους άγνωστους συντελεστές Fourier. Από τη στιγμή που οι συντελεστές αυτού προσδιοριστούν, οι συναρτήσεις $\psi_{jm}(r, z)$ και αντίστοιχα τα δυναμικά ταχύτητας για όλες τις περιοχές του ρευστού είναι δυνατόν να προσδιοριστούν.

2.5 Δυνάμεις διέγερσης και υδροδυναμικές δυνάμεις αντίδρασης

Οι γενικευμένες δυνάμεις διέγερσης F_1 , F_3 και F_5 μπορούν να εκφραστούν ως εξής :

$$\begin{aligned} F_k(t) &= -\iint_{S_0} p n_k dS = -i\omega\rho e^{-i\omega t} \iint_{S_0} \phi_D n_k dS \\ &= -\omega^2 \rho \frac{H}{2} e^{-i\omega t} \sum_{m=0}^{\infty} \epsilon_m i^m \iint_{S_0} \psi_{Dm}(r, z) \cos(m\vartheta) n_k dS \quad \text{για } k=1,3 \end{aligned} \quad (2.63)$$

Και

$$F_5 = M_1(t) + M_3(t) \quad (2.64)$$

Με

$$\begin{aligned} M_k(t) &= -\iint_{S_0} p(r \times n_k) dS = -i\omega\rho e^{-i\omega t} \iint_{S_0} \phi_D (r \times n_k) dS \\ &= -\omega^2 \rho \frac{H}{2} e^{-i\omega t} \sum_{m=0}^{\infty} \epsilon_m i^m \iint_{S_0} \psi_{Dm}(r, z) \cos(m\vartheta) (r \times n_k) dS \end{aligned} \quad (2.65)$$

Επιπλέον, οι υδροδυναμικές δυνάμεις αντίδρασης $F_1^r(t)$ και $F_3^r(t)$ και οι επιμέρους $M_1^r(t)$ και $M_3^r(t)$ της υδροδυναμικής ροπής αντίδρασης $F_5^r(t)$ δίνονται :

$$F_k^r(t) = -\omega^2 \rho e^{-i\omega t} \sum_{j=1,3,5}^{\infty} x_{j_0} \iint_{S_0} \psi_{jm}(r, z) \cos(m\vartheta) n_k dS \quad \text{για } k=1,3 \quad (2.66)$$

και

$$F_5^r(t) = M_1^r(t) + M_3^r(t) \quad (2.67)$$

με

$$M_k^r(t) = -\omega^2 \rho e^{-i\omega t} \sum_{j=1,3,5}^{\infty} x_{j_0} \iint_{S_0} \psi_{jm}(r, z) \cos(m\vartheta) (r \times n_k) dS \quad (2.68)$$

Για τον υπολογισμό των δυνάμεων και των ροπών απαιτείται ο υπολογισμός των παρακάτω ολοκληρωμάτων :

$$F_{kj} = \iint_{S_0} \psi_{jm}(r, z) \cos(m\vartheta) n_k dS \quad (2.69)$$

και

$$M_{kj} = \iint_{S_0} \psi_{jm}(r, z) \cos(m\vartheta) (r \times n_k) dS \quad (2.70)$$

με $j = D, 1, 3, 5$.

Εισάγοντας τις αντίστοιχες διατυπώσεις για τις συναρτήσεις των δυναμικών στα παραπάνω ολοκληρώματα και έπειτα από ολοκλήρωση των εξισώσεων (2.69) και (2.70) σε όλη τη βρεχόμενη επιφάνεια προκύπτουν οι ακόλουθες εκφράσεις :

$$F_{1j} = \pi\delta_j \left\{ \begin{aligned} & a \sum_{\alpha} \frac{1}{\alpha} N_{\alpha}^{-1/2} F_{j,1\alpha} (\sin(\alpha h_L) - \sin(\alpha h_p)) \\ & + \sum_{l=1}^L \left[f_{1,j}^{(l)} + (\mu - \lambda) a_l \sum_{\alpha_{\mu}} \frac{1}{\alpha_{\mu}} N_{\alpha_{\mu}}^{-1/2} F_{j,1\alpha_{\mu}} \sin(\alpha_{\mu} (d_{\lambda} - d_{\mu})) \right] \\ & + \sum_{p=1}^P \left[f_{1,j}^{(p)} + (\mu - \lambda) b_p F_{j,10_{\mu}} (h_{\mu} - h_{\lambda}) - 2b_p (\mu - \lambda) \sum_{n_{\mu}=1} \frac{h_{\mu}}{n_{\mu} \pi} F_{j,1n_{\mu}} \sin \frac{n_{\mu} \pi h_{\lambda}}{h_{\mu}} \right] \end{aligned} \right\} \quad (2.71)$$

$$M_{1j} = \pi\delta_j \left\{ \begin{aligned} & a \sum_{\alpha} \frac{1}{\alpha} N_{\alpha}^{-1/2} F_{j,1\alpha} \left[\frac{1}{\alpha} \cos(\alpha h_L) + h_L \sin(\alpha h_L) - \frac{1}{\alpha} \cos(\alpha h_p) - h_p \sin(\alpha h_p) \right] \\ & + \sum_{l=1}^L \left\{ m_{1,j}^{(l)} + a_l (\mu - \lambda) \sum_{\alpha_{\mu}} \frac{1}{\alpha_{\mu}} N_{\alpha_{\mu}}^{-1/2} F_{j,1\alpha_{\mu}} \times \right. \\ & \quad \left. \left[\frac{1}{\alpha_{\mu}} \cos(\alpha_{\mu} (d_{\lambda} - d_{\mu})) + d_{\lambda} \sin(\alpha_{\mu} (d_{\lambda} - d_{\mu})) - \frac{1}{\alpha_{\mu}} \right] \right\} \\ & + \sum_{p=1}^P \left\{ m_{1,j}^{(p)} + \frac{1}{2} (h_{\mu}^2 - h_{\lambda}^2) b_p (\mu - \lambda) F_{j,10_{\mu}} + 2b_p (\mu - \lambda) \sum_{n_{\mu}=1} \frac{h_{\mu}}{n_{\mu} \pi} F_{j,1n_{\mu}} \times \right. \\ & \quad \left. \left[\frac{h_{\mu}}{n_{\mu} \pi} \left((-1)^{n_{\mu}} - \cos\left(\frac{n_{\mu} \pi h_{\lambda}}{h_{\mu}}\right) - h_{\lambda} \sin\left(\frac{n_{\mu} \pi h_{\lambda}}{h_{\mu}}\right) \right) \right] \right\} \end{aligned} \right\} - eF_{1j} \quad (2.72)$$

$$\begin{aligned} F_{3j} &= 2\pi\delta_j \left\{ \sum_{l=1}^L \left\{ f_{3,j}^{(l)} + \sum_{a_l} \frac{1}{\alpha_l^2} N_{a_l}^{-1/2} [F_{j,0a_l} (A_{0a_l} + A_{0a_l}^*) - F_{j,0a_l}^* (D_{0a_l} + D_{0a_l}^*)] \right\} \right. \\ & - \sum_{p=1}^P \left\{ f_{3,j}^{(p)} + \frac{1}{2} D_{j,00_p} [F_{j,0a_l} \{ b_{p+1}^2 (\ln(b_{p+1}/b_p) - 1/2) + \frac{1}{2} b_p^2 \} \right. \\ & \left. + F_{j,00_p}^* \{ \frac{1}{2} b_{p+1}^2 + b_p^2 (\ln(b_p/b_{p+1}) - 1/2) \} \right\} \\ & \left. + 2 \sum_{n_p+1} (-1)^{n_p} \frac{h_p^2}{n_p^2 \pi^2} [F_{j,0n_p} (A_{0n_p} + A_{0n_p}^*) - F_{j,0n_p}^* (D_{0n_p} + D_{0n_p}^*)] \right\} \\ & - f_{3,j}^{(0)} - \frac{1}{2} b_l^2 F_{j,00_0} - 2 \sum_{n_0=1} (-1)^{n_0} \frac{h_0^2}{n_0^2 \pi^2} F_{j,0n_0} A_{0n_0} \end{aligned} \quad (2.73)$$

$$\begin{aligned}
M_{3j} = & \pi \delta_j \left\{ \sum_{l=1}^L \{ m_{3,j}^{(l)} + \sum_{a_l} \frac{1}{a_l^2} N_{a_l}^{-1/2} [F_{j,1a_l} (a_{l+1} A_{1a_l} - \alpha_{l+1} - a_l D_{1a_l}) \right. \\
& + F_{j,1a_l}^* (a_{l+1} A_{1a_l}^* + \alpha_l - a_l D_{1a_l}^*)] \\
& + \sum_{p=1}^P \{ m_{3,j}^{(p)} + \frac{1}{4} b_p b_{p+1} (b_{p+1}^2 - b_p^2) [\frac{1}{b_p} F_{j,10_p} + \frac{1}{b_{p+1}} F_{j,10_p}^*] \\
& + 2 \sum_{n_p=1} (-1)^{n_p} \frac{h_p^2}{n_p^2 \pi^2} [F_{j,1n_p} (b_{p+1} A_{1n_p} - b_{p+1} - b_p D_{1n_p}) \\
& + F_{j,1n_p}^* (b_{p+1} A_{1n_p}^* + b_p - b_p D_{1n_p}^*)] \\
& + m_{3,j}^{(0)} + \frac{1}{4} b_1^3 F_{j,10_0} + 2 \sum_{n_0=1} (-1)^{n_0} \frac{h_0^2}{n_0^2 \pi^2} b_1 (A_{1n_0} - 1) F_{j,1n_0} \}
\end{aligned} \tag{2.74}$$

Στις παραπάνω εξισώσεις γίνεται χρήση των ακόλουθων εκφράσεων :

$$f_{k,j}^{(s)} = \iint_{S_0} g_{jm}^{(s)}(r, z) n_k dS \tag{2.75}$$

και

$$\begin{aligned}
& j=1,3,5 \\
& \text{για } S=0,1,2,\dots,P \text{ ή} \\
& S=1,2,\dots,L
\end{aligned}$$

$$m_{k,j}^{(s)} = \iint_{S_0} g_{jm}^{(s)}(r, z) (r \times n_k) dS \tag{2.76}$$

Όπου οι συναρτήσεις $g_{jm}^{(s)}$ ορίζονται στην παράγραφο 2.4.

ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

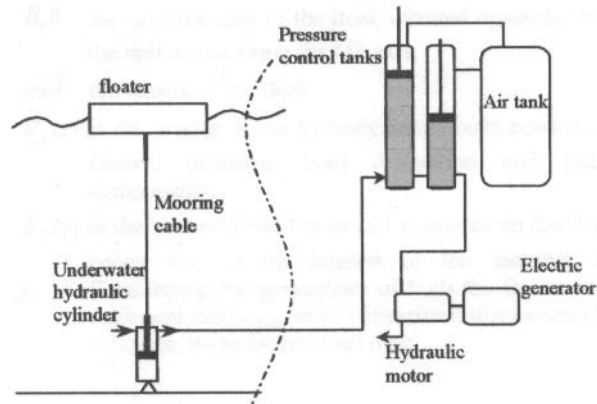
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙΙ

3.1 Εισαγωγή

Η μελέτη που παρουσιάζεται στην παρούσα εργασία βασίζεται σε εκείνη των Μανρακος και Katsaounis [12] δεδομένου, ότι το σύνολο του συστήματος απόληψης ενέργειας παραμένει αμετάβλητο. Η εναλλαγή των γεωμετριών του πλωτήρα (ανωστικό σώμα) είναι αυτή που το διαφοροποιεί. Παρόλα αυτά, η ανάλυση που ακολουθεί παραμένει όμοια για κάθε μία από τις εξεταζόμενες γεωμετρίες, που συμβάλλουν όμως διαφορετικά στη συμπεριφορά του συστήματος. Η αρχή λειτουργίας του «εναλλάκτη κυματικής ενέργειας» σε πολλά σημεία είναι όμοια με τυπικές συσκευές του είδους του [13,14]. Η μελέτη του γίνεται για μικρό βάθος εγκατάστασης. Αποτελείται από έναν πλωτήρα (4 διαφορετικές γεωμετρίες υπό εξέταση) ο οποίος είναι αγκυρωμένος υπό υψηλή προένταση στον πυθμένα της θάλασσας. Ο κλάδος αγκύρωσης συνδέεται με το πιστόνι ενός υποβρύχιου υδραυλικού κυλίνδρου. Οι επερχόμενοι κυματισμοί εξαναγκάζουν το ανωστικό σώμα σε ταλαντώσεις σε πέντε βαθμούς ελευθερίας (ο έκτος, δηλαδή η περιστροφή γύρω από τον κάθετο άξονα δεν λαμβάνεται υπ' όψη εξ' αιτίας του αξονοσυμμετρικού σχήματός του). Η κάθετη κίνηση του πιστονιού ενεργοποιεί τον κύριο υποβρύχιο υδραυλικό κύλινδρο.

Συμπιεσμένο υγρό τροφοδοτείται σε δεξαμενές ελέγχου πίεσης από την κίνηση του πιστονιού προς τα πάνω. Οι δεξαμενές αυτές είναι συνδεδεμένες με αντίστοιχες αέρος κάτι που εξασφαλίζει την εκτόνωση του υγρού σε σταθερές πιέσεις. Το τελευταίο είναι απαραίτητο για τη σωστή λειτουργία της υδραυλικής γεννήτριας. Κατά τη φάση της συμπίεσης ο κύλινδρος δημιουργεί στο κάτω μέρος του κενό, το οποίο λειτουργεί σαν μια επιπλέον δύναμη επαναφοράς χάριν στην οποία το πιστόνι αναρροφά υγρό για την επόμενη συμπίεση. Επίσης γίνεται αντιληπτό πως κατά τη διάρκεια της κίνησης του πιστονιού προς τα κάτω δεν παράγεται ωφέλιμη ενέργεια. Σε κάθε φάση της περιοδικής κίνησης του πιστονιού, αντεπίστροφες βαλβίδες διασφαλίζουν τη σωστή λειτουργία του συστήματος. Στο συγκεκριμένο στάδιο εξέλιξης, ο εναλλάκτης χρησιμοποιεί ένα σύστημα χαμηλής πίεσης τροφοδοτούμενο με θαλασσινό νερό το οποίο εκτονώνει σε υδραυλικό κινητήρα.

Με βάση την παραπάνω περιγραφή, είναι προφανές ότι το ανωστικό σώμα του εναλλάκτη αλληλεπιδρά και με τους κυματισμούς αλλά και με το υδραυλικό-μηχανικό σύστημα από λήψης ενέργειας. Για το λόγο αυτό, η κίνηση του πλωτήρα υπό την επίδραση των κυματισμών, δεν μπορεί να προσδιοριστεί ανεξάρτητα από το υπόλοιπο σύστημα, αλλά, θα πρέπει να μοντελοποιηθεί λαμβάνοντας υπ' όψη όλη την διάταξη της συσκευής.



Εικόνα 3.1 Αρχή λειτουργίας του εναλλάκτη κυματικής ενέργειας

3.2 Δυναμική του συστήματος

Η εξίσωση του δυναμικού ισοδύναμου για τον πλωτήρα, λαμβάνοντας υπόψη πέντε βαθμούς ελευθερίας, μπορεί να παρασταθεί κάνοντας χρήση δύο ορθογώνιων συστημάτων αναφοράς. Το πρώτο είναι το αδρανειακό σύστημα αναφοράς O-XYZ με αρχή το σημείο O. Η αρχή των αξόνων O προκύπτει από την τομή του επιπέδου της ελεύθερης επιφάνειας της θάλασσας με τον κάθετο άξονα συμμετρίας του πλωτήρα, όταν αυτός βρίσκεται σε ηρεμία. Ο κατακόρυφος είναι θετικός προς τα πάνω. Το δεύτερο σύστημα είναι ένα σωματόδετο σύστημα αναφοράς (O'-xyz) με αρχή το σημείο O' (που βρίσκεται στο κέντρο βάρους του πλωτήρα) και με το άξονα z να προσανατολίζεται προς τα πάνω. Στην κατάσταση ηρεμίας οι άξονες Z και z ταυτίζονται ενώ οι X-x και Y-y είναι παράλληλοι μεταξύ τους.

Δηλώνοντας ξ_1 , ξ_2 και ξ_3 τις μετασχηματισμένες συνιστώσες της μετατόπισης για το O' σύστημα, σε σχέση με το αδρανειακό και ξ_4 και ξ_5 τις γωνίες περιστροφής γύρω από τους άξονες OX και OY, προκύπτει το δυναμικό ισοδύναμο του πλωτήρα ως εξής :

$$[m_s]\ddot{\xi}(t) + [K]\dot{\xi}(t) = \bar{F}_H(t) + \bar{F}_c(t) + B_0\bar{k} - mg \quad (3.1)$$

όπου:

$\bar{\xi}(t)$ είναι το γενικευμένο διάνυσμα της μετατόπισης του πλωτήρα συμπεριλαμβανόμενων μεταφορικών και εκ περιστροφής συνιστωσών

$[m_s]$ είναι το γενικευμένο μητρώο αδράνειας του πλωτήρα συμπεριλαμβανόμενης κάθε πιθανής μάζας καθώς και έρματος. Θετώντας m την μάζα αυτή και θεωρώντας ότι το σωματοπαγές σύστημα του πλωτήρα συμπίπτει με τους κύριους άξονες αδράνειας, το μητρώο δίδεται ως :

$$[m_s] = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I_{xx} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & I_{yy} \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

$[K]$ είναι το μητρώο γραμμικής υδροστατικής ακαμψίας. Θέτοντας Δ το εκτόπισμα του πλωτήρα, A_{WL} την ίσαλο επιφάνειά του και GM το μετακεντρικό ύψος του, το μητρώο παίρνει την μορφή :

$$[K] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \rho g A_{WL} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \Delta GM & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \Delta GM \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

$B_0 \bar{k}$ είναι η καθαρή άνωση του πλωτήρα, προσανατολισμένη προς τα πάνω και με \bar{k} το μοναδιαίο διάνυσμα του άξονα OZ

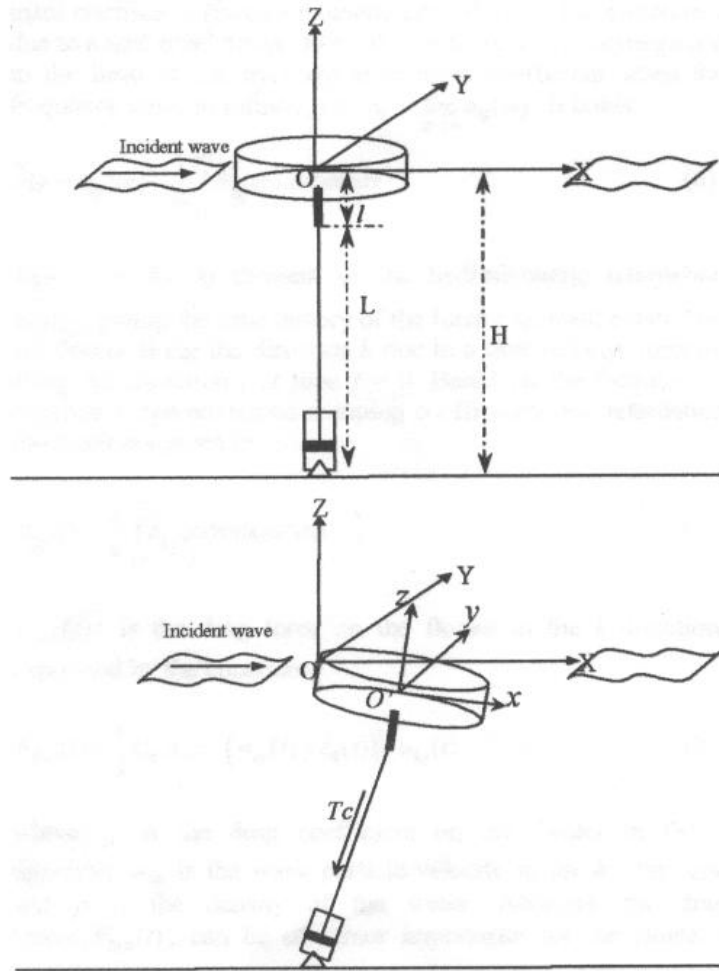
$mg \bar{k}$ είναι το βάρος του πλωτήρα

$\bar{F}_H(t)$ είναι το διάνυσμα των ασκούμενων υδροστατικών φορτίων στον πλωτήρα συμπεριλαμβανομένων και των συνιστωσών περίθλασης και ακτινοβολίας

$\bar{F}_c(t)$ είναι το διάνυσμα των δυνάμεων και των ροπών που ασκούνται στο κέντρο του πλωτήρα εξ' αιτίας της τάσης που ασκεί ο κλάδος της αγκύρωσης. Με δεδομένες τις γεωμετρικές του πλωτήρα και του κλάδου αγκύρωσης και θεωρώντας μικρές μετατοπίσεις και περιστροφές (γραμμική θεώρηση) το μητρώο γράφεται ως εξής :

$$\bar{F}_c = \begin{bmatrix} -T_c(\xi_1 - l\xi_5)/L \\ -T_c(\xi_2 + l\xi_4)/L \\ -T_c \\ -T_c l(\xi_2 + l\xi_4)/L \\ -T_c l(\xi_1 - l\xi_5)/L \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

όπου T_c είναι η χρονικά εξαρτώμενη τάση στον κλάδο αγκύρωσης (συμπεριλαμβανομένης και της οποιασδήποτε προέντασης), l είναι η απόσταση από το κέντρο του πλωτήρα μέχρι το σημείο πρόσδεσης πάνω στον πλωτήρα και L είναι η απόσταση από το σημείο πρόσδεσης, μέχρι τον πυθμένα της θάλασσας.



Εικόνα 3.2 Δυναμικό ισοδύναμο πλωτήρα

Οι υδροδυναμικές φορτίσεις μέχρι και πρώτης τάξης που ασκούνται στον πλωτήρα στην k διεύθυνση μπορούν να αναλυθούν στο πεδίο των χρόνων, κάνοντας χρήση της μεθόδου συνάρτησης παλμικής κρουστικής απόκρισης σύμφωνα με τη μέθοδο των Cummins [15] και Ogilvie [16], όπως φαίνεται παρακάτω :

$$F_{H,k}(t) = -\sum_{j=1}^5 \left\{ \bar{a}_{kj} \ddot{\xi}_j(t) + \int_{-\infty}^t R_{kj}(t-\tau) \dot{\xi}_j(\tau) d\tau \right\} + F_{D,k}(t) + F_{w,k}(t) \quad (3.5)$$

όπου \bar{a}_{kj} είναι ο ανεξάρτητος από τη συχνότητα συντελεστής υδροδυναμικής πρόσθετης μάζας (δύναμη - ροπή ασκούμενη στην k - διεύθυνση εξαιτίας μοναδιαίας επιτάχυνσης στην j - διεύθυνση) και αντιστοιχεί στο όριο του συντελεστή υδροδυναμικής πρόσθετης μάζας όταν η συχνότητα τείνει στο άπειρο, για παράδειγμα $\bar{a}_{kj} = \lim_{\omega \rightarrow \infty} a_{kj}(\omega)$. Ισχύει :

$$\bar{a}_{kj} = a_{kj}(\omega) + \frac{1}{\omega} \int_{\omega}^{\infty} R_{kj}(\tau) \sin(\omega\tau) d\tau \quad (3.6)$$

$R_{kj}(t)$: είναι το kj στοιχείο του μητρώου της χρονικής ιστορίας της υδροδυναμικής φόρτισης (γενικευμένης δύναμης) που ασκείται στον πλωτήρα στην k - κατεύθυνση εξ' αιτίας μιας μοναδιαίας παλμικής διέγερσής του, στην j - κατεύθυνση τη χρονική στιγμή $t=0$. Με βάση τις τιμές των συντελεστών υδροδυναμικής απόσβεσης που εξαρτώνται από τη συχνότητα, το μητρώο της χρονικής ιστορίας της δύναμης δίνεται :

$$R_{kj}(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} b_{kj}(\omega) \cos(\omega t) d\omega \quad (3.7)$$

$F_{D,k}(t)$: είναι η δύναμη αντίστασης (drag force) που ασκείται στον πλωτήρα στην k - κατεύθυνση και εκφράζεται :

$$F_{D,k}(t) = \frac{1}{2} C_D A_w \rho \left(w_{kp}(t) - \dot{\xi}_k(t) \right) \left| w_{kp}(t) - \dot{\xi}_k(t) \right| \quad (3.8)$$

όπου C_D είναι ο συντελεστής αντίστασης στο πλωτήρα στην k - διεύθυνση, w_{kp} είναι η στοιχειώδης ταχύτητα του κύματος και ρ είναι η πυκνότητα του νερού. Εδώ σημειώνεται ότι αν και οι δυνάμεις αντίστασης έχουν μικρή σημασία στην κίνηση του πλωτήρα, ενσωματώνονται στην όλη διατύπωση χάριν πληρότητας.

$F_{w,k}(t)$ είναι η χρονική ιστορία της δύναμης διέγερσης πρώτης τάξης, που ασκείται στον πλωτήρα στην k - διεύθυνση για δεδομένη κατάσταση θάλασσας.

Σε περίπτωση προσπίπτοντος μονοχρωματικού κυματισμού με ύψος κύματος $2A$, γωνία πρόσπτωσης θ και κυκλική συχνότητα ω η εξίσωση της $F_{w,k}(t)$ είναι :

$$F_{w,k}(t) = \left(\frac{F_{w,k}(\omega, \theta)}{A} \right) A \cos[\omega t + \phi_k(\omega)] \quad (3.9)$$

Σε περίπτωση πρόσπτωσης μη γραμμικών κυματισμών η εξίσωση της $F_{w,k}(t)$ είναι :

$$F_{w,k}(t) = \sum_{i=1}^N \sum_{l=1}^M \left(\frac{F_{w,k}(\omega_i, \theta_l)}{A} \right) \sqrt{2S(\omega_i, \theta_l) \Delta\omega \Delta\theta} \cos(\omega_i t + k_i x \cos \theta_l + k_i y \sin \theta_l + \phi_k(\omega_i, \theta_l) + \varepsilon_{il}) \quad (3.10)$$

[17]

N και M είναι ο αριθμός των αρμονικών συχνοτήτων των κυμάτων και των κυματικών διευθύνσεων που αναλύονται στο ενεργειακό φάσμα των κυματισμών.

Επιπλέον, $(F_{w,k}(\omega_i, \theta_l)/A)$ είναι η εξαρτώμενη από τη συχνότητα, συνάρτηση μεταφοράς της διεγείρουσας δύναμης ανά πλάτος κύματος A που ασκείται στον πλωτήρα κατά την k - διεύθυνση. Η πυκνότητα φάσματος $S(\omega_i, \theta_l)$ μπορεί να υπολογιστεί από το κατευθυντικό φάσμα ενώ η επιλογή του συνόλου των συχνοτήτων $\Delta\omega$ καθορίζει χαρακτηριστικά που σχετίζονται με την δημιουργία τυχαίων κυματισμών. Τα ε_{il} είναι οι τυχαίες γωνίες φάσης της il συνιστώσας της ανύψωσης της επιφάνειας της θάλασσας ομοιόμορφα καταναμημένες στο διάστημα $[0, 2\pi]$ και ϕ_k είναι η γωνία υστέρησης φάσης της k - συνιστώσας της δύναμης διέγερσης σε σχέση με τον προσπίπτοντα κυματισμό.

Η εξαρτώμενη από την συχνότητα, ανά μονάδα πλάτους του κυματισμού δύναμη διέγερσης $(F_{w,k}(\omega_i, \theta_l)/A)$, υπολογίζεται από την ολοκλήρωση υδροδυναμικών πιέσεων πρώτης τάξης που ασκούνται στον πλωτήρα, οι οποίες οφείλονται στο προσπίπτον φ_l και στο περιθλώμενο φ_d , κυματικό πεδίο, γύρω από τη μέση βρεχόμενη επιφάνεια S , του δακτυλιοειδούς σώματος. Ισχύει :

$$F_{w,k}(t) = i\omega\rho \iint_S (\varphi_l + \varphi_d) n_k dS \quad (3.11)$$

Η έκφραση της κάθετης τάσης του κλάδου αγκύρωσης $T_c(t)$ απορρέει από την ανάλυση της ισορροπίας του πιστονιού του υδραυλικού κινητήρα και την λειτουργία των δεξαμενών ελέγχου πίεσης. Συνεπώς :

$$\begin{aligned} T_c &= T_{pre} && \text{για } \dot{\xi}_3 < \varepsilon \\ \text{ή} &&& \\ T_c &= T_{pre} + p_p A_p && \text{για } \dot{\xi}_3 \geq \varepsilon \end{aligned} \quad (3.12)$$

όπου T_{pre} είναι η προένταση του κλάδου αγκύρωσης η οποία θεωρείται σταθερή για λόγους απλότητας, p_p είναι η στιγμιαία πίεση συμπίεσης και A_p είναι η επιφάνεια του πιστονιού. Η φάση συμπίεσης καθορίζεται από την τιμή της κάθετης ταχύτητας $\dot{\xi}_3(t)$. Όταν η ταχύτητα είναι θετική (η μεγαλύτερη από μια πολύ μικρή ποσότητα ε , για την πληρότητα της αριθμητικής εφαρμογής) ενεργοποιείται μια αντεπίστροφη βαλβίδα που επιτρέπει την συμπίεση του υγρού από τον κύλινδρο στις δεξαμενές υψηλής πίεσης, με ογκομετρικό ρυθμό πλήρωσης :

$$Q = A_p \dot{\xi}_3(t), \quad \dot{\xi}_3(t) \geq \varepsilon \quad (3.13a)$$

Η είσοδος του συμπιεσμένου υγρού μέσα στις δεξαμενές διαμέσου ενός στομίου επιφανείας A_0 και συντελεστή μ έχει ως αποτέλεσμα πτώση πίεσης ίση με [18] :

$$\Delta p = \frac{\rho}{2\mu^2 A_0^2} Q^2 \quad (3.13b)$$

Έτσι η πίεση στον υδραυλικό κύλινδρο κατά την φάση της συμπίεσης εξαρτάται από την πίεση p_0 μέσα στις δεξαμενές όπως φαίνεται από την σχέση :

$$p_p = \Delta p + p_0 = \frac{\rho}{2\mu^2 A_0^2} Q^2 + p_0 \quad (3.13c)$$

Η πίεση p_0 διατηρείται από δεξαμενή αέρα επαρκούς όγκου και θεωρείται σταθερή.

Οι σχέσεις (3.13a-c) μπορούν να συνδυαστούν με την (3.12) προκειμένου να εκφραστεί η τάση T_c ως μια συνάρτηση της κάθετης ταχύτητας του πλωτήρα $\dot{\xi}_3(t)$.

Η παραγόμενη μηχανική υπολογίζεται από την ροή του υγρού με βάση τη σχέση :

$$P(t) = Q(t) p_0 \quad (3.13d)$$

Η εκμεταλλεύσιμη ενέργεια που παράγεται μπορεί αρχικά να υπολογιστεί κάνοντας χρήση ενός απλού μοντέλου γεννήτριας :

$$P_u = \eta P(t) \quad (3.13e)$$

όπου η είναι ο βαθμός απόδοσης της γεννήτριας.

Εξαιτίας του γεγονότος ότι οι ταχύτητες του πλωτήρα δεν είναι γνωστές ανά πάσα στιγμή t , προκύπτει πρόβλημα επίλυσης της εξίσωσης (3.5) η οποία σχετίζεται με τον υπολογισμό του ολοκληρώματος συνέλιξης :

$$I = \int_{-\infty}^t R_{kj}(t-\tau) \dot{\xi}_j(\tau) d\tau, \quad (3.14)$$

Προκειμένου να παρακαμφθεί η δυσκολία αυτή γίνεται χρήση της μεθόδου του Newmark [19] για την αριθμητική ολοκλήρωση των εξισώσεων της κίνησης. Σύμφωνα με αυτή την μέθοδο υποθέτουμε ότι η λύση του προβλήματος (π.χ.: $\xi_k, \dot{\xi}_k, \ddot{\xi}_k$) είναι γνωστή σε διακριτές χρονικές διαφορές $t - \Delta t, t - 2\Delta t, t - 3\Delta t \dots$ πριν τον χρόνο t και μπορούμε να αντικαταστήσουμε τις άγνωστες ταχύτητες και επιταχύνσεις με βάση τις σχέσεις :

$$\begin{aligned}\ddot{\xi}(t) &= b_1 (\xi(t) - \xi(t - \Delta t)) + b_2 \dot{\xi}(t - \Delta t) + b_3 \ddot{\xi}(t - \Delta t) \\ \dot{\xi}(t) &= b_4 (\xi(t) - \xi(t - \Delta t)) + b_5 \dot{\xi}(t - \Delta t) + b_6 \ddot{\xi}(t - \Delta t)\end{aligned}\quad (3.15)$$

όπου οι σταθερές b_1 μέχρι b_6 εξαρτώνται από συγκεκριμένη μεταβλητή που χρησιμοποιείται στη μέθοδο Newmark και την αύξηση του χρονικού βήματος Δt .

Με τον τρόπο αυτό το ολοκλήρωμα I , της εξίσωσης (3.14), μπορεί να υπολογιστεί κάνοντας χρήση του κανόνα ολοκλήρωσης του τραπεζίου όπως φαίνεται παρακάτω :

$$I = \sum_N^1 \left\{ R_{kj}(\eta \Delta t) \dot{\xi}_k(t - \eta \Delta t) \Delta t \right\} + \frac{1}{2} R_{kj}(0) \dot{\xi}_k(t) \Delta t \quad (3.16)$$

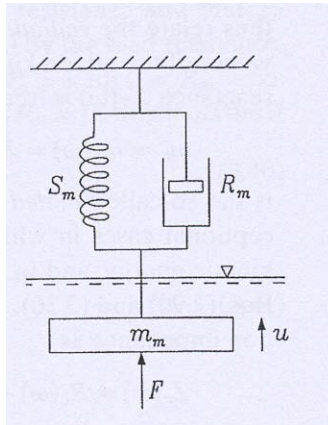
Αντικαθιστώντας την έκφραση της ταχύτητας $\dot{\xi}_k(t)$ που δίνεται παραπάνω στην εξίσωση (3.15) προκύπτει μια σχέση με μοναδικό άγνωστο την $\xi(t)$. Η έκφραση αυτή τώρα μπορεί να εισαχθεί στην εξίσωση (3.5) να λυθεί η εξίσωση (3.1) για τις άγνωστες μετατοπίσεις $\xi(t)$ για κάθε δεδομένο χρονικό βήμα. Για την αριθμητική εφαρμογή της μεθόδου, πρέπει να επιλεγεί ένα κατάλληλο μέγεθος αποθηκευμένης χρονιοιστορίας, το οποίο καθορίζεται από την τιμή της μεταβλητής N της (3.14), προκειμένου να συμπεριληφθούν όλες οι διακυμάνσεις των εξισώσεων χρονικής ιστορίας της δύναμης.

Το μοντέλο που περιγράφεται στις εξισώσεις (3.1) μέχρι (3.13) είναι μη γραμμικό λόγω της ύπαρξης του συστήματος απόληψης ενέργειας (κυρίως εξ' αιτίας της έκφρασης της τάσης του κλάδου αγκύρωσης (εξ. 3.12) και της έκφρασης της πτώσης πίεσης (εξ. 3.13b)). Η ύπαρξη της μη γραμμικότητας, κάνει αναγκαία την χρήση μεθόδου επίλυσης στο πεδίο των χρόνων. Τέλος υπολογίζοντας τη μέση παραγόμενη ισχύ αρκετά μετά την έναρξη της κίνησης τα αρχικά μεταβατικά φαινόμενα εξαλείφονται εξ' αιτίας της υδροδυναμικής απόσβεσης και της ισοδύναμης δράσης της παραγωγής ενέργειας.

3.3 Επιλογή του συντελεστή γραμμικής απόσβεσης αναφορικά με αρμονικό κυματισμό

Θεωρούμε μηχανικό ανάλογο, όπως αυτό του σχήματος (σχήμα 3.1) , το οποίο αποτελείται από σώμα μάζας m και βρίσκεται βυθισμένο στο νερό. Το σώμα συνδέεται με ελατήριο σταθεράς S_m και με κάποια μηχανική αντίσταση R_m (όπου απορροφάται ενέργεια) . Θεωρούμε ότι στο σώμα εφαρμόζεται δύναμη F ίση με :

$$F(t) = \text{Re}\{\hat{F}e^{i\omega t}\} \quad (3.17)$$



Σχήμα 3.1

Αποτέλεσμα της επιβολής της δύναμης είναι η έναρξη εξαναγκασμένης ταλάντωσης του σώματος με ταχύτητα :

$$u(t) = \text{Re}\{\hat{u}e^{i\omega t}\} \quad (3.18)$$

Η ενέργεια που καταναλώνεται στο μηχανικό αποσβεστήρα μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$P_m = \frac{1}{2} R_m |\hat{u}|^2 \quad (3.19)$$

Επίσης, επειδή το σώμα που ταλαντώνεται είναι βυθισμένο στο νερό, παράγει κυματισμό, ως αποτέλεσμα της κίνησής του. Η ενέργεια που ακτινοβολείται από την παραγωγή αυτή είναι:

$$P_r = \frac{1}{2} R_r |\hat{u}|^2 \quad (3.20)$$

Σαν αποτέλεσμα του ακτινοβολούμενου (παραγόμενου) κυματισμού στο σώμα επιδρά μια επιπλέον δύναμη, πέραν της αρχικής F , η F_r . Η δύναμη αλληλεπίδρασης αυτή, στα πλαίσια της γραμμικής θεωρίας, μπορεί να εκφραστεί ως εξής :

$$F_r = \text{Re}\{\hat{F}_r e^{i\omega t}\} \quad (3.21)$$

Με βάση τα παραπάνω το δυναμικό ανάλογο του συστήματος μπορεί να περιγραφεί με την παρακάτω εξίσωση :

$$i\omega m_m \hat{u} + R_m \hat{u} + (S_m / i\omega) \hat{u} = \hat{F} + \hat{F}_r \quad (3.22)$$

η οποία μπορεί να γραφεί, κάνοντας χρήση της μηχανικής αντίστασης Z_m , ως :

$$Z_m \hat{u} = \hat{F} + \hat{F}_r \quad (3.23)$$

Θέτοντας $F_r = -Z_r \hat{u}$ (3.24) ορίζουμε την αντίσταση ακτινοβολίας Z_r .

Η Z_r εξαρτάται από την κυκλική συχνότητα ω και τη γεωμετρία του συστήματος και ορίζεται ως εξής :

$$Z_r = Z_r(\omega) = R_r(\omega) + iX_r(\omega) \quad (3.25)$$

Συνδυάζοντας τις εξισώσεις (3.24) και (3.25) προκύπτει :

$$(Z_m + Z_r) \hat{u} = \hat{F} \quad (3.26)$$

Η έκφραση της ταχύτητας u είναι :

$$\hat{u} = \frac{\hat{F}}{Z_m + Z_r} = \frac{\hat{F}}{(R_m + R_r) + i(\omega m_m + X_r - S_m / \omega)} \quad (3.27)$$

Στην παραπάνω έκφραση η συνάρτηση $X_r(\omega)$, ορίζεται ως η διαφορά της πρόσθετης κινητικής και δυναμικής ενέργειας που αποκτά το ρευστό που περιβάλλει το βυθισμένο σώμα, όταν αυτό κινείται. Σχετίζεται με την πρόσθετη μάζα του σώματος με βάση την παρακάτω σχέση:

$$m_r = m_r(\omega) = X_r(\omega) / \omega \quad (3.28)$$

Θεωρώντας ότι η μόνη δύναμη που ασκείται στο βυθισμένο σώμα είναι αυτή που προέρχεται από τη διέγερση ενός απλού αρμονικού κυματισμού F_e , η σχέση (3.27) μπορεί να γραφεί :

$$\hat{u} = \frac{\hat{F}}{R_m + R_r + [i\omega(m_m + m_r) - S_m / \omega]} \quad (3.29)$$

δίνοντας τη ταχύτητα του σώματος.

Η ενέργεια που απορροφάται από τον μηχανικό αποσβεστήρα [13], αντίστασης R_m , είναι :

$$P_a = \frac{R_m}{2} |\hat{u}|^2 = \frac{\hat{F}}{(R_m + R_r)^2 + (\omega m_m + \omega m_r - S_m / \omega)^2} \quad (3.30)$$

Παρατηρείται ότι για $R_m=0$ και $R_m=\infty$ η τιμή της απορροφόμενης ενέργειας είναι μηδενική. Επίσης ισχύει ότι για κάθε $0 < R_m < \infty$ η τιμή της ενέργειας είναι μεγαλύτερη του μηδενός ($P_a > 0$).

Η μεγιστοποίηση της απορροφόμενης ενέργειας προκύπτει όταν :

$$\frac{\partial P_a}{\partial R_m} = 0 \quad (3.31)$$

το οποίο επαληθεύεται όταν:

$$R_m = \left\{ R_r^2 + (\omega m_m + \omega m_r - S_m / \omega)^2 \right\}^{1/2} \equiv R_{m,OPT} \quad (3.32)$$

Με βάση τη συνθήκη της παραπάνω σχέσης (3.32) προκύπτει η μέγιστη απορροφόμενη ενέργεια :

$$P_{a,max} = \frac{|\hat{F}_e|^2 / 4}{R_r + \left\{ R_r^2 + (\omega m_m + \omega m_r - S_m / \omega)^2 \right\}^{1/2}} \quad (3.33)$$

Σε περίπτωση που $(\omega m_m + \omega m_r - S_m / \omega)^2 = 0$ τότε σύμφωνα με την εξίσωση (3.32) ισχύει $R_m = R_r \equiv R_{m,OPT}$ (18) και προκύπτει συντονισμός [13]. Σε κατάσταση συντονισμού η μέγιστη απορροφόμενη ενέργεια προκύπτει ως εξής:

$$P_{a,MAX} = |\hat{F}_e|^2 / (8R_r) \quad (3.34)$$

Στο σημείο αυτό, κρίνεται σκόπιμο να δοθούν ενδεικτικές τιμές του συντελεστή γραμμικής απόσβεσης, με τη χρήση των οποίων παρήχθησαν τα αντίστοιχα ενεργειακά αποτελέσματα του κεφαλαίου 6. Οι συντελεστές αυτοί δεν αφορούν αρμονικό κυματισμό, αλλά φάσμα κυματισμών όπως αυτό περιγράφεται στην εισαγωγή των αποτελεσμάτων. Οι δύο σειρές πινάκων που ακολουθούν αντιπροσωπεύουν τους συντελεστές όλων των γεωμετριών για δύο χαρακτηριστικά εκτοπίσματα, αυτά των 12.57 m^3 και 42.41 m^3 . Όπως είναι φανερό υπάρχει έντονη διαφοροποίηση, εξαρτώμενη από την ενεργειακή περίοδο και την εκάστοτε γεωμετρία. Τέλος διευκρινίζεται ότι οι τιμές των πινάκων είναι διαστατές.

$$V=12.57\text{m}^3$$

Linear Damping Coefficient for cylinder R=2 D=1 H=10 [N sec/m]							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	15000	18000	25000	40000			
0.5		18000	25000	40000			
0.7			25000	40000	45000		
0.9				40000	45000	65000	
1.1					45000	65000	
1.3						65000	75000

Linear Damping Coefficient for cone R=2 D=3 H=10 [N sec/m]							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	16700	21400	30500	44000			
0.5		21400	30500	44000			
0.7			30500	44000	50800		
0.9				44000	50800	66500	
1.1					50800	66500	
1.3						66500	76700

Linear Damping Coefficient for cylinder skirt R=2 D=1.9 H=10 [N sec/m]							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	12900	11800	15000	26000			
0.5		11800	15000	26000			
0.7			15000	26000	32000		
0.9				26000	32000	50400	
1.1					32000	50400	
1.3						50400	62000

Linear Damping Coefficient for compound cylinder R=2.83 D=0.9 H=10 [N sec/m]							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	98400	8200	8200	15700			
0.5		8200	8200	15700			
0.7			8200	15700	22400		
0.9				15700	22400	42500	
1.1					22400	42500	
1.3						42500	62000

Linear Damping Coefficient for cone with external ring R=2 D=3 H=10 [N sec/m]							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	300000	194000	35000	30000			
0.5		194000	35000	30000			
0.7			35000	30000	32000		
0.9				30000	32000	42000	
1.1					32000	42000	
1.3						42000	51000

$$V=42.41\text{m}^3$$

Linear Damping Coefficient for cylinder R=3 D=1.5 H=10 [N sec/m]							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	45000	40000	45000	70000			
0.5		40000	45000	70000			
0.7			45000	70000	80000		
0.9				70000	80000	120000	
1.1					80000	120000	
1.3						120000	150000

Linear Damping Coefficient for cone R=3 D=4.5 H=10 [N sec/m]							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	45000	50000	50000	80000			
0.5		50000	50000	80000			
0.7			50000	80000	100000		
0.9				80000	100000	120000	
1.1					100000	120000	
1.3						120000	150000

Linear Damping Coefficient for cylinder skirt R=3 D=2.9 H=10 [N sec/m]							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	80000	40000	30000	40000			
0.5		40000	30000	40000			
0.7			30000	40000	50000		
0.9				40000	50000	80000	
1.1					50000	80000	
1.3						80000	100000

Linear Damping Coefficient for compound cylinder R=4.24 D=1.4 H=10 [N sec/m]							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	240000	280000	23000	25000			
0.5		280000	23000	25000			
0.7			23000	25000	28000		
0.9				25000	28000	48000	
1.1					28000	48000	
1.3						48000	75000

Linear Damping Coefficient for cone with external ring R=3 D=4.5 H=10 [N sec/m]							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	3500000	3500000	400000	75000			
0.5		3500000	400000	75000			
0.7			400000	75000	70000		
0.9				75000	70000	75000	
1.1					70000	75000	
1.3						75000	80000

ΚΩΔΙΚΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV

4.1 Κώδικας υπολογισμού πρωτοτάξιων υδροδυναμικών χαρακτηριστικών και δυνάμεων διέγερσης

Γενικά

Ο κώδικας που περιγράφεται στο παρόν κεφάλαιο (cylinder3.f) υπολογίζει τις δυνάμεις διέγερσης και τις κινήσεις που προκαλούνται σε αξονοσυμμετρικά σώματα τα οποία διεγείρονται από αρμονικούς κυματισμούς και είναι γραμμένος σε γλώσσα Fortran. Σύμφωνα με τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο, η ροή γύρω από το σώμα χωρίζεται σε περιοχές δακτυλιοειδούς σχήματος, για κάθε μια εκ των οποίων το δυναμικό ταχύτητας γράφεται με την μορφή σειράς Fourier κάνοντας χρήση των σχέσεων ορθοκανονικότητας που ικανοποιούνται από τις ορθοκανονικές ιδιοσυναρτήσεις $Z_a(z)$. Οι άγνωστοι υδροδυναμικοί συντελεστές προσδιορίζονται με την επίλυση των οριακών συνθηκών συνέχειας για το δυναμικό και τη ταχύτητα της ροής καθώς και την εκπλήρωση των οριακών συνθηκών στη βρεχόμενη επιφάνεια του σώματος.

4.1.1 ΑΡΧΕΙΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ: input file

Τα δεδομένα που περιγράφουν το πρόβλημα πρέπει να αποθηκευτούν σε ένα αρχείο το όνομα του οποίου δεν πρέπει να ξεπερνά τους πέντε χαρακτήρες. Στα επόμενα περιγράφονται οι γραμμές δεδομένων που πρέπει να εισαχθούν, οι οποίες αναφέρονται με τον όρο 'κάρτα':

Κάρτα 1^η

<i>Format</i>	<i>Μεταβλητή</i>
Alphanumeric	Τίτλος προβλήματος

Κάρτα 2^η

<i>Format</i>	<i>Μεταβλητές</i>
2F10.0, I5	TIEF : βάθος νερού RADIUS : μεγαλύτερη ακτίνα του υπό μελέτη σώματος NEAUSS : Αριθμός συντελεστών Fourier του δυναμικού ταχύτητας στην κάθετη κατεύθυνση για την επίλυση του εξωτερικού πεδίου. Για τιμές του λόγου βυθίσματος d προς την ακτίνα r του σώματος $d/a \leq 10$ η τιμή της μεταβλητής ισούται με 19. Για $10 < d/a \leq 30$ $NEAUSS=39$ ενώ για $d/a \geq 30$ πρέπει $NEAUSS=79$ (μέγιστη τιμή της μεταβλητής είναι 79)

Κάρτα 3^η

<i>Format</i>	<i>Μεταβλητές</i>
6L7	<p>LBN : =.TRUE. για σώματα που έχουν βρεχόμενη επιφάνεια πάνω από την μεγαλύτερη ακτίνα τους =.FALSE. για σώματα που δεν έχουν βρεχόμενη επιφάνεια πάνω από την μεγαλύτερη ακτίνα τους, για παράδειγμα σώματα που πλέουν με την μεγαλύτερη ακτίνα τους</p> <p>LNT : =.TRUE. για σώματα που έχουν βρεχόμενη επιφάνεια κάτω από την μεγαλύτερη ακτίνα τους =.FALSE. για σώματα που έχουν βρεχόμενη επιφάνεια κάτω από την μεγαλύτερη ακτίνα τους, για παράδειγμα σώματα που εφάπτονται στον πυθμένα της θάλασσας με την μεγαλύτερη ακτίνα τους</p> <p>LBN3 : =.TRUE. για σώματα που επιπλέουν στην ελεύθερη επιφάνεια =.FALSE. για σώματα που επιπλέουν κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια</p> <p>LNT3 : =.TRUE. για σώματα που εφάπτονται στον πυθμένα της θάλασσας =.FALSE. για σώματα που δεν εφάπτονται στον πυθμένα της θάλασσας</p> <p>LMOOV: =.TRUE. για ελεύθερα πλέον σώμα. Υπολογίζονται οι δυνάμεις διέγερσης, οι υδροδυναμικοί συντελεστές (πρόσθετη μάζα και απόσβεση) και ροπές. =.FALSE. για ακίνητο σώμα. Υπολογίζονται μόνο οι δυνάμεις διέγερσης και οι ροπές.</p> <p>LPRINT : =.TRUE. για λεπτομερές αρχείο παραγόμενων αποτελεσμάτων και δυνάμεων σε κάθε ξεχωριστή επιφάνεια του σώματος =.FALSE. για συνοπτικό αρχείο παραγόμενων αποτελεσμάτων. Εξ' ορισμού το LPRINT θεωρείται . FALSE.</p>

Οι υπόλοιπες τέσσερις κάρτες περιλαμβάνονται στο αρχείο εισαγωγής δεδομένων μόνο αν **LBN =.TRUE.**

Κάρτα 4^η

<i>Format</i>	<i>Μεταβλητή</i>
I5	NMAXOB : συνολικός αριθμός δακτυλοειδών στοιχείων που χρησιμοποιούνται για τη διακριτοποίηση της άνω επιφάνειας του σώματος, για παράδειγμα την επιφάνεια του σώματος πάνω από την μεγαλύτερη ακτίνα του. Στην αρίθμηση δεν προσμετράται το μεσαίο στοιχείο της άνω επιφάνειας. Αυτό σημαίνει ότι για έναν κάθετο σύνθετο κύλινδρο η τιμή της μεταβλητής είναι 1 ενώ στην περίπτωση κυλινδρικού σώματος που επιπλέει κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια η τιμή της μεταβλητής είναι 0. Η μέγιστη τιμή της μεταβλητής ορίζεται ίση με 10.

Κάρτα 5^η

<i>Format</i>	<i>Μεταβλητές</i>
8F10.0	HOBMT : απόσταση της κατώτατης οριζόντιας επιφάνειας του κεντρικού δακτυλοειδούς στοιχείου της άνω επιφάνειας, μετρούμενη από την πυθμένα HOB (I), I=1, NMAXOB : αποστάσεις των υπολοίπων δακτυλοειδών στοιχείων της άνω επιφάνειας μετρούμενες από τον πυθμένα

Κάρτα 6^η

<i>Format</i>	<i>Μεταβλητές</i>
16I5	NEOBMT : Αριθμός συντελεστών Fourier του δυναμικού ταχύτητας στην κάθετη κατεύθυνση για το κεντρικό δακτυλοειδές στοιχείο της άνω επιφάνειας. Ο αριθμός αυτός συνήθως ισούται με 19 ενώ η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του είναι 79. NEOB (I), I=1, NMAXOB : Αριθμός συντελεστών Fourier του δυναμικού ταχύτητας στην κάθετη κατεύθυνση για τα I δακτυλοειδή στοιχεία της άνω επιφάνειας. Ο αριθμός αυτός συνήθως ισούται με 19 ενώ η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του είναι 79.

Κάρτα 7^η

<i>Format</i>	<i>Μεταβλητή</i>
8F10.0	ROB(I), I=1, NMAXOB+1 : Ακτίνες των δακτυλοειδών στοιχείων της άνω επιφάνειας, μετρούμενες από τα εσωτερικά προς τα εξωτερικά πεδία του ρευστού

Οι υπόλοιπες τέσσερις κάρτες περιλαμβάνονται στο αρχείο εισαγωγής δεδομένων μόνο αν **LBT =.TRUE**.

Κάρτα 8^η

<i>Format</i>	<i>Μεταβλητή</i>
I5	NMAXUN : συνολικός αριθμός δακτυλοειδών στοιχείων που χρησιμοποιούνται για τη διακριτοποίηση της κάτω επιφάνειας του σώματος, για παράδειγμα την επιφάνεια του σώματος κάνω από την μεγαλύτερη ακτίνα του. Στην αρίθμηση δεν προσμετράται το μεσαίο στοιχείο της κάτω επιφάνειας. Αυτό σημαίνει ότι για έναν κάθετο απλό κύλινδρο ο οποίος πλέει είτε στην επιφάνεια είτε κάτω από αυτή η τιμή της μεταβλητής είναι 0. Η μέγιστη τιμή της μεταβλητής ορίζεται ίση με 11.

Κάρτα 9^η

<i>Format</i>	<i>Μεταβλητές</i>
8F10.0	HUNMT : απόσταση της ανώτατης οριζόντιας επιφάνειας του κεντρικού δακτυλοειδούς στοιχείου της κάτω επιφάνειας, μετρούμενη από την πυθμένα HUN(I), I=1, NMAXUN : αποστάσεις των υπολοίπων δακτυλοειδών στοιχείων της κάτω επιφάνειας μετρούμενες από τον πυθμένα

Κάρτα 10^η

<i>Format</i>	<i>Μεταβλητές</i>
16I5	NEUNMT : Αριθμός συντελεστών Fourier του δυναμικού ταχύτητας στην κάθετη κατεύθυνση για το κεντρικό δακτυλοειδές στοιχείο της κάτω επιφάνειας. Ο αριθμός αυτός συνήθως ισούται με 49 για $d/a \leq 10$ (κάρτα 2). Για $10 \leq d/a \leq 30$ επιλέγεται NEUNMT=99 ενώ για $d/a \geq 30$ επιλέγεται NEUNMT=199 που είναι και η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του. NEUN(I), I=1, NMAXUN : Αριθμός συντελεστών Fourier του δυναμικού ταχύτητας στην κάθετη κατεύθυνση για τα I δακτυλοειδή στοιχεία της κάτω επιφάνειας. Ο αριθμός αυτός συνήθως ισούται με 49 ενώ η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του είναι 199. Για διαφοροποίηση της τιμής της μεταβλητής γίνεται χρήση των παραπάνω παρατηρήσεων.

Κάρτα 11ⁿ

<i>Format</i>	<i>Μεταβλητές</i>
8F10.0	RUN(I, I=1, NMAXUN+1: Ακτίνες των δακτυλιοειδών στοιχείων της κάτω επιφάνειας, μετρούμενες από τα εσωτερικά προς τα εξωτερικά πεδία του ρευστού

Κάρτα 12ⁿ

<i>Format</i>	<i>Μεταβλητές</i>
2I5	KFRAGE : =1 αν δίνεται ο αδιάστατος κυματικός αριθμός ka, όπου a είναι η μεγαλύτερη ακτίνα του σώματος =0 αν δίνονται οι τιμές της κυκλικής συχνότητας ω MAL : πλήθος διαφορετικών τιμών του ka ή ω

Κάρτα 13ⁿ

<i>Format</i>	<i>Μεταβλητές</i>
8F10.0	OMEGA(I) : τιμές συχνοτήτων ω KA(I, I=1, MAL : τιμές αδιάστατου κυματικού αριθμού ka

Κάρτα 14ⁿ

<i>Format</i>	<i>Μεταβλητές</i>
3F10.0	HEBEL : κάθετη απόσταση του σημείου αναφοράς των κινήσεων, το οποίο βρίσκεται στον κάθετο άξονα συμμετρίας του σώματος, μετρούμενη από των πυθμένα [m] ZEGE : κάθετη απόσταση του κέντρου βάρους του σώματος μετρούμενη από το σημείο αναφοράς των κινήσεων (η μεταβλητή ZEGE πρέπει να είναι αρνητική αν το κέντρο βάρους βρίσκεται κάτω από το σημείο αναφοράς των κινήσεων του σώματος) [m] TRAEGM : μαζική ροπή αδράνειας του σώματος ως προς το σημείο αναφοράς των κινήσεων [tn.m^2]

Κάρτα 15ⁿ

<i>Format</i>	<i>Μεταβλητές</i>
5x,2I5	iplott : =1 δημιουργείται αρχείο πινακοποιημένων δεδομένων έτοιμο για χρήση σε πρόγραμμα εξαγωγής γραφημάτων =0 δεν παράγεται κανένα αρχείο itape 5 : =1 αν απαιτείται η αποθήκευση των ποσοτήτων πρώτης τάξης σε αρχείο, που δημιουργείται αυτόματα, διαθέσιμο για περαιτέρω επεξεργασία =0 δεν δημιουργείται κανένα αρχείο

Περιγραφή αρχείου εξαγόμενων αποτελεσμάτων : output file

Κατά την εκτέλεση του προγράμματος cylinder3.f παράγεται ένα αρχείο αποτελεσμάτων result.xxxxx το οποίο έχει κατάληξη ίδια με εκείνη του ονόματος του εισαγόμενου αρχείου. Οι δυνάμεις διέγερσης, οι υδροδυναμικές παράμετροι και οι κινήσεις του σώματος τυπώνονται σε αδιάστατη μορφή όπως περιγράφεται ακολούθως.

Δυνάμεις διέγερσης (exciting forces)

$$f_{j0} = \frac{F_{j0}}{\pi \cdot \rho \cdot g \cdot a^2 \cdot (H/2)}$$

Για $j=1,3$ για την οριζόντια και κάθετη δύναμη διέγερσης αντίστοιχα και

$$f_{50} = \frac{F_{50}}{\pi \cdot \rho \cdot g \cdot a^3 \cdot (H/2)}$$

για την διεγείρουσα ροπή περί τον κάθετο άξονα περιστροφής του σώματος. Στις παραπάνω εκφράσεις ρ είναι η πυκνότητα του νερού, g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας, $(H/2)$ είναι το ύψος κύματος και a είναι η μεγαλύτερη ακτίνα του υπό εξέταση σώματος.

Υδροδυναμικές Παράμετροι

$$a_{jj} = \frac{A_{jj}}{\rho \cdot \nabla}$$

$$b_{jj} = \frac{B_{jj}}{\rho \cdot \omega \cdot \nabla}$$

για $j=1,3$ στις κινήσεις surge και heave.

$$a_{55} = \frac{A_{55}}{\rho \cdot \nabla \cdot a^2}$$

$$b_{55} = \frac{B_{55}}{\rho \cdot \omega \cdot \nabla \cdot a^2}$$

$j=5$ για την περιστροφή γύρω από τον κάθετο άξονα (pitch), και

$$a_{15} = \frac{A_{15}}{\rho \cdot \nabla \cdot a}$$

$$b_{15} = \frac{B_{15}}{\rho \cdot \omega \cdot \nabla \cdot a}$$

για τη συζευγμένη κίνηση surge-pitch. Στις παραπάνω εκφράσεις a είναι η μεγαλύτερη ακτίνα του σώματος και ∇ είναι ο εκτοπιζόμενος όγκος νερού.

Κινήσεις

$$x_{j0} = \frac{X_{j0}}{(H/2)}$$

για κίνηση κατά τον x -άξονα (surge, $j=1$) και κατά τον z -άξονα (heave, $j=3$)

$$x_{50} = \frac{X_{50}}{(k \cdot (H/2))}$$

για την κίνηση περί τον z -άξονα (pitch, $j=5$)

4.1.2 Ενδεικτικά αρχεία χρήσης (εισαγωγής δεδομένων) του προγράμματος cylinder3.f

Στο παράρτημα αυτό παραθέτουμε ένα ενδεικτικό αρχείο εισαγωγής δεδομένων για το πρόγραμμα, για κάθε μια εκ των τεσσάρων γεωμετριών (κυλίνδρου, κώνου, κυλίνδρου με κάθετη ποδιά και σύνθετου κυλίνδρου).

4.1.2.1 Ενδεικτικό αρχείο για κύλινδρο (όνομα: c11)

SINGLE VERTICAL TRUNCATED CYLINDER. R=2.0M, H=10M, D=0.5M

10.00 2.000 19

.FALSE..TRUE. .TRUE. .FALSE..TRUE. .FALSE.

0 0

9.500

49

2.000

0 29

0.010 0.100 0.200 0.300 0.400 0.500 0.600 0.700

0.800 0.900 1.000 1.100 1.200 1.300 1.400 1.500

1.600 1.700 1.800 1.900 2.000 2.100 2.200 2.300

2.400 2.500 2.600 2.700 2.800

10.00 0.000 8000000.

0 0 1 1

Το αρχείο περιγράφει περίπτωση απλού κυλίνδρου βυθίσματος D και ακτίνας R που επιπλέει στην ελεύθερη επιφάνεια σε θάλασσα βάθους H .

4.1.2.2 Ενδεικτικό αρχείο για κώνο (όνομα:k11)

SINGLE VERTICAL CONE. R=2.0M, H=10M, D=1.5M

10.00 2.000 19

.FALSE..TRUE. .TRUE. .FALSE..TRUE. .FALSE.

3 0

8.500 8.8410 9.2776 9.7664

49 49 49 49

0.100 0.666 1.333 2.000

0 29

0.010 0.100 0.200 0.300 0.400 0.500 0.600 0.700

0.800 0.900 1.000 1.100 1.200 1.300 1.400 1.500

1.600 1.700 1.800 1.900 2.000 2.100 2.200 2.300

2.400 2.500 2.600 2.700 2.800

10.00 0.000 8000000.

0 0 1 1

Το αρχείο περιγράφει περίπτωση κώνου βυθίσματος D και ακτίνας R που επιπλέει στην ελεύθερη επιφάνεια με την μεγαλύτερη ακτίνα του, σε θάλασσα βάθους H.

4.1.2.3 Ενδεικτικό αρχείο για κύλινδρο με κάθετη ποδιά (όνομα: s11)

SINGLE VERTICAL TRUNCATED CYLINDER SKIRT. R=2.0M, H=10M, D=0.95125M

10.00 2.000 19

.FALSE..TRUE. .TRUE. .FALSE..TRUE. .FALSE.

1 0

9.54875 9.04875

49 49

1.900 2.000

0 29

0.010 0.100 0.200 0.300 0.400 0.500 0.600 0.700

0.800 0.900 1.000 1.100 1.200 1.300 1.400 1.500

1.600 1.700 1.800 1.900 2.000 2.100 2.200 2.300

2.400 2.500 2.600 2.700 2.800

10.00 0.000 8000000.

0 0 1 1

Το αρχείο περιγράφει περίπτωση κυλίνδρου με κάθετη ποδιά ολικού βυθίσματος (συμπαγούς κομματιού κυλίνδρου και ποδιάς) D και ακτίνας R που επιπλέει στην ελεύθερη επιφάνεια σε θάλασσα βάθους H.

4.1.2.4 Ενδεικτικό αρχείο για σύνθετο κύλινδρο (όνομα: n11)

```
VERTICAL COMPOUND CYLINDER. R1=2.0M;R2=2.83;H=10M;D1=0.30M;D2=0.10M
10.00 2.830 19
.TRUE. .TRUE. .TRUE. .FALSE..TRUE. .FALSE.
1
10.00 9.700
19 19
2.000 2.830
0 0

9.600
49
2.830
0 29
0.010 0.100 0.200 0.300 0.400 0.500 0.600 0.700
0.800 0.900 1.000 1.100 1.200 1.300 1.400 1.500
1.600 1.700 1.800 1.900 2.000 2.100 2.200 2.300
2.400 2.500 2.600 2.700 2.800
10.00 0.000 8000000.
0 0 1 1
```

Το αρχείο περιγράφει περίπτωση σύνθετου κυλίνδρου βυθίσματος D1 και ακτίνας R1 (αναφορικά με το συμπαγές κομμάτι του κυλίνδρου) και βυθίσματος D2 και ακτίνας R2 (αναφορικά με το κομμάτι της οριζόντιας ποδιάς) που επιπλέει στην ελεύθερη επιφάνεια με την μικρότερη ακτίνα (αυτή του συμπαγούς κομματιού), σε θάλασσα βάθους H.

4.2 Πρόγραμμα υπολογισμού των συναρτήσεων χρονικής ιστορίας της δύναμης (Retardation functions)

Γενικά

Το πρόγραμμα retardw υπολογίζει τις συναρτήσεις χρονικής ιστορίας της δύναμης (retardation) που χρειάζονται για την επίλυση στο πεδίο των χρόνων.

ΕΝΤΟΛΗ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ

Το πρόγραμμα εκτελείται σε παράθυρο DOS (ή παράθυρο Command prompt στα Windows XP) με την εντολή :

retardw input_file output_file ref

Δίνουμε, δηλαδή, μετά το όνομα του εκτελέσιμου αρχείου, τα ονόματα ενός αρχείου δεδομένων και ενός αρχείου αποτελεσμάτων και τέλος το μήκος αναφοράς με το οποίο έχουν αδιαστατοποιηθεί τα αποτελέσματα. Τα ειδικότερα ονόματα των αρχείων αυτών εκλέγονται ελεύθερα από τον χρήστη. Όμως, συνιστάται να τηρούνται κάποιοι σχετικοί περιορισμοί προγραμμάτων DOS, όπως το filename να έχει μέχρι 8 χαρακτήρες και το extension μέχρι 3.

4.2.1 Input_file (αρχείο δεδομένων)

Είναι το αρχείο με τα υδροδυναμικά αποτελέσματα πρόσθετων μαζών και αποσβέσεων το οποίο έχει παραχθεί από το πρόγραμμα επίλυσης του γραμμικού υδροδυναμικού προβλήματος cylinder3.f.

Περιγραφή γραμμών δεδομένων του αρχείου δίνεται παρακάτω. Ένα παράδειγμα αρχείου εισαγωγής παραθέτεται στο index_2.

1η γραμμή

«body: 1»

Κατόπιν ακολουθούν οι γραμμές για κάθε συχνότητα ω , με το εξής format

ω (rad/sec) ka a11 b11 a33 b33 a55 b55 a15 b15

όπου το a είναι οι συντελεστές πρόσθετης μάζας και b οι συντελεστές απόσβεσης.

Οι συντελεστές πρόσθετης μάζας a_{11} και a_{33} είναι αδιαστατοποιημένοι με το $\rho^*(ref)^3$, ο a_{55} με $\rho^*(ref)^5$ και ο a_{15} με $\rho^*(ref)^4$. Οι αντίστοιχοι συντελεστές απόσβεσης αδιαστατοποιούνται με $\omega * \rho^*(ref)^3$, $\omega * \rho^*(ref)^5$ και $\omega * \rho^*(ref)^4$.

4.2.2 **output_file** (αρχείο παραγόμενων αποτελεσμάτων)

Είναι το αρχείο αποτελεσμάτων του προγράμματος (αρχείο με τις χρονικές ιστορίες της δύναμης- retardation functions). Το αρχείο που παράγεται αποτελείται από γραμμές με τα παρακάτω δεδομένα :

time(sec) r11 r12 r13 r14 r15 r22 r23 r34 r35 r33 r34 r35 r44 r45 r55

Σημειώνεται ότι όλα τα μεγέθη που παράγονται είναι διαστατά.

4.2.3 **ref** (μονάδα αδιαστατοποίησης)

Είναι το μήκος αναφοράς με το οποίο έχουν αδιαστατοποιηθεί τα αποτελέσματα.

(σημ. στο πρόγραμμα θεωρείται $\rho=1025 \text{ kg/m}^3$ για θαλασσινό νερό).

4.2.4 Ενδεικτικό αρχείο χρήσης του προγράμματος retardw

Ενδεικτικό όνομα αρχείου : addc1.dat

body:1

1.00E-02	3.03E-03	2.07E-01	1.01E-07	3.68E+00	4.93E-01	2.21E-01	5.96E-08	6.85E-02	7.77E-08
1.00E-01	3.03E-02	2.07E-01	1.01E-05	2.95E+00	4.95E-01	2.21E-01	5.86E-06	6.82E-02	7.70E-06
2.00E-01	6.10E-02	2.07E-01	4.17E-05	2.74E+00	4.98E-01	2.21E-01	2.40E-05	6.84E-02	3.17E-05
3.00E-01	9.23E-02	2.08E-01	9.82E-05	2.62E+00	5.04E-01	2.21E-01	5.63E-05	6.88E-02	7.45E-05
4.00E-01	1.25E-01	2.10E-01	1.88E-04	2.54E+00	5.14E-01	2.21E-01	1.06E-04	6.94E-02	1.41E-04
5.00E-01	1.58E-01	2.11E-01	3.20E-04	2.47E+00	5.26E-01	2.22E-01	1.79E-04	7.01E-02	2.40E-04
6.00E-01	1.94E-01	2.13E-01	5.14E-04	2.43E+00	5.42E-01	2.23E-01	2.83E-04	7.10E-02	3.81E-04
7.00E-01	2.31E-01	2.15E-01	8.01E-04	2.39E+00	5.62E-01	2.23E-01	4.31E-04	7.22E-02	5.86E-04
8.00E-01	2.72E-01	2.18E-01	1.21E-03	2.35E+00	5.86E-01	2.24E-01	6.42E-04	7.35E-02	8.80E-04
9.00E-01	3.16E-01	2.22E-01	1.83E-03	2.31E+00	6.13E-01	2.25E-01	9.42E-04	7.52E-02	1.31E-03
1.00E+00	3.65E-01	2.26E-01	2.74E-03	2.27E+00	6.45E-01	2.26E-01	1.37E-03	7.72E-02	1.94E-03
1.10E+00	4.18E-01	2.31E-01	4.12E-03	2.23E+00	6.79E-01	2.27E-01	2.00E-03	7.93E-02	2.87E-03
1.20E+00	4.78E-01	2.37E-01	6.14E-03	2.18E+00	7.14E-01	2.29E-01	2.89E-03	8.25E-02	4.21E-03
1.30E+00	5.45E-01	2.43E-01	9.11E-03	2.13E+00	7.48E-01	2.30E-01	4.13E-03	8.56E-02	6.14E-03
1.40E+00	6.19E-01	2.51E-01	1.34E-02	2.07E+00	7.78E-01	2.32E-01	5.84E-03	8.88E-02	8.88E-03
1.50E+00	7.01E-01	2.59E-01	1.93E-02	2.00E+00	8.01E-01	2.33E-01	8.09E-03	9.19E-02	1.25E-02
1.60E+00	7.91E-01	2.67E-01	2.73E-02	1.93E+00	8.17E-01	2.34E-01	1.08E-02	9.50E-02	1.72E-02
1.70E+00	8.89E-01	2.75E-01	3.74E-02	1.86E+00	8.17E-01	2.35E-01	1.42E-02	9.82E-02	2.31E-02
1.80E+00	9.93E-01	2.81E-01	4.98E-02	1.80E+00	8.09E-01	2.36E-01	1.80E-02	9.97E-02	2.99E-02
1.90E+00	1.11E+00	2.87E-01	6.43E-02	1.73E+00	8.01E-01	2.35E-01	2.21E-02	1.01E-01	3.76E-02
2.00E+00	1.22E+00	2.90E-01	8.09E-02	1.67E+00	7.78E-01	2.33E-01	2.62E-02	9.97E-02	4.59E-02
2.10E+00	1.35E+00	2.90E-01	9.82E-02	1.61E+00	7.51E-01	2.31E-01	3.01E-02	9.74E-02	5.43E-02
2.20E+00	1.48E+00	2.87E-01	1.16E-01	1.56E+00	7.20E-01	2.28E-01	3.36E-02	9.35E-02	6.25E-02
2.30E+00	1.62E+00	2.82E-01	1.34E-01	1.52E+00	6.86E-01	2.24E-01	3.64E-02	8.80E-02	7.00E-02
2.40E+00	1.76E+00	2.73E-01	1.52E-01	1.48E+00	6.50E-01	2.20E-01	3.86E-02	8.09E-02	7.64E-02
2.50E+00	1.91E+00	2.62E-01	1.67E-01	1.45E+00	6.12E-01	2.15E-01	3.97E-02	7.28E-02	8.17E-02
2.60E+00	2.07E+00	2.49E-01	1.81E-01	1.41E+00	5.73E-01	2.10E-01	4.01E-02	6.43E-02	8.48E-02

2.70E+00	2.23E+00	2.34E-01	1.92E-01	1.39E+00	5.35E-01	2.06E-01	3.97E-02	5.55E-02	8.72E-02
2.80E+00	2.40E+00	2.18E-01	2.00E-01	1.37E+00	4.97E-01	2.02E-01	3.86E-02	4.69E-02	8.80E-02
2.90E+00	2.57E+00	2.02E-01	2.07E-01	1.36E+00	4.59E-01	1.99E-01	3.68E-02	3.86E-02	8.72E-02
3.00E+00	2.75E+00	1.85E-01	2.11E-01	1.34E+00	4.23E-01	1.96E-01	3.48E-02	3.09E-02	8.56E-02
3.10E+00	2.94E+00	1.70E-01	2.14E-01	1.34E+00	3.89E-01	1.92E-01	3.24E-02	2.38E-02	8.33E-02
3.20E+00	3.13E+00	1.55E-01	2.14E-01	1.34E+00	3.55E-01	1.91E-01	2.98E-02	1.74E-02	8.01E-02
3.30E+00	3.33E+00	1.41E-01	2.13E-01	1.33E+00	3.24E-01	1.88E-01	2.73E-02	1.19E-02	7.62E-02
3.40E+00	3.54E+00	1.26E-01	2.10E-01	1.33E+00	2.93E-01	1.88E-01	2.47E-02	7.15E-03	7.22E-02
3.50E+00	3.75E+00	1.15E-01	2.07E-01	1.34E+00	2.65E-01	1.87E-01	2.22E-02	3.11E-03	6.79E-02
3.60E+00	3.96E+00	1.03E-01	2.03E-01	1.34E+00	2.39E-01	1.86E-01	1.99E-02	-2.42E-04	6.35E-02
3.70E+00	4.19E+00	9.19E-02	1.99E-01	1.34E+00	2.14E-01	1.86E-01	1.76E-02	-2.97E-03	5.91E-02
3.80E+00	4.42E+00	8.25E-02	1.93E-01	1.35E+00	1.92E-01	1.86E-01	1.56E-02	-5.14E-03	5.48E-02
3.90E+00	4.65E+00	7.38E-02	1.88E-01	1.35E+00	1.72E-01	1.86E-01	1.37E-02	-6.79E-03	5.07E-02
4.00E+00	4.89E+00	6.59E-02	1.82E-01	1.36E+00	1.53E-01	1.86E-01	1.19E-02	-8.01E-03	4.66E-02
4.10E+00	5.14E+00	5.87E-02	1.77E-01	1.37E+00	1.36E-01	1.87E-01	1.04E-02	-8.80E-03	4.27E-02
4.20E+00	5.39E+00	5.23E-02	1.70E-01	1.38E+00	1.20E-01	1.87E-01	8.95E-03	-9.35E-03	3.91E-02
4.30E+00	5.65E+00	4.65E-02	1.64E-01	1.39E+00	1.06E-01	1.88E-01	7.71E-03	-9.50E-03	3.56E-02
4.40E+00	5.92E+00	4.13E-02	1.59E-01	1.40E+00	9.35E-02	1.88E-01	6.61E-03	-9.50E-03	3.24E-02
4.50E+00	6.19E+00	3.67E-02	1.52E-01	1.41E+00	8.25E-02	1.89E-01	5.64E-03	-9.19E-03	2.93E-02
4.60E+00	6.47E+00	3.26E-02	1.47E-01	1.41E+00	7.22E-02	1.89E-01	4.78E-03	-8.80E-03	2.65E-02
4.70E+00	6.76E+00	2.89E-02	1.41E-01	1.43E+00	6.32E-02	1.90E-01	4.04E-03	-8.17E-03	2.39E-02
4.80E+00	7.05E+00	2.57E-02	1.36E-01	1.44E+00	5.52E-02	1.91E-01	3.39E-03	-7.48E-03	2.14E-02
4.90E+00	7.34E+00	2.29E-02	1.30E-01	1.45E+00	4.81E-02	1.92E-01	2.84E-03	-6.68E-03	1.92E-02
5.00E+00	7.65E+00	2.03E-02	1.25E-01	1.45E+00	4.19E-02	1.92E-01	2.36E-03	-5.80E-03	1.71E-02
5.10E+00	7.95E+00	1.81E-02	1.19E-01	1.46E+00	3.63E-02	1.92E-01	1.95E-03	-4.85E-03	1.52E-02
5.20E+00	8.27E+00	1.63E-02	1.15E-01	1.47E+00	3.15E-02	1.93E-01	1.59E-03	-3.86E-03	1.35E-02
5.30E+00	8.59E+00	1.45E-02	1.10E-01	1.48E+00	2.70E-02	1.94E-01	1.28E-03	-2.85E-03	1.19E-02
5.40E+00	8.92E+00	1.32E-02	1.05E-01	1.48E+00	2.35E-02	1.94E-01	1.05E-03	-1.81E-03	1.05E-02
5.50E+00	9.25E+00	1.20E-02	1.01E-01	1.48E+00	2.03E-02	1.95E-01	8.40E-04	-7.57E-04	9.19E-03
5.60E+00	9.59E+00	1.10E-02	9.66E-02	1.49E+00	1.74E-02	1.95E-01	6.69E-04	2.98E-04	8.01E-03
5.70E+00	9.94E+00	1.02E-02	9.27E-02	1.50E+00	1.49E-02	1.96E-01	5.26E-04	1.35E-03	6.97E-03
5.80E+00	1.03E+01	9.50E-03	8.88E-02	1.51E+00	1.28E-02	1.96E-01	4.08E-04	2.40E-03	6.01E-03
5.90E+00	1.06E+01	9.03E-03	8.48E-02	1.51E+00	1.09E-02	1.96E-01	3.13E-04	3.42E-03	5.14E-03
6.00E+00	1.10E+01	8.64E-03	8.09E-02	1.52E+00	9.35E-03	1.96E-01	2.36E-04	4.43E-03	4.37E-03

7.00E+00	1.50E+01	9.11E-03	5.22E-02	1.55E+00	1.76E-03	1.98E-01	1.09E-07	1.32E-02	7.40E-05
8.00E+00	1.96E+01	1.35E-02	3.38E-02	1.57E+00	2.77E-04	1.99E-01	2.40E-05	1.92E-02	-9.03E-04
9.00E+00	2.48E+01	1.85E-02	2.21E-02	1.58E+00	3.65E-05	1.99E-01	3.24E-05	2.32E-02	-8.48E-04
1.00E+01	3.06E+01	2.31E-02	1.49E-02	1.59E+00	3.97E-06	1.99E-01	2.39E-05	2.57E-02	-5.97E-04
1.10E+01	3.70E+01	2.70E-02	1.03E-02	1.59E+00	3.57E-07	1.99E-01	1.43E-05	2.74E-02	-3.83E-04
1.20E+01	4.40E+01	3.03E-02	7.28E-03	1.59E+00	2.64E-08	1.99E-01	7.93E-06	2.86E-02	-2.40E-04
1.30E+01	5.17E+01	3.30E-02	5.29E-03	1.59E+00	1.60E-09	1.99E-01	4.37E-06	2.95E-02	-1.52E-04
1.40E+01	5.99E+01	3.52E-02	3.93E-03	1.60E+00	8.01E-11	1.99E-01	2.45E-06	3.00E-02	-9.82E-05
1.50E+01	6.88E+01	3.71E-02	2.98E-03	1.60E+00	3.30E-12	1.99E-01	1.41E-06	3.05E-02	-6.50E-05
1.60E+01	7.83E+01	3.86E-02	2.31E-03	1.60E+00	1.12E-13	1.99E-01	8.48E-07	3.08E-02	-4.42E-05
1.70E+01	8.84E+01	3.98E-02	1.81E-03	1.60E+00	3.11E-15	1.99E-01	5.22E-07	3.11E-02	-3.07E-05
1.80E+01	9.91E+01	4.09E-02	1.44E-03	1.60E+00	7.12E-17	1.99E-01	3.30E-07	3.13E-02	-2.18E-05
1.90E+01	1.10E+02	4.19E-02	1.16E-03	1.60E+00	1.34E-18	1.99E-01	2.14E-07	3.14E-02	-1.58E-05
2.00E+01	1.22E+02	4.26E-02	9.42E-04	1.60E+00	2.08E-20	1.99E-01	1.42E-07	3.16E-02	-1.16E-05
2.10E+01	1.35E+02	4.33E-02	7.78E-04	1.60E+00	2.65E-22	1.99E-01	9.58E-08	3.17E-02	-8.64E-06
2.20E+01	1.48E+02	4.39E-02	6.46E-04	1.61E+00	2.76E-24	1.99E-01	6.63E-08	3.18E-02	-6.54E-06
2.30E+01	1.62E+02	4.45E-02	5.40E-04	1.61E+00	2.37E-26	1.99E-01	4.64E-08	3.19E-02	-5.01E-06
2.40E+01	1.76E+02	4.48E-02	4.56E-04	1.61E+00	1.67E-28	1.99E-01	3.31E-08	3.20E-02	-3.88E-06
2.50E+01	1.91E+02	4.53E-02	3.87E-04	1.61E+00	9.66E-31	1.99E-01	2.38E-08	3.20E-02	-3.04E-06
2.60E+01	2.07E+02	4.56E-02	3.31E-04	1.61E+00	4.57E-33	1.99E-01	1.74E-08	3.20E-02	-2.40E-06
2.70E+01	2.23E+02	4.59E-02	2.84E-04	1.61E+00	1.78E-35	1.99E-01	1.29E-08	3.21E-02	-1.92E-06
2.80E+01	2.40E+02	4.63E-02	2.46E-04	1.61E+00	5.65E-38	1.99E-01	9.66E-09	3.21E-02	-1.54E-06
2.90E+01	2.57E+02	4.65E-02	2.14E-04	1.61E+00	1.48E-40	1.99E-01	7.27E-09	3.22E-02	-1.25E-06
3.00E+01	2.75E+02	4.67E-02	1.87E-04	1.61E+00	5.18E-43	1.99E-01	5.54E-09	3.22E-02	-1.02E-06
3.10E+01	2.94E+02	4.70E-02	1.63E-04	1.61E+00	0.00E+00	1.99E-01	4.26E-09	3.23E-02	-8.33E-07
3.20E+01	3.13E+02	4.71E-02	1.45E-04	1.61E+00	0.00E+00	1.99E-01	3.31E-09	3.23E-02	-6.90E-07

4.3 Πρόγραμμα για τη χρονική επίλυση των εξισώσεων κατακόρυφης κίνησης αξονοσυμμετρικών σωμάτων εκμετάλλευσης κυματικής ενέργειας

Γενικά

Το πρόγραμμα `tim` αποτελεί μια προσαρμογή του προγράμματος `Labtime1` (για ένα σώμα) που αναπτύχθηκε στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος `LABBUOY` για την χρονική επίλυση των εξισώσεων κατακόρυφης κίνησης ενός συστήματος παραγωγής κυματικής ενέργειας με σειρά πλωτήρων. Προκειμένου να χρησιμοποιηθεί το πρόγραμμα `tim` πρέπει πρώτα να χρησιμοποιηθεί το πρόγραμμα `cylinder3.f`, το οποίο επιλύει το γραμμικό υδροδυναμικό πρόβλημα, παράγοντας τους αδιάστατους υδροδυναμικούς συντελεστές μάζας και απόσβεσης καθώς και τις αδιάστατες δυνάμεις περίθλασης (`diffraction`). Επίσης χρησιμοποιεί τα αποτελέσματα του προγράμματος `Retardw`, το οποίο υπολογίζει (από τα αποτελέσματα του `cylinder3.f`) τη χρονική ιστορία των δυνάμεων (`retardation`).

4.3.1 ΕΝΤΟΛΗ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ

Το πρόγραμμα εκτελείται σε παράθυρο `DOS` (ή παράθυρο `Command prompt` στα `Windows XP`) με την εντολή :

`tim general_data_file diffraction_file spectrum_file retardation_file output_file`

Δίνουμε, μετά το όνομα του εκτελέσιμου αρχείου, τα ονόματα τεσσάρων αρχείων δεδομένων και ενός αρχείου αποτελεσμάτων. Τα ειδικότερα ονόματα των αρχείων αυτών εκλέγονται ελεύθερα από τον χρήστη. Όμως, συνιστάται να τηρούνται κάποιοι σχετικοί περιορισμοί προγραμμάτων `DOS`, όπως το `filename` να έχει μέχρι 8 χαρακτήρες και το `extension` μέχρι 3.

Το περιεχόμενο και η δομή των παραπάνω αρχείων παρουσιάζεται στη συνέχεια. Επίσης το πρόγραμμα παράγει πέντε αρχεία με την ακόλουθη περιγραφή :

`out.dat` παράδειγμα αρχείου αποτελεσμάτων

`lb_displ.dat` αποτελέσματα για τις μετατοπίσεις σε κάθε βαθμό ελευθερίας
`lb_veloc.dat` αποτελέσματα για τις ταχύτητες σε κάθε βαθμό ελευθερίας
`lb_accel.dat` αποτελέσματα για τις επιταχύνσεις σε κάθε βαθμό ελευθερίας
`energ_f.dat` αποτελέσματα για τη στιγμιαία ισχύ σε κάθε βαθμό ελευθερίας

4.3.2 ΑΡΧΕΙΟ ΓΕΝΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (`GENERAL_DATA_FILE`)

Το αρχείο αυτό περιέχει τα γενικά δεδομένα του προβλήματος. Ένα παράδειγμα από τη δομή του αρχείου αυτού δίνεται στην παράγραφο 4.3.6 του παρόντος κεφαλαίου.

Παρατηρούμε ότι στο αρχείο υπάρχουν γραμμές σχολίων και γραμμές δεδομένων. Οι γραμμές σχολίων είναι δηλωτικές των δεδομένων που ακολουθούν και προτείνεται να διατηρούνται. Πάντως ο χρήστης είναι ελεύθερος να εισάγει ή όχι πριν από κάθε γραμμή δεδομένων (ή ομάδας γραμμών ομοειδών δεδομένων), μία γραμμή σχολίων που να

αρχίζει με τον χαρακτήρα 'C', όπως φαίνεται παραπάνω. Στη περίπτωση ο μάζας γραμμών ομοειδών δεδομένων (π.χ. τα δεδομένα για την πρόσθετη μάζα σε άπειρη συχνότητα) δεν επιτρέπεται να παρεμβάλλονται γραμμές σχολίων.

Για αποφυγή παραπέρα δυσκολιών προτείνεται να διατηρηθεί η δομή των σχολίων όπως φαίνεται στο παραπάνω παράδειγμα.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η περιγραφή των γραμμών δεδομένων (οι γραμμές σχολίων παραλείπονται)

Σημειώνεται ότι τα δεδομένα δίδονται σε ελεύθερο format, δεν χρειάζεται δηλαδή να τοποθετούνται ανάμεσα σε συγκεκριμένες στήλες, αλλά να συμφωνεί ο τύπος τους (δηλαδή, για παράδειγμα, ο ακέραιος να δίδεται σαν ακέραιος) καθώς και να μη παραλείπονται μεταβλητές.

Στα επόμενα περιγράφονται οι γραμμές δεδομένων, οι οποίες αναφέρονται με τον όρο 'κάρτα':

Κάρτα 1^η

<i>Format</i>	<i>Μεταβλητή</i>
Alphanumeric	Τίτλος προβλήματος

Κάρτα 2^η

<i>Format</i>	<i>Μεταβλητές</i>
int int int int	<p>no_floaters : Αριθμός βαθμών ελευθερίας του πλωτήρα. (κατά την εκτέλεση του προγράμματος tim στη θέση αυτή πρέπει να δοθεί ο αριθμός 5 που δηλώνει τους 5 βαθμούς ελευθερίας του σώματος)</p> <p>no_diff_freq : Αριθμός συχνοτήτων στις οποίες δίδονται αποτελέσματα δυνάμεων diffraction στο αρχείο diffraction_data που περιγράφεται στη συνέχεια (πρέπει να δοθεί επαρκής αριθμός συχνοτήτων ο οποίος να καλύπτει το εύρος συχνοτήτων του προσπίπτοντος κυματισμού π.χ. φάσματος)</p> <p>num_sigs : Αριθμός σημείων που θα διαβαστούν στο αρχείο retardation_file για τον προσδιορισμό της χρονικής ιστορίας των retardation forces.</p> <p>retardation_length : Αριθμός σημείων που αντιστοιχούν για τον προσδιορισμό της χρονικής ιστορίας των δυνάμεων retardation, με βάση ισαπέχοντα σημεία με χρονικό βήμα το βήμα επίλυσης delta_t (θα δοθεί στη συνέχεια, στη 4^η κάρτα. Θα πρέπει να ισχύει: $\text{retardation_length} = (\text{int})((\text{time}[\text{num_sigs}] - \text{time}[1]) / \text{delta_t}) - 1,$ όπου time[1] και time[num_sigs] είναι η χρονική στιγμή (sec) του πρώτου και του τελευταίου σημείου αντίστοιχα των retardation forces, που θα δοθούν στο αρχείο retardation_file.</p>

Κάρτα 3^η

<i>Format</i>	<i>Μεταβλητές</i>
real real real	ref : Μήκος αναφοράς (reference length) το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην αδιαστατοποίηση των υδροδυναμικών αποτελεσμάτων από το πρόγραμμα επίλυσης του υδροδυναμικού προβλήματος. Δίνεται σε μέτρα. rho : Πυκνότητα νερού σε kg/m ³ . Π.χ. 1025.0 gamma : Επιτάχυνση βαρύτητας σε m/sec ² . Π.χ. 9.80665

Κάρτα 4^η

<i>Format</i>	<i>Μεταβλητές</i>
real real	delta_t : Βήμα χρόνου για την ολοκλήρωση στο χρόνο των εξισώσεων κίνησης (sec) time_start : Χρονική στιγμή για την έναρξη επίλυσης του προβλήματος (sec). Συνήθως time_start=0.0

Κάρτα 5^η

<i>Format</i>	<i>Μεταβλητές</i>
int real real int	total_time_steps : Σύνολο βημάτων για τη χρονική επίλυση alpha : Παράμετρος μεθόδου Newmark για την ολοκλήρωση στο χρόνο των εξισώσεων κίνησης. Συνήθως alpha=0.25 delta : Παράμετρος μεθόδου Newmark για την ολοκλήρωση στο χρόνο των εξισώσεων κίνησης. Συνήθως delta=0.50 max_iterations : Μέγιστος αριθμός επαναλήψεων για την επίλυση των μη γραμμικών εξισώσεων κίνησης. Συνήθως max_iterations=15

Κάρτα 6^η

<i>Format</i>	<i>Μεταβλητές</i>
real real	max_unbalance : Ανώτατο όριο για τη μη ισορροπούσα δύναμη, για τον έλεγχο της σύγκλισης της επαναληπτικής διαδικασίας επίλυσης των μη γραμμικών εξισώσεων (π.χ. 0.01) (N) max_incremental : Ανώτατο όριο για την αύξηση στη μετατόπιση στο κάθε βήμα επίλυσης, για τον έλεγχο της σύγκλισης της επαναληπτικής διαδικασίας επίλυσης των μη γραμμικών εξισώσεων (π.χ. 0.001) (m)

Κάρτα 7^η

Πρέπει να δοθούν 'no_floaters' κάρτες της ακόλουθης μορφής (σημ.: το no_floaters δίνεται στη πρώτη κάρτα):

<i>Format</i>	<i>Μεταβλητές</i>
int real	float_number : Αριθμός βαθμού ελευθερίας του πλωτήρα. Η αρίθμηση θα πρέπει να αρχίζει από τη μονάδα και να συνεχίζεται κανονικά. hydrostatic_stiffness : Τιμή της υδροστατικής γραμμικής σταθεράς για τον κάθε βαθμό ελευθερίας του πλωτήρα, στο βύθισμα ισοροπίας ($\rho g A_w$) N/m .Συμπληρώνεται μόνο αυτό που αντιστοιχεί στην καθ' ύψος κίνηση του πλωτήρα (δηλ. το 3)

Κάρτα 8^η

Πρέπει να δοθούν 'no_floaters' κάρτες της ακόλουθης μορφής (σημ.: το no_floaters δίνεται στη πρώτη κάρτα):

<i>Format</i>	<i>Μεταβλητές</i>
int real	float_number : Αριθμός βαθμού ελευθερίας του πλωτήρα. Η αρίθμηση θα πρέπει να αρχίζει από τη μονάδα και να συνεχίζεται κανονικά. external_stiffness : Τιμή της εξωτερικά επιβαλλόμενης γραμμικής σταθεράς ακαμψίας για τον κάθε πλωτήρα (N/m). Στην συγκεκριμένη περίπτωση ο πλωτήρας εξετάζεται μόνο στην καθ' ύψος κίνηση. Για το λόγο αυτό η τιμή της γραμμικής σταθεράς για αύξων αριθμό 3 είναι μηδέν, ενώ σε κάθε άλλη περίπτωση πρακτικά άπειρη ($10.0e+10$).

Κάρτα 9^η

Στην ομάδα καρτών που περιγράφεται εδώ δίνεται το άνω τρίγωνο του συμμετρικού μητρώου πρόσθετης μάζας του συστήματος, που αντιστοιχεί σε άπειρη συχνότητα. Έτσι πρέπει να δοθούν συνολικά '(no_floaters * no_floaters+1)/2' κάρτες της ακόλουθης μορφής (σημ.: το no_floaters δίνεται στη πρώτη κάρτα):

<i>Format</i>	<i>Μεταβλητές</i>
int int real	row_number : Αριθμός γραμμής του μητρώου πρόσθετης μάζας. Η αρίθμηση θα πρέπει να αρχίζει από τη μονάδα και να συνεχίζεται κανονικά. Για κάθε γραμμή δίνουμε τα στοιχεία από το διαγώνιο και μετά. column_number : Αριθμός γραμμής του μητρώου πρόσθετης μάζας. Δίνουμε τα στοιχεία από το διαγώνιο και μετά.

	added_mass_at_infinity : Πρόσθετη μάζα που αντιστοιχεί στους παραπάνω βαθμούς ελευθερίας για άπειρη συχνότητα (kg). Κατά την εκτέλεση του προγράμματος tim όλα τα στοιχεία του μητρώου είναι μηδενικά εκτός από το 3 3 το οποίο παίρνει την τιμή της πρόσθετης μάζας στην καθ' ύψος κίνηση (στις υπόλοιπες κινήσεις το σώμα έχει οριστεί ακίνητο)
--	--

Κάρτα 10ⁿ

Πρέπει να δοθούν 'no_floaters' κάρτες της ακόλουθης μορφής (σημ.: το no_floaters δίνεται στη πρώτη κάρτα):

<i>Format</i>	<i>Μεταβλητές</i>
int real	float_number : Αριθμός βαθμού ελευθερίας του πλωτήρα. Η αρίθμηση θα πρέπει να αρχίζει από τη μονάδα και να συνεχίζεται κανονικά. external_mass : Άθροισμα μάζας και ισοδύναμης μάζας για τον κάθε πλωτήρα (kg).

Κάρτα 11ⁿ

Πρέπει να δοθούν 'no_floaters' κάρτες της ακόλουθης μορφής (σημ.: το no_floaters δίνεται στη πρώτη κάρτα):

<i>Format</i>	<i>Μεταβλητές</i>
int real	float_number : Αριθμός βαθμού ελευθερίας του πλωτήρα. Η αρίθμηση θα πρέπει να αρχίζει από τη μονάδα και να συνεχίζεται κανονικά. external_damping : Συντελεστής γραμμικής απόσβεσης για τον κάθε πλωτήρα (N sec/m). Ουσιαστικά περιλαμβάνει το σύστημα γραμμικής απόληψης ισχύος, αλλά και απώλειες απόσβεσης. Δίνεται μόνο ο συντελεστής με αύξων αριθμό 3 καθώς στις υπόλοιπες κινήσεις το σώμα έχει οριστεί ακίνητο.

4.3.3 ΑΡΧΕΙΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ-ΣΚΕΔΑΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ: DIFFRACTION_FILE

Στο αρχείο αυτό περιέχονται τα αποτελέσματα των αδιάστατων δυνάμεων ανάκλασης-σκέδασης κυματισμών, τα οποία παρήχθησαν από το πρόγραμμα cylinder3.f. Ουσιαστικά, το αρχείο αυτό αποτελεί ακέραιο τμήμα εξαγόμενο από τα αποτελέσματα του cylinder3.f. Εννοείται βέβαια ότι το πρόγραμμα cylinder3.f εκτελέστηκε με τα συγκεκριμένα δεδομένα του υπό εξέταση προβλήματος. Υπογραμμίζεται επίσης ότι τα δεδομένα των δυνάμεων δίδονται σε αδιάστατη μορφή. Συγκεκριμένα όλες οι δυνάμεις πρέπει να είναι αδιαστατοποιημένες με $\rho * g * (\text{ref})^2$ και οι ροπές με $\rho * g * (\text{ref})^3$. Ένα παράδειγμα του αρχείου δίδεται στην παράγραφο 4.3.7 του παρόντος κεφαλαίου. Εκεί παρουσιάζονται οι δυνάμεις- ροπές σε ενότητες για κάθε σώμα. Τα στοιχεία αυτά δίνονται σε στήλες, οι οποίες περιγράφονται στη συνέχεια:

- 1^η στήλη: Συχνότητα (rad/sec)
- 2^η : $k * a$
- 3^η : Μέτρο δύναμης F_x
- 4^η : Φάση δύναμης F_x (rad)
- 5^η : Μέτρο δύναμης F_y
- 6^η : Φάση δύναμης F_y (rad)
- 7^η : Μέτρο δύναμης F_z
- 8^η : Φάση δύναμης F_z (rad)
- 9^η : Μέτρο ροπής M_x
- 10^η : Φάση ροπής M_x (rad)
- 11^η : Μέτρο ροπής M_y
- 12^η : Φάση ροπής M_y (rad)

4.3.4 ΑΡΧΕΙΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΡΟΣΠΙΠΤΩΝΤΟΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ: SPECTRUM_FILE

Στο αρχείο αυτό περιέχονται τα στοιχεία του προσπίπτοντος κυματισμού. Ένα παράδειγμα από το αρχείο αυτό αναφορικά με φάσμα κυματισμών φαίνεται στην παράγραφο 4.3.8.1 του παρόντος κεφαλαίου ενώ ένα παράδειγμα για μονοχρωματικό αρμονικό κυματισμό φαίνεται στην παράγραφο 4.3.8.2. Στο αρχείο αυτό δίδονται τα ακόλουθα δεδομένα :

Κάρτα 1^η

<i>Format</i>	<i>Μεταβλητές</i>
int int ή int int int	spectrum_flag : Κωδικός για τον προσδιορισμό των δεδομένων που θα ακολουθήσουν: Αν spectrum_flag=0 θα δοθούν στην επόμενη κάρτα(ες) δεδομένα για μεμονωμένους κυματισμούς συγκεκριμένης συχνότητας, ύψους και φάσης. Για spectrum_flag=1 στην επόμενη κάρτα περιγράφεται ένα φάσμα κυματισμών.

	<p>no_input_wave_freq : Αριθμός των συχνοτήτων στις οποίες δίνονται μεμονωμένοι κυματισμοί ή περιγράφεται το φάσμα του προσπίπτοντος κυματισμού στην επόμενη κάρτα.</p> <p>no_spectral_freq : Δίνεται μόνο στη περίπτωση φάσματος κυματισμών (<i>spectrum_flag=1</i>). Αριθμός των μεμονωμένων μονοχρωματικών κυμάτων στους οποίους θα αναλυθεί το φάσμα το οποίο περιγράφεται στη συνέχεια. Το πρόγραμμα χωρίζει το διάστημα συχνοτήτων, για το οποίο δίδονται πληροφορίες στην επόμενη κάρτα (διάστημα από τη μικρότερη μέχρι τη μεγαλύτερη συχνότητα), σε no_spectral_freq ίσα τμήματα. Σε κάθε τμήμα εκλέγεται, με διαδικασία παραγωγής τυχαίων αριθμών, μία μεμονωμένη συχνότητα και στη συνέχεια για τη συχνότητα αυτή παρεμβάλλεται με παρεμβολή spline η συνάρτηση φασματικής πυκνότητας ισχύος. Στη συνέχεια, πάλι με διαδικασία παραγωγής τυχαίων αριθμών προσδιορίζεται για κάθε ένα από τους no_spectral_freq μεμονωμένους κυματισμούς μια τυχαία γωνία φάσης.</p>
--	--

Κάρτα 2^η

Δίνονται συνολικά no_input_wave_freq κάρτες της παρακάτω μορφής (Το no_input_wave_freq δίνεται στη προηγούμενη κάρτα):

<i>Format</i>	<i>Μεταβλητές</i>
float float float ή float float	<p>Για spectrum_flag=0, δίνονται σε no_input_wave_freq κάρτες τα επόμενα στοιχεία των μεμονωμένων κυματισμών:</p> <p>input_wave_freq : Συχνότητα (rad/sec)</p> <p>input_wave_ampl : Πλάτος (single amplitude) του μεμονωμένου κυματισμού (m)</p> <p>spectral_phase : φάση (rad) του μεμονωμένου κυματισμού.</p> <p>Για spectrum_flag=1, δίνονται σε no_input_wave_freq κάρτες τα επόμενα στοιχεία για το φάσμα κυματισμών:</p> <p>input_wave_freq : Συχνότητα (rad/sec). Τα δεδομένα θα πρέπει να δίδονται κατά αύξουσα συχνότητα.</p> <p>input_wave_psd : Η αντίστοιχη για την παραπάνω συχνότητα τιμή της πυκνότητας του φάσματος ισχύος του προσπίπτοντος κυματισμού. (Power spectral density) (m²*sec/rad)</p>

4.3.5 ΑΡΧΕΙΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ RETARDATION: RETARDATION_FILE

Στο αρχείο αυτό περιλαμβάνονται τα δεδομένα για τις κατακόρυφες retardation δυνάμεις του συστήματος. Σημειώνεται ότι το αρχείο αυτό παράγεται από τα αποτελέσματα του cylinder3.f με χρήση ιδιαίτερου προγράμματος (retardw). Δίνονται συνολικά num_sigs κάρτες (το num_sigs έχει δοθεί στη δεύτερη κάρτα του general_data_file) της παρακάτω μορφής:

<i>Format</i>	<i>Μεταβλητές</i>
float	time : Χρονική στιγμή (sec). Σημειώνεται ότι δεν είναι απαραίτητο να δίνονται οι δυνάμεις σε ισαπέχοντα βήματα κατά delta_t, μια και το πρόγραμμα πραγματοποιεί παρεμβολή spline για να προσδιορίσει αυτά τα στοιχεία (ισαπέχοντα κατά delta_t) retardation_force(i,j) , i=1,no_floaters, j=i,no_floaters Το άνω τριγωνικό τμήμα του πίνακα των retardation forces για κάθε χρονική στιγμή (N sec/m).

Ένα παράδειγμα από το αρχείο δεδομένων retardation φαίνεται στην παράγραφο 4.3.9 του παρόντος κεφαλαίου.

4.3.6 ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟ ΑΡΧΕΙΟ ΓΕΝΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ: GENERAL_DATA_FILE

Ενδεικτικό όνομα αρχείου : gdfc1.dat

```
**** Pythagoras proj, cylinder, r=3m ****
C   no_d.o.f no_diff_freq num_sigs  retardation_length
      5         65         101             98
C   ref      rho      gamma
      3.00    1025.0   9.810
C   delta_t  time_start
      0.100    0.00
C Total time steps  alpha  delta max_iterations
      20000     0.25    0.50             35
C Max_unbalance Max_incremental
      0.01      0.001
C Hydrostatic stiffness vector
  1  0.0
  2  0.0
  3 284305.5
  4  0.0
  5  0.0
C External stiffness vector
  1 10.0e+10
  2 10.0e+10
  3  0.0
  4 10.0e+10
  5 10.0e+10
C Added mass at infinite frequency
  1 1 0.0
  1 2 0.0
  1 3 0.0
  1 4 0.0
  1 5 0.0
  2 2 0.0
  2 3 0.0
  2 4 0.0
  2 5 0.0
  3 3 52359.0
  3 4 0.0
  3 5 0.0
  4 4 0.0
  4 5 0.0
  5 5 0.0
C Structural mass
  1 43472.0
  2 43472.0
  3 43472.0
  4 150000.0
  5 150000.0
C External linear Damping ratio
  1 50000.0
  2 50000.0
  3 23725.0
  4 50000.0
  4 50000.0
```

4.3.7 ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟ ΑΡΧΕΙΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ: DIFFRACTION_FILE

Ενδεικτικό όνομα αρχείου : difc1.dat

1.00E-02	3.03E-03	6.68E-03	-1.57E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.12E+00	-7.19E-06	0.00E+00	0.00E+00	1.08E-03	-1.57E+00
1.00E-01	3.03E-02	6.68E-02	-1.57E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.11E+00	-7.22E-04	0.00E+00	0.00E+00	1.13E-02	-1.57E+00
2.00E-01	6.10E-02	1.34E-01	-1.57E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.07E+00	-2.91E-03	0.00E+00	0.00E+00	2.25E-02	-1.57E+00
3.00E-01	9.23E-02	2.03E-01	-1.57E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.01E+00	-6.66E-03	0.00E+00	0.00E+00	3.34E-02	-1.57E+00
4.00E-01	1.25E-01	2.72E-01	-1.57E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.94E+00	-1.21E-02	0.00E+00	0.00E+00	4.40E-02	-1.57E+00
5.00E-01	1.58E-01	3.43E-01	-1.57E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.84E+00	-1.95E-02	0.00E+00	0.00E+00	5.43E-02	-1.57E+00
6.00E-01	1.94E-01	4.18E-01	-1.57E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.73E+00	-2.92E-02	0.00E+00	0.00E+00	6.40E-02	-1.57E+00
7.00E-01	2.31E-01	4.96E-01	-1.57E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.60E+00	-4.17E-02	0.00E+00	0.00E+00	7.31E-02	-1.57E+00
8.00E-01	2.72E-01	5.78E-01	-1.56E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.46E+00	-5.75E-02	0.00E+00	0.00E+00	8.09E-02	-1.56E+00
9.00E-01	3.16E-01	6.62E-01	-1.56E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.31E+00	-7.74E-02	0.00E+00	0.00E+00	8.81E-02	-1.56E+00
1.00E+00	3.65E-01	7.53E-01	-1.55E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.15E+00	-1.02E-01	0.00E+00	0.00E+00	9.37E-02	-1.55E+00
1.10E+00	4.18E-01	8.49E-01	-1.55E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.98E+00	-1.33E-01	0.00E+00	0.00E+00	9.81E-02	-1.55E+00
1.20E+00	4.78E-01	9.52E-01	-1.54E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.81E+00	-1.71E-01	0.00E+00	0.00E+00	1.01E-01	-1.54E+00
1.30E+00	5.45E-01	1.06E+00	-1.52E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.65E+00	-2.17E-01	0.00E+00	0.00E+00	1.01E-01	-1.52E+00
1.40E+00	6.19E-01	1.16E+00	-1.51E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.49E+00	-2.72E-01	0.00E+00	0.00E+00	9.84E-02	-1.51E+00
1.50E+00	7.01E-01	1.26E+00	-1.49E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.34E+00	-3.34E-01	0.00E+00	0.00E+00	9.27E-02	-1.49E+00
1.60E+00	7.91E-01	1.35E+00	-1.47E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.20E+00	-4.05E-01	0.00E+00	0.00E+00	8.43E-02	-1.47E+00
1.70E+00	8.89E-01	1.41E+00	-1.45E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.07E+00	-4.82E-01	0.00E+00	0.00E+00	7.28E-02	-1.45E+00
1.80E+00	9.93E-01	1.45E+00	-1.43E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.59E-01	-5.67E-01	0.00E+00	0.00E+00	5.90E-02	-1.43E+00
1.90E+00	1.11E+00	1.46E+00	-1.43E+00	0.00E+00	0.00E+00	8.52E-01	-6.58E-01	0.00E+00	0.00E+00	4.37E-02	-1.43E+00
2.00E+00	1.22E+00	1.44E+00	-1.44E+00	0.00E+00	0.00E+00	7.56E-01	-7.56E-01	0.00E+00	0.00E+00	2.83E-02	-1.44E+00
2.10E+00	1.35E+00	1.40E+00	-1.46E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.68E-01	-8.60E-01	0.00E+00	0.00E+00	1.33E-02	-1.46E+00
2.20E+00	1.48E+00	1.35E+00	-1.50E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.87E-01	-9.71E-01	0.00E+00	0.00E+00	5.18E-04	1.64E+00
2.30E+00	1.62E+00	1.28E+00	-1.55E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.15E-01	-1.09E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.27E-02	1.59E+00
2.40E+00	1.76E+00	1.21E+00	-1.62E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.53E-01	-1.21E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.31E-02	1.52E+00
2.50E+00	1.91E+00	1.14E+00	-1.71E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.93E-01	-1.35E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.15E-02	1.43E+00
2.60E+00	2.07E+00	1.07E+00	-1.81E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.43E-01	-1.49E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.87E-02	1.33E+00
2.70E+00	2.23E+00	9.99E-01	-1.92E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.98E-01	-1.63E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.40E-02	1.22E+00
2.80E+00	2.40E+00	9.34E-01	-2.05E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.58E-01	-1.79E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.81E-02	1.09E+00

2.90E+00	2.57E+00	8.71E-01	-2.19E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.22E-01	-1.95E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.09E-02	9.56E-01
3.00E+00	2.75E+00	8.12E-01	-2.33E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.92E-01	-2.12E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.28E-02	8.08E-01
3.10E+00	2.94E+00	7.59E-01	-2.49E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.65E-01	-2.29E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.37E-02	6.51E-01
3.20E+00	3.13E+00	7.09E-01	-2.66E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.41E-01	-2.48E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.40E-02	4.83E-01
3.30E+00	3.33E+00	6.62E-01	-2.83E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.21E-01	-2.67E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.40E-02	3.07E-01
3.40E+00	3.54E+00	6.18E-01	-3.02E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.03E-01	-2.86E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.31E-02	1.23E-01
3.50E+00	3.75E+00	5.78E-01	3.07E+00	0.00E+00	0.00E+00	8.81E-02	-3.07E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.21E-02	-7.05E-02
3.60E+00	3.96E+00	5.40E-01	2.87E+00	0.00E+00	0.00E+00	7.46E-02	3.01E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.06E-02	-2.72E-01
3.70E+00	4.19E+00	5.06E-01	2.66E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.34E-02	2.79E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.90E-02	-4.80E-01
3.80E+00	4.42E+00	4.75E-01	2.44E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.37E-02	2.57E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.72E-02	-6.97E-01
3.90E+00	4.65E+00	4.47E-01	2.22E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.53E-02	2.33E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.53E-02	-9.20E-01
4.00E+00	4.89E+00	4.18E-01	1.99E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.84E-02	2.10E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.31E-02	-1.15E+00
4.10E+00	5.14E+00	3.93E-01	1.75E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.22E-02	1.85E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.09E-02	-1.39E+00
4.20E+00	5.39E+00	3.68E-01	1.51E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.71E-02	1.60E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.90E-02	-1.63E+00
4.30E+00	5.65E+00	3.47E-01	1.26E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.27E-02	1.35E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.68E-02	-1.89E+00
4.40E+00	5.92E+00	3.25E-01	9.97E-01	0.00E+00	0.00E+00	1.90E-02	1.08E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.47E-02	-2.14E+00
4.50E+00	6.19E+00	3.07E-01	7.32E-01	0.00E+00	0.00E+00	1.59E-02	8.15E-01	0.00E+00	0.00E+00	3.28E-02	-2.41E+00
4.60E+00	6.47E+00	2.89E-01	4.60E-01	0.00E+00	0.00E+00	1.32E-02	5.40E-01	0.00E+00	0.00E+00	3.07E-02	-2.68E+00
4.70E+00	6.76E+00	2.73E-01	1.82E-01	0.00E+00	0.00E+00	1.10E-02	2.58E-01	0.00E+00	0.00E+00	2.88E-02	-2.96E+00
4.80E+00	7.05E+00	2.58E-01	-1.03E-01	0.00E+00	0.00E+00	9.09E-03	-3.04E-02	0.00E+00	0.00E+00	2.70E-02	3.04E+00
4.90E+00	7.34E+00	2.43E-01	-3.94E-01	0.00E+00	0.00E+00	7.53E-03	-3.25E-01	0.00E+00	0.00E+00	2.53E-02	2.75E+00
5.00E+00	7.65E+00	2.30E-01	-6.92E-01	0.00E+00	0.00E+00	6.21E-03	-6.26E-01	0.00E+00	0.00E+00	2.36E-02	2.45E+00
5.10E+00	7.95E+00	2.17E-01	-9.96E-01	0.00E+00	0.00E+00	5.12E-03	-9.33E-01	0.00E+00	0.00E+00	2.20E-02	2.15E+00
5.20E+00	8.27E+00	2.06E-01	-1.31E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.18E-03	-1.25E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.05E-02	1.83E+00
5.30E+00	8.59E+00	1.95E-01	-1.62E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.43E-03	-1.57E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.91E-02	1.52E+00
5.40E+00	8.92E+00	1.85E-01	-1.95E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.81E-03	-1.89E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.78E-02	1.19E+00
5.50E+00	9.25E+00	1.75E-01	-2.28E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.29E-03	-2.22E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.66E-02	8.64E-01
5.60E+00	9.59E+00	1.66E-01	-2.61E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.86E-03	-2.56E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.54E-02	5.28E-01
5.70E+00	9.94E+00	1.58E-01	-2.96E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.51E-03	-2.90E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.43E-02	1.86E-01
5.80E+00	1.03E+01	1.50E-01	2.98E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.22E-03	3.03E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.33E-02	-1.63E-01
5.90E+00	1.06E+01	1.43E-01	2.62E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.87E-04	2.67E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.24E-02	-5.18E-01
6.00E+00	1.10E+01	1.36E-01	2.26E+00	0.00E+00	0.00E+00	7.96E-04	2.31E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.15E-02	-8.79E-01
7.00E+00	1.50E+01	8.59E-02	-1.69E+00	0.00E+00	0.00E+00	7.90E-05	-1.66E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.65E-03	1.45E+00
8.00E+00	1.96E+01	5.75E-02	1.83E-02	0.00E+00	0.00E+00	5.96E-06	4.40E-02	0.00E+00	0.00E+00	2.94E-03	-3.12E+00

9.00E+00	2.48E+01	4.03E-02	1.11E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.40E-07	1.13E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.63E-03	-2.03E+00
1.00E+01	3.06E+01	2.95E-02	1.59E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.46E-08	1.61E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.65E-04	-1.55E+00
1.10E+01	3.70E+01	2.21E-02	1.46E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.72E-10	1.47E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.00E-04	-1.68E+00
1.20E+01	4.40E+01	1.70E-02	7.11E-01	0.00E+00	0.00E+00	1.13E-11	7.22E-01	0.00E+00	0.00E+00	3.87E-04	-2.43E+00
1.30E+01	5.17E+01	1.34E-02	-6.48E-01	0.00E+00	0.00E+00	2.01E-13	-6.38E-01	0.00E+00	0.00E+00	2.59E-04	2.49E+00
1.40E+01	5.99E+01	1.07E-02	-2.62E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.66E-15	-2.61E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.79E-04	5.22E-01
1.50E+01	6.88E+01	8.74E-03	1.08E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.63E-17	1.09E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.27E-04	-2.06E+00
1.60E+01	7.83E+01	7.18E-03	-2.11E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.92E-19	-2.11E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.18E-05	1.03E+00
1.70E+01	8.84E+01	6.00E-03	3.61E-01	0.00E+00	0.00E+00	1.05E-21	3.67E-01	0.00E+00	0.00E+00	6.78E-05	-2.78E+00
1.80E+01	9.91E+01	5.06E-03	2.22E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.22E-24	2.23E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.09E-05	-9.17E-01
1.90E+01	1.10E+02	4.31E-03	-2.81E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.26E-26	-2.80E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.90E-05	3.36E-01
2.00E+01	1.22E+02	3.68E-03	-2.17E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.81E-29	-2.16E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.01E-05	9.76E-01
2.10E+01	1.35E+02	3.19E-03	-2.14E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.62E-32	-2.13E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.36E-05	1.01E+00
2.20E+01	1.48E+02	2.77E-03	-2.72E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.62E-35	-2.72E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.87E-05	4.22E-01
2.30E+01	1.62E+02	2.42E-03	2.37E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.09E-38	2.37E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.50E-05	-7.72E-01
2.40E+01	1.76E+02	2.13E-03	5.63E-01	0.00E+00	0.00E+00	3.78E-41	-4.54E-02	0.00E+00	0.00E+00	1.21E-05	-2.58E+00
2.50E+01	1.91E+02	1.89E-03	-1.86E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.87E-06	1.29E+00
2.60E+01	2.07E+02	1.68E-03	1.40E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	8.12E-06	-1.74E+00
2.70E+01	2.23E+02	1.50E-03	-2.24E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.71E-06	8.99E-01
2.80E+01	2.40E+02	1.34E-03	-2.13E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.59E-06	2.93E+00
2.90E+01	2.57E+02	1.21E-03	1.21E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.68E-06	-1.94E+00
3.00E+01	2.75E+02	1.09E-03	2.01E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.97E-06	-1.13E+00
3.10E+01	2.94E+02	9.90E-04	2.21E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.37E-06	-9.33E-01
3.20E+01	3.13E+02	8.99E-04	1.79E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.87E-06	-1.35E+00

4.3.8 ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟ ΑΡΧΕΙΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΡΟΣΠΙΠΤΩΝΤΟΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ: SPECTRUM_FILE

Σημειώνεται ότι το ακόλουθο αρχείο προσπίπτοντος κυματισμού περιγράφει φάσμα κυματισμών. Παρακάτω παραθέτεται και αρχείο μονοχρωματικού κυματισμού.

4.3.8.1 Ενδεικτικό αρχείο φάσματος κυματισμών

Ενδεικτικό όνομα αρχείου: sp1.dat

```
1 73 1000
1.0000000E-01 0.0000000E+00
2.0000000E-01 0.0000000E+00
3.0000000E-01 0.0000000E+00
4.0000000E-01 0.0000000E+00
5.0000000E-01 0.0000000E+00
6.0000000E-01 0.0000000E+00
7.0000000E-01 0.0000000E+00
8.0000000E-01 0.0000000E+00
9.0000000E-01 0.0000000E+00
1.0000000E+00 0.0000000E+00
1.1000000E+00 0.0000000E+00
1.2000000E+00 1.0042268E-09
1.3000000E+00 1.4958950E-07
1.4000000E+00 4.0681893E-06
1.5000000E+00 3.7555160E-05
1.6000000E+00 1.7093345E-04
1.7000000E+00 4.8396639E-04
1.8000000E+00 9.8936221E-04
1.9000000E+00 1.6107318E-03
2.0000000E+00 2.2308281E-03
2.1000000E+00 2.7500966E-03
2.2000000E+00 3.1146406E-03
2.3000000E+00 3.3143518E-03
2.4000000E+00 3.3677584E-03
2.5000000E+00 3.3063857E-03
2.6000000E+00 3.1638099E-03
2.7000000E+00 2.9697657E-03
2.8000000E+00 2.7479000E-03
2.9000000E+00 2.5156264E-03
3.0000000E+00 2.2849547E-03
3.1000000E+00 2.0636262E-03
3.2000000E+00 1.8562130E-03
3.3000000E+00 1.6650463E-03
3.4000000E+00 1.4909400E-03
3.5000000E+00 1.3337260E-03
3.6000000E+00 1.1926372E-03
3.7000000E+00 1.0665712E-03
3.8000000E+00 9.5426715E-04
3.9000000E+00 8.5442050E-04
4.0000000E+00 7.6575449E-04
4.1000000E+00 6.8706185E-04
4.2000000E+00 6.1722688E-04
4.3000000E+00 5.5523480E-04
```

4.4000000E+00	5.0017296E-04
4.5000000E+00	4.5122711E-04
4.6000000E+00	4.0767512E-04
4.7000000E+00	3.6887915E-04
4.8000000E+00	3.3427749E-04
4.9000000E+00	3.0337651E-04
5.0000000E+00	2.7574289E-04
5.1000000E+00	2.5099657E-04
5.2000000E+00	2.2880426E-04
5.3000000E+00	2.0887368E-04
5.4000000E+00	1.9094840E-04
5.5000000E+00	1.7480332E-04
5.6000000E+00	1.6024069E-04
5.7000000E+00	1.4708662E-04
5.8000000E+00	1.3518805E-04
5.9000000E+00	1.2441009E-04
6.0000000E+00	1.1463375E-04
6.1000000E+00	1.0575391E-04
6.2000000E+00	9.7677610E-05
6.3000000E+00	9.0322506E-05
6.4000000E+00	8.3615587E-05
6.5000000E+00	7.7492018E-05
6.6000000E+00	7.1894154E-05
6.7000000E+00	6.6770669E-05
6.8000000E+00	6.2075805E-05
6.9000000E+00	5.7768714E-05
7.0000000E+00	5.3812880E-05
7.1000000E+00	5.0175621E-05
7.2000000E+00	4.6827646E-05
7.3000000E+00	4.3742672E-05

4.3.8.2 Ενδεικτικό αρχείο προσπίπτωντος μονοχρωματικού κυματισμού

Ενδεικτικό όνομα αρχείου : sp1.dat

0 1

1.795 0.5 0.0

4.3.9 ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟ ΑΡΧΕΙΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ RETARDATION: RETARDATION_FILE

Ενδεικτικό όνομα αρχείου : retc1.dat

0.00E+00	8.97E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-1.37E+04	8.97E+04	0.00E+00	1.37E+04	0.00E+00	2.91E+04	0.00E+00	0.00E+00	4.05E+03	0.00E+00	4.05E+03
1.00E-01	7.76E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-1.20E+04	7.76E+04	0.00E+00	1.20E+04	0.00E+00	2.86E+04	0.00E+00	0.00E+00	3.66E+03	0.00E+00	3.66E+03
2.00E-01	5.48E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-7.66E+03	5.48E+04	0.00E+00	7.66E+03	0.00E+00	2.73E+04	0.00E+00	0.00E+00	2.59E+03	0.00E+00	2.59E+03
3.00E-01	3.11E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-2.25E+03	3.11E+04	0.00E+00	2.25E+03	0.00E+00	2.52E+04	0.00E+00	0.00E+00	1.14E+03	0.00E+00	1.14E+03
4.00E-01	9.47E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.92E+03	9.47E+03	0.00E+00	-2.92E+03	0.00E+00	2.23E+04	0.00E+00	0.00E+00	-3.30E+02	0.00E+00	-3.30E+02
5.00E-01	-7.98E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.90E+03	-7.98E+03	0.00E+00	-6.90E+03	0.00E+00	1.90E+04	0.00E+00	0.00E+00	-1.54E+03	0.00E+00	-1.54E+03
6.00E-01	-2.11E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.28E+03	-2.11E+04	0.00E+00	-9.28E+03	0.00E+00	1.52E+04	0.00E+00	0.00E+00	-2.31E+03	0.00E+00	-2.31E+03
7.00E-01	-2.96E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.99E+03	-2.96E+04	0.00E+00	-9.99E+03	0.00E+00	1.13E+04	0.00E+00	0.00E+00	-2.57E+03	0.00E+00	-2.57E+03
8.00E-01	-3.44E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.29E+03	-3.44E+04	0.00E+00	-9.29E+03	0.00E+00	7.29E+03	0.00E+00	0.00E+00	-2.38E+03	0.00E+00	-2.38E+03
9.00E-01	-3.57E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	7.56E+03	-3.57E+04	0.00E+00	-7.56E+03	0.00E+00	3.47E+03	0.00E+00	0.00E+00	-1.85E+03	0.00E+00	-1.85E+03
1.00E+00	-3.47E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.25E+03	-3.47E+04	0.00E+00	-5.25E+03	0.00E+00	-6.64E+01	0.00E+00	0.00E+00	-1.15E+03	0.00E+00	-1.15E+03
1.10E+00	-3.16E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.76E+03	-3.16E+04	0.00E+00	-2.76E+03	0.00E+00	-3.20E+03	0.00E+00	0.00E+00	-4.17E+02	0.00E+00	-4.17E+02
1.20E+00	-2.76E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.04E+02	-2.76E+04	0.00E+00	-4.04E+02	0.00E+00	-5.85E+03	0.00E+00	0.00E+00	2.27E+02	0.00E+00	2.27E+02
1.30E+00	-2.28E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-1.59E+03	-2.28E+04	0.00E+00	1.59E+03	0.00E+00	-7.98E+03	0.00E+00	0.00E+00	7.06E+02	0.00E+00	7.06E+02
1.40E+00	-1.79E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-3.11E+03	-1.79E+04	0.00E+00	3.11E+03	0.00E+00	-9.58E+03	0.00E+00	0.00E+00	9.87E+02	0.00E+00	9.87E+02
1.50E+00	-1.29E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-4.12E+03	-1.29E+04	0.00E+00	4.12E+03	0.00E+00	-1.06E+04	0.00E+00	0.00E+00	1.07E+03	0.00E+00	1.07E+03
1.60E+00	-8.42E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-4.65E+03	-8.42E+03	0.00E+00	4.65E+03	0.00E+00	-1.12E+04	0.00E+00	0.00E+00	9.99E+02	0.00E+00	9.99E+02
1.70E+00	-4.25E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-4.76E+03	-4.25E+03	0.00E+00	4.76E+03	0.00E+00	-1.14E+04	0.00E+00	0.00E+00	8.05E+02	0.00E+00	8.05E+02
1.80E+00	-7.09E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-4.53E+03	-7.09E+02	0.00E+00	4.53E+03	0.00E+00	-1.12E+04	0.00E+00	0.00E+00	5.44E+02	0.00E+00	5.44E+02
1.90E+00	2.33E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-4.07E+03	2.33E+03	0.00E+00	4.07E+03	0.00E+00	-1.06E+04	0.00E+00	0.00E+00	2.61E+02	0.00E+00	2.61E+02
2.00E+00	4.68E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-3.44E+03	4.68E+03	0.00E+00	3.44E+03	0.00E+00	-9.91E+03	0.00E+00	0.00E+00	-7.50E+00	0.00E+00	-7.50E+00
2.10E+00	6.51E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-2.73E+03	6.51E+03	0.00E+00	2.73E+03	0.00E+00	-9.02E+03	0.00E+00	0.00E+00	-2.35E+02	0.00E+00	-2.35E+02
2.20E+00	7.72E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-1.99E+03	7.72E+03	0.00E+00	1.99E+03	0.00E+00	-8.05E+03	0.00E+00	0.00E+00	-4.08E+02	0.00E+00	-4.08E+02
2.30E+00	8.50E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-1.28E+03	8.50E+03	0.00E+00	1.28E+03	0.00E+00	-7.03E+03	0.00E+00	0.00E+00	-5.19E+02	0.00E+00	-5.19E+02
2.40E+00	8.79E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-6.20E+02	8.79E+03	0.00E+00	6.20E+02	0.00E+00	-6.03E+03	0.00E+00	0.00E+00	-5.72E+02	0.00E+00	-5.72E+02
2.50E+00	8.75E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-4.38E+01	8.75E+03	0.00E+00	4.38E+01	0.00E+00	-5.07E+03	0.00E+00	0.00E+00	-5.74E+02	0.00E+00	-5.74E+02
2.60E+00	8.36E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.38E+02	8.36E+03	0.00E+00	-4.38E+02	0.00E+00	-4.18E+03	0.00E+00	0.00E+00	-5.34E+02	0.00E+00	-5.34E+02
2.70E+00	7.75E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	8.21E+02	7.75E+03	0.00E+00	-8.21E+02	0.00E+00	-3.37E+03	0.00E+00	0.00E+00	-4.64E+02	0.00E+00	-4.64E+02
2.80E+00	6.94E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.11E+03	6.94E+03	0.00E+00	-1.11E+03	0.00E+00	-2.66E+03	0.00E+00	0.00E+00	-3.75E+02	0.00E+00	-3.75E+02

2.90E+00	6.01E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.30E+03	6.01E+03	0.00E+00	-1.30E+03	0.00E+00	-2.05E+03	0.00E+00	0.00E+00	-2.76E+02	0.00E+00	-2.76E+02
3.00E+00	4.99E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.42E+03	4.99E+03	0.00E+00	-1.42E+03	0.00E+00	-1.53E+03	0.00E+00	0.00E+00	-1.75E+02	0.00E+00	-1.75E+02
3.10E+00	3.96E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.46E+03	3.96E+03	0.00E+00	-1.46E+03	0.00E+00	-1.11E+03	0.00E+00	0.00E+00	-8.00E+01	0.00E+00	-8.00E+01
3.20E+00	2.94E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.44E+03	2.94E+03	0.00E+00	-1.44E+03	0.00E+00	-7.78E+02	0.00E+00	0.00E+00	5.82E+00	0.00E+00	5.82E+00
3.30E+00	1.96E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.37E+03	1.96E+03	0.00E+00	-1.37E+03	0.00E+00	-5.22E+02	0.00E+00	0.00E+00	7.92E+01	0.00E+00	7.92E+01
3.40E+00	1.07E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.25E+03	1.07E+03	0.00E+00	-1.25E+03	0.00E+00	-3.33E+02	0.00E+00	0.00E+00	1.39E+02	0.00E+00	1.39E+02
3.50E+00	2.55E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.11E+03	2.55E+02	0.00E+00	-1.11E+03	0.00E+00	-2.01E+02	0.00E+00	0.00E+00	1.83E+02	0.00E+00	1.83E+02
3.60E+00	-4.40E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.40E+02	-4.40E+02	0.00E+00	-9.40E+02	0.00E+00	-1.18E+02	0.00E+00	0.00E+00	2.14E+02	0.00E+00	2.14E+02
3.70E+00	-1.04E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	7.62E+02	-1.04E+03	0.00E+00	-7.62E+02	0.00E+00	-7.34E+01	0.00E+00	0.00E+00	2.31E+02	0.00E+00	2.31E+02
3.80E+00	-1.50E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.82E+02	-1.50E+03	0.00E+00	-5.82E+02	0.00E+00	-5.95E+01	0.00E+00	0.00E+00	2.36E+02	0.00E+00	2.36E+02
3.90E+00	-1.86E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.08E+02	-1.86E+03	0.00E+00	-4.08E+02	0.00E+00	-6.88E+01	0.00E+00	0.00E+00	2.31E+02	0.00E+00	2.31E+02
4.00E+00	-2.09E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.46E+02	-2.09E+03	0.00E+00	-2.46E+02	0.00E+00	-9.48E+01	0.00E+00	0.00E+00	2.17E+02	0.00E+00	2.17E+02
4.10E+00	-2.24E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+02	-2.24E+03	0.00E+00	-1.00E+02	0.00E+00	-1.32E+02	0.00E+00	0.00E+00	1.96E+02	0.00E+00	1.96E+02
4.20E+00	-2.27E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-2.89E+01	-2.27E+03	0.00E+00	2.89E+01	0.00E+00	-1.76E+02	0.00E+00	0.00E+00	1.71E+02	0.00E+00	1.71E+02
4.30E+00	-2.23E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-1.39E+02	-2.23E+03	0.00E+00	1.39E+02	0.00E+00	-2.24E+02	0.00E+00	0.00E+00	1.42E+02	0.00E+00	1.42E+02
4.40E+00	-2.11E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-2.31E+02	-2.11E+03	0.00E+00	2.31E+02	0.00E+00	-2.71E+02	0.00E+00	0.00E+00	1.12E+02	0.00E+00	1.12E+02
4.50E+00	-1.95E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-3.02E+02	-1.95E+03	0.00E+00	3.02E+02	0.00E+00	-3.17E+02	0.00E+00	0.00E+00	8.17E+01	0.00E+00	8.17E+01
4.60E+00	-1.73E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-3.54E+02	-1.73E+03	0.00E+00	3.54E+02	0.00E+00	-3.59E+02	0.00E+00	0.00E+00	5.27E+01	0.00E+00	5.27E+01
4.70E+00	-1.49E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-3.87E+02	-1.49E+03	0.00E+00	3.87E+02	0.00E+00	-3.97E+02	0.00E+00	0.00E+00	2.58E+01	0.00E+00	2.58E+01
4.80E+00	-1.23E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-4.01E+02	-1.23E+03	0.00E+00	4.01E+02	0.00E+00	-4.29E+02	0.00E+00	0.00E+00	1.75E+00	0.00E+00	1.75E+00
4.90E+00	-9.72E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-3.99E+02	-9.72E+02	0.00E+00	3.99E+02	0.00E+00	-4.56E+02	0.00E+00	0.00E+00	-1.89E+01	0.00E+00	-1.89E+01
5.00E+00	-7.15E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-3.83E+02	-7.15E+02	0.00E+00	3.83E+02	0.00E+00	-4.77E+02	0.00E+00	0.00E+00	-3.60E+01	0.00E+00	-3.60E+01
5.10E+00	-4.77E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-3.55E+02	-4.77E+02	0.00E+00	3.55E+02	0.00E+00	-4.93E+02	0.00E+00	0.00E+00	-4.93E+01	0.00E+00	-4.93E+01
5.20E+00	-2.55E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-3.18E+02	-2.55E+02	0.00E+00	3.18E+02	0.00E+00	-5.04E+02	0.00E+00	0.00E+00	-5.91E+01	0.00E+00	-5.91E+01
5.30E+00	-6.29E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-2.77E+02	-6.29E+01	0.00E+00	2.77E+02	0.00E+00	-5.10E+02	0.00E+00	0.00E+00	-6.54E+01	0.00E+00	-6.54E+01
5.40E+00	1.06E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-2.32E+02	1.06E+02	0.00E+00	2.32E+02	0.00E+00	-5.11E+02	0.00E+00	0.00E+00	-6.87E+01	0.00E+00	-6.87E+01
5.50E+00	2.43E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-1.87E+02	2.43E+02	0.00E+00	1.87E+02	0.00E+00	-5.09E+02	0.00E+00	0.00E+00	-6.93E+01	0.00E+00	-6.93E+01
5.60E+00	3.56E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-1.42E+02	3.56E+02	0.00E+00	1.42E+02	0.00E+00	-5.03E+02	0.00E+00	0.00E+00	-6.75E+01	0.00E+00	-6.75E+01
5.70E+00	4.39E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-9.95E+01	4.39E+02	0.00E+00	9.95E+01	0.00E+00	-4.94E+02	0.00E+00	0.00E+00	-6.38E+01	0.00E+00	-6.38E+01
5.80E+00	5.02E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-5.95E+01	5.02E+02	0.00E+00	5.95E+01	0.00E+00	-4.84E+02	0.00E+00	0.00E+00	-5.84E+01	0.00E+00	-5.84E+01
5.90E+00	5.40E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-2.29E+01	5.40E+02	0.00E+00	2.29E+01	0.00E+00	-4.71E+02	0.00E+00	0.00E+00	-5.18E+01	0.00E+00	-5.18E+01
6.00E+00	5.61E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.72E+00	5.61E+02	0.00E+00	-9.72E+00	0.00E+00	-4.56E+02	0.00E+00	0.00E+00	-4.42E+01	0.00E+00	-4.42E+01
6.10E+00	5.62E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.79E+01	5.62E+02	0.00E+00	-3.79E+01	0.00E+00	-4.41E+02	0.00E+00	0.00E+00	-3.61E+01	0.00E+00	-3.61E+01
6.20E+00	5.49E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.13E+01	5.49E+02	0.00E+00	-6.13E+01	0.00E+00	-4.25E+02	0.00E+00	0.00E+00	-2.79E+01	0.00E+00	-2.79E+01

6.30E+00	5.18E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	7.96E+01	5.18E+02	0.00E+00	-7.96E+01	0.00E+00	-4.08E+02	0.00E+00	0.00E+00	-1.99E+01	0.00E+00	-1.99E+01
6.40E+00	4.77E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.29E+01	4.77E+02	0.00E+00	-9.29E+01	0.00E+00	-3.91E+02	0.00E+00	0.00E+00	-1.23E+01	0.00E+00	-1.23E+01
6.50E+00	4.22E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.01E+02	4.22E+02	0.00E+00	-1.01E+02	0.00E+00	-3.74E+02	0.00E+00	0.00E+00	-5.43E+00	0.00E+00	-5.43E+00
6.60E+00	3.61E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.05E+02	3.61E+02	0.00E+00	-1.05E+02	0.00E+00	-3.57E+02	0.00E+00	0.00E+00	7.17E-01	0.00E+00	7.17E-01
6.70E+00	2.92E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.04E+02	2.92E+02	0.00E+00	-1.04E+02	0.00E+00	-3.40E+02	0.00E+00	0.00E+00	6.02E+00	0.00E+00	6.02E+00
6.80E+00	2.23E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+02	2.23E+02	0.00E+00	-1.00E+02	0.00E+00	-3.24E+02	0.00E+00	0.00E+00	1.04E+01	0.00E+00	1.04E+01
6.90E+00	1.53E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.37E+01	1.53E+02	0.00E+00	-9.37E+01	0.00E+00	-3.08E+02	0.00E+00	0.00E+00	1.38E+01	0.00E+00	1.38E+01
7.00E+00	8.75E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	8.53E+01	8.75E+01	0.00E+00	-8.53E+01	0.00E+00	-2.93E+02	0.00E+00	0.00E+00	1.62E+01	0.00E+00	1.62E+01
7.10E+00	2.73E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	7.56E+01	2.73E+01	0.00E+00	-7.56E+01	0.00E+00	-2.79E+02	0.00E+00	0.00E+00	1.77E+01	0.00E+00	1.77E+01
7.20E+00	-2.24E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.50E+01	-2.24E+01	0.00E+00	-6.50E+01	0.00E+00	-2.65E+02	0.00E+00	0.00E+00	1.83E+01	0.00E+00	1.83E+01
7.30E+00	-6.34E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.39E+01	-6.34E+01	0.00E+00	-5.39E+01	0.00E+00	-2.52E+02	0.00E+00	0.00E+00	1.83E+01	0.00E+00	1.83E+01
7.40E+00	-9.20E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.25E+01	-9.20E+01	0.00E+00	-4.25E+01	0.00E+00	-2.39E+02	0.00E+00	0.00E+00	1.77E+01	0.00E+00	1.77E+01
7.50E+00	-1.12E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.11E+01	-1.12E+02	0.00E+00	-3.11E+01	0.00E+00	-2.28E+02	0.00E+00	0.00E+00	1.68E+01	0.00E+00	1.68E+01
7.60E+00	-1.21E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.00E+01	-1.21E+02	0.00E+00	-2.00E+01	0.00E+00	-2.18E+02	0.00E+00	0.00E+00	1.56E+01	0.00E+00	1.56E+01
7.70E+00	-1.25E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.80E+00	-1.25E+02	0.00E+00	-9.80E+00	0.00E+00	-2.08E+02	0.00E+00	0.00E+00	1.43E+01	0.00E+00	1.43E+01
7.80E+00	-1.22E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	7.31E-01	-1.22E+02	0.00E+00	-7.31E-01	0.00E+00	-1.99E+02	0.00E+00	0.00E+00	1.29E+01	0.00E+00	1.29E+01
7.90E+00	-1.17E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-6.85E+00	-1.17E+02	0.00E+00	6.85E+00	0.00E+00	-1.92E+02	0.00E+00	0.00E+00	1.14E+01	0.00E+00	1.14E+01
8.00E+00	-1.10E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-1.28E+01	-1.10E+02	0.00E+00	1.28E+01	0.00E+00	-1.85E+02	0.00E+00	0.00E+00	9.74E+00	0.00E+00	9.74E+00
8.10E+00	-1.04E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-1.72E+01	-1.04E+02	0.00E+00	1.72E+01	0.00E+00	-1.79E+02	0.00E+00	0.00E+00	7.94E+00	0.00E+00	7.94E+00
8.20E+00	-9.74E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-2.02E+01	-9.74E+01	0.00E+00	2.02E+01	0.00E+00	-1.74E+02	0.00E+00	0.00E+00	5.97E+00	0.00E+00	5.97E+00
8.30E+00	-9.30E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-2.21E+01	-9.30E+01	0.00E+00	2.21E+01	0.00E+00	-1.70E+02	0.00E+00	0.00E+00	3.85E+00	0.00E+00	3.85E+00
8.40E+00	-8.76E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-2.32E+01	-8.76E+01	0.00E+00	2.32E+01	0.00E+00	-1.67E+02	0.00E+00	0.00E+00	1.63E+00	0.00E+00	1.63E+00
8.50E+00	-8.32E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-2.38E+01	-8.32E+01	0.00E+00	2.38E+01	0.00E+00	-1.64E+02	0.00E+00	0.00E+00	-5.83E-01	0.00E+00	-5.83E-01
8.60E+00	-7.64E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-2.40E+01	-7.64E+01	0.00E+00	2.40E+01	0.00E+00	-1.62E+02	0.00E+00	0.00E+00	-2.65E+00	0.00E+00	-2.65E+00
8.70E+00	-6.91E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-2.39E+01	-6.91E+01	0.00E+00	2.39E+01	0.00E+00	-1.60E+02	0.00E+00	0.00E+00	-4.43E+00	0.00E+00	-4.43E+00
8.80E+00	-5.82E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-2.33E+01	-5.82E+01	0.00E+00	2.33E+01	0.00E+00	-1.59E+02	0.00E+00	0.00E+00	-5.77E+00	0.00E+00	-5.77E+00
8.90E+00	-4.63E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-2.23E+01	-4.63E+01	0.00E+00	2.23E+01	0.00E+00	-1.57E+02	0.00E+00	0.00E+00	-6.57E+00	0.00E+00	-6.57E+00
9.00E+00	-3.13E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-2.07E+01	-3.13E+01	0.00E+00	2.07E+01	0.00E+00	-1.57E+02	0.00E+00	0.00E+00	-6.80E+00	0.00E+00	-6.80E+00
9.10E+00	-1.63E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-1.83E+01	-1.63E+01	0.00E+00	1.83E+01	0.00E+00	-1.56E+02	0.00E+00	0.00E+00	-6.46E+00	0.00E+00	-6.46E+00
9.20E+00	-7.60E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-1.53E+01	-7.60E-02	0.00E+00	1.53E+01	0.00E+00	-1.55E+02	0.00E+00	0.00E+00	-5.66E+00	0.00E+00	-5.66E+00
9.30E+00	1.39E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-1.18E+01	1.39E+01	0.00E+00	1.18E+01	0.00E+00	-1.54E+02	0.00E+00	0.00E+00	-4.55E+00	0.00E+00	-4.55E+00
9.40E+00	2.68E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-8.02E+00	2.68E+01	0.00E+00	8.02E+00	0.00E+00	-1.53E+02	0.00E+00	0.00E+00	-3.30E+00	0.00E+00	-3.30E+00
9.50E+00	3.56E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-4.28E+00	3.56E+01	0.00E+00	4.28E+00	0.00E+00	-1.52E+02	0.00E+00	0.00E+00	-2.10E+00	0.00E+00	-2.10E+00
9.60E+00	4.16E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-8.61E-01	4.16E+01	0.00E+00	8.61E-01	0.00E+00	-1.50E+02	0.00E+00	0.00E+00	-1.10E+00	0.00E+00	-1.10E+00

9.70E+00	4.30E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.02E+00	4.30E+01	0.00E+00	-2.02E+00	0.00E+00	-1.48E+02	0.00E+00	0.00E+00	-4.16E-01	0.00E+00	-4.16E-01
9.80E+00	4.17E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.22E+00	4.17E+01	0.00E+00	-4.22E+00	0.00E+00	-1.46E+02	0.00E+00	0.00E+00	-9.34E-02	0.00E+00	-9.34E-02
9.90E+00	3.70E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.74E+00	3.70E+01	0.00E+00	-5.74E+00	0.00E+00	-1.44E+02	0.00E+00	0.00E+00	-1.15E-01	0.00E+00	-1.15E-01
1.00E+01	3.14E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.65E+00	3.14E+01	0.00E+00	-6.65E+00	0.00E+00	-1.41E+02	0.00E+00	0.00E+00	-4.08E-01	0.00E+00	-4.08E-01

**ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ
ΑΝΑΛΥΣΗ
ΓΕΩΜΕΤΡΙΩΝ**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV

5.1 Μοντελοποίηση γεωμετριών

Οι τέσσερις υπό εξέταση γεωμετρίες προκειμένου να εισαχθούν στο πρόγραμμα επίλυσης υδροδυναμικών χαρακτηριστικών cylinder3.f πρέπει να αναλυθούν ώστε να είναι δυνατή η επεξεργασία τους από το πρόγραμμα. Η ανάλυση πραγματοποιείται με κατάτμηση της εκάστοτε γεωμετρίας σε ομοαξονικά δακτυλιοειδή στοιχεία τα οποία είναι αυτά που εισάγονται σαν δεδομένα και την προσδιορίζουν.

Κύλινδρος

Η γεωμετρία του κυλίνδρου αποτελεί από μόνη της ένα δακτυλιοειδές στοιχείο ακτίνας a και βυθίσματος d (Εικόνα 5.1).

Κώνος

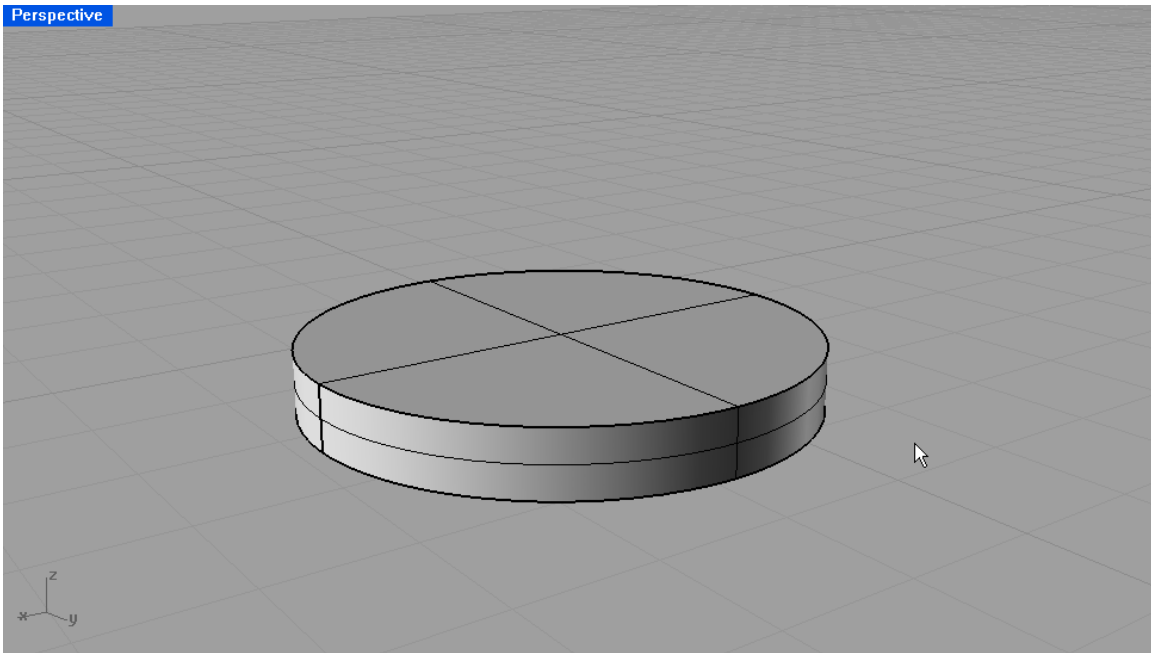
Η γεωμετρία του κώνου αποτελείται από τέσσερα ομοαξονικά δακτυλιοειδή στοιχεία τα οποία προσεγγίζουν την γεωμετρία του. Στο χαμηλότερο σημείο υπάρχει το στοιχείο με την μικρότερη ακτίνα a_1 ενώ καθώς ανεβαίνουμε προς την ίσαλο επιφάνεια οι ακτίνες των στοιχείων (a_2, a_3, a_4) αυξάνονται μέχρι την τελική ακτίνα της γεωμετρίας (Εικόνα 5.2). Αντίστοιχα με τις ακτίνες των δακτυλιοειδών στοιχείων και οι αποστάσεις τους από τον πυθμένα αυξάνονται μέχρι την ίσαλο επιφάνεια.

Κύλινδρος με κάθετη ποδιά

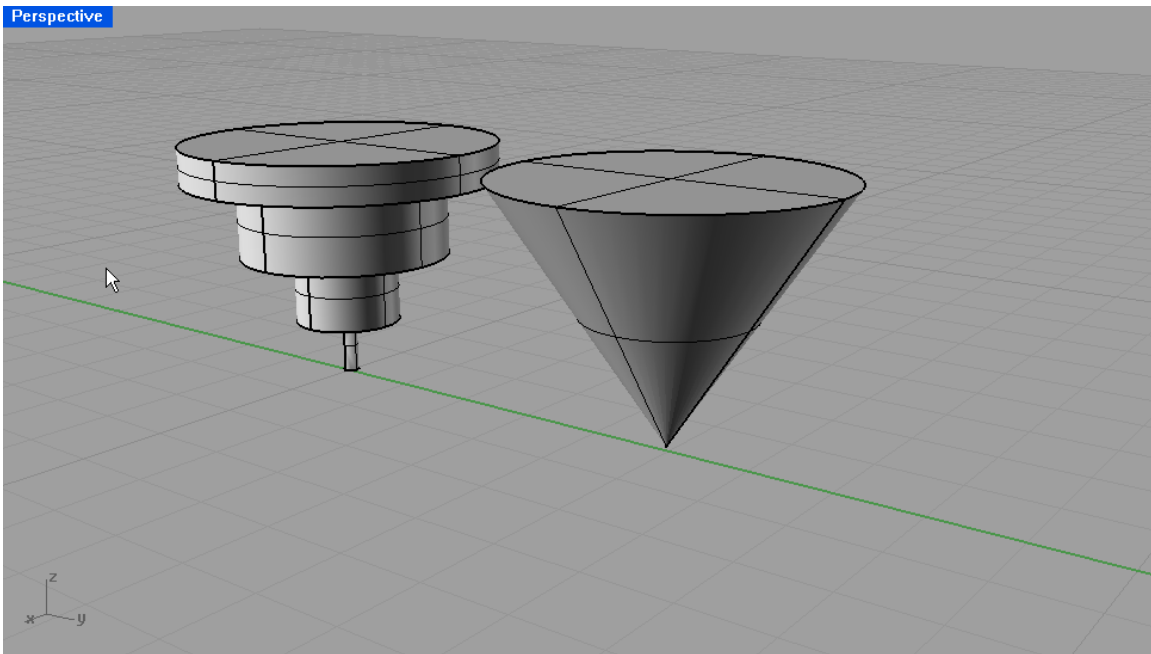
Η γεωμετρία του αποτελείται από ένα συμπαγές δακτυλιοειδές στοιχείο, το πάνω μέρος του οποίου βρίσκεται στην ίσαλο επιφάνεια και από ένα κενό δακτυλιοειδές στοιχείο με μικρό πάχος περιβλήματος το οποίο είναι προσαρτημένο στο κάτω μέρος του πρώτου. Η εξωτερική ακτίνα των δύο κομματιών είναι ίδια ενώ και το βύθισμά τους είναι περίπου ίσο σε όλες τις εξεταζόμενες περιπτώσεις (Εικόνα 5.3).

Σύνθετος κύλινδρος

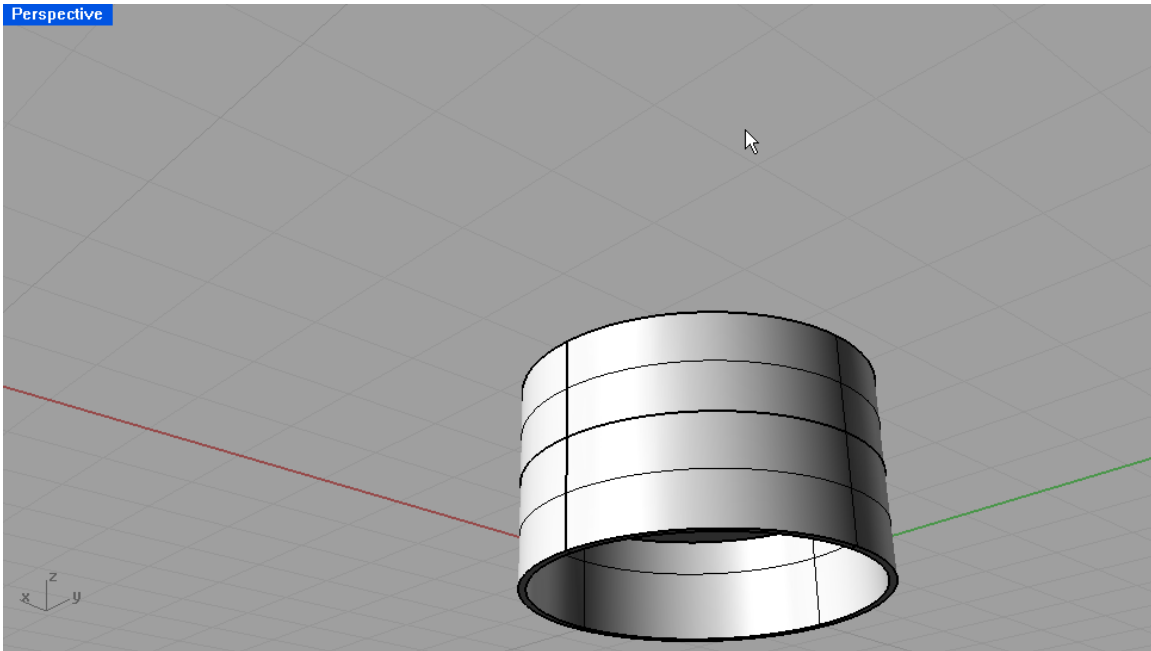
Η γεωμετρία του αποτελείται από δύο ομοαξονικά δακτυλιοειδή στοιχεία διαφορετικής ακτίνας a και βυθίσματος d . Το στοιχείο του οποίου η πάνω επιφάνεια βρίσκεται στην επιφάνεια της θάλασσας είναι εκείνο με την μικρότερη ακτίνα και το μεγαλύτερο βύθισμα, ενώ εκείνο που βρίσκεται προσαρτημένο από κάτω του έχει μεγαλύτερη ακτίνα και αμελητέο βύθισμα, δημιουργώντας μια οριζόντια «ποδιά» (Εικόνα 5.4).



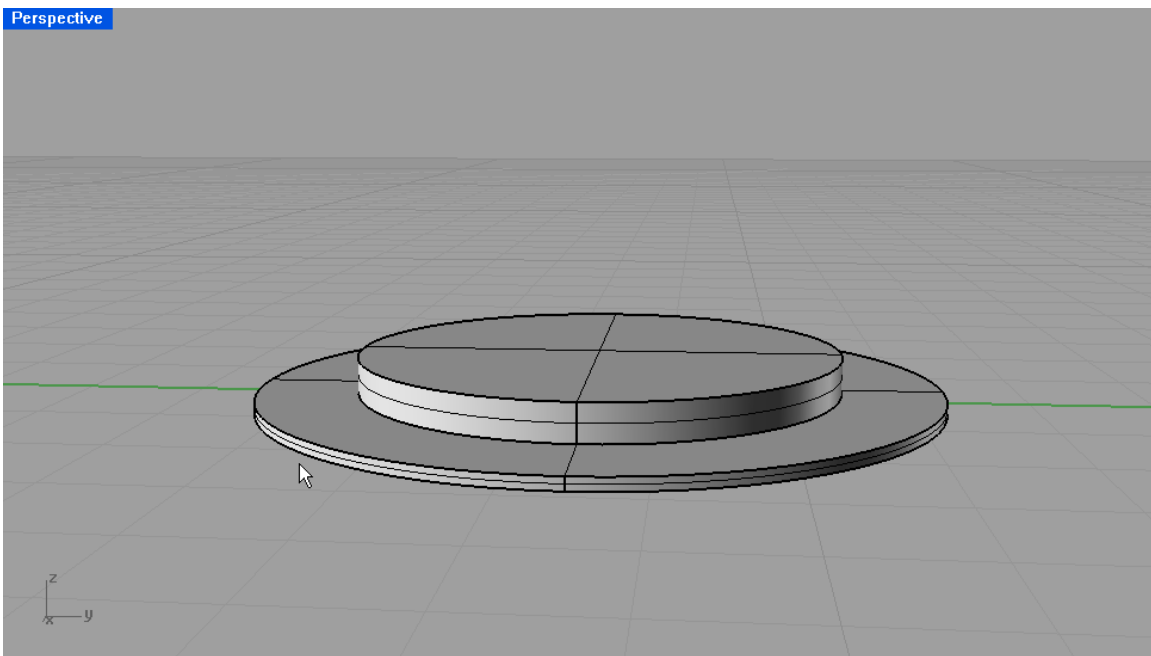
Εικόνα 5.1 Μοντελοποίηση κυλίνδρου



Εικόνα 5.2 Μοντελοποίηση κώνου



Εικόνα 5.3 Μοντελοποίηση κυλίνδρου με κάθετη ποδιά



Εικόνα 5.4 Μοντελοποίηση σύνθετου κυλίνδρου

5.2 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά γεωμετριών

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά όλων των υπό εξέταση γεωμετριών σε μορφή πινάκων. Οι περιπτώσεις που μελετώνται έχουν ακτίνα ισάλου από 2 μέτρα μέχρι και 4 μέτρα ενώ τα βυθίσματα ξεκινούν από λίγα εκατοστά και μπορούν να φτάσουν τα 6 μέτρα για ορισμένες γεωμετρίες. Αντίστοιχα οι εκτοπιζόμενοι όγκοι ξεκινούν από 6.28m^3 και φτάνουν μέχρι και τα 100.5m^3 . Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι οι συγκρίσεις των αποτελεσμάτων γίνονται με βάση τον εκτοπιζόμενο όγκο. Γίνεται δηλαδή μια προσπάθεια για να αναδειχτεί η πιο αποδοτική γεωμετρία για ένα δεδομένο εκτόπισμα. Στους πίνακες 5.1 μέχρι 5.16 που ακολουθούν παρουσιάζονται αναλυτικά όλα τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, ενδεικτικοί λόγοι μεγεθών (π.χ. λόγος βυθίσματος / ακτίνα d/a , λόγος βάθους νερού/ακτίνα h/a) καθώς και οι εκτοπιζόμενοι όγκοι, ομαδοποιημένα ανά γεωμετρία. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι προκειμένου η κάθε γεωμετρία να μπορεί να εισαχθεί στο πρόγραμμα επεξεργασίας και να παραχθούν τα υδροδυναμικά της χαρακτηριστικά, θα πρέπει να αναχθεί σε μια ισοδύναμη. Η ισοδύναμη αυτή γεωμετρία αποτελείται από δακτυλιοειδή στοιχεία, όπως αυτά περιγράφονται στο θεωρητικό μέρος και παρουσιάζονται στην προηγούμενη παράγραφο.

1.1 Κύλινδρος						
	Μέγιστη ακτίνα (a)	Βάθος νερού (h)	Βύθισμα (d)	d/a	h/a	Εκτοπιζόμενος όγκος [m ³]
1	2	10	0.5	0.250	5.000	6.28
2	2.5	10	0.5	0.200	4.000	9.82
3	3	10	0.5	0.167	3.333	14.14
4	4	10	0.5	0.125	2.500	25.13
1	2	20	0.5	0.250	10.000	6.28
2	2.5	20	0.5	0.200	8.000	9.82
3	3	20	0.5	0.167	6.667	14.14
4	4	20	0.5	0.125	5.000	25.13
1	2	30	0.5	0.250	15.000	6.28
2	2.5	30	0.5	0.200	12.000	9.82
3	3	30	0.5	0.167	10.000	14.14
4	4	30	0.5	0.125	7.500	25.13

Πίνακας 5.1 Γεωμετρίες τεσσάρων διαφορετικών περιπτώσεων κυλίνδρου εκτοπισμάτων από $V=6.28\text{m}^3$ έως $V=25.13\text{m}^3$

1.2 Κύλινδρος						
	Μέγιστη ακτίνα (a)	Βάθος νερού (h)	Βύθισμα (d)	d/a	h/a	Εκτοπιζόμενος όγκος [m ³]
1	2	10	1	0.500	5.000	12.57
2	2.5	10	1	0.400	4.000	19.63
3	3	10	1	0.333	3.333	28.27
4	4	10	1	0.250	2.500	50.27
1	2	20	1	0.500	10.000	12.57
2	2.5	20	1	0.400	8.000	19.63
3	3	20	1	0.333	6.667	28.27
4	4	20	1	0.250	5.000	50.27
1	2	30	1	0.500	15.000	12.57
2	2.5	30	1	0.400	12.000	19.63
3	3	30	1	0.333	10.000	28.27
4	4	30	1	0.250	7.500	50.27

Πίνακας 5.2 Γεωμετρίες τεσσάρων διαφορετικών περιπτώσεων κυλίνδρου εκτοπισμάτων από $V=12.57\text{m}^3$ έως $V=50.27\text{m}^3$

1.3 Κύλινδρος						
	Μέγιστη ακτίνα (a)	Βάθος νερού (h)	Βύθισμα (d)	d/a	h/a	Εκτοπιζόμενος όγκος [m ³]
1	2	10	1.5	0.750	5.000	18.85
2	2.5	10	1.5	0.600	4.000	29.45
3	3	10	1.5	0.500	3.333	42.41
4	4	10	1.5	0.375	2.500	75.40
1	2	20	1.5	0.750	10.000	18.85
2	2.5	20	1.5	0.600	8.000	29.45
3	3	20	1.5	0.500	6.667	42.41
4	4	20	1.5	0.375	5.000	75.40
1	2	30	1.5	0.750	15.000	18.85
2	2.5	30	1.5	0.600	12.000	29.45
3	3	30	1.5	0.500	10.000	42.41
4	4	30	1.5	0.375	7.500	75.40

Πίνακας 5.3 Γεωμετρίες τεσσάρων διαφορετικών περιπτώσεων κυλίνδρου εκτοπισμάτων από $V=18.85\text{m}^3$ έως $V=75.40\text{m}^3$

Σημείωση : η γεωμετρία του κυλίνδρου με εκτοπιζόμενο όγκο $V=18.85\text{m}^3$ αναγράφεται στον πίνακα χάριν πληρότητας και δεν αποτελεί αντικείμενο μελέτης καθώς παρουσιάζει αρνητικό μετακεντρικό ύψος ($GM<0$).

1.4 Κύλινδρος						
	Μέγιστη ακτίνα (a)	Βάθος νερού (h)	Βύθισμα (d)	d/a	h/a	Εκτοπιζόμενος όγκος [m ³]
1	2	10	2	1.000	5.000	25.13
2	2.5	10	2	0.800	4.000	39.27
3	3	10	2	0.667	3.333	56.55
4	4	10	2	0.500	2.500	100.53
1	2	20	2	1.000	10.000	25.13
2	2.5	20	2	0.800	8.000	39.27
3	3	20	2	0.667	6.667	56.55
4	4	20	2	0.500	5.000	100.53
1	2	30	2	1.000	15.000	25.13
2	2.5	30	2	0.800	12.000	39.27
3	3	30	2	0.667	10.000	56.55
4	4	30	2	0.500	7.500	100.53

Πίνακας 5.4 Γεωμετρίες τεσσάρων διαφορετικών περιπτώσεων κυλίνδρου εκτοπισμάτων από $V=25.13\text{m}^3$ έως $V=100.53\text{m}^3$

Σημείωση : οι γεωμετρίες των κυλίνδρων με εκτοπιζόμενο όγκο $V=25.13\text{m}^3$ και $V=39.27\text{m}^3$ αναγράφονται στον πίνακα χάριν πληρότητας και δεν αποτελούν αντικείμενο μελέτης καθώς παρουσιάζουν αρνητικό μετακεντρικό ύψος ($GM<0$).

1.1 Κώνος						
	Μέγιστη ακτίνα (a)	Βάθος νερού (h)	Βύθισμα (d)	d/a	h/a	Εκτοπιζόμενος όγκος [m ³]
1	2	10	1.5	0.75	5.000	6.28
2	2.5	10	1.5	0.6	4.000	9.82
3	3	10	1.5	0.5	3.333	14.14
4	4	10	1.5	0.375	2.500	25.13
1	2	20	1.5	0.75	10.000	6.28
2	2.5	20	1.5	0.6	8.000	9.82
3	3	20	1.5	0.5	6.667	14.14
4	4	20	1.5	0.375	5.000	25.13
1	2	30	1.5	0.75	15.000	6.28
2	2.5	30	1.5	0.6	12.000	9.82
3	3	30	1.5	0.5	10.000	14.14
4	4	30	1.5	0.375	7.500	25.13

Πίνακας 5.5 Γεωμετρίες τεσσάρων διαφορετικών περιπτώσεων κώνου εκτοπισμάτων από $V=6.28m^3$ έως $V=25.13m^3$

1.2 Κώνος						
	Μέγιστη ακτίνα (a)	Βάθος νερού (h)	Βύθισμα (d)	d/a	h/a	Εκτοπιζόμενος όγκος [m ³]
1	2	10	3	1.5	5.000	12.57
2	2.5	10	3	1.2	4.000	19.63
3	3	10	3	1	3.333	28.27
4	4	10	3	0.75	2.500	50.27
1	2	20	3	1.5	10.000	12.57
2	2.5	20	3	1.2	8.000	19.63
3	3	20	3	1	6.667	28.27
4	4	20	3	0.75	5.000	50.27
1	2	30	3	1.5	15.000	12.57
2	2.5	30	3	1.2	12.000	19.63
3	3	30	3	1	10.000	28.27
4	4	30	3	0.75	7.500	50.27

Πίνακας 5.6 Γεωμετρίες τεσσάρων διαφορετικών περιπτώσεων κώνου εκτοπισμάτων από $V=12.57\text{m}^3$ έως $V=50.27\text{m}^3$

1.3 Κώνος						
	Μέγιστη ακτίνα (a)	Βάθος νερού (h)	Βύθισμα (d)	d/a	h/a	Εκτοπιζόμενος όγκος [m ³]
1	2	10	4.5	2.25	5.000	18.85
2	2.5	10	4.5	1.8	4.000	29.45
3	3	10	4.5	1.5	3.333	42.41
4	4	10	4.5	1.125	2.500	75.40
1	2	20	4.5	2.25	10.000	18.85
2	2.5	20	4.5	1.8	8.000	29.45
3	3	20	4.5	1.5	6.667	42.41
4	4	20	4.5	1.125	5.000	75.40
1	2	30	4.5	2.25	15.000	18.85
2	2.5	30	4.5	1.8	12.000	29.45
3	3	30	4.5	1.5	10.000	42.41
4	4	30	4.5	1.125	7.500	75.40

Πίνακας 5.7 Γεωμετρίες τεσσάρων διαφορετικών περιπτώσεων κώνου εκτοπισμάτων από $V=18.85\text{m}^3$ έως $V=75.40\text{m}^3$

Σημείωση : οι γεωμετρίες των κώνων με εκτοπιζόμενο όγκο $V=18.85\text{m}^3$ και $V=29.45\text{m}^3$ αναγράφονται στον πίνακα χάριν πληρότητας και δεν αποτελούν αντικείμενο μελέτης καθώς παρουσιάζουν αρνητικό μετακεντρικό ύψος ($GM<0$).

1.4 Κώνος						
	Μέγιστη ακτίνα (a)	Βάθος νερού (h)	Βύθισμα (d)	d/a	h/a	Εκτοπιζόμενος όγκος [m ³]
1	2	10	6	3	5	25.13
2	2.5	10	6	2.4	4	39.27
3	3	10	6	2	3.3333333	56.55
4	4	10	6	1.5	2.5	100.53
1	2	20	6	3	10	25.13
2	2.5	20	6	2.4	8	39.27
3	3	20	6	2	6.6666667	56.55
4	4	20	6	1.5	5	100.53
1	2	30	6	3	15	25.13
2	2.5	30	6	2.4	12	39.27
3	3	30	6	2	10	56.55
4	4	30	6	1.5	7.5	100.53

Πίνακας 5.8 Γεωμετρίες τεσσάρων διαφορετικών περιπτώσεων κώνου εκτοπισμάτων από $V=25.13\text{m}^3$ έως $V=100.53\text{m}^3$

Σημείωση : οι γεωμετρίες των κώνων με εκτοπιζόμενο όγκο $V=25.13\text{m}^3$, $V=39.27\text{m}^3$ και $V=56.55\text{m}^3$ αναγράφονται στον πίνακα χάριν πληρότητας και δεν αποτελούν αντικείμενο μελέτης καθώς παρουσιάζουν αρνητικό μετακεντρικό ύψος ($GM<0$).

1.1 Κύλινδρος με κάθετη ποδιά								
	Μέγιστη Ακτίνα (a)	Βάθος νερού (h)	Βύθισμα κυλίνδρου (d1)	Βύθισμα ποδιάς (d2)	Συνολικό Βύθισμα (d)	d/a	h/a	Εκτοπιζόμενος όγκος [m ³]
1	2	10	0.451	0.5	0.951	0.476	5.000	6.28
2	2.5	10	0.461	0.5	0.961	0.384	4.000	9.82
3	3	10	0.467	0.5	0.967	0.322	3.333	14.14
4	4	10	0.475	0.5	0.975	0.244	2.500	25.13
1	2	20	0.451	0.5	0.951	0.476	10.000	6.28
2	2.5	20	0.461	0.5	0.961	0.384	8.000	9.82
3	3	20	0.467	0.5	0.967	0.322	6.667	14.14
4	4	20	0.475	0.5	0.975	0.244	5.000	25.13
1	2	30	0.451	0.5	0.951	0.476	15.000	6.28
2	2.5	30	0.461	0.5	0.961	0.384	12.000	9.82
3	3	30	0.467	0.5	0.967	0.322	10.000	14.14
4	4	30	0.475	0.5	0.975	0.244	7.500	25.13

Πίνακας 5.9 Γεωμετρίες τεσσάρων διαφορετικών περιπτώσεων κυλίνδρου με κάθετη ποδιά εκτοπισμάτων από $V=6.28m^3$ έως $V=25.13m^3$

1.2 Κύλινδρος με κάθετη ποδιά								
	Μέγιστη Ακτίνα (a)	Βάθος νερού (h)	Βύθισμα κυλίνδρου (d1)	Βύθισμα ποδιάς (d2)	Συνολικό Βύθισμα (d)	d/a	h/a	Εκτοπιζόμενος όγκος [m ³]
1	2	10	0.903	1	1.903	0.951	5.000	12.57
2	2.5	10	0.922	1	1.922	0.769	4.000	19.63
3	3	10	0.934	1	1.934	0.645	3.333	28.27
4	4	10	0.951	1	1.951	0.488	2.500	50.27
1	2	20	0.903	1	1.903	0.951	10.000	12.57
2	2.5	20	0.922	1	1.922	0.769	8.000	19.63
3	3	20	0.934	1	1.934	0.645	6.667	28.27
4	4	20	0.951	1	1.951	0.488	5.000	50.27
1	2	30	0.903	1	1.903	0.951	15.000	12.57
2	2.5	30	0.922	1	1.922	0.769	12.000	19.63
3	3	30	0.934	1	1.934	0.645	10.000	28.27
4	4	30	0.951	1	1.951	0.488	7.500	50.27

Πίνακας 5.10 Γεωμετρίες τεσσάρων διαφορετικών περιπτώσεων κυλίνδρου με κάθετη ποδιά εκτοπισμάτων από $V=12.57\text{m}^3$ έως $V=50.27\text{m}^3$

1.3 Κύλινδρος με κάθετη ποδιά								
	Μέγιστη Ακτίνα (a)	Βάθος νερού (h)	Βύθισμα κυλίνδρου (d1)	Βύθισμα ποδιάς (d2)	Συνολικό Βύθισμα (d)	d/a	h/a	Εκτοπιζόμενος όγκος [m ³]
1	2	10	1.354	1.5	2.854	1.427	5.000	18.85
2	2.5	10	1.382	1.5	2.882	1.153	4.000	29.45
3	3	10	1.402	1.5	2.902	0.967	3.333	42.41
4	4	10	1.426	1.5	2.926	0.731	2.500	75.40
1	2	20	1.354	1.5	2.854	1.427	10.000	18.85
2	2.5	20	1.382	1.5	2.882	1.153	8.000	29.45
3	3	20	1.402	1.5	2.902	0.967	6.667	42.41
4	4	20	1.426	1.5	2.926	0.731	5.000	75.40
1	2	30	1.354	1.5	2.854	1.427	15.000	18.85
2	2.5	30	1.382	1.5	2.882	1.153	12.000	29.45
3	3	30	1.402	1.5	2.902	0.967	10.000	42.41
4	4	30	1.426	1.5	2.926	0.731	7.500	75.40

Πίνακας 5.11 Γεωμετρίες τεσσάρων διαφορετικών περιπτώσεων κυλίνδρου με κάθετη ποδιά εκτοπισμάτων από $V=18.85\text{m}^3$ έως $V=75.40\text{m}^3$

1.4 Κύλινδρος με κάθετη ποδιά								
	Μέγιστη Ακτίνα (a)	Βάθος νερού (h)	Βύθισμα κυλίνδρου (d1)	Βύθισμα ποδιάς (d2)	Συνολικό Βύθισμα (d)	d/a	h/a	Εκτοπιζόμενος όγκος [m ³]
1	2	10	1.805	2	3.805	1.903	5.000	25.13
2	2.5	10	1.843	2	3.843	1.537	4.000	39.27
3	3	10	1.868	2	3.868	1.290	3.333	56.55
4	4	10	1.901	2	3.901	0.975	2.500	100.53
1	2	20	1.805	2	3.805	1.903	10.000	25.13
2	2.5	20	1.843	2	3.843	1.537	8.000	39.27
3	3	20	1.868	2	3.868	1.290	6.667	56.55
4	4	20	1.901	2	3.901	0.975	5.000	100.53
1	2	30	1.805	2	3.805	1.903	15.000	25.13
2	2.5	30	1.843	2	3.843	1.537	12.000	39.27
3	3	30	1.868	2	3.868	1.290	10.000	56.55
4	4	30	1.901	2	3.901	0.975	7.500	100.53

Πίνακας 5.12 Γεωμετρίες τεσσάρων διαφορετικών περιπτώσεων κυλίνδρου με κάθετη ποδιά εκτοπισμάτων από $V=25.13\text{m}^3$ έως $V=100.53\text{m}^3$

1.1 Σύνθετος κύλινδρος									
	Ακτίνα ποδιάς R1	Ακτίνα κυλίνδρου R2	Βάθος νερού (h)	Βύθισμα κυλίνδρου (d1)	Βύθισμα ποδιάς (d2)	Συνολικό Βύθισμα (d)	d/a	h/a	Εκτοπιζόμενος όγκος [m ³]
1	2.83	2	10	0.3	0.1	0.4	0.141	3.536	6.28
2	3.54	2.5	10	0.3	0.1	0.4	0.113	2.828	9.82
3	4.24	3	10	0.3	0.1	0.4	0.094	2.357	14.14
4	5.66	4	10	0.3	0.1	0.4	0.071	1.768	25.13
1	2.83	2	20	0.3	0.1	0.4	0.141	7.071	6.28
2	3.54	2.5	20	0.3	0.1	0.4	0.113	5.657	9.82
3	4.24	3	20	0.3	0.1	0.4	0.094	4.714	14.14
4	5.66	4	20	0.3	0.1	0.4	0.071	3.536	25.13
1	1.26	2	30	0.3	0.5	0.8	0.632	23.717	6.28
2	1.58	2.5	30	0.3	0.5	0.8	0.506	18.974	9.82
3	1.90	3	30	0.3	0.5	0.8	0.422	15.811	14.14
4	2.53	4	30	0.3	0.5	0.8	0.316	11.859	25.13

Πίνακας 5.13 Γεωμετρίες τεσσάρων διαφορετικών περιπτώσεων σύνθετου κυλίνδρου εκτοπισμάτων από $V=6.28m^3$ έως $V=25.13m^3$

1.2 Σύνθετος κύλινδρος									
	Ακτίνα ποδιάς R1	Ακτίνα κυλίνδρου R2	Βάθος νερού (h)	Βύθισμα κυλίνδρου (d1)	Βύθισμα ποδιάς (d2)	Συνολικό Βύθισμα (d)	d/a	h/a	Εκτοπιζόμενος όγκος [m ³]
1	2.83	2	10	0.8	0.1	0.9	0.318	3.536	12.57
2	3.54	2.5	10	0.8	0.1	0.9	0.255	2.828	19.63
3	4.24	3	10	0.8	0.1	0.9	0.212	2.357	28.27
4	5.66	4	10	0.8	0.1	0.9	0.159	1.768	50.27
1	2.83	2	20	0.8	0.1	0.9	0.318	7.071	12.57
2	3.54	2.5	20	0.8	0.1	0.9	0.255	5.657	19.63
3	4.24	3	20	0.8	0.1	0.9	0.212	4.714	28.27
4	5.66	4	20	0.8	0.1	0.9	0.159	3.536	50.27
1	2.83	2	30	0.8	0.1	0.9	0.318	10.607	12.57
2	3.54	2.5	30	0.8	0.1	0.9	0.255	8.485	19.63
3	4.24	3	30	0.8	0.1	0.9	0.212	7.071	28.27
4	5.66	4	30	0.8	0.1	0.9	0.159	5.303	50.27

Πίνακας 5.14 Γεωμετρίες τεσσάρων διαφορετικών περιπτώσεων σύνθετου κυλίνδρου εκτοπισμάτων από $V=12.57\text{m}^3$ έως $V=50.27\text{m}^3$

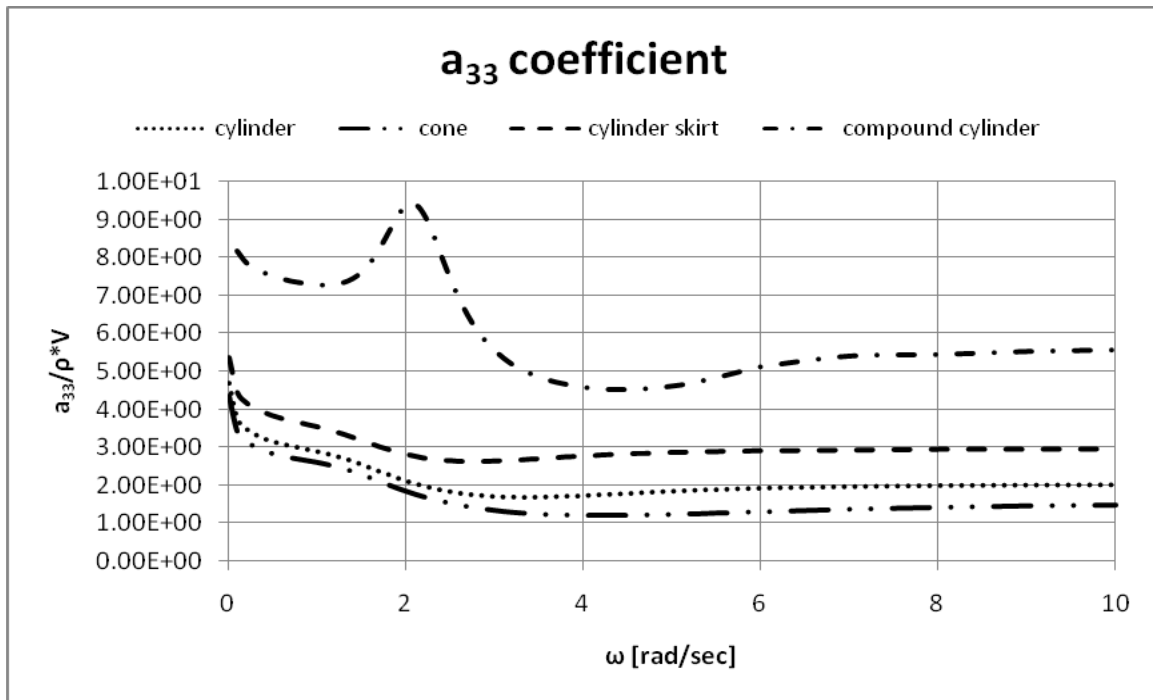
1.3 Σύνθετος κύλινδρος									
	Ακτίνα ποδιάς R1	Ακτίνα κυλίνδρου R2	Βάθος νερού (h)	Βύθισμα κυλίνδρου (d1)	Βύθισμα ποδιάς (d2)	Συνολικό Βύθισμα (d)	d/a	h/a	Εκτοπιζόμενος όγκος [m ³]
1	2.83	2	10	1.3	0.1	1.4	0.495	3.536	18.85
2	3.54	2.5	10	1.3	0.1	1.4	0.396	2.828	29.45
3	4.24	3	10	1.3	0.1	1.4	0.330	2.357	42.41
4	5.66	4	10	1.3	0.1	1.4	0.247	1.768	75.40
1	2.83	2	20	1.3	0.1	1.4	0.495	7.071	18.85
2	3.54	2.5	20	1.3	0.1	1.4	0.396	5.657	29.45
3	4.24	3	20	1.3	0.1	1.4	0.330	4.714	42.41
4	5.66	4	20	1.3	0.1	1.4	0.247	3.536	75.40
1	2.83	2	30	1.3	0.1	1.4	0.495	10.607	18.85
2	3.54	2.5	30	1.3	0.1	1.4	0.396	8.485	29.45
3	4.24	3	30	1.3	0.1	1.4	0.330	7.071	42.41
4	5.66	4	30	1.3	0.1	1.4	0.247	5.303	75.40

Πίνακας 5.15 Γεωμετρίες τεσσάρων διαφορετικών περιπτώσεων σύνθετου κυλίνδρου εκτοπισμάτων από $V=18.85\text{m}^3$ έως $V=75.40\text{m}^3$

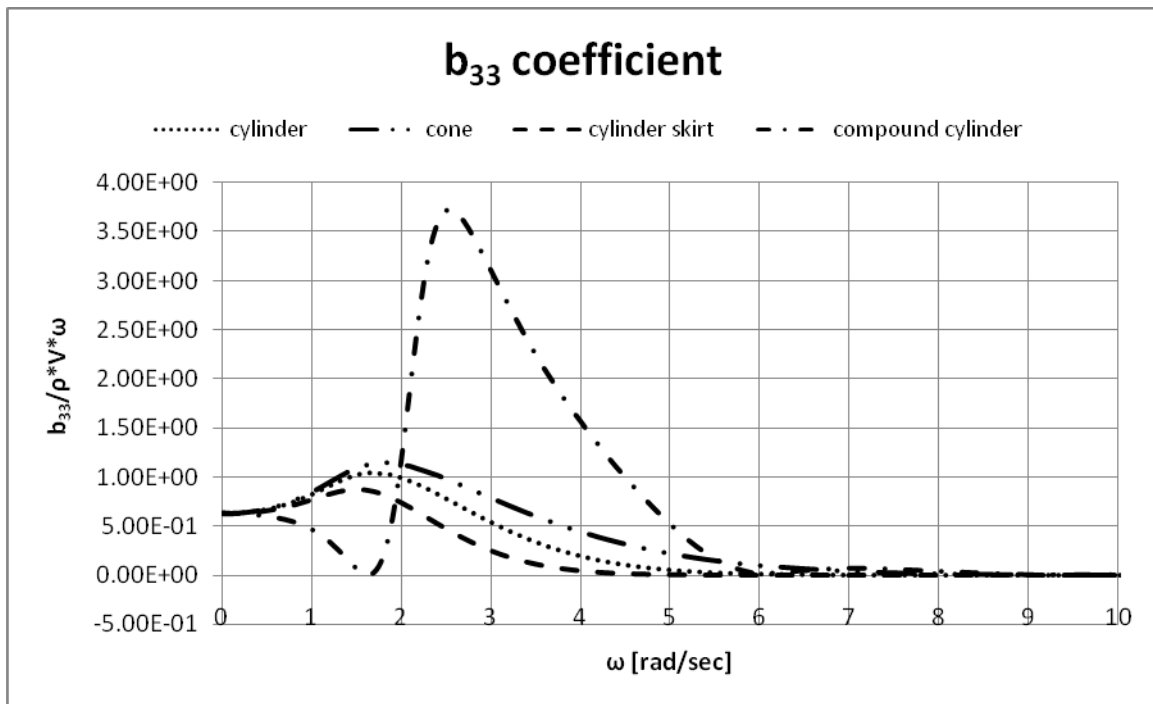
1.4 Σύνθετος κύλινδρος									
	Ακτίνα ποδιάς R1	Ακτίνα κυλίνδρου R2	Βάθος νερού (h)	Βύθισμα κυλίνδρου (d1)	Βύθισμα ποδιάς (d2)	Συνολικό Βύθισμα (d)	d/a	h/a	Εκτοπιζόμενος όγκος [m ³]
1	2.83	2	10	1.8	0.1	1.9	0.672	3.536	25.13
2	3.54	2.5	10	1.8	0.1	1.9	0.537	2.828	39.27
3	4.24	3	10	1.8	0.1	1.9	0.448	2.357	56.55
4	5.66	4	10	1.8	0.1	1.9	0.336	1.768	100.53
1	2.83	2	20	1.8	0.1	1.9	0.672	7.071	25.13
2	3.54	2.5	20	1.8	0.1	1.9	0.537	5.657	39.27
3	4.24	3	20	1.8	0.1	1.9	0.448	4.714	56.55
4	5.66	4	20	1.8	0.1	1.9	0.336	3.536	100.53
1	2.83	2	30	1.8	0.1	1.9	0.672	10.607	25.13
2	3.54	2.5	30	1.8	0.1	1.9	0.537	8.485	39.27
3	4.24	3	30	1.8	0.1	1.9	0.448	7.071	56.55
4	5.66	4	30	1.8	0.1	1.9	0.336	5.303	100.53

Πίνακας 5.16 Γεωμετρίες τεσσάρων διαφορετικών περιπτώσεων σύνθετου κυλίνδρου εκτοπισμάτων από $V=25.13\text{m}^3$ έως $V=100.53\text{m}^3$

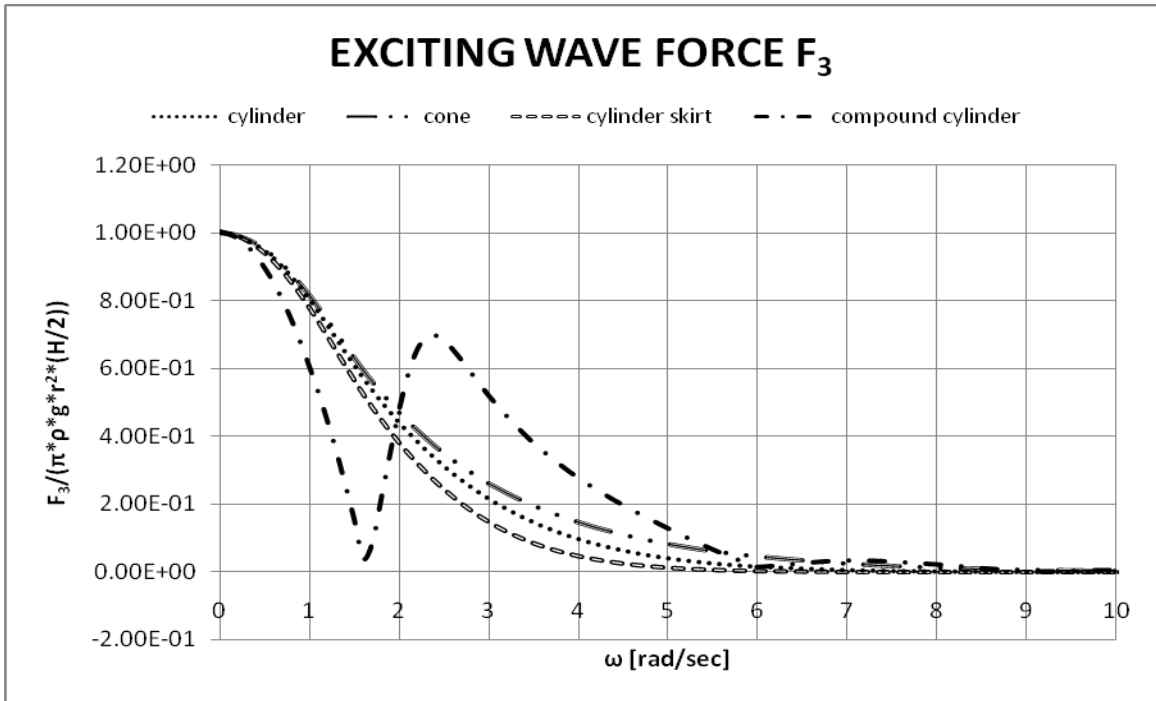
5.3 Αποτελέσματα υδροδυναμικής ανάλυσης. Υδροδυναμικοί συντελεστές και Δύναμη διέγερσης $V=6.28m^3$



Διάγραμμα 5.1 Αδιάστατοι συντελεστές πρόσθετης μάζας αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=6.28m^3$)

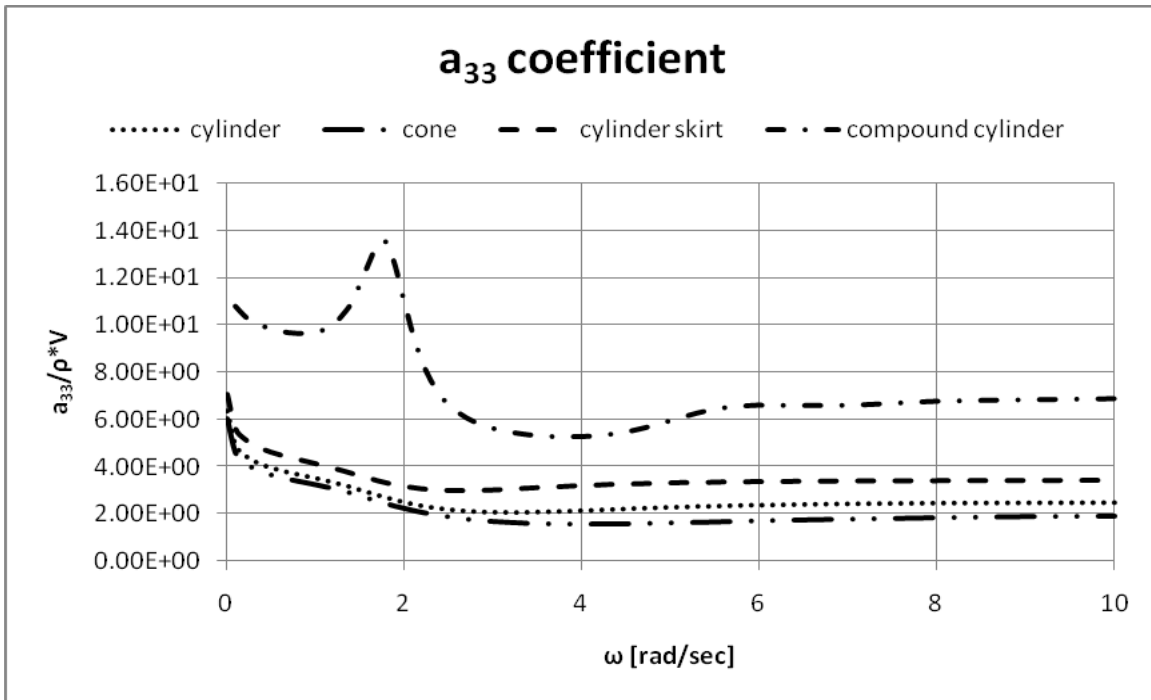


Διάγραμμα 5.2 Αδιάστατοι συντελεστές υδροδυναμικής απόσβεσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=6.28m^3$)

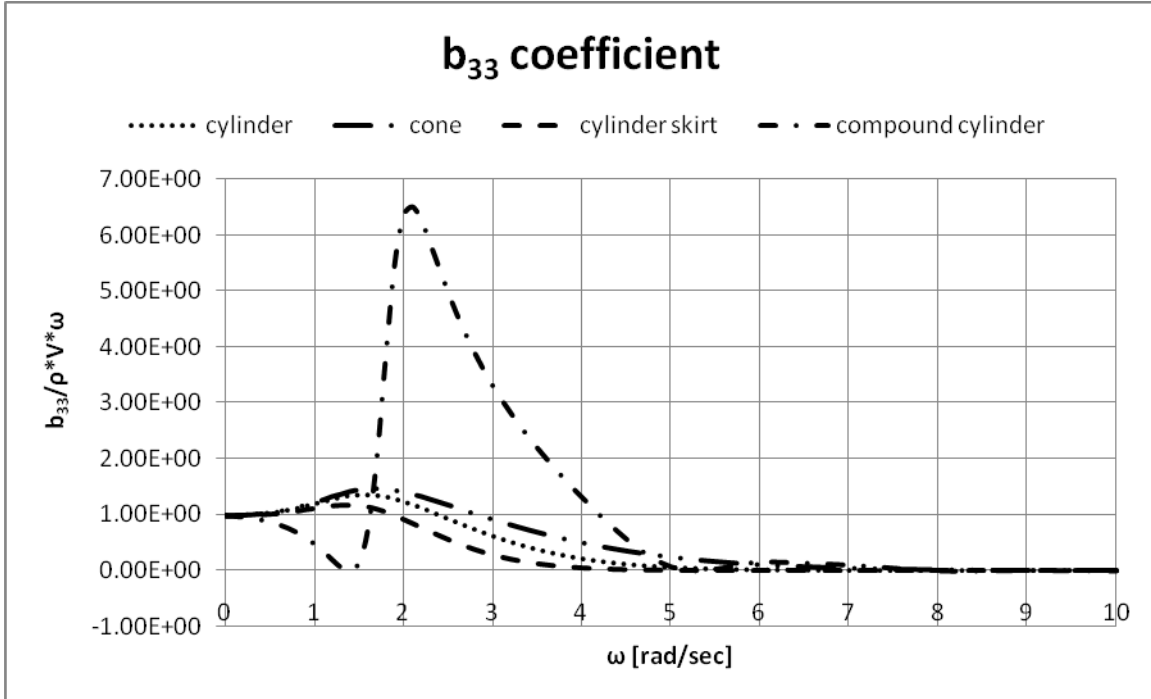


Διάγραμμα 5.3 Δυνάμεις διέγερσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=6.28\text{m}^3$)

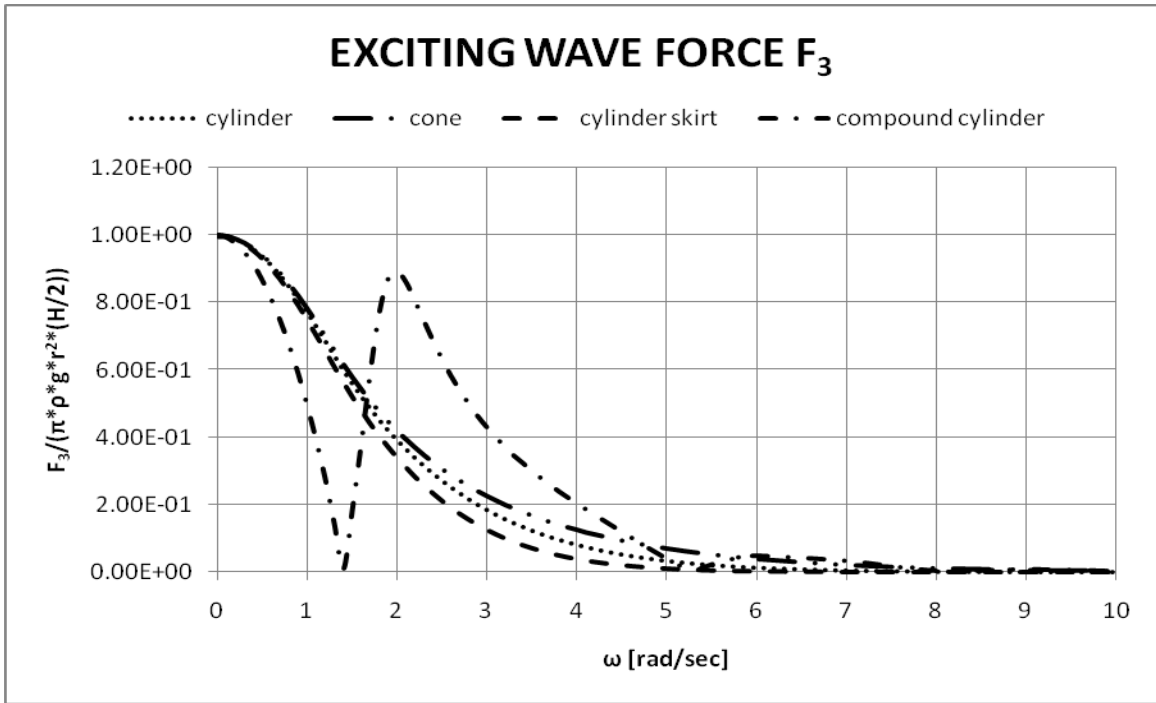
$V=9.28m^3$



Διάγραμμα 5.4 Αδιάστατοι συντελεστές πρόσθετης μάζας αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=9.28m^3$)

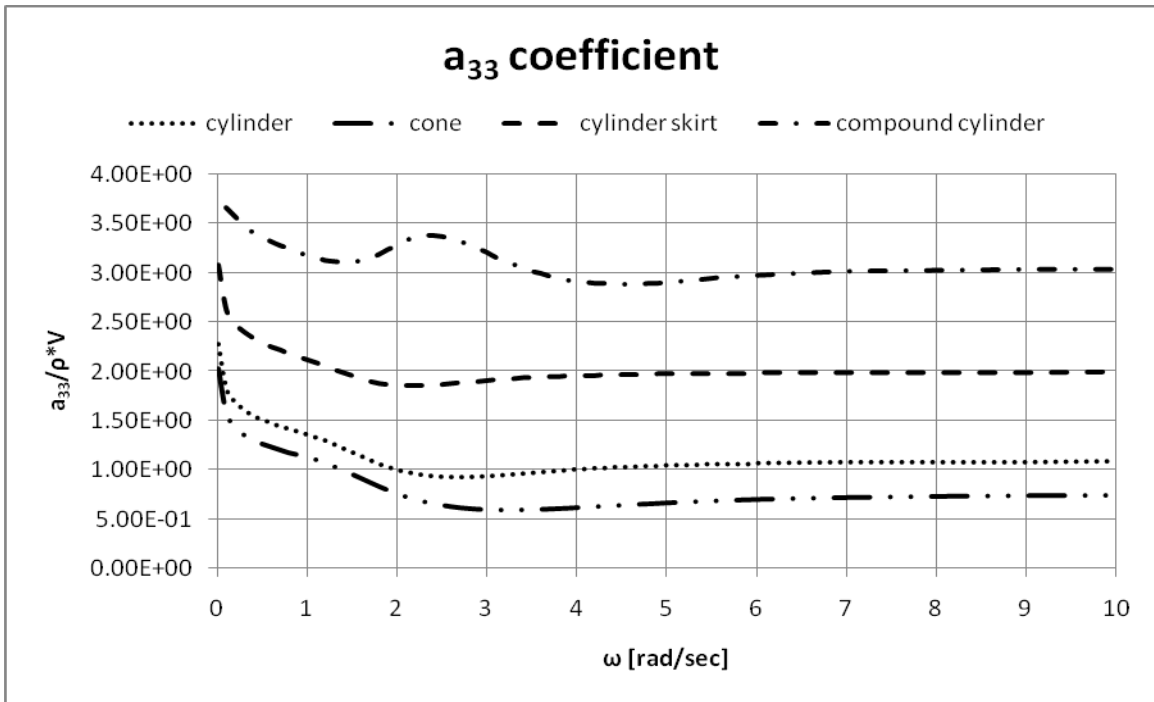


Διάγραμμα 5.5 Αδιάστατοι συντελεστές υδροδυναμικής απόσβεσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=9.28m^3$)

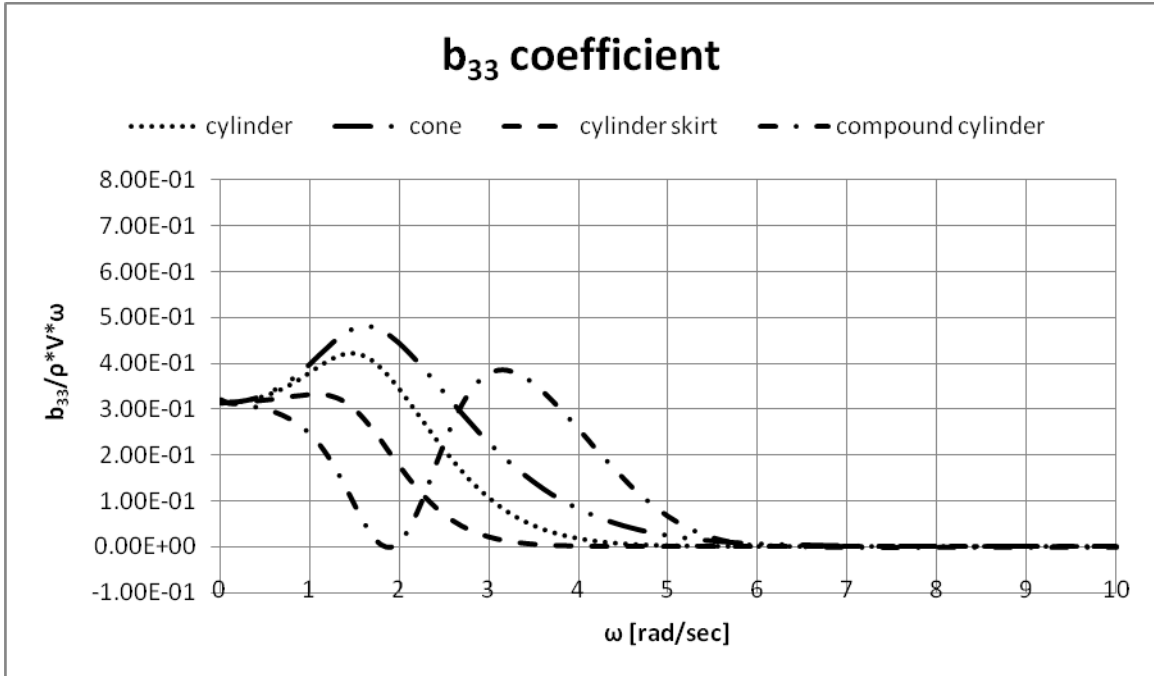


Διάγραμμα 5.6 Δυνάμεις διέγερσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=9.28m^3$)

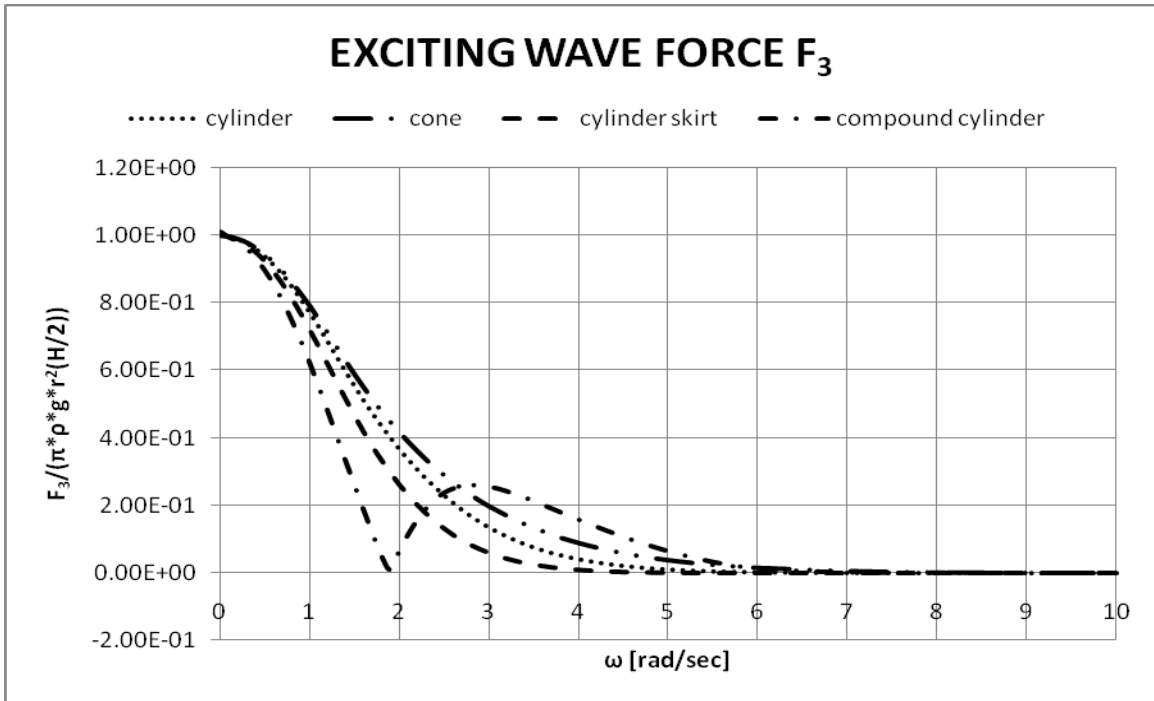
$$V=12.57\text{m}^3$$



Διάγραμμα 5.7 Αδιάστατοι συντελεστές πρόσθετης μάζας αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση (V=12.57m³)

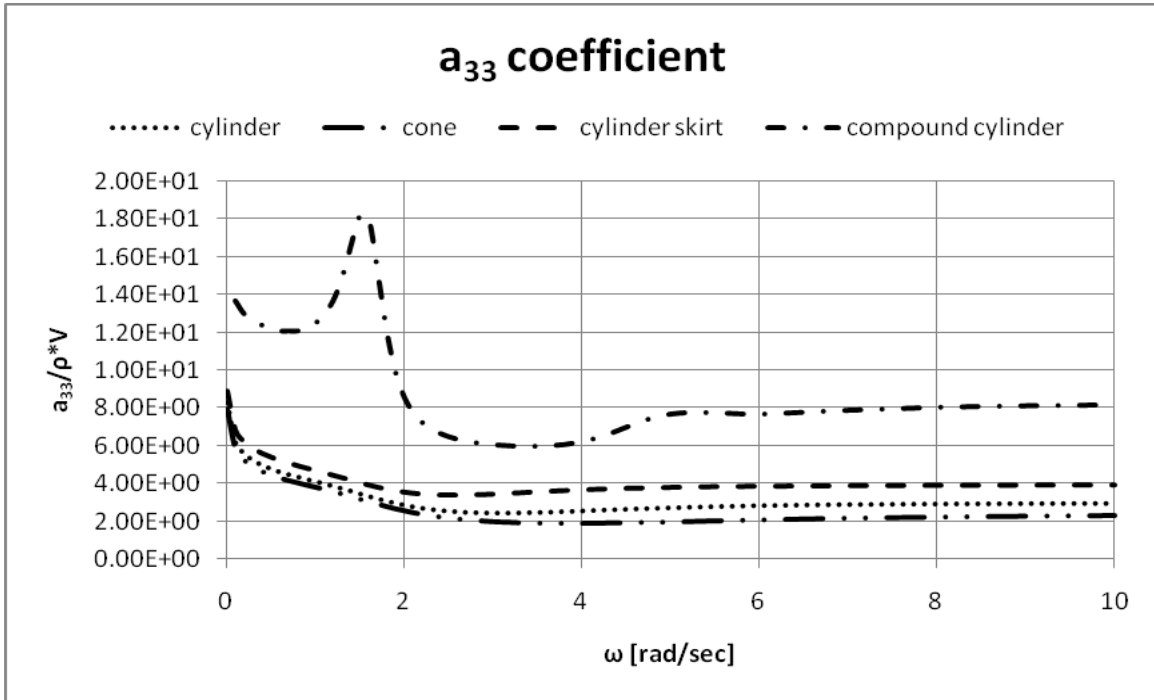


Διάγραμμα 5.8 Αδιάστατοι συντελεστές υδροδυναμικής απόσβεσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση (V=12.57m³)

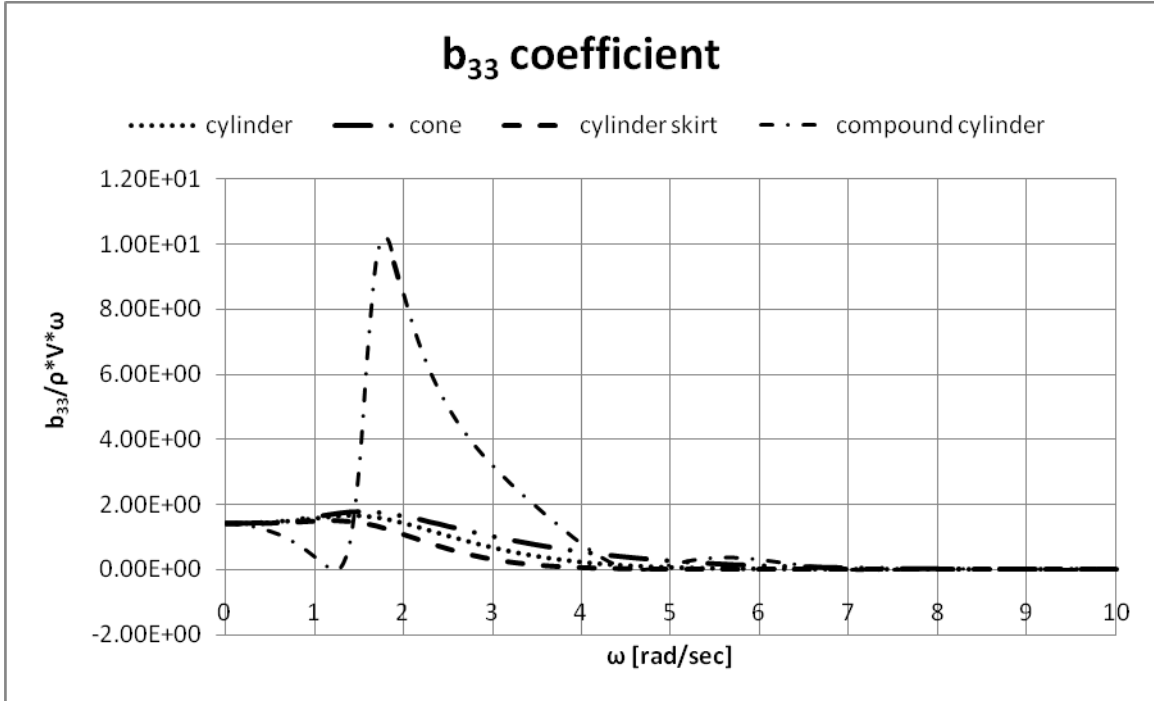


Διάγραμμα 5.9 Δυνάμεις διέγερσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=12.57m^3$)

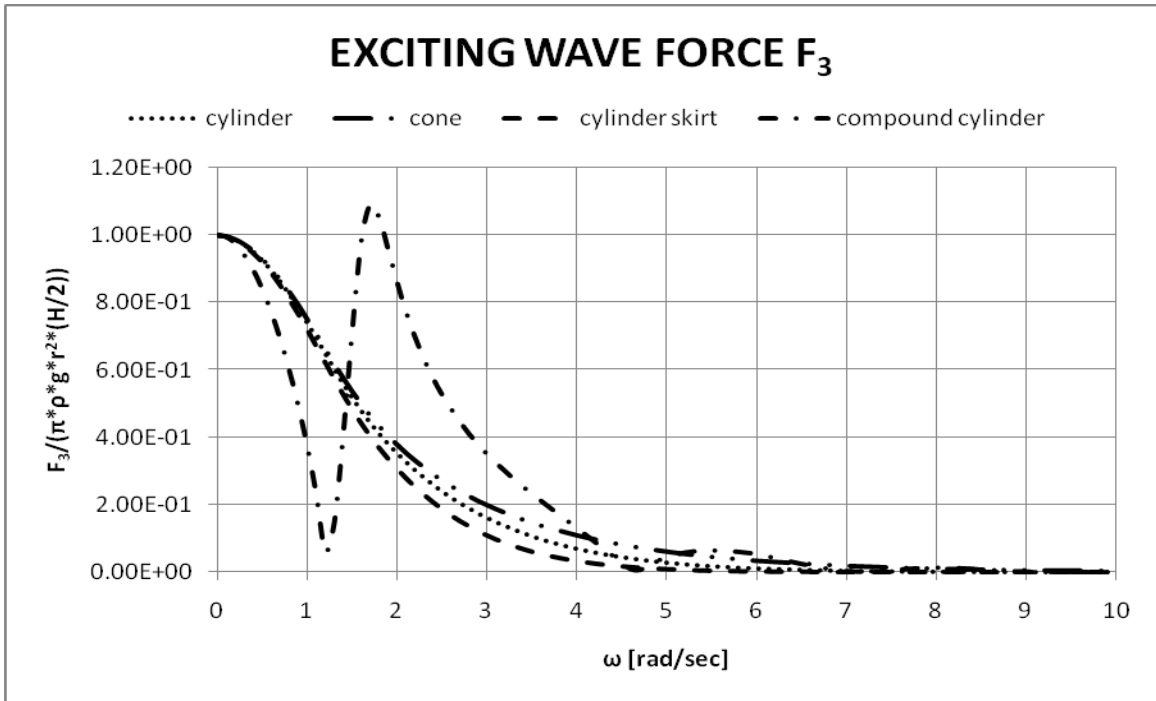
$$V=14.14\text{m}^3$$



Διάγραμμα 5.10 Αδιάστατοι συντελεστές πρόσθετης μάζας αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=14.14\text{m}^3$)

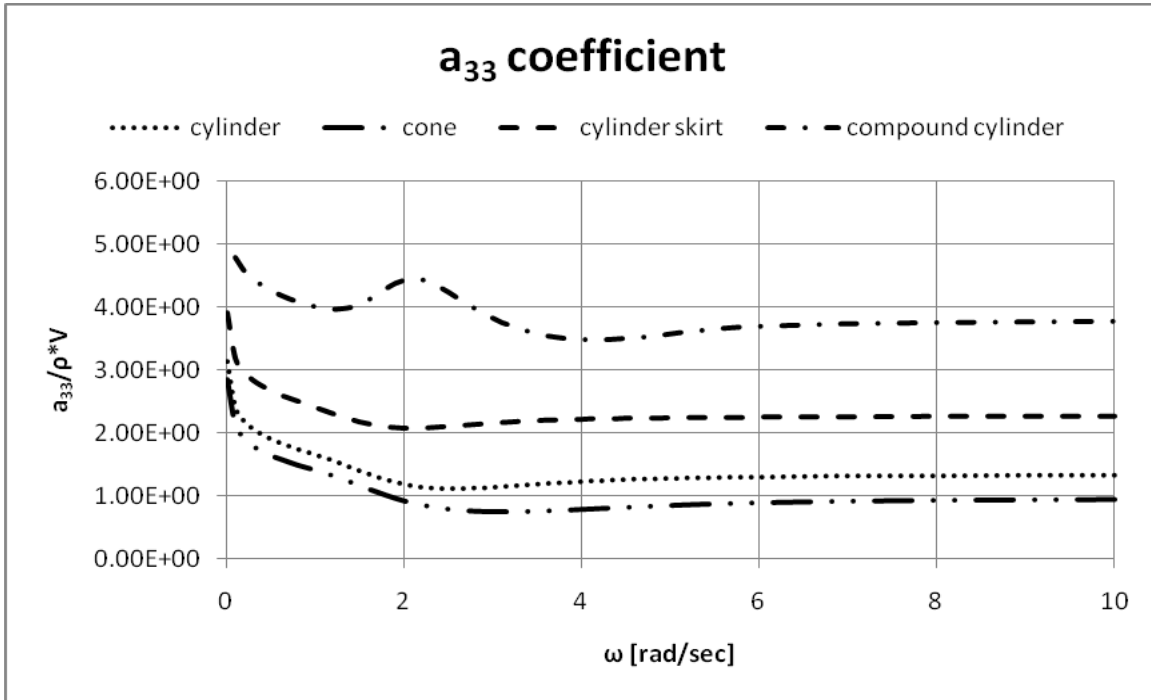


Διάγραμμα 5.11 Αδιάστατοι συντελεστές υδροδυναμικής απόσβεσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=14.14\text{m}^3$)

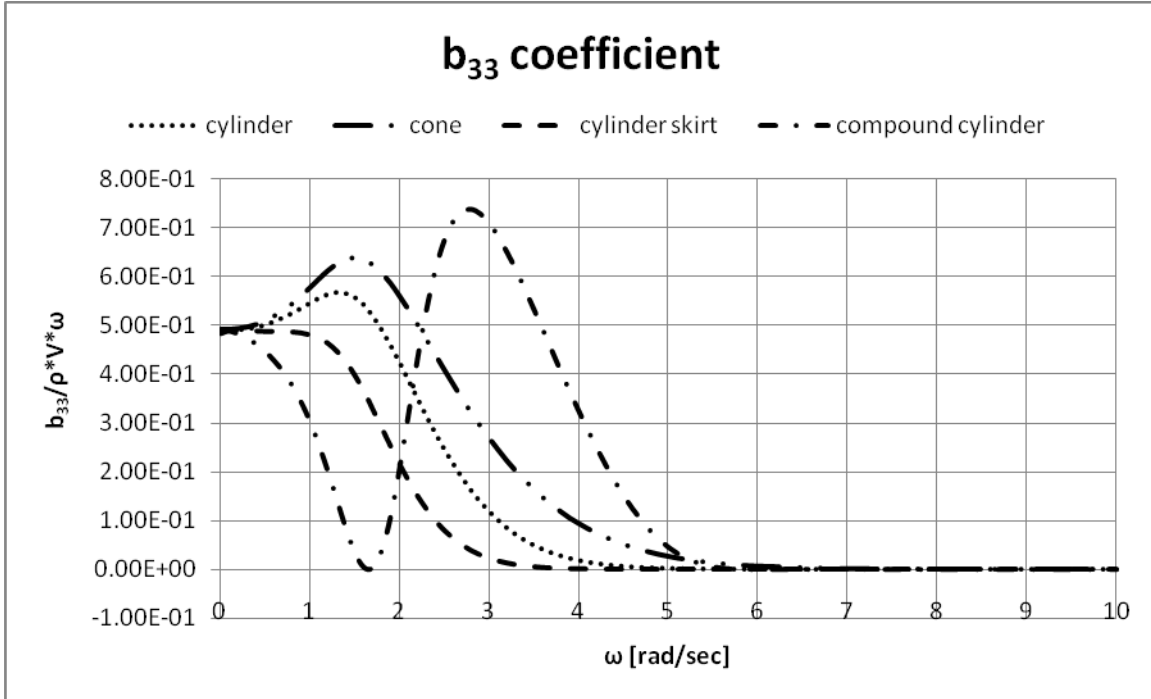


Διάγραμμα 5.12 Δυνάμεις διέγερσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=14.14m^3$)

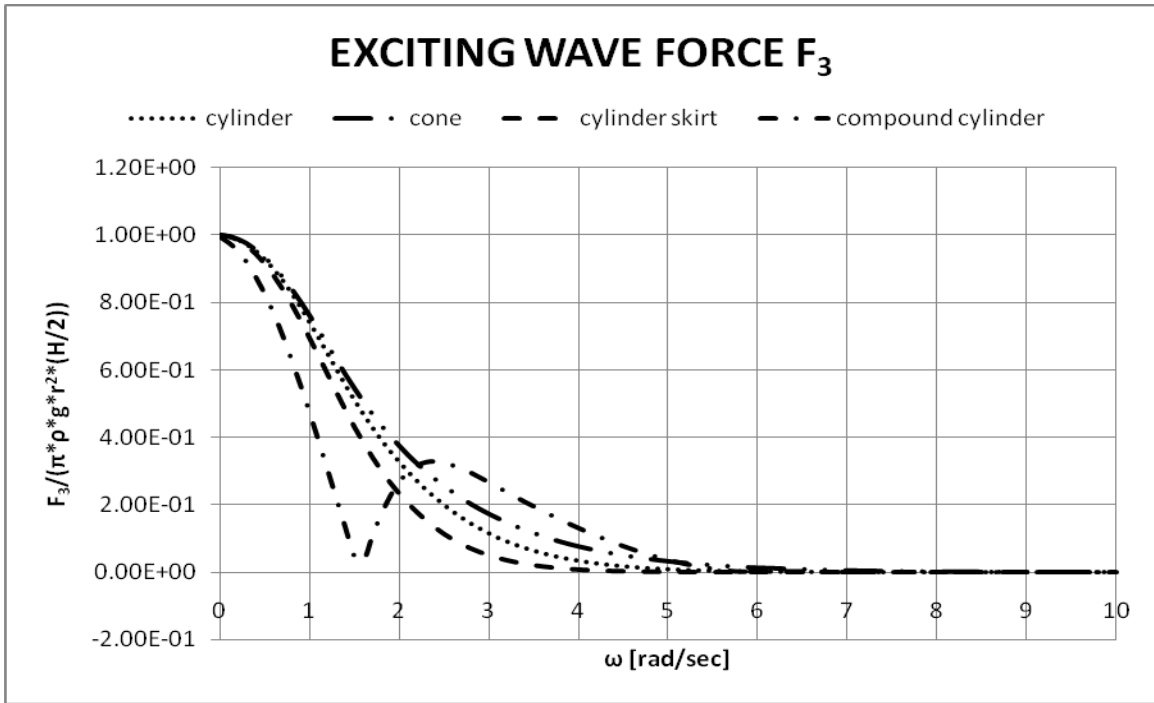
$V=19.63m^3$



Διάγραμμα 5.13 Αδιάστατοι συντελεστές πρόσθετης μάζας αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=19.63m^3$)

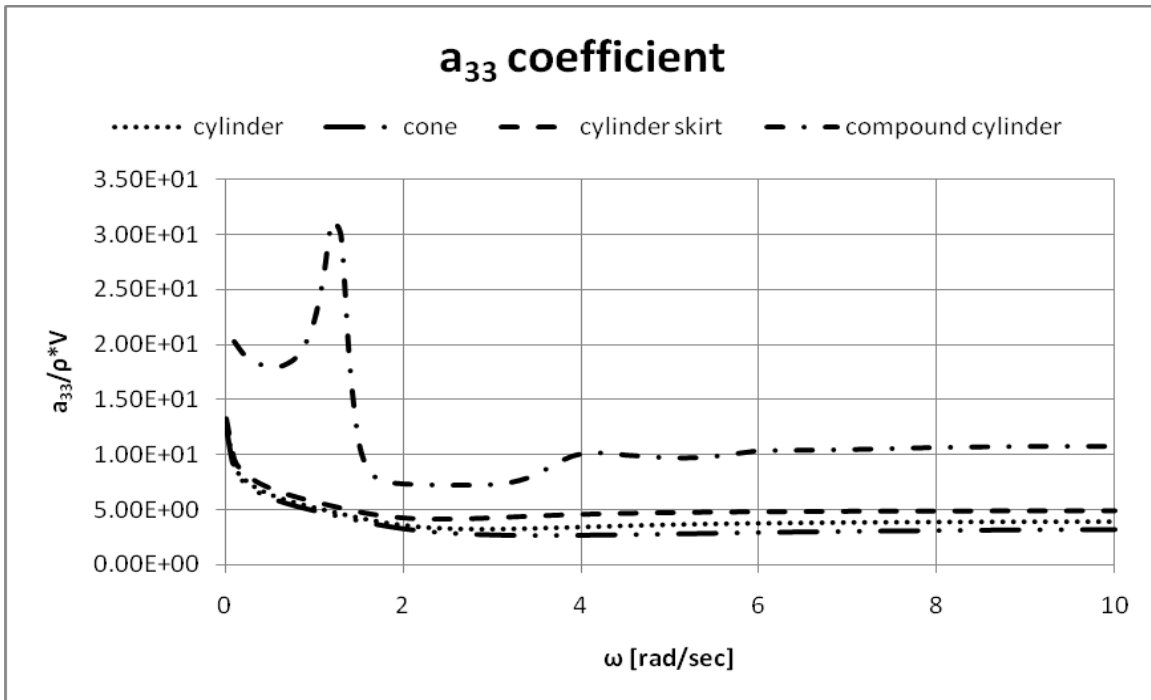


Διάγραμμα 5.14 Αδιάστατοι συντελεστές υδροδυναμικής απόσβεσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=19.63m^3$)

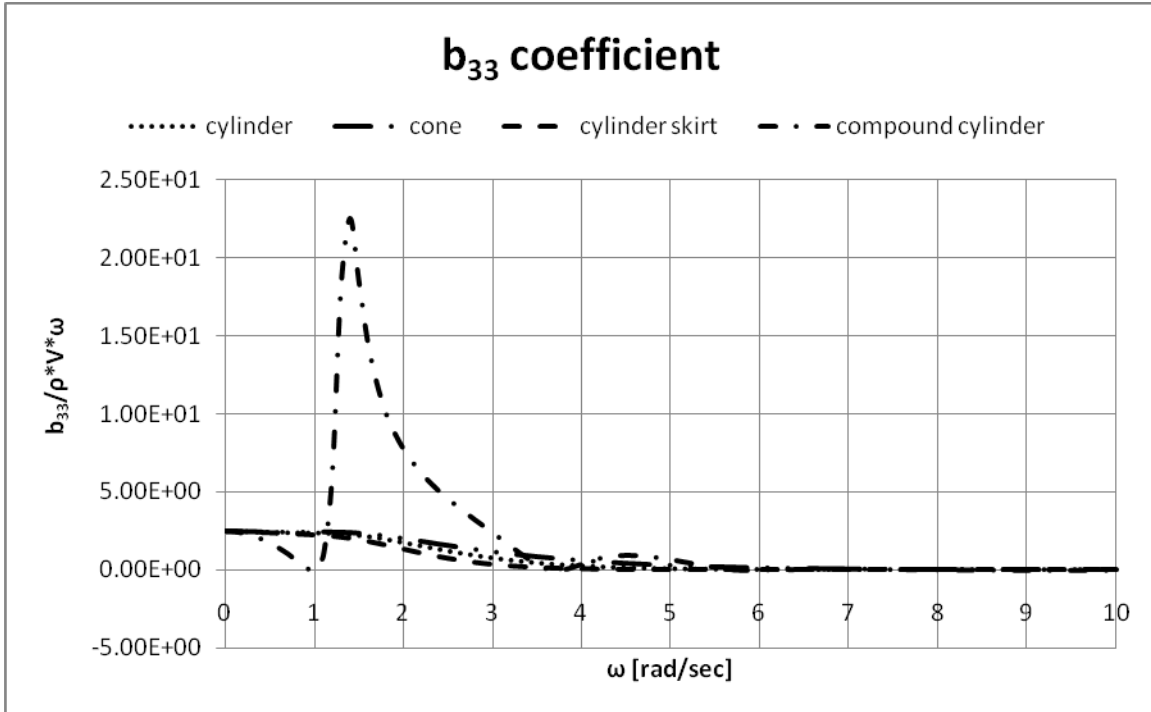


Διάγραμμα 5.15 Δυνάμεις διέγερσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=19.63m^3$)

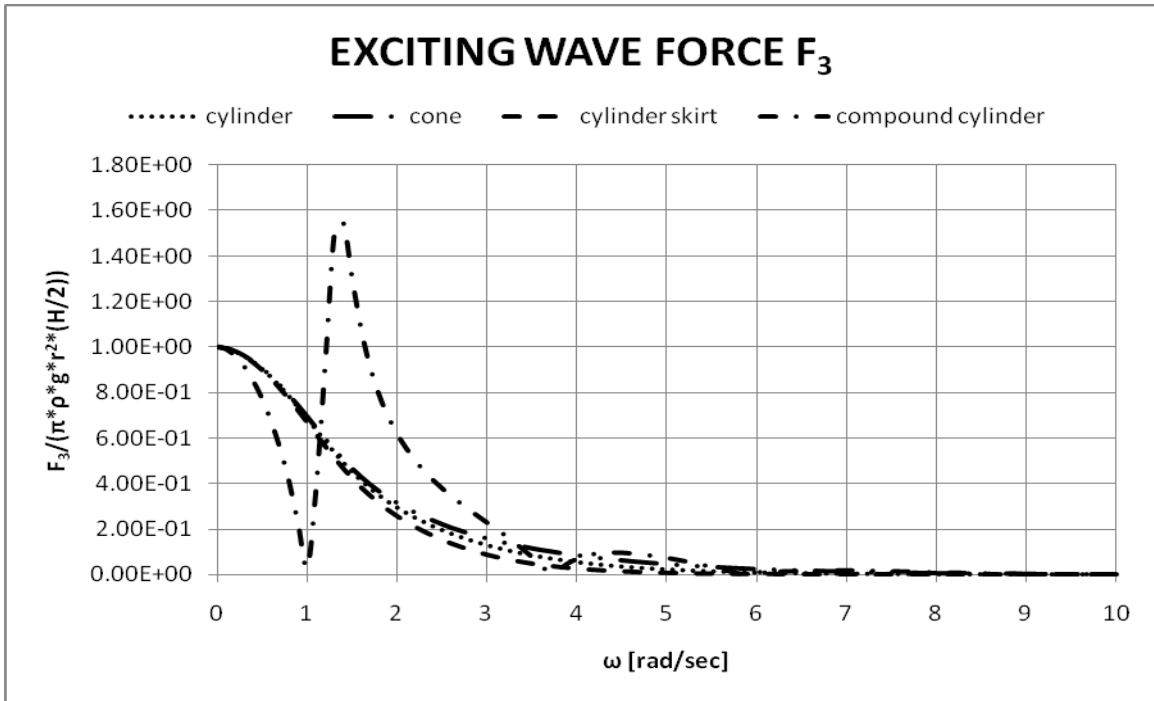
$$V=25.13\text{m}^3$$



Διάγραμμα 5.16 Αδιάστατοι συντελεστές πρόσθετης μάζας αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=25.13\text{m}^3$)

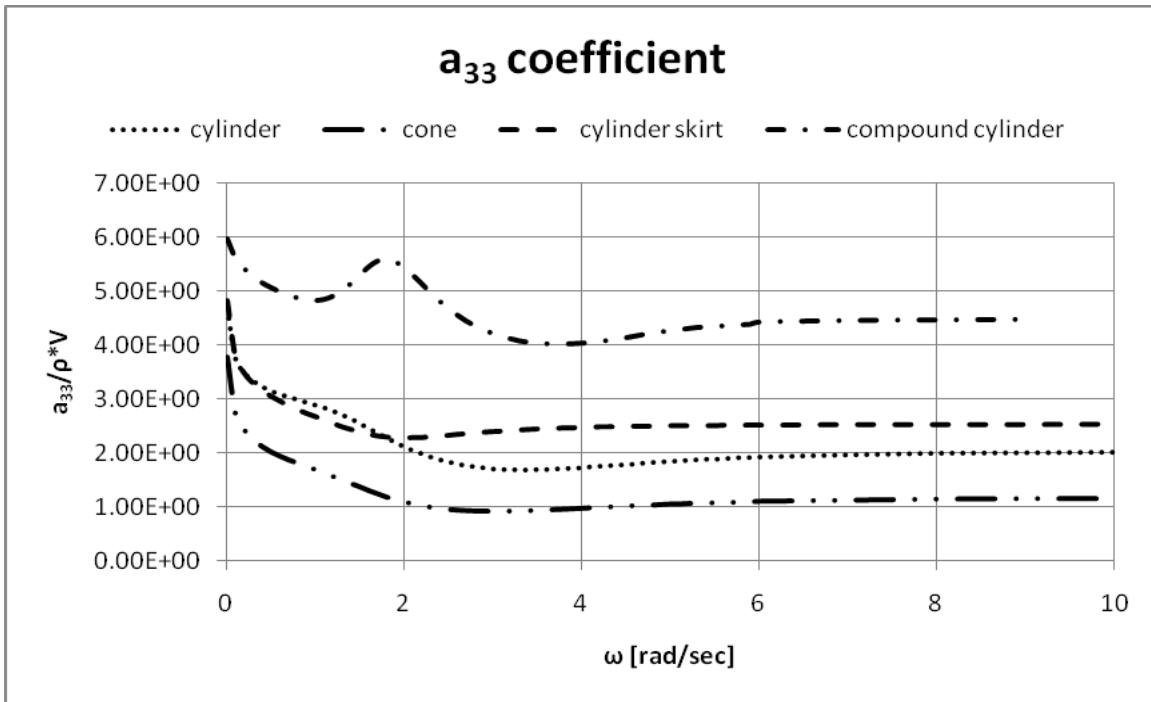


Διάγραμμα 5.17 Αδιάστατοι συντελεστές υδροδυναμικής απόσβεσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=25.13\text{m}^3$)

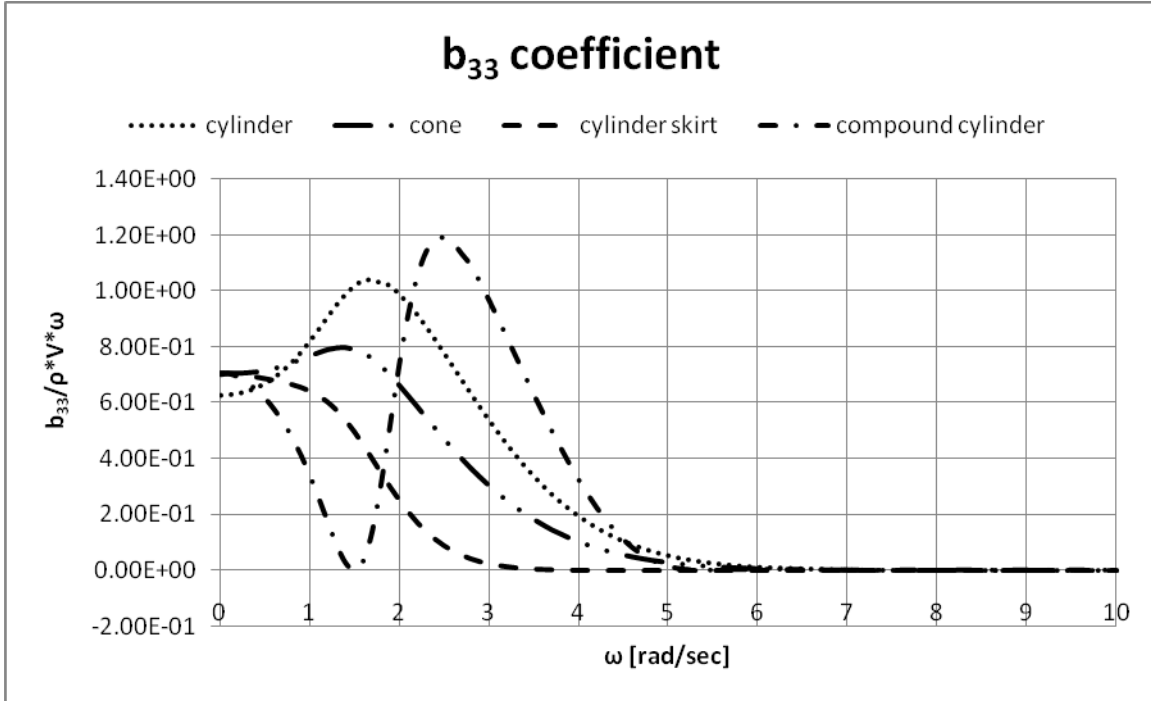


Διάγραμμα 5.18 Δυνάμεις διέγερσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=25.13m^3$)

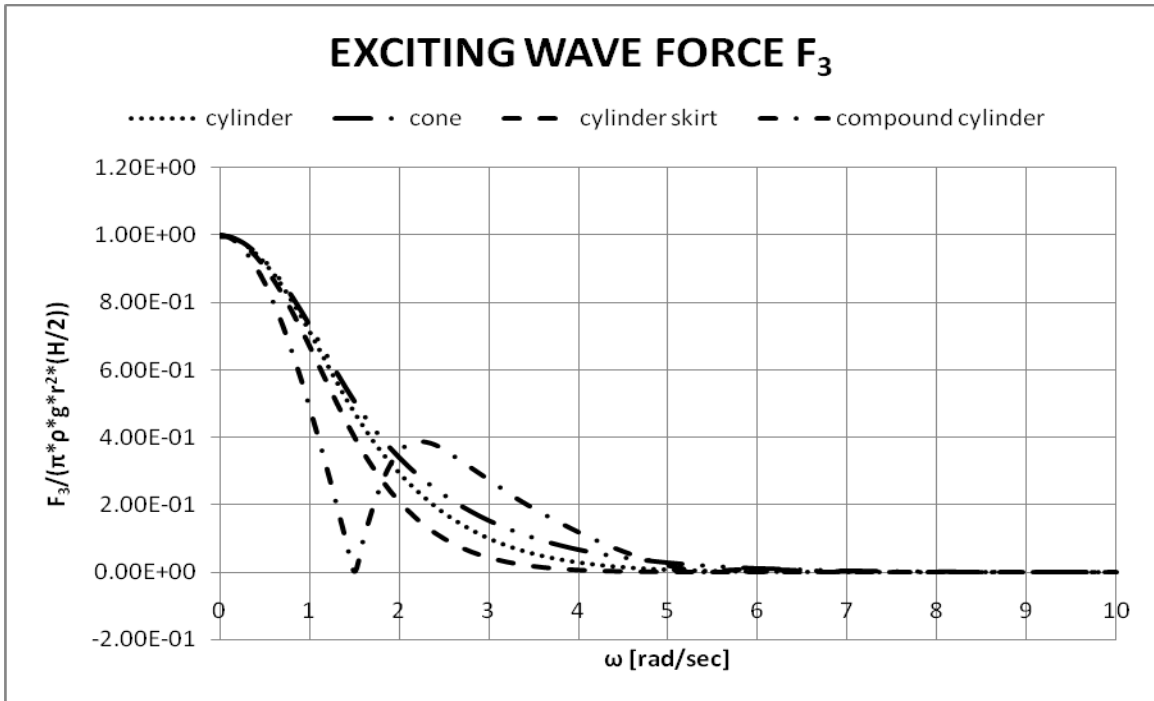
$$V=28.27\text{m}^3$$



Διάγραμμα 5.19 Αδιάστατοι συντελεστές πρόσθετης μάζας αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=28.27\text{m}^3$)

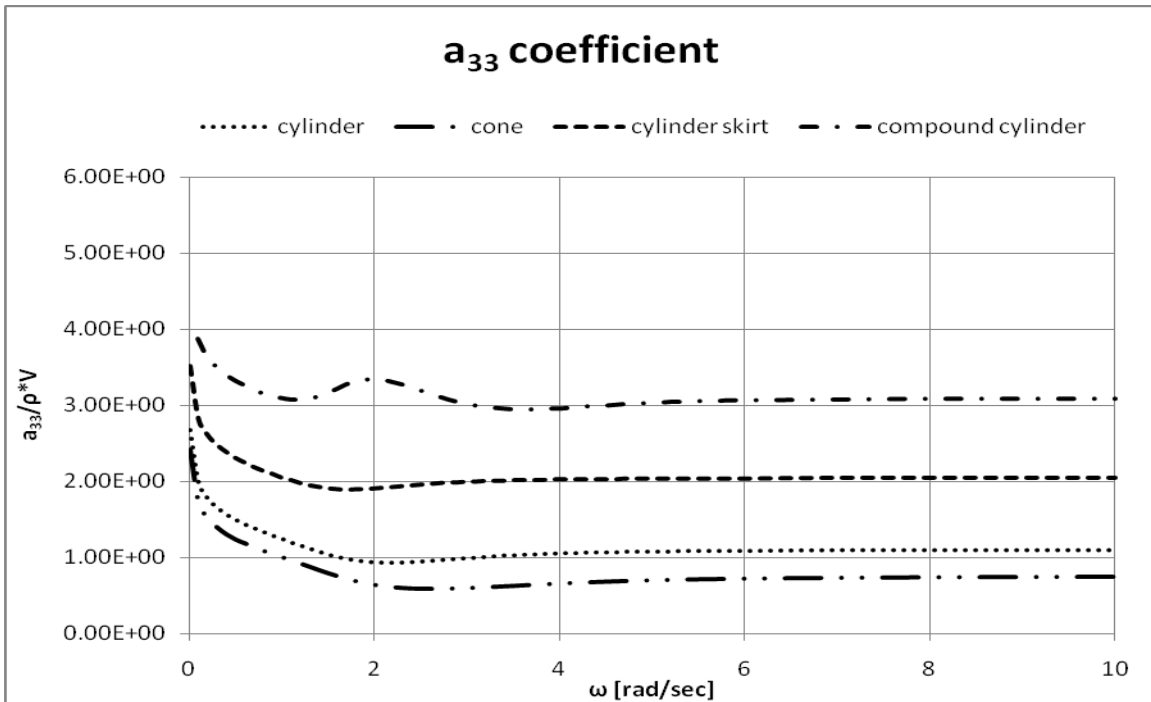


Διάγραμμα 5.20 Αδιάστατοι συντελεστές υδροδυναμικής απόσβεσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=28.27\text{m}^3$)

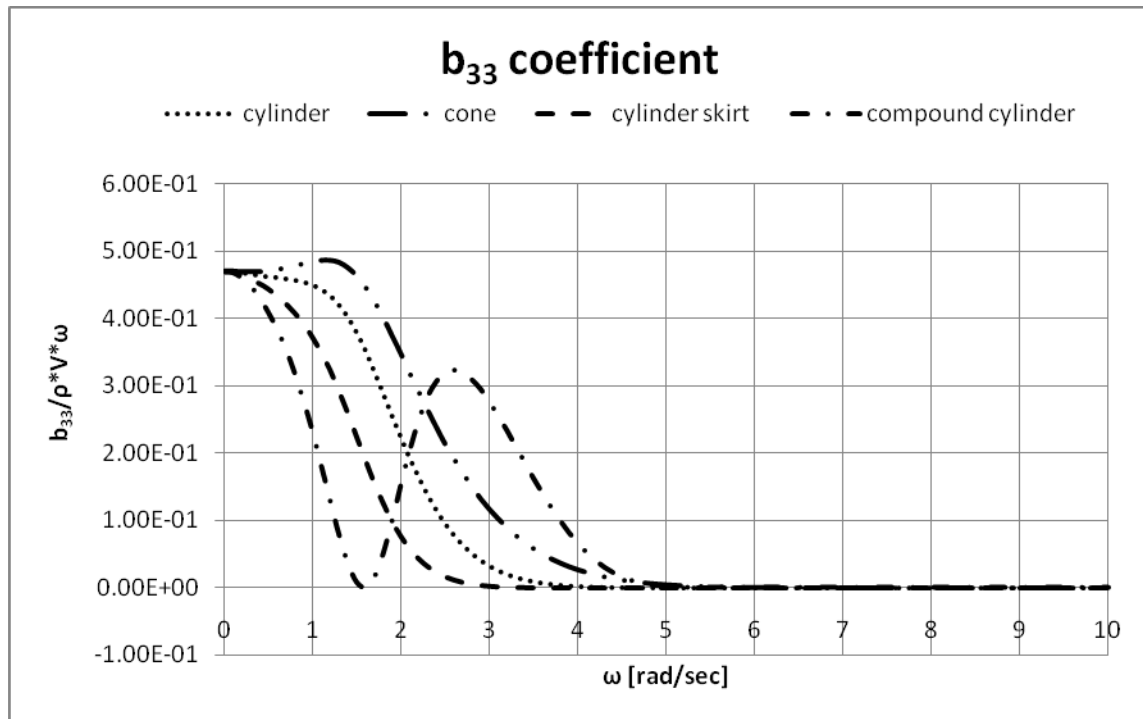


Διάγραμμα 5.21 Δυνάμεις διέγερσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=28.27m^3$)

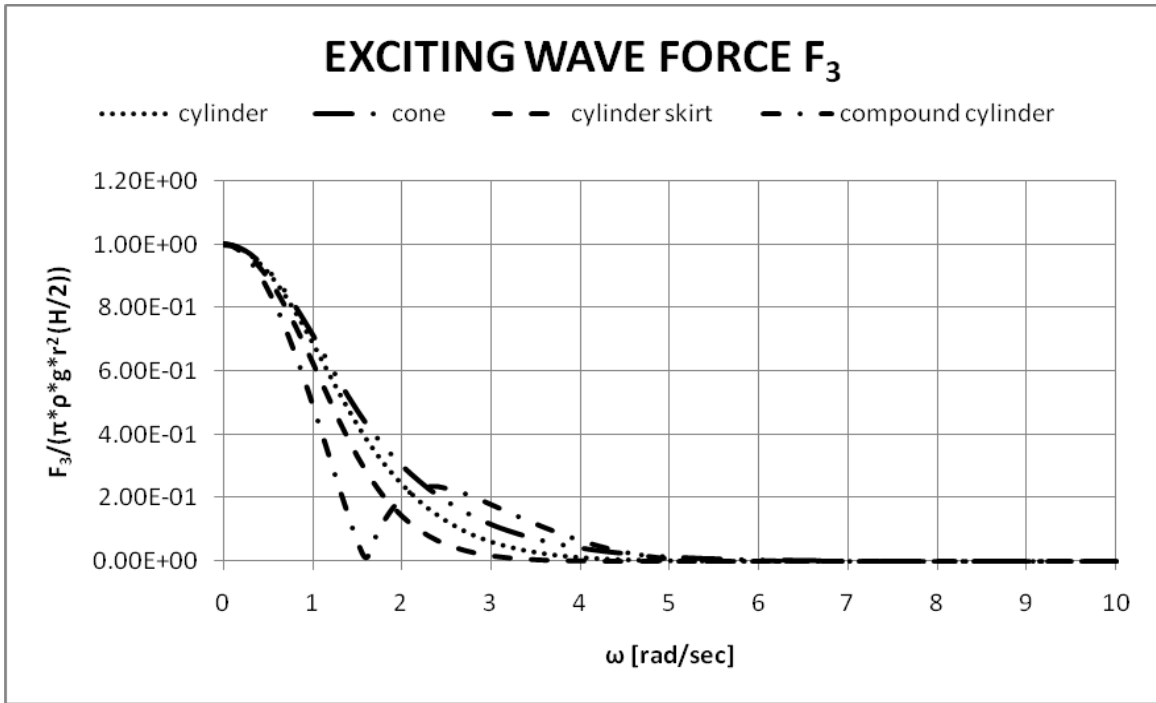
$$V=42.41\text{m}^3$$



Διάγραμμα 5.22 Αδιάστατοι συντελεστές πρόσθετης μάζας αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=42.41\text{m}^3$)

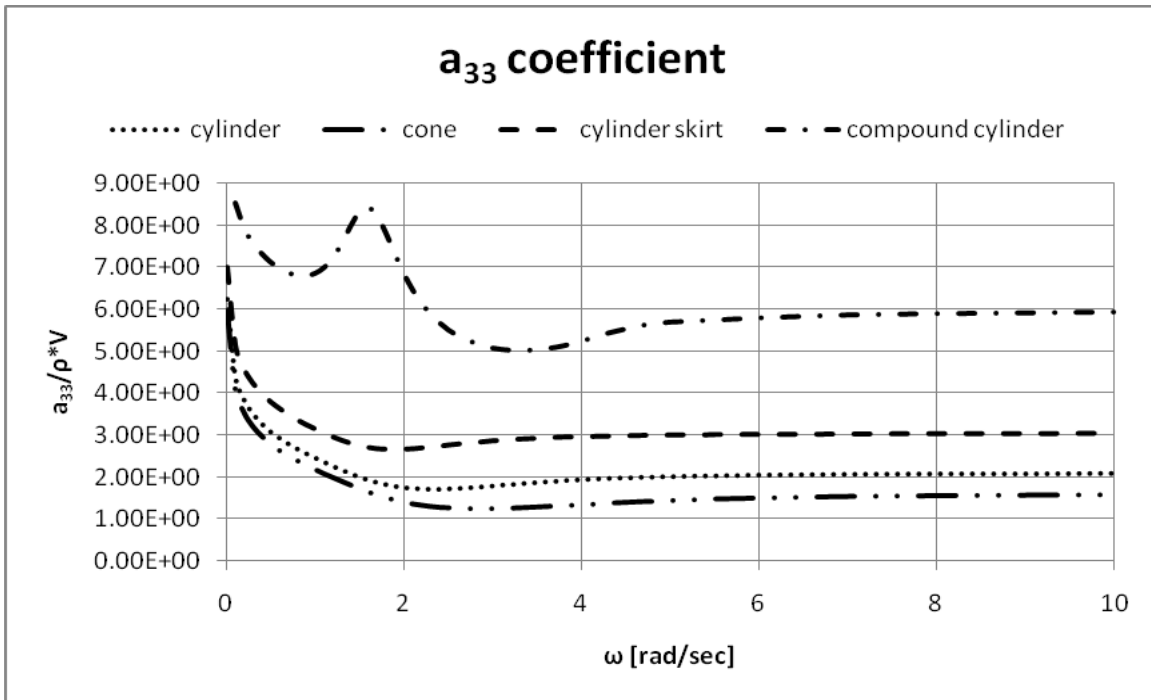


Διάγραμμα 5.23 Αδιάστατοι συντελεστές υδροδυναμικής απόσβεσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=42.41\text{m}^3$)

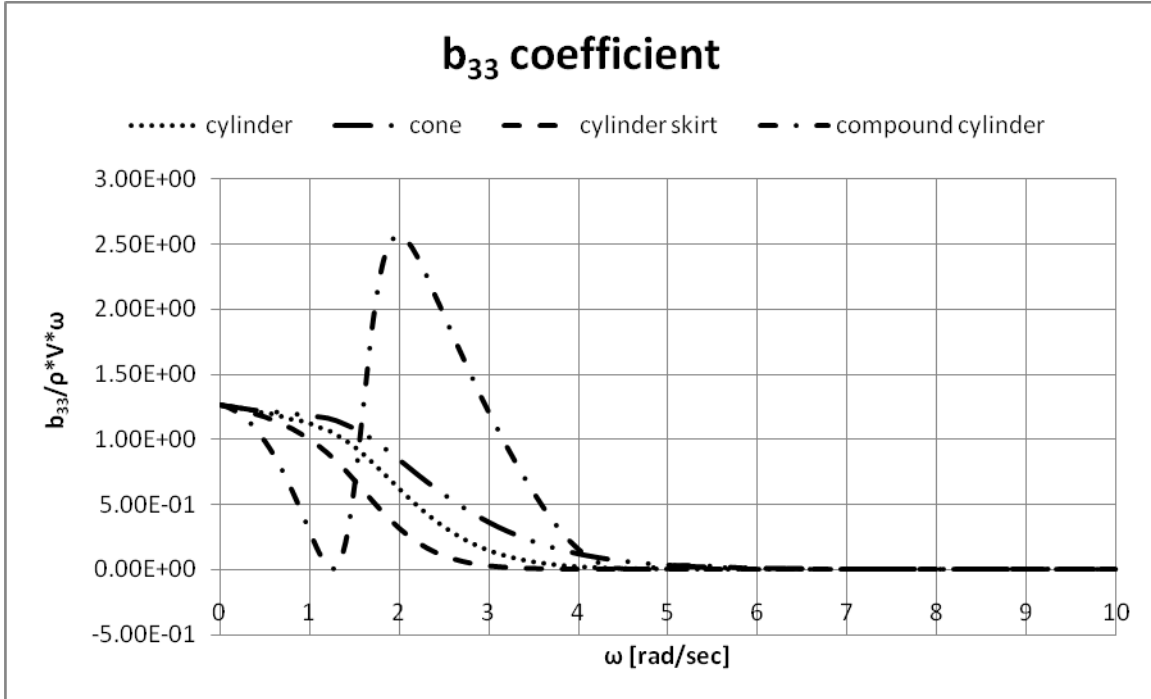


Διάγραμμα 5.24 Δυνάμεις διέγερσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=42.41m^3$)

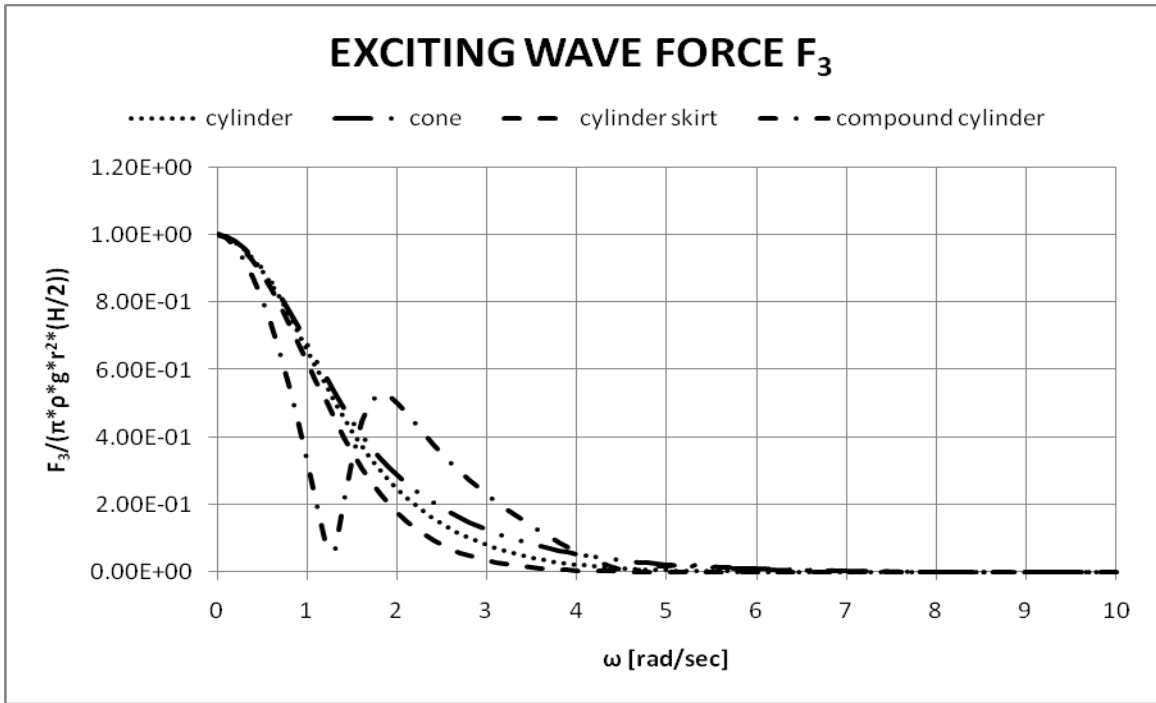
$V=50.27m^3$



Διάγραμμα 5.25 Αδιάστατοι συντελεστές πρόσθετης μάζας αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=50.27m^3$)

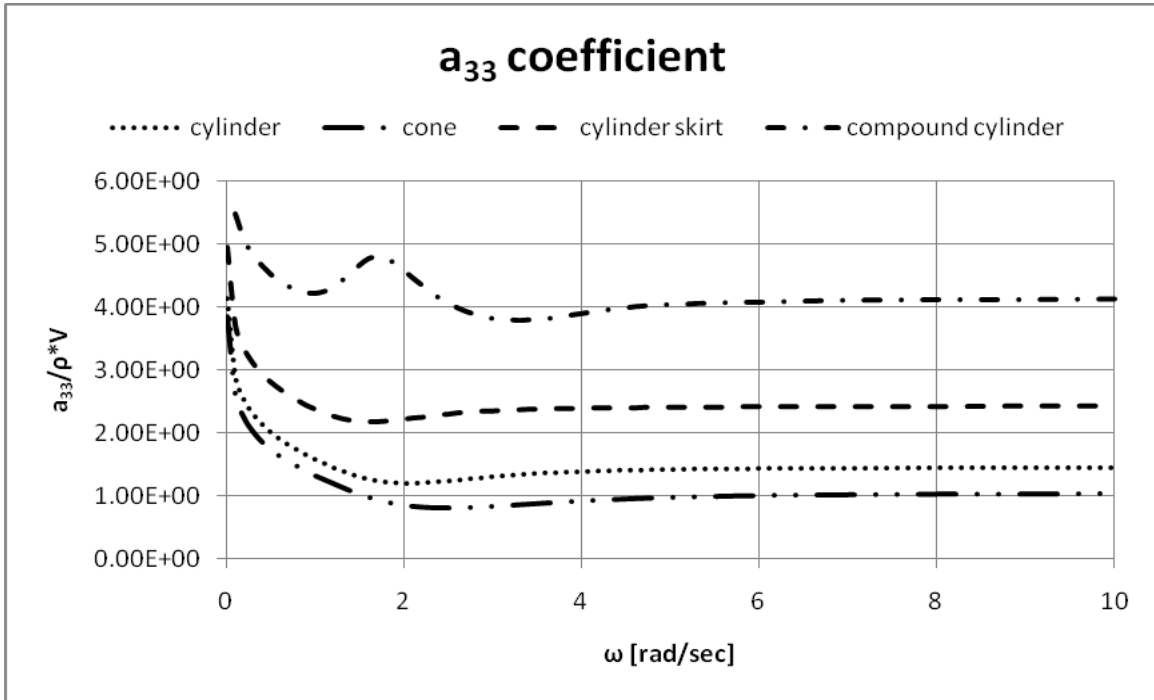


Διάγραμμα 5.26 Αδιάστατοι συντελεστές υδροδυναμικής απόσβεσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=50.27m^3$)

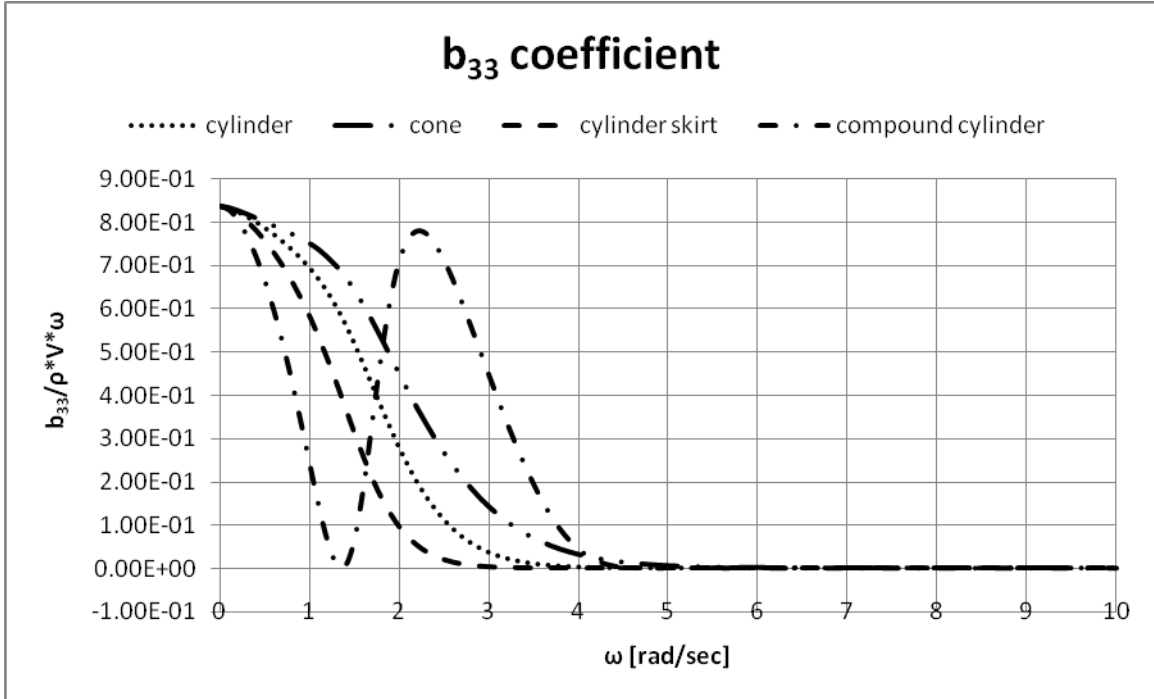


Διάγραμμα 5.27 Δυνάμεις διέγερσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=50.27m^3$)

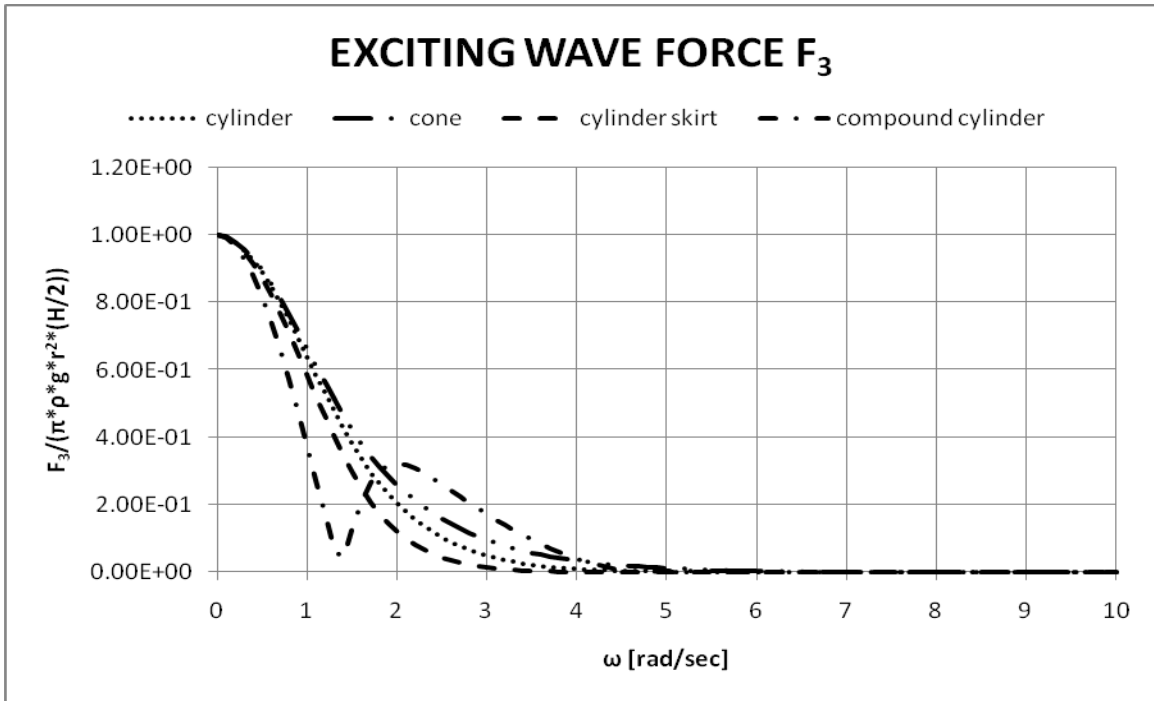
$$V=75.4\text{m}^3$$



Διάγραμμα 5.28 Αδιάστατοι συντελεστές πρόσθετης μάζας αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=75.4\text{m}^3$)

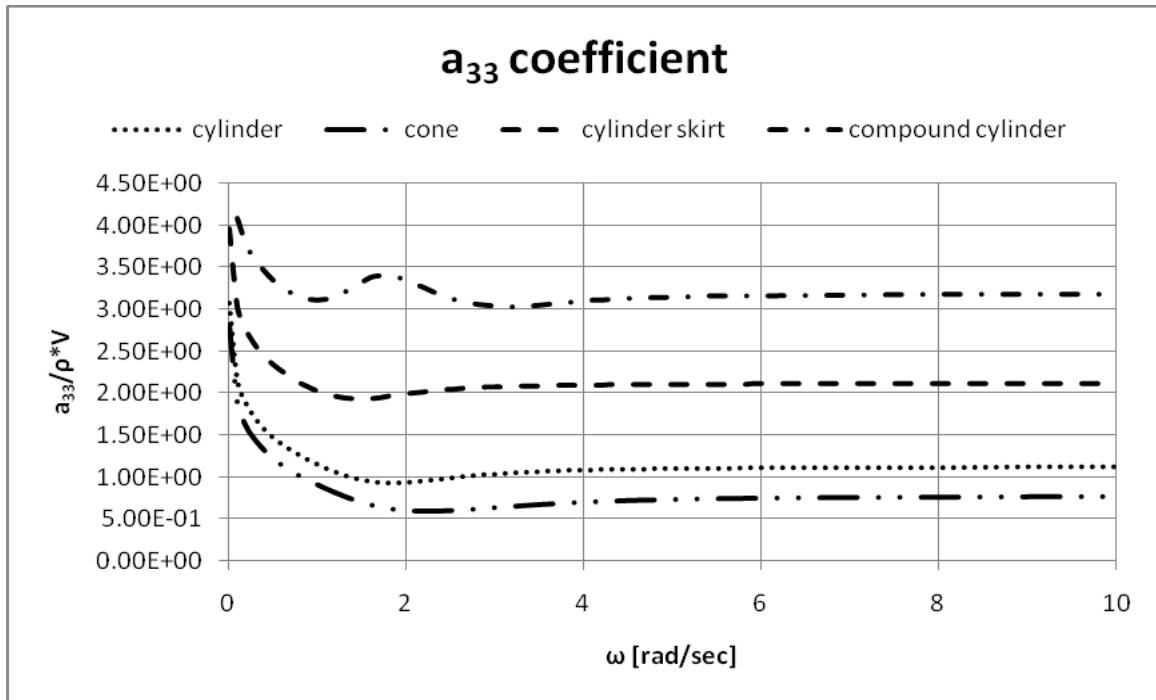


Διάγραμμα 5.29 Αδιάστατοι συντελεστές υδροδυναμικής απόσβεσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=75.4\text{m}^3$)

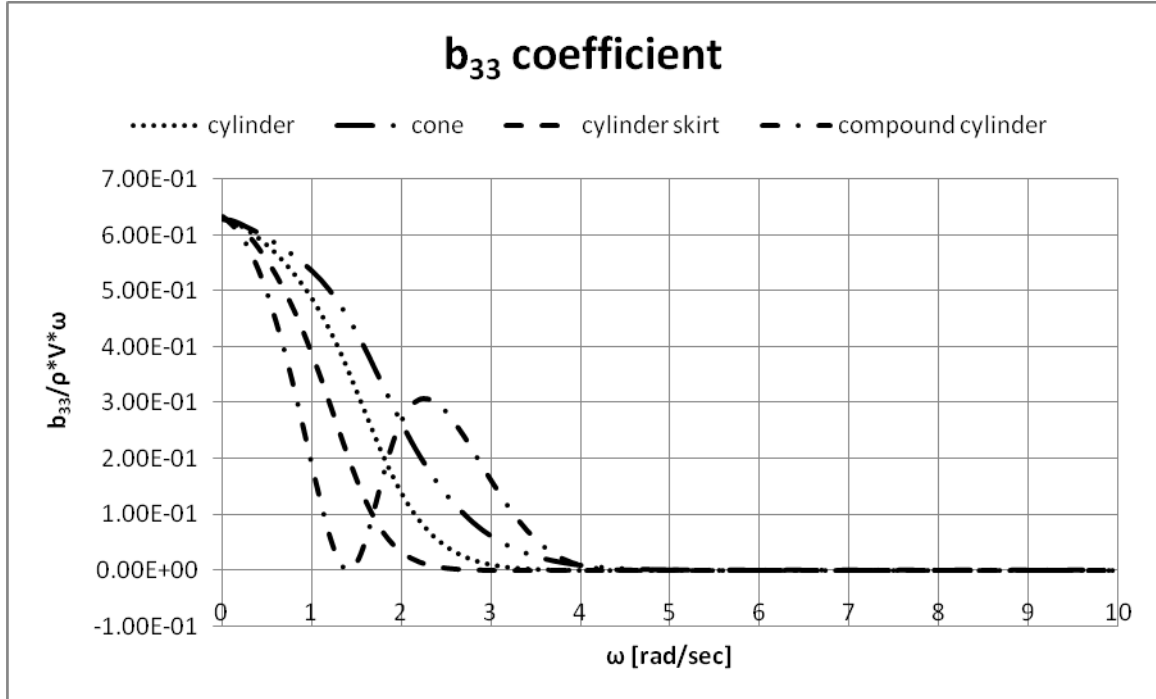


Διάγραμμα 5.30 Δυνάμεις διέγερσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=75.4m^3$)

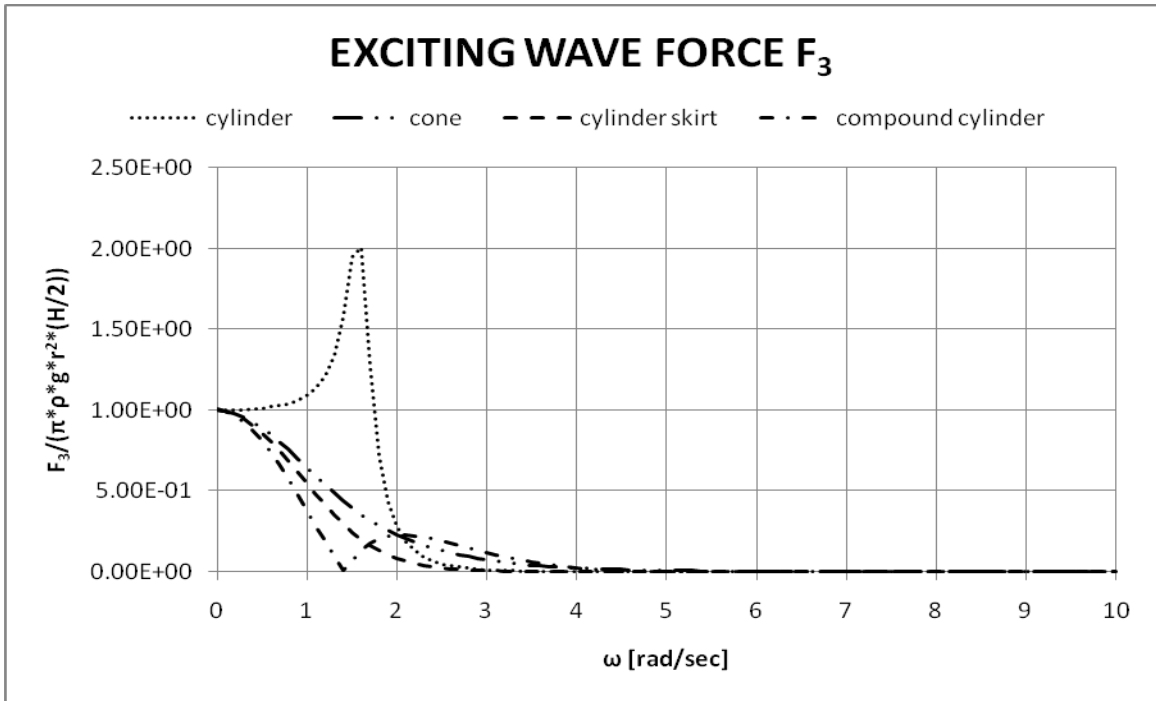
$$V=100.53\text{m}^3$$



Διάγραμμα 5.31 Αδιάστατοι συντελεστές πρόσθετης μάζας αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=100.53\text{m}^3$)



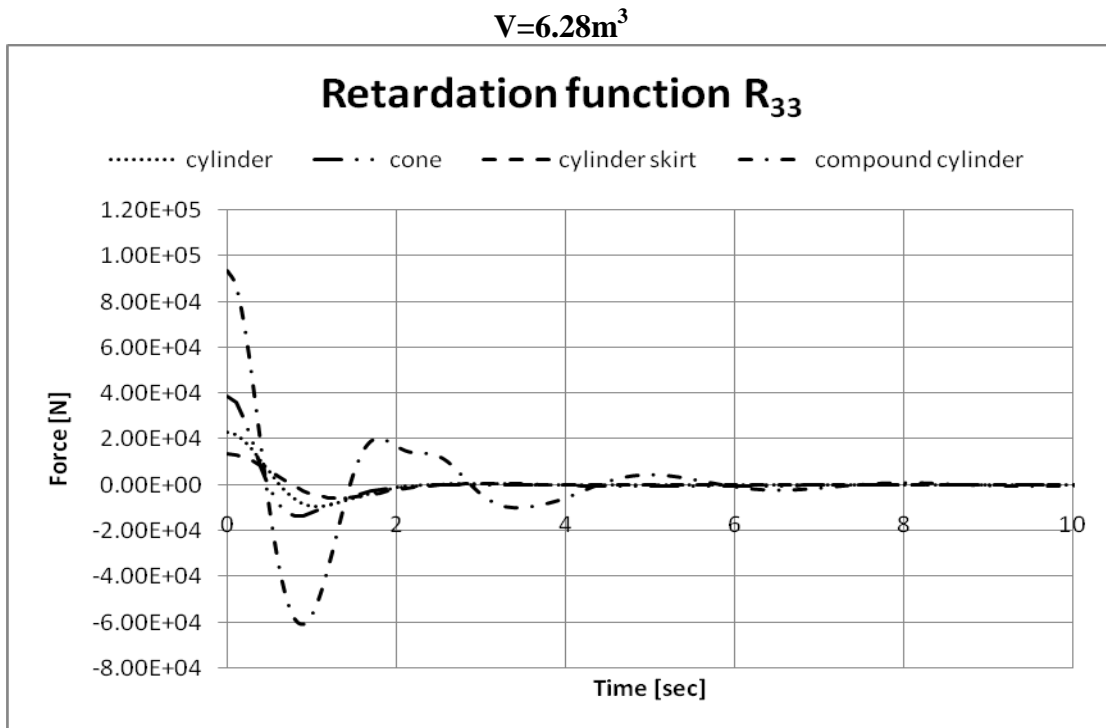
Διάγραμμα 5.32 Αδιάστατοι συντελεστές υδροδυναμικής απόσβεσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=100.53\text{m}^3$)



Διάγραμμα 5.33 Δυνάμεις διέγερσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=100.53m^3$)

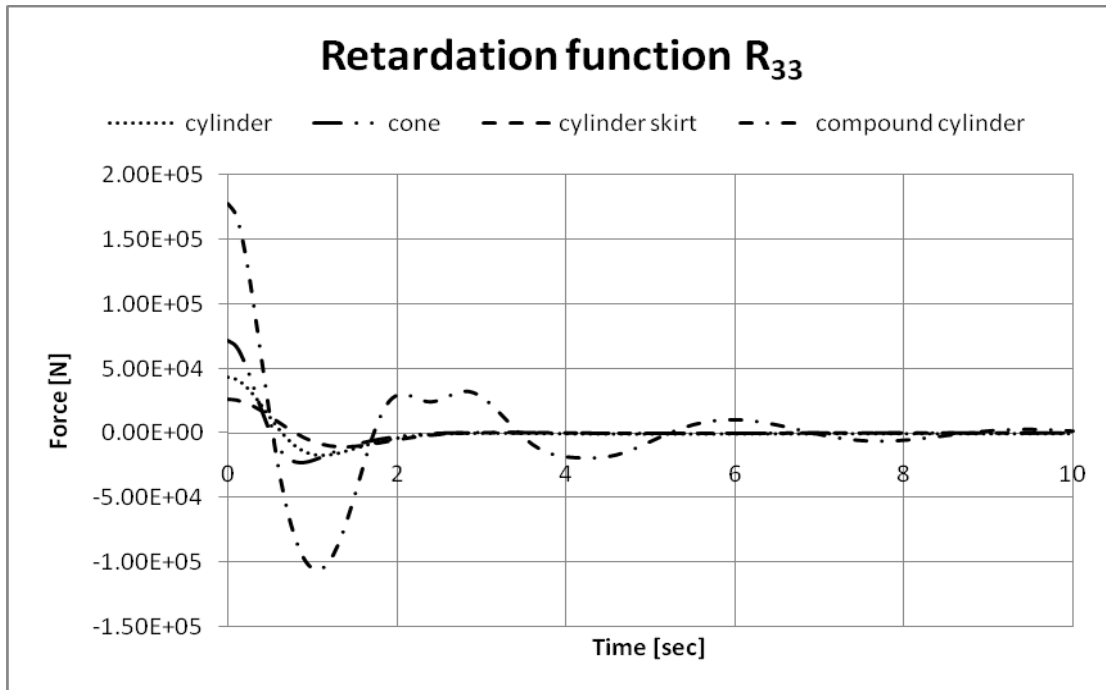
5.4 Αποτελέσματα συναρτήσεων χρονικής ιστορίας της δύναμης αναφορικά με την κάθετη διεύθυνση (Retardation functions R_{33})

Στο παρόν κεφάλαιο παραθέτονται όλες οι συναρτήσεις χρονικής ιστορίας της κάθετης δύναμης αναφορικά με τις τέσσερις υπό εξέταση γεωμετρίες. Τα αποτελέσματα είναι κατηγοριοποιημένα με βάση τον σταθερό όγκο και σε κάθε διάγραμμα παρουσιάζεται σύγκριση μεταξύ των γεωμετριών. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι η δύναμη που παρουσιάζεται στα διαγράμματα αναφέρεται σε μια διέγερση μοναδιαίας ταχύτητας πάνω στο ανωστικό σώμα.



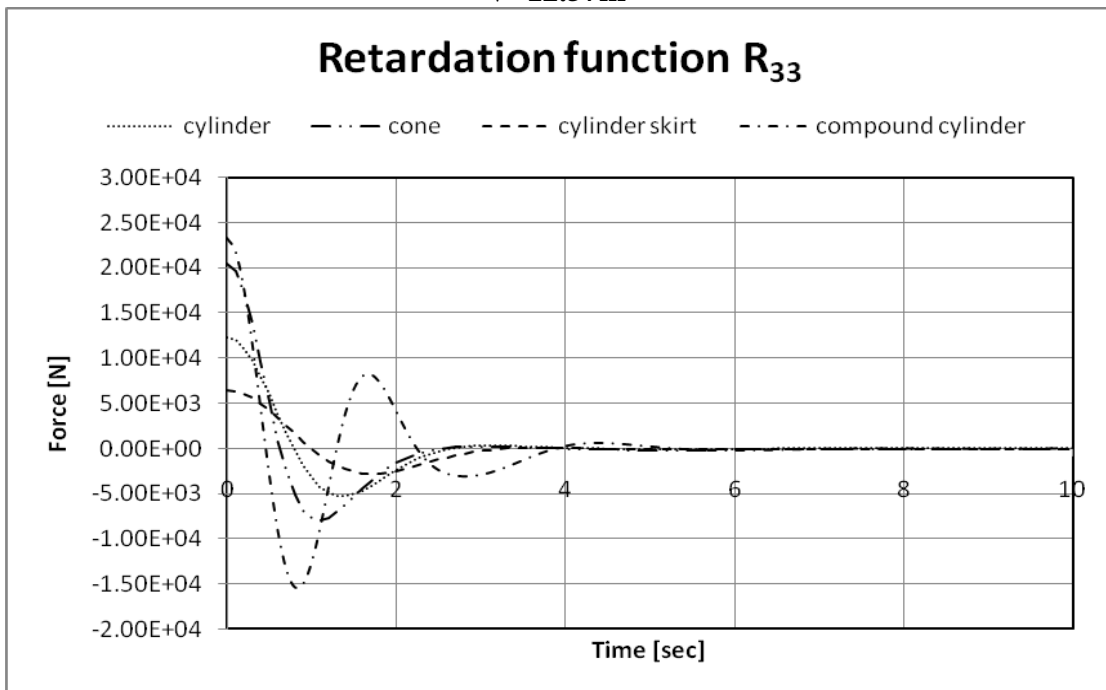
Διάγραμμα 6.34 Συνάρτηση χρονικής ιστορίας της δύναμης (retardation functions R_{33}) για τις τέσσερις γεωμετρίες με σταθερό εκτοπιζόμενο όγκο $V=6.28m^3$

$$V=9.28\text{m}^3$$



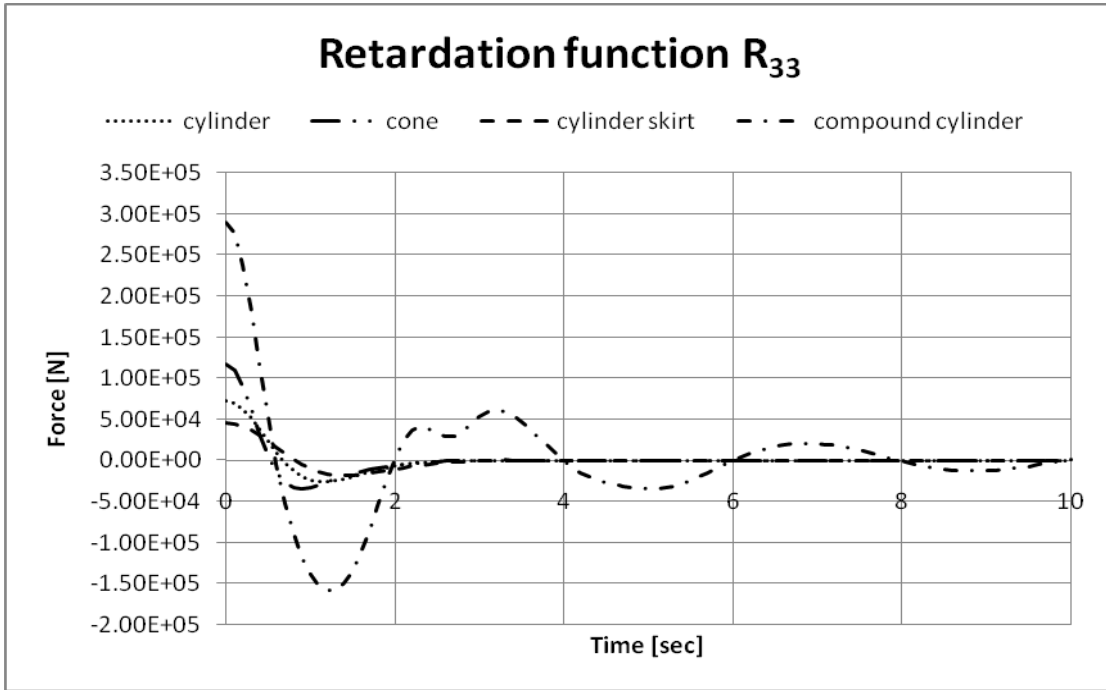
Διάγραμμα 6.35 Συνάρτηση χρονικής ιστορίας της δύναμης (retardation functions R_{33}) για τις τέσσερις γεωμετρίες με σταθερό εκτοπιζόμενο όγκο $V=9.28\text{m}^3$

$$V=12.57\text{m}^3$$



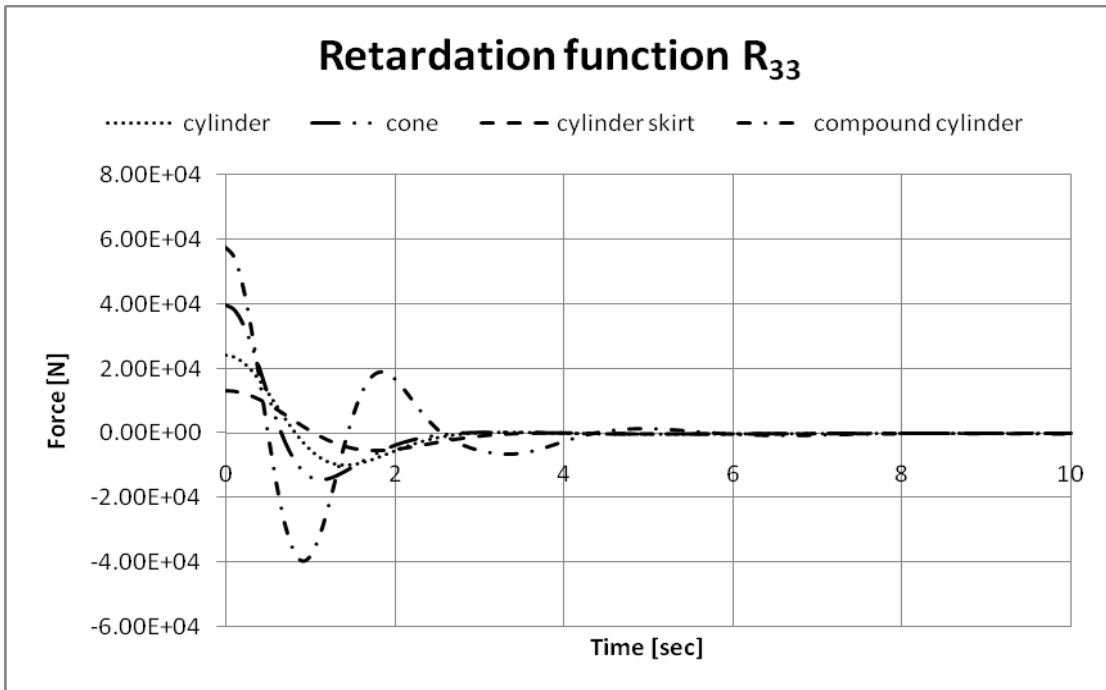
Διάγραμμα 6.36 Συνάρτηση χρονικής ιστορίας της δύναμης (retardation functions R_{33}) για τις τέσσερις γεωμετρίες με σταθερό εκτοπιζόμενο όγκο $V=12.57\text{m}^3$

$$V=14.14\text{m}^3$$



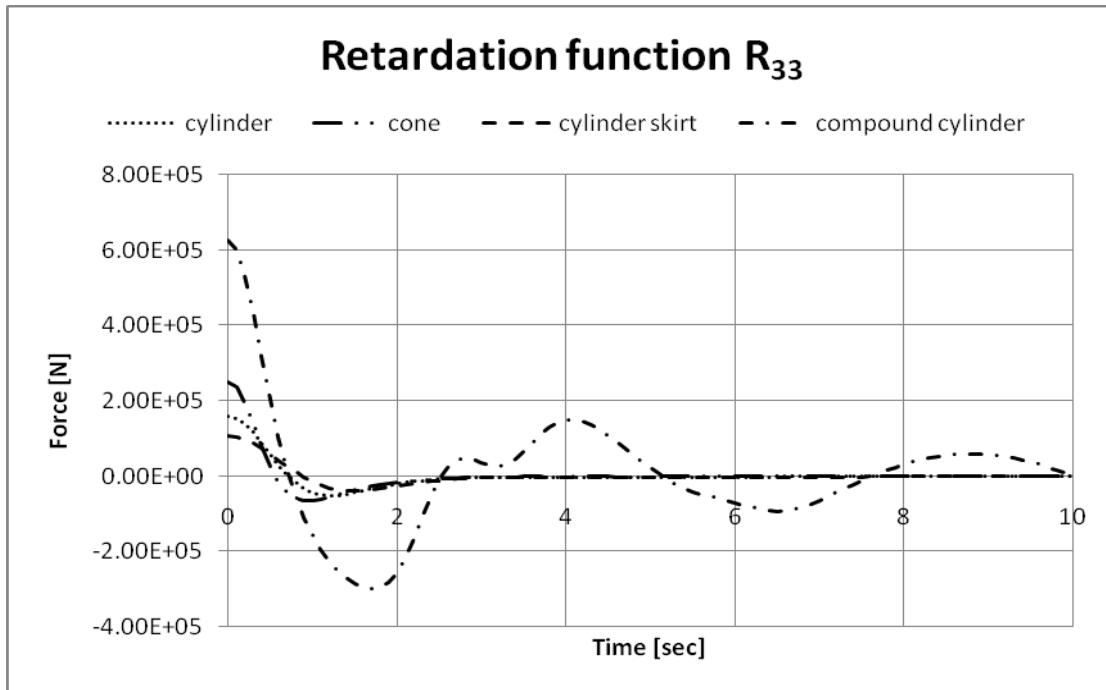
Διάγραμμα 6.37 Συνάρτηση χρονικής ιστορίας της δύναμης (retardation functions R_{33}) για τις τέσσερις γεωμετρίες με σταθερό εκτοπιζόμενο όγκο $V=14.14\text{m}^3$

$$V=19.63\text{m}^3$$



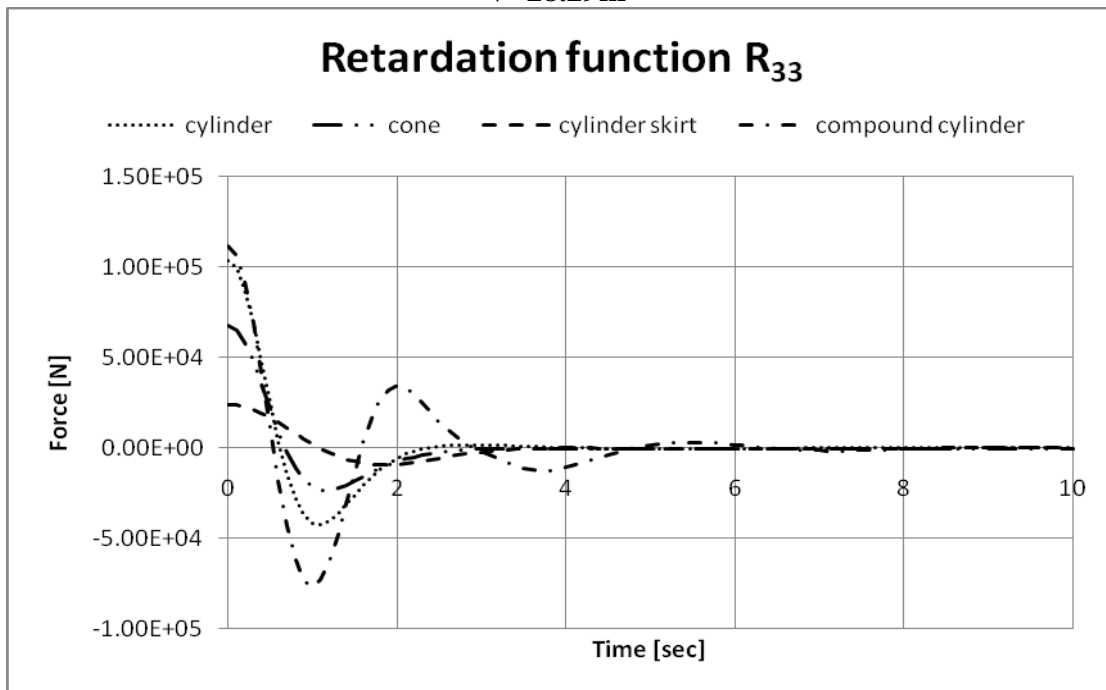
Διάγραμμα 6.38 Συνάρτηση χρονικής ιστορίας της δύναμης (retardation functions R_{33}) για τις τέσσερις γεωμετρίες με σταθερό εκτοπιζόμενο όγκο $V=19.63\text{m}^3$

$$V=25.13\text{m}^3$$



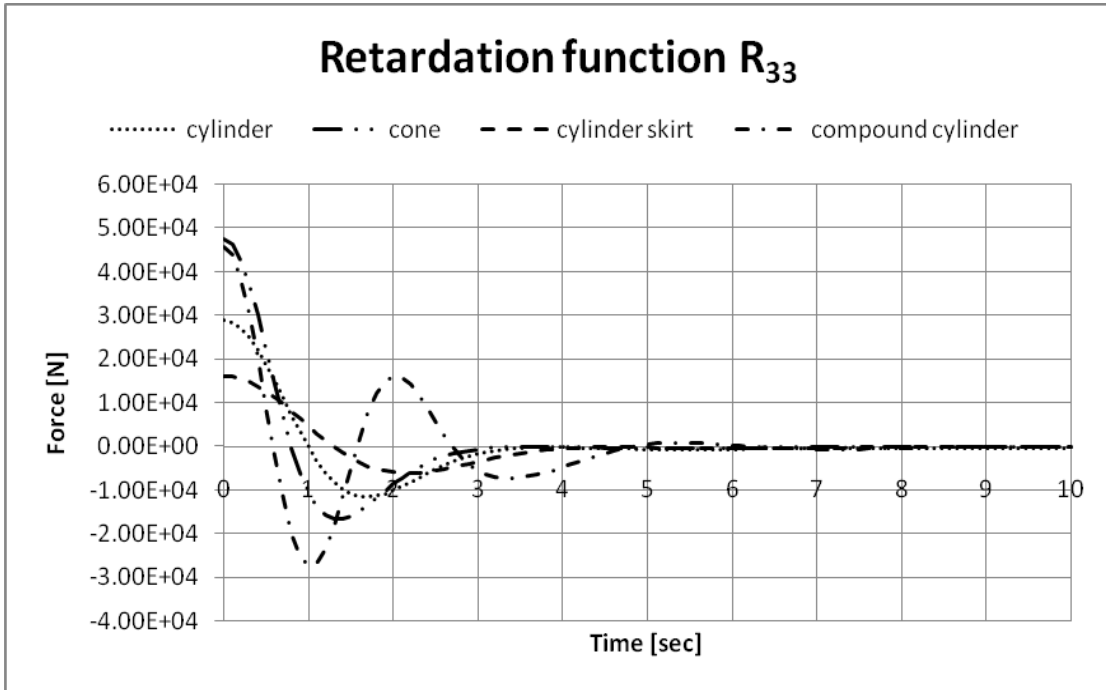
Διάγραμμα 6.39 Συνάρτηση χρονικής ιστορίας της δύναμης (retardation functions R_{33}) για τις τέσσερις γεωμετρίες με σταθερό εκτοπιζόμενο όγκο $V=25.13\text{m}^3$

$$V=28.29\text{m}^3$$



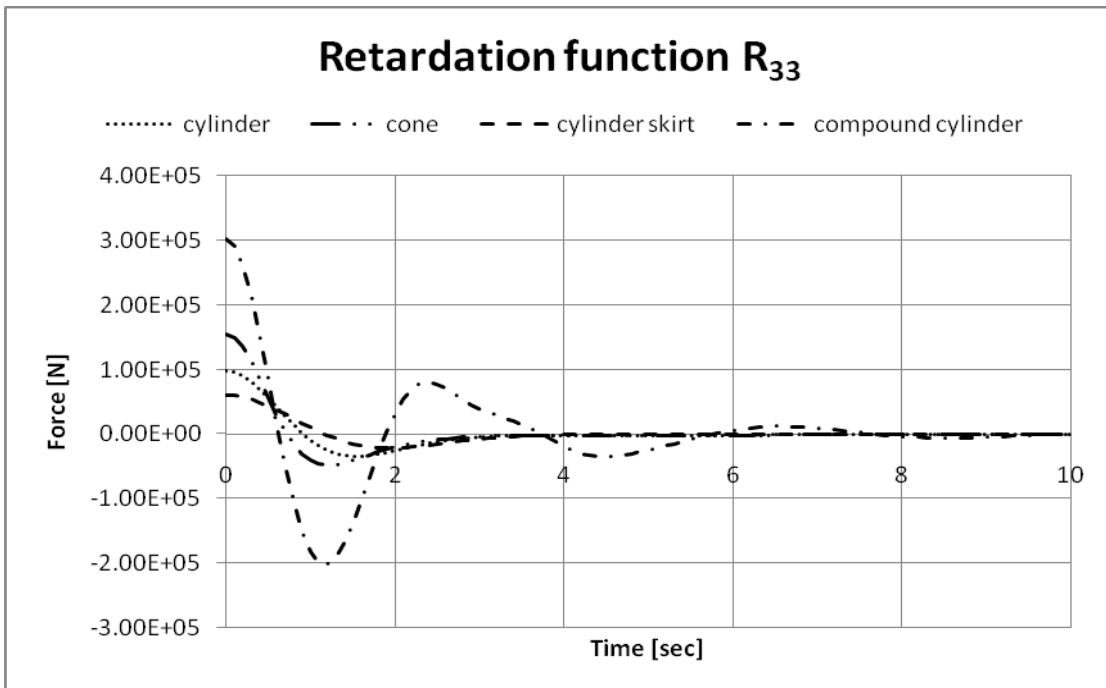
Διάγραμμα 6.40 Συνάρτηση χρονικής ιστορίας της δύναμης (retardation functions R_{33}) για τις τέσσερις γεωμετρίες με σταθερό εκτοπιζόμενο όγκο $V=28.29\text{m}^3$

$$V=42.41\text{m}^3$$



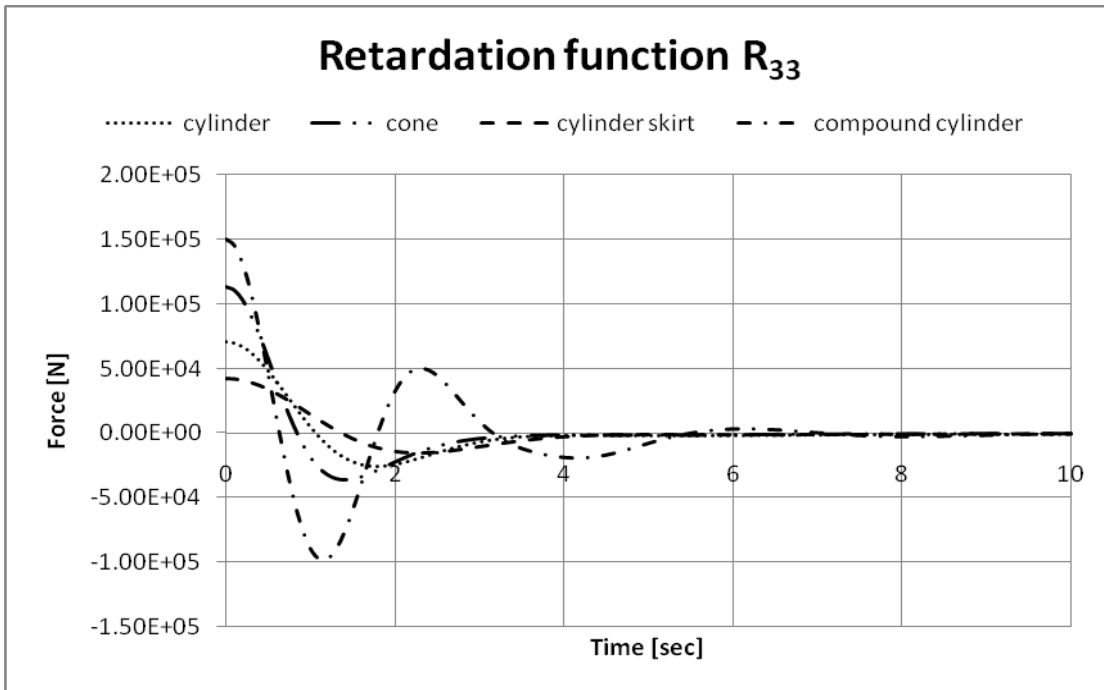
Διάγραμμα 6.41 Συνάρτηση χρονικής ιστορίας της δύναμης (retardation functions R_{33}) για τις τέσσερις γεωμετρίες με σταθερό εκτοπιζόμενο όγκο $V=42.41\text{m}^3$

$$V=50.27\text{m}^3$$



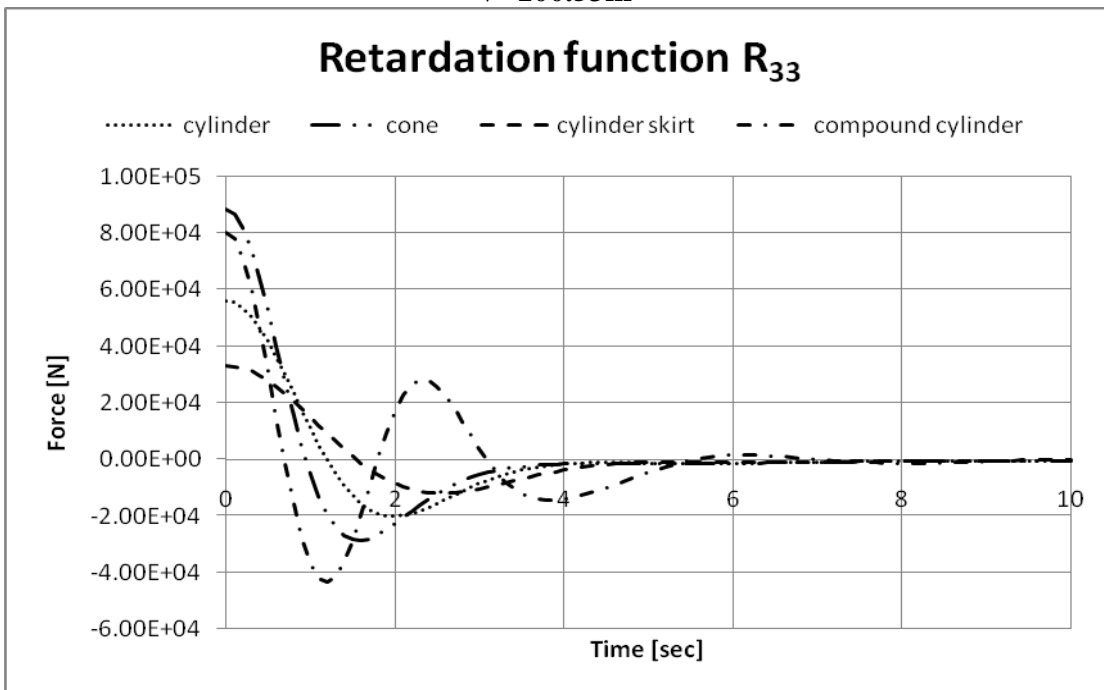
Διάγραμμα 6.42 Συνάρτηση χρονικής ιστορίας της δύναμης (retardation functions R_{33}) για τις τέσσερις γεωμετρίες με σταθερό εκτοπιζόμενο όγκο $V=50.27\text{m}^3$

$$V=75.4\text{m}^3$$



Διάγραμμα 6.43 Συνάρτηση χρονικής ιστορίας της δύναμης (retardation functions R_{33}) για τις τέσσερις γεωμετρίες με σταθερό εκτοπιζόμενο όγκο $V=75.4\text{m}^3$

$$V=100.53\text{m}^3$$



Διάγραμμα 6.44 Συνάρτηση χρονικής ιστορίας της δύναμης (retardation functions R_{33}) για τις τέσσερις γεωμετρίες με σταθερό εκτοπιζόμενο όγκο $V=100.53\text{m}^3$

**ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ
ΓΕΩΜΕΤΡΙΩΝ**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ VI

6.1 Ενεργειακή αξιολόγηση γεωμετριών

Στην ενότητα αυτή, αφού έχει ολοκληρωθεί η υδροδυναμική ανάλυση και των τεσσάρων γεωμετριών γίνεται μια προσπάθεια για την εξακρίβωση της γεωμετρίας που θα ήταν πιο αποδοτική στην παραγωγή ενέργειας. Για τον σκοπό αυτό θέτονται υπό μελέτη και οι τέσσερις διαφορετικές γεωμετρίες οι οποίες είναι ο απλός κύλινδρος, ο κώνος, ο κύλινδρος με κάθετη ποδιά και ο σύνθετος κύλινδρος. Τα τέσσερα σώματα εξετάζονται σε έξι διαφορετικές περιπτώσεις κρατώντας σταθερό κάθε φορά τον εκτοπιζόμενο όγκο. Οι περιπτώσεις διαφορετικών εκτοπισμάτων ξεκινούν από $V=6.28m^3$ και φτάνουν μέχρι και τα $V=75.4m^3$. Οι περιπτώσεις αυτές ομαδοποιούνται ανά δύο με κριτήριο τη σταθερή ακτίνα της γεωμετρίας στην ελεύθερη επιφάνεια. Οι υπό μελέτη ακτίνες είναι οι εξής: $R=2m$, $R=3m$ και $R=4m$. Εδώ σημειώνεται ότι προκειμένου να κρατηθεί η ακτίνα στην επιφάνεια της θάλασσας σταθερή, αυτό που μεταβάλλεται για να αυξηθεί το εκτόπισμα είναι το βύθισμα. Τα επί μέρους χαρακτηριστικά της κάθε γεωμετρίας παραθέτονται παρακάτω σε μορφή πινάκων (πίνακες 6.2.1-6.2.6) .

Η προσομοίωση του συστήματος απόληψης ισχύος γίνεται μέσω μιας «εφαρμογής» γραμμικής απόσβεσης, θεωρείται δηλαδή ότι η λαμβανόμενη ενέργεια από τον πλωτήρα είναι ανάλογη της στιγμιαίας ταχύτητάς του. Συνεπώς το υπό εξέταση πρόβλημα θεωρείται γραμμικό. Επίσης το ανωστικό σώμα θεωρείται ελεύθερο να κινείται μόνο κατά τη διεύθυνση του κατακόρυφου άξονά του (καθ' ύψος κίνηση), από την οποία και μόνο προέρχεται η ενέργεια, ενώ είναι περιορισμένο στους τέσσερις υπόλοιπους βαθμούς ελευθερίας. Οι μέσοι όροι των ενεργειών που παραθέτονται προκύπτουν κάνοντας χρήση συντελεστών γραμμικής απόσβεσης οι οποίοι αντιστοιχούν στον κρίσιμο συντελεστή απόσβεσης του κάθε σώματος (critical damping ratio) . Σκοπός όλης της μελέτης που παρουσιάζεται είναι τα αποτελέσματα να ανταποκρίνονται σε συνθήκες θάλασσας που είναι όσο το δυνατόν πιο πραγματικές. Τα σημαντικά ύψη κύματος που χρησιμοποιούνται είναι σχετικά χαμηλά και κυμαίνονται από 0.3m μέχρι και 1.3m. Επίσης οι ενεργειακές περίοδοι για τις οποίες εξετάζονται οι γεωμετρίες κυμαίνονται από 2.25 μέχρι και 5.38 sec ενώ το φάσμα κυματισμών που χρησιμοποιείται, θεωρείται τύπου Bretschneider.

$$V=6.28m^3$$

	cylinder		cone		cylinder skirt		compound cylinder
R [m]	2		2		2		2.83(2 στην ίσαλο)
D [m]	0.5		1.5		0.95		0.4
H [m]	10		10		10		10

Πίνακας 6.2.17 Βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά τεσσάρων σωμάτων εκτοπίσματος $V=6.28m^3$

$$V=12.57\text{m}^3$$

	cylinder		cone		cylinder skirt		compound cylinder
R [m]	2		2		2		2.83(2 στην ίσαλο)
D [m]	1		3		1.9		0.9
H [m]	10		10		10		10

Πίνακας 6.2.18 Βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά τεσσάρων σωμάτων εκτοπίσματος $V=12.57\text{m}^3$

$$V=28.27\text{m}^3$$

	cylinder		cone		cylinder skirt		compound cylinder
R [m]	3		3		3		4.24(3 στην ίσαλο)
D [m]	1		3		1.93		0.9
H [m]	10		10		10		10

Πίνακας 6.2.19 Βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά τεσσάρων σωμάτων εκτοπίσματος $V=28.27\text{m}^3$

$$V=42.41\text{m}^3$$

	cylinder		cone		cylinder skirt		compound cylinder
R [m]	3		3		3		4.24(3 στην ίσαλο)
D [m]	1.5		4.5		2.9		1.4
H [m]	10		10		10		10

Πίνακας 6.2.20 Βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά τεσσάρων σωμάτων εκτοπίσματος $V=42.41\text{m}^3$

$$V=50.27\text{m}^3$$

	cylinder		cone		cylinder skirt		compound cylinder
R [m]	4		4		4		5.66(4 στην ίσαλο)
D [m]	1		3		1.95		0.9
H [m]	10		10		10		10

Πίνακας 6.2.21 Βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά τεσσάρων σωμάτων εκτοπίσματος $V=50.27\text{m}^3$

$$V=75.4\text{m}^3$$

	cylinder		cone		cylinder skirt		compound cylinder
R [m]	4		4		4		5.66(4 στην ίσαλο)
D [m]	1.5		4.5		2.9		1.4
H [m]	10		10		10		10

Πίνακας 6.2.22 Βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά τεσσάρων σωμάτων εκτοπίσματος $V=75.4\text{m}^3$

Στους παραπάνω πίνακες R είναι η μέγιστη ακτίνα της εκάστοτε γεωμετρίας, D είναι το ολικό βύθισμα και H είναι το βάθος του νερού.

Σημείωση : στο σημείο αυτό διευκρινίζεται ότι ο σύνθετος κύλινδρος πλέει με την μικρή του ακτίνα όπως αναγράφεται στην παρένθεση ενώ το βύθισμα της οριζόντιας ποδιάς του είναι σταθερό και ίσο, σε όλες τις γεωμετρίες, με $d_2=0.1\text{m}$. Επίσης το πάχος της ποδιάς του κυλίνδρου με κάθετη ποδιά είναι και αυτό σταθερό και ίσο με 0.1m , ενώ το βύθισμα

της κάθετης ποδιάς είναι ανά περίπτωση περίπου ίσο με αυτό του συμπαγούς κομματιού της γεωμετρίας (και άρα περίπου το μισό του ολικού βυθίσματος που αναφέρεται στους πίνακες 6.2.1- 6.2.6). Αναλυτική περιγραφή των χαρακτηριστικών κάθε γεωμετρίας παρουσιάζεται στους πίνακες 5.1- 5.16.

Πριν την παρουσίαση των ενεργειακών αποτελεσμάτων κάθε εκτοπίσματος, παραθέεται ένας πίνακας με την ενέργεια του προσπίπτοντος κυματισμού για την εκάστοτε κατάσταση θάλασσας. Για τον υπολογισμό της ενέργειας αυτής γίνεται χρήση της προσεγγιστικής σχέσης :

$$P_e = 0.5 \cdot H_s^2 \cdot T_e \text{ [kW/m]}$$

όπου P_e είναι η ενέργεια του προσπίπτοντος κυματισμού ανά μέτρο μετώπου κυματισμού, H_s είναι το σημαντικό ύψος κυματισμού και T_e είναι η ενεργειακή περίοδος του κυματισμού.

$$\underline{V=6.28m^3}$$

Mean Wave Power [W] A=4m							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	405	486	569	693			
0.5		1350	1580	1925			
0.7			3097	3773	4057		
0.9				6237	6707	7938	
1.1					10019	11858	
1.3						16562	18184

Πίνακας 6.2.23 Μέση ενέργεια προσπίπτοντος κυματισμού για μέτωπο κυματισμού A=4m

Όπου A είναι το ολικό πλάτος μετώπου κυματισμού που προσπίπτει και στις 4 γεωμετρίες σταθερής ακτίνας στην ίσαλο R=2m (D=4m). Ανάλογα με την ακτίνα της κάθε γεωμετρίας το A είναι: A=6m, A=8m. Επίσης η γεωμετρία του σύνθετου κυλίνδρου (compound cylinder) αν και στην ίσαλο έχει την ίδια πάντα ακτίνα με τις υπόλοιπες γεωμετρίες, αδιαστατοποιείται με την ακτίνα της ποδιάς της, η οποία είναι αυτή που αναγράφεται στους πίνακες.

Mean Produced Power [W] cylinder R=2 D=0.5 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	101	154	189	205			
0.5		433	525	570			
0.7			1048	1156	1243		
0.9				1889	1973	2120	
1.1					2900	3070	
1.3						4324	4435

Πίνακας 6.2.24 Μέση παραγόμενη ενέργεια απλού κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=6.28m^3$

Mean efficiency % cylinder R=2 D=0.5 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	24.86	31.76	33.21	29.61			
0.5		32.06	33.26	29.61			
0.7			33.84	30.64	30.64		
0.9				30.28	29.41	26.71	
1.1					28.94	25.89	
1.3						26.11	24.39

Πίνακας 6.2.25 Μέση απόδοση απλού κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=6.28m^3$

Mean Produced Power [W] cone R=2 D=1.5 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	119	161	192	203			
0.5		458	556	570			
0.7			1059	1109	1234		
0.9				1949	2044	2176	
1.1					3208	3172	
1.3						4425	4445

Πίνακας 6.2.26 Μέση παραγόμενη ενέργεια κώνου εκτοπίσματος $V=6.28m^3$

Mean Efficiency % cone R=2 D=1.5 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	29.49	33.15	33.79	29.31			
0.5		33.94	35.20	29.62			
0.7			34.18	29.41	30.41		
0.9				31.24	30.47	27.41	
1.1					32.02	26.75	
1.3						26.72	24.45

Πίνακας 6.2.27 Μέση απόδοση κώνου εκτοπίσματος $V=6.28m^3$

Mean Produced Power [W] cylinder skirt R=2 D=0.95 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	92	150	183	195			
0.5		411	492	551			
0.7			999	1089	1136		
0.9				1764	1990	1970	
1.1					2901	2977	
1.3						4132	4015

Πίνακας 6.2.28 Μέση παραγόμενη ενέργεια κυλίνδρου με κάθετη ποδιά εκτοπίσματος $V=6.28m^3$

Mean Efficiency % cylinder skirt R=2 D=0.95 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	22.66	30.84	32.09	28.17			
0.5		30.42	31.15	28.62			
0.7			32.26	28.87	28.00		
0.9				28.28	29.68	24.82	
1.1					28.95	25.10	
1.3						24.95	22.08

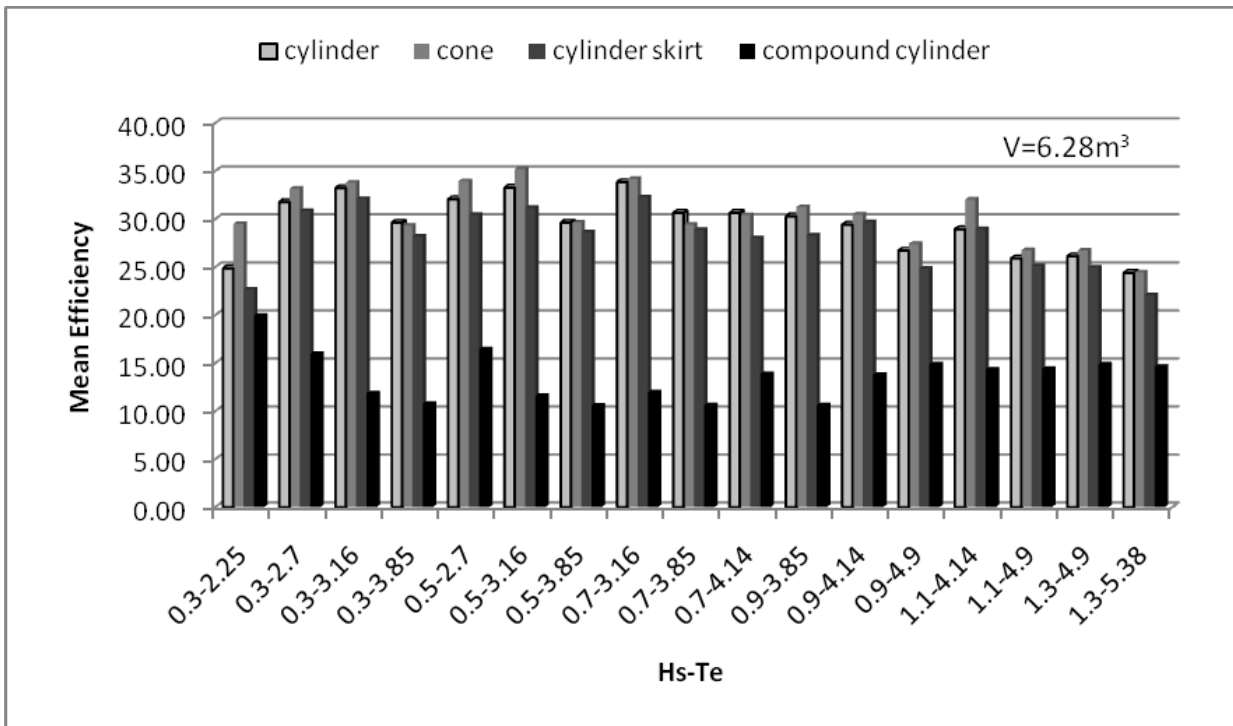
Πίνακας 6.2.29 Μέση απόδοση κυλίνδρου με κάθετη ποδιά εκτοπίσματος $V=6.28m^3$

Mean Produced Power [W] compound cylinder R=2.83 D=0.4 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	81	78	67	74			
0.5		222	183	204			
0.7			370	400	562		
0.9				662	924	1180	
1.1					1436	1708	
1.3						2459	2654

Πίνακας 6.2.30 Μέση παραγόμενη ενέργεια σύνθετου κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=6.28m^3$

Mean Efficiency % compound cylinder R=2.83 D=0.4 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	19.93	15.95	11.85	10.75			
0.5		16.43	11.59	10.58			
0.7			11.94	10.61	13.86		
0.9				10.62	13.77	14.87	
1.1					14.33	14.41	
1.3						14.85	14.60

Πίνακας 6.2.31 Μέση απόδοση σύνθετου κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=6.28m^3$



Διάγραμμα 6.1 Συγκριτικό διάγραμμα μέσης απόδοσης τεσσάρων γεωμετριών σταθερού εκτοπίσματος $V=6.28\text{m}^3$

$$\underline{V=12.57\text{m}^3}$$

Mean Wave Power [W] A=4m							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	405	486	569	693			
0.5		1350	1580	1925			
0.7			3097	3773	4057		
0.9				6237	6707	7938	
1.1					10019	11858	
1.3						16562	18184

Πίνακας 6.2.32 Μέση ενέργεια προσπίπτοντος κυματισμού για μέτωπο κυματισμού A=4m

Mean Produced Power [W] cylinder R=2 D=1 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	88	150	175	208			
0.5		412	504	543			
0.7			982	1070	1130		
0.9				1779	1971	2051	
1.1					2880	3049	
1.3						4173	4242

Πίνακας 6.2.33 Μέση παραγόμενη ενέργεια απλού κυλίνδρου εκτοπίσματος V=12.57m³

Mean Efficiency % [W] cylinder R=2 D=1 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	21.77	30.88	30.70	29.99			
0.5		30.50	31.88	28.23			
0.7			31.70	28.37	27.85		
0.9				28.53	29.39	25.83	
1.1					28.75	25.71	
1.3						25.20	23.33

Πίνακας 6.2.34 Μέση απόδοση απλού κυλίνδρου εκτοπίσματος V=12.57m³

Mean Produced Power [W] cone R=2 D=3 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	103	162	193	203			
0.5		443	538	572			
0.7			1041	1125	1243		
0.9				1843	2045	1995	
1.1					2998	3142	
1.3						4237	4509

Πίνακας 6.2.35 Μέση παραγόμενη ενέργεια κώνου εκτοπίσματος $V=12.57m^3$

Mean Efficiency % [W] cone R=2 D=3 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	25.35	33.26	33.90	29.28			
0.5		32.79	34.08	29.73			
0.7			33.63	29.80	30.64		
0.9				29.54	30.50	25.14	
1.1					29.92	26.50	
1.3						25.59	24.80

Πίνακας 6.2.36 Μέση απόδοση κώνου εκτοπίσματος $V=12.57m^3$

Mean Produced Power [W] cylinder skirt R=2 D=1.9 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	39	111	164	187			
0.5		331	477	523			
0.7			925	1066	1112		
0.9				1720	1758	1898	
1.1					2663	2813	
1.3						4063	4053

Πίνακας 6.2.37 Μέση παραγόμενη ενέργεια κυλίνδρου με κάθετη ποδιά εκτοπίσματος $V=12.57m^3$

Mean Efficiency % [W] cylinder skirt R=2 D=1.9 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	9.73	22.92	28.78	26.96			
0.5		24.51	30.20	27.19			
0.7			29.86	28.24	27.42		
0.9				27.57	26.21	23.91	
1.1					26.58	23.72	
1.3						24.53	22.29

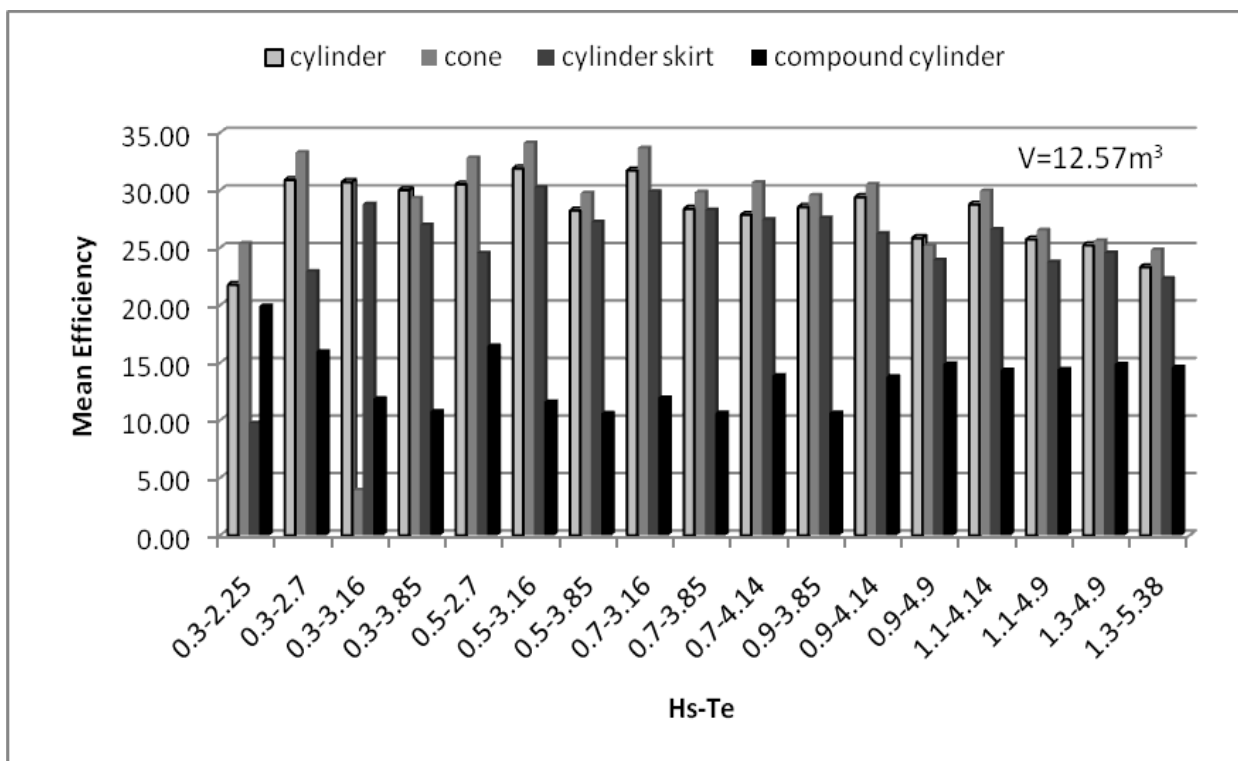
Πίνακας 6.2.38 Μέση απόδοση κυλίνδρου με κάθετη ποδιά εκτοπίσματος $V=12.57m^3$

Mean Produced Power [W] compound cylinder R=2.83 D=0.9 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	15	26	69	108			
0.5		74	193	295			
0.7			393	564	698		
0.9				915	1181	1282	
1.1					1749	1926	
1.3						2786	3039

Πίνακας 6.2.39 Μέση παραγόμενη ενέργεια σύνθετου κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=12.57m^3$

Mean Efficiency % compound cylinder R=2.83 D=0.9 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	3.68	5.31	12.17	15.60			
0.5		5.49	12.24	15.30			
0.7			12.70	14.96	17.20		
0.9				14.66	17.61	16.15	
1.1					17.45	16.24	
1.3						16.82	16.71

Πίνακας 6.2.40 Μέση απόδοση σύνθετου κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=12.57m^3$



Διάγραμμα 6.2 Συγκριτικό διάγραμμα μέσης απόδοσης τεσσάρων γεωμετριών σταθερού εκτοπίσματος $V=12.57m^3$

$$\underline{V=28.27\text{m}^3}$$

Mean Wave Power [W] A=6m							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	608	729	853	1040			
0.5		2025	2370	2888			
0.7			4645	5660	6086		
0.9				9356	10060	11907	
1.1					15028	17787	
1.3						24843	27277

Πίνακας 6.2.41 Μέση ενέργεια προσπίπτοντος κυματισμού για μέτωπο κυματισμού A=6m

Mean Produced Power [W] cylinder R=3 D=1 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	47	132	214	292			
0.5		354	612	823			
0.7			1181	1575	1990		
0.9				2568	3284	3584	
1.1					4931	5480	
1.3						7690	7849

Πίνακας 6.2.42 Μέση παραγόμενη ενέργεια απλού κυλίνδρου εκτοπίσματος V=28.27m³

Mean Efficiency % cylinder R=3 D=1 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	7.75	18.10	25.09	28.13			
0.5		17.47	25.82	28.51			
0.7			25.43	27.83	32.69		
0.9				27.45	32.65	30.10	
1.1					32.81	30.81	
1.3						30.95	28.77

Πίνακας 6.2.43 Μέση απόδοση απλού κυλίνδρου εκτοπίσματος V=28.27m³

Mean Produced Power [W] cone R=3 D=3 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	115	207	288	337			
0.5		584	793	910			
0.7			1587	1793	2074		
0.9				3007	3369	3759	
1.1					5073	5253	
1.3						7210	7672

Πίνακας 6.2.44 Μέση παραγόμενη ενέργεια κώνου εκτοπίσματος $V=28.27m^3$

Mean Efficiency % cone R=3 D=3 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.70	3.16	3.85	4.14	4.90	5.38
0.3	18.97	28.39	33.79	32.43			
0.5		28.83	33.45	31.51			
0.7			34.16	31.67	34.08		
0.9				32.14	33.49	31.57	
1.1					33.75	29.53	
1.3						29.02	28.13

Πίνακας 6.2.45 Μέση απόδοση κώνου εκτοπίσματος $V=28.27m^3$

Mean Produced Power [W] cylinder skirt R=3 D=1.93 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	32	134	230	312			
0.5		400	593	836			
0.7			1122	1718	1879		
0.9				2713	3064	3283	
1.1					4623	4981	
1.3						6812	7291

Πίνακας 6.2.46 Μέση παραγόμενη ενέργεια κυλίνδρου με κάθετη ποδιά εκτοπίσματος $V=28.27m^3$

Mean Efficiency % cylinder skirt R=3 D=1.93 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	5.20	18.32	26.93	29.99			
0.5		19.77	25.00	28.94			
0.7			24.15	30.35	30.87		
0.9				29.00	30.46	27.57	
1.1					30.76	28.00	
1.3						27.42	26.73

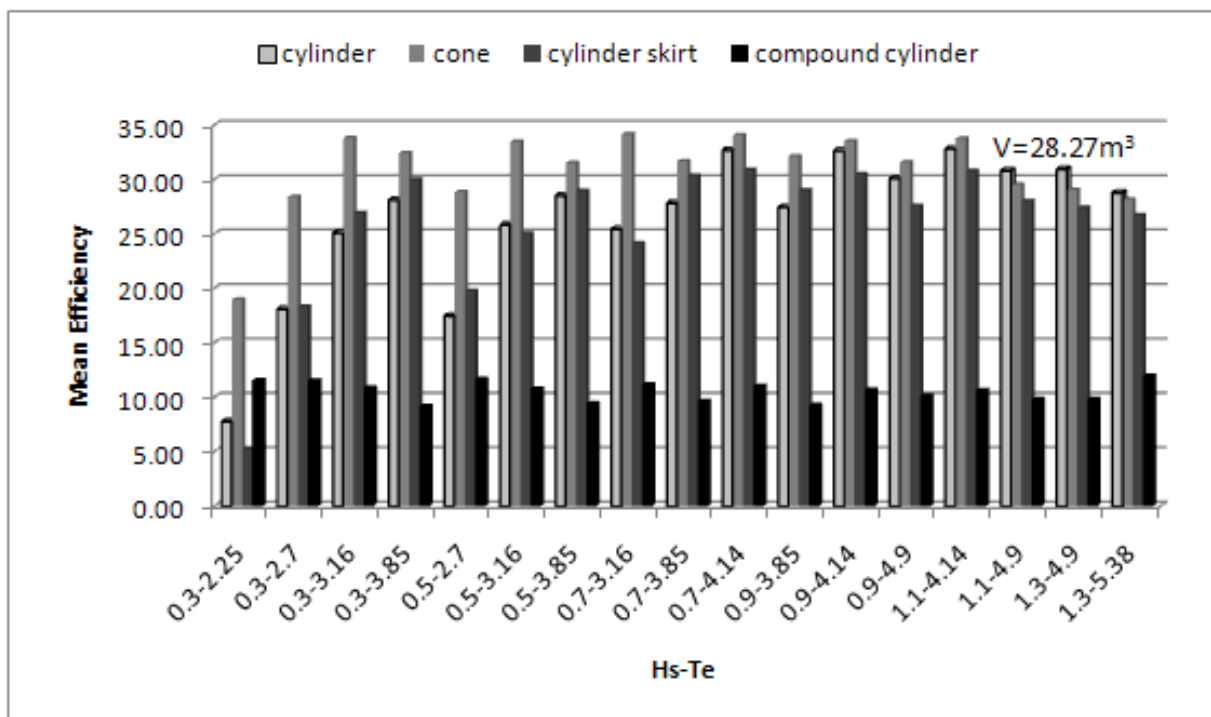
Πίνακας 6.2.47 Μέση απόδοση κυλίνδρου με κάθετη ποδιά εκτοπίσματος $V=28.27m^3$

Mean Produced Power [W] compound cylinder R=4.24 D=0.9 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	70	84	93	96			
0.5		236	256	272			
0.7			520	545	670		
0.9				868	1075	1209	
1.1					1601	1748	
1.3						2439	3271

Πίνακας 6.2.48 Μέση παραγόμενη ενέργεια σύνθετου κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=28.27m^3$

Mean Efficiency % compound cylinder R=4.24 D=0.9 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	11.57	11.53	10.88	9.21			
0.5		11.67	10.79	9.42			
0.7			11.19	9.63	11.01		
0.9				9.28	10.68	10.15	
1.1					10.65	9.83	
1.3						9.82	11.99

Πίνακας 6.2.49 Μέση απόδοση σύνθετου κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=28.27m^3$



Διάγραμμα 6.3 Συγκριτικό διάγραμμα μέσης απόδοσης τεσσάρων γεωμετριών σταθερού εκτοπίσματος $V=28.27m^3$

$$\underline{V=42.41\text{m}^3}$$

Mean Wave Power [W] A=6m							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.70	3.16	3.85	4.14	4.90	5.38
0.3	608	729	853	1040			
0.5		2025	2370	2888			
0.7			4645	5660	6086		
0.9				9356	10060	11907	
1.1					15028	17787	
1.3						24843	27277

Πίνακας 6.2.50 Μέση ενέργεια προσπίπτοντος κυματισμού για μέτωπο κυματισμού A=6m

Mean Produced Power [W] cylinder R=3 D=1.5 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	54	168	254	325			
0.5		451	737	901			
0.7			1478	1720	1900		
0.9				2864	3154	3482	
1.1					5114	5274	
1.3						7389	7044

Πίνακας 6.2.51 Μέση παραγόμενη ενέργεια απλού κυλίνδρου εκτοπίσματος V=42.41m³

Mean Efficiency % cylinder R=3 D=1.5 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	8.83	23.06	29.80	31.26			
0.5		22.29	31.09	31.22			
0.7			31.82	30.38	31.21		
0.9				30.61	31.35	29.24	
1.1					34.03	29.65	
1.3						29.74	25.82

Πίνακας 6.2.52 Μέση απόδοση απλού κυλίνδρου εκτοπίσματος V=42.41m³

Mean Produced Power [W] cone R=3 D=4.5 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	94	198	267	348			
0.5		519	768	948			
0.7			1487	1813	2117		
0.9				3102	3530	3624	
1.1					4943	5437	
1.3						7295	7977

Πίνακας 6.2.53 Μέση παραγόμενη ενέργεια κώνου εκτοπίσματος $V=42.41m^3$

Mean Efficiency % cone R=3 D=4.5 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	15.50	27.15	31.31	33.48			
0.5		25.63	32.40	32.83			
0.7			32.01	32.04	34.79		
0.9				33.16	35.09	30.44	
1.1					32.89	30.57	
1.3						29.37	29.25

Πίνακας 6.2.54 Μέση απόδοση κώνου εκτοπίσματος $V=42.41m^3$

Mean Produced Power [W] cylinder skirt R=3 D=2.9 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	10	71	183	289			
0.5		187	522	804			
0.7			1002	1539	1936		
0.9				2618	3054	3432	
1.1					4910	5261	
1.3						7496	7506

Πίνακας 6.2.55 Μέση παραγόμενη ενέργεια κυλίνδρου με κάθετη ποδιά εκτοπίσματος $V=42.41m^3$

Mean Efficiency % cylinder skirt R=3 D=2.9 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	1.72	9.80	21.50	27.82			
0.5		9.23	22.04	27.84			
0.7			21.58	27.20	31.81		
0.9				27.98	30.36	28.82	
1.1					32.67	29.58	
1.3						30.17	27.52

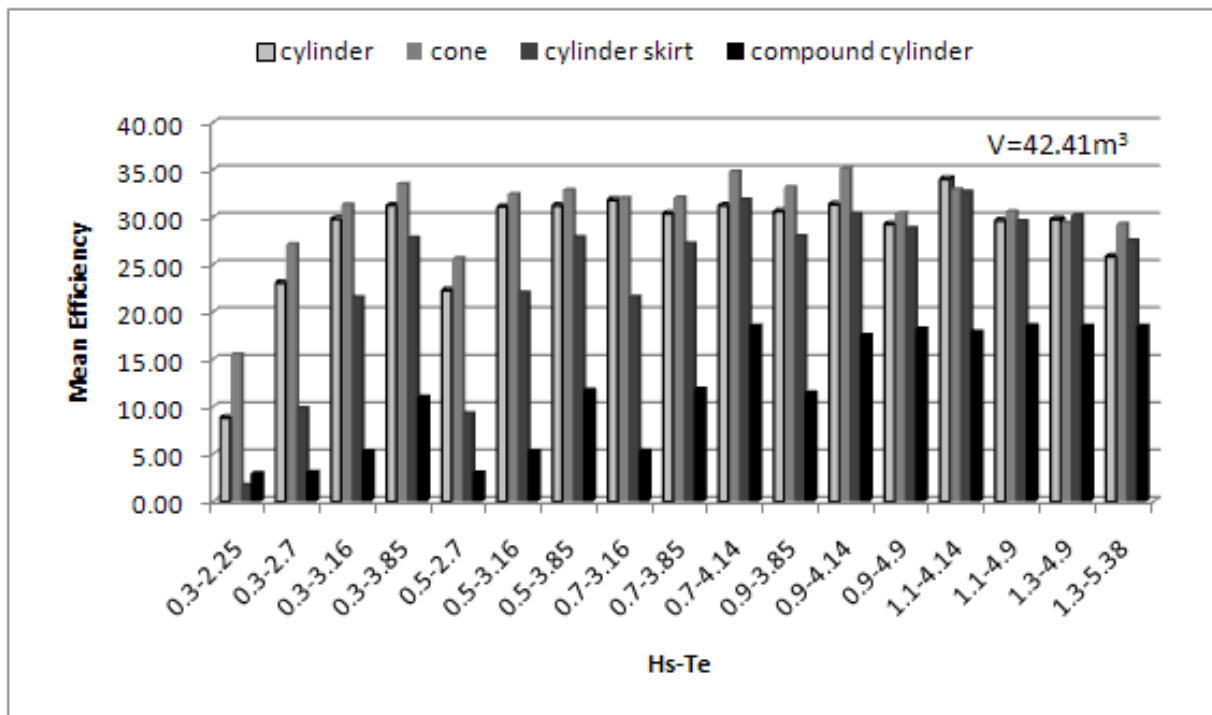
Πίνακας 6.2.56 Μέση απόδοση κυλίνδρου με κάθετη ποδιά εκτοπίσματος $V=42.41m^3$

Mean Produced Power [W] compound cylinder R=4,24 D=1.4 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	18	22	45	114			
0.5		61	126	340			
0.7			247	670	1126		
0.9				1071	1765	2166	
1.1					2683	3301	
1.3						4599	5041

Πίνακας 6.2.57 Μέση παραγόμενη ενέργεια σύνθετου κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=42.41m^3$

Mean Efficiency % compound cylinder R=4,24 D=1.4 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	2.98	3.07	5.28	11.01			
0.5		3.00	5.31	11.76			
0.7			5.32	11.84	18.50		
0.9				11.44	17.54	18.19	
1.1					17.86	18.56	
1.3						18.51	18.48

Πίνακας 6.2.58 Μέση απόδοση σύνθετου κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=42.41m^3$



Διάγραμμα 6.4 Συγκριτικό διάγραμμα μέσης απόδοσης τεσσάρων γεωμετριών σταθερού εκτοπίσματος $V=42.41m^3$

$$\underline{V=50.27\text{m}^3}$$

Mean Wave Power [W] A=8m							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	810	972	1138	1386			
0.5		2700	3160	3850			
0.7			6194	7546	8115		
0.9				12474	13414	15876	
1.1					20038	23716	
1.3						33124	36369

Πίνακας 6.2.59 Μέση ενέργεια προσπίπτοντος κυματισμού για μέτωπο κυματισμού A=8m

Mean Produced Power [W] cylinder R=4 D=1.0 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	89	213	312	405			
0.5		592	890	1090			
0.7			1772	2229	2574		
0.9				3632	4409	4707	
1.1					6422	6710	
1.3						10034	10900

Πίνακας 6.2.60 Μέση παραγόμενη ενέργεια απλού κυλίνδρου εκτοπίσματος V=50.27m³

Mean efficiency % cylinder R=1 D=4.0 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	10.94	21.93	27.45	29.19			
0.5		21.93	28.17	28.32			
0.7			28.61	29.54	31.72		
0.9				29.12	32.87	29.65	
1.1					32.05	28.29	
1.3						30.29	29.97

Πίνακας 6.2.61 Μέση απόδοση απλού κυλίνδρου εκτοπίσματος V=50.27m³

Mean Produced Power [W] cone R=4 D=3.0 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	117	233	358	429			
0.5		641	940	1265			
0.7			1885	2538	2740		
0.9				4194	4798	5250	
1.1					7145	7977	
1.3						10823	11723

Πίνακας 6.2.62 Μέση παραγόμενη ενέργεια κώνου εκτοπίσματος $V=50.27m^3$

Mean efficiency % cone R=4 D=3.0 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	14.48	23.97	31.50	30.94			
0.5		23.75	29.76	32.85			
0.7			30.43	33.64	33.76		
0.9				33.62	35.77	33.07	
1.1					35.66	33.63	
1.3						32.68	32.23

Πίνακας 6.2.63 Μέση απόδοση κώνου εκτοπίσματος $V=50.27m^3$

Mean Produced Power [W] cylinder skirt R=4 D=1.95 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	30	142	293	405			
0.5		398	817	1196			
0.7			1561	2203	2797		
0.9				3867	4709	5124	
1.1					6845	7628	
1.3						10292	11618

Πίνακας 6.2.64 Μέση παραγόμενη ενέργεια κυλίνδρου με κάθετη ποδιά εκτοπίσματος $V=50.27m^3$

Mean efficiency % cylinder skirt R=4 D=1.95 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	3.70	14.60	25.76	29.23			
0.5		14.74	25.85	31.07			
0.7			25.20	29.19	34.46		
0.9				31.00	35.10	32.28	
1.1					34.16	32.16	
1.3						31.07	31.94

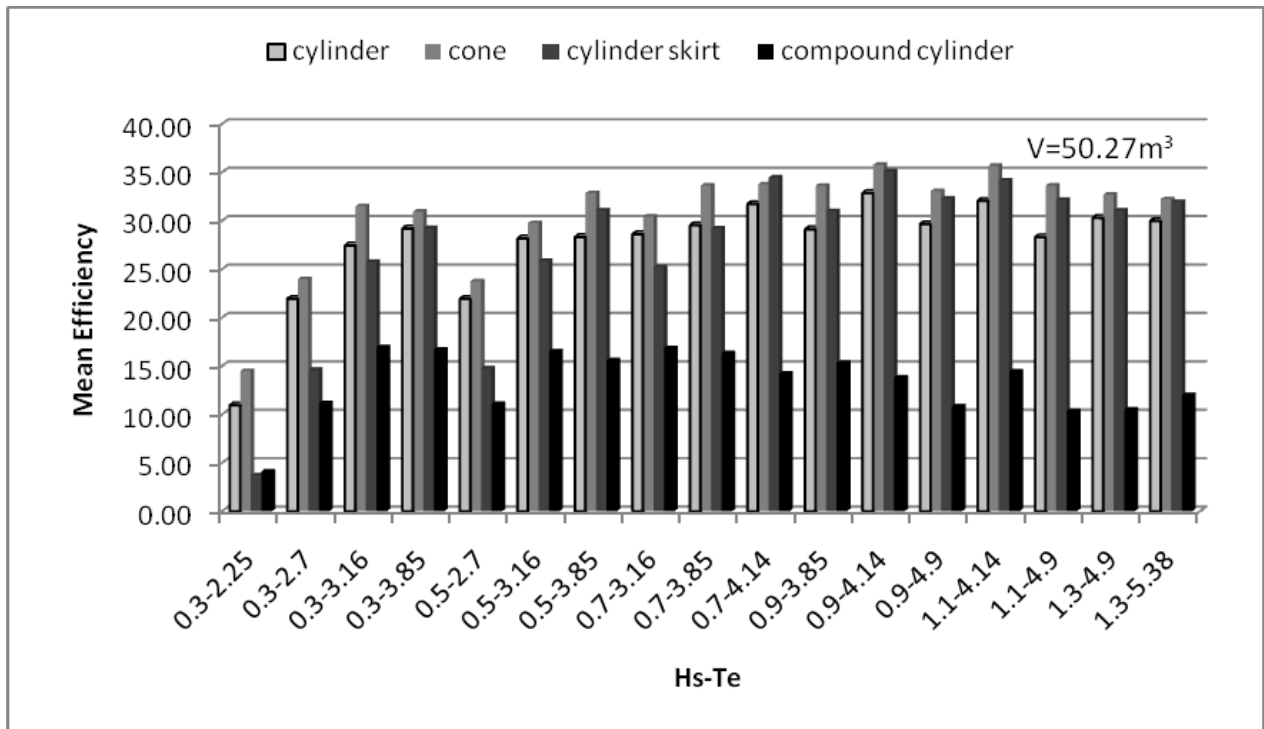
Πίνακας 6.2.65 Μέση απόδοση κυλίνδρου με κάθετη ποδιά εκτοπίσματος $V=50.27m^3$

Mean Produced Power [W] compound cylinder R=5.66 D=0.9 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	33	108	193	231			
0.5		299	522	601			
0.7			1043	1232	1153		
0.9				1913	1853	1715	
1.1					2889	2456	
1.3						3476	4359

Πίνακας 6.2.66 Μέση παραγόμενη ενέργεια σύνθετου κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=50.27m^3$

Mean efficiency % compound cylinder R=5.66 D=0.9 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	4.11	11.16	16.95	16.69			
0.5		11.08	16.51	15.60			
0.7			16.83	16.33	14.21		
0.9				15.33	13.82	10.81	
1.1					14.42	10.36	
1.3						10.49	11.99

Πίνακας 6.2.67 Μέση απόδοση σύνθετου κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=50.27m^3$



Διάγραμμα 6.5 Συγκριτικό διάγραμμα μέσης απόδοσης τεσσάρων γεωμετριών σταθερού εκτοπίσματος $V=50.27m^3$

$$\underline{V=75.4\text{m}^3}$$

Mean Wave Power [W] A=8m							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	810	972	1138	1386			
0.5		2700	3160	3850			
0.7			6194	7546	8115		
0.9				12474	13414	15876	
1.1					20038	23716	
1.3						33124	36369

Πίνακας 6.2.68 Μέση ενέργεια προσπίπτοντος κυματισμού για μέτωπο κυματισμού A=8m

Mean Produced Power [W] cylinder R=4 D=1.5 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	44	172	293	424			
0.5		472	787	1148			
0.7			1555	2314	2646		
0.9				3739	4392	4786	
1.1					6734	7270	
1.3						9706	11244

Πίνακας 6.2.69 Μέση παραγόμενη ενέργεια απλού κυλίνδρου εκτοπίσματος V=75.4m³

Mean efficiency % cylinder R=4 D=1.5 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	5.46	17.67	25.75	30.56			
0.5		17.48	24.90	29.81			
0.7			25.10	30.66	32.60		
0.9				29.98	32.74	30.15	
1.1					33.60	30.65	
1.3						29.30	30.92

Πίνακας 6.2.70 Μέση απόδοση απλού κυλίνδρου εκτοπίσματος V=75.4m³

Mean Produced Power [W] cone R=4 D=4.5 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	89	207	346	440			
0.5		589	926	1173			
0.7			1717	2492	2610		
0.9				3932	4563	5136	
1.1					6691	7739	
1.3						10592	11962

Πίνακας 6.2.71 Μέση παραγόμενη ενέργεια κώνου εκτοπίσματος $V=75.4m^3$

Mean efficiency % cone R=4 D=4.5 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	10.99	21.30	30.40	31.76			
0.5		21.81	29.32	30.47			
0.7			27.72	33.02	32.16		
0.9				31.52	34.02	32.35	
1.1					33.39	32.63	
1.3						31.98	32.89

Πίνακας 6.2.72 Μέση απόδοση κώνου εκτοπίσματος $V=75.4m^3$

Mean Produced Power [W] cylinder skirt R=4 D=2.9 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	9	67	202	370			
0.5		193	576	1052			
0.7			1100	2015	2622		
0.9				3319	4521	5043	
1.1					6213	7174	
1.3						10739	11143

Πίνακας 6.2.73 Μέση παραγόμενη ενέργεια κυλίνδρου με κάθετη ποδιά εκτοπίσματος $V=75.4m^3$

Mean efficiency % cylinder skirt R=4 D=2.9 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	1.10	6.89	17.71	26.72			
0.5		7.16	18.22	27.32			
0.7			17.75	26.70	32.31		
0.9				26.61	33.70	31.76	
1.1					31.00	30.25	
1.3						32.42	30.64

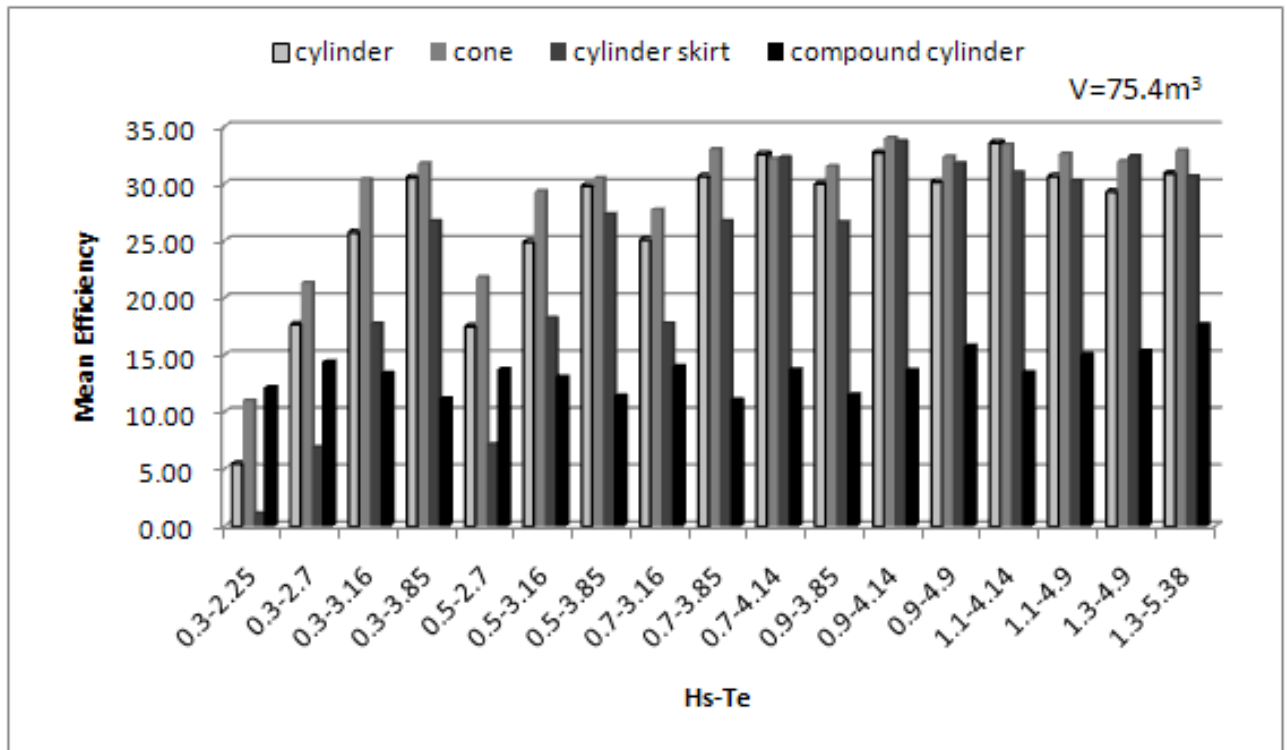
Πίνακας 6.2.74 Μέση απόδοση κυλίνδρου με κάθετη ποδιά εκτοπίσματος $V=75.4m^3$

Mean Produced Power [W] compound cylinder R=5.66 D=1.4 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	98	140	153	155			
0.5		371	413	440			
0.7			868	837	1113		
0.9				1438	1833	2503	
1.1					2695	3564	
1.3						5076	6425

Πίνακας 6.2.75 Μέση παραγόμενη ενέργεια σύνθετου κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=75.4m^3$

Mean efficiency % compound cylinder R=5.66 D=1.4 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	12.16	14.41	13.41	11.15			
0.5		13.74	13.06	11.44			
0.7			14.02	11.09	13.71		
0.9				11.52	13.67	15.77	
1.1					13.45	15.03	
1.3						15.33	17.67

Πίνακας 6.2.76 Μέση απόδοση σύνθετου κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=75.4m^3$



Διάγραμμα 6.6 Συγκριτικό διάγραμμα μέσης απόδοσης τεσσάρων γεωμετριών σταθερού εκτοπίσματος $V=75.4m^3$

ΣΧΟΛΙΑ- ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σχόλια- Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία στόχος ήταν να διαπιστωθεί, από ένα σύνολο τεσσάρων γεωμετριών ανωστικών σωμάτων (τα οποία είναι προσαρτημένα σε μηχανισμό απόληξης ενέργειας, όπως αυτός παρουσιάζεται στο κεφάλαιο ΙΙΙ), ποιά είναι εκείνη που μπορεί να αποδώσει καλύτερα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, εκμεταλλευόμενη τους επιφανειακούς θαλάσσιους κυματισμούς. Για το σκοπό αυτό έγινε χρήση, ήδη ανεπτυγμένων κωδίκων, αρχικά για την υδροδυναμική ανάλυση των γεωμετριών (στο πεδίο των συχνοτήτων) και έπειτα για ενεργειακή αξιολόγησή τους (στο πεδίο των χρόνων). Η σύγκριση μεταξύ των γεωμετριών έγινε για σταθερούς εκτοπιζόμενους όγκους καθώς και για σταθερή ακτίνα αδιαστατοποίησης (μέγιστη ακτίνα με την οποία επιπλέει το ανωστικό σώμα). Οι όγκοι αυτοί ξεκινούν από τιμή 6.28m^3 και φτάνουν μέχρι και 75.4m^3 , ενώ οι ακτίνες είναι 2,3 και 4 m.

Η προσομοίωση του θαλάσσιου περιβάλλοντος έγινε με τη χρήση ενός φάσματος κυματισμών, τύπου Bretshneider, το οποίο προσεγγίζει την κατάσταση θάλασσας που επικρατεί στη Μεσόγειο. Όλες οι γεωμετρίες εξετάστηκαν στο περιβάλλον αυτό προκειμένου να βρεθεί αυτή που ανταποκρίνεται καλύτερα σε όλο το φάσμα.

Και για τις τέσσερις υπό εξέταση γεωμετρίες παρατηρούνται σχετικά χαμηλές τιμές απόδοσης για μεγάλες τιμές της ενεργειακής περιόδου, αναφορικά με μικρές τιμές εκτοπιζόμενου όγκου. Καθώς μεταβαίνουμε σε μεγαλύτερους εκτοπιζόμενους όγκους το φαινόμενο αυτό αρχίζει να αντιστρέφεται. Έτσι παρατηρείται και μετατόπιση των μέγιστων αποδόσεων σε μεγαλύτερες τιμές ενεργειακής συχνότητας.

Σε επίπεδο διαφορετικών εκτοπισμάτων γίνεται αντιληπτό ότι εν γένει μεγάλα εκτοπίσματα, για κάθε τύπο ανωστικού σώματος, έχουν ευεργετικά αποτελέσματα στην απόδοση αν και αυτό δείχνει να έχει ένα άνω φράγμα, από το οποίο και έπειτα η απόδοση δεν αυξάνεται. Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα για μικρά εκτοπίσματα, της τάξης των 10m^3 , η απόδοση μπορεί να είναι ικανοποιητική, αλλά εκτείνεται σε μικρό κομμάτι καταστάσεων θάλασσας (μικρές τιμές συνδυασμού ενεργειακής περιόδου και σημαντικού ύψους κύματος). Για τιμές εκτοπισμάτων της τάξης των $40-50\text{m}^3$ το εύρος ικανοποιητικής απόδοσης είναι σημαντικά μεγαλύτερο. Στην περίπτωση αυτή οι συνδυασμοί ενεργειακής περιόδου και σημαντικού ύψους κύματος είναι περισσότεροι κάτι που καταδεικνύει αποδοτικότητα σε μεγαλύτερο φάσμα καταστάσεων θάλασσας. Τέλος για την περίπτωση του μεγαλύτερου εκτοπίσματος των 75m^3 οι μέγιστες αποδόσεις έχουν μετατοπιστεί σε μεγάλες τιμές της ενεργειακής περιόδου, χωρίς όμως αυτό να παρατηρείται και στο υπόλοιπο κομμάτι συνδυασμών.

Σε επίπεδο σταθερού εκτοπιζόμενου όγκου και σταθερής ακτίνας παρατηρείται ότι η γεωμετρία του κώνου και η γεωμετρία του απλού κυλίνδρου είναι η πιο αποδοτικές από όλες τις εξεταζόμενες. Οι υπόλοιπες δύο γεωμετρίες παρουσιάζουν χαμηλότερη απόδοση, με τη γεωμετρία του σύνθετου κυλίνδρου να παρουσιάζει τη μικρότερη. Το γεγονός αυτό οφείλεται στις χαμηλές τιμές της υδροδυναμικής απόσβεσης και δύναμης διέγερσης καθώς και σε μηδενισμούς, χαρακτηριστικά που παρουσιάζει η γεωμετρία στο εξεταζόμενο φάσμα συχνοτήτων. Η γεωμετρία του κυλίνδρου με κάθετη ποδιά συμπεριφέρεται παρόμοια με αυτή του απλού κυλίνδρου και σε συγκεκριμένες περιπτώσεις παρουσιάζει καλύτερη απόδοση.

Η γεωμετρία του κώνου με εξωτερικό δακτυλιοειδές στοιχείο που παρουσιάζεται σε ξεχωριστό παράρτημα, παρουσιάζει για όλους τους εκτοπιζόμενους όγκους μεγαλύτερη απόδοση από κάθε άλλη γεωμετρία. Η απόδοσή του για μικρές τιμές της ενεργειακής περιόδου παρουσιάζεται πολύ μειωμένη, παρόλα αυτά για μεγαλύτερες τιμές της ενεργειακής περιόδου και σημαντικού ύψους κύματος βελτιώνεται σημαντικά.

Θα πρέπει να παρατηρηθεί ότι την παραγωγή των αποτελεσμάτων επηρεάζεται άμεσα, από την επιλογή του γραμμικού συντελεστή απόσβεσης. Σε όλες τις περιπτώσεις των εξεταζόμενων γεωμετριών ο συντελεστής αυτός έχει επιλεγεί κατάλληλα, ώστε να μεγιστοποιείται η απορροφόμενη ενέργεια.

Στο παράρτημα II, όπου παρουσιάζονται αποτελέσματα στα οποία έχει γίνει χρήση σταθερού συντελεστή γραμμικής απόσβεσης, είναι φανερό η υποεκτίμηση της ικανότητας της εκάστοτε γεωμετρίας στην παραγωγή ενέργειας. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι, ειδικά για μεγάλες τιμές της ενεργειακής περιόδου η απόκλιση σχετικά με την ενεργειακή παραγωγή του κεφαλαίου 6, φτάνει ακόμα και στο διπλάσιο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Μαυράκος, Σ. Α. (2007). Θαλάσσια Ενέργεια, παρουσίαση στα πλαίσια ημερίδας *Η Συμβολή της Σχολής ΝΜΜ του ΕΜΠ στη Ναυπηγική & Θαλάσσια Βιομηχανία & Ναυτιλία*, Αθήνα, Ευγενίδειο Ίδρυμα.
- [2] The Economist (print edition). (2008). "Wave Power, The coming wave." From: http://www.economist.com/search/displaystory.cfm?story_id=11482565.
- [3] Centre for Renewable Energy Sources (CRES) (2002). Wave energy Utilization in Europe :Current Status and Perspectives. European Thematic Network on Wave Energy
- [4] Centre for Renewable Energy Sources (CRES) (2006). Ocean Energy Conversion in Europe: Recent advancements and prospects Athens, Centre for Renewable Energy Sources
- [5] Kokkinowrachos, K., Asorakos, S. , Mavrakos, S.A., (1980). "Belastungen und Bewegungen grossvolumiger Seebauwerke durch Wellen", West- Deutscher Verlag, Opladen, Germany.
- [6] Miles, J. and Gilbert, F. (1968). "Scattering of gravity waves by a circular dock." *Fluid Mechanics* **34**(IV): 783-793.
- [7] Garrett, C. J. R. (1971). "Wave forces on a circular dock." *Fluid Mechanics* **46**(I): 129-139.
- [8] Kokkinowrachos, K. (1978). "Hydrodynamic analysis of large offshore structures" *5th Int. Ocean Development*, Tokyo, Japan, sep.
- [9] Yeung, R. W. (1981). "Added mass and damping of a vertical cylinder in finite-depth waters", *Applied Ocean Research*, **3**, 119-133.
- [10] Kokkinowrachos, K., Mavrakos, S.A., Asorakos,S. Behavior of vertical bodies of revolution in waves, *Ocean Engineering*, **13**(6), 505-538, 1986.
- [11] Abramovitz, M. and Stegun, I.A. 1970. *Handbook of Mathematical Functions*, 9th edn. Dover Publications, New York

- [12] Mavrakos, S.A. and Katsaounis G.M. . Parametric Evaluation of the Performance Characteristics of Tightly Moored Wave Energy Converters, in *Proc 24th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering(OMAE)*, Halkidiki, Greece, 2005.
- [13] Falnes, J., “Ocean waves and oscillating systems”, Cambridge University press 2002.
- [14] Mavrakos, S.A., Katsaounis, G.M., Nielsen, K. and Lemonis, G. . Numerical Performance Investigation of an Array of Heaving Wave Power Converters in Front of a Vertical Breakwater in *Proc. Int. Symp. On Offshore and Polar Engineering (ISOPE)*, Toulon, France, 2004.
- [15] Cummins, W.E. (1962). “The Impulse Response function and ship motions”, Schiffsteshnik, **9**.
- [16] Ogilvie, T.F. (1964). “Recent progress toward the understanding and prediction of ship motions”, Proceedings, *5th Symposium on Naval Hydrodynamics*, Bergen, Norway.
- [17] Faltinsen, O.M. (1990). “Sea loads on Ship and Offshore Structures”. Cambridge University press
- [18] Eidsmoen, H., “Simulation of a Tight Moored Heaving-Float Wave-Energy Converter” OWEC-1 project, Annex II, Float Systems 1996.
- [19] Bathe, K. J. (1992). ‘Finite Element Procedures’, Prentice-Hall, New Jersey.
- [20] Mavrakos, S.A., Katsaounis, G.M., Apostolidis, S.A. . Effect of Floaters’ Geometry on the Performance Characteristics of Tightly Moored Wave Energy Converters in *Proc 28th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering(OMAE)*, Hawaii, USA, 2009

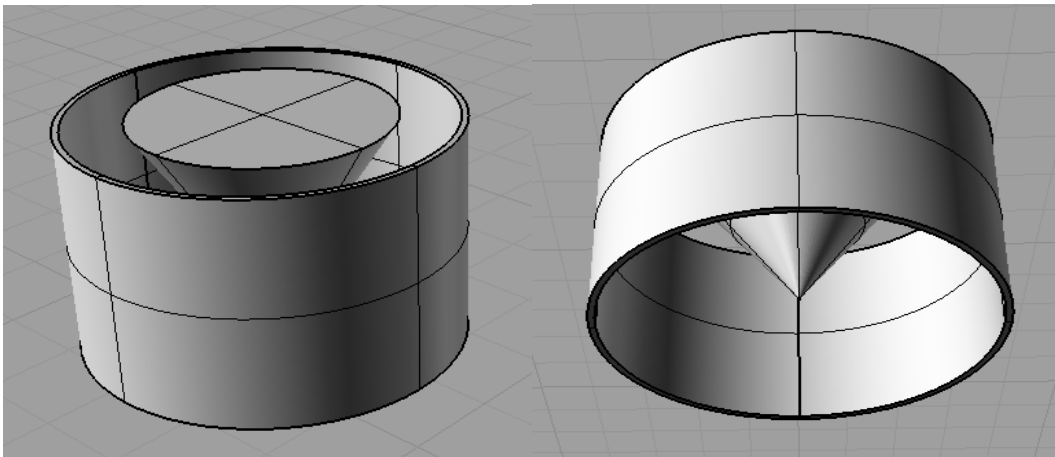
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

1.1 Υδροδυναμική ανάλυση γεωμετρίας κώνου με εξωτερικό δακτυλιοειδές στοιχείο

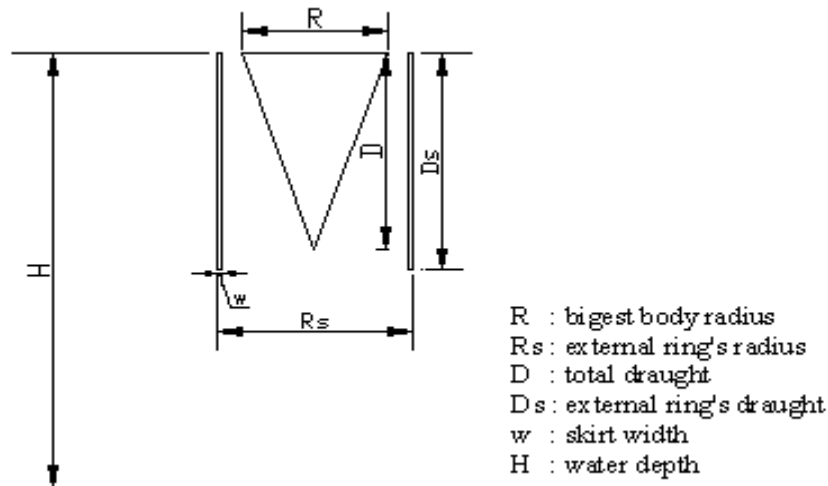
Στο κομμάτι αυτό παρουσιάζεται η υδροδυναμική ανάλυση και ενεργειακή αξιολόγηση μιας εναλλακτικής γεωμετρίας (πέμπτης κατά σειρά). Η γεωμετρία αυτή αποτελεί ένα σύνθετο ανωστικό σώμα, που αποτελείται από έναν κώνο, όμοιο με αυτό που περιγράφηκε στα προηγούμενα κεφάλαια της εργασίας, ο οποίος περιβάλλεται από ένα ομόκεντρο δακτυλιοειδές στοιχείο. Η κατακόρυφη αυτή «ποδιά» έχει αμελητέο πάχος και βύθισμα μεγαλύτερο από αυτό του κώνου. Τα δύο σώματα αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, ενώ κατά την ανάλυση θεωρείται ότι εσωτερικός κώνος είναι εκείνος που κινείται και συμβάλλει στην παραγωγή ενέργειας. Αντίθετα το εξωτερικό δακτυλιοειδές στοιχείο παραμένει ακίνητο και δε συμμετέχει στην παραγωγή ενέργειας.

Κατά την υδροδυναμική ανάλυση χρησιμοποιήθηκε κώδικας αντίστοιχος με εκείνον για τις γεωμετρίες που αναλύθηκαν προηγούμενα, εμπλουτισμένος όμως ώστε να λαμβάνει υπ' όψιν την αλληλεπίδραση των δύο σωμάτων. Επίσης αναφέρεται ότι όλα τα υδροδυναμικά αποτελέσματα αφορούν βάθος νερού δέκα μέτρων ($H=10\text{m}$).

Αναφορικά με την ενεργειακή αξιολόγηση, έγινε χρήση των κωδίκων προσομοίωσης όπως αυτοί περιγράφηκαν στα κεφάλαια 4.2 και 4.3, ενώ και σε αυτή την περίπτωση γεωμετρίας, το ανωστικό σώμα (κώνος) θεωρείται ελεύθερο να κινείται στη κατακόρυφη μόνο κίνηση και περιορισμένο στις υπόλοιπες τέσσερις βαθμούς ελευθερίας (μεταφορικές κινήσεις στους άξονες x,y και περιστροφικές κινήσεις γύρω από τους άξονες x,y). Η ενέργεια λαμβάνεται μόνο από την καθ' ύψος κίνηση και σε αυτή την περίπτωση της γεωμετρίας.



Εικόνα 1.1 Τρισδιάστατη αναπαράσταση γεωμετρίας κώνου με εξωτερικό δακτυλιοειδές στοιχείο



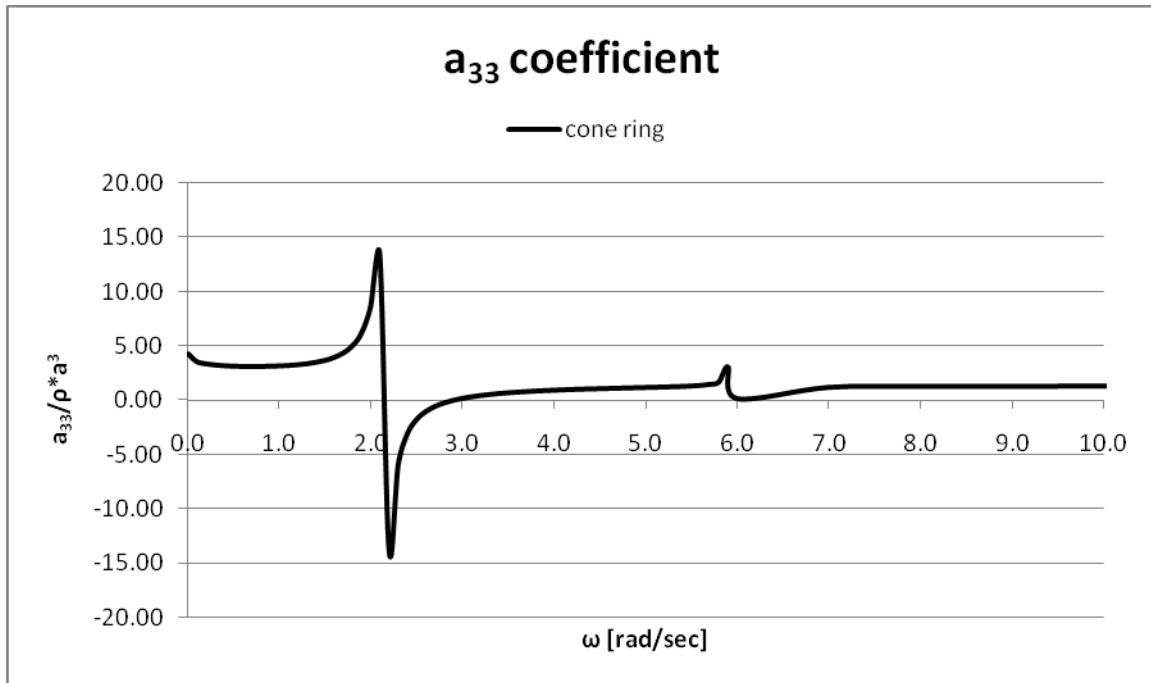
Εικόνα I.2 Διαστασιολόγηση γεωμετρίας κώνου με εξωτερικό δακτυλιοειδές στοιχείο

Βασικές Διαστάσεις Εσωτερικού κώνου			Βασικές Διαστάσεις Εξωτερικού δακτυλιοειδούς στοιχείου		
Εκτοπιζόμενος Όγκος V [m^3]	Ακτίνα κώνου R [m]	Βύθισμα κώνου D [m]	Ακτίνα δακτυλιδιού R_s [m]	Βύθισμα δακτυλιδιού D_s [m]	πάχος δακτυλιδιού w [m]
6.28	2.00	1.50	3.00	2.00	0.10
12.57	2.00	3.00	3.00	3.50	0.10
28.27	3.00	3.00	4.00	3.50	0.10
42.41	3.00	4.50	4.00	5.00	0.10
50.27	4.00	3.00	5.00	3.50	0.10
75.4	4.00	4.50	5.00	5.00	0.10

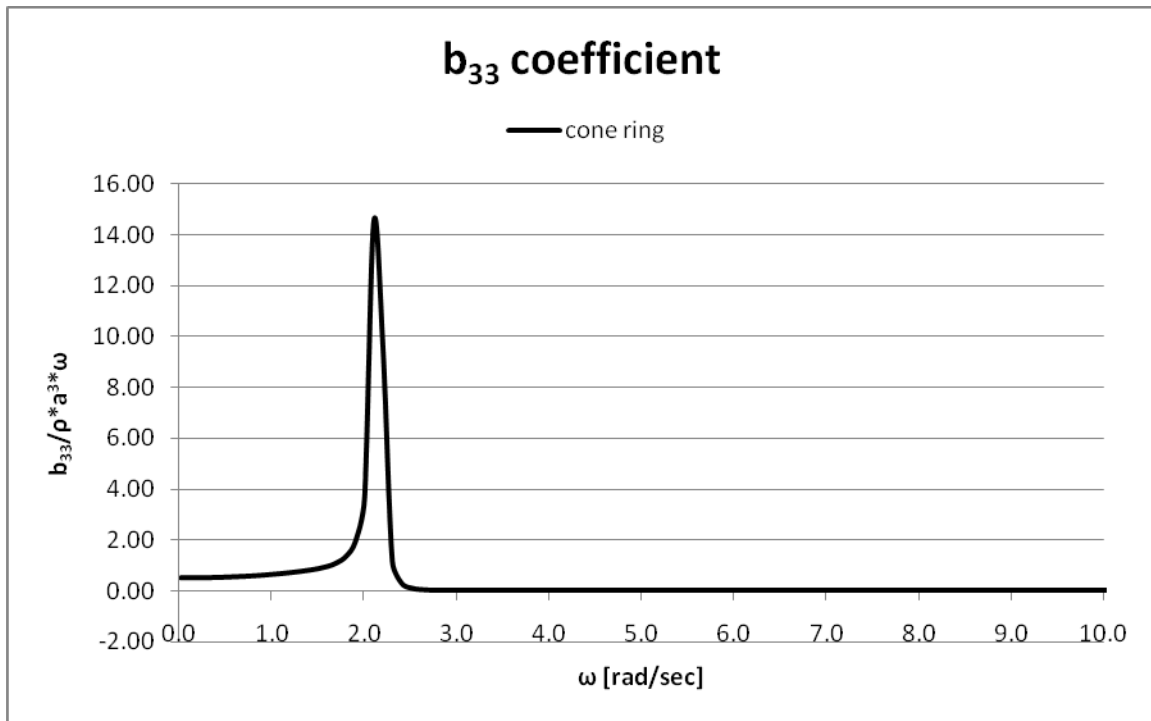
Πίνακας I.1 Βασικές διαστάσεις γεωμετρίας κώνου με εξωτερικό δακτυλιοειδές στοιχείο

Σημείωση: Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στις παρακάτω ενότητες, υδροδυναμικά και αντίστοιχα ενεργειακά, έχουν παραχθεί για σταθερό βάθος νερού $H=10m$.

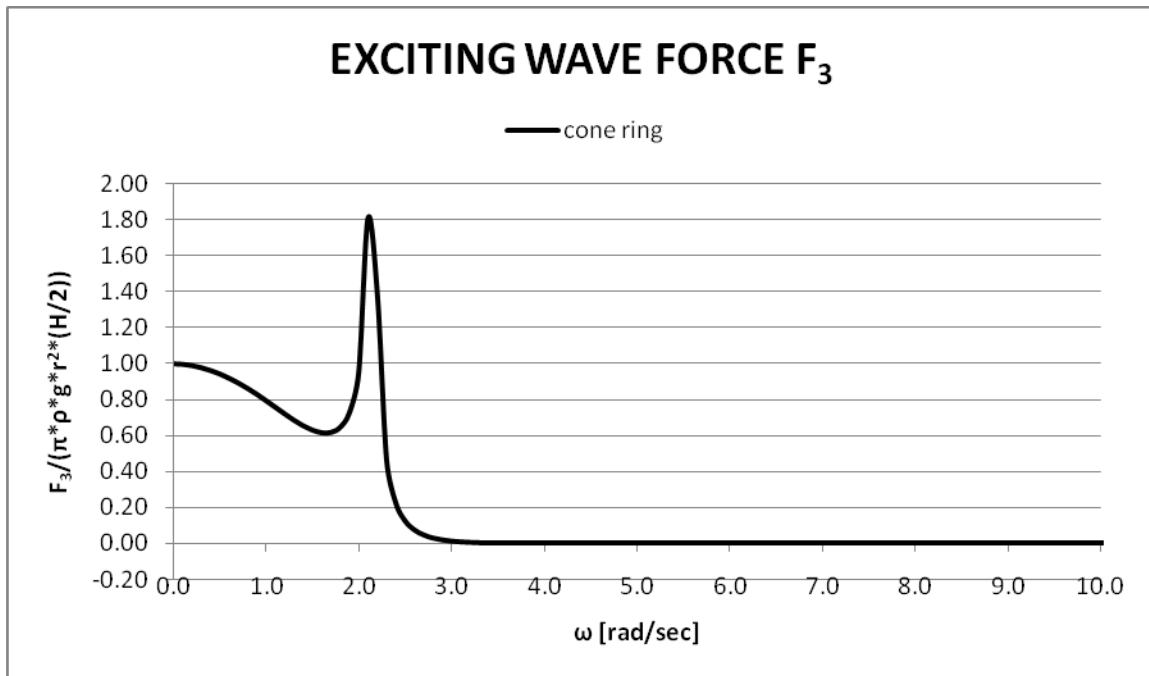
$$V=6.28m^3$$



Διάγραμμα I.1 Αδιάστατος συντελεστής πρόσθετης μάζας αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=6.28m^3$)

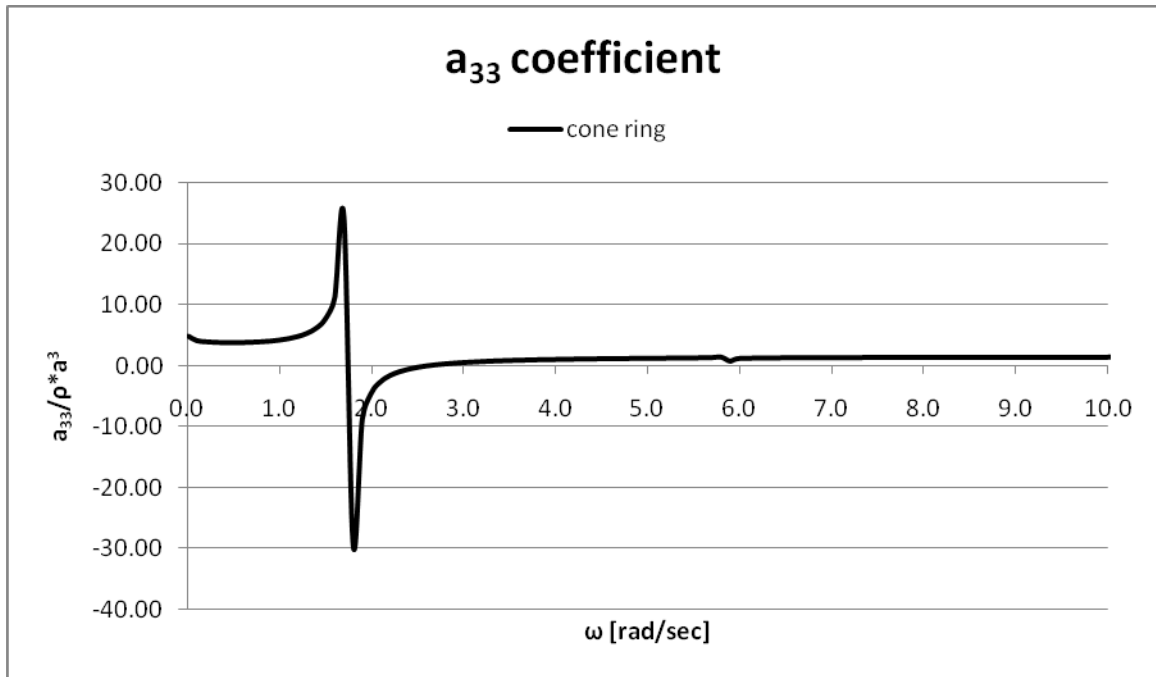


Διάγραμμα I.2 Αδιάστατος συντελεστής υδροδυναμικής απόσβεσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=6.28m^3$)

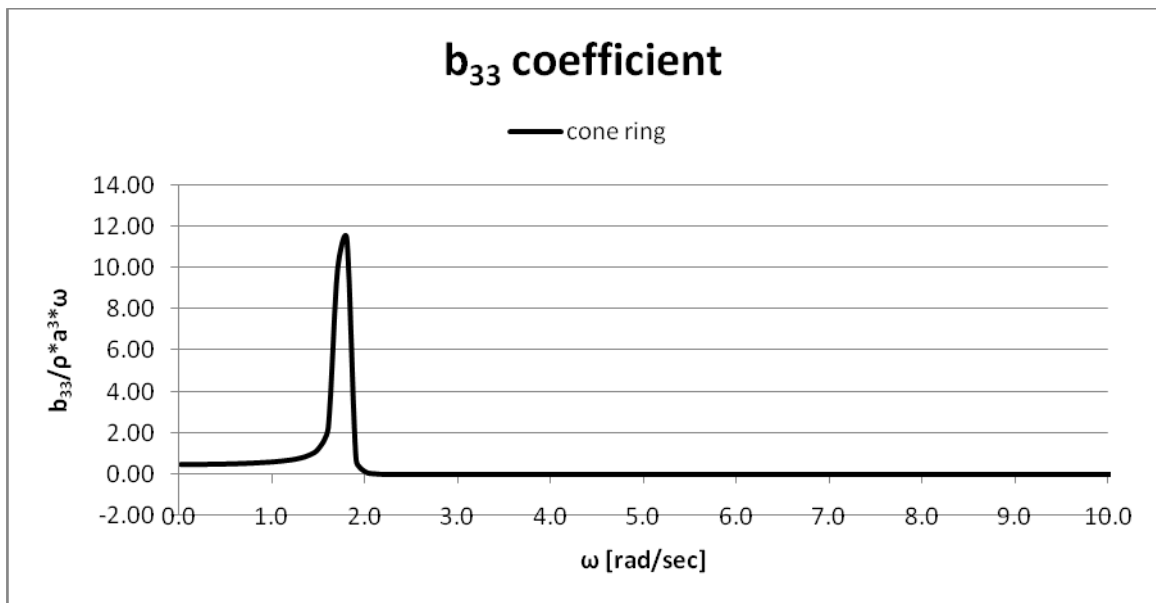


Διάγραμμα I.3 Δύναμη διέγερσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=6.28m^3$)

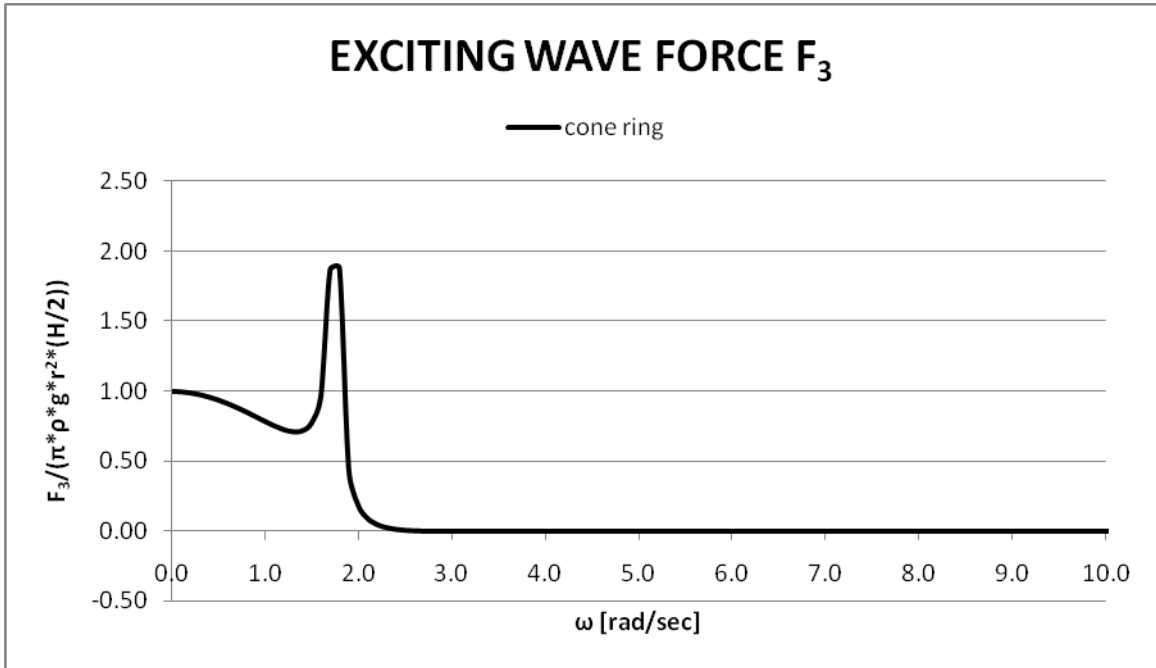
$$V=12.57\text{m}^3$$



Διάγραμμα I.4 Αδιάστατος συντελεστής πρόσθετης μάζας αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=12.57\text{m}^3$)

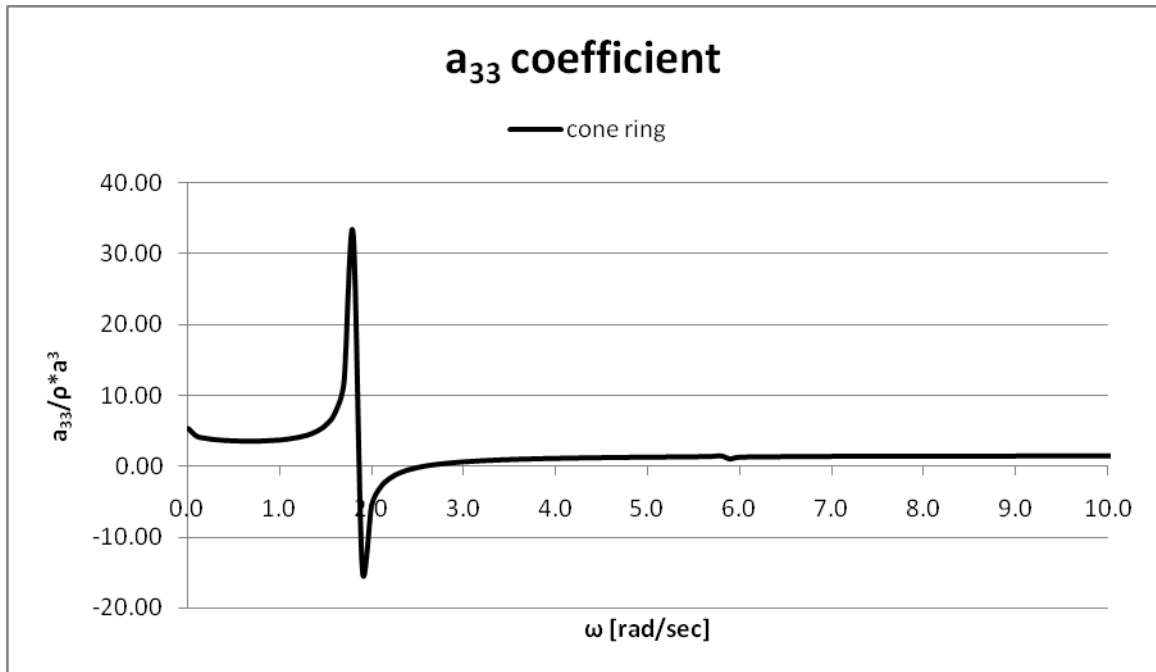


Διάγραμμα I.5 Αδιάστατος συντελεστής υδροδυναμικής απόσβεσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=12.57\text{m}^3$)

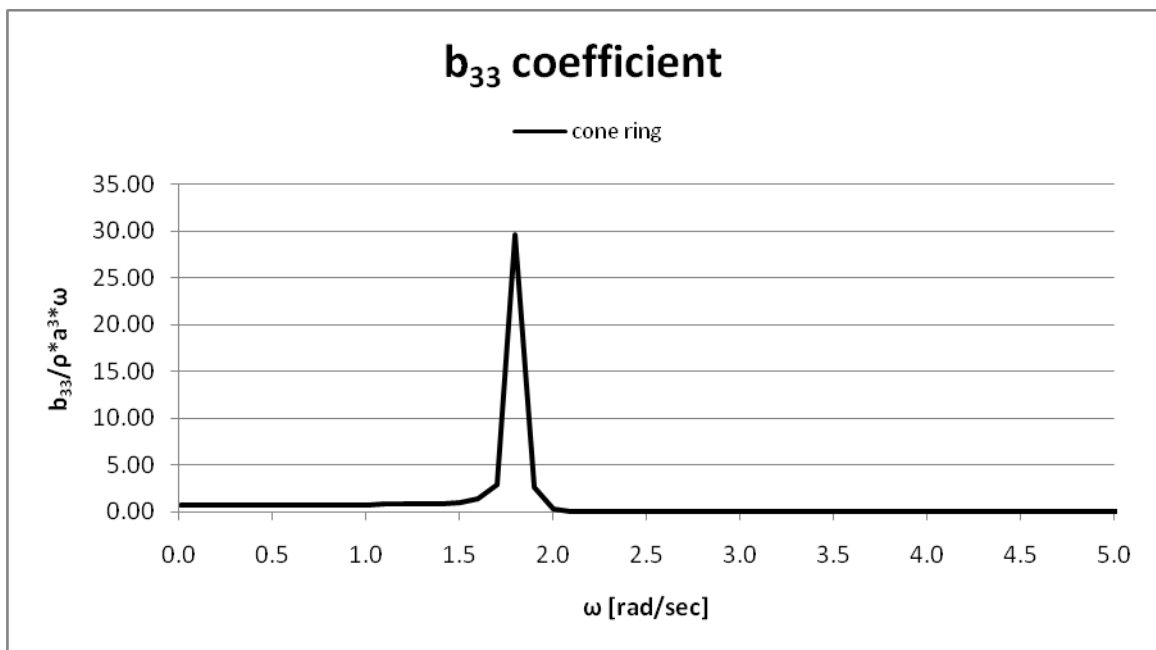


Διάγραμμα Ι.6 Δύναμη διέγερσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=12.57m^3$)

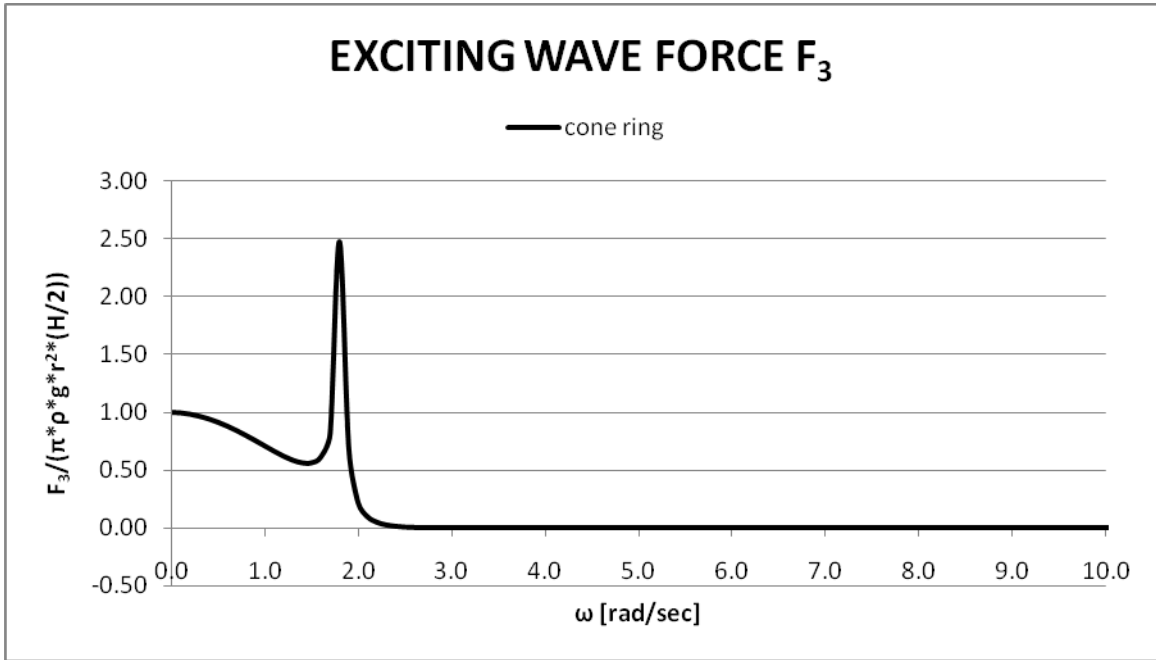
$$V=28.27\text{m}^3$$



Διάγραμμα I.7 Αδιάστατος συντελεστής πρόσθετης μάζας αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=28.27\text{m}^3$)

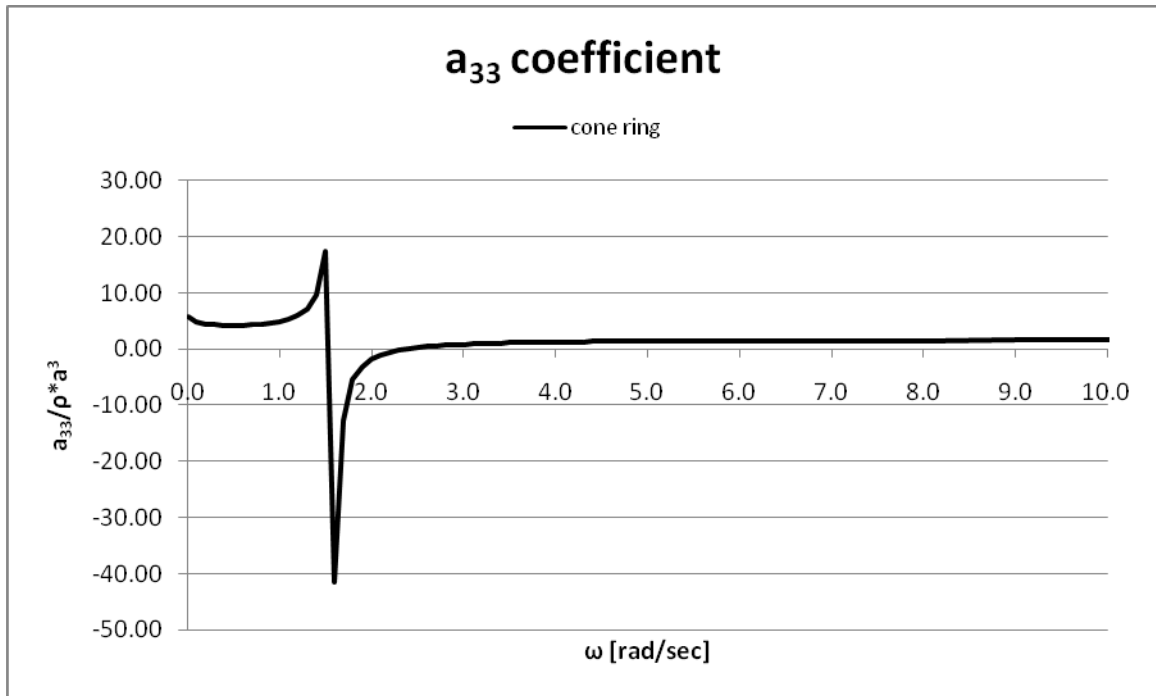


Διάγραμμα I.8 Αδιάστατος συντελεστής υδροδυναμικής απόσβεσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=28.27\text{m}^3$)

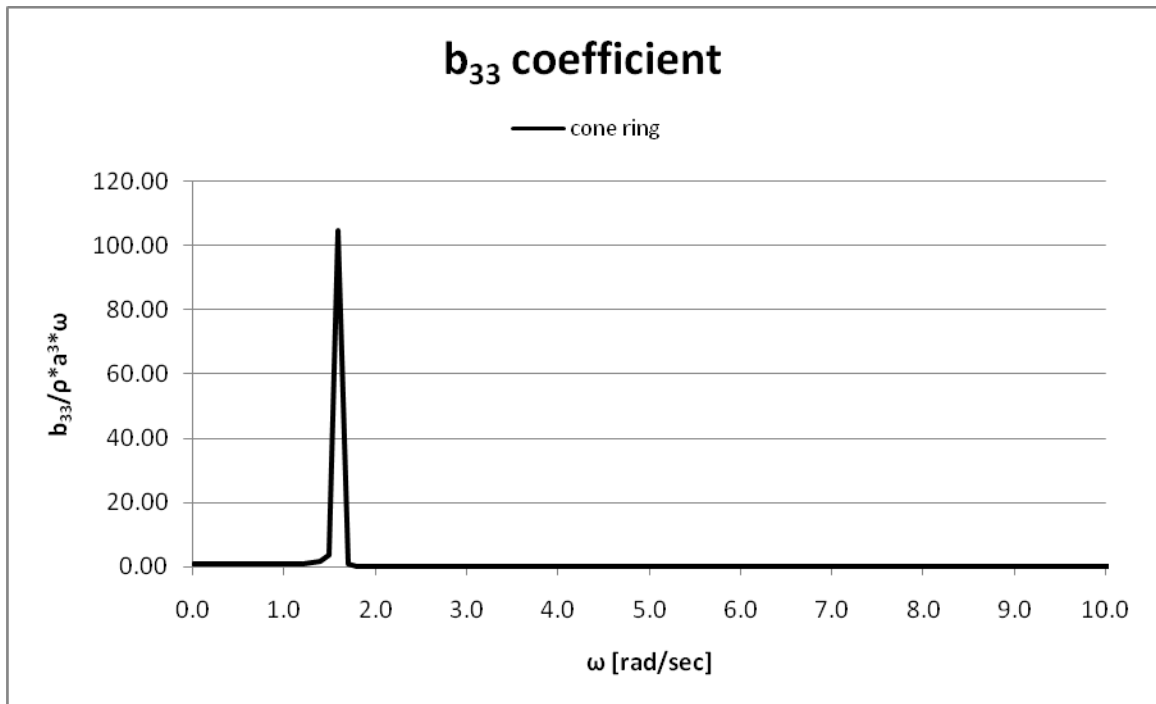


Διάγραμμα Ι.9 Δύναμη διέγερσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=28.27\text{m}^3$)

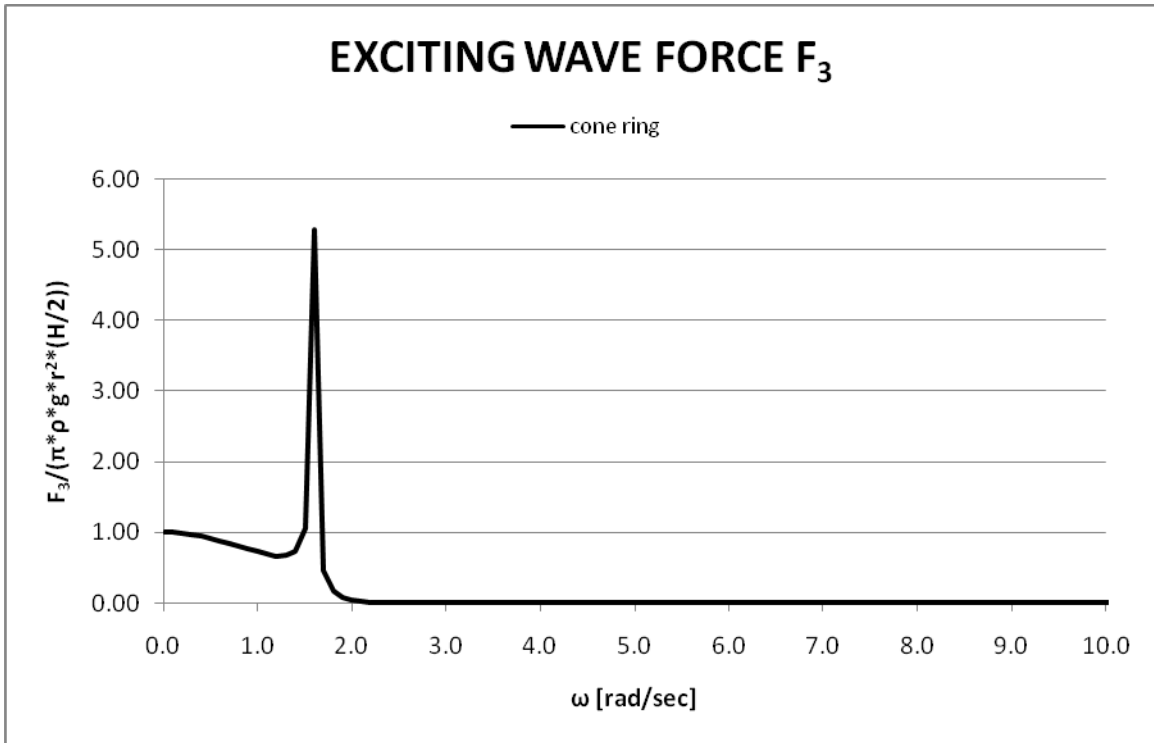
$$V=42.41\text{m}^3$$



Διάγραμμα I.10 Αδιάστατος συντελεστής πρόσθετης μάζας αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=42.41\text{m}^3$)

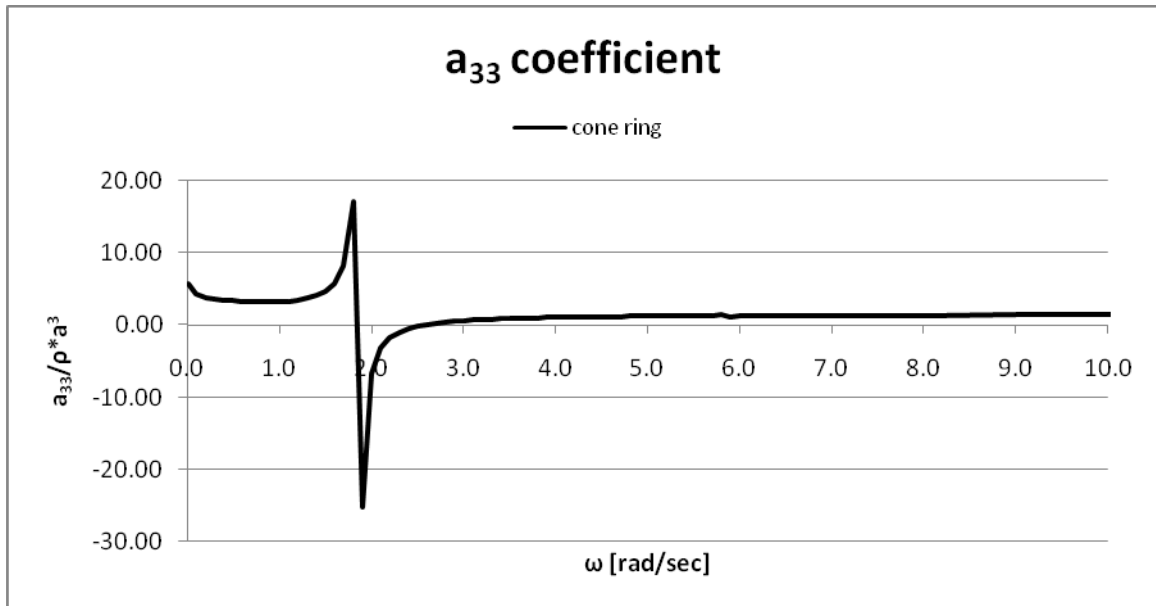


Διάγραμμα I.11 Αδιάστατος συντελεστής υδροδυναμικής απόσβεσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=42.41\text{m}^3$)

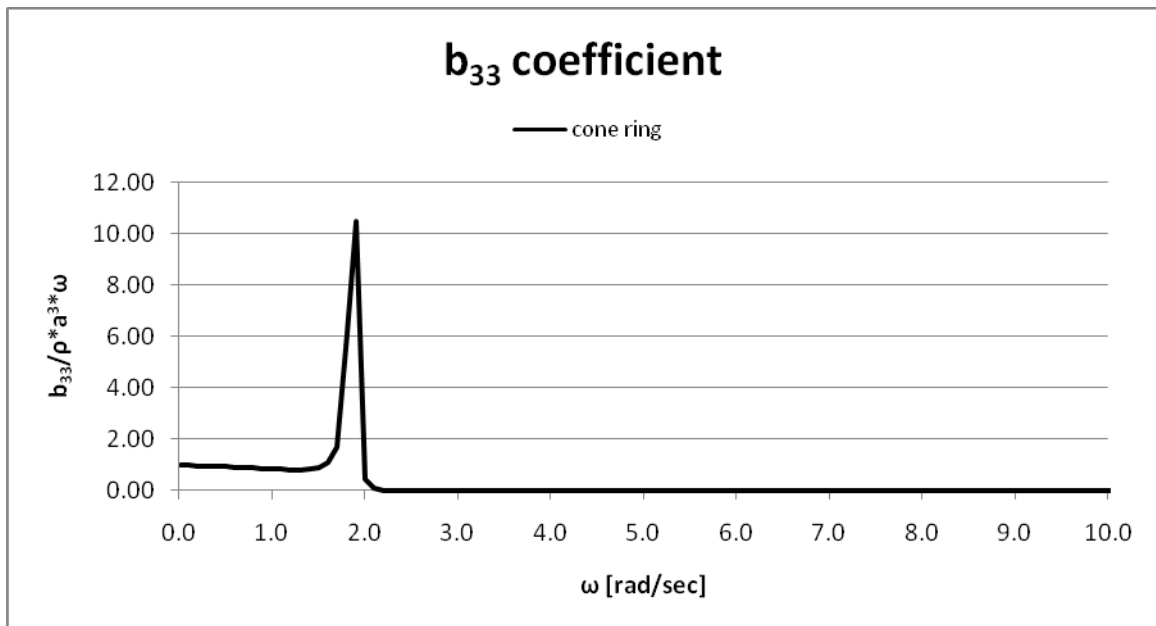


Διάγραμμα Ι.12 Δύναμη διέγερσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=42.41\text{m}^3$)

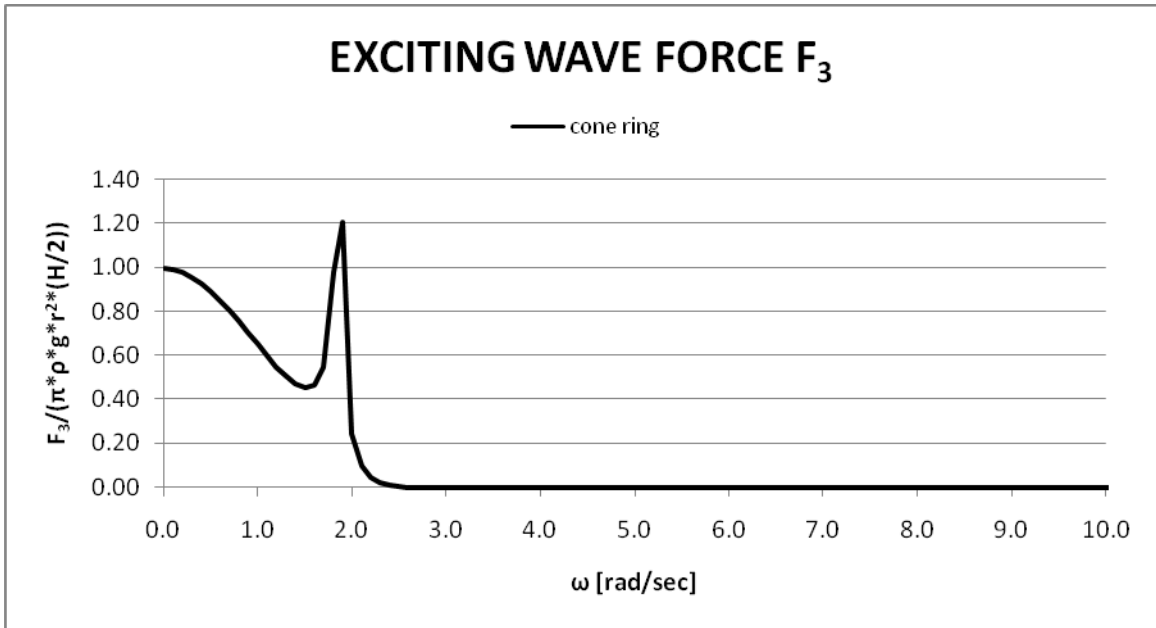
$$V=50.27\text{m}^3$$



Διάγραμμα I.13 Αδιάστατος συντελεστής πρόσθετης μάζας αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=50.27\text{m}^3$)

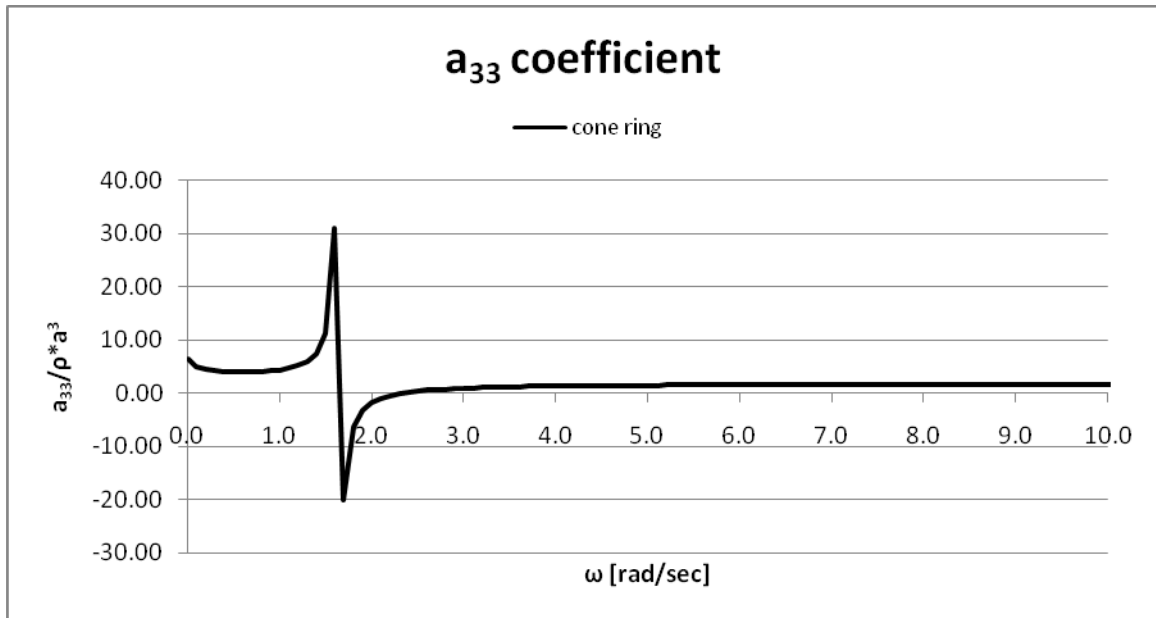


Διάγραμμα I.14 Αδιάστατος συντελεστής υδροδυναμικής απόσβεσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=50.27\text{m}^3$)

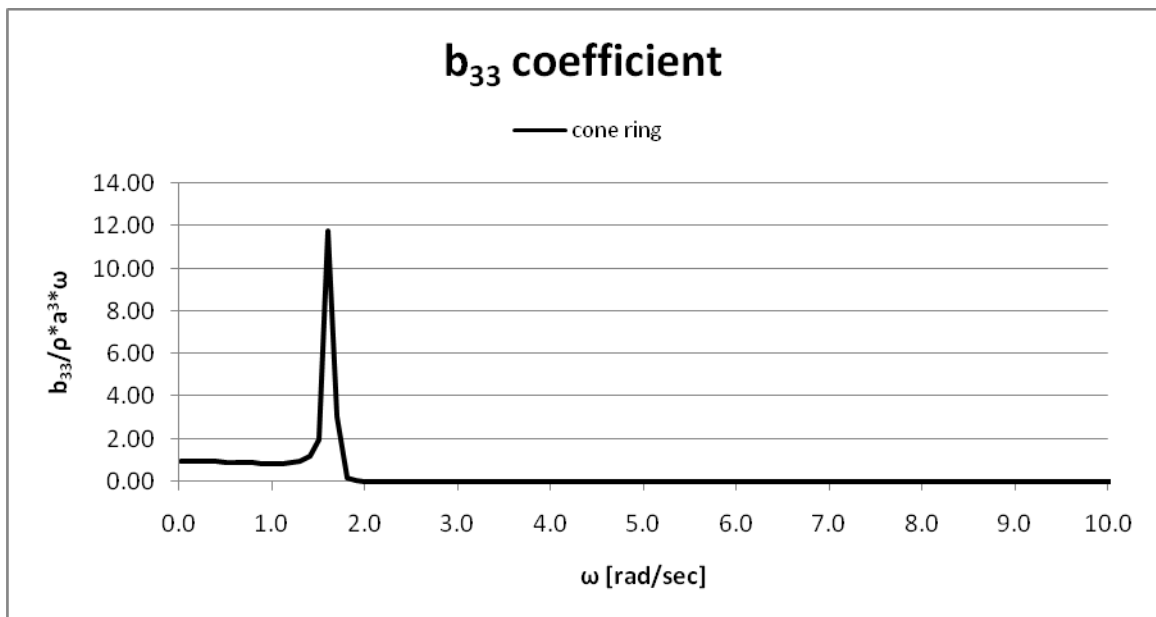


Διάγραμμα I.15 Δύναμη διέγερσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=50.27\text{m}^3$)

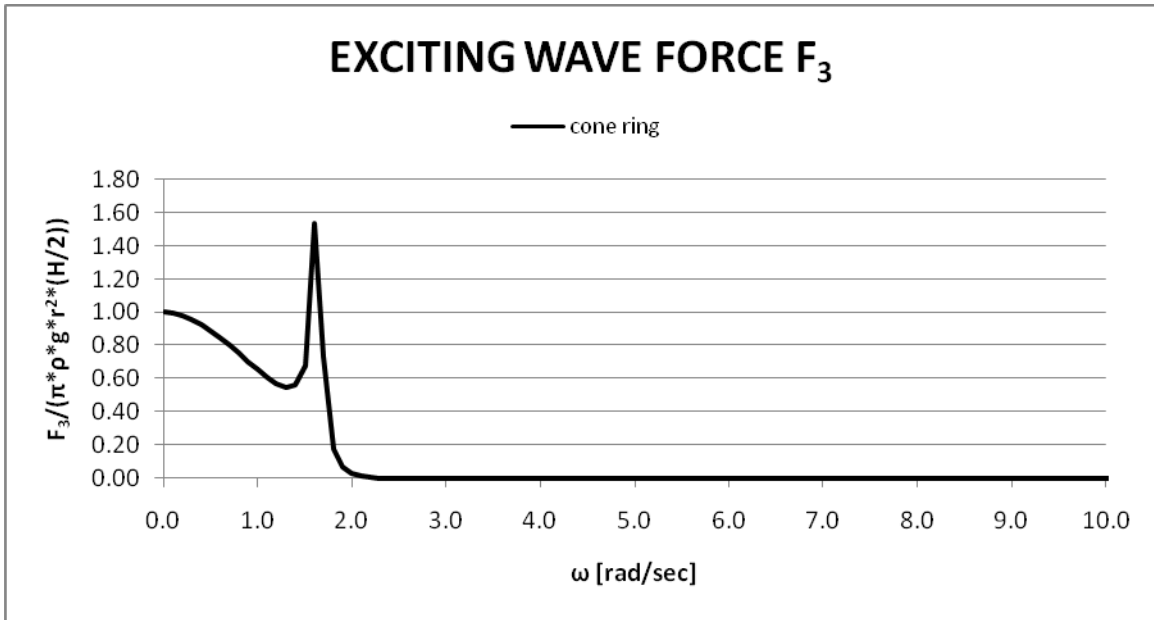
$$V=75.4\text{m}^3$$



Διάγραμμα I.16 Αδιάστατος συντελεστής πρόσθετης μάζας αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=75.4\text{m}^3$)



Διάγραμμα I.17 Αδιάστατος συντελεστής υδροδυναμικής απόσβεσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=75.4\text{m}^3$)



Διάγραμμα I.18 Δύναμη διέγερσης αναφορικά με την κατακόρυφη κίνηση ($V=75.4m^3$)

I.2 Ενεργειακή αξιολόγηση γεωμετρίας κώνου με εξωτερικό δακτυλιοειδές στοιχείο

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα ενεργειακά αποτελέσματα για τη γεωμετρία του κώνου με εξωτερικό δακτυλίδι για έξι διαφορετικά εκτοπίσματα, τα οποία ανά δύο έχουν την ίδια ακτίνα στην ίσαλο του κώνου (ακτίνες $R=2,3,4$ m). Το εξωτερικό δακτυλίδι έχει πάντα ακτίνα ένα μέτρο μεγαλύτερη από την ακτίνα της εκάστοτε γεωμετρίας και βύθισμα 0.5 m μεγαλύτερο από το αντίστοιχο βύθισμα, το δε πάχος του «τοιχώματός» του είναι 0.1 m (αναλυτική περιγραφή στον πίνακα 9.1). Πριν από την παρουσίαση των ενεργειακών αποτελεσμάτων και των αποτελεσμάτων της μέσης ενεργειακής απόδοσης, παραθέτεται ένας πίνακας με μέσο κυματικό δυναμικό που αντιστοιχεί σε πλάτος μετώπου κυματισμού A , ίσο με την εκάστοτε διάμετρο του εσωτερικού κώνου. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω ο κώνος είναι εκείνος που είναι συνδεδεμένος με το σύστημα απόληψης ενέργειας και η ενεργειακή αξιολόγηση θα πρέπει να γίνει με βάση τη δικιά του διάμετρο και όχι με αυτή του εξωτερικού δακτυλίου.

$$\underline{V=6.28m^3}$$

Mean Wave Power [W] A=4m							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	405	486	569	693			
0.5		1350	1580	1925			
0.7			3097	3773	4057		
0.9				6237	6707	7938	
1.1					10019	11858	
1.3						16562	18184

Πίνακας I.2 Μέση ενέργεια προσπίπτοντος κυματισμού για μέτωπο κυματισμού A=4m

Mean Produced Power [W] cone with external ring R=2 D=1.5 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	52	120	201	269			
0.5		339	553	753			
0.7			1083	1462	1499		
0.9				2441	2484	2440	
1.1					3826	3594	
1.3						5076	4959

Πίνακας I.3 Μέση παραγόμενη ενέργεια κώνου με εξωτερικό δακτυλίδι εκτοπίσματος V=6.28m³

Mean Efficiency % [W] cone with external ring R=2 D=1.5 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	12.81	24.61	35.32	38.76			
0.5		25.12	35.03	39.14			
0.7			34.98	38.76	36.94		
0.9				39.14	37.04	30.74	
1.1					38.18	30.30	
1.3						30.65	27.27

Πίνακας I.4 Μέση απόδοση κώνου με εξωτερικό δακτυλίδι εκτοπίσματος V=6.28m³

$$\underline{V=12.57m^3}$$

Mean Wave Power [W] A=4m							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	405	486	569	693			
0.5		1350	1580	1925			
0.7			3097	3773	4057		
0.9				6237	6707	7938	
1.1					10019	11858	
1.3						16562	18184

Πίνακας 1.5 Μέση ενέργεια προσπίπτοντος κυματισμού για μέτωπο κυματισμού A=4m

Mean Produced Power [W] cone R=2 D=3 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	14	89	207	280			
0.5		237	573	805			
0.7			1179	1529	1711		
0.9				2548	2856	2858	
1.1					4208	4354	
1.3						6038	5759

Πίνακας 9.6 Μέση παραγόμενη ενέργεια κώνου με εξωτερικό δακτυλίδι εκτοπίσματος $V=12.57m^3$

Mean Efficiency % [W] cone R=2 D=3 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	3.37	18.33	36.46	40.39			
0.5		17.56	36.29	41.81			
0.7			38.06	40.53	42.18		
0.9				40.85	42.58	36.00	
1.1					42.00	36.72	
1.3						36.46	31.67

Πίνακας 1.7 Μέση απόδοση κώνου με εξωτερικό δακτυλίδι εκτοπίσματος $V=12.57m^3$

$$\underline{V=28.27\text{m}^3}$$

Mean Wave Power [W] A=6m							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.70	3.16	3.85	4.14	4.90	5.38
0.3	608	729	853	1040			
0.5		2025	2370	2888			
0.7			4645	5660	6086		
0.9				9356	10060	11907	
1.1					15028	17787	
1.3						24843	27277

Πίνακας I.8 Μέση ενέργεια προσπίπτοντος κυματισμού για μέτωπο κυματισμού A=6m

Mean Produced Power [W] cone with external ring R=3 D=3 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	7	72	141	333			
0.5		196	555	903			
0.7			745	1868	2188		
0.9				3003	3758	4659	
1.1					5673	6796	
1.3						9695	9933

Πίνακας I.9 Μέση παραγόμενη ενέργεια κώνου με εξωτερικό δακτυλίδι εκτοπίσματος V=28.27m³

Mean Efficiency % cone with external ring R=3 D=3 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.70	3.16	3.85	4.14	4.90	5.38
0.3	1.15	9.87	16.47	32.06			
0.5		9.69	23.41	31.29			
0.7			16.05	33.01	35.95		
0.9				32.10	37.36	39.13	
1.1					37.75	38.21	
1.3						39.03	36.42

Πίνακας I.10 Μέση απόδοση κώνου με εξωτερικό δακτυλίδι εκτοπίσματος V=28.27m³

$$\underline{V=42.41\text{m}^3}$$

Mean Wave Power [W] A=6m							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.70	3.16	3.85	4.14	4.90	5.38
0.3	608	729	853	1040			
0.5		2025	2370	2888			
0.7			4645	5660	6086		
0.9				9356	10060	11907	
1.1					15028	17787	
1.3						24843	27277

Πίνακας I.11 Μέση ενέργεια προσπίπτοντος κυματισμού για μέτωπο κυματισμού A=6m

Mean Produced Power [W] cone with external ring R=3 D=4.5 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	3	37	63	86			
0.5		102	175	252			
0.7			356	496	1322		
0.9				802	2181	4130	
1.1					3314	6200	
1.3						8652	11894

Πίνακας I.12 Μέση παραγόμενη ενέργεια κώνου με εξωτερικό δακτυλίδι εκτοπίσματος V=42.41m³

Mean Efficiency % cone with external ring R=3 D=4.5 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.70	3.16	3.85	4.14	4.90	5.38
0.3	0.47	5.12	7.37	8.24			
0.5		5.05	7.39	8.74			
0.7			7.67	8.76	21.72		
0.9				8.57	21.68	34.69	
1.1					22.05	34.86	
1.3						34.83	43.61

Πίνακας I.13 Μέση απόδοση κώνου με εξωτερικό δακτυλίδι εκτοπίσματος V=42.41m³

$$\underline{V=50.27m^3}$$

Mean Wave Power [W] A=8m							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	810	972	1138	1386			
0.5		2700	3160	3850			
0.7			6194	7546	8115		
0.9				12474	13414	15876	
1.1					20038	23716	
1.3						33124	36369

Πίνακας I.14 Μέση ενέργεια προσπίπτοντος κυματισμού για μέτωπο κυματισμού A=8m

Mean Produced Power [W] cone R=4 D=3.0 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	117	233	358	429			
0.5		641	940	1265			
0.7			1885	2538	2740		
0.9				4194	4798	5250	
1.1					7145	7977	
1.3						10823	11723

Πίνακας I.15 Μέση παραγόμενη ενέργεια κώνου με εξωτερικό δακτυλίδι εκτοπίσματος V=50.27m³

Mean efficiency % cone R=4 D=3.0 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	14.48	23.97	31.50	30.94			
0.5		23.75	29.76	32.85			
0.7			30.43	33.64	33.76		
0.9				33.62	35.77	33.07	
1.1					35.66	33.63	
1.3						32.68	32.23

Πίνακας I.16 Μέση απόδοση κώνου με εξωτερικό δακτυλίδι εκτοπίσματος V=50.27m³

$$\underline{V=75.4m^3}$$

Mean Wave Power [W] A=8m							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	810	972	1138	1386			
0.5		2700	3160	3850			
0.7			6194	7546	8115		
0.9				12474	13414	15876	
1.1					20038	23716	
1.3						33124	36369

Πίνακας I.17 Μέση ενέργεια προσπίπτοντος κυματισμού για μέτωπο κυματισμού A=8m

Mean Produced Power [W] cone with external ring R=4 D=4.5 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	7	65	201	399			
0.5		180	578	1100			
0.7			1112	2197	3170		
0.9				3471	5350	6215	
1.1					7937	9366	
1.3						13190	14599

Πίνακας I.18 Μέση παραγόμενη ενέργεια κώνου με εξωτερικό δακτυλίδι εκτοπίσματος V=75.4m³

Mean efficiency % cone with external ring R=4 D=4.5 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	0.91	6.65	17.69	28.78			
0.5		6.68	18.30	28.58			
0.7			17.95	29.11	39.06		
0.9				27.82	39.88	39.14	
1.1					39.61	39.49	
1.3						39.82	40.14

Πίνακας I.19 Μέση απόδοση κώνου με εξωτερικό δακτυλίδι εκτοπίσματος V=75.4m³

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

II.1 Ενεργειακά αποτελέσματα για σταθερή τιμή του γραμμικού συντελεστή απόσβεσης

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται ενεργειακά αποτελέσματα για δύο ενδεικτικές σειρές γεωμετριών, εκτοπισμάτων 12.57m^3 και 42.41m^3 αντίστοιχα. Στον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης των συγκεκριμένων σειρών, ο γραμμικός συντελεστής απόσβεσης έχει ληφθεί σταθερός για όλο το εύρος των ενεργειακών περιόδων που παρουσιάζονται. Συγκεκριμένα, η τιμή που λαμβάνει ο συντελεστής αυτός ισοδυναμεί με τη μέγιστη τιμή, σε κατάσταση συντονισμού του ανωστικού σώματος (αποκλειστική εξάρτηση από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του σώματος). Κατά τη θεώρηση αυτή γίνεται αντιληπτό ότι στην επιλογή του γραμμικού συντελεστή δεν λαμβάνεται υπ' όψιν καμία μεταβολή του κυματικού περιβάλλοντος.

$$V=12.57\text{m}^3$$

Mean Produced Power [W] cylinder R=2 D=1 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	81	123	132	114			
0.5		346	361	334			
0.7			689	671	541		
0.9				1068	923	828	
1.1					1405	1165	
1.3						1683	1426

Πίνακας II.20 Μέση παραγόμενη ενέργεια απλού κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=12.57\text{m}^3$

Mean Efficiency % [W] cylinder R=2 D=1 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	20.11	25.36	23.23	16.49			
0.5		25.63	22.83	17.35			
0.7			22.23	17.79	13.35		
0.9				17.12	13.76	10.43	
1.1					14.02	9.82	
1.3						10.16	7.84

Πίνακας II.21 Μέση απόδοση απλού κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=12.57\text{m}^3$

Mean Produced Power [W] cone R=2 D=3 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	101	136	148	137			
0.5		393	420	395			
0.7			810	751	684		
0.9				1286	1137	1004	
1.1					1688	1474	
1.3						2092	1824

Πίνακας Π.22 Μέση παραγόμενη ενέργεια κώνου εκτοπίσματος $V=12.57m^3$

Mean Efficiency % [W] cone R=2 D=3 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	24.91	28.01	26.09	19.83			
0.5		29.14	26.59	20.52			
0.7			26.16	19.91	16.86		
0.9				20.62	16.95	12.64	
1.1					16.85	12.43	
1.3						12.63	10.03

Πίνακας Π.23 Μέση απόδοση κώνου εκτοπίσματος $V=12.57m^3$

Mean Produced Power [W] cylinder skirt R=2 D=1.9 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	34	104	129	133			
0.5		276	375	352			
0.7			720	726	612		
0.9				1230	1041	861	
1.1					1586	1270	
1.3						1770	1510

Πίνακας Π.24 Μέση παραγόμενη ενέργεια κυλίνδρου με κάθετη ποδιά εκτοπίσματος $V=12.57m^3$

Mean Efficiency % [W] cylinder skirt R=2 D=1.9 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	8.30	21.44	22.59	19.21			
0.5		20.45	23.71	18.28			
0.7			23.26	19.24	15.09		
0.9				19.72	15.53	10.85	
1.1					15.83	10.71	
1.3						10.68	8.31

Πίνακας Π.25 Μέση απόδοση κυλίνδρου με κάθετη ποδιά εκτοπίσματος $V=12.57m^3$

Mean Produced Power [W] compound cylinder R=2.83 D=0.9 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	1	18	52	65			
0.5		52	137	159			
0.7			253	328	314		
0.9				596	524	431	
1.1					710	648	
1.3						928	733

Πίνακας Π.26 Μέση παραγόμενη ενέργεια σύνθετου κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=12.57m^3$

Mean Efficiency % compound cylinder R=2.83 D=0.9 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	0.34	3.65	9.11	9.37			
0.5		3.82	8.70	8.26			
0.7			8.16	8.68	7.75		
0.9				9.56	7.81	5.43	
1.1					7.09	5.47	
1.3						5.61	4.03

Πίνακας Π.27 Μέση απόδοση σύνθετου κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=12.57m^3$

$$V=42.41m^3$$

Mean Produced Power [W] cylinder R=3 D=1.5 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	45	150	252	276			
0.5		424	643	762			
0.7			1239	1495	1431		
0.9				2472	2463	2186	
1.1					3509	3264	
1.3						4473	4196

Πίνακας Π.28 Μέση παραγόμενη ενέργεια απλού κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=42.41m^3$

Mean Efficiency % cylinder R=3 D=1.5 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	7.43	20.62	29.51	26.52			
0.5		20.95	27.13	26.39			
0.7			26.67	26.42	23.52		
0.9				26.43	24.48	18.36	
1.1					23.35	18.35	
1.3						18.01	15.38

Πίνακας Π.29 Μέση απόδοση απλού κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=42.41m^3$

Mean Produced Power [W] cone R=3 D=4.5 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	61	181	280	344			
0.5		529	810	940			
0.7			1550	1902	1930		
0.9				3067	2996	2949	
1.1					4719	4398	
1.3						6109	5777

Πίνακας Π.30 Μέση παραγόμενη ενέργεια κώνου εκτοπίσματος $V=42.41m^3$

Mean Efficiency % cone R=3 D=4.5 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	9.98	24.87	32.86	33.07			
0.5		26.14	34.20	32.54			
0.7			33.36	33.60	31.71		
0.9				32.78	29.78	24.77	
1.1					31.40	24.73	
1.3						24.59	21.18

Πίνακας Π.31 Μέση απόδοση κώνου εκτοπίσματος $V=42.41m^3$

Mean Produced Power [W] cylinder skirt R=3 D=2.9 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	24	97	143	160			
0.5		257	410	437			
0.7			758	859	831		
0.9				1418	1324	1271	
1.1					1980	1811	
1.3						2490	2249

Πίνακας Π.32 Μέση παραγόμενη ενέργεια κυλίνδρου με κάθετη ποδιά εκτοπίσματος $V=42.41m^3$

Mean Efficiency % cylinder skirt R=3 D=2.9 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	3.90	13.26	16.81	15.41			
0.5		12.70	17.29	15.15			
0.7			16.31	15.19	13.65		
0.9				15.16	13.16	10.68	
1.1					13.17	10.18	
1.3						10.02	8.25

Πίνακας Π.33 Μέση απόδοση κυλίνδρου με κάθετη ποδιά εκτοπίσματος $V=42.41m^3$

Mean Produced Power [W] compound cylinder R=4,24 D=1.4 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	1	3	31	95			
0.5		9	90	255			
0.7			175	500	729		
0.9				841	1309	1240	
1.1					1877	1900	
1.3						2708	2761

Πίνακας Π.34 Μέση παραγόμενη ενέργεια σύνθετου κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=42.41m^3$

Mean Efficiency % compound cylinder R=4,24 D=1.4 H=10							
Hs [m]	Te [sec]						
	2.25	2.7	3.16	3.85	4.14	4.9	5.38
0.3	0.12	0.45	3.58	9.15			
0.5		0.42	3.80	8.84			
0.7			3.76	8.83	11.98		
0.9				8.99	13.01	10.41	
1.1					12.49	10.68	
1.3						10.90	10.12

Πίνακας Π.35 Μέση απόδοση σύνθετου κυλίνδρου εκτοπίσματος $V=42.41m^3$

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Σ. Α. Μαυράκο για την αμέριστη συνεργασία και την πολύτιμη βοήθειά του στην εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας αυτής. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Γ. Κατσαούνη για τις σημαντικές συμβουλές και παρατηρήσεις του πάνω στο έργο της παρούσας εργασίας. Τέλος πολλές ευχαριστίες οφείλω στους Υποψήφιους Διδάκτορες κ. Π. Μπουρμά και κ. Θ. Μαζαράκο για την έμπρακτη υποστήριξη και τη σημαντική βοήθεια που μου παρείχαν, καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας.