



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**



**ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΓΡΑΜΜΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΛΟΓΩ ΤΗΣ  
ΚΙΝΗΣΗΣ ΛΕΠΤΟΓΡΑΜΜΩΝ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΣΕ ΡΕΥΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ  
(RISER INDUCED DAMPING)**



**Επίβλεψη εργασίας : Ι.Κ.Χατζηγεωργίου**

**Όνομα: Ιωάννης  
Επώνυμο: Μαρινάτος**

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>Κεφάλαιο 1.</b>	<b>Εισαγωγή</b>	<b>3</b>
<b>1.1</b>	Σύνοψη	3
<b>1.2</b>	Γενικά	3
<b>1.3</b>	Ιστορική αναδρομή	4
<b>Κεφάλαιο 2.</b>	<b>Θεωρητικό μέρος</b>	<b>6</b>
<b>2.1</b>	Θεωρητικό υπόβαθρο	6
<b>2.2</b>	Μαθηματική προσέγγιση	7
<b>2.3</b>	Αριθμητική επίλυση στο πεδίο του χρόνου	8
<b>Κεφάλαιο 3.</b>	<b>Υπολογιστικό μέρος</b>	<b>10</b>
<b>3.1</b>	Κώδικες	10
<b>3.2</b>	Πειραματικό μοντέλο riser αλυσοειδούς μορφής	11
<b>3.3</b>	Πραγματικά μοντέλα risers αλυσοειδούς μορφής	14
<b>3.3.1</b>	Μοντέλο 1. Βάθος νερού 300 m	14
<b>3.3.2</b>	Μοντέλο 2. Βάθος νερού 500 m	16
<b>3.3.3</b>	Μοντέλο 3. Βάθος νερού 800 m	18
<b>3.3.4</b>	Μοντέλο 4. Βάθος νερού 1200 m	20
<b>3.3.5</b>	Μοντέλο 5. Βάθος νερού 1800 m	22
<b>3.4</b>	Σύγκριση δύο πραγματικών μοντέλων με μηδενική και μη μηδενική καμπτική ακαμψία για βάθος νερού 1800 m	24
<b>Κεφάλαιο 4.</b>	<b>Σχολιασμός αποτελεσμάτων</b>	<b>25</b>
<b>4.1</b>	Πειραματικό μοντέλο	25
<b>4.2</b>	Πραγματικά μοντέλα	27
<b>4.3</b>	Πραγματικά μοντέλα με μηδενική και μη μηδενική καμπτική ακαμψία για βάθος νερού 1800 m	33
	Ευχαριστίες	34
	Βιβλιογραφία	34
	Παραρτήματα	36
	Λίστα διαγραμμάτων	41

## Κεφάλαιο 1

### Εισαγωγή

#### 1.1 Σύνοψη

Στόχος της παρούσας εργασίας, είναι η εκτίμηση του μεγέθους της διαχεόμενης ενέργειας και μέσω αυτής των συντελεστών απόσβεσης  $C$  για χρονικό διάστημα μιας περιόδου, σαν αποτέλεσμα της κίνησης λεπτόγραμμης κατασκευής τύπου riser (λεπτομήκης κατακόρυφος σωλήνας) μέσα στο νερό, κάτω από την επιβολή διαφόρων διεγέρσεων, πλατών και συχνοτήτων διέγερσης στην κορυφή του (άνω άκρο). Τα μεγέθη των προαναφερθέντων συντελεστών εξετάστηκαν για τη διεύθυνση  $x$ , τόσο σε πειραματικό μοντέλο όσο και σε πέντε πραγματικά, για διαφορετικά βάθη νερού. Επιπρόσθετα εκτιμήθηκαν οι μεταβολές της τάσης, ροπής, ταχυτήτων (εφαπτομενικής και κάθετης στο riser) και διατμητικής δύναμης κατά μήκος του ολικού (ανηρτημένου) μήκους των διαφόρων τύπων risers, για χρονικό διάστημα δύο περιόδων. Η επίλυση του δυναμικού, μη γραμμικού αυτού προβλήματος, πραγματοποιήθηκε στο πεδίο του χρόνου, με χρήση κωδίκων σε γλώσσα προγραμματισμού FORTRAN, βάση μιας προέκτασης της μεθόδου των πεπερασμένων διαφορών (The Keller Box Finite Differences Method), για λεπτόγραμμες κατασκευές τύπου riser μη μηδενικής καμπτικής ακαμψίας  $EI$ . Τέλος έγινε υπολογισμός των συντελεστών απόσβεσης για διάφορα πλάτη, διεγέρσεις και συχνότητες διέγερσης στην κορυφή, ενδεικτικά ενός πραγματικού μοντέλου με  $EI = 1 \text{ Nm}^2$ , ούτως ώστε να εκτιμηθεί ο βαθμός απόκλισης των νέων τιμών αυτών από τις αρχικές (με  $EI = 0.1209 \times 10^9 \text{ Nm}^2$ ), στην περίπτωση που το riser συμπεριφέρεται σαν γραμμή αγκύρωσης για την οποία ισχύει ότι  $EI \approx 0 \text{ Nm}^2$ .

#### 1.2 Γενικά

Πλήθος θαλάσσιων δραστηριοτήτων όπως, οι εξερευνητικές γεωτρήσεις, η εναπόθεση σωληνώσεων στον πυθμένα, η διαμόρφωση του πυθμένα της θάλασσας, η εξόρυξη και αποθήκευση πετρελαίου σε πλωτές κατασκευές, η θαλάσσια μετάλλευση, η εγκατάσταση ανωστικών σωμάτων για μετεωρολογικές εφαρμογές, η εκμετάλλευση της κυματικής ενέργειας, κ.α., βασίζονται στον ασφαλή τρόπο με τον οποίο τα σκάφη και οι πλωτές κατασκευές συγκρατούνται σε μια σταθερή ή βαθμιαία μεταβαλλόμενη, αλλά με ελεγχόμενο τρόπο θέση, υπό την επίδραση των κυματισμών, του ανέμου και του ρεύματος. Στις εφαρμογές αυτές, τα συστήματα αγκύρωσης καθίστανται απολύτως απαραίτητα.

Οι εξωτερικές δυνάμεις οι οποίες ασκούνται στην αγκυρωμένη κατασκευή εξαιτίας της δράσης των κυματισμών, του ανέμου και του ρεύματος, προκαλούν μετατόπιση της κατασκευής από τη θέση ισορροπίας της. Ο σκοπός του συστήματος αγκύρωσης, είναι ο περιορισμός αυτής της μετατόπισης και το κράτημα της κατασκευής όσο το δυνατόν πλησιέστερα στην απαιτούμενη θέση, χωρίς την εφαρμογή πολύ μεγάλων δυνάμεων συγκράτησης στις γραμμές αγκύρωσης, κάτι που μπορεί να επιτευχθεί μέσω της κατάλληλης σχεδίασης του συστήματος αγκύρωσης, έτσι ώστε να παρέχει επαρκή ελαστικότητα στην αγκυρωμένη κατασκευή. Ο περιορισμός αυτών των μετατοπίσεων είναι επιτακτικότερος, κατά την εκτέλεση γεωτρητικών εφαρμογών, για την προστασία του riser και του κατώτερου σημείου σύνδεσής του. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω των δυνάμεων επαναφοράς, οι οποίες εφαρμόζονται στην αγκυρωμένη κατασκευή, όταν αυτή μετακινηθεί από τη θέση ισορροπίας της, λόγω της δράσης των εξωτερικών περιβαλλοντολογικών φορτίσεων. Οι εξωτερικές δυνάμεις και οι κινήσεις του σκάφους απαρτίζονται από στατικές συνιστώσες, δηλαδή αργά μεταβαλλόμενες συνιστώσες μεγάλου πλάτους και υψηλόσυχνες συνιστώσες, λόγω της δράσης των κυματισμών. Οι δυνάμεις αυτές και οι κινήσεις, επηρεάζουν τόσο τη στατική όσο και τη δυναμική συμπεριφορά του συστήματος αγκύρωσης.

Τα μέσα περιβαλλοντολογικά φορτία, προκαλούν τη στατική μετατόπιση της κατασκευής, η οποία μπορεί να θεωρηθεί ως η καινούρια θέση στατικής ισορροπίας της. Γύρω από αυτή τη νέα θέση ισορροπίας της, η κατασκευή εκτελεί χαμηλόσυχνες και υψηλόσυχνες κινήσεις. Οι αργά μεταβαλλόμενες κινήσεις, αφορούν τις κινήσεις συντονισμού στις διευθύνσεις surge, sway και yaw, οι οποίες προκαλούνται εξαιτίας της επιβολής των χαμηλόσυχνων κυκλικά επαναλαμβανόμενων φορτίσεων, λόγω των κυματισμών και των ανεμοπιέσεων. Οι συνηθέστερες χαμηλότερες περίοδοι αυτών των κινήσεων είναι της τάξεως των 60 έως 90 sec, ενώ οι υψηλότερες των μερικών εκατοντάδων sec.

Τα πλάτη τους είναι της τάξεως του 5 % του βάθους του νερού, ενώ είναι μεγαλύτερα για εγκαταστάσεις συστημάτων αγκύρωσης σε ρηχά νερά. Οι κινήσεις της αγκυρωμένης κατασκευής, που επάγονται εξαιτίας των κυματισμών, προκαλούν και τις υψηλόσυχνες κινήσεις των γραμμών αγκύρωσης. Οι απευθείας επιδράσεις των κυματισμών στις γραμμές αγκύρωσης είναι συνήθως μικρές, συγκρινόμενες με την ενέργεια που μεταδίδεται στην κατασκευή.

Σύμφωνα λοιπόν με τα προηγούμενα, στόχος είναι η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ελαχιστοποίηση του μεγέθους των μετατοπίσεων μιας πλωτής κατασκευής, όταν για τον οιονδήποτε λόγο αυτή μετακινηθεί από τη θέση ισορροπίας της. Με άλλα λόγια, θα πρέπει να εξεταστεί ο βαθμός συνεισφοράς όλων εκείνων των παραγόντων, οι οποίοι συμβάλλουν στην απόσβεση της κίνησης, δηλαδή την απορρόφηση και 'καταστροφή' μέρους της ενέργειας η οποία προσφέρεται στο σύστημα αγκύρωσης (πλωτή κατασκευή και παντός τύπου εξαρτήματα προσδεμένα σε αυτήν), εξαιτίας κάποιας εξωτερικής διέγερσης. Ως γνωστόν, από υδροδυναμικής πλευράς, ο βαθμός επαναφοράς στην αρχική θέση ισορροπίας μιας πλωτής κατασκευής για μετατόπιση αυτής, εξαιτίας διέγερσής της για τον οιονδήποτε λόγο (π.χ. κύματα, άνεμος) κατά την κατακόρυφη διεύθυνση  $z$  (κίνηση heave), καθώς και περιστροφής αυτής γύρω από τους άξονες  $x$  και  $y$  (κινήσεις roll και pitch αντίστοιχα), είναι σημαντικά μεγαλύτερος, συγκρινόμενος με αυτόν για μετατοπίσεις, λόγω διέγερσής της, κατά τις διευθύνσεις  $x$  και  $y$  (κινήσεις surge και sway), καθώς και περιστροφής αυτής γύρω από τον άξονα  $z$  (κίνηση yaw). Επικεντρώνοντας το ενδιαφέρον μας γύρω από τις κινήσεις surge, κάποιοι από αυτούς τους παράγοντες οι οποίοι συνεισφέρουν άλλος περισσότερο και άλλος λιγότερο στην απόσβεσή τους είναι: οι ακτινοβολούντες κυματισμοί (σαν συνέπεια της κίνησης της πλωτής κατασκευής κυρίως και όχι των υπολοίπων εξαρτημάτων), αντίσταση λόγω συνεκτικότητας, υδροδυναμική αντίσταση, αντίσταση λόγω δυνάμεων στο εσωτερικό των γραμμών αγκύρωσης, τραχύτητα και μέγεθος βρεχόμενης επιφάνειας κατασκευής, δυνάμεις τριβής ανάμεσα σε τυχόν επικαθήμενα τμήματα των λεπτόγραμμων κατασκευών στον πυθμένα με αυτόν.

### 1.3 Ιστορική αναδρομή

Μέσα από μελέτες και πειράματα κατά τη δεκαετία από το 1986 - 1995 των Huse, Matsumoto, Wichers, Kwan, Bruen, Webster, Huijsmans, βρέθηκε τόσο θεωρητικά όσο και πειραματικά, ότι παράληψη της συνεισφοράς σε απόσβεση των γραμμών αγκύρωσης, οδηγεί σε υπερεκτίμηση στην πρόβλεψη του μεγέθους των κινήσεων surge μιας πλωτής κατασκευής έως και 30 %. Η συνεισφερόμενη αυτή απόσβεση των γραμμών αγκύρωσης (mooring - induced damping), θεωρώντας αρμονική διέγερση αυτών στην κορυφή (άνω άκρο), εκφράζεται μέσω ενός ισοδύναμου συντελεστή απόσβεσης  $\zeta$  (μέρος του ολικού), ο οποίος προσδιορίζεται μέσω της διαχεόμενης σε μια περίοδο ενέργειας, κατά την κίνηση αυτών στο νερό. Έκτοτε ακολούθησαν εκτεταμένες έρευνες και πειράματα, αποσκοπώντας στον καθορισμό εκείνων των παραγόντων, οι οποίοι παίζουν καθοριστικό ρόλο στη μεταβολή του μεγέθους αυτού του συντελεστή, όπως των Mantrakos & Chatjigeorgiou το 1996 [1] οι οποίοι έδειξαν ότι για υψηλά πλάτη διεγέρσεων των γραμμών αγκύρωσης στην κορυφή, υπάρχει γενικά τάση αύξησης του  $\zeta$ , η οποία είναι σημαντική στο εύρος των χαμηλόσυχνων διεγέρσεων, καθώς επίσης ότι με σωστή επιλογή ανωστικών σωμάτων με προσοχή όσον αφορά τον αριθμό, το μέγεθος και το σημείο τοποθέτησης αυτών κατά μήκος των γραμμών αγκύρωσης, είναι δυνατή η επίτευξη της επιθυμητής μείωσης ή αύξησης αυτού. Επίσης παράλληλα με τα πειράματα, τα οποία διακρίνονται για τη δυσκολία διεκπεραίωσής τους εξαιτίας του υψηλού κόστους των απαιτούμενων εγκαταστάσεων και του εξοπλισμού, διατυπώθηκαν μαθηματικά μοντέλα, μέσω των οποίων προβλέπεται σε ικανοποιητικό βαθμό η συμπεριφορά των συστημάτων αγκύρωσης, κάτω από την επιβολή εξωτερικών φορτίσεων. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι, το 1997, ο Lin [7] έκανε μια ανάλυση στο πεδίο των συχνοτήτων για γραμμές αγκύρωσης, ώστε να προσδιορίσει την επίδραση αυτών σε απόσβεση για χαμηλόσυχνη κίνηση πλωτής κατασκευής, χρησιμοποιώντας διακριτοποιημένο μοντέλο με πεπερασμένο αριθμό στοιχειωδών μηκών. Συγκρίνοντας μετέπειτα τα αποτελέσματα αυτής με τα αντίστοιχα της ανάλυσης στο πεδίο του χρόνου, συμπέρανε ότι υπήρχε σε μεγάλο βαθμό ταύτιση. Επίσης κατά το χρονικό διάστημα 1994 - 1997 διοργανώθηκε από την ISSC (International Ship and Offshore Structures Congress) Committee I2 εκτεταμένη έρευνα, γύρω από τη δυνατότητα πρόβλεψης τόσο της δυναμικής τάσης, καθώς και του mooring - induced damping, στην οποία υπήρχαν 15 συμμετέχοντες από διάφορους τομείς όπως, συμβούλια μηχανικών, ακαδημαϊκά ινστιτούτα, καθώς και ερευνητικά ιδρύματα στο χώρο της θαλάσσιας τεχνολογίας.

Σε κάθε έναν από αυτούς, ανατέθηκε η επίλυση του προβλήματος χρησιμοποιώντας υπολογιστικές μεθόδους ή στο πεδίο των συχνοτήτων ή του χρόνου. Ακολούθησε σύγκριση των αποτελεσμάτων και παρουσίαση αυτών, το 1999, υπό των Brown & Mavrakos [2]. Σχετικές, με το εν λόγω φαινόμενο, έρευνες έγιναν και κατά την τελευταία δεκαετία όπως των Liu & Bergdahl, 1998, Bauduin & Naciri, 2000, Hamilton & Kitney, 2004, Johanning, 2007.

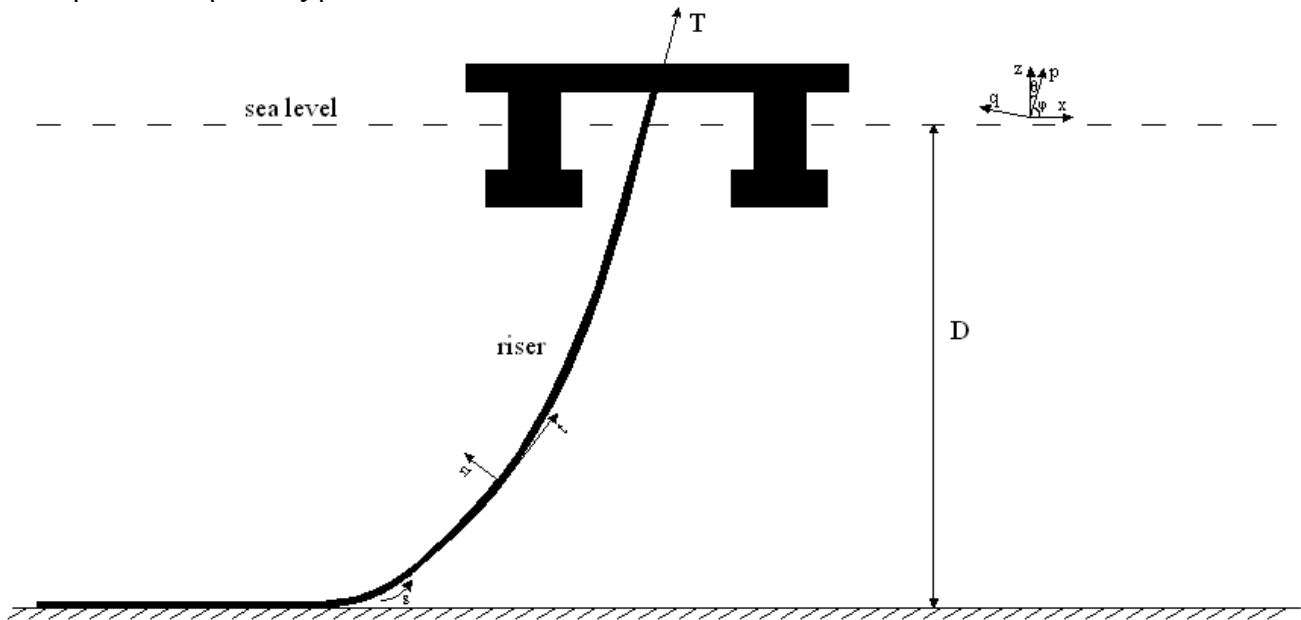
Παρόλα αυτά, αν και οι έρευνες/μελέτες γύρω από το φαινόμενο του mooring - induced damping εκτείνονται σε βάθος 20 και πλέον χρόνων, μόλις τα τελευταία χρόνια άρχισε να εξετάζεται η συνεισφορά σε απόσβεση εξαιτίας της κίνησης στο νερό των risers (riser- induced damping), Chatjigeorgiou [5]. Συνεισφορά η οποία είναι εξίσου σημαντική και κάποιες φορές σημαντικότερη από αυτή των γραμμών αγκύρωσης, σαν αποτέλεσμα της σχετικά μεγάλης διαμέτρου των risers, συγκρινόμενη με αυτής των γραμμών, καθώς και των σημαντικού μεγέθους δυνάμεων αντίστασης, που επάγονται κατά την εγκάρσια διεύθυνση.

## Κεφάλαιο 2

### Θεωρητικό μέρος

#### 2.1 Θεωρητικό υπόβαθρο

Έστω η ακόλουθη διάταξη:



Εικόνα 1. Σύστημα συντεταγμένων για το διδιάστατο δυναμικό πρόβλημα ενός riser αλυσοειδούς μορφής

Η κίνηση της πλωτής κατασκευής περιγράφεται γενικά από την ακόλουθη εξίσωση:

$$M \cdot \ddot{x} + C \cdot \dot{x} + k \cdot x = F(t)$$

Όπου  $M$  το άθροισμα της μάζας  $m$  και της πρόσθετης μάζας  $m_a$  της πλωτής κατασκευής και του riser αντίστοιχα,  $C$  ο ολικός συντελεστής απόσβεσης,  $k \cdot x$  η ολική δύναμη επαναφοράς και  $F(t)$  η χρονικά μεταβαλλόμενη εξωτερική δύναμη η οποία ασκείται στην κορυφή. Εξαιτίας τώρα της κίνησης του riser στο νερό, έχουμε την εμφάνιση του φαινομένου της διάχυσης της ενέργειας  $E_d$ , μέσω της οποίας προσφέρεται μια επιπλέον ποσότητα απόσβεσης, η οποία συμβάλλει στην επιπρόσθετη μείωση της εκτροπής της πλωτής κατασκευής κατά τη διέγερσή της. Αυτή η επιπλέον ποσότητα απόσβεσης οφείλεται στις δυνάμεις αντίστασης, οι οποίες ασκούνται πάνω στο riser όταν αυτό κινείται και μπορεί να ποσοτικοποιηθεί μέσω ενός ισοδύναμου συντελεστή απόσβεσης  $\zeta$ , ο οποίος αποτελεί μέρος του ολικού  $C$ . Ο υπολογισμός του  $\zeta$  είναι εφικτός μέσω της ενέργειας διάχυσης, η οποία για χρονική διάρκεια μιας περιόδου προκύπτει κατά  $x$  από το ακόλουθο ολοκλήρωμα (Brown&Mavrakos 1999):

$$E_{dx} = \int_t^{t+T} F_x(t) \frac{dx(t)}{dt} dt = \oint F_x(t) dx(t) \quad (1)$$

Όπου  $F_x(t)$  και  $x(t)$  οι οριζόντιες συνιστώσες της ολικής (στατικής και δυναμικής) τάσης  $T$  και της απόκρισης στην κορυφή του riser αντίστοιχα.

Υποθέτοντας ότι η οριζόντια δύναμη στην κορυφή του riser μπορεί να εκφρασθεί μέσω του ισοδύναμου γραμμικού συντελεστή  $\zeta$ , προκύπτει η σχέση:

$$F_x(t) = \zeta \frac{dx(t)}{dt} \quad (2)$$

Επιπλέον, αν υποθεθεί ότι οι οριζόντιες κινήσεις στην κορυφή του riser είναι ημιτονοειδείς με πλάτος  $x_a$ , περίοδο  $\tau$  και συχνότητα διέγερσης  $\omega$ , τότε αντικαθιστώντας τη (2) στην (1) και ολοκληρώνοντας λαμβάνεται η ακόλουθη σχέση ανάμεσα στο συντελεστή απόσβεσης  $\zeta$  και τη διαχεόμενη ενέργεια  $E_{dx}$ :

$$\zeta = \frac{E_{dx}\tau}{2\pi^2 x_a^2} = \frac{E_{dx}}{\omega\pi x_a^2} \quad (3)$$

Όπως είναι φανερό, η προηγούμενη διαδικασία χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις όπου η χρονική ιστορία της δυναμικής τάσης στην κορυφή του riser μπορεί να υπολογισθεί. Αυτό επιτυγχάνεται μόνο λύνοντας το πρόβλημα της δυναμικής συμπεριφοράς του riser στο πεδίο του χρόνου.

## 2.2 Μαθηματική προσέγγιση

Εξετάζεται το διδιάστατο μη γραμμικό δυναμικό πρόβλημα ενός riser αλυσοειδούς μορφής αρθρωμένου στα άκρα του. Η μάζα, η πρόσθετη μάζα και το βάρος του βυθισμένου στο νερό riser ανά μονάδα απαραμόρφωτου μήκους ορίζονται ως  $m$ ,  $m_a$  και  $w_o$  αντίστοιχα, ενώ  $EA$  και  $EI$  είναι οι ελαστική και καμπτική ακαμψία αντίστοιχα. Η δυναμική συμπεριφορά του riser σε δύο διαστάσεις, περιγράφεται από ένα σύστημα αποτελούμενο από έξι μη γραμμικές μερικές διαφορικές εξισώσεις (Triantafyllou, 1994) οι οποίες φαίνονται ακολούθως:

$$m \left( \frac{\partial u}{\partial t} - v \frac{\partial \phi}{\partial t} \right) = \frac{\partial T}{\partial s} - w_o \sin \phi - \Omega Q - 1/2 \rho \pi C_{dt} d |u_r| u_r \quad (4)$$

$$m \left( \frac{dv}{dt} + u \frac{d\phi}{dt} \right) + m_a \frac{dv_r}{dt} = \frac{dQ}{ds} + T \Omega - w_o \cos \phi - 1/2 \rho C_{dn} d |v_r| v_r \quad (5)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = EA \left( \frac{\partial u}{\partial s} - v \Omega \right) \quad (6)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = \frac{\partial v}{\partial s} + u \Omega \quad (7)$$

$$EI \frac{\partial \Omega}{\partial s} = -Q \quad (8)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial s} = \Omega \quad (9)$$

Όπου  $s$  η Lagrangian συντεταγμένη κατά μήκος του riser και  $t$  ο χρόνος. Η επιφάνεια της διατομής  $A$ , καθώς και η ροπή αδράνειας  $I$ , υπολογίζονται στα πλαίσια των μη παραμορφωμένων, εσωτερικής και εξωτερικής, διαμέτρων της επιφάνειας του riser. Ορίζεται ένα διάνυσμα βάση των προηγούμενων σχέσεων,  $\mathbf{Y} = [T, Q, u, v, \Omega, \phi]^T$ , το οποίο αποτελείται από τις ταχύτητες  $u, v$  στην εφαπτομενική  $t$  και εγκάρσια διεύθυνση  $n$  αντίστοιχα (βλ.Εικόνα 1), την τάση  $T$ , τη γωνία  $\phi$ , η οποία ορίζεται ανάμεσα στην εφαπτομένη στο riser και την οριζόντιο, τη διατμητική δύναμη  $Q$  και την καμπυλότητα  $\Omega$ . Εδώ οι μεταβλητές  $T, \phi, Q$  και  $\Omega$  εκφράζουν συνολικές ποσότητες, δηλαδή κάθε μια συνίσταται από στατικό και δυναμικό μέρος. Οι τελευταίοι όροι στο δεξί μέλος των εξισώσεων (4) και (5) συμβολίζουν τις δυνάμεις αντίστασης παράλληλες στις διευθύνσεις  $t$  και  $n$  και αναπαρίστανται σε σχέση με τις σχετικές ταχύτητες  $u_r$  και  $v_r$ , παρουσία ενός σταθερού ρεύματος. Στην παρούσα μελέτη δεν θεωρήθηκε ύπαρξη ρεύματος και έτσι οι  $u_r$  και  $v_r$  αντικαταστάθηκαν από τις  $u$  και  $v$ . Στην υιοθετούμενη φόρμουλα του Morison, με  $d$  συμβολίζεται η απαραμόρφωτη εξωτερική διάμετρος του riser, με  $\rho$  η πυκνότητα του νερού και με  $C_{dt}$  και  $C_{dn}$  οι συντελεστές αντίστασης στην εφαπτομενική και εγκάρσια διεύθυνση αντίστοιχα. Στην εξίσωση (6) υποτίθεται μια γραμμική σχέση ανάμεσα στην τάση και την παραμόρφωση. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, τα αλυσοειδούς μορφής risers κατασκευάζονται από χάλυβα, γεγονός που οφείλεται τόσο στην απλότητα κατασκευής όσο και στα χαμηλά κόστη. Αν και μια μη γραμμική σχέση ανάμεσα στην τάση και την παραμόρφωση δεν έχει κάποια φυσική σημασία στην περίπτωση των χαλύβδινων αλυσοειδούς μορφής risers, η ανωτέρω περιγραφή μπορεί εύκολα να επεκταθεί ούτως ώστε να ενσωματώσει τις σχετικές συνεισφορές.

### 2.3 Αριθμητική επίλυση στο πεδίο του χρόνου

Οι εξισώσεις (4)-(9) επεξεργάζονται χωρίς επιπρόσθετες υποθέσεις όσον αφορά τη συνεισφορά των διαφόρων όρων. Το συγκεκριμένο σύστημα, επιλύεται μέσω της μεθόδου των πεπερασμένων διαφορών (The Keller Box Finite Differences Method, Hoffman, 1993). Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία κατά το παρελθόν, για την επίλυση δυναμικών προβλημάτων σε διάφορες εφαρμογές με καλώδια (Ablow & Schechter, 1983, Milinazzo, 1987, Howell, 1991, Burgess, 1993, Tjavaras, 1998, Chatjigeorgiou, 2004) και επεκτάθηκε, από τον Chatjigeorgiou 2008, για την επίλυση του μη γραμμικού δυναμικού προβλήματος των αλυσοειδούς μορφής risers. Χαρακτηριστικό πλεονέκτημα της συγκεκριμένης μεθόδου, είναι η δυνατότητα ανομοιόμορφης διακριτοποίησης τόσο στο χώρο όσο και στο χρόνο. Αρχικά το σύστημα των εξισώσεων (4)-(9) ξαναγράφεται με την ακόλουθη διανυσματική μορφή:

$$\frac{\partial \mathbf{Y}}{\partial s} = \frac{\partial \mathbf{Y}}{\partial t} + \mathbf{F} \quad (10)$$

όπου

$$\frac{\partial \mathbf{Y}}{\partial s} = \frac{\partial}{\partial s} [T \quad Q \quad EAu \quad v \quad EI\Omega \quad \phi]^T \quad (11)$$

$$\frac{\partial \mathbf{Y}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} [mu \quad (m+m_a)v \quad T \quad \phi \quad 0 \quad 0]^T \quad (12)$$



$$F = \begin{bmatrix} -m\nu \frac{\partial \phi}{\partial t} + w_0 \sin \phi + \Omega Q + 1/2 \rho \pi C_{dt} d |u| u \\ m\mu \frac{\partial \phi}{\partial t} - T\Omega + w_0 \cos \phi + 1/2 \rho \pi C_{dn} d |v| v \\ EA\nu\Omega \\ -u\Omega \\ -Q \\ \Omega \end{bmatrix} \quad (13)$$

Ακολούθως η εξίσωση (10) επιλύεται στο σημείο  $[k-1/2, j+1/2]$ , όπου οι δείκτες  $k$  και  $j$  υποδηλώνουν τη διακριτοποίηση στο χώρο και το χρόνο αντίστοιχα. Έτσι η εξίσωση (10) αποκτά την ακόλουθη αλγεβρική μορφή:

$$\frac{Y_k^{j+1} + Y_k^j - Y_{k-1}^{j+1} - Y_{k-1}^j}{2\Delta s} = \frac{Y_k^{j+1} + Y_{k-1}^{j+1} - Y_k^j - Y_{k-1}^j}{2\Delta t} + \frac{1}{4} (F_k^{j+1} + F_{k-1}^{j+1} + F_k^j + F_{k-1}^j) \quad (14)$$

Ο δείκτης  $j+1$  στην εξίσωση (14), υποδηλώνει τη χρονική στιγμή για την οποία απαιτείται η λύση. Οι χρονικά εξαρτημένες μεταβλητές, της αμέσως προηγούμενης χρονικής στιγμής  $j$ , είναι ήδη γνωστές και οι τιμές τους χρησιμοποιούνται για την έναρξη της επαναληπτικής διαδικασίας. Τη χρονική στιγμή  $t = 0$ , οι μεταβλητές που αντιστοιχούν στους όρους  $Y_k^j$  αντικαθίστανται από τις στατικές τους τιμές.

Υποθέτοντας ότι το παραμορφωμένο, ανηρτημένο μήκος του riser διακριτοποιείται χρησιμοποιώντας  $n$  σημεία, δηλαδή  $n-1$  ισοδύναμα στοιχειώδη μήκη, το σύστημα των εξισώσεων (4)-(9) επιλύεται σε όλα τα σημεία από  $k = 2$  έως  $k = n$ , αφού αυτές αποκτήσουν την αλγεβρική τους μορφή μέσω της εξίσωσης (14), δίνοντας με αυτό τον τρόπο ένα σύστημα αποτελούμενο από  $6(n-1)$  αλγεβρικές εξισώσεις. Το σύστημα αυτό συμπληρώνεται από τις έξι οριακές συνθήκες, οι οποίες πρέπει να επιβληθούν στα άκρα του riser. Τελικά λαμβάνεται σύστημα  $6n$  εξισώσεων και αγνώστων το οποίο επιλύεται με τη μέθοδο relaxation (Press, 1986). Οι οριακές συνθήκες, συνδεδεμένες με τη λειτουργία του riser, πρέπει να εξασφαλίζουν ότι οι καμπτικές ροπές, ή εναλλακτικά οι καμπυλότητες και στα δύο άκρα είναι μηδέν. Επιπλέον θεωρείται ότι το κατώτερο σημείο πρόσδεσης είναι σταθερό, καθώς και ότι οι ταχύτητες στην κορυφή είναι σαφώς προσδιορισμένες σαν προκαθορισμένες συναρτήσεις του χρόνου. Κάνοντας χρήση των συμβολισμών που υιοθετήθηκαν προηγουμένως, οι οριακές συνθήκες ορίζονται ακολούθως ως εξής:

$$\begin{aligned} \Omega_1^{j+1} &= 0, & \Omega_n^{j+1} &= 0, \\ u_1^{j+1} &= 0, & v_1^{j+1} &= 0, \\ u_n^{j+1} &= u_\alpha(t), & v_n^{j+1} &= v_\alpha(t) \end{aligned} \quad (15)$$

Στα παραρτήματα στο τέλος της εργασίας παρουσιάζονται οι αποδείξεις των εξισώσεων (3) και (14), καθώς και οι εξισώσεις (4)-(9) στην αλγεβρική τους μορφή.

## Κεφάλαιο 3

### Υπολογιστικό μέρος

#### 3.1 Κώδικες

Κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας, έγινε χρήση τριών κωδίκων σε γλώσσα προγραμματισμού FORTRAN, με σκοπό τον υπολογισμό των προαναφερθέντων μεταβλητών.

Ακολουθώς αναφέρονται οι κώδικες και περιγράφεται συνοπτικά ο ρόλος του καθενός:

##### 1. Κώδικας mu5inter.f

Σκοπός της εκτέλεσής του, ήταν η απόκτηση της αλυσοειδούς μορφής του riser συμπεριφερόμενου ως γραμμή αγκύρωσης ( $EI = 0$ ). Θα μπορούσε να οριστεί ως κώδικας προετοιμασίας.

##### 2. Κώδικας stat.f

Αφού το riser είχε αποκτήσει την αλυσοειδή του μορφή και είχε οριστεί η καμπτική του ακαμψία  $EI$ , ελήφθησαν μέσω του νέου κώδικα οι τιμές των διαφορών μεταβλητών των προηγούμενων εξισώσεων, σε κάθε σημείο από τα  $n$  της διακριτοποίησης, για τη χρονική στιγμή  $j$ . Έγινε δηλαδή μια αρχική εκτίμηση, των διαφορών μεγεθών, στη θέση στατικής ισορροπίας του.

##### 3. Κώδικας con1.f

Μέσω του τρίτου και τελευταίου κώδικα, ελήφθησαν οι τιμές των διαφορών μεταβλητών των προηγούμενων εξισώσεων, σε κάθε σημείο από τα  $n$  της διακριτοποίησης, για τη χρονική στιγμή  $j+1$ , εφόσον είχε οριστεί χρονικό διάστημα υπολογισμών, καθώς και είδος και συχνότητα διέγερσης.

Με άλλα λόγια αυτό που επιτεύχθηκε μέσω των τριών αυτών κωδίκων, ήταν η προσομοίωση, σε κάποιο βαθμό, της λειτουργίας ενός riser και η πρόβλεψη της δυναμικής συμπεριφοράς του μέσω των μεταβολών των τιμών των υπεισερχόμενων στο πρόβλημα μεταβλητών.

### 3.2 Πειραματικό μοντέλο riser αλυσοειδούς μορφής

Σε πρώτη φάση έγιναν υπολογισμοί για πειραματικό μοντέλο (εύκαμπτος σωλήνας μορφής riser) του οποίου τα χαρακτηριστικά δίδονται στον ακόλουθο πίνακα:

Ανηρτημένο μήκος	$L_s$	19,63 m
Εξωτερική διάμετρος	$d_o$	0,0284 m
Εσωτερική διάμετρος	$d_i$	0,0256 m
Μάζα ανά μονάδα μήκους	$m$	1,303 kg/m
Πρόσθετη μάζα	$m_a$	0,6493 kg/m
Συντελεστής πρόσθετης μάζας	$C_a$	1,0
Βάρος ανά μονάδα μήκους	$w_o$	6,4461 N/m
Εμβαδόν διατομής σωλήνα	$A$	$1,207 \times 10^{(-4)} \text{ m}^2$
Μέτρο ελαστικότητας	$E$	207 GPa
Ελαστική ακαμψία	$EA$	24.984.900 N
Καμπτική ακαμψία	$EI$	389,57 Nm <sup>2</sup>
Συντελεστής αντίστασης στην κάθετη διεύθυνση	$C_{dn}$	1,0
Συντελεστής αντίστασης στην εφαπτομενική διεύθυνση	$C_{dt}$	0,0
Βάθος νερού	$D$	10,84 m
Προένταση στην κορυφή	$T$	148,37 N
Γωνία στην κορυφή ως προς την οριζόντιο	$\varphi$	57,3°
Επικαθήμενο μήκος σωλήνα	$l$	16,37 m
Ολικό μήκος σωλήνα	$L_{total}$	36 m
Πυκνότητα νερού	$\rho$	1025 kg/m <sup>3</sup>

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά πειραματικού μοντέλου riser

Οι ανωτέρω μεταβλητές του πίνακα χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα και με τη διαδικασία που περιγράφηκε προηγουμένως πραγματοποιήθηκαν αρχικά τα ‘treξίματα’ των κωδίκων mu5inter.f και stat.f αντίστοιχα. Με εισαγωγή των αποτελεσμάτων, από αυτά τα ‘treξίματα’, στον τελευταίο κώδικα con1.f και δημιουργία αρχείων με ονομασίες test01-test32, τα οποία περιλάμβαναν χρόνο διάρκειας 20 περιόδων, τη συχνότητα διέγερσης, καθώς και τις συνιστώσες των διαφόρων διεγέρσεων κατά τη  $x$  και  $z$  διεύθυνση, έλαβαν χώρα 32 συνολικά ‘treξίματα’ αυτού, για κάθε μια από τις ακόλουθες περιπτώσεις:

-Διέγερση κατά  $x$  πλάτους (4.0 8.0 10.0 12.0 cm)

tests	χρόνος 20 περιόδων $T$ (sec)	$\omega$ (rad/sec)	συνιστώσα $x$ (cm)	συνιστώσα $z$ (cm)
01 έως 04	177.652	0.707	4.0 8.0 10.0 12.0	0.0 0.0 0.0 0.0
05 έως 08	88.826	1.414	4.0 8.0 10.0 12.0	0.0 0.0 0.0 0.0
09 έως 12	59.217	2.121	4.0 8.0 10.0 12.0	0.0 0.0 0.0 0.0
13 έως 16	44.413	2.828	4.0 8.0 10.0 12.0	0.0 0.0 0.0 0.0
17 έως 20	35.530	3.535	4.0 8.0 10.0 12.0	0.0 0.0 0.0 0.0
21 έως 24	29.609	4.242	4.0 8.0 10.0 12.0	0.0 0.0 0.0 0.0
25 έως 28	25.379	4.949	4.0 8.0 10.0 12.0	0.0 0.0 0.0 0.0
29 έως 32	23.685	5.303	4.0 8.0 10.0 12.0	0.0 0.0 0.0 0.0

-Διέγερση κατά  $p$  πλάτους (4.0 8.0 10.0 12.0 cm)

tests	χρόνος 20 περιόδων $T$ (sec)	$\omega$ (rad/sec)	συνιστώσα $x$ (cm)	συνιστώσα $z$ (cm)
01 έως 04	177.652	0.707	2.2 4.3 5.4 6.5	3.4 6.7 8.4 10.1
05 έως 08	88.826	1.414	2.2 4.3 5.4 6.5	3.4 6.7 8.4 10.1
09 έως 12	59.217	2.121	2.2 4.3 5.4 6.5	3.4 6.7 8.4 10.1
13 έως 16	44.413	2.828	2.2 4.3 5.4 6.5	3.4 6.7 8.4 10.1
17 έως 20	35.530	3.535	2.2 4.3 5.4 6.5	3.4 6.7 8.4 10.1
21 έως 24	29.609	4.242	2.2 4.3 5.4 6.5	3.4 6.7 8.4 10.1
25 έως 28	25.379	4.949	2.2 4.3 5.4 6.5	3.4 6.7 8.4 10.1
29 έως 32	23.685	5.303	2.2 4.3 5.4 6.5	3.4 6.7 8.4 10.1

-Διέγερση κατά  $q$  πλάτους (4.0 8.0 10.0 12.0 cm)

tests	χρόνος 20 περιόδων $T$ (sec)	$\omega$ (rad/sec)	συνιστώσα $x$ (cm)	συνιστώσα $z$ (cm)
01 έως 04	177.652	0.707	-3.4 -6.7 -8.4 -10.1	2.2 4.3 5.4 6.5
05 έως 08	88.826	1.414	-3.4 -6.7 -8.4 -10.1	2.2 4.3 5.4 6.5
09 έως 12	59.217	2.121	-3.4 -6.7 -8.4 -10.1	2.2 4.3 5.4 6.5
13 έως 16	44.413	2.828	-3.4 -6.7 -8.4 -10.1	2.2 4.3 5.4 6.5
17 έως 20	35.530	3.535	-3.4 -6.7 -8.4 -10.1	2.2 4.3 5.4 6.5
21 έως 24	29.609	4.242	-3.4 -6.7 -8.4 -10.1	2.2 4.3 5.4 6.5
25 έως 28	25.379	4.949	-3.4 -6.7 -8.4 -10.1	2.2 4.3 5.4 6.5
29 έως 32	23.685	5.303	-3.4 -6.7 -8.4 -10.1	2.2 4.3 5.4 6.5

Οι μεταβλητές  $x$  και  $z$  αφορούν τις διευθύνσεις παράλληλα και κάθετα στην επιφάνεια του νερού, ενώ οι  $p$  και  $q$  τις διευθύνσεις εφαπτομενικά και κάθετα στο riser (οι οποίες συναντώνται και ως  $t$  και  $n$  βλ. Εικόνα 1). Στις περιπτώσεις των  $p$  και  $q$  διεγέρσεων, οι τιμές των  $x$  και  $z$  μεταβλητών προέκυψαν με βάση τη γωνία στην κορυφή  $\phi$  (γωνία ανάμεσα στις  $x$  και  $p$  διευθύνσεις) από τις ακόλουθες σχέσεις:

- $p$  διέγερση

$$\begin{aligned} x &= p \cdot \cos(\phi) \\ z &= p \cdot \sin(\phi) \end{aligned} \quad (16)$$

- $q$  διέγερση

$$\begin{aligned} x &= -q \cdot \sin(\phi) \\ z &= q \cdot \cos(\phi) \end{aligned} \quad (17)$$

Ο χρόνος των 20 περιόδων προέκυψε συναρτήσει της συχνότητας διέγερσης, σύμφωνα με τον τύπο:

$$T = 20 \cdot \frac{2\pi}{\omega} \text{ (sec)} \quad (18)$$

Το σημείο για το οποίο έγιναν οι υπολογισμοί, ήταν το 400° από τα 400 της διακριτοποίησης του μοντέλου μας, θεωρώντας ότι αυτή ξεκινάει από τον πυθμένα της δεξαμενής (από το τέλος του επικαθήμενου τμήματος του riser και ύστερα). Δηλαδή στην κορυφή (άνω άκρο του μοντέλου).

Τα αποτελέσματα αφορούν χρονικό διάστημα περίπου δύο περιόδων, με έναρξη λίγο μετά τη 18<sup>η</sup> περίοδο και κατάληξη λίγο πριν την 20<sup>η</sup>.

Αυτά φαίνονται για κάθε περίπτωση αναλυτικότερα στον πίνακα που ακολουθεί:

tests	χρονικές στιγμές των 0.05 sec	$\omega$ (rad/sec)	χρόνος $\approx 20$ περιόδων (sec)	χρόνος $\approx 18$ περιόδων (sec)	χρόνος υπολογισμών $\approx 2$ περίοδοι (sec)	χρόνος $\approx 1$ περιόδου (sec)
<b>01-04</b>	354	0.707	177.65	160.00	17.65	8.825
<b>05-08</b>	177	1.414	88.80	80.00	8.80	4.400
<b>09-12</b>	118	2.121	59.20	53.35	5.85	2.925
<b>13-16</b>	89	2.828	44.40	40.00	4.40	2.200
<b>17-20</b>	71	3.535	35.50	32.00	3.50	1.750
<b>21-24</b>	59	4.242	29.60	26.70	2.90	1.450
<b>25-28</b>	50	4.949	25.35	22.90	2.45	1.225
<b>29-32</b>	47	5.303	23.65	21.35	2.30	1.150

Η ενέργεια διάχυσης  $E_{dx}$ , υπολογίστηκε προσεγγιστικά για κάθε περίπτωση στο πρόγραμμα MATLAB, με τον κανόνα του τραπεζίου για διάστημα μιας περιόδου. Ακολούθως με βάση την ενέργεια διάχυσης, τη συχνότητα διέγερσης και το πλάτος διέγερσης, ήταν εφικτός ο υπολογισμός του γραμμικοποιημένου συντελεστή απόσβεσης  $\zeta$  από την εξίσωση (3).

### 3.3 Πραγματικά μοντέλα risers αλυσοειδούς μορφής

Ακολουθώντας την ίδια ακριβώς διαδικασία με αυτή που περιγράφηκε για το πειραματικό μοντέλο, με τη διαφορά ότι εισήχθησαν καινούρια δεδομένα, πραγματοποιήθηκαν 36 ακόμα ‘τρεξίματα’ για κάθε τύπο διέγερσης, ( $x \ p \ q$ ), καθώς και βάθη νερού (300 500 800 1200 και 1800 m). Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε τύπο διέγερσης και βάθος νερού:

#### 3.3.1 Μοντέλο 1. Βάθος νερού 300 m

Τα χαρακτηριστικά του riser για το συγκεκριμένο βάθος νερού δίδονται στον κάτωθι πίνακα:

Ανηρημένο μήκος	$L_s$	470,21 m
Εξωτερική διάμετρος	$d_o$	0,429 m
Εσωτερική διάμετρος	$d_i$	0,385 m
Μάζα ανά μονάδα μήκους	$m$	262,933 kg/m
Πρόσθετη μάζα	$m_a$	148,16 kg/m
Συντελεστής πρόσθετης μάζας	$C_a$	1,0
Βάρος ανά μονάδα μήκους	$w_o$	915,56 N/m
Ελαστική ακαμψία	$EA$	$0,5823 \times 10^{10}$ N
Καμπτική ακαμψία	$EI$	$0,1209 \times 10^9$ Nm <sup>2</sup>
Συντελεστής αντίστασης στην κάθετη διεύθυνση	$C_{dn}$	1,0
Συντελεστής αντίστασης στην εφαπτομενική διεύθυνση	$C_{dt}$	0,0
Βάθος νερού	$D$	300 m
Προένταση στην κορυφή	$T$	474,552 kN
Γωνία στην κορυφή ως προς την κατακόρυφο z	$\theta$	24,9°
Επικαθήμενο μήκος σωλήνα	$l$	414,79 m
Πυκνότητα νερού	$\rho$	1025 kg/m <sup>3</sup>

Πίνακας 2. Βάθος νερού 300 m. Χαρακτηριστικά μοντέλου riser 1

-Διέγερση κατά  $x$  πλάτους (0.50 1.0 1.25 1.50 m)

tests	χρόνος 20 περιόδων $T$ (sec)	$\omega$ (rad/sec)	συνιστώσα $x$ (m)	συνιστώσα $z$ (m)
01 έως 04	628.000	0.2	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0
05 έως 08	314.000	0.4	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0
09 έως 12	209.333	0.6	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0
13 έως 16	157.000	0.8	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0
17 έως 20	125.600	1.0	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0
21 έως 24	104.667	1.2	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0
25 έως 28	89.714	1.4	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0
29 έως 32	83.733	1.5	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0
32 έως 36	62.800	2.0	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0

-Διέγερση κατά  $p$  πλάτους (0.50 1.0 1.25 1.50 m)

tests	χρόνος 20 περιόδων $T$ (sec)	$\omega$ (rad/sec)	συνιστώσα $x$ (m)	συνιστώσα $z$ (m)
01 έως 04	628.000	0.2	0.214 0.428 0.535 0.641	0.452 0.904 1.130 1.356
05 έως 08	314.000	0.4	0.214 0.428 0.535 0.641	0.452 0.904 1.130 1.356
09 έως 12	209.333	0.6	0.214 0.428 0.535 0.641	0.452 0.904 1.130 1.356
13 έως 16	157.000	0.8	0.214 0.428 0.535 0.641	0.452 0.904 1.130 1.356
17 έως 20	125.600	1.0	0.214 0.428 0.535 0.641	0.452 0.904 1.130 1.356
21 έως 24	104.667	1.2	0.214 0.428 0.535 0.641	0.452 0.904 1.130 1.356
25 έως 28	89.714	1.4	0.214 0.428 0.535 0.641	0.452 0.904 1.130 1.356
29 έως 32	83.733	1.5	0.214 0.428 0.535 0.641	0.452 0.904 1.130 1.356
32 έως 36	62.800	2.0	0.214 0.428 0.535 0.641	0.452 0.904 1.130 1.356

-Διέγερση κατά  $q$  πλάτους (0.50 1.0 1.25 1.50 m)

tests	χρόνος 20 περιόδων $T$ (sec)	$\omega$ (rad/sec)	συνιστώσα $x$ (m)	συνιστώσα $z$ (m)
01 έως 04	628.000	0.2	-0.452 -0.904 -1.130 -1.356	0.214 0.428 0.535 0.641
05 έως 08	314.000	0.4	-0.452 -0.904 -1.130 -1.356	0.214 0.428 0.535 0.641
09 έως 12	209.333	0.6	-0.452 -0.904 -1.130 -1.356	0.214 0.428 0.535 0.641
13 έως 16	157.000	0.8	-0.452 -0.904 -1.130 -1.356	0.214 0.428 0.535 0.641
17 έως 20	125.600	1.0	-0.452 -0.904 -1.130 -1.356	0.214 0.428 0.535 0.641
21 έως 24	104.667	1.2	-0.452 -0.904 -1.130 -1.356	0.214 0.428 0.535 0.641
25 έως 28	89.714	1.4	-0.452 -0.904 -1.130 -1.356	0.214 0.428 0.535 0.641
29 έως 32	83.733	1.5	-0.452 -0.904 -1.130 -1.356	0.214 0.428 0.535 0.641
32 έως 36	62.800	2.0	-0.452 -0.904 -1.130 -1.356	0.214 0.428 0.535 0.641

### 3.3.2 Μοντέλο 2. Βάθος νερού 500 m

Τα χαρακτηριστικά του riser για το συγκεκριμένο βάθος νερού δίδονται στον κάτωθι πίνακα:

Ανηρτημένο μήκος	$L_s$	685,25 m
Εξωτερική διάμετρος	$d_o$	0,429 m
Εσωτερική διάμετρος	$d_i$	0,385 m
Μάζα ανά μονάδα μήκους	$m$	262,933 kg/m
Πρόσθετη μάζα	$m_a$	148,16 kg/m
Συντελεστής πρόσθετης μάζας	$C_a$	1,0
Βάρος ανά μονάδα μήκους	$w_o$	915,56 N/m
Ελαστική ακαμψία	$EA$	$0,5823 \times 10^{10}$ N
Καμπτική ακαμψία	$EI$	$0,1209 \times 10^9$ Nm <sup>2</sup>
Συντελεστής αντίστασης στην κάθετη διεύθυνση	$C_{dn}$	1,0
Συντελεστής αντίστασης στην εφαπτομενική διεύθυνση	$C_{dt}$	0,0
Βάθος νερού	$D$	500 m
Προένταση στην κορυφή	$T$	656,2146 kN
Γωνία στην κορυφή ως προς την κατακόρυφο z	$\theta$	17,6°
Επικαθήμενο μήκος σωλήνα	$l$	399,75 m
Πυκνότητα νερού	$\rho$	1025 kg/m <sup>3</sup>

Πίνακας 3. Βάθος νερού 500 m. Χαρακτηριστικά μοντέλου riser 2

-Διέγερση κατά x πλάτους (0.50 1.0 1.25 1.50 m)

tests	χρόνος 20 περιόδων $T$ (sec)	$\omega$ (rad/sec)	συνιστώσα x(m)	συνιστώσα z(m)
01 έως 04	628.000	0.2	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0
05 έως 08	314.000	0.4	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0
09 έως 12	209.333	0.6	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0
13 έως 16	157.000	0.8	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0
17 έως 20	125.600	1.0	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0
21 έως 24	104.667	1.2	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0
25 έως 28	89.714	1.4	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0
29 έως 32	83.733	1.5	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0
32 έως 36	62.800	2.0	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0



-Διέγερση κατά  $p$  πλάτους (0.50 1.0 1.25 1.50 m)

tests	χρόνος 20 περιόδων $T$ (sec)	$\omega$ (rad/sec)	συνιστώσα $x$ (m)	συνιστώσα $z$ (m)
01 έως 04	628.000	0.2	0.152 0.304 0.380 0.456	0.476 0.953 1.191 1.429
05 έως 08	314.000	0.4	0.152 0.304 0.380 0.456	0.476 0.953 1.191 1.429
09 έως 12	209.333	0.6	0.152 0.304 0.380 0.456	0.476 0.953 1.191 1.429
13 έως 16	157.000	0.8	0.152 0.304 0.380 0.456	0.476 0.953 1.191 1.429
17 έως 20	125.600	1.0	0.152 0.304 0.380 0.456	0.476 0.953 1.191 1.429
21 έως 24	104.667	1.2	0.152 0.304 0.380 0.456	0.476 0.953 1.191 1.429
25 έως 28	89.714	1.4	0.152 0.304 0.380 0.456	0.476 0.953 1.191 1.429
29 έως 32	83.733	1.5	0.152 0.304 0.380 0.456	0.476 0.953 1.191 1.429
32 έως 36	62.800	2.0	0.152 0.304 0.380 0.456	0.476 0.953 1.191 1.429

-Διέγερση κατά  $q$  πλάτους (0.50 1.0 1.25 1.50 m)

tests	χρόνος 20 περιόδων $T$ (sec)	$\omega$ (rad/sec)	συνιστώσα $x$ (m)	συνιστώσα $z$ (m)
01 έως 04	628.000	0.2	-0.476 -0.953 -1.191 -1.429	0.152 0.304 0.380 0.456
05 έως 08	314.000	0.4	-0.476 -0.953 -1.191 -1.429	0.152 0.304 0.380 0.456
09 έως 12	209.333	0.6	-0.476 -0.953 -1.191 -1.429	0.152 0.304 0.380 0.456
13 έως 16	157.000	0.8	-0.476 -0.953 -1.191 -1.429	0.152 0.304 0.380 0.456
17 έως 20	125.600	1.0	-0.476 -0.953 -1.191 -1.429	0.152 0.304 0.380 0.456
21 έως 24	104.667	1.2	-0.476 -0.953 -1.191 -1.429	0.152 0.304 0.380 0.456
25 έως 28	89.714	1.4	-0.476 -0.953 -1.191 -1.429	0.152 0.304 0.380 0.456
29 έως 32	83.733	1.5	-0.476 -0.953 -1.191 -1.429	0.152 0.304 0.380 0.456
32 έως 36	62.800	2.0	-0.476 -0.953 -1.191 -1.429	0.152 0.304 0.380 0.456

### 3.3.3 Μοντέλο 3. Βάθος νερού 800 m

Τα χαρακτηριστικά του riser για το συγκεκριμένο βάθος νερού δίδονται στον κάτωθι πίνακα:

Ανηρτημένο μήκος	$L_s$	996,21 m
Εξωτερική διάμετρος	$d_o$	0,429 m
Εσωτερική διάμετρος	$d_i$	0,385 m
Μάζα ανά μονάδα μήκους	$m$	262,933 kg/m
Πρόσθετη μάζα	$m_a$	148,16 kg/m
Συντελεστής πρόσθετης μάζας	$C_a$	1,0
Βάρος ανά μονάδα μήκους	$w_o$	915,56 N/m
Ελαστική ακαμψία	$EA$	$0,5823 \times 10^{10}$ N
Καμπτική ακαμψία	$EI$	$0,1209 \times 10^9$ Nm <sup>2</sup>
Συντελεστής αντίστασης στην κάθετη διεύθυνση	$C_{dn}$	1,0
Συντελεστής αντίστασης στην εφαπτομενική διεύθυνση	$C_{dt}$	0,0
Βάθος νερού	$D$	800 m
Προένταση στην κορυφή	$T$	930,644 kN
Γωνία στην κορυφή ως προς την κατακόρυφο z	$\theta$	12,3°
Επικαθήμενο μήκος σωλήνα	$l$	388,79 m
Πυκνότητα νερού	$\rho$	1025 kg/m <sup>3</sup>

Πίνακας 4. Βάθος νερού 800 m. Χαρακτηριστικά μοντέλου riser 3

-Διέγερση κατά x πλάτους (0.50 1.0 1.25 1.50 m)

tests	χρόνος 20 περιόδων $T$ (sec)	$\omega$ (rad/sec)	συνιστώσα x (m)	συνιστώσα z (m)
01 έως 04	628.000	0.2	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0
05 έως 08	314.000	0.4	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0
09 έως 12	209.333	0.6	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0
13 έως 16	157.000	0.8	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0
17 έως 20	125.600	1.0	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0
21 έως 24	104.667	1.2	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0
25 έως 28	89.714	1.4	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0
29 έως 32	83.733	1.5	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0
32 έως 36	62.800	2.0	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0

-Διέγερση κατά  $p$  πλάτους (0.50 1.0 1.25 1.50 m)

tests	χρόνος 20 περιόδων $T$ (sec)	$\omega$ (rad/sec)	συνιστώσα $x$ (m)	συνιστώσα $z$ (m)
01 έως 04	628.000	0.2	0.107 0.214 0.267 0.320	0.488 0.977 1.221 1.465
05 έως 08	314.000	0.4	0.107 0.214 0.267 0.320	0.488 0.977 1.221 1.465
09 έως 12	209.333	0.6	0.107 0.214 0.267 0.320	0.488 0.977 1.221 1.465
13 έως 16	157.000	0.8	0.107 0.214 0.267 0.320	0.488 0.977 1.221 1.465
17 έως 20	125.600	1.0	0.107 0.214 0.267 0.320	0.488 0.977 1.221 1.465
21 έως 24	104.667	1.2	0.107 0.214 0.267 0.320	0.488 0.977 1.221 1.465
25 έως 28	89.714	1.4	0.107 0.214 0.267 0.320	0.488 0.977 1.221 1.465
29 έως 32	83.733	1.5	0.107 0.214 0.267 0.320	0.488 0.977 1.221 1.465
32 έως 36	62.800	2.0	0.107 0.214 0.267 0.320	0.488 0.977 1.221 1.465

-Διέγερση κατά  $q$  πλάτους (0.50 1.0 1.25 1.50 m)

tests	χρόνος 20 περιόδων $T$ (sec)	$\omega$ (rad/sec)	συνιστώσα $x$ (m)	συνιστώσα $z$ (m)
01 έως 04	628.000	0.2	-0.488 -0.977 -1.221 -1.465	0.107 0.214 0.267 0.320
05 έως 08	314.000	0.4	-0.488 -0.977 -1.221 -1.465	0.107 0.214 0.267 0.320
09 έως 12	209.333	0.6	-0.488 -0.977 -1.221 -1.465	0.107 0.214 0.267 0.320
13 έως 16	157.000	0.8	-0.488 -0.977 -1.221 -1.465	0.107 0.214 0.267 0.320
17 έως 20	125.600	1.0	-0.488 -0.977 -1.221 -1.465	0.107 0.214 0.267 0.320
21 έως 24	104.667	1.2	-0.488 -0.977 -1.221 -1.465	0.107 0.214 0.267 0.320
25 έως 28	89.714	1.4	-0.488 -0.977 -1.221 -1.465	0.107 0.214 0.267 0.320
29 έως 32	83.733	1.5	-0.488 -0.977 -1.221 -1.465	0.107 0.214 0.267 0.320
32 έως 36	62.800	2.0	-0.488 -0.977 -1.221 -1.465	0.107 0.214 0.267 0.320

### 3.3.4 Μοντέλο 4. Βάθος νερού 1200 m

Τα χαρακτηριστικά του riser για το συγκεκριμένο βάθος νερού δίδονται στον κάτωθι πίνακα:

Ανηρτημένο μήκος	$L_s$	1403,1 m
Εξωτερική διάμετρος	$d_o$	0,429 m
Εσωτερική διάμετρος	$d_i$	0,385 m
Μάζα ανά μονάδα μήκους	$m$	262,933 kg/m
Πρόσθετη μάζα	$m_a$	148,16 kg/m
Συντελεστής πρόσθετης μάζας	$C_a$	1,0
Βάρος ανά μονάδα μήκους	$w_o$	915,56 N/m
Ελαστική ακαμψία	$EA$	$0,5823 \times 10^{10}$ N
Καμπτική ακαμψία	$EI$	$0,1209 \times 10^9$ Nm <sup>2</sup>
Συντελεστής αντίστασης στην κάθετη διεύθυνση	$C_{dn}$	1,0
Συντελεστής αντίστασης στην εφαπτομενική διεύθυνση	$C_{dt}$	0,0
Βάθος νερού	$D$	1200 m
Προένταση στην κορυφή	$T$	1296,754 kN
Γωνία στην κορυφή ως προς την κατακόρυφο z	$\theta$	8,8°
Επικαθήμενο μήκος σωλήνα	$l$	481,9 m
Πυκνότητα νερού	$\rho$	1025 kg/m <sup>3</sup>

Πίνακας 5. Βάθος νερού 1200 m. Χαρακτηριστικά μοντέλου riser 4

-Διέγερση κατά x πλάτους (0.50 1.0 1.25 1.50 m)

tests	χρόνος 20 περιόδων $T$ (sec)	$\omega$ (rad/sec)	συνιστώσα x (m)	συνιστώσα z (m)
01 έως 04	628.000	0.2	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0
05 έως 08	314.000	0.4	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0
09 έως 12	209.333	0.6	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0
13 έως 16	157.000	0.8	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0
17 έως 20	125.600	1.0	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0
21 έως 24	104.667	1.2	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0
25 έως 28	89.714	1.4	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0
29 έως 32	83.733	1.5	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0
32 έως 36	62.800	2.0	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0

-Διέγερση κατά  $p$  πλάτους (0.50 1.0 1.25 1.50 m)

tests	χρόνος 20 περιόδων $T$ (sec)	$\omega$ (rad/sec)	συνιστώσα $x$ (m)	συνιστώσα $z$ (m)
01 έως 04	628.000	0.2	0.076 0.153 0.191 0.229	0.494 0.988 1.235 1.482
05 έως 08	314.000	0.4	0.076 0.153 0.191 0.229	0.494 0.988 1.235 1.482
09 έως 12	209.333	0.6	0.076 0.153 0.191 0.229	0.494 0.988 1.235 1.482
13 έως 16	157.000	0.8	0.076 0.153 0.191 0.229	0.494 0.988 1.235 1.482
17 έως 20	125.600	1.0	0.076 0.153 0.191 0.229	0.494 0.988 1.235 1.482
21 έως 24	104.667	1.2	0.076 0.153 0.191 0.229	0.494 0.988 1.235 1.482
25 έως 28	89.714	1.4	0.076 0.153 0.191 0.229	0.494 0.988 1.235 1.482
29 έως 32	83.733	1.5	0.076 0.153 0.191 0.229	0.494 0.988 1.235 1.482
32 έως 36	62.800	2.0	0.076 0.153 0.191 0.229	0.494 0.988 1.235 1.482

-Διέγερση κατά  $q$  πλάτους (0.50 1.0 1.25 1.50 m)

tests	χρόνος 20 περιόδων $T$ (sec)	$\omega$ (rad/sec)	συνιστώσα $x$ (m)	συνιστώσα $z$ (m)
01 έως 04	628.000	0.2	-0.494 -0.988 -1.235 -1.482	0.076 0.153 0.191 0.229
05 έως 08	314.000	0.4	-0.494 -0.988 -1.235 -1.482	0.076 0.153 0.191 0.229
09 έως 12	209.333	0.6	-0.494 -0.988 -1.235 -1.482	0.076 0.153 0.191 0.229
13 έως 16	157.000	0.8	-0.494 -0.988 -1.235 -1.482	0.076 0.153 0.191 0.229
17 έως 20	125.600	1.0	-0.494 -0.988 -1.235 -1.482	0.076 0.153 0.191 0.229
21 έως 24	104.667	1.2	-0.494 -0.988 -1.235 -1.482	0.076 0.153 0.191 0.229
25 έως 28	89.714	1.4	-0.494 -0.988 -1.235 -1.482	0.076 0.153 0.191 0.229
29 έως 32	83.733	1.5	-0.494 -0.988 -1.235 -1.482	0.076 0.153 0.191 0.229
32 έως 36	62.800	2.0	-0.494 -0.988 -1.235 -1.482	0.076 0.153 0.191 0.229

### 3.3.5 Μοντέλο 5. Βάθος νερού 1800 m

Τα χαρακτηριστικά του riser για το συγκεκριμένο βάθος νερού δίδονται στον κάτωθι πίνακα:

Ανηρτημένο μήκος	$L_s$	2011,65 m
Εξωτερική διάμετρος	$d_o$	0,429 m
Εσωτερική διάμετρος	$d_i$	0,385 m
Μάζα ανά μονάδα μήκους	$m$	262,933 kg/m
Πρόσθετη μάζα	$m_a$	148,16 kg/m
Συντελεστής πρόσθετης μάζας	$C_a$	1,0
Βάρος ανά μονάδα μήκους	$w_o$	915,56 N/m
Ελαστική ακαμψία	$EA$	$0,5823 \times 10^{10}$ N
Καμπτική ακαμψία	$EI$	$0,1209 \times 10^9$ Nm <sup>2</sup>
Συντελεστής αντίστασης στην κάθετη διεύθυνση	$C_{dn}$	1,0
Συντελεστής αντίστασης στην εφαπτομενική διεύθυνση	$C_{dt}$	0,0
Βάθος νερού	$D$	1800 m
Προένταση στην κορυφή	$T$	1847,0166 kN
Γωνία στην κορυφή ως προς την κατακόρυφο z	$\theta$	6,2°
Επικαθήμενο μήκος σωλήνα	$l$	473,35 m
Πυκνότητα νερού	$\rho$	1025 kg/m

Πίνακας 6. Βάθος νερού 1800 m. Χαρακτηριστικά μοντέλου riser 5

-Διέγερση κατά x πλάτους (0.50 1.0 1.25 1.50 m)

tests	χρόνος 20 περιόδων $T$ (sec)	$\omega$ (rad/sec)	συνιστώσα x (m)	συνιστώσα z (m)
01 έως 04	628.000	0.2	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0
05 έως 08	314.000	0.4	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0
09 έως 12	209.333	0.6	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0
13 έως 16	157.000	0.8	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0
17 έως 20	125.600	1.0	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0
21 έως 24	104.667	1.2	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0
25 έως 28	89.714	1.4	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0
29 έως 32	83.733	1.5	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0
32 έως 36	62.800	2.0	0.50 1.00 1.25 1.50	0.0 0.0 0.0 0.0

-Διέγερση κατά  $p$  πλάτους (0.50 1.0 1.25 1.50 m)

tests	χρόνος 20 περιόδων $T$ (sec)	$\omega$ (rad/sec)	συνιστώσα $x$ (m)	συνιστώσα $z$ (m)
01 έως 04	628.000	0.2	0.054 0.108 0.134 0.161	0.497 0.994 1.243 1.491
05 έως 08	314.000	0.4	0.054 0.108 0.134 0.161	0.497 0.994 1.243 1.491
09 έως 12	209.333	0.6	0.054 0.108 0.134 0.161	0.497 0.994 1.243 1.491
13 έως 16	157.000	0.8	0.054 0.108 0.134 0.161	0.497 0.994 1.243 1.491
17 έως 20	125.600	1.0	0.054 0.108 0.134 0.161	0.497 0.994 1.243 1.491
21 έως 24	104.667	1.2	0.054 0.108 0.134 0.161	0.497 0.994 1.243 1.491
25 έως 28	89.714	1.4	0.054 0.108 0.134 0.161	0.497 0.994 1.243 1.491
29 έως 32	83.733	1.5	0.054 0.108 0.134 0.161	0.497 0.994 1.243 1.491
32 έως 36	62.800	2.0	0.054 0.108 0.134 0.161	0.497 0.994 1.243 1.491

-Διέγερση κατά  $q$  πλάτους (0.50 1.0 1.25 1.50 m)

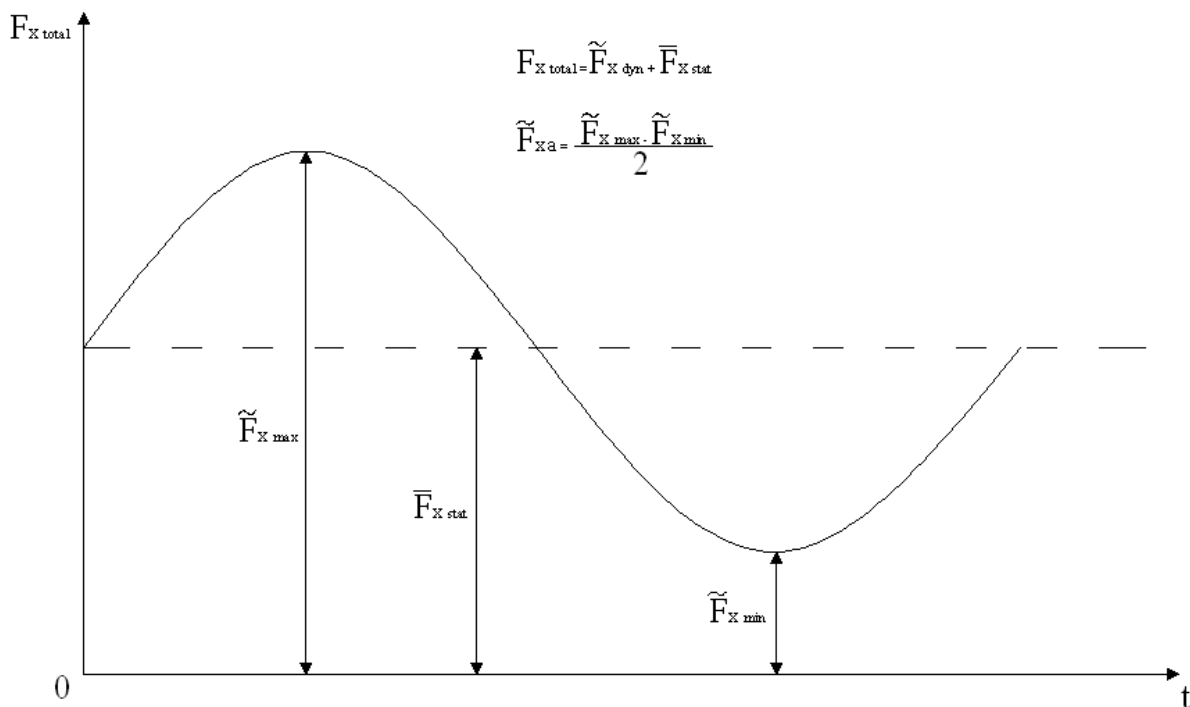
tests	χρόνος 20 περιόδων $T$ (sec)	$\omega$ (rad/sec)	συνιστώσα $x$ (m)	συνιστώσα $z$ (m)
01 έως 04	628.000	0.2	-0.497 -0.994 -1.243 -1.491	0.054 0.108 0.134 0.161
05 έως 08	314.000	0.4	-0.497 -0.994 -1.243 -1.491	0.054 0.108 0.134 0.161
09 έως 12	209.333	0.6	-0.497 -0.994 -1.243 -1.491	0.054 0.108 0.134 0.161
13 έως 16	157.000	0.8	-0.497 -0.994 -1.243 -1.491	0.054 0.108 0.134 0.161
17 έως 20	125.600	1.0	-0.497 -0.994 -1.243 -1.491	0.054 0.108 0.134 0.161
21 έως 24	104.667	1.2	-0.497 -0.994 -1.243 -1.491	0.054 0.108 0.134 0.161
25 έως 28	89.714	1.4	-0.497 -0.994 -1.243 -1.491	0.054 0.108 0.134 0.161
29 έως 32	83.733	1.5	-0.497 -0.994 -1.243 -1.491	0.054 0.108 0.134 0.161
32 έως 36	62.800	2.0	-0.497 -0.994 -1.243 -1.491	0.054 0.108 0.134 0.161

tests	χρονικές στιγμές των 0.05 sec	$\omega$ (rad/sec)	χρόνος $\approx 20$ περιόδων (sec)	χρόνος $\approx 18$ περιόδων (sec)	χρόνος υπολογισμών $\approx 2$ περιόδοι (sec)	χρόνος $\approx 1$ περιόδου (sec)
01-04	1251	0.200	628.000	565.500	62.500	31.250
05-08	626	0.400	314.000	282.750	31.250	15.625
09-12	417	0.600	209.300	188.500	20.800	10.400
13-16	313	0.800	157.000	141.400	15.600	7.800
17-20	251	1.000	125.600	113.100	12.500	6.250
21-24	209	1.200	104.650	94.250	10.400	5.200
25-28	179	1.400	89.700	80.800	8.900	4.450
29-32	167	1.500	83.700	75.400	8.300	4.150
33-36	126	2.000	62.800	56.550	6.250	3.125

Στο τέλος της εργασίας παρουσιάζονται, τόσο για το πειραματικό όσο και για τα πραγματικά μοντέλα risers, τα διαγράμματα  $F_x(dx/dt)$ , ενδεικτικά για συχνότητες διέγερσης  $\omega$  (2.121 3.535 4.949 5.303) rad/sec για το πειραματικό και  $\omega$  (0.6 1.0 1.4 2.0) rad/sec για τα πραγματικά μοντέλα αντίστοιχα, τα διαγράμματα  $\bar{F}_{xa}(\omega)$ , με  $\bar{F}_{xa}$  το πλάτος του δυναμικού μέρους της  $F_x$  υπολογιζόμενο ως, η μέση τιμή μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης τιμής της δυναμικής συνιστώσας της τάσης κατά  $x$  σε μια περίοδο· είναι με άλλα λόγια η μέγιστη απόκλιση από τη μέση τιμή της τάσης  $F_x$ , δηλαδή αυτής κατά τη φάση στατικής ισορροπίας (βλ. Εικόνα 2), τα διαγράμματα  $E_x(\omega)$ , καθώς και τα διαγράμματα  $C_x(\omega)$  για κάθε πλάτος και είδος διέγερσης για το 400° σημείο της διακριτοποίησης, δηλαδή στην κορυφή του riser.

Επίσης τα διαγράμματα  $T(s)$ ,  $M(s)$ ,  $u(s)$ ,  $v(s)$  και  $Q(s)$ , ενδεικτικά για  $\omega = 5.303$  rad/sec και πλάτος 0.12 m για το πειραματικό μοντέλο και  $\omega = 2.0$  rad/sec και πλάτος 1.5 m για τα πραγματικά, για κάθε διέγερση  $x$  και  $q$ . Στη δεύτερη κατηγορία διαγραμμάτων για κάθε μεταβλητή  $T$ ,  $M$ ,  $u$ ,  $v$  και  $Q$  έχουμε μια πληθώρα καμπυλών. Κάθε μια από αυτές τις καμπύλες, απεικονίζει μια κατάσταση χρονικού διαστήματος 0.05 sec (υποδιαιρεμένου επιπλέον σε 400 χρονικές στιγμές της τάξης των 0.000125 sec η κάθε μια), με αφετηρία τη 18<sup>η</sup> περίοδο και τέρμα την 20<sup>η</sup>. Δηλαδή αυτό που έχουμε ουσιαστικά, είναι 400 φωτογραφίες ανά 0.05 sec, το άθροισμα των οποίων συνθέτει τη χρονική ιστορία της κάθε μεταβλητής  $T$ ,  $M$ ,  $u$ ,  $v$  και  $Q$  συναρτήσει της  $s$ , από τη 18<sup>η</sup> περίοδο έως και την 20<sup>η</sup>, για το ανηρημένο τμήμα του riser.

Στο παράρτημα στο τέλος παρουσιάζονται οι σχέσεις μέσω των οποίων υπολογίζονται οι  $F_x$ ,  $dx/dt$  και  $u$ ,  $v$  για κάθε διέγερση.



Εικόνα 2. Σύστημα συντεταγμένων στο οποίο απεικονίζεται η μεταβολή της  $F_x$  σε μια περίοδο

### 3.4 Σύγκριση δύο πραγματικών μοντέλων με μηδενική και μη μηδενική καμπτική ακαμψία για βάθος νερού 1800 m

Εν συνεχεία πραγματοποιήθηκαν, ενδεικτικά για την περίπτωση του πραγματικού μοντέλου σε βάθος νερού 1800 m, ‘τρεξίματα’ για κάθε διέγερση με καμπτική ακαμψία  $EI = 1 \text{ Nm}^2 \approx 0$ , προκειμένου να διερευνηθεί κατά πόσον υπάρχει ταύτιση των νέων τιμών των συντελεστών  $C_x$  με αυτές για  $EI = 0.1209 \times 10^9 \text{ Nm}^2$ . Ο λόγος για τον οποίον έγινε αυτό, ήταν για να παρασταθεί γραφικά η σχέση ανάμεσα στην απόσβεση η οποία προσφέρεται από ένα riser και από μια γραμμή αγκύρωσης, κατά την κίνηση της πλωτής κατασκευής προς τη  $x$  διεύθυνση.



## Κεφάλαιο 4

### Σχολιασμός αποτελεσμάτων

#### 4.1 Πειραματικό μοντέλο

Σύμφωνα με τα διαγράμματα που πραγματοποιήθηκαν κατά το υπολογιστικό μέρος και παρουσιάζονται στο τέλος της εργασίας, προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

##### α) Διαγράμματα $F_x(dx/dt)$

Παρατηρήθηκε εν γένει αύξηση της ταχύτητας και της δύναμης κατά  $x$ , με αύξηση τόσο του πλάτους όσο και της συχνότητας διέγερσης, για όλες τις διεγέρσεις. Οι μεγαλύτερες τιμές της ταχύτητας παρατηρήθηκαν για διέγερση  $x$  και οι μικρότερες για διέγερση  $p$ . Όσον αφορά τις αντίστοιχες τιμές της δύναμης, οι μέγιστες ήταν αυτές στην περίπτωση της διέγερσης  $p$  και οι ελάχιστες της  $q$  (βλ. διαγράμματα 1α-δ, 5α-δ και 9α-δ).

##### β) Διαγράμματα $\tilde{F}_{xa}(\omega)$

Παρατηρήθηκε εν γένει αύξηση της δυναμικής συνιστώσας κατά  $x$  της τάσης  $T$  και μάλιστα σχεδόν γραμμική, κυρίως στις περιπτώσεις των  $x$  και  $p$  διεγέρσεων, για αύξηση τόσο του πλάτους όσο και της συχνότητας διέγερσης για όλες τις διεγέρσεις, με μια τάση μείωσης στην περίπτωση της  $q$  διέγερσης για  $\omega > 4.949$  rad/sec σε όλα τα πλάτη. Μεγαλύτερες τιμές αυτής παρατηρήθηκαν για διέγερση  $p$  και μικρότερες για  $q$  (βλ. διάγραμμα 151).

##### γ) Διαγράμματα $E_{dx}(\omega)$

Ακριβώς οι ίδιες διαπιστώσεις με την περίπτωση των διαγραμμάτων  $\tilde{F}_{xa}(\omega)$  (βλ. διάγραμμα 152).

##### δ) Διαγράμματα $C_x(\omega)$

Παρατηρήθηκε εν γένει τάση αύξησης του γραμμικοποιημένου συντελεστή απόσβεσης κατά  $x$  και μάλιστα σχεδόν γραμμική, κυρίως στις περιπτώσεις των  $x$  και  $p$  διεγέρσεων, για αύξηση τόσο του πλάτους όσο και της συχνότητας διέγερσης και μείωση για αύξηση πλάτους διέγερσης στην περίπτωση της  $q$ . Άξιο προσοχής, ήταν το γεγονός της απότομης μείωσης του συντελεστή  $C_x$  αμέσως μετά τα 4.242 rad/sec και κυρίως για πλάτος διέγερσης 0.04 m σε όλες τις διεγέρσεις, με τη διαφορά ότι: στην περίπτωση της  $x$  διέγερσης η μείωση έλαβε χώρα έως τα 4.949 rad/sec και εν συνεχεία υπήρξε σταθεροποίηση του συντελεστή σε διαφορετική για κάθε πλάτος τιμή, στην περίπτωση της  $p$  διέγερσης ανοδική και πάλι τάση μετά τα 4.949 rad/sec και τέλος στην περίπτωση της  $q$  διέγερσης καθοδική πορεία με τάση σύγκλισης σε μια κοινή τιμή για όλα τα πλάτη για  $\omega = 5.303$  rad/sec. Επίσης, στην περίπτωση της  $q$  διέγερσης, υπήρξε τάση σύγκλισης, κυρίως για τα τρία τελευταία πλάτη, σε όλες τις συχνότητες. Μεγαλύτερες τιμές διαπιστώθηκαν για διέγερση  $p$ , ενώ για  $x$  και  $q$  κυμάνθηκαν σε κοντινά μεταξύ τους επίπεδα. (βλ. διάγραμμα 153).

Στους πίνακες που ακολουθούν καταγράφονται οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές των  $\tilde{F}_{xa}$ ,  $E_{dx}$  και  $C_x$  για κάθε πλάτος και είδος διέγερσης, καθώς και οι τιμές των συχνοτήτων διέγερσης στις οποίες παρατηρούνται αυτές.

	Πλάτη διέγερσης $\chi$ $\rho$ $q$ (m)	$\bar{F}_{\chi\alpha}$ (N) Διέγερση $\chi$	$\bar{F}_{\rho\alpha}$ (N) Διέγερση $\rho$	$\bar{F}_{q\alpha}$ (N) Διέγερση $q$	$\omega$ (rad/sec) Διέγερση $\chi$	$\omega$ (rad/sec) Διέγερση $\rho$	$\omega$ (rad/sec) Διέγερση $q$
min	0.04	1.313	2.039	0.471	1.414	0.707	1.414
max	0.04	17.810	34.220	5.570	5.303	5.303	4.949
min	0.08	3.388	3.933	0.968	1.414	0.707	1.414
max	0.08	41.340	67.150	10.755	5.303	5.303	4.949
min	0.10	4.448	5.055	1.350	1.414	0.707	1.414
max	0.10	54.700	88.300	13.625	5.303	5.303	4.949
min	0.12	4.510	6.135	1.784	0.707	0.707	1.414
max	0.12	68.150	114.850	16.655	5.303	5.303	4.949

Πίνακας 9. Μέγιστες και ελάχιστες τιμές της  $\bar{F}_{\chi\alpha}$  για κάθε πλάτος και είδος διέγερσης

	Πλάτη διέγερσης $\chi$ $\rho$ $q$ (m)	$E_{dx}$ (J) Διέγερση $\chi$	$E_{dx}$ (J) Διέγερση $\rho$	$E_{dx}$ (J) Διέγερση $q$	$\omega$ (rad/sec) Διέγερση $\chi$	$\omega$ (rad/sec) Διέγερση $\rho$	$\omega$ (rad/sec) Διέγερση $q$
min	0.04	0.000	0.000	0.105	0.707	0.707	0.707
max	0.04	0.716	0.478	0.903	4.242	4.242	4.949
min	0.08	0.000	0.000	0.218	0.707	0.707	0.707
max	0.08	3.482	3.516	2.532	4.242	5.303	4.949
min	0.10	0.000	0.000	0.283	0.707	0.707	1.414
max	0.10	6.062	7.041	3.669	5.303	5.303	4.949
min	0.12	0.000	0.100	0.354	0.707	0.707	0.707
max	0.12	10.108	12.291	5.042	5.303	5.303	4.949

Πίνακας 10. Μέγιστες και ελάχιστες τιμές της  $E_{dx}$  για κάθε πλάτος και είδος διέγερσης

	Πλάτη διέγερσης $\chi$ $\rho$ $q$ (m)	$C_x$ (N/m/sec) Διέγερση $\chi$	$C_x$ (N/m/sec) Διέγερση $\rho$	$C_x$ (N/m/sec) Διέγερση $q$	$\omega$ (rad/sec) Διέγερση $\chi$	$\omega$ (rad/sec) Διέγερση $\rho$	$\omega$ (rad/sec) Διέγερση $q$
min	0.04	0.000	0.000	28.762	0.707	0.707	2.828
max	0.04	33.579	74.071	57.323	4.242	4.242	4.242
min	0.08	0.000	0.000	18.490	0.707	0.707	1.414
max	0.08	40.843	116.533	42.344	4.242	4.242	4.242
min	0.10	0.000	1.104	16.593	0.707	0.707	1.414
max	0.10	44.245	145.008	38.919	4.242	5.303	4.242
min	0.12	0.000	10.409	15.649	0.707	0.707	0.707
max	0.12	47.584	174.713	36.681	4.242	5.303	4.242

Πίνακας 11. Μέγιστες και ελάχιστες τιμές του  $C_x$  για κάθε πλάτος και είδος διέγερσης

Όπως είναι φανερό, μόνο κατά τη διέγερση  $\rho$  και συγκεκριμένα στην περίπτωση της  $\bar{F}_{\chi\alpha}$ , υπάρχει πλήρης αντιστοιχία μέγιστων και ελάχιστων τιμών αυτής με αυτές της  $\omega$  (βλ. διάγραμμα 154).

ε) Διαγράμματα  $T(s)$ ,  $M(s)$ ,  $u(s)$ ,  $v(s)$  και  $Q(s)$

Βάση των τιμών της τάσης στην κορυφή, όπου και μεγιστοποιείται, παρατηρήθηκαν μεγαλύτερες τιμές στην περίπτωση της  $\rho$  διέγερσης και μικρότερες στην περίπτωση της  $q$ . Επιπλέον, για  $\chi$  και πιο έντονα για  $\rho$  διεγέρσεις, ήταν εμφανής η ανάπτυξη και αρνητικών τάσεων, κατά την πρώτη κοντά στον πυθμένα μόνο, ενώ κατά τη δεύτερη σε όλο το μήκος του ανυψωμένου τμήματος του riser, γεγονός το οποίο υποδηλώνει θλίψη αυτού.

Οι τιμές των  $M$  και  $Q$  κυμάνθηκαν στα ίδια περίπου επίπεδα, η κάθε μια ξεχωριστά, σε όλες τις διεγέρσεις με την  $M$  να μεγιστοποιείται κοντά στον πυθμένα και να μηδενίζεται στα άκρα και την  $Q$  να εμφανίζει, όπως ήταν αναμενόμενο, τα ακριβώς αντίθετα αποτελέσματα. Όσον αφορά τις ταχύτητες  $u$  και  $v$ , αυτές μηδενίζονται στην κορυφή για  $q$  και  $p$  διέγερση αντίστοιχα (βλ. διαγράμματα 13-27).

## 4.2 Πραγματικά μοντέλα

### α) Διαγράμματα $F_x(dx/dt)$

Παρατηρήθηκε εν γένει αύξηση της ταχύτητας και της δύναμης κατά  $x$ , με αύξηση τόσο του πλάτους όσο και της συχνότητας διέγερσης, για όλες τις διεγέρσεις και τα βάθη. Κατά τις διεγέρσεις  $x$  και  $p$ , υπήρξε μείωση των τιμών της  $F_x$  για αύξηση του βάθους, ενώ κατά την  $q$  αύξηση γεγονός το οποίο οφείλεται στον τετραπλασιασμό σχεδόν της τάσης από τα 300 στα 1800 m βάθος νερού, σε αντίθεση με τις  $x$  και  $p$  διεγέρσεις όπου υπήρξε διπλασιασμός σχεδόν της τάσης στην κορυφή. Οι μεγαλύτερες τιμές της  $F_x$  παρατηρήθηκαν κατά την  $p$  διέγερση και οι μικρότερες κατά την  $q$ . Όσον αφορά τις τιμές της ταχύτητας κατά  $x$ , για αύξηση του βάθους νερού παρατηρήθηκε αύξηση αυτών στην περίπτωση της  $q$  διέγερσης, μείωση σε αυτήν της  $p$  και καμία μεταβολή σε αυτήν της  $x$ . Οι μεγαλύτερες τιμές της ταχύτητας παρατηρήθηκαν κατά την  $x$  διέγερση και οι μικρότερες κατά την  $p$ , ενώ υπήρξε τάση προσέγγισης των τιμών της  $x$  από αυτές της  $q$ , για αύξηση του βάθους νερού, εξαιτίας της μεγάλης αύξησης της γωνίας  $\varphi$ , όπως είναι φανερό και από τη σχέση (Π4α) του παραρτήματος Π4 (βλ. διαγράμματα 28, 32, 36, 40, 44, 48, 52, 56, 60, 64, 68, 72, 76, 80 και 84α-δ).

### β) Διαγράμματα $\tilde{F}_{xa}(\omega)$

Παρατηρήθηκε εν γένει αύξηση της δυναμικής συνιστώσας κατά  $x$  της τάσης  $T$ , για αύξηση τόσο του πλάτους όσο και της συχνότητας διέγερσης, για όλες τις διεγέρσεις και τα βάθη νερού. Εξετάζοντας τις μέγιστες για κάθε περίπτωση τιμές της  $\tilde{F}_{xa}$ , διαπιστώθηκε τάση μείωσης στις περιπτώσεις των  $x$  και  $p$  διεγέρσεων, ενώ σε αυτήν της  $q$  τάση αύξησης αυτών για αύξηση βάθους νερού για όλα τα πλάτη. Μεγαλύτερες τιμές προέκυψαν για διέγερση  $p$  και μικρότερες για  $q$  (βλ. διαγράμματα 155 και 158).

### γ) Διαγράμματα $E_{dx}(\omega)$

Παρατηρήθηκε εν γένει αύξηση της ενέργειας διάχυσης κατά  $x$  για αύξηση τόσο του πλάτους, όσο και της συχνότητας διέγερσης, για όλες τις διεγέρσεις και τα βάθη νερού. Εξετάζοντας τις μέγιστες για κάθε περίπτωση τιμές της  $E_{dx}$ , διαπιστώθηκε τάση μείωσης στην περίπτωση της  $p$  διέγερσης, ενώ σε αυτήν της  $q$  τάση αύξησης αυτών για αύξηση βάθους νερού, γενικά για όλα τα πλάτη. Αντίθετα, στην περίπτωση της  $x$  διέγερσης, δεν υπήρξε σαφής μεταβολή από βάθος σε βάθος, με τις  $E_{dxmax}$  να παρουσιάζουν την ακόλουθη συμπεριφορά για τα διάφορα βάθη:  $E_{dxmax}(300\text{ m}) > E_{dxmax}(1800\text{ m}) > E_{dxmax}(1200\text{ m}) > E_{dxmax}(500\text{ m}) > E_{dxmax}(800\text{ m})$ , γενικά για όλα τα πλάτη. Μεγαλύτερες τιμές προέκυψαν για διέγερση  $p$  και μικρότερες για  $q$  στα 300 και 500 m βάθος νερού, ενώ στα 800, 1200 και 1800 m μεγαλύτερες για διέγερση  $x$  και μικρότερες για  $p$  (βλ. διαγράμματα 156, 159 και 160).

Σημείωση: Σε όλες τις διεγέρσεις, τα πλάτη διέγερσης και τα βάθη νερού, οι μέγιστες τιμές των  $\tilde{F}_{xa}$  και  $E_{dx}$  προέκυψαν για  $\omega_{max} = 2.0$  rad/sec, ενώ οι ελάχιστες για  $\omega_{min} = 0.2$  rad/sec.

### δ) Διαγράμματα $C_x(\omega)$

Παρατηρήθηκε εν γένει τάση αύξησης του γραμμικοποιημένου συντελεστή απόσβεσης κατά  $x$ , για αύξηση τόσο του πλάτους όσο και της συχνότητας διέγερσης, για τις διεγέρσεις  $x$  και  $p$  και μείωση για αύξηση πλάτους διέγερσης στην περίπτωση της  $q$ , καθώς και γενικότερη μείωση για όλα τα πλάτη, με αύξηση της συχνότητας διέγερσης, με τάση σταθεροποίησης μετά το 1 rad/sec σε όλο και μεγαλύτερες τιμές με αύξηση

του βάθους νερού. Εξετάζοντας τις μέγιστες για κάθε περίπτωση τιμές του  $C_x$ , διαπιστώθηκε τάση αύξησης αυτών στην περίπτωση της  $p$  διέγερσης για αύξηση του βάθους νερού και για όλα τα πλάτη.

Αντίθετα στις περιπτώσεις των  $x$  και  $q$  διεγέρσεων, δεν υπήρξε σαφής μεταβολή από βάθος σε βάθος, με τους  $C_{xmax}$  να παρουσιάζουν την ακόλουθη συμπεριφορά για τα διάφορα βάθη:  $C_{xmax}$  (300 m) >  $C_{xmax}$  (1800 m) >  $C_{xmax}$  (1200 m) >  $C_{xmax}$  (500 m) >  $C_{xmax}$  (800 m), για  $x$  διέγερση και  $C_{xmax}$  (1200 m) >  $C_{xmax}$  (1800 m) >  $C_{xmax}$  (500 m) >  $C_{xmax}$  (800 m) >  $C_{xmax}$  (300 m), για  $q$  διέγερση γενικά για όλα τα πλάτη. Μεγαλύτερες τιμές προέκυψαν για διέγερση  $p$  και μικρότερες για  $q$  στα 300 m βάθος νερού, ενώ στα 500, 800, 1200 και 1800 m μεγαλύτερες για διέγερση  $p$  και μικρότερες για  $x$  με τάση μάλιστα ταύτισης των τιμών στις  $q$  και  $x$  διεγέρσεις. Χαρακτηριστική ήταν η έντονη αύξηση των  $C_{xmax}$  στην περίπτωση της  $p$  διέγερσης με την παράλληλη αύξηση του βάθους νερού συγκριτικά με αυτήν των  $x$  και  $q$ , λόγω της μεγάλης μείωσης του πλάτους κατά  $x$ , αφού η γωνία  $\varphi$  προσεγγίζει τις  $90^\circ$  και τα risers γίνονται σχεδόν κάθετα κοντά στην κορυφή (βλ. διαγράμματα 157, 161 και 162).

Στους πίνακες που ακολουθούν καταγράφονται οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές των  $\tilde{F}_{xa}$ ,  $E_{dx}$  και  $C_x$  για κάθε πλάτος, είδος διέγερσης και βάθος νερού, καθώς και οι τιμές των συχνοτήτων διέγερσης στις οποίες παρατηρούνται αυτές.

Βάθος νερού 300 (m)	Πλάτη διέγερσης $x$ $p$ $q$ (m)	$\tilde{F}_{xa}$ (N) Διέγερση $x$	$\tilde{F}_{xa}$ (N) Διέγερση $p$	$\tilde{F}_{xa}$ (N) Διέγερση $q$
min	0.50	3.63E+03	6.08E+03	1.64E+03
max	0.50	1.10E+05	2.17E+05	2.35E+04
min	1.00	5.29E+03	8.45E+03	2.19E+03
max	1.00	2.06E+05	4.87E+05	3.42E+04
min	1.25	6.13E+03	9.88E+03	2.59E+03
max	1.25	2.62E+05	6.65E+05	3.84E+04
min	1.50	7.03E+03	1.15E+04	3.12E+03
max	1.50	3.44E+05	9.30E+05	4.73E+04

Βάθος νερού 500 (m)	Πλάτη διέγερσης $x$ $p$ $q$ (m)	$\tilde{F}_{xa}$ (N) Διέγερση $x$	$\tilde{F}_{xa}$ (N) Διέγερση $p$	$\tilde{F}_{xa}$ (N) Διέγερση $q$
min	0.50	3.69E+03	5.02E+03	3.55E+03
max	0.50	6.84E+04	1.87E+05	2.23E+04
min	1.00	5.52E+03	6.91E+03	5.24E+03
max	1.00	1.43E+05	4.45E+05	3.92E+04
min	1.25	6.62E+03	7.66E+03	6.02E+03
max	1.25	1.84E+05	5.73E+05	5.04E+04
min	1.50	7.97E+03	8.18E+03	6.88E+03
max	1.50	2.19E+05	7.02E+05	6.07E+04

Βάθος νερού 800 (m)	Πλάτη διέγερσης $\chi$ $\rho$ $q$ (m)	$\tilde{F}_{\chi\alpha}$ (N) Διέγερση $\chi$	$\tilde{F}_{\rho\alpha}$ (N) Διέγερση $\rho$	$\tilde{F}_{q\alpha}$ (N) Διέγερση $q$
min	0.50	3.30E+03	5.58E+03	3.13E+03
max	0.50	5.53E+04	2.08E+05	2.36E+04
min	1.00	5.86E+03	8.55E+03	5.17E+03
max	1.00	9.91E+04	4.14E+05	4.32E+04
min	1.25	7.23E+03	9.61E+03	6.28E+03
max	1.25	1.21E+05	5.43E+05	5.57E+04
min	1.50	8.66E+03	1.06E+04	7.47E+03
max	1.50	1.48E+05	6.26E+05	6.93E+04

Βάθος νερού 1200 (m)	Πλάτη διέγερσης $\chi$ $\rho$ $q$ (m)	$\tilde{F}_{\chi\alpha}$ (N) Διέγερση $\chi$	$\tilde{F}_{\rho\alpha}$ (N) Διέγερση $\rho$	$\tilde{F}_{q\alpha}$ (N) Διέγερση $q$
min	0.50	4.42E+03	5.16E+03	4.09E+03
max	0.50	4.01E+04	1.86E+05	2.85E+04
min	1.00	6.83E+03	7.64E+03	6.47E+03
max	1.00	7.52E+04	3.76E+05	5.20E+04
min	1.25	8.27E+03	8.60E+03	7.87E+03
max	1.25	9.44E+04	4.87E+05	6.56E+04
min	1.50	9.79E+03	9.35E+03	9.32E+03
max	1.50	1.16E+05	5.84E+05	8.07E+04

Βάθος νερού 1800 (m)	Πλάτη διέγερσης $\chi$ $\rho$ $q$ (m)	$\tilde{F}_{\chi\alpha}$ (N) Διέγερση $\chi$	$\tilde{F}_{\rho\alpha}$ (N) Διέγερση $\rho$	$\tilde{F}_{q\alpha}$ (N) Διέγερση $q$
min	0.50	3.34E+03	2.88E+03	3.22E+03
max	0.50	3.55E+04	2.15E+05	2.92E+04
min	1.00	6.52E+03	3.90E+03	6.18E+03
max	1.00	7.20E+04	3.96E+05	6.12E+04
min	1.25	8.23E+03	4.33E+03	7.82E+03
max	1.25	9.05E+04	4.19E+05	7.89E+04
min	1.50	1.00E+04	4.71E+03	9.56E+03
max	1.50	1.10E+05	4.79E+05	9.80E+04

Πίνακας 12. Μέγιστες και ελάχιστες τιμές της  $\tilde{F}_{\chi\alpha}$  για κάθε πλάτος, είδος διέγερσης και βάθος νερού.

Βάθος νερού 300 (m)	Πλάτη διέγερσης $\chi$ $\rho$ $q$ (m)	$E_{dx}$ (J) Διέγερση $\chi$	$E_{dx}$ (J) Διέγερση $\rho$	$E_{dx}$ (J) Διέγερση $q$
min	0.50	0.00E+00	0.00E+00	3.17E+03
max	0.50	3.46E+04	2.41E+04	2.30E+04
min	1.00	0.00E+00	0.00E+00	7.83E+03
max	1.00	1.93E+05	2.28E+05	8.82E+04
min	1.25	0.00E+00	4.38E+02	1.11E+04
max	1.25	3.52E+05	4.59E+05	1.37E+05
min	1.50	3.01E+02	2.60E+03	1.53E+04
max	1.50	5.84E+05	7.82E+05	2.00E+05

Βάθος νερού 500 (m)	Πλάτη διέγερσης $\chi$ $\rho$ $q$ (m)	$E_{dx}$ (J) Διέγερση $\chi$	$E_{dx}$ (J) Διέγερση $\rho$	$E_{dx}$ (J) Διέγερση $q$
min	0.50	0.00E+00	0.00E+00	5.44E+03
max	0.50	3.24E+04	1.42E+04	3.05E+04
min	1.00	3.36E+03	0.00E+00	1.65E+04
max	1.00	1.41E+05	1.36E+05	1.09E+05
min	1.25	7.86E+03	0.00E+00	2.41E+04
max	1.25	2.38E+05	2.62E+05	1.70E+05
min	1.50	1.39E+04	0.00E+00	3.29E+04
max	1.50	3.75E+05	4.29E+05	2.47E+05

Βάθος νερού 800 (m)	Πλάτη διέγερσης $\chi$ $\rho$ $q$ (m)	$E_{dx}$ (J) Διέγερση $\chi$	$E_{dx}$ (J) Διέγερση $\rho$	$E_{dx}$ (J) Διέγερση $q$
min	0.50	0.00E+00	0.00E+00	5.29E+03
max	0.50	3.06E+04	1.03E+04	3.32E+04
min	1.00	4.70E+03	0.00E+00	1.68E+04
max	1.00	1.33E+05	9.55E+04	1.26E+05
min	1.25	1.06E+04	0.00E+00	2.53E+04
max	1.25	2.20E+05	1.93E+05	1.98E+05
min	1.50	1.86E+04	0.00E+00	3.56E+04
max	1.50	3.37E+05	2.79E+05	2.91E+05

Βάθος νερού 1200 (m)	Πλάτη διέγερσης $\chi$ $\rho$ $\varphi$ (m)	$E_{dx}$ (J) Διέγερση $\chi$	$E_{dx}$ (J) Διέγερση $\rho$	$E_{dx}$ (J) Διέγερση $\varphi$
min	0.50	1.57E+03	0.00E+00	7.71E+03
max	0.50	3.63E+04	9.71E+03	4.17E+04
min	1.00	1.18E+04	6.48E+02	2.38E+04
max	1.00	1.54E+05	9.87E+04	1.59E+05
min	1.25	2.01E+04	1.16E+03	3.50E+04
max	1.25	2.51E+05	1.69E+05	2.49E+05
min	1.50	3.06E+04	1.78E+03	4.83E+04
max	1.50	3.77E+05	2.36E+05	3.63E+05

Βάθος νερού 1800 (m)	Πλάτη διέγερσης $\chi$ $\rho$ $\varphi$ (m)	$E_{dx}$ (J) Διέγερση $\chi$	$E_{dx}$ (J) Διέγερση $\rho$	$E_{dx}$ (J) Διέγερση $\varphi$
min	0.50	0.00E+00	0.00E+00	6.45E+03
max	0.50	4.20E+04	1.37E+04	4.65E+04
min	1.00	9.54E+03	0.00E+00	2.26E+04
max	1.00	1.83E+05	9.29E+04	1.87E+05
min	1.25	1.83E+04	0.00E+00	3.45E+04
max	1.25	2.97E+05	1.35E+05	2.97E+05
min	1.50	2.98E+04	0.00E+00	4.92E+04
max	1.50	4.44E+05	1.72E+05	4.36E+05

Πίνακας 13. Μέγιστες και ελάχιστες τιμές της  $E_{dx}$  για κάθε πλάτος, είδος διέγερσης και βάθος νερού.

Βάθος νερού 300 (m)	Πλάτη διέγερσης $\chi$ $\rho$ $\varphi$ (m)	$C_x$ (N/m/sec) Διέγερση $\chi$	$C_x$ (N/m/sec) Διέγερση $\rho$	$C_x$ (N/m/sec) Διέγερση $\varphi$	$\omega$ (rad/sec) Διέγερση $\chi$	$\omega$ (rad/sec) Διέγερση $\rho$	$\omega$ (rad/sec) Διέγερση $\varphi$
min	0.50	0.00E+00	0.00E+00	1.58E+04	0.200	0.200	1.200
max	0.50	2.30E+04	8.38E+04	2.51E+04	1.000	2.000	0.600
min	1.00	0.00E+00	0.00E+00	1.52E+04	0.200	0.200	0.200
max	1.00	3.07E+04	1.98E+05	2.15E+04	2.000	2.000	1.000
min	1.25	0.00E+00	2.44E+03	1.39E+04	0.200	0.200	0.200
max	1.25	3.58E+04	2.55E+05	2.09E+04	2.000	2.000	1.000
min	1.50	2.13E+02	1.01E+04	1.33E+04	0.200	0.200	0.200
max	1.50	4.13E+04	3.03E+05	2.05E+04	2.000	2.000	1.000

Βάθος νερού 500 (m)	Πλάτη διέγερσης $\chi$ $\rho$ $q$ (m)	$C_x$ (N/m/sec) Διέγερση $\chi$	$C_x$ (N/m/sec) Διέγερση $\rho$	$C_x$ (N/m/sec) Διέγερση $q$	$\omega$ (rad/sec) Διέγερση $\chi$	$\omega$ (rad/sec) Διέγερση $\rho$	$\omega$ (rad/sec) Διέγερση $q$
min	0.50	0.00E+00	0.00E+00	1.92E+04	0.200	0.200	1.200
max	0.50	2.07E+04	9.80E+04	3.83E+04	2.000	2.000	0.200
min	1.00	5.35E+03	0.00E+00	1.91E+04	0.200	0.200	2.000
max	1.00	2.24E+04	2.35E+05	2.90E+04	2.000	2.000	0.200
min	1.25	8.01E+03	0.00E+00	1.91E+04	0.200	0.200	2.000
max	1.25	2.43E+04	2.88E+05	2.70E+04	2.000	2.000	0.200
min	1.50	9.86E+03	0.00E+00	1.92E+04	0.200	0.200	2.000
max	1.50	2.66E+04	3.29E+05	2.57E+04	2.000	2.000	0.200

Βάθος νερού 800 (m)	Πλάτη διέγερσης $\chi$ $\rho$ $q$ (m)	$C_x$ (N/m/sec) Διέγερση $\chi$	$C_x$ (N/m/sec) Διέγερση $\rho$	$C_x$ (N/m/sec) Διέγερση $q$	$\omega$ (rad/sec) Διέγερση $\chi$	$\omega$ (rad/sec) Διέγερση $\rho$	$\omega$ (rad/sec) Διέγερση $q$
min	0.50	0.00E+00	0.00E+00	2.22E+04	0.200	0.200	2.000
max	0.50	1.95E+04	1.43E+05	3.53E+04	2.000	2.000	0.200
min	1.00	7.49E+03	0.00E+00	2.10E+04	0.200	0.200	2.000
max	1.00	2.12E+04	3.32E+05	2.81E+04	2.000	2.000	0.200
min	1.25	1.08E+04	0.00E+00	2.12E+04	0.200	0.200	2.000
max	1.25	2.25E+04	4.31E+05	2.70E+04	2.000	2.000	0.200
min	1.50	1.32E+04	0.00E+00	2.16E+04	0.200	0.200	2.000
max	1.50	2.39E+04	4.34E+05	2.64E+04	2.000	2.000	0.200

Βάθος νερού 1200 (m)	Πλάτη διέγερσης $\chi$ $\rho$ $q$ (m)	$C_x$ (N/m/sec) Διέγερση $\chi$	$C_x$ (N/m/sec) Διέγερση $\rho$	$C_x$ (N/m/sec) Διέγερση $q$	$\omega$ (rad/sec) Διέγερση $\chi$	$\omega$ (rad/sec) Διέγερση $\rho$	$\omega$ (rad/sec) Διέγερση $q$
min	0.50	1.00E+04	0.00E+00	2.72E+04	0.200	0.200	2.000
max	0.50	2.31E+04	2.68E+05	5.03E+04	2.000	2.000	0.200
min	1.00	1.89E+04	4.41E+04	2.59E+04	0.200	0.200	2.000
max	1.00	2.46E+04	6.71E+05	3.89E+04	2.000	2.000	0.200
min	1.25	2.05E+04	5.06E+04	2.60E+04	0.200	0.200	1.200
max	1.25	2.56E+04	7.39E+05	3.65E+04	2.000	2.000	0.200
min	1.50	2.16E+04	5.40E+04	2.60E+04	0.200	0.200	1.200
max	1.50	2.67E+04	7.15E+05	3.50E+04	2.000	2.000	0.200

Βάθος νερού 1800 (m)	Πλάτη διέγερσης $\chi$ $\rho$ $q$ (m)	$C_x$ (N/m/sec) Διέγερση $\chi$	$C_x$ (N/m/sec) Διέγερση $\rho$	$C_x$ (N/m/sec) Διέγερση $q$	$\omega$ (rad/sec) Διέγερση $\chi$	$\omega$ (rad/sec) Διέγερση $\rho$	$\omega$ (rad/sec) Διέγερση $q$
min	0.50	0.00E+00	0.00E+00	3.00E+04	0.200	0.200	2.000
max	0.50	2.67E+04	7.46E+05	4.16E+04	2.000	2.000	0.200
min	1.00	1.52E+04	0.00E+00	3.01E+04	0.200	0.200	2.000
max	1.00	2.92E+04	1.27E+06	3.64E+04	2.000	2.000	0.200
min	1.25	1.86E+04	0.00E+00	3.00E+04	0.200	0.200	1.400
max	1.25	3.03E+04	1.19E+06	3.56E+04	2.000	2.000	0.200
min	1.50	2.11E+04	0.00E+00	3.03E+04	0.200	0.200	1.400
max	1.50	3.14E+04	1.06E+06	3.52E+04	2.000	2.000	0.200

Πίνακας 14. Μέγιστες και ελάχιστες τιμές του  $C_x$  για κάθε πλάτος, είδος διέγερσης και βάθος νερού.



Όπως είναι φανερό από τον πίνακα 14, στις διεγέρσεις  $x$  και  $p$ , υπάρχει πλήρης αντιστοιχία μέγιστων και ελάχιστων τιμών του  $C_x$ , για κάθε πλάτος διέγερσης και βάθος νερού, με αυτές της  $\omega$ , με εξαίρεση την περίπτωση της διέγερσης  $x$  πλάτους 0.5 m για βάθος νερού 300 m, όπου λαμβάνει μέγιστο για  $\omega = 1.0$  rad/sec. Αντίθετα, στην περίπτωση της διέγερσης  $q$ , παρατηρείται το αντίστροφο, δηλαδή μεγιστοποίηση και ελαχιστοποίηση του  $C_x$  σε χαμηλές και υψηλές συχνότητες διέγερσης αντίστοιχα.

ε) Διαγράμματα  $T(s)$ ,  $M(s)$ ,  $u(s)$ ,  $v(s)$

Όπως και στην περίπτωση του πειραματικού μοντέλου οι τιμές της τάσης στην κορυφή, όπου και μεγιστοποιείται, ήταν μεγαλύτερες στην περίπτωση της  $p$  διέγερσης και μικρότερες στην περίπτωση της  $q$ , ενώ υπήρξε γενικότερα ανοδική τάση αυτών με αύξηση του βάθους νερού, για όλες τις διεγέρσεις και ιδιαίτερα στην περίπτωση της  $q$  διέγερσης. Επιπλέον για  $x$  και πιο έντονα για  $p$  διέγερση, ήταν εμφανής η ανάπτυξη και αρνητικών τάσεων, σημάδι θλίψης, με τη διαφορά ότι, στην περίπτωση της  $x$  διέγερσης, αυτές μειώνονταν μέχρι που μηδενίζονταν, για βάθη νερού 1200 και 1800 m αντίστοιχα. Οι τιμές της  $M$  κυμάνθηκαν στα ίδια περίπου επίπεδα σε όλες τις διεγέρσεις και τα βάθη νερού, με τάση μείωσης για αύξηση του βάθους, ιδιαίτερα στην περίπτωση της  $q$  διέγερσης. Τέλος όσον αφορά τις ταχύτητες, για τη  $u$  παρατηρήθηκε μείωση αυτής στην κορυφή με αύξηση του βάθους νερού στην περίπτωση της  $x$  διέγερσης, λόγω αύξησης της γωνίας  $\varphi$ , μεγιστοποίηση στην περίπτωση της  $p$  διέγερσης και μηδενισμός στην περίπτωση της  $q$  διέγερσης, με κοινές διακυμάνσεις κατά μήκος του riser, για όλα τα βάθη νερού. Αντίθετα διαπιστώθηκε αύξηση της  $v$  στην κορυφή για  $x$  διέγερση, με αύξηση τους βάθους νερού, μηδενισμός για διέγερση  $p$  και μεγιστοποίηση για διέγερση  $q$ , με κοινές και εδώ διακυμάνσεις αυτής κατά μήκος του riser, για όλα τα βάθη νερού (βλ. διαγράμματα 88-150).

#### 4.3 Πραγματικά μοντέλα με μηδενική και μη μηδενική καμπτική ακαμψία για βάθος νερού 1800 m

Όπως είναι φανερό και από τα διαγράμματα 163 και 165 για  $x$  και  $q$  διεγέρσεις αντίστοιχα, παρατηρήθηκε ταύτιση των τιμών για κάθε πλάτος, σχεδόν για όλες τις συχνότητες.

Στην περίπτωση της  $p$  διέγερσης, δεν ήταν εφικτός ο υπολογισμός των συντελεστών  $C_x$  για τιμές συχνοτήτων διέγερσης άνω του 1.0 rad/sec για πλάτος διέγερσης 0.5 m, των 0.6 rad/sec για πλάτη διέγερσης 1.0 και 1.25 m και των 0.4 rad/sec για πλάτος διέγερσης 1.5 m, λόγω μη σύγκλισης της επαναληπτικής διαδικασίας. Αυτό οφείλεται στην πολύ μικρή τιμή της καμπτικής ακαμψίας, γεγονός που απαγορεύει στο υπό επεξεργασία πρότυπο να αναλαμβάνει αρνητικές τιμές της συνολικής τάσης, που οδηγούν στο φαινόμενο που αποκαλείται "συμπίεστική φόρτιση" (compression loading). Εν ολίγοις η λεπρόγραμμα κατασκευή συμπεριφέρεται σαν αλυσίδα. Σύμφωνα λοιπόν με τα προαναφερθέντα, συμπεραίνεται πως η συνεισφορά σε απόσβεση, λόγω της κίνησης ενός riser στο νερό, είναι εξίσου σημαντική με αυτή μιας γραμμής αγκύρωσης για διεγέρσεις κατά τις  $x$  και  $q$  διευθύνσεις, ενώ δεν υπάρχει σαφής εικόνα για διεγέρσεις κατά την  $p$  διεύθυνση.

Σημειώνεται ότι στα διαγράμματα 163, 164 και 165 οι καμπύλες με χρώματα μπλε, κόκκινο, σκούρο πράσινο και καφέ αφορούν το riser με  $EI = 0.1209 \times 10^9$  Nm<sup>2</sup>, ενώ αυτές με χρώματα πορτοκαλί, μαύρο, μωβ και ανοιχτό πράσινο το riser με  $EI = 1$  Nm<sup>2</sup>, για πλάτη διέγερσης 0.5 1.0 1.25 και 1.5 m αντίστοιχα.

## Ευχαριστίες

Κρίνεται απαραίτητο να αναφερθεί η σημαντική βοήθεια του επιβλέποντα της εργασίας καθηγητή Ι.Κ. Χατζηγεωργίου, τόσο στην καθοδήγηση όσο και την κατανόηση του θέματος της εργασίας, καθώς και του αγαπητού συνάδελφου Μαζαράκου Θωμά, για την οικιοθελή του υποστήριξη και βοήθεια στην κατανόηση του τρόπου χειρισμού των χρησιμοποιηθέντων κωδικών και την εξεύρεση σχετικών με το θέμα πληροφοριών.

## Βιβλιογραφία

1. S.A. Mavrakos and J. Chatjigeorgiou, Mooring-Induced Damping On Floating Structures, Proceedings, *Marine Technology Conference*, (1996), Varna, Bulgaria.
2. D.T. Brown, S. Mavrakos, Comparative study on mooring line dynamic loading, *Marine Structures*, 12, (1999), 131-151.
3. Elizabeth Passano, Carl M. Larsen, Efficient Analysis Of A Catenary Riser, Proceedings, *25<sup>th</sup> International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, June 4-9, (2006), Hamburg, Germany.
4. Ioannis K. Chatjigeorgiou, Elizabeth Passano, Carl M. Larsen, Extreme Bending Moments On Long Catenary Risers Due To Heave Excitation, Proceedings, *26<sup>th</sup> International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, June 10-15, (2007), San Diego, California, USA.
5. I. K. Chatjigeorgiou, A numerical investigation on the risers-induced-damping phenomenon, National Technical University of Athens, *School of Naval Architecture and Marine Engineering*.
6. Ioannis K. Chatjigeorgiou (2007), An efficient finite differences formulation for the linear and nonlinear dynamics of 2D catenary risers, (Submitted to *Ocean Engineering*).
7. A. Sarkar, R. Eatock Taylor, Effects of mooring line drag damping on response statistics of vessels excited by first- and second-order wave forces, *Ocean Engineering*, 27, (2000), 667-686.
8. Jason I. Gobat, Mark A. Grosenbaugh, A simple model for heave-induced dynamic tension in catenary moorings, *Applied Ocean Research*, 23, (2001), 159-174.

9. G. K. Furnes, On Marine Riser Responses In Time-And Depth-Dependent Flows, *Journal of Fluids and Structures*, 14, (2000), 257-273.
10. M. P. Paidoussis, S. J. Price and B. Mark, Current-Induced Oscillations And Instabilities Of A Multi-Tube Flexible Riser, *Journal of Fluids and Structures*, 2, (1988), 503-513.
11. Yung-Hsiang Chen and Fu-Ming Lin, General Drag-Force Linearization For Nonlinear Analysis Of Marine Risers, *Ocean Engineering*, Vol. 16, No 3, (1989), 265-280.
12. J. J. H. Brouwers, Response Near Resonance Of Non-Linearly Damped Systems Subject To Random Excitation With Application To Marine Risers, *Ocean Engineering*, Vol. 9, No 3, (1982), 235-257.
13. A. S. Atadan, S. M. Calisal, V. J. Modi and Y. Guo, Analytical And Numerical Analysis Of The Dynamics Of A Marine Riser Connected To A Floating Platform, *Ocean Engineering*, Vol. 24, No 2, (1997), 111-131.
14. W. Raman-Nair and R. E. Baddour, Three-Dimensional Dynamics of a Flexible Marine Riser Undergoing Large Elastic Deformations, *Multibody System Dynamics*, 10, (2003), 393-423.
15. G. Benassai, A. Campanile, A prediction technique for the transverse vortex-induced oscillations of tensioned risers, *Ocean Engineering*, 29, (2002), 1805-1825.
16. N. Jauvtis and C. H. K. Williamson, The effect of two degrees of freedom on vortex-induced vibration at low mass and damping, *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 509, (2004), 23-62.
17. Σ. Α. Μαυράκος, Ι. Κ. Χατζηγεωργίου, Αγκυρώσεις πλωτών κατασκευών, *Τομέας Θαλάσσιων Κατασκευών*, (2005).

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

### Π1. Απόδειξη εξίσωσης (14)

Εφαρμόζοντας τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών στο σημείο  $[k-1/2, j+1/2]$  σε κάθε έναν από τους όρους της εξίσωσης (10) λαμβάνονται οι ακόλουθες σχέσεις:

$$\frac{\Delta Y}{\Delta s} = \frac{Y_k^{j+1/2} - Y_{k-1}^{j+1/2}}{\Delta s} = \frac{\frac{Y_k^{j+1} + Y_k^j}{2} - \frac{Y_{k-1}^{j+1} + Y_{k-1}^j}{2}}{\Delta s} = \frac{Y_k^{j+1} + Y_k^j - Y_{k-1}^{j+1} - Y_{k-1}^j}{2\Delta s} \quad (\text{Π1α})$$

$$\frac{\Delta Y}{\Delta t} = \frac{Y_{k-1/2}^{j+1} - Y_{k-1/2}^j}{\Delta t} = \frac{\frac{Y_{k-1}^{j+1} + Y_k^{j+1}}{2} - \frac{Y_{k-1}^j + Y_k^j}{2}}{\Delta t} = \frac{Y_k^{j+1} + Y_{k-1}^{j+1} - Y_k^j - Y_{k-1}^j}{2\Delta t} \quad (\text{Π1β})$$

$$F = \frac{F_{k-1}^{j+1/2} + F_k^{j+1/2}}{2} = \frac{\frac{F_{k-1}^{j+1} + F_{k-1}^j}{2} + \frac{F_k^{j+1} + F_k^j}{2}}{2} = \frac{1}{4} (F_k^{j+1} + F_{k-1}^{j+1} + F_k^j + F_{k-1}^j) \quad (\text{Π1γ})$$

Συνδυασμός του τέταρτου μέλους από αριστερά των (Π1α), (Π1β), (Π1γ) δίνει τη ζητούμενη.

## Π2. Αλγεβρική επέκταση του μη γραμμικού συστήματος εξισώσεων το οποίο περιγράφει τη δυναμική συμπεριφορά ενός riser

Κάνοντας χρήση της μεθοδολογίας της προηγούμενης απόδειξης προκύπτει το ακόλουθο αλγεβρικής μορφής μη γραμμικό σύστημα των εξισώσεων (4)-(9):

$$\begin{aligned}
 E_1 = & -\frac{m}{2\Delta t} (u_k^{j+1} + u_{k-1}^{j+1} - u_k^j - u_{k-1}^j) + \frac{m}{8\Delta t} (v_k^{j+1} + v_{k-1}^{j+1} + v_k^j + v_{k-1}^j) (\phi_k^{j+1} + \phi_{k-1}^{j+1} - \phi_k^j - \phi_{k-1}^j) \\
 & + \frac{1}{2\Delta s} (T_k^{j+1} + T_k^j - T_{k-1}^{j+1} - T_{k-1}^j) - \frac{w_0}{4} (\sin\phi_k^{j+1} + \sin\phi_{k-1}^{j+1} + \sin\phi_k^j + \sin\phi_{k-1}^j) \\
 & - \frac{1}{4} (\Omega_k^{j+1} Q_k^{j+1} + \Omega_k^j Q_k^j + \Omega_{k-1}^{j+1} Q_{k-1}^{j+1} + \Omega_{k-1}^j Q_{k-1}^j) \\
 & - \frac{1}{2} \rho \pi C_{dt} \frac{d}{4} (|u_k^{j+1}| u_k^{j+1} + |u_k^j| u_k^j + |u_{k-1}^{j+1}| u_{k-1}^{j+1} + |u_{k-1}^j| u_{k-1}^j) = 0
 \end{aligned} \tag{Π2α}$$

$$\begin{aligned}
 E_2 = & -\frac{(m+m\alpha)}{2\Delta t} (v_k^{j+1} + v_{k-1}^{j+1} - v_k^j - v_{k-1}^j) + \frac{m}{8\Delta t} (u_k^{j+1} + u_{k-1}^{j+1} + u_k^j + u_{k-1}^j) (\phi_k^{j+1} + \phi_{k-1}^{j+1} - \phi_k^j - \phi_{k-1}^j) \\
 & + \frac{1}{2\Delta s} (Q_k^{j+1} + Q_k^j - Q_{k-1}^{j+1} - Q_{k-1}^j) - \frac{w_0}{4} (\cos\phi_k^{j+1} + \cos\phi_{k-1}^{j+1} + \cos\phi_k^j + \cos\phi_{k-1}^j) \\
 & - \frac{1}{4} (\Omega_k^{j+1} T_k^{j+1} + \Omega_k^j T_k^j + \Omega_{k-1}^{j+1} T_{k-1}^{j+1} + \Omega_{k-1}^j T_{k-1}^j) \\
 & - \frac{1}{2} \rho C_{dn} \frac{d}{4} (|v_k^{j+1}| v_k^{j+1} + |v_k^j| v_k^j + |v_{k-1}^{j+1}| v_{k-1}^{j+1} + |v_{k-1}^j| v_{k-1}^j) = 0
 \end{aligned} \tag{Π2β}$$

$$\begin{aligned}
 E_3 = & -\frac{1}{2\Delta t} (T_k^{j+1} + T_{k-1}^{j+1} - T_k^j - T_{k-1}^j) + \frac{EA}{2\Delta s} (u_k^{j+1} + u_k^j - u_{k-1}^{j+1} - u_{k-1}^j) \\
 & - \frac{EA}{4} (\Omega_k^{j+1} v_k^{j+1} + \Omega_k^j v_k^j + \Omega_{k-1}^{j+1} v_{k-1}^{j+1} + \Omega_{k-1}^j v_{k-1}^j) = 0
 \end{aligned} \tag{Π2γ}$$

$$\begin{aligned}
 E_4 = & -\frac{1}{2\Delta t} (\phi_k^{j+1} + \phi_{k-1}^{j+1} - \phi_k^j - \phi_{k-1}^j) + \frac{1}{2\Delta s} (v_k^{j+1} + v_k^j - v_{k-1}^{j+1} - v_{k-1}^j) \\
 & + \frac{1}{4} (\Omega_k^{j+1} u_k^{j+1} + \Omega_k^j u_k^j + \Omega_{k-1}^{j+1} u_{k-1}^{j+1} + \Omega_{k-1}^j u_{k-1}^j) = 0
 \end{aligned} \tag{Π2δ}$$

$$E_5 = \frac{EI}{\Delta s} (\Omega_k^{j+1} - \Omega_{k-1}^{j+1}) + \frac{1}{2} (Q_k^{j+1} + Q_{k-1}^{j+1}) = 0 \tag{Π2ε}$$

$$E_6 = \frac{1}{\Delta s} (\phi_k^{j+1} - \phi_{k-1}^{j+1}) - \frac{1}{2} (\Omega_k^{j+1} + \Omega_{k-1}^{j+1}) = 0 \tag{Π2στ}$$

### Π3. Απόδειξη εξίσωσης (3)

Όπως αναφέρθηκε και στο θεωρητικό μέρος η ενέργεια διάχυσης σε μια περίοδο προκύπτει από την ακόλουθη σχέση:

$$E_{dx} = \int_t^{t+T} F_x(t) \frac{dx(t)}{dt} dt = \oint F_x(t) dx(t) \quad (\text{Π3α})$$

Επιπλέον η οριζόντια δύναμη στην κορυφή μπορεί να εκφρασθεί μέσω ενός ισοδύναμου γραμμικού συντελεστή  $\zeta$  ως εξής:

$$F_x(t) = \zeta \frac{dx(t)}{dt} \quad (\text{Π3β})$$

Υποθέτοντας τώρα ότι η απόκριση του riser στην κορυφή έχει την ακόλουθη μορφή:

$$x(t) = x_\alpha \cos(\omega t) \quad (\text{Π3γ})$$

με  $x_\alpha$  το πλάτος και  $\omega$  τη συχνότητα διέγερσης, τότε παραγωγή της αυτής ως προς  $t$  θα δώσει την ταχύτητα κατά  $x$  η οποία θα έχει την ακόλουθη μορφή:

$$\frac{dx(t)}{dt} = -x_\alpha \omega \sin(\omega t) \quad (\text{Π3δ})$$

Με αντικατάσταση της τελευταίας στην (Π3α) και ολοκλήρωση προκύπτει:

$$\begin{aligned} E_{dx} &= \int_t^{t+T} \zeta x_\alpha^2 \omega^2 \sin^2(\omega t) dt = \frac{1}{2} \int_t^{t+T} \zeta x_\alpha^2 \omega^2 dt - \frac{1}{2} \int_t^{t+T} \zeta x_\alpha^2 \omega^2 \cos(2\omega t) dt \Rightarrow \\ E_{dx} &= \frac{1}{2} \zeta x_\alpha^2 \omega^2 (t+T) - \frac{1}{2} \zeta x_\alpha^2 \omega^2 t - \frac{1}{4} \zeta x_\alpha^2 \omega \sin[2\omega(t+T)] + \frac{1}{4} \zeta x_\alpha^2 \omega \sin 2\omega t \Rightarrow \frac{T = 2\pi/\omega}{\omega} \\ E_{dx} &= \zeta x_\alpha^2 \pi \omega \Rightarrow \end{aligned}$$

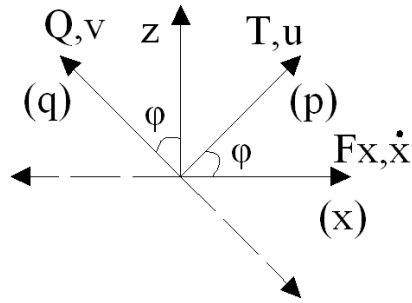
$$\zeta = \frac{E_{dx}}{\omega \pi x_\alpha^2} \quad (\text{Π3ε})$$

που είναι και η ζητούμενη.

Σημείωση: Έγινε χρήση της γνωστής τριγωνομετρικής σχέσης:  $\sin^2(\omega t) = \frac{1 - \cos(2\omega t)}{2}$

**Π4. Σχέσεις για τον υπολογισμό των  $F_x$ ,  $dx/dt$  και  $u$ ,  $v$  για κάθε διεγερση  $x$ ,  $p$ ,  $q$**

Έστω το ακόλουθο σύστημα συντεταγμένων στην κορυφή του riser:



Εικόνα 3. Σύστημα συντεταγμένων στην κορυφή του riser

Για όλες τις διεγέρσεις ισχύουν οι ακόλουθες βάση του ανωτέρω συστήματος σχέσεις:

$$\begin{aligned} F_x &= T \cos\phi - Q \sin\phi \\ \dot{x} &= u \cos\phi - v \sin\phi \end{aligned} \quad (\text{Π4α})$$

Ανάλογα για διεγέρσεις  $x$ ,  $p$ ,  $q$  θα ισχύουν για τις ταχύτητες  $u$ ,  $v$ :

- Διέγερση  $x$

$$\begin{aligned} u &= \dot{x} \cos\phi \\ v &= -\dot{x} \sin\phi \end{aligned} \quad (\text{Π4β})$$

- Διέγερση  $p$

$$\begin{aligned} u &= \dot{x} \cos\phi + \dot{z} \sin\phi \\ v &= 0 \end{aligned} \quad (\text{Π4γ})$$

- Διέγερση  $q$

$$\begin{aligned} u &= 0 \\ v &= \dot{z} \cos\phi - \dot{x} \sin\phi \end{aligned} \quad (\text{Π4δ})$$

## Π5. Σχολιασμός διαγραμμάτων $C_x(\omega)$ για διέγερση $q$

Όπως είναι φανερό από τα διαγράμματα  $C_x(\omega)$  στην περίπτωση της διέγερσης  $q$ , τόσο στο πειραματικό όσο και στα πραγματικά μοντέλα για κάθε βάθος νερού, υπάρχει μείωση των γραμμικοποιημένων συντελεστών απόσβεσης  $C_x$  με αύξηση του πλάτους διέγερσης στην κορυφή του riser σε αντίθεση με τις περιπτώσεις των  $x$  και  $p$  διεγέρσεων. Αυτό συμβαίνει όταν οι λόγοι των ενεργειών διάχυσης για διαφορετικά πλάτη αλλά κοινή συχνότητα διέγερσης  $\omega$  στην κορυφή πολλαπλασιασμένοι με κατάλληλο συντελεστή, ο οποίος προκύπτει από το λόγο σε κάθε περίπτωση των πλατών διέγερσης που εξετάζονται στο τετράγωνο, σχετίζονται μεταξύ τους με τις ακόλουθες, όπως αποδεικνύεται στη συνέχεια, ανισοτικές σχέσεις.

Έστω ότι  $q_1, q_2, q_3, q_4$  τα πλάτη διέγερσης 0.04 0.08 0.10 0.12 m για το πειραματικό μοντέλο και 0.5 1.0 1.25 1.5 m για τα πραγματικά μοντέλα αντίστοιχα.

Για να προκύψει:

$$C_x(q_1) > C_x(q_2) > C_x(q_3) > C_x(q_4)$$

με την προϋπόθεση ότι κάθε φορά η συχνότητα διέγερσης  $\omega$  είναι κοινή για όλα τα πλάτη διέγερσης, θα πρέπει να ισχύει:

$$\frac{C_x(q_1)}{C_x(q_2)} > 1 \quad \frac{C_x(q_1)}{C_x(q_3)} > 1 \quad \frac{C_x(q_1)}{C_x(q_4)} > 1 \quad \frac{C_x(q_2)}{C_x(q_3)} > 1 \quad \frac{C_x(q_2)}{C_x(q_4)} > 1 \quad \frac{C_x(q_3)}{C_x(q_4)} > 1$$

Η σχέση η οποία συνδέει τον  $C_x$  με την ενέργεια διάχυσης είναι:

$$C_x = \frac{E_{dx}}{\omega \pi x \alpha^2} \quad (\text{Π5α})$$

Με αντικατάσταση της (Π5α) στις ανωτέρω ανισοτικές σχέσεις, καθώς και των τιμών των διαφορών σε κάθε περίπτωση πλατών, προκύπτουν οι ζητούμενες, ως φαίνονται ακολούθως, σχέσεις:

$$\frac{4 \cdot E_{dx(q_1)}}{E_{dx(q_2)}} > 1 \quad \frac{6.25 \cdot E_{dx(q_1)}}{E_{dx(q_3)}} > 1 \quad \frac{9 \cdot E_{dx(q_1)}}{E_{dx(q_4)}} > 1$$

$$\frac{1.5625 \cdot E_{dx(q_2)}}{E_{dx(q_3)}} > 1 \quad \frac{2.25 \cdot E_{dx(q_2)}}{E_{dx(q_4)}} > 1 \quad \frac{1.44 \cdot E_{dx(q_3)}}{E_{dx(q_4)}} > 1 \quad (\text{Π5β})$$

Στην περίπτωση της διέγερσης  $q$  οι ανωτέρω σχέσεις ικανοποιούνται σχεδόν για κάθε συχνότητα διέγερσης, σε αντίθεση με τις περιπτώσεις των  $x$  και  $p$  διεγέρσεων, γι' αυτό και τα διαγράμματα  $C_x(\omega)$  κατά την πρώτη είχαν αυτή τη μορφή.



## Λίστα διαγραμμάτων

-Πειραματικό μοντέλο

Διάγραμμα 1α: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $x_a = 0.04$  m για δύο περιόδους.

Διάγραμμα 1β: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $x_a = 0.08$  m για δύο περιόδους.

Διάγραμμα 1γ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $x_a = 0.10$  m για δύο περιόδους.

Διάγραμμα 1δ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $x_a = 0.12$  m για δύο περιόδους.

Διάγραμμα 2: Μέγιστες αποκλίσεις της δυναμικής συνιστώσας κατά  $x$  της τάσης που εφαρμόζεται στην κορυφή από τη στατική τάση για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $x$  σε μια περίοδο.

Διάγραμμα 3: Ενέργεια διάχυσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $x$  σε μια περίοδο.

Διάγραμμα 4: Γραμμικοποιημένος συντελεστής απόσβεσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $x$  σε μια περίοδο.

Διάγραμμα 5α: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $p_a = 0.04$  m για δύο περιόδους.

Διάγραμμα 5β: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $p_a = 0.08$  m για δύο περιόδους.

Διάγραμμα 5γ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $p_a = 0.10$  m για δύο περιόδους.

Διάγραμμα 5δ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $p_a = 0.12$  m για δύο περιόδους.

Διάγραμμα 6: Μέγιστες αποκλίσεις της δυναμικής συνιστώσας κατά  $x$  της τάσης που εφαρμόζεται στην κορυφή από τη στατική τάση για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $p$  σε μια περίοδο.

Διάγραμμα 7: Ενέργεια διάχυσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $p$  σε μια περίοδο.

Διάγραμμα 8: Γραμμικοποιημένος συντελεστής απόσβεσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $p$  σε μια περίοδο.

Διάγραμμα 9α: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $q_a = 0.04$  m για δύο περιόδους.

Διάγραμμα 9β: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $q_a = 0.08$  m για δύο περιόδους.

Διάγραμμα 9γ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $q_a = 0.04$  m για δύο περιόδους.

Διάγραμμα 9δ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενη διέγερσης στην κορυφή  $q_a = 0.04$  m για δύο περιόδους.

Διάγραμμα 10: Μέγιστες αποκλίσεις της δυναμικής συνιστώσας κατά  $x$  της τάσης που εφαρμόζεται στην κορυφή από τη στατική τάση για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $q$  σε μια περίοδο.

Διάγραμμα 11: Ενέργεια διάχυσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $q$  σε μια περίοδο.

Διάγραμμα 12: Γραμμικοποιημένος συντελεστής απόσβεσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $q$  σε μια περίοδο.

Διάγραμμα 13: Μεταβολή της ολικής τάσης κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $x_a = 0.12$  m,  $\omega = 5.303$  rad/sec.

Διάγραμμα 14: Μεταβολή της ολικής καμπτικής ροπής κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $x_a = 0.12$  m,  $\omega = 5.303$  rad/sec.

Διάγραμμα 15: Μεταβολή της εφαπτομενικής στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $x_a = 0.12$  m,  $\omega = 5.303$  rad/sec.

Διάγραμμα 16: Μεταβολή της κάθετης στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $x_a = 0.12$  m,  $\omega = 5.303$  rad/sec.

Διάγραμμα 17: Μεταβολή της ολικής διατμητικής δύναμης κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $x_a = 0.12$  m,  $\omega = 5.303$  rad/sec.

Διάγραμμα 18: Μεταβολή της ολικής τάσης κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $p_a = 0.12$  m,  $\omega = 5.303$  rad/sec.

Διάγραμμα 19: Μεταβολή της ολικής καμπτικής ροπής κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $p_a = 0.12$  m,  $\omega = 5.303$  rad/sec.

Διάγραμμα 20: Μεταβολή της εφαπτομενικής στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $p_a = 0.12$  m,  $\omega = 5.303$  rad/sec.

Διάγραμμα 21: Μεταβολή της κάθετης στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $p_a = 0.12$  m,  $\omega = 5.303$  rad/sec.

Διάγραμμα 22: Μεταβολή της ολικής διατμητικής δύναμης κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $p_a = 0.12$  m,  $\omega = 5.303$  rad/sec.

Διάγραμμα 23: Μεταβολή της ολικής τάσης κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $q_a = 0.12$  m,  $\omega = 5.303$  rad/sec.

Διάγραμμα 24: Μεταβολή της ολικής καμπτικής ροπής κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $q_a = 0.12$  m,  $\omega = 5.303$  rad/sec.

Διάγραμμα 25: Μεταβολή της εφαπτομενικής στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $q_a = 0.12$  m,  $\omega = 5.303$  rad/sec.

Διάγραμμα 26: Μεταβολή της κάθετης στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $q_a = 0.12$  m,  $\omega = 5.303$  rad/sec.

Διάγραμμα 27: Μεταβολή της ολικής διατμητικής δύναμης κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $q_a = 0.12$  m,  $\omega = 5.303$  rad/sec.

-Πραγματικά μοντέλα

Διάγραμμα 28α: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $x_a = 0.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 300 m).

Διάγραμμα 28β: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $x_a = 1.0$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 300 m).

Διάγραμμα 28γ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $x_a = 1.25$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 300 m).

Διάγραμμα 28δ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $x_a = 1.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 300 m).

Διάγραμμα 29: Μέγιστες αποκλίσεις της δυναμικής συνιστώσας κατά  $x$  της τάσης που εφαρμόζεται στην κορυφή από τη στατική τάση για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $x$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 300 m).

Διάγραμμα 30: Ενέργεια διάχυσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $x$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 300 m).

Διάγραμμα 31: Γραμμικοποιημένος συντελεστής απόσβεσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $x$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 300 m).

Διάγραμμα 32α: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $p_a = 0.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 300 m).

Διάγραμμα 32β: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $p_a = 1.0$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 300 m).

Διάγραμμα 32γ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $p_a = 1.25$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 300 m).

Διάγραμμα 32δ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $p_a = 1.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 300 m).

Διάγραμμα 33: Μέγιστες αποκλίσεις της δυναμικής συνιστώσας κατά  $x$  της τάσης που εφαρμόζεται στην κορυφή από τη στατική τάση για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $p$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 300 m).

Διάγραμμα 34: Ενέργεια διάχυσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $p$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 300 m).

Διάγραμμα 35: Γραμμικοποιημένος συντελεστής απόσβεσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $p$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 300 m).

Διάγραμμα 36α: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $q_a = 0.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 300 m).

Διάγραμμα 36β: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $q_a = 1.0$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 300 m).



- Διάγραμμα 46: Ενέργεια διάχυσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $p$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 500 m).
- Διάγραμμα 47: Γραμμικοποιημένος συντελεστής απόσβεσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $p$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 500 m).
- Διάγραμμα 48α: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $q_a = 0.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 500 m).
- Διάγραμμα 48β: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $q_a = 1.0$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 500 m).
- Διάγραμμα 48γ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $q_a = 1.25$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 500 m).
- Διάγραμμα 48δ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $q_a = 1.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 500 m).
- Διάγραμμα 49: Μέγιστες αποκλίσεις της δυναμικής συνιστώσας κατά  $x$  της τάσης που εφαρμόζεται στην κορυφή από τη στατική τάση για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $q$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 500 m).
- Διάγραμμα 50: Ενέργεια διάχυσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $q$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 500 m).
- Διάγραμμα 51: Γραμμικοποιημένος συντελεστής απόσβεσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $q$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 500 m).
- Διάγραμμα 52α: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $x_a = 0.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 800 m).
- Διάγραμμα 52β: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $x_a = 1.0$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 800 m).
- Διάγραμμα 52γ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $x_a = 1.25$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 800 m).
- Διάγραμμα 52δ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $x_a = 1.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 800 m).
- Διάγραμμα 53: Μέγιστες αποκλίσεις της δυναμικής συνιστώσας κατά  $x$  της τάσης που εφαρμόζεται στην κορυφή από τη στατική τάση για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $x$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 800 m).
- Διάγραμμα 54: Ενέργεια διάχυσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $x$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 800 m).
- Διάγραμμα 55: Γραμμικοποιημένος συντελεστής απόσβεσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $x$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 800 m).
- Διάγραμμα 56α: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $p_a = 0.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 800 m).

Διάγραμμα 56β: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $p_a = 1.0$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 800 m).

Διάγραμμα 56γ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $p_a = 1.25$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 800 m).

Διάγραμμα 56δ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $p_a = 1.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 800 m).

Διάγραμμα 57: Μέγιστες αποκλίσεις της δυναμικής συνιστώσας κατά  $x$  της τάσης που εφαρμόζεται στην κορυφή από τη στατική τάση για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $p$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 800 m).

Διάγραμμα 58: Ενέργεια διάχυσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $p$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 800 m).

Διάγραμμα 59: Γραμμικοποιημένος συντελεστής απόσβεσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $p$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 800 m).

Διάγραμμα 60α: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $q_a = 0.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 800 m).

Διάγραμμα 60β: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $q_a = 1.0$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 800 m).

Διάγραμμα 60γ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $q_a = 1.25$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 800 m).

Διάγραμμα 60δ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $q_a = 1.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 800 m).

Διάγραμμα 61: Μέγιστες αποκλίσεις της δυναμικής συνιστώσας κατά  $x$  της τάσης που εφαρμόζεται στην κορυφή από τη στατική τάση για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $q$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 800 m).

Διάγραμμα 62: Ενέργεια διάχυσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $q$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 800 m).

Διάγραμμα 63: Γραμμικοποιημένος συντελεστής απόσβεσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $q$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 800 m).

Διάγραμμα 64α: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $x_a = 0.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 1200 m).

Διάγραμμα 64β: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $x_a = 1.0$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 1200 m).

Διάγραμμα 64γ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $x_a = 1.25$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 1200 m).

Διάγραμμα 64δ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $x_a = 1.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 1200 m).

Διάγραμμα 65: Μέγιστες αποκλίσεις της δυναμικής συνιστώσας κατά  $x$  της τάσης που εφαρμόζεται στην κορυφή από τη στατική τάση για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $x$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 1200 m).

Διάγραμμα 66: Ενέργεια διάχυσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $x$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 1200 m).

Διάγραμμα 67: Γραμμικοποιημένος συντελεστής απόσβεσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $x$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 1200 m).

Διάγραμμα 68α: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $p_a = 0.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 1200 m).

Διάγραμμα 68β: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $p_a = 1.0$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 1200 m).

Διάγραμμα 68γ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $p_a = 1.25$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 1200 m).

Διάγραμμα 68δ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $p_a = 1.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 1200 m).

Διάγραμμα 69: Μέγιστες αποκλίσεις της δυναμικής συνιστώσας κατά  $x$  της τάσης που εφαρμόζεται στην κορυφή από τη στατική τάση για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $p$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 1200 m).

Διάγραμμα 70: Ενέργεια διάχυσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $p$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 1200 m).

Διάγραμμα 71: Γραμμικοποιημένος συντελεστής απόσβεσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $p$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 1200 m).

Διάγραμμα 72α: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $q_a = 0.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 1200 m).

Διάγραμμα 72β: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $q_a = 1.0$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 1200 m).

Διάγραμμα 72γ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $q_a = 1.25$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 1200 m).

Διάγραμμα 72δ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $q_a = 1.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 1200 m).

Διάγραμμα 73: Μέγιστες αποκλίσεις της δυναμικής συνιστώσας κατά  $x$  της τάσης που εφαρμόζεται στην κορυφή από τη στατική τάση για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $q$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 1200 m).

Διάγραμμα 74: Ενέργεια διάχυσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $q$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 1200 m).

Διάγραμμα 75: Γραμμικοποιημένος συντελεστής απόσβεσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $q$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 1200 m).





Διάγραμμα 84δ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $q_a = 1.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 1800 m).

Διάγραμμα 85: Μέγιστες αποκλίσεις της δυναμικής συνιστώσας κατά  $x$  της τάσης που εφαρμόζεται στην κορυφή από τη στατική τάση για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $q$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 1800 m).

Διάγραμμα 86: Ενέργεια διάχυσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $q$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 1800 m).

Διάγραμμα 87: Γραμμικοποιημένος συντελεστής απόσβεσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $q$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 1800 m).

Διάγραμμα 88: Μεταβολή της ολικής τάσης κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $x_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 300 m).

Διάγραμμα 89: Μεταβολή της ολικής καμπτικής ροπής κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $x_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 300 m).

Διάγραμμα 90: Μεταβολή της εφαπτομενικής στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $x_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 300 m).

Διάγραμμα 91: Μεταβολή της κάθετης στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $x_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 300 m).

Διάγραμμα 92: Μεταβολή της ολικής τάσης κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $p_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 300 m).

Διάγραμμα 93: Μεταβολή της ολικής καμπτικής ροπής κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $p_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 300 m).

Διάγραμμα 94: Μεταβολή της εφαπτομενικής στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $p_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 300 m).

Διάγραμμα 95: Μεταβολή της κάθετης στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $p_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 300 m).

Διάγραμμα 96: Μεταβολή της ολικής τάσης κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $q_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 300 m).

Διάγραμμα 97: Μεταβολή της ολικής καμπτικής ροπής κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $q_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 300 m).

Διάγραμμα 98: Μεταβολή της εφαπτομενικής στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $q_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 300 m).

Διάγραμμα 99: Μεταβολή της κάθετης στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $q_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 300 m).

Διάγραμμα 100: Μεταβολή της ολικής τάσης κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $x_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 500 m).





Διάγραμμα 137: Μεταβολή της ολικής καμπτικής ροπής κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $x_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 1800 m).

Διάγραμμα 138: Μεταβολή της εφαπτομενικής στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $x_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 1800 m).

Διάγραμμα 139: Μεταβολή της κάθετης στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $x_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 1800 m).

Διάγραμμα 140: Μεταβολή της ολικής διατμητικής δύναμης κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $x_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 1800 m).

Διάγραμμα 141: Μεταβολή της ολικής τάσης κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $p_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 1800 m).

Διάγραμμα 142: Μεταβολή της ολικής καμπτικής ροπής κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $p_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 1800 m).

Διάγραμμα 143: Μεταβολή της εφαπτομενικής στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $p_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 1800 m).

Διάγραμμα 144: Μεταβολή της κάθετης στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $p_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 1800 m).

Διάγραμμα 145: Μεταβολή της ολικής διατμητικής δύναμης κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $p_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 1800 m).

Διάγραμμα 146: Μεταβολή της ολικής τάσης κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $q_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 1800 m).

Διάγραμμα 147: Μεταβολή της ολικής καμπτικής ροπής κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $q_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 1800 m).

Διάγραμμα 148: Μεταβολή της εφαπτομενικής στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $q_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 1800 m).

Διάγραμμα 149: Μεταβολή της κάθετης στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $q_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 1800 m).

Διάγραμμα 150: Μεταβολή της ολικής διατμητικής δύναμης κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $q_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 1800 m).

Διάγραμμα 151: Συγκριτικά αποτελέσματα διεγέρσεων  $x$   $p$   $q$ . Μέγιστες αποκλίσεις της δυναμικής συνιστώσας κατά  $x$  της τάσης που εφαρμόζεται στην κορυφή από τη στατική τάση για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης σε μια περίοδο (πειραματικό μοντέλο).

Διάγραμμα 152: Συγκριτικά αποτελέσματα διεγέρσεων  $x$   $p$   $q$ . Ενέργεια διάχυσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης σε μια περίοδο (πειραματικό μοντέλο).

Διάγραμμα 153: Συγκριτικά αποτελέσματα διεγέρσεων  $x$   $p$   $q$ . Γραμμικοποιημένος συντελεστής απόσβεσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης σε μια περίοδο (πειραματικό μοντέλο).

Διάγραμμα 154: Συγκριτικά αποτελέσματα διεγέρσεων  $x$   $p$   $q$ . Μέγιστες και ελάχιστες τιμές για όλα τα πλάτη διέγερσης της δυναμικής συνιστώσας, της ενέργειας διάχυσης και του γραμμικοποιημένου συντελεστή απόσβεσης κατά  $x$  σε μια περίοδο (πειραματικό μοντέλο).

Διάγραμμα 155: Συγκριτικά αποτελέσματα διεγέρσεων  $x$   $p$   $q$ . Μέγιστες αποκλίσεις της δυναμικής συνιστώσας κατά  $x$  της τάσης που εφαρμόζεται στην κορυφή από τη στατική τάση για διάφορες συχνότητες, πλάτη διέγερσης και βάθη νερού σε μια περίοδο (πραγματικά μοντέλα).

Διάγραμμα 156: Συγκριτικά αποτελέσματα διεγέρσεων  $x$   $p$   $q$ . Ενέργεια διάχυσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες, πλάτη διέγερσης και βάθη νερού σε μια περίοδο (πραγματικά μοντέλα).

Διάγραμμα 157: Συγκριτικά αποτελέσματα διεγέρσεων  $x$   $p$   $q$ . Γραμμικοποιημένος συντελεστής απόσβεσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες, πλάτη διέγερσης και βάθη νερού σε μια περίοδο (πραγματικά μοντέλα).

Διάγραμμα 158: Συγκριτικά αποτελέσματα διεγέρσεων  $x$   $p$   $q$  και βάθους νερού. Μέγιστες τιμές για όλα τα πλάτη διέγερσης και βάθη νερού της δυναμικής συνιστώσας κατά  $x$  σε μια περίοδο (πραγματικά μοντέλα).

Διάγραμμα 159: Συγκριτικά αποτελέσματα για διάφορα βάθη νερού. Μέγιστες τιμές για κάθε διέγερση ξεχωριστά, για όλα τα πλάτη διέγερσης και βάθη νερού της ενέργειας διάχυσης κατά  $x$  σε μια περίοδο (πραγματικά μοντέλα).

Διάγραμμα 160: Συγκριτικά αποτελέσματα διεγέρσεων  $x$   $p$   $q$ . Μέγιστες τιμές για κάθε βάθος νερού ξεχωριστά, για όλες τις διεγέρσεις και τα πλάτη διέγερσης της ενέργειας διάχυσης κατά  $x$  σε μια περίοδο (πραγματικά μοντέλα).

Διάγραμμα 161: Συγκριτικά αποτελέσματα για διάφορα βάθη νερού. Μέγιστες τιμές για κάθε διέγερση ξεχωριστά, για όλα τα πλάτη διέγερσης και βάθη νερού του γραμμικοποιημένου συντελεστή απόσβεσης κατά  $x$  σε μια περίοδο (πραγματικά μοντέλα).

Διάγραμμα 162: Συγκριτικά αποτελέσματα διεγέρσεων  $x$   $p$   $q$ . Μέγιστες τιμές για κάθε βάθος νερού ξεχωριστά, για όλες τις διεγέρσεις και τα πλάτη διέγερσης του γραμμικοποιημένου συντελεστή απόσβεσης κατά  $x$  σε μια περίοδο (πραγματικά μοντέλα).

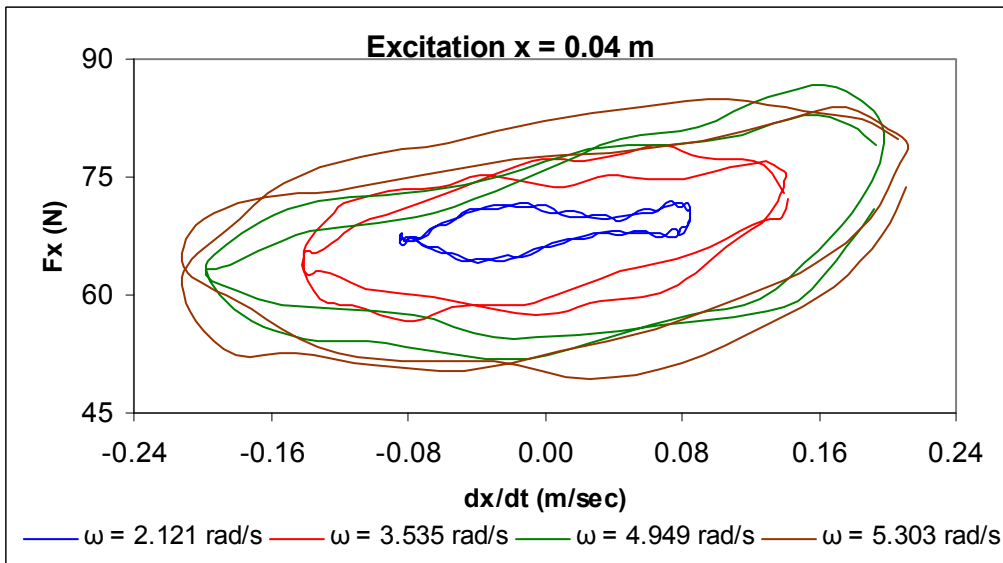
Διάγραμμα 163: Γραμμικοποιημένοι συντελεστές απόσβεσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $x$  σε μια περίοδο για  $EI = 0.1209 \times 10^9 \text{ Nm}^2$  (χρώματα μπλε, κόκκινο, σκούρο πράσινο, καφέ) και  $EI = 1 \text{ Nm}^2$  (χρώματα πορτοκαλί, μαύρο, μωβ, ανοιχτό πράσινο), (βάθος νερού 1800 m).

Διάγραμμα 164: Γραμμικοποιημένοι συντελεστές απόσβεσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $p$  σε μια περίοδο για  $EI = 0.1209 \times 10^9 \text{ Nm}^2$  (χρώματα μπλε, κόκκινο, σκούρο πράσινο, καφέ) και  $EI = 1 \text{ Nm}^2$  (χρώματα πορτοκαλί, μαύρο, μωβ, ανοιχτό πράσινο), (βάθος νερού 1800 m).

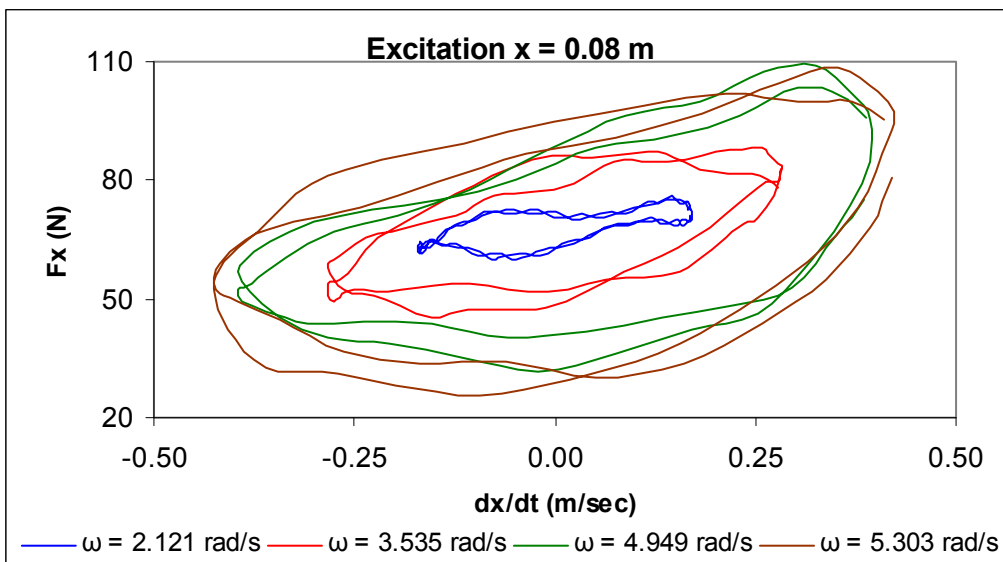
Διάγραμμα 165: Γραμμικοποιημένοι συντελεστές απόσβεσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $q$  σε μια περίοδο για  $EI = 0.1209 \times 10^9 \text{ Nm}^2$  (χρώματα μπλε, κόκκινο, σκούρο πράσινο, καφέ) και  $EI = 1 \text{ Nm}^2$  (χρώματα πορτοκαλί, μαύρο, μωβ, ανοιχτό πράσινο), (βάθος νερού 1800 m).

Πειραματικό μοντέλο

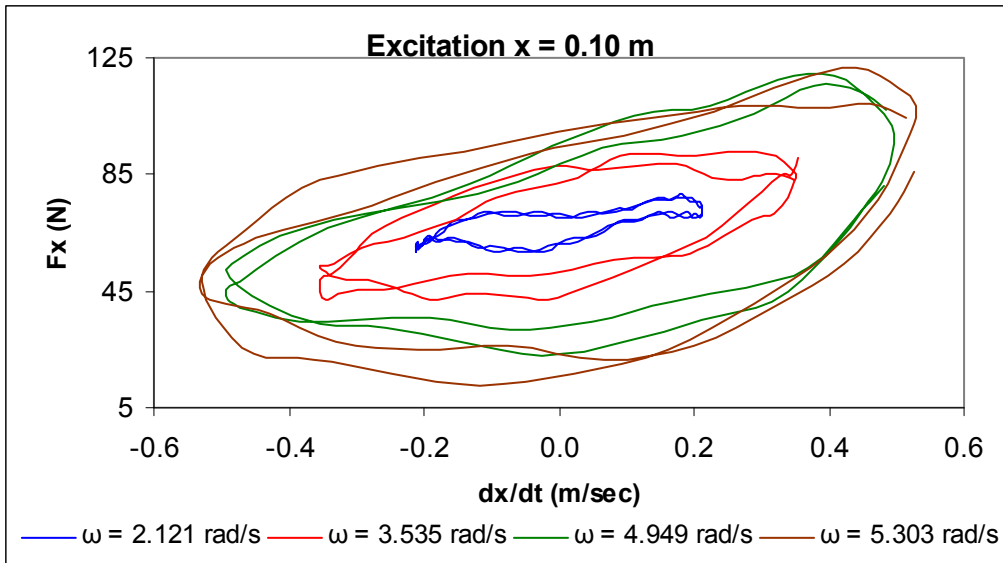
- Διέγερση  $x$



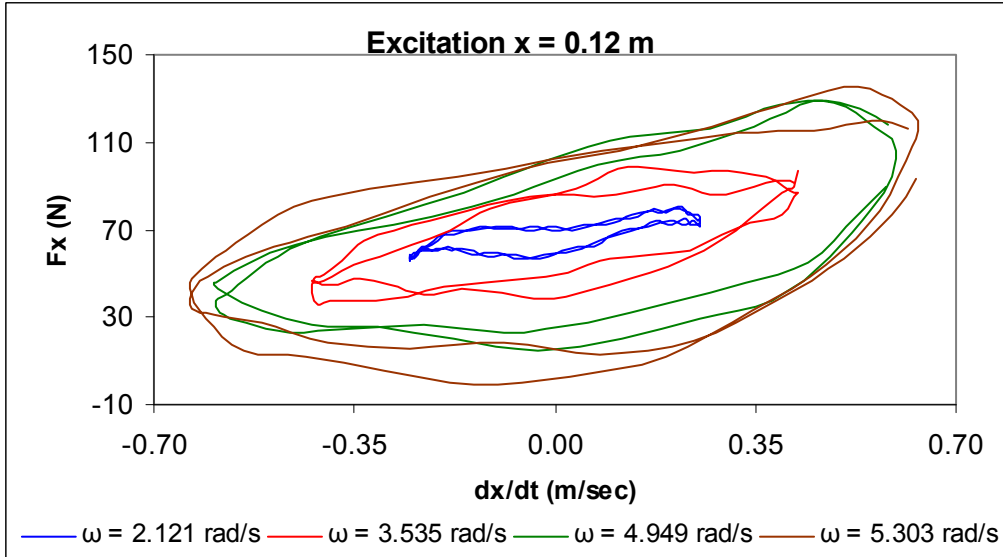
Διάγραμμα 1α: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $x_a = 0.04$  m για δύο περιόδους.



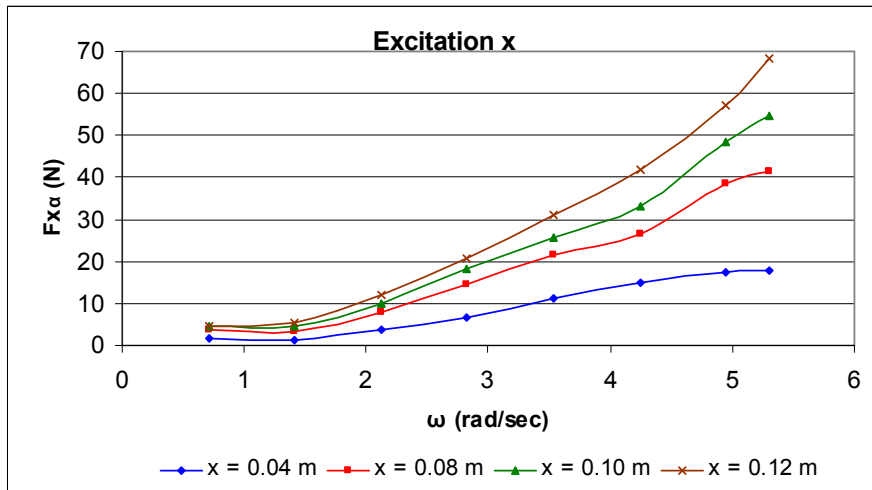
Διάγραμμα 1β: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $x_a = 0.08$  m για δύο περιόδους.



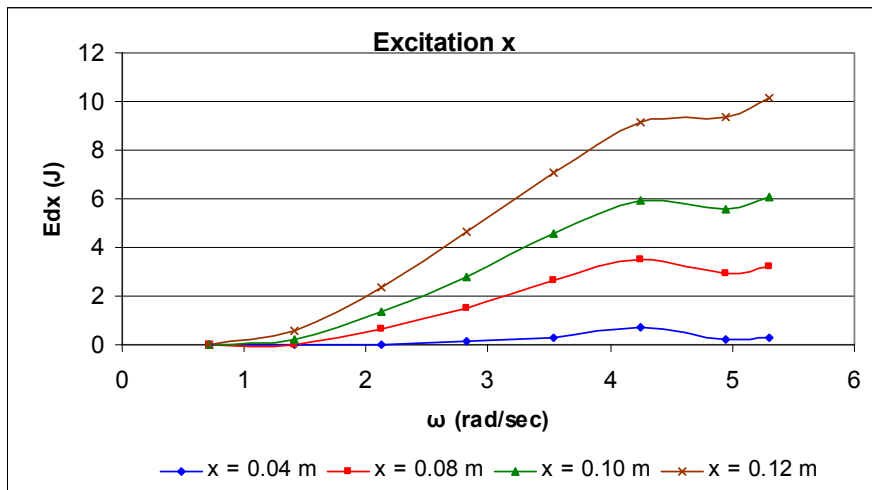
Διάγραμμα 1γ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $x_a = 0.10$  m για δύο περιόδους.



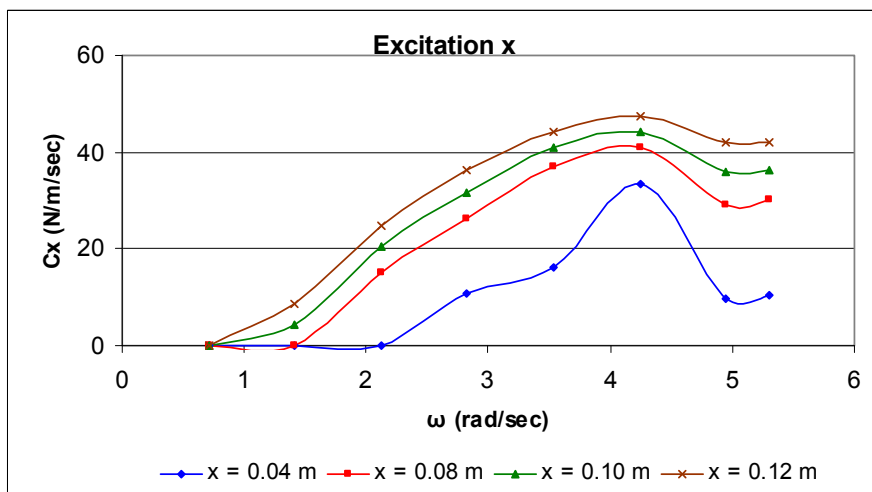
Διάγραμμα 1δ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $x_a = 0.12$  m για δύο περιόδους.



Διάγραμμα 2: Μέγιστες αποκλίσεις της δυναμικής συνιστώσας κατά  $x$  της τάσης που εφαρμόζεται στην κορυφή από τη στατική τάση για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $x$  σε μια περίοδο.



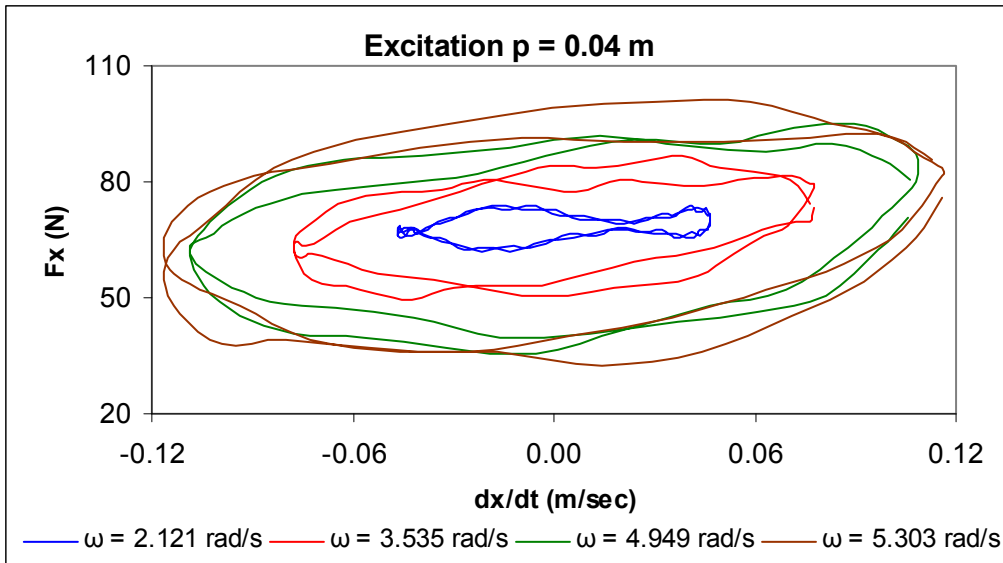
Διάγραμμα 3: Ενέργεια διάχυσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $x$  σε μια περίοδο.



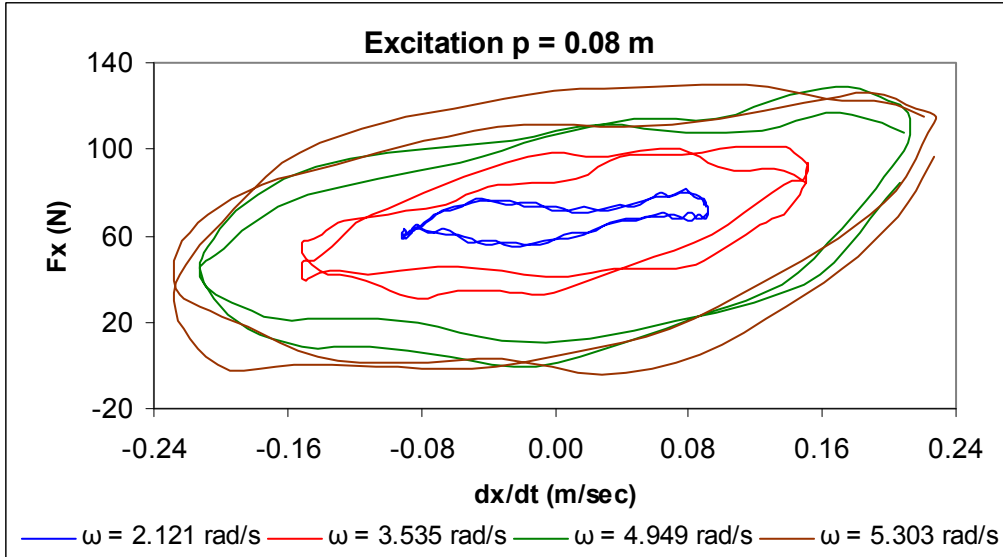
Διάγραμμα 4: Γραμμικοποιημένος συντελεστής απόσβεσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $x$  σε μια περίοδο.



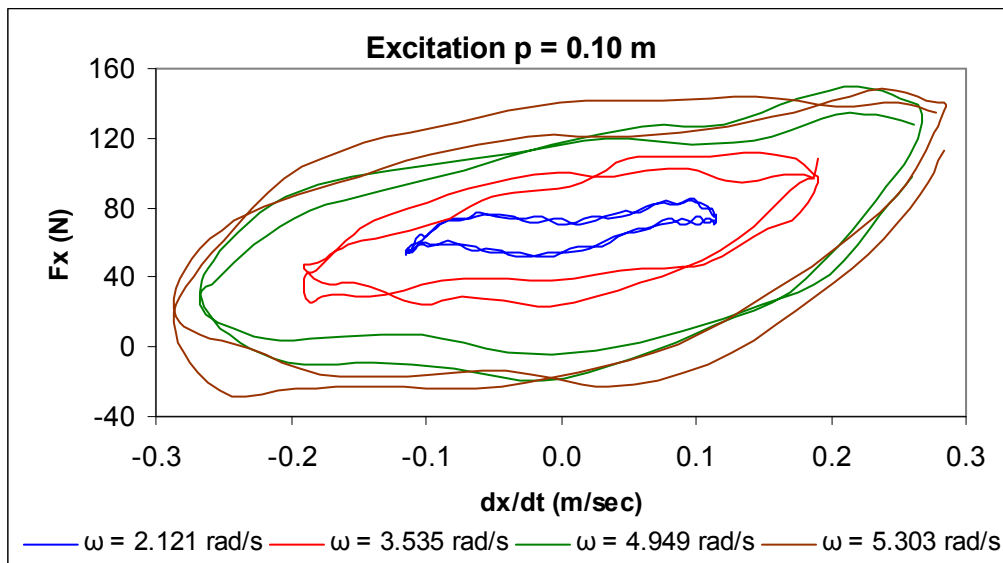
- Διέγερση  $p$



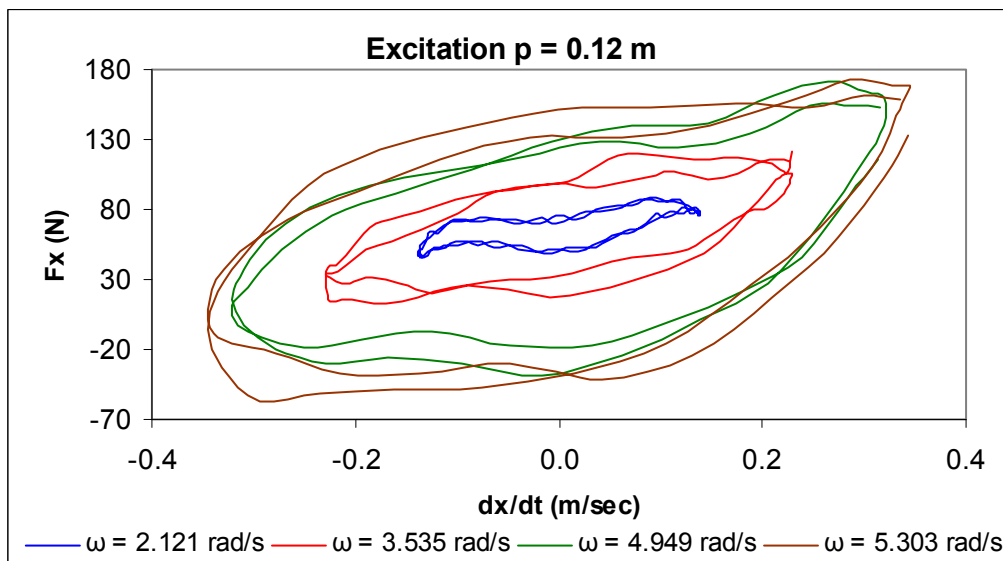
Διάγραμμα 5α: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $p_a = 0.04$  m για δύο περιόδους.



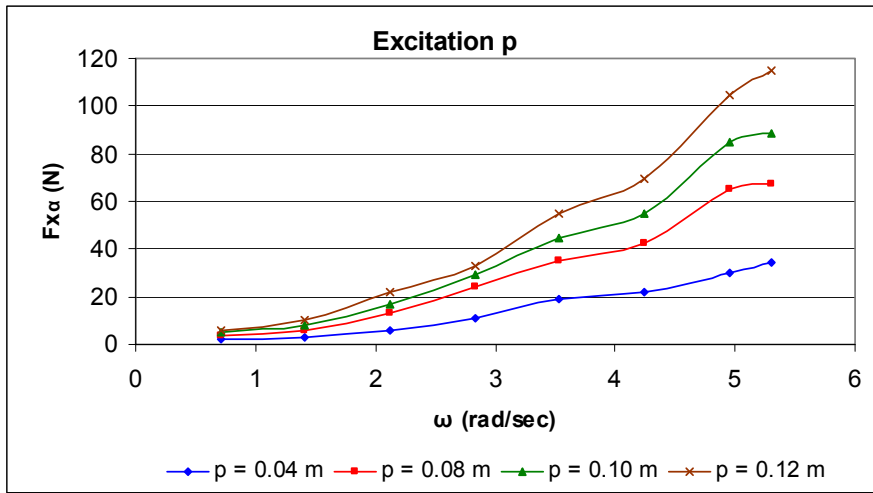
Διάγραμμα 5β: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $p_a = 0.08$  m για δύο περιόδους.



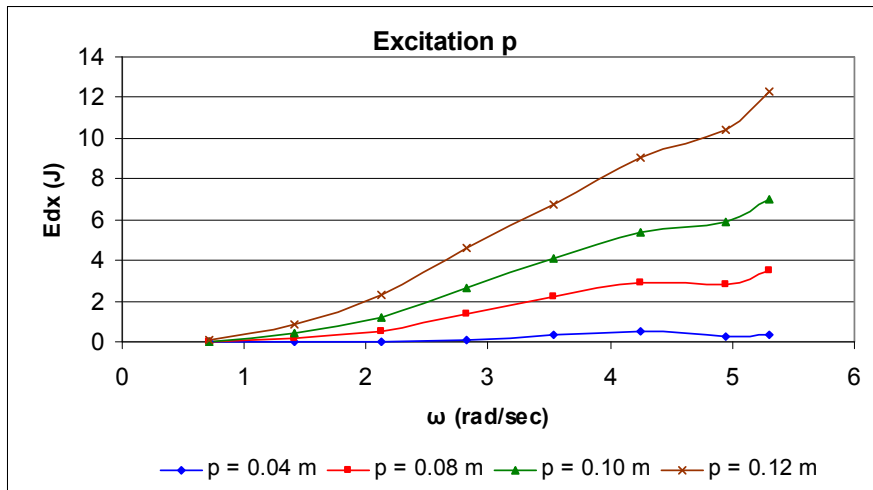
Διάγραμμα 5γ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $p_a = 0.10$  m για δύο περιόδους.



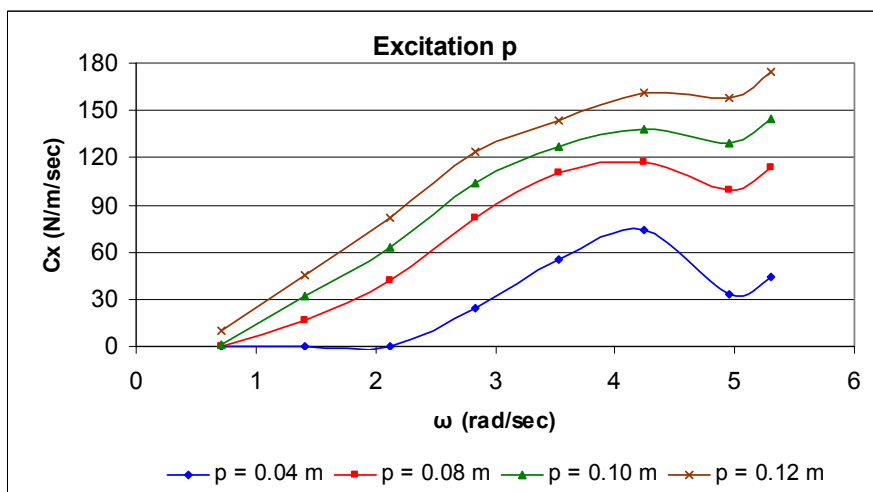
Διάγραμμα 5δ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $p_a = 0.12$  m για δύο περιόδους.



Διάγραμμα 6: Μέγιστες αποκλίσεις της δυναμικής συνιστώσας κατά  $x$  της τάσης που εφαρμόζεται στην κορυφή από τη στατική τάση για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $p$  σε μια περίοδο.

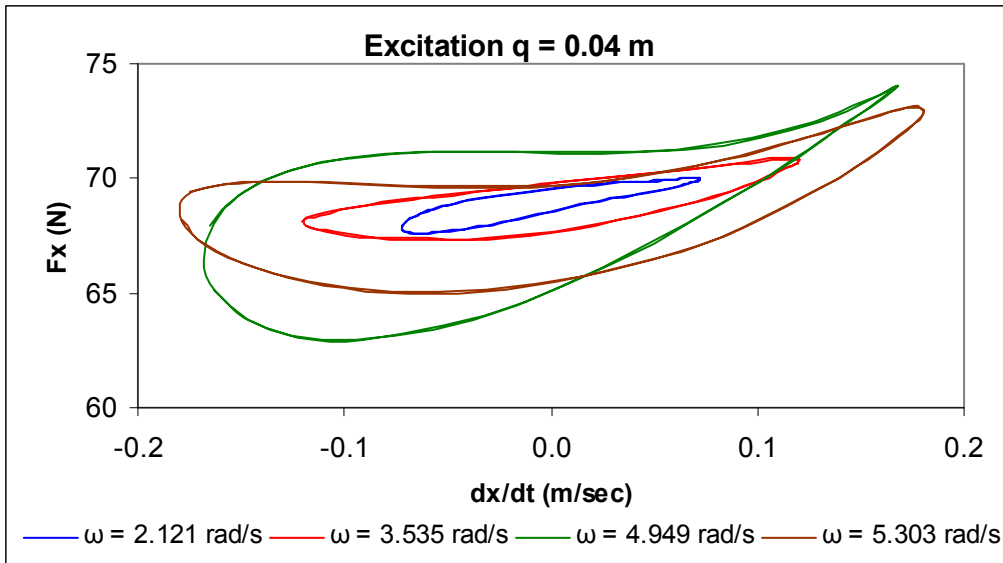


Διάγραμμα 7: Ενέργεια διάχυσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $p$  σε μια περίοδο.

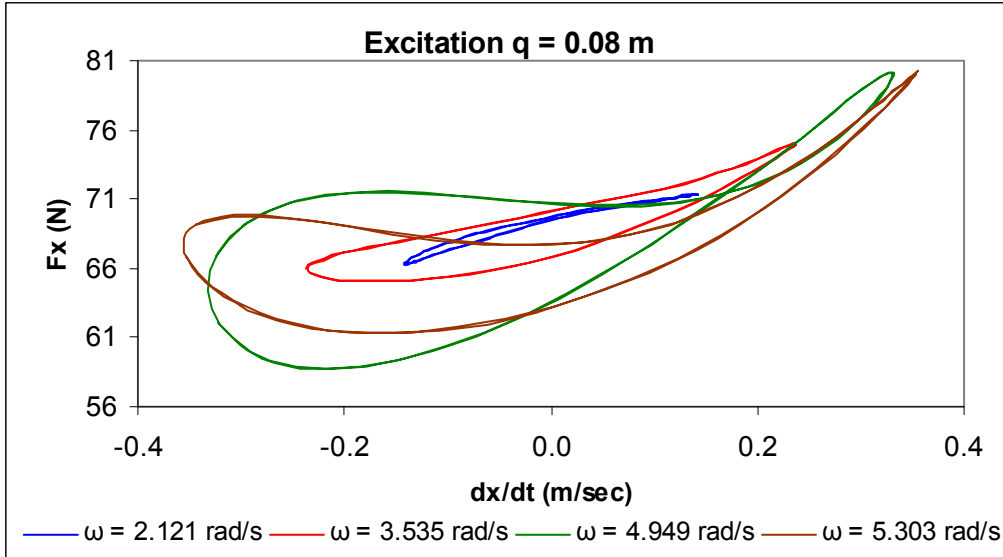


Διάγραμμα 8: Γραμμικοποιημένος συντελεστής απόσβεσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $p$  σε μια περίοδο.

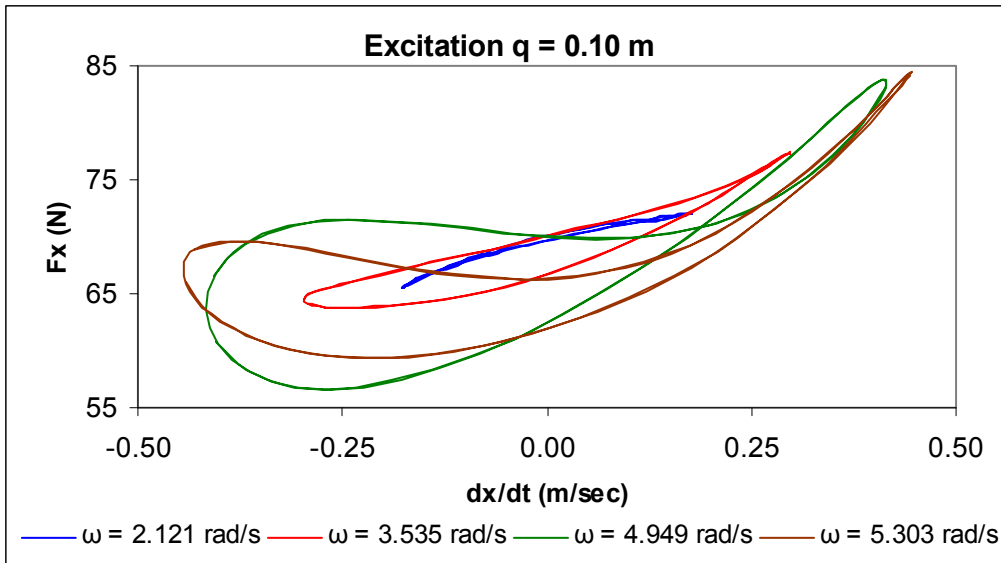
- Διέγερση  $q$



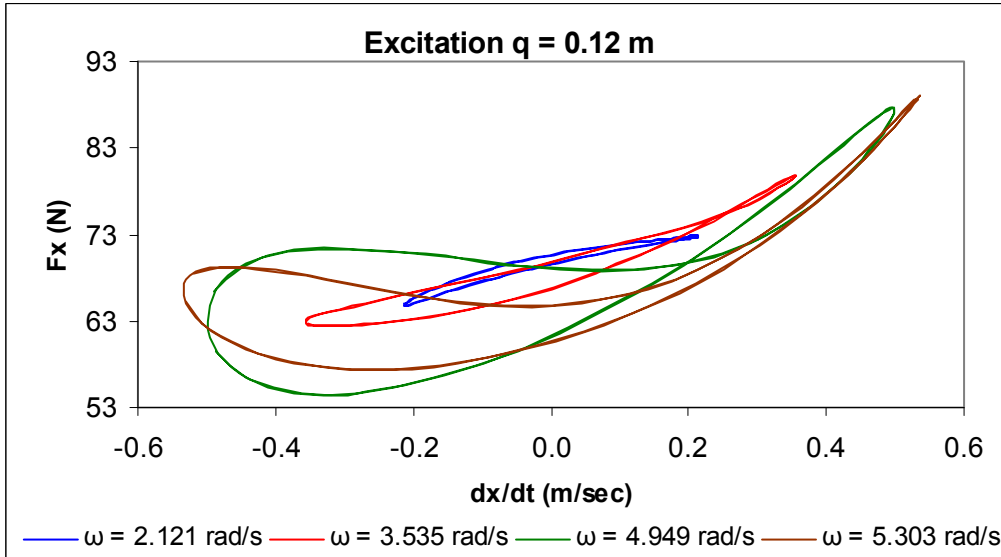
Διάγραμμα 9α: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $q_a = 0.04$  m για δύο περιόδους.



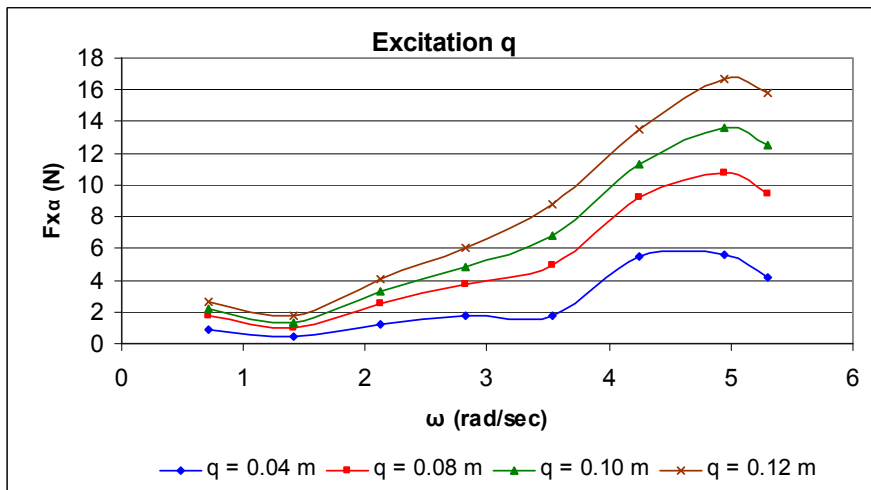
Διάγραμμα 9β: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $q_a = 0.08$  m για δύο περιόδους.



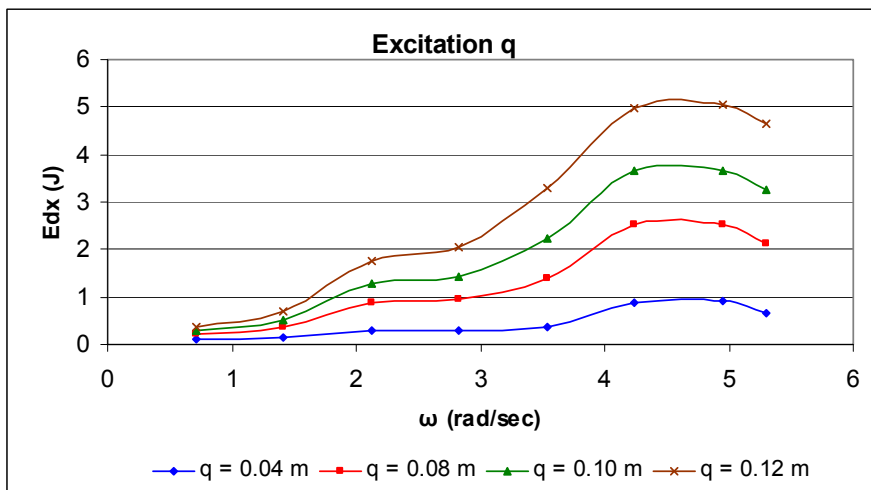
Διάγραμμα 9γ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $q_a = 0.04$  m για δύο περιόδους.



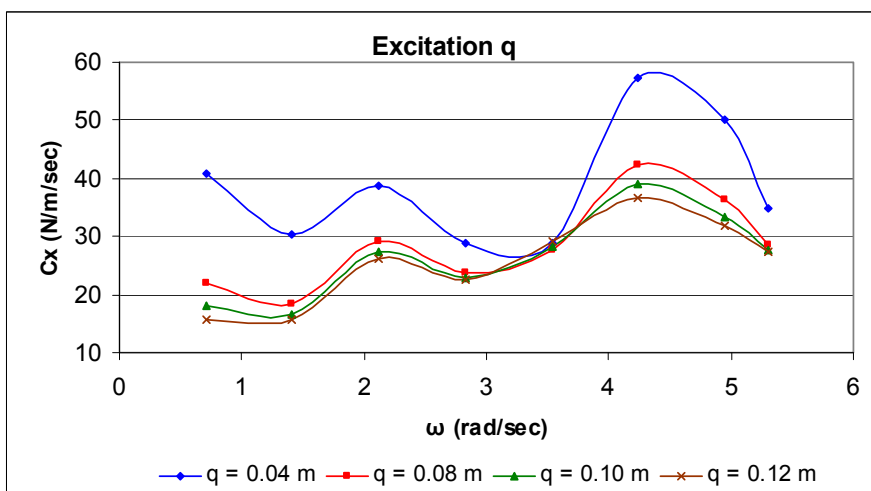
Διάγραμμα 9δ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $q_a = 0.04$  m για δύο περιόδους.



Διάγραμμα 10: Μέγιστες αποκλίσεις της δυναμικής συνιστώσας κατά  $x$  της τάσης που εφαρμόζεται στην κορυφή από τη στατική τάση για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $q$  σε μια περίοδο.

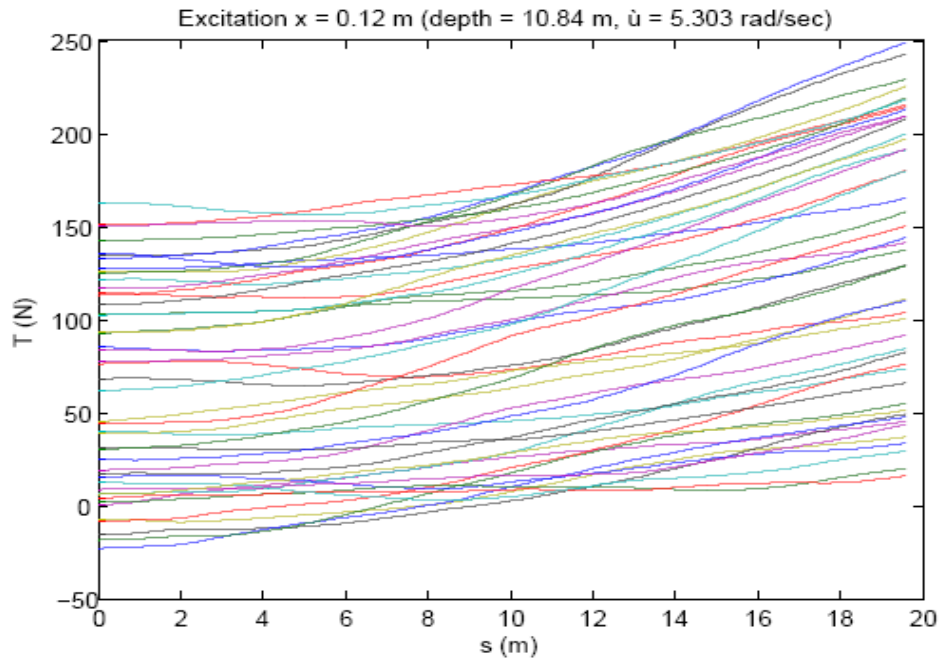


Διάγραμμα 11: Ενέργεια διάχυσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $q$  σε μια περίοδο.

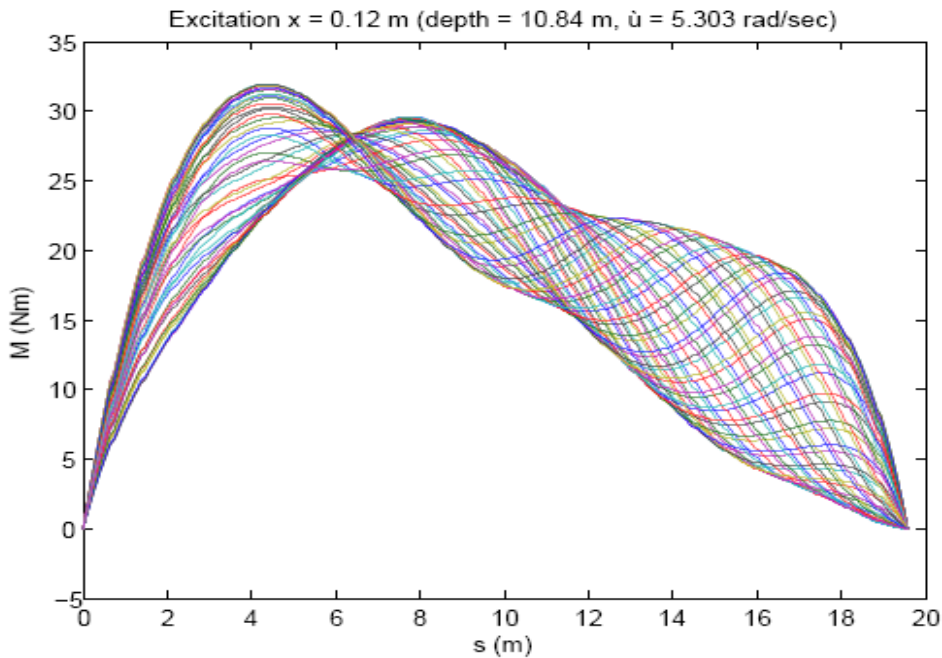


Διάγραμμα 12: Γραμμικοποιημένος συντελεστής απόσβεσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $q$  σε μια περίοδο.

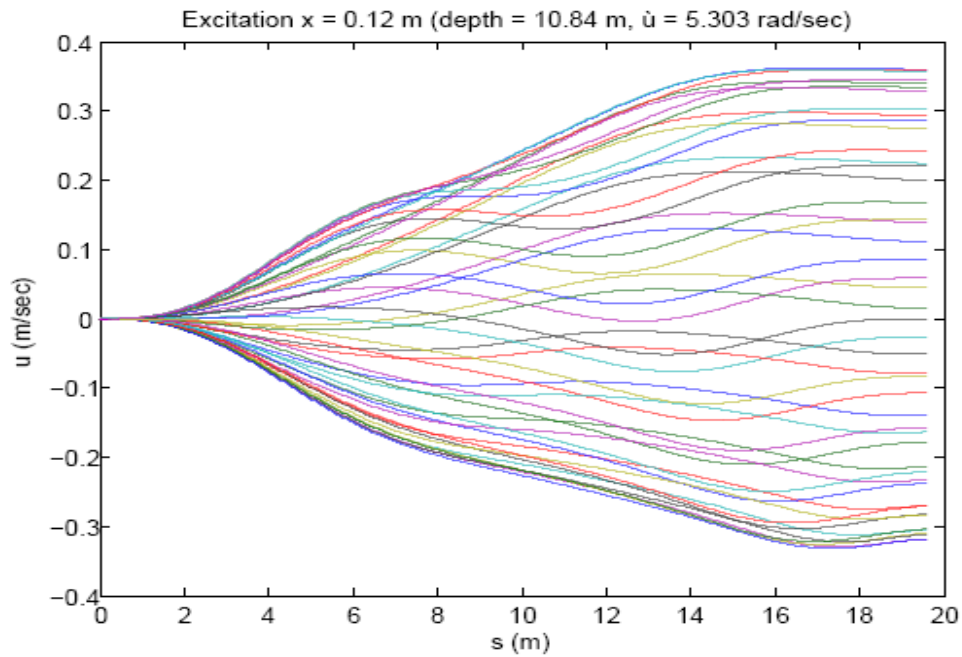
- Διέγερση  $x$



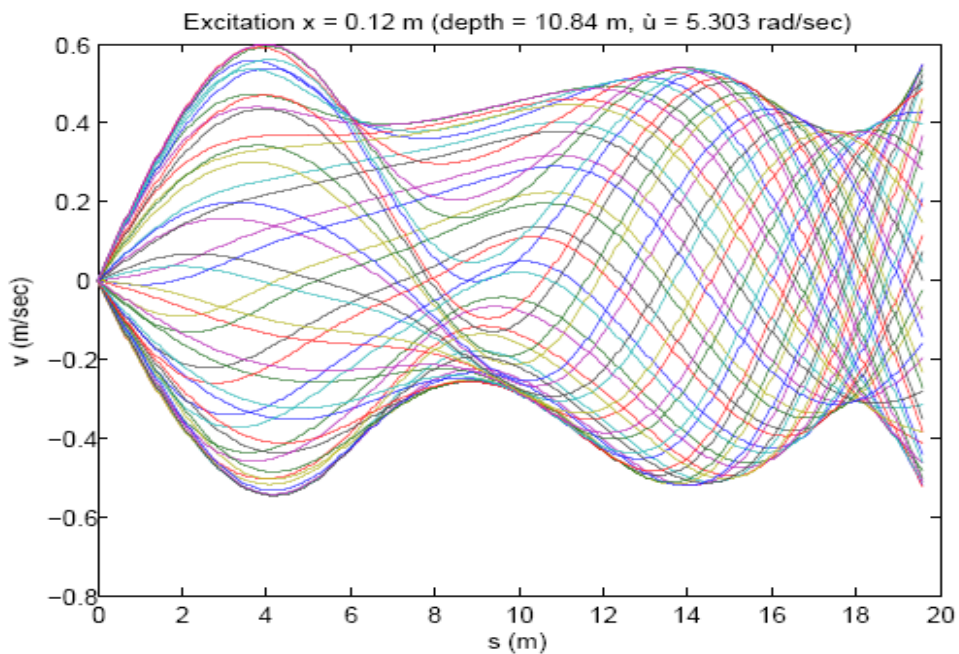
Διάγραμμα 13: Μεταβολή της ολικής τάσης κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $x_a = 0.12$  m,  $\omega = 5.303$  rad/sec.



Διάγραμμα 14: Μεταβολή της ολικής καμπτικής ροπής κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $x_a = 0.12$  m,  $\omega = 5.303$  rad/sec.

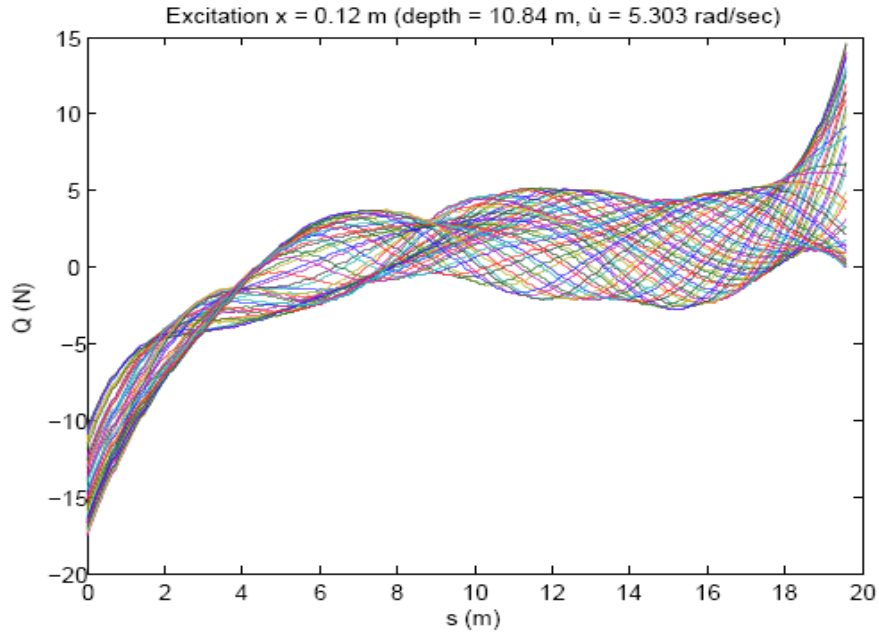


Διάγραμμα 15: Μεταβολή της εφαπτομενικής στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $x_a = 0.12$  m,  $\omega = 5.303$  rad/sec.



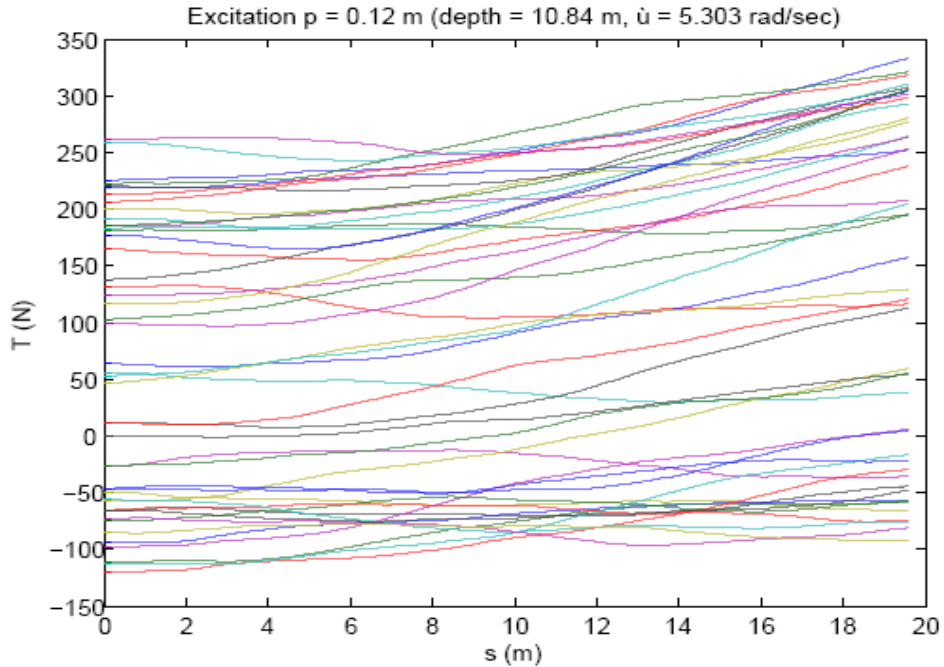
Διάγραμμα 16: Μεταβολή της κάθετης στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $x_a = 0.12$  m,  $\omega = 5.303$  rad/sec.



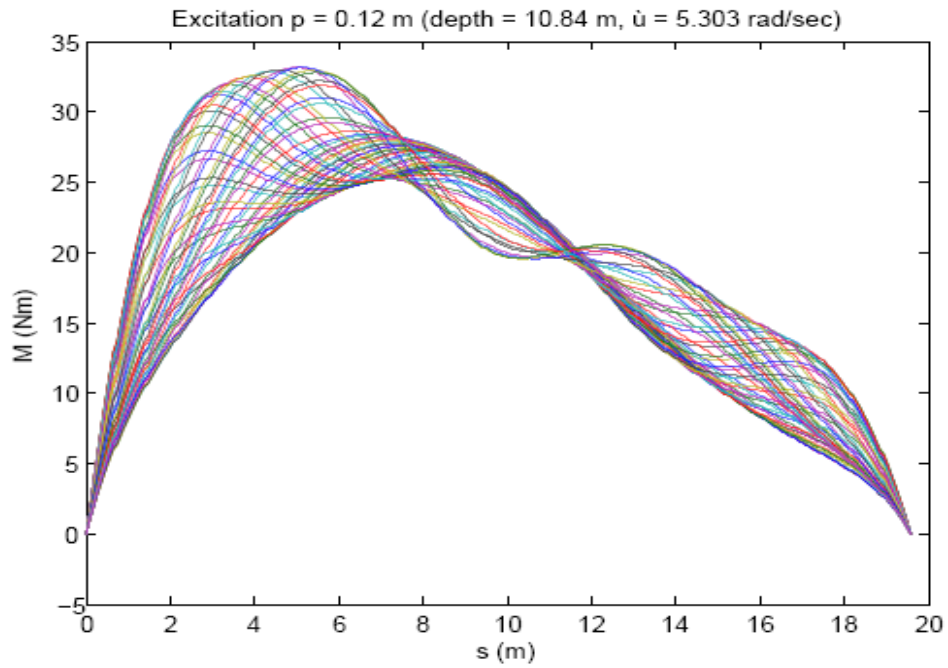


Διάγραμμα 17: Μεταβολή της ολικής διατμητικής δύναμης κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $x_a = 0.12$  m,  $\omega = 5.303$  rad/sec.

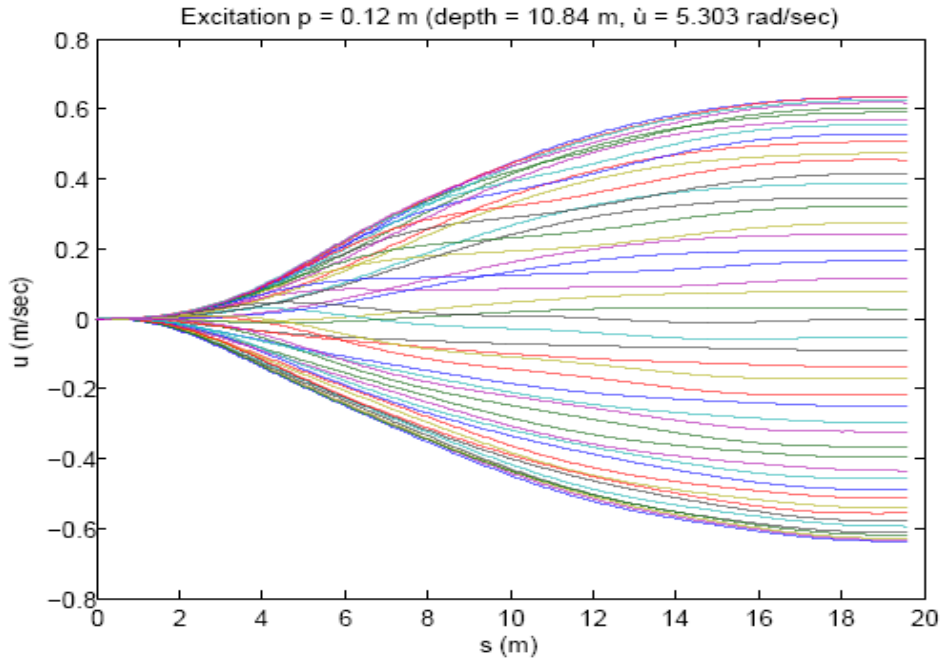
- Διέγερση  $p$



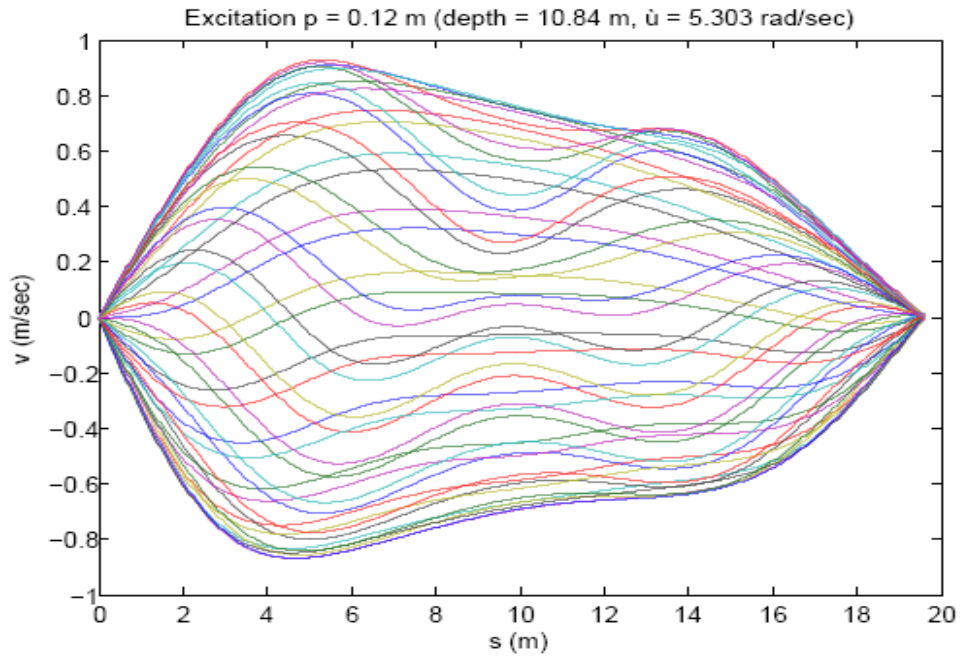
Διάγραμμα 18: Μεταβολή της ολικής τάσης κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $p_a = 0.12$  m,  $\omega = 5.303$  rad/sec.



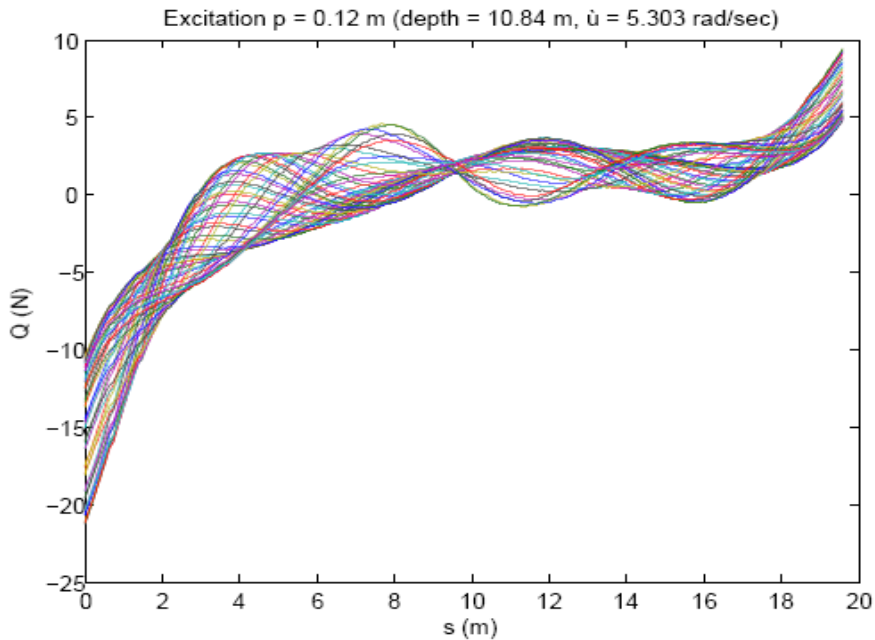
Διάγραμμα 19: Μεταβολή της ολικής καμπτικής ροπής κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $p_a = 0.12$  m,  $\omega = 5.303$  rad/sec.



Διάγραμμα 20: Μεταβολή της εφαπτομενικής στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $p_a = 0.12$  m,  $\omega = 5.303$  rad/sec.

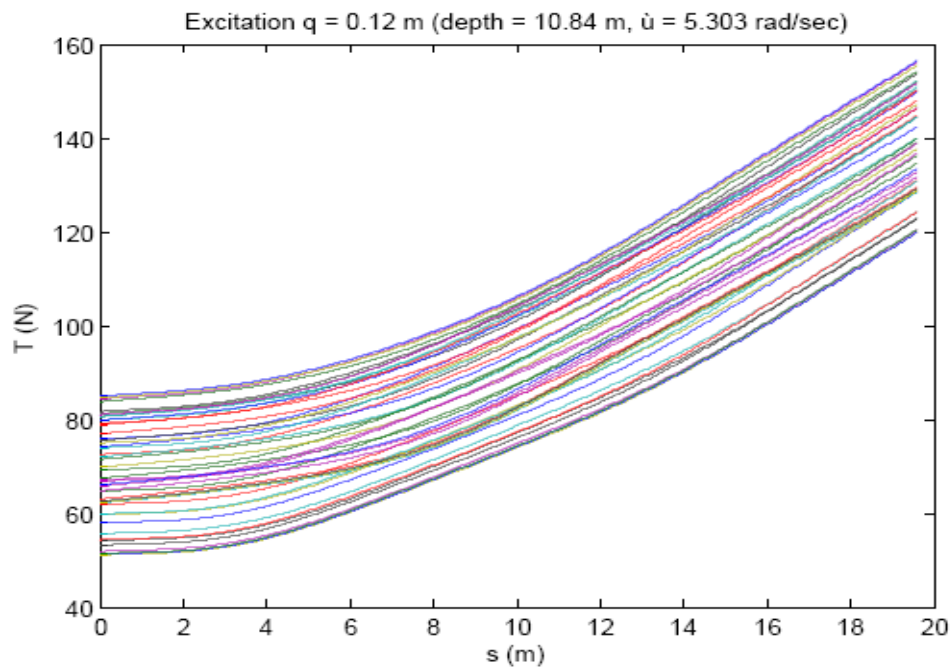


Διάγραμμα 21: Μεταβολή της κάθετης στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $p_a = 0.12$  m,  $\omega = 5.303$  rad/sec.

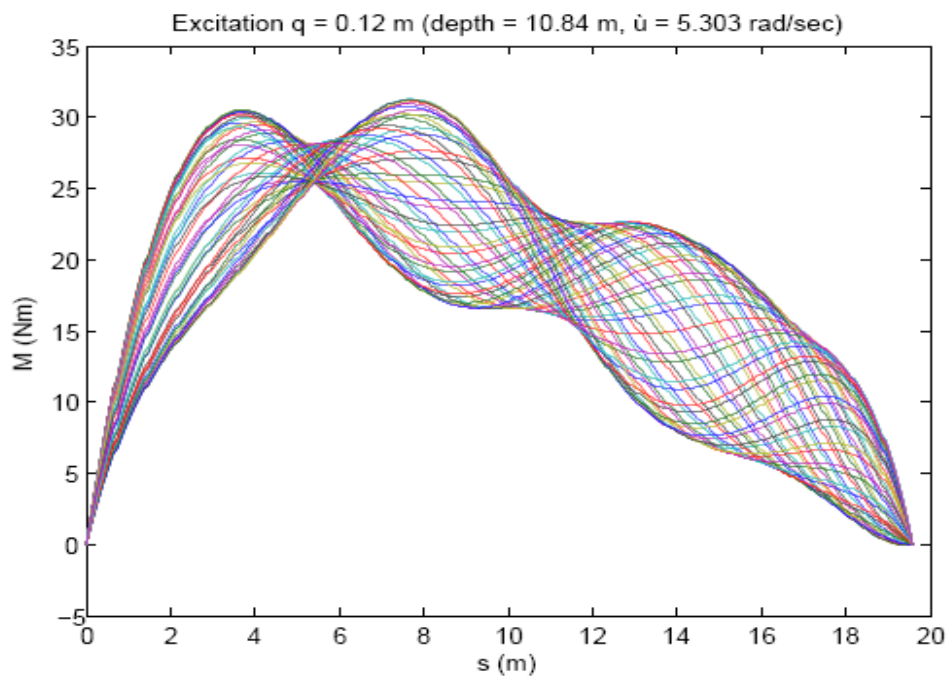


Διάγραμμα 22: Μεταβολή της ολικής διατμητικής δύναμης κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $p_a = 0.12$  m,  $\omega = 5.303$  rad/sec.

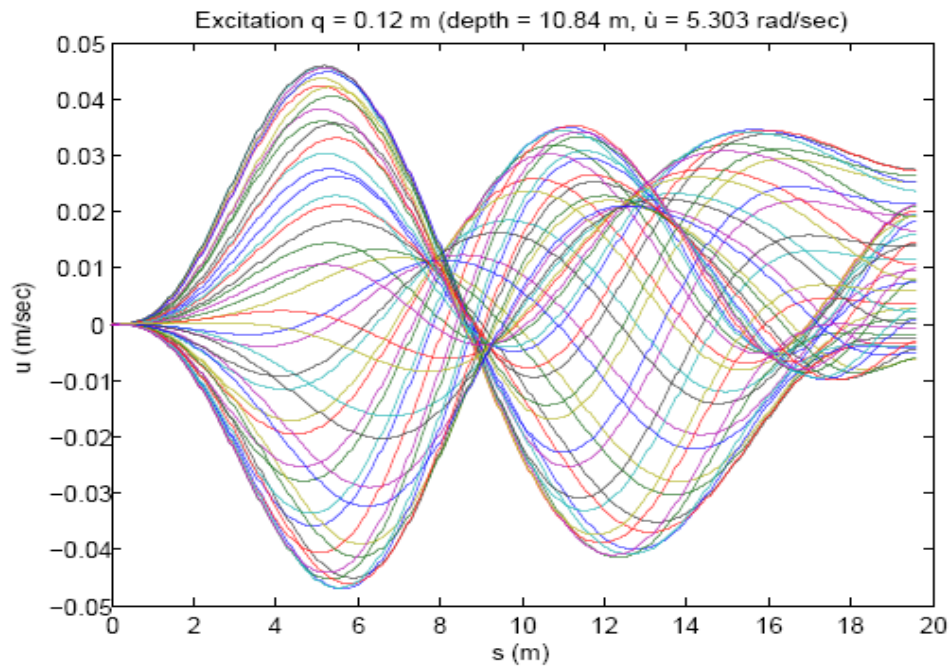
- Διέγερση  $q$



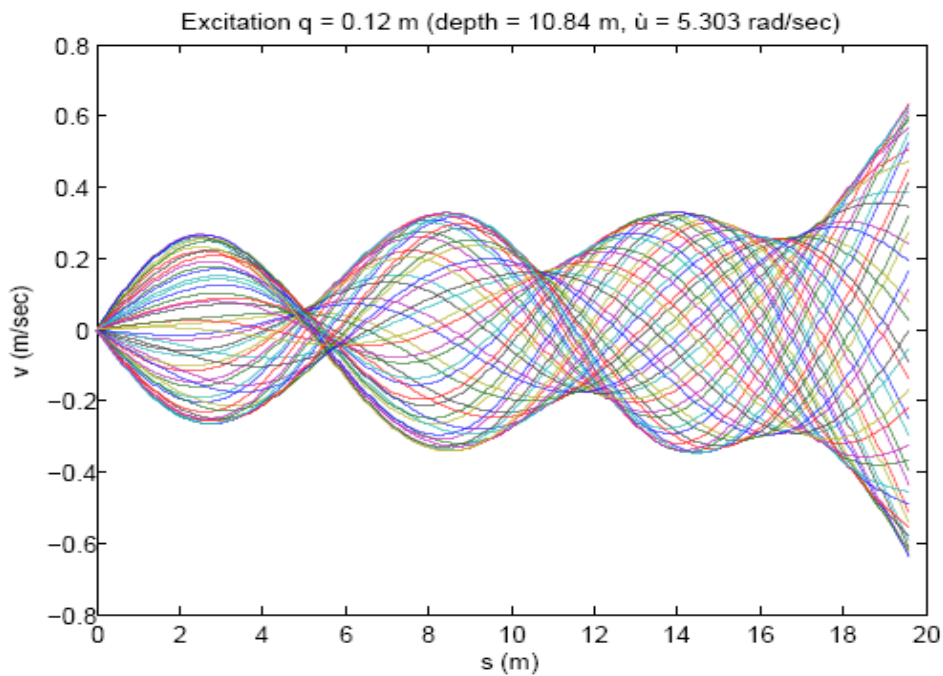
Διάγραμμα 23: Μεταβολή της ολικής τάσης κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $q_a = 0.12$  m,  $\omega = 5.303$  rad/sec.



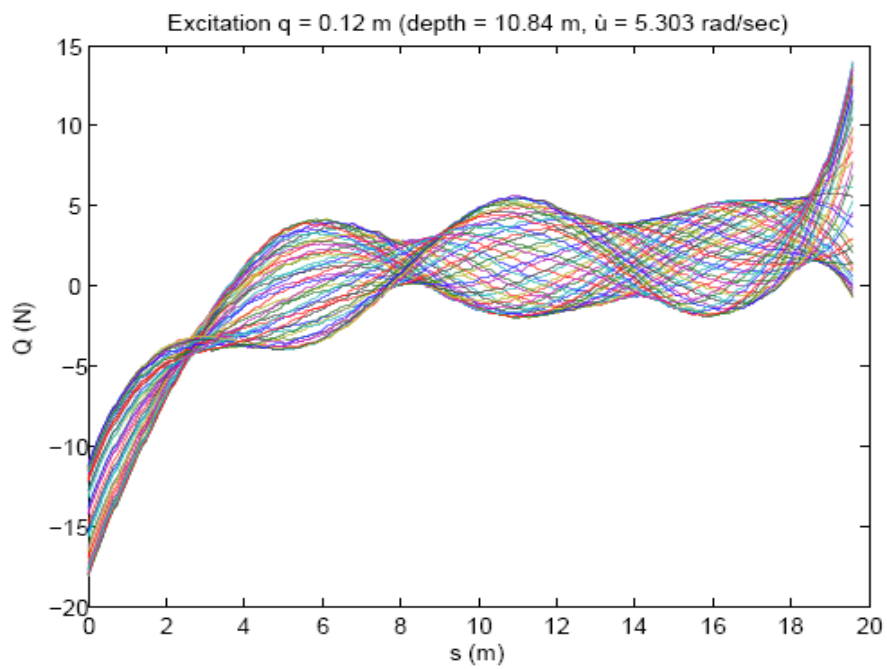
Διάγραμμα 24: Μεταβολή της ολικής καμπτικής ροπής κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $q_a = 0.12$  m,  $\omega = 5.303$  rad/sec.



Διάγραμμα 25: Μεταβολή της εφαπτομενικής στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $q_a = 0.12$  m,  $\omega = 5.303$  rad/sec.



Διάγραμμα 26: Μεταβολή της κάθετης στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $q_a = 0.12$  m,  $\omega = 5.303$  rad/sec.

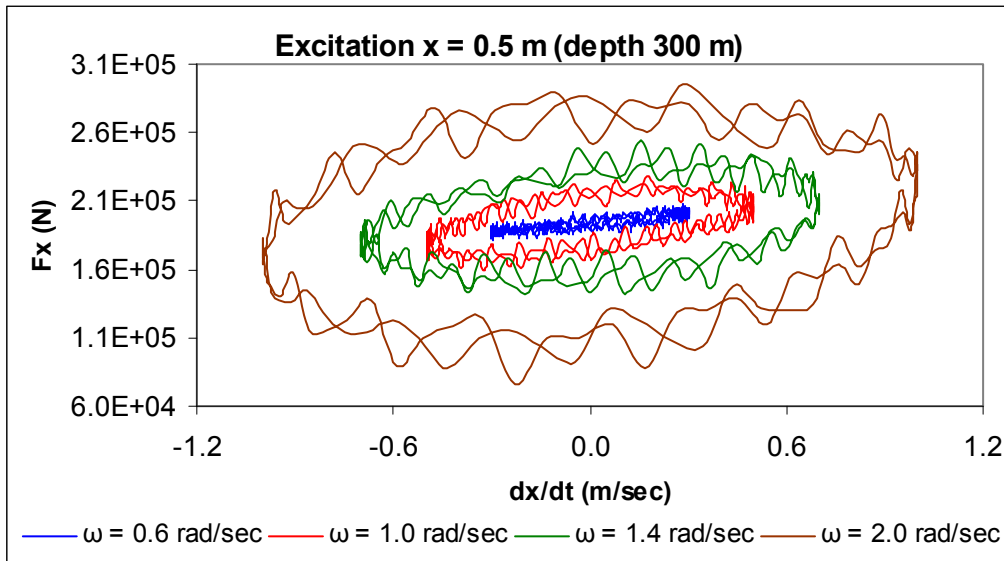


Διάγραμμα 27: Μεταβολή της ολικής διατμητικής δύναμης κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $q_a = 0.12$  m,  $\omega = 5.303$  rad/sec.

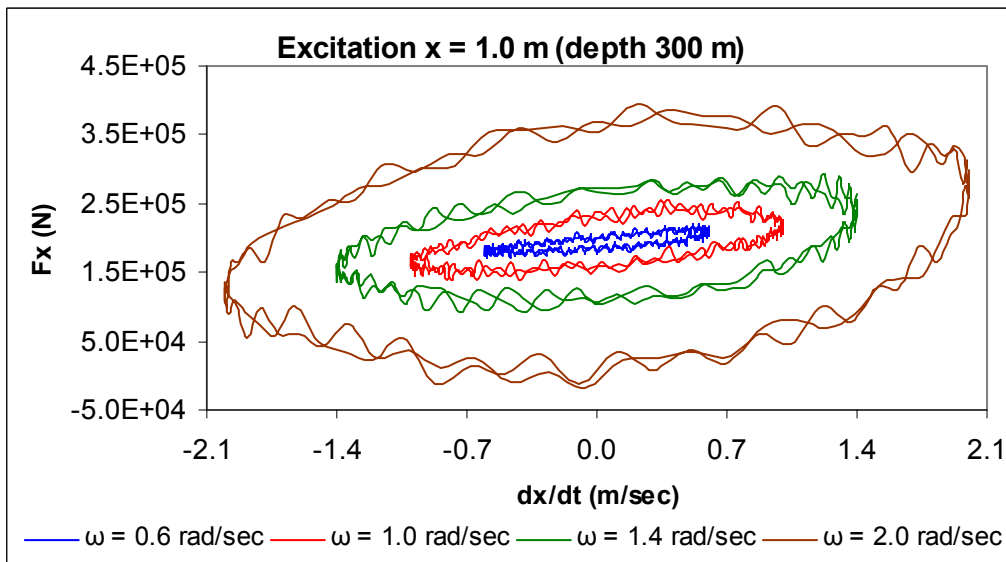
Πραγματικά μοντέλα

1. Βάθος νερού 300 m

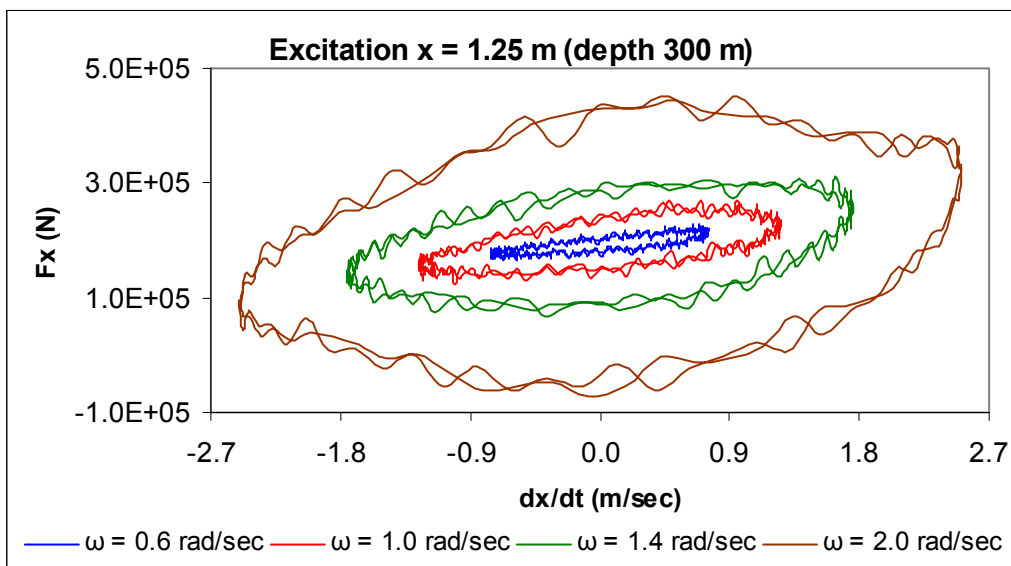
- Διέγερση  $x$



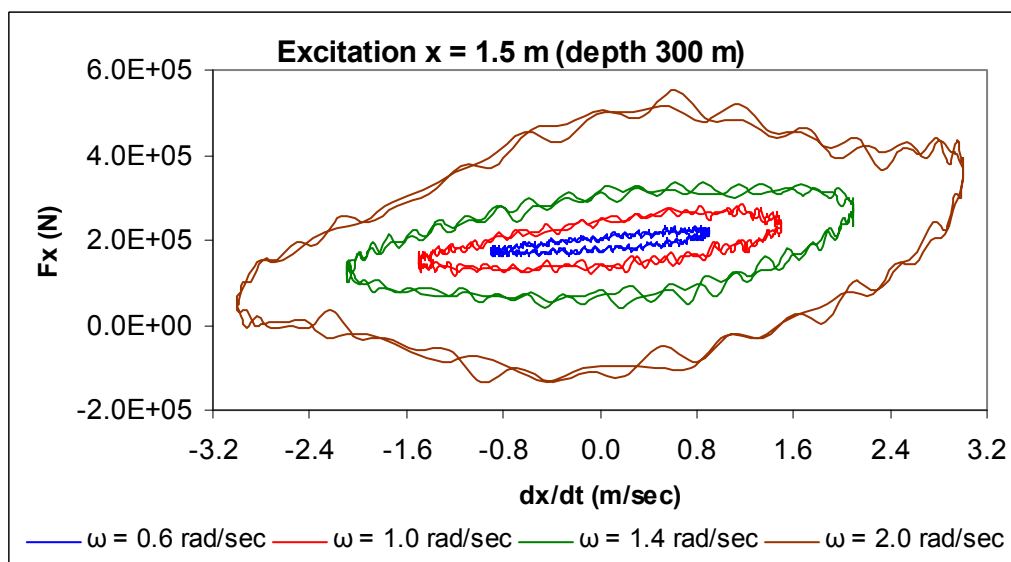
Διάγραμμα 28α: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $x_a = 0.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 300 m).



Διάγραμμα 28β: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $x_a = 1.0$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 300 m).

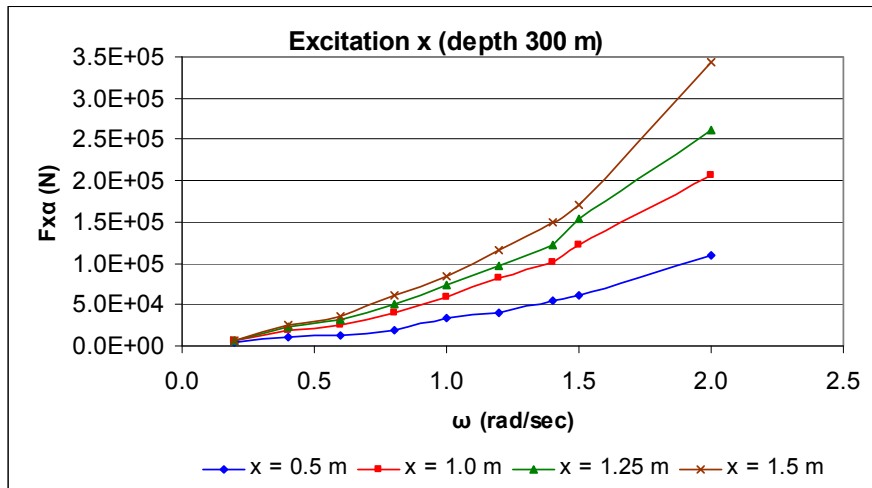


Διάγραμμα 28γ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $x_a = 1.25$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 300 m).

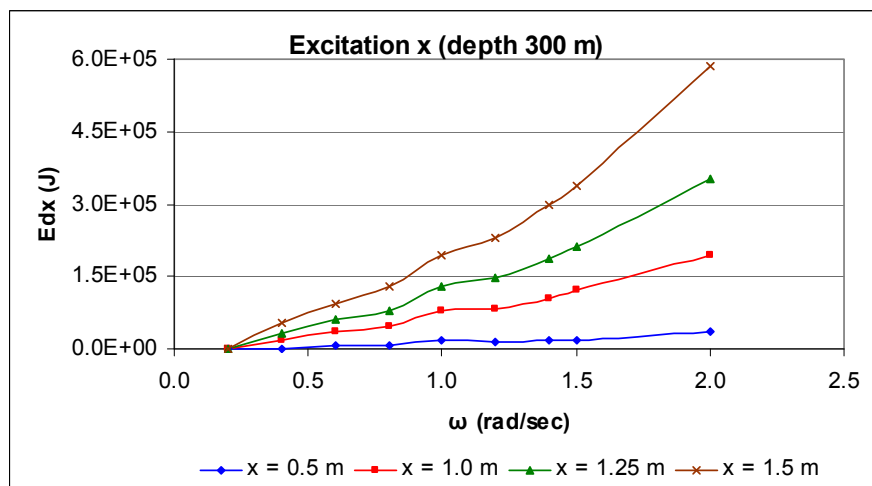


Διάγραμμα 28δ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $x_a = 1.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 300 m).

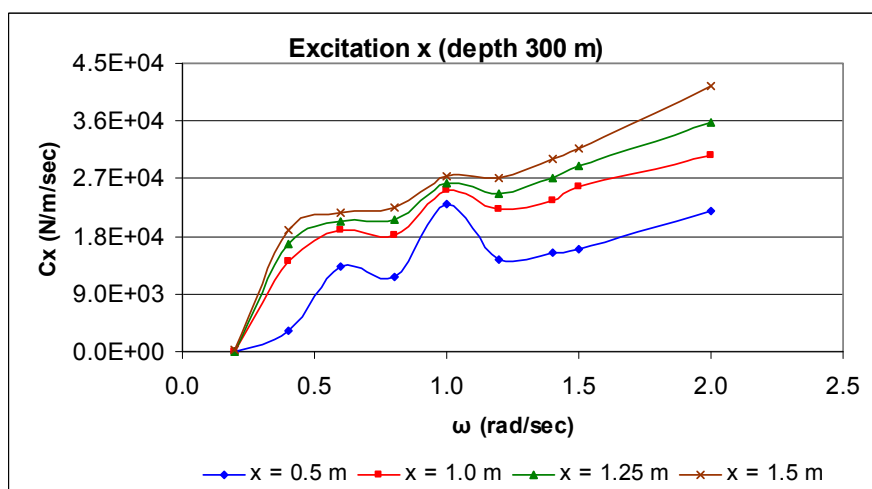




Διάγραμμα 29: Μέγιστες αποκλίσεις της δυναμικής συνιστώσας κατά  $x$  της τάσης που εφαρμόζεται στην κορυφή από τη στατική τάση για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $x$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 300 m).

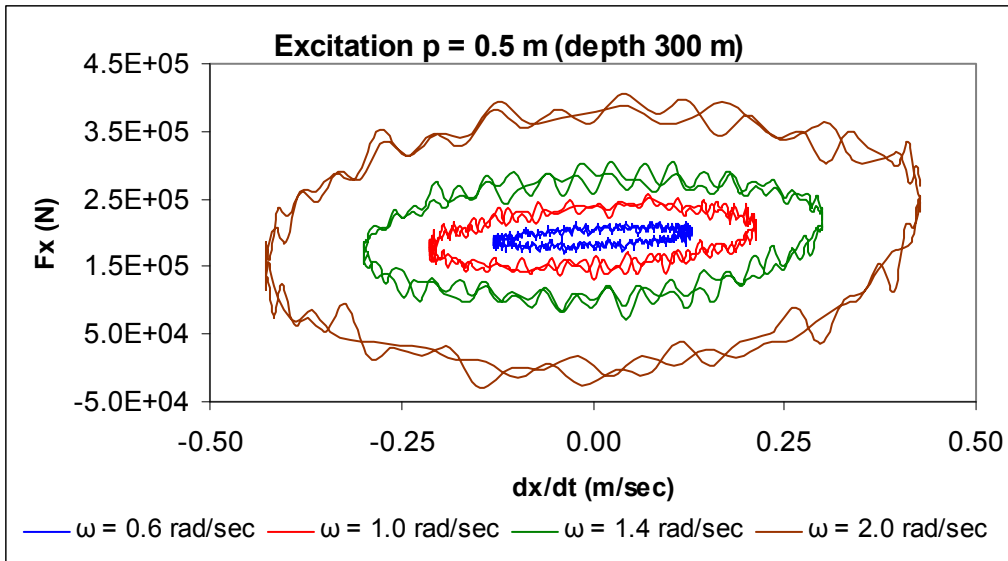


Διάγραμμα 30: Ενέργεια διάχυσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $x$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 300 m).

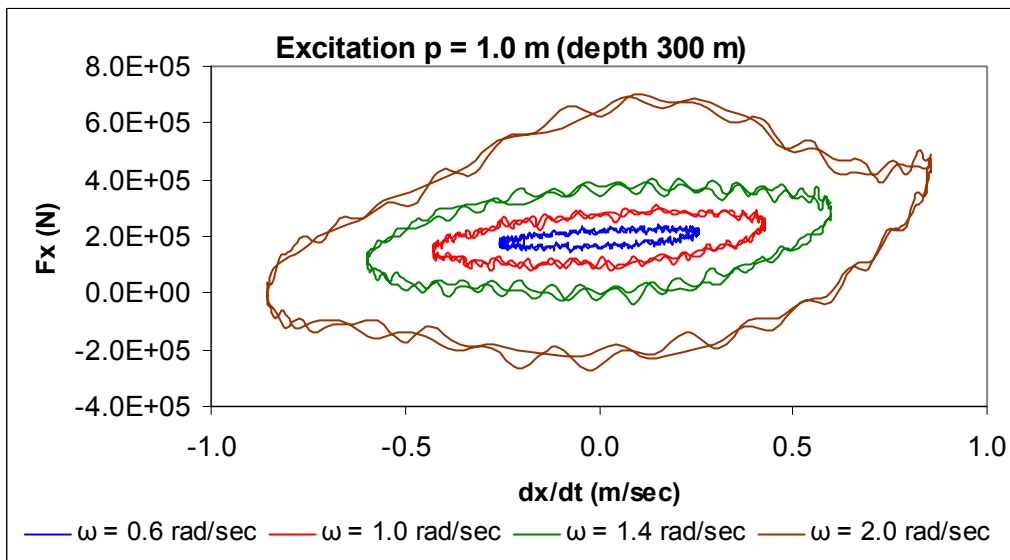


Διάγραμμα 31: Γραμμικοποιημένος συντελεστής απόσβεσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $x$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 300 m).

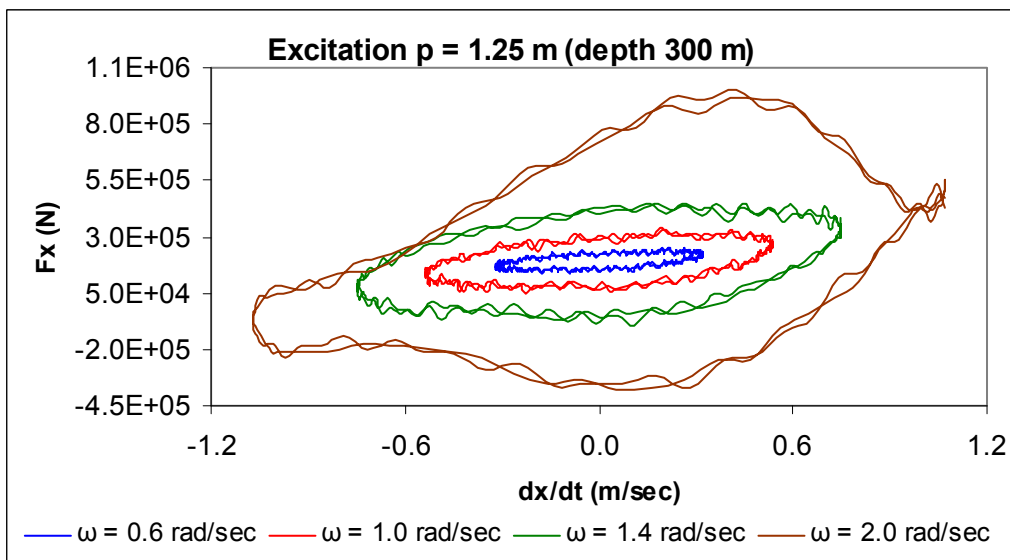
- Διέγερση  $p$



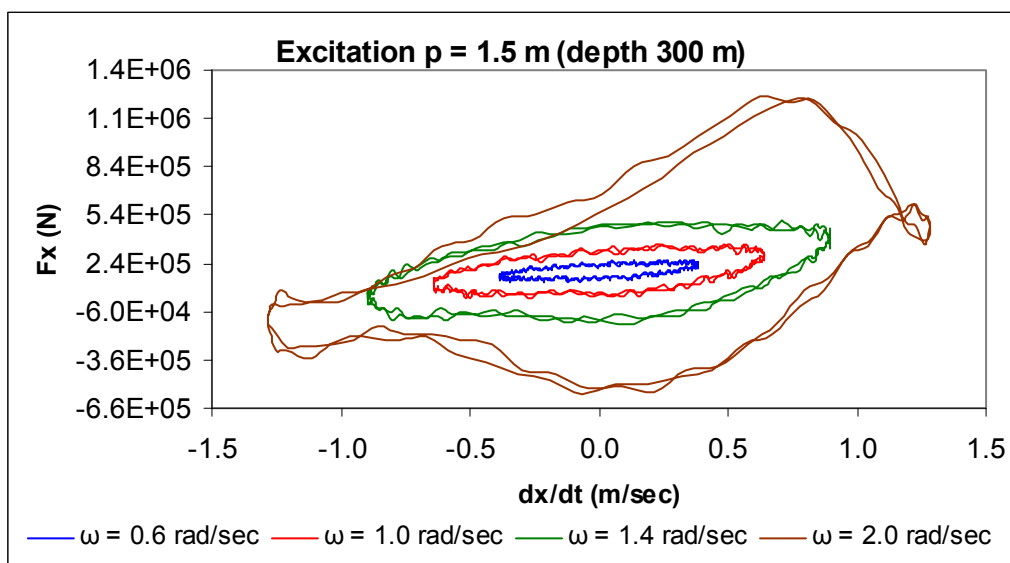
Διάγραμμα 32α: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $p_\alpha = 0.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 300 m).



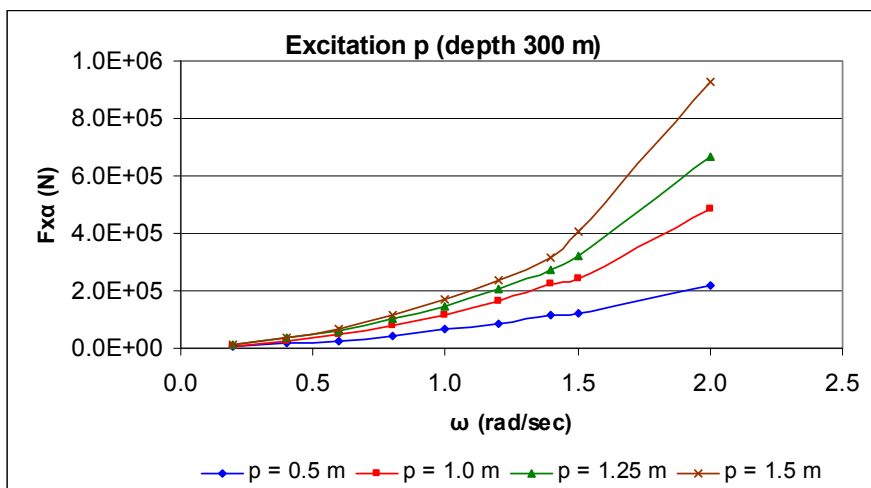
Διάγραμμα 32β: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $p_\alpha = 1.0$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 300 m).



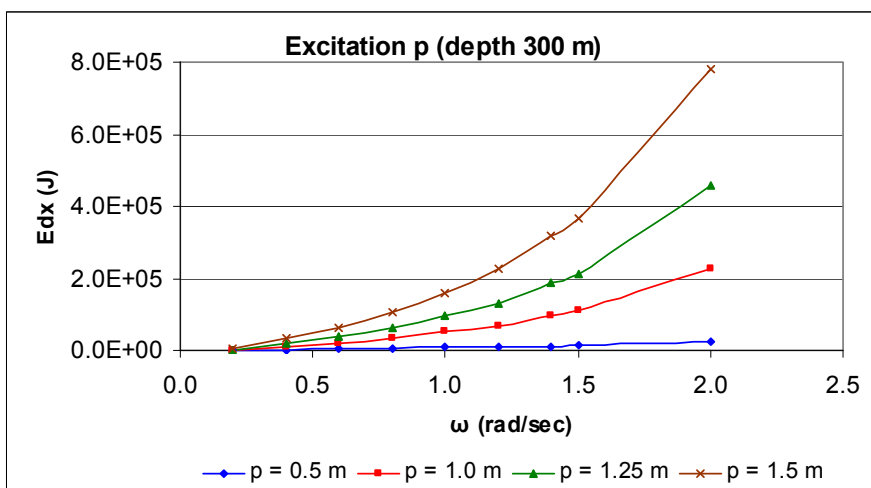
Διάγραμμα 32γ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $p_\alpha = 1.25$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 300 m).



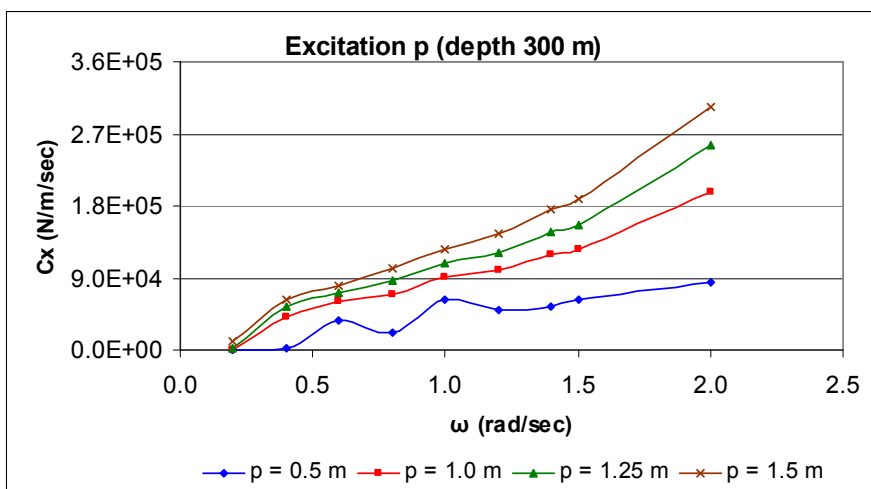
Διάγραμμα 32δ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $p_\alpha = 1.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 300 m).



Διάγραμμα 33: Μέγιστες αποκλίσεις της δυναμικής συνιστώσας κατά  $x$  της τάσης που εφαρμόζεται στην κορυφή από τη στατική τάση για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $p$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 300 m).

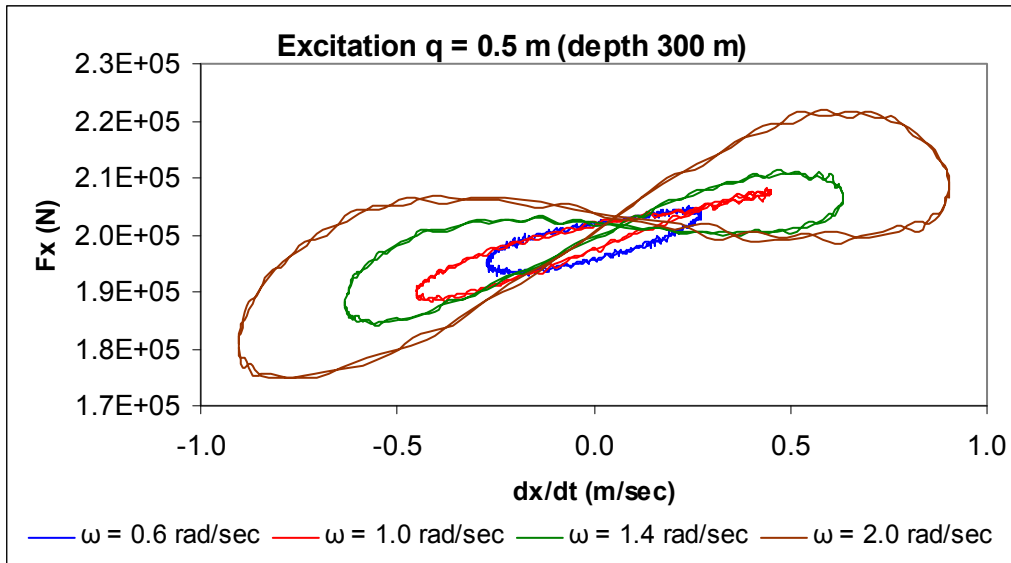


Διάγραμμα 34: Ενέργεια διάχυσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $p$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 300 m).

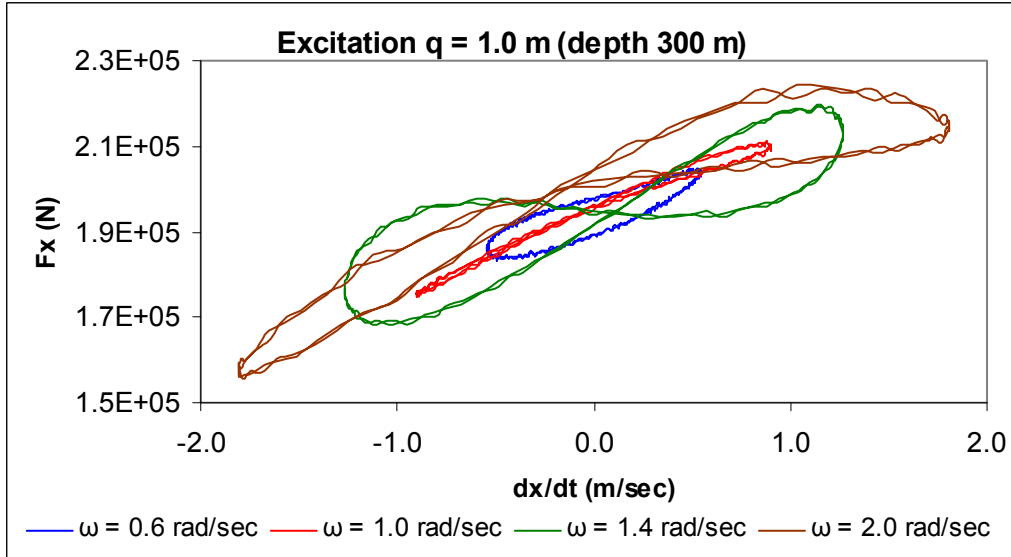


Διάγραμμα 35: Γραμμικοποιημένος συντελεστής απόσβεσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $p$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 300 m).

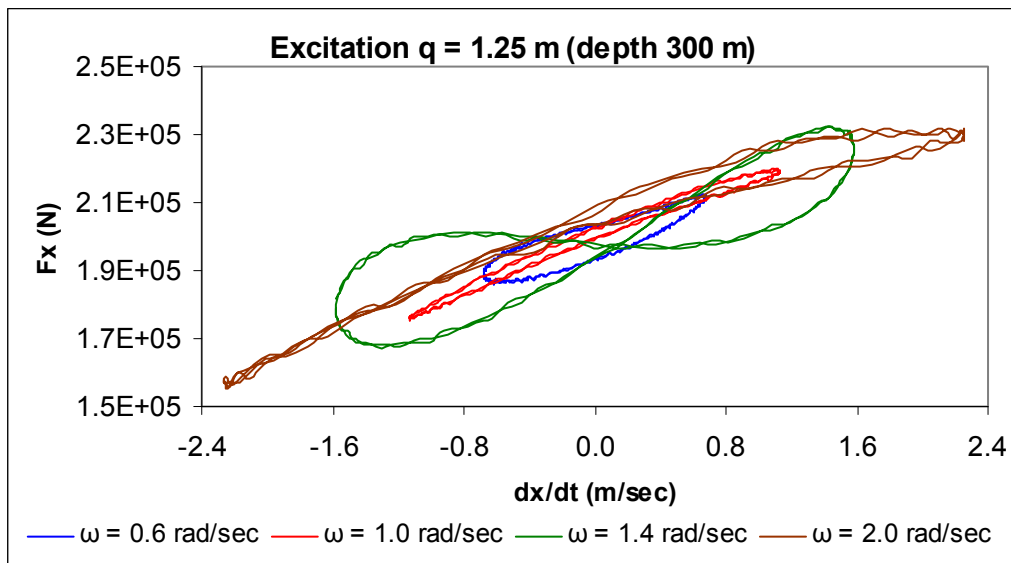
- Διέγερση  $q$



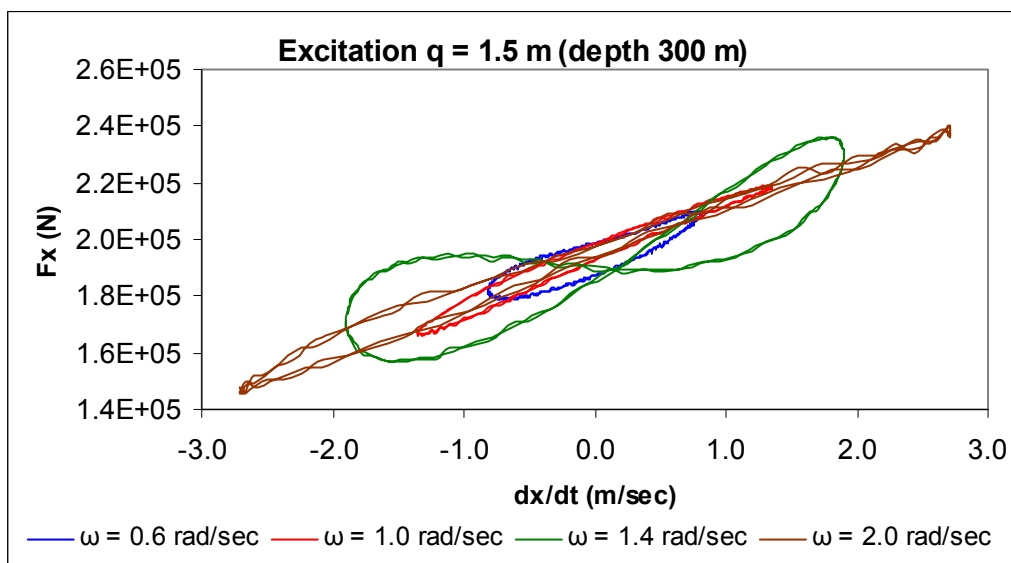
Διάγραμμα 36α: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $q_a = 0.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 300 m).



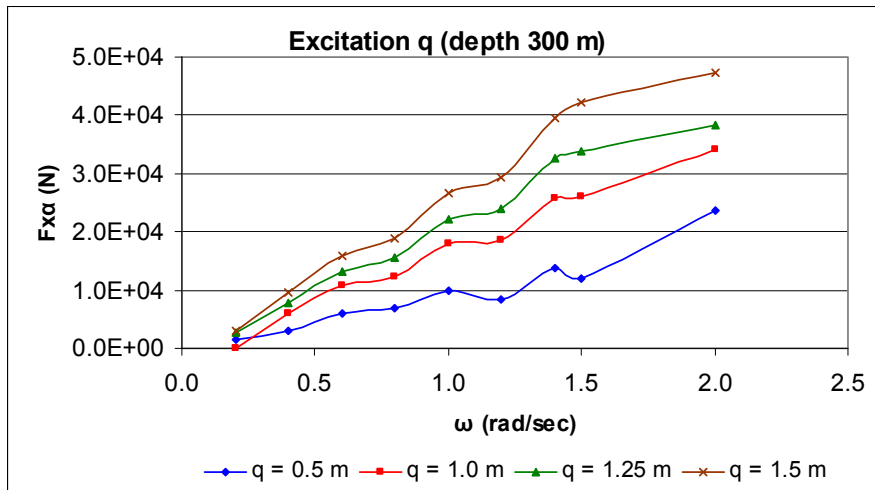
Διάγραμμα 36β: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $q_a = 1.0$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 300 m).



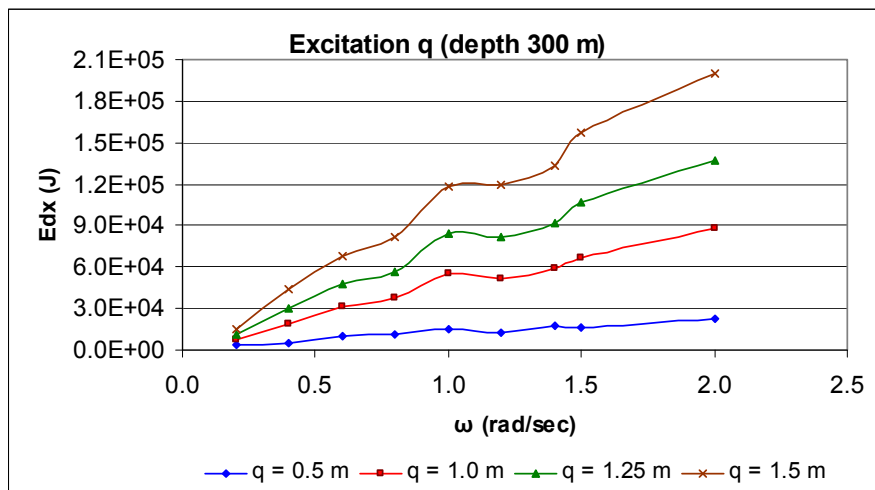
Διάγραμμα 36γ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $q_a = 1.25$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 300 m).



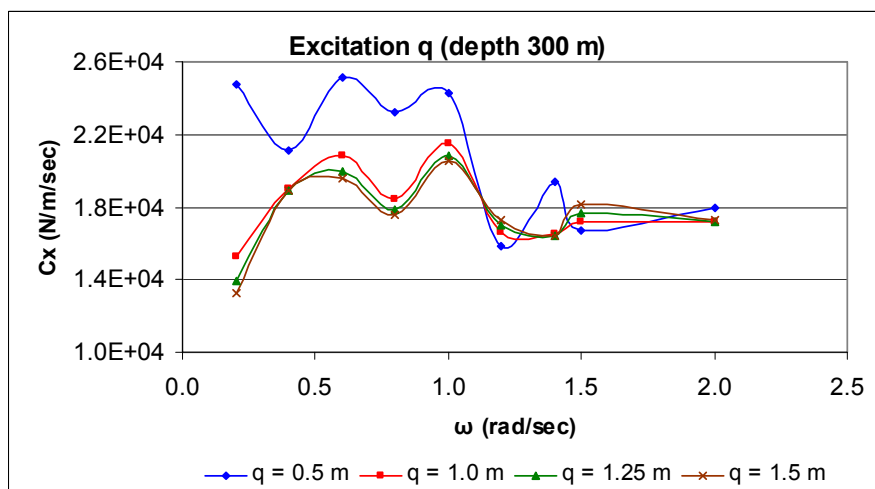
Διάγραμμα 36δ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $q_a = 1.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 300 m).



Διάγραμμα 37: Μέγιστες αποκλίσεις της δυναμικής συνιστώσας κατά  $x$  της τάσης που εφαρμόζεται στην κορυφή από τη στατική τάση για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $q$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 300 m).



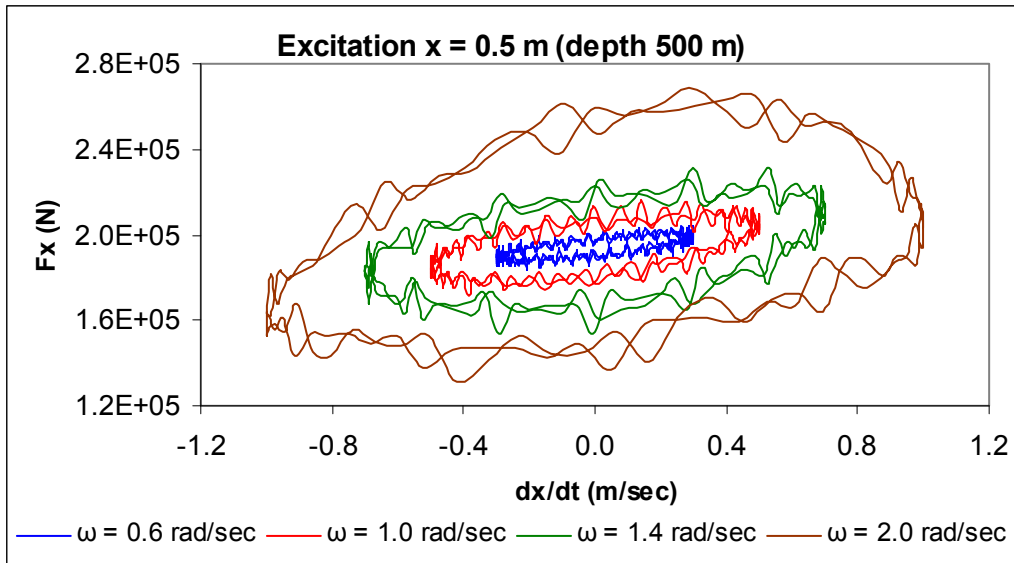
Διάγραμμα 38: Ενέργεια διάχυσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $q$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 300 m).



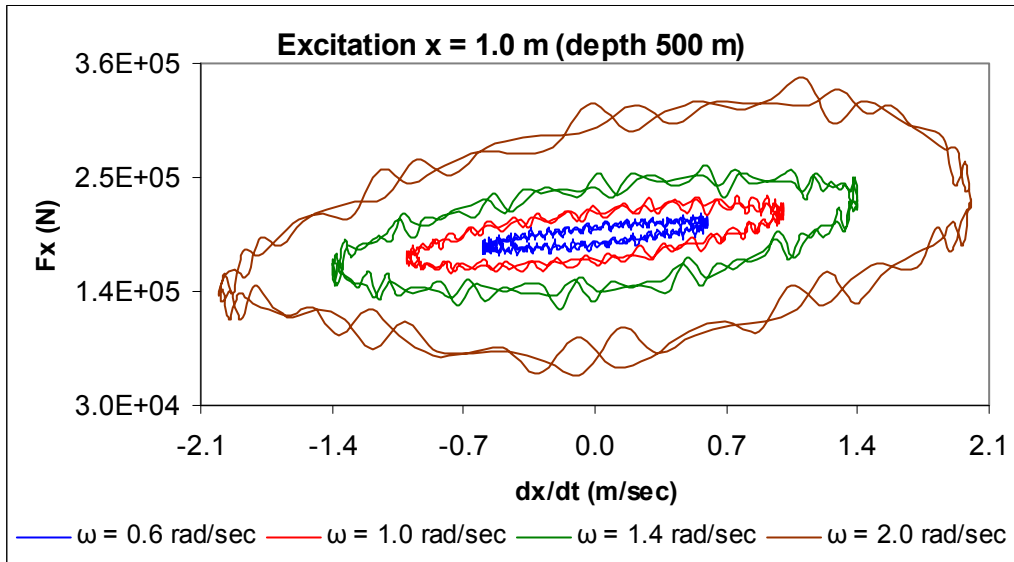
Διάγραμμα 39: Γραμμικοποιημένος συντελεστής απόσβεσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $q$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 300 m).

## 2. Βάθος νερού 500 m

- Διέγερση  $x$

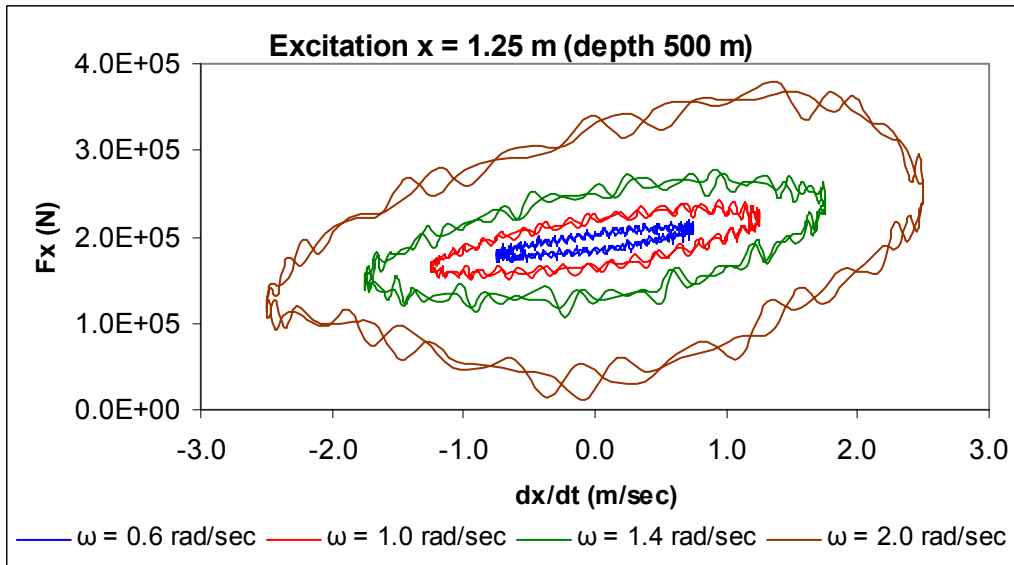


Διάγραμμα 40α: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $x_a = 0.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 500 m).

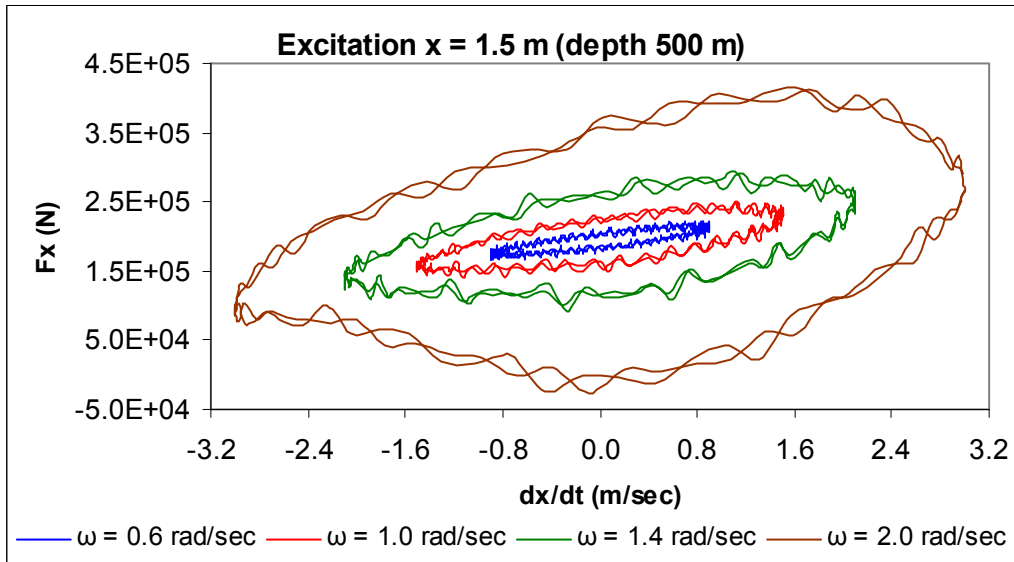


Διάγραμμα 40β: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $x_a = 1.0$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 500 m).

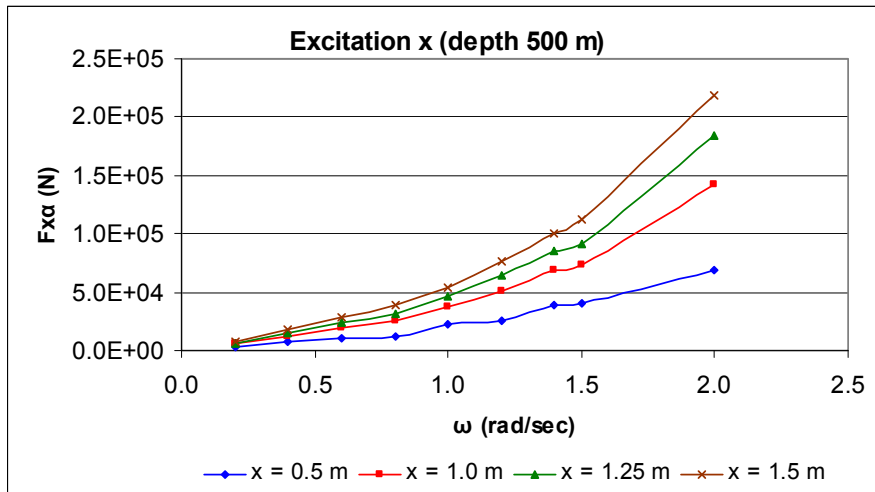




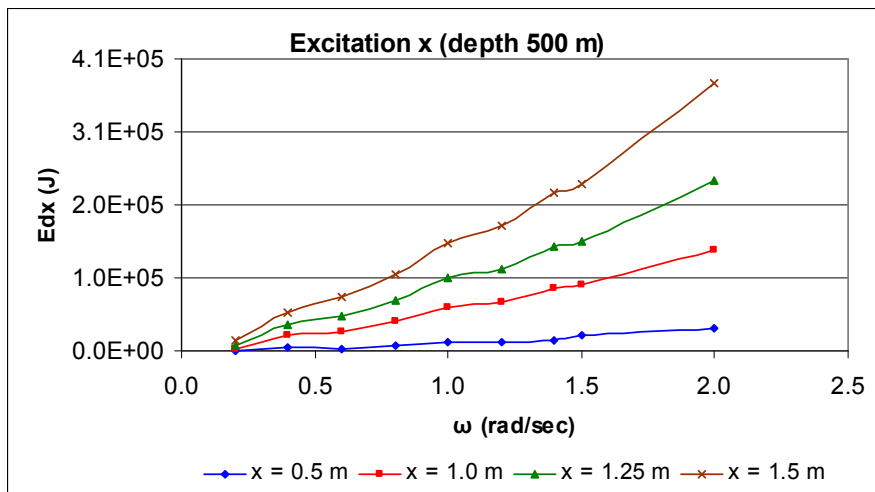
Διάγραμμα 40γ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $x_a = 1.25$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 500 m).



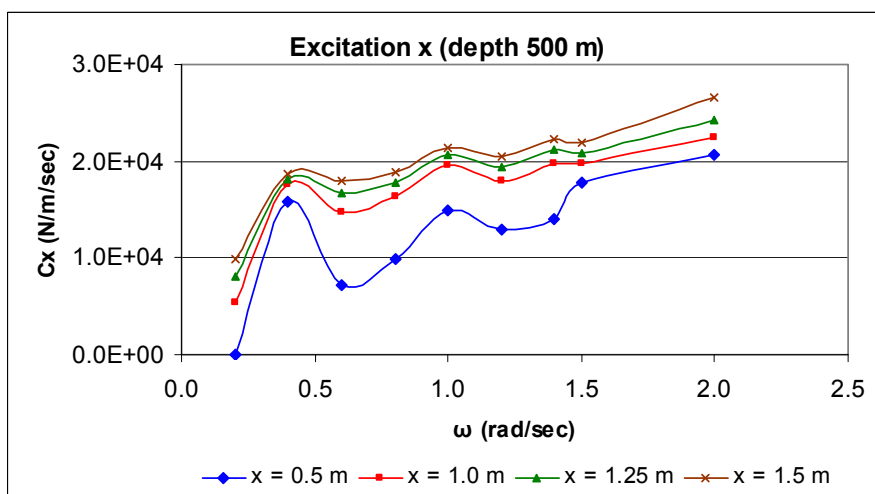
Διάγραμμα 40δ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $x_a = 1.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 500 m).



Διάγραμμα 41: Μέγιστες αποκλίσεις της δυναμικής συνιστώσας κατά  $x$  της τάσης που εφαρμόζεται στην κορυφή από τη στατική τάση για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $x$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 500 m).

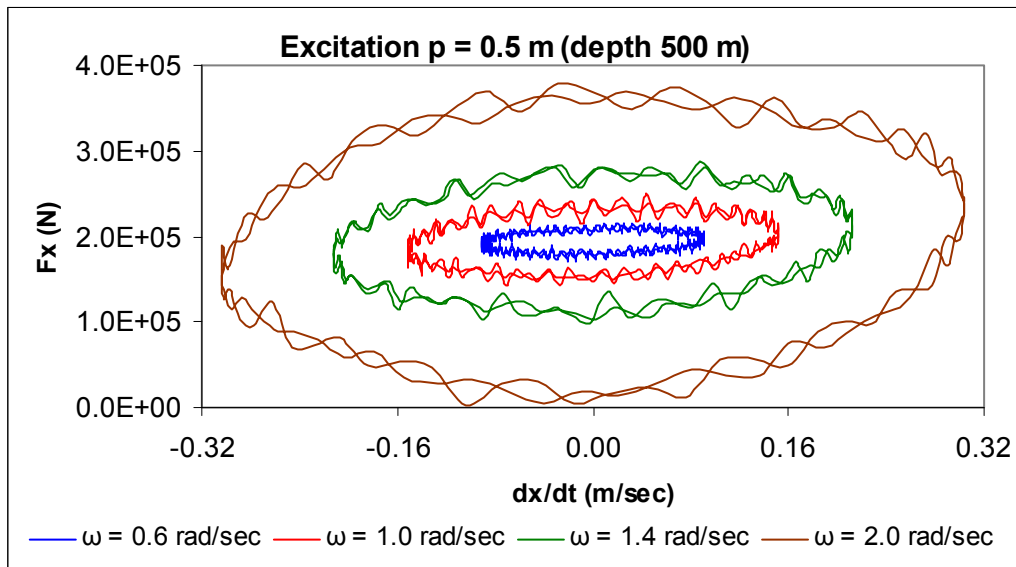


Διάγραμμα 42: Ενέργεια διάχυσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $x$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 500 m).

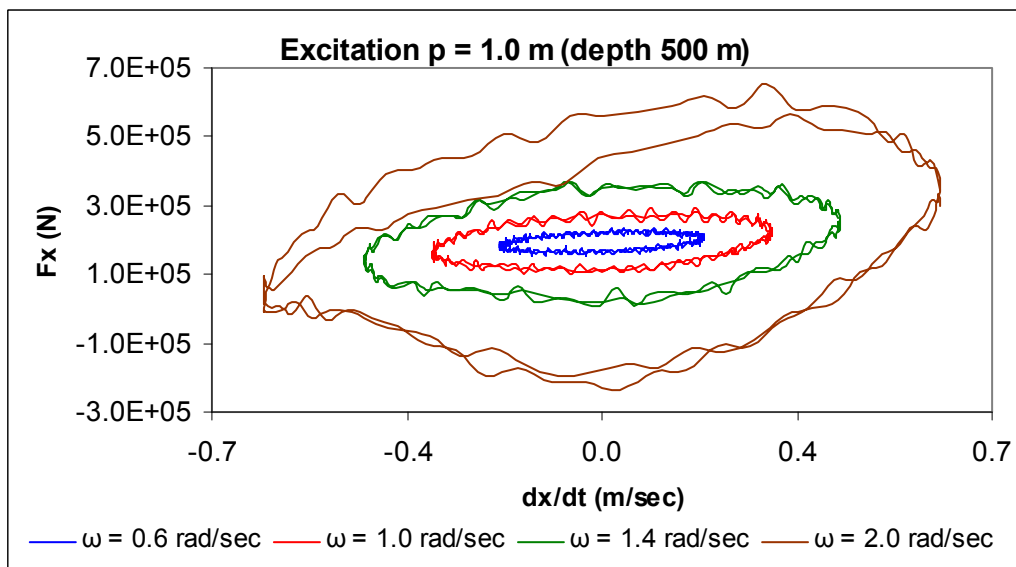


Διάγραμμα 43: Γραμμικοποιημένος συντελεστής απόσβεσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $x$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 500 m).

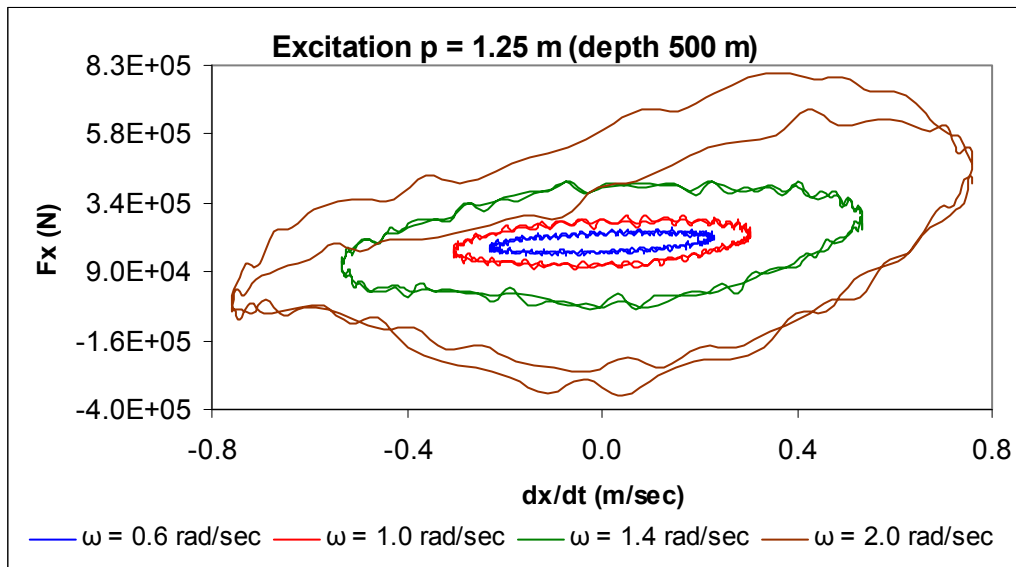
- Διέγερση  $p$



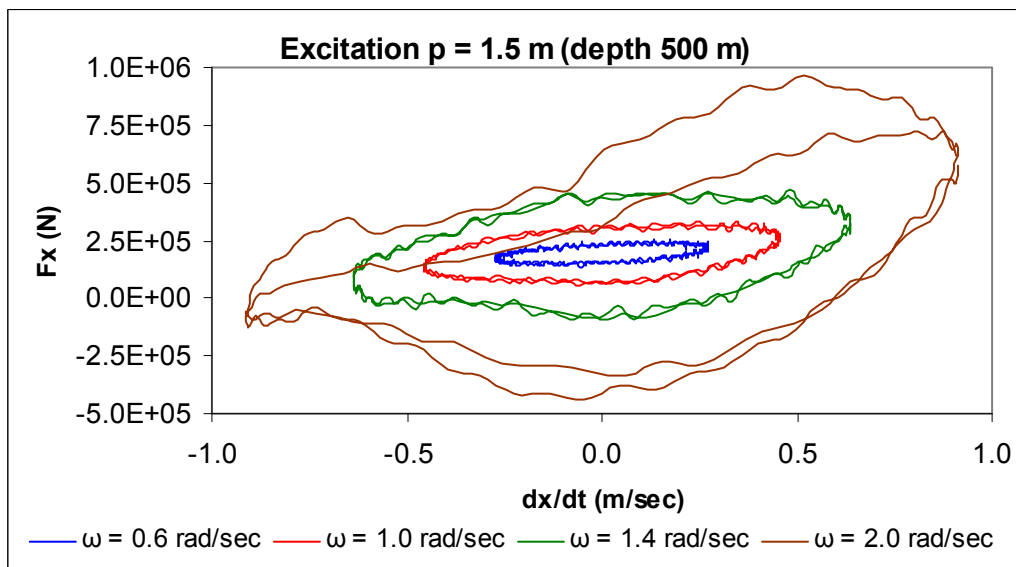
Διάγραμμα 44α: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $p_a = 0.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 500 m).



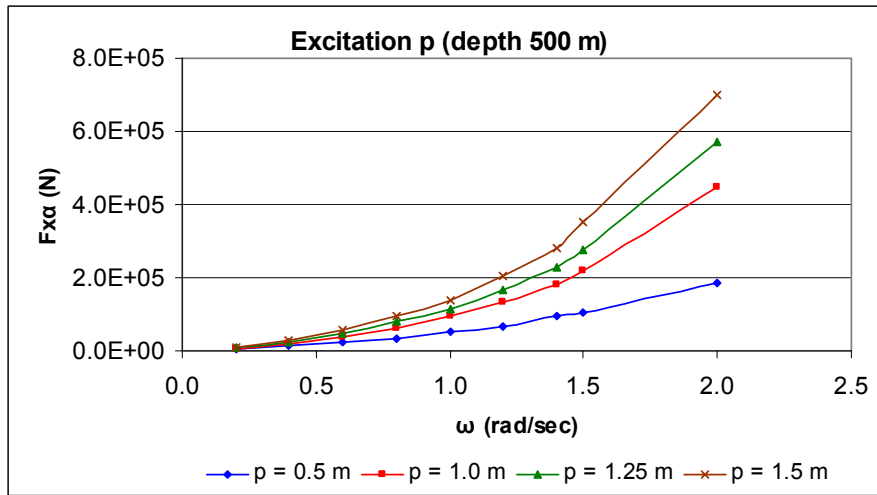
Διάγραμμα 44β: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $p_a = 1.0$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 500 m).



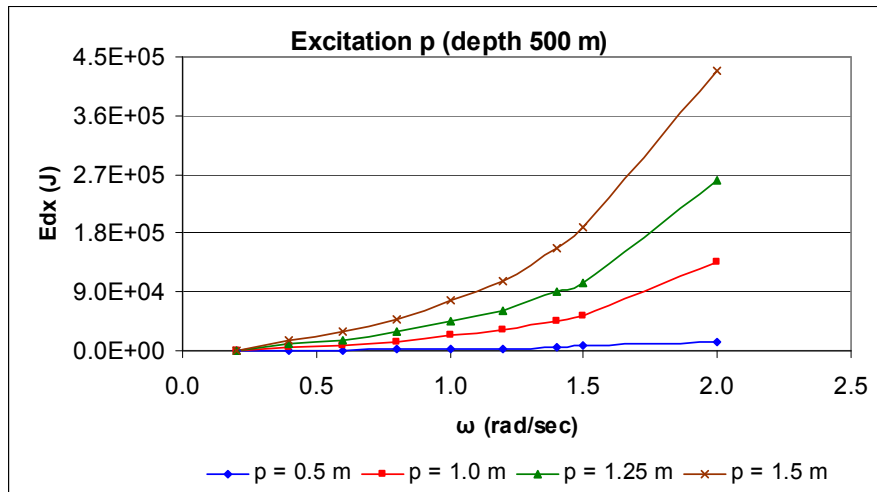
Διάγραμμα 44γ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $p_a = 1.25$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 500 m).



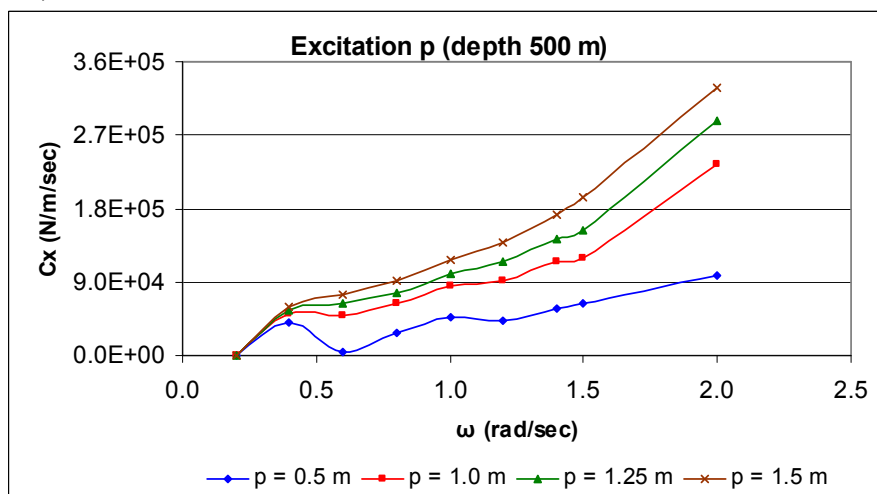
Διάγραμμα 44δ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $p_a = 1.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 500 m).



Διάγραμμα 45: Μέγιστες αποκλίσεις της δυναμικής συνιστώσας κατά  $x$  της τάσης που εφαρμόζεται στην κορυφή από τη στατική τάση για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $p$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 500 m).

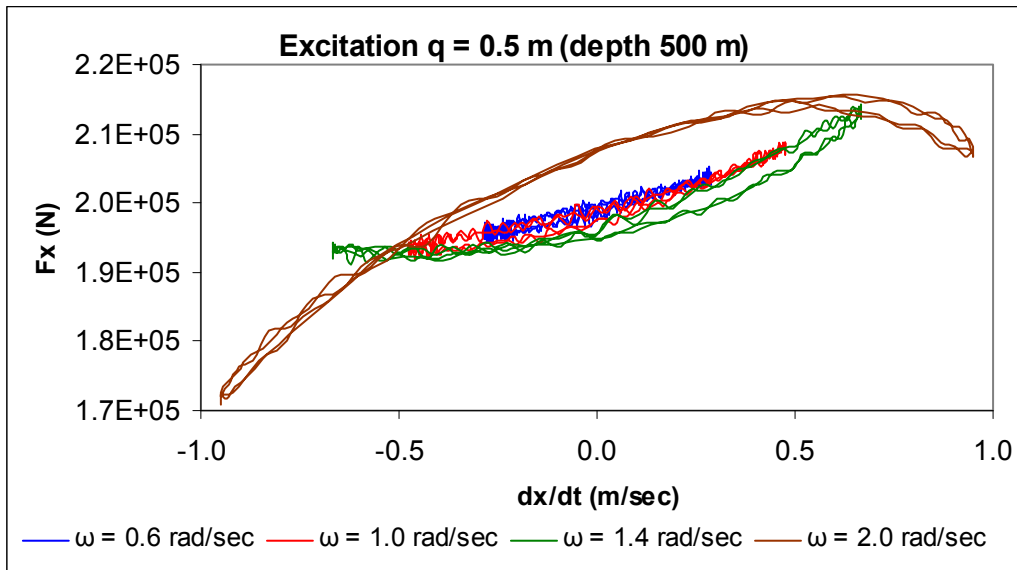


Διάγραμμα 46: Ενέργεια διάχυσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $p$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 500 m).

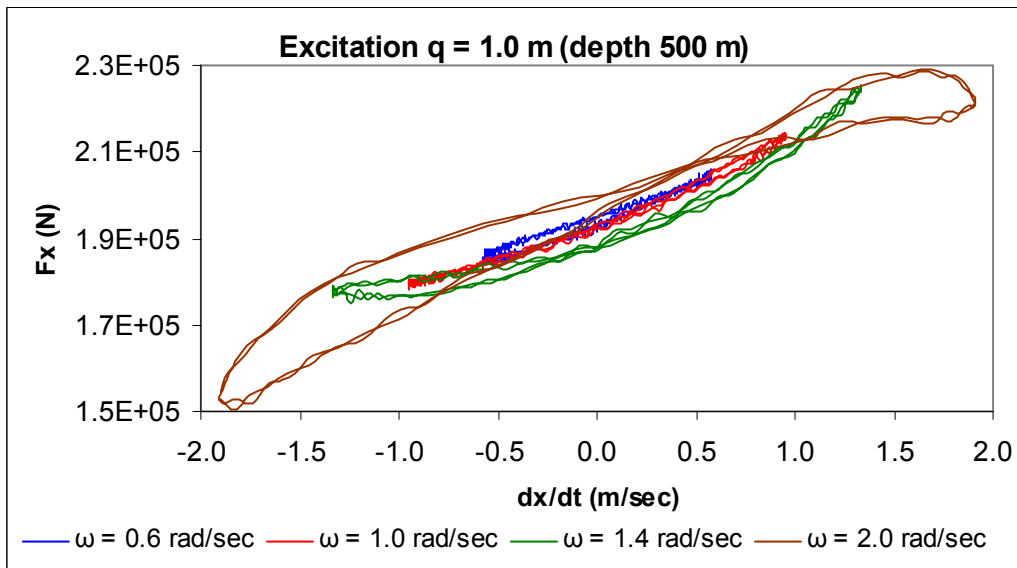


Διάγραμμα 47: Γραμμικοποιημένος συντελεστής απόσβεσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $p$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 500 m).

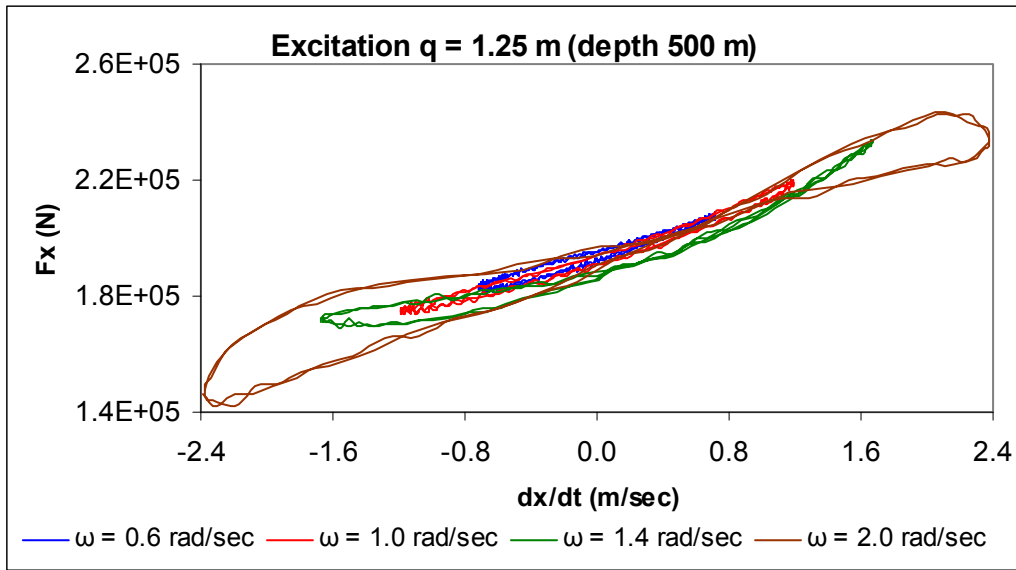
- Διέγερση  $q$



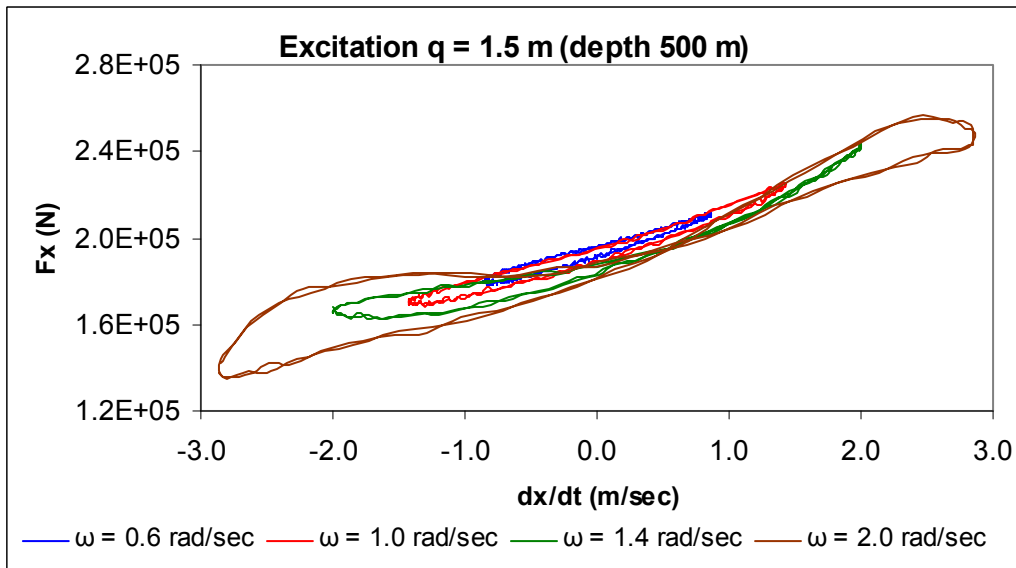
Διάγραμμα 48α: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $q_a = 0.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 500 m).



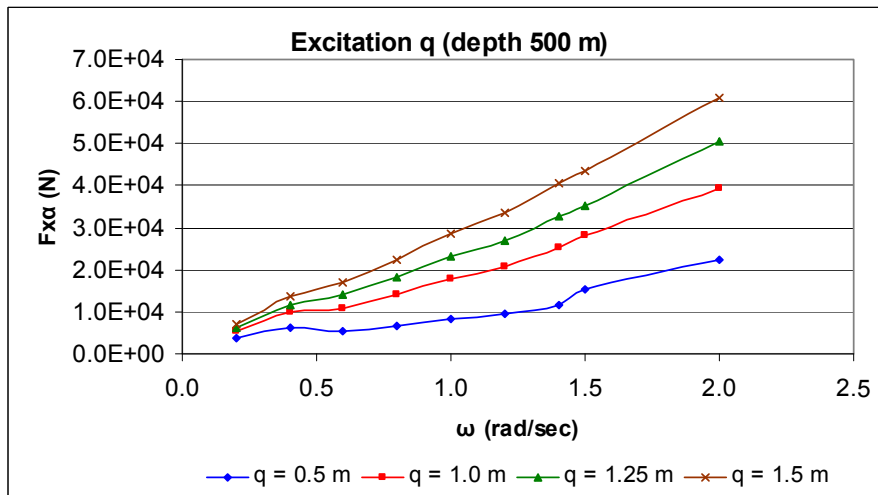
Διάγραμμα 48β: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $q_a = 1.0$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 500 m).



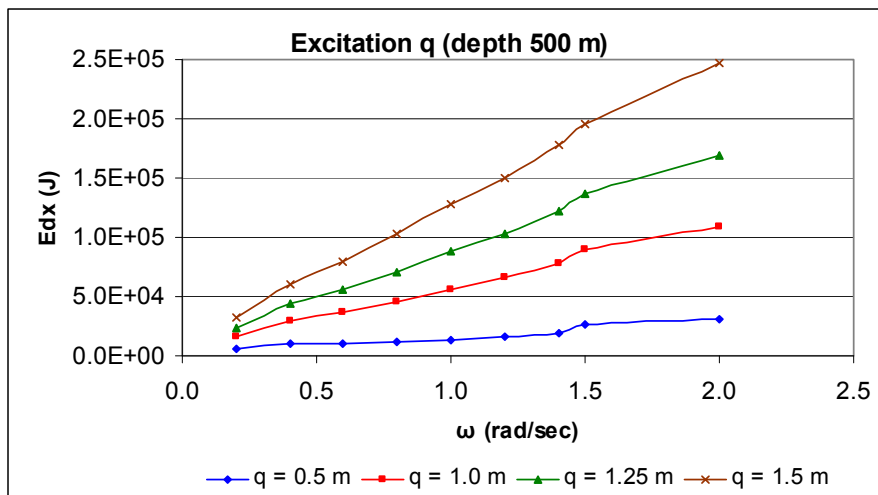
Διάγραμμα 48γ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $q_a = 1.25$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 500 m).



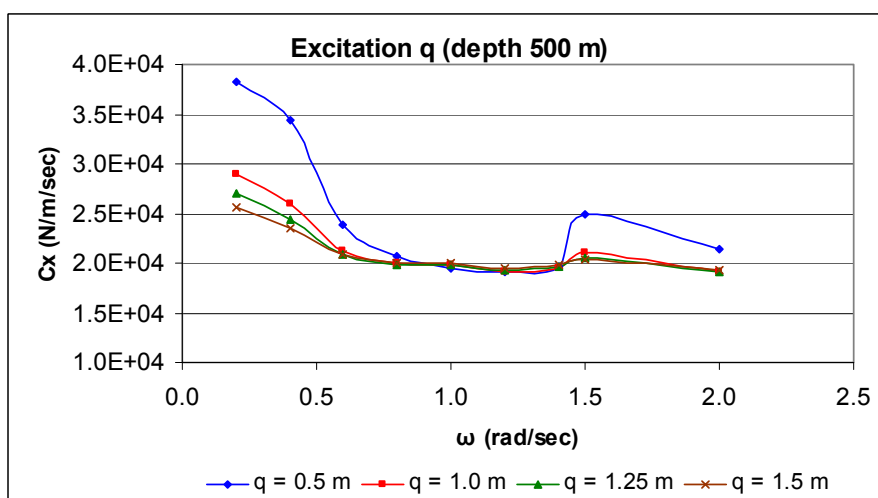
Διάγραμμα 48δ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $q_a = 1.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 500 m).



Διάγραμμα 49: Μέγιστες αποκλίσεις της δυναμικής συνιστώσας κατά  $x$  της τάσης που εφαρμόζεται στην κορυφή από τη στατική τάση για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $q$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 500 m).



Διάγραμμα 50: Ενέργεια διάχυσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $q$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 500 m).

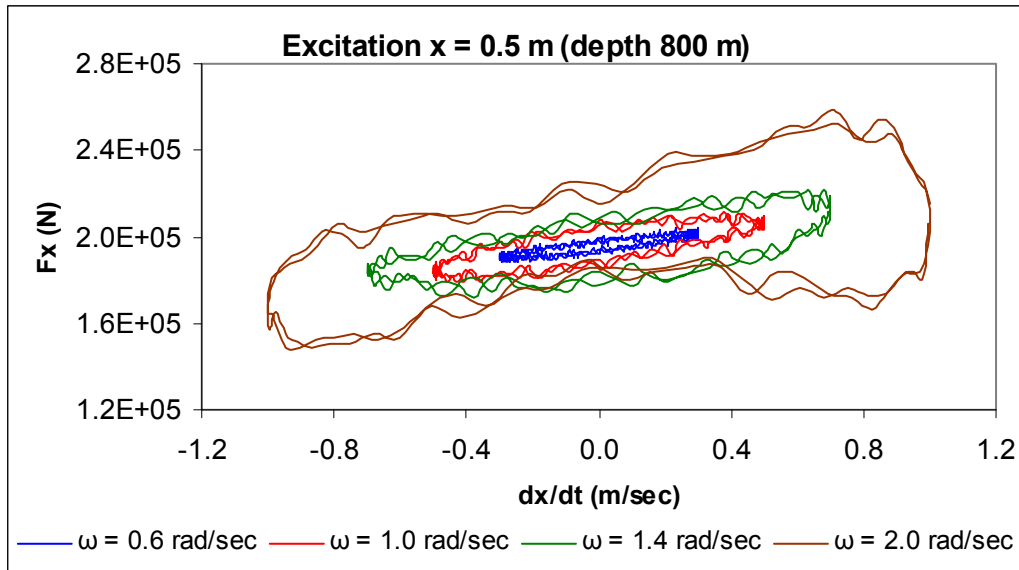


Διάγραμμα 51: Γραμμικοποιημένος συντελεστής απόσβεσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $q$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 500 m).

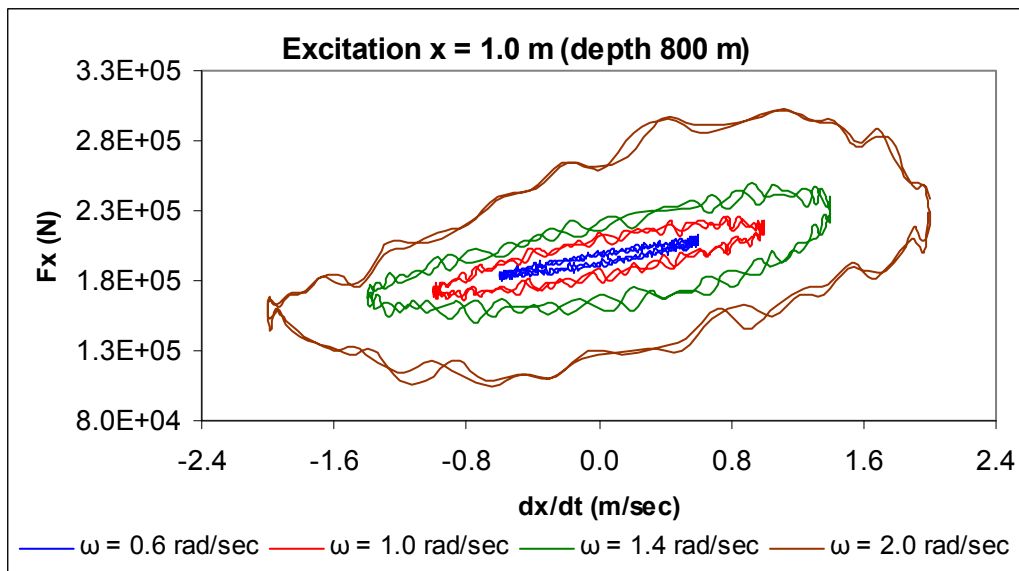


### 3. Βάθος νερού 800 m

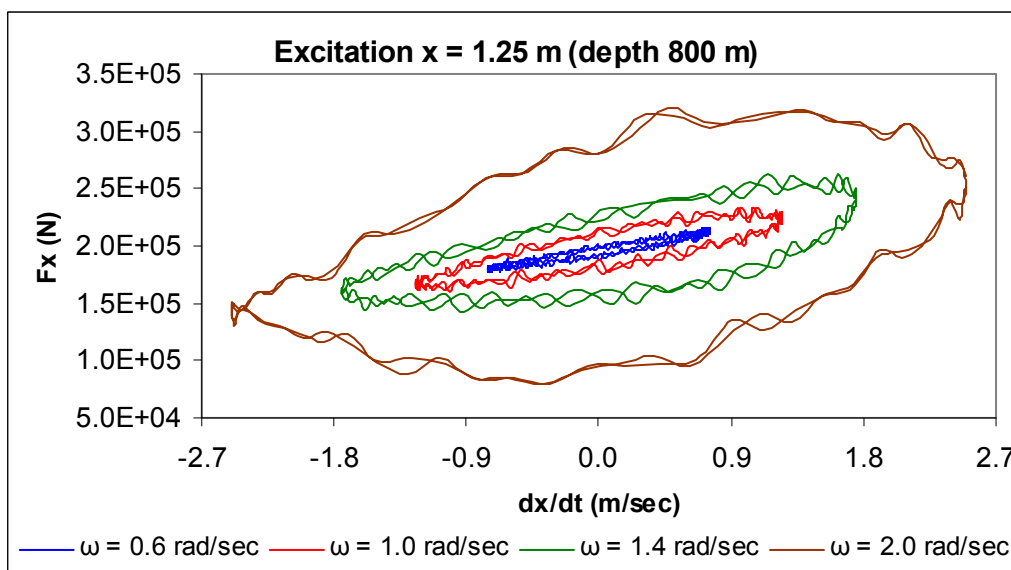
- Διέγερση  $x$



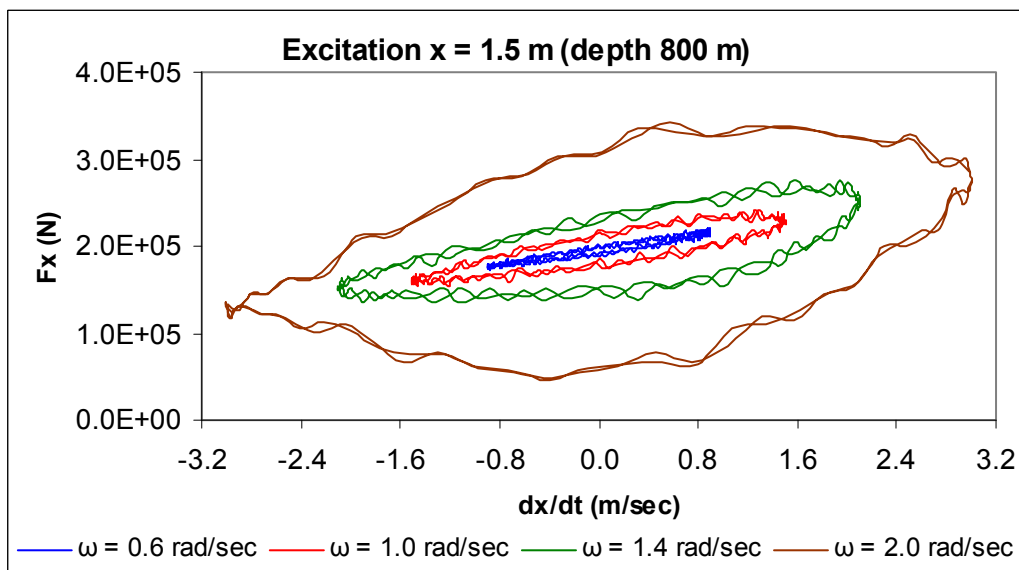
Διάγραμμα 52α: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $x_a = 0.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 800 m).



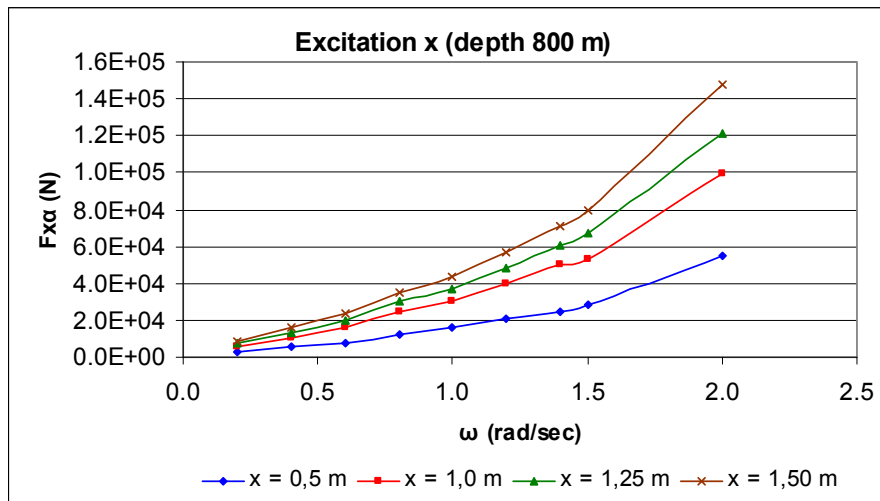
Διάγραμμα 52β: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $x_a = 1.0$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 800 m).



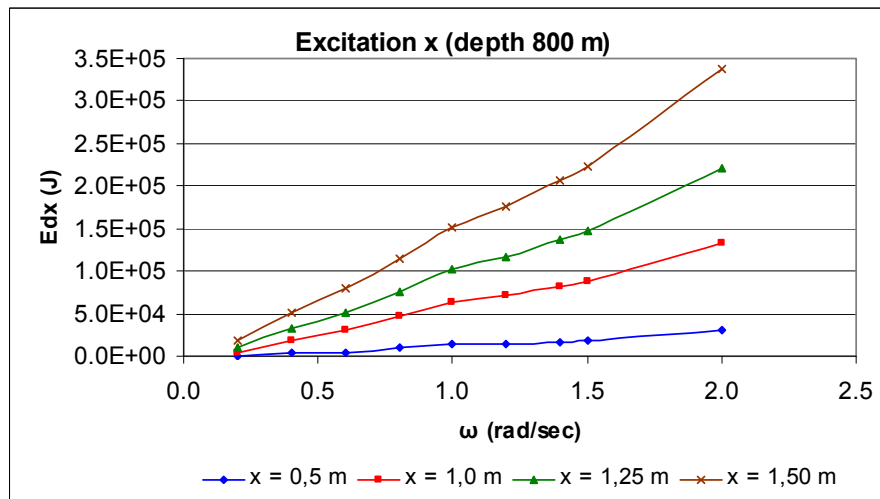
Διάγραμμα 52γ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $x_a = 1.25$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 800 m).



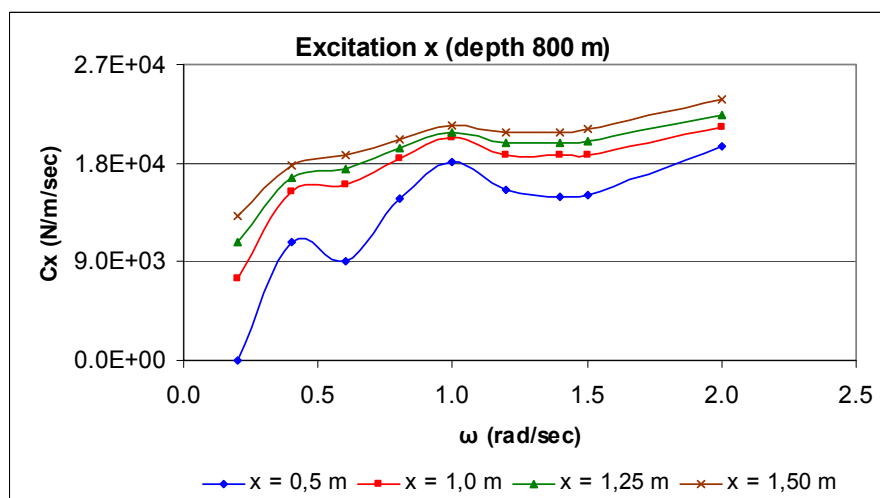
Διάγραμμα 52δ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $x_a = 1.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 800 m).



Διάγραμμα 53: Μέγιστες αποκλίσεις της δυναμικής συνιστώσας κατά  $x$  της τάσης που εφαρμόζεται στην κορυφή από τη στατική τάση για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $x$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 800 m).

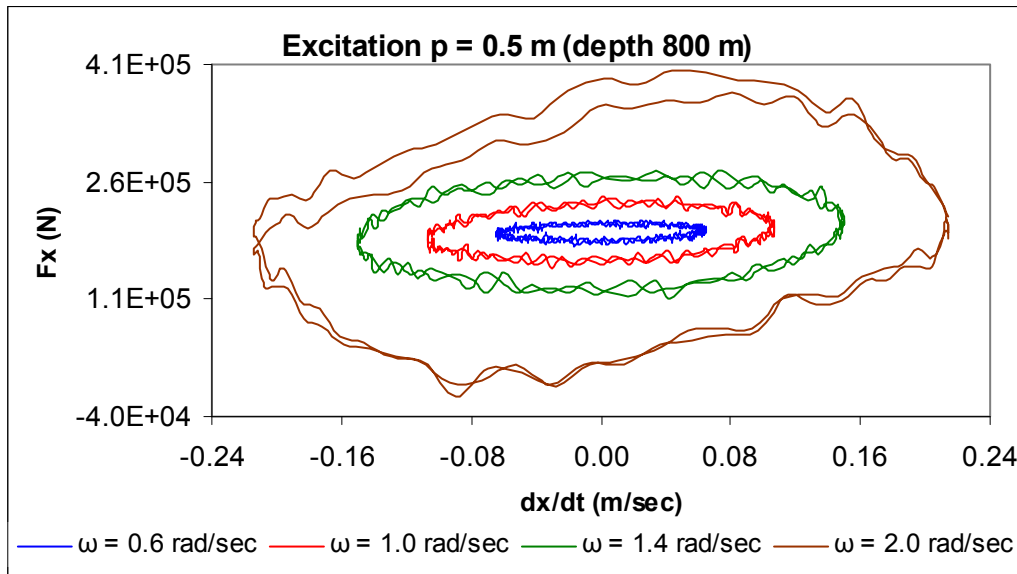


Διάγραμμα 54: Ενέργεια διάχυσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $x$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 800 m).

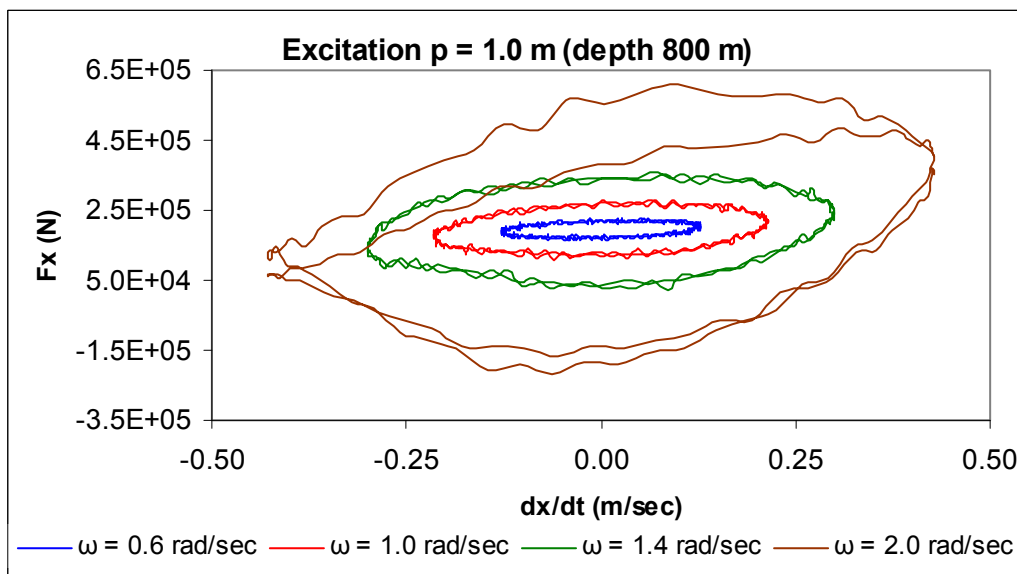


Διάγραμμα 55: Γραμμικοποιημένος συντελεστής απόσβεσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $x$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 800 m).

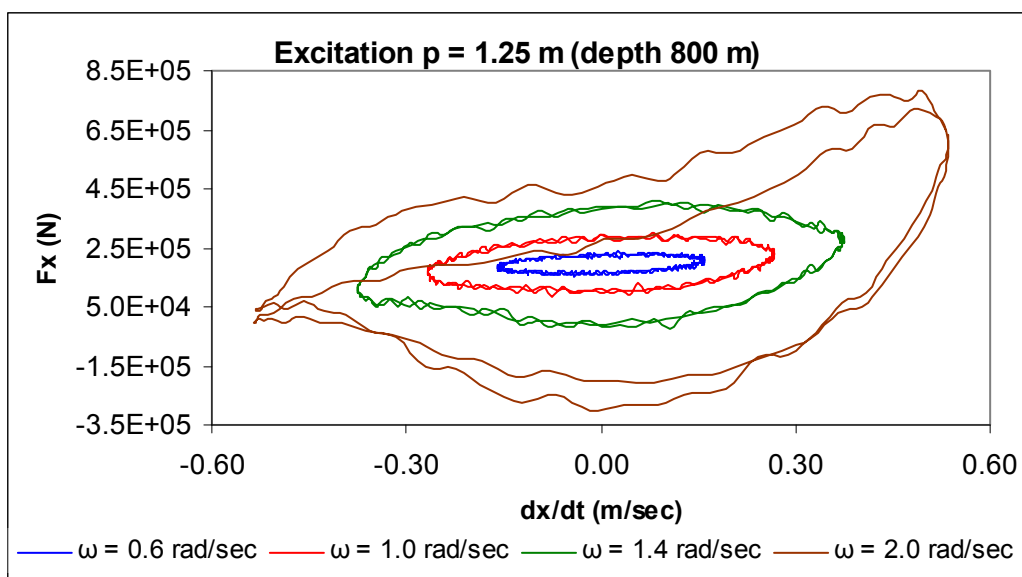
- Διέγερση  $p$



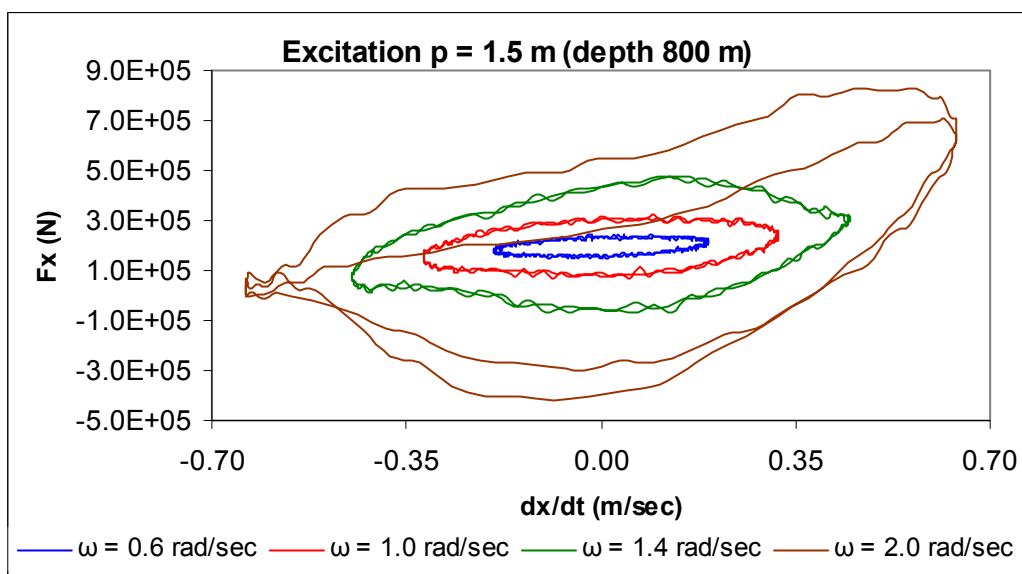
Διάγραμμα 56α: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $p_a = 0.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 800 m).



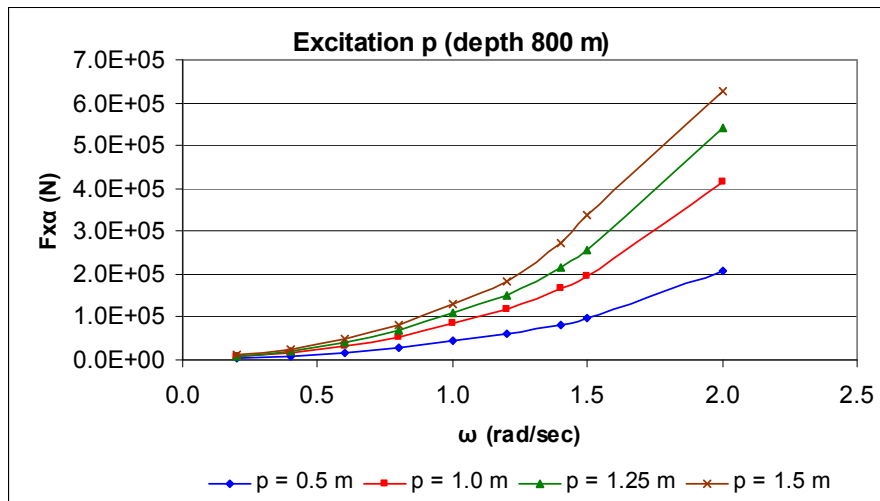
Διάγραμμα 56β: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $p_a = 1.0$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 800 m).



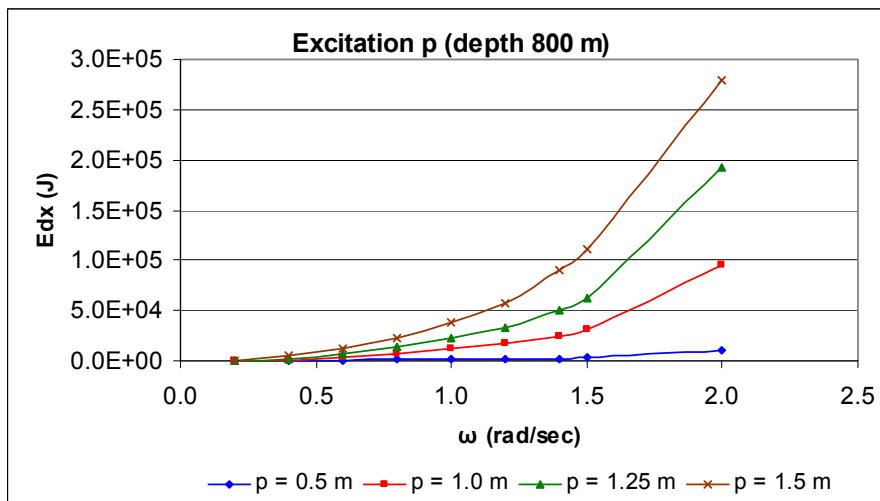
Διάγραμμα 56γ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $p_a = 1.25$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 800 m).



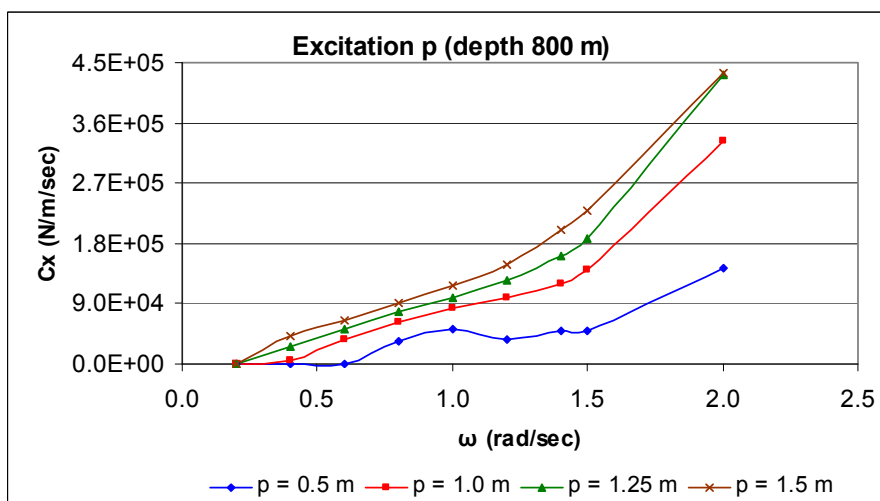
Διάγραμμα 56δ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $p_a = 1.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 800 m).



Διάγραμμα 57: Μέγιστες αποκλίσεις της δυναμικής συνιστώσας κατά  $x$  της τάσης που εφαρμόζεται στην κορυφή από τη στατική τάση για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $p$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 800 m).

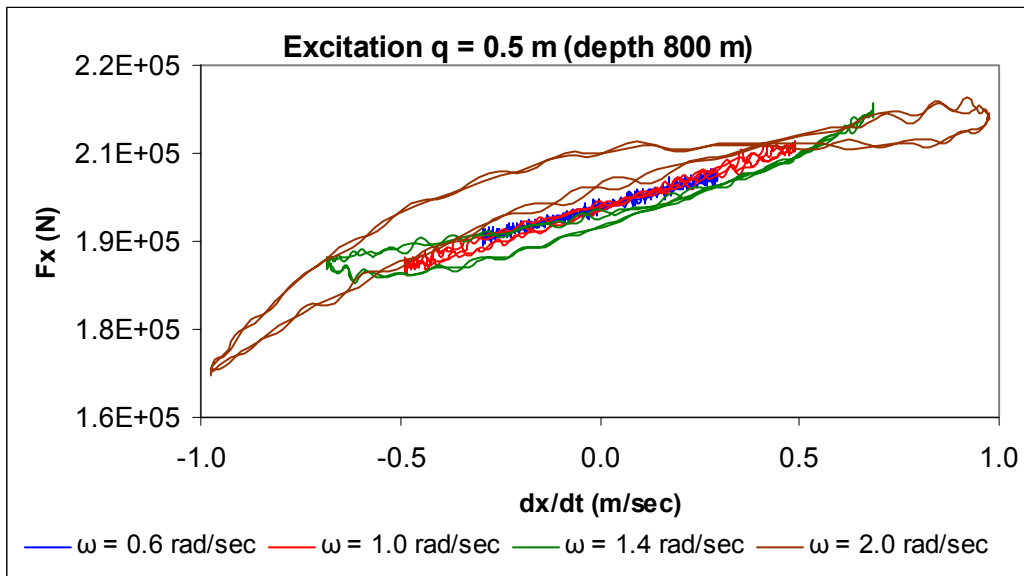


Διάγραμμα 58: Ενέργεια διάχυσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $p$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 800 m).

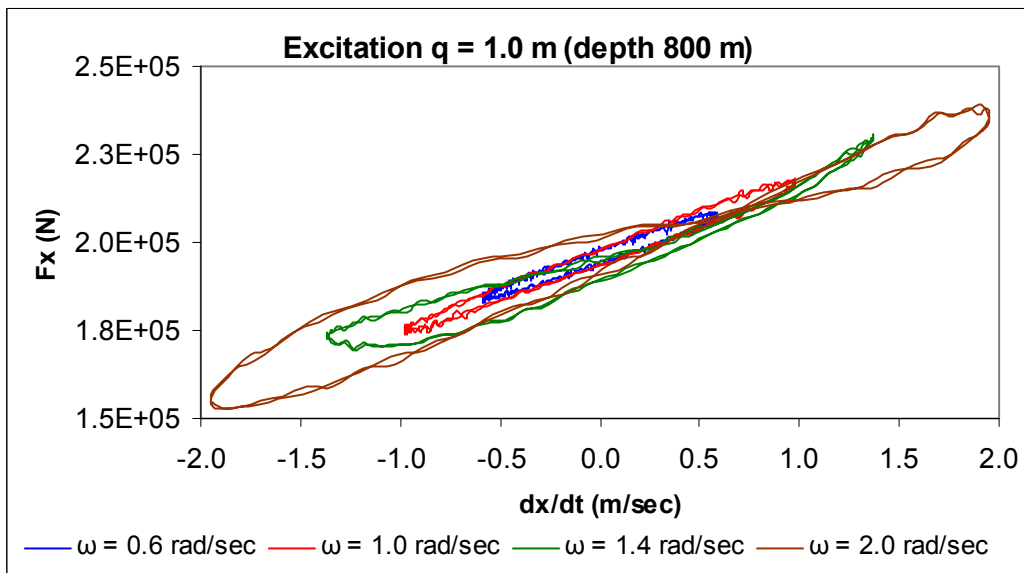


Διάγραμμα 59: Γραμμικοποιημένος συντελεστής απόσβεσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $p$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 800 m).

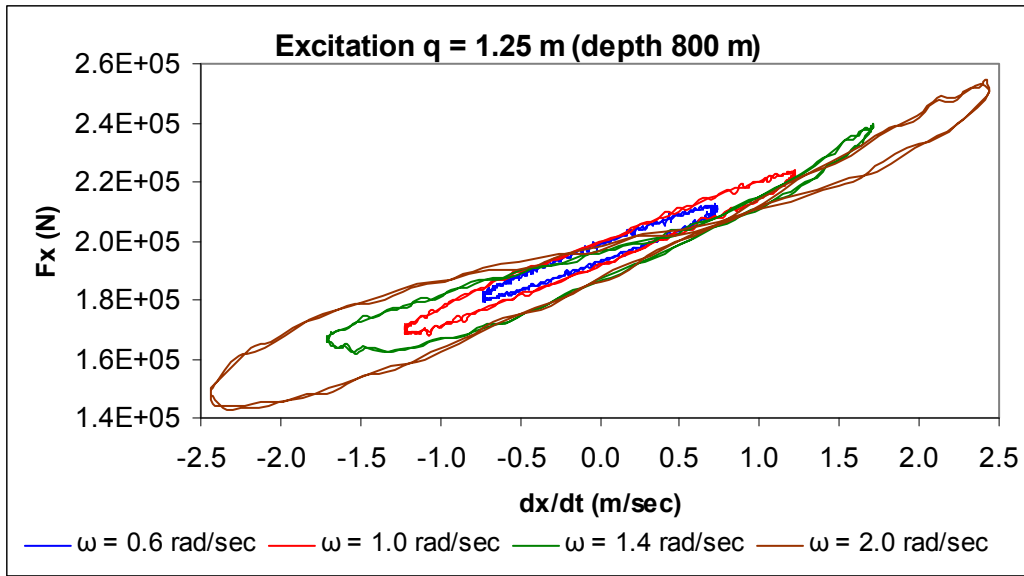
- Διέγερση  $q$



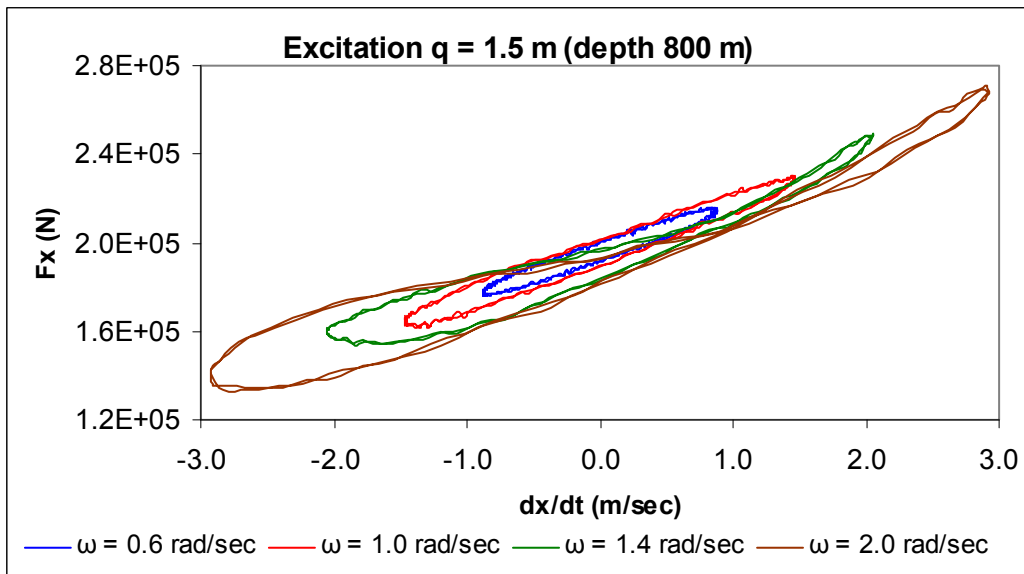
Διάγραμμα 60α: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $q_a = 0.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 800 m).



Διάγραμμα 60β: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $q_a = 1.0$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 800 m).

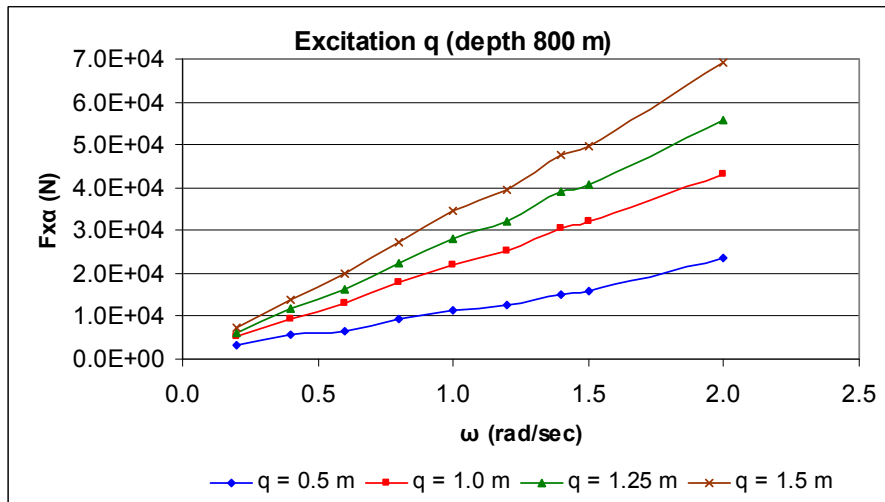


Διάγραμμα 60γ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $q_\alpha = 1.25$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 800 m).

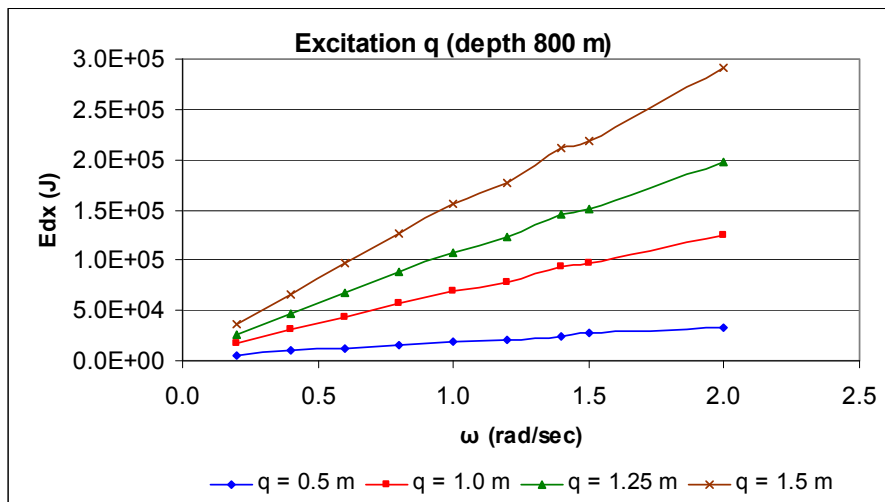


Διάγραμμα 60δ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $q_\alpha = 1.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 800 m).

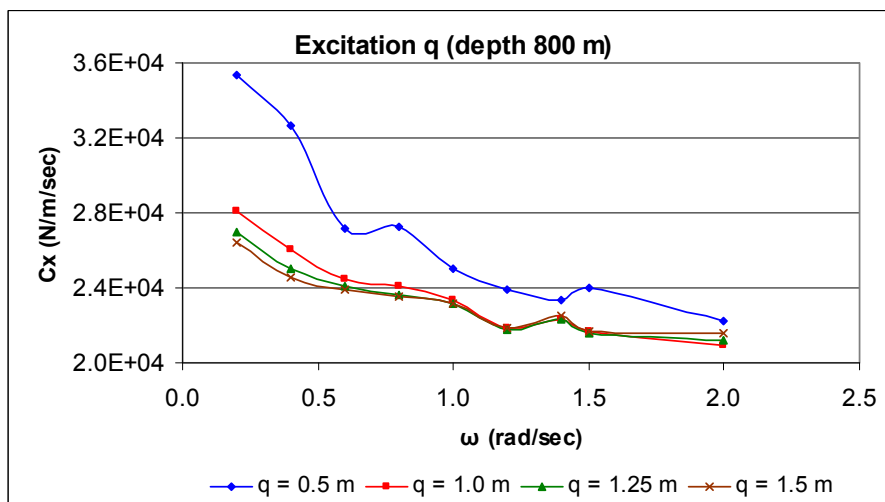




Διάγραμμα 61: Μέγιστες αποκλίσεις της δυναμικής συνιστώσας κατά  $x$  της τάσης που εφαρμόζεται στην κορυφή από τη στατική τάση για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $q$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 800 m).



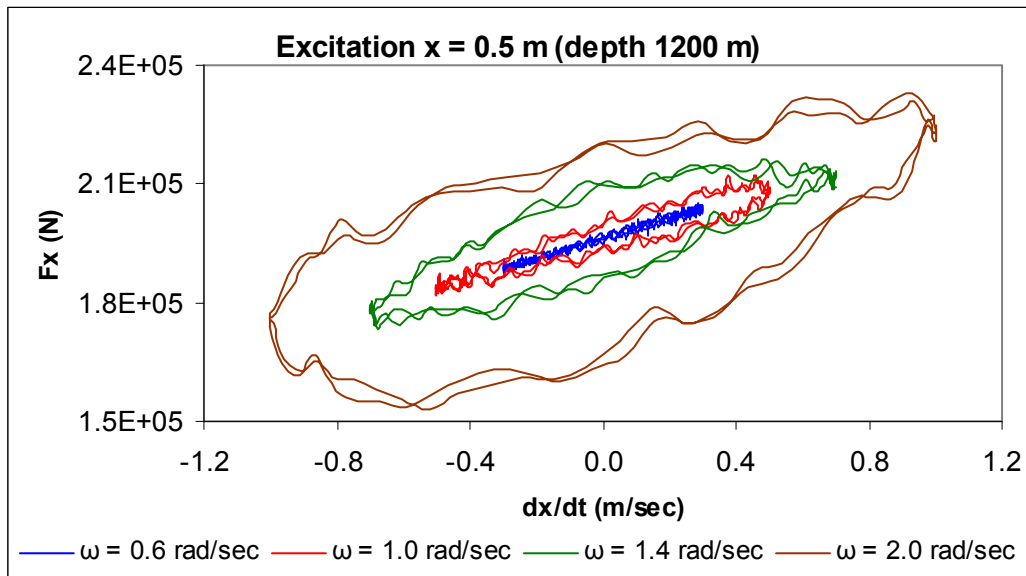
Διάγραμμα 62: Ενέργεια διάχυσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $q$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 800 m).



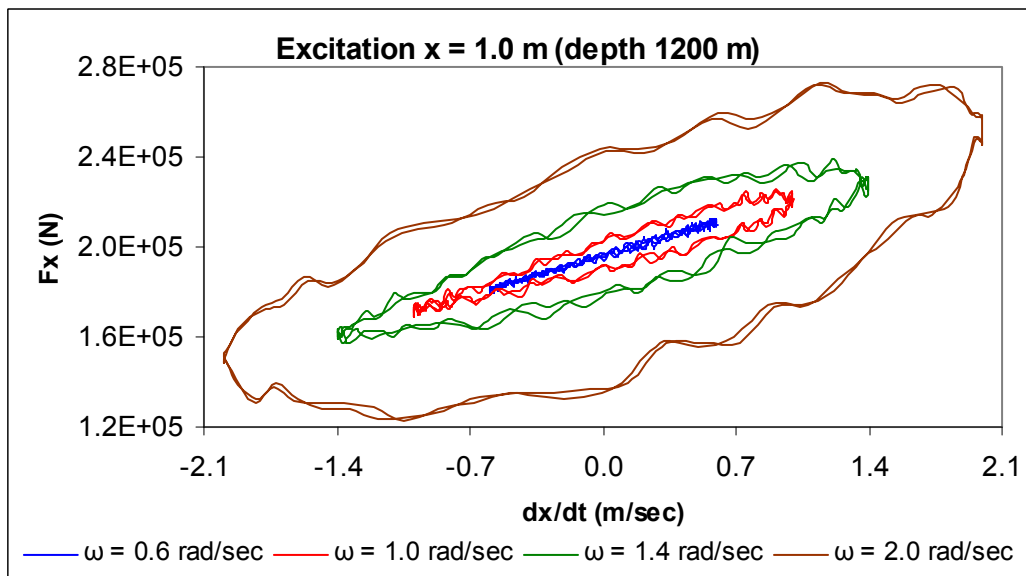
Διάγραμμα 63: Γραμμικοποιημένος συντελεστής απόσβεσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $q$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 800 m).

#### 4. Βάθος νερού 1200 m

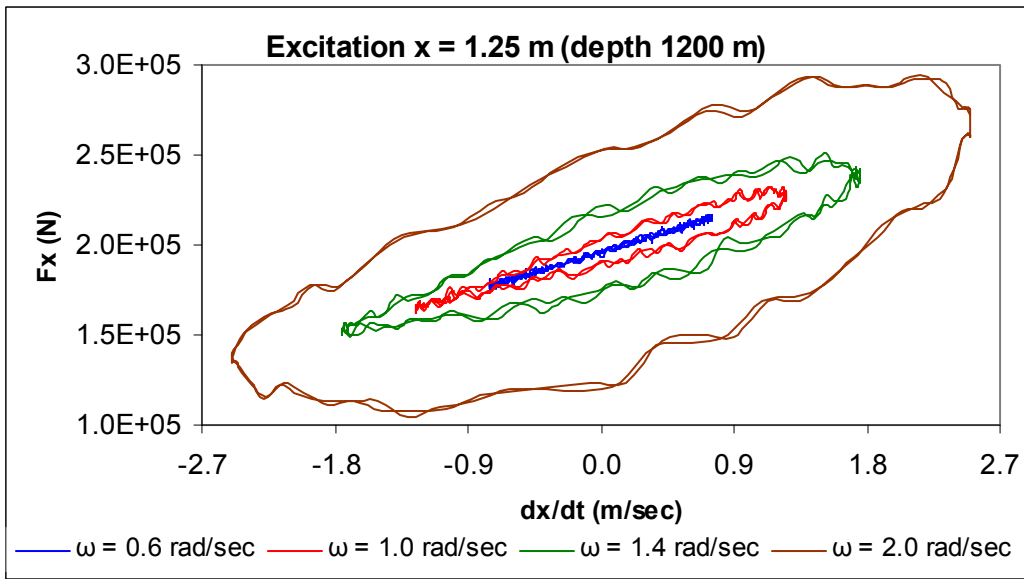
- Διέγερση  $x$



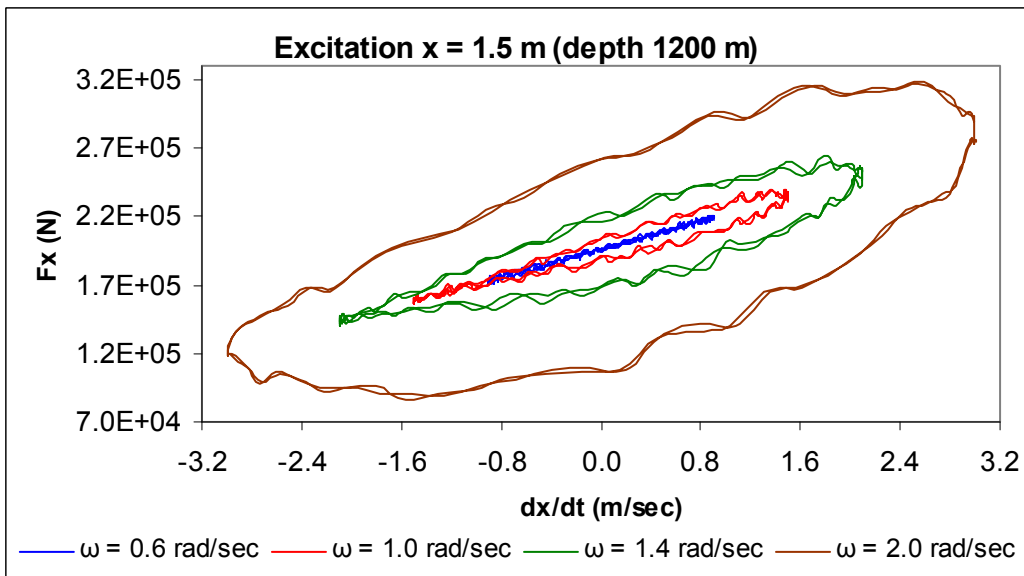
Διάγραμμα 64α: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $x_a = 0.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 1200 m).



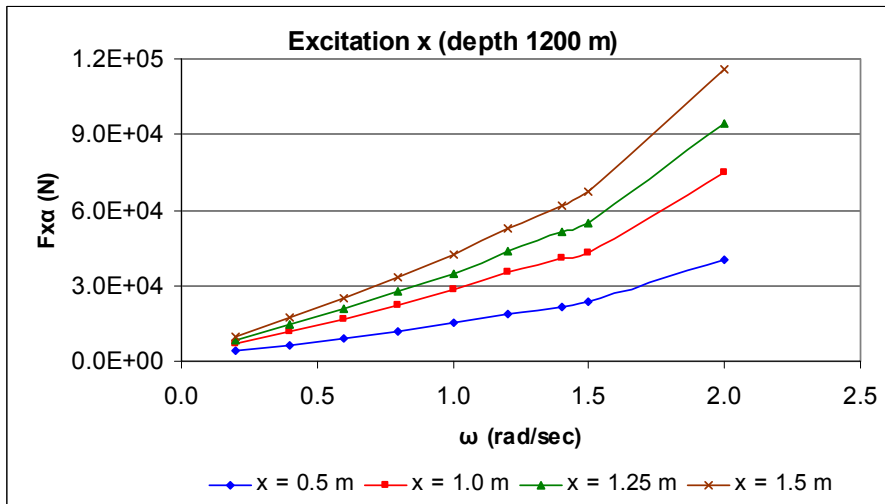
Διάγραμμα 64β: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $x_a = 1.0$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 1200 m).



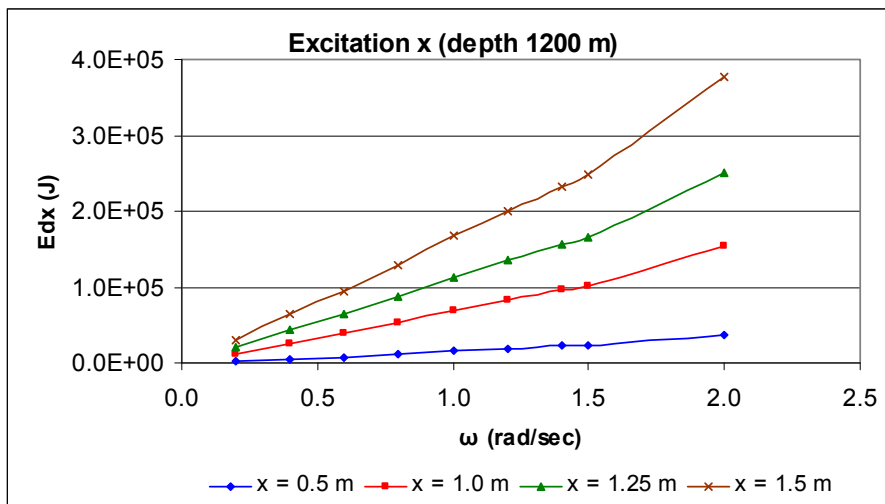
Διάγραμμα 64γ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $x_a = 1.25$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 1200 m).



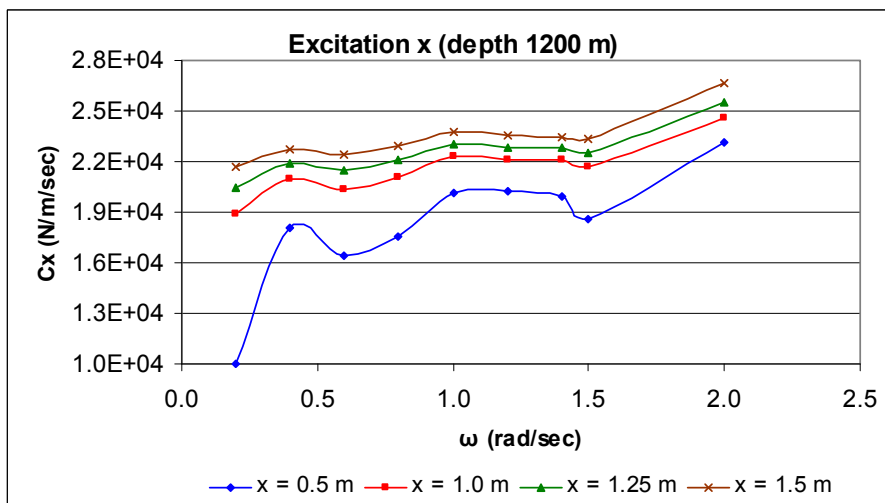
Διάγραμμα 64δ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $x_a = 1.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 1200 m).



Διάγραμμα 65: Μέγιστες αποκλίσεις της δυναμικής συνιστώσας κατά  $x$  της τάσης που εφαρμόζεται στην κορυφή από τη στατική τάση για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $x$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 1200 m).

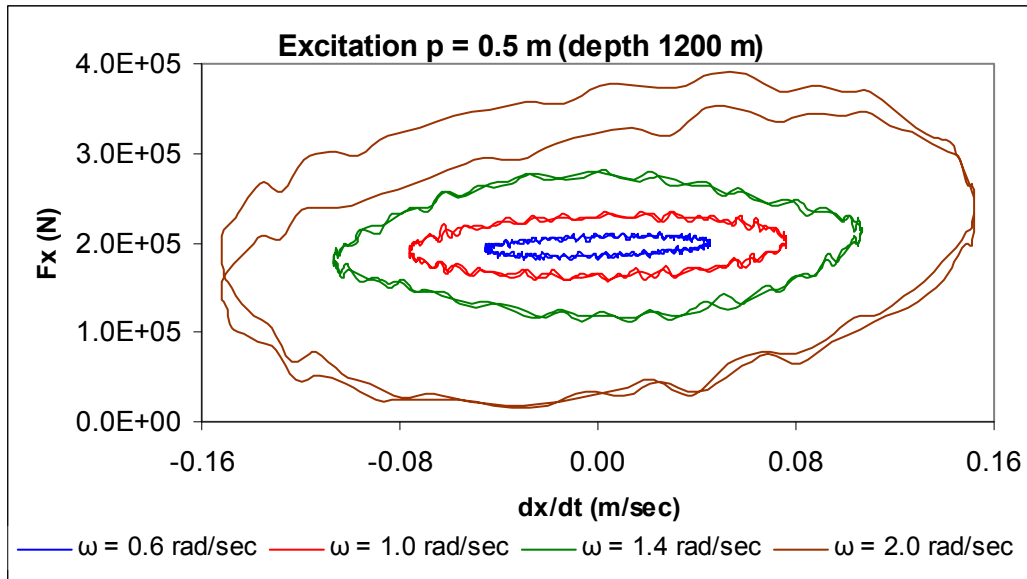


Διάγραμμα 66: Ενέργεια διάχυσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $x$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 1200 m).

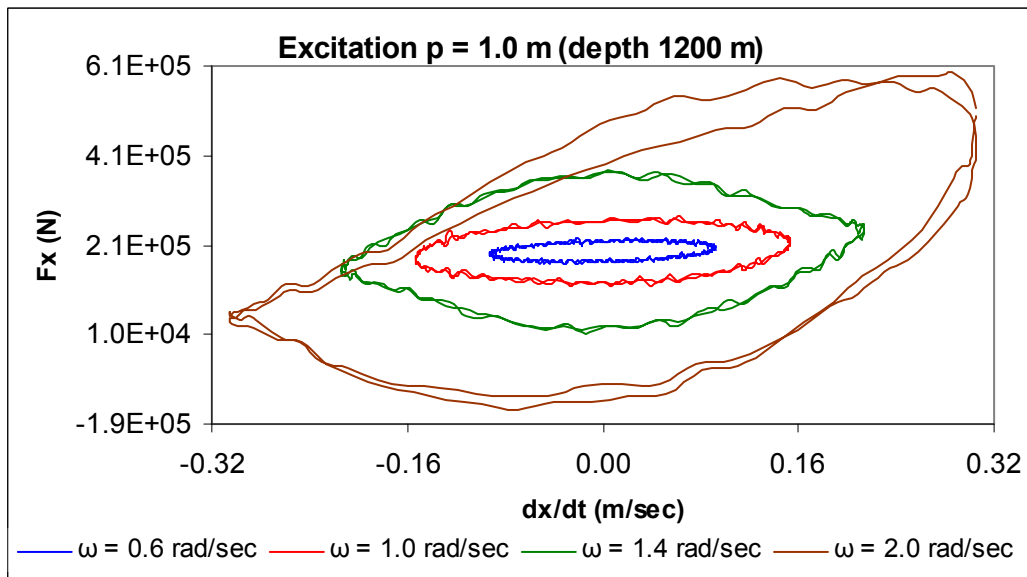


Διάγραμμα 67: Γραμμικοποιημένος συντελεστής απόσβεσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $x$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 1200 m).

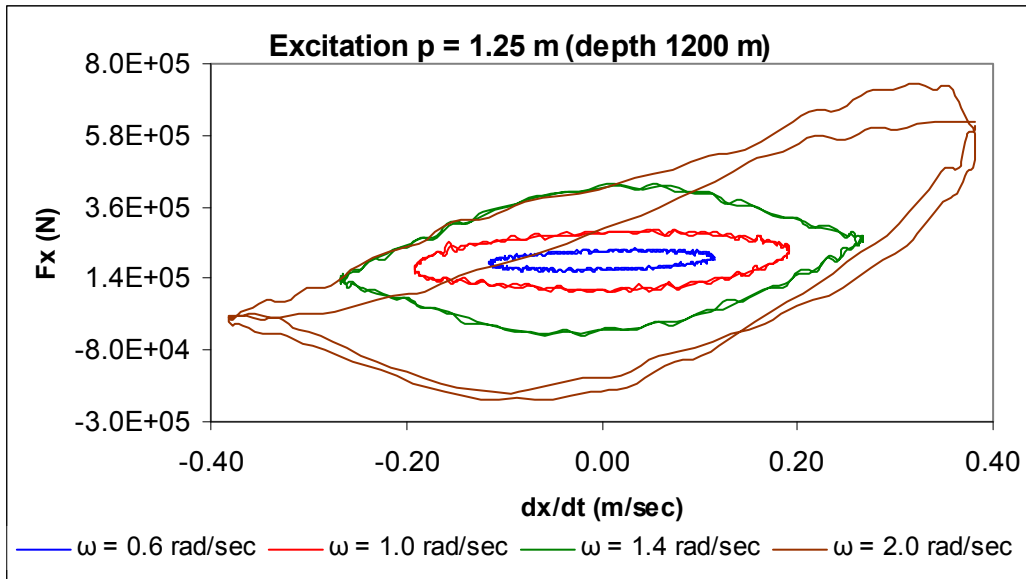
- Διέγερση  $p$



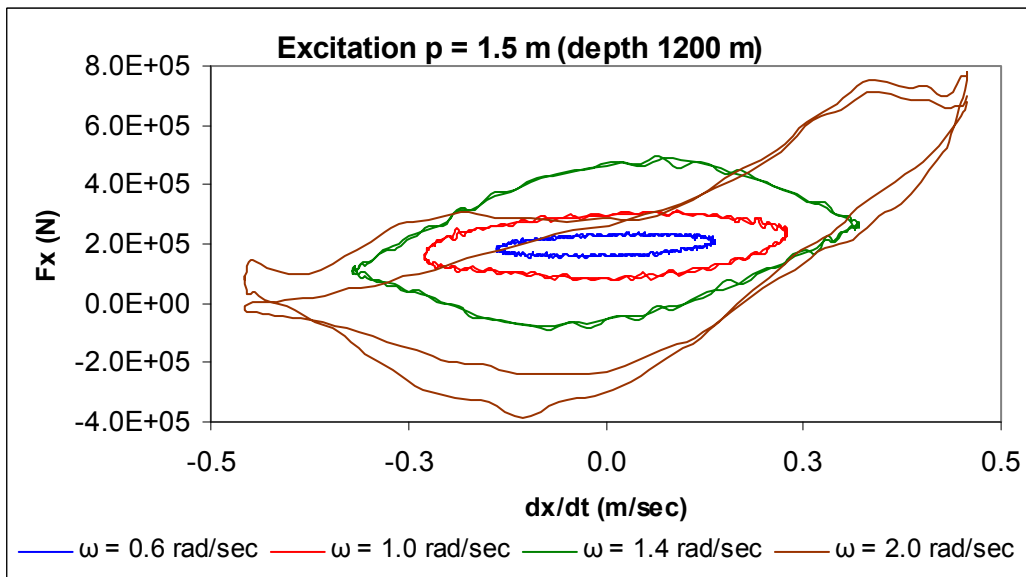
Διάγραμμα 68α: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $p_a = 0.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 1200 m).



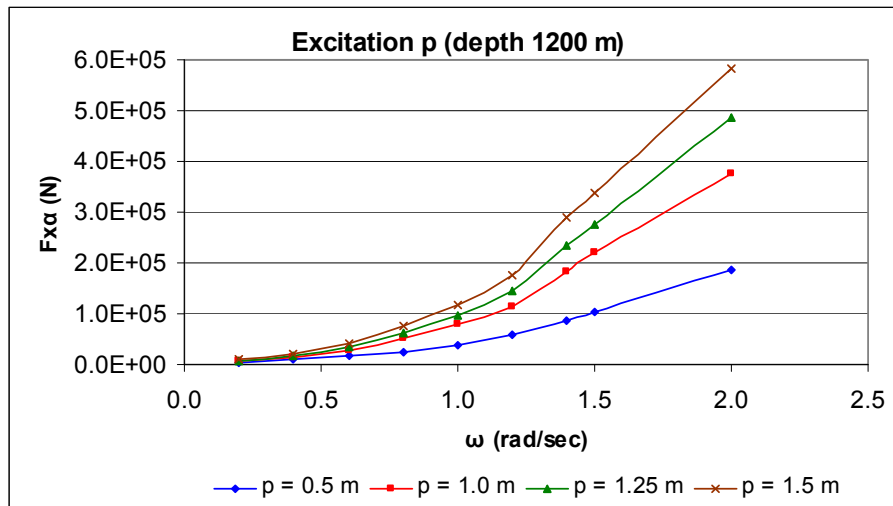
Διάγραμμα 68β: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $p_a = 1.0$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 1200 m).



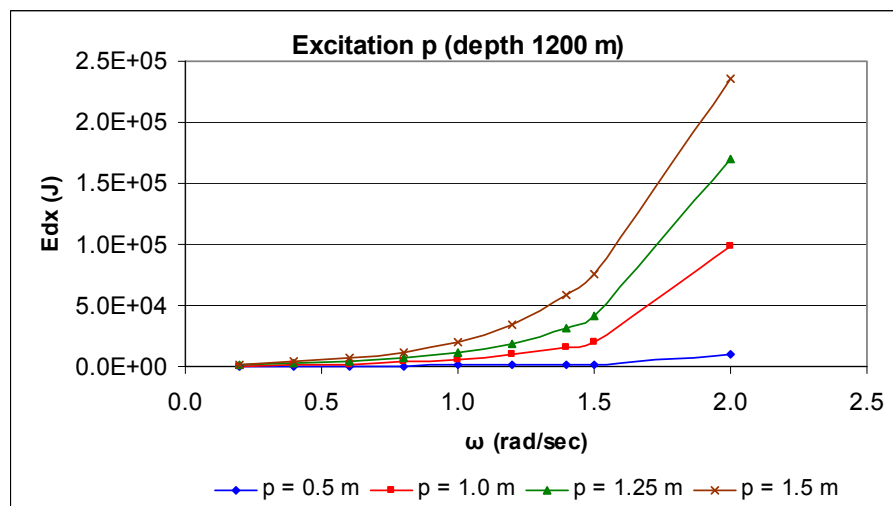
Διάγραμμα 68γ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $p_a = 1.25$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 1200 m).



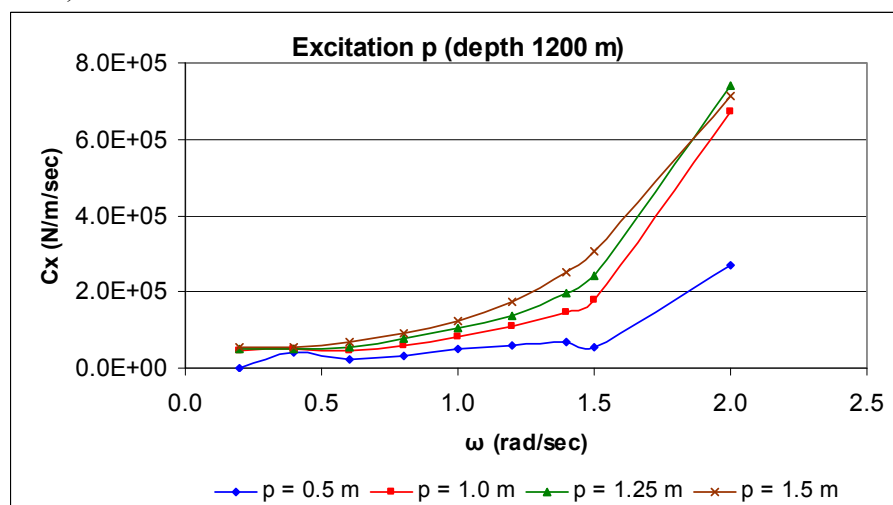
Διάγραμμα 68δ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $p_a = 1.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 1200 m).



Διάγραμμα 69: Μέγιστες αποκλίσεις της δυναμικής συνιστώσας κατά  $x$  της τάσης που εφαρμόζεται στην κορυφή από τη στατική τάση για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $p$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 1200 m).

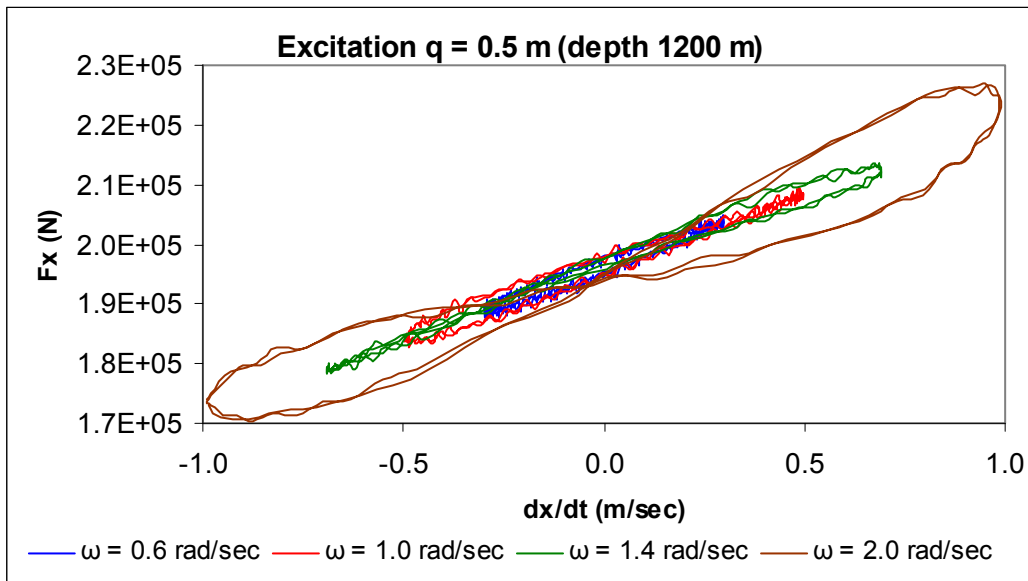


Διάγραμμα 70: Ενέργεια διάχυσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $p$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 1200 m).

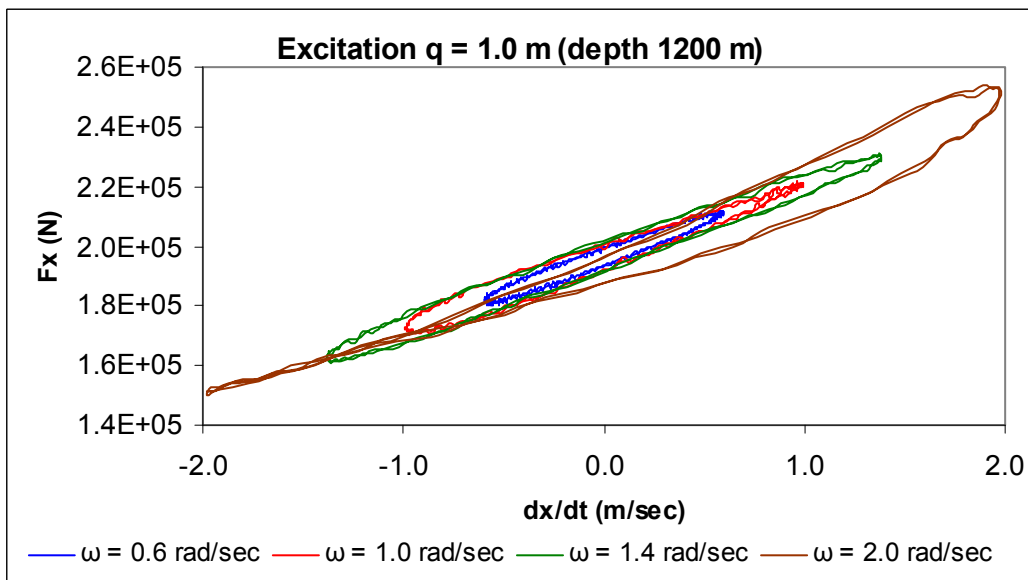


Διάγραμμα 71: Γραμμικοποιημένος συντελεστής απόσβεσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $p$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 1200 m).

- Διέγερση  $q$

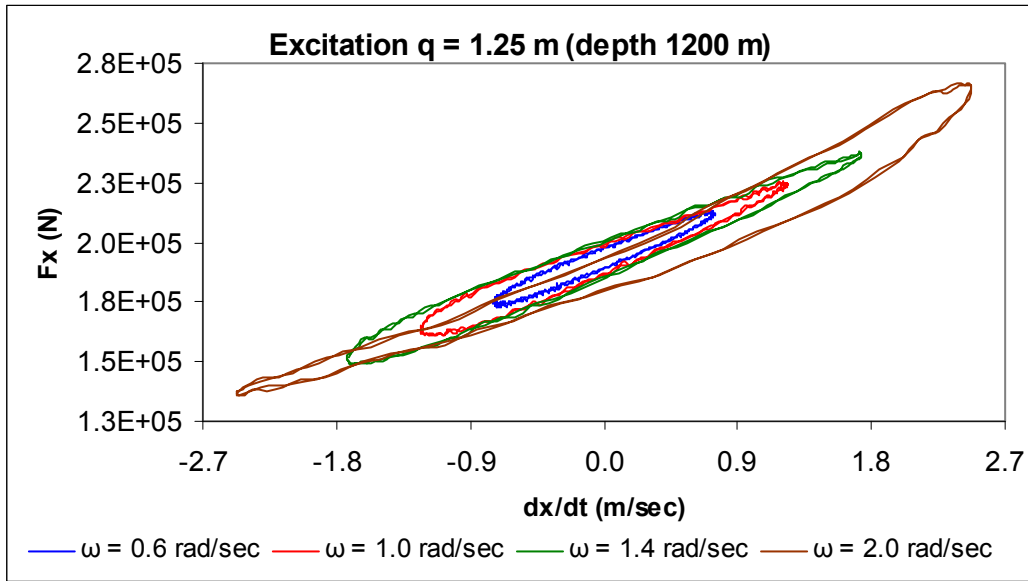


Διάγραμμα 72α: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $q_a = 0.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 1200 m).

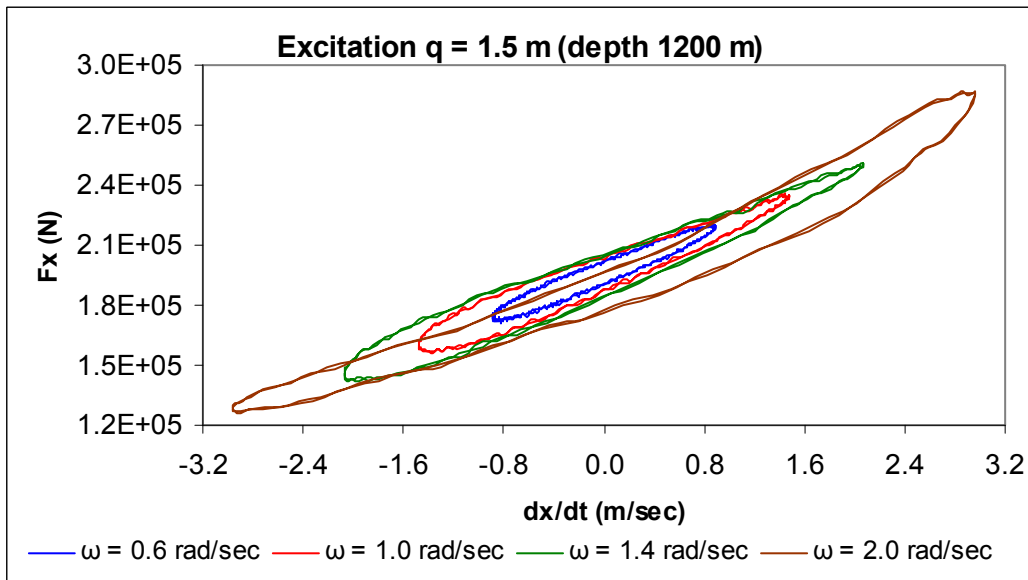


Διάγραμμα 72β: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $q_a = 1.0$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 1200 m).

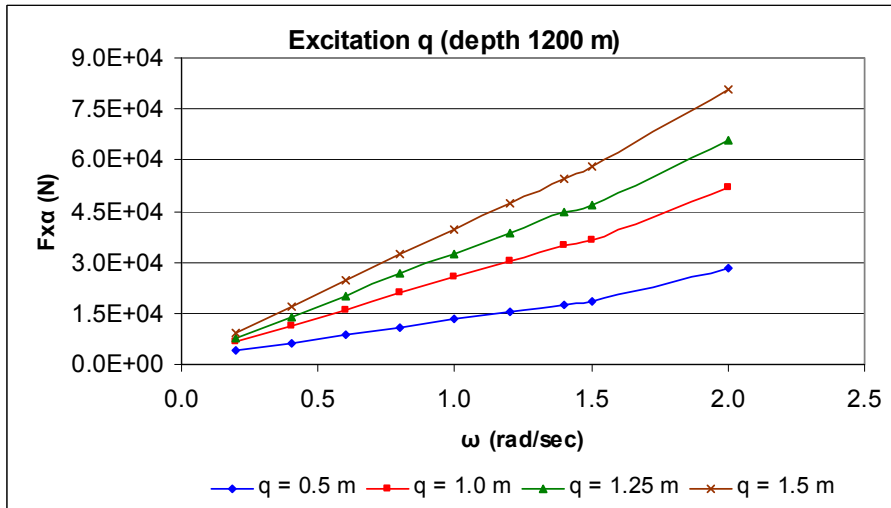




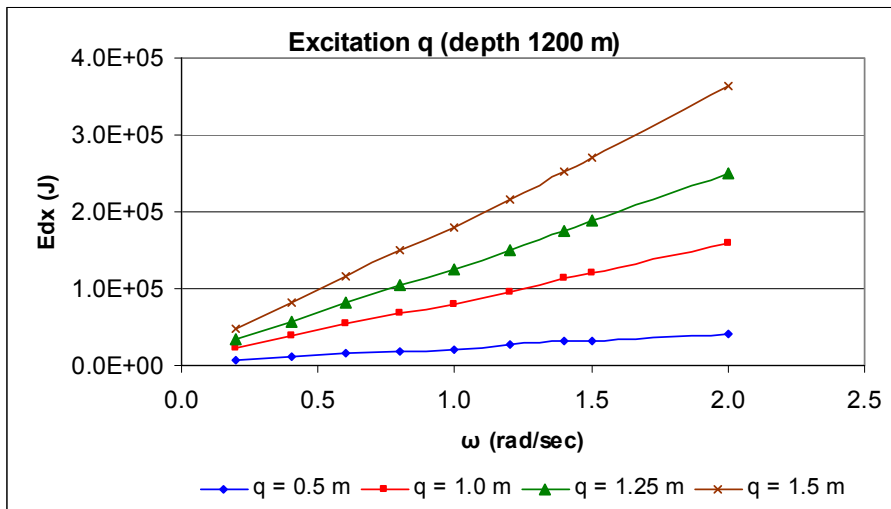
Διάγραμμα 72γ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $q_a = 1.25$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 1200 m).



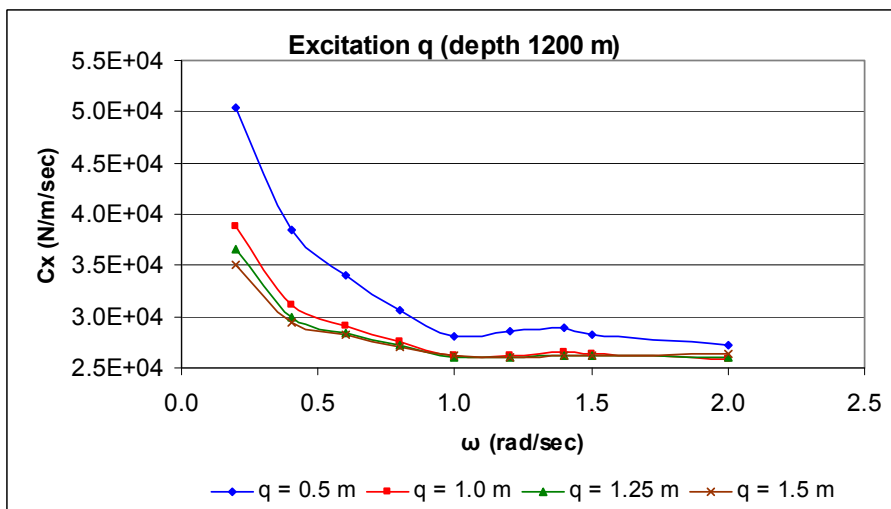
Διάγραμμα 72δ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $q_a = 1.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 1200 m).



Διάγραμμα 73: Μέγιστες αποκλίσεις της δυναμικής συνιστώσας κατά  $x$  της τάσης που εφαρμόζεται στην κορυφή από τη στατική τάση για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $q$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 1200 m).



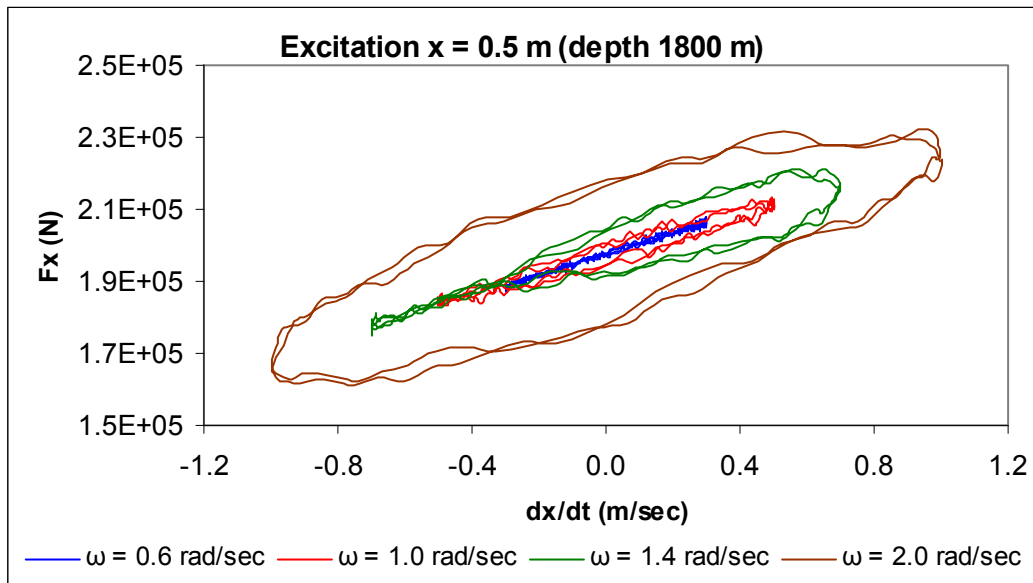
Διάγραμμα 74: Ενέργεια διάχυσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $q$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 1200 m).



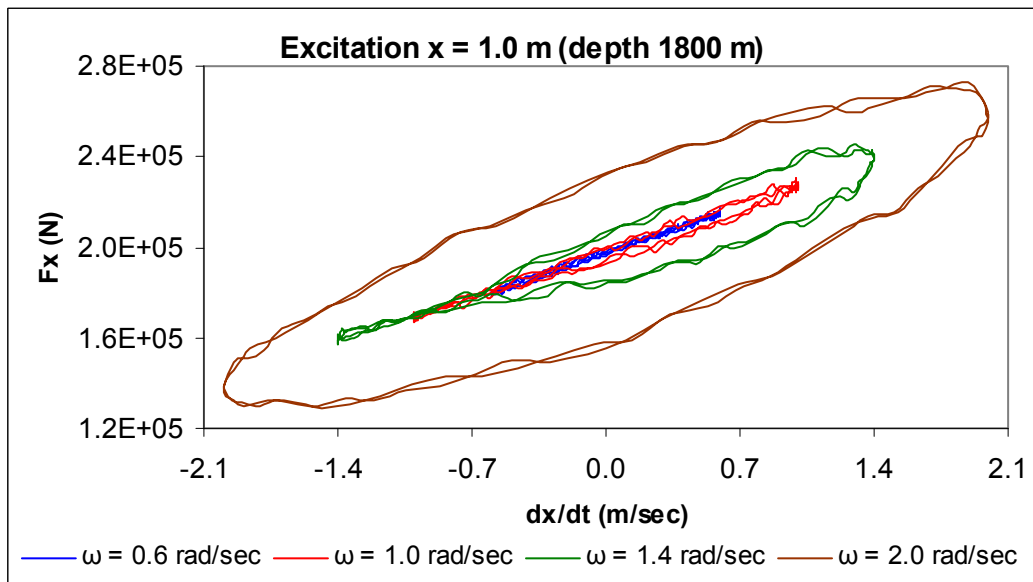
Διάγραμμα 75: Γραμμικοποιημένος συντελεστής απόσβεσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $q$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 1200 m).

5. Βάθος νερού 1800 m

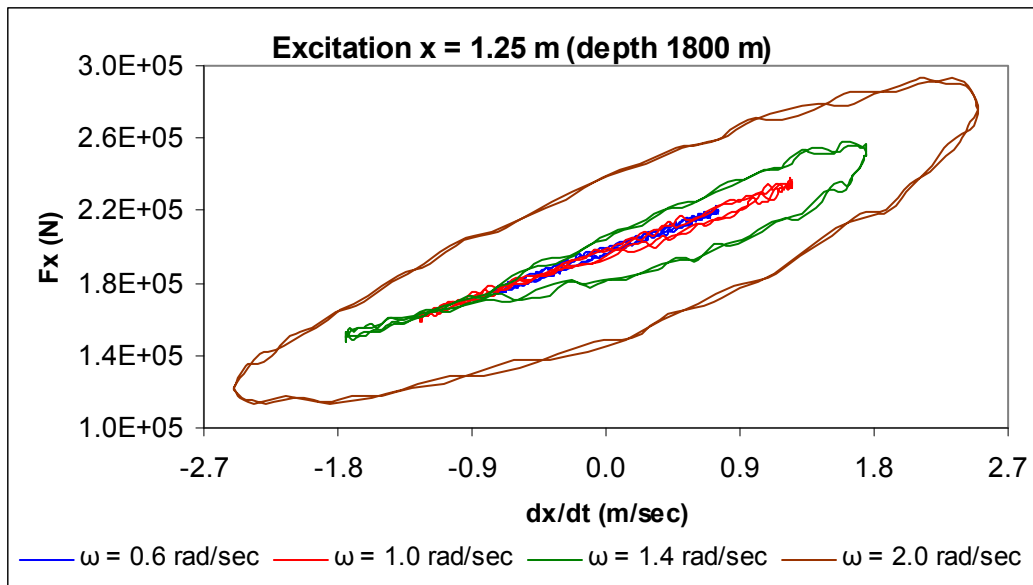
- Διέγερση  $x$



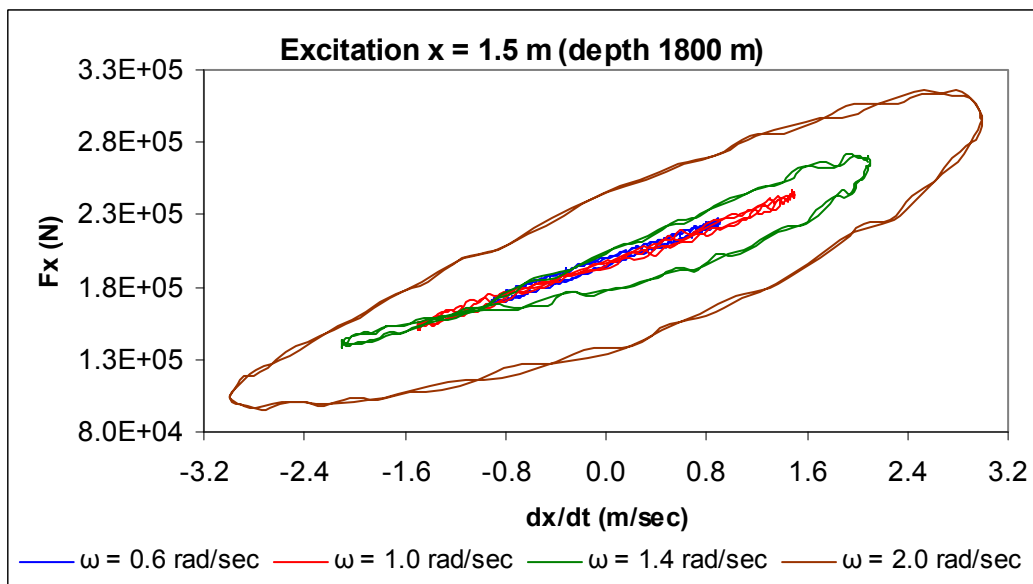
Διάγραμμα 76α: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $x_a = 0.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 1800 m).



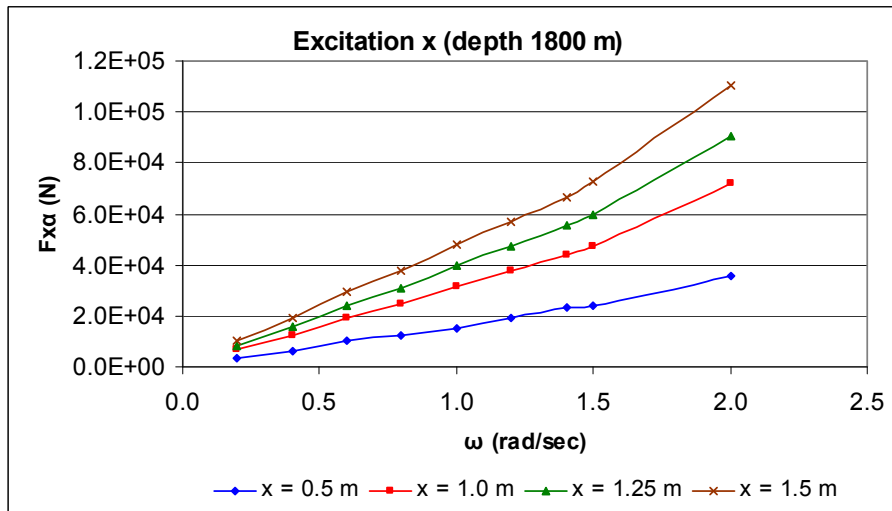
Διάγραμμα 76β: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $x_a = 1.0$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 1800 m).



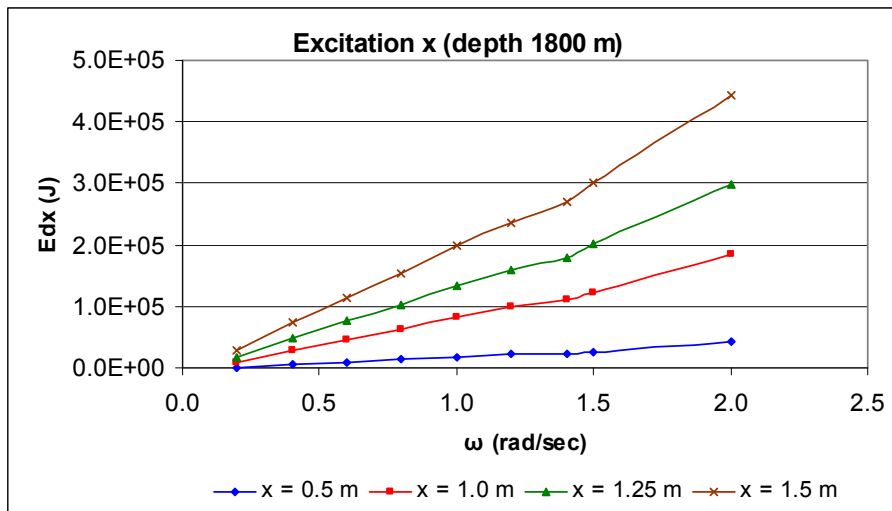
Διάγραμμα 76γ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $x_a = 1.25$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 1800 m).



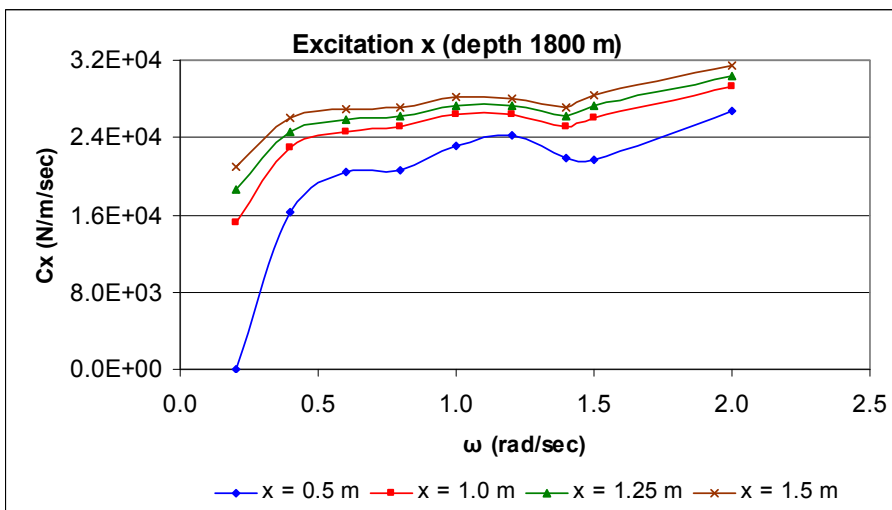
Διάγραμμα 76δ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $x_a = 1.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 1800 m).



Διάγραμμα 77: Μέγιστες αποκλίσεις της δυναμικής συνιστώσας κατά  $x$  της τάσης που εφαρμόζεται στην κορυφή από τη στατική τάση για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $x$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 1800 m).

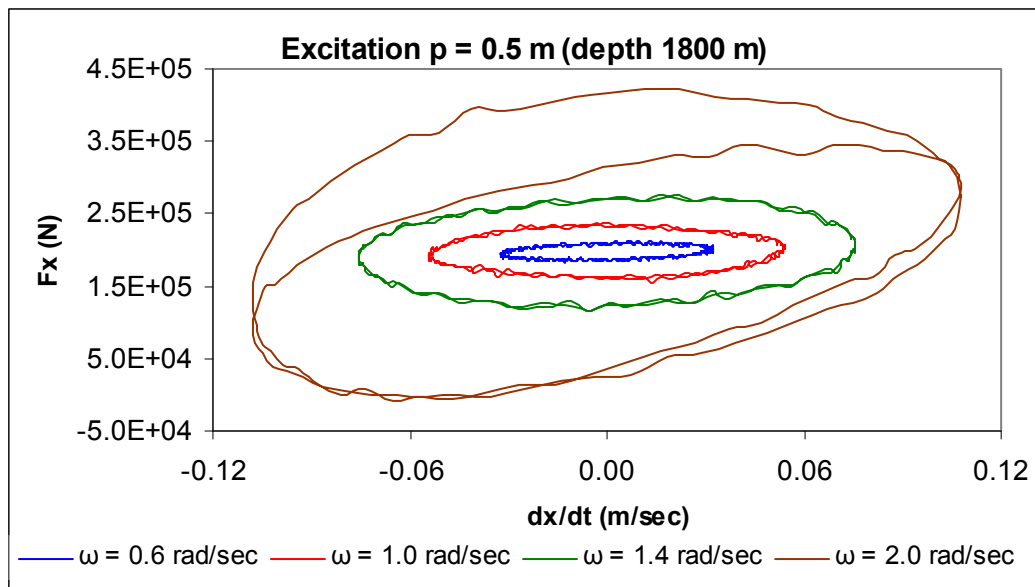


Διάγραμμα 78: Ενέργεια διάχυσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $x$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 1800 m).

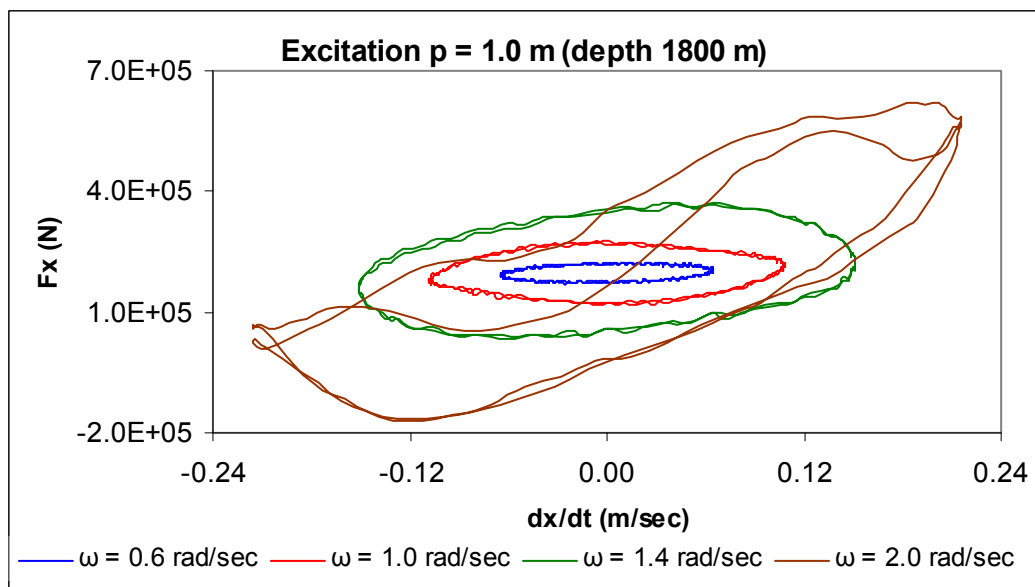


Διάγραμμα 79: Γραμμικοποιημένος συντελεστής απόσβεσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $x$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 1800 m).

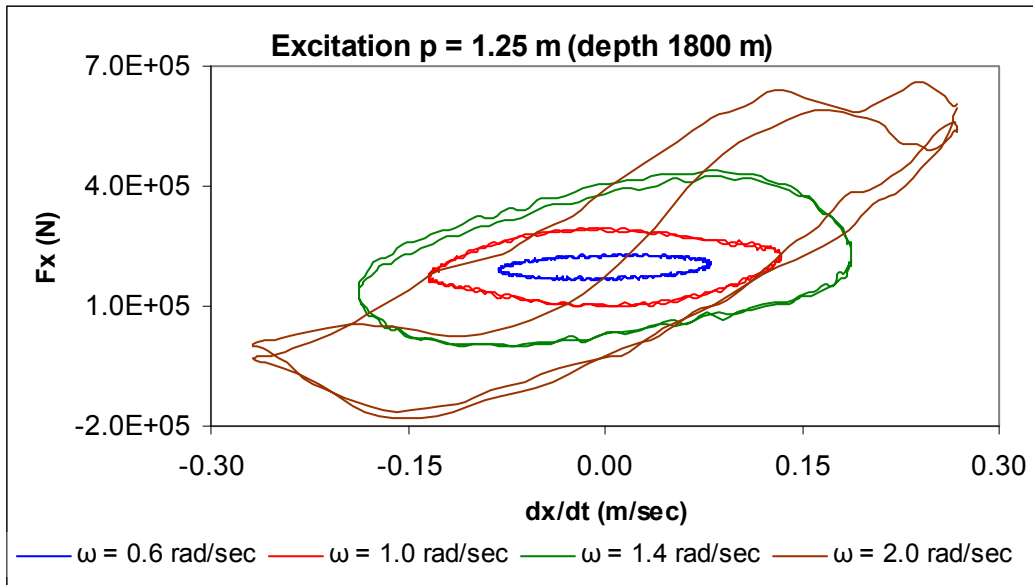
- Διέγερση  $p$



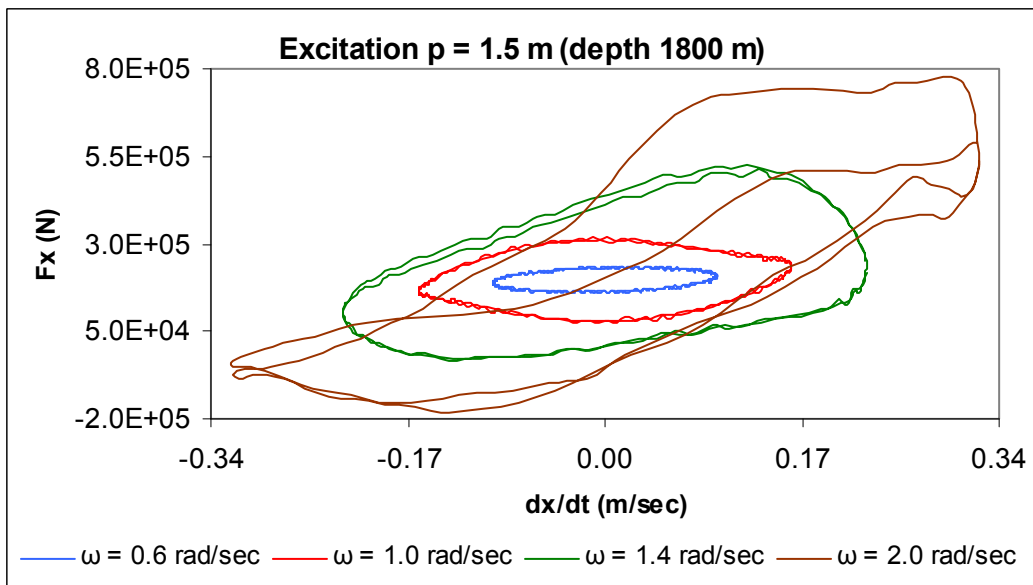
Διάγραμμα 80α: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $p_a = 0.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 1800 m).



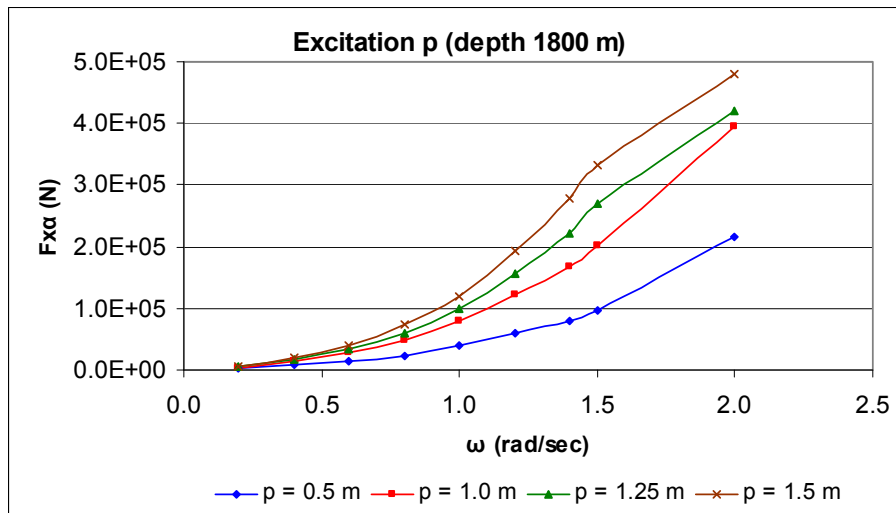
Διάγραμμα 80β: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $p_a = 1.0$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 1800 m).



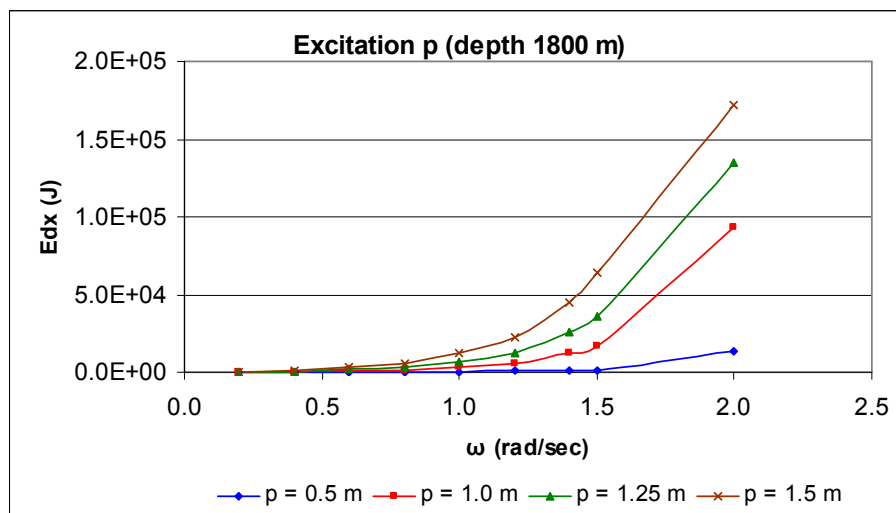
Διάγραμμα 80γ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $p_a = 1.25$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 1800 m).



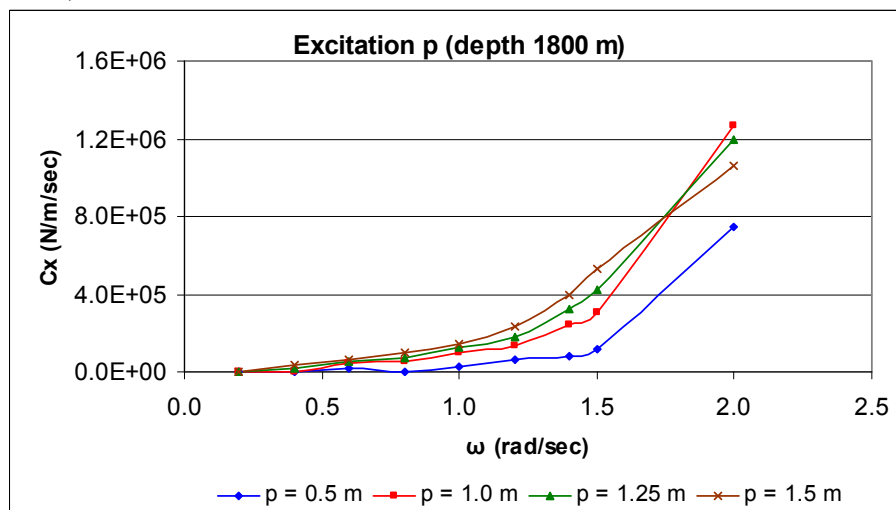
Διάγραμμα 80δ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $p_a = 1.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 1800 m).



Διάγραμμα 81: Μέγιστες αποκλίσεις της δυναμικής συνιστώσας κατά  $x$  της τάσης που εφαρμόζεται στην κορυφή από τη στατική τάση για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $p$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 1800 m).



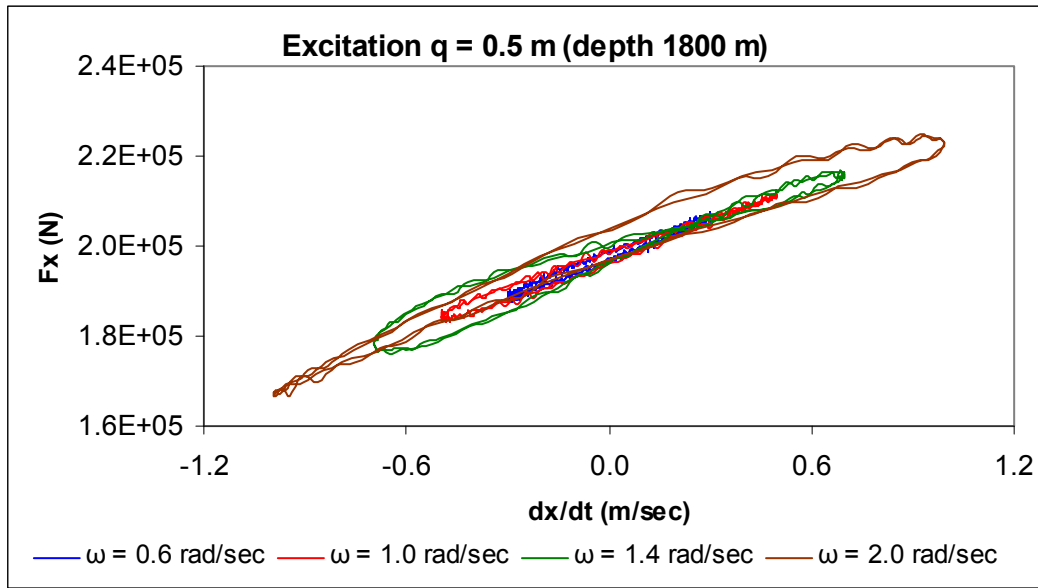
Διάγραμμα 82: Ενέργεια διάχυσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $p$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 1800 m).



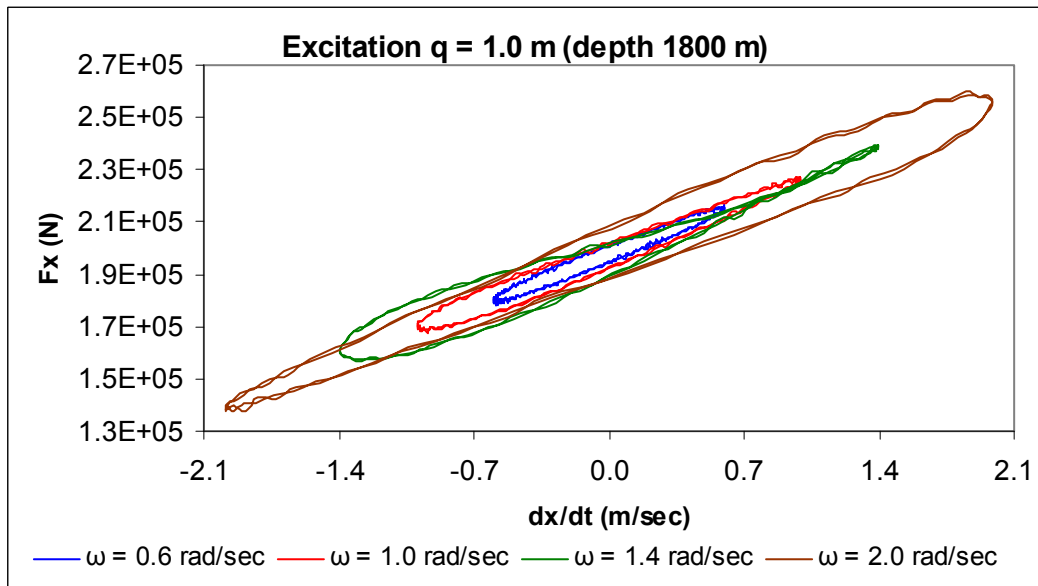
Διάγραμμα 83: Γραμμικοποιημένος συντελεστής απόσβεσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $p$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 1800 m).



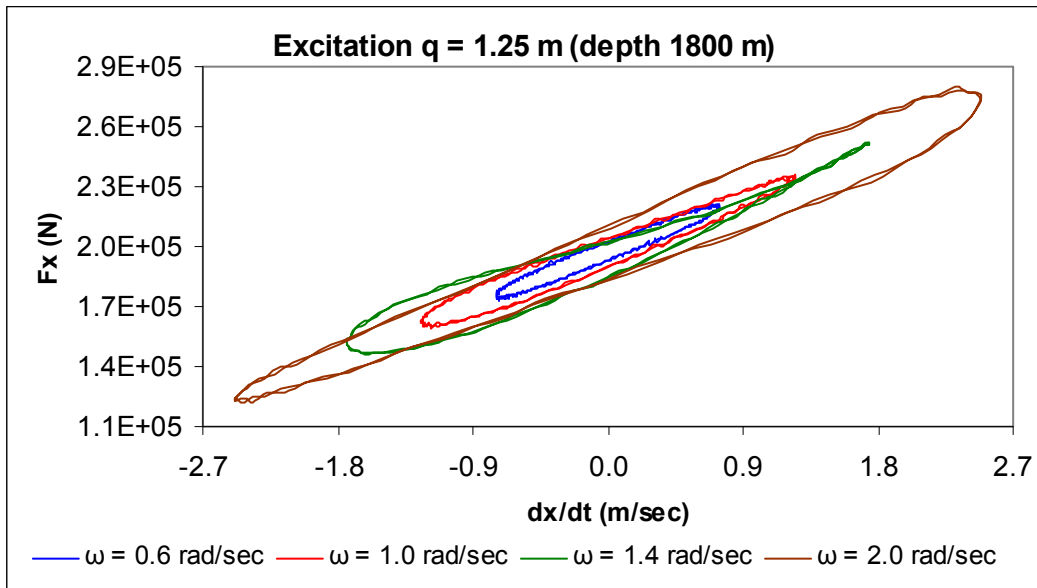
- Διέγερση  $q$



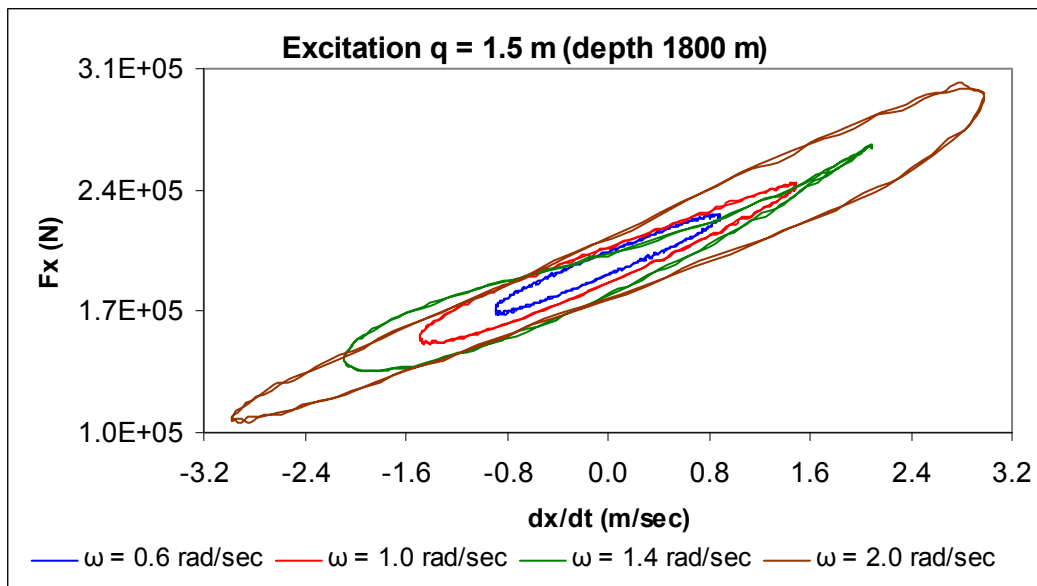
Διάγραμμα 84α: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $q_a = 0.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 1800 m).



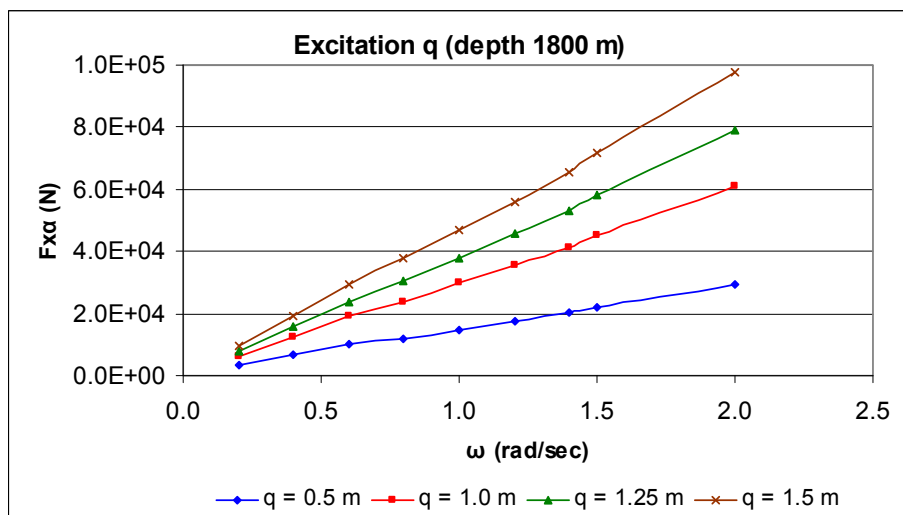
Διάγραμμα 84β: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $q_a = 1.0$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 1800 m).



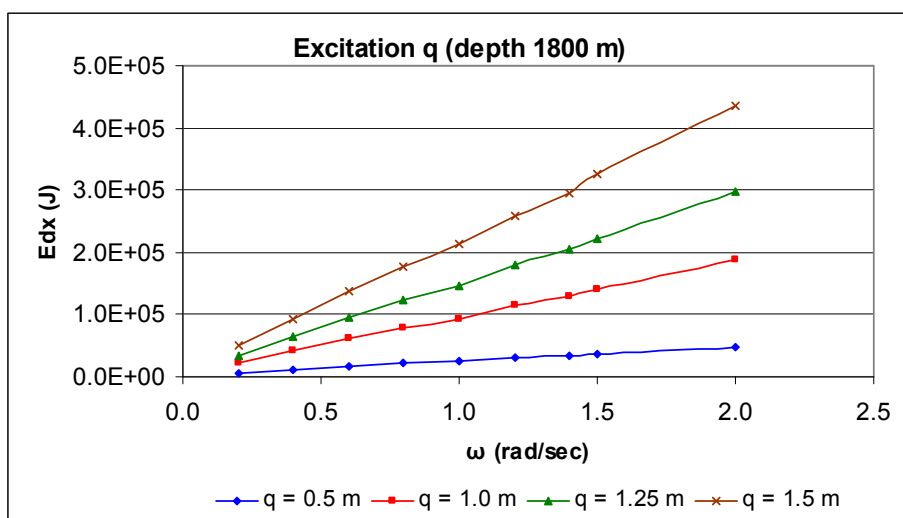
Διάγραμμα 84γ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $q_a = 1.25$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 1800 m).



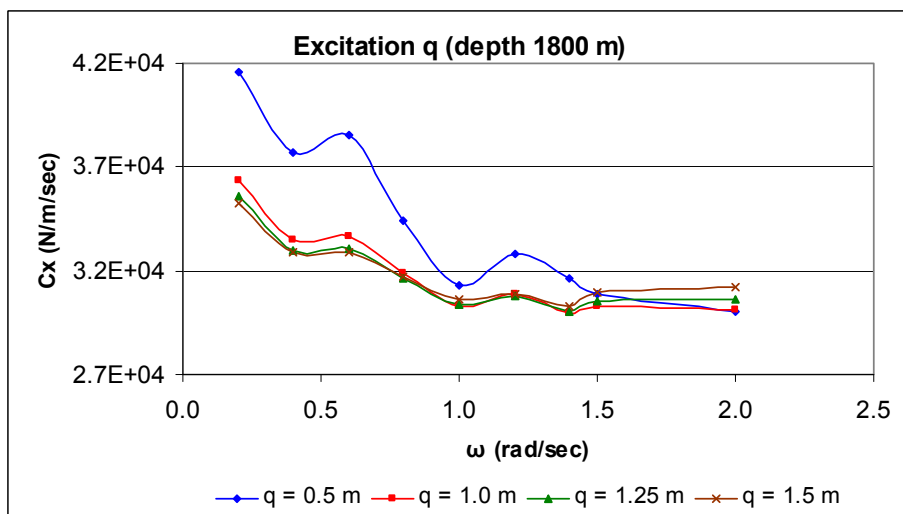
Διάγραμμα 84δ: Περιοχές της διαχεόμενης ενέργειας κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες διέγερσης  $\omega$  και πλάτος επιβαλλόμενης διέγερσης στην κορυφή  $q_a = 1.5$  m για δύο περιόδους (βάθος νερού 1800 m).



Διάγραμμα 85: Μέγιστες αποκλίσεις της δυναμικής συνιστώσας κατά  $x$  της τάσης που εφαρμόζεται στην κορυφή από τη στατική τάση για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $q$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 1800 m).



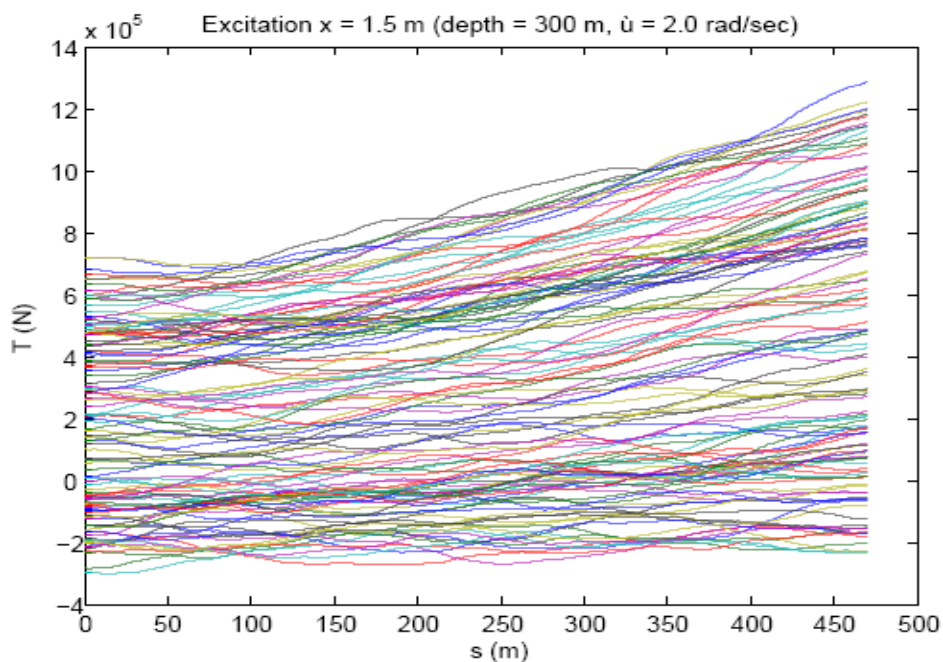
Διάγραμμα 86: Ενέργεια διάχυσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $q$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 1800 m).



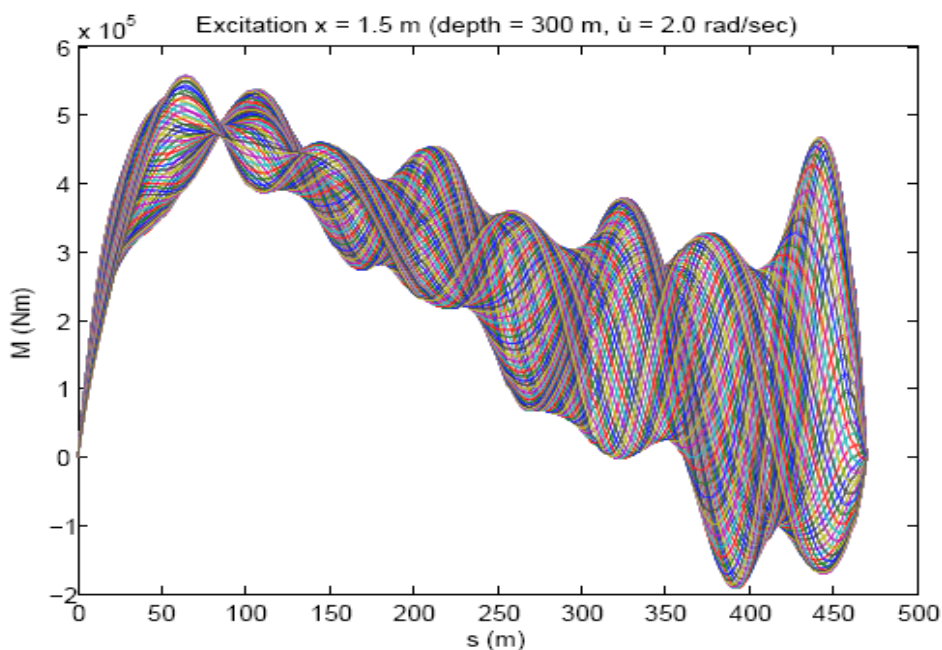
Διάγραμμα 87: Γραμμικοποιημένος συντελεστής απόσβεσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $q$  σε μια περίοδο (βάθος νερού 1800 m).

1. Βάθος νερού 300 m

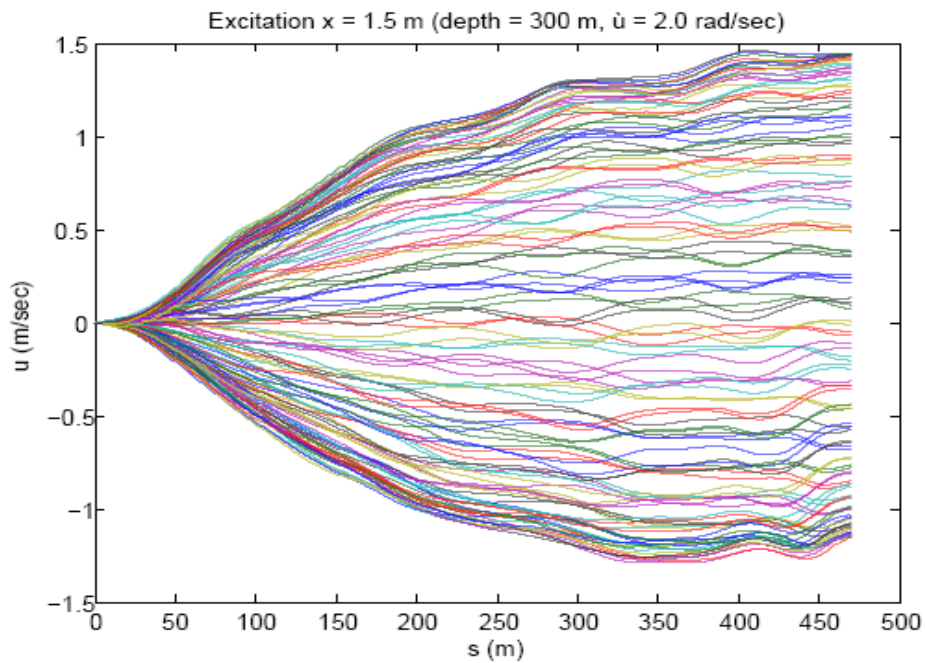
-Διέγερση  $x$



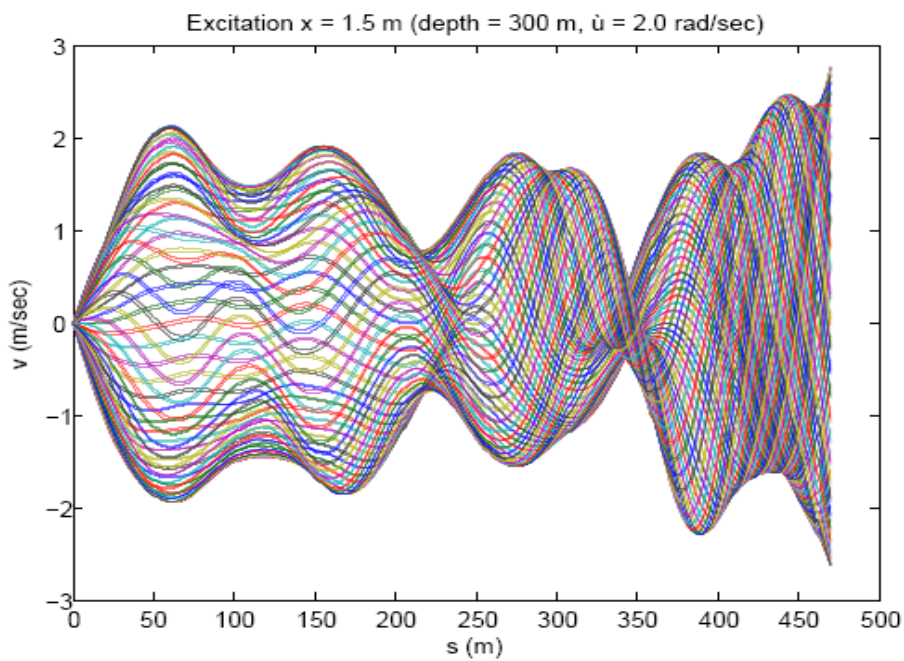
Διάγραμμα 88: Μεταβολή της ολικής τάσης κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $x_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 300 m).



Διάγραμμα 89: Μεταβολή της ολικής καμπτικής ροπής κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $x_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 300 m).

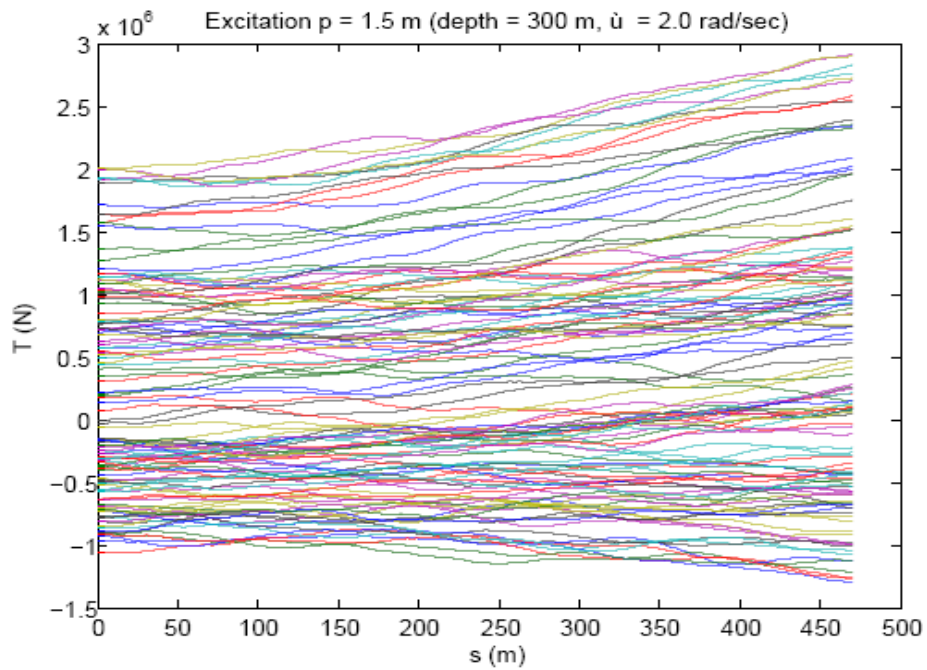


Διάγραμμα 90: Μεταβολή της εφαπτομενικής στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $x_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 300 m).

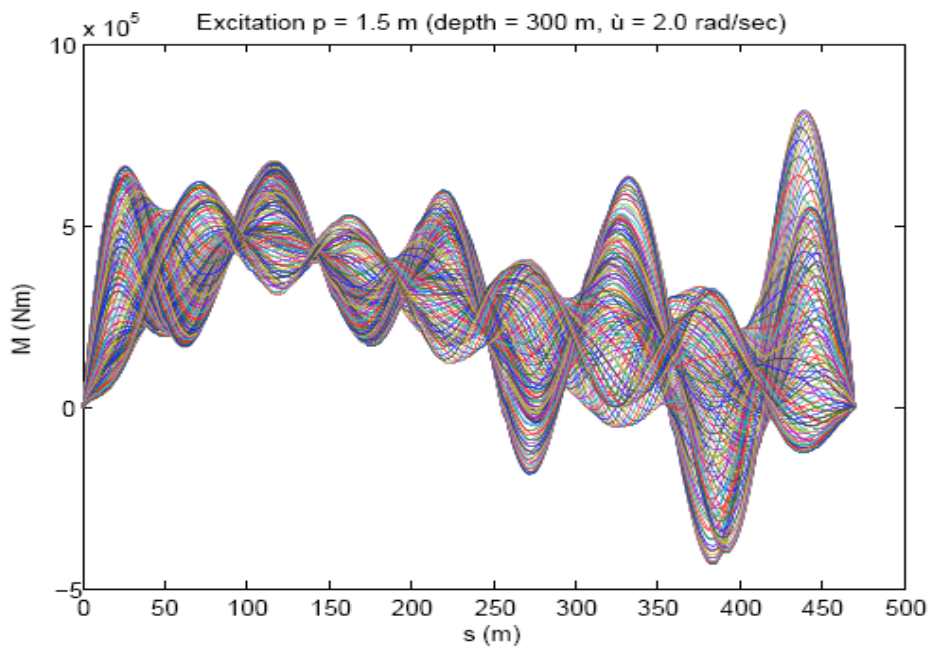


Διάγραμμα 91: Μεταβολή της κάθετης στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $x_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 300 m).

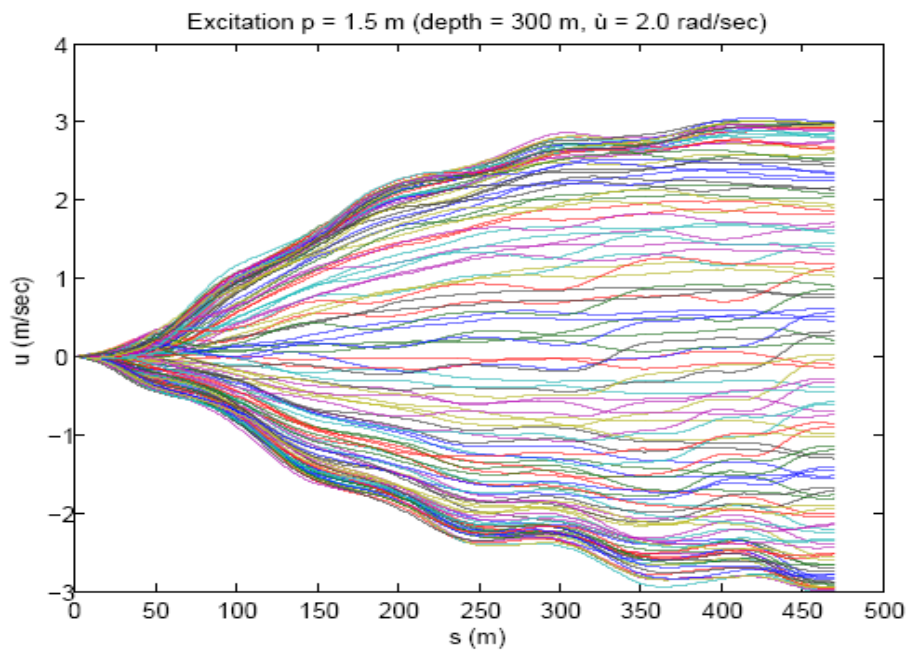
-Διέγερση  $p$



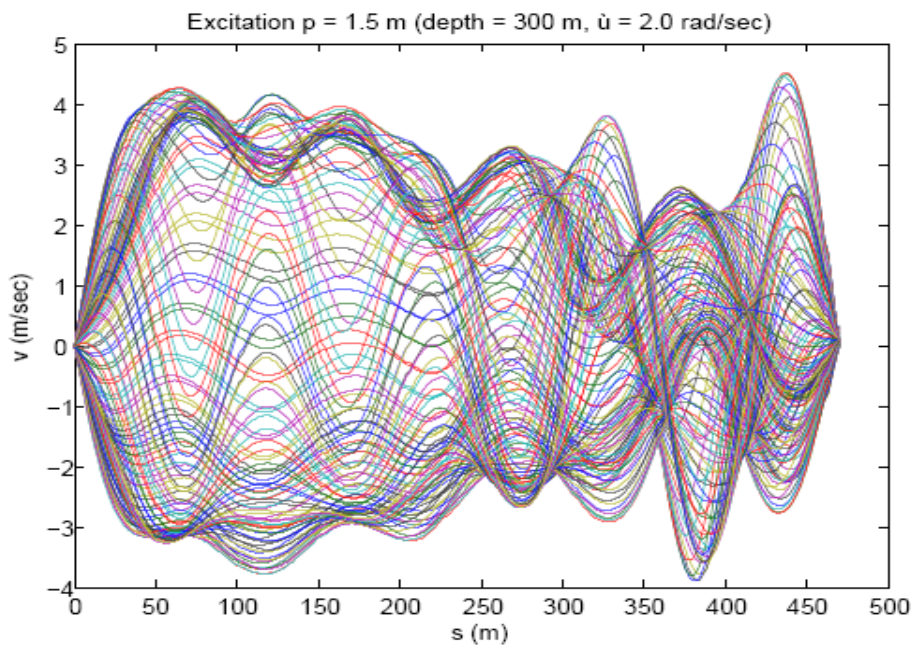
Διάγραμμα 92: Μεταβολή της ολικής τάσης κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $p_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 300 m).



Διάγραμμα 93: Μεταβολή της ολικής καμπτικής ροπής κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $p_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 300 m).

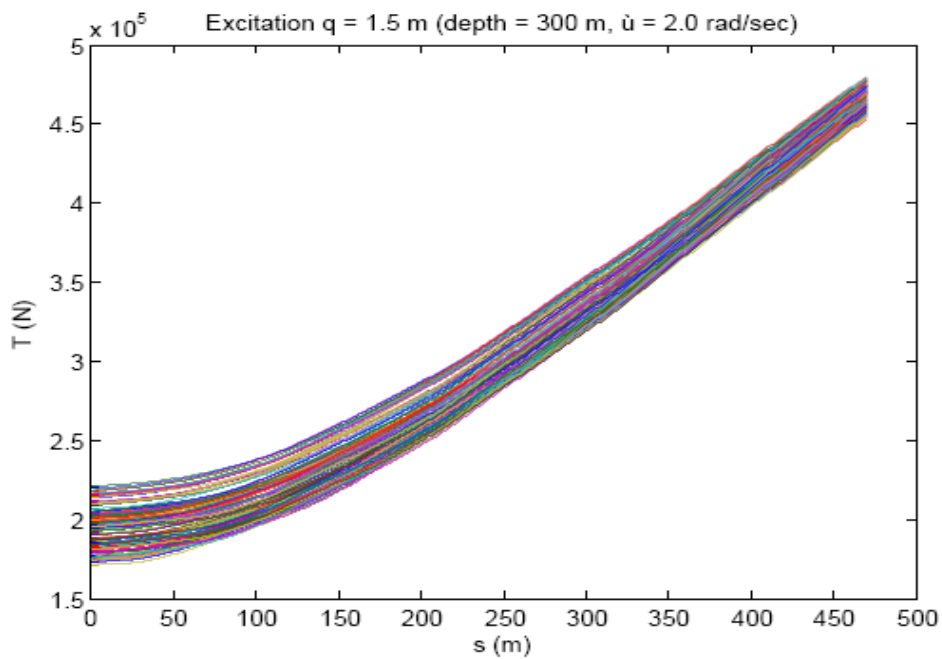


Διάγραμμα 94: Μεταβολή της εφαπτομενικής στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $p_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 300 m).

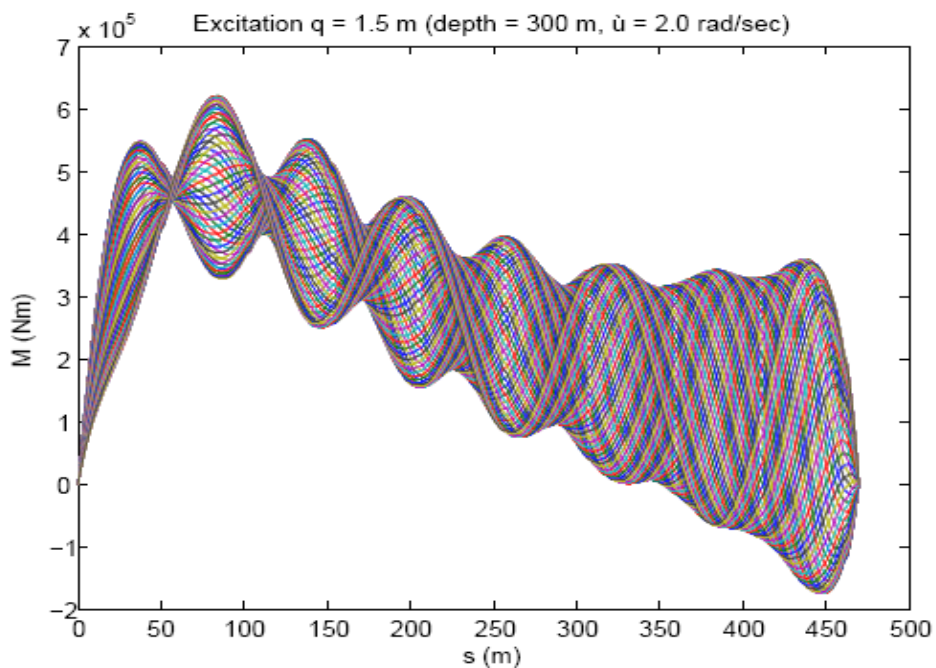


Διάγραμμα 95: Μεταβολή της κάθετης στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $p_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 300 m).

-Διέγερση  $q$

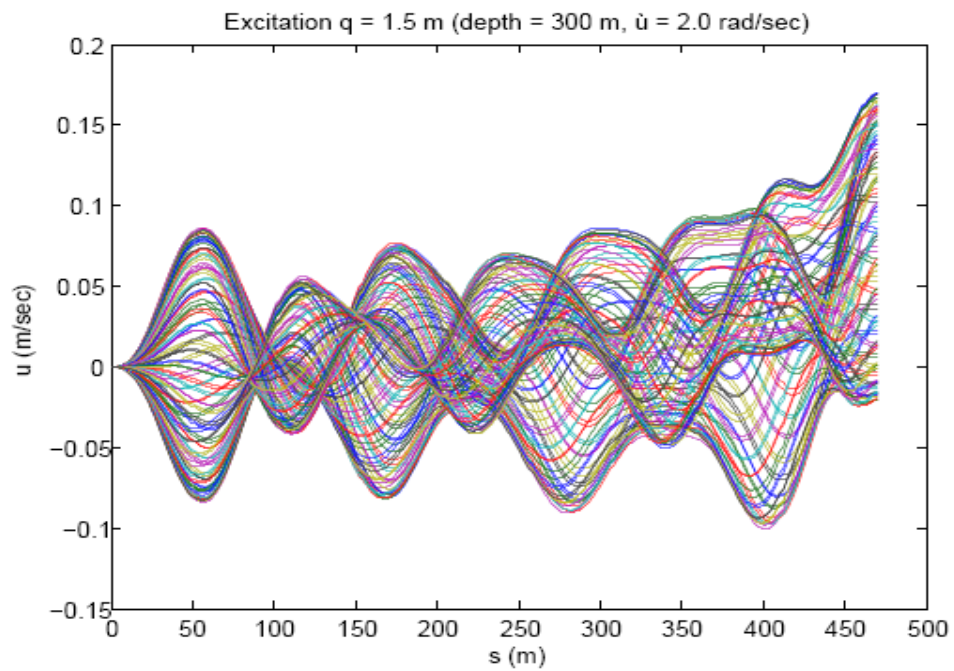


Διάγραμμα 96: Μεταβολή της ολικής τάσης κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $q_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 300 m).

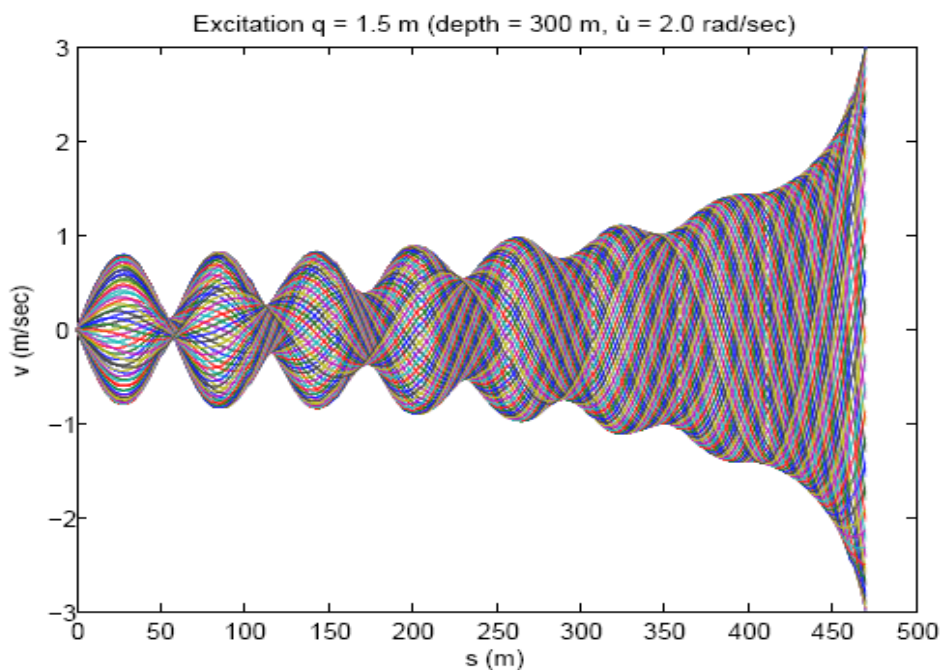


Διάγραμμα 97: Μεταβολή της ολικής καμπτικής ροπής κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $q_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 300 m).





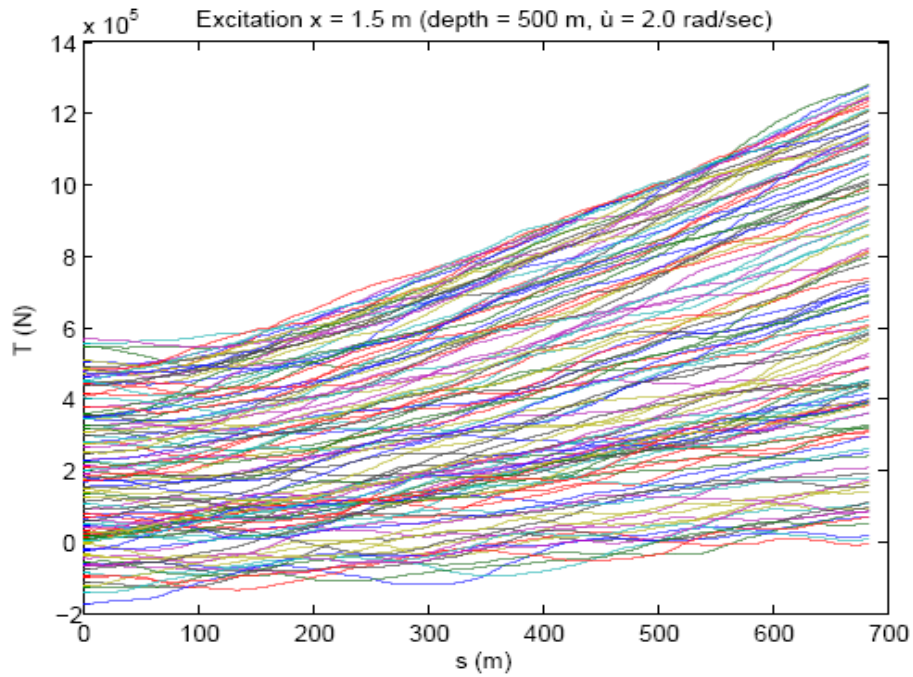
Διάγραμμα 98: Μεταβολή της εφαπτομενικής στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $q_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 300 m).



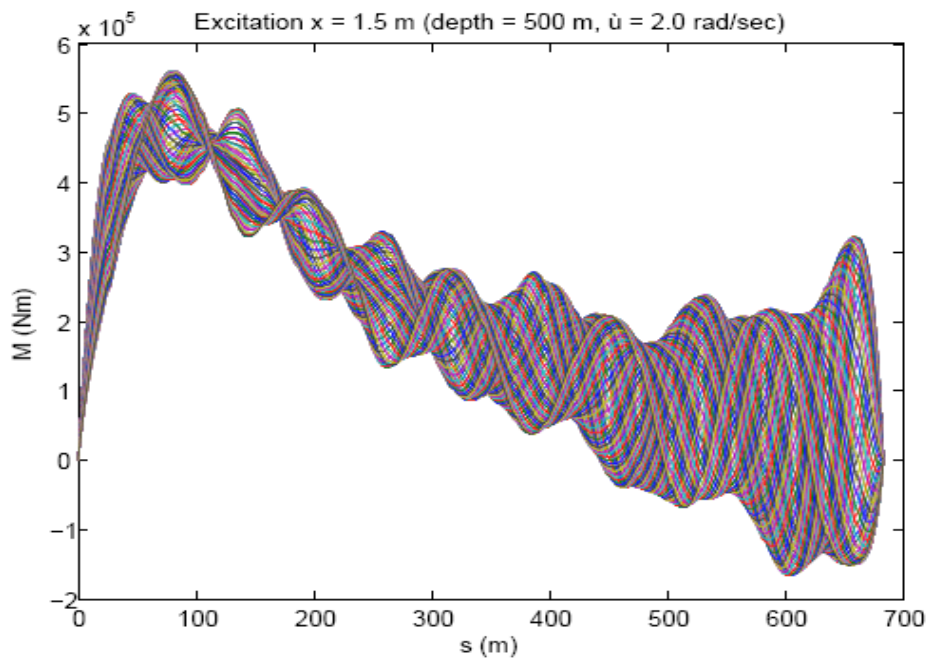
Διάγραμμα 99: Μεταβολή της κάθετης στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $q_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 300 m).

## 2. Βάθος νερού 500 m

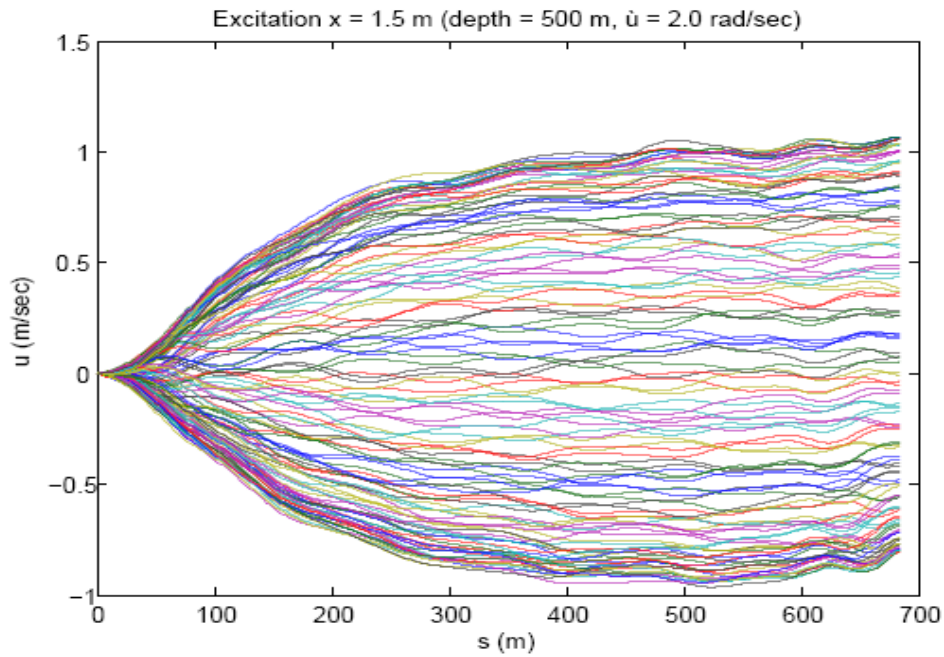
-Διέγερση  $x$



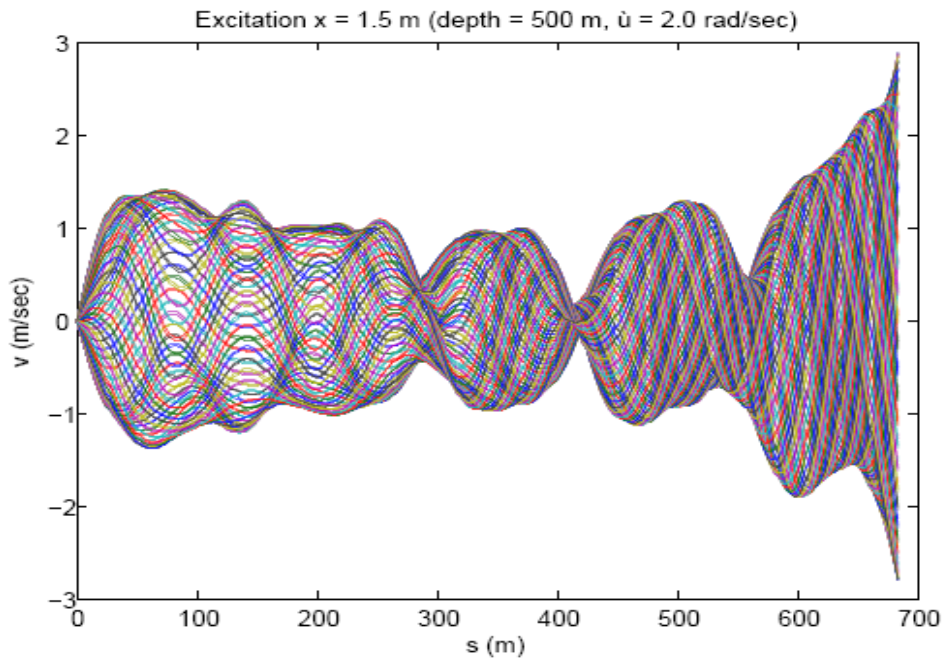
Διάγραμμα 100: Μεταβολή της ολικής τάσης κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $x_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 500 m).



Διάγραμμα 101: Μεταβολή της ολικής καμπτικής ροπής κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $x_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 500 m).

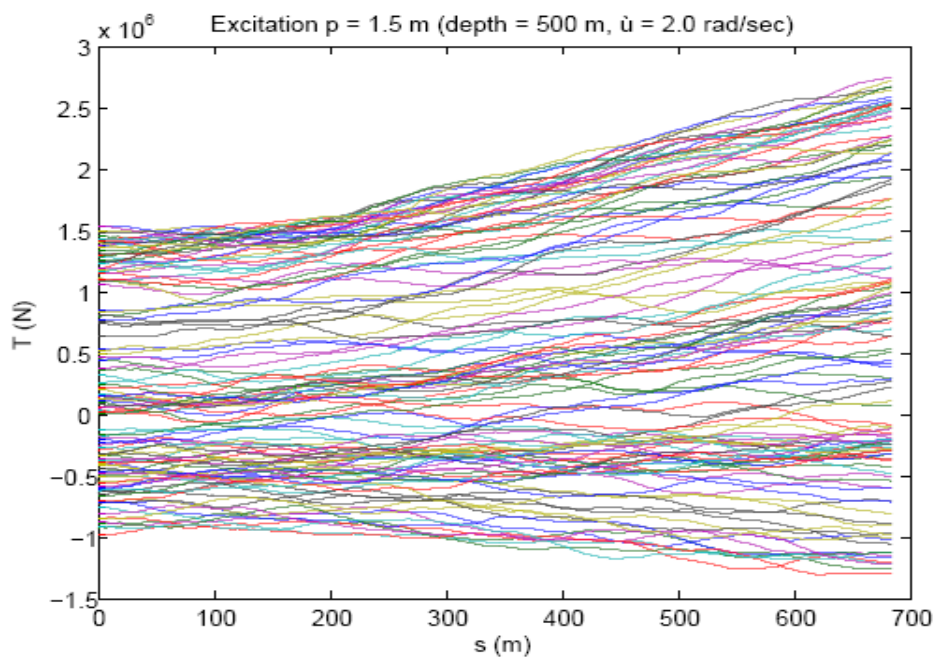


Διάγραμμα 102: Μεταβολή της εφαπτομενικής στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $x_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 500 m).

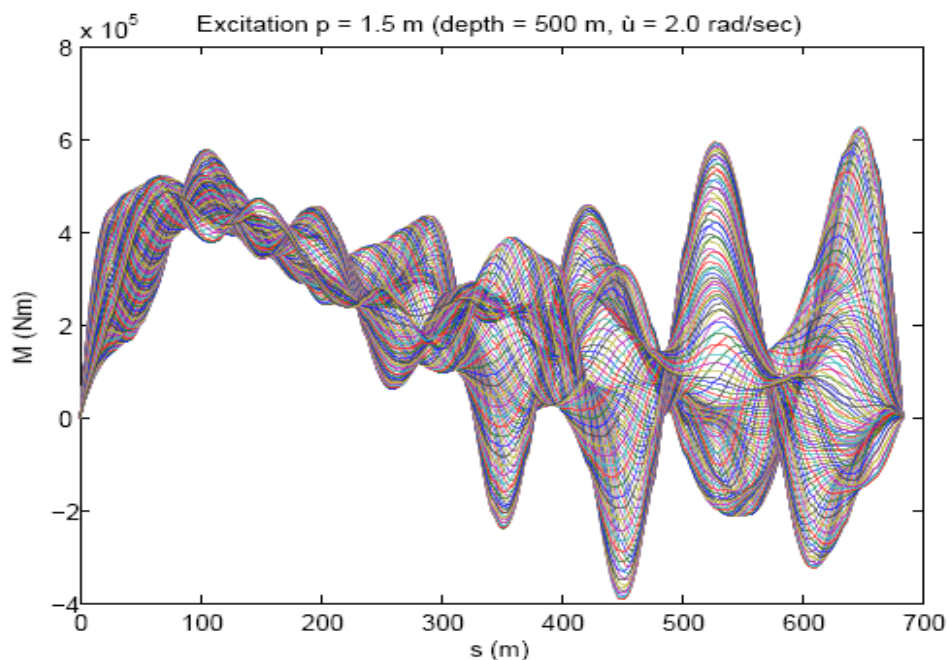


Διάγραμμα 103: Μεταβολή της κάθετης στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $x_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 500 m).

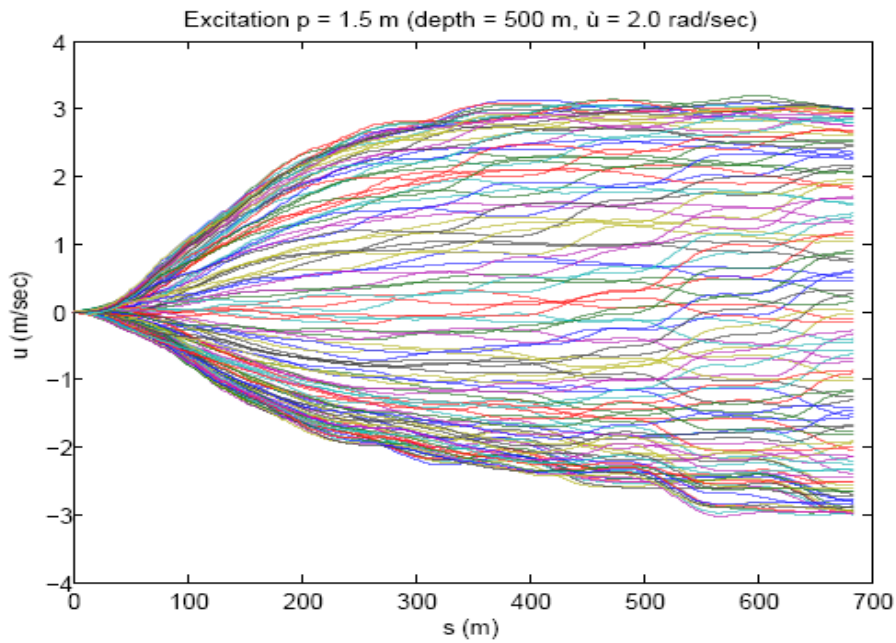
-Διέγερση  $p$



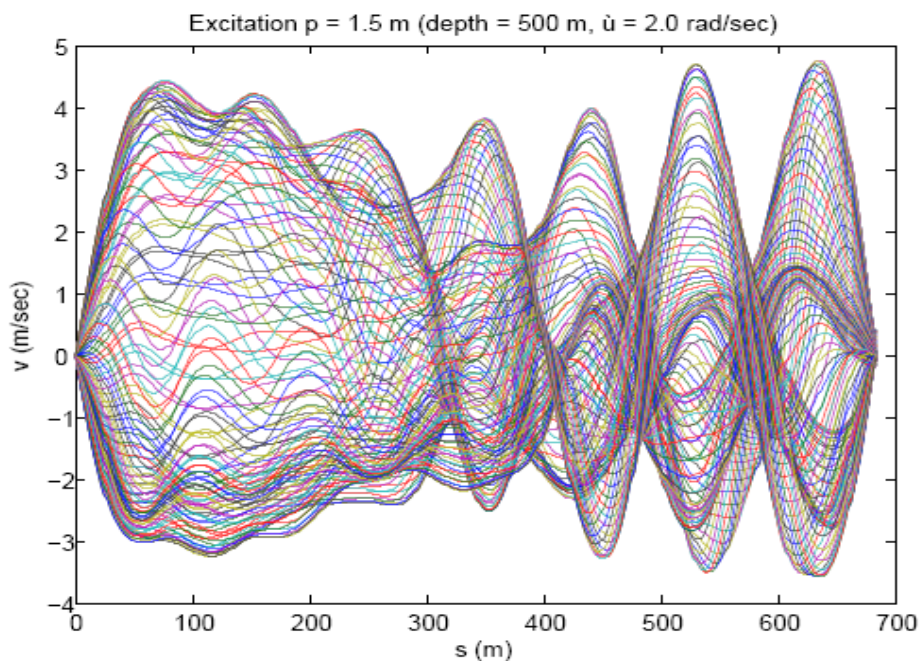
Διάγραμμα 104: Μεταβολή της ολικής τάσης κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $p_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 500 m).



Διάγραμμα 105: Μεταβολή της ολικής καμπτικής ροπής κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $p_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 500 m).

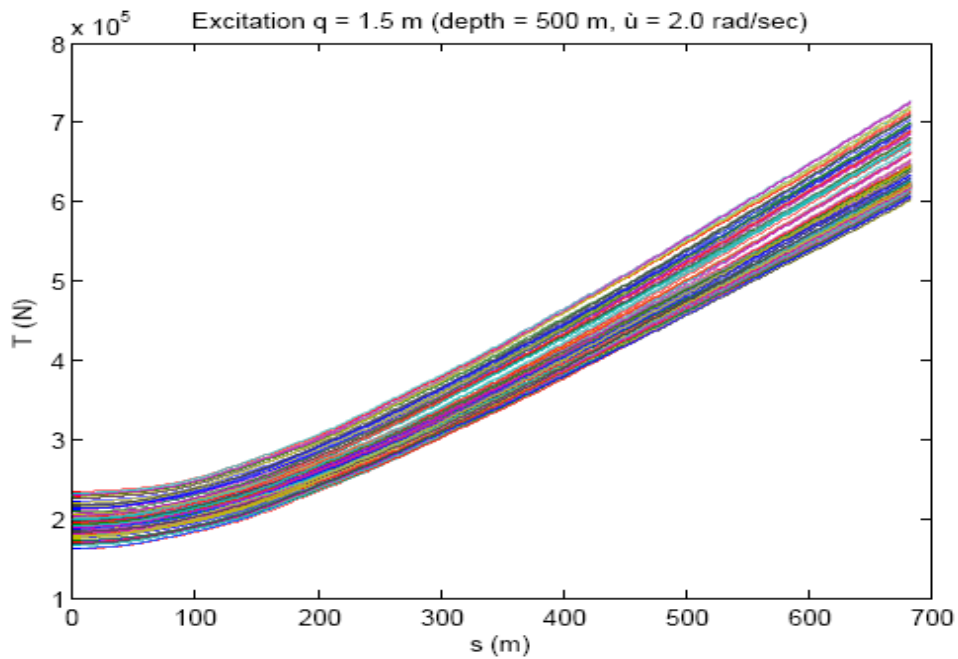


Διάγραμμα 106: Μεταβολή της εφαπτομενικής στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $p_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 500 m).

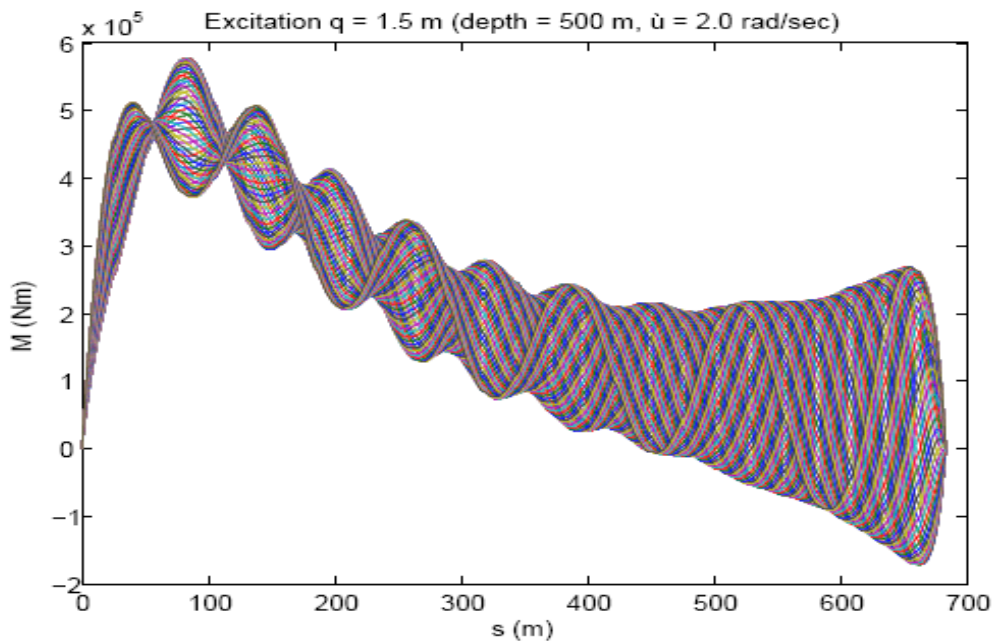


Διάγραμμα 107: Μεταβολή της κάθετης στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $p_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 500 m).

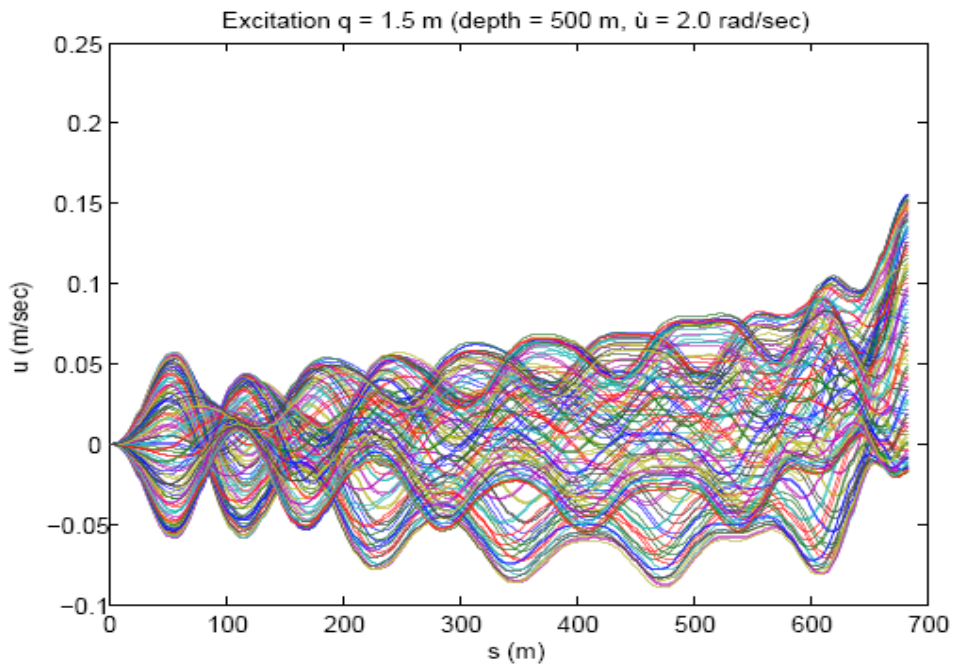
-Διέγερση  $q$



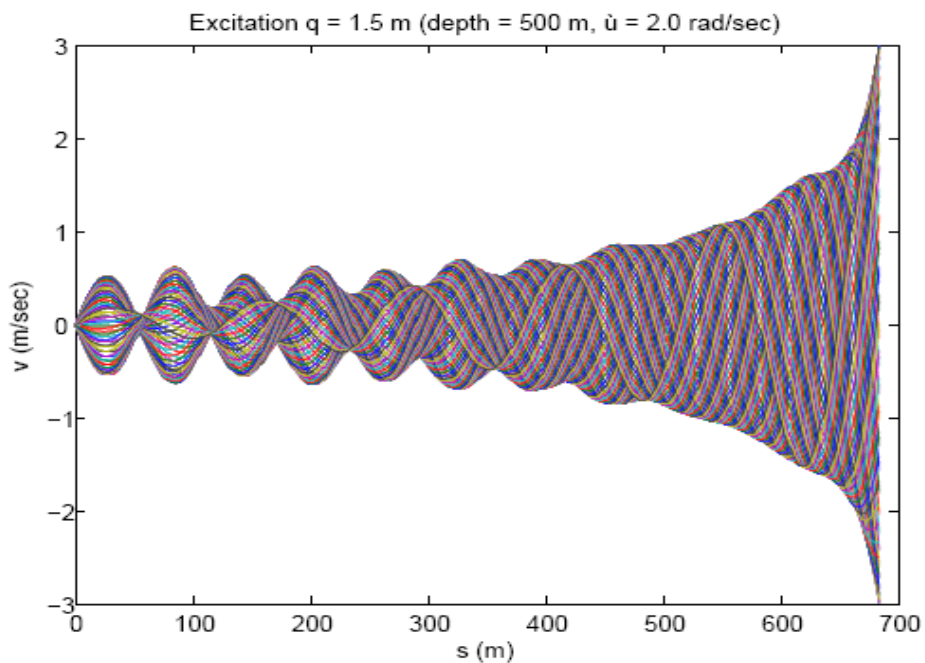
Διάγραμμα 108: Μεταβολή της ολικής τάσης κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $q_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 500 m).



Διάγραμμα 109: Μεταβολή της ολικής καμπτικής ροπής κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $q_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 500 m).



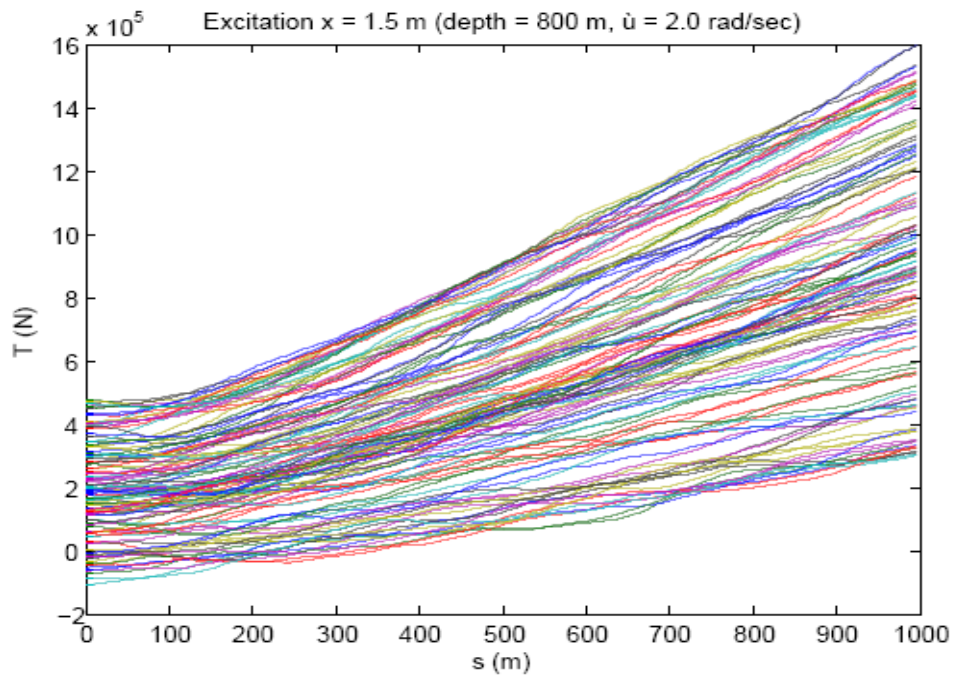
Διάγραμμα 110: Μεταβολή της εφαπτομενικής στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $q_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 500 m).



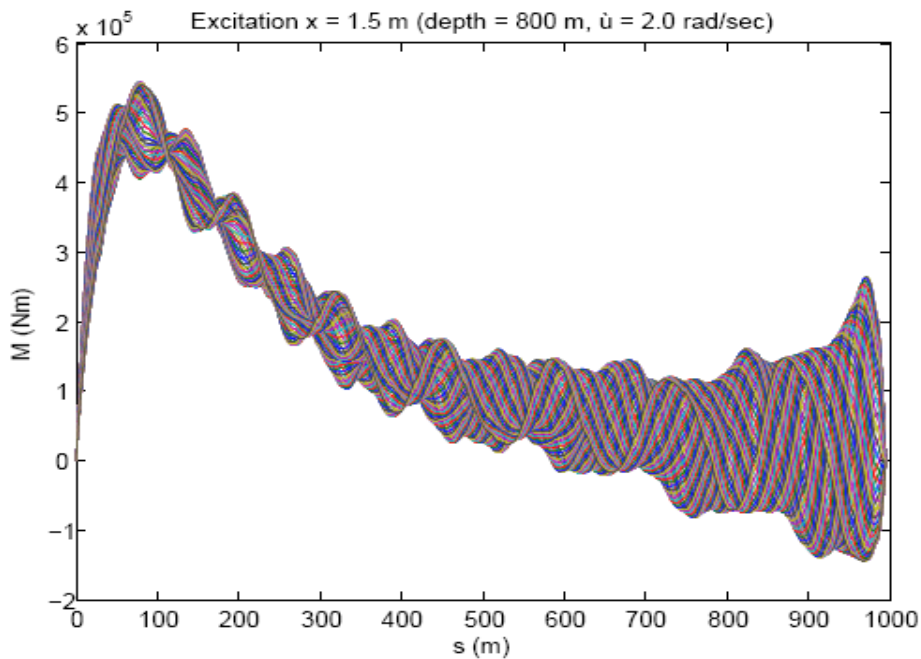
Διάγραμμα 111: Μεταβολή της κάθετης στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $q_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 500 m).

### 3. Βάθος νερού 800 m

-Διέγερση  $x$

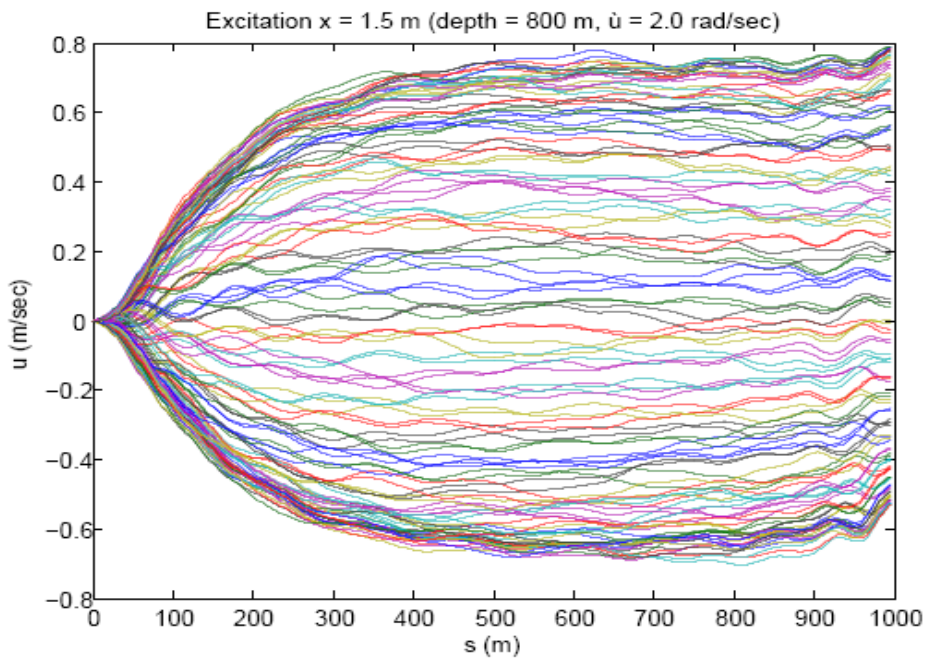


Διάγραμμα 112: Μεταβολή της ολικής τάσης κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $x_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 800 m).

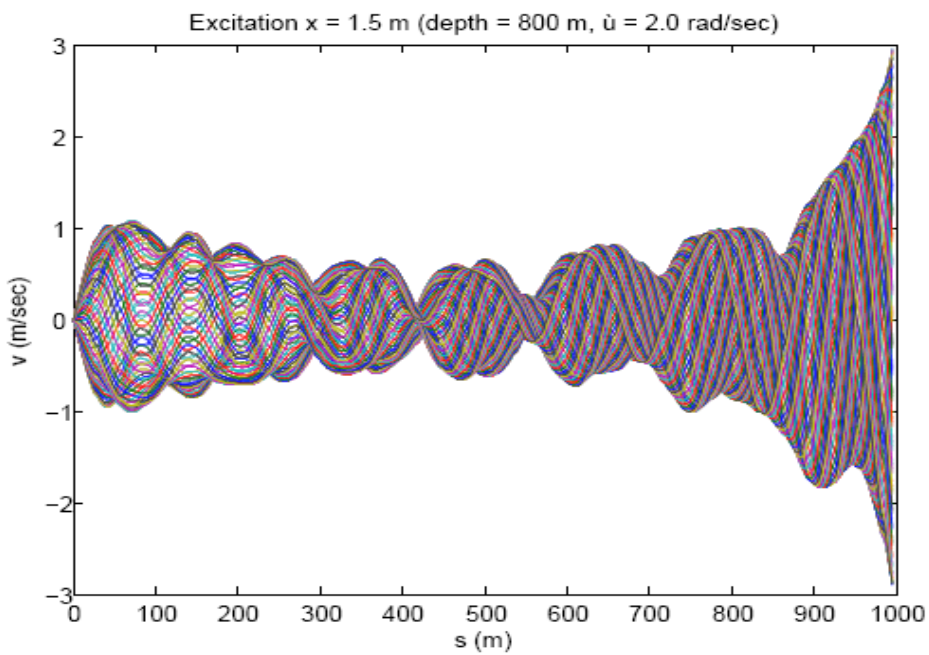


Διάγραμμα 113: Μεταβολή της ολικής καμπτικής ροπής κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $x_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 800 m).



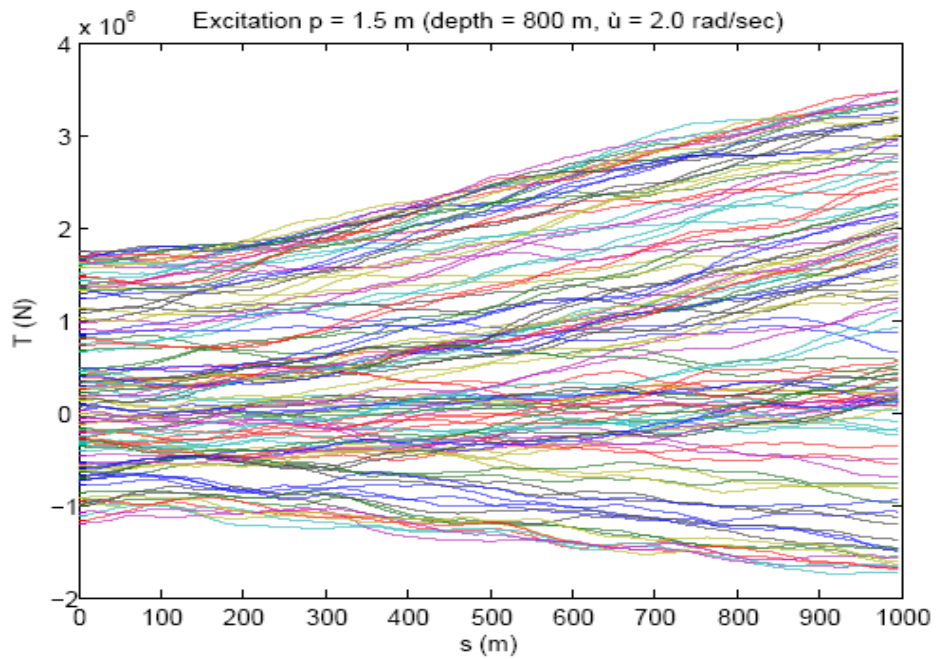


Διάγραμμα 114: Μεταβολή της εφαπτομενικής στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $x_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 800 m).

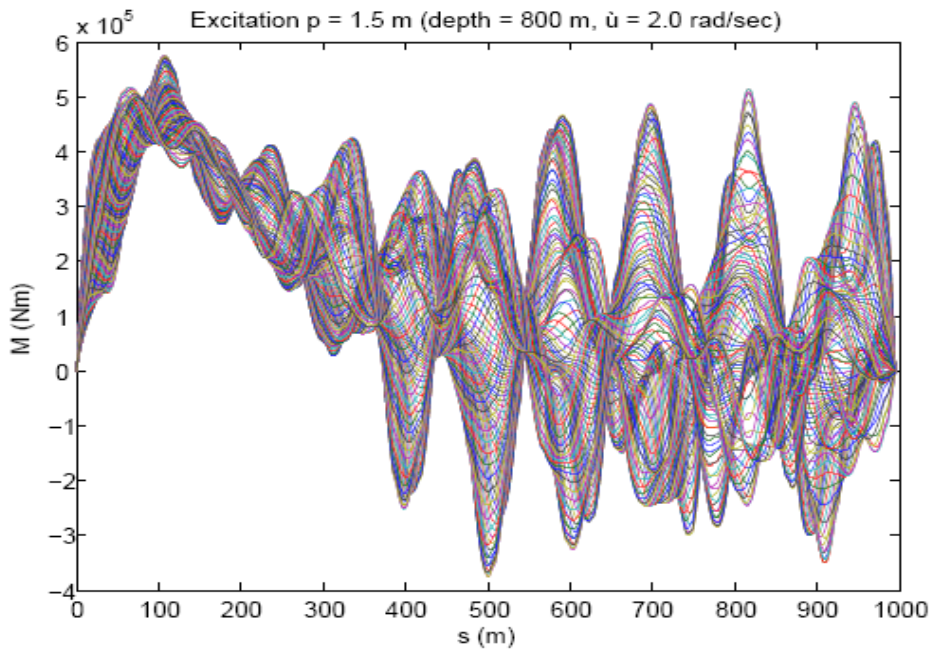


Διάγραμμα 115: Μεταβολή της κάθετης στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $x_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 800 m).

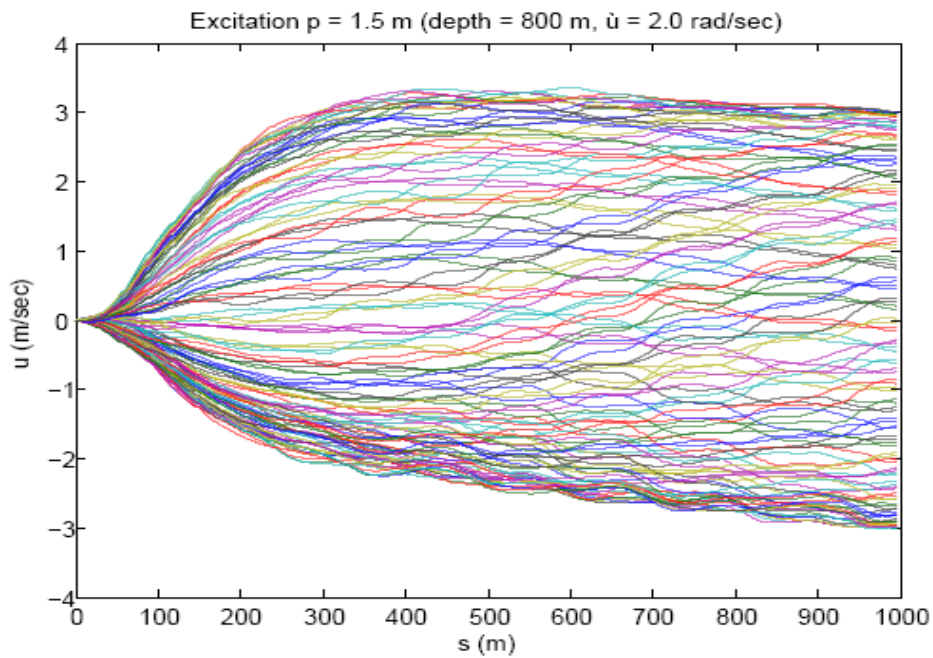
-Διέγερση  $p$



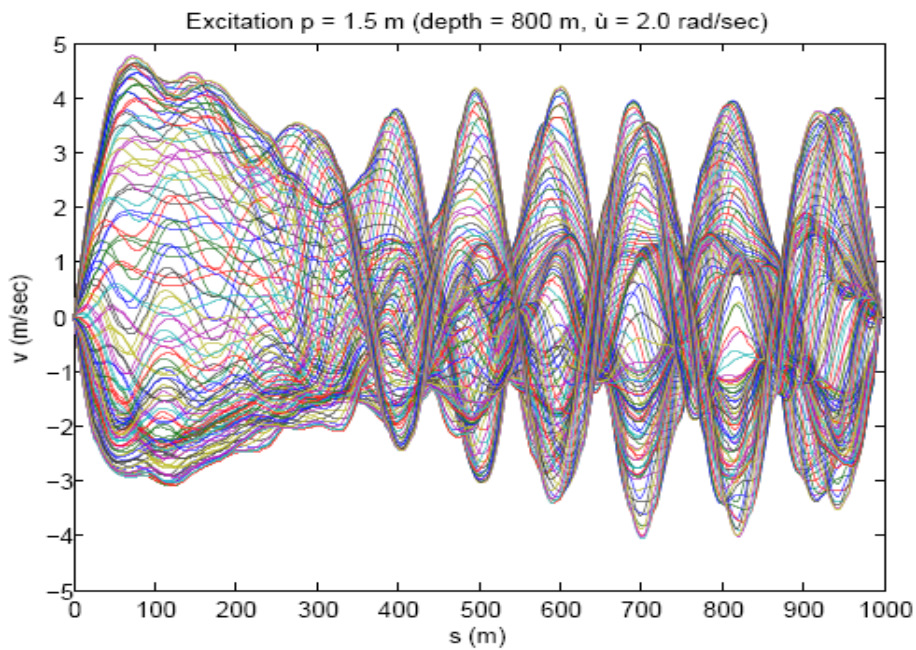
Διάγραμμα 116: Μεταβολή της ολικής τάσης κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $p_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 800 m).



Διάγραμμα 117: Μεταβολή της ολικής καμπτικής ροπής κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $p_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 800 m).

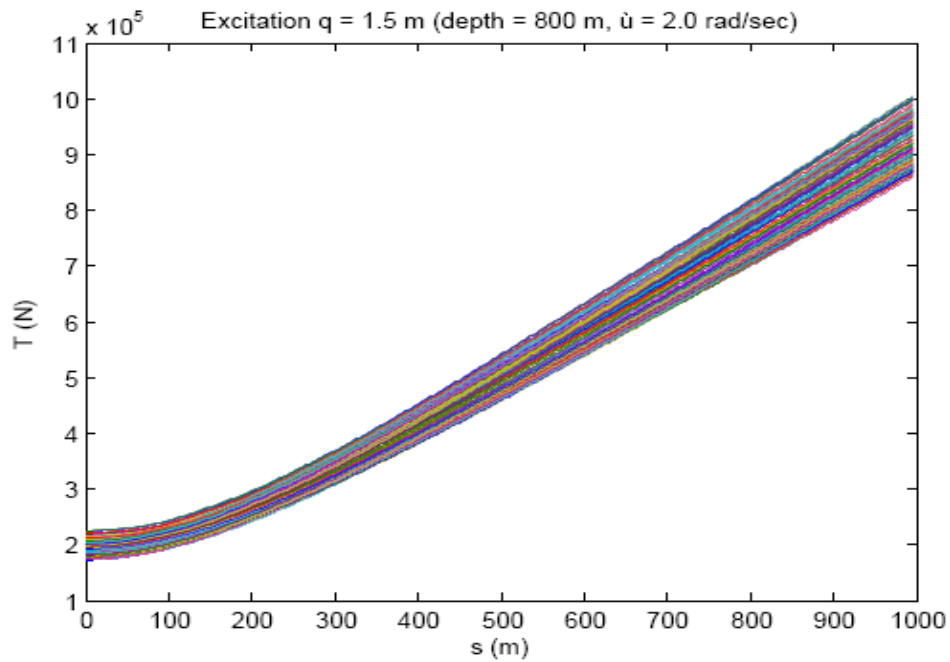


Διάγραμμα 118: Μεταβολή της εφαπτομενικής στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $p_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 800 m).

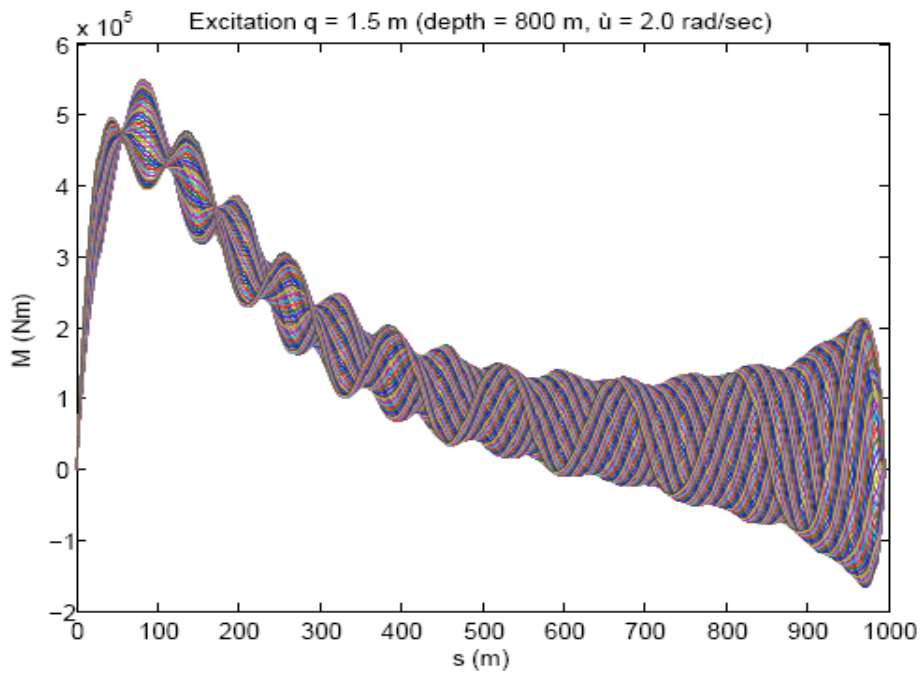


Διάγραμμα 119: Μεταβολή της κάθετης στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $p_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 800 m).

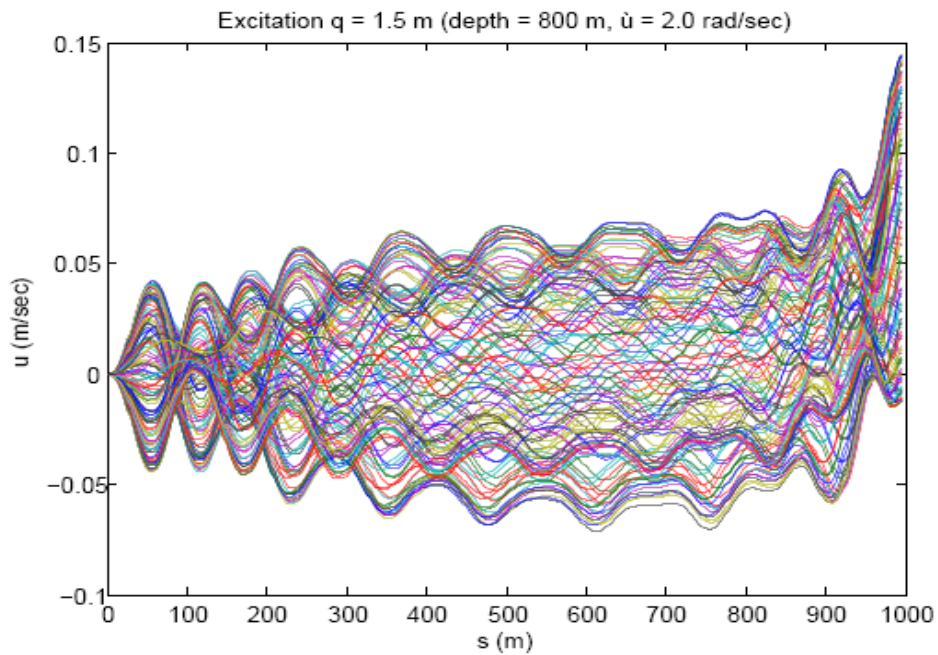
-Διέγερση  $q$



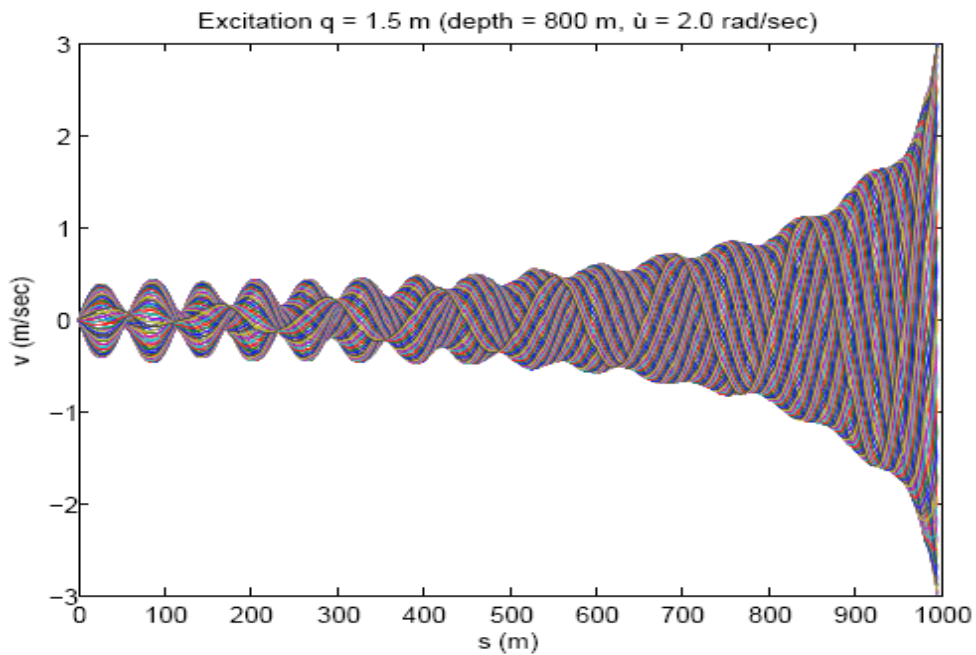
Διάγραμμα 120: Μεταβολή της ολικής τάσης κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $q_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 800 m).



Διάγραμμα 121: Μεταβολή της ολικής καμπτικής ροπής κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $q_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 800 m).



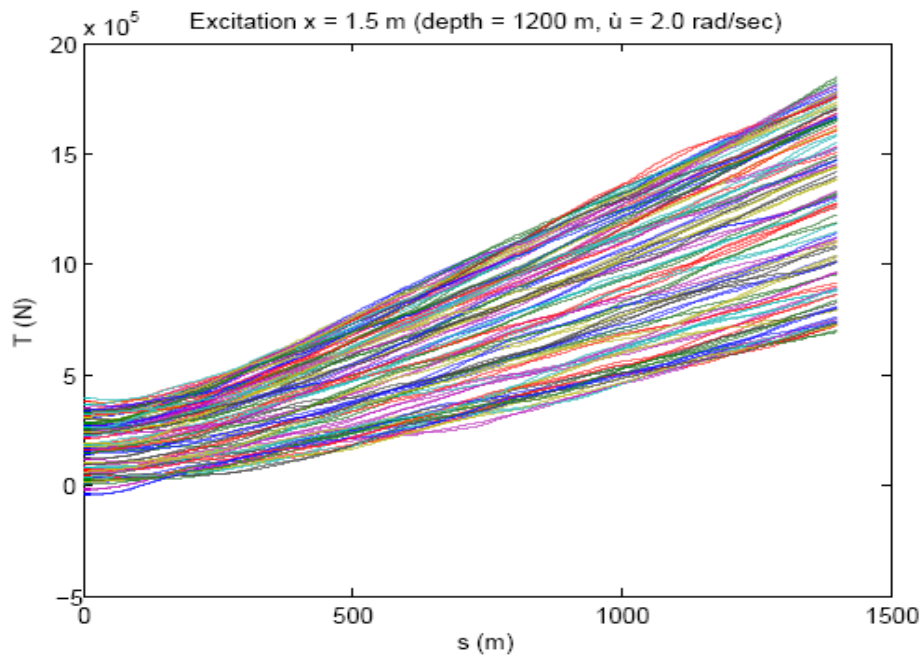
Διάγραμμα 122: Μεταβολή της εφαπτομενικής στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $q_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 800 m).



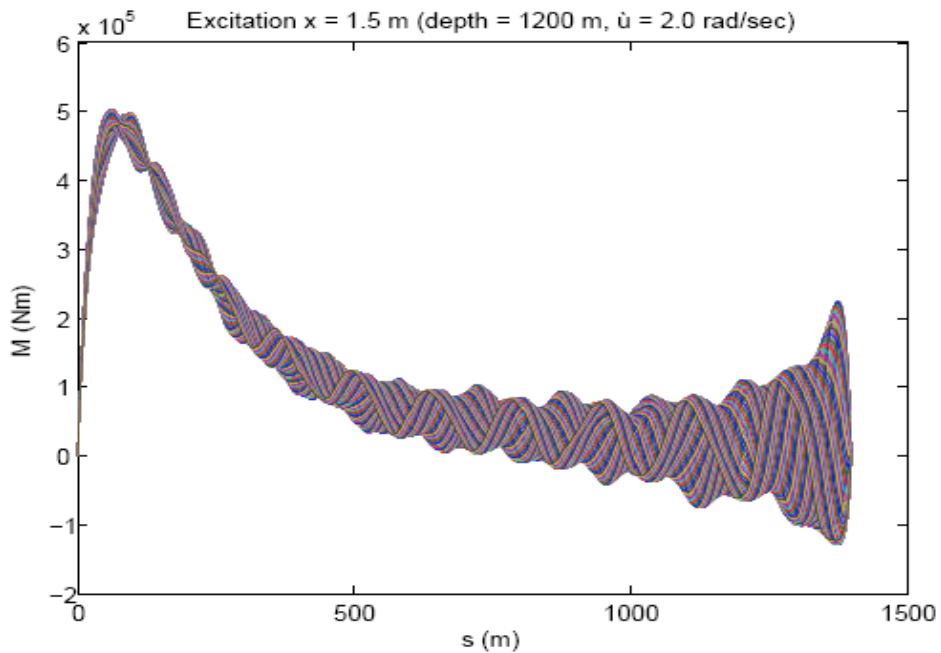
Διάγραμμα 123: Μεταβολή της κάθετης στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $q_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 800 m).

4. Βάθος νερού 1200 m

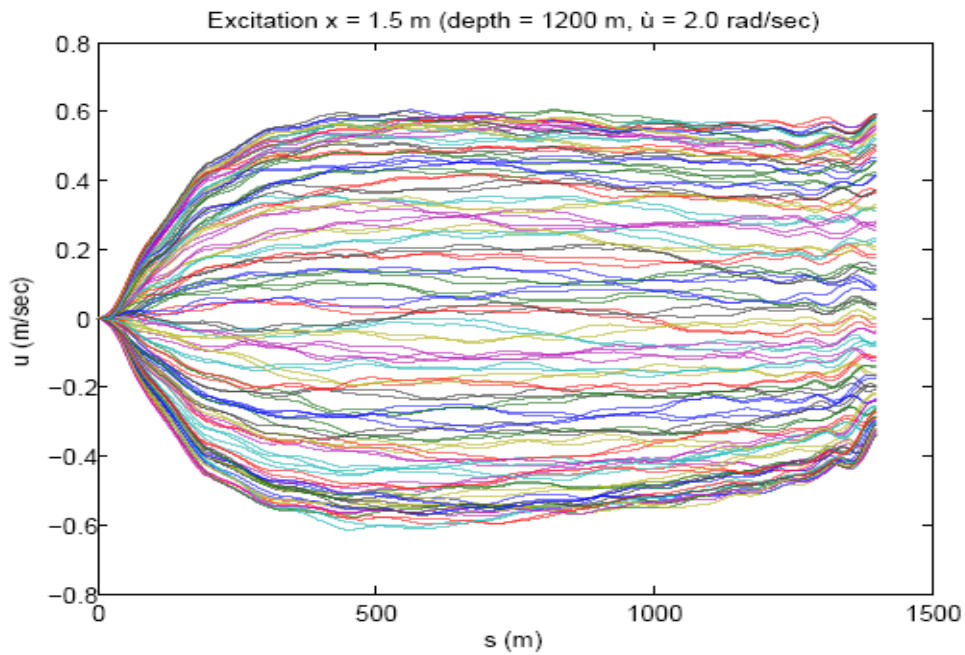
-Διέγερση  $x$



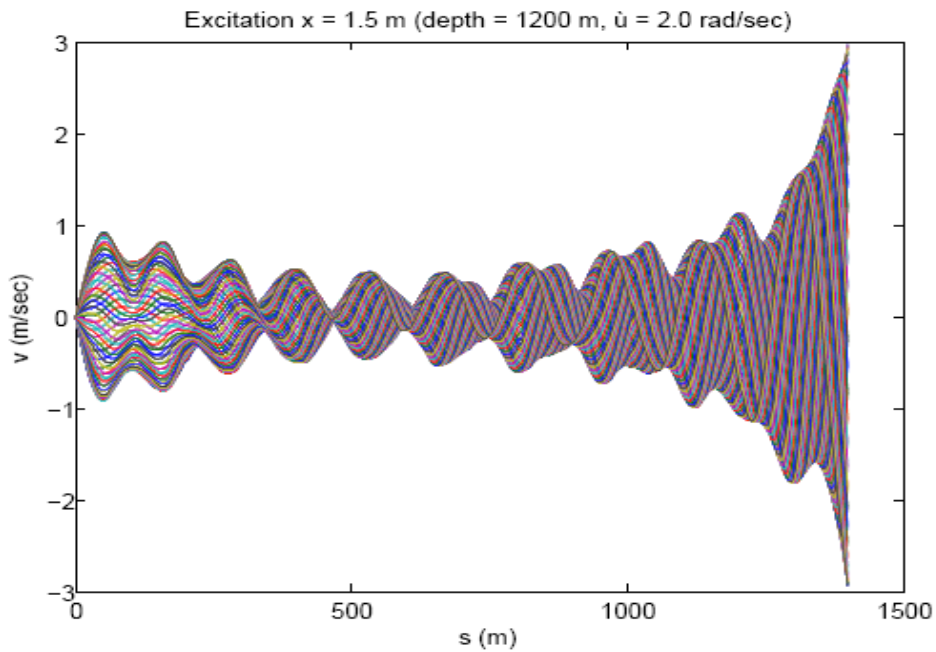
Διάγραμμα 124: Μεταβολή της ολικής τάσης κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $x_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 1200 m).



Διάγραμμα 125: Μεταβολή της ολικής καμπτικής ροπής κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $x_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 1200 m).

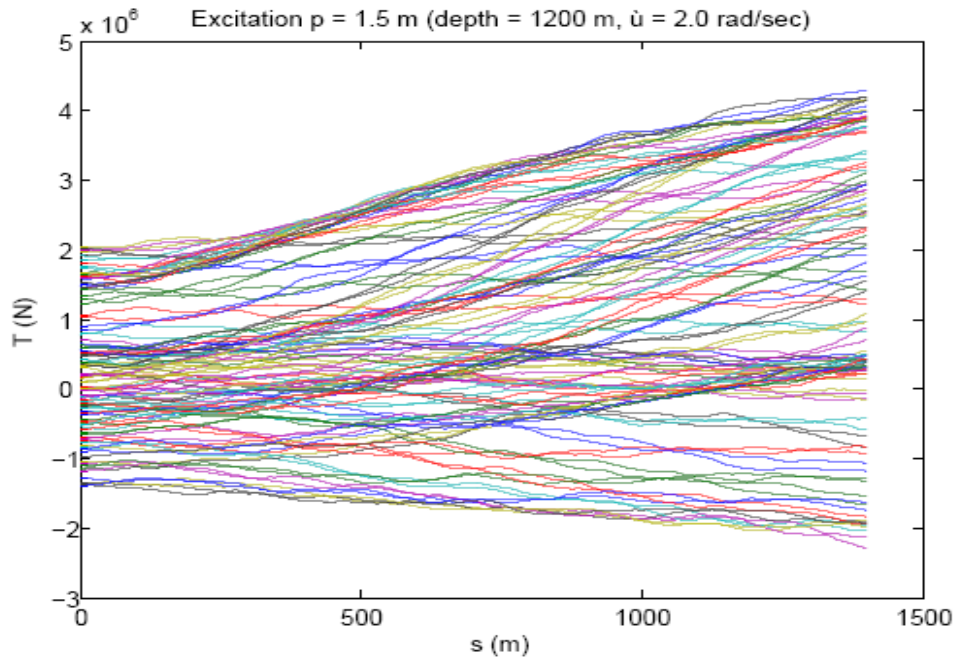


Διάγραμμα 126: Μεταβολή της εφαπτομενικής στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $x_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 1200 m).

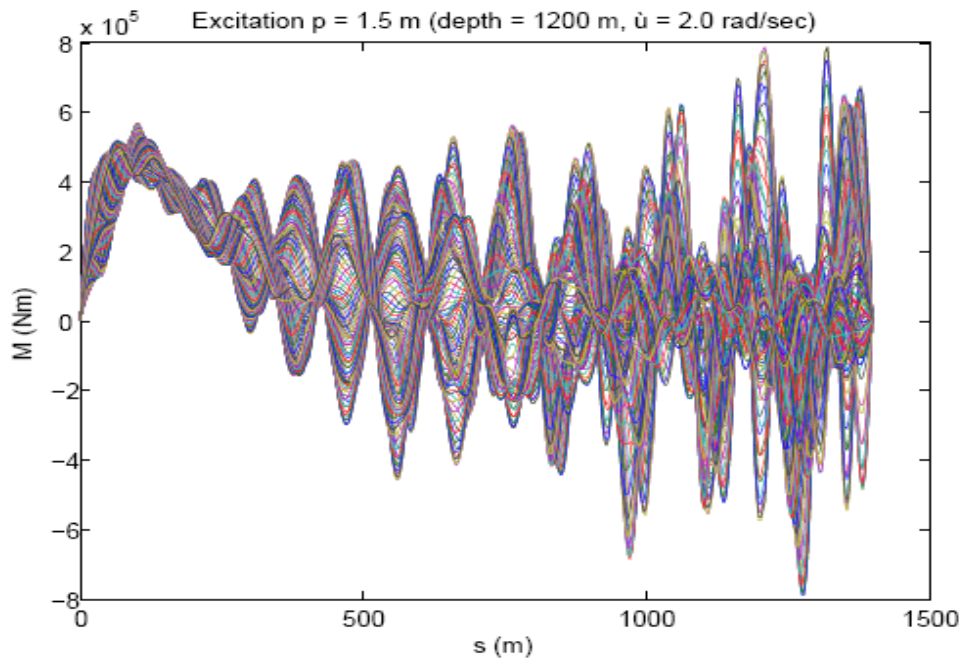


Διάγραμμα 127: Μεταβολή της κάθετης στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $x_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 1200 m).

-Διέγερση  $p$

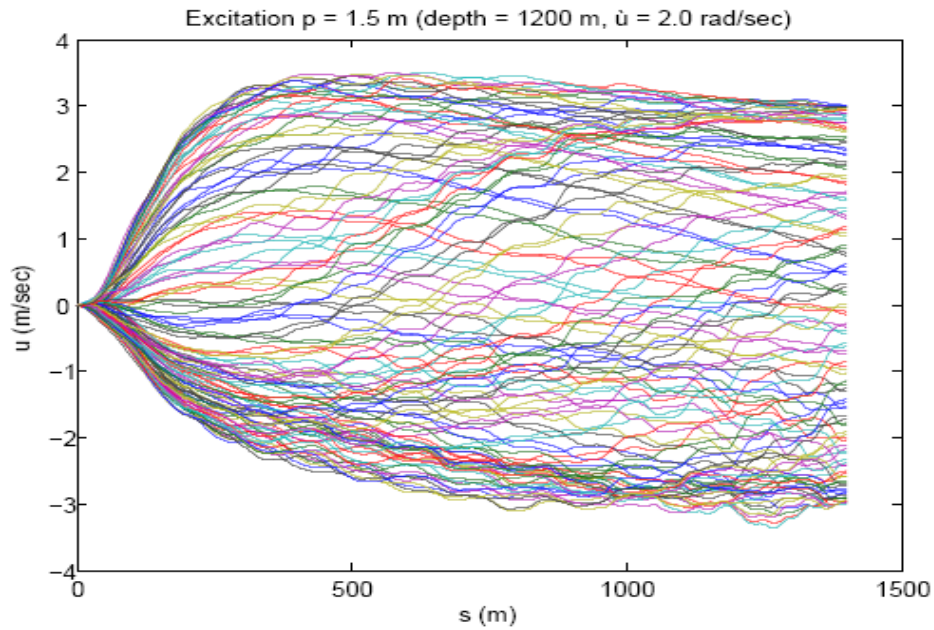


Διάγραμμα 128: Μεταβολή της ολικής τάσης κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $p_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 1200 m).

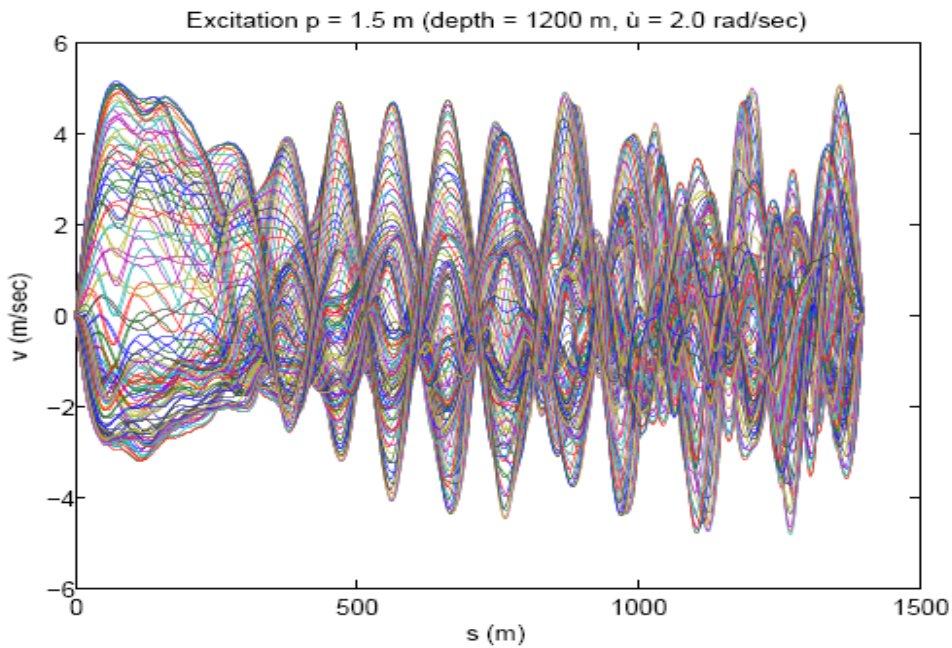


Διάγραμμα 129: Μεταβολή της ολικής καμπτικής ροπής κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $p_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 1200 m).



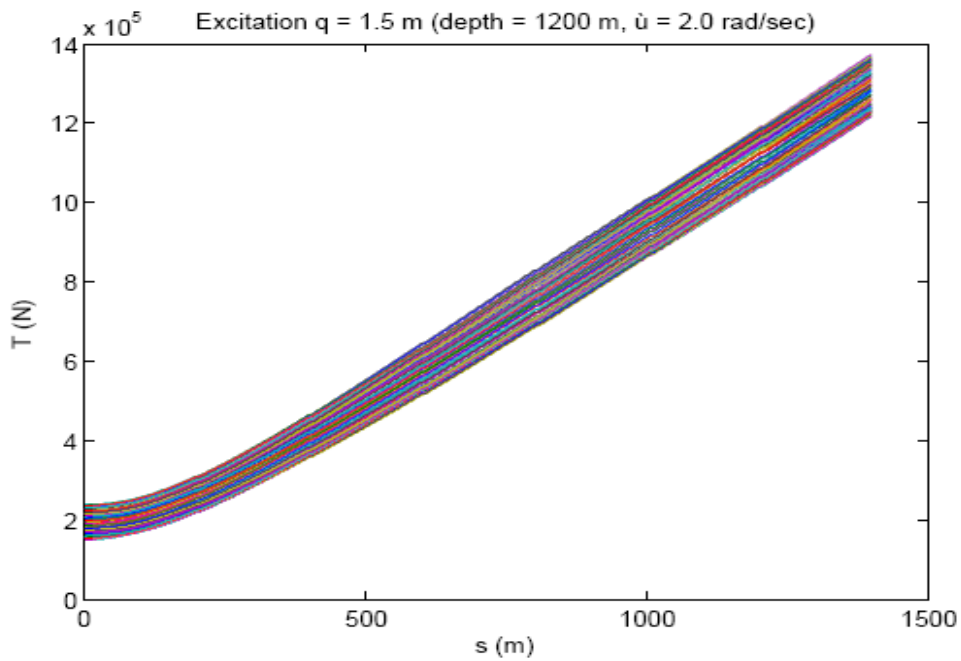


Διάγραμμα 130: Μεταβολή της εφαπτομενικής στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $p_a = 1.5 \text{ m}$ ,  $\omega = 2.0 \text{ rad/sec}$  (βάθος νερού 1200 m).

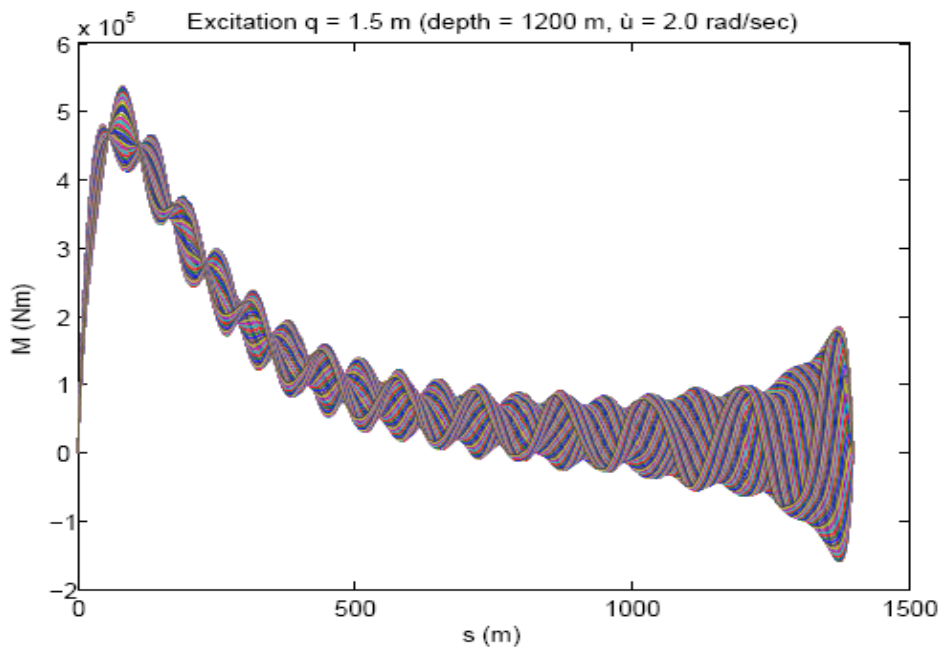


Διάγραμμα 131: Μεταβολή της κάθετης στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $p_a = 1.5 \text{ m}$ ,  $\omega = 2.0 \text{ rad/sec}$  (βάθος νερού 1200 m).

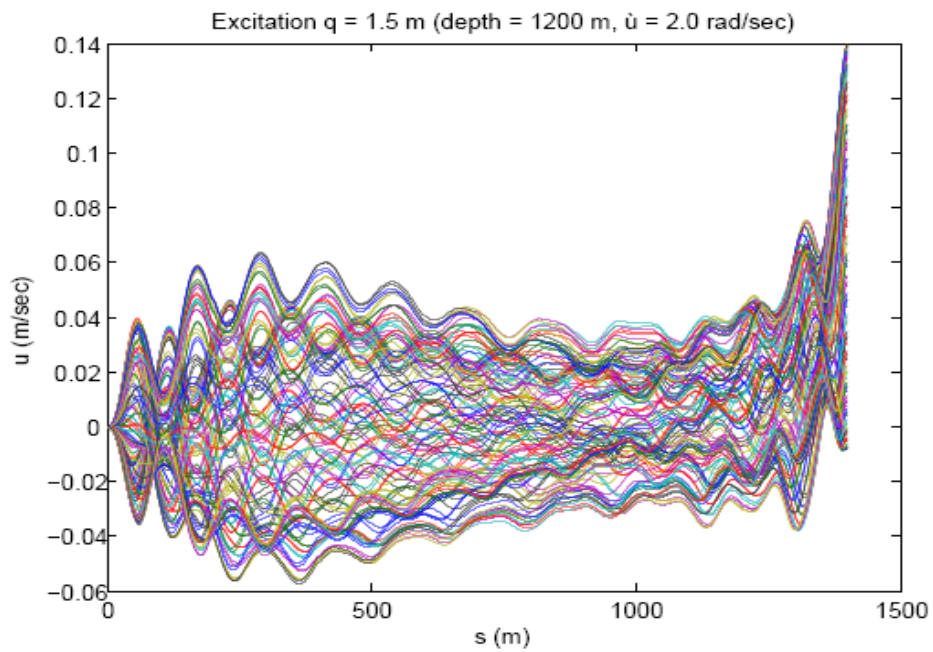
-Διέγερση  $q$



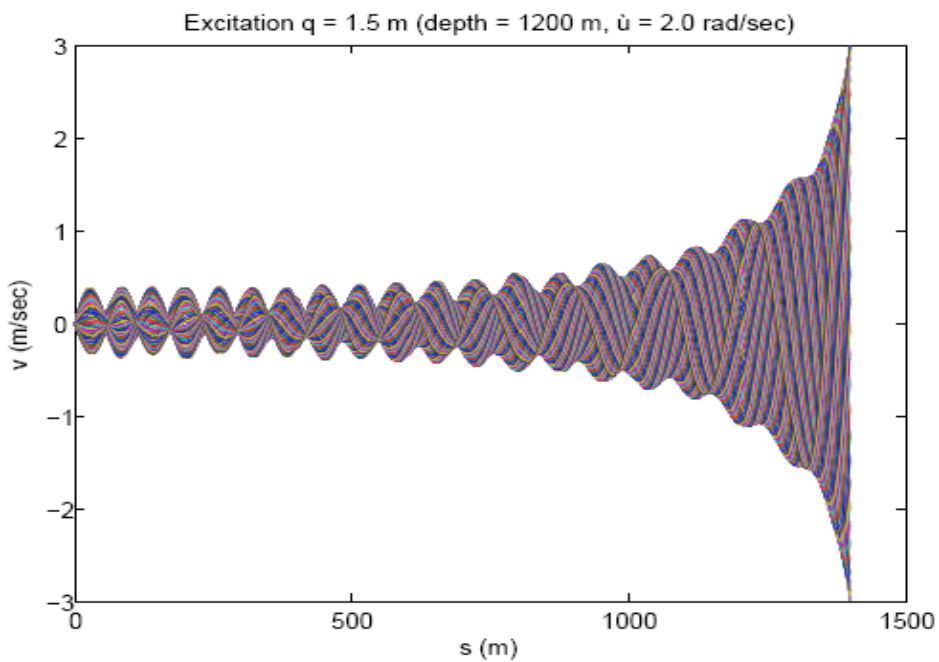
Διάγραμμα 132: Μεταβολή της ολικής τάσης κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $q_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 1200 m).



Διάγραμμα 133: Μεταβολή της ολικής καμπτικής ροπής κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $q_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 1200 m).



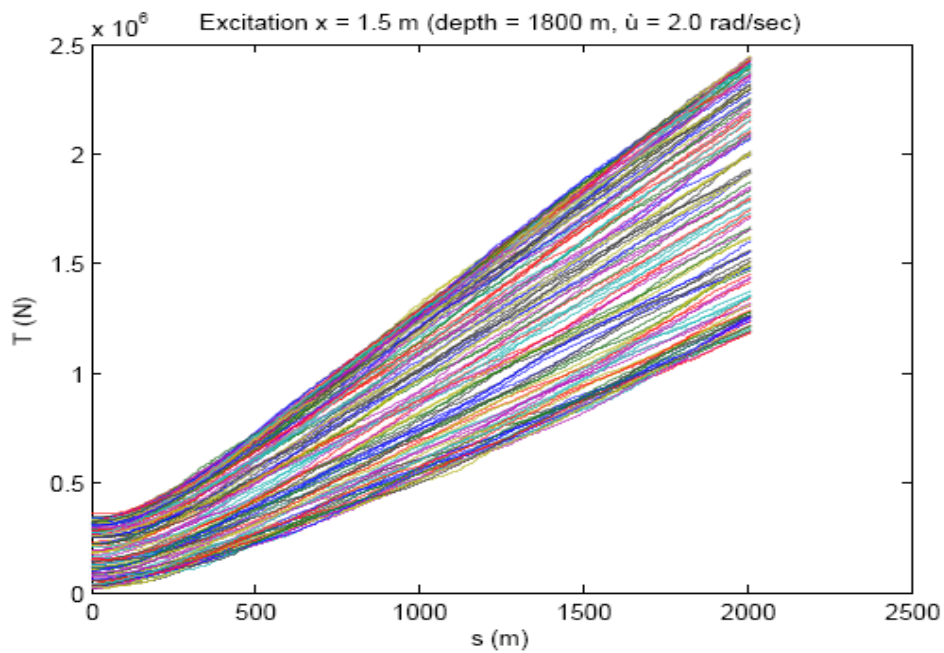
Διάγραμμα 134: Μεταβολή της εφαπτομενικής στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $q_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 1200 m).



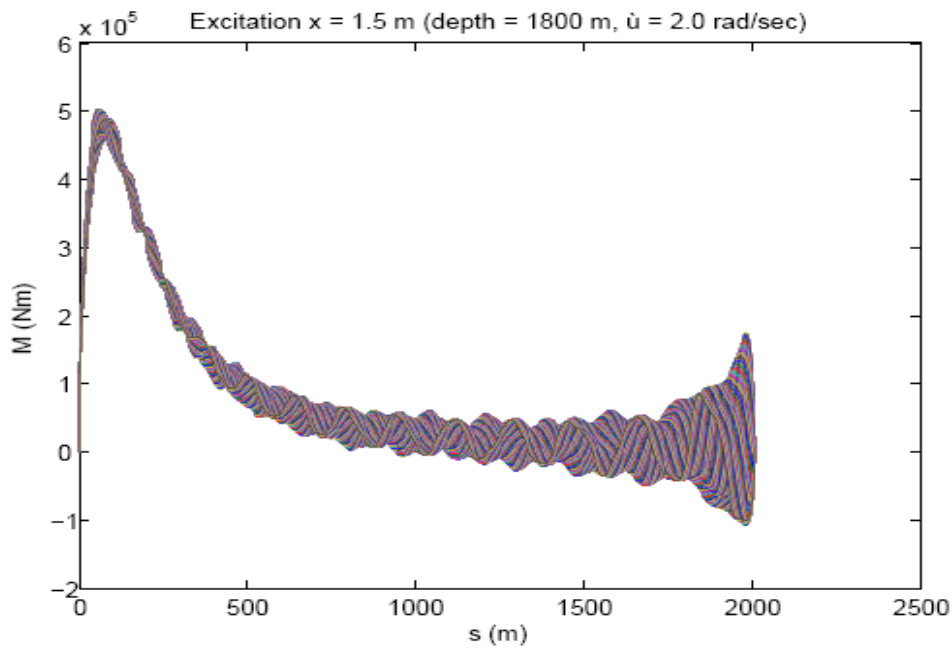
Διάγραμμα 135: Μεταβολή της κάθετης στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $q_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 1200 m).

5. Βάθος νερού 1800 m

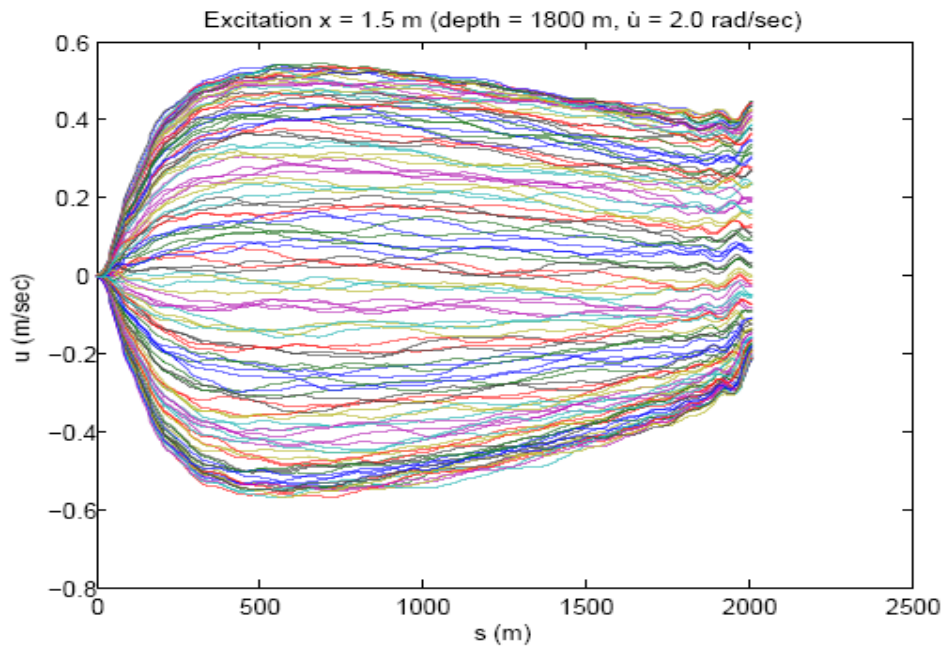
-Διέγερση  $x$



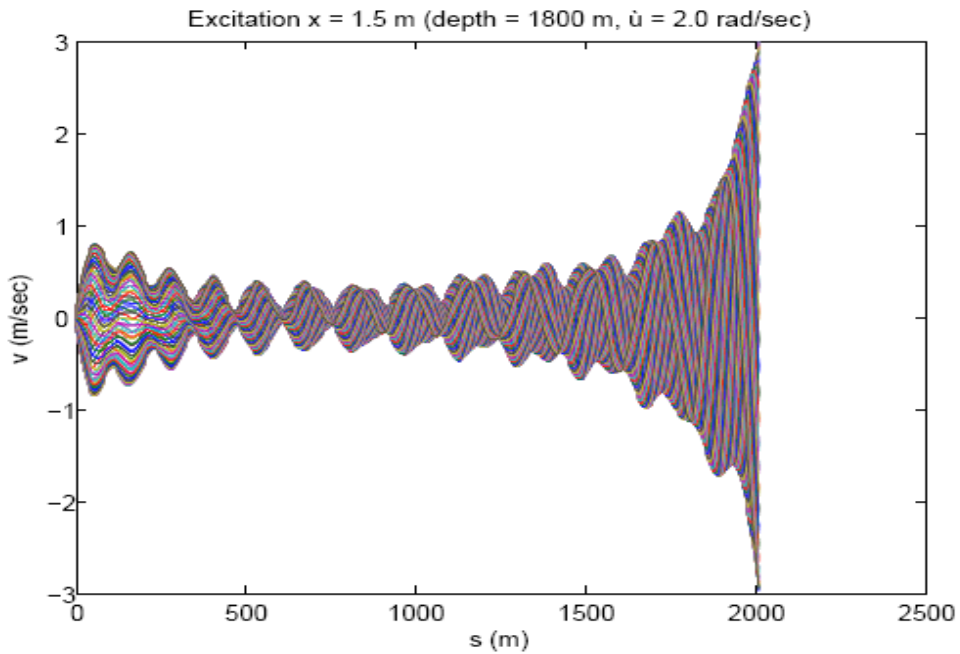
Διάγραμμα 136: Μεταβολή της ολικής τάσης κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $x_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 1800 m).



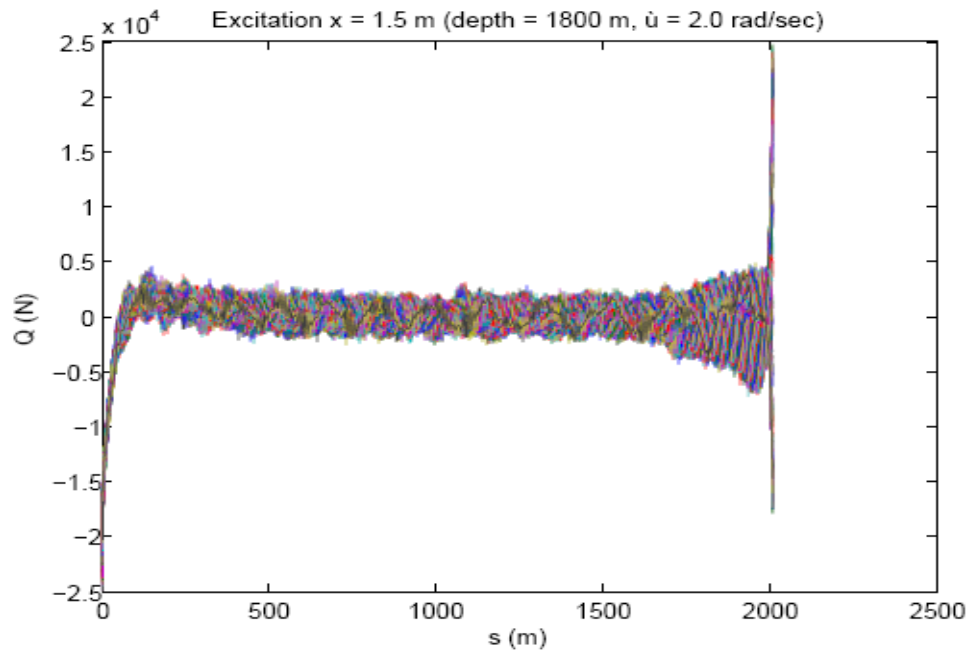
Διάγραμμα 137: Μεταβολή της ολικής καμπτικής ροπής κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $x_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 1800 m).



Διάγραμμα 138: Μεταβολή της εφαπτομενικής στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $x_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 1800 m).

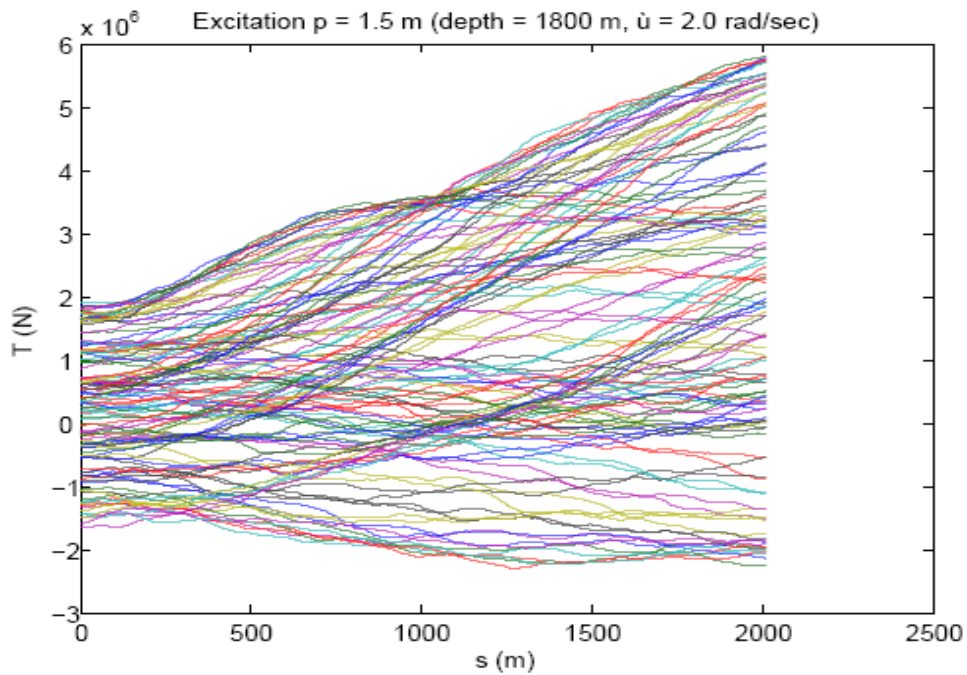


Διάγραμμα 139: Μεταβολή της κάθετης στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $x_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 1800 m).

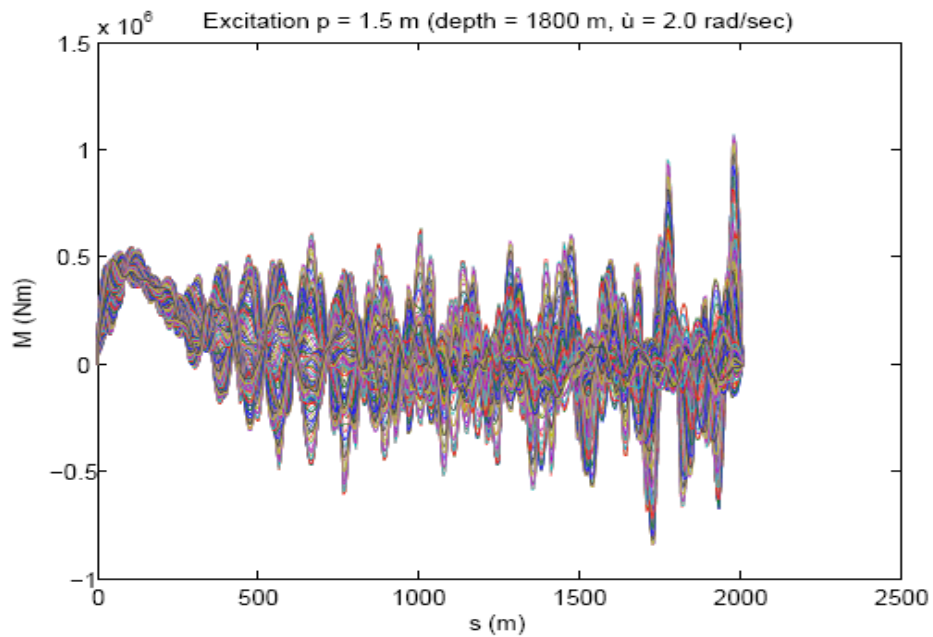


Διάγραμμα 140: Μεταβολή της ολικής διατμητικής δύναμης κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $x_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 1800 m).

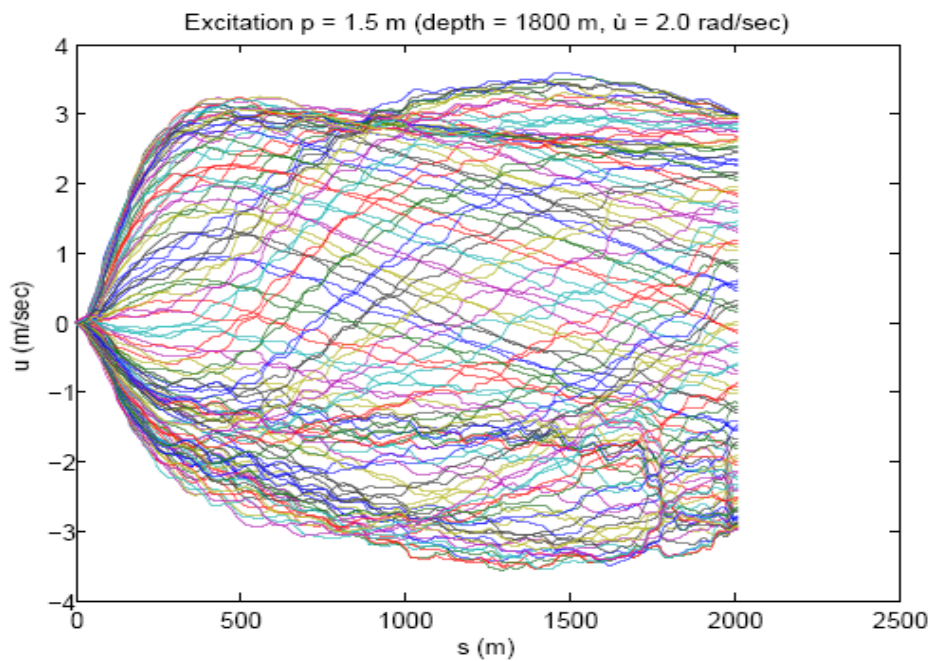
-Διέγερση  $p$



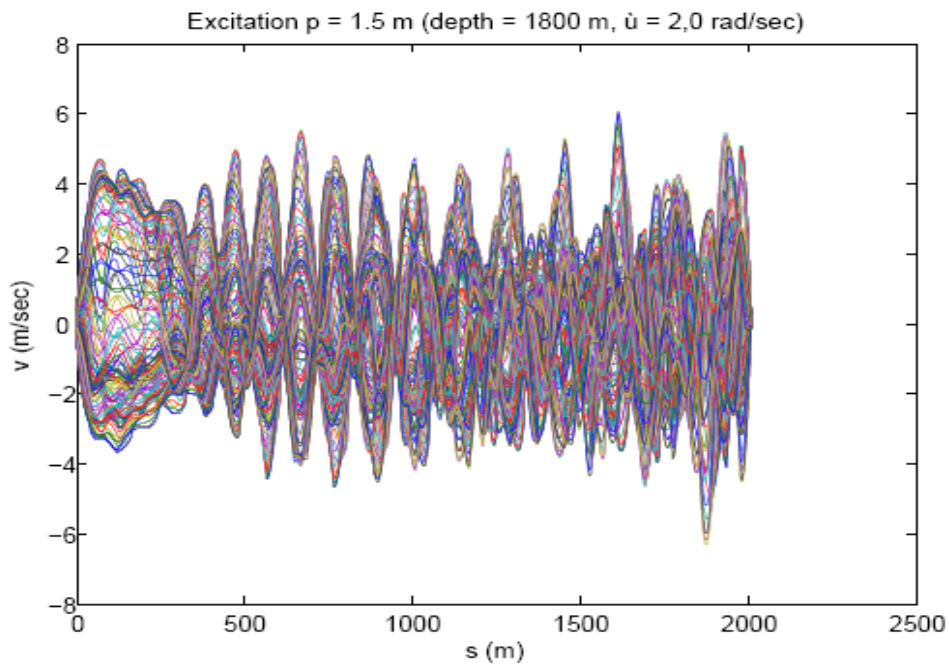
Διάγραμμα 141: Μεταβολή της ολικής τάσης κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $p_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 1800 m).



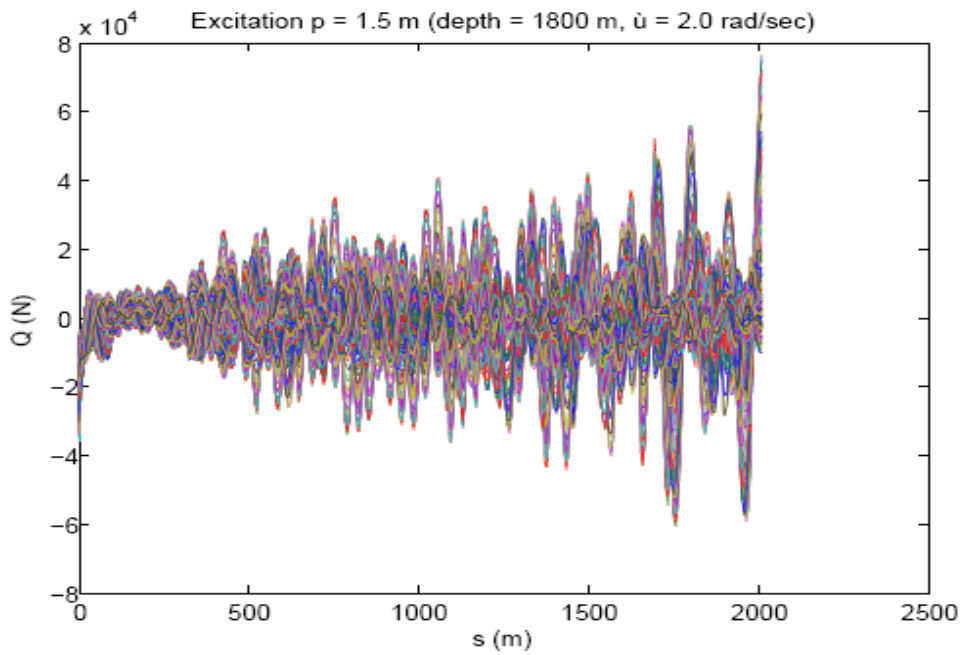
Διάγραμμα 142: Μεταβολή της ολικής καμπτικής ροπής κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $p_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 1800 m).



Διάγραμμα 143: Μεταβολή της εφαπτομενικής στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $p_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 1800 m).



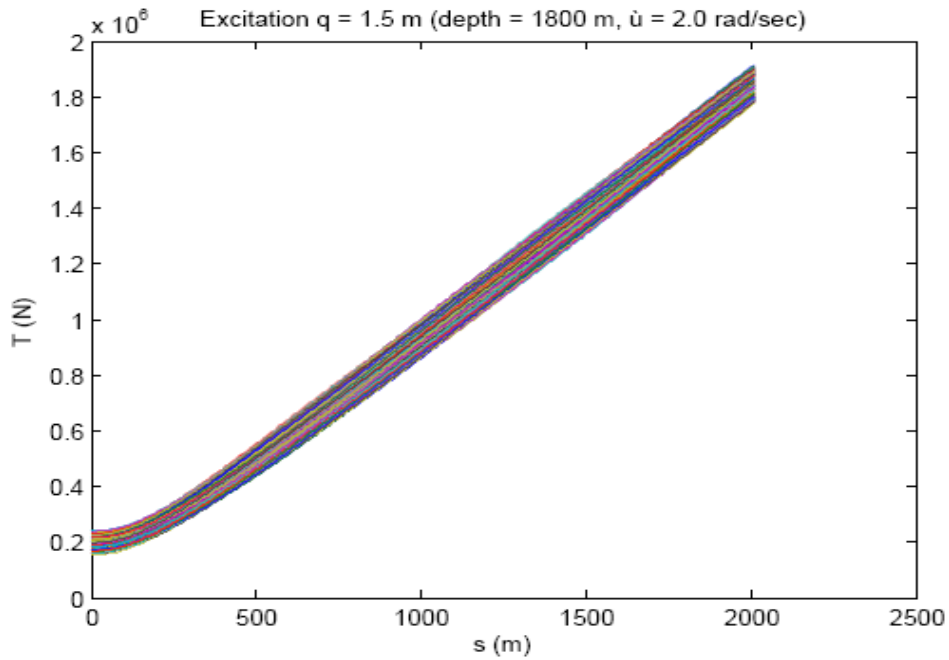
Διάγραμμα 144: Μεταβολή της κάθετης στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $p_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 1800 m).



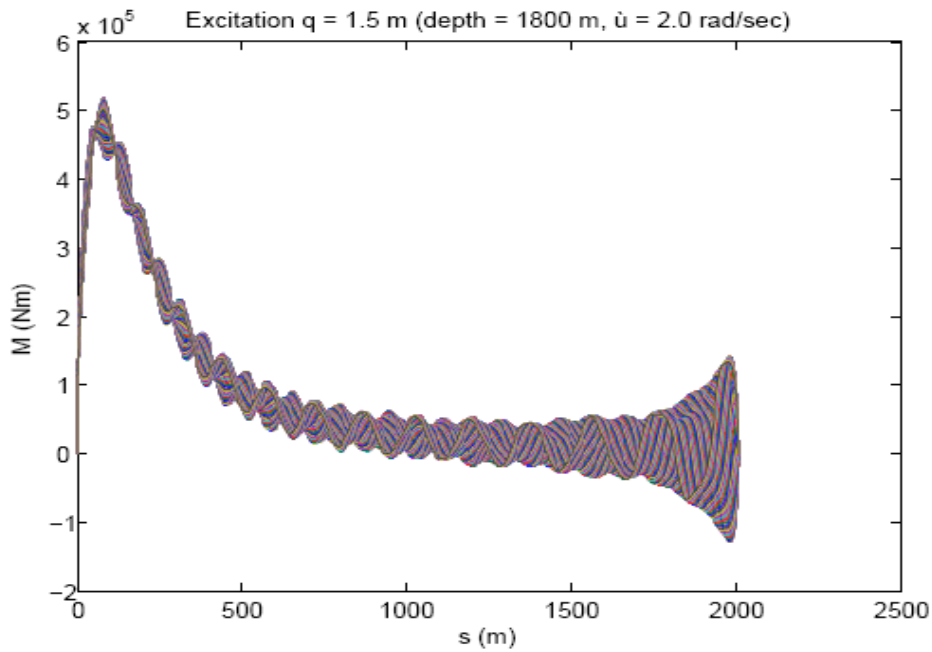
Διάγραμμα 145: Μεταβολή της ολικής διατμητικής δύναμης κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $p_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 1800 m).



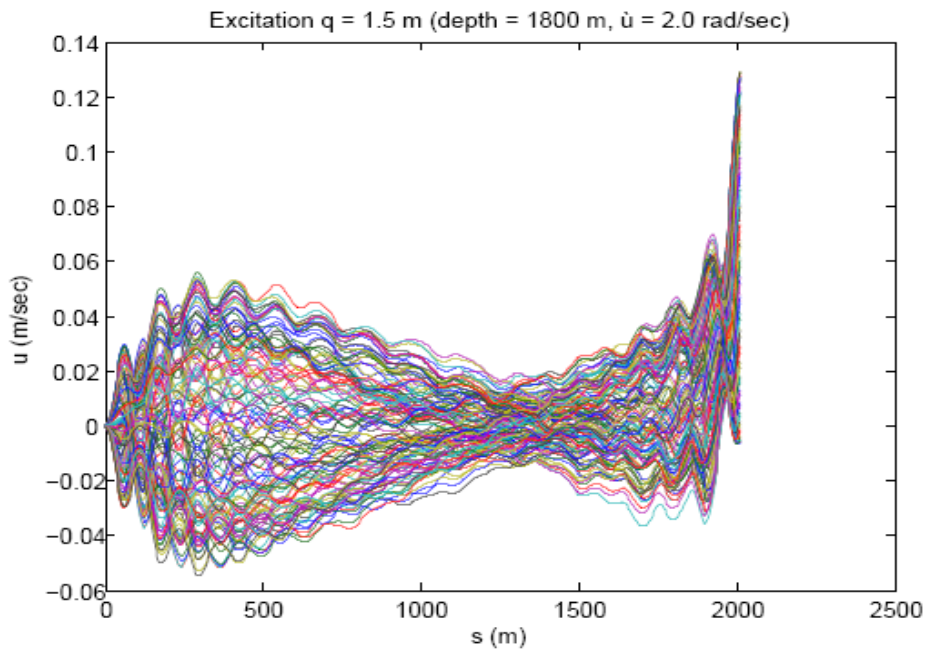
-Διέγερση  $q$



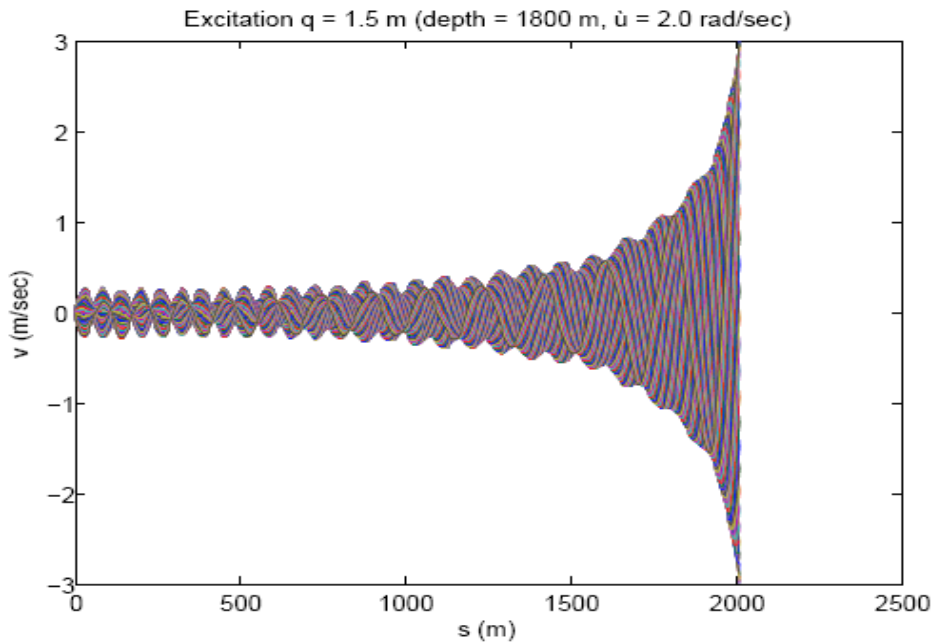
Διάγραμμα 146: Μεταβολή της ολικής τάσης κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $q_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 1800 m).



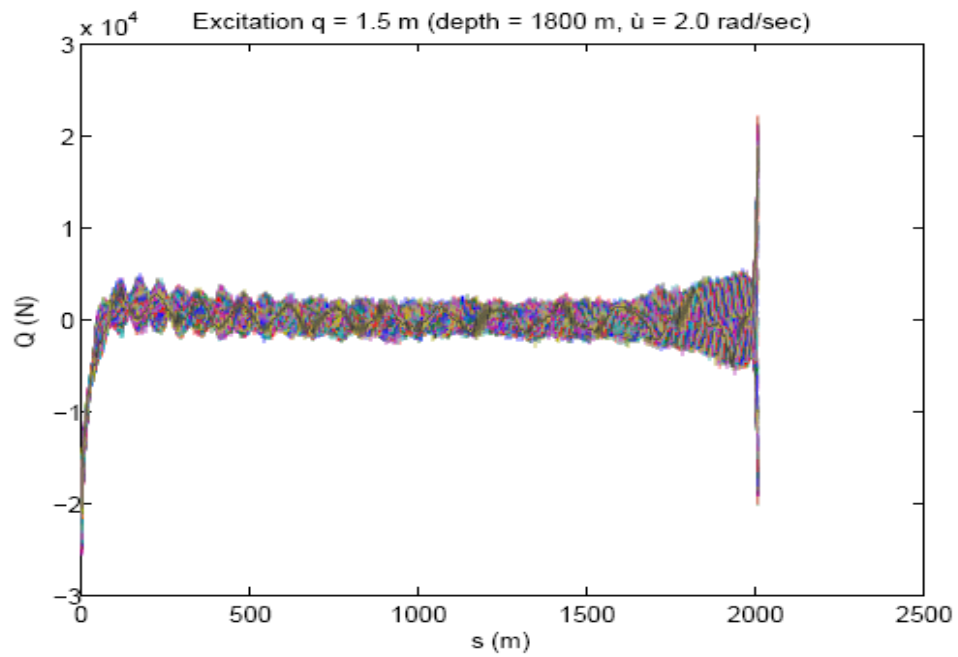
Διάγραμμα 147: Μεταβολή της ολικής καμπτικής ροπής κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $q_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 1800 m).



Διάγραμμα 148: Μεταβολή της εφαπτομενικής στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $q_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 1800 m).

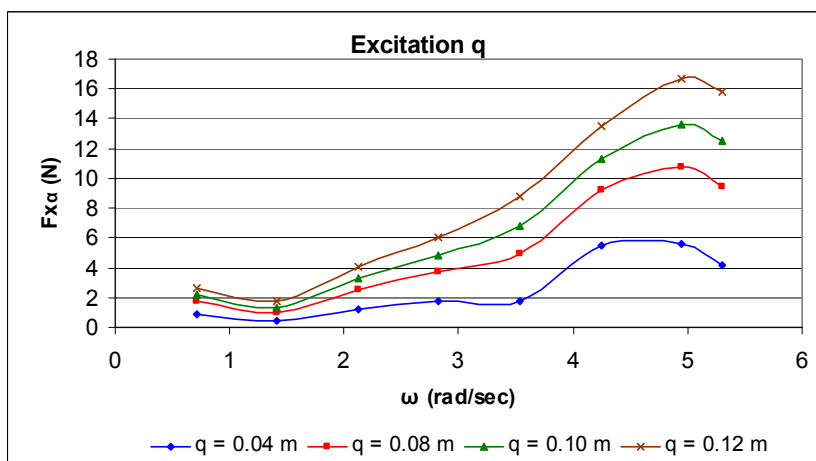
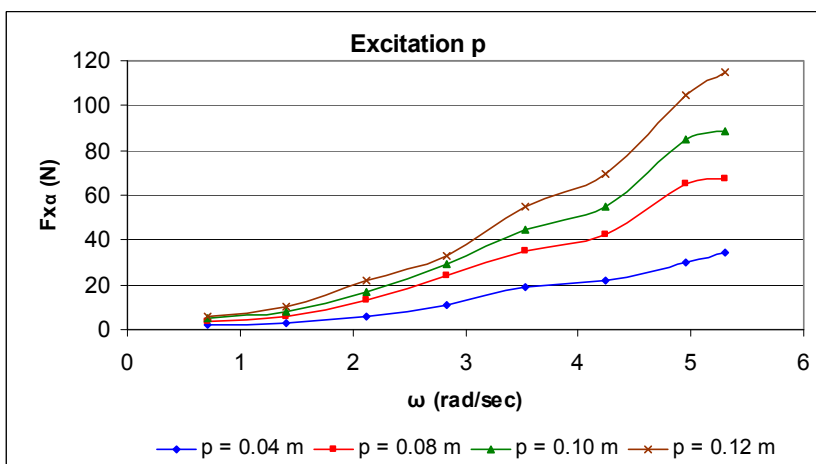
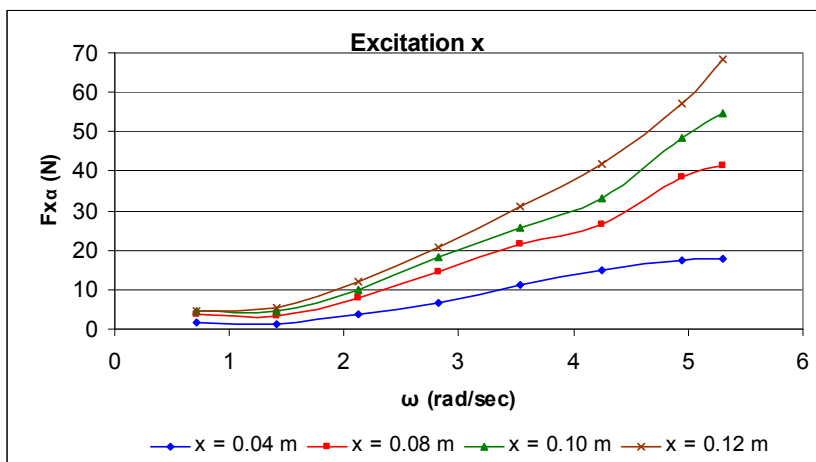


Διάγραμμα 149: Μεταβολή της κάθετης στο riser ταχύτητας κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $q_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 1800 m).

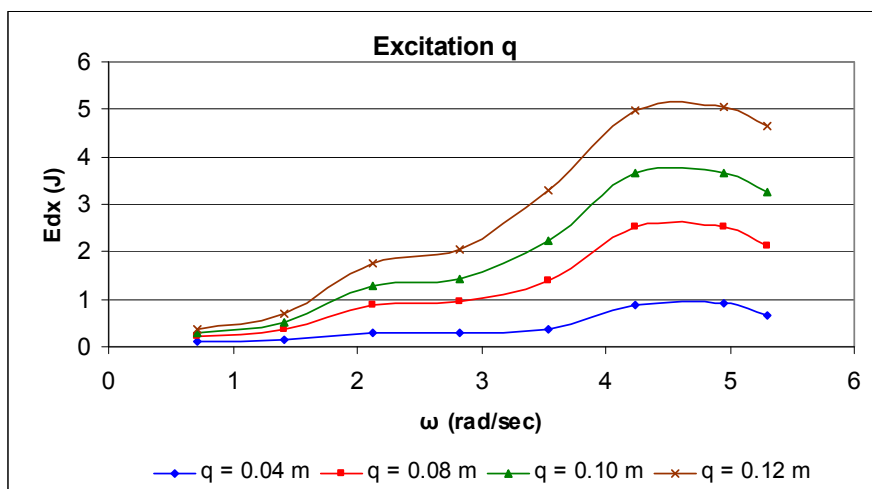
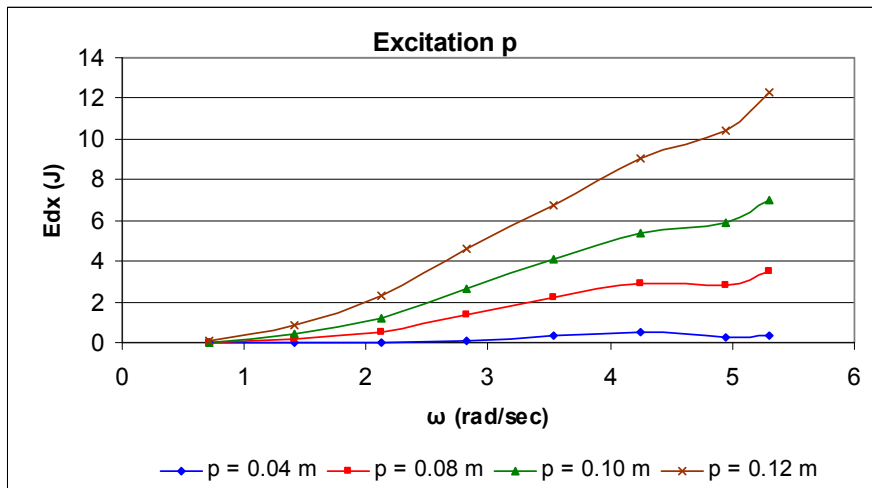
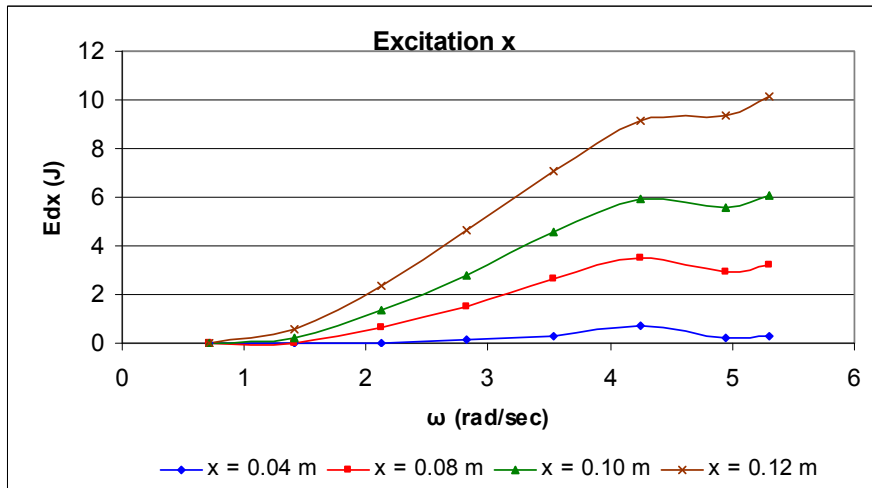


Διάγραμμα 150: Μεταβολή της ολικής διατμητικής δύναμης κατά μήκος του ανυψωμένου μήκους του riser για χρονικό διάστημα δύο περίπου περιόδων,  $q_a = 1.5$  m,  $\omega = 2.0$  rad/sec (βάθος νερού 1800 m).

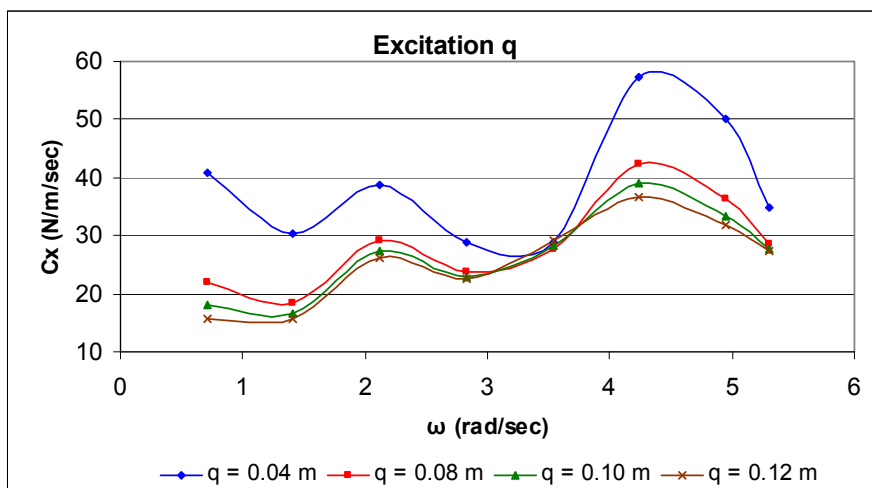
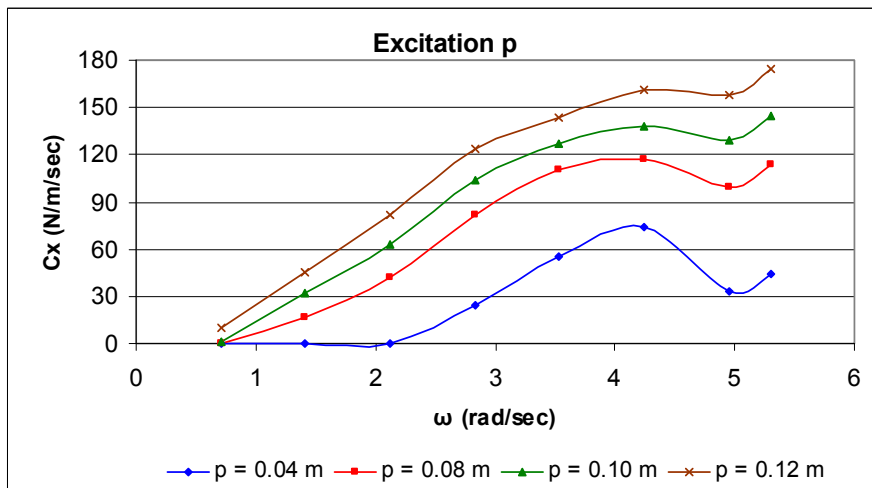
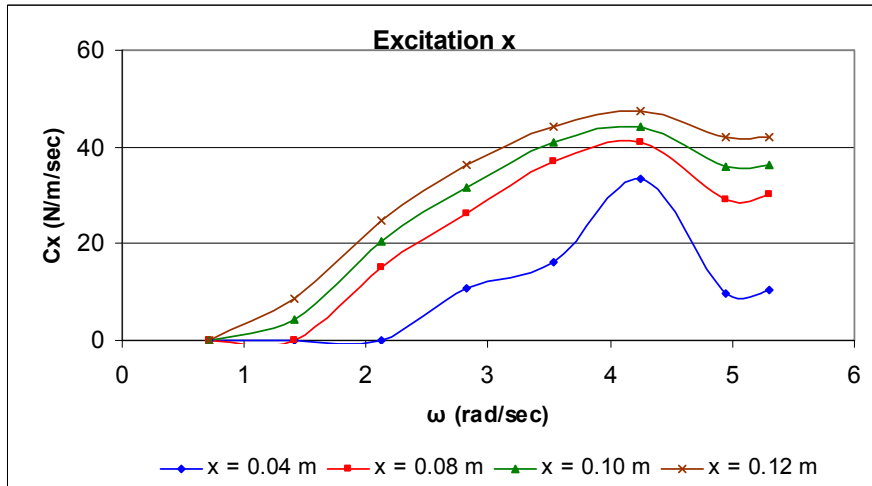
-Πειραματικό μοντέλο



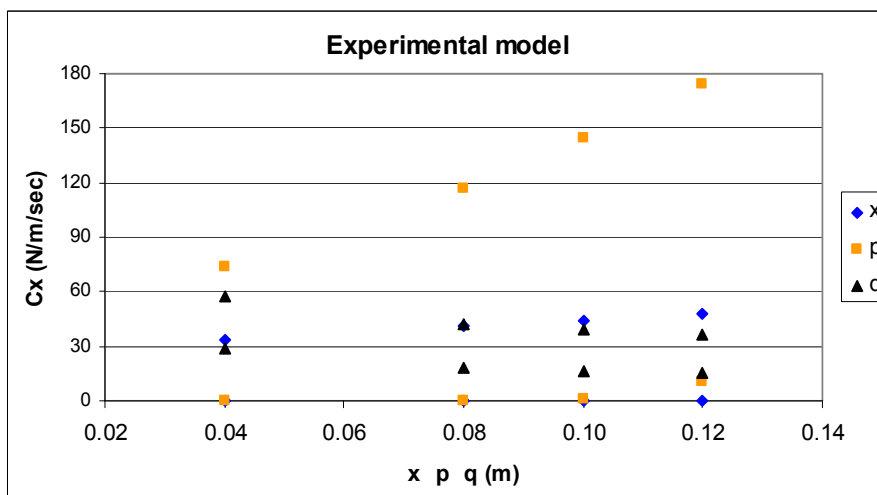
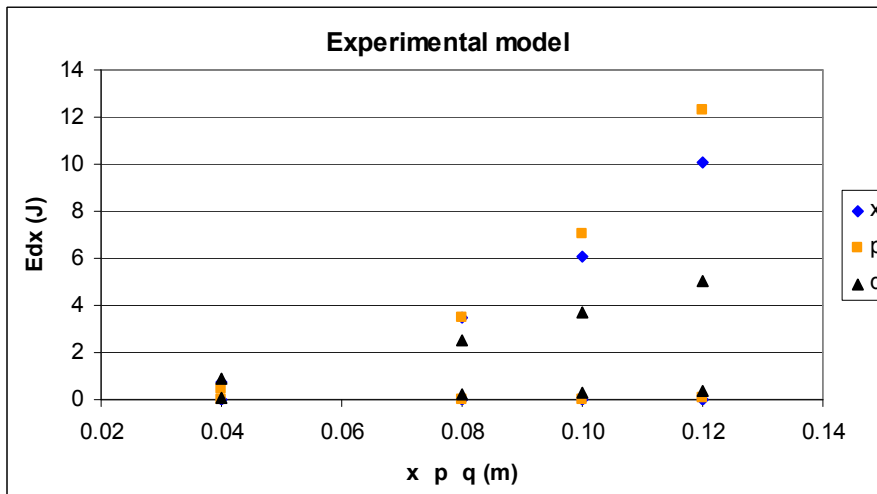
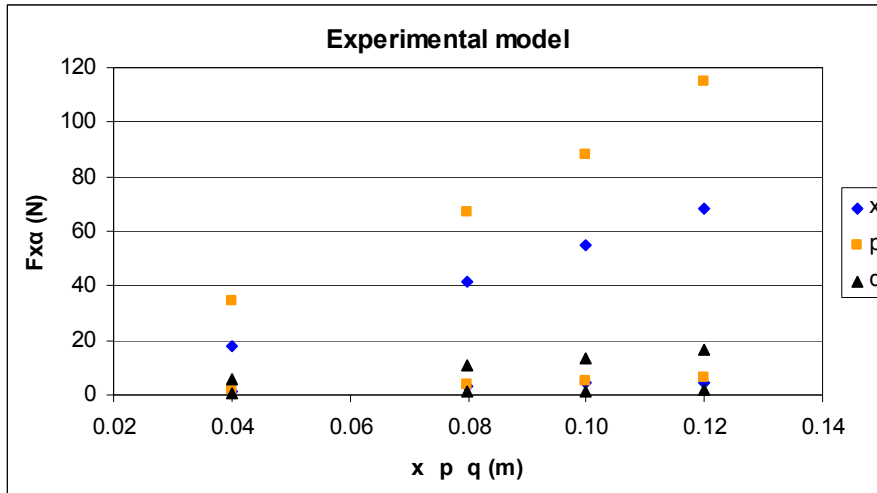
Διάγραμμα 151: Συγκριτικά αποτελέσματα διεγέρσεων  $x$   $p$   $q$ . Μέγιστες αποκλίσεις της δυναμικής συνιστώσας κατά  $x$  της τάσης που εφαρμόζεται στην κορυφή από τη στατική τάση για διάφορες συχνότητες και πλάτη διεγέρσης σε μια περίοδο (πειραματικό μοντέλο).



Διάγραμμα 152: Συγκριτικά αποτελέσματα διεγέρσεων  $x$   $p$   $q$ . Ενέργεια διάχυσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης σε μια περίοδο (πειραματικό μοντέλο).

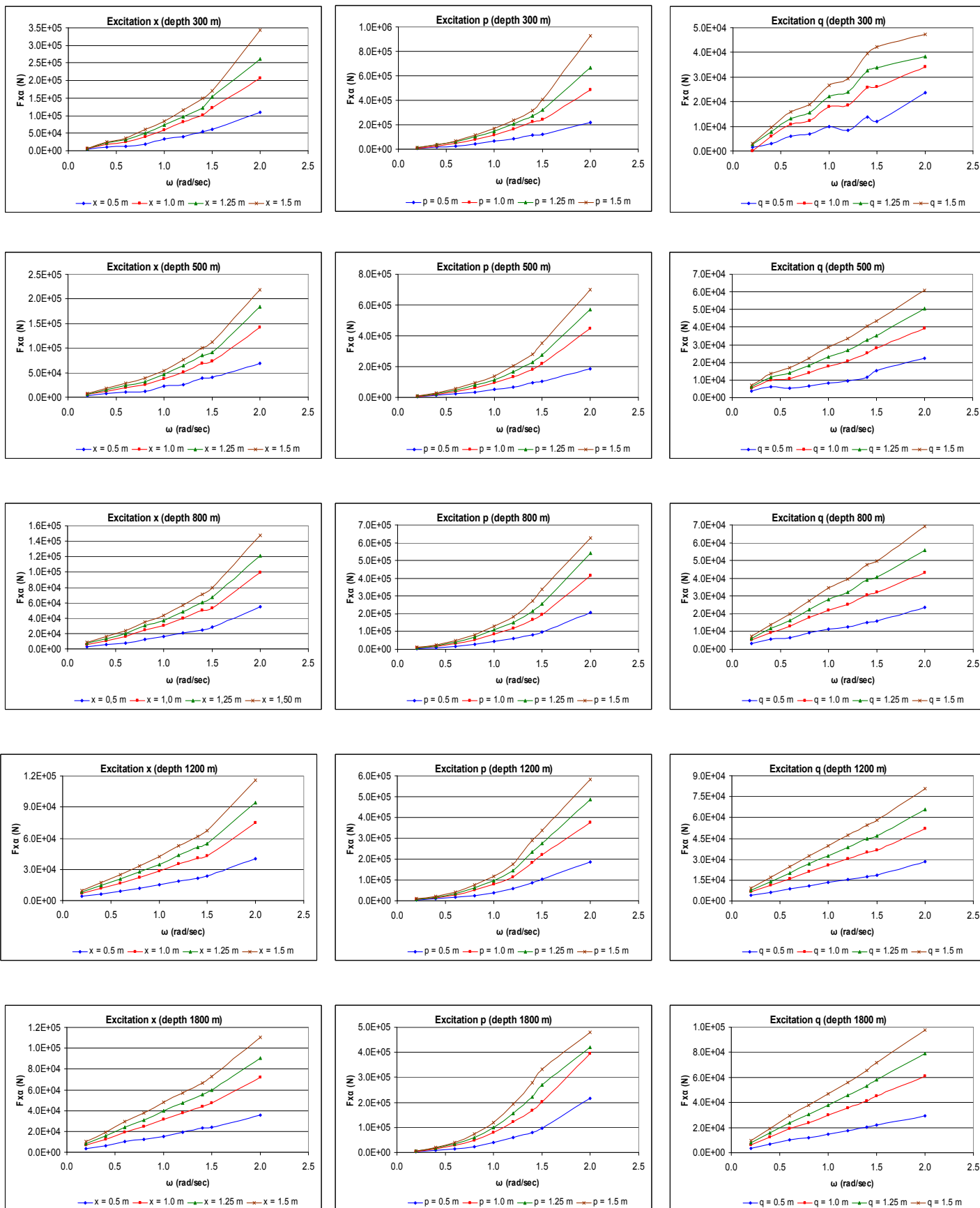


Διάγραμμα 153: Συγκριτικά αποτελέσματα διεγέρσεων  $x$   $p$   $q$ . Γραμμικοποιημένος συντελεστής απόσβεσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης σε μια περίοδο (πειραματικό μοντέλο).



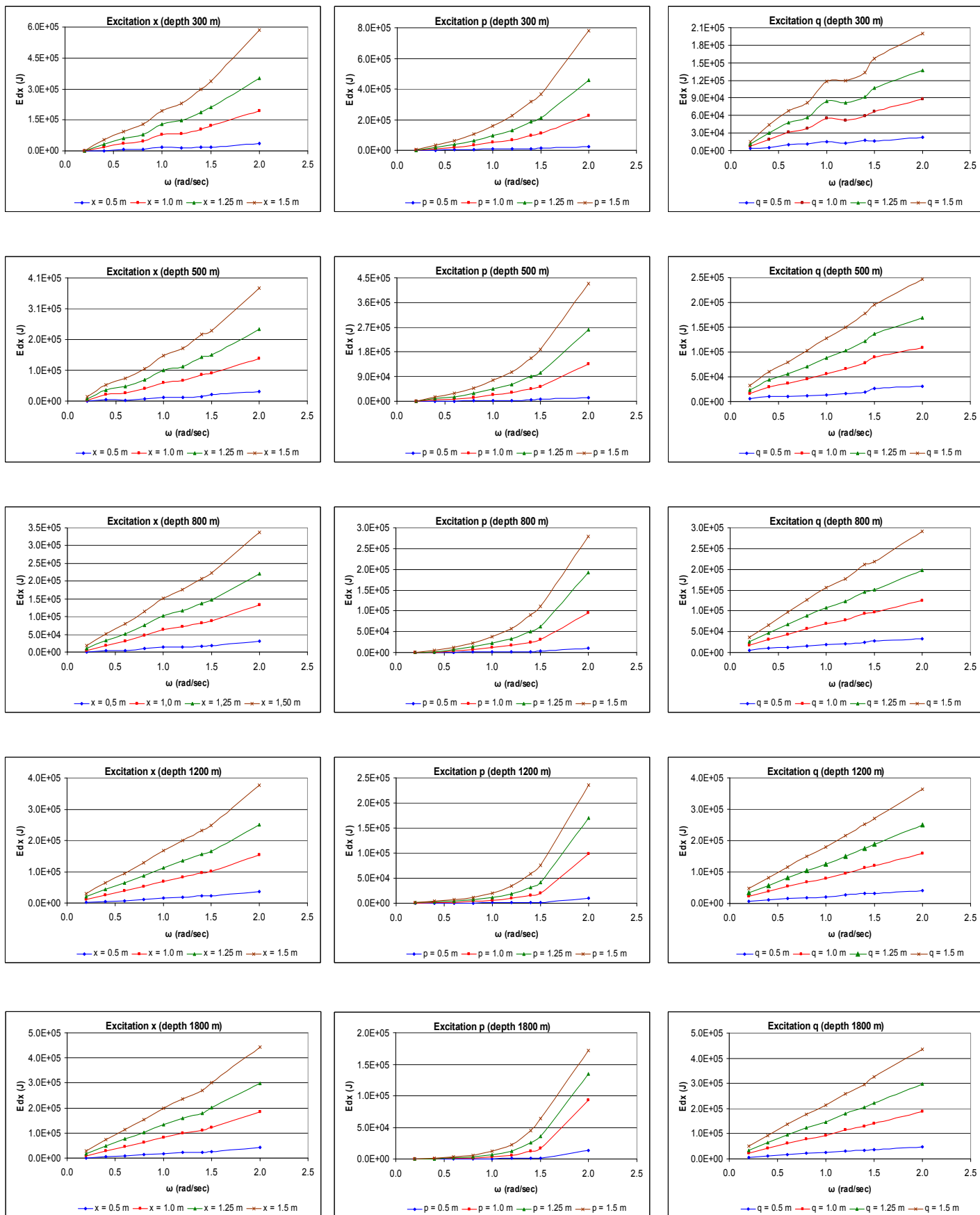
Διάγραμμα 154: Συγκριτικά αποτελέσματα διεγέρσεων  $x$   $p$   $q$ . Μέγιστες και ελάχιστες τιμές για όλα τα πλάτη διεγέρσης της μέγιστης απόκλισης της δυναμικής συνιστώσας της τάσης, της ενέργειας διάχυσης και του γραμμικοποιημένου συντελεστή απόσβεσης κατά  $x$  σε μια περίοδο (πειραματικό μοντέλο).

-Πραγματικά μοντέλα

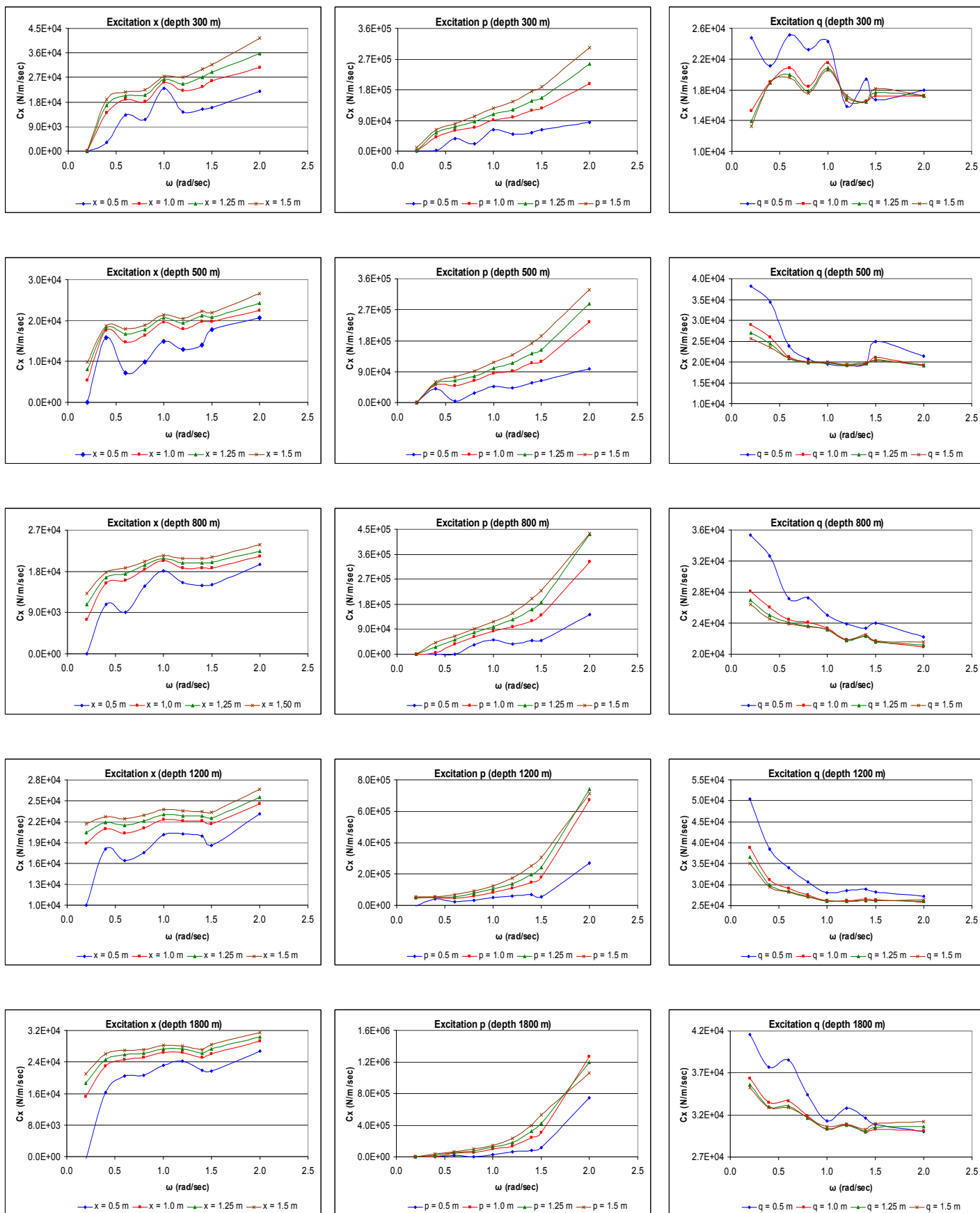


Διάγραμμα 155: Συγκριτικά αποτελέσματα διεγέρσεων  $x$   $p$   $q$ . Μέγιστες αποκλίσεις της δυναμικής συνιστώσας κατά  $x$  της τάσης που εφαρμόζεται στην κορυφή από τη στατική τάση για διάφορες συχνότητες, πλάτη διέγερσης και βάθη νερού σε μια περίοδο (πραγματικά μοντέλα).

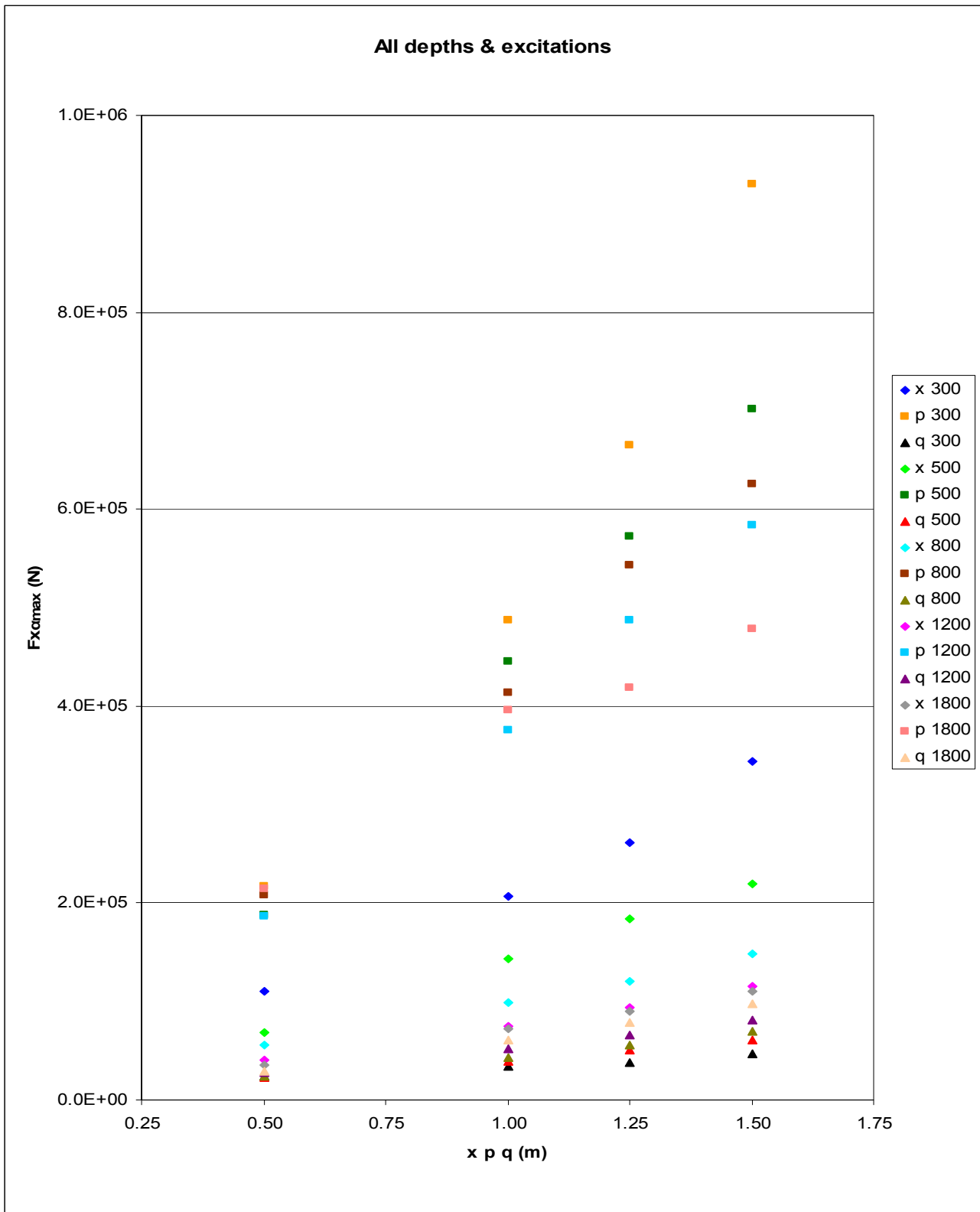




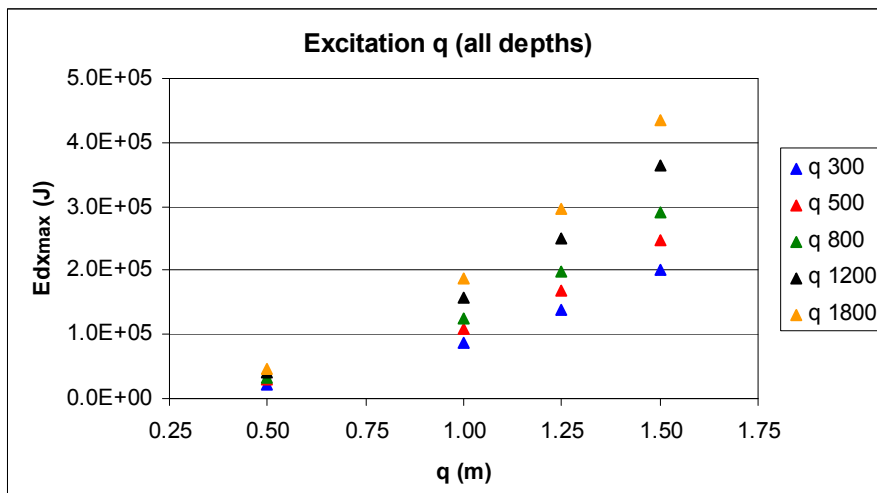
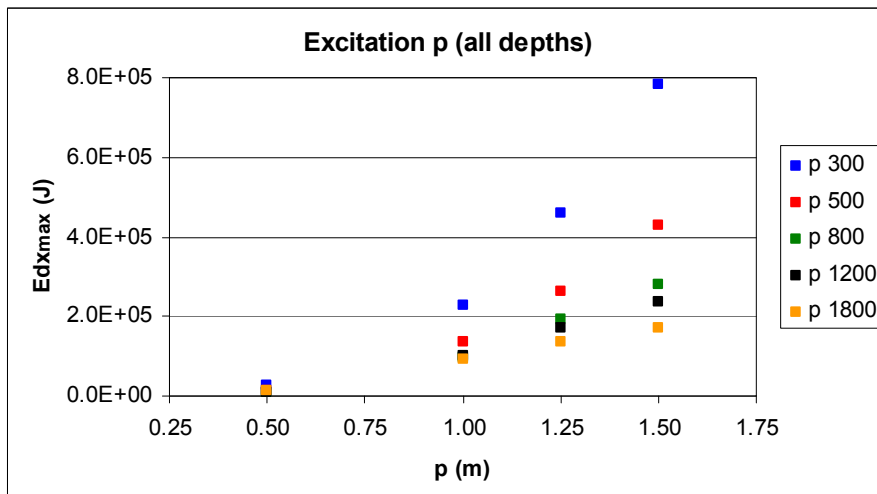
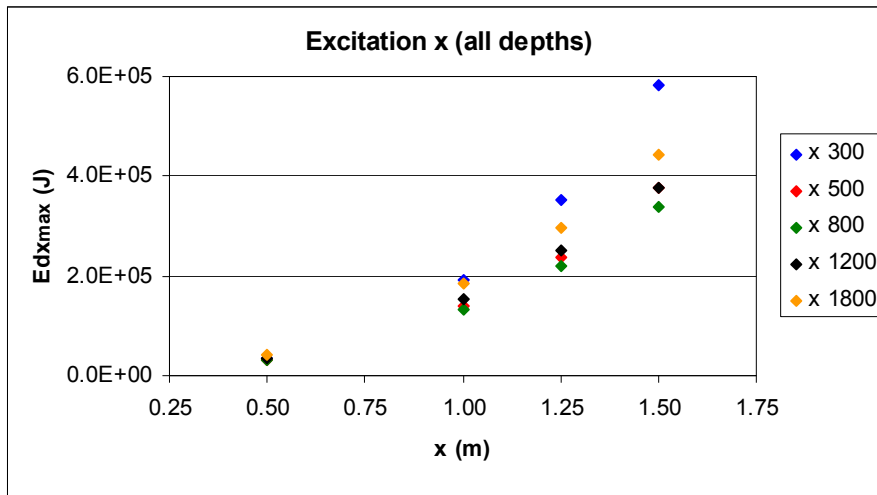
Διάγραμμα 156: Συγκριτικά αποτελέσματα διεγέρσεων  $x$   $p$   $q$ . Ενέργεια διάχυσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες, πλάτη διεγέρσης και βάθη νερού σε μια περίοδο (πραγματικά μοντέλα).



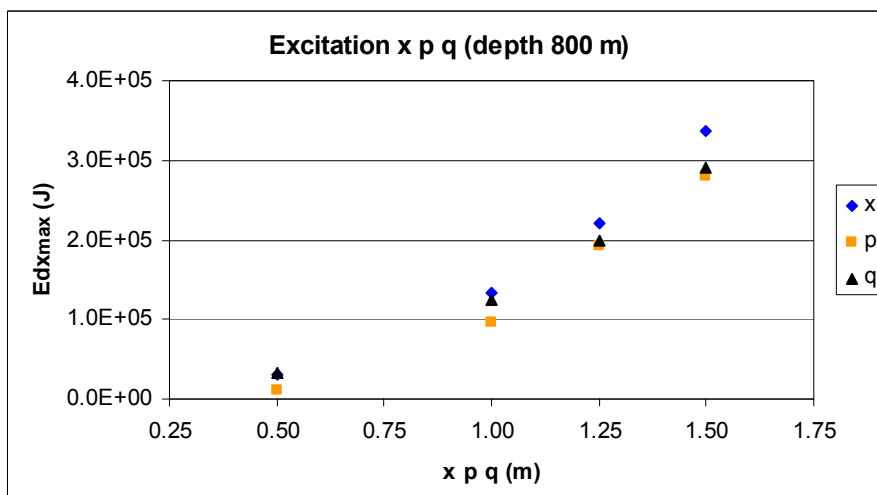
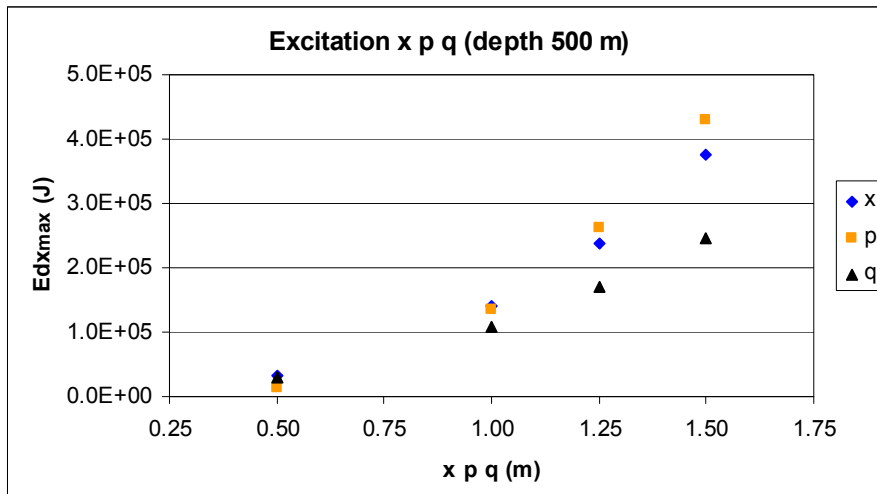
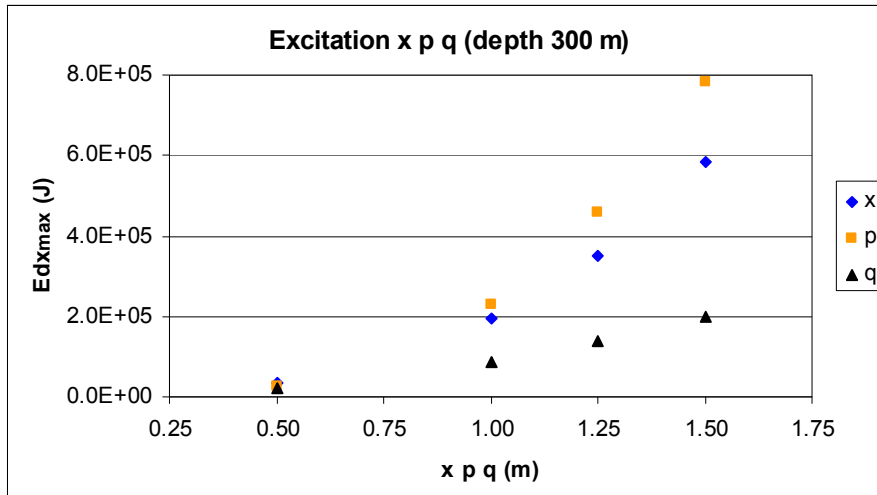
Διάγραμμα 157: Συγκριτικά αποτελέσματα διεγέρσεων  $x$   $p$   $q$ . Γραμμικοποιημένος συντελεστής απόσβεσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες, πλάτη διέγερσης και βάθη νερού σε μια περίοδο (πραγματικά μοντέλα).

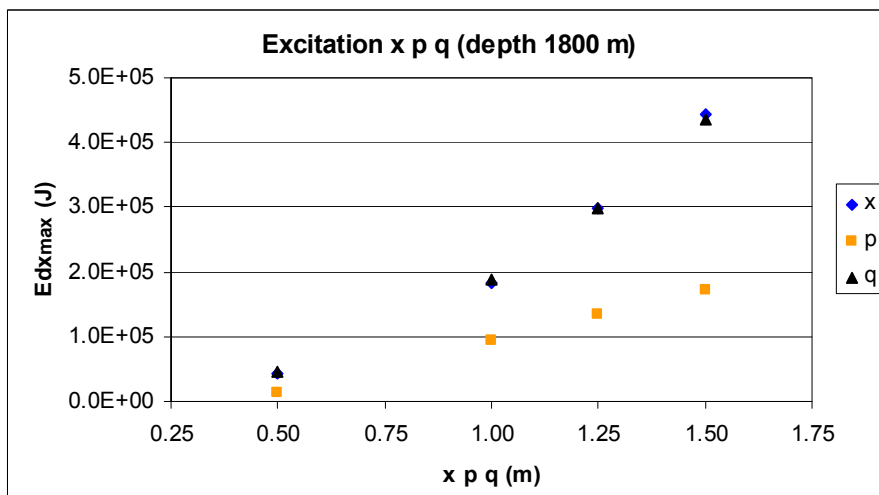
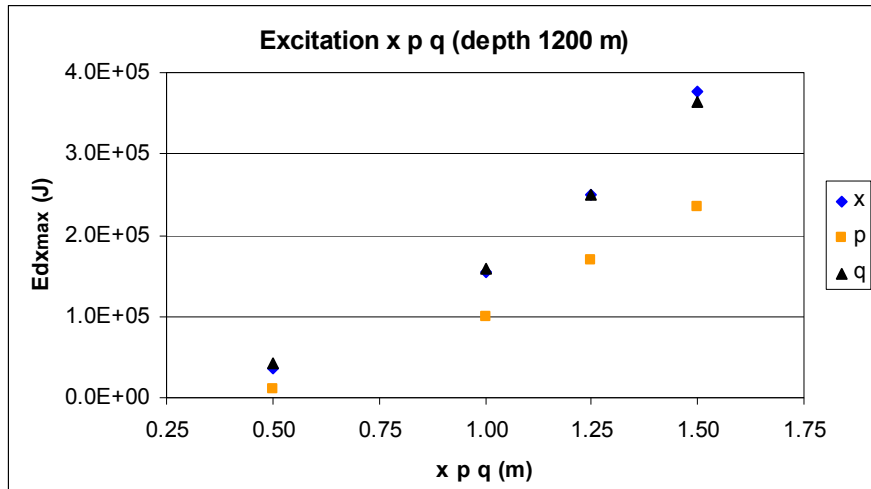


Διάγραμμα 158: Συγκριτικά αποτελέσματα διεγέρσεων  $x p q$  και βάθους νερού. Μέγιστες τιμές για όλα τα πλάτη διεγέρσης και βάθη νερού της μέγιστης απόκλισης της δυναμικής συνιστώσας της τάσης κατά  $x$  σε μια περίοδο (πραγματικά μοντέλα).

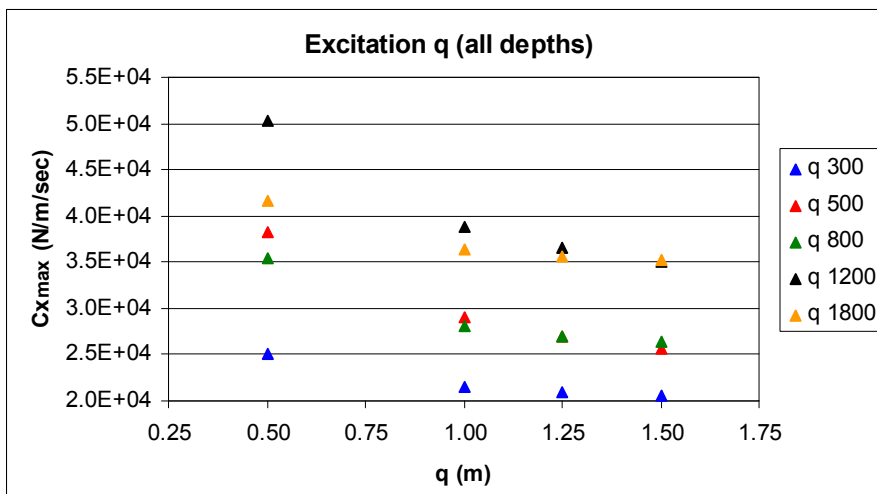
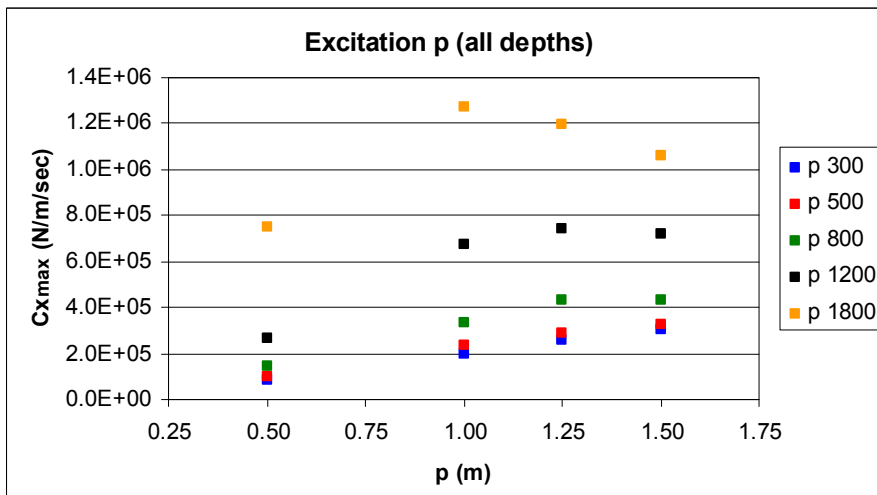
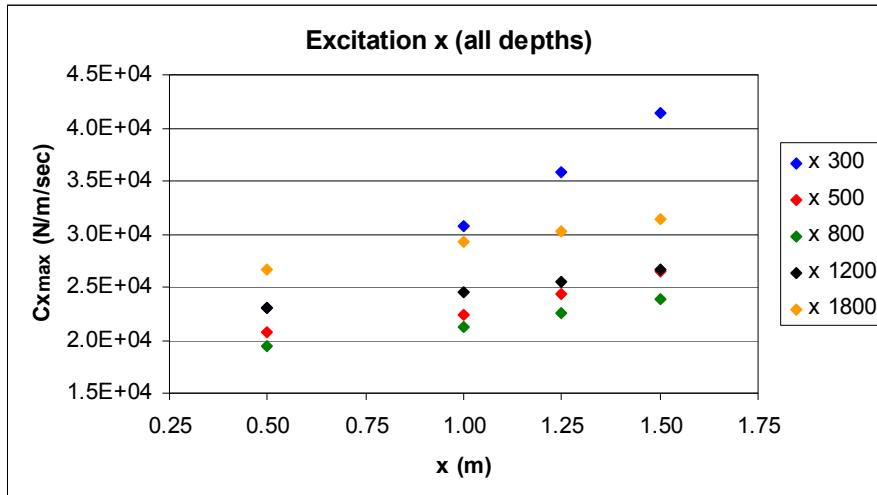


Διάγραμμα 159: Συγκριτικά αποτελέσματα για διάφορα βάθη νερού. Μέγιστες τιμές για κάθε διέγερση ξεχωριστά, για όλα τα πλάτη διέγερσης και βάθη νερού της ενέργειας διάχυσης κατά x σε μια περίοδο (πραγματικά μοντέλα).

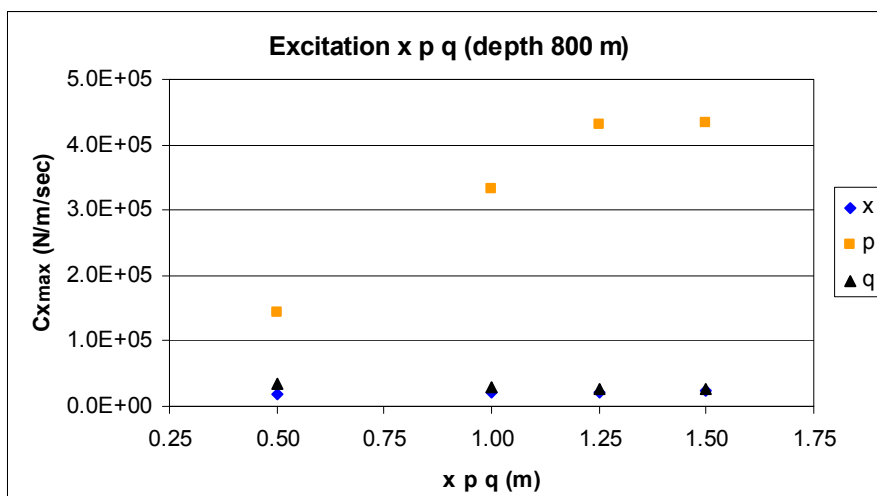
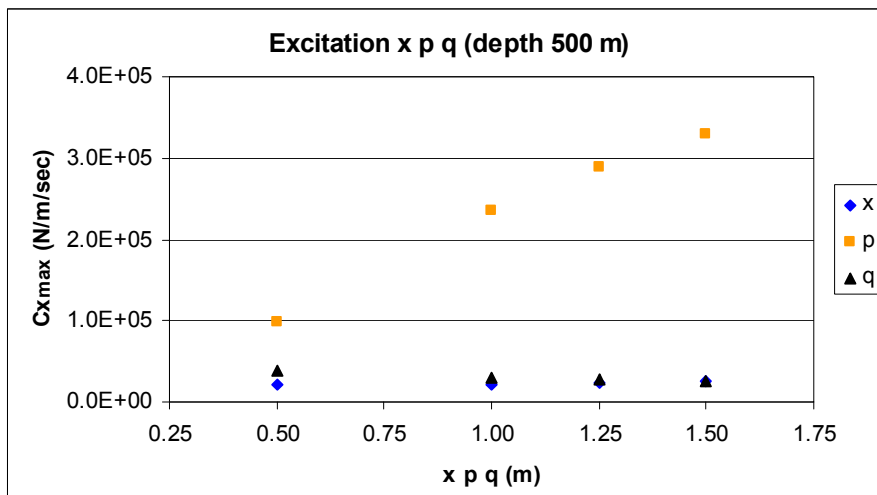
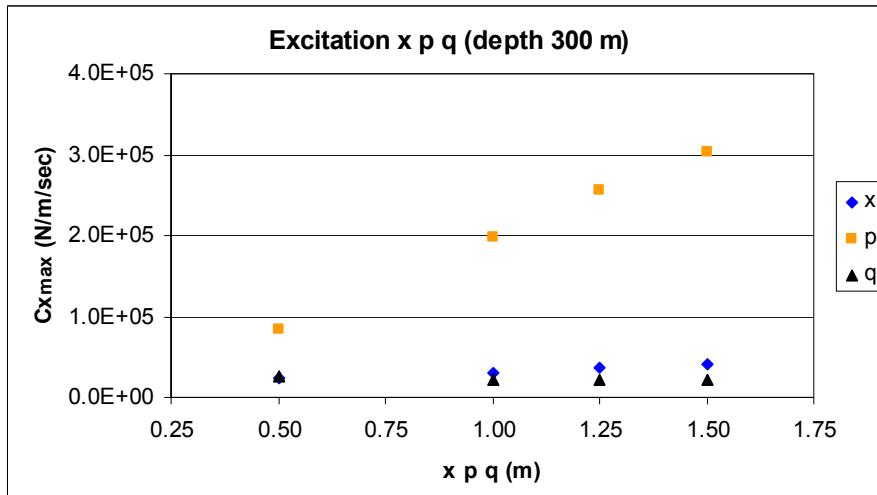




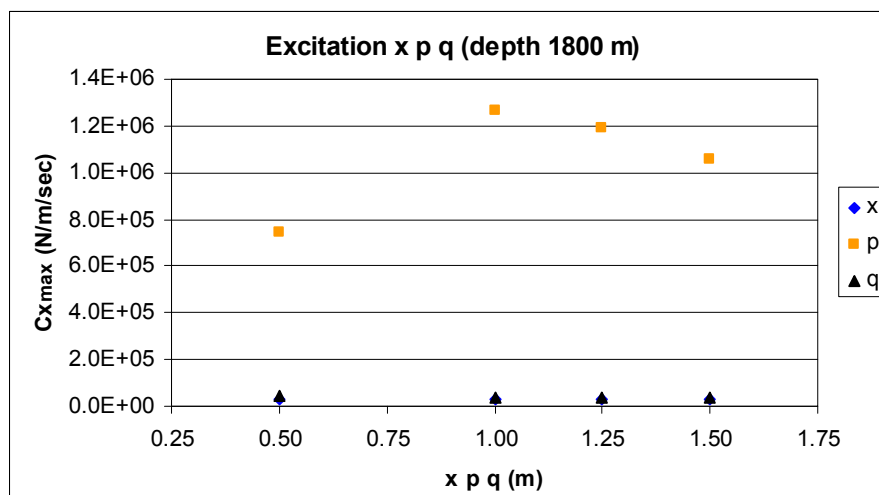
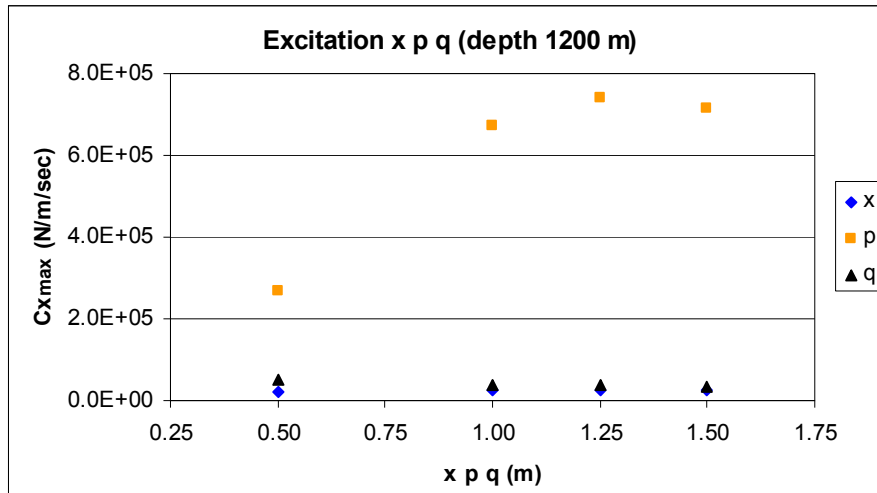
Διάγραμμα 160: Συγκριτικά αποτελέσματα διεγέρσεων  $x$   $p$   $q$ . Μέγιστες τιμές για κάθε βάθος νερού ξεχωριστά, για όλες τις διεγέρσεις και τα πλάτη διέγερσης της ενέργειας διάχυσης κατά  $x$  σε μια περίοδο (πραγματικά μοντέλα).



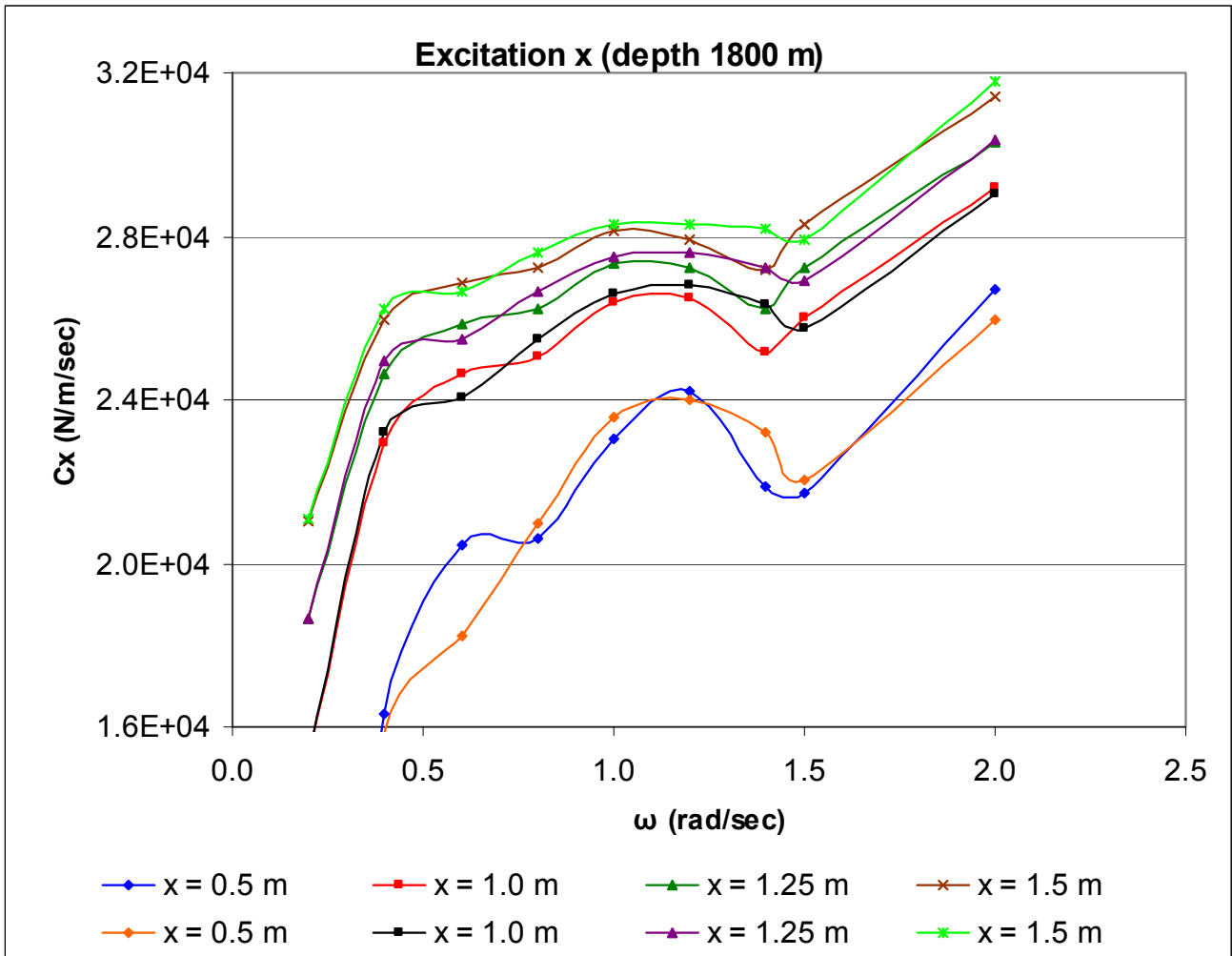
Διάγραμμα 161: Συγκριτικά αποτελέσματα για διάφορα βάθη νερού. Μέγιστες τιμές για κάθε διέγερση ξεχωριστά, για όλα τα πλάτη διέγερσης και βάθη νερού του γραμμικοποιημένου συντελεστή απόσβεσης κατά  $x$  σε μια περίοδο (πραγματικά μοντέλα).



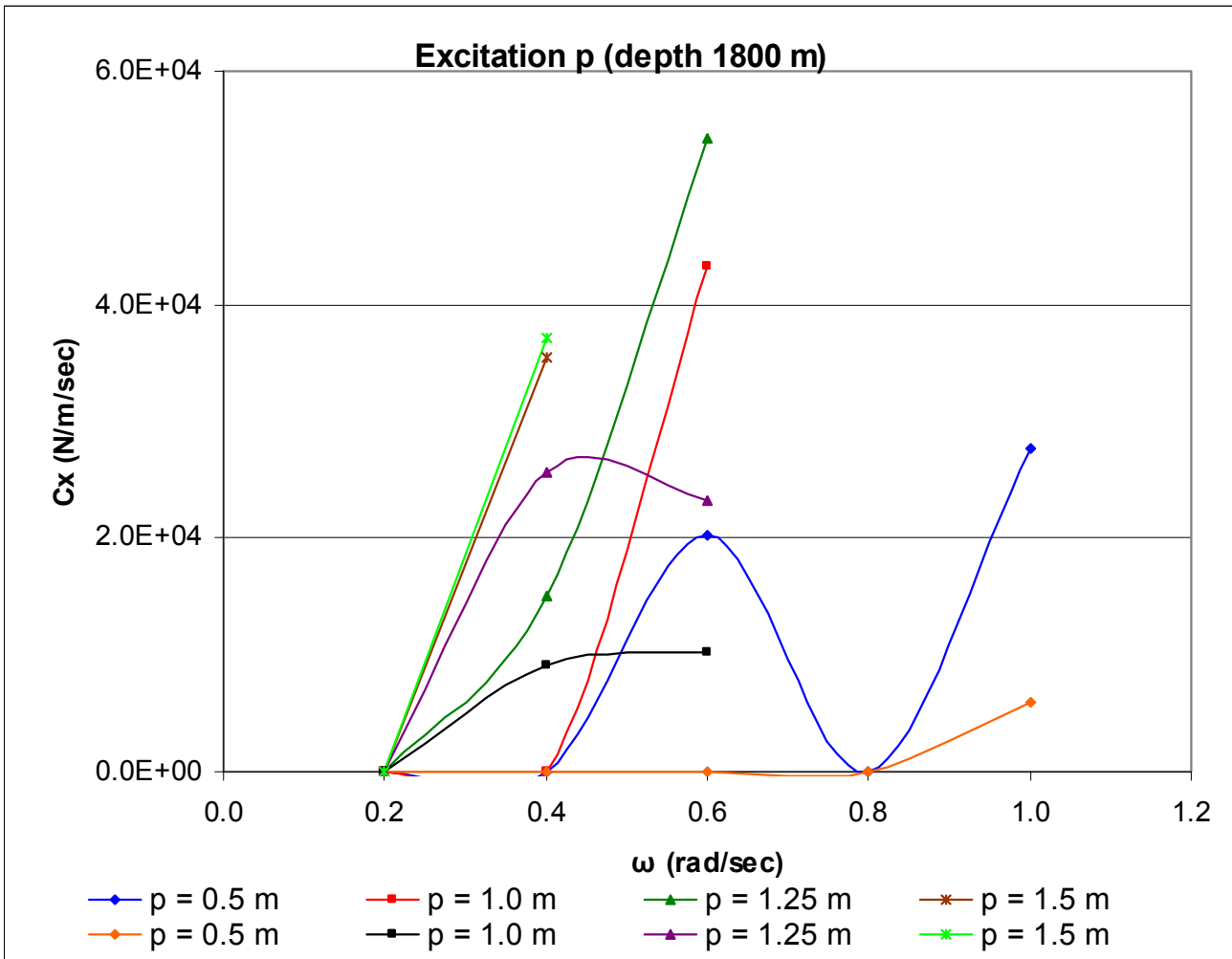




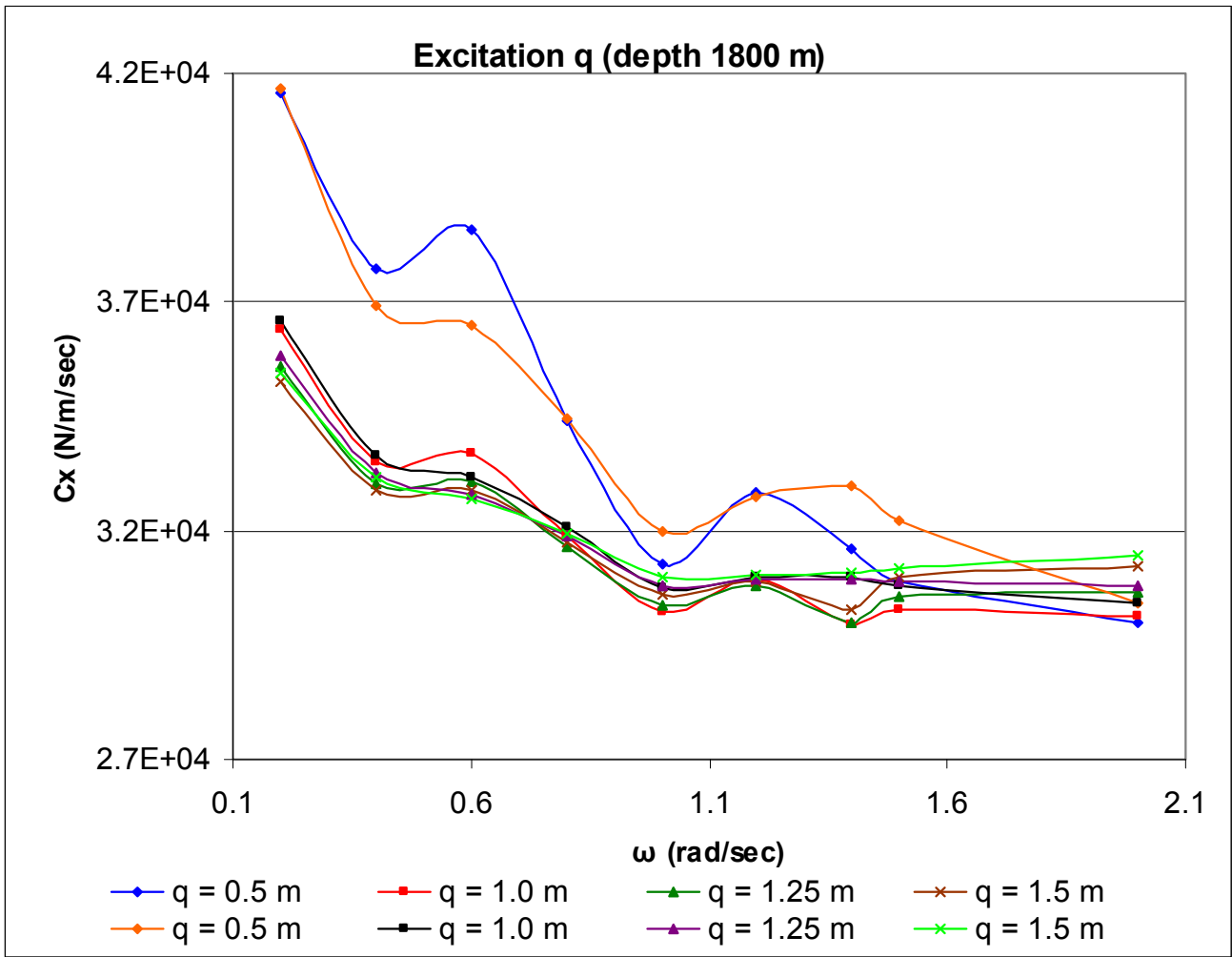
Διάγραμμα 162: Συγκριτικά αποτελέσματα διεγέρσεων  $x$   $p$   $q$ . Μέγιστες τιμές για κάθε βάθος νερού ξεχωριστά, για όλες τις διεγέρσεις και τα πλάτη διέγερσης του γραμμικοποιημένου συντελεστή απόσβεσης κατά  $x$  σε μια περίοδο (πραγματικά μοντέλα).



Διάγραμμα 163: Γραμμικοποιημένοι συντελεστές απόσβεσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $x$  σε μια περίοδο για  $EI = 0.1209 \times 10^9 \text{ Nm}^2$  (χρώματα μπλε, κόκκινο, σκούρο πράσινο, καφέ) και  $EI = 1 \text{ Nm}^2$  (χρώματα πορτοκαλί, μαύρο, μωβ, ανοιχτό πράσινο), (βάθος νερού 1800 m).



Διάγραμμα 164: Γραμμικοποιημένοι συντελεστές απόσβεσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $p$  σε μια περίοδο για  $EI = 0.1209 \times 10^9 \text{ Nm}^2$  (χρώματα μπλε, κόκκινο, σκούρο πράσινο, καφέ) και  $EI = 1 \text{ Nm}^2$  (χρώματα πορτοκαλί, μαύρο, μωβ, ανοιχτό πράσινο), (βάθος νερού 1800 m).



Διάγραμμα 165: Γραμμικοποιημένοι συντελεστές απόσβεσης κατά  $x$  για διάφορες συχνότητες και πλάτη διέγερσης  $q$  σε μια περίοδο για  $EI = 0.1209 \times 10^9 \text{ Nm}^2$  (χρώματα μπλε, κόκκινο, σκούρο πράσινο, καφέ) και  $EI = 1 \text{ Nm}^2$  (χρώματα πορτοκαλί, μαύρο, μωβ, ανοιχτό πράσινο), (βάθος νερού 1800 m).