



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΝΑΥΤΙΚΗ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΗΜΗ»

«Ακραίου μεγέθους καμπτικές ροπές σε λεπτόγραμμες θαλάσσιες κατασκευές (risers) λόγω εφαπτομενικών και πλευρικών κινήσεων εφαρμοζόμενες στην κορυφή. »

Διπλωματική Εργασία

Επιβλέπων: Ι. Χατζηγεωργίου, Επίκουρος Καθηγητής

Λαζαρίδου Ελένη

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2007

.....Περιεχόμενα.....	
Κεφάλαιο 1.	Εισαγωγή.....3
1.1	Γενικά.....3
1.2	Ιστορική αναδρομή.....3
Κεφάλαιο 2.	Μέθοδοι επίλυσης του προβλήματος της δυναμικής ισορροπίας των catenary risers.....6
2.1	Γενικά.....6
2.2	Μέθοδοι πεπερασμένων στοιχείων.....6
2.3	Μέθοδοι πεπερασμένων διαφορών.....7
2.4	Μαθηματικοί τύποι της δυναμικής συμπεριφοράς των risers.....7
2.4.1	Μη-γραμμικό πρόβλημα-Επίλυση στο πεδίο του χρόνου.....7
2.4.2	Γραμμικό πρόβλημα-Επίλυση στο πεδίο των συχνοτήτων.....11
Κεφάλαιο 3.	Εξεταζόμενα μοντέλα αλυσοειδών risers.....16
3.1	Γενικά.....16
3.2	Μοντέλο 1. Βάθος νερού 300m.....16
3.3	Μοντέλο 2. Βάθος νερού 500m.....18
3.4	Μοντέλο 3. Βάθος νερού 800m.....20
3.5	Μοντέλο 4. Βάθος νερού 1200m.....22
3.6	Μοντέλο 5. Βάθος νερού 1800m.....24
3.7	Σχολιασμός επί των μοντέλων και των στατικών συνιστωσών.....26
Κεφάλαιο 4.	Επίλυση του προβλήματος μοντέλων.....27
4.1	Γενικά.....27
4.2	Διαδικασία επίλυσης.....27

4.3	Προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν.....	28
4.3.1	Αρχείο εισόδου δεδομένων.....	28
4.3.2	Πρόγραμμα γραμμικής επίλυσης του στατικού προβλήματος.....	29
4.3.3	Πρόγραμμα γραμμικής επίλυσης του δυναμικού προβλήματος.....	30
4.4	Παρουσίαση αποτελεσμάτων.....	33
Κεφάλαιο 5. Σχολιασμός αποτελεσμάτων.....		35
5.1	Εγκάρσια διέγερση.....	35
5.1.1	Σχολιασμός δυναμικής συμπεριφοράς στο πεδίο των συχνοτήτων.....	35
5.1.2	Σχολιασμός της συμπεριφοράς του r_{ise} κατά μήκος του.....	37
5.2	Αξονική διέγερση.....	40
5.2.1	Σχολιασμός δυναμικής συμπεριφοράς στο πεδίο των συχνοτήτων.....	40
5.2.2	Σχολιασμός της συμπεριφοράς του r_{ise} κατά μήκος του.....	41
Βιβλιογραφία.....		43
Παράρτημα Α. Αλγεβρικά αναπτύγματα για το μη γραμμικό σύστημα της δυναμικής ισορροπίας.....		45
Παράρτημα Β. Αλγεβρικά αναπτύγματα για την ισοδύναμη γραμμική διατύπωση του προβλήματος της δυναμικής ισορροπίας.....		46
Λίστα διαγραμμάτων.....		47

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Οι εφαρμογές ανοιχτής θάλασσας για γεωτρήσεις μεγάλου βάθους αλλά και γενικά όλα τα πλωτά συστήματα εξόρυξης, βασίζονται, με τον έναν ή το άλλο τρόπο, στον κατάλληλο σχεδιασμό και την εγκατάσταση των θαλάσσιων συστημάτων risers, τα οποία χρησιμοποιούνται για την μεταφορά υλικού από τον πυθμένα σε δεξαμενές αποθήκευσης. Πρόσφατα παρατηρείται ταχεία στροφή στην ανάπτυξη των risers από πανεπιστήμια, ερευνητικά εργαστήρια, και βιομηχανίες. Το αυξημένο ενδιαφέρον μπορεί να δικαιολογηθεί από την ανάγκη για γεώτρηση σε νερά μεγάλου βάθους. Σε τόσο μεγάλα βάθη, η σημαντικότητα των αλυσοειδών risers οφείλεται εν μέρει στο χαμηλό κόστος εγκατάστασης. Ανάμεσα στα πολλά προτεινόμενα είδη risers τα αλυσοειδή risers από χάλυβα, προτιμούνται εξαιτίας της απλότητάς τους και του χαμηλού κόστους τους.

Ωστόσο, όπως ήταν αναμενόμενο, διάφορα ζητήματα προέκυψαν τα οποία παρουσιάζουν εξαιρετικό ενδιαφέρον. Μερικά ενδεικτικά παραδείγματα περιλαμβάνουν, τις αλληλεπιδράσεις του riser με τον πυθμένα σε πυθμένες με πρακτικά άγνωστη διαμόρφωση, τα φαινόμενα VIV, την μεγάλη ενίσχυση της ροπής στην περιοχή πρώτης επαφής TDP κ.λ.π. Μερικά από αυτά τα ζητήματα σχετίζονται με την δυναμική απόκριση του riser υπό τη επιβολή διέγερσης η οποία εφαρμόζεται στην κορυφή της κατασκευής και αντιπροσωπεύει τις κινήσεις των πλωτών μέσων. Ωστόσο, η δυναμική ανάλυση είναι ένα ζήτημα –κλειδί που απαιτεί βαθιά και περιεκτική έρευνα του συστήματος, κατάλληλη προτυποποίηση των θεωρητικών μοντέλων και τελικά την χρήση μιας αποδοτικής μεθόδου επίλυσης. Μια επισκόπηση στις υπάρχουσες μεθόδους και τεχνικές ανάλυσης μπορεί να γίνει στις εργασίες των Jain (1994) και Patel και Seyded (1995).

1.2 Ιστορική αναδρομή

Το 1998, ο Bechtel (Grant et al., 1999) μελέτησε μεγάλης κλίμακας μοντέλα σε τρεις υψηλά συμβατικές διαμορφώσεις riser σε νερό βάθους 800ft. Μια από τις

διαμορφώσεις ήταν ένα αλυσοειδές riser από χάλυβα. Το riser υπέστη διέγερση με κατακόρυφη κίνηση και παρατηρήθηκαν περιοδικές ταλαντώσεις. Προτάθηκε ένας αλγόριθμος στο πεδίο του χρόνου (Grant et al., 2000) με την συχνότητα διέγερσης να βασίζεται στον αριθμό Strouhal.

Το 2005, στο 24^ο Διεθνές OMAE, (OMAE2005-67019), η ομάδα των C. Le Cunff, F.Biolley και G.Damy, παρουσίασε μια εργασία που αφορούσε στην πειραματική και αριθμητική μελέτη της Heave-Induced Lateral Motion (πλευρικές κινήσεις λόγω κατακόρυφης διέγερσης). Πειράματα πραγματοποιήθηκαν στη IFREMER Brest προκειμένου να αποκτηθούν δεδομένα για την μετατόπιση των αλυσοειδών riser από χάλυβα (Steel Catenary Risers (SCR)) στην ζώνη επαφής (Touch-Down Zone (TDZ)) παρακινούμενη από κινήσεις στην κορυφή. Ελήφθησαν μετρήσεις τόσο στο τμήμα του πυθμένα όσο και στην περιοχή πάνω από το σημείο επαφής, TDP, με χρήση οπτικού συστήματος. Στο μοντέλο, το 1/10 του κάτω τμήματος του riser απεικονίστηκε σε κλίμακα 1/10. Στο συγκεκριμένο σημείο που μελετήθηκε στην εργασία των παραπάνω, οι χαρακτηριστικές συχνότητες κίνησης παρατηρήθηκαν όλες αρμονικές σειρές από την συχνότητα κίνησης που επιβλήθηκε στην κορυφή, με την τρίτη αρμονική σειρά να παρουσιάζεται πιο ενεργητική στον μετασχηματισμό Fourier τόσο πειραματικά όσο και αριθμητικά. Τα αριθμητικά αποτελέσματα παρείχαν χρονοσειρές του συντελεστή άνωσης, οι οποίες παρουσίασαν ακόμα υψηλότερες αρμονικές σειρές της συχνότητας διέγερσης με κυρίαρχη την πέμπτη αρμονική σειρά.

Το 2006, στο συνέδριο OMAE, (OMAE2006-92308), παρουσιάστηκε μια ακόμα σχετική δημοσίευση από τους Elizabeth Passano και Carl M.Larsen. Η δημοσίευση αυτή αφορούσε στη πρόβλεψη της ακραίας απόκρισης των catenary risers, ένα θέμα με βιομηχανικό και ακαδημαϊκό ενδιαφέρον αν ληφθεί υπόψη ότι μεγάλες επιβαλλόμενες κινήσεις στην heave κατεύθυνση στο πάνω άκρο του riser μπορούν να οδηγήσουν σε συμπίεση και μεγάλες καμπτικές ροπές στην περιοχή αμέσως πάνω από το σημείο επαφής με τον πυθμένα. Στην χειρότερη περίπτωση μπορεί να εμφανισθεί λυγισμός. Το κέντρο εστίασης της δημοσίευσης ήταν να γίνει κατανοητή η συμπεριφορά του riser σε ακραίες καταστάσεις και να παραχθούν κατάλληλες αναλύσεις για την πρόβλεψη της ακραίας απόκρισης. Αποτελέσματα από μη γραμμικές στοχαστικές προσομοιώσεις σε πολλές καταστάσεις θάλασσας με ποικίλες περιβαλλοντικές συνθήκες μπορούν να

συγκριθούν για να περιγράψουν την απόκριση μιας μη-γραμμικής κατασκευής όπως ένα catenary riser. Παρόλα αυτά μια τέτοια θεωρητική προσέγγιση είναι πολύ απαιτητική για να προγραμματιστεί σε Η/Υ και αναζητούνται τρόποι οι οποίοι θα οδηγήσουν στην επέκταση των μη γραμμικών στοχαστικών προσομοιώσεων. Η χρησιμότητα πιο απλών μεθόδων, όπως μια κυματική ανάλυση, για την βελτίωση της κατανόησης της φυσικής συμπεριφοράς και την βοήθεια για τον εμπλουτισμό των μη γραμμικών προσομοιώσεων αποδείχθηκε στην παραπάνω δημοσίευση.

Κεφάλαιο 2

Μέθοδοι επίλυσης του προβλήματος της δυναμικής ισορροπίας των catenary risers.

2.1 Γενικά

Η πιο δημοφιλής από τις υπάρχουσες μεθοδολογίες λύσης είναι η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων. Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων δεν είναι όμως η μόνη αριθμητική μέθοδος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την έρευνα των λεπτομερειών της δυναμικής συμπεριφοράς των αλυσοειδών risers. Οι μέθοδοι πεπερασμένων διαφορών, παρόλο που δεν είναι τόσο διάσημες όσο οι μέθοδοι των πεπερασμένων στοιχείων, μπορεί να είναι, αποδεδειγμένα, εξίσου αποδοτικές για την επίλυση του προβλήματος της δυναμικής ισορροπίας αλυσοειδών λεπτόγραμμων κατασκευών (risers).

2.2 Μέθοδοι πεπερασμένων στοιχείων

Όπως προαναφέρθηκε πρόκειται για την μέθοδο που είναι η πιο δημοφιλής για την επίλυση του προβλήματος της δυναμικής συμπεριφοράς των catenary risers. Ενδεικτικά παραδείγματα από προσπάθειες επιστημονικής έρευνας, που καλύπτουν σχεδόν δύο δεκαετίες, είναι οι εργασίες των McNamara et al.(1988), Fylling et al. (1998) και Chai και Varyani (2006).

Στις μεθόδους αυτές χρησιμοποιείται κατ' ουσίαν ανάλυση Calerkin αφού υπολογίζονται αριθμητικά ιδιοσυχνότητες και ιδιομορφές και εν τέλει επιλύονται συστήματα συνήθων διαφορικών εξισώσεων ως προς το χρόνο. Το βασικότερο μειονέκτημα των μεθόδων αυτών είναι ότι εξαρτώνται από explicit και implicit αριθμητικές ολοκληρώσεις ως προς το χρόνο. Η πιο γνωστή μέθοδος που βασίζεται στα πεπερασμένα στοιχεία είναι η μέθοδος Newmark.

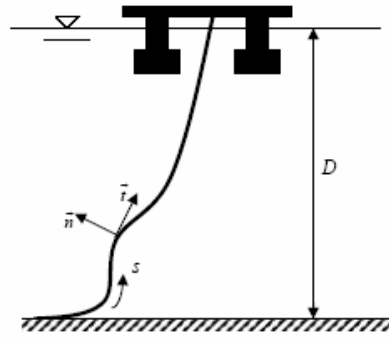
2.3 Μέθοδοι πεπερασμένων διαφορών

Η μέθοδος αυτή συστήθηκε, αρχικά, για την μελέτη της δυναμικής συμπεριφοράς καλωδίων από τους Ablow και Schechter (1983) και επεκτάθηκε από τους Milinazzo et al. (1987) οι οποίοι πρότειναν πλήθος τροποποιήσεων με σκοπό να παραχθεί μια πιο αποδοτική και σταθερή μέθοδος προγραμματισμού σε Η/Υ, η οποία εφαρμόζεται σε ρυμολκούμενα συστήματα καλωδίων. Η ίδια μέθοδος υιοθετήθηκε στην συνέχεια από πολλούς ερευνητές για εφαρμογές που περιλαμβάνουν, χαμηλής τάσης καλώδια (Howell, 1991), εκτατά καλώδια (Tjanaras et al., 1998) και τη μη γραμμική δυναμική συμπεριφορά κατακόρυφων λεπτόγραμμων κατασκευών (Chatjigeorgiou, 2004). Μερικά από τα πλεονεκτήματα της FD μεθόδου είναι ότι επιλύει το πλήρες σύστημα ταυτόχρονα, είναι απεριόριστα ευσταθής και επιτρέπει εφ' όσον αυτό είναι επιθυμητό την μη ομοιόμορφη διακριτοποίηση της κατασκευής.

Αυτές οι μέθοδοι παρέχουν εύκολες προτυποποιήσεις του ισοδύναμου αλγεβρικού συστήματος, το οποίο με τη σειρά του μπορεί να επεξεργασθεί αποδοτικά χρησιμοποιώντας συνήθεις μεθόδους αριθμητικών αναλύσεων. Η παρούσα εργασία αποτελεί μια συνεισφορά προς την κατεύθυνση αυτή, επεκτείνοντας μια ήδη υπάρχουσα μεθοδολογία πεπερασμένων διαφορών, σε λεπτόγραμμες κατασκευές με μη καμπτική ακαμψία. Στην πραγματικότητα, η μέθοδος που υιοθετείται είναι η μέθοδος πεπερασμένων διαφορών Keller-Box Finite Differences, η οποία είναι ευρέως γνωστή ως Box Method.

2.4 Μαθηματικοί τύποι της δυναμικής συμπεριφοράς των riser

Μελετάται το διδιάστατο μη γραμμικό δυναμικό πρόβλημα ενός αλυσοειδούς riser. Το riser μοντελοποιείται ως μια λεπτόγραμμη, αρθρωμένη-αρθρωμένη, κατασκευή (εικόνα 1).



Εικ.1: Σύστημα συντεταγμένων για το διδιάστατο δυναμικό πρόβλημα ενός catenary riser.

Η μάζα, η πρόσθετη μάζα και το βάρος ανα μονάδα βυθισμένου μη τεντωμένου μήκους, συμβολίζονται ως m , m_a και w_0 αντίστοιχα, ενώ EA και EI είναι το μέτρο ελαστικότητας και η καμπτική ακαμψία. Το σύστημα που περιγράφει την διδιάστατη δυναμική συμπεριφορά ενός αλυσοειδούς riser συνίσταται από τις ακόλουθες μη γραμμικές μερικές διαφορικές εξισώσεις (Triantafyllou, 1994):

$$m \left(\frac{\partial u}{\partial t} - v \frac{\partial \phi}{\partial t} \right) = \frac{\partial T}{\partial s} - w_0 \sin \phi - \Omega Q - \frac{1}{2} p C_{dn} d |u_r| u_r \quad (1)$$

$$m \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial \phi}{\partial t} \right) + m_a \frac{\partial v_r}{\partial t} = \frac{\partial Q}{\partial s} + T \Omega - w_0 \cos \phi - \frac{1}{2} p C_{dn} d |v_r| v_r \quad (2)$$

$$\frac{\partial T}{\partial s} = EA \left(\frac{\partial u}{\partial s} - v \Omega \right) \quad (3)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = \frac{\partial v}{\partial s} + u \Omega \quad (4)$$

$$EI \frac{\partial \Omega}{\partial s} = -Q \quad (5)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial s} = \Omega \quad (6)$$

όπου s είναι η Lagrangian συντεταγμένη κατά μήκος της γραμμής και t ο χρόνος. Το εμβαδόν διατομής A και η ροπή αδρανείας υπολογίζονται από τις απαραμόρφωτες διαμέτρους. Το άνωσμα των αγνώστων $Y=[T,Q,u,v,\Omega,\varphi]^T$ συνίσταται από τις ταχύτητες u και v , στη εφαπτόμενη \vec{i} και εγκάρσια \vec{n} κατεύθυνση αντίστοιχα (βλ εικόνα 1), την τάση T και την γωνία φ η οποία σχηματίζεται μεταξύ της εφαπτόμενης στην κατασκευή και την οριζόντιο, την διαμητική δύναμη Q και την καμπυλότητα Ω . Τα μεγέθη T , φ , Q , και Ω αντιπροσωπεύουν τις συνολικές ποσότητες, δηλαδή, το άθροισμα των στατικών και δυναμικών τμημάτων. Οι τελευταίοι όροι στο δεξί τμήμα των εξισώσεων (1) και (2) είναι οι δευτεροτάξιες δυνάμεις αντίστασης παράλληλες ως προς τα \vec{i} και \vec{n} και εκφράζονται με όρους που σχετίζονται με τις ταχύτητες u_r και v_r όταν υπάρχει σταθερό ρεύμα. Στην παρούσα εργασία δεν ελήφθη υπόψη η ύπαρξη ρεύματος και συνεπώς οι ταχύτητες u_r και v_r αντικαταστήθηκαν κατευθείαν από τις u και v . Στην υιοθετούμενη μοντελοποίηση με βάση τον τύπο του Morison, d συμβολίζεται η παραμορφωμένη εξωτερική διάμετρος του riser, ρ είναι η πυκνότητα του νερού, ενώ C_{dt} και C_{dn} είναι οι συντελεστές αντίστασης στην εφαπτομενική και την κάθετη κατεύθυνση αντίστοιχα. Η εξίσωση (3) εκφράζει τη γραμμική μεταβολή τάσης-διαμήκους παραμόρφωσης.

2.4.1 Μη-γραμμικό πρόβλημα-Επίλυση στο πεδίο του χρόνου

Οι εξισώσεις (1)-(6) περιγράφουν το πλήρη μη-γραμμικό σύστημα. Το σύστημα αυτό επιλύεται αποδοτικά με την μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών Keller Box. Η μέθοδος αυτή επιτρέπει τη μη-ομοιόμορφη διακριτοποίηση στον χρόνο και τον χώρο. Αρχικά το σύστημα (1)-(6) ξαναγράφεται με την παρακάτω διανυσματική μορφή:

$$\frac{\partial Y}{\partial s} = \frac{\partial Y}{\partial t} + F \quad (7)$$

όπου

$$\frac{\partial Y}{\partial s} = \frac{\partial}{\partial t} [\Gamma \quad Q \quad EAu \quad v \quad EI\Omega \quad \phi]^T \quad (8)$$

$$\frac{\partial Y}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} [\mu \quad (m+m_a)v \quad T \quad \phi \quad 0 \quad 0]^T \quad (9)$$

$$F = \begin{bmatrix} -mv \frac{\partial \phi}{\partial t} + w_0 \sin \phi + \Omega Q + \frac{1}{2} p \pi C_{dnd} |u|u \\ \mu u \frac{\partial \phi}{\partial t} - T \Omega + w_0 \cos \phi + \frac{1}{2} p C_{dnd} |v|v \\ EA v \Omega \\ -u \Omega \\ -Q \\ \Omega \end{bmatrix} \quad (10)$$

Στην συνέχεια η εξ. (7) υπολογίζεται στο σημείο $[k-1/2, j+1/2]$ όπου οι δείκτες k και j χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν την διακριτοποίηση στο χώρο και στον χρόνο αντίστοιχα. Έτσι, η εξ. (7) λαμβάνει την ακόλουθη αλγεβρική έκφραση:

$$\frac{Y_k^{j+1} + Y_k^j - Y_{k-1}^{j+1} - Y_{k-1}^j}{2\Delta s} = \frac{Y_k^{j+1} + Y_{k-1}^{j+1} - Y_k^j - Y_{k-1}^j}{2\Delta t} + \frac{1}{4} (F_k^{j+1} + F_{k-1}^{j+1} + F_k^j + F_{k-1}^j) \quad (11)$$

Τα αλγεβρικά αναπτύγματα των εξισώσεων (1)-(6) δίνονται στο παράρτημα Α. Στην εξίσωση (11), το $j+1$ υποδηλώνει το σημείο χρόνου στο οποίο ζητείται η λύση. Η χρονική στιγμή j είναι το προηγούμενο χρονικό σημείο όπου οι χρονικά εξαρτώμενες μεταβλητές είναι ήδη γνωστές και χρησιμοποιήθηκαν σαν πρώτη εκτίμηση στην επαναληπτική διαδικασία. Στην αρχή του χρόνου $t=0$, το Y_k^j αντικαθίσταται από τα στατικά μεγέθη.

Υποθέτοντας ότι το παραμορφωμένο βυθισμένο μήκος της αλυσοειδούς διακριτοποιείται με χρήση n σημείων, το σύστημα των αλγεβρικών εξισώσεων που παρουσιάζονται στην εξίσωση (11) υπολογίζεται σε όλα τα σημεία από $k=2$ έως $k=n$, παράγοντας ένα σύστημα από $6(n-1)$ αλγεβρικών εξισώσεων. Το σύστημα συμπληρώνεται από τις έξι οριακές συνθήκες οι οποίες πρέπει να

επιβληθούν στα άκρα του riser. Το τελικό σύστημα των 6η εξισώσεων επιλύεται με την μέθοδο relaxation (Press et al., 1986). Οι οριακές συνθήκες περιγράφονται μαθηματικά παρακάτω:

$$\Omega_1^{j+1} = 0, \quad \Omega_n^{j+1} = 0, \quad u_1^{j+1} = 0, \quad v_1^{j+1} = 0, \quad u_n^{j+1} = u_a(t), \quad v_n^{j+1} = v_a(t) \quad (12)$$

2.4.2 Γραμμικό πρόβλημα – Επίλυση στο πεδίο των συχνοτήτων

Παρόλο που η επίλυση του ισοδύναμου γραμμικού προβλήματος δείχνει ευκολότερη, περιέχει μερικές πρακτικές δυσκολίες καθώς η αριθμητική μεθοδολογία που χρησιμοποιείται πρέπει να εφαρμοστεί σε δώδεκα διαφορικές εξισώσεις αντί των έξι εξισώσεων του πλήρους μη γραμμικού συστήματος. Η βασική υπόθεση η οποία καθιστά ικανή την εξαγωγή του ισοδύναμου γραμμικού συστήματος είναι ότι το διάνυσμα των αγνώστων αποτελείται από ένα στατικό και ένα δυναμικό τμήμα. Έτσι,

$$Y(s,t) = \bar{Y}(s) + \tilde{Y}(s,t) \quad (13)$$

όπου οι στατικοί και δυναμικοί όροι στην δεξιά πλευρά της εξίσωσης (13) δίνονται από

$$\bar{Y}(s) = [\bar{T}(s), \bar{Q}(s), 0, 0, \bar{\Omega}(s), \bar{\phi}(s)]^T \quad (14)$$

$$\tilde{Y}(s,t) = [\tilde{T}(s,t), \tilde{Q}(s,t), p(s,t), q(s,t), \tilde{\Omega}(s,t), \tilde{\phi}(s,t)]^T \quad (15)$$

Εδώ οι μετατοπίσεις κατά μήκος της κατασκευής εκφράζονται σαν κινήσεις αντί των ταχυτήτων όπως ήταν στο πλήρες μη γραμμικό σύστημα. Στην εξ. (15) τα $p(s,t)$ και $q(s,t)$ εκφράζουν τις αξονικές και εγκάρσιες κινήσεις αντίστοιχα και δίνονται από τα $u(s,t) = \frac{\partial p(s,t)}{\partial t}$ και $v(s,t) = \frac{\partial q(s,t)}{\partial t}$. Στην συνέχεια, οι εξ. (13)-(15) εισάγονται στο σύνολο των σχέσεων (1)-(6). Από το εξαγόμενο σύστημα αγνοούνται όλοι οι μη-γραμμικοί όροι, εξαιρώντας μόνο την ισοδύναμη γραμμική μορφή της δύναμης αντίστασης στην εγκάρσια διεύθυνση. Επίσης,

παραλείπονται οι όροι που περιγράφουν το πρόβλημα της στατικής ισορροπίας. Έτσι, το αρχικό σύστημα μετατρέπεται στο ακόλουθο:

$$m \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = \frac{\partial \tilde{T}}{\partial s} - w_0 \cos \bar{\phi} \tilde{\phi} - \bar{Q} \tilde{\Omega} - \tilde{Q} \bar{\Omega} \quad (16)$$

$$(m + m_a) \frac{\partial^2 q}{\partial t^2} = \frac{\partial \tilde{Q}}{\partial s} + w_0 \sin \bar{\phi} \tilde{\phi} + \bar{T} \tilde{\Omega} + \tilde{T} \bar{\Omega} - b_0 \omega |q| \frac{\partial q}{\partial t} \quad (17)$$

$$T = EA \left(\frac{\partial p}{\partial s} - \bar{\Omega} q \right) \quad (18)$$

$$\tilde{\phi} = \frac{\partial q}{\partial s} + \bar{\Omega} p \quad (19)$$

$$\tilde{Q} = -EI \frac{\partial \tilde{\Omega}}{\partial s} \quad (20)$$

$$\tilde{\Omega} = \frac{\partial \tilde{\phi}}{\partial s} \quad (21)$$

Στην εξ. (17), το ω συμβολίζει τη συχνότητα απόκρισης η οποία στο γραμμικό πρόβλημα είναι ίση με τη συχνότητα διέγερσης. Επιπρόσθετα, $b_0 = 4/(3\pi)\rho C_{\text{air}} d$ είναι ο γραμμικός συντελεστής απόσβεσης ο οποίος προσδιορίζεται μέσω της ισοδύναμης γραμμικοποίησης. Η επίλυση στο πεδίο των συχνοτήτων απαιτεί το διάνυσμα των αγνώστων δυναμικών συνιστωσών $\tilde{Y}(s,t)$ πρέπει να εκφράζεται ως

$$\tilde{Y}(s,t) = \text{Re}\{\tilde{y}(s)e^{i\omega t}\}, \tilde{y}(s) = \left[\tilde{T}(s), \tilde{Q}(s), p(s), q(s), \tilde{\Omega}(s), \tilde{\phi}(s) \right]^T \quad (22)$$

όπου το χωρικά εξαρτώμενο διάνυσμα του $\tilde{y}(s)$ δίνεται από τον ακόλουθο τύπο

$$\tilde{y}(s) = \tilde{y}^{(r)}(s) + i\tilde{y}(s) \quad (23)$$

Οι δείκτες (r) και (i) συμβολίζουν τα πραγματικά και φανταστικά μέρη αντίστοιχα. Μετά την εισαγωγή των εξισώσεων (22)-(23) στις εξισώσεις (1)-(6), το αρχικό γραμμικό σύστημα μετατρέπεται σε ένα απλοποιημένο χωρικά εξαρτώμενο σύστημα το οποίο μετά τον διαχωρισμό των πραγματικών και των φανταστικών μερών καταλήγει στην ακόλουθη μητρική μορφή:

$$\begin{bmatrix} \frac{d\tilde{T}^{(r)}}{ds} \\ \frac{d\tilde{T}^{(i)}}{ds} \\ \frac{d\tilde{Q}^{(r)}}{ds} \\ \frac{d\tilde{Q}^{(i)}}{ds} \\ \frac{dp^{(r)}}{ds} \\ \frac{dp^{(i)}}{ds} \\ \frac{dq^{(r)}}{ds} \\ \frac{dq^{(i)}}{ds} \\ \frac{d\tilde{\Omega}^{(r)}}{ds} \\ \frac{d\tilde{\Omega}^{(i)}}{ds} \\ \frac{d\tilde{\phi}^{(r)}}{ds} \\ \frac{d\tilde{\phi}^{(i)}}{ds} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & -\bar{\Omega} & 0 & \omega^2 m & 0 & 0 & 0 & -\bar{Q} & 0 & -w_0 \cos \bar{\phi} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\bar{\Omega} & 0 & \omega^2 m & 0 & 0 & 0 & -\bar{Q} & 0 & -w_0 \cos \bar{\phi} \\ \bar{\Omega} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \omega^2(m+m_a) & b_0 \omega^2 |q| & \bar{T} & 0 & w_0 \sin \bar{\phi} & 0 \\ 0 & \bar{\Omega} & 0 & 0 & 0 & 0 & -b_0 \omega^2 |q| & \omega^2(m+m_a) & 0 & \bar{T} & 0 & w_0 \sin \bar{\phi} \\ -\frac{1}{EA} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\bar{\Omega} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{EA} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\bar{\Omega} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \bar{\Omega} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \bar{\Omega} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & \frac{1}{EI} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{EI} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \tilde{T}^{(r)} \\ \tilde{T}^{(i)} \\ \tilde{Q}^{(r)} \\ \tilde{Q}^{(i)} \\ p^{(r)} \\ p^{(i)} \\ q^{(r)} \\ q^{(i)} \\ \tilde{\Omega}^{(r)} \\ \tilde{\Omega}^{(i)} \\ \tilde{\phi}^{(r)} \\ \tilde{\phi}^{(i)} \end{bmatrix} = 0 \quad (24)$$

Η εξ. (24) εκφράζει ένα σύστημα από 12 συνήθεις διαφορικές εξισώσεις η οποία μπορεί να επιλυθεί μέσω της μεθόδου των κεντροποιημένων διαφορών. Σύμφωνα με τη διαδικασία αυτή όλες οι εξισώσεις υπολογίζονται σε όλα τα n-1 διακριτά σημεία κατά μήκος της αλυσοειδούς από κ=2 μέχρι κ=n και παράγεται ένα σύστημα που αποτελείται από 12(n-1) αλγεβρικές εξισώσεις. Το σύστημα αυτό πρέπει να συμπληρωθεί με τις 12 οριακές συνθήκες οι οποίες εφαρμόζονται στα άκρα της κατασκευής. Η επίλυση των 12n αλγεβρικών εξισώσεων γίνεται τελικά με την χρήση της μεθόδου relaxation (Press et al., 1996). Οι οριακές συνθήκες που σχετίζονται με το γραμμικό πρόβλημα εκφράζονται μαθηματικά ως:

$$p_n^{(r)} = p_{a0}, \quad p_n^{(i)} = 0, \quad q_n^{(r)} = q_{a0}, \quad q_n^{(i)} = 0, \quad \tilde{\Omega}_n^{(r)} = 0, \quad \tilde{\Omega}_n^{(i)} = 0 \quad (25)$$

$$p_1^{(r)} = 0, \quad p_1^{(i)} = 0, \quad q_1^{(r)} = 0, \quad q_1^{(i)} = 0, \quad \tilde{\Omega}_1^{(r)} = 0, \quad \tilde{\Omega}_1^{(i)} = 0 \quad (26)$$

όπου p_{a0} και q_{a0} είναι τα πλάτη των αξονικών και εγκάρσιων μετατοπίσεων που ασκούνται στην κορυφή της κατασκευής. Οι αλγεβρικές εκφράσεις της εξίσωσης (24) δίνονται στο παράτημα Β.

Κεφάλαιο 3

Εξεταζόμενα μοντέλα αλυσοειδών risers.

3.1 Γενικά

Προκειμένου να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για την δυναμική συμπεριφορά των risers, επιλέχθηκαν προς επίλυση, στην παρούσα εργασία, πέντε διαφορετικά μοντέλα. Κάθε μοντέλο αντιστοιχεί σε διαφορετικό βάθος νερού, έχει συγκεκριμένο ανυψωμένο μήκος και κατά συνέπεια διαφορετική γωνία στην κορυφή. Η επιλογή των συγκεκριμένων μοντέλων, τα χαρακτηριστικά των οποίων αναλύονται στο κεφάλαιο αυτό, έγινε με σκοπό να μελετηθούν οι τυχόν μεταβολές όλων των δυναμικών συνιστωσών που διέπουν την δυναμική συμπεριφορά των risers, σε διάφορα βάθη νερού.

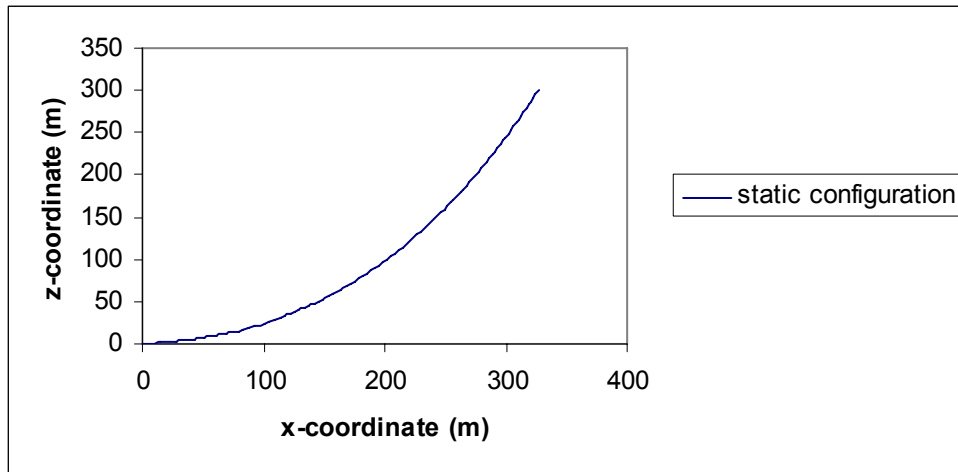
3.2 Μοντέλο 1. Βάθος νερού 300m.

Τα χαρακτηριστικά του riser παρουσιάζονται στον πίνακα 1.

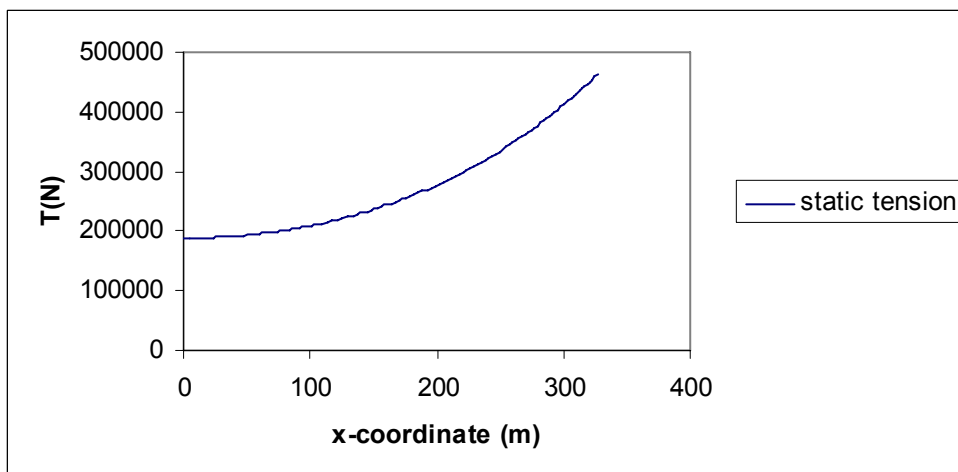
Ανυψωμένο μήκος	L	468m
Εξωτερική διάμετρος	d_o	0.429m
Εσωτερική διάμετρος	d_i	0.385m
Μάζα ανά μονάδα μήκους	M	262.933kg/m
Συντελεστής πρόσθετης μάζας	C_a	1.0
Βάρος ανά μονάδα μήκους	w_0	915.56N/m
Μέτρο ελαστικότητας	EA	$0.5816 \times 10^{10} \text{N}$
Καμπτική ακαμψία	EI	$0.1209 \times 10^9 \text{Nm}^2$
Συντελεστής αντίστασης στη κάθετη διεύθυνση	C_{dn}	1.0
Συντελεστής αντίστασης στην εφαπτομενική διεύθυνση	C_{dt}	0.0
Βάθος νερού	D	300m
Προένταση στην κορυφή	T_P	470KN
Γωνία στην κορυφή ως προς την κατακόρυφο	φ	24.7°

Πίνακας 1: Βάθος νερού 300m. Χαρακτηριστικά του riser

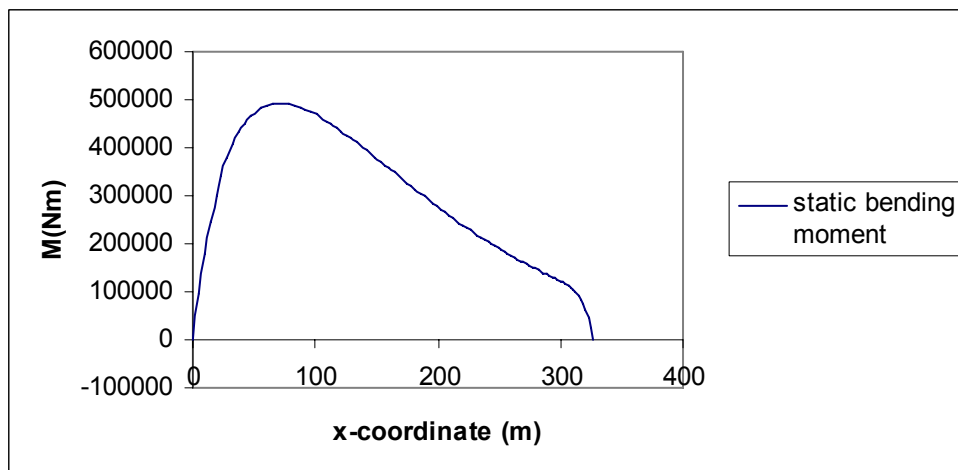
Στα διαγράμματα που ακολουθούν απεικονίζονται οι μεταβολές των στατικών μεγεθών κατά μήκος της κατασκευής.



Διάγραμμα 1α: Βάθος νερού 300m. Στατική διαμόρφωση της κατασκευής



Διάγραμμα 1β: Βάθος νερού 300m. Στατική τάση



Διάγραμμα 1γ: Βάθος νερού 300m. Στατική ροπή

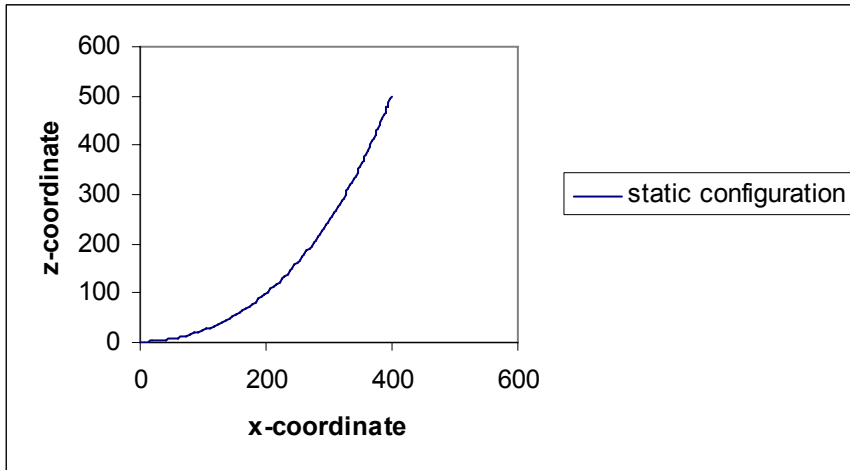
3.3 Μοντέλο 2. Βάθος νερού 500m.

Τα χαρακτηριστικά του riser παρουσιάζονται στον πίνακα 2.

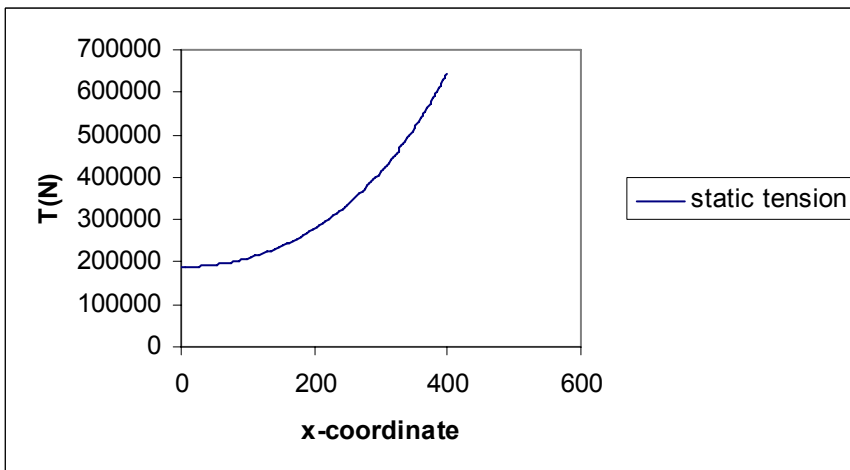
Ανυψωμένο μήκος	L	680m
Εξωτερική διάμετρος	d_o	0.429m
Εσωτερική διάμετρος	d_i	0.385m
Μάζα ανά μονάδα μήκους	M	262.933kg/m
Συντελεστής πρόσθετης μάζας	C_a	1.0
Βάρος ανά μονάδα μήκους	w_0	915.56N/m
Μέτρο ελαστικότητας	EA	$0.5816 \times 10^{10} \text{N}$
Καμπτική ακαμψία	EI	$0.1209 \times 10^9 \text{Nm}^2$
Συντελεστής αντίστασης στη κάθετη διεύθυνση	C_{dn}	1.0
Συντελεστής αντίστασης στην εφαπτομενική διεύθυνση	C_{dt}	0.0
Βάθος νερού	D	500m
Προένταση στην κορυφή	T_p	650KN
Γωνία στην κορυφή ως προς την κατακόρυφο	φ	17.2°

Πίνακας 2: Βάθος νερού 500m. Χαρακτηριστικά του riser

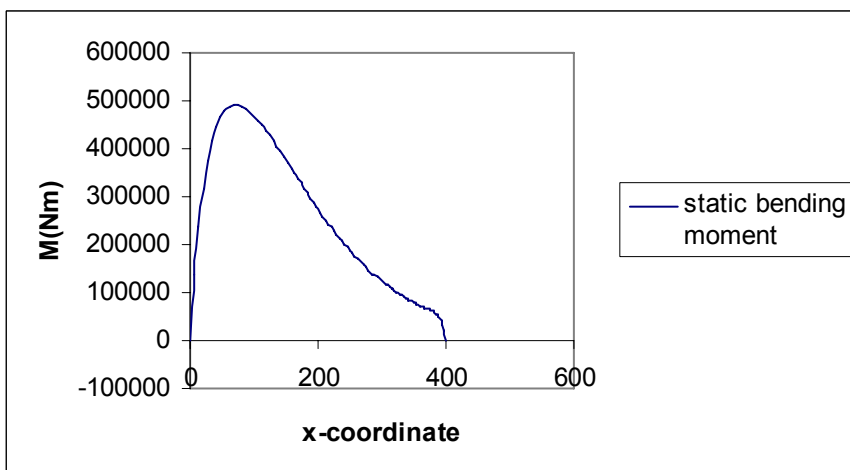
Στα διαγράμματα που ακολουθούν απεικονίζονται οι μεταβολές των στατικών μεγεθών κατά μήκος της κατασκευής.



Διάγραμμα 2α: Βάθος νερού 500m. Στατική διαμόρφωση της κατασκευής



Διάγραμμα 2β: Βάθος νερού 500m. Στατική τάση



Διάγραμμα 2γ: Βάθος νερού 500m. Στατική ροπή

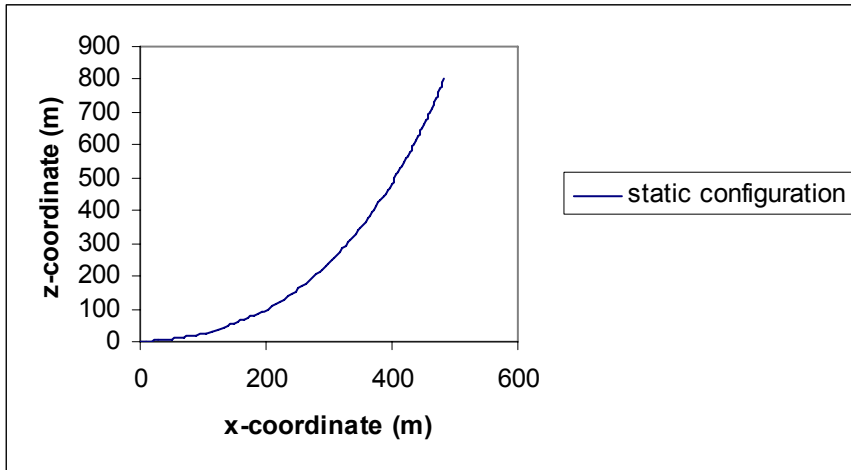
3.4 Μοντέλο 3. Βάθος νερού 800m.

Τα χαρακτηριστικά του riser παρουσιάζονται στον πίνακα 3.

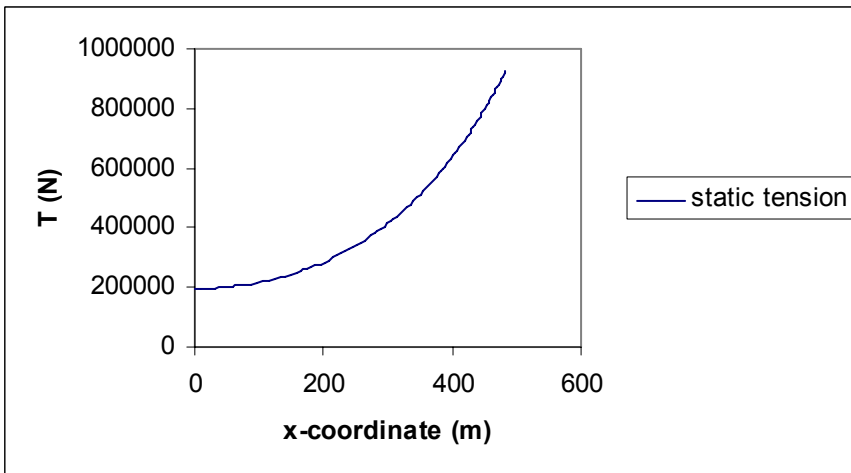
Ανυψωμένο μήκος	L	992.62m
Εξωτερική διάμετρος	d_o	0.429m
Εσωτερική διάμετρος	d_i	0.385m
Μάζα ανά μονάδα μήκους	M	262.933kg/m
Συντελεστής πρόσθετης μάζας	C_a	1.0
Βάρος ανά μονάδα μήκους	w_0	915.56N/m
Μέτρο ελαστικότητας	EA	$0.5816 \times 10^{10} \text{N}$
Καμπτική ακαμψία	EI	$0.1209 \times 10^9 \text{Nm}^2$
Συντελεστής αντίστασης στην κάθετη διεύθυνση	C_{dn}	1.0
Συντελεστής αντίστασης στην εφαπτομενική διεύθυνση	C_{dt}	0.0
Βάθος νερού	D	800m
Προένταση στην κορυφή	T_P	930KN
Γωνία στην κορυφή ως προς την κατακόρυφο	φ	12.7°

Πίνακας 3: Βάθος νερού 800m. Χαρακτηριστικά του riser

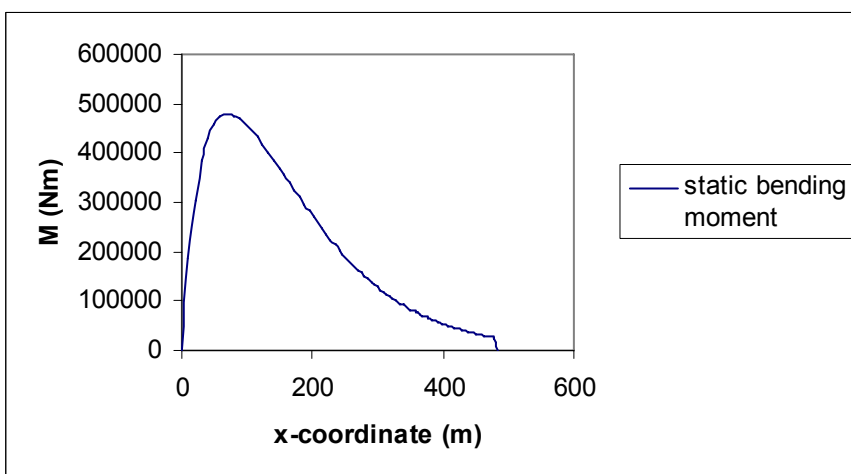
Στα διαγράμματα που ακολουθούν απεικονίζονται οι μεταβολές των στατικών μεγεθών κατά μήκος της κατασκευής.



Διάγραμμα 3α: Βάθος νερού 800m. Στατική διαμόρφωση της κατασκευής



Διάγραμμα 3β: Βάθος νερού 800m. Στατική τάση



Διάγραμμα 3γ: Βάθος νερού 800m. Στατική ροπή

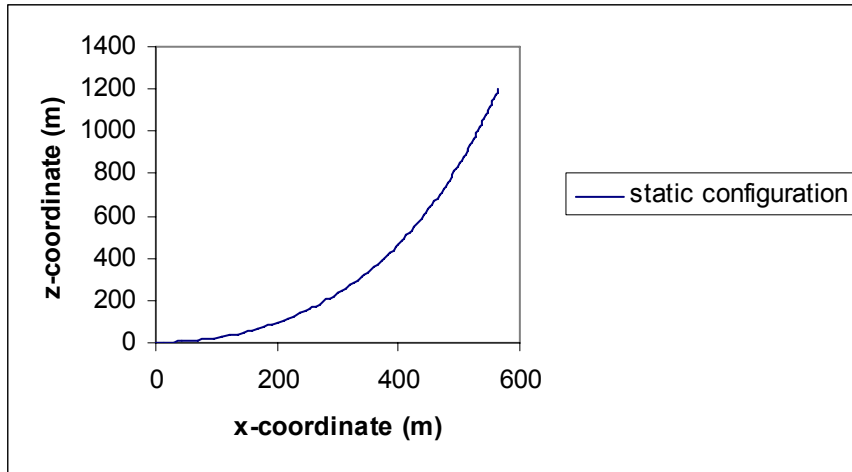
3.5 Μοντέλο 4. Βάθος νερού 1200m.

Τα χαρακτηριστικά του riser παρουσιάζονται στον πίνακα 4.

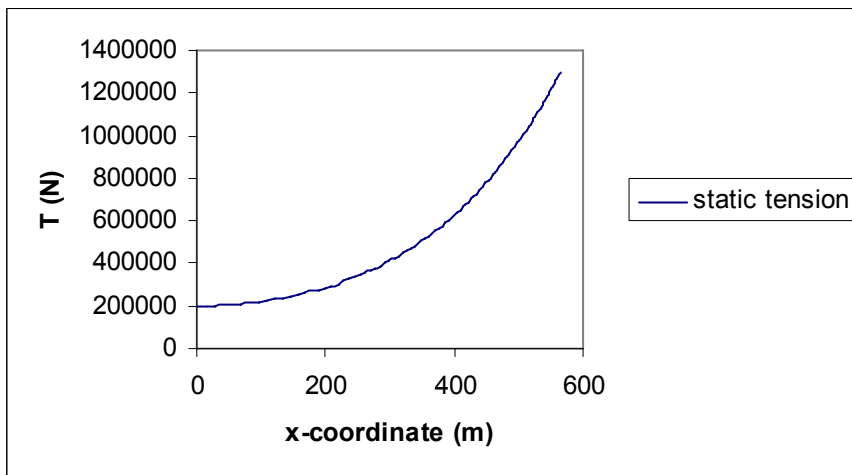
Ανυψωμένο μήκος	L	1403m
Εξωτερική διάμετρος	d_o	0.429m
Εσωτερική διάμετρος	d_i	0.385m
Μάζα ανά μονάδα μήκους	M	262.933kg/m
Συντελεστής πρόσθετης μάζας	C_a	1.0
Βάρος ανά μονάδα μήκους	w_0	915.56N/m
Μέτρο ελαστικότητας	EA	$0.5816 \times 10^{10} \text{N}$
Καμπτική ακαμψία	EI	$0.1209 \times 10^9 \text{Nm}^2$
Συντελεστής αντίστασης στη κάθετη διεύθυνση	C_{dn}	1.0
Συντελεστής αντίστασης στην εφαπτομενική διεύθυνση	C_{dt}	0.0
Βάθος νερού	D	1200m
Προένταση στην κορυφή	T_P	1300KN
Γωνία στην κορυφή ως προς την κατακόρυφο	φ	9.2°

Πίνακας 4: Βάθος νερού 1200m. Χαρακτηριστικά του riser

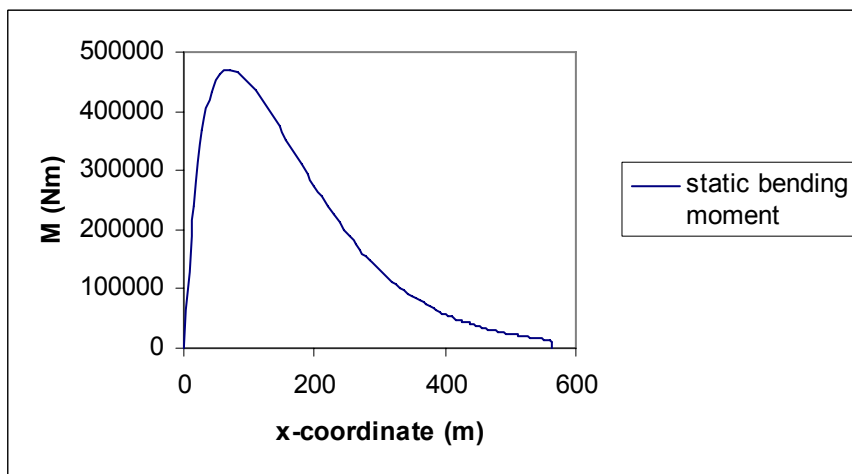
Στα διαγράμματα που ακολουθούν απεικονίζονται οι μεταβολές των στατικών μεγεθών κατά μήκος της κατασκευής.



Διάγραμμα 4α: Βάθος νερού 1200m. Στατική διαμόρφωση της κατασκευής



Διάγραμμα 4β: Βάθος νερού 1200m. Στατική τάση



Διάγραμμα 4γ: Βάθος νερού 1200m. Στατική ροπή

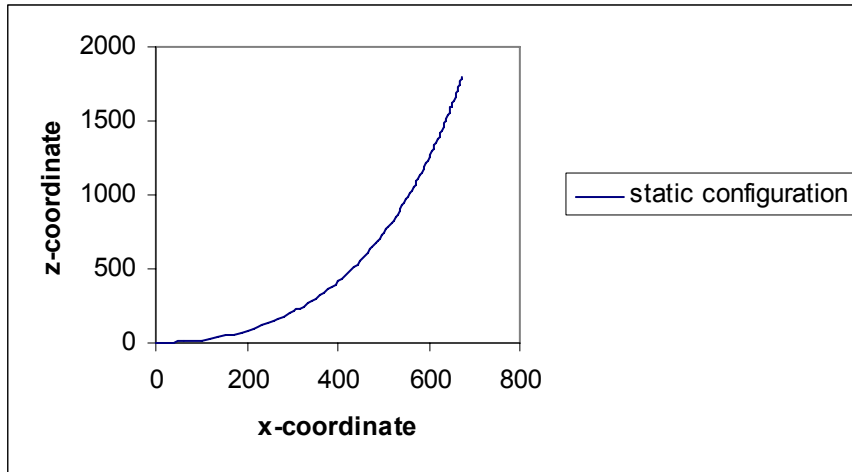
3.6 Μοντέλο 5. Βάθος νερού 1800m.

Τα χαρακτηριστικά του riser παρουσιάζονται στον πίνακα 5.

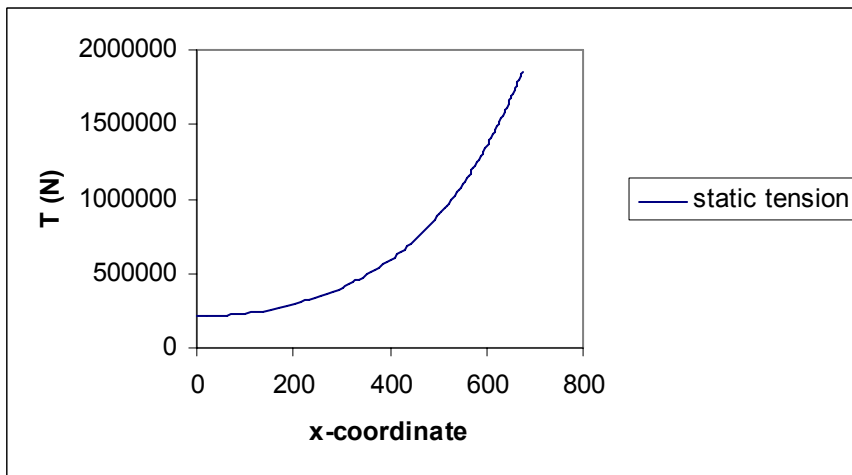
Ανυψωμένο μήκος	L	2024m
Εξωτερική διάμετρος	d_o	0.429m
Εσωτερική διάμετρος	d_i	0.385m
Μάζα ανά μονάδα μήκους	M	262.933kg/m
Συντελεστής πρόσθετης μάζας	C_a	1.0
Βάρος ανά μονάδα μήκους	w_0	915.56N/m
Μέτρο ελαστικότητας	EA	$0.5816 \times 10^{10} \text{N}$
Καμπτική ακαμψία	EI	$0.1209 \times 10^9 \text{Nm}^2$
Συντελεστής αντίστασης στην κάθετη διεύθυνση	C_{dn}	1.0
Συντελεστής αντίστασης στην εφαπτομενική διεύθυνση	C_{dt}	0.0
Βάθος νερού	D	1800m
Προένταση στην κορυφή	T_P	1860KN
Γωνία στην κορυφή ως προς την κατακόρυφο	φ	6.9°

Πίνακας 5: Βάθος νερού 1800m. Χαρακτηριστικά του riser

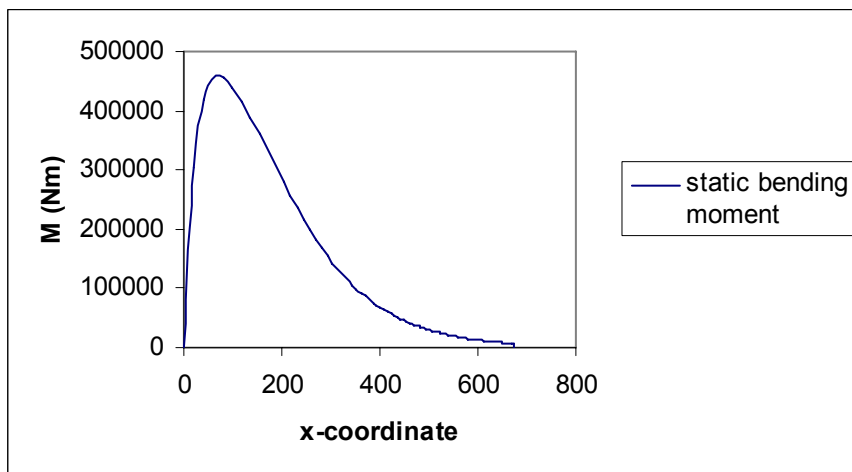
Στα διαγράμματα που ακολουθούν απεικονίζονται οι μεταβολές των στατικών μεγεθών κατά μήκος της κατασκευής.



Διάγραμμα 5α: Βάθος νερού 1800m. Στατική διαμόρφωση της κατασκευής



Διάγραμμα 5β: Βάθος νερού 1800m. Στατική τάση



Διάγραμμα 5γ: Βάθος νερού 1800m. Στατική ροπή

3.7 Σχολιασμός επί των μοντέλων και των στατικών συνιστωσών

Παρατηρώντας τους πίνακες 1-5 είναι φανερό ότι καθώς το βάθος νερού αυξάνει – και κατά συνέπεια το ανυψωμένο μήκος της κατασκευής – η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της εφαπτομένης στην κορυφή και της κατακόρυφης μειώνεται. Διαπιστώνεται, δηλαδή, πως όσο αυξάνει το βάθος νερού το κατασκευαστικό μοντέλο αντιστοιχεί σε μια σχεδόν κατακόρυφη διαμόρφωση.

Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται και από τα διαγράμματα 1α, 2α, 3α, 4α και 5α τα οποία απεικονίζουν τη στατική διαμόρφωση των αλυσοειδών risers και παρατηρείται ότι καθώς πηγαίνουμε σε μεγαλύτερο βάθος η διαμόρφωση εμφανίζεται όλο και πιο κατακόρυφη. Από τα διαγράμματα είναι επίσης φανερό ότι η μεταβολή της στατικής τάσης ακολουθεί την αλυσοειδή διαμόρφωση (διαγράμματα 1β, 2β, 3β, 4β, 5β) ενώ η στατική ροπή παρουσιάζει την μέγιστη τιμή της πολύ κοντά στο κάτω σημείο επαφής (διαγράμματα 1γ, 2γ, 3γ, 4γ, 5γ).

Κεφάλαιο 4

Επίλυση του προβλήματος των κατασκευαστικών μοντέλων

4.1 Γενικά

Στο προηγούμενο κεφάλαιο παρουσιάστηκαν τα πέντε μοντέλα που επιλέχθηκαν προκειμένου να επιλυθούν και να μελετηθεί η δυναμική τους συμπεριφορά. Στο κεφάλαιο αυτό αναλύεται η διαδικασία επίλυσης του προβλήματος. Η επίλυση πραγματοποιήθηκε στο πεδίο των συχνοτήτων, επιλύθηκε δηλαδή το γραμμικό πρόβλημα. Η επιλογή της γραμμικής επίλυσης έγκειται στο γεγονός ότι δίνει πάρα πολύ καλές προσεγγίσεις για μικρά πλάτη διέγερσης, σαν αυτά που επιλέχθηκαν στην παρούσα εργασία, οι οποίες μπορούν να χρησιμεύσουν σαν πολύ καλές πρώτες εκτιμήσεις για την επίλυση του μη γραμμικού προβλήματος.

4.2 Διαδικασία επίλυσης

Για την επίλυση κάθε μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα διαφορετικά πλάτη διέγερσης σε δύο κατευθύνσεις, την αξονική p και την κάθετη q . Συγκεκριμένα επιλέχθηκαν τα πλάτη $p=0.5m$, $p=1.0m$, $p=1.5m$, $p=2.0m$ και $q=0.5m$, $q=1.0m$, $q=1.5m$, $q=2.0m$ αντίστοιχα. Οι διεγέρσεις εφαρμόζονταν κάθε φορά είτε για την μια κατεύθυνση είτε για την άλλη χωρίς να θεωρηθεί κανένας συνδυασμός των δύο διεγέρσεων π.χ όταν δινόταν διέγερση στην p κατεύθυνση για κάθε πλάτος στην q κατεύθυνση το πλάτος οριζονταν πάντα μηδέν και αντίστροφα.

Όλες οι επιλύσεις πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας 100 σημεία για την διακριτοποίηση κατασκευής με το πρώτο σημείο στο κάτω σημείο επαφής ενώ η επίλυση πραγματοποιήθηκε για κάθε μοντέλο σε τέσσερα διαφορετικά σημεία. Συγκεκριμένα, τα σημεία που επιλέχθηκαν ήταν α) ο κόμβος στον οποίο παρουσιάστηκε η μέγιστη στατική ροπή, β)ο κόμβος 25 που αντιστοιχεί στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, γ)ο κόμβος 50 που αντιστοιχεί στο 1/2 του μήκους της κατασκευής και δ)ο κόμβος 75 που αντιστοιχεί στα 3/4 του μήκους της κατασκευής. Η επιλογή του πρώτου σημείου, εκεί δηλαδή που παρατηρείται η μέγιστη στατική ροπή οφείλεται στην βαρύτητα του μεγέθους αυτού στην ασφαλή λειτουργία του ναυπηγικού riser. Τα άλλα τρία σημεία

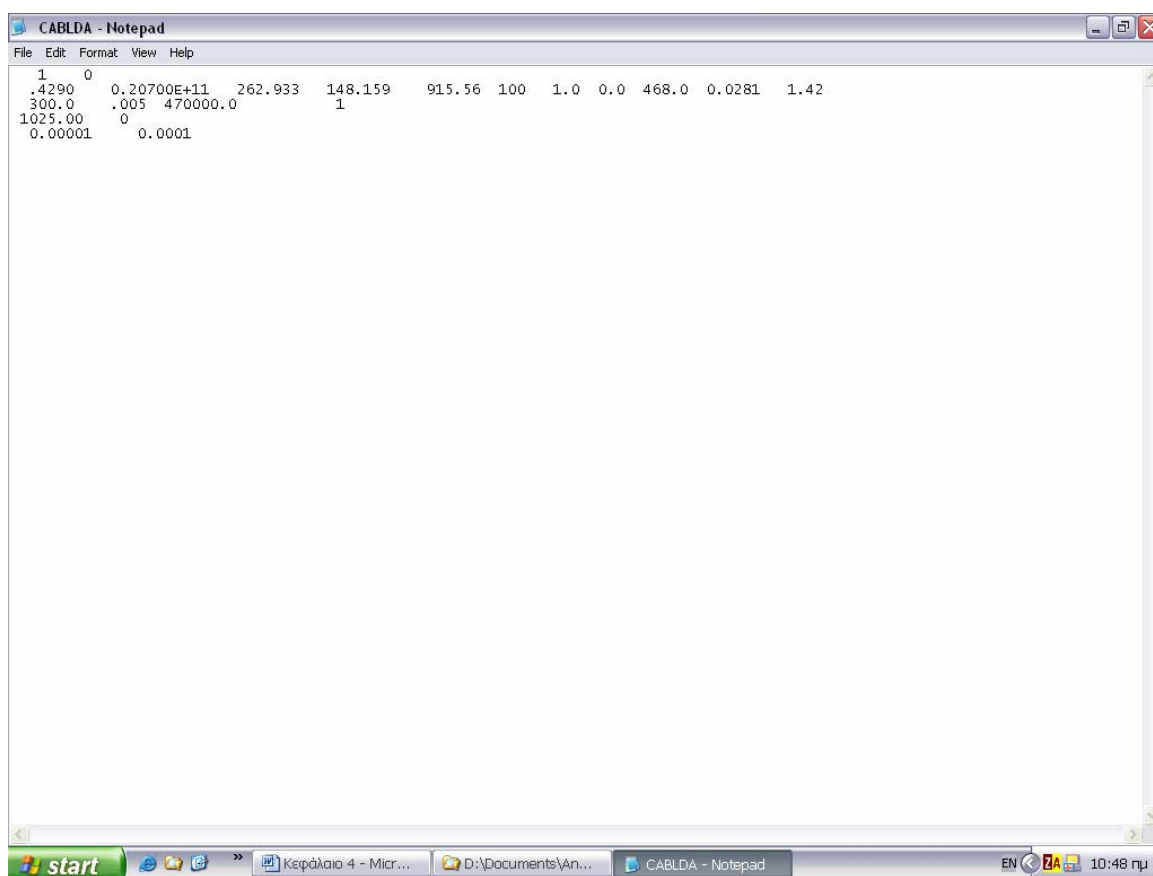
επιλέχθηκαν προκειμένου να μελετηθεί η συμπεριφορά του riser κατά το μήκος του.

4.3 Προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν

Προκειμένου να επιλυθεί στατικά αλλά και δυναμικά το πρόβλημα χρησιμοποιήθηκαν προγράμματα επίλυσης του γραμμικού προβλήματος (Γ. Χατζηγεωργίου) σε περιβάλλον FORTRAN. Για να “τρέξουν” τα προγράμματα αυτά έπρεπε να δημιουργηθεί αρχικά ένα αρχείο εισόδου δεδομένων.

4.3.1 Αρχείο εισόδου δεδομένων

Κάθε φορά που ήταν επιθυμητό να επιλυθεί το πρόβλημα τα δεδομένα καταγραφόταν σε ένα αρχείο εισόδου σε περιβάλλον Notepad. Η μορφή του αρχείου φαίνεται στην Εικόνα 2



Εικόνα 2: Αρχείο εισόδου δεδομένων

όπου:

0.4290	η εξωτερική διάμετρος d_o [m]
0.20700E+11	το μέτρο ελαστικότητας E [KN/m]
262.933	η μάζα ανά μονάδα μήκους [Kg/m]
148.159	η πρόσθετη μάζα ανά μονάδα μήκους [Kg/m]
915.56	βάρος ανά μονάδα μήκους [N/m]
100	σημεία διακριτοποίησης
468	μήκος κατασκευής [m]
0.0281	εμβαδόν διατομής [m ²]
300	βάθος νερού [m]
0.005	ακρίβεια επίλυσης
470000	προένταση [N]
1025	πυκνότητα νερού [Kg/m ³]

Σε κάθε κατασκευή και πριν “τρέξουν” τα προγράμματα της στατικής και δυναμικής επίλυσης έτρεχε για μια μόνο φορά ένα πρόγραμμα το οποίο “διαβάζοντας” το παραπάνω αρχείο όριζε την αρχική εκτίμηση της στατικής διαμόρφωσης της κατασκευής προκειμένου αυτή να επιλυθεί και μάλιστα έδινε τα πάντα εκτός της ροπής. Στην συνέχεια έτρεχαν τα προγράμματα πρώτα της στατικής επίλυσης και μετά της δυναμικής σε περιβάλλον Fortran.

4.3.2 Πρόγραμμα γραμμικής επίλυσης του στατικού προβλήματος

Το πρόγραμμα αυτό για να τρέξει ζητούσε επιπλέον την ακαμψία της κατασκευής όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3. Το αρχείο εξόδου που προέκυπτε από το πρόγραμμα αυτό ήταν σε μορφή Notepad και αποτελούνταν από έξι στήλες οι οποίες είναι:

1_η στήλη: τάση κατά μήκος του riser (N)

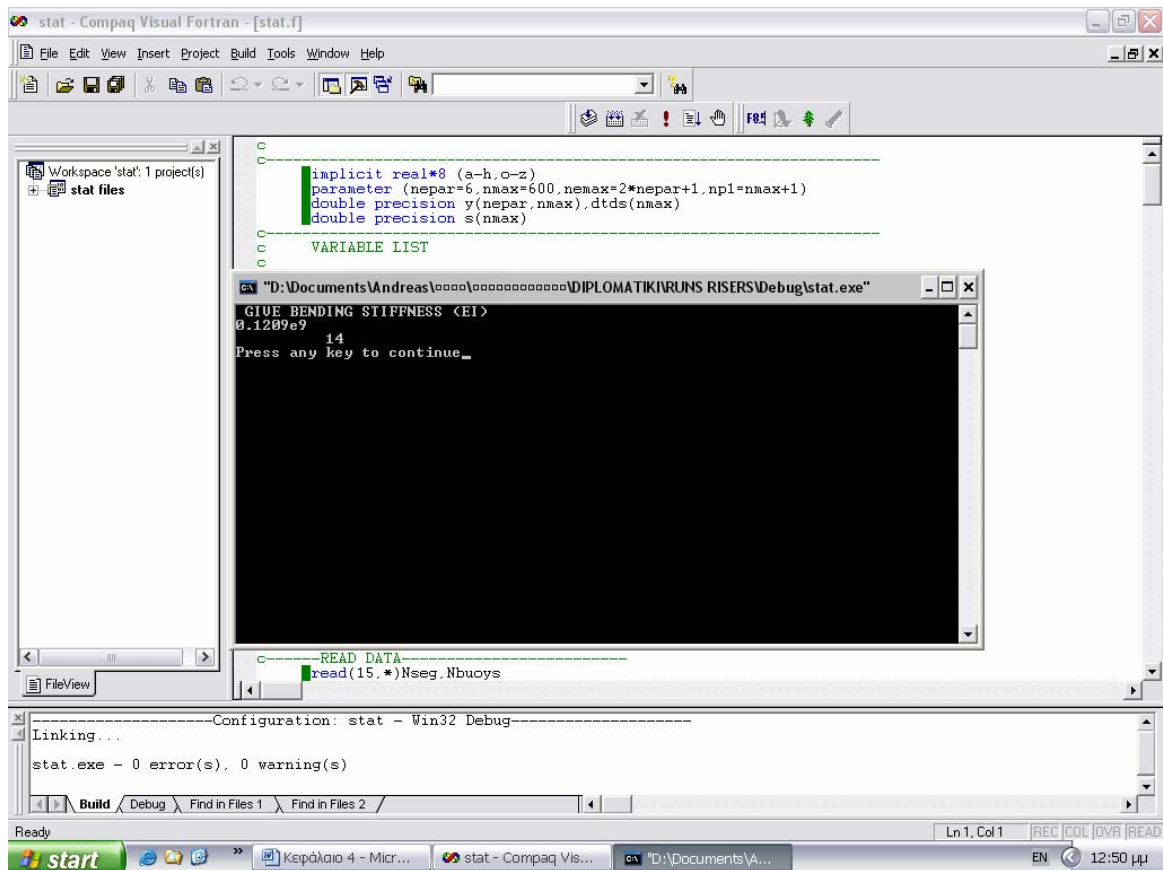
2_η στήλη: στατική γωνία φ (rad)

3_η στήλη: συντεταγμένη x (m)

4_η στήλη: συντεταγμένη z (m)

5_η στήλη: καμπυλότητα (1/m)

6_η στήλη: διαμητική δύναμη (N)

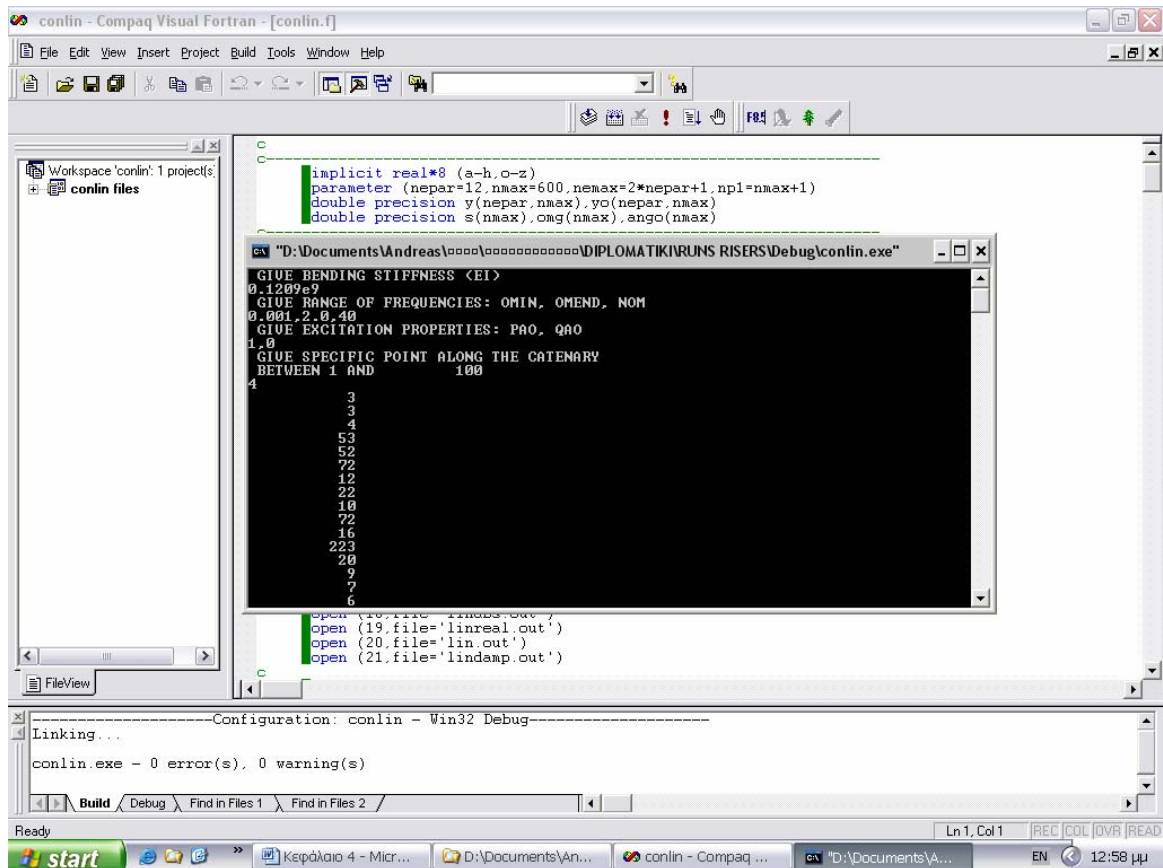


Εικόνα 3: Παράθυρο διαλόγου στη στατική επίλυση

4.3.3 Πρόγραμμα γραμμικής επίλυσης του δυναμικού προβλήματος

Προκειμένου να “τρέξει” το πρόγραμμα αυτό εμφανιζόταν ένα παράθυρο διαλόγου όπου ζητούνταν περαιτέρω στοιχεία για την επίλυση του δυναμικού προβλήματος ισορροπίας. Ενδεικτικά ένα τέτοιο παράθυρο εμφανίζεται στην Εικόνα 4.

Αρχικά το πρόγραμμα ζητά την ακαμψία EI. Στην συνέχεια ζητά να ορισθεί το διάστημα των συχνοτήτων που είναι επιθυμητό να μελετηθεί καθώς και το βήμα για να προχωρήσει από την ελάχιστη στη μέγιστη τιμή. Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε το διάστημα συχνοτήτων από 0.001 rad/s έως 2.0 rad/s με βήμα 40 για όλες τις κατασκευές και για όλες τις περιπτώσεις. Πρέπει να σημειωθεί στο σημείο αυτό πως για τις κατασκευές που αντιστοιχούν σε βάθος νερού 800, 1200 και 1800 και για τις ρ διεγέρσεις με πλάτη 1.0m, 1.5m και 2.0m το πρόγραμμα δεν έδωσε επίλυση για όλο το διάστημα συχνοτήτων διότι δεν είχε προγραμματιστεί με την κατάλληλη διακριτοποίηση για την αντιμετώπιση των



Εικόνα 4: Παράθυρο διαλόγου στην δυναμική επίλυση

περιπτώσεων αυτών. Αφού ορισθεί το διάστημα συχνοτήτων ζητά να ορισθεί το πλάτος της διέγερσης καθώς και η κατεύθυνση δηλαδή να ορισθούν τα p και q . Όπως προαναφέρθηκε δεν έγινε κανένας συνδυασμός των δύο διεγέρσεων οπότε το πρόγραμμα έτρεξε οκτώ φορές για κάθε κατασκευή : τέσσερις φορές με διέγερση p (0.5m, 1.0m, 1.5m και 2.0m) και τέσσερις φορές με διέγερση q (0.5m, 1.0m, 1.5m και 2.0m). Στη συνέχεια ζητούσε για ποιόν κόμβο από τους 100 που διακριτοποιήθηκε η κατασκευή ήταν επιθυμητό να επιλυθεί το πρόβλημα. Έτσι, για κάθε μια από τις οκτώ παραπάνω διεγέρσεις σε κάθε κατασκευή ορίστηκαν τα τέσσερα σημεία που προαναφέρθηκαν στο εδάφιο 4.2 δηλαδή για κάθε διέγερση το πρόγραμμα εκτελέστηκε τέσσερις φορές, μία για κάθε σημείο επίλυσης προκειμένου να προκύψουν για κάθε δυναμική συνιστώσα του δυναμικού προβλήματος η συνάρτηση μεταφοράς για το σημείο αυτό.

Σε κάθε εκτέλεση του προγράμματος δημιουργούνταν τρία εξαγόμενα αρχεία σε μορφή Notepad. Αναλυτικά τα εξαγόμενα αυτά αρχεία περιείχαν

Εξαγόμενο 1: Αποτελούνταν από οκτώ στήλες που περιλάμβαναν τα συνολικά μεγέθη δηλαδή την στατική και δυναμική συνιστώσα κάθε μεγέθους.

1_η στήλη: την συχνότητα ω (rad/s)

2_η στήλη: Lagrangian συντεταγμένη (m)

3_η στήλη: συνολική τάση T (N)

4_η στήλη: συνολική διατμητική δύναμη (στατική και δυναμική) Q (N)

5_η στήλη: αξονική ταχύτητα u

6_η στήλη: κάθετη ταχύτητα v

7_η στήλη: συνολική ροπή (στατική και δυναμική) M(Nm)

8_η στήλη: συνολική γωνία (στατική και δυναμική) ϕ (rad)

Εξαγόμενο 2: Αποτελούνταν και αυτό από οκτώ στήλες που περιλάμβαναν τα δυναμικά μεγέθη και μάλιστα το πραγματικό μέρος των δυναμικών μεγεθών.

1_η στήλη: την συχνότητα ω (rad/s)

2_η στήλη: Lagrangian συντεταγμένη (m)

3_η στήλη: πραγματικό μέρος της δυναμικής τάσης $T_d(N)$

4_η στήλη: πραγματικό μέρος της δυναμικής διατμητικής δύναμης $Q_d(N)$

5_η στήλη: αξονική ταχύτητα u

6_η στήλη: κάθετη ταχύτητα v

7_η στήλη: πραγματικό μέρος της δυναμικής ροπής $M_d(Nm)$

8_η στήλη: πραγματικό μέρος της δυναμικής γωνίας $\phi_d(rad)$

Εξαγόμενο 3: Το εξαγόμενο αυτό αφορούσε κάθε φορά το σημείο που οριζόταν στο πρόγραμμα για το οποίο ήταν επιθυμητή η επίλυση π.χ το σημείο με την μέγιστη στατική ροπή και ήταν αυτό το αρχείο που έδινε την συνάρτηση μεταφοράς για το συγκεκριμένο σημείο για όλα τα μεγέθη. Αποτελούνταν από επτά στήλες όπως:

1_η στήλη: την συχνότητα ω (rad/s)

2_η στήλη: πλάτος του δυναμικού τμήματος της τάσης T (N)

3_η στήλη: πλάτος του δυναμικού τμήματος της διατμητικής δύναμης Q

4_η στήλη: πλάτος του δυναμικού τμήματος της αξονικής κίνησης p

5_η στήλη: πλάτος του δυναμικού τμήματος της εγκάρσιας κίνησης q

6_η στήλη: πλάτος του δυναμικού τμήματος της καμπυλότητας Ω

7^η στήλη: πλάτος του δυναμικού τμήματος της γωνίας φ .

4.4 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Όπως είναι κατανοητό κάποια αρχεία σε μορφή Notepad δεν μπορούν να βοηθήσουν προκειμένου να μελετηθούν τα αποτελέσματα ώστε να διεξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα. Για το σκοπό αυτό τα παραπάνω αρχεία αποτέλεσαν χρήσιμα εργαλεία για να οπτικοποιηθούν τα αποτελέσματα και να είναι πιο εύκολη η μελέτη τους. Έτσι, με τη βοήθεια του προγράμματος Excel δημιουργήθηκαν τα αντίστοιχα διαγράμματα των συνιστωσών που απαρτίζουν την στατική και δυναμική συμπεριφορά των risers που επιλύθηκαν.

Από το εξαγόμενο αρχείο της στατικής επίλυσης προέκυψαν τα διαγράμματα της στατικής διαμόρφωσης, στατικής τάσης και στατικής ροπής για κάθε κατασκευή που παρουσιάσθηκαν στο κεφάλαιο 3 έχοντας σαν άξονα x την στήλη 3 που περιείχε τις x συντεταγμένες και σαν άξονα y κάθε φορά την στήλη με το μέγεθος που ενδιέφερε. Στο αρχείο αυτό δεν προέκυπτε άμεσα η στατική ροπή αλλά η καμπυλότητα Ω της κατασκευής. Προκειμένου να δημιουργηθεί το γράφημα της στατικής ροπής ήταν απαραίτητο η στήλη που αφορούσε την καμπυλότητα να πολλαπλασιασθεί με την ακαμψία της κατασκευής EI.

Τα γραφήματα από 6α έως 6δ αφορούν τις συναρτήσεις μεταφοράς για τις δύο διεγέρσεις p, q, για κάθε βάθος νερού, για κάθε σημείο που επιλέχθηκε να επιλυθεί το πρόβλημα και για κάθε δυναμική συνιστώσα του δυναμικού προβλήματος ισορροπίας. Έτσι, για παράδειγμα η ομάδα 6 των διαγραμμάτων περιλαμβάνει:

διάγραμμα 6α : για βάθος νερού 300m την δυναμική τάση στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής για την q διέγερση και για τα 4 πλάτη

διάγραμμα 6β: για βάθος νερού 300m την δυναμική τάση στο 1/4 του μήκους της κατασκευής για τη q διέγερση και για τα 4 πλάτη

διάγραμμα 6γ: για βάθος νερού 300m την δυναμική τάση στο 1/2 του μήκους της κατασκευής για τη q διέγερση και για τα 4 πλάτη

διάγραμμα 6δ: για βάθος νερού 300m την δυναμική τάση στα 3/4 του μήκους της κατασκευής για τη q διέγερση και για τα 4 πλάτη

Αντίστοιχα διαγράμματα δημιουργήθηκαν και για τις άλλες δυναμικές συνιστώσες δηλαδή, την δυναμική διατμητική δύναμη, την αξονική κίνηση, την εγκάρσια κίνηση, την δυναμική ροπή και την δυναμική γωνία, για το ίδιο βάθος νερού, την ίδια διέγερση και για τα 4 πλάτη. Ομοίως έγινε και για τα υπόλοιπα βάθη νερού και για την διέγερση p . Οι συναρτήσεις αυτές μεταφοράς δημιουργήθηκαν με χρήση του τρίτου εξαγόμενου αρχείου με άξονα x την πρώτη στήλη που περιείχε τις συχνότητες και με άξονα y την στήλη του μεγέθους που κάθε φορά ενδιέφερε η οποία περιείχε συγκεκριμένα τα πλάτη του μεγέθους αυτού στην αντίστοιχη συχνότητα. Όπως και πριν στο αρχείο αυτό δεν προέκυπτε άμεσα η δυναμική ροπή αλλά η καμπυλότητα της κατασκευής οπότε ήταν απαραίτητη η επεξεργασία των αρχείων αυτών ως προς αυτό το σημείο.

Τα γραφήματα από 66α μέχρι τέλος αφορούν συγκριτικά αποτελέσματα για την δυναμική συμπεριφορά του riser κάτω από την p και q διέγερση για διάφορες συχνότητες. Για παράδειγμα στο διάγραμμα 66α απεικονίζονται για βάθος νερού 300m τα διάφορα μεγέθη για πλάτη 0.5m (αριστερή στήλη) και 1.0m (δεξιά στήλη) όπως αυτά προέκυψαν για τις συχνότητες 0.565rad/s, 0.872rad/s, 1.180rad/s και 1.740rad/s. Αντίστοιχα διαγράμματα δημιουργήθηκαν για το ίδιο βάθος και για τα άλλα δύο εξεταζόμενα πλάτη 1.5m και 2.0m (ομάδα διαγραμμάτων 66β) καθώς και για τα υπόλοιπα βάθη νερού και στις δύο διεγέρσεις και για συγκεκριμένες συχνότητες. Τα συγκριτικά αυτά διαγράμματα δημιουργήθηκαν με τη βοήθεια του πρώτου εξαγόμενου αρχείου όπως προέκυψε από την δυναμική επίλυση του προβλήματος. Για την συχνότητα ενδιαφέροντος επιλεγόταν κάθε φορά για τον άξονα των x η 2η στήλη που περιείχε την Lagrangian συντεταγμένη και για τον άξονα y το μέγεθος που ήταν επιθυμητό να απεικονισθεί.

Κεφάλαιο 5

Σχολιασμός αποτελεσμάτων

5.1 Εγκάρσια διέγερση

5.1.1 Σχολιασμός δυναμικής συμπεριφοράς στο πεδίο των συχνοτήτων

Η δυναμική συμπεριφορά των risers στο πεδίο των συχνοτήτων υπό τη q διέγερση εξετάζεται με τη βοήθεια των διαγραμμάτων 6α έως 35δ. Τα διαγράμματα αυτά απεικονίζουν τις συναρτήσεις μεταφοράς όλων των δυναμικών μεγεθών και για τις πέντε εξεταζόμενες κατασκευές για διάφορα βάθη νερού. Κάθε δυναμικό μέγεθος εξετάζεται σε κάθε κατασκευή σε τέσσερα διαφορετικά σημεία κατά μήκος του riser καθώς και με τέσσερα επιβαλλόμενα πλάτη όπως αυτά αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 4.

Τα διαγράμματα 6α, β, γ, δ, 7α, β, γ, δ, 8α, β, γ, δ, 9α, β, γ, δ αφορούν τις συναρτήσεις μεταφοράς της δυναμικής τάσης σε κάθε κατασκευή αντίστοιχα και στα τέσσερα υπό εξέταση σημεία. Όπως είναι φανερό από τα διαγράμματα αυτά η μορφή της μεταβολής της τάσης παρουσιάζει τοπικά μέγιστα και τοπικά ελάχιστα για όλα τα πλάτη και σε όλο το εύρος των συχνοτήτων. Παρατηρώντας τα διαγράμματα που αφορούν σε βάθος νερού 300m (6α, β, γ, δ) είναι φανερό πως οι μέγιστες τιμές τάσης παρουσιάζουν γραμμική αύξηση από εξεταζόμενο σημείο σε εξεταζόμενο σημείο και σε όλα τα πλάτη. Έτσι, για παράδειγμα στο 6α που αφορά στο σημείο της μέγιστης στατικής ροπής, η μέγιστη τιμή της τάσης στο πλάτος διέγερσης $q=2.0m$ είναι περίπου 22KN. Στο διάγραμμα 6β που αφορά στο 1/4 του μήκους της κατασκευής η μέγιστη τιμή της τάσης είναι λίγο μεγαλύτερη από 22KN. Στο μέσο του μήκους της κατασκευής, διάγραμμα 6γ, η μέγιστη τιμή της είναι περίπου 23KN ενώ στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, διάγραμμα 6δ, παρατηρείται μέγιστη τιμή περίπου 25KN. Παρατηρείται, δηλαδή, αύξηση της δυναμικής τάσης καθώς πλησιάζουμε προς την επιφάνεια του riser, κάτι που ήταν αναμενόμενο λαμβάνοντας υπόψη την μορφή της συνολικής τάσης που ακολουθεί τη στατική διαμόρφωση του riser (διάγραμμα 1α, β).

Όσον αφορά τις συναρτήσεις μεταφοράς της δυναμικής διατμητικής δύναμης για βάθος νερού 300m, διαγράμματα 7α, β, γ, δ, παρατηρείται ότι έχουν την ίδια συμπεριφορά σε κάθε υπό εξέταση θέση ανεξαρτήτως του

πλάτους διέγερσης, ενώ κατά μήκος του riser παρουσιάζουν έντονες διακυμάνσεις. Τα μεγέθη συγκρινόμενα με αυτά της δυναμικής τάσης έχουν σχεδόν την μισή τιμή, περίπου της τάξης των 10KN.

Διαφορετική συμπεριφορά κατά μήκος του riser παρουσιάζουν και οι συναρτήσεις μεταφοράς των αξονικών κινήσεων (βλ. διαγράμματα 8α, β, γ, δ). Ωστόσο, σε κάθε σημείο εξέτασης εμφανίζουν την ίδια ταλαντωτική συμπεριφορά ανεξαρτήτως του πλάτους διέγερσης. Οι τιμές των αξονικών κινήσεων είναι πολύ μικρότερες από τις αντίστοιχες των εγκάρσιων κινήσεων. Παρατηρώντας τα διαγράμματα των αξονικών κινήσεων είναι επίσης φανερό πως παρουσιάζουν τις μέγιστες τιμές στην ίδια περίπου συχνότητα περίπου 0.25rad/s σε κάθε μια από τις τέσσερις θέσεις που εξετάσθηκαν.

Σε αντίθεση με τις αξονικές κινήσεις, οι μέγιστες τιμές των εγκάρσιων κινήσεων παρουσιάζουν ομαλή αύξηση από σημείο εξέτασης σε σημείο εξέτασης καθώς ανεβαίνουμε προς την επιφάνεια του riser (διαγράμματα 9α, β, γ, δ). Και σε αυτή την περίπτωση όμως η ταλαντωτική συμπεριφορά σε κάθε θέση είναι η ίδια ανεξαρτήτως του πλάτους διέγερσης.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί πως οι εγκάρσιες κινήσεις είναι αυτές που επηρεάζουν την αύξηση της καμπτικής ροπής εξαιτίας των δυναμικών φαινομένων. Η συμπεριφορά των συναρτήσεων μεταφοράς της τελευταίας για τις τέσσερις υπό εξέταση θέσεις για βάθος νερού 300m, φαίνεται στα διαγράμματα 10α, β, γ, δ από τα οποία παρατηρούνται χαρακτηριστικές μεταβολές της δυναμικής καμπτικής ροπής σε κάθε θέση καθώς αυξάνονται οι συχνότητες ενώ κατά μήκος του riser παρουσιάζονται έντονες διακυμάνσεις.

Καθώς αυξάνει το εξεταζόμενο βάθος νερού από τα 300m στα 500m, παρατηρούνται ελάχιστες μεταβολές για τα διάφορα δυναμικά μεγέθη. Ιδιαίτερα για τις αξονικές και εγκάρσιες κινήσεις καθώς και για την ροπή εμφανίζεται η ίδια σχεδόν συμπεριφορά σε κάθε θέση ανεξαρτήτως του πλάτους διέγερσης και τις παρόμοιες διακυμάνσεις κατά μήκος του riser. Αυτό που αξίζει να σημειωθεί είναι ότι όσον αφορά τις συναρτήσεις μεταφοράς της δυναμικής τάσης, αυτές παρουσιάζουν έντονη αύξηση της μέγιστης τιμής του (βλ διαγράμματα 12α, β,γ,δ). Ωστόσο, η γραμμική αύξηση κατά μήκος του riser παρατηρείται και σε αυτή την περίπτωση.

Ακόμα πιο έντονη αύξηση του μεγίστου της τάσης εμφανίζεται καθώς αυξάνει το βάθος νερού στα 800m(διαγράμματα 18α, β, γ, δ). Αυτό όμως που

παρατηρείται επιπλέον είναι ότι ναι μεν η μέγιστη τιμή της τάσης εμφανίζεται κοντά στο τέλος του εξεταζόμενου εύρους των συχνοτήτων, ωστόσο παρατηρείται μια απομάκρυνσή της από αυτό και εμφανίζεται περίπου στα 1.7 rad/s. Η συμπεριφορά αυτή γίνεται εντονότερη καθώς αυξάνει το βάθος ακόμα περισσότερο το βάθος νερού. Συγκεκριμένα σε βάθος νερού 1200m η έντονη αύξηση της τάσης παρατηρείται στην συχνότητα 1.5rad/s (διαγράμματα 24α,β,γ,δ) ενώ στα 1800m παρατηρείται περίπου στην συχνότητα 1rad/s (διαγράμματα 30α,β, γ, δ) στο μέσο δηλαδή του διαστήματος των συχνοτήτων. Η εμφάνιση του μεγίστου αυτού και κυρίως η μετατόπισή του καθώς αυξάνεται το βάθος νερού προς το μέσο του εξεταζόμενου διαστήματος συχνοτήτων επηρεάζει την μεταβολή των άλλων δυναμικών μεγεθών γεγονός που εκδηλώνεται με την εμφάνιση τοπικών ασυνεχειών. Συγκεκριμένα, στο βάθος των 1800m όπως προαναφέρθηκε το μέγιστο εμφανίζεται περίπου στην συχνότητα 1rad/s. Παρατηρώντας το διάγραμμα της δυναμικής διατμητικής δύναμης, κυρίως στη θέση όπου έχουμε την μέγιστη στατική ροπή (διαγ.31α) είναι φανερό πως ενώ το μέγεθος παρουσιάζει αυξητική τάση καθώς αυξάνονται οι συχνότητες στην συχνότητα 1rad/s παρουσιάζεται τοπική ασυνέχεια. Επίσης, αυτό είναι φανερό και στα διαγράμματα των αξονικών κινήσεων σε όλες τις εξεταζόμενες θέσεις (διαγράμματα 32α, β, γ, δ) καθώς και στο διάγραμμα της εγκάρσιας κίνησης και της καμπτικής ροπής στη θέση όπου παρατηρείται η μέγιστη στατική ροπή (διαγρ. 33α και 34α αντίστοιχα).

Γενικά, αξίζει να σημειωθεί πως καθώς αυξάνει το βάθος νερού παρατηρούνται οι ίδιες μεταβολές για τα διάφορα δυναμικά μεγέθη. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στην παρούσα εργασία εξετάζεται η γραμμική επίλυση του προβλήματος. Θα παρατηρούνταν διαφορετικές μεταβολές καθώς θα αυξανόταν το βάθος νερού εάν είχαν ληφθεί υπόψη και τα μη γραμμικά φαινόμενα.

5.1.2 Σχολιασμός της συμπεριφοράς του riser κατά μήκος του

Η δυναμική συμπεριφορά των risers κατά μήκος του riser υπό τη q διέγερση εξετάζεται με τη βοήθεια των διαγραμμάτων 66α έως 70β τα οποία αφορούν όλα τα εξεταζόμενα βάθη. Οι συνιστώσες του δυναμικού

προβλήματος απεικονίζονται στα διαγράμματα αυτά έτσι όπως προέκυψαν για τις τέσσερις συχνότητες διέγερσης που προεπιλέχθηκαν και για τα τέσσερα εξεταζόμενα πλάτη ενώ περιλαμβάνουν τόσο το στατικό όσο και το δυναμικό τμήμα τους.

Παρατηρώντας τα διαγράμματα 66α και 66β τα οποία αφορούν την περίπτωση του βάθους νερού 300m όσον αφορά την συνολική τάση δεν παρουσιάζεται καμία ουσιαστική μεταβολή ανεξαρτήτως του πλάτους διέγερσης και της συχνότητας διέγερσης. Μάλιστα παρατηρείται πλήρης ταύτιση των καμπύλων της συνολικής τάσης. Η συμπεριφορά αυτή ήταν αναμενόμενη διότι η τάση δεν επηρεάζεται από την εγκάρσια διέγερση καθώς η τελευταία δεν επιμηκύνει την κατασκευή.

Όσον αφορά τη συνολική διατμητική δύναμη παρατηρούνται μικρές τιμές που παρουσιάζουν μικρή αύξηση καθώς αυξάνεται η ταχύτητα διέγερσης. Τα μέγιστα της συνολικής διατμητικής τάσης εμφανίζονται στα δύο άκρα του riser, γεγονός που προέρχεται από τις συνοριακές συνθήκες όπου η ροπή ορίσθηκε

μηδενική. Είναι γνωστό ότι $M + \frac{\partial Q}{\partial s} = 0$ οπότε σύμφωνα με τα παραπάνω

επειδή $M=0$ στα δύο άκρα ισχύει $\frac{\partial Q}{\partial s} = 0$, δηλαδή εμφανίζονται μέγιστες τιμές.

Η συσχέτιση αυτή επιβεβαιώνεται αν παρατηρήσουμε και τα διαγράμματα της ίδιας ομάδας που αφορούν τη διατμητική δύναμη και την συνολική ροπή. Συγκεκριμένα, είναι φανερό πως στα σημεία του riser που παρατηρούνται τοπικά μέγιστα για την διατμητική δύναμη στα διαγράμματα της ροπής στα ίδια σημεία έχουμε τοπικά ελάχιστα και αντίστροφα. Στα διαγράμματα της ροπής παρατηρείται επιπλέον πως οι διακυμάνσεις γίνονται εντονότερες σε μεγαλύτερες ταχύτητες διέγερσης.

Από την άλλη οι αξονικές ταχύτητες εμφανίζονται να παρουσιάζουν έντονες διακυμάνσεις με αρκετά τοπικά μέγιστα και τοπικά ελάχιστα σε όλο το μήκος του riser ενώ στα άκρα του παίρνουν μηδενικές τιμές. Παρατηρείται δε πως στα μεγαλύτερα πλάτη σε ορισμένες περιπτώσεις τα τοπικά ελάχιστα προσεγγίζουν το μηδέν ενώ αμέσως μετά ακολουθεί αύξηση της αξονικής ταχύτητας. Η προσέγγιση στο μηδέν είναι αποτέλεσμα της κόπωσης του riser και είναι πολύ πιθανό κάποιες φορές η συμπεριφορά αυτή να οδηγήσει σε σπάσιμο της κατασκευής. Από τα διαγράμματα 6α και 6β παρατηρώντας αυτά

που αφορούν τις αξονικές κινήσεις είναι επίσης εμφανές πως σε κάποια σημεία του riser οι αξονικές ταχύτητες παίρνουν μεγαλύτερες τιμές για τις μικρότερες συχνότητες (0.565rad/s και 0.872rad/s) σε σχέση με τις δύο μεγαλύτερες συχνότητες 1.180rad/s και 1.740rad/s).

Σε αντίθεση με τις αξονικές ταχύτητες οι εγκάρσιες ταχύτητες παρουσιάζουν τις μέγιστες τιμές τους, όπως και ήταν αναμενόμενο στην εγκάρσια διέγερση, στο πάνω άκρο του riser ενώ φαίνεται πως εξαρτώνται από την ταχύτητα διέγερσης. Ωστόσο παρατηρούνται και σε αυτές έντονες διακυμάνσεις κατά μήκος του riser με τοπικά μέγιστα και τοπικά ελάχιστα.

Καθώς το βάθος αυξάνει από 300m σε 500m δεν παρατηρούνται ιδιαίτερες μεταβολές στα μεγέθη. Μικρή διαφορά στην τάση παρατηρείται στα 800m, διαγράμματα 68α και 68β, όπου οι τιμές της για μεγαλύτερες ταχύτητες διέγερσης διαφοροποιούνται αυξητικά έστω και με μικρή διαφορά. Σε αυτό το βάθος μελετώντας τα διαγράμματα των αξονικών ταχυτήτων παρατηρείται έντονη η επίδραση των συχνοτήτων διέγερσης. Συγκεκριμένα, για την μεγαλύτερη συχνότητα διέγερσης 1.740 rad/s και σε όλα τα πλάτη η αξονική ταχύτητα αποκτά μεγάλη διαφορά σε σχέση με τις άλλες τρεις συχνότητες. Οι μορφές των υπολοίπων συνιστωσών δεν διαφοροποιούνται ιδιαίτερα.

Στα 1200m, διαγράμματα 69α και 69β, οι καμπύλες των τάσεων, σε αντίθεση με την περίπτωση των 800m, δεν παρουσιάζουν αυξητική συμπεριφορά με την αύξηση των ταχυτήτων διέγερσης αλλά ταυτίζονται πάλι όπως παρατηρήθηκε στα βάθη νερού 300m και 500m. Οι αξονικές ταχύτητες εμφανίζουν τώρα τις μεγαλύτερες τιμές στη συχνότητα διέγερσης 1.180 rad/s και μάλιστα όσο αυξάνει το πλάτος και κατά συνέπεια η ταχύτητα διέγερσης οι τιμές για την συχνότητα αυτή παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές σε σχέση με τις άλλες τρεις συχνότητες.

Αυτό που αξίζει να σημειωθεί για την συνολική διατμητική δύναμη είναι πως όσο αυξάνει το βάθος νερού οι τιμές της κατά μήκος του riser πλησιάζουν κοντά στο μηδέν. Η μέγιστη τιμή της στο κάτω άκρο δεν μεταβάλλεται ιδιαίτερα σε αντίθεση με το πάνω άκρο.

Η συνολική καμπτική ροπή παρουσιάζει την μέγιστη τιμή της πολύ κοντά στο σημείο που εμφανίσθηκε η μέγιστη στατική ροπή. Όσο το βάθος αυξάνει παρατηρείται όλο και πιο απότομη πτώση από την μέγιστη τιμή κατά μήκος

του riser ενώ για μεγαλύτερα πλάτη εμφανίζεται μια τοπική αύξηση της ροπής λίγο πριν το σημείο πρόσδεσης.

5.2 Αξονική διέγερση

5.2.1 Σχολιασμός δυναμικής συμπεριφοράς στο πεδίο των συχνοτήτων

Η δυναμική συμπεριφορά των riser υπό την p διέγερση εξετάζεται με την βοήθεια των διαγραμμάτων από 36α έως 65δ. Και εδώ κάθε δυναμικό μέγεθος σε κάθε ένα από τα πέντε μοντέλα εξετάζεται σε τέσσερα διαφορετικά σημεία: το σημείο όπου παρουσιάσθηκε η μέγιστη στατική ροπή, στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, στο 1/2 του μήκους της κατασκευής και στα 3/4 του μήκους της κατασκευής. Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί πως στην περίπτωση της p διέγερσης δεν εξετάσθηκε σε όλα τα βάθη το ίδιο διάστημα συχνοτήτων διέγερσης λόγω του ότι το πρόγραμμα δεν είχε προγραμματισθεί με την κατάλληλη διακριτοποίηση. Έτσι, για τα βάθη 300m και 500m η μελέτη υλοποιήθηκε μέχρι τα 2 rad/s στα 800m και 1200m μέχρι την 1.360 rad/s ενώ για τα 1800m μέχρι την συχνότητα 1 rad/s περίπου.

Σε αντίθεση με την εγκάρσια διέγερση όπου στην τάση εμφανίσθηκαν τοπικά μέγιστα και τοπικά ελάχιστα σε όλο το εύρος των συχνοτήτων στην αξονική διέγερση η τάση παρουσιάζει την προδιάθεση να αυξάνεται καθώς αυξάνονται οι συχνότητες. Μάλιστα παρατηρείται να έχει μορφή αλυσοειδούς ως προς την ταχύτητα διέγερσης. Η μορφή αυτή διατηρείται σε όλα τα βάθη, ενώ καθώς το βάθος αυξάνει παρατηρείται προς το τέλος του εύρους των συχνοτήτων μια ελαφριά καμπυλότητα του γραφήματος της τάσης. Και σε αυτή την διέγερση οι τιμές της τάσης από σημείο εξέτασης σε σημείο εξέτασης παρουσιάζουν γραμμική αύξηση ενώ σε σχέση με την εγκάρσια διέγερση παρατηρούνται μεγαλύτερες τιμές διότι η αξονική διέγερση επηρεάζει την επιμήκυνση λόγω του εκτακού της κατασκευής.

Στην αξονική κίνηση για βάθος νερού 300m, διαγράμματα 38α έως 38β, παρατηρείται μια τάση σταθεροποίησης των συναρτήσεων μεταφοράς καθώς ανεβαίνουμε κατά μήκος του riser, για κάθε πλάτος διέγερσης προς την τιμή του αντίστοιχου πλάτους. Αυτό είναι φανερό ιδιαίτερα αν παρατηρήσουμε το διάγραμμα 38δ που αφορά τα 3/4 του μήκους της κατασκευής, δηλαδή πιο κοντά στην επιφάνεια του riser, στο οποίο φαίνεται πως κάθε συνάρτηση

μεταφοράς για κάθε πλάτος είναι σχεδόν παράλληλη προς τον άξονα των συχνοτήτων με τιμή που προσεγγίζει το αντίστοιχο αρχικό πλάτος διέγερσης. Καθώς όμως αυξάνει το υπό εξέταση βάθος νερού η τάση αυτή γίνεται όλο και πιο λιγότερο έντονη. Ιδιαίτερα αυτό είναι φανερό στα διαγράμματα 56δ και 62δ τα οποία αντιστοιχούν στην αξονική κίνηση στα 3/4 του μήκους του riser στα 1200m και στα 1800M αντίστοιχα. Στα διαγράμματα αυτά παρατηρείται ότι ενώ οι συναρτήσεις μεταφοράς των αξονικών κινήσεων έχουν αρχικά τιμές ίσες με το πλάτος διέγερσης που τους αντιστοιχεί διατηρούν την τιμή αυτή μέχρι κάποια συχνότητα ενώ μετά παρουσιάζουν αυξητική τάση για να πλησιάσουν όμως την αρχική τους τιμή λίγο πριν το τέλος το τέλος του διαστήματος των συχνοτήτων.

Από την άλλη, οι συναρτήσεις μεταφοράς των εγκάρσιων κινήσεων καθώς κινούμαστε προς την επιφάνεια του riser παρουσιάζουν στην συχνότητα 0.5rad/s περίπου τοπική ασυνέχεια. Αυτό γίνεται φανερό αν παρατηρήσουμε τα διαγράμματα 63α, 63β, 63γ και 63δ τα οποία αφορούν τις συναρτήσεις μεταφοράς για βάθος νερού 300m. Στο διάγραμμα 44δ που αφορά την τα 3/4 του μήκους της κατασκευής η τοπική ασυνέχεια είναι πιο έντονη σε σχέση με τις άλλες τρεις υπό εξέταση θέσεις. Καθώς αυξάνει το βάθος νερού οι ασυνέχειες αυτές γίνονται όλο και πιο έντονες και εμφανίζονται και στα διαγράμματα που αφορούν το 1/4 και 1/2 του μήκους της κατασκευής.

Όσον αφορά την δυναμική καμπτική ροπή παρατηρείται μια πιο πολύπλοκη συμπεριφορά. Έτσι, παρατηρώντας τα διαγράμματα 64α, 64β, 64γ και 64δ που αφορούν στην δυναμική καμπτική ροπή σε βάθος νερού 300m παρατηρούμε τα εξής: στην θέση που εμφανίζεται η μέγιστη στατική ροπή οι μορφές των συναρτήσεων μεταφοράς μοιάζουν με αυτές των εγκάρσιων κινήσεων. Στα μέσα της κατασκευής 64γ από την συχνότητα 1rad/s περίπου και μετά οι συναρτήσεις μεταφοράς που προέρχονται από μικρότερα πλάτη διέγερσης παίρνουν μεγαλύτερες τιμές γεγονός που γίνεται πιο έντονο καθώς αυξάνει το βάθος νερού ενώ η συμπεριφορά αυτή εμφανίζεται και στο 1/4 του μήκους της κατασκευής.

5.2.2 Σχολιασμός της συμπεριφοράς του riser κατά μήκος του

Όπως ήταν και αναμενόμενο, από τα αντίστοιχα διαγράμματα που αφορούν την τάση είναι φανερό πως η αξονική διέγερση επηρεάζει πολύ το μέγεθος

αυτό. Συγκεκριμένα σε όλα τα βάθη και πλάτη που μελετήθηκαν παρατηρείται πως για μεγαλύτερες ταχύτητες διέγερσης έχουμε μεγαλύτερες τιμές της συνολικής τάσης.

Η αξονική διέγερση επηρεάζει εξίσου σημαντικά και την αξονική ταχύτητα διότι η τελευταία επηρεάζει την αξονική κίνηση. Οι συναρτήσεις μεταφοράς έχουν την μορφή περίπου υπερβολής ενώ ξεκινούν από μηδενική τιμή κοντά στον πυθμένα για να πάρουν στο πάνω άκρο του πυθμένα την τελική τιμή που τους αντιστοιχεί η οποία ταυτίζεται κάθε φορά με την αντίστοιχη ταχύτητα διέγερσης ($\omega \cdot r$).

Από τη αξονική διέγερση επηρεάζεται και η εγκάρσια κίνηση και κατά συνέπεια και η εγκάρσια ταχύτητα εξαιτίας του φαινομένου Buckling η οποία με τη σειρά της επηρεάζει την καμπτική ροπή. Από τα γραφήματα που αφορούν την εγκάρσια ταχύτητα είναι φανερό πως κατά μήκος του riser υπάρχουν σημαντικές διακυμάνσεις σε όλα τα υπό εξέταση βάθη. Μάλιστα, παρουσιάζονται τοπικά μέγιστα και τοπικά ελάχιστα ενώ η μέγιστη τιμή εμφανίζεται στο σημείο που έχουμε την μέγιστη στατική ροπή.

Το τελευταίο παρατηρείται και στα διαγράμματα των ροπών σε κάθε βάθος. Βλέπουμε, δηλαδή, πως τόσο στις εγκάρσιες ταχύτητες όσο και στις ροπές τα μέγιστα παρουσιάζονται κοντά στο σημείο που εμφανίζεται η μέγιστη στατική ροπή γεγονός που έχει να κάνει με τις ιδιομορφές των ταλαντώσεων. Η αύξηση της μέγιστης τιμής των δύο αυτών μεγεθών γίνεται όλο και πιο έντονη όσο αυξάνεται το βάθος νερού. Επιπλέον σε αντίθεση με την εγκάρσια διέγερση στην αξονική διέγερση στα διαγράμματα της ροπής δεν παρατηρείται τοπικό μέγιστο όσο πλησιάζουμε στο σημείο πρόσδεσης.

Βιβλιογραφία

Chatjigeorgiou, I.K., 2007. An efficient finite differences formulation for the linear and nonlinear dynamics of 2D catenary riser (Submitted to Ocean Engineering).

Passano, E., Larsen, C.M., 2006. Efficient analysis of a catenary riser. Proceeding of the 25th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAE 2006), Hamburg, Germany, OMAE2006-92308.

Le Cunff, C., Biolley, F., Damy, G., 2005. Experimental and numerical study of Heave-Induced Lateral Motion. Proceeding of the 24th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAE 2005), Halkidiki, Greece, OMAE2005-67019.

Ablow, C.M., Schechter, S., 1983. Numerical simulation of undersea cable dynamics. Ocean Engineering, 10 (6), 443-457.

Burgess, J.J., 1993. Bending stiffness in a simulation of undersea cable deployment. International Journal of Offshore and Polar Engineering, 3 (3), 197-204.

Chai, Y.T., Varyani, K.S., 2006. An absolute coordinate formulation for three-dimensional flexible pipe analysis. Ocean Engineering, 33, 23-58.

Chatjigeorgiou, I.K., 2004. On the parametric excitation of vertical elastic slender structures and the effect of damping in marine applications. Applied Ocean Research, 26, 23-33.

Hoffman, J.D., 1993. Numerical methods for engineers and scientists. McGraw-Hill, New York, NY.

Howell, C.T., 1991. Numerical analysis of 2-D nonlinear cable equations with applications to low tension problems. Proceedings of the 1st International Offshore and Polar Engineering Conference (ISOPE 1991), Edinburgh, United Kingdom, Vol. II, pp. 203-209.

Jain, A.K., 1994. Review of flexible risers and articulated storage systems. Ocean Engineering, 21, 733-750.

Milinzazzo, F., Wilkie, M., Latchman, S.A., 1987. An efficient algorithm for simulating the dynamics of towed cable systems, Ocean Engineering, 14(6),513-526.

Patel, H.M., Seyed, F.B., 1995. Review of flexible risers modeling and analysis techniques. Engineering Structures, 17, 293-304

Pesce, C.P., Fajarra, A.L.C., Simos, a.n., Tannuri, e.a. 1999. Analytical and closed form solutions for deep water riser-like eigenvalue problem. Proceeding of the 9th International Offshore and Polar Engineering Conference (ISOPE 1999), Brest, France, Vol. II, pp.255-263.

Pesce, C.P., Martins, C.A., Silveira, L.K.Y., 2006. Riser-soil interaction: Local dynamics at TDP and a discussion on the eigenvalue and the VIV problems. Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, 128,39-55.

Press, W.H., Flannery, B.P., Teukolsky, S.A., Vetterling, W.T., 1986. Numerical recipes. Cambridge University Press.

Tjavaras, a.a., Zhu, Q., Liu, Y., Triantafyllou, M.S., Yue, D.K.P., 1998. The mechanics of highly extensible cables. Journal of Sound and Vibration, 213(4), 709-737

Triantafyllou, m.s., 1994. Cable mechanics for moored floating structures. Proceeding of the 7th International Conference on the Behaviour of Offshore Structures (BOSS 1994), Boston, Massachusetts, Vol. 2, pp. 57-77.

Παράρτημα Α. Αλγεβρικά αναπτύγματα για το μη γραμμικό σύστημα της δυναμικής ισορροπίας.

$$\begin{aligned}
E_1 = & -\frac{m}{2\Delta t}(u_k^{j+1} + u_{k-1}^{j+1} - u_k^j - u_{k-1}^j) \\
& + \frac{m}{8\Delta t}(v_k^{j+1} + v_{k-1}^{j+1} + v_k^j + v_{k-1}^j)(\phi_k^{j+1} + \phi_{k-1}^{j+1} - \phi_k^j - \phi_{k-1}^j) \\
& + \frac{1}{2\Delta s}(T_k^{j+1} + T_k^j - T_{k-1}^{j+1} - T_{k-1}^j) - \frac{W_0}{4}(\sin \phi_k^{j+1} + \sin \phi_{k-1}^{j+1} + \sin \phi_k^j + \sin \phi_{k-1}^j) \\
& - \frac{1}{4}(\Omega_k^{j+1}\Omega_k^{j+1} + \Omega_k^j\Omega_k^j + \Omega_{k-1}^{j+1}\Omega_{k-1}^{j+1} + \Omega_{k-1}^j\Omega_{k-1}^j) \\
& - \frac{1}{2}\rho\pi C_{dt} \frac{d}{4}(|u_k^{j+1}|u_k^{j+1} + |u_{k-1}^{j+1}|u_{k-1}^{j+1} + |u_k^j|u_k^j + |u_{k-1}^j|u_{k-1}^j) = 0
\end{aligned} \tag{A.1}$$

$$\begin{aligned}
E_2 = & -\frac{(m+m_a)}{2\Delta t}(v_k^{j+1} + v_{k-1}^{j+1} - v_k^j - v_{k-1}^j) \\
& - \frac{m}{8\Delta t}(u_k^{j+1} + u_{k-1}^{j+1} + u_k^j + u_{k-1}^j)(\phi_k^{j+1} + \phi_{k-1}^{j+1} - \phi_k^j - \phi_{k-1}^j) \\
& + \frac{1}{2\Delta s}(\Omega_k^{j+1} + \Omega_k^j - \Omega_{k-1}^{j+1} - \Omega_{k-1}^j) - \frac{W_0}{4}(\cos \phi_k^{j+1} + \cos \phi_{k-1}^{j+1} + \cos \phi_k^j + \cos \phi_{k-1}^j) \\
& + \frac{1}{4}(\Omega_k^{j+1}T_k^{j+1} + \Omega_k^jT_k^j + \Omega_{k-1}^{j+1}T_{k-1}^{j+1} + \Omega_{k-1}^jT_{k-1}^j) \\
& + \frac{1}{2}\rho C_{dn} \frac{d}{4}(|v_k^{j+1}|v_k^{j+1} + |v_{k-1}^{j+1}|v_{k-1}^{j+1} + |v_k^j|v_k^j + |v_{k-1}^j|v_{k-1}^j) = 0
\end{aligned} \tag{A.2}$$

$$\begin{aligned}
E_3 = & -\frac{1}{2\Delta t}(T_k^{j+1} + T_{k-1}^{j+1} - T_k^j - T_{k-1}^j) + \frac{EA}{2\Delta s}(u_k^{j+1} + u_k^j - u_{k-1}^{j+1} - u_{k-1}^j) \\
& - \frac{EA}{4}(\Omega_k^{j+1}v_k^{j+1} + \Omega_k^jv_k^j + \Omega_{k-1}^{j+1}v_{k-1}^{j+1} + \Omega_{k-1}^jv_{k-1}^j) = 0
\end{aligned} \tag{A.3}$$

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

$$E_5 = \frac{EI}{\Delta s}(\Omega_k^{j+1} - \Omega_{k-1}^{j+1}) + \frac{1}{2}(Q_k^{j+1} + Q_{k-1}^{j+1}) = 0 \tag{A.5}$$

$$E_6 = \frac{1}{\Delta s}(\phi_k^{j+1} - \phi_{k-1}^{j+1}) - \frac{1}{2}(\Omega_k^{j+1} + \Omega_{k-1}^{j+1}) = 0 \tag{A.6}$$

Παράρτημα Β. Αλγεβρικά αναπτύγματα για την ισοδύναμη γραμμική διατύπωση του προβλήματος της δυναμικής ισορροπίας.

$$LE_1 = \frac{2}{\Delta s} (\tilde{T}_k^{(r)} - \tilde{T}_{k-1}^{(r)}) - w_0 (\cos \bar{\phi}_k \tilde{\phi}_k^{(r)} + \cos \bar{\phi}_{k-1} \tilde{\phi}_{k-1}^{(r)}) - (\bar{Q}_k \tilde{\Omega}_k^{(r)} + \bar{Q}_{k-1} \tilde{\Omega}_{k-1}^{(r)}) - (\bar{\Omega}_k \tilde{Q}_k^{(r)} + \bar{\Omega}_{k-1} \tilde{Q}_{k-1}^{(r)}) + \omega^2 m (p_k^{(r)} - p_{k-1}^{(r)}) = 0 \quad (B.1)$$

$$LE_2 = \frac{2}{\Delta s} (\tilde{T}_k^{(i)} - \tilde{T}_{k-1}^{(i)}) - w_0 (\cos \bar{\phi}_k \tilde{\phi}_k^{(i)} + \cos \bar{\phi}_{k-1} \tilde{\phi}_{k-1}^{(i)}) - (\bar{Q}_k \tilde{\Omega}_k^{(i)} + \bar{Q}_{k-1} \tilde{\Omega}_{k-1}^{(i)}) - (\bar{\Omega}_k \tilde{Q}_k^{(i)} + \bar{\Omega}_{k-1} \tilde{Q}_{k-1}^{(i)}) + \omega^2 m (p_k^{(i)} + p_{k-1}^{(i)}) = 0 \quad (B.2)$$

$$LE_3 = \frac{2}{\Delta s} (\tilde{Q}_k^{(r)} - \tilde{Q}_{k-1}^{(r)}) + w_0 (\sin \bar{\phi}_k \tilde{\phi}_k^{(r)} + \sin \bar{\phi}_{k-1} \tilde{\phi}_{k-1}^{(r)}) + (\bar{T}_k \tilde{\Omega}_k^{(r)} + \bar{T}_{k-1} \tilde{\Omega}_{k-1}^{(r)}) + (\bar{\Omega}_k \tilde{T}_k^{(r)} + \bar{\Omega}_{k-1} \tilde{T}_{k-1}^{(r)}) + \omega^2 (m + m_a) (q_k^{(r)} + q_{k-1}^{(r)}) + b_0 \omega^2 (|q_k| q_k^{(i)} + |q_{k-1}| q_{k-1}^{(i)}) = 0 \quad (B.3)$$

$$LE_4 = \frac{2}{\Delta s} (\tilde{Q}_k^{(i)} - \tilde{Q}_{k-1}^{(i)}) + w_0 (\sin \bar{\phi}_k \tilde{\phi}_k^{(i)} + \sin \bar{\phi}_{k-1} \tilde{\phi}_{k-1}^{(i)}) + (\bar{T}_k \tilde{\Omega}_k^{(i)} + \bar{T}_{k-1} \tilde{\Omega}_{k-1}^{(i)}) + (\bar{\Omega}_k \tilde{T}_k^{(i)} + \bar{\Omega}_{k-1} \tilde{T}_{k-1}^{(i)}) + \omega^2 (m + m_a) (q_k^{(i)} + q_{k-1}^{(i)}) - b_0 \omega^2 (|q_k| q_k^{(r)} + |q_{k-1}| q_{k-1}^{(r)}) = 0 \quad (B.4)$$

$$LE_5 = 2 \frac{EA}{\Delta s} (p_k^{(r)} - p_{k-1}^{(r)}) - EA (\bar{\Omega}_k q_k^{(r)} + \bar{\Omega}_{k-1} q_{k-1}^{(r)}) - (\tilde{T}_k^{(r)} + \tilde{T}_{k-1}^{(r)}) = 0 \quad (B.5)$$

$$LE_6 = 2 \frac{EA}{\Delta s} (p_k^{(i)} - p_{k-1}^{(i)}) - EA (\bar{\Omega}_k q_k^{(i)} + \bar{\Omega}_{k-1} q_{k-1}^{(i)}) - (\tilde{T}_k^{(i)} + \tilde{T}_{k-1}^{(i)}) = 0 \quad (B.6)$$

$$LE_7 = \frac{2}{\Delta s} (q_k^{(r)} - q_{k-1}^{(r)}) + (\bar{\Omega}_k p_k^{(r)} + \bar{\Omega}_{k-1} p_{k-1}^{(r)}) - (\tilde{\phi}_k^{(r)} + \tilde{\phi}_{k-1}^{(r)}) = 0 \quad (B.7)$$

$$LE_8 = \frac{2}{\Delta s} (q_k^{(i)} - q_{k-1}^{(i)}) + (\bar{\Omega}_k p_k^{(i)} + \bar{\Omega}_{k-1} p_{k-1}^{(i)}) - (\tilde{\phi}_k^{(i)} + \tilde{\phi}_{k-1}^{(i)}) = 0 \quad (B.8)$$

$$LE_9 = \frac{2}{\Delta s} (\tilde{\Omega}_k^{(r)} - \tilde{\Omega}_{k-1}^{(r)}) + \frac{1}{EI} (\tilde{Q}_k^{(r)} + \tilde{Q}_{k-1}^{(r)}) = 0 \quad (B.9)$$

$$LE_{10} = \frac{2}{\Delta s} (\tilde{\Omega}_k^{(i)} - \tilde{\Omega}_{k-1}^{(i)}) + \frac{1}{EI} (\tilde{Q}_k^{(i)} + \tilde{Q}_{k-1}^{(i)}) = 0 \quad (B.10)$$

$$LE_{11} = \frac{2}{\Delta s} (\tilde{\phi}_k^{(r)} - \tilde{\phi}_{k-1}^{(r)}) - (\tilde{\Omega}_k^{(r)} + \tilde{\Omega}_{k-1}^{(r)}) = 0 \quad (B.11)$$

$$LE_{12} = \frac{2}{\Delta s} (\tilde{\phi}_k^{(i)} - \tilde{\phi}_{k-1}^{(i)}) - (\tilde{\Omega}_k^{(i)} + \tilde{\Omega}_{k-1}^{(i)}) = 0 \quad (B.12)$$

Λίστα διαγραμμάτων

Διάγραμμα 6α: Βάθος νερού 300m. Δυναμική τάση \tilde{T} στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την α διέγερση.

Διάγραμμα 6β: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 6γ: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 6δ: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 7α: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την α διέγερση.

Διάγραμμα 7β: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 7γ: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 7δ: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 8α: Βάθος νερού 300 m. Αξονική κίνηση p στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την α διέγερση.

Διάγραμμα 8β: Βάθος νερού 300 m. Αξονική κίνηση p στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 8γ: Βάθος νερού 300 m. Αξονική κίνηση p στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 8δ: Βάθος νερού 300 m. Αξονική κίνηση p στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 9α: Βάθος νερού 300 m. Εγκάρσια κίνηση q στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την α διέγερση.

Διάγραμμα 9β: Βάθος νερού 300 m. Εγκάρσια κίνηση q στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 9γ: Βάθος νερού 300 m. Εγκάρσια κίνηση q στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 9δ: Βάθος νερού 300 m. Εγκάρσια κίνηση q στα $3/4$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την q διέγερση.

Διάγραμμα 10α: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την q διέγερση.

Διάγραμμα 10β: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στο $1/4$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την q διέγερση.

Διάγραμμα 10γ: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στο $1/2$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την q διέγερση.

Διάγραμμα 10δ: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στα $3/4$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την q διέγερση.

Διάγραμμα 11α: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική γωνία στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την q διέγερση.

Διάγραμμα 11β: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική γωνία στα $1/4$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την q διέγερση.

Διάγραμμα 11γ: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική γωνία στο $1/2$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την q διέγερση.

Διάγραμμα 11δ: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική γωνίας στα $3/4$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την q διέγερση.

Διάγραμμα 12α: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την q διέγερση.

Διάγραμμα 12β: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στο $1/2$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την q διέγερση.

Διάγραμμα 12γ: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στο $1/2$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την q διέγερση.

Διάγραμμα 12δ: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στα $3/4$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την q διέγερση.

Διάγραμμα 13α: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την q διέγερση.

Διάγραμμα 13β: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στο $1/4$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την q διέγερση.

Διάγραμμα 13γ: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στο $1/2$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την q διέγερση.

Διάγραμμα 13δ: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 14α: Βάθος νερού 500 m. Αξονική κίνηση p στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την α διέγερση.

Διάγραμμα 14β: Βάθος νερού 500 m. Αξονική κίνηση p στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 14γ: Βάθος νερού 500 m. Αξονική κίνηση p στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 14δ: Βάθος νερού 500 m. Αξονική κίνηση p στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 15α: Βάθος νερού 500 m. Εγκάρσια κίνηση q στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την α διέγερση.

Διάγραμμα 15β: Βάθος νερού 500 m. Εγκάρσια κίνηση q στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 15γ: Βάθος νερού 500 m. Εγκάρσια κίνηση q στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 15δ: Βάθος νερού 500 m. Εγκάρσια κίνηση q στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 16α: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την α διέγερση.

Διάγραμμα 16β: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 16γ: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 16δ: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 17α: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική γωνία στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την α διέγερση.

Διάγραμμα 17β: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική γωνία στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 17γ: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική γωνία στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 17δ: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική γωνία στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 18α: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την α διέγερση.

Διάγραμμα 18β: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 18γ: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 18δ: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 19α: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την α διέγερση.

Διάγραμμα 19β: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 19γ: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 19δ: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 20α: Βάθος νερού 800 m. Αξονική κίνηση p στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την α διέγερση.

Διάγραμμα 20β: Βάθος νερού 800 m. Αξονική κίνηση p στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 20γ: Βάθος νερού 800 m. Αξονική κίνηση p στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 20δ: Βάθος νερού 800 m. Αξονική κίνηση p στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 21α: Βάθος νερού 800 m. Εγκάρσια κίνηση q στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την α διέγερση.

Διάγραμμα 21β: Βάθος νερού 800 m. Εγκάρσια κίνηση q στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 21γ: Βάθος νερού 800 m. Εγκάρσια κίνηση q στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 21δ: Βάθος νερού 800 m. Εγκάρσια κίνηση q στα $3/4$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την q διέγερση.

Διάγραμμα 22α: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την q διέγερση.

Διάγραμμα 22β: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στο $1/4$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την q διέγερση.

Διάγραμμα 22γ: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στο $1/2$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την q διέγερση.

Διάγραμμα 22δ: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στα $3/4$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την q διέγερση.

Διάγραμμα 23α: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική γωνία στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την q διέγερση.

Διάγραμμα 23β: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική γωνία στο $1/4$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την q διέγερση.

Διάγραμμα 23γ: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική γωνία στο $1/2$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την q διέγερση.

Διάγραμμα 23δ: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική γωνία στα $3/4$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την q διέγερση.

Διάγραμμα 24α: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την q διέγερση.

Διάγραμμα 24β: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στο $1/4$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την q διέγερση.

Διάγραμμα 24γ: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στο $1/2$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την q διέγερση.

Διάγραμμα 24δ: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στα $3/4$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την q διέγερση.

Διάγραμμα 25α: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την q διέγερση.

Διάγραμμα 25β: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στο $1/4$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την q διέγερση.

Διάγραμμα 25γ: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στο $1/2$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την q διέγερση.

Διάγραμμα 25δ: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 26α: Βάθος νερού 1200 m. Αξονική κίνηση p στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την α διέγερση.

Διάγραμμα 26β: Βάθος νερού 1200 m. Αξονική κίνηση p στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 26γ: Βάθος νερού 1200 m. Αξονική κίνηση p στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 26δ: Βάθος νερού 1200 m. Αξονική κίνηση p στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 27α: Βάθος νερού 1200 m. Εγκάρσια κίνηση q στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την α διέγερση.

Διάγραμμα 27β: Βάθος νερού 1200 m. Εγκάρσια κίνηση q στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 27γ: Βάθος νερού 1200 m. Εγκάρσια κίνηση q στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 27δ: Βάθος νερού 1200 m. Εγκάρσια κίνηση q στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 28α: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την α διέγερση.

Διάγραμμα 28β: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 28γ: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 28δ: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 29α: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική γωνία στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την α διέγερση.

Διάγραμμα 29β: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική γωνία στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 29γ: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική γωνία στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 29δ: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική γωνία στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 30α: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την α διέγερση.

Διάγραμμα 30β: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 30γ: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 30δ: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 31α: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την α διέγερση.

Διάγραμμα 31β: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 31γ: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 31δ: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 32α: Βάθος νερού 1800 m. Αξονική κίνηση ρ στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την α διέγερση.

Διάγραμμα 32β: Βάθος νερού 1800 m. Αξονική κίνηση ρ στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 32γ: Βάθος νερού 1800 m. Αξονική κίνηση ρ στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 32δ: Βάθος νερού 1800 m. Αξονική κίνηση ρ στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 33α: Βάθος νερού 1800 m. Εγκάρσια κίνηση α στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την α διέγερση.

Διάγραμμα 33β: Βάθος νερού 1800 m. Εγκάρσια κίνηση α στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 33γ: Βάθος νερού 1800 m. Εγκάρσια κίνηση α στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την α διέγερση.

Διάγραμμα 33δ: Βάθος νερού 1800 m. Εγκάρσια κίνηση q στα $3/4$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την q διέγερση.

Διάγραμμα 34α: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την q διέγερση.

Διάγραμμα 34β: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στο $1/4$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την q διέγερση.

Διάγραμμα 34γ: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στο $1/2$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την q διέγερση.

Διάγραμμα 34δ: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στα $3/4$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την q διέγερση.

Διάγραμμα 35α: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική γωνία στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την q διέγερση.

Διάγραμμα 35β: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική γωνία στο $1/4$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την q διέγερση.

Διάγραμμα 35γ: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική γωνία στο $1/2$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την q διέγερση.

Διάγραμμα 35δ: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική γωνία στα $3/4$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την q διέγερση.

Διάγραμμα 36α: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την p διέγερση.

Διάγραμμα 36β: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στο $1/4$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 36γ: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στο $1/2$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 36δ: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στα $3/4$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 37α: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την p διέγερση.

Διάγραμμα 37β: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στο $1/4$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 37γ: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στο $1/2$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 37δ: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 38α: Βάθος νερού 300 m. Αξονική κίνηση p στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την p διέγερση.

Διάγραμμα 38β: Βάθος νερού 300 m. Αξονική κίνηση p στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 38γ: Βάθος νερού 300 m. Αξονική κίνηση p στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 38δ: Βάθος νερού 300 m. Αξονική κίνηση p στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 39α: Βάθος νερού 300 m. Εγκάρσια κίνηση q στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την p διέγερση.

Διάγραμμα 39β: Βάθος νερού 300 m. Εγκάρσια κίνηση q στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 39γ: Βάθος νερού 300 m. Εγκάρσια κίνηση q στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 39δ: Βάθος νερού 300 m. Εγκάρσια κίνηση q στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 40α: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την p διέγερση.

Διάγραμμα 40β: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 40γ: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 40δ: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 41α: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική γωνία στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την p διέγερση.

Διάγραμμα 41β: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική γωνία στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 41γ: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική γωνία στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 41δ: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική γωνία στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 42α: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την p διέγερση.

Διάγραμμα 42β: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 42γ: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 42δ: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 43α: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την p διέγερση.

Διάγραμμα 43β: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 43γ: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 43δ: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 44α: Βάθος νερού 500 m. Αξονική κίνηση p στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την p διέγερση.

Διάγραμμα 44β: Βάθος νερού 500 m. Αξονική κίνηση p στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 44γ: Βάθος νερού 500 m. Αξονική κίνηση p στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 44δ: Βάθος νερού 500 m. Αξονική κίνηση p στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 45α: Βάθος νερού 500 m. Εγκάρσια κίνηση q στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την p διέγερση.

Διάγραμμα 45β: Βάθος νερού 500 m. Εγκάρσια κίνηση q στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 45γ: Βάθος νερού 500 m. Εγκάρσια κίνηση q στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 45δ: Βάθος νερού 500 m. Εγκάρσια κίνηση q στα $3/4$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την p διέγερση

Διάγραμμα 46α: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την p διέγερση.

Διάγραμμα 46β: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στο $1/4$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 46γ: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στο $1/2$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 46δ: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στα $3/4$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 47α: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική γωνία στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την p διέγερση.

Διάγραμμα 47β: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική γωνία στο $1/4$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 47γ: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική γωνία στο $1/2$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 47δ: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική γωνία στα $3/4$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 48α: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την p διέγερση.

Διάγραμμα 48β: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στο $1/2$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την p διέγερση

Διάγραμμα 48γ: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στο $1/2$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 48δ: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στα $3/4$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 49α: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την p διέγερση

Διάγραμμα 49β: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στο $1/4$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 49γ: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στο $1/2$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 49δ: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 50α: Βάθος νερού 800 m. Αξονική κίνηση p στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την p διέγερση.

Διάγραμμα 50β: Βάθος νερού 800 m. Αξονική κίνηση p στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 50γ: Βάθος νερού 800 m. Αξονική κίνηση p στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 50δ: Βάθος νερού 800 m. Αξονική κίνηση p στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 51α: Βάθος νερού 800 m. Εγκάρσια κίνηση q στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την p διέγερση.

Διάγραμμα 51β: Βάθος νερού 800 m. Εγκάρσια κίνηση q στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 51γ: Βάθος νερού 800 m. Εγκάρσια κίνηση q στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 51δ: Βάθος νερού 800 m. Εγκάρσια κίνηση q στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 52α: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την p διέγερση.

Διάγραμμα 52β: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 52γ: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 52δ: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 53α: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική γωνία στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την p διέγερση.

Διάγραμμα 53β: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική γωνία στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 53γ: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική γωνία στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 53δ: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική γωνία στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 54α: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την p διέγερση.

Διάγραμμα 54β: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 54γ: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 54δ: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 55α: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την p διέγερση.

Διάγραμμα 55β: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 55γ: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 55δ: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 56α: Βάθος νερού 1200 m. Αξονική κίνηση p στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την p διέγερση.

Διάγραμμα 56β: Βάθος νερού 1200 m. Αξονική κίνηση p στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 56γ: Βάθος νερού 1200 m. Αξονική κίνηση p στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 56δ: Βάθος νερού 1200 m. Αξονική κίνηση p στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 57α: Βάθος νερού 1200 m. Εγκάρσια κίνηση q στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την p διέγερση.

Διάγραμμα 57β: Βάθος νερού 1200 m. Εγκάρσια κίνηση q στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 57γ: Βάθος νερού 1200 m. Εγκάρσια κίνηση q στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 57δ: Βάθος νερού 1200 m. Εγκάρσια κίνηση q στα $3/4$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 58α: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την p διέγερση.

Διάγραμμα 58β: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στο $1/4$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 58γ: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στο $1/2$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 58δ: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στα $3/4$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 59α: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική γωνία στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την p διέγερση.

Διάγραμμα 59β: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική γωνία στο $1/4$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 59γ: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική γωνία στο $1/2$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 59δ: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική γωνία στα $3/4$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 60α: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την p διέγερση.

Διάγραμμα 60β: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στο $1/4$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 60γ: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στο $1/2$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 60δ: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στα $3/4$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 61α: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την p διέγερση.

Διάγραμμα 61β: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στο $1/4$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 61γ: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στο $1/2$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 61δ: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 62α: Βάθος νερού 1800 m. Αξονική κίνηση p στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την p διέγερση.

Διάγραμμα 62β: Βάθος νερού 1800 m. Αξονική κίνηση p στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 62γ: Βάθος νερού 1800 m. Αξονική κίνηση p στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την p διέγερση

Διάγραμμα 62δ: Βάθος νερού 1800 m. Αξονική κίνηση p στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 63α: Βάθος νερού 1800 m. Εγκάρσια κίνηση q στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την p διέγερση

Διάγραμμα 63β: Βάθος νερού 1800 m. Εγκάρσια κίνηση q στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 63γ: Βάθος νερού 1800 m. Εγκάρσια κίνηση q στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 63δ: Βάθος νερού 1800 m. Εγκάρσια κίνηση q στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 64α: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την p διέγερση.

Διάγραμμα 64β: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 64γ: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 64δ: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 65α: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική γωνία στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την p διέγερση.

Διάγραμμα 65β: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική γωνία στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 65γ: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική γωνία στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 65δ: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική γωνία στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την p διέγερση.

Διάγραμμα 66α: Βάθος νερού 300m. Συγκριτικά αποτελέσματα για την δυναμική συμπεριφορά του riser κάτω από την q διέγερση με πλάτη $q_a=0.5m$ (αριστερή στήλη) και $q_a=1.0m$ (δεξιά στήλη) και για συχνότητες $\omega=0.565rad/s$, $\omega=0.872rad/s$, $\omega=1.180 rad/s$ και $\omega=1.740 rad/s$. Τα διαγράμματα δείχνουν από την κορυφή προς τα κάτω: συνολική τάση T , συνολική διατμητική δύναμη Q , αξονική ταχύτητα u , εγκάρσια ταχύτητα v και συνολική καμπτική ροπή $EI\Omega$.

Διάγραμμα 66β: Βάθος νερού 300m. Συγκριτικά αποτελέσματα για την δυναμική συμπεριφορά του riser κάτω από την q διέγερση με πλάτη $q_a=1.5m$ (αριστερή στήλη) και $q_a=2.0m$ (δεξιά στήλη) και για συχνότητες $\omega=0.565rad/s$, $\omega=0.872rad/s$, $\omega=1.180 rad/s$ και $\omega=1.740 rad/s$. Τα διαγράμματα δείχνουν από την κορυφή προς τα κάτω: συνολική τάση T , συνολική διατμητική δύναμη Q , αξονική ταχύτητα u , εγκάρσια ταχύτητα v και συνολική καμπτική ροπή $EI\Omega$.

Διάγραμμα 67α: Βάθος νερού 500m. Συγκριτικά αποτελέσματα για την δυναμική συμπεριφορά του riser κάτω από την q διέγερση με πλάτη $q_a=0.5m$ (αριστερή στήλη) και $q_a=1.0m$ (δεξιά στήλη) και για συχνότητες $\omega=0.565rad/s$, $\omega=0.872rad/s$, $\omega=1.180 rad/s$ και $\omega=1.740 rad/s$. Τα διαγράμματα δείχνουν από την κορυφή προς τα κάτω: συνολική τάση T , συνολική διατμητική δύναμη Q , αξονική ταχύτητα u , εγκάρσια ταχύτητα v και συνολική καμπτική ροπή $EI\Omega$.

Διάγραμμα 67β: Βάθος νερού 500m. Συγκριτικά αποτελέσματα για την δυναμική συμπεριφορά του riser κάτω από την q διέγερση με πλάτη $q_a=1.5m$ (αριστερή στήλη) και $q_a=2.0m$ (δεξιά στήλη) και για συχνότητες $\omega=0.565rad/s$, $\omega=0.872rad/s$, $\omega=1.180 rad/s$ και $\omega=1.740 rad/s$. Τα διαγράμματα δείχνουν από την κορυφή προς τα κάτω: συνολική τάση T , συνολική διατμητική δύναμη Q , αξονική ταχύτητα u , εγκάρσια ταχύτητα v και συνολική καμπτική ροπή $EI\Omega$.

Διάγραμμα 68α: Βάθος νερού 800m. Συγκριτικά αποτελέσματα για την δυναμική συμπεριφορά του riser κάτω από την q διέγερση με πλάτη $q_a=0.5m$ (αριστερή στήλη) και $q_a=1.0m$ (δεξιά στήλη) και για συχνότητες $\omega=0.565rad/s$, $\omega=0.872rad/s$, $\omega=1.180 rad/s$ και $\omega=1.740 rad/s$. Τα διαγράμματα δείχνουν από την κορυφή προς τα κάτω: συνολική τάση T , συνολική διατμητική δύναμη Q , αξονική ταχύτητα u , εγκάρσια ταχύτητα v και συνολική καμπτική ροπή $EI\Omega$.

Διάγραμμα 68β: Βάθος νερού 800m. Συγκριτικά αποτελέσματα για την δυναμική συμπεριφορά του riser κάτω από την q διέγερση με πλάτη $q_a=1.5m$ (αριστερή στήλη) και $q_a=2.0m$ (δεξιά στήλη) και για συχνότητες $\omega=0.565rad/s$, $\omega=0.872rad/s$, $\omega=1.180 rad/s$ και $\omega=1.740 rad/s$. Τα διαγράμματα δείχνουν από την κορυφή προς τα κάτω: συνολική τάση T , συνολική διατμητική δύναμη Q , αξονική ταχύτητα u , εγκάρσια ταχύτητα v και συνολική καμπτική ροπή $EI\Omega$.

Διάγραμμα 69α: Βάθος νερού 1200m. Συγκριτικά αποτελέσματα για την δυναμική συμπεριφορά του riser κάτω από την q διέγερση με πλάτη $q_a=0.5m$ (αριστερή στήλη) και $q_a=1.0m$ (δεξιά στήλη) και για συχνότητες $\omega=0.565rad/s$, $\omega=0.872rad/s$, $\omega=1.180 rad/s$ και $\omega=1.740 rad/s$. Τα διαγράμματα δείχνουν από

την κορυφή προς τα κάτω: συνολική τάση T , συνολική διατμητική δύναμη Q , αξονική ταχύτητα u , εγκάρσια ταχύτητα v και συνολική καμπτική ροπή $EI\Omega$.

Διάγραμμα 69β: Βάθος νερού 1200m. Συγκριτικά αποτελέσματα για την δυναμική συμπεριφορά του riser κάτω από την q διέγερση με πλάτη $q_a=1.5m$ (αριστερή στήλη) και $q_a=2.0m$ (δεξιά στήλη) και για συχνότητες $\omega=0.565rad/s$, $\omega=0.872rad/s$, $\omega=1.180 rad/s$ και $\omega=1.740 rad/s$. Τα διαγράμματα δείχνουν από την κορυφή προς τα κάτω: συνολική τάση T , συνολική διατμητική δύναμη Q , αξονική ταχύτητα u , εγκάρσια ταχύτητα v και συνολική καμπτική ροπή $EI\Omega$.

Διάγραμμα 70α: Βάθος νερού 1800m. Συγκριτικά αποτελέσματα για την δυναμική συμπεριφορά του riser κάτω από την q διέγερση με πλάτη $q_a=0.5m$ (αριστερή στήλη) και $q_a=1.0m$ (δεξιά στήλη) και για συχνότητες $\omega=0.565rad/s$, $\omega=0.872rad/s$, $\omega=1.180 rad/s$ και $\omega=1.740 rad/s$. Τα διαγράμματα δείχνουν από την κορυφή προς τα κάτω: συνολική τάση T , συνολική διατμητική δύναμη Q , αξονική ταχύτητα u , εγκάρσια ταχύτητα v και συνολική καμπτική ροπή $EI\Omega$.

Διάγραμμα 70β: Βάθος νερού 1800m. Συγκριτικά αποτελέσματα για την δυναμική συμπεριφορά του riser κάτω από την q διέγερση με πλάτη $q_a=1.5m$ (αριστερή στήλη) και $q_a=2.0m$ (δεξιά στήλη) και για συχνότητες $\omega=0.565rad/s$, $\omega=0.872rad/s$, $\omega=1.180 rad/s$ και $\omega=1.740 rad/s$. Τα διαγράμματα δείχνουν από την κορυφή προς τα κάτω: συνολική τάση T , συνολική διατμητική δύναμη Q , αξονική ταχύτητα u , εγκάρσια ταχύτητα v και συνολική καμπτική ροπή $EI\Omega$.

Διάγραμμα 71α: Βάθος νερού 300m. Συγκριτικά αποτελέσματα για την δυναμική συμπεριφορά του riser κάτω από την p διέγερση με πλάτη $p_a=0.5m$ (αριστερή στήλη) και $p_a=1.0m$ (δεξιά στήλη) και για συχνότητες $\omega=0.514rad/s$, $\omega=0.975rad/s$, και $\omega=1.330 rad/s$. Τα διαγράμματα δείχνουν από την κορυφή προς τα κάτω: συνολική τάση T , συνολική διατμητική δύναμη Q , αξονική ταχύτητα u , εγκάρσια ταχύτητα v και συνολική καμπτική ροπή $EI\Omega$.

Διάγραμμα 71β: Βάθος νερού 300m. Συγκριτικά αποτελέσματα για την δυναμική συμπεριφορά του riser κάτω από την p διέγερση με πλάτη $p_a=1.5m$ (αριστερή στήλη) και $p_a=2.0m$ (δεξιά στήλη) και για συχνότητες $\omega=0.514rad/s$, $\omega=0.975rad/s$, και $\omega=1.330 rad/s$. Τα διαγράμματα δείχνουν από την κορυφή προς τα κάτω: συνολική τάση T , συνολική διατμητική δύναμη Q , αξονική ταχύτητα u , εγκάρσια ταχύτητα v και συνολική καμπτική ροπή $EI\Omega$.

Διάγραμμα 72α: Βάθος νερού 500m. Συγκριτικά αποτελέσματα για την δυναμική συμπεριφορά του riser κάτω από την p διέγερση με πλάτη $p_a=0.5m$ (αριστερή στήλη) και $p_a=1.0m$ (δεξιά στήλη) και για συχνότητες $\omega=0.514rad/s$, $\omega=0.975rad/s$, και $\omega=1.330 rad/s$. Τα διαγράμματα δείχνουν από την κορυφή προς τα κάτω: συνολική τάση T , συνολική διατμητική δύναμη Q , αξονική ταχύτητα u , εγκάρσια ταχύτητα v και συνολική καμπτική ροπή $EI\Omega$.

Διάγραμμα 72β: Βάθος νερού 500m. Συγκριτικά αποτελέσματα για την δυναμική συμπεριφορά του riser κάτω από την p διέγερση με πλάτη $p_a=1.5m$ (αριστερή στήλη) και $p_a=2.0m$ (δεξιά στήλη) και για συχνότητες $\omega=0.514rad/s$, $\omega=0.975rad/s$, και $\omega=1.330 rad/s$. Τα διαγράμματα δείχνουν από την κορυφή

προς τα κάτω: συνολική τάση T , συνολική διατμητική δύναμη Q , αξονική ταχύτητα u , εγκάρσια ταχύτητα v και συνολική καμπτική ροπή $EI\Omega$.

Διάγραμμα 73α: Βάθος νερού 800m. Συγκριτικά αποτελέσματα για την δυναμική συμπεριφορά του riser κάτω από την p διέγερση με πλάτη $p_a=0.5m$ (αριστερή στήλη) και $p_a=1.0m$ (δεξιά στήλη) και για συχνότητες $\omega=0.514rad/s$, $\omega=0.975rad/s$, και $\omega=1.330 rad/s$. Τα διαγράμματα δείχνουν από την κορυφή προς τα κάτω: συνολική τάση T , συνολική διατμητική δύναμη Q , αξονική ταχύτητα u , εγκάρσια ταχύτητα v και συνολική καμπτική ροπή $EI\Omega$.

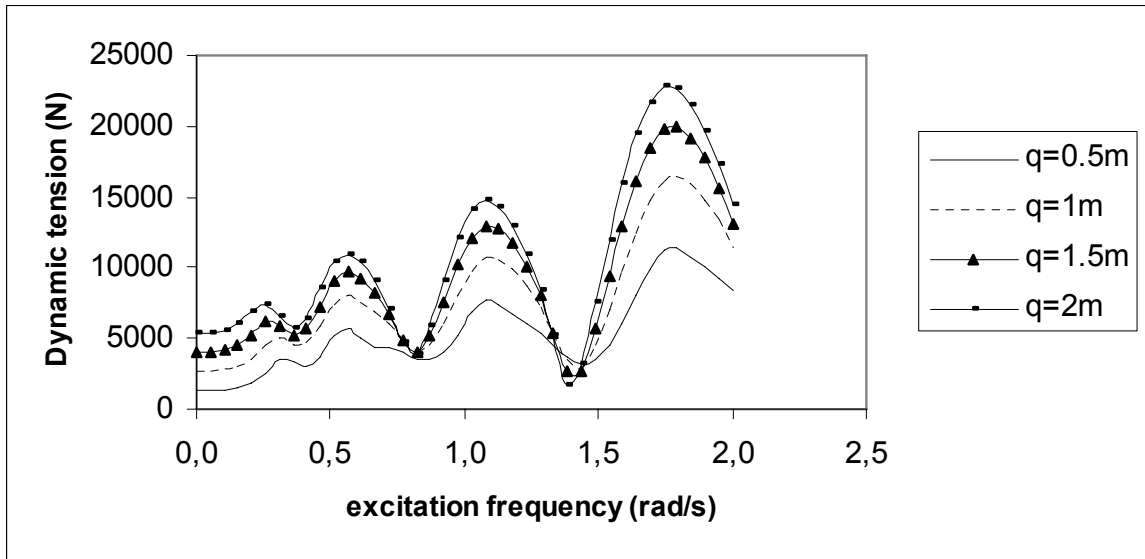
Διάγραμμα 73β: Βάθος νερού 800m. Συγκριτικά αποτελέσματα για την δυναμική συμπεριφορά του riser κάτω από την p διέγερση με πλάτη $p_a=1.5m$ (αριστερή στήλη) και $p_a=2.0m$ (δεξιά στήλη) και για συχνότητες $\omega=0.514rad/s$, $\omega=0.975rad/s$, και $\omega=1.330 rad/s$. Τα διαγράμματα δείχνουν από την κορυφή προς τα κάτω: συνολική τάση T , συνολική διατμητική δύναμη Q , αξονική ταχύτητα u , εγκάρσια ταχύτητα v και συνολική καμπτική ροπή $EI\Omega$.

Διάγραμμα 74α: Βάθος νερού 1200m. Συγκριτικά αποτελέσματα για την δυναμική συμπεριφορά του riser κάτω από την p διέγερση με πλάτη $p_a=0.5m$ (αριστερή στήλη) και $p_a=1.0m$ (δεξιά στήλη) και για συχνότητες $\omega=0.514rad/s$, $\omega=0.975rad/s$, και $\omega=1.330 rad/s$. Τα διαγράμματα δείχνουν από την κορυφή προς τα κάτω: συνολική τάση T , συνολική διατμητική δύναμη Q , αξονική ταχύτητα u , εγκάρσια ταχύτητα v και συνολική καμπτική ροπή $EI\Omega$.

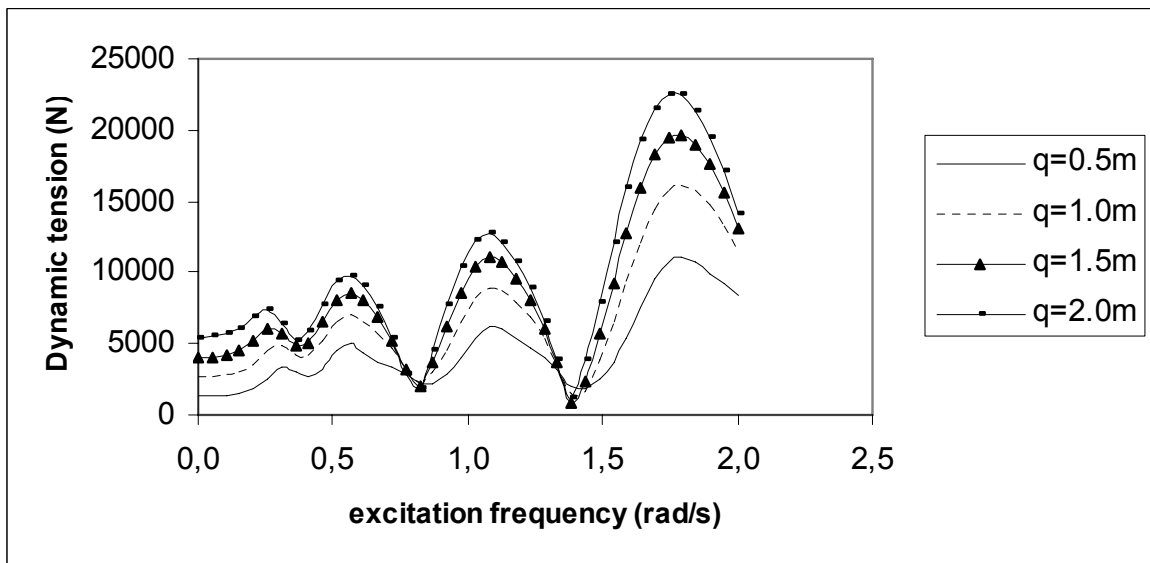
Διάγραμμα 74β: Βάθος νερού 1200m. Συγκριτικά αποτελέσματα για την δυναμική συμπεριφορά του riser κάτω από την p διέγερση με πλάτη $p_a=1.5m$ (αριστερή στήλη) και $p_a=2.0m$ (δεξιά στήλη) και για συχνότητες $\omega=0.514rad/s$, $\omega=0.975rad/s$, και $\omega=1.330 rad/s$. Τα διαγράμματα δείχνουν από την κορυφή προς τα κάτω: συνολική τάση T , συνολική διατμητική δύναμη Q , αξονική ταχύτητα u , εγκάρσια ταχύτητα v και συνολική καμπτική ροπή $EI\Omega$.

Διάγραμμα 75α: Βάθος νερού 1800m. Συγκριτικά αποτελέσματα για την δυναμική συμπεριφορά του riser κάτω από την p διέγερση με πλάτη $p_a=0.5m$ (αριστερή στήλη) και $p_a=1.0m$ (δεξιά στήλη) και για συχνότητες $\omega=0.514rad/s$ και $\omega=0.975rad/s$. Τα διαγράμματα δείχνουν από την κορυφή προς τα κάτω: συνολική τάση T , συνολική διατμητική δύναμη Q , αξονική ταχύτητα u , εγκάρσια ταχύτητα v και συνολική καμπτική ροπή $EI\Omega$.

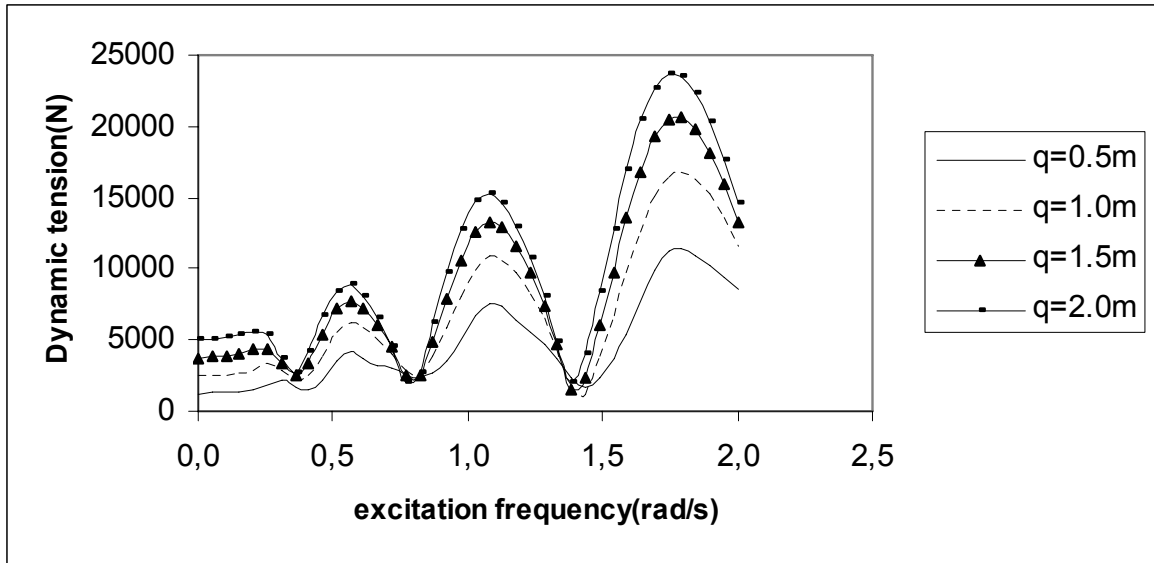
Διάγραμμα 75β: Βάθος νερού 1800m. Συγκριτικά αποτελέσματα για την δυναμική συμπεριφορά του riser κάτω από την p διέγερση με πλάτη $p_a=1.5m$ (αριστερή στήλη) και $p_a=2.0m$ (δεξιά στήλη) και για συχνότητες $\omega=0.514rad/s$ και $\omega=0.975rad/s$. Τα διαγράμματα δείχνουν από την κορυφή προς τα κάτω: συνολική τάση T , συνολική διατμητική δύναμη Q , αξονική ταχύτητα u , εγκάρσια ταχύτητα v και συνολική καμπτική ροπή $EI\Omega$.



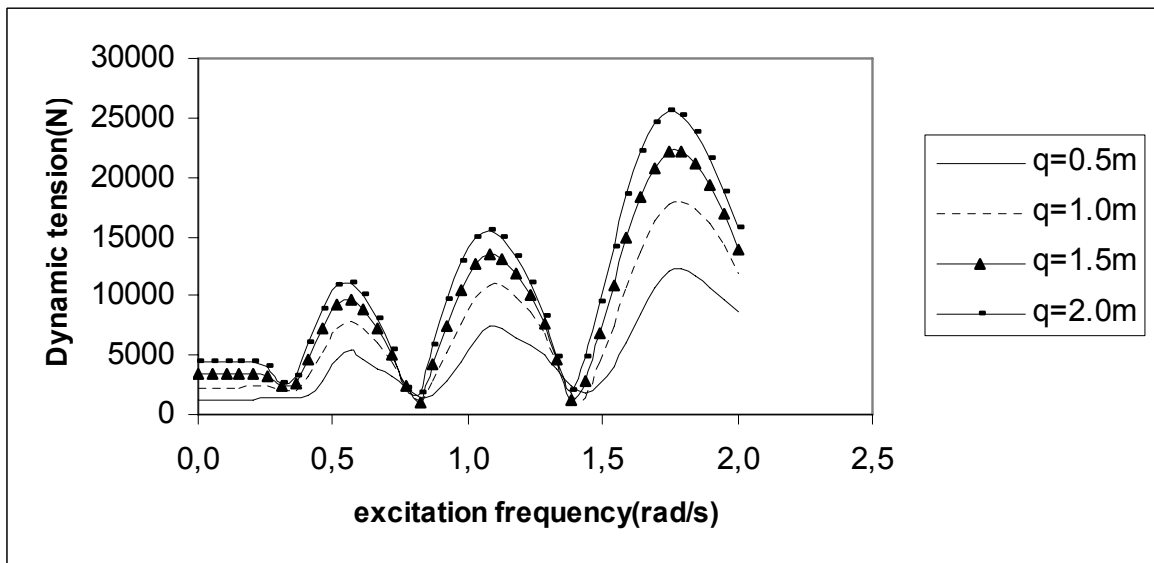
Διάγραμμα 6α: Βάθος νερού 300m. Δυναμική τάση \tilde{T} στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την q διέγερση.



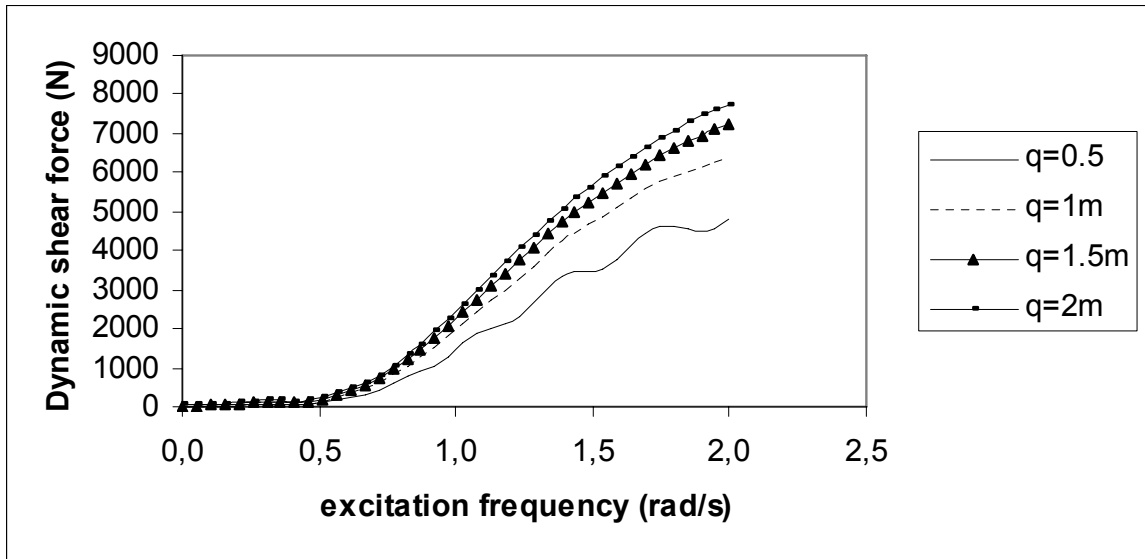
Διάγραμμα 6β: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την q διέγερση.



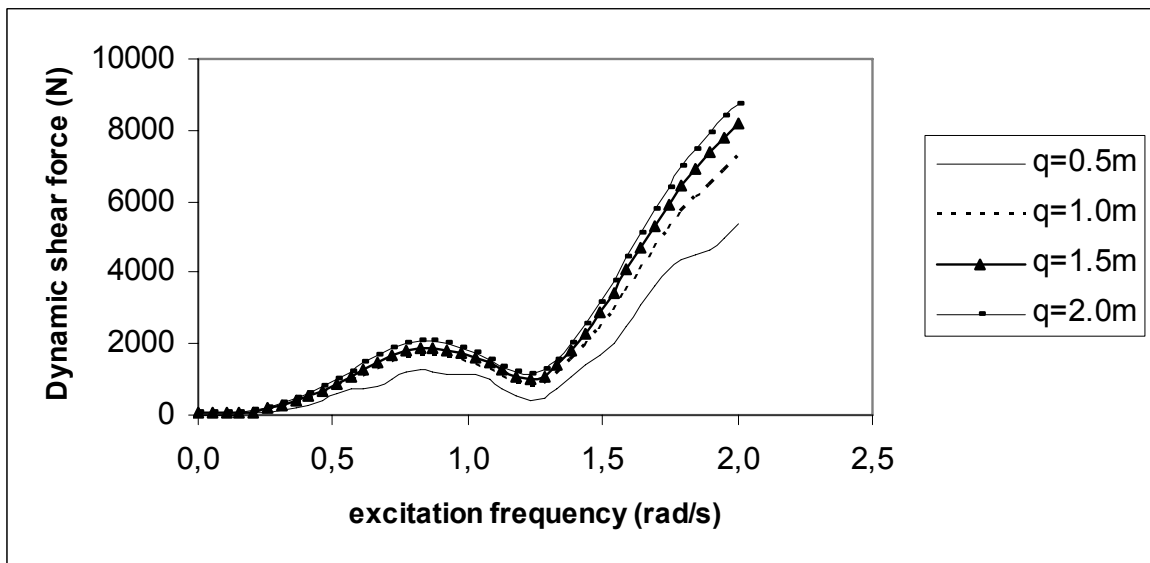
Διάγραμμα 6γ: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την q διέγερση.



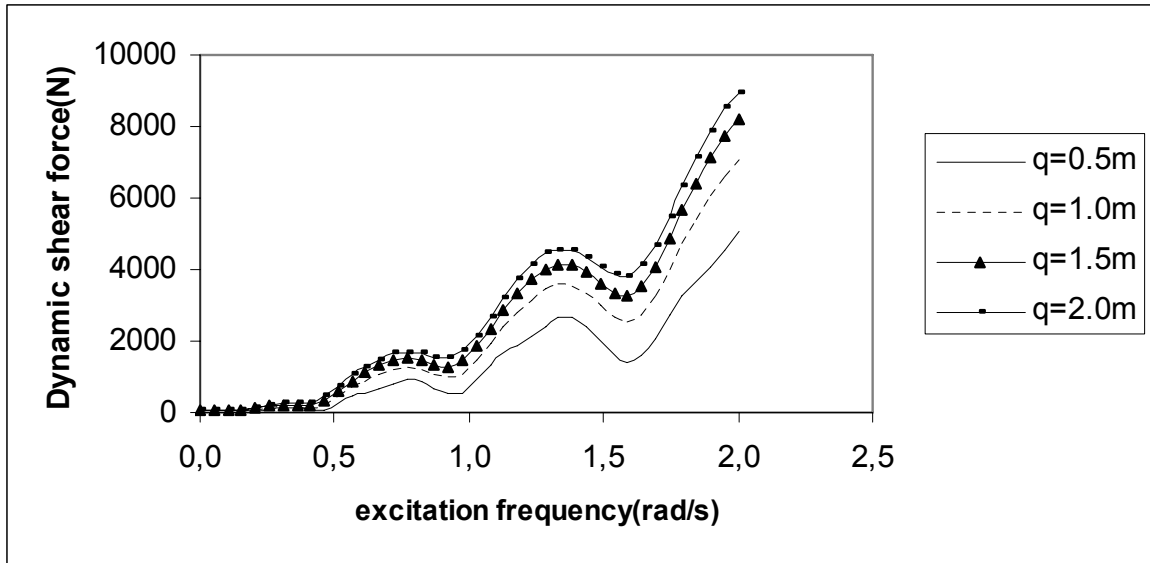
Διάγραμμα 6δ: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την q διέγερση.



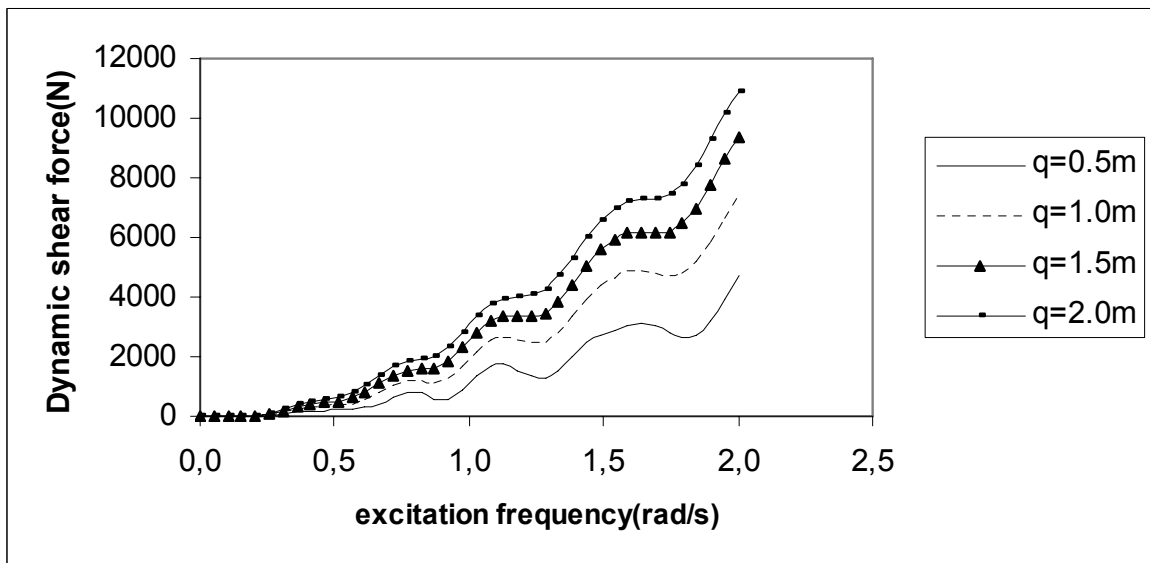
Διάγραμμα 7α: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την q διέγερση.



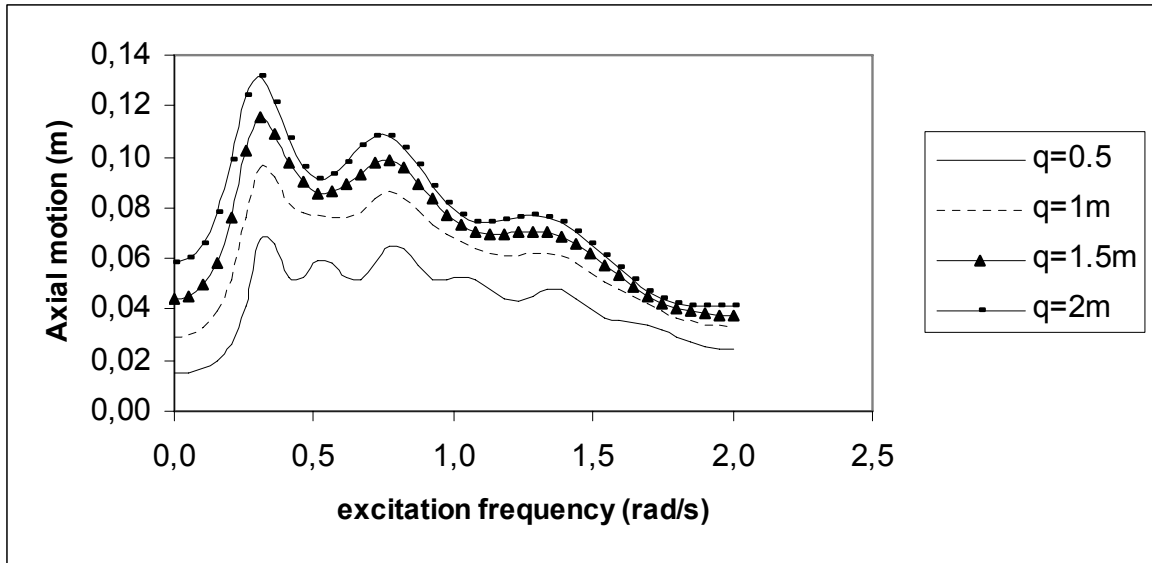
Διάγραμμα 7β: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την q διέγερση.



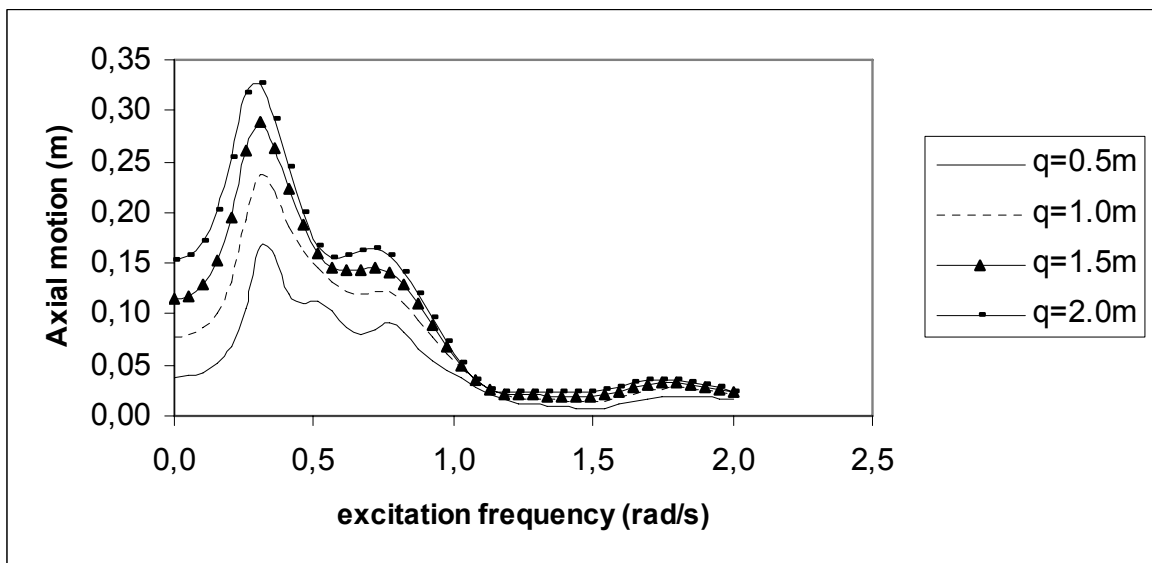
Διάγραμμα 7γ: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την q διέγερση.



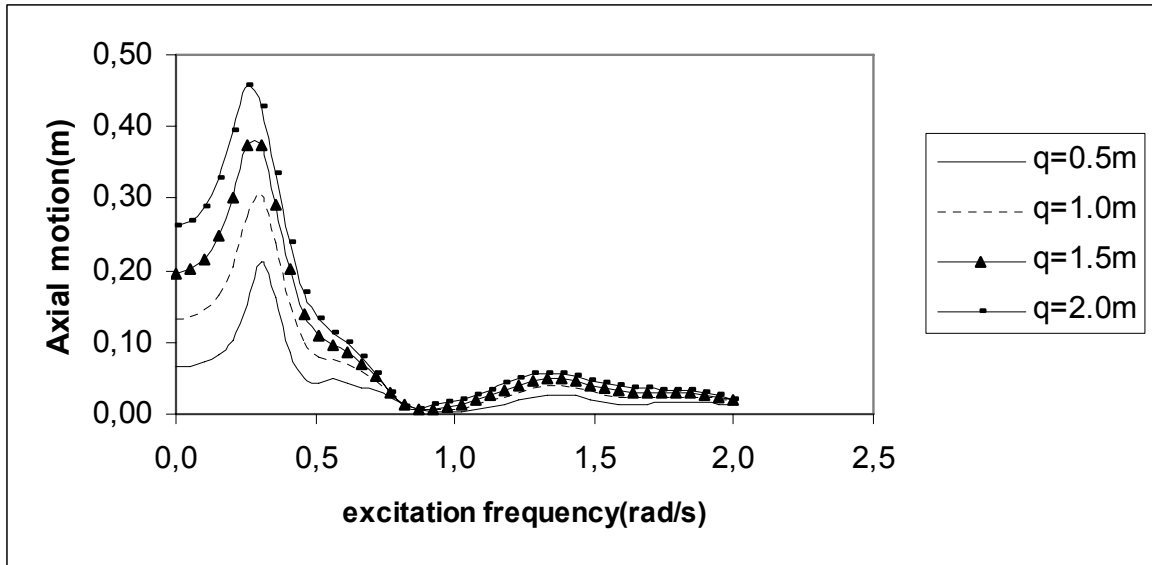
Διάγραμμα 7δ: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την q διέγερση.



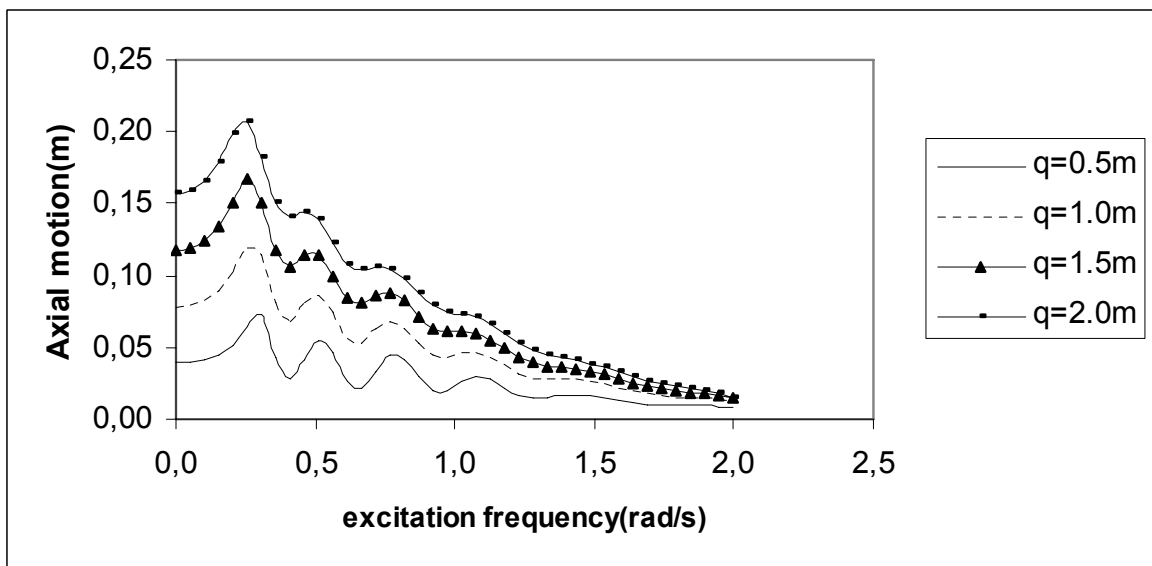
Διάγραμμα 8α: Βάθος νερού 300 m. Αξονική κίνηση ρ στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την q διέγερση.



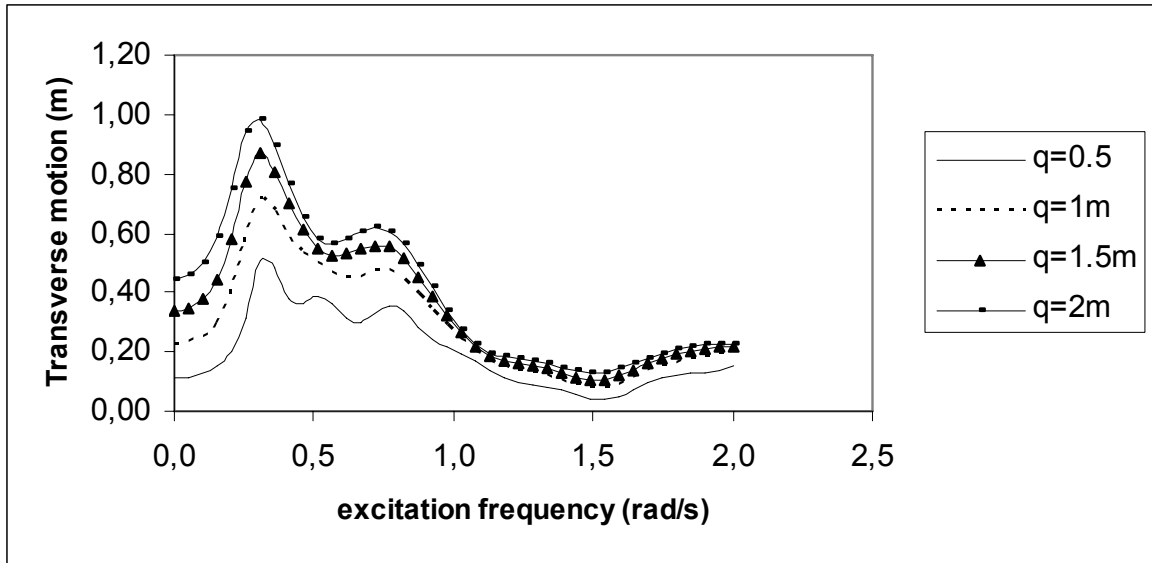
Διάγραμμα 8β: Βάθος νερού 300 m. Αξονική κίνηση ρ στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την q διέγερση.



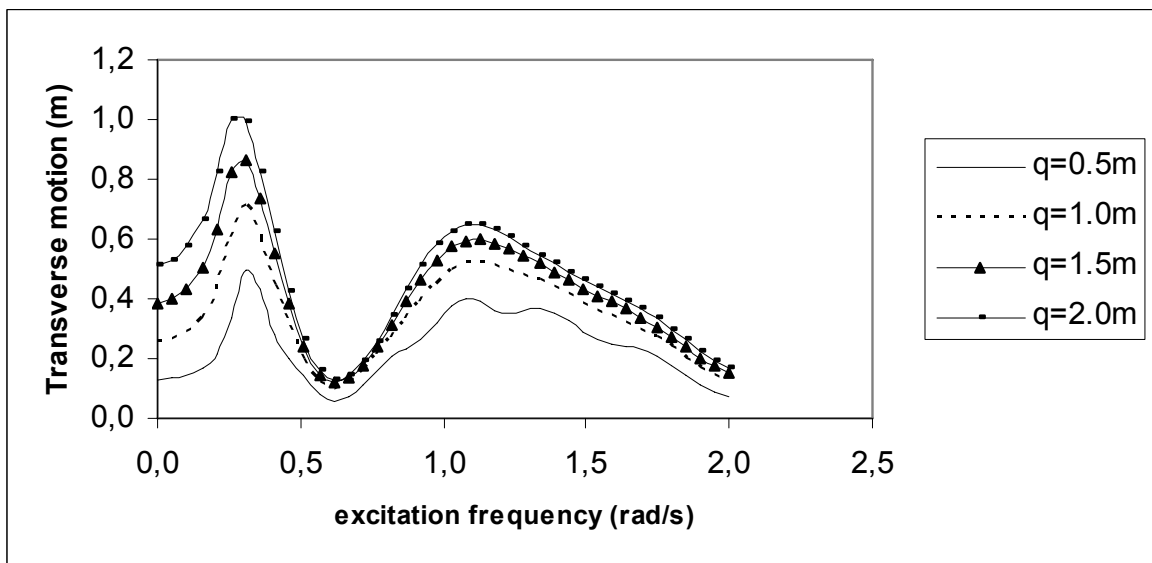
Διάγραμμα 8γ: Βάθος νερού 300 m. Αξονική κίνηση ρ στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την q διέγερση.



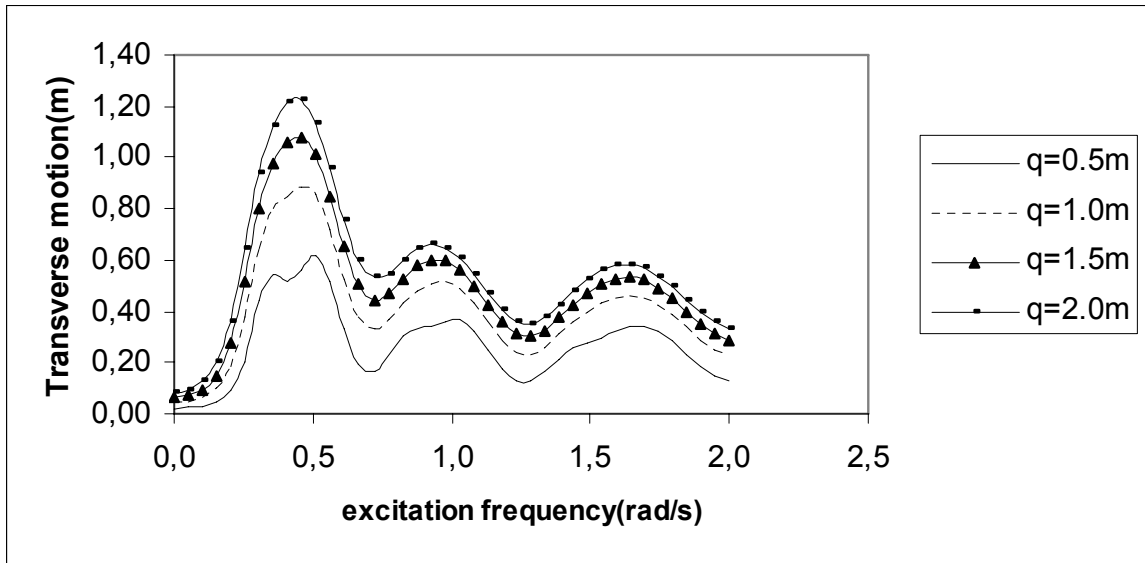
Διάγραμμα 8δ: Βάθος νερού 300 m. Αξονική κίνηση ρ στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την q διέγερση.



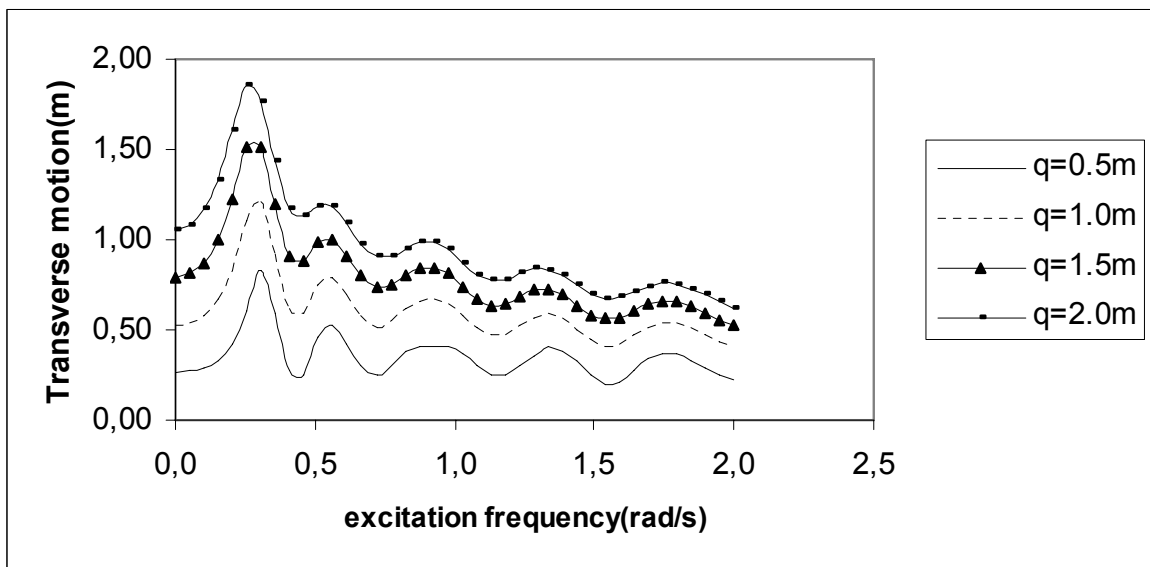
Διάγραμμα 9α: Βάθος νερού 300 m. Εγκάρσια κίνηση q στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την q διέγερση.



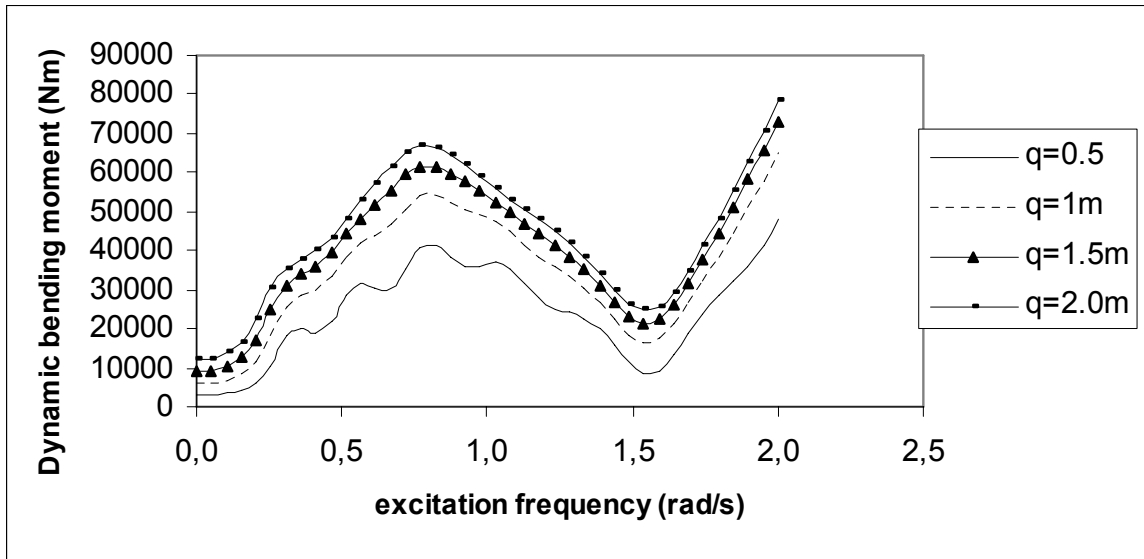
Διάγραμμα 9β: Βάθος νερού 300 m. Εγκάρσια κίνηση q στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την q διέγερση.



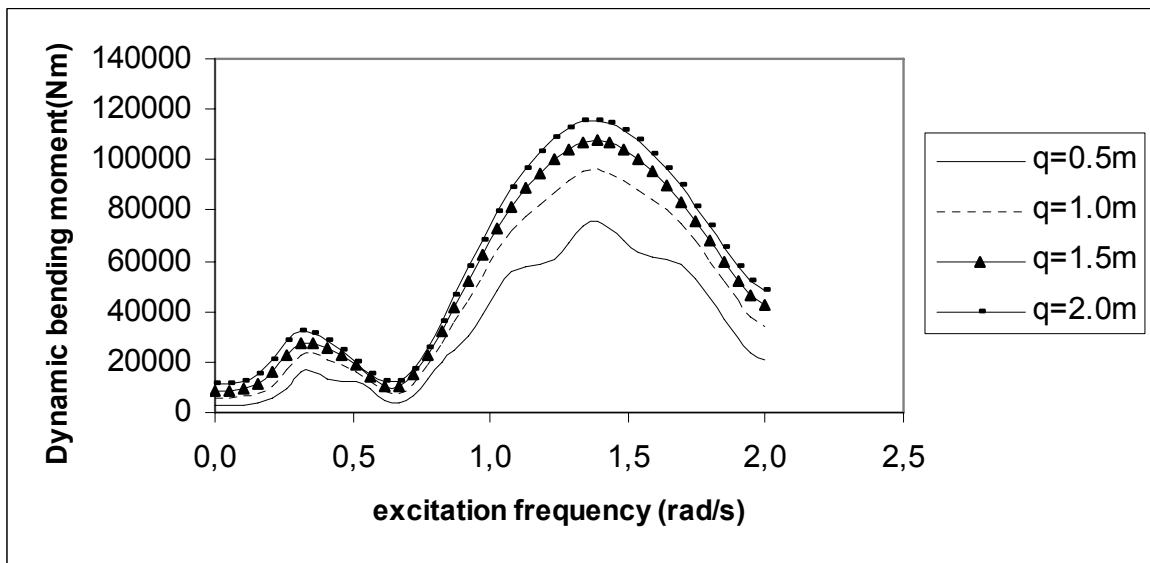
Διάγραμμα 9γ: Βάθος νερού 300 m. Εγκάρσια κίνηση q στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την q διέγερση.



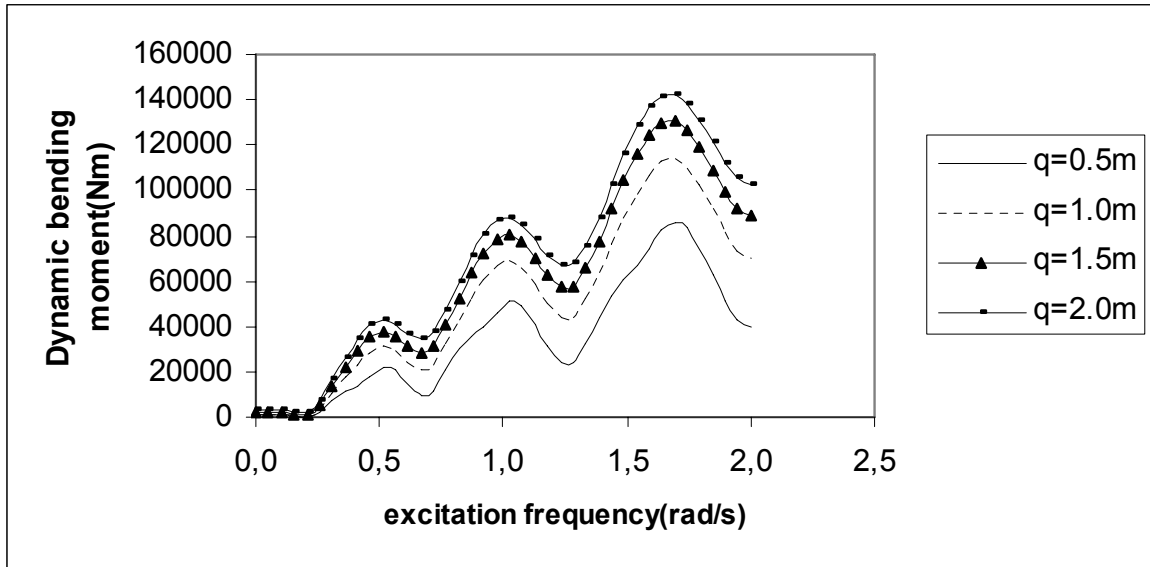
Διάγραμμα 9δ: Βάθος νερού 300 m. Εγκάρσια κίνηση q στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την q διέγερση.



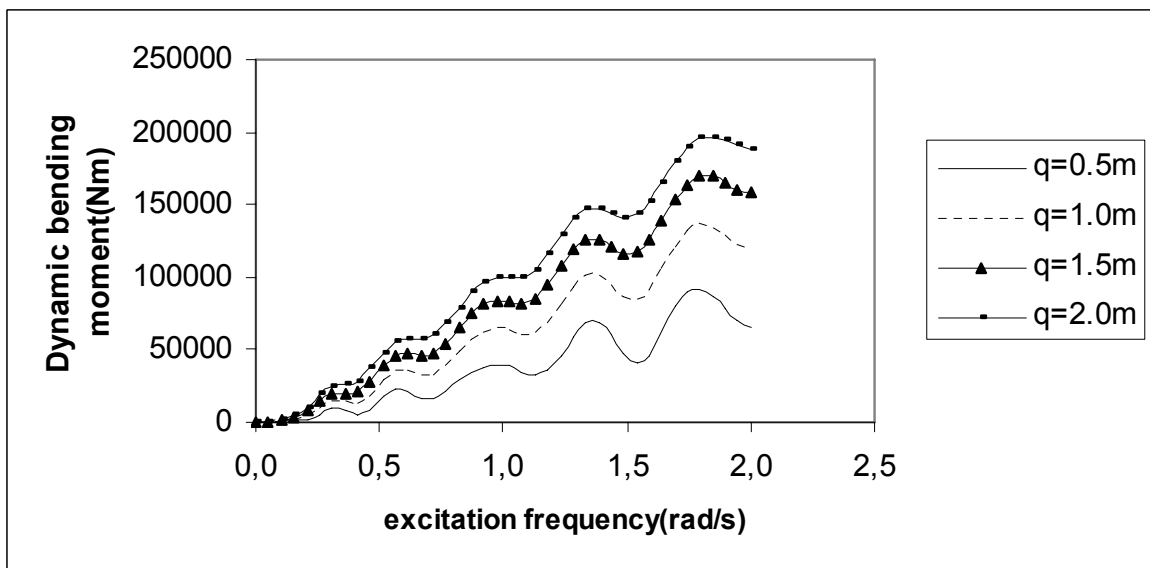
Διάγραμμα 10α: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την q διέγερση.



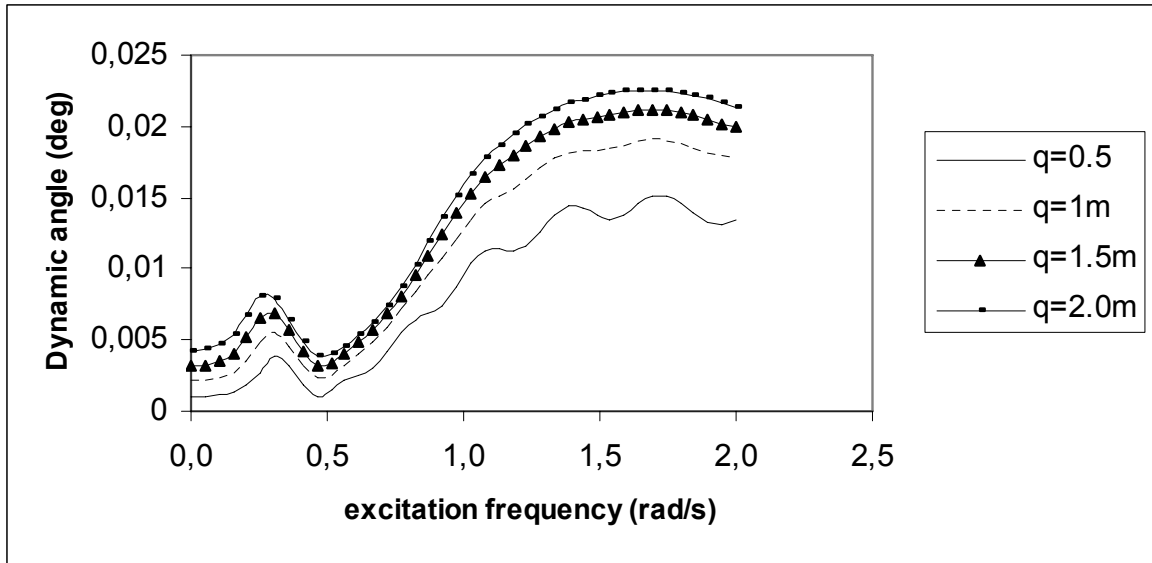
Διάγραμμα 10β: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την q διέγερση.



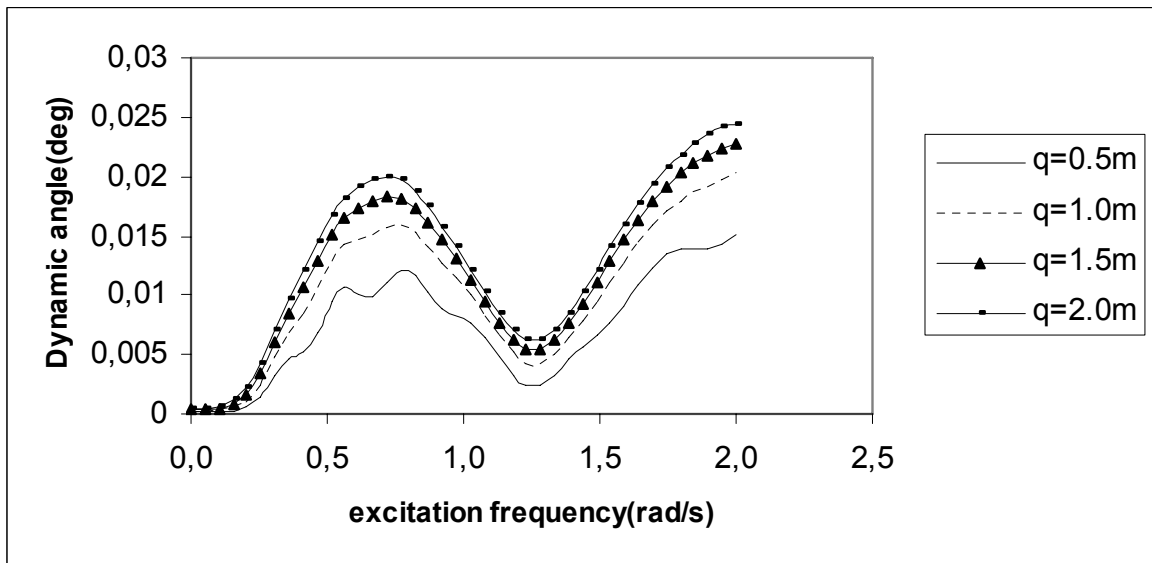
Διάγραμμα 10γ: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την q διέγερση.



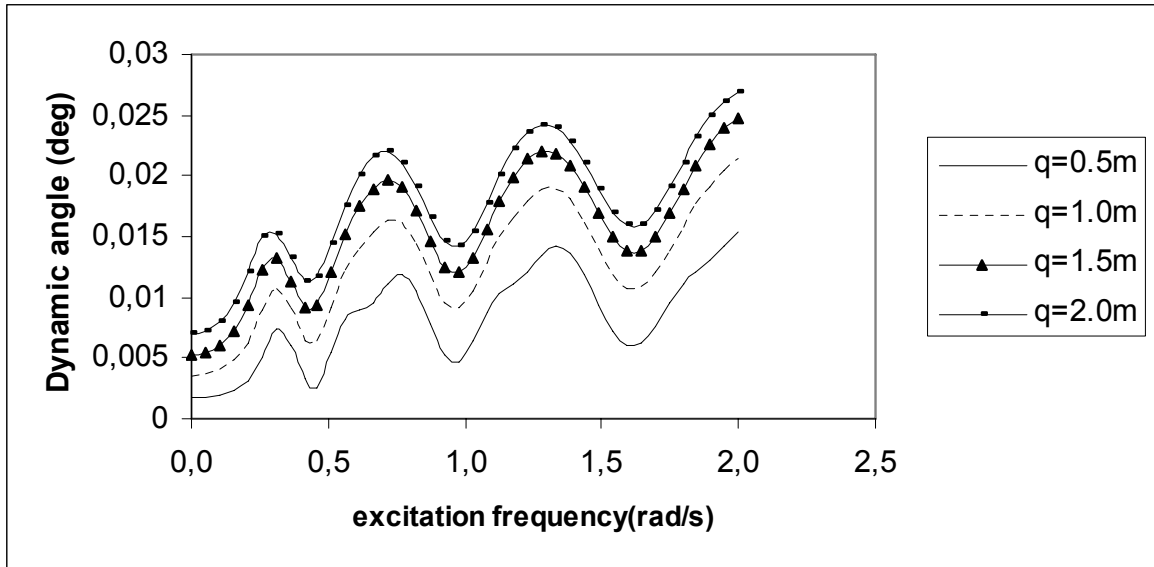
Διάγραμμα 10δ: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την q διέγερση.



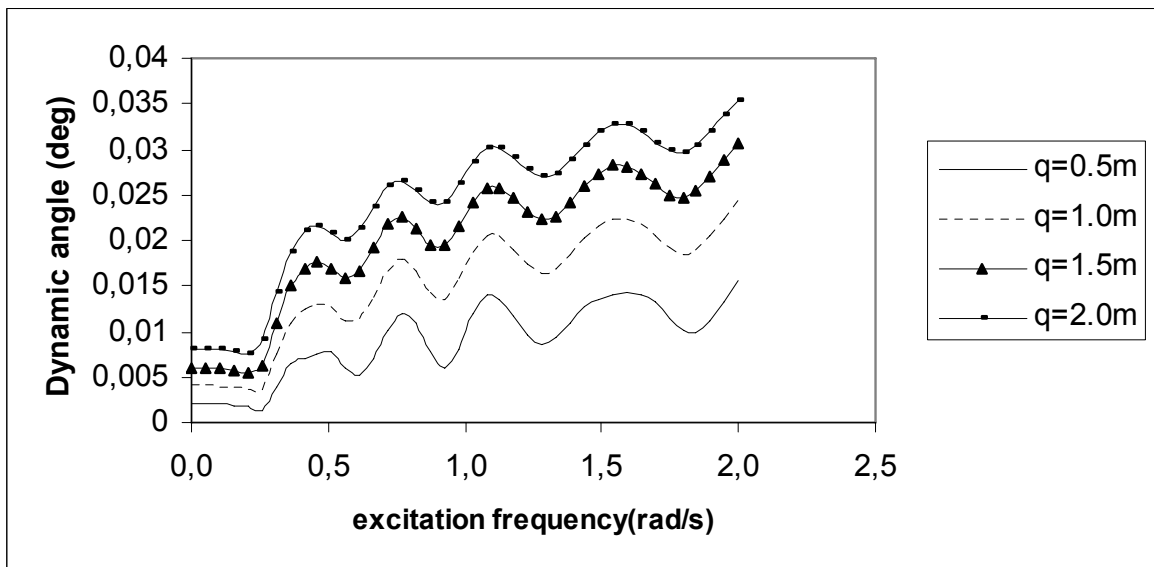
Διάγραμμα 11α: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική γωνία στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την q διέγερση.



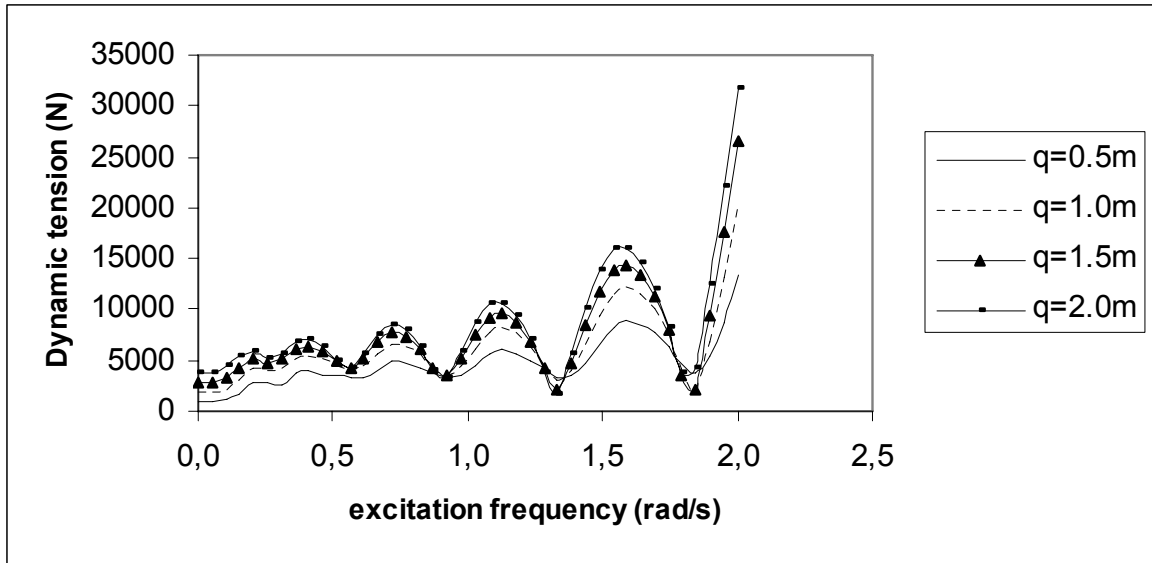
Διάγραμμα 11β: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική γωνία στα 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την q διέγερση.



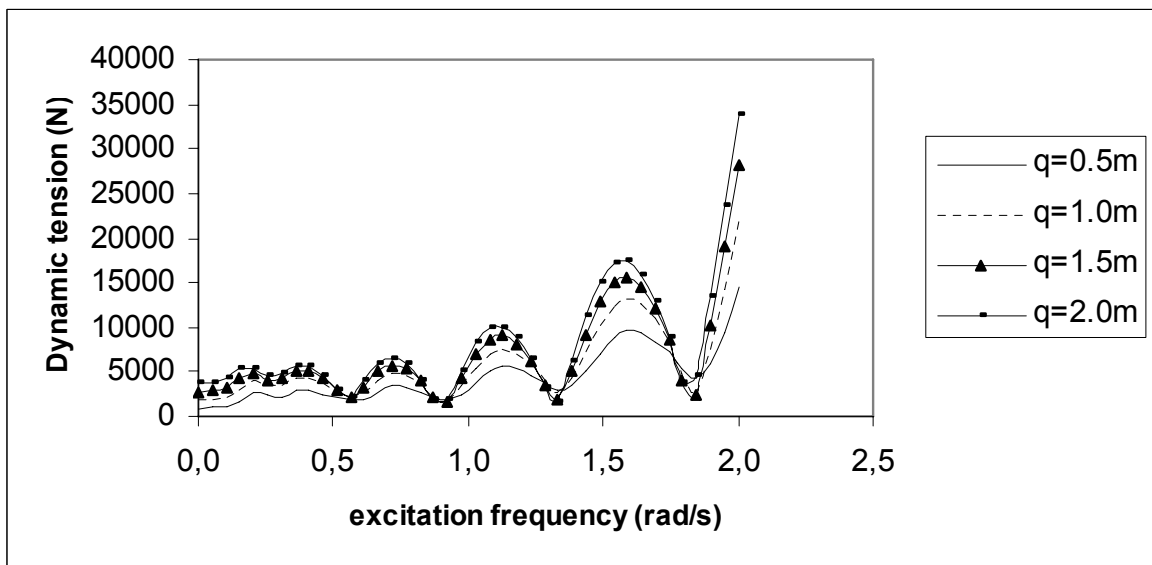
Διάγραμμα 11γ: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική γωνία στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την q διέγερση.



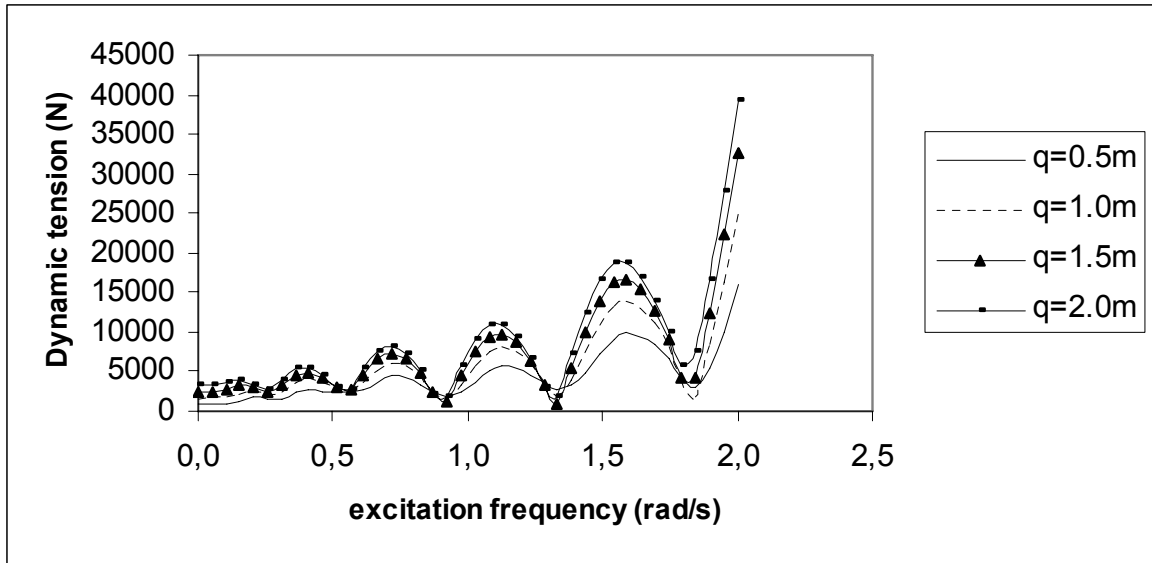
Διάγραμμα 11δ: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική γωνίας στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την q διέγερση.



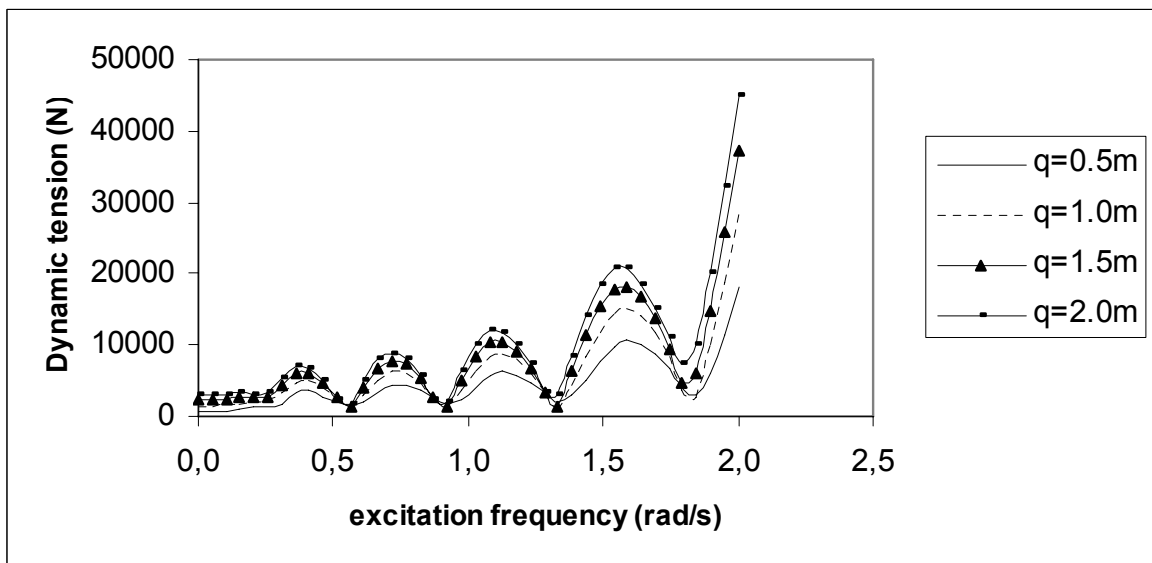
Διάγραμμα 12α: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την q διέγερση.



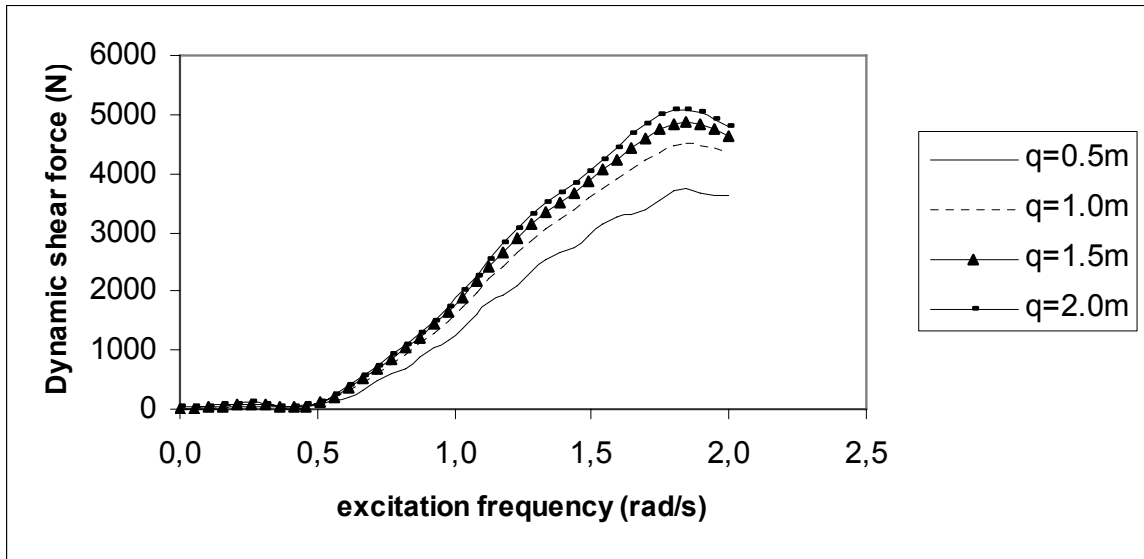
Διάγραμμα 12β: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την q διέγερση.



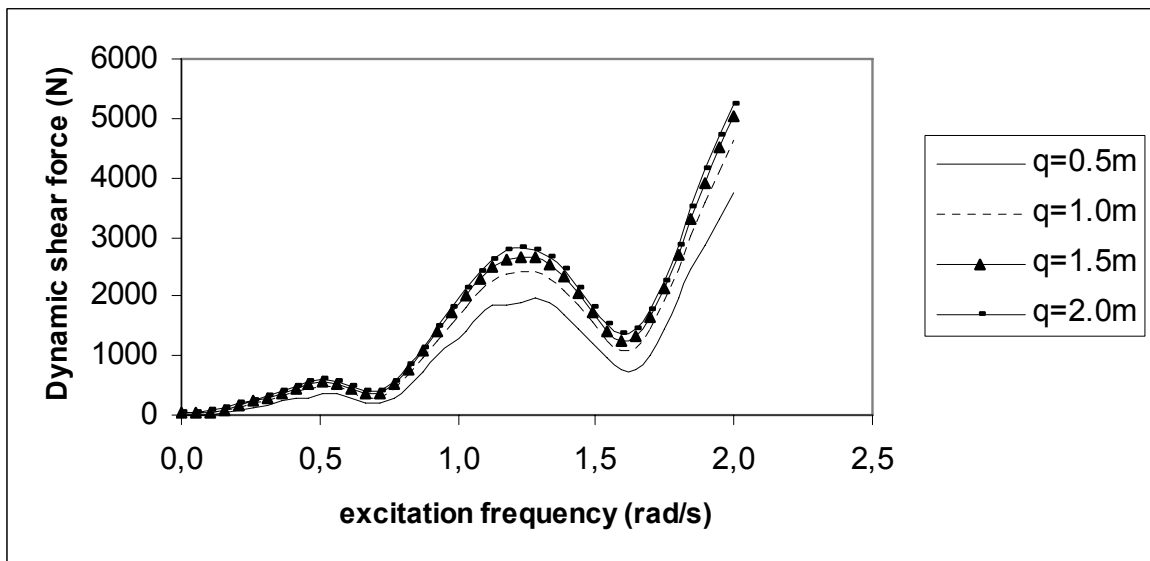
Διάγραμμα 12γ: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την q διέγερση.



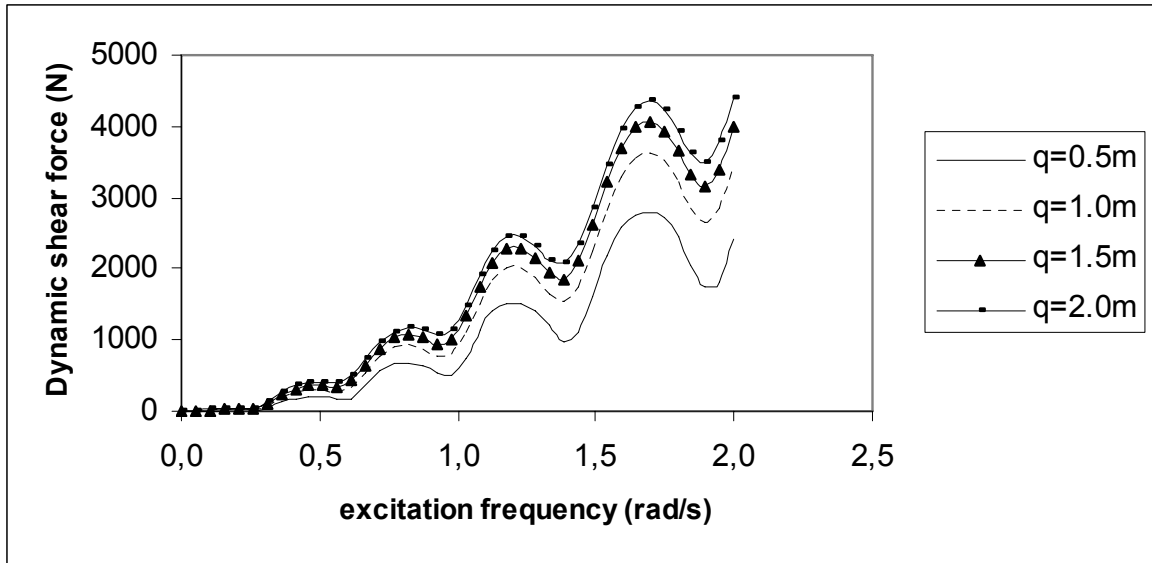
Διάγραμμα 12δ: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την q διέγερση.



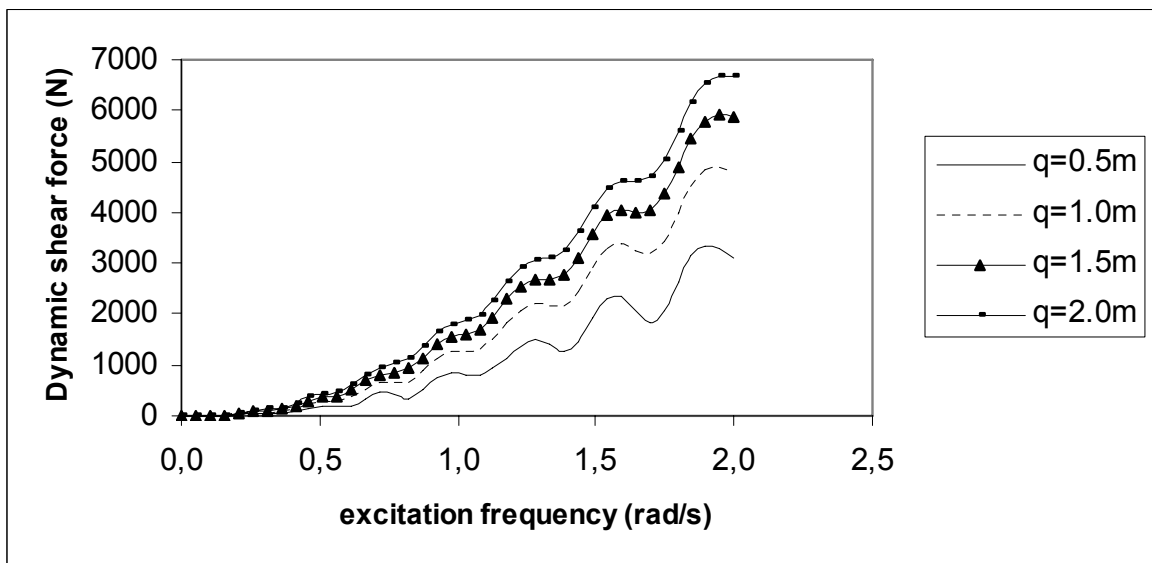
Διάγραμμα13α: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την q διέγερση.



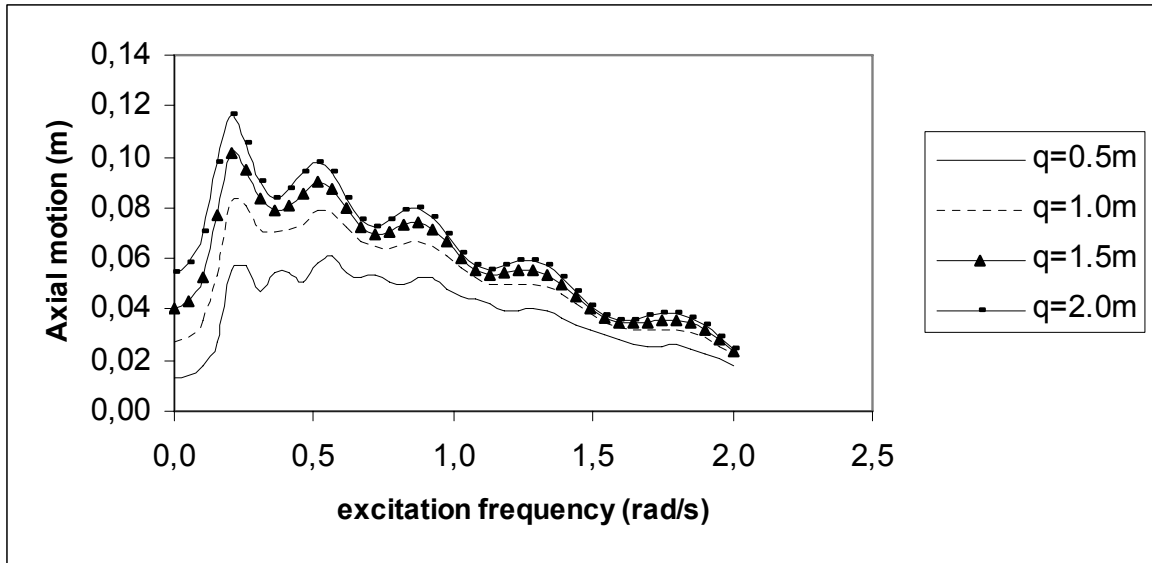
Διάγραμμα 13β: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την q διέγερση.



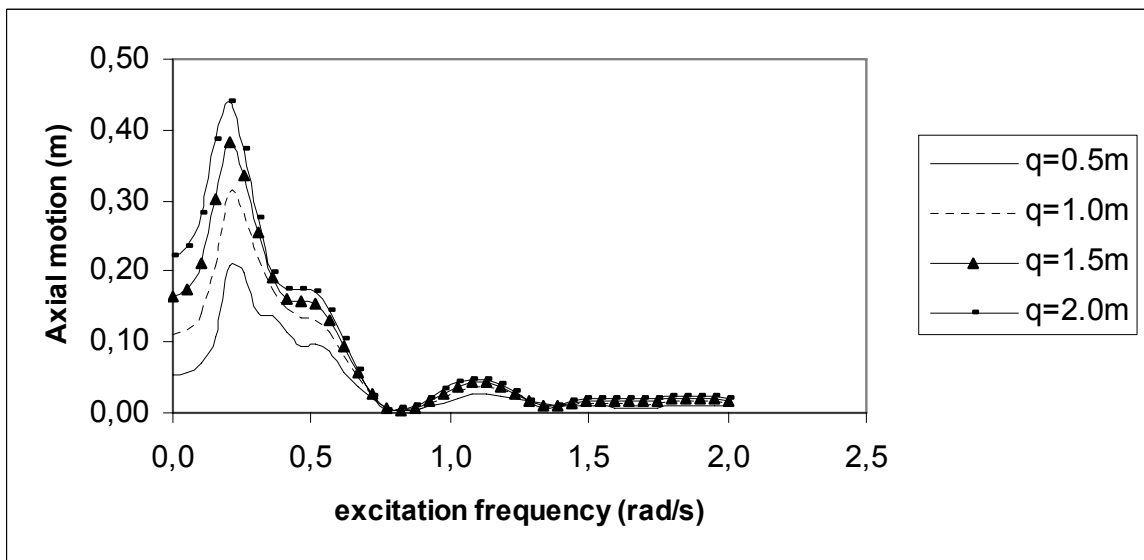
Διάγραμμα 13γ: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την q διέγερση.



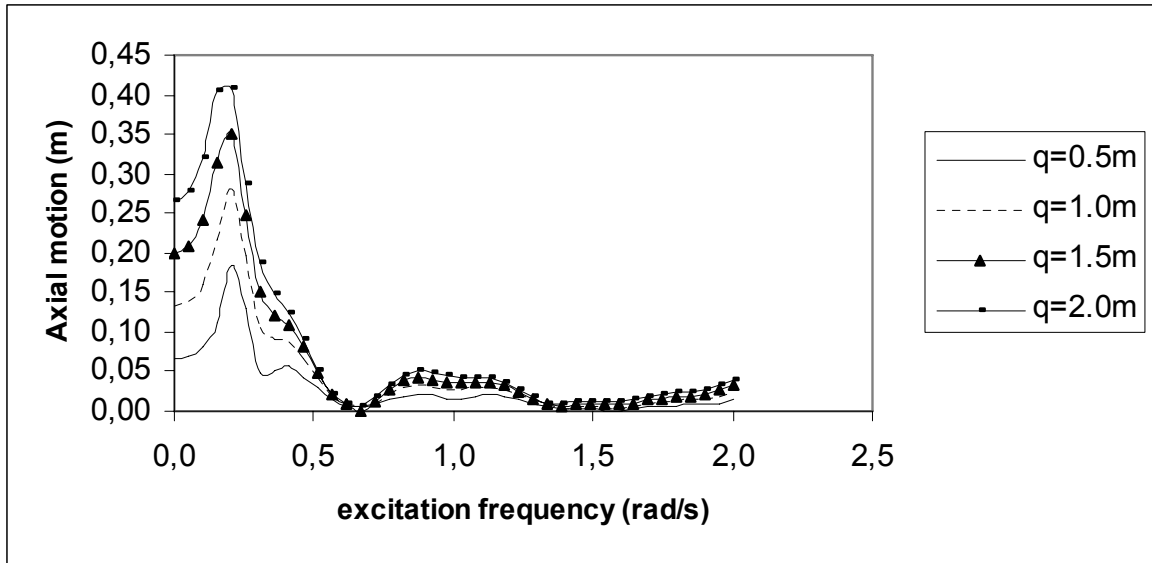
Διάγραμμα 13δ: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την q διέγερση.



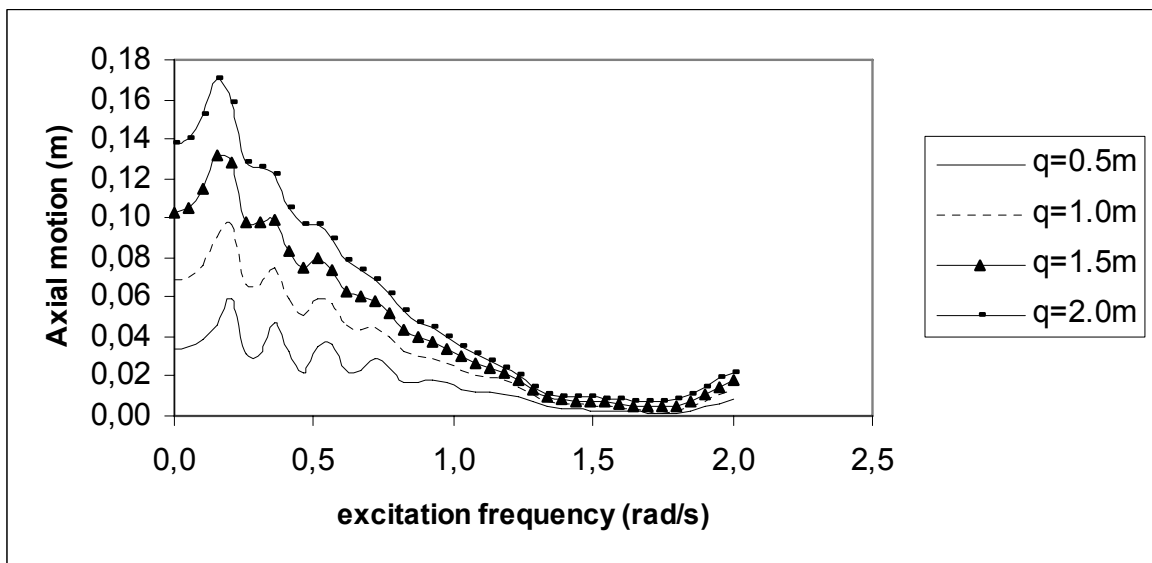
Διάγραμμα 14α: Βάθος νερού 500 m. Αξονική κίνηση ρ στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την q διέγερση.



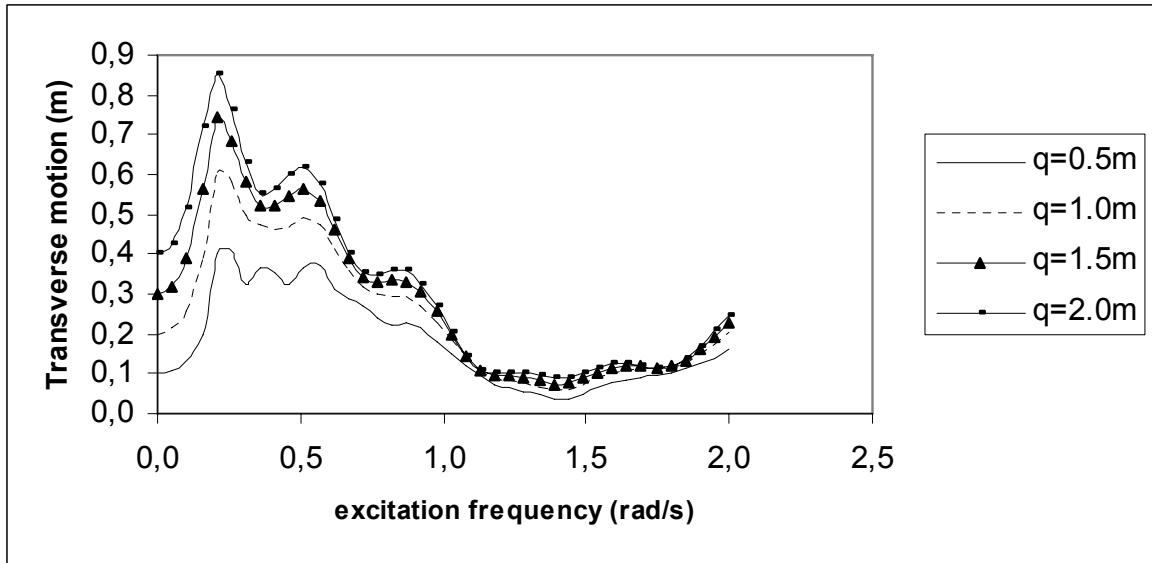
Διάγραμμα 14β: Βάθος νερού 500 m. Αξονική κίνηση ρ στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την q διέγερση.



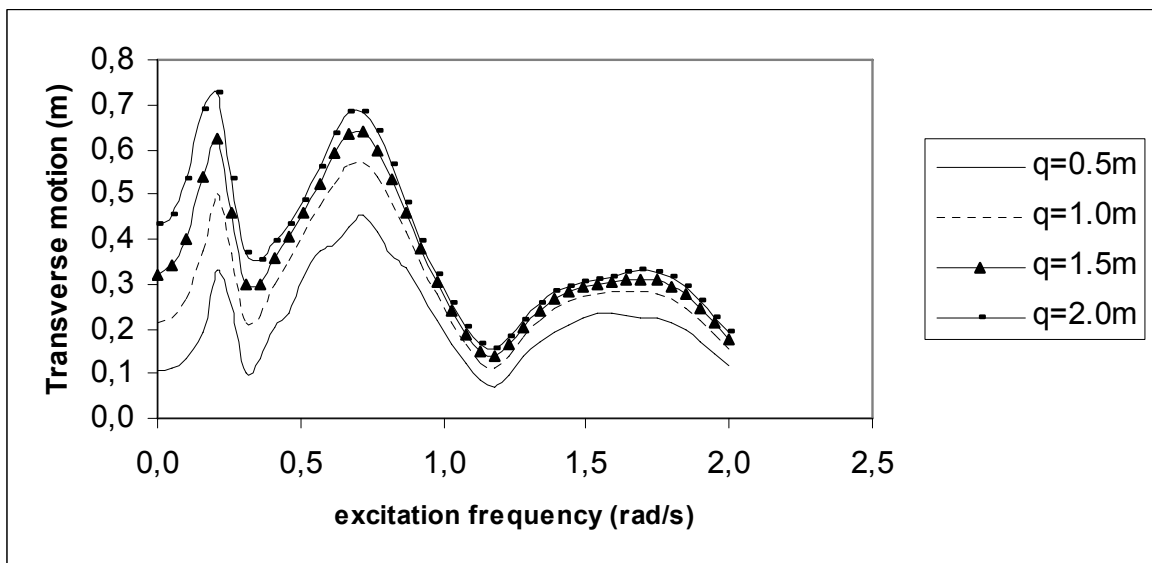
Διάγραμμα 14γ: Βάθος νερού 500 m. Αξονική κίνηση ρ στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την q διέγερση.



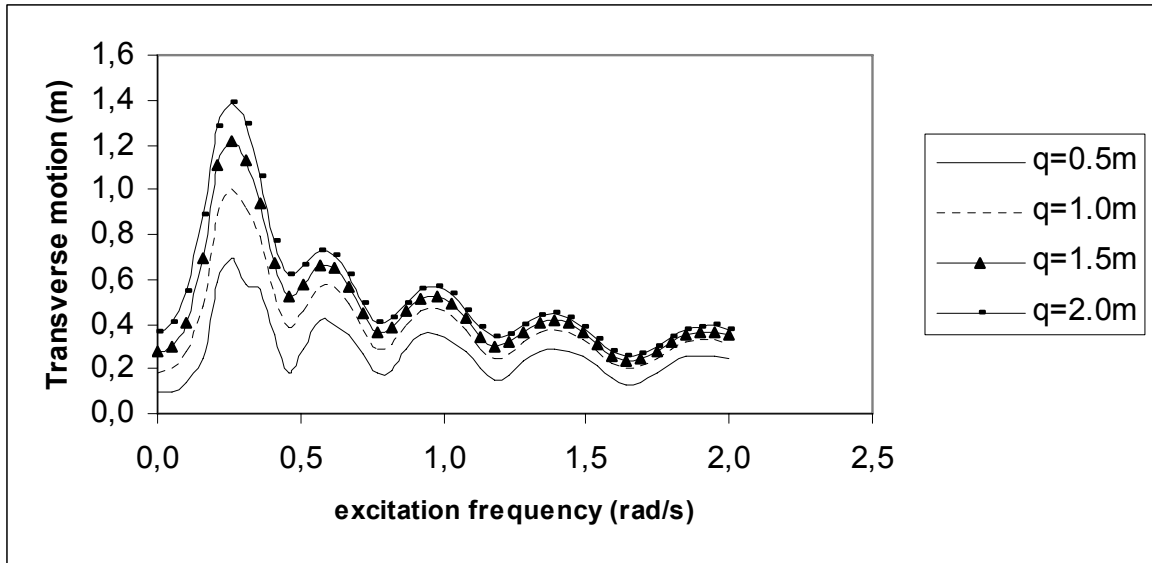
Διάγραμμα 14δ: Βάθος νερού 500 m. Αξονική κίνηση ρ στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την q διέγερση.



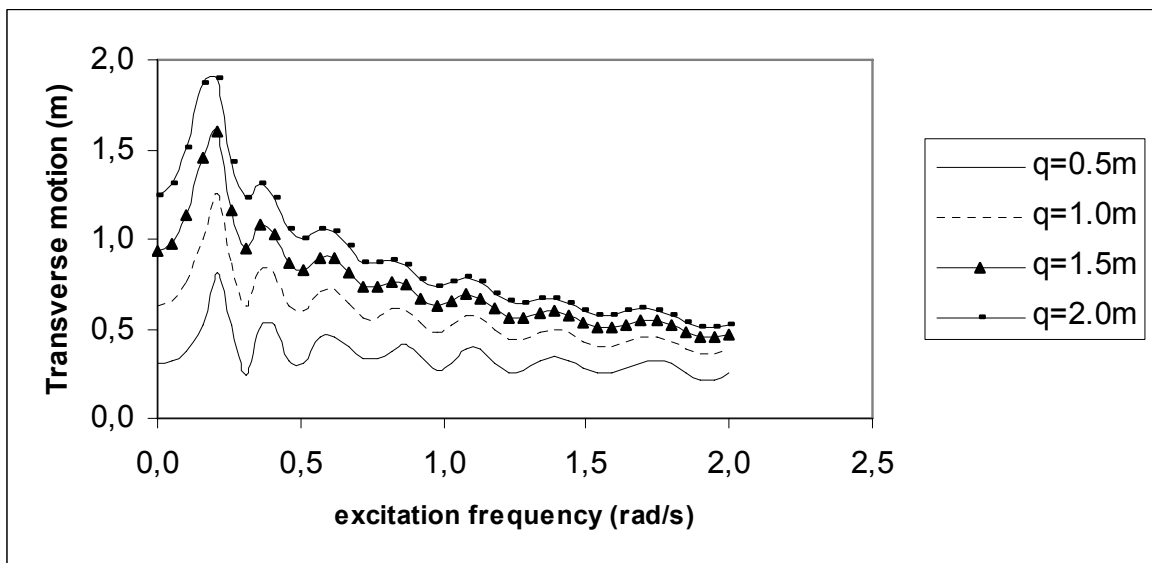
Διάγραμμα 15α: Βάθος νερού 500 m. Εγκάρσια κίνηση q στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την q διέγερση.



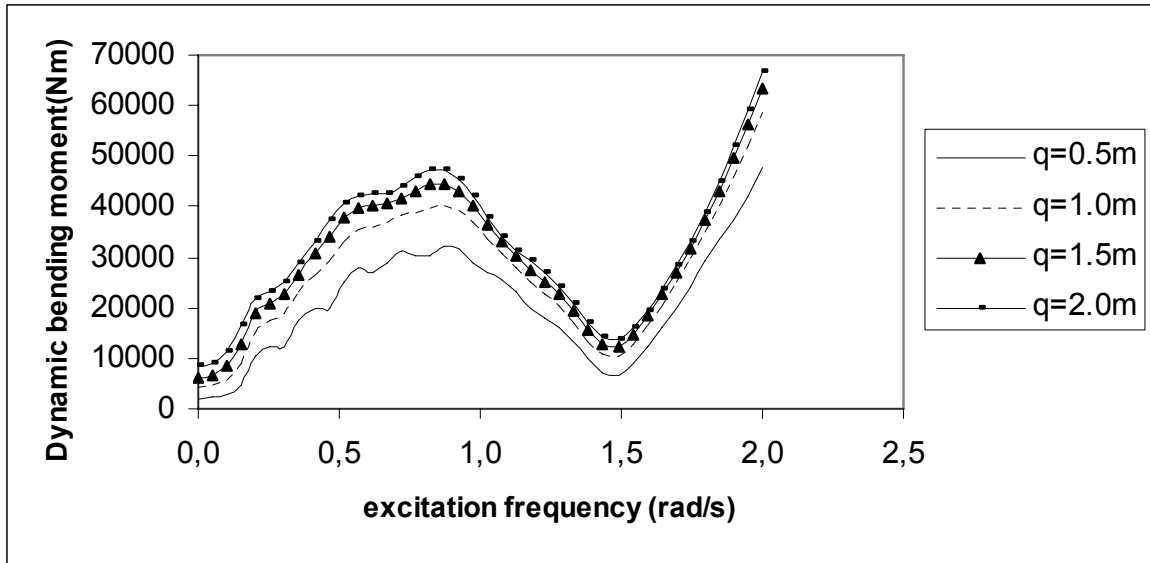
Διάγραμμα 15β: Βάθος νερού 500 m. Εγκάρσια κίνηση q στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την q διέγερση.



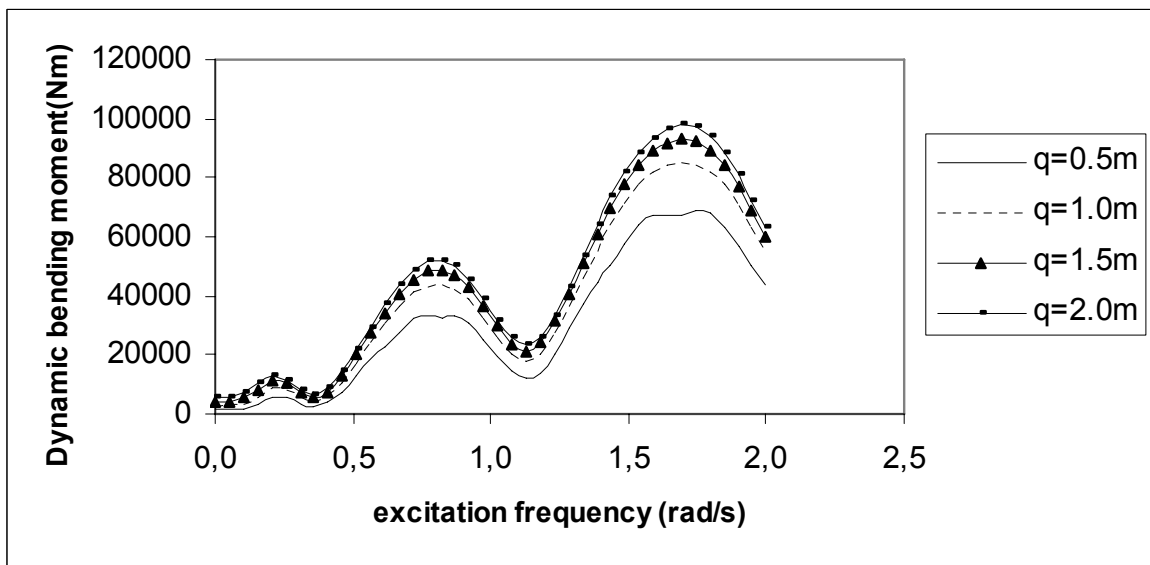
Διάγραμμα 15γ: Βάθος νερού 500 m. Εγκάρσια κίνηση q στο $1/2$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την q διέγερση.



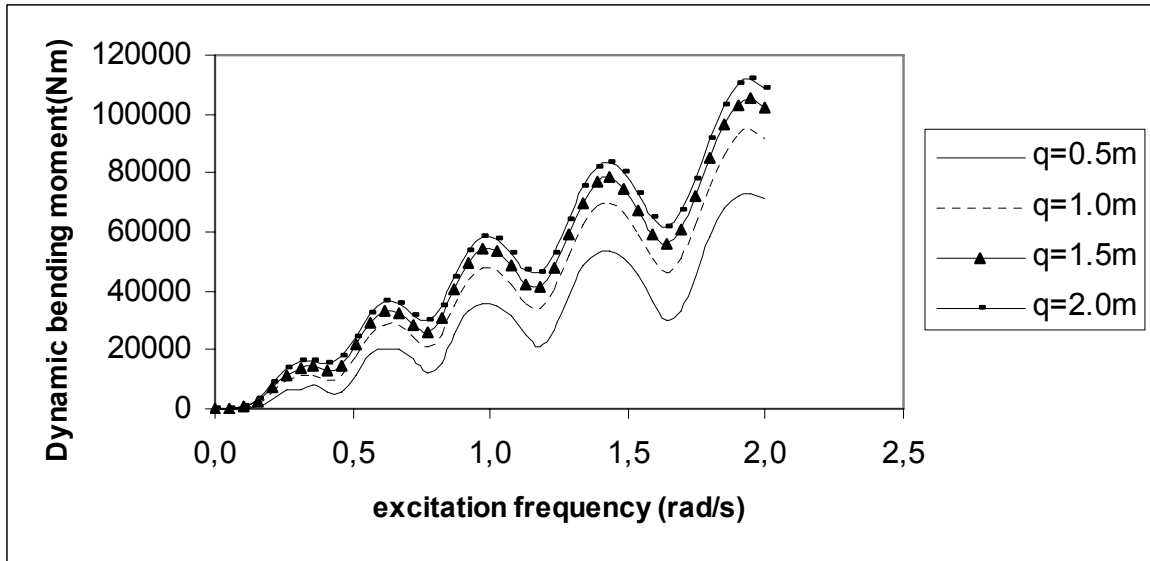
Διάγραμμα 15δ: Βάθος νερού 500 m. Εγκάρσια κίνηση q στα $3/4$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την q διέγερση.



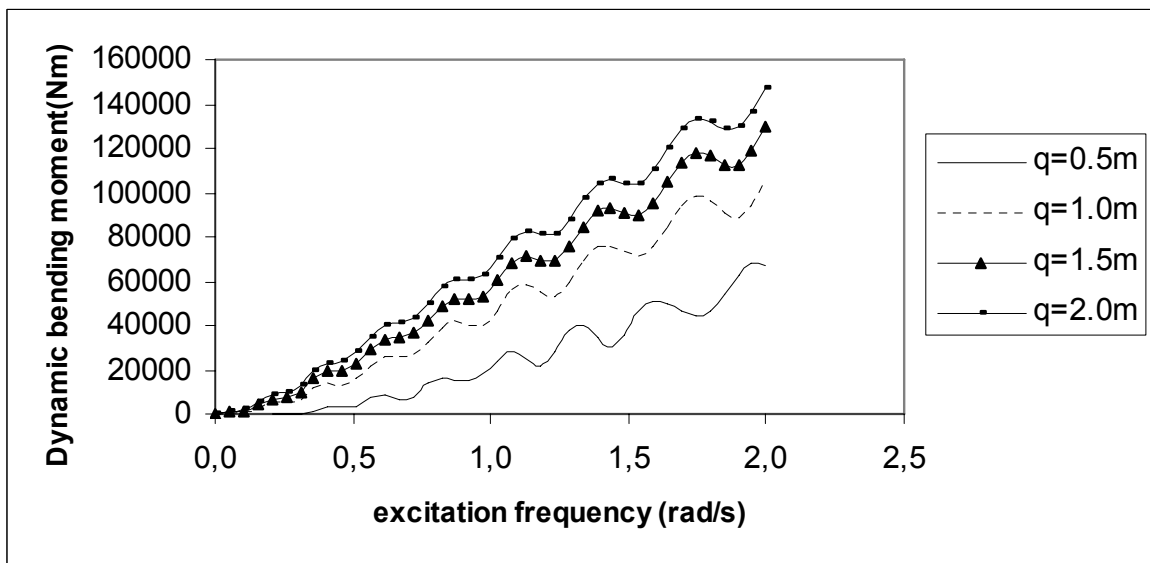
Διάγραμμα 16α: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\ddot{\Omega}$ στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την q διέγερση.



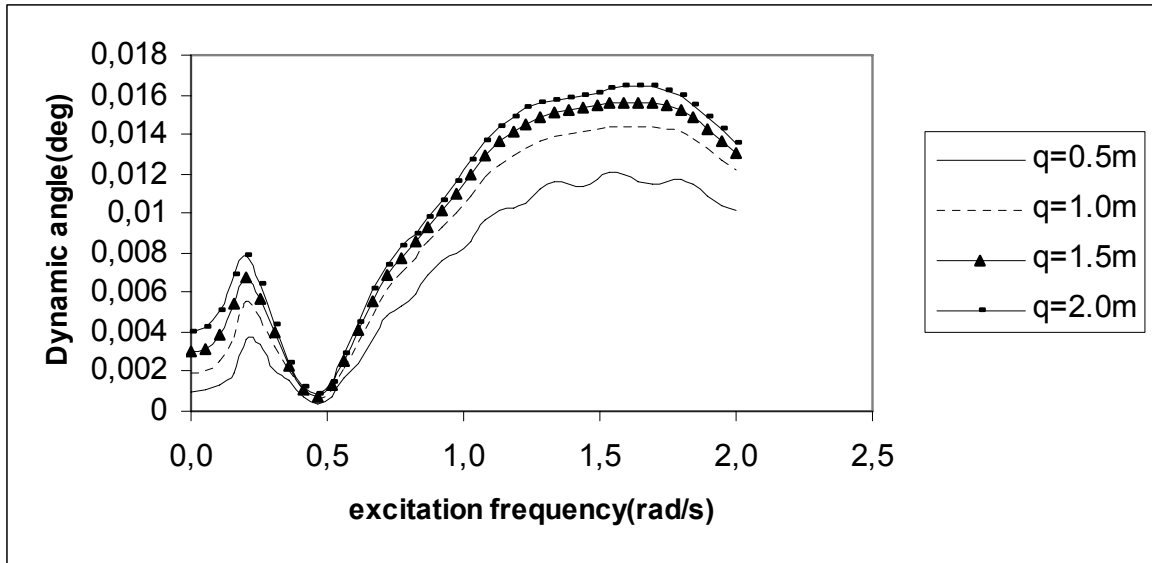
Διάγραμμα 16β: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\ddot{\Omega}$ στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την q διέγερση.



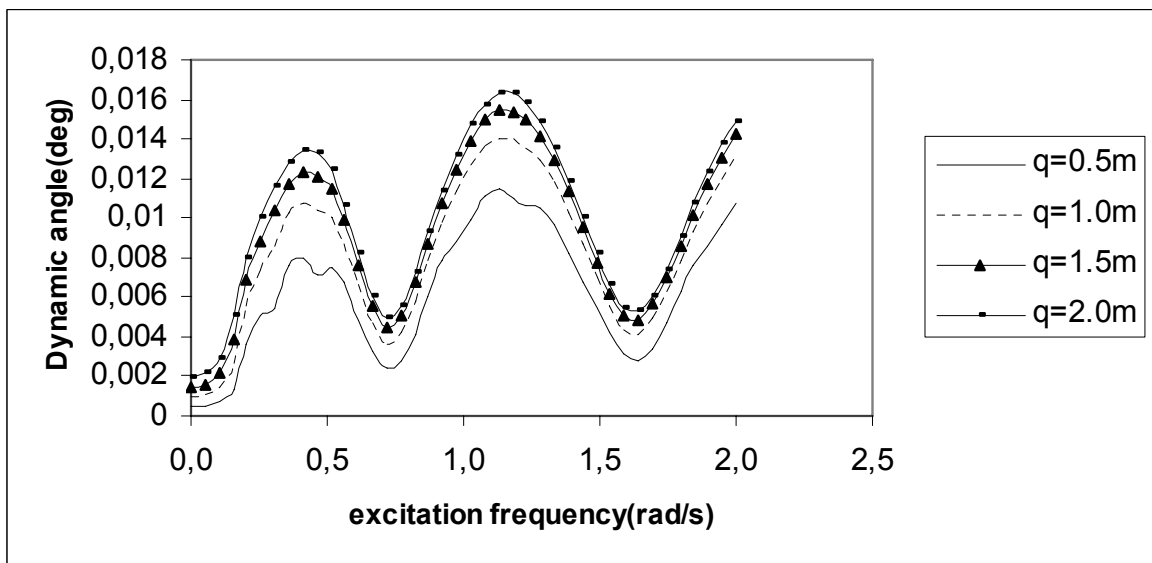
Διάγραμμα 16γ: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\ddot{\Omega}$ στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την q διέγερση.



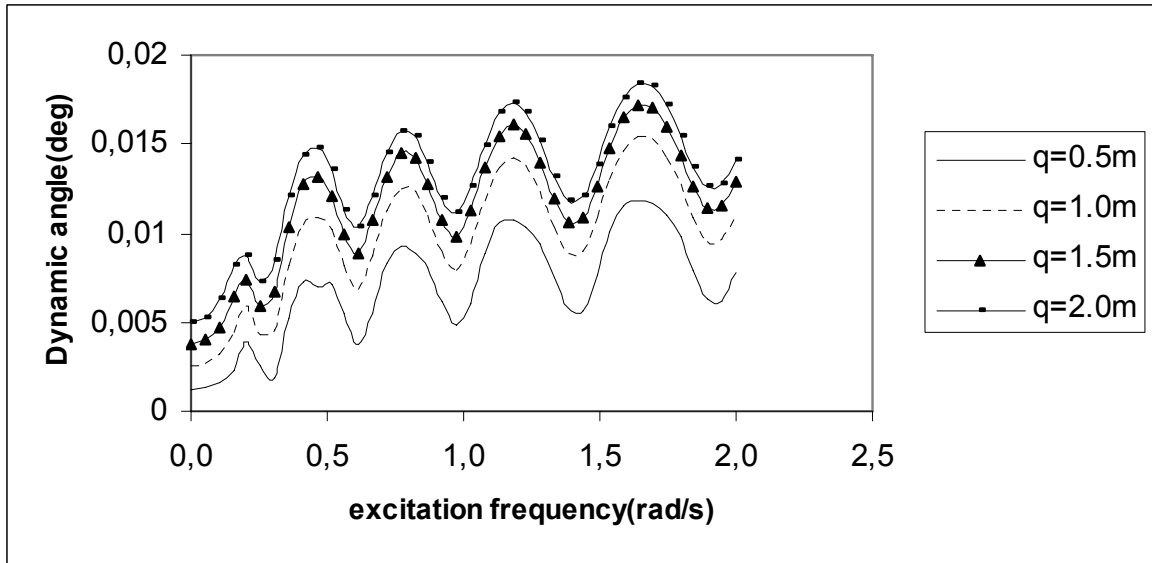
Διάγραμμα 16δ: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\ddot{\Omega}$ στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την q διέγερση.



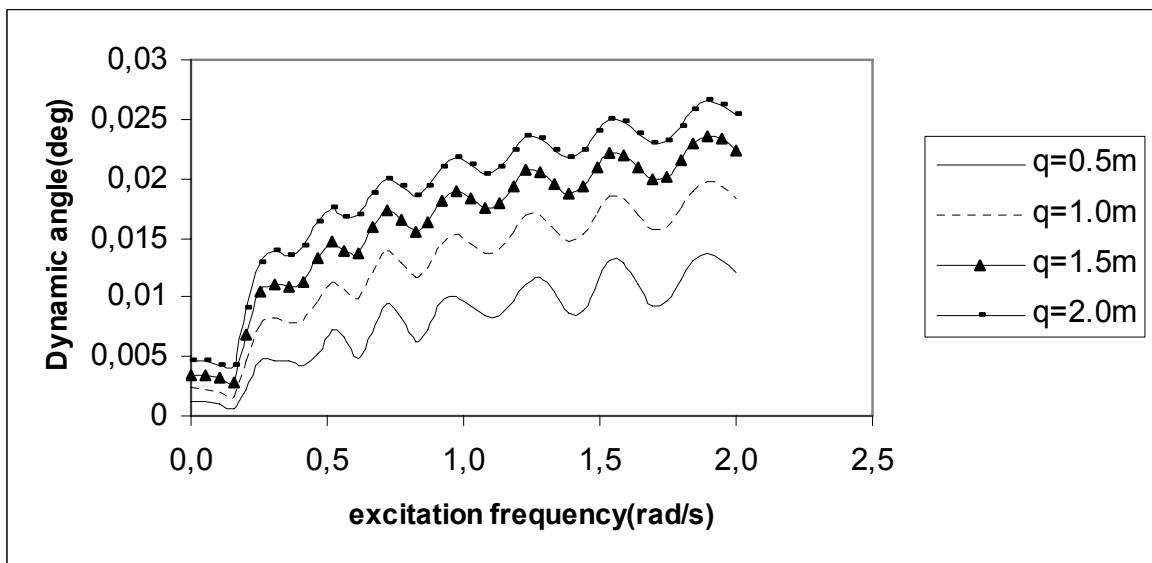
Διάγραμμα 17α: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική γωνία στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την q διέγερση.



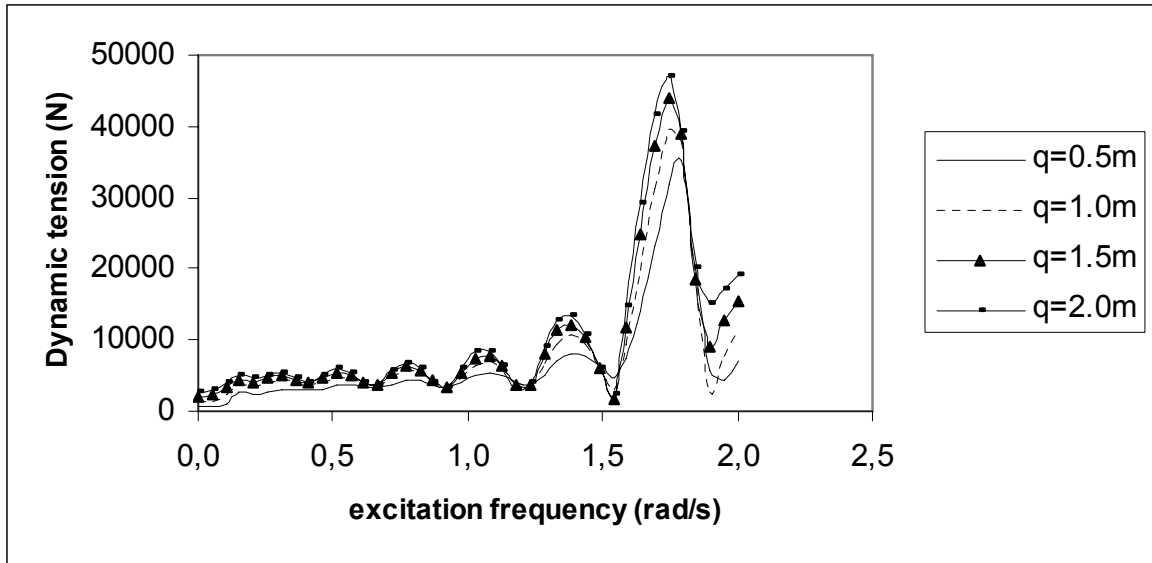
Διάγραμμα 17β: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική γωνία στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την q διέγερση.



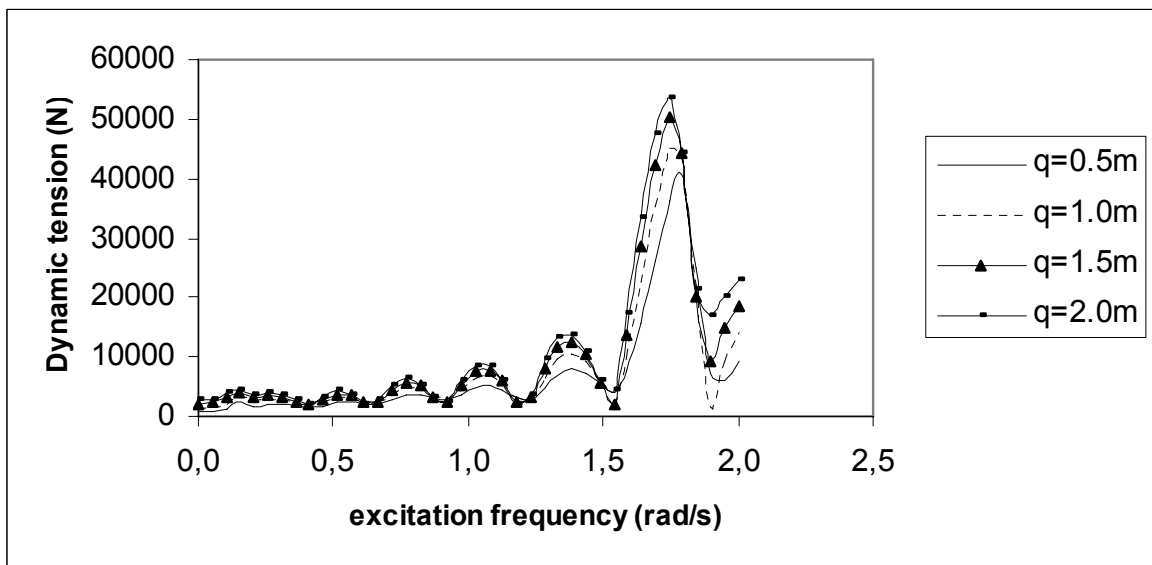
Διάγραμμα 17γ: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική γωνία στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την q διέγερση.



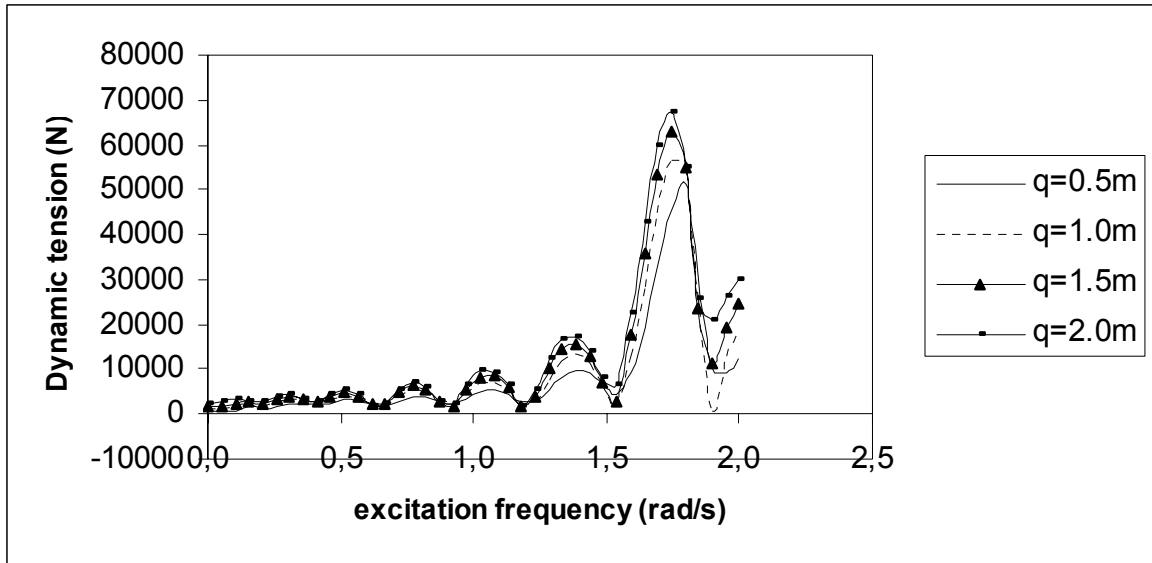
Διάγραμμα 17δ: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική γωνία στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την q διέγερση.



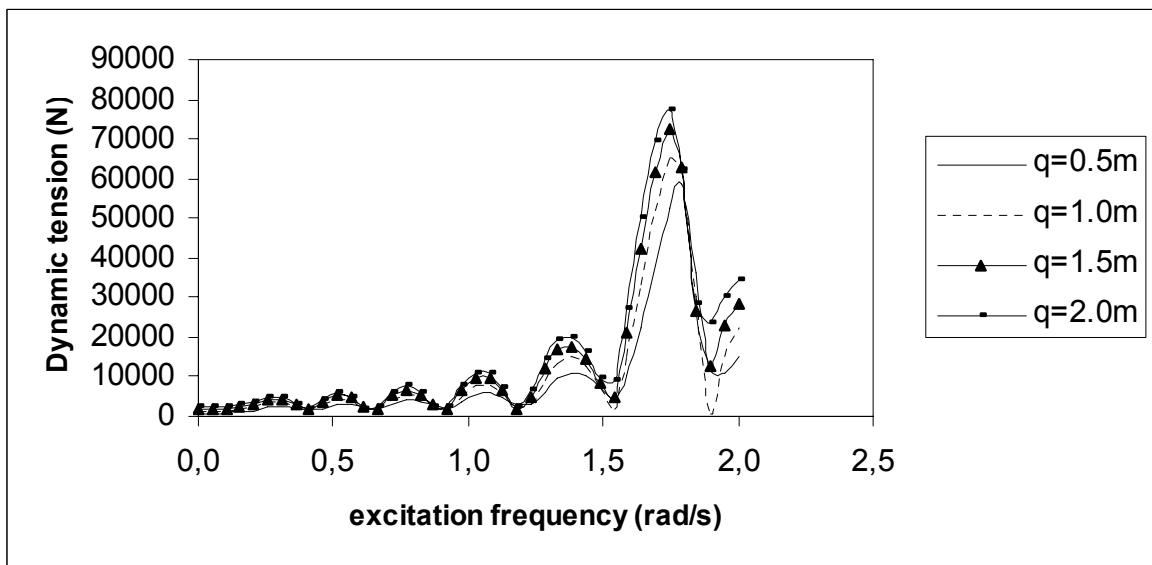
Διάγραμμα 18α: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την q διέγερση.



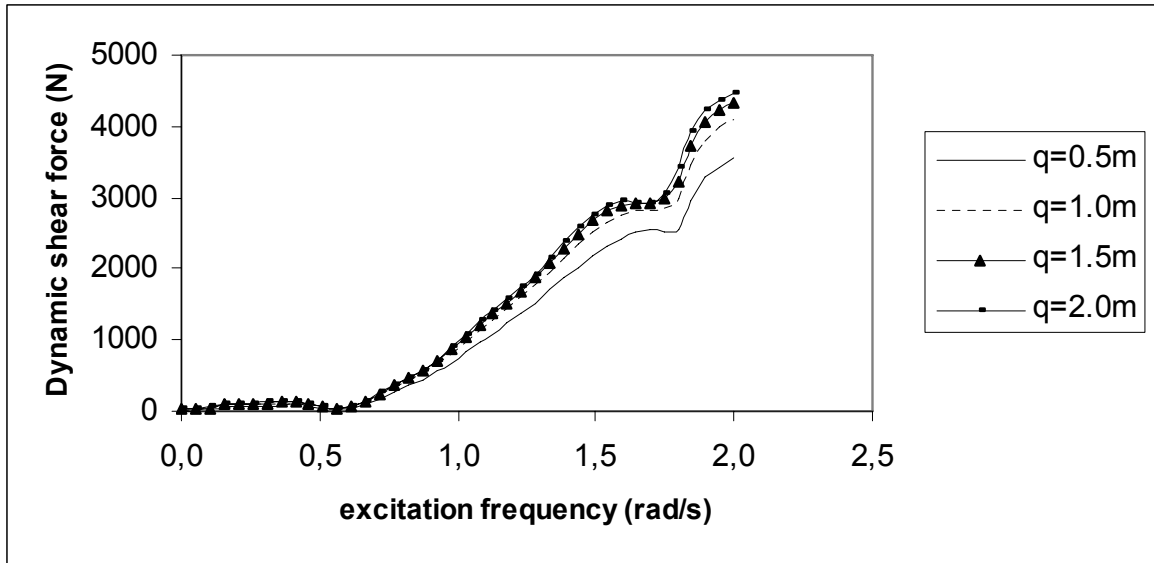
Διάγραμμα 18β: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την q διέγερση.



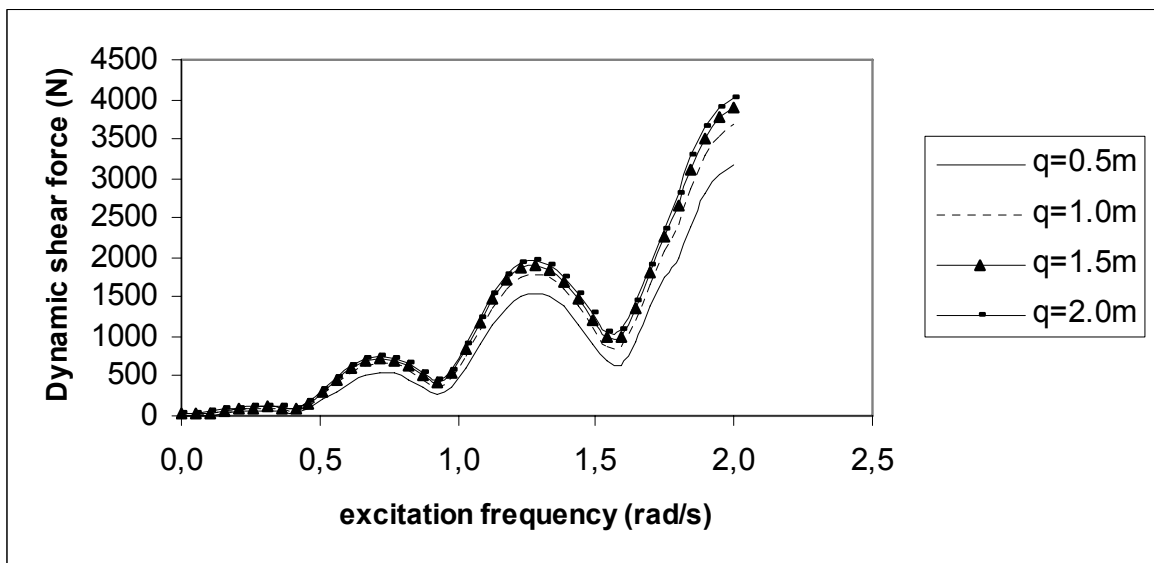
Διάγραμμα 18γ: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την q διέγερση.



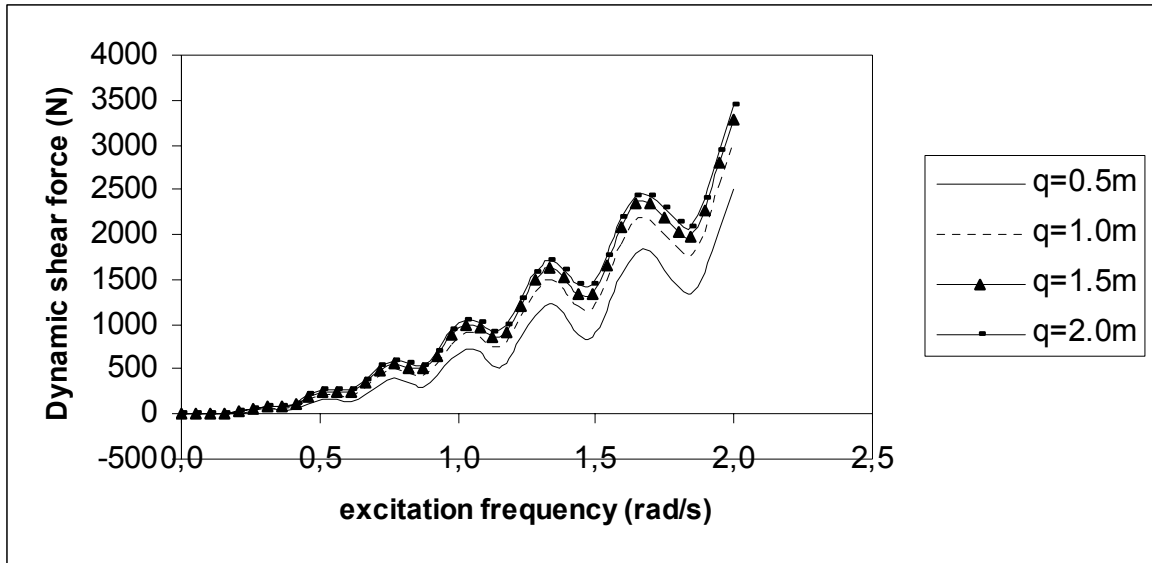
Διάγραμμα 18δ: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την q διέγερση.



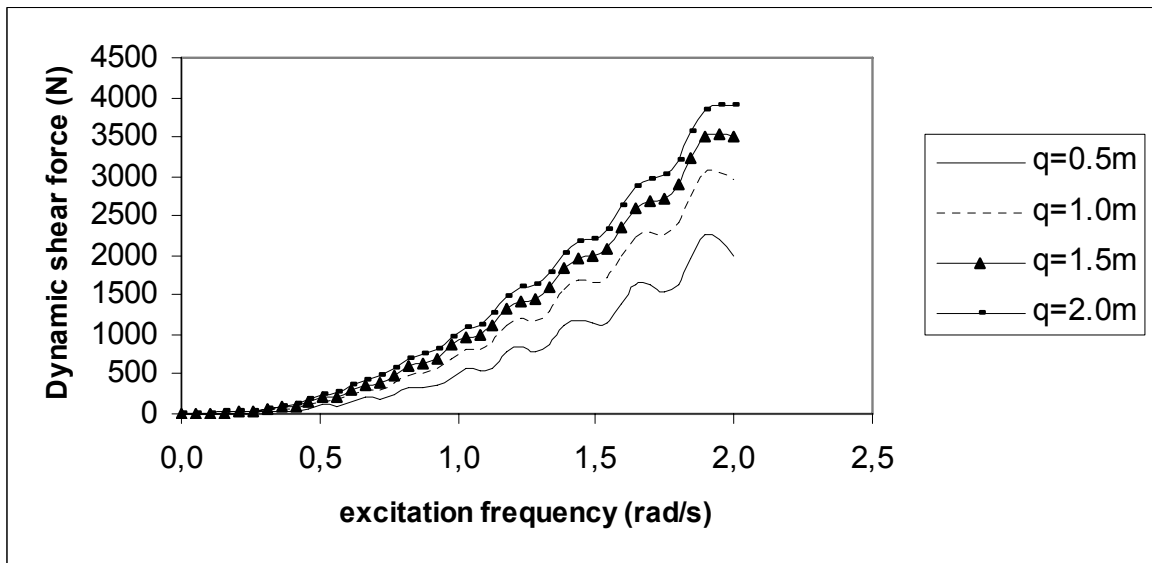
Διάγραμμα 19α: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την q διέγερση.



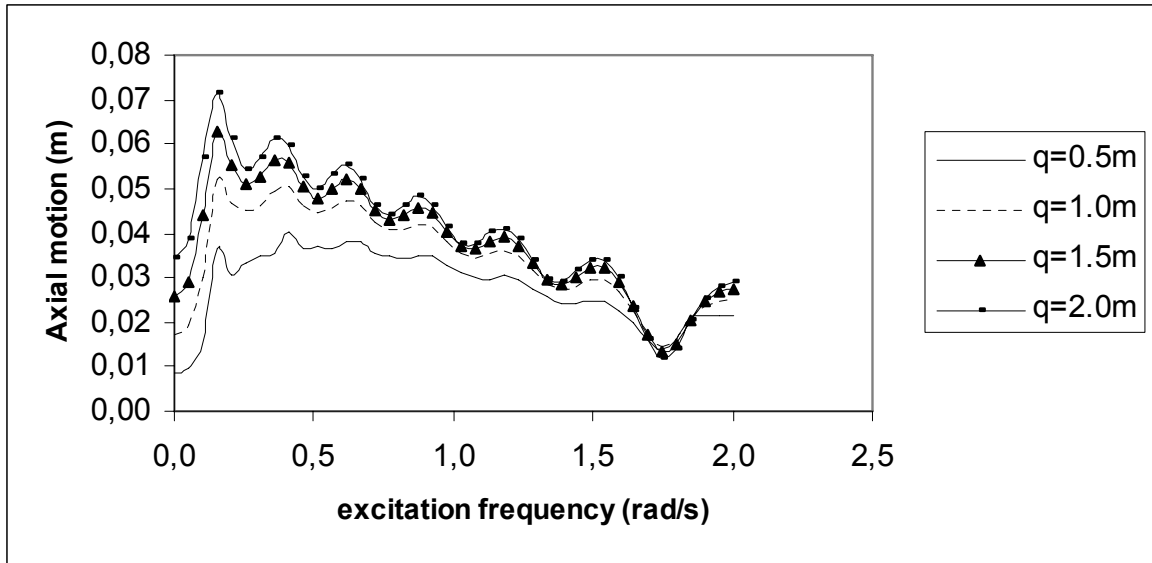
Διάγραμμα 19β: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την q διέγερση.



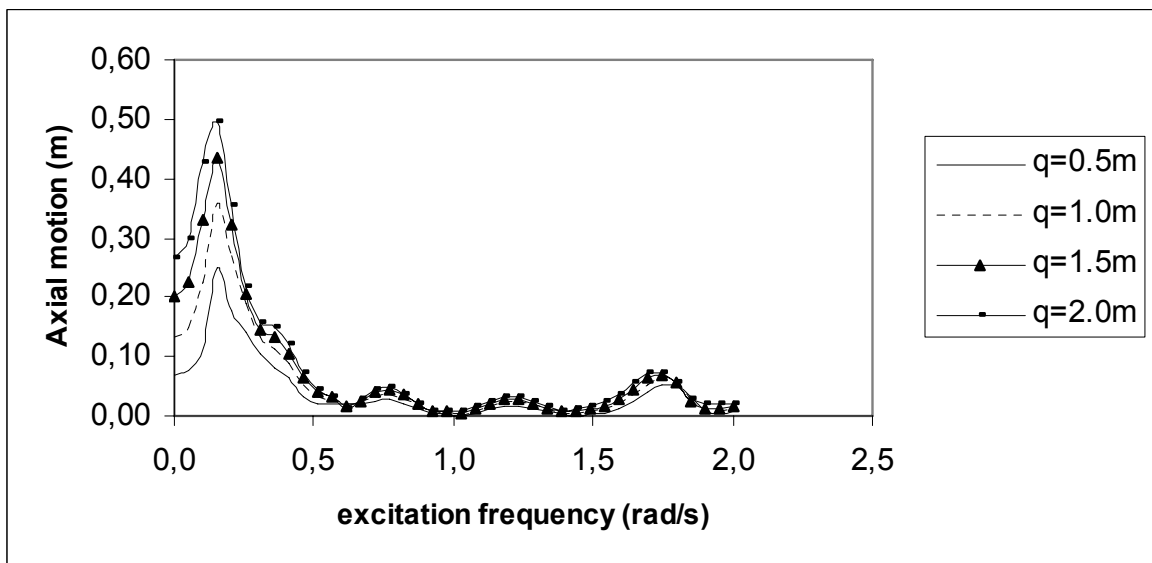
Διάγραμμα 19γ: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την q διέγερση.



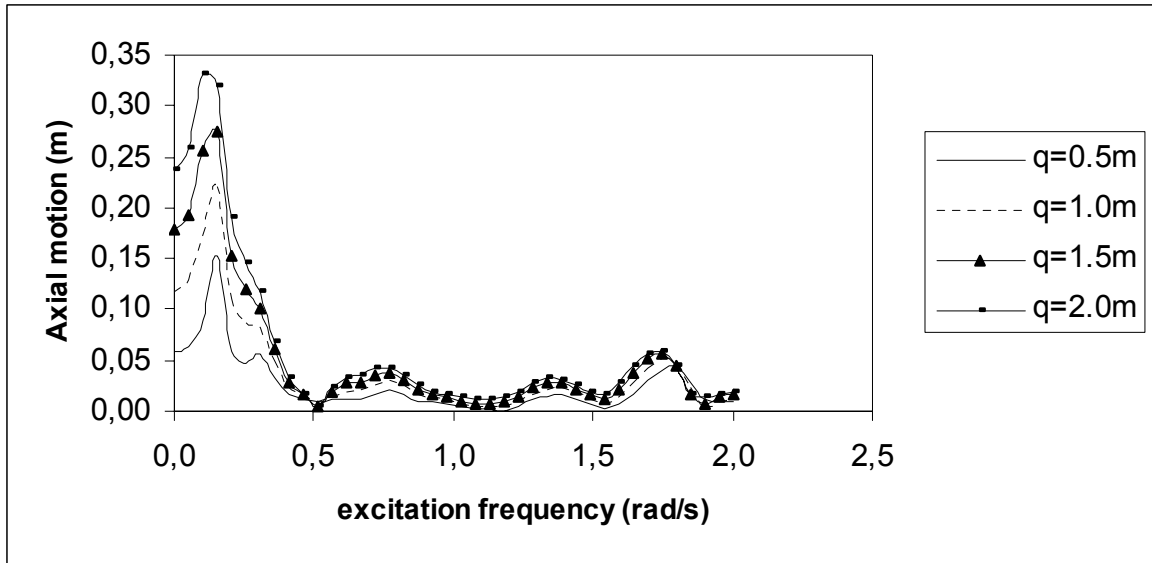
Διάγραμμα 19δ: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την q διέγερση.



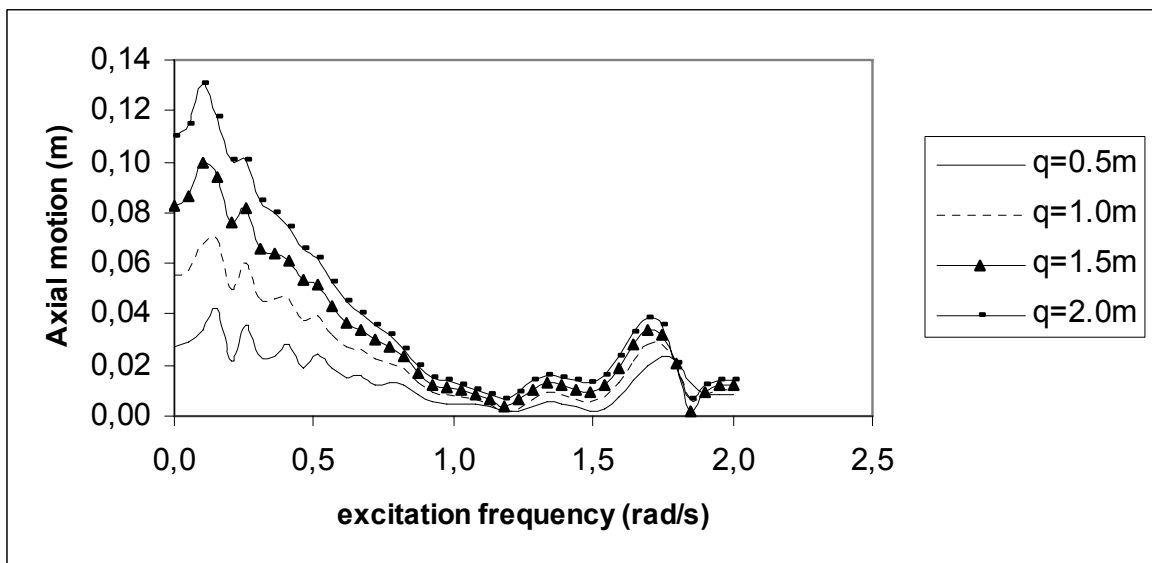
Διάγραμμα 20α: Βάθος νερού 800 m. Αξονική κίνηση ρ στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την q διέγερση.



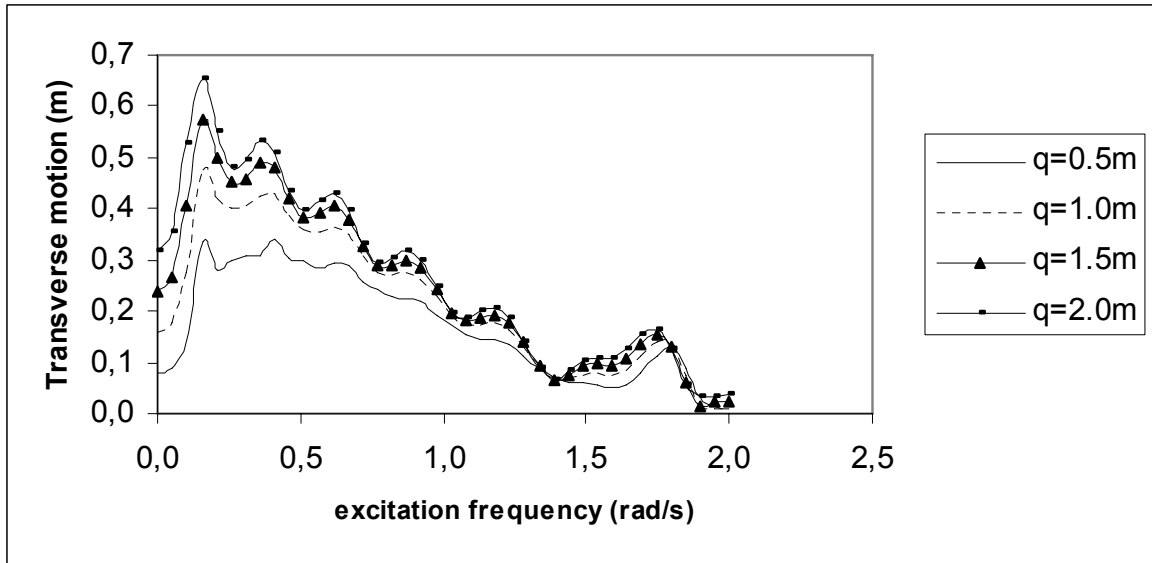
Διάγραμμα 20β: Βάθος νερού 800 m. Αξονική κίνηση ρ στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την q διέγερση.



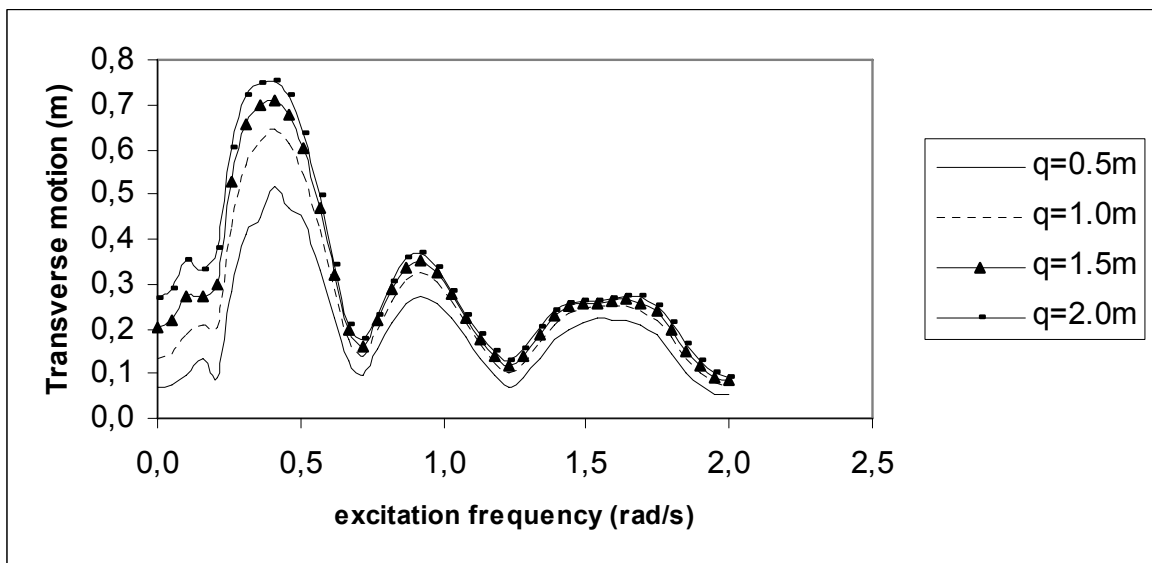
Διάγραμμα 20γ: Βάθος νερού 800 m. Αξονική κίνηση ρ στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την q διέγερση.



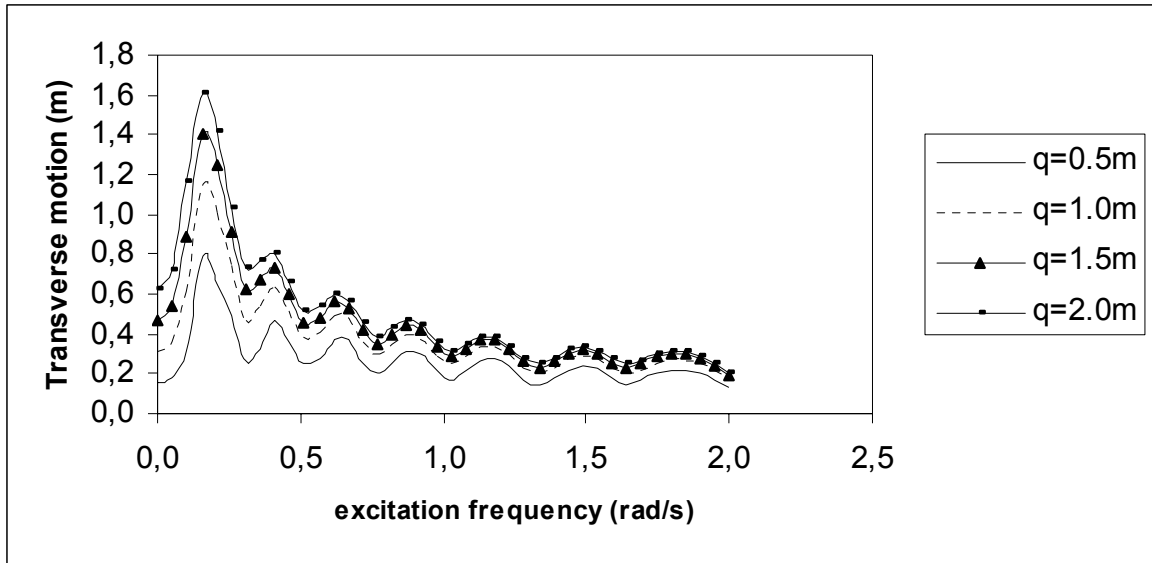
Διάγραμμα 20δ: Βάθος νερού 800 m. Αξονική κίνηση ρ στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την q διέγερση.



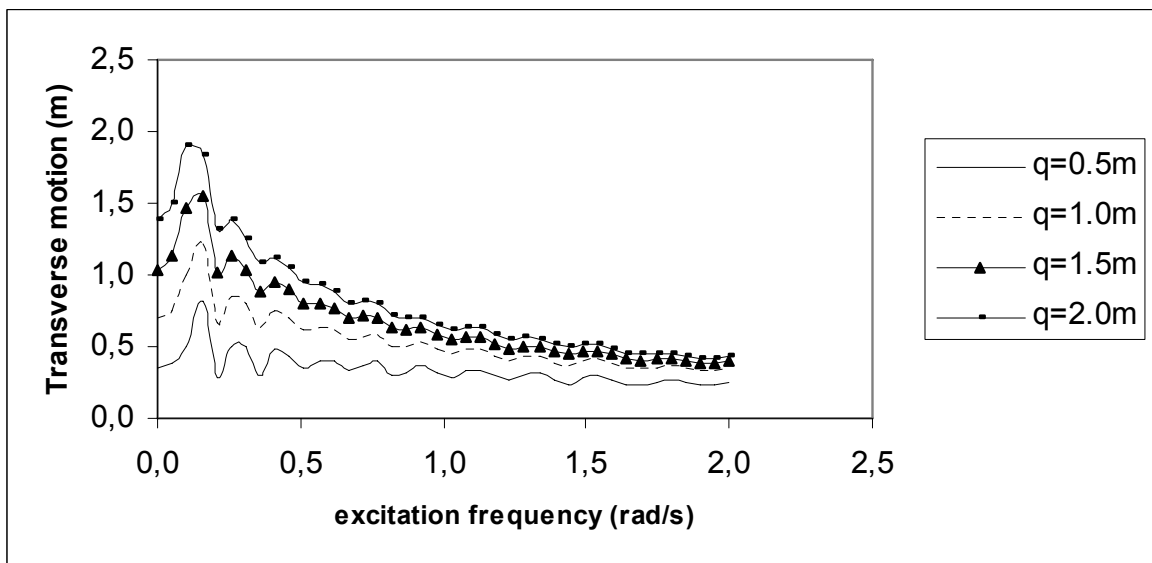
Διάγραμμα 21α: Βάθος νερού 800 m. Εγκάρσια κίνηση q στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την q διέγερση.



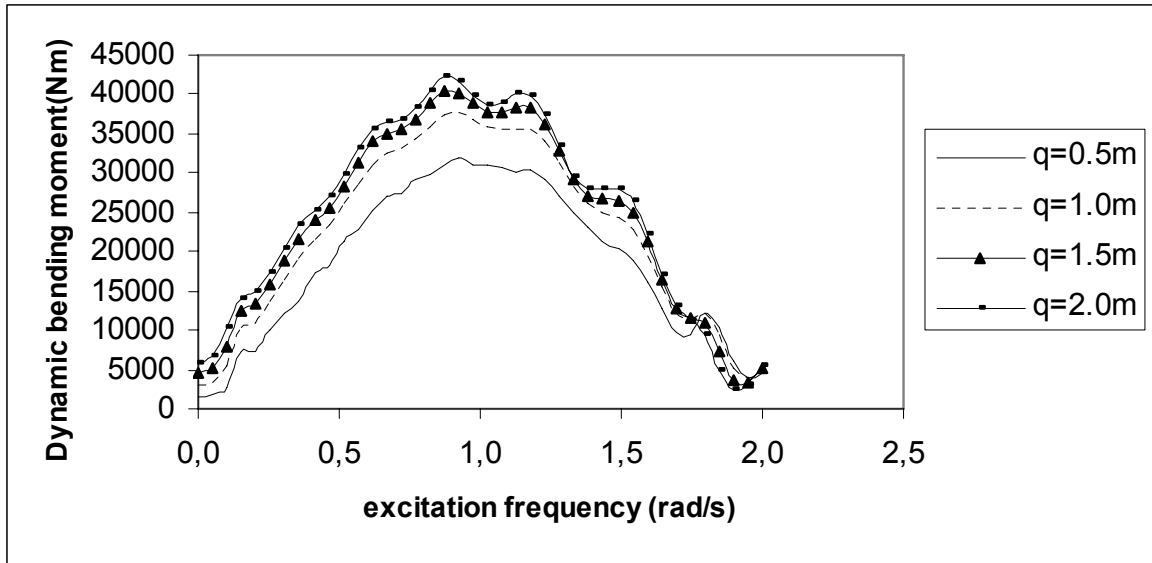
Διάγραμμα 21β: Βάθος νερού 800 m. Εγκάρσια κίνηση q στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την q διέγερση.



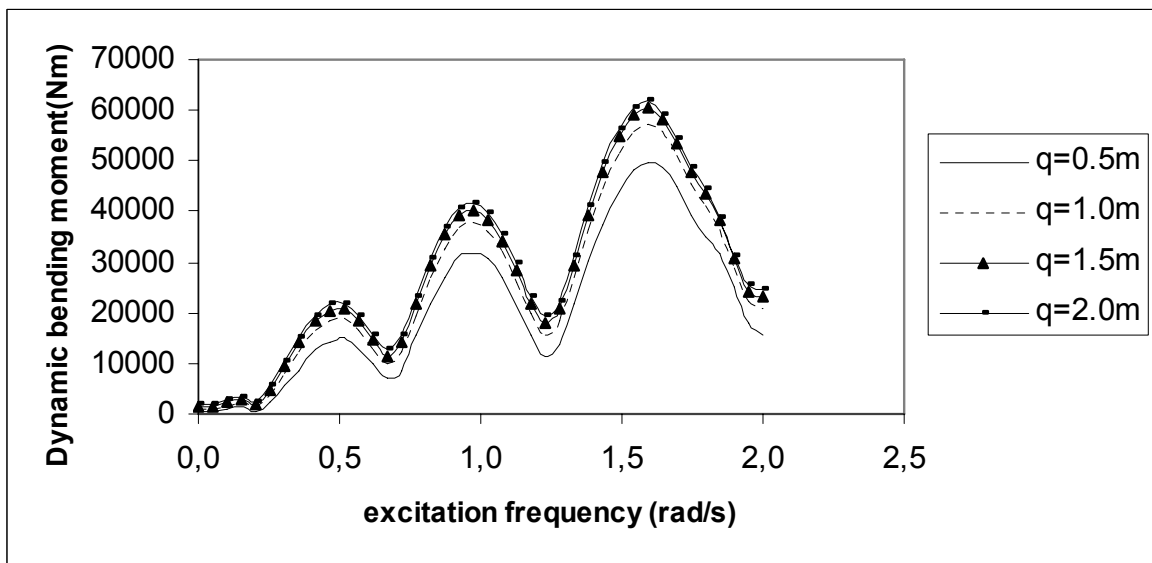
Διάγραμμα 21γ: Βάθος νερού 800 m. Εγκάρσια κίνηση q στο $1/2$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την q διέγερση.



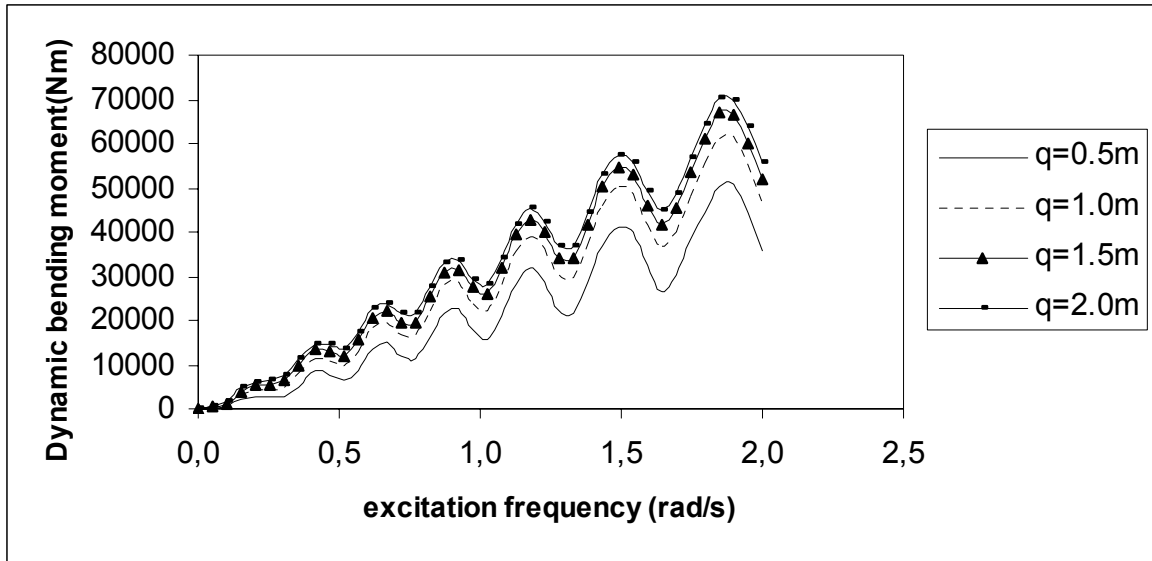
Διάγραμμα 21δ: Βάθος νερού 800 m. Εγκάρσια κίνηση q στα $3/4$ του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την q διέγερση.



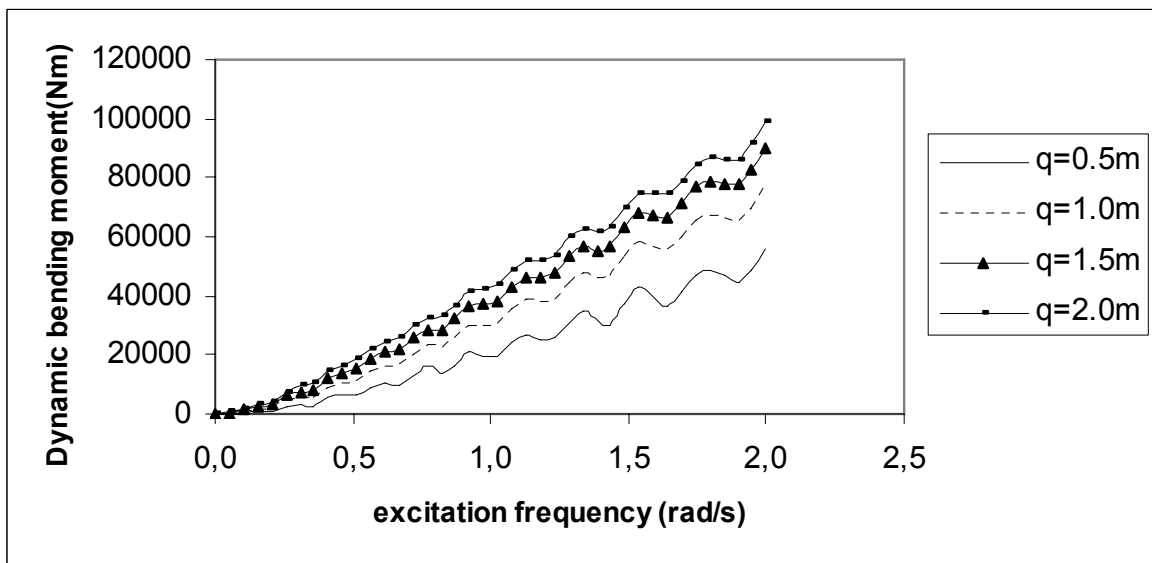
Διάγραμμα 22α: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\ddot{\Omega}$ στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την q διέγερση.



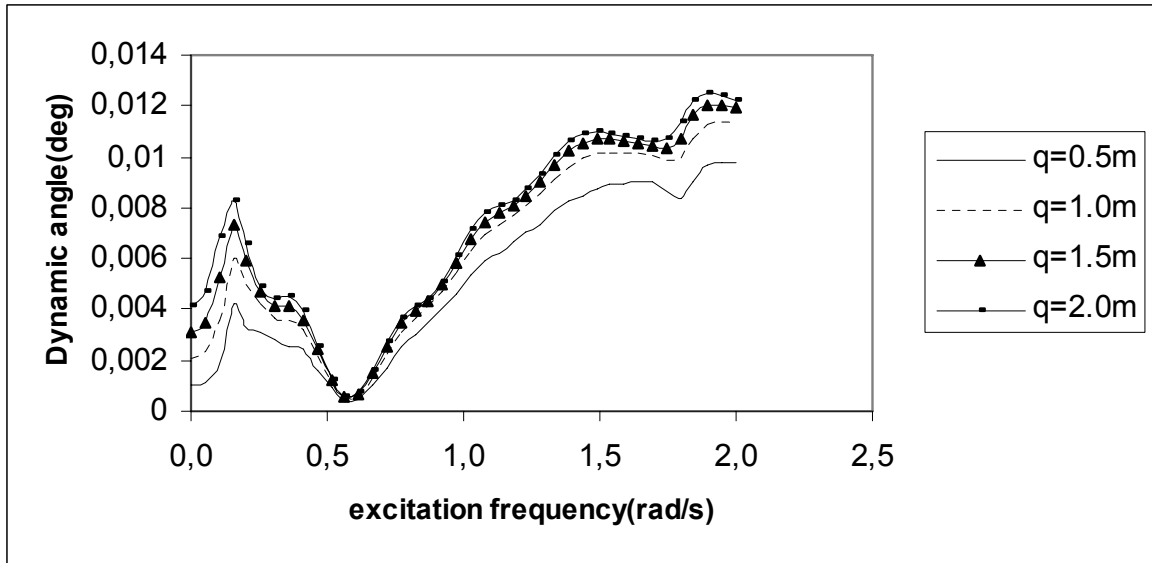
Διάγραμμα 22β: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\ddot{\Omega}$ στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την q διέγερση.



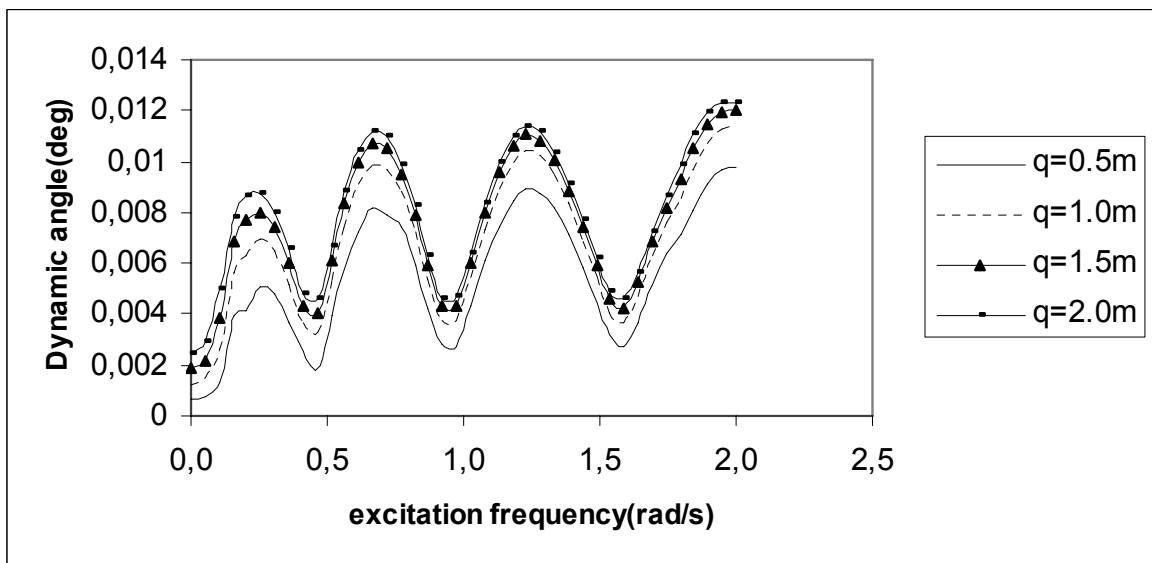
Διάγραμμα 22γ: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την q διέγερση.



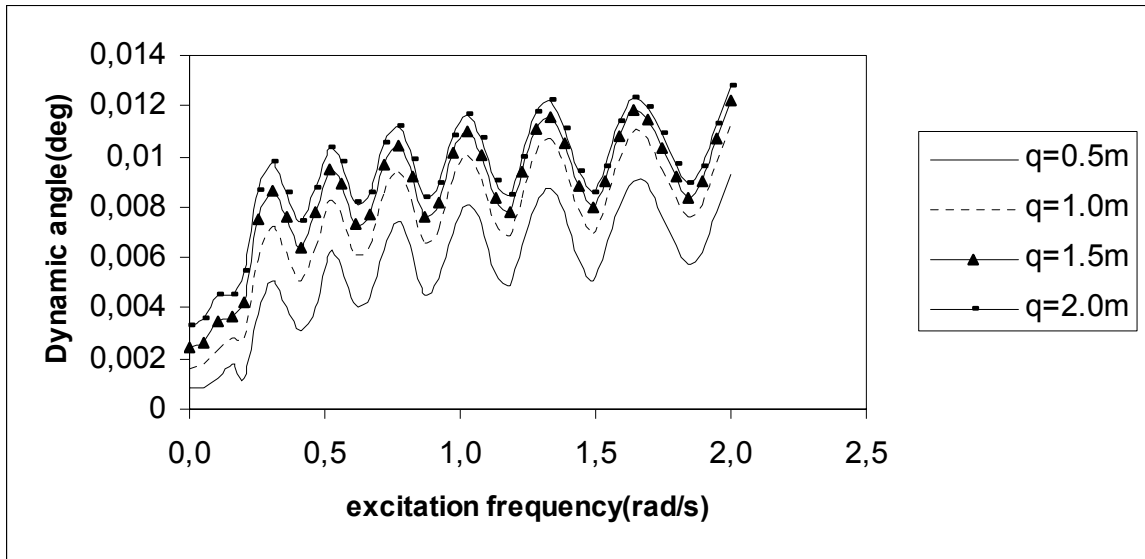
Διάγραμμα 22δ: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την q διέγερση.



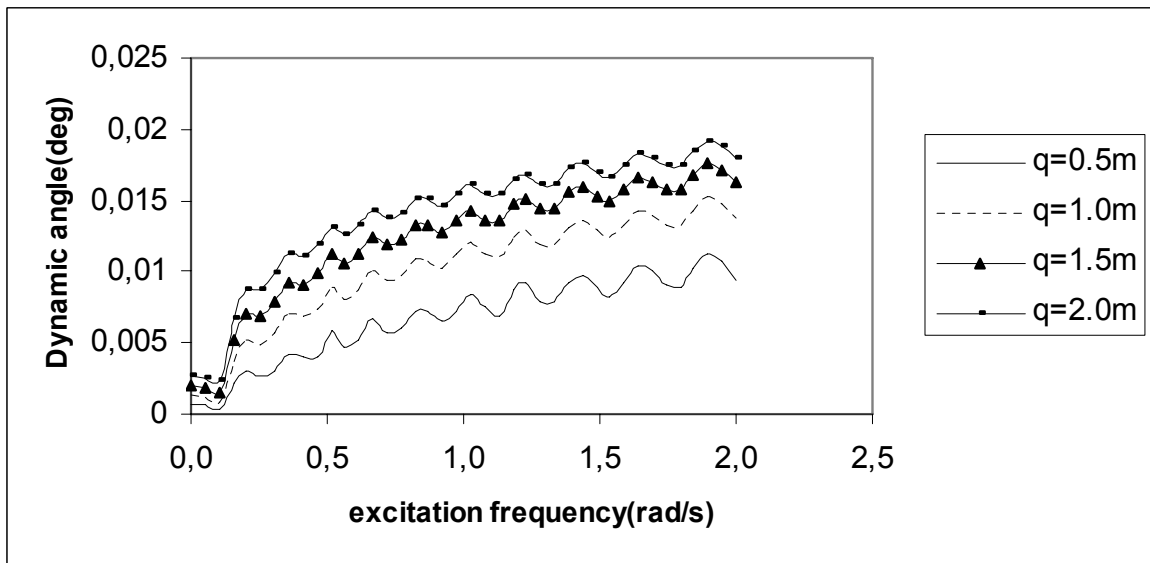
Διάγραμμα 23α: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική γωνία στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την q διέγερση.



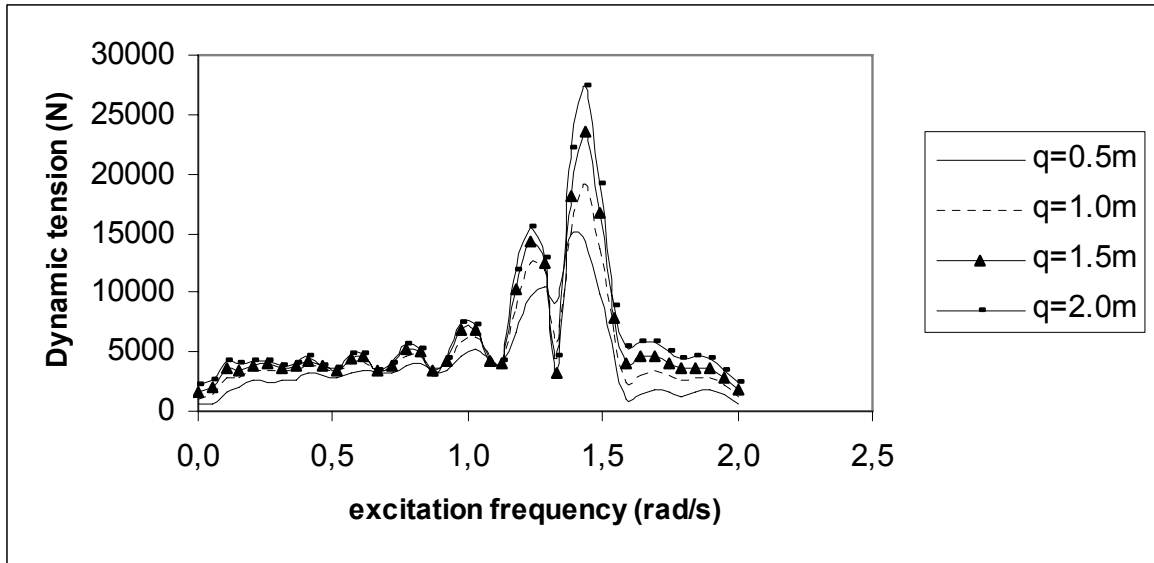
Διάγραμμα 23β: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική γωνία στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την q διέγερση.



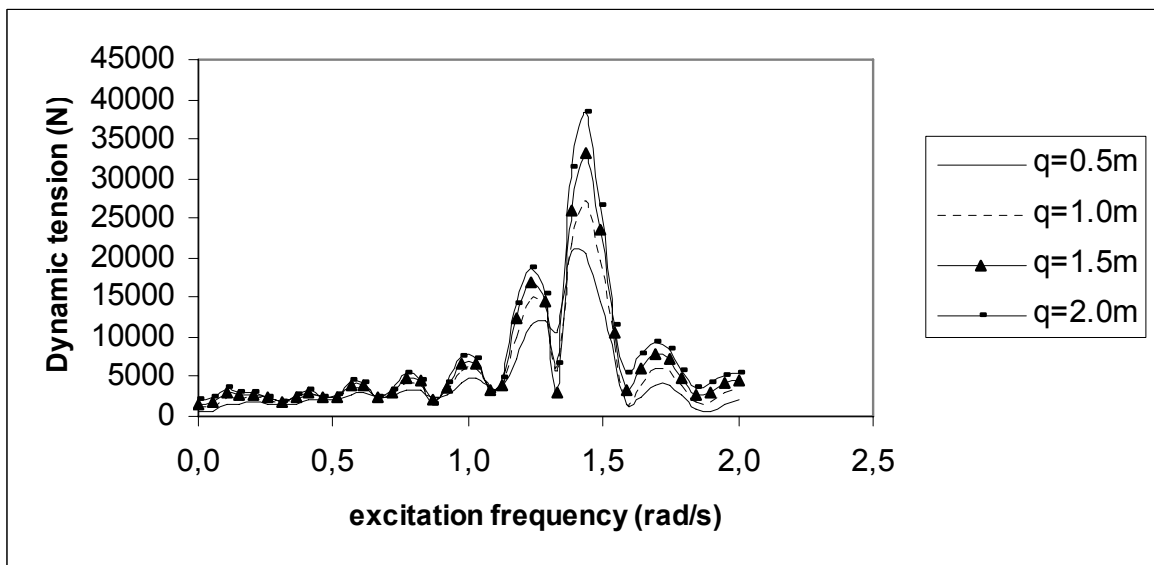
Διάγραμμα 23γ: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική γωνία στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την q διέγερση.



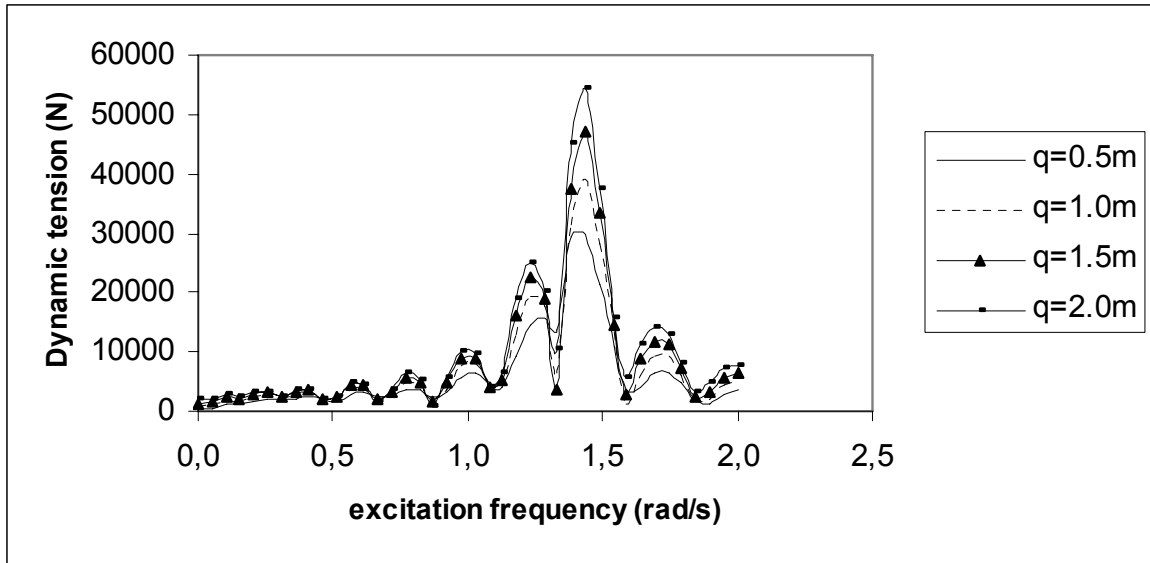
Διάγραμμα 23δ: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική γωνία στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την q διέγερση.



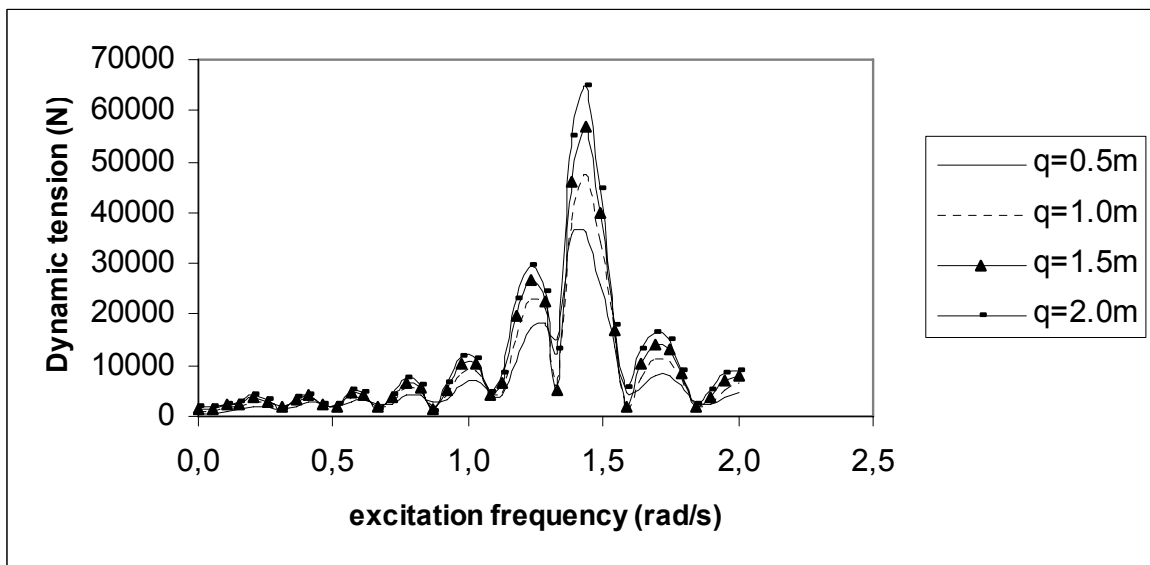
Διάγραμμα 24α: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την q διέγερση.



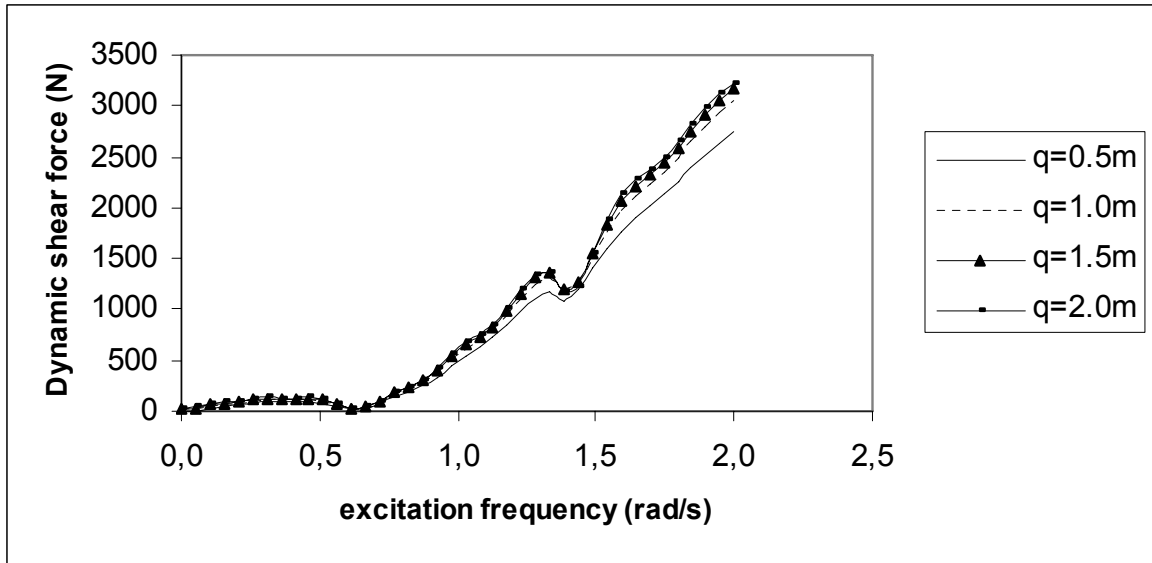
Διάγραμμα 24β: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την q διέγερση.



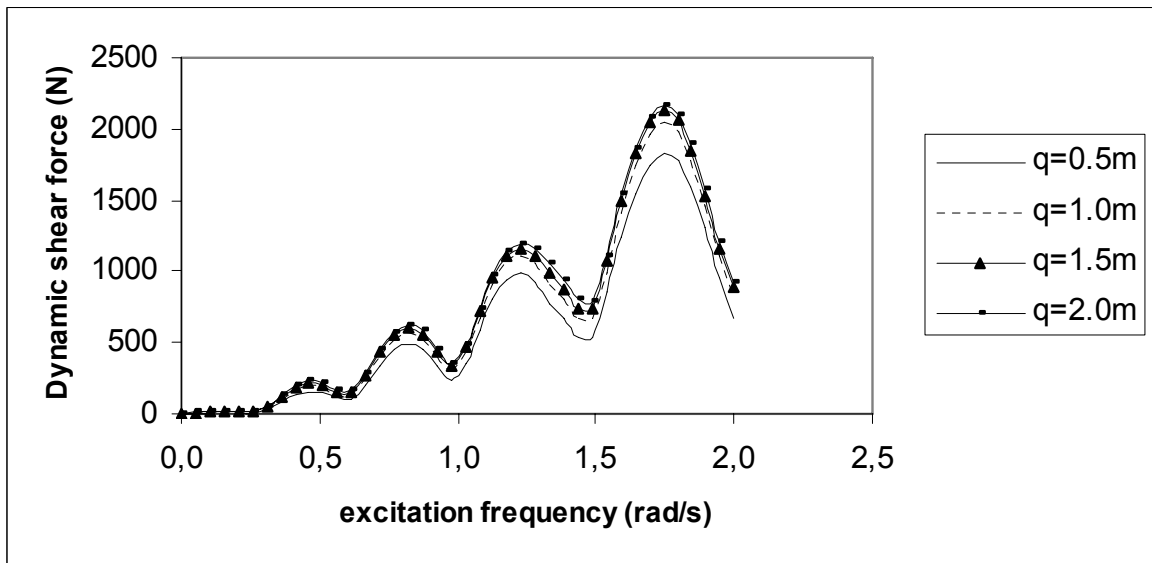
Διάγραμμα 24γ: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την q διέγερση.



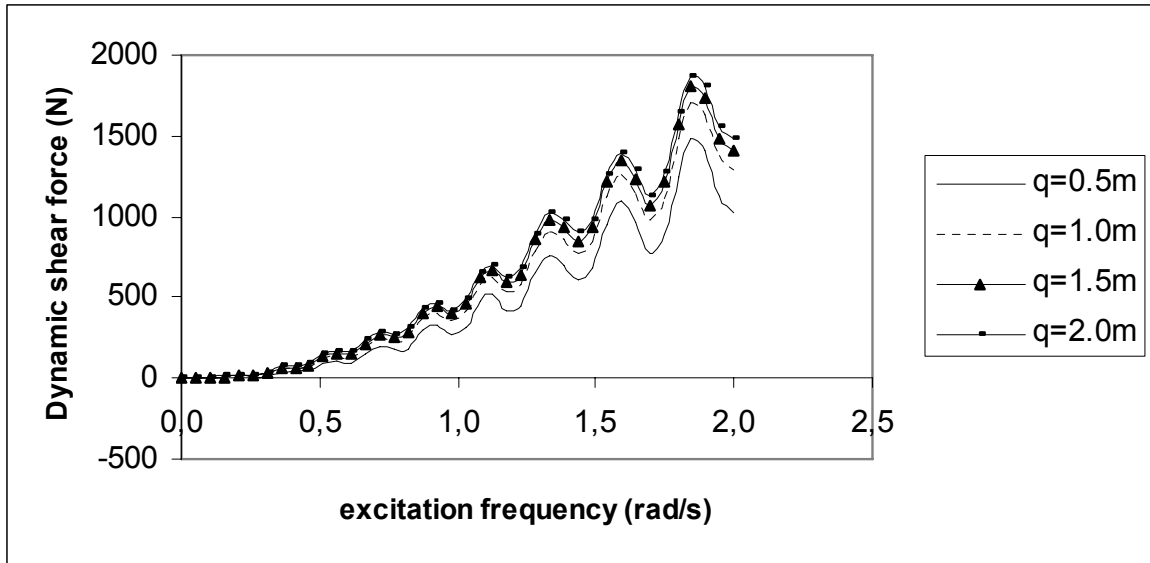
Διάγραμμα 24δ: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την q διέγερση.



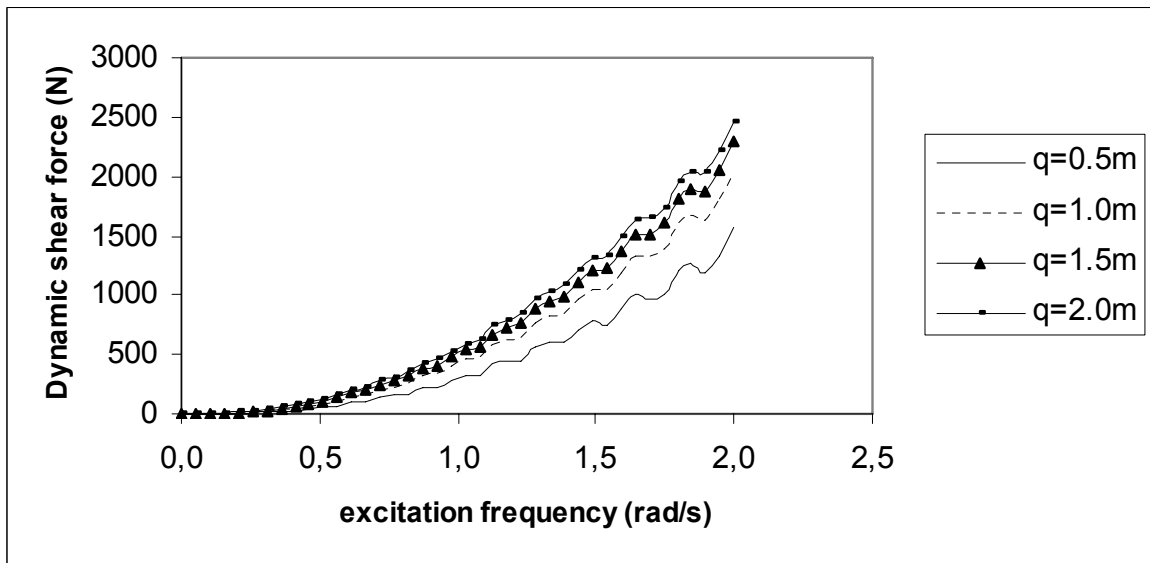
Διάγραμμα 25α: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την q διέγερση.



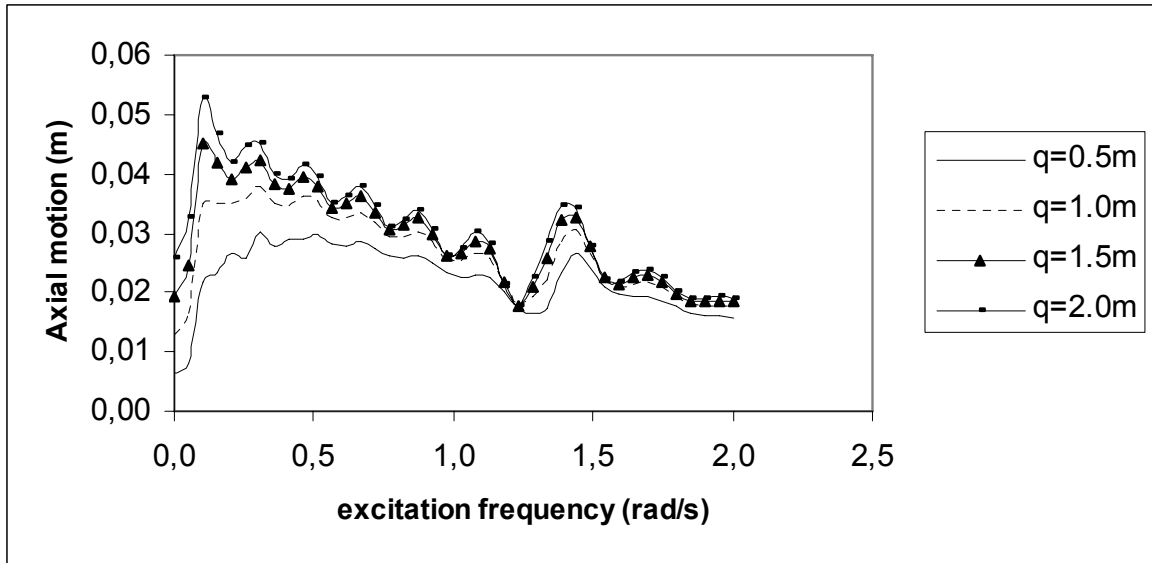
Διάγραμμα 25β: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την q διέγερση.



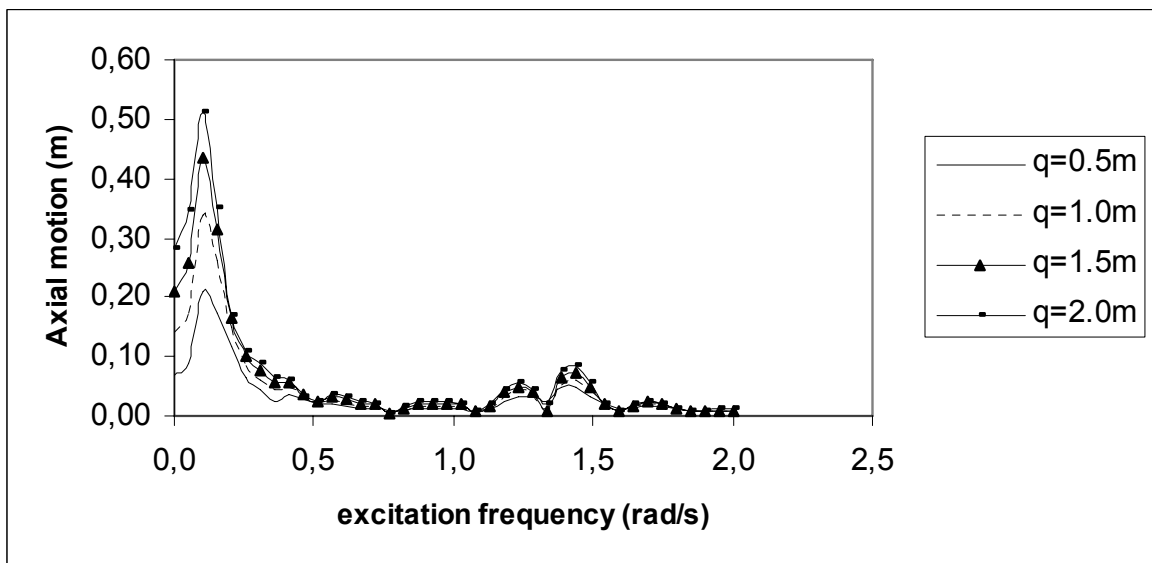
Διάγραμμα 25γ: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την q διέγερση.



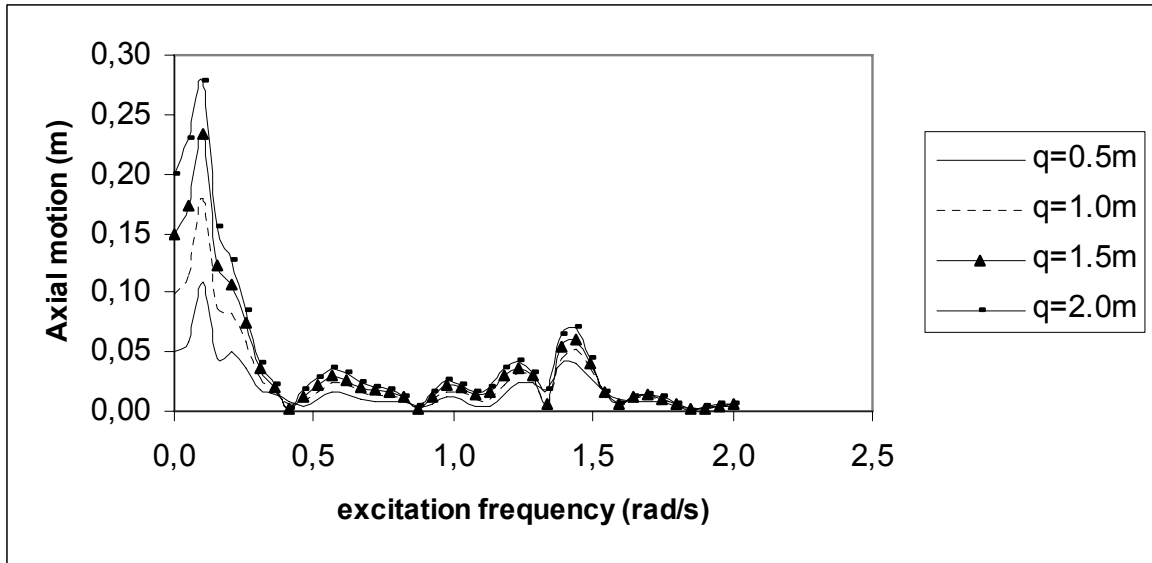
Διάγραμμα 25δ: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την q διέγερση.



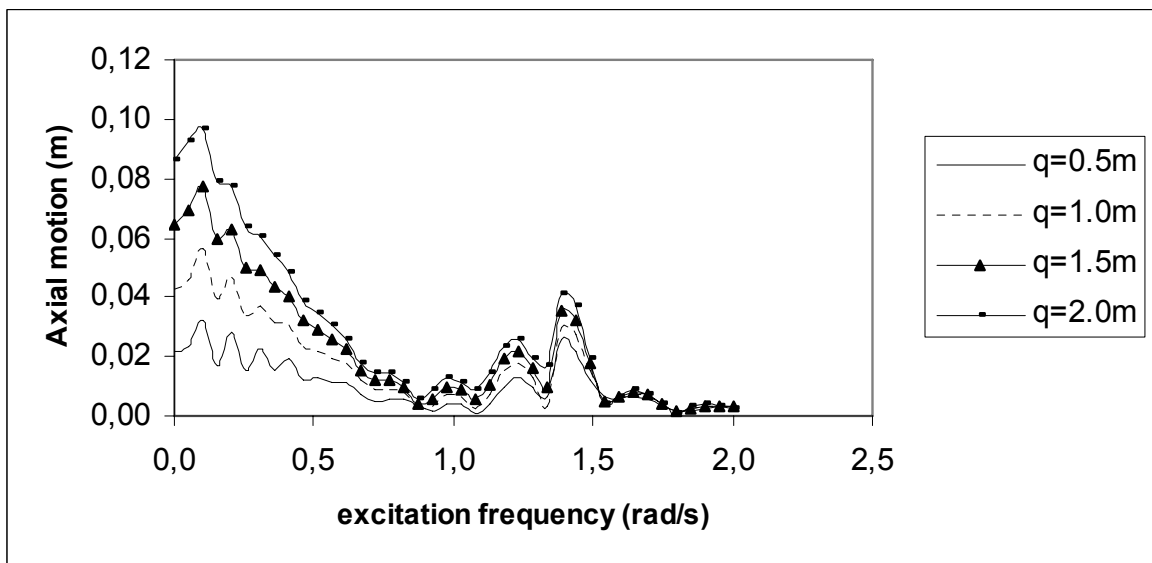
Διάγραμμα 26α: Βάθος νερού 1200 m. Αξονική κίνηση ρ στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την q διέγερση.



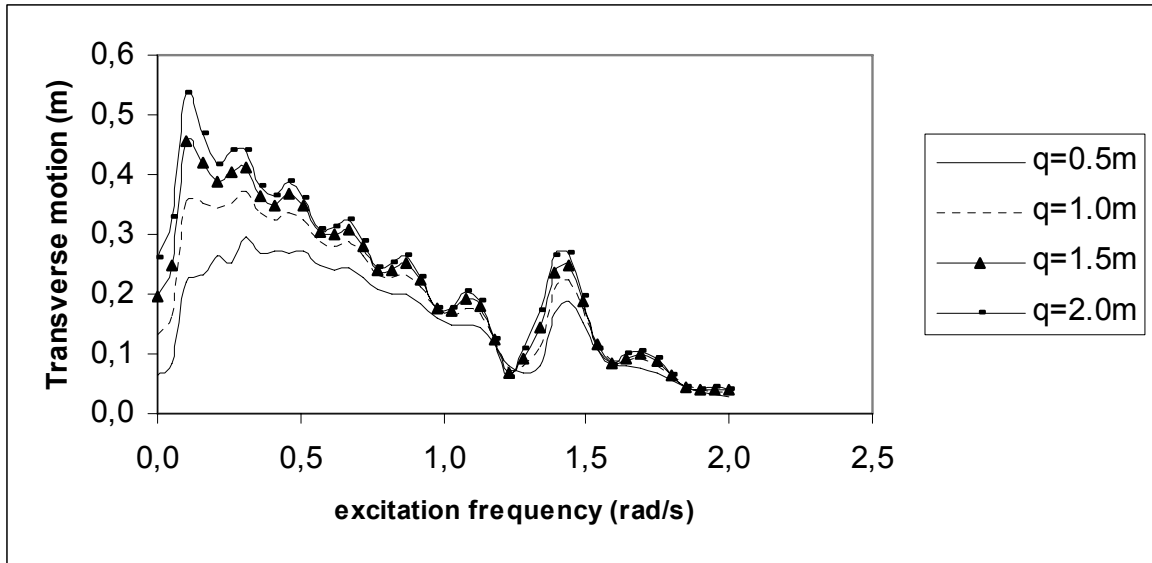
Διάγραμμα 26β: Βάθος νερού 1200 m. Αξονική κίνηση ρ στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την q διέγερση.



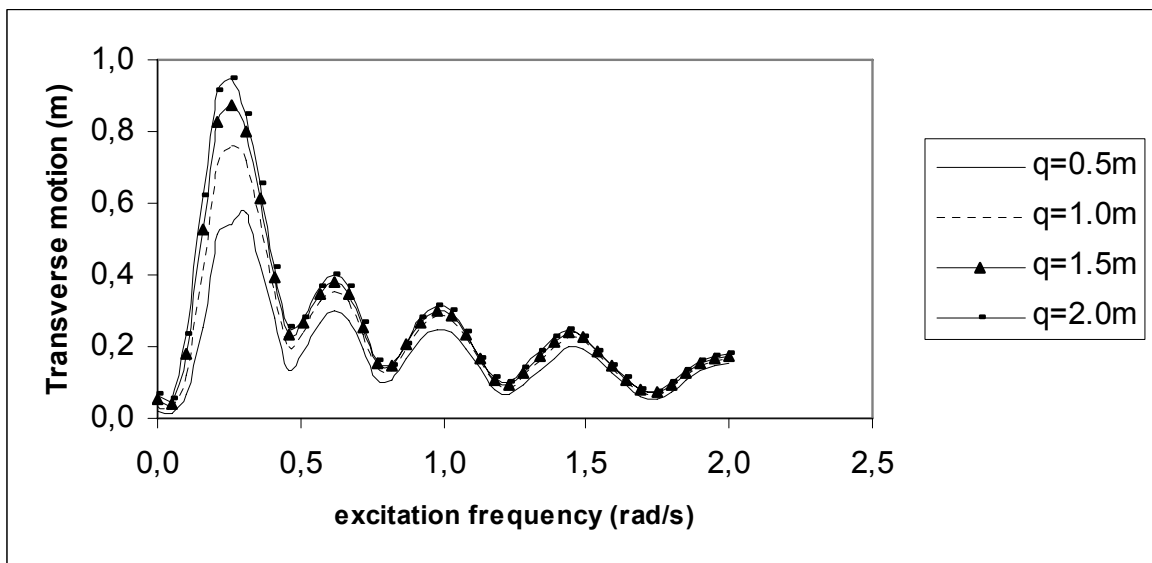
Διάγραμμα 26γ: Βάθος νερού 1200 m. Αξονική κίνηση ρ στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την q διέγερση.



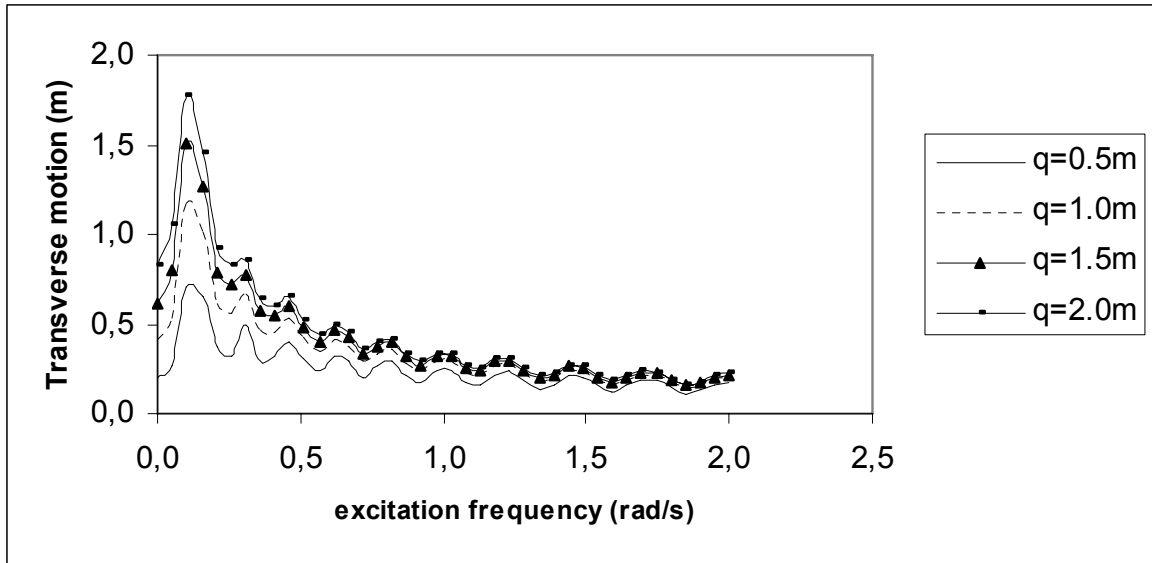
Διάγραμμα 26δ: Βάθος νερού 1200 m. Αξονική κίνηση ρ στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την q διέγερση.



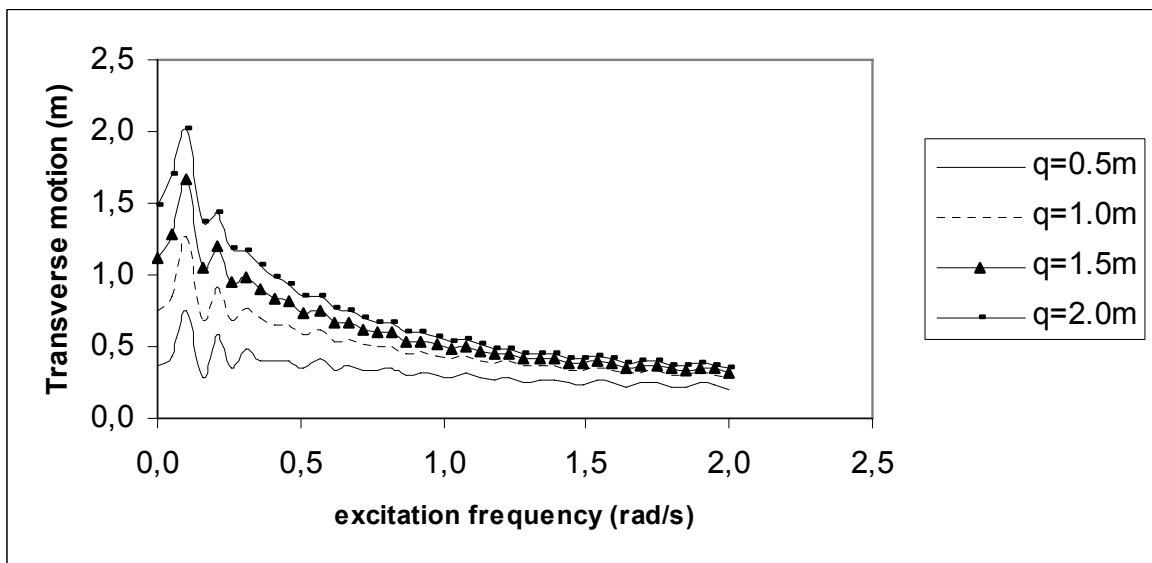
Διάγραμμα 27α: Βάθος νερού 1200 m. Εγκάρσια κίνηση q στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την q διέγερση.



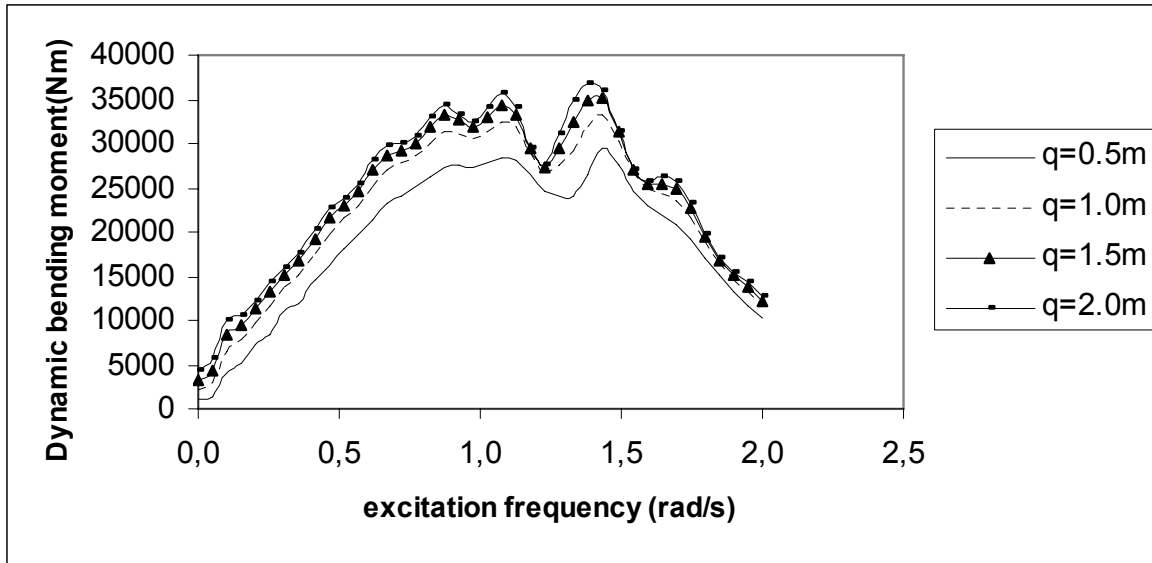
Διάγραμμα 27β: Βάθος νερού 1200 m. Εγκάρσια κίνηση q στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την q διέγερση.



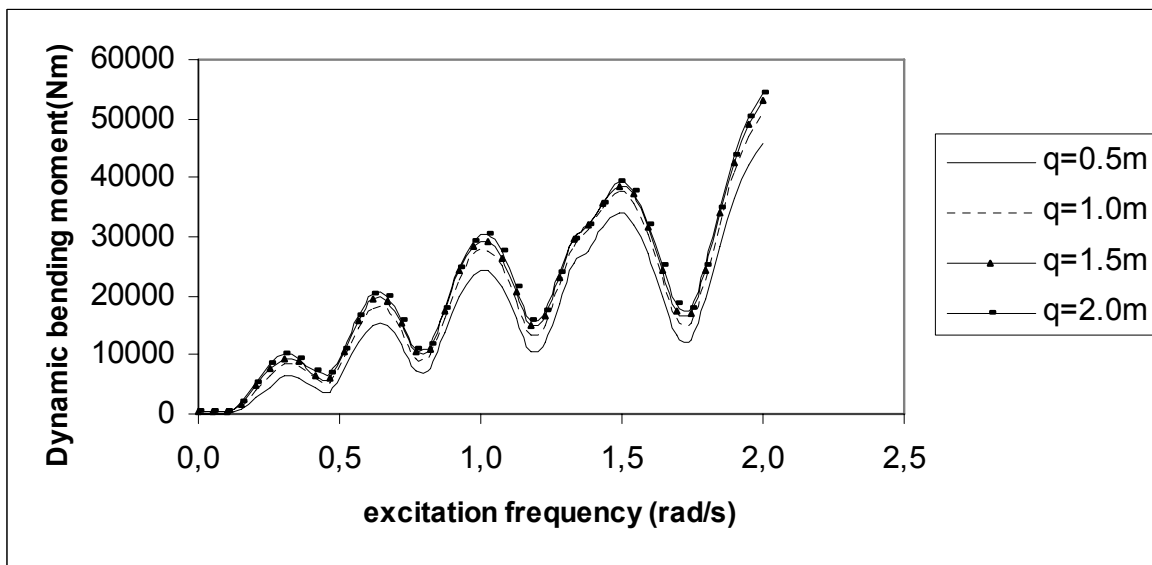
Διάγραμμα 27γ: Βάθος νερού 1200 m. Εγκάρσια κίνηση q στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την q διέγερση.



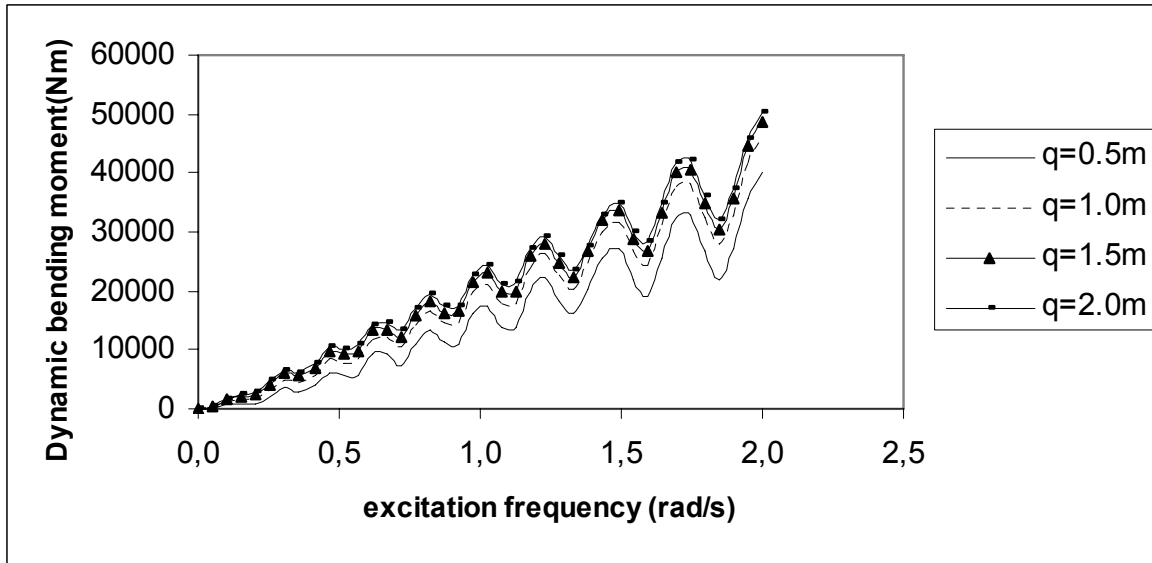
Διάγραμμα 27δ: Βάθος νερού 1200 m. Εγκάρσια κίνηση q στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την q διέγερση.



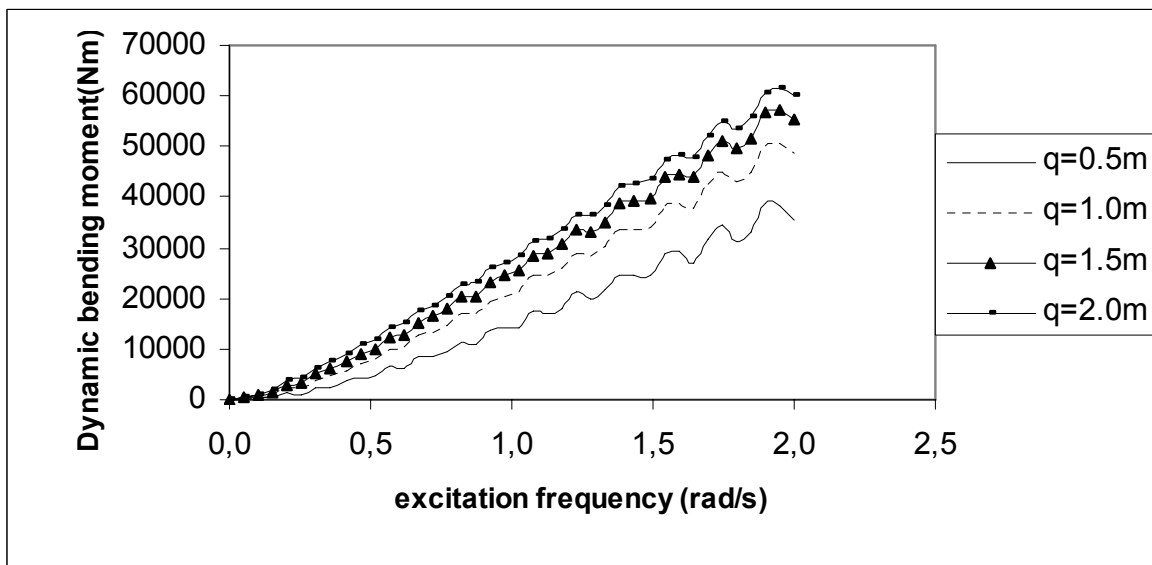
Διάγραμμα 28α: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την q διέγερση.



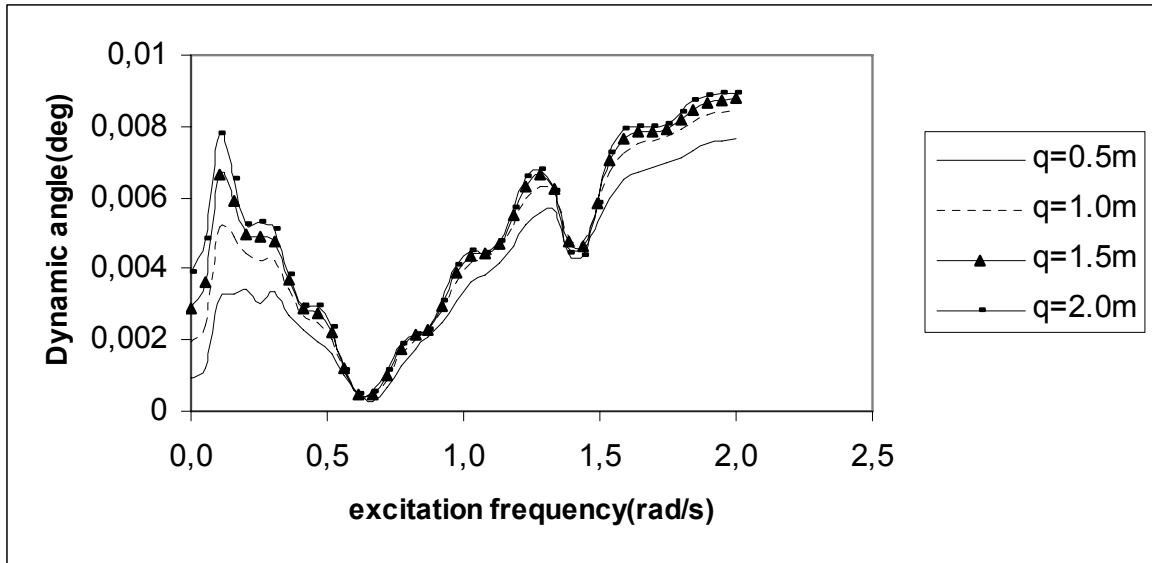
Διάγραμμα 28β: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την q διέγερση.



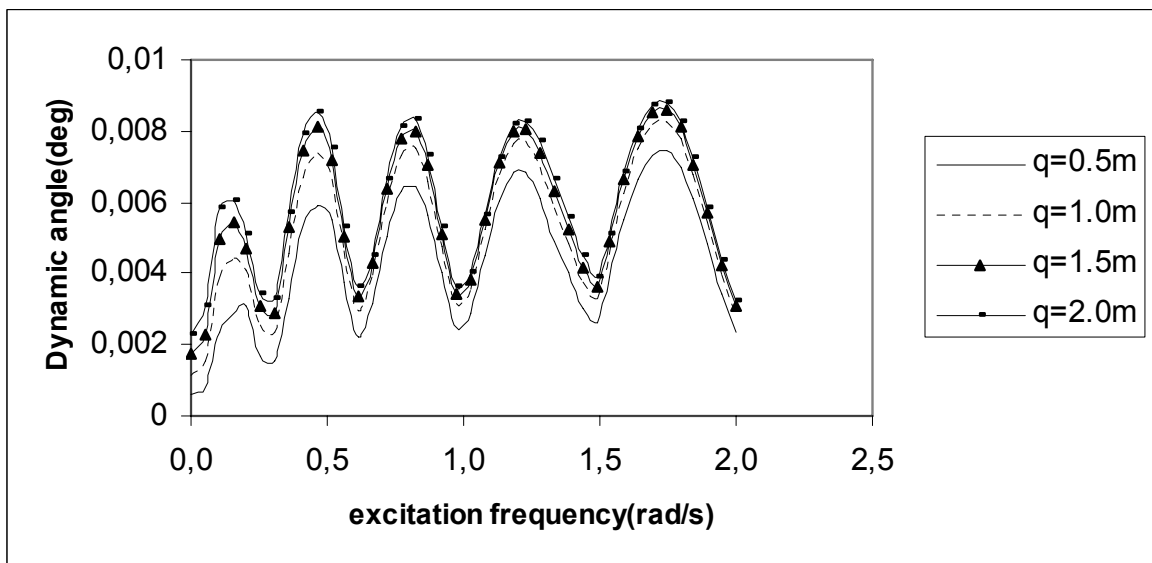
Διάγραμμα 28γ: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την q διέγερση.



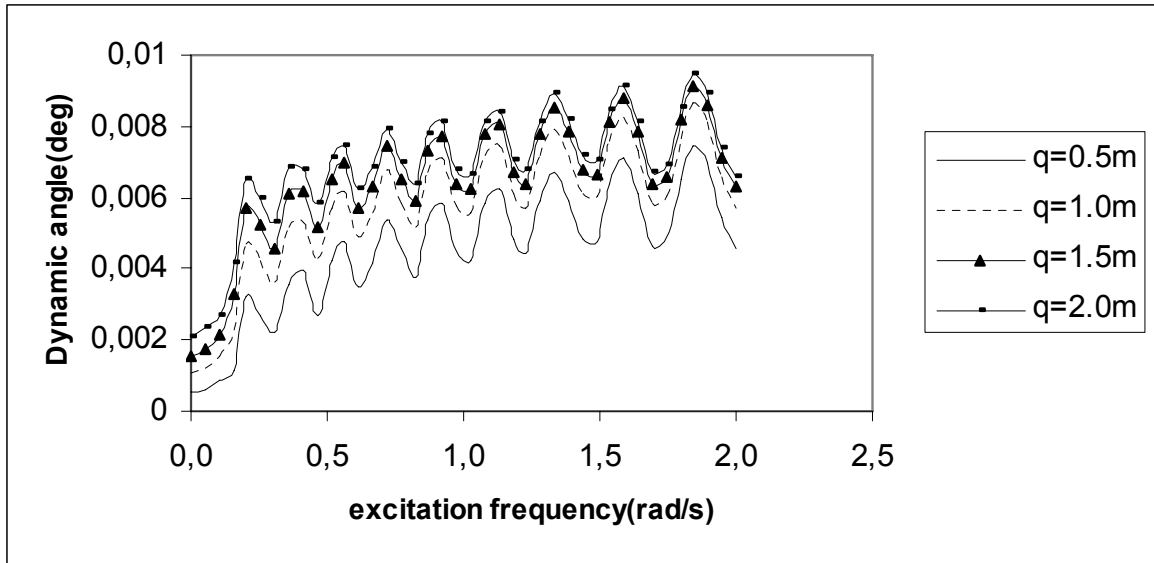
Διάγραμμα 28δ: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την q διέγερση.



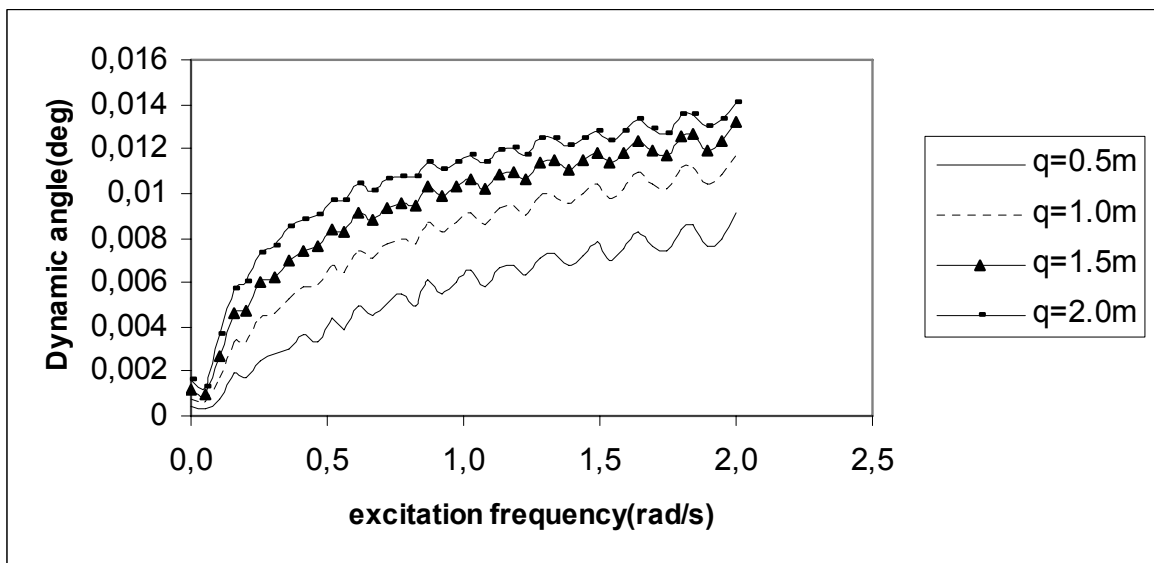
Διάγραμμα 29α: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική γωνία στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την q διέγερση.



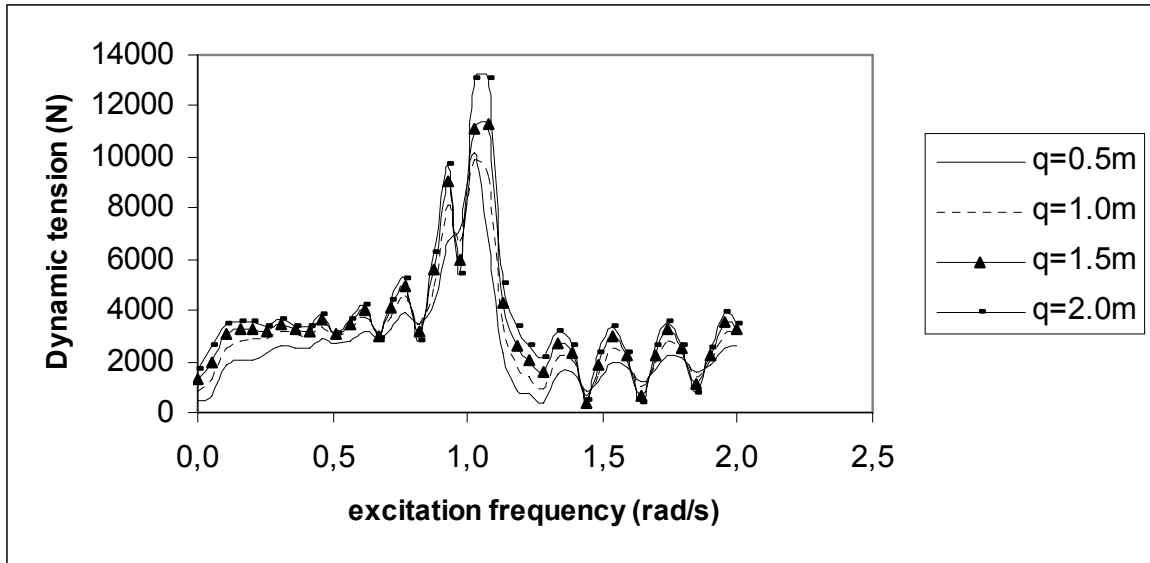
Διάγραμμα 29β: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική γωνία στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την q διέγερση.



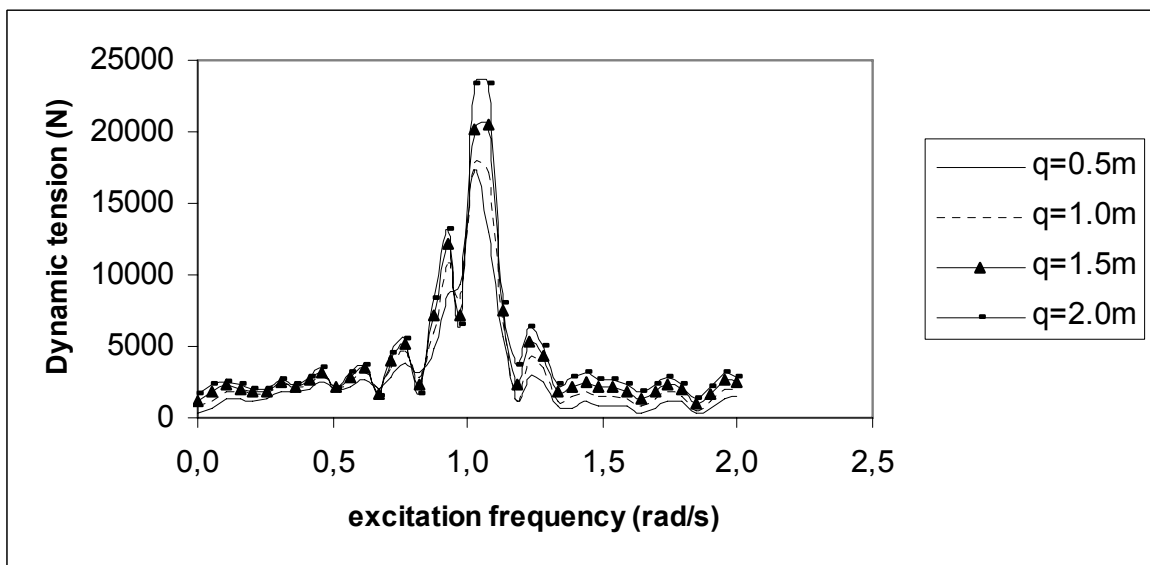
Διάγραμμα 29γ: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική γωνία στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την q διέγερση.



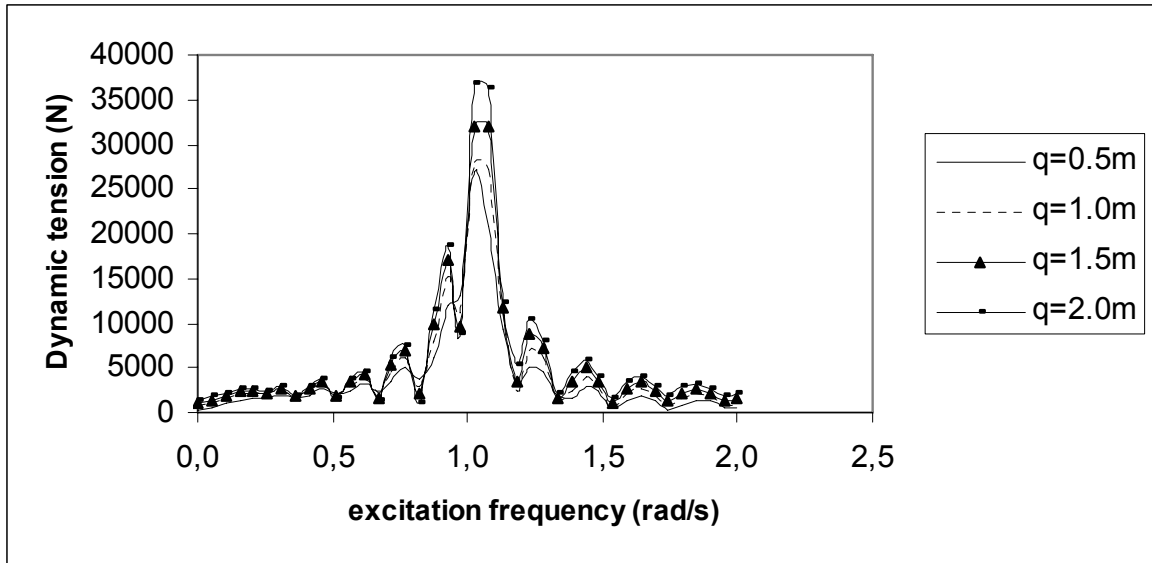
Διάγραμμα 29δ: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική γωνία στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την q διέγερση.



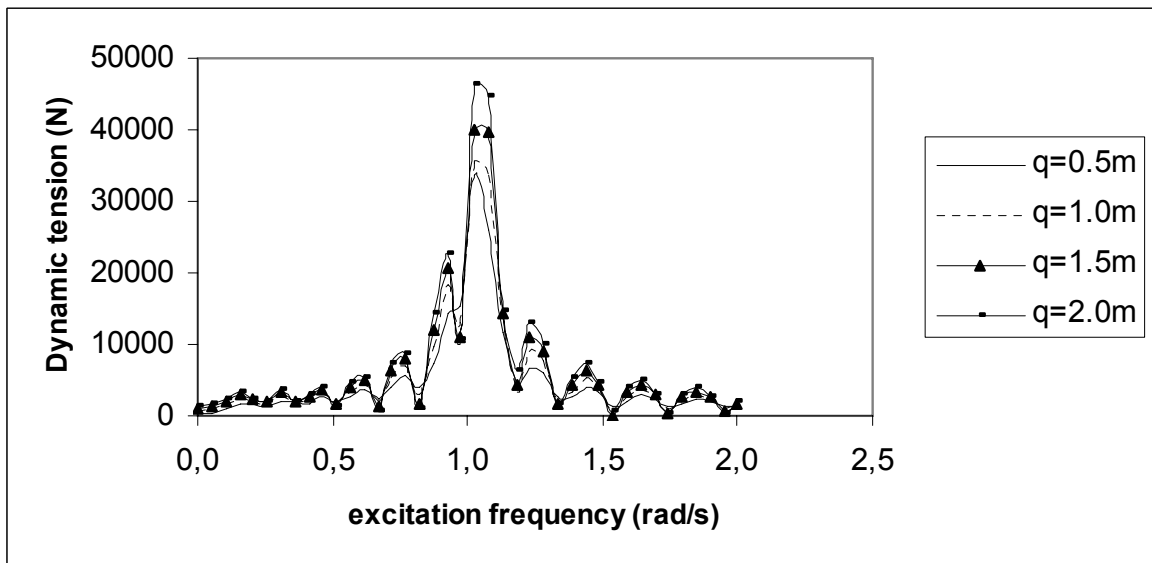
Διάγραμμα 30α: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την q διέγερση.



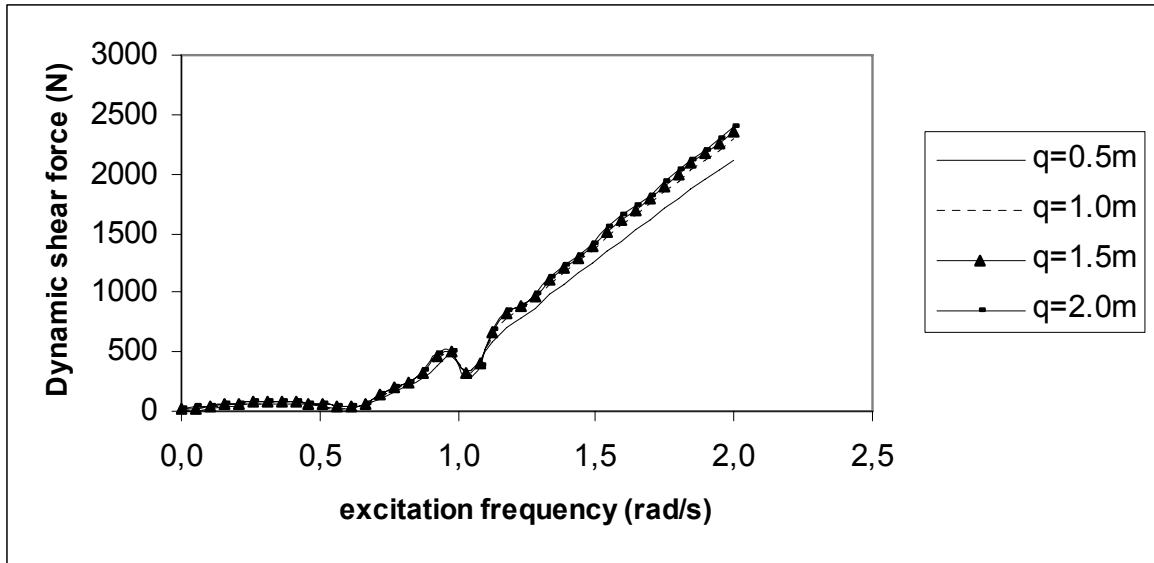
Διάγραμμα 30β: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την q διέγερση.



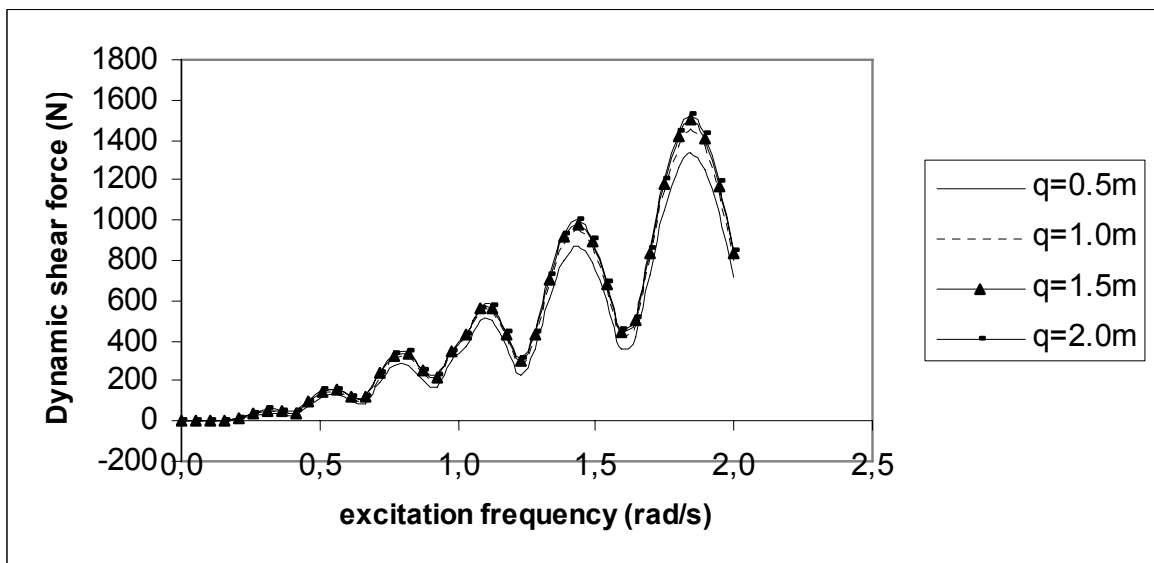
Διάγραμμα 30γ: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την q διέγερση.



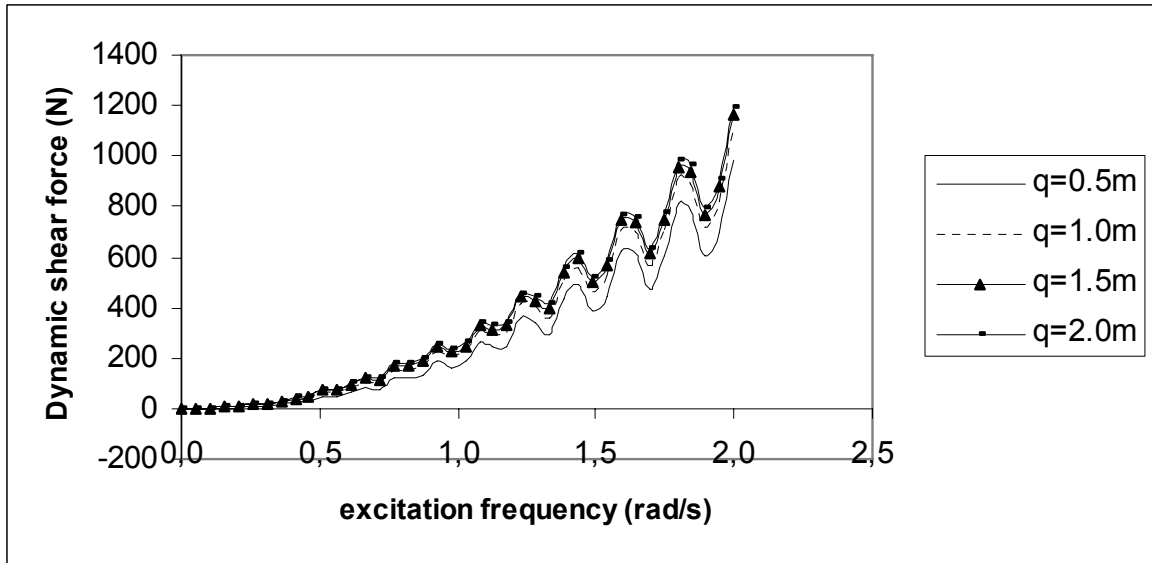
Διάγραμμα 30δ: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την q διέγερση.



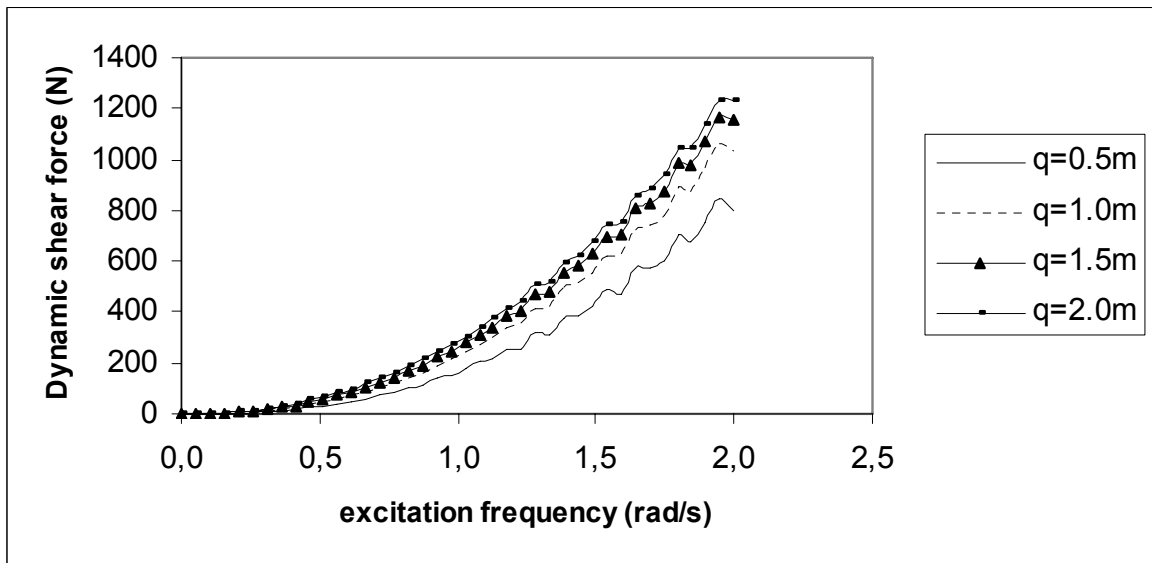
Διάγραμμα 31α: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την q διέγερση.



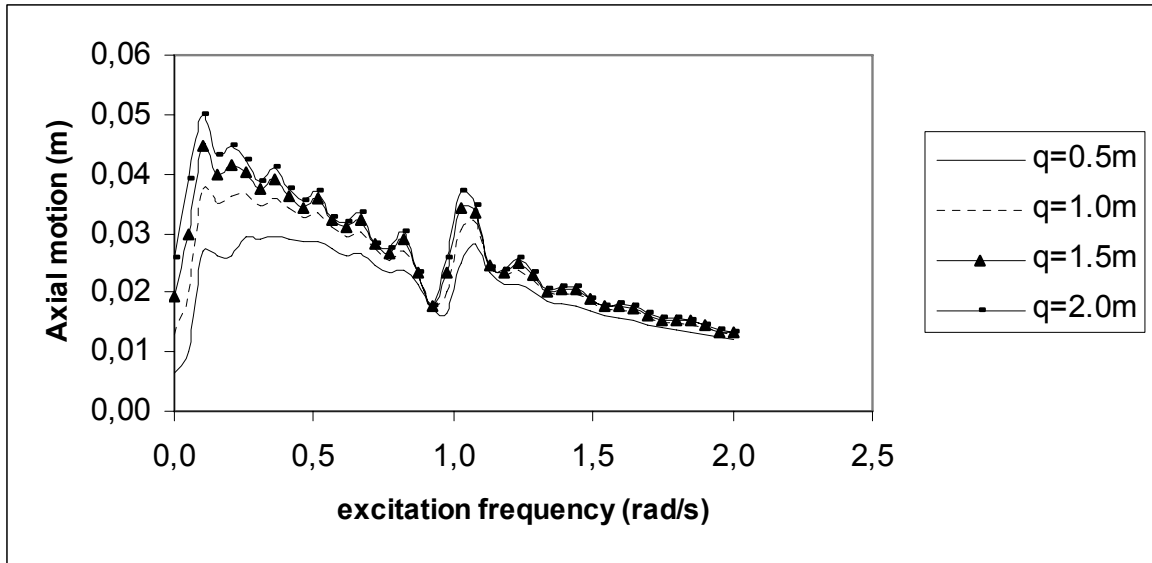
Διάγραμμα 31β: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την q διέγερση.



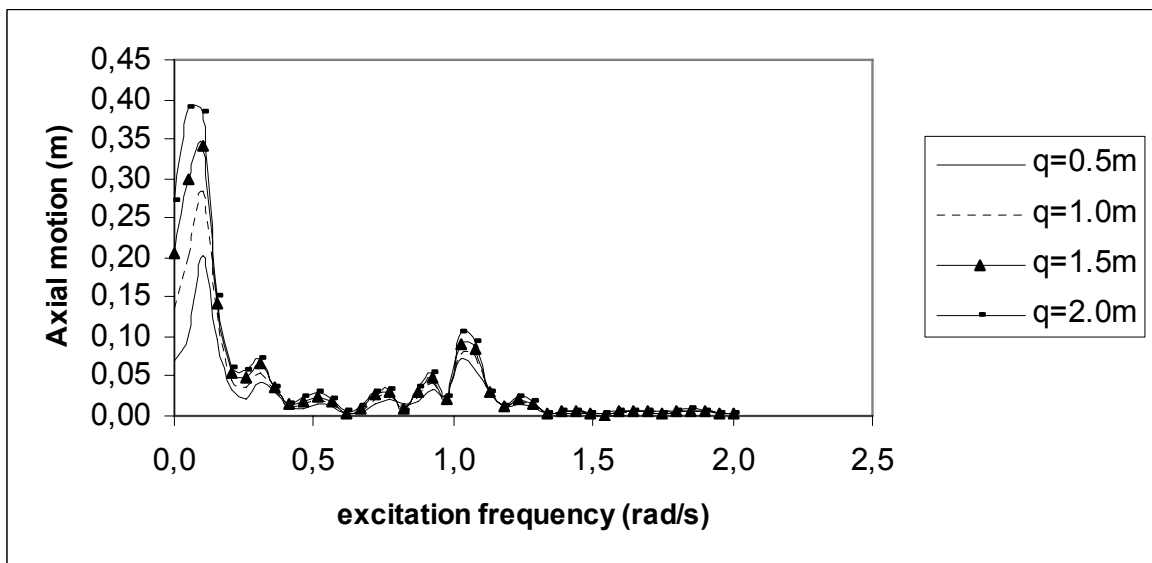
Διάγραμμα 31γ: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την q διέγερση.



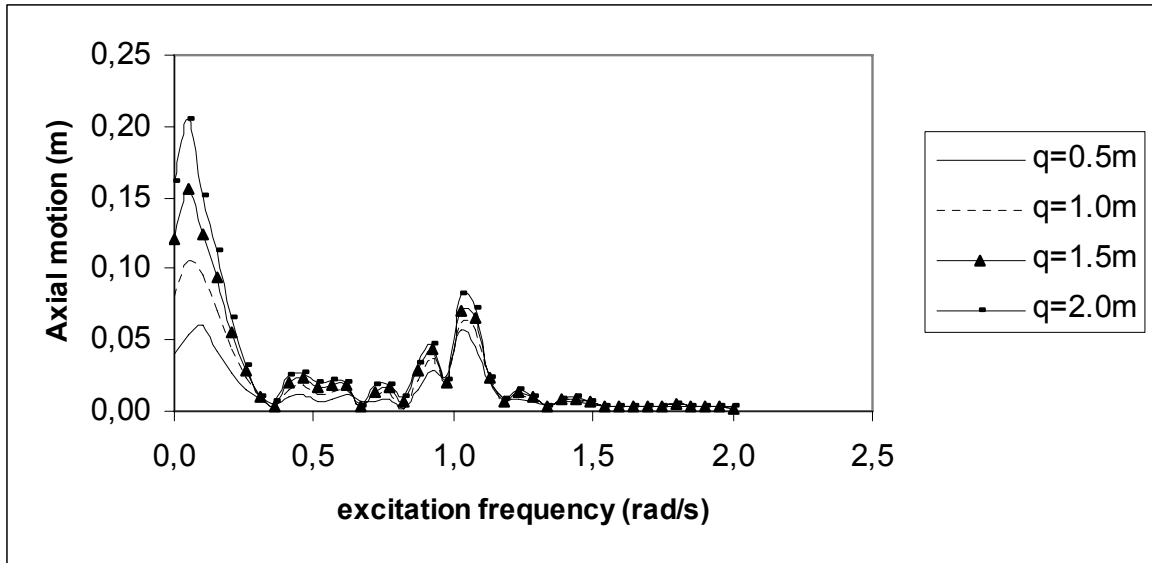
Διάγραμμα 31δ: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την q διέγερση.



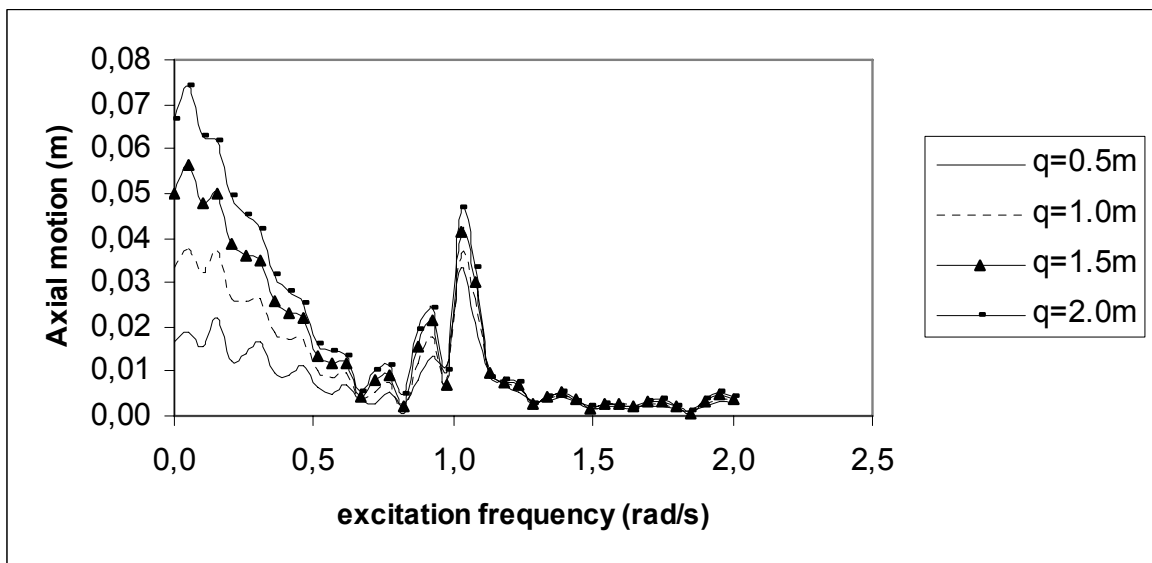
Διάγραμμα 32α: Βάθος νερού 1800 m. Αξονική κίνηση ρ στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την q διέγερση.



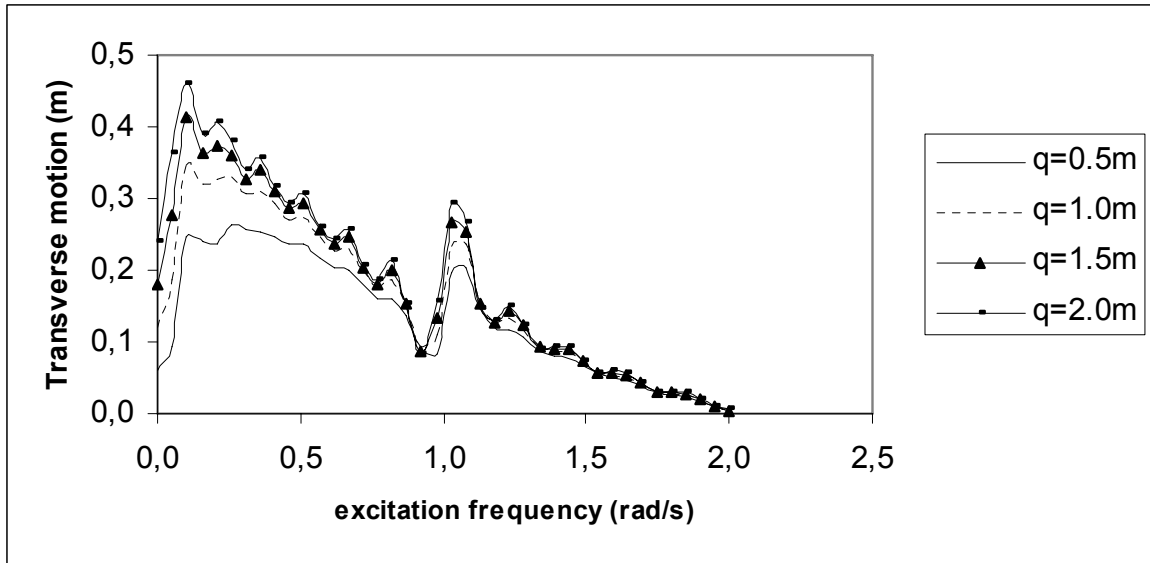
Διάγραμμα 32β: Βάθος νερού 1800 m. Αξονική κίνηση ρ στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την q διέγερση.



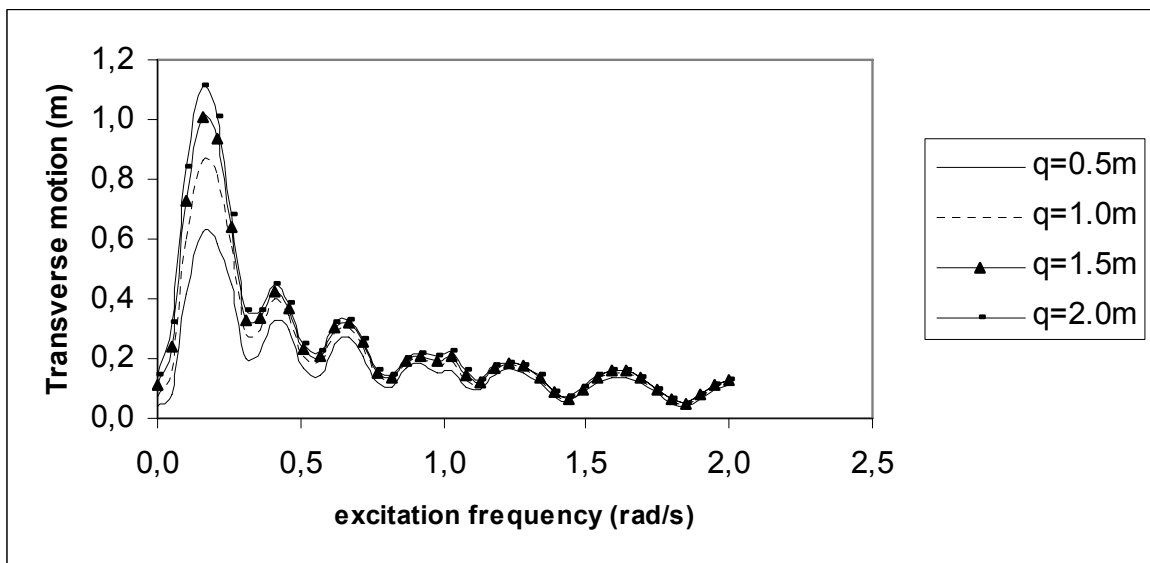
Διάγραμμα 32γ: Βάθος νερού 1800 m. Αξονική κίνηση ρ στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την q διέγερση.



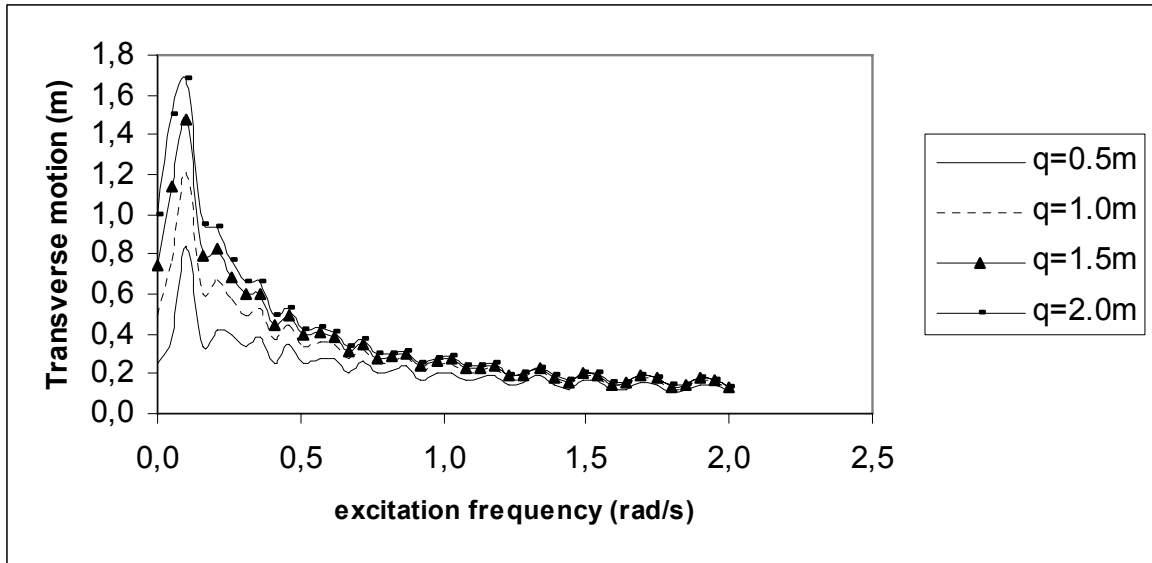
Διάγραμμα 32δ: Βάθος νερού 1800 m. Αξονική κίνηση ρ στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την q διέγερση.



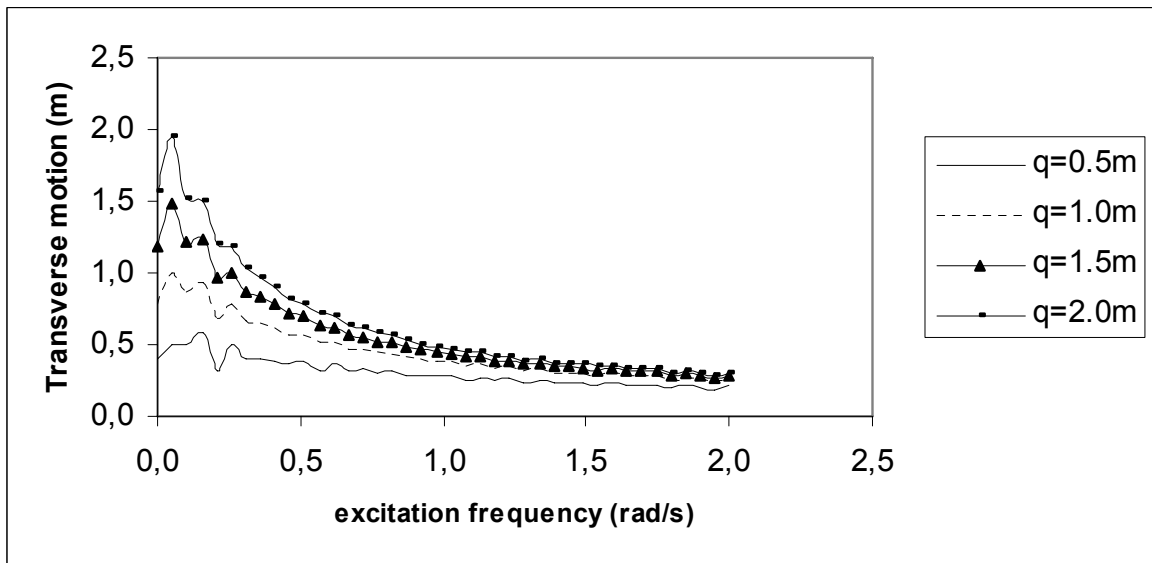
Διάγραμμα 33α: Βάθος νερού 1800 m. Εγκάρσια κίνηση q στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την q διέγερση.



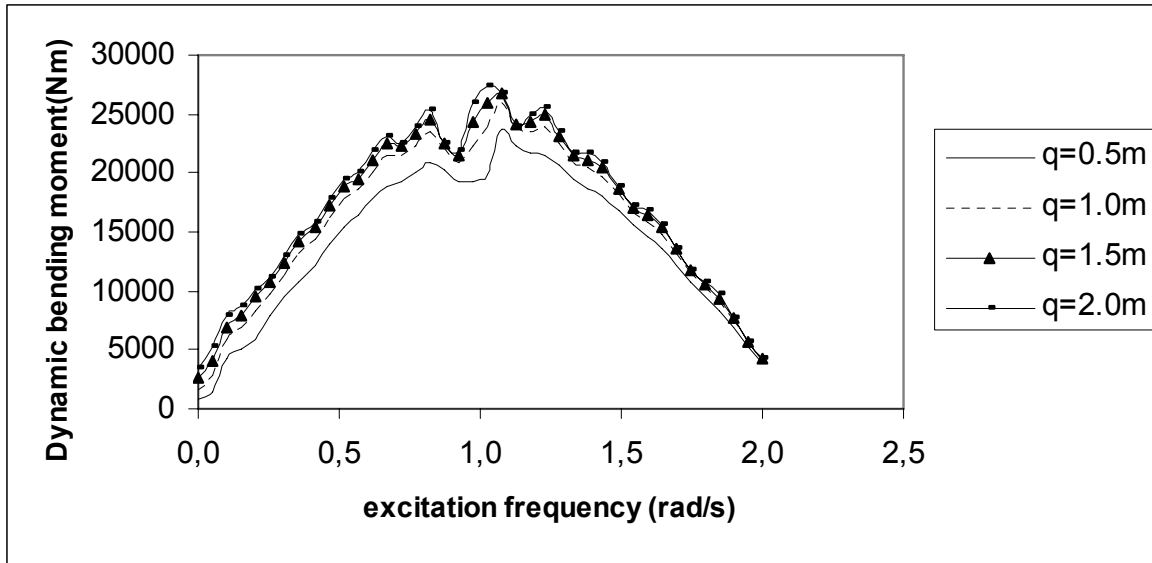
Διάγραμμα 33β: Βάθος νερού 1800 m. Εγκάρσια κίνηση q στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την q διέγερση.



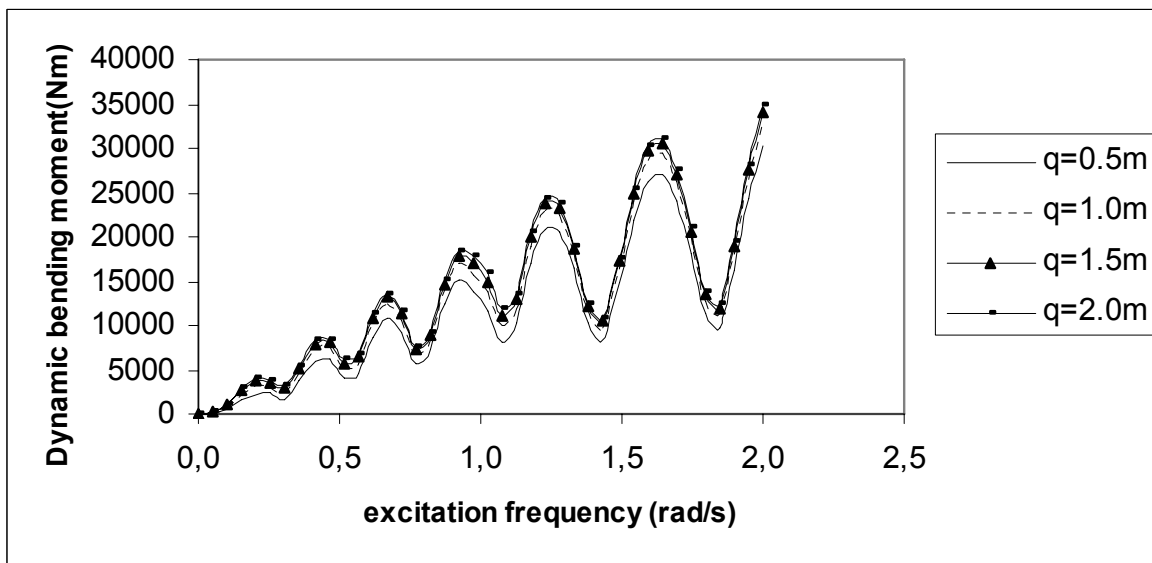
Διάγραμμα 33γ: Βάθος νερού 1800 m. Εγκάρσια κίνηση q στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την q διέγερση.



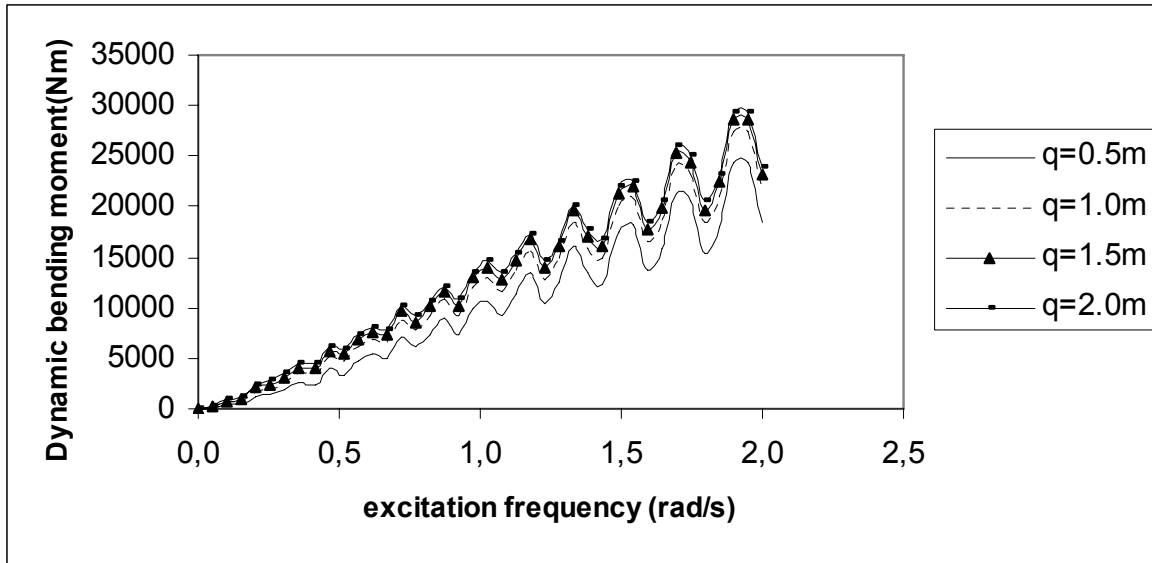
Διάγραμμα 33δ: Βάθος νερού 1800 m. Εγκάρσια κίνηση q στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την q διέγερση.



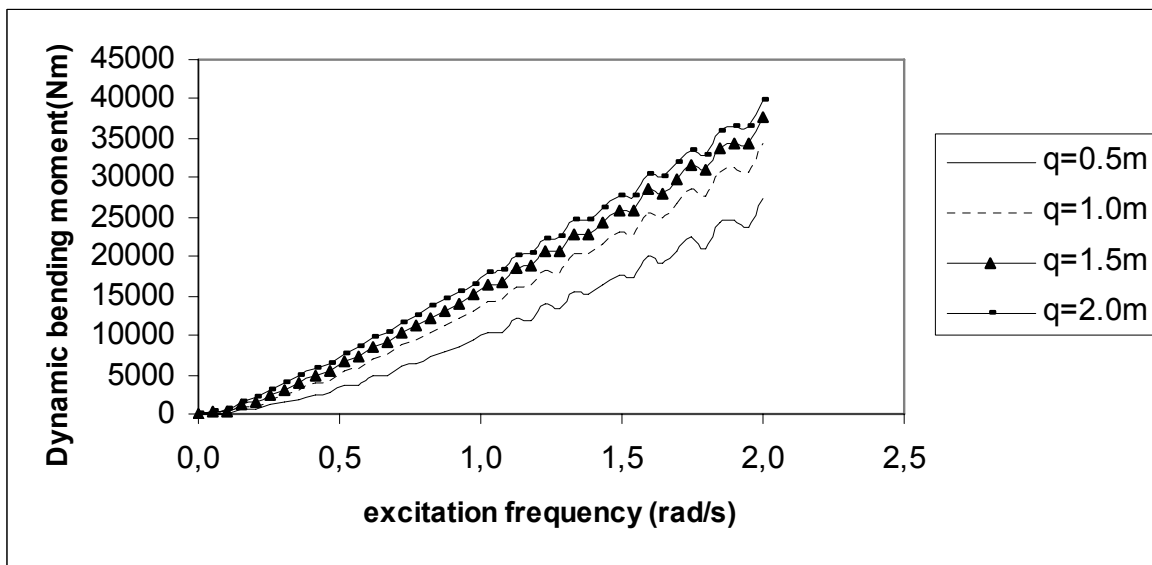
Διάγραμμα 34α: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την q διέγερση.



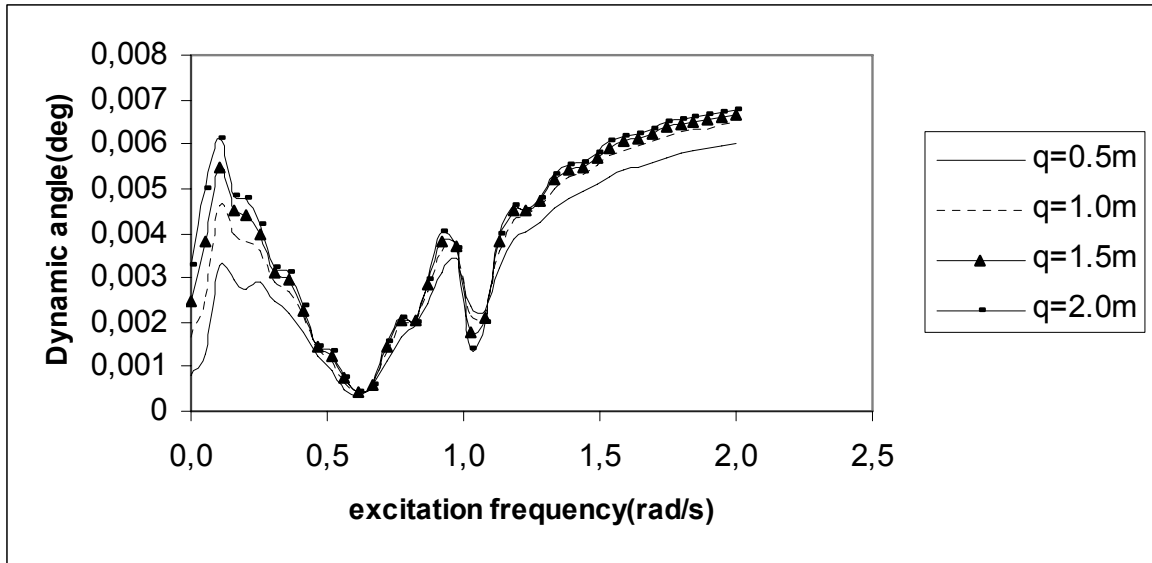
Διάγραμμα 34β: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την q διέγερση.



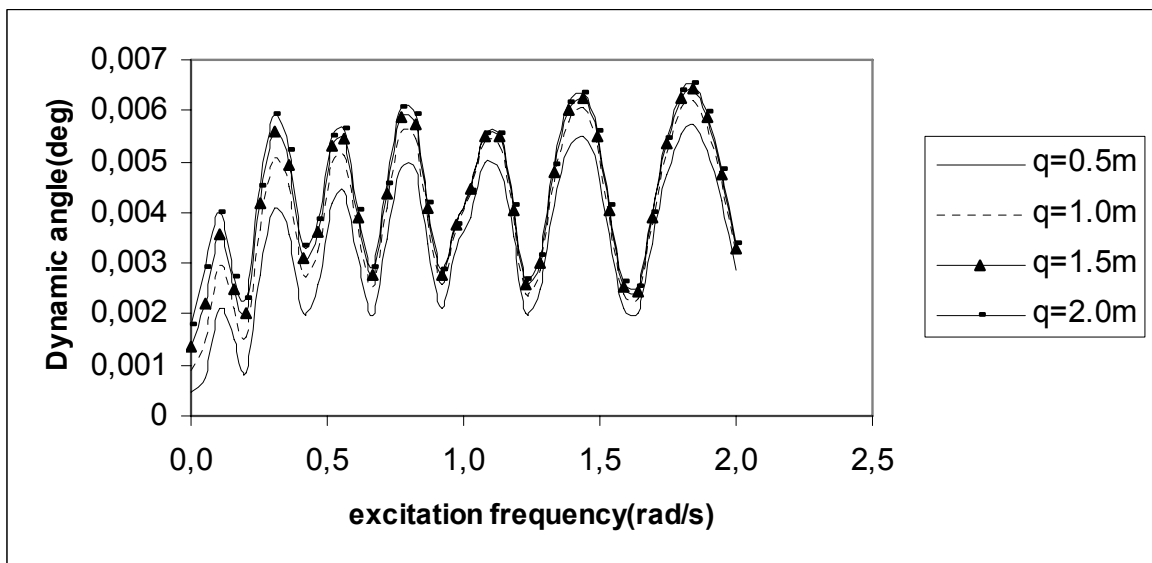
Διάγραμμα 34γ: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την q διέγερση.



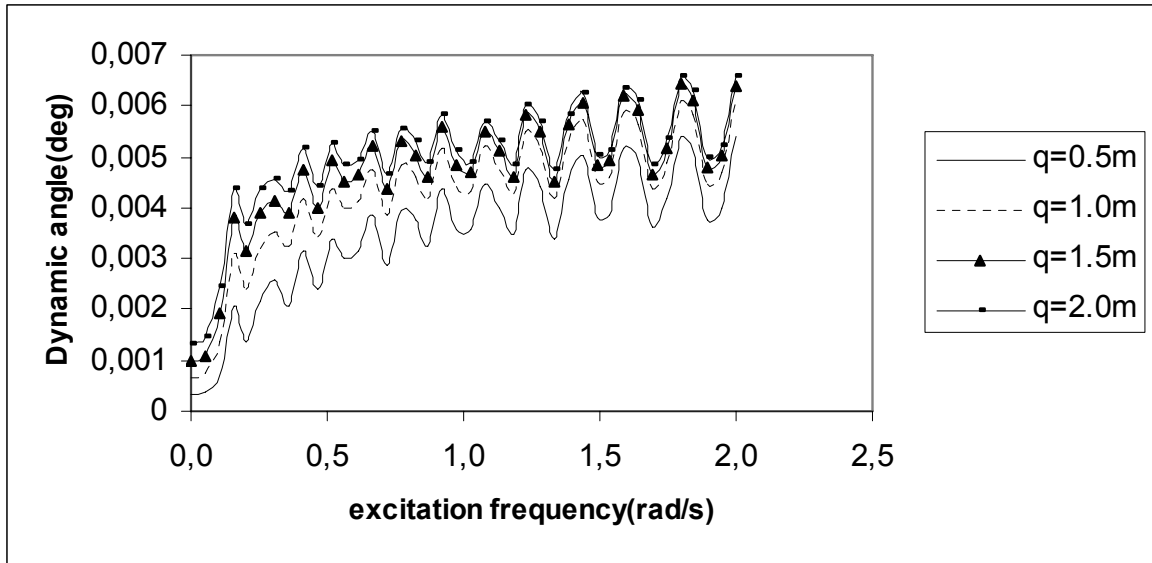
Διάγραμμα 34δ: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την q διέγερση.



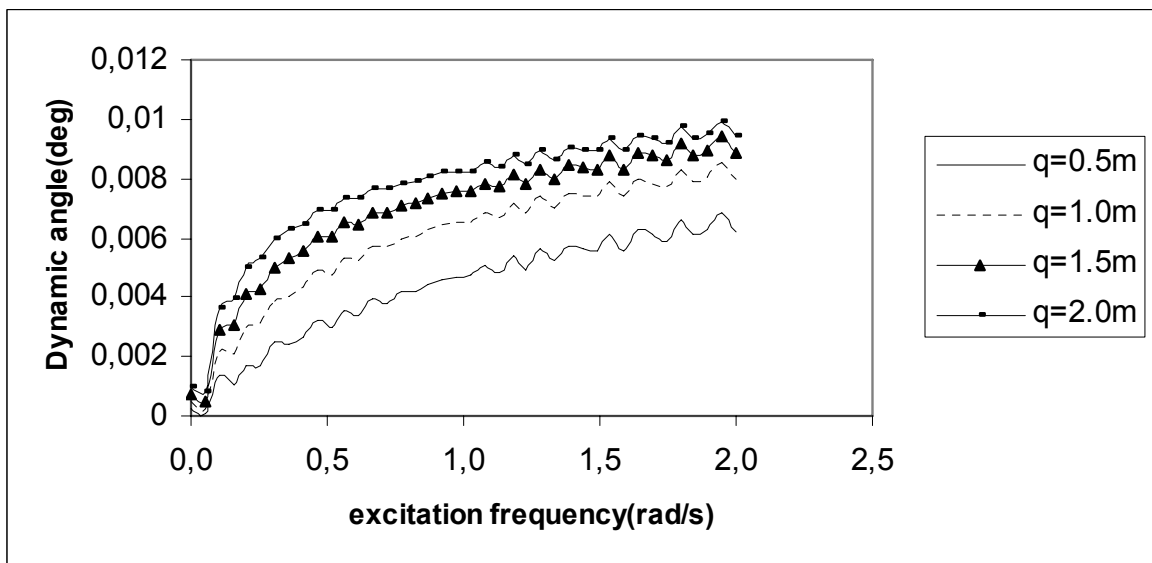
Διάγραμμα 35α: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική γωνία στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την q διέγερση.



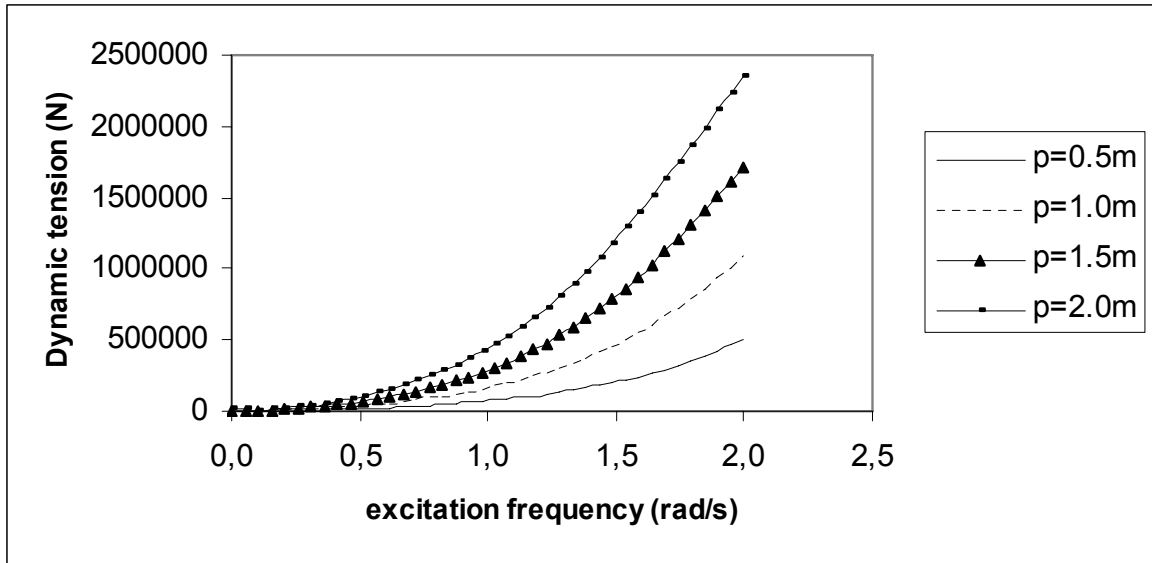
Διάγραμμα 35β: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική γωνία στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την q διέγερση.



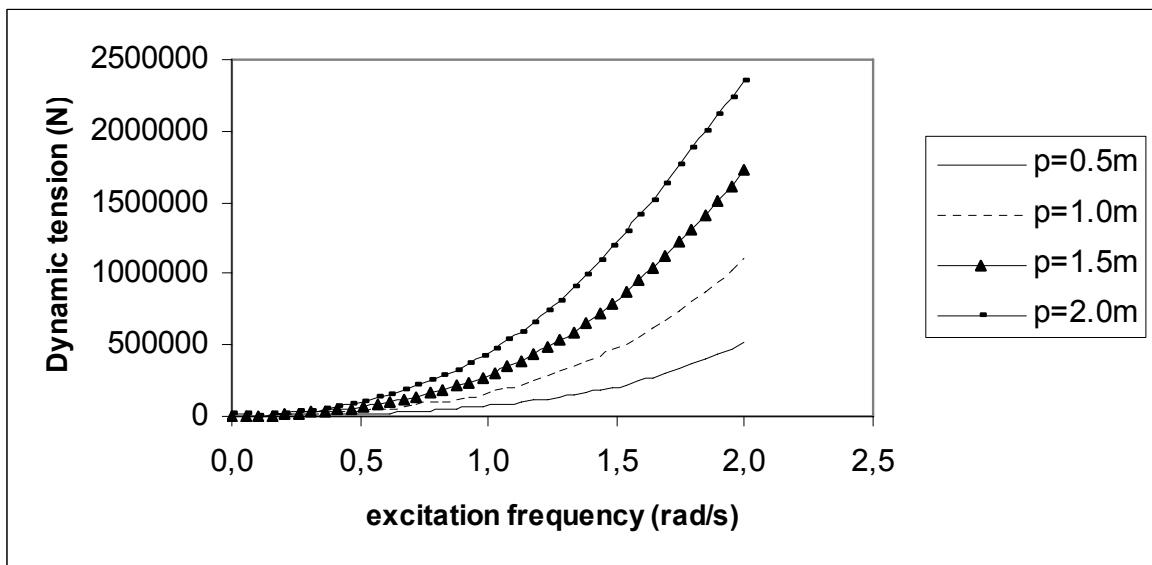
Διάγραμμα 35γ: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική γωνία στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την q διέγερση.



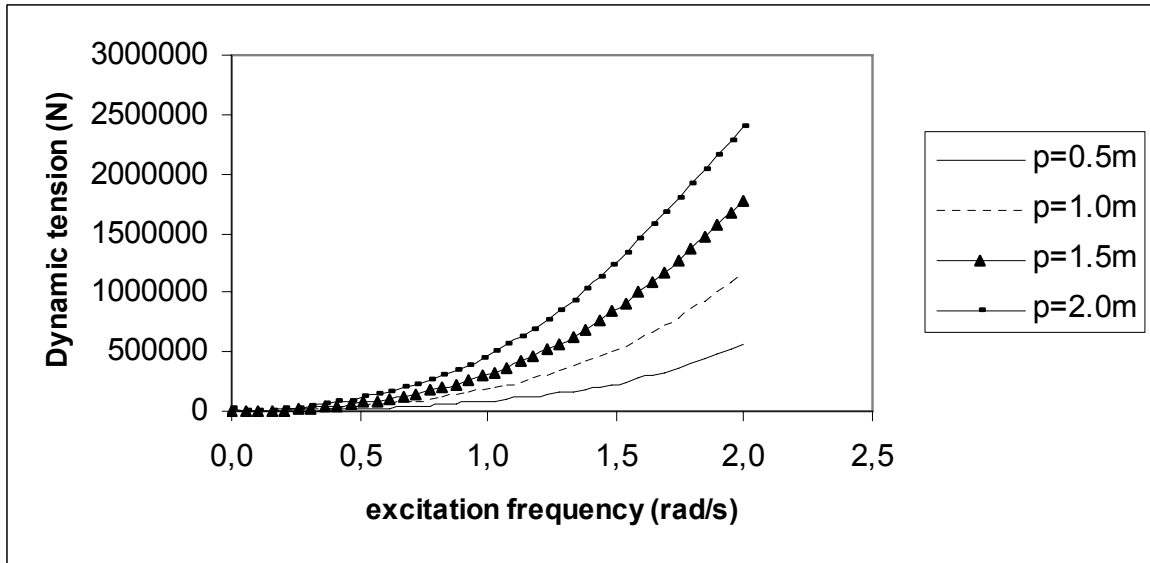
Διάγραμμα 35δ: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική γωνία στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την q διέγερση.



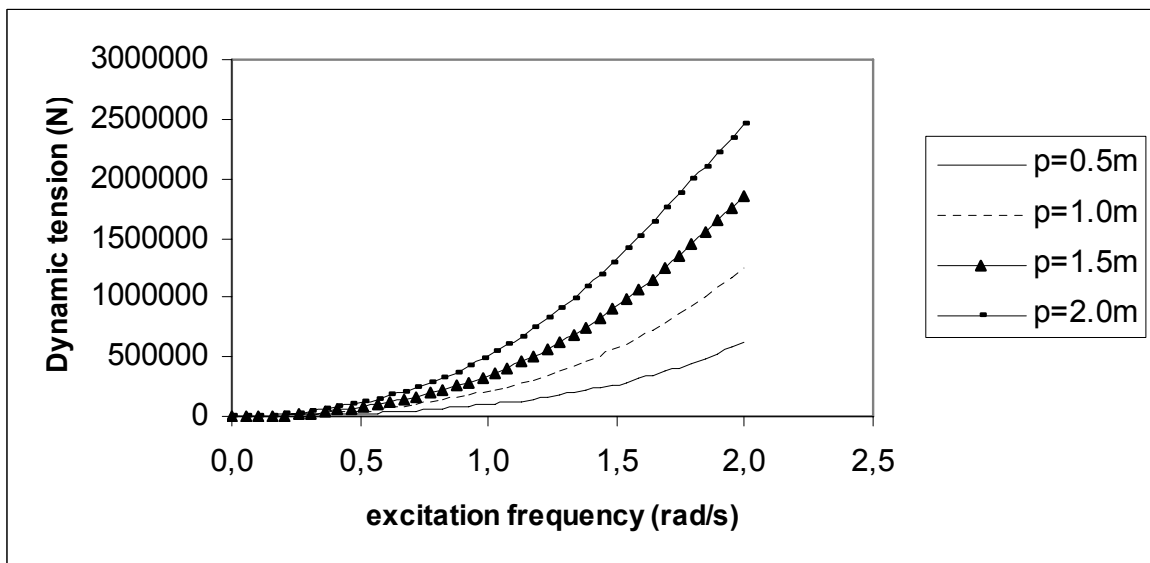
Διάγραμμα 36α: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την ρ διέγερση.



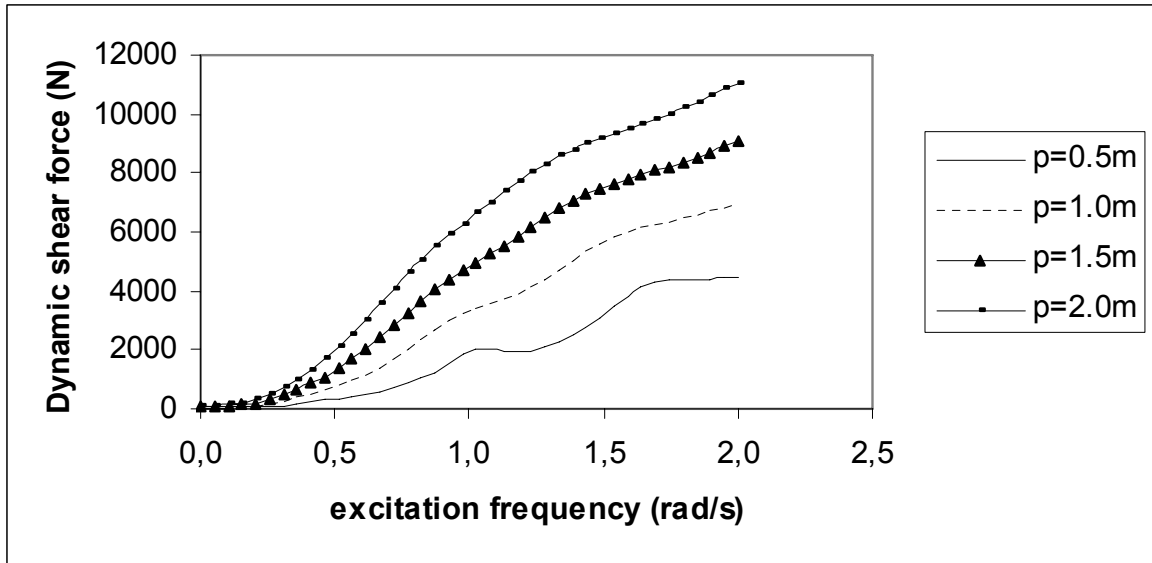
Διάγραμμα 36β: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την ρ διέγερση.



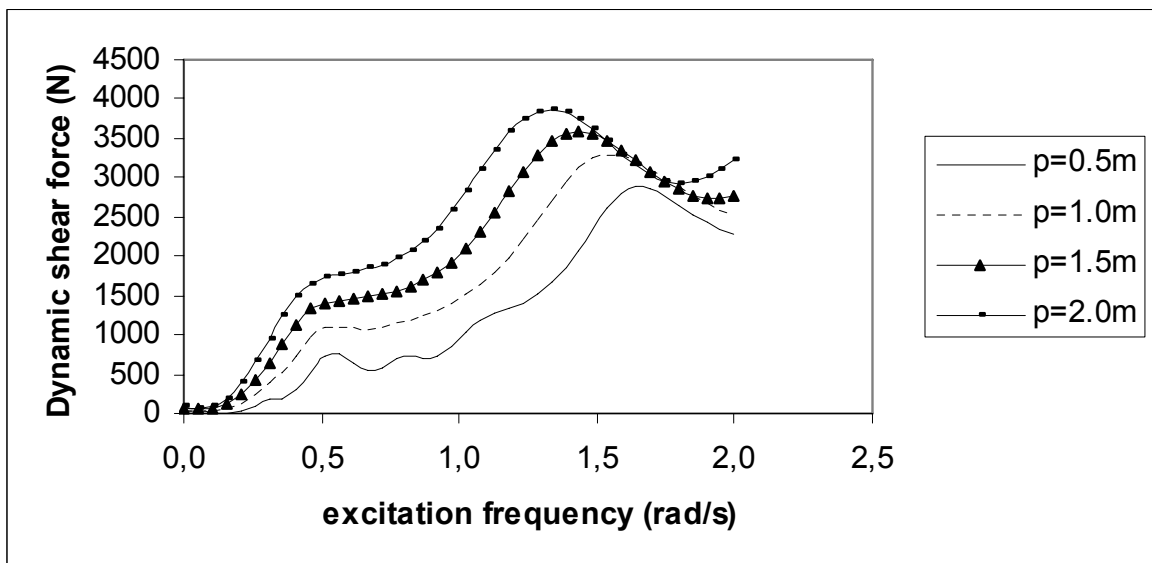
Διάγραμμα 36γ: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την ρ διέγερση.



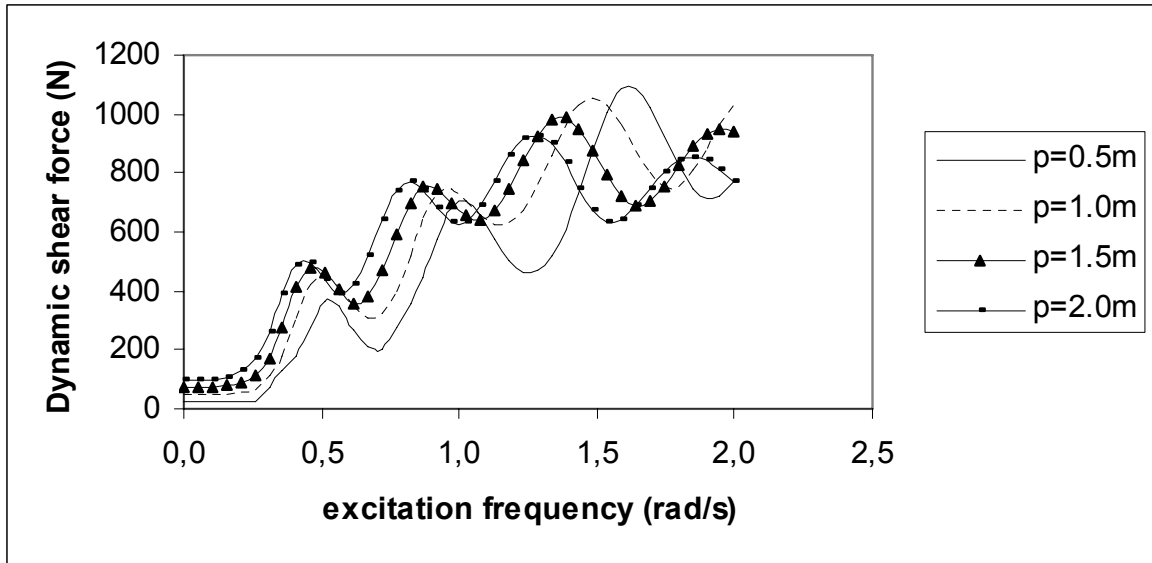
Διάγραμμα 36δ: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την ρ διέγερση.



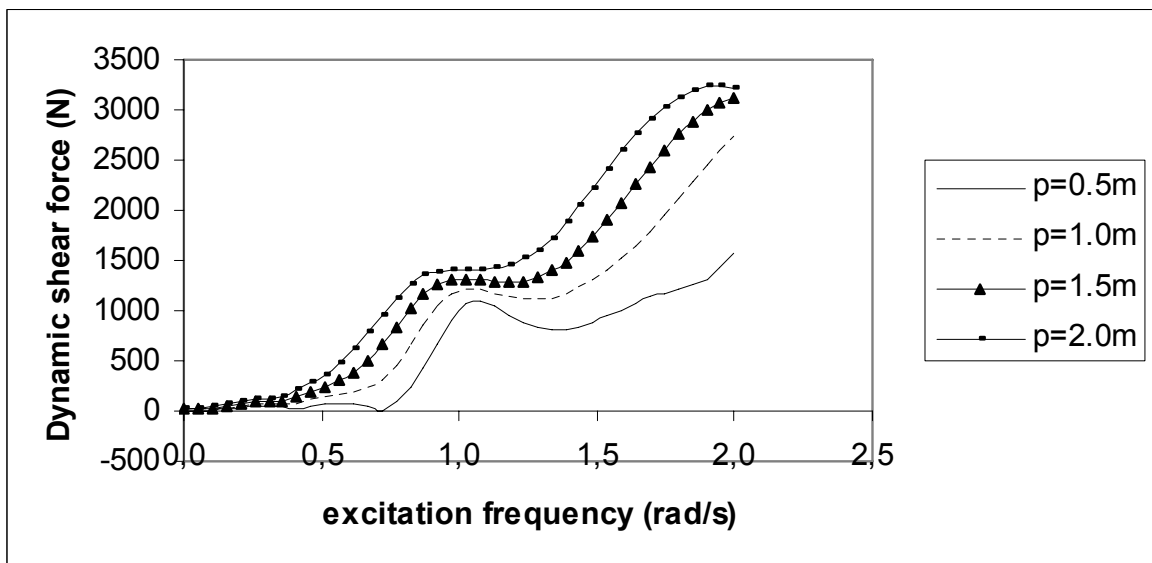
Διάγραμμα 37α: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την ρ διέγερση.



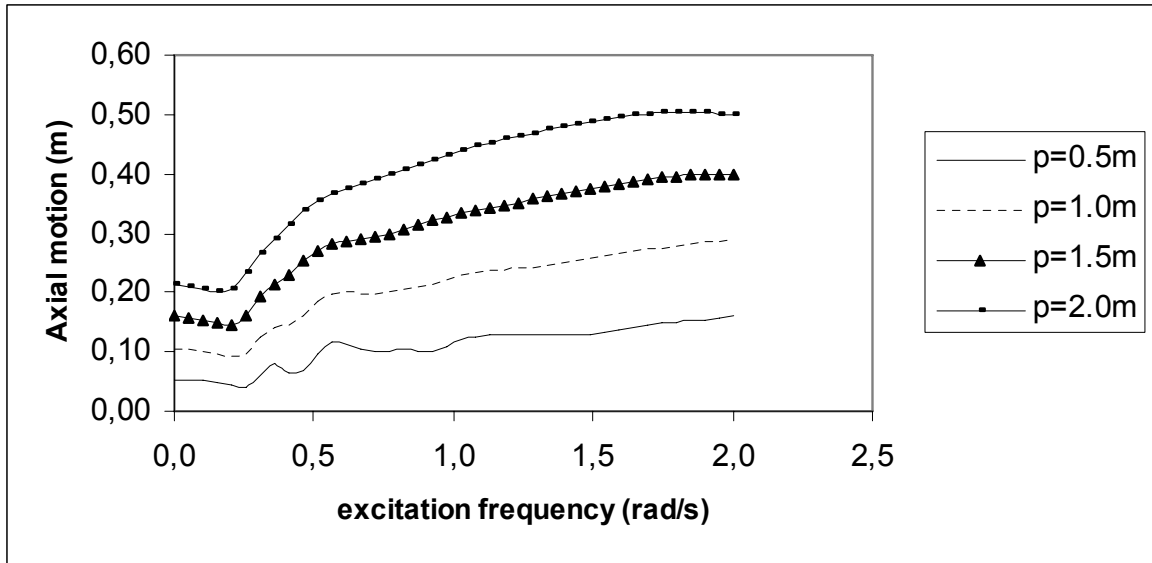
Διάγραμμα 37β: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την ρ διέγερση.



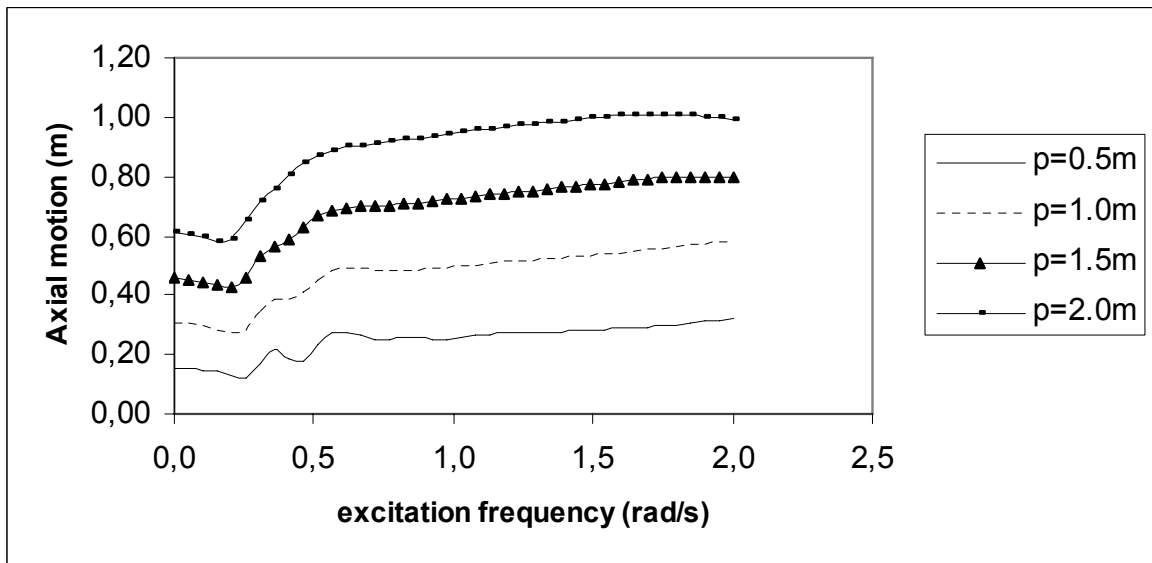
Διάγραμμα 37γ: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την ρ διέγερση.



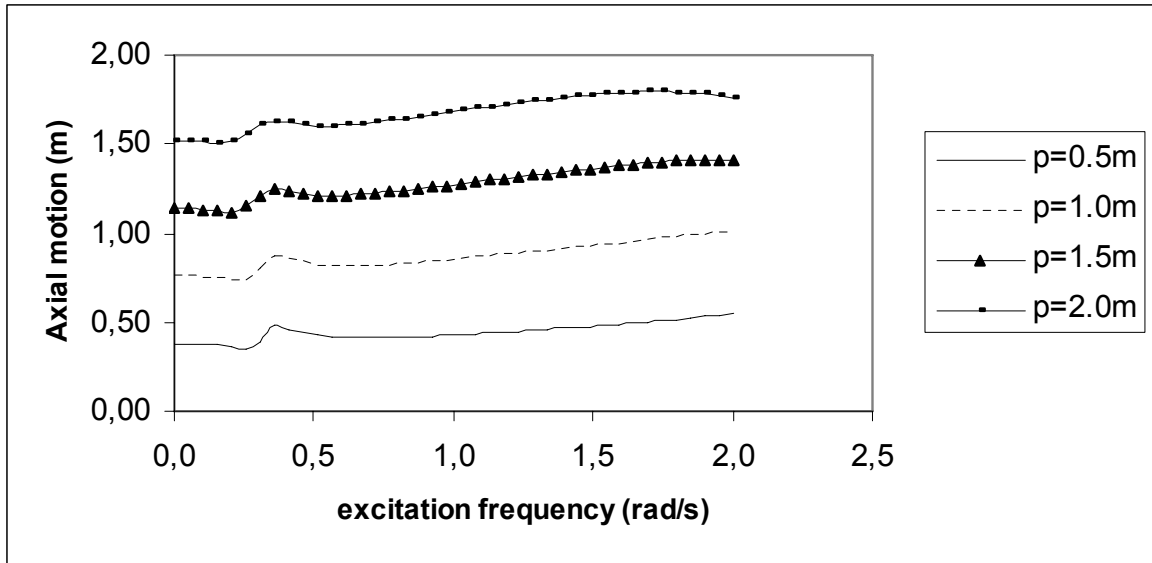
Διάγραμμα 37δ: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την ρ διέγερση.



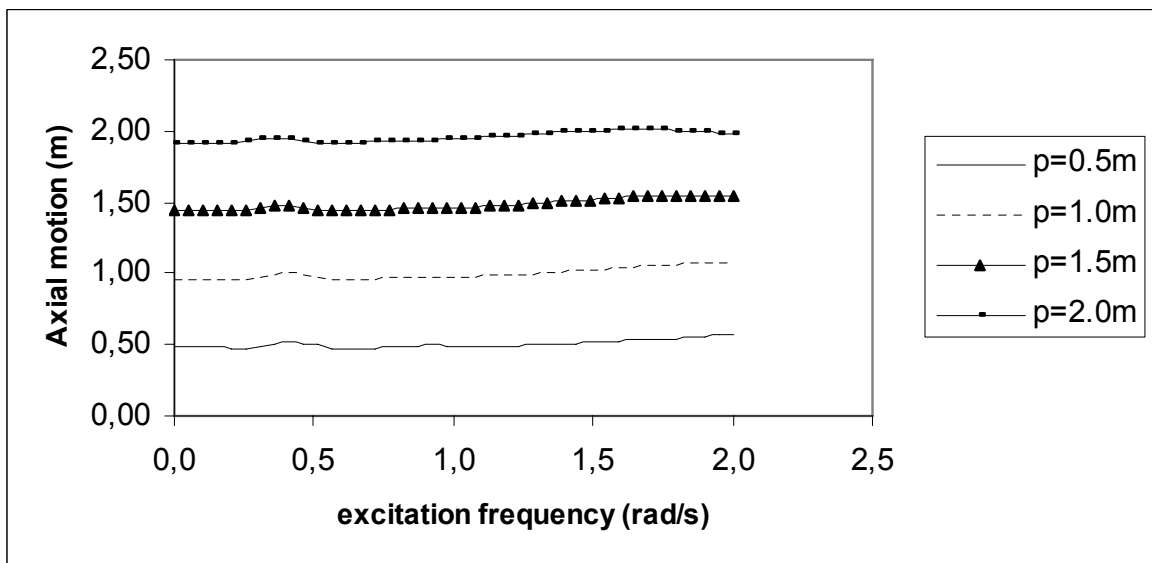
Διάγραμμα 38α: Βάθος νερού 300 m. Αξονική κίνηση ρ στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την ρ διέγερση.



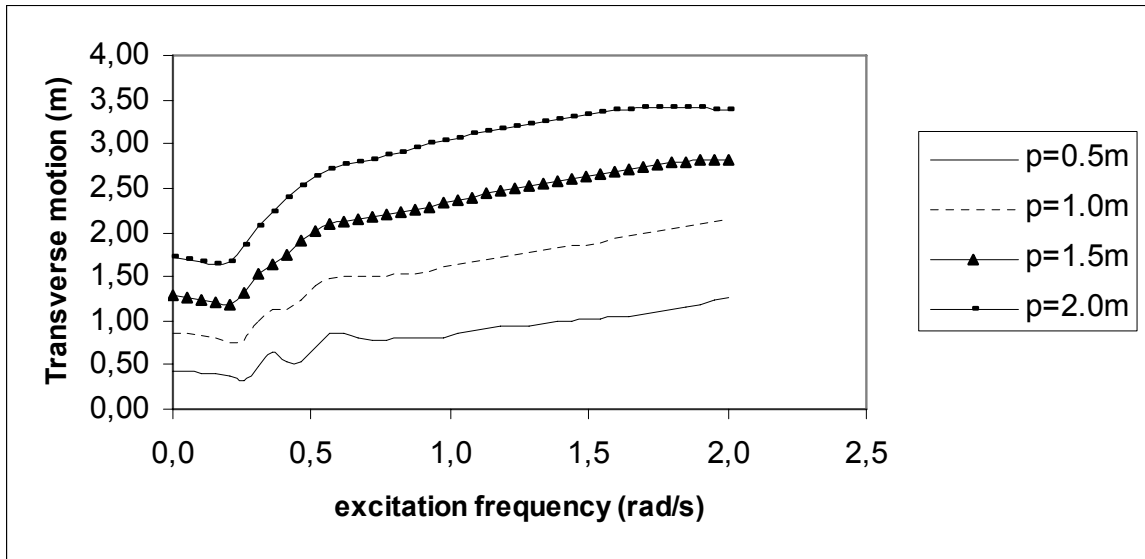
Διάγραμμα 38β: Βάθος νερού 300 m. Αξονική κίνηση ρ στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την ρ διέγερση.



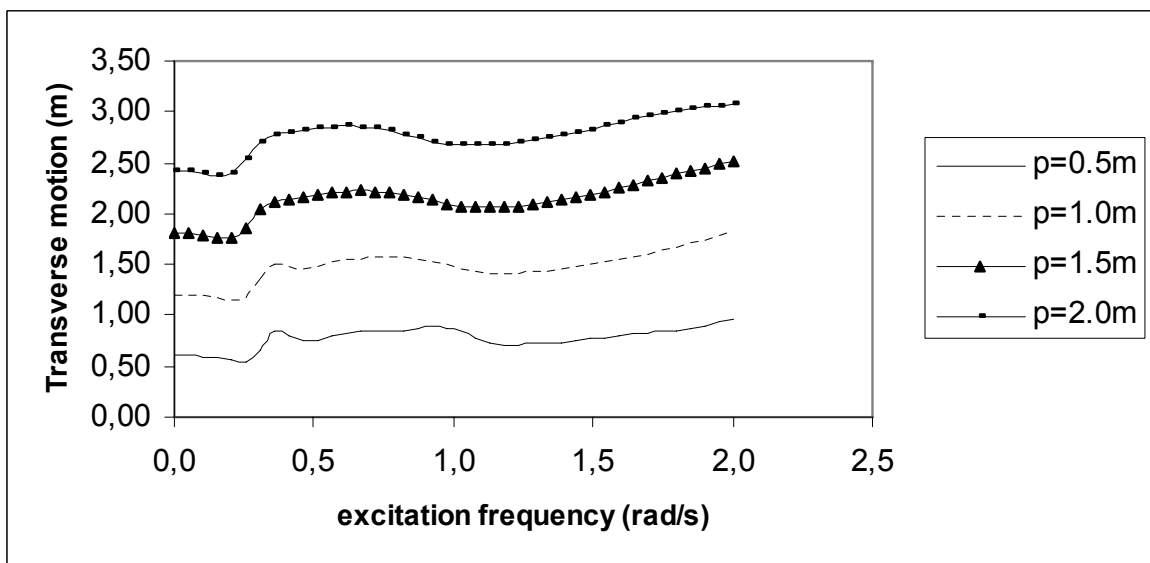
Διάγραμμα 38γ: Βάθος νερού 300 m. Αξονική κίνηση ρ στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την ρ διέγερση.



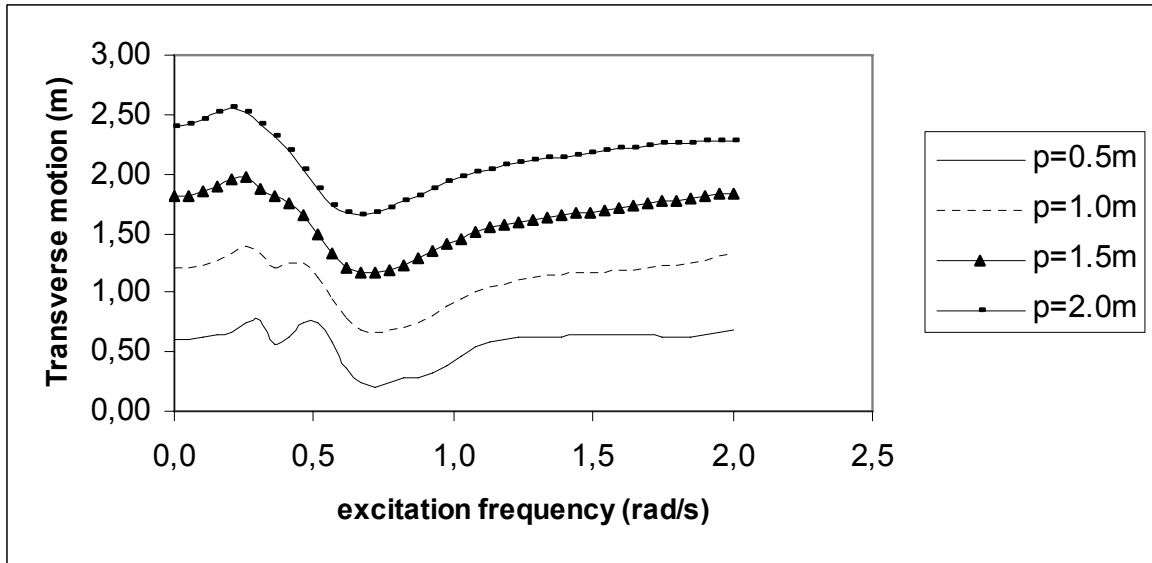
Διάγραμμα 38δ: Βάθος νερού 300 m. Αξονική κίνηση ρ στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την ρ διέγερση.



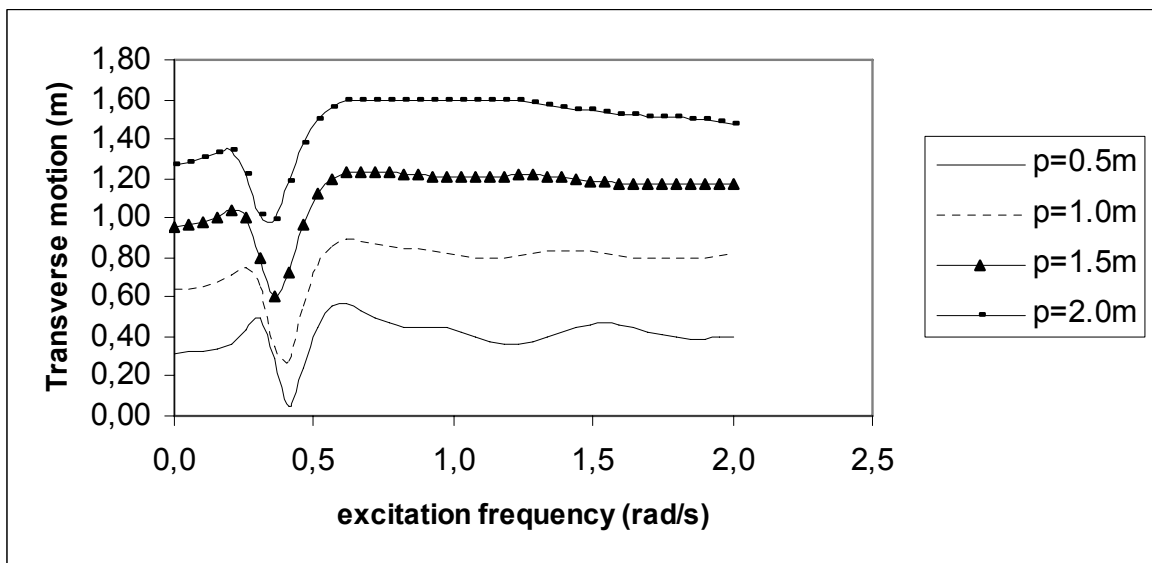
Διάγραμμα 39α: Βάθος νερού 300 m. Εγκάρσια κίνηση q στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την ρ διέγερση.



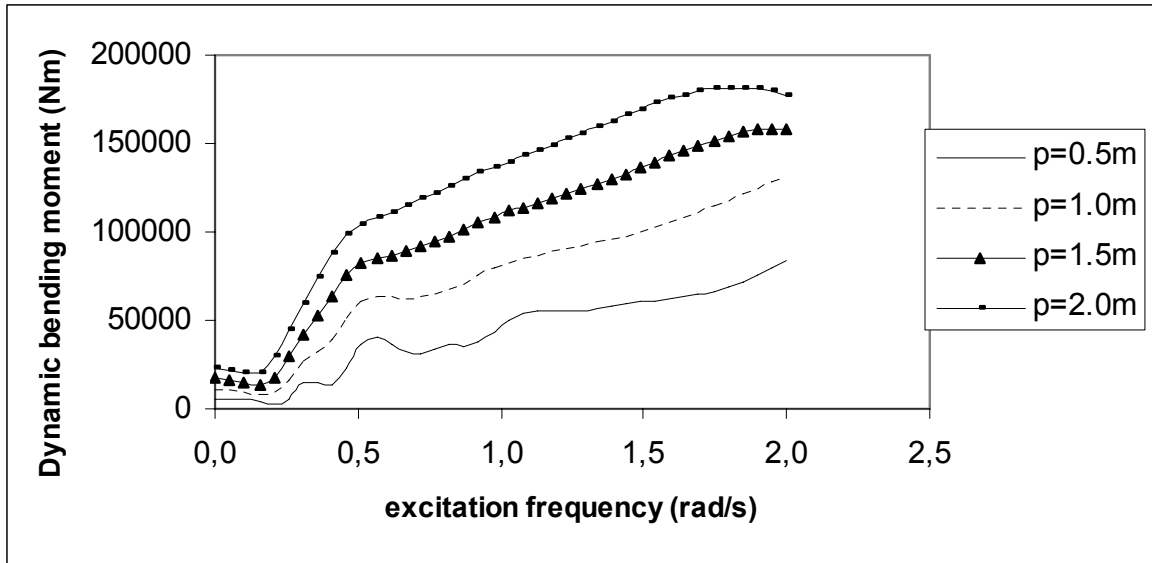
Διάγραμμα 39β: Βάθος νερού 300 m. Εγκάρσια κίνηση q στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την ρ διέγερση.



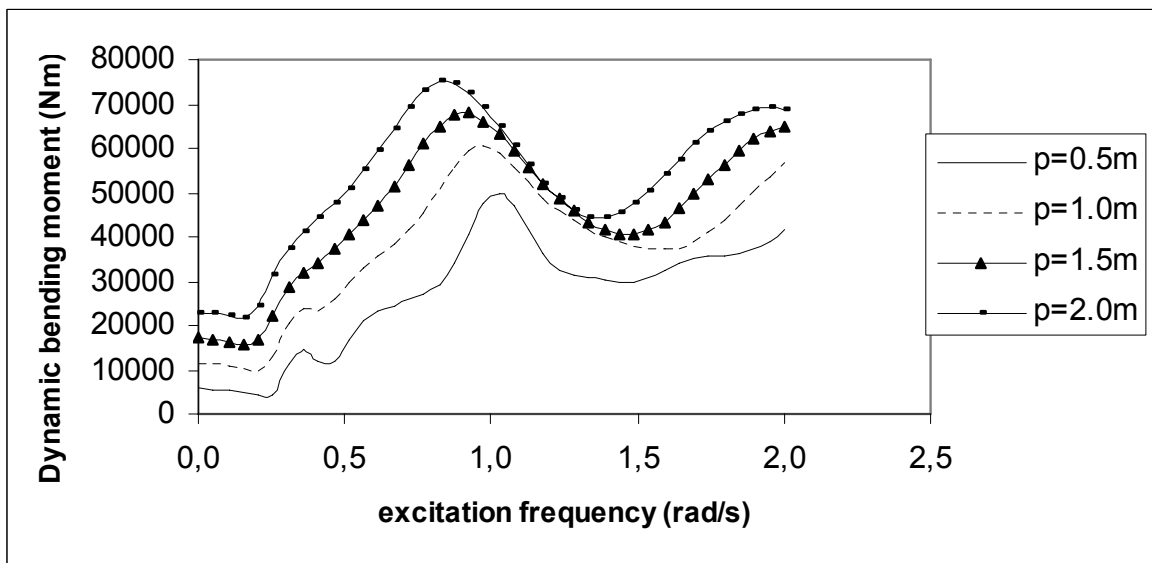
Διάγραμμα 39γ: Βάθος νερού 300 m. Εγκάρσια κίνηση η στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την ρ διέγερση.



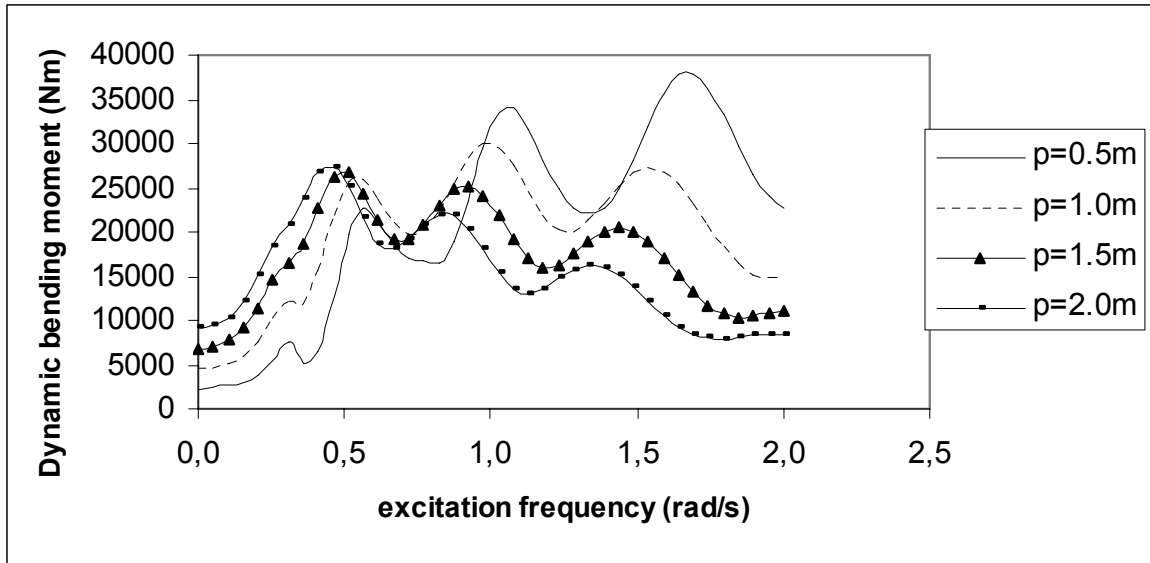
Διάγραμμα 39δ: Βάθος νερού 300 m. Εγκάρσια κίνηση η στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την ρ διέγερση.



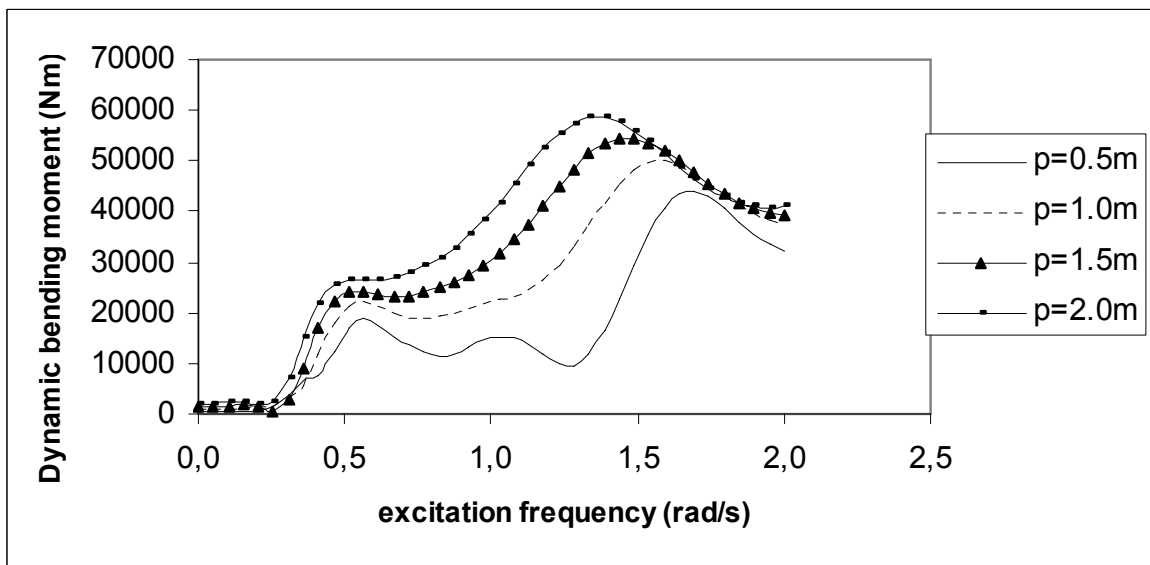
Διάγραμμα 40α: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\ddot{\Omega}$ στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την ρ διέγερση.



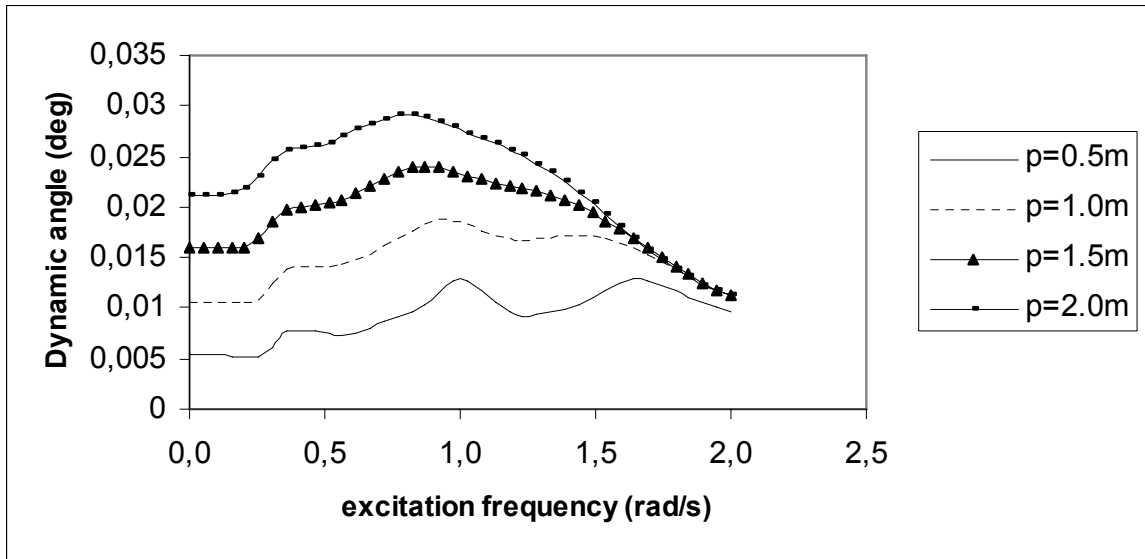
Διάγραμμα 40β: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\ddot{\Omega}$ στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την ρ διέγερση.



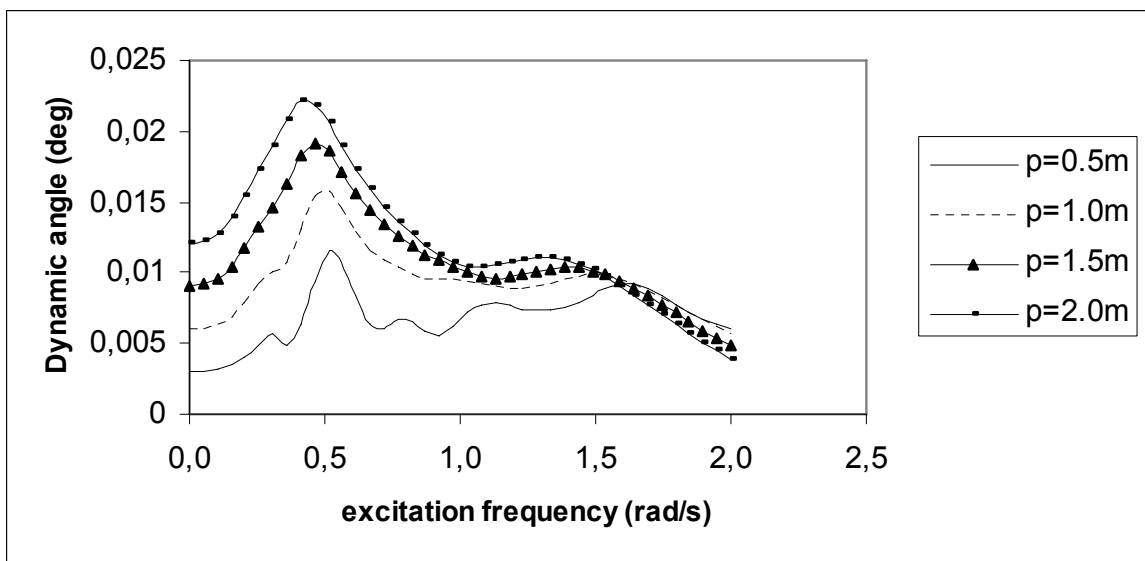
Διάγραμμα 40γ: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\ddot{\Omega}$ στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την ρ διέγερση.



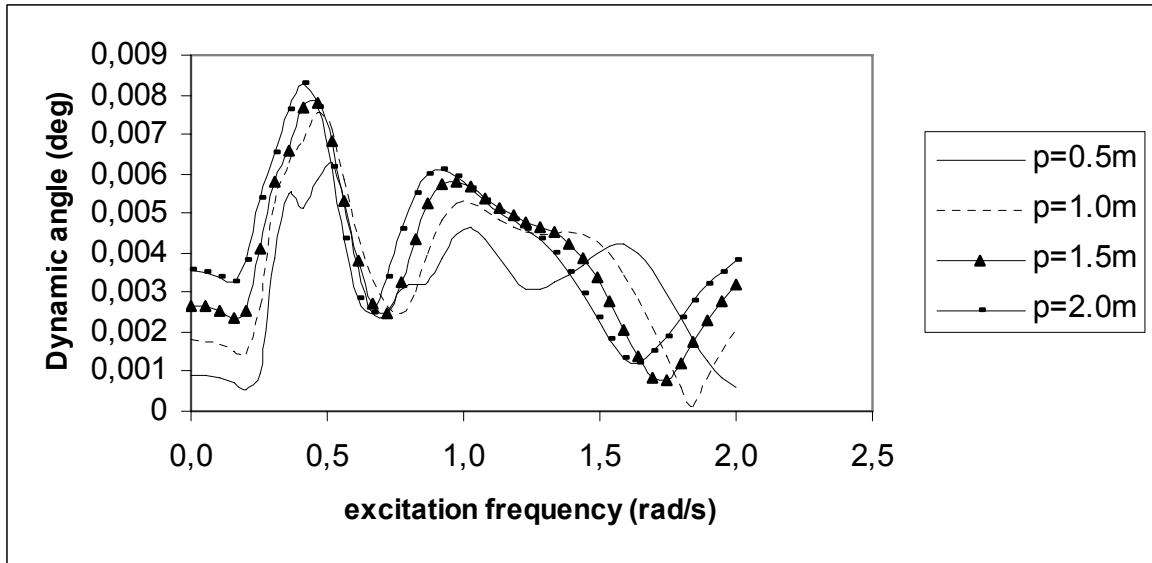
Διάγραμμα 40δ: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\ddot{\Omega}$ στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την ρ διέγερση.



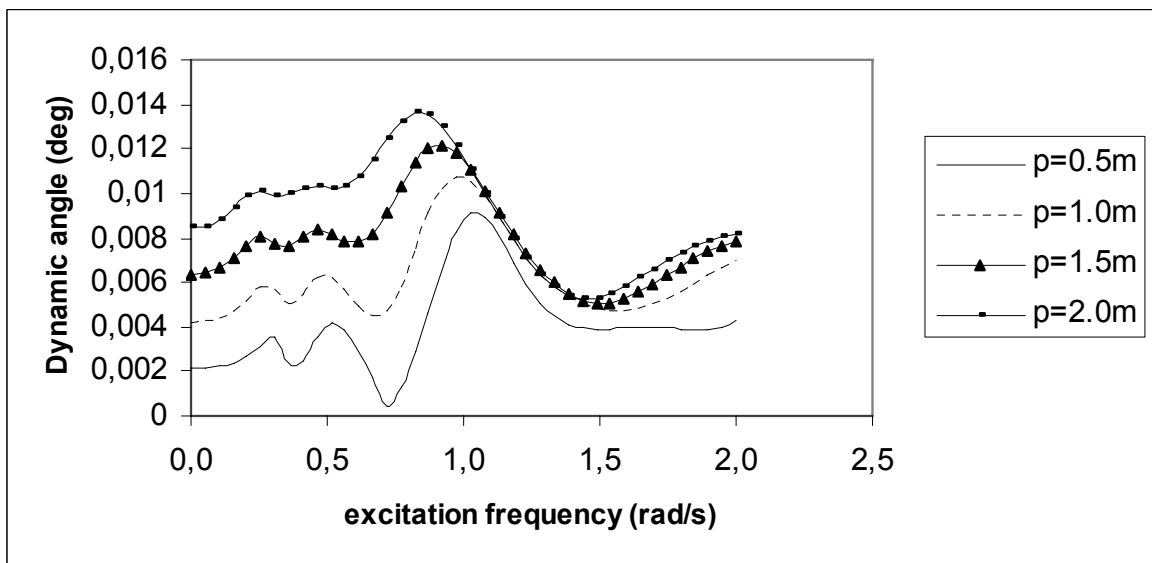
Διάγραμμα 41α: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική γωνία στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την ρ διέγερση.



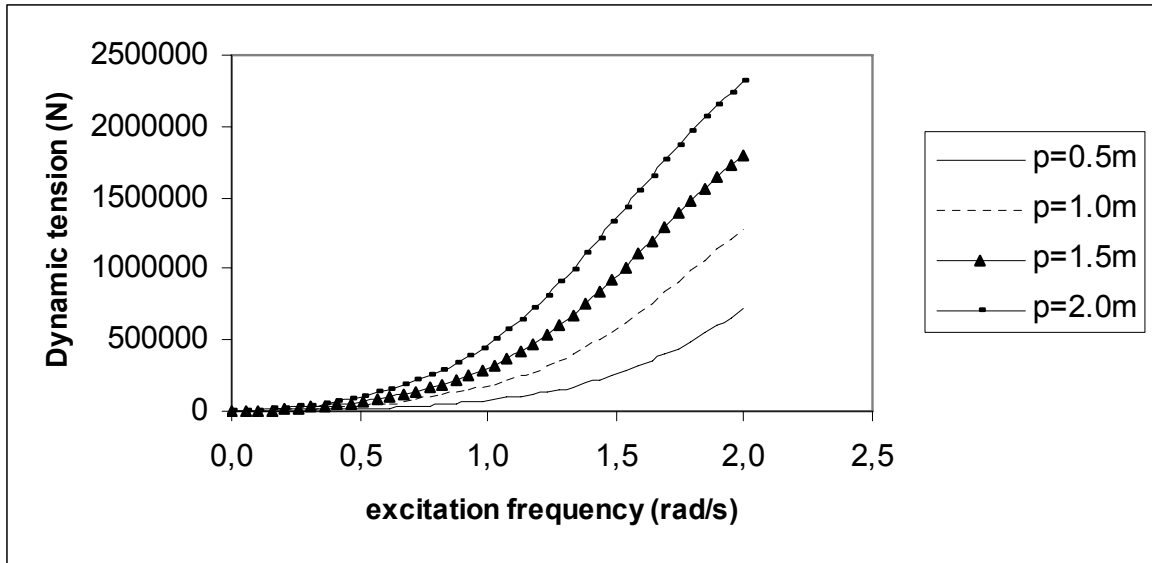
Διάγραμμα 41β: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική γωνία στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την ρ διέγερση.



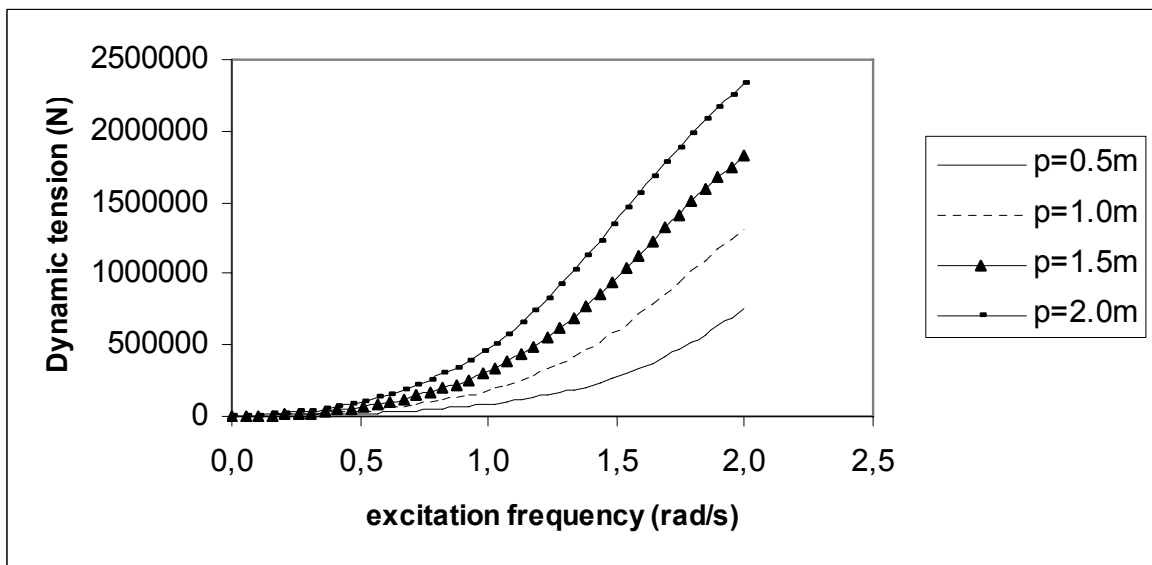
Διάγραμμα 41γ: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική γωνία στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την ρ διέγερση.



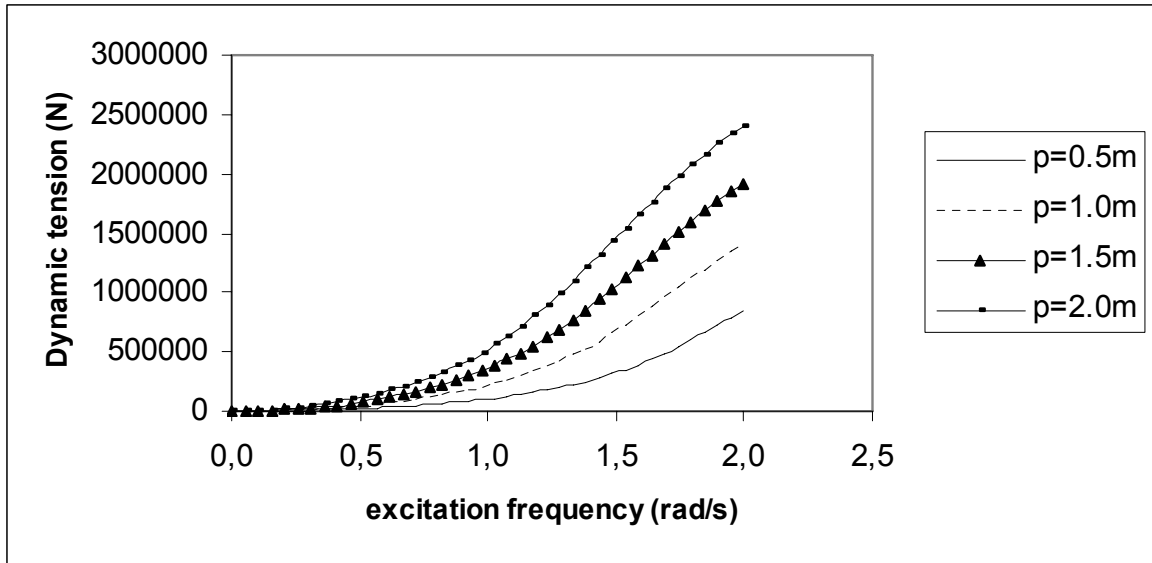
Διάγραμμα 41δ: Βάθος νερού 300 m. Δυναμική γωνία στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την ρ διέγερση.



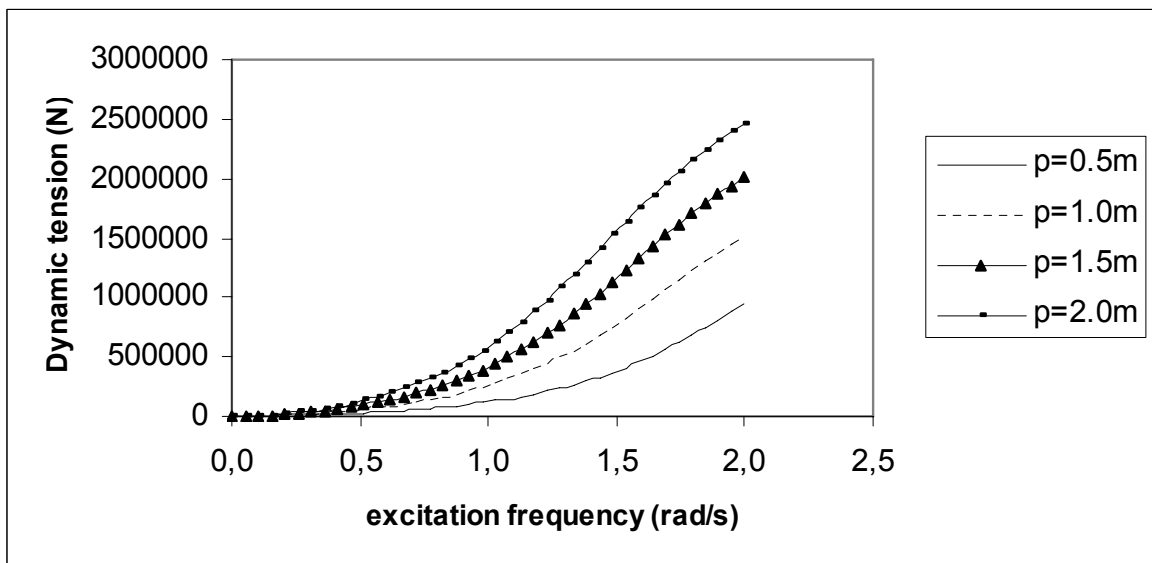
Διάγραμμα 42: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την ρ διέγερση.



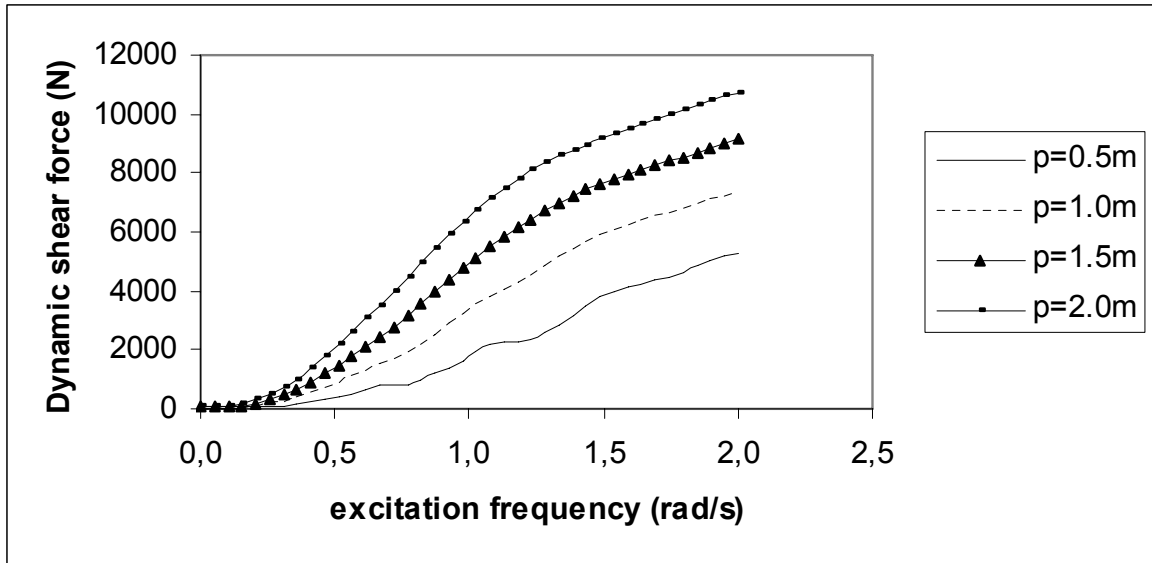
Διάγραμμα 42β: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την ρ διέγερση.



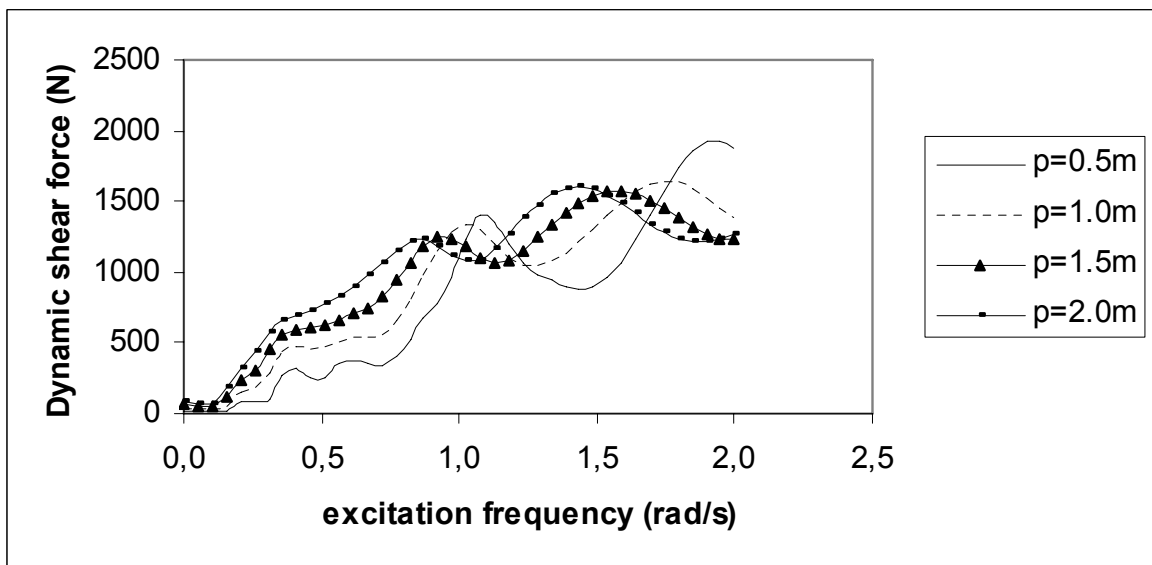
Διάγραμμα 42γ: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την ρ διέγερση.



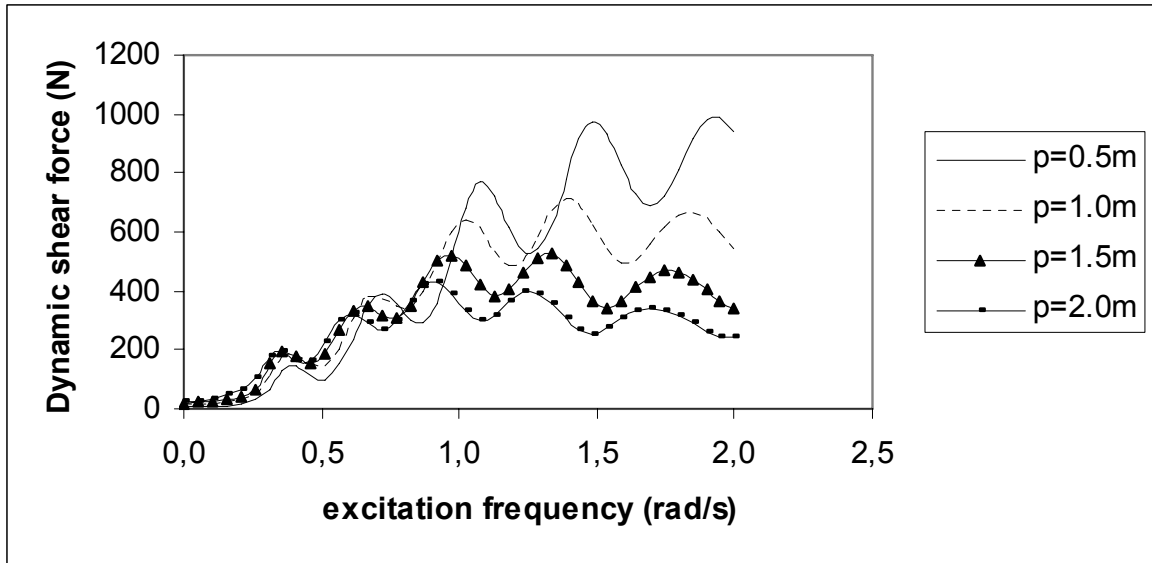
Διάγραμμα 42δ: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την ρ διέγερση.



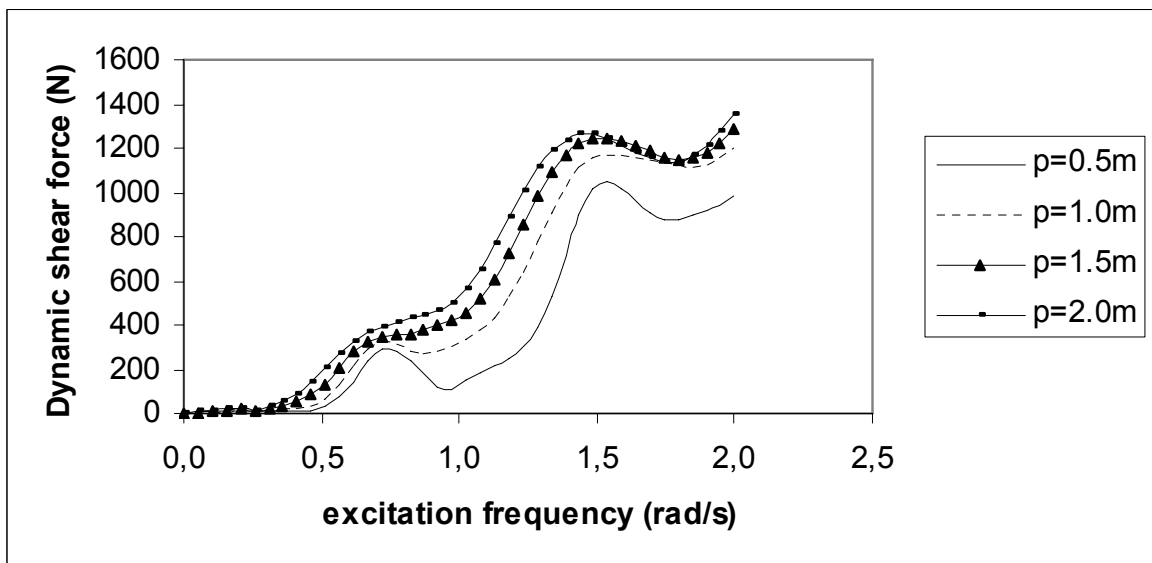
Διάγραμμα 43α: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την ρ διέγερση.



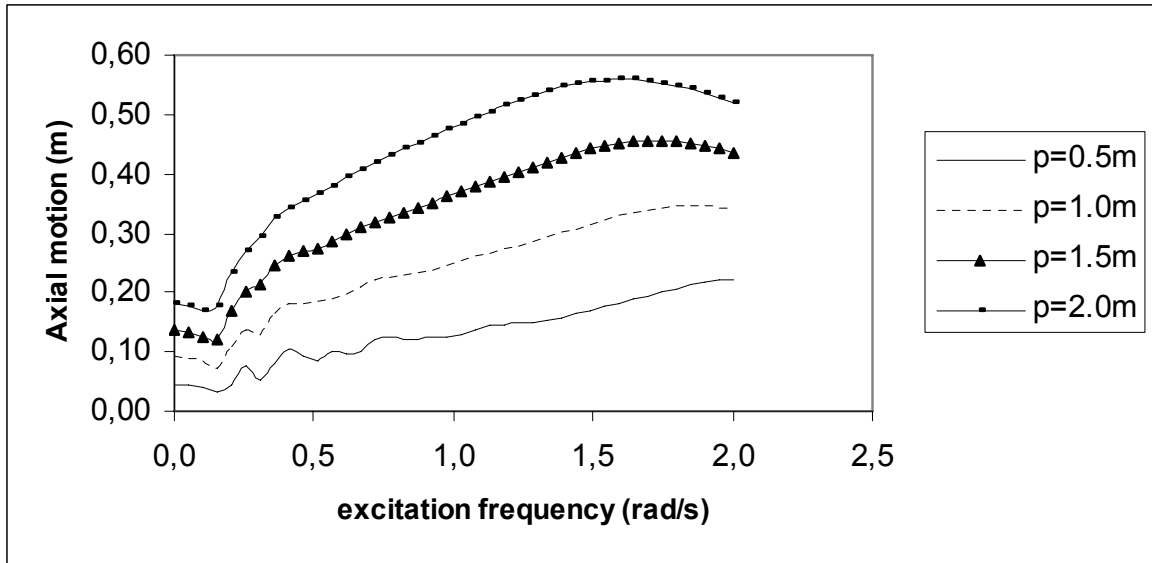
Διάγραμμα 43β: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την ρ διέγερση.



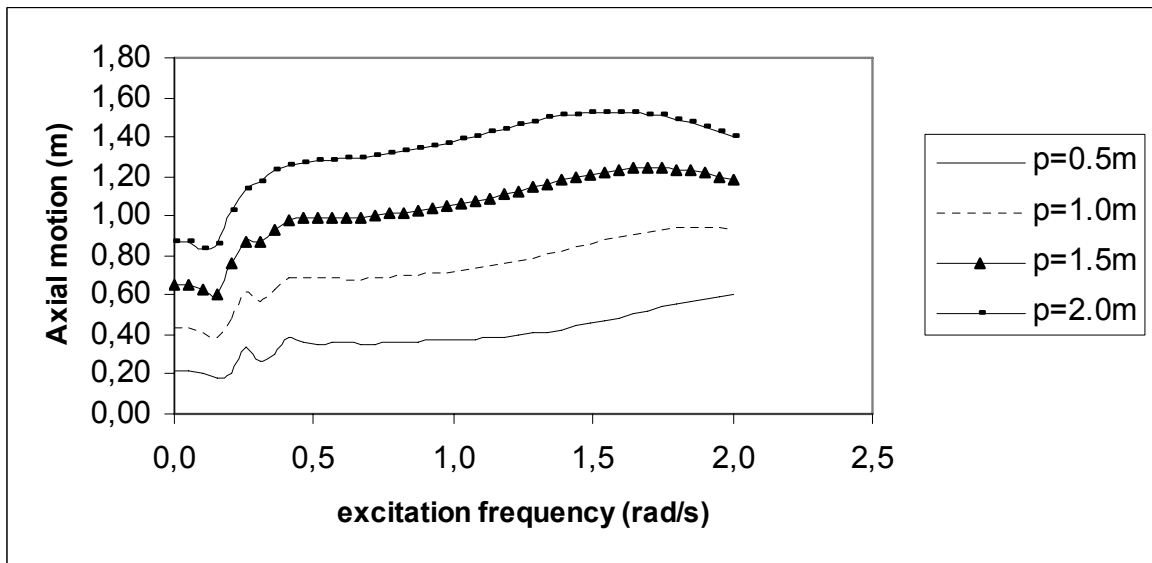
Διάγραμμα 43γ: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την ρ διέγερση.



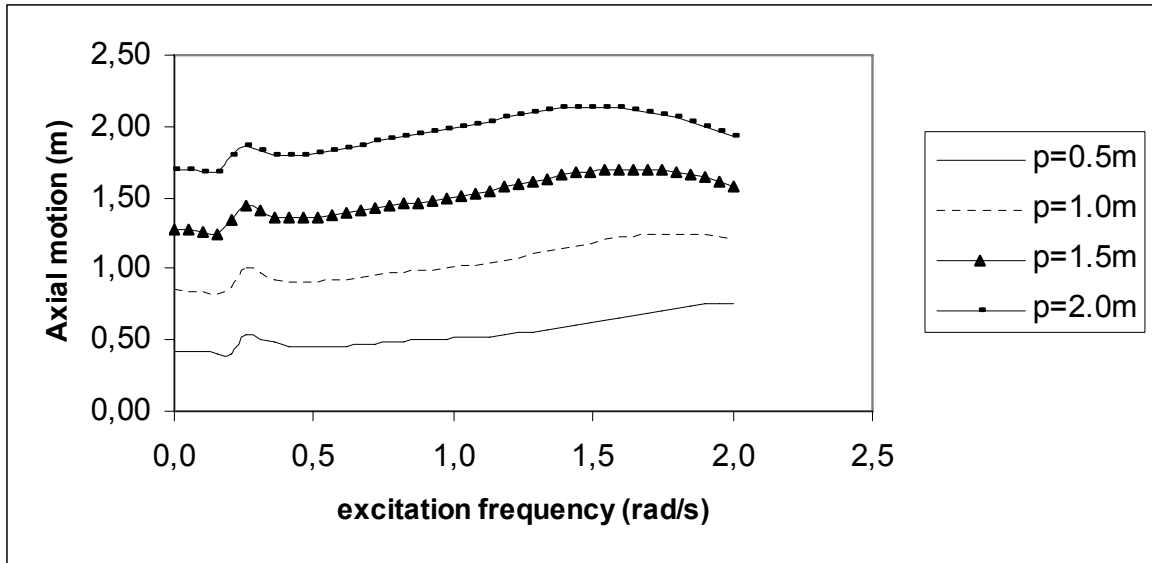
Διάγραμμα 43δ: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την ρ διέγερση.



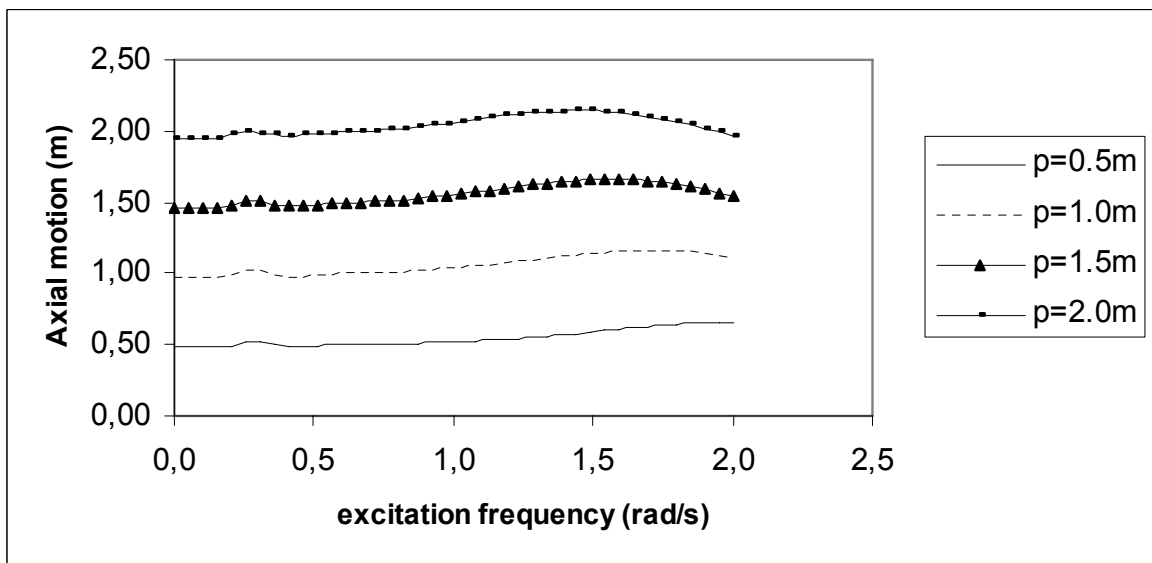
Διάγραμμα 44α: Βάθος νερού 500 m. Αξονική κίνηση ρ στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την ρ διέγερση.



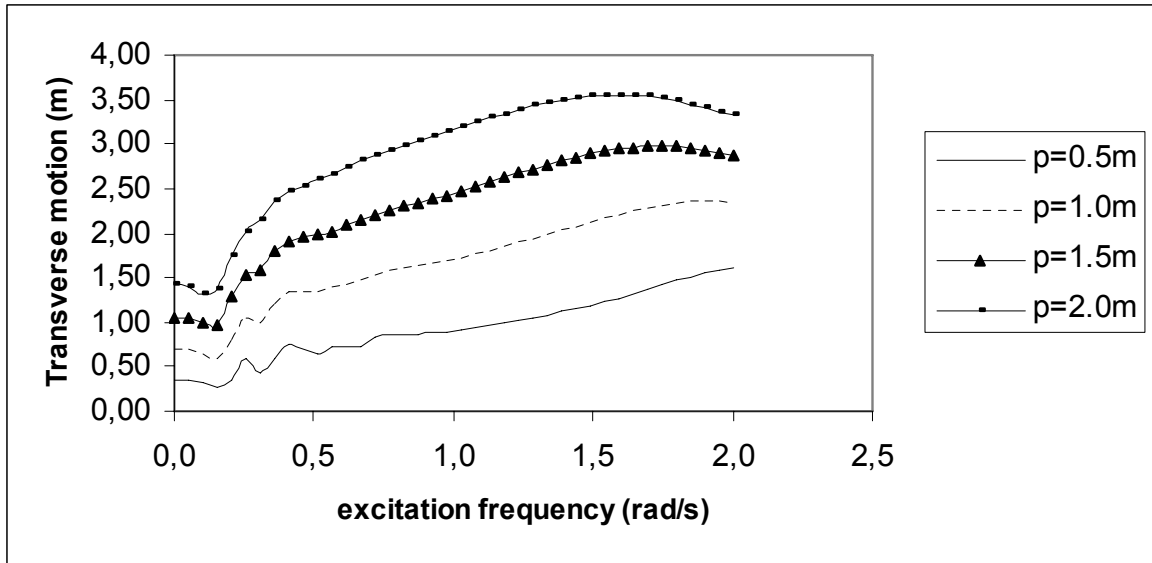
Διάγραμμα 44β: Βάθος νερού 500 m. Αξονική κίνηση ρ στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την ρ διέγερση.



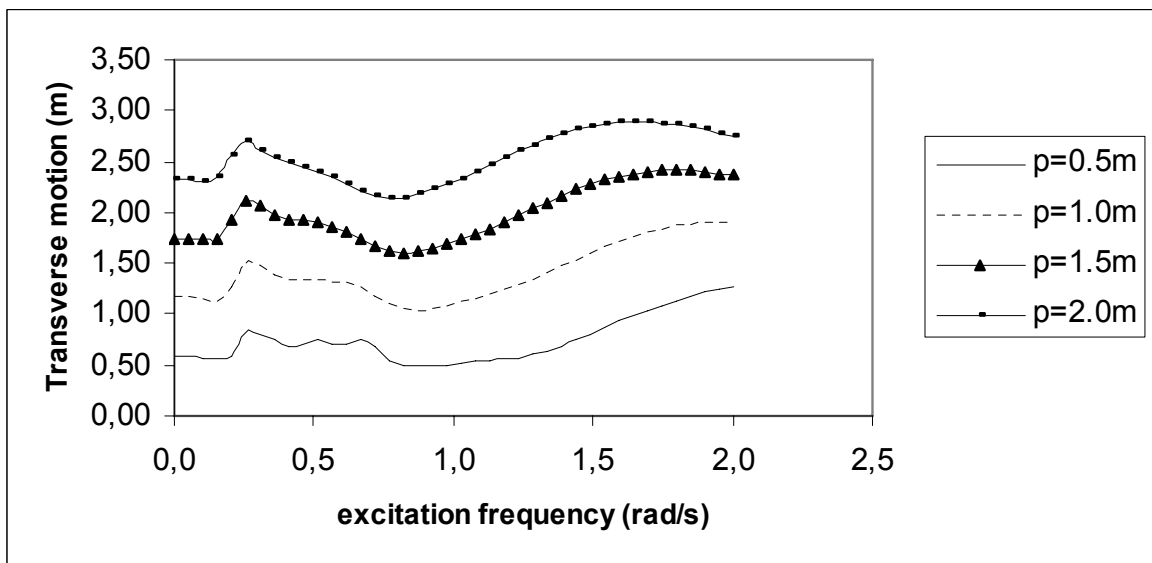
Διάγραμμα 44γ: Βάθος νερού 500 m. Αξονική κίνηση ρ στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την ρ διέγερση.



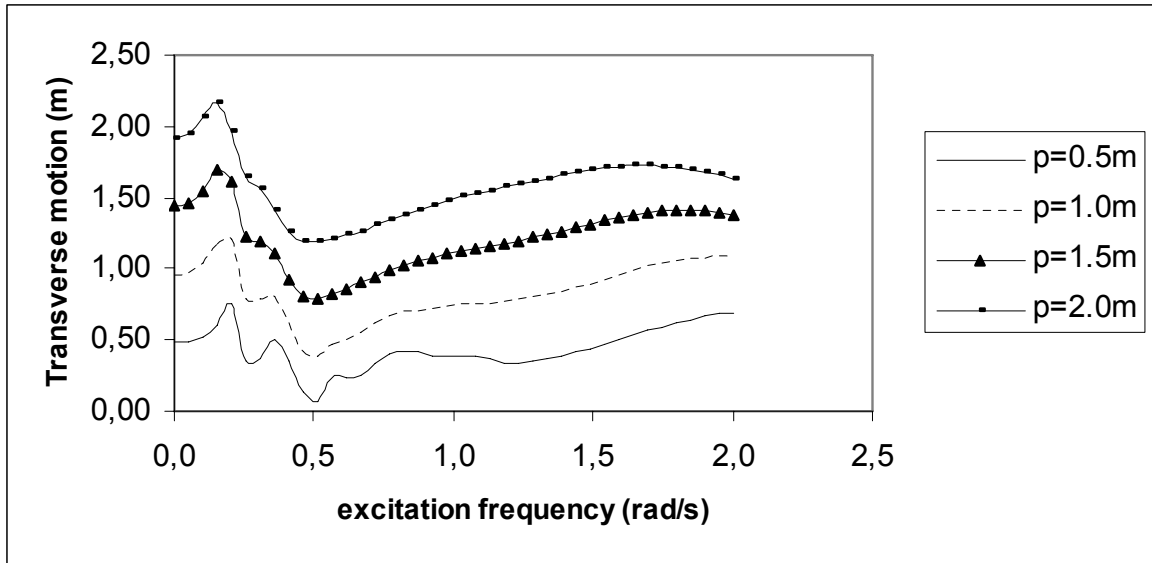
Διάγραμμα 44δ: Βάθος νερού 500 m. Αξονική κίνηση ρ στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την ρ διέγερση.



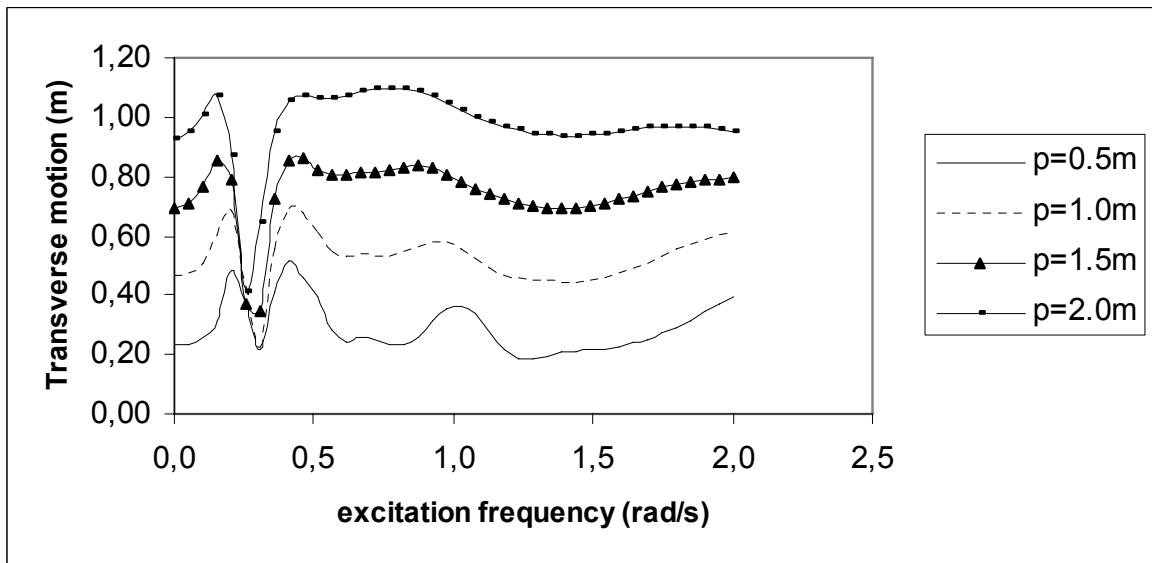
Διάγραμμα 45α: Βάθος νερού 500 m. Εγκάρσια κίνηση η στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την ρ διέγερση.



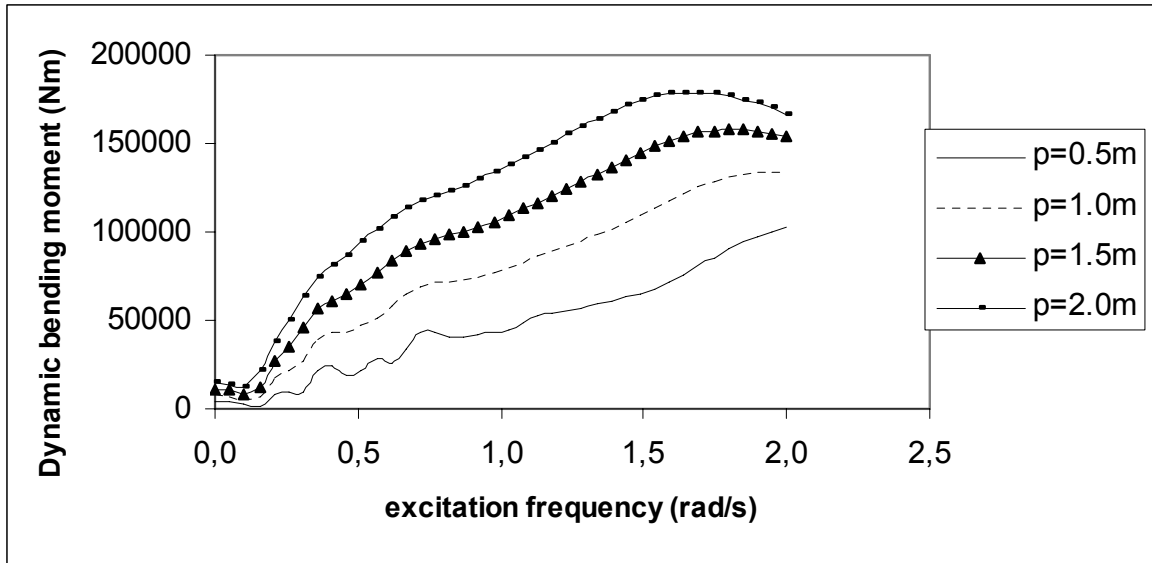
Διάγραμμα 45β: Βάθος νερού 500 m. Εγκάρσια κίνηση η στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την ρ διέγερση.



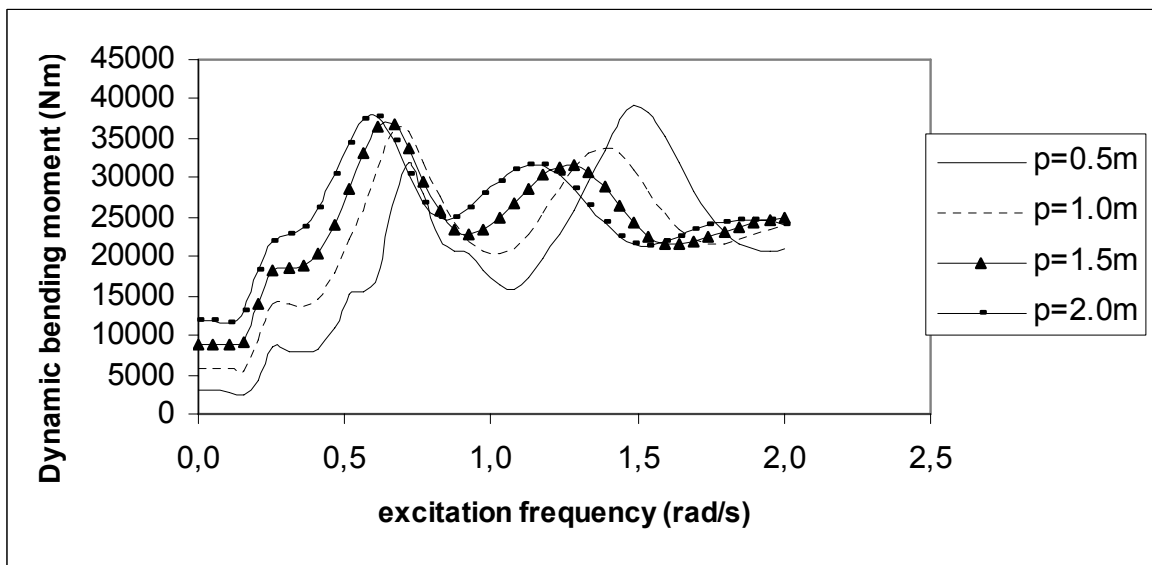
Διάγραμμα 45γ: Βάθος νερού 500 m. Εγκάρσια κίνηση η στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την ρ διέγερση.



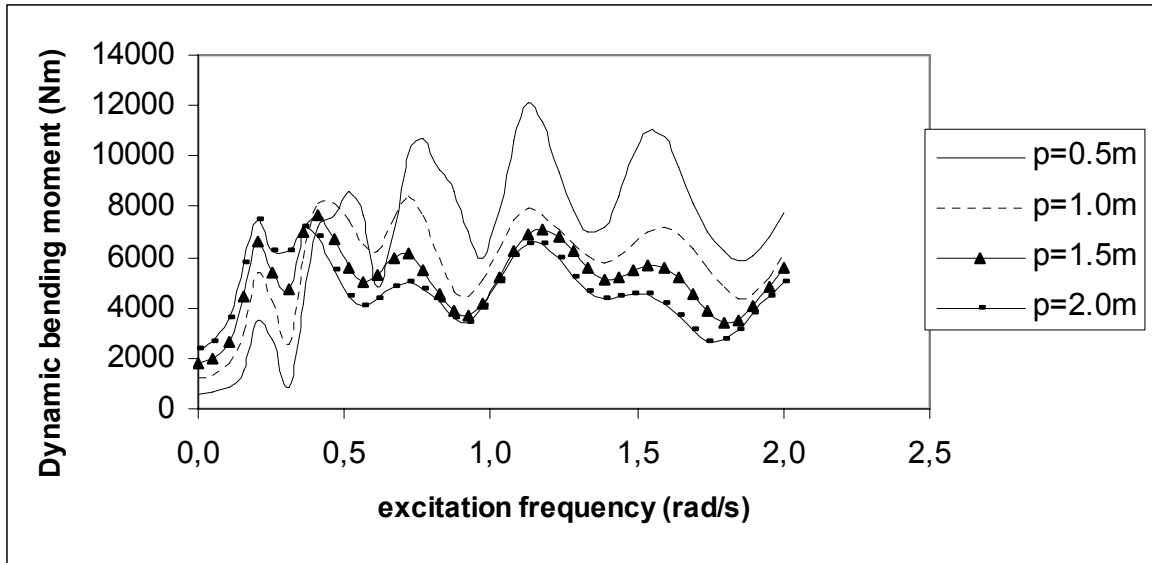
Διάγραμμα 45δ: Βάθος νερού 500 m. Εγκάρσια κίνηση η στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την ρ διέγερση



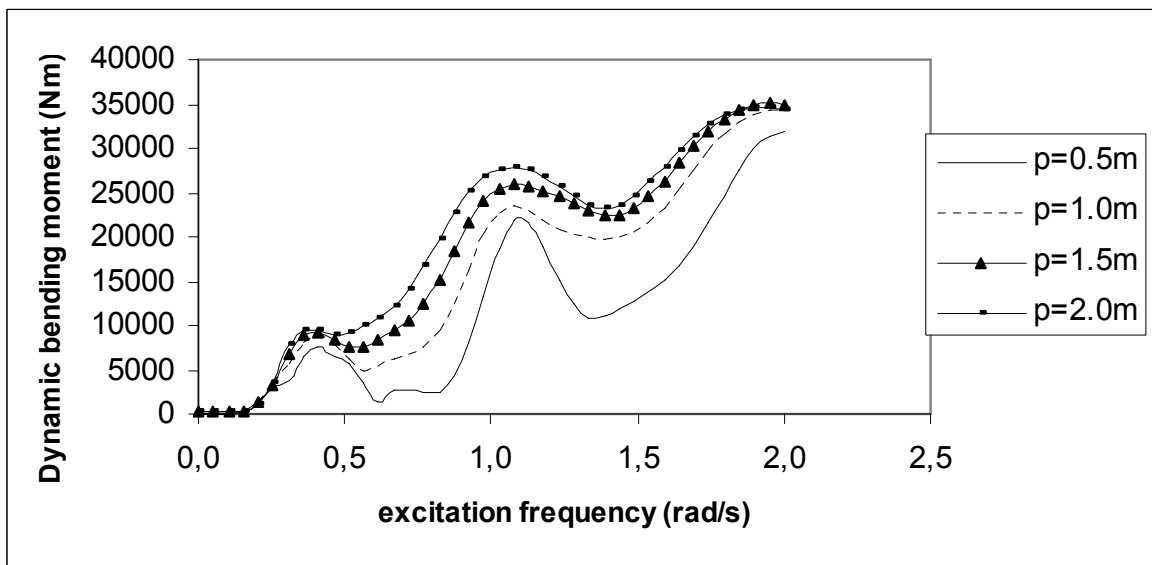
Διάγραμμα 46α: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\ddot{\Omega}$ στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την ρ διέγερση.



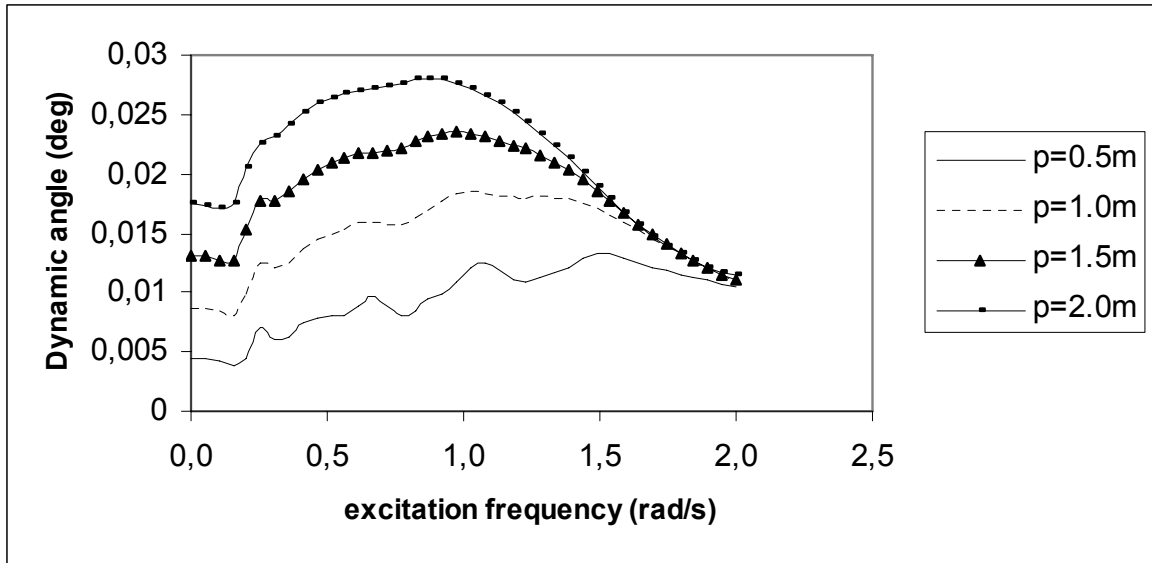
Διάγραμμα 46β: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\ddot{\Omega}$ στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την ρ διέγερση.



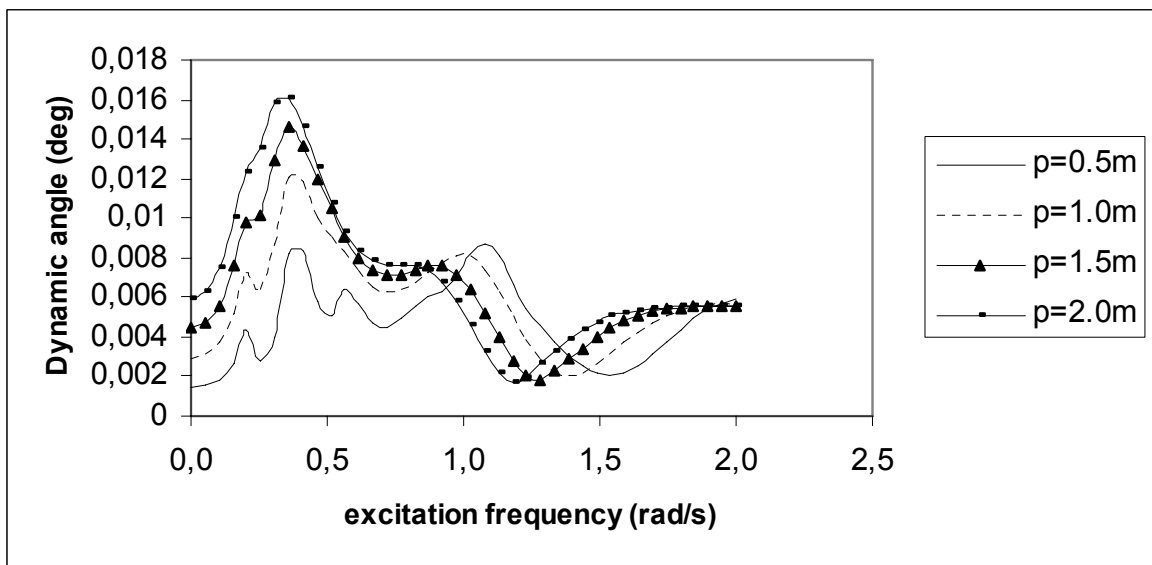
Διάγραμμα 46γ: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\ddot{\Omega}$ στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την ρ διέγερση.



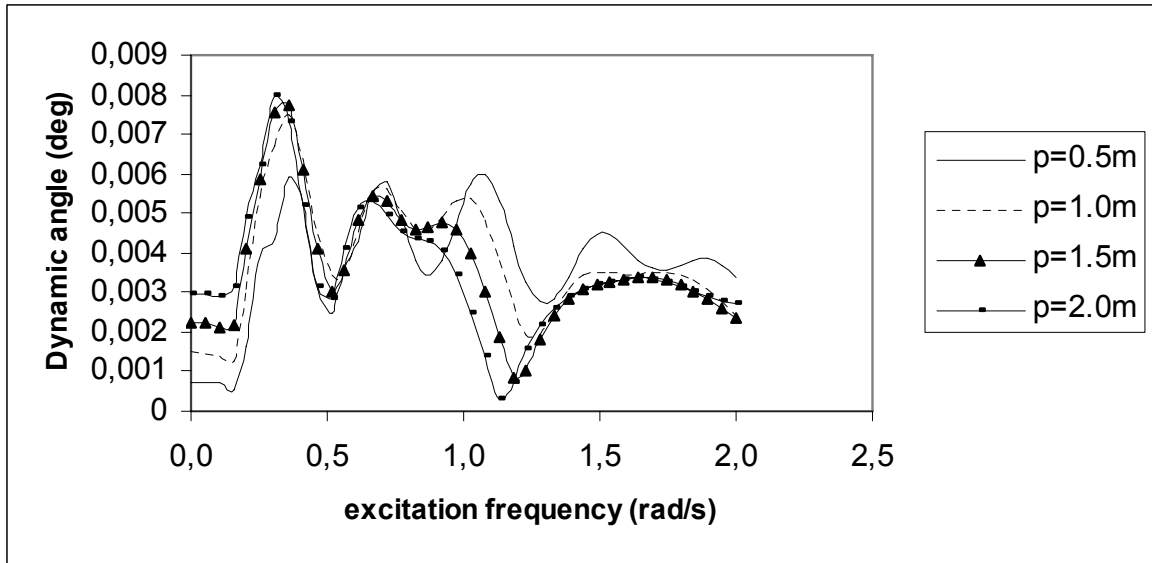
Διάγραμμα 46δ: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\ddot{\Omega}$ στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την ρ διέγερση.



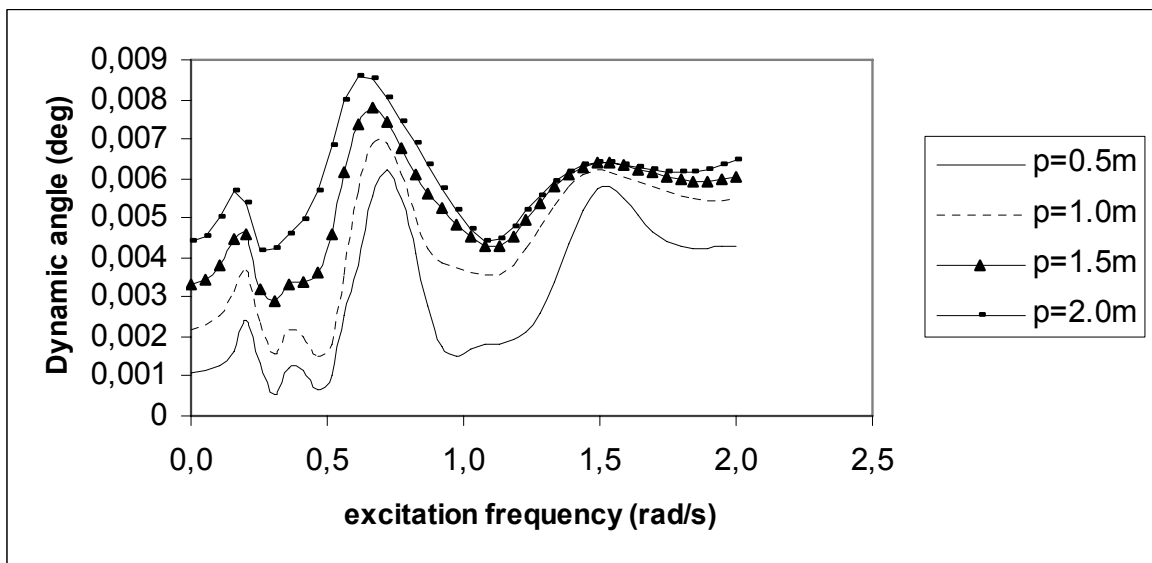
Διάγραμμα 47α: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική γωνία στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την ρ διέγερση.



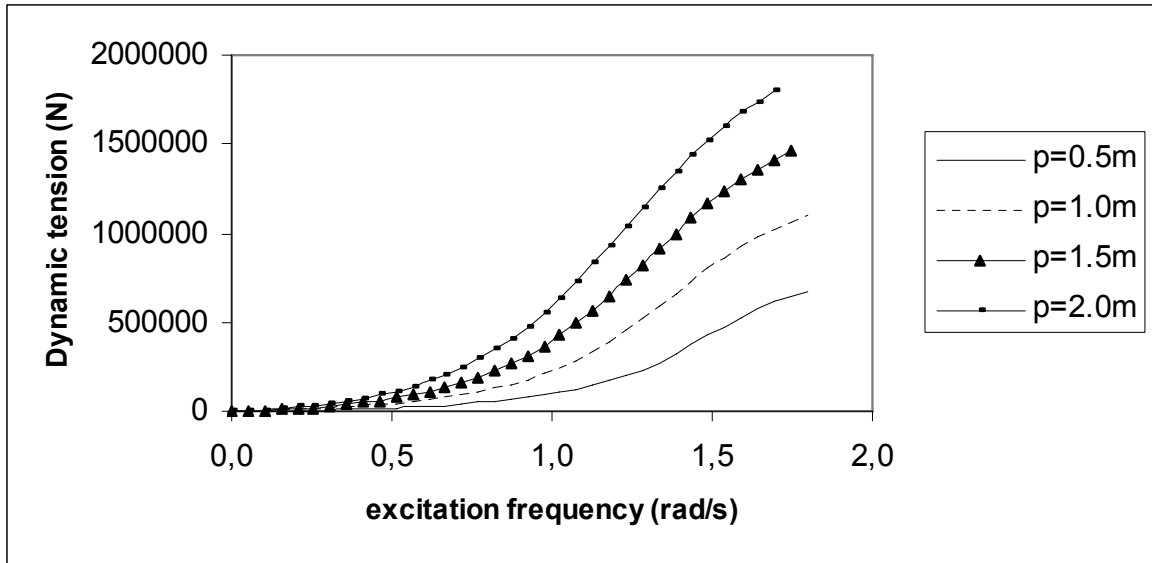
Διάγραμμα 47β: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική γωνία στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την ρ διέγερση.



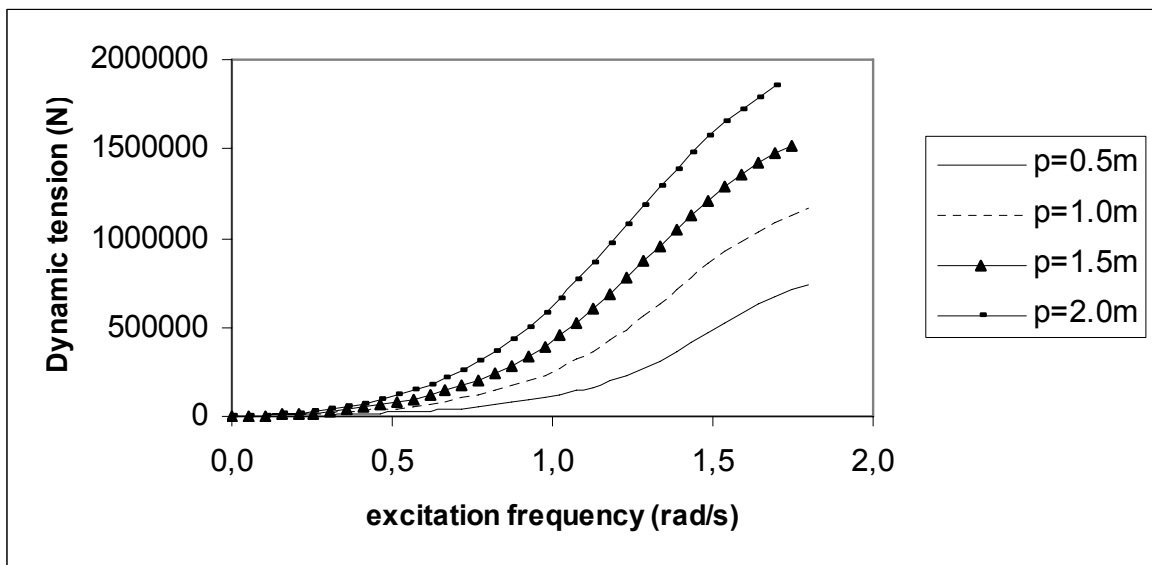
Διάγραμμα 47γ: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική γωνία στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την ρ διέγερση.



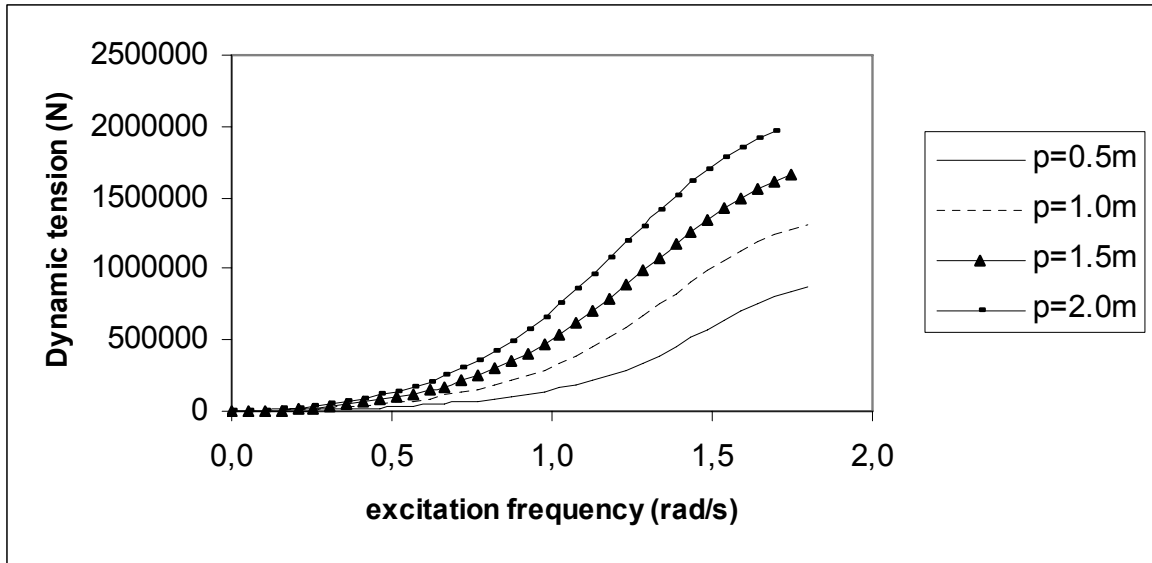
Διάγραμμα 47δ: Βάθος νερού 500 m. Δυναμική γωνία στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την ρ διέγερση.



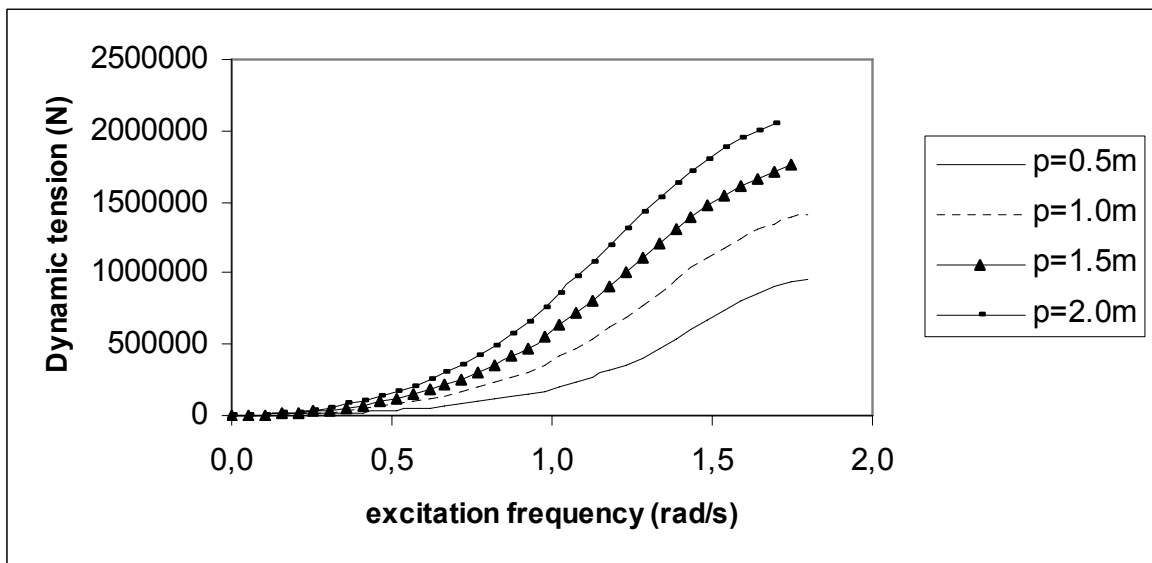
Διάγραμμα 48α: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την ρ διέγερση.



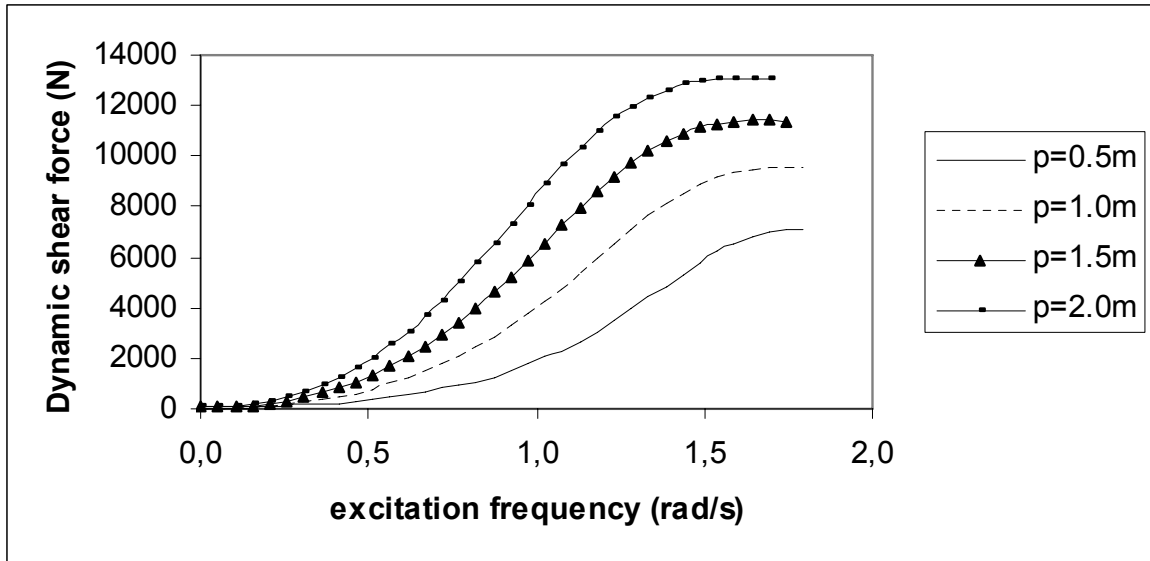
Διάγραμμα 48β: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την ρ διέγερση



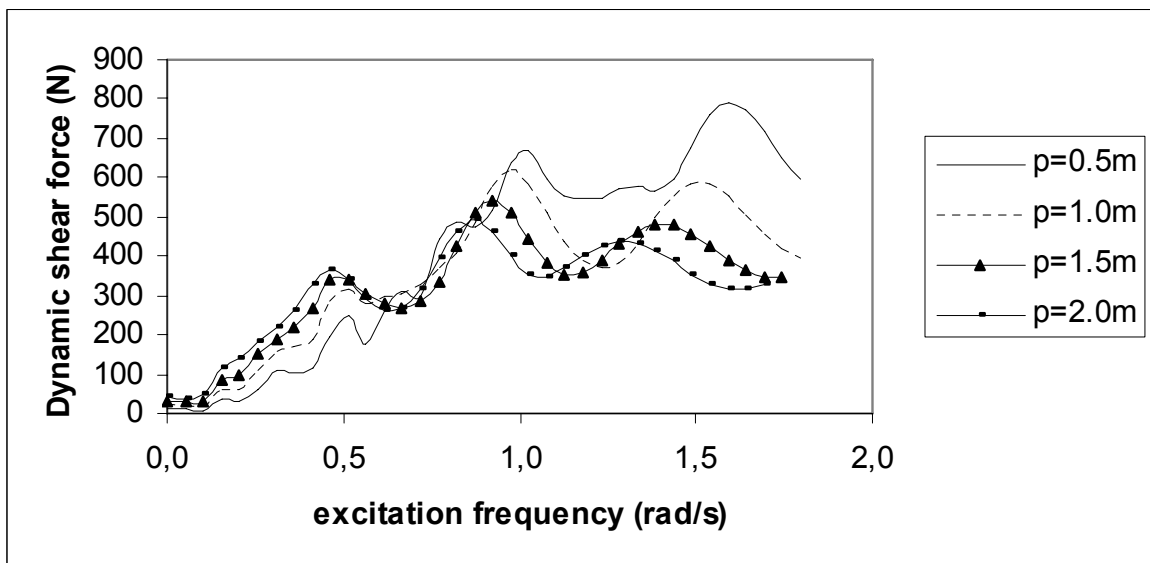
Διάγραμμα 48γ: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την ρ διέγερση.



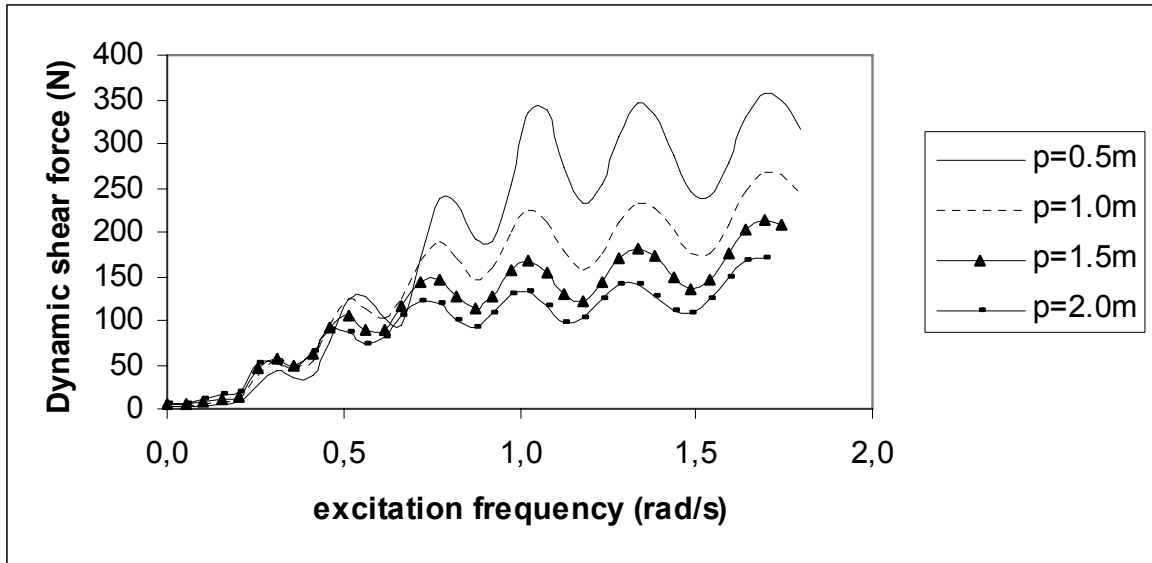
Διάγραμμα 48δ: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την ρ διέγερση.



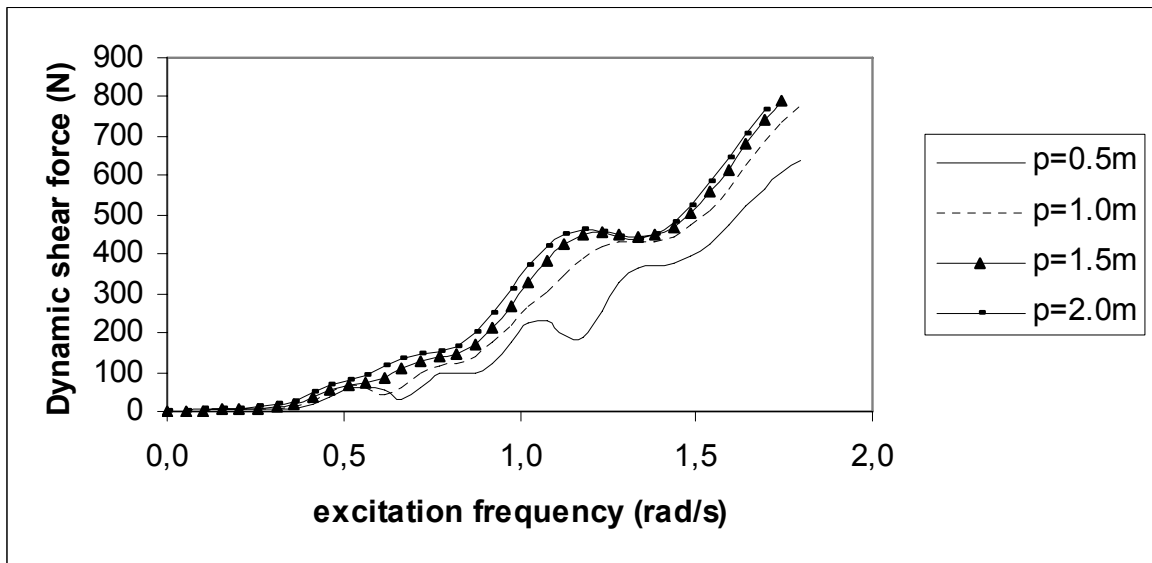
Διάγραμμα 49α: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την ρ διέγερση



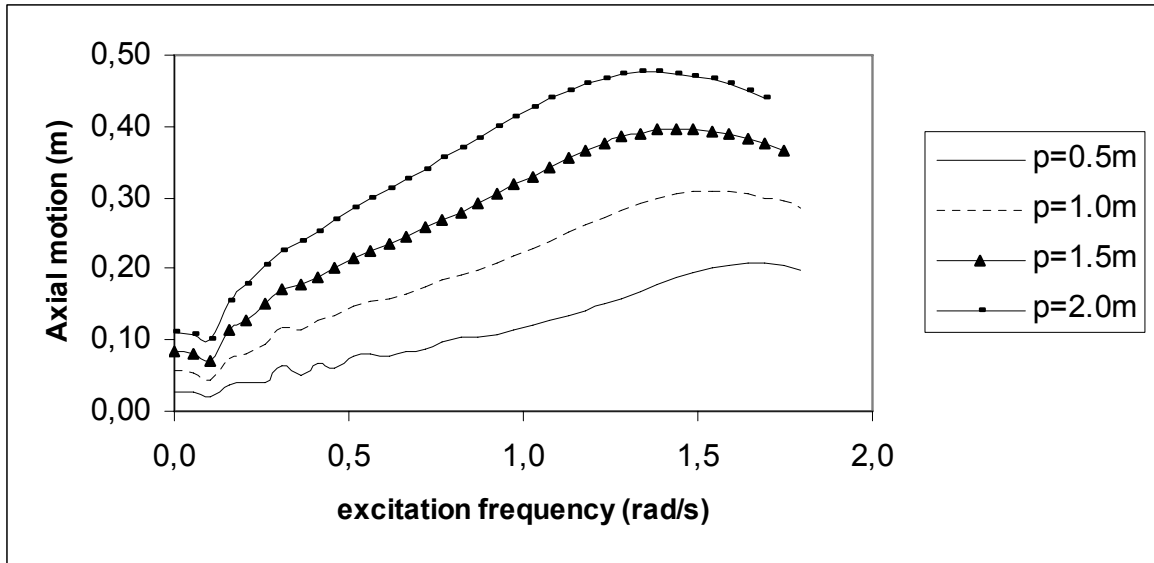
Διάγραμμα 49β: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την ρ διέγερση.



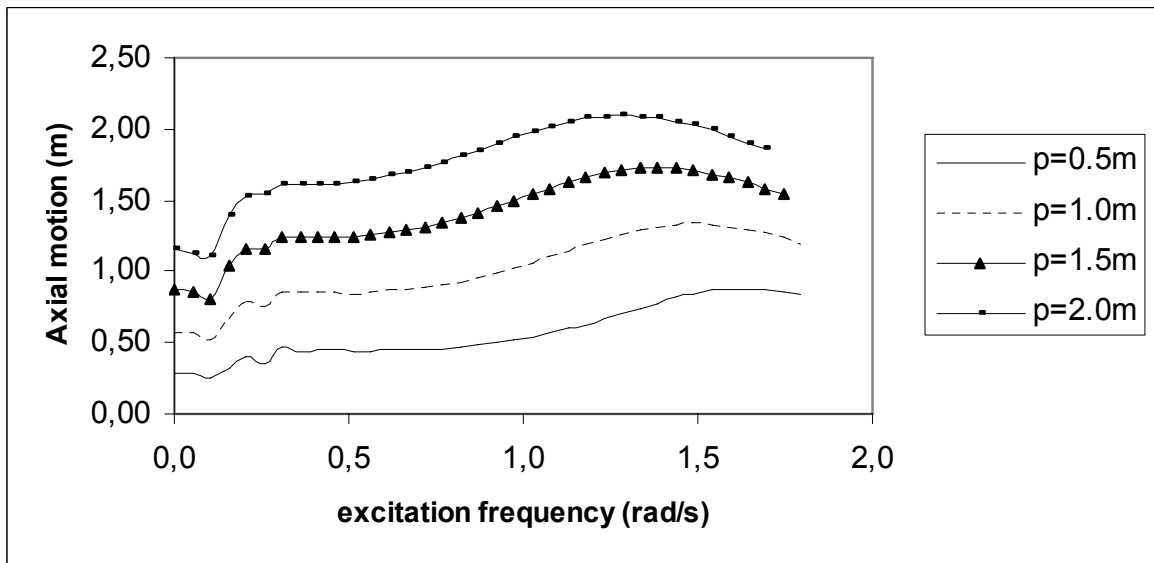
Διάγραμμα 49γ: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την ρ διέγερση.



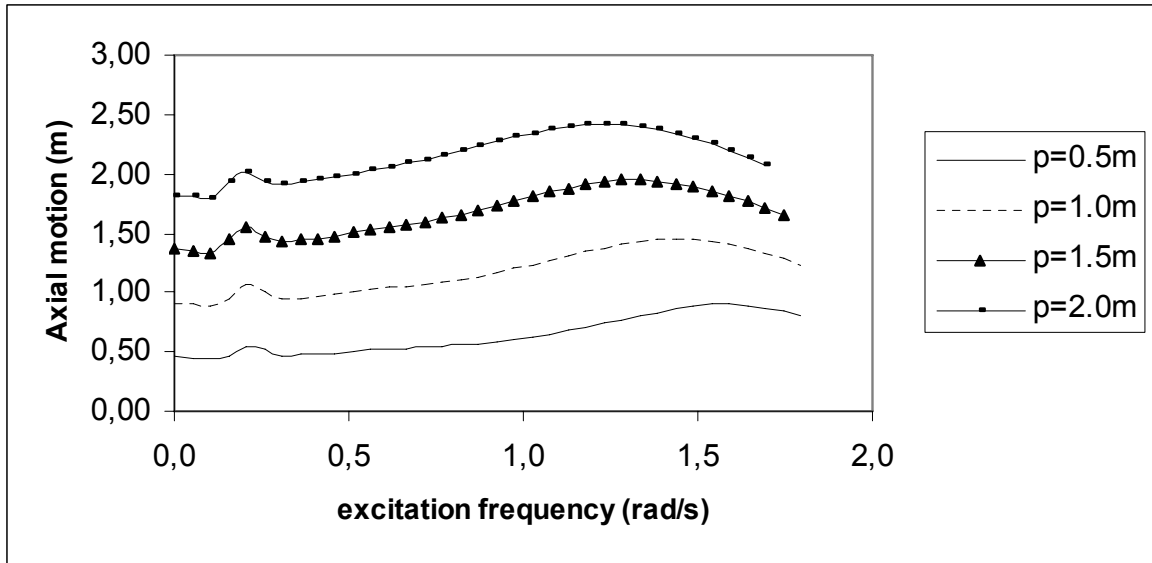
Διάγραμμα 49δ: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την ρ διέγερση.



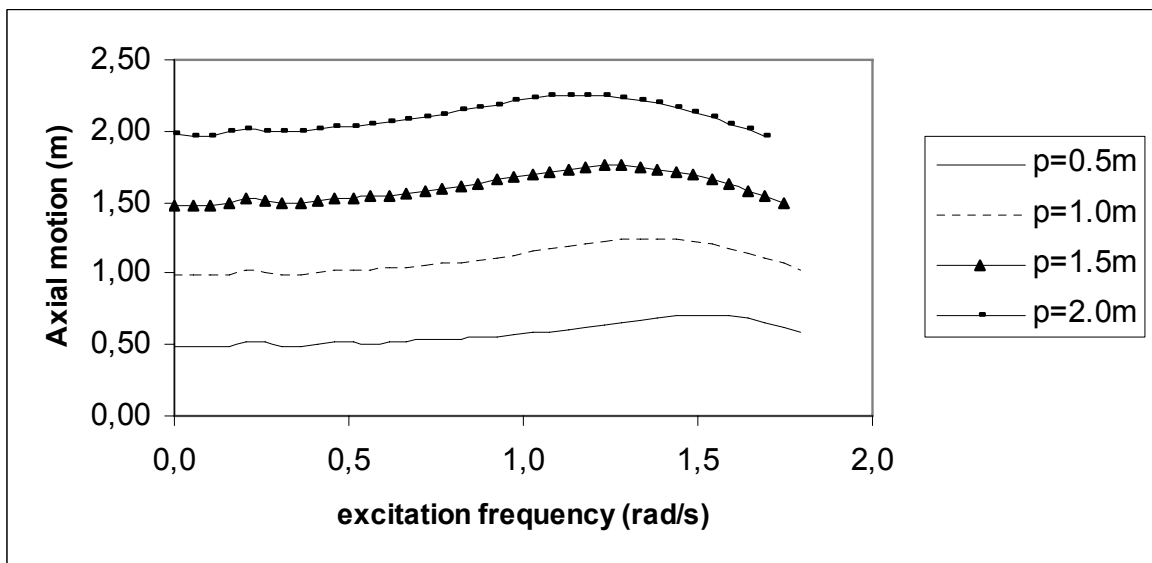
Διάγραμμα 50α: Βάθος νερού 800 m. Αξονική κίνηση ρ στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την ρ διέγερση.



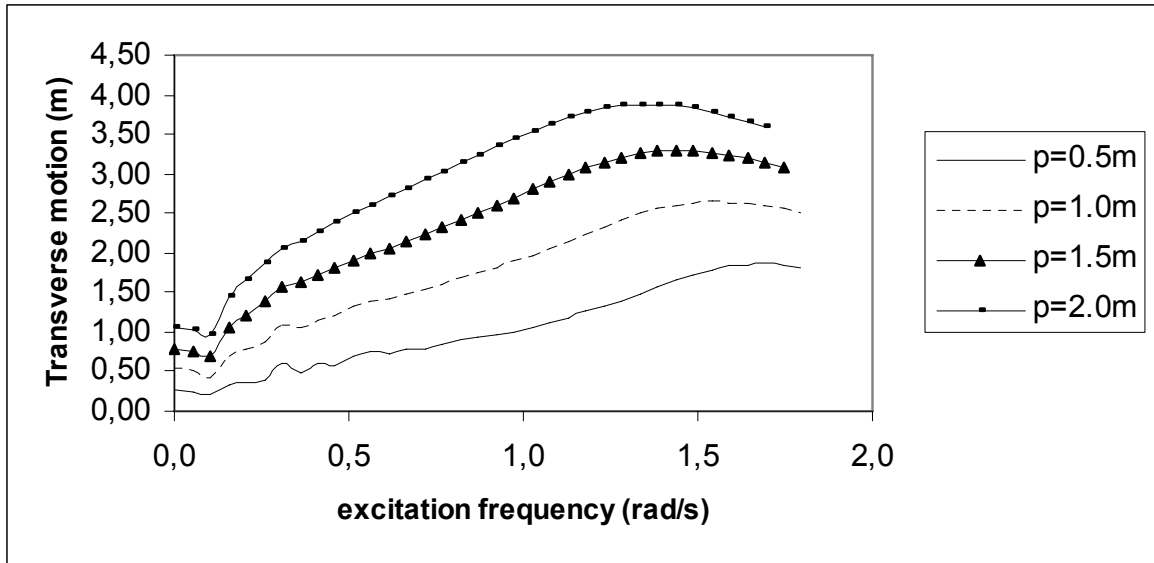
Διάγραμμα 50β: Βάθος νερού 800 m. Αξονική κίνηση ρ στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την ρ διέγερση.



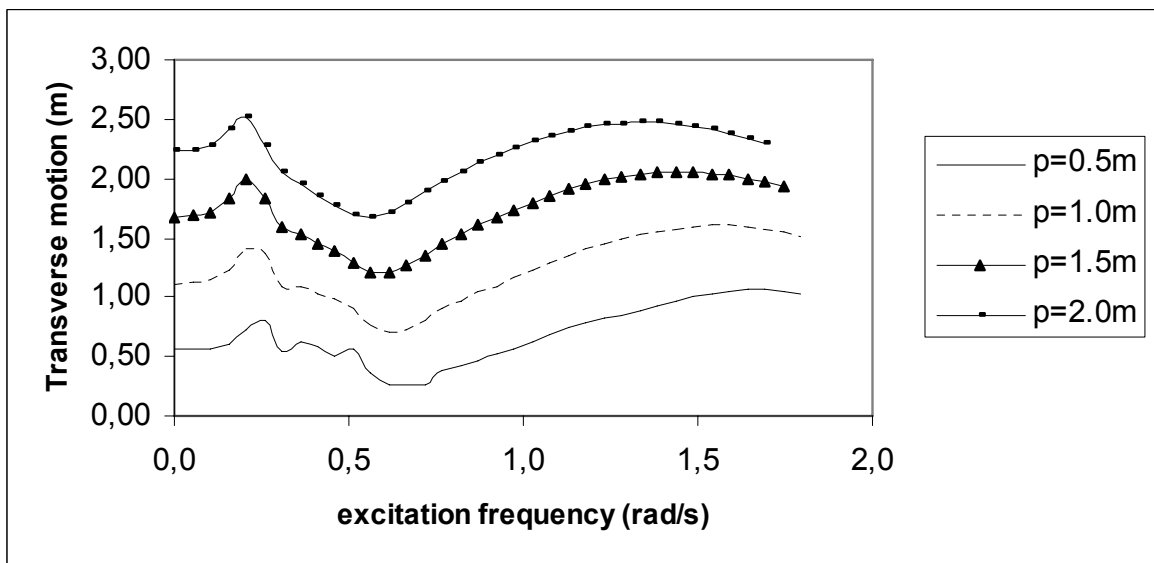
Διάγραμμα 50γ: Βάθος νερού 800 m. Αξονική κίνηση ρ στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την ρ διέγερση.



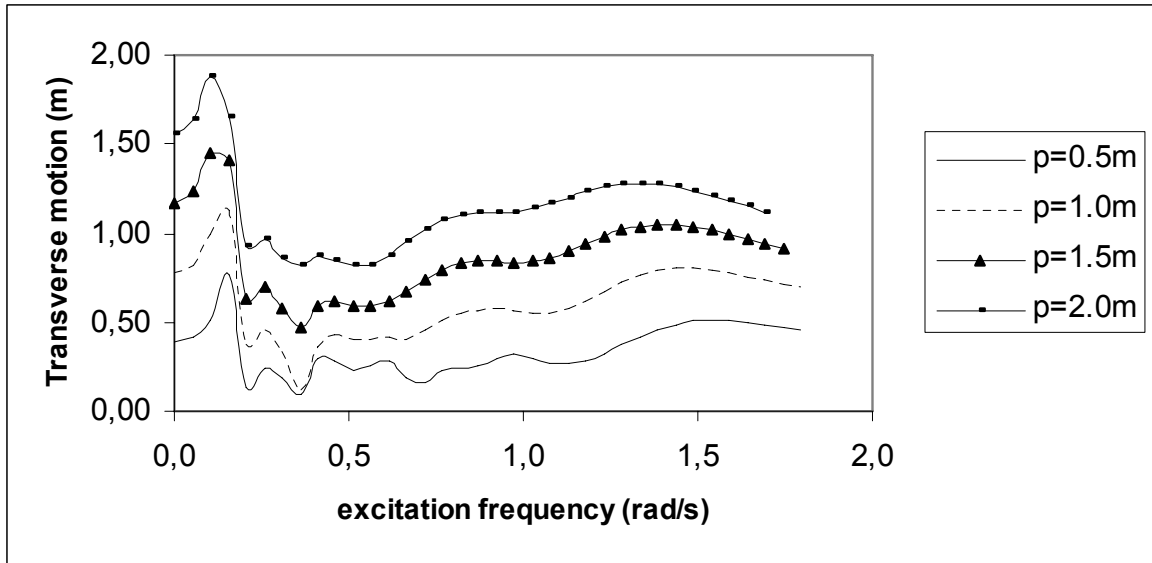
Διάγραμμα 50δ: Βάθος νερού 800 m. Αξονική κίνηση ρ στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την ρ διέγερση.



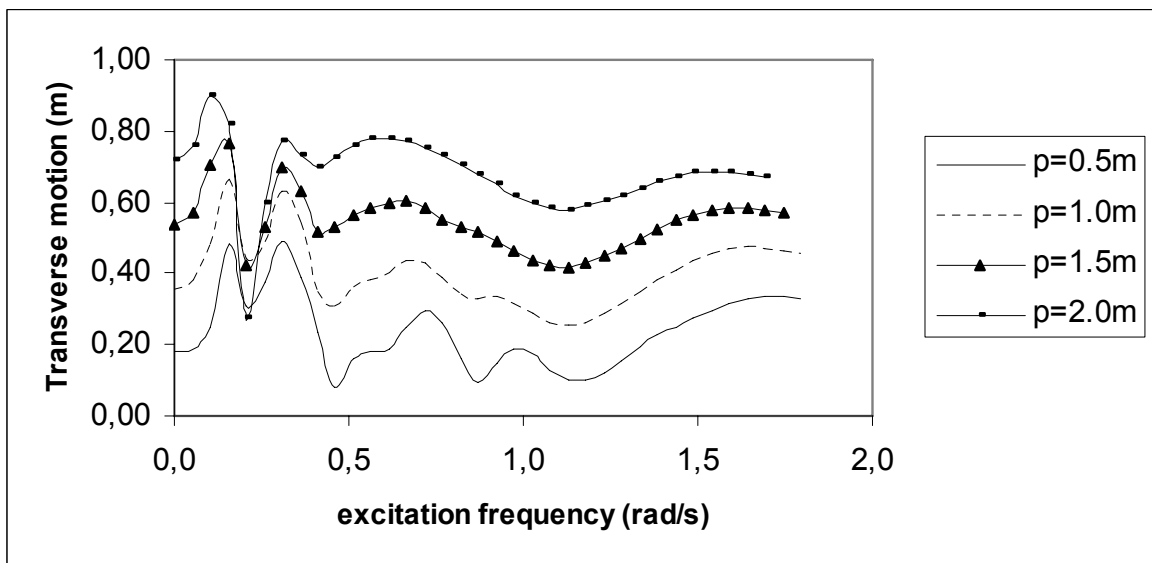
Διάγραμμα 51α: Βάθος νερού 800 m. Εγκάρσια κίνηση η στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την ρ διέγερση.



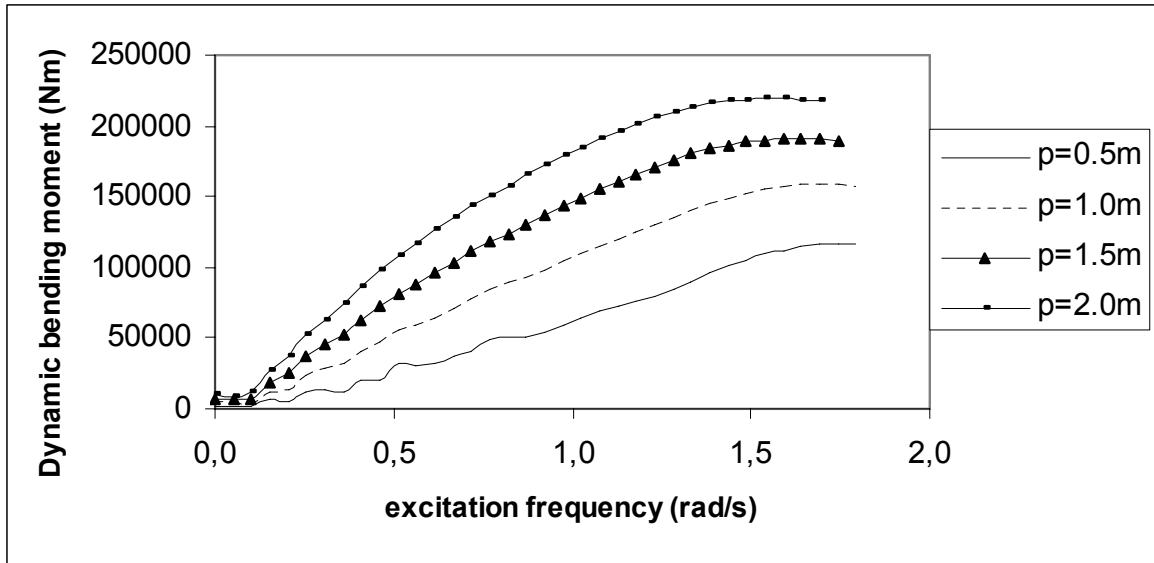
Διάγραμμα 51β: Βάθος νερού 800 m. Εγκάρσια κίνηση η στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την ρ διέγερση.



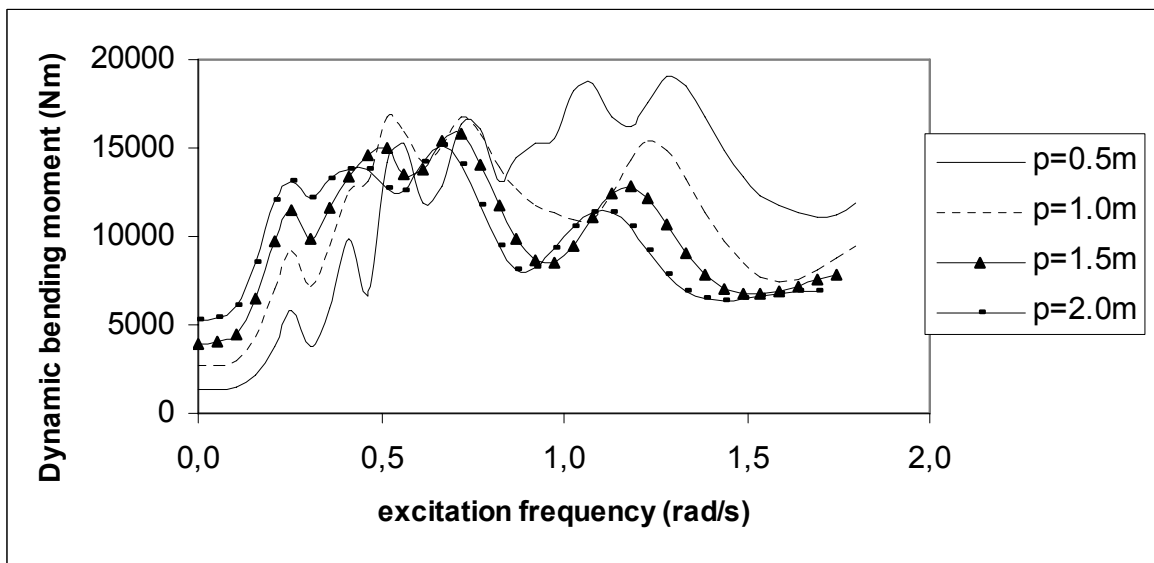
Διάγραμμα 51γ: Βάθος νερού 800 m. Εγκάρσια κίνηση η στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την ρ διέγερση.



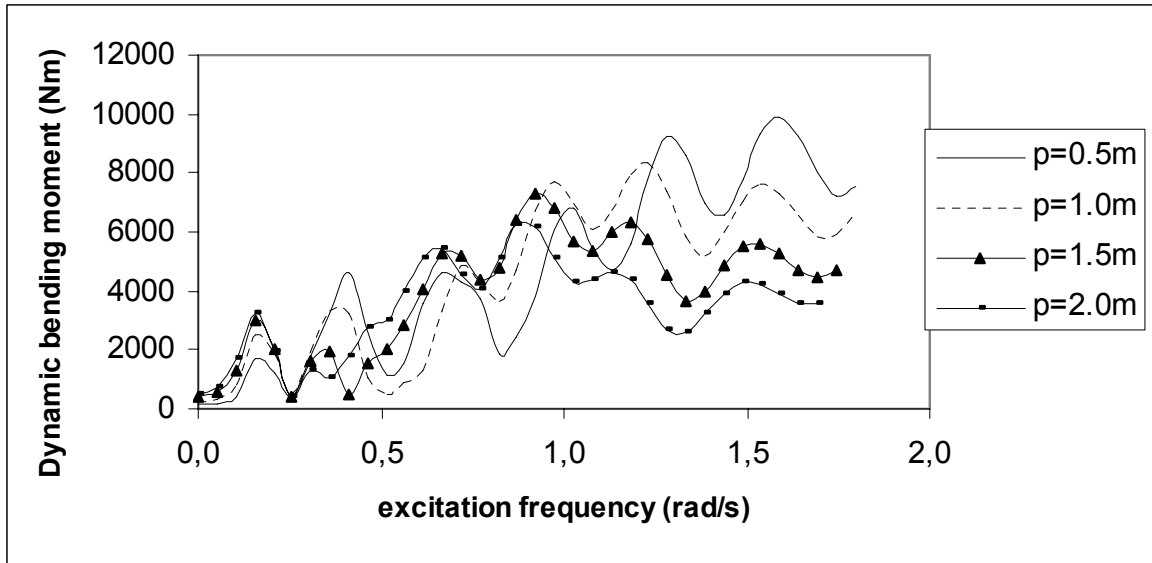
Διάγραμμα 51δ: Βάθος νερού 800 m. Εγκάρσια κίνηση η στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την ρ διέγερση.



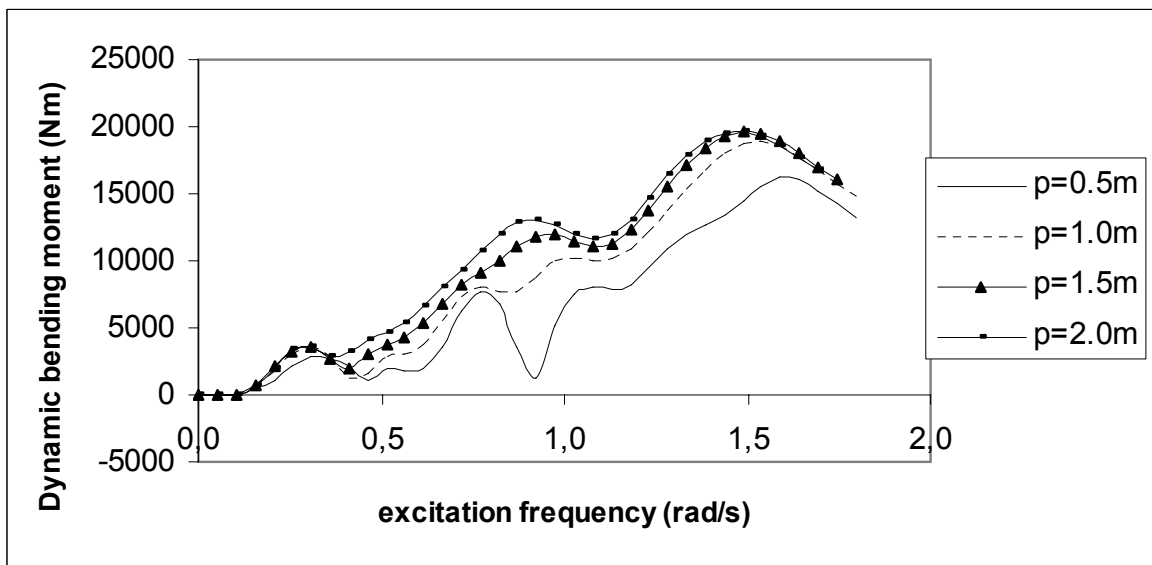
Διάγραμμα 52α: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\ddot{\Omega}$ στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την ρ διέγερση.



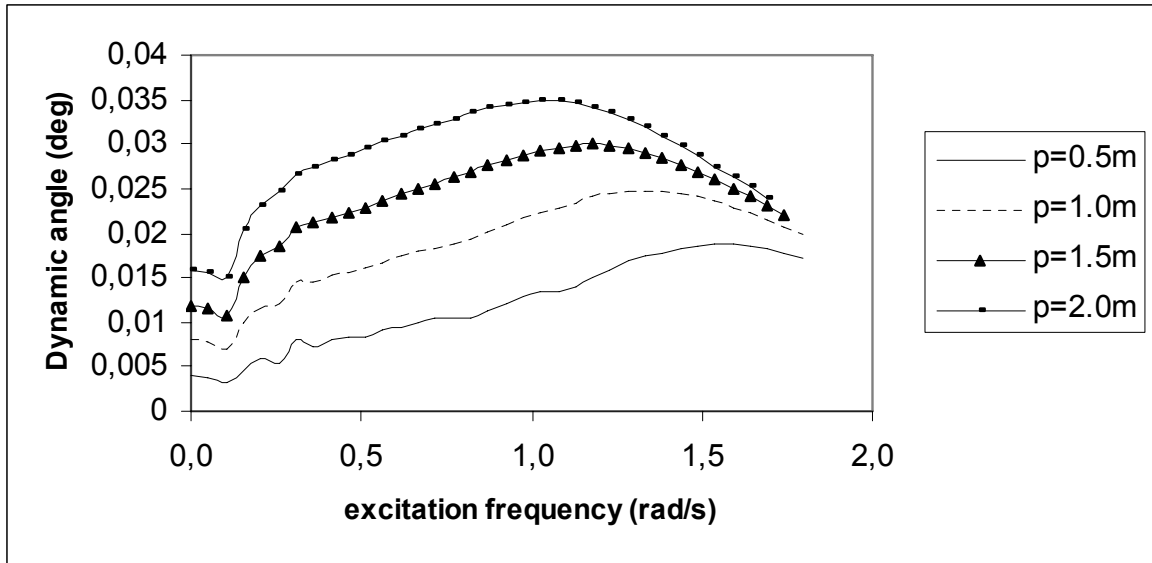
Διάγραμμα 52β: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\ddot{\Omega}$ στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την ρ διέγερση.



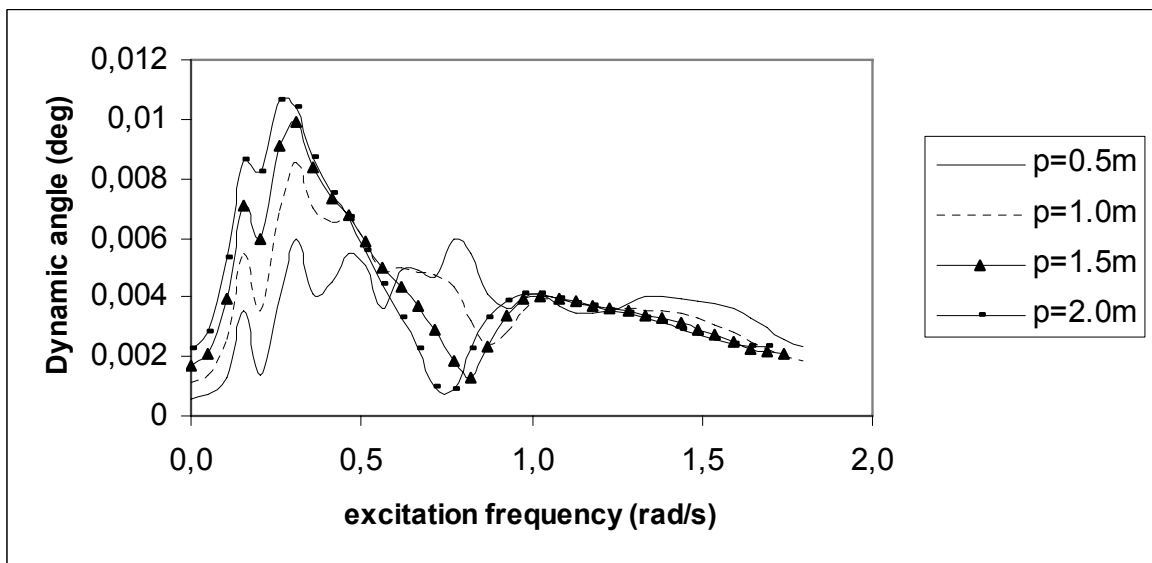
Διάγραμμα 52γ: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την ρ διέγερση



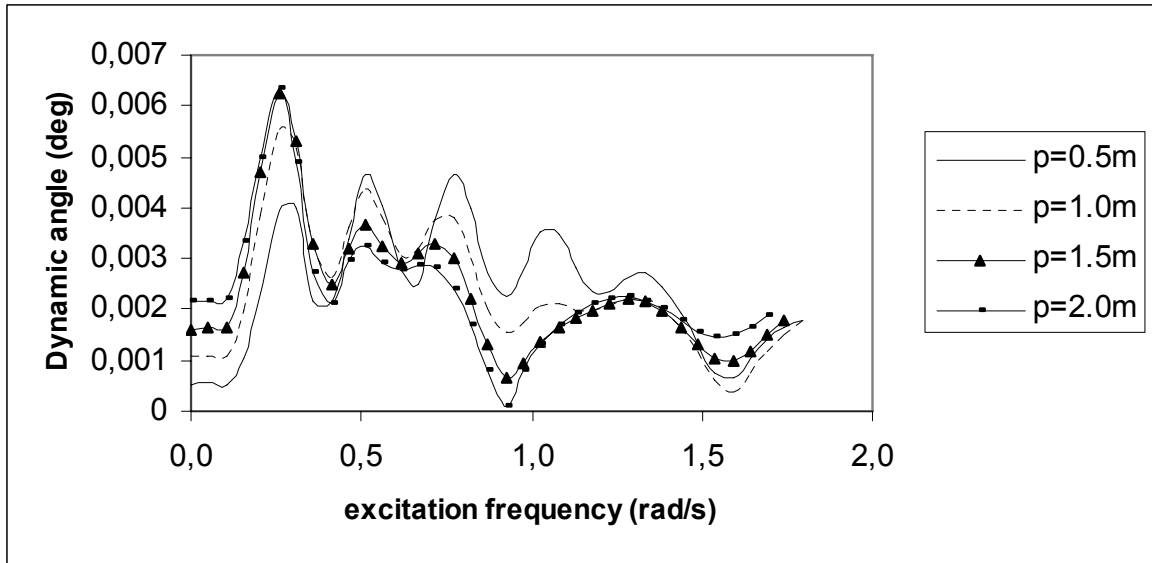
Διάγραμμα 52δ: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την ρ διέγερση.



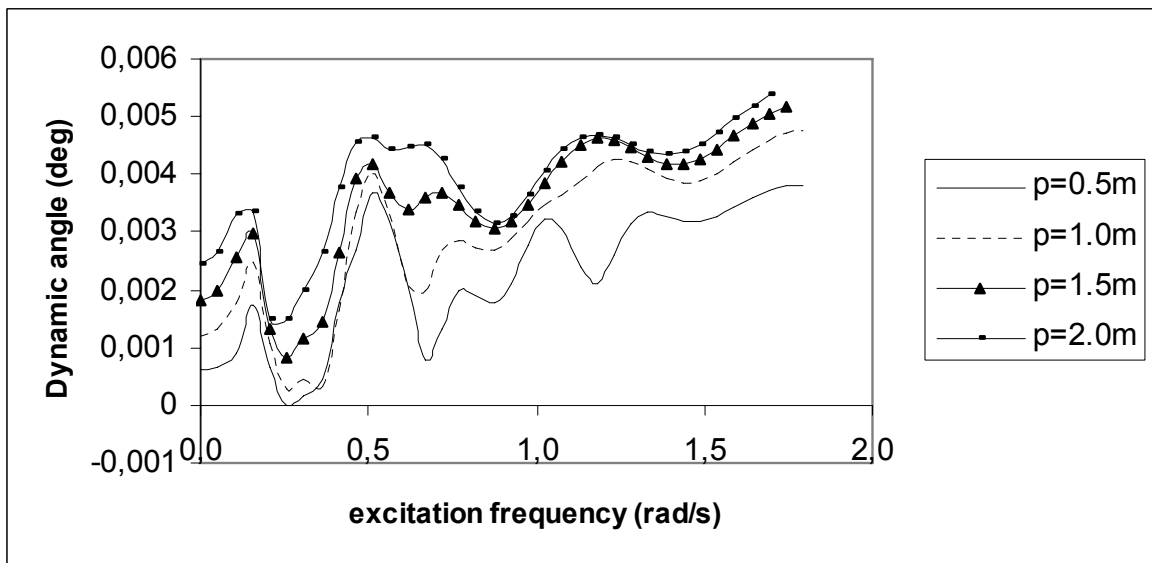
Διάγραμμα 53α: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική γωνία στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την ρ διέγερση.



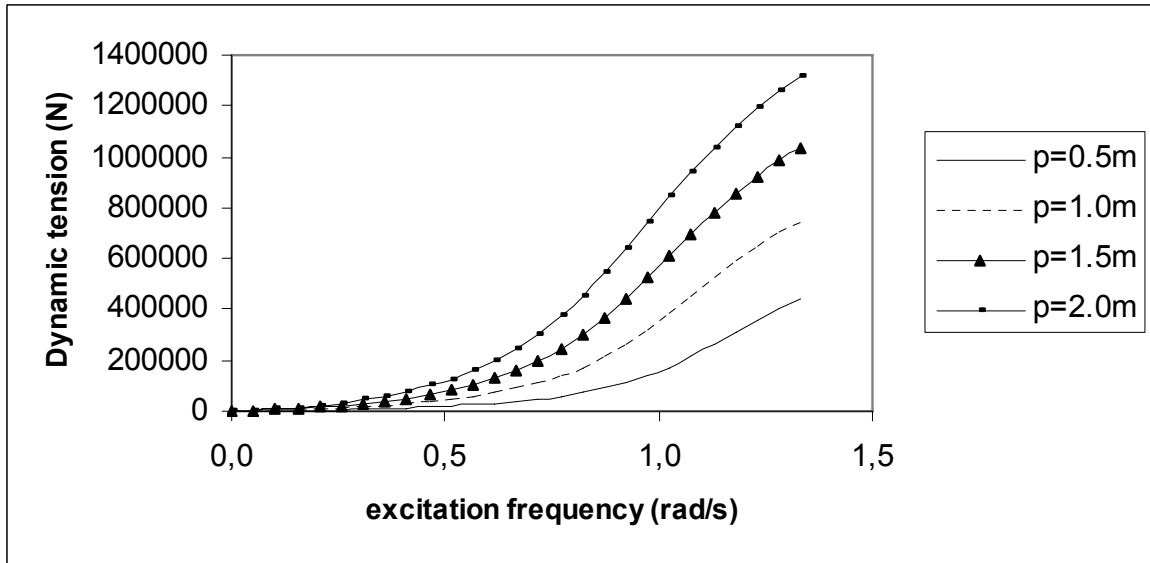
Διάγραμμα 53β: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική γωνία στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την ρ διέγερση.



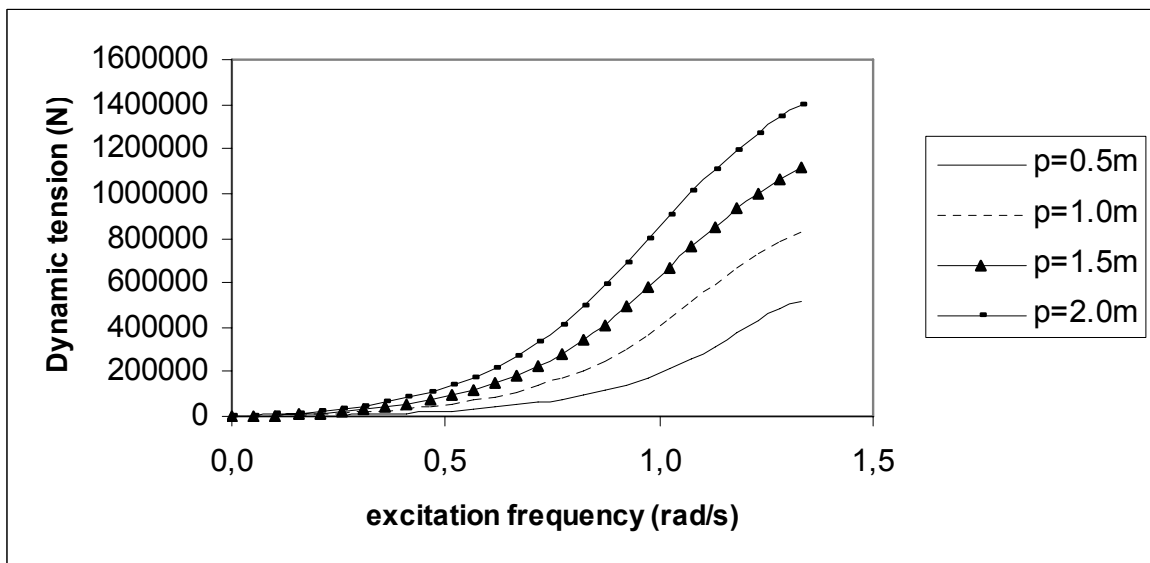
Διάγραμμα 53γ: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική γωνία στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την ρ διέγερση.



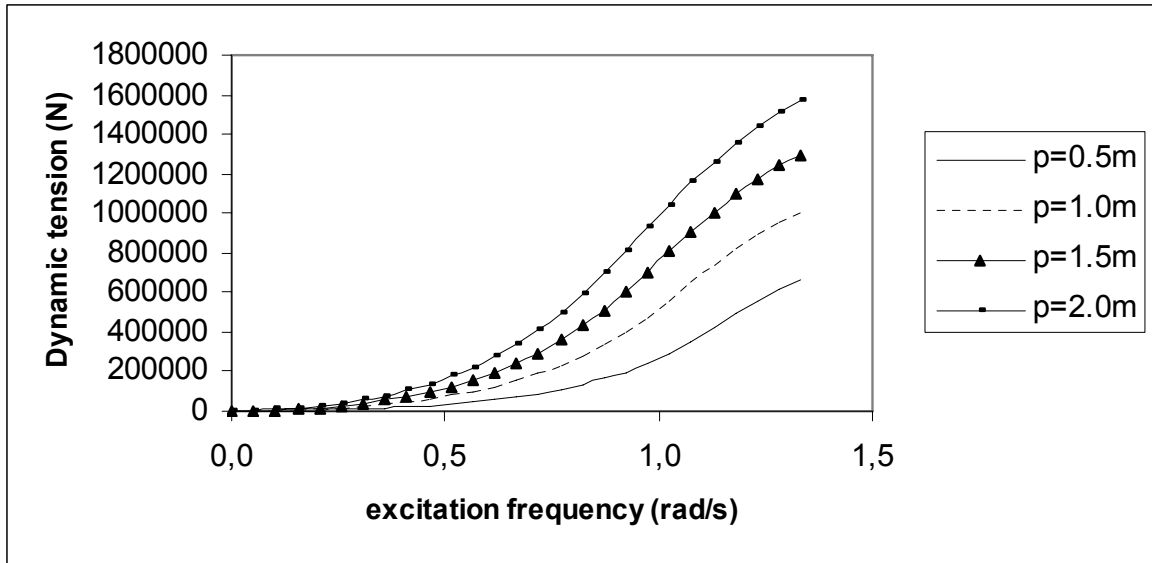
Διάγραμμα 53δ: Βάθος νερού 800 m. Δυναμική γωνία στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την ρ διέγερση.



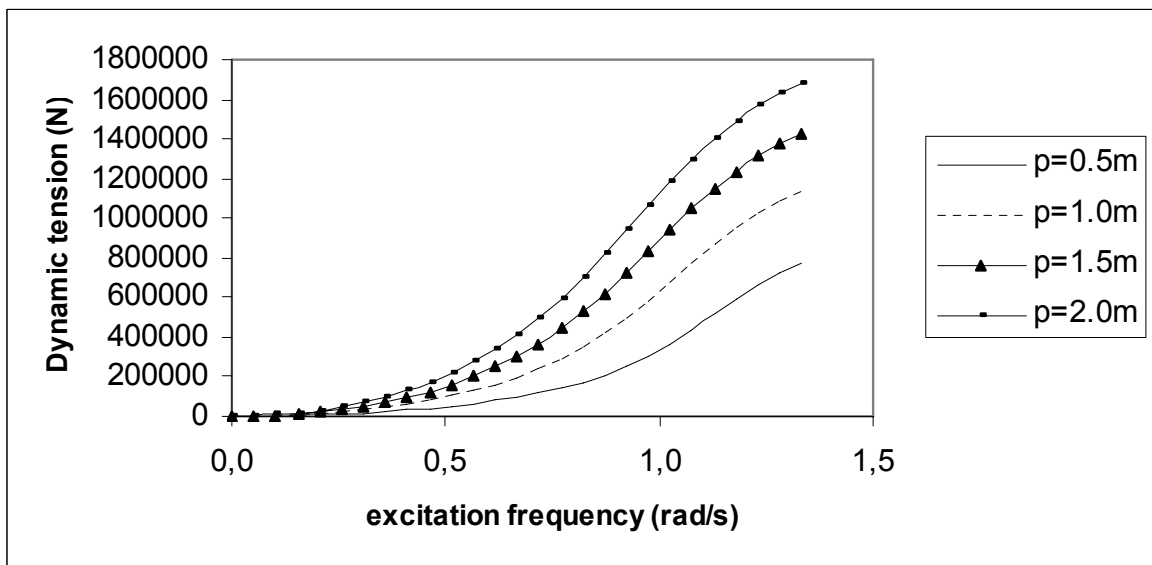
Διάγραμμα 54α: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την ρ διέγερση.



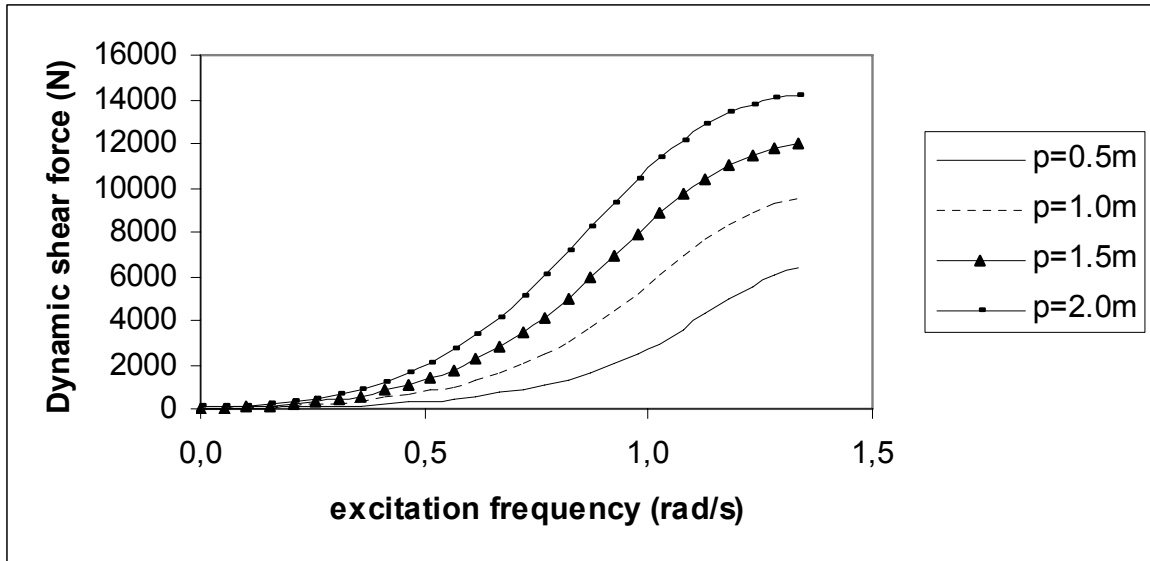
Διάγραμμα 54β: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την ρ διέγερση.



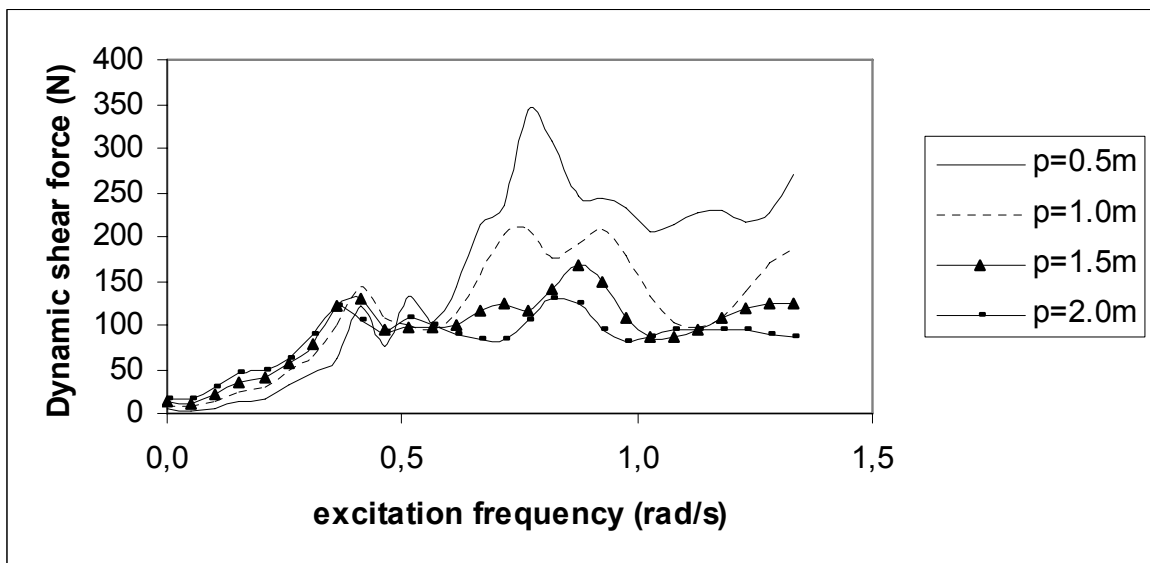
Διάγραμμα 54γ: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την p διέγερση.



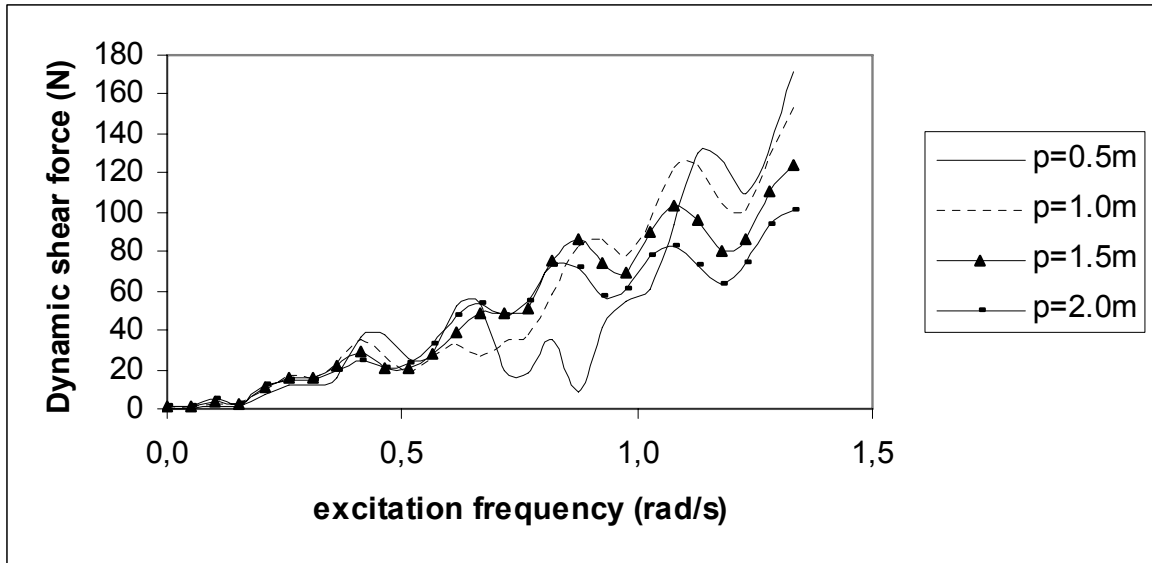
Διάγραμμα 54δ: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την p διέγερση.



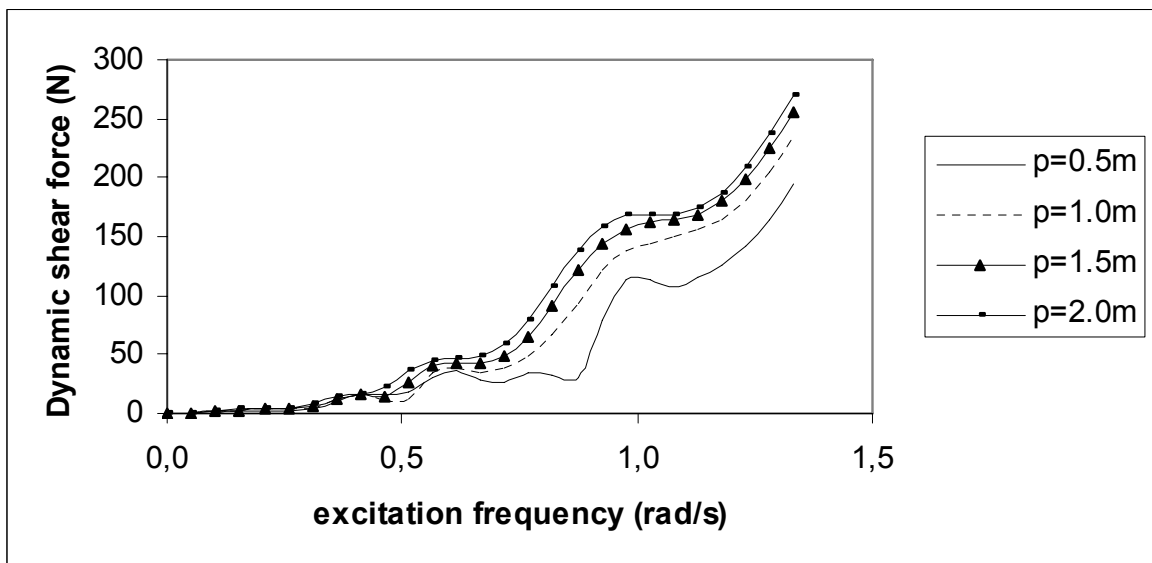
Διάγραμμα 55α: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την ρ διέγερση.



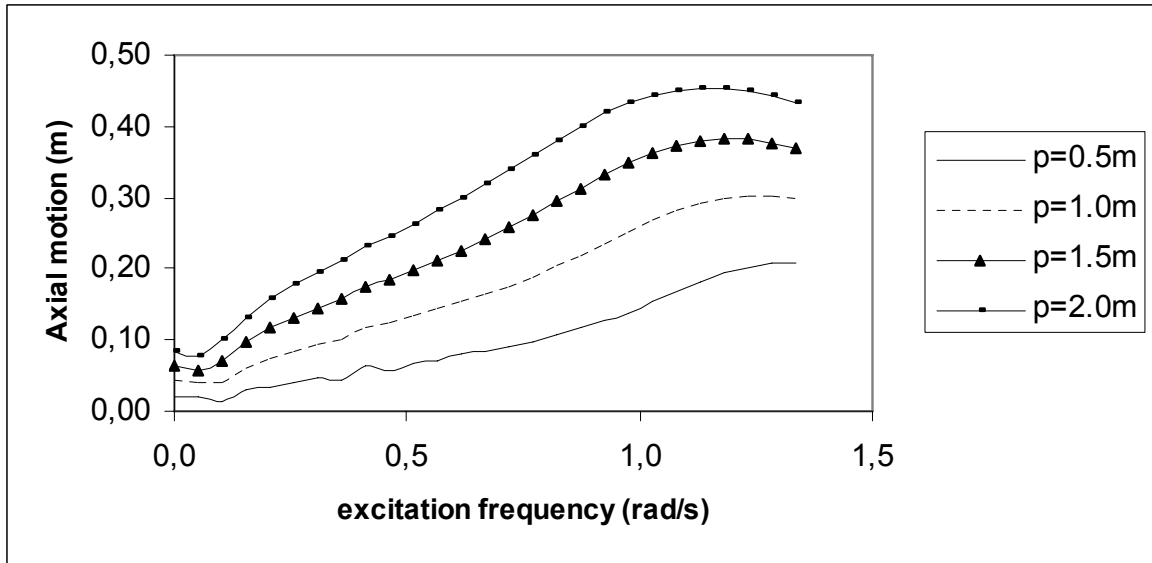
Διάγραμμα 55β: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την ρ διέγερση.



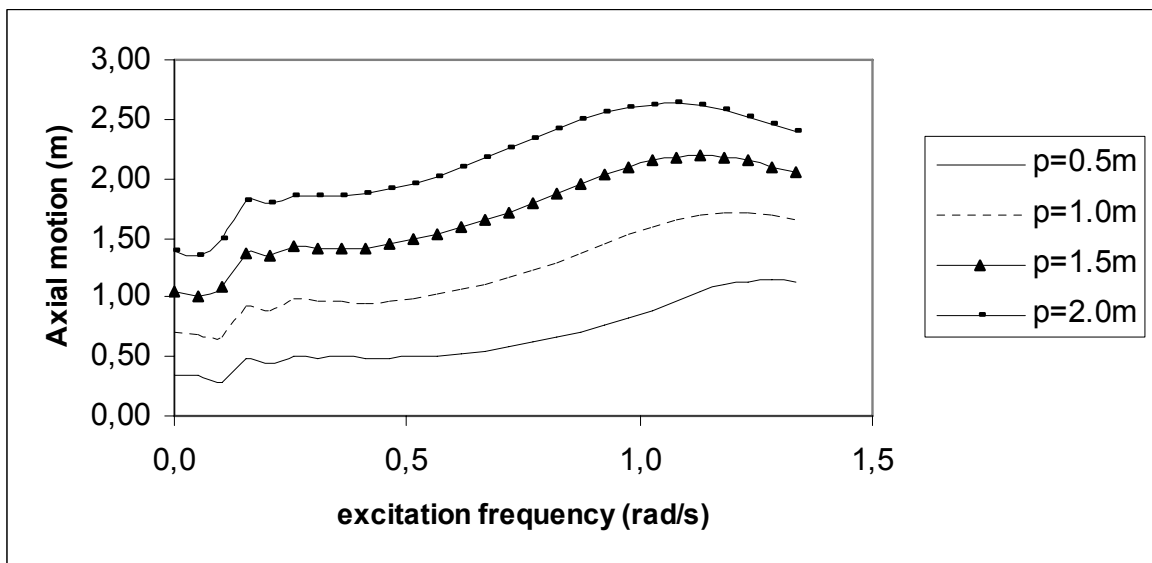
Διάγραμμα 55γ: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την ρ διέγερση.



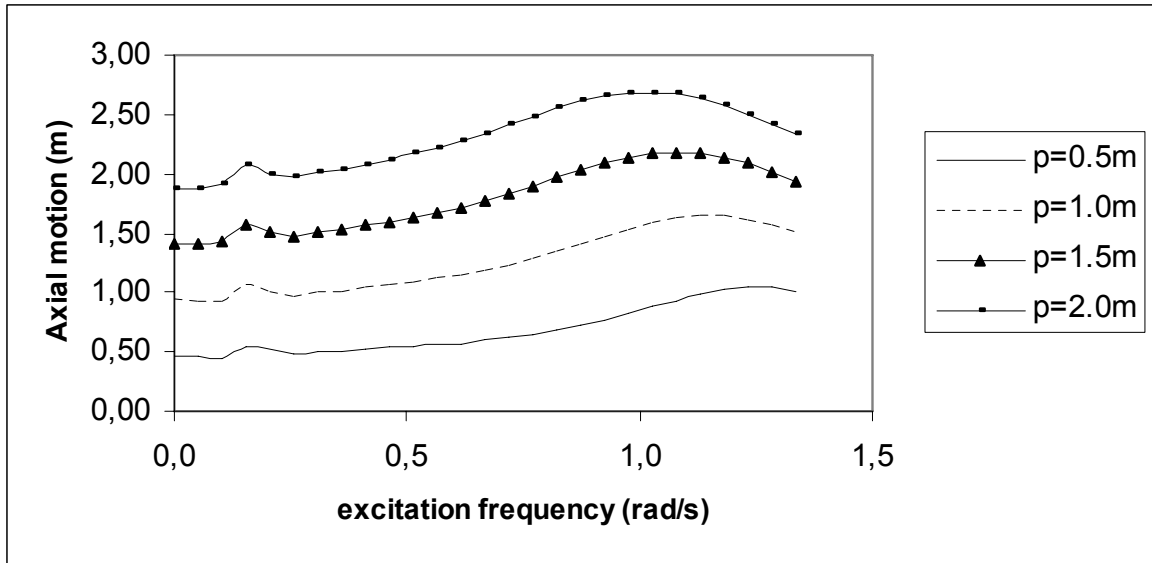
Διάγραμμα 55δ: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την ρ διέγερση.



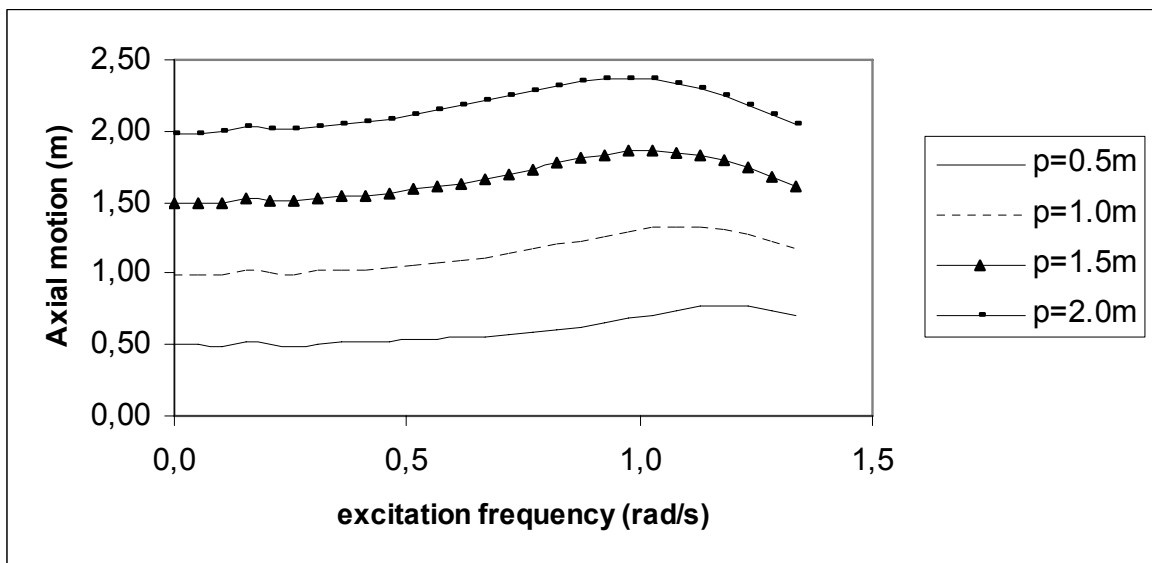
Διάγραμμα 56α: Βάθος νερού 1200 m. Αξονική κίνηση ρ στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την ρ διέγερση.



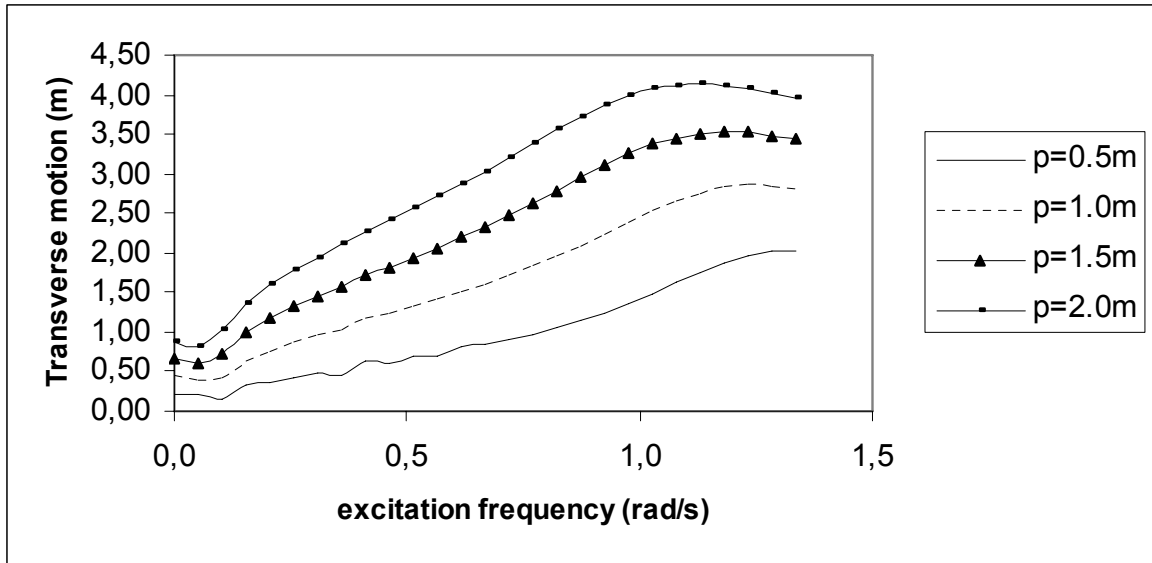
Διάγραμμα 56β: Βάθος νερού 1200 m. Αξονική κίνηση ρ στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την ρ διέγερση.



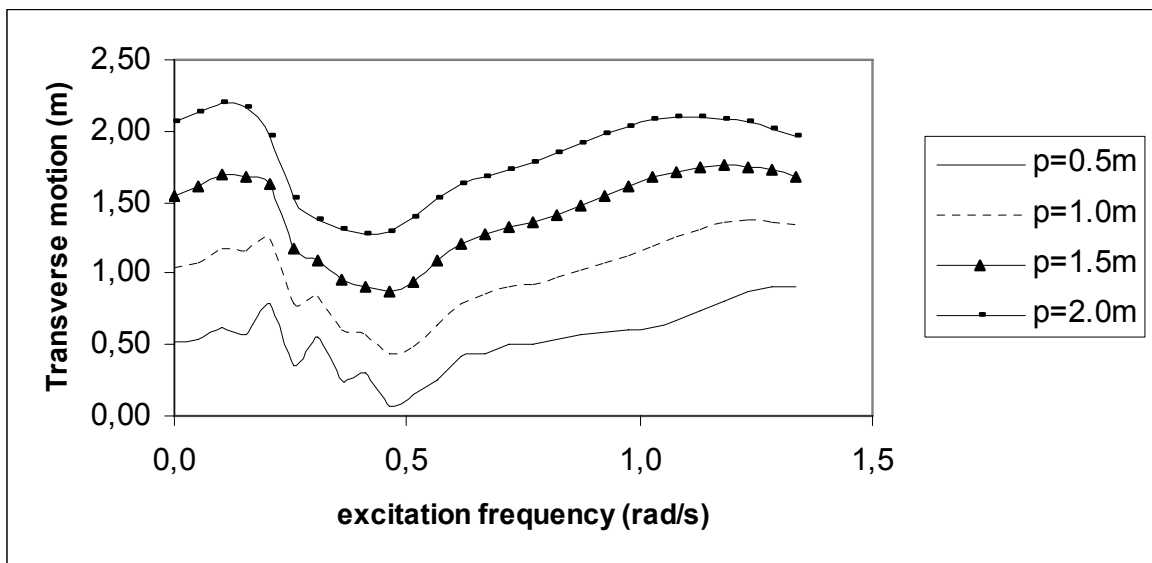
Διάγραμμα 56γ: Βάθος νερού 1200 m. Αξονική κίνηση ρ στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την ρ διέγερση.



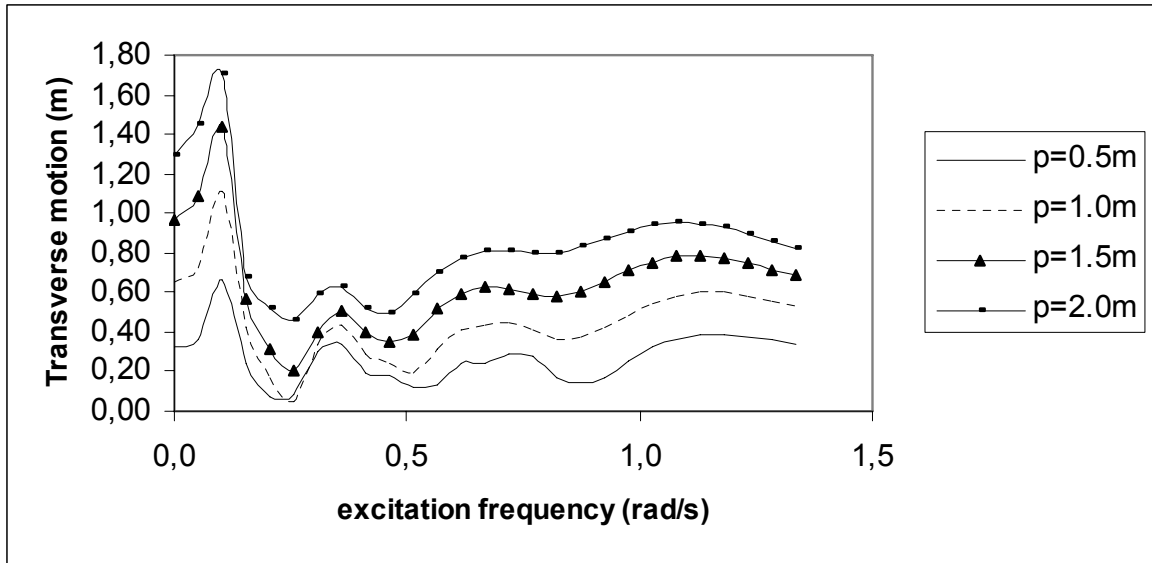
Διάγραμμα 56δ: Βάθος νερού 1200 m. Αξονική κίνηση ρ στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την ρ διέγερση.



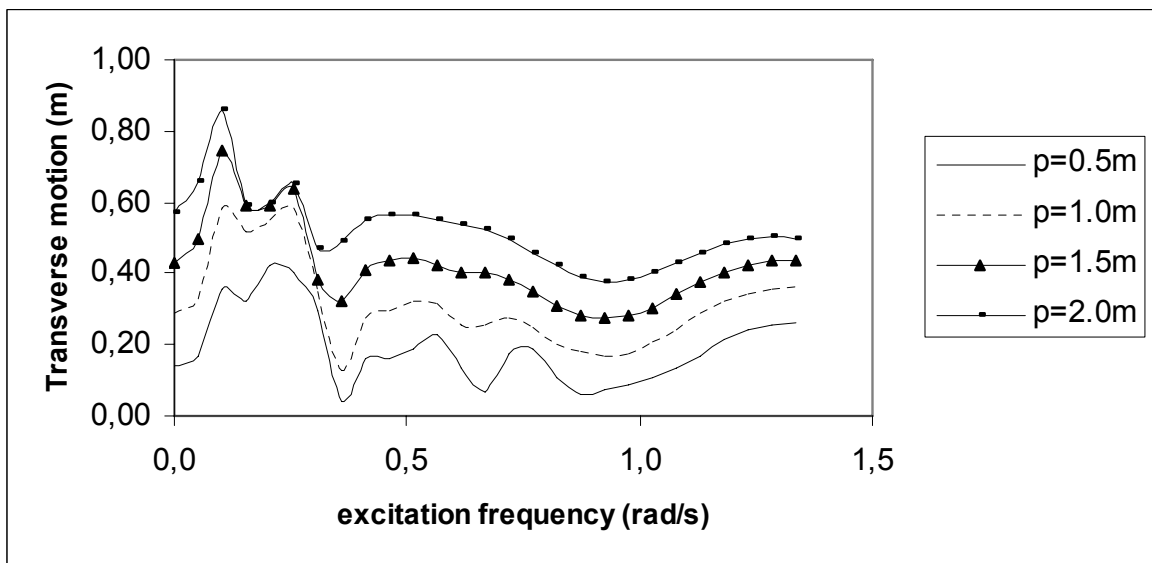
Διάγραμμα 57α: Βάθος νερού 1200 m. Εγκάρσια κίνηση q στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την ρ διέγερση.



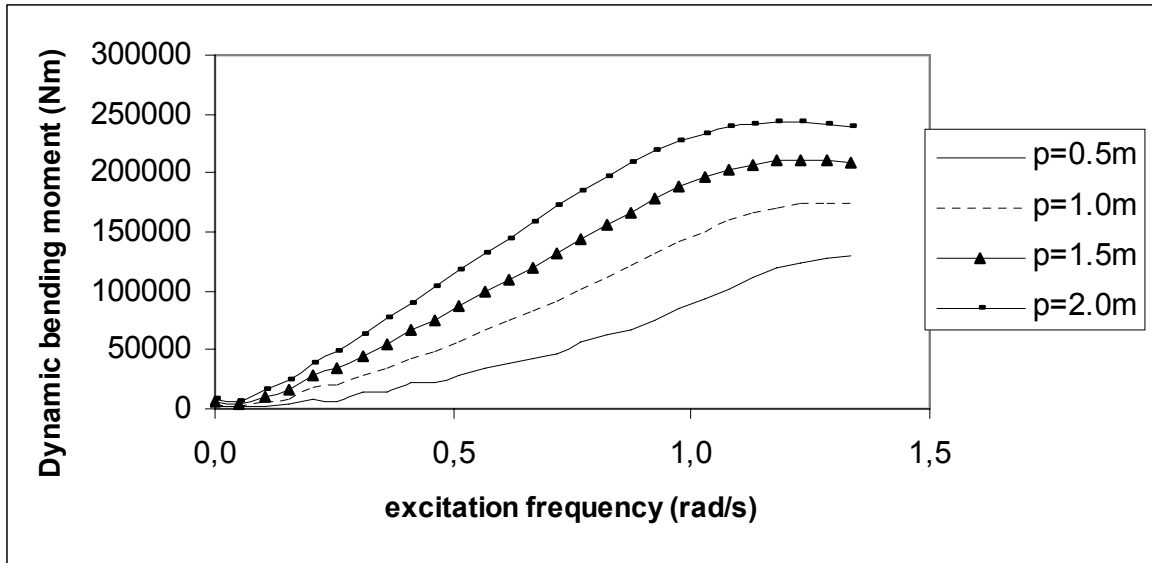
Διάγραμμα 57β: Βάθος νερού 1200 m. Εγκάρσια κίνηση q στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την ρ διέγερση.



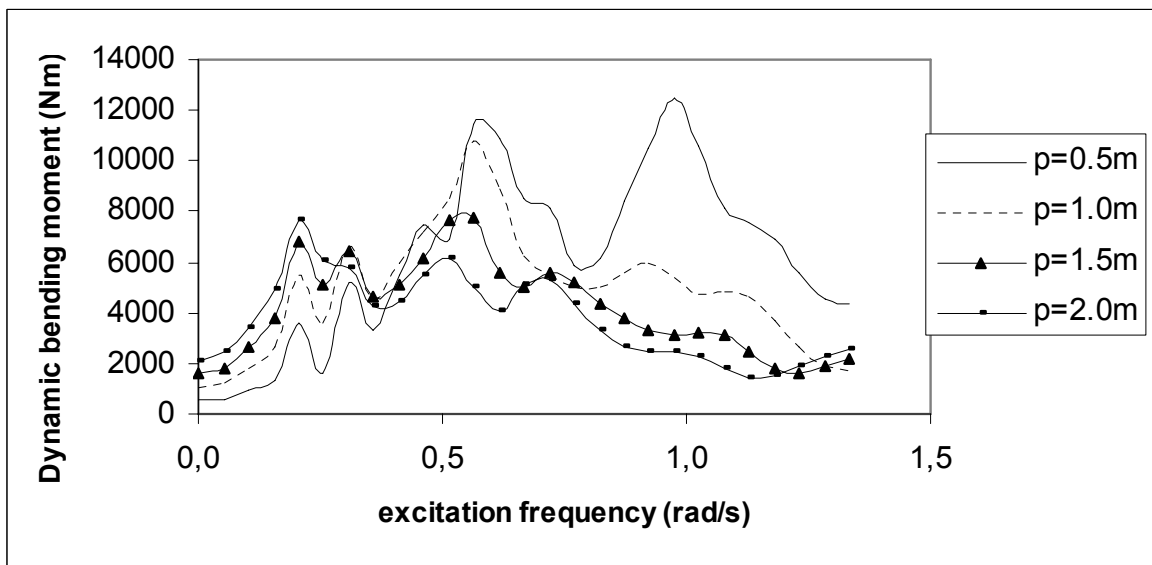
Διάγραμμα 57γ: Βάθος νερού 1200 m. Εγκάρσια κίνηση η στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την ρ διέγερση.



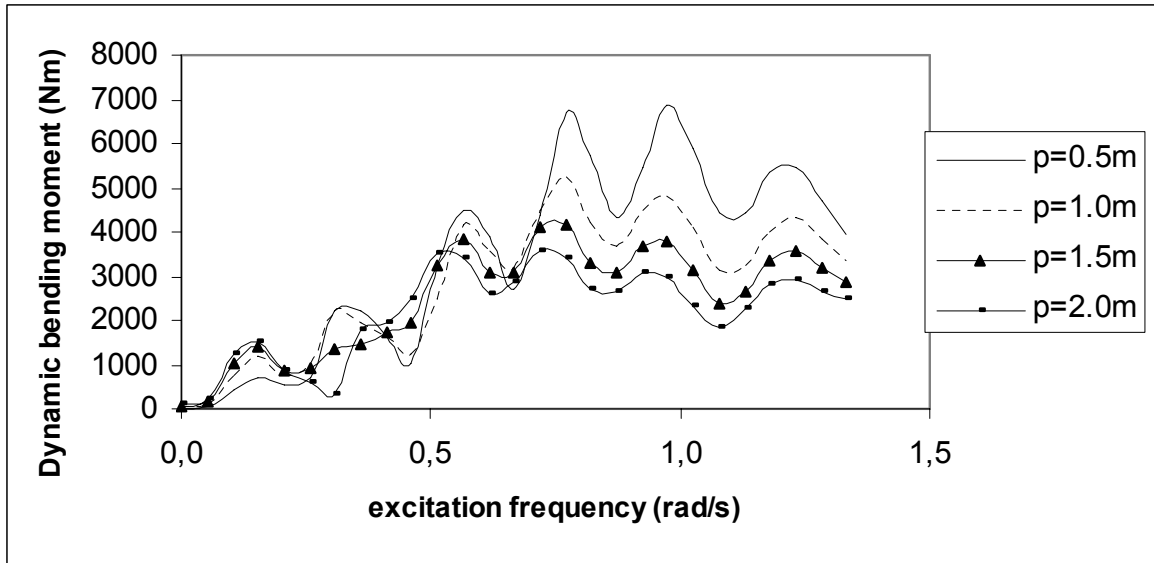
Διάγραμμα 57δ: Βάθος νερού 1200 m. Εγκάρσια κίνηση η στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την ρ διέγερση.



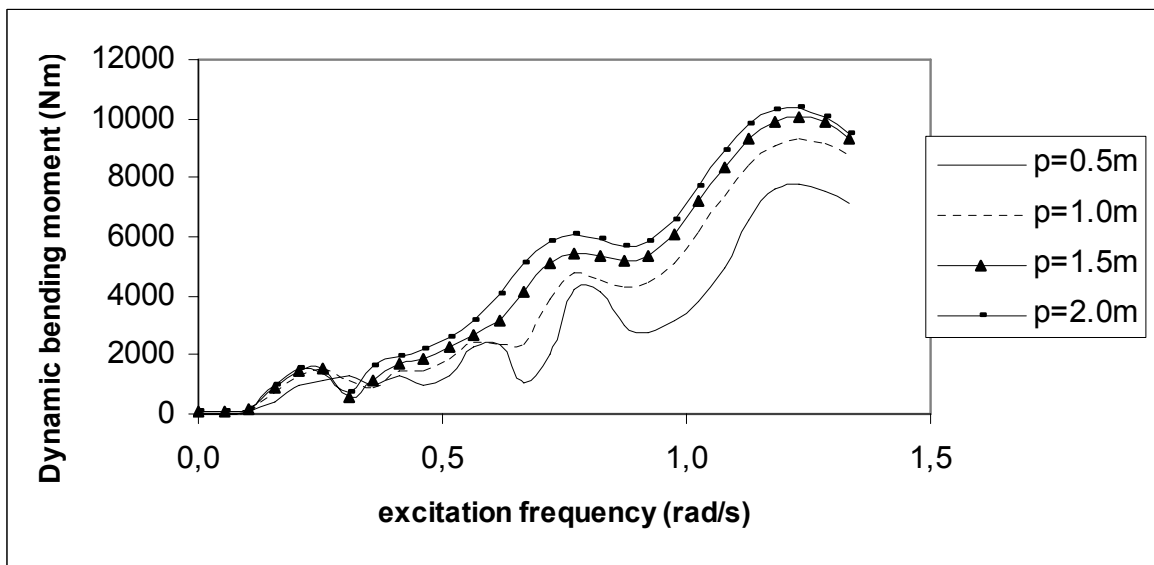
Διάγραμμα 58α: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\ddot{\Omega}$ στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την ρ διέγερση.



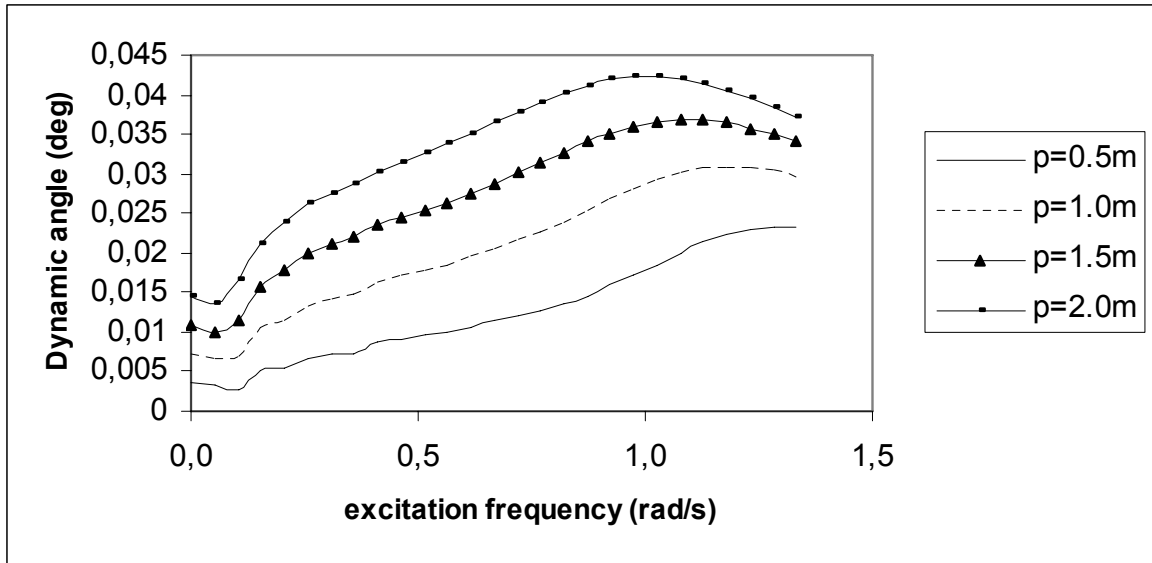
Διάγραμμα 58β: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\ddot{\Omega}$ στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την ρ διέγερση.



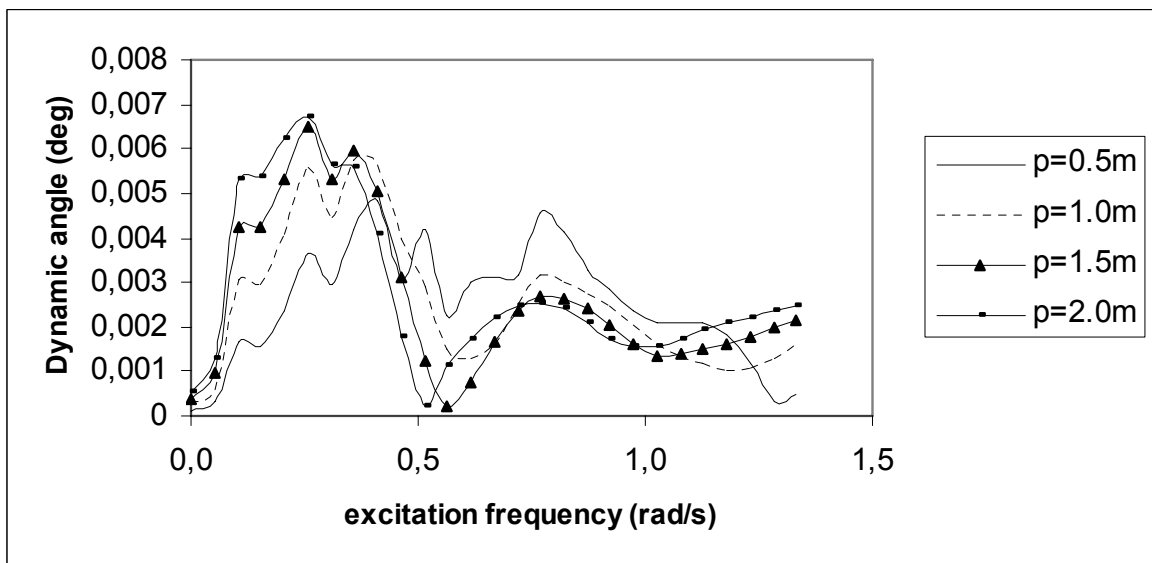
Διάγραμμα 58γ: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\ddot{\Omega}$ στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την ρ διέγερση.



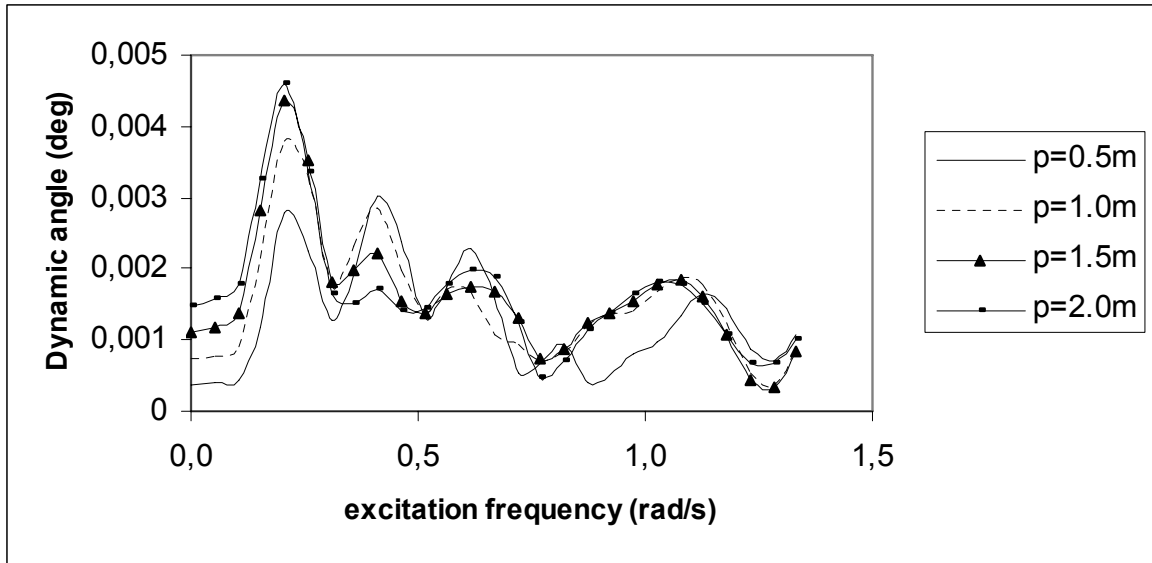
Διάγραμμα 58δ: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\ddot{\Omega}$ στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την ρ διέγερση.



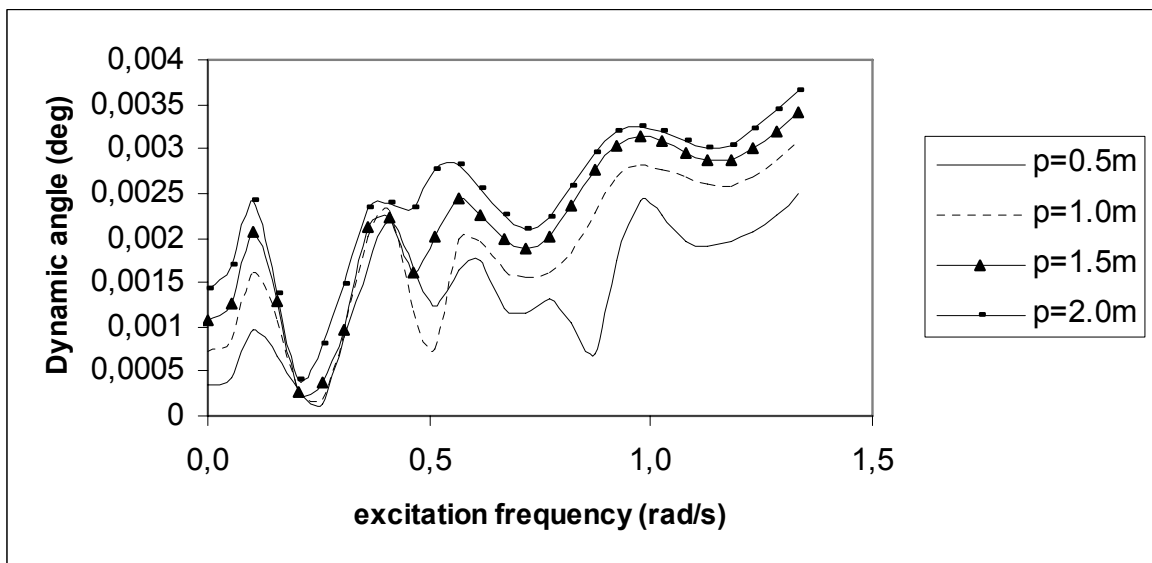
Διάγραμμα 59α: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική γωνία στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την ρ διέγερση.



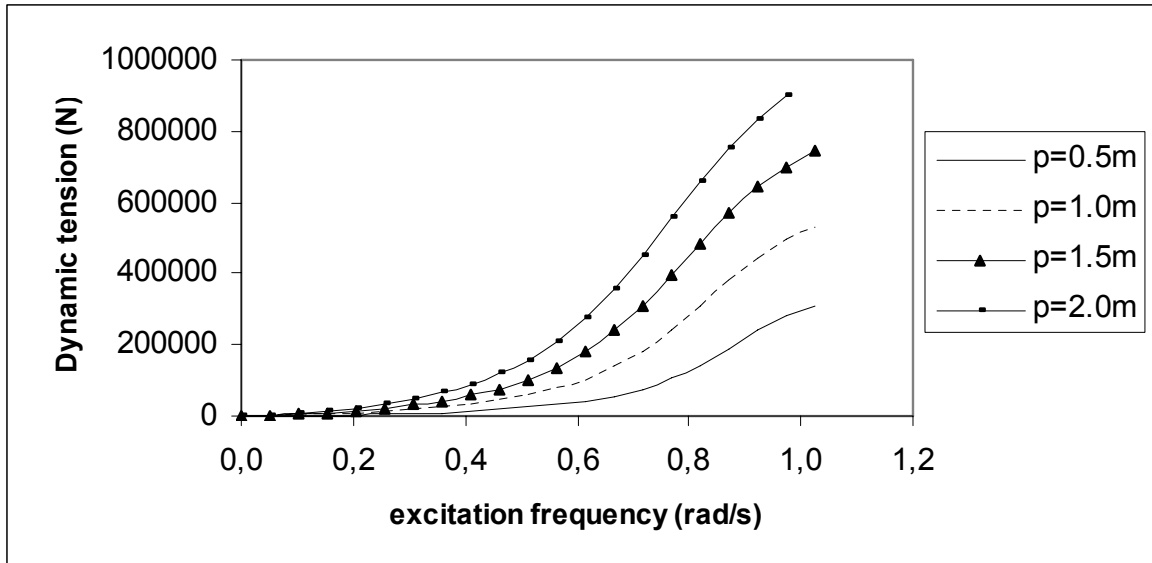
Διάγραμμα 59β: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική γωνία στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την ρ διέγερση.



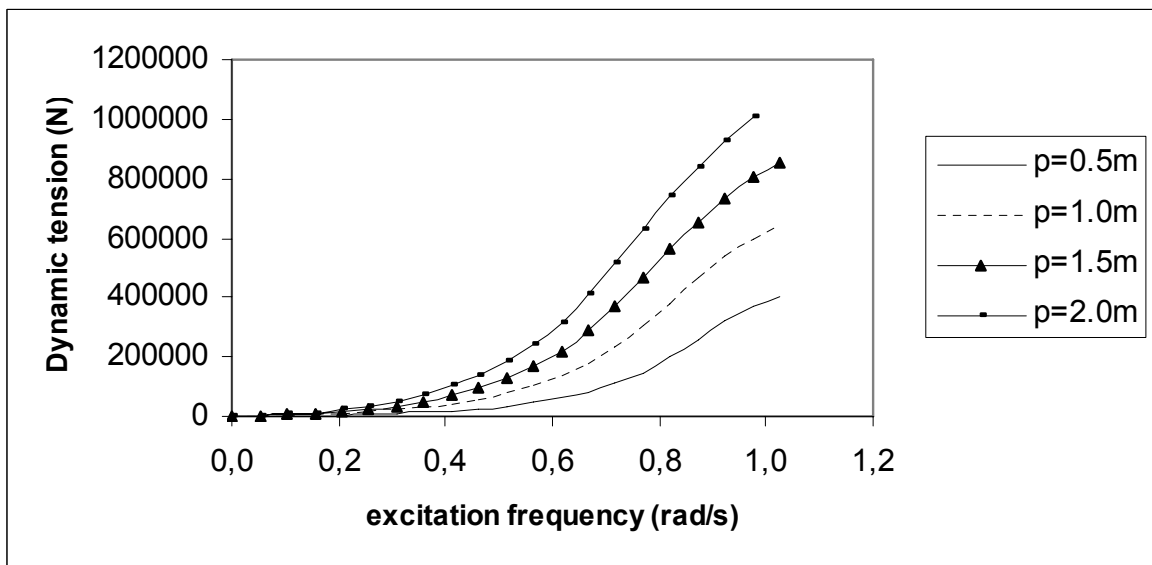
Διάγραμμα 59γ: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική γωνία στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την ρ διέγερση.



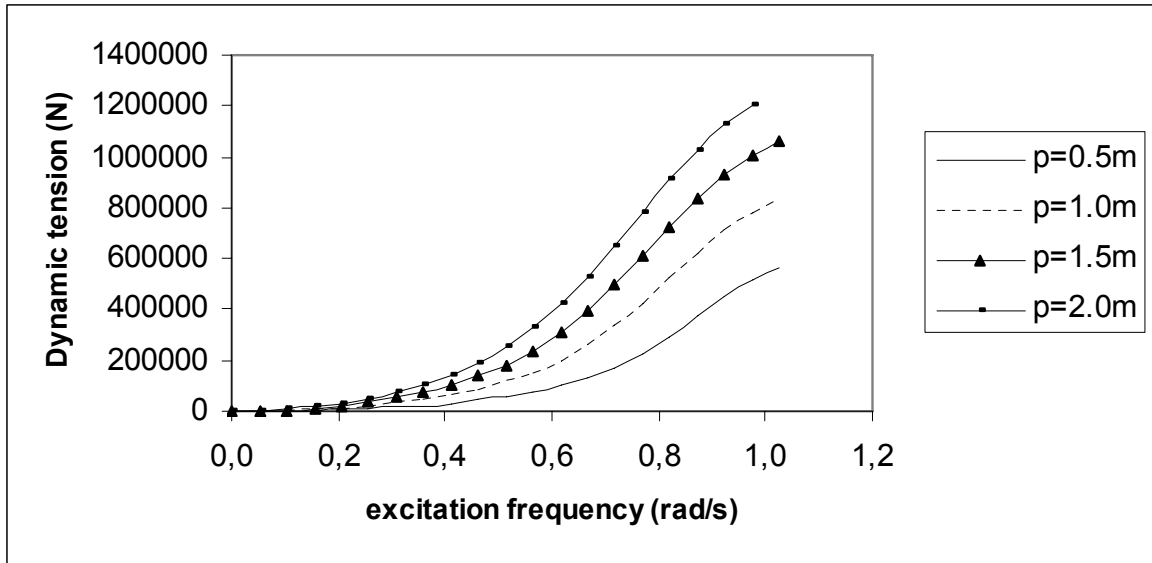
Διάγραμμα 59δ: Βάθος νερού 1200 m. Δυναμική γωνία στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την ρ διέγερση.



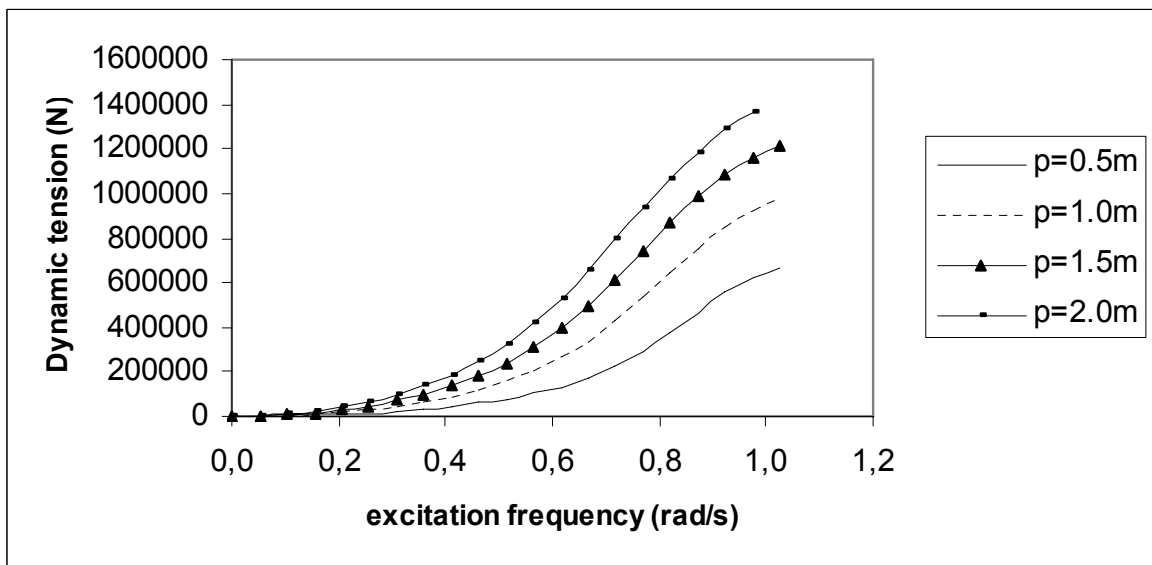
Διάγραμμα 60α: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την ρ διέγερση.



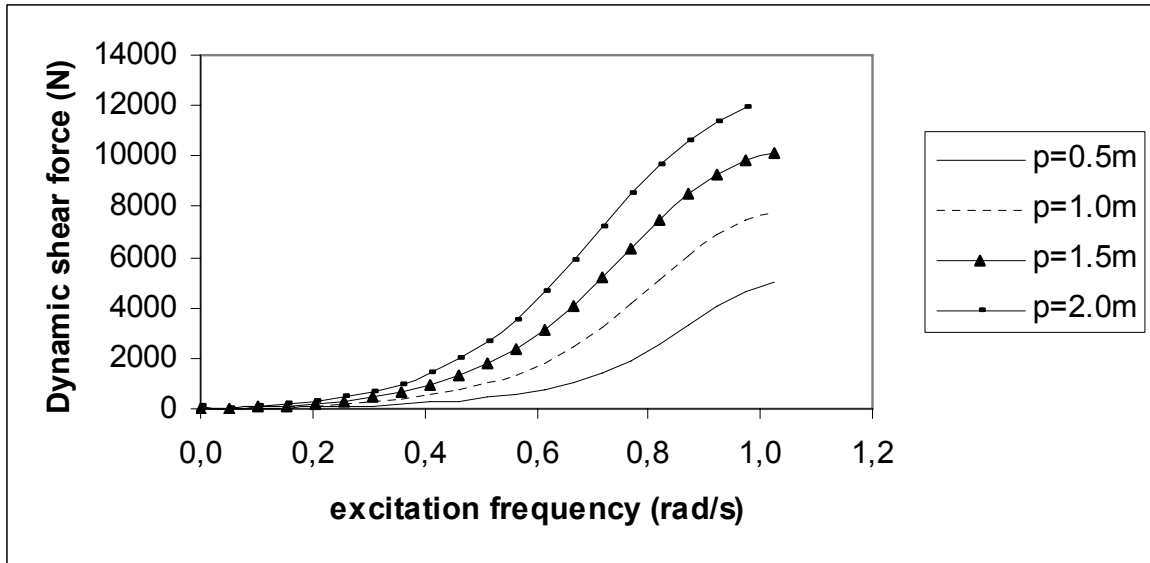
Διάγραμμα 60β: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την ρ διέγερση.



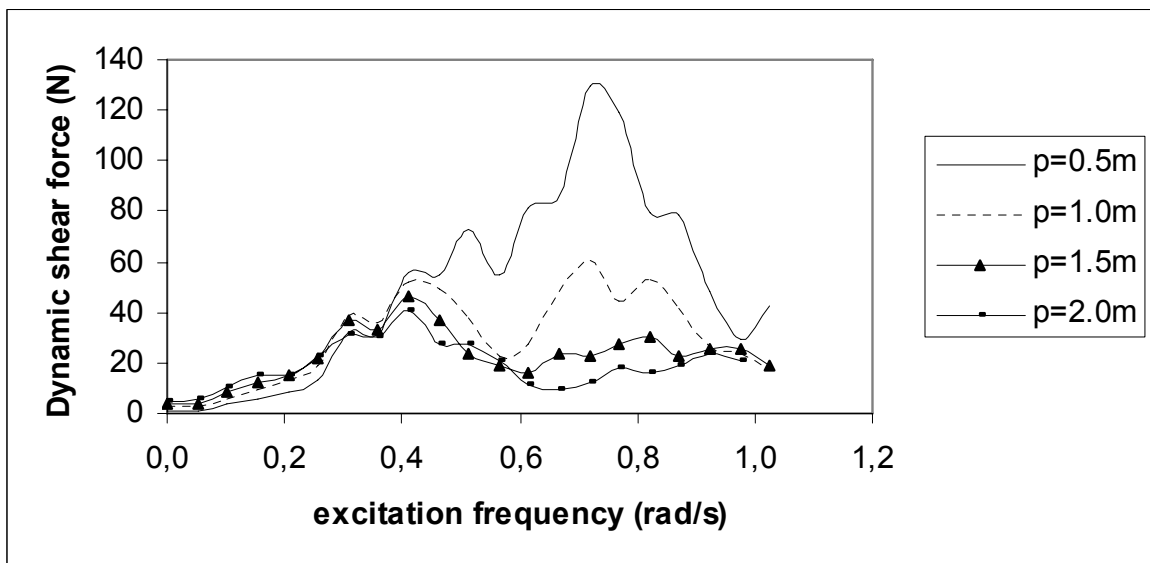
Διάγραμμα 60γ: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την ρ διέγερση.



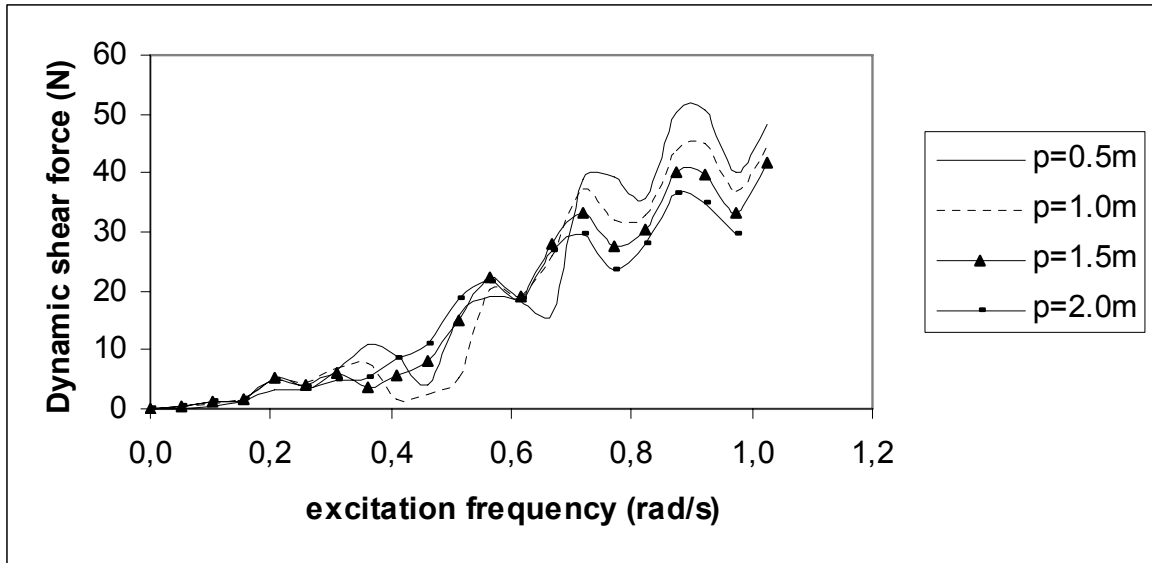
Διάγραμμα 60δ: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική τάση \tilde{T} στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την ρ διέγερση.



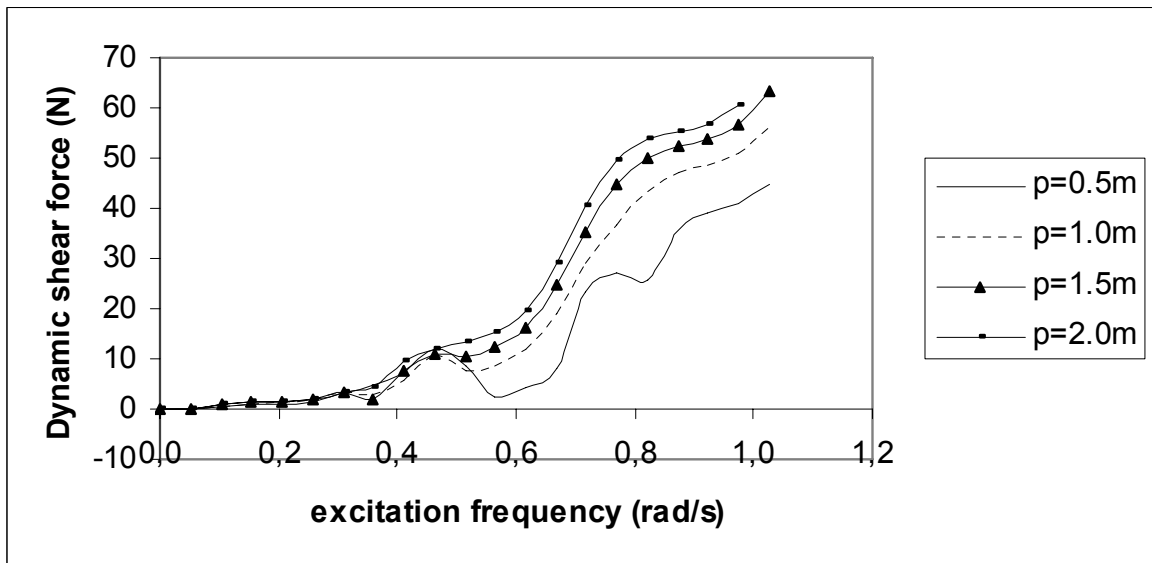
Διάγραμμα 61α: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την ρ διέγερση.



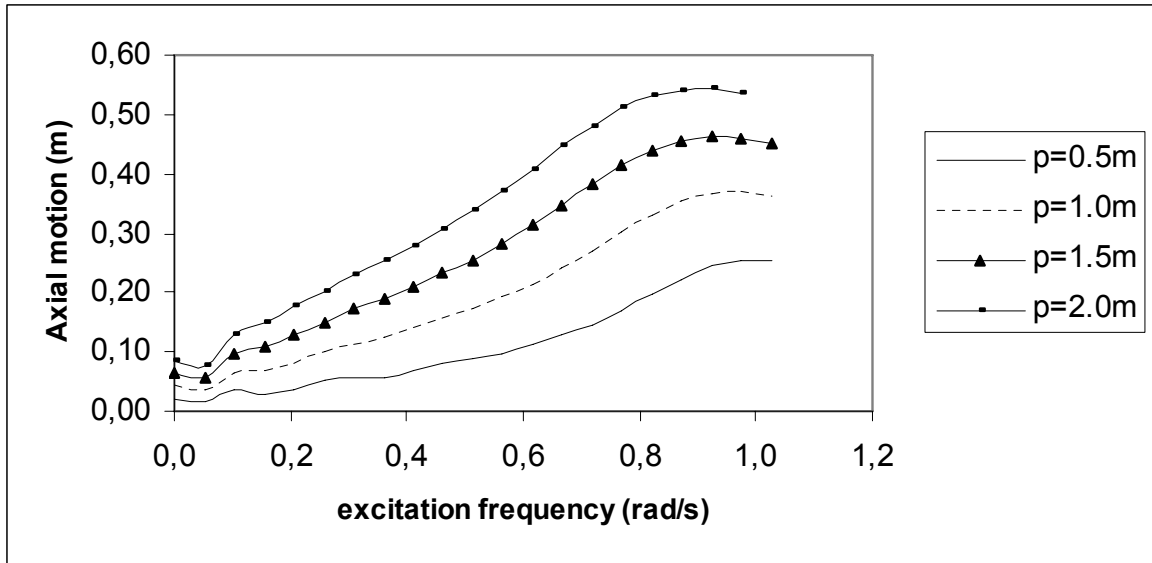
Διάγραμμα 61β: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την ρ διέγερση.



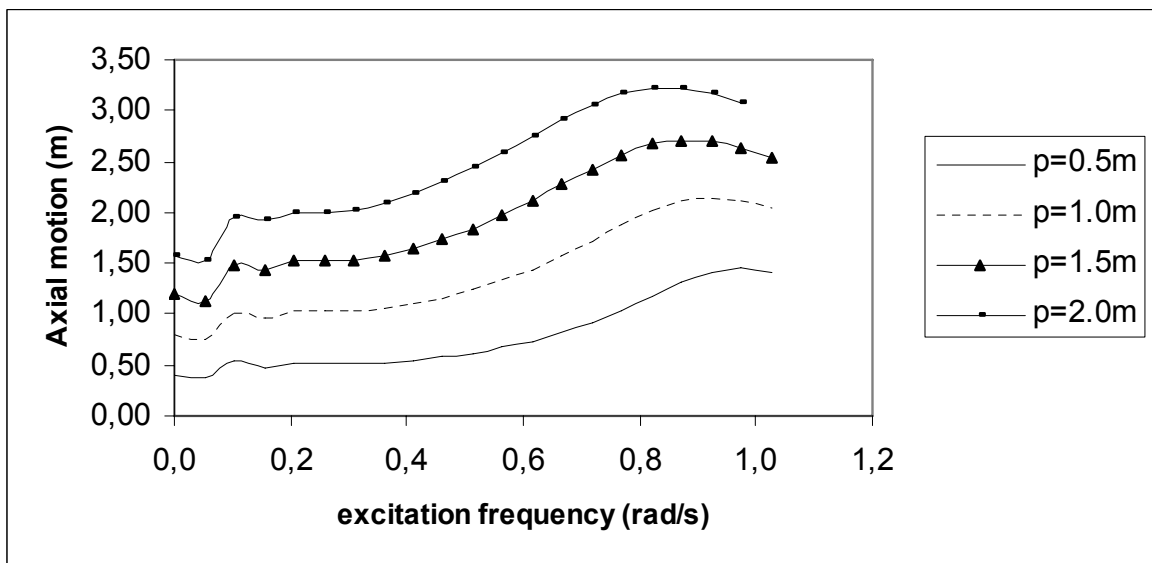
Διάγραμμα 61γ: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την ρ διέγερση.



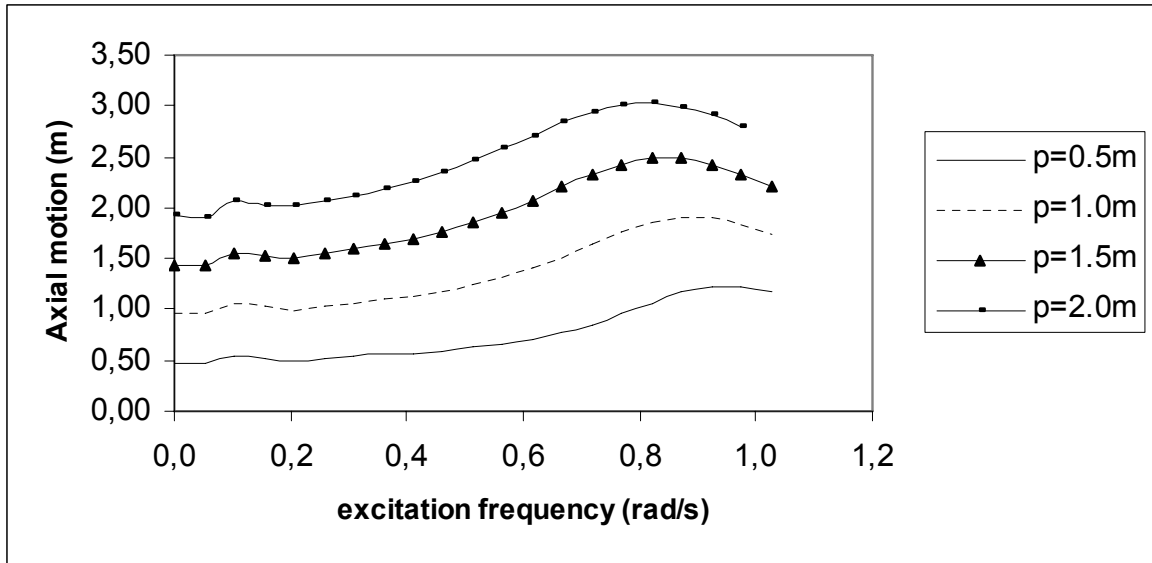
Διάγραμμα 61δ: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική διατμητική δύναμη \tilde{Q} στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την ρ διέγερση.



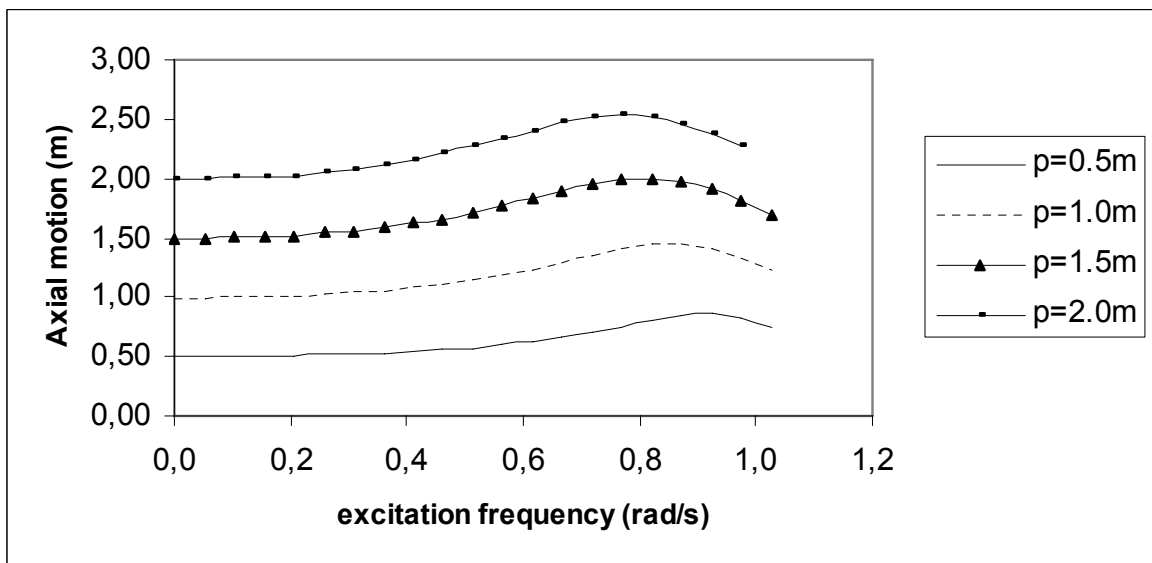
Διάγραμμα 62α: Βάθος νερού 1800 m. Αξονική κίνηση ρ στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την ρ διέγερση.



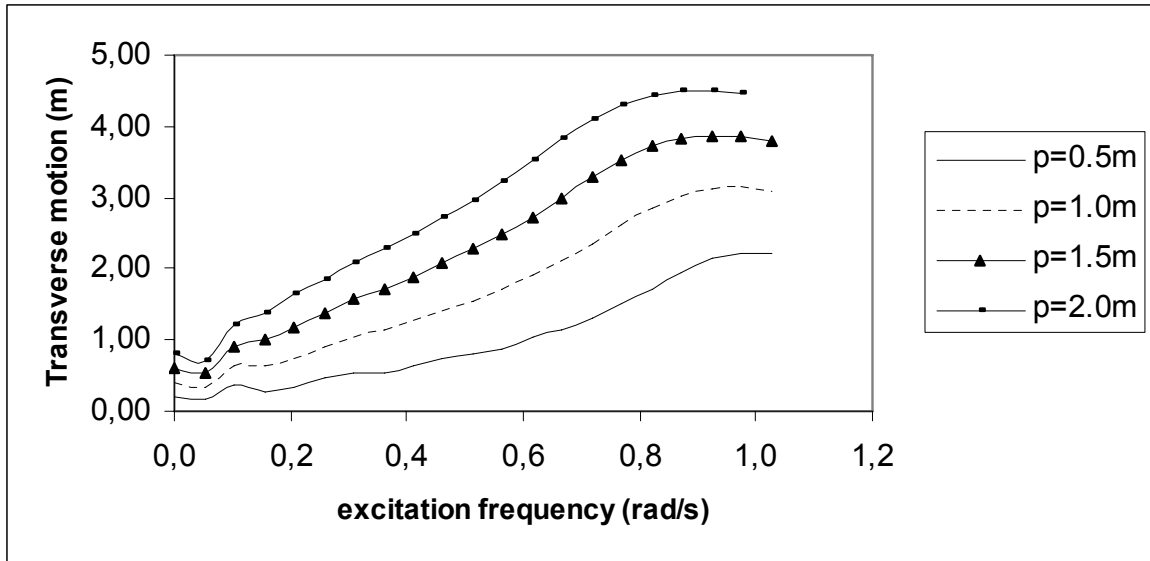
Διάγραμμα 62β: Βάθος νερού 1800 m. Αξονική κίνηση ρ στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την ρ διέγερση.



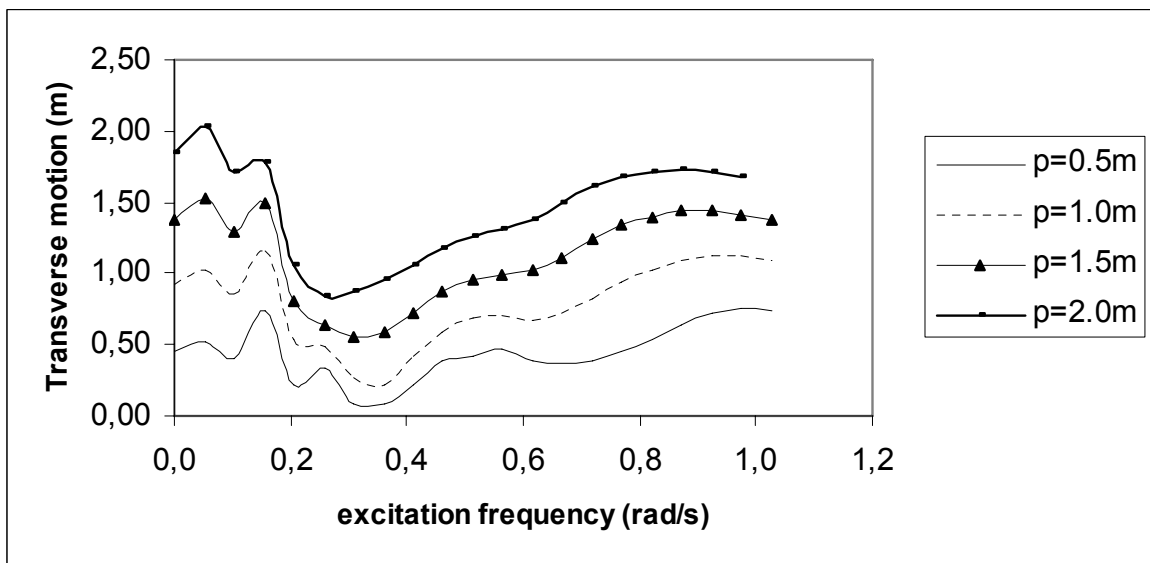
Διάγραμμα 62γ: Βάθος νερού 1800 m. Αξονική κίνηση ρ στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την ρ διέγερση



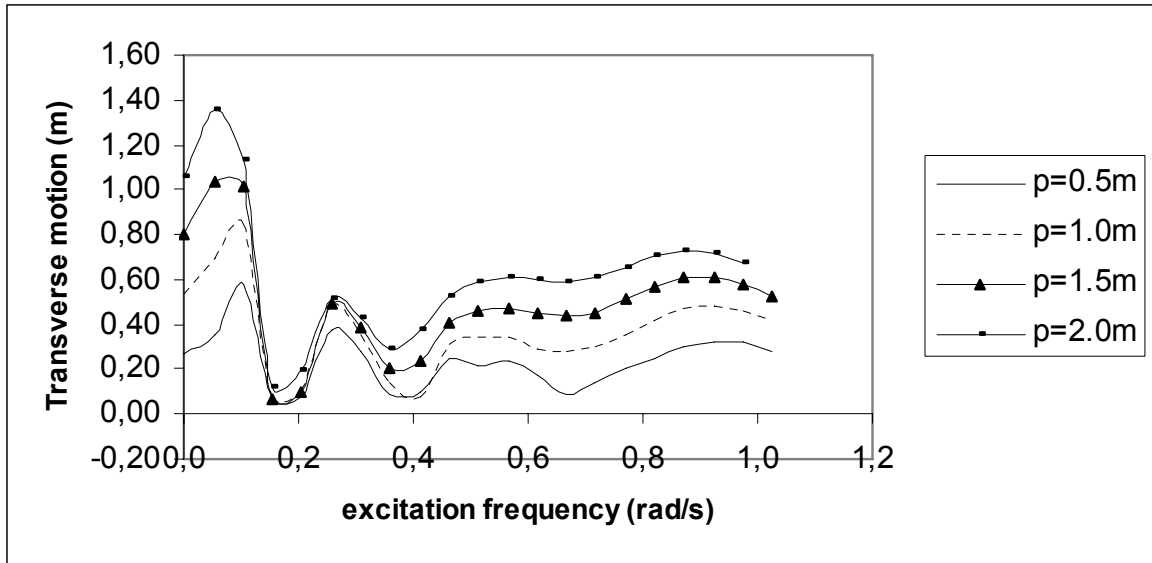
Διάγραμμα 62δ: Βάθος νερού 1800 m. Αξονική κίνηση ρ στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την ρ διέγερση.



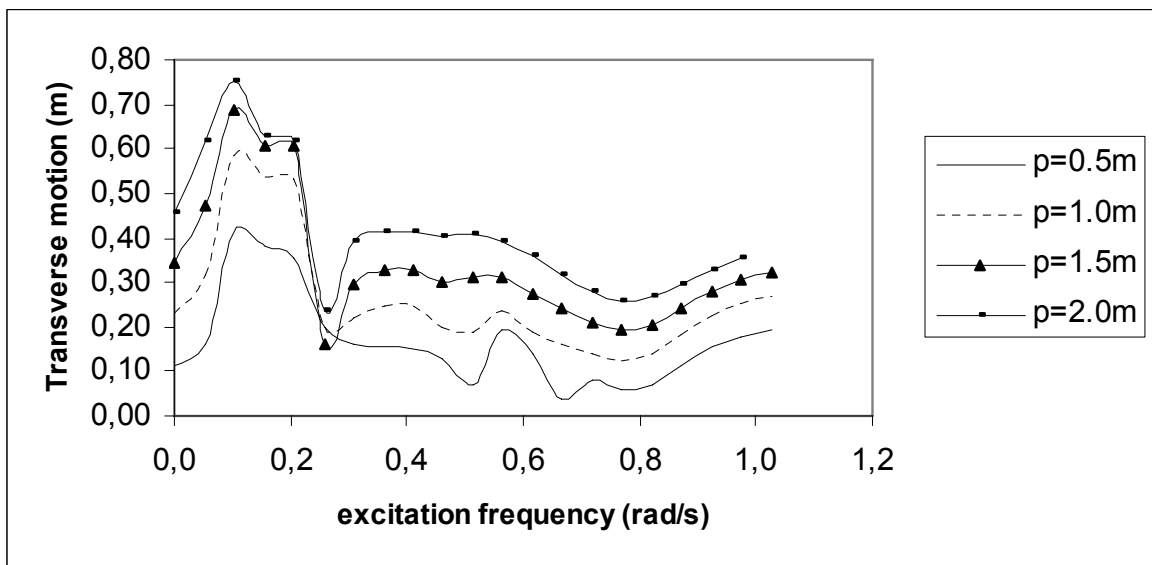
Διάγραμμα 63α: Βάθος νερού 1800 m. Εγκάρσια κίνηση q στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την ρ διέγερση



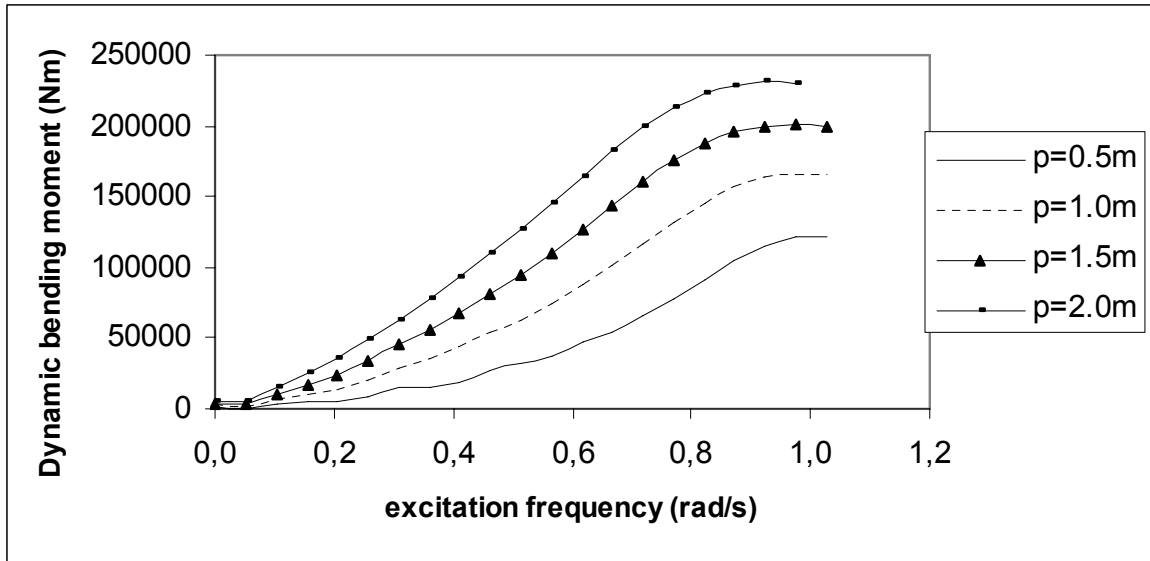
Διάγραμμα 63β: Βάθος νερού 1800 m. Εγκάρσια κίνηση q στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την ρ διέγερση.



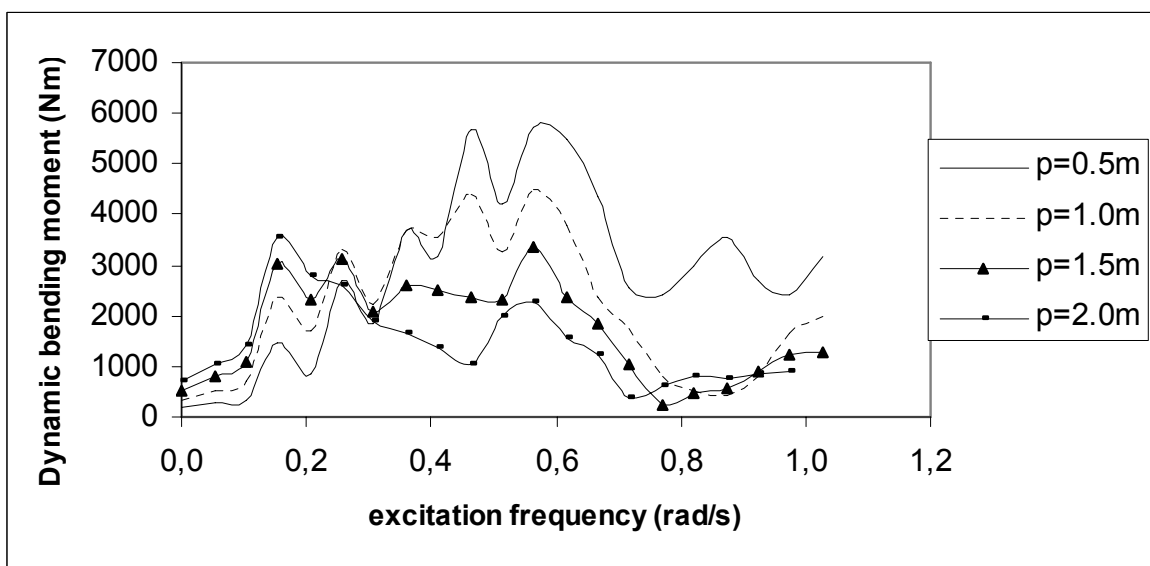
Διάγραμμα 63γ: Βάθος νερού 1800 m. Εγκάρσια κίνηση η στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την ρ διέγερση.



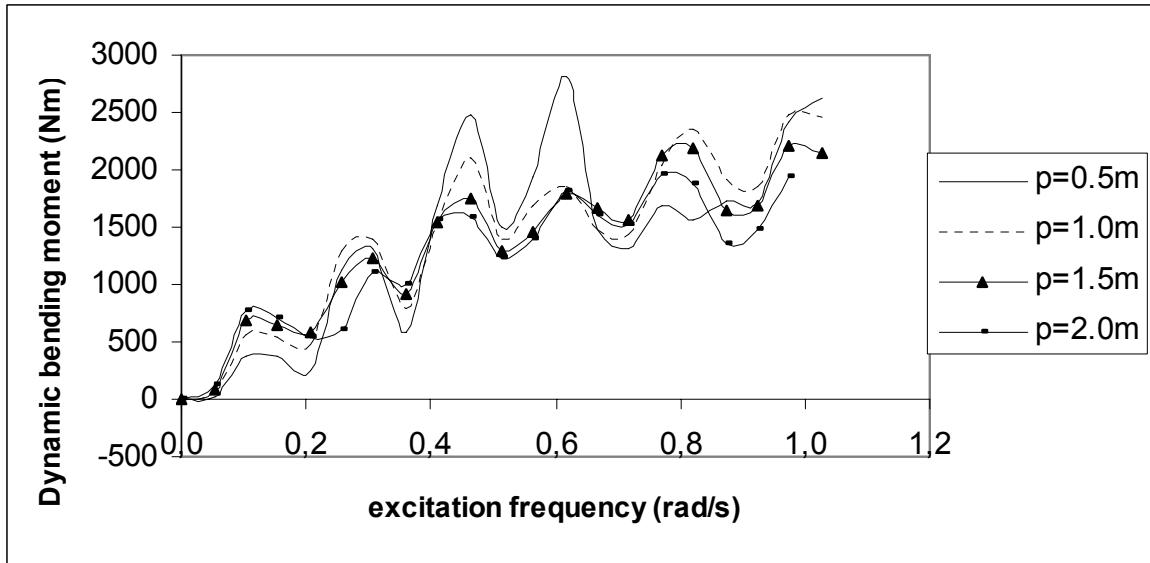
Διάγραμμα 63δ: Βάθος νερού 1800 m. Εγκάρσια κίνηση η στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την ρ διέγερση.



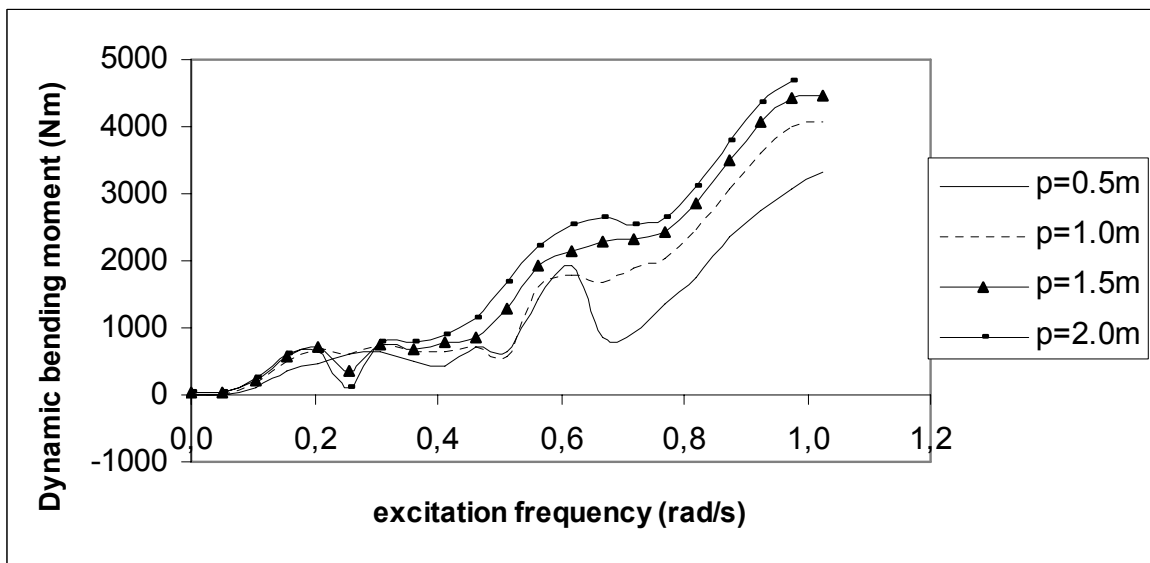
Διάγραμμα 64α: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την ρ διέγερση.



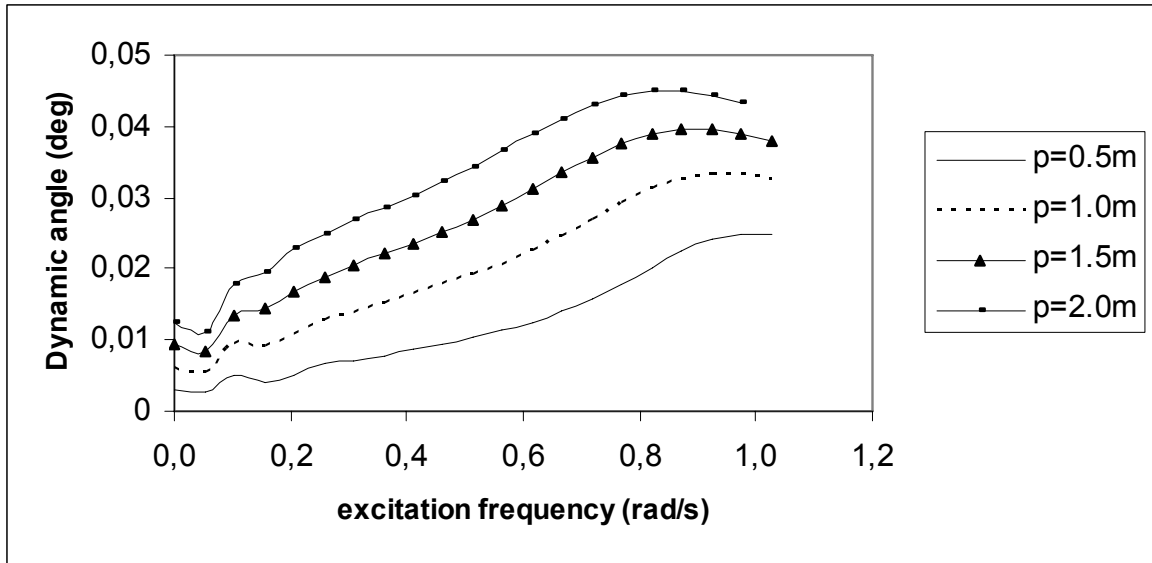
Διάγραμμα 64β: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\tilde{\Omega}$ στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την ρ διέγερση.



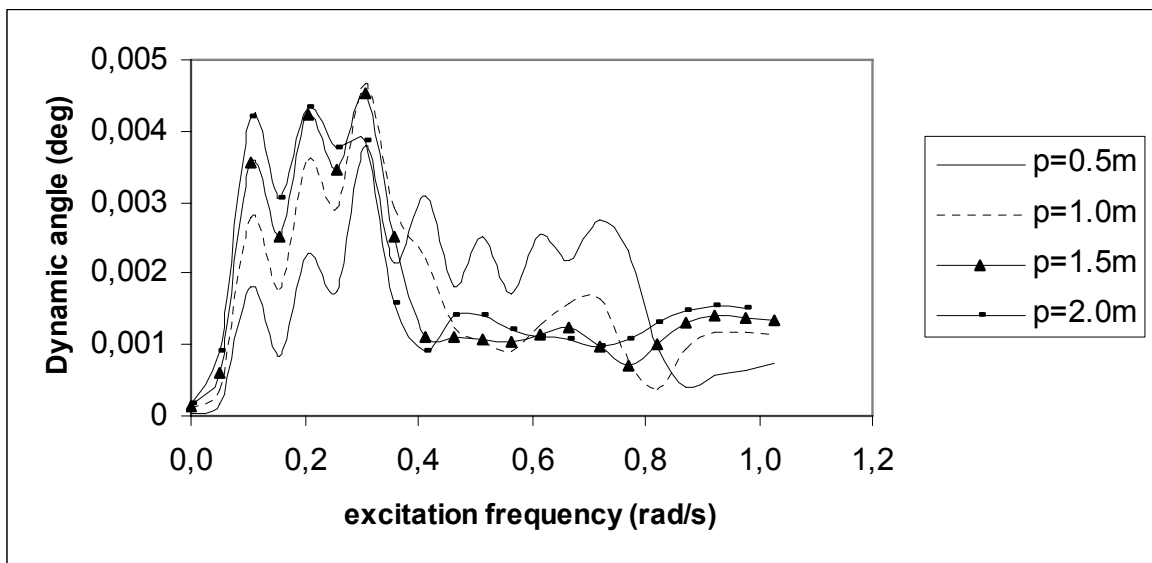
Διάγραμμα 64γ: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\ddot{\Omega}$ στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την ρ διέγερση.



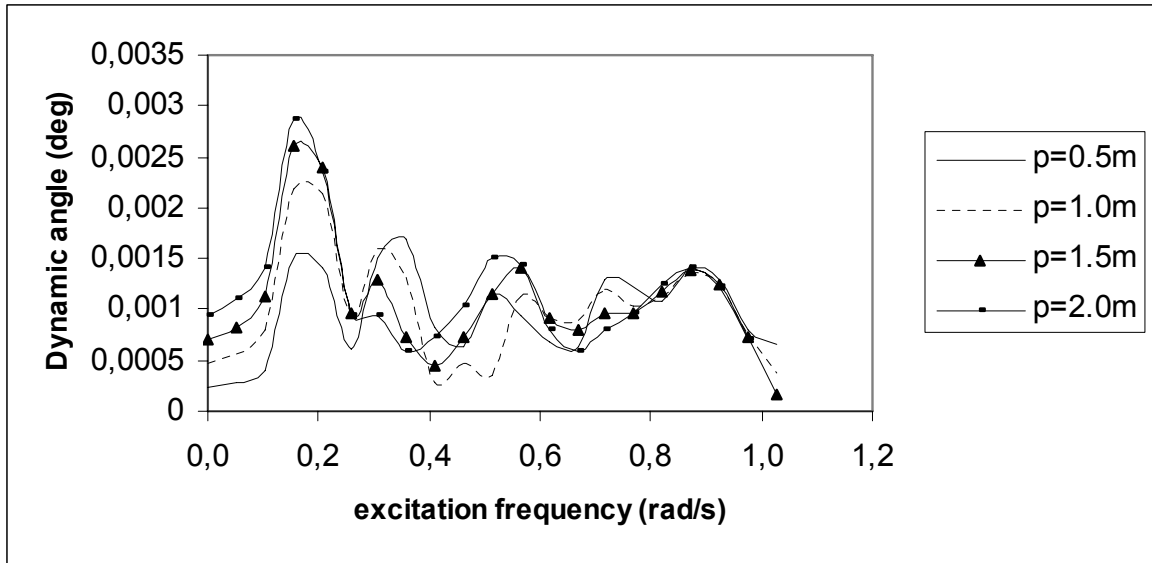
Διάγραμμα 64δ: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική καμπτική ροπή $EI\ddot{\Omega}$ στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την ρ διέγερση.



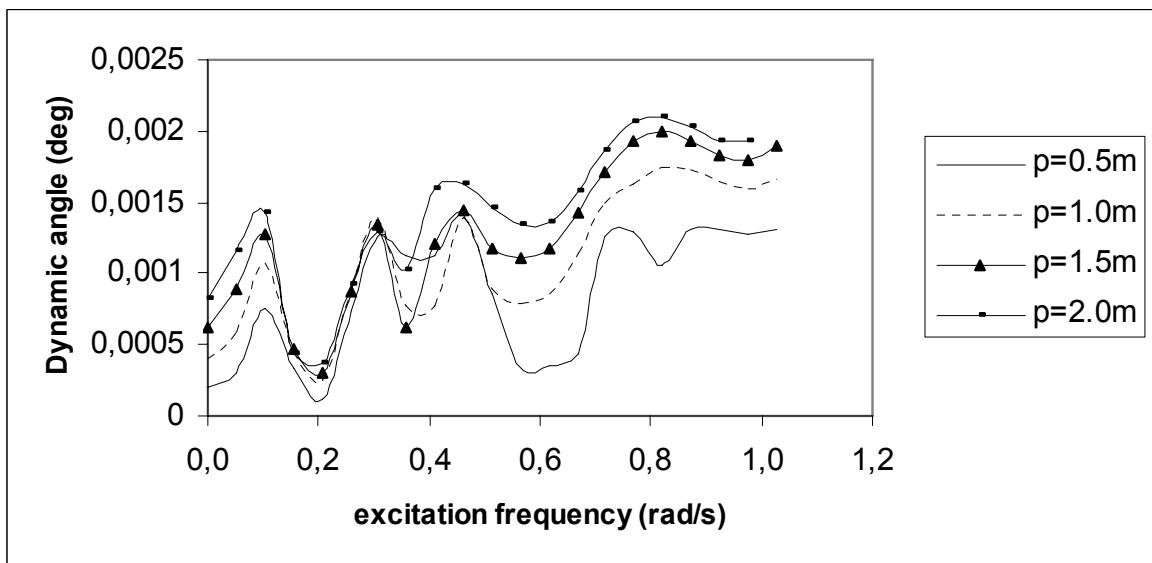
Διάγραμμα 65α: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική γωνία στην θέση της μέγιστης στατικής ροπής κοντά στο κάτω σημείο επαφής για την ρ διέγερση.



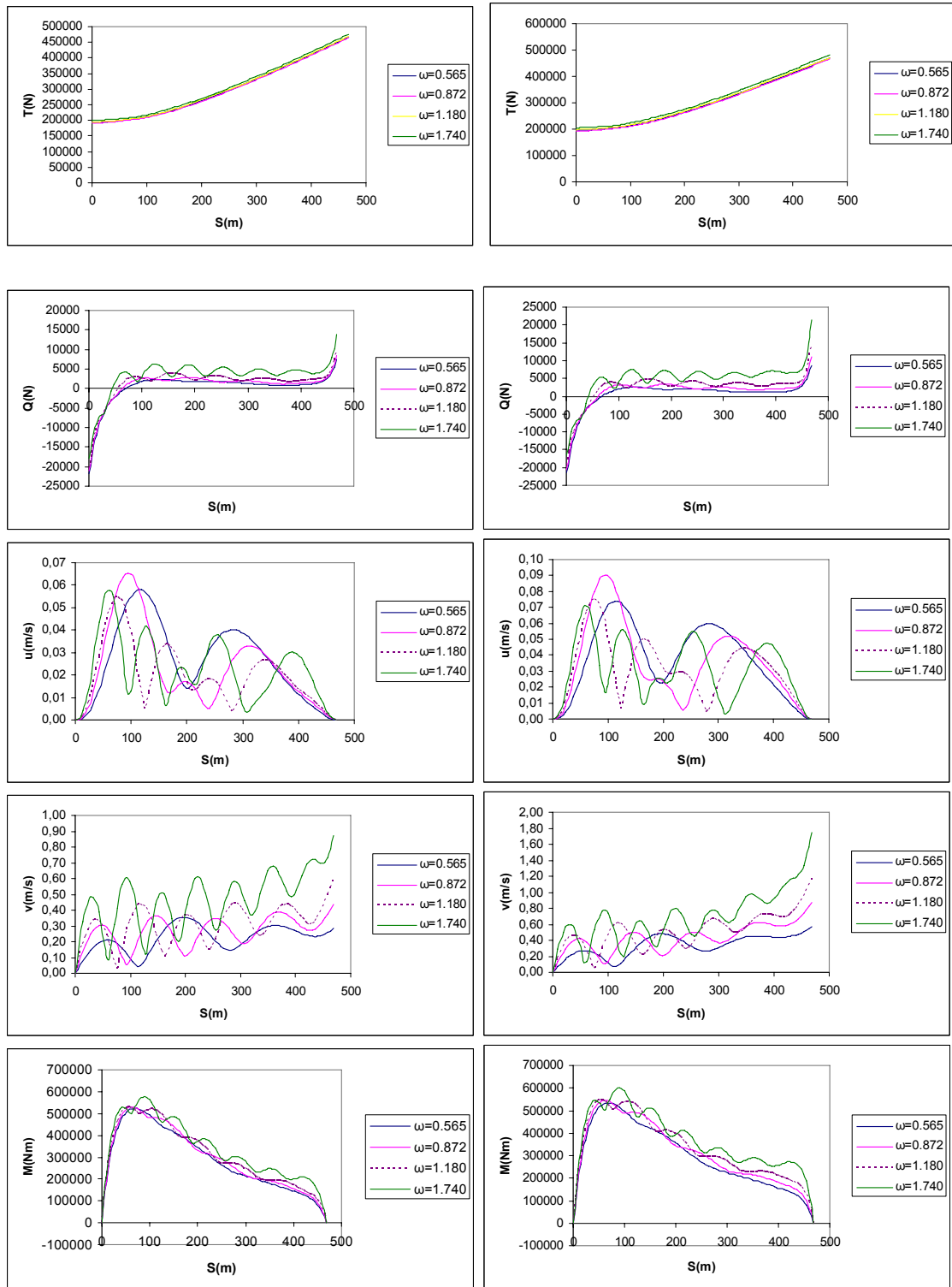
Διάγραμμα 65β: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική γωνία στο 1/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 25, για την ρ διέγερση.



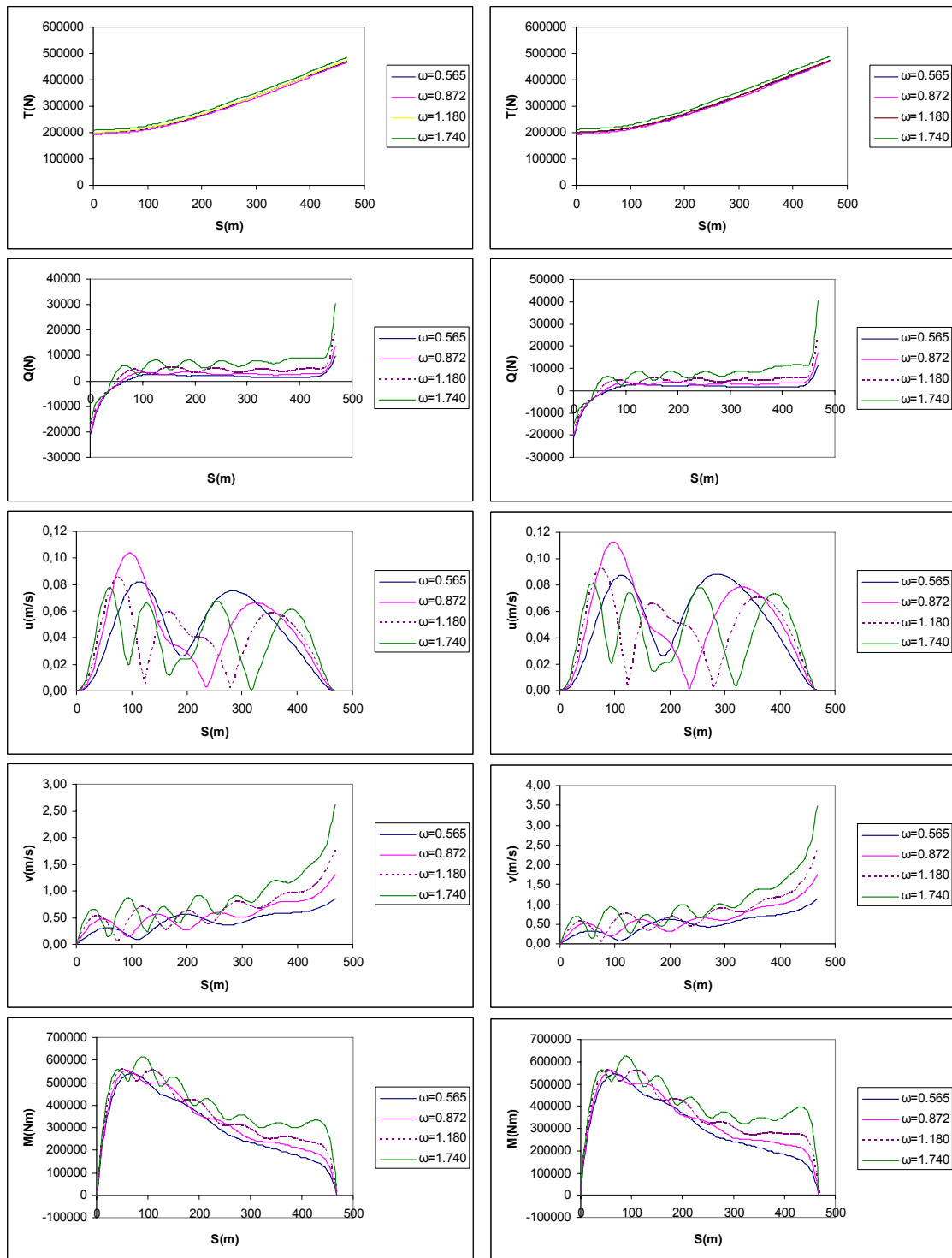
Διάγραμμα 65γ: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική γωνία στο 1/2 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 50, για την ρ διέγερση.



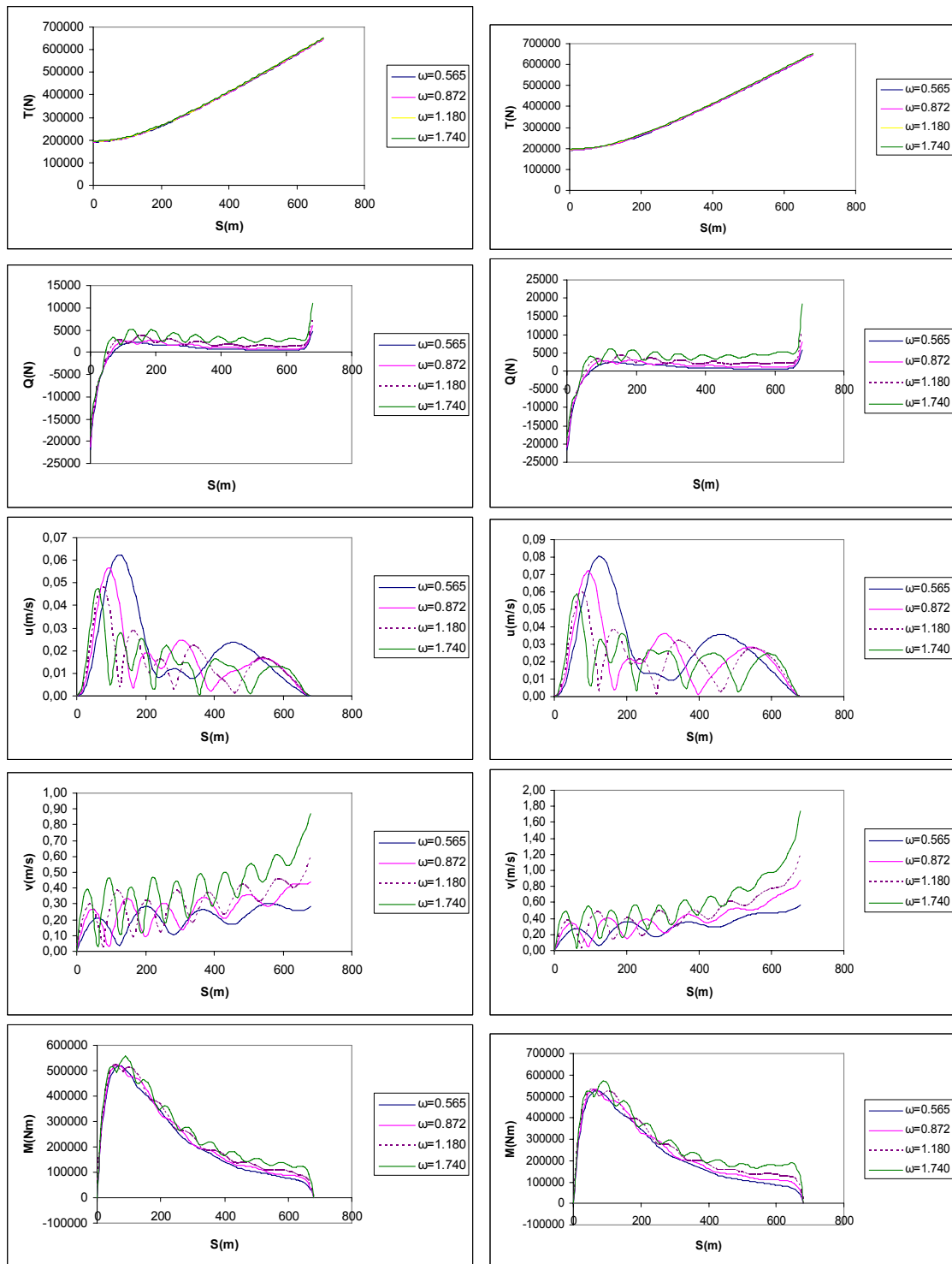
Διάγραμμα 65δ: Βάθος νερού 1800 m. Δυναμική γωνία στα 3/4 του μήκους της κατασκευής, κόμβος 75, για την ρ διέγερση.



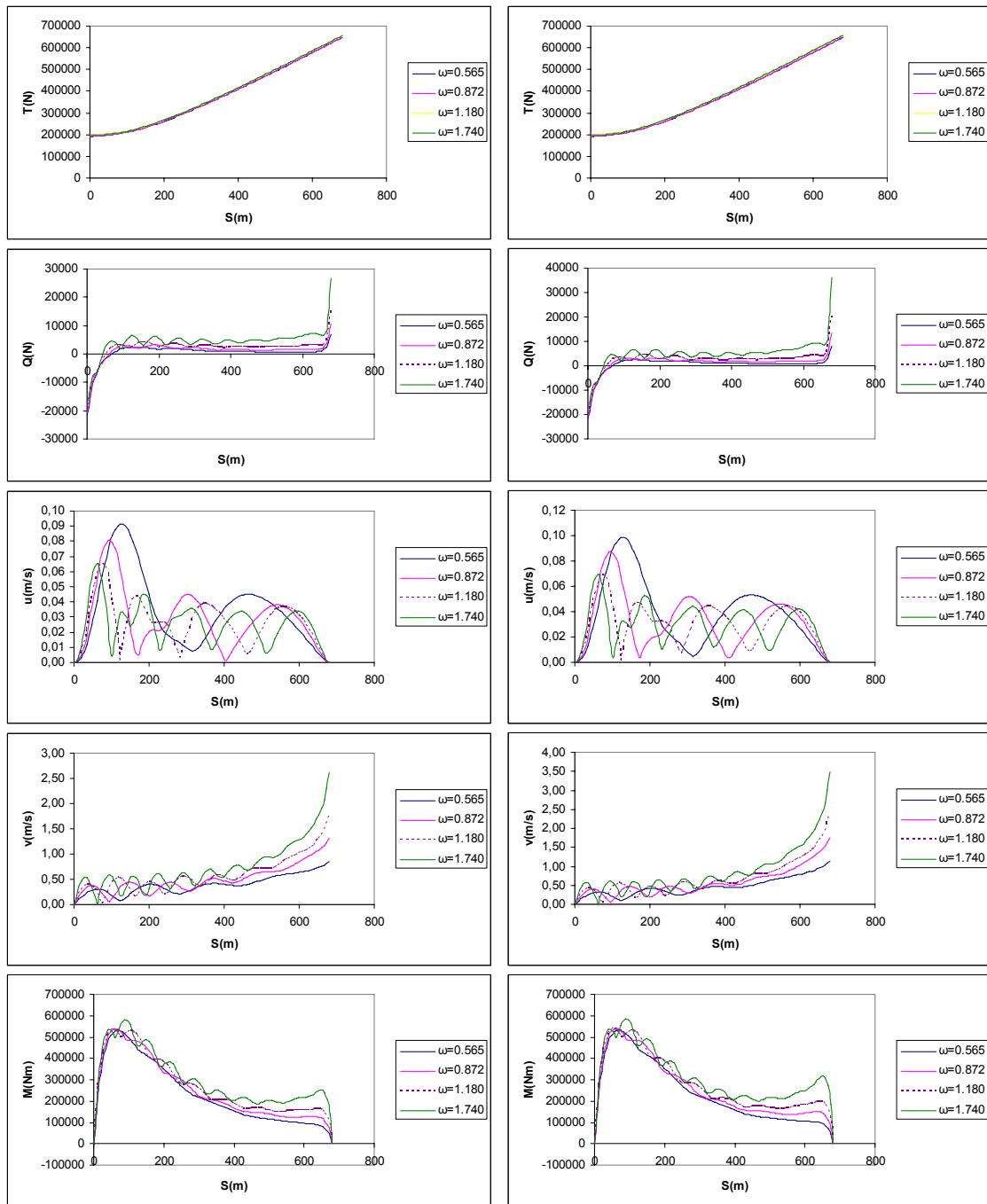
Διάγραμμα 66α: Βάθος νερού 300m. Συγκριτικά αποτελέσματα για την δυναμική συμπεριφορά του riser κάτω από την q διέγερση με πλάτη $q_a=0.5\text{m}$ (αριστερή στήλη) και $q_a=1.0\text{m}$ (δεξιά στήλη) και για συχνότητες $\omega=0.565\text{rad/s}$, $\omega=0.872\text{rad/s}$, $\omega=1.180\text{ rad/s}$ και $\omega=1.740\text{ rad/s}$. Τα διαγράμματα δείχνουν από την κορυφή προς τα κάτω: συνολική τάση T , συνολική διατμητική δύναμη Q , αξονική ταχύτητα u , εγκάρσια ταχύτητα v και συνολική καμπτική ροπή $EI\Omega$.



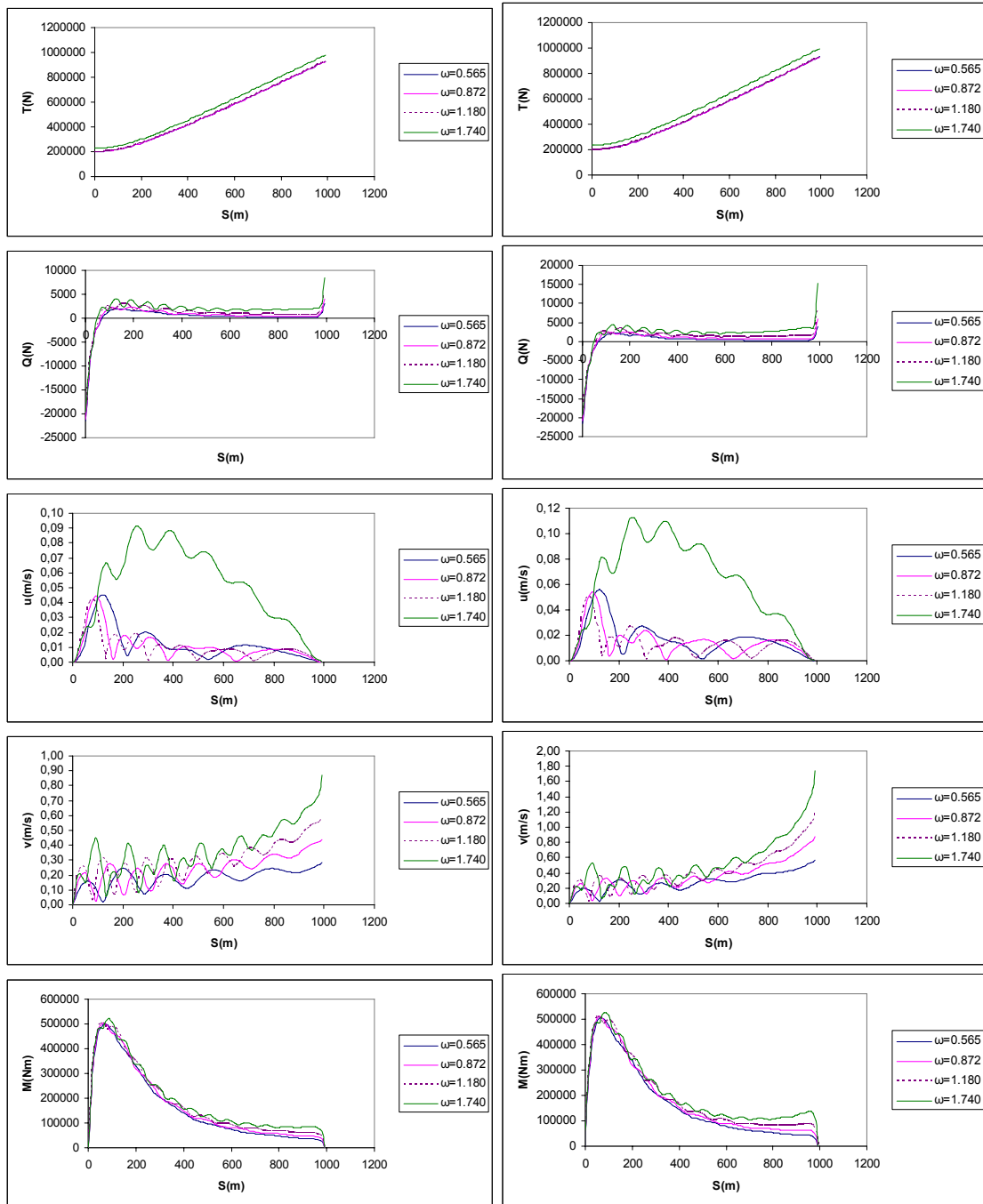
Διάγραμμα 66β: Βάθος νερού 300m. Συγκριτικά αποτελέσματα για την δυναμική συμπεριφορά του riser κάτω από την q διέγερση με πλάτη $q_a=1.5\text{m}$ (αριστερή στήλη) και $q_a=2.0\text{m}$ (δεξιά στήλη) και για συχνότητες $\omega=0.565\text{rad/s}$, $\omega=0.872\text{rad/s}$, $\omega=1.180\text{ rad/s}$ και $\omega=1.740\text{ rad/s}$. Τα διαγράμματα δείχνουν από την κορυφή προς τα κάτω: συνολική τάση T , συνολική διατμητική δύναμη Q , αξονική ταχύτητα u , εγκάρσια ταχύτητα v και συνολική καμπτική ροπή $EI\Omega$.



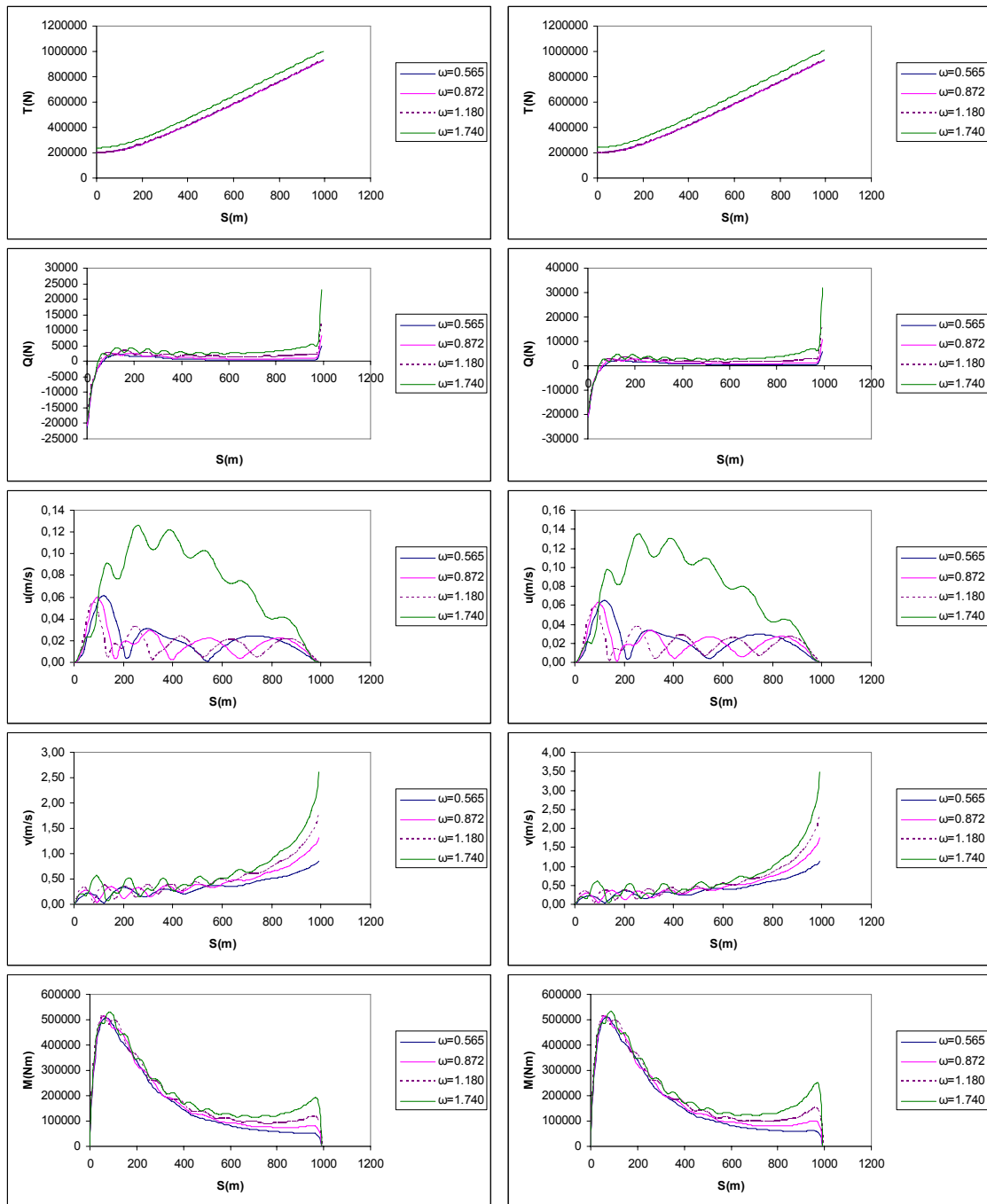
Διάγραμμα 67α: Βάθος νερού 500m. Συγκριτικά αποτελέσματα για την δυναμική συμπεριφορά του riser κάτω από την q διέγερση με πλάτη $q_a=0.5m$ (αριστερή στήλη) και $q_a=1.0m$ (δεξιά στήλη) και για συχνότητες $\omega=0.565\text{rad/s}$, $\omega=0.872\text{rad/s}$, $\omega=1.180\text{ rad/s}$ και $\omega=1.740\text{ rad/s}$. Τα διαγράμματα δείχνουν από την κορυφή προς τα κάτω: συνολική τάση T , συνολική διατμητική δύναμη Q , αξονική ταχύτητα u , εγκάρσια ταχύτητα v και συνολική καμπτική ροπή $EI\Omega$.



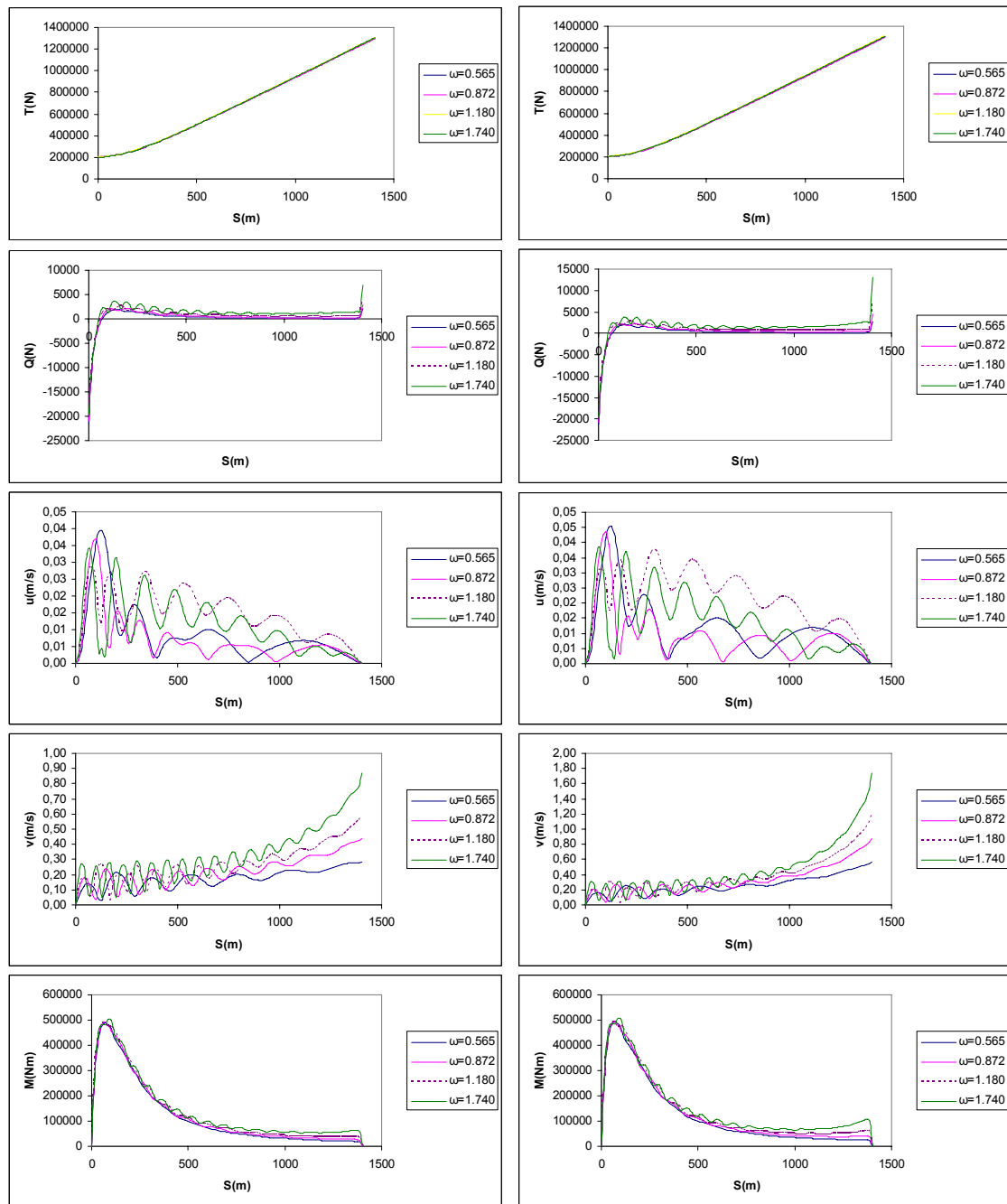
Διάγραμμα 67β: Βάθος νερού 500m. Συγκριτικά αποτελέσματα για την δυναμική συμπεριφορά του riser κάτω από την q διέγερση με πλάτη $q_a=1.5\text{m}$ (αριστερή στήλη) και $q_a=2.0\text{m}$ (δεξιά στήλη) και για συχνότητες $\omega=0.565\text{rad/s}$, $\omega=0.872\text{rad/s}$, $\omega=1.180\text{ rad/s}$ και $\omega=1.740\text{ rad/s}$. Τα διαγράμματα δείχνουν από την κορυφή προς τα κάτω: συνολική τάση T , συνολική διατμητική δύναμη Q , αξονική ταχύτητα u , εγκάρσια ταχύτητα v και συνολική καμπτική ροπή $EI\Omega$.



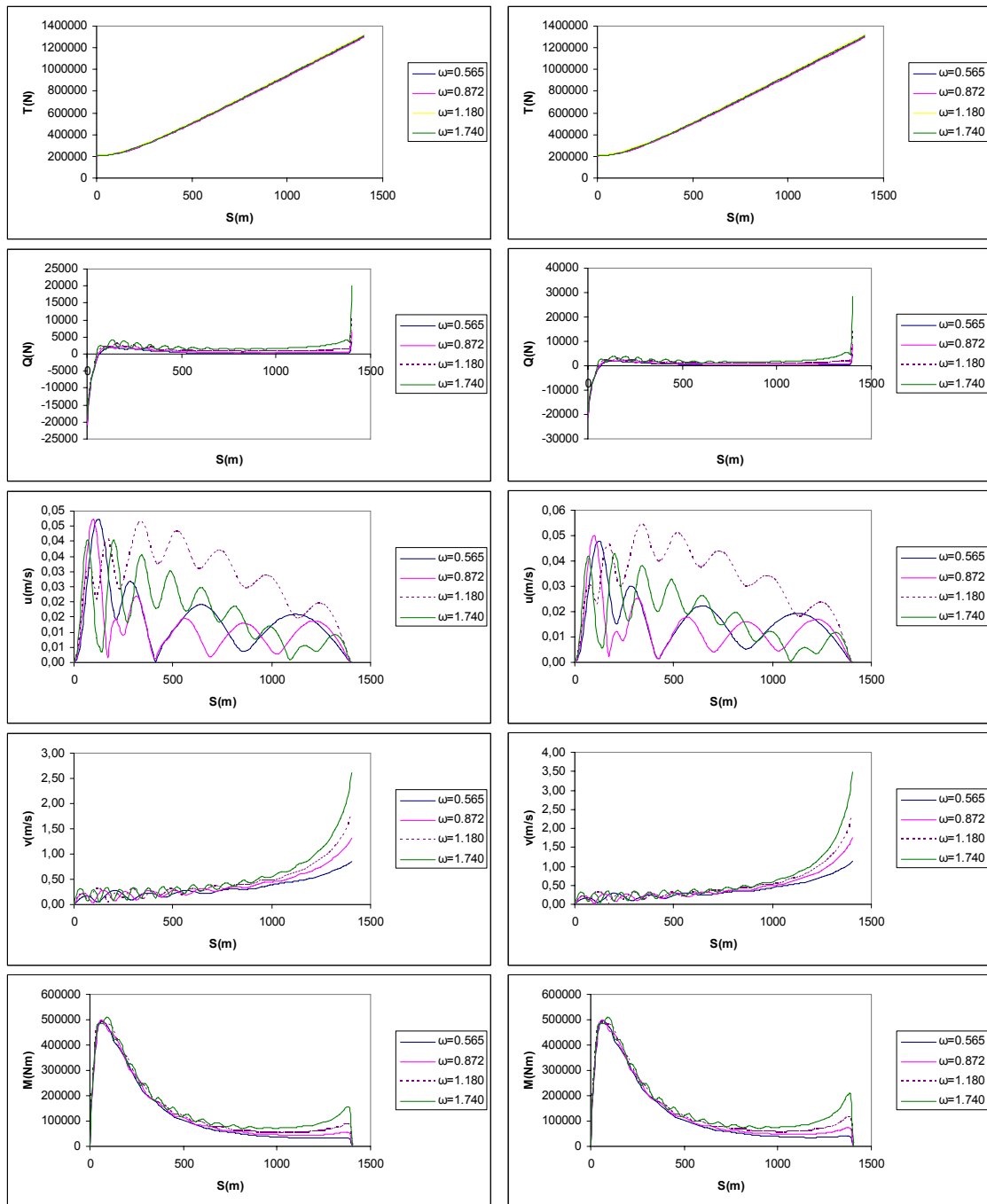
Διάγραμμα 68α: Βάθος νερού 800m. Συγκριτικά αποτελέσματα για την δυναμική συμπεριφορά του riser κάτω από την q διέγερση με πλάτη $q_a=0.5$ m (αριστερή στήλη) και $q_a=1.0$ m (δεξιά στήλη) και για συχνότητες $\omega=0.565$ rad/s, $\omega=0.872$ rad/s, $\omega=1.180$ rad/s και $\omega=1.740$ rad/s. Τα διαγράμματα δείχνουν από την κορυφή προς τα κάτω: συνολική τάση T , συνολική διατμητική δύναμη Q , αξονική ταχύτητα u , εγκάρσια ταχύτητα v και συνολική καμπτική ροπή $EI\Omega$.



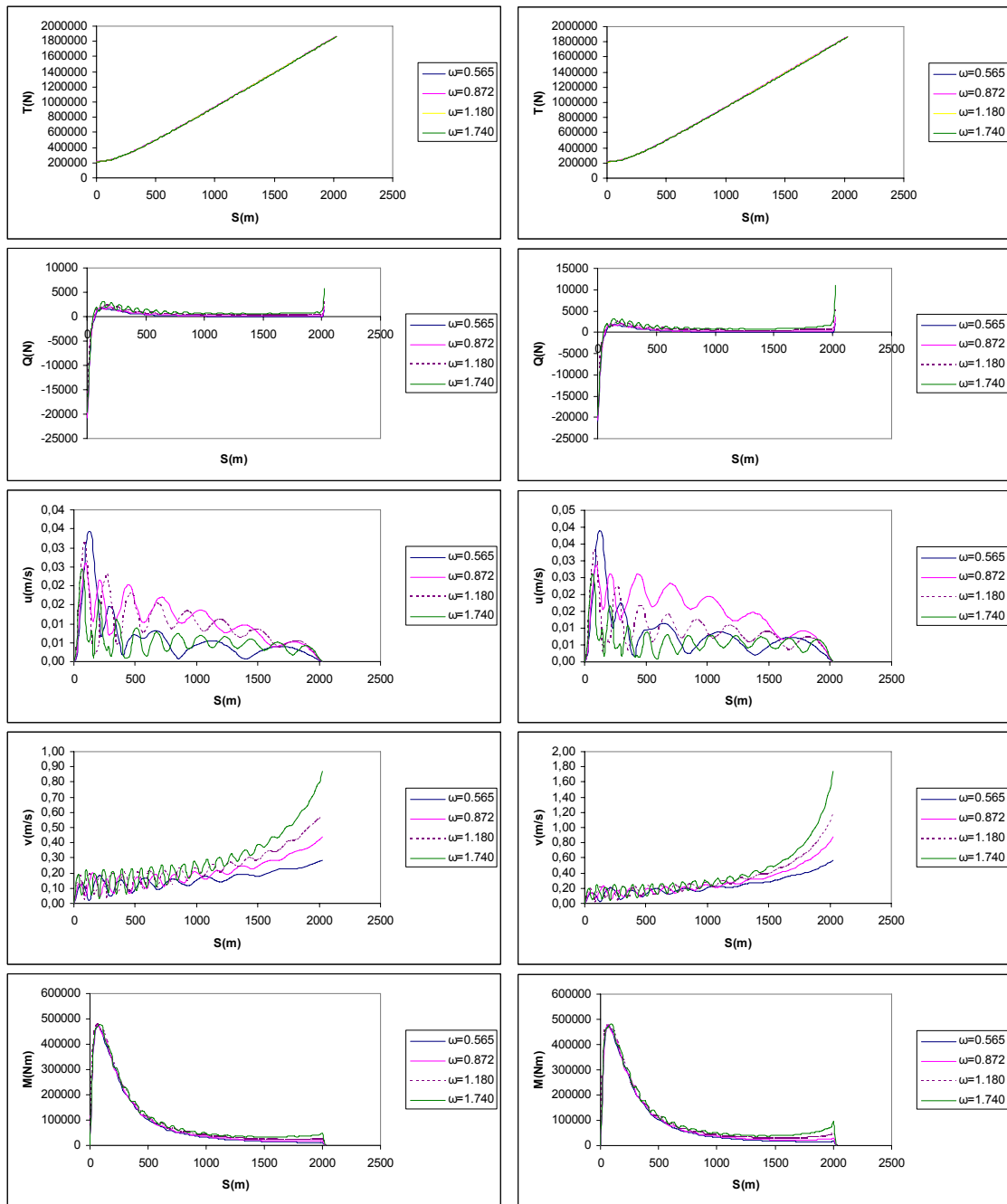
Διάγραμμα 68β: Βάθος νερού 800m. Συγκριτικά αποτελέσματα για την δυναμική συμπεριφορά του riser κάτω από την q διέγερση με πλάτη $q_a=1.5$ m (αριστερή στήλη) και $q_a=2.0$ m (δεξιά στήλη) και για συχνότητες $\omega=0.565$ rad/s, $\omega=0.872$ rad/s, $\omega=1.180$ rad/s και $\omega=1.740$ rad/s. Τα διαγράμματα δείχνουν από την κορυφή προς τα κάτω: συνολική τάση T , συνολική διατμητική δύναμη Q , αξονική ταχύτητα u , εγκάρσια ταχύτητα v και συνολική καμπτική ροπή $EI\Omega$.



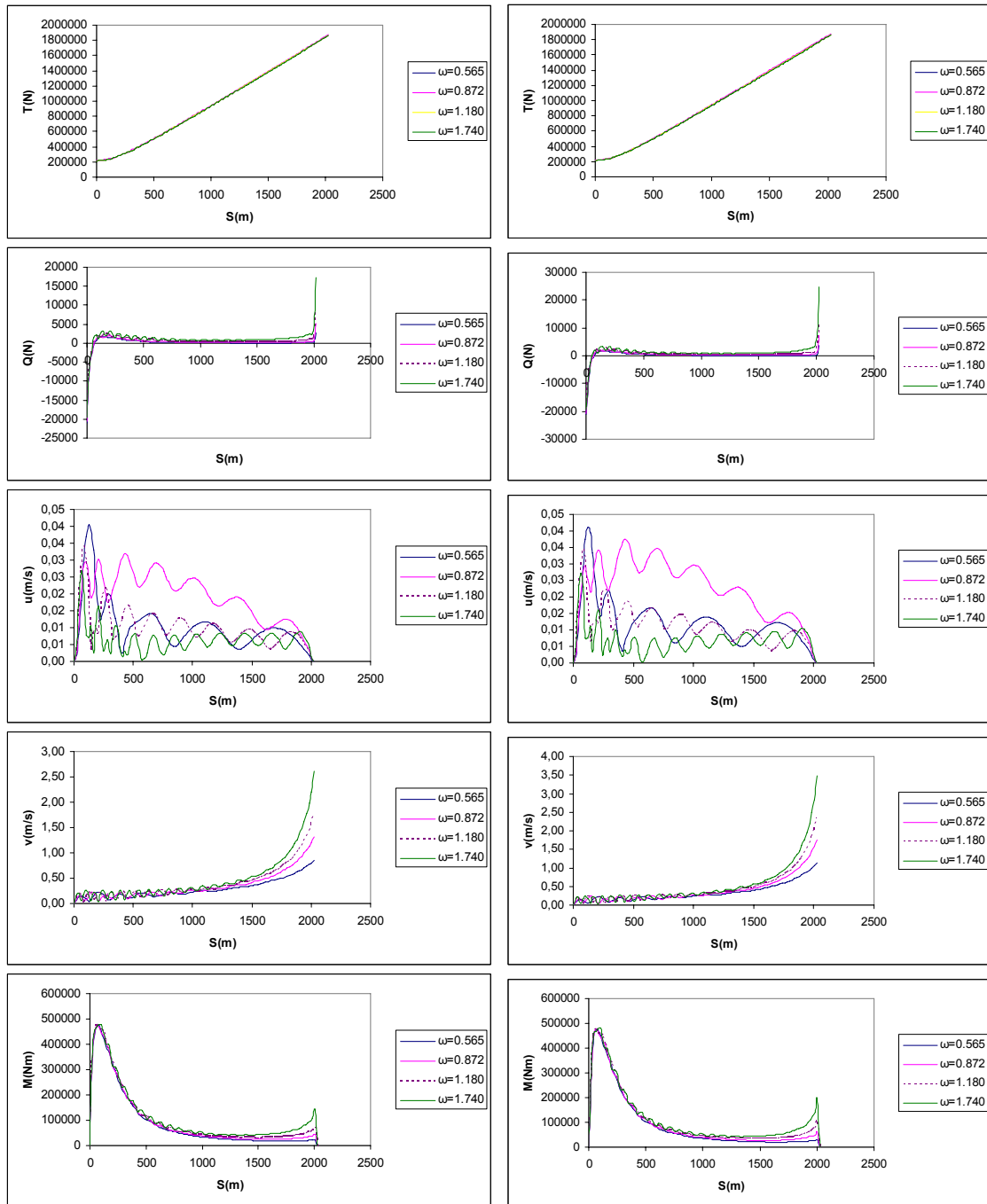
Διάγραμμα 69α: Βάθος νερού 1200m. Συγκριτικά αποτελέσματα για την δυναμική συμπεριφορά του riser κάτω από την q διέγερση με πλάτη $q_a=0.5\text{m}$ (αριστερή στήλη) και $q_a=1.0\text{m}$ (δεξιά στήλη) και για συχνότητες $\omega=0.565\text{rad/s}$, $\omega=0.872\text{rad/s}$, $\omega=1.180\text{ rad/s}$ και $\omega=1.740\text{ rad/s}$. Τα διαγράμματα δείχνουν από την κορυφή προς τα κάτω: συνολική τάση T , συνολική διατμητική δύναμη Q , αξονική ταχύτητα u , εγκάρσια ταχύτητα v και συνολική καμπτική ροπή $EI\Omega$.



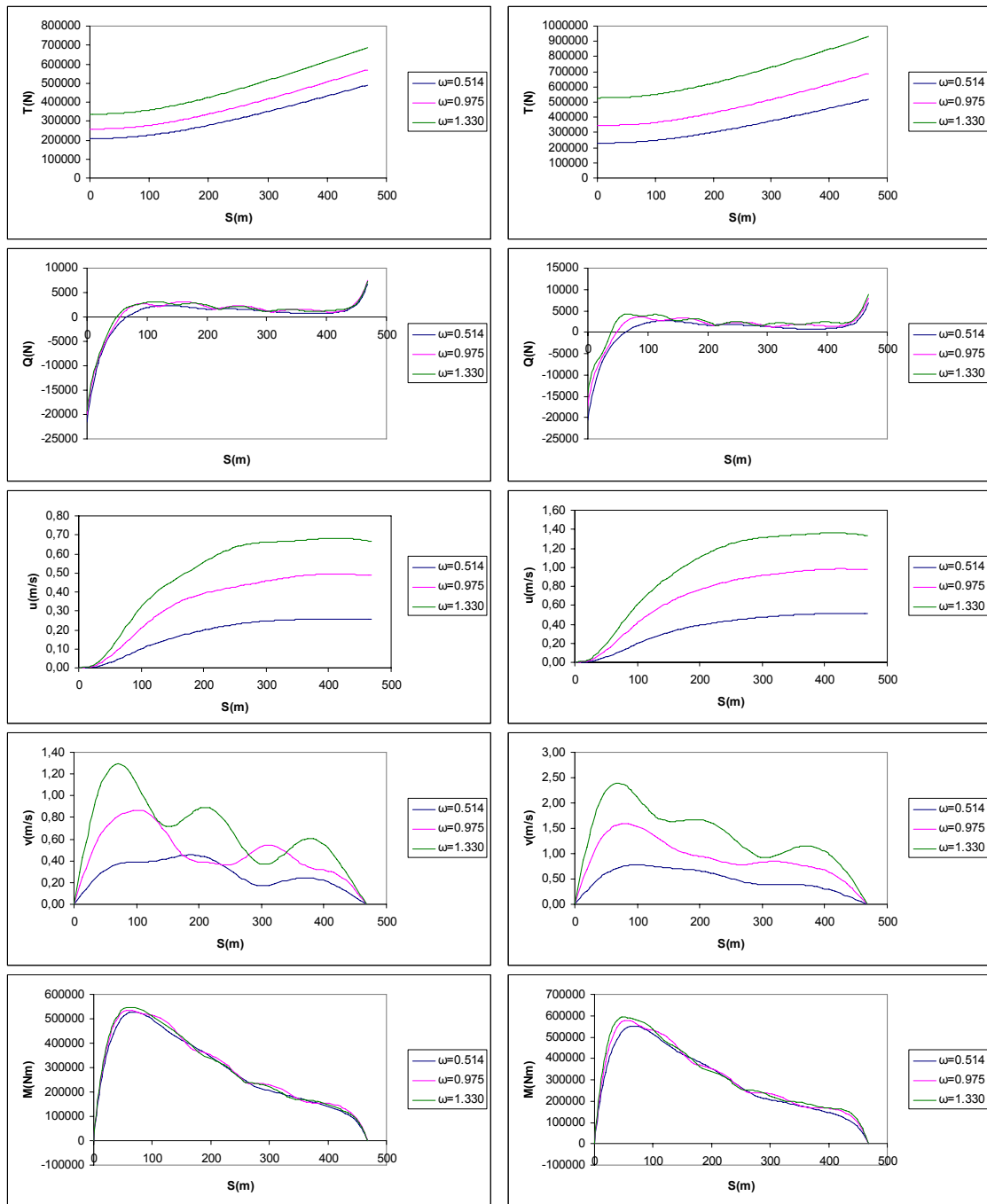
Διάγραμμα 69β: Βάθος νερού 1200m. Συγκριτικά αποτελέσματα για την δυναμική συμπεριφορά του riser κάτω από την q διέγερση με πλάτη $q_a=1.5\text{m}$ (αριστερή στήλη) και $q_a=2.0\text{m}$ (δεξιά στήλη) και για συχνότητες $\omega=0.565\text{rad/s}$, $\omega=0.872\text{rad/s}$, $\omega=1.180\text{ rad/s}$ και $\omega=1.740\text{ rad/s}$. Τα διαγράμματα δείχνουν από την κορυφή προς τα κάτω: συνολική τάση T , συνολική διατμητική δύναμη Q , αξονική ταχύτητα u , εγκάρσια ταχύτητα v και συνολική καμπτική ροπή $EI\Omega$.



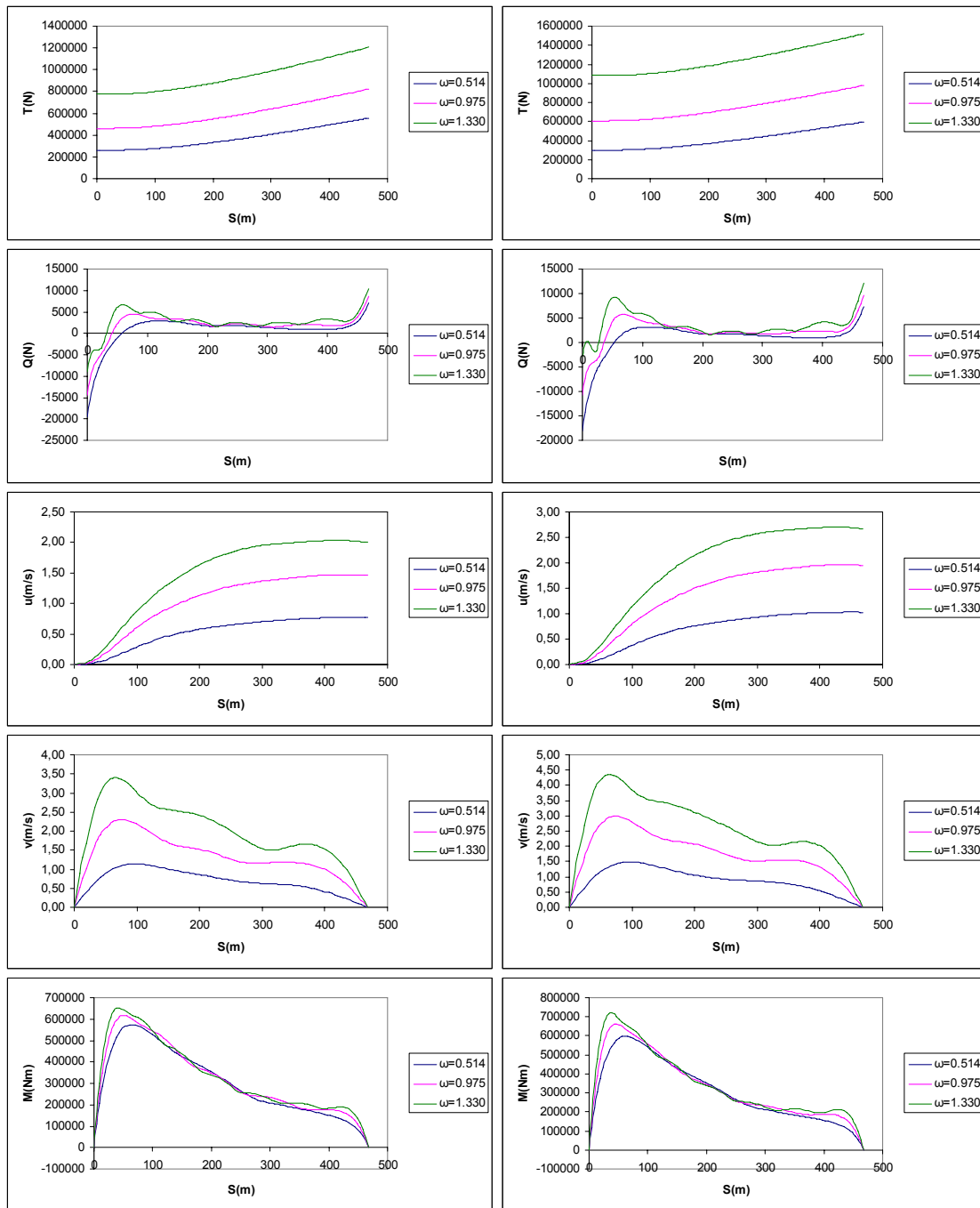
Διάγραμμα 70α: Βάθος νερού 1800m. Συγκριτικά αποτελέσματα για την δυναμική συμπεριφορά του riser κάτω από την q διέγερση με πλάτη $q_a=0.5\text{m}$ (αριστερή στήλη) και $q_a=1.0\text{m}$ (δεξιά στήλη) και για συχνότητες $\omega=0.565\text{rad/s}$, $\omega=0.872\text{rad/s}$, $\omega=1.180\text{ rad/s}$ και $\omega=1.740\text{ rad/s}$. Τα διαγράμματα δείχνουν από την κορυφή προς τα κάτω: συνολική τάση T , συνολική διατμητική δύναμη Q , αξονική ταχύτητα u , εγκάρσια ταχύτητα v και συνολική καμπτική ροπή $EI\Omega$.



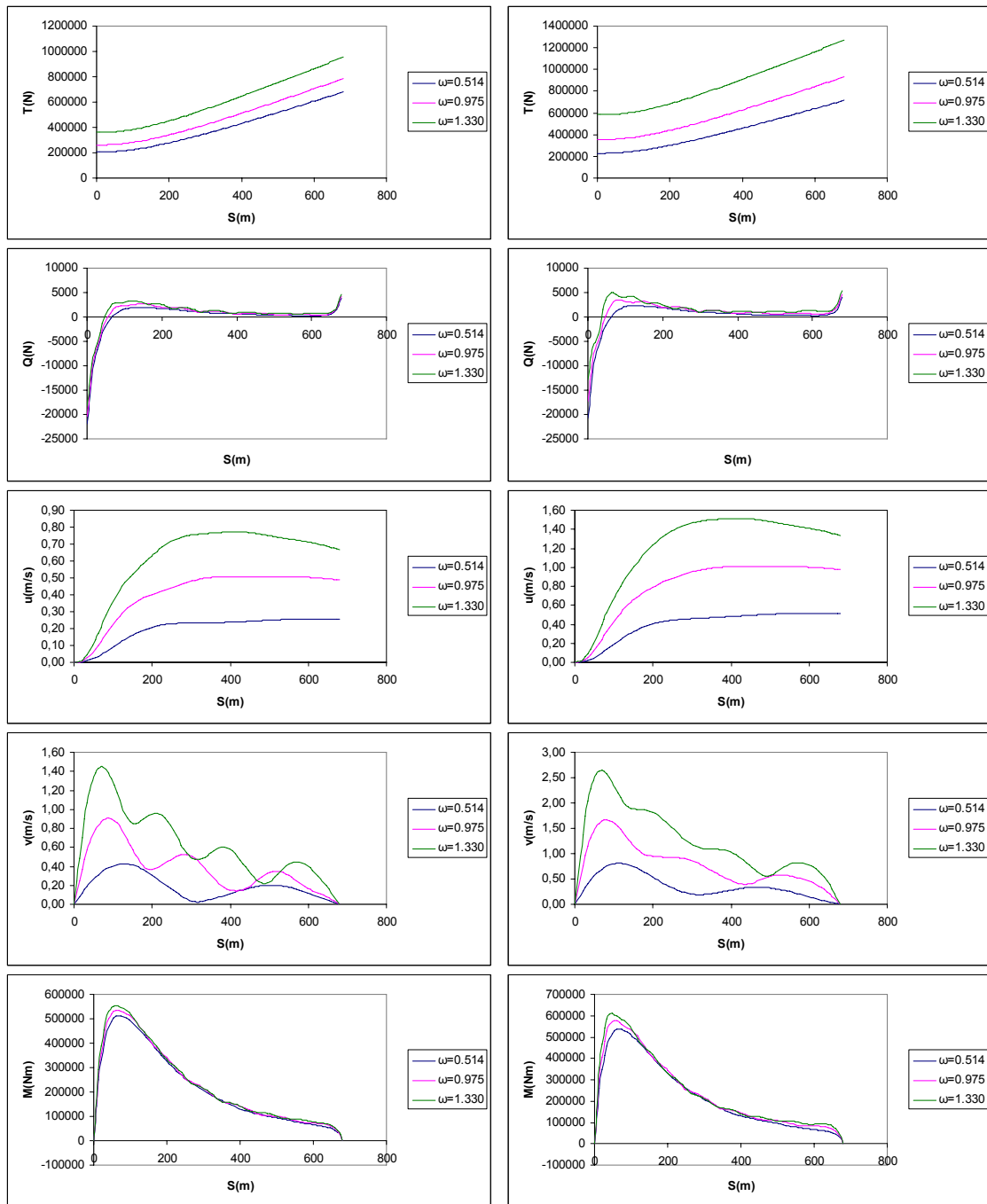
Διάγραμμα 70β: Βάθος νερού 1800m. Συγκριτικά αποτελέσματα για την δυναμική συμπεριφορά του riser κάτω από την q διέγερση με πλάτη $q_a=1.5\text{m}$ (αριστερή στήλη) και $q_a=2.0\text{m}$ (δεξιά στήλη) και για συχνότητες $\omega=0.565\text{rad/s}$, $\omega=0.872\text{rad/s}$, $\omega=1.180\text{ rad/s}$ και $\omega=1.740\text{ rad/s}$. Τα διαγράμματα δείχνουν από την κορυφή προς τα κάτω: συνολική τάση T , συνολική διατμητική δύναμη Q , αξονική ταχύτητα u , εγκάρσια ταχύτητα v και συνολική καμπτική ροπή $EI\Omega$.



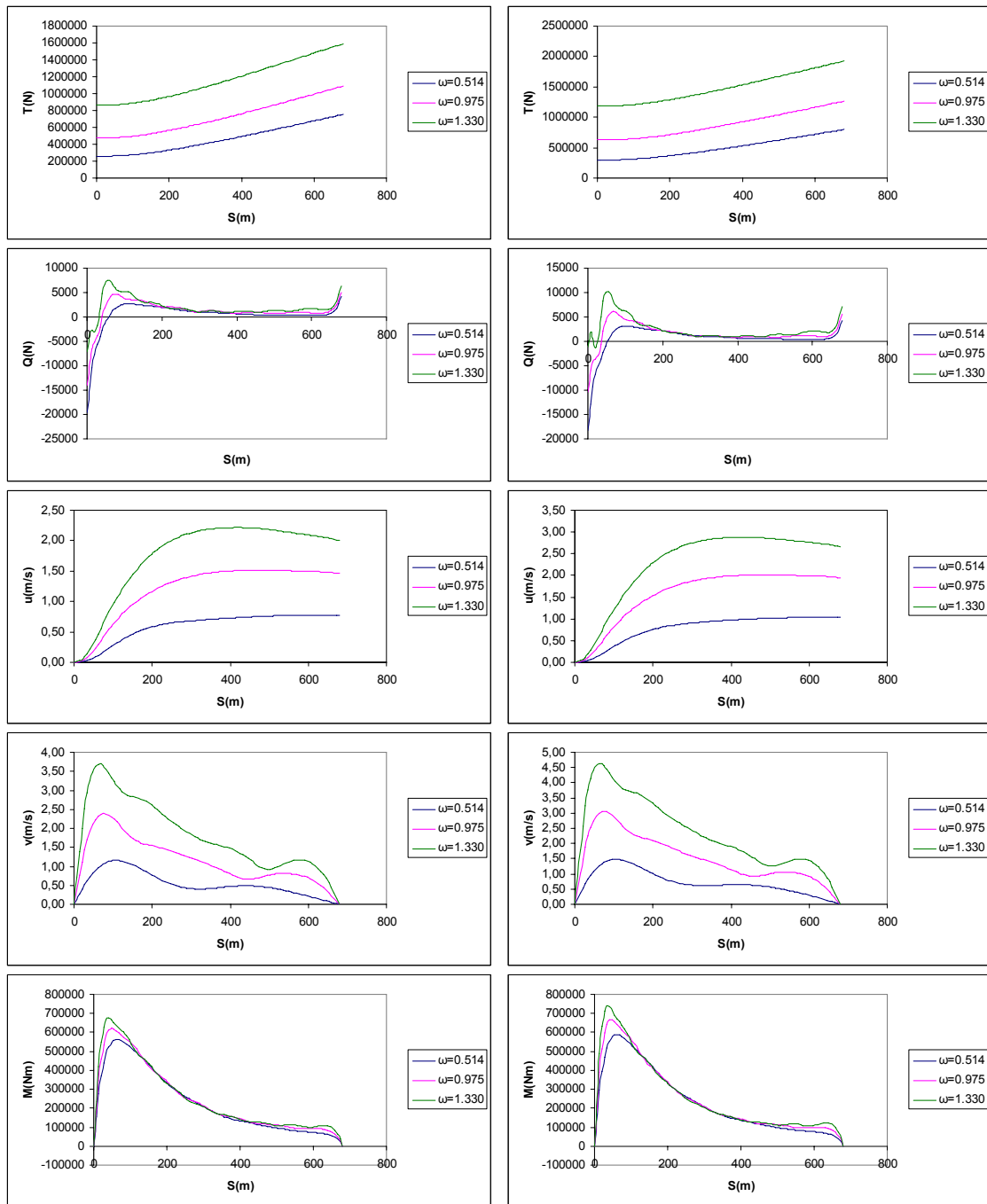
Διάγραμμα 71α: Βάθος νερού 300m. Συγκριτικά αποτελέσματα για την δυναμική συμπεριφορά του riser κάτω από την p διέγερση με πλάτη $p_a=0.5\text{m}$ (αριστερή στήλη) και $p_a=1.0\text{m}$ (δεξιά στήλη) και για συχνότητες $\omega=0.514\text{rad/s}$, $\omega=0.975\text{rad/s}$, και $\omega=1.330\text{ rad/s}$. Τα διαγράμματα δείχνουν από την κορυφή προς τα κάτω: συνολική τάση T , συνολική διατμητική δύναμη Q , αξονική ταχύτητα u , εγκάρσια ταχύτητα v και συνολική καμπτική ροπή $EI\Omega$.



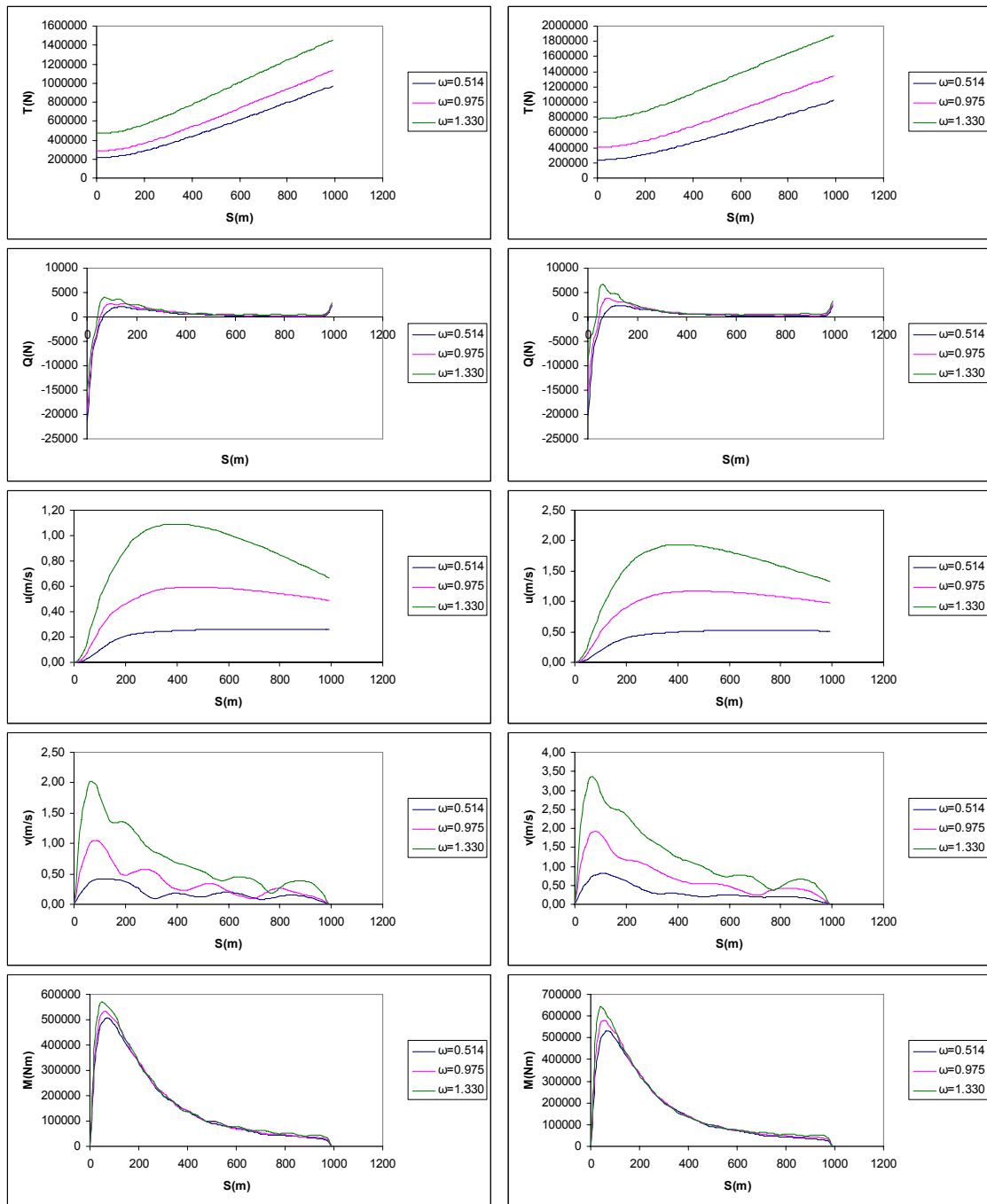
Διάγραμμα 71β: Βάθος νερού 300m. Συγκριτικά αποτελέσματα για την δυναμική συμπεριφορά του riser κάτω από την p διέγερση με πλάτη $p_a=1.5$ m (αριστερή στήλη) και $p_a=2.0$ m (δεξιά στήλη) και για συχνότητες $\omega=0.514$ rad/s, $\omega=0.975$ rad/s, και $\omega=1.330$ rad/s. Τα διαγράμματα δείχνουν από την κορυφή προς τα κάτω: συνολική τάση T , συνολική διατμητική δύναμη Q , αξονική ταχύτητα u , εγκάρσια ταχύτητα v και συνολική καμπτική ροπή $EI\Omega$.



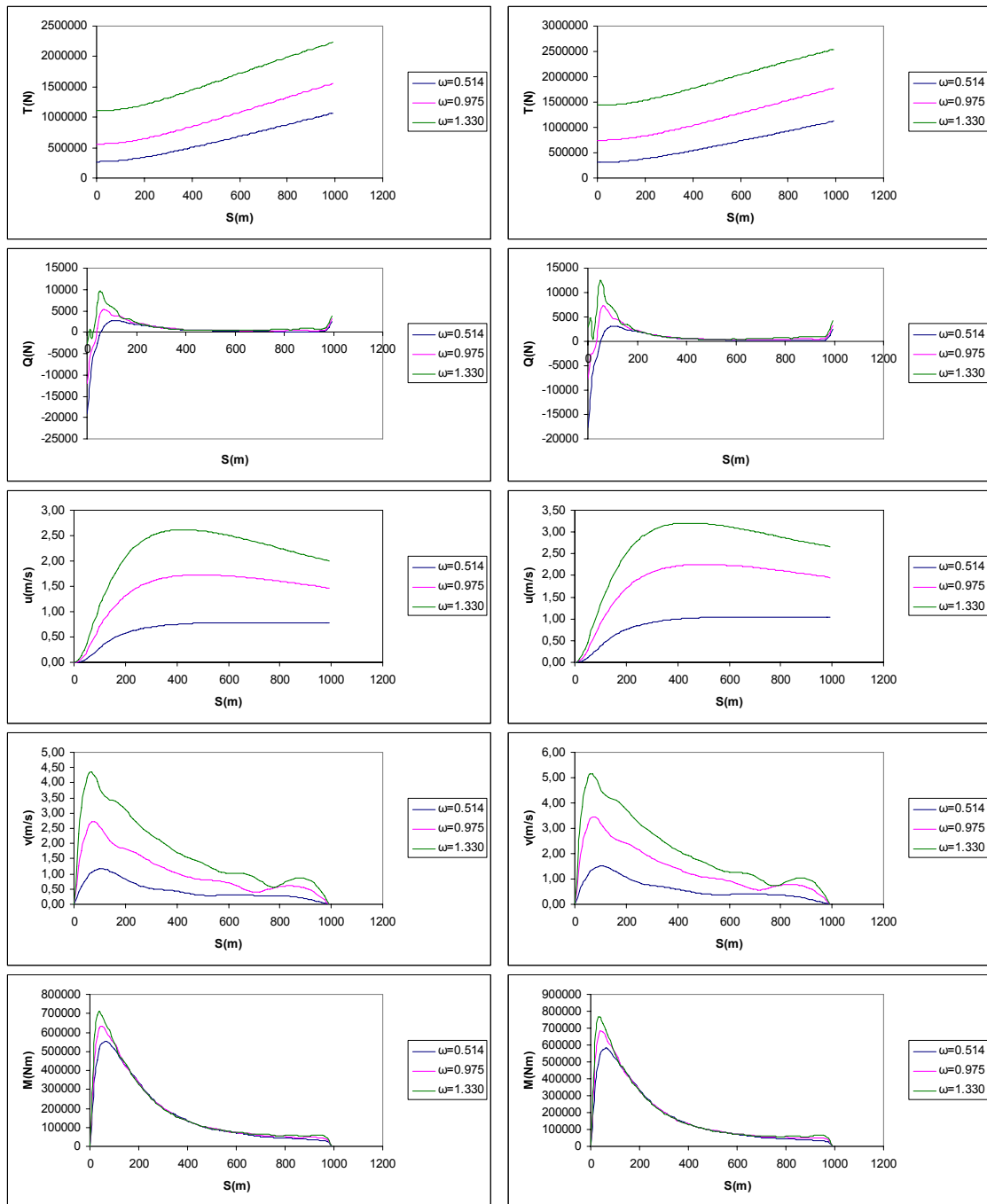
Διάγραμμα 72α: Βάθος νερού 500m. Συγκριτικά αποτελέσματα για την δυναμική συμπεριφορά του riser κάτω από την p διέγερση με πλάτη $p_a=0.5\text{m}$ (αριστερή στήλη) και $p_a=1.0\text{m}$ (δεξιά στήλη) και για συχνότητες $\omega=0.514\text{rad/s}$, $\omega=0.975\text{rad/s}$, και $\omega=1.330\text{ rad/s}$. Τα διαγράμματα δείχνουν από την κορυφή προς τα κάτω: συνολική τάση T , συνολική διατμητική δύναμη Q , αξονική ταχύτητα u , εγκάρσια ταχύτητα v και συνολική καμπτική ροπή $EI\Omega$.



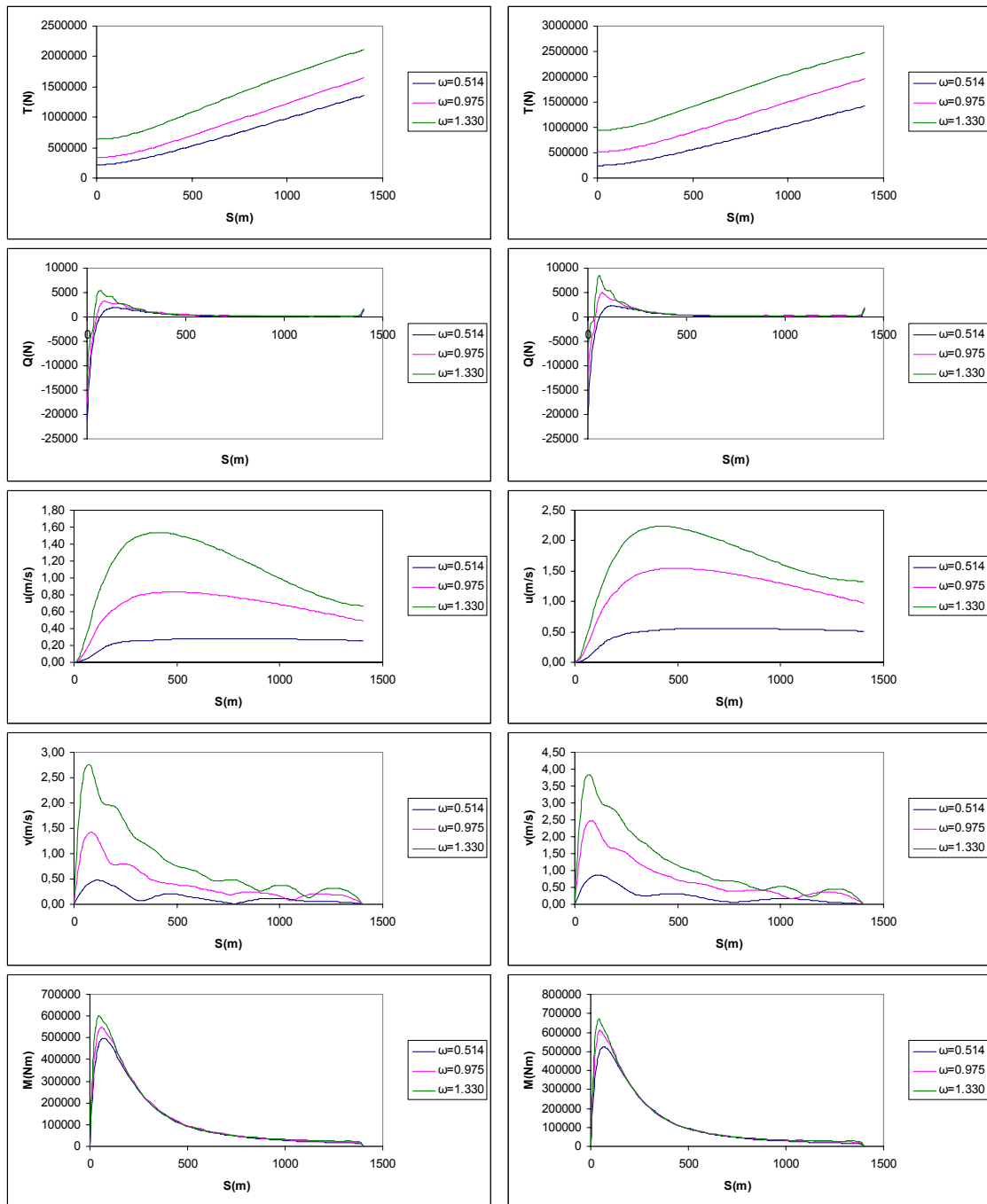
Διάγραμμα 72β: Βάθος νερού 500m. Συγκριτικά αποτελέσματα για την δυναμική συμπεριφορά του riser κάτω από την p διέγερση με πλάτη $p_a=1.5\text{m}$ (αριστερή στήλη) και $p_a=2.0\text{m}$ (δεξιά στήλη) και για συχνότητες $\omega=0.514\text{rad/s}$, $\omega=0.975\text{rad/s}$, και $\omega=1.330\text{ rad/s}$. Τα διαγράμματα δείχνουν από την κορυφή προς τα κάτω: συνολική τάση T , συνολική διατμητική δύναμη Q , αξονική ταχύτητα u , εγκάρσια ταχύτητα v και συνολική καμπτική ροπή $EI\Omega$.



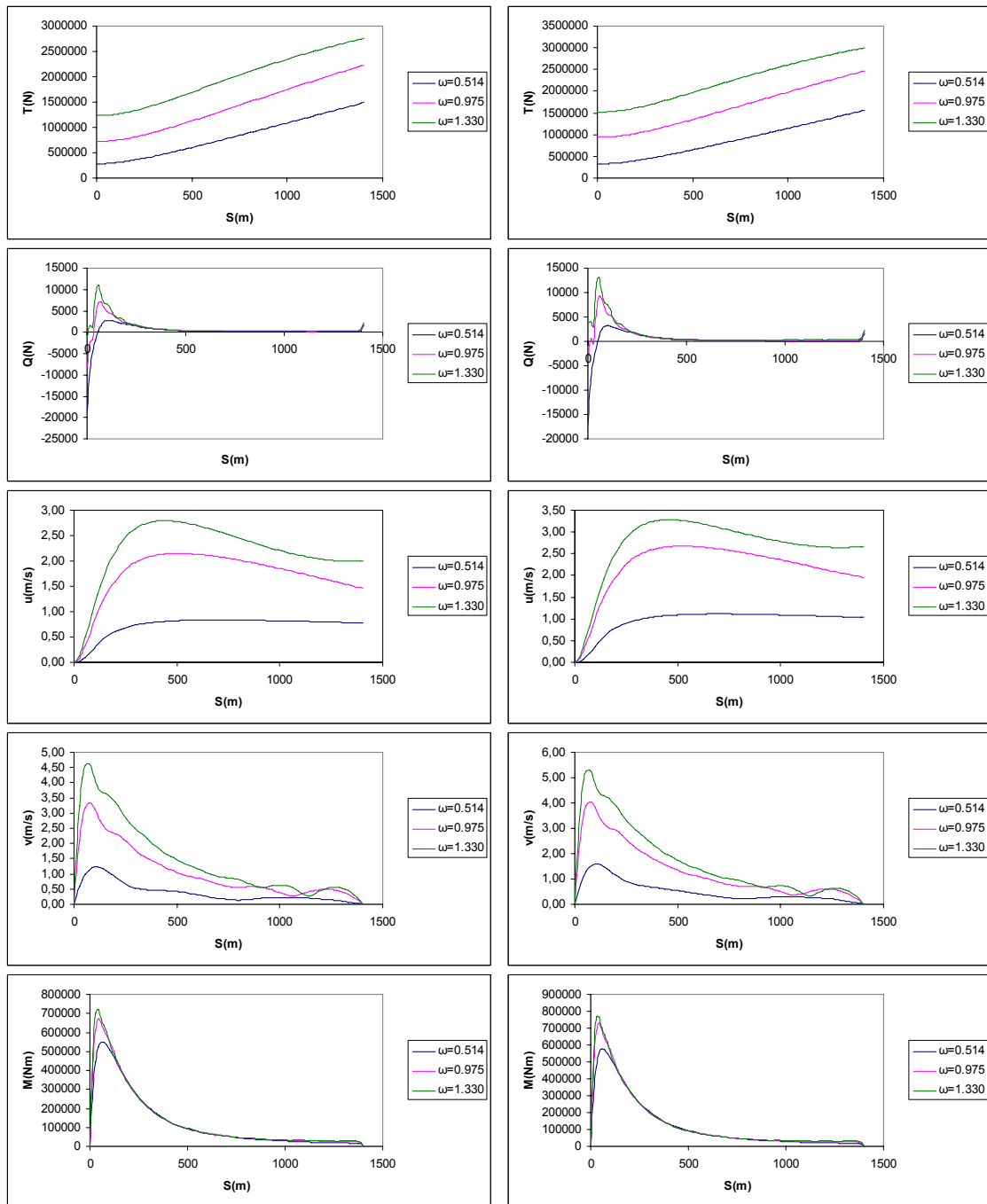
Διάγραμμα 73α: Βάθος νερού 800m. Συγκριτικά αποτελέσματα για την δυναμική συμπεριφορά του riser κάτω από την p διέγερση με πλάτη $p_a=0.5\text{m}$ (αριστερή στήλη) και $p_a=1.0\text{m}$ (δεξιά στήλη) και για συχνότητες $\omega=0.514\text{rad/s}$, $\omega=0.975\text{rad/s}$, και $\omega=1.330\text{ rad/s}$. Τα διαγράμματα δείχνουν από την κορυφή προς τα κάτω: συνολική τάση T , συνολική διατμητική δύναμη Q , αξονική ταχύτητα u , εγκάρσια ταχύτητα v και συνολική καμπτική ροπή $EI\Omega$.



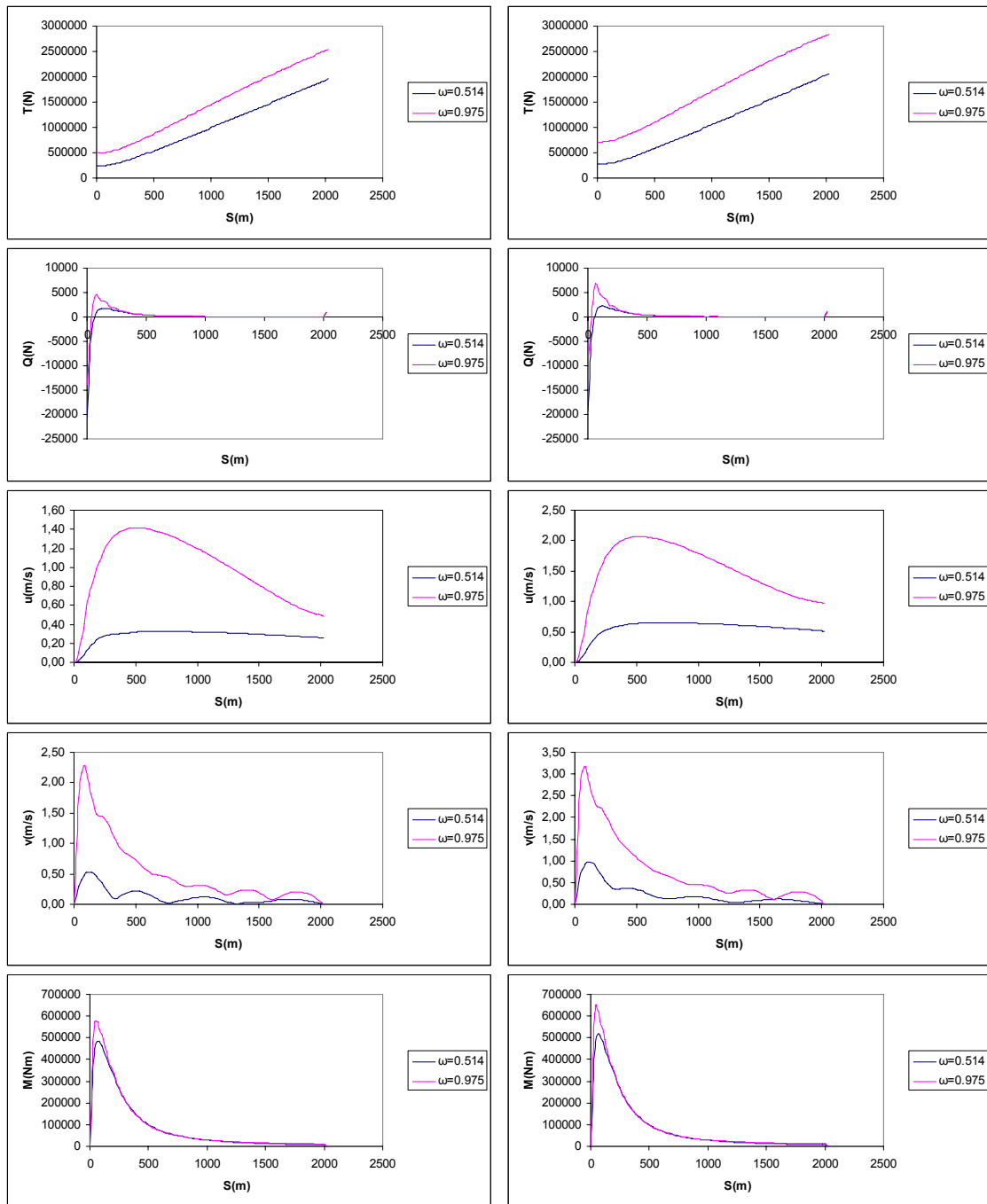
Διάγραμμα 73β: Βάθος νερού 800m. Συγκριτικά αποτελέσματα για την δυναμική συμπεριφορά του riser κάτω από την p διέγερση με πλάτη $p_a=1.5\text{m}$ (αριστερή στήλη) και $p_a=2.0\text{m}$ (δεξιά στήλη) και για συχνότητες $\omega=0.514\text{rad/s}$, $\omega=0.975\text{rad/s}$, και $\omega=1.330\text{ rad/s}$. Τα διαγράμματα δείχνουν από την κορυφή προς τα κάτω: συνολική τάση T , συνολική διατμητική δύναμη Q , αξονική ταχύτητα u , εγκάρσια ταχύτητα v και συνολική καμπτική ροπή $EI\Omega$.



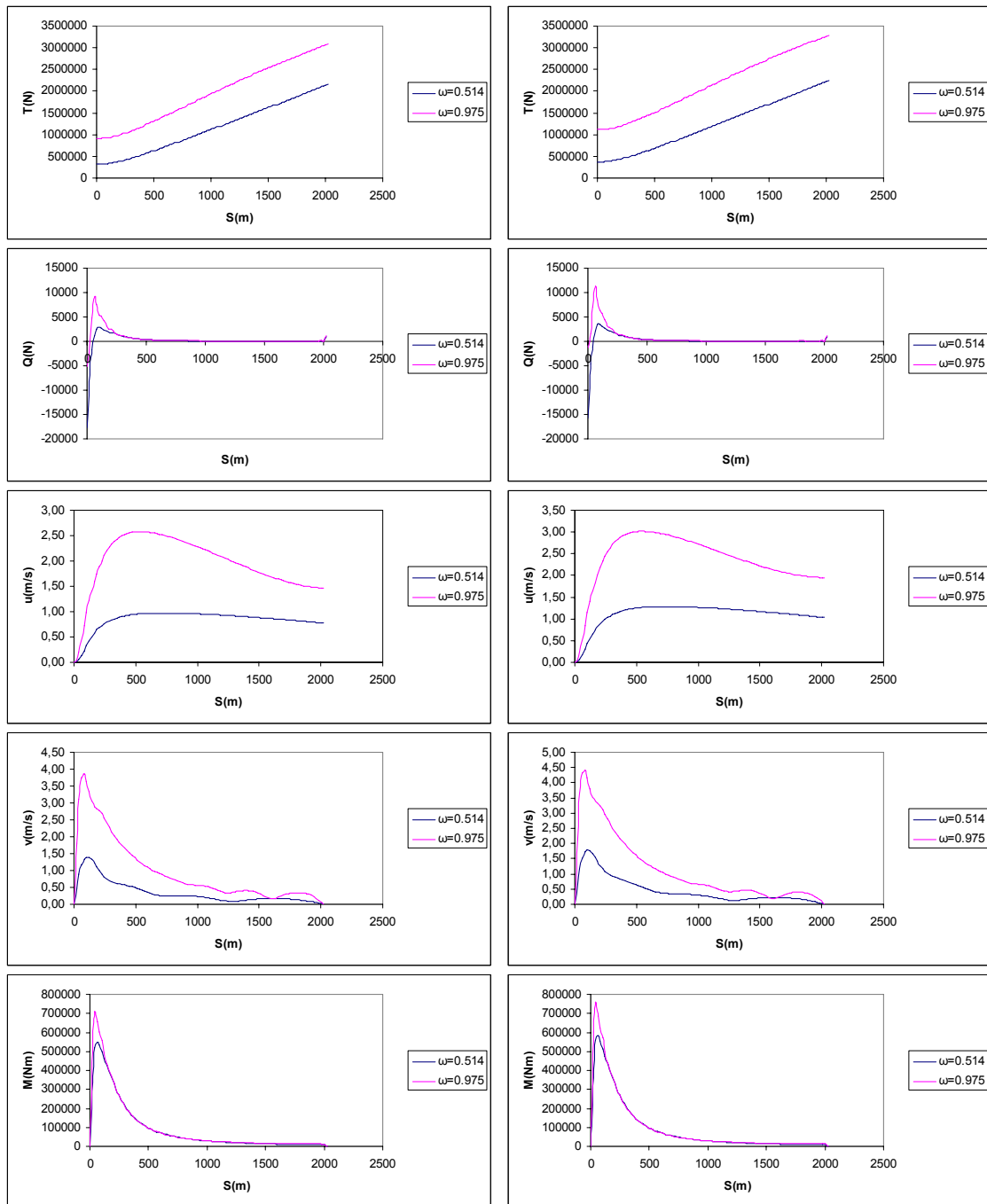
Διάγραμμα 74α: Βάθος νερού 1200m. Συγκριτικά αποτελέσματα για την δυναμική συμπεριφορά του riser κάτω από την p διέγερση με πλάτη $p_a=0.5\text{m}$ (αριστερή στήλη) και $p_a=1.0\text{m}$ (δεξιά στήλη) και για συχνότητες $\omega=0.514\text{rad/s}$, $\omega=0.975\text{rad/s}$, και $\omega=1.330\text{ rad/s}$. Τα διαγράμματα δείχνουν από την κορυφή προς τα κάτω: συνολική τάση T , συνολική διατμητική δύναμη Q , αξονική ταχύτητα u , εγκάρσια ταχύτητα v και συνολική καμπτική ροπή $EI\Omega$.



Διάγραμμα 74β: Βάθος νερού 1200m. Συγκριτικά αποτελέσματα για την δυναμική συμπεριφορά του riser κάτω από την p διέγερση με πλάτη $r_a=1.5\text{m}$ (αριστερή στήλη) και $r_a=2.0\text{m}$ (δεξιά στήλη) και για συχνότητες $\omega=0.514\text{rad/s}$, $\omega=0.975\text{rad/s}$, και $\omega=1.330\text{ rad/s}$. Τα διαγράμματα δείχνουν από την κορυφή προς τα κάτω: συνολική τάση T , συνολική διατμητική δύναμη Q , αξονική ταχύτητα u , εγκάρσια ταχύτητα v και συνολική καμπτική ροπή $EI\Omega$.



Διάγραμμα 75α: Βάθος νερού 1800m. Συγκριτικά αποτελέσματα για την δυναμική συμπεριφορά του riser κάτω από την p διέγερση με πλάτη $p_a=0.5$ m (αριστερή στήλη) και $p_a=1.0$ m (δεξιά στήλη) και για συχνότητες $\omega=0.514$ rad/s και $\omega=0.975$ rad/s. Τα διαγράμματα δείχνουν από την κορυφή προς τα κάτω: συνολική τάση T , συνολική διατμητική δύναμη Q , αξονική ταχύτητα u , εγκάρσια ταχύτητα v και συνολική καμπτική ροπή $EI\Omega$.



Διάγραμμα 75β: Βάθος νερού 1800m. Συγκριτικά αποτελέσματα για την δυναμική συμπεριφορά του riser κάτω από την p διέγερση με πλάτη $p_a=1.5\text{m}$ (αριστερή στήλη) και $p_a=2.0\text{m}$ (δεξιά στήλη) και για συχνότητες $\omega=0.514\text{rad/s}$ και $\omega=0.975\text{rad/s}$. Τα διαγράμματα δείχνουν από την κορυφή προς τα κάτω: συνολική τάση T , συνολική διατμητική δύναμη Q , αξονική ταχύτητα u , εγκάρσια ταχύτητα v και συνολική καμπτική ροπή $EI\Omega$.