

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΛΙΜΕΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

Διπλωματική Εργασία

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΝΕΟ ΑΕΡΟΔΙΑΔΡΟΜΟ ΤΟΥ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟΥ «ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ»

> Γιώργης Νικόλας George Sasin

<u>Επιβλέπων</u>: Καθ. Κωνσταντίνος Ι. Μουτζούρης Συνεπιβλέπουσα: Θεοδώρα Γιαντσή

Αθήνα 2012

<u>Ευχαριστίες</u>

Θερμές ευχαριστίες για την άψογη συνεργασία και εμπράγματη προσφορά στην εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, οφείλονται σε όλο το προσωπικό του Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων του Ε.Μ.Π., που δίχως την απαραίτητη βοήθειά τους, θα ήταν ανέφικτη η ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Με πολύ σεβασμό και εκτίμηση θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον Καθηγητή και πρώην Πρύτανη Ε.Μ.Π. κ. Κωνσταντίνο Μουτζούρη που μας τίμησε με την εμπιστοσύνη του, αναθέτοντάς μας το Θέμα της παρούσας εργασίας και εγκρίνοντας μας να συμμετάσχουμε στο Εργαστήριο Λιμενικών Έργων του Ε.Μ.Π.

Ιδιαίτερες και εγκάρδιες ευχαριστίες οφείλουμε στην κα. Θεοδώρα Γιαντσή, υπεύθυνη για την πειραματική διερεύνηση της περιμετρικής προστασίας από κυματική υπερπήδηση της επέκτασης του διαδρόμου προσαπογειώσεων 10 -28 του κρατικού αερολιμένα Θεσσαλονίκης «ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ». Η κα. Γιαντσή μέσω της εμπράγματης υποστήριξης και μεταλαμπάδευσης ειδικών επιστημονικών γνώσεων, είναι η κύρια εμπνεύστρια της πειραματικής διερεύνησης και η συμβολή της, υπήρξε καθοριστική στην αποπεράτωση της.

Θα αποτελούσε παράληψή μας η μη αναφορά στην Πολιτικό Μηχανικό κα. Βαρβάρα Παπαθανασίου, και στους βοηθούς εργαστηρίου κ. Στάθη Τσούνη και κ. Παναγιώτη Μαργαρώνη, των οποίων η βοήθεια ήταν καθοριστική για την διεκπεραίωση των πειραμάτων.

Τέλος, ευχαριστούμε πολύ τους γονείς, τα αδέρφια και τους αδερφικούς μας φίλους μου που χωρίς την ηθική συμπαράστασή τους όλα τα εγχειρήματά μας θα ήταν από πολύ δύσκολα έως ανέφικτα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση σε φυσικό προσομοίωμα με πειραματικές μετρήσεις του φαινομένου της κυματικής υπερπήδησης σε κατακόρυφο τοιχίο. Δεδομένου ότι το συγκεκριμένο φαινόμενο είναι σύνθετο και πολύπλοκο, η εργαστηριακή έρευνα θεωρείται διεθνώς αξιόπιστη μέθοδος εκτίμησης του, έναντι ημιεμπειρικών μεθόδων.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αξιολογήθηκαν πειραματικές μετρήσεις υπερπήδησης που έγιναν στο φυσικό προσομοίωμα για την επέκταση του αεροδιαδρόμου προσαπογειώσεων 10-28 του κρατικού αερολιμένα Θεσσαλονίκης «Μακεδονία». Το φυσικό προσομοίωμα αφορούσε συγκεκριμένα στο περιμετρικό μέτωπο της επέκτασης, για την οριστικοποίηση της μορφής και των διαστάσεων του, ώστε να εξασφαλίζεται η ασφάλεια των αεροσκαφών. Το περιμετρικό μέτωπο της επίχωσης θα κατασκευασθεί με κατακόρυφο μέτωπο με τοίχο επιστροφής κυμάτων. Αξιολογήθηκαν μετρήσεις από 2 φυσικά προσομοιώματα διαφορετικής κλίμακας (ένα υπό κλίμακα 1:60 και ένα υπό κλίμακα 1:30) για δύο συγκεκριμένες διατομές.

Η έρευνα αυτή πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Λιμενικών Έργων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και συγκεκριμένα στις Δεξαμενές Δοκιμών Δ1 και Δ2 κατά τους μήνες Δεκέμβριο του έτους 2011 και Ιανουάριο - Φεβρουάριο του 2012.

Τα αποτελέσματα όλων των επιμέρους δοκιμών συγκεντρώθηκαν και αναλύθηκαν με την βοήθεια θεωρητικών σχέσεων, ηλεκτρονικών υπολογιστών και προγραμμάτων. Η επεξεργασία και εξαγωγή συμπερασμάτων έγινε με την βοήθεια πινάκων και διαγραμμάτων τα οποία οπτικοποιούν το φαινόμενο της κυματικής υπερπήδησης υπό τις δεδομένες συνθήκες και τα κυματικά χαρακτηριστικά της πειραματικής διερεύνησης.

Αρχικά γίνεται αναφορά των θεωρητικών στοιχείων που αφορούν γενικά στους κυματισμούς και στη συνέχεια στο φαινόμενο της κυματικής υπερπήδησης.

Ακολούθως περιγράφονται οι πειραματικές εγκαταστάσεις του Ε.Λ.Ε. που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και τα φυσικά προσομοιώματα.

Έπειτα παρατίθενται τα πειραματικά αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν και κατόπιν γίνεται αξιολόγησή τους. Γίνεται μια σύγκριση μεταξύ της αποτελεσματικότητας των δύο προς εξέταση διατομών και τελικά προτείνεται η καταλληλότερη εξ αυτών για την εξυπηρέτηση του σκοπού του έργου.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Ευχαριστίες	2
Περίληψη	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1° ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2° ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΩΡΙΑΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ	9
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
2.2 ΠΡΟΣΠΤΩΣΗ ΚΥΜΑΤΩΝ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΜΕΤΩΠΑ	12
2.3 ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ	17
2.4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3° ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ Ε.Λ.Ε.	20
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	20
3.2 ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ	22
3.3 ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ	24
3.4 ΜΕΤΡΗΤΕΣ ΚΥΜΑΤΟΣ	25
3.5 ΣΥΛΛΟΓΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗΣ	26
3.6 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4° ΦΥΣΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ	28
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	28
4.2 ΚΛΙΜΑΚΕΣ ΟΜΟΙΟΤΗΤΑΣ	29
4.3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΟΓΚΟΛΙΘΩΝ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΩΝ	31
4.4 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΟΜΟΙΩΜΑΤΩΝ	33
4.5 ΕΛΕΓΧΘΕΙΣΕΣ ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΕΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ	35
4.6 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΥΜΑΤΩΝ	38
4.7 ΣΥΛΛΟΓΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ	39
4.8 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	47
4.9 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5° ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	55
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	55
5.2 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ	56
5.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ	61
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6° ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	82

6.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	82
6.2	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗΣ	83
6.3	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ	93
6.4	ΜΕΣΕΣ ΚΑΙ ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΠΑΡΟΧΕΣ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ ΣΤΟ ΕΜΠΡΟΣΘΙΟ ΜΕΤΩΠΟ	99
6.5	ΠΑΡΟΧΕΣ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ ΕΜΠΡΟΣΘΙΟΥ ΜΕΤΩΠΟΥ ΤΩΝ ΔΙΑΤΟΜΏΝ Α1 ΚΑΙ Α2 ΥΠΟ ΧΑΜΗΛΗ Μ.Σ.Υ.	103
6.6	ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	106
ΚΕΦΑ	ΛΑΙΟ 7° ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	109
ΒΙΒΛΙ	ΟΓΡΑΦΙΑ	111

<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1°</u>

<u>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</u>

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση σε φυσικό προσομοίωμα με πειραματικές μετρήσεις του φαινομένου της κυματικής υπερπήδησης σε κατακόρυφο τοιχίο. Δεδομένου ότι το συγκεκριμένο φαινόμενο είναι σύνθετο και πολύπλοκο, η εργαστηριακή έρευνα θεωρείται διεθνώς αξιόπιστη μέθοδος εκτίμησης του, έναντι ημιεμπειρικών μεθόδων.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αξιολογήθηκαν πειραματικές μετρήσεις υπερπήδησης που έγιναν στο φυσικό προσομοίωμα για την επέκταση του αεροδιαδρόμου προσαπογειώσεων 10-28 του κρατικού αερολιμένα Θεσσαλονίκης «Μακεδονία». Το φυσικό προσομοίωμα αφορούσε συγκεκριμένα στο περιμετρικό μέτωπο της επέκτασης, για την οριστικοποίηση της μορφής και των διαστάσεων του, ώστε να εξασφαλίζεται η ασφάλεια των αεροσκαφών. Το περιμετρικό μέτωπο της επίχωσης θα κατασκευασθεί με κατακόρυφο μέτωπο με τοίχο επιστροφής κυμάτων. Αξιολογήθηκαν μετρήσεις από 2 φυσικά προσομοιώματα διαφορετικής κλίμακας (ένα υπό κλίμακα 1:60 και ένα υπό κλίμακα 1:30).

Στο 2° κεφάλαιο γίνεται αναφορά των θεωρητικών στοιχείων που αφορούν γενικά στους κυματισμούς και στη συνέχεια στο φαινόμενο της κυματικής υπερπήδησης. Στο πλαίσιο αυτό παρουσιάζονται βασικές έννοιες, καθώς και ημιεμπειρικές σχέσεις εκτίμησης της υπερπήδησης.

Στο 3° κεφάλαιο περιγράφονται οι πειραματικές εγκαταστάσεις του Ε.Λ.Ε. που χρησιμοποιήθηκαν με αναφορά στις δεξαμενές, στο σύστημα παραγωγής κυμάτων και στα μετρητικά όργανα.

Στο 4[°] κεφάλαιο περιγράφονται τα φυσικά προσομοιώματα τα οποία κατασκευάστηκαν για την εκτέλεση των πειραμάτων. Γίνεται αναφορά στις κλίμακες ομοιότητας και στη συνέχεια παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο κατασκευάστηκαν τα φυσικά προσομοιώματα. Περιγράφεται επίσης η βαθμονόμηση των οργάνων, η

παραγωγή των κυμάτων καθώς και ο τρόπος συλλογής και επεξεργασίας των μετρήσεων

Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά διαγράμματα του μέσου χαρακτηριστικού κύματος για όλα τα ελεγχθέντα φάσματα κυμάτων σε όλες τις θέσεις μέτρησης, ανά Διατομή και ανά διεύθυνση πρόσπτωσης των κυμάτων. Παρουσιάζονται επιπλέον τα διαγράμματα της παροχής υπερπήδησης ανά διατομή και ανά διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων.

Στο κεφάλαιο 6 γίνεται η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν απ' τις μετρήσεις. Παρουσιάζονται συγκριτικές γραφικές παραστάσεις για τα χαρακτηριστικά ύψη των κυμάτων καθώς και για τις μέσες παροχές υπερπήδησης για τις διατομές που ελέγθηκαν.

Τέλος, στο κεφάλαιο 7 συνοψίζονται τα συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°</u>

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΩΡΙΑΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ανεμογενείς κυματισμοί οφείλονται στην μετάδοση ενέργειας από τον άνεμο στην θάλασσα. Με την επίδραση του ανέμου πάνω στην ελεύθερη επιφάνεια της θάλασσας αναπτύσσονται δυνάμεις πίεσης και τριβής, οι οποίες θέτουν σε κίνηση τα μόρια του θαλάσσιου νερού. Οι κινήσεις αυτές των μορίων προκαλούν παραμορφώσεις, ή διαφορετικά επιπεδικές αλλοιώσεις της ελεύθερης επιφάνειας του ήρεμου νερού. Η ελεύθερη, ήρεμη επιφάνεια της θάλασσας αργά ή γρήγορα, ανάλογα με την ένταση και το χρόνο δράσης του ανέμου εξογκώνεται (κυρτώνεται) εναλλάξ προς τα πάνω και προς τα κάτω και σχηματίζει γενικά στο χώρο ένα προφίλ διαδοχικών εξογκωμάτων (κυρτωμάτων) και αυλακών (κοιλωμάτων).

Στη γένεση των κυμάτων υπεισέρχονται δύο φυσικοί μηχανισμοί: ο συντονισμός μεταξύ των διαταραχών της θαλάσσιας επιφάνειας και των παλμών της πιέσεως στο πεδίο του ανέμου και η εμφάνιση ανωμαλιών στη θαλάσσια επιφάνεια. Τρία είναι τα βασικά στοιχεία του ανέμου, που ενδιαφέρουν τον Λιμενολόγο Μηχανικό: η διεύθυνση από την οποία πνέει, η μέση ταχύτητά του στο χρονικό διάστημα αναπτύξεως κυμάτων και τέλος η διάρκεια πνοής του.

Οι διαταραχές αυτές στις παράκτιες θαλάσσιες μάζες είναι γνωστές ως επιφανειακοί θαλάσσιοι κυματισμοί και το μηχανικό ενεργειακό περιεχόμενο τους είναι ο σημαντικότερος παράγοντας φόρτισης των τεχνικών έργων που σχεδιάζουν ή υπολογίζουν οι πολιτικοί μηχανικοί

Στην απλούστερη περίπτωση του απλού περιοδικού ημιτονοειδούς μορφής κυματισμού (Σχήμα 2.1) διακρίνονται τα εξής μορφολογικά και κινηματικά στοιχεία περιγραφής του κυματισμού:

- L = μήκος κύματος (απόσταση μεταξύ διαδοχικών κοιλιών ή κορυφών) [m].
- Η = ύψος ή εύρος κύματος (απόσταση κοιλίας κορυφής) [m].
- α = πλάτος κύματος (το μισό του ύψους) [m].
- Τ = περίοδος κύματος (η χρονική απόσταση ανάμεσα στην εμφάνιση δύο διαδοχικών κορυφών σε μια θέση) [sec].
- f = κυκλική συχνότητα (=1/T) [Hz].
- c = ταχύτητα διάδοσης του κυματισμού (L=C*T) [m/s].
- u, v, w = οι συνιστώσες ταχύτητας των μορίων του νερού στο εσωτερικό του, που είναι γενικά διαφορετικές του C [m/s].
- η ή ζ = η απόσταση της στάθμης της επιφάνειας από τη μέση στάθμη κυματισμού [m].
- d ή h = το βάθος του νερού στην αρχική κατάσταση [m].
- Διατομή κύματος = η κατακόρυφη διατομή του κατά τη διεύθυνση μετάδοσης.
- Κορυφή κύματος = το ψηλότερο σημείο του πάνω από την ελεύθερη επιφάνεια της θάλασσας σε ηρεμία.
- Κοιλιά κύματος = το χαμηλότερο σημείο του κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια της θάλασσας σε ηρεμία.
- ΣΗΥ = η ελεύθερη επιφάνεια της θάλασσας σε ηρεμία (Στάθμη Ηρεμούντος Ύδατος).



Σχήμα 2.1 – Κυματισμός απλής περιοδικής ημιτονοειδούς μορφής

Η προέλευση των κυματισμών στη φύση μπορεί να προέρχεται από διάφορους παράγοντες κυριότεροι των οποίων είναι οι ακόλουθοι:

- Επίδραση του ανέμου στην επιφάνεια της θάλασσας.
- Διαφοροποιήσεις της βαρομετρικής πίεσης από θέση σε θέση.
- Αστρονομική παλίρροια.
- Υποβρύχιες κατολισθήσεις και υποθαλάσσιους σεισμούς.
- Διαφοροποιήσεις πυκνότητας θαλάσσιων μαζών.

Η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στο βασικό γενεσιουργό αίτιο ενός πεδίου κυμάτων στη θαλάσσια επιφάνεια, που είναι η τυρβώσης ροή του ανέμου. Τα θαλάσσια κύματα γεννιούνται σε ανοικτές θάλασσες από τον άνεμο και συνεχώς μεταδίδουν την ενέργεια και τις δυνάμεις τους από μόριο σε μόριο και προς την κατεύθυνση της διάδοσης τους.

2.2 ΠΡΟΣΠΤΩΣΗ ΚΥΜΑΤΩΝ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΜΕΤΩΠΑ

Για την αξιολόγηση της υπερπήδησης που προκύπτει από την πρόσπτωση ενός κύματος σε ένα κατακόρυφο μέτωπο (π.χ. κυματοθραύστη), είναι αναγκαίο να γνωρίζουμε σε τι κατάσταση βρίσκεται το κύμα. Δηλαδή χρειάζεται να γνωρίζουμε εάν το κύμα είναι είναι μη-θραυόμενο ή εάν είναι θραυόμενο.

Η περίπτωση όπου παρουσιάζονται μη θραυόμενες συνθήκες πρόσπτωσης των κυμάτων παρατηρείται όταν το ύψος των κυμάτων είναι μικρό σε σχέση με το τοπικό βάθος του νερού. Στην περίπτωση αυτή τα κύματα πάλλονται και δεν εκτελούν κάποια βίαιη κίνηση. Η υπερπήδηση που προκύπτει όταν τέτοια κύματα προσπέσουν σε κάποιο κάθετο τοίχωμα μπορεί να χαρακτηριστεί ως ομαλή, κάτι που φαίνεται και απ' το Σχήμα 2.2.

Εν αντιθέσει, θραυόμενες συνθήκες πρόσκρουσης παρουσιάζονται όταν τα ύψη κύματος είναι μεγαλύτερα από το βάθος του νερού στο οποίο βρίσκονται. Τα κύματα αυτά κινούνται θραυόμενα. Έτσι, όταν προσπέσουν σε κάθετη επιφάνεια παρατηρείται μια σύντομη και βίαιη σύγκρουση. Κατά την πρόσπτωση αυτή παρατηρούνται δυνάμεις πολύ μεγαλύτερες σε σχέση με τις μη παρορμητικές συνθήκες πρόσπτωσης. Κατά την πρόσπτωση υπό αυτές τις συνθήκες, παρατηρείται μια μάζα νερού η οποία υπερπηδά απότομα το μέτωπο, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.3.

Υπάρχει και μια τρίτη περίπτωση, των «σχεδόν θραυόμενων» (near-breaking) κυμάτων, η οποία ουσιαστικά είναι κάτι ενδιάμεσο των δυο προηγούμενων. Στην περίπτωση αυτή το κύμα είναι ένα στάδιο πριν να αρχίσει να θραύεται καθώς προσπίπτει στο μέτωπο. Η υπερπήδηση που προκύπτει αποτελείται από μια απότομα κινούμενη μάζα νερού προς τα πάνω, όπως στην περίπτωση παρορμητικής πρόσπτωσης, με μόνη διαφορά ότι περιλαμβάνει λιγότερο αέρα στην κίνηση της αυτή και άρα είναι λιγότερο βίαιη. Μια εικόνα του φαινομένου αυτού δίνεται στο Σχήμα 2.4



Σχήμα 2.2 – Η πρόσπτωση ενός μη θραυόμενου κύματος (non-impulsive) σε κατακόρυφο μέτωπο έχει ως αποτέλεσμα ομαλή υπερπήδηση (Πηγή: EurOtop, 2007)



Σχήμα 2.3 – Η πρόσπτωση ενός θραυόμενου κύματος (impulsive) σε κατακόρυφο μέτωπο έχει ως αποτέλεσμα βίαιη υπερπήδηση (Πηγή: EurOtop, 2007)



Σχήμα 2.4 – Η πρόσπτωση ενός σχεδόν θραυόμενου κύματος σε κατακόρυφο μέτωπο έχει ως αποτέλεσμα βίαιη υπερπήδηση (Πηγή: EurOtop, 2007)

Διαχωρισμός Συνθηκών Υπερπήδησης σε απλό κατακόρυφο μέτωπο

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό των συνθηκών θραυόμενης και μη-θραυόμενης πρόσπτωσης σε κατακόρυφο μέτωπο του οποίου η έδραση είναι ύφαλη (h_s<0), όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.5. Όταν η έδραση του μετώπου δεν είναι ύφαλη αλλά είναι έξαλη (h_s>0), τότε μόνον τα θραυσμένα κύματα φτάνουν στο κατακόρυφο μέτωπο.

Για μέτωπα με ύφαλη έδραση (h_s<0) υπάρχει η παράμετρος θρυμματισμού κύματος (impulsiveness parameter) h_{*}, η οποία εξαρτάται από το βάθος h_s και ορίζεται ως ακολούθως

$$h_* = 1.35 \frac{h_s}{H_{m0}} \frac{2\pi h_s}{gT_{m-1,0}^2}$$

Όπου

- R_c : Ελεύθερο περιθώριο στέψης
- Η_{m0}: Ύψος κύματος στον πόδα της κατασκευής
- h_s : Βάθος νερού στον πόδα της δεξαμενής
- d : Βάθος νερού πίσω από τον αναβαθμό της κατασκευής
- α : Γωνία κλίσης του πυθμένα

Ο ορισμός των μεγεθών αυτών φαίνεται και στο Σχήμα 2.5.

Με βάση την παράμετρο αυτή ορίζεται το εάν υπάρχει περίπτωση θραυόμενων ή μηθραυόμενων κυμάτων. Έτσι, όταν $h_* > 0.3$ ισχύουν τα μη θραυόμενα και όταν $h_* < 0.2$ ισχύουν τα θραυόμενα κύματα. Όταν $0.2 \le h_* \le 0.3$ τότε ισχυει η περίπτωση με σχεδόν θραύση στα κύματα. Εδώ θα πρέπει έτσι να υπολογιστεί η υπερπήδηση και για παλμική, και για μη παλμική περίπτωση και από τις δύο τιμές που θα προκύψουν, επιλέγεται η μεγαλύτερη.

Διαχωρισμός Συνθηκών Υπερπήδησης σε σύνθετο κατακόρυφο μέτωπο

Αυτή η βελτιωμένη μέθοδος προτιμάται από αυτήν του απλού κάθετου μετώπου όταν μπροστά από το μέτωπο βρίσκεται κάποιο ανάχωμα-εμπόδιο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.6. Έτσι, αντί της απλής παραμέτρου θρυμματισμού κύματος h*, χρησιμοποιείται η τροποποιημένη παράμετρος d* που ορίζεται ως εξής

$$d_* = 1.35 \frac{d}{H_{m0}} \frac{2\pi h_s}{gT_{m-1,0}^2}$$

Όπου d το βάθος του νερού πάνω από την έδραση της δομής. Τα μεγέθη h_s, R_c και H_{m0} ορίζονται όπως και στην περίπτωση της υπερπήδησης από απλό κατακόρυφο μέτωπο

Με βάση την παράμετρο αυτή ορίζεται το εάν υπάρχει περίπτωση θραυόμενων ή μηθραυόμενων κυμάτων. Έτσι, όταν d_{*} > 0.3 ισχύουν τα μη θραυόμενα και όταν d_{*} < 0.2 ισχύουν τα θραυόμενα κύματα. Όταν $0.2 \le d_* \le 0.3$ τότε ισχύει η περίπτωση με σχεδόν θραύση στα κύματα. Εδώ θα πρέπει έτσι να υπολογιστεί η υπερπήδηση και για παλμική, και για μη παλμική περίπτωση και από τις δύο τιμές που θα προκύψουν, επιλέγεται η μεγαλύτερη.



Σχήμα 2.5 – Υπερπήδηση σε απλό κατακόρυφο μέτωπο (Πηγή: EurOtop, 2007)



Σχήμα 2.6 – Υπερπήδηση σε σύνθετο κατακόρυφο μέτωπο (Πηγή: EurOtop, 2007)

2.3 ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ

Όπως αναφέρεται στο EurOtop, 2007, διεξήχθησαν αρκετά πειράματα σε εργαστηριακά μοντέλα, τα οποία ερευνούν τη μέση παροχή της κυματικής υπερπήδησης για μέτωπα με συγκεκριμένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά ή υπό ειδικές κυματικές συνθήκες. Συνήθως, οι εμπειρικές σχέσεις, οι οποίες προκύπτουν από τη πειραματική διερεύνηση έχουν την μορφή:

$$Q^* = Q_o e^{-bR^*}$$
 кан $Q^* = Q_o (1 - R^*)^b$

στις οποίες Q* είναι η αδιάστατη παροχή κυματικής υπερπήδησης και R* είναι το αδιάστατο ύψος στέψης. Ο συντελεστής Qo περιγράφει την κυματική υπερπήδηση (για μηδενικό ύψος στέψης) και ο συντελεστής b περιγράφει τη συμπεριφορά της κυματικής υπερπήδησης σε μια συγκεκριμένη κατασκευή.

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά κυματοθραύστη είναι τα εξής:

- Rc είναι το ύψος της στέψης του κυματοθραύστη (freeboard, Crest height)
- h είναι το βάθος ύδατος
- tan(a) είναι η κλίση του μετώπου του κυματοθραύστη (tana=1:1.5).

Σύμφωνα με τις παραπάνω παραδοχές και δεδομένα εφαρμόζονται οι εμπειρικές σχέσεις οι οποίες έχουν τη μορφή:

$$Q^* = a e^{b R c^*}$$
 Kal $Q^* = a R_c^{*-b}$

2.4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ

Για να γίνει ορθή πρόβλεψη για την υπερπήδηση είναι αναγκαίο πρώτα να καθοριστεί ο τρόπος με τον οποίο προσπίπτουν στην πλειοψηφία τους τα κύματα στο κάθετο εμπόδιο.

Από τις επί σειρά ετών έρευνες του φαινόμενου της κυματικής υπερπηδήσεως έχει προκύψει, ότι η αναρρίχηση του κύματος και η κυματική υπερπήδηση μειώνονται με :

- Τη μείωση του προσπίπτοντος κυματισμού
- Την αύξηση της καμπυλότητας του κύματος
- Τη λοξή πρόσπτωση κυματισμών
- Την ήπια κλίση του θαλασσίου μετώπου
- Την αύξηση της τραχύτητας και της διαπερατότητας του μετώπου
- Την αύξηση του εύρους στέψης του έργου κ.α.

Υπάρχουν διάφορες προσεγγιστικές ή ντετερμινιστικές σχέσεις μέσω των οποίων μπορεί να υπολογιστεί η υπερπήδηση θραυόμενων ή μη-θραυόμενων κυματισμών. Οι σχέσεις αυτές παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.1

Για περιπτώσεις κατακορύφου μετώπου με τοίχο επιστροφής προτείνεται πάντα η διερεύνηση σε φυσικό προσομοίωμα λόγω του συνθέτου του προβλήματος.

Μοντέλο	Θραυόμενες ή μη- θραυόμενες συνθήκες	Ισχύει για	Σχέση
Πιθανολογικό	Μη θραυόμενες συνθήκες (h₊>0.3)	$0.1 < R_c / H_{m0} < 3.5$	$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.04 \exp\left(-2.6 \frac{R_c}{H_{m0}}\right)$
Ντετερμινιστικό (ασφαλής εκτίμηση)	Μη θραυόμενες συνθήκες (h₊>0.3)	$0.1 < R_c / H_{m0} < 3.5$	$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.04 \exp\left(-1.8\frac{R_c}{H_{m0}}\right)$
Μηδενική στάθμη στέψης	-	$R_c / H_{m0} = 0$	$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.062 \pm 0.0062$
Πιθανολογικό	Θραυόμενες συνθήκες (h-≤0.2)	$0.03 < h_* \frac{R_c}{H_{m0}} < 1.0$	$\frac{q}{h_*^2 \sqrt{g h_s^3}} = 1.5 \times 10^{-4} \exp\left(h_* \frac{R_c}{H_{m0}}\right)^{-3.1}$
Ντετερμινιστικό (ασφαλής εκτίμηση)	Θραυόμενες συνθήκες (h-≤0.2)	$0.03 < h_* \frac{R_c}{H_{m0}} < 1.0$	$\frac{q}{h_*^2 \sqrt{g h_s^3}} = 2.8 \times 10^{-4} \exp\left(h_* \frac{R_c}{H_{m0}}\right)^{-3.1}$
Ντετερμινιστικό (ασφαλής εκτίμηση)	Θραυόμενες συνθήκες (h₊≤0.2)	$h_* rac{R_c}{H_{m0}} < 0.02$, Broken waves	$\frac{q}{h_*^2 \sqrt{g h_s^3}} = 2.7 \times 10^{-4} \exp\left(h_* \frac{R_c}{H_{m0}}\right)^{-3.1}$
Ντετερμινιστικό (ασφαλής εκτίμηση)	-	$h_* rac{R_c}{H_{m0}} < 0.02$, Broken waves	$\frac{q}{h_*^2 \sqrt{g h_s^3}} = 3.8 \times 10^{-4} \exp\left(h_* \frac{R_c}{H_{m0}}\right)^{-3.1}$

Πίνακας 2.1 – Υπερπήδηση σε κατακόρυφο μέτωπο (Πηγή: EurOtop, 2007)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3°

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ Ε.Λ.Ε.

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα πειράματα που αξιολογήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκαν στις εγκαταστάσεις του Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων Ε.Μ.Π.. Οι δύο βασικές πειραματικές εγκαταστάσεις που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι δύο μεγάλες τρισδιάστατες Δεξαμενές Δοκιμών Δ1 και Δ2 του Ε.Λ.Ε.. Και οι δύο δεξαμενές είναι εξοπλισμένες με τα κατάλληλα όργανα και λογισμικά που απαιτούντο για την εκτέλεση των δοκιμών.

Το φυσικό προσομοίωμα που κατασκευάστηκε Δεξαμενή Δ1 (Φωτογραφία 3.1) ήταν υπό κλίμακα 1:60 ενώ το φυσικό προσομοίωμα που κατασκευάστηκε δεξαμενή Δεξαμενή Δ2 (Φωτογραφία 3.2) έγιναν υπό κλίμακα 1:30. Αυτά θα αναλυθούν εκτενέστερα στο 4° κεφάλαιο, όπου γίνεται η περιγραφή του φυσικού προσομοιώματος.

Στη συνέχεια περιγράφονται οι πειραματικές εγκαταστάσεις που χρησιμοποιήθηκαν και συγκεκριμένα οι δύο δεξαμενές δοκιμών, το σύστημα παραγωγής κυμάτων και οι μετρητές κύματος.



Φωτογραφία 3.1 – Δεξαμενή δοκιμών Δ1



Φωτογραφία 3.2 – Δεξαμενή δοκιμών Δ2

3.2 ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ

Οι δύο δεξαμενές είναι μοναδικές στο είδος τους στην Ελλάδα. Η Δεξαμενή Δοκιμών Δ1 έχει διαστάσεις 26,80 x 24,30 m και βάθος 1,10 m (Σχήμα 3.1) ενώ η Δ2 έχει διαστάσεις 27,75 x 35,2 m και βάθος 1,10 m (Σχήμα 3.2). Και στις δύο δεξαμενές υπάρχουν εγκατεστημένα συστήματα παραγωγής τυχαίων κυματισμών.



Σχήμα 3.1. - Κάτοψη της Δεξαμενής Δοκιμών Δ1 του Ε.Λ.Ε.



Σχήμα 3.2. - Κάτοψη της Δεξαμενής Δοκιμών Δ2 του Ε.Λ.Ε.

Για την απορρόφηση των προσπιπτόντων κυμάτων στα τοιχώματα των δεξαμενών έχουν κατασκευασθεί αποσβεστικές επενδύσεις από λιθορριπή. Η κλίση των πρανών των επενδύσεων είναι 1:2 και η κοκκομετρία της λιθορριπής είναι τέτοια, ώστε ο συντελεστής ανακλάσεως να είναι πολύ μικρός. Επιπλέον, για την περαιτέρω απορρόφηση των προσπιπτόντων εκεί κυμάτων, ιδιαίτερα στην περιοχή των

κυματογεννητριών, τμήμα των αποσβεστικών επενδύσεων έχει καλυφθεί με γεωύφασμα.

3.3 ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ

Το κάθε σύστημα παραγωγής κυμάτων κινείται υδραυλικά και αποτελείται από τα εξής τμήματα:

- Υδραυλικό μηχανισμό-κινητήρα
- Υδραυλικά έμβολα
- Τρεις κυματιστήρες
- Σύστημα ελέγχου
- Κατάλληλο λογισμικό

Ο υδραυλικός μηχανισμός αποτελείται από μία αντλία και ένα δοχείο λαδιού, το οποίο κινεί τα έμβολα. Τα έμβολα είναι εγκατεστημένα επί των κυματογεννητριών και κινούν τους βραχίονες των γεννητριών, οι οποίοι με τη σειρά τους κινούν το κατακόρυφο μέτωπο των κυματογεννητριών και παράγονται τα κύματα. Το μέτωπο έκαστης κυματογεννήτριας της Δεξαμενής Δοκιμών Δ1 έχει πλάτος 6,00 m ενώ το μέτωπο έκαστης κυματογεννήτριας της Δεξαμενής Δ2 έχει πλάτος 8,00 m

Για την εκτέλεση των πειραμάτων στη Δεξαμενή Δοκιμών Δ1 χρησιμοποιήθηκαν τρεις κυματιστήρες, τα μέτωπα των οποίων καλύπτουν συνολικό μήκος μέχρι 18,00m και το ύψος κάθε μετώπου είναι μέχρι 1,20m. Για τα πειράματα που έγιναν στην Δ2 χρησιμοποιήθηκαν επίσης τρεις κυματιστήρες, διαφορετικών όμως χαρακτηριστικών από αυτούς της Δ1. Τα μέτωπα των κυματιστήρων αυτής της δεξαμενής καλύπτουν συνολικό μήκος 24,00m στη και το ύψος κάθε μετώπου είναι μέχρι 0,80m.

Υπάρχει η δυνατότητα μετατοπίσεως των κυματογεννητριών και στις δύο δεξαμενές, έτσι ώστε να ελέγχεται το προσομοίωμα με διαφορετικές διευθύνσεις προσπτώσεως κυμάτων. Η κίνηση των τριών κυματογεννητριών σε κάθε περίπτωση είναι ταυτόχρονη. Οι εντολές για τη λειτουργία του υδραυλικού συστήματος δίδονται μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή με το κατάλληλο λογισμικό στο σύστημα ελέγχου. Το λογισμικό, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή των κυμάτων είναι το πακέτο WAVEGEN SD της Αγγλικής Εταιρίας Η.R Wallingford. Έχει τη δυνατότητα παραγωγής μονοχρωματικών (ημιτονοειδών) κυματισμών και φασματικών διαταραχών διαφόρων μορφών – τυχαίων κυματισμών.

3.4 ΜΕΤΡΗΤΕΣ ΚΥΜΑΤΟΣ

Για τη μέτρηση των κυμάτων στη δεξαμενή χρησιμοποιήθηκαν μετρητές κύματος τύπου αντιστάσεως, οι οποίοι μετρούν τη στιγμιαία μεταβολή της στάθμης του ύδατος. Αποτελούνται από δύο σύρματα στερεωμένα σε στέλεχος στηριζόμενο σε τρίποδο (βάση). Η διαφορετική στάθμη νερού δημιουργεί διαφορετική διαφορά δυναμικού, από την οποία με την κατάλληλη βαθμονόμηση προκύπτει η μεταβολή της στάθμης. Οι μετρητές είναι συνδεδεμένοι με ενισχυτή σήματος, ο οποίος στη συνέχεια μεταφέρει το σήμα σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, στον οποίο αποθηκεύονται οι πληροφορίες για την περαιτέρω ανάλυση.

To E.Λ.Ε. διαθέτει δύο σειρές μετρητών κύματος. Η σειρά Α αποτελείται από μετρητές με κοντά στελέχη, ώστε να είναι δυνατή η μέτρηση του κύματος σε βάθος νερού πολύ μικρό (20 cm > d > 4cm). Η σειρά Β αποτελείται από μετρητές με μακρύτερα στελέχη και δύναται να μετρά σε μεγαλύτερα βάθη νερού (80 cm > d > 7cm).



Φωτογραφία 3.3. – Μετρητές Κυμάτων

3.5 ΣΥΛΛΟΓΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗΣ

Μετρήθηκε και αναλύθηκε η κυματική διαταραχή σε 10 διαφορετικά σημεία της κάθε δεξαμενής με τους 8 μετρητές.

Για την συλλογή και ανάλυση των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε το λογιστικό πακέτο WAVEDATA της εταιρείας HR WALLINFORD.

Οι μετρητές κύματος ήταν συνδεδεμένοι με ηλεκτρονικό υπολογιστή στον οποίο αποθηκεύονταν οι πληροφορίες για περαιτέρω ανάλυση. Τα μετρηθέντα κύματα αναλύθηκαν φασματικά και στατιστικά.

3.6 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ

Πριν από την εκτέλεση των πειραμάτων έγινε βαθμονόμηση των δεξαμενών με τα κυματικά δεδομένα, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια των πειραμάτων.

Τα μετρητικά όργανα βαθμονομούντο κάθε φορά πριν από την εκτέλεση των πειραμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4°

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΩΝ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφονται τα φυσικά προσομοιώματα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την εκτέλεση των πειραμάτων, που αξιολογήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία. Εν πρώτοις, αναφέρονται στοιχεία για τις κλίμακες ομοιότητας, ενώ στη συνέχεια παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο κατασκευάστηκαν τα φυσικά προσομοιώματα και κατόπιν ακολουθούν οι μετρήσεις. Περιγράφονται η βαθμονόμηση των οργάνων, η παραγωγή κυμάτων, ο τρόπος συλλογής και η επεξεργασία των μετρήσεων.

4.2 ΚΛΙΜΑΚΕΣ ΟΜΟΙΟΤΗΤΑΣ

Οι παράμετροι που ελήφθησαν υπόψη για την επιλογή της κλίμακας ομοιότητας είναι οι εξής:

- Οι διαστάσεις της εγκαταστάσεως σε σχέση με τις διαστάσεις της περιοχής, η οποία προσομοιώθηκε.
- Η δυνατότητα να προσομοιωθούν ικανοποιητικά οι κυματισμοί στην περιοχή των έργων.

Η προσομοίωση υδροδυναμικών μηχανισμών όπως η ανάκλαση, διάθλαση και περίθλαση απαιτούν ομοιότητα κατά Froude του ομοιώματος προς το πρωτότυπο:

$$F_r = \frac{u}{gD^{1/2}}$$

Όπου:

- u είναι χαρακτηριστική ταχύτητα (m/sec)
- g η επιτάχυνση της βαρύτητας (m/sec²)
- D χαρακτηριστικό μήκος (m)

Για την σωστή προσομοίωση των μηχανισμών απαιτείται η ίδια κλίμακα ομοιότητας του ομοιώματος ως προς και τις τρεις διαστάσεις. Η κλίμακα, με την οποία προσομοιώνονται οι γραμμικές διαστάσεις του ομοιώματος, είναι γνωστή ως γεωμετρική κλίμακα προσομοιώσεως (λ).

Έχοντας ορίσει την γεωμετρική κλίμακα προσομοιώσεως, οι κλίμακες για τις υδροδυναμικές παραμέτρους μπορούν να υπολογισθούν λαμβάνοντας υπόψη τους νόμους ομοιότητας.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγιναν μετρήσεις σε 2 φυσικά προσομοιώματα υπό διαφορετική κλίμακα. Το προσομοίωμα Α έγινε υπό κλίμακα 1:60 στην δεξαμενή Δ1 ενώ το προσομοίωμα Β έγινε υπό κλίμακα 1:30 στην δεξαμενή Δ2

Στα προκείμενα προσομοιώματα εκλέχθηκαν οι γεωμετρικές κλίμακες προσομοιώσεως λ=60 και λ=30. Οι τιμές των λόγων ομοιότητας διαφόρων παραμέτρων δίνονται στον Πίνακα 4.1.

Παράμετρος	Κλίμακα	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ Α	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ Β	
Μήκος λ = λ		60	30	
Χρόνος	$\lambda_{ ho} = \lambda^{1/2}$	7.746	5.477	
Ταχύτητα	$\lambda_T = \lambda^{1/2}$	7.746	5.477	
Δύναμη	$\lambda_{\Delta} = \lambda^3$	216000	27000	
Όγκος	$\lambda_{\rm o} = \lambda^3$	216000	27000	
Μάζα	$\lambda_{\mu} = \lambda^3 \times (M_p/M_m)$	221540.00	26222.62	
Επιτάχυνση	1	1	1	

Πίνακας 4.1 - Τιμές λόγων ομοιότητας διαφόρων παραμέτρων

4.3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΟΓΚΟΛΙΘΩΝ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΩΝ

Με βάση την γεωμετρική κλίμακα ομοιότητας υπολογίζονται τα υπόλοιπα υδροδυναμικά μεγέθη σύμφωνα με τον νόμο του Froude. Για την προσομοίωση της μάζας των στοιχείων της θωρακίσεως ισχύει :

$$\frac{M_p}{M_m} = \frac{\rho_{sp}}{\rho_{sm}} \times \left[\frac{\frac{\rho_{sm}}{\rho_{fm}} - 1}{\frac{\rho_{sp}}{\rho_{fp}} - 1}\right]^3$$

 $m_p / m_m = \lambda^3 x (M_p / M_m)$

Ο λόγος M_p/M_m δίνεται από την σχέση:

Όπου:

- m_p : Μάζα πρωτότυπου
- m_m : Μάζα ομοιώματος
- ρ_{sp} : Πυκνότητα στερεού στο πρωτότυπο ίση με 2.65 t/m³
- ρ_{sm} : Πυκνότητα στερεού στο ομοίωμα ίση με 2.5 t/m³
- ρ_{fp} : Πυκνότητα υγρού στο πρωτότυπο ίση με 1.025 t/m³
- ρ_{fm} : Πυκνότητα υγρού στο ομοίωμα ίση με 1.0 t/m³

Για τον υπολογισμό της μάζας των στοιχείων των εσωτερικών στρώσεων χρησιμοποιήθηκε ο διορθωτικός συντελεστής ξ_ρ ο οποίος σύμφωνα με μελέτες του Οίκου H.R.WALLINFGORD δίνεται από την σχέση:

$$\xi_{\rho} = \frac{\beta_0}{\alpha_0} \cdot \frac{1}{n_r (1 - n_r)^2} \cdot \frac{U_p D}{v}$$

Όπου:

- α₀ = 1500, β₀ = 3.6: εμπειρικοί συντελεστές
- n_r : το πορώδες , η τιμή του το οποίου κυμαίνεται από 35% έως 40%
- U_p: η μέγιστη ταχύτητα του υγρού σωματιδίου στο σώμα θωρακίσεως, η οποία κυμαίνεται από 0,5 έως 1,0 m/sec
- D: η διάμετρος του λίθου στο πρωτότυπο σε m
- ν: η κινηματική συνεκτικότητα του νερού σε m²/sec

Για την προσομοίωση της μάζας των εσωτερικών στρώσεων ισχύει ο λόγος :

$$m_p/m_m = K^3 x (M_p/M_m)$$

όπου Κ δίνεται από την σχέση :

$$K = \frac{\xi_{\rho}}{2\lambda^{1/2}} \left[\left(1 + 4\lambda^{3/2} \frac{1 + \xi_{\rho}}{\xi_{\rho}^{2}} \right)^{1/2} - 1 \right]$$

Στον Πίνακα 4.2 που ακολουθεί δίνονται τα βάρη των ογκολίθων στο πρωτότυπο και στα φυσικά προσομοιώματα.

Πρωτότυπο		Προσομοίωμα Α		Προσομοίωμα Β	
Mp Dprot		Mm ₃₀	Dm ₃₀	Mm ₆₀	Dm ₆₀
(kgr)	(m)	(gr)	(cm)	(gr)	(cm)
1,000.00	0.795	38.135	2.710	4.767	1.355
1,500.00	0.910	57.203	3.102	7.150	1.551
2,000.00	1.002	76.270	3.415	9.534	1.707
100.00	0.369	3.814	1.258	0.477	0.629
150.00	0.422	5.720	1.440	0.715	0.720
200.00	0.465	7.627	1.585	0.953	0.792
500.00	0.631	19.068	2.151	2.383	1.076
50.00	0.293	1.907	0.998	0.238	0.499
100.00	0.369	3.814	1.258	0.477	0.629

Πίνακας 4.2 - Βάρη ογκολίθων σε πρωτότυπο και προσομοιώματα

4.4 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΟΜΟΙΟΜΑΤΩΝ

Για τις ανάγκες της μελέτης κατασκευάστηκαν δύο φυσικά προσομοιώματα που αφορούσαν τμήμα της επέκτασης του νέου αεροδιαδρόμου μέσα στην θάλασσα, του αεροδρομίου ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ.. Στο πρώτο προσομοίωμα (ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ Α) κλίμακας 1:60 διαμορφώθηκε το ανάγλυφο του πυθμένα μέχρι το βάθος των -18 m ενώ στο δεύτερο προσομοίωμα 1:30 (ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ Β) διαμορφώθηκε το ανάγλυφο του πυθμένα μέχρι το βάθος των -15 m.

Το βάθος νερού στην δεξαμενή στο προσομοίωμα Α ήταν 30 cm που αντιστοιχεί σε 18 m βάθος πυθμένα στην φύση, ενώ στο προσομοίωμα B ήταν 50 cm που αντιστοιχεί σε 15 m βάθος πυθμένα στην φύση. Για την καταγραφή της κυματικής διαταραχής τοποθετήθηκαν 8 μετρητές κύματος σε κάθε δεξαμενή.

Σε πρώτη φάση, διαμορφώθηκε το ανάγλυφο του πυθμένα στην κατάλληλη κλίμακα από ελαφρό σκυρόδεμα. Έπειτα, κατασκευάσθηκε το προσομοίωμα του αεροδιαδρόμου με το έργο θωράκισης το οποίο αποτελείται από κατακόρυφο τοίχο, θωράκιση τμήματος και ανάχωμα. Για την προσομοίωση των ογκολίθων χρησιμοποιήθηκαν λίθοι. Το κατακόρυφο μέτωπο κατασκευάσθηκε από λαμαρίνα και οι ανωδομές και τα προστατευτικά τοιχία των έργων κατασκευάσθηκαν από σκυρόδεμα. Το μέτωπο της ανωδομής διαμορφώθηκε με ξύλινη κατασκευή.

Στα Σχήματα 4.1 και 4.2 που ακολουθούν δίνονται αντίστοιχες οριζοντιογραφίες των φυσικών προσομοιωμάτων Α και Β.



Σχήμα 4.1-. Οριζοντιογραφία φυσικού προσομοιώματος Α στην Δεξαμενή Δοκιμών Δ1 του Ε.Λ.Ε.



Σχήμα 4.2-. Οριζοντιογραφία φυσικού προσομοιώματος Β στην Δεξαμενή Δοκιμών Δ2 του Ε.Λ.Ε.

4.5 ΕΛΕΓΧΘΕΙΣΕΣ ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΕΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ

Οι διατομές του περιμετρικού τοίχου που ελέγχθηκαν ήταν οι ακόλουθες :

ΔΙΑΤΟΜΗ Α Σχήμα 4.3

Περιμετρικά του επιχώματος προβλέπεται διατομή τοίχου με καμπύλο τμήμα (τοίχος επιστροφής), όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.2, ενώ η στάθμη στέψης της διατομής είναι στα +4,00. Η Μ.Σ.Θ. στο προασομοίωμα Α τέθηκε στο ± 0.00 ενώ στο προσομοίωμα Β στο +0,38.

ΔΙΑΤΟΜΗ Β

Σχήμα 4.4

Περιμετρικά του επιχώματος προβλέπεται διατομή τοίχου με τροποποιημένο καμπύλο τμήμα σε σχέση με την Διατομή Α, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.3. Η στάθμη στέψης της διατομής είναι στο +4,58 και η Μ.Σ.Θ. στα +0,38.

Η Διατομή Α εξετάστηκε πειραματικά και στα 2 προσομοιώματα. (υπό κλίμακα 1:60 και υπό κλίμακα 1:30.) Έτσι, για ευκολία θα αναφερόμαστε στο πείραμα όπου η κλίμακα είναι 1:60 ως Διατομή Α1 και στο πείραμα όπου η κλίμακα είναι 1:30 ως Διατομή Α2. Η διατομή Β εξετάστηκε πειραματικά μόνο στο προσομοίωμα Β (υπό κλίμακα 1:30 στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας.,

Οι Διατομές Α και Β ελέγχτηκαν σε 3 διευθύνσεις πρόσπτωσης κυμάτων (αζιμούθιο 240°, 285° και 330°). Σε κάθε διεύθυνση πρόσπτωσης ελέγχθηκαν 4 κυματικές συνθήκες.

Σημειώνεται ότι η Μ.Σ.Θ. στο προσομοίωμα Α ήταν στο ± 0.00 ενώ στο προσομοίωμα Β στο +0.38

Η διατομή Α επιπλέον ελέγχθηκε στο προσομοίωμα Β για κάθετη πρόσπτωση (για γωνία πρόσπτωσης 285°) για ΜΣΘ στο \pm 0.00.

ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΩΣ ΑΝΩΔΟΜΗΣ ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΟΥ ΤΟΙΧΟΥ



ΑΡΧΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ

Σχήμα 4.3.- Διατομή Α
ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΩΣ ΑΝΩΔΟΜΗΣ ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΟΥ ΤΟΙΧΟΥ



ΣΗΜΕΙΩΣΗ:

Σε παρένθεση οι στάθμες σε σχέση με την "ΠΑΛΑΙΑ Μ.Σ.Θ." του Αεροδρομίου
Εκτός παρενθέσεως οι στάθμες σε σχέση με την "ΝΕΑ Μ.Σ.Θ. του Αεροδρομίου
Διαφορά "ΝΕΑΣ" - "ΠΑΛΑΙΑΣ" Μ.Σ.Θ.=0.38m.



4.6 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΥΜΑΤΩΝ

Χρησιμοποιήθηκαν φάσματα τύπου JONSWAP με παράμετρο κλίσεως ίσο με 3.3. Προς αυτή την κατεύθυνση, δημιουργήθηκαν στον ηλεκτρονικό υπολογιστή ειδικά αρχεία βάσει των χαρακτηριστικών παραμέτρων των κυμάτων H_s και T_p, της κλίμακας ομοιότητας καθώς και του τύπου φάσματος JONSWAP, που έδιναν τις κατάλληλες εντολές στο σύστημα ελέγχου της κυματογεννήτριας.

Στον επόμενο Πίνακα 4.3 δίνονται τα χαρακτηριστικά H_s και T_p των φασμάτων των χρησιμοποιηθέντων κυμάτων και οι κωδικοί των φασμάτων, όπως αναφέρονται στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 4.3.).

ΚΩΔΙΚΟΙ	ΠΡΩΤΟΤΥΠΟ			ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ Α			ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ Β		
				Hs	Tp		Hs	Тр	
	H _s (m)	T _p (sec)	f	(m)	(sec)	f	(cm)	(sec)	f
K1	1.60	5.447	0.184	5,33	0,994	1,006	5,33	0,994	1,006
K2	2.00	6.090	0.164	6,67	1,112	0,899	6,67	1,112	0,899
K3	2.50	6.808	0.147	8,33	1,243	0,804	8,33	1,243	0,804
K4	2.70	7.075	0.141	9,00	1,292	0,774	9,00	1,292	0,774

Πίνακας 4.3 - Παράμετροι φασμάτων κυμάτων σε πρωτότυπο και προσομοίωμα

4.7 ΣΥΛΛΟΓΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ

4.7.1. Μετρήσεις κυματικής διαταραχής

Για την καταγραφή της κυματικής διαταραχής στην περιοχή μελέτης τοποθετήθηκαν 8 μετρητές κύματος σε προκαθορισμένες θέσεις, όπως περιγράφονται στον Πίνακα 4.4.

A/A	ΜΕΤΡΗΤΗΣ	ΘΕΣΗ ΜΕΤΡΗΤΟΥ ΣΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ				
1		Βρίσκεται εμπρός από τους κυματιστήρες. Είναι μετρητής				
	M1	ελέγχου για διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων με αζιμούθιο				
		285° .				
2	M2	Βρίσκεται σε βαθειά νερά στον θαλάσσιο χώρο βορείως των				
		έργων Είναι μετρητής ελέγχου για διεύθυνση πρόσπτωσης				
		κυμάτων με αζιμούθιο 330° .				
3	М3	Βρίσκεται σε βαθειά νερά στον θαλάσσιο χώρο νότια των				
		έργων Είναι μετρητής ελέγχου για διεύθυνση πρόσπτωσης				
		κυμάτων με αζιμούθιο 240° .				
1	M4	Βρίσκεται σε περιοχή ρηχών νερών στον θαλάσσιο χώρο				
4		βορείως των έργων				
5	M5	Βρίσκεται στον θαλάσσιο χώρο εμπρός από το βόρειο				
5		τμήμα του μετώπου ΒΓ του επιχώματος				
6	M6	Βρίσκεται στον θαλάσσιο χώρο εμπρός από το εμπρόσθιο				
0		τμήμα του μετώπου ΒΓ του επιχώματος				
7	M7	Βρίσκεται στον θαλάσσιο χώρο εμπρός από το νότιο τμήμα				
		του μετώπου ΒΓ του επιχώματος				
8	M8	Βρίσκεται στον θαλάσσιο χώρο νότια των έργων				
9	M9	Βρίσκεται στον θαλάσσιο χώρο εμπρός από το τμήμα ΓΔ				
		του επιχώματος , νότια των έργων (μόνον για διεύθυνση				
		πρόσπτωσης κυμάτων 240°)				
	M10	Βρίσκεται στον θαλάσσιο χώρο εμπρός από το τμήμα ΑΒ				
10		του επιχώματος , βόρεια των έργων (μόνο για διεύθυνση				
		πρόσπτωσης κυμάτων 330°)				

Πίνακας 4.4 – Θέσεις μετρητών

Η κυματική διαταραχή μετρήθηκε σε συνολικά 10 θέσεις στην περιοχή προσομοίωσης, ανά διεύθυνση πρόσπτωσης.

Στο Σχήμα 4.5 φαίνονται οι θέσεις των κυματιστήρων και των μετρητών κύματος στο φυσικό προσομοίωμα και για τις τρείς διευθύνσεις πρόσπτωσης (240°, 285°, 330°) στο προσομοίωμα 1:60 που έγινε στη δεξαμενή Δ1.



8Σχήμα 4.5. - Θέσεις μετρητών κύματος και κυματιστήρων στο φυσικό προσομοίωμα Α για τις τρείς διευθύνσεις πρόσπτωσης (240°, 285°, 330°)

Στα Σχήματα 4.6 έως και 4.8 φαίνονται οι θέσεις των κυματιστήρων και των μετρητών κύματος στο φυσικό προσομοίωμα για τις 3 διευθύνσεις πρόσπτωσης των κυμάτων στο προσομοίωμα 1:30 που έγινε στη δεξαμενή Δ2.



Σχήμα 4.6. - Θέσεις μετρητών κύματος και κυματιστήρων στο φυσικό προσομοίωμα Β για διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 240°



Σχήμα 4.7. - Θέσεις μετρητών κύματος και κυματιστήρων στο φυσικό προσομοίωμα Β για διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 285°



Σχήμα 4.8. - Θέσεις μετρητών κύματος και κυματιστήρων στο φυσικό προσομοίωμα Β για διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 330°

4.7.2. Μετρήσεις υπερπήδησης

Για τον υπολογισμό της παροχής υπερπήδησης στο προσομοίωμα Α της δεξαμενής Δ1 τοποθετήθηκαν περιμετρικά του επιχώματος του αεροδιαδρόμου 23 κυτία (Κ1,...Κ23), ώστε να ογκομετρείται το συλλεγόμενο νερό. Στο Σχήμα 4.9 φαίνεται η θέση των κυτίων στο φυσικό προσομοίωμα. Τοποθετηθήκαν από 7 κυτία στα βόρεια και νότια παράπλευρα μέτωπα και 9 κυτία στο εμπρόσθιο μέτωπο. Οι διαστάσεις κάθε κυτίου ήταν 83X15X20 mm.

Για να υπολογισθεί η παροχή υπερπήδησης στο προσομοίωμα Β της δεξαμενής Δ2 τοποθετήθηκαν περιμετρικά του επιχώματος του αεροδιαδρόμου 29 κυτία (Κ1,...Κ29), για τη μέτρηση του όγκου του συλλεγόμενου νερού. Στο Σχήμα 4.10 φαίνεται η θέση των κυτίων στο φυσικό προσομοίωμα Β. Τοποθετηθήκαν, αναλυτικά, από 7 κυτία στο βόρειο και στο νότιο παράπλευρο μέτωπο και επιπλέον 15 κυτία στο εμπρόσθιο μέτωπο. Οι διαστάσεις κάθε κυτίου ήταν 100X15X20 mm.

Κατά την διάρκεια των μετρήσεων, το νερό της υπερπήδησης συλλεγόταν εντός των κυτίων. Μετά το πέρας του πειράματος, καταγραφόταν η ποσότητα του νερού που περιέχονταν στα κυτία και εκ των υστέρων υπολογιζόταν η παροχή υπερπήδησης ανά μέτρο μήκος του μετώπου του επιχώματος.



Σχήμα 4.9 - Θέσεις κυτίων μετρήσεως υπερπήδησης στο φυσικό προσομοίωμα Α της δεξαμενής Δ1



Σχήμα 4.10 - Θέσεις κυτίων μετρήσεως υπερπήδησης στο φυσικό προσομοίωμα Β της δεξαμενής Δ2

4.8 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε πριν από κάθε πείραμα ήταν η εξής:

- Έλεγχος στάθμης νερού στην δεξαμενή
- Βαθμονόμηση μετρητών κύματος
- Αρχική φωτογράφηση και βιντεοσκόπηση

Κατά την διάρκεια του πειράματος ελαμβάνοντο τρεις ή τέσσερις μετρήσεις κυμάτων διάρκειας 10 min στις 10 θέσεις. Γινόταν φωτογράφηση και βιντεοσκόπηση.

4.9 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Μετρήσεις κυματικής διαταραχής πραγματοποιήθηκαν για 4 κυματικές συνθήκες, για κάθε διάταξη έργων και κάθε διεύθυνση πρόσπτωσης κυματισμών.

Στον Πίνακα 4.5 δίνονται οι κωδικοί και συνθήκες των συνολικώς 36 πειραμάτων που διεξήχθησαν.

Οι κωδικοί μέτρησης είναι της μορφής Χ.Ψ.Ζ, όπου: Χ: υποδηλώνει την Διατομή (1 έως 3) Ψ: υποδηλώνει την διεύθυνση πρόσπτωσης κυματισμού (1 έως 3) Ζ: υποδηλώνει την κυματική συνθήκη (1 έως 4).

Στις Φωτογραφίες 4.1 έως 4.10 παρουσιάζονται όψεις των πειραμάτων.

		ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	κνματική	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΟΝ		ΜΣΥ
A/A	ΔΙΑΤΑΞΗ			ΣΥΝΘΗΚΗ	Hs (m)	Tp (sec)	(m)
1			1.1.1	1	1,6	5,45	+0,00
2		240°	1.1.2	2	2,0	6,09	
3		240	1.1.3	3	2,5	6,81	
4			1.1.4	4	2,7	7,08	
5		285°	1.2.1	1	1,6	5,45	+0,00
6	ΔΙΑΤΟΜΗ Α1		1.2.2	2	2,0	6,09	-
7	(1:60)		1.2.3	3	2,5	6,81	
8			1.2.4	4	2,7	7,08	
9			1.3.1	1	1,6	5,45	+0,00
10		330°	1.3.2	2	2,0	6,09	
11		330	1.3.3	3	2,5	6,81	
12			1.3.4	4	2,7	7,08	
13			2.1.1	1	1,6	5,45	+0,38
14		240°	2.1.2	2	2,0	6,09	
15		210	2.1.3	3	2,5	6,81	-
16			2.1.4	4	2,7	7,08	
17			2.2.1	1	1,6	5,45	+0,38
18			2.2.2	2	2,0	6,09	
19			2.2.3	3	2,5	6,81	-
20		285°	2.2.4	4	2,7	7,08	
21	(1:30)		2.2.5	1	1,6	5,45	+0,00
22			2.2.6	2	2,0	6,09	-
23			2.2.7	3	2,5	6,81	-
24			2.2.8	4	2,7	7,08	
25			2.3.1	1	1,6	5,45	+0,38
26		330°	2.3.2	2	2,0	6,09	
21			2.3.3	3	2,3	0,01	
20			2.3.4	4	2,7	7,00	.0.00
29			3.1.1	1	1,6	5,45	+0,38
30		240°	3.1.2	2	2,0	6,09	-
31		-	3.1.3	3	2,5	6,81	
32			3.1.4	4	2,7	7,08	
33		285°	3.2.1	1	1,6	5,45	+0,38
34			3.2.2	2	2,0	6,09	1
35	B		3.2.3	3	2,5	6,81	1
36	(1:30)		3.2.4	4	2,7	7,08	
37			3.3.1	1	1,6	5,45	+0,38
38	1	2200	3.3.2	2	2,0	6,09	
39	1	330°	3.3.3	3	2,5	6,81	1
40	1		3.3.4	4	2,7	7,08	

Πίνακας 4.5 – Πίνακας εκτελεσθέντων πειραμάτων



Φωτ. 4.1- Διατομή Α1



Φωτ. 4.2- Διατομή Α1



Φωτ. 4.3- Διατομή Α2



Φωτ. 4.4- Διατομή Α2 , Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 285°



Φωτ. 4.5- Διατομή Α2, Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 330°



Φωτ. 4.6- Διατομή Α2 , Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 240°



Φωτ. 4.7- Διατομή Β, Κατασκευή μετώπου



Φωτ. 4.8- Διατομή Β , Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 285°



Φωτ. 4.9- Διατομή Β , Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 330°



Φωτ. 4.10 - Διατομή Β, Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 240°

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5°

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται αρχικά τα συγκεντρωτικά διαγράμματα του μέσου χαρακτηριστικού κύματος για όλα τα ελεγχθέντα φάσματα κυμάτων σε όλες τις θέσεις μέτρησης, ανά Διατομή και ανά διεύθυνση πρόσπτωσης των κυμάτων. Ακολούθως, παρουσιάζονται τα διαγράμματα της παροχής υπερπήδησης ανά διατομή και ανά διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων για όλα τα ελεγχθέντα φάσματα κυμάτων κατά μήκος των τριών εκτεθειμένων μετώπων του έργου.

5.2 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

Στα Διαγράμματα 5.1 έως και 5.9 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά ανά Διατομή (ΔΙΑΤΟΜΗ Α1, ΔΙΑΤΟΜΗ Α2 και ΔΙΑΤΟΜΗ Β) και ανά διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων τα διαγράμματα του μέσου χαρακτηριστικού κύματος για όλα τα ελεγχθέντα φάσματα κυμάτων σε όλες τις θέσεις μέτρησης.



Διάγραμμα 5.1 - Χαρακτηριστικά ύψη κύματος για την Διατομή Α1 και διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 240°



Διάγραμμα 5.2 - Χαρακτηριστικά ύψη κύματος για την Διατομή Α1 και διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 285°



Διάγραμμα 5.3 - Χαρακτηριστικά ύψη κύματος για την Διατομή Α1 και διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 330



Διάγραμμα 5.4- Χαρακτηριστικά ύψη κύματος για την Διατομή Α2 και διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 240°



Διάγραμμα 5.5- Χαρακτηριστικά ύψη κύματος για την Διατομή 2 και διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 285°



Διάγραμμα 5.6- Χαρακτηριστικά ύψη κύματος για την Διατομή Α2 και διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 330°



Διάγραμμα 5.7- Χαρακτηριστικά ύψη κύματος για την Διατομή Β και διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 240°



Διάγραμμα 5.8- Χαρακτηριστικά ύψη κύματος για την Διατομή Β και διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 285°



Διάγραμμα 5.9- Χαρακτηριστικά ύψη κύματος για την Διατομή Β και διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 330°

5.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ

Στα Διαγράμματα 5.10 έως και 5.49 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά ανά διατομή και ανά διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων τα διαγράμματα της παροχής υπερπήδησης σε lt/sec/m για όλα τα ελεγχθέντα φάσματα κυμάτων κατά μήκος των τριών εκτεθειμένων μετώπων του έργου.



Διάγραμμα 5.10 – Παροχή υπερπήδησης στην Διατομή Α1. Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 240°



Διάγραμμα 5.11 – Παροχή υπερπήδησης στην Διατομή Α1.





Διάγραμμα 5.12 – Παροχή υπερπήδησης στην Διατομή Α1. Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 240°



Διάγραμμα 5.13 – Παροχή υπερπήδησης στην Διατομή Α1. Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 240°



Διάγραμμα 5.14 – Παροχή υπερπήδησης στην Διατομή Α1. Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 285°



Διάγραμμα 5.15 – Παροχή υπερπήδησης στην Διατομή Α1. Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 285°



Διάγραμμα 5.16 – Παροχή υπερπήδησης στην Διατομή Α1. Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 285°



Διάγραμμα 5.17 – Παροχή υπερπήδησης στην Διατομή Α1.

Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 285°



Διάγραμμα 5.18 – Παροχή υπερπήδησης στην Διατομή Α1. Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 330°



Διάγραμμα 5.19 – Παροχή υπερπήδησης στην Διατομή Α1.

Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 330°







Διάγραμμα 5.21 – Παροχή υπερπήδησης στην Διατομή Α1. Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 330°



Διάγραμμα 5.22 – Παροχή υπερπήδησης στην Διατομή Α2. Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 240°



Διάγραμμα 5.23 – Παροχή υπερπήδησης στην Διατομή Α2. Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 240°



Διάγραμμα 5.24 – Παροχή υπερπήδησης στην Διατομή Α2.

Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 240°







Διάγραμμα 5.26 – Παροχή υπερπήδησης στην Διατομή Α2. Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 285°







Διάγραμμα 5.28 – Παροχή υπερπήδησης στην Διατομή Α2. Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 285°







Διάγραμμα 5.30 – Παροχή υπερπήδησης στην Διατομή Α2. Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 330°



Διάγραμμα 5.31 – Παροχή υπερπήδησης στην Διατομή Α2. Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 330°



Διάγραμμα 5.32 – Παροχή υπερπήδησης στην Διατομή Α1. Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 330°


Διάγραμμα 5.33 – Παροχή υπερπήδησης στην Διατομή Α2. Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 330°



Διάγραμμα 5.34 – Παροχή υπερπήδησης στην Διατομή Α2. Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 330°



Διάγραμμα 5.35 – Παροχή υπερπήδησης στην Διατομή Α2. Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 330°



Διάγραμμα 5.36 – Παροχή υπερπήδησης στην Διατομή Α2. Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 330°







Διάγραμμα 5.38 – Παροχή υπερπήδησης στην Διατομή Β. Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 240°



Διάγραμμα 5.39 – Παροχή υπερπήδησης στην Διατομή Β. Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 240°



Διάγραμμα 5.40 – Παροχή υπερπήδησης στην Διατομή Β. Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 240°



Διάγραμμα 5.41 – Παροχή υπερπήδησης στην Διατομή Β. Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 240°



Διάγραμμα 5.42 – Παροχή υπερπήδησης στην Διατομή Β. Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 285°



Διάγραμμα 5.43 – Παροχή υπερπήδησης στην Διατομή Β. Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 285°



Διάγραμμα 5.44 – Παροχή υπερπήδησης στην Διατομή Β. Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 285°



Διάγραμμα 5.45– Παροχή υπερπήδησης στην Διατομή Β. Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 285°



Διάγραμμα 5.46 – Παροχή υπερπήδησης στην Διατομή Β. Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 330°



Διάγραμμα 5.47 – Παροχή υπερπήδησης στην Διατομή Β. Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 330°



Διάγραμμα 5.48- Παροχή υπερπήδησης στην Διατομή Β. Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 330°



Διάγραμμα 5.49 – Παροχή υπερπήδησης στην Διατομή Β. Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 330°

<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6⁰</u>

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται η επεξεργασία των αποτελεσμάτων που προέκυψαν απ' τις μετρήσεις. Παρουσιάζονται οι συγκριτικές γραφικές παραστάσεις του χαρακτηριστικού ύψους κύματος, για τις διατομές A και B, ανά κυτίο και ανά διεύθυνση πρόσπτωσης. Ακολούθως, παρουσιάζονται συγκριτικά οι μέσες παροχές υπερπήδησης για τις Διατομές A2 και B.

6.2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗΣ

Για την εξαγωγή συμπερασμάτων, οι θέσεις μετρήσεων της κυματικής διαταραχής εμπρός από τα τμήματα του θαλασσίου μετώπου, στο προσομοίωμα Α, κατανέμονται ανά τμήμα μετώπου που βρίσκεται εμπρός από τα αντίστοιχα κυτία μετρήσεως της υπερπήδησης όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.1. Το αντίστοιχο σχήμα παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.1.

A/A	ΜΕΤΡΗΤΗΣ	ΠΕΡΙΟΧΗ – ΚΥΤΙΑ					
	M5	Βρίσκεται στον θαλάσσιο χώρο εμπρός από το βόρειο					
1		τμήμα του μετώπου ΒΓ του επιχώματος					
		(KYTIA K8, K9, K10)					
2	M6	Βρίσκεται στον θαλάσσιο χώρο εμπρός από το					
		εμπρόσθιο τμήμα του μετώπου ΒΓ του επιχώματος					
		(KYTIA K11, K12, K13)					
	M7	Βρίσκεται στον θαλάσσιο χώρο εμπρός από το νότιο					
3		τμήμα του μετώπου ΒΓ του επιχώματος					
		(KYTIA K14, K15 ,K16)					
4	M9	Βρίσκεται στον θαλάσσιο χώρο εμπρός από το τμήμα					
		ΓΔ του επιχώματος , νότια των έργων					
		(KYTIA K17, K18 ,K19, K20)					
5	M10	Βρίσκεται στον θαλάσσιο χώρο εμπρός από το τμήμα					
		ΑΒ του επιχώματος , βόρεια των έργων					
		(KYTIA K4, K5 ,K6, K7)					

Πίνακας 6.1. – Κατανομή ανά τμήμα μετώπου των κυτίων μετρήσεως της υπερπήδησης στο φυσικό προσομοίωμα Α



Σχήμα 6.1.- Θέσεις μετρητών κύματος εμπροσθεν από κυτία συλλογής ύδατος υπερπήδησης στο φυσικό προσομοίωμα Α

Αντίστοιχα, οι θέσεις μετρήσεων της κυματικής διαταραχής εμπρός από τα τμήματα του θαλασσίου μετώπου, στο προσομοίωμα Β, κατανέμονται ανά τμήμα μετώπου που βρίσκεται εμπρός από τα αντίστοιχα κυτία μετρήσεως της υπερπήδησης όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.2. Το αντίστοιχο σχήμα παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.2.

A/A	ΜΕΤΡΗΤΗΣ	ΠΕΡΙΟΧΗ - ΚΥΤΙΑ					
	M5	Βρίσκεται στον θαλάσσιο χώρο εμπρός από το βόρειο					
1		τμήμα του μετώπου ΒΓ του επιχώματος					
		(KYTIA K8, K9, K10, K11, K12)					
2	M6	Βρίσκεται στον θαλάσσιο χώρο εμπρός από το					
		εμπρόσθιο τμήμα του μετώπου ΒΓ του επιχώματος					
		(KYTIA K13, K14, K15. K16, K17)					
3	M7	Βρίσκεται στον θαλάσσιο χώρο εμπρός από το νότιο					
		τμήμα του μετώπου ΒΓ του επιχώματος					
		(KYTIA K18, K19 ,K20, K21, K22)					
4	M9	Βρίσκεται στον θαλάσσιο χώρο εμπρός από το τμήμα					
		ΓΔ του επιχώματος , νότια των έργων					
		(KYTIA K23, K24 ,K25, K26)					
5	M10	Βρίσκεται στον θαλάσσιο χώρο εμπρός από το τμήμα					
		ΑΒ του επιχώματος , βόρεια των έργων					
		(KYTIA K4, K5 ,K6, K7)					

Πίνακας 6.2. – Κατανομή ανά τμήμα μετώπου των κυτίων μετρήσεως της υπερπήδησης στο φυσικό προσομοίωμα Β



Σχήμα 6.2.- Θέσεις μετρητών κύματος εμπροσθεν από κυτία συλλογής ύδατος υπερπήδησης στο φυσικό προσομοίωμα Β

Στα διαγράμματα 6.1 έως και 6.12 παρουσιάζονται συγκριτικά οι τιμές του καταγραφέντος χαρακτηριστικού ύψους κύματος για τις διατομές Α και Β.







Διάγραμμα 6.2 – Χαρακτηριστικό ύψος κύματος ανά μετρητή για Hs= 2,0m



και για διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 240°

Διάγραμμα 6.3 – Χαρακτηριστικό ύψος κύματος ανά μετρητή για Hs= 2,5m και για διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 240°



Διάγραμμα 6.4 – Χαρακτηριστικό ύψος κύματος ανά μετρητή για Hs= 2,7m και για



διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 240°

Διάγραμμα 6.5 – Χαρακτηριστικό ύψος κύματος ανά μετρητή για Hs= 1,6m και για διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 285°



Διάγραμμα 6.6 - Χαρακτηριστικό ύψος κύματος ανά μετρητή για Hs= 2,0m και για



διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 285°





Διάγραμμα 6.8 – Χαρακτηριστικό ύψος κύματος ανά μετρητή για Hs= 2,7m και για



διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 285°









και για διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 330°

Διάγραμμα 6.11 – Χαρακτηριστικό ύψος κύματος ανά μετρητή για Hs= 2,5m και για διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 330°



Διάγραμμα 6.12 – Χαρακτηριστικό ύψος κύματος ανά μετρητή για Hs= 2,7m και για

διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 330°

6.3 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ

Στα Διαγράμματα 6.13 – 6.21 παρουσιάζονται συγκριτικά οι μέσες παροχές ως ο μέσος όρος των μετρήσεων σε κάθε κυτίο υπερπήδησης ανά κυτίο για τις Διατομές Α2 και Β.

Στον Πίνακα 6.3 δίνονται για κάθε μέτρηση οι μέσες τιμές υπερπήδησης στο εμπρόσθιο μέτωπο σε lt/sec/m, ως ο μέσος όρος των μετρηθεισών τιμών σε όλα τα κυτία του μετώπου καθώς και η μέγιστη μετρηθείσα τιμή.



Διάγραμμα 6.13 – Μέση παροχή υπερπήδησης για Hs= 2,5m. Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 240°



Διάγραμμα 6.14 – Μέση παροχή υπερπήδησης για Hs= 2,7m. Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 240°



Διάγραμμα 6.15 – Μέση παροχή υπερπήδησης για Hs= 1,6m. Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 285°



Διάγραμμα 6.16 – Μέση παροχή υπερπήδησης για Hs= 2,0m. Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 285°



Διάγραμμα 6.17 – Μέση παροχή υπερπήδησης για Hs= 2,5m. Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 285°



Διάγραμμα 6.18 – Μέση παροχή υπερπήδησης για Hs= 2,7m. Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 285°



Διάγραμμα 6.19 – Μέση παροχή υπερπήδησης για Hs= 2,0m. Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 330°



Διάγραμμα 6.20 – Μέση παροχή υπερπήδησης για Hs= 2,5m. Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 330°



Διάγραμμα 6.21 – Μέση παροχή υπερπήδησης για Hs= 2,7m. Διεύθυνση πρόσπτωσης κυμάτων 330°

A/A	ΔΙΑΤΟΜΗ	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	КҮМАТІКН ΣҮΝΘНКН	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΩΝ		ΜΕΣΗ ΠΑΡΟΧΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΠΑΡΟΧΗ
					Hs (m)	Tp (sec)	lt/sec/m	lt/sec/m
1			1.1.1	1	1,6	5,45	0.0000	0.0000
2		240°	1.1.2	2	2,0	6,09	0.0000	0.0000
3		240	1.1.3	3	2,5	6,81	0.1063	0.7410
4			1.1.4	4	2,7	7,08	0.1626	0.9134
5	1		1.2.1	1	1,6	5,45	0.0271	0.1379
6	1	205°	1.2.2	2	2,0	6,09	0.0373	0.3447
7	A1	200	1.2.3	3	2,5	6,81	0.1348	1.0340
8	1	1	1.2.4	4	2,7	7,08	0.2509	1.1202
9	1		1.3.1	1	1,6	5,45	0.0000	0.0000
10	1	2200	1.3.2	2	2,0	6,09	0.0000	0.0000
11	1	330	1.3.3	3	2,5	6,81	0.0085	0.1293
12	1	1	1.3.4	4	2,7	7,08	0.0322	0.1896
13	·		2.1.1	1	1,6	5,45	0.000	0.000
14	1	240°	2.1.2	2	2,0	6,09	0.004	0.053
15	1	240	2.1.3	3	2,5	6,81	0.183	1.711
16	1	1	2.1.4	4	2,7	7,08	0.486	3.112
17	1		2.2.1	1	1,6	5,45	0.008	0.074
18	4.0	205°	2.2.2	2	2,0	6,09	0.079	0.670
19	A2	205	2.2.3	3	2,5	6,81	0.987	4.003
20	1	1	2.2.4	4	2,7	7,08	1.709	5.991
21	1		2.3.1	1	1,6	5,45	0.002	0.018
22	1	2200	2.3.2	2	2,0	6,09	0.157	0.839
23	1	330	2.3.3	3	2,5	6,81	1.175	4.352
24	1		2.3.4	4	2,7	7,08	2.551	8.811
25	·		3.1.1	1	1,6	5,45	0.000	0.000
26	1	240°	3.1.2	2	2,0	6,09	0.000	0.000
27	1	240	3.1.3	3	2,5	6,81	0.011	0.204
28	1		3.1.4	4	2,7	7,08	0.055	0.549
29	1		3.2.1	1	1,6	5,45	0.000	0.000
30		0050	3.2.2	2	2,0	6,09	0.016	0.159
31	В	205	3.2.3	3	2,5	6,81	0.059	0.599
32	1	1	3.2.4	4	2,7	7,08	0.147	0.846
33	1		3.3.1	1	1,6	5,45	0.000	0.000
34	1	000°	3.3.2	2	2,0	6,09	0.034	0.152
35	1	330°	3.3.3	3	2,5	6,81	0.266	1.012
36	1		3.3.4	4	2,7	7,08	0.788	2.760

Πίνακας 6.3 - Μέσες τιμές υπερπήδησης στο εμπρόσθιο μέτωπο σε lt/sec/m

6.4 ΜΕΣΕΣ ΚΑΙ ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΠΑΡΟΧΕΣ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ ΣΤΟ ΕΜΠΡΟΣΘΙΟ ΜΕΤΩΠΟ

Στα Διαγράμματα 6.22 – 6.27 παρουσιάζονται συγκριτικά οι μέσες παροχές υπερπήδησης, καθώς και οι μέγιστες παροχές υπερπήδηση στο εμπρόσθιο μέτωπο.

Σημειώνεται ότι στο φυσικό προσομοίωμα Α τα πειράματα εκτελέστηκαν με μέση στάθμη ύδατος ±0,00 m ενώ στο φυσικό προσομοίωμα Β η στάθμη ύδατος +0,38 m



Διάγραμμα 6.22 – Μέσες παροχές υπερπήδησης για γωνία πρόσπτωσης 240°



Διάγραμμα 6.23 – Μέγιστες παροχές υπερπήδησης για γωνία πρόσπτωσης 240°



Διάγραμμα 6.24 – Μέσες παροχές υπερπήδησης για γωνία πρόσπτωσης 285°



Διάγραμμα 6.25 – Μέγιστες παροχές υπερπήδησης για γωνία πρόσπτωσης 285°



Διάγραμμα 6.26 – Μέσες παροχές υπερπήδησης για γωνία πρόσπτωσης 330°



Διάγραμμα 6.27 – Μέγιστες παροχές υπερπήδησης για γωνία πρόσπτωσης 330°

6.5 ΠΑΡΟΧΕΣ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ ΕΜΠΡΟΣΘΙΟΥ ΜΕΤΩΠΟΥ ΤΩΝ ΔΙΑΤΟΜΩΝ Α1 ΚΑΙ Α2 ΥΠΟ ΧΑΜΗΛΗ Μ.Σ.Υ.

Πάρακάτω, ακολουθούν διαγράμματα στα οποία φαίνονται συγκριτικά οι μέσες καταγραφείσες παροχές υπερπήδησης στο εμπρόσθιο μέτωπο του έργου, για την Διατομή Α1 υπό Μ.Σ.Υ. ± 0,00 m του Προσομοιώματος Α και για την Διατομή Α2 επίσης υπό Μ.Σ.Υ. ± 0,00 m του Προσομοιώματος Β. Τα διαγράμματα αυτά αφορούν μόνο τους κυματισμούς των οποίων η γωνία πρόσπτωσης ήταν 285°.

Λόγω του ότι στο Προσομοίωμα Α ο αριθμός των κυτίων συλλογής του υπερχειλίζοντος νερού είναι 9 ενώ στο Προσομοίωμα Β είναι 15, έγινε ο διαχωρισμός των κυτίων σε τρείς ομάδες έτσι ώστε να είναι δυνατή η μεταξύ τους σύγκριση.

Η πρώτη ομάδα κυτίων αφορά το εμπρόσθιο αριστερό μέτωπο. Στο Προσομοίωμα Α1 τα κυτία που ανήκουν σε αυτή την ομάδα είναι τα 8 – 10 και στο Προσομοίωμα Α2 τα 8 – 12.

Η δεύτερη ομάδα κυτίων αφορά το εμπρόσθιο κεντρικό μέτωπο. Στο Προσομοίωμα Α1 τα κυτία που ανήκουν σε αυτή την ομάδα είναι τα 11 – 13 και στο Προσομοίωμα Α2 τα 12 – 18.

Η τρίτη ομάδα κυτίων αφορά το εμπρόσθιο δεξί μέτωπο. Στο Προσομοίωμα Α1 τα κυτία που ανήκουν σε αυτή την ομάδα είναι τα 14 – 16 και στο Προσομοίωμα Α2 τα 18 – 22.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα διαγράμματα 6.28 – 6.31.



Διάγραμμα 6.28 - Παροχή υπερπήδησης για γωνία πρόσπτωσης 285, Κύμα 1



Διάγραμμα 6.29 - Παροχή υπερπήδησης για γωνία πρόσπτωσης 285, Κύμα 2



Διάγραμμα 6.30 - Παροχή υπερπήδησης για γωνία πρόσπτωσης 285, Κύμα 3



Διάγραμμα 6.31 - Παροχή υπερπήδησης για γωνία πρόσπτωσης 285, Κύμα 4

6.6 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Εν γένει οι μέσες και οι μέγιστες τιμές παροχής υπερπήδησης είναι ανάλογες του ύψος του προσπίπτοντος κύματος στα βαθειά νερά. Σημαντική είναι η επίδραση της βυθομετρίας και της γεωμετρίας της διατομής, σε συνδυασμό με τα φαινόμενα διάθλασης, ρήχωσης και ανάκλασης επί του έργου των κυματισμών.

Στην συνέχεια σχολιάζονται ανά διεύθυνση πρόσπτωσης οι μέσες καταγραφείσες παροχές υπερπήδησης στα διάφορα μέτωπα του έργου, οι οποίες παρουσιάζονται και συγκεντρωτικά στον Πίνακα 6.3

Δυτική-Νοτιοδυτική πρόσπτωση κυμάτων στο εμπρόσθιο μέτωπο (Αζιμούθιο 240°):

Μεγαλύτερη υπερπήδηση παρατηρείται στην Διατομή Α (μέγιστη παροχή: στη 0,91lt/sec/m Διατομή Α1 και 3,11lt/sec/m στη Διατομή Α2, για την υψηλότερη ελεγχθείσα κυματική διαταραχή).

Στη Διατομή Β η μέγιστη μετρηθείσα παροχή υπερπήδησης μειώνεται σε 0,55 lt/sec/m, η οποία βρίσκεται μέσα στα αποδεκτά όρια, αφού η μέγιστη αποδεκτή τιμή παροχής όπως έχει προκύψει από πειραματικές μελέτες είναι 1 lt/sec/m.

Δυτική-Βορειοδυτική πρόσπτωση κυμάτων στο εμπρόσθιο μέτωπο (Αζιμούθιο 285°):

Στην Διατομή Α παρατηρήθηκε υπερπήδηση για όλα τα φάσματα κυμάτων που ελέγχθηκαν. Στην Διατομή Β υπερπήδηση παρατηρήθηκε για χαρακτηριστικό ύψος μεγαλύτερο των 2.0m μόνο.

Στην Διατομή Α1 η μέγιστη τιμή καταγράφηκε κοντά στο μέσον του εμπρόσθιου μετώπου για H_s>2m (μέγιστη τιμή q= 1,12lt/sec/m για την μέγιστη κυματική διαταραχή) που είναι μη αποδεκτή,

Στην Διατομή A2 η μέγιστη τιμή καταγράφηκε κοντά στο μέσον του εμπρόσθιου μετώπου (μέγιστη τιμή q = 5,99lt/sec/m για την μέγιστη κυματική διαταραχή), ενώ υψηλές τιμές μετρήθηκαν και στις 2 γωνίες με δυσμενέστερη πάντοτε την νότια γωνία Γ.

Η ανύψωση της Μ.Σ.Υ. κατά 0.38m επιφέρει σημαντική αύξηση στην παροχή υπερπήδησης

Η Διατομή Β μειώνει σημαντικά την παροχή υπερπήδησης. Η μέγιστη μετρηθείσα τιμή δεν ξεπερνά τα 0,85lt/sec/m και παρατηρείται στην βόρεια γωνία Β για την μέγιστη ελεγχθείσα κυματική διαταραχή. Για κυματική διαταραχή με H_s=2.70m δυσμενέστερη περιοχή είναι η νότια γωνία Γ. Η καταγραφείσα μέγιστη παροχή υπερπήδησης είναι οριακά αποδεκτή όπως προκύπτει από το όριο μέγιστης παροχής υπερπήδησης.

Η υπερπήδηση που προέκυψε απο κύματα με $H_s = 1,60m$ για τις Διατομές A1 και A2 υπο χαμηλή στάθμη είχε συγκριτικά την μεγαλύτερη τιμή στο αριστερό εμπρόσθιο τμήμα και την μικρότερη στο εμπρόσθιο κεντρικό τμήμα. Η συνολική όμως υπερπήδηση που προέκυψε ήταν αρκετά μικρή, καθώς η μέγιστη τιμή της παροχής που προέκυψε ήταν 0,0244 lt/sec/m στη Διατομή A1. Τα ίδια ισχύουν και για κύμα με $H_s = 2,00m$, όπου όμως η μέγιστη τιμή της υπερπήδηση του προέκυψε ήταν αρκετά μικρή.

Τα αποτελέσματα της υπερπήδησης στην χαμηλή στάθμη για κυματικές συνθήκες με H_s>2,00m διαφοροποιούνται λίγο από αυτά των κυμάτων με H_s≤2,00m Σε αυτές τις δύο περιπτώσεις, οι μέγιστες παροχές παρουσιάζονται στο αριστερό τμήμα του εμπρόσθιου μετώπου αντί στο δεξί. Οι ελάχιστες μετρηθείσες παροχές παρουσιάζονται και πάλι στο κεντρικό τμήμα. Επίσης, οι μέγιστες παροχές, οι οποίες είναι σημαντικά μεγαλύτερες από πρίν καθώς αυξήθηκε το ύψος του κύματος, τώρα προκύπτουν από τη Διατομή A2. Πιο συγκεκριμένα, για H_s =2,50 η μέγιστη παροχή υπερπήδησης στη Διατομή A2 προέκυψε 0,5045 lt/sec/m ενώ στη Διατομή A1 0,2244 lt/sec/m. Για H_s =2,70 η μέγιστη παροχή υπερπήδησης της κλίμακας.

Βόρειο-Βορειοδυτική πρόσπτωση κυμάτων στο εμπρόσθιο μέτωπο (Αζιμούθιο 330°):

Παρατηρούνται οι μεγαλύτερες παροχές υπερπήδησης.

Στην Διατομή Α1 η μέγιστη παροχή ήταν q = 0,19 lt/sec/m για την μέγιστη κυματική διαταραχή)

Στην Διατομή Α2 παρατηρήθηκε υπερπήδηση για όλα τα φάσματα κυμάτων που ελέγχθηκαν.

Στην Διατομή B η υπερπήδηση παρατηρήθηκε για χαρακτηριστικό ύψος κύματος $H_s \ge 2.0m$. Η μέγιστη παροχή υπερπήδησης που καταγράφηκε, για την υψηλότερη ελεγχθείσα κυματική διαταραχή με $H_s=2.70m$ ήταν για την Διατομή A2 q = 8,81 lt/sec/m και για την Διατομή B q = 2,76 lt/sec/m.

Αντίστοιχα για την κυματική συνθήκη H_s=2,00m της διεύθυνσης πρόσπτωσης κυμάτων με αζιμούθιο 330° η μέγιστη παροχή υπερπήδησης που καταγράφηκε ήταν q=0,839lt/sec/m και για την Διατομή A2 και q=0.152 lt/sec/m για την Διατομή B, σημαντικά μειωμένη.
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7⁰</u> ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για γωνία πρόσπτωσης 240°, η μεγαλύτερη υπερπήδηση παρατηρήθηκε στην Διατομή Α2 η οποία ήταν σημαντικά μεγαλύτερη από την υπερπήδηση στη Διατομή Β. Στη Διατομή Α1 όπου η Μ.Σ.Υ. ήταν σημαντικά πιο χαμηλή από αυτή της διατομής Α2, η μέση υπερπήδηση που προέκυψε βρισκόταν οριακά μέσα στα αποδεκτά πλαίσια.

Για γωνία πρόσπτωσης 285°, στη Διατομή Α2 παρουσιάστηκε υπερπήδηση σε όλο το φάσμα των κυμάτων ενώ στη Διατομή Β υπερπήδηση παρατηρήθηκε μόνο στα μεγάλα κύματα με H_s≥2.5 m. Υπερπήδηση πέραν του αποδεκτού ορίου παρατηρήθηκε και στη διατομή Α1

Για γωνία πρόσπτωσης 330° στη Διατομή Α2 παρουσιάστηκε υπερπήδηση σε όλο το φάσμα των κυμάτων ενώ στη Διατομή Β υπερπήδηση παρατηρήθηκε μόνο στα μεγάλα κύματα με H_s≥2.5 m Η υπερπήδηση που παρουσιάστηκε από τη Διατομή Α1 σε αυτή την περίπτωση ήταν μέσα στα αποδεκτά όρια.

Για όλες τις διευθύνσεις πρόσπτωσης κυμάτων και για όλες τις κυματικές συνθήκες που ελέγθηκαν, η μεγαλύτερη υπερπήδηση παρατηρήθηκε στη διατομή Α. Τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν, ότι η υπερπήδηση μειώνεται δραστικά με τη Διατομή Β.σε αποδεκτά όρια

Για όλες τις κυματικές συνθήκες που ελέγχθησαν η μέγιστη μετρηθείσα παροχή υπερπήδησης είναι σημαντικά υψηλότερη από την μέση παροχή υπερπήδησης.

Τα αποτελέσματα μετρήσεων σε φυσικό προσομοίωμα υπό κλίμακα1:30 και υπό κλίμακα 1:60 δεν διαφοροποιούνται σημαντικά. Η διατομή Α φαίνεται να επαρκεί όταν η Μ.Σ.Υ. είναι χαμηλή. Η ανύψωση της Μ.Σ.Υ. κατά 0.38m επιφέρει σημαντική αύξηση στην παροχή υπερπήδησης με αποτέλεσμα η διατομή Α να μην προσφέρει επαρκή προστασία από την υπερπήδηση για Μ.Σ.Υ. υψηλή. Η διατομή Β φαίνεται να προστατεύει ικανοποιητικά από την υπερπήδηση τον νέο αεροδιάδρομο του αεροδρομίου «ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ»

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Μουτζούρης Κ., 1994, Εισαγωγή στην ακτομηχανική, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Μουτζούρης Κ., Θαλάσσια υδραυλική, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Κουτίτας Χ., Ακτομηχανική, Εκδόσεις Α.Π.Θ, Θεσσαλονίκη.
- Δασκαλάκης Μ., 2009, Λιμάνια-Θαλάσσια Κύματα-Λιμενικά Έργα, Αθήνα.
- Εργαστήριο Λιμενικών Έργων, Τεχνική Έκθεση Ερευνητικού Προγράμματος { ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΕΡΕΥΝΑΣ ΣΕ ΦΥΣΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΠΟ ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ: ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΔΙΑΔΡΟΜΟΥ ΠΡΟΣΑΠΟΓΕΙΩΣΕΩΝ 10-28 (ΜΕΤΑ ΠΑΡΑΛΛΗΛΟΥ ΤΡΟΧΟΔΡΟΜΟΥ) ΤΟΥ ΚΡΑΤΙΚΟΥ ΑΕΡΟΛΙΜΕΝΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ «ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ» }, Αθήνα 2012
- Χατζόπουλος Χρήστος, 2012, Πειραματική διερεύνηση υπερπηδήσεως μετώπου με πρανές υπό λοξή γωνία πρόσπτωσης κυματισμών, Διπλωματική Εργασία Ε.Μ.Π. (Επιβλέπων: Καθ. Κ.Ι. Μουτζούρης, Συνεπιβλέπουσα: Ε.Αναστασάκη), Αθήνα.

Διεθνής Βιβλιογραφία

- EurOtop, 2007, Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assessment Manual, EA Environment Agency,UK & ENW Expertise Network Waterkeren, NL & KFKI Kuratorium fur Forschung im Kusteningenieurwesen.
- Van der Meer, 2002, Wave run-up and wave overtopping at dikes.
 Technical Advisory Committee on Flood Defence, Delft.