

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΣΤΟ  
ΛΙΜΑΝΙ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ - ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ  
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗ

ΕΚΠΟΝΗΣΗ  
ΝΤΑΚΟΥΛΑ ΜΑΡΙΑΝΝΑ  
ΝΤΕΛΕΔΗΜΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ  
ΚΑΡΑΜΠΑΣ ΘΕΟΦΑΝΗΣ

ΙΟΥΛΙΟΣ 2003

ΒΟΛΟΣ





ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ  
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»

Αριθ. Εισ.: 2494/1  
Ημερ. Εισ.: 10-03-2004  
Δωρεά:  
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ ΠΜ  
2003  
ΝΤΑ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000072546

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ .....	4
1.1 Ο ΒΟΛΟΣ ΣΤΟΝ ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΧΩΡΟ.....	4
1.2 ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΛΙΜΑΝΙΟΥ.....	6
1.2.1 ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	6
1.2.1.1 Παλίρροια.....	6
1.2.1.2 Κύματα - ρεύματα.....	7
1.2.2 ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	9
1.2.2.1 Ένταση - συχνότητα ανέμων.....	9
1.3 ΤΟ ΣΗΜΕΡΙΝΟ ΛΙΜΑΝΙ.....	11
1.3.1 Γενική διάταξη.....	11
1.3.2 Έργα παραβολής στο λιμάνι.....	12
2. ΓΕΝΕΣΗ - ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ.....	17
2.1 ΓΕΝΕΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ.....	17
2.2 ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ.....	18
2.2.1 Μέθοδος JONSWAP πρόγνωσης κυματισμών.....	19
2.2.2 Τυχαίοι κυματισμοί.....	31

<b>3.ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΟΜΟΨΩΜΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ</b>	
<b>ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ.....</b>	<b>32</b>
3.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	32
3.2 ΕΞΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ.....	33
3.3 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΣΧΗΜΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ.....	37
<b>4.ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣΛΙΜΕΝΟΛΕΚΑΝΗΣ.....</b>	<b>41</b>
4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	41
4.2.ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΟΥ	
ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ.....	42
4.2.1. Περίοδοι συντονισμού λιμενολεκάνης.....	42
4.2.2. Μερική ανάκλαση των κυματισμών.....	43
4.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-	
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	44
<b>5.ΤΕΧΝΙΚΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....</b>	<b>49</b>
5.1.ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΓΙΑ	
ΝΟΤΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΟ ΑΝΕΜΟ.....	49
5.2. ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΤΕΧΝΙΚΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ	
ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ.....	51

6.ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗ ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ.....	53
6.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	53
6.2 ΜΕΛΕΤΗ - ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗ....	56
7.ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ ΓΙΑ ΝΟΤΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΟ ΑΝΕΜΟ ΕΝΤΑΣΗΣ 8 BEAUFORT.....	66
8. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	77
9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	105

# 1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ

## 1.1 Ο ΒΟΛΟΣ ΣΤΟΝ ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΧΩΡΟ

Ο Βόλος, πρωτεύουσα του Νομού Μαγνησίας, βρίσκεται στον μυχό του Παγασητικού Κόλπου και αποτελεί το επίνειο της Θεσσαλίας.

Δημιουργήθηκε πάνω σε ένα ασήμαντο τουρκικό οικισμό το 1823, στη θέση της αρχαίας Ιωλκού, αλλά πήρε μεγάλη ανάπτυξη μετά την απελευθέρωση της Θεσσαλίας το 1881.

Η ανάπτυξη οφείλεται στην ανθηρή οικοτεχνία που υπήρχε στα χωριά του Πηλίου (δερμάτων) μεταξιού, ξύλου, υφασμάτων κ.ά) και κυρίως στην μεγάλη ενδοχώρα της Θεσσαλίας της οποίας αποτελεί την φυσική διέξοδο προς την θάλασσα.

Το λιμάνι, που είναι κτισμένο στο κέντρο της πόλης και είναι άμεσα λειτουργικά συνδεδεμένο με αυτήν, καταλαμβάνει σήμερα τον μυχό του Παγασητικού Κόλπου, και αποτελεί το κέντρο διακίνησης εμπορευμάτων της ευρύτερης ενδοχώρας και επιβατών από και προς τα νησιά του Αιγαίου. Βρίσκεται κεντροβαρικά του Ελλαδικού χώρου σε απόσταση οδικά 315 χλμ. από Αθήνα, 215 χλμ. από Θεσσαλονίκη και 370 χλμ. από Ηγουμενίτσα. Ακτοπλοϊκά απέχει από το λιμάνι του Πειραιά 175 μίλια μέσω του Πορθμού Ευρίπου και 190 μίλια παραπλέοντας την Εύβοια.

Εξ' άλλου η θέση του Βόλου προς το Αιγαίο δημιούργησε τις προϋποθέσεις ανάπτυξης της πορθμιακής γραμμής Βόλου- Μ.Ανατολής και γενικά του λιμανιού σαν ανατολικής λιμενικής πύλης της χώρας προς την κύρια ναυτιλιακή αρτηρία Βόσπορος - Σουέζ - Γιβραλτάρ.

Ο Βόλος είχε ανέκαθεν βιομηχανική παράδοση και η κίνηση στο λιμάνι του ήταν πολύ σημαντική. Μετά τους σεισμούς που έπληξαν την περιοχή και την τάση

συγκέντρωσης των μεγάλων βιομηχανικών μονάδων στην περιοχή της Αττικής, περιορίστηκε σημαντικά η κίνηση του λιμανιού.

Σήμερα όμως που ο Βόλος συγκεντρώνει το 60% του πληθυσμού του νομού Μαγνησίας, και το 80% περίπου της βιομηχανικής και βιοτεχνικής δραστηριότητας, αποτελεί την τέταρτη σε σημασία βιομηχανική περιοχή της Ελλάδας μετά την Αττική και τα βιομηχανικά κέντρα Θεσσαλονίκης και Πάτρας. Το λιμάνι του Βόλου αναπτύχθηκε και πάλι παράλληλα με την βιομηχανική ανάπτυξη της περιοχής για να ανταποκριθεί στις αυξημένες πλέον ανάγκες της ευρύτερης ενδοχώρας. Ιδιαίτερα μετά το 1978 αναπτύχθηκε σαν επιβατικό λιμάνι με τις γραμμές προς και από τα νησιά του αιγαίου, αλλά επίσης και σαν πορθμειακή γραμμή μεταξύ Ευρώπης - Αραβικές χώρες (γραμμή Βόλου - Λαττάκιας). Συγκεκριμένα το 1979, πραγματοποιήθηκαν πάνω από 50.000 διελεύσεις φορτηγών αυτοκινήτων με προορισμό, κατά κύριο λόγο το Ιράκ (60%) και την Σαουδική Αραβία (25%), ενώ η κίνηση με τελικό προορισμό την Συρία παρέμενε πάντα σε χαμηλά επίπεδα (3%). Σήμερα η κίνηση έχει μειωθεί κατά πολύ.

## 1.2 ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΛΙΜΑΝΙΟΥ

### 1.2.1 ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

#### 1.2.1.1 Παλίρροια

Οι τιμές των παραμέτρων της παλίρροιας για το λιμάνι του Βόλου, λαμβάνονται από δημοσιευμένα στοιχεία της Υδρογραφικής Υπηρεσία Π. Ναυτικού και είναι:

Τιμές παραμέτρων ανεξάρτητες σημείων αναφοράς

Μέγιστο εύρος	0,80 μ .
Ελάχιστο εύρος	0,01 μ.
Μέσον εύρος	0,20 μ.
Επάλλαξη	1,56 μ.

Οι σταθερές αυτές παράμετροι έχουν προκύψει από παρατηρήσεις επί του παλιρροιομέτρου που είναι εγκαταστημένο στο λιμάνι του Βόλου στη βάση του κεντρικού προβλήτα.

Το μηδέν του παλιρροιομέτρου βρίσκεται 1,70 μ. κάτω από το R27 reper της Υ.Υ. επί της εσωτερικής όψης του μαντρότοιχου του λιμανιού και 1,411 μ. κάτω από το R58 reper της Υ,Υ. επί της βορειοανατολικής γωνίας του Λιμενικού Φυλακίου.

Η διαφορά από τη μέση στάθμη της μέγιστης πλήμης είναι 0,59μ. της μέσης πλήμης 0,08μ., της μέσης ρηχίας 0,11 μ. και της κατωτάτης ρηχίας 0,97 μ.



### 1.2.1.2 Κύματα - ρεύματα

Η περιοχή της μελέτης έχει ανάπτυγμα κύματος  $F=37500$  m από κατεύθυνση περίπου νοτιοανατολική, σχ. 1-1. Η μέγιστη ένταση του ανέμου από αυτή την κατεύθυνση, σύμφωνα με το ετήσιο ανεμολογικό διάγραμμα της περιοχής, είναι 8 beaufort. Από αυτό το ανάπτυγμα προκύπτει, με εφαρμογή του τύπου του Jonswar, που η ακρίβεια του θεωρείται ικανοποιητική γι' αυτού του είδους τη μελέτη,  $H = 2,07$  m. Από πληροφορίες του Λ.Τ.Β. ο μέγιστος κυματισμός της θάλασσας στο εσωτερικό του λιμανιού ανέρχεται, σε 1,00 μ.

Στοιχεία ρευμάτων σ αυτήν την περιοχή δεν βρέθηκαν στη σχετική βιβλιογραφία ή άλλες πηγές, αλλά από τις πληροφορίες που συγκεντρώθηκαν δεν φαίνεται να υπάρχει κάποιο πρόβλημα από ρεύματα.



Σχήμα 1-1 Ανάπτυγμα κύματος

## 1.2.2 ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

### 1.2.2.1 Ένταση - συχνότητα ανέμων

Τα στοιχεία ανέμων έχουν παρθεί από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία στην οποία υπάγεται ο Μετεωρολογικός σταθμός Βόλου, και αναφέρονται σε παρατηρήσεις των τελευταίων είκοσι ετών.

Η ετήσια συχνότητα διεύθυνσης και δύναμης (έντασης) των ανέμων που έπνευσαν στην περιοχή κατά την πιο πάνω περίοδο αναφέρεται στον παρακάτω πίνακα.

Ένταση	B	BA	A	NA	N	NΔ	Δ	ΒΔ
1	13,4	0,4	1,85	0,047	6,1	0,37	2,17	0,96
2	10,21	0,3	1	0,517	14,55	0,43	2,24	2,33
3	3,81	0,19	0,16	0,554	3,37	0,19	0,57	0,55
4	1,55	0,11	0,08	0,351	0,73	0,05	0,22	0,2
5	0,63	0,05	0,04	0,203	0,18	0,01	0,07	0,13
6	0,31	0,02	-	0,094	0,03	0,01	0,01	0,03
7	0,11	-	-	0,038	-	-	0,01	0,01
8	0,04	-	-	0,01	-	-	0,01	0,01
9	0,01	-	-	-	-	-	-	-

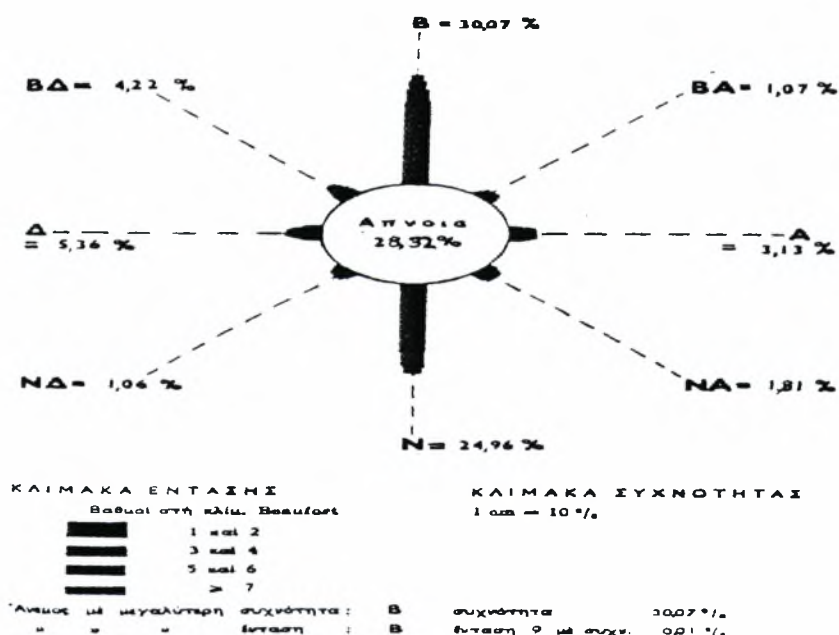
Πίνακας ετήσιας συχνότητας διεύθυνσης και έντασης ανέμων κατά την κλίμακα Beaufort.



Συχνότερος (επικρατούν) άνεμος της περιοχής κατά τα στοιχεία του σχετικού πίνακα ετήσιας συχνότητας διεύθυνσης και δύναμης (έντασης) και βάσει αυτού του διαγράμματός συχνότητας-έντασης, σχήμα 1-2 είναι ο Βόρειος (B) με συχνότητα εμφάνισης 30,07% επί του συνόλου των ανέμων που πνέουν και ακολουθεί ο νότιος(N) με συχνότητα 24,96%. Και οι δύο όμως συχνοί αυτοί άνεμοι πνέουν με ένταση η οποία κατά 90% είναι μικρότερη των 4 Beaufort. Ο μήνας κατά τον οποίο ο επικρατούν Βόρειος άνεμος εμφανίζεται με την Μεγαλύτερη συχνότητα είναι ο Ιανουάριος με μηνιαία συχνότητα 53,1% και ο Δεκέμβριος με συχνότητα 50,9%.

Ο ισχυρότερος (δεσπόζων) άνεμος της περιοχής με βάση τα ίδια μετεωρολογικά στοιχεία είναι ο Βόρειος που είναι και ο συχνότερος με μέγιστη ένταση 9 Beaufort αλλά με συχνότητα μόλις 0,01% και ο βορειοδυτικός (BΔ) και δυτικός (Δ) με ένταση και οι δύο 8 Beaufort και μικρή ομοίως συχνότητα όπως και ο (B) μόλις 0,01%.

Την μέγιστη ένταση των 9 Beaufort ο Βόρειος άνεμος την εμφανίζει κατά τον μήνα Μάρτιο, ο Βορειοδυτικός κατά τον μήνα Μάρτιο και Νοέμβριο και ο δυτικός (Δ) κατά τον μήνα Ιούνιο



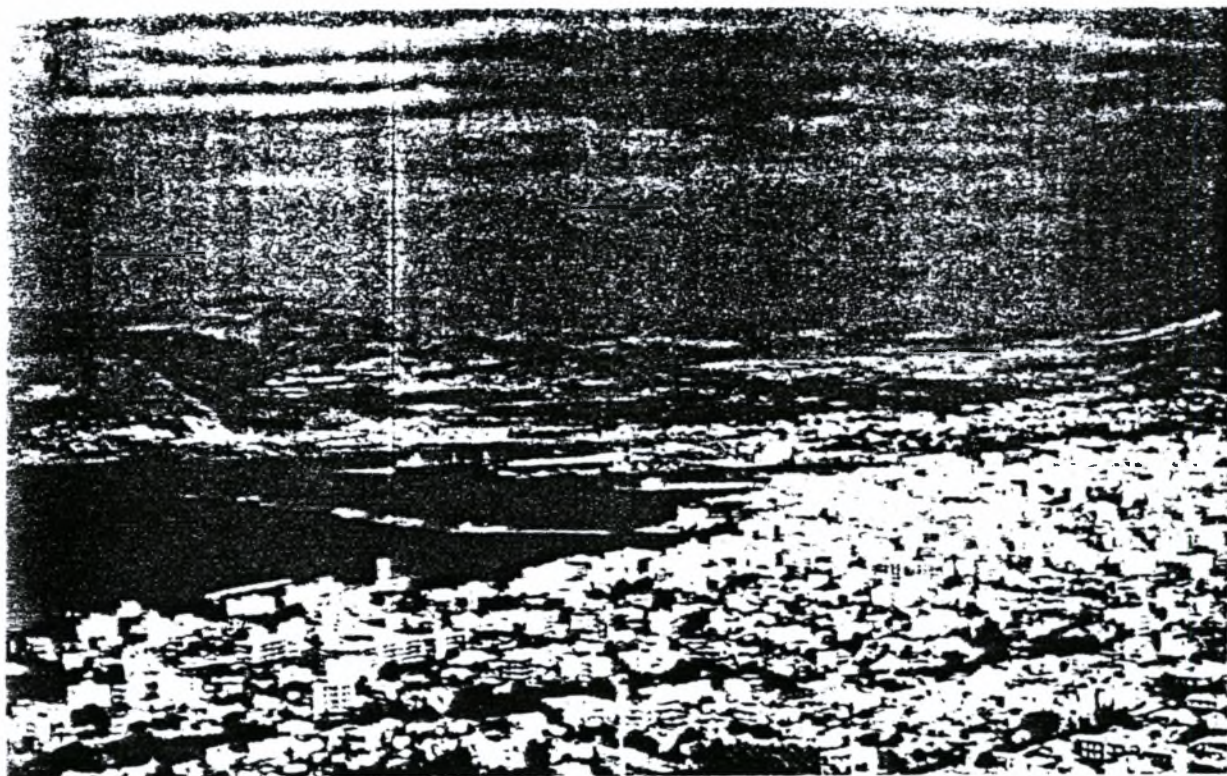
Σχήμα 1-2 Διάγραμμα έντασης και συχνότητας ανέμων σύμφωνα με τον

παραπάνω πίνακα.

## 1.3 ΤΟ ΣΗΜΕΡΙΝΟ ΛΙΜΑΝΙ

### 1.3.1 Γενική διάταξη

Το λιμάνι του Βόλου βρίσκεται στον μυχό του Παγασητικού Κόλπου σε όρμο φυσικά προστατευμένο, ανοικτό μόνο στους Ν. και Ν.Α. ανέμους από τους οποίους προστατεύεται με ένα κυματοθραύστη μήκους περίπου 960 μ., και ένα δεύτερο μήκους 300m (σχ. 1-3).



Σχήμα 1-3 Γενική άποψη του λιμανιού της πόλης του Βόλου.

Η έκταση της λιμενολεκάνης που, σχεδόν απόλυτα, προστατεύεται σήμερα από τον υπάρχοντα κυματοθραύστη είναι της τάξης των 1,3 τετραγωνικών χιλιομέτρων με βάθη που φθάνουν τα -11.00 μ., Μετά όμως την επέκταση του λιμανιού προς την νότια πλευρά του μυχού, που έχει ήδη αρχίσει να πραγματοποιείται με την κατασκευή

του προβλήτα containers και με την κατασκευή του προβλεπόμενου υπήνεμου μώλου, η ελλιμενισμένη έκταση έχει φτάσει περίπου τα 1,8 τετραγωνικά χιλιόμετρα.

Το μέγεθος του πλοίου που μπορεί να εξυπηρετηθεί, με τις υπάρχουσες σήμερα δεσμεύσεις, από το λιμάνι του Βόλου είναι της τάξης των 40.000Τ.

Η είσοδος του λιμανιού, έχει φυσικό πλάτος αρκετό για την άνετη πλεύση των σκαφών που μπορεί να δεχθεί με τα βάθη και την έκταση που διαθέτει το σημερινό λιμάνι. Προς νότο περιορίζεται από την Α. Ιωλκό και το Α. Σέσκλο που αποτελεί το νοτιότερο άκρο του μυχού μέχρι του οποίου προβλέπεται να επεκταθεί το λιμάνι.

Η χερσαία ζώνη του κυρίως λιμανιού, όπως αυτή έχει οριοθετηθεί, είναι της τάξης των 1000 στρεμμάτων. Δυνατότητα απόκτησης και, πρόσθετου χερσαίου χώρου, για τις μελλοντικές ανάγκες του λιμανιού, υπάρχει μόνο προς την πλευρά που επεκτείνεται το λιμάνι όπου οι πίσω οικιστικές δεσμεύσεις είναι ελάχιστες και οπωσδήποτε με κατάλληλη διαμόρφωση του αβαθούς θαλάσσιου χώρου της περιοχής.

### *1.3.2 Έργα παραβολής στο λιμάνι*

Η γενική διάταξη των υπαρχόντων λιμενικών έργων φαίνεται στο σχέδιο 1.

Τα έργα παραβολής (κρηπιδώματα, προβλήτες κλπ.) στο σημερινό λιμάνι του Βόλου είναι:

#### ⊙ Προσήνεμος μώλος (κυματοθραύστης)

Αποτελείται από δύο βραχίονες, συνολικού μήκους περίπου 960 μ. Ο πρώτος, μήκους 180 μ., κάθετος προς την κρηπιδωμένη ακτή, έχει κατεύθυνση ΝΔ και αφήνει παρά τη βάση του μικρό άνοιγμα με βάθη -3,50μ. για την διέλευση λέμβων και μικρών σκαφών. Ο δεύτερος βραχίονας μήκους περίπου 780μ. κάμπτεται λίγο προς τα δυτικά. Τα βάθη του εσωτερικά προς το λιμάνι



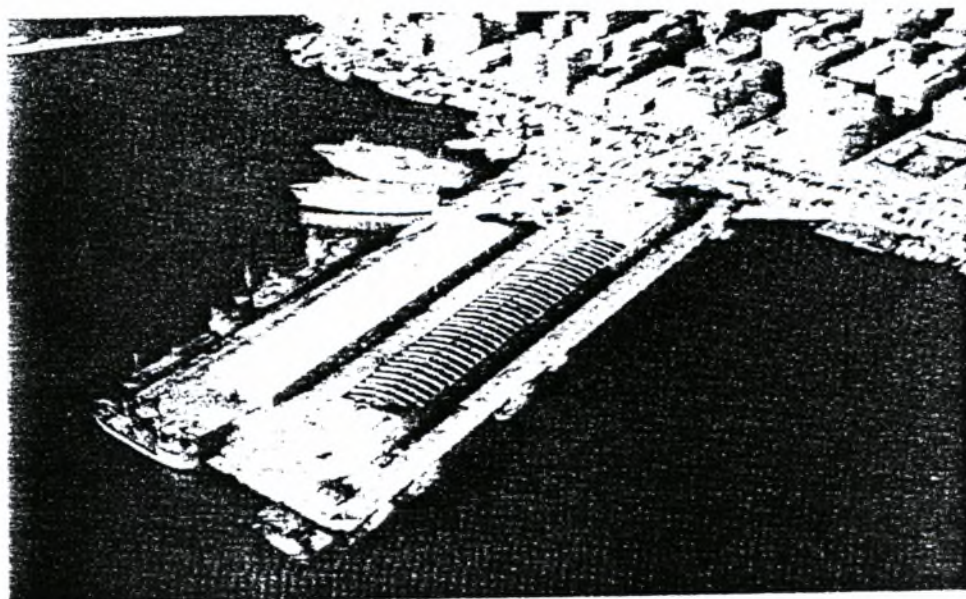
είναι -6,00μ., παρά την βάση και φθάνουν τα -9.00 παρά το ακρομύλιο .

### ⊗ Κρηπίδωμα (Προκυμαία Αργοναυτών)

Το κρηπίδωμα αυτό από τον προσήνεμο μύλο μέχρι τον κεντρικό προβλήτα έχει μήκος περίπου 520 μ. και εκτείνεται μπροστά από την κεντρική παραλιακή ζώνη της Πόλης, γνωστή ως Προκυμαία Αργοναυτών. Τα βάθη του κρηπιδώματος κυμαίνονται από -3,50 μ. ως -7,0 μ. χρησιμοποιείται μόνο σαν αγκυροβόλιο από σκάφη αναψυχής.

### ⊗ Κεντρικός προβλήτας

Έχει διαστάσεις περίπου 240X115μ. έκταση περίπου 27.600μ<sup>2</sup> και ανάπτυγμα παραβολής περίπου 600 μ. με βάθη από -7,0 ως -8,50 μ. Περιλαμβάνει το κεντρικό 2ωροφό κτίριο διοίκησης (Λιμεναρχείο, Γραφεία Λ. Ταμείου κ.ά.), αποθηκευτικούς στεγασμένους χώρους 8.000 μ<sup>2</sup>(25.000μ<sup>3</sup>) και υπαίθριους αποθηκευτικούς χώρους για εναπόθεση εμπορευμάτων 20.000 μ<sup>2</sup>. Από τον κεντρικό αυτό προβλήτα διακινούνται τα επιβατικά και τουριστικά σκάφη της περιοχής Β. Σποράδων, παράλληλα δε, σε μέρες αιχμής, προσδένουν και εμπορικά σκάφη με εμπορεύματα (ξυλεία, σιτηρά κ.ά.). Η γενική διάταξη του κεντρικού προβλήτα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 1-4 Κεντρικός προβλήτας

### 3 Κρηπίδωμα - Ιχθυόσκαλα

Δυτικά του κεντρικού προβλήτα συνεχίζεται η κρηπίδωσα της ακτής σε μήκος περίπου 170 μ. που χρησιμοποιείται κυρίως για εξυπηρέτηση μικρών σκαφών (φορτηγών) ακτοπλοΐας και μπροστά από την πλατεία σχηματίζεται λιμενίσκος - "σκάλα" - για τα ψαράδικα. Τα βάθη γενικά είναι μικρά της τάξης των -3,50μ. Ο χερσαίος χώρος πίσω από την προκυμαία είναι πολύ περιορισμένος και σε άμεση επαφή με τον πίσω δημόσιο δρόμο. Πρόσφατα ενόψει των Ολυμπιακών αγώνων η ιχθυόσκαλα μεταφέρθηκε σε καινούριες εγκαταστάσεις στην περιοχή της εκβολής του χειμάρρου Ξηριά (περιοχή μπουρμπουλήθρας).

### 3 Προβλήτας "Σιλό" (No. 1)

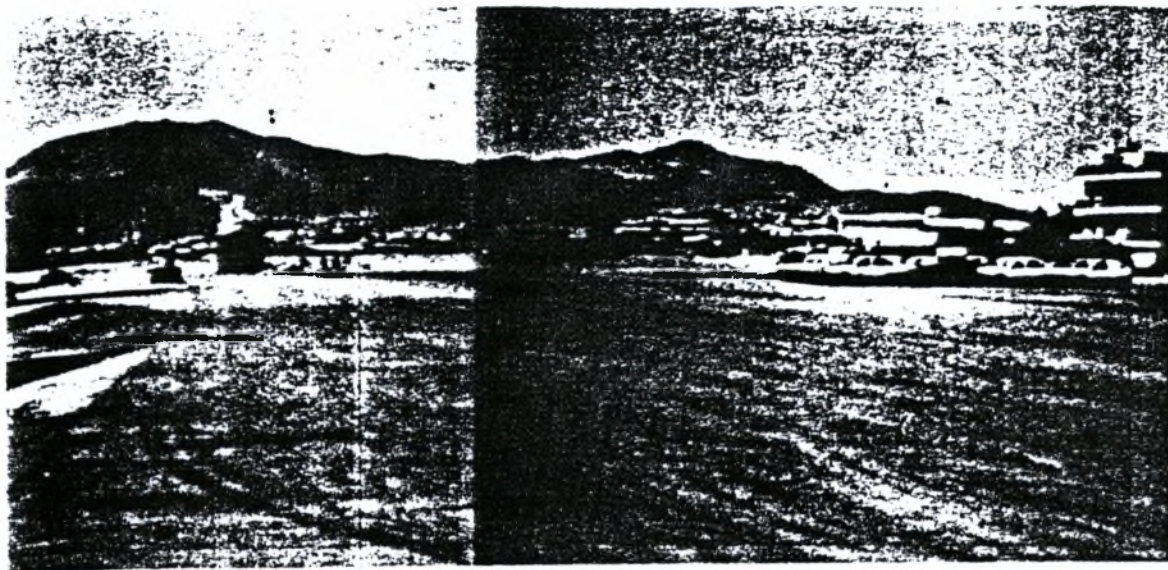
Έχει διαστάσεις στην ανατολική πλευρά περίπου 475 μ., στη δυτική 367 μ., και πλάτος στην κεφαλή 153 μ. Η έκταση του είναι περίπου 75.000 μ<sup>2</sup> και έχει ανάπτυγμα παραβολής περίπου 1.000 μ. με βάθος -11.00 μ.

Περιλαμβάνει κτίριο "Σιλό" χωρητικότητας 15.000 τόν., αποθήκη υπό τελωνειακό έλεγχο 7.000 μ<sup>2</sup>, συνεργείο μηχανημάτων 550 μ<sup>2</sup> και υπαίθριους χώρους 28.000 μ<sup>2</sup>.

Η ανατολική πλευρά χρησιμοποιείται για διακίνηση του γενικού εμπορίου και των δημητριακών, η δυτική για παλιοσίδερα 50ΕΛΡ, σίδερα μπετόν κλπ. και η κεφαλή για ξυλεία.

### 3 Νηοδόχος παλαιού Λ/Χ

Είναι το κρηπιδωμένο τμήμα δυτικά του προβλήτα "Σιλό", μέχρι τον προβλήτα Νο. 2. Έχει μήκος παραβολής περίπου 150 μ. με βάθος -11,00 μ. και πίσω χερσαία ζώνη διαστάσεων 150X 100 = 15.000 μ<sup>2</sup> Χρησιμοποιείται για την παραμονή και εκφόρτωση των αυτοκινήτων (Ro-Ro) και διαθέτει 3 κεκλιμένα επίπεδα. σχ. 1-4, 1-5



Σχήμα 1-4 . Εκμεταλλεύσιμο κατάστρωμα χερσαίου χώρου πίσω από τη νηοδόχο παλαιού Λ/Χ.



Σχήμα 1-5 Σειρά κεκλιμένων επιπέδων για εξυπηρέτηση των αυτοκινήτων TIR (Ro-Ro) στο μέτωπο της νηοδόχου παλαιού Λ/Χ.



### 3 Προβλήτας Νο. 2

Έχει τραπεζοειδές σχήμα με διαστάσεις στην ανατολική πλευρά περίπου 420 μ. στην δυτική 460 μ., στην κεφαλή 100 μ. και στην βάση περίπου 240 μ. Η έκταση του είναι περίπου 65,000μ<sup>2</sup> και ο πίσω χερσαίος χώρος περίπου 21.000 μ<sup>2</sup> και έχει συνολικό ανάπτυγμα παραβολής περίπου 980 μ.

### 3 Προβλήτας σιδηροδρομικού πορθμείου

Δυτικά του προβλήτα Νο. 2 εκβάλλει ο ποταμός Κραυσίδωνας και η εν συνεχεία ακτή έχει διαμορφωθεί μέχρι τον νέο προβλήτα (σιδηροδρομικού πορθμείου).

Έχει κατασκευαστεί η κεφαλή του προβλήτα πλάτους περίπου 70,00 μ. και η βόρεια πλευρά μήκους 201.00 μ. Έχει έκταση περίπου 14.000 μ<sup>2</sup> και πίσω χερσαίο χώρο της τάξης των 9.000μ<sup>2</sup>

Επ' αυτού κατασκευάζεται νέα σιδηροδρομική γραμμή η οποία θα λειτουργήσει για την μεταβίβαση σιδηροδρομικών σχημάτων σε οχηματαγωγά σκάφη (σιδηροδρομική Πορθμειακή γραμμή Βόλου-Μ. Ανατολής).

### 3 Κεκλιμένο επίπεδο

Στη θέση Πευκάκια, στη δυτική πλευρά της άκρας Ιωλκός υπάρχει κεκλιμένο επίπεδο διαστάσεων 42Χ60 και βάθους -5,50μ.

## 2. ΓΕΝΕΣΗ - ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ

### 2.1 ΓΕΝΕΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ

Σε κάθε συνεχές παραμορφώσιμο μέσο ως κυματισμοί μπορεί να οριστούν όλες οι μη μόνιμες (περιοδικές ή μη) διαταραχές της θέσεως των μορίων του γύρω από μία θέση ισορροπίας στο εσωτερικό ή την επιφάνειά τους.

Ειδικότερα στις παράκτιες θαλάσσιες μάζες ιδιαίτερα σημαντικές για τα θαλάσσια τεχνικά έργα είναι οι διαταραχές της επιφάνειάς τους που διέπονται από τη δύναμη της βαρύτητας. Είναι γνωστές ως επιφανειακοί θαλάσσιοι κυματισμοί και το μηχανικό ενεργειακό περιεχόμενό τους είναι ο σημαντικότερος παράγοντας φόρτισης των τεχνικών έργων που σχεδιάζουν και υπολογίζουν οι πολιτικοί μηχανικοί.

Η προέλευση των κυματισμών στη φύση διαφοροποιείται σημαντικά. Η επίδραση του ανέμου στην επιφάνεια της θάλασσας, οι διαφοροποιήσεις της βαρομετρικής πίεσης από θέση σε θέση, η αστρονομική παλίρροια, οι υποβρύχιες κατολισθήσεις και οι υποθαλάσσιοι σεισμοί, οι διαφοροποιήσεις πυκνότητας των θαλάσσιων μαζών είναι οι κύριες αιτίες γενέσεως επιφανειακών ή εσωτερικών κυματισμών.

Οι κυματισμοί όμως που αποτελούν τον κύριο παράγοντα φόρτισης των θαλάσσιων έργων έχουν ανεμογενή προέλευση. Ο κύριος παράγοντας ανεμοκυματογένεσεως είναι το πέρασμα ενέργειας από τα κινούμενα κατώτερα ατμοσφαιρικά στρώματα στις επιφανειακές θαλάσσιες μάζες. Τα τριχοειδή αρχικά κύματα (capillary waves) εξελίσσονται σε διαταραχές της επιφάνειας μήκους πολλών μέτρων, που δέχονται τις διατμητικές και εγκάρσιες (πιέσεις) δυνάμεις του αέρα. Η τροφοδοσία σε μηχανική ενέργεια από την ατμόσφαιρα αρχικά αυξάνει εκθετικά και στη συνέχεια φθίνει καθώς οι κυματισμοί αυξάνονται σε περίοδο και μήκος, ώστε η

φασική τους ταχύτητα να προσεγγίζει την ταχύτητα του ανέμου.

Η επίδραση του ανέμου μιας συγκεκριμένης κατεύθυνσης διαπιστώθηκε ότι προκαλεί κυματογένεση σε έναν τομέα  $\pm 45$  μοίρες εκατέρωθεν της διεύθυνσης του ανέμου, με αποτέλεσμα να διαμορφώνεται ένα πεδίο τρισδιάστατων κυματισμών.

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη των ανεμογενών κυματισμών είναι συναρτήσεις των εξής ανεξάρτητων μεταβλητών:

$F$  = μήκος αναπτύγματος. Είναι η χαρακτηριστική γραμμική διάσταση του θαλάσσιου πεδίου από ακτή σε γκτκή κατά μήκος της οποίας δρα ο κυματισμός.

$t_D$  = η διάρκεια πνοής του ανέμου .

$U$  = η ταχύτητα του ανέμου πάνω από την επιφάνεια.

## 2.2 ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ

Η πρόγνωση των κυματισμών (wave forecasting) αποτελεί σημαντικό επιχειρησιακό πρόβλημα της σύγχρονης ναυτιλίας, που προσπαθεί να εξασφαλίσει τις καλύτερες συνθήκες ασφάλειας, εργασίας ή αναψυχής στους ναυτιλομένους, αλλά επίσης και σημαντικό πρόβλημα της θαλάσσιας τεχνικής, διότι σπάνια διατίθενται μακροχρόνιες καταγραφές κυματισμών στις θέσεις της ακτής ή της ανοιχτής θάλασσας όπου πρόκειται να κατασκευαστούν τεχνικά έργα. Έτσι η διάγνωση της κυματικής κατάστασης από ανεμολογικά δεδομένα του παρελθόντος, που εύκολα βρίσκονται, είναι ο μόνος τρόπος ποσοτικοποίησης των υδροδυναμικών φορτίσεων που θα υποστεί το έργο.

Για την συσχέτιση του ύψους κύματος με τα στοιχεία  $U$ ,  $t_D$ ,  $F$ , αναπτύχθηκαν εμπειρικά και υπολογιστικά μοντέλα.

Από τα εμπειρικά μοντέλα, τα συχνότερα αναφερόμενα και εφαρμοζόμενα είναι τα μοντέλα SMS, PNJ, JONSWAP κ.λ.π. Παρακάτω αναλύεται η μέθοδος Jonswap που σήμερα χρησιμοποιείται ευρύτατα.



### 2.2.1. Μέθοδος JONSWAP πρόγνωσης κυματισμών

Με τη μέθοδο αυτή και με δεδομένα το μήκος αναπτύγματος  $F$  και την ρυθμισμένη ταχύτητα του ανέμου  $U_A$  μπορούμε να υπολογίσουμε το σημαντικό ύψος του ανεμογενούς κυματισμού  $H_s$  στα βαθειά νερά.

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου JONSWAP ελέγχουμε καταρχάς εάν ισχύει η ανισότητα:

$$\frac{gF}{U_A^2} \geq 22.8 \cdot 10^3 \quad (2.1)$$

Εάν ισχύει η (2.1) τότε οι κυματισμοί έχουν πλήρη ανάπτυξη και εφαρμόζονται οι σχέσεις:

$$\begin{aligned} g \frac{H_s}{U_A^2} &= 0.243 \\ g \frac{T_p}{U_A} &= 8.13 \end{aligned} \quad (2.2)$$

όπου  $H_s$  το σημαντικό ύψος κύματος και  $T_p$  η περίοδος κορυφής του φάσματος.

Στην περίπτωση που δεν ισχύει η (2.1) ελέγχουμε εάν ισχύει η ανισότητα:

$$\frac{gt_D}{U_A} > 68.8 \left( \frac{gF}{U_A^2} \right)^{0.66} \quad (2.3)$$

Αν ΙΣΧΥΕΙ η (2.3) έχουμε περιορισμό μήκους και θέτουμε:

$$x=F$$

κατόπιν εφαρμόζονται οι παρακάτω σχέσεις για τον υπολογισμό του  $H_s$ ,  $T_p$ :

$$g \frac{H_s}{U_A^2} = 0.0016 \left( \frac{gx}{U_A^2} \right)^{0.5}$$

$$g \frac{T_p}{U_A} = 0.286 \left( \frac{gx}{U_A^2} \right)^{0.33}$$

(2.4)

Εάν ΔΕΝ ΙΣΧΥΕΙ η (2.3) τότε επιλύεται η (2.3) σαν ισότητα για τον υπολογισμό νέου  $F$ :

$$F = \frac{U_A^2}{g} \left( \frac{gt_D}{68.8U_A} \right)^{1.5}$$

(2.5)

κατόπιν θέτουμε  $x=F$  (από την 2.5) και εφαρμόζουμε πάλι τις σχέσεις (2.4).

Παρακάτω φαίνονται οι υπολογισμοί του σημαντικού ύψους κύματος  $H_s$  και της περιόδου των κυμάτων  $T_p$  με τη μέθοδο Jonswar για όλες τις δυνατές εντάσεις νοτιοανατολικού ανέμου που πνέουν στον Παγασητικό κόλπο.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Επιτάχυνση βαρύτητας ( $m^3/sec$ )	$g=9,81$
Διάρκεια πνοής ανέμου ( $sec$ )	$t_D=28800$
Ταχύτητα του ανέμου ( $m/sec$ )	$U_A=2$
Γραμμικό μήκος αναπτύγματος ( $m$ )	$F=37500$

## ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ $H_s$ - $T_p$ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ JONSWAP

Πρέπει τώρα να εξετάσω αν ισχύει η ανισότητα  $g^*t_D/U_A > 68,8*(gF/U_A^2)^{0,66}$ . Αν ισχύει τότε  $X=F$ , αλλιώς λύνω την ανισότητα σαν ισότητα, υπολογίζω από εκεί το  $F$  και το  $X$  ισούται με το καινούριο μήκος αναπτύγματος που έχω υπολογίσει.

$$g^*t_D/U_A = 141264$$

$$68,8*(gF/U_A^2)^{0,66} = 129894,6$$

Παρατηρούμε ότι ισχύει η ανισότητα  $g^*t_D/U_A > 68,8*(gF/U_A^2)^{0,66}$

$$\text{Άρα το } X = 37500$$

Το σημαντικό ύψος κύματος  $H_s$  δίνεται από την εξίσωση  $g^*H_s/V_A^2 = 0,0016*(g^*X/U_A^2)^{0,5}$

$$H_s = 0,19 \quad m$$

Η περίοδος του κύματος  $T_p$  δίνεται από την εξίσωση  $g^*T_p/V_A = 0,286*(g^*X/U_A^2)^{0,33}$

$$T_p = 2,53 \quad sec$$



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Επιτάχυνση βαρύτητας (m <sup>3</sup> /sec)	g= 9,81
Διάρκεια πνοής ανέμου (sec)	t <sub>D</sub> = 28800
Ταχύτητα του ανέμου (m/sec)	U <sub>A</sub> = 3,7
Γραμμικό μήκος αναπτύγματος (m)	F= 37500

## ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ H<sub>s</sub>-T<sub>p</sub> ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ JONSWAP

Πρέπει τώρα να εξετάσω αν ισχύει η ανισότητα  $g \cdot t_D / U_A > 68,8 \cdot (gF / U_A^2)^{0,66}$ . Αν ισχύει τότε X=F, αλλιώς λύνω την ανισότητα σαν ισότητα, υπολογίζω από εκεί το F και το X ισούται με το καινούριο μήκος αναπτύγματος που έχω υπολογίσει.

$$g \cdot t_D / U_A = 76358,92$$

$$68,8 \cdot (gF / U_A^2)^{0,66} = 57666,6$$

Παρατηρούμε ότι ισχύει η ανισότητα  $g \cdot t_D / U_A > 68,8 \cdot (gF / U_A^2)^{0,66}$

$$\text{Άρα το } X = 37500$$

Το σημαντικό ύψος κύματος H<sub>s</sub> δίνεται από την εξίσωση

$$g \cdot H_s / V_A^2 = 0,0016 \cdot (g \cdot X / U_A^2)^{0,5}$$

$$H_s = 0,36 \quad \text{m}$$

Η περίοδος του κύματος T<sub>p</sub> δίνεται από την εξίσωση  $g \cdot T_p / V_A = 0,286 \cdot (g \cdot X / U_A^2)^{0,33}$

$$T_p = 3,12 \quad \text{sec}$$

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Επιτάχυνση βαρύτητας ( $m^3/sec$ )	$g = 9,81$
Διάρκεια πνοής ανέμου (sec)	$t_D = 28800$
Ταχύτητα του ανέμου ( $m/sec$ )	$U_A = 5,6$
Γραμμικό μήκος αναπτύγματος (m)	$F = 37500$

## ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ $H_s - T_p$ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ JONSWAP

Πρέπει τώρα να εξετάσω αν ισχύει η ανισότητα  $g^*t_D/U_A > 68,8*(gF/U_A^2)^{0,66}$ . Αν ισχύει τότε  $X=F$ , αλλιώς λύνω την ανισότητα σαν ισότητα, υπολογίζω από εκεί το  $F$  και το  $X$  ισούται με το καινούριο μήκος αναπτύγματος που έχω υπολογίσει.

$$g^*t_D/U_A = 50451,43$$

$$68,8*(gF/U_A^2)^{0,66} = 33368,94$$

Παρατηρούμε ότι ισχύει η ανισότητα  $g^*t_D/U_A > 68,8*(gF/U_A^2)^{0,66}$

$$\text{Άρα το } X = 37500$$

Το σημαντικό ύψος κύματος  $H_s$  δίνεται από την εξίσωση

$$g^*H_s/V_A^2 = 0,0016*(g^*X/U_A^2)^{0,5}$$

$$H_s = 0,55 \quad m$$

Η περίοδος του κύματος  $T_p$  δίνεται από την εξίσωση  $g^*T_p/V_A = 0,286*(g^*X/U_A^2)^{0,33}$

$$T_p = 3,59 \quad sec$$

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Επιτάχυνση βαρύτητας (m <sup>3</sup> /sec)	$g = 9,81$
Διάρκεια πνοής ανέμου (sec)	$t_D = 28800$
Ταχύτητα του ανέμου (m/sec)	$U_A = 8$
Γραμμικό μήκος αναπτύγματος (m)	$F = 37500$

## ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ $H_s$ - $T_p$ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ JONSWAP

Πρέπει τώρα να εξετάσω αν ισχύει η ανισότητα  $g \cdot t_D / U_A > 68,8 \cdot (gF / U_A^2)^{0,66}$ . Αν ισχύει τότε  $X = F$ , αλλιώς λύνω την ανισότητα σαν ισότητα, υπολογίζω από εκεί το  $F$  και το  $X$  ισούται με το καινούριο μήκος αναπτύγματος που έχω υπολογίσει.

$$g \cdot t_D / U_A = 35316$$

$$68,8 \cdot (gF / U_A^2)^{0,66} = 20838,76$$

Παρατηρούμε ότι ισχύει η ανισότητα  $g \cdot t_D / U_A > 68,8 \cdot (gF / U_A^2)^{0,66}$

$$\text{Άρα το } X = 37500$$

Το σημαντικό ύψος κύματος  $H_s$  δίνεται από την εξίσωση

$$g \cdot H_s / V_A^2 = 0,0016 \cdot (g \cdot X / U_A^2)^{0,5}$$

$$H_s = 0,791 \quad \text{m}$$

Η περίοδος του κύματος  $T_p$  δίνεται από την εξίσωση  $g \cdot T_p / V_A = 0,286 \cdot (g \cdot X / U_A^2)^{0,33}$

$$T_p = 4,05 \quad \text{sec}$$



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Επιτάχυνση βαρύτητας (m <sup>3</sup> /sec)	$g = 9,81$
Διάρκεια πνοής ανέμου (sec)	$t_D = 28800$
Ταχύτητα του ανέμου (m/sec)	$U_A = 10,8$
Γραμμικό μήκος αναπτύγματος (m)	$F = 37500$

## ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ $H_s$ - $T_p$ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ JONSWAP

Πρέπει τώρα να εξετάσω αν ισχύει η ανισότητα  $g^*t_D/U_A > 68,8*(gF/U_A^2)^{0,66}$ . Αν ισχύει τότε  $X=F$ , αλλιώς λύνω την ανισότητα σαν ισότητα, υπολογίζω από εκεί το  $F$  και το  $X$  ισούται με το καινούριο μήκος αναπτύγματος που έχω υπολογίσει.

$$g^*t_D/U_A = 26160$$

$$68,8*(gF/U_A^2)^{0,66} = 14022,69$$

Παρατηρούμε ότι ισχύει η ανισότητα  $g^*t_D/U_A > 68,8*(gF/U_A^2)^{0,66}$

$$\text{Άρα το } X = 37500$$

Το σημαντικό ύψος κύματος  $H_s$  δίνεται από την εξίσωση

$$g^*H_s/V_A^2 = 0,0016*(g^*X/U_A^2)^{0,5}$$

$$H_s = 1,06 \quad \text{m}$$

Η περίοδος του κύματος  $T_p$  δίνεται από την εξίσωση  $g^*T_p/V_A = 0,286*(g^*X/U_A^2)^{0,33}$

$$T_p = 4,49 \quad \text{sec}$$

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Επιτάχυνση βαρύτητας (m <sup>3</sup> /sec)	$g = 9,81$
Διάρκεια πνοής ανέμου (sec)	$t_D = 28800$
Ταχύτητα του ανέμου (m/sec)	$U_A = 14$
Γραμμικό μήκος αναπτύγματος (m)	$F = 37500$

## ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ $H_s$ - $T_p$ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ JONSWAP

Πρέπει τώρα να εξετάσω αν ισχύει η ανισότητα  $g^*t_D/U_A > 68,8*(gF/U_A^2)^{0,66}$ . Αν ισχύει τότε  $X=F$ , αλλιώς λύνω την ανισότητα σαν ισότητα, υπολογίζω από εκεί το  $F$  και το  $X$  ισούται με το καινούριο μήκος αναπτύγματος που έχω υπολογίσει.

$$g^*t_D/U_A = 20180,57$$

$$68,8*(gF/U_A^2)^{0,66} = 9955,466$$

Παρατηρούμε ότι ισχύει η ανισότητα  $g^*t_D/U_A > 68,8*(gF/U_A^2)^{0,66}$

$$\text{Άρα το } X = 37500$$

Το σημαντικό ύψος κύματος  $H_s$  δίνεται από την εξίσωση

$$g^*H_s/V_A^2 = 0,0016*(g^*X/U_A^2)^{0,5}$$

$$H_s = 1,38 \quad \text{m}$$

Η περίοδος του κύματος  $T_p$  δίνεται από την εξίσωση  $g^*T_p/V_A = 0,286*(g^*X/U_A^2)^{0,33}$

$$T_p = 4,90 \quad \text{sec}$$

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Επιτάχυνση βαρύτητας ( $m^3/sec$ )	$g=9,81$
Διάρκεια πνοής ανέμου ( $sec$ )	$t_D=28800$
Ταχύτητα του ανέμου ( $m/sec$ )	$U_A=17$
Γραμμικό μήκος αναπτύγματος ( $m$ )	$F=37500$

## ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ $H_s$ - $T_p$ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ JONSWAP

Πρέπει τώρα να εξετάσω αν ισχύει η ανισότητα  $g^*t_D/U_A > 68,8*(gF/U_A^2)^{0,66}$ . Αν ισχύει τότε  $X=F$ , αλλιώς λύνω την ανισότητα σαν ισότητα, υπολογίζω από εκεί το  $F$  και το  $X$  ισούται με το καινούριο μήκος αναπτύγματος που έχω υπολογίσει.

$$g^*t_D/U_A = 16619,29$$

$$68,8*(gF/U_A^2)^{0,66} = 7704,741$$

Παρατηρούμε ότι ισχύει η ανισότητα  $g^*t_D/U_A > 68,8*(gF/U_A^2)^{0,66}$

$$\text{Άρα το } X = 37500$$

Το σημαντικό ύψος κύματος  $H_s$  δίνεται από την εξίσωση

$$g^*H_s/V_A^2 = 0,0016*(g^*X/U_A^2)^{0,5}$$

$$H_s = 1,68 \quad m$$

Η περίοδος του κύματος  $T_p$  δίνεται από την εξίσωση  $g^*T_p/V_A = 0,286*(g^*X/U_A^2)^{0,33}$

$$T_p = 5,24 \quad sec$$



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Επιτάχυνση βαρύτητας (m <sup>3</sup> /sec)	g= 9,81
Διάρκεια πνοής ανέμου (sec)	t <sub>D</sub> = 28800
Ταχύτητα του ανέμου (m/sec)	U <sub>A</sub> = 21
Γραμμικό μήκος αναπτύγματος (m)	F= 37500

## ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ H<sub>s</sub>-T<sub>p</sub> ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ JONSWAP

Πρέπει τώρα να εξετάσω αν ισχύει η ανισότητα  $g^*t_D/U_A > 68,8*(gF/U_A^2)^{0,66}$ . Αν ισχύει τότε  $X=F$ , αλλιώς λύνω την ανισότητα σαν ισότητα, υπολογίζω από εκεί το F και το X ισούται με το καινούριο μήκος αναπτύγματος που έχω υπολογίσει.

$$g^*t_D/U_A = 13453,71$$

$$68,8*(gF/U_A^2)^{0,66} = 5829,364$$

Παρατηρούμε ότι ισχύει η ανισότητα  $g^*t_D/U_A > 68,8*(gF/U_A^2)^{0,66}$

$$\text{Άρα το } X = 37500$$

Το σημαντικό ύψος κύματος H<sub>s</sub> δίνεται από την εξίσωση

$$g^*H_s/V_A^2 = 0,0016*(g^*X/U_A^2)^{0,5}$$

$$H_s = 2,07 \quad \text{m}$$

Η περίοδος του κύματος T<sub>p</sub> δίνεται από την εξίσωση  $g^*T_p/V_A = 0,286*(g^*X/U_A^2)^{0,33}$

$$T_p = 5,63 \quad \text{sec}$$

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Επιτάχυνση βαρύτητας ( $m^3/sec$ )	$g=9,81$
Διάρκεια πνοής ανέμου ( $sec$ )	$t_D=28800$
Ταχύτητα του ανέμου ( $m/sec$ )	$U_A=24$
Γραμμικό μήκος αναπτύγματος ( $m$ )	$F=37500$

## ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ $H_s$ - $T_p$ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ JONSWAP

Πρέπει τώρα να εξετάσω αν ισχύει η ανισότητα  $g^*t_D/U_A > 68,8*(gF/U_A^2)^{0,66}$ . Αν ισχύει τότε  $X=F$ , αλλιώς λύνω την ανισότητα σαν ισότητα, υπολογίζω από εκεί το  $F$  και το  $X$  ισούται με το καινούριο μήκος αναπτύγματος που έχω υπολογίσει.

$$g^*t_D/U_A = 11772$$

$$68,8*(gF/U_A^2)^{0,66} = 4887,331$$

Παρατηρούμε ότι ισχύει η ανισότητα  $g^*t_D/U_A > 68,8*(gF/U_A^2)^{0,66}$

$$\text{Άρα το } X = 37500$$

Το σημαντικό ύψος κύματος  $H_s$  δίνεται από την εξίσωση

$$g^*H_s/V_A^2 = 0,0016*(g^*x/U_A^2)^{0,5}$$

$$H_s = 2,37 \quad m$$

Η περίοδος του κύματος  $T_p$  δίνεται από την εξίσωση  $g^*T_p/V_A = 0,286*(g^*x/U_A^2)^{0,33}$

$$T_p = 5,89 \quad sec$$

ΣΥΓΚΡΙΗΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΜΕ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ  
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ JONSWAP

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ένταση ανέμου									
Ταχύτητα ανέμου U <sub>λ</sub>	2	3,7	5,6	8	10,8	14	17	21	24
Ποσοστό εμφάνισης	0,047	0,517	0,554	0,351	0,203	0,094	0,038	0,01	0
Ύψος κύματος H <sub>s</sub>	0,1978	0,366	0,554	0,7914	1,0684	1,3849	1,6817	2,0774	2,3742
Περίοδος κύματος T <sub>p</sub>	2,5335	3,123	3,5955	4,0591	4,4951	4,9098	5,2448	5,6355	5,8973



### 2.2.2 Τυχαίοι κυματισμοί

Αν κατά τη διάρκεια μιας θαλασσοταραχής καταγραφούν  $N$  κυματισμοί ύψους  $H_i$  τότε το μέσο τετραγωνικό ύψος  $H_{rms}$  ορίζεται:

$$H_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N H_i^2}{N}}$$

Το σημαντικό ύψος ορίζεται ως η μέση τιμή του ανωτέρω 33% των υψών κύματος που καταγράφονται και σχετίζεται με το  $H_{rms}$ :

$$H_s = \sqrt{2} H_{rms}$$

Αν παραδεχθούμε ότι η κατανομή που ακολουθούν τα  $H_i$  είναι κατανομή Rayleigh, τότε η πιθανότητα υπερβάσεως μιας τιμής  $H$  είναι:

$$P(\geq H) = e^{-\left(\frac{H}{H_{rms}}\right)^2}$$

Η μέση τιμή ύψους  $H_{1/10}$  του ανωτέρω 10% των  $H_i$  και η μέση τιμή ύψους  $H_{2\%}$  του ανωτέρω 2% δίνεται από:

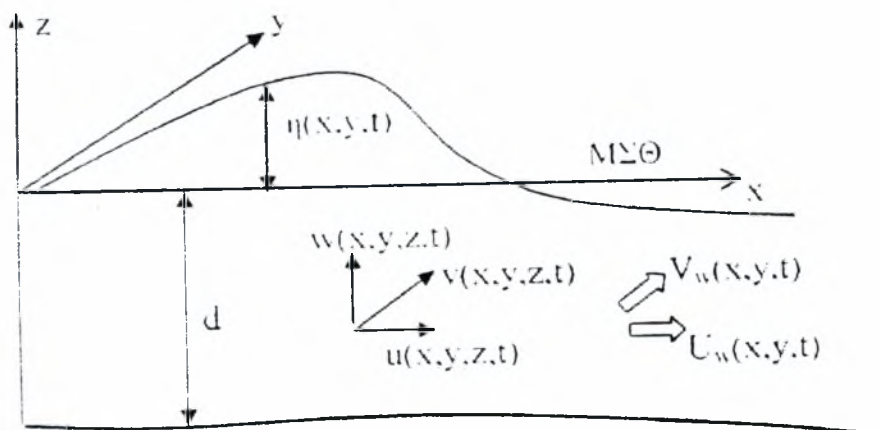
$$H_{1/10} = 1.27 H_{1/3}$$

$$H_{2\%} = 1.4 H_s$$

### 3. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΟΜΟΙΩΜΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ

#### 3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται ένα μοντέλο μετάδοσης κυματισμών στον παράκτιο χώρο και στο εσωτερικό των λιμενικών έργων. Το μαθηματικό ομοίωμα βασίζεται στην αριθμητική επίλυση των εξισώσεων ήπιας κλίσης (mild slope equations) υπερβολικής μορφής (Copeland, 1985a, Watanabe & Maruyama, 1986, Karambas, 1999) και μπορεί να περιγράψει τα φαινόμενα της διάθλασης, περίθλασης, επίδρασης της ρηχότητας και της ανάκλασης από τα κατακόρυφα μέτωπα και τους κυματοθραύστες με πρηνή (ολική και μερική ανάκλαση). Αποτελεί ένα πακέτο επιχειρησιακής χρήσης, για την επίλυση προβλημάτων σχεδιασμού Λιμενικών Έργων.



Σχήμα 3.1. Σύστημα συντεταγμένων και μεταβλητές.

### 3.2 ΕΞΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ

Οι εξισώσεις που διέπουν την κίνηση στο νερό (που θεωρείται ασυμπίεστο ρευστό) είναι η εξίσωση συνέχειας και οι εξισώσεις ορμής (Euler). Οι γραμμικοποιημένες μορφές των εξισώσεων (δηλ. χωρίς τους μη γραμμικούς όρους) γράφονται:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3.1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (3.2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} \quad (3.3)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g \quad (3.4)$$

όπου  $u$ ,  $v$  και  $w$  είναι οι ταχύτητες του ρευστού κατά  $x$ ,  $y$  και  $z$  αντίστοιχα (Σχήμα 1),  $\rho$  η πυκνότητα του νερού και  $p$  η πίεση.

Οι (γραμμικοποιημένες) οριακές συνθήκες στην ελεύθερη επιφάνεια και στον πυθμένα γράφονται:

$$w = \frac{\partial \eta}{\partial t} \quad (z = \eta \text{ ή } z \approx 0) \quad (3.5)$$

$$w = -u \frac{\partial d}{\partial x} - v \frac{\partial d}{\partial y} \quad (z = -d) \quad (3.6)$$

όπου  $\eta$  είναι η ανύψωση της ελεύθερης επιφάνειας της θάλασσας λόγω του κυματισμού.

Η ολοκλήρωση της (3.1) ως προς  $z$  από τον πυθμένα ( $z = -d$ ) έως την επιφάνεια ( $z = \eta$  ή  $z \approx 0$ ), σε συνδυασμό με τις (3.5) και (3.6), δίνει την ολοκληρωμένη ως προς το βάθος εξίσωση της συνέχειας:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial(U_w d)}{\partial x} + \frac{\partial(V_w d)}{\partial y} = 0 \quad (3.7)$$

όπου  $U_w$  και  $V_w$  είναι οι μέσες ως προς το βάθος οριζόντιες ταχύτητες κατά  $x$  και  $y$

που ορίζονται από τις σχέσεις:  $U_w = \frac{1}{d} \int_{-d}^0 u \, dz$  και  $V_w = \frac{1}{d} \int_{-d}^0 v \, dz$ .

Η σχέση (3.4) γράφεται:

$$p(z) = -\rho g z + \rho \frac{\partial}{\partial t} \int_z^0 w \, dz \quad (3.8)$$

Υποθέτοντας την κατανομή της γραμμικής θεωρίας κυματισμών (Κουτίτας, 1994, σχέση 1.10) για την πίεση  $p$ , έχουμε:

$$p(z) = -\rho g z + p_d \quad (3.9)$$

όπου  $p_d$  η δυναμική πίεση:

$$p_d(z) = \rho g \eta \frac{\cosh(k(d+z))}{\cosh(kd)} \quad (3.10)$$

Η ολοκλήρωση ως προς το βάθος των εξισώσεων της ορμής (3.2) και (3.3) δίνει:



$$d \frac{\partial U_w}{\partial t} = p|_{z=d} d_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x} \int_{-d}^0 p dz \quad (3.11)$$

$$d \frac{\partial V_w}{\partial t} = p|_{z=d} d_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial y} \int_{-d}^0 p dz \quad (3.12)$$

Αντικαθιστώντας την (3.9) στις (3.11) και (3.12) καταλήγουμε στις παρακάτω, ολοκληρωμένες ως προς το βάθος, εξισώσεις ορμής:

$$\frac{\partial U_w}{\partial t} + \frac{1}{d} \frac{\partial(c^2 \eta)}{\partial x} - \frac{1}{d} \frac{g \eta}{\cosh(kd)} \frac{\partial d}{\partial x} = 0 \quad (3.12)$$

$$\frac{\partial V_w}{\partial t} + \frac{1}{d} \frac{\partial(c^2 \eta)}{\partial y} - \frac{1}{d} \frac{g \eta}{\cosh(kd)} \frac{\partial d}{\partial y} = 0 \quad (3.13)$$

όπου  $k$  ο αριθμός κύματος και  $c$  η ταχύτητα διάδοσης του κυματισμού,  $c=L/T$ .

Η απώλεια της ενέργειας λόγω θραύσης των κυματισμών στην ακτή ή πάνω στους κυματοθραύστες εισάγεται στο μοντέλο μέσω της προσομοίωσης των τάσεων Reynolds με τη θεώρηση τυρβώδη συντελεστή ιξώδους. Στο β μέρος των εξισώσεων της ορμής προστίθενται οι όροι:

$$\dots = \nu_h \frac{\partial U_w^2}{\partial x^2} + \nu_h \frac{\partial U_w^2}{\partial y^2}$$

$$\dots = \nu_h \frac{\partial V_w^2}{\partial x^2} + \nu_h \frac{\partial V_w^2}{\partial y^2}$$

(3.14)

όπου  $\nu_h$  ένας τεχνητός τυρβώδης συντελεστής ιξώδους.

Οι απώλεια της ενέργειας λόγω τριβής πυθμένα προσομοιώνεται με τους γραμμικοποιημένους όρους στο β μέρος των εξισώσεων της ορμής:

$$\dots = -f_b \sigma U_w \quad (3.15)$$

$$\dots = -f_b \sigma V_w$$

όπου  $\sigma$  η γωνιακή συχνότητα,  $f_b$  είναι ο γραμμικοποιημένος συντελεστής τριβής που συνδέεται με τον συντελεστή τριβής (κύματος)  $f_w$  του επόμενου κεφαλαίου με τη σχέση:

$$f_b \sigma = \frac{\frac{1}{2} f_w \sqrt{U_w^2 + V_w^2}}{d} \quad (3.16)$$

Ανακεφαλαιώνοντας, οι τελικές εξισώσεις του μοντέλου κυματισμών είναι οι εξής:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial(U_w d)}{\partial x} + \frac{\partial(V_w d)}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial U_w}{\partial t} + \frac{1}{d} \frac{\partial(c^2 \eta)}{\partial x} - \frac{1}{d} \frac{g \eta}{\cosh(kd)} \frac{\partial d}{\partial x} = v_h \frac{\partial^2 U_w}{\partial x^2} + v_h \frac{\partial^2 U_w}{\partial y^2} - f_b \sigma U_w$$

$$\frac{\partial V_w}{\partial t} + \frac{1}{d} \frac{\partial(c^2 \eta)}{\partial y} - \frac{1}{d} \frac{g \eta}{\cosh(kd)} \frac{\partial d}{\partial y} = \frac{\partial \left( v_h \frac{\partial V_w}{\partial x} \right)}{\partial x} + \frac{\partial \left( v_h \frac{\partial V_w}{\partial y} \right)}{\partial y} - f_b \sigma V_w \quad (3.17)$$

### 3.3 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΣΧΗΜΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

Στο σημείο  $i\Delta x$  και στο χρόνο  $n\Delta t$  (όπου  $\Delta x$  και  $\Delta t$  το χρονικό και χωρικό βήμα διακριτοποίησης) οι μερικές παράγωγοι των εξισώσεων (3.17) προσεγγίζονται, σε έναν έκκεντρο κανάβο όπου στο κέντρο του κανάβου υπολογίζεται η ανύψωση η ενώ οι ταχύτητες  $U_w$  και  $V_w$  στην άκρη (Σχήμα 3.2), ως εξής:

$$\frac{\eta_i^{n+1} - \eta_i^n}{\Delta t} + \frac{(U_w d)_{i+1,j}^n - (U_w d)_{i,j}^n}{\Delta x} + \frac{(V_w d)_{i,j+1}^n - (V_w d)_{i,j}^n}{\Delta y} = 0$$

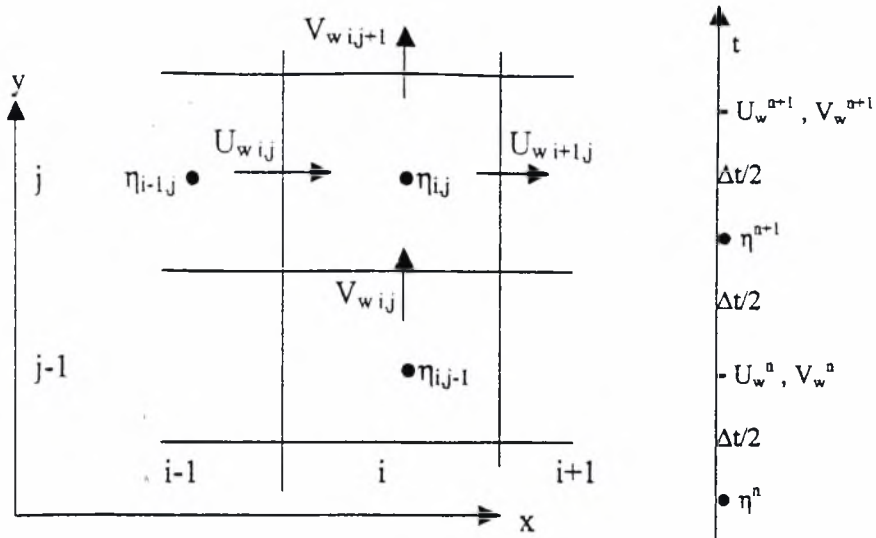
$$\frac{U_w_{i,j}^{n+1} - U_w_{i,j}^n}{\Delta t} + \left(\frac{1}{d}\right)_i \frac{(c^2 \eta)_{i,j}^{n+1} - (c^2 \eta)_{i-1,j}^{n+1}}{\Delta x} - \frac{1}{d_{i,j}} \frac{g \eta_{i,j}^n}{\cosh(k_{i,j} d_{i,j})} \frac{d_{i,j} - d_{i-1,j}}{\Delta x} =$$

$$v_h \frac{U_w_{i+1,j}^n - 2U_w_{i,j}^n + U_w_{i-1,j}^n}{\Delta x^2} + v_h \frac{U_w_{i,j+1}^n - 2U_w_{i,j}^n + U_w_{i,j-1}^n}{\Delta x^2} - f_b \sigma U_w_{i,j}^n$$

$$\frac{V_w_{i,j}^{n+1} - V_w_{i,j}^n}{\Delta t} + \left(\frac{1}{d}\right)_i \frac{(c^2 \eta)_{i,j}^{n+1} - (c^2 \eta)_{i,j-1}^{n+1}}{\Delta x} - \frac{1}{d_{i,j}} \frac{g \eta_{i,j}^n}{\cosh(k_{i,j} d_{i,j})} \frac{d_{i,j} - d_{i,j-1}}{\Delta x} =$$

(3.18)

$$v_h \frac{V_w_{i+1,j}^n - 2V_w_{i,j}^n + V_w_{i-1,j}^n}{\Delta x^2} + v_h \frac{V_w_{i,j+1}^n - 2V_w_{i,j}^n + V_w_{i,j-1}^n}{\Delta x^2} - f_b \sigma V_w_{i,j}^n$$



Σχήμα 3.2. Διακριτοποίηση των μεταβλητών.

)

Οι οριακές συνθήκες που εφαρμόστηκαν πλευρικά ήταν συνθήκες σπογγώδους ζώνης (τεχνική απορρόφησης των κυματισμών -sponge layer- των Larsen and Dancy, 1983). Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται σε ένα διάστημα μήκους  $x_s$  από το όριο και προς τα έξω (Σχήμα 3.3). Στο εσωτερικό του διαστήματος αυτού οι μεταβλητές  $\eta$ ,  $U_w$  και  $V_w$  διαιρούνται, σε κάθε χρονικό βήμα, με έναν συντελεστή  $\mu(x)$  που ορίζεται:

$$\mu(x) = \exp\left[\left(2^{-x/\Delta x} - 2^{x_s/\Delta x}\right) \ln \beta\right] \quad (3.19)$$

όπου  $\beta$  είναι μία σταθερά η οποία εξαρτάται από τον αριθμό των σημείων του διαστήματος  $x_s$  δηλαδή το  $x_s/\Delta x$ . Ο αριθμός αυτός μπορεί να καθορίσει και τον συντελεστή της (μερικής) ανάκλασης.

Το σύστημα διεγείρεται από μία χρονοσειρά  $\zeta_i^*(t)$  ανύψωσης της ελεύθερης



επιφάνειας που εφαρμόζεται σε μία γραμμή του εσωτερικού της λιμενολεκάνης παράλληλα σε ένα όριο (Σχήμα 3.3) και σε απόσταση  $20\Delta x$  από αυτό (Larsen and Dancy, 1983, Lee and Suh, 1998).

Η χρονοσειρά διέγερσης είναι ημιτονοειδής:

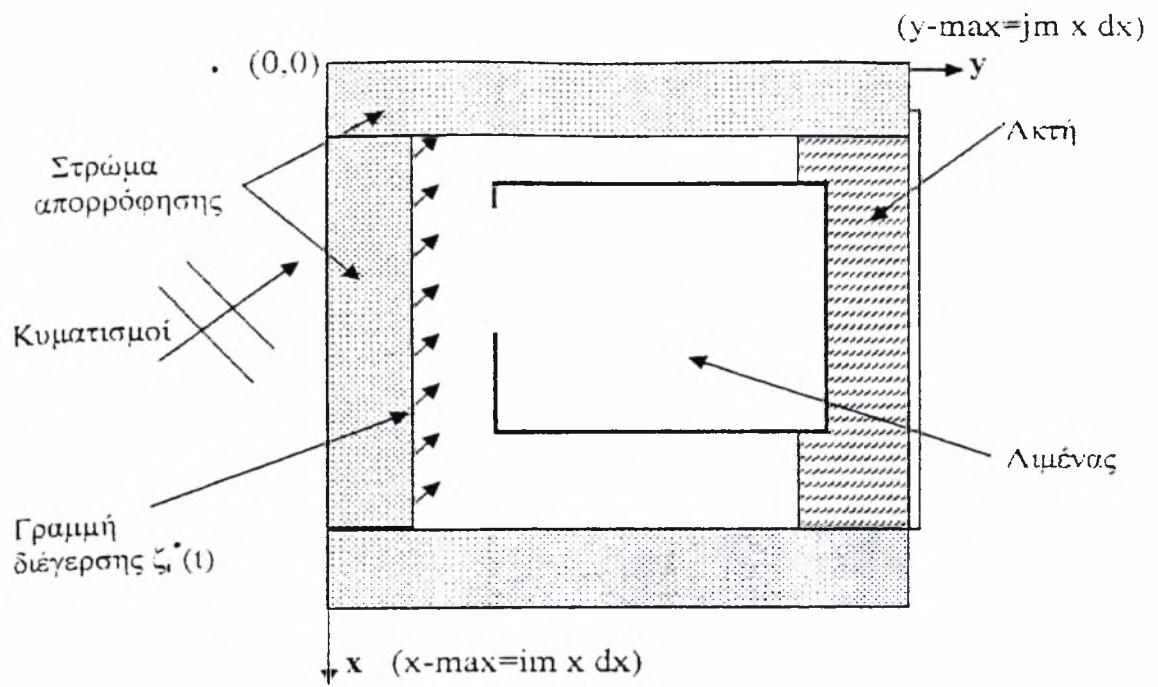
$$\eta_i^* = 2 \frac{H}{2} \sin(\sigma(t-t_f)) \cos \phi \quad c \frac{\Delta t}{\Delta x} \quad (3.20)$$

με  $t_f = \sin(\phi) x/c$

Όπου  $H$  είναι το ύψος του κύματος στην είσοδο του λιμενικού έργου,  $c$  η ταχύτητα μετάδοσης,  $\Delta t$  και  $\Delta x$  το χρονικό και το χωρικό βήμα,  $\sigma$  συχνότητα και  $\phi$  η γωνία πρόσπτωσης.

Η ανύψωση  $\eta_i^*(t)$  προστίθεται στην υπολογισμένη ανύψωση στο εσωτερικό του πεδίου, δηλ. η τελική τιμή του  $\eta$  είναι το άθροισμα του προσπίπτοντος κυματισμού  $\eta_i^*(t)$  και του αποτελέσματος από το εσωτερικό του πεδίου. Στα πρώτα 20 ( $x_s/\Delta x=20$ ) σημεία επιβάλλεται η συνθήκη ορίου απορρόφησης (sponge layer) ώστε να απορροφώνται οι ανακλώμενοι κυματισμοί από το εσωτερικό του υπολογιστικού πεδίου.

Τα όρια πλήρους ανάκλασης εφαρμόζονται οι οριακές συνθήκες:  $U_w=0$  ή  $V_w=0$  (και  $\partial\eta/\partial s=0$ , όπου  $s$  ο άξονας κάθετα στο όριο). Η ανάκλαση περιγράφεται αυτόματα στο πρόγραμμα ορίζοντας το κατακόρυφο μέτωπο με το χαρακτηριστικό βάθος -1.



Σχήμα 3.3. Υπολογιστικό πεδίο.

## 4 ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ ΛΙΜΕΝΟΛΕΚΑΝΗΣ

### 4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο σκοπός του τμήματος αυτού της μελέτης είναι η διερεύνηση των συνθηκών συντονισμού της. Ο συντονισμός οφείλεται στην ύπαρξη των Κυματισμών Χαμηλής Συχνότητας.

Με την ορολογία 'Κυματισμοί Χαμηλής Συχνότητας' (Low Frequency Waves) χαρακτηρίζουμε τους μακρούς κυματισμούς που δημιουργούνται εξαιτίας της μετάδοσης των βραχέων κυματισμών κατά ομάδες. Στα βαθιά νερά κάτω από τις ομάδες των υψηλών κυματισμών, η αύξηση της κινητικής ενέργειας συνεπάγεται υποβιβασμό της μέσης στάθμης (set-down). Για να εξισορροπηθεί ο υποβιβασμός αυτός ανυψώνεται η στάθμη ανάμεσα στις ομάδες των υψηλών κυματισμών με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός μακρού δεσμευμένου κυματισμού (bound wave), ο οποίος είναι 'δεμένος' με την ομάδα των βραχέων κυματισμών και μεταδίδεται με την ταχύτητα ομάδας  $c_g$  (Bowers, 1977). Όταν ο μακρύς αυτός κυματισμός μεταδίδεται στα ρηχά νερά, η ταχύτητα ομάδας  $c_g$  πλησιάζει την ταχύτητα μετάδοσης στα ρηχά νερά ( $c=(gd)^{1/2}$ ,  $d$ =βάθος), και λόγω του φαινομένου του συντονισμού, παρατηρείται σημαντική αύξηση του εύρους του (Sand, 1982). Ο δεσμευμένος μακρύς κυματισμός απελευθερώνεται από τις ομάδες των βραχέων όταν αυτοί χάνουν την ενέργειά τους στη ζώνη θραύσης ή όταν μεταδίδονται σε πολύπλοκη βυθομετρία (π.χ. ύφαλοι). Τότε ο κυματισμός ανακλάται από την ακτή προς την ανοικτή θάλασσα και μεταδίδεται 'ελεύθερος' (Καραμπάς, 1995). Οι κυματισμοί αυτοί διεγείρουν τις λιμενολεκάνες με πιθανότητα εμφάνισης του φαινομένου του συντονισμού.

Πειράματα και αναλυτικές λύσεις (Bowers, 1977) οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η προσομοίωση του φαινομένου του συντονισμού μπορεί να γίνει και με τη θεώρηση

ελεύθερων μακρών κυματισμών (χωρίς απαραίτητα να προσομοιώνονται ταυτόχρονα και οι ομάδες των βραχέων). Με βάση τα παραπάνω η διερεύνηση συνθηκών συντονισμού θα γίνει με το μοντέλο μετάδοσης μονοχρωματικών κυματισμών HARBOUR-L, επιβάλλοντας διεγέρσεις στην είσοδο του λιμενικού έργου με περιόδους κοντά στις ιδιοπεριόδους συντονισμού της λιμενολεκάνης. Οι διεγέρσεις αυτές είναι χρονοσειρές ελεύθερης επιφάνειας μακρών κυματισμού.

## 4.2. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΟΥ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ

### 4.2.1. Περίοδοι συντονισμού λιμενολεκάνης

Η αναλυτική λύση του προβλήματος του συντονισμού ορθογώνιων λιμενολεκάνων με βάση τη γραμμική θεωρία κυματισμών δίνεται από τον Μει (1983). Για έναν λιμένα πλάτους  $2a$  και μήκους  $L$  ο συντελεστής διεύρυνσης  $C_a$  (λόγος του προσπίπτοντος εύρους κύματος προς το εύρος στο εσωτερικό του λιμένα) δίνεται

$$\text{από τη σχέση: } C_a = \frac{1}{|Z|} \quad (1)$$

όπου:

$$Z = \cos(kL) + (2ka/\pi) \sin(kL) \ln(2\gamma ka/\pi e) - i k a \sin(kL)$$

και  $\gamma = 1.78107248$ ,  $k$  είναι ο αριθμός κύματος και  $i = \sqrt{-1}$

Η εφαρμογή της σχέσης (1), θεωρώντας ιδανικές διαστάσεις  $L = 600\text{m}$  και  $2a = 100\text{m}$ , δίνει τις παρακάτω περιόδους συντονισμού της λιμενολεκάνης  $T_{\text{συντονισμού}}$ :

$$T_{\text{συντονισμού}} = 340, 110, 65, 48, 36, 30, 25, 21, 19, 17, 15, \dots \text{ sec}$$

Όταν οι περίοδοι των μακρών κυματισμών  $T$  πλησιάζουν τις παραπάνω τιμές  $T_{\text{συντονισμού}}$  ( $T \approx T_{\text{συντονισμού}}$ ) τότε θα έχουμε το φαινόμενο του συντονισμού.

Οι εξισώσεις ήπιας κλίσης ('mild slope') υπερβολικής μορφής που καταστρώθηκαν στο κεφάλαιο 3 εφαρμόζονται και στην περίπτωση της διερεύνησης του συντονισμού των λεκανών του λιμένα.

#### 4.2.2. Μερική ανάκλαση των κυματισμών

Όταν ο κυματισμός προσπίπτει σε έναν κυματοθραύστη με πρηνή από λιθορριπή ή σε βραχώδη ακτή δεν ανακλάται αλλά και ούτε απορροφάται πλήρως. Ένα μέρος της ενέργειας καταναλώνεται πάνω στον κυματοθραύστη ή τη βραχώδη ακτή και το υπόλοιπο ανακλάται προς την ανοικτή θάλασσα και δημιουργεί στάσιμο κυματισμό επηρεάζοντας το κυματικό πεδίο της περιοχής. Η περιγραφή του φαινομένου αυτού γίνεται με την εισαγωγή ενός τεχνητού συντελεστή τυρβώδους ιξώδους  $\gamma$  στις σχέσεις (4) (Karambas and Bowers, 1996). Η τιμή του συντελεστή και το μήκος εφαρμογής του καθορίζουν τον συντελεστή ανάκλασης.

Ο συντελεστής  $\gamma$  που εφαρμόζεται σε ένα μήκος  $2S_w$ , υπολογίζεται σύμφωνα με τους Karambas and Bowers (1996):

$$C_r = \left( \frac{\frac{K}{k}(1+e^{-4iKS_w}) - (1-e^{-4iKS_w})}{\frac{K}{k}(1+e^{-4iKS_w}) + (1-e^{-4iKS_w})} \right) \quad (7)$$

όπου  $K$  είναι ένας μιγαδικός αριθμός που ικανοποιεί τη σχέση:

$$\sigma^2 - \gamma i \sigma K^2 = c^2 K^2 \quad (8)$$



Όταν ο συντελεστής ανάκλασης  $C_r$  είναι γνωστός, το παραπάνω σύστημα των εξισώσεων λύνεται εύκολα με τη μέθοδο των προσεγγίσεων και έτσι υπολογίζεται ο συντελεστής  $\gamma$ .

Ο συντελεστής  $C_r$  για τους κυματοθραύστες με πρηνή από λιθορριπή μπορεί να εκτιμηθεί από εμπειρικές σχέσεις:

$$C_r = a \frac{\xi^2}{b + \xi^2} \quad (9)$$

όπου:

$$a=0.64, b=7.22, \xi=(g/2\pi)^{1/2} \tan\alpha T/H^{1/2}$$

με:

$\tan\alpha$  την κλίση του πρηνούς,  $H$  το ύψος και  $T$  την περίοδο του κύματος.

#### 4.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ- ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το μοντέλο εφαρμόζεται για διαφορετικές περιόδους  $T$  μακρών κυματισμών. Οι περίοδοι αυτές είναι οι περίοδοι συντονισμού  $T_{\text{συντονισμού}}$  ( $T \approx T_{\text{συντονισμού}}$ ) ώστε να διερευνηθεί η πιθανότητα συντονισμού. Στη φύση, οι ομάδες κυματισμών περιλαμβάνουν 4-10 κυματισμούς, που σημαίνει ότι, για περίοδο κορυφής φάσματος  $T_p$ , οι ομάδες κυματισμών θα δημιουργούν Κυματισμούς Χαμηλής Συχνότητας με περιόδους της τάξης  $T=4-10 T_p$ . Τα αποτελέσματα του προγράμματος OUTRAY

δείχνουν ότι οι περίοδοι βραχέων κυματισμών κυμαίνονται από 2.5 έως 5.6 sec. Οι τιμές αυτές συνεπάγονται περιόδους Κυματισμών Χαμηλής Συχνότητας που κυμαίνονται από 10 έως 56 sec. Με τον τρόπο αυτό αποκλείονται οι τιμές  $T=264$  sec και  $T=80.55$  sec που προκαλούν και τον μεγαλύτερο συντελεστή ενίσχυσης. Με βάση τα παραπάνω επιλέγονται οι παρακάτω περίοδοι  $T$ :

$T=47.3, 33, 25.03, 20.07, 16.73, 14.34, 12.54, 11.14, 10.02, 9.1, 8.35, 7.7$  και  $7.1$  sec

Οι παραπάνω περίοδοι συνεπάγονται και διαφορετικούς συντελεστές ανάκλασης σύμφωνα με την σχέση (9). Η εφαρμογή της σχέσης δίνει σταθερό συντελεστή ανάκλασης  $C_r=0.63$ . Ωστόσο η σχέση (9) έχει προκύψει από πειράματα βραχέων κυματισμών με συντελεστές Iribarren  $\xi$  μικρότερους του 10. Για μακρύτερους κυματισμούς αναμένονται μεγαλύτεροι συντελεστές ανάκλασης. Έτσι επιλέγονται οι παρακάτω αυξημένοι συντελεστές ανάκλασης:

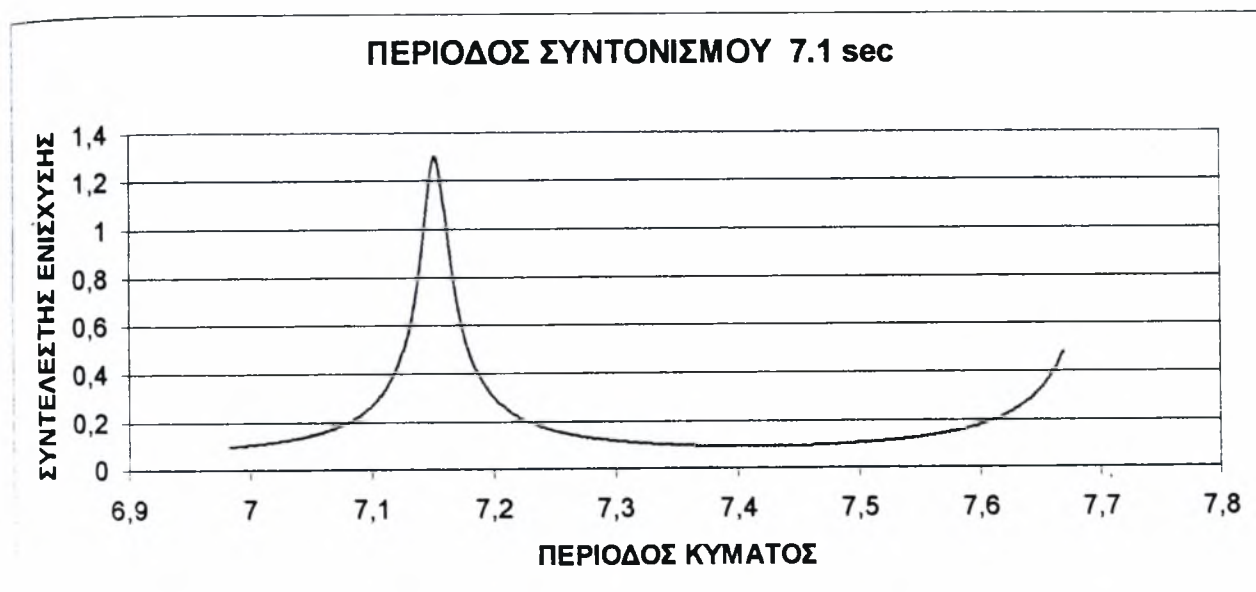
$T$ (sec)	Συντελεστής ανάκλασης
47,31	1,12
33	1,01
25,03	1
20,07	1,01
16,73	1,04
14,37	1,07
12,54	1,1
11,14	1,14
10,02	1,17
9,1	1,2

8,35	1,23
7,7.	1,27
7,1	1,3

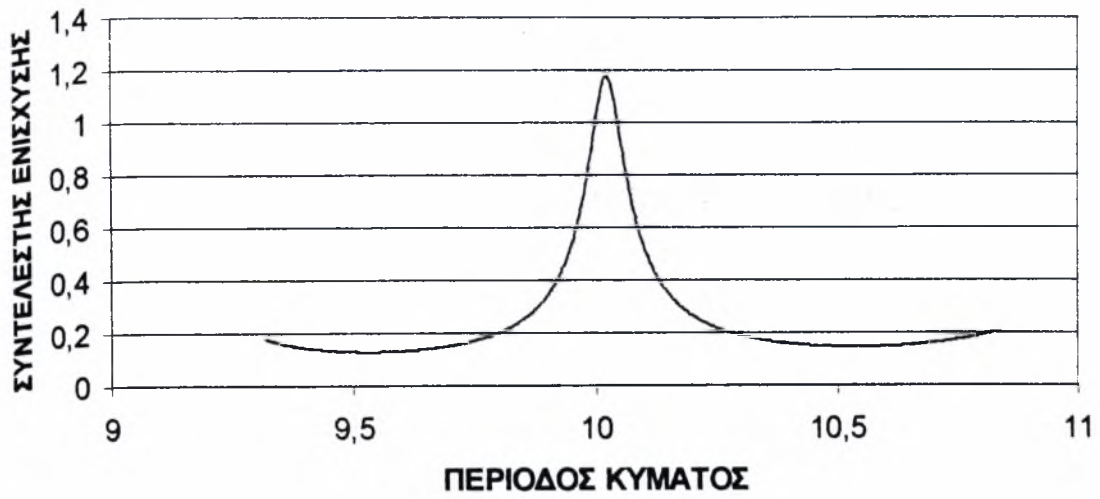
Λόγω της γραμμικότητας του μοντέλου το ύψος του προσπίπτοντος κυματισμού θεωρήθηκε μοναδιαίο,  $H=1m$ .

Το μοντέλο εφαρμόστηκε για τρεις διαφορετικές περιόδους κύματος που μπορούν να προκαλέσουν συντονισμό ( $T=7.1$ ,  $T=10.02$ ,  $T=25.03$ ). Κυματισμοί μακρύτερης περιόδου δε μελετήθηκαν γιατί θεωρείται εξαιρετικά σπάνιο να εμφανιστούν στον Παγασητικό κόλπο. Από τα διαγράμματα που προκύψανε παρατηρούμε ότι και στις τρεις περιπτώσεις παρουσιάζονται σε ορισμένα σημεία του λιμανιού ύψη κύματος της τάξεως του ενός μέτρου, πράγμα μη αποδεκτό για εμπορικό λιμάνι. Το φαινόμενο αυτό δεν πρέπει να μας ανησυχεί γιατί συνήθως οι ομάδες κυμάτων μακράς περιόδου έχουν ύψος 30-40 εκατ. Αυτό σημαίνει ότι το ύψος κύματος για τις παραπάνω συχνότητες συντονισμού δεν θα ξεπερνά το μισό μέτρο μέσα στο λιμάνι.

Το μοντέλο δοκιμάστηκε και για την περίπτωση αύξησης του υπήνεμου μώλου κατά 75 και 150 μέτρα. Και στις δυο περιπτώσεις δεν παρουσιάστηκε σημαντική βελτίωση της κατάστασης στα κρηπιδώματα παραβολής των πλοίων ενώ αντίθετα βελτιώθηκε σημαντικά η κατάσταση στην είσοδο του λιμανιού όπως φαίνεται από τους χάρτες κυματισμών. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι η επιμήκυνση του υπήνεμου μώλου προς την ακτή δεν συνεισφέρει στην μείωση του ύψους των κυμάτων. Στα παρακάτω γραφήματα παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο βρέθηκαν οι περίοδοι συντονισμού της λιμενολεκάνης μας. Πρόκειται για τις περιόδους όπου παρουσιάζεται τοπικό μέγιστο στο συντελεστή ενίσχυσης. Ξεχωριστά παρουσιάζονται οι τρεις περιπτώσεις συντονισμού που αναλύσαμε.



**ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ 10.02 sec**



**ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ 25.03 sec**





## 5. ΤΕΧΝΙΚΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

### 5.1 ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΓΙΑ ΝΟΤΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΟ ΑΝΕΜΟ.

Για να εκτιμήσουμε την πιθανότητα εμφάνισης ενός ύψους κύματος στην περιοχή του Βόλου υποθέτουμε ότι το μέγεθος ακολουθεί την κατανομή Weibul. Έχουμε υπολογίσει τα σημαντικά ύψη με τη μέθοδο JONSWAP, με ενεργό μήκος αναπτύγματος  $F=37,5$  km (NA άνεμος).

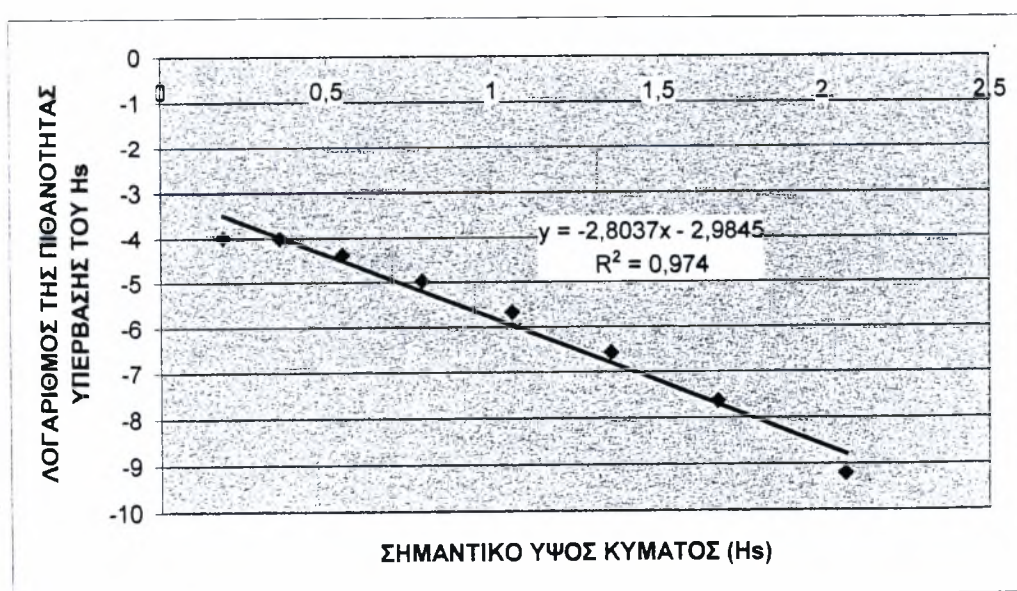
Από τα ανεμολογικά στοιχεία έχουμε τον πίνακα έντασης συχνότητας εμφάνισης  $f_i$  :

ΕΝΤΑΣΗ (B)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ (m/sec)	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ
1	2	0.047
2	3.7	0.517
3	5.6	0.554
4	8	0.351
5	10.8	0.203
6	14	0.094
7	17	0.038
8	21	0.01

Η εφαρμογή της μεθόδου JONSWAP δίνει τα ύψη κύματος με τις αντίστοιχες πιθανότητες υπέρβασης:

Hs(m)	fi	P(H>s)	lnP
0.19	0.047	0,01814	-4,00964
0.36	0.517	0,01767	-4,03589
0.55	0.554	0,0125	-4,38203
0.79	0.351	0,00696	-4,96758
1.06	0.203	0,00345	-5,66938
1.36	0.094	0,00142	-6,5571
1.68	0.038	0,00048	-7,64172
2.07	0.01	1E-04	-9,21034

Τοποθετούμε τα σημεία lnP και Hs στο excel :



και προκύπτει η ευθεία:

$$\ln P = -2.8037H_s - 2.9845$$

Εφαρμόζοντας το μοντέλο μετάδοσης κυματισμών στο εσωτερικό του λιμένα του Βόλου και θεωρώντας πιθανή επέκταση (σύμφωνα με την μελέτη) του κυματοθραύστη προς τα πευκάκια έχουμε τους παρακάτω συντελεστές περίθλασης στο κέντρο του κυματοθραύστη.

Επέκταση κυματοθραύστη (σε m)	0	75	150
Συντελεστής περίθλασης στον ανατολικό κρηπιδότοιχο	0.6	0.5	0.4

## 5.2. Αλγόριθμος τεχνικοοικονομικής εκτίμησης

Έστω ότι το πλοίο σχεδιασμού έχει όριο εργασίας το ύψος κύματος των 0.5 m. Στο εξωτερικό του λιμένα το ύψος κύματος δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα  $0.5/0.6=0,83$  m (π.χ. για επέκταση κυματοθραύστη τα 0 μέτρα). Η πιθανότητα υπέρβασης είναι:

$\ln P = -2.8037H_s - 2.9845 = -5.3$  ή  $P(>1) = 0.49\%$ . Αυτό σημαίνει ότι το 0.49% του χρόνου το συγκεκριμένο πλοίο δεν μπορεί να εξυπηρετηθεί.

Από τα διαγράμματα κυματισμών του λιμένα του Βόλου φαίνεται ότι τα ύψη κύματος στο εσωτερικό του λιμανιού φτάνουν στο ένα μέτρο σε περίπτωση που πνέουν άνεμοι έντασης οχτώ beaufort. Αυτή η κατάσταση που μπορεί να παρουσιαστεί στο 0.49% του χρόνου δε βελτιώνεται σημαντικά με επιμήκυνση του κυματοθραύστη κατά 75 ή 150 μέτρα προς την ακτή. Επομένως ένα τέτοιο έργο δε θα ωφελούσε. Πιθανόν η επιμήκυνση του κυματοθραύστη προς τα βορειοανατολικά να επιφέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα. Το κόστος ενός τέτοιου έργου όμως φαίνεται απαγορευτικό για ανέμους που πνέουν τόσο σπάνια.

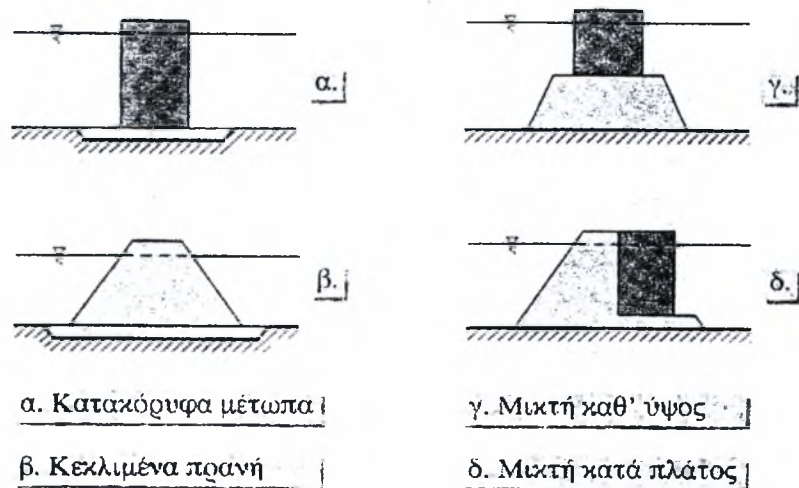
## 6. ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗ ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ

### 6.1 ΓΕΝΙΚΑ

Οι κυματοθραύστες είναι έργα παράλληλα στην ακτή χωρίς σημείο επαφής με αυτήν. Έχουν αποστολή την προστασία από κυματισμούς των θαλάσσιων εκτάσεων πίσω από αυτούς για τον ελιμενισμό σκαφών. Εφαρμόζονται, όμως και σαν έργα προστασίας διαβρούμενων ακτών. Είναι γενικά ακριβές δομές, το κόστος των οποίων αυξάνει εντυπωσιακά με το βάθος ύδατος.

Ανάλογα με την επικρατούσα κατεύθυνση ανέμου (και προέλευση κυματισμών), διακρίνονται σε προσήνεμους και υπήνεμους. Οι δεύτεροι έχουν στόχο την προστασία από τις δευτερεύουσες κατευθύνσεις και τη μορφοποίηση εισόδου λιμένα και λεκάνης.

Ανάλογα με την ποιότητα του εδάφους θεμελίωσης, τα βάθη του νερού και την απαίτηση ή όχι εξυπηρέτησης σκαφών στο εσωτερικό μέτωπό τους, κατασκευάζονται με κατακόρυφα μέτωπα, με κεκλιμένα πρανή ή με μεικτές κατά βάθος και πλάτος διατομές.



Σχήμα 6-1 Μορφές διατομών κυματοθραυστών



Στο σύνολό τους οι κυματοθραύστες τραπεζοειδής διατομής έχουν πρηνή από λιθορριπή. Τα τελευταία , απαιτούν υλικό που βρίσκεται άφθονο στη χώρα μας (λατομεία), αστοχούν μερικά και σταδιακά κάτω από τη δράση απρόβλεπτων φορτίσεων και επισκευάζονται σχετικά εύκολα. Χαρακτηρίζονται από απορροφητική λειτουργία, προκαλώντας απόσβεση μέσω θραύσης του μεγαλύτερου ποσοστού της προσπίπτουσας κυματικής ενέργειας. Τέλος συνιστώνται σε κακής ποιότητας εδάφη, όπου η μεγάλη επιφάνεια έδρασής τους, συνεπάγεται μείωση των τάσεων εδάφους στην στάθμη θεμελίωσης.

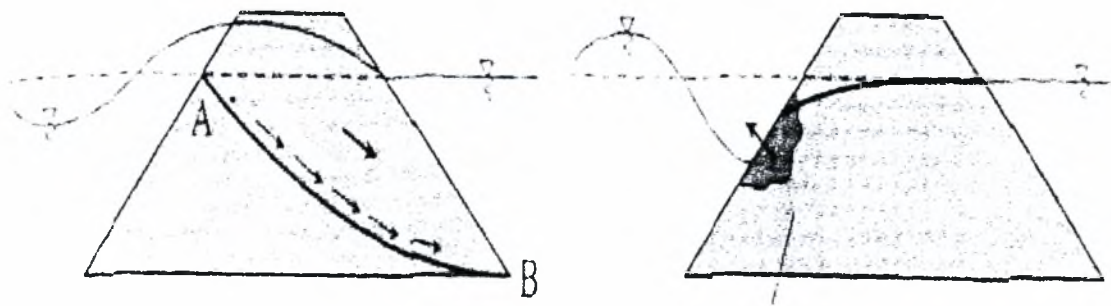
Η δράση των κυματισμών δημιουργεί τους εξής κινδύνους στην επιφάνεια και τον κορμό των έργων:

α. Κατά την φάση κορυφής κύματος οι διηθούμενες μάζες νερού στο εσωτερικό του έργου

μειώνουν τις ενεργές τάσεις, αυξάνοντας την πίεση του ύδατος πόρων και δημιουργούν κίνδυνο κατολισθήσεως, βαθειάς συνήθως, ανάλογα με τη στρωμάτωση της κατασκευής.

β. Κατά τη φάση κοιλιάς ο ξαφνικός υποβιβασμός της στάθμης της θάλασσας προκαλεί αύξηση των εσωτερικών βαθμίδων πιέσεων, εκροή νερού ανάμεσα στα κενά των λίθων και κίνδυνο (λόγω υποπίεσεων) αποσταθεροποίησης των ογκολίθων θωρακίσεως.

γ. Εφόσον τεθούν σε κίνηση οι λίθοι θωρακίσεως της επιφανειακής στρώσεως υπάρχει κίνδυνος, ιδίως στην περίπτωση τεχνητών ογκολίθων από άοπλο σκυρόδεμα, μεταξύ των κρούσεων, θρυμματίσεως, μειώσεως του βάρους τους, και αστοχίας της διατομής στο σύνολο της.



Σχήμα 6-2. Ολίσθηση κατά μήκος AB και αποσταθεροποίηση θωράκισης.

Για να παρουσιάζουν «αδιαφάνεια» στους κυματισμούς απαιτείται ο πυρήνας τους να είναι από λεπτόκοκκο υλικό (άμμος, χαλίκια). Για να εξασφαλίζεται όμως και η σταθερότητα έναντι κινδύνου αποπλύσεως του υλικού μιας στρώσεως μέσα από τα κενά της επόμενης στρώσεως από χονδρότερο υλικό, είναι απαραίτητη η σωστή κοκκομετρική διαβάθμιση των στρώσεων (αρχές κατασκευής φίλτρων).

Για τους πιο πάνω λόγους, το κύριο μέλημα στη διαμόρφωση των διατομών τους είναι η σωστή στρωμάτωση και η εξασφάλιση της επιφανειακής στρώσεως θωρακίσεως (από δύο τουλάχιστον στρώσεις ογκολίθων) από τη δράση των κυματισμών.

Σημαντικό θέμα, επίσης, είναι και η εξασφάλιση του «ποδός» του έργου, ιδίως προς την πλευρά της ανοιχτής θάλασσας από τις τοπικές υποσκαφές, που τείνουν να προκαλέσουν οι κυματισμοί και τα τοπικώς ενισχυόμενα ρεύματα (φαινόμενο scouring), με τάπητες λιθορριπών, γεφυράσματα και λιθορριπές αντιστηρίξεως. (Κουτίτας 1998).

## 6.2 ΜΕΛΕΤΗ - ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗ

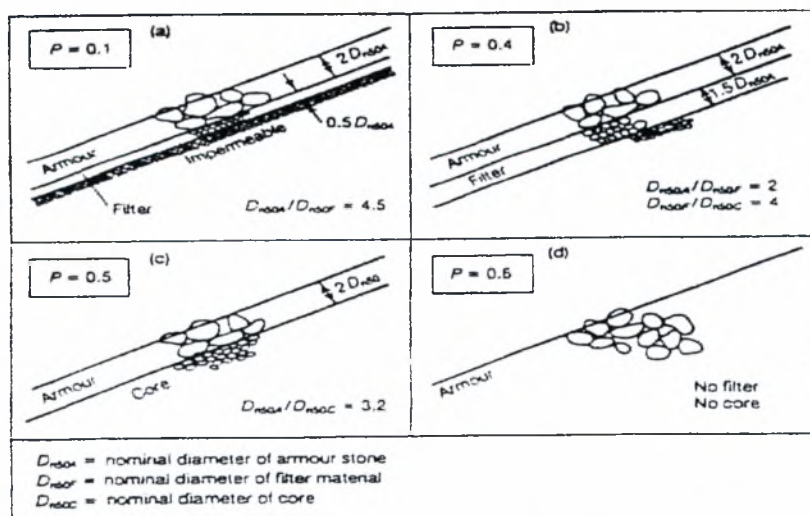
Τα τελευταία πενήντα χρόνια έχουν προταθεί πολλές μέθοδοι για την επιλογή του μεγέθους των βράχων που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή μονάδων θωράκισης για την προστασία των λιμανιών από τα κύματα. Εμείς θα μελετήσουμε τον κυματοθραύστη στο λιμάνι του Βόλου χρησιμοποιώντας τον τύπο του Van der Meer (1988). Ο τύπος αυτός βασίστηκε σε εργασία των Thompson και Shuttler που είχε προηγηθεί (1975) και παρουσιάζεται παρακάτω:

$$H_s / \Delta D_{n50} = 1.0 p^{-0.13} (S/N^{0.5})^{0.2} \cot \alpha^{0.5} \xi m^p$$

Όλες οι παράμετροι της παραπάνω εξίσωσης επεξηγούνται αναλυτικά στη συνέχεια.

- Συντελεστής διαπερατότητας  $p$

Η διαπερατότητα της κατασκευής έχει μεγάλη επίδραση στη σταθερότητα του επιπέδου θωράκισης. Εξαρτάται από τις διαστάσεις του επιπέδου φιλτραρίσματος και του πυρήνα. Η συσχέτιση αυτή της διαπερατότητας και της σταθερότητας της κατασκευής γίνεται με τον συντελεστή  $p$  και παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



Το κατώτερο όριο του συντελεστή  $p$  ( $p=0.1$ ) φαίνεται στο σχήμα α. Πρόκειται για ένα επίπεδο θωράκισης, με πάχος δύο φορές την ονομαστική διάμετρο των βράχων ( $D_{n50}$ ) το οποίο βρίσκεται πάνω σ' έναν αδιαπέρατο πυρήνα. Μεταξύ τους παρεμβάλλεται μια λεπτή στρώση φιλτραρίσματος. Το ανώτατο όριο του συντελεστή  $p$  ( $p=0.6$ ) φαίνεται στο σχήμα δ. Επίσης στο παραπάνω σχήμα φαίνεται ο τρόπος κατασκευής ενός κυματοθραύστη με άλλες δυο τιμές του συντελεστή  $p$  ( $p=0.4$ ,  $p=0.5$ ).

Στην εργασία μας η μελέτη του κυματοθραύστη έγινε για δύο τιμές του  $p$  ( $p=0.4$  και  $p=0.5$ ). Οι λόγοι που μας οδήγησαν στην επιλογή αυτών των δυο τιμών είναι οι εξής:

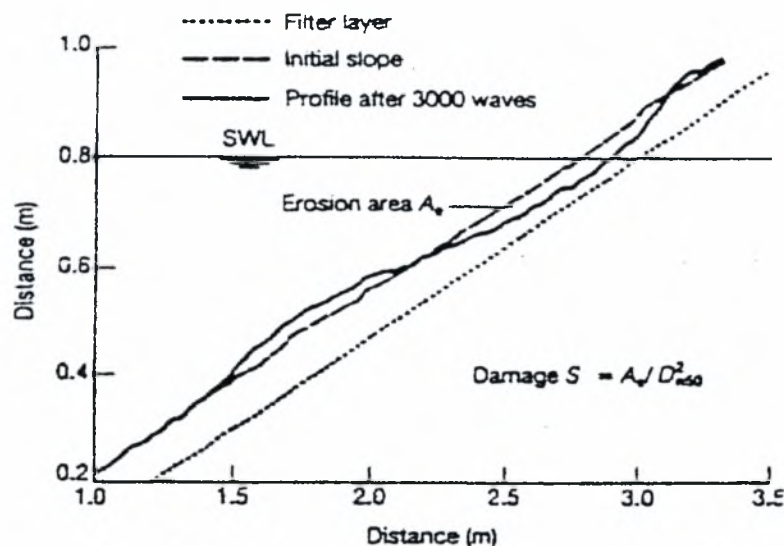
- ✓ Σχετικά χαμηλό κόστος κατασκευής.
- ✓ Το λιμάνι χρειάζεται μια σχετικά διαπερατή δομή κυματοθραύστη για την ανανέωση των υδάτων.
- ✓ Σύμφωνα με τους υπάρχοντες κυματισμούς το λιμάνι προστατεύεται ικανοποιητικά με αυτή τη δομή του κυματοθραύστη.

### Συντελεστής επιπέδου ζημιών $S$

Οι στατικά σταθερές κατασκευές περιγράφονται με την διακύμανση των ζημιών. Τέτοιες ζημιές είναι το πλήθος των ογκολίθων που μετακινούνται μετά από κάποια θαλασσοταραχή και η απόσταση μετακίνησης ενός συμπαγούς τοίχου. Η ζημιά στο επίπεδο θωράκισης δίνεται σαν ένα ποσοστό επί τις εκατό των ογκολίθων που έχουν μετακινηθεί σε μια συγκεκριμένη περιοχή (ολόκληρο ή μέρος του επιπέδου θωράκισης). Μια άλλη πιθανότητα είναι να περιγράψουμε τη ζημιά με βάση την περιοχή διάβρωσης (erosion area) στην περιοχή της στάθμης της θάλασσας. Η φυσική περιγραφή της ζημιάς  $S$  είναι ο αριθμός των τετραγώνων με πλευρά  $D_{n50}$  που ταιριάζουν στην περιοχή διάβρωσης. Η ζημιά  $S$  δίνεται από τη σχέση :

$$S = A_e / D_{n50}^2$$

Όπου  $A_e$  είναι η περιοχή διάβρωσης γύρω από τη στάθμη της θάλασσας και  $D_{n50}$  είναι η ονομαστική διάμετρος των ογκολίθων που χρησιμοποιούμε.



Τα όρια του συντελεστής επιπέδου ζημιών  $S$  εξαρτώνται κυρίως από τη γωνία κλίσης της κατασκευής μας. Εφόσον το επίπεδο θωράκισης αποτελείται από δύο σειρές ογκολίθων, πράγμα που συμβαίνει στην περίπτωση μας οι τιμές του  $S$  δίνονται από τον παρακάτω πίνακα:

ΚΛΙΣΗ	ΜΙΚΡΗ ΖΗΜΙΑ	ΜΕΣΑΙΑ ΖΗΜΙΑ	ΑΣΤΟΧΙΑ
1:1.5	2	3-5	8
1:2	2	4-6	8
1:3	2	6-9	12
1:4	3	8-12	17
1:6	3	8-12	17



Η μικρή ζημιά  $S=2-3$  σημαίνει την μετακίνηση ενός πολύ μικρού ποσοστού των ογκολίθων (5%). Στην εργασία μας η μελέτη του κυματοθραύστη έγινε για  $S=5$ . Η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε μια μεσαίου μεγέθους ζημιά και κλίση 1:2 που είναι αποδεκτή για ένα λιμάνι.

### Αριθμός κυμάτων N

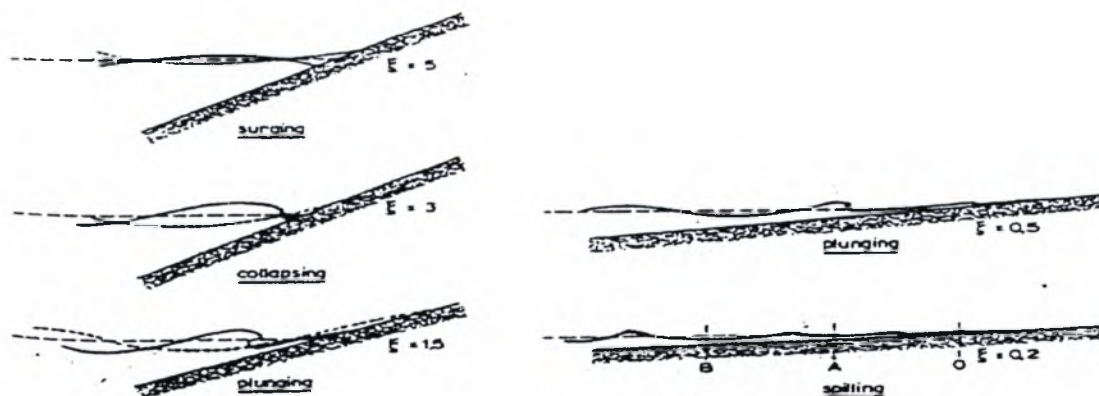
Η μελέτη έγινε για  $N=1000$  κύματα.

### Γωνία κλίσης του κυματοθραύστη

Η κλίση  $\alpha$  των πρανών του κυματοθραύστη έχει ληφθεί ίση με 1:2.

### Παράμετρος θραύσης κυματισμών

Η παράμετρος  $\xi_m$  χρησιμοποιείται για να περιγράψει τον τρόπο θραύσης των κυμάτων στην ακτή ή στον κυματοθραύστη. Η παράμετρος αυτή υπολογίζεται είτε από τη σχέση  $\xi_m = \tan \alpha / ((2 * \pi * H_s) / (g * T_m^2))^{0.5}$  είτε εμπειρικά από το παρακάτω σχήμα. Στη μελέτη μας χρησιμοποιώντας την παραπάνω σχέση βρήκαμε  $\xi_m = 2.44$ .



### Σημαντικό ύψος κύματος $H_s$

Το σημαντικό ύψος κύματος υπολογίζεται με τη μέθοδο Jonswar και έχει βρεθεί ότι για άνεμο έντασης 8 beaufort είναι 2,07m.

### Σχετική πυκνότητα ογκόλιθου $\Delta$

Η σχετική πυκνότητα του φυσικού ογκόλιθου που θα χρησιμοποιήσουμε δίνεται από τον τύπο:  $\Delta = \rho_r / \rho_w - 1$  όπου  $\rho_r$  είναι η πυκνότητα του φυσικού ογκόλιθου ( $\rho_r = 2650 \text{ kg/m}^3$ ) και  $\rho_w$  είναι η πυκνότητα του θαλασσινού νερού ( $\rho_w = 1025 \text{ kg/m}^3$ ).

### Υπολογισμός ονομαστικής διαμέτρου φυσικού ογκόλιθου $D_{n50}$ .

Με βάση τον παραπάνω τύπο του Van der Meer υπολογίζουμε την ονομαστική διάμετρο φυσικού ογκόλιθου. Οι υπολογισμοί παρουσιάζονται αναλυτικά στα παρακάτω φύλλα excel.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ  
ΟΓΚΟΛΙΘΩΝ ΤΟΥ ΚΥΜΑΘΡΑΥΣΤΗ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ  
VAN DER MEER

Επίλυση του κυματοθραύστη για παράμετρο διαπερατότητας P=0.4

- ☆ Το σημαντικό ύψος κύματος  $H_s$  δίνεται από την εξίσωση

$$g^*H_s/V_A^2 = 0,0016*(g^*x/U_A^2)^{0,5}$$

$$H_s (m) = 2,077$$

- ☆ Η παράμετρος διαπερατότητας δίνεται ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής του κυματοθραύστη:

$$P = 0,4$$

- ☆ Ο συντελεστής ζημιάς  $S$  δίνεται παρακάτω:

$$S = 5$$

- ☆ Ο αριθμός των κυμάτων λαμβάνεται ίσος με :

$$N = 1000$$

- ☆ Ο συντελεστής  $\xi_m$  υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\xi_m = \tan \alpha / ((2 * \pi * H_s) / (g * T_m^2))^{0,5}$$

$$\xi_m = 2,4393$$

- ☆ Η γωνία  $\alpha$  του κυματοθραύστη μας σε μοίρες είναι (κλίση 1:2) :

$$\alpha = 26,56$$

- ☆ Η μέση περίοδος του κύματος  $T_m$  είναι:

$$T_m (sec) = 5,63$$

- ☆ Η πυκνότητα του φυσικού ογκόλιθου λατομείου πού θα χρησιμοποιήσουμε είναι:

$$\rho_r (\text{kg}/\text{m}^3) = 2650$$

☆ Η πυκνότητα του θαλασσινού νερού είναι:

$$\rho_w (\text{kg}/\text{m}^3) = 1025$$

☆ Η σχετική πυκνότητα του φυσικού ογκόλιθου που θα χρησιμοποιήσουμε δίνεται από τον τύπο:  $\Delta = \rho_r / \rho_w - 1$

$$\Delta = 1,5854$$

☆ Άρα σύμφωνα με τον τύπο του VAN DER MEER μπορούμε τώρα να υπολογίσουμε την διάμετρο ( $D_{n50}$ ) του φυσικού ογκόλιθου που θα χρησιμοποιήσουμε με τη βοήθεια της παρακάτω σχέσης:

$$H_s / \Delta D_{n50} = 1,0 * P^{-0,13} (S/N^{0,5})^{0,2} * (\cot \alpha)^{0,5} * \xi_m^P$$



$$D_{n50} = 0,832$$

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ  
ΟΓΚΟΛΙΘΩΝ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ  
VAN DER MEER

Επίλυση του κυματοθραύστη για παράμετρο διαπερατότητας P=0,5

- ☆ Το σημαντικό ύψος κύματος  $H_s$  δίνεται από την εξίσωση

$$g \cdot H_s / V_A^2 = 0,0016 \cdot (g \cdot x / U_A^2)^{0,5}$$

$$H_s \text{ (m)} = 2,077$$

- ☆ Η παράμετρος διαπερατότητας δίνεται ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής του κυματοθραύστη:

$$P = 0,5$$

- ☆ Ο συντελεστής ζημιάς  $S$  δίνεται παρακάτω:

$$S = 5$$

- ☆ Ο αριθμός των κυμάτων λαμβάνεται ίσος με :

$$N = 1000$$

- ☆ Ο συντελεστής  $\xi_m$  υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\xi_m = \tan \alpha / ((2 \cdot \pi \cdot H_s) / (g \cdot T_m^2))^{0,5}$$

$$\xi_m = 2,4393$$

- ☆ Η γωνία  $\alpha$  του κυματοθραύστη μας σε μοίρες είναι (κλίση 1:2) :

$$\alpha = 26,56$$

- ☆ Η μέση περίοδος του κύματος  $T_m$  είναι:

$$T_m \text{ (sec)} = 5,63$$

- ☆ Η πυκνότητα του φυσικού ογκόλιθου λατομείου πού θα χρησιμοποιήσουμε είναι:

$$\rho_r (\text{kg}/\text{m}^3) = 2650$$

☆ Η πυκνότητα του θαλασσινού νερού είναι:

$$\rho_w (\text{kg}/\text{m}^3) = 1025$$

☆ Η σχετική πυκνότητα του φυσικού ογκόλιθου που θα χρησιμοποιήσουμε δίνεται από τον τύπο:  $\Delta = \rho_r / \rho_w - 1$

$$\Delta = 1,5854$$

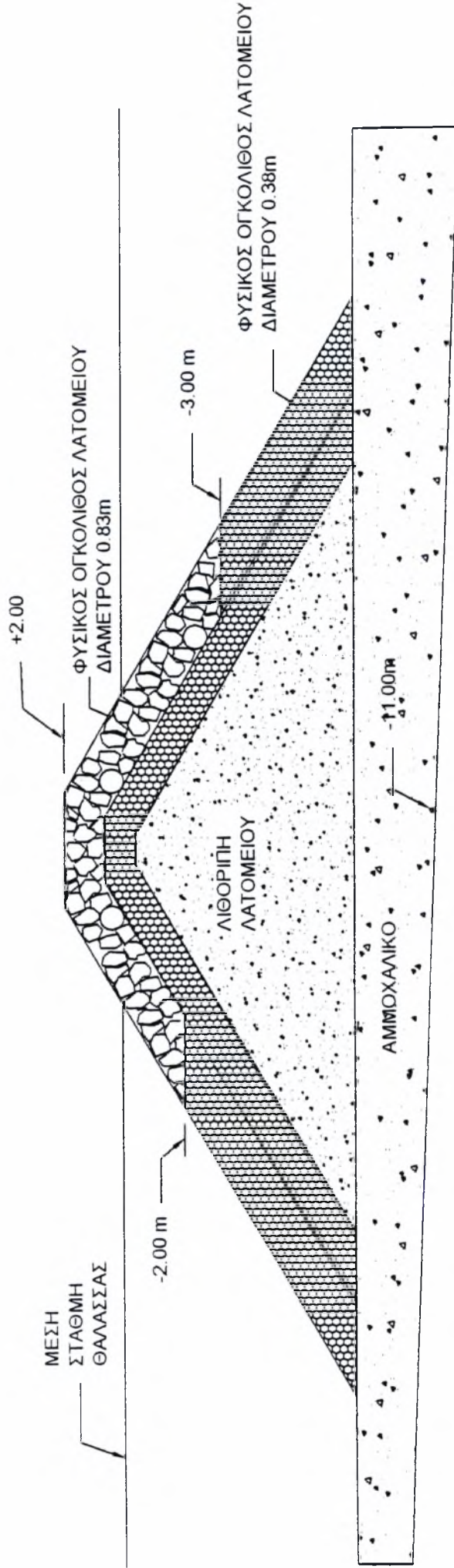
☆ Άρα σύμφωνα με τον τύπο του VAN DER MEER μπορούμε τώρα να υπολογίσουμε την διάμετρο ( $D_{n50}$ ) του φυσικού ογκόλιθου που θα χρησιμοποιήσουμε με τη βοήθεια της παρακάτω σχέσης:

$$H_s / \Delta D_{n50} = 1,0 * P^{-0,13} (S/N^{0,5})^{0,2} * (\cot \alpha)^{0,5} \xi_m^p$$

$$\Rightarrow \boxed{D_{n50} = 0,784}$$



# ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗ

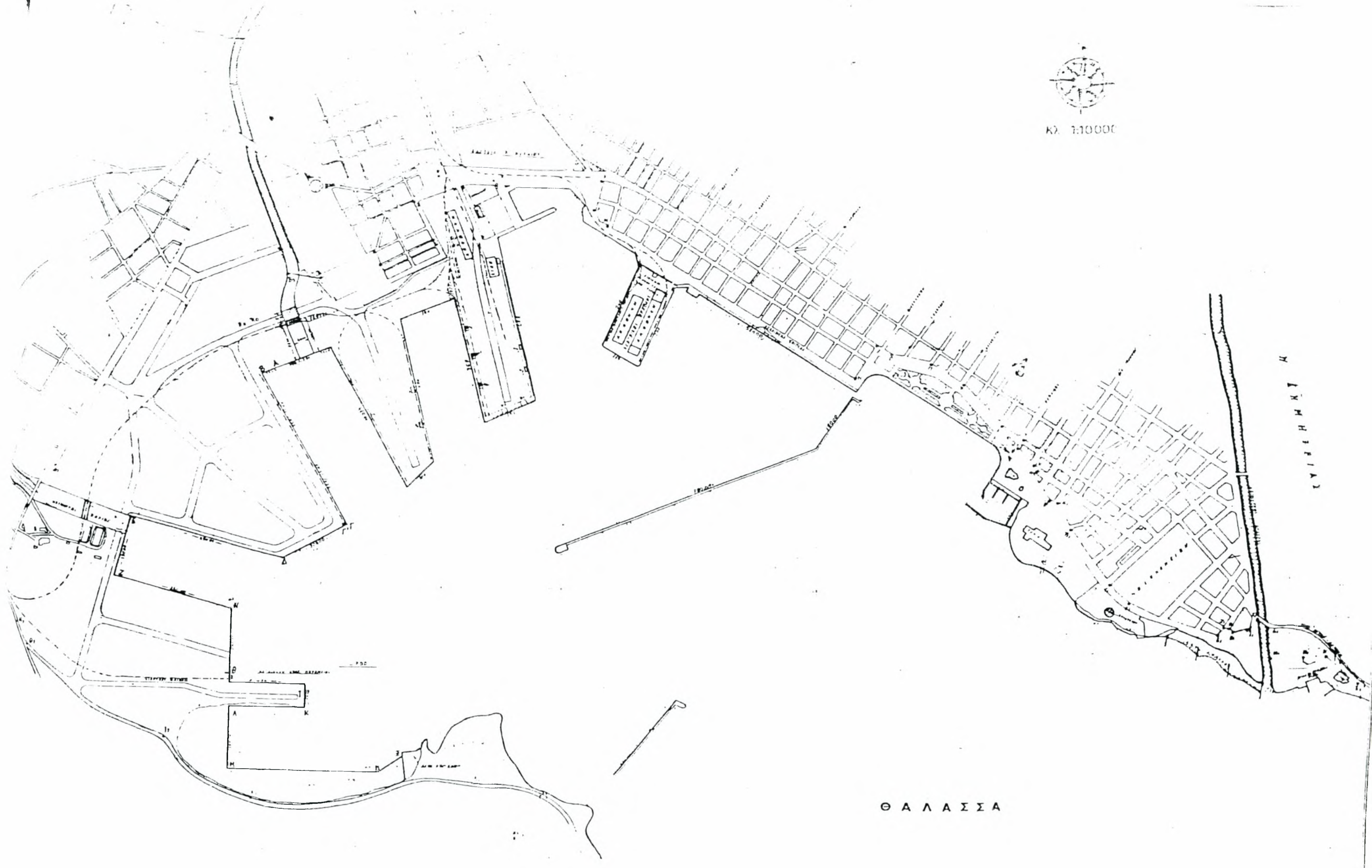


## ΣΤΑ ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΦΥΛΛΑ ΠΑΡΑΤΙΘΕΝΤΑΙ ΤΑ ΕΞΗΣ

- Σ χέδιο 1  $\Rightarrow$  Η γενική διάταξη των υπάρχοντων λιμενικών έργων
- Διάγραμμα κυματισμών στο λιμάνι του Βόλου για νοτιοανατολικό άνεμο έντασης 8 beaufort.
- Διάγραμμα κυματισμών στο λιμάνι του Βόλου για επιμήκυνση του κυματοθραύστη 75m προς τα Πευκάκια και ταχύτητα ανέμου 8 beaufort.
- Διάγραμμα κυματισμών στο λιμάνι του Βόλου για επιμήκυνση του κυματοθραύστη μέχρι τα Πευκάκια και ταχύτητα ανέμου 8 beaufort.
- Διάγραμμα κυματισμών στο λιμάνι του Βόλου για περίοδο συντονισμού 7.1 sec και ύψος προσπίπτοντος κύματος 1m.
- Διάγραμμα κυματισμών στο λιμάνι του Βόλου για περίοδο συντονισμού 10.02sec και ύψος προσπίπτοντος κύματος 1m.
- Διάγραμμα κυματισμών στο λιμάνι του Βόλου για περίοδο συντονισμού 25.03sec και ύψος προσπίπτοντος κύματος 1m.
- Διάγραμμα κυματισμών στο λιμάνι του Βόλου για περίοδο συντονισμού 10.02sec για επιμήκυνση του κυματοθραύστη 75m προς τα Πευκάκια και ύψος προσπίπτοντος κύματος 1m.
- Τρισδιάστατη αναπαράσταση κυματισμών στο λιμάνι του Βόλου για νοτιοανατολικό άνεμο έντασης 8 beaufort.



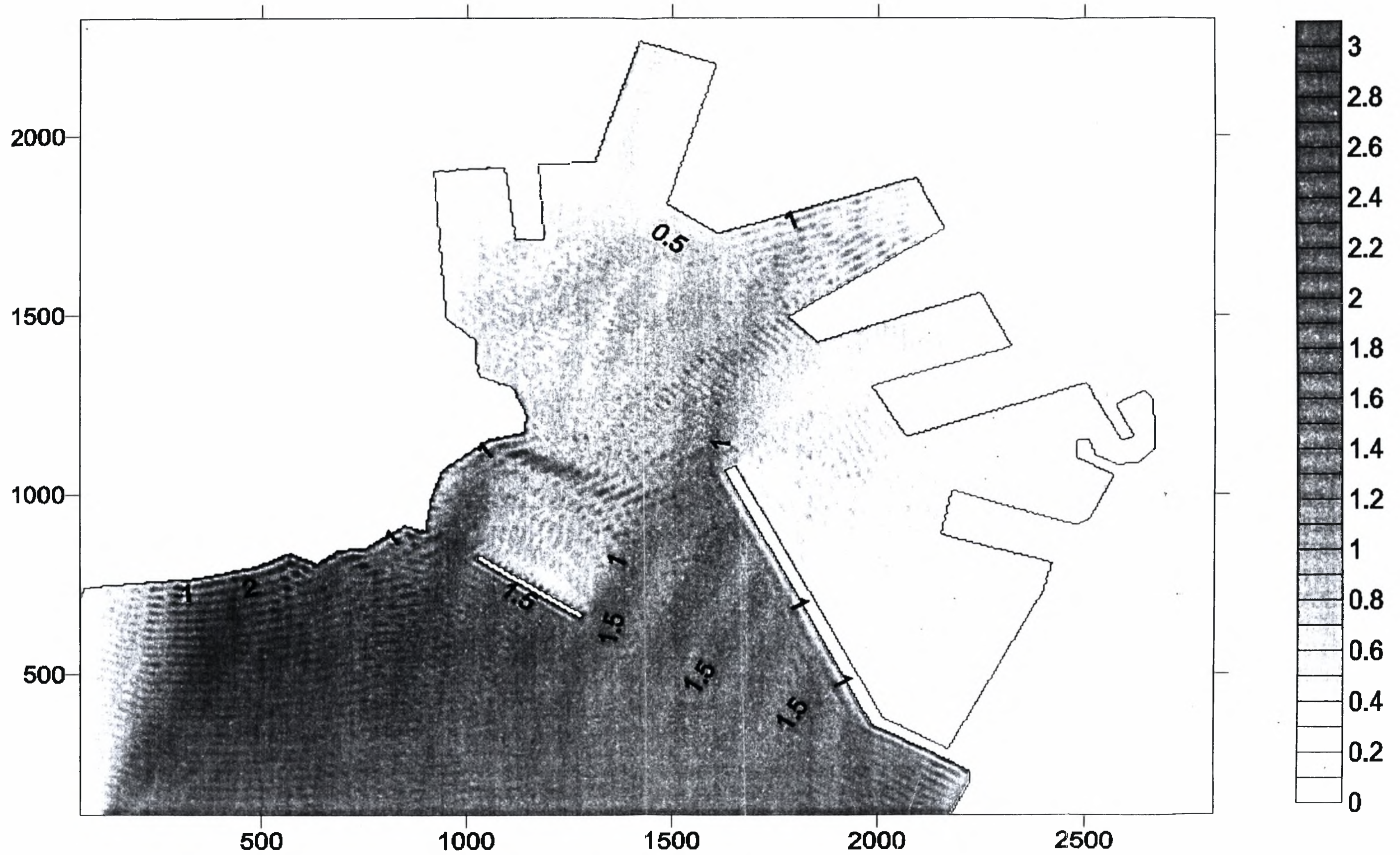
Κ. 1:10000



Σχέδιο 1

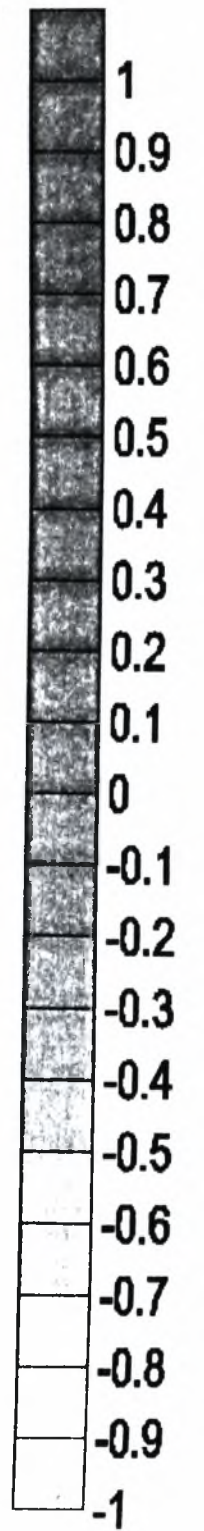
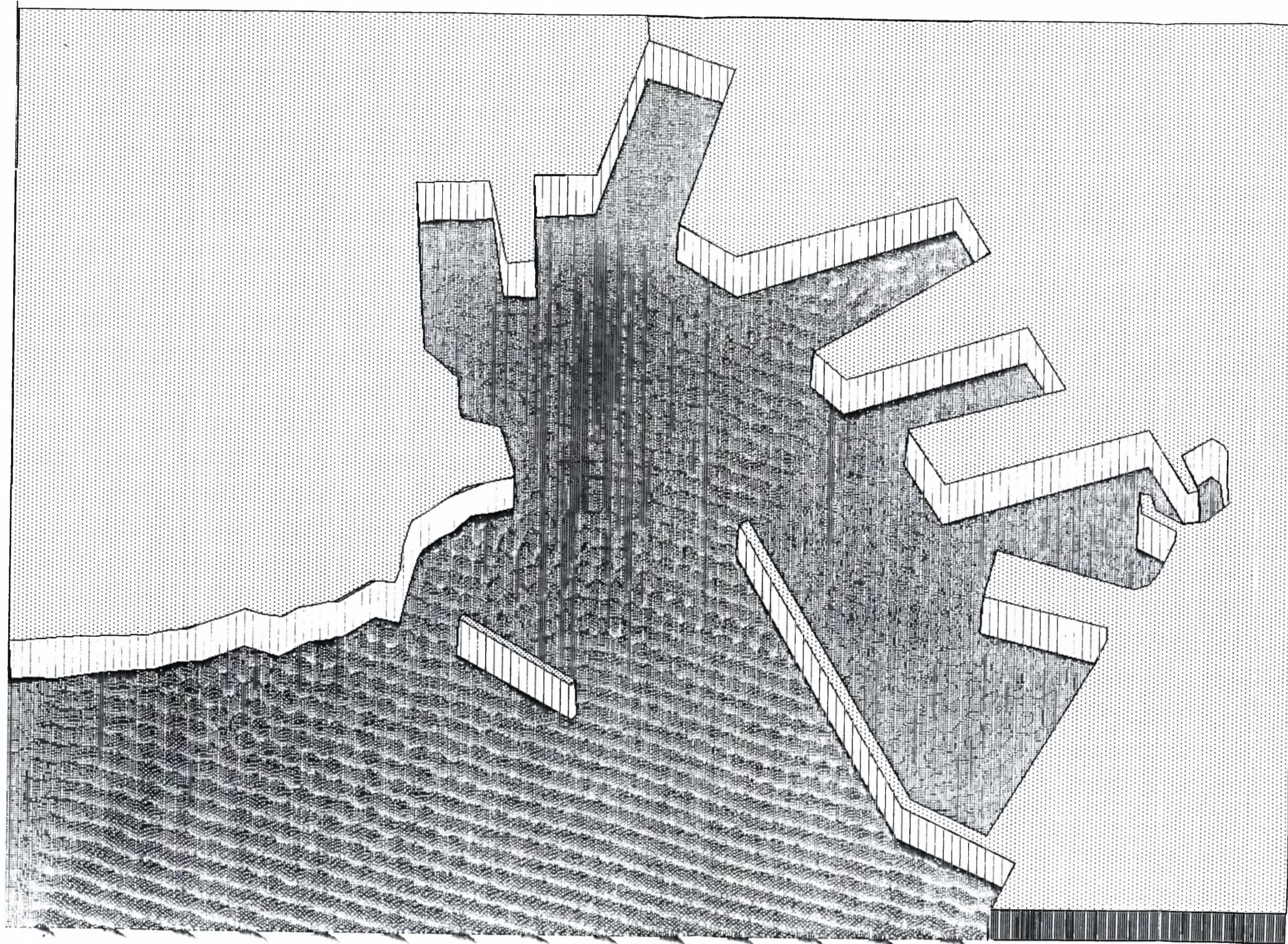


**ΧΑΡΤΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ ΓΙΑ ΝΟΤΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΟ ΑΝΕΜΟ ΕΝΤΑΣΗΣ 8 ΒΕΑUFORT**



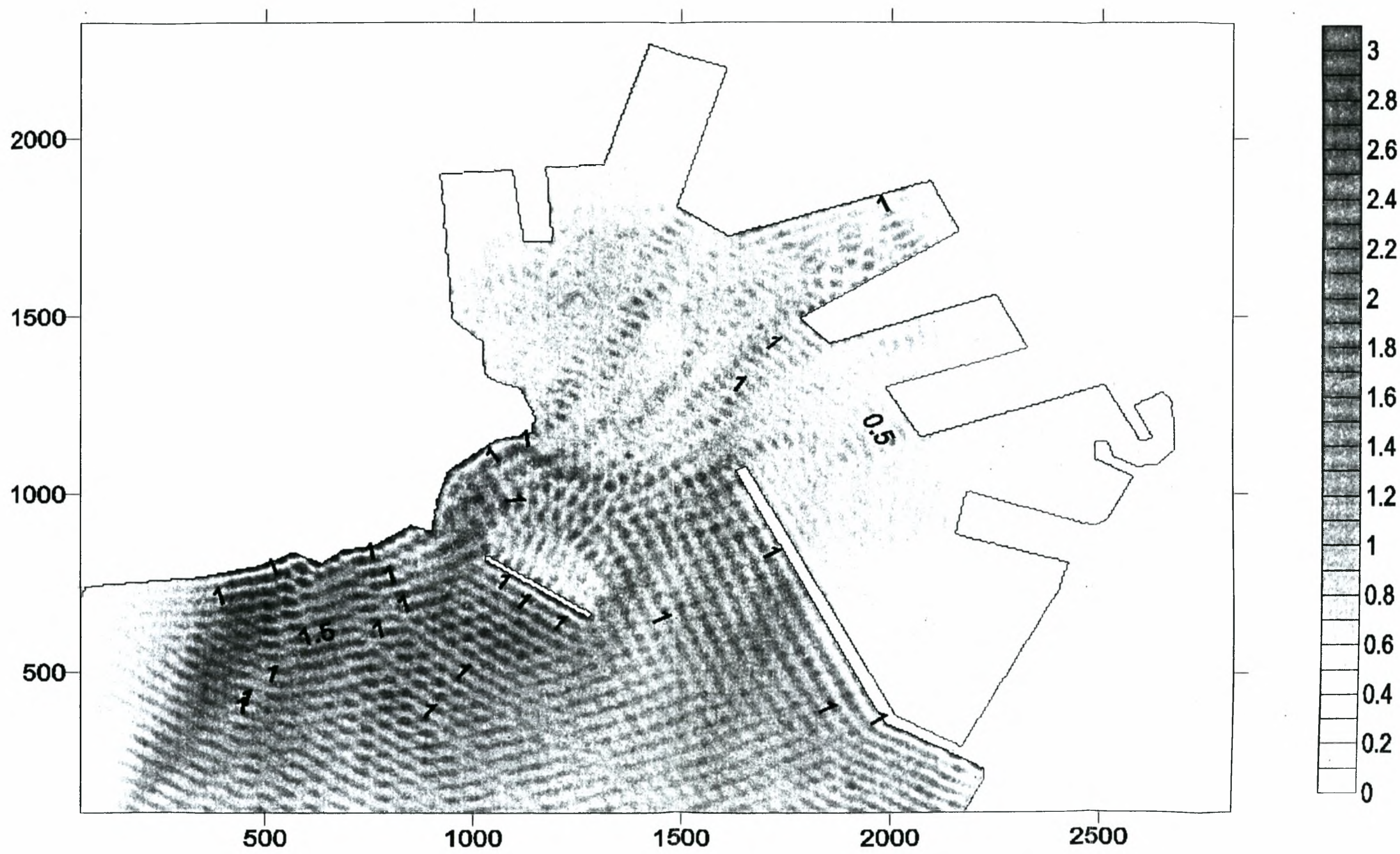


ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ ΓΙΑ ΝΟΤΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΟ ΑΝΕΜΟ ΕΝΤΑΣΗΣ 8 BEAUFORT



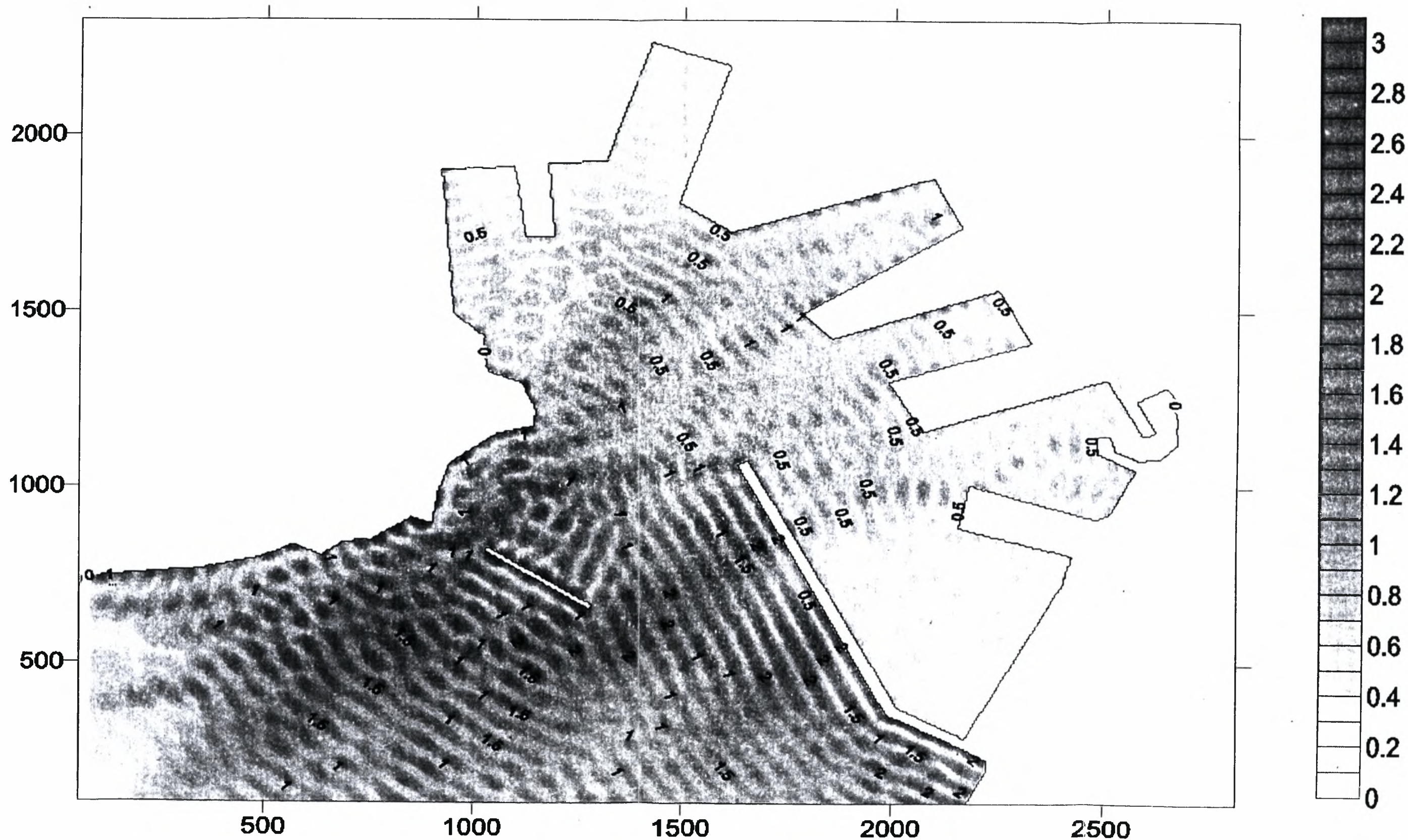


**ΧΑΡΤΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ ΜΕ ΠΕΡΙΟΔΟ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ  $T=7,1$  sec ΚΑΙ ΥΨΟΣ ΠΡΟΣΠΙΠΤΟΝΤΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ 1m.**



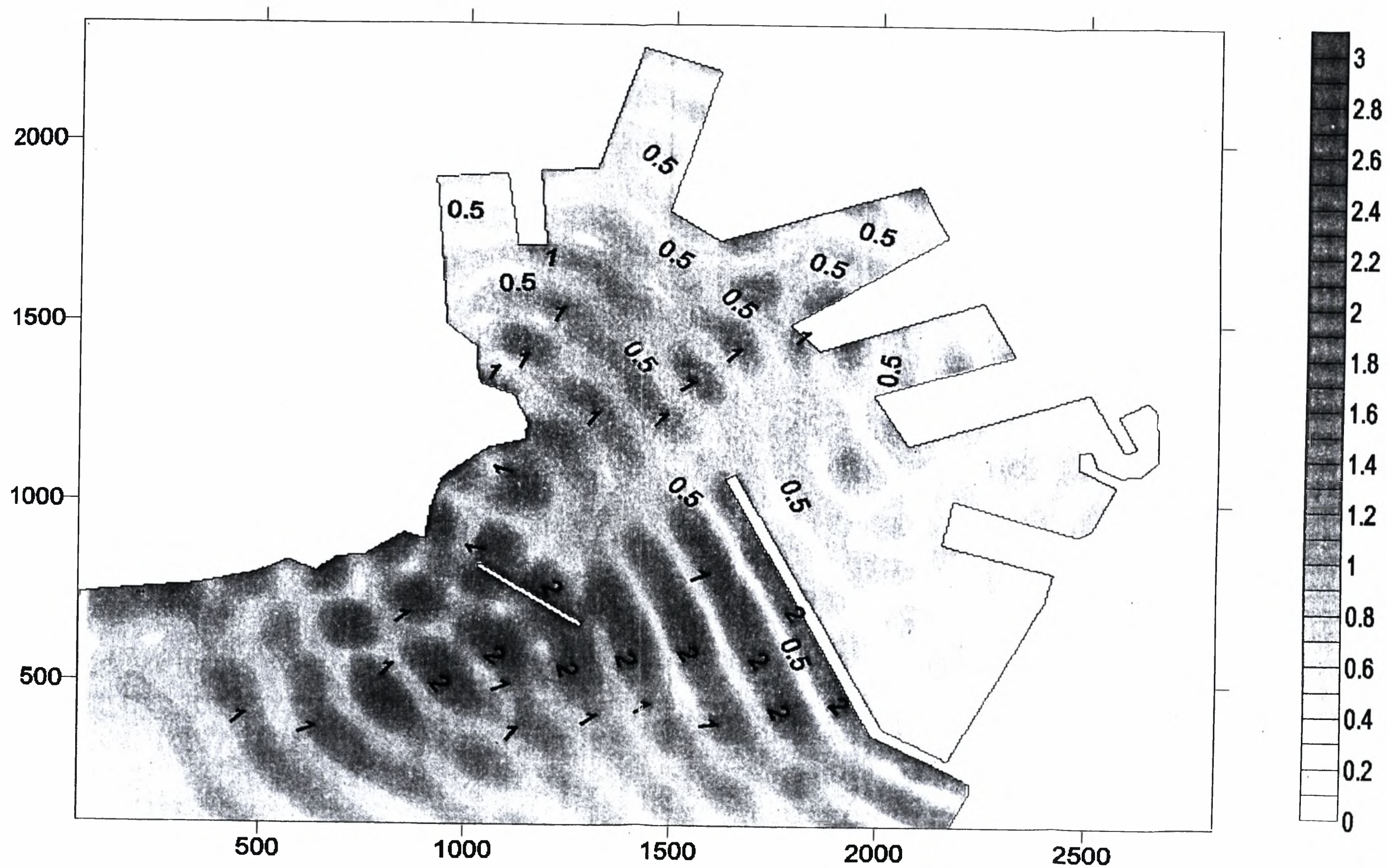


**ΧΑΡΤΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ ΠΑΠΕΡΙΟΔΟ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ 10.02 sec ΚΑΙ ΥΨΟΣ ΠΡΟΣΠΙΠΤΟΝΤΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ 1m.**



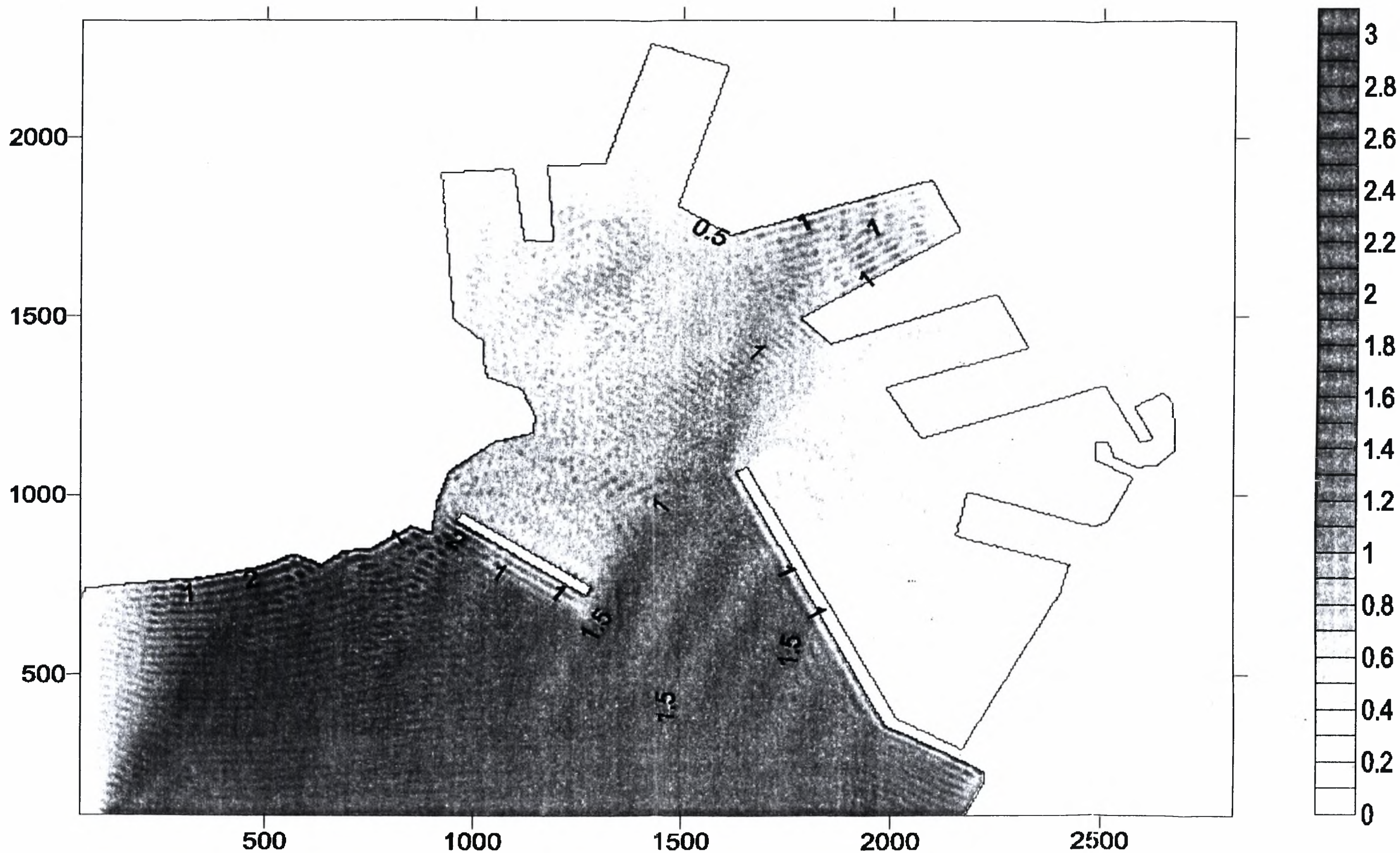


**ΧΑΡΤΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ ΓΙΑ ΠΕΡΙΟΔΟ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ  $T=25.03$  sec ΚΑΙ ΥΨΟΣ ΠΡΟΣΠΙΠΤΟΝΤΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ 1m.**



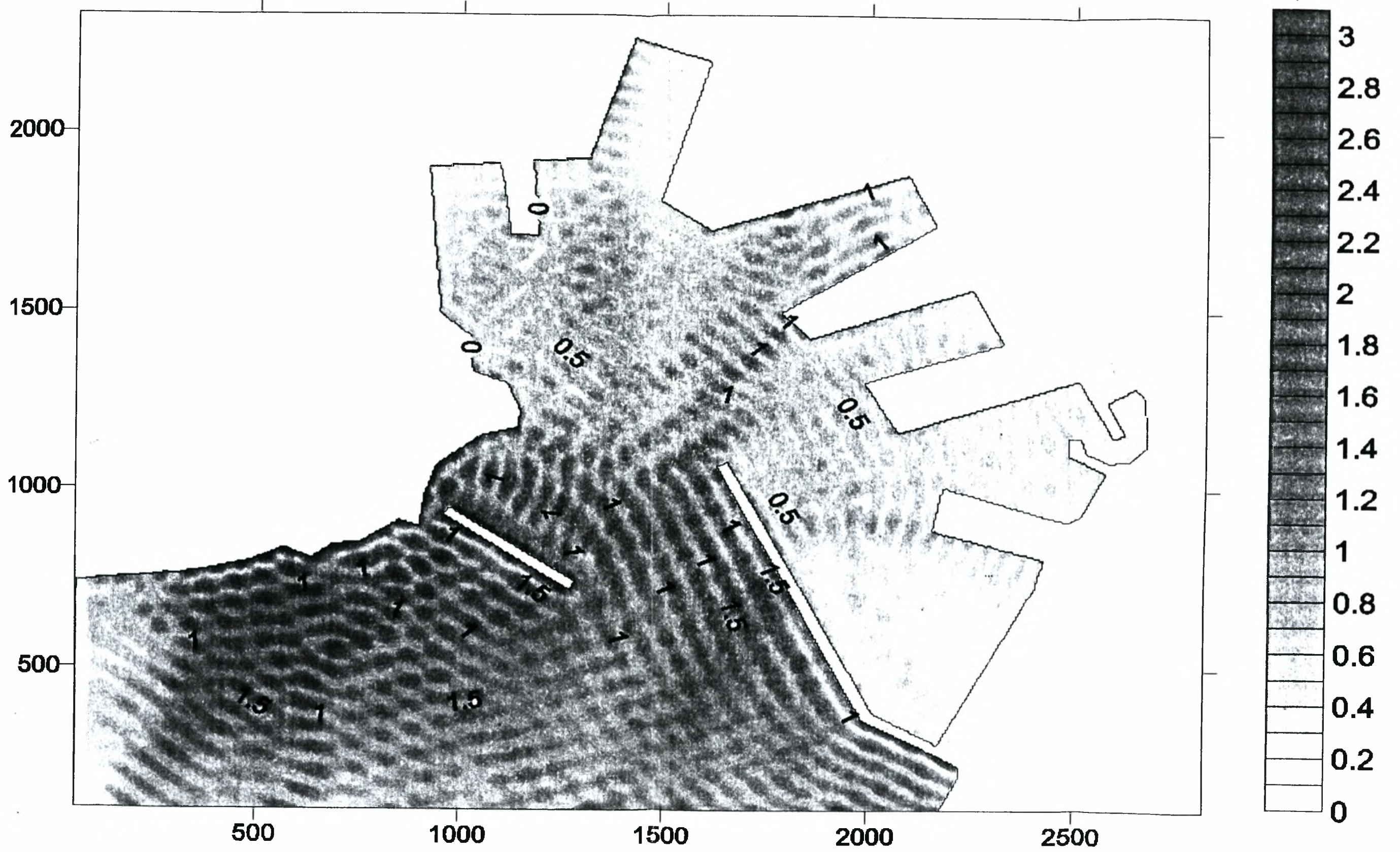


**ΧΑΡΤΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ ΓΙΑ ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗ 75m ΠΡΟΣ ΤΑ ΠΕΥΚΑΚΙΑ  
ΚΑΙ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ 8 ΒΕΑΥFORT**



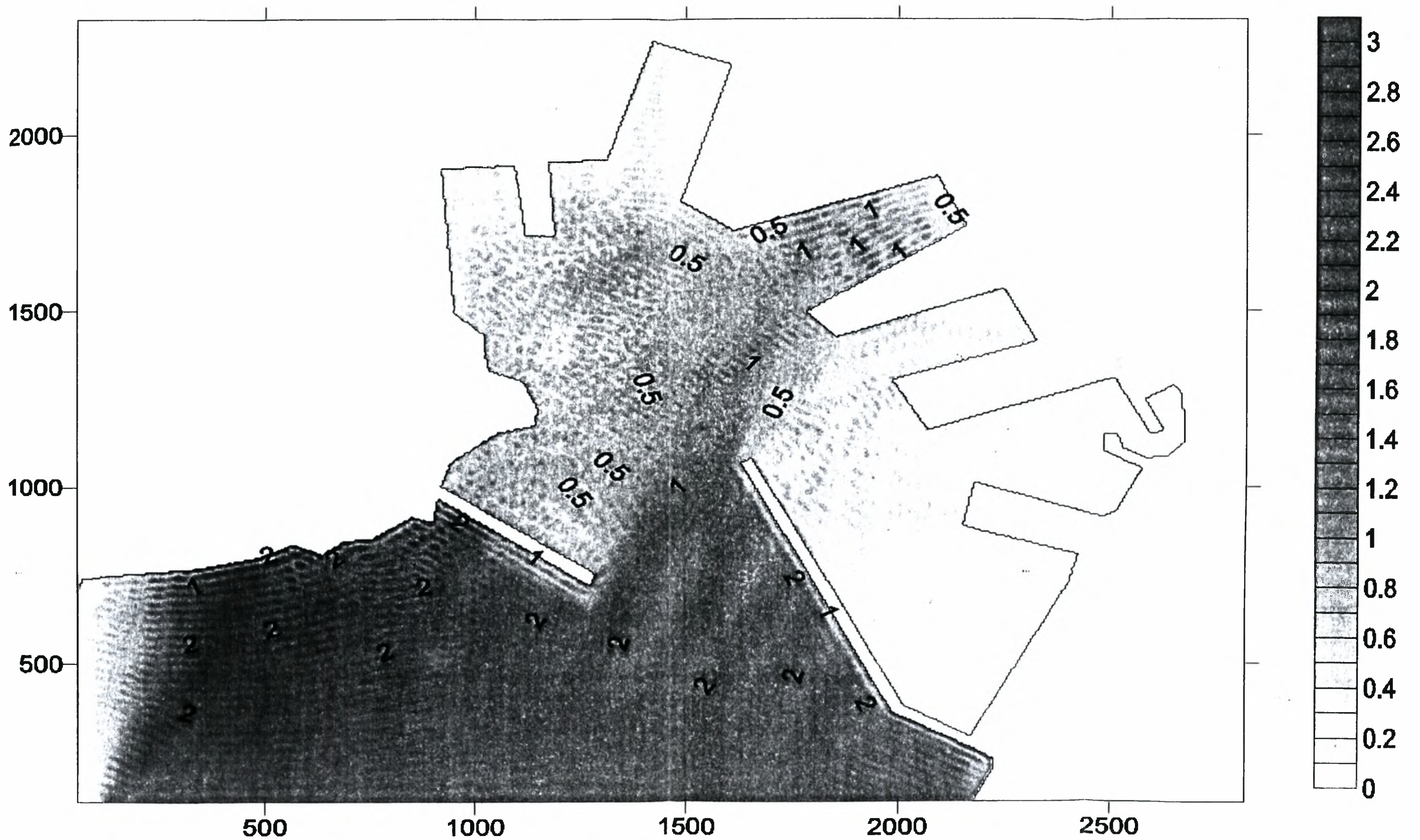


**ΧΑΡΤΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ ΓΙΑ ΠΕΡΙΟΔΟ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ 10.02sec  
ΓΙΑ ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗ 75m ΠΡΟΣ ΤΑ ΠΕΥΚΑΚΙΑ ΚΑΙ ΥΨΟΣ ΠΡΟΣΠΙΠΤΟΝΤΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ 1m.**



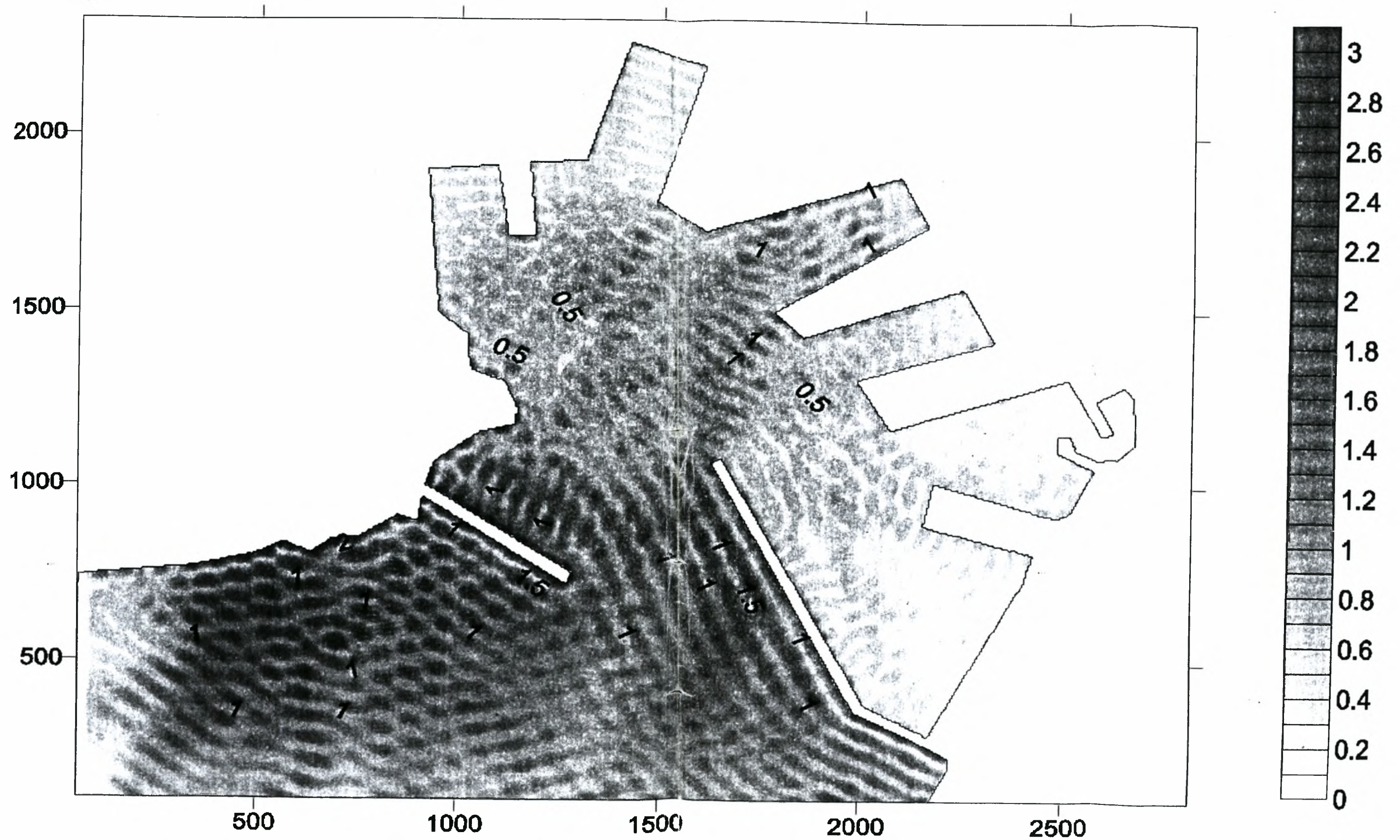


# ΧΑΡΤΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ ΓΙΑ ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗ ΜΕΧΡΙ ΤΑ ΠΕΥΚΑΚΙΑ ΚΑΙ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ 8 ΒΕΑΥΦΟΡΤ





**ΧΑΡΤΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ ΜΕ ΠΕΡΙΟΔΟ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ 10.02 sec.  
ΓΙΑ ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗ ΜΕΧΡΙ ΤΑ ΠΕΤΚΑΚΙΑ ΚΑΙ ΥΨΟΣ ΠΡΟΣΠΙΠΤΟΝΤΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ 1m.**





ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ HARBR. FOR.

- c Th. V. Karambas and C. Koutitas
- c Hyperbolic type 'mild slope' equations
- c based on Yu-Isobe-Watanabe paper (CEJ, 1992)
- c refraction-diffraction-reflection inside harbours

c implicit real\*8 (a-h,o-z)

parameter (ijm=1200,iim=700)

- c u and v are the velocities
- c z is the elevation
- c d is the depth
- c c is the linear theory celerity

dimension u(ijm,iim),v(ijm,iim),vn(ijm,iim)

dimension dnmax(ijm,iim), H(ijm,iim)

dimension z(ijm,iim),c(ijm,iim),un(ijm,iim)

dimension d(ijm,iim),r(ijm),da(ijm,iim)

dimension ed(ijm,iim),edr(ijm,iim)

dimension umax(ijm,iim),vmax(ijm,iim)

dimension dl(ijm,iim),edrl(ijm,iim),fr(ijm,iim)

- c Ho: wave height
- c dt, dx: time and space step
- c per: the period
- c d water depth
- c im, jm: max number of grids (x and y)
- c tend: time in which the programme stops

- c c is the celerity
- c dnmax the max elevation
- c at each point

write

(\*,\*)'

~~~~~'

write (\*,\*)' ~ Th. V. Karambas and C. Koutitas ~'

write (\*,\*)' ~ Hyperbolic type "mild slope" equations ~'

write (\*,\*)' ~ Refraction-diffraction-reflection ~'

write (\*,\*)' ~ of linear monochromatic waves inside ~'

write (\*,\*)' ~ port and harbours ~'

write (\*,\*)' ~ ~'

write (\*,\*)' ~ Ho: wave height ~'

write (\*,\*)' ~ dt, dx: time and space step ~'

c read the depth

```
open (unit=20,file='depth.dat')
```

```
open (unit=19,file='eddy.dat')
```

```
write (*,*) 'reading depth.dat file'
```

```
read(19,*) im,jm
```

```
do j=1,jm
```

```
read (19,*) jaa
```

```
write (*,*) jaa
```

```
read (19,*) (edrl(i,j),i=1,im)
```

```
end do
```

```
read (20,*) im,jm
```

```
do j=1,jm
```

```
read (20,*) ja
```

```
write (*,*) ja
```

```
read (20,*) (dl(i,j),i=1,im)
```

```
end do
```

```
do j=1,jm
  do i=1,im
    d(i,j+15)=dl(i,j)
    fr(i,j+15)=edrl(i,j)
  end do
end do
```

```
end do
```

```
do j=1,15
```

```
do i=1,im
```

```
d(i,j)=dl(i,1)
```

```
fr(i,j)=edrl(i,1)
```

```
end do
```

```
end do
```

```
jm=jm+15
```

```
do j=1,jm
```

```
do i=1,im
```

```
edr(i,j)=0.0
```

```
end do
```

```
end do
```

```
do j=1,jm
```

```
do i=1,20
```

```
edr(i,j)=0.
```

```
end do
```

```
do i=im-20,im
```

```
edr(i,j)=0.
```

```
end do
```

```
end do
```

```
c   open(unit=18,file='see.dat')
```

```
c   do i=1,im,3
```

```
c   do j=1,jm,3
```

```
c   write (18,6)i*dx,j*dx,d(i,j)
```

```
c   end do
```

```
c   end do
```

```
c   close (18)
```

```
c   stop
```



```
do i=1,im
do j=1,jm
if (d(i,j).lt.0.5.and.d(i,j).gt.-.5) then
d(i,j)=0.5
c   edr(i,j)=1.
else
end if
end do
end do
```

```
c   do j=1,jm
c   write (*,*) d(im/2,j)
c   end do
```

```
write (*,*)
```

```
write (*,*)
```

```
write
```

```
(* ,*)' ~~~~~'
```

```
write (*,*)'~ the program is now running !!! ~'  
write (*,*)'~ ~'  
  
write  
(*,*)' ~~~~~'  
  
write  
(*,*)' ~~~~~'
```

```
write (*,*) ' Time in secs'
```

```
do 30 i=1,im
```

```
do 30 j=1,jm
```

```
u(i,j)=0.0
```

```
v(i,j)=0.0
```

```
z(i,j)=0.0
```

```
un(i,j)=0.0
```

```
vn(i,j)=0.0
```

```
umax(i,j)=0.
```

```
vmax(i,j)=0.
```

```
dnmax(i,j)=0.0
```

```
da(i,j)=d(i,j)
```

```
30 continue
```

```

c   lo=aleno
    aleno=9.81*(per**2)/2.0/3.14

c   solving the linear dispersion relation
c   to estimate celerity c

    do 876 j=1,jm
    do 876 i=1,im

    if (d(i,j).lt.0.01) goto 876

    alen=aleno
39   alenp=alen
    akapa=2*3.14/alenp
    akd=akapa*d(i, j)
    alen = aleno *tanh(akd)
    dlen = abs(alen - alenp)
    if (dlen.gt.0.001) goto 39

    c(i,j)=9.81*per/(2*3.14)*tanh(akd)

```

876 continue

c jst=30

c jfin=2\*jst

c delta=.3

c aln=c(.m/2,jst)\*per

c wa=delta\*aln/2.

c bta=80./((delta\*aln)\*\*2)

)

do j=1,jm-1

do i=1,im-1

if (d(i,j+1).lt.0.01) then

c(i,j+1)=c(i,j)

da(i,j+1)=d(i,j)

else

end if

if (d(i+1,j).lt.0.01) then

c(i+1,j)=c(i,j)

da(i+1,j)=d(i,j)

```
else
end if

end do

end do

t=0.0
n=0
40 t=t+dt
c n=n+1

c
c continuity equation
c
do 100 j=1,jm-1
c write (*,*) j
do 100 i=1,im-1

if (d(i,j).lt.0.01) then
z(i,j)=0.0
```

```
goto 100
```

```
else
```

```
end if
```

```
al=c(i,j)*per
```

```
akd=2*d(i,j)*pi/al
```

```
an=0.5*(1+2*akd/sinh(2*akd))
```

```
al=c(i+1,j)*per
```

```
akd=2*da(i+1,j)*pi/al
```

```
if (da(i+1,j).lt..01) akd=2*d(i,j)*pi/al
```

```
ani1=0.5*(1+2*akd/sinh(2*akd))
```

```
al=c(i,j+1)*per
```

```
akd=2*da(i,j)*pi/al
```

```
if (da(i,j+1).lt..01) akd=2*d(i,j)*pi/al
```

```
anj1=0.5*(1+2*akd/sinh(2*akd))
```

```
q1=ani1*da(i+1,j)*u(i+1,j)
```

```
q2=an*d(i,j)*u(i,j)
```

```
ux=(q1-q2)/dx
```



p1=anj1\*da(i,j+1)\*v(i,j+1)

p2=an\*da(i,j)\*v(i,j)

vy=(p1-p2)/dx

z(i,j)=z(i,j)-dt\*(ux+vy)/an

100 continue

c

c momentum equations (x and y)

c

do 120 j=2,jm

do 120 i=2,im

if (d(i,j).lt.0.01.or.d(i-1,j).lt.0.01) then

un(i,j)=0.0

goto 120

else

end if

$$a1=c(i,j)*per$$

$$akd=2*d(i,j)*pi/a1$$

$$an=0.5*(1+2*akd/sinh(2*akd))$$

$$a1=c(i-1,j)*per$$

$$akd=2*d(i-1,j)*pi/a1$$

$$ani1=0.5*(1+2*akd/sinh(2*akd))$$

$$zx=(an*z(i,j)-ani1*z(i-1,j))/dx$$

$$uxx=(u(i+1,j)-2*u(i,j)+u(i-1,j))/dx**2$$

$$uyy=(u(i,j+1)-2*u(i,j)+u(i,j-1))/dx**2$$

$$un(i,j)=u(i,j)-dt*((c(i,j)**2)/d(i,j))*zx/an+$$

$$! ed(i,j)*dt*uxx+ed(i,j)*dt*uyy-dt*fr(i,j)*omega*u(i,j)$$

120 continue

do 121 j=2,jm

```
do 121 i=2,im
```

```
if (d(i,j).lt.0.01.or.d(i,j-1).lt.0.01) then
```

```
vn(i,j)=0.0
```

```
goto 121
```

```
else
```

```
end if
```

```
al=c(i,j)*per
```

```
akd=2*d(i,j)*pi/al
```

```
an=0.5*(1+2*akd/sinh(2*akd))
```

```
al=c(i,j-1)*per
```

```
akd=2*d(i,j-1)*pi/al
```

```
anj1=0.5*(1+2*akd/sinh(2*akd))
```

```
zy=(an*z(i,j)-anj1*z(i,j-1))/dx
```

```
vxx=(v(i+1,j)-2*v(i,j)+v(i-1,j))/dx**2
```

```
vyy=(v(i,j+1)-2*v(i,j)+v(i,j-1))/dx**2
```

```

vn(i,j)=v(i,j)-dt*((c(i,j)**2)/d(i,j))*zy/an+
! ed(i,j)*dt*(vxx+vyy)-dt*fr(i,j)*omega*v(i,j)

```

```

121 continue

```

```

c do i=1,im
c do j=1,jm
c if (d(i,j).gt..01) then
c uv=(umax(i,j)**2+vmax(i,j)**2)
c uvl=(.7*c(i,j))**2
c uv=H(i,j)
c uvl=d(i,j)
c Qb=1.-exp(-(uv/uvl)**10)
c if (Qb.gt.1) Qb=1.
c dis=Qb*2.*(9.81*(H(i,j)**2)/8.)/per
c ed(i,j)=edr(i,j)+7.*d(i,j)*dis**.333333
c ed(i,j)=7.*d(i,j)*dis**.333333
c else
c end if

```

```

c   end do
c   end do

c   input of the wave surface elevation

c   jv1=20
c   jv2=21
c   do j=2,jfin
c   do i=20,im-20
c   cel=c(i,jst)
c   tf=tan(fin)*i*dx/cel
c   chi=j*dx
c   chis=jst*dx
c   fsource=exp(-bta*(chi-chis)**2)
c   z1=Ho/2.*sin(2*pi*(t-tf)/per)*cel*dt/dx
c   zin=z1*fsource*tanh(t/per)
c   z(i,j)=z(i,j)+zin
c   end do
c   end do

```

```

jv1=20

jv2=21

do 81 i=20,im-20

cel=c(im/2,jv1)

tf=sin(fin)*i*dx/cel

zin=Ho/2.*sin(2*pi*(t-tf)/per)*cel*dt/dx

81  z(i,jv1)=z(i,jv1)+2.*zin*tanh(t/per)*cos(fin)

c   do 82 i=20,im-20

c   cel=c(i,jv2)

c   tf=tan(fin)*i*dx/cel

c   zin=Ho/2.*sin(2*pi*(t-tf)/per)*cel*dt/dx

c 82  z(i,jv2)=z(i,jv2)+zin*tanh(t/per)*cos(fin)

```

```

do i=1,IM

VN(i,1)=(1.-r(i))*V(i,1)+r(i)*V(i,2)

Z(i,1)=-d(i,1)*VN(I,1)/c(i,1)

end do

do i=1,IM

```



```

UN(i,1)=UN(i,2)

end do

do i=1,IM

dven=V(i,3)-V(i,2)

if (ABS(dven).lt..0001) goto 207

r(i)=(VN(i,2)-V(i,2))/dven

if (r(i).gt..99) r(i)=.99

if (r(i).lt.0.) goto 207

goto 60

207 r(i)=0.0

60 end do

```

```

do j=1,jm

un(1,j)=un(2,j)

vn(1,j)=vn(2,j)

end do

```

c boundary condition sponge layer

c West b. c.

```

350  do 165 j=1,jm
      do 165 i=1,10
        ml1=i-10
        ml2=-10.0
        rm=exp((1.8**(ml1)-1.8**(ml2))*1.6)
        z(i,j)=z(i,j)/rm
        vn(i,j)=vn(i,j)/rm

```

```

165  un(i,j)=un(i,j)/rm
      imsl=im-10
      do 175 j=1,jm
        do 175 i=20,10,-1
          ml1=10-i
          ml2=-10.0
          rm=exp((1.8**(ml1)-1.8**(ml2))*1.6)
          z(i,j)=z(i,j)/rm
          vn(i,j)=vn(i,j)/rm

```

```

175  un(i,j)=un(i,j)/rm

```

c South b.c.

```

      do 665 i=1,im
        do 665 j=1,10
          ml1=j-10

```

```

ml2=-10.0
rm=exp((1.8**(ml1)-1.8**(ml2))*1.6)
z(i,j)=z(i,j)/rm
vn(i,j)=vn(i,j)/rm
665 un(i,j)=un(i,j)/rm
do 675 i=1,im
do 675 j=20,10,-1
ml1=10-j
ml2=-10
rm=exp((1.8**(ml1)-1.8**(ml2))*1.6)
z(i,j)=z(i,j)/rm
vn(i,j)=vn(i,j)/rm
675 un(i,j)=un(i,j)/rm

c North b.c.
c jms=jm-20
c do 667 i=1,im
c do 667 j=jms,jm-10
c ml1=j-jm+10
c ml2=-10.0
c rm=exp((1.8**(ml1)-1.8**(ml2))*1.6)
c z(i,j)=z(i,j)/rm

```

```

c   vn(i,j)=vn(i,j)/rm
c667 un(i,j)=un(i,j)/rm

c   jms1=jm-10

c   do 677 i=1,im

c   do 677 j=jm,jms1,-1

c   ml1=j-jm

c   ml2=-10

c   rm=exp((1.8**(ml1)-1.8**(ml2))*1.6)

c   z(i,j)=z(i,j)/rm

c   vn(i,j)=vn(i,j)/rm

c677 un(i,j)=un(i,j)/rm

```

```

c   East b.c.

ims=im-20

do 668 j=1,jm

do 668 i=ims,im-10

ml1=i-im+10

ml2=-10.0

rm=exp((1.8**(ml1)-1.8**(ml2))*1.6)

z(i,j)=z(i,j)/rm

vn(i,j)=vn(i,j)/rm

668 un(i,j)=un(i,j)/rm

```

```

ims1=im-10
do 679 j=1,jm
do 679 i=im,ims1,-1
ml1=i-im
ml2=-10
rm=exp((1.8**(ml1)-1.8**(ml2))*1.6)
z(i,j)=z(i,j)/rm
vn(i,j)=vn(i,j)/rm
679 un(i,j)=un(i,j)/rm

write (*,*) †

do 405 i=1,im
do 405 j=1,jm
u(i,j)=un(i,j)
405 v(i,j)=vn(i,j)

do 185 j=1,jm
do 185 i=1,im
if (d(i,j).lt.0.01) goto 185
if (z(i,j).gt.dnmax(i,j)) then

```

```
dnmax(i,j) = z(i,j)
```

```
else
```

```
end if
```

```
if (u(i,j).gt.umax(i,j)) then
```

```
umax(i,j) = u(i,j)
```

```
else
```

```
end if
```

```
if (v(i,j).gt.vmax(i,j)) then
```

```
vmax(i,j) = v(i,j)
```

```
else
```

```
end if
```

```
185   continue
```

```
do i=1,im
```

```
do j=1,jm
```

```
H(i,j)=2.*dnmax(i,j)
```

```
end do
```

```
end do
```

```
do i=1,im
```

```
do j=1,jm
```

```

if (d(i,j).gt..01) then
    uv=(umax(i,j)**2+vmax(i,j)**2)
    uvl=(.7*c(i,j))**2
    uv=H(i,j)
    uvl=d(i,j)
    Qb=1.-exp(-(uv/uvl)**10)
    if (Qb.gt.1) Qb=1.
    dis=Qb*2.*(9.81*(d(i,j)**2)/8.)/per
    ed(i,j)=18.*d(i,j)*dis**.333333
    if (edr(i,j).gt.ed(i,j)) ed(i,j)=edr(i,j)
    else
    end if
end do
end do

```

```

c   nendh=int(tend/dt-2.*per/dt)

```

```

c

```

```

c   equalies the grids outside the calculated region

```

```

c   with z=2.*Ho in order to have a nice view in the

```

```

c   surfer package

```



```
c      nend=int(tend/dt)-1
      .
      if (t.lt.tend) then
      goto 40
      else

      do 321 j=1,jm
      do 321 i=1,im
      if (d(i,j).lt.0.01) then
      z(i,j)=2.*Ho
      else
      end if
321    continue
```

```
open (unit=3,file='elev.dat')
```

```
open (unit=2,file='sectse.dat')
```

```
open (unit=5,file='heise.dat')
```

```
777  FORMAT (6F12.7)
```

```

do 355 j=jv2+1,jm-1
do 355 i=10,im-20
disx=i*dx
disy=j*dx
write (3,6) disx,disy,z(i,j)
355 continue
)

do i=10,im-30,20
do j=jv2+1,jm-2
disy=j*dx
disx=i*dx
write (2,7) disx,umax(i,j),vmax(i,j),2*dnmax(i,j),d(i,j)
end do
end do

do j=jv2+1,jm-1
do i=10,im-20
disx=i*dx

```

```
disy=j*dx
if (d(i,j).lt.0.01) dnmax(i,j)=-.25
write (5,6) disx,disy,2.*dnmax(i,j)
end do
end do
stop
endif
)
6 format (3f10.3)
7 format (5f12.4)

end
```

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Καραμπάς Θ. και Κουτίτας Χρ., (1999). 'Μοντέλο μετάδοσης μη-γραμμικών διασπειρόμενων κυματισμών στο εσωτερικό των λιμένων HARBOUR-NL. Μαθηματική περιγραφή και εφαρμογή στους λιμένες Αλεξανδρούπολης, Καβάλας και Λάγους', Έκθεση ΕΚΒΑΝ ΙΙ- 114.
- [2] Αντωνόπουλος Μενέλαος (1985): 'Τεχνικοοικονομική μελέτη λιμανιού Βόλου'.
- [3] M.B.Abbott and W.A.Price (1993): 'Coastal, Estuarial and Harbour Engineer's Reference Book'.
- [4] Κουτίτας Χρ (1998): 'Εισαγωγή στην παράκτια τεχνική και τα λιμενικά έργα', εκδόσεις ΖΗΤΗ.
- [5] De Girolamo P. (1996): An experiment on harbour resonance induced by incident regular waves and irregular short waves. Coastal Engineering, 27,47-66.
- [6] Karambas Th. V. (1999). Numerical simulation of linear wave propagation, wave-induced circulation, sediment transport and beach evolution. Coastal Engineering and Marina Developments, WIT Press, Eds C.A. Brebbia and P. Anagnostopoulos, pp 253-274.
- [7] Larsen J. and Dancy H. , (1983). Open boundaries in short wave simulations a new approach. Coastal Engineering, 7,285-297.
- [8] Bowers E. (1977). Harbour resonance due to set-down beneath wave groups. J. Fluid Mechanics, vol. 79, part 1,71-92.



- [9] Sand S.E. (1982). Long wave problems in laboratory models. *J. Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, Vol. 108, No.4, 492-503.
- [10] Καραμπάς Θ. (1995). Μετάδοση κυματισμών χαμηλής συχνότητας στην παράκτια ζώνη. 6<sup>ο</sup> Παν. Συνέδριο Ε.Υ.Ε., 300-307.
- [11] Mei C.C. (1983). *The Applied Dynamics of ocean Surface waves*. Wiley. New York.
- [12] Van der Meer, J.W. and Koster, M.J., 1988. Application of computational model on dynamic stability. *Proc. Breakwaters 1988*, Eastbourne. Thomas Telford.
- [13] J.W. Van der Meer (1993): 'Conceptual design of rubble mound breakwaters'. Delft hydraulics.
- [14] Karambas Th. V. and Bowers E. C. (1996). Representation of partial wave reflection and transmission for rubble mound coastal structures. *Hydrosoft 96*, Malaysia.

