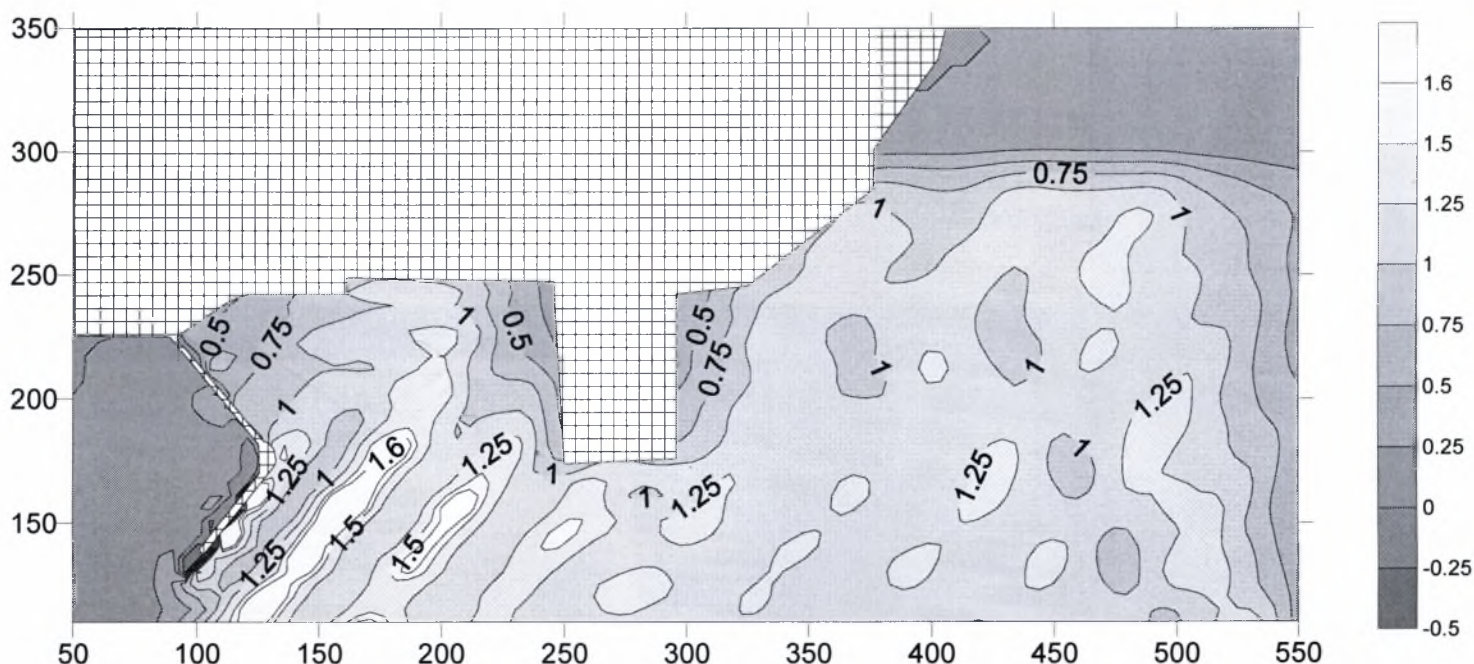




## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

### ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΟΙ ΚΡΗΠΙΔΟΤΟΙΧΟΙ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥ



#### ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

- ΚΑΡΑΜΠΑΣ ΘΕΟΦΑΝΗΣ

#### ΦΟΙΤΗΤΕΣ:

- ΜΑΥΡΑΓΚΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ
- ΜΕΧΜΕΤ ΜΕΣΟΥΤ



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

Αριθ. Εισ.: 2487/1

Ημερ. Εισ.: 12-03-2004

Δωρεά:

Ταξιδετικός Κωδικός: ΠΤ - ΠΜ

2003

ΜΑΥ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000072552

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σκοπός της διπλωματικής μας εργασίας, είναι να παρουσιάσουμε τα βασικά χαρακτηριστικά των απορροφητικών κρηπιδοτοίχων και τα πλεονεκτήματα που αυτοί παρουσιάζουν σε σχέση με τα αδιαπέρατα κατακόρυφα μέτωπα. Για καλύτερη κατανόηση του προβλήματος παρατίθεται και μια εφαρμογή απορροφητικών κρηπιδοτοίχων στο λιμάνι της Πάρου. Η εφαρμογή του συγκεκριμένου τύπου κρηπιδομάτων δεν είναι ευρέως διαδεδομένη στον ελληνικό χώρο κάτι που πρέπει να τονισθεί ιδιαίτερα, καθώς η καθαρά νησιωτική χώρα μας υποδεικνύει μεγάλο πεδίο εφαρμογής. Στις επόμενες σελίδες παρατίθεται με περισσότερες λεπτομέρειες τα χαρακτηριστικά από τα οποία εξαρτάται η λειτουργία των απορροφητικών κρηπιδοτοίχων.



# 1. ΑΝΑΚΛΑΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΑΠΟ ΚΑΘΕΤΟΥΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΥΣ ΚΡΗΠΙΔΟΤΟΙΧΟΥΣ

## Εισαγωγή

Οι παράκτιες κατασκευές σχεδιάζονται κυρίως για να παρέχουν προστασία από την ανάκλαση και το διασκεδασμό της ενέργειας κυμάτων. Οι κυματοθραύστες με πρηνή από λιθορριπή έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς για την προστασία των λιμανιών. Εντούτοις, ειδικά κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας, οι καινοτόμες κάθετες δομές μπορούν συχνά να αντιπροσωπεύσουν μια καλύτερη εναλλακτική λύση από τους κυματοθραύστες με πρηνή από λιθορριπή.

Γενικώς, οι κυματοθραύστες αυτού του τύπου μπορούν να βελτιώσουν την υδραυλική απόδοση, το συνολικό κόστος, τον ποιοτικό έλεγχο, τις περιβαλλοντικές πτυχές, το χρόνο κατασκευής και τη συντήρηση. Οι περισσότερες όμως από αυτές τις κατασκευές είναι συμπαγείς, με στεγανούς κάθετους τοίχους με αποτέλεσμα να εισαγάγουν μερικά σημαντικά μειονεκτήματα. Όπως:

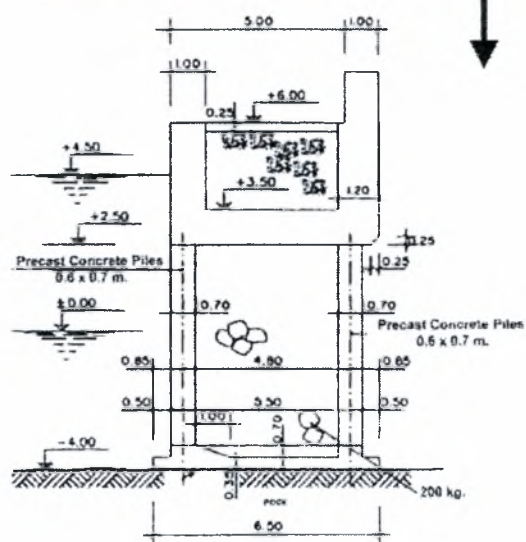
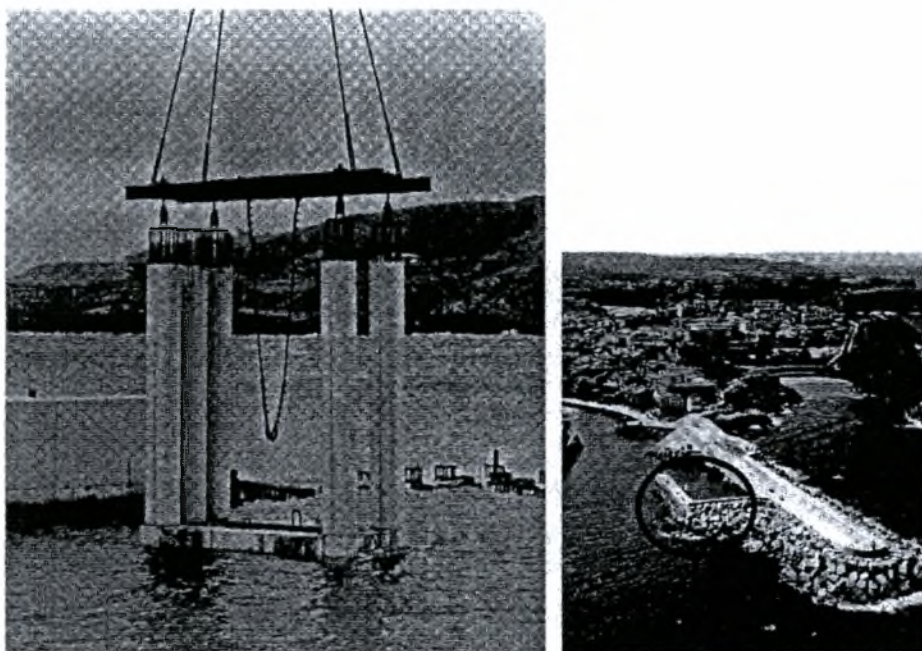
Η ανάκλαση των κυμάτων στον κάθετο τοίχο μπορεί να προκαλέσει προβλήματα διαταραχής μέσα στις περιοχές των λιμανιών. Η αλληλεπίδραση των προσπιπτόντων και ανακλώμενων κυμάτων μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερα κύματα, επικίνδυνα, ειδικά για τα μικρά σκάφη. Επιπλέον, τα κύματα μπορούν να μεταδοθούν σε μια προφυλαγμένη περιοχή που δημιουργεί προβλήματα για τα δεμένα σκάφη ή κατά τη διάρκεια της διαδικασίας φορτοεκφόρτωσης. Η τοπική υποσκαφή, η υπερπήδηση, η αύξηση των φορτίσεων των κυμάτων μπορούν επίσης να είναι μερικά προβλήματα που συνδέονται με αυτό το είδος κατασκευής. Ένα ακόμη πρόσθετο πρόβλημα, αρκετά σημαντικό στα μικρά λιμάνια, τις μαρίνες και τα αλιευτικά καταφύγια, είναι ότι ο στεγανός χαρακτήρας των κλασικών κάθετων μετώπων μπορεί να ενισχύσει σοβαρά τον συντονισμό που οφείλεται στους μακρούς κυματισμούς που παγιδεύονται μέσα στο λιμάνι.



Ως συνέπεια, ο σχεδιασμός απαιτεί πρόσθετες τροποποιήσεις προκειμένου να μειωθούν αυτά τα μειονεκτήματα. Η πρώτη καλά τεκμηριωμένη καινοτομία για τη βελτίωση αυτών των μειονεκτημάτων αποδίδεται στον Jarlan (1961) ο οποίος εισήγαγε την ιδέα ενός διάτρητου μπροστινού τοίχου και μια περιοχή απώλειας ενέργειας με ένα στεγανό πίσω τοίχο. Η σημαντική απόσβεση της ενέργειας του κύματος γίνεται μέσω της παραγωγής δινών και της τύρβης στο διάτρητο τοίχο. Επίσης έχουμε σημαντική μείωση των φορτίσεων των κυμάτων.

Άλλες πρόσφατες εναλλακτικές λύσεις που θεωρούνται έχουν γεμίσει την περιοχή κυμάτων της τύπου-Jarlan κατασκευής με λίθους μεγάλης διαμέτρου ή έχουν αντικαταστήσει το διάτρητο μέτωπο από έναν κάθετο πορώδη απορροφητή κυμάτων. Και τα δύο σχέδια προσπαθούν να εκμεταλλευθούν τη διαδικασία του διασκεδασμού κυμάτων μέσα σε μια κάθετη πορώδη κατασκευή. Η λειτουργική αποδοτικότητα των κάθετων κατασκευών, έχει αναλυθεί θεωρητικά και πειραματικά από διάφορους ερευνητές κυρίως με την αξιολόγηση των συντελεστών ανάκλασης και διάδοσης. Μέχρι σήμερα, οι κάθετες διαπερατές δομές έχουν μελετηθεί με βάση περιορισμένες πληροφορίες και εργαλεία σχεδιασμού, καθώς επίσης και σε μια πιθανή έλλειψη εμπειρίας στην απόδοση των πραγματικών δομών. Μερικές τέτοιες κατασκευές έχουν κατασκευαστεί στη Βόρεια ακτή της Ισπανίας για να αντιμετωπίσουν πολύ συγκεκριμένα προβλήματα. Μια εναλλακτική λύση είναι οι κατασκευές από κιβώτια που γεμίζουν με τους σχετικούς μικρούς βράχους. Το λιμάνι Llanes για παράδειγμα είναι ένα μικρό αλιευτικό καταφύγιο όπου οι μικρές διαστάσεις λεκανών και τα προβλήματα ανάκλασης ήταν δύο βασικά ζητήματα για το σχεδιασμό, δεδομένου ότι το νέο λιμάνι επρόκειτο να χτιστεί σε μια στενή είσοδο στο παλαιό λιμάνι που προστατεύονταν από έναν υπάρχοντα κυματοθραύστη. Προκειμένου να λυθούν και τα δύο προβλήματα, σχεδιάστηκε μια κάθετη διαπερατή δομή για να διευκολύνει την πρόσδεση των βαρκών παράλληλα, για να προστατεύει από τα βραχέα κύματα και για να επιτρέψει την διάδοση των μακρών κυμάτων. Εξαιτίας των εδαφολογικών χαρακτηριστικών (βράχος) η θεμελίωση με λιθορριπή στο βυθό ήταν δύσκολη και ακριβή. Έτσι, η εταιρεία κατασκευής πρότεινε διάφορες συγκεκριμένες προκατασκευασμένες μονάδες (σχέδιο 1).





Σχέδιο 1. Εγκατάσταση των προκατασκευασμένων μονάδων για τον πορώδη κάθετο κυματοθραύστη Llanes



Κάθε μονάδα αποτελείται από μια συγκεκριμένη βάση που προκατασκευάστηκε. Μόλις τοποθετήθηκαν οι μονάδες στην περιοχή τις γέμισαν με λιθορριπές. Στην συνέχεια χτίστηκε ένα εποικοδόμημα επί τόπου. Σε αυτήν την περίπτωση, οι μπροστινοί και πίσω τοίχοι της δομής ήταν διαπερατοί προκειμένου να αποφευχθούν τα προβλήματα ανάκλασης. Γενικώς, οι περισσότερες από αυτές τις πορώδεις κάθετες κατασκευές χρησιμοποιούνται ως αποβάθρες ή ως κυματοθραύστες στις περιοχές της χαμηλής αναταραχής και ο σχεδιασμός τους δεν απαιτεί τους πολύ εκτενείς ή δύσκολους υπολογισμούς ευστάθειας. Εντούτοις, οι κατασκευές τύπου-Jarlan που γεμίζουν με λιθορριπές, κάτω από την επίδραση μεγάλων κυματισμών, απαιτεί λεπτομερείς μελέτες λειτουργικότητας και ευστάθειας.

Παρατηρούμε λοιπόν πως οι κάθετοι διαπερατοί κρηπιδότοιχοι αντιπροσωπεύουν μια καλύτερη εναλλακτική λύση από τα κατακόρυφα μέτωπα, επειδή η ανάκλαση των κυμάτων μπορεί να προκαλέσει προβλήματα μέσα στις περιοχές λιμανιών και τις γειτονικές περιοχές. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί σημαντικά από μια διαπερατή κατασκευή, κάτι που οφείλεται στην απόσβεση του κύματος μέσα στην πορώδη δομή συγκεκριμένου πλάτους. Η πρόβλεψη της ανάκλασης από τα πορώδη αναχώματα λιθορριπών διαδραματίζει έναν σημαντικό ρόλο στην αξιολόγηση του κυματικού κλίματος σε ένα λιμάνι. Η λειτουργική αποδοτικότητα αυτών των κάθετα πλαισιωμένων κατασκευών έχει αναλυθεί θεωρητικά και πειραματικά από διάφορους ερευνητές, κυρίως για την εκτίμηση των συντελεστών αντανάκλασης και διάδοσης. Βασισμένοι στη γραμμική θεωρία κυμάτων και τη γραμμική εξίσωση τριβής για τις ροές στα πορώδη μέσα, οι Sollitt και Cross (1972) διατύπωσαν την μεταφορά κυμάτων μέσω ενός διαπερατού κυματοθραύστη ως γραμμικό πρόβλημα οριακής τιμής και εξήγαγαν μια αναλυτική λύση για τα κατακόρυφα μέτωπα. Οι Madsen O. (1974) και Madsen P. (1983) πρότειναν ένα άλλο σύνολο εξισώσεων για κατακόρυφους διαπερατούς κρηπιδοτόιχους βασισμένοι σε ολοκληρωμένες ως προς το βάθος εξισώσεις για μακρούς κυματισμούς. Στην εργασία αυτή θα παρουσιαστεί ένα γραμμικό μοντέλο κυμάτων που βασίζεται στις εξισώσεις τύπου ήπιας κλίσης. Οι εξισώσεις προσαρμόζονται για να περιγράψουν την κίνηση κυμάτων μέσα στο πορώδες μέσο. Θα παρουσιαστεί επίσης και μια θεωρητική λύση για την ανάκλαση των γραμμικών κυμάτων από έναν κάθετο ομοιογενή απορροφητικό κυματοθραύστη.



## 1.1 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΛΥΣΗ

Στην εργασία αυτή χρησιμοποιείται το μοντέλο WAVE- L (Καραμπάς 2003). Το πορώδες συμπεριλαμβάνεται στις εξισώσεις και η απώλεια ενέργειας μέσα στην πορώδη δομή προσομοιώνεται από τον τύπο αντίστασης των Darcy - Forchheimer. Με το συνδυασμό της διαδικασίας που προτείνεται από τον Van Gent (1994 ..1995) για την παραγωγή των εξισώσεων που περιγράφουν τη διάδοση των μακρών κυμάτων σε ένα πορώδες μέσο και της διαδικασίας που περιγράφεται στις σημειώσεις (Καραμπάς 2003) για την παραγωγή των εξισώσεων τύπου ήπιας κλίσης, εξάγονται οι παρακάτω εξισώσεις:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{d}{n} \frac{\partial U}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$S \frac{\partial U}{\partial t} + n \frac{c^2}{d} \frac{\partial \zeta}{\partial x} = -nU(\alpha + \beta)U \quad (2)$$

όπου  $t$  και  $x$  είναι ο χρόνος και το μήκος αντίστοιχα,  $c$  είναι η ταχύτητα κυμάτων που δίνεται από την θεωρία Airy,  $d$  είναι το βάθος ύδατος,  $u$  είναι η οριζόντια ταχύτητα (Darcy),  $\zeta$  είναι η ανύψωση της επιφάνειας,  $h$  είναι το συνολικό βάθος ( $= d + \zeta$ ), το  $g$  είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας, το  $n$  είναι το πορώδες της δομής,

$S = 1 + \gamma(1 - n)/n$  (ένας αδιάστατος συντελεστής που λαμβάνει υπόψη το φαινόμενο της προστιθέμενης μάζας στον υπολογισμό) και οι συντελεστές  $\alpha$  και  $\beta$  (Darcy και Forchheimer) :

$$\alpha = 1000 \frac{(1-n)^3}{n^2} \frac{v}{d_{50}^2} \quad \beta = 2.8 \frac{1-n}{n^3} \frac{1}{d_{50}} \quad \gamma = 0.34 \quad (3)$$

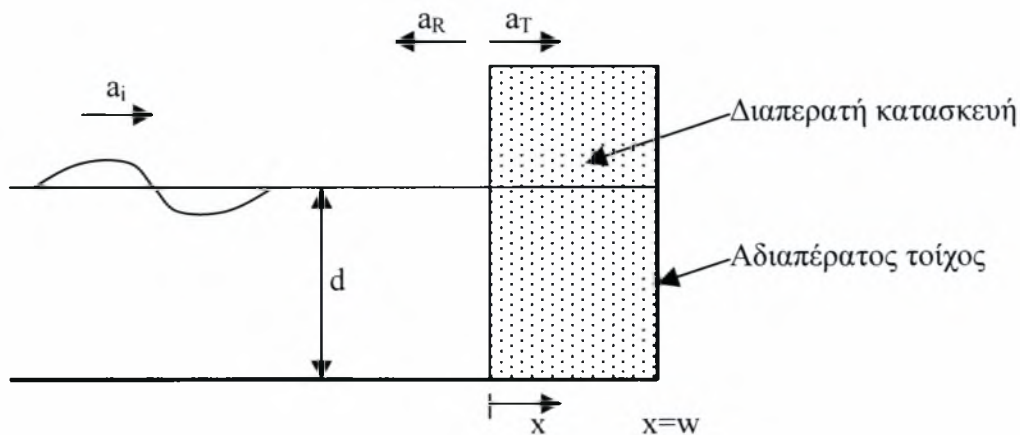




όπου  $d_{50}$  είναι η μέση διάμετρος του πορώδους υλικού και  $\nu$  είναι το κινηματικό ιξώδες. Οι ανωτέρω εκφράσεις είναι ίδιες με εκείνες που προτείνονται από τον Madsen (1983) για τα  $\alpha$  και  $\beta$ , και από τον Van Gent (1995) για το  $\gamma$ .

Οι παραπάνω γραμμικές εξισώσεις κυματισμών ισχύουν για τα περιοδικά κύματα που διαδίδονται πέρα από ένα σταθερό βάθος μέσα στην πορώδη κατασκευή. Το αριθμητικό σχήμα επίλυσης είναι το ίδιο που παρουσιάζεται στις σημειώσεις (Καραμπάς 2003).

Αντί της χρησιμοποίησης των εξισώσεων (1) και (2) ο Madsen (1983) υπέθεσε κύματα στα ρηχά νερά ( $c \approx \sqrt{gd}$ ) και αγνόησε την επίδραση της προστιθέμενης μάζας (δηλ.  $S=1$ ). Οι ανωτέρω δύο υποθέσεις δεν υιοθετούνται εδώ. Θεωρείται μια κάθετη διαπερατή δομή που καταλήγει σ' ένα αδιαπέραστο τοίχο (σχήμα 1). Η προτεινόμενη τεχνική της λύσης είναι παρόμοια με αυτήν που χρησιμοποιείται από τον Madsen (1983).



Σχήμα 1.



Ο μη γραμμικός όρος τριβής στην εξίσωση (2) γίνεται γραμμικός σύμφωνα με:

$$\frac{f\omega}{n} = \alpha + \beta|U| \quad (4)$$

όπου το  $f$  είναι ένας σταθερός συντελεστής τριβής και  $\omega$  είναι η συχνότητα κυμάτων. Ψάχνοντας τις περιοδικές λύσεις εκφράζουμε τα  $\zeta$  και  $u$ :

$$\zeta(x, t) = \text{Re}[\eta(x)e^{i\omega t}] \quad (5)$$

$$U(x, t) = \text{Re}[v(x)e^{i\omega t}] \quad (6)$$

Από την αντικατάσταση των ανωτέρω εξισώσεων στις εξισώσεις (1) και (2) έχουμε τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$\eta_{xx} + \frac{\omega^2}{c} [S - if] \eta = 0 \quad (7)$$

$$v = -\frac{c^2}{d} \frac{n}{\omega} \frac{1}{f + iS} \eta_{xx} \quad (8)$$

Σύμφωνα με Madsen και White (1976), η γενική λύση για τη ροή μέσα στην πορώδη δομή βρίσκεται:

$$\zeta = \text{Re}\left\{ \left( a_1 e^{-iKx} + a_2 e^{iKx} \right) e^{i\omega t} \right\}, \quad 0 \leq x \leq w \quad (9)$$



$$U = \operatorname{Re} \left\{ \left( a_1 e^{-iKx} - a_2 e^{iKx} \right) \frac{c}{d} \varepsilon e^{i\omega t} \right\}, \quad 0 \leq x \leq w \quad (10)$$

$$\varepsilon = \frac{n}{\sqrt{S - if}} \quad (11)$$

$$K = \frac{\omega}{c} \sqrt{S - if} \quad (12)$$

Έξω από την πορώδη δομή η λύση για τα γραμμικά κύματα γράφεται:

$$\zeta = \operatorname{Re} \left\{ a_i e^{i(\omega t - kx)} + a_r e^{i(\omega t + kx)} \right\}, \quad x < 0 \quad (13)$$

$$U = \operatorname{Re} \left\{ \frac{c}{d} \left( a_i e^{i(\omega t - kx)} - a_r e^{i(\omega t + kx)} \right) \right\}, \quad x < 0 \quad (14)$$

όπου το  $k$  είναι ο αριθμός κυμάτων, το  $k = \omega/c = 2\pi/L$  (το  $L$  είναι το μήκος κυμάτων), και  $a_i$  και  $a_r$  είναι τα εισερχόμενα και ανακλώμενα εύρη κυμάτων.

Μπορούμε να λύσουμε για το συντελεστή αντανάκλασης  $K_R = a_r/a_i$  θεωρώντας συνέχεια της συνάρτησης της ανύψωσης και της οριζόντιας ταχύτητας για  $x=0$  (δηλ. συνέχεια της πίεσης και της μάζας) και ότι η οριζόντια ταχύτητα μηδενίζεται στο όριο  $x=w$ . Κατά συνέπεια σύμφωνα με την εξίσωση (10) και τη χρησιμοποίηση  $U=0$  σε  $x=w$ , το  $a_2$  μπορεί να απαλειφθεί:

$$a_2 = a_1 e^{-i2Kw} \quad (15)$$

όπου το  $w$  είναι το πλάτος της πορώδους δομής.



Αν υποθεθεί συνέχεια στην πίεση και την μάζα στο μπροστινό μέτωπο της διαπερατής δομής ( $x=0$ ), των εξισώσεων (9), (10), (13) και (14) :

$$a_i + a_r = a_1(1 + e^{-i2Kw}) \quad (16)$$

$$a_i - a_r = \varepsilon a_1(1 - e^{-i2Kw}) \quad (17)$$

Λύνοντας τις εξισώσεις (16) και (17) όσον αφορά το  $a_r$  λαμβάνουμε την ακόλουθη λύση για το συντελεστή αντανάκλασης:

$$K_R = \left| \frac{1 - \varepsilon + (1 + \varepsilon)e^{-i2Kw}}{1 + \varepsilon + (1 - \varepsilon)e^{-i2Kw}} \right| \quad (18)$$

Για τον υπολογισμό του συντελεστή  $f$  της τριβής, υιοθετείται η μέθοδος που προτείνεται από τον Madsen (1983). Η μέθοδος είναι βασισμένη στην υπόθεση Lorentz του ισοδύναμου έργου:

$$\int_0^w \int_0^T f \frac{\omega}{n} U^2 dt dx = \int_0^w \int_0^T (\alpha + \beta |U|) U^2 dt dx \quad (19)$$

όπου το  $T$  είναι η περίοδος κυμάτων.

Η τελική εξίσωση για το συντελεστή  $f$  τριβής δίνεται από:

$$f \frac{\omega}{n} = \alpha + \beta a_1 \frac{c}{d} \Lambda \quad (20)$$



$$\Lambda \equiv \frac{\int_0^w \int_0^T |U^*| U^{*2} dt dx}{\int_0^w \int_0^T U^{*2} dt dx} \quad \text{και} \quad U^* = \text{Re} \left\{ \frac{2\varepsilon (e^{-iKx} - e^{iK(x-2w)})}{1 + \varepsilon + (1 - \varepsilon)e^{-2iKw}} e^{i\omega t} \right\} \quad (21)$$

ο συντελεστής  $f$  της τριβής υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την αριθμητική επαναληπτική μέθοδο που προτείνεται από τον Madsen (1983).

## **1.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΩΝ REQUEJO ET AL (2002)**

Στο ακόλουθο τμήμα, εμφανίζονται μερικές συγκρίσεις των πειραματικών στοιχείων και τα αριθμητικά αποτελέσματα. Η σύγκριση θα πραγματοποιηθεί για τον συντελεστή ανάκλασης κυμάτων και την ελεύθερη επιφάνεια.

Οι πειραματικές δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σε ένα κανάλι κυμάτων όπου χτίστηκαν δύο κιβώτια ενός κάθετου πορώδους κυματοθραύστη. Εξετάστηκαν δύο πλάτη  $w=0.56$  m και  $w=1.12$  m κυματοθραυστών και χρησιμοποιήθηκαν δύο τύποι βράχου:  $d_{50}=1.05$  cm. και  $d_{50}=3.78$  cm.. Τα τέσσερα πειραματικά μοντέλα είναι τα εξής:

Μοντέλο 1:  $w=1.12$  m και  $d_{50}=1.05$  cm.

Μοντέλο 2:  $w=0.56$  m και  $d_{50}=1.05$  cm.

Μοντέλο 3:  $w=1.12$  m και  $d_{50}=3.78$  cm.

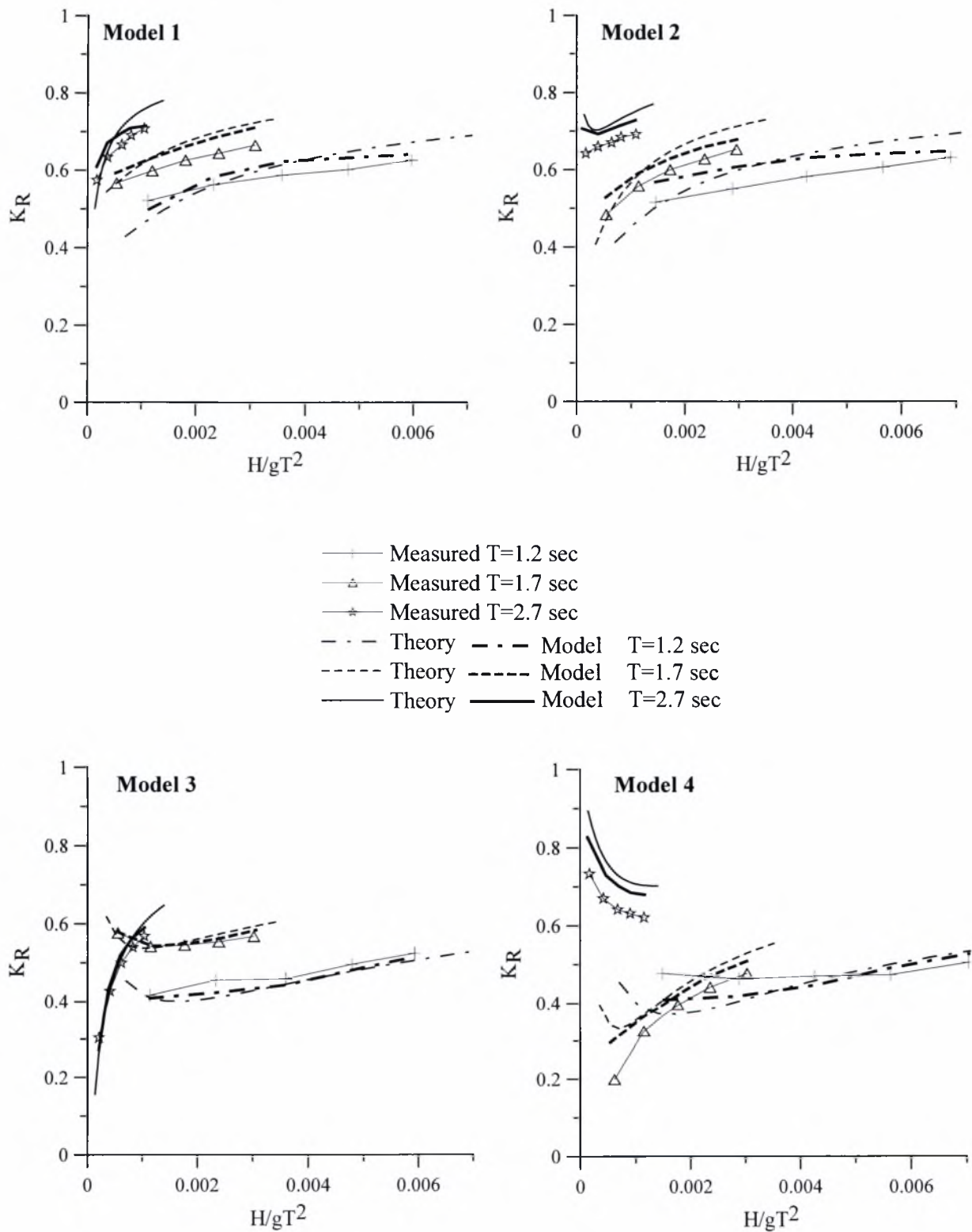
Μοντέλο 4:  $w=0.56$  m και  $d_{50}=3.78$  cm.

Ένας στεγανός πίσω τοίχος έχει κατασκευαστεί για να εγγυηθεί τη συνολική ανάκλαση. Το βάθος ύδατος κρατήθηκε σταθερό σε  $d=0.41$  m. εκεί που εκτελέστηκαν οι δοκιμές κυμάτων με τρεις περιόδους  $T=1.2$ ,  $T=1.7$  και  $T=2.7$  sec και πέντε συναφή ύψη κυμάτων μεταξύ  $H=0.02$  m και  $H=0.10$  m.





Το σχήμα 2 εμφανίζει μια σύγκριση των πειραματικών αποτελεσμάτων ανάκλασης και των αναλυτικών προβλέψεων. Γενικώς, οι παρούσες μέθοδοι (ειδικά το γραμμικό μοντέλο κυμάτων) προβλέπουν ικανοποιητικά την αντανάκλαση κυμάτων. Όπως ολοκληρώνεται ήδη από τον Requejo et Al (2002) για όλες τις περιπτώσεις που θεωρούνται (εκτός από το μοντέλο 4 για  $T=2.7$  sec) όσο αυξάνεται ο λόγος  $H/gT^2$  οδηγεί σε μεγαλύτερους συντελεστές αντανάκλασης. Η μεγαλύτερη ανάκλαση επιτυγχάνεται για τα μακριά κύματα σε πορώδες υλικό με μεγαλύτερους λίθους, δεδομένου ότι αυτά τα κύματα διαπερνούν εύκολα, και αντανακλούνται στο τοίχο. Όσον αφορά το μοντέλο 4 και τα μακρύτερα κύματα ( $T=2.7$  sec) η ανάκλαση μειώνεται όσο αυξάνεται ο λόγος  $H/gT^2$  επειδή σε αυτήν την περίπτωση η αντανάκλαση καθορίζεται από τον αδιαπέρατο τοίχο. Ως εκ τούτου, η αύξηση της ορμής των κυμάτων οδηγεί στην αύξηση του διασκεδασμού των κυμάτων μειώνοντας συνεπώς την ανάκλαση.



Σχήμα 2. Σύγκριση του θεωρητικού και αριθμητικού  $K_R$  με μετρήσεις (Requejo et Al, 2002).



### 1.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΩΝ

- Γενικός, για όλες τις περιπτώσεις ( μοντέλο 1,2,3,4 ) θεωρείται ότι, ο συντελεστής αντανάκλασης  $K_R$  αυξάνεται για μεγαλύτερες τιμές του  $H/gT^2$ .

Για αύξηση του ύψους κύματος.

Για αύξηση του μήκους κύματος  $L$  ( δηλ. μικρές τιμές του  $T$  ).

- Η μεγαλύτερη αντανάκλαση  $K_R$  εμφανίζεται για τα μακρύτερα κύματα  $L$  ( μεγάλο  $T$  ) και τη δομή που κατασκευάζεται με μεγαλύτερες πέτρες (  $D_{50}=3.78$  ), δεδομένου ότι αυτά τα κύματα διαπερνούν εύκολα, αντανακλούνται στον πίσω αδιαπέρατο τοίχο.

- Όσον αφορά το ( μοντέλο 4 ), μπορεί να παρατηρηθεί ότι για τις μικρότερες τιμές του λόγου  $w/L$ , ο συντελεστής αντανάκλασης  $K_R$  μειώνεται όσο μειώνεται ο λόγος  $H/gT^2$ .

- Γενικώς, μπορεί να ειπωθεί ότι εάν οι λόγοι  $w/L$  και  $H/gT^2$  είναι μικροί, μειώνεται ο συντελεστής αντανάκλασης  $K_R$  με την αύξηση του  $H/gT^2$ , επειδή σε αυτήν την περίπτωση η ανάκλαση καθορίζεται από το στεγανό πίσω τοίχο. Κατά συνέπεια, η αύξηση της ορμής των κυμάτων οδηγεί στην αύξηση της απώλειας ενέργειας, συνεπώς στην μείωση της ανάκλασης.

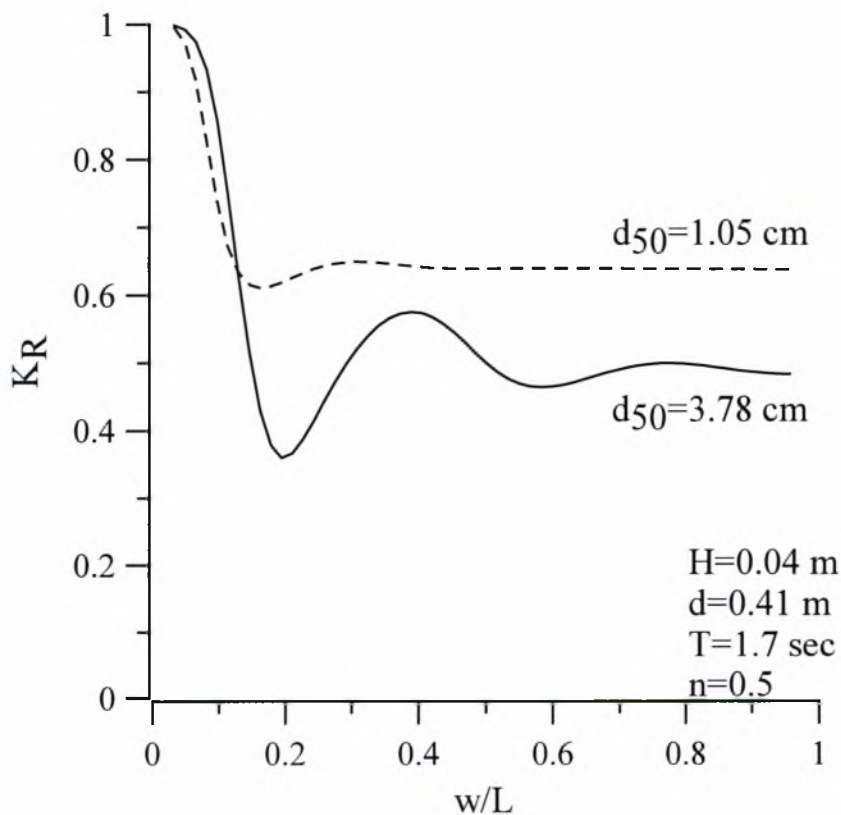
- Διαφορετικά, για μεγαλύτερες τιμές των  $w/L$  και  $H/gT^2$ , η ανάκλαση  $K_R$  αυξάνεται με την αύξηση του  $H/gT^2$  επειδή η αντανάκλαση καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά της πορώδους δομής. Στην πραγματικότητα, εάν το κύμα δεν φθάνει στον πίσω τοίχο, η αντανάκλαση πραγματοποιείται μέσα στο πορώδες μέσο που αυξάνεται όσο αυξάνεται το  $H/gT^2$ .

Σαν συνέπεια, μπορεί να ολοκληρωθεί ότι για οποιοδήποτε δεδομένο κύμα και πορώδη υλικά χαρακτηριστικά ένας μέγιστος διασκεδασμός κυμάτων επιτυγχάνεται για ένα δεδομένο πλάτος κυματοθραυστών.



Αφ' ετέρου, για μεγαλύτερα μήκη κρηπιδοτοίχων και για βραχείς κυματισμούς, η ανάκλαση καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά της πορώδους δομής, δεδομένου ότι το κύμα δεν φθάνει στον αδιαπέρατο πίσω τοίχο. Κατά συνέπεια, η ανάκλαση πραγματοποιείται μέσα στο πορώδες μέσο και αυξάνεται όσο αυξάνεται ο λόγος  $H/gT^2$ .

Τα ανωτέρω συμπεράσματα μπορούν επίσης να ληφθούν από το σχήμα 3, όπου εμφανίζεται η παράσταση του συντελεστή ανάκλασης συναρτήσει του αδιάστατου μήκους δομών,  $w/L$ , και του μεγέθους των πετρών. Η μελέτη του σχήματος μας δείχνει ότι ο ελάχιστος συντελεστής ανάκλασης λαμβάνεται για τις μεγάλες κατασκευές με μεγάλες πέτρες. Αφότου λαμβάνεται το ελάχιστο  $K_R$  μια περαιτέρω αύξηση του πλάτους έχει λίγη επιρροή στο συντελεστή ανάκλασης (εκτός από τις μικρές ταλαντώσεις).

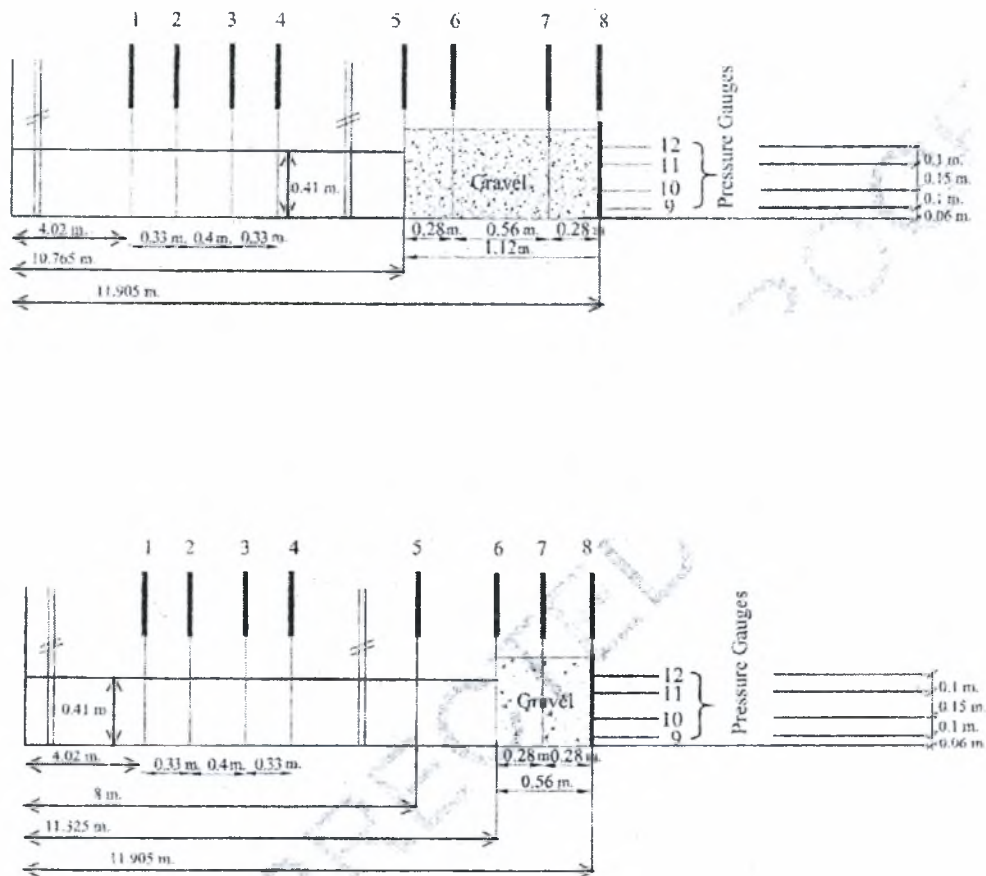


**Σχήμα 3.** Παραλλαγή του συντελεστή αντανάκλασης  $K_R$  σε σχέση με τον λόγο  $w/L$ , για δυο διαφορετικά μεγέθη πετρών (αναλυτική λύση).



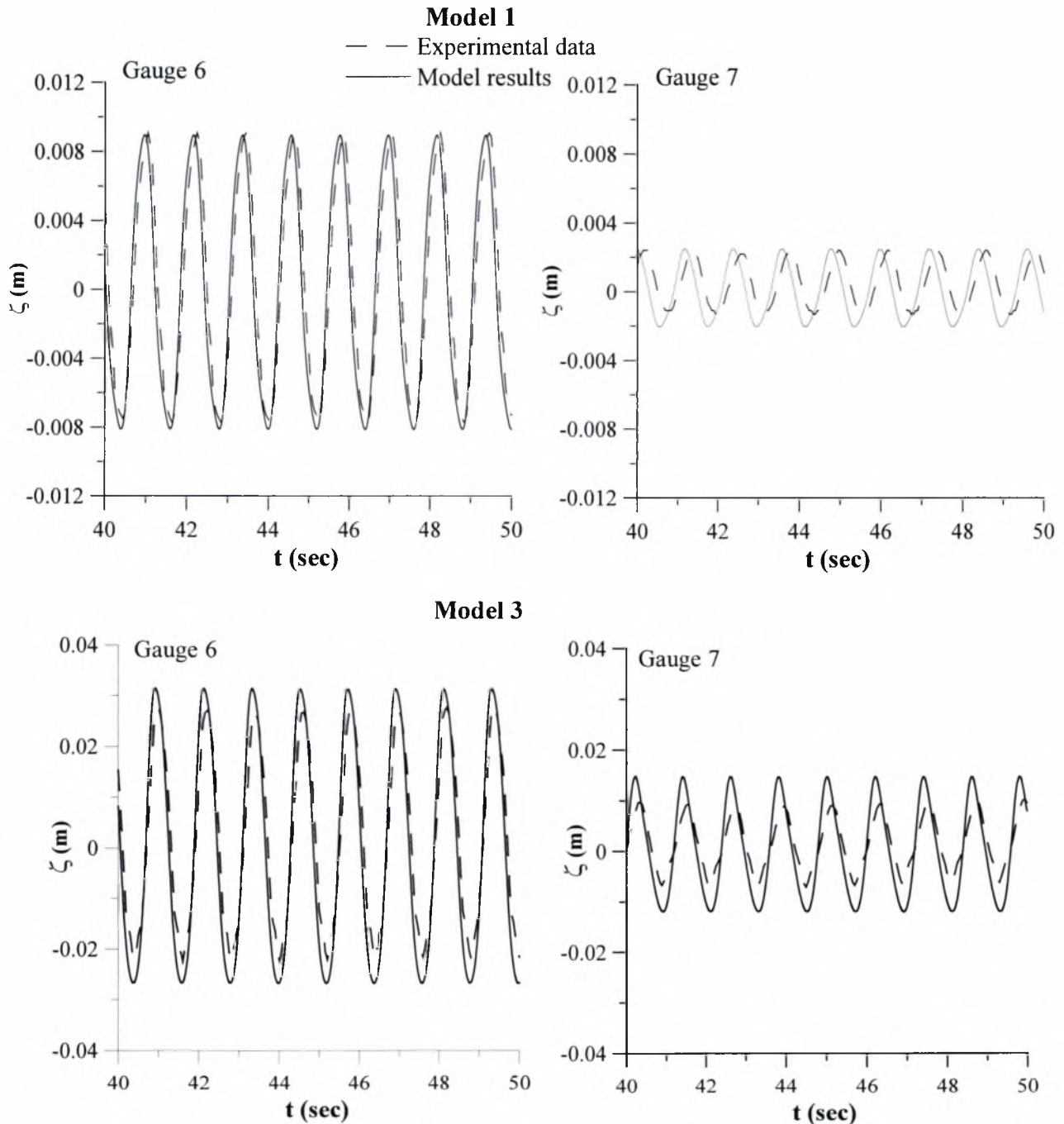
### 1.4 ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

Η πρότυπη βαθμολόγηση έχει πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας τη μετρημένη ελεύθερη ανύψωση επιφάνειας μέσα στην πορώδη κατασκευή από λίθους. Επομένως το μοντέλο προβλέπει ικανοποιητικά την εξέλιξη της ελεύθερης επιφάνειας, βλέπε το σχήμα 4 για ένα παράδειγμα για την περίπτωση  $T = 1,7$  s για το μοντέλο 1 και  $T = 1,2$  s το μοντέλο 3.



**Σχέδιο 2.** Πορώδης κατασκευή για την μέτρηση της ελεύθερης επιφάνειας στα μοντέλα 1 και 3 που προαναφέρθηκαν.





**Σχήμα 4.** Σύγκριση της μετρημένης και υπολογισμένης ελεύθερης εξέλιξης επιφάνειας μέσα στη κατασκευή για το μοντέλο 1 ( $H = 3,37$  cm,  $T = 1,7$  s) και για το μοντέλο 3 ( $H = 6,80$  cm,  $T = 1,2$  s). Το σημείο 6 βρίσκεται 0,28m από το μέτωπο της κατασκευής ενώ το σημείο 7 βρίσκεται 0,28m από τον αδιαπέρατο πίσω τοίχο.

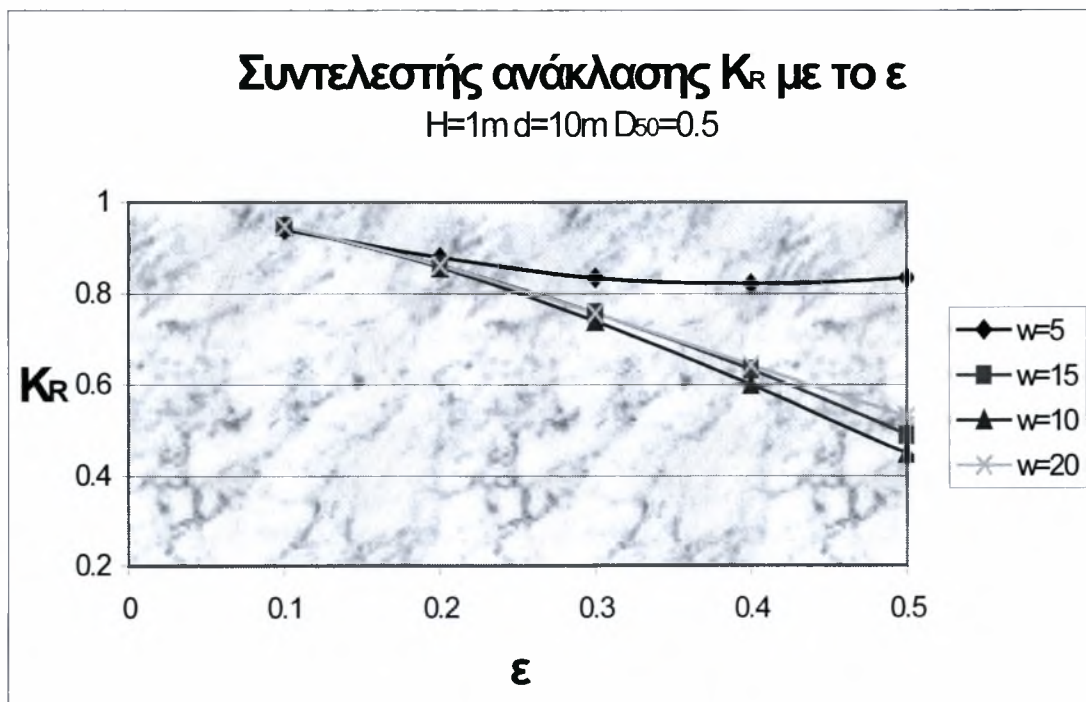


### 1.5 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΤΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

Το σχήμα 5 εμφανίζει την μεταβολή του συντελεστή αντανάκλασης  $K_R$  με το σχετικό πλάτος  $w$ , της κατασκευής σε έναν πορώδη κυματοθραύστη με έναν στεγανό πίσω τοίχο, για διαφορετικό πορώδες και για σταθερές τιμές στις υπόλοιπες παραμέτρους. Στο σχήμα 5, μπορεί να φανεί η μετριασμένη συντονισμένη συμπεριφορά της κατασκευής.

- Για τα σχετικά μικρά πλάτη  $w$ , αυξάνεται ο συντελεστής αντανάκλασης  $K_R$ .
- Όσο αυξάνεται το πορώδες μειώνεται ο συντελεστής ανάκλασης

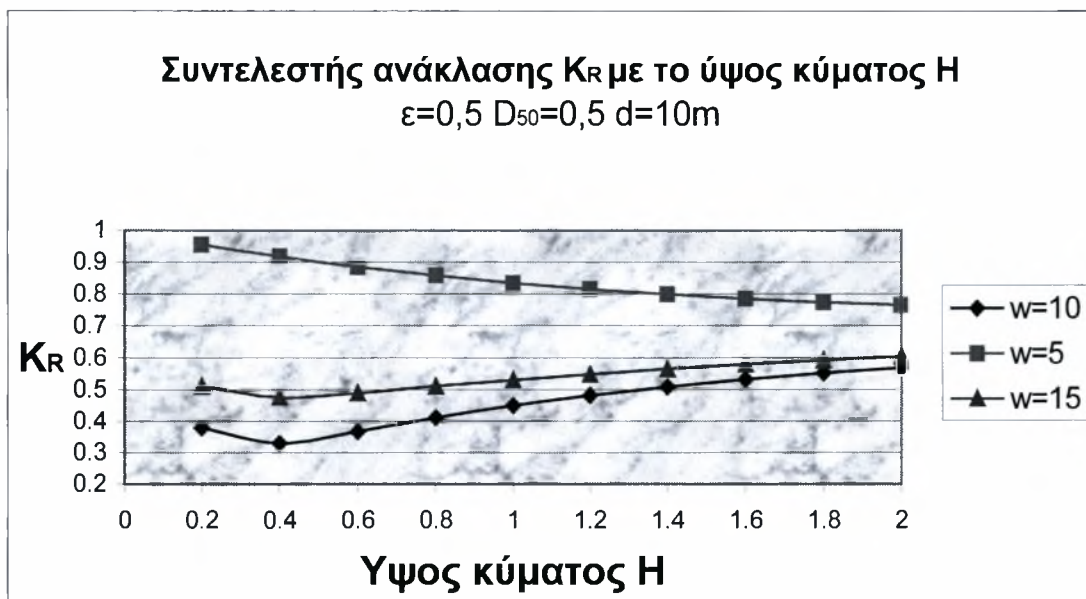
Για μεγαλύτερα σχετικά πλάτη, ο συντελεστής αντανάκλασης  $K_R$  εμφανίζει μια μετριασμένη ταλάντωση που οδηγεί σε μια σταθερή τιμή όταν το πλάτος της δομής μεγαλώνει και τα κύματα δεν φθάνουν στον οπίσθιο τοίχο.



**Σχήμα 5.** Μεταβολή του συντελεστή αντανάκλασης  $K_R$  με το σχετικό πλάτος κατασκευών για σταθερές τιμές στις υπόλοιπες παραμέτρους, σε έναν πορώδη κυματοθραύστη με έναν στεγανό πίσω τοίχο.



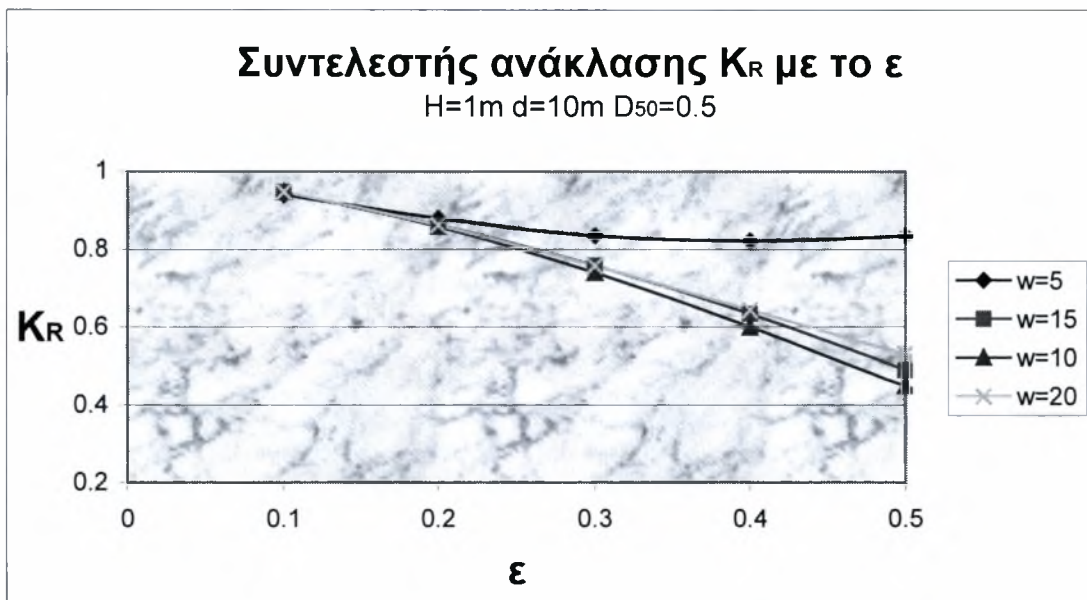
Το σχήμα 6 εμφανίζει την μεταβολή του συντελεστή αντανάκλασης με το σχετικό μέγεθος των πετρών για διαφορετικό πορώδες και για σταθερές τιμές στις υπόλοιπες παραμέτρους, σε έναν πορώδη κυματοθραύστη με έναν στεγανό πίσω τοίχο. Στο σχέδιο 6, μπορεί να φανεί η διακύμανση του συντελεστή αντανάκλασης  $K_R$  με το μέγεθος των πετρών. Η επιρροή του μεγέθους πετρών σε αυτόν τον συντελεστή μειώνεται καθώς το σχετικό μέγεθος πετρών αυξάνεται, φθάνοντας σε μια ασυμπτωτική τιμή. Πρέπει να θεωρηθεί ότι προκειμένου να υπάρξει μια ομοιογενής, ισοτροπική πορώδης δομή απαιτείται ένα ελάχιστο πλάτος κυματοθραυστών (πέντε πέτρες είναι μια προτεινόμενη τιμή).



**Σχήμα 6.** Μεταβολή του συντελεστή αντανάκλασης  $K_R$  με το σχετικό μέγεθος πετρών, για σταθερές τιμές στις υπόλοιπες παραμέτρους, σε έναν πορώδη κυματοθραύστη με ένα στεγανό πίσω τοίχο.



Το σχήμα 7 εμφανίζει την μεταβολή του συντελεστή αντανάκλασης  $K_R$  με το πορώδες πετρών για τρεις τιμές  $w/L$  για σταθερές τιμές στις υπόλοιπες παραμέτρους, σε έναν πορώδη κυματοθραύστη με έναν στεγανό πίσω τοίχο. Η μέγιστη τιμή πορώδους που θεωρείται είναι  $\varepsilon=0,5$  καθώς θεωρείται η πιο ρεαλιστική τιμή.



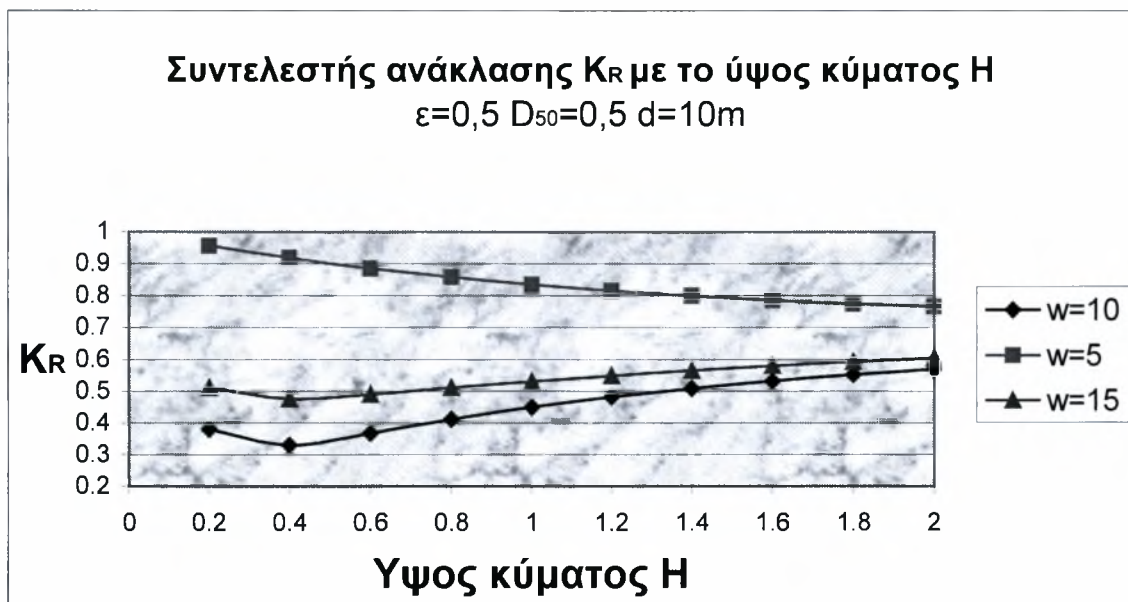
**Σχήμα 7.** Μεταβολή του συντελεστή αντανάκλασης με το πορώδες των πετρών, για σταθερές τιμές στις υπόλοιπες παραμέτρους, σε έναν πορώδη κυματοθραύστη με ένα στεγανό πίσω τοίχο.

- Μπορεί να φανεί ότι το πορώδες έχει μια μεγάλη επιρροή στον συντελεστή αντανάκλασης  $K_R$ .
- Για τα μικρά μεγέθη πορώδους, η κατασκευή συμπεριφέρεται σαν είχε έναν στεγανό μπροστινό τοίχο και ο συντελεστής αντανάκλασης τείνει να είναι 1.



Τελικά, το σχήμα 8 εμφανίζει την μεταβολή του συντελεστή αντανάκλασης  $K_R$  με το σχετικό ύψος  $H$  κυμάτων για πέντε τιμές  $w/L$  και για σταθερές τιμές στις υπόλοιπες παραμέτρους, σε έναν πορώδη κυματοθραύστη με έναν στεγανό πίσω τοίχο.

Μπορεί να φανεί ότι τα αριθμητικά αποτελέσματα εμφανίζουν τις ίδιες τάσεις στα πειραματικά αποτελέσματα και επομένως εξάγονται τα ίδια συμπεράσματα σε ότι αφορά τη σχέση μεταξύ του σχετικού πλάτους, της ορμής κυμάτων και της αντανάκλασης  $K_R$ .



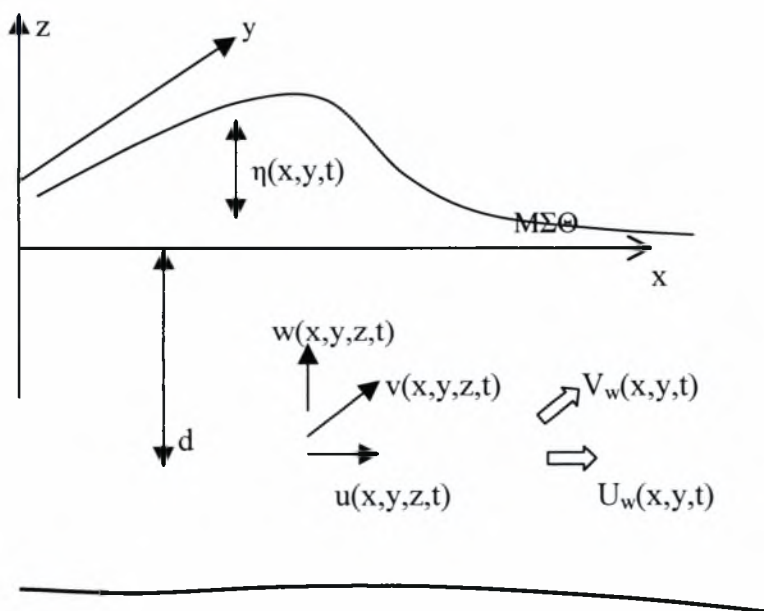
**Σχήμα 8.** Μεταβολή του συντελεστή αντανάκλασης με το σχετικό ύψος κυμάτων για σταθερές τιμές στις υπόλοιπες παραμέτρους, σε έναν πορώδη κυματοθραύστη με ένα στεγανό οπίσθιο τοίχο.





## 2. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΟΜΟΙΩΜΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ

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, 1985α, 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). Μαζί με τα προγράμματα πρόγνωσης και διάδοσης κυματισμών στο παράκτιο χώρο, αποτελούν ένα πακέτο επιχειρησιακής χρήσης, για την επίλυση προβλημάτων σχεδιασμού Λιμενικών Έργων.



Σχήμα 2.1. Σύστημα συντεταγμένων και μεταβλητές.



## 2.1 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:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} \quad (2.3)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g \quad (2.4)$$

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:

$$w = \frac{\partial \eta}{\partial t} \quad (z = \eta \text{ ή } z \approx 0) \quad (2.5)$$

$$w = -u \frac{\partial d}{\partial x} - v \frac{\partial d}{\partial y} \quad (z = -d) \quad (2.6)$$

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



Η ολοκλήρωση της (2.1) ως προς  $z$  από τον πυθμένα ( $z = -d$ ) έως την επιφάνεια ( $z = \eta$  ή  $z \approx 0$ ), σε συνδυασμό με τις (2.5) και (2.6), δίνει την ολοκληρωμένη ως προς το βάθος εξίσωση της συνέχειας<sup>1</sup>:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial(U_w d)}{\partial x} + \frac{\partial(V_w d)}{\partial y} = 0 \quad (2.7)$$

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 (2.4) γράφεται:

$$p(z) = -\rho g z + \rho \frac{\partial}{\partial t} \int_z^0 w dz \quad (2.8)$$

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

$$p(z) = -\rho g z + p_d \quad (2.9)$$

όπου  $p_d$  η δυναμική πίεση:

$$p_d(z) = \rho g \eta \frac{\cosh(k(d+z))}{\cosh(kd)} \quad (2.10)$$

Η ολοκλήρωση ως προς το βάθος των εξισώσεων της ορμής (2.2) και (2.3) δίνει:

<sup>1</sup> Σημειώνεται στο σημείο αυτό ότι η πλήρης μη γραμμική εξίσωση της συνέχειας γράφεται  $\partial \eta / \partial t + \partial(U_w(d+\eta)) / \partial x + \partial(V_w(d+\eta)) / \partial y = 0$ , η οποία προκύπτει από την ολοκλήρωση της (3.1) χρησιμοποιώντας την μη γραμμική κινηματική οριακή συνθήκη  $w = \partial \eta / \partial t + u \partial \eta / \partial x + v \partial \eta / \partial y$ , στη ελεύθερη επιφάνεια ( $z = \eta$ ), και τον κανόνα του Leibnitz.



$$d \frac{\partial U_w}{\partial t} = p|_{z=d} d_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x} \int_{-d}^0 p dz \quad (2.11)$$

$$d \frac{\partial V_w}{\partial t} = p|_{z=d} d_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial y} \int_{-d}^0 p dz \quad (2.12)$$

Αντικαθιστώντας την (2.9) στις (2.11) και (2.12) καταλήγουμε στις παρακάτω, ολοκληρωμένες ως προς το βάθος, εξισώσεις ορμής:

$$\frac{\partial U_w}{\partial t} + \frac{1}{d} \frac{\partial(c^2 \eta)}{\partial x} - \frac{1}{d} \frac{g \eta}{\cosh(kd)} \frac{\partial d}{\partial x} = 0 \quad (2.13)$$

$$\frac{\partial V_w}{\partial t} + \frac{1}{d} \frac{\partial(c^2 \eta)}{\partial y} - \frac{1}{d} \frac{g \eta}{\cosh(kd)} \frac{\partial d}{\partial y} = 0 \quad (2.14)$$

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:

$$\begin{aligned} \dots &= v_h \frac{\partial U_w^2}{\partial x^2} + v_h \frac{\partial U_w^2}{\partial y^2} \\ \dots &= v_h \frac{\partial V_w^2}{\partial x^2} + v_h \frac{\partial V_w^2}{\partial y^2} \end{aligned} \quad (2.15)$$

όπου  $v_h$  ένας τεχνητός τυρβώδης συντελεστής ιξώδους.



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

$$\dots = -f_b \sigma U_w$$

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

(2.16)

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:

$$f_b \sigma = \frac{1}{2} f_w \sqrt{U_w^2 + V_w^2} / d \quad (2.17)$$

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

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

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

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

(2.18)





## 2.2 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 (2.17) προσεγγίζονται, σε έναν έκκεντρο κάρναβο όπου στο κέντρο του καννάβου υπολογίζεται η ανύψωση  $\eta$  ενώ οι ταχύτητες  $U_w$  και  $V_w$  στην άκρη (Σχήμα 2.2), ως εξής:

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

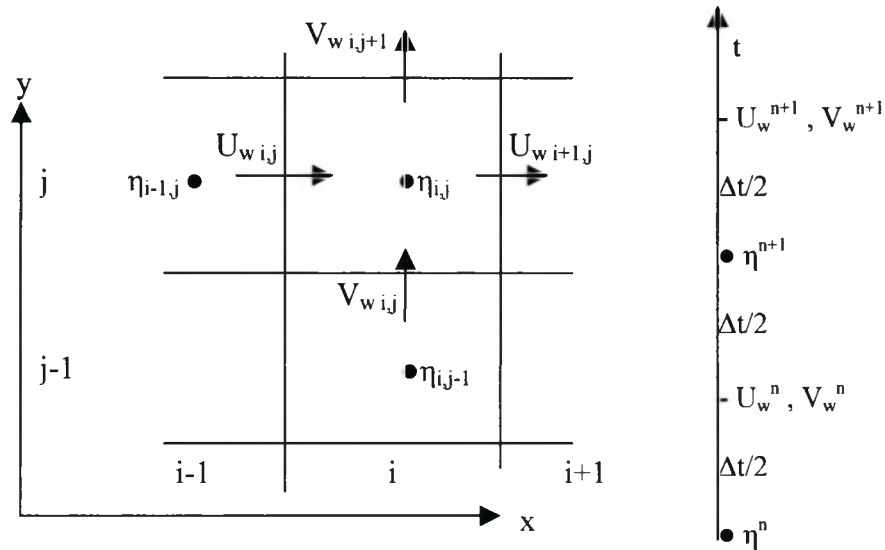
$$\frac{U_w^{n+1}_{ij} - U_w^n_{ij}}{\Delta t} + \left(\frac{1}{d}\right)_i \frac{(c^2 \eta)_{ij}^{n+1} - (c^2 \eta)_{i-1,j}^{n+1}}{\Delta x} - \frac{1}{d_{ij} \cosh(k_{ij} d_{ij})} \frac{g \eta^n_{ij} (d_{ij} - d_{i-1,j})}{\Delta x} =$$

$$v_h \frac{U_w^n_{i+1,j} - 2U_w^n_{ij} + U_w^n_{i-1,j}}{\Delta x^2} + v_h \frac{U_w^n_{ij+1} - 2U_w^n_{ij} + U_w^n_{i,j-1}}{\Delta x^2} - f_b \sigma U_w^n_{wij}$$

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

$$v_h \frac{V_w^n_{i+1,j} - 2V_w^n_{ij} + V_w^n_{i-1,j}}{\Delta x^2} + v_h \frac{V_w^n_{ij+1} - 2V_w^n_{ij} + V_w^n_{i,j-1}}{\Delta x^2} - f_b \sigma V_w^n_{wij}$$

(2.19)



Σχήμα 2.2. 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 2.3). Στο εσωτερικό του διαστήματος αυτού οι μεταβλητές  $\eta$ ,  $U_w$  και  $V_w$  διααιρούνται, σε κάθε χρονικό βήμα, με έναν συντελεστή  $\mu(x)$  που ορίζεται:

$$\mu(x) = \exp \left[ \left( 2^{-x/\Delta x} - 2^{x_s/\Delta x} \right) \ln \beta \right] \quad (2.20)$$

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 2.3) και σε απόσταση  $20\Delta x$  από αυτό (Larsen and Dancy, 1983, Lee and Suh, 1998).



Η χρονοσειρά διέγερσης είναι ημιτονοειδής:

$$\eta_i^* = 2 \frac{H}{2} \sin(\sigma(t-t_f)) \cos \phi \quad c \frac{\Delta t}{\Delta x} \quad (2.21)$$

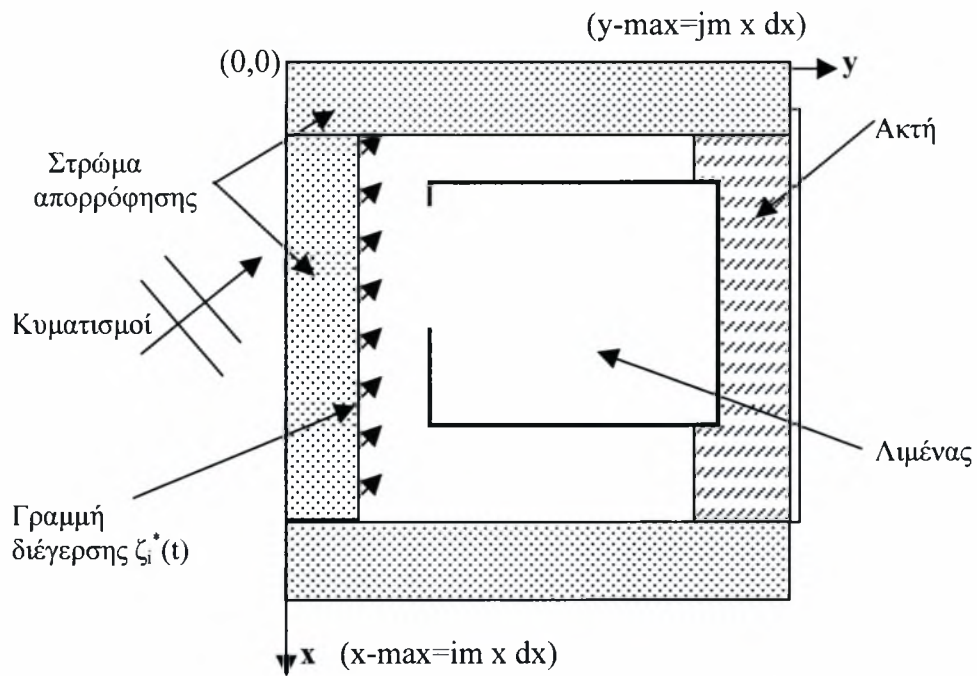
με

$$t_f = \sin(\phi) x/c$$

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 2.3. Υπολογιστικό πεδίο.



### 2.3. ΤΥΡΒΩΔΗΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΙΞΩΔΟΥΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΜΕΡΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΑΠΟ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΕΣ ΜΕ ΠΡΑΝΗ

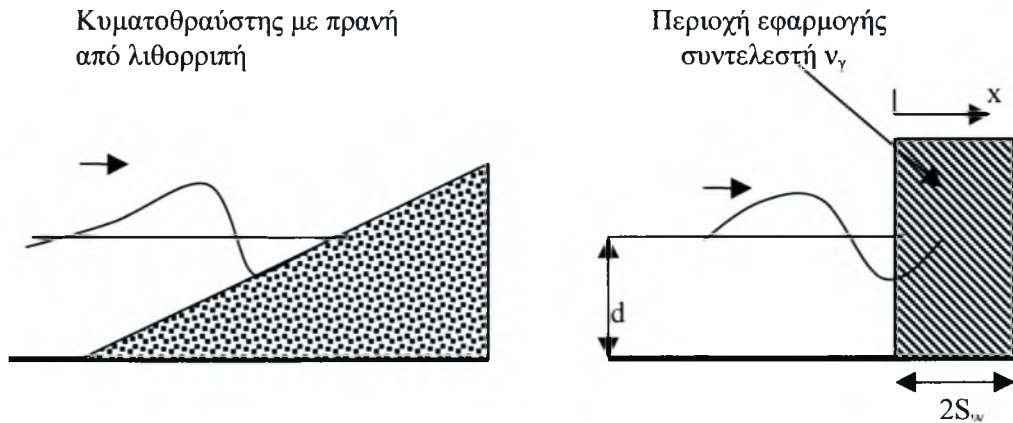
Όταν ο κυματισμός προσπίπτει σε έναν κυματοθραύστη με πρανή από λιθορριπή ή σε βραχώδη ακτή δεν ανακλάται αλλά και ούτε απορροφάται πλήρως. Ένα μέρος της ενέργειας καταναλώνεται πάνω στον κυματοθραύστη ή τη βραχώδη ακτή ενώ το υπόλοιπο ανακλάται προς την ανοικτή θάλασσα δημιουργώντας στάσιμο κυματισμό που επηρεάζει το κυματικό πεδίο στον λιμένα. Ιδιαίτερη σημασία έχει η ανάκλαση κοντά στην είσοδο του έργου που επηρεάζει την προσέγγιση των πλοίων. Η περιγραφή του φαινομένου αυτού γίνεται με την εισαγωγή ενός τεχνητού τυρβώδους συντελεστή ιξώδους  $\gamma$  (Σχήμα 2.4).

Οι εξισώσεις (2.18), στη μονοδιάστατή τους μορφή, γράφονται:

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

$$\frac{\partial U_w}{\partial t} + \frac{c^2}{d} \frac{\partial \eta}{\partial x} - \nu_\gamma \frac{\partial^2 U_w}{\partial x^2} = 0$$

(2.22)



Σχήμα 2.4. Κυματοθραύστης με πρανή και ενεργειακά ισοδύναμη προσομοίωση.

Ας υποθέσουμε ότι για ένα μήκος  $2S_w$  το βάθος του νερού μπροστά από τον κυματοθραύστη είναι σταθερό. Η περιοχή εφαρμογής του συντελεστή  $\gamma$  βρίσκεται ανάμεσα  $0 \leq x \leq 2S_w$  με πλήρη ανάκλαση στο σημείο  $x=2S_w$ . Για προσπίπτοντα κυματισμό εύρους  $a_i$  και ανακλώμενο εύρους  $a_r$ , έξω από την περιοχή εφαρμογής του συντελεστή  $\gamma$  ( $\gamma=0$ ) ισχύει η αναλυτική έκφραση:

$$\eta = a_i e^{i(\sigma t - kx)} + a_r e^{i(\sigma t + kx)} \quad (2.23)$$

με  $\sigma^2 = gk \tanh kd$  και  $k = 2\pi/L$ .

Μέσα στην περιοχή εφαρμογής του συντελεστή  $\gamma$  έχουμε:

$$\eta = a_1 e^{i(\sigma t - Kx)} + a_2 e^{i(\sigma t + Kx)} \quad (2.24)$$

όπου  $K$  είναι τώρα μιγαδικός και ικανοποιεί τη σχέση:

$$\sigma^2 - \nu_\gamma i \sigma K^2 = c^2 K^2 \quad (2.25)$$





Εκφράζοντας για την  $U_w$  παρόμοιες με τις (2.21) και (2.22) σχέσεις και χρησιμοποιώντας τις οριακές συνθήκες (συνέχεια στις συναρτήσεις  $\eta$  και  $U_w$  για  $x=0$  και  $U_w=0$  για  $x=2S_w$ ) μετά από αντικατάσταση στις 2.20 έχουμε την αναλυτική λύση για τον συντελεστή ανάκλασης  $R_s = |a_i/a_r|$ :

$$R_s = \left| \frac{\frac{K}{k} (1 + e^{-4iKS_w}) - (1 - e^{-4iKS_w})}{\frac{K}{k} (1 + e^{-4iKS_w}) + (1 - e^{-4iKS_w})} \right| \quad (2.26)$$

Όταν ο συντελεστής ανάκλασης  $R_s$  είναι γνωστός, το παραπάνω σύστημα των εξισώσεων (2.23) και (2.24) λύνεται εύκολα με τη μέθοδο των προσεγγίσεων και έτσι υπολογίζεται ο συντελεστής  $v_\gamma$ .

Ο συντελεστής  $R_s$  για τους κυματοθραύστες με πρηνή από λιθορριπή μπορεί να εκτιμηθεί από εμπειρικές σχέσεις όπως αυτή που προτείνεται από τον Bruun:

$$R_s = A (1 - e^{B I_r}) \quad (2.27)$$

όπου

$$A = 1.3508, B = -0.710, I_r = (g/2\pi)^{1/2} \tan\alpha T/H^{1/2}$$

με  $H$  το ύψος του προσπίπτοντος κύματος και  $\tan\alpha$  την κλίση του πρηνούς.

Η εισαγωγή της μερικής ανάκλασης από τους κυματοθραύστες σε μοντέλα κυματισμών παρουσιάζεται αναλυτικότερα στην εργασία Karambas and Bowers (1996).



## **2.4. ΤΥΡΒΩΔΗΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΙΞΩΔΟΥΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΘΡΑΥΣΗΣ ΤΥΧΑΙΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ**

Όταν οι κυματισμοί πλησιάζουν την ακτή, λόγω της επίδρασης της ρηχότητας και τη μείωση του μήκους τους, αυξάνεται το ύψος και η ταχύτητά τους ώστε να διατηρηθεί η ενέργειά τους. Η ροή όμως τότε φτάνει σε οριακή κατάσταση με το ύψος  $H$  να πλησιάζει το βάθος  $d$  και την οριζόντια ταχύτητα στην επιφάνεια  $u$  να πλησιάζει την ταχύτητα μετάδοσης  $c$ . Ο κυματισμός τότε θραύεται και μεταδίδεται θραυόμενος μέχρι την αναρρίχηση του στην ακτή.

Το φαινόμενο αυτό περιγράφεται με την εισαγωγή ενός συντελεστή τυρβώδους ιξώδους  $v_h$  στη ζώνη θραύσης (Karambas and Koutitas, 1992).

Ο συντελεστής τυρβώδους ιξώδους υπολογίζεται από (Battjes, 1975):

$$v = 2h \left( \frac{D}{\rho} \right) \quad (2.28)$$

όπου  $D$  η απώλεια της ενέργειας λόγω της θραύσης τυχαίων κυματισμών:

$$D = \frac{1}{4} Q_b f \rho g H_m^2 \quad (2.29)$$

με  $f=1/T_p$  ( $T_p$  η περίοδος κορυφής του φάσματος),  $H_m$  το μέγιστο δυνατό ύψος κύματος ( $\gamma_r h$ , με  $\gamma_r$  μία σταθερά,  $\gamma_r \approx 0.6$ ) και  $Q_b$  είναι το ποσοστό των θραυόμενων κυματισμών σε ένα συγκεκριμένο σημείο.

Η παραπάνω εξίσωση της απώλειας (2.29) μπορεί να περιγράψει την απώλεια τυχαίων κυματισμών σε πολύπλοκη βυθομετρία.



Λόγω της πεπλεγμένης μορφής της εξίσωσης μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την παρακάτω ρητή έκφραση:

$$D = \left[ 1 - \exp \left[ - \left( \frac{\bar{E}}{\gamma_r^2 \bar{E}_{ref}} \right) \right] \right] 2f \bar{E} \quad (2.30)$$

όπου  $\bar{E}$  είναι η πυκνότητα της ενέργειας και  $\bar{E}_{ref}$  είναι η μέγιστη δυνατή κυματική ενέργεια σε ένα συγκεκριμένο βάθος:

$$\bar{E}_{ref} = \rho g \frac{d^2}{8} \quad (2.31)$$

Στην παραπάνω σχέση (2.31) η ποσότητα μέσα στην καμπύλη εκφράζει την πιθανότητα να είναι ένας κυματισμός θραυόμενος.



## **3. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥ**

### **3.1 ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ**

Το λιμάνι της Παροικίας είναι το βασικό λιμενικό έργο εξυπηρέτησης της νήσου Πάρου καθώς στο λιμάνι της Νάουσας εξυπηρετούνται κυρίως σκάφη αναψυχής και αλιευτικά σκάφη ενώ άλλα λιμενικά έργα δεν υπάρχουν στην Πάρο. Η Παροικία αναπτύχθηκε κυρίως λόγω της φυσικής προστασίας του ομώνυμου όρμου από τους συνήθεις κυματισμούς βορείων και νοτίων διευθύνσεων (σχήμα 1).

### **3.2 ΛΙΜΕΝΙΚΗ ΥΠΟΔΟΜΗ**

Το λιμάνι της Παροικίας Πάρου αποτελείται κατά κύριο λόγο από ένα προβλήτα Ο/Γ, ένα λιμένα φιλοξενίας αλιευτικών σκαφών και σκαφών αναψυχής και ένα λιμενίσκο μικρότερων σκαφών (σχήμα 2).

Ο προβλήτας Ο/Γ, που διαπλατύνθηκε το 1990, απαρτίζεται από:

- Βόρειο κρηπίδωμα ( στην κεφαλή ) μήκους περίπου 55m και βάθους 10m.
- Ανατολικό κρηπίδωμα μήκους 100m περίπου και μεταβλητού βάθους 6m περίπου.
- Δυτικό κρηπίδωμα μήκους 90m περίπου και μεταβλητού βάθους ( από 0 μέχρι 10m ).

Το λιμάνι αλιευτικών σκαφών και σκαφών αναψυχής απαρτίζεται από:

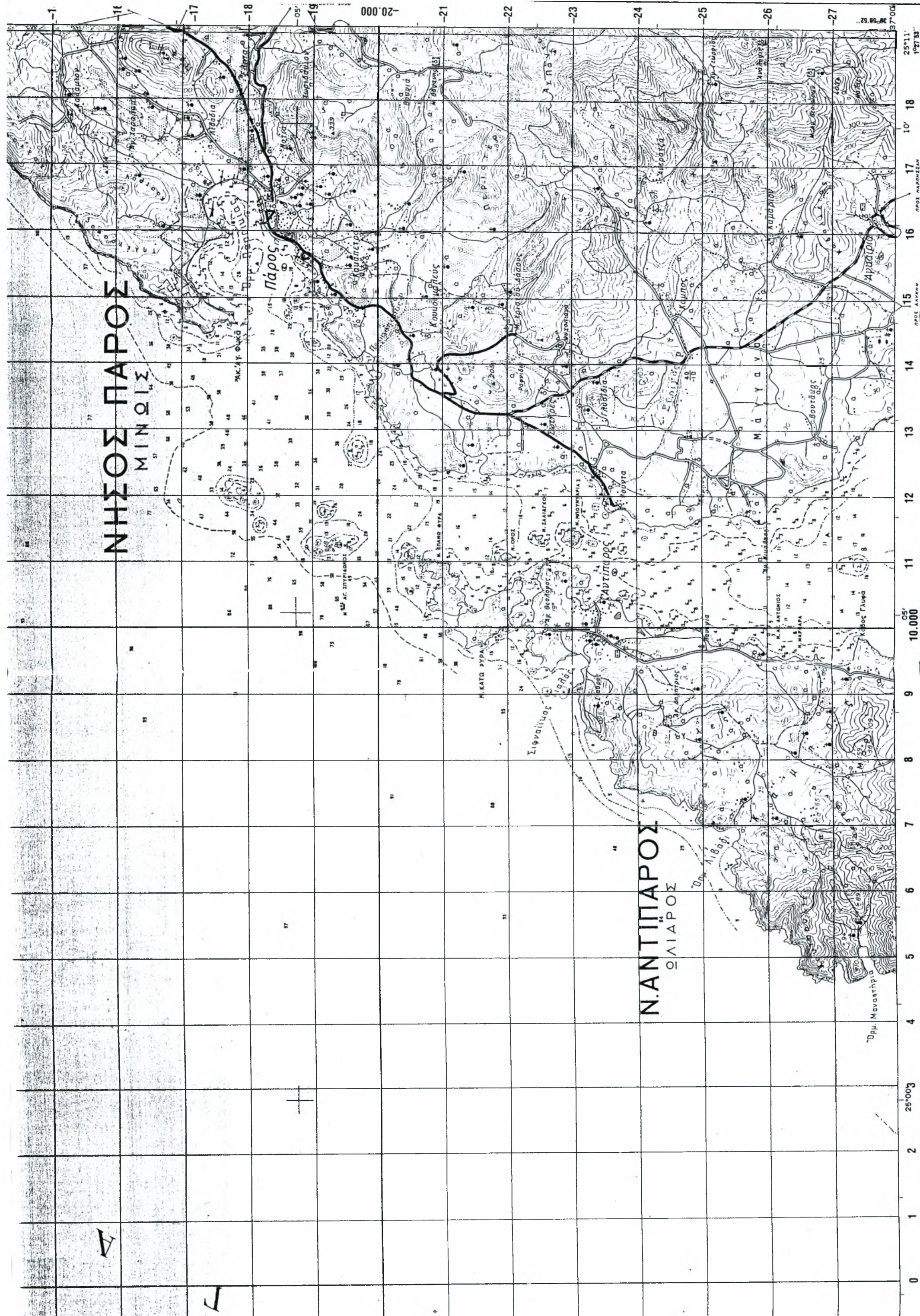
- Προσήμεμο τεθλασμένο μόλο μήκους περίπου 140m και βάθους 5m περίπου στο ακραίο τμήμα της εξωτερικής πλευράς.
- Υπήνεμο τεθλασμένο μόλο μήκους 170m περίπου.
- Εσωτερικό προβλήτα μήκους 50m περίπου που χωρίζει την λιμενολεκάνη σε δύο τμήματα, το ανατολικό και το δυτικό, και
- Παραλιακό κρηπίδωμα μήκους περί τα 140m.



## ΧΑΡΤΗΣ

(Σχήμα 1)





ΝΗΣΟΣ ΠΑΡΟΣ  
ΜΙΝΩΙΣ

Ν.ΑΝΤΙΠΑΡΟΣ  
ΟΛΙΑΡΟΣ

77

77

77

77

77

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10.000 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20.000 21 22 23 24 25 26 27

05' 10' 15' 20' 25' 30'

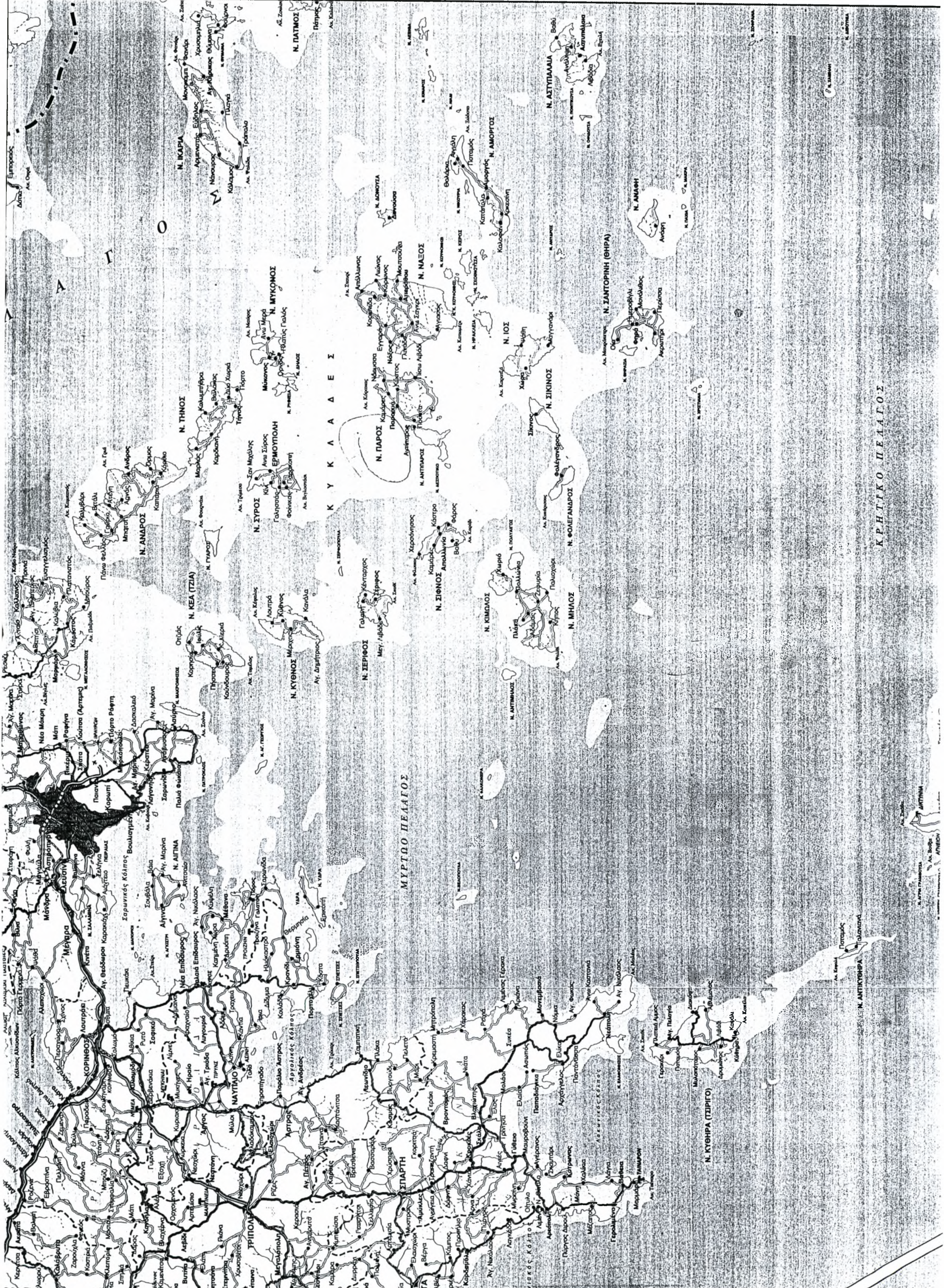
25° 00' 25° 11' 25° 22' 25° 33'

1000 500 0 1000 2000 4000

Κιλιόμετρα  
Kilometers  
Μέτρα  
Meters

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ: ΟΙ ΜΕΤΡΕΣ ΤΗΣ ΧΩΡΟΜΕΤΡΗΣΗΣ ΕΙΝΑΙ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΔΕΛΤΙΟ ΤΗΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ.





ΚΥΚΛΑΔΕΙΣ

ΚΡΗΤΙΚΟ ΠΕΛΑΓΟΣ





Η δυτική λεκάνη του λιμενίσκου έχει βάθος περί τα 2,0-2,5m ενώ η ανατολική έχει βάθος περί το 1m.

Τέλος, ο λιμενίσκος φιλοξενίας μικρότερων σκαφών απαρτίζεται από:

- Έναν εξωτερικό μώλο μήκους 100m περίπου
- Ένα κρηπίδωμα μήκους περί τα 40m και
- Ένα κρηπίδωμα μήκους περί τα 180m

Τα βάθη στον λιμενίσκο είναι μικρότερα του 1m.

Στην περιοχή μεταξύ του προβλήτα Ο/Γ και του λιμένα αλιευτικών σκαφών και σκαφών αναψυχής που έχει μήκος περί τα 150m ( περιοχή Αγ. Νικολάου ) υπάρχει στοιχειώδες λιθόκτιστο κρηπίδωμα βάθους περίπου 0,5-1,0 μέτρου. Έτσι, η περιοχή παραμένει ουσιαστικά αναξιοποίητη, το δυτικό της τμήμα μόνο χρησιμοποιείται για την εξυπηρέτηση των πετρελαιοκινήτων τουριστικών σκαφών.

### **3.3 ΧΕΡΣΑΙΑ ΥΠΟΔΟΜΗ**

Η χερσαία υποδομή περιλαμβάνει μόνο ένα στοιχειώδες στέγαστρο για την φιλοξενία των επιβατών και ένα χώρο στάθμευσης των οχημάτων κατά μήκος του κρηπίδωματος μεταξύ του προβλήτα Ο/Γ και προσήνεμου μώλου του λιμένα αλιευτικών σκαφών.

Η προσπέλαση του λιμένα γίνεται μέσα από τον αστικό ιστό της πόλης, που κατά περιόδους φορτίζεται ιδιαίτερα.

### **3.4 ΚΙΝΗΣΗ ΛΙΜΕΝΑ**

#### **3.4.1 ΓΕΝΙΚΑ**

Ο βασικός χαρακτήρας του λιμένα είναι επιβατικός, για την εξυπηρέτηση της τουριστικής διακίνησης της νήσου. Η τουριστική διακίνηση εξυπηρετείται κυρίως από Ε/Γ - Ο/Γ πλοία αλλά και ταχύπλοα Ε/Γ σκάφη (υδροπτέρυγα και καταμαράν),



δρομολογημένα κυρίως από τον Πειραιά. Με τα Ο/Γ πλοία καλύπτεται επίσης ένα μεγάλο μέρος της εμπορευματικής διακίνησης με Ro/Ro.

Επίσης στον λιμένα:

- Διακινούνται εμπορεύματα χύδην και με παλέτες (μαρμαρόσκονη, αμμοχάλικο και άλλα οικοδομικά υλικά, κρασί, πετρέλαιο)
- Φιλοξενούνται αλιευτικά σκάφη, τουριστικά σκάφη και σκάφη αναψυχής.

### **3.4.2 ΕΙΔΗ ΕΞΥΠΗΡΕΤΟΥΜΕΝΩΝ ΠΛΟΙΩΝ**

Ο λιμένας της Πάρου εξυπηρετεί κατά κύριο λόγο 10 οχηματαγωγά (Ο/Γ) πλοία με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ολική χωρητικότητα μέση 6000 Κ.Ο.Χ περίπου και μέγιστη 10000 Κ.Ο.Χ. περίπου
- Μήκος μέσο 130 μέτρα περίπου και μέγιστο 160 μέτρα περίπου
- Βύθισμα μέσο 5 μέτρα και μέγιστο 6,2 μέτρα

Και βασικό λιμένα προέλευσης τον Πειραιά. Ο αριθμός επιβατών ανά πλοίο κυμαίνεται από 600 έως 2500 άτομα περίπου.

Επίσης, εξυπηρετούνται υδροπτέρυγα, που είναι δυο ειδών: τύπου Κομέτα και τύπου Κολχίδα μήκους 35μ περίπου, ολικής χωρητικότητας 140 και 160 Κ.Ο.Χ. περίπου και με μέγιστο αριθμό επιβατών 130 και 150 αντίστοιχα.

Τα δύο καταμαράν που εξυπηρετούνται είναι μήκους 30 και 35μ περίπου, με ολική χωρητικότητα 250 και 430 Κ.Ο.Χ. και μέγιστο αριθμό επιβατών 200 και 315 περίπου ανά πλοίο. Τα λιμάνια προέλευσης των σκαφών αυτών είναι ο Πειραιάς και το Ηράκλειο.

Όλα τα παραπάνω πλοία εξυπηρετούνται στον προβλήτα Ο/Γ. Τα Ο/Γ πλοία (μέχρι 3 τον αριθμό) πρυμνοδετούν στην κεφαλή του προβλήτα και στο βόρειο μέρος της δυτικής του πλευράς, ενώ τα υδροπτέρυγα και καταμαράν στο βόρειο μέρος της ανατολικής του πλευράς.

Τα εμπορικά πλοία που χρησιμοποιούν τον λιμένα περιλαμβάνουν φορτηγά και δεξαμενόπλοια. Η χωρητικότητα των εμπορικών πλοίων που χρησιμοποιούν τον



λιμένα είναι μικρή, μέχρι και 2000 Κ.Ο.Χ., με μήκος μέχρι 80 μέτρα και βύθισμα μέχρι και 5 μέτρα περίπου.

Τα εμπορικά πλοία παραβάλουν στο τελευταίο τμήμα της εξωτερικής πλευράς του προσήνεμου μόλου του λιμένα των αλιευτικών σκαφών και σκαφών αναψυχής και όταν υπάρχει δυνατότητα, στην δυτική πλευρά του κρηπιδώματος Ο/Γ. Η φορτοεκφόρτωση καυσίμων και χύδην υλικών στην περιοχή αυτή επιβαρύνει το περιβάλλον και εγκλείει κινδύνους.

Τα αλιευτικά σκάφη και σκάφη αναψυχής (ιστιοπλοϊκά) φιλοξενούνται μέσα στον λιμένα αλιευτικών σκαφών και σκαφών αναψυχής και μερικές φορές στην εξωτερική πλευρά του υπήνεμου μόλου του ίδιου λιμένα, στοιχείο που εγκλείει κινδύνους σε περίπτωση πνοής ισχυρών βορειών ανέμων. Οι θαλαμηγοί πρυμνοδετούν επίσης στην εξωτερική πλευρά του υπήνεμου μόλου.

Επίσης, φιλοξενείται ένας μικρός αριθμός πλοίων που εκτελούν τοπικά δρομολόγια, μήκους περίπου 20-50μ., ολικής χωρητικότητας 40-300 Κ.Ο.Χ. και μέγιστο αριθμό επιβατών ανά πλοίο 120-350.

Τέλος, υπάρχουν και μικρά πετρελαιοκίνητα τουριστικά σκάφη (ξύλινα) που μεταφέρουν τους τουρίστες σε διάφορες παραλίες του νησιού, τα οποία μεταφέρουν τους τουρίστες σε διάφορες παραλίες του νησιού και χρησιμοποιούν το κρηπίδωμα ανατολικά, κοντά στην περιοχή τις ώρες της ημέρας και το βράδυ αγκυροβολούν στο λιμένα αλιευτικών και τουριστικών σκαφών.

### **3.4.3 ΚΙΝΗΣΗ ΠΛΟΙΩΝ**

Στο λιμάνι της Πάρου εμφανίζεται από το 1975 μια σημαντική αύξηση καταπλόων, η οποία συνεχίζεται μέχρι το 1990. Ειδικότερα, παρατηρείται ότι μέχρι το 1975 ο αριθμός καταπλόων κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα (της τάξεως των 1000 το έτος), ενώ μετά το 1975 παρουσιάζει απότομη άνοδο (και το 1990 είναι της τάξεως των 4000 με 5000 το έτος)

Το μεγαλύτερο ποσοστό των καταπλόων γίνεται από τα Ο/Γ και Ε/Γ πλοία, το οποίο και αυξάνει τα τελευταία χρόνια. Οι κατάπλοι των θαλαμηγών παρουσιάζουν μείωση, πιθανότατα λόγω έλλειψης κατάλληλων εγκαταστάσεων και τα τουριστικά σκάφη παραμένουν στο ίδιο ποσοστό περίπου.



Η εποχιακή διακύμανση των καταπλόων των Ο/Γ πλοίων είναι μεγάλη, αλλά μικρότερη από αυτήν των επιβατών και οχημάτων δηλαδή τα πλοία κινούνται με μικρότερους βαθμούς πληρότητας τον χειμώνα από το καλοκαίρι. Σύμφωνα με διαθέσιμα στοιχεία για το 1992, η μεγαλύτερη διακίνηση παρουσιάζεται τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο, κατά τους οποίους παρατηρείται το 30% του ετήσιου αριθμού καταπλόων.

Τα εμπορικά πλοία έχουν μέσο ρυθμό άφιξης της τάξης των 30-40 τον μήνα, με μέγιστο 50 αφίξεις τον μήνα.

#### **3.4.4 ΚΙΝΗΣΗ ΕΠΙΒΑΤΩΝ**

Ο αριθμός των αποβιβαζομένων επιβατών στον λιμένα από το 1960 έως το 1990 παρουσιάζει σημαντική αυξητική τάση. Ειδικότερα, έως το 1975 η διακίνηση κυμαίνεται σε μικρά επίπεδα (με αριθμό αποβιβαζόμενων επιβατών της τάξεως των 50000 ετησίως), ενώ μετά το 1975 παρατηρείται απότομη άνοδος η οποία συνεχίζεται μέχρι το 1990 (με αριθμό αποβιβαζόμενων επιβατών της τάξεως των 400000 ετησίως). Οι αποβιβαζόμενοι επιβάτες προέρχονται από τα Ο/Γ και Ε/Γ δηζελόπλοια (Δ/Π) ακτοπλοϊκής διακίνησης αφενός και από τα πετρελαιοκίνητα σκάφη (Π/Κ) τοπικών διαδρομών αφετέρου.

Την μεγαλύτερη διακίνηση παρουσιάζουν βέβαια οι μήνες Ιούλιος και Αύγουστος, κατά τους οποίους οι αφίξεις αντιστοιχούν περίπου στο 58% της συνολικής ετήσιας διακίνησης.

#### **3.4.5 ΔΙΑΚΙΝΗΣΗ ΟΧΗΜΑΤΩΝ**

Τα αποβιβαζόμενα οχήματα ακολουθούν την ίδια αυξητική τάση με αυτή των πλοίων και των επιβατών που αναφέρθηκε παραπάνω. Σύμφωνα με στοιχεία της ΕΣΥΕ, η κίνηση των οχημάτων αυξάνεται συνεχώς από το 1960, με απότομη άνοδο μετά το 1975. Από στοιχεία του Λιμεναρχείου Πάρου προκύπτει ότι ο μέσος αριθμός οχημάτων ανά Ο/Γ πλοίο είναι της τάξεως των 50-100 κατά τους θερινούς μήνες. Επίσης από τα ίδια στοιχεία φαίνεται μία μεγάλη αύξηση της αναλογίας των δικύκλων και μία μικρή πτώση των επιβατικών, ενώ τα φορτηγά παραμένουν στα ίδια επίπεδα.



Η εποχιακή διακύμανση των αφίξεων των επιβατικών οχημάτων ακολουθεί αυτή των πλοίων και επιβατών στο λιμάνι της Πάρου, που λόγω της μεγάλης αύξησης του τουρισμού. Έτσι το μέγιστο ποσοστό των αποβιβασθέντων εμφανίζεται κατά τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο. Συγκεκριμένα υπολογίζεται ότι τους μήνες αυτούς διακινούνται ημερησίως περίπου 1350 οχήματα (κατά μέσο όρο 110 οχήματα την ώρα).

### **3.4.6 ΔΙΑΚΙΝΗΣΗ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΩΝ**

Τα εμπορεύματα που διακινούνται στο λιμένα της Παροικίας αποτελούνται κατά κύριο λόγο:

- Υλικά οικοδομών (τσιμέντο, τούβλα κλπ.) που εκφορτώνονται σε παλέτες
- Λατομικά υλικά (αμμοχάλικα και μαρμαρόσκονη), που φορτώνονται χύδην
- Καύσιμα, που εκφορτώνονται από πετρελαιοφόρα
- Λίπασμα και είδη γενικού εμπορίου (κρασί, λάδι κ.α. τρόφιμα), που μεταφέρονται με φορτηγά αυτοκίνητα.

Τα χύδην οικοδομικά υλικά καθώς και τα υγρά καύσιμα, διακινούνται στην εξωτερική πλευρά του προσήνεμου τεθλασμένου μόλου του λιμένα αλιευτικών σκαφών και σκαφών αναψυχής. Η φόρτωση των χύδην υλικών γίνεται με γερανό και κουβά χωρίς κανένα σύστημα κατακράτησης των λεπτόκοκκων αυτών υλικών από τον αέρα, ενώ η εκφόρτωση των υγρών καυσίμων γίνεται απευθείας από το πετρελαιοφόρο με σωλήνα σε βυτία.

Τα φορτία σε παλέτες διακινούνται είτε με φορτηγά αυτοκίνητα με το σύστημα Ro-Ro που εξυπηρετούνται στον προβλήτα Ο/Γ, είτε με εμπορικά πλοία που αγκυροβολούν στην δυτική πλευρά του προβλήτα Ο/Γ και εκφορτώνουν στην περιοχή αυτή. Τα λοιπά είδη μεταφέρονται με φορτηγά μέσω των Ο/Γ πλοίων.

Από το 1960 παρατηρείται μια αυξητική τάση στην οποία μετά το 1975 είναι έντονη. Η αυξανόμενη διακίνηση αυτή οφείλεται, όπως προαναφέρθηκε στις προηγούμενες παραγράφους, στην αύξηση του τουρισμού, συνεπώς και στην αύξηση της οικοδομικής δραστηριότητας και λοιπών παραγωγικών δραστηριοτήτων.





### **3.5 ΦΥΣΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ**

#### **3.5.1 ΑΝΕΜΟΙ**

Τα ανεμολόγια είναι από τον μετεωρολογικό σταθμό της Πάρου

1. Η συχνότητα εμφάνισης Β ανέμων είναι σημαντική, 38% του μέσα στο έτος που φθάνει σε 60% του χρόνου τον μήνα Αύγουστο. Η μέγιστη μετρηθείσα ένταση ανέμου είναι 10 Beaufort, με συχνότητα 0,011% του χρόνου που αντιστοιχεί σε 1 φορά στα 10 χρόνια περίπου. Σύμφωνα με τα στοιχεία αυτά, άνεμοι μεγαλύτεροι ή ίσοι των 6 Beaufort εμφανίζονται από την κατεύθυνση αυτή το καλοκαίρι με συχνότητα 4,32% του χρόνου ήτοι περίπου 4 φορές τον μήνα.
2. Η συχνότητα εμφάνισης των ΒΔ ανέμων είναι αξιόλογη, 13,2% του χρόνου μέσα στο έτος και 12,6% του χρόνου τον Αύγουστο. Η μέγιστη μετρηθείσα ένταση ανέμου είναι 8 Beaufort, με συχνότητα 0,011% του χρόνου που αντιστοιχεί σε 1 φορά στα 10 χρόνια περίπου. Ένταση πνοής μεγαλύτερη ή ίση των 5 Beaufort παρατηρείτε 0,877% του ήτοι περίπου 10 φορές τον χρόνο.
3. Η συχνότητα εμφάνισης Δ ανέμων είναι σχετικά μικρή, 7,6% του χρόνου μέσα στο έτος που φθάνει σε 10% του χρόνου τον μήνα Αύγουστο. Η μέγιστη μετρηθείσα ένταση ανέμου είναι 8 Beaufort, με συχνότητα 0,011% του χρόνου που αντιστοιχεί σε 1 φορά στα 10 χρόνια περίπου. Ένταση πνοής μεγαλύτερη ή ίση των 5 Beaufort παρατηρείται 0,361% του χρόνου, ήτοι περίπου 5 φορές τον χρόνο.



### 3.6 ΠΑΛΙΡΡΟΙΑ

Από τα στοιχεία του παλιρροιογράφου που είναι εγκατεστημένος στον λιμένα Σύρου προκύπτει ότι η ρηχότητα είναι 0,52 μέτρα κάτω από την μέση στάθμη θάλασσας, το δε μέσο εύρος παλίρροιας είναι 5 εκατοστά.

### 3.7 ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΙ

#### 3.7.1 ΜΕΘΟΔΟΣ JONSWAP

Για τον υπολογισμό των κυματισμών στο εσωτερικό του όρμου χρησιμοποιήσαμε την μέθοδο **JONSWAP**. Οι τύποι που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι παρακάτω:

F= μήκος αναπτύγματος

$U_A$ = ταχύτητα ανέμου

$t_D$ =διάρκεια πνοής ανέμου

x=περιορισμός μήκους

$$\frac{g \cdot t_D}{U_A} > 68.8 \cdot \left( \frac{g \cdot F}{U_A} \right)^{0.66}$$

Περιορισμός μήκους

$$g \cdot \frac{H_S}{U_A} = 0.0016 \cdot \left( \frac{g \cdot x}{U_A} \right)^{0.5}$$

$$g \cdot \frac{T_P}{U_A} = 0.286 \left( \frac{g \cdot x}{U_A} \right)^{0.33}$$



### 3.8 ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΙ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΠΕΛΑΓΟΥΣ

Ο βασικός τομέας πελάγους που προσβάλλει την περιοχή του λιμένα Παροικίας Πάρου είναι ο ΒΔ (εν μέρει) έως Δ. Κυματισμοί από τον τομέα από τον ΒΔ τομέα προσβάλλουν τον λιμένα μετά από στροφή περί το ακρωτήριο Αγ. Φωκά λόγω ρήχυνσης και περίθλασης, ήτοι από Δ κατεύθυνση περίπου.

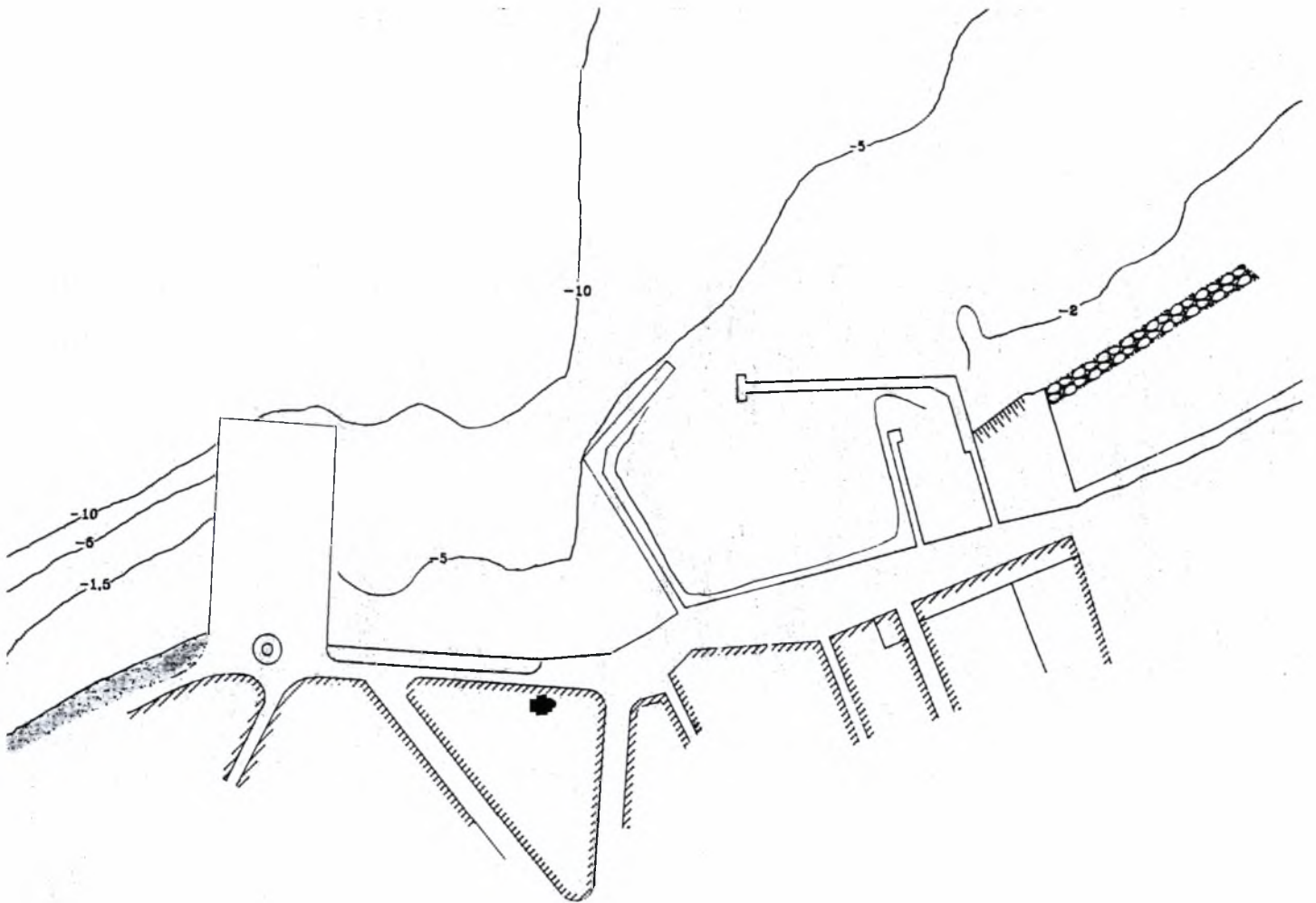
Με βάση τα στοιχεία ανέμων και τα αναπτύγματα πελάγους εκτιμήθηκαν τα χαρακτηριστικά των κυματισμών ανοικτής θαλάσσης στην περιοχή της Πάρου.

1. Οι μέγιστοι κυματισμοί από την ΒΔ κατεύθυνση, που αντιστοιχούν σε ένταση ανέμου 8 Beaufort ( και εμφανίζονται μια φορά τα 10 χρόνια ).
2. Ένταση πνοής μεγαλύτερη ή ίση των **5 Beaufort** παρατηρείται 0,877% του χρόνου 10 φορές το χρόνο. Οι υπολογισμοί γίνονται για αυτή τη ένταση, με  $H_S=1,0$  μέτρα και μήκος κύματος  $L_0=28$  μέτρα.
3. Οι μέγιστοι κυματισμοί από Δ κατεύθυνση που αντιστοιχούν σε ένταση ανέμου επίσης 8 Beaufort ( και εμφανίζονται μια φορά τα 10 χρόνια ). Ένταση πνοής μεγαλύτερη ή ίση των **5 Beaufort** παρατηρείται 0,011% του χρόνου 5 φορές το χρόνο. Οι υπολογισμοί γίνονται για αυτή τη ένταση, με  $H_S=0,88$  μέτρα και μήκος κύματος  $L_0=26$  μέτρα

### 3.9 ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΙ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΟΥ ΟΡΜΟΥ

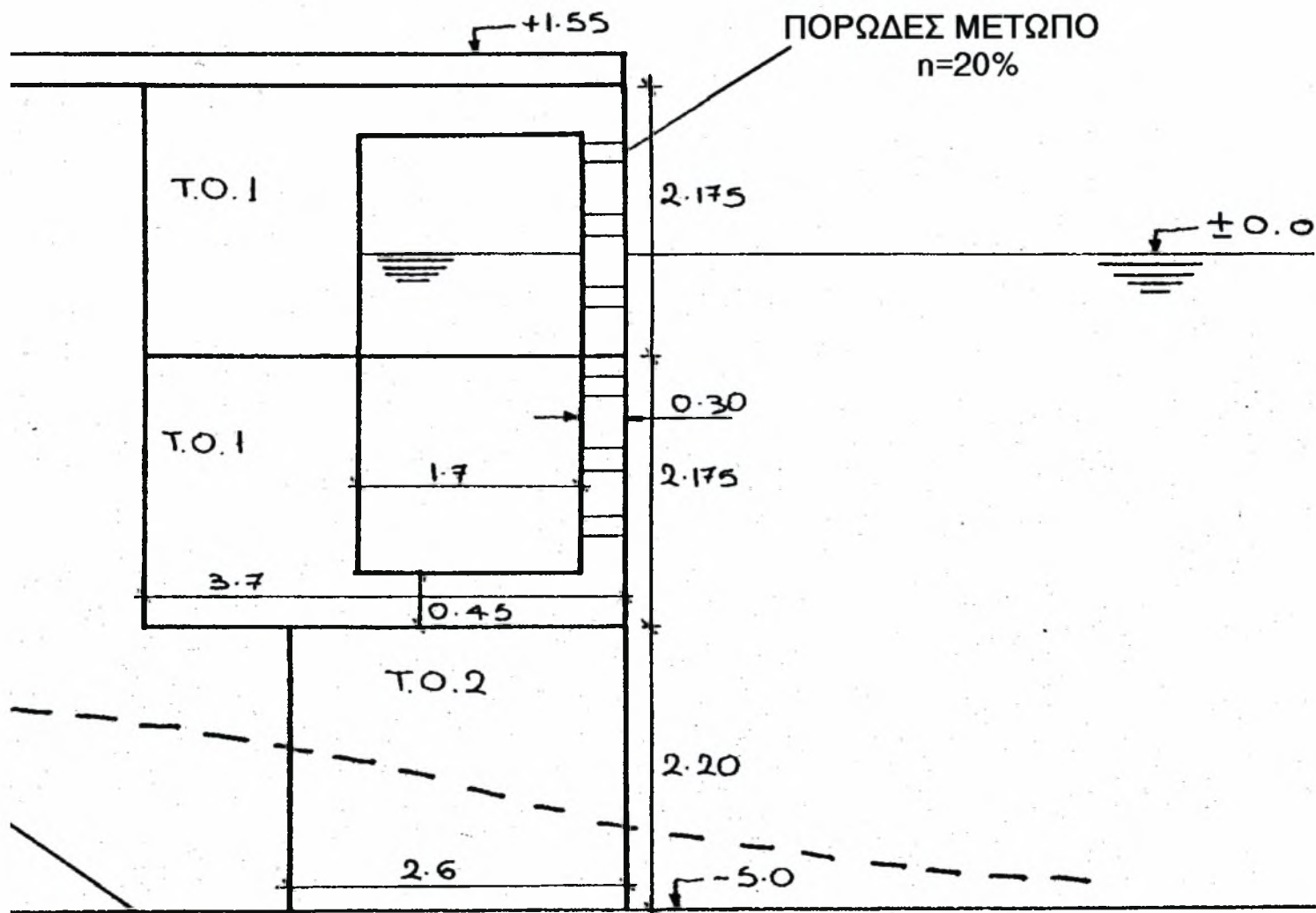
Στο εσωτερικό του όρμου αναπτύσσονται κυματισμοί μικρού σχετικά ύψους, που μπορεί όμως να επηρεάσουν δυσμενώς την λειτουργία κρηπιδωμάτων που φιλοξενούν θαλαμηγούς και μικρότερα σκάφη αναψυχής. Οι κυματισμοί από Β κατεύθυνση προσβάλλουν την περιοχή Αγ. Νικόλαου. Με βάση τα στοιχεία των ανέμων και τα αναπτύγματα στο εσωτερικό του όρμου εκτιμήθηκαν τα χαρακτηριστικά των κυματισμών στην περιοχή

1. Οι μέγιστοι κυματισμοί από την Β κατεύθυνση, που αντιστοιχούν σε ένταση ανέμου **10 Beaufort** (που εμφανίζονται μια φορά τα 10 χρόνια περίπου, με  $H_S=0,9$  μέτρα και μήκος κύματος  $L_0=29$  μέτρα



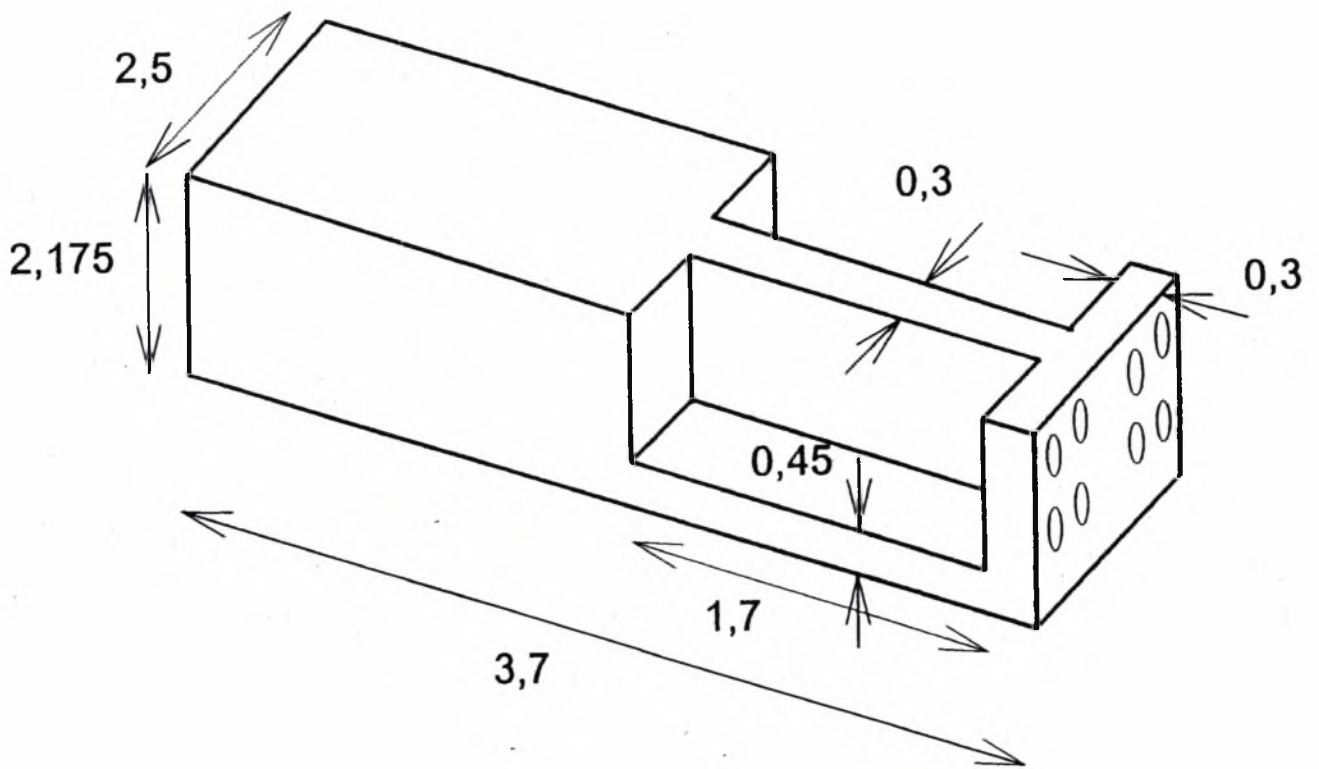
Σχήμα 2. Σχηματική αναπαράσταση του λιμένα της Παροικίας Πάρου.

Σχέδιο 3 . Απορροφητικό μέτωπο όπως αυτό μελετήθηκε στην περιοχή του Αγίου Νικολάου.



ΛΙΘΟΡΡΙΠΗ

ΠΑΝΟΥΣ



Σχέδιο 4. Λεπτομέρεια του προηγούμενου σχεδίου





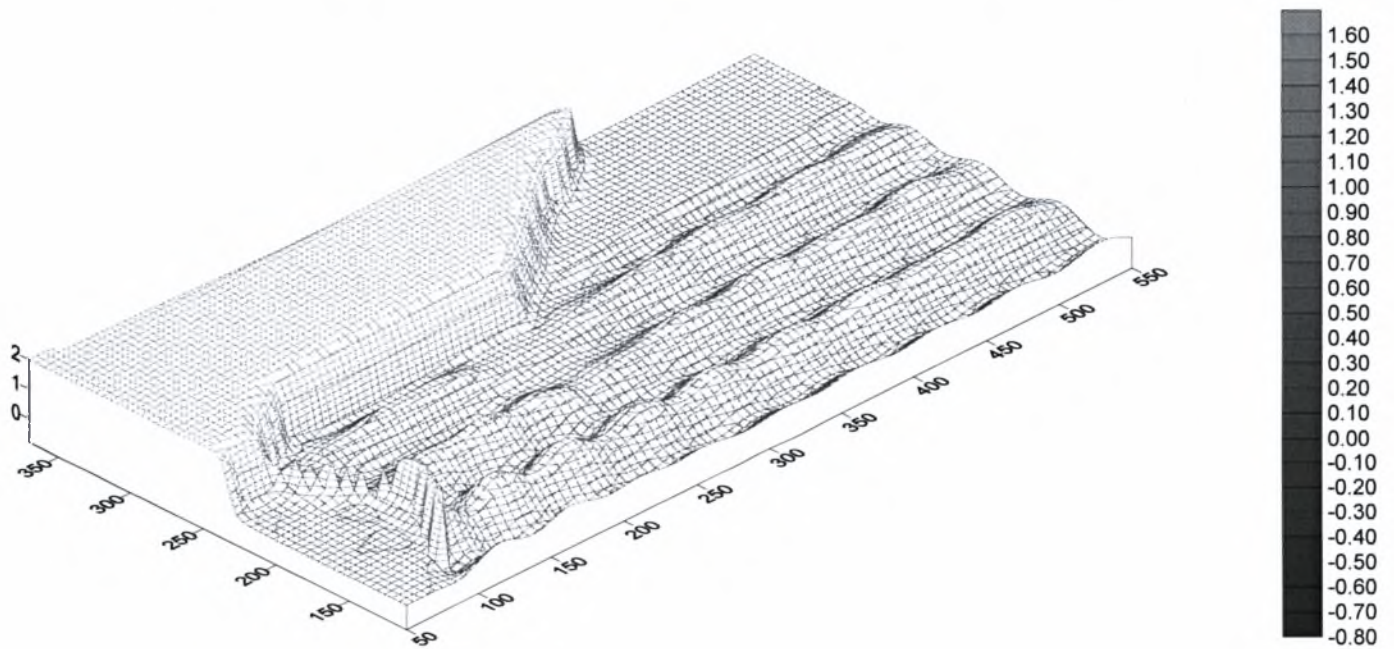
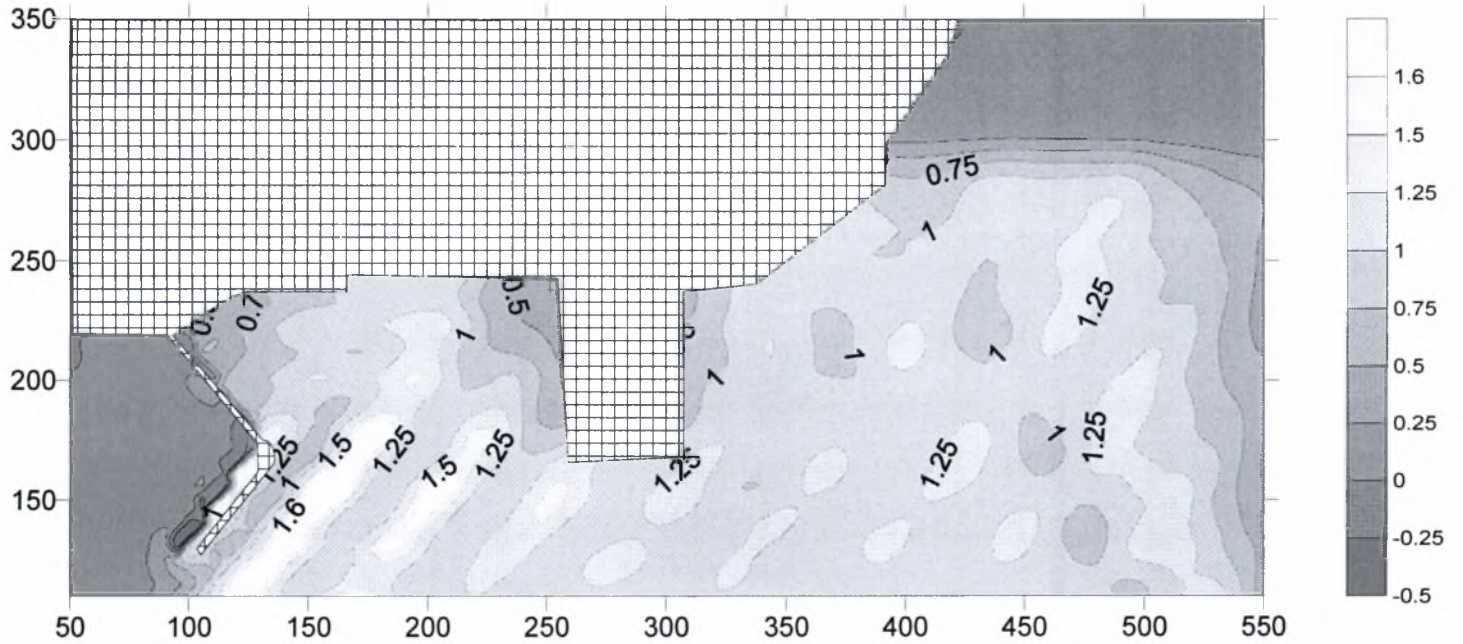
## **4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΩΝ ΤΟΙΧΩΝ ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥ**

Για να κατανοήσουμε καλύτερα όλα τα παραπάνω, σε ότι αφορά τους απορροφητικούς κρηπιδοτούχους εφαρμόσαμε τα προγράμματα που παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο, στο λιμάνι της Πάρου. Χρησιμοποιώντας λοιπόν τις βάσεις δεδομένων τους, δημιουργήσαμε διάφορα μοντέλα για διαφορετικούς απορροφητικούς κρηπιδοτούχους. Οι διαφορές στα ύψη κυμάτων για τα διαφορετικά είδη των μετόπων είναι αισθητές, πολύ δε περισσότερο οι διαφορές ανάμεσα στα απορροφητικά μέτωπα και στα μη απορροφητικά, που υπάρχουν σήμερα στο λιμάνι. Συμπεραίνουμε λοιπόν πως οι απορροφητικοί κρηπιδοτούχοι βοηθούν πάρα πολύ στην βελτίωση της κατάστασης στο εσωτερικό του λιμανιού και ανάλογα με τα ύψη κυμάτων μπορούμε να προσδιορίσουμε τα υλικά που είναι κατάλληλα για να επιτύχουμε το όσο το δυνατόν καλύτερο αποτέλεσμα.

Παρακάτω παρατίθεται ένας πίνακας που μας δείχνει ενδεικτικά για πια υλικά χαρακτηριστικά και για τι πλάτος κρηπιδώματος μπορούμε να επιτύχουμε τους συντελεστές τριβής  $f$  με τους οποίους εργαστήκαμε στα πιο κάτω σχήματα.

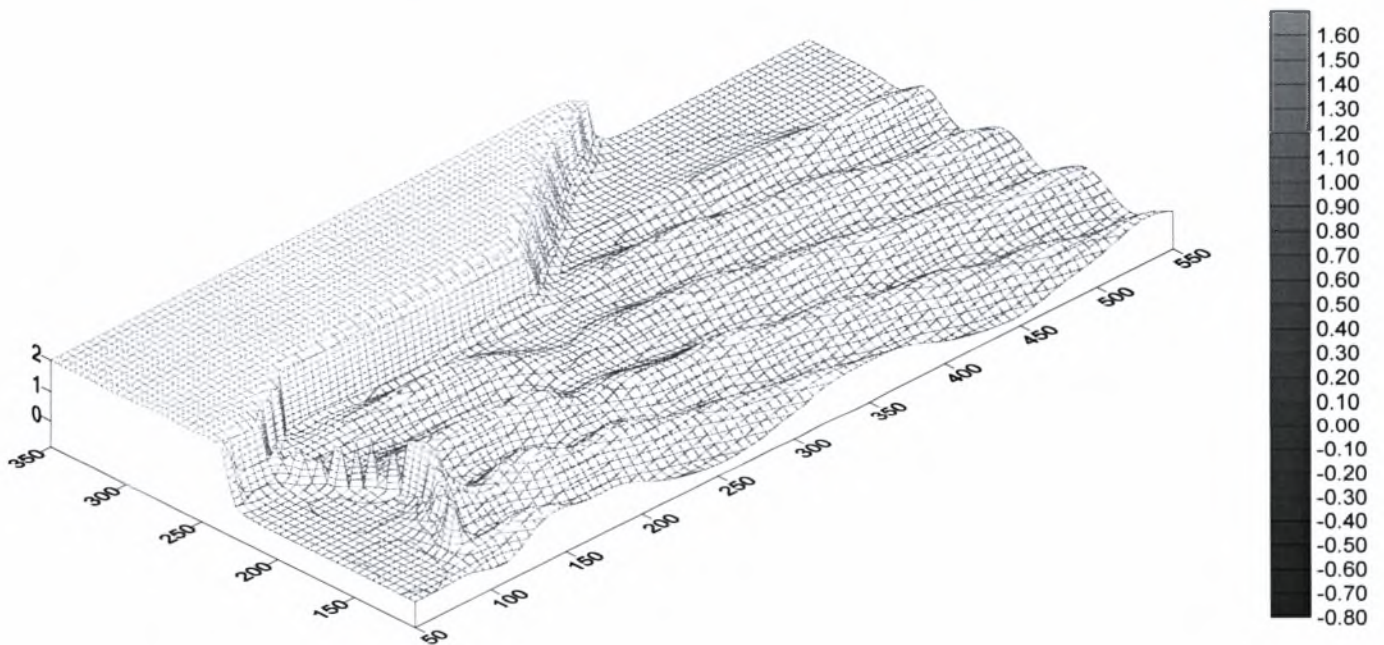
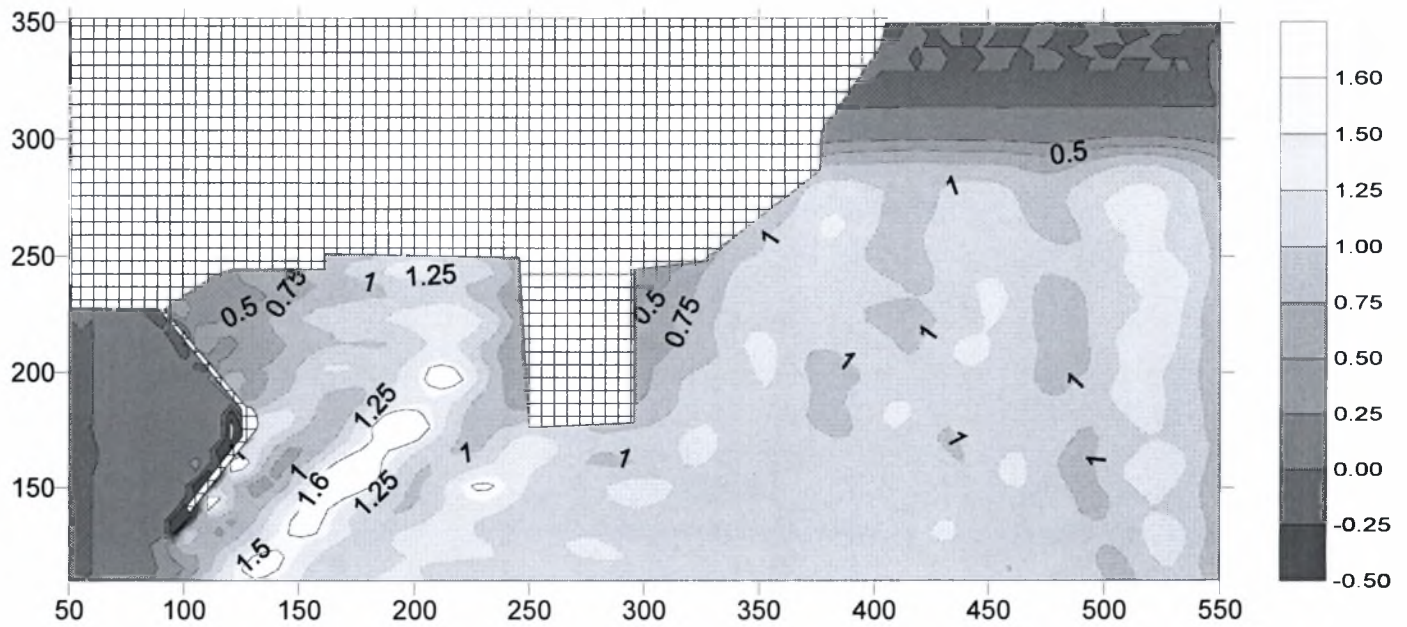
$f$	$\epsilon$	$D_{50}$	$W(m)$
0,4	0,6	0,6	2
0,6	0,6	0,6	3
0,8	0,6	0,6	4
1	0,6	0,9	10
2	0,4	0,7	10
3	0,5	0,5	5



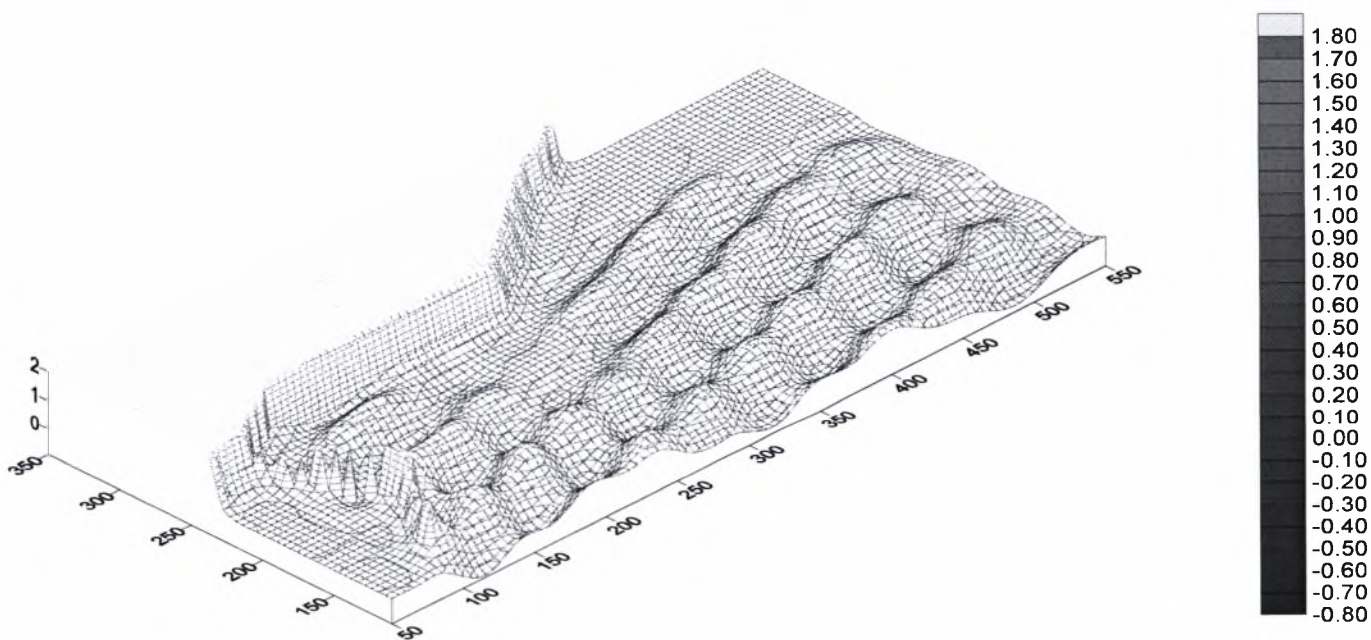
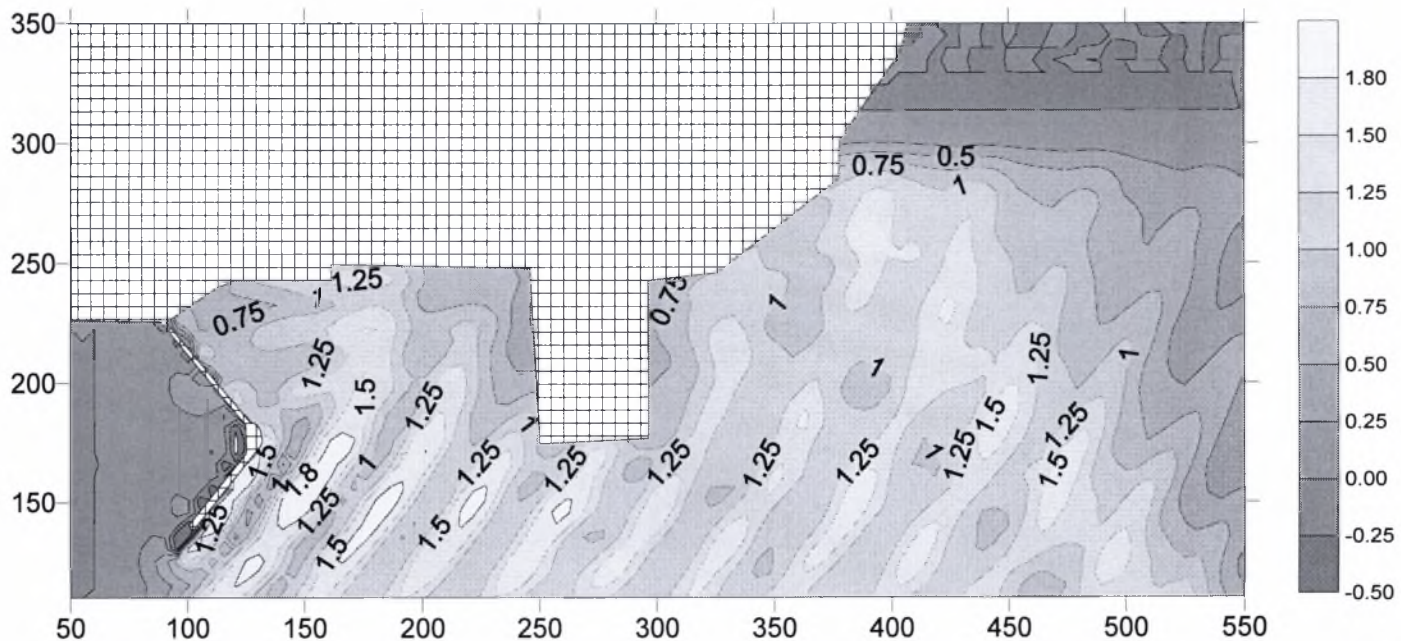


**Σχήμα 1.1.** Κυματισμοί στο λιμάνι της Πάρου για Β ανέμους και διάτρητο κρηπίδωμα με  $f=0,4$ .



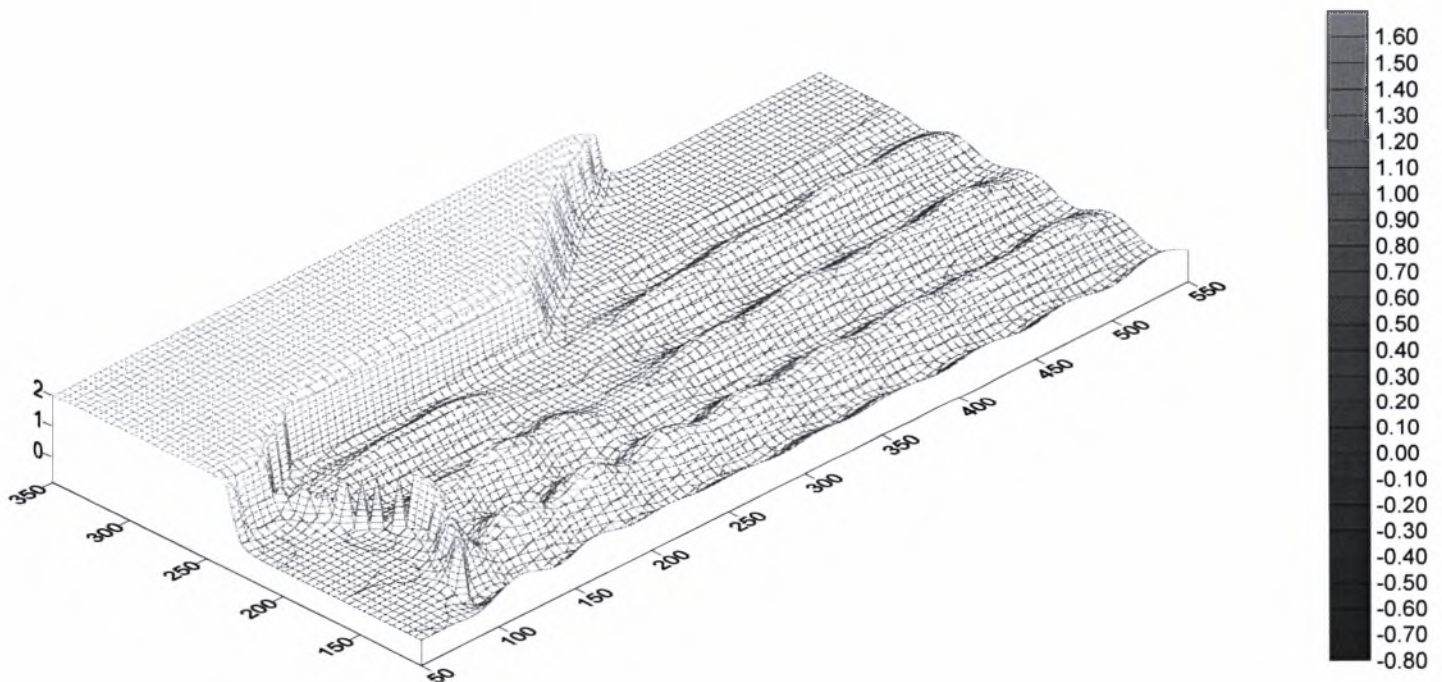
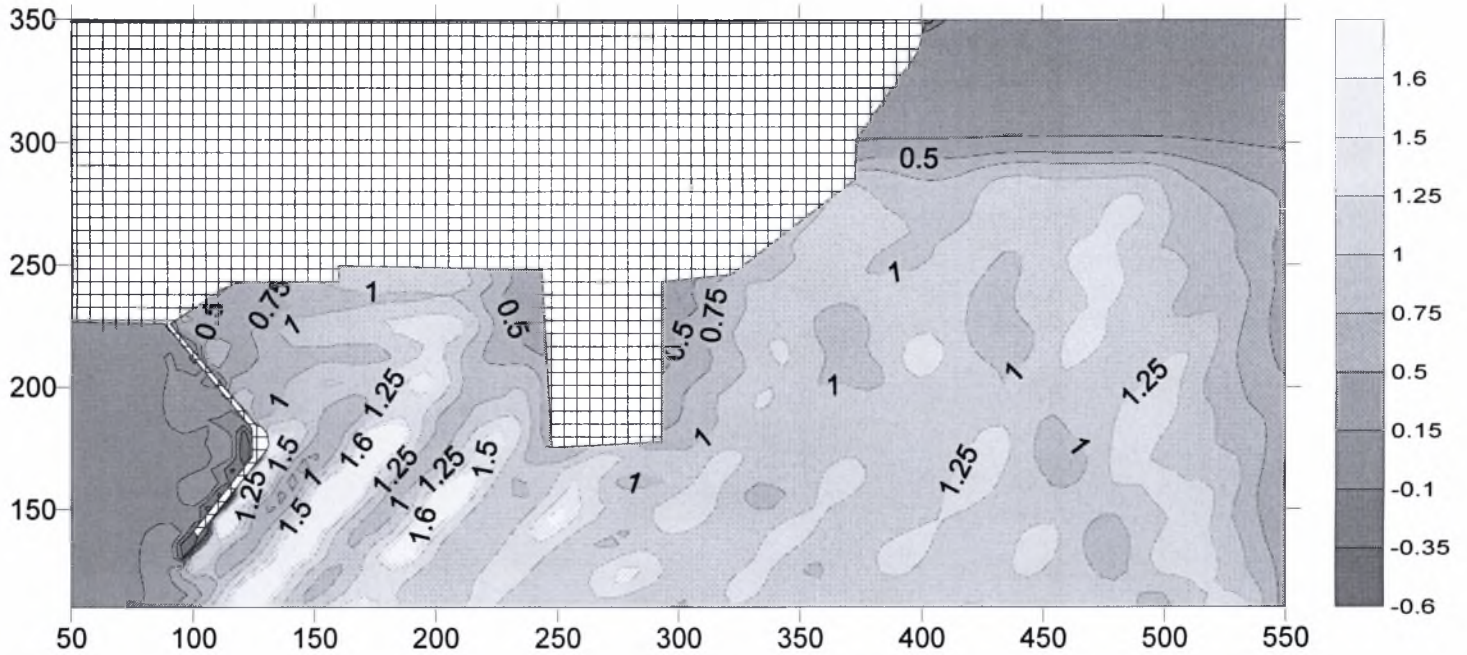


Σχήμα 1.2. Κυματισμοί στο λιμάνι της Πάρου για ΒΑ ανέμους και διάτρητο κρηπίδωμα με  $f=0,4$ .

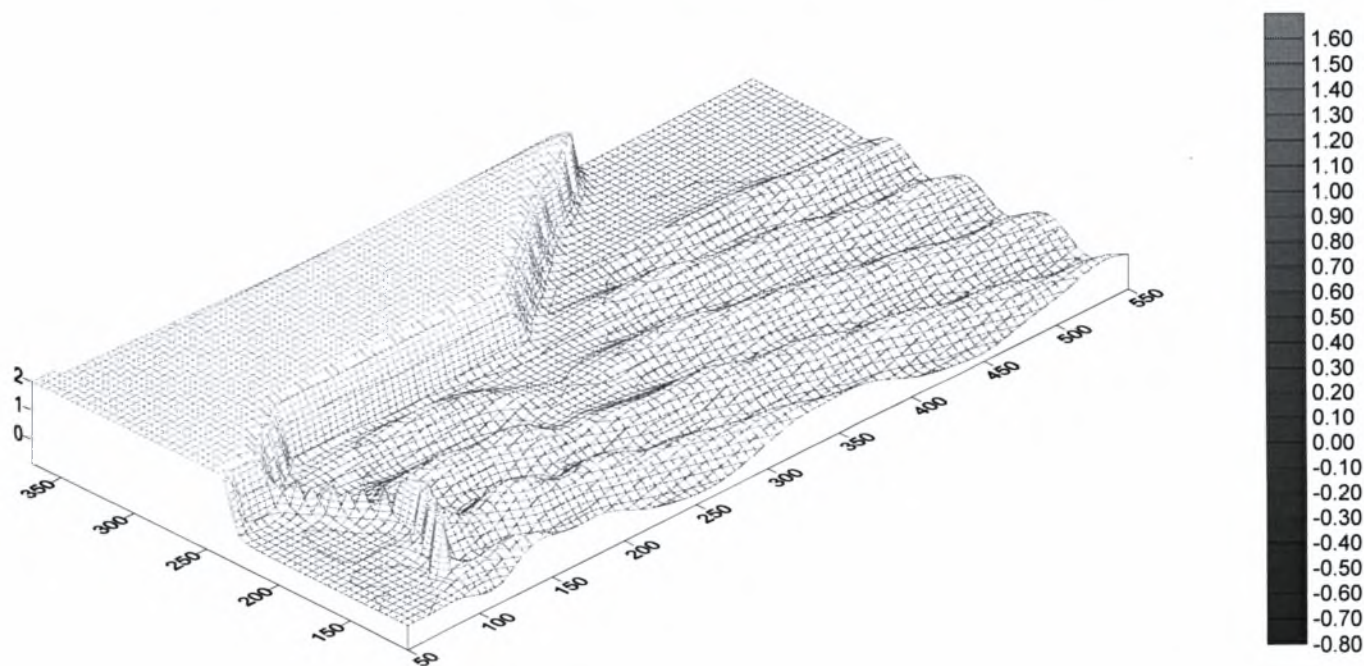
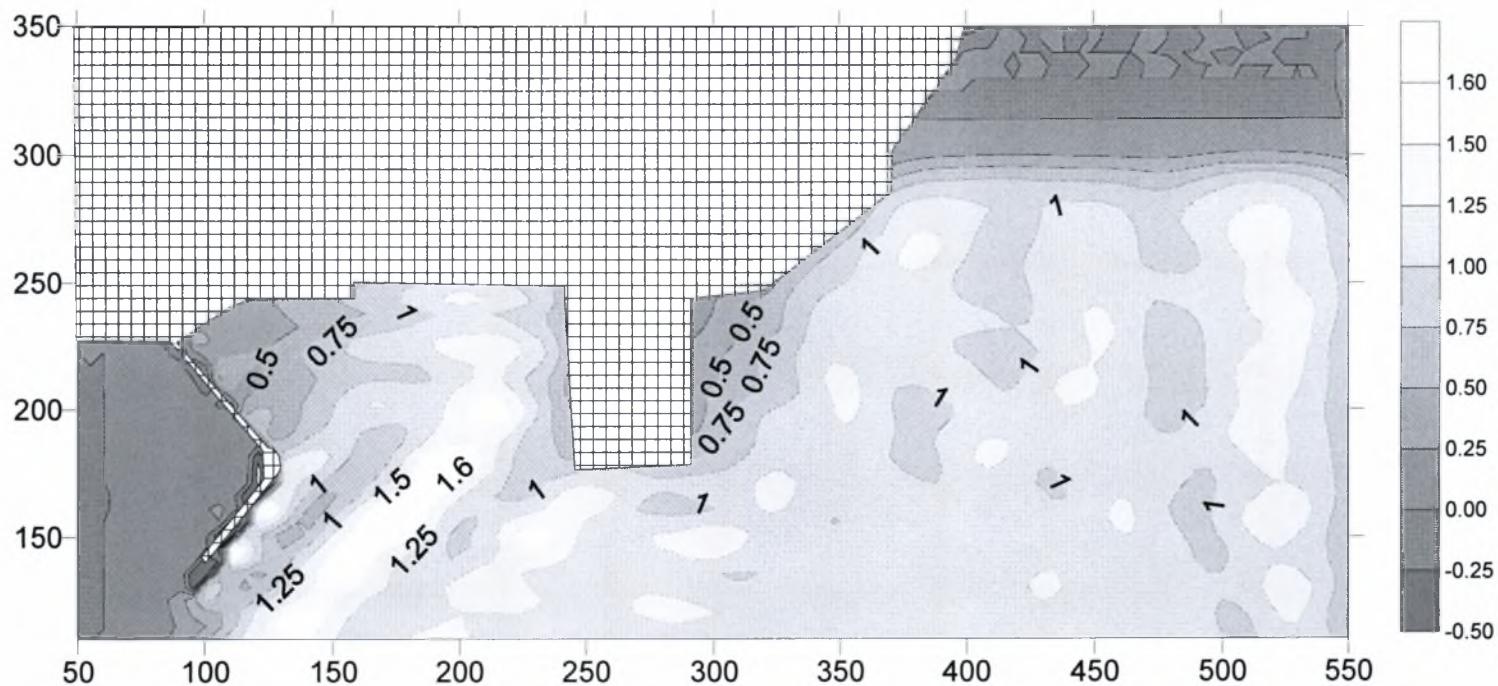


Σχήμα 1.3. Κυματισμοί στο λιμάνι της Πάρου για ΒΔ ανέμους και διάτρητο κρηπίδωμα με  $f=0,4$ .



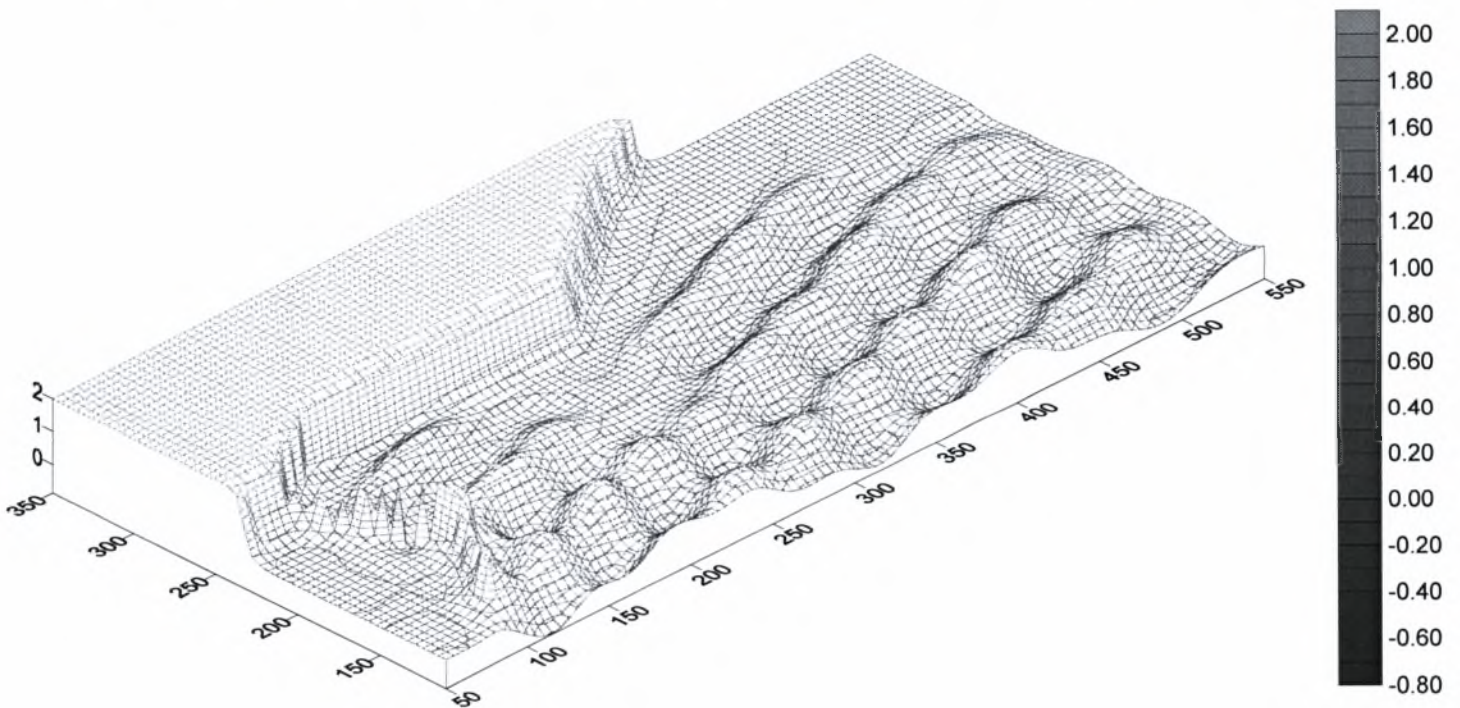
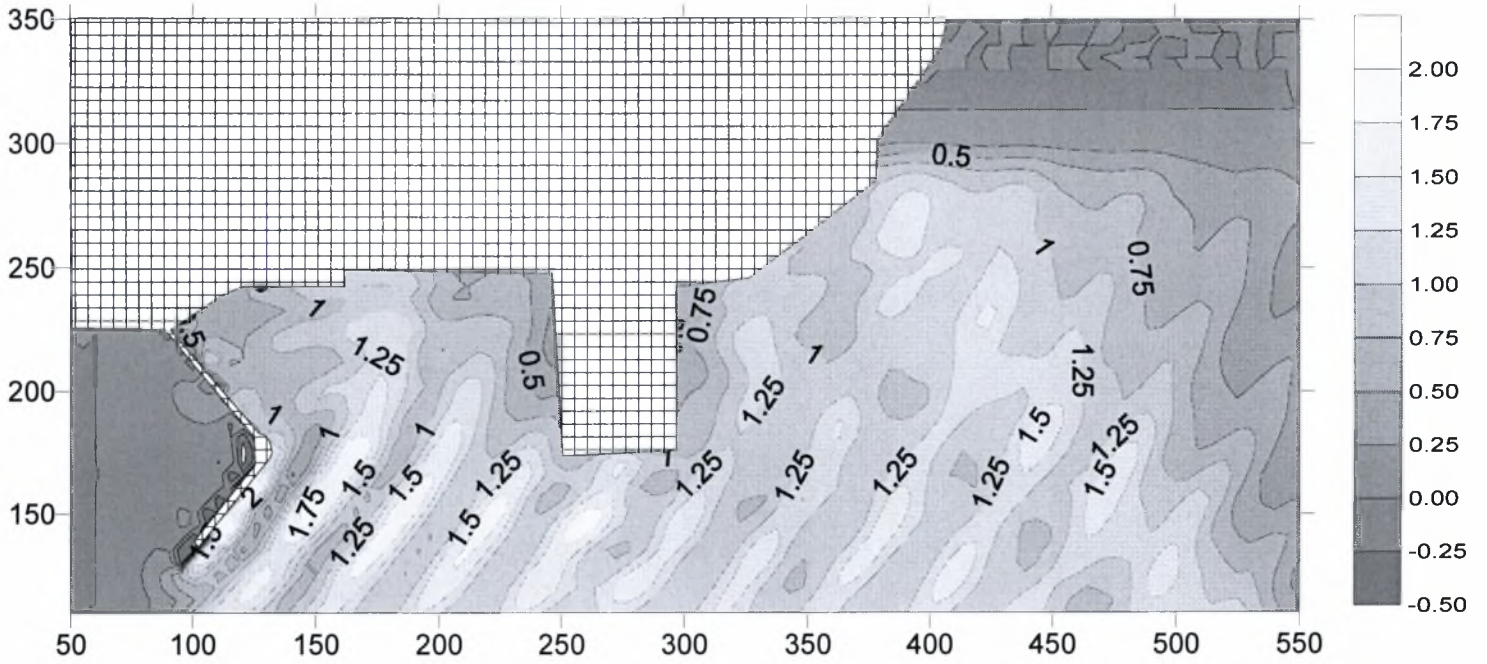


**Σχήμα 2.1.** Κυματισμοί στο λιμάνι της Πάρου για Β ανέμους και διάτρητο κρηπίδωμα με  $f=0,6$ .



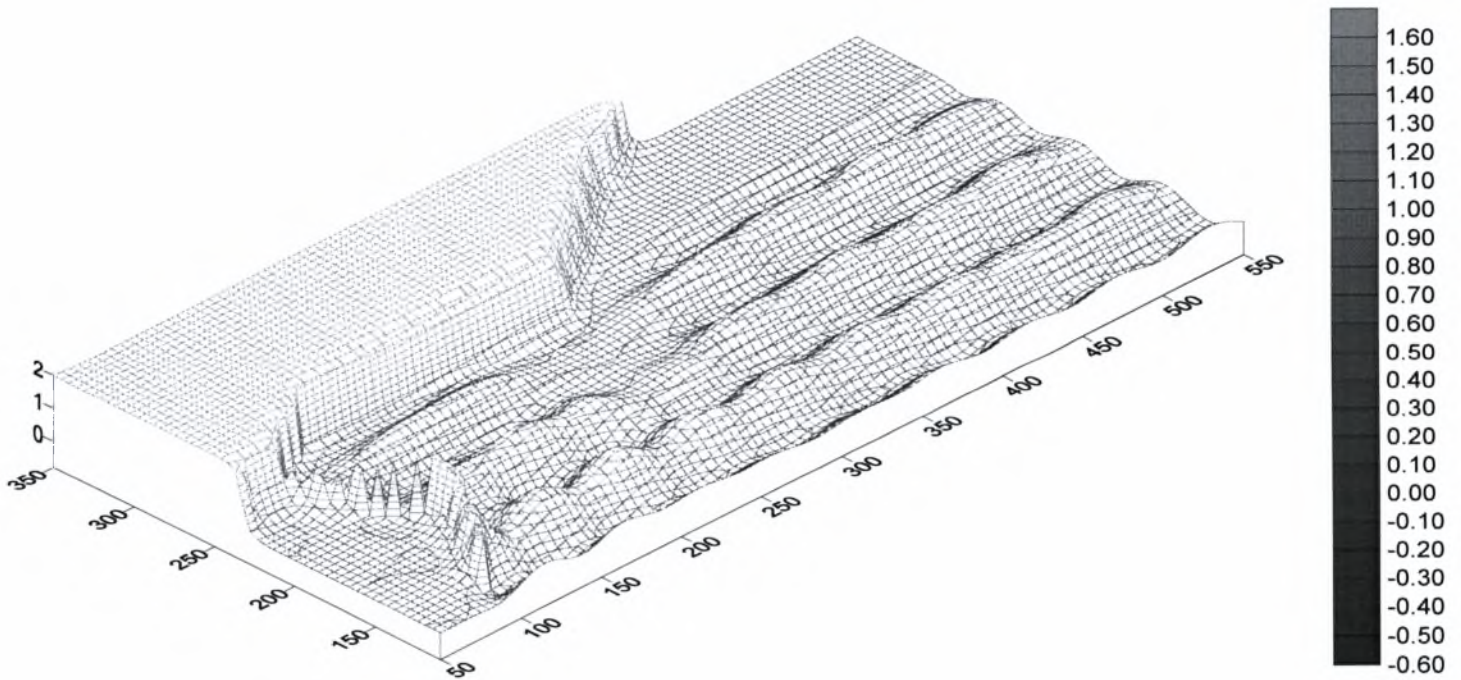
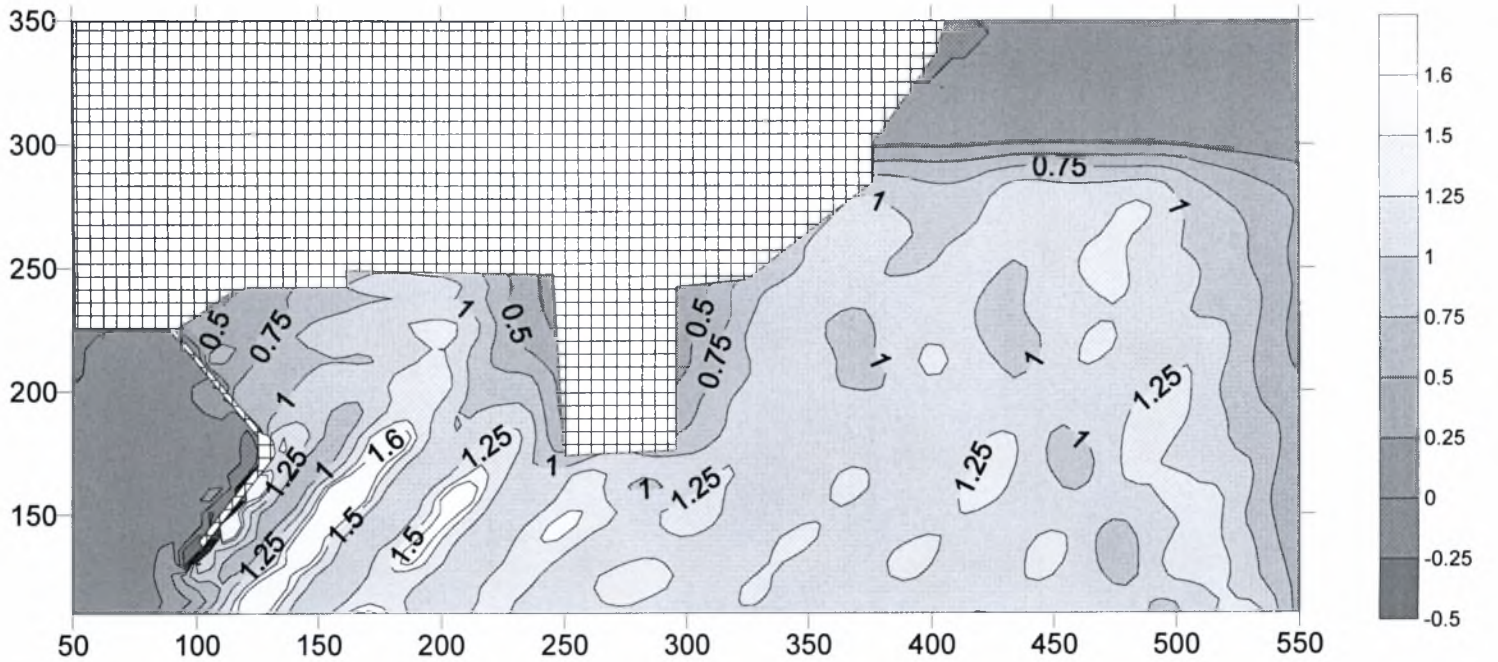
Σχήμα 2.2. Κυματισμοί στο λιμάνι της Πάρου για ΒΑ ανέμους και διάτρητο κρηπίδωμα με  $f=0,6$ .





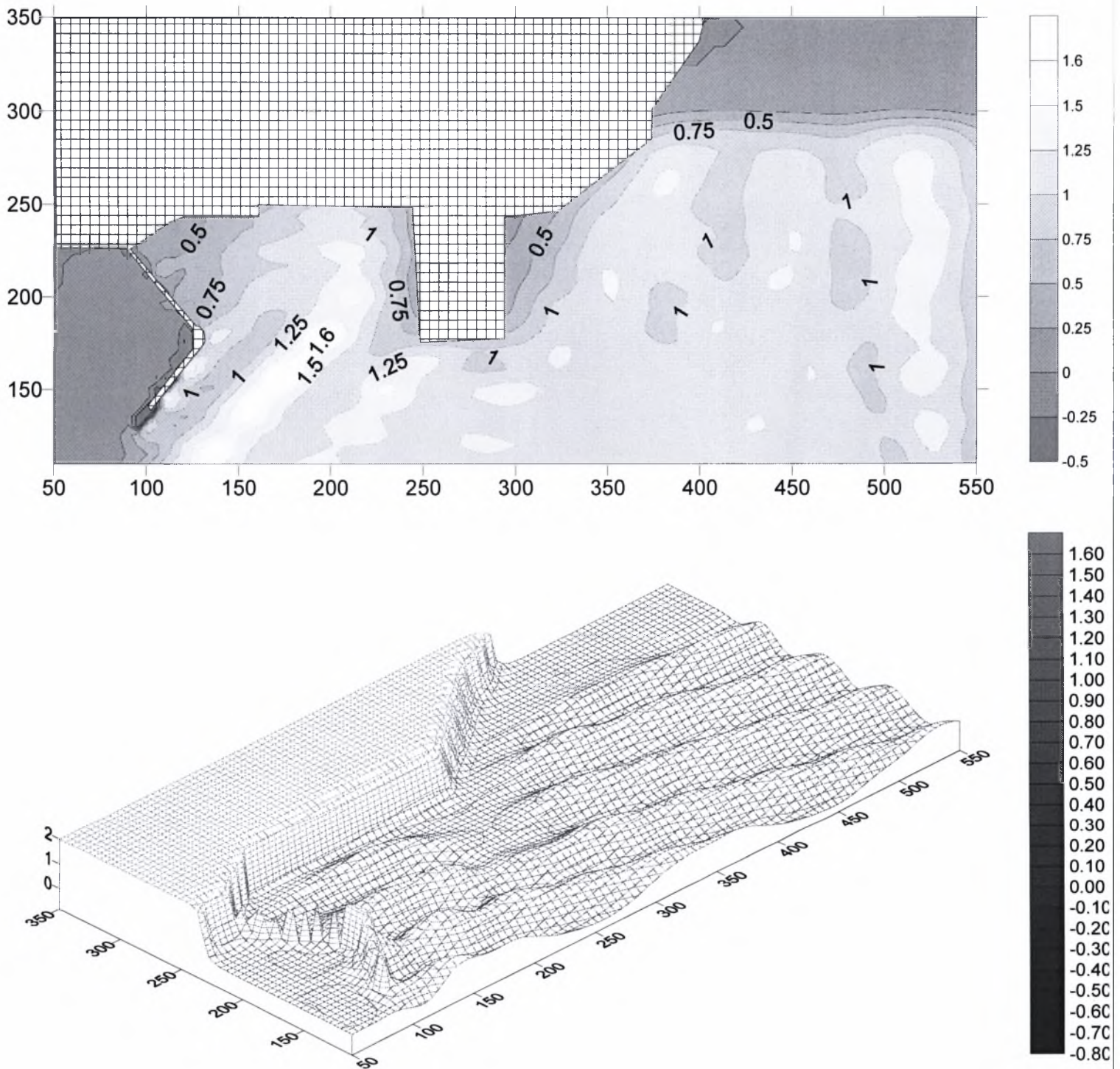
Σχήμα 2.3. Κυματισμοί στο λιμάνι της Πάρου για ΒΔ ανέμους και διάτρητο κρηπίδωμα με  $f=0,6$ .





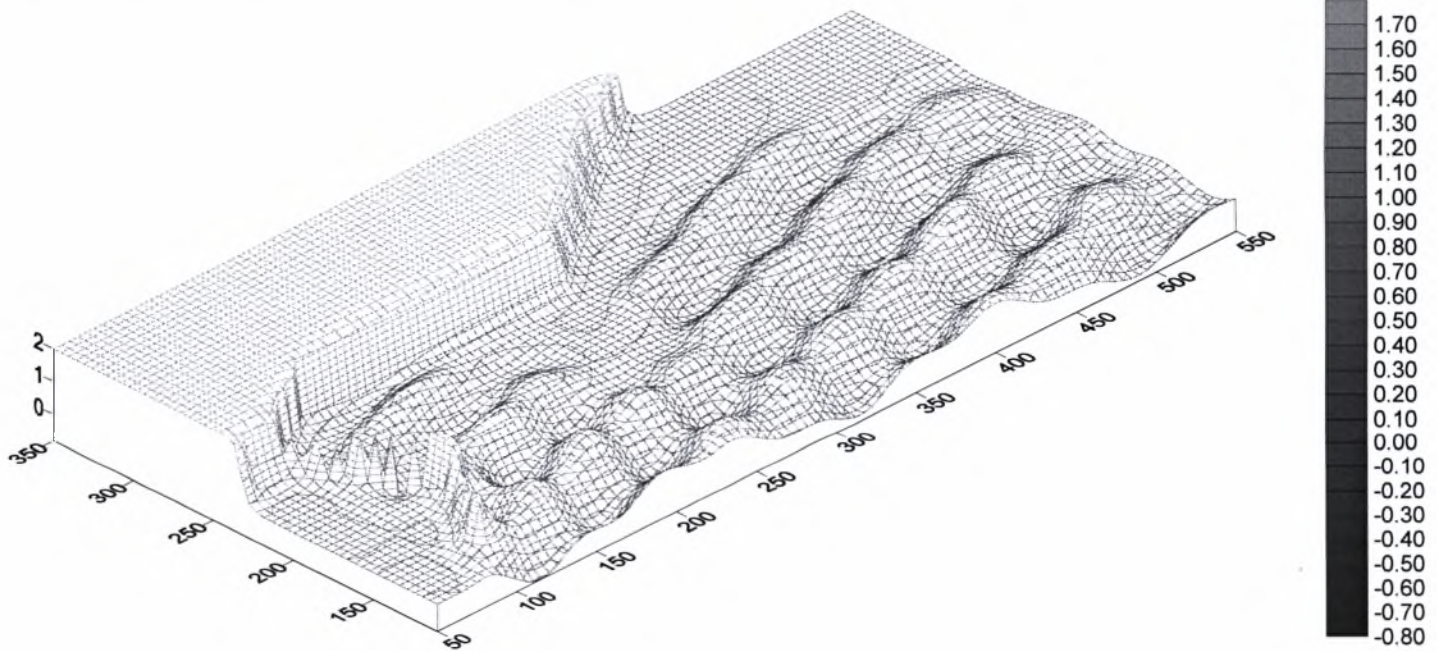
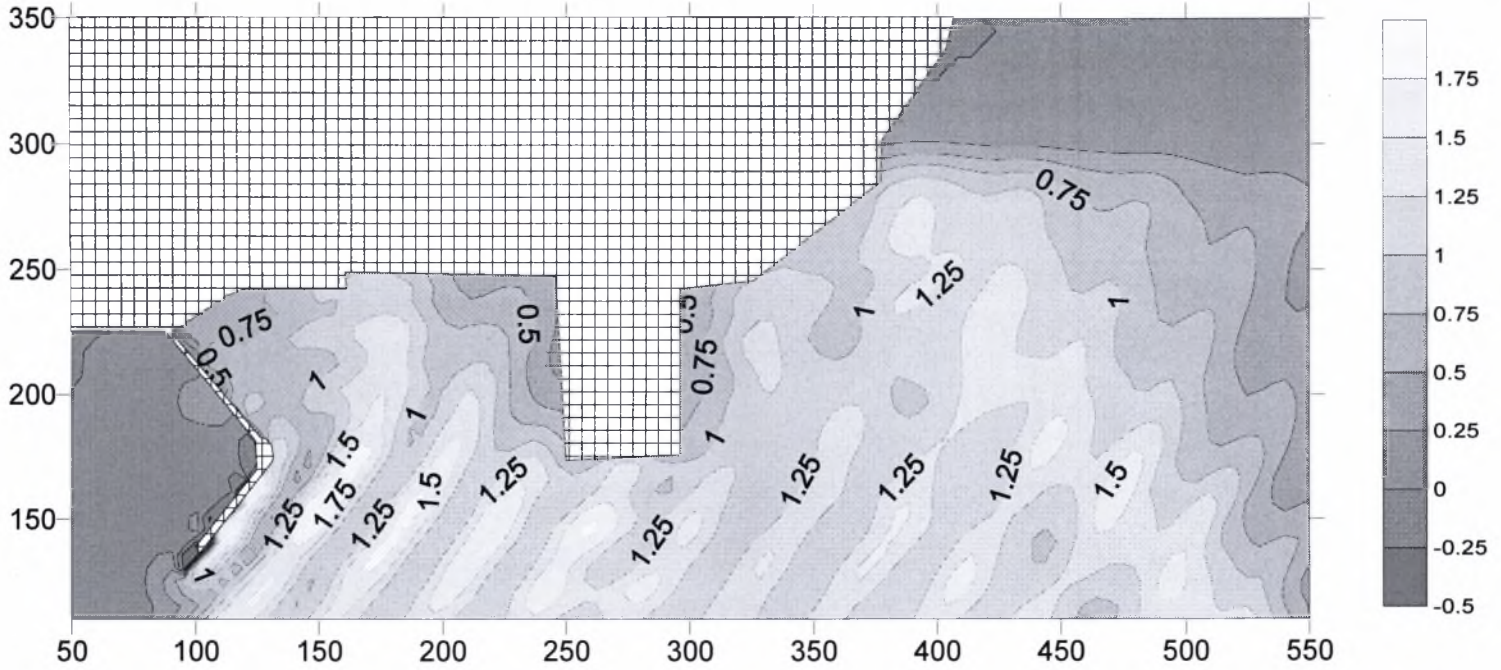
Σχήμα 3.1. Κυματισμοί στο λιμάνι της Πάρου για Β ανέμους και διάτρητο κρηπίδωμα με  $f=0,8$ .





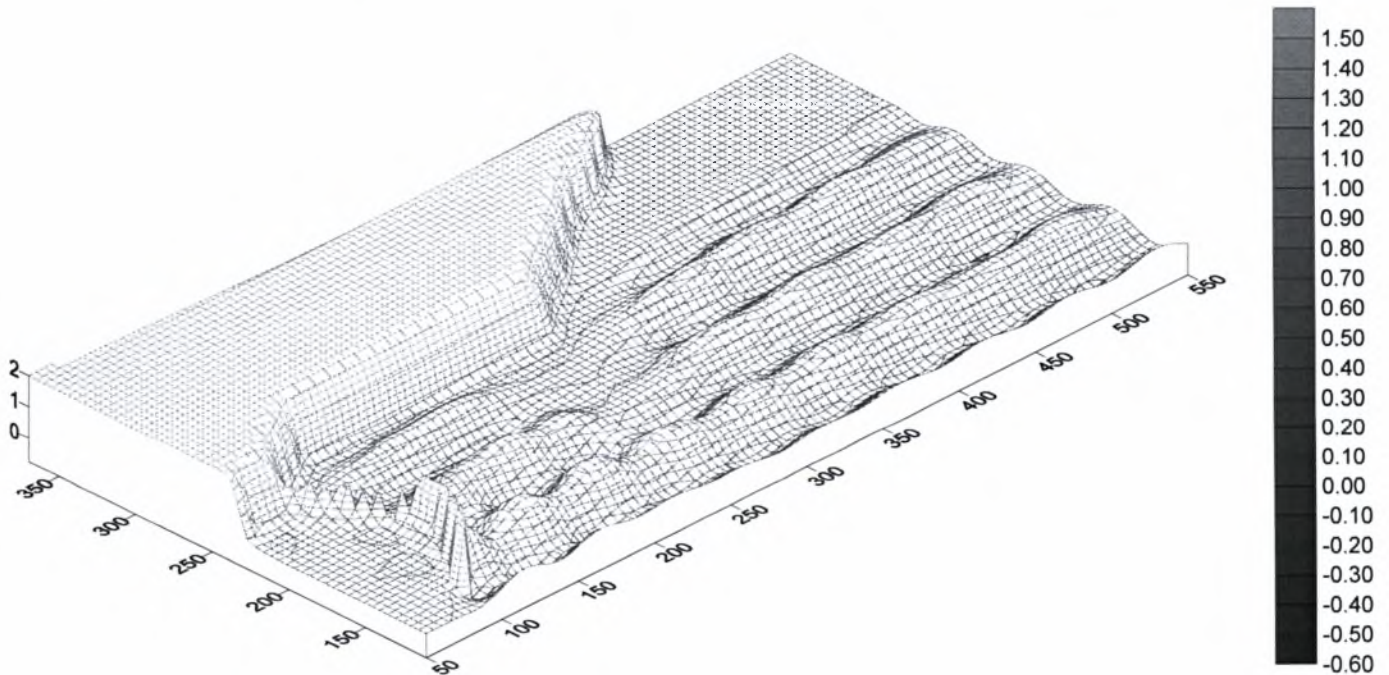
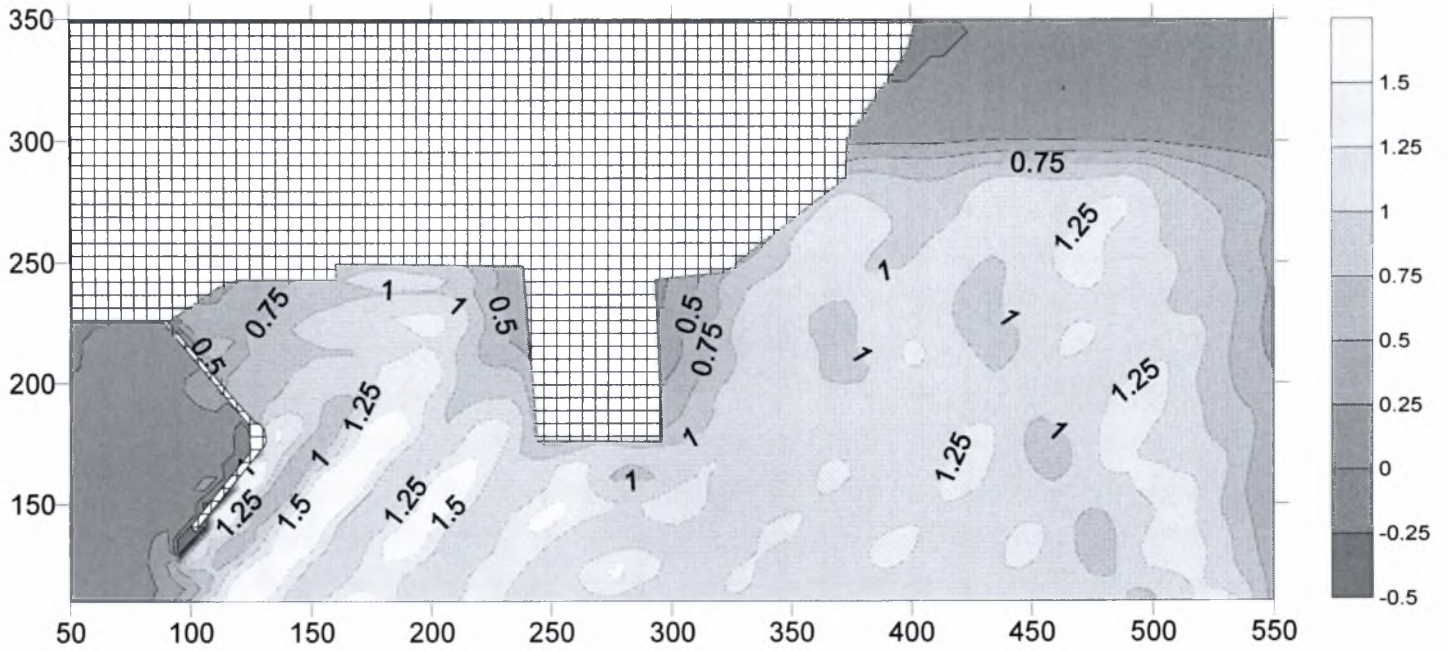
Σχήμα 3.2. Κυματισμοί στο λιμάνι της Πάρου για ΒΑ ανέμους και διάτρητο κρηπίδωμα με  $f=0,8$ .



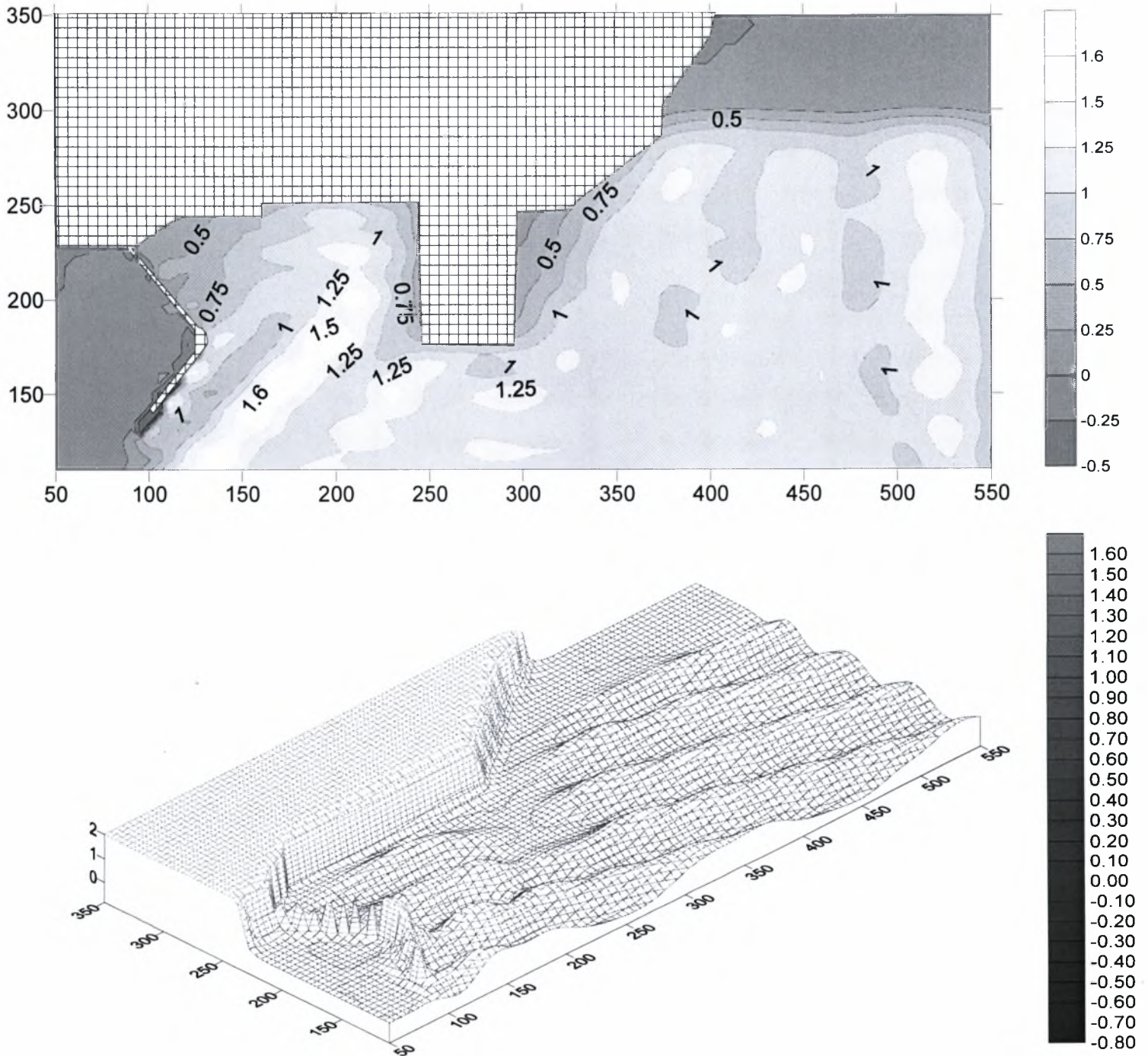


**Σχήμα 3.3.** Κυματισμοί στο λιμάνι της Πάρου για ΒΔ ανέμους και διάτρητο κρηπίδωμα με  $f=0,8$ .



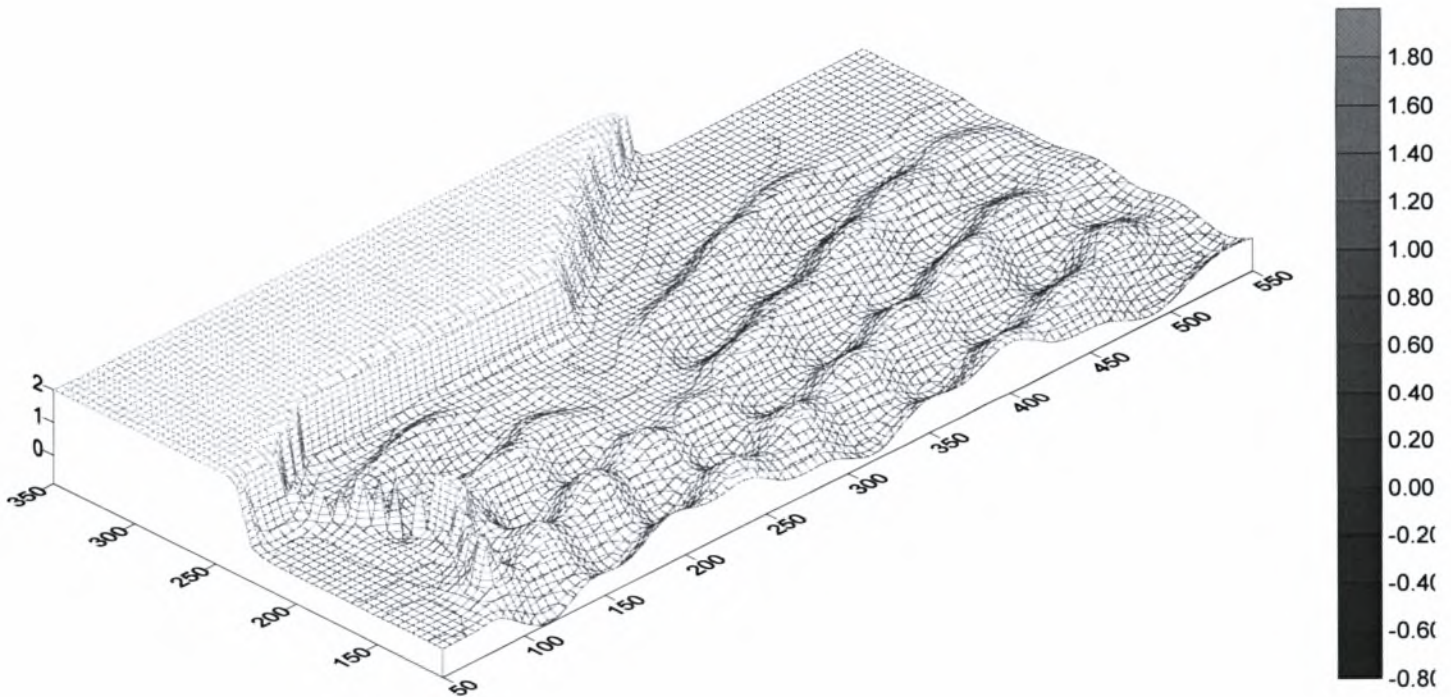
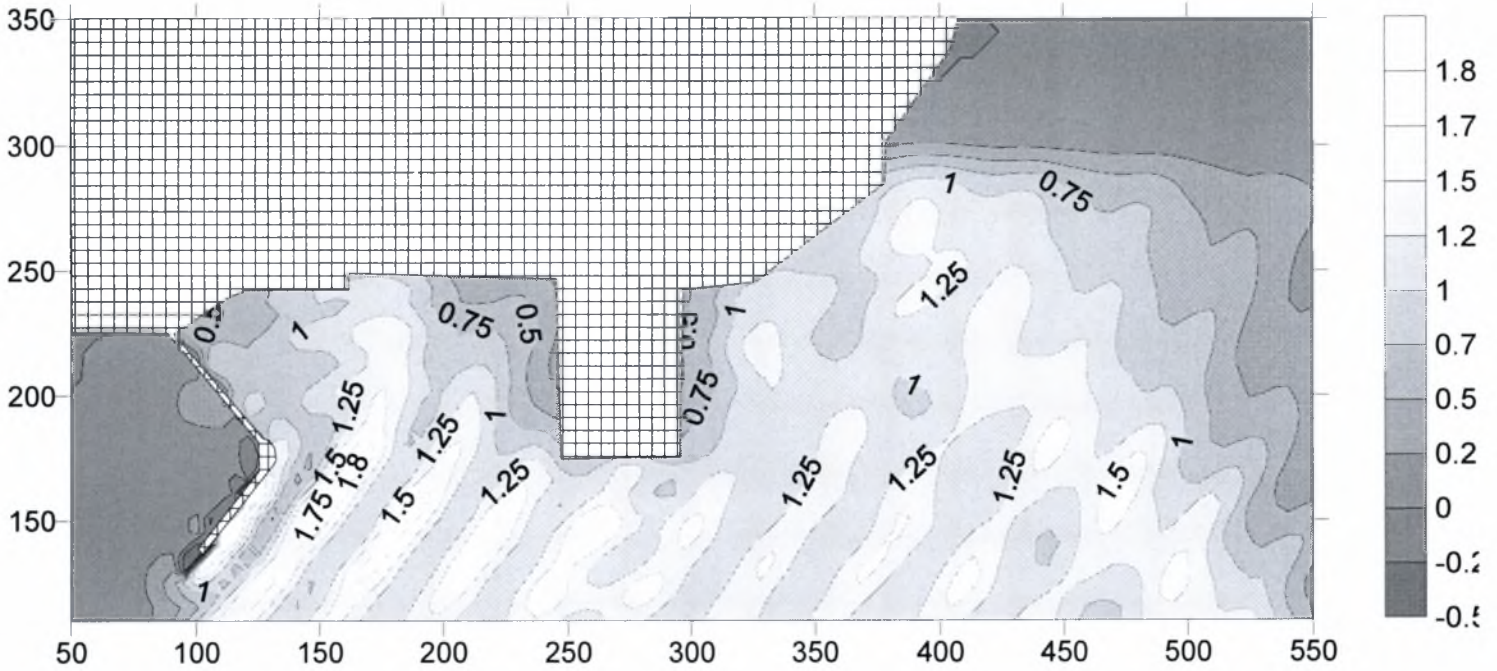


Σχήμα 4.1. Κυματισμοί στο λιμάνι της Πάρου για Β ανέμους και διάτρητο κρηπίδωμα με  $f=1$ .

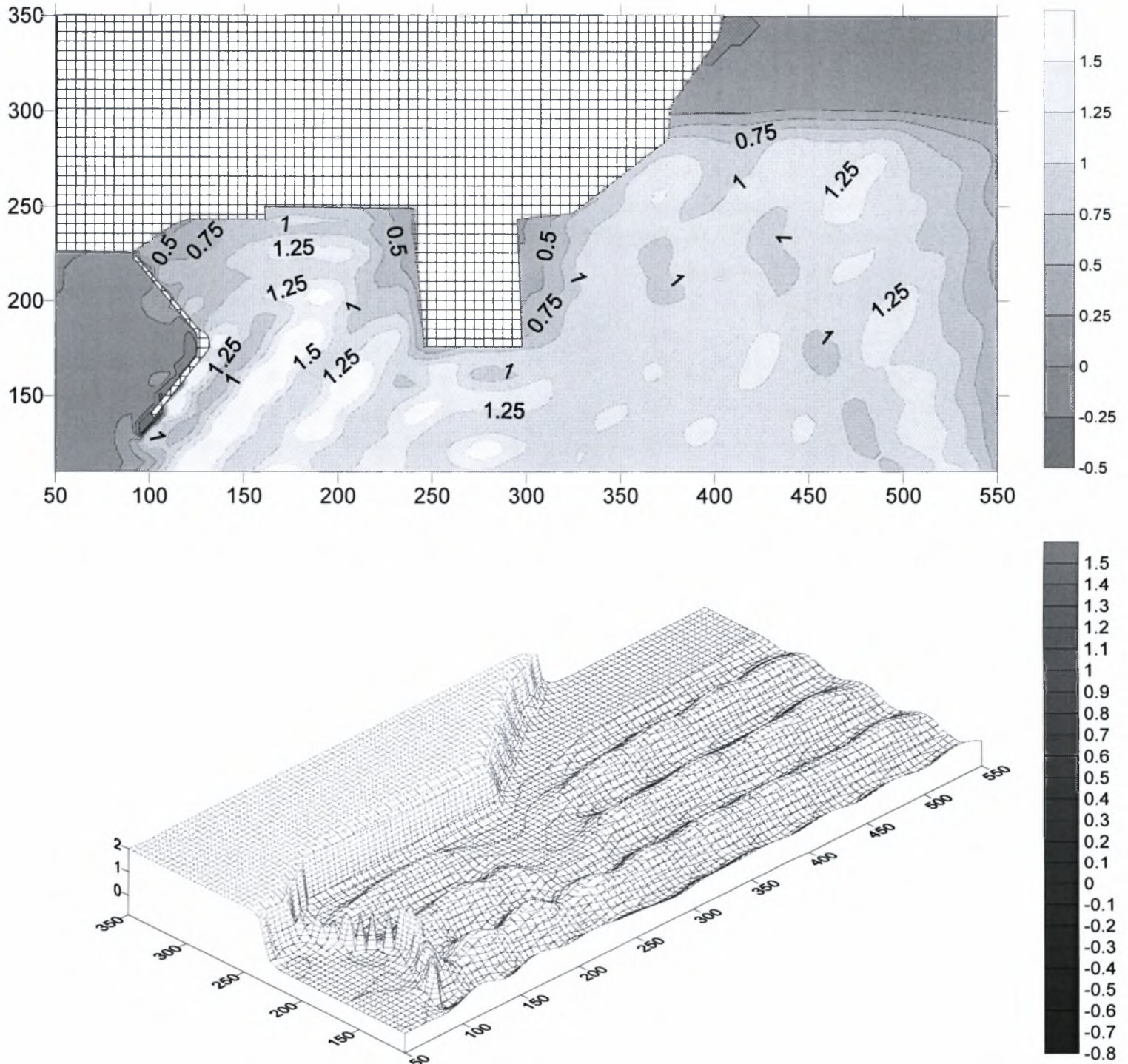


**Σχήμα 4.2.** Κυματισμοί στο λιμάνι της Πάρου για ΒΑ ανέμους και διάτρητο κρηπίδωμα με  $f=1$ .



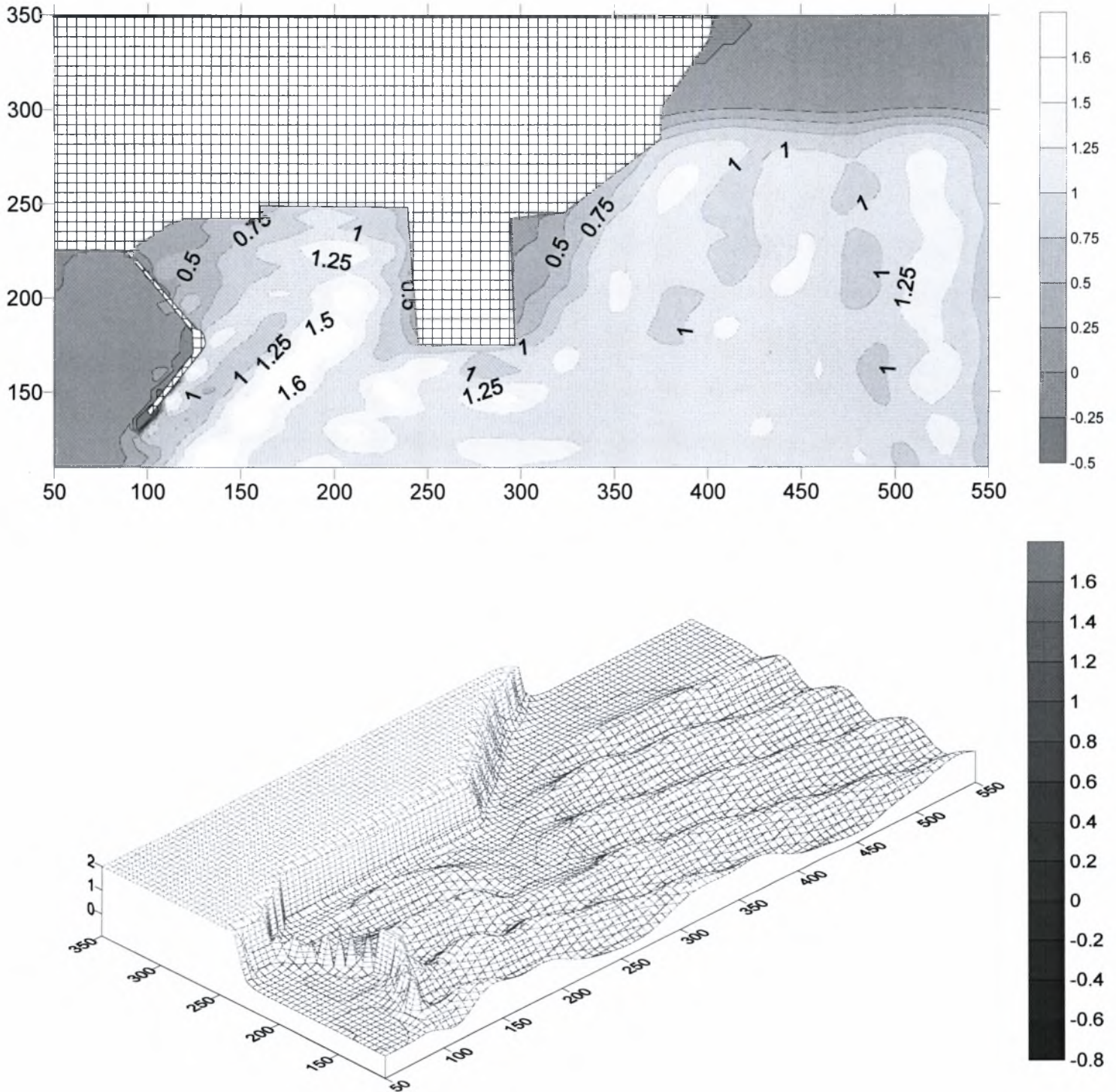


Σχήμα 4.3. Κυματισμοί στο λιμάνι της Πάρου για ΒΔ ανέμους και διάτρητο κρηπίδωμα με  $f=1$ .

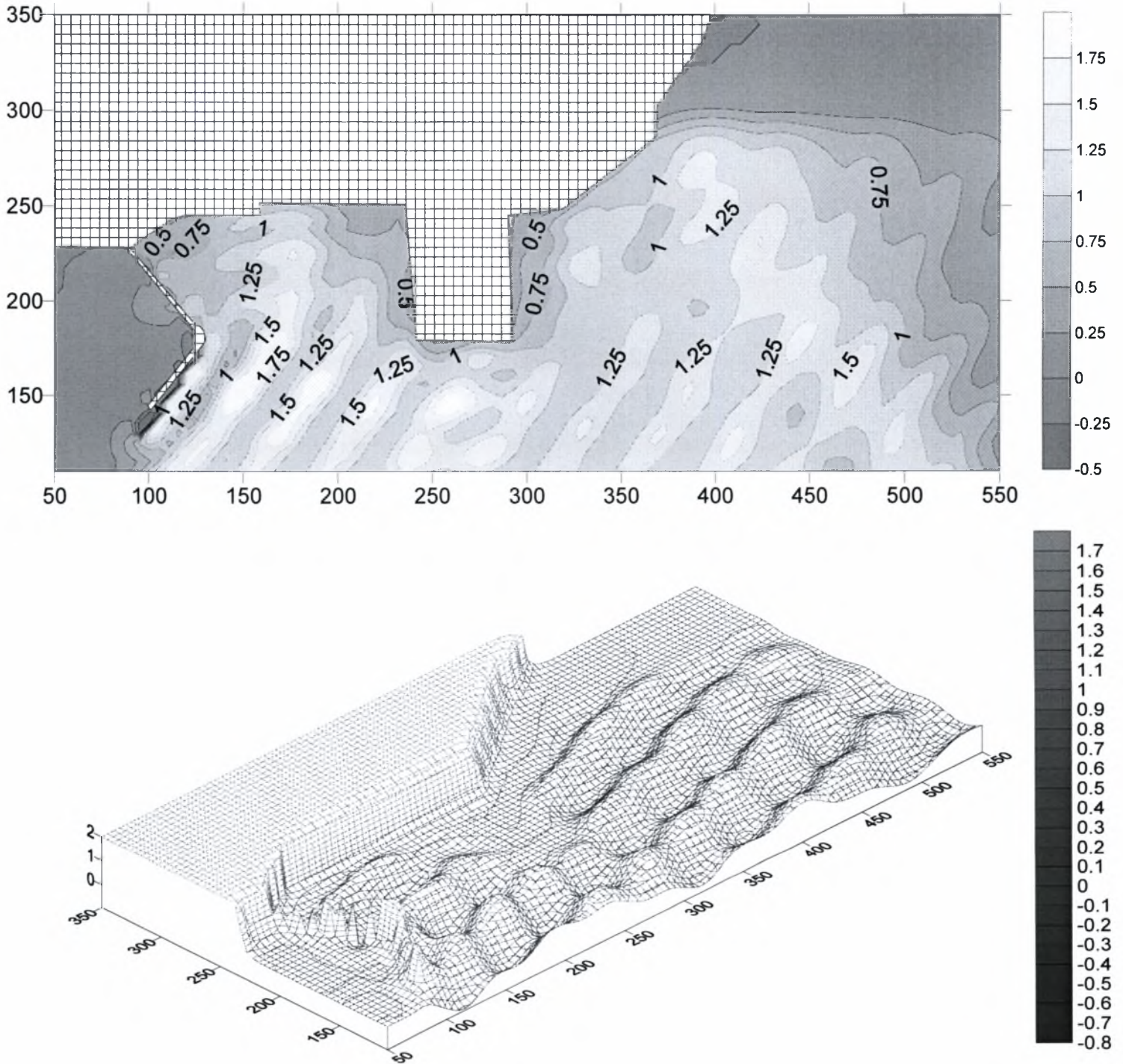


**Σχήμα 5.1.** Κυματισμοί στο λιμάνι της Πάρου για Β ανέμους και διάτρητο κρηπίδωμα με  $f=2$ .



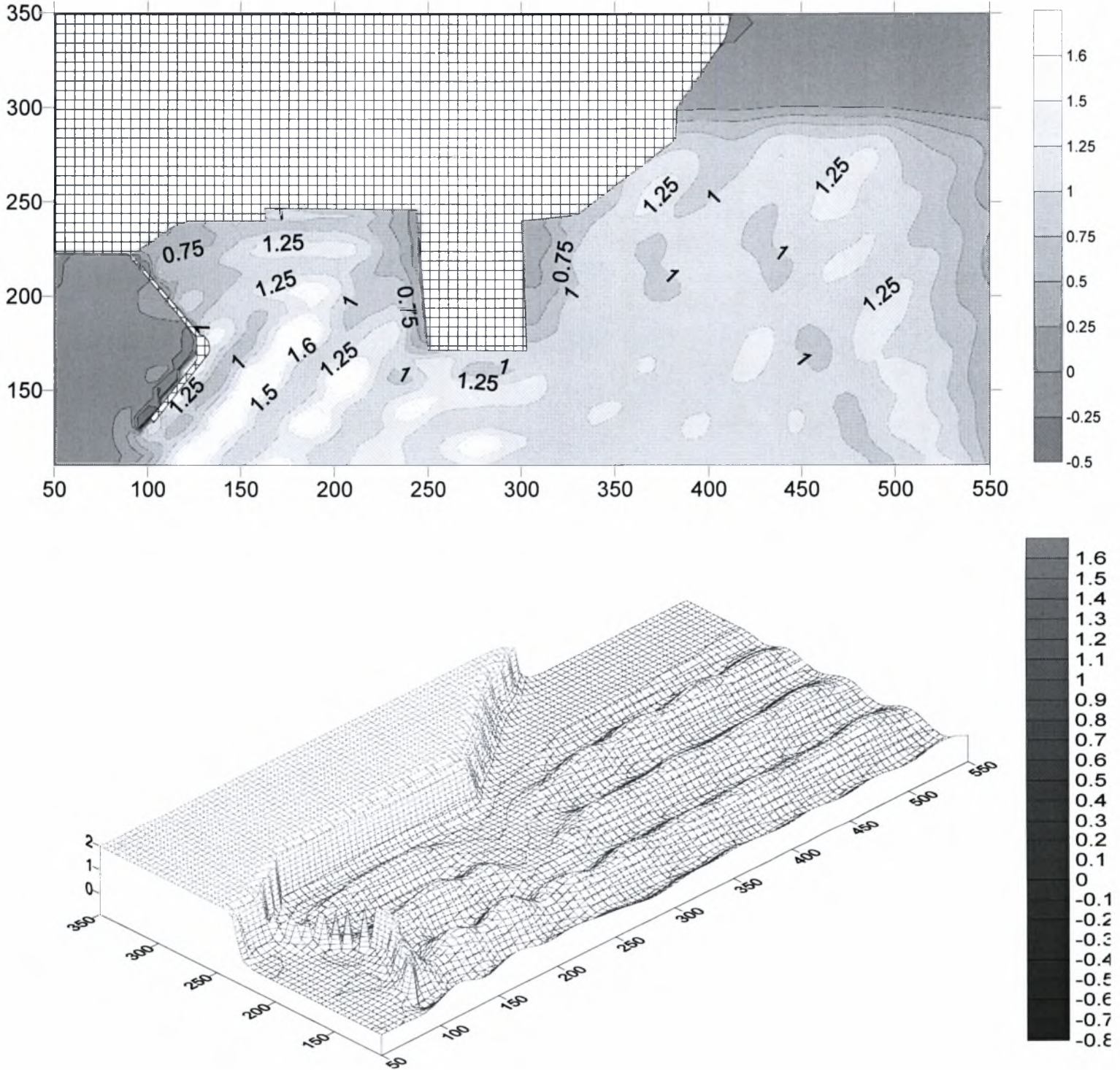


Σχήμα 5.2. Κυματισμοί στο λιμάνι της Πάρου για ΒΑ ανέμους και διάτρητο κρηπίδωμα με  $f=2$ .



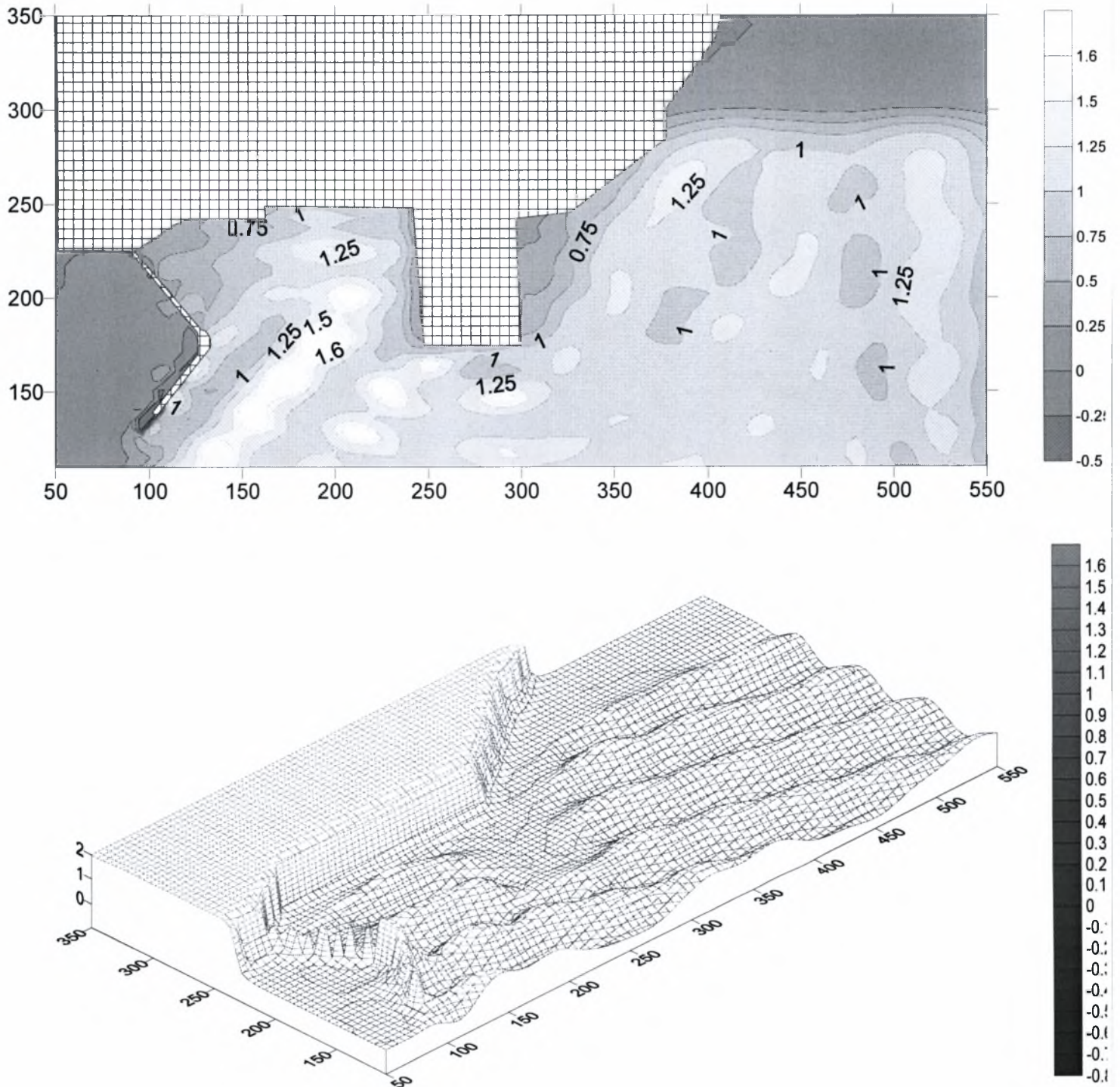
**Σχήμα 5.3.** Κυματισμοί στο λιμάνι της Πάρου για ΒΔ ανέμους και διάτρητο κρηπίδωμα με  $f=2$ .





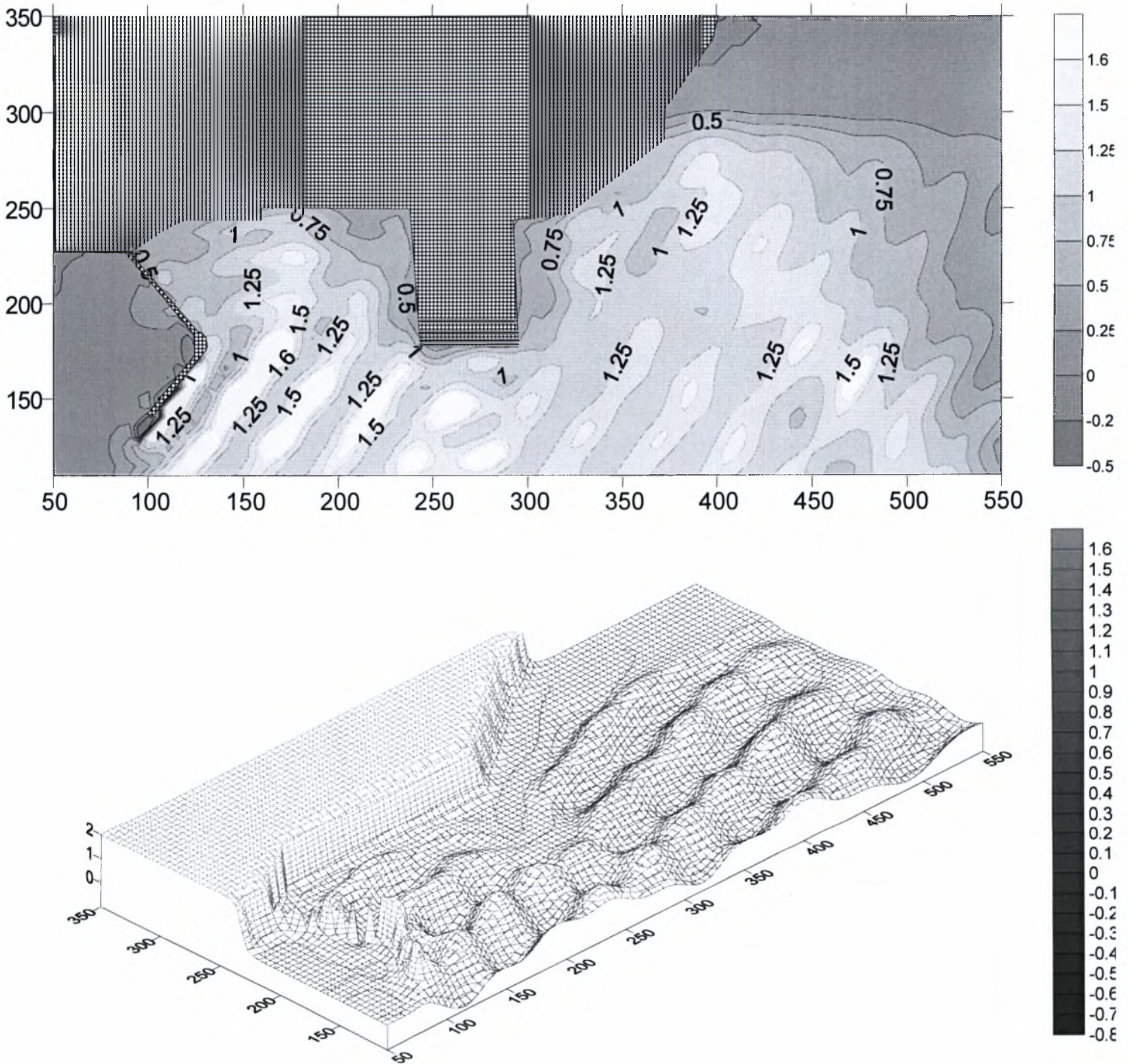
**Σχήμα 6.1.** Κυματισμοί στο λιμάνι της Πάρου για Β ανέμους και διάτρητο κρηπίδωμα με  $f=3$ .





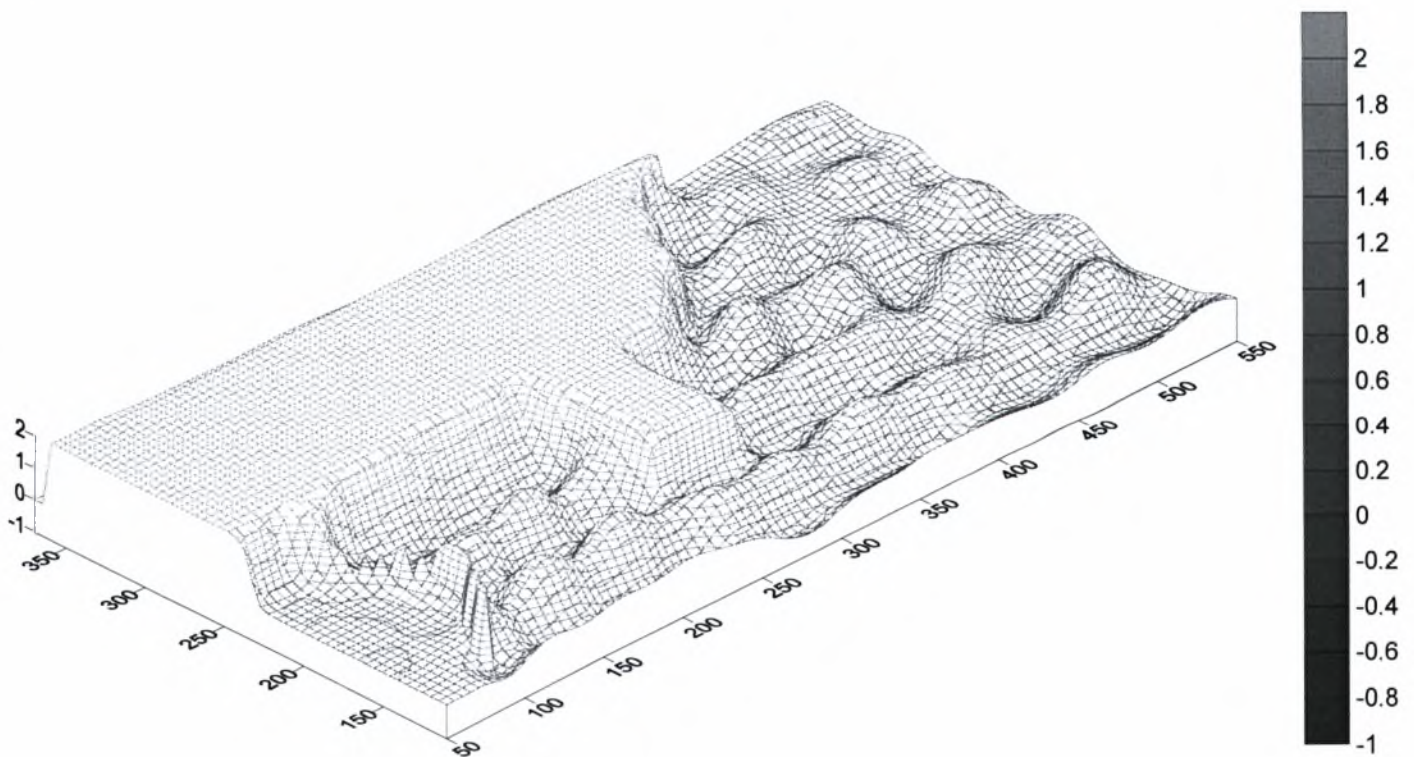
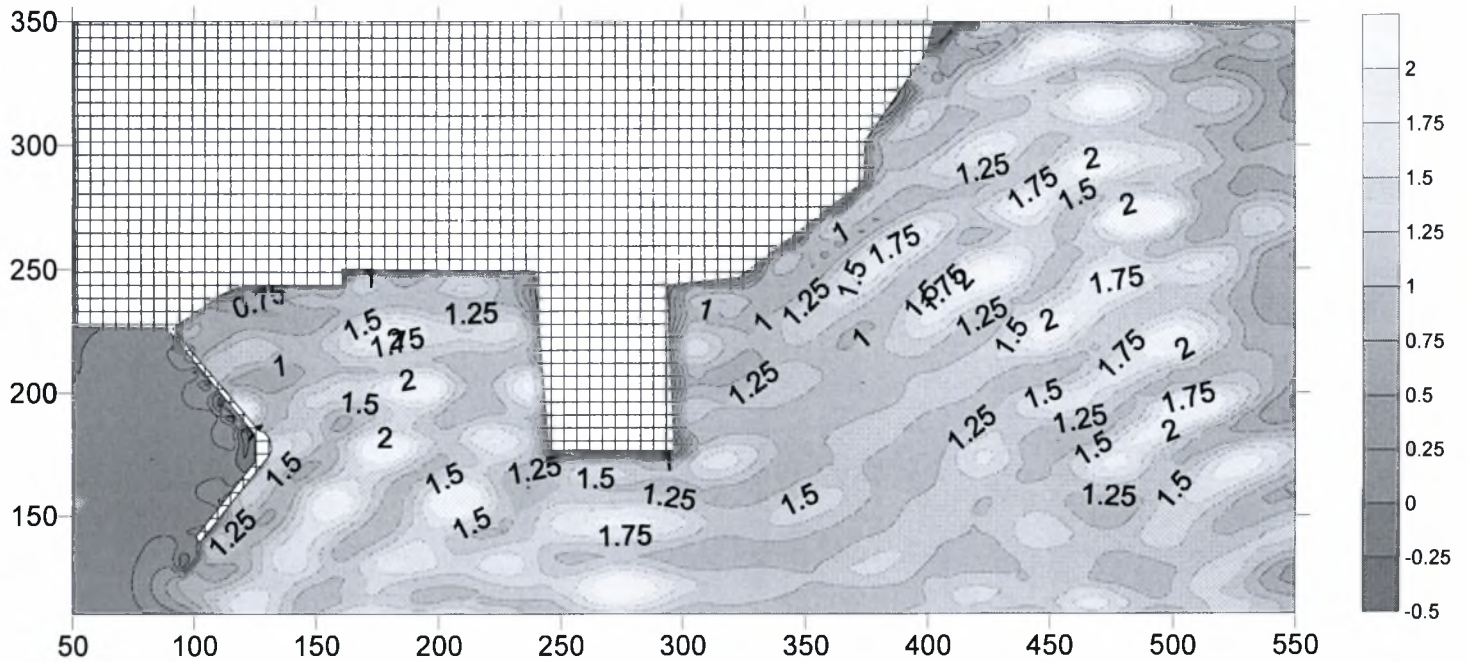
Σχήμα 6.2. Κυματισμοί στο λιμάνι της Πάρου για ΒΑ ανέμους και διάτρητο κρηπίδωμα με  $f=3$ .





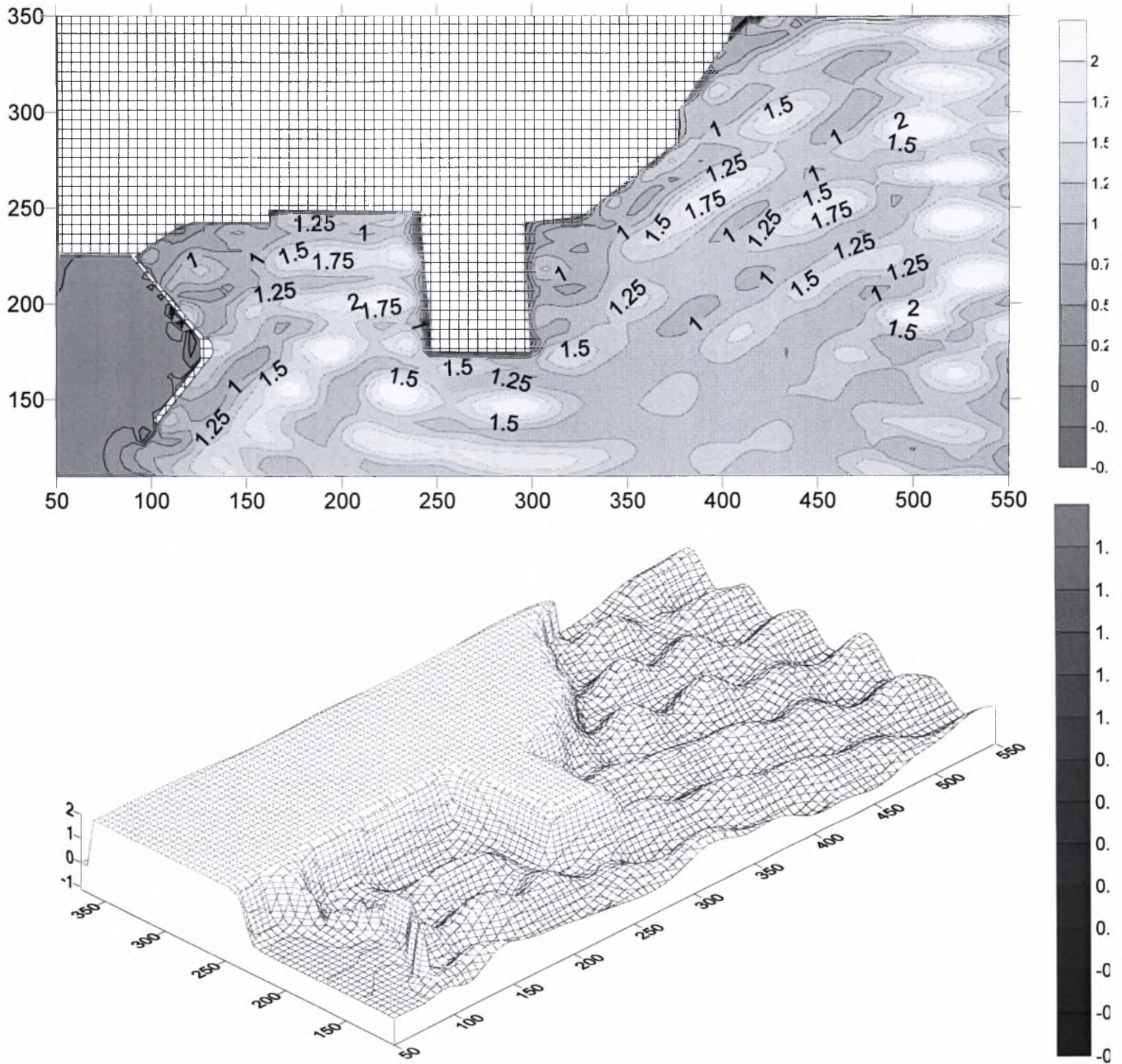
Σχήμα 6.3. Κυματισμοί στο λιμάνι της Πάρου για ΒΔ ανέμους και διάτρητο κρηπίδωμα με  $f=3$ .





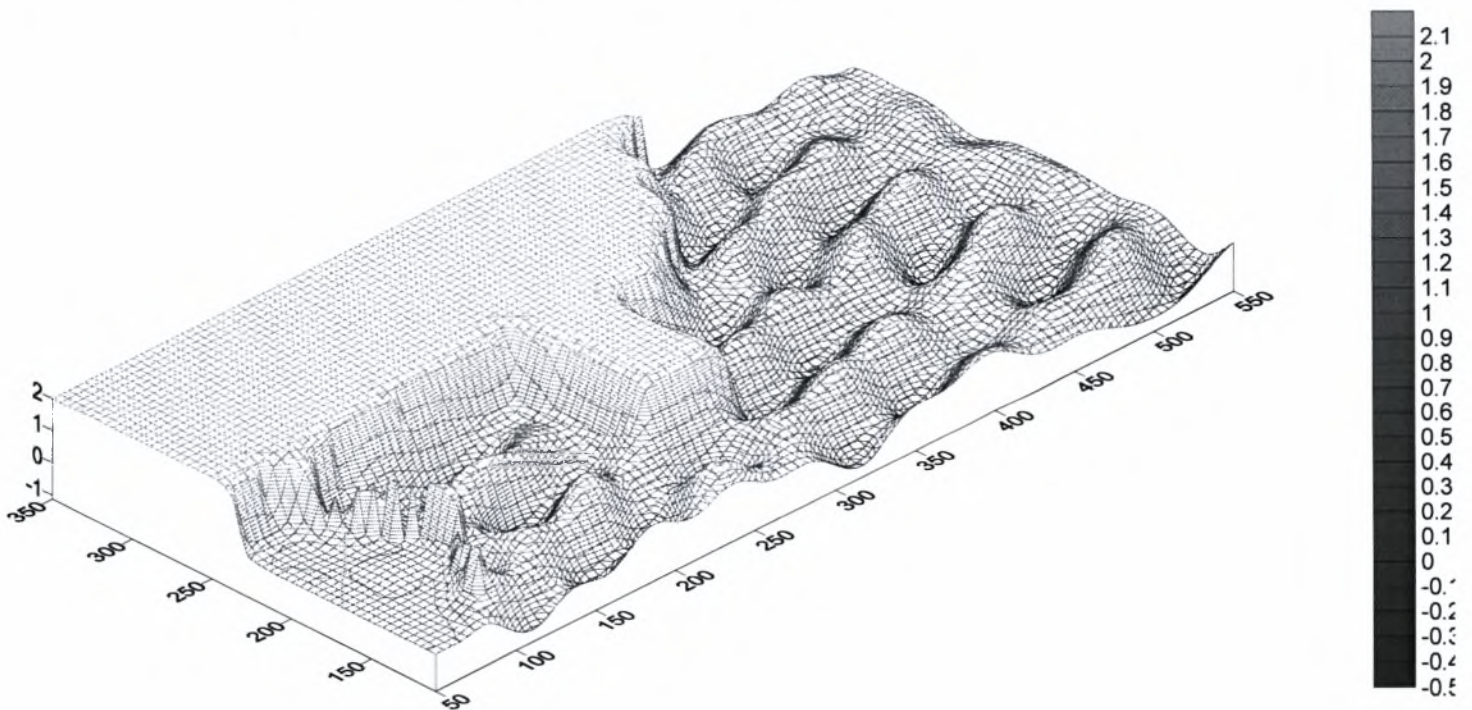
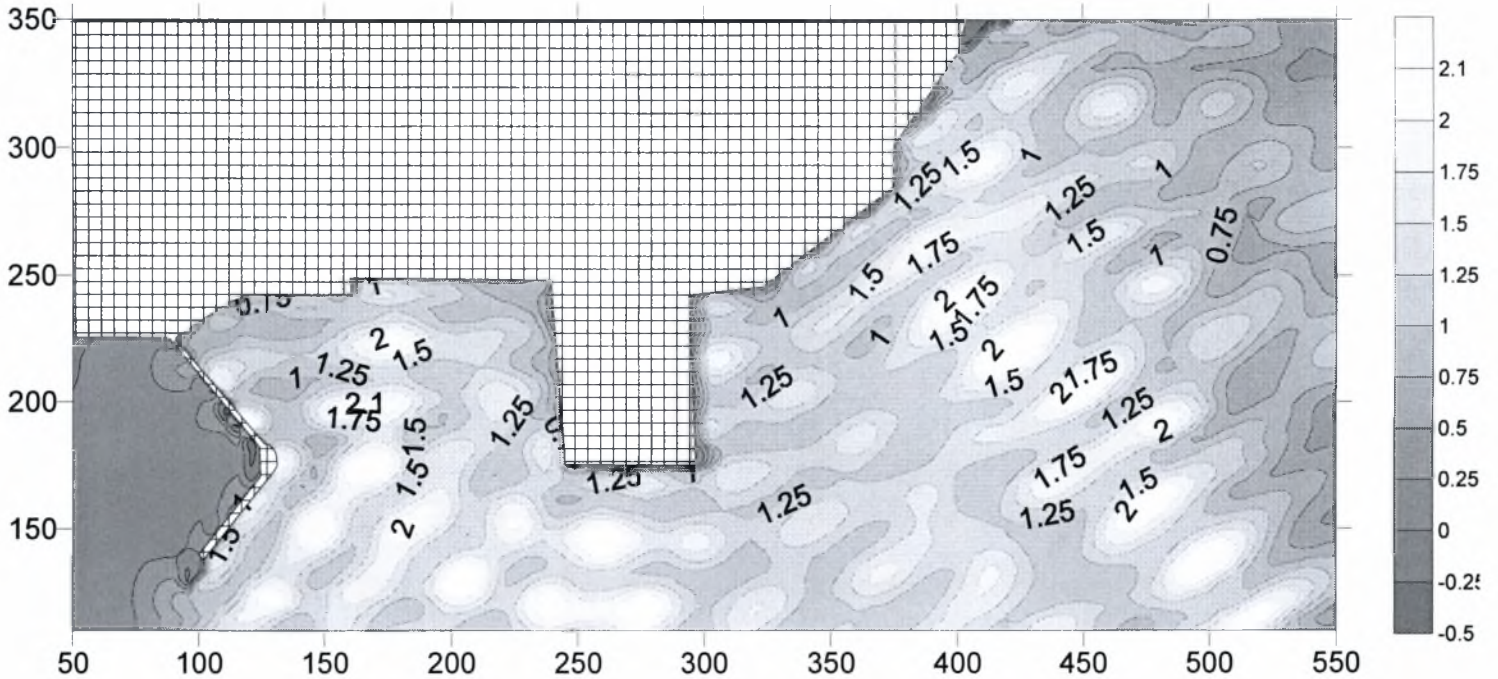
Σχήμα 7.1. Κυματισμοί στο λιμάνι της Πάρου για Β ανέμους και αδιάτρητο κρηπίδωμα.





Σχήμα 7.2. Κυματισμοί στο λιμάνι της Πάρου για ΒΑ ανέμους και αδιάτρητο κρηπίδωμα.





Σχήμα 7.3. Κυματισμοί στο λιμάνι της Πάρου για ΒΔ ανέμους και αδιάτρητο κρηπίδωμα.



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται τα προγράμματα που χρησιμοποιήσαμε για να δημιουργήσουμε τις απαραίτητες βάσεις δεδομένων, ούτως ώστε να προσδιορίσουμε το κυματικό κλίμα που επικρατεί στο λιμάνι της Πάρου. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζεται το πρόγραμμα μετάδοσης κυματισμών **Harbr-fr.for** με το οποίο προσομοιώνεται η κατάσταση στο λιμάνι, για διάφορες καιρικές συνθήκες και για διαφορετικά είδη κρηπιδοτοίχων. Ακόμη το πρόγραμμα **Jonswap.for** με το οποίο προσδιορίζουμε τα διάφορα ύψη κύματος για τα διαφορετικά αναπτύγματα που επηρεάζουν το λιμάνι, όπως φαίνεται χαρακτηριστικά και στα σχέδια του προηγούμενου κεφαλαίου. Το πρόγραμμα αυτό στηρίζεται στις σχέσεις της παραγράφου 3.7.1. Τέλος το πρόγραμμα **Relf.for** με το οποίο προσδιορίζουμε απευθείας την σχέση του συντελεστή αντανάκλασης  $K_R$  με το πορώδες, το μέγεθος της πέτρας, το πλάτος του κρηπιδοτοίχου και του συντελεστή τριβής  $f$  και με το οποίο έγιναν οι γραφικές παραστάσεις της παραγράφου 1.5.





## ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ HARBR FR.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 ~'



```
write (*,*)' ~ T: the period ~'  
write (*,*)' ~ im, jm: max number of grids (x and y) ~'  
write (*,*)' ~ tend: time in which the programme stops ~'  
write (*,*)' ~ angle: the incident wave angle (in rad) ~'  
write (*,*)' ~ ~'  
write (*,*)' ~ Input file: ~'  
write (*,*)' ~ "depth.dat" (depth and boundary file) ~'  
write (*,*)' ~ ~'  
write (*,*)' ~ Output files: ~'  
write (*,*)' ~ "height.dat" (wave height) ~'  
write (*,*)' ~ "section.dat" (wave height in sections ~'  
write (*,*)' ~ x=im/4, x=im/2 and x=3im/4) ~'  
write (*,*)' ~ "elev.dat" (surface elevation) ~'  
write (*,*)' ~~~~~~
```

```
data Ho,per,dt,dx,fin,tend/1.,6.,.0625,5.,.3,200/
```

```
pi=3.141593
```

```
omega=2.*pi/per
```

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

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(im/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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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
```



$$v_{xx}=(v(i+1,j)-2*v(i,j)+v(i-1,j))/dx**2$$

$$v_{yy}=(v(i,j+1)-2*v(i,j)+v(i,j-1))/dy**2$$

$$v_n(i,j)=v(i,j)-dt*((c(i,j)**2)/d(i,j))*z_y/an+$$

$$! ed(i,j)*dt*(v_{xx}+v_{yy})-dt*fr(i,j)*omega*v(i,j)$$

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
ims1=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.

jms=jm-20

do 667 i=1,im

do 667 j=jms,jm-10

ml1=j-jm+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

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

jms1=jm-10

do 677 i=1,im

do 677 j=jm,jms1,-1

ml1=j-jm

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
677 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 (*,*) t

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
                        end if
                end do
        end if

321      continue
```



```
open (unit=3,file='elev.dat')  
  
open (unit=2,file='sectne.dat')  
  
open (unit=5,file='heine.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-5

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



## ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ JONSWAP.FOR

- c Theofanis V. Karambas
- c JONSWAP method

```
write (*,*) 'fetch, F=? (in m)'
```

```
read (*,*) F
```

```
write (*,*) 'duration, td=? (in sec)'
```

```
read (*,*) td
```

```
write (*,*) 'wind velocity, U=? (in m/s)'
```

```
read (*,*) U
```

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

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

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

```
phi=9.81*F/U**2
```

```
if (phi.ge.22800) then
```



$$H_s = (U^2 / 9.81) * 0.243$$

$$T_s = (U / 9.81) * 8.13$$

write (\*,\*) 'fully developed sea'

write (\*,\*)

goto 100

else

end if

$$par1 = 9.81 * td / U$$

$$par2 = 68.8 * (\phi)^{0.6666667}$$

if (par1.ge.par2) then

x=F

write (\*,\*) 'fetch limited'

write (\*,\*)

else

write (\*,\*) 'duration limited'

write (\*,\*)

$$x = (9.81 * td / U / 68.8)^{1.5} * (U^2 / 9.81)$$

end if

$$H_s = (U^2 / 9.81) * 0.0016 * (9.81 * x / U^2)^{0.5}$$

$$T_s = (U / 9.81) * 0.286 * (9.81 * x / U^2)^{0.333333}$$



```
write (*,*) ' x      phi'  
write (*,*) x,phi  
  
100 write (*,*)  
     write (*,*)  
write (*,*) ' Hs      Ts'  
  
     write (*,*) Hs,Ts  
  
stop  
  
end
```

### ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ RELF.FOR

- c reflection from a wave absorber
- c with vertical back-wall

```
complex ii,art,par,ppa,eps,aKK,aar  
  
c parameter jm=500  
  
c dimension re(jm)  
  
ii=(0,1)
```





- c per=period
- c d=water depth
- c ai=incident wave amplitude
- c an=porosity
- c d50=d50
- c w=width of the structure

data per,d,Ho/2.57,10.0,0.505/

data an,d50,w/0.3,0.27,15./

ai=Ho/2.

data ao,bo,cs/1000.,2.8,1.0/

pi=3.14

aleno=9.81\*per\*\*2/2./pi

aleno=aleno

39 alenp=aleno

akapa=2\*3.14/alenp



akd=akapa\*d

alen = aleno \*tanh(akd)

dlen = abs(alen - alenp)

if (dlen.gt.0.0001) goto 39

aL=alen

cel=aL/per

c ab is the Boussinesq term coef. 1/3

ab=1./3.

ab=1./(tanh(akd)\*akd)-1./(akd)\*\*2

omg=2.\*pi/per

ani=0.000001

c open (file='reflb.dat', unit=9)

af=ao\*((1.-an)\*\*3)\*ani/(an\*\*2)/d50\*\*2

bt=bo\*(1.-an)/(an\*\*3)/d50

c write (\*,\*) af,bt

c real(fp(k))



c    aimag(fp(k))

c    conjg(fp(k))

do ik=1,50

eps=(an/sqrt(cs-ii\*f))

aKK=omg\*sqrt(cs-ii\*f)/cel

c    write (\*,\*) aKK,eps

c    write (\*,\*)

pp=(9.81/d)\*(1.-d\*(omg\*\*2)\*ab/9.81)

f=(an/omg)\*((af+bt\*ai\*sqrt(pp))\*alm)

im=100

nm=100

dx=w/im

dt=per/nm

smxa=0.



```
smxp=0.

do i=1,im

smta=0.

smtp=0.

x=i*dx

do j=1,nm

t=j*dt

art=2.*eps*exp(ii*omg*t)*(exp(-ii*aKK*x)-exp(ii*aKK*(x-2*w)))

par=1.+eps+(1.-eps)*exp(-2*ii*aKK*w)

us=real(art/par)

c write (*,*) us

smta=smta+dt*abs(us)*(us**2)

smtp=smtp+dt*(us**2)

end do

smxa=smxa+dx*smta

smxp=smxp+dx*smtp

c write (*,*) i,smxa,smxp

end do

alm=smxa/smxp

c WRITE (*,*) f
```





```
end do

ppa=1+eps+(1-eps)*exp(-2*ii*aKK*w)
aar=1-eps+(1+eps)*exp(-2*ii*aKK*w)
rr=real(aar/ppa)
ri=aimag(aar/ppa)

re=sqrt(rr**2+ri**2)

write (*,*)
write (*,*)
write (*,*) 'width', w
c write (*,*)
write (*,*)
c write (*,*) 'H/gT^2', 2*ai/9.81/per**2
c write (*,*)
write (*,*)
write (*,*) 'Cr=', re

write (*,*)
write (*,*)
write (*,*) 'friction factor',f
write (*,*)

stop

end
```



## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα λοιπόν με όλα τα παραπάνω, το συμπέρασμα που μπορεί κανείς εύκολα να αποκομίσει για τους απορροφητικούς κρηπιδοτοίχους είναι, πως η εφαρμογή τους βελτιώνει αισθητά το κυματικό κλίμα στο εσωτερικό ενός λιμανιού. Αυτό συμβαίνει κυρίως επειδή με την χρήση απορροφητικών κρηπιδοτοίχων μειώνεται η ανάκλαση των κυματισμών, η οποία ευθύνεται κατά κύριο λόγο για την αύξηση του ύψους κύματος. Η αλληλεπίδραση των προσπιπτόντων και ανακλώμενων κυμάτων μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερα κύματα, επικίνδυνα, ειδικά για τα μικρά σκάφη στις περιπτώσεις που έχουμε κατακόρυφα αδιαπέρατα μέτωπα. Επιπλέον, τα κύματα μπορούν να μεταδοθούν σε μια προφυλαγμένη περιοχή που δημιουργεί προβλήματα για τα δεμένα σκάφη ή κατά τη διάρκεια της διαδικασίας φορτοεκφόρτωσης. Η τοπική υποσκαφή, η υπερπήδηση, η αύξηση των φορτίσεων των κυμάτων μπορούν επίσης να είναι μερικά προβλήματα που συνδέονται με αυτό το είδος κατασκευής.

Έτσι λοιπόν η λύση του διάτρητου κατακόρυφου μετώπου ενδείκνυται σε κάθε λιμάνι, ειδικά εάν αυτό δεν είναι φυσικά ή τεχνητά προστατευμένο. Στη καθαρά νησιωτική χώρα μας μάλιστα το πεδίο εφαρμογής τους είναι πολύ μεγάλο.

Η μελέτη που κάναμε για χρήση απορροφητικού κρηπιδότοιχου σε όλο το μήκος του κρηπιδώματος του λιμανιού της Πάρου, έγινε με αφορμή την πρόσφατη μελέτη ανάπλασης του παλαιού λιμανιού. Στην μελέτη αυτή έγινε χρήση απορροφητικού κρηπιδοτοίχου στο τμήμα του κρηπιδώματος του Αγίου Νικολάου αλλά δεν έχει εφαρμοστεί ακόμη εξαιτίας των αρχαιολογικών ευρημάτων στο σημείο αυτό. Οι διαπιστώσεις που είχαμε από την εφαρμογή διάτρητου κατακόρυφου μετώπου στους δικούς μας υπολογισμούς ήταν πως η βελτίωση της κατάστασης στο εσωτερικό του λιμανιού και κυρίως στις περιοχές κοντά στα μέτωπα είναι πολύ μεγάλη.

Οι απορροφητικοί κρηπιδότοιχοι λοιπόν αν και δεν είναι ευρέως διαδεδομένοι στην χώρα μας, θα πρέπει στο μέλλον να αποτελέσουν μια πιο σίγουρη λύση στο σχεδιασμό ή την ανακατασκευή ενός λιμανιού. Ο σωστός σχεδιασμός και η προσεκτική εφαρμογή της μελέτης μπορούν να μας δώσουν ένα ιδανικό αποτέλεσμα.



## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Karambas Th. and Koutitas C. (2002). Surf and swash zone morphology evolution induced by nonlinear waves. *J. of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Eng.* 128, no 3, pp. 102-113.

Jarlan (1961)

Madsen, U.S., 1974. Wave transmission through porous structures. *J. Waterways, Harbours Coastal Eng.*, 100(WW3), pp. 169-188.

Madsen, O.S. and White, S.M., 1976. Reflection and transmission characteristics of porous rubble-mound breakwaters. Miscellaneous report No. 76-5, U.S. Army, Coastal Engineering Research Center.

Madsen, P.A., 1983. Wave reflection from a vertical permeable wave absorber. *Coastal Engineering*, 7, pp. 381—396.

Requejo S., Vidal C. and Losada I.J. 2002. Modelling of wave loads and hydraulic performance of vertical permeable structures. *Coastal Engineering*, 1012.

Solitt, C.K. and Cross, R.H., 1972. Wave transmission through permeable breakwaters. 13th Conf. Coastal Eng., Vancouver, Chapter 103, pp. 1827—1846.

Van Gent M.R.A. (1994). The modeling of wave action on and in coastal structures. *Coastal Engineering*, 22, pp.311-339.

Van Gent M.R.A. (1995). Wave Interaction with Permeable Coastal Structures. Ph. D. Thesis, Delft University of Technology.

Watanabe A., Maruyama K., 1986. Numerical modeling of nearshore wave field under combined refraction, diffraction and breaking. *Coastal Engineering in Japan*, vol. 29, pp. 19-39.

Wei, G., Kirby, J.T., 1995. Time-dependent numerical code for extended Boussinesq equations Καραμπάς Θ. (Υπολογιστική Κυματομηχανική και Ακτομηχανική Βόλος 2003)

Επαρχείο Πάρου (2002)

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1. ΑΝΑΚΛΑΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΑΠΟ ΚΑΘΕΤΟΥΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΥΣ ΚΡΗΠΙΔΟΤΟΙΧΟΥΣ</b>	σελ. 1
1.1 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΛΥΣΗ	σελ. 5
1.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΩΝ REQUEJO ET AL (2002)	σελ. 10
1.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΩΝ	σελ. 13
1.4 ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ	σελ. 15
1.5 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΤΑΝΑΚΛΑΣΗΣ	σελ. 17
<b>2. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΟΜΟΙΩΜΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ</b>	σελ. 21
2.1 ΕΞΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	σελ. 22
2.2 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΣΧΗΜΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ	σελ. 26
2.3 ΤΥΡΒΩΔΗΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΙΞΩΔΟΥΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΜΕΡΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΑΠΟ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΕΣ ΜΕ ΠΡΑΓΜΗ	σελ. 30
2.4 ΤΥΡΒΩΔΗΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΙΞΩΔΟΥΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΘΡΑΥΣΗΣ ΤΥΧΑΙΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ	σελ. 33
<b>3. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥ</b>	σελ. 35
3.1 ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	σελ. 35
3.2 ΛΙΜΕΝΙΚΗ ΥΠΟΔΟΜΗ	σελ. 35
3.3 ΧΕΡΣΑΙΑ ΥΠΟΔΟΜΗ	σελ. 37
3.4 ΚΙΝΗΣΗ ΛΙΜΕΝΑ	σελ. 37
3.4.2 ΕΙΔΗ ΕΞΥΠΗΡΕΤΟΥΜΕΝΩΝ ΠΛΟΙΩΝ	σελ. 38
3.4.3 ΚΙΝΗΣΗ ΠΛΟΙΩΝ	σελ. 39
3.4.4 ΚΙΝΗΣΗ ΕΠΙΒΑΤΩΝ	σελ. 40



<b>3.4.5 ΔΙΑΚΙΝΗΣΗ ΟΧΗΜΑΤΩΝ</b>	σελ. 40
<b>3.4.6 ΔΙΑΚΙΝΗΣΗ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΩΝ</b>	σελ. 41
<b>3.5 ΦΥΣΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ</b>	σελ. 42
<b>3.5.1 ΑΝΕΜΟΙ</b>	σελ. 42
<b>3.6 ΠΑΛΙΡΡΟΙΑ</b>	σελ. 43
<b>3.7 ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΙ</b>	σελ. 43
<b>3.7.1 ΜΕΘΟΔΟΣ JONSWAP</b>	σελ. 43
<b>3.8 ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΙ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΠΕΛΑΓΟΥΣ</b>	σελ. 44
<b>3.9 ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΙ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΟΥ ΟΡΜΟΥ</b>	σελ. 44
<b>4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΩΝ ΤΟΙΧΩΝ ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥ</b>	σελ. 48
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ</b>	σελ. 70
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>	σελ.105
<b>ΑΝΑΦΟΡΕΣ</b>	σελ.106

