

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑΣ INTERREG V-A ΕΛΛΑΔΑ-ΚΥΠΡΟΣ 2014-2020

BEACHTECH

Παράκτια διάβρωση λόγω κλιματικής αλλαγής: εκτίμηση και τρόποι αποτελεσματικής αντιμετώπισης σε τουριστικές περιοχές του Βορείου Αιγαίου και της Κύπρου

Κωδικός Πράξης: 5050552

Πακέτο Εργασίας 5	Τεχνικές λύσεις για προσαρμογή στην Κλιματική Αλλαγή των πιλοτικών παραλιών
Παραδοτέο 5.1.2	Προτεινόμενες τεχνικές λύσεις προσαρμογής για διαφορετικά σενάρια Κλιματικής Αλλαγής

Κύριος Δικαιούχος Έργου	Πανεπιστήμιο Αιγαίου (ΤΩΘΒΕ-ΠΑ)
Επιστημονικός Υπεύθυνος Παραδοτέου	ΤΩΘΒΕ-ΠΑ
Συμμετέχοντες Φορείς στο Παραδοτέο	ΤΕΠΑΚ
Ομάδα Σύνταξης Παραδοτέου	Θ. Καραμπάς, Θ. Χασιώτης, Α. Χατζηπαυλής
Ομάδα Υλοποίησης Παραδοτέου	Θ. Καραμπάς, Ι. Πετσιμέρης, Θ. Χασιώτης, Α. Χατζηπαυλής, Δ. Χατζημιτσής, Χ. Παπο;γτσα, Δ. Μακρή
Ημερομηνία	Οκτώβριος 2023
Διαδικτυακή πρόσβαση	http://beachtech.eu

Το παρόν κείμενο δημοσιεύτηκε με τη σύμφωνη γνώμη όλων των φορέων της σύμπραξης "BEACHTECH". Περιέχει υλικό τα δικαιώματα του οποίου ανήκουν στους δικαιούχους της πράξης "BEACHTECH" και το οποίο δεν μπορεί να αναπαραχθεί χωρίς άδεια από την σύμπραξη. Η έρευνα που οδήγησε στα αποτελέσματα του παρόντος κειμένου χρηματοδοτήθηκε από το Πρόγραμμα Συνεργασίας «Interreg V-A Ελλάδα-Κύπρος 2014-2020» (ΕΤΠΑ) και από Εθνικούς πόρους Ελλάδας και Κύπρου.

Η Σύμπραξη του Έργου



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΑΙΓΑΙΟΥ

Πανεπιστήμιο Αιγαίου



ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΟ
ΤΑΜΕΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ

Περιφερειακό Ταμείο
Ανάπτυξης Βορείου Αιγαίου



Τεχνολογικό
Πανεπιστήμιο
Κύπρου

Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο
Κύπρου



ΔΗΜΟΣ ΠΕΓΕΙΑΣ
MUNICIPALITY OF PEGEIA

Δήμος Πέγειας Κύπρου

ΔΕΣΜΟΙ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΛΙΑΚΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ.....	5
2.1 ΤΕΧΝΗΤΗ ΑΝΑΠΛΗΡΩΣΗ ΑΚΤΗΣ.....	6
2.2 ΠΛΩΤΟΙ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΕΣ	6
2.3 ΤΕΧΝΗΤΟΙ ΥΦΑΛΟΙ	7
2.4 ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΕΣ ΠΑΡΑΛΛΗΛΑ ΣΤΗΝ ΑΚΤΗ	7
2.4.1 <i>Κυματοθραύστες χαμηλής στέψης.....</i>	<i>8</i>
2.5 ΠΡΟΒΟΛΟΙ	8
2.5.1 <i>Βυθισμένοι (ύφαλοι) πρόβολοι.....</i>	<i>9</i>
3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	9
3.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΕΧΝΗΤΗΣ ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗΣ/ΑΝΑΠΛΗΡΩΣΗΣ ΑΚΤΩΝ	10
3.1.1 <i>Σχεδιασμός τεχνητής αναπλήρωσης ακτής-Μέθοδος διατομών ισορροπίας EBR.....</i>	<i>11</i>
3.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΩΝ	13
4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	14
4.1 ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΜΥΤΙΛΗΝΗΣ (ΛΕΣΒΟΣ).....	15
4.2 ΠΕΤΡΑ ΛΕΣΒΟΥ	25
4.3 ΚΩΜΗ ΧΙΟΥ.....	35
4.4 ΠΑΡΑΛΙΑ ΚΟΡΑΛΛΙΩΝ.....	45
4.5 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΩΝ.....	51
5 ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΛΥΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΠΙΛΟΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΛΙΕΣ	52
5.1 ΙΣΤΟΡΙΚΟ.....	53
5.2 ΠΕΤΡΑ.....	53
5.3 ΚΩΜΗ	54
5.4 ΚΟΛΠΟΣ ΚΟΡΑΛΛΙΩΝ	54
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	56



Περίληψη

Σκοπός του συγκεκριμένου παραδοτέου είναι η εκτίμηση και αξιολόγηση τεχνικών λύσεων παραλιακής προσαρμογής υπό της υφιστάμενες συνθήκες και υπό σενάρια Κλιματικής Αλλαγής. Χρησιμοποιείται το ίδιο παράκτιο υδροδυναμικό και μορφοδυναμικό μοντέλο που βασίζεται σε εξισώσεις Boussinesq (Παραδοτέο 5.1.1) προκειμένου να προταθούν τα κατάλληλα τεχνικά έργα προσαρμογής (π.χ. τεχνητή αναπλήρωση ακτής, παράλληλοι με την ακτή κυματοθραύστες, πρόβολοι κλπ) στις πιλοτικές παραλίες. Για το σχεδιασμό των έργων πραγματοποιήθηκαν επίσης δοκιμαστικές προσομοιώσεις κάτω από τα επιλεγμένα σενάρια ανόδου της θαλάσσιας στάθμης.

Για τα έργα αναπλήρωσης/ανάπλασης των παραλιών εκτιμήθηκαν οι εκάστοτε παράμετροι σχεδιασμού και όγκοι ιζήματος αναπλήρωσης με χρήση της μεθόδου των διατομών ισορροπίας. Έγινε επίσης κοστολόγηση των αναπληρώσεων (σύμφωνα με τις σημερινές τιμές των υλικών αναπλήρωσης και έργων ανάπλασης / τοποθέτησης).

Για το σχεδιασμό 'σκληρών' έργων προστασίας (όπως π.χ. παράλληλοι στην ακτή κυματοθραύστες και εγκάρσιοι πρόβολοι) πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις για διαφορετικές παραμέτρους σχεδιασμού (όπως π.χ. βάθος βάσης/στέψης, μήκος, πλάτος και απόσταση από την ακτή), λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες ασφάλειας (π.χ. αποφυγή δημιουργίας επικίνδυνων παράκτιων ρευμάτων). Επιλέχθηκαν σχεδιασμοί που όχι μόνον φαίνεται να είναι αποτελεσματικοί κάτω από συνθήκες ανόδου της θαλάσσιας στάθμης, αλλά θα είναι ανθεκτικοί και αναβαθμισίμοι με σχετικά μικρό κόστος. Τέλος, υπολογίστηκε το κόστος των έργων. Επιπρόσθετα, συζητούνται και άλλες εναλλακτικές (και περιβαλλοντικά φιλικές) λύσεις, όπως η τοποθέτηση reef-balls.



1 Εισαγωγή

Η παράκτια διάβρωση, η οποία είναι ήδη σημαντική κατά μήκος της παγκόσμιας ακτογραμμής, είναι πιθανόν να επιδεινωθεί στο μέλλον λόγω της προβλεπόμενης ανόδου της θαλάσσιας στάθμης και μεταβολών στο ανεμολογικό/κυματικό καθεστώς (π.χ. Church et al., 2013). Με όλες τις προγνώσεις να δείχνουν επιδεινούμενες φυσικές επιπτώσεις, οι ολόένα αυξανόμενοι παράκτιοι πληθυσμοί, δραστηριότητες και υποδομές θα αντιμετωπίσουν μεγαλύτερη έκθεση στις παράκτιες πλημμύρες με πιθανά καταστροφικά αποτελέσματα στην παράκτια οικονομία, ιδιαίτερα στον παράκτιο τουρισμό (π.χ. Pacheco and Lewis-Cameron, 2010).

Για το μετριασμό της παραλιακής διάβρωσης και προσαρμογή στην προβλεπόμενη αρνητική φυσική πραγματικότητα απαιτούνται αποτελεσματικές δράσεις. Η φυσική ιδιαιτερότητα των νησιωτικών παραλιών (συνήθως μικρές “παραλίες τσέπης (rocket beaches)” με μικρή/μειούμενη χερσαία παροχή ιζημάτων) και οι ιδιαίτερες κοινωνικο-οικονομικές νησιωτικές συνθήκες περιορίζουν τις επιλογές των μέτρων προσαρμογής, αφού για τη συντριπτική πλειοψηφία των νησιωτικών παραλιών δεν υπάρχει η π.χ. επιλογή της “Διαχειρίσιμης Οπισθοχώρησης” (managed retreat) (Abel et al., 2011). Συνεπώς, οι επιλογές προσαρμογής συνήθως αφορούν “ήπια” ή/και “σκληρά” μέτρα παράκτιας προστασίας δηλ. τεχνητές αναπληρώσεις ακτής ή/και την κατασκευή προβόλων/κυματοθραυστών και παράκτιων τοίχων, αντίστοιχα.

Σκοπός του παραδοτέου είναι ο σχεδιασμός και η κοστολόγηση των βέλτιστων δυνατών προσαρμοστικών τεχνικών μέτρων για το μετριασμό της προβλεπόμενης διάβρωσης με ήπιες ή με συνδυασμό ήπιων και σκληρών μεθόδων (όπου κρίνονται αναγκαία) στις πιλοτικές παραλίες, κάτω από τις υφιστάμενες συνθήκες αλλά και υπό σενάρια αύξησης της μέσης θαλάσσιας στάθμης και ακραίων φαινομένων. Στόχος είναι τα μέτρα που θα προταθούν να πληρούν περιβαλλοντικές/αισθητικές προϋποθέσεις και να έχουν θετικό ισοζύγιο οφέλους-κόστους.

2 Μέθοδοι αντιμετώπισης της παραλιακής διάβρωσης

Στο παρελθόν η αντιμετώπιση της διάβρωσης των ακτών γινόταν μόνο με τη δημιουργία «σκληρών» κατασκευών όπως παράκτιοι τοίχοι, κυματοθραύστες, πρόβολοι κλπ. Αυτές οι κατασκευές όμως έδειξαν ότι επηρεάζουν το περιβάλλον της ευρύτερης περιοχής χωρίς απαραίτητα να επιλύουν το πρόβλημα. Στην εποχή μας η ανάγκη σωστής διαχείρισης και η ευαισθητοποίηση για την προστασία των παράκτιων οικοσυστημάτων δημιούργησε την ανάγκη για αναζήτηση ηπιότερων μορφών έργων προστασίας ακτών (από άποψη λειτουργικότητας και κατασκευής) με γνώμονα το περιορισμό των αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων (διάβρωση των γειτονικών ακτών, ποιότητα νερού και αισθητική). Έτσι, τα τελευταία χρόνια έχουν εφαρμοσθεί περιβαλλοντικά φιλικές τεχνικές

που χαρακτηρίζονται «ήπιες» μέθοδοι προστασίας ακτών. Οι μέθοδοι αυτές είναι περιβαλλοντικά αποδεκτές εφόσον δεν εμποδίζουν με την παρουσία τους (τουλάχιστον σε μεγάλο βαθμό) τη θαλάσσια κυκλοφορία και δεν έχουν (σημαντικές) επιπτώσεις στα παράκτια οικοσυστήματα. Παρακάτω περιγράφονται συγκεντρωτικά και πολύ συνοπτικά οι σημαντικότερες «ήπιες» (τεχνητή αναπλήρωση ακτής, πλωτοί κυματοθραύστες μικρού μεγέθους τεχνητοί ύφαλοι) και «σκληρές» (κυματοθραύστες, πρόβολοι) μέθοδοι προστασίας των ακτών.

2.1 Τεχνητή αναπλήρωση ακτής

Η τεχνητή αναπλήρωση της ακτής (beach nourishment) αποτελεί σύγχρονη μέθοδο για την επίλυση του προβλήματος της διάβρωσης. Επιπλέον μπορεί να γίνει σε περιοχές όπου επιδιώκεται οικονομική (τουριστική) ανάπτυξη ή όπου ήδη υπάρχουν σημαντικές τουριστικές δραστηριότητες. Στη μέθοδο αυτή τροφοδοτείται η ακτή με άμμο που λαμβάνεται από άλλες παράκτιες περιοχές με περίσσεια υλικού ή από τα ανοιχτά (αμμοληψίες από μεγαλύτερα βάθη) ή από ορυχείς στη χέρσο μετά από κατάλληλη επεξεργασία (Dean, 2003). Το υλικό τοποθετείται έτσι ώστε να επεκτείνεται η ακτή προς τη θάλασσα. Η μέθοδος της τεχνητής ανάπλασης θεωρείται μία σχετικά περιβαλλοντικά φιλική λύση, εφόσον απλά αντικαθίσταται το υλικό που διαβρώνεται. Βέβαια τόσο στην περιοχή αμμοληψίας όσο και στην περιοχή εναπόθεσης της άμμου, μπορεί να διαταραχθεί η πανίδα και χλωρίδα, επίπτωση που όμως είναι πιθανά αναστρέψιμη.

2.2 Πλωτοί κυματοθραύστες

Οι πλωτοί κυματοθραύστες αποτελούν βιομηχανικά παραγόμενες κατασκευές από πλαστικό ή σπλισμένο σκυρόδεμα υπό μορφή λεπτότοιχου κιβωτίου που συνήθως χρησιμοποιούνται για την κυματική προστασία ημιπροστατευμένων παράκτιων ζωνών. Η κυματική προστασία την οποία προσφέρουν ποικίλλει ανάλογα με τα κυματικά χαρακτηριστικά και το βάθος. Κάτω από κυματικά επεισόδια περιόδου 3-5 δευτερολέπτων και ύψους 1-2 μέτρων απορροφούν 50-80% της κυματικής ενέργειας. Έτσι, η παρουσία τους παράλληλα στην ακτή μειώνει τη διαβρωτική εγκάρσια δράση των κυματισμών και, σε πεπερασμένα μήκη, οδηγεί στη δημιουργία κυματογενούς ρεύματος και εξέλιξης βυθομετρίας και ακτογραμμής παρόμοιας μορφής με εκείνη που προκύπτει στην περίπτωση έξαλου κυματοθραύστη, που χαρακτηρίζεται όμως από μειωμένους ρυθμούς προσάμμωσης λόγω της μειωμένης περίθλασης (Koutantos et al., 2002). Τα κύρια πλεονεκτήματα των πλωτών κυματοθραυστών είναι:

- Χαμηλό κόστος κατασκευής, ιδιαίτερα σε περιοχές με πολύ κακής ποιότητας πυθμένα (εφόσον δεν απαιτείται θεμελίωση) ή σε δυσπροσπέλαστες ακτές όπου η κατασκευή έργων από την ξηρά είναι δυσχερής.

- Ταχύτητα τοποθέτησης, εφόσον οι κυματοθραύστες είναι προκατασκευασμένοι, με αποτέλεσμα η περιοχή να ταλαιπωρείται ελάχιστα από τις εργοταξιακές διαταράξεις και την οδική μεταφορά των δομικών υλικών.
- Ελάχιστες αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις εφόσον λόγω του μικρού τους βυθίσματος (της τάξης του 1 m) δεν παρεμποδίζεται η κυκλοφορία και η ανανέωση των νερών.
- Δυνατότητα μετακίνησης ώστε να είναι πιο αποτελεσματικοί ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν.

Επομένως θα μπορούσαν να αποτελέσουν μια αποδοτική και περιβαλλοντικά πιο αποδεκτή μέθοδο προστασίας και ανάπλασης ημιπροστατευμένων παράκτιων ζωνών. Ωστόσο, λόγω κυρίως του γεγονότος ότι όταν προσπίπτουν ύψη κύματος μεγαλύτερα από 2-3 m, οι πλωτοί κυματοθραύστες παρασύρονται και αστοχούν, δεν θα πρέπει να χρησιμοποιούνται σε μη ημιπροστατευόμενες ή προστατευόμενες περιοχές.

2.3 Τεχνητοί ύφαλοι

Οι πυθμενικοί τεχνητοί ύφαλοι προκατασκευάζονται από σκυρόδεμα και έχουν διάφορες μορφές. Συνήθως χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση των ενδιαιτημάτων και συνεπώς τον εμπλουτισμό της θαλάσσιας πανίδας. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι οι μονάδες reef balls (Harris, 2009). Τα κενά που έχουν οι κατασκευές εξασφαλίζουν συνθήκες αναπαραγωγής της πανίδας αλλά και ταυτόχρονα συμβάλλουν στην απόσβεση των κυματισμών εξαιτίας των υδροδυναμικών στροβίλων που δημιουργούνται. Συνεπώς μπορεί να χρησιμοποιηθούν ταυτόχρονα και ως περιβαλλοντικά φιλικά έργα προστασίας ακτών. Συνήθως οι μονάδες τοποθετούνται σχετικά κοντά η μία στην άλλη, σε αρκετές σειρές παράλληλα στην ακτή, σε μικρά βάθη, καλύπτοντας όλο το μήκος της ακτής που πρέπει να προστατευτεί. Η λειτουργία τους είναι απλή: όταν μειώνουν την κυματική ενέργεια που προσπίπτει, μειώνεται και η διαβρωτική ικανότητα των κυματισμών αλλά και η ικανότητα στερεομετοφοράς του παράκτιου κυματογενούς ρεύματος, με αποτέλεσμα τον έλεγχο της διάβρωσης (Καραμπάς και συν., 2011; Karambas et al. 2012). Σε σύγκριση με τους ύφαλους κυματοθραύστες, έχουν το σημαντικό πλεονέκτημα ότι είναι προκατασκευασμένοι και ανατάξιμοι. Βέβαια, αν και λιγότερο αποτελεσματικοί από τους κυματοθραύστες, συνεισφέρουν σίγουρα στη μικρότερη στερεοπαροχή και συνεπώς ένα σημαντικό βαθμό άμυνας απέναντι στην παράκτια διάβρωση.

2.4 Κυματοθραύστες παράλληλα στην ακτή

Οι κυματοθραύστες παράλληλα στην ακτή (χωρίς σημείο επαφής), είναι το πλέον σύνηθες μέτρο προστασίας μια ακτής από διάβρωση. Εξαιτίας της παρουσίας τους η κυματική δράση μειώνεται σημαντικά πίσω από αυτούς και έτσι προστατεύεται η ακτή από τη διαβρωτική δράση τους. Ταυτόχρονα οι νέες κυματογενείς διεργασίες που συνεπάγονται (λόγω του φαινομένου της περιθλασης) οδηγούν στη μεταφορά και παγίδευση της άμμου

ανάμεσα στους κυματοθραύστες και στην ακτή, με αποτέλεσμα την ελεγχόμενη προσάμμωση, δηλαδή τη δημιουργία προεξοχής ή/και συχνά της μορφής tombolo (σε συνδυασμό με διάφορα χαρακτηριστικά των κυματοθραυστών). Συνήθως κατασκευάζεται ένας μεμονωμένος κυματοθραύστης ή, με σκοπό να προστατευτούν μεγάλα μήκη ακτών, ένα σύστημα κυματοθραυστών με κάποια απόσταση μεταξύ τους. Κατασκευάζονται, επίσης, κατάντη λιμενικών έργων για να ελεγχθεί η διάβρωση. Η κατασκευή τους μπορεί να συνοδευτεί με τεχνητή τροφοδοσία ακτής, με σκοπό την αύξηση του πλάτους της παραλίας αλλά και τον έλεγχο της διάβρωσης που θα προκληθεί ανάμεσα στα ανοίγματα. Οι κυματοθραύστες κατασκευάζονται συνήθως με πρανή από λιθορριπή (παρόμοια με αυτή που χρησιμοποιείται και στα λιμενικά έργα), αλλά και με ογκόλιθους άοπλου σκυροδέματος. Μπορεί να είναι έξαλοι, χαμηλής στέψης ή ύφαλοι. Στην κατηγορία των κυματοθραυστών αυτών ανήκουν και οι πυθμενικοί τεχνητοί ύφαλοι, καθώς και οι πλωτοί κυματοθραύστες, αν και οι 2 τελευταίες κατηγορίες αναφέρθηκαν παραπάνω, αφού θεωρούνται πιο ήπιες (φιλικές) μέθοδοι προστασίας.

2.4.1 Κυματοθραύστες χαμηλής στέψης

Οι κυματοθραύστες χαμηλής στέψης και οι ύφαλοι κυματοθραύστες κατασκευάζονται συνήθως από λιθορριπή και ογκόλιθους, αλλά και από σκυρόδεμα, όπως και οι έξαλοι. Κατασκευάζονται επίσης από σωλήνες γεωυφάσματος που είναι πληρωμένοι με άμμο, για να μειωθεί ο κίνδυνος για τους λουόμενους και τα σκάφη. Η στέψη τους βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας ή και πλησίον της ίσαλης γραμμής, επιτρέποντας τον κυματισμό να τους υπερπηδά και να διαδίδεται κατάντη. Λόγω της παρουσίας τους, ένα μέρος της κυματικής ενέργειας ανακλάται προς τα ανοιχτά, ένα μέρος αποσβένεται και ένα μέρος της μεταδίδεται προς την ακτή. Η απόσβεση της κυματικής ενέργειας πραγματοποιείται μέσω της θραύσης πάνω στην κατασκευή ή/και μέσω των τυρβωδών ροών στην επιφάνεια (τριβή) και της ροής στο πορώδες (δηλ., στο εσωτερικό τους). Ο συντελεστής ανάκλασης είναι της τάξης του 20%, ενώ ο συντελεστής μετάδοσης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες που σχετίζονται με την απώλεια ενέργειας.

Κατασκευάζονται μεμονωμένοι ή ως σύστημα κυματοθραυστών με κενά ανάμεσά τους (Εικόνα 7.18), σε βάθη μεγαλύτερα των 3-4 m, συνήθως σε περιοχές με μικρό εύρος παλίρροιας. Όταν κατασκευάζονται με μήκη της τάξης των 100-200m, οι κυματογενείς διεργασίες που επιφέρει η παρουσία τους είναι παρόμοιες με αυτές των εξάλων και συνεπάγονται συγκέντρωση της άμμου και δημιουργία προεξοχής στη «σκιά» τους. Δηλαδή, η παρουσία τους παράλληλα στην ακτή μειώνει την διαβρωτική εγκάρσια δράση των κυματισμών και ενισχύει την πρόσχωση (Καραθανάση, 2004). Η χρήση κυματοθραυστών χαμηλής στέψης αποτελεί μια σύγχρονη και περιβαλλοντικά αποδεκτή λύση, η οποία διερευνάται συστηματικά τα τελευταία χρόνια.

2.5 Πρόβολοι

Οι πρόβολοι (βραχίονες) είναι επιμήκη έργα στενής στέψης/διατομής με αφετηρία στην ακτή και προσανατολισμό (συνήθως) κάθετα σε αυτή. Μπορεί να εξέχουν έως 1 m πάνω

από τη θάλασσα όμως επίσης μπορεί να είναι και χαμηλής στέψης (βυθισμένοι). Έχουν αποστολή την προστασία από διάβρωση ακτών, και τη διατήρηση τεχνητά εμπλουτισμένων ακτών. Τοποθετούνται σε συγκεκριμένη απόσταση μεταξύ τους και είτε εκτείνονται σε όλο το εύρος της ζώνης θραύσης είτε σε μέρος αυτής. Αποτέλεσμα είναι η αναδιαμόρφωση της ακτής μεταξύ διαδοχικών βραχιόνων. Οι πρόβολοι αν και σταθεροποιούν την ακτή ανάμεσα τους, εμποδίζοντας τη στερεομεταφορά κατά μήκος της ακτής, εντούτοις μπορεί να προκαλέσουν σημαντική υποβάθμιση της ποιότητας των νερών (ανάμεσα τους), λόγω της μη ικανοποιητικής ανανέωσής τους, με συνέπεια την έντονη δυσσομία, την αυξημένη θολερότητα, ευτροφισμό κλπ). Το υλικό κατασκευής τους και η διατομή τους ποικίλουν (λίθοι / κεκλιμένα πρανή, οπλισμένο σκυρόδεμα / κατακόρυφο μέτωπο, πασσαλοφράγματα ξύλινα ή μεταλλικά, σωλήνες γεωϋφάσματος πληρωμένοι με άμμο ή ισχνό σκυρόδεμα, ογκόλιθοι άοπλου σκυροδέματος).

2.5.1 Βυθισμένοι (ύφαλοι) πρόβολοι

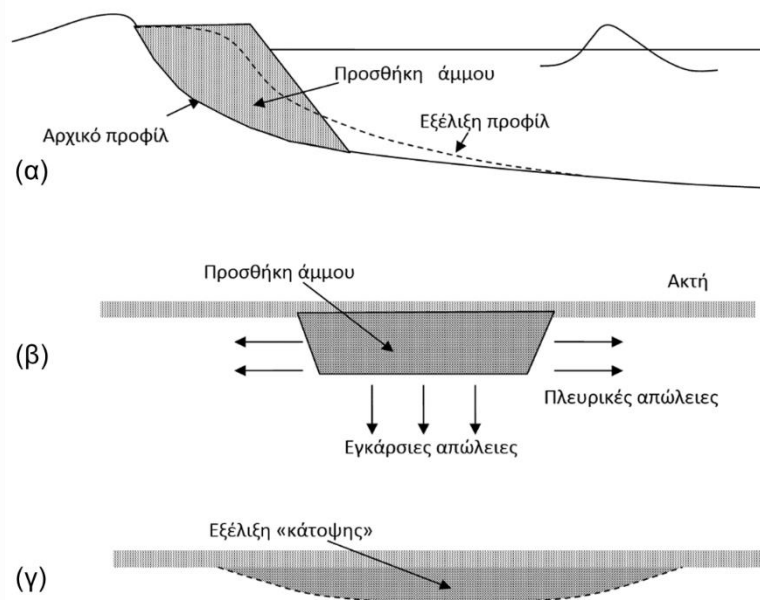
Οι βυθισμένοι πρόβολοι είναι πυκνότερα διατεταγμένοι και έχουν στέψη 1-2 m πάνω από το βυθό. Η κατασκευή υφάλων προβόλων μέσα στη ζώνη θραύσης επιβάλλει κυματική θραύση πάνω στους προβόλους και συνεπώς υπάρχει μείωση της τυρβώδους κινητικής ενέργειας στα φατνώματα ανάμεσα στους προβόλους (εφόσον μέρος της ενέργειας έχει απορροβωθεί με τη θραύση πάνω στους προβόλους). Επιπλέον δημιουργείται μία νέα κατάσταση κυματογενούς κυκλοφορίας με κύριο χαρακτηριστικό στροβίλους στα φατνώματα. Η μείωση της έντασης του κυματογενούς ρεύματος και άρα της στερεοπαροχής έχει σαν αποτέλεσμα τη παγίδευση μέρους των φερτών και την αποφυγή της διάβρωσης. Η σταθεροποίηση της ακτής ενισχύεται με την ίδια τη παρουσία των προβόλων που αποτελούν εμπόδιο για την απομάκρυνση της άμμου.

3 Μεθοδολογία

Ο σχεδιασμός χωροδιάταξης των έργων πραγματοποιήθηκε με βάση του κλασσικούς κανόνες σχεδιασμού έργων προστασίας ακτών για τις πιλοτικές παραλίες μελέτης. Για το σχεδιασμό των ήπιων και των σκληρών έργων προστασίας πραγματοποιήθηκαν δοκιμαστικές προσομοιώσεις κάτω από διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες και παραμέτρους σχεδιασμού, λαμβάνοντας επίσης υπόψη παράγοντες ασφάλειας (π.χ. αποφυγή δημιουργίας επικίνδυνων παράκτιων ρευμάτων) καθώς και πιθανές περιβαλλοντικές και αισθητικές επιπτώσεις. Οι κυματικές συνθήκες σε κάθε περιοχή εκτιμήθηκαν χρησιμοποιώντας τη μέθοδο JONSWAP (Κουτίτας, 1994), ενώ οι ισοδύναμοι κυματισμοί για κάθε διεύθυνση ανέμου υπολογίστηκαν σύμφωνα με τους Borah and Balloffet (1985). Επιλέχθηκαν οι σχεδιασμοί που όχι μόνον έδειξαν ότι είναι αποτελεσματικοί κάτω από τις σημερινές συνθήκες, αλλά θα είναι ανθεκτικοί και αναβαθμισιμοί στο μέλλον (υπό συνθήκες κλιματικής αλλαγής) με σχετικά μικρό κόστος.

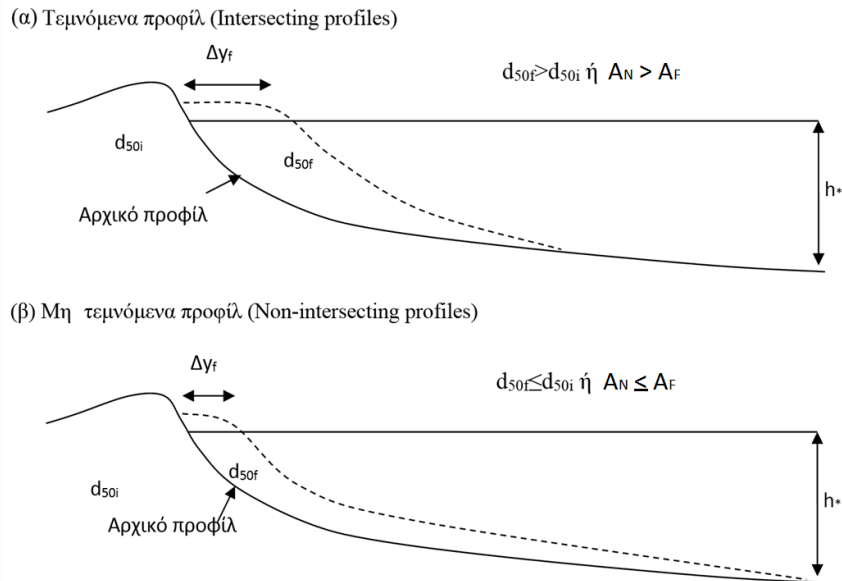
3.1 Μέθοδος Τεχνητής τροφοδότησης/αναπλήρωσης ακτών

Η μέθοδος της τεχνητής αναπλήρωσης των ακτών, αποτελεί την τοποθέτηση υλικού με σκοπό την επέκταση της ακτής προς τη θάλασσα. Το ύψος που γίνεται η εναπόθεση του υλικού είναι της τάξης των 1-3 m πάνω από τη μέση θαλάσσια στάθμη. Μετά την τοποθέτηση της άμμου τα παράκτια κυματογενή ρεύματα θα οδηγήσουν σε πλευρικές απώλειες, ενώ οι κυματισμοί που προσπίπτουν κάθετα θα διαμορφώσουν το προφίλ ισορροπίας (Εικόνα 1). Ανάλογα με τη χαρακτηριστική διάμετρο των κόκκων, που μπορεί να είναι μεγαλύτερη, ίση ή μικρότερη από αυτή των κόκκων της υφιστάμενης ακτής, θα διαμορφωθούν ανάλογα προφίλ (Εικόνα 2). Τα προφίλ αυτά θα έχουν πιο ήπια, ίση ή μεγαλύτερη κλίση από την υφιστάμενη αντίστοιχα, με αποτέλεσμα τη διατήρηση του πλάτους της νέας παραλίας που διαμορφώθηκε, ή την μερική ή και ολική απώλεια της.



Εικόνα 1: (α) Εξέλιξη παραλιακής διατομής μετά την προσθήκη άμμου. (β) Απώλειες άμμου στην περίπτωση τεχνητής ανάπλασης ακτής (εγκάρσιοι κυματισμοί). (γ) Τελική κάτοψη.

Το βασικότερο πλεονέκτημά από τεχνική άποψη, είναι ότι δεν δημιουργούνται διαβρώσεις κατάντη της περιοχής που αναπλάθεται, όπως συμβαίνει στα περισσότερα έργα προστασίας. Επιπλέον το κόστος της είναι συγκριτικά μικρότερο από αυτό των συμβατικών μεθόδων, ιδίως όταν η θέση αμμοληψίας βρίσκεται πλησίον της περιοχής ανάπλασης.



Εικόνα 2: Επίδραση της παραμέτρου A στο πλάτος της διαμορφωμένης παραλίας. Στα παραδείγματα του σχήματος ο προστιθέμενος όγκος ιζήματος ανά μονάδα μήκους παραλίας είναι ο ίδιος ενώ η παράμετρος A μεταβάλλεται.

3.1.1 Σχεδιασμός τεχνητής αναπλήρωσης ακτής-Μέθοδος διατομών ισορροπίας EBP

Για την εκτίμηση του όγκου του υλικού αναπλήρωσης χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των διατομών ισορροπίας EBP (Equilibrium beach profiles). Η μέθοδος αυτή (Dean (2002, 2003; U.S. Army Corps of Engineers, 2002), βασίζεται στην εκτίμηση του όγκου του υλικού που χρησιμοποιείται ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό πλάτος παραλίας και περιλαμβάνει τις θαλάσσιες διεργασίες οι οποίες διαμορφώνουν τη διατομή της ακτογραμμής πριν και μετά την αναπλήρωση της ακτής σε συνδυασμό με την χαρακτηριστική διάμετρο (διάμεσο d_{50}) κόκκου του ιζήματος. Τα χονδρόκοκκα ιζήματα συνήθως σχηματίζουν απότομες ακτές (ανακλαστικές) που διαβρώνονται με βραδύτερους ρυθμούς από τις παραλίες που δημιουργούνται από άμμο λεπτότερης διαμέτρου και η οποία προκαλεί πιο ήπια κλίση ακτής. Στη μέθοδο EBP υποτίθεται ότι οι κυματισμοί διαμορφώνουν ένα νέο προφίλ ισορροπίας διαφορετικό από το αρχικό. Η εξίσωση που υπολογίζει την νέα κατάσταση ισορροπίας είναι:

$$h = Ay^{2/3} \quad [1]$$

όπου h είναι η ανύψωση (βάθος) πυθμένα, A παράμετρος που σχετίζεται με το μέγεθος του κόκκου και y η οριζόντια απόσταση από αρχικό σταθμό αναφοράς της διατομής. Η σχέση μεταξύ της παραμέτρου A και της ταχύτητας καθίζησης του ιζηματικού κόκκου w δίνεται από τη σχέση Raudkivi and Dette (2002):

$$A = 0.508 w^{0.44} \quad [2]$$

Η επιλογή της ιζηματικής διάμεσης διαμέτρου, και άρα και της παραμέτρου A , είναι σημαντική στη διαμόρφωση του τελικού προφίλ (διατομής) ισορροπίας της παραλίας και κυρίως του μεγέθους της διάβρωσης, δηλ. της υποχώρησης της ακτογραμμής. Σύμφωνα με τη μέθοδο EMP διακρίνονται 3 καταστάσεις ισορροπίας: τεμνόμενα προφίλ (Intersecting profiles), μη-τεμνόμενα προφίλ (Non-intersecting profiles) και ύφαλα προφίλ (Submerged profiles).

Στην πρώτη κατάσταση ισορροπίας το υλικό αναπλήρωσης (fill) έχει μεγαλύτερη διάμετρο ιζημάτων από το υπάρχον (native) υλικό, στη δεύτερη ίση ή μικρότερη, ενώ στην τρίτη μικρότερη διάμετρο. Λεπτότερα ιζήματα δημιουργούν ήπιες παραλίες ενώ χονδρόκοκκα ιζήματα προκαλούν πιο απότομα προφίλ. Στην εικόνα 2 παρουσιάζεται παράδειγμα όπου γίνεται αναπλήρωση ίδιου όγκου ιζήματος αλλά με διαφορετικό μέγεθος κόκκων. Εξαιτίας της διαφοράς αυτής δημιουργούνται 3 διαφορετικά προφίλ ισορροπίας. Ο συντελεστής A_F είναι η παράμετρος A που αντιστοιχεί στο υλικό αναπλήρωσης ενώ ο A_N στο υφιστάμενο προφίλ. Το «βάθος κλεισίματος» h^* ή D (closure depth) είναι το βάθος που αντιστοιχεί στο (θαλάσσιο) όριο των διακυμάνσεων του ενεργού προφίλ και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$h_* = 2.28 H_s - 68.5 \left(\frac{H_s^2}{g T_s^2} \right) \quad [3]$$

όπου H_s είναι το σημαντικό ύψος κύματος και T_s η αντίστοιχη περίοδος.

Είναι προφανές ότι για χονδρόκοκκο ίζημα, επιτυγχάνεται πλάτος παραλίας κοντά στο αρχικό πλάτος εναπόθεσης, δηλ. η παραλία δεν διαβρώνεται σημαντικά μετά την εναπόθεση της άμμου. Έτσι μπορεί να προστεθεί μικρότερος όγκος άμμου από όσο θα χρειαζόταν εάν χρησιμοποιούταν υλικό μικρότερης διαμέτρου. Χρησιμοποιώντας υλικό ίδιας διαμέτρου με το υφιστάμενο υλικό θα υπάρξει διάβρωση/μείωση του πλάτους της παραλίας που αναπληρώθηκε. Χρησιμοποιώντας ακόμη λεπτόκοκκο υλικό η διάβρωση προβλέπεται να είναι σημαντική. Το «βάθος κλεισίματος» είναι επίσης μια σημαντική παράμετρος για τον υπολογισμό του πλάτους της παραλίας που σχηματίζεται μετά την αναπλήρωση. Μεγαλύτερα «βάθη κλεισίματος» θα έχουν ως αποτέλεσμα μικρότερα πρόσθετα πλάτη σχηματισμένης παραλίας για κάθε δοσμένο όγκο υλικού ανά μονάδα μήκους και αντιστρόφως.

Σύμφωνα με τη μέθοδο EMP, όταν προστεθεί υλικό αναπλήρωσης όγκου V που έχει την ίδια διάμετρο με το υπάρχον υλικό της παραλίας, η τελική θέση της ακτογραμμής Δy_o μετά τη διαδικασία διάβρωσης (Εικόνα 2) δίνεται από:

$$\Delta y_o = \frac{V}{h_* + B} \quad [4]$$

όπου B το ύψος του παραλιακού αναβαθμού (berm) και V ο όγκος του υλικού που προστέθηκε ανά μονάδα μήκους παραλίας (Εικόνα 2).

Ακολούθως εφαρμόζεται η μέθοδος EMP για τις διαφορετικές περιπτώσεις που προαναφέρθηκαν. Ο απαιτούμενος όγκος υλικού αναπλήρωσης V και το πλάτος της παραλίας αδιαστατοποιούνται ως εξής:

$$\Psi' = \frac{V}{BW_*} \quad \Delta y' = \frac{\Delta y_o}{W_*} \quad [5]$$

Όπου $W_* = (h_*/A_N)^{2/3}$ είναι η απόσταση από την ακτογραμμή έως το βάθος 'κλεισίματος' h_* . Για τις διαφορετικές καταστάσεις ισορροπίας ο όγκος υλικού αναπλήρωσης V δίνεται:

α. Για τεμνόμενα προφίλ (Intersecting profiles) $A_N < A_F$

$$\Psi' = \frac{V}{BW_*} = \Delta y' + \frac{3h_*}{5B'} (\Delta y')^{5/3} \frac{1}{\left[1 - \left(\frac{A_N}{A_F}\right)^{3/2}\right]^{2/3}} \quad [6]$$

β. Για μη-τεμνόμενα προφίλ (Non-intersecting profiles) $A_N \geq A_F$

$$\Psi' = \frac{V}{BW_*} = \Delta y' + \frac{3h_*}{5B'} \left\{ \left[\Delta y' + \left(\frac{A_N}{A_F}\right)^{3/2} \right]^{5/3} - \left(\frac{A_N}{A_F}\right)^{3/2} \right\} \quad [7]$$

Το απαιτούμενο αρχικό πλάτος παραλίας $\Delta y'$ δίνεται από τις σχέσεις:

$$\Delta y'_1 = y'_1 - \left(\frac{h_*}{mW_*}\right) y_1'^{2/3} \quad [8]$$

$$\Psi' = y'_1 - \left(\frac{h_*}{mW_*}\right) y_1'^{2/3} + \frac{3h_*}{5B'} y_1'^{5/3} - \frac{h_*}{2B} \left(\frac{h_*}{mW_*}\right) y_1'^{4/3}$$

όπου m η αρχική κλίση που διαμορφώνεται και y_1' η αδιάστατη απόσταση από την αρχική ακτογραμμή έως τον πόδα του όγκου αναπλήρωσης.

Παραπάνω εκτιμώνται οι εγκάρσιες απώλειες αμέσως μετά την τεχνητή αναπλήρωση. Η εξέλιξη της μορφολογίας λόγω πλευρικών απωλειών υπολογίζεται με βάση το μοντέλο Boussinesq όπως περιγράφεται στο παραδοτέο 5.1.1.

3.2 Σχεδιασμός κυματοθραυστών

Οι παράλληλοι στην ακτή κυματοθραύστες κατασκευάζονται με στόχο τη διάχυση της κυματικής ενέργειας και τη συσσώρευση ιζήματος στην σκιά τους. Οι κυματισμοί προσπίπτοντας στους κυματοθραύστες χάνουν σημαντικό μέρος της ενέργειας τους, ενώ οι διατάξεις που χρησιμοποιούνται είναι είτε ένας κυματοθραύστης ή πολλαπλοί (σε σειρά). Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των κυματοθραυστών της κάθε προτεινόμενης

λύσης θα πρέπει να καθοριστούν ώστε να επιτευχθεί ο επιθυμητός συντελεστής διάδοσης K_t . Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά είναι:

- Το βύθισμα R_c (απόσταση του επιπέδου της στέψης από την ελεύθερη επιφάνεια).
- Το πλάτος της στέψης (B)
- Η κλίση των πρανών ($\tan\alpha$)

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά, σε συνδυασμό με τα χαρακτηριστικά του κύματος που προσπίπτει, είναι οι παράμετροι που καθορίζουν το ποσοστό της ενέργειας του κύματος που διαπερνά τον κυματοθραύστη. Το ποσοστό αυτό εκφράζεται από το συντελεστή διάδοσης K_t που ορίζεται ως:

$$K_t = \frac{H_t}{H_i} \quad [9]$$

όπου H_t : ύψος κύματος που μεταδίδεται κατάντη των ΒΚ και H_i : ύψος κύματος που προσπίπτει.

Στους συμβατικούς κυματοθραύστες ο συντελεστής K_t είναι πολύ μικρός (της τάξης του 10%) σε αντίθεση με τους βυθισμένους που αναμένεται να είναι μεγαλύτερος.

Οι d'Angermond et al. (1996) πρότειναν την παρακάτω σχέση για το υπολογισμό του K_t :

$$K_t = -0.4 \frac{R_c}{H_{si}} + 0.64 \left(\frac{B}{H_{si}} \right)^{-0.31} (1 - e^{-0.5\xi}) \quad [10]$$

όπου H_{si} το σημαντικό ύψος κύματος που προσπίπτει, R_c η απόσταση από την επιφάνεια του νερού ως την επιφάνεια του κυματοθραύστη (αρνητικό για βυθισμένους), B το πλάτος στέψης και ξ ο συντελεστής Irribarren ($\xi = \tan\alpha / (H_0/L_0)^{1/2}$), με L_0 : το μήκος κύματος στα βαθιά νερά ($L_0 = gT_p^2/2\pi$, όπου T_p η περίοδος κορυφής του φάσματος), H_0 το κυματικό ύψος στα βαθιά νερά και $\tan\alpha$ η κλίση του πυθμένα (πρανούς).

Η παραπάνω εξίσωση [10] ισχύει και για τιμές του λόγου $B/H_s < 10$ και έχει μέγιστες και ελάχιστες τιμές τις $K_t=0.8$ και $K_t=0.075$ αντίστοιχα. Για $B/H_{si} > 10$ ισχύει (DELOS, 2004):

$$K_t = -0.35 \frac{R_c}{H_{si}} + 0.51 \left(\frac{B}{H_{si}} \right)^{-0.65} (1 - e^{-0.41\xi}) \quad [11]$$

Οι εξισώσεις αυτές ισχύουν για πρόσπτωση υπό γωνία μέχρι 70° (0° είναι η εγκάρσια στην ακτή γωνία).

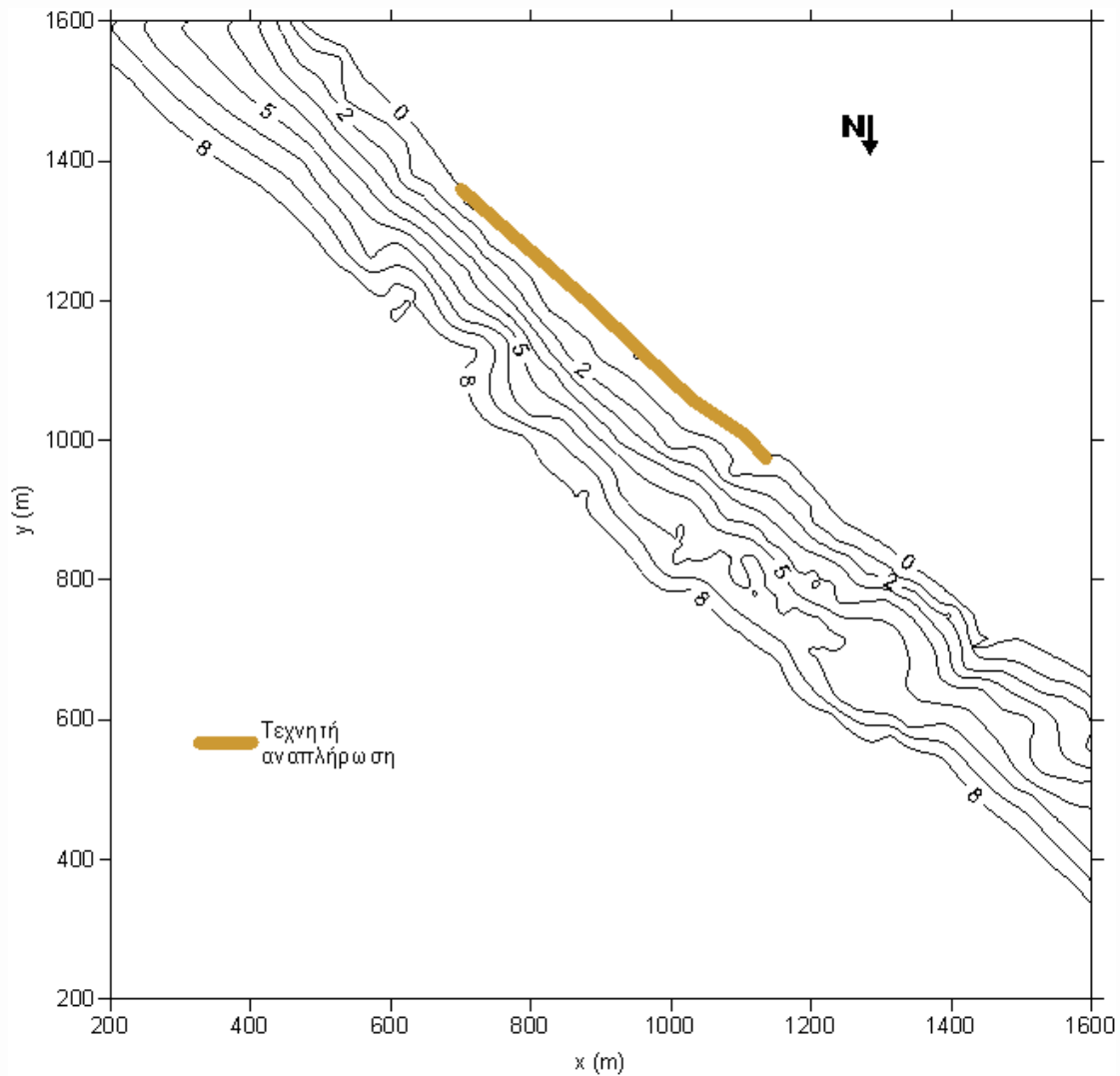
4 Αποτελέσματα

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μαθηματικών προσομοιώσεων για τις προτεινόμενες λύσεις προσαρμογής στην Κλιματική Αλλαγή των ακτών που μελετώνται.

Τα αποτελέσματα αφορούν τα ύψη των ισοδύναμων κυματισμών, το πεδίο κυματογενών ταχυτήτων και την εξέλιξη μορφολογίας πυθμένα παρουσία των προτεινόμενων έργων προστασίας, σύμφωνα με τη μεθοδολογία που υιοθετήθηκε στο παραδοτέο 5.1.1. Οι τεχνικές λύσεις που παρουσιάζονται/προτείνονται είναι συνδυαστικές και περιλαμβάνουν τεχνητή αναπλήρωση των παραλιών και συνοδά «σκληρότερα» έργα, που όμως είναι χαμηλής στέψης για την εξασφάλιση της μικρότερης δυνατής περιβαλλοντικής όχλησης και περιβαλλοντικών συνεπειών, ενώ επίσης ελέγχεται αντί των τελευταίων και η εφαρμογή λύσεων στηριζόμενες περισσότερο στο περιβάλλον (nature-based solutions). Για την τεχνητή αναπλήρωση των παραλιών επιλέγεται για λόγους οικονομίας η τμηματική τοποθέτηση άμμου στις θέσεις όπου εντοπίζεται η μεγαλύτερη διάβρωση σε κάθε παραλία. Βέβαια, η συνθήκη αυτή δεν μπορεί να εφαρμοστεί με απόλυτη επιτυχία στην περίπτωση της μέγιστης ανόδου της στάθμης της θάλασσας ή των ακραίων φαινομένων, όπου η τεχνητή αναπλήρωση εφαρμόζεται σε όλο το μήκος της κάθε παραλίας (βλ. παραδοτέο 6.1.2). Οι σκληρότερες μέθοδοι περιλαμβάνουν χαμηλής στέψης κυματοθραύστες και τοπικά προβόλους, ενώ στις περιπτώσεις που ως λύση προσαρμογής επιλέγονται οι πλέον ήπιες και φιλικές (στηριζόμενες) προς το περιβάλλον προσεγγίσεις (πέραν της τεχνητής αναπλήρωσης), αυτές αφορούν κυρίως την τοποθέτηση μικρού ύψους τεχνητών υφάλων σε πυκνή διάταξη (reef balls) ή/και την τοποθέτηση βλάστησης για σημαντική μείωση του ύψους κύματος ανοιχτά της ακτής, αν και η δεύτερη λύση βρίσκεται περισσότερο σε πειραματικό στάδιο.

4.1 Ιστορικό Μυτιλήνης (Λέσβος)

Η παράκτια ζώνη στην περιοχή του Ιστορικού Μυτιλήνης έχει γενικά βόρειο προσανατολισμό και προσβάλλεται κυρίως από κυματισμούς του Β, ΒΑ και Α τομέα. Το υλικό της παραλίας είναι αδρομερές (αμμο-χαλικώδες με κροκάλες), ενώ τοπικά εμφανίζονται και μεγαλύτερου μεγέθους κοκκομετρικά τεμάχια. Λόγω του ιδιόμορφου αναγλύφου της ευρύτερης παράκτιας περιοχής, της πολύ περιορισμένης παραλίας και του γεγονότος της ανοιχτής έκθεσης της στους επικρατούντες ανέμους, για τη συγκεκριμένη περιοχή διερευνάται αρχικά (1^η πρόταση προστασίας) η περίπτωση εναπόθεσης άμμου μεγέθους $d_{50}=1.0$ mm σε μήκος 300 m βορειοδυτικά του υπήνεμου μώλου, με ύψος που γίνεται εναπόθεσης υλικού (τεχνητού πρανούς) στα 1.5 m πάνω από τη μέση στάθμη της θάλασσας (ΜΣΘ). Σύμφωνα με τη εφαρμογή της μεθοδολογίας των διατομών ισορροπίας EBP (Equilibrium Beach Profiles) φαίνεται ότι προκειμένου να διατηρηθεί ένα τελικό πλάτος παραλίας 18 m, θα πρέπει το αρχικό πλάτος αναπλήρωσης να είναι 28 m, και ο συνολικός όγκος του υλικού που θα χρησιμοποιηθεί να είναι 23000 m³. Η περιοχή της αναπλήρωσης φαίνεται στην Εικόνα 3.

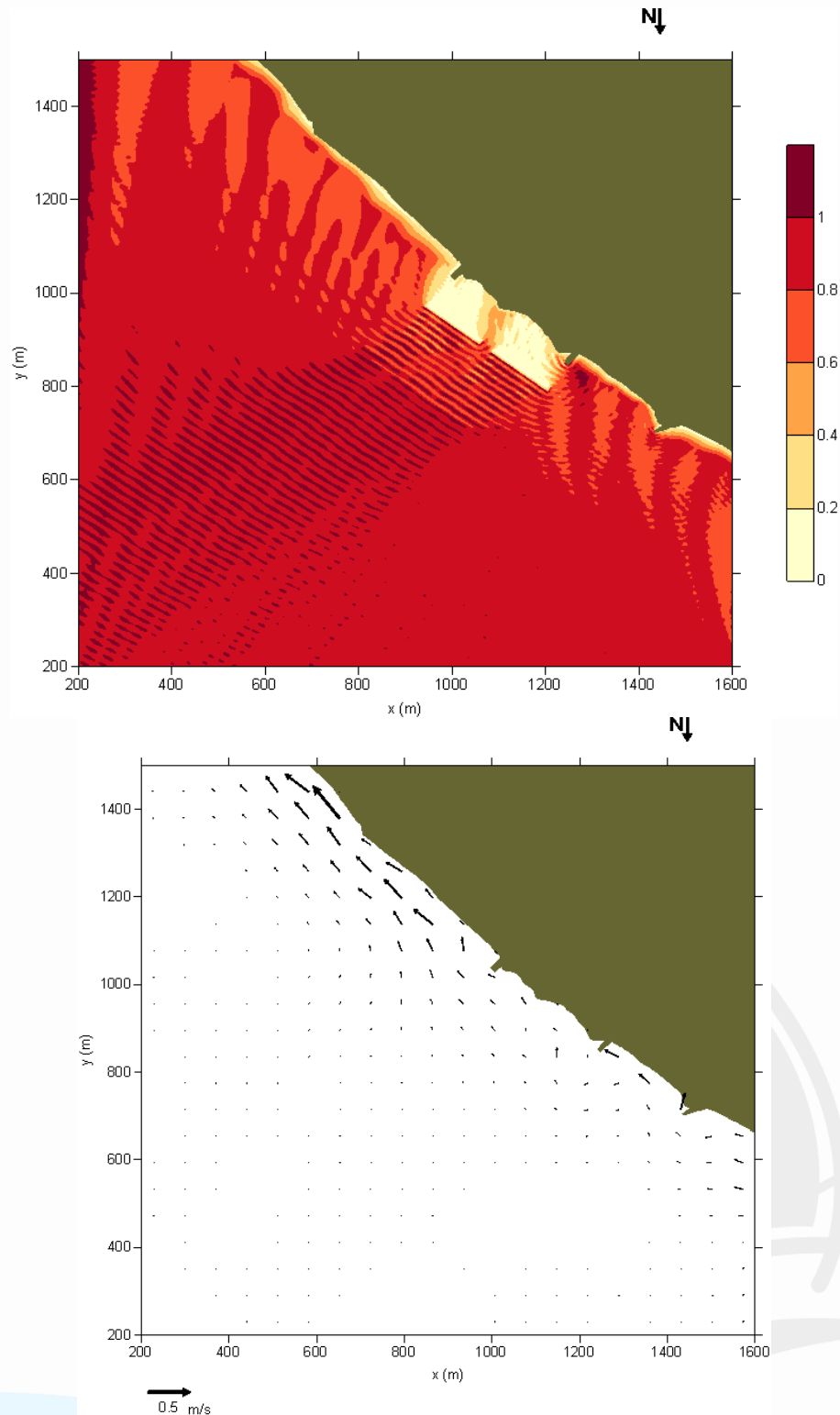


Εικόνα 3: Βαθυμετρία και περιοχή τεχνητής αναπλήρωσης στο Ιστορικό Μυτιλήνης.

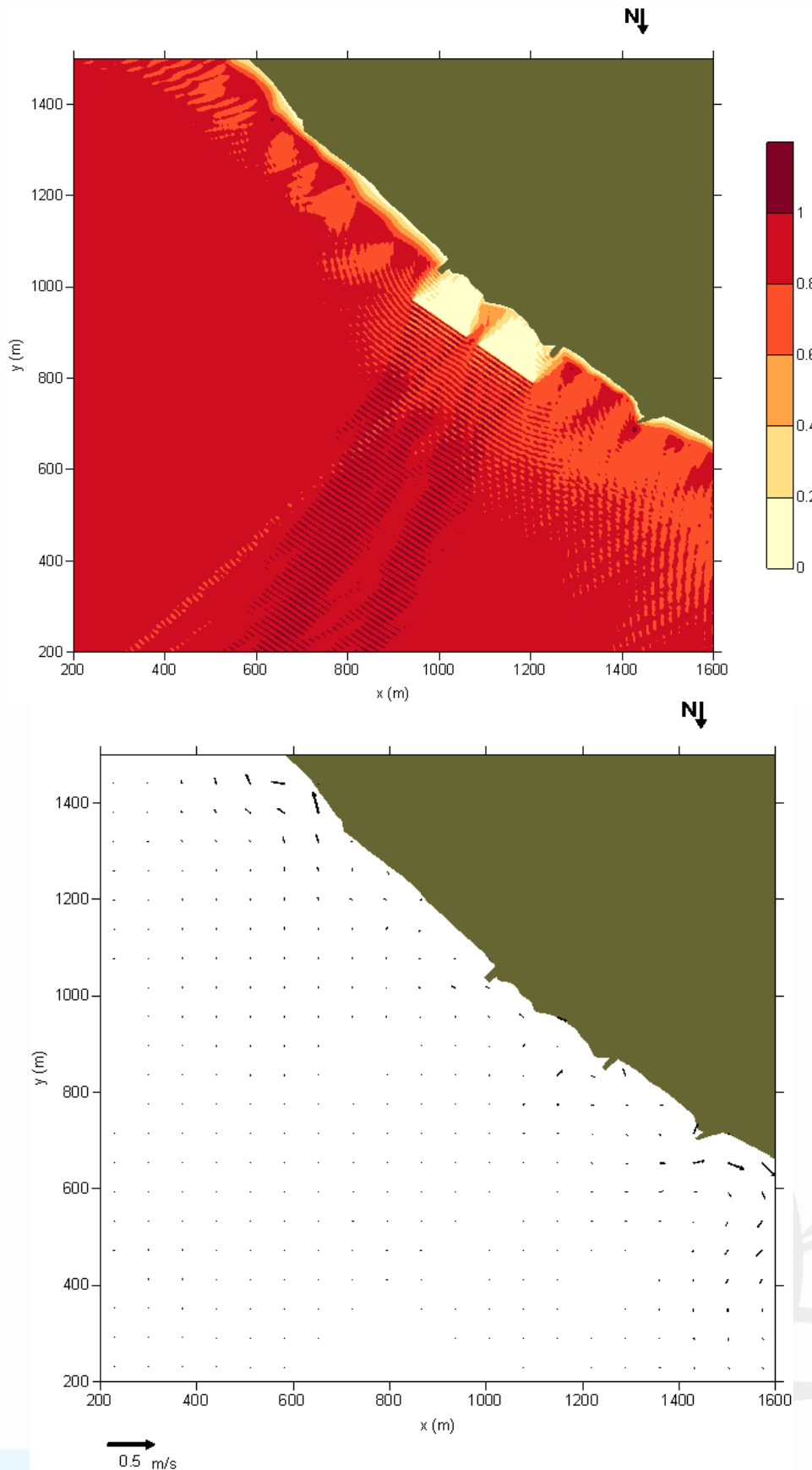
Επιπλέον, προτείνονται δύο πρόβολοι μήκους 35 m για την αποφυγή πλευρικών απωλειών του ιζήματος που θα τοποθετηθεί, καθώς και δύο κυματοθραύστες χαμηλής στέψης μήκους 140 m, πλάτους στέψης 8 m και συνολικού ύψους 5.0 m (θεωρώντας και την ανύψωση της στάθμης θάλασσας λόγω της Κλιματικής Αλλαγής), με κλίσεις 1/2.5 και 1.0/2.0, προσήνεμα και υπήνεμα, αντίστοιχα, και απόσταση μεταξύ τους της τάξης των 50 m. Το βάθος κατασκευής των ύφαλων κυματοθραυστών τοποθετείται περίπου στα 4.5 m.

Είναι προφανές ότι σε όλες τις περιπτώσεις πνοής των επικρατούντων ανέμων η προτεινόμενη μέθοδος προστασίας αποδίδει τα μέγιστα, αφού στη σκιά των κυματοθραυστών οι ρευματικές ταχύτητες εξασθενούν σημαντικά, όπως και το κύμα που προσεγγίζει στην ακτή, το οποίο αποσβένει σχεδόν ολοκληρωτικά (Εικόνες 4, 5 και 6). Μόνο στην περίπτωση των Β ανέμων οι ταχύτητες των ρευμάτων εντός της προστατευμένης περιοχής μπορεί να φτάσει τα 0.2 m/s. Προς τα νότια, η ταχύτητα αυξάνει και πάλι, ξεπερνώντας τα 0.5 m/s. Και στην περίπτωση πνοής ΒΑ ανέμου (Εικόνα 4) οι ταχύτητες είναι ακόμη μικρότερες, ενώ εξωτερικά των προτεινόμενων έργων το μοτίβο κυκλοφορίας φαίνεται να είναι παρόμοιο, όπως και με την απουσία των έργων.

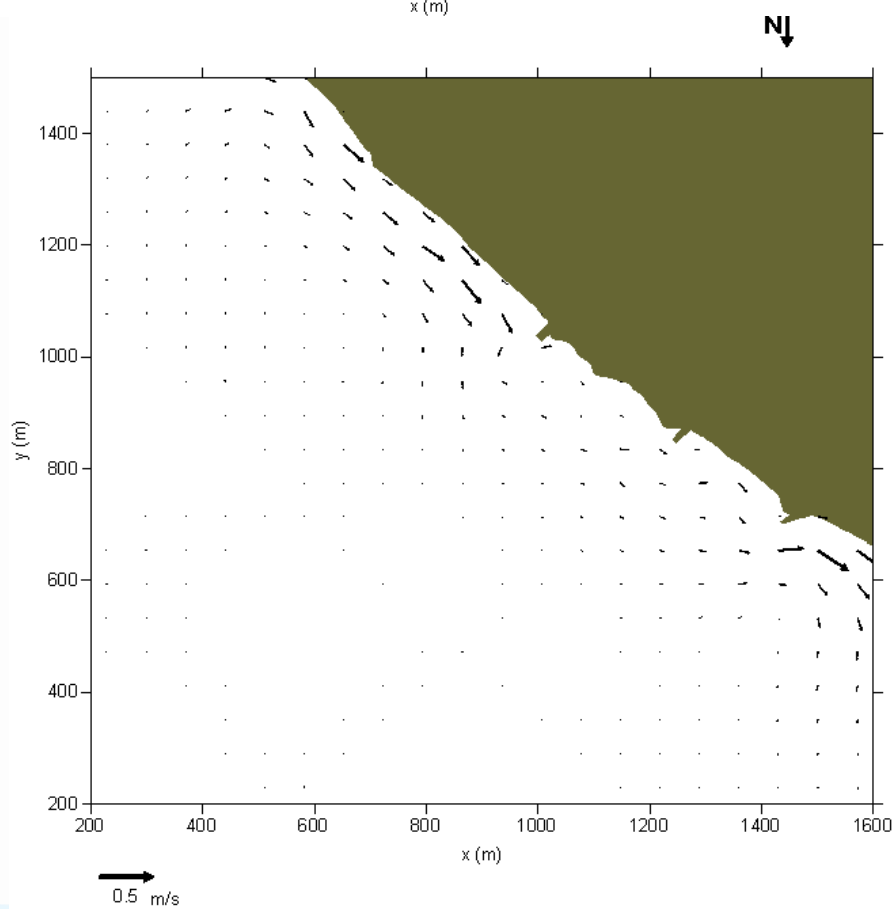
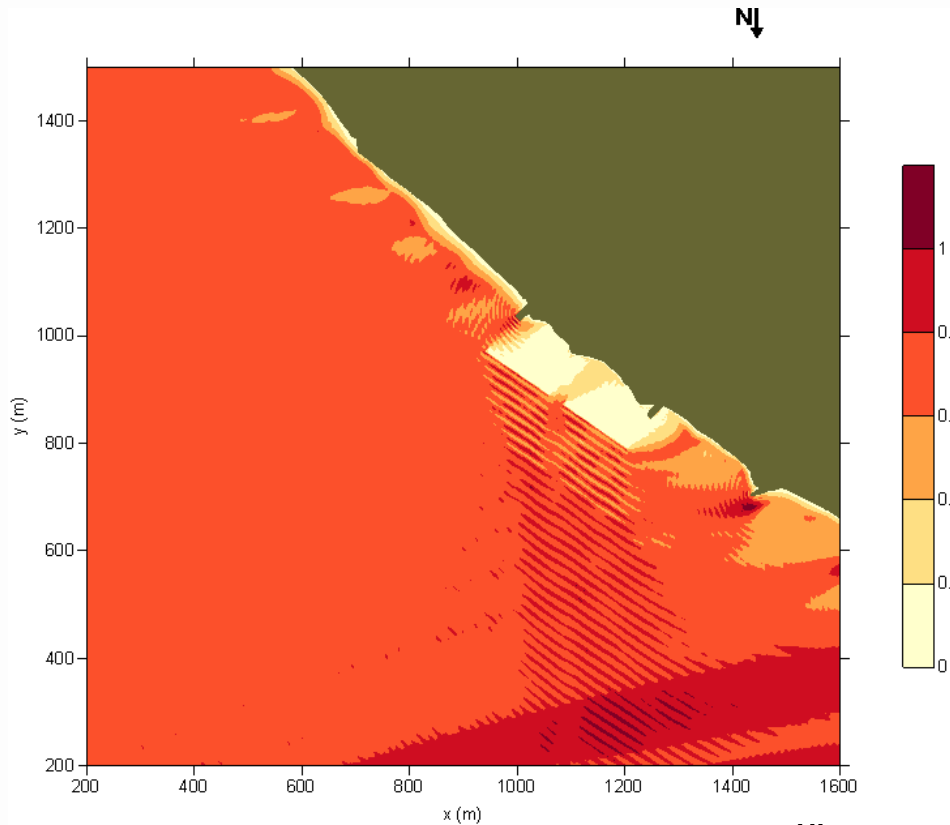
Το γενικό μοτίβο κυκλοφορίας είναι παρόμοιο και για τους Α ανέμους (με και χωρίς έργα), με τις ταχύτητες να εξασθενούν σημαντικά και να έχουν διεύθυνση προς τα βορειοανατολικά (Εικόνα 5). Φαίνεται ότι τα ρεύματα ανακτούν ξανά τη δυναμική τους προς τα βόρεια, μετά το αλιευτικό καταφύγιο της Βαρείας.



Εικόνα 4: Σημαντικό ύψος κύματος (σε m) (πάνω) και κυματογενής ρευματική κυκλοφορία (κάτω) στο Ιστορικό Μυτιλήνης κατά την πνοή Β ανέμου έπειτα από την αναπλήρωση της ακτής και την κατασκευή των τεχνικών έργων προστασίας (ο βορράς (North) είναι προς τα κάτω).

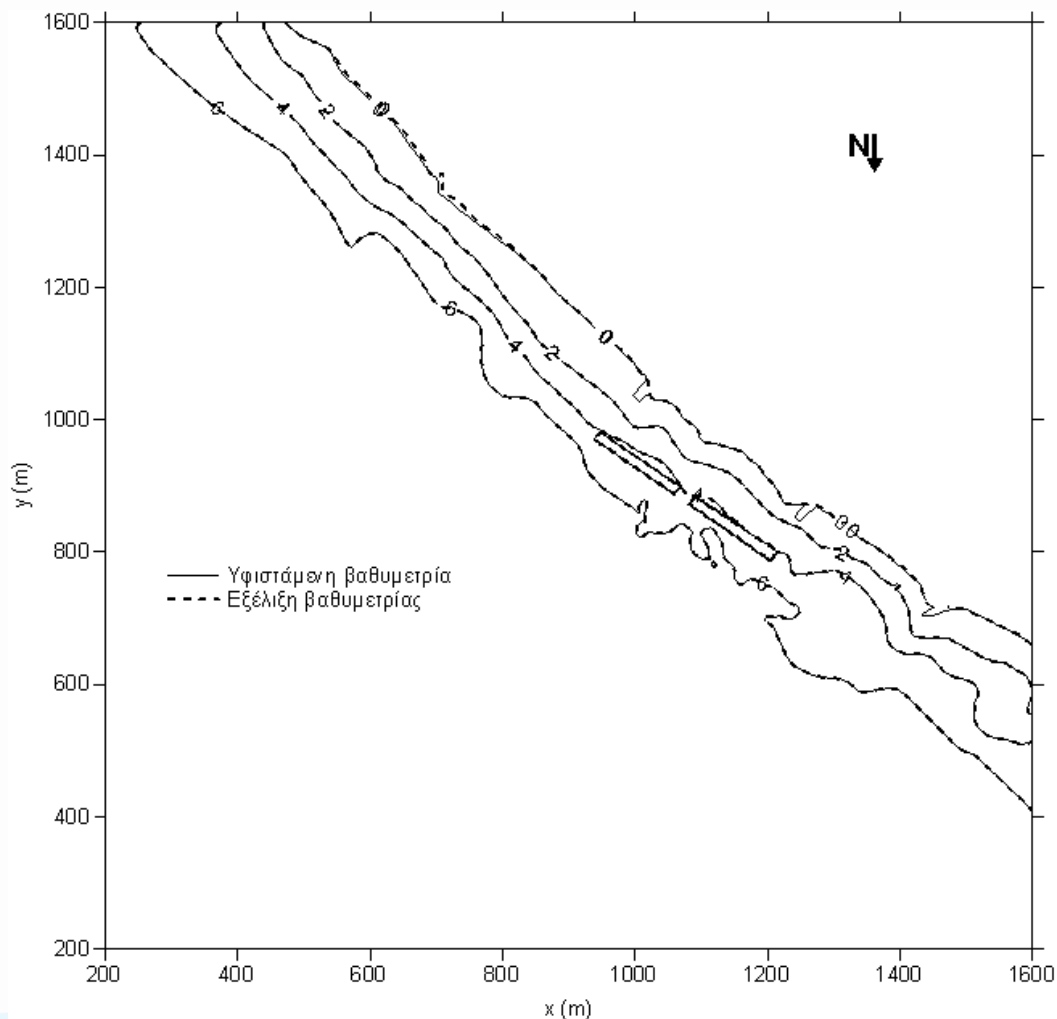


Εικόνα 5: Σημαντικό ύψος κύματος (σε m) (πάνω) και κυματογενής ρευματική κυκλοφορία (κάτω) στο Ιστορικό Μυτιλήνης κατά την πνοή ΒΑ ανέμου έπειτα από την αναπλήρωση της ακτής και την κατασκευή των τεχνικών έργων προστασίας (ο βορράς (North) είναι προς τα κάτω).

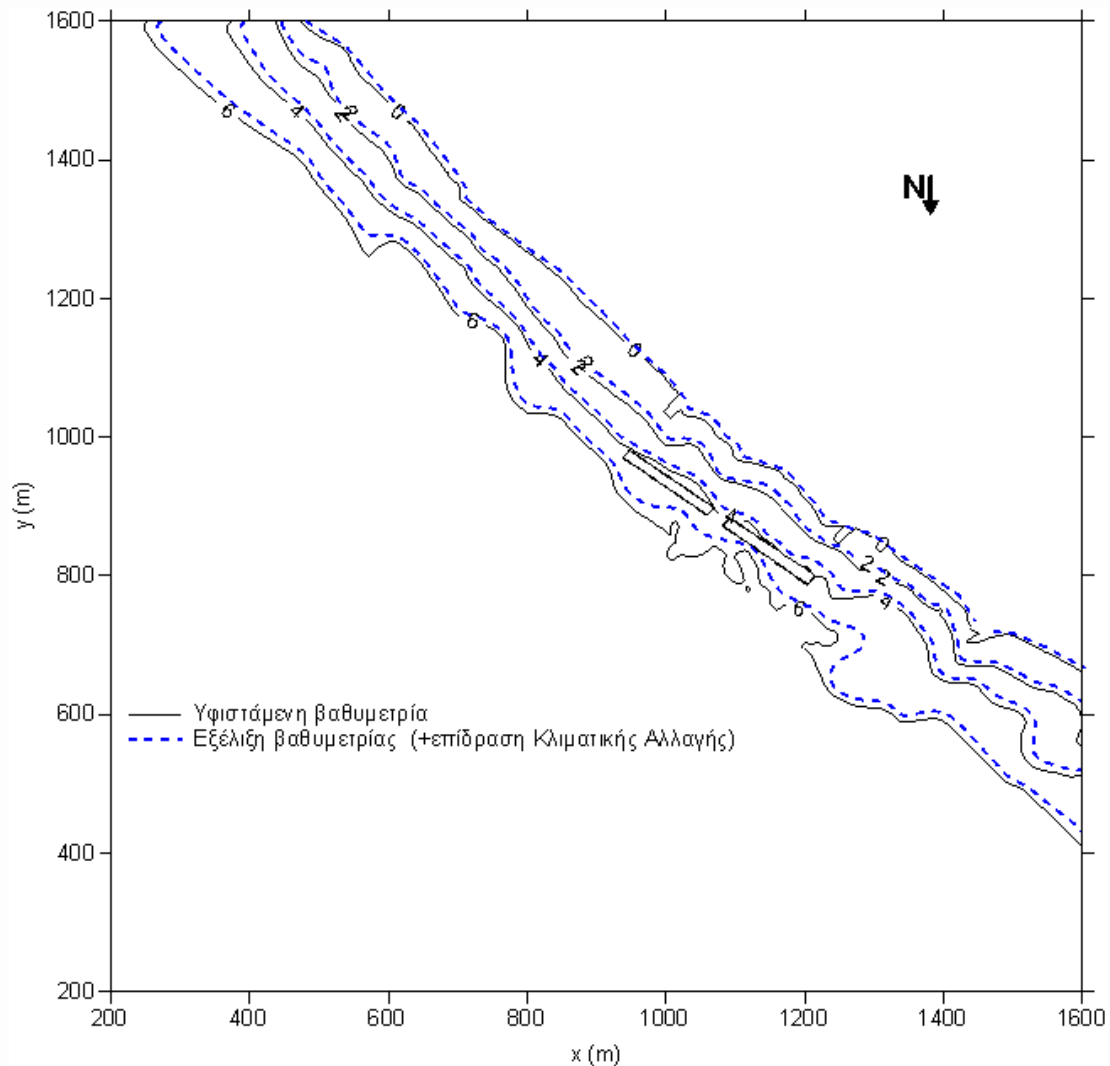


Εικόνα 6: Σημαντικό ύψος κύματος (σε m) (πάνω) και κυματογενής ρευματική κυκλοφορία (κάτω) στο Ιστορικό Μυτιλήνης κατά την πνοή Α ανέμου έπειτα από την αναπλήρωση της ακτής και την κατασκευή των τεχνικών έργων προστασίας (ο βορράς (North) είναι προς τα κάτω).

Σε σχέση με την εξέλιξη της μορφολογίας, υπό την επαλληλία όλων των επικρατούντων κυματισμών και με την κατασκευή των έργων γίνεται προφανές από την εικόνα 7 ότι το τμήμα της ακτής που πρόκειται να προστατευτεί αλλά και η υποθαλάσσια μορφολογία επιδεικνύουν αξιοσημείωτη σταθερότητα. Λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση της Κλιματικής Αλλαγής και συγκεκριμένα μία μετριοπαθή μακροχρόνια αύξηση της μέσης στάθμης της θάλασσας (ΜΣΘ) κατά 0.4 m, σε συνδυασμό με μία αύξηση κατά 10% των υψών του κύματος, τότε η εξέλιξη της μορφολογίας θα είναι όπως φαίνεται στην εικόνα 8. Η αποτελεσματικότητα των τεχνικών έργων προστασίας είναι ικανοποιητική, εφόσον κατά το σχεδιασμό τους επιλέχθηκε μεγάλο πλάτος στέψης των ύφαλων κυματοθραυστών (8 m) ώστε παρά την αύξηση της στάθμης αυτοί να εξακολουθούν να μειώνουν την κυματική ενέργεια σημαντικά (περίπου 70%). Κάτω από τις πιθανές μελλοντικές συνθήκες η ακτή προστατεύεται και πάλι. Η ελαφρά μείωση του πλάτους της παραλίας (διακεκομμένη γραμμή) οφείλεται κυρίως στην (αναπόφευκτη) υποχώρηση της ακτής λόγω της ανύψωσης της στάθμης θάλασσας.

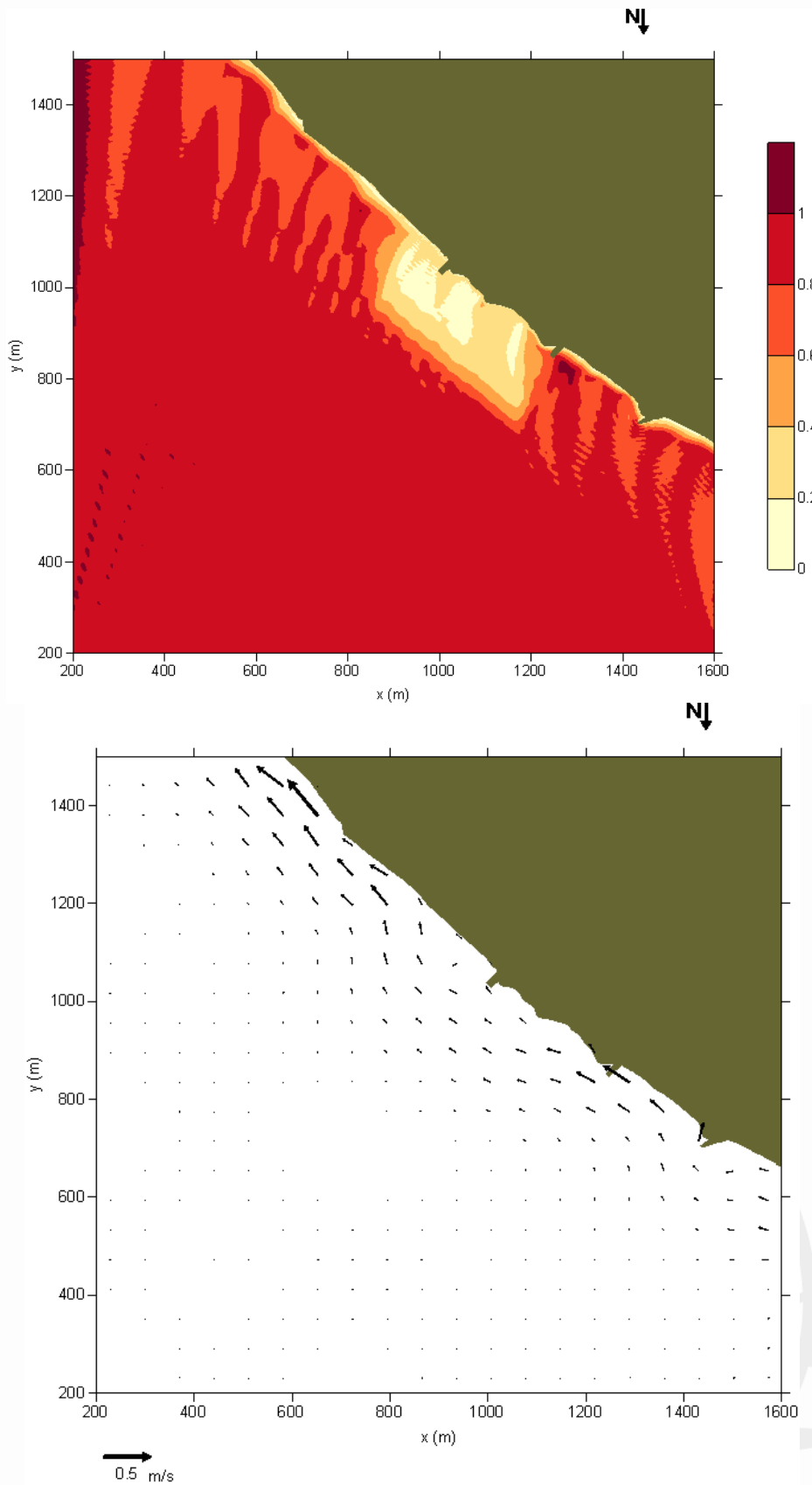


Εικόνα 7: Τάση εξέλιξης της μορφολογίας του πυθμένα με τη λήψη τεχνικών μέτρων για την προστασία της ακτής στο Ιστορικό Μυτιλήνης, με την επαλληλία των επικρατούντων κυματισμών (B, A και BA) υπό τις παρούσες συνθήκες (ο βορράς (North) είναι προς τα κάτω).

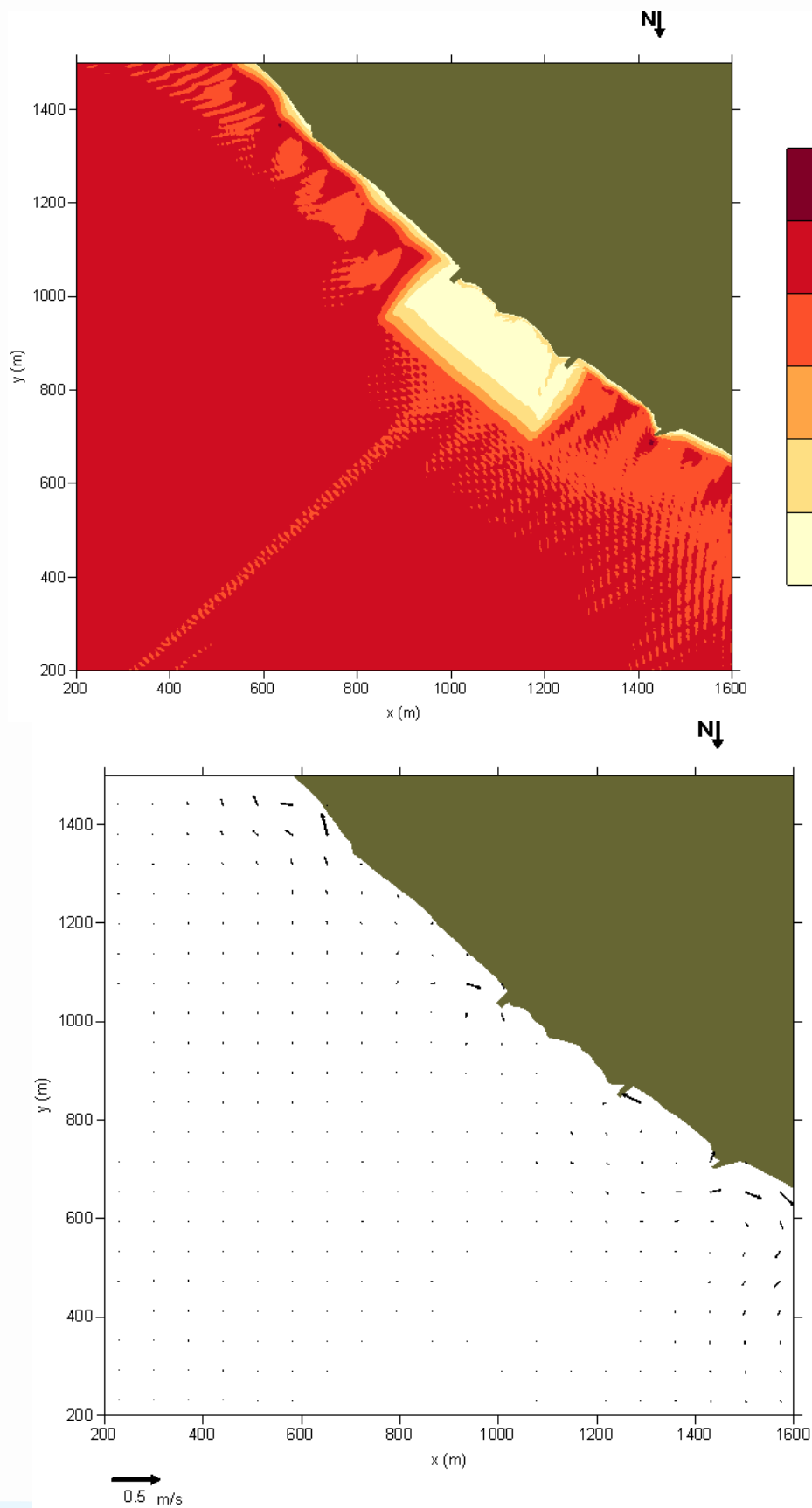


Εικόνα 8: Τάση εξέλιξης της μορφολογίας του πυθμένα με τη λήψη τεχνικών μέτρων για την προστασία της ακτής, με την επαλληλία των επικρατούντων κυματισμών (B, A και BA) υπό σενάριο ανόδου της στάθμης της θάλασσας (λόγω Κλιματικής Αλλαγής) κατά 0.4 m (ο βορράς (North) είναι προς τα κάτω).

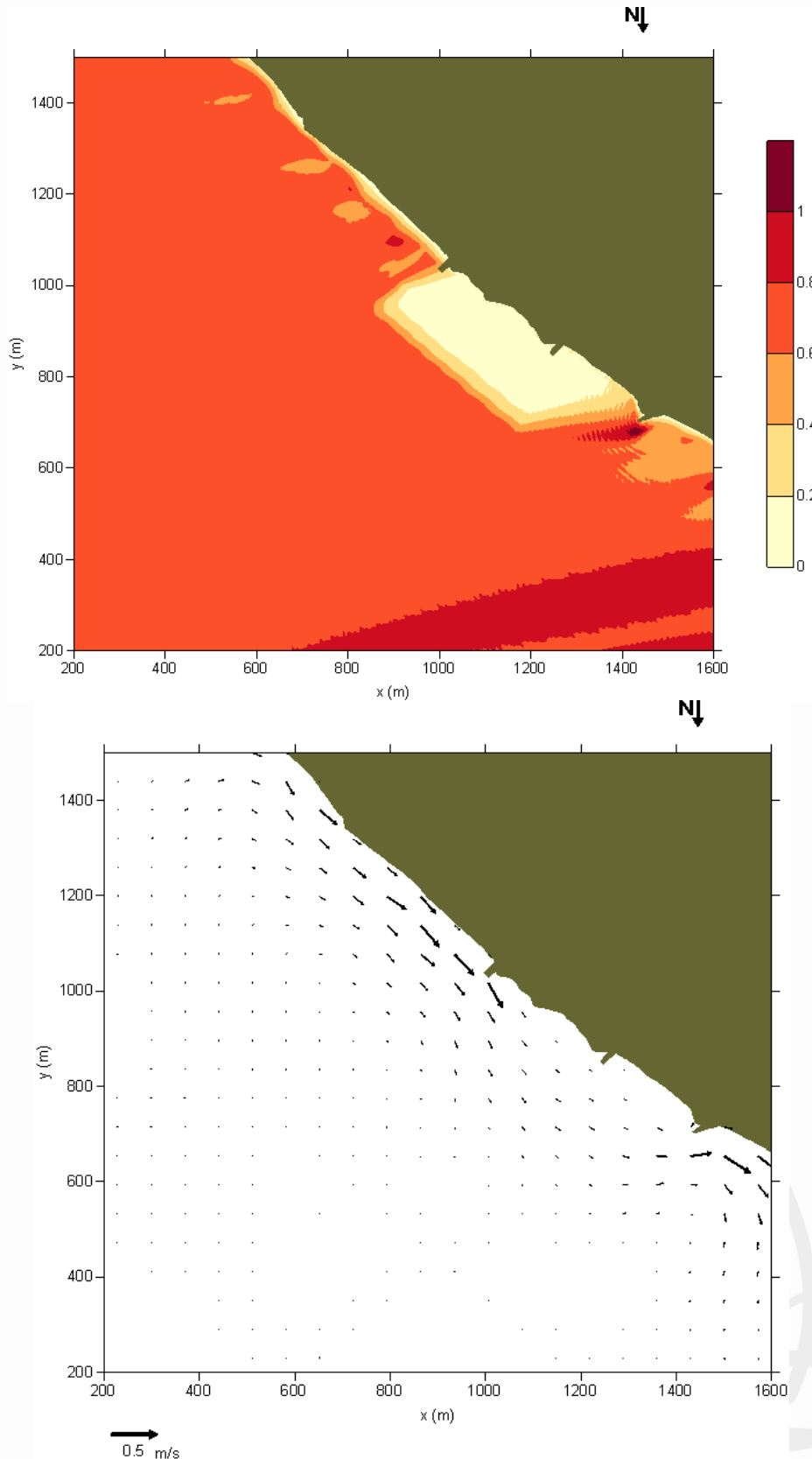
Στην περίπτωση που επιλέγονταν η κατασκευή και πόντιση τεχνητών υφάλων (το πλέον φιλικό προς το περιβάλλον μέτρο προστασίας), ως συνοδευτικό έργο προστασίας για την αναπλήρωση της ακτής (2^η πρόταση προστασίας, περιλαμβάνοντας όμως και τους προβόλους), τότε προτείνεται η ανάπτυξη τους σε απόσταση ~200 m από την ακτή και βάθος ~6 m, σε μήκος παράλληλα με την ακτή ~500 m, σε εύρος ~20 m και με ύψος υφάλου ~1.0 m. Με τη κατάλληλη διάταξη των υφάλων μπορεί να επιτευχθεί μείωση της ενέργειας των κυματισμών παρόμοια και με τα σκληρότερα μέτρα προστασίας (Εικόνες 9, 10, 11 και 12) τουλάχιστον για τους BA και τους A ανέμους, ενώ οι B κατεύθυνσης χάνουν σημαντικό μέρος του ύψους τους. Τα παράκτια ρεύματα εξασθενούν σημαντικά, και οι ταχύτητες τους δε φαίνεται να προκαλούν κάποια αλλοίωση στην ακτή ή στην υποθαλάσσια μορφολογία.



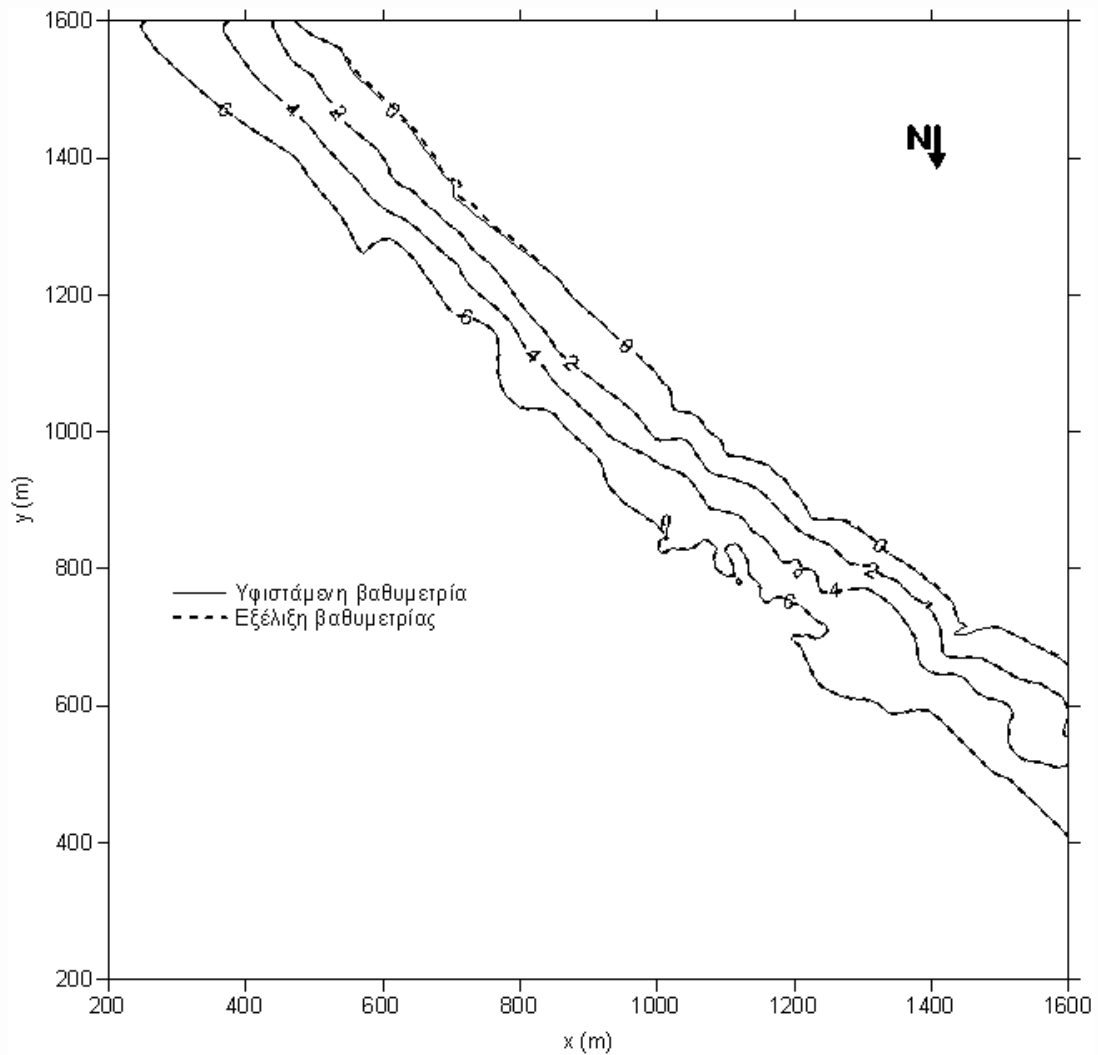
Εικόνα 9: Σημαντικό ύψος κύματος (σε m) (πάνω) και κυματογενής ρευματική κυκλοφορία (κάτω) στο Ιστορικό Μυτιλήνης κατά την πνοή Β ανέμου έπειτα από την αναπλήρωση της ακτής και πόντιση τεχνητών υφάλων (ο βορράς (North) είναι προς τα κάτω).



Εικόνα 10: Σημαντικό ύψος κύματος (σε m) (πάνω) και κυματογενής ρευματική κυκλοφορία (κάτω) στο Ιστορικό Μυτιλήνης κατά την πνοή ΒΑ ανέμου έπειτα από την αναπλήρωση της ακτής και πόντιση τεχνητών υφάλων (ο βορράς (North) είναι προς τα κάτω).



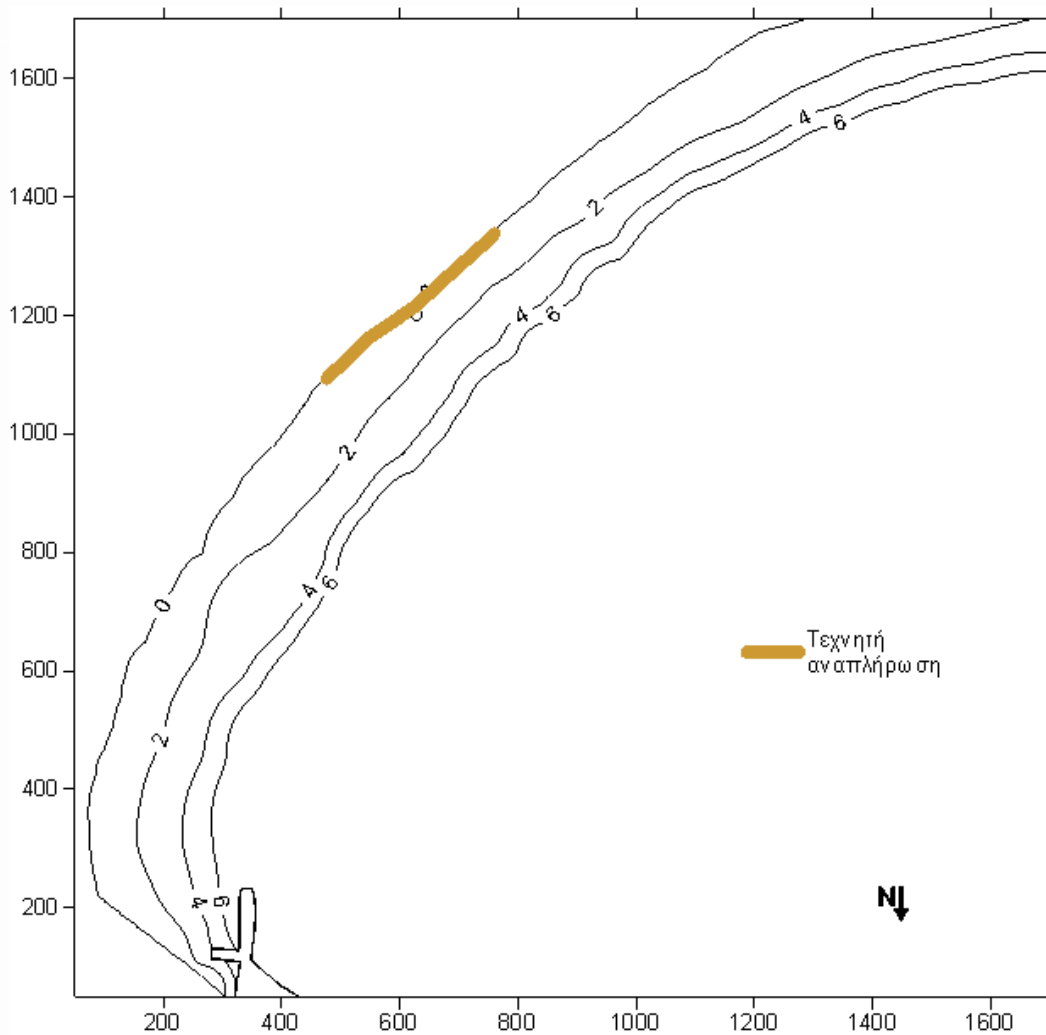
Εικόνα 11: Σημαντικό ύψος κύματος (σε m) (πάνω) και κυματογενής ρευματική κυκλοφορία (κάτω) στο Ιστορικό Μυτιλήνης κατά την πνοή A ανέμου έπειτα από την αναπλήρωση της ακτής και πόντιση τεχνητών υφάλων (ο βορράς (North) είναι προς τα κάτω).



Εικόνα 12: Τάση εξέλιξης της μορφολογίας του πυθμένα με τη τοποθέτηση τεχνητών υφάλων για την προστασία της ακτής στο Ιστορικό Μυτιλήνης, με την επαλληλία των επικρατούντων κυματισμών (B, A και BA) υπό τις παρούσες συνθήκες (ο βορράς (North) είναι προς τα κάτω).

4.2 Πέτρα Λέσβου

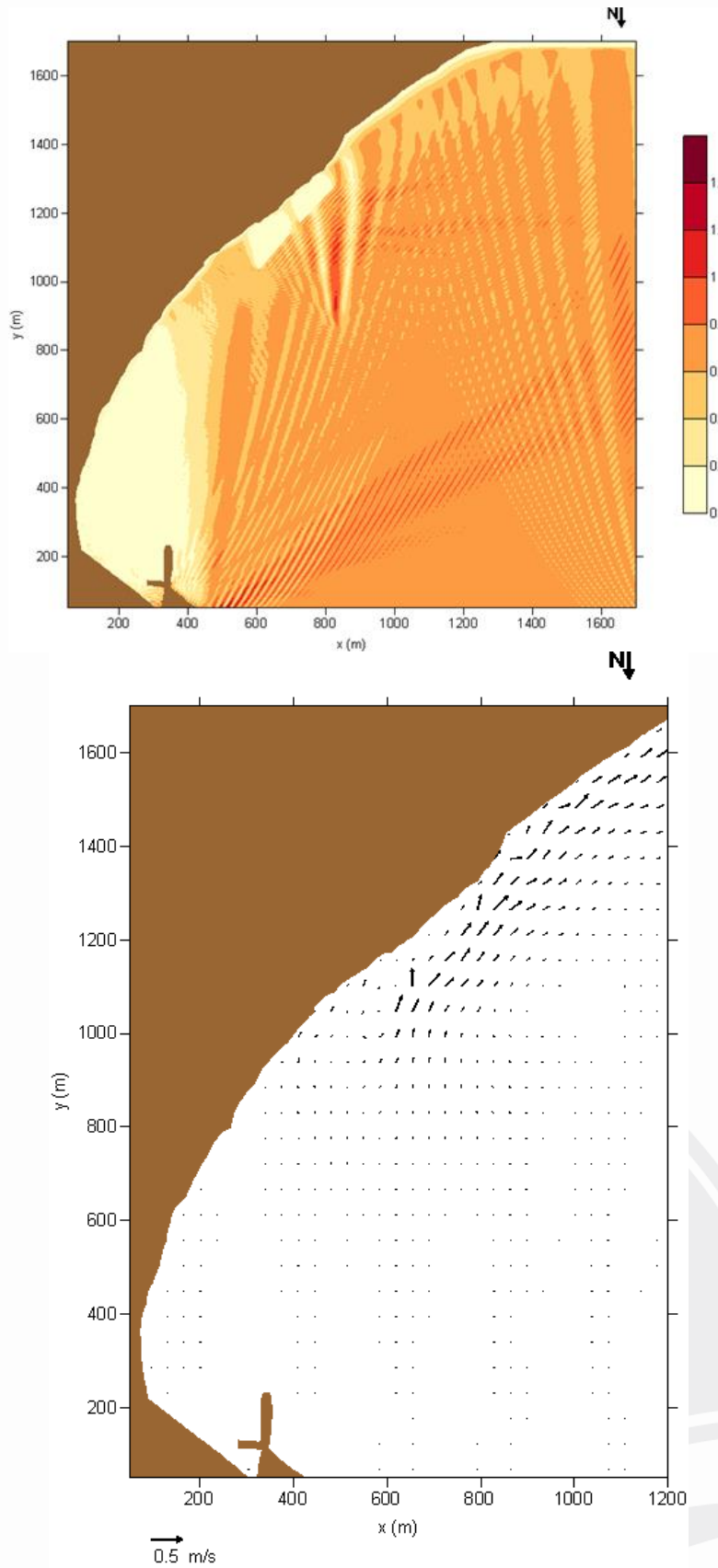
Η παράκτια ζώνη της Πέτρας μπορεί να διακριθεί σε 2 κύρια τμήματα, στο νοτιότερο όπου υπάρχει παράκτιος τοίχος μπροστά από τον οποίο δεν αναπτύσσεται παραλία και το βορειότερο τμήμα το οποίο αντιστοιχεί στην αμμώδη έως αμμοχαλικώδη παραλία της Πέτρας. Η ευρύτερη παράκτια περιοχή είναι εκτεθειμένη σε κυματισμούς προερχόμενους από Δ, ΒΔ και Β κατευθύνσεις. Λόγω της ανοιχτής έκθεσης της παραλίας στους επικρατούντες ανέμους, για τη συγκεκριμένη περιοχή διερευνάται αρχικά (1^η πρόταση προστασίας) η περίπτωση εναπόθεσης άμμου μεγέθους $d_{50}=0.5$ mm σε μήκος 400 m, με ύψος που γίνεται εναπόθεση υλικού (τεχνητού πρανούς) στα 1.5 m πάνω από τη μέση στάθμη της θάλασσας (ΜΣΘ). Σύμφωνα με τη εφαρμογή της μεθοδολογίας των διατομών ισορροπίας EBP (Equilibrium Beach Profiles) φαίνεται ότι προκειμένου να διατηρηθεί ένα τελικό πλάτος παραλίας 18 m, θα πρέπει το αρχικό πλάτος αναπλήρωσης να είναι 28 m, και ο συνολικός όγκος του υλικού που θα χρησιμοποιηθεί να είναι 26000 m³. Η περιοχή της αναπλήρωσης φαίνεται στην Εικόνα 13.



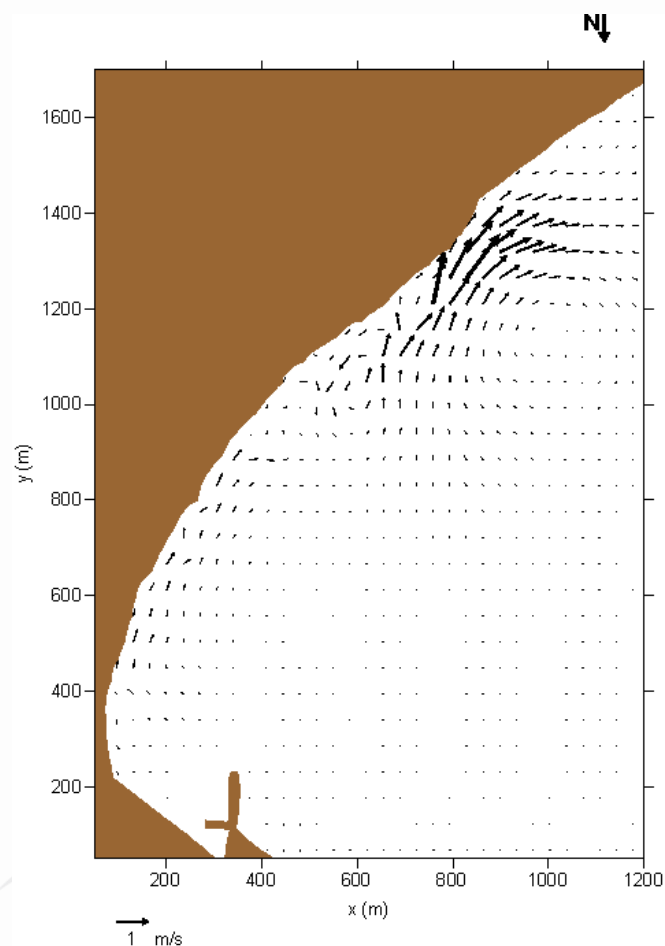
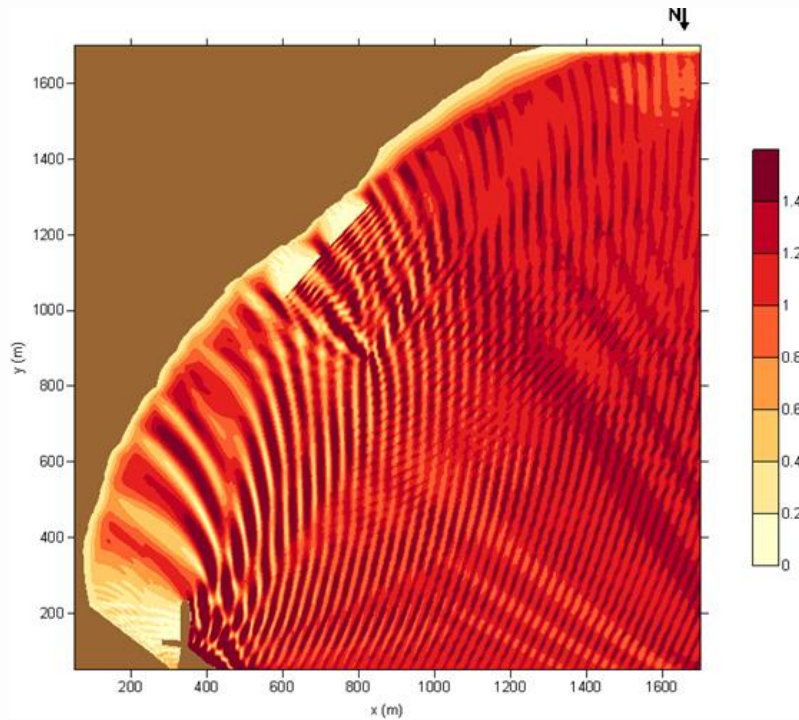
Εικόνα 13: Βαθυμετρία και περιοχή τεχνητής αναπλήρωσης στην Πέτρα Λέσβου.

Επιπλέον, προτείνονται δύο κυματοθραύστες χαμηλής στέψης μήκους 140 m, πλάτους στέψης 8 m και συνολικού ύψους 3.0 m (θεωρώντας και την ανύψωση της στάθμης θάλασσας λόγω της Κλιματικής Αλλαγής), με κλίσεις 1/2.5 και 1.0/2.0, προσήνεμα και υπήνεμα, αντίστοιχα, και απόσταση μεταξύ τους της τάξης των 40 m. Το βάθος κατασκευής των ύφαλων κυματοθραυστών τοποθετείται περίπου στα ~2.5 m.

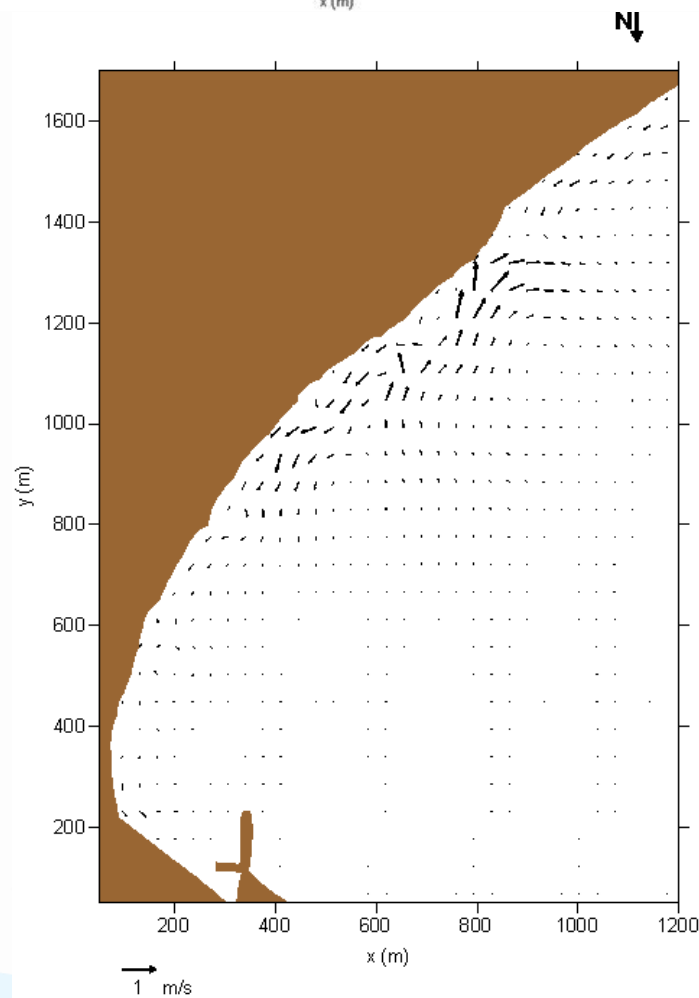
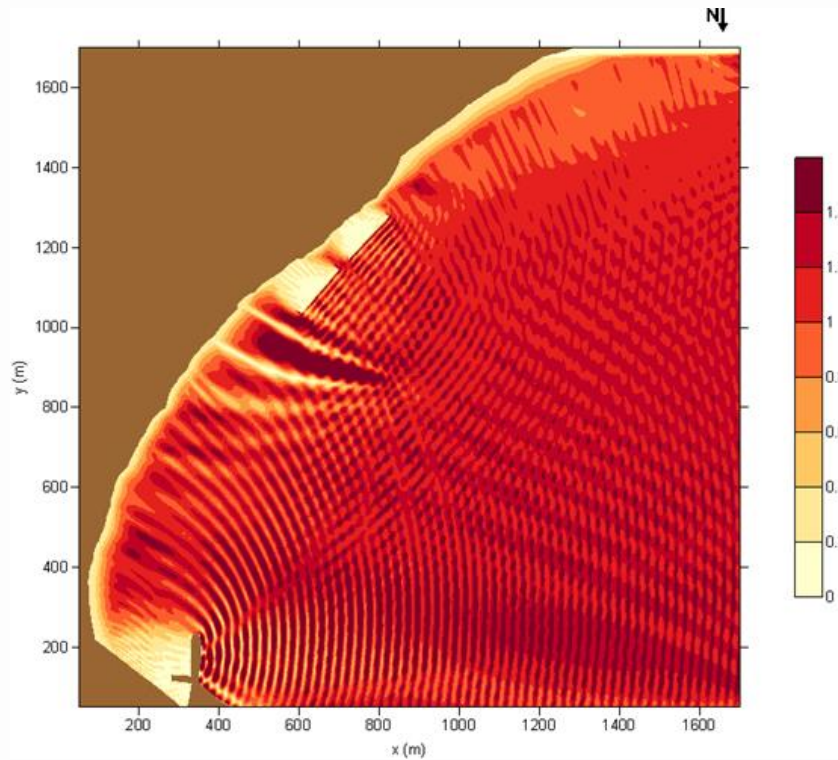
Είναι προφανές ότι σε όλες τις περιπτώσεις πνοής των επικρατούντων ανέμων η προτεινόμενη μέθοδος προστασίας αποδίδει τα μέγιστα, αφού στη σκιά των κυματοθραυστών οι ρευματικές ταχύτητες εξασθενούν σημαντικά, όπως και το κύμα που προσεγγίζει στην ακτή, το οποίο αποσβένει σχεδόν ολοκληρωτικά (Εικόνες 14, 15 και 16). Το πεδίο των κυματογενών ταχυτήτων αναδιατάσσεται από την παρουσία των κυματοθραυστών. Στην περίπτωση των Β ανέμων οι ταχύτητες των κυματογενών ρευμάτων εντός της προστατευμένης περιοχής δεν είναι σημαντικές ενώ στην περίπτωση των ΒΔ ανέμων μπορούν να φτάσει τα 0.4 m/s. Προς τα νότια, η ταχύτητα αυξάνει και πάλι, ξεπερνώντας τα 0.5 m/s (Β άνεμοι) και 1.5 m/s (ΒΔ άνεμοι). Στην περίπτωση πνοής Δ ανέμου τα ρεύματα μπορούν να φτάσουν και το 1.0 m/s εντός της προστατευμένης περιοχής.



Εικόνα 14: Σημαντικό ύψος κύματος (σε m) (πάνω) και κυματογενής ρευματική κυκλοφορία (κάτω) στην ακτή της Πέτρας Λέσβου κατά την πνοή Β ανέμου έπειτα από την αναπλήρωση της ακτής και την κατασκευή των τεχνικών έργων προστασίας (ο βορράς (North) είναι προς τα κάτω).

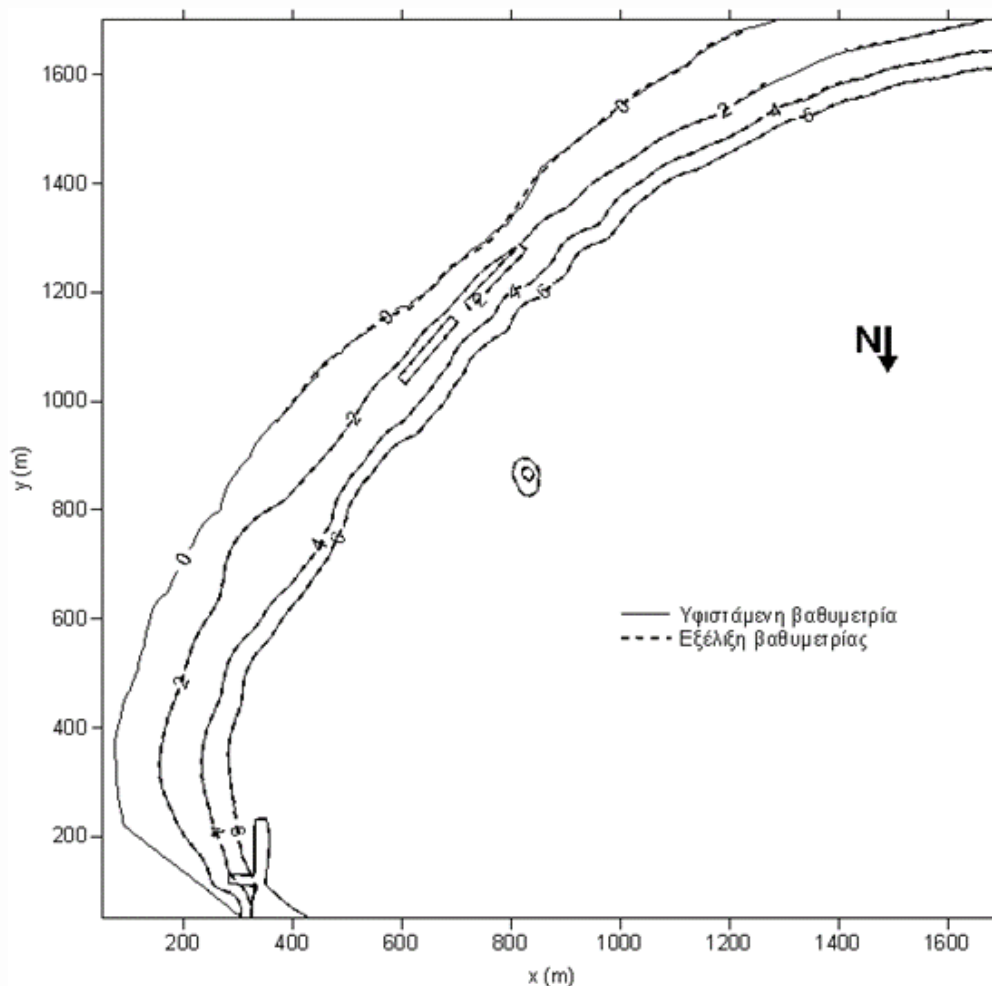


Εικόνα 15: Σημαντικό ύψος κύματος (σε m) (πάνω) και κυματογενής ρευματική κυκλοφορία (κάτω) στην ακτή της Πέτρας Λέσβου κατά την πνοή ΒΔ ανέμου έπειτα από την αναπλήρωση της ακτής και την κατασκευή των τεχνικών έργων προστασίας (ο βορράς (North) είναι προς τα κάτω).

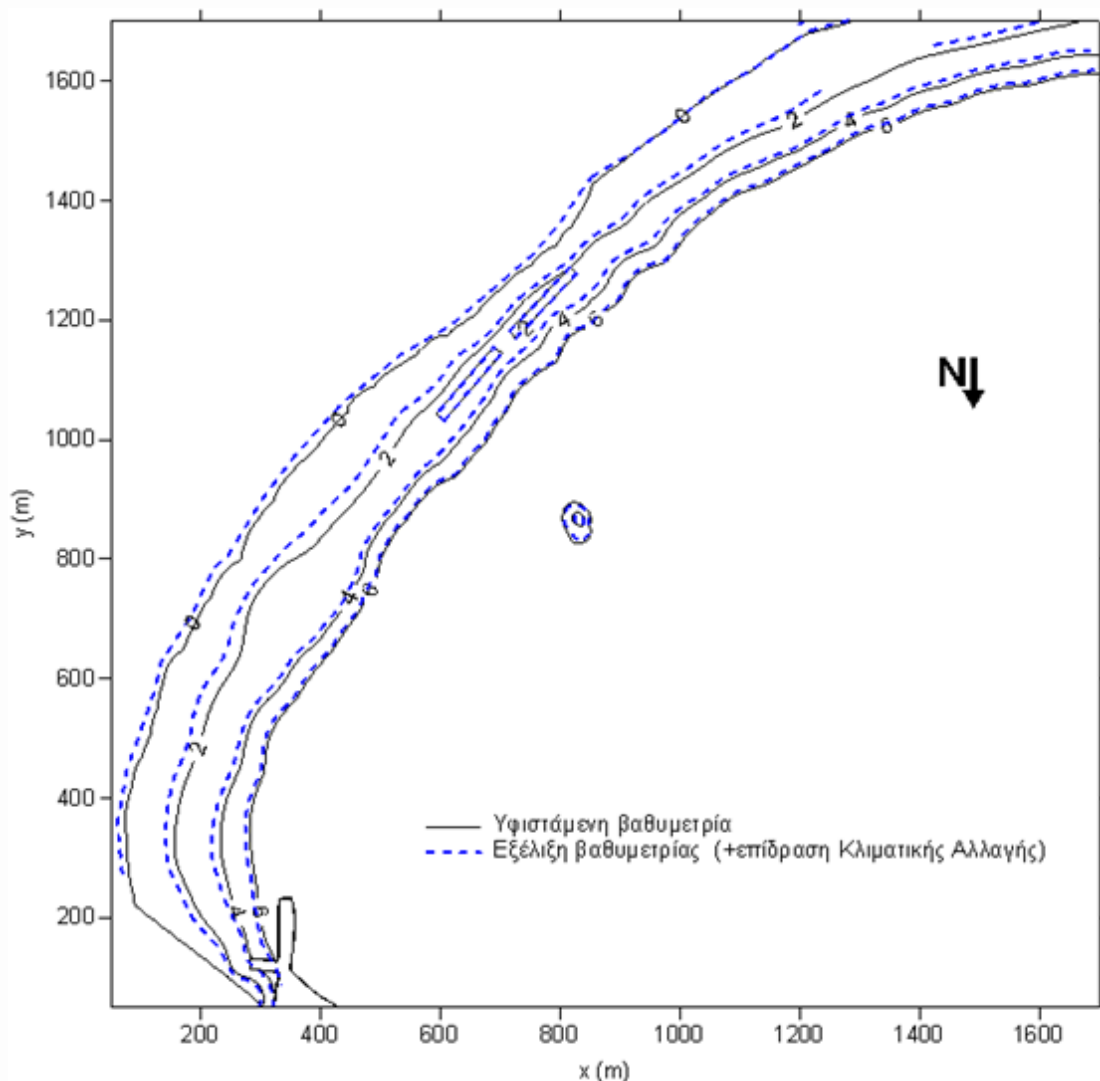


Εικόνα 16: Σημαντικό ύψος κύματος (σε m) (πάνω) και κυματογενής ρευματική κυκλοφορία (κάτω) στην ακτή της Πέτρας Λέσβου κατά την πνοή Δ ανέμου έπειτα από την αναπλήρωση της ακτής και την κατασκευή των τεχνικών έργων προστασίας (ο βορράς (North) είναι προς τα κάτω).

Σε σχέση με την εξέλιξη της μορφολογίας, υπό την επαλληλία όλων των επικρατούντων κυματισμών και με την κατασκευή των έργων γίνεται προφανές από την εικόνα 17 ότι το τμήμα της ακτής που πρόκειται να προστατευτεί αλλά και η υποθαλάσσια μορφολογία επιδεικνύουν αξιοσημείωτη σταθερότητα. Λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση της Κλιματικής Αλλαγής και συγκεκριμένα μία μετριοπαθή μακροχρόνια αύξηση της μέσης στάθμης της θάλασσας (ΜΣΘ) κατά 0.4 m, σε συνδυασμό με μία αύξηση κατά 10% των υψών του κύματος, τότε η εξέλιξη της μορφολογίας θα είναι όπως φαίνεται στην εικόνα 18. Η αποτελεσματικότητα των τεχνικών έργων προστασίας είναι ικανοποιητική, εφόσον κατά το σχεδιασμό τους επιλέχθηκε μεγάλο πλάτος στέψης των ύφαλων κυματοθραυστών (8 m) ώστε παρά την αύξηση της στάθμης αυτοί να εξακολουθούν να μειώνουν την κυματική ενέργεια σημαντικά (περίπου 70%). Κάτω από τις πιθανές μελλοντικές συνθήκες η ακτή προστατεύεται και πάλι. Η μείωση του πλάτους της παραλίας (διακεκομμένη μπλε γραμμή) οφείλεται κυρίως στην (αναπόφευκτη) υποχώρηση της ακτής λόγω της ανύψωσης της στάθμης θάλασσας.

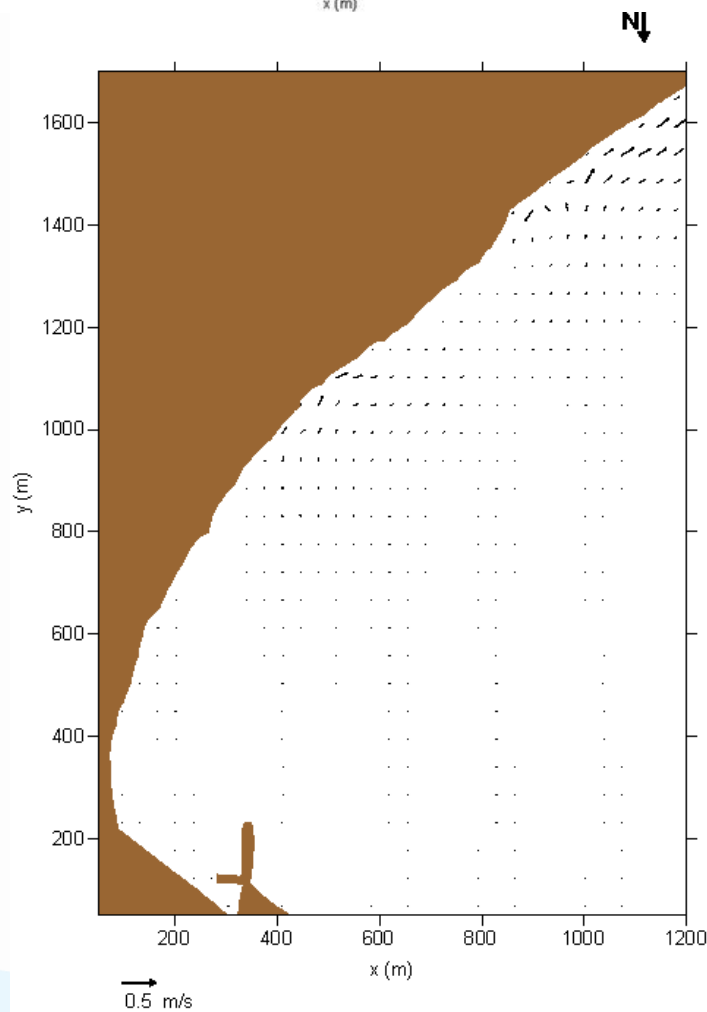
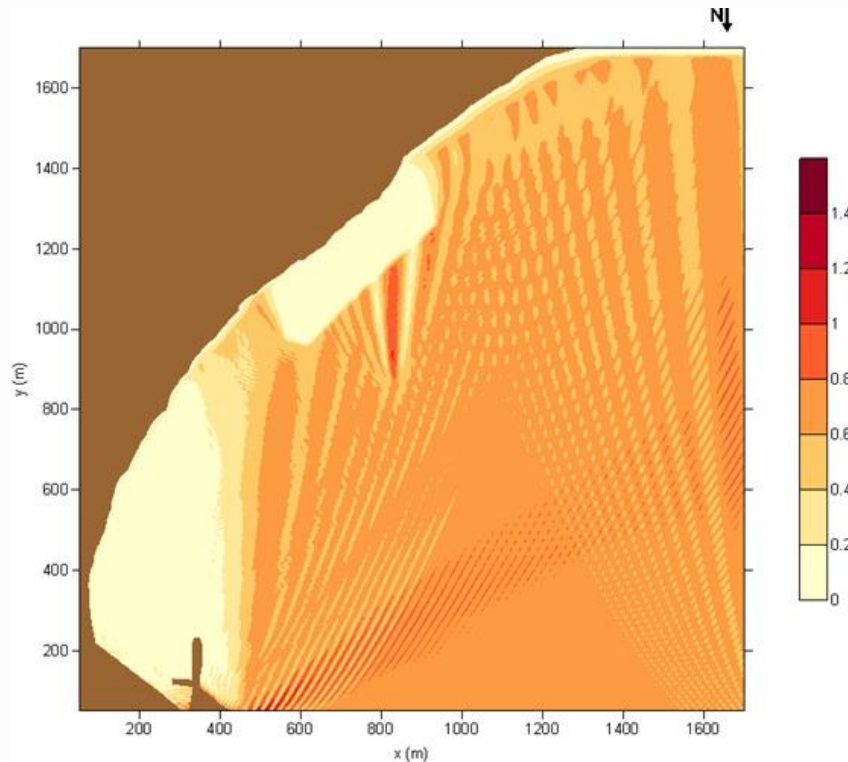


Εικόνα 17: Τάση εξέλιξης της μορφολογίας του πυθμένα με τη λήψη τεχνικών μέτρων για την προστασία της ακτής στην Πέτρα Λέσθου, με την επαλληλία των επικρατούντων κυματισμών (Δ, ΒΔ και Β) υπό τις παρούσες συνθήκες (ο βορράς (North) είναι προς τα κάτω).

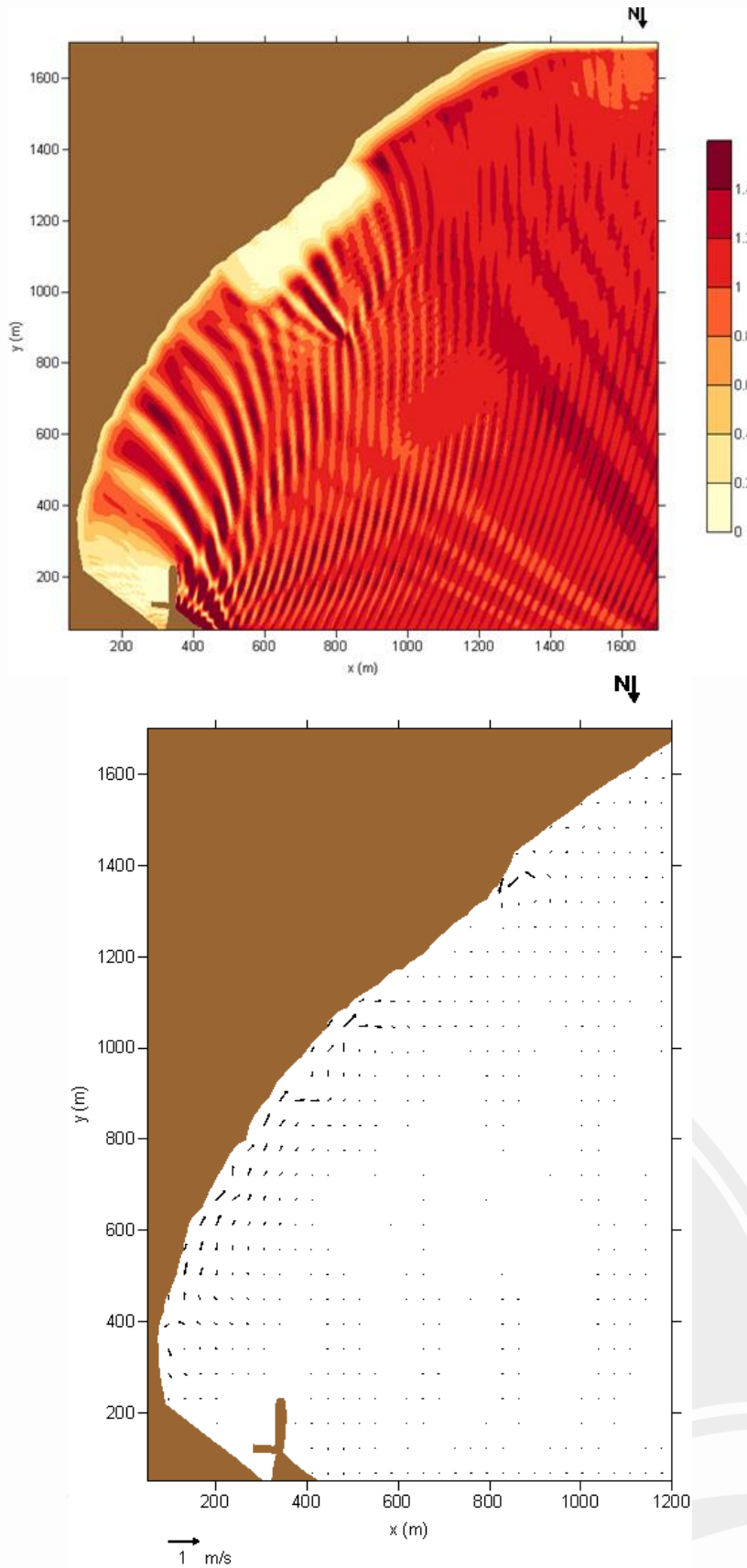


Εικόνα 18: Τάση εξέλιξης της μορφολογίας του πυθμένα με τη λήψη τεχνικών μέτρων για την προστασία της ακτής, με την επαλληλία των επικρατούντων κυματισμών (Δ , $B\Delta$ και B) υπό σενάριο ανόδου της στάθμης της θάλασσας (λόγω Κλιματικής Αλλαγής) κατά 0.4 m (ο βορράς (North) είναι προς τα κάτω).

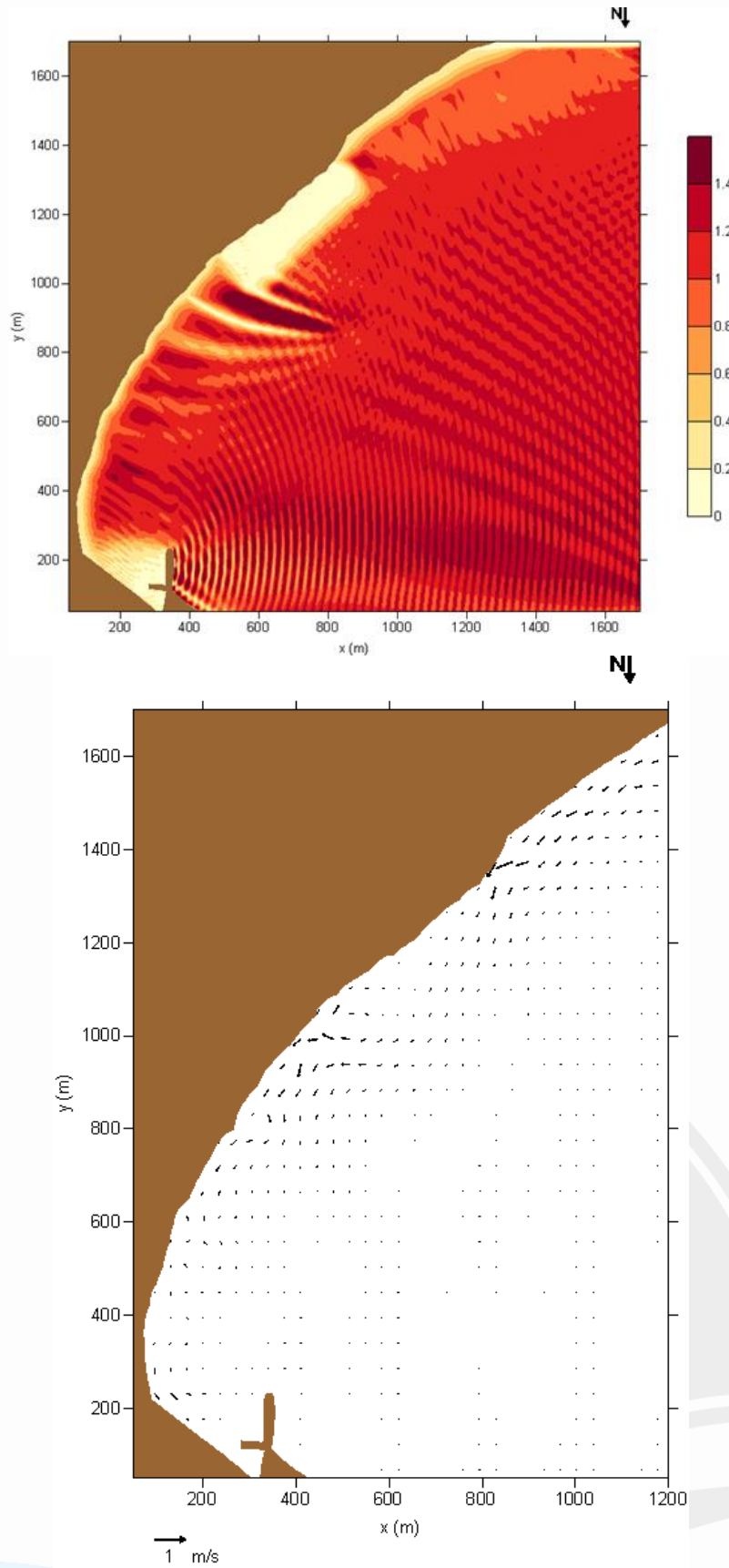
Στην περίπτωση που επιλέγονταν η κατασκευή και πόντιση τεχνητών υφάλων (το πλέον φιλικό προς το περιβάλλον μέτρο προστασίας), ως συνοδευτικό έργο προστασίας για την αναπλήρωση της ακτής (2^η πρόταση προστασίας), τότε προτείνεται η ανάπτυξη τους σε απόσταση ~ 160 m από την ακτή και βάθος $\sim 5-6$ m, σε μήκος παράλληλα με την ακτή ~ 500 m, σε εύρος ~ 20 m και με ύψος υφάλου ~ 1.0 m. Με τη κατάλληλη διάταξη των υφάλων μπορεί να επιτευχθεί μείωση της ενέργειας των κυματισμών παρόμοια και με τα σκληρότερα μέτρα προστασίας (Εικόνες 19, 20, 21 και 22). Τα παράκτια ρεύματα εξασθενούν σημαντικά, και οι ταχύτητες τους δε φαίνεται να προκαλούν κάποια αλλοίωση στην ακτή ή στην υποθαλάσσια μορφολογία.



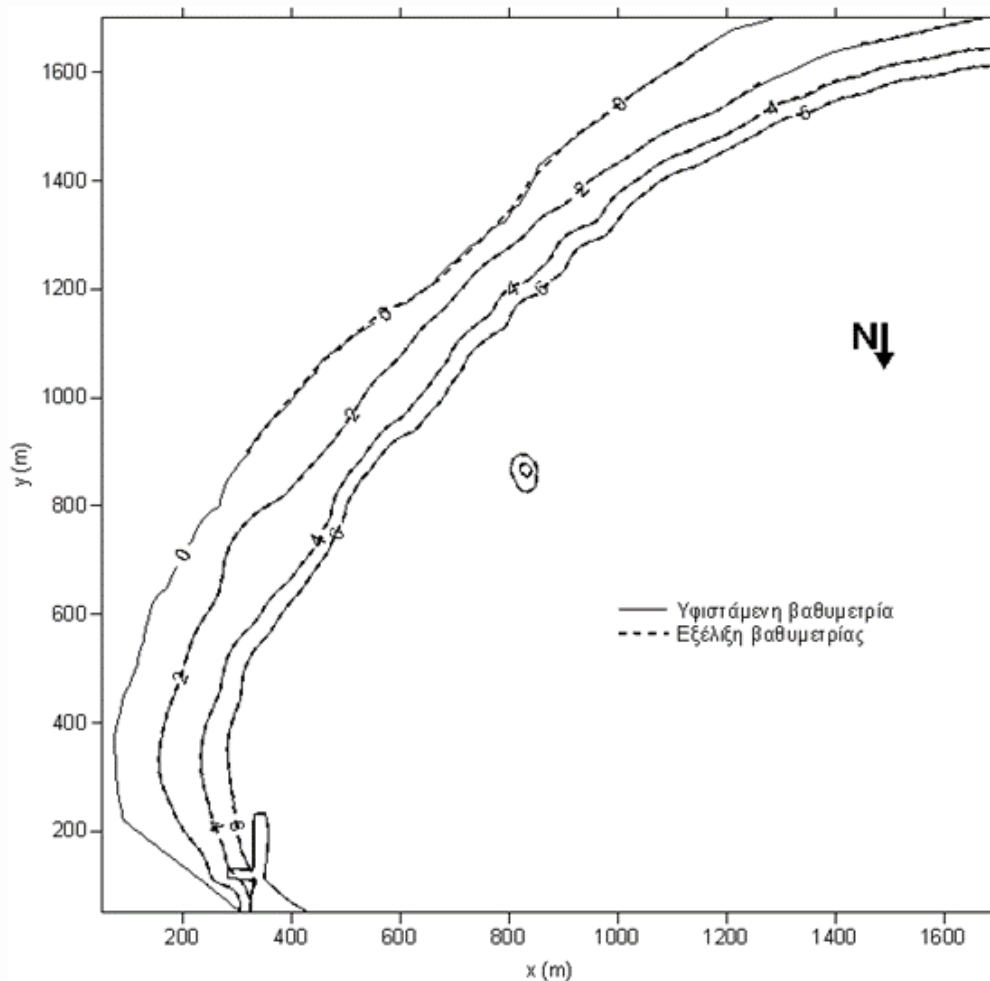
Εικόνα 19: Σημαντικό ύψος κύματος (σε m) (πάνω) και κυματογενής ρευματική κυκλοφορία (κάτω) στην ακτή της Πέτρας Λέσβου κατά την πνοή Β ανέμου έπειτα από την αναπλήρωση της ακτής και πόντιση τεχνητών υφάλων (ο βορράς (North) είναι προς τα κάτω).



Εικόνα 20: Σημαντικό ύψος κύματος (σε m) (πάνω) και κυματογενής ρευματική κυκλοφορία (κάτω) στην ακτή της Πέτρας Λέσβου κατά την πνοή ΒΔ ανέμου έπειτα από την αναπλήρωση της ακτής και πόντιση τεχνητών υφάλων (ο βορράς (North) είναι προς τα κάτω).



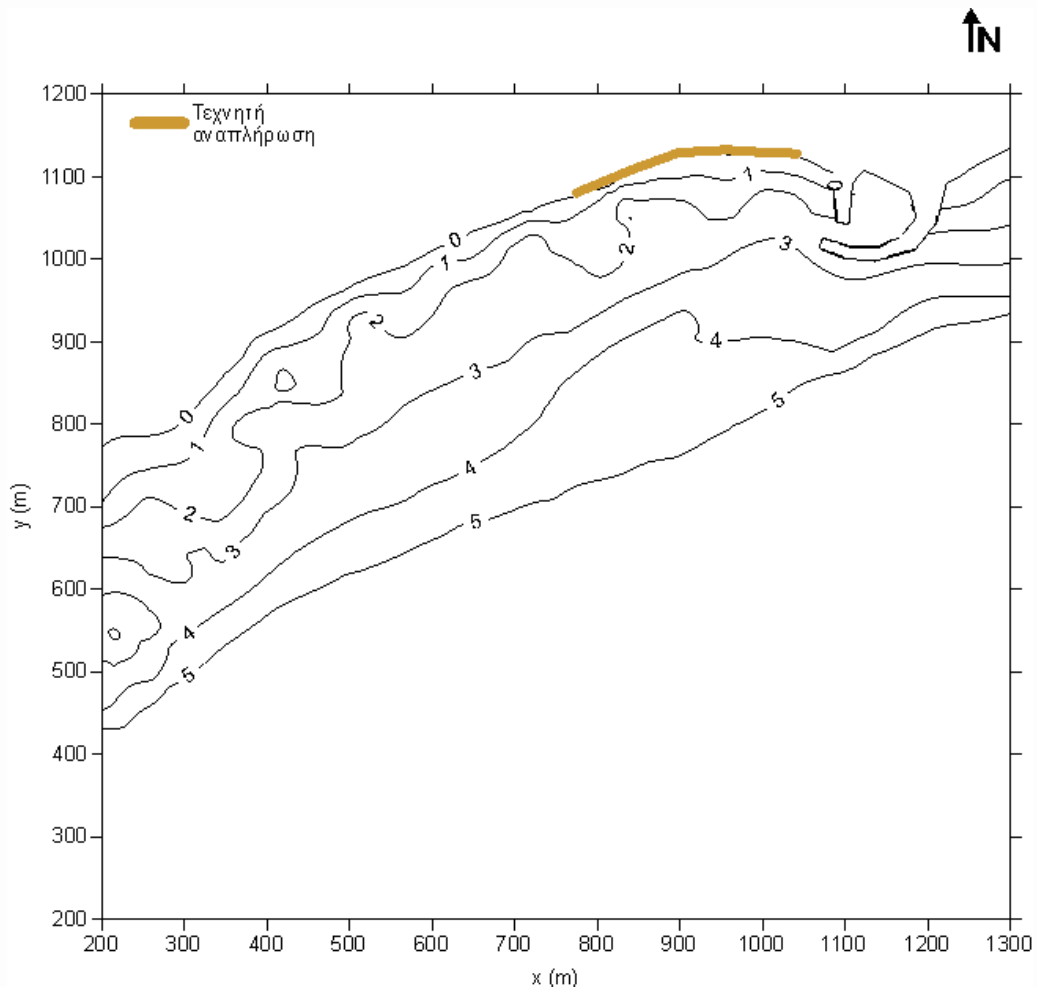
Εικόνα 21: Σημαντικό ύψος κύματος (σε m) (πάνω) και κυματογενής ρευματική κυκλοφορία (κάτω) στην ακτή της Πέτρας Λέσβου κατά την πνοή Δ ανέμου έπειτα από την αναπλήρωση της ακτής και πόντιση τεχνητών υφάλων (ο βορράς (North) είναι προς τα κάτω).



Εικόνα 22: Τάση εξέλιξης της μορφολογίας του πυθμένα με τη τοποθέτηση τεχνητών υφάλων για την προστασία της ακτής στην Πέτρα Λέσβου, με την επαλληλία των επικρατούντων κυματισμών (Δ, ΒΔ και Β) υπό τις παρούσες συνθήκες (ο βορράς (North) είναι προς τα κάτω).

4.3 Κώμη Χίου

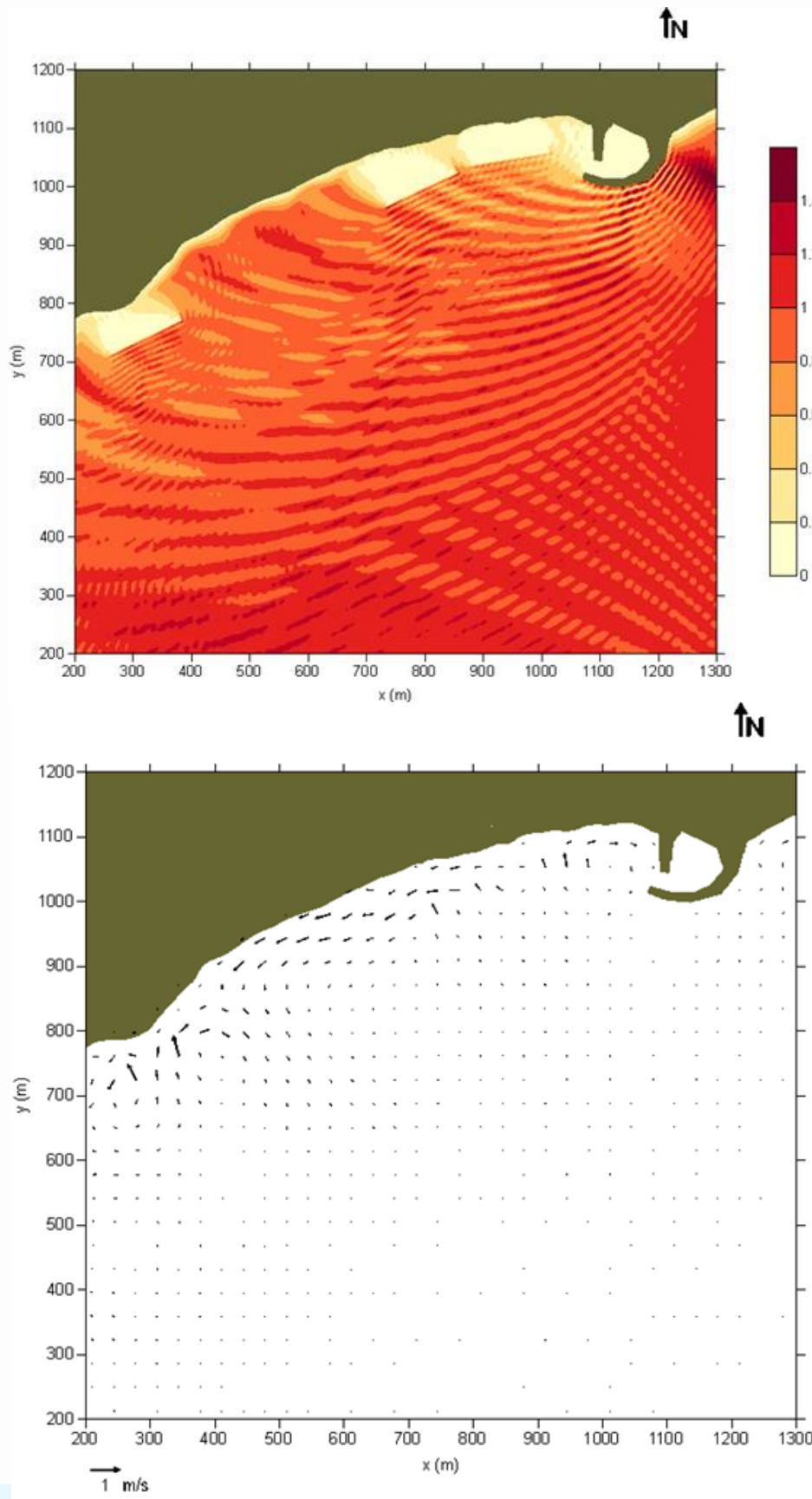
Η παραλία της Κώμης είναι εκτεθειμένη σε κυματισμούς προερχόμενους από Ν, ΝΑ και Α κατευθύνσεις. Λόγω της διάβρωσης της ακτής (κυρίως λόγω της παρουσίας το λιμενικού έργου), διερευνάται αρχικά (1^η πρόταση προστασίας) η περίπτωση εναπόθεσης άμμου μεγέθους $d_{50}=2.0$ mm σε μήκος 300 m, με ύψος που γίνεται εναπόθεσης υλικού (τεχνητού πρανούς) στα 1.5 m πάνω από τη μέση στάθμη της θάλασσας (ΜΣΘ). Σύμφωνα με τη εφαρμογή της μεθοδολογίας των διατομών ισορροπίας EBP (Equilibrium Beach Profiles) φαίνεται ότι προκειμένου να διατηρηθεί ένα τελικό πλάτος παραλίας 18 m, θα πρέπει το αρχικό πλάτος αναπλήρωσης να είναι 34 m, και ο συνολικός όγκος του υλικού που θα χρησιμοποιηθεί να είναι 33000 m^3 . Η περιοχή της αναπλήρωσης φαίνεται στην Εικόνα 23. Σημειώνεται ότι στην παρούσα ανάλυση δεν εξετάζεται η αναπλήρωση στο δυτικό τμήμα της παραλίας το οποίο αν και εμφανίζει ευπάθεια είναι βραχύδες σε σημαντική απόσταση από την ακτογραμμή. Εντούτοις προτείνεται ένας κυματοθραύστης χαμηλής στέψης για την πιθανή φυσική προσάμμωση στη θέση αυτή.



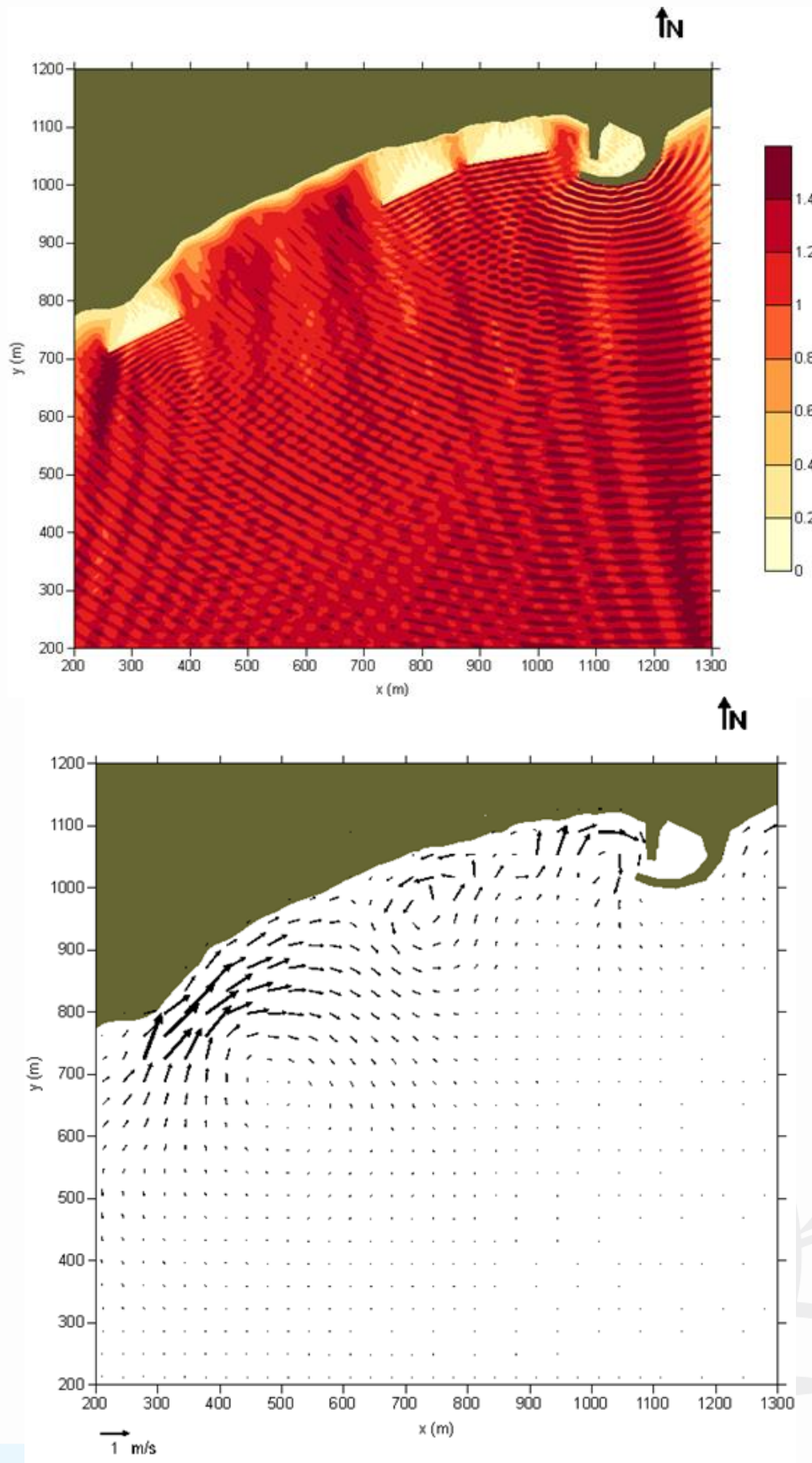
Εικόνα 23: Βαθυμετρία και περιοχή τεχνητής αναπλήρωσης στην Κώμη Χίου.

Σε σχέση με τα σκληρότερα μέτρα, προτείνονται τρεις κυματοθραύστες χαμηλής στέψης μήκους 140 m, πλάτους στέψης 8 m και συνολικού ύψους 2.5 m (θεωρώντας και την ανύψωση της στάθμης θάλασσας λόγω της Κλιματικής Αλλαγής), με κλίσεις 1/2.5 και 1.0/2.0, προσήνεμα και υπήνεμα, αντίστοιχα, και απόσταση μεταξύ τους της τάξης των 25 m. Το βάθος κατασκευής των ύφαλων κυματοθραυστών τοποθετείται περίπου στα ~2.0 m.

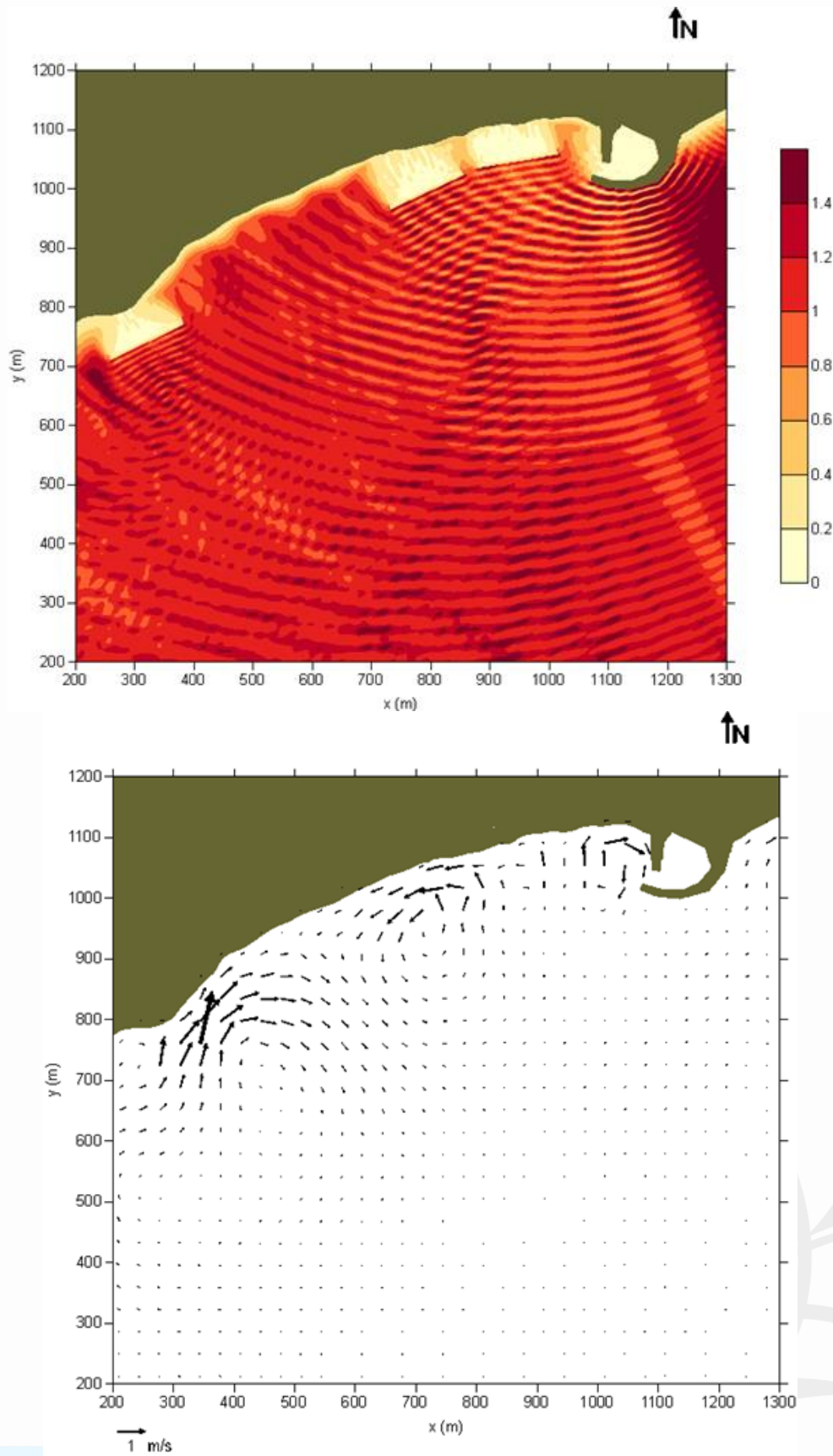
Είναι προφανές ότι σε όλες τις περιπτώσεις πνοής των επικρατούντων ανέμων η προτεινόμενη μέθοδος προστασίας αποδίδει τα μέγιστα, αφού στη σκιά των κυματοθραυστών οι ρευματικές ταχύτητες εξασθενούν σημαντικά, όπως και το κύμα που προσεγγίζει στην ακτή, το οποίο αποσβένει σχεδόν ολοκληρωτικά (Εικόνες 24, 25 και 26). Το πεδίο των κυματογενών ταχυτήτων αναδιατάσσεται από την παρουσία κυματοθραυστών και οι ταχύτητες των κυματογενών ρευμάτων εντός της προστατευμένης περιοχής είναι της τάξεως του 0.5 m/s στην περίπτωση των Α ανέμων, ενώ στους Ν και ΝΑ κυματισμούς φτάνουν τα ~1.0 m/s και τοπικά μεγαλύτερες (στα δυτικά). Επίσης, στην περίπτωση των Ν και ΝΑ κυματογενών ρευμάτων πρέπει να υπάρχει προσοχή στο άκρο του 2^{ου} από ανατολικά κυματοθραύστη, καθώς φαίνεται η ανάπτυξη ρευμάτων διαφυγής με ταχύτητες έως και 0.5 m/s.



Εικόνα 24: Σημαντικό ύψος κύματος (σε m) (πάνω) και κυματογενής ρευματική κυκλοφορία (κάτω) στην ακτή της Κώμης Χίου κατά την πνοή Α ανέμου έπειτα από την αναπλήρωση της ακτής και την κατασκευή των τεχνικών έργων προστασίας.

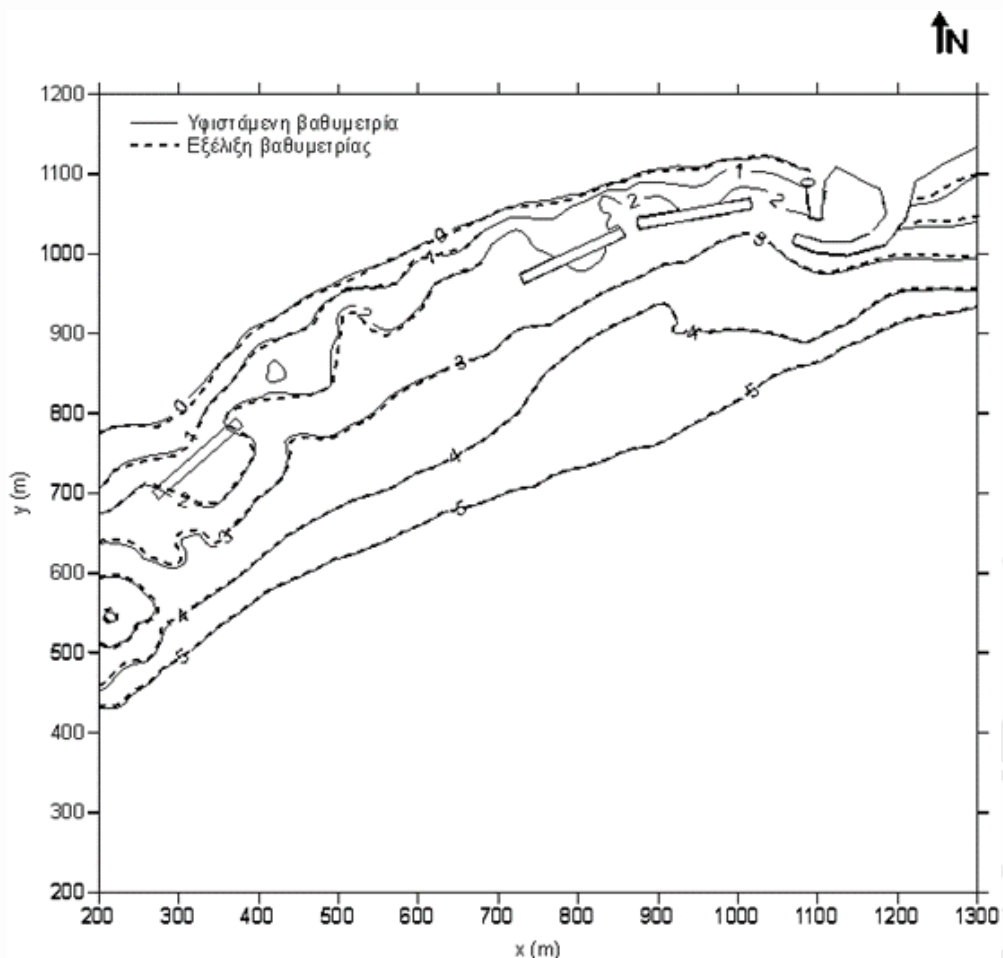


Εικόνα 25: Σημαντικό ύψος κύματος (σε m) (πάνω) και κυματογενής ρευματική κυκλοφορία (κάτω) στην ακτή της Κώμης Χίου κατά την πνοή N ανέμου έπειτα από την αναπλήρωση της ακτής και την κατασκευή των τεχνικών έργων προστασίας.

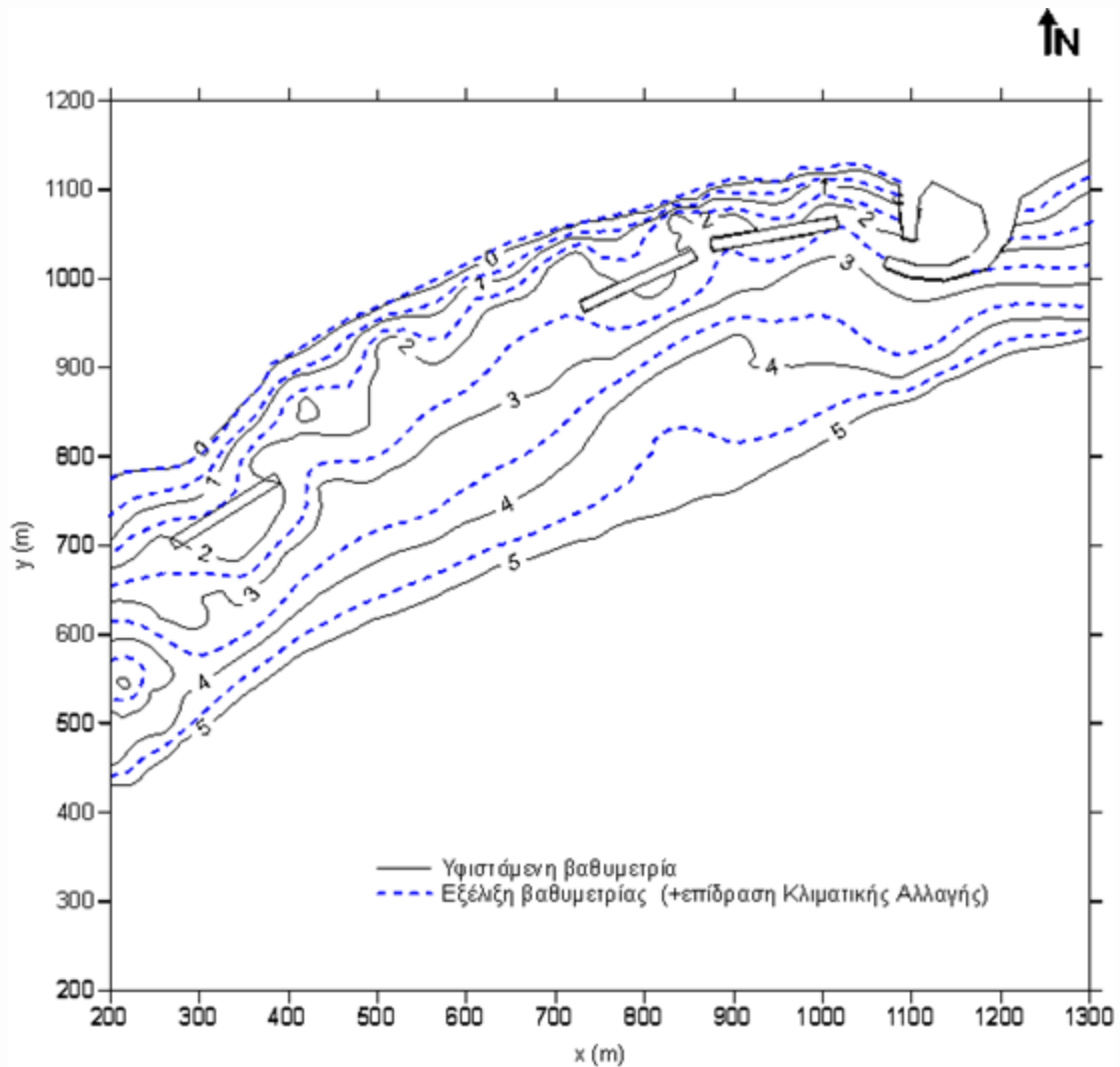


Εικόνα 26: Σημαντικό ύψος κύματος (σε m) (πάνω) και κυματογενής ρευματική κυκλοφορία (κάτω) στην ακτή της Κώμης Χίου κατά την πνοή ΝΑ ανέμου έπειτα από την αναπλήρωση της ακτής και την κατασκευή των τεχνικών έργων προστασίας.

Σε σχέση με την εξέλιξη της μορφολογίας, υπό την επαλληλία όλων των επικρατούντων κυματισμών και με την κατασκευή των έργων γίνεται προφανές από την εικόνα 27 ότι το τμήμα της ακτής που πρόκειται να προστατευτεί αλλά και η υποθαλάσσια μορφολογία επιδεικνύουν αξιοσημείωτη σταθερότητα με την ακτή να εμφανίζει τάσεις πρόσχωσης. Λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση της Κλιματικής Αλλαγής και συγκεκριμένα μία μετριοπαθή μακροχρόνια αύξηση της μέσης στάθμης της θάλασσας (ΜΣΘ) κατά 0.4 m, σε συνδυασμό με μία αύξηση κατά 10% των υψών του κύματος, τότε η εξέλιξη της μορφολογίας θα είναι όπως φαίνεται στην εικόνα 28. Η αποτελεσματικότητα των τεχνικών έργων προστασίας είναι ικανοποιητική, εφόσον κατά το σχεδιασμό τους επιλέχθηκε μεγάλο πλάτος στέψης των ύφαλων κυματοθραυστών (8 m) ώστε παρά την αύξηση της στάθμης αυτοί να εξακολουθούν να μειώνουν την κυματική ενέργεια σημαντικά (περίπου 70%). Κάτω από τις πιθανές μελλοντικές συνθήκες η ακτή προστατεύεται και πάλι. Η πολύ ελαφρά μείωση του πλάτους της παραλίας (διακεκομμένη μπλε γραμμή) οφείλεται κυρίως στην (αναπόφευκτη) υποχώρηση της ακτής λόγω της ανύψωσης της στάθμης θάλασσας.

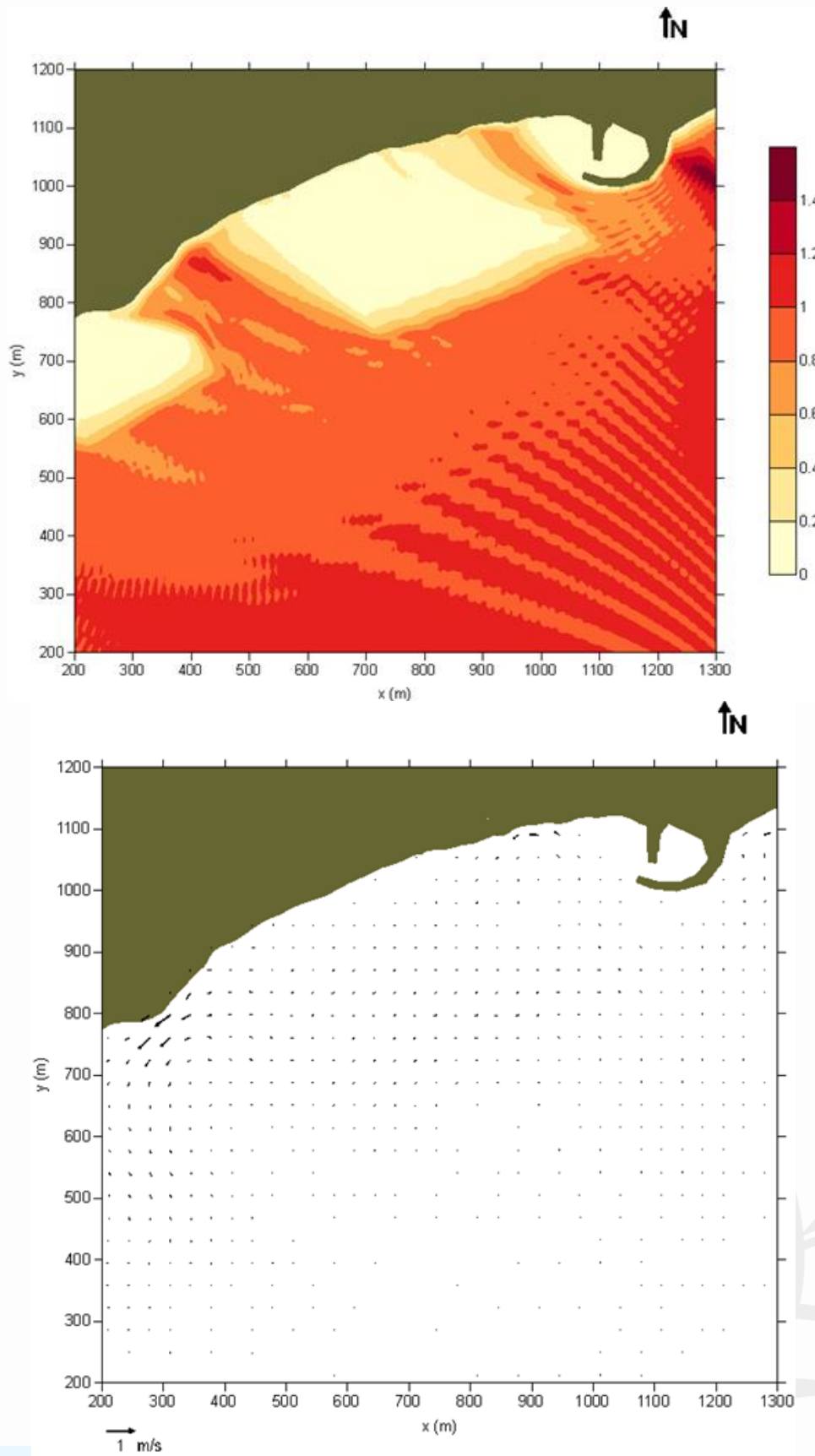


Εικόνα 27: Τάση εξέλιξης της μορφολογίας του πυθμένα με τη λήψη τεχνικών μέτρων για την προστασία της ακτής, στην Κώμη Χίου με την επαλληλία των επικρατούντων κυματισμών (N, NA και A) υπό τις παρούσες συνθήκες.

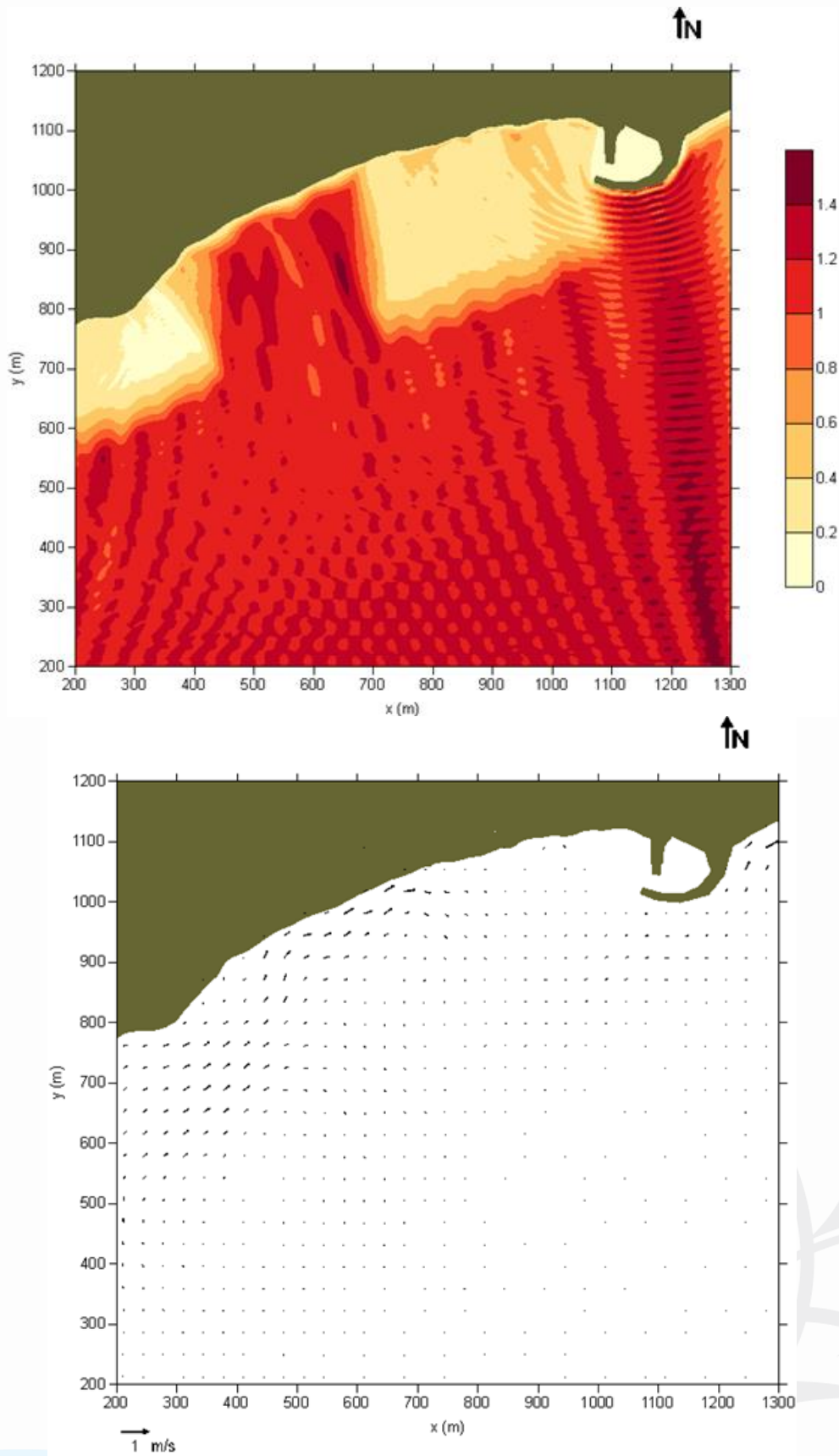


Εικόνα 28: Τάση εξέλιξης της μορφολογίας του πυθμένα με τη λήψη τεχνικών μέτρων για την προστασία της ακτής στην Κώμη Χίου, με την επαλληλία των επικρατούντων κυματισμών (N, NA και A) υπό σενάριο ανόδου της στάθμης της θάλασσας (λόγω Κλιματικής Αλλαγής) κατά 0.4 m.

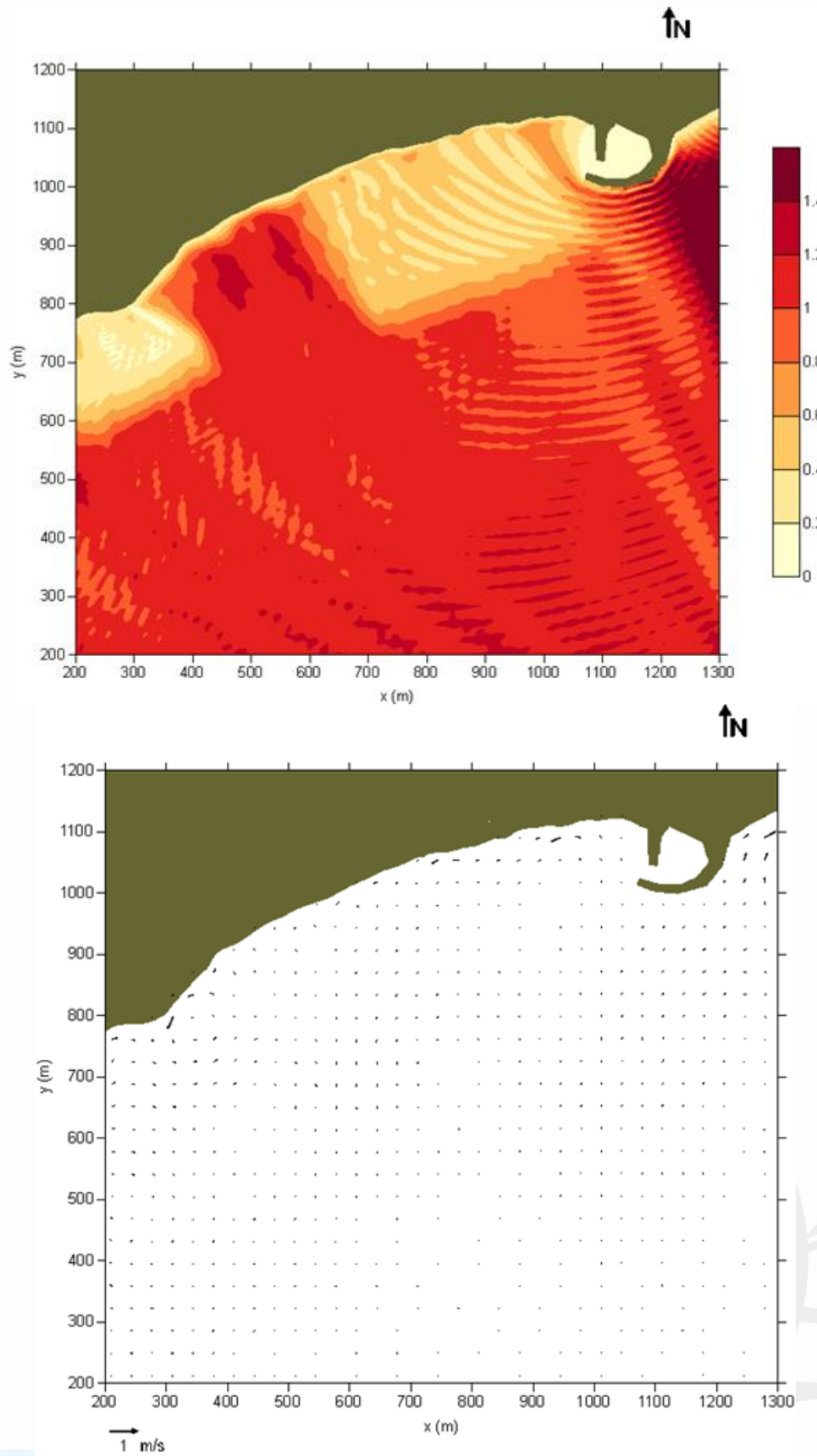
Στην περίπτωση που επιλέγονταν η κατασκευή και πόντιση τεχνητών υφάλων (το πλέον φιλικό προς το περιβάλλον μέτρο προστασίας), ως συνοδευτικό έργο προστασίας για την αναπλήρωση της ακτής (2^η πρόταση προστασίας), τότε προτείνεται η ανάπτυξη τους σε απόσταση ~300 m από την ακτή και βάθος ~5 m, σε μήκος παράλληλα με την ακτή ~400 m, σε εύρος ~20 m και με ύψος υφάλου ~1.0 m. Με τη κατάλληλη διάταξη των υφάλων μπορεί να επιτευχθεί μείωση της ενέργειας των κυματισμών παρόμοια και με τα σκληρότερα μέτρα προστασίας (Εικόνες 29, 30, 31 και 32). Τα παράκτια ρεύματα εξασθενούν σημαντικά, και οι ταχύτητες τους δε φαίνεται να προκαλούν κάποια αλλοίωση στην ακτή ή στην υποθαλάσσια μορφολογία. Αντίθετα, η ακτή εμφανίζει ελαφρές τάσεις πρόσχωσης.



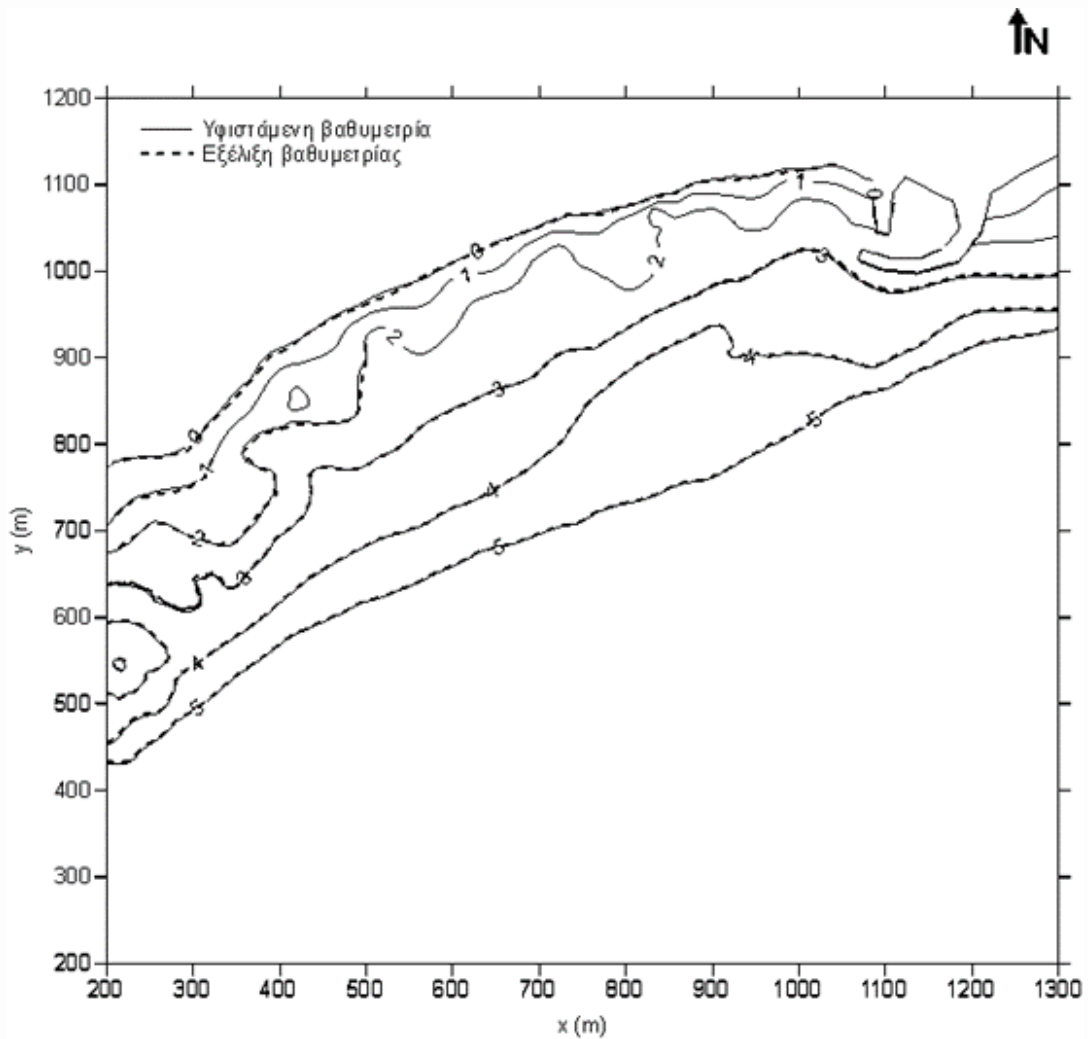
Εικόνα 29: Σημαντικό ύψος κύματος (σε m) (πάνω) και κυματογενής ρευματική κυκλοφορία (κάτω) στην ακτή της Κώμης Χίου κατά την πνοή A ανέμου έπειτα από την αναπλήρωση της ακτής και πόντιση τεχνητών υφάλων.



Εικόνα 30: Σημαντικό ύψος κύματος (σε m) (πάνω) και κυματογενής ρευματική κυκλοφορία (κάτω) στην ακτή της Κώμης Χίου κατά την πνοή N ανέμου έπειτα από την αναπλήρωση της ακτής και πόντιση τεχνητών υφάλων.



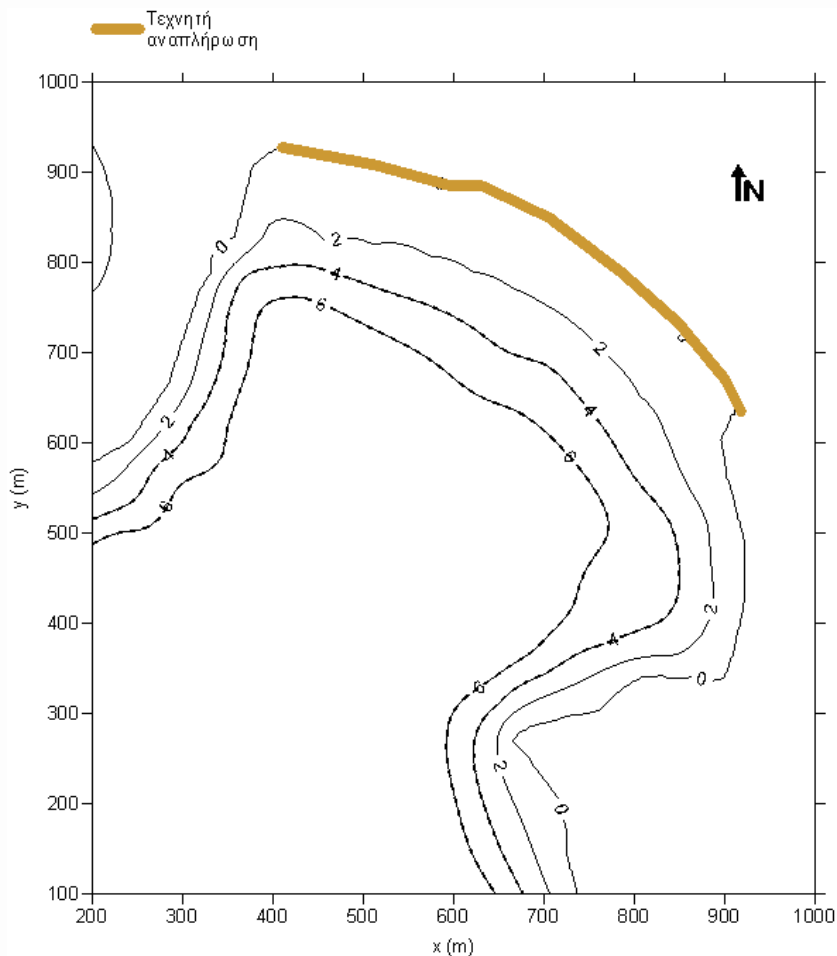
Εικόνα 31: Σημαντικό ύψος κύματος (σε m) (πάνω) και κυματογενής ρευματική κυκλοφορία (κάτω) στην ακτή της Κώμης Χίου κατά την πνοή NA ανέμου έπειτα από την αναπλήρωση της ακτής και πόντιση τεχνητών υφάλων.



Εικόνα 32: Τάση εξέλιξης της μορφολογίας του πυθμένα με τη τοποθέτηση τεχνητών υφάλων για την προστασία της ακτής, στην Κώμη Χίου με την επαλληλία των επικρατούντων κυματισμών (N, NA και A) υπό τις παρούσες συνθήκες.

4.4 Παραλία Κοραλλίων

Η παραλία των Κοραλλίων είναι εκτεθειμένη σε κυματισμούς προερχόμενους από Δ, ΝΔ και Ν κατευθύνσεις. Λόγω της διάβρωσης της ακτής, προτείνεται η τεχνητή εναπόθεση άμμου μεγέθους $d_{50}=0.3$ mm σε μήκος 600 m, με ύψος εναπόθεσης υλικού (τεχνητού πρανούς) στα 1.5 m πάνω από τη μέση στάθμη της θάλασσας (ΜΣΘ). Σύμφωνα με τη εφαρμογή της μεθοδολογίας των διατομών ισορροπίας EBP (Equilibrium Beach Profiles) φαίνεται ότι προκειμένου να διατηρηθεί ένα τελικό πλάτος παραλίας 18 m, θα πρέπει το αρχικό πλάτος αναπλήρωσης να είναι 28 m, και ο συνολικός όγκος του υλικού που θα χρησιμοποιηθεί να είναι 36000 m^3 . Η περιοχή της αναπλήρωσης φαίνεται στην Εικόνα 33.

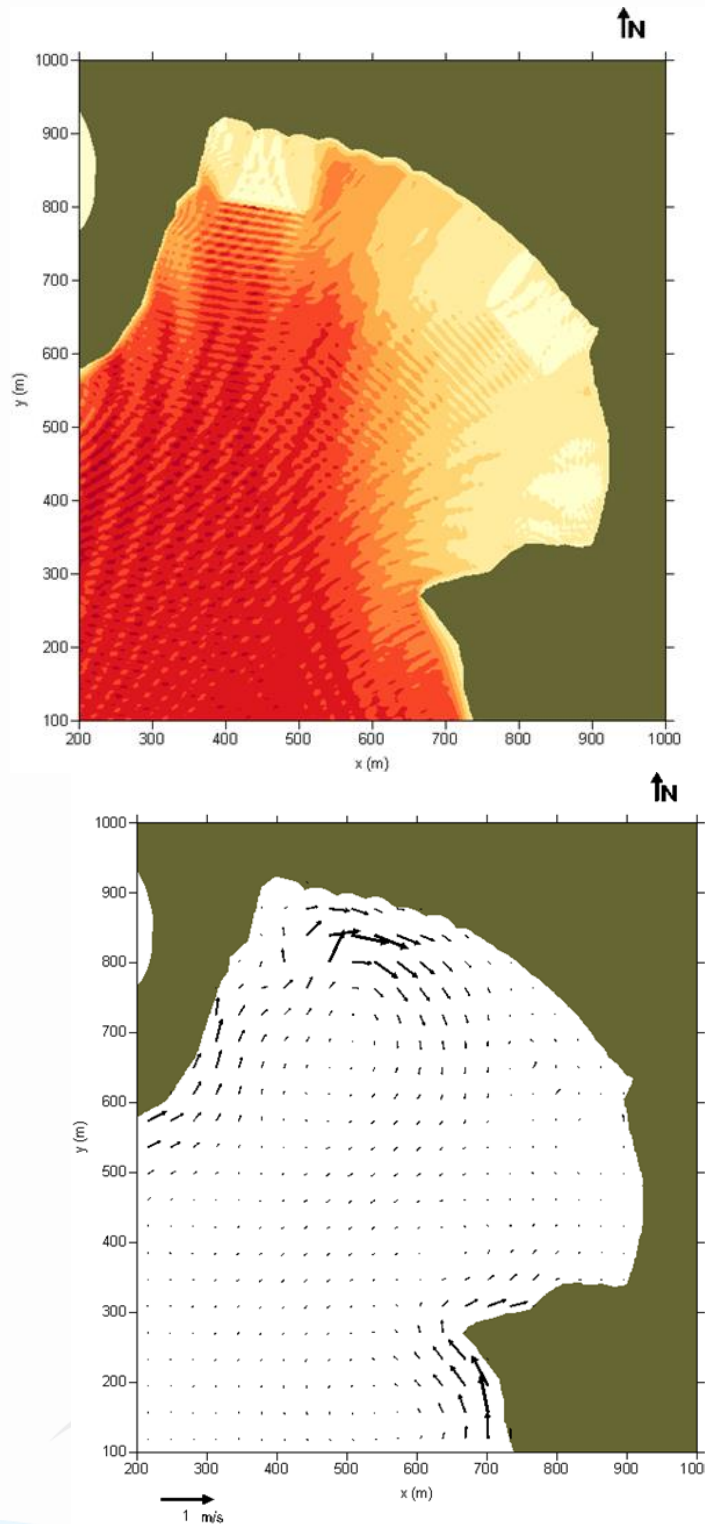


Εικόνα 33: Βαθυμετρία και περιοχή τεχνητής αναπλήρωσης στην παραλία Κοραλλίων.

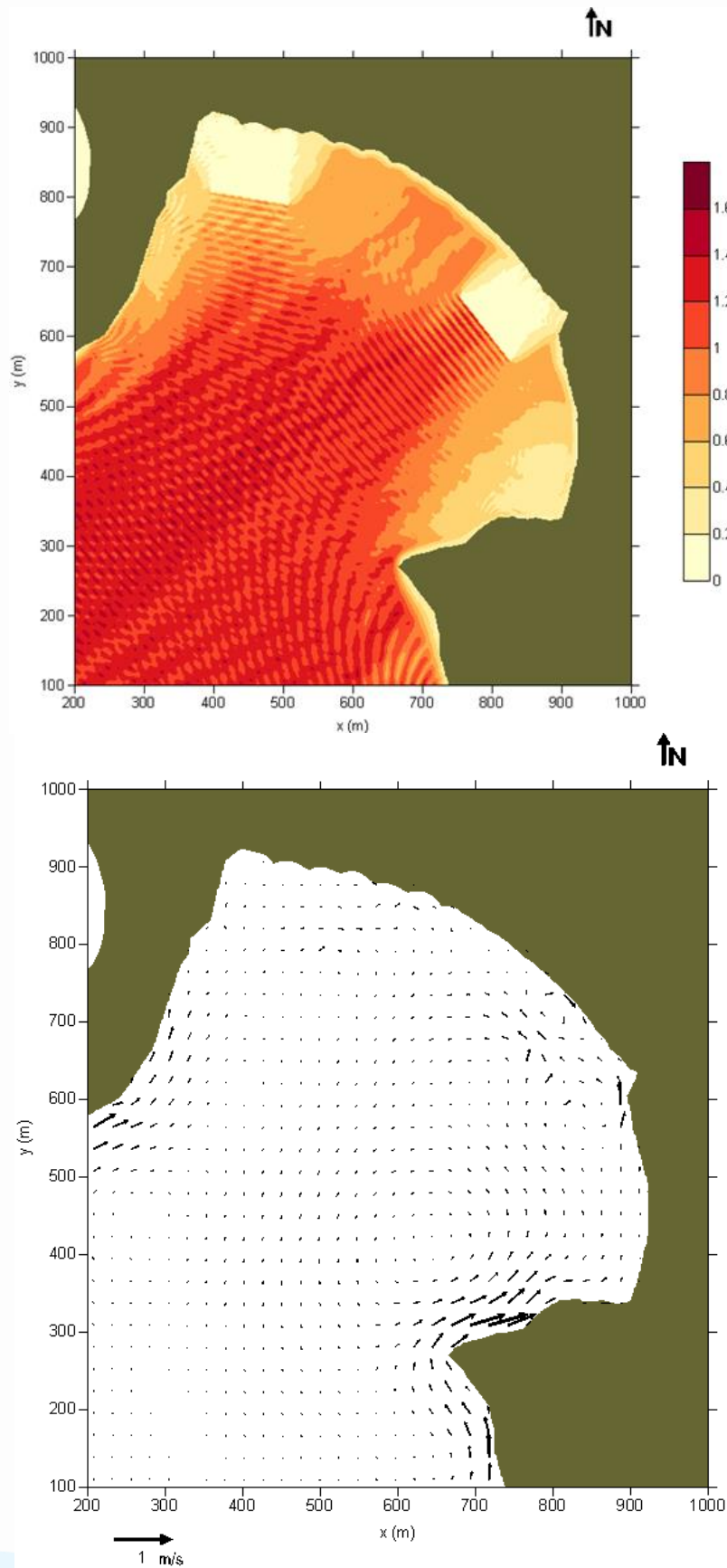
Επιπλέον, προτείνονται δύο κυματοθραύστες χαμηλής στέψης στα άκρα της ακτής μήκους 135 m, πλάτους στέψης 8 m και συνολικού ύψους 4.0 m (θεωρώντας και την ανύψωση της στάθμης θάλασσας λόγω της Κλιματικής Αλλαγής), με κλίσεις 1/2.5 και 1.0/2.0, προσήνεμα και υπήνεμα, αντίστοιχα. Το βάθος κατασκευής των υφάλων κυματοθραυστών τοποθετείται περίπου στα 3.5 m. Ανάμεσα τους δύο υφάλους προτείνεται η κατασκευή και πόντιση τεχνητών υφάλων (το πλέον φιλικό προς το περιβάλλον μέτρο προστασίας), ως συνοδευτικό έργο προστασίας. Προτείνεται η ανάπτυξη τους σε απόσταση ~200 m από την ακτή και βάθος ~6 m, σε μήκος παράλληλα με την ακτή ~300 m, σε εύρος ~20 m και με ύψος υφάλου ~1.0 m. Με τη κατάλληλη διάταξη των υφάλων μπορεί να επιτευχθεί μείωση της ενέργειας των κυματισμών παρόμοια και με τα σκληρότερα μέτρα προστασίας.

Είναι προφανές ότι σε όλες τις περιπτώσεις πνοής των επικρατούντων ανέμων η προτεινόμενη μέθοδος προστασίας αποδίδει τα μέγιστα, αφού στη σκιά των κυματοθραυστών οι ρευματικές ταχύτητες εξασθενούν σημαντικά, όπως και το κύμα που προσεγγίζει στην ακτή, το οποίο αποσβένει σχεδόν ολοκληρωτικά (Εικόνες 34, 35 και 36). Το πεδίο των κυματογενών ταχυτήτων αναδιατάσσεται από την παρουσία κυματοθραυστών και των τεχνητών υφάλων. Οι ταχύτητες των κυματογενών ρευμάτων εντός της προστατευμένης περιοχής στα δυτικά είναι της τάξεως του 1 m/s για τους Ν

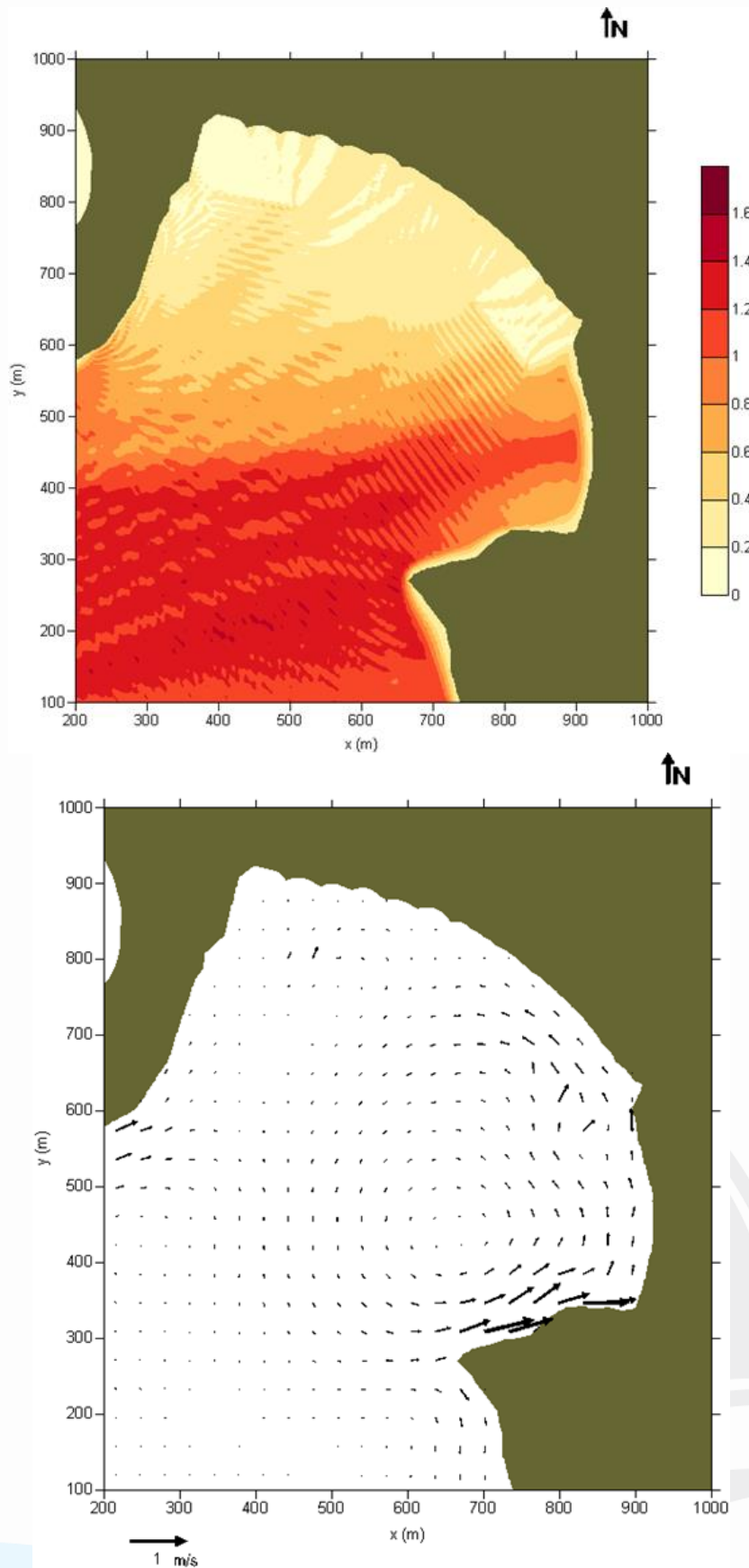
κυματισμούς και ενώ στην περίπτωση των Δ και ΝΔ ανέμων φτάνουν τα 0.4-0.5 m/s. Σε όλες τις περιπτώσεις πνοής ανέμων, οι σημαντικότερες ταχύτητες κυματογενών ρευμάτων (έως και 1.0 m/s) εντοπίζονται στα 2 άκρα εισόδου στον κόλπο, και κυρίως στα ανατολικά.



Εικόνα 34: Σημαντικό ύψος κύματος (σε m) (πάνω) και κυματογενής ρευματική κυκλοφορία (κάτω) στην παραλία Κοραλλίων κατά την πνοή Ν ανέμου έπειτα από την αναπλήρωση της ακτής και την κατασκευή των τεχνικών έργων προστασίας.

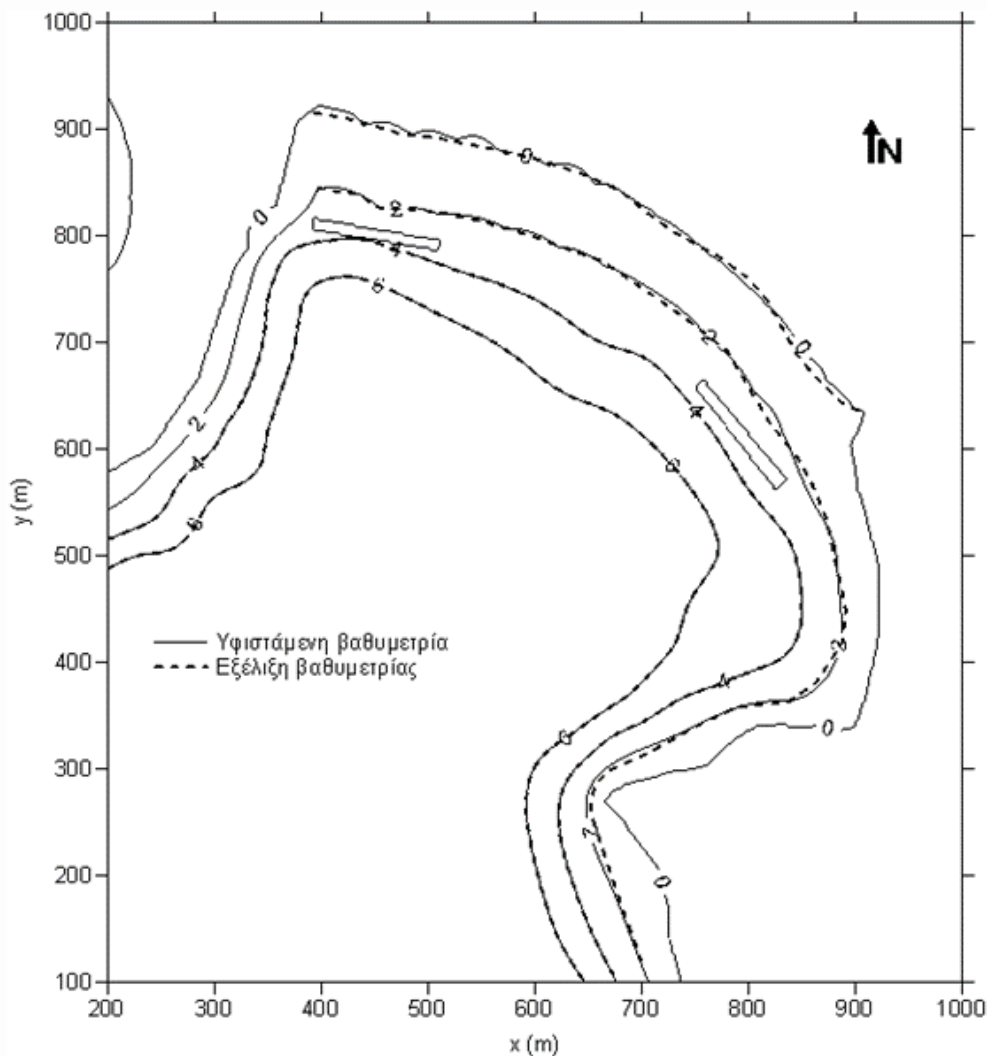


Εικόνα 35: Σημαντικό ύψος κύματος (σε m) (πάνω) και κυματογενής ρευματική κυκλοφορία (κάτω) στην παραλία Κοραλλιών κατά την πνοή ΝΔ ανέμου έπειτα από την αναπλήρωση της ακτής και την κατασκευή των τεχνικών έργων προστασίας.

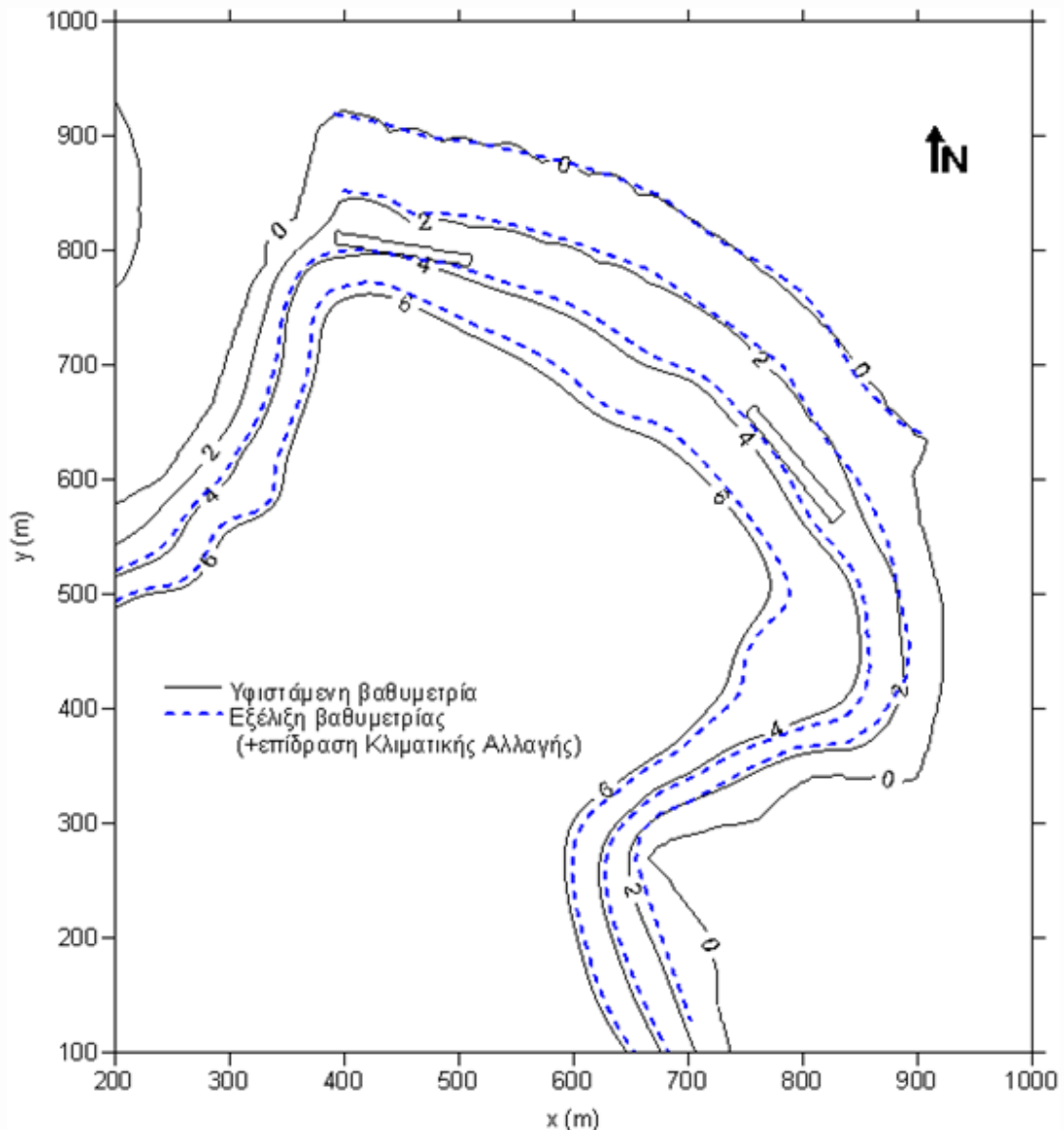


Εικόνα 36: Σημαντικό ύψος κύματος (σε m) (πάνω) και κυματογενής ρευματική κυκλοφορία (κάτω) στην παραλία Κοραλλίων κατά την πνοή Δ ανέμου έπειτα από την αναπλήρωση της ακτής και την κατασκευή των τεχνικών έργων προστασίας.

Σε σχέση με την εξέλιξη της μορφολογίας, υπό την επαλληλία όλων των επικρατούντων κυματισμών και με την κατασκευή των έργων γίνεται προφανές από την εικόνα 37 ότι το τμήμα της ακτής που πρόκειται να προστατευτεί εμφανίζει γενικώς τάσεις πρόσχωσης. Λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση της Κλιματικής Αλλαγής και συγκεκριμένα μία μετριοπαθή μακροχρόνια αύξηση της μέσης στάθμης της θάλασσας (ΜΣΘ) κατά 0.4 m, σε συνδυασμό με μία αύξηση κατά 10% των υψών του κύματος, τότε η εξέλιξη της μορφολογίας θα είναι όπως φαίνεται στην εικόνα 38. Η αποτελεσματικότητα των τεχνικών έργων προστασίας είναι ικανοποιητική, εφόσον κατά το σχεδιασμό τους επιλέχθηκε μεγάλο πλάτος στέψης των ύφαλων κυματοθραυστών (8 m) ώστε παρά την αύξηση της στάθμης αυτοί να εξακολουθούν να μειώνουν την κυματική ενέργεια σημαντικά (περίπου 70%). Κάτω από τις πιθανές μελλοντικές συνθήκες η ακτή προστατεύεται και πάλι σε σημαντικό βαθμό. Μείωση του πλάτους της παραλίας (διακεκομμένη γραμμή) εμφανίζεται μόνο τοπικά και για μικρό μήκος και οφείλεται κυρίως στην (αναπόφευκτη) υποχώρηση της ακτής λόγω της ανύψωσης της στάθμης θάλασσας.



Εικόνα 37: Τάση εξέλιξης της μορφολογίας του πυθμένα με τη λήψη τεχνικών μέτρων για την προστασία της ακτή στην παραλία των Κοραλλίων, με την επαλληλία των επικρατούντων κυματισμών (N, NΔ και Δ) υπό τις παρούσες συνθήκες.

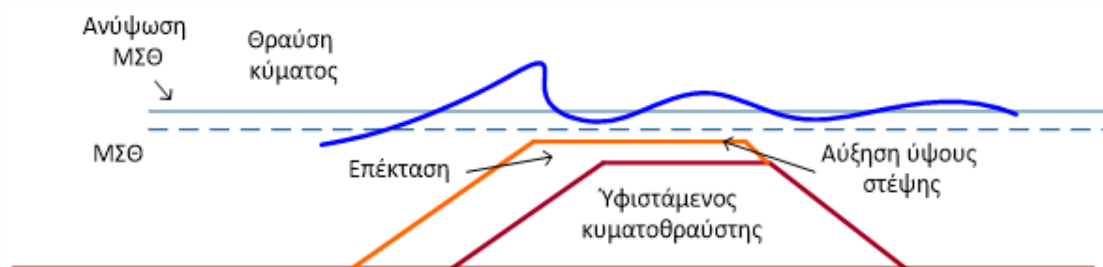


Εικόνα 38: Τάση εξέλιξης της μορφολογίας του πυθμένα με τη λήψη τεχνικών μέτρων για την προστασία της ακτής στην παραλία των Κοραλλίων, με την επαλληλία των επικρατούντων κυματισμών (N, NΔ και Δ) υπό σενάριο ανόδου της στάθμης της θάλασσας (λόγω Κλιματικής Αλλαγής) κατά 0.4 m.

4.5 Μελλοντική αναβάθμιση κυματοθραυστών

Στην παραπάνω διερεύνηση λήφθηκε υπόψη η επίδραση της Κλιματικής Αλλαγής και συγκεκριμένα μία μετριοπαθή μακροχρόνια αύξηση της μέσης στάθμης της θάλασσας (ΜΣΘ) κατά 0.4 m, σε συνδυασμό με μία αύξηση κατά 10% των υψών του κύματος. Η αποτελεσματικότητα των τεχνικών έργων προστασίας είναι ικανοποιητική, εφόσον κατά το σχεδιασμό τους επιλέχθηκε μεγάλο πλάτος στέψης των ύφαλων κυματοθραυστών (8 m) ώστε παρά την αύξηση της στάθμης αυτοί να εξακολουθούν να μειώνουν την κυματική ενέργεια σημαντικά (περίπου 70%). Κάτω από τις πιθανές μελλοντικές συνθήκες η ακτή προστατεύεται και πάλι. Σε όλες τις περιπτώσεις η μείωση του πλάτους της παραλίας οφείλεται κυρίως στην (αναπόφευκτη) υποχώρηση της ακτής λόγω της ανύψωσης της στάθμης θάλασσας.

Ωστόσο εάν απαιτηθεί με σκοπό να επαναφέρουμε την μείωση της κυματικής ενέργειας στα επίπεδα του αρχικού σχεδιασμού, θα πρέπει να αυξηθεί περαιτέρω το πλάτος στέψης Β ή/και να αυξηθεί το ύψος στέψης. Ένα παράδειγμα αναβάθμισης ύψαλου κυματοθραύστη παρουσιάζεται στην Εικόνα 39.



Εικόνα 39: Αναβάθμιση ύψαλου κυματοθραύστη με αύξηση πλάτους και ύψους στέψης.

5 Κοστολόγηση λύσεων στις πιλοτικές παραλίες

Αξιολογήθηκαν και κοστολογήθηκαν οι προτεινόμενες τεχνικές λύσεις. Τα χαρακτηριστικά ενός τυπικού κυματοθραύστη παρουσιάζονται στην Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά τυπικού κυματοθραύστη.

Κυματοθραύστης
Βάθος Κυματοθραύστη 2-4.5 m
Ύψος στέψης 0 m (συμπεριλαμβανομένης της ανύψωσης της θάλασσας λόγω Κλιματικής Αλλαγής)
Πλάτος στέψης 8 m
Κλίση πρανών 1:2.5 (προσήνεμα) και 1:2 υπήνεμα

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζεται συγκεντρωτικά το συνολικό κόστος των προτεινόμενων κατασκευών. Το συνολικό κόστος προκύπτει για τον κυματοθραύστη από το γινόμενο του κόστους ενός κυβικού μέτρου ογκολίθων επί το συνολικό όγκος των και για την τεχνητή αναπλήρωση από το γινόμενο του κόστους ενός κυβικού άμμου επί του συνολικού όγκου.

Πίνακας 2. Κοστολόγηση τεχνικών έργων για τις παραλίες μελέτης.

Παραλία	Κόστος κυματοθραύστη (€)	Κόστος άμμου αναπλήρωσης (€)	Σύνολο (€) +ΦΠΑ, απρόβλεπτα και Εργολαβικό Όφελος
Ιστορικό	808500	207000	1827000,00
Πέτρα	371700	234000	1100000,00
Κώμη	429000	297000	1318000,00
Κόλπος Κοραλλίων	734400 (+Τεχνητοί ύφαλοι 700000)	324000	3042000,00

Ακολουθεί η αναλυτική κοστολόγηση των λύσεων.

5.1 Ιστορικό

Το τεχνικό έργο περιλαμβάνει:

- Δύο προβόλους μήκους 35 m, με πλάτος στέψης 2 m, συνολικού ύψους 1 m, με κλίση πρανών 1:2
- Δύο ύφαλους κυματοθραύστες μήκους 140 m ο κάθε ένας, με πλάτος στέψης 8 m, συνολικού ύψους 8 m, με κλίση πρανών 1:2.5 και 1:2
- Όγκο τεχνητής αναπλήρωσης 23000 m³.

Α/Α	Περιγραφή Αντικειμένου	Κωδικός Άρθρου	Κωδικός Αναθεώρησης	Μον. Μετρ.	Τιμή Μονάδος (Ευρώ)	Ποσότητα	Δαπάνη (Ευρώ)	
							Μερική Δαπάνη	Ολική Δαπάνη
1	Φυσικοί Ογκόλιθοι Θωράκισης Ατομικού Βάρους 1500-2500kg	4.08.02	ΛΙΜ 2320	m ³	25	280,00	7.000,00	
2	Προμήθεια και διάστρωση μη υφαντού γεωϋφάσματος εφελκυστικής αντοχής (κατά την κύρια διεύθυνση) 300 kN/m	4.10.02	ΥΔΡ 6361	m ²	7	420,00	2.940,00	
Σύνολο							9.940,00	9.940,00
Άθροισμα Προστίθεται ΓΕ & ΟΕ						18,00%		9.940,00
Σύνολο μελέτης								1.789,20
Απρόβλεπτα Αναθεώρηση						15,00%		1.759,38
Σύνολο προ ΦΠΑ								13.488,58
ΦΠΑ						24,00%		3.237,26
Γενικό σύνολο								16.725,84

Α/Α	Περιγραφή Αντικειμένου	Κωδικός Άρθρου	Κωδικός Αναθεώρησης	Μον. Μετρ.	Τιμή Μονάδος (Ευρώ)	Ποσότητα	Δαπάνη (Ευρώ)	
							Μερική Δαπάνη	Ολική Δαπάνη
1	Φυσικοί Ογκόλιθοι Θωράκισης Ατομικού Βάρους 4000-6000kg + ΜΤΦ	4.08.05	ΛΙΜ 2340	m ³	30	26950,00	808.500,00	
2	Προμήθεια και διάστρωση μη υφαντού γεωϋφάσματος εφελκυστικής αντοχής (κατά την κύρια διεύθυνση) 300 kN/m	4.10.02	ΥΔΡ 6361	m ²	7	8540,00	59.780,00	
3	Πρόβολοι						10.000,00	
4	Διαμόρφωση τεχνητής προσάμμουσης + ΜΤΦ	3.08.Μ	ΛΙΜ 1322	m ³	9,0	23000,00	207.000,00	
Σύνολο							1.085.280,00	1.085.280,00
Άθροισμα Προστίθεται ΓΕ & ΟΕ						18,00%		1.085.280,00
Σύνολο μελέτης								195.350,40
Απρόβλεπτα Αναθεώρηση						15,00%		1.280.630,40
Σύνολο προ ΦΠΑ								1.472.724,96
ΦΠΑ						24,00%		353.453,99
Γενικό σύνολο								1.826.178,95

5.2 Πέτρα

Το τεχνικό έργο περιλαμβάνει:

- Δύο ύφαλους κυματοθραύστες μήκους 140 m ο κάθε ένας, με πλάτος στέψης 8 m, συνολικού ύψους 3 m, με κλίση πρανών 1:2.5 και 1:2
- Όγκο τεχνητής αναπλήρωσης 26000 m³.

Α/Α	Περιγραφή Αντικειμένου	Κωδικός Άρθρου	Κωδικός Αναθεώρησης	Μον. Μετρ.	Τιμή Μονάδος (Ευρώ)	Ποσότητα	Δαπάνη (Ευρώ)		
							Μερική Δαπάνη	Ολική Δαπάνη	
1	Φυσικοί Ογκόλιθοι Θωράκισης Ατομικού Βάρους 4000-6000kg + ΜΤΦ	4.08.05	ΛΙΜ 2340	m3	30	12390,00	371.700,00		
2	Προμήθεια και διάστρωση μη υφαντού γεωϋφάσματος εφελκυστικής αντοχής (κατά την κύρια διεύθυνση) 300 kN/m	4.10.02	ΥΔΡ 6361	m2	7	6020,00	42.140,00		
3	Διαμόρφωση τεχνητής προσάμμισης + ΜΤΦ	3.08.Μ	ΛΙΜ 1322	m3	9,0	26000,00	234.000,00		
							647.840,00	647.840,00	
Άθροισμα									647.840,00
Προστίθεται ΓΕ & ΟΕ							18,00%		116.611,20
Σύνολο μελέτης									764.451,20
Απρόβλεπτα							15,00%		114.667,68
Αναθεώρηση									
Σύνολο προ ΦΠΑ									879.118,88
ΦΠΑ							24,00%		210.988,53
Γενικό σύνολο									1.090.107,41

5.3 Κώμη

Το τεχνικό έργο περιλαμβάνει:

- Δύο ύφαλους κυματοθραύστες μήκους 140 m ο κάθε ένας, με πλάτος στέψης 8 m, συνολικού ύψους 2.5 m, με κλίση πρανών 1:2.5 και 1:2
- Όγκο τεχνητής αναπλήρωσης 33000 m³.

Α/Α	Περιγραφή Αντικειμένου	Κωδικός Άρθρου	Κωδικός Αναθεώρησης	Μον. Μετρ.	Τιμή Μονάδος (Ευρώ)	Ποσότητα	Δαπάνη (Ευρώ)		
							Μερική Δαπάνη	Ολική Δαπάνη	
1	Φυσικοί Ογκόλιθοι Θωράκισης Ατομικού Βάρους 4000-6000kg + ΜΤΦ	4.08.05	ΛΙΜ 2340	m3	30	14306,25	429.187,50		
2	Προμήθεια και διάστρωση μη υφαντού γεωϋφάσματος εφελκυστικής αντοχής (κατά την κύρια διεύθυνση) 300 kN/m	4.10.02	ΥΔΡ 6361	m2	7	8085,00	56.595,00		
3	Διαμόρφωση τεχνητής προσάμμισης + ΜΤΦ	3.08.Μ	ΛΙΜ 1322	m3	9,0	33000,00	297.000,00		
							782.782,50	782.782,50	
Άθροισμα									782.782,50
Προστίθεται ΓΕ & ΟΕ							18,00%		140.900,85
Σύνολο μελέτης									923.683,35
Απρόβλεπτα							15,00%		138.552,50
Αναθεώρηση									
Σύνολο προ ΦΠΑ									1.062.235,85
ΦΠΑ							24,00%		254.936,60
Γενικό σύνολο									1.317.172,46

5.4 Κόλπος Κοραλλιών

Το τεχνικό έργο περιλαμβάνει:

- Δύο ύφαλους κυματοθραύστες μήκους 135 m ο κάθε ένας, με πλάτος στέψης 8 m, συνολικού ύψους 4 m, με κλίση πρανών 1:2.5 και 1:2
- 700 τεχνητούς ύφαλους
- Όγκο τεχνητής αναπλήρωσης 36000 m³.

Α/Α	Περιγραφή Αντικειμένου	Μον. Μέτρ.	Τιμή Μονάδος (Ευρώ)	Ποσότητα	Δαπάνη (Ευρώ)	
					Μερική Δαπάνη	Ολική Δαπάνη
1	Φυσικοί Ογκόλιθοι Θωράκισης Ατομικού Βάρους 7000-10000kgf	m3	40	18360,00	734.400,00	
2	Προμήθεια και διάστρωση μη υφαντού γεωϋφάσματος εφελκυστικής αντοχής (κατά την κύρια διεύθυνση) 300 kN/m	m2	7	7020,00	49.140,00	
3	Τεχνητοί ύφαλοι	αριθμός	1000	700,00	700.000,00	
4	Διαμόρφωση τεχνητής προσάμμουσης + ΜΤΦ	m3	9,0	36000,00	324.000,00	
					1.807.540,00	1.807.540,00
	Άθροισμα					1.807.540,00
	Προστίθεται ΓΕ & ΟΕ			18,00%		325.357,20
	Σύνολο μελέτης					2.132.897,20
	Απρόβλεπτα			15,00%		319.934,58
	Αναθεώρηση					
	Σύνολο προ ΦΠΑ					2.452.831,78
	ΦΠΑ			24,00%		588.679,63
	Γενικό σύνολο					3.041.511,41



ΔΕΣΜΟΙ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Βιβλιογραφία

- Abel N., Goddard R., Harman, B, Leich A., Langridge J., Ryan A., and Heyenga S., 2011. Sea level rise, coastal development and planned retreat: analytical framework, governance principles and an Australian case study *Environmental Science and Policy*, 14 279–288.
- Church, J.A., Clark, P.U., Cazenave, A., Gregory, J.M., Jevrejeva, S., Levermann, A., Merrifield, M.A., Milne, G.A., Nerem, R.S. 2013. Sea level change. p. 1137-1216. In: *Climate change 2013: the physical science basis. contribution of working Group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. (eds). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York NY, USA.
- D'Angremond K, van der Meer JW, deJong RJ (1996) Wave transmission at low-crested structures, 25th Int. Conf. On Coastal Engineering, Kobe, Japan, 2418-2427.
- Dean, R.G. (2002). *Beach Nourishment: Theory and Practice (Advanced Series on Ocean Engineering)*, World Scientific.
- Dean, R.G. (2003). *Beach Nourishment: A short course*. In: C. Goudas, G. Katsiaris, V. May and Th.V. Karambas (eds.), *Soft Shore Protection*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp. 349-394.
- DELOS (2004). *Low Crested Structures design guidelines, έκθεση του ερευνητικού προγράμματος της ΕΕ DELOS, Coordinator H.F. Burcharth*.
- Harris, L.E. (2009). *Artificial Reefs for Ecosystem Restoration and Coastal Erosion Protection with Aquaculture and Recreational Amenities*. *Reef Journal*, Vol. 1 No. 1, pp. 235-246.
- Karambas, Th.V., Koftis, Ch., Koutandos, E., and Prinos, P. (2012). Innovative submerged structures/vegetation effects on coastal erosion: numerical modeling of hydro-morphological processes. *Proceedings of the Twenty-second (2012) International Offshore and Polar Engineering Conference*, pp 1328-1334.
- Karambas Th. V., 2012. Design of detached breakwaters for coastal protection: development and application of an advanced numerical model. *Proceedings of the 33rd International Conference on Coastal Engineering 2012*, 1(33), sediment.115. doi: 10.9753/icce.v33.sediment.115.
- Karambas, Th. V., Samaras, A., and Koutitas, Ch., 2012. Environmentally friendly shore protection methods: use of advanced numerical models in beach nourishment projects. *Int. Conference, Protection and Restoration of the Environment XI, July 3-6, 2012, Thessaloniki*.
- Karambas, Th. V. and Samaras, A.G., 2014. Soft shore protection methods: The use of advanced numerical models in the evaluation of beach nourishment, *Ocean Engineering*, 92, 129-136.
- Pacheco BG, Lewis-Cameron A., 2010. Weathering the storm—crisis marketing for small island tourist destinations. In: Lewis-Cameron A, Roberts S (eds) *Marketing Island destinations: concepts and cases*. Elsevier, Amsterdam, pp 149–164.
- Raudkivi AJ, Dette HH (2002) Reduction of sand demand for shore protection, *Coastal Engineering*, 45 pp. 239–259.
- U.S. Army Corps of Engineers, (2002). *Coastal Engineering Manual*. Engineer Manual 1110-2-1100, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C.

Καραμπάς Θ., Κουτάντος Ε.Β., και Πρίνος Π. (2011). Καινοτόμες ύφαλες κατασκευές προστασίας ακτών από διάβρωση-Μαθηματική προσομοίωση υδρομορφοδυναμικών διεργασιών. 5ο Πανελλήνιο Συνέδριο Διαχείριση και βελτίωση παράκτιων ζωνών, Αθήνα: Ε.Μ.Π., σελ. 325-334.



ΔΕΣΜΟΙ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ