

## 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

<b>Πακέτο Εργασίας 1</b>	Διαχείριση και Συντονισμός Έργου
<b>Παραδοτέο 1.1.3</b>	Τεχνικές Εκθέσεις

<b>Κύριος Δικαιούχος Έργου</b>	Πανεπιστήμιο Αιγαίου (ΤΩΘΒΕ-ΠΑ)
<b>Επιστημονικός Υπεύθυνος Παραδοτέου</b>	ΤΩΘΒΕ-ΠΑ
<b>Συμμετέχοντες Φορείς στο Παραδοτέο</b>	ΠΤΑΒΑ, ΤΕΠΑΚ, Δ. Πέγειας
<b>Ομάδα Σύνταξης Παραδοτέου</b>	Θ. Χασιώτης, Α. Βελεγράκης
<b>Ομάδα Υλοποίησης Παραδοτέου</b>	Θ. Χασιώτης, Χ. Σίμος, Η. Πάστος, Μ. Λοϊζίδου, Ακουρδαλίτη Μ., Φ. Κριθαρίδης, Γ. Χρυσοστόμου, Δ. Χατζημιτσής, Χ. Μέττας, Χ. Παπούτσα, Γ. Χατζαργυρός
<b>Ημερομηνία</b>	Οκτώβριος 2023
<b>Διαδικτυακή πρόσβαση</b>	<a href="http://beachtech.eu">http://beachtech.eu</a>

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
<b>1 ΈΚΘΕΣΗ ΠΡΟΟΔΟΥ 12ΜΗΝΟΥ.....</b>	<b>5</b>
1.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ ΑΝΑ ΠΕ .....	5
1.2 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΤΗΚΑΝ ΣΤΗΝ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ .....	8
1.3 ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΣΤΗΝ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ .....	9
<b>2 ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΕΛΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....</b>	<b>9</b>
2.1 ΓΕΩ-ΧΩΡΙΚΕΣ ΒΑΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΑΡΑΛΙΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ .....	10
2.1.1 Διάβρωση παραλιών Λέσβου .....	11
2.1.2 Διάβρωση παραλιών Χίου .....	12
2.1.3 Διάβρωση παραλιών Κύπρου.....	13
2.2 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΠΙΛΟΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΛΙΩΝ .....	14
2.3 ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΕΣ, ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ.....	15
2.4 ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΜΟΡΦΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΣΤΙΣ ΠΙΛΟΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΛΙΕΣ.....	15
2.5 ΈΡΓΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΙΛΟΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΛΙΩΝ .....	16
2.6 ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ ΑΜΜΟΥ (ΥΛΙΚΟΥ ΑΝΑΠΛΗΡΩΣΗΣ) ΣΤΟ ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ .....	17
2.7 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΑΡΑΛΙΩΝ ΚΑΙ ΕΡΓΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ .....	18
<b>3 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ.....</b>	<b>19</b>
<b>4 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>22</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>23</b>



ΔΕΣΜΟΙ  
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

## Περίληψη

Στο πλαίσιο του έργου Beachtech συγκεντρώθηκε δι-επιστημονική πληροφορία από (i) τη μελέτη των γεω-χωρικών χαρακτηριστικών των παραλιών του ΒΑ Αιγαίου και της Κύπρου, (ii) την εκτίμηση του κινδύνου πλημμύρας και διάβρωσης των παραλιών (κάτω από διαφορετικά σενάρια), (iii) την παρακολούθηση της υδροδυναμικής και μορφοδυναμικής των πιλοτικών παραλιών σε συνδυασμό με τα υδρολογικά τους χαρακτηριστικά, (iv) την έρευνα σε επιλεγμένες θαλάσσιες περιοχές για τον εντοπισμό πιθανών δανειοθαλάμων άμμου και χαλικιών στη θάλασσα, (v) τις προσομοιώσεις της υφιστάμενης παράκτιας μορφοδυναμικής των πιλοτικών παραλιών και την αξιολόγηση τεχνικών λύσεων παραλιακής προσαρμογής για διαφορετικά σενάρια Κλιματικής Αλλαγής και (vi) την αξιολόγηση δραστηριοτήτων και παράκτιου κεφαλαίου στις πιλοτικές παραλίες σε συνδυασμό με την ανάλυση κόστους οφέλους των επιλογών προσαρμογής στην Κλιματική Αλλαγή.

Τα αποτελέσματα αξιολογούνται σταδιακά και στο πέρας του πρώτου έτους συντάχθηκε σύντομη έκθεση προόδου, η οποία περιέγραφε την πορεία του φυσικού αντικειμένου και τα κυριότερα προβλήματα που είχαν προκύψει στην υλοποίηση του έργου. Η τελική τεχνική αναφορά περιλαμβάνει τη σύνθεση των τελικών αποτελεσμάτων της πράξης και οδηγεί στη σύνταξη πρωτόκολλου εκτίμησης κινδύνου διάβρωσης/πλημμύρας και αξιολόγησης των τεχνικών έργων προσαρμογής.



## 1 Έκθεση Προόδου 12μήνου

Η έκθεση προόδου 12μήνου επικεντρώνεται στην περιληπτική περιγραφή της υλοποίησης των αρχικών διαδικασιών και δράσεων ανά πακέτο εργασίας (ΠΕ), στα σημαντικότερα προβλήματα που διαπιστώθηκαν στην αρχή του έργου, καθώς και στις αλλαγές που αποφασίστηκαν για την ορθή υλοποίηση του.

### 1.1 Περιγραφή δραστηριοτήτων ανά ΠΕ

**ΠΕ1:** Πραγματοποιήθηκε η εναρκτήρια συνάντηση (kick-off meeting), όπου έγινε σύντομη εισήγηση από τον προϊστάμενο του Τμήματος Παρακολούθησης Έργων του ΕΛΚΕ του Παν/μιου Αιγαίου σε σχέση με διαδικαστικά / διαχειριστικά θέματα και ενέργειες που πρέπει να υλοποιηθούν από τους εταίρους του έργου. Κατά τη διάρκεια της συνάντησης και μετά από ανταλλαγή απόψεων έγινε η τελική επιλογή των πιλοτικών παραλιών μελέτης κυρίως με βάση τις ανάγκες και τα θέματα που ανέδειξαν οι ΠΒΑ και ο Δ. Πέγειας. Ορίστηκε η Συντονιστική και η Συμβουλευτική Επιτροπή του έργου. Παρουσιάστηκε το γενικό πρόγραμμα και το χρονοδιάγραμμα επικοινωνίας των εταίρων στο πλαίσιο του ΤΔΕ του έργου και οι τεχνικές εκθέσεις που πρέπει να προετοιμαστούν κατά τη διάρκεια του έργου από τον ΕΛΚΕ. Προγραμματίστηκε επίσκεψη κλιμακίου του ΤΩΘΒΕ στην Κύπρο τη φθινοπωρινή περίοδο για την οργάνωση των εργασιών πεδίου, τον έλεγχο των πιθανών θέσεων εγκατάστασης καμερών, κλπ. Η επίσκεψη αυτή έγινε το Νοέμβριο, με συναντήσεις στο Δήμο Πέγειας, όπου πραγματοποιήθηκε και δια ζώσης αναλυτική ενημέρωση του Δημάρχου και την οργάνωση των δραστηριοτήτων του φυσικού αντικείμενου.

Ολοκληρώθηκαν οι προκηρύξεις εξωτερικών συνεργατών του Παν/μιου Αιγαίου και ξεκίνησαν οι τμηματικές συμβάσεις τους. Ολοκληρώθηκε επίσης ο διαγωνισμός για τον εξοπλισμό του Παν/μιου Αιγαίου, ο οποίος ξεκίνησε να παραλαμβάνεται τμηματικά. Με τη συμβολή στελεχών του Παν/μιου Αιγαίου και σε συνεργασία με τους υπόλοιπους εταίρους (ΠΒΑ και το Δήμο Πέγειας) έγινε αρχικά η προετοιμασία των προδιαγραφών εξειδικευμένου εξοπλισμού για τις ανάγκες του έργου και τευχών διαγωνισμών (λοιπού εξοπλισμού). Οι συγκεκριμένοι εταίροι βρίσκονται στη φάση διενέργειας των διαγωνισμών.

Κατά την πορεία των διαδικαστικών-διαχειριστικών θεμάτων διαπιστώθηκε από την ΠΒΑ αδυναμία ανταπόκρισης στις ανάγκες του έργου και ξεκίνησε η διαδικασία αντικατάστασης του από το ΠΤΑΒΑ. Λόγω του γεγονότος αυτού και έως ότου ενημερωθεί ο νέος εταίρος αποφασίστηκε η διαδικτυακή ετήσια συνάντηση των εταίρων να πραγματοποιηθεί εντός του Ιουλίου.

Κατά τη διάρκεια του πρώτου έτους του έργου έγινε η σύνταξη των πρώτων δύο αναφορών προόδου (Α' και Β' εξαμήνου), όπως και η ολοκλήρωση της παρούσας έκθεσης προόδου 12μηνου που περιγράφει την εξέλιξη του φυσικού αντικείμενου.

**ΠΕ2:** Κατασκευάστηκε η ιστοσελίδα του έργου και πραγματοποιείται σταδιακή επικαιροποίησή της, με υλικό που προκύπτει κυρίως από τις εργασίες πεδίου. Επιπλέον

ετοιμάστηκε και λειτουργεί ο σχετικός σύνδεσμος στο Facebook. Ολοκληρώθηκε και αναρτήθηκε το ετήσιο ενημερωτικό δελτίο (newsletter), το οποίο περιλαμβάνει πληροφορίες για την εξέλιξη του έργου. Πραγματοποιούνται μηνιαίες ή/και τακτικότερες διαδικτυακές διαχειριστικές συναντήσεις για το συντονισμό των ποικίλων ενεργειών. Αναρτήθηκε δελτίο τύπου από το Δ. Πέγειας μετά την επίσκεψη κλιμακίου του ΤΩΘΒΕ στο Δήμο και στην πιλοτική παραλία.

**ΠΕ3:** Ξεκίνησε και σχεδόν ολοκληρώθηκε από το ΤΕΠΑΚ, σε στενή συνεργασία και με την επιστημονική καθοδήγηση του ΤΩΘΒΕ, η δημιουργία της γεω-χωρικής βάσης δεδομένων των παραλιών και των 3 νήσων (Λέσβου, Χίου και Κύπρου) με την ψηφιοποίηση τους από τη διαθέσιμη ιστορική πληροφορία (χρονοσειρά δορυφορικών εικόνων) που είναι διαθέσιμη στη μηχανή Google Earth Pro. Συγκεκριμένα, αποτυπώθηκαν τα φυσικά (πχ μήκος, έκταση, μέγιστο πλάτος, προσανατολισμός, εκβάλλοντες ποταμο-χείμαρροι) και τα ανθρωπογενή χαρακτηριστικά των παραλιών (πρόσβαση, οικιστική ανάπτυξη, παράκτια έργα κλπ) και καθορίστηκε το εσωτερικό τους όριο. Το είδος ιζήματος εκτιμήθηκε όχι μόνο από διαθέσιμες φωτογραφίες αλλά και από παλαιότερα δεδομένα πεδίου του ΤΩΘΒΕ. Λόγω του μικρού παλιρροιακού εύρους στο Αιγαίο αλλά και στην Ανατ. Μεσόγειο, η επίδραση στο εύρος των παραλιών θεωρήθηκε αμελητέα. Από τις πλέον πρόσφατες εικόνες αποτυπώθηκαν όλες οι ανθρώπινες δραστηριότητες που αναπτύσσονται στην παραλίες. Αν και η καταχώριση της πληροφορίας γίνεται με παρόμοιο τρόπο, έχουν δημιουργηθεί 2 χωριστές βάσεις, μία για Λέσβο και Χίο και μια για τις παραλίες της Κύπρου, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν ανάλογα με τις απαιτήσεις της κείμενης νομοθεσίας. Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων των βάσεων είναι σε εξέλιξη.

Παράλληλα το ΤΩΘΒΕ ξεκίνησε τη μελέτη των σεναρίων κλιματικής αλλαγής που θα χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση του κινδύνου πλημμύρας και διάβρωσης, καθώς και το σχεδιασμό/ανάπτυξη των συστοιχιών των μονοδιάστατων εγκάρσιων μορφοδυναμικών μοντέλων που θα χρησιμοποιηθούν. Η πρόγνωση του κινδύνου παράκτιας πλημμύρας, μετά από την αξιολόγηση της διαθέσιμης βιβλιογραφίας, αποφασίστηκε να γίνει για τα σενάρια Κλιματικής Αλλαγής (RCP4.5 και RCP8.5) για 2 χρονικές περιόδους και για τουλάχιστον 2 περιόδους επιστροφής ακραίων φαινομένων (π.χ. 10 και 100 έτη). Δημιουργήθηκαν και δοκιμάστηκαν συστοιχίες μοντέλων για την εκτίμηση της παραλιακής διάβρωσης / οπισθοχώρησης λόγω (α) μακροχρόνιας ανόδου της μέσης θαλάσσιας στάθμης (αναλυτικά μοντέλα Brunn, Edelman, Dean) και (β) βραχυχρόνιας ανόδου της στάθμης (αριθμητικά μοντέλα Leont'gen, SBEACH και Xbeach). Δεδομένα κλίσης των παραλιών αναζητήθηκαν βιβλιογραφικά, τα κοκκομετρικά δεδομένα προήλθαν από τη γεω-χωρική βάση δεδομένων και οι υδροδυναμικές συνθήκες θα εξαχθούν επίσης από βάσεις δεδομένων (πχ ERA-Interim, JRC).

**ΠΕ4:** Το ΤΩΘΒΕ ξεκίνησε την αναζήτηση και συλλογή βιβλιογραφικών δεδομένων καθώς και των διαθέσιμων βάσεων δεδομένων που αφορούν στην έρευνα των υδρολογικών λεκανών ανάντη των πιλοτικών παραλιών. Διαθέσιμα δεδομένα αναζητήθηκαν και χορηγήθηκαν επίσης από την ΠΒΑ και το Δ. Πέγειας. Επιπλέον, γίνονται δοκιμές των

υδρολογικών μοντέλων με διαθέσιμα στοιχεία βάσεων δεδομένων από την περιοχή της Λέσβου.

Έγινε βιβλιογραφική αναζήτηση των ωκεανογραφικών συνθηκών στο θαλάσσιο χώρο ανοιχτά των πιλοτικών παραλιών. Ξεκίνησαν από το ΤΩΘΒΕ οι εργασίες πεδίου, με τη συλλογή, σε πρώτη φάση, τοπογραφικών, βυθομετρικών, μορφολογικών και ιζηματολογικών δεδομένων από τις πιλοτικές παραλίες της Λέσβου (Πέτρα και παράκτιο μέτωπο Μυτιλήνης (περιοχή Ιστορικού)). Χρησιμοποιήθηκε υψίσυχο ψηφιακό βυθόμετρο και ηχοβολιστής πλευρικής σάρωσης, συλλέχθηκαν δείγματα ιζήματος με αρπάγη και έγινε σημειακή οπτική επιθεώρηση με χρήση υποβρύχιων καμερών. Τα δεδομένα επεξεργάστηκαν από το λογισμικό SonarWiz και προέκυψαν οι προκαταρκτικές απεικονίσεις της βυθομετρίας και γεωμορφολογίας του πυθμένα. Το ΤΕΠΑΚ υλοποίησε αποτύπωση του κόλπου των Κοραλλίων με χρήση drone και ο σχετικός ορθο-φωτοχάρτης είναι σε επεξεργασία. Ταυτόχρονα στελέχη του Δ. Πέγειας συμμετείχαν στις εργασίες πεδίου για την εξοικείωση με το σχεδόν παρόμοιο σύστημα που πρόκειται να προμηθευτούν. Προετοιμασία λειτουργικού συστήματος διαχείρισης πληροφοριών καμερών από το ΤΩΘΒΕ.

Προετοιμάζονται (βρίσκονται σε τελική φάση) σύντομες παρουσιάσεις και εγχειρίδια λειτουργίας των συστημάτων παρακολούθησης των πιλοτικών παραλιών και ανάλυσης δεδομένων από το ΤΩΘΒΕ, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν στην εκπαίδευση των στελεχών και των εξωτερικών συνεργατών της ΠΒΑ και του Δ. Πέγειας που θα συμμετάσχει στο έργο.

**ΠΕ5:** Αρχικά ξεκίνησαν οι δοκιμές του υφιστάμενου μοντέλου προσομοίωσης της παράκτιας μορφοδυναμικής που στηρίζεται στις εξισώσεις διασπειρόμενων μη γραμμικών κυματισμών τύπου Boussinesq και προσομοιώνει τη μετάδοση των κυματισμών από τα ανοιχτά προς την παραλία. Τα δεδομένα πεδίου (τοπογραφικά, βυθομετρικά, γεωμορφολογικά, ιζηματολογικά) από τις πιλοτικές παραλίες της Λέσβου εφαρμόζονται σταδιακά στο υδροδυναμικό - μορφοδυναμικό μοντέλο. Η ολοκληρωμένη αξιολόγηση του απαιτεί και υδροδυναμικές μετρήσεις, οι οποίες θα συλλεχθούν την επερχόμενη περίοδο. Προετοιμασία GUI (graphical user interface) για την τεχνητή αναπλήρωση με άμμο των πιλοτικών παραλιών και βιβλιογραφική αναζήτηση κόστους υλικών σχετικής διαμέτρου (άμμος έως και μικρό χαλίκι).

Σε σχέση με τις προτεινόμενες λύσεις, ξεκίνησαν να δοκιμάζονται με το ίδιο μοντέλο σε πρώτη φάση λύσεις φιλικές προς το περιβάλλον που αφορούν την αναπλήρωση των παραλιών. Εκτιμήθηκε το μέγεθος των υλικών που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν, όπως και το επιθυμητό εύρος παραλίας, λαμβάνοντας υπόψη διεργασίες που πιθανώς θα αναδιαμορφώσουν τη διατομή της ακτογραμμής μετά από την αναπλήρωση.

Αναζήτηση και συγκέντρωση πληροφοριών από διαθέσιμες βάσεις δεδομένων, από τον ευρύτερο θαλάσσιο χώρο ανοιχτά / περιφερειακά των πιλοτικών παραλιών μελέτης στη Λέσβο, Χίο και Κύπρο που θα αποτελέσουν αντικείμενο έρευνας για τον εντοπισμό υποθαλάσσιων αδρανών. Από την βιβλιογραφική ανασκόπηση καθορίστηκαν οι ζώνες



έρευνας για την πιθανή παρουσία υποθαλάσσιων κοιτασμάτων αδρανών υλικών σε περιοχές πλησίον των πιλοτικών παραλιών στη Λέσβο, Χίο και Κύπρο και σε βάθη έως ~60 m. Ο καθορισμός των ζωνών αυτών περιλαμβάνει στοιχεία θαλάσσιας χωροταξίας προκειμένου να μην προκληθεί σύγκρουση με άλλες δραστηριότητες και φυσικές συνθήκες.

**ΠΕ6:** Δημιουργήθηκε το ερωτηματολόγιο που θα διανεμηθεί στους χρήστες των παραλιών τους επόμενους μήνες σε δύο γλώσσες (ελληνικά και αγγλικά), το οποίο αναμένεται να βοηθήσει στην αξιολόγηση του παράκτιου κεφαλαίου στις πιλοτικές παραλίες και να συμβάλλει στην εκτίμηση του κόστους των έργων προσαρμογής λόγω παράκτιας διάβρωσης. Το ερωτηματολόγιο περιλαμβάνει 5 διακριτά τμήματα. Το 1<sup>ο</sup> περιγράφει συνοπτικά το πρόβλημα της διάβρωσης των τουριστικών παραλιών, το 2<sup>ο</sup> ζητά πληροφορίες σχετικές με τις προτιμήσεις του επισκέπτη και την αντίληψη του προβλήματος, στο 3<sup>ο</sup> τίθεται ο προβληματισμός (και στους επαγγελματίες της περιοχής και στους τουρίστες) της προθυμίας οικονομική ενίσχυσης για τη διατήρηση των παραλιών, το 4<sup>ο</sup> αφορά την καταγραφή των προτιμήσεων της καιρικής κατάστασης και το 5<sup>ο</sup> περιλαμβάνει δημογραφικά/κοινωνικά αυτών που συμπληρώνουν τα ερωτηματολόγια.

Έχουν ξεκινήσει να εφαρμόζονται δοκιμαστικά σενάρια κόστους-οφέλους για τις πιθανές τεχνικές επιλογές που θα επιλεγούν για την αντιμετώπιση των σεναρίων ανόδου της θαλάσσιας στάθμης. Συγκεντρώθηκε σχεδόν στο σύνολο της η Ευρωπαϊκή και Διεθνής νομοθεσία σε σχέση με τη διάβρωση και τον πλημμυρικό κίνδυνο των παραλιών.

## 1.2 Προβλήματα που παρουσιάστηκαν στην υλοποίηση του έργου

Οι συνέπειες της πανδημίας covid-19 και η ραγδαία εξάπλωση και επιδείνωση της κατάστασης τους χειμερινούς μήνες είχε ως συνέπεια την καθυστέρηση των εργασιών πεδίου, ταυτόχρονα με τις προβλεπόμενες/αναμενόμενες κακοκαιρίες τη συγκεκριμένη περίοδο, ενώ τα προβλήματα καθυστέρησης στην εφοδιαστική αλυσίδα παράλληλα με τις αντιξοότητες στην κατασκευή ηλεκτρονικών συσκευών επιτείνουν τους χρόνους παράδοσης στους διαγωνισμούς εξοπλισμού και συνεπώς προκαλούν καθυστερήσεις στην υλοποίηση του φυσικού αντικείμενου. Επιπλέον, η σύνταξη προδιαγραφών, ελέγχου τους, και οι εσωτερικές διαδικασίες των εταιρών για έγκριση διαγωνισμών επιφέρουν καθυστερήσεις που αντιμετωπίζονται με εσωτερικές τροποποιήσεις στο χρονοδιάγραμμα και με αναδιαμόρφωση πλάνων. Τα θέματα αυτά αντιμετωπίζονται με εσωτερικές τροποποιήσεις στο χρονοδιάγραμμα και με αναδιαμόρφωση πλάνων. Ειδικότερα η σταδιακή μείωση των περιοριστικών μέτρων λόγω της πανδημίας την άνοιξη οδήγησε στην άμεση έναρξη των εργασιών πεδίου.

Η δήλωση «κωλύματος» της ΠΒΑ για τη διεκπεραίωση των απαραίτητων διοικητικών και οικονομικών λειτουργιών του έργου, λόγω της υποστελέχωσης των αντίστοιχων υπηρεσιών, προκάλεσε την αντικατάσταση του από το Περιφερειακό Ταμείο Ανάπτυξης Βορείου Αιγαίου (ΠΤΑΒΑ), με τις ίδιες όμως υποχρεώσεις σε σχέση με τη συμμετοχή του στα παραδοτέα. Βασικό θέμα/πρόβλημα είναι ότι η ΠΒΑ ήταν επικεφαλής/υπεύθυνος για την υλοποίηση του παραδοτέου που σχετίζεται με τη διάχυση της πληροφορίας του



έργου και τις δράσεις δημοσιότητας. Όμως η εμπειρία του νέου εταίρου (ΠΤΑΒΑ) σε παρόμοια έργα εγγυώνται τη γρήγορη υλοποίηση κυρίως των απαραίτητων ενεργειών δημοσιότητας. Επιπλέον, αναμένεται να επισπεύσει τις διαδικασίες του διαγωνισμού εξοπλισμού που απαιτείται για την άρτια υλοποίηση του φυσικού αντικειμένου (σύστημα οπτικής παρακολούθησης παραλιών). Σημειώνεται ότι η αλλαγή αυτή συμβαίνει στο μέσο το έργο.

### 1.3 Μεταβολές στην υλοποίηση του έργου

Το μόνο θέμα που προέκυψε κατά το kick-off meeting ήταν η βούληση της ΠΒΑ για ελαφρά μετακίνηση της μίας πλοτικής περιοχής της Λέσβου, από το Μόλυβο στην Πέτρα (μείωση απόστασης μετακίνησης από τη Μυτιλήνη κατά ~5 km), λόγω του μεγαλύτερου εύρους και του οργανωμένου χαρακτήρα της συγκεκριμένης παραλίας, των εντονότερων προβλημάτων διάβρωσης που διαπιστώνονται, και του μεγαλύτερου αριθμού λουόμενων που φιλοξενεί (ακόμη και από την περιοχή του Μολύβου). Η συγκεκριμένη περιοχή έρευνας εμφανίζει παρόμοια φυσιο-γεωγραφικά χαρακτηριστικά, και επιπλέον η αλλαγή αυτή δεν θα επιφέρει μεταβολή στον προϋπολογισμό των μετακινήσεων.

Η αντικατάσταση του Ε2 από το ΠΤΑΒΑ αποτελεί μια σημαντική εξέλιξη, που αν και γίνεται στο μέσο του έργου, αναμένεται να συμβάλλει στην γρηγορότερη υλοποίηση κυρίως των δράσεων δημοσιότητας. Παράλληλα ο Δ. Πέγεια αιτήθηκε και έλαβε έγκριση για τη μεταβολή του ΤΔΕ και συγκεκριμένα τη μεταφορά δαπάνης προσωπικού σε δαπάνη εξωτερικής εμπειρογνωμοσύνης, ώστε να επισπευσθούν οι χρονοβόρες διαδικασίες που απαιτείται να ακολουθηθούν για την πρόσληψη ατόμων ως έκτακτο προσωπικό περιορισμένης διάρκειας.

## 2 Σύνοψη τελικών αποτελεσμάτων

Οι παραλίες αποτελούν κρίσιμες συνιστώσες του παράκτιου συστήματος προφυλάσσοντας τα ενδότερα παράκτια οικοσυστήματα και τα πολύτιμα περιουσιακά στοιχεία από τις θαλάσσια πλημμύρα (π.χ. Neumann et al, 2015) ενώ την ίδια στιγμή παρουσιάζουν υψηλό εισοδηματικό δυναμικό. Ο τουρισμός, ένας οικονομικός τομέας που συμβάλλει περίπου στο 5% του παγκόσμιου ακαθάριστου προϊόντος, σχετίζεται όλο και περισσότερο με την παραλιακές ψυχαγωγικές δραστηριότητες σύμφωνα με το μοντέλο του τουρισμού 'Ήλιος-Θάλασσα-Άμμος' (Sun-Sea-Sand - 3S) (Monioudi and Velegrakis, 2022). Σε μια εποχή αυξανόμενης περιβαλλοντικής και κοινωνικό-οικονομικής σημασίας οι παραλίες αντιμετωπίζουν αυξανόμενη διάβρωση που μπορεί να διακρίνεται σε: (α) μη αναστρέψιμη υποχώρηση ακτογραμμής λόγω της ανόδου της μέσης (σχετικής) θαλάσσιας στάθμης (ΜΘΣ) ή αρνητικό ισοζύγιο παράκτιων ιζημάτων και (β) βραχυπρόθεσμη διάβρωση, που προκαλείται από μετεωρολογική παλίρροια ή/και θυελλώδεις κυματισμούς που μπορεί ή όχι να προκαλέσουν μόνιμη οπισθοχώρηση της ακτογραμμής αλλά μπορεί να είναι καταστροφική (Seneviratne et al., 2012). Η προβλεπόμενη άνοδος

της ΜΘΣ, σε συνδυασμό με πιθανές αλλαγές της έντασης/συχνότητας των έντονων συμβάντων (π.χ. Vousdoukas et al., 2017; Monioudi et al., 2023) θα προκαλέσουν παράκτια διάβρωση με σοβαρότατες επιπτώσεις στα παράκτια οικοσυστήματα, υποδομές/περιουσίες και τη φέρουσα ικανότητα της παραλία σε αναψυχή/τουρισμό, ιδιαίτερα στα νησιά (π.χ., Monioudi et al., 2017). Οι νησιωτικές παραλίες, οι οποίες είναι μείζονες τουριστικοί προορισμοί, είναι ιδιαίτερα επιρρεπείς σε διάβρωση λόγω μικρών διαστάσεων τους και της μειωμένης τροφοδοσίας ιζημάτων (Velegrakis et al., 2008). Έτσι, η αξιολόγηση της παραλιακής διάβρωσης πρέπει να είναι από τα πρώτα θέματα εξέτασης όταν πρόκειται για τον σχεδιασμό της βιώσιμης ανάπτυξης των νήσων κάτω από την Κλιματική Μεταβλητότητα και Αλλαγή (ΚΜ & Α).

Ένας κύριος στόχος του ερευνητικού έργου BEACHTECH ήταν να αναπτύξει δομημένη προσέγγιση για (α) την αξιολόγηση του κίνδυνου της παράκτιας διάβρωσης στις νήσους του Β. Αιγαίου Λέσβο και Χίο, και την Κύπρο κάτω από την ΚΜ & Α και (β) την εκτίμηση της διάβρωσης πιλοτικών παραλιών, τον σχεδιασμό αποτελεσματικών τεχνικών λύσεων, και τη διερεύνηση της δυνατότητας εντοπισμού θαλάσσιων αδρανών υλικών (θαλάσσιων άμμων) στην γειτονική θαλάσσια περιοχή (πλησίον των παραλιών μελέτης) που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τη τεχνητή αναπλήρωση των παραλιών. Στο πλαίσιο αυτό αναπτύχθηκε επίσης πρωτόκολλο για την αξιολόγηση της διάβρωσης των νησιωτικών παραλιών.

## 2.1 Γεω-χωρικές βάσεις δεδομένων παραλιών και προβλέψεις διάβρωσης

Για τη δημιουργία των γεωχωρικών βάσεων δεδομένων παραλιών των νησιών Λέσβου, Χίου και Κύπρου χρησιμοποιήθηκαν ανοικτά δορυφορικά δεδομένα, τα οποία παρέχουν ευκολία στην πρόσβαση και χρήση των πληροφοριών που παρέχουν οι δορυφόροι.

Τα φυσικά χαρακτηριστικά των παραλιών (μεταξύ άλλων, που σχετίζονται κυρίως με τις διαστάσεις τους), τα οποία μελετήθηκαν είναι: (α) Ο τύπος ιζημάτων στην παραλία (π.χ. άμμος ή/και χαλίκια). (β) Μελετήθηκε η παρουσία στερεοποιημένων ιζημάτων/βράχου (beachrock), που είναι ένας τύπος βράχου που σχηματίζεται στις παραλίες από τη συσσώρευση αποθέσεων ασβεστίτη και άλλων ορυκτών. (γ) Ελέγχθηκε αν οι παραλίες βρίσκονται κοντά σε περιοχές προστατευόμενης φύσης, όπως οι περιοχές Natura 2000 και μικροί νησιωτικοί υγρότοποι. (δ) Ελέγχθηκε αν υπάρχει ποταμός ή ρέμα που ρέει και εκβάλλει στην παραλία, καθώς αυτό μπορεί να επηρεάσει τη δυναμική της παραλιακής ζώνης. (ε) Μελετήθηκαν τα φυσικά όρια της παραλίας, όπως βραχώδεις ακτές, οικοσυστήματα υγροβιότοπων ή άλλα φυσικά χαρακτηριστικά που περιβάλλουν την παραλία. Μελετώντας τα συγκεκριμένα φυσικά χαρακτηριστικά, γίνεται ευκολότερα κατανοητή η φύση της παραλιακής ζώνης και μπορούν να αναπτυχθούν κατάλληλες προσεγγίσεις για τη διατήρηση και διαχείριση αυτών των παραλιών.

Τα κοινωνικό-οικονομικά χαρακτηριστικά των παραλιών μελετήθηκαν, υπολογίστηκαν και βαθμονομήθηκαν για τις παραλίες των 3 νήσων μελέτης. Η έρευνα βασίστηκε σε διάφορες πηγές δεδομένων, όπως ανοικτά δορυφορικά δεδομένα και δεδομένα από ανοιχτές πλατφόρμες κοινωνικής δικτύωσης. Στη μελέτη αυτή, πραγματοποιήθηκε υπολογισμός

και κατάταξη των κοινωνικό-οικονομικών χαρακτηριστικών των παραλιών. Συγκεκριμένα, συλλέχθηκαν ποσοτικές και ποιοτικές πληροφορίες για διάφορες παραμέτρους που αφορούν τις κοινωνικο-οικονομικές πτυχές των παραλιών. Αυτές οι παράμετροι περιλαμβάνουν την επίσκεψη στις παραλίες, την προσβασιμότητά τους, την ανάπτυξή τους, την τουριστική ανάπτυξη, την παραχώρηση της Γαλάζιας Σημαίας (ένδειξη ποιότητας και περιβαλλοντικής αειφορίας στις παραλίες) και την ύπαρξη παράκτιου δρόμου. Η κατανόηση της κοινωνικο-οικονομικής κατάστασης των παραλιών προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες για τη διαχείριση και ανάπτυξή τους.

Οι ανθρώπινες παρεμβάσεις στις παραλιών αποτυπώθηκαν, επίσης, με βάση ανοικτά δορυφορικά δεδομένα και δεδομένα από ανοιχτές πλατφόρμες κοινωνικής δικτύωσης. Πραγματοποιήθηκε υπολογισμός και κατάταξη των ανθρώπινων παρεμβάσεων των παραλιών. Συγκεκριμένα, συλλέχθηκαν πληροφορίες για την ύπαρξη λιμενικών εγκαταστάσεων και παράκτιων έργων στις παραλίες. Οι λιμενικές εγκαταστάσεις αποτυπώνουν την ανθρώπινη δραστηριότητα στην περιοχή αλλά και το κατά πόσο μια παραλία είναι προστατευμένη και τα παράκτια έργα αποτυπώνουν το βαθμό προστασία της παραλίας. Η ανάλυση αυτή συνεισφέρει στην κατανόηση της κοινωνικο-οικονομικής κατάστασης των παραλιών, προσφέροντας πολύτιμες πληροφορίες για τη διαχείριση και ανάπτυξή τους.

Η γεωχωρική βάση δεδομένων εμπλουτίστηκε με προγνώσεις κυματικών χαρακτηριστικών, και ακραίας θαλάσσιας στάθμης (Extreme Sea level-ESL) κατά μήκος της νησιωτικής ακτογραμμής του ΒΑ Αιγαίου (ανάλυση 25 km) για τον 21ο αιώνα (περίοδος επαναφοράς 100 χρόνων, σενάρια RCP4.5 και RCP8.5) για κάθε παραλία από την βάση δεδομένων των Vousdoukas et al. (2018). Τα παραπάνω χρησιμοποιήθηκαν για να συνδέσουν τα ESLs με τους ακραίους κυματισμούς που θα οδηγήσουν τα μοντέλα στη δράση E3.1.2. Πιο συγκεκριμένα οι μεταβλητές υδροδυναμικής οδήγησης που υπολογίστηκαν για κάθε παραλία είναι: οι προγνώσεις ακραίων κυματικών χαρακτηριστικών για περίοδο επαναφοράς 100 χρόνων για τα έτη 2050 και 2100 και κλιματικά σενάρια RCP4.5 και RCP8.5 και η ακραία θαλάσσια στάθμη (Extreme Sea level-ESL) για περίοδο επαναφοράς 100 χρόνων για τα έτη 2050 και 2100 και κλιματικά σενάρια RCP4.5 και RCP8.5.

### *2.1.1 Διάβρωση παραλιών Λέσβου*

Σε σχέση με τις προβλέψεις διάβρωσης των παραλιών, για τη Λέσβο, από τη δυναμική συστοιχία μοντέλων υπολογίστηκε ότι σε μελλοντικά γεγονότα θύελλας οι ελάχιστες και μέγιστες υποχωρήσεις που υπολογίστηκαν κυμαίνονται μεταξύ περίπου 10 και 28 m για το μετριοπαθές σενάριο για το 2050, και φτάνουν μέχρι 14 και 36 m αντίστοιχα για το απαισιόδοξο σενάριο για το 2100, με τις μέσες τιμές υποχώρησης να παρουσιάζουν ελαφρώς μικρότερη διακύμανση μεταξύ 18 και 25 m, αντίστοιχα. Λαμβάνοντας υπόψιν το σχετικά χαμηλό μέγιστο ξηρό πλάτος (21 m) των 218 παραλιών της Λέσβου αυτά τα αποτελέσματα μεταφράζονται στο ότι ακόμη και για το μετριοπαθές σενάριο για το 2050 σε περίπτωση θύελλας το 86% των παραλιών του νησιού θα υποχωρήσει τουλάχιστον 50%

σε σχέση με το τωρινό πλάτος, με το 53% αυτών να προβλέπεται ότι έστω προσωρινά θα διαβρωθούν εντελώς. Τα ποσοστά της προσωρινής ολικής παραλιακής διάβρωσης αυξάνονται για τις υπόλοιπες περιπτώσεις φτάνοντας μέχρι το 71% όλου του νησιού για το απαισιόδοξο σενάριο το 2100 όπου μόνο το 7% των παραλιών φαίνεται ότι θα διατηρήσει πάνω από το 50 % του τωρινού πλάτους.

Σχετικά με τη σταδιακή υποχώρηση των ακτογραμμών λόγω της ανόδου της ΜΣΘ (στατική συστοιχία) οι ελάχιστες και μέγιστες υποχωρήσεις που υπολογίστηκαν κυμαίνονται μεταξύ 2 και 5.5 m για το μετριοπαθές σενάριο για το 2050 και φτάνουν μεταξύ 5 και 13.5 m αντίστοιχα για το απαισιόδοξο σενάριο για το 2100, με τις μέσες τιμές υποχώρησης να κυμαίνονται μεταξύ 3 και 15 m αντίστοιχα. Συγκρίνοντας τις προβλέψεις της συστοιχίας με τα μέγιστα ξηρά πλάτη για το μετριοπαθές σενάριο για το 2050 (άνοδος ΜΘΣ = 0.1 m) μόνο το 7% των παραλιών του νησιού θα υποχωρήσει τουλάχιστον 50% σε σχέση με το υφιστάμενο πλάτος τους. Παρόλα αυτά τα ποσοστά της μόνιμης παραλιακής διάβρωσης αυξάνονται για τις υπόλοιπες περιπτώσεις φτάνοντας μέχρι το 75% όλου του νησιού για το απαισιόδοξο σενάριο (RCP8.5) το 2100 όπου το 39% των παραλιών φαίνεται ότι θα εξαφανισθεί εντελώς.

Στη Λέσβο σε 60 από τις 218 παραλίες υπάρχουν υποδομές όπισθεν της παραλίας εκ των οποίων στις 45 από αυτές το συνολικό μήκος των υποδομών καλύπτει τουλάχιστον το 25% του συνολικού μήκους της παραλίας. Επικεντρώνοντας την ανάλυση σε αυτές, ακόμη και για το μετριοπαθές σενάριο το 2050 σε περίπτωση ακραίας θύελλας 35 από αυτές θα χάσουν έστω προσωρινά τουλάχιστον το 50% του σημερινού τους πλάτους με 26 από αυτές να προβλέπεται ότι θα κατακλυστούν ολοκληρωτικά (100% του σημερινού πλάτους). Οι προγνώσεις δυσχεραίνουν για τα υπόλοιπα σενάρια με αποκορύφωμα το RCP8.5 σενάριο για το 2100 όπου μόνο 4 από τις 45 παραλίες θα διατηρήσουν τουλάχιστον το 50% του σημερινού τους πλάτους.

### 2.1.2 Διάβρωση παραλιών Χίου

Όσον αφορά την απόκριση των 159 παραλιών της Χίου σε μελλοντικά γεγονότα θύελλα, οι ελάχιστες και μέγιστες υποχωρήσεις που υπολογίστηκαν κυμαίνονται μεταξύ περίπου 10.5 και 28 m για το μετριοπαθές σενάριο (RCP4.5) για το 2050 και φτάνουν μέχρι 17 και 41.5 m αντίστοιχα για το απαισιόδοξο σενάριο (RCP8.5) για το 2100, με τις μέσες τιμές υποχώρησης να παρουσιάζουν ελαφρώς μικρότερη διακύμανση μεταξύ περίπου 15 και 23 m αντίστοιχα. Λαμβάνοντας υπόψιν το σχετικά χαμηλό μέγιστο ξηρό πλάτος των παραλιών της Χίου (17 m) αυτά τα αποτελέσματα μεταφράζονται στο ότι ακόμη και για το μετριοπαθές σενάριο για το 2050 σε περίπτωση θύελλας το 89 % των παραλιών του νησιού θα υποχωρήσει τουλάχιστον 50 % σε σχέση με το τωρινό πλάτος, με το 49 % αυτών να προβλέπεται ότι έστω προσωρινά θα διαβρωθούν εντελώς. Τα ποσοστά της προσωρινής ολικής παραλιακής διάβρωσης αυξάνονται για τις υπόλοιπες περιπτώσεις φτάνοντας μέχρι το 77 % όλου του νησιού για το απαισιόδοξο σενάριο το 2100 όπου μόνο το 3% των παραλιών φαίνεται ότι θα διατηρήσει πάνω από το 50% του υφιστάμενου πλάτους τους.

Σε σχέση με τη σταδιακή μακροπρόθεσμη υποχώρηση των ακτογραμμών λόγω της ανόδου της ΜΣΘ, οι ελάχιστες και μέγιστες υποχωρήσεις που υπολογίστηκαν κυμαίνονται μεταξύ 1.7 και 5 m για το RCP4.5 το 2050 και φτάνουν μεταξύ 8.6 και 22.5 m αντίστοιχα για το RCP8.5 το 2100, με τις μέσες τιμές υποχώρησης να κυμαίνονται μεταξύ 2 και 11.6 m, αντίστοιχα. Συγκρίνοντας τις προβλέψεις με τα μέγιστα ξηρά πλάτη για το RCP4.5 το 2050 (άνοδος ΜΘΣ = 0.1 m) μόνο το 3 % των παραλιών του νησιού θα υποχωρήσει τουλάχιστον 50 % σε σχέση με το τωρινό πλάτος. Παρόλα αυτά τα ποσοστά της μόνιμης παραλιακής διάβρωσης (> 50 %) αυξάνονται για τις υπόλοιπες περιπτώσεις φτάνοντας μέχρι το 77 % όλου του νησιού για το RCP8.5 το 2100 όπου το 33 % των παραλιών φαίνεται ότι θα διαβρωθεί εντελώς.

Στη Χίο σε 64 από τις 159 παραλίες υπάρχουν υποδομές όπισθεν της παραλίας εκ των οποίων στις 49 από αυτές το συνολικό μήκος των υποδομών καλύπτει τουλάχιστον το 25% του συνολικού μήκους της παραλίας. Επικεντρώνοντας την ανάλυση σε αυτές, ακόμη και για το μετριοπαθές σενάριο το 2050 σε περίπτωση ακραίας θύελλας 43 από αυτές θα χάσουν έστω προσωρινά λόγω της πλημμυρικής κατάκλισης τουλάχιστον το 50% του σημερινού τους πλάτους με 25 από αυτές να προβλέπεται ότι θα κατακλυστούν ολοκληρωτικά (100% του σημερινού πλάτους). Οι προγνώσεις δυσχεραίνουν για τα υπόλοιπα σενάρια με αποκορύφωμα το απαισιόδοξο σενάριο για το 2100 όπου μόνο 1 από τις 49 παραλίες θα διατηρήσουν τουλάχιστον το 50% του σημερινού τους πλάτους.

### 2.1.3 Διάβρωση παραλιών Κύπρου

Τα μορφοδυναμικά μοντέλα εφαρμόστηκαν συνολικά σε 241 παραλίες της Κύπρου, εκ των οποίων η μεγάλη πλειοψηφία (82) είναι αμμώδους συστάσεως, 52 αποτελούνται είναι μικτής κοκκομετρίας και 19 χαρακτηρίζονται από χονδρόκοκκα ιζήματα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά και στην επιστημονική δημοσίευση των Monioudi et al., 2023 που υλοποιήθηκε στο πλαίσιο του BEACHTECH.

Από την ανάλυση της απόκρισης των παραλιών σε μελλοντικά γεγονότα θύελλας υπολογίστηκε ότι οι ελάχιστες και μέγιστες υποχωρήσεις κυμαίνονται μεταξύ 10.4 και 36.7 m για το μετριοπαθές σενάριο (RCP4.5) για το 2050 και φτάνουν μέχρι 16.3 και 51 m, αντίστοιχα, για το απαισιόδοξο σενάριο (RCP8.5) για το 2100, με τις μέσες τιμές υποχώρησης να παρουσιάζουν ελαφρώς μικρότερη διακύμανση μεταξύ περίπου 20.9 και 30.5 m αντίστοιχα. Λαμβάνοντας υπόψιν το σχετικά χαμηλό μέγιστο ξηρό πλάτος των χωρίς προστασία παραλιών της Κύπρου (24.5 m) αυτά τα αποτελέσματα μεταφράζονται στο ότι ακόμη και για το μετριοπαθές σενάριο για το 2050 σε περίπτωση θύελλας το 87% των παραλιών του νησιού θα υποχωρήσει τουλάχιστον 50% σε σχέση με το τωρινό πλάτος, με το 49% αυτών να προβλέπεται ότι έστω προσωρινά θα διαβρωθούν εντελώς. Τα ποσοστά της προσωρινής ολικής παραλιακής διάβρωσης αυξάνονται για τις υπόλοιπες περιπτώσεις φτάνοντας μέχρι το 72% όλου του νησιού για το απαισιόδοξο σενάριο το 2100 όπου μόνο το 5% των παραλιών φαίνεται ότι θα διατηρήσει πάνω από το 50% του σημερινού τους πλάτους.



Σχετικά με τη σταδιακή μακροπρόθεσμη υποχώρηση των ακτογραμμών λόγω της ανόδου της ΜΣΘ οι ελάχιστες και μέγιστες υποχωρήσεις που υπολογίστηκαν κυμαίνονται μεταξύ 2.8 και 9 m για το RCP4.5 το 2050 και φτάνουν μεταξύ 8.5 και 23.9 m αντίστοιχα για το RCP8.5 το 2100, με τις μέσες τιμές υποχώρησης να κυμαίνονται μεταξύ 5 και 15.4 m αντίστοιχα. Συγκρίνοντας τις προβλέψεις με τα μέγιστα ξηρά πλάτη για το RCP4.5 το 2050 (άνοδος ΜΘΣ = 0.21-0.23 m) το 11.2 % των παραλιών του νησιού θα υποχωρήσει τουλάχιστον 50 % σε σχέση με το τωρινό πλάτος. Παρόλα αυτά τα ποσοστά της μόνιμης παραλιακής διάβρωσης (> 50%) αυξάνονται για τις υπόλοιπες περιπτώσεις φτάνοντας μέχρι το 72.2% όλου του νησιού για το RCP8.5 το 2100, όπου το 30% των παραλιών φαίνεται ότι θα διαβρωθεί εντελώς.

## 2.2 Υδρολογική προσέγγιση λεκανών απορροής πιλοτικών παραλιών

Από την υδρολογική μελέτη των λεκανών απορροής ανάντη των πιλοτικών παραλιών μελέτης διαπιστώθηκαν τα παρακάτω:

- Και στις τρεις περιοχές μελέτης το υψόμετρο της στάθμης των υδατορευμάτων μειώνεται αναλογικά με το ανάγλυφο του εδάφους από τα ανάντη προς τα κατόντη.
- Στα τμήματα των υδατορευμάτων που έχουν μικρή ή ανηφορική κλίση σε σχέση με την κατεύθυνση ροής, τότε παρατηρείται αύξηση του βάθους ροής και μείωση της ταχύτητας ροής.
- Στα τμήματα των υδατορευμάτων με μεγάλες τοπογραφικές κλίσεις παρατηρείται μικρό βάθος ροής και αντίθετα παρατηρούνται μεγάλες ταχύτητες.
- Σε όλα τα υδατορεύματα η στάθμη της ελεύθερης επιφάνειας του νερού αυξάνεται όσο μεγαλώνει το πλημμυρικό γεγονός, π.χ. για περίοδο επαναφοράς 500 χρόνια παρατηρείται σε όλες τις περιπτώσεις η υψηλότερη στάθμη.
- Στην Πέγεια και στην Πέτρα και για τις τρεις περιόδους επαναφοράς που εξετάστηκαν υπάρχει μεγάλος κίνδυνος υπερχειλίσης των διατομών σχεδόν σε όλο το μήκος του υπό μελέτη τμήματος του υδατορεύματος, ενώ στην περίπτωση της Κώμης το πρόβλημα, ως επί το πλείστον, εντοπίζεται στο κατόντη τμήμα του υδατορεύματος. Ιδιαίτερα έντονο πρόβλημα εντοπίζεται στην περίπτωση της Πέτρας όπου για την περίοδο επαναφοράς T=500 χρόνια πλημμυρίζει το σύνολο του υπό μελέτη τμήματος του υδατορεύματος.
- Στις τρεις περιοχές μελέτης και για τις τρεις περιόδους επαναφοράς παρατηρείται ότι το βάθος πλημμύρας έχει υψηλότερες τιμές στις περιοχές όπου η πλημμύρα είναι ιδιαίτερα συγκεντρωμένη.

Όσον αφορά την υδραυλική ανάλυση των εξεταζόμενων τμημάτων του υδατορεύματος θα μπορούσε να γίνει σύνθεση των χαρτογραφικών προϊόντων πλημμυρικής κατάκλισης με τις υπάρχουσες χρήσεις γης στην περιοχή μελέτης, με απώτερο στόχο την εκτίμηση του αναμενόμενου κόστους ζημίας και την κατάσταση επιχειρησιακών σχεδίων διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου. Σύμφωνα με αυτά θα μπορούσαν να προταθούν τα



καταλληλότερα κατασκευαστικά ή μη μέτρα για την πρόληψη και ελαχιστοποίηση των δυσμενών επιπτώσεων των πλημμυρικών επεισοδίων στις περιοχές που χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη τρωτότητα. Στα κατασκευαστικά μέτρα που θα μπορούσε να εφαρμοστούν συγκαταλέγονται η διαπλάτυνση της κοίτης του υδατορεύματος, η διαμόρφωση και η εκβάθυνση των διατομών, η επένδυση των πρανών, η κατασκευή αναχωμάτων κ.α.

Σε σχέση με την απώλεια εδάφους και την ιζηματοπαροχή διαπιστώθηκε ότι και στις τρεις περιοχές μελέτης η έκταση της λεκάνης απορροής είναι ανάλογη με τη μέση και συνολική ετήσια απώλεια εδάφους και με τη μέση και συνολική ετήσια απόδοση ιζημάτων που αποτίθενται στην έξοδο της λεκάνης. Η απόδοση ιζημάτων έχει ιδιαίτερη σημασία επειδή σχετίζεται άμεσα με την ποσότητα των ιζημάτων που μεταφέρονται και συσσωρεύονται στην παραλία. Επιπλέον, το είδος των χρήσεων γης επηρεάζει και την απώλεια εδάφους και την ιζηματοπαροχή.

### 2.3 Τοπογραφικές, γεωμορφολογικές και υδροδυναμικές παρατηρήσεις

Οι αναλυτικές τοπογραφικές, βαθυμετρικές-μορφολογικές και ιζηματολογικές μετρήσεις, η αποτύπωση με υψηλή ακρίβεια της παράκτιας μορφολογίας με χρήση ΣμηΕΑ, συλλογή/ανάλυση μακρόχρονων κυματικών δεδομένων, καθώς και η πόντιση ρευματογράφων για περιορισμένη διάρκεια δείχνουν ότι (α) η παραλιακή μορφοδυναμική (χερσαίο τμήμα – όπου έγιναν επαναληπτικές μετρήσεις ή σύγκριση δεδομένων από τοπογραφικές παρατηρήσεις) διαφοροποιείται εποχιακά, γεγονός που δηλώνει τον έντονο έλεγχο/επίδραση των τοπικών υδροδυναμικών και ιζηματοδυναμικών συνθηκών που χαρακτηρίζονται από υψηλή χωρο-χρονική μεταβλητότητα και (β) οι κυματικές διεργασίες είναι διαφορετικές για τις περιοχές μελέτης και η διάγνωση τους απαιτεί μακρόχρονη και υψίσυχη παρακολούθηση. Έτσι γίνεται προφανές ότι, στην περίπτωση που απαιτείται ο σχεδιασμός/κατασκευή παράκτιων έργων σε παράκτιες ζώνες έντονης υδροδυναμικής, επιβάλλονται οι λεπτομερείς μορφοδυναμικές μελέτες με υψηλή χωροχρονική διακριτικότητα. Στο πλαίσιο αυτό, οι κυματογράφοι που τοποθετήθηκαν και συλλέγουν υψίσυχνες μετρήσεις παραμένουν λειτουργικοί έως και σήμερα, και περιοδικά θα ανελκύονται ώστε να συλλέγονται και να επεξεργάζονται τα δεδομένα τους, συμβάλλοντας στην μακροχρόνια καταγραφή (χρονοσειρά) του κυματικού καθεστώτος των περιοχών μελέτης.

### 2.4 Παράκτια μορφοδυναμική στις πιλοτικές παραλίες

Στις πιλοτικές παραλίες του έργου πραγματοποιήθηκαν ολοκληρωμένες αποτυπώσεις της παράκτιας μορφοδυναμικής με υψηλή χωρο-χρονική ανάλυση, με χρήση ΣμηΕΑ και συστήματος παραλιακής παρακολούθησης. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκε ανάπτυξη εξειδικευμένων τεχνικών τεχνητής εκμάθησης (machine learning) με τη χρήση νευρωνικών δικτύων που φάνηκε πως είναι σε θέση να προβούν σε επιτυχή αναγνώριση της ακτογραμμής στις TIMEX εικόνες. Τα αποτελέσματα της μορφοδυναμικής ανάλυσης δείχνουν ότι η μορφοδυναμική των πιλοτικών παραλιών χαρακτηρίζεται από σημαντική χωροχρονική μεταβλητότητα και πως η μελέτη/διάγνωση τους απαιτεί μακρόχρονη και

υψίσυχη παρακολούθηση, γεγονός που συμφωνεί και με την ανάλυση της γεωμορφολογίας και υδροδυναμικής.

Επιπλέον, η αποτύπωση της παράκτιας βαθυμετρίας με δεδομένα ΣμηΕΑ έδωσε ενθαρρυντικά αποτελέσματα. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ήταν της τάξης του 1.1 m, και επομένως, αν και προς το παρόν κρίνεται πως τέτοιου τύπου δεδομένα δε μπορούν να αντικαταστήσουν τις κλασικές μετρήσεις πεδίου με βυθόμετρο (ειδικά στην περίπτωση χρήσης βαθυμετρικών στοιχείων σε μορφοδυναμικά μοντέλα), θεωρείται ότι μελλοντικά, με βελτίωση των αισθητήρων και των τεχνικών ανάλυσης εικόνας, η τεχνική αυτή θα βοηθήσει σημαντικά την παράκτια έρευνα αφού χαρακτηρίζεται από ευχρηστία, μεγάλη χωρική κάλυψη και μικρό κόστος.

Αντίστοιχα, τα αποτελέσματα ανίχνευσης της θέσης της ακτογραμμής με ανάπτυξη και χρήση τεχνητών νευρωνικών δικτύων υπήρξαν ιδιαίτερα ενθαρρυντικά. Υπάρχει η πεποίθηση πως η τροφοδότηση των δικτύων με περισσότερα δεδομένα, αλλά και η εξέλιξή τους στο μέλλον αναμένεται να μειώσει σημαντικά το σφάλμα της ανίχνευσης και να επιβεβαιωθεί η δυνατότητα αξιόπιστης χρησιμοποίησης τους για την καταγραφή κρίσιμων παραλιακών χαρακτηριστικών.

## 2.5 Έργα προστασίας πιλοτικών παραλιών

Οι προσομοιώσεις έδειξαν ότι οι πιλοτικές παραλίες θα έχουν σημαντικές επιπτώσεις από την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης ακόμα και κάτω από μέτρια σενάρια KM & A (RCP 4.5). Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι η κοινωνικο-οικονομική ανάγκη να διατηρηθεί η 'φέρουσα ικανότητα' των παραλιών λόγω της ανόδου της στάθμης της θάλασσας θα απαιτήσει στις περισσότερες περιπτώσεις συνδυασμό τεχνικών μέτρων προσαρμογής.

Θα απαιτηθεί οπωσδήποτε παραλιακή αναπλήρωση (beach replenishment), αφού οι παραλίες θα πρέπει να 'σηκωθούν' μέσω προσθήκης νέων ιζημάτων για να αποφευχθεί η κατάκλιση τους από την αυξανόμενη άνοδο της μέσης θαλάσσιας στάθμης. Συνεπώς, σχεδιάσθηκαν λύσεις αναπλήρωσης παραλιών προκειμένου να αυξήσουν το τοπογραφικό ανάγλυφο και να επεκτείνουν τις πιλοτικές παραλίες, με αντικειμενικό σκοπό να επιτευχθούν τελικές επεκτάσεις προς τη θάλασσα 15-18 m επιπλέον του παρόντος παραλιακού πλάτους μετά από την αναμενόμενη αναδιοργάνωση των ιζημάτων από την τοπική υδροδυναμική. Τα κοκκομετρικά μεγέθη του υλικού αναπλήρωσης ταυτίζονταν με αυτά των πιλοτικών παραλιών, ώστε να μην υπάρξει αλλοίωση του φυσικού περιβάλλοντος (με εξαίρεση το Ιστορικό Μυτιλήνης). Οι μελέτες έδειξαν ότι θα απαιτηθεί επίσης (στις περισσότερες περιπτώσεις) και κατασκευή παράλληλων προς την ακτή κυματοθραυστών χαμηλής στέψης για την ελάττωση της προσπίπτουσας κυματικής ενέργειας.

Έγιναν διαφορετικές προσομοιώσεις για να επιλεγεί η θέση και ο πλέον αποτελεσματικός σχεδιασμός των σκληρών τεχνικών μέτρων που θα πρέπει στις περισσότερες περιπτώσεις να κατασκευαστούν για να 'προστατεύσουν' την αναπληρωμένη παραλία από την ακραία κυματική δράση. Η άσκηση αυτή έγινε για όλες τις πιλοτικές παραλίες και αποδόθηκε ο σχεδιασμός (θέση) των κυματοθραυστών χαμηλής στέψης και οι επιπτώσεις στην

παράκτια υδροδυναμική (κύματα και ρεύματα) καθώς και η πρόβλεψη για την μορφοδυναμική εξέλιξη των παραλιών. Οι προσομοιώσεις έγιναν αφού το μοντέλο είχε ρυθμιστεί με τα ακριβή τοπο-βαθυμετρικά και ιζηματολογικά δεδομένα που συλλέχθηκαν κατά τις εργασίες πεδίου. Στη θεώρηση των κυματοθραυστών ο συντελεστής κυματικής διάδοσης ( $K_t$ ) που χρησιμοποιήθηκε ήταν 0.4 (δηλ. οι κυματοθραύστες πρέπει να ελαττώσουν το κυματικό ύψος στο 40% του κυματικού ύψους πριν τους κυματοθραύστες). Οι κυματοθραύστες που προτείνονται έχουν τα εξής χαρακτηριστικά: κλίση πρηνών 1:2.5 (προσήνεμα) και 1:2 υπήνεμα, πλάτος στέψης 8 m, βάθος ανάπτυξης 2-4.5 m (ανάλογα με την περιοχή) και τελικό ύψος στέψης 0 m (συμπεριλαμβανομένης της ανύψωσης της θάλασσας λόγω Κλιματικής Αλλαγής).

Επιπλέον, έγινε εκτίμηση τεχνικών λύσεων με τις πλέον φιλικές μεθόδους προς το περιβάλλον (όπως πόντιση τεχνητών υφάλων) οι οποίες φαίνεται να ανταποκρίνονται θετικά στο πρόβλημα της διάβρωσης αλλά και της γενικότερης παράκτιας κυκλοφορίας. Βέβαια, η μέθοδος αυτή, βρίσκει μέχρι στιγμής πολύ περιορισμένη εφαρμογή παγκοσμίως και χρήζει διεξοδικότερης διερεύνησης και κοστολόγησης πριν προταθεί ως υποψήφια λύση/προσέγγιση.

Από τον υπολογισμό του κόστους των έργων προστασίας γίνεται προφανές ότι τα τεχνικά έργα προσαρμογής στην παραλιακή διάβρωση που θα απαιτηθούν θα χρειασθούν πολύ μεγάλους οικονομικούς πόρους. Έτσι φαίνεται γενικότερα ότι η διαχείριση της διάβρωσης στις νησιωτικές τουριστικές παραλίες πρέπει να γίνει με προσοχή και με διαδικασίες 'προτεραιοποίησης' της προσαρμογής. Επιπλέον, θεωρούνται απαραίτητες οι διαδικασίες που θα εκτιμήσουν το κόστος/όφελος των τεχνικών λύσεων.

## 2.6 Αποθέσεις άμμου (υλικού αναπλήρωσης) στο θαλάσσιο περιβάλλον

Η αναζήτηση αποθέσεων (κοιτασμάτων) άμμου στο θαλάσσιο περιβάλλον για την προστασία και την αναπλήρωση των παραλιών είναι μία συνήθης πρακτική που στο Μεσογειακό χώρο, βρίσκει πολύ περιορισμένη έως ανύπαρκτη, στην Ελλάδα και στην Κύπρο, εφαρμογή. Στο πλαίσιο του BEACHTECH έγινε μια απόπειρα εντοπισμού τέτοιων αποθέσεων στο ευρύτερο θαλάσσιο χώρο ανοιχτά των πιλοτικών παραλιών μελέτης, θεωρώντας, για την εκτίμηση του όγκου του υλικού, ότι η μεθοδολογία εξόρυξης θα είναι η πλέον φιλική προς το περιβάλλον, αυτή της αναρρόφησης του επιφανειακού υλικού (πάχος ~0.5 m) με ρυμουλκούμενη αντλία αναρρόφησης.

Η έρευνα στο στενό της Μυτιλήνης επικαιροποίησε παλαιότερα δεδομένα και φάνηκε ότι το δυνητικό κοιτάσμα άμμου έχει έκταση που φτάνει τα  $42 \times 10^6 \text{ m}^3$ , περίπου 20% μεγαλύτερο σε σχέση με αυτό που είχε οριοθετηθεί παλαιότερα.

Στη Χίο, η γεωφυσική έρευνα και οι εκτεταμένες επιφανειακές δειγματοληψίες έδειξαν ότι η περιοχή συνίσταται από άμμο με σημαντικά ποσοστά όμως λεπτόκκοκου υλικού (ιλύος). Η ιλύς αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα για την εξορυκτική δραστηριότητα κυρίως λόγω της εκτεταμένης έκπλυσης που απαιτείται να υποστεί, προκειμένου το ίζημα να καταστεί εκμεταλλεύσιμο, αυξάνοντας έτσι το μέγεθος (άρα και κόστος) των εργασιών αλλά και την έκταση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη δραστηριότητα αυτή.

Στην Κύπρο διερευνήθηκαν 3 θέσεις στις οποίες διαπιστώθηκε τελικά η ύπαρξη αμμούχων αποθέσεων. Οι θέσεις αυτές αφορούν (από βορρά προς νότο) την περιοχή του Αγ. Γεωργίου, όπου η απόθεση άμμου είναι της τάξης των  $\sim 1.2 \times 10^6 \text{ m}^3$ , την Κισσόνεργα όπου εντοπίστηκε απόθεση άμμου όγκου  $\sim 1.7 \times 10^6 \text{ m}^3$  και την ευρύτερη περιοχή νότια της Πάφου όπου διαπιστώθηκαν δύο επιμέρους ζώνες που φαίνεται να φιλοξενούν συνολικά  $\sim 5.0 \times 10^6 \text{ m}^3$  άμμου. Στην περιοχή αυτή όμως η άμμος είναι ιδιαίτερα λεπτόκοκκη και η χρήση της για θέματα αναπλήρωσης ακτών θα ήταν περιορισμένη έως αδύνατη.

Με δεδομένες τις ανάγκες των μεγάλων νησιών του Β. Αιγαίου και της Κύπρου για (α) την αναπλήρωση παραλιών που υφίστανται σημαντικά προβλήματα διάβρωσης (τα οποία προβλέπεται ότι στο μέλλον θα ενταθούν λόγω της Κλιματικής Αλλαγής), (β) τον κατασκευαστικό κλάδο, (γ) τη δημιουργία νέων παραλιών (με συνοδευτικά έργα προστασίας), ώστε να αυξηθεί η τουριστική κίνηση αλλά και για την ικανοποίηση του τοπικού πληθυσμού και (δ) φιλικότερες προς το περιβάλλον πηγές λήψης αδρανών (σε σχέση με τις χερσαίες), θεωρείται ότι η λεπτομερέστερη διερεύνηση της αποθέσεων άμμου που εντοπίστηκαν θα μπορούσε να συμβάλλει στην αντιμετώπιση των υφιστάμενων θεμάτων / προβλημάτων.

Αν και η έρευνα στις συγκεκριμένες θέσεις προσέφερε σημαντικά ευρήματα, εντούτοις υπάρχουν ακόμα αρκετά ερωτήματα για τον υποθαλάσσιο χώρο των περιοχών αυτών, και ως εκ τούτου απαιτούνται επιπλέον αναλυτικές έρευνες (αναλυτική βαθυμετρία με πολυδεσμικό ηχοβολιστή, συλλογή σεισμικών δεδομένων με τομογράφο υποδομής πυθμένα, συλλογή πυρήνων ιζήματος και αναλυτικό κοκκομετρικό, ορυκτολογικό και γεωχημικό έλεγχο των ιζημάτων) για την πλήρη κατανόηση του συνόλου των γεωλογικών διεργασιών όσο και του ακριβέστερου προσδιορισμού του όγκου των αποθέσεων άμμου που δυνητικά υπάρχουν στον υποθαλάσσιο χώρο.

Βέβαια, πρέπει να σημειωθεί ότι για την υλοποίηση οποιασδήποτε δυνητικής εξορυκτικής δραστηριότητας θα πρέπει να πραγματοποιηθεί (α) μια εμπεριστατωμένη “Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων” λόγω του πλήθους των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που απορρέουν από μια τέτοια δράση, καθώς και (β) η κατάλληλη οικονομοτεχνική μελέτη προκειμένου να διερευνηθεί η βιωσιμότητα της επένδυσης.

## 2.7 Οικονομική αξιολόγηση παραλιών και έργων προστασίας

Για την αειφόρο διαχείριση της παράκτιας ζώνης αλλά και την διατήρηση της τουριστικής ανάπτυξης είναι σημαντική η οικονομική αξιολόγηση της άμεσης αξίας χρήσης των παράκτιων περιοχών. Έτσι διενεργήθηκε η οικονομική αξιολόγηση των πλωτικών παραλιών και η χρήση της στην ανάλυση κόστους-οφέλους για την επιλογή βέλτιστης στρατηγικής αντιμετώπισης της κάθε παραλίας. Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε προέκυψε ότι (i) η σύσταση και το μέγεθος του δείγματος καθώς και η χρονική κατανομή της έρευνας είναι βασικό κριτήριο ποιότητας των αποτελεσμάτων και (ii) πιθανώς να υπάρχουν στρεβλώσεις στρατηγικής όπου ο ερωτώμενος δεν δίνει ειλικρινή απάντηση όσον αφορά στην προθυμία πληρωμής, όπου στηριζόμενος στην υποθετική φύση της έρευνας αποσκοπεί στη διαστρέβλωση (μεταξύ άλλων) του αποτελέσματος της.

Η οικονομική αξιολόγηση των παραλιών ενδέχεται να συνυπάρχει με αβεβαιότητες, όμως αποτελεί ένα εργαλείο που συμβάλλει στην ανάδειξη περιβαλλοντικών ζητημάτων και στην ευαισθητοποίηση της κοινωνίας σχετικά με αυτά. Μέσω της οικονομικής αξιολόγησης των περιβαλλοντικών αγαθών, μπορούμε να τα συγκρίνουμε με άλλες οικονομικές δραστηριότητες και τομείς, αναδεικνύοντας τον βαθμό εξάρτησης της κοινωνίας από το περιβάλλον και το ρόλο του στην ευημερία του ανθρώπου. Συνεπώς, αποτελεί πολύτιμη πηγή πληροφοριών για τη λήψη αποφάσεων, την αναγνώριση των προτιμήσεων των πολιτών και τη σωστή κατανομή των πόρων, και άρα αποτελεί μια προσέγγιση που πρέπει να ενσωματώνεται στη διαμόρφωση περιβαλλοντικών στρατηγικών.

Σε σχέση με τις πιλοτικές περιοχές μελέτης φάνηκε ότι η τεχνητή αναπλήρωση της ακτής είναι η βέλτιστη στρατηγική αντιμετώπισης σε όλες τις παραλίες.

### **3 Πρωτόκολλα διαχείρισης παράκτιας διάβρωσης**

Για την ολοκληρωμένη προσέγγιση στο πρόβλημα της παράκτιας διάβρωσης αναπτύχθηκε και υιοθετήθηκε μερικώς πρωτόκολλο, που βασίζεται σε σχετικές δράσεις οι οποίες περιγράφονται αναλυτικά στα σχετικά Παραδοτέα του BEACHTECH. Το πρωτόκολλο μπορεί να εφαρμοστεί σε δύο βασικά βήματα.

Στο Βήμα 1, αφού η παράκτια διάβρωση αναμένεται να επηρεάσει όλες τις παραλίες των νησιών γίνονται εκτιμήσεις κινδύνου σε νησιωτική κλίμακα προκειμένου να εντοπιστούν οι πλέον ευάλωτες παραλίες διάβρωσης για την βελτιστοποίηση της κατανομής των πόρων (Εικόνα 1) Για το σκοπό αυτό, καταγράφηκαν τα χωρικά χαρακτηριστικά (π.χ. περιοχή, μήκος, μέγιστο πλάτος, προσανατολισμός, ιζήματα, παρουσία των παράκτιων έργων και η κάλυψη της οπισθοπαραλίας σε όλες τις παραλίες της Λέσβου, Χίου και Κύπρου μέσω της διαθέσιμης τηλεπισκοπικής πληροφορίας από Google Earth Pro (Π3.3.1). Τάσεις και προγνώσεις για την εξέλιξη της μέσης και της ακραίας θαλάσσιας στάθμης και της κυματικής φόρτισης κάτω από KM & A παρέχονται από τις βάσεις δεδομένων του EC-JRC (Vousdoukas et al., 2018) (Π3.1.2). Έγινε επίσης επισκόπηση του Κανονιστικού Πλαισίου για την διάβρωση/πλημμύρα για να καταγραφούν οι βασικές πολιτειακές και νομικές υποχρεώσεις σε σχέση με την αξιολόγηση και διαχείριση του πλημμυρικού κινδύνου (Π6.1.1).

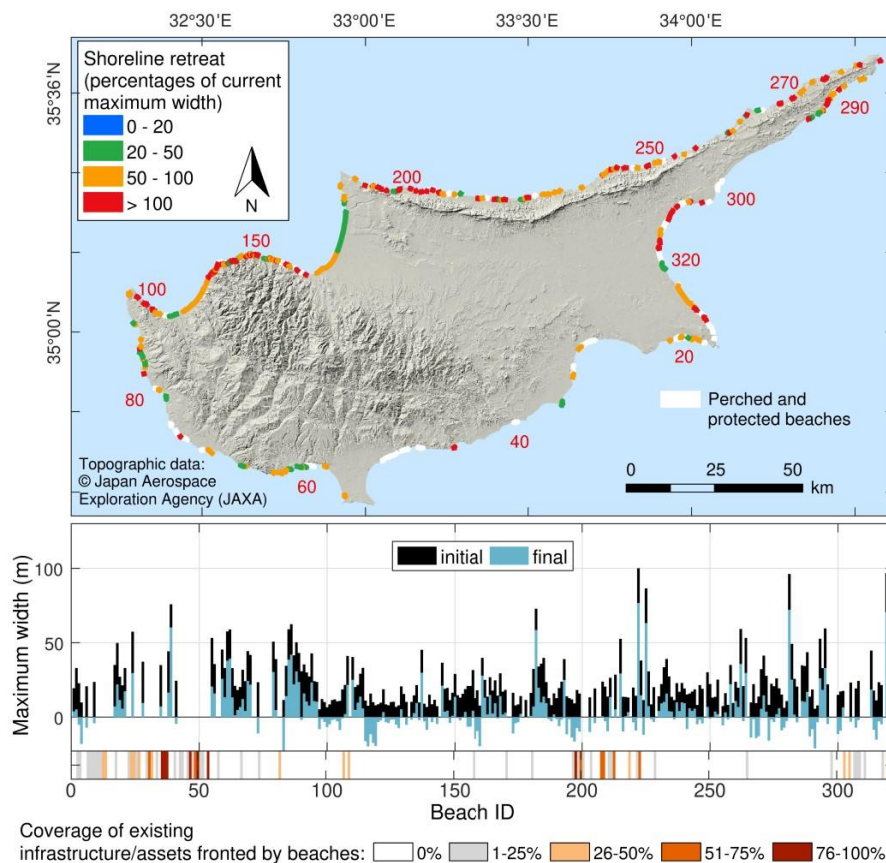
Η υποχώρηση/διάβρωση παραλιών των 3 νήσων προβλέφθηκε για διαφορετικά σενάρια της μακροπρόθεσμων και βραχυπρόθεσμων αλλαγών της θαλάσσιας στάθμης (Π3.1.2), χρησιμοποιώντας κατάλληλες συστοιχίες μορφοδυναμικών αναλυτικών και αριθμητικών μοντέλων. Χρησιμοποιήθηκαν 7 μορφοδυναμικά (1-D, κάθετα στην ακτογραμμή) μοντέλα: τα αναλυτικά μοντέλα - μακροχρόνια συστοιχία των Bruun (1988), Edelman (1972) και Dean (1991), και τα αριθμητικά μοντέλα SBEACH (1989), Leont'yev (1996), XBeach (2010) και Boussinesq (Karambas and Koutitas, 2002). Οι προβλέψεις διάβρωσης των συστοιχιών μοντέλων υπό διαφορετικά σενάρια συγκρίνονται στη συνέχεια με τα μέγιστα καταγεγραμμένα πλάτη των παραλιών των 3 νήσων να αξιολογηθεί η έκθεση τους (αλλά



και των περιουσιακών στοιχείων/υποδομών των οπισθοπαραλιών) κάτω από την ΚΜ & Α (Εικόνα 2).



**Εικόνα 1:** Πρωτόκολλο, Βήμα 1: Μεθοδολογικό διάγραμμα ροής. Αξιολόγηση κινδύνου παραλιακής διάβρωσης σε επίπεδο νήσου – Επιλογή παραλιών για λεπτομερή μελέτη.



**Εικόνα 2:** Προγνώσεις διάβρωσης (2050, RCP4.5) από την 1-100 έτη ακραία θαλάσσια στάθμη (ESL100) για τις 241 απροστάτευτες παραλίες. Προγνώσεις median) αφορούν την μείωση του σημερινού μέγιστου παραλιακού πλάτους (BMW). Δίνεται επίσης η κάλυψη περιουσιακών στοιχείων και υποδομών στην οπισθοπαραλία σε σχέση με το παραλιακό μήκος (Monioudi et al., 2023).

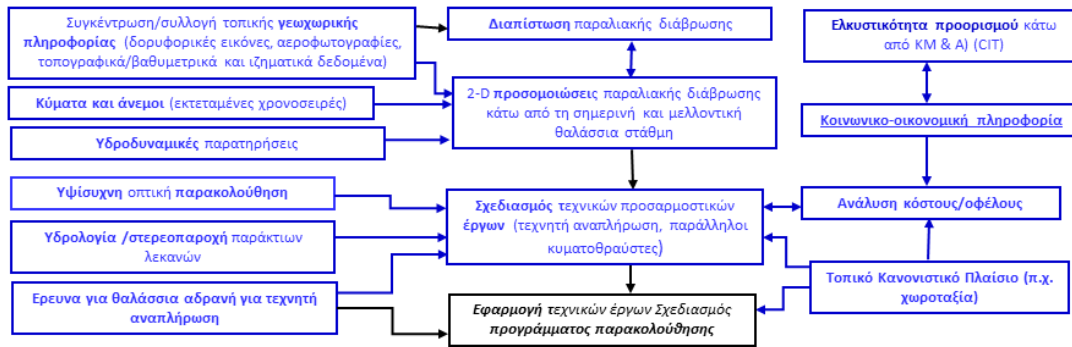
Τα ευρήματα, μαζί με μια διαδικασία διαβούλευσης με τις συμμετέχουσες περιφερειακές και δημοτικές αρχές, βοήθησαν στην επιλογή των πιλοτικών παραλιών σε κάθε νήσο για περαιτέρω μελέτη (Βήμα 2). Επιλέχθηκαν 2 παραλίες στην Λέσβο (Πέτρας και Ιστορικό-Νεάπολης), 1 στην Χίο και 1 στην Κύπρο (Coral Bay, Δήμος Πέγειας).



Η έρευνα συμπεριλάμβανε διάφορες προσεγγίσεις. Λόγω διοικητικών/κανονιστικών δυσκολιών ορισμένες προσεγγίσεις (π.χ. οπτική παρακολούθηση υψηλής συχνότητας) εφαρμόστηκαν μόνο σε δύο πιλοτικές παραλίες (Πέτρας στη Λέσβο και Coral Bay στην Κύπρο). Σε όλες τις παραλίες, συλλέχθηκαν λεπτομερή τοπογραφικά/βαθυμετρικά δεδομένα, χρησιμοποιώντας πυκνό δίκτυο μετρήσεων), σύστημα εντοπισμού θέσης RTK-DGPS και υδρογραφικό βυθόμετρο. Επίσης πραγματοποιήθηκε αποτύπωση με ηχοβολιστή πλευρικής σάρωσης (Side-scan Sonar) ικανό να συλλέξει πληροφορίες σε πολύ ρηγά νερά. Αυτή η πληροφορία, επιβεβαιωμένη και από υποβρύχια φωτογράφιση και τα δείγματα ιζήματος χρησιμοποιήθηκε για να χαρτογραφηθούν τα υποθαλάσσια ιζηματογενή περιβάλλοντα (Π4.1.2) Υψίσυχνες υδροδυναμικές παρατηρήσεις (κυμάτων και ρευμάτων) συλλέχθηκαν επίσης, χρησιμοποιώντας ακουστικούς ρευματογράφους και καταγραφείς κυμάτων (wave loggers) που ποντίστηκαν στο θαλάσσιο χώρο, ενώ ανεμολογικά/μετεωρολογικά δεδομένα συλλέχθηκαν από μετεωρολογικούς σταθμούς που εγκαταστάθηκαν στην περιοχή (Π4.1.2 και Π4.3.3). Οι παραπάνω πληροφορίες, χρησιμοποιήθηκαν στην συνέχεια για να ρυθμιστούν/οδηγηθούν 2-D μορφοδυναμικά αριθμητικά μοντέλα (Π5.1.1) για την προσομοίωση της παραλιακής διάβρωσης κάτω από τις τρέχουσες και προβλεπόμενες θαλάσσιες στάθμες, και το σχεδιασμό προσαρμοστικών μέτρων και τη μελέτη των συνεπειών τους στην παρακείμενη ακτή (Π5.1.2). Ο σχεδιασμός τεχνητής αναπλήρωσης έγινε κατά Dean (2002). Έγιναν πειράματα για να δοκιμαστεί η αποτελεσματικότητα των μέτρων προσαρμογής στο πλαίσιο τόσο των υφιστάμενων όσο και των προβλεπόμενων κάτω από την κλιματική αλλαγή συνθηκών.

Αναπτύχθηκαν/εφαρμόστηκαν προσεγγίσεις για τη μελέτη τροφοδοσίας χερσαίων ιζημάτων σε πιλοτικές παραλίες, χρησιμοποιώντας διαφορετικές μεθοδολογίες ανάλογα με τις διαστάσεις, τα χαρακτηριστικά και τα διαθέσιμα δεδομένα (Π4.1.1). Εφαρμόστηκαν σύγχρονες μεθοδολογίες για την παρακολούθηση της παραλιακής διάβρωσης σε διαφορετικές χωρο-χρονικές κλίμακες με χρήση συστήματος οπτικής (βίντεο) παρακολούθησης που παρέχει υψηλής συχνότητας πληροφορία σχετικά με τη θέση της ακτογραμμής (Π4.3.3). Αναπτύχθηκε/εφαρμόστηκε μεθοδολογία για να εκτιμήσει την βιωσιμότητα των (πιλοτικών) παραλιών ως επιθυμητά περιβάλλοντα αναψυχής κάτω από κλιματικά σενάρια και έγινε ανάλυση κόστους-οφέλους σχετικά με τις διαφορετικές επιλογές τεχνικών προσαρμογής (π.χ. τεχνητή αναπλήρωση / κυματοθραύστες) (Π6.3.2). Αναλύθηκαν επίσης οι πολιτικές και νομοθεσία που αφορούν την αξιολόγηση/διαχείριση της παράκτιας διάβρωσης σε διάφορα επίπεδα (Διεθνές, Ευρωπαϊκό και Εθνικό επίπεδο (Π6.1.1).

Όλη η παραπάνω πληροφορία πρέπει να συνεκτιμάται για το τελικό σχεδιασμό και εφαρμογή των προσαρμοστικών έργων (Εικόνα 3). Σημειώνεται ότι κάποιες από τις προσεγγίσεις αυτές και τα αποτελέσματά τους θέτουν τις βάσεις για το σχεδιασμό αποτελεσματικού σχεδίου παρακολούθησης των έργων μετά την εφαρμογή τους (βλ. Οδηγία 2014/52/EU).



**Εικόνα 3:** Πρωτόκολλο, Βήμα 2: Μεθοδολογικό διάγραμμα ροής. Αξιολόγηση κινδύνου διάβρωσης σε κλίμακα παραλίας - Σχεδιασμός τεχνικών προσαρμοστικών έργων.

Συμπερασματικά το έργο BEACHTECH παρέχει μια δομημένη προσέγγιση για την αξιολόγηση του κινδύνου της παραλιακής διάβρωσης σε νησιωτικές περιοχές και το σχεδιασμό αποτελεσματικών προσαρμοστικών μέτρων κάτω από την ΚΜ& Α. Οι καινοτόμες προσεγγίσεις που αναπτύχθηκαν/δοκιμάστηκαν στα πλαίσια του BEACHTECH μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την διάγνωση, πρόγνωση και διαχείριση του κινδύνου σε άλλες νησιωτικές περιοχές.

#### 4 Γενικά Συμπεράσματα

Το έργο BEACHTECH ανέπτυξε και υλοποίησε μια δομημένη προσέγγιση για την εκτίμηση του κινδύνου της παραλιακής διάβρωσης και το σχεδιασμό αποτελεσματικών τεχνικών μέτρων αναστροφής της υπό την άνοδο της στάθμης της θάλασσας στα νησιά του Βορείου Αιγαίου και στην Κύπρο. Οι προβλέψεις δείχνουν ότι υπάρχει πολύ σημαντικός κίνδυνος που θα έχει καταστροφικές επιπτώσεις για τις παραλίες της Λέσβου, της Χίου και της Κύπρου στο τέλος του 21<sup>ου</sup> αιώνα και, πιθανόν, πολύ νωρίτερα.

Αναπτύχθηκαν και δοκιμάστηκαν διαφορετικές state-of the-art προσεγγίσεις τα αποτελέσματα των οποίων (α) προώθησαν την γνώση και βελτίωσαν την τεχνογνωσία για τη διάγνωση και πρόγνωση του κινδύνου παραλιακής διάβρωσης κάτω από το παρόν και μελλοντικό υδροδυναμικό καθεστώς, (β) συνέβαλλαν στη σχεδίαση αποτελεσματικών τεχνικών προσαρμοστικών μέτρων, και (γ) βοήθησαν στην αξιολόγηση και βελτίωση της παρακολούθησης των παράκτιων διεργασιών και της παραλιακής διάβρωσης με συστηματικό τρόπο και σε υψηλή συχνότητα, χρησιμοποιώντας προηγμένα συστήματα και τεχνικές.

Ένα σημαντικό εύρημα της μελέτης είναι ότι τόσο το υπάρχον νομικό πλαίσιο όσο και (ιδιαίτερα) οι διοικητικές διαδικασίες που αφορούν την παράκτια προστασία απαιτούν άμεση αναμόρφωση για να γίνουν περισσότερο αποτελεσματικές, λιγότερο κοστοβόρες και σύμφωνες με το αναδυόμενο διεθνές και Ευρωπαϊκό νομικό πλαίσιο.

Οι εκροές του έργου είναι εξαιρετικά χρήσιμες όχι μόνο για τις εμπλεκόμενες τοπικές αρχές αλλά και για τις περιφερειακές/εθνικές αρμόδιες αρχές, τους διαχειριστές ακτών και τους πληθυσμούς και την τουριστική βιομηχανία της Ελλάδας και της Κύπρου.

## Βιβλιογραφία

- Bruun, P. (1988). The bruun rule of erosion by Sea-level rise: a discussion on Large- scale two- and three-dimensional usages. *J. Coast. Res.* 4, 627–648
- Dean, R. G. (1991). Equilibrium beach profiles: characteristics and applications. *J.Coast. Res.* 7, 53–84.
- Dean, R.G., 2002. Beach nourishment: Theory and practice. In: *Advanced Series on Ocean Engineering*, Singapore, World Scientific Publishing Company
- Edelman, T. (1972). “Dune erosion during storm conditions,” in 13th conference on coastal engineering (Vancouver, Canada: ASCE), 1305–1312. doi: 10.1061/9780872620490.073
- Karambas, T. and Koutitas, C., 2002. Surf and swash zone morphology evolution induced by nonlinear waves, *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE 128 (3).S15
- Larson, M., and Kraus, N. C. (1989). SBEACH: numerical model for simulating storm-induced beach change; report 1: empirical foundation and model development (Washington, DC: US Army Coastal Engineering Research Center)
- Leont'yeu, I. O., 1996. Numerical modelling of beach erosion during storm event. *Coast. Eng.* 29, 187–200. doi: 10.1016/S0378-3839(96)00029-4
- Monioudi I., Velegrakis A. Chatzipavlis A., et al., 2017. Assessment of island beach erosion due to sea level rise: The case of the Aegean Archipelago (E. Mediterranean). *Natural Hazards and Earth System Science* 17 (3) 449-466(in press).
- Monioudi IN, Velegrakis AF, Chatzistratis D. et al., 2023. Climate change - induced hazards on touristic island beaches: Cyprus, Eastern Mediterranean. *Front. Mar. Sci.* 10:1188896. doi: 10.3389/fmars.2023.1188896
- Monioudi IN, Velegrakis AF, 2022. Beach Carrying Capacity at Touristic 3S Destinations: Its Significance, Projected Decreases and Adaptation Options under Climate Change. *J Tourism Hospit.*11:500
- Neumann, B. et al., 2015. Future Coastal Population Growth and Exposure to Sea-Level Rise and Coastal Flooding - A Global Assessment. *Plos One* <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0118571>.
- Roelvink, D., Reniers, A., Van Dongeren, A., Van Thiel De Vries, J., Lescinski, J., and Report, R. M. (2010). XBeach model description and manual (Delft: Unesco-IHE Institute for Water Education, Deltares and Delft University of Technology
- Seneviratne, S.I. et al., 2012. Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment. In: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* [C.B Field et al (eds.)]. A Special Report of the

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 109-230.
- Velegrakis, A.F. et al., 2008. Influence of dams on downstream beaches: Eressos, Lesbos, Eastern Mediterranean. *Marine Georesources and Geotechnology* 26, 350-371
- Vousdoukas, M. I., Mentaschi, L., Voukouvalas, E., Verlaan, M., Jevrejeva, S., Jackson, L. P., et al. 2018. Global probabilistic projections of extreme sea levels show intensification of coastal flood hazard. *Nat. Commun.* 9, 2360. doi: 10.1038/s41467-018-04692-w
- Dean, R.G., 2002. Beach nourishment: Theory and practice. In: *Advanced Series on Ocean Engineering*, Singapore, World Scientific Publishing Company.
- ECLAC, 2011. An assessment of the economic impact of climate change on the transportation sector in Barbados, UN Economic Commission for Latin America and the Caribbean ECLAC, Technical Report LC/CAR/L309, 44 pp.
- EC, 2013. EU Climate Change Adaptation Strategy, European Commission, [Available at [http://ec.europa.eu/clima/policies/adaptation/what/documentation\\_en.htm](http://ec.europa.eu/clima/policies/adaptation/what/documentation_en.htm)].
- EuroSION, 2004. Living with coastal erosion in Europe: Sediment and Space for Sustainability. Part II. DG Environment, EC (<http://www.euroSION.org/reports-online/part2.pdf>).
- Hinkel, J. et al., 2014. Coastal flood damages and adaptation costs under 21st century sea-level rise. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111, 3292-3297.
- Karambas T.V. et al., 2013. Numerical simulation of wave-induced morphology evolution. *Journal of Maritime Engineering*. 166, 13 - 124.
- Karambas, T. and Koutitas, C., 2002. Surf and swash zone morphology evolution induced by nonlinear waves, *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE 128 (3).S15.
- Mamoutos, G. et al., 2014. Mean sea level changes in the Greek Seas. In 6<sup>th</sup> Panhellenic Conference in Management and Improvement of Coastal Zones, November 2014, Athens, Greece, pp. 335-344.
- Monioudi I., Velegrakis A.F., Chatzipavlis A., et al., 2017. Assessment of island beach erosion due to sea level rise: The case of the Aegean Archipelago (Eastern Mediterranean). *Natural Hazards and Earth System Science* 17, 449–466.
- Neumann, B. et al., 2015. Future Coastal Population Growth and Exposure to Sea-Level Rise and Coastal Flooding - A Global Assessment. *Plos One* <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0118571>.
- Phillips, M.R. and Jones A.L., 2006. Erosion and tourism infrastructure in the coastal zone: Problems, consequences and management. *Tourism Management* 27, 517-524.
- Rigos A., G.E. Tsekouras, A. Chatzipavlis and A.F. Velegrakis, 2016. Modeling Beach Rotation Using a Novel Legendre Polynomial Feedforward Neural Network Trained by Nonlinear

Constrained Optimization. Artificial Intelligence Applications and Innovations, IFIP Advances in Information and Communication Technology, 475, 167-179.

Seneviratne, S.I. et al., 2012. Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [C.B Field et al (eds.)]. A Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 109-230.

SETE, 2016. Association of the Greek Touristic Businesses, <http://sete.gr/el/statistika-vivliothiki/statistika/>.

Tsekouras G.E. V. Trygonis, A.Maniatopoulos, A.Rigos, A. Chatzipavlis, J. Tsimikas, N. Mitianoudis, A.F. Velegrakis, 2017. A Hermite Neural Network Incorporating Artificial Bee Colony Optimization to Model Shoreline Realignment at a Reef-Fronted Beach. Neurocomputing (submitted).

Tsimplis, M.N. and Shaw, A., 2010. Seasonal sea level extremes in the Mediterranean Sea and at the Atlantic European coasts. Natural Hazards and Earth System Sciences 10, 1457-1475.

UNFCCC, 2015. United Nations Framework Convention on Climate Change, COP21 Paris agreement, [Available at <http://unfccc.int/2860.php>].

UN-DDR, 2015. United Nations Office for Disaster Risk Reduction, Sendai framework for disaster risk reduction 2015–2030, *Rep.*, 37 pp., UNISDR, Geneva, Switzerland. [Available at <http://www.unisdr.org/we/inform/publications/43291>].

Velegrakis, A. F, Vousdoukas, M. I., Andreadis, O. et al., 2008. Impacts of dams on their downstream beaches: A case study from Eresos coastal basin, Island of Lesbos, Greece, Marine Georesources and Geotechnology, 26, 350–371.

Velegrakis, A.F. et al., 2016. Shoreline variability of an urban beach fronted by a beachrock reef from video imagery. Natural Hazards 83 (S1), 201–222.

Vousdoukas M.I., Mentaschi L., Voukouvalas E. et al., 2017. Extreme sea levels on the rise along Europe’s coasts. Earth’s Future 5, doi:10.1002/2016EF000505.

