



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΤΜΗΜΑ ΩΚΕΑΝΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΒΙΟΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΠΜΣ «ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΗΣ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΝΟΤΙΑΣ ΚΥΠΡΟΥ ΛΟΓΩ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ



Κωνσταντίνα Παπάζογλου

Επιβλέπων Καθηγητής: Θωμάς Χασιώτης

Μυτιλήνη, Οκτώβριος 2020

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΜΗΜΑ ΩΚΕΑΝΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΒΙΟΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Αποφοίτου του Τμήματος Ωκεανογραφίας και Θαλασσιών Βιοεπιστημών

Κωνσταντίνας Παπάζογλου

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΗΣ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΝΟΤΙΑΣ ΚΥΠΡΟΥ ΛΟΓΩ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ

Φωτογραφία εξωφύλλου: Παραλία Κάλυμνος, Κοινότητα Πεντακώμου

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Θωμάς Χασιώτης, Αναπλ. Καθηγητής (επιβλέπων)

Αντώνης Βελεγράκης, Καθηγητής

Ουρανία Τζωράκη, Αναπλ. Καθηγήτρια

Πίνακας περιεχομένων

| | |
|---|----|
| Ευχαριστίες | 1 |
| Περίληψη | 2 |
| Abstract | 2 |
| 1. Εισαγωγή | 3 |
| 1.1 Κλιματική μεταβλητότητα και αλλαγή – σενάρια εκπομπών..... | 3 |
| 1.2 Παράκτιες περιοχές: Άνοδος θαλάσσιας στάθμης – Διάβρωση ακτής | 4 |
| 1.3 Η περίπτωση της Κύπρου..... | 5 |
| 1.4 Σκοπός της εργασίας | 6 |
| 2. Μεθοδολογία | 8 |
| 2.1 Αξιολόγηση διαθέσιμων δεδομένων | 8 |
| 2.1.1 Τοπογραφικά Δεδομένα - κοκκομετρία | 9 |
| 2.1.2 Κυματικά δεδομένα και άνοδος θαλάσσιας στάθμης | 14 |
| 2.2 Μοντέλα οπισθοχώρησης της ακτογραμμής..... | 19 |
| 2.3 Πρόγνωση του κινδύνου διάβρωσης των παραλιών..... | 21 |
| 2.3.1. Λογισμικό – GUIs | 22 |
| 2.4 Αναπλήρωση ακτής..... | 24 |
| 3. Αποτελέσματα..... | 27 |
| 3.1 Στατικά μοντέλα | 28 |
| 3.2 Δυναμικό μοντέλο | 38 |
| 3.3 Εξέλιξη ακτογραμμής κάτω από ακραία θαλάσσια στάθμη..... | 44 |
| 3.4 Αναπλήρωση ακτής..... | 54 |
| 4. Συζήτηση | 59 |
| 4.1. Τεχνητή αναπλήρωση ευάλωτων παραλιών | 61 |
| 4.2 Παρατηρήσεις ως προς τη χρήση των μοντέλων..... | 62 |

| | |
|--|----|
| 4.3 Περιορισμοί και αδυναμίες της παρούσας μελέτης – Προτάσεις μελλοντικής προσέγγισης | 63 |
| 4.4 Σύνοψη και συμπεράσματα | 66 |
| 5. Βιβλιογραφία | 67 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ | 72 |
| Παράρτημα 1: Πίνακες αξιολόγησης διαθέσιμων δεδομένων..... | 72 |
| Παράρτημα 2: Πίνακες και διαγράμματα από την εφαρμογή του δυναμικού μοντέλου | 90 |
| Παράρτημα 3: Διαγράμματα από την εφαρμογή των μοντέλων | 93 |

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω το γραφείο μελετών MARNET ATE, για την παροχή των δεδομένων από τις μελέτες στην Κύπρο, χωρίς τα οποία δε είχε πραγματοποιηθεί η παρούσα εργασία. Δε θα μπορούσα να παραλείψω να ευχαριστήσω προσωπικά την Τζανετάτου Βασιλική, Δρ. Μηχανικό Περιβάλλοντος, για την κατανόηση και την ενθάρρυνση σε ό,τι αφορά την πραγματοποίηση του μεταπτυχιακού, τον Παπαθανασίου Θανάση, τον Αντωνόπουλο Χάρη και την Χιώνη Αγγελική, για την πολύτιμη βοήθεια που παρείχαν κατά την εκπόνηση των μελετών της Κύπρου, καθώς και όλους τους συνεργάτες μου από το γραφείο για την άψογη συνεργασία μας κατά τη διάρκεια των μεταπτυχιακών σπουδών μου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης την κυρία Μονιούδη Ισαβέλλα, Επιστημονική συνεργάτιδα του Τμήματος Ωκεανογραφίας και Θαλάσσιων Βιοεπιστημών, για την παροχή του λογισμικού, την καθοδήγηση στη χρήση των μοντέλων και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων τους.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της παρούσας εργασίας, Χασιώτη Θωμά, αναπληρωτή καθηγητή του Τμήματος Ωκεανογραφίας και Θαλάσσιων Βιοεπιστημών, για την καθοδήγηση και την πολύτιμη βοήθειά του.

Περίληψη

Η κλιματική μεταβλητότητα και αλλαγή επηρεάζει σημαντικά τη θαλάσσια στάθμη και σε αρκετές περιπτώσεις καθορίζει την έκταση της παράκτιας διάβρωσης. Η τρωτότητα των παράκτιων περιοχών λόγω της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης έχει αποδειχτεί ότι αποτελεί μια από τις σημαντικότερες απειλές ειδικά για την οικονομία νησιωτικών προορισμών υψηλής τουριστικής αξίας. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η εκτίμηση της υποχώρησης της ακτογραμμής με χρήση μονοδιάστατων μοντέλων σε περιοχές της δυτικής και νότιας Κύπρου λόγω της κλιματικής μεταβλητότητας και αλλαγής υπό τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5, και για τα έτη 2030, 2050 και 2100. Αρχικά επιλέχθηκαν οι περιοχές στις οποίες εφαρμόστηκαν στη συνέχεια στατικά και δυναμικά μοντέλα εξέλιξης της ακτογραμμής για την εκτίμηση της μακροχρόνιας και βραχυχρόνιας εξέλιξης της ακτογραμμής αντίστοιχα. Στη συνέχεια υπολογίστηκαν τα τελικά πλάτη των παραλιών από συνδυασμό μακροχρόνιας και βραχυχρόνιας υποχώρησης και εντοπίστηκαν οι παραλίες με υποδομές, όπως οδικό δίκτυο ή κτίσματα, που επηρεάζονται από τη μείωση του εύρους τους και είναι πιθανό να υποστούν υλικές ζημιές. Η απουσία υποδομών μεταφράστηκε ως δυνατότητα υποχώρησης της παραλίας προς την ξηρά. Τέλος, εξετάστηκαν σενάρια τεχνητής αναπλήρωσης για έξι παραλίες με οικονομικό ενδιαφέρον για διατήρηση του σημερινού τους πλάτους σε κυματική δράση και άνοδο θαλάσσιας στάθμης με έτος αναφοράς το 2030.

Abstract

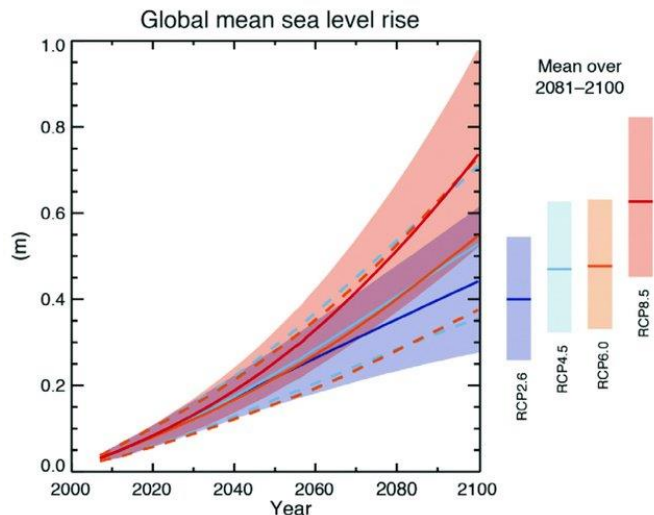
Climate variability and change have been well documented to control sea level fluctuations as well as the extent of coastal erosion. Beach vulnerability due to sea level rise has been recognized as a major threat in island settings, whose economies are based in tourism. The purpose of this study is the assessment of beach retreat in the western and southern Cyprus due to climate change, under the IPCC scenarios RCP4.5 and RCP8.5 for the years 2030, 2050 and 2100. After the evaluation of the available data, specific coastal areas were selected for the application of 1-D cross-shore analytical and numerical morphodynamic model ensembles, in order to estimate the long and short-term beach erosion (and the final beach width), respectively. The existence or the absence of coastal infrastructures (road networks, buildings etc.) was taken into consideration for the final width estimations. Finally, six beaches of significant economic importance were chosen and tested for beach replenishment as a technical adaptation measure for wave and sea level rise conditions projected for 2030.

1. Εισαγωγή

1.1 Κλιματική μεταβλητότητα και αλλαγή – σενάρια εκπομπών

Τις τελευταίες δεκαετίες την παγκόσμια κοινότητα απασχολεί όλο και πιο έντονα το φαινόμενο της κλιματικής μεταβλητότητας και αλλαγής, που συνδέεται άμεσα με την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη, την αύξηση της έντασης και της συχνότητας εμφάνισης ακραίων καιρικών φαινομένων και την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης. Ανά τακτά διαστήματα δημοσιεύονται επιστημονικές εκθέσεις με τα νέα δεδομένα εκτίμησης της εξέλιξης της κλιματικής μεταβλητότητας και αλλαγής και την αποτίμηση της επίδρασής της σε καίριους τομείς της κοινωνίας, της οικονομίας και γενικότερα του ανθρωπογενούς και φυσικού περιβάλλοντος. Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) έχει δημοσιεύσει τις εγκυρότερες και πιο αξιόπιστες εκθέσεις για την κλιματική αλλαγή (Καρτάλης κ.α., 2017).

Μια σειρά σεναρίων εκπομπών (emission scenarios) έχουν αναπτυχθεί από την IPCC, τα οποία χρήζουν ευρείας εφαρμογής στην εκτίμηση της πιθανής εξέλιξης της κλιματικής αλλαγής και στην αποτίμηση των δυνατοτήτων μετριασμού της (Special Report on Emissions Scenarios-SRES) (IPCC, 2000). Τέσσερα νέα σενάρια εκπομπών (Representative Concentration Pathways - RCPs) εισήχθησαν προς αξιολόγηση και εφαρμογή κατά την πέμπτη Έκθεση Αξιολόγησης της IPCC (IPCC, 2013). Τα σενάρια αυτά (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5) διαφοροποιούνται ανάλογα με τη μεταβολή της ροής ακτινοβολίας και τον καταναγκασμό (radiative forcing) που προκαλεί στο σύστημα Γη - Ατμόσφαιρα λόγω της διαφοροποιημένης ενίσχυσης του φαινομένου του θερμοκηπίου (Καρτάλης κ.α., 2017). Συνοπτικά, το σενάριο RCP2.6 εξετάζει άμεση ραγδαία μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου με στόχο την συγκράτηση της παγκόσμιας αύξησης θερμοκρασίας στους 2°C, τα RCP4.5 και RCP6.0 θεωρούν ότι οι εκπομπές θα παρουσιάζουν αυξητική τάση μέχρι το 2040 και 2060, αντίστοιχα, και στη συνέχεια σημαντική μείωσή τους και τέλος το RCP8.5 αφορά συνεχή αύξηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου έως και το τέλος του αιώνα (IPCC, 2013 και Καρτάλης κ.α., 2017). Στην Εικόνα 1 παρουσιάζεται διάγραμμα της εξέλιξης της ανόδου της μέσης στάθμης της θάλασσας (ΜΣΘ) σε παγκόσμιο επίπεδο, όπως προκύπτει από τη μοντελοποίηση των διεργασιών (process-based models) για τα τέσσερα παραπάνω σενάρια (Kim et al., 2014).



Εικόνα 1: Διάγραμμα προβολής της παγκόσμιας σχετικής ανόδου της μέσης στάθμης θάλασσας (περίοδος αναφοράς 1986-2005) για τα τέσσερα RCP σενάρια. Οι συνεχείς γραμμές δείχνουν τις προβολές των διαμέσων (median projections), οι διακεκομμένες δείχνουν τα πιθανά εύρη.

1.2 Παράκτιες περιοχές: Άνοδος θαλάσσιας στάθμης – Διάβρωση ακτής

Κατά την 43^η Σύνοδο της IPCC (Ναϊρόμπι, Κένυα), αποφασίστηκε η δημιουργία τριών Ειδικών Εκθέσεων (Special Reports)¹ μεταξύ των οποίων το “Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate”, σχετικά με τον αντίκτυπο της κλιματικής αλλαγής στους ωκεανούς και στην κρυόσφαιρα² (IPCC, 2019). Σύμφωνα με την ανωτέρω ειδική έκθεση (IPCC, 2019), στην παράκτια ζώνη κατοικούν περίπου 680 εκατομμύρια άνθρωποι, δηλαδή το 10% του παγκόσμιου πληθυσμού του 2010. Ο αριθμός αυτός αναμένεται να ξεπεράσει το ένα δισεκατομμύριο μέχρι το 2050 (IPCC, 2019), καθώς οι παράκτιες περιοχές αναπτύσσονται προσελκύοντας ολοένα και περισσότερο πληθυσμό (Κρεστενίτης κ.α., 2015). Εντούτοις, η στάθμη της θάλασσας ανεβαίνει πολύ ταχύτερα από το αναμενόμενο (IPCC, 2019). Ως εκ τούτου οι παράκτιες υποδομές, οι ιδιοκτησίες και οι δημόσιοι χώροι γίνονται όλο και πιο ευάλωτες σε καταστροφές (Κρεστενίτης κ.α., 2015), ενώ γενικότερα οι ανθρώπινες κοινωνίες που βρίσκονται σε στενή αλληλεπίδραση με το παράκτιο περιβάλλον καθίστανται όλο και πιο εκτεθειμένες σε αλλαγές όπως η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης (IPCC, 2019).

Η μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης οφείλεται κυρίως στη θερμική διαστολή των υδάτινων μαζών, στην τήξη των ηπειρωτικών πάγων και στη μείωση/αύξηση της αλατότητας εξαιτίας της προσθήκης/απομάκρυνσης (εξάτμιση) γλυκών νερών (Κρεστενίτης κ.α., 2015). Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην ένταση και στη συχνότητα των γεγονότων της μετεωρολογικής παλίρροιας

¹ 1) Special Report on Global warming of 1.5°C (SR1.5), αναφορικά με την υπερθέρμανση του πλανήτη κατά 1.5°C

2) Special Report on Climate Change and Land (SRCCL), σχετικά με την κλιματική αλλαγή και τη γη

² Κρυόσφαιρα: τα παγωμένα μέρη του πλανήτη επί και κάτω από την επιφάνεια της ξηράς και του ωκεανού, όπως χιόνι, παγετώνες, παγόβουνα, θαλάσσιος πάγος, πάγος λίμνης, πάγος ποταμού, παγετός, εποχιακά παγωμένο έδαφος κλπ.

(storm surge) μπορεί να επιφέρουν απότομη αύξηση της στάθμης και κατ' επέκταση πλημμύρες στις παράκτιες περιοχές (Κρεστενίτης κ.α., 2015).

Με τις μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης σχετίζεται άμεσα η παράκτια διάβρωση, η οποία μπορεί να είναι είτε μακροχρόνια είτε βραχυχρόνια. Μακροχρόνια παράκτια διάβρωση θεωρείται η μη αναστρέψιμη οπισθοχώρηση της ακτογραμμής λόγω ανόδου της μέσης (και της σχετικής) θαλάσσιας στάθμης (Nicholls et al., 2007, Μονιούδη κ.α., 2016). Η βραχυχρόνια διάβρωση είναι παροδική και οφείλεται κυρίως σε ακραία φαινόμενα (μετεωρολογικές παλίρροιες και θυελλώδεις κυματισμούς) (Μονιούδη κ.α., 2016). Στο μέλλον αναμένεται να ενταθεί η τάση διάβρωσης, σύμφωνα με τις γενικές προγνώσεις της IPCC (IPCC, 2012).

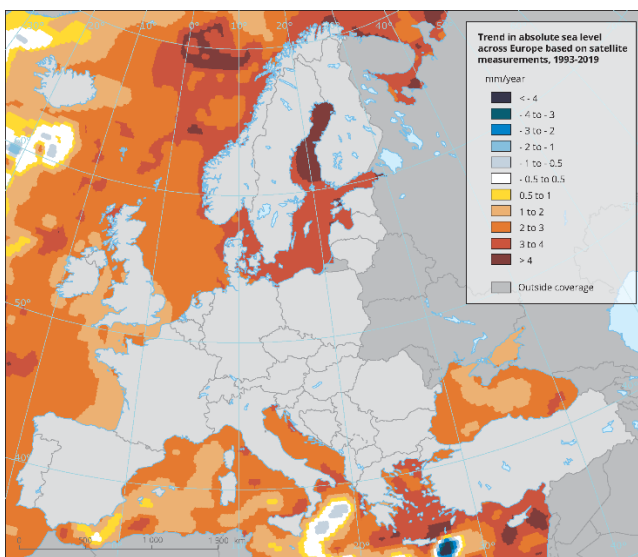
Ένας αποτελεσματικός τρόπος αντιμετώπισης της διάβρωσης παραλιών με υψηλή οικονομική αξία είναι η τεχνητή αναπλήρωση της ακτής, δηλαδή η τροφοδοσία της με ίζημα που λαμβάνεται από παράκτιες περιοχές με περίσσεια υλικού ή από τα ανοιχτά (CUR, 1987, Dean, 2003). Η λύση αυτή θεωρείται ως μια ήπια και περιβαλλοντικά φιλική προσέγγιση (Βελεγράκης κ.α., 2017).

1.3 Η περίπτωση της Κύπρου

Η ύπαρξη κατά μήκος της Μεσογειακής παραλιακής ζώνης πόλεων, δέλτα ποταμών, παράκτιων περιοχών χαμηλού υψομέτρου καθώς και νησιών καθιστούν αναγκαία την εξέταση των πιθανών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στον παράκτιο σχεδιασμό (Androulidakis et al., 2015). Ιδιαίτερα για κράτη των οποίων η οικονομία στηρίζεται στην προώθηση του τουρισμού παραλίας, η υποχώρηση της ακτογραμμής σε τουριστικά εκμεταλλεύσιμες περιοχές μπορεί να συνεπάγεται μείωση της εισροής σημαντικών οικονομικών πόρων. Η Κύπρος είναι ένα χαρακτηριστικό τέτοιο παράδειγμα, καθώς ο τουρισμός συνεισφέρει στην οικονομία της σε ύψος που φτάνει το 20% περίπου του Ακαθάριστου Εγχώριου Προϊόντος (Εθνική Στρατηγική Τουρισμού 2030, 2020). Μάλιστα, καθώς το τουριστικό μοντέλο «ήλιος και θάλασσα» προσελκύει την πλειοψηφία των επισκεπτών της χώρας, η διατήρηση των παραλιών αποτελεί στόχο του σχεδίου δράσης της Εθνικής Στρατηγικής Τουρισμού με ορίζοντα το 2030 (Εθνική Στρατηγική Τουρισμού 2030, 2020).

Η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην υποχώρηση της ακτογραμμής αφορά τόσο τη μακροπρόθεσμη μεταβολή αυτής, που λαμβάνει χώρα σταδιακά και οφείλεται στην άνοδο της ΜΣΘ, όσο και τη βραχυπρόθεσμη, που οφείλεται σε ακραία καιρικά φαινόμενα και είναι παροδική (Μονιούδη κ.α., 2016). Η περιοχή της ανατολικής Μεσογείου, σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος (ΕΟΠ) – European Environment Agency, ΕΕΑ), παρουσιάζει τάση αύξησης της απόλυτης στάθμης της θάλασσας κατά 3-4mm/έτος ή και περισσότερο (Εικόνα 2). Όσον αφορά τα ακραία καιρικά φαινόμενα, η Κύπρος και ιδιαίτερα το νότιο τμήμα της είναι εκτεθειμένη σε ισχυρούς ανεμογενείς κυματισμούς,

καθώς το μεγάλο ανάπτυγμα πελάγους (περί τα 400 km μέχρι τις βόρειες ακτές της Αφρικής) ευνοεί την ανάπτυξή τους. Μέχρι σήμερα έχουν πραγματοποιηθεί διάφορες μελέτες για την υποχώρηση της ακτογραμμής της Κύπρου, καθώς το πρόβλημα της διάβρωσής τους έχει γίνει ιδιαίτερα έντονο τις τελευταίες δεκαετίες (Manvis Ch., 2011; Koftis et al., 2012; Tsoukala et al., 2015). Επιπλέον, η Κυπριακή Δημοκρατία έχει πραγματοποιήσει κατά καιρούς ακτομηχανικές μελέτες και έχει υλοποιήσει πλήθος «σκληρών» έργων προστασίας των ακτών της, ώστε (i) να διατηρηθεί η ακεραιότητα των ακτών του νησιού και να βελτιωθεί το παράκτιο μέτωπο, που αποτελούν πόλο έλξης επισκεπτών από το εξωτερικό και την ίδια τη χώρα, (ii) να προφυλαχθούν οι ιδιοκτησίες που γειτνιάζουν με τις πάσχουσες περιοχές και (iii) να διαφυλαχθούν οι δραστηριότητες με τις οποίες οι παράκτιες περιοχές σχετίζονται άμεσα (κυρίως δραστηριότητες αναψυχής, γεωργία και οικιστική δραστηριότητα).



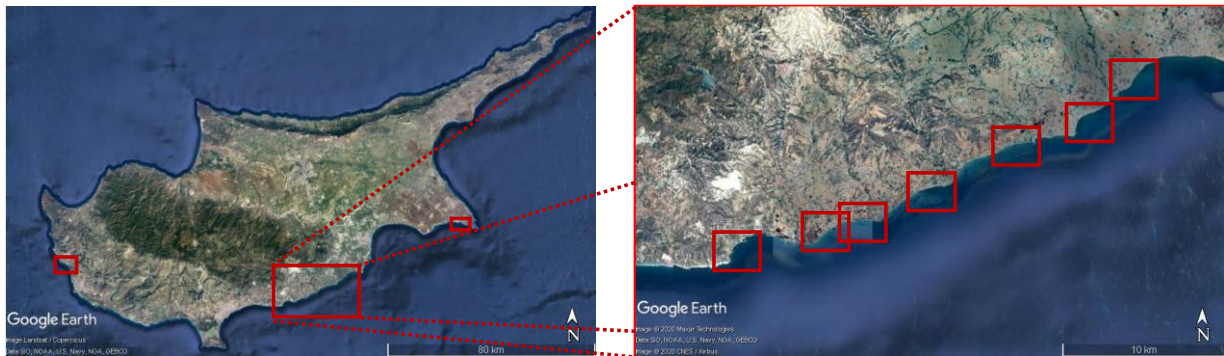
Εικόνα 2: Χωρική κατανομή τάσης της μέσης θαλάσσιας στάθμης στην Ευρώπη βασισμένη σε δορυφορικές μετρήσεις, 1993-2019 (ΕΕΑ, 2019).

Εντούτοις, μέχρι σήμερα δεν έχει ολοκληρωθεί κάποια μελέτη για την περιοχή της Κύπρου που να εκτιμά την εξέλιξη της ακτογραμμής υπό την κλιματική αλλαγή και τη συνεπαγόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης και την αύξηση της συχνότητας και της έντασης των ακραίων φαινομένων.

1.4 Σκοπός της εργασίας

Σε συνέχεια των παραπάνω, η εκτίμηση της πιθανής εξέλιξης της ακτογραμμής συναρτήσει της κλιματικής μεταβλητότητας και αλλαγής αποτελεί άμεση ανάγκη ώστε να αναληφθούν κατάλληλες δράσεις προστασίας της ακτής όπου αυτό κρίνεται αναγκαίο. Για το σκοπό αυτό, στην παρούσα εργασία έγινε μια προκαταρκτική εκτίμηση της εξέλιξης της ακτογραμμής σε συγκεκριμένες περιοχές ενός αποκλειστικά νησιωτικού κράτους, της Κύπρου (Εικόνα 3), σύμφωνα με δύο σενάρια κλιματικής αλλαγής (RCP4.5 και RCP 8.5) και για τρεις χρονολογίες αναφοράς: 2030, 2050 και 2100. Οι περιοχές

επιλέχθηκαν βάσει της κοινωνικο-οικονομικής σημαντικότητάς τους και σύμφωνα με τη διαθεσιμότητα δεδομένων, όπως προφίλ (διατομές) της ακτής και κοκκομετρία στην ακτογραμμή.



Εικόνα 3: Περιοχές μελέτης της δυτικής και νότιας Κύπρου (Υπόβαθρο: Δορυφορική Εικόνα Google Earth).

Τα κυματικά δεδομένα καθώς και οι προγνώσεις μέσης και ακραίας θαλάσσιας στάθμης στις περιοχές μελέτης εξήχθησαν από την ανοικτή βάση δεδομένων (<http://data.jrc.ec.europa.eu/collection/LISCOAST>) του Joint Research Centre (Vousdoukas et al., 2018). Η εκτίμηση έγινε με χρήση μονοδιάστατων μοντέλων: στατικών (αναλυτικών) και δυναμικών (αριθμητικών) μοντέλων εξέλιξης της ακτογραμμής λόγω μακροχρόνιας και βραχυχρόνιας ανόδου της στάθμης της θάλασσας. Στη συνέχεια εξετάστηκε η τεχνητή αναπλήρωση ακτής σε ορισμένες παραλίες ως μια ήπια μέθοδος προστασίας, χωρίς όμως την κατασκευή συμπληρωματικών έργων προστασίας, όπως αποσπασμένοι κυματοθραύστες ή πρόβολοι, η μελέτη των οποίων απαιτεί εξειδικευμένες προσομοιώσεις.

2. Μεθοδολογία

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε προκαταρκτική εκτίμηση της υποχώρησης της ακτογραμμής υπό τα κλιματικά σενάρια RCP 4.5 και RCP 8.5 για συγκεκριμένες παραλίες της δυτικής και νότιας Κύπρου. Η τρωτότητα των παραλιών συνεκτιμάται από έναν συνδυασμό παραγόντων, όπως: (i) την προβλεπόμενη υποχώρηση της ακτογραμμής, η οποία εκτιμήθηκε με 1-D εγκάρσια μοντέλα, (ii) το πλάτος της παραλίας, το οποίο εκτιμήθηκε από τα τοπογραφικά δεδομένα και δορυφορικές εικόνες του Google Earth, (iii) την τουριστική δραστηριότητα και (iv) την παρουσία υποδομών πίσω από την παραλία οι οποίες είναι επιρρεπείς σε πλημμύρες και καταστροφές από την κυματική δράση.

Αρχικά έγινε αξιολόγηση της καταλληλότητας των περιοχών για τις οποίες υπήρχαν πρόσφατα τοπογραφικά – βυθομετρικά διαγράμματα, προφίλ ακτής και αποτελέσματα κοκκομετρικών αναλύσεων. Για τις διατομές που αντιστοιχούν στις επιλεγείσες παραλίες ακολούθησε κατάλληλη μορφοποίηση και επεξεργασία των δεδομένων. Στη συνέχεια αντιστοιχήθηκαν τα σημεία όπου υπήρχαν διαθέσιμα κυματικά δεδομένα και δεδομένα Μέσης (ΜΣΘ) και Ακραίας Θαλάσσιας Στάθμης (Extreme Sea levels - ESLs) με τις παραλίες. Τα παραπάνω δεδομένα εισήχθησαν σε κατάλληλο λογισμικό υπολογισμού στατικών και δυναμικών μοντέλων και τα αποτελέσματα συγκεντρώθηκαν και παρουσιάστηκαν σε πίνακες και διαγράμματα.

2.1 Αξιολόγηση διαθέσιμων δεδομένων

Για την υλοποίηση της εργασίας απαραίτητη ήταν η αξιολόγηση των διαθέσιμων δεδομένων, ώστε να γίνει η επιλογή των πλέον κατάλληλων. Τα τοπογραφικά και βυθομετρικά δεδομένα, οι διατομές (προφίλ) της ακτής και οι κοκκομετρικές αναλύσεις παραχωρήθηκαν από την Ανώνυμη Τεχνική Εταιρία MARNET ATE. Μετά από προσεκτική παρατήρηση φωτογραφιών από επιτόπιες αυτοψίες (MARNET ATE) και δορυφορικές εικόνες από την εφαρμογή Google Earth Pro, έγινε διαλογή των περιοχών με αμμώδεις ακτές ή ακτές με χαλίκι και άμμο. Επιλέχθηκε τελικά ένα σύνολο διατομών που πληρούν τις προϋποθέσεις εφαρμογής των μοντέλων. Επιλέχθηκαν αμμώδεις ακτές (ή ακτές με χαλίκι) για την εφαρμογή των στατικών μοντέλων και σε όσες από αυτές υπήρχαν διαθέσιμα κοκκομετρικά δεδομένα έγινε εφαρμογή και του δυναμικού μοντέλου.

Εξαιρέθηκαν οι διατομές στις οποίες η ακτή αποτελείται από βράχο, γαιώδες κατακόρυφο πρηνές ή τεχνητή θωράκιση με ογκολίθους. Στις περιπτώσεις αυτές η διάβρωση του υλικού είναι πολύ μικρή και

πρακτικά θεωρείται ότι ακόμη και στην περίπτωση εκτίμησης της μακροχρόνιας ανόδου της θαλάσσιας στάθμης το προφίλ της παραλίας δεν μεταβάλλεται. Ως εκ τούτου στις περιπτώσεις αυτές δεν είναι δυνατόν να γίνει χρήση των προαναφερθέντων μοντέλων για την εκτίμηση της υποχώρησης της ακτογραμμής.

2.1.1 Τοπογραφικά Δεδομένα - κοκκομετρία

Για την εφαρμογή των μοντέλων εξέλιξης της ακτογραμμής είναι απαραίτητα στοιχεία μορφολογίας της εξεταζόμενης παραλίας. Για τη χρήση των στατικών μοντέλων αρκούν διατομές κάθετες στην ακτογραμμή, ενώ για τη χρήση των δυναμικών μοντέλων απαιτείται επιπλέον η χαρακτηριστική διάμετρος d_{50} του ιζήματος πλησίον της ακτής, σε βάθος 0 έως -1m.

Όσον αφορά τα προφίλ, τα κοκκομετρικά στοιχεία, όπως και τις περισσότερες φωτογραφίες της ακτής ή του πυθμένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, αυτά έχουν ληφθεί από τις μελέτες:

- MARNET ATE, 2019, Μελέτη προστασίας και βελτίωσης του παραλιακού μετώπου στην περιοχή Ασκός που εμπίπτει εντός των ορίων του Δήμου Πέγειας, Έκθεση Προμελέτης/ μελέτης υφιστάμενης κατάστασης.
- MARNET ATE, 2019, Μελέτη βελτίωσης και προστασίας του παραλιακού μετώπου από το ακρωτήριο Δόλος έως τις εκβολές του ποταμού Τρέμιθου, Έκθεση Προμελέτης/ μελέτης υφιστάμενης κατάστασης.
- MARNET ATE, 2019, Μελέτη προστασίας και βελτίωσης της παραλιακής περιοχής «Πανταχού-Γλυκί Νερό» στην Αγία Νάπα, Έκθεση Προμελέτης/ μελέτης υφιστάμενης κατάστασης.

Πρέπει να σημειωθεί ότι εντοπίζονται διατομές στις οποίες η δειγματοληψία έδειξε ότι υπάρχει άμμος στην ίσαλο (βάθος 0m, ακτή), ενώ σε αμέσως μεγαλύτερα βάθη ο πυθμένας είναι βραχώδης. Στις περιπτώσεις αυτές έγινε παραδοχή ότι όλη η διατομή αποτελείται από το υλικό που εντοπίστηκε στην ακτή (αμμώδες) και εν συνεχεία εφαρμόστηκαν τα μοντέλα εξέλιξης της ακτογραμμής. Όσον αφορά τα προφίλ, αυτά δε συμπίπτουν με τις διατομές της δειγματοληψίας. Για τις ανάγκες εφαρμογής των δυναμικών μοντέλων, έγινε αντιστοίχιση του κάθε προφίλ με κάποια διατομή δειγματοληψίας στην ίδια παραλία ανάλογα με την εγγύτητά τους. Χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα κοκκομετρίας (και συγκεκριμένα η χαρακτηριστική διάσταση κόκκου d_{50} από τη δειγματοληψία στην ακτή (βάθος 0m) ή σε μικρό βάθος (-0.5m ή -1.0m) ανάλογα με τη διαθεσιμότητα των δεδομένων.

Περιοχή Ασκός Δήμου Πέγειας

Σύμφωνα με την προαναφερθείσα μελέτη (MARNET ATE, 2019), στην περιοχή Ασκός του Δήμου Πέγειας (Εικόνα 4) η δειγματοληψία έγινε σε πέντε (5) διατομές, σε μεταξύ τους απόσταση περί τα 250m (Παράρτημα 1). Δεν έγινε λήψη δείγματος στα σημεία όπου υπάρχει βραχώδης πυθμένας ή διάσπαρτες

πέτρες. Συνολικά ελήφθησαν 16 δείγματα σε βάθη από 0 έως -10m (± 0.0 -0.5m -1.0m -2.0m -5.0m -10.0m). Στην περιοχή αυτή σχεδιάστηκαν οκτώ (8) διατομές προφίλ.

Οι τρεις ανατολικότερες διατομές δειγματοληψίας έχουν αμμώδες υλικό στην ίσαλο (0m), ενώ οι δυο δυτικότερες έχουν σχεδιαστεί πάνω από βραχώδη πυθμένα μέχρι περίπου τα -2m και -10 m αντίστοιχα. Συνεπώς στα πλαίσια της παρούσας μελέτης εξετάζεται το ανατολικότερο τμήμα της περιοχής, που αντιστοιχεί στις διατομές προφίλ B4 έως B7 και το οποίο έχει μήκος θαλασσιού μετώπου περί τα 510m (MARNET ATE, 2019).



Εικόνα 4: Αριστερά: Δορυφορική εικόνα της Κύπρου με την περιοχή μελέτης σε κόκκινο πλαίσιο. Δεξιά: Περιοχή μελέτης και διαθέσιμες διατομές προφίλ ακτής με κίτρινη πινέζα (Υπόβαθρο: Δορυφορική εικόνα Google Earth).

Περιοχή Δόλος έως εκβολές ποταμού Τρέμιθου

Σύμφωνα με τη μελέτη της MARNET ATE (2019), η περιοχή από το ακρωτήριο Δόλος (σημείο δειγματοληψίας TH54 και διατομή K1) έως εκβολές του ποταμού Τρέμιθου (σημείο δειγματοληψίας I47N και διατομή K80) εκτείνεται σε μήκος περίπου ενός (1) χιλιομέτρου της Επαρχίας Λεμεσού και 30 χιλιομέτρων της Επαρχίας Λάρνακας (Εικόνα 5). Η δειγματοληψία έγινε σε είκοσι τέσσερις (24) διατομές σε μεταξύ τους απόσταση περί τα 1000m ή περισσότερο. Συνολικά ελήφθησαν εβδομήντα οκτώ (78) δείγματα ιζήματος από τον πυθμένα και δώδεκα (12) επιτόπιες μετρήσεις βασικής διάστασης (μέγιστου άξονα) κροκαλών σε σημεία επί της ακτής. Στο “Παράρτημα 1: Πίνακες αξιολόγησης διαθέσιμων δεδομένων” δίνεται σε εικόνα το σημείο αναφοράς επί της ακτής για την κάθε διατομή δειγματοληψίας. Στην περιοχή αυτή σχεδιάστηκαν ογδόντα (80) διατομές προφίλ.

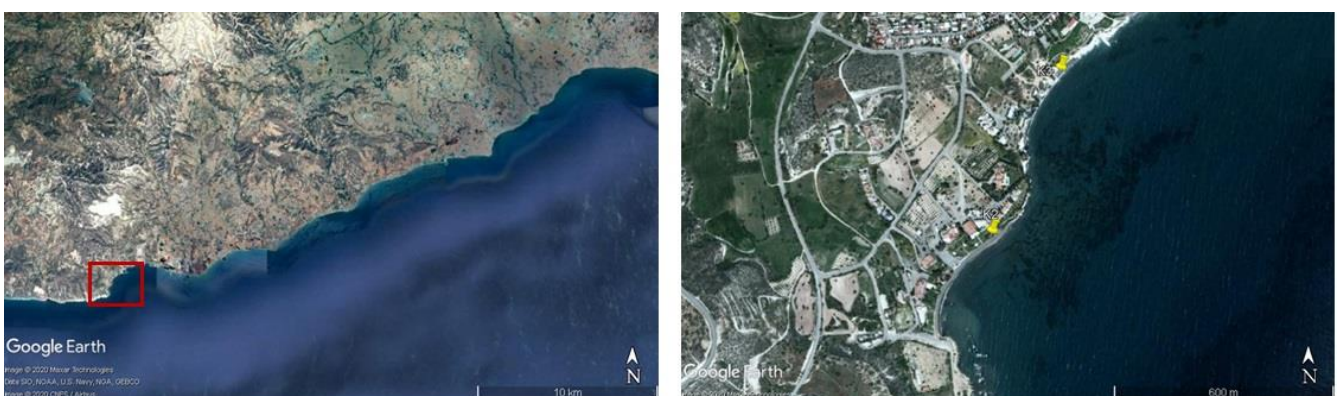


Εικόνα 5: Αριστερά: Δορυφορική εικόνα της Κύπρου με την περιοχή μελέτης σε κόκκινο πλαίσιο. Δεξιά: Περιοχή μελέτης με κίτρινη επισήμανση (Υπόβαθρο: Δορυφορική εικόνα Google Earth).

Σημειώνεται ότι στην περιοχή αυτή, η οποία είναι ιδιαίτερος εκτεταμένη, περιλαμβάνεται το μέτωπο της βιομηχανικής περιοχής της Κοινότητας Βασιλικού, το οποίο σε όλο το μήκος του είναι τροποποιημένο με θωράκιση από ογκολίθους ή διάφορα τεχνικά έργα που εξυπηρετούν τις βιομηχανικές δραστηριότητες. Επίσης, στην περιοχή μελέτης περιλαμβάνονται τμήματα ακτής στα οποία έχουν υλοποιηθεί έργα προστασίας όπως θωράκιση από φυσικούς ογκολίθους, πρόβολοι επί της ακτής ή αποσπασμένοι κυματοθραύστες. Στα πλαίσια της παρούσας μελέτης επιλέχθηκαν τα κατάλληλα τμήματα ακτής, στα οποία ο πυθμένας είναι αμμώδης και οι διατομές είναι ελεύθερες από τεχνικά έργα.

Συνοπτικά, επιλέχθηκαν και εξετάστηκαν οι ακόλουθες υποπεριοχές (Παράρτημα 1):

- Κοινότητα Πεντακώμου – Ακτή Κυβερνήτη, Παραλία Κάλυμνος (Εικόνα 6)



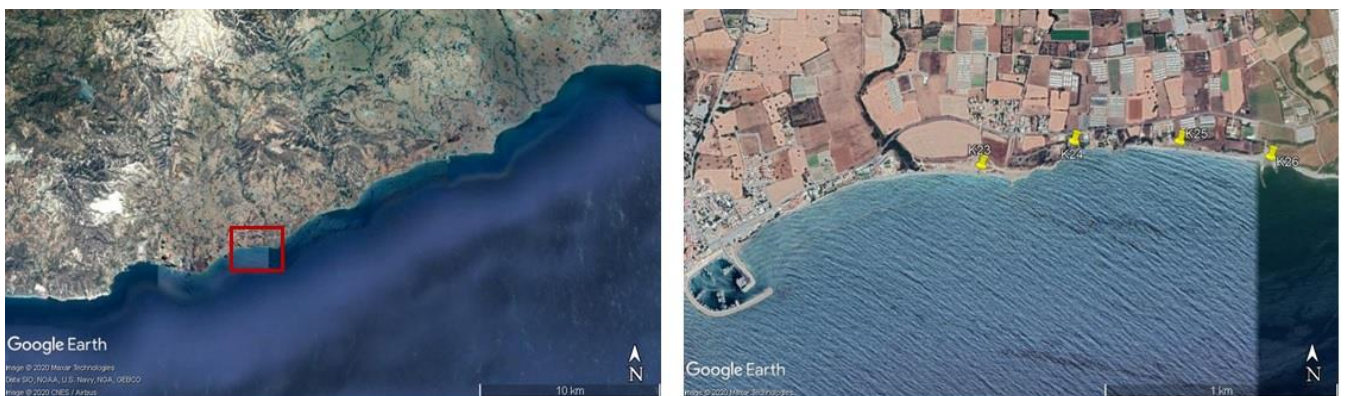
Εικόνα 6: Αριστερά: Δορυφορική εικόνα της περιοχής μελέτης με την υποπεριοχή σε κόκκινο πλαίσιο. Δεξιά: Υποπεριοχή μελέτης και διαθέσιμες διατομές προφίλ ακτής με κίτρινη πινέζα (Υπόβαθρο: Δορυφορική εικόνα Google Earth).

- Κοινότητα Ζυγίου – Ακτή δυτικά του αλιευτικού καταφυγίου (Εικόνα 7)



Εικόνα 7: Αριστερά: Δορυφορική εικόνα της περιοχής μελέτης με την υποπεριοχή σε κόκκινο πλαίσιο. Δεξιά: Υποπεριοχή μελέτης και διαθέσιμες διατομές προφίλ ακτής με κίτρινη πινέζα (Υπόβαθρο: Δορυφορική εικόνα Google Earth).

- Κοινότητα Ψεματισμένου, Κοινότητα Μαρωνίου (απουσία άλλου τοπωνυμίου γίνεται αναφορά στις ονομασίες των κοινοτήτων στις οποίες εμπίπτει η περιοχή – Εικόνα 8)



Εικόνα 8: Αριστερά: Δορυφορική εικόνα της περιοχής μελέτης με την υποπεριοχή σε κόκκινο πλαίσιο. Δεξιά: Υποπεριοχή μελέτης και διαθέσιμες διατομές προφίλ ακτής με κίτρινη πινέζα (Υπόβαθρο: Δορυφορική εικόνα Google Earth).

- Κοινότητα Αγίου Θεοδώρου (απουσία άλλου τοπωνυμίου γίνεται αναφορά στην ονομασία της κοινότητας στην οποία εμπίπτει η περιοχή – Εικόνα 9)



Εικόνα 9: Αριστερά: Δορυφορική εικόνα της περιοχής μελέτης με την υποπεριοχή σε κόκκινο πλαίσιο. Δεξιά: Υποπεριοχή μελέτης και διαθέσιμες διατομές προφίλ ακτής με κίτρινη πινέζα (Υπόβαθρο: Δορυφορική εικόνα Google Earth).

- Κοινότητα Αλαμινού – Παραλία Λατούρος (Εικόνα 10)



Εικόνα 10: Αριστερά: Δορυφορική εικόνα της περιοχής μελέτης με την υποπεριοχή σε κόκκινο πλαίσιο. Δεξιά: Υποπεριοχή μελέτης και διαθέσιμες διατομές προφίλ ακτής με κίτρινη πινέζα (Υπόβαθρο: Δορυφορική εικόνα Google Earth).

- Κοινότητα Μαζωτού – Ακτή από άκρα Πετούντα έως την εκβολή του ποταμού «Πούζης»: παραλίες Πετούντα και Μπούζι (Εικόνα 11)



Εικόνα 11: Αριστερά: Δορυφορική εικόνα της περιοχής μελέτης με την υποπεριοχή σε κόκκινο πλαίσιο. Δεξιά: Υποπεριοχή μελέτης και διαθέσιμες διατομές προφίλ ακτής με κίτρινη πινέζα (Υπόβαθρο: Δορυφορική εικόνα Google Earth).

- Κοινότητα Κιβισιλίου και Σοφτάδων-Κιτίου– Ακτή Κιβισιλίου από άκρο Πούζης και παραλιακό μέτωπο Σοφτάδων (Εικόνα 12)



Εικόνα 12: Αριστερά: Δορυφορική εικόνα της περιοχής μελέτης με την υποπεριοχή σε κόκκινο πλαίσιο. Δεξιά: Υποπεριοχή μελέτης και διαθέσιμες διατομές προφίλ ακτής με κίτρινη πινέζα (Υπόβαθρο: Δορυφορική εικόνα Google Earth).

Περιοχή Πανταχού και Γλυκί Νερό του Δήμου Αγίας Νάπας

Σύμφωνα με την μελέτη της παραλιακής περιοχής «Πανταχού-Γλυκί Νερό» στην Αγία Νάπα (MARNET ATE, 2019), η δειγματοληψία έγινε σε έξι (6) διατομές σε μεταξύ τους απόσταση περί τα 250m (βλ. Παράρτημα 1 και Εικόνα 13). Συνολικά ελήφθησαν δεκαεννέα (19) δείγματα σε βάθη από 0 έως -10m. Στην περιοχή αυτή σχεδιάστηκαν δώδεκα (12) διατομές προφίλ.

Για τη χάραξη των διατομών ακτής και παράκτιας ζώνης, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα που διατίθενται ηλεκτρονικά από τη σελίδα του Τμήματος Κτηματολογίου και Χωροταξίας (MARNET ATE, 2019). Τα στοιχεία αυτά αφορούν τις ισοψείς καμπύλες, την ακτογραμμή, καθώς και τις ισοβαθείς της περιοχής. Στη συνέχεια έγινε επεξεργασία τους με κατάλληλο λογισμικό και προέκυψε το συνολικό τοπογραφικό-βυθομετρικό διάγραμμα της περιοχής. Από το σύνολο της περιοχής, το δυτικότερο τμήμα της, μήκους περίπου 850m, αποτελεί αμμώδη ακτή κατάλληλη για την εφαρμογή των μοντέλων οπισθοχώρησης της ακτογραμμής.



Εικόνα 13: Αριστερά: Δορυφορική εικόνα της Κύπρου με την περιοχή μελέτης σε κόκκινο πλαίσιο. Δεξιά: Περιοχή μελέτης και διαθέσιμες διατομές προφίλ ακτής με κίτρινη πινέζα (Υπόβαθρο: Δορυφορική εικόνα Google Earth).

2.1.2 Κυματικά δεδομένα και άνοδος θαλάσσιας στάθμης

Όσον αφορά τα κυματικά δεδομένα καθώς και τις προγνώσεις μέσης και ακραίας θαλάσσιας στάθμης στις περιοχές μελέτης για τα δύο κλιματικά σενάρια (RCP 4.5 και 8.5), αυτά εξήχθησαν από την ανοικτή βάση δεδομένων (<http://data.jrc.ec.europa.eu/collection/LISCOAST>) του Joint Research Centre (Vousdoukas et al., 2018). Επιλέχθηκαν προς χρήση τα δεδομένα που για κάθε περίπτωση αντιστοιχούν στο πλησιέστερο σημείο στις διατομές της μελέτης (Παράρτημα 1). Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στους πίνακες που ακολουθούν (Πίνακες 1 έως 6). Στην εφαρμογή των μοντέλων θεωρήθηκε αμελητέα και δε λήφθηκε υπόψη η αστρονομική παλίρροια, καθώς είναι πολύ μικρή, όπως προκύπτει από τα δεδομένα για την Κύπρο.

Στους Πίνακες 1 – 6 παρουσιάζονται τα εξής δεδομένα σε στήλες από τα αριστερά προς τα δεξιά:

- ID: αριθμός του σημείου επί της ακτής όπου υπολογίστηκαν τα κυματικά δεδομένα (βλ. Εικόνα 14 και Παράρτημα 1)
- RSLR: σχετική άνοδος της θαλάσσιας στάθμης (relative sea level rise), η οποία θα πρέπει να ληφθεί υπόψη λόγω της χωρικής μεταβλητότητας της ΜΣΘ. Οι τιμές δίνονται σε σύγκριση με τη ΜΣΘ που προκύπτει από την περίοδο αναφοράς (baseline) 1980-2014
- η_{tide} : άνοδος της θαλάσσιας στάθμης λόγω αστρονομικής παλίρροιας
- η_{CE} : επεισοδιακή άνοδος της θαλάσσιας στάθμης λόγω μετεωρολογικής παλίρροιας και κυματικής ανύψωσης (storm surge + wave setup). Στον πίνακα δίνεται για περιόδους επαναφοράς 10, 50 και 100 ετών.
- ESL: δημιουργείται από τη συνδυασμένη δράση των προαναφερθέντων επιμέρους συνιστωσών και επομένως προκύπτει από το άθροισμα $\text{RSLR} + \eta_{\text{tide}} + \eta_{\text{CE}}$. Στον πίνακα δίνεται για περιόδους επαναφοράς 10, 50 και 100 ετών.
- H_s , T_p : σημαντικό ύψος κύματος σε μέτρα (m) και περίοδος κορυφής φάσματος του κυματισμού σε δευτερόλεπτα (sec). Στον πίνακα δίνονται για περιόδους επαναφοράς 1, 10, 50 και 100 ετών.



Εικόνα 14: Σημεία υπολογισμού κυματικών δεδομένων και ανόδου θαλάσσιας στάθμης (Υπόβαθρο: Δορυφορική εικόνα Google Earth).

Πίνακας 1: Δεδομένα θαλάσσιας στάθμης και κύματος σε διάφορα σημεία επί της ακτής σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP 4.5 και για το έτος αναφοράς 2030.

| ID | ID Διατομών | RCP 4.5 (2030) | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|-------------------------|----------------|----------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | RSLR | η_{tide} | η_{CE} | | | ESL | | | Hs | Tr | Hs | Tr | Hs | Tr | | |
| | | | | 10 | 50 | 100 | 10 | 50 | 100 | 1 | 10 | 50 | 100 | | | | |
| 2 | A1-A6 | 0.119 | 0.145 | 0.694 | 0.824 | 0.893 | 0.957 | 1.087 | 1.157 | 0.830 | 5.063 | 1.102 | 5.265 | 1.307 | 5.498 | 1.398 | 5.600 |
| 13 | K61-K68, K70-K77 | 0.125 | 0.137 | 0.740 | 0.880 | 0.958 | 1.002 | 1.142 | 1.220 | 1.055 | 5.812 | 1.374 | 6.258 | 1.619 | 6.628 | 1.710 | 6.674 |
| 14 | K51-K54 | 0.125 | 0.137 | 0.740 | 0.880 | 0.958 | 1.002 | 1.142 | 1.220 | 1.039 | 6.000 | 1.323 | 6.370 | 1.522 | 6.656 | 1.628 | 6.799 |
| 16 | K23, K25, K26, K36- K38 | 0.125 | 0.137 | 0.740 | 0.880 | 0.958 | 1.002 | 1.142 | 1.220 | 1.114 | 6.095 | 1.332 | 6.410 | 1.544 | 6.733 | 1.651 | 6.907 |
| 17 | K16-K19 | 0.125 | 0.137 | 0.733 | 0.874 | 0.953 | 0.995 | 1.136 | 1.215 | 1.061 | 5.956 | 1.352 | 6.473 | 1.503 | 6.630 | 1.636 | 6.770 |
| 18 | K2, K3 | 0.125 | 0.137 | 0.733 | 0.874 | 0.953 | 0.995 | 1.136 | 1.215 | 1.102 | 6.053 | 1.319 | 6.400 | 1.515 | 6.660 | 1.616 | 6.745 |
| 38 | B4, B6, B7 | 0.128 | 0.126 | 0.869 | 1.036 | 1.132 | 1.123 | 1.290 | 1.385 | 1.452 | 6.127 | 1.721 | 6.414 | 1.946 | 6.650 | 2.093 | 6.901 |

Πίνακας 2: Δεδομένα θαλάσσιας στάθμης και κύματος σε διάφορα σημεία επί της ακτής σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP 4.5 και για το έτος αναφοράς 2050.

| ID | ID Διατομών | RCP 4.5 (2050) | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|-------------------------|----------------|----------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | RSLR | η_{tide} | η_{CE} | | | ESL | | | Hs | Tr | Hs | Tr | Hs | Tr | | |
| | | | | 10 | 50 | 100 | 10 | 50 | 100 | 1 | 10 | 50 | 100 | | | | |
| 2 | A1-A6 | 0.212 | 0.146 | 0.681 | 0.809 | 0.877 | 1.039 | 1.166 | 1.235 | 0.836 | 5.097 | 1.107 | 5.328 | 1.289 | 5.521 | 1.387 | 5.640 |
| 13 | K61-K68, K70-K77 | 0.225 | 0.139 | 0.722 | 0.859 | 0.934 | 1.085 | 1.222 | 1.298 | 1.038 | 5.794 | 1.344 | 6.202 | 1.569 | 6.508 | 1.637 | 6.595 |
| 14 | K51-K54 | 0.225 | 0.139 | 0.722 | 0.859 | 0.934 | 1.085 | 1.222 | 1.298 | 1.085 | 6.116 | 1.308 | 6.358 | 1.489 | 6.634 | 1.592 | 6.685 |
| 16 | K23, K25, K26, K36- K38 | 0.225 | 0.139 | 0.722 | 0.859 | 0.934 | 1.085 | 1.222 | 1.298 | 1.116 | 6.116 | 1.277 | 6.238 | 1.492 | 6.576 | 1.617 | 6.759 |
| 17 | K16-K19 | 0.225 | 0.139 | 0.715 | 0.852 | 0.929 | 1.078 | 1.216 | 1.293 | 1.083 | 5.990 | 1.272 | 6.261 | 1.481 | 6.567 | 1.595 | 6.783 |
| 18 | K2, K3 | 0.225 | 0.139 | 0.715 | 0.852 | 0.929 | 1.078 | 1.216 | 1.293 | 1.082 | 6.092 | 1.297 | 6.353 | 1.488 | 6.616 | 1.587 | 6.712 |
| 38 | B4, B6, B7 | 0.231 | 0.127 | 0.854 | 1.019 | 1.113 | 1.211 | 1.376 | 1.470 | 1.481 | 6.207 | 1.703 | 6.464 | 1.951 | 6.742 | 2.072 | 6.864 |

Πίνακας 3: Δεδομένα θαλάσσιας στάθμης και κύματος σε διάφορα σημεία επί της ακτής σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP 4.5 και για το έτος αναφοράς 2100.

| ID | ID Διατομών | RCP 4.5 (2100) | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----------------------------|----------------|----------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | RSLR | η_{tide} | η_{CE} | | | ESL | | | Hs | Tr | Hs | Tr | Hs | Tr | | |
| | | | | 10 | 50 | 100 | 10 | 50 | 100 | 1 | 10 | 50 | 100 | | | | |
| 2 | A1-A6 | 0.477 | 0.144 | 0.673 | 0.806 | 0.875 | 1.294 | 1.427 | 1.496 | 0.829 | 5.053 | 1.116 | 5.393 | 1.238 | 5.405 | 1.407 | 5.706 |
| 13 | K61-K68, K70-K77 | 0.502 | 0.137 | 0.714 | 0.855 | 0.931 | 1.353 | 1.493 | 1.570 | 1.054 | 5.784 | 1.335 | 6.204 | 1.570 | 6.537 | 1.680 | 6.694 |
| 14 | K51-K54 | 0.502 | 0.137 | 0.714 | 0.855 | 0.931 | 1.353 | 1.493 | 1.570 | 1.052 | 5.987 | 1.307 | 6.405 | 1.487 | 6.597 | 1.600 | 6.739 |
| 16 | K23, K25, K26, K36- K38 | 0.502 | 0.137 | 0.714 | 0.855 | 0.931 | 1.353 | 1.493 | 1.570 | 1.103 | 6.116 | 1.314 | 6.402 | 1.492 | 6.600 | 1.614 | 6.866 |
| 17 | K16-K19 | 0.502 | 0.137 | 0.707 | 0.848 | 0.927 | 1.345 | 1.487 | 1.565 | 1.072 | 5.933 | 1.296 | 6.432 | 1.477 | 6.583 | 1.608 | 6.773 |
| 18 | K2, K3 | 0.502 | 0.137 | 0.707 | 0.848 | 0.927 | 1.345 | 1.487 | 1.565 | 1.067 | 5.940 | 1.282 | 6.354 | 1.510 | 6.704 | 1.576 | 6.709 |
| 38 | B4, B6, B7 | 0.515 | 0.126 | 0.834 | 1.004 | 1.099 | 1.475 | 1.644 | 1.740 | 1.458 | 6.147 | 1.681 | 6.451 | 1.915 | 6.630 | 2.058 | 6.826 |

Πίνακας 4: Δεδομένα θαλάσσιας στάθμης και κύματος σε διάφορα σημεία επί της ακτής σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP 8.5 και για το έτος αναφοράς 2030.

| ID | ID Διατομών | RCP 8.5 (2030) | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----------------------------|----------------|----------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | RSLR | η_{tide} | η_{CE} | | | ESL | | | Hs | Tr | Hs | Tr | Hs | Tr | | |
| | | | | 10 | 50 | 100 | 10 | 50 | 100 | 1 | 10 | 50 | 100 | | | | |
| 2 | A1-A6 | 0.131 | 0.145 | 0.716 | 0.848 | 0.918 | 0.991 | 1.124 | 1.194 | 0.861 | 5.091 | 1.146 | 5.380 | 1.372 | 5.656 | 1.399 | 5.606 |
| 13 | K61-K68, K70-K77 | 0.138 | 0.137 | 0.758 | 0.902 | 0.981 | 1.032 | 1.176 | 1.255 | 1.058 | 5.773 | 1.385 | 6.240 | 1.627 | 6.575 | 1.760 | 6.804 |
| 14 | K51-K54 | 0.138 | 0.137 | 0.758 | 0.902 | 0.981 | 1.032 | 1.176 | 1.255 | 1.060 | 6.029 | 1.346 | 6.385 | 1.540 | 6.658 | 1.688 | 6.894 |
| 16 | K23, K25, K26, K36- K38 | 0.138 | 0.137 | 0.758 | 0.902 | 0.981 | 1.032 | 1.176 | 1.255 | 1.087 | 6.067 | 1.348 | 6.414 | 1.583 | 6.783 | 1.696 | 6.949 |
| 17 | K16-K19 | 0.138 | 0.136 | 0.750 | 0.895 | 0.976 | 1.024 | 1.169 | 1.250 | 1.075 | 5.986 | 1.329 | 6.396 | 1.528 | 6.592 | 1.661 | 6.809 |
| 18 | K2, K3 | 0.138 | 0.136 | 0.750 | 0.895 | 0.976 | 1.024 | 1.169 | 1.250 | 1.083 | 6.038 | 1.355 | 6.458 | 1.534 | 6.609 | 1.653 | 6.811 |
| 38 | B4, B6, B7 | 0.141 | 0.126 | 0.887 | 1.056 | 1.153 | 1.153 | 1.323 | 1.419 | 1.439 | 6.071 | 1.768 | 6.561 | 1.997 | 6.739 | 2.156 | 7.007 |

Πίνακας 5: Δεδομένα θαλάσσιας στάθμης και κύματος σε διάφορα σημεία επί της ακτής σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP 8.5 και για το έτος αναφοράς 2050.

| ID | ID Διατομών | RCP 8.5 (2050) | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----------------------------|----------------|----------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | RSLR | η_{tide} | η_{CE} | | | ESL | | | Hs | Tr | Hs | Tr | Hs | Tr | | |
| | | | | 10 | 50 | 100 | 10 | 50 | 100 | 1 | 10 | 50 | 100 | | | | |
| 2 | A1-A6 | 0.275 | 0.146 | 0.696 | 0.825 | 0.893 | 1.117 | 1.246 | 1.314 | 0.829 | 5.053 | 1.122 | 5.368 | 1.306 | 5.471 | 1.343 | 5.399 |
| 13 | K61-K68, K70-K77 | 0.287 | 0.139 | 0.733 | 0.872 | 0.948 | 1.159 | 1.298 | 1.374 | 1.055 | 5.799 | 1.339 | 6.135 | 1.575 | 6.491 | 1.698 | 6.660 |
| 14 | K51-K54 | 0.287 | 0.139 | 0.733 | 0.872 | 0.948 | 1.159 | 1.298 | 1.374 | 1.041 | 5.953 | 1.339 | 6.446 | 1.547 | 6.762 | 1.610 | 6.750 |
| 16 | K23, K25, K26, K36- K38 | 0.287 | 0.139 | 0.733 | 0.872 | 0.948 | 1.159 | 1.298 | 1.374 | 1.103 | 6.064 | 1.333 | 6.425 | 1.544 | 6.761 | 1.644 | 6.909 |
| 17 | K16-K19 | 0.287 | 0.139 | 0.726 | 0.866 | 0.944 | 1.152 | 1.292 | 1.370 | 1.114 | 6.122 | 1.289 | 6.326 | 1.524 | 6.683 | 1.624 | 6.832 |
| 18 | K2, K3 | 0.287 | 0.139 | 0.726 | 0.866 | 0.944 | 1.152 | 1.292 | 1.370 | 1.117 | 6.124 | 1.305 | 6.355 | 1.511 | 6.633 | 1.623 | 6.816 |
| 38 | B4, B6, B7 | 0.293 | 0.127 | 0.866 | 1.031 | 1.125 | 1.285 | 1.450 | 1.544 | 1.471 | 6.174 | 1.700 | 6.347 | 1.961 | 6.716 | 2.119 | 6.972 |

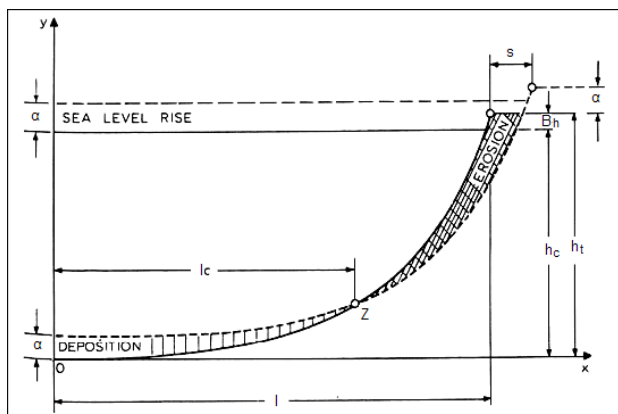
Πίνακας 6: Δεδομένα θαλάσσιας στάθμης και κύματος σε διάφορα σημεία επί της ακτής σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP 8.5 και για το έτος αναφοράς 2100.

| ID | ID Διατομών | RCP 8.5 (2100) | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----------------------------|----------------|----------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | RSLR | η_{tide} | η_{CE} | | | ESL | | | Hs | Tr | Hs | Tr | Hs | Tr | | |
| | | | | 10 | 50 | 100 | 10 | 50 | 100 | 1 | 10 | 50 | 100 | | | | |
| 2 | A1-A6 | 0.784 | 0.144 | 0.656 | 0.777 | 0.841 | 1.584 | 1.705 | 1.769 | 0.820 | 5.028 | 1.040 | 5.198 | 1.213 | 5.383 | 1.302 | 5.389 |
| 13 | K61-K68, K70-K77 | 0.813 | 0.137 | 0.688 | 0.818 | 0.889 | 1.637 | 1.767 | 1.839 | 1.068 | 5.861 | 1.285 | 6.095 | 1.477 | 6.365 | 1.608 | 6.579 |
| 14 | K51-K54 | 0.813 | 0.137 | 0.688 | 0.818 | 0.889 | 1.637 | 1.767 | 1.839 | 1.068 | 6.070 | 1.262 | 6.321 | 1.406 | 6.457 | 1.532 | 6.625 |
| 15 | K23, K25, K26, K36- K38 | 0.813 | 0.137 | 0.688 | 0.818 | 0.889 | 1.637 | 1.767 | 1.839 | 1.026 | 5.894 | 1.265 | 6.332 | 1.421 | 6.513 | 1.583 | 6.856 |
| 16 | K23, K25, K26, K36- K38 | 0.813 | 0.137 | 0.688 | 0.818 | 0.889 | 1.637 | 1.767 | 1.839 | 1.095 | 6.036 | 1.263 | 6.331 | 1.428 | 6.473 | 1.532 | 6.657 |
| 17 | K16-K19 | 0.813 | 0.136 | 0.681 | 0.812 | 0.884 | 1.631 | 1.761 | 1.834 | 1.109 | 6.084 | 1.225 | 6.205 | 1.422 | 6.520 | 1.546 | 6.717 |
| 18 | K2, K3 | 0.813 | 0.136 | 0.681 | 0.812 | 0.884 | 1.631 | 1.761 | 1.834 | 1.089 | 6.005 | 1.297 | 6.449 | 1.437 | 6.616 | 1.525 | 6.614 |
| 38 | B4, B6, B7 | 0.827 | 0.125 | 0.832 | 0.993 | 1.085 | 1.784 | 1.946 | 2.037 | 1.453 | 6.096 | 1.683 | 6.461 | 1.917 | 6.683 | 2.040 | 6.807 |

2.2 Μοντέλα οπισθοχώρησης της ακτογραμμής

Για την εκτίμηση της εξέλιξης της ακτογραμμής χρονικά και χωρικά έχουν αναπτυχθεί μοντέλα, τα οποία βασίζονται στην αρχή ότι η μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης ή/και των κυματικών συνθηκών μεταβάλλει την παραλιακή διατομή (Μονιούδη κ.α., 2016). Τα μοντέλα χωρίζονται σε στατικά (ή αναλυτικά) και δυναμικά (ή αριθμητικά). Τα στατικά μοντέλα χρησιμοποιούν μία ή περισσότερες εξισώσεις για την εκτίμηση της οπισθοχώρησης της ακτογραμμής, ενώ τα δυναμικά μοντέλα περιλαμβάνουν υδροδυναμικά και ιζηματοδυναμικά υπο-μοντέλα που υπολογίζουν τη στερεομεταφορά σε διαφορετικά σημεία της διατομής (Μονιούδη κ.α., 2016).

Τα στατικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία είναι το μοντέλο του Bruun (1962· 1983· 1988), του Dean (1991) και του Edelman (1972). Το πρώτο χρονικά μοντέλο που δημιουργήθηκε ήταν αυτό του Bruun, το οποίο εξετάζει το ισοζύγιο κινήσεων παραλιακών ιζημάτων και ακτογραμμής μακροπρόθεσμα και βασίζεται στην αρχή της ύπαρξης για κάθε παραλία μιας διατομής (προφίλ) ισορροπίας (Μονιούδη κ.α., 2016). Η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης προκαλεί διάβρωση στο χερσαίο τμήμα των διατομών, που ως γενική παραδοχή θεωρούνται κοίλες, και απόθεση στο υποθαλάσσιο τμήμα μέχρι το βάθος κλεισίματος, στο οποίο σταματούν οι διεργασίες ιζηματομεταφοράς, χωρίς όμως το βάθος να μεταβάλλεται, καθώς η ανύψωση του πυθμένα λόγω απόθεσης ισούται με την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης (Μονιούδη κ.α., 2016, Εικόνα 15). Οι εξισώσεις που χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς δίνονται αναλυτικά από τη Μονιούδη κ.α. (2016).



Εικόνα 15: Διάβρωση του ανώτερου τμήματος της παραλιακής διατομής και οπισθοχώρηση της ακτογραμμής κατά s , απόθεση του ιζήματος στον πυθμένα ως απόκριση στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας κατά a (h_c : βάθος κλεισίματος, B_h : ύψος του αναβαθμού, $h_t = h_c + B_h$, erosion: διάβρωση, deposition: απόθεση) (Μονιούδη κ.α., 2016, Σχήμα 3-1 (τροποποιημένο από Slott J., 2003)).

Το μοντέλο του Dean (1991) αφορά επίσης διατομές με κοίλο σχήμα, προβλέπει όμως την παραλιακή οπισθοχώρηση λόγω αυξημένης κυματικής ενέργειας, ενώ στο μοντέλο του Edelman (1989) η διατομή διατηρεί την βασική της μορφολογία κατά την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης (Μονιούδη κ.α., 2016). Το τελευταίο αυτό μοντέλο προτάθηκε για διατομές που είναι πιο κοντά στις φυσικές παραλιακές διατομές και για μεγαλύτερες ανόδους της θαλάσσιας στάθμης που μπορεί να

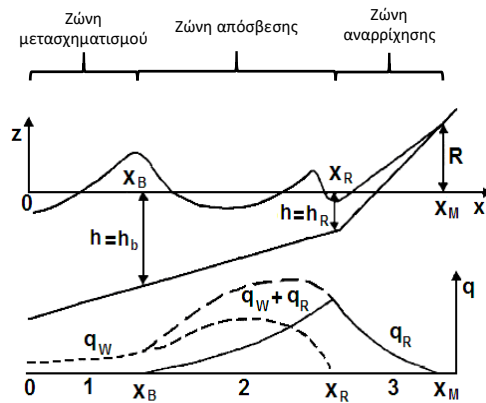
ποικίλουν χρονικά λόγω ακραίων συμβάντων (μετεωρολογικών παλιρροιών - storm surges) (Μονιούδη κ.α., 2016).

Τα δυναμικά μοντέλα αποτελούνται από υπο-μοντέλα που σε κάθε χρονικό βήμα υπολογίζουν τις παραλιακές υδροδυναμικές συνθήκες, την ιζηματομεταφορά και την μεταβολή της μορφολογίας (βαθυμετρίας) (Μονιούδη κ.α., 2016). Ως δεδομένα εισόδου στα δυναμικά μοντέλα χρησιμοποιούνται τα κυματικά δεδομένα στα βαθιά, η αρχική βαθυμετρία της παραλίας και το μέγεθος του κόκκου του ιζήματος. Κάθε υπο-μοντέλο δέχεται δεδομένα εισόδου από το προηγούμενό του (με τη σειρά που αναφέρονται παραπάνω) και τα αποτελέσματά του χρησιμοποιούνται στο επόμενο υπο-μοντέλο. Για καθορισμένη διάρκεια προσομοίωσης, η διαδικασία επαναλαμβάνεται ώστε να εξασφαλιστεί η δυναμική αλληλεπίδραση των στοιχείων του μορφοδυναμικού συστήματος (Μονιούδη κ.α., 2016).

Υπάρχουν υδροδυναμικά μοντέλα μονοδιάστατα (1-D), δισδιάστατα-εγκάρσια/κάθεται στην ακτή (2-DV) ή δισδιάστατα-οριζόντια (2-DH), ψευδό-τρισδιάστατα (Quasi-3-D models) και τρισδιάστατα (3-D). Στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιείται μονοδιάστατο μοντέλο, δηλαδή πραγματοποιούνται υπολογισμοί στην κάθετη (εγκάρσια) διεύθυνση ως προς την ακτογραμμή με την παραδοχή ότι η ροή κυματικής ενέργειας στη διεύθυνση αυτή ισούται με την απώλεια λόγω θραύσης και απόσβεσης κυματισμών (Μονιούδη κ.α., 2016). Το μοντέλο που χρησιμοποιείται στο λογισμικό είναι το μορφοδυναμικό μοντέλο των Voudoukas et al. (2005), το οποίο στο εξής αναφέρεται ως μοντέλο Leont'gen.

Το μοντέλο αυτό βασίζεται στην ενεργητική προσέγγιση των Battjes and Janssen (1978) για την υδροδυναμική και στο μοντέλο Leont'gen (1996; 1997) για την ιζηματομεταφορά (Μονιούδη κ.α., 2016). Για την εκτίμηση της ιζηματομεταφοράς, η παραλιακή διατομή χωρίζεται σε ζώνες (Μονιούδη κ.α., 2016, Εικόνα 16):

- ζώνη μετασχηματισμού στα ανοικτά της ζώνης θραύσης
- ζώνη απόσβεσης, το εξωτερικό όριο της οποίας x_B συμπίπτει με το σημείο θραύσης των κυματισμών
- ζώνη αναρρίχησης (swash zone). Η στερεομεταφορά λόγω κυματικής αναρρίχησης γίνεται μέγιστη στο κατώτερο όριο της ζώνης διαβροχής x_R , ενώ το ανώτερο όριο αναρρίχησης x_M συμπίπτει με τη θέση του μέγιστου ύψους αναρρίχησης πάνω από την αδιατάραχτη στάθμη του νερού.



Εικόνα 16: Η παραλιακή διατομή χωρισμένη σε ζώνες και η διακύμανση του ρυθμού στερεομεταφοράς κατά μήκος της διατομής (τροποποιημένο Μονιούδη κ.α., 2016).

Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, η στερεομεταφορά κατά μήκος της διατομής οφείλεται στα κύματα/ρεύματα (q_W) και στις διεργασίες λόγω της ροής στην αναρρίχηση (q_R) και θεωρείται ότι η στερεομεταφορά λόγω αναρρίχησης αποσβένεται προς τα ανοικτά και ότι δε διαχέεται πέρα από την ζώνη απόσβεσης. Ισχύουν (Μονιούδη κ.α., 2016):

- ζώνη διάθλασης των κυματισμών (μετασχηματισμού): $q_R = 0$ και $q = q_W$,
- ζώνη απόσβεσης: $q = q_W + q_R$ και
- ζώνη αναρρίχησης: $q_W = 0$ και $q = q_R$.

Τελευταίο στάδιο του μοντέλου είναι ο προσδιορισμός της νέας μορφολογίας του πυθμένα με χρήση της εξίσωσης διατήρησης του ιζήματος (Μονιούδη κ.α., 2016).

2.3 Πρόγνωση του κινδύνου διάβρωσης των παραλιών

Για την εκτίμηση της μακροχρόνιας υποχώρησης της ακτογραμμής λόγω της σχετικής ανόδου της θαλάσσιας στάθμης (RSLR) έγινε χρήση συστοιχίας στατικών (ή αναλυτικών) μοντέλων (κατά Bruun, Dean και Edelman). Τα στατικά μοντέλα εφαρμόστηκαν για τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5 και έτη αναφοράς το 2030, το 2050 και το 2100 με κυματικά δεδομένα που αναφέρονται σε ετήσια βάση (βλ. παράγραφο 2.1.2, Πίνακες 1 έως 6). Στις περιπτώσεις που ήταν διαθέσιμα δεδομένα κοκκομετρίας έγινε εφαρμογή και του δυναμικού (ή αριθμητικού) μοντέλου Leont'gen για την εκτίμηση της βραχυχρόνιας υποχώρησης λόγω επεισοδιακής ανόδου της στάθμης της θάλασσας (ΣΘ) κατά τη διάρκεια ενός μελλοντικού ακραίου συμβάντος (μετεωρολογική παλίρροια + κυματική ανύψωση, η_{ce}) κατά τα δύο κλιματικά σενάρια RCP4.5 και RCP8.5. Στο μοντέλο αυτό έγινε χρήση των κυματικών δεδομένων με έτος αναφοράς το 2030 και το 2050 και περίοδο επαναφοράς 10 έτη, 50 έτη και 100 έτη. Στην εφαρμογή των μοντέλων θεωρήθηκε αμελητέα και δε λήφθηκε υπόψη η παλίρροια (βλ. παράγραφο 2.1.2).

Τα αποτελέσματα της συστοιχίας των στατικών μοντέλων χρησιμοποιήθηκαν συνδυαστικά με τα αποτελέσματα του δυναμικού μοντέλου για να εκτιμηθεί η υποχώρηση της ακτογραμμής, λόγω

ακραίας θαλάσσιας στάθμης (ESL), που ορίζεται από την υπέρθεση των επεισοδιακών θαλάσσιων σταθμών στην προβλεπόμενη άνοδο της σχετικής (μέσης) θαλάσσιας στάθμης. Στην πράξη υπολογίστηκε το άθροισμα επεισοδιακής και μακροχρόνιας υποχώρησης της ακτογραμμής. Στην πραγματικότητα δεν είναι δυνατό να γνωρίζουμε πόσο θα έχει μεταβληθεί η παραλία μέχρι το εξεταζόμενο έτος αναφοράς, καθώς είναι άγνωστο το πλήθος και η ένταση των ακραίων φαινομένων που θα έχουν συμβεί μέχρι τότε και η επίδρασή τους στην υπό εξέταση διατομή και την ακτογραμμή γενικότερα. Με υπέρθεση του ακραίου φαινομένου στην μακροχρόνια υποχώρηση (αποτέλεσμα στατικών μοντέλων) γίνεται μια πιθανή εκτίμηση της μελλοντικής υποχώρησης υπό ακραία θαλάσσια στάθμη.

Στη συνέχεια τα αποτελέσματα της μακροχρόνιας υποχώρησης για τα έτη που εξετάστηκαν (μακροχρόνια υποχώρηση για τα 2030, 2050 και 2100) και της υποχώρησης υπό την ακραία θαλάσσια στάθμη συγκρίθηκαν με το αρχικό πλάτος της κάθε παραλίας ώστε να εκτιμηθούν πιθανές επιπτώσεις σε κτίρια και λοιπές υποδομές που βρίσκονται πίσω από την παραλία.

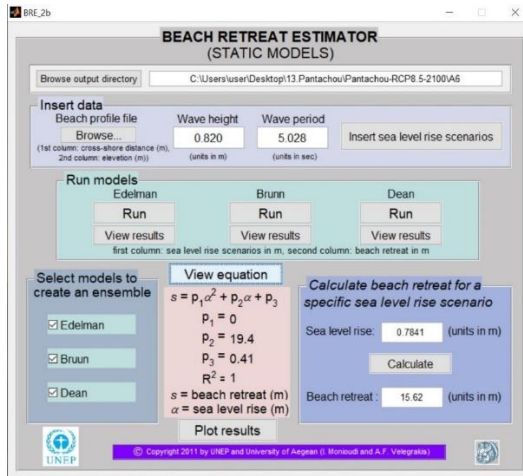
2.3.1. Λογισμικό – GUIs

Τα ανωτέρω μοντέλα ήταν προγραμματισμένα σε λογισμικό GUI (Graphical User Interface) με τη γλώσσα προγραμματισμού MATLAB (Velegarakis and Monioudi, 2014). Στην περίπτωση των στατικών μοντέλων το λογισμικό δίνει τη δυνατότητα συνεκτίμησης των αποτελεσμάτων των τριών μοντέλων και εξαγωγής ενός αποτελέσματος, το οποίο και προτιμήθηκε στην παρούσα μελέτη έναντι της επιλογής ενός εκ των τριών μοντέλων. Η τεχνική της χρήσης συστοιχίας μοντέλων αποτελεί συνήθη πρακτική, καθώς η ομαδοποίηση των μοντέλων δίνει τη δυνατότητα να καλυφθούν (εν μέρει) οι αδυναμίες του ενός μοντέλου από κάποιο άλλο (τα μοντέλα έχουν διαφορετική ευαισθησία στις διάφορες παραμέτρους) και ως εκ τούτου να βελτιωθούν οι εκτιμήσεις τους και να δοθούν «ισορροπημένες» προβλέψεις (Monioudi et al., 2015).

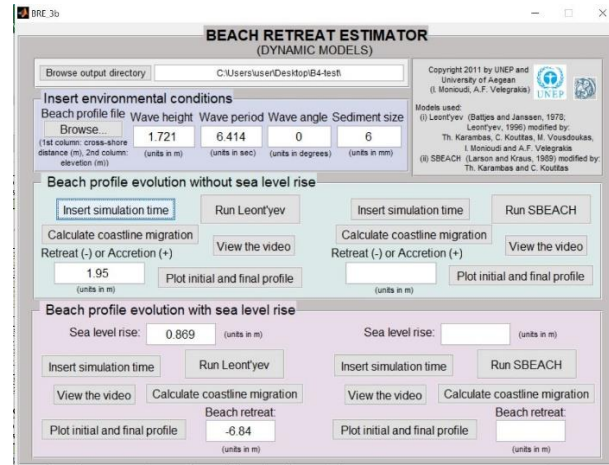
Για τη χρήση των μοντέλων σε περιβάλλον GUI, το προφίλ της ακτής εισήχθη σε μορφή txt αρχείου. Το αρχείο αυτό περιέχει δύο στήλες: η πρώτη αφορά χιλιομετρική απόσταση με το μηδέν (0) να ορίζεται στο ψηλότερο σημείο της παραλίας, ενώ στη δεύτερη καταγράφεται με θετικό πρόσημο το υψόμετρο των σημείων στην ξηρά μέχρι το ύψος των 10m και με αρνητικό το βάθος μέχρι τα -20m.

Στα αντίστοιχα πεδία του λογισμικού των στατικών μοντέλων εισήχθησαν με πληκτρολόγηση για κάθε εξεταζόμενο σενάριο (RCP 4.5 και RCP 8.5) και για κάθε χρονολογία αναφοράς το χαρακτηριστικό ύψος κύματος (H_s) σε μέτρα (m) και η αντίστοιχη περίοδος επαναφοράς (T_p) σε δευτερόλεπτα (sec) (Εικόνα 17). Σε πρώτη φάση έτρεξαν και τα τρία μοντέλα (Bruun, Edelman, Dean) με τις προεπιλεγμένες τιμές ανόδου της ΜΣΘ, δηλαδή από 0 έως 3m (Παράρτημα 3). Στη συνέχεια,

για τη συστοιχία των τριών μοντέλων και για συγκεκριμένη τιμή ανόδου της ΜΣΘ, που εισήχθη με πληκτρολόγηση υπολογίστηκε η υποχώρηση της ακτογραμμής. Τα αποτελέσματα της εφαρμογής των στατικών μοντέλων δίνονται στο επόμενο κεφάλαιο (Πίνακας 8).



Εικόνα 17: Λογισμικό εφαρμογής στατικών μοντέλων για διατομές φυσικού προφίλ – παράδειγμα εισαγωγής δεδομένων και εξαγωγής αποτελέσματος.



Εικόνα 18: Λογισμικό εφαρμογής δυναμικών μοντέλων για διατομές φυσικού προφίλ – παράδειγμα εισαγωγής δεδομένων και εξαγωγής αποτελέσματος.

Στο λογισμικό των δυναμικών μοντέλων (Εικόνα 18) εισήχθησαν με πληκτρολόγηση για κάθε περίπτωση που εξετάστηκε το χαρακτηριστικό ύψος κύματος (H_s) σε μέτρα (m), η αντίστοιχη περίοδος κορυφής φάσματος (T_p) σε δευτερόλεπτα (sec), η γωνία πρόσπτωσης του κυματισμού στη διατομή σε μοίρες και η διάσταση του κόκκου που αντιστοιχεί στη διατομή σε χιλιοστά.

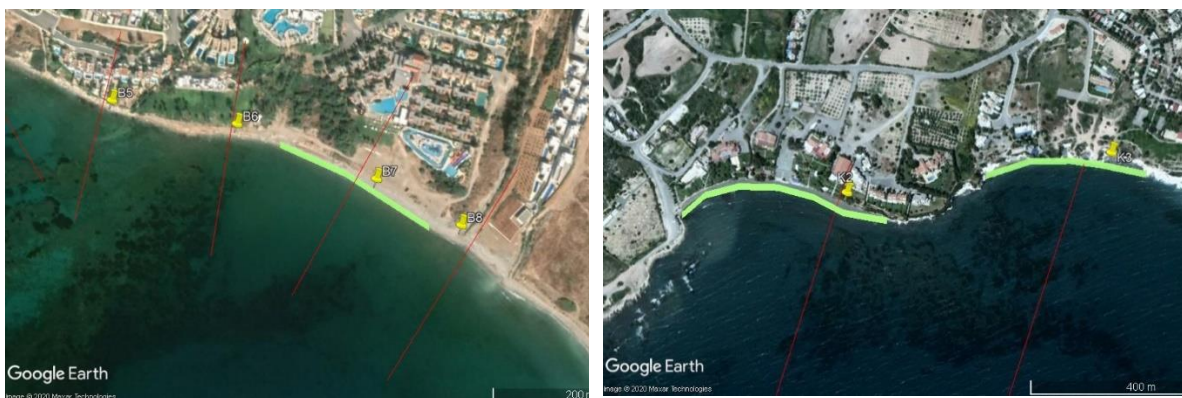
Στο λογισμικό GUI είναι προγραμματισμένα τα δυναμικά μοντέλα Leont'yev και SBEACH, τα οποία αξιολογήθηκαν από τους Monioudi et al. (2017) με φυσικά πειράματα τα οποία διεξήχθησαν στη μεγάλη Γερμανική δεξαμενή κυματισμών του Ανόβερου (GWK; Hanover, Germany). Η αξιολόγηση έδειξε ότι παρόλο που το μοντέλο SBEACH αναπαριστά καλύτερα το σχηματισμό υποθαλάσσιου υβώματος και υποθαλάσσιας κοιλότητας, το μοντέλο Leont'yev δίνει καλύτερες εκτιμήσεις της υποχώρησης της ακτογραμμής. Στην παρούσα μελέτη μας ενδιαφέρει περισσότερο η εκτίμηση της παράκτιας υποχώρησης από ότι η γενικότερη μεταβολή του παράκτιου προφίλ, οπότε ως πιο κατάλληλο κρίνεται το μοντέλο Leont'yev. Θα πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι τα μοντέλα δεν είναι το ίδιο αποτελεσματικά κάτω από όλες τις περιβαλλοντικές συνθήκες με αποτέλεσμα σε κάποιες περιοχές να ενδείκνυται η χρήση του ενός μοντέλου, ενώ σε άλλες περιοχές του άλλου. Αφού πραγματοποιήθηκαν δοκιμές για ορισμένες από τις διατομές και με τα δυο μοντέλα (Leont'yev και SBEACH) παρατηρήθηκε ότι το μοντέλο SBEACH παρουσίαζε αστάθειες. Ως εκ τούτου, επιλέχθηκε προς εφαρμογή μόνο το Leont'yev ως πιο «σταθερό» και αξιόπιστο.

Ο προεπιλεγμένος χρόνος προσομοίωσης (simulation time) ήταν τα 8000sec (ή 2,22 ώρες). Εντούτοις, αφού ελέγχθηκε η λειτουργικότητα του λογισμικού για μεγαλύτερο χρόνο προσομοίωσης, επιλέχθηκε χρόνος προσομοίωσης τα 18000 sec (ή 5 ώρες). Γενικά, όσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια του φαινομένου, τόσο δυσμενέστερο είναι το αποτέλεσμα της υποχώρησης της ακτογραμμής.

Αφού υπολογίστηκε η εξέλιξη της ακτογραμμής χωρίς άνοδο της θαλάσσιας στάθμης (με θετικό πρόσημο η πρόελαση και με αρνητικό η υποχώρηση) εισήχθη στο επόμενο πεδίο η τιμή της ΑΣΘ και υπολογίστηκε εκ νέου η εξέλιξη της ακτογραμμής (Παράρτημα 3). Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του δυναμικού μοντέλου δίνονται στο επόμενο κεφάλαιο (Πίνακες 12 και 13).

2.4 Αναπλήρωση ακτής

Για την τεχνητή αναπλήρωση ακτής επιλέχθηκαν παραλίες που είναι ευάλωτες ως προς τη διάβρωση και παρουσιάζουν κοινωνικό-οικονομικό ενδιαφέρον, κυρίως ως προς την αξιοποίησή τους για σκοπούς αναψυχής. Η περιοχή Ασκός, οι παραλίες Ακτή Κυβερνήτη και Κάλυμνος, η παραλία Παρασόλια, η παραλία όπου υπάρχει σήμερα αθλητική δραστηριότητα αετοσανίδας και η παραλία Πανταχού είναι ακτές που συγκεντρώνουν δραστηριότητες αναψυχής σχετιζόμενες άμεσα με την ύπαρξη παραλίας (Εικόνα 19α και 19β). Σημειώνεται ότι τα σενάρια που εξετάστηκαν αφορούν μόνο αναπλήρωση ακτής χωρίς την κατασκευή «σκληρών» έργων (για παράδειγμα αποσπασμένοι κυματοθραύστες, σύστημα προβόλων κάθετων στην ακτή κ.α.), τα οποία συνήθως συνοδεύουν τα έργα τεχνητής αναπλήρωσης και λειτουργούν υπέρ της προστασίας του ιζήματος από διάβρωση και του συνεχούς εμπλουτισμού της παραλίας με ίζημα από παράκτια ιζηματομεταφορά.



Εικόνα 19α: Παραλίες με ενδιαφέρον ως προς την τεχνητή αναπλήρωση (έντονη πράσινη γραμμή - Υπόβαθρο Δορυφορική Εικόνα Google Earth).
Αριστερά – Ασκός Πέγεια, δεξιά – Ακτή Κυβερνήτη και Παραλία Κάλυμνος.



**Εικόνα 19β: Παραλίες με ενδιαφέρον ως προς την τεχνητή αναπλήρωση (έντονη πράσινη γραμμή - Υπόβαθρο Δορυφορική Εικόνα Google Earth).
Αριστερά - παραλία Πανταχού, δεξιά – παραλία Παρασόλια και ακτή με αθλητικές δραστηριότητες αετοσανίδας.**

Η εκτίμηση του απαιτούμενου όγκου του υλικού αναπλήρωσης έγινε με τη μέθοδο των διατομών ισοροπίας EBP (Equilibrium beach profiles) (Dean, 2002, 2003 και Coastal Engineering Manual, 2002). Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει τις θαλάσσιες διεργασίες οι οποίες διαμορφώνουν τη διατομή της ακτογραμμής πριν και μετά την αναπλήρωση της ακτής σε συνδυασμό με τη χαρακτηριστική διάμετρο (d_{50}) κόκκου του ιζήματος. Η διάμετρος d_{50} του υλικού αναπλήρωσης επιλέχθηκε να είναι λίγο μεγαλύτερη από αυτή του υφιστάμενου ιζήματος της παραλίας, ώστε το νέο υλικό να έχει παρόμοιες ιδιότητες με το αρχικό, αλλά να είναι πιο ανθεκτικό στη διάβρωση από την κυματική δράση. Σύμφωνα με τη μέθοδο EBP, η επιλογή υλικού μεγαλύτερης διαμέτρου οδηγεί σε κατάσταση ισοροπίας με τεμνόμενα προφίλ (intersecting profiles).

Για την εφαρμογή της μεθόδου αρχικά αποφασίστηκε η επιθυμητή προέκταση (Δy_f) της παραλίας, ώστε να διατηρηθεί το αρχικό πλάτος της παραλίας κατά τη μακροχρόνια άνοδο της ΜΣΘ με έτος αναφοράς το 2030. Σε δεύτερη φάση εξετάστηκε η περίπτωση αναπλήρωσης σε μεγαλύτερο πλάτος ώστε να μην υπάρχει απώλεια παραλίας ακόμα και στο δυσμενέστερο επεισοδιακό φαινόμενο που αναφέρεται στο έτος 2030. Η επιλογή του έτους αναφοράς έγινε με τη λογική να εξασφαλιστεί η διατήρηση της παραλίας σε βραχυπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα που θα απαιτεί αντίστοιχα μικρότερο κόστος σε σχέση με ένα μακροχρόνιο σχεδιασμό. Εφόσον η τεχνητή αναπλήρωση είναι ένα μέτρο που συνήθως επαναλαμβάνεται ανά κάποια έτη ανάλογα με την απώλεια υλικού, ο μακροχρόνιος σχεδιασμός της είναι καλύτερο να επανεξεταστεί μελλοντικά στη βάση της συμπεριφοράς του υλικού που αναπληρώθηκε και της τοπογραφίας, αλλά και με νέα δεδομένα και προγνώσεις.

Στη συνέχεια, βάσει των κυματικών χαρακτηριστικών (H_s , T_p για τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5 με έτος αναφοράς το 2030), της κλίσης της ακτής, της σχετικής μακροχρόνιας ανόδου της θαλάσσιας στάθμης, της διαμέτρου d_{50} του υλικού της παραλίας, της επιλεγείσας διαμέτρου d_{50} του υλικού

αναπλήρωσης και του συνολικού μήκους της προς αναπλήρωση ακτής έγινε εκτίμηση του απαιτούμενου όγκου του υλικού αναπλήρωσης. Ενδεικτικά υπολογίστηκε το συνολικό κόστος για την κάθε περίπτωση με τιμή ανά m^3 τα €10 για το λεπτόκοκκο υλικό και €20 για το πιο χονδρόκοκκο. Εντούτοις, το κόστος του υλικού μπορεί να αυξηθεί αρκετά αν δεν εντοπιστεί σε κοντινή απόσταση υλικό κατάλληλης σύστασης και κοκκομετρίας από παράκτιες περιοχές με περίσσεια υλικού ή από τα ανοιχτά (π.χ. Hasiotis et al., 2020).

3. Αποτελέσματα

Από την αξιολόγηση των τοπογραφικών δεδομένων (Παράρτημα 1) προέκυψαν συνολικά 39 διατομές κατάλληλες για την εφαρμογή των στατικών μοντέλων για την εκτίμηση της μακροχρόνιας υποχώρησης της ακτογραμμής λόγω ανόδου της θαλάσσιας στάθμης. Από τις παραπάνω διατομές επιλέχθηκαν 22 για τις οποίες υπήρχαν αναλύσεις κοκκομετρίας και στις οποίες εφαρμόστηκε το δυναμικό μοντέλο για την εκτίμηση της επεισοδιακής ανόδου της θαλάσσιας στάθμης. Για κάθε διατομή έγινε μέτρηση του πλάτους του χερσαίου τμήματος αυτής, που αποτελεί το αρχικό πλάτος της παραλίας, με απεικόνιση των διατομών σε δορυφορικές εικόνες (Google Earth Pro). Στη συνέχεια εξετάστηκε η ύπαρξη υποδομών και μετρήθηκε η απόστασή τους από την ακτογραμμή, με σκοπό να εντοπιστούν οι διατομές στις οποίες η μακροχρόνια ή βραχυχρόνια υποχώρηση της ακτογραμμής είναι πιθανό να προκαλέσει υλικές ζημιές σε δημόσια ή ιδιωτική περιουσία (Πίνακας 7).

Πίνακας 7: Αρχικό πλάτος χερσαίου τμήματος παραλίας επί των διατομών και απόσταση υποδομών από την ακτογραμμή («απεριόριστο»: απουσία υποδομών για αρκετές εκατοντάδες μέτρα από την ακτογραμμή. Όπου η απόσταση ισούται με το αρχικό πλάτος εντοπίζονται υποδομές ακριβώς στο εσωτερικό όριο της παραλίας και δεν υπάρχει δυνατότητα υποχώρησης).

| Περιοχή | Διατομή | Αρχικό πλάτος (m) | Απόσταση υποδομών από ακτογραμμή (m) |
|---|---------|-------------------|--------------------------------------|
| Δήμος Πέγειας – Περιοχή Ασκός | B6 | 8.2 | 52.0 |
| | B7 | 13.5 | 38.5 |
| Κοινότητα Πεντακώμου – Παραλία Ακτή Κυβερνήτη, Παραλία Κάλυμνος | K2 | 13.6 | 22.0 |
| | K3 | 17.7 | απεριόριστο |
| Κοινότητα Ζυγίου – Ακτή δυτικά του αλιευτικού καταφυγίου | K16 | 2.1 | απεριόριστο |
| | K17 | 9.8 | απεριόριστο |
| | K18 | 6.2 | απεριόριστο |
| | K19 | 8.8 | 8.8 |
| Κοινότητα Ψεματισμένου Κοινότητα Μαρωνίου | K23 | 14.2 | απεριόριστο |
| | K25 | 14.9 | 56.8 |
| | K26 | 75.4 | απεριόριστο |
| Κοινότητα Αγίου Θεοδώρου | K36 | 12.5 | 12.5 |
| | K37 | 12.6 | 19.7 |
| | K38 | 17.2 | απεριόριστο |

| Περιοχή | Διατομή | Αρχικό πλάτος (m) | Απόσταση υποδομών από ακτογραμμή (m) |
|--|---------|-------------------|--------------------------------------|
| Κοινότητα Αλαμινού – Παραλία Λατούρος | K51 | 13.5 | απεριόριστο |
| | K52 | 78.6 | 78.6 |
| | K53 | 5.2 | 5.2 |
| Κοινότητα Μαζωτού – Ακτή από άκρα Πετούντα έως την εκβολή του ποταμού «Πούζης»: παραλίες Πετούντα και Μπούζι | K61 | 4.7 | απεριόριστο |
| | K62 | 30.4 | 30.4 |
| | K63 | 5.2 | απεριόριστο |
| | K64 | 7.0 | απεριόριστο |
| | K65 | 5.9 | απεριόριστο |
| | K66 | 20.0 | απεριόριστο |
| | K67 | 9.2 | απεριόριστο |
| K68 | 9.4 | απεριόριστο | |
| Κοινότητα Κιβισιλίου και Σοφτάδων-Κιτίου– Ακτή Κιβισιλίου από άκρο Πούζης και παραλιακό μέτωπο Σοφτάδων | K70 | 4.4 | απεριόριστο |
| | K71 | 13.1 | απεριόριστο |
| | K72 | 16.9 | απεριόριστο |
| | K73 | 17.2 | απεριόριστο |
| | K74 | 28.4 | 28.4 |
| | K75 | 17.8 | 17.8 |
| | K76 | 10.0 | απεριόριστο |
| K77 | 29.9 | 29.9 | |
| Δήμος Αγίας Νάπας – Παραλία Πανταχού και παραλία Γλυκί Νερό | A1 | 31.2 | 31.2 |
| | A2 | 34.4 | 48.9 |
| | A3 | 40.0 | 40.0 |
| | A4 | 38.4 | 67.0 |
| | A5 | 34.6 | 115.0 |
| | A6 | 52.4 | 103.0 |

3.1 Στατικά μοντέλα

Στον Πίνακα 8 παρατίθενται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή των στατικών μοντέλων για τις 39 διατομές που επιλέχθηκαν κατά την αξιολόγηση των διαθέσιμων δεδομένων, ενώ στον Πίνακα 9 στατιστικά μεγέθη που προέκυψαν από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Οι τιμές των πινάκων είναι όλες θετικές, καθώς τα στατικά μοντέλα υπολογίζουν μόνο υποχώρηση ακτογραμμής, σε αντίθεση με τα δυναμικά μοντέλα που μπορεί να δώσουν είτε υποχώρηση είτε πρόσχωση, με αρνητικό ή θετικό πρόσημο αντίστοιχα.

Πίνακας 8: Συνοπτική παρουσίαση αποτελεσμάτων υποχώρησης της ακτογραμμής κατά τη συστοιχία στατικών μοντέλων για τα σενάρια RCP 4.5 και RCP 8.5 και χρονολογίες αναφοράς 2030, 2050 και 2100.

| Περιοχή | Δια- τομή | α/α | RCP4.5 | | | RCP8.5 | | |
|---|--------------|-----|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
| | | | 2030 | 2050 | 2100 | 2030 | 2050 | 2100 |
| Δήμος Πέγειας – Περιοχή Ασκός | B6 | 1 | 2.55 | 4.2 | 8.69 | 2.73 | 5.18 | 13.62 |
| | B7 | 2 | 1.91 | 3.19 | 6.55 | 2.05 | 3.92 | 10.26 |
| Κοινότητα Πεντακώμου – Ακτή Κυβερνήτη, Παραλία Κάλυμνος | K2 | 3 | 5.71 | 9.35 | 19.67 | 6.16 | 11.68 | 31.18 |
| | K3 | 4 | 1.78 | 2.91 | 6.12 | 1.91 | 3.64 | 9.7 |
| Κοινότητα Ζυγίου – Ακτή δυτικά του αλιευτικού καταφυγίου | K16 | 5 | 3.06 | 5.12 | 10.92 | 3.31 | 6.37 | 17.23 |
| | K17 | 6 | 3.93 | 6.62 | 14.1 | 4.27 | 8.23 | 22.27 |
| | K18 | 7 | 0.07 | 0.11 | 0.24 | 0.07 | 0.14 | 0.38 |
| | K19 | 8 | 3.87 | 6.42 | 13.41 | 4.2 | 8.14 | 21.58 |
| Κοινότητα Ψεματισμένου Κοινότητα Μαρωνίου | K23 | 9 | 2.68 | 4.37 | 9.1 | 2.85 | 5.44 | 14.4 |
| | K25 | 10 | 3.2 | 5.29 | 11.09 | 3.44 | 6.59 | 17.66 |
| | K26 | 11 | 5.29 | 8.74 | 18.43 | 5.74 | 10.97 | 29.46 |
| Κοινότητα Αγίου Θεοδώρου | K36 | 12 | 4.3 | 7.04 | 14.69 | 4.63 | 8.79 | 23.38 |
| | K37 | 13 | 3.47 | 5.7 | 11.83 | 3.7 | 7.07 | 18.75 |
| | K38 | 14 | 3.75 | 6.24 | 13.13 | 4.03 | 7.79 | 20.93 |
| Κοινότητα Αλαμινού – Παραλία Λατούρος | K51 | 15 | 3.76 | 6.7 | 13.39 | 4.2 | 7.78 | 21.78 |
| | K52 | 16 | 2.88 | 4.94 | 11.08 | 3.12 | 6.43 | 17.69 |
| | K53 | 17 | 3.96 | 6.76 | 15.32 | 4.28 | 8.9 | 24.35 |
| Κοινότητα Μαζωτού – Ακτή από άκρα Πετούντα έως την εκβολή του ποταμού «Πούζης»: παραλίες Πετούντα και Μπούζι | K61 | 18 | 13.75 | 22.68 | 47.78 | 14.88 | 28.36 | 75.4 |
| | K62 | 19 | 6.76 | 11.12 | 23.58 | 7.32 | 13.98 | 37.6 |
| | K63 | 20 | 5.9 | 9.73 | 20.56 | 6.39 | 12.19 | 32.52 |
| | K64 | 21 | 6.52 | 10.26 | 22.72 | 7.06 | 13.5 | 36.69 |
| | K65 | 22 | 7.16 | 11.74 | 25.08 | 7.75 | 14.87 | 40.15 |
| | K66 | 23 | 5.29 | 8.52 | 18.5 | 5.7 | 10.98 | 30.39 |
| | K67 | 24 | 4.39 | 7.25 | 15.47 | 4.75 | 9.15 | 24.69 |
| | K68 | 25 | 4.11 | 6.76 | 14.28 | 4.45 | 8.48 | 22.68 |
| Κοινότητα Κιβισιλίου και Σοφτάδων-Κιτίου– Ακτή Κιβισιλίου από άκρο Πούζης και παραλιακό μέτωπο Σοφτάδων | K70 | 26 | 7.05 | 11.59 | 24.4 | 7.64 | 14.5 | 38.71 |
| | K71 | 27 | 7.49 | 12.38 | 25.93 | 8.11 | 15.4 | 40.78 |
| | K72 | 28 | 11.75 | 19.73 | 42.19 | 12.77 | 24.82 | 97.05 |
| | K73 | 29 | 12.02 | 19.88 | 41.68 | 13.04 | 16.8 | 66.11 |
| | K74 | 30 | 11.94 | 19.83 | 41.85 | 12.95 | 24.91 | 66.51 |
| | K75 | 31 | 4.14 | 6.82 | 14.43 | 4.48 | 8.52 | 22.95 |
| | K76 | 32 | 6.03 | 9.86 | 20.71 | 6.52 | 12.32 | 32.84 |
| | K77 | 33 | 5.66 | 9.37 | 19.8 | 6.13 | 11.76 | 31.47 |
| Δήμος Αγίας Νάπας – Παραλία Πανταχού και παραλία Γλυκί Νερό | A1 | 34 | 19.18 | 31.56 | 67.88 | 20.51 | 40.45 | 110.4 |
| | A2 | 35 | 10.33 | 17.17 | 36.74 | 11.27 | 21.86 | 59.39 |
| | A3 | 36 | 7.7 | 12.77 | 27.37 | 8.42 | 16.28 | 44.3 |
| | A4 | 37 | 3.71 | 6.16 | 13.16 | 4.05 | 7.84 | 21.25 |
| | A5 | 38 | 3.57 | 5.92 | 12.64 | 3.9 | 7.53 | 20.41 |
| | A6 | 39 | 2.72 | 4.52 | 9.67 | 2.97 | 5.75 | 15.62 |

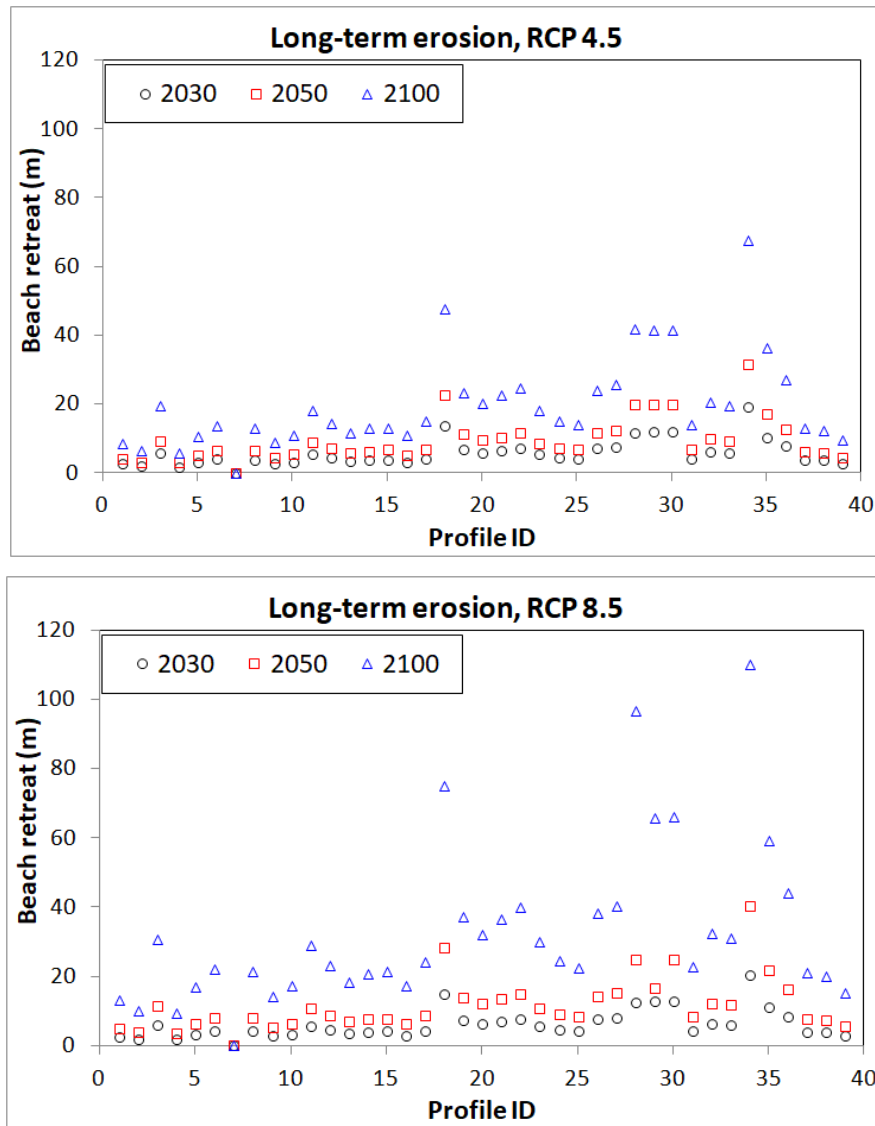
Οι μέγιστες και οι ελάχιστες υποχωρήσεις προέκυψαν για τα δυο εξεταζόμενα σενάρια (RCP 4.5 και RCP 8.5), για όλα τα έτη αναφοράς στις διατομές A1 και K18, αντίστοιχα (Πίνακας 8 και Πίνακας 9). Συγκεκριμένα, για το σενάριο RCP4.5 υπολογίστηκε ότι η μέγιστη υποχώρηση στη διατομή A1 κυμαίνεται από 19.18m (2030) έως 67.88m (2100), ενώ η ελάχιστη υποχώρηση για τη διατομή K18 είναι 0.07 έως 0.24m. Για το σενάριο RCP 8.5 η υποχώρηση της διατομής A1 κυμαίνεται από 20.51 έως 110.4m (για τα έτη 2030 και 2100, αντίστοιχα), ενώ η υποχώρηση της διατομής K18 είναι από 0.07 έως 0.38m, αντίστοιχα.

Από τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων των στατικών μοντέλων (Πίνακας 9) προκύπτει η μέση τιμή υποχώρησης και η διάμεσος για το κάθε έτος αναφοράς και το κάθε σενάριο. Σε όλες τις περιπτώσεις η μέση τιμή υπερβαίνει τη διάμεσο και συγκεκριμένα από το σύνολο των εξεταζόμενων διατομών ένα ποσοστό 62-69% έδωσαν υποχώρηση μικρότερη της μέσης τιμής.

Πίνακας 9: Στατιστικά μεγέθη των αποτελεσμάτων των στατικών μοντέλων.

| Στατιστικό μέγεθος | RCP4.5 | | | RCP8.5 | | |
|---------------------------------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|
| | 2030 | 2050 | 2100 | 2030 | 2050 | 2100 |
| Μέση τιμή | 5.73 | 9.47 | 20.11 | 6.20 | 11.73 | 32.89 |
| Διάμεσος | 4.30 | 7.04 | 15.32 | 4.63 | 8.90 | 24.35 |
| Μέγιστο | 19.18 | 31.56 | 67.88 | 20.51 | 40.45 | 110.40 |
| Ελάχιστο | 0.07 | 0.11 | 0.24 | 0.07 | 0.14 | 0.38 |
| Τιμή >Μέσης τιμής (%) | 36% | 36% | 36% | 36% | 38% | 31% |
| Τιμή <Μέσης τιμής (%) | 64% | 64% | 64% | 64% | 62% | 69% |

Οι παραπάνω εκτιμήσεις υποχώρησης απεικονίζονται ευδιάκριτα και στα σχετικά διαγράμματα διασποράς (Εικόνα 20) ξεχωριστά για κάθε σενάριο. Από την παρατήρηση των διαγραμμάτων, προκύπτει μια αυξητική τάση (αναμενόμενη) στην υπολογιζόμενη υποχώρηση της ακτογραμμής με την αύξηση του έτους αναφοράς, αφού τα κυματικά δεδομένα και η εκτιμώμενη άνοδος της θαλάσσιας στάθμης που εισήχθησαν στα μοντέλα είναι δυσμενέστερα για το 2100 σε σχέση με τα δύο προηγούμενα έτη αναφοράς που εξετάστηκαν. Η παρατήρηση αυτή ισχύει και για τις τριάντα εννέα (39) διατομές που εξετάστηκαν.



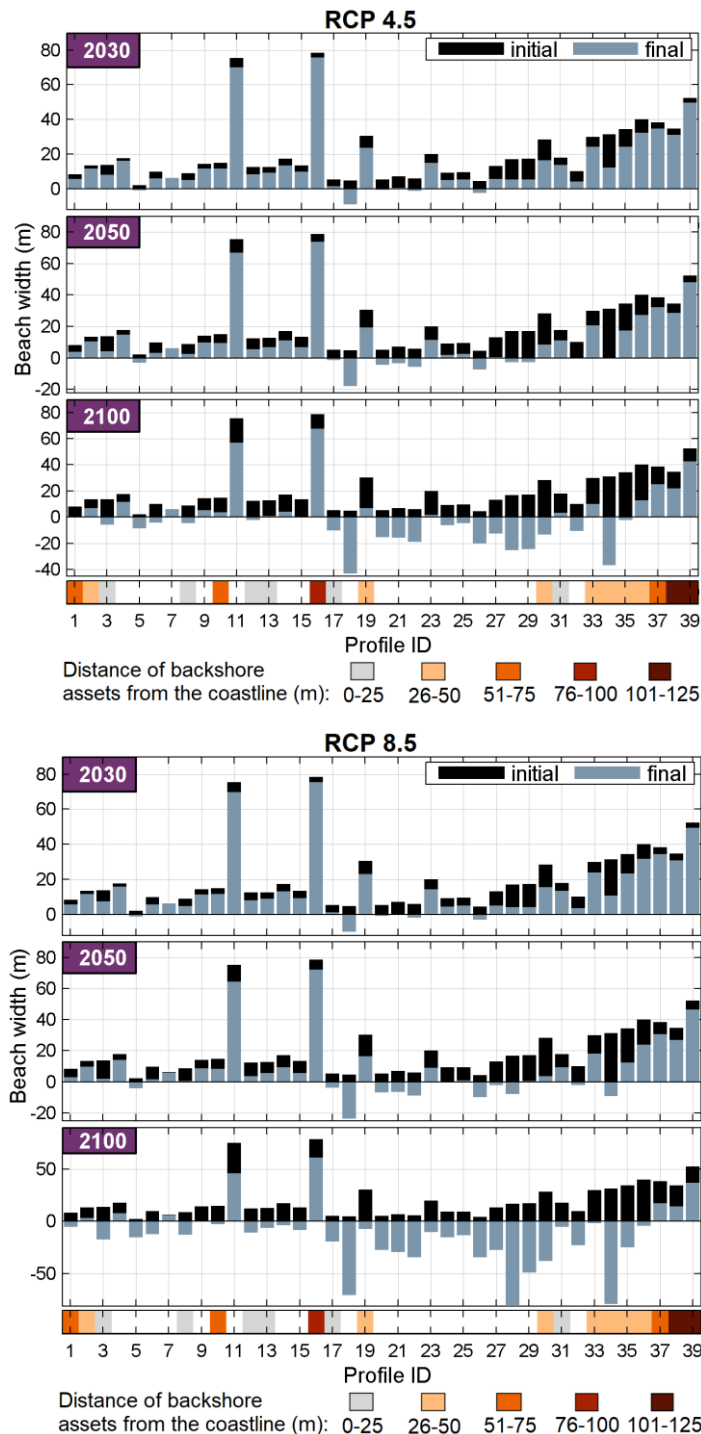
Εικόνα 20: Διαγράμματα υποχώρησης της ακτογραμμής (beach retreat) σε μέτρα (m) σύμφωνα με τα στατικά μοντέλα για όλες τις διατομές σύμφωνα με τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5 και έτη αναφοράς 2030, 2050 και 2100. Στον οριζόντιο άξονα η αρίθμηση των διατομών ακολουθεί τη σειρά που εμφανίζονται στον Πίνακα 8 (αύξοντες αριθμοί από 1 έως 39 αντιστοιχούν στις B6, B7 ...A5, A6).

Οι τιμές που υπολογίστηκαν συγκρίθηκαν με το αρχικό πλάτος των παραλιών και την απόσταση που εντοπίζονται υποδομές όπισθεν της παραλίας επί της διατομής (Πίνακας 7) και έγινε υπολογισμός του τελικού πλάτους των παραλιών ή της υποχώρησης της παραλίας πέραν του αρχικού της πλάτους όπου αυτό είναι δυνατό (αρνητικός αριθμός) (Πίνακας 10). Τέλος, στις περιπτώσεις που η υποχώρηση φτάνει τις υποδομές, το τελικό πλάτος της παραλίας αναγράφεται ως μηδενικό (0), δηλώνοντας την πλήρη απώλεια της παραλίας.

Πίνακας 10: Τελικά πλάτη διατομών σε μέτρα: θετικός αριθμός όπου η υποχώρηση είναι μικρότερη του αρχικού πλάτους, 0 όπου η υποχώρηση φτάνει και επηρεάζει υποδομές που υφίστανται όπισθεν της παραλίας και αρνητικός αριθμός όπου η υποχώρηση υπερβαίνει το αρχικό πλάτος, αλλά υπάρχει η δυνατότητα υποχώρησης της παραλίας (δεν υπάρχουν υποδομές σε απόσταση ίση ή μικρότερη της υπολογισθείσας υποχώρησης).

| Διατομή | α/α | Αρχικό πλάτος | Τελικά πλάτη | | | | | |
|---------|-----|---------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | | RCP4.5 2030 | RCP4.5 2050 | RCP4.5 2100 | RCP8.5 2030 | RCP8.5 2050 | RCP8.5 2100 |
| B6 | 1 | 8.2 | 5.65 | 4.00 | -0.49 | 5.47 | 3.02 | -5.42 |
| B7 | 2 | 13.5 | 11.59 | 10.31 | 6.95 | 11.45 | 9.58 | 3.24 |
| K2 | 3 | 13.6 | 7.89 | 4.25 | -6.07 | 7.44 | 1.92 | 0 |
| K3 | 4 | 17.7 | 15.92 | 14.79 | 11.58 | 15.79 | 14.06 | 8.00 |
| K16 | 5 | 2.1 | -0.96 | -3.02 | -8.82 | -1.21 | -4.27 | -15.13 |
| K17 | 6 | 9.8 | 5.87 | 3.18 | -4.30 | 5.53 | 1.57 | -12.47 |
| K18 | 7 | 6.2 | 6.13 | 6.09 | 5.96 | 6.13 | 6.06 | 5.82 |
| K19 | 8 | 8.8 | 4.93 | 2.38 | 0 | 4.60 | 0.66 | 0 |
| K23 | 9 | 14.2 | 11.52 | 9.83 | 5.10 | 11.35 | 8.76 | -0.20 |
| K25 | 10 | 14.9 | 11.70 | 9.61 | 3.81 | 11.46 | 8.31 | -2.76 |
| K26 | 11 | 75.4 | 70.11 | 66.66 | 56.97 | 69.66 | 64.43 | 45.94 |
| K36 | 12 | 12.5 | 8.20 | 5.46 | 0 | 7.87 | 3.71 | 0 |
| K37 | 13 | 12.6 | 9.08 | 6.85 | 0.72 | 8.85 | 5.48 | -6.20 |
| K38 | 14 | 17.2 | 13.45 | 10.96 | 4.07 | 13.17 | 9.41 | -3.73 |
| K51 | 15 | 13.5 | 9.74 | 6.80 | 0.11 | 9.30 | 5.72 | -8.28 |
| K52 | 16 | 78.6 | 75.72 | 73.66 | 67.52 | 75.48 | 72.17 | 60.91 |
| K53 | 17 | 5.2 | 1.24 | 0 | 0 | 0.92 | 0 | 0 |
| K61 | 18 | 4.7 | -9.05 | -17.98 | -43.08 | -10.18 | -23.66 | -70.70 |
| K62 | 19 | 30.4 | 23.64 | 19.28 | 6.82 | 23.08 | 16.42 | 0 |
| K63 | 20 | 5.2 | -0.70 | -4.53 | -15.36 | -1.19 | -6.99 | -27.32 |
| K64 | 21 | 7.0 | 0.48 | -3.26 | -15.72 | -0.06 | -6.50 | -29.69 |
| K65 | 22 | 5.9 | -1.26 | -5.84 | -19.18 | -1.85 | -8.97 | -34.25 |
| K66 | 23 | 20.0 | 14.71 | 11.48 | 1.50 | 14.30 | 9.02 | -10.39 |
| K67 | 24 | 9.2 | 4.81 | 1.95 | -6.27 | 4.45 | 0.05 | -15.49 |
| K68 | 25 | 9.4 | 5.29 | 2.64 | -4.88 | 4.95 | 0.92 | -13.28 |
| K70 | 26 | 4.4 | -2.65 | -7.19 | -20.00 | -3.24 | -10.10 | -34.31 |
| K71 | 27 | 13.1 | 5.61 | 0.72 | -12.83 | 4.99 | -2.30 | -27.68 |
| K72 | 28 | 16.9 | 5.15 | -2.83 | -25.29 | 4.13 | -7.92 | -80.15 |
| K73 | 29 | 17.2 | 5.18 | -2.68 | -24.48 | 4.16 | 0.40 | -48.91 |
| K74 | 30 | 28.4 | 16.46 | 8.57 | 0 | 15.45 | 3.49 | 0 |
| K75 | 31 | 17.8 | 13.66 | 10.98 | 3.37 | 13.32 | 9.28 | 0 |
| K76 | 32 | 10.0 | 3.97 | 0.14 | -10.71 | 3.48 | -2.32 | -22.84 |
| K77 | 33 | 29.9 | 24.24 | 20.53 | 10.10 | 23.77 | 18.14 | 0 |
| A1 | 34 | 31.2 | 12.02 | 0 | 0 | 10.69 | 0 | 0 |
| A2 | 35 | 34.4 | 24.07 | 17.23 | -2.34 | 23.13 | 12.54 | 0 |
| A3 | 36 | 40.0 | 32.30 | 27.23 | 12.63 | 31.58 | 23.72 | 0 |
| A4 | 37 | 38.4 | 34.69 | 32.24 | 25.24 | 34.35 | 30.56 | 17.15 |
| A5 | 38 | 34.6 | 31.03 | 28.68 | 21.96 | 30.70 | 27.07 | 14.19 |
| A6 | 39 | 52.4 | 49.68 | 47.88 | 42.73 | 49.43 | 46.65 | 36.78 |

Στην εικόνα 21 απεικονίζονται διαγραμματικά οι μεταβολές και τα τελικά πλάτη των διατομών λόγω της μακροχρόνιας ανόδου της θαλάσσιας στάθμης.



Εικόνα 21: Διαγράμματα εξέλιξης του πλάτους των διατομών υπό τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5 και έτη αναφοράς 2030, 2050 και 2100. Στον οριζόντιο άξονα η αρίθμηση των διατομών ακολουθεί τη σειρά που εμφανίζονται στον Πίνακα 10. Συγκεκριμένα απεικονίζονται τα εξής: (i) το αρχικό μέγιστο πλάτος των παραλιών όλων των διατομών (από $Y=0$ μέχρι τη μέγιστη τιμή που φτάνει το μαύρο χρώμα, δηλ. το συνολικό ύψος της μπάρας), (ii) το τελικό πλάτος των παραλιών εξαιτίας της παραλιακής οπισθοχώρησης (από $Y=0$ μέχρι και το μπλε χρώμα). Τελικά πλάτη < 0 υποδηλώνουν παραλίες οι οποίες θα οπισθοχωρήσουν (θα χαθούν ή θα μετατοπιστούν προς την ξηρά) ή θα κατακλυστούν όσο είναι το μέγιστο πλάτος τους. Επίσης απεικονίζεται η απόσταση των υποδομών (όπου υπάρχουν) από την ακτογραμμή.

Από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων προκύπτει ότι η υποχώρηση της ακτογραμμής που δίνουν τα μοντέλα δεν περιορίζεται από το εισαγόμενο μήκος του χερσαίου τμήματός της, δηλαδή του τμήματος από την ακτογραμμή έως το τέλος της παραλίας. Στις περιπτώσεις που η υποχώρηση που προέκυψε υπερβαίνει το πλάτος της παραλίας που έχει εισαχθεί στα μοντέλα, έγινε σύγκριση με το αρχικό πλάτος των διατομών και την ύπαρξη υποδομών (Πίνακας 10).

Στην περίπτωση που το εσωτερικό όριο της παραλίας συμπίπτει με τεχνικό έργο, όπως δρόμος ή κτίσμα (Εικόνα 22), θεωρείται ότι η υποχώρηση της ακτής θα σταματήσει στο όριο του έργου. Φυσικά αυτή η υπόθεση δεν είναι απόλυτα ακριβής, καθώς δεν είναι λίγες οι περιπτώσεις που παραλιακοί δρόμοι ή άλλα κτίσματα έχουν υποστεί φθορές ή έχουν καταστραφεί ολοκληρωτικά από την κυματική δράση, ιδίως εάν δε διαθέτουν την κατάλληλη θωράκιση.

Στην περίπτωση που το τέλος της παραλίας οριοθετείται από αλλαγή του φυσικού εδάφους, δηλαδή η αμμώδης ακτή αντικαθίσταται από υλικό γαιώδους ή βραχώδους σύστασης (Εικόνα 23), αναμένεται και πάλι να αλλάξει ο ρυθμός της υπολογιζόμενης διάβρωσης. Συνεπώς, η εφαρμογή των στατικών μοντέλων, τα οποία έχουν σχεδιαστεί για αμμώδεις ακτές, δεν είναι ακριβής. Στις περιπτώσεις αυτές, ακόμα κι αν θεωρηθεί ότι δε θα ληφθεί κάποια προσαρμοστική δράση ώστε να εμποδιστεί η διάβρωση, δεν μπορεί να είναι σαφής η εξέλιξη της ακτογραμμής κάτω από το εξεταζόμενο κάθε φορά σενάριο.



Εικόνα 22: Ακτή δυτικά του αλιευτικού καταφυγίου, Κοινότητα Ζυγίου - το τέλος της αμμώδους παραλίας οριοθετείται από περίφραξη τουριστικής εγκατάστασης (Πηγή: MARNET ATE, 2019).



Εικόνα 23: Ακτή Κυβερνήτη, Κοινότητα Πεντακώμου - το τέλος της αμμώδους παραλίας οριοθετείται από φυσικό γαιώδες πρανές με βλάστηση (Πηγή: MARNET ATE, 2019).

Συνοπτικά, οι παραλίες που υποχωρούν πέραν του αρχικού τους πλάτους είναι (βλ. Εικόνες 24α και 24β):

- RCP 4.5

- Έτος 2030: Ακτή δυτικά του αλιευτικού καταφυγίου Ζυγίου (Κ16), Παραλία Πετούντας και παραλία Μπούζι, Κοινότητα Μαζωτού (Κ61, Κ63, Κ65), Ακτή Κιβισιλίου (Κ70)– υπάρχει η δυνατότητα υποχώρησης της παραλίας
- Έτος 2050: Ακτή δυτικά του αλιευτικού καταφυγίου Ζυγίου (Κ16), Παραλία Πετούντας και παραλία Μπούζι, Κοινότητα Μαζωτού (Κ61, Κ63 - Κ65), Ακτή Κιβισιλίου και παραλιακό μέτωπο Σοφτάδων (Κ70, Κ72, Κ73) – υπάρχει η δυνατότητα υποχώρησης της παραλίας
 - Παραλία Λατούρος (Κ53), Παραλία Πανταχού (Α1) – απώλεια παραλίας και μη υποχώρηση λόγω ύπαρξης υποδομών
- Έτος 2100: Περιοχή Ασκός Πέγεια (Β6), Ακτή Κυβερνήτη (Κ2), Ακτή δυτικά του αλιευτικού καταφυγίου Ζυγίου (Κ16, Κ17), Παραλία Πετούντας και παραλία Μπούζι, Κοινότητα Μαζωτού (Κ61, Κ63 - Κ65, Κ67, Κ68), Ακτή Κιβισιλίου και παραλιακό μέτωπο Σοφτάδων (Κ70 - Κ73, Κ76), Παραλία Πανταχού (Α2) – υπάρχει η δυνατότητα υποχώρησης της παραλίας
 - Ακτή δυτικά του αλιευτικού καταφυγίου Ζυγίου (Κ19), Ακτή Κοινότητας Αγίου Θεοδώρου (Κ36), Παραλία Λατούρος (Κ53), Παραλιακό μέτωπο Σοφτάδων (Κ74), Παραλία Πανταχού (Α1) – απώλεια παραλίας και μη υποχώρηση λόγω ύπαρξης υποδομών
- RCP 8.5
 - Έτος 2030: Ακτή δυτικά του αλιευτικού καταφυγίου Ζυγίου (Κ16), Παραλία Πετούντας και παραλία Μπούζι, Κοινότητα Μαζωτού (Κ61, Κ63 - Κ65), Ακτή Κιβισιλίου (Κ70)– υπάρχει η δυνατότητα υποχώρησης της παραλίας
 - Έτος 2050: Ακτή δυτικά του αλιευτικού καταφυγίου Ζυγίου (Κ16), Παραλία Πετούντας και παραλία Μπούζι, Κοινότητα Μαζωτού (Κ61, Κ63 - Κ65), Ακτή Κιβισιλίου και παραλιακό μέτωπο Σοφτάδων (Κ70- Κ72, Κ76) – υπάρχει η δυνατότητα υποχώρησης της παραλίας
 - Παραλία Λατούρος (Κ53), Παραλία Πανταχού (Α1) – απώλεια παραλίας και μη υποχώρηση λόγω ύπαρξης υποδομών
 - Έτος 2100: Περιοχή Ασκός Πέγεια (Β6), Ακτή δυτικά του αλιευτικού καταφυγίου Ζυγίου (Κ16, Κ17), Ακτή Κοινότητας Ψεματισμένου (Κ23), Ακτή Κοινότητας Μαρωνίου (Κ25), Ακτή Κοινότητας Αγίου Θεοδώρου (Κ37, Κ38), Παραλία Λατούρος (Κ51), Παραλία Πετούντας και παραλία Μπούζι, Κοινότητα Μαζωτού (Κ61, Κ63 - Κ68), Ακτή Κιβισιλίου και παραλιακό μέτωπο Σοφτάδων (Κ70 - Κ73, Κ76), Παραλία Πανταχού (Α2) – υπάρχει η δυνατότητα υποχώρησης της παραλίας

Ακτή Κυβερνήτη (Κ2), Ακτή δυτικά του αλιευτικού καταφυγίου Ζυγίου (Κ19), Ακτή Κοινότητας Αγίου Θεοδώρου (Κ36), Παραλία Λατούρος (Κ53), Ακτή Κοινότητας Μαζωτού (Κ62), Παραλιακό μέτωπο Σοφτάδων (Κ74, Κ75, Κ77), Παραλία Πανταχού (Α1 – Α3) – απώλεια παραλίας και μη υποχώρηση λόγω ύπαρξης υποδομών



Εικόνα 24α: Μακροχρόνια υποχώρηση παραλιών πέραν του αρχικού πλάτους υπό τα δύο κλιματικά σενάρια και έτη αναφοράς 2030 και 2050



Εικόνα 24β: Μακροχρόνια υποχώρηση πέραν του αρχικού πλάτους υπό τα δύο κλιματικά σενάρια και έτος αναφοράς 2100

Τέλος, στον Πίνακα 11 παρουσιάζονται ορισμένα συγκεντρωτικά στοιχεία της ανάλυσης για τα στατικά μοντέλα. Για κάθε σενάριο και έτος αναφοράς παρουσιάζεται το εύρος της ανόδου της ΜΣΘ, το εύρος της μακροχρόνιας υποχώρησης όπως υπολογίστηκε από τη συστοιχία των στατικών μοντέλων, το ποσοστό διατομών που αναμένεται να εμφανίσουν υποχώρηση μέχρι το 50% του αρχικού τους πλάτους, το ποσοστό των διατομών με υποχώρηση ίση ή μεγαλύτερη από το αρχικό

τους πλάτος και τέλος ο αριθμός και το αντίστοιχο ποσοστό των διατομών με υποδομές που επηρεάζονται από την υποχώρηση. Στο ποσοστό των διατομών με υποχώρηση ίση ή μεγαλύτερη από το αρχικό τους πλάτος συγκαταλέγονται τόσο οι διατομές με δυνατότητα υποχώρησης όσο και οι περιπτώσεις των διατομών που η υποχώρηση φτάνει και επηρεάζει τις υποδομές.

Πίνακας 11: Συγκεντρωτικά στοιχεία από τη μακροχρόνια υποχώρηση της ακτογραμμής: Εύρος άνοδου της θαλάσσιας στάθμης για κάθε σενάριο, εύρος υποχώρησης ακτής όπως υπολογίστηκε από τη συστοιχία των στατικών μοντέλων, ποσοστό διατομών που αναμένεται να εμφανίσουν υποχώρηση μέχρι το 50% του αρχικού τους πλάτους, το ποσοστό των διατομών με υποχώρηση ίση ή μεγαλύτερη από το αρχικό τους πλάτος και τέλος ο αριθμός και το αντίστοιχο ποσοστό των διατομών με υποδομές που επηρεάζονται από την υποχώρηση.

| Σενάριο RCP | Στάθμη Θάλασσας | | | Εύρος Υποχώρησης (m) | Υποχώρηση έως το 50% του αρχικού πλάτους (%) | Υποχώρηση κατά 100% της παραλίας | Διατομές με επηρεαζόμενες υποδομές | |
|-------------|-----------------|---------|---------|----------------------|--|----------------------------------|------------------------------------|-------------|
| | Έτος αναφοράς | ΑΣΘ (m) | | | | | Αριθμός | Ποσοστό (%) |
| 4.5 | 2030 | 0.119 | - 0.128 | 0.07 - 19.18 | 69.2% | 12.8% | 0 | 0.0% |
| | 2050 | 0.212 | - 0.231 | 0.11 - 31.56 | 48.7% | 25.6% | 2 | 5.1% |
| | 2100 | 0.477 | - 0.515 | 0.24 - 67.88 | 20.5% | 53.8% | 5 | 12.8% |
| 8.5 | 2030 | 0.131 | - 0.141 | 0.07 - 20.51 | 66.7% | 15.4% | 0 | 0.0% |
| | 2050 | 0.275 | - 0.293 | 0.14 - 40.45 | 38.5% | 28.2% | 2 | 5.1% |
| | 2100 | 0.784 | - 0.827 | 0.38 - 110.4 | 10.3% | 79.5% | 11 | 28.2% |

Σύμφωνα με τις προβλέψεις των στατικών μοντέλων για τη μακροχρόνια υποχώρηση της ακτογραμμής και το σενάριο RCP4.5 (Πίνακας 11), άνοδος της θαλάσσιας στάθμης κατά 0.119-0.128m (2030) δίνει παραλιακές οπισθοχωρήσεις κατά 0.07 – 19.8 m, άνοδος κατά 0.212 – 0.231m (2050) θα προκαλέσει οπισθοχωρήσεις κατά 0.11 – 31.56 m, ενώ άνοδος κατά 0.477 – 0.515m (2100) θα είναι υπεύθυνη για οπισθοχωρήσεις κατά 0.24 - 67.88m. Αντίστοιχα, για το σενάριο RCP8.5, άνοδος της μέσης θαλάσσιας στάθμης κατά 0.131 – 0.141m (2030) θα προκαλέσει παραλιακές οπισθοχωρήσεις κατά 0.07 – 20.51m, άνοδος κατά 0.275 – 0.293m (2050) δίνει οπισθοχωρήσεις κατά 0.14 – 40.45 m και άνοδος κατά 0.784 – 0.827 m (2100) θα προκαλέσει οπισθοχωρήσεις κατά 0.38 – 100.4m. Τα μεγάλα αυτά εύρη οπισθοχώρησης αντανακλούν τη διαφορετική τοπογραφία και συνεπώς μεταβολές της παράκτιας κλίσης που επίσης μπορεί να σχετίζονται με απόθεση ποικίλης κοκκομετρικής σύστασης ιζήματα, καθώς και τις κυματικές συνθήκες των παραλιών που εξετάστηκαν.

Όσον αφορά την υποχώρηση των εξεταζόμενων διατομών υπό το RCP4.5, το 2030 εκτιμήθηκε ότι 69% των περιπτώσεων θα έχουν υποχωρήσει μέχρι το 50% του αρχικού πλάτους και μόλις το 13% θα έχει υποχωρήσει στο 100%, ενώ δεν επηρεάζονται καθόλου υποδομές όπισθεν των παραλιών. Το 2050 τα αντίστοιχα ποσοστά διαμορφώνονται στο 49%, 26% και 5% περίπου, δηλαδή αυξάνονται οι παραλίες που παρουσιάζουν πλήρη υποχώρηση, με μείωση όσων υποχωρούν στο μισό του

αρχικού τους πλάτους, ενώ μικρό ποσοστό εμφανίζει υποχώρηση μέχρι το πλάτος που εντοπίζονται υποδομές. Τέλος, οι εκτιμήσεις για το 2100 φανερώνουν υποχώρηση στο μισό του αρχικού πλάτους σε ποσοστό 21%, το 54% των περιπτώσεων που εξετάστηκαν υποχωρούν πλήρως και σε ένα ποσοστό περίπου 13% η υποχώρηση φτάνει τις υποδομές όπισθεν των παραλιών.

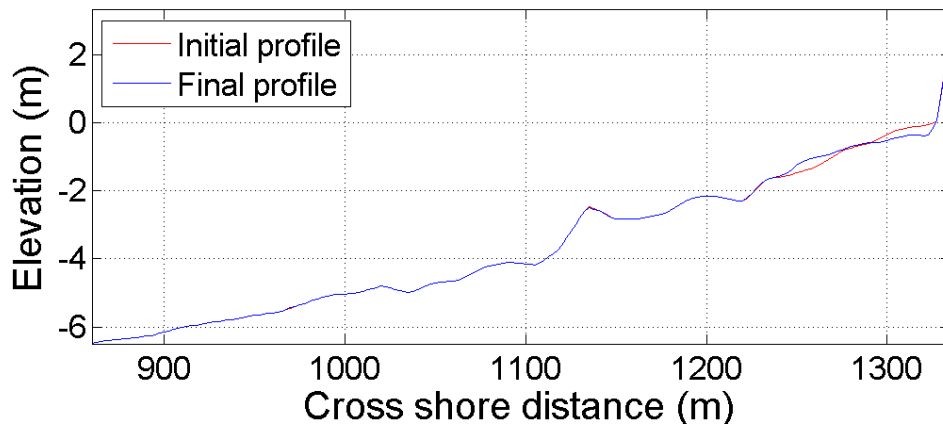
Υπό το σενάριο RCP8.5, το 2030 αναμένεται το 67% των περιπτώσεων να έχουν υποχωρήσει μέχρι το 50% του αρχικού πλάτους και μόλις το 15% να έχει υποχωρήσει στο 100%, ενώ δεν επηρεάζονται καθόλου υποδομές (π.χ. οδικό δίκτυο, παραλιακά κτίσματα) όπισθεν των παραλιών. Το 2050 τα αντίστοιχα ποσοστά διαμορφώνονται στο 39%, 28% και 5% περίπου, δηλαδή αυξάνονται οι παραλίες που παρουσιάζουν πλήρη υποχώρηση, με μείωση όσων υποχωρούν στο μισό του αρχικού πλάτους, ενώ μικρό ποσοστό εμφανίζει υποχώρηση μέχρι το πλάτος που εντοπίζονται υποδομές. Στις περιπτώσεις αυτές τα αποτελέσματα των δυο σεναρίων δε διαφέρουν σημαντικά. Αυτό σημαίνει ότι το 2050 η στάθμη της θάλασσας θα φτάσει τις πλησιέστερες στην ακτογραμμή υποδομές με κίνδυνο να προκαλέσει υλικές ζημιές. Συγκεκριμένα το πρόβλημα εντοπίζεται στις περιοχές Παραλία Αλαμινού και παραλία Πανταχού Αγίας Νάπας. Τέλος, οι εκτιμήσεις για το 2100 φανερώνουν υποχώρηση στο μισό του αρχικού πλάτους σε ποσοστό 10%, το 80% των περιπτώσεων που εξετάστηκαν υποχωρούν πλήρως και σε ένα ποσοστό περίπου 28% η υποχώρηση φτάνει τις υποδομές όπισθεν των παραλιών.

Σε σύγκριση με τους αντίστοιχους υπολογισμούς υπό το RCP4.5, στο RCP8.5 υποδιπλασιάζονται οι περιπτώσεις που αναμένεται υποχώρηση μέχρι το μισό του αρχικού πλάτους, ενώ αυξάνονται κατά περίπου 50% οι περιπτώσεις με υποχώρηση στο 100% και διπλασιάζονται αυτές με επηρεαζόμενες υποδομές. Επομένως το 2100 προβλέπεται ότι θα επηρεαστούν επίσης οι υποδομές στην ακτή δυτικά του αλιευτικού καταφυγίου Ζυγίου και τμήμα της ακτής Κιβισιλίου.

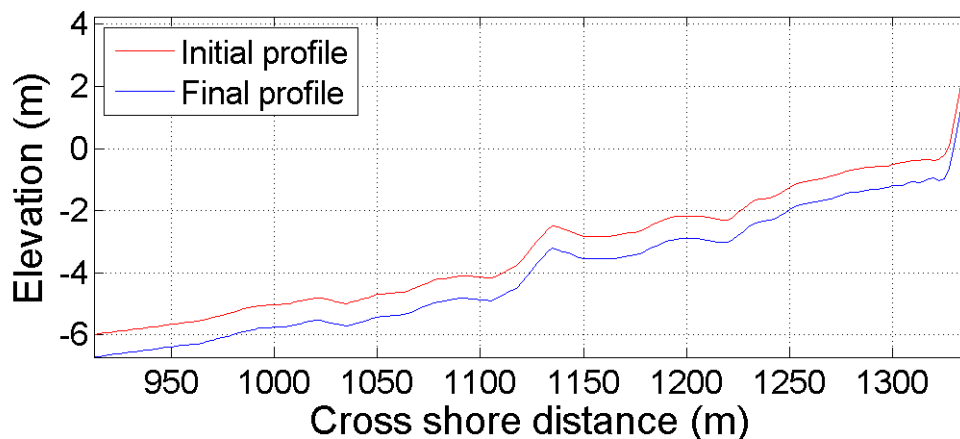
3.2 Δυναμικό μοντέλο

Το μοντέλο *Leont'yev* εφαρμόστηκε για τις 22 διατομές που επιλέχθηκαν ως κατάλληλες για την εφαρμογή του δυναμικού μοντέλου κατά την αξιολόγηση των διαθέσιμων δεδομένων. Η εφαρμογή του μοντέλου έγινε για τα έτη 2030 και 2050 και για ακραία φαινόμενα με περίοδο επαναφοράς 10, 50 και 100 ετών. Αρχικά εφαρμόστηκε χωρίς Άνοδο της Στάθμης Θάλασσας (ΑΣΘ) και σε δεύτερη φάση με συνυπολογισμό της ΑΣΘ λόγω μετεωρολογικής παλίρροιας και αναρρίχησης κυματισμού (storm surge, wave setup) (ενδεικτικό παράδειγμα διαγραμμάτων από τις δύο εφαρμογές στη διατομή K2 στις Εικόνες 25α και 25β). Το αποτέλεσμα από τη δεύτερη εφαρμογή του μοντέλου δίνεται σε σχέση με τη διατομή που προέκυψε από την πρώτη εφαρμογή του μοντέλου. Τα

αποτελέσματα των δυναμικών μοντέλων μπορεί να φέρουν θετικό ή αρνητικό πρόσημο, που σηματοδοτεί προέλαση ή υποχώρηση της ακτογραμμής αντίστοιχα.



Εικόνα 25α: Εξέλιξη παραλιακής διατομής από την εφαρμογή του μοντέλου Leont' γεν στη διατομή K2 για το σενάριο RCP8.5, έτος αναφοράς 2050 και περίοδο επαναφοράς φαινομένου T=10 χωρίς ΑΣΘ.



Εικόνα 25β: Εξέλιξη παραλιακής διατομής από την εφαρμογή του μοντέλου Leont' γεν στη διατομή K2 για το σενάριο RCP8.5, έτος αναφοράς 2050 και περίοδο επαναφοράς φαινομένου T=10 με ΑΣΘ.

Στους Πίνακες 12 και 13, παρουσιάζονται οι τελικοί υπολογισμοί για επεισοδιακή άνοδο της θαλάσσιας στάθμης, δηλαδή η υποχώρηση ή προέλαση της ακτογραμμής με άνοδο της θαλάσσιας στάθμης αναφορικά με την ακτογραμμή στην αρχική διατομή. Στη διατομή K75 για το σενάριο RCP8.5, έτος αναφοράς 2030 και περίοδο T=10 έτη το μοντέλο παρουσίασε αστάθεια και γι' αυτό η περίπτωση αυτή εξαιρέθηκε από τους υπολογισμούς.

Η μέγιστη υποχώρηση σε όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν (Πίνακες 12 και 13) προέκυψε στη διατομή K73 (από 55.41m υπό το RCP4.5, το έτος 2050 και T=10 έως 57.20m υπό το RCP8.5, το έτος 2030 και T=100). Όσον αφορά την ελάχιστη υποχώρηση αυτή προέκυψε στη διατομή K37 (από 1.02 υπό το RCP8.5 για το έτος 2050 και T=10 και έως 2.98m υπό το RCP8.5 για το έτος 2050 και T=50)

εκτός από την περίπτωση του σεναρίου RCP8.5, το έτος 2030 και T=50 στην οποία η ελάχιστη υποχώρηση δίνεται για τη B7 (2.7m).

Οι μέγιστες υποχωρήσεις προέκυψαν στη διατομή K73 (Παραλιακό μέτωπο Σοφτάδων) και οι ελάχιστες στις K37 (Ακτή Κοινότητας Αγίου Θεοδώρου) ή B7 (Περιοχή Ασκός Πέγειας) κατά περίπτωση (Πίνακες 12 και 13). Συγκεκριμένα, η μέγιστη βραχυχρόνια υποχώρηση υπολογίστηκε στη διατομή K73 για το σενάριο RCP8.5, έτος αναφοράς το 2030 και φτάνει τα 57.2m (T=100), ενώ η ελάχιστη υποχώρηση υπολογίστηκε στη διατομή B7 για το σενάριο RCP8.5, έτος αναφοράς το 2050 και είναι 0.16m.

Πίνακας 12: Συνοπτική παρουσίαση αποτελεσμάτων εξέλιξης της ακτογραμμής από την εφαρμογή του δυναμικού μοντέλου *LeapT* για το σενάριο RCP 4.5 και χρονολογίες αναφοράς 2030 και 2050 με κυματικά δεδομένα με περίοδο επαναφοράς που αντιστοιχεί σε 10, 50 και 100 έτη. Υποχώρηση (αρνητικός αριθμός) ή προέλαση (θετικός αριθμός) της αρχικής ακτογραμμής.

| Περιοχή | Διατομή | α/α | RCP4.5 (2030) | | | RCP4.5 (2050) | | |
|--|---------|-----|---------------|--------|--------|---------------|--------|--------|
| | | | 10 | 50 | 100 | 10 | 50 | 100 |
| Δήμος Πέγειας – Περιοχή Ασκός | B6 | 1 | -4.64 | -5.24 | -4.45 | -4.52 | -5.56 | -5.72 |
| | B7 | 2 | -5.54 | -6.55 | -7.12 | -4.69 | -5.21 | -6.98 |
| Κοινότητα Πεντακώμου – Παραλία Ακτή Κυβερνήτη, Παραλία Κάλυμνος | K2 | 3 | -3.36 | -3.82 | -4.19 | -3.67 | -3.76 | -4.03 |
| | K3 | 4 | -3.87 | -5.03 | -8.24 | -6.78 | -4.85 | -5.54 |
| Κοινότητα Ψεματισμένου – Ακτή προ παλαιού πεδίου βολής | K23 | 5 | -2.59 | -3.89 | -3.91 | -2.61 | -4.01 | -4.55 |
| Κοινότητα Αγίου Θεοδώρου – Ακτή προ γεωργικών εκτάσεων και τουριστικών εγκαταστάσεων έως την εκβολή του ποταμού «Πεντάσχοινος» | K36 | 6 | -2.28 | -2.99 | -2.82 | -2.22 | -3.23 | -3.33 |
| | K37 | 7 | -1.08 | -2.13 | -2.28 | -1.52 | -2.42 | -3.27 |
| Κοινότητα Μαζωτού – Ακτή από άκρα Πετούντα έως την εκβολή του ποταμού «Πούζης»: παραλίες Πετούντα και Μπούζι | K65 | 8 | -21.1 | -21.9 | -22.86 | -21.02 | -21.72 | -24.05 |
| | K66 | 9 | -37.31 | -38.14 | -38.71 | -37.22 | -38.03 | -38.81 |
| | K67 | 10 | -31.17 | -33.79 | -35.02 | -31.5 | -34.04 | -37.33 |
| Κοινότητα Κιβισιλίου και Σοφτάδων-Κιτίου – Ακτή Κιβισιλίου από άκρο Πούζης και παραλιακό μέτωπο Σοφτάδων | K70 | 11 | -4.25 | -4.77 | -5.42 | -4.05 | -4.65 | -4.97 |
| | K71 | 12 | -4.41 | -5.46 | -7.28 | -4.28 | -5.34 | -6.26 |
| | K72 | 13 | -24.98 | -29.07 | -34.22 | -24.49 | -27.74 | -30.45 |
| | K73 | 14 | -55.52 | -56.33 | -56.89 | -55.41 | -56.19 | -56.71 |
| | K74 | 15 | -49.5 | -50.37 | -50.59 | -49.4 | -50.26 | -50.65 |
| | K75 | 16 | -21.34 | -22.1 | -24.32 | -21.24 | -21.24 | -22.38 |
| Δήμος Αγίας Νάπας – Παραλία Πανταχού και παραλία Γλυκί Νερό | A1 | 17 | -37.8 | -45.79 | -47.73 | -49.26 | -43.72 | -49.44 |
| | A2 | 18 | -30.07 | -36.92 | -37.41 | -31.17 | -33.91 | -40.54 |
| | A3 | 19 | -20.27 | -26.68 | -26.09 | -23.2 | -23.47 | -30.31 |
| | A4 | 20 | -5.31 | -8.28 | -7.15 | -6.88 | -5.65 | -9.38 |
| | A5 | 21 | -3.07 | -3.88 | -4.16 | -2.94 | -3.44 | -4.16 |
| | A6 | 22 | -8.93 | -12.52 | -12.32 | -9.75 | -10.23 | -7.56 |

Πίνακας 13: Συνοπτική παρουσίαση αποτελεσμάτων εξέλιξης της ακτογραμμής από την εφαρμογή του δυναμικού μοντέλου Leopold για το σενάριο RCP8.5 και χρονολογίες αναφοράς 2030 και 2050 με κυματικά δεδομένα με περίοδο επαναφοράς που αντιστοιχεί σε 10, 50 και 100 έτη. Υποχώρηση (αρνητικός αριθμός) ή προέλαση (θετικός αριθμός) της αρχικής ακτογραμμής.

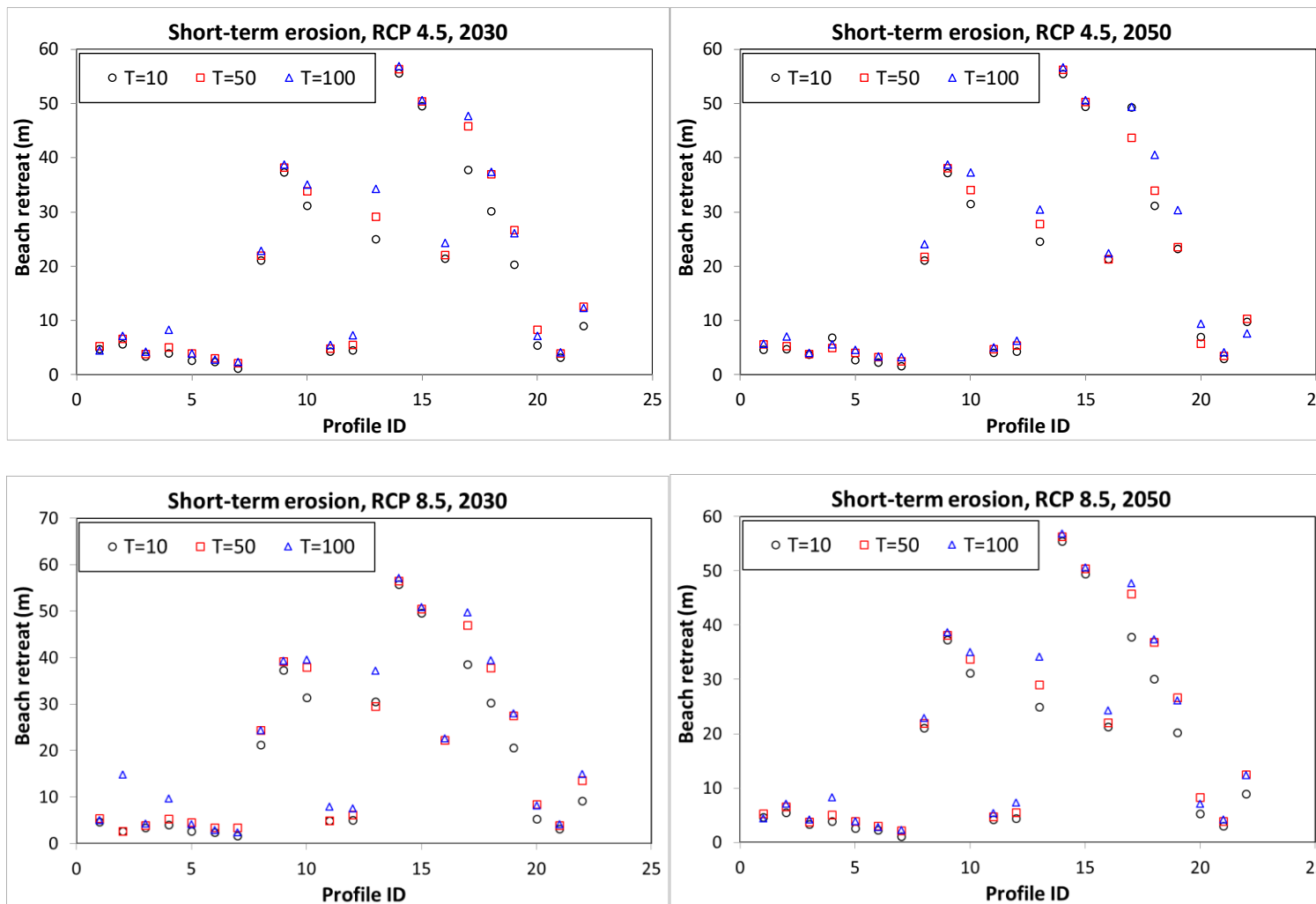
| Περιοχή | Δια-τομή | α/α | RCP8.5 (2030) | | | RCP8.5 (2050) | | |
|--|----------|-----|---------------|--------|--------|---------------|--------|--------|
| | | | 10 | 50 | 100 | 10 | 50 | 100 |
| Δήμος Πέγειας – Περιοχή Ασκός | B6 | 1 | -4.67 | -5.48 | -4.99 | -4.76 | -5.14 | -5.98 |
| | B7 | 2 | -2.7 | -2.7 | -14.8 | -0.16 | -6.68 | -4.87 |
| Κοινότητα Πεντακώμου – Παραλία Ακτή Κυβερνήτη, Παραλία Κάλυμνος | K2 | 3 | -3.41 | -3.9 | -4.28 | -3.71 | -3.79 | -4.16 |
| | K3 | 4 | -4.01 | -5.27 | -9.7 | -6.86 | -4.97 | -8.16 |
| Κοινότητα Ψεματισμένου– Ακτή προ παλαιού πεδίου βολής | K23 | 5 | -2.69 | -4.6 | -4.18 | -2.51 | -4.22 | -3.82 |
| Κοινότητα Αγίου Θεοδώρου – Ακτή προ γεωργικών εκτάσεων και τουριστικών εγκαταστάσεων έως την εκβολή του ποταμού «Πεντάσχοινος» | K36 | 6 | -2.36 | -3.36 | -2.96 | -2.25 | -3.2 | -2.78 |
| | K37 | 7 | -1.62 | -3.38 | -2.43 | -1.02 | -2.98 | -2.22 |
| Κοινότητα Μαζωτού – Ακτή από άκρα Πετούντα έως την εκβολή του ποταμού «Πούζης»: παραλίες Πετούντα και Μπούζι | K65 | 8 | -21.19 | -24.37 | -24.36 | -21.43 | -21.77 | -22.82 |
| | K66 | 9 | -37.25 | -39.16 | -39.33 | -37.66 | -38.09 | -38.63 |
| | K67 | 10 | -31.41 | -37.92 | -39.62 | -34.8 | -33.38 | -34.89 |
| Κοινότητα Κιβισιλίου και Σοφτάδων-Κιτίου– Ακτή Κιβισιλίου από άκρο Πούζης και παραλιακό μέτωπο Σοφτάδων | K70 | 11 | -4.97 | -4.94 | -7.98 | -4.1 | -5.37 | -5.02 |
| | K71 | 12 | -5 | -6.17 | -7.5 | -4.35 | -5.44 | -6.33 |
| | K72 | 13 | -30.49 | -29.52 | -37.13 | -24.81 | -33.99 | -30.88 |
| | K73 | 14 | -55.82 | -56.49 | -57.2 | -55.48 | -56.37 | -56.82 |
| | K74 | 15 | -49.62 | -50.48 | -50.9 | -49.47 | -50.32 | -50.72 |
| | K75 | 16 | - | -22.22 | -22.61 | -21.3 | -22.4 | -22.46 |
| Δήμος Αγίας Νάπας –Παραλία Πανταχού και παραλία Γλυκί Νερό | A1 | 17 | -38.58 | -46.99 | -49.79 | -37.3 | -46.3 | -48.63 |
| | A2 | 18 | -30.24 | -37.78 | -39.41 | -29.85 | -37.48 | -37.18 |
| | A3 | 19 | -20.61 | -27.48 | -27.99 | -20.64 | -27.87 | -25.38 |
| | A4 | 20 | -5.25 | -8.37 | -8.18 | -5.51 | -8.72 | -6.31 |
| | A5 | 21 | -3.15 | -3.85 | -4.17 | -3.08 | -4 | -3.79 |
| | A6 | 22 | -9.24 | -13.58 | -15 | -9.51 | -10.43 | -11.54 |

Από τη στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων του δυναμικού μοντέλου (Πίνακας 14) προκύπτει η μέση τιμή υποχώρησης και η διάμεσος για το κάθε έτος αναφοράς και το κάθε σενάριο. Σε όλες τις περιπτώσεις η μέση τιμή υπερβαίνει τη διάμεσο και συγκεκριμένα από το σύνολο των εξεταζόμενων διατομών ένα ποσοστό 55-59% έδωσαν υποχώρηση μικρότερη της μέσης τιμής. Συγκριτικά με τα αποτελέσματα της μακροχρόνιας υποχώρησης, για δεδομένο σενάριο και έτος αναφοράς η βραχυχρόνια υποχώρηση είναι αρκετά πιο μεγάλη, καθιστώντας την υπολογίσιμο μέγεθος για την εκτίμηση πιθανών καταστροφών στην παραλιακή ζώνη.

Πίνακας 14: Στατιστικά μεγέθη των αποτελεσμάτων υποχώρησης της ακτογραμμής του δυναμικού μοντέλου με υπολογισμό της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης.

| T (yrs) | RCP4.5 (2030) | | | RCP4.5 (2050) | | |
|-----------------------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|
| | 10 | 50 | 100 | 10 | 50 | 100 |
| Μέση τιμή | 17.20 | 19.35 | 20.14 | 18.08 | 18.58 | 20.29 |
| Διάμεσος | 7.24 | 10.40 | 10.28 | 8.32 | 7.94 | 8.47 |
| Μέγιστο | 55.52 | 56.33 | 56.89 | 55.41 | 56.19 | 56.71 |
| Ελάχιστο | 1.08 | 2.13 | 2.28 | 1.52 | 2.42 | 3.27 |
| Τιμή >Μέσης τιμής (%) | 45% | 45% | 45% | 45% | 45% | 45% |
| Τιμή <Μέσης τιμής (%) | 55% | 55% | 55% | 55% | 55% | 55% |
| T (yrs) | RCP8.5 (2030) | | | RCP8.5 (2050) | | |
| | 10 | 50 | 100 | 10 | 50 | 100 |
| Μέση τιμή | 17.35 | 19.91 | 21.57 | 17.30 | 19.68 | 19.70 |
| Διάμεσος | 5.25 | 10.98 | 14.90 | 8.19 | 9.58 | 9.85 |
| Μέγιστο | 55.82 | 56.49 | 57.20 | 55.48 | 56.37 | 56.82 |
| Ελάχιστο | 1.62 | 2.70 | 2.43 | 0.16 | 2.98 | 2.22 |
| Τιμή >Μέσης τιμής (%) | 41% | 45% | 45% | 45% | 45% | 45% |
| Τιμή <Μέσης τιμής (%) | 59% | 55% | 55% | 55% | 55% | 55% |

Από τα διαγράμματα διασποράς της οπισθοχώρησης των παραλιών σε σχέση με τα σενάρια και τις χρονολογίες αναφοράς (Εικόνα 26α και 26β) φαίνεται μια αυξητική τάση της υποχώρησης με την αύξηση της περιόδου επαναφοράς των ακραίων φαινομένων για ορισμένες διατομές, όπως οι διατομές K73, K74 (παραλιακό μέτωπο Σοφτάδων, α/α 14,15) (για τα δύο σενάρια και έτη αναφοράς). Εντούτοις, εντοπίζονται και περιπτώσεις, όπως για παράδειγμα αυτή της διατομής A4 (παραλία Πανταχού - σενάριο RCP8.5, α/α 20), στην οποία η υποχώρηση για περίοδο επαναφοράς 50 και για τα δυο έτη αναφοράς είναι μεγαλύτερη από τις τιμές που αντιστοιχούν σε περίοδο επαναφοράς 10 και 100 ετών. Αυτό οφείλεται σε δύο λόγους. Πρώτον, για κάθε περίοδο επαναφοράς χρησιμοποιείται διαφορετικό κύμα, το οποίο μπορεί να έχει είτε διαβρωσιγενή είτε προσχωσιγενή δράση. Δεύτερον, οι διαφορές στην εξέλιξη της ακτογραμμής δε φανερώνουν τη συνολική μεταβολή που μπορεί να έχει συμβεί στην παράκτια μορφολογία (στη διαμόρφωση υβωμάτων και κοιλοτήτων) (βλ. Παράρτημα 3). Ένα πιο ακραίο φαινόμενο μπορεί να οδηγήσει σε διάβρωση μεγαλύτερου όγκου ιζήματος από τη χερσαία παραλία, ο οποίος όμως να κατανεμηθεί στο τελικό προφίλ με τρόπο ώστε να προκύψει μικρότερη υποχώρηση συγκριτικά με κάποιο λιγότερο ακραίο φαινόμενο.



Εικόνα 26α: Διαγράμματα υποχώρησης της ακτογραμμής (beach retreat) σε μέτρα (m) σύμφωνα με τα δυναμικά μοντέλα για όλες τις διατομές σύμφωνα με το σενάριο RCP4.5 και έτη αναφοράς 2030 και 2050 και περίοδο επαναφοράς ακραίου φαινομένου T=10, 50 και 100 έτη. Στον οριζόντιο άξονα η αρίθμηση των διατομών ακολουθεί τη σειρά που εμφανίζονται στον Πίνακα 12.

Εικόνα 26β: Διαγράμματα υποχώρησης της ακτογραμμής (beach retreat) σε μέτρα (m) σύμφωνα με τα δυναμικά μοντέλα για όλες τις διατομές σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5 και έτη αναφοράς 2030 και 2050 και περίοδο επαναφοράς ακραίου φαινομένου T=10, 50 και 100 έτη. Στον οριζόντιο άξονα η αρίθμηση των διατομών ακολουθεί τη σειρά που εμφανίζονται στον Πίνακα 13.

3.3 Εξέλιξη ακτογραμμής κάτω από ακραία θαλάσσια στάθμη

Τα αποτελέσματα του δυναμικού μοντέλου αφορούν μόνο επεισοδιακή, δηλαδή βραχυχρόνια, υποχώρηση της ακτογραμμής. Για την εκτίμηση της συνολικής εξέλιξης της ακτογραμμής κάτω από ακραία θαλάσσια στάθμη για τα έτη αναφοράς 2030 και 2050, αθροίστηκαν οι μακροχρόνιες (στατικά μοντέλα) και οι βραχυχρόνιες (δυναμικό μοντέλο) υποχωρήσεις (Πίνακες 15 και 16).

Πίνακας 15: Παρουσίαση αποτελεσμάτων εξέλιξης της ακτογραμμής από συνδυασμό στατικών και δυναμικών μοντέλων για το σενάριο RCP 4.5 και χρονολογίες αναφοράς 2030 και 2050 με κυματικά δεδομένα με περίοδο επαναφοράς που αντιστοιχεί σε 10, 50 και 100 έτη.

| Περιοχή | Δια-τομή | α/α | RCP4.5 (2030) | | | RCP4.5 (2050) | | |
|--|----------|--------|---------------|--------|--------|---------------|--------|--------|
| | | | 10 | 50 | 100 | 10 | 50 | 100 |
| Δήμος Πέγειας – Περιοχή Ασκός | B6 | 1 | -7.19 | -7.79 | -7.00 | -8.72 | -9.76 | -9.92 |
| | B7 | 2 | -7.45 | -8.46 | -9.03 | -7.88 | -8.40 | -10.17 |
| Κοινότητα Πεντακώμου – Παραλία Ακτή Κυβερνήτη, Παραλία Κάλυμνος | K2 | 3 | -9.07 | -9.53 | -9.90 | -13.02 | -13.11 | -13.38 |
| | K3 | 4 | -5.65 | -6.81 | -10.02 | -9.69 | -7.76 | -8.45 |
| Κοινότητα Ψεματισμένου– Ακτή προ παλαιού πεδίου βολής | K23 | 5 | -5.27 | -6.57 | -6.59 | -6.98 | -8.38 | -8.92 |
| Κοινότητα Αγίου Θεοδώρου – Ακτή προ γεωργικών εκτάσεων και τουριστικών εγκαταστάσεων έως την εκβολή του ποταμού «Πεντάσχοιρος» | K36 | 6 | -6.58 | -7.29 | -7.12 | -9.26 | -10.27 | -10.37 |
| | K37 | 7 | -4.55 | -5.60 | -5.75 | -7.22 | -8.12 | -8.97 |
| Κοινότητα Μαζωτού – Ακτή από άκρα Πετούντα έως την εκβολή του ποταμού «Πούζης»: παραλίες Πετούντα και Μπούζι | K65 | 8 | -28.26 | -29.06 | -30.02 | -32.76 | -33.46 | -35.79 |
| | K66 | 9 | -42.60 | -43.43 | -44.00 | -45.74 | -46.55 | -47.33 |
| | K67 | 10 | -35.56 | -38.18 | -39.41 | -38.75 | -41.29 | -44.58 |
| Κοινότητα Κιβισιλίου και Σοφτάδων-Κιτίου– Ακτή Κιβισιλίου από άκρο Πούζης και παραλιακό μέτωπο Σοφτάδων | K70 | 11 | -11.30 | -11.82 | -12.47 | -15.64 | -16.24 | -16.56 |
| | K71 | 12 | -11.90 | -12.95 | -14.77 | -16.66 | -17.72 | -18.64 |
| | K72 | 13 | -36.73 | -40.82 | -45.97 | -44.22 | -47.47 | -50.18 |
| | K73 | 14 | -67.54 | -68.35 | -68.91 | -75.29 | -76.07 | -76.59 |
| | K74 | 15 | -61.44 | -62.31 | -62.53 | -69.23 | -70.09 | -70.48 |
| Δήμος Αγίας Νάπας – Παραλία Πανταχού και παραλία Γλυκί Νερό | K75 | 16 | -25.48 | -26.24 | -28.46 | -28.06 | -28.06 | -29.20 |
| | A1 | 17 | -56.98 | -64.97 | -66.91 | -80.82 | -75.28 | -81.00 |
| | A2 | 18 | -40.40 | -47.25 | -47.74 | -48.34 | -51.08 | -57.71 |
| | A3 | 19 | -27.97 | -34.38 | -33.79 | -35.97 | -36.24 | -43.08 |
| | A4 | 20 | -9.02 | -11.99 | -10.86 | -13.04 | -11.81 | -15.54 |
| | A5 | 21 | -6.64 | -7.45 | -7.73 | -8.86 | -9.36 | -10.08 |
| A6 | 22 | -11.65 | -15.24 | -15.04 | -14.27 | -14.75 | -12.08 | |

Πίνακας 16: Παρουσίαση αποτελεσμάτων εξέλιξης της ακτογραμμής από συνδυασμό στατικών και δυναμικών μοντέλων για το σενάριο RCP8.5 και χρονολογίες αναφοράς 2030 και 2050 με κυματικά δεδομένα με περίοδο επαναφοράς που αντιστοιχεί σε 10, 50 και 100 έτη.

| Περιοχή | Διατομή | α/α | RCP8.5 (2030) | | | RCP8.5 (2050) | | |
|--|---------|--------|---------------|--------|--------|---------------|--------|--------|
| | | | 10 | 50 | 100 | 10 | 50 | 100 |
| Δήμος Πέγειας – Περιοχή Ασκός | B6 | 1 | -7.40 | -8.21 | -7.72 | -9.94 | -10.32 | -11.16 |
| | B7 | 2 | -4.75 | -4.75 | -16.85 | -4.08 | -10.60 | -8.79 |
| Κοινότητα Πεντακώμου – Παραλία Ακτή Κυβερνήτη, Παραλία Κάλυμνος | K2 | 3 | -9.57 | -10.06 | -10.44 | -15.39 | -15.47 | -15.84 |
| | K3 | 4 | -5.92 | -7.18 | -11.61 | -10.50 | -8.61 | -11.80 |
| Κοινότητα Ψεματισμένου– Ακτή προ παλαιού πεδίου βολής | K23 | 5 | -5.54 | -7.45 | -7.03 | -7.95 | -9.66 | -9.26 |
| Κοινότητα Αγίου Θεοδώρου – Ακτή προ γεωργικών εκτάσεων και τουριστικών εγκαταστάσεων έως την εκβολή του ποταμού «Πεντάσχοινος» | K36 | 6 | -6.99 | -7.99 | -7.59 | -11.04 | -11.99 | -11.57 |
| | K37 | 7 | -5.32 | -7.08 | -6.13 | -8.09 | -10.05 | -9.29 |
| Κοινότητα Μαζωτού – Ακτή από άκρα Πετούντα έως την εκβολή του ποταμού «Πούζης»: παραλίες Πετούντα και Μπούζι | K65 | 8 | -28.94 | -32.12 | -32.11 | -36.30 | -36.64 | -37.69 |
| | K66 | 9 | -42.95 | -44.86 | -45.03 | -48.64 | -49.07 | -49.61 |
| | K67 | 10 | -36.16 | -42.67 | -44.37 | -43.95 | -42.53 | -44.04 |
| Κοινότητα Κιβισιλίου και Σοφτάδων-Κιτίου– Ακτή Κιβισιλίου από άκρο Πούζης και παραλιακό μέτωπο Σοφτάδων | K70 | 11 | -12.61 | -12.58 | -15.62 | -18.60 | -19.87 | -19.52 |
| | K71 | 12 | -13.11 | -14.28 | -15.61 | -19.75 | -20.84 | -21.73 |
| | K72 | 13 | -43.26 | -42.29 | -49.90 | -49.63 | -58.81 | -55.70 |
| | K73 | 14 | -68.86 | -69.53 | -70.24 | -72.28 | -73.17 | -73.62 |
| | K74 | 15 | -62.57 | -63.43 | -63.85 | -74.38 | -75.23 | -75.63 |
| Δήμος Αγίας Νάπας – Παραλία Πανταχού και παραλία Γλυκί Νερό | K75 | 16 | 0.86 | -26.70 | -27.09 | -29.82 | -30.92 | -30.98 |
| | A1 | 17 | -59.09 | -67.50 | -70.30 | -77.75 | -86.75 | -89.08 |
| | A2 | 18 | -41.51 | -49.05 | -50.68 | -51.71 | -59.34 | -59.04 |
| | A3 | 19 | -29.03 | -35.90 | -36.41 | -36.92 | -44.15 | -41.66 |
| | A4 | 20 | -9.30 | -12.42 | -12.23 | -13.35 | -16.56 | -14.15 |
| | A5 | 21 | -7.05 | -7.75 | -8.07 | -10.61 | -11.53 | -11.32 |
| A6 | 22 | -12.21 | -16.55 | -17.97 | -15.26 | -16.18 | -17.29 | |

Η μέγιστη συνολική υποχώρηση προέκυψε σε κάποιες περιπτώσεις στη διατομή K73 (παραλιακό μέτωπο Σοφτάδων) και την A1 (παραλία Πανταχού) για τις υπόλοιπες περιπτώσεις) και κυμάνθηκε από 67.5 έως 89.08m. Όσον αφορά την ελάχιστη υποχώρηση, αυτή προέκυψε στις περισσότερες περιπτώσεις στη διατομή K37 (Ακτή Κοινότητας Αγίου Θεοδώρου) και στις υπόλοιπες στην K23 (Ακτή Κοινότητας Ψεματισμένου), στην K3 (Παραλία Κάλυμνος) και στην B7 (Περιοχή Ασκός Πέγειας).

Από τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων και τη συνολική αξιολόγηση των δεδομένων μακροχρόνιας και βραχυχρόνιας υποχώρησης (Πίνακας 17), προκύπτουν η μέση τιμή υποχώρησης

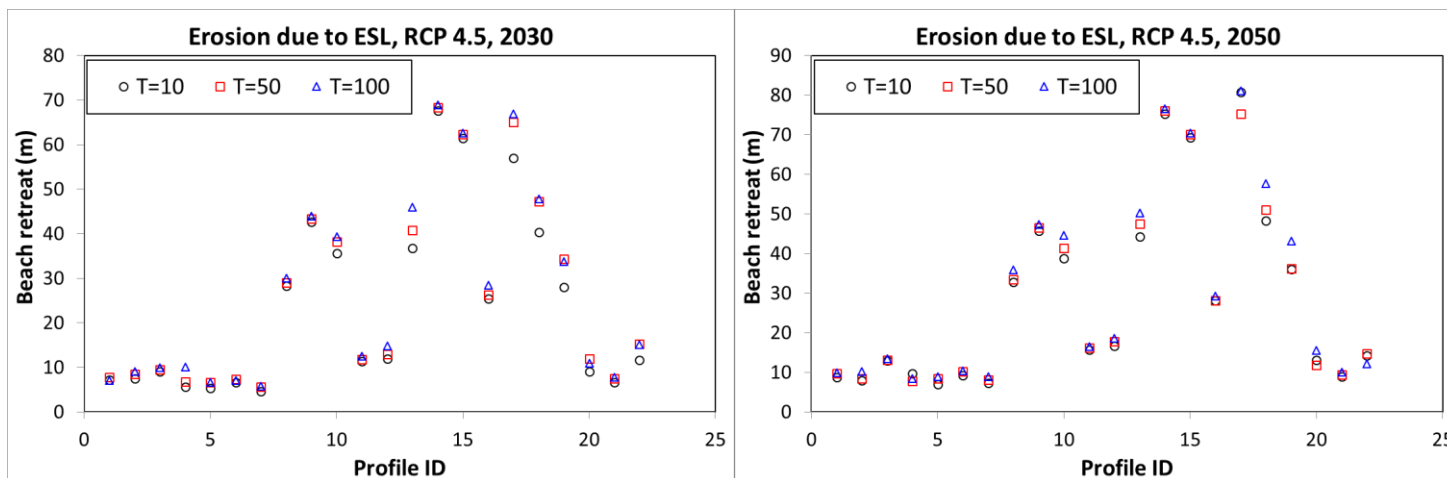
και η διάμεσος για το κάθε έτος αναφοράς και το κάθε σενάριο. Όπως ισχύει και για τα αποτελέσματα των στατικών και του δυναμικού μοντέλου ξεχωριστά, η μέση τιμή υπερβαίνει τη διάμεσο (55-59% των διατομών έδωσαν υποχώρηση μικρότερη της μέσης τιμής).

Πίνακας 17: Στατιστικά μεγέθη των αποτελεσμάτων υποχώρησης της ακτογραμμής του συνδυασμού των αποτελεσμάτων στατικών και δυναμικού μοντέλου.

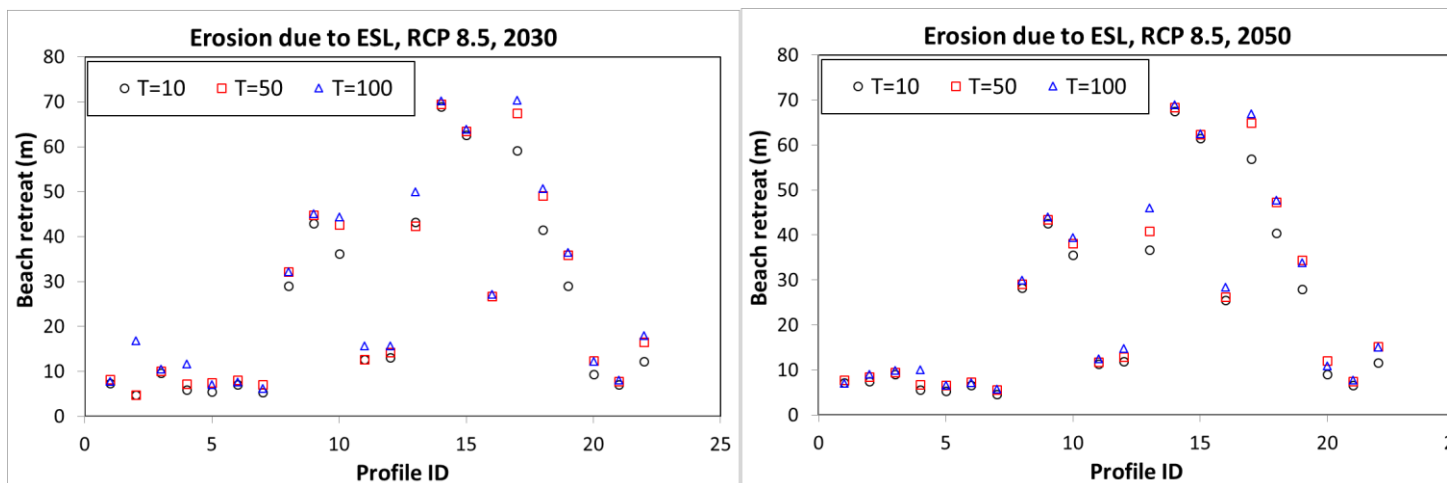
| | RCP4.5 (2030) | | | RCP4.5 (2050) | | |
|-----------------------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|
| T (yrs) | 10 | 50 | 100 | 10 | 50 | 100 |
| Μέση τιμή | 23.60 | 25.75 | 26.55 | 28.66 | 29.15 | 30.86 |
| Διάμεσος | 11.78 | 14.10 | 14.91 | 16.15 | 16.98 | 17.60 |
| Μέγιστο | 67.54 | 68.35 | 68.91 | 80.82 | 76.07 | 81.00 |
| Ελάχιστο | 4.55 | 5.60 | 5.75 | 6.98 | 7.76 | 8.45 |
| Τιμή >Μέσης τιμής (%) | 45% | 45% | 45% | 41% | 41% | 41% |
| Τιμή <Μέσης τιμής (%) | 55% | 55% | 55% | 59% | 59% | 59% |
| | RCP8.5 (2030) | | | RCP8.5 (2050) | | |
| T (yrs) | 10 | 50 | 100 | 10 | 50 | 100 |
| Μέση τιμή | 24.39 | 26.83 | 28.49 | 30.27 | 32.65 | 32.67 |
| Διάμεσος | 12.61 | 15.42 | 17.41 | 19.18 | 20.36 | 20.63 |
| Μέγιστο | 68.86 | 69.53 | 70.30 | 77.75 | 86.75 | 89.08 |
| Ελάχιστο | 4.75 | 4.75 | 6.13 | 4.08 | 8.61 | 8.79 |
| Τιμή >Μέσης τιμής (%) | 41% | 41% | 41% | 41% | 41% | 41% |
| Τιμή <Μέσης τιμής (%) | 55% | 59% | 59% | 59% | 59% | 59% |

Τα αποτελέσματα οπισθοχώρησης των παραλιών απεικονίζονται συνοπτικά στα σχετικά διαγράμματα διασποράς (Εικόνες 27α και 27β), χωριστά για κάθε σενάριο και χρονολογία αναφοράς.

Στη συνέχεια οι τιμές που υπολογίστηκαν συγκρίθηκαν με το αρχικό πλάτος των παραλιών και την απόσταση που εντοπίζονται υποδομές όπισθεν της παραλίας επί της διατομής (Πίνακας 7) και έγινε υπολογισμός του τελικού πλάτους των παραλιών ή της υποχώρησης της παραλίας πέραν του αρχικού της πλάτους όπου αυτό είναι δυνατό (αρνητικός αριθμός). Τέλος, στις περιπτώσεις που η υποχώρηση φτάνει τις υποδομές, το τελικό πλάτος της παραλίας αναγράφεται μηδενικό (0), δηλώντας πλήρη απώλεια της παραλίας (Πίνακες 18 και 19).



Εικόνα 27α: Διαγράμματα υποχώρησης της ακτογραμμής (beach retreat) σε μέτρα (m) από τον συνδυασμό των αποτελεσμάτων στατικών και δυναμικού μοντέλου για όλες τις διατομές σύμφωνα με τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5 και έτη αναφοράς 2030 και 2050 και περίοδο επαναφοράς ακραίου φαινομένου T=10, 50 και 100 έτη. Στον οριζόντιο άξονα η αρίθμηση των διατομών ακολουθεί τη σειρά που εμφανίζονται στον Πίνακα 15.



Εικόνα 27β: Διαγράμματα υποχώρησης της ακτογραμμής (beach retreat) σε μέτρα (m) από τον συνδυασμό των αποτελεσμάτων στατικών και δυναμικού μοντέλου για όλες τις διατομές σύμφωνα με τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5 και έτη αναφοράς 2030 και 2050 και περίοδο επαναφοράς ακραίου φαινομένου T=10, 50 και 100 έτη. Στον οριζόντιο άξονα η αρίθμηση των διατομών ακολουθεί τη σειρά που εμφανίζονται στον Πίνακα 16.

Πίνακας 18: Τελικά πλάτη διατομών μετά την εφαρμογή μακροχρόνιας και βραχυχρόνιας ανόδου της θαλάσσιας στάθμης για το σενάριο RCP4.5 και έτη αναφοράς 2030 και 2050: θετικός αριθμός όπου η υποχώρηση είναι μικρότερη του αρχικού πλάτους, 0 όπου η υποχώρηση φτάνει και επηρεάζει υποδομές που υφίστανται όπισθεν της παραλίας και αρνητικός αριθμός όπου η υποχώρηση υπερβαίνει το αρχικό πλάτος, αλλά υπάρχει η δυνατότητα υποχώρησης της παραλίας (δεν υπάρχουν υποδομές σε απόσταση ίση ή μικρότερη της υπολογισθείσας υποχώρησης).

| Περιοχή | Δια-τομή | α/α | RCP4.5 (2030) | | | RCP4.5 (2050) | | |
|--|----------|-----|---------------|--------|--------|---------------|--------|--------|
| | | | 10 | 50 | 100 | 10 | 50 | 100 |
| Δήμος Πέγειας – Περιοχή Ασκός | B6 | 1 | 1.01 | 0.41 | 1.2 | -0.52 | -1.56 | -1.72 |
| | B7 | 2 | 6.05 | 5.04 | 4.47 | 5.62 | 5.1 | 3.33 |
| Κοινότητα Πεντακώμου – Παραλία Ακτή Κυβερνήτη, Παραλία Κάλυμνος | K2 | 3 | 4.53 | 4.07 | 3.7 | 0.58 | 0.49 | 0.22 |
| | K3 | 4 | 12.05 | 10.89 | 7.68 | 8.01 | 9.94 | 9.25 |
| Κοινότητα Ψεματισμένου– Ακτή προ παλαιού πεδίου βολής | K23 | 5 | 8.93 | 7.63 | 7.61 | 7.22 | 5.82 | 5.28 |
| Κοινότητα Αγίου Θεοδώρου – Ακτή προ γεωργικών εκτάσεων και τουριστικών εγκαταστάσεων έως την εκβολή του ποταμού «Πεντάσχοινος» | K36 | 6 | 5.92 | 5.21 | 5.38 | 3.24 | 2.23 | 2.13 |
| | K37 | 7 | 8 | 6.95 | 6.8 | 5.33 | 4.43 | 3.58 |
| Κοινότητα Μαζωτού – Ακτή από άκρα Πετούντα έως την εκβολή του ποταμού «Πούζης»: παραλίες Πετούντα και Μπούζι | K65 | 8 | -22.36 | -23.16 | -24.12 | -26.86 | -27.56 | -29.89 |
| | K66 | 9 | -22.6 | -23.43 | -24 | -25.74 | -26.55 | -27.33 |
| | K67 | 10 | -26.36 | -28.98 | -30.21 | -29.55 | -32.09 | -35.38 |
| Κοινότητα Κιβισιλίου και Σοφτάδων-Κιτίου– Ακτή Κιβισιλίου από άκρο Πούζης και παραλιακό μέτωπο Σοφτάδων | K70 | 11 | -6.9 | -7.42 | -8.07 | -11.24 | -11.84 | -12.16 |
| | K71 | 12 | 1.2 | 0.15 | -1.67 | -3.56 | -4.62 | -5.54 |
| | K72 | 13 | -19.83 | -23.92 | -29.07 | -27.32 | -30.57 | -33.28 |
| | K73 | 14 | -50.34 | -51.15 | -51.71 | -58.09 | -58.87 | -59.39 |
| | K74 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | K75 | 16 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Δήμος Αγίας Νάπας –Παραλία Πανταχού και παραλία Γλυκί Νερό | A1 | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | A2 | 18 | -6 | -12.85 | -13.34 | -13.94 | 0 | 0 |
| | A3 | 19 | 12.03 | 5.62 | 6.21 | 4.03 | 3.76 | 0 |
| | A4 | 20 | 29.38 | 26.41 | 27.54 | 25.36 | 26.59 | 22.86 |
| | A5 | 21 | 27.96 | 27.15 | 26.87 | 25.74 | 25.24 | 24.52 |
| | A6 | 22 | 40.75 | 37.16 | 37.36 | 38.13 | 37.65 | 40.32 |

Πίνακας 19: Τελικά πλάτη διατομών μετά την εφαρμογή μακροχρόνιας και βραχυχρόνιας ανόδου της θαλάσσιας στάθμης για το σενάριο RCP8.5 και έτη αναφοράς 2030 και 2050: Θετικός αριθμός όπου η υποχώρηση είναι μικρότερη του αρχικού πλάτους, 0 όπου η υποχώρηση φτάνει και επηρεάζει υποδομές που υφίστανται όπισθεν της παραλίας και αρνητικός αριθμός όπου η υποχώρηση υπερβαίνει το αρχικό πλάτος, αλλά υπάρχει η δυνατότητα υποχώρησης της παραλίας (δεν υπάρχουν υποδομές σε απόσταση ίση ή μικρότερη της υπολογισθείσας υποχώρησης).

| Περιοχή | Διατομή | α/α | RCP8.5 (2030) | | | RCP8.5 (2050) | | |
|--|---------|-----|---------------|--------|--------|---------------|--------|--------|
| | | | 10 | 50 | 100 | 10 | 50 | 100 |
| Δήμος Πέγειας – Περιοχή Ασκός | B6 | 1 | 0.8 | -0.01 | 0.48 | -1.74 | -2.12 | -2.96 |
| | B7 | 2 | 8.75 | 8.75 | -3.35 | 9.42 | 2.9 | 4.71 |
| Κοινότητα Πεντακώμου – Παραλία Ακτή Κυβερνήτη, Παραλία Κάλυμνος | K2 | 3 | 4.03 | 3.54 | 3.16 | -1.79 | -1.87 | -2.24 |
| | K3 | 4 | 11.78 | 10.52 | 6.09 | 7.2 | 9.09 | 5.9 |
| Κοινότητα Ψεματισμένου– Ακτή προ παλαιού πεδίου βολής | K23 | 5 | 8.66 | 6.75 | 7.17 | 6.25 | 4.54 | 4.94 |
| Κοινότητα Αγίου Θεοδώρου – Ακτή προ γεωργικών εκτάσεων και τουριστικών εγκαταστάσεων έως την εκβολή του ποταμού «Πεντάσχοινος» | K36 | 6 | 5.51 | 4.51 | 4.91 | 1.46 | 0.51 | 0.93 |
| | K37 | 7 | 7.23 | 5.47 | 6.42 | 4.46 | 2.5 | 3.26 |
| Κοινότητα Μαζωτού – Ακτή από άκρα Πετούντα έως την εκβολή του ποταμού «Πούζης»: παραλίες Πετούντα και Μπούζι | K65 | 8 | -23.04 | -26.22 | -26.21 | -30.4 | -30.74 | -31.79 |
| | K66 | 9 | -22.95 | -24.86 | -25.03 | -28.64 | -29.07 | -29.61 |
| | K67 | 10 | -26.96 | -33.47 | -35.17 | -34.75 | -33.33 | -34.84 |
| Κοινότητα Κιβισιλιού και Σοφτάδων-Κιτίου– Ακτή Κιβισιλιού από άκρο Πούζης και παραλιακό μέτωπο Σοφτάδων | K70 | 11 | -8.21 | -8.18 | -11.22 | -14.2 | -15.47 | -15.12 |
| | K71 | 12 | -0.01 | -1.18 | -2.51 | -6.65 | -7.74 | -8.63 |
| | K72 | 13 | -26.36 | -25.39 | -33 | -32.73 | -41.91 | -38.8 |
| | K73 | 14 | -51.66 | -52.33 | -53.04 | -55.08 | -55.97 | -56.42 |
| | K74 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | K75 | 16 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Δήμος Αγίας Νάπας – Παραλία Πανταχού και παραλία Γλυκί Νερό | A1 | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | A2 | 18 | -7.11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | A3 | 19 | 10.97 | 4.1 | 3.59 | 3.08 | 0 | 0 |
| | A4 | 20 | 29.1 | 25.98 | 26.17 | 25.05 | 21.84 | 24.25 |
| | A5 | 21 | 27.55 | 26.85 | 26.53 | 23.99 | 23.07 | 23.28 |
| | A6 | 22 | 40.19 | 35.85 | 34.43 | 37.14 | 36.22 | 35.11 |

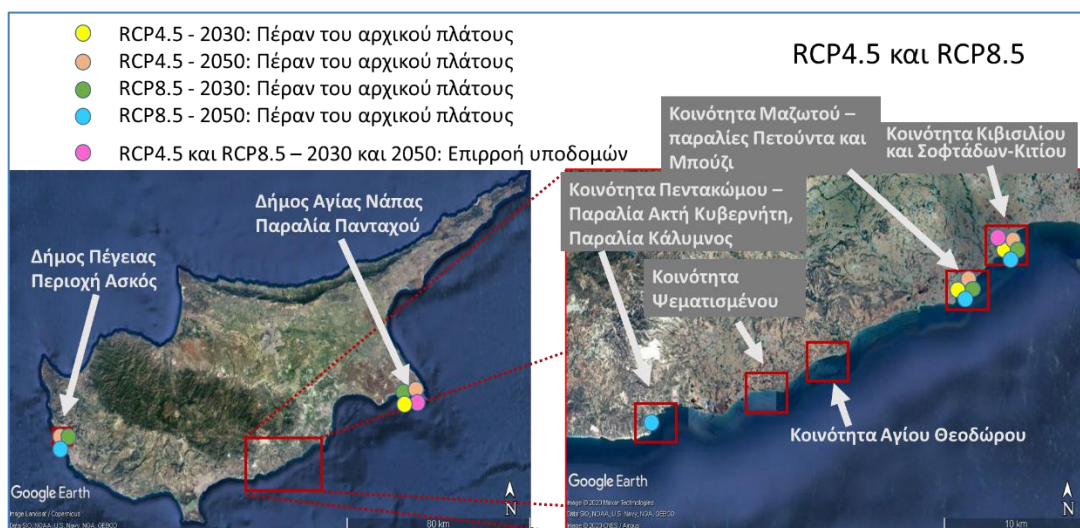
Όσον αφορά τη συνολική εξέλιξη της ακτογραμμής από τη μακροχρόνια άνοδο της ΜΣΘ (στατικά μοντέλα) και την επεισοδιακή άνοδο (δυναμικό μοντέλο), από τη σύγκριση με το αρχικό πλάτος των παραλιών και την ύπαρξη υποδομών σε κρίσιμη απόσταση, προέκυψε ότι η υποχώρηση υπερβαίνει το πλάτος της παραλίας χωρίς να φτάνει υποδομές στις εξής περιπτώσεις (βλ. Εικόνα 28):

- Διατομή B6 (Περιοχή Ασκός Πέγειας): RCP 4.5 (2050) σε όλες τις περιπτώσεις, RCP8.5 (2030) για T=50, RCP 8.5 (2050) σε όλες τις περιπτώσεις

- Διατομή B7 (Περιοχή Ασκός Πέγειας): RCP8.5 (2030) για T=100
- Διατομή K2 (Κοινότητα Πεντακώμου –Ακτή Κυβερνήτη): RCP8.5 (2050)
- Διατομές K65-K67 (Παραλία Πετούντας και παραλία Μπούζι, Κοινότητα Μαζωτού), K70, K72, K73 (Ακτή Κιβισιλίου και παραλιακό μέτωπο Σοφτάδων): σε όλες τις περιπτώσεις των δυο σεναρίων
- Διατομή K71 (Ακτή Κιβισιλίου και παραλιακό μέτωπο Σοφτάδων): RCP 4.5 (2030) για T=100, RCP8.5 (2030) και RCP 8.5 (2050) σε όλες τις περιπτώσεις
- Διατομή A2 (Δήμος Αγίας Νάπας –Παραλία Πανταχού): RCP 4.5 (2030) σε όλες τις περιπτώσεις, RCP 4.5 (2050) για T=10 και RCP8.5 (2030) για T=10.

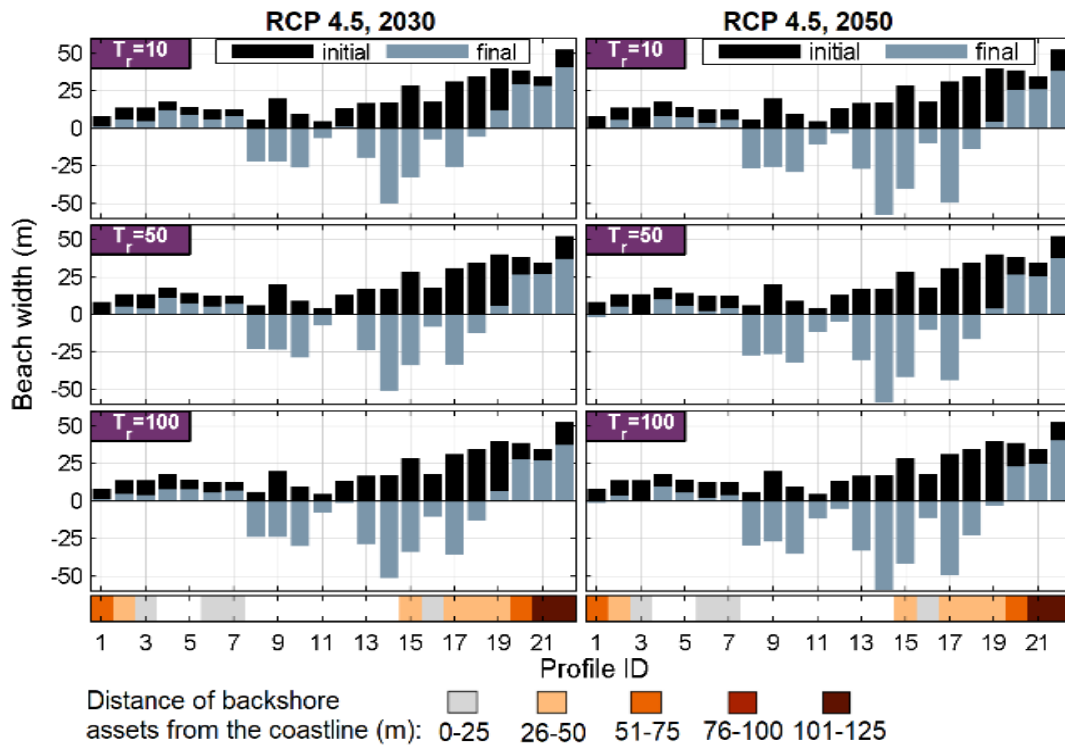
Διατομές στις οποίες η υπολογισθείσα υποχώρηση επηρεάζει τις παρακείμενες υποδομές είναι:

- Διατομές K74, K75 (Ακτή Κιβισιλίου και παραλιακό μέτωπο Σοφτάδων): όλες οι εξεταζόμενες περιπτώσεις εκτός της RCP8.5 (2030) T=10, στην οποία η διατομή K75 εμφανίζει προέλαση
- Διατομή A1 (Δήμος Αγίας Νάπας –Παραλία Πανταχού): όλες οι εξεταζόμενες περιπτώσεις
- Διατομή A2 (Δήμος Αγίας Νάπας –Παραλία Πανταχού): RCP 4.5 (2050) για T=50 και T=100, RCP8.5 (2030) για T=50, T=100 και RCP8.5 (2050) σε όλες τις περιπτώσεις
- Διατομή A3 (Δήμος Αγίας Νάπας –Παραλία Πανταχού): RCP 4.5 (2050) για T=100, RCP8.5 (2050) για T=50 και T=100

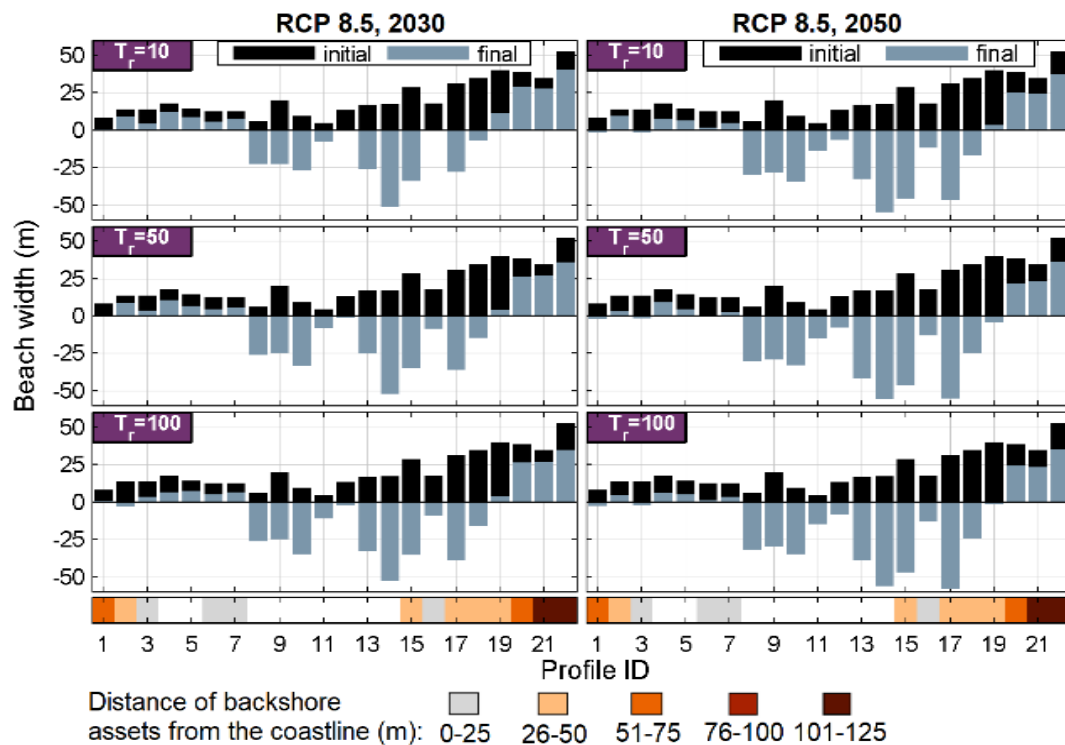


Εικόνα 28: Υποχώρηση παραλιών πέραν του αρχικού πλάτους για ακραία θαλάσσια στάθμη υπό τα δύο κλιματικά σενάρια και έτη αναφοράς 2030 και 2050

Στις Εικόνες 29α και 29β παρουσιάζονται τα τελικά πλάτη των διατομών για συνδυασμό μακροχρόνιας και βραχυχρόνιας υποχώρησης.



Εικόνα 29α: Διάγραμμα εξέλιξης του πλάτους των διατομών υπό το σενάριο RCP4.5 και έτη αναφοράς 2030 και 2050. Στον οριζόντιο άξονα η αριθμηση των διατομών ακολουθεί τη σειρά που εμφανίζονται στον Πίνακα 18.



Εικόνα 29β: Διάγραμμα εξέλιξης του πλάτους των διατομών υπό το σενάριο RCP4.5 και έτη αναφοράς 2030 και 2050. Στον οριζόντιο άξονα η αριθμηση των διατομών ακολουθεί τη σειρά που εμφανίζονται στον Πίνακα 19.

Στις παραπάνω περιπτώσεις η κυματική δράση από ακραία φαινόμενα με περίοδο επαναφοράς 10, 50 ή 100 έτη κατά περίπτωση, σε συνδυασμό με την μακροχρόνια άνοδο της στάθμης της θάλασσας καταλήγουν σε πλήρη υποχώρηση της παραλίας. Εντούτοις, όπως προαναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο «στατικά/ αναλυτικά μοντέλα», η αλλαγή του υλικού από αμμώδες σε βραχώδες ή γαιώδες σημαίνει ότι το χρησιμοποιούμενο μοντέλο πιθανότατα αστοχεί στην εκτίμηση της υποχώρησης της ακτογραμμής, αφού οι ιδιότητες και συνεπώς και η απόκριση του πραγματικού εδαφικού υλικού στην κυματική δράση διαφέρει από αυτήν που έχει υπολογιστεί. Με την εφαρμογή των μοντέλων δίνεται όμως μια καλή εκτίμηση του μεγέθους των πιθανών καταστροφών σε παρακείμενα κτίσματα και οδικά δίκτυα στην περίπτωση που η θάλασσα φτάσει τις υποδομές κατά τη διάρκεια ακραίου καιρικού φαινομένου.

Πίνακας 20: Συγκεντρωτικά στοιχεία από τη μακροχρόνια και βραχυχρόνια υποχώρηση της ακτογραμμής: Εύρος ESL για κάθε σενάριο, εύρος υποχώρησης ακτής όπως υπολογίστηκε από τη συστοιχία των στατικών μοντέλων, ποσοστό διατομών που αναμένεται να εμφανίσουν υποχώρηση μέχρι το 50% του αρχικού τους πλάτους, το ποσοστό των διατομών με υποχώρηση ίση ή μεγαλύτερη από το αρχικό τους πλάτος και τέλος ο αριθμός και το αντίστοιχο ποσοστό των διατομών με υποδομές που επηρεάζονται από την υποχώρηση.

| Σενάριο RCP | Στάθμη Θάλασσας | | | Εύρος Υποχώρησης (m) | Υποχώρηση έως το 50% του αρχικού πλάτους (%) | Υποχώρηση κατά 100% της παραλίας | Διατομές με επηρεαζόμενες υποδομές | |
|-------------|-----------------|-------------------------|---------------|----------------------|--|----------------------------------|------------------------------------|-------------|
| | Έτος αναφοράς | Περίοδος επαναφοράς (T) | ESL (m) | | | | Αριθμός | Ποσοστό (%) |
| 4.5 | 2030 | 10 | 0.812 - 0.997 | 4.55 - 67.54 | 27.3% | 45.5% | 3 | 13.6% |
| | | 50 | 0.943 - 1.164 | 5.60 - 68.35 | 27.3% | 45.5% | 3 | 13.6% |
| | | 100 | 1.012 - 1.260 | 5.75 - 68.91 | 22.7% | 50.0% | 3 | 13.6% |
| | 2050 | 10 | 0.893 - 1.084 | 6.98 - 80.82 | 18.2% | 54.5% | 3 | 13.6% |
| | | 50 | 1.021 - 1.249 | 7.76 - 76.07 | 18.2% | 54.5% | 4 | 18.2% |
| | | 100 | 1.089 - 1.343 | 8.45 - 81.00 | 18.2% | 59.1% | 5 | 22.7% |
| 8.5 | 2030 | 10 | 0.846 - 1.027 | 4.75 - 68.86 | 31.8% | 47.6% | 2 | 9.1% |
| | | 50 | 0.979 - 1.197 | 4.75 - 69.53 | 22.7% | 54.5% | 4 | 18.2% |
| | | 100 | 1.049 - 1.293 | 6.13 - 70.30 | 22.7% | 54.5% | 4 | 18.2% |
| | 2050 | 10 | 0.972 - 1.158 | 4.08 - 77.75 | 18.2% | 59.1% | 4 | 18.2% |
| | | 50 | 1.100 - 1.323 | 8.61 - 86.75 | 18.2% | 63.6% | 5 | 22.7% |
| | | 100 | 1.168 - 1.417 | 8.79 - 89.08 | 13.6% | 63.6% | 5 | 22.7% |

Τέλος, στον Πίνακα 20 παρουσιάζεται για κάθε εξεταζόμενη περίπτωση το εύρος της ανόδου της ΜΣΘ, το εύρος της συνολικής υποχώρησης όπως υπολογίστηκε από τα στατικά και δυναμικά μοντέλα, το ποσοστό διατομών που αναμένεται να εμφανίσουν υποχώρηση μέχρι το 50% του αρχικού τους πλάτους, το ποσοστό των διατομών με υποχώρηση ίση ή μεγαλύτερη από το αρχικό τους πλάτος και ο αριθμός και το αντίστοιχο ποσοστό των διατομών με υποδομές που επηρεάζονται από την υποχώρηση. Κατά τους υπολογισμούς που έγιναν δεν λήφθηκε υπόψη η περίπτωση της

διατομής Κ75 για το σενάριο RCP8.5, έτος αναφοράς το 2030 και περίοδο επαναφοράς $T=10$ έτη, στην οποία είχε προκύψει προέλαση της ακτής.

Σύμφωνα με τις προβλέψεις για την υποχώρηση της ακτογραμμής λόγω ακραίας θαλάσσιας στάθμης (στατικά και δυναμικό μοντέλο) και υπό το σενάριο RCP4.5 και για το έτος 2030, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 20, άνοδος της θαλάσσιας στάθμης κατά 0.812- 0.997m ($T=10$) δίνει παραλιακές οπισθοχωρήσεις κατά 4.55 – 67.54m, άνοδος κατά 0.943 – 1.164m ($T=50$) θα προκαλέσει οπισθοχωρήσεις κατά 5.60 – 68.35 m και άνοδος κατά 1.012 – 1.260m ($T=100$) θα οδηγήσει σε οπισθοχωρήσεις κατά 5.75 - 68.91m. Για το έτος 2050, οι υπολογισμένες τιμές είναι ελαφρώς αυξημένες: για άνοδο 0.893 - 1.084m ($T=10$) η οπισθοχώρηση κυμαίνεται από 6.98 έως 80.82m, για άνοδο 1.021 - 1.249m ($T=50$) από 7.76 - 76.07m και για 1.089 - 1.343m ($T=100$) από 8.45 έως 81.00m. Όπως και στην περίπτωση της μακροχρόνιας υποχώρησης (παράγραφος 3.1), τα μεγάλα εύρη οπισθοχώρησης αντανakλούν την διαφορετική τοπογραφία, ιζηματολογία και κυματικές συνθήκες των παραλιών που εξετάστηκαν.

Σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5 και για το έτος 2030, άνοδος της θαλάσσιας στάθμης κατά 0.846 - 1.027m ($T=10$) δίνει παραλιακές οπισθοχωρήσεις κατά 4.75 – 68.86m, άνοδος κατά 0.979 – 1.197m ($T=50$) θα οδηγήσει σε οπισθοχωρήσεις κατά 4.75– 69.53m και άνοδος κατά 1.049 - 1.293m ($T=100$) θα προκαλέσει οπισθοχωρήσεις κατά 6.13 - 70.30m. Για το έτος 2050, οι υπολογισμένες τιμές είναι ελαφρώς αυξημένες: για άνοδο 0.972 - 1.158m ($T=10$) η οπισθοχώρηση κυμαίνεται από 3.13 έως 77.75m, για άνοδο 1.100 - 1.323m ($T=50$) από 8.61 - 86.75m και για 1.168 - 1.417m ($T=100$) από 8.79 - 89.08m.

Όσον αφορά την υποχώρηση των εξεταζόμενων διατομών υπό το RCP4.5, το 2030 εκτιμήθηκε ότι 23-27% των περιπτώσεων θα έχουν υποχωρήσει μέχρι το 50% του αρχικού πλάτους (παραλία Κάλυμνος, Ακτή Ψεματισμένου, Ακτή Κοινότητας Αγίου Θεοδώρου και παραλία Πανταχού – ανατολικό τμήμα), 46-50% θα έχει υποχωρήσει στο 100% (Περιοχή Ασκός Πέγεια, Παραλία Πετούντας και παραλία Μπούζι στην Κοινότητα Μαζωτού, Ακτή Κιβισιλίου και παραλιακό μέτωπο Σοφτάδων παραλία Πανταχού – δυτικό τμήμα), ενώ σε ποσοστό περίπου 14% επηρεάζονται υποδομές όπισθεν των παραλιών (Παραλιακό μέτωπο Σοφτάδων και παραλία Πανταχού – δυτικό τμήμα). Το 2050 τα αντίστοιχα ποσοστά διαμορφώνονται στο 18%, 55-59% και 14-23% περίπου, δηλαδή αυξάνεται ο αριθμός των διατομών των παραλιών που παρουσιάζουν πλήρη υποχώρηση, με μείωση όσων υποχωρούν στο μισό του αρχικού τους πλάτους, ενώ λίγο μεγαλύτερο ποσοστό εμφανίζει υποχώρηση μέχρι το πλάτος που εντοπίζονται υποδομές.

Υπό το σενάριο RCP8.5, το 2030 αναμένεται το 23-32% των περιπτώσεων να έχουν υποχωρήσει μέχρι το 50% του αρχικού πλάτους (Περιοχή Ασκός Πέγεια, παραλία Κάλυμνος, Ακτή Ψεματισμένου, Ακτή Κοινότητας Αγίου Θεοδώρου και παραλία Πανταχού – ανατολικό τμήμα) και το 48-55% να έχει υποχωρήσει στο 100% (Περιοχή Ασκός Πέγεια, Παραλία Πετούντας και παραλία Μπούζι στην Κοινότητα Μαζωτού, Ακτή Κιβισιλίου και παραλιακό μέτωπο Σοφτάδων παραλία Πανταχού – δυτικό τμήμα), ενώ σε ποσοστό περίπου 9-18% επηρεάζονται υποδομές όπισθεν των παραλιών (Παραλιακό μέτωπο Σοφτάδων και παραλία Πανταχού – δυτικό τμήμα). Το 2050 τα αντίστοιχα ποσοστά διαμορφώνονται στο 14-18%, 59-64% και 18-23% περίπου. Όπως και στο σενάριο RCP4.5, μικρή αύξηση παρουσιάζουν οι παραλίες που παρουσιάζουν πλήρη υποχώρηση με παράλληλη μείωση όσων υποχωρούν στο μισό του αρχικού τους πλάτους, ενώ μικρό ποσοστό εμφανίζει υποχώρηση μέχρι το πλάτος που εντοπίζονται υποδομές. Τα αποτελέσματα των δυο σεναρίων ως ποσοστά δε διαφέρουν σημαντικά. Σε σύγκριση με τους αντίστοιχους υπολογισμούς υπό το RCP4.5, στο RCP8.5 οι περιπτώσεις που αναμένεται υποχώρηση μέχρι το μισό του αρχικού πλάτους παρουσιάζουν αύξηση κατά 16% για το 2030 και μείωση κατά 25% για το 2050, ενώ μικρή αύξηση κατά περίπου 4-9% εμφανίζεται για τις περιπτώσεις με υποχώρηση στο 100%. Οι περιπτώσεις που αναμένεται επιρροή των υποδομών όπισθεν των παραλιών εμφανίζουν μείωση κατά 33% για το 2030 υπό το RCP8.5, αλλά ισόποση αύξηση για το 2050 σε σύγκριση πάντα με το RCP4.5.

3.4 Αναπλήρωση ακτής

Η αναπλήρωση ακτής είναι μια ήπια μέθοδος προστασίας από τη διάβρωση (Βελεγράκης κ.α., 2017). Από την ανάλυση που προηγήθηκε ξεχώρισαν οι παραλίες με την μεγαλύτερη τρωτότητα που ταυτόχρονα παρουσιάζουν οικονομική αξία και/ ή υποδομές στην άμεση γειτνίασή τους και γι' αυτές εξετάστηκαν ορισμένα σενάρια τεχνητής αναπλήρωσης. Οι παραλίες αυτές είναι (Πίνακας 21) η περιοχή Ασκός του Δήμου Πέγεια, η Ακτή Κυβερνήτη και η Παραλία Κάλυμνος στην Κοινότητα Πεντακώμου, η Πλαζ Παρασόλια και η παραλία που προσφέρεται για αθλητικές δραστηριότητες (αετοσανίδα) στην ακτή Κιβισιλίου και παραλιακό μέτωπο Σοφτάδων και τέλος η παραλία Πανταχού στον Δήμο Αγίας Νάπας.

Τα πιθανά σενάρια αναπλήρωσης επιλέχθηκαν αρχικά έτσι ώστε να «απορροφήσουν» την μακροχρόνια μεταβολή της ακτής, ενώ στη συνέχεια εξετάστηκε η περίπτωση αναπλήρωσης με εξασφάλιση μεγαλύτερου πλάτους ώστε να μην υπάρχει απώλεια παραλίας ακόμα και στο δυσμενέστερο επεισοδιακό φαινόμενο του έτους 2030.

Στον Πίνακα 21 παρατίθενται τα βασικά μεγέθη που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της αναπλήρωσης για κάθε ακτή, δηλαδή το αρχικό πλάτος της παραλίας (όπου υπήρχαν περισσότερες διατομές εμφανίζεται το ελάχιστο αρχικό πλάτος), η μακροχρόνια υποχώρηση για το έτος 2030,

όπως έχει προκύψει από την εφαρμογή των στατικών μοντέλων, η δυσμενέστερη επεισοδιακή υποχώρηση για το 2030, όπως έχει προκύψει από την εφαρμογή του δυναμικού μοντέλου, το τελικό πλάτος της παραλίας μετά από μακροχρόνια και επεισοδιακή άνοδο της θαλάσσιας στάθμης και τέλος η ύπαρξη υποδομών όπισθεν της παραλίας και η αλληλεπίδραση με αυτές λόγω της συνολικής υποχώρησης.

Πίνακας 21: Βασικά χαρακτηριστικά των προς αναπλήρωση παραλιών.

| Ευρύτερη περιοχή | Παραλία | Διατομές | Σενάριο | Αρχικό πλάτος παραλίας (m) | Υποχώρηση (μακροχρόνια για το 2030) (m) | Υποχώρηση (δυσμενέστερη επεισοδιακή υποχώρηση για το 2030) (m) | Τελικό πλάτος παραλίας με επεισοδιακή άνοδο (m) | Αλληλεπίδραση με υποδομές |
|---|-------------------------------------|----------|---------|----------------------------|---|--|---|---------------------------|
| Δήμος Πέγειας | Περιοχή Ασκός | B7 | RCP4.5 | 13.5 | 6.55 | 7.12 | -0.2 | όχι |
| | | | RCP8.5 | 13.5 | 10.26 | 14.8 | -11.6 | όχι |
| Κοινότητα Πεντακώμου | Ακτή Κυβερνήτη | K2 | RCP4.5 | 13.6 | 5.71 | 4.19 | 3.7 | όχι |
| | | | RCP8.5 | 13.6 | 6.16 | 4.28 | 3.2 | όχι |
| | Παραλία Κάλυμνος | K3 | RCP4.5 | 17.7 | 1.78 | 8.24 | 7.7 | όχι |
| | | | RCP8.5 | 17.7 | 2.91 | 9.7 | 5.1 | όχι |
| Ακτή Κιβισιλίου και παραλιακό μέτωπο Σοφτάδων | Περιοχή Λουομένων -Πλαζ Παρασόλια | K74/ K75 | RCP4.5 | 17.8 | 11.94 | 50.59 | -44.7 | ναι |
| | | | RCP8.5 | 17.8 | 12.95 | 50.9 | -46.1 | ναι |
| | Αθλητικές δραστηριότητες-αετοσανίδα | K77 | RCP4.5 | 29.9 | 5.66 | - | - | ναι |
| | | | RCP8.5 | 29.9 | 6.13 | - | - | ναι |
| Δήμος Αγίας Νάπας | Παραλία Πανταχού | A1 - A6 | RCP4.5 | 31.2 | 19.18 | 47.73 | -35.7 | ναι |
| | | | RCP8.5 | 31.2 | 20.51 | 49.79 | -39.1 | ναι |

Στους Πίνακες 22 και 23 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των διατομών των παραλιών που εξετάστηκαν ως προς τη δυνατότητα αναπλήρωσης. Τα χαρακτηριστικά μεγέθη των διατομών που είναι απαραίτητα για τους υπολογισμούς είναι η κλίση της ακτής, η οποία υπολογίστηκε πλησίον της ακτογραμμής από βάθος -1m έως ύψος 1m, το μέγεθος d_{50i} , δηλαδή το μέγεθος του κόκκου του 50% του υλικού στην ακτή, το μέγεθος d_{50f} , δηλαδή το επιλεχθέν μέγεθος του κόκκου της αναπλήρωσης και τέλος το μήκος της ακτής στο οποίο θα υλοποιηθεί η αναπλήρωση. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών: το ύψος (B) στο οποίο θα φτάσει το υλικό αναπλήρωσης από την αρχική θαλάσσια στάθμη, ο απαιτούμενος όγκος υλικού αναπλήρωσης ανά μέτρο μήκους παραλίας και συνολικά, η τελική επιθυμητή προέκταση της ακτής (Δy_f) και τέλος το κόστος ανά μέτρο μήκους αναπλήρωσης και συνολικό. Τέλος, παρουσιάζεται το πλάτος της παραλίας που εξασφαλίζεται ότι θα διατηρηθεί ακόμη και στην δυσμενέστερη περίπτωση που η ακτή υποχωρήσει κατά το υπολογισθέν μέγεθος από την επεισοδιακή άνοδο (ESL).

Πίνακας 22: Παρουσίαση χαρακτηριστικών (κλίση, κοκκομετρία (D_{50}), μήκος ακτής) και αποτελεσμάτων αναπλήρωσης παραλιών (ύψος αναπλήρωσης από τη ΜΣΘ (B), όγκος απαιτούμενου υλικού ανά μέτρο ακτής (V), τελική επιθυμητή προέκταση ακτής ($\Delta_{γf}$), συνολικός όγκος αναπλήρωσης (V_T), κόστος και τελικό ελάχιστο πλάτος παραλίας) σύμφωνα με τα σενάρια μακροχρόνιας υποχώρησης της ακτής.

| Ευρύτερη περιοχή | Παραλία | Διατομές | Σενάριο | Κλίση | D_{50i} (mm) | D_{50f} (mm) | Μήκος αναπλήρωσης (m) | B (m) | V (m^3/m) | $\Delta_{γf}$ (m) | V_T (m^3) | Κόστος (€) | Κόστος (€/m ³) | Τελικό ελάχιστο πλάτος παραλίας |
|---|-------------------------------------|-----------|---------|-------|----------------|----------------|-----------------------|-------|---------------|-------------------|-----------------|------------|----------------------------|---------------------------------|
| Δήμος Πέγειας | Περιοχή Ασκός | B7 | RCP4.5 | 0.114 | 6 | 8 | 200 | 0.62 | 34.08 | 8 | 6816.79 | 101910.95 | 20 | 14.95 |
| | | | RCP8.5 | | | | | 0.63 | 64.75 | 12 | 12950.68 | 197368.30 | 20 | 15.24 |
| Κοινότητα Πεντακώμου | Ακτή Κυβερνήτη | K2 | RCP4.5 | 0.035 | 0.4 | 0.6 | 400 | 0.40 | 7.89 | 7 | 3156.95 | 31569.54 | 10 | 14.89 |
| | | | RCP8.5 | | | | | 0.41 | 7.96 | 7 | 3183.03 | 31830.30 | 10 | 14.44 |
| | Παραλία Κάλυμνος | K3 | RCP4.5 | 0.103 | 0.2 | 0.4 | 290 | 0.52 | 2.24 | 3 | 649.01 | 6490.06 | 10 | 18.92 |
| | | | RCP8.5 | | | | | 0.53 | 3.20 | 4 | 928.89 | 9288.88 | 10 | 18.79 |
| Ακτή Κιβισιλίου και παραλιακό μέτωπο Σοφτάδων | Περιοχή Λουομένων - Πλαζ παρασόλια | K74 - K75 | RCP4.5 | 0.026 | 0.2 | 0.4 | 500 | 0.37 | 13.86 | 14 | 6931.26 | 69312.56 | 10 | 19.86 |
| | | | RCP8.5 | | | | | 0.38 | 14.02 | 14 | 7008.79 | 70087.90 | 10 | 18.85 |
| | Αθλητικές δραστηριότητες-αετοσανίδα | K77 | RCP4.5 | 0.027 | 0.2 | 0.4 | 220 | 0.37 | 5.34 | 7 | 1174.15 | 11741.48 | 10 | 31.24 |
| | | | RCP8.5 | | | | | 0.38 | 6.48 | 8 | 1425.26 | 14252.57 | 10 | 31.77 |
| Δήμος Αγίας Νάπας | Παραλία Πανταχού | A1 - A6 | RCP4.5 | 0.053 | 0.33 | 0.6 | 760 | 0.33 | 30.48 | 21 | 23165.30 | 231653.02 | 10 | 33.02 |
| | | | RCP8.5 | | | | | 0.35 | 33.07 | 22 | 25136.38 | 251363.80 | 10 | 32.69 |

Πίνακας 23: Παρουσίαση χαρακτηριστικών (κλίση, κοκκομετρία (D_{50}), μήκος ακτής) και αποτελεσμάτων αναπλήρωσης παραλιών (ύψος αναπλήρωσης από τη ΜΣΘ (B), όγκος απαιτούμενου υλικού ανά μέτρο ακτής (V), τελική επιθυμητή προέκταση ακτής ($\Delta_{γf}$), συνολικός όγκος αναπλήρωσης (V_T), κόστος και τελικό ελάχιστο πλάτος παραλίας) σύμφωνα με τα σενάρια της δυσμενέστερης υποχώρησης της ακτής υπό ακραίο φαινόμενο.

| Ευρύτερη περιοχή | Παραλία | Διατομές | Σενάριο | ΚΛΙΣΗ | D50 l (mm) | D50 f (mm) | Μήκος αναπλήρωσης (m) | B (m) | V (m ³ /m) | $\Delta_{γf}$ (m) | V (m ³) | Κόστος (€) | Κόστος (€/m ³) | Τελικό ελάχιστο πλάτος παραλίας |
|---|------------------------------------|-----------|---------|-------|------------|------------|-----------------------|-------|-----------------------|-------------------|---------------------|------------|----------------------------|---------------------------------|
| Δήμος Πέγεια | Περιοχή Ασκός | B7 | RCP4.5 | 0.114 | 6 | 8 | 200 | 0.62 | 82.69 | 14 | 16537.74 | 330754.78 | 20 | 13.83 |
| | | | RCP8.5 | | | | | 0.63 | 223.93 | 26 | 44785.41 | 895708.21 | 20 | 14.44 |
| Κοινότητα Πεντακώμου | Ακτή Κυβερνήτη | K2 | RCP4.5 | 0.035 | 0.4 | 0.6 | 400 | 0.40 | 13.24 | 10 | 5294.36 | 52943.64 | 10 | 13.7 |
| | | | RCP8.5 | | | | | 0.41 | 15.33 | 11 | 6132.26 | 61322.61 | 10 | 14.16 |
| | Παραλία Κάλυμνος | K3 | RCP4.5 | 0.103 | 0.2 | 0.4 | 290 | 0.52 | 11.56 | 11 | 3353.80 | 33538.03 | 10 | 18.68 |
| | | | RCP8.5 | | | | | 0.53 | 14.58 | 13 | 4227.52 | 42275.24 | 10 | 18.09 |
| Ακτή Κιβισιλίου και παραλιακό μέτωπο Σοφτάδων | Περιοχή Λουομένων - Πλαζ παρασόλια | K74 - K75 | RCP4.5 | 0.026 | 0.2 | 0.4 | 500 | 0.37 | 129.67 | 63 | 64833.97 | 648339.71 | 10 | 18.27 |
| | | | RCP8.5 | | | | | 0.38 | 133.57 | 64 | 66787.27 | 667872.66 | 10 | 17.95 |
| Δήμος Αγίας Νάπας | Παραλία Πανταχού | A1 - A6 | RCP4.5 | 0.053 | 0.33 | 0.6 | 760 | 0.33 | 184.57 | 67 | 140270.04 | 1402700.40 | 10 | 31.29 |
| | | | RCP8.5 | | | | | 0.35 | 203.55 | 71 | 154694.28 | 1546942.77 | 10 | 31.9 |

Από την πρώτη εφαρμογή (αντιμετώπιση μακροχρόνιας μεταβολής), εξασφαλίζεται ότι θα διατηρηθεί το αρχικό πλάτος των παραλιών για την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης που υπολογίζεται να παρουσιαστεί μέχρι το 2030 υπό τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5. Οι παραλίες θα έχουν τελικό πλάτος λίγο μεγαλύτερο από το αρχικό τους.

Στην παρούσα εργασία έγινε μια προκαταρκτική εκτίμηση του κόστους ανά φορά αναπλήρωσης, καθώς δεν ήταν γνωστά στοιχεία για τη διαθεσιμότητα υλικού αναπλήρωσης και του συνεπαγόμενου κόστους ανά κυβικό μέτρο.

Η επιλογή του κόστους ήταν 10€/m^3 και για το πιο χονδρόκοκο ίζημα (Ασκός Πέγειας) 20€/m^3 . Η ύπαρξη όμως κατάλληλου για αναπλήρωση υλικού σε παράκτιες ή θαλάσσιες εκτάσεις πλησίον των θέσεων αναπλήρωσης μπορεί να μειώσει την τιμή ανά κυβικό ακόμα και κατά 50%, ενώ αντίθετα η προμήθειά του από πιο απομακρυσμένη περιοχή να την αυξήσει.

Το κόστος της αναπλήρωσης κυμαίνεται από περίπου $\text{€}6500$ ή $\text{€}9300$ (παραλία Κάλυμνος για το σενάριο RCP4.5 και RCP8.5 αντίστοιχα) και έως περίπου $\text{€}232000$ ή $\text{€}251500$ (παραλία Πανταχού για το σενάριο RCP4.5 και RCP8.5 αντίστοιχα). Από την αναπλήρωση για αντοχή και σε επεισοδιακή άνοδο, το ελάχιστο και μέγιστο κόστος διαμορφώνονται ως εξής: ελάχιστο κόστος περίπου $\text{€}33500$ ή $\text{€}42300$ για την παραλία Κάλυμνος και περίπου $\text{€}1403000$ έως $\text{€}1550000$ για την παραλία Πανταχού. Η αύξηση στο κόστος κυμαίνεται από 68% έως 850%. Η δεύτερη περίπτωση έχει σαφώς μεγαλύτερο κόστος και για το λόγο αυτό θα μπορούσαν να εξετασθούν μόνο οι παραλίες στις οποίες η υποχώρηση επηρεάζει τις υποδομές, δηλαδή οι παραλίες Παρασόλια και Πανταχού. Σημειώνεται ότι η παραλία στην οποία αντιστοιχεί η διατομή K77, παρότι έχει υποδομές, δεν εξετάστηκε ως προς τη βραχυχρόνια άνοδο καθώς δεν είχε επιλεγεί για την εφαρμογή της επεισοδιακής ανόδου.

Στις επιλεγείσες παραλίες εξετάστηκε η τεχνητή αναπλήρωση σε όλο το μήκος τους. Για τη μείωση του κόστους της αναπλήρωσης, ώστε να είναι πιο ρεαλιστική η υλοποίησή της, θα μπορούσε να επιλεγεί μικρότερο μήκος ακτής ή ακόμα και διαφορετικής διαμέτρου υλικό αναπλήρωσης (αν αυτό συνεπάγεται μικρότερο κόστος). Το τελευταίο βέβαια εξαρτάται κυρίως από τη διαθεσιμότητα κατάλληλου υλικού στην ευρύτερη περιοχή. Για περαιτέρω μείωση του κόστους η προέκταση της αναπλήρωσης θα μπορούσε να μειωθεί, μόνο εφόσον όμως το τελικό ελάχιστο πλάτος της παραλίας παραμένει σε αποδεκτές τιμές.

4. Συζήτηση

Η παρούσα εργασία είχε ως στόχο την προκαταρκτική εκτίμηση της μεταβολής (διάβρωση ή προέλαση) συγκεκριμένων τμημάτων της ακτογραμμής της Κύπρου βάσει των εκτιμήσεων περί κυματικών συνθηκών και ανόδου της θαλάσσιας στάθμης σύμφωνα με τα σενάρια κλιματικής αλλαγής RCP4.5 και RCP8.5. Τα τμήματα της Κύπρου που εξετάστηκαν επιλέχθηκαν βάσει της διαθεσιμότητας των δεδομένων που υπήρχαν από προηγούμενες μελέτες (MARNET ATE, 2019). Για την εκτίμηση της εξέλιξης της ακτογραμμής χρησιμοποιήθηκαν μονοδιάστατα μοντέλα, τα οποία δεν είναι λεπτομερή, έχουν όμως αξιολογηθεί ικανοποιητικά από φυσικά πειράματα (Monioudi et al., 2017).

Η εφαρμογή των στατικών μοντέλων έδωσε τη μακροχρόνια υποχώρηση της ακτογραμμής, δηλαδή τη μη αναστρέψιμη υποχώρηση της ακτογραμμής λόγω κυρίως της επιταχυνόμενης (σχετικής) ανόδου της θαλάσσιας στάθμης, για κυματικά δεδομένα με περίοδο επαναφοράς ενός έτους και άνοδο της θάλασσας που αντιστοιχεί στο εξεταζόμενο έτος αναφοράς για το κάθε κλιματικό σενάριο – 2030, 2050 ή 2100. Η εφαρμογή του δυναμικού μοντέλου έγινε με κυματικά δεδομένα και ΑΣΘ που αντιστοιχούν σε περίοδο επαναφοράς 10, 50 ή 100 ετών, για έτος αναφοράς το 2030 ή 2050 και τα αποτελέσματα αφορούν βραχυχρόνια μεταβολή της ακτογραμμής, που ενέχει τον κίνδυνο πρόκλησης καταστροφών στις παράκτιες περιοχές. Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του δυναμικού μοντέλου σε όλες τις περιπτώσεις έδωσαν αρνητικό αποτέλεσμα που σηματοδοτεί οπισθοχώρηση της ακτογραμμής.

Πιο συγκεκριμένα, από τα αποτελέσματα των στατικών μοντέλων για τις 39 διατομές, που αντιστοιχούν σε εννέα (9) περιοχές, προέκυψε ότι τόσο υπό το RCP 4.5 όσο και υπό το RCP8.5 για τα έτη 2030 και 2050 υποχωρούν πέραν του αρχικού τους πλάτους οι ίδιες περιοχές. Για το έτος 2030 επηρεάζονται σημαντικά η ακτή δυτικά του αλιευτικού καταφυγίου Ζυγίου, η παραλία Πετούντας και η παραλία Μπούζι στην Κοινότητα Μαζωτού και η ακτή Κιβισιλίου. Για το 2050 η εφαρμογή των μοντέλων έδειξε ότι θα υπάρχει υποχώρηση και στο παραλιακό μέτωπο της Κοινότητας Σοφτάδων, ενώ οι παραλίες Λατούρος και Πανταχού θα έχουν υποχωρήσει μέχρι τις πλησιέστερες στην παραλία υποδομές.

Οι υπολογισμοί για το έτος 2100 υπό το σενάριο RCP 4.5 έδειξαν υποχώρηση πέραν του αρχικού πλάτους στην περιοχή Ασκός του Δήμου Πέγειας, στην ακτή Κυβερνήτη, στην ακτή δυτικά του

αλιευτικού καταφυγίου Ζυγίου, στην παραλία Πετούντας και την παραλία Μπούζι της Κοινότητας Μαζωτού, στην ακτή Κιβισιλίου και το παραλιακό μέτωπο Σοφτάδων και στην παραλία Πανταχού. Αντίστοιχα, υπό το RCP8.5 για το έτος 2100 αναμένεται να υποχωρήσουν εκτός από τις παραπάνω περιοχές και οι ακτές Κοινότητας Ψεματισμένου, Κοινότητας Μαρωνίου και Αγίου Θεοδώρου και η παραλία Λατούρος (δυτικότερο τμήμα). Όσον αφορά τις παραλίες με επηρεαζόμενες υποδομές, υπό το RCP4.5 παρουσιάζεται πλήρης απώλεια παραλίας χωρίς δυνατότητα υποχώρησης λόγω της ύπαρξης υποδομών στο εσωτερικό όριό τους στις εξής περιοχές: ακτή δυτικά του αλιευτικού καταφυγίου Ζυγίου, ακτή Κοινότητας Αγίου Θεοδώρου, Παραλία Λατούρος (ανατολικότερο τμήμα), παραλιακό μέτωπο Σοφτάδων (Κ74) και Παραλία Πανταχού. Υπό το RCP8.5 προέκυψε πλήρης απώλεια για τις παραπάνω περιοχές, καθώς επίσης και στην ακτή Κυβερνήτη, στην ακτή Κοινότητας Μαζωτού, και στο παραλιακό μέτωπο Σοφτάδων.

Ερμηνεύοντας τα παραπάνω, υπό το σενάριο RCP 4.5 το 2030 η μακροχρόνια άνοδος της στάθμης της θάλασσας δε θα έχει φτάσει τις υφιστάμενες υποδομές (οδικό δίκτυο, παραλιακά κτίσματα). Το 2050 όμως θα έχει φτάσει τις πλησιέστερες στην ακτή υποδομές με κίνδυνο να προκαλέσει υλικές ζημιές σε αυτές στο 5.1% των εξεταζόμενων διατομών και συγκεκριμένα στις περιοχές παραλία Αλαμινού και παραλία Πανταχού Αγίας Νάπας, ενώ μέχρι το 2100 θα έχουν επηρεαστεί επίσης οι υποδομές στην ακτή δυτικά του αλιευτικού καταφυγίου Ζυγίου και τμήμα της ακτής Κιβισιλίου (12.8% του συνόλου των διατομών). Για το σενάριο RCP8.5 ισχύουν ό,τι και για το RCP4.5, με περισσότερες όμως περιπτώσεις διατομών να έχουν φτάσει στο όριο των υποδομών (ποσοστό 5.1% για το 2050 και 28.2% για το 2100).

Όσον αφορά την εφαρμογή του δυναμικού μοντέλου, συγκριτικά με τα αποτελέσματα της μακροχρόνιας υποχώρησης των στατικών μοντέλων, για δεδομένο σενάριο και έτος αναφοράς η βραχυχρόνια υποχώρηση είναι αρκετά πιο μεγάλη, καθιστώντας την υπολογίσιμο μέγεθος για την εκτίμηση πιθανών καταστροφών στην παραλιακή ζώνη. Το δυναμικό μοντέλο εφαρμόστηκε σε 22 διατομές, που αντιστοιχούν σε επτά (7) περιοχές. Η βραχυχρόνια υποχώρηση παρουσιάζει θετική συσχέτιση με την περίοδο επαναφοράς των ακραίων φαινομένων για ορισμένες διατομές, όπως στο παραλιακό μέτωπο Σοφτάδων, ενώ σε άλλες περιπτώσεις στις οποίες η υποχώρηση για περίοδο επαναφοράς 50 υπερβαίνει τις αντίστοιχες τιμές με περίοδο επαναφοράς 10 και 100 ετών, όπως για παράδειγμα η παραλία Πανταχού για το σενάριο RCP8.5.

Στη συνέχεια έγινε εκτίμηση της συνολικής ανόδου της θαλάσσιας στάθμης με υπέρθεση των επεισοδιακών θαλάσσιων σταθμών στην προβλεπόμενη άνοδο της σχετικής (μέσης) θαλάσσιας στάθμης. Από τη σύγκριση με το αρχικό πλάτος των παραλιών και την ύπαρξη υποδομών σε κρίσιμη απόσταση, προέκυψε ότι:

- Θα έχουν υποχωρήσει στο μισό ή λιγότερο του αρχικού πλάτους υπό το RCP4.5 (2030 και 2050) η παραλία Κάλυμνος, η ακτή Ψεματισμένου, η ακτή Κοινότητας Αγίου Θεοδώρου και η παραλία Πανταχού (το ανατολικότερο τμήμα της), ενώ υπό το RCP8.5 η περιοχή Ασκός Πέγειας και όλες οι προαναφερθείσες περιοχές.
- η υποχώρηση υπερβαίνει το πλάτος της παραλίας χωρίς να φτάνει υποδομές στις εξής περιπτώσεις: παραλία Πετούντας και παραλία Μπούζι στην Κοινότητα Μαζωτού, ακτή Κιβισιλίου και παραλιακό μέτωπο Σοφτάδων για όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν, περιοχή Ασκός Πέγειας για το RCP4.5 (2050) και το RCP8.5 (2030 και 2050), ακτή Κυβερνήτη για το RCP8.5 (2050) και τέλος παραλία Πανταχού (μόνο μία διατομή) για το RCP 4.5 (2030) σε όλες τις περιπτώσεις, RCP 4.5 (2050) για T=10 και RCP8.5 (2030) για T=10.
- η υπολογισθείσα υποχώρηση επηρεάζει τις παρακείμενες υποδομές στην ακτή Κιβισιλίου και παραλιακό μέτωπο Σοφτάδων, στο δυτικότερο τμήμα της παραλίας Πανταχού σε όλες τις περιπτώσεις (άλλοτε σε μία και έως τρεις διατομές).

Όσον αφορά την εφαρμογή τεχνητής αναπλήρωσης, εξετάστηκαν οι παραλίες με τη μεγαλύτερη τρωτότητα, όπως προέκυψε από την εφαρμογή των μοντέλων, που ταυτόχρονα παρουσιάζουν οικονομική αξία και/ ή υποδομές στην άμεση γειτνίασή τους. Από την πρώτη εφαρμογή της μεθόδου, που αφορά την αντιμετώπιση μακροχρόνιας μεταβολής, εξασφαλίζεται ότι θα διατηρηθεί το αρχικό πλάτος των παραλιών για την άνοδο της σχετικής θαλάσσιας στάθμης που υπολογίζεται να παρουσιαστεί μέχρι το 2030 υπό τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5. Οι παραλίες θα έχουν τελικό ελάχιστο πλάτος λίγο μεγαλύτερο από το αρχικό τους.

4.1. Τεχνητή αναπλήρωση ευάλωτων παραλιών

Στην παρούσα εργασία έγινε μια προκαταρκτική εκτίμηση του κόστους ανά φορά αναπλήρωσης και προέκυψε ότι το κόστος της αναπλήρωσης κυμαίνεται από περίπου €6500 και έως €42300 (παραλία Κάλυμνος για το σενάριο RCP4.5 μακροχρόνια άνοδος και RCP8.5 ακραία άνοδος αντίστοιχα). Το μεγαλύτερο κόστος υπολογίστηκε για την παραλία Πανταχού και είναι περίπου €232000 (για το σενάριο RCP4.5 μακροχρόνια άνοδος), αλλά μπορεί να φτάσει €1550000 (RCP8.5 ακραία άνοδος). Η δεύτερη περίπτωση, δηλαδή η διατήρηση του πλάτους της παραλίας ακόμα και σε ακραία άνοδο της θαλάσσιας στάθμης έχει σαφώς μεγαλύτερο κόστος και για το λόγο αυτό θα μπορούσαν να εξετασθούν μόνο οι παραλίες στις οποίες η υποχώρηση επηρεάζει τις υποδομές, δηλαδή οι παραλίες Παρασόλια και Πανταχού. Εναλλακτικά, θα μπορούσε να εξετασθεί μείωση του μήκους της ακτής που απαιτεί αναπλήρωση ή ακόμα και επιλογή υλικού διαφορετικής διαμέτρου εάν και εφόσον αυτό συνεπάγεται μικρότερο κόστος. Για περαιτέρω μείωση του κόστους, η προέκταση της αναπλήρωσης θα μπορούσε να μειωθεί, ώστε το τελικό ελάχιστο πλάτος της παραλίας να παραμένει σε αποδεκτές τιμές ακόμη κι αν μειώνεται σε σχέση με το αρχικό πλάτος.

Η επιλογή του κόστους ήταν 10€/m³ έως 20€/m³ κατά περίπτωση, η ύπαρξη όμως κατάλληλου για αναπλήρωση υλικού σε παράκτιες ή θαλάσσιες εκτάσεις πλησίον των θέσεων αναπλήρωσης μπορεί να μειώσει την τιμή ανά κυβικό ακόμα και κατά 50%. Από συναντήσεις με τοπικούς φορείς (Κοινοότητες) που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια των μελετών από τη MARNET ATE (2019), κατέστη γνωστό ότι σε ετήσια βάση γίνονται αναπληρώσεις ακτής στην Ακτή Κυβερνήτη και την Παραλία Κάλυμνος από ίζημα που λαμβάνεται από βυθοκόρηση σε τεχνικό έργο – λιμενίσκο που παρουσιάζει προβλήματα προσάμμωσης. Αντίστοιχες πηγές υλικού προς αναπλήρωση θα μπορούσαν να διερευνηθούν για την ορθότερη εκτίμηση του κόστους.

4.2 Παρατηρήσεις ως προς τη χρήση των μοντέλων

Τα μοντέλα (στατικά και δυναμικό) είναι ευαίσθητα στην παραλιακή κλίση και στις κυματικές συνθήκες, με θετική συσχέτιση μεταξύ του κυματικού ύψους και της οπισθοχώρησης της ακτής (με εξαίρεση το μοντέλο του Bruun) (Monioudi et al., 2015). Την εξέλιξη της ακτογραμμής επηρεάζουν επίσης το μέγεθος του ιζήματος και η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης (Monioudi et al., 2015). Ο συνδυασμός των παραγόντων αυτών καθορίζει το αποτέλεσμα της δράσης του κυματισμού (προέλαση ή διάβρωση).

Σε γειτονικές διατομές με διαφορετική κλίση αλλά ίδια κοκκομετρία και για τις οποίες χρησιμοποιούνται ίδια κυματικά δεδομένα, η υπολογισθείσα υποχώρηση διαφέρει. Κατά την εφαρμογή των στατικών μοντέλων, οι διαφορές μπορεί να είναι πολύ μικρές έως και αμελητέες (όπως για παράδειγμα της τάξεως του 0.3% για τις διατομές K73, K74 στο RCP 4.5 και το έτος 2050) ή και πολύ πιο μεγάλες και σίγουρα υπολογίσιμες (της τάξεως του 6000% για τις διατομές K17, K18 στο RCP 8.5 και το έτος 2030). Η εφαρμογή των δυναμικών μοντέλων έδειξε αντίστοιχες διαφορές στο αποτελέσματα γειτονικών διατομών: της τάξεως του 0.6% για τις διατομές K36, K37 στο RCP8.5 (2030) και περίοδο επαναφοράς 50 έτη και της τάξεως του 1576% για τις διατομές A1, A5 στο RCP4.5 (2050) και περίοδο επαναφοράς 10 έτη.

Για την ίδια διατομή είναι, στις περισσότερες περιπτώσεις, αισθητή η διαφορά στη μεταβολή του αποτελέσματος με τη μεταβολή των εισαγόμενων κυματικών δεδομένων (βλ. Πίνακες αποτελεσμάτων). Κατά κανόνα, μεγαλύτερο ύψος κύματος (Hs) και περίοδος του κυματισμού (Tp), έδωσαν μεγαλύτερη υποχώρηση για την ίδια διατομή χωρίς αυτό να ισχύει στο 100%, καθώς το αποτέλεσμα της εξέλιξης της ακτογραμμής επηρεάζεται και από το χρόνο προσομοίωσης. Υπάρχουν περιπτώσεις που η συνολική οπισθοχώρηση (μακροχρόνια και βραχυχρόνια) υπό κάποιο ακραίο φαινόμενο είναι μικρότερη από κάποιο λιγότερο ακραίο, όπως για παράδειγμα η περίπτωση της διατομής B6 για το σενάριο RCP4.5 (2030) για T=50 και T=100 (Πίνακας 15). Όπως έχει προαναφερθεί, οι διαφορές στην εξέλιξη της ακτογραμμής δε φανερώνουν τη συνολική μεταβολή

που μπορεί να έχει συμβεί στα υποθαλάσσια υβώματα και τις κοιλότητες της παράκτιας ζώνης, που σημαίνει ότι είναι πιθανό ενώ η υποχώρηση εμφανίζεται μικρότερη για το πιο ακραίο φαινόμενο, να συνοδεύεται από μεγαλύτερες μεταβολές στη μορφολογία της διατομής.

Στην περίπτωση του δυναμικού μοντέλου, η κοκκομετρία του υλικού στην ακτή επηρεάζει τη διαμόρφωση της τελικής διατομής. Μικρότερης διαμέτρου κόκκος άμμου είναι ευκολότερο να μετατοπιστεί κάτω από το ίδιο ποσό κυματικής ενέργειας, παρότι στα πλαίσια της παρούσας μελέτης δεν ελέγχθηκε ο βαθμός επιρροής της παραμέτρου d_{50} .

Το εισαγόμενο στο μοντέλο μήκος της διατομής, μετά από περιορισμένες δοκιμές, φαίνεται να μην επηρεάζει ιδιαίτερα το τελικό αποτέλεσμα. Συγκεκριμένα, για τις ίδιες κυματικές συνθήκες και την ίδια άνοδο της στάθμης της θάλασσας έγιναν δοκιμές με μεταβολή του συνολικού μήκους της διατομής όσον αφορά το τμήμα αυτής προς την ξηρά. Διαφορά προέκυψε στο δεύτερο δεκαδικό ψηφίο του αποτελέσματος ακόμα και στην περίπτωση που η εισαγόμενη διατομή επεκτεινόταν κατά εκατό ή και παραπάνω μέτρα σε μήκος. Καθώς οι μεγαλύτερες μεταβολές της μορφολογίας της διατομής πραγματοποιούνται πλησίον της ακτής (ζώνη θραύσης μέχρι τη ζώνη αναρρίχησης), είναι λογικό να μην υπάρχει μεγάλη διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων.

Τέλος, ο προσανατολισμός της ακτής είναι επίσης παράγοντας επιρροής του τελικού αποτελέσματος, εντούτοις στην περίπτωσή μας δεν ήταν δυνατόν να εξετασθεί, καθώς για τα κυματικά δεδομένα δεν ήταν διαθέσιμη η πληροφορία διευθύνσεως και συνεπώς θεωρούμε ότι οι δεδομένοι κυματισμοί είναι παράλληλοι στην διατομή (κάθετοι στην ακτογραμμή), συνθήκη που καθιστά την περίπτωση αυτή τη δυσμενέστερη των υπολοίπων.

4.3 Περιορισμοί και αδυναμίες της παρούσας μελέτης – Προτάσεις μελλοντικής προσέγγισης

Όσον αφορά την ακρίβεια των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν, στο δυναμικό μοντέλο εισάγεται μόνο μια χαρακτηριστική τιμή (d_{50}) κοκκομετρίας για κάθε διατομή, που αντιστοιχεί σε βάθος 0 ή -1m, δηλαδή στην περιοχή που λαμβάνουν χώρα σημαντικές μορφολογικές μεταβολές. Από την κοκκομετρική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε (MARNET ATE, 2019), είναι φανερό ότι η χαρακτηριστική διάσταση d_{50} μεταβάλλεται κατά μήκος των διατομών δειγματοληψίας. Στις περισσότερες περιπτώσεις κατά μήκος της διατομής εντοπίζονται διαφορετικής διαμέτρου άμμος, χάλικες, ακόμη και κροκάλες ή βραχώδης πυθμένας. Εντούτοις, η κοκκομετρία σε μεγαλύτερα βάθη δεν επηρεάζει σημαντικά τα αποτελέσματα των μοντέλων παρά μόνο αν υπάρχουν ιδιαίτερες γεωμορφές και οικοσυστήματα, όπως μεγάλες εκτάσεις με λειμώνες Ποσειδωνίας (Βελεγράκης κ.α., 2017) ή κοραλλιογενείς ύφαλοι. Αυτά θα πρέπει να ληφθούν υπόψη σε λεπτομερέστερες προσομοιώσεις, καθώς επηρεάζουν σημαντικά το συντελεστή τριβής και την απόσβεση της

κυματικής ενέργειας. Στην περίπτωση μας τα δεδομένα αυτά δεν ήταν διαθέσιμα. Συνεπώς, είναι πιθανό η εξέλιξη του εξεταζόμενου προφίλ στην πραγματικότητα να διαφέρει από το αποτέλεσμα που προκύπτει από την εφαρμογή του μοντέλου.

Όσον αφορά τα τοπογραφικά και βυθομετρικά δεδομένα από τα οποία εξήχθησαν οι διατομές προφίλ και χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εισόδου στο λογισμικό για εφαρμογή των μοντέλων, αυτά είναι αποτέλεσμα αποτύπωσης με εναέρια μέσα (MARNET ATE, 2019). Η εν λόγω αποτύπωση της θαλάσσιας και χερσαίας ζώνης της περιοχής μελέτης έγινε το 2018 με εναέρια μέσα (LIDAR) και χορηγήθηκαν δεδομένα για περίπου 100.000 σημεία της περιοχής, σε κανάβο 20x20m (MARNET ATE, 2019). Στη συνέχεια έγινε επεξεργασία τους με κατάλληλο λογισμικό και προέκυψε το συνολικό τοπογραφικό-βυθομετρικό διάγραμμα της περιοχής (MARNET ATE, 2019). Επίσης, η ακτογραμμή του τοπογραφικού διαγράμματος λήφθηκε από παλαιότερη αποτύπωση του Τμήματος Κτηματολογίας και Χωρομετρίας της Κύπρου που πραγματοποιήθηκε το 2014. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι οι διατομές προφίλ που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη περιέχουν κάποιο σφάλμα που προέκυψε από την επεξεργασία των σημείων του κανάβου στη διαδικασία παραγωγής του τοπογραφικού-βυθομετρικού διαγράμματος. Παρότι ακριβέστερη τοπογραφική και βυθομετρική αποτύπωση με επίγεια μέσα προβλεπόταν να γίνει σε επόμενη φάση των μελετών, μέχρι την έναρξη της παρούσας εργασίας αυτές δεν είχαν ολοκληρωθεί.

Επιπροσθέτως, οι διαθέσιμες διατομές απέχουν μεταξύ τους περίπου 400m για την περιοχή «Δόλος έως εκβολές του ποταμού Τρέμιθου» και περί τα 250m για τις περιοχές «Ασκός Δήμου Πέγειας» και «Πανταχού και Γλυκί Νερό του Δήμου Αγίας Νάπας». Στις παραλίες που επιλέχθηκαν προς διερεύνηση στην παρούσα εργασία αντιστοιχούν από μία έως οκτώ διατομές. Εντούτοις, για μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα της εξέλιξης της ακτογραμμής, θα ήταν θεμιτή η πύκνωση των διατομών προφίλ ώστε σε κάθε εξεταζόμενη παραλία να αντιστοιχεί ικανός αριθμός διατομών, για παράδειγμα με απόσταση μεταξύ τους ανά 20m ή 50m.

Σχετικά με τα δεδομένα κοκκομετρίας, όπως παρατηρήθηκε σε προηγούμενη ενότητα, οι διατομές δειγματοληψίας δε συμπίπτουν με τις διατομές προφίλ. Η εφαρμογή του δυναμικού μοντέλου έγινε μόνο για τις διατομές που ήταν στην ίδια παραλία και σε κοντινή απόσταση από σημείο δειγματοληψίας. Θεωρούμε λοιπόν ότι δεν υπάρχει μεγάλη απόκλιση στα αποτελέσματα από αυτό το γεγονός.

Στα στατικά και δυναμικά (μονοδιάστατα) μοντέλα, δεν υπάρχει η δυνατότητα να συνεκτιμηθούν παράγοντες της γεωμορφολογίας του περιβάλλοντος χώρου, όπως κόλποι ή χερσόνησοι, που μπορεί να αποτελέσουν περιοχές συγκέντρωσης ιζήματος ή αντίθετα σημεία εκτόνωσης της κυματικής ενέργειας και απομάκρυνσης του λεπτόκοκκου υλικού. Επίσης, η τροφοδοσία των ακτών σε ιζήμα

από την ξηρά, δηλαδή από χειμάρρους που εκβάλλουν στην περιοχή, δε λαμβάνονται υπόψη. Κατά την εφαρμογή των μοντέλων λαμβάνεται υπόψη μόνο το κυματικό κλίμα και η γεωμετρία της εξεταζόμενης διατομής.

Η επίδραση από τεχνικά έργα που έχουν κατασκευαστεί κατά το παρελθόν και βρίσκονται σε γειτνίαση με τις εξεταζόμενες διατομές είναι άλλος ένας παράγοντας που δεν δύναται να εξεταστεί με χρήση των στατικών ή δυναμικών μοντέλων. Λιμενικά έργα προστασίας της ακτής, όπως θωράκιση με φυσικούς ογκολίθους, πρόβολοι κάθετοι στην ακτή και αποσπασμένοι κυματοθραύστες παράλληλοι σε αυτή, αλλά και έργα ελλιμενισμού σκαφών επηρεάζουν την ιζηματομεταφορά (Μέμος, 2008) και κατ' επέκταση την εξέλιξη της ακτογραμμής. Η επιρροή των υποδομών αυτών δεν είναι δυνατόν να συνεκτιμηθεί παρά μόνο με χρήση μοντέλων δύο ή τριών διαστάσεων (2-D ή quasi 3-D) στα οποία θα εισαχθούν λεπτομερή και ακριβή τοπογραφικά και βυθομετρικά δεδομένα, τα οποία δεν ήταν διαθέσιμα στην παρούσα μελέτη.

Όσον αφορά την αναπλήρωση ακτής, είναι ένα μέτρο που ιδανικά συνδυάζεται με «σκληρά» έργα, δηλαδή με κατασκευές προστασίας του υλικού επίχωσης (ιζήματος) (Βελεγράκης κ.α., 2017). Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας η αναπλήρωση της ακτής εξετάσθηκε χωρίς συμπληρωματικά έργα. Διαφορετικά σενάρια ως προς το πλάτος και το μήκος της αναπλήρωσης ή και τη διάσταση d_{50} θα μπορούσαν να εξετασθούν με σκοπό τη μείωση του κόστους και την πρόταση λύσεων προσιτών στους τοπικούς φορείς που καλούνται να τις υλοποιήσουν.

Αφού εντοπιστούν οι πιο ευάλωτες περιοχές, για τον ορθό και αποτελεσματικό σχεδιασμό έργων προστασίας θα πρέπει να ακολουθήσει λεπτομερής μελέτη, δηλαδή εφαρμογή 2-D και quasi 3-D μοντέλων, τα οποία θα βασίζονται σε λεπτομερή πληροφορία όσον αφορά τη βαθυμετρία, την κοκκομετρική σύσταση και το κυματικό καθεστώς. Σε μελλοντική εργασία θα μπορούσε αρχικά να γίνει ακριβέστερη τοπογραφική και βυθομετρική αποτύπωση, ώστε τα δεδομένα αυτά να είναι τα πλέον πρόσφατα και ακριβή. Όπως προαναφέρθηκε, περισσότερες διατομές ανά παραλία θα οδηγήσουν σε καλύτερο εποπτικά αποτέλεσμα για την εξέλιξη της ακτογραμμής συνολικά. Επίσης, θα ήταν καλό να ληφθούν δείγματα πυθμένα προς κοκκομετρική ανάλυση για κάθε εξεταζόμενη διατομή ώστε να εντοπιστούν και τυχόν διαφορές στην κοκκομετρία της ίδιας παραλίας. Τέλος, η αναπλήρωση ακτής σε συνδυασμό με έργα προστασίας αυτής θα αποτελέσουν μια ολοκληρωμένη πρόταση για την αντιμετώπιση της αναμενόμενης υποχώρησης.

4.4 Σύνοψη και συμπεράσματα

Συνοψίζοντας, η μελλοντική παραλιακή οπισθοχώρηση των παραλιών που εξετάστηκαν στη δυτική και νότια Κύπρο είναι πιθανό να είναι υποεκτιμημένη καθώς βασίζεται στις εξής παραδοχές (Allenbach et al. 2015, Monioudi et al. 2015):

- δεν υπάρχει περιορισμός στην ιζηματομεταφορά στο χερσαίο και ανώτερο υποθαλάσσιο τμήμα των παραλιών και δεν υπάρχουν απώλειες ιζήματος προς την υφαλοκρηπίδα (πέρα από το βάθος κλεισίματος),
- δεν λαμβάνονται υπ' όψη πλευρικές παροχές/απώλειες ιζημάτων που σχετίζονται με τη γεωμορφολογία της περιοχής, την παρουσία κόλπων ή χερσονήσων κλπ.,
- δεν έχουν εξετασθεί άλλοι σημαντικοί παράγοντες διάβρωσης που σχετίζονται με την κλιματική μεταβλητότητα και αλλαγή και με την επέμβαση του ανθρώπου, για παράδειγμα μείωση της παροχής από χειμάρρους και ποτάμια λόγω μείωσης των βροχοπτώσεων (Church et al. 2013) και λόγω διαχειριστικών σχεδίων των λεκανών απορροής και σχετικών υποδομών, όπως φράγματα (Velegrakis et al. 2008).

Η παρούσα προσέγγιση δεν έχει σκοπό να αντικαταστήσει τις λεπτομερείς μελέτες σε συγκεκριμένες παραλίες της δυτικής και νότιας Κύπρου, που θα οδηγούσαν σε λήψη αποφάσεων και υλοποίηση έργων, αλλά να εντοπίσει περιοχές ενδιαφέροντος που αποτελούν τις πιο ευάλωτες περιοχές σε φαινόμενα κλιματικής αλλαγής (“hot spots”), σε μια ευρύτερη παράκτια ζώνη, και οι οποίες χρήζουν προστασίας. Παρόμοιες μεγάλης χωρικής κλίμακας προβλέψεις μπορούν να συνεισφέρουν στον εντοπισμό των παράκτιων περιοχών με αυξημένο κίνδυνο διάβρωσης. Συνεκτιμώντας τη σημαντικότητα της παρουσίας υποδομών και την ύπαρξη αυξημένου ενδιαφέροντος για τουριστική εκμετάλλευση μπορούν να συμβάλουν στις αποφάσεις των αρμόδιων φορέων (policy makers) για τη γρήγορη αξιολόγηση κόστους – οφέλους από την ανάληψη δράσης για την προστασία της ευρύτερης παράκτιας ζώνης.

5. Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση

Allenbach, K., Garonna, I., Herold, C., Monioudi, I., Giuliani, G., Lehmann, A., Velegrakis, A. ,2015. Black Sea beaches vulnerability to sea level rise. Special issue in *Environmental Science and Policy*, 46, 95-109. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.07.014>.

Androulidakis Y. S., Kombiadou K. D., Makris C. V., Baltikas V. N., Krestenitis Y. N., 2015. Storm surges in the Mediterranean Sea: Variability and trends under future climatic conditions. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, Volume 71, 56-82, ISSN 0377-0265, <https://doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2015.06.001>.

Battjes, J.A. and J.P.F.M. Janssen, 1978, Energy loss and set-up due to breaking of random waves. *Proc. 16th Int. Conf. Coastal Engineering*, ASCE, 569-587, <http://resolver.tudelft.nl/uuid:2fba43fe-f8bd-42ac-85ee-848312d2e27e>

Bruun, P., 1962. Sea level rise as a cause of shore erosion. *Journal of Waterway*, Harbors Division. ASCE 88:117-130.

Bruun, P., 1983. Review of conditions for uses of the Bruun rule of erosion. *Coastal Engineering* 7(1):77-89.

Bruun, P., 1988. The Bruun Rule of erosion by sea level rise: A discussion on large-scale two- and three-dimensional usages. *Journal of Coastal Research* 4(4):622-648.

CEM, 2002. Coastal engineering manual, US Army Corps of Engineers. EM 1110-2-1100.

CUR (Center for Civil Engineering Research, Codes and Specifications), 1987. Manual on Artificial Beach Nourishment. Rijkswaterstaat, The Netherlands.

Church, J.A., Clark, P.U., Cazenave, A., Gregory, J.M., Jevrejeva, S., Levermann, A., Merrifield, M.A., Milne, G.A. and Nerem, R.S., 2013. Sea level change. 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 TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York NY, USA

Dean, R. G., 1991. Equilibrium beach profiles: characteristics and applications. *J. Coastal Research* 7(1):53– 84.

Dean, R.G., 2002. Beach Nourishment Theory and Practice. *Advanced series on Ocean Engineering - Volume 18*, World Scientific Publishing Co., Singapore.

Dean, R. G., 2003. Beach Nourishment: A short course. *Soft Shore Protection*, Kluwer Academic Publishers, eds. C. Goudas, G. Katsiaris, V. May and Th.V. Karambas, Dordrecht, Netherlands, pp. 349-394.

Edelman, T., 1972. Dune erosion during storm conditions. in: *Proceedings of the 13th International Conference on Coastal Engineering ASCE*, pp. 1305-1312. <https://doi.org/10.9753/icce.v13.66>

EEA (European Environment Agency), 2019. Indicator Assessment: Global and European sea-level rise CSI 047, CLIM 012. Available at: https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/sea-level-rise-6/assessment/#_edn13

Hasiotis T., Gazis I-Z., Anastasatou M., Manoutsoglou E., Velegrakis A.F., Kapsimalis V., Karditsa A., Stamatakis M. (2020). Searching for potential marine sand resources to mitigate beach erosion in island settings. *Marine Georesources and Geotechnology*, <https://doi.org/10.1080/1064119X.2020.1721623>.

IPCC, 2000: Special Report on Emissions Scenarios [Nebojsa Nakicenovic and Rob Swart (Eds.)] Cambridge University Press, UK, 570pp

IPCC, 2012: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp

IPCC, 2013: 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., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

IPCC, 2019: Summary for Policymakers. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E.

Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press.

Kim, S., Oh, J., Suh, K. D., Yasuda, T., Mase, H., 2014. Evaluation of Storm Surges Around the Korean Peninsula in Present and Future Climates. *Coastal Engineering Proceedings*. 1. 23. <https://doi.org/10.9753/icce.v34.currents.23>.

Koftis, T., Prinos, P., Aftias M., 2012. Experimental study of a multiple-row pile breakwater. In Proc. Of 4th Int Conf. on the Application of Physical Modelling to Port and Coastal Protection.

Leont'yev, I. O., 1996, Numerical modelling of beach erosion during storm event, *Coastal Engineering* 29(1-2):187-200.

Leont'yev, I. O., 1997, Short-term shoreline changes due to cross-shore structures: a one-line numerical model, *Coastal Engineering* 31(1-4):59-75.

Mavris, Ch., 2011. Sustainable environmental tourism and insular coastal area risk management in Cyprus and the Mediterranean. *Journal of Coastal Research*, SI 61: 317-327.

Monioudi I.N., Velegrakis A.F. and Karambas Th., 2015. Model Ensembles (Technical Report), Deliverable (13) of the project “Physical and economic impacts of sea level rise in the Greek Archipelago (ISLA)”, 21p. (In Greek).

Monioudi I.N., 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. <https://doi.org/10.5194/nhess-17-449-2017>

Nicholls, R. J., Wong, P. P., Burkett, V. R., Codignotto, J. O., Hay, J. E., McLean, R. F., Ragoonaden, S., and Woodroffe, C. D., 2007. Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change. [Parry M.L., O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. Van de Linden, and C. E. Hanson, eds.]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 315-356.

Slott, J., 2003. Shoreline Response to Sea-Level Rise: Examining the Bruun Rule. Nicholas School of the Environment and Earth Sciences, Department of Earth and Ocean Sciences, pp. 12.

Tsoukala, V., Katsardi, V., Hadjibiros, K. and Moutzouris C., 2015. Beach erosion and consequential impacts due to the presence of harbours in sandy beaches in Greece and Cyprus. *Environ. Process.*, 2 (Suppl 1): S55-S71, DOI 10.1007/s40710-015-0096-0

Velegrakis, A.F., Vousdoukas, M., Andreadis, O.P., Adamakis, G. and Meligonitis, R., 2008. Impacts of dams on their downstream beaches: a case study from Eresos coastal basin, island of Lesbos, Greece. *Mar Georesour Geotechnol*, 24, 350–371

Velegrakis, A.F., Monioudi, I., 2014. Formation zones d' Erosion. UNEP(DEPI)MED WG 396/2 Tunis 5 /06/2014 53 pp. (In English). http://jadran.izor.hr/~vucic/Istanbul/Beach%20morphodynamic%20training%20material/pdf/Some%20theory_final.pdf

Vousdoukas, M. I., Velegrakis, A. F., Karambas, T., Valais, G., and Zarkoyiannis, S., 2005. Morphodynamics of beachrock infected beaches: Vatera Beach, NE Mediterranean, in: *5th International Conference on Coastal Dynamics* (A. Sanchez-Arcilla, ed.), Barcelona.

Vousdoukas, M.I., Mentaschi, L., Voukouvalas, E., Verlaan, M., Jevrejeva, S., Jackson, L.P., Feyen, L., 2018. Global probabilistic projections of extreme sea levels show intensification of coastal flood hazard. *Nat. Commun.* 9, 2360. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04692-w>

Ελληνόγλωσση

Βελεγράκης Α.Φ., Ανδρεάδης Ο., Χατζηπαυλής Α., 2017. Φιλικές πρακτικές/ τεχνολογίες για την αντιμετώπιση της παραλιακής διάβρωσης. Παραδοτέο Π-6 του έργου “Καταγραφή και Μελέτες Αναστροφής των φαινομένων διάβρωσης σε τουριστικές παραλίες νήσων του Αιγαίου (ERABEACH)”, 17p.

Καραμπάς Θ., Κόκκινος Δ., Πέιος Ν., Tsiaras Α-Χ. Και Χατζηπαυλής Α., 2017. Τεχνική έκθεση σχεδιασμού/κοστολόγησης έργων παραλιακής αναπλήρωσης, Παραδοτέο Π-11 του έργου of the project “Καταγραφή και Μελέτες Αναστροφής των φαινομένων διάβρωσης σε τουριστικές παραλίες νήσων του Αιγαίου (ERABEACH)”, 56p

Καρτάλης Κ., Κοκκώσης Χ., Οικονόμου Δ., Σανταμούρης Μ., Αγαθαγγελίδης Η., Πολύδωρος Α., 2017. Οι Επιπτώσεις της Κλιματικής Αλλαγής στην Ανάπτυξη. Οργανισμός Έρευνας και Ανάλυσης διαΝΕΟσις. Διαθέσιμο στο: https://www.dianeosis.org/wp-content/uploads/2017/06/climate_change10.pdf

Κρεστενίτης, Ι., Κομπιάδου, Κ., Μακρής, Χ., Ανδρουλιδάκης, Ι., Καραμπάς, Θ., 2015. Παράκτια μηχανική - Θαλάσσια περιβαλλοντική υδραυλική. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/2789>

Εθνική Στρατηγική Τουρισμού 2030, 2020. Προσίμιο, Κυπριακή Δημοκρατία, Υφυπουργείο Τουρισμού Διαθέσιμο στο: http://www.tourism.gov.cy/tourism/tourism.nsf/planning_el/planning_el?OpenDocument

MARNET ATE, 2019. Μελέτη βελτίωσης και προστασίας του παραλιακού μετώπου από το ακρωτήριο Δόλος έως τις εκβολές του ποταμού Τρέμιθου, Έκθεση Προμελέτης/ μελέτης υφιστάμενης κατάστασης.

MARNET ATE, 2019. Μελέτη προστασίας και βελτίωσης της παραλιακής περιοχής «Πανταχού-Γλυκί Νερό» στην Αγία Νάπα, Έκθεση Προμελέτης/ μελέτης υφιστάμενης κατάστασης.

MARNET ATE, 2019. Μελέτη προστασίας και βελτίωσης του παραλιακού μετώπου στην περιοχή Ασκός που εμπίπτει εντός των ορίων του Δήμου Πέγειας, Έκθεση Προμελέτης/ μελέτης υφιστάμενης κατάστασης.

Μέμος Κ., 2008. Εισαγωγή στα λιμενικά έργα. Αθήνα: Συμμετρία.

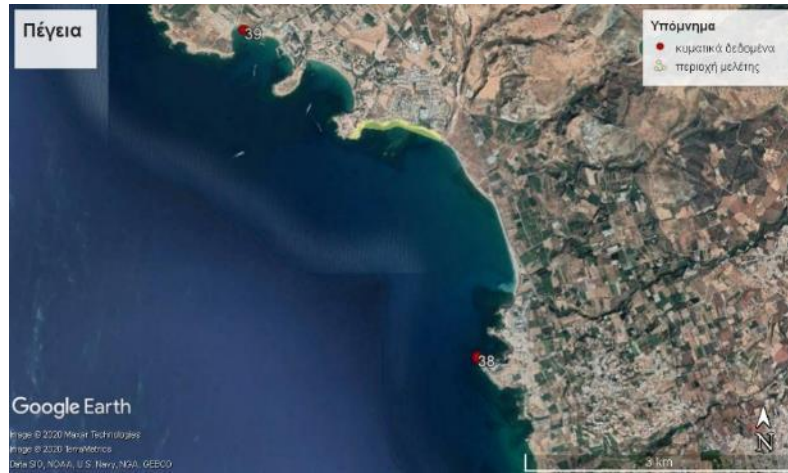
Μονιούδη Ι., Βελεγράκης Α.Φ., Χασιώτης Θ., 2016. Σημειώσεις μαθήματος «Παράκτιες Γεωεπικινδυνότητες». ΠΜΣ «Ολοκληρωμένη Διαχείριση Παράκτιων Περιοχών», Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

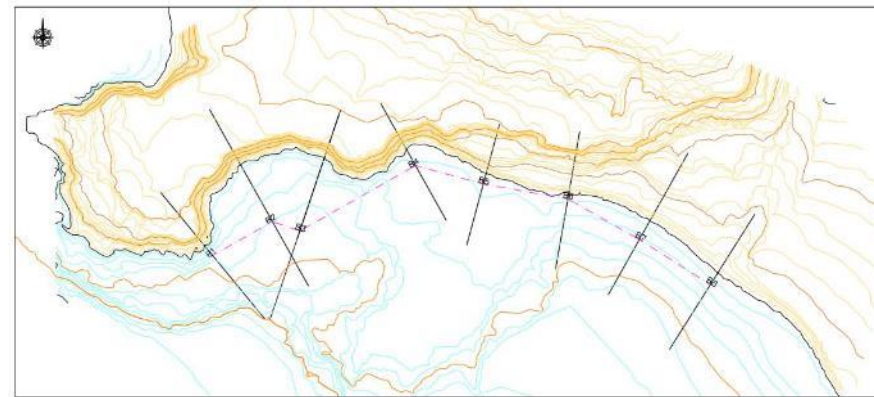
Παράρτημα 1: Πίνακες αξιολόγησης διαθέσιμων δεδομένων

(Ενδεικτική παράθεση εξεταζόμενων διατομών και των βασικών χαρακτηριστικών τους)

Δήμος Πέγειας – Περιοχή Ασκός







Περιοχή μελέτης και πλησιέστερα σημεία με διαθέσιμα κυματικά δεδομένα
Υπόβαθρο: Δορυφορική Εικόνα Google Earth







Τοπογραφικό διάγραμμα και διατομές ακτής
Πηγή: MARNET ATE, 2019



Περιοχή μελέτης και σημεία επί της ακτής που αντιστοιχούν στις διατομές δειγματοληψίας και τα προφίλ της ακτής
Υπόβαθρο: Δορυφορική Εικόνα Google Earth

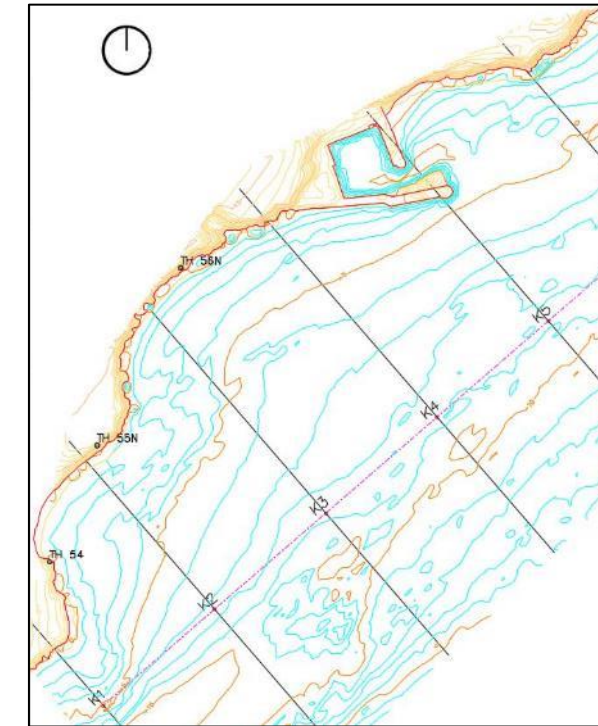
| Διατομή Δειγματοληψίας | Διατομή Τοπογραφικού- Προφίλ ακτής | d ₅₀ | Πλησιέστερο σημείο διαθέσιμων κυματικών δεδομένων | Σύντομη Περιγραφή | Φωτογραφικό υλικό | |
|------------------------|------------------------------------|-----------------|---|---|---|---|
| V | B1 B2 | - | 38 | <p><u>Διατομή V</u> Βραχώδης έως τα -5μ άμμος στο -10</p> <p><u>Διατομή B1</u>: απότομα πρανή</p> <p><u>Διατομή B2</u>: απότομα πρανή, τμήματα του πρανού που κατακρημνίζονται λόγω διάβρωσης</p> | B1  | B2  |
| IV | B3 B4 | - | 38 | <p><u>Διατομή IV</u> Βραχώδης έως το -1μ άμμος στο -2 Βραχώδης στο -5 άμμος στο -10</p> <p><u>Διατομή B3</u>: απότομα πρανή</p> <p><u>Διατομή B4</u>: απότομα πρανή, τμήματα του πρανού που κατακρημνίζονται λόγω διάβρωσης. Διακρίνεται θωράκιση προ τουριστικών εγκαταστάσεων Beachfront Azur Sunrise</p> | B3  | B4  |

| Διατομή Δειγματοληψίας | Διατομή Τοπογραφικού- Προφίλ ακτής | d ₅₀ | Πλησιέστερο σημείο διαθέσιμων κυματικών δεδομένων | Σύντομη Περιγραφή | Φωτογραφικό υλικό | |
|------------------------|------------------------------------|-----------------|---|---|---|--|
| III | B5 | 1,7 | 38 | <p><u>Διατομή III</u> Άμμος στην ίσαλο (0m) βραχώδης πυθμένας στο -0,50 άμμος στο -1 κ -2 βραχώδης πυθμένας στο -5 άμμος στο -10 <u>Διατομή B5</u> (λίγα μέτρα πιο δυτικά της διατομής δειγματοληψίας III): θωράκιση προ τουριστικών εγκαταστάσεων Ascos Coral Beach</p> | B5  | |
| II | B6, B7 | 6 | 38 | <p><u>Διατομή II</u> Χάλικες 64,4% (0m) βραχώδης πυθμένας στο -0,50 και -1 άμμος -2 έως -10 <u>Διατομή B6</u>: Διάβρωση ακτής προ τουριστικών εγκαταστάσεων Aqua Sol Village <u>Διατομή B7</u>: ακτή με ήπια κλίση και παρουσία χαλίκων</p> | B6  | B7  |
| I | B8 | 5,2 | 38 | <p><u>Διατομή I</u> χάλικες 68,5% 0μ (5,2mm) άμμος στο -0.5 (0,3mm) και -1 βραχώδης πυθμένας στο -2 άμμος στο -5 και -10 <u>Διατομή B8</u>: Κοίτη πλησίον εκβολής ποταμού Ξεροπόταμου</p> | B8  | |



Κοινότητα Πεντακώμου – Παραλία Ακτή Κυβερνήτη, Παραλία Κάλυμνος



Περιοχή μελέτης και πλησιέστερα σημεία με διαθέσιμα κυματικά δεδομένα
Υπόβαθρο: Δορυφορική Εικόνα Google Earth



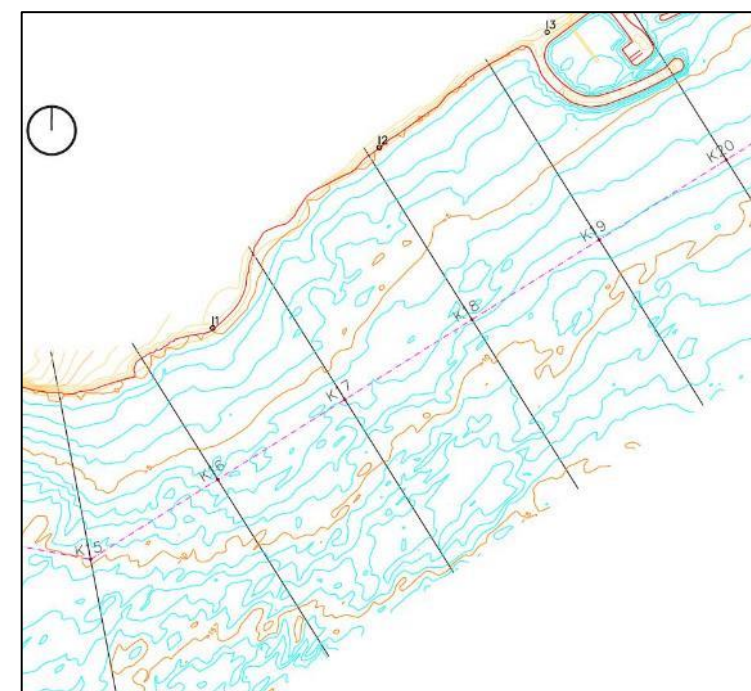
Τοπογραφικό διάγραμμα με σημεία δειγματοληψίας και διατομές ακτής
Πηγή: MARNET ATE, 2019

| Διατομή Δειγματοληψίας | Διατομή Τοπογραφικού- Προφίλ ακτής | d ₅₀ | Πλησιέστερο σημείο διαθέσιμων κυματικών δεδομένων | Σύντομη Περιγραφή | Φωτογραφικό υλικό | |
|------------------------|------------------------------------|-----------------|---|--|---|---|
| TH54 | K2 | 0,4 | 18 | <u>Διατομή TH54</u> : άμμος μέχρι τα -10,0m <u>Διατομή K2</u> : αμμώδης παραλία κολύμβησης | K2 | K3 |
| TH56 | K3 | 0,2 | 18 | <u>Διατομή TH56</u> : κυρίως λεπτόκκοκο υλικό σε ποσοστό 40-50% έως το -0,5m και άμμος έως το -10,0m <u>Διατομή K3</u> : αμμώδης παραλία κολύμβησης |  |  |



Κοινότητα Ζυγίου – Ακτή δυτικά του αλιευτικού καταφυγίου





Περιοχή μελέτης και πλησιέστερα σημεία με διαθέσιμα κυματικά δεδομένα
Υπόβαθρο: Δορυφορική Εικόνα Google Earth



Τοπογραφικό διάγραμμα με σημεία δειγματοληψίας και διατομές ακτής
Πηγή: MARNET ATE, 2019

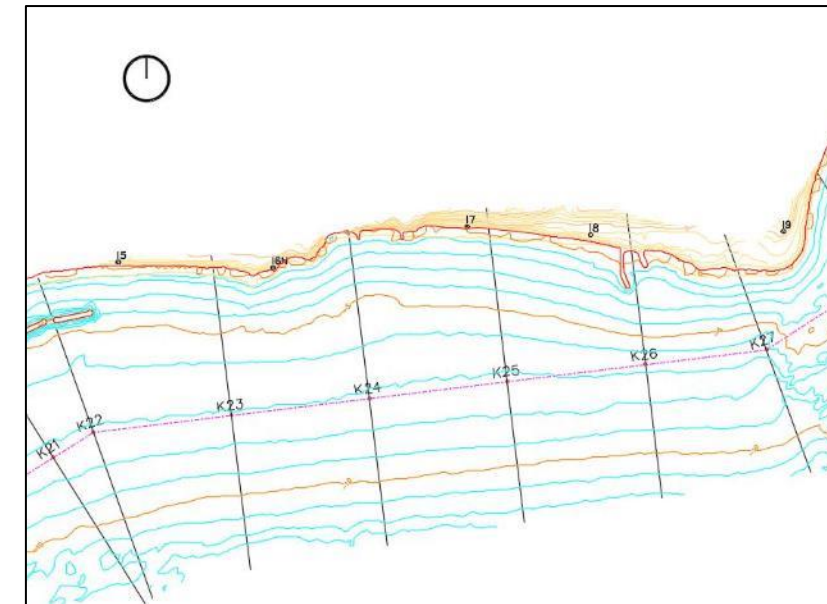
| Διατομή Δειγματοληψίας | Διατομή Τοπογραφικού- Προφίλ ακτής | d ₅₀ | Πλησιέστερο σημείο διαθέσιμων κυματικών δεδομένων | Σύντομη Περιγραφή | Φωτογραφικό υλικό | |
|------------------------|------------------------------------|--------------------------|---|--|--|--|
| I1 | K16 K17 | 17,9 (σε βάθος -2,0m) | 17 | Διατομή I1: λήψη δείγματος μόνο στο -2,0m και -5,0m. 100% χάλικες Διατομές K16, K17: αμμώδης ακτή με διάσπαρτες κροκάλες προ γεωργικών εκτάσεων | K16  | K17  |

| Διατομή Δειγματοληψίας | Διατομή Τοπογραφικού- Προφίλ ακτής | d ₅₀ | Πλησιέστερο σημείο διαθέσιμων κυματικών δεδομένων | Σύντομη Περιγραφή | Φωτογραφικό υλικό | |
|------------------------|------------------------------------|-----------------|---|--|--|--|
| - | K18 K19 | - | 17 | <p><u>Διατομή K18</u>: ακτή με κροκάλες ως επί το πλείστον</p> <p><u>Διατομή K19</u>: αμμώδης ακτή με διάσπαρτες κροκάλες προ του οικισμού Ζύγι και δυτικά του προσήνεμου μώλου του αλιευτικού καταφυγίου της περιοχής</p> | <p>K18</p>  | <p>K19</p>  |





Κοινότητα Ψεματισμένου– Ακτή προ παλαιού πεδίου βολής
Κοινότητα Μαρωνίου – Ακτή προ παλαιού καρνάγιου Μαρωνίου



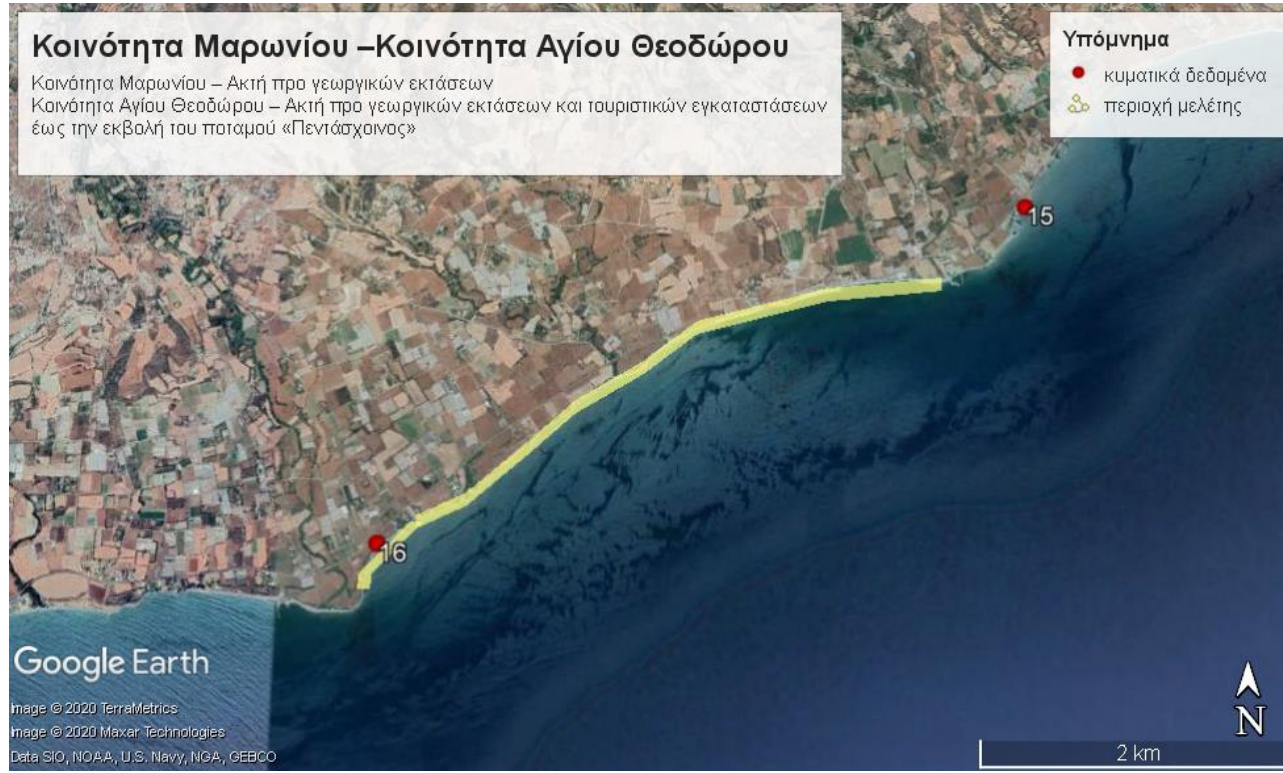
Περιοχή μελέτης και πλησιέστερα σημεία με διαθέσιμα κυματικά δεδομένα
 Υπόβαθρο: Δορυφορική Εικόνα Google Earth



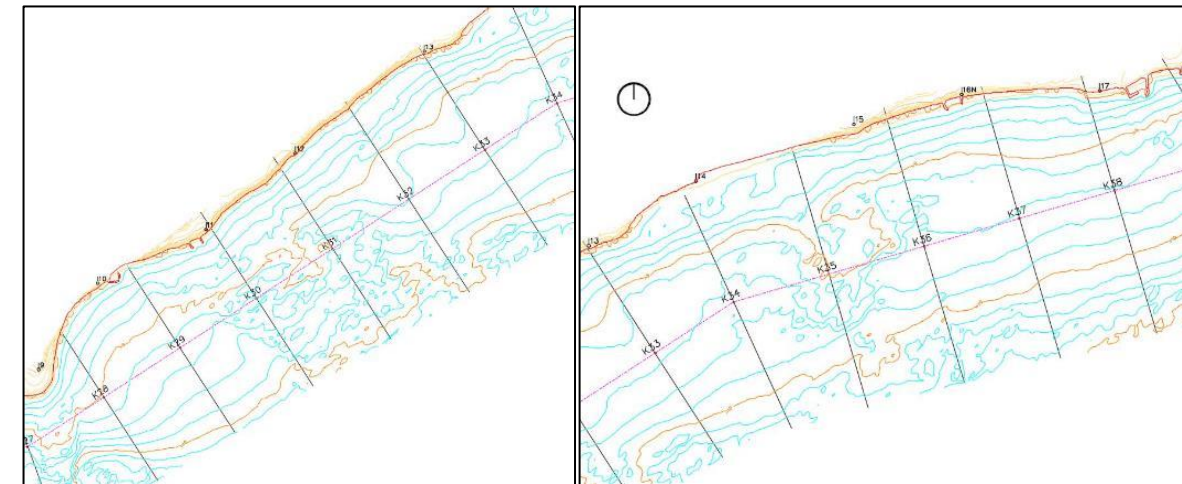
Τοπογραφικό διάγραμμα με σημεία δειγματοληψίας και διατομές ακτής
 Πηγή: MARNET ATE, 2019

| Διατομή Δειγματοληψίας | Διατομή Τοπογραφικού- Προφίλ ακτής | d ₅₀ | Πλησιέστερο σημείο διαθέσιμων κυματικών δεδομένων | Σύντομη Περιγραφή | Φωτογραφικό υλικό | |
|------------------------|------------------------------------|-----------------|---|--|---|---|
| 16 | K23 K24 | 2,6 | 16 | <p><u>Διατομή 16:</u> αμμώδης πυθμένας έως το -5,0m</p> <p><u>Διατομή K23:</u> αμμοχαλικώδης ακτή προ παλαιού πεδίου βολής. Προβλεπόταν η κατασκευή 3 επιπλέον κυματοθραυστών σε συνέχεια των υφιστάμενων του Ζυγίου</p> <p><u>Διατομή K24:</u> ακτή προ ιδιόκτητης έκτασης με τεχνικά έργα προστασίας από φυσικούς ογκολίθους</p> | <p>K23</p>  | <p>K24</p>  |
| 18 | K25 K26 | - | 16 | <p><u>Διατομή 18:</u> λήψη δείγματος μόνο στο -5,0m και -10,0m. 100% άμμος</p> <p><u>Διατομή K25:</u> αμμοχαλικώδης ακτή προ γεωργικών εκτάσεων</p> <p><u>Διατομή K26:</u> αμμοχαλικώδης ακτή προ του παλαιού καρνάγιου Μαρωνίου</p> | <p>K25</p>  | <p>K26</p>  |

Κοινότητα Μαρωνίου – Ακτή προ γεωργικών εκτάσεων
Κοινότητα Αγίου Θεοδώρου – Ακτή προ γεωργικών εκτάσεων και τουριστικών εγκαταστάσεων έως την εκβολή του ποταμού «Πεντάσχοινας»







Περιοχή μελέτης και πλησιέστερα σημεία με διαθέσιμα κυματικά δεδομένα
 Υπόβαθρο: Δορυφορική Εικόνα Google Earth



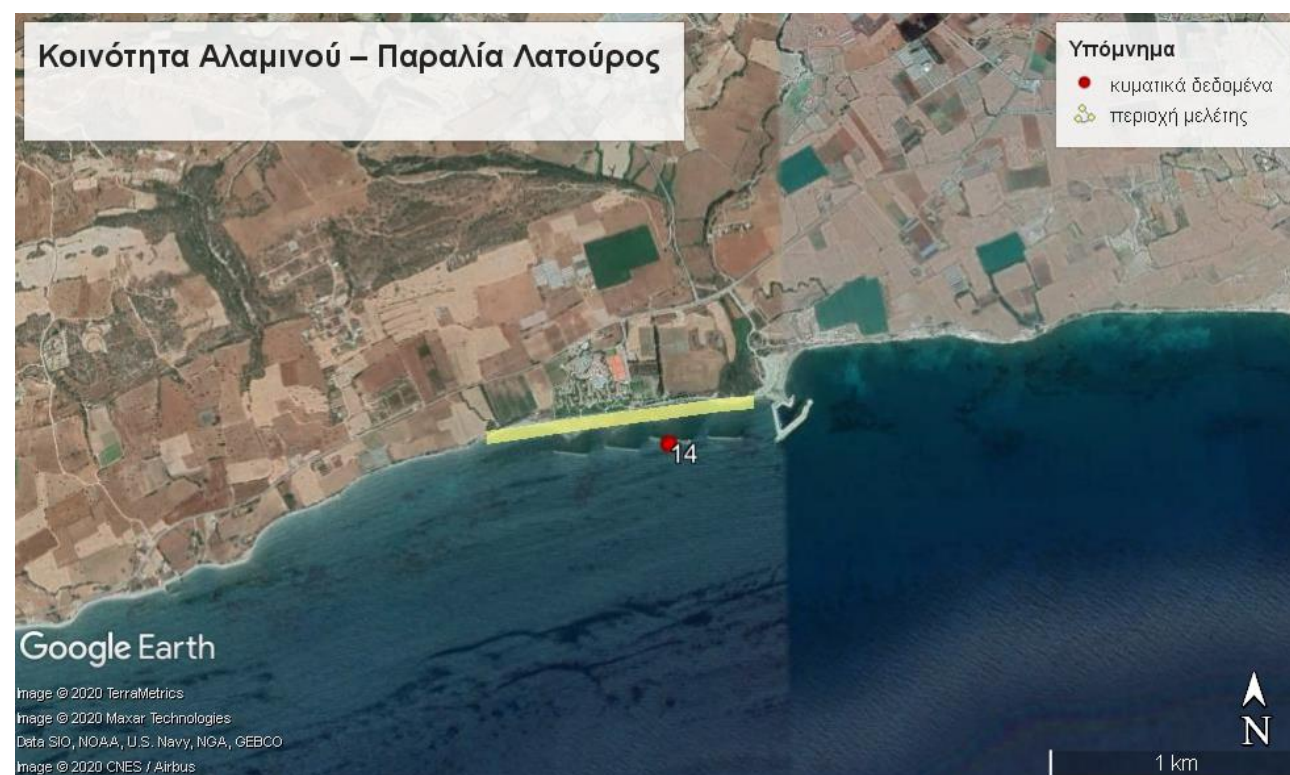
Τοπογραφικό διάγραμμα με σημεία δειγματοληψίας και διατομές ακτής
 Πηγή: MARNET ATE, 2019

| Διατομή Δειγματοληψίας | Διατομή Τοπογραφικού- Προφίλ ακτής | d ₅₀ | Πλησιέστερο σημείο διαθέσιμων κυματικών δεδομένων | Σύντομη Περιγραφή | Φωτογραφικό υλικό |
|------------------------|------------------------------------|-----------------|---|---|--|
| - | K28 K29 | - | 16 | <p><u>Διατομή K28:</u> ακτή με κροκάλες προ γεωργικών εκτάσεων</p> <p><u>Διατομή K29:</u> ακτή με κροκάλες προ ιδιόκτητης έκτασης</p> | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>K28</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>K29</p> </div> </div> |

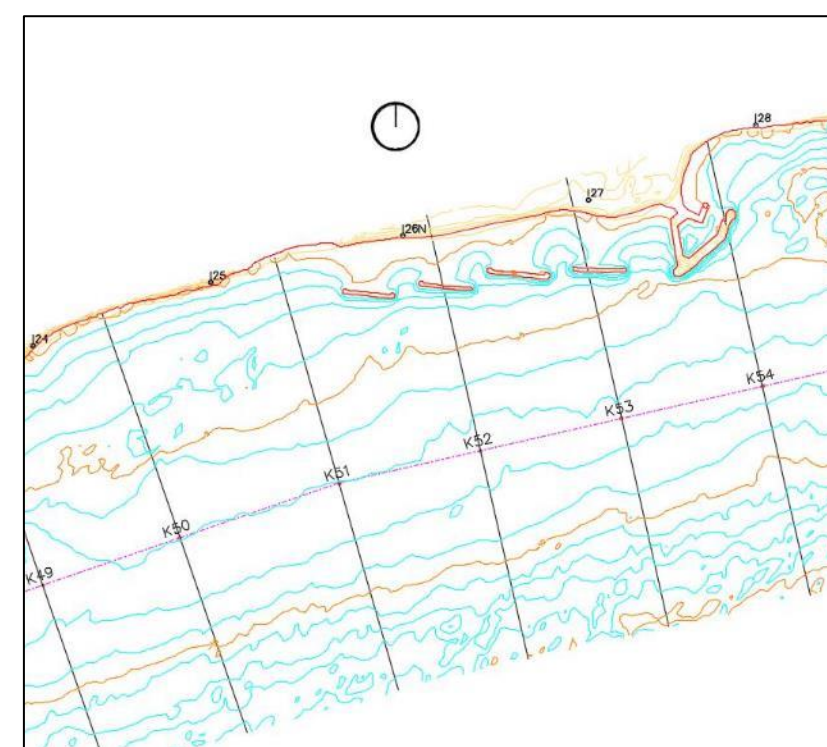
| Διατομή Δειγματοληψίας | Διατομή Τοπογραφικού- Προφίλ ακτής | d ₅₀ | Πλησιέστερο σημείο διαθέσιμων κυματικών δεδομένων | Σύντομη Περιγραφή | Φωτογραφικό υλικό | |
|------------------------|------------------------------------|-------------------------|---|---|--|--|
| I11 | K30 K31 | 0,2 (σε βάθος -2,0m) | 16 | <u>Διατομή I11:</u> λήψη δείγματος μόνο στο -2,0m, -5,0m και -10,0m. 100% άμμος <u>Διατομές K30, K31:</u> ακτή με κροκάλες προ γεωργικών εκτάσεων | K30  | (δεν υπάρχουν φωτογραφίες) |
| I13 | K32 K33 | 2,6 (σε βάθος -5,0m) | 16 | <u>Διατομή I13:</u> λήψη δείγματος μόνο στο -5,0m (100% χάλικες) και -10,0m (100% άμμος) <u>Διατομές K30, K31:</u> ακτή με κροκάλες προ γεωργικών εκτάσεων | (δεν υπάρχουν φωτογραφίες) | (δεν υπάρχουν φωτογραφίες) |
| - | K34 K35 | - | 16 | <u>Διατομή K35:</u> προστασία ακτής από τεχνητό πρανές με φυσικούς ογκολίθους | (δεν υπάρχουν φωτογραφίες) | K35  |
| I15 I16 | K36 K37 | 2,7 | 16 | <u>Διατομή I15:</u> λήψη δείγματος μόνο στο -0,5m (κατά 65% άμμος) <u>Διατομή I16:</u> λήψη μόνο στο -10,0m (κατά 100% άμμος) <u>Διατομές K36, K37:</u> ακτή με κροκάλες προ εγκαταστάσεων αναψυχής και καταστήματος εστίασης. Χρήση ως ακτή κολύμβησης | K36  | K37  |

| Διατομή Δειγματοληψίας | Διατομή Τοπογραφικού-Προφίλ ακτής | d ₅₀ | Πλησιέστερο σημείο διαθέσιμων κυματικών δεδομένων | Σύντομη Περιγραφή | Φωτογραφικό υλικό | |
|------------------------|-----------------------------------|----------------------|---|--|--|--|
| I17 | K38 | 0,3 (σε βάθος -5,0m) | 16 | Διατομή I17: λήψη δείγματος μόνο στο -5,0m και -10,0m (100% άμμος) Διατομή K38: ακτή με κροκάλες πλησίον της εκβολής του ποταμού Πεντάσχοινος. Χρήση ως ακτή κολύμβησης | K38  | |





Κοινότητα Αλαμινού – Παραλία Λατούρος



Περιοχή μελέτης και πλησιέστερα σημεία με διαθέσιμα κυματικά δεδομένα
Υπόβαθρο: Δορυφορική Εικόνα Google Earth



Τοπογραφικό διάγραμμα με σημεία δειγματοληψίας και διατομές ακτής
Πηγή: MARNET ATE, 2019

| Διατομή Δειγματοληψίας | Διατομή Τοπογραφικού-Προφίλ ακτής | d ₅₀ | Πλησιέστερο σημείο διαθέσιμων κυματικών δεδομένων | Σύντομη Περιγραφή | Φωτογραφικό υλικό | |
|------------------------|-----------------------------------|-------------------------|---|--|--|--|
| I25 | K51 K52 | 0,2 (σε βάθος -2,0m) | 14 | <p><u>Διατομή I25</u>: λήψη δείγματος μόνο στο -2,0m, -5,0m και -10,0m (100% άμμος)</p> <p><u>Διατομή K51</u>: ακτή με άμμο και κροκάλες. Χρήση ως παραλία κολύμβησης</p> <p><u>Διατομή K52</u>: ακτή με άμμο προ ξενοδοχειακής μονάδας. Χρήση ως παραλία κολύμβησης (Λατούρος). Η διατομή περιλαμβάνει τον έναν αποσπασμένο κυματοθραύστη προστασίας.</p> | K51  | K52  |
| | K53 | - | 14 | <p><u>Διατομή K53</u>: ακτή με άμμο και διάσπαρτα χαλίκια προ παραθεριστικής περιοχής. Χρήση ως παραλία κολύμβησης (Λατούρος). Η διατομή περιλαμβάνει τον έναν αποσπασμένο κυματοθραύστη προστασίας.</p> | K53  |  |



Κοινότητα Μαζωτού – Ακτή από άκρα Πετούντα έως την εκβολή του ποταμού «Πούζης»: παραλίες Πετούντα και Μπούζι









Περιοχή μελέτης και πλησιέστερα σημεία με διαθέσιμα κυματικά δεδομένα
Υπόβαθρο: Δορυφορική Εικόνα Google Earth



Τοπογραφικό διάγραμμα με σημεία δειγματοληψίας και διατομές ακτής
Πηγή: MARNET ATE, 2019

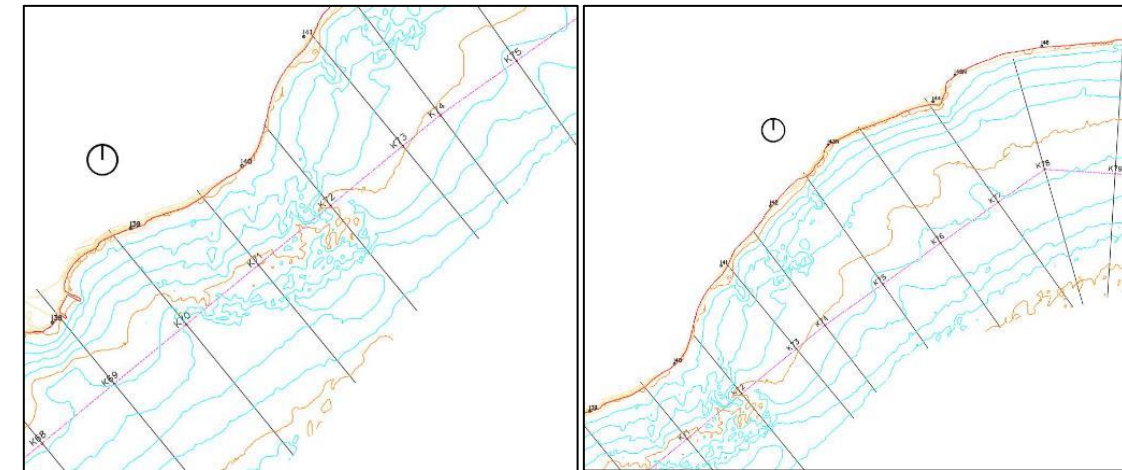
| Διατομή Δειγματοληψίας | Διατομή Τοπογραφικού- Προφίλ ακτής | d ₅₀ | Πλησιέστερο σημείο διαθέσιμων κυματικών δεδομένων | Σύντομη Περιγραφή | Φωτογραφικό υλικό | |
|------------------------|------------------------------------|-------------------------|---|---|--|--|
| I32 | K61 K62 | 0,2 (σε βάθος -2,0m) | 13 | Διατομή I32: λήψη δείγματος μόνο στο -2,0m, -5,0m και -10,0m (100% άμμος) Διατομές K61, K 62: ακτή με άμμο και κροκάλες. Χρήση ως παραλία κολύμβησης (παραλία Πετούντα). | K61  | K62  |

| Διατομή Δειγματοληψίας | Διατομή Τοπογραφικού- Προφίλ ακτής | d ₅₀ | Πλησιέστερο σημείο διαθέσιμων κυματικών δεδομένων | Σύντομη Περιγραφή | Φωτογραφικό υλικό | |
|------------------------|------------------------------------|-----------------|---|--|--|--|
| - | K63 K64 | - | 13 | <u>Διατομές K63, K64:</u> ακτή με άμμο και κροκάλες. Χρήση ως παραλία κολύμβησης (παραλία Πετούντα). | K63  | K64  |
| I36 | K65 K66 | 0,2 | 13 | <u>Διατομή I36:</u> 100% άμμος <u>Διατομές K65, K66:</u> ακτή με κροκάλες. Χρήση ως παραλία κολύμβησης (παραλία Μπούζι). | K65  | K66  |
| - | K67 K68 | | 13 | <u>Διατομές K67, K68:</u> ακτή με άμμο και κροκάλες. Χρήση ως παραλία κολύμβησης (παραλία Μπούζι). | K67  | K68  |

Κοινότητα Κιβισιλίου και Σοφτάδων-Κιτίου– Ακτή Κιβισιλίου από άκρο Πούζης και παραλιακό μέτωπο Σοφτάδων









Περιοχή μελέτης και πλησιέστερα σημεία με διαθέσιμα κυματικά δεδομένα
Υπόβαθρο: Δορυφορική Εικόνα Google Earth



Τοπογραφικό διάγραμμα με σημεία δειγματοληψίας και διατομές ακτής
Πηγή: MARNET ATE, 2019

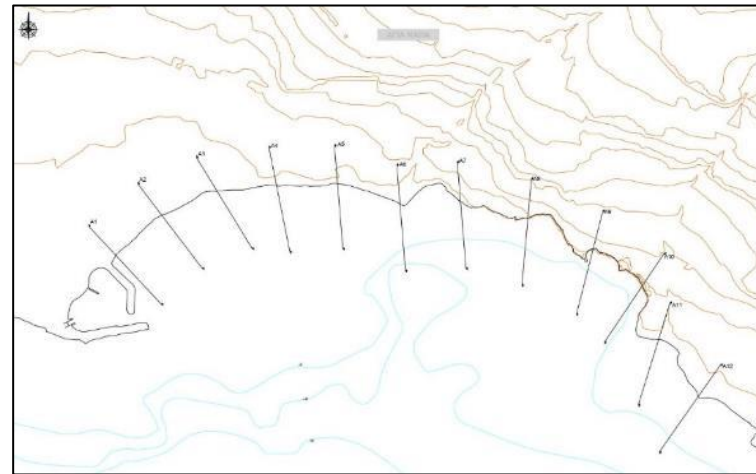
| Διατομή Δειγματοληψίας | Διατομή Τοπογραφικού- Προφίλ ακτής | d ₅₀ | Πλησιέστερο σημείο διαθέσιμων κυματικών δεδομένων | Σύντομη Περιγραφή | Φωτογραφικό υλικό |
|------------------------|------------------------------------|-----------------|---|---|--|
| I40 | K70 K71 | 0,3 | 12 | Διατομή I40: 100% άμμος Διατομές K70, K71: ακτή με άμμο και κροκάλες | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>K70</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>K71</p> </div> </div> |

| Διατομή Δειγματοληψίας | Διατομή Τοπογραφικού- Προφίλ ακτής | d ₅₀ | Πλησιέστερο σημείο διαθέσιμων κυματικών δεδομένων | Σύντομη Περιγραφή | Φωτογραφικό υλικό | |
|------------------------|------------------------------------|-------------------------|---|---|--|--|
| I42 | K72 K73 | 0,2 | 12 | Διατομή I42: 100% άμμος Διατομές K72, K73: ακτή με άμμο και κροκάλες | K72  | K73  |
| - | K74 K75 | | 12 | Διατομές K74, K75: Αμμώδης ακτή κολύμβησης (παραλία Παρασόλια). Καταγραφή ωτοκίας θαλάσσιων χελωνών Caretta. Προβλέπεται χώρος ελλιμενισμού σκαφών αναψυχής | K74  | K75  |
| I44 | K76 K77 | 0,2 (σε βάθος -2,0m) | 12 | Διατομή I44: λήψη δείγματος μόνο στο -2,0m, -5,0m και -10,0m (100% άμμος) Διατομή K76, K77: Ακτή προ γεωργικών εκτάσεων. Παραλία θαλάσσιου αθλητισμού - αετοσανίδα | K76  | K77  |

Δήμος Αγίας Νάπας – Παραλία Πανταχού και παραλία Γλυκί Νερό





Περιοχή μελέτης και πλησιέστερα σημεία με διαθέσιμα κυματικά δεδομένα
Υπόβαθρο: Δορυφορική Εικόνα Google Earth










Τοπογραφικό διάγραμμα και διατομές ακτής
Πηγή: MARNET ATE, 2019



Περιοχή μελέτης και σημεία επί της ακτής που αντιστοιχούν στις διατομές δειγματοληψίας και τα προφίλ της ακτής
Υπόβαθρο: Δορυφορική Εικόνα Google Earth

| Διατομή Δειγματοληψίας | Διατομή Τοπογραφικού- Προφίλ ακτής | d ₅₀ | Πλησιέστερο σημείο διαθέσιμων κυματικών δεδομένων | Σύντομη Περιγραφή | Φωτογραφικό υλικό |
|------------------------|------------------------------------|-----------------|---|--|---|
| I | A1 A2 | 0,39 | 2 | <p><u>Διατομή I</u>: άμμος στο 0 έως το -1,0m βραχώδης πυθμένας στο -2,0 και -5,0 άμμος στα -10,0m <u>Διατομές A1, A2</u>: Αμμώδης ακτή κολύμβησης (παραλία Πανταχού). Παρουσία κροκαλών στα πρώτα μέτρα του θαλασσίου τμήματος της A2</p> | <p>A1</p>  <p>A2</p>  |

| Διατομή Δειγματοληψίας | Διατομή Τοπογραφικού- Προφίλ ακτής | d ₅₀ | Πλησιέστερο σημείο διαθέσιμων κυματικών δεδομένων | Σύντομη Περιγραφή | Φωτογραφικό υλικό | |
|------------------------|------------------------------------|-----------------|---|---|--|--|
| II | A3 A4 | 0,3 | 2 | <p><u>Διατομή II:</u> άμμος στο 0 έως -1,0 βραχώδης πυθμένας στο -2,0 και -5,0 άμμος στα -10,0m</p> <p><u>Διατομές A3, A4:</u> Αμμώδης ακτή κολύμβησης (παραλία Πανταχού).</p> | A3  | A4  |
| III | A5 A6 | 0,3 | 2 | <p><u>Διατομή III:</u> αμμώδες υλικό στην ίσαλο (0m) έως και -2,0m βραχώδης πυθμένας στο -5,0m άμμος στα -10,0m</p> <p><u>Διατομές A4, A5:</u> Αμμώδης ακτή κολύμβησης (παραλία Πανταχού και παραλία Γλυκί Νερό ανατολικά).</p> | A5  | A6 (Εικόνα από Google Maps- Οκτώβρης 2019)  |
| IV | A7 A8 | 0,7 | 2 | <p><u>Διατομή IV:</u> αμμώδες υλικό στην ίσαλο (0m) Βραχώδης στο -0,5 και -1,0m άμμος στο -2 έως -10,0m</p> <p><u>Διατομές A7, A8:</u> Δυσπρόσιτη βραχώδης ακτή με σχετικά μεγάλη κλίση.</p> | A7, A8 (Εικόνα από Google Maps- Οκτώβρης 2019)  | |

| Διατομή Δειγματοληψίας | Διατομή Τοπογραφικού- Προφίλ ακτής | d ₅₀ | Πλησιέστερο σημείο διαθέσιμων κυματικών δεδομένων | Σύντομη Περιγραφή | Φωτογραφικό υλικό | |
|------------------------|------------------------------------|-----------------|---|---|---|--|
| V | A9 A10 | 0,8 | 2 | <p><u>Διατομή V:</u> Βραχώδης από -0,5m έως τα -5,0m άμμος στο -10,0m</p> <p><u>Διατομές A9, A10:</u> Δυσπρόσιτη βραχώδης ακτή με σχετικά απότομα πρανή</p> | A9  | A10  |
| VI | A11 A12 | - | 2 | <u>Διατομή VI:</u> Βραχώδης ακτή | (δεν υπάρχουν φωτογραφίες) | (δεν υπάρχουν φωτογραφίες) |

Παράρτημα 2: Πίνακες και διαγράμματα από την εφαρμογή του δυναμικού μοντέλου

Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου Leont'gen. Για κάθε διατομή παρουσιάζεται το αποτέλεσμα χωρίς να συνυπολογίζεται η ΑΣΘ στη γραμμή “NO SLR” (no sea level rise), ενώ στην ακριβώς αποκάτω γραμμή (SLR – sea level rise) παρουσιάζεται το αποτέλεσμα προέλασης ή υποχώρησης της ακτογραμμής με συνυπολογισμό της ΑΣΘ.

Πίνακας 24: Παρουσίαση αποτελεσμάτων εξέλιξης της ακτογραμμής από την εφαρμογή του δυναμικού μοντέλου Leont'gen με και χωρίς ΑΣΘ για το σενάριο RCP 4.5 και χρονολογίες αναφοράς 2030 και 2050 με κυματικά δεδομένα με περίοδο επαναφοράς που αντιστοιχεί σε 10, 50 και 100 έτη.

| Περιοχή | Διατομή | T (yrs) | RCP4.5 (2030) | | | RCP4.5 (2050) | | | |
|--|---------|---------|---------------|--------|--------|---------------|--------|--------|-------|
| | | | 10 | 50 | 100 | 10 | 50 | 100 | |
| Δήμος Πέγειας – Περιοχή Ασκός | B6 | NO SLR | 3.15 | 3.12 | 3.17 | 3.1 | 1.5 | 3.38 | |
| | | SLR | -7.79 | -8.36 | -7.62 | -7.62 | -7.06 | -9.1 | |
| | B7 | NO SLR | 1.83 | 1.6 | 1.56 | 1.74 | 0.58 | 1.69 | |
| | | SLR | -7.37 | -8.15 | -8.68 | -6.43 | -5.79 | -8.67 | |
| Κοινότητα Πεντακώμου – Ακτή Κυβερνήτη, Παραλία Κάλυμνος | K2 | NO SLR | 2.91 | 4.15 | -0.41 | -0.85 | 3.32 | 3.09 | |
| | | SLR | -6.27 | -7.97 | -3.78 | -2.82 | -7.08 | -7.12 | |
| | K3 | NO SLR | -0.31 | -0.3 | -2.46 | -3.33 | -0.29 | -0.4 | |
| | | SLR | -3.56 | -4.73 | -5.78 | -3.45 | -4.56 | -5.14 | |
| Κοινότητα Ψεματισμένου – Ακτή προ παλαιού πεδίου βολής | K23 | NO SLR | 3.18 | 2.8 | 3.51 | 3.02 | 5.57 | 5.74 | |
| | | SLR | -5.77 | -6.69 | -7.42 | -5.63 | -9.58 | -10.29 | |
| Κοινότητα Αγίου Θεοδώρου – Ακτή προ γεωργικών εκτάσεων και τουριστικών εγκαταστάσεων έως την εκβολή του ποταμού «Πεντάσχοιρος» | K36 | NO SLR | 2.46 | 2.6 | 3.19 | 2.13 | 0.47 | 0.92 | |
| | | SLR | -4.74 | -5.59 | -6.01 | -4.35 | -3.7 | -4.25 | |
| | K37 | NO SLR | 4.46 | 3.98 | 4.54 | 0.05 | 0.06 | 1.68 | |
| | | SLR | -5.54 | -6.11 | -6.82 | -1.57 | -2.48 | -4.95 | |
| Κοινότητα Μαζωτού – Ακτή από άκρα Πετούντα έως την εκβολή του ποταμού «Πούζης»: παραλίες Πετούντα και Μπούζι | K65 | NO SLR | 1.19 | 1.44 | 2.01 | -0.73 | 0.85 | -4.71 | |
| | | SLR | -22.29 | -23.34 | -24.87 | -20.29 | -22.57 | -19.34 | |
| | K66 | NO SLR | 0.89 | 0.39 | 0.73 | -1.61 | -0.61 | -5.29 | |
| | | SLR | -38.2 | -38.53 | -39.44 | -35.61 | -37.42 | -33.52 | |
| | K67 | NO SLR | -0.75 | -0.75 | -0.81 | -1.37 | -1.46 | -4.91 | |
| | | SLR | -30.42 | -33.04 | -34.21 | -30.13 | -32.58 | -32.42 | |
| Κοινότητα Κιβισιλίου και Σοφτάδων-Κιτίου – Ακτή Κιβισιλίου από άκρο Πούζης και παραλιακό μέτωπο Σοφτάδων | K70 | NO SLR | 2.11 | 2.22 | -0.3 | 2.47 | 2.27 | 2.54 | |
| | | SLR | -6.36 | -6.99 | -5.12 | -6.52 | -6.92 | -7.51 | |
| | K71 | NO SLR | 5.07 | 5.14 | 3.33 | 5.37 | 5.14 | 5.67 | |
| | | SLR | -9.48 | -10.6 | -10.61 | -9.65 | -10.48 | -11.93 | |
| | K72 | NO SLR | 20.13 | 20 | 11.39 | 20.2 | 20 | 20.38 | |
| | | SLR | -45.11 | -49.07 | -45.61 | -44.69 | -47.74 | -50.83 | |
| | K73 | NO SLR | 0.44 | 0.74 | -3.14 | 1.04 | 0.74 | 0.81 | |
| | | SLR | -55.96 | -57.07 | -53.75 | -56.45 | -56.93 | -57.52 | |
| | K74 | NO SLR | -0.27 | 0.11 | -3.6 | 0.34 | 0.08 | 0.08 | |
| | | SLR | -49.23 | -50.48 | -46.99 | -49.74 | -50.34 | -50.73 | |
| | K75 | NO SLR | -0.63 | -0.35 | -3.81 | -0.04 | -0.38 | -0.44 | |
| | | SLR | -20.71 | -21.75 | -20.51 | -21.2 | -20.86 | -21.94 | |
| Δήμος Αγίας Νάπας – Παραλία Πανταχού και παραλία Γλυκί Νερό | A1 | NO SLR | 1.73 | 1.2 | 2.92 | 0.68 | 2.7 | -0.42 | |
| | | SLR | -39.53 | -46.99 | -50.65 | -49.94 | -46.42 | -49.02 | |
| | A2 | NO SLR | 3.27 | 0.25 | 3.08 | -2.11 | 3.17 | -1.6 | |
| | | SLR | -33.34 | -37.17 | -40.49 | -29.06 | -37.08 | -38.94 | |
| | | | NO SLR | 0.08 | -1.09 | 0.87 | -1.9 | 0.95 | -2.35 |

| Περιοχή | Διατομή | T (yrs) | RCP4.5 (2030) | | | RCP4.5 (2050) | | |
|---------|---------|---------|---------------|--------|--------|---------------|--------|--------|
| | | | 10 | 50 | 100 | 10 | 50 | 100 |
| A3 | SLR | NO SLR | -20.35 | -25.59 | -26.96 | -21.3 | -24.42 | -27.96 |
| | | | 0.71 | -1.23 | -0.22 | -1.22 | 0.1 | -1.5 |
| A4 | SLR | NO SLR | -6.02 | -7.05 | -6.93 | -5.66 | -5.75 | -7.88 |
| | | | 1.9 | 0 | 0 | 0 | 1.25 | 0 |
| A5 | SLR | NO SLR | -4.97 | -3.88 | -4.16 | -2.94 | -4.69 | -4.16 |
| | | | 0.55 | -3.99 | -2.59 | 9.38 | 0.35 | 8.11 |
| A6 | SLR | NO SLR | -9.48 | -8.53 | -9.73 | -19.13 | -10.58 | -15.67 |
| | | | | | | | | |

Πίνακας 25: Παρουσίαση αποτελεσμάτων εξέλιξης της ακτογραμμής από την εφαρμογή του δυναμικού μοντέλου Leont'gen με και χωρίς ΑΣΘ για το σενάριο RCP 8.5 και χρονολογίες αναφοράς 2030 και 2050 με κυματικά δεδομένα με περίοδο επαναφοράς που αντιστοιχεί σε 10, 50 και 100 έτη.

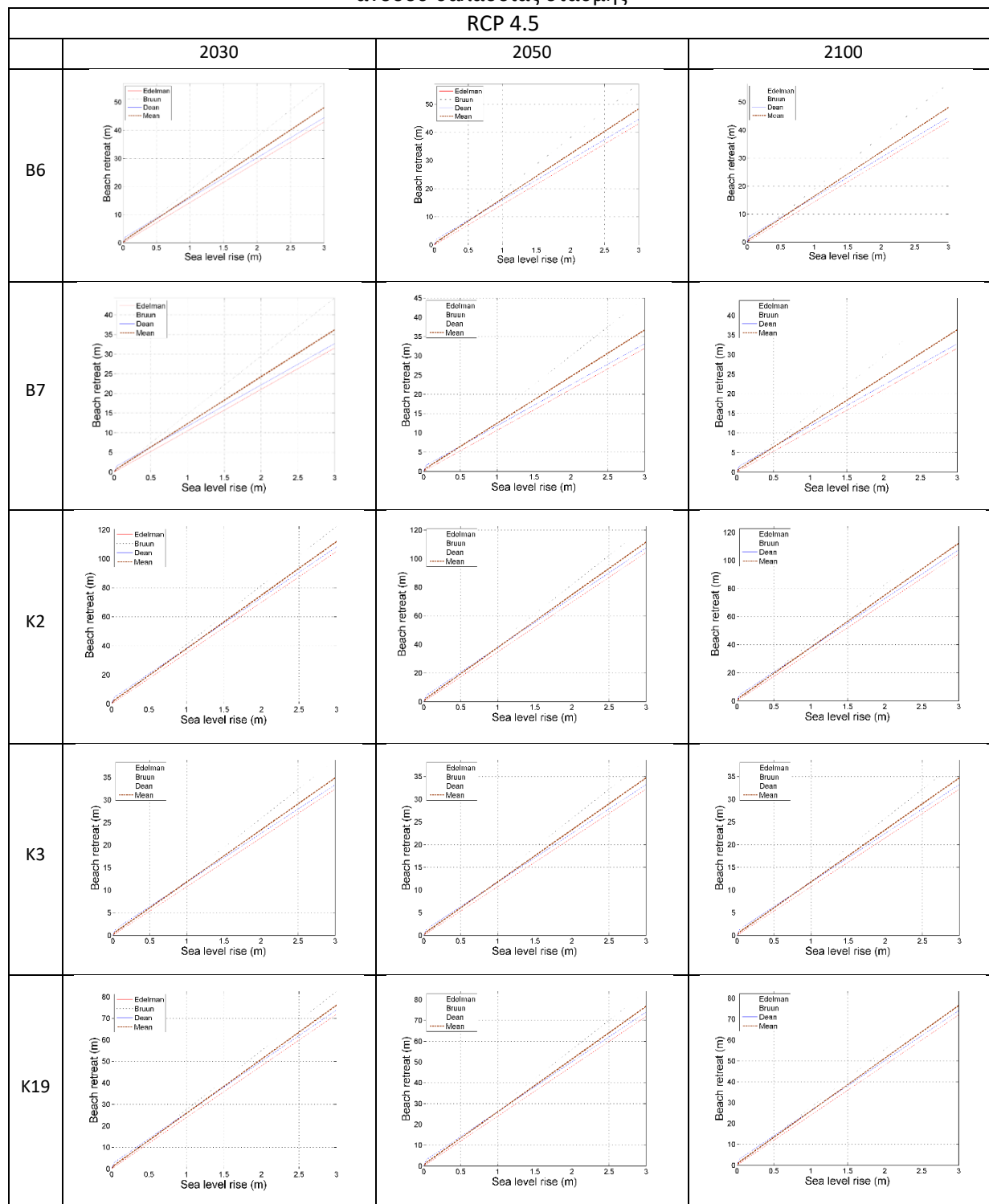
| Περιοχή | Διατομή | T (yrs) | RCP8.5 (2030) | | | RCP8.5 (2050) | | |
|--|---------|---------|---------------|--------|--------|---------------|--------|--------|
| | | | 10 | 50 | 100 | 10 | 50 | 100 |
| Δήμος Πέγειας – Περιοχή Ασκός | B6 | NO SLR | -1.85 | 1.97 | -1.18 | -1.77 | 3.18 | 2.02 |
| | | SLR | -2.82 | -7.45 | -3.81 | -2.99 | -8.32 | -8 |
| | B7 | NO SLR | 2.41 | 0.74 | 2.22 | 2.42 | 1.57 | 0.87 |
| | | SLR | -5.11 | -3.44 | -17.02 | -2.58 | -8.25 | -5.74 |
| Κοινότητα Πεντακώμου – Ακτή Κυβερνήτη, Παραλία Κάλυμνος | K2 | NO SLR | 4.27 | 2.54 | -0.61 | -0.85 | 3.45 | -0.42 |
| | | SLR | -7.68 | -6.44 | -3.67 | -2.86 | -7.24 | -3.74 |
| | K3 | NO SLR | -0.31 | -0.41 | -2.87 | -3.32 | -0.3 | -2.5 |
| | | SLR | -3.7 | -4.86 | -6.83 | -3.54 | -4.67 | -5.66 |
| Κοινότητα Ψεματισμένου – Ακτή προ παλαιού πεδίου βολής | K23 | NO SLR | 3.17 | 5.38 | 3.53 | 3.16 | 5.47 | 3.51 |
| | | SLR | -5.86 | -9.98 | -7.71 | -5.67 | -9.69 | -7.33 |
| Κοινότητα Αγίου Θεοδώρου – Ακτή προ γεωργικών εκτάσεων και τουριστικών εγκαταστάσεων έως την εκβολή του ποταμού «Πεντάσχοινος» | K36 | NO SLR | 2.51 | 0.06 | 3.02 | 2.45 | 0.62 | 3.17 |
| | | SLR | -4.87 | -3.42 | -5.98 | -4.7 | -3.82 | -5.95 |
| | K37 | NO SLR | 0.05 | 0.34 | 4.9 | 4.4 | 1.56 | 4.66 |
| | | SLR | -1.67 | -3.72 | -7.33 | -5.42 | -4.54 | -6.88 |
| Κοινότητα Μαζωτού – Ακτή από άκρα Πετούντα έως την εκβολή του ποταμού «Πούζης»: παραλίες Πετούντα και Μπούζι | K65 | NO SLR | 1.2 | -8.68 | -8.39 | -6.19 | 1.44 | 1.95 |
| | | SLR | -22.39 | -15.69 | -15.97 | -15.24 | -23.21 | -24.77 |
| | K66 | NO SLR | 0.77 | -8.63 | -8.46 | -6.65 | 0.55 | 0.73 |
| | | SLR | -38.02 | -30.53 | -30.87 | -31.01 | -38.64 | -39.36 |
| | K67 | NO SLR | -0.75 | -9.06 | -8.7 | -5.93 | -0.77 | -0.83 |
| | | SLR | -30.66 | -28.86 | -30.92 | -28.87 | -32.61 | -34.06 |
| Κοινότητα Κιβισιλίου και Σοφτάδων-Κιτίου – Ακτή Κιβισιλίου από άκρο Πούζης και παραλιακό μέτωπο Σοφτάδων | K70 | NO SLR | -0.61 | 2.22 | -0.61 | 2.46 | -0.61 | 2.56 |
| | | SLR | -4.36 | -7.16 | -7.37 | -6.56 | -4.76 | -7.58 |
| | K71 | NO SLR | 0 | 5.14 | 0 | 5.3 | 0 | 5.65 |
| | | SLR | -5 | -11.31 | -7.5 | -9.65 | -5.44 | -11.98 |
| | K72 | NO SLR | -3.11 | 20 | -3.14 | 20.2 | -3.13 | 20.3 |
| | | SLR | -27.38 | -49.52 | -33.99 | -45.01 | -30.86 | -51.18 |
| | K73 | NO SLR | -11.53 | 0.74 | -8.3 | 1.04 | -8.95 | 0.85 |
| | | SLR | -44.29 | -57.23 | -48.9 | -56.52 | -47.42 | -57.67 |
| | K74 | NO SLR | -9.4 | 0.11 | -7.26 | 0.37 | -7.54 | 0.11 |
| | | SLR | -40.22 | -50.59 | -43.64 | -49.84 | -42.78 | -50.83 |
| | K75 | NO SLR | 10.6 | -0.35 | -7.49 | -0.04 | -7.59 | -0.4 |
| | | SLR | -5.26 | -21.87 | -15.12 | -21.26 | -14.81 | -22.06 |
| Δήμος Αγίας Νάπας – Παραλία Πανταχού και παραλία Γλυκί Νερό | A1 | NO SLR | 3.03 | 0.89 | 2.12 | 3.03 | 0.72 | 3.03 |
| | | SLR | -41.61 | -47.88 | -51.91 | -40.33 | -47.02 | -51.66 |
| | A2 | NO SLR | 3.2 | 0.63 | 2.82 | 3.3 | -1.36 | 3.2 |
| | | SLR | -33.44 | -38.41 | -42.23 | -33.15 | -36.12 | -40.38 |
| | A3 | NO SLR | 0.94 | -0.01 | -0.18 | 0.54 | -1.96 | 1.04 |
| | | SLR | -21.55 | -27.47 | -27.81 | -21.18 | -25.91 | -26.42 |

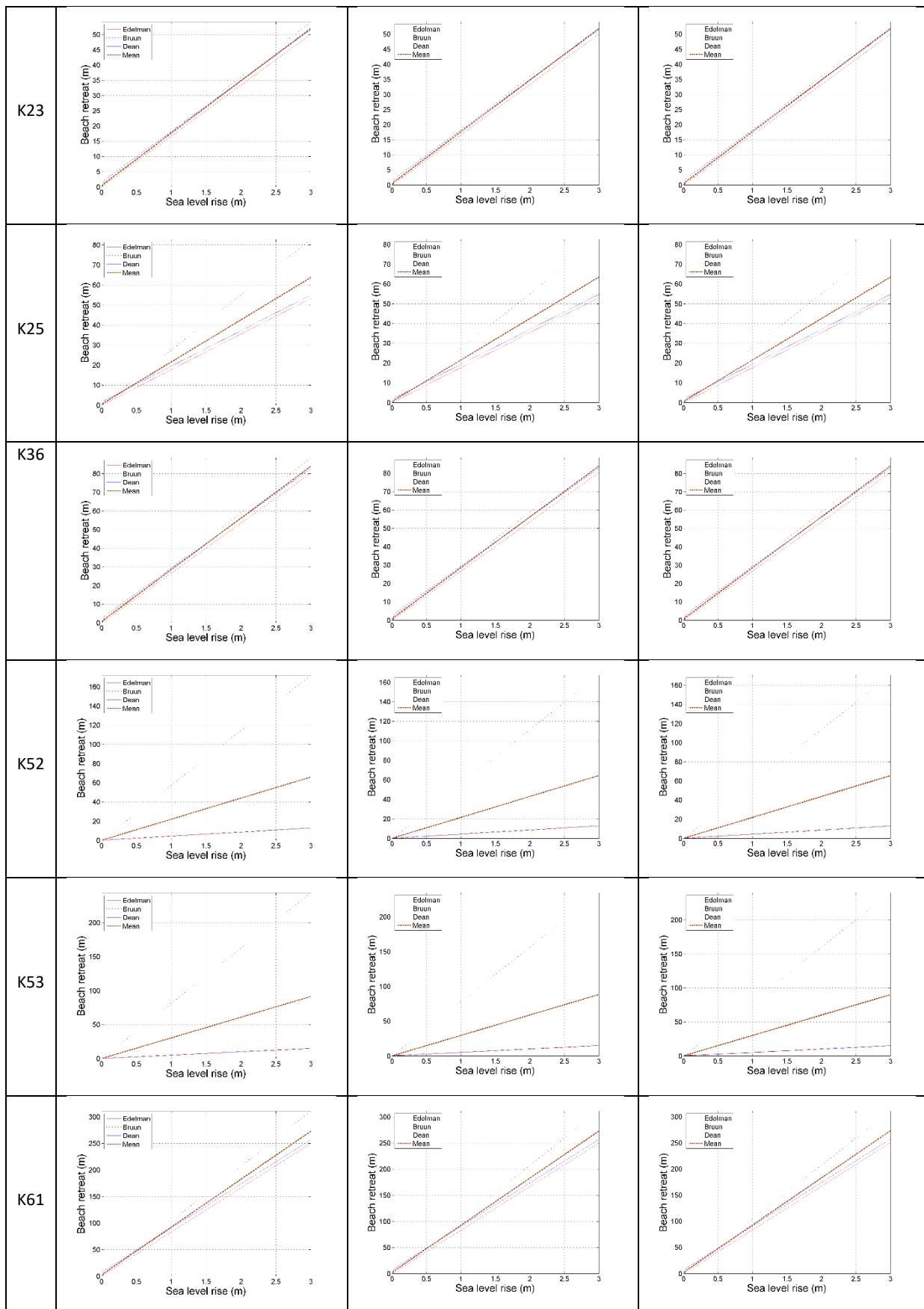
| Περιοχή | Διατομή | T (yrs) | RCP8.5 (2030) | | | RCP8.5 (2050) | | |
|---------|---------|---------|---------------|-------|--------|---------------|--------|--------|
| | | | 10 | 50 | 100 | 10 | 50 | 100 |
| | A4 | NO SLR | 0.58 | -1.23 | -0.8 | -0.08 | -1.36 | 0.94 |
| | | SLR | -5.83 | -7.14 | -7.38 | -5.43 | -7.36 | -7.25 |
| | A5 | NO SLR | 1.98 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.46 |
| | | SLR | -5.13 | -3.85 | -4.17 | -3.08 | -4 | -6.25 |
| | A6 | NO SLR | 0.62 | -3.85 | -3.17 | -2.53 | 11.14 | 0.47 |
| | | SLR | -9.86 | -9.73 | -11.83 | -6.98 | -21.57 | -12.01 |

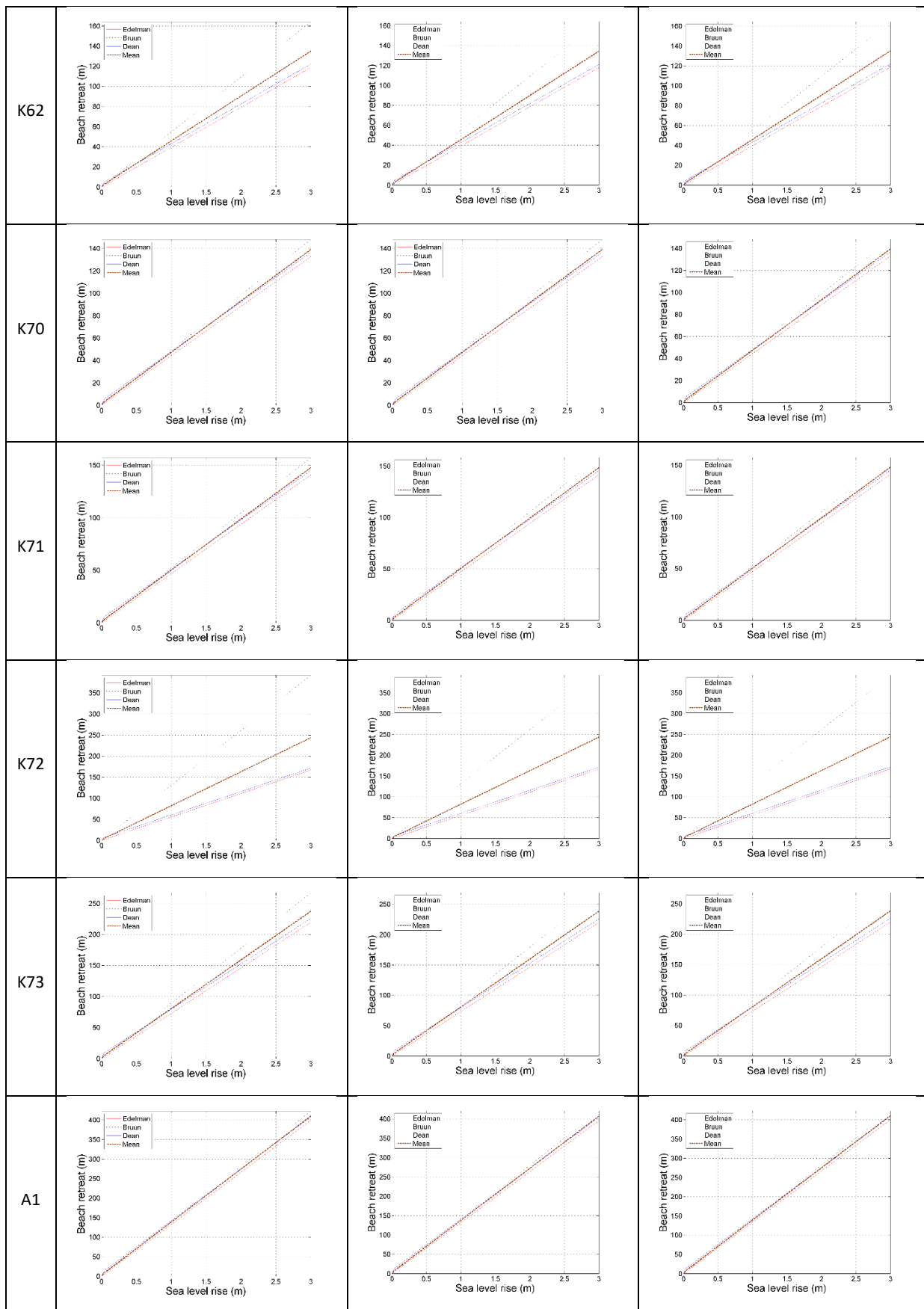
Παράρτημα 3: Διαγράμματα από την εφαρμογή των μοντέλων

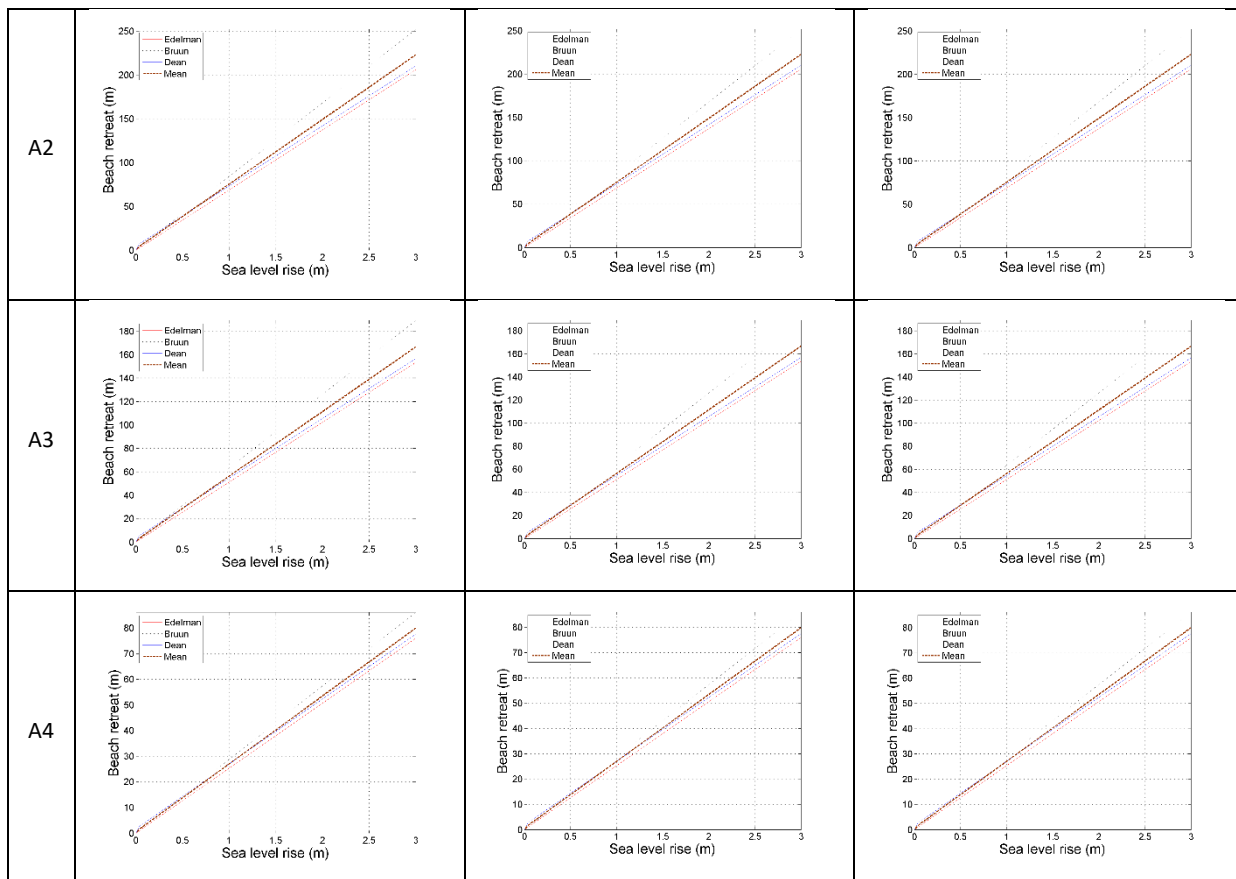
Εφαρμογή στατικών μοντέλων

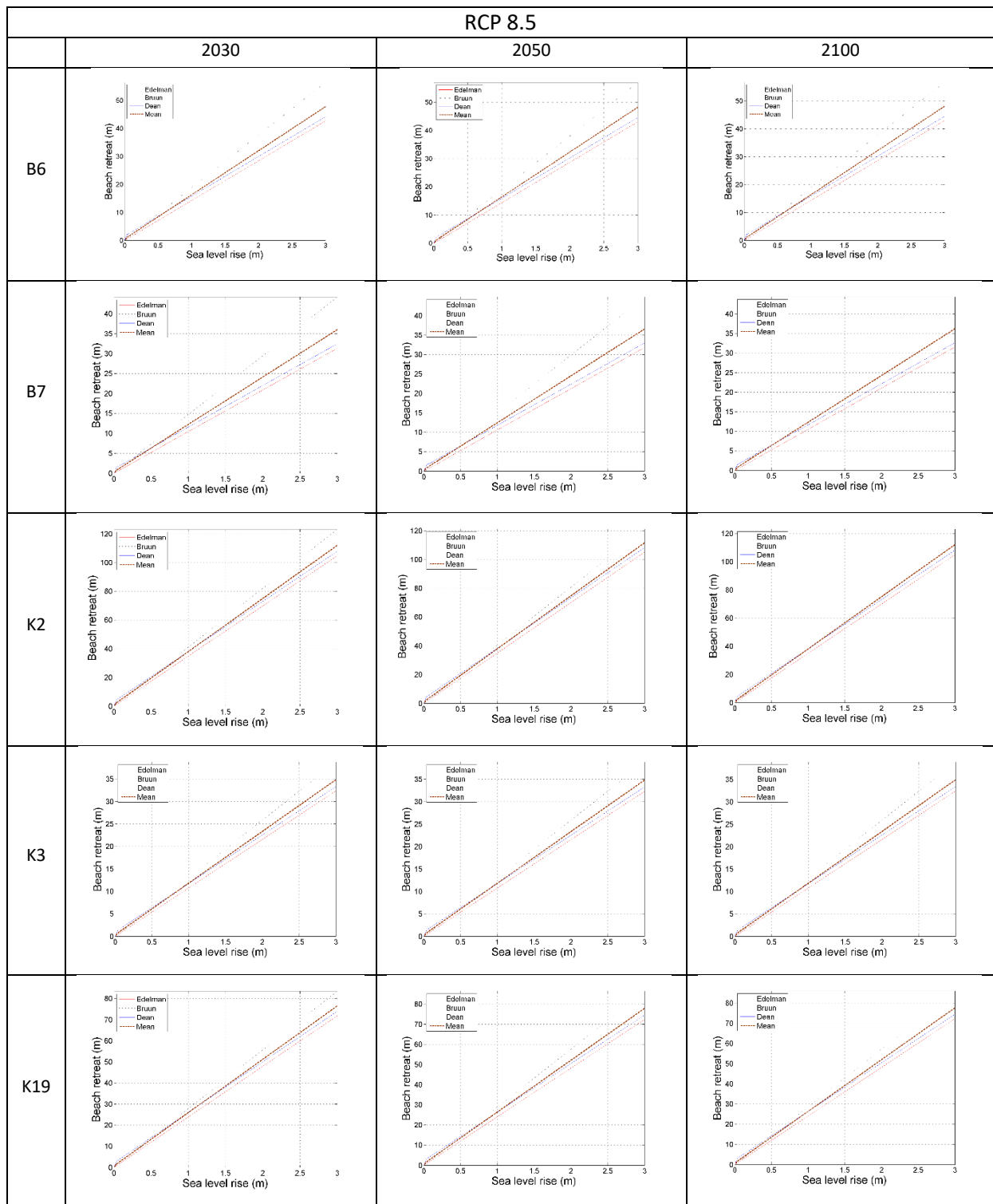
Ενδεικτική παράθεση διαγραμμάτων υποχώρησης ακτογραμμής συναρτήσει της μακροχρόνιας ανόδου θαλάσσιας στάθμης

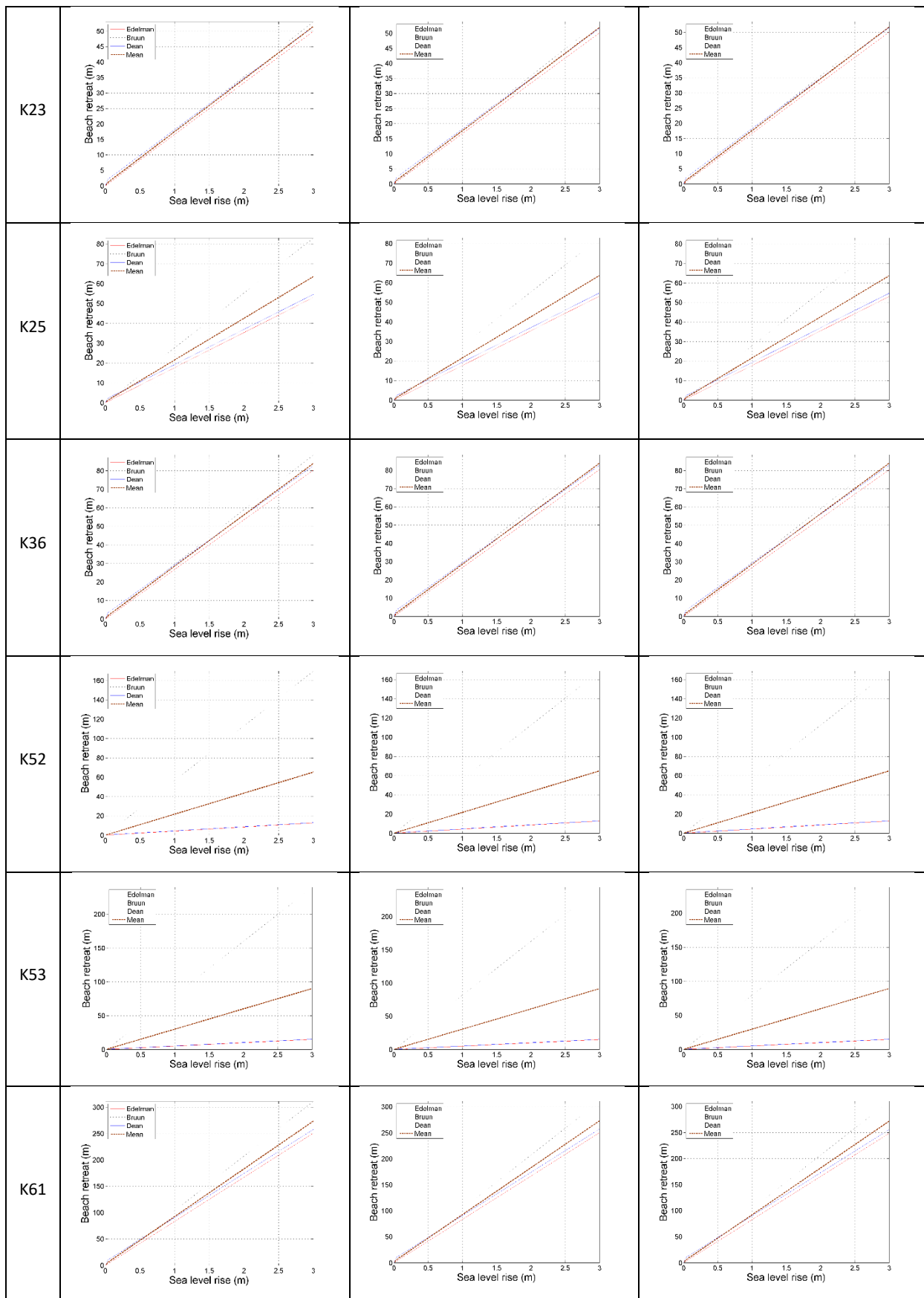


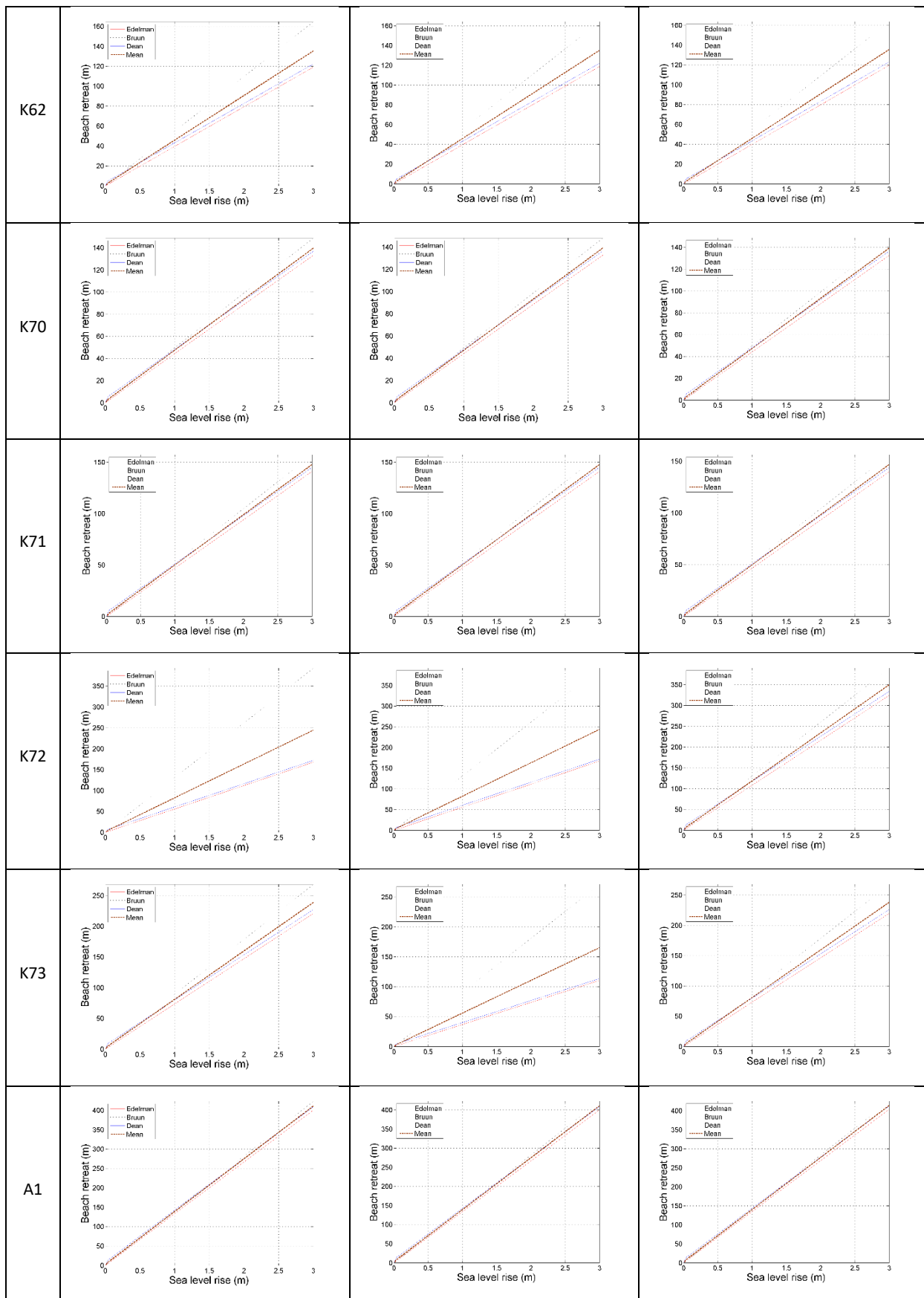


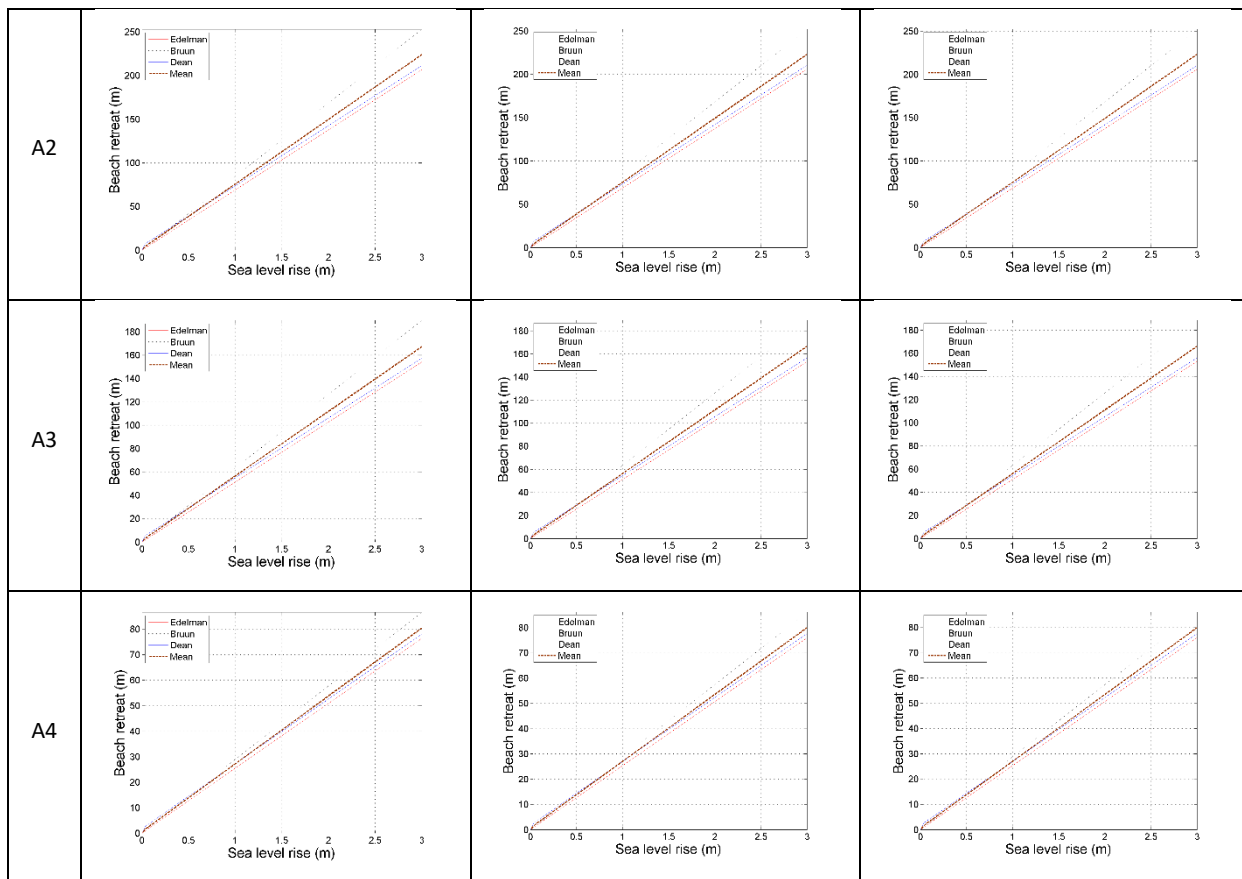












Εφαρμογή δυναμικού μοντέλου

Ενδεικτική παράθεση διαγραμμάτων υποχώρησης ακτογραμμής και μεταβολής της μορφολογίας της διατομής χωρίς (πάνω) και με (κάτω) επεισοδική άνοδο θαλάσσιας στάθμης

