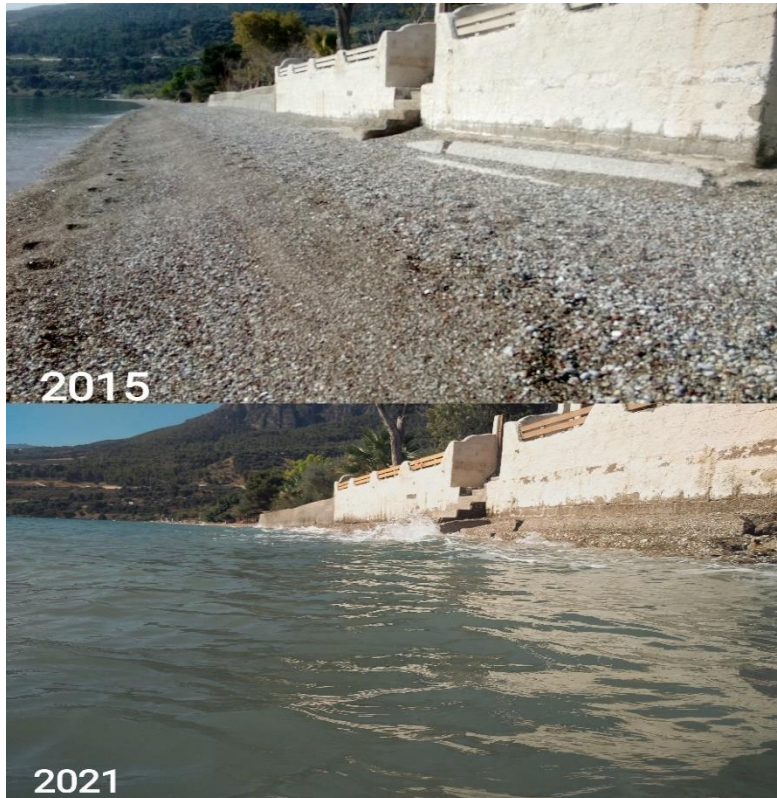


ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΤΙΔΙΑΒΡΩΤΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΩΝ
ΑΚΤΩΝ**



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΟΡΚΟΠΟΥΛΟΣ ΗΛΙΑΣ (7190)
ΜΠΑΚΛΩΡΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ (7176)

Επιβλέπων Καθηγητής: ΜΠΑΤΣΟΥΛΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2023

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου και αναφέρεται στο μείζον πρόβλημα που της διάβρωσης των ακτών. Η μελέτη αυτή επικεντρώνεται σε παράκτια ζώνη που πλήττεται από το φαινόμενο της διάβρωσης στην περιοχή της Εγκάλης Διακοπτού στην Αχαΐα, αναλύοντας τους λόγους και τις αιτίες που οδήγησαν σε γιγάντωση του φαινομένου αυτού. Επιπλέον αναφέρονται οι τρόποι αντιμετώπισης με βάση τα διεθνή και τα εγχώρια πρότυπα, καθώς και τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν στις κατασκευές αντιδιαβρωτικής προστασίας, έχοντας ως γνώμονα τα συγκεκριμένα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής αυτής.

Η μελέτη της διαμήκουσ ανάπτυξης της ακτογραμμής μπορεί να εξεταστεί συγκρίνοντας τις πολυάριθμες τροποποιήσεις που έχουν συμβεί σε όλα τα ιστορικά της τμήματα, από το παρελθόν έως τις μέρες μας. Η αφθονία των πληροφοριών που περιλαμβάνονται στις φωτογραφίες και η σύγκριση των εικόνων "πριν" και "μετά" δίνει μια εξαιρετική ευκαιρία να εκτιμηθεί ο ρυθμός αλλαγής της ακτογραμμής τόσο μακροπρόθεσμα όσο και βραχυπρόθεσμα.

Σύμφωνα με τις φωτογραφίες, συνάγεται το συμπέρασμα ότι το πρόβλημα της διάβρωσης έχει ρυθμό μείωσης του πλάτους της παραλίας που είναι της τάξης του ενός μέτρου ετησίως, με το φαινόμενο να εξελίσσεται με γοργούς ρυθμούς, κάτι που μαρτυρεί ότι δεν οφείλεται σε φυσικούς γεωλογικούς παράγοντες αλλά μάλλον στη μεταφορά τεράστιων ποσοτήτων παραλιακού υλικού.

Ως συμπέρασμα για την περιοχή του Διακοπτού, μπορεί να τονιστεί η ανάγκη επισκευής του προστατευτικού υπάρχοντος τοιχίου μήκους εκατό μέτρων το οποίο έχει λαβωθεί από την διάβρωση, για συγκράτηση εδάφους και τέσσερις πρόβλους εμπροσθεν αυτού για συγκράτηση παραλιακού υλικού. Αυτό έχει αποδειχθεί ότι είναι μια πιθανή προσέγγιση για τη μείωση των επιπτώσεων που έχει η διάβρωση των ακτών.

Η προτεινόμενη χρήση συνθετικών υλικών FRP (Fiber-Reinforced Polymer) στην κατασκευή του τοίχου παρέχει πληθώρα πλεονεκτημάτων, συμπεριλαμβανομένης της αύξησης της αντοχής του, της μείωσης του κόστους συντήρησής του και της παράτασης της ωφέλιμης ζωής του.

Η αποτελεσματικότητα και η σταθερότητα του προτεινόμενου συστήματος ενισχύονται σημαντικά όταν το προβολικό σύστημα χρησιμοποιείται ως μέρος της λύσης. Η δομική ακεραιότητα του τοίχου διατηρείται με την επίτευξη ισορροπίας

μεταξύ ενεργητικής και παθητικής πίεσης, λαμβάνοντας υπόψη τις επιπτώσεις του νερού και άλλων παραγόντων.

Αυτή η μελέτη συμβάλλει στην πρόοδο των πρακτικών παράκτιας μηχανικής και προσφέρει πολύτιμες γνώσεις για παρόμοια έργα για την αντιμετώπιση της διάβρωσης των ακτών.

Στο πρώτο κεφάλαιο αναφέρονται ιστορικά στοιχεία για τη διάβρωση των ακτών και εισαγωγικά/θεωρητικά στοιχεία γενικότερα σχετικά με αυτό το θέμα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται μία εκτενής αναφορά στη βιβλιογραφία που έχει ασχοληθεί με τη διάβρωση των ακτών. Οι κύριες βιβλιογραφικές πηγές αναφέρονται τόσο σε θεωρητικά όσο και στα αντίστοιχα ποιοτικά χαρακτηριστικά που διέπουν αυτό το θέμα, ενώ γίνεται εκτενής αναφορά και σύγκριση, πριν, μετά στην περιοχή αναφοράς στην ανατολική Αχαΐα και συγκεκριμένα στο Διακοπτό.

Στο τρίτο κεφάλαιο υπάρχουν αναλύσεις σχετικά με τις κατασκευές της προστασίας των ακτών. Γενικότερα αναφέρονται όλα τα κύρια μέρη που συνδυάζονται για την επιτυχή λειτουργία μιας αντίστοιχης κατασκευής.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύονται τα υλικά των αντιδιαβρωτικών κατασκευών, καθώς και ο σχεδιασμός για την κατασκευή για τη λειτουργία αυτών των αντίστοιχων υλικών στις κατασκευές.

Στο τελευταίο κεφάλαιο αναφέρονται τα συμπεράσματα της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Η πτυχιακή εργασία έγινε στο εργαστήριο Μηχανικής Υλικών Μηχανών (ΜΥΜ) υπό την επίβλεψη του Καθηγητή κ. Νικόλαου Μπατσούλα, τον οποίο ευχαριστούμε πολύ για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μας προσέφερε για την πραγματοποίηση της εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iii
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	- 7 -
1.1 Γενικά στοιχεία.....	- 8 -
1.2 Παράκτιες ζώνες	- 9 -
1.3 Θεωρητική προσέγγιση.....	- 11 -
1.4 Μοντέλα πρόβλεψης αλλαγής της ακτογραμμής	- 12 -
1.5 Αιτιολόγηση του προβλήματος - Ορολογία	- 16 -
1.6 Πρόβλημα.....	- 17 -
2. ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΩΝ ΑΚΤΩΝ.....	- 27 -
2.1 Γενικά.....	- 27 -
2.2 Τεκτονικές διεργασίες.....	- 29 -
2.3 Παράκτιες κυψέλες	- 30 -
2.4 Η διάβρωση των ακτογραμμών στην Ελλάδα	- 32 -
2.5 Ανασχεδιασμός της μορφολογίας της παραλίας.....	- 33 -
3. ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ (ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΚΤΩΝ).....	- 35 -
3.1 Παράκτια προστασία	- 35 -
3.2 Τρόποι αντιμετώπισης.....	- 35 -
3.3 «Ήπια» προστασία	- 36 -
3.4 «Σκληρή» προστασία.....	- 43 -
3.5 Βραχίονες.....	- 53 -
3.6 Παράκτια προσαρμογή.....	- 58 -
4. ΥΛΙΚΑ ΑΝΤΙΔΙΑΒΡΩΤΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ (ΥΛΙΚΑ – ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ – ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ).....	- 60 -
4.1 Εισαγωγικά στοιχεία για την κατασκευή	- 60 -
4.2 Ανίχνευση διάβρωσης οπλισμού	- 62 -
4.3 Ποιοτικά χαρακτηριστικά	- 67 -
4.4 Ανάλυση ανθεκτικότητας παράκτιων κατασκευών από σκυρόδεμα	- 72 -
4.5 Άλλα Πιθανά είδη και προσμίξεις για το σκυρόδεμα	- 74 -

5.	ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ.....	- 78 -
5.1	Διαμόρφωση της στρατηγικής συντήρησης και βελτιστοποίησης	- 79 -
5.2	Θαλάσσια τοιχώματα από σκυρόδεμα.....	- 80 -
5.3	Νέες κατευθύνσεις για τα παράκτια κτίσματα από οπλισμένο σκυρόδεμα ..	- 82 -
6.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	- 85 -
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	- 89 -

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι παράκτιες περιοχές αποτελούσαν από την αρχαιότητα αναπόσπαστα κομμάτια ανάπτυξης του εμπορίου, της ναυτιλίας, του τουρισμού και γενικότερα μεγάλων τομέων της οικονομίας μέχρι και σήμερα. Περίπου το 44% του παγκόσμιου πληθυσμού βρίσκεται σε απόσταση μικρότερη των 150 km από την ακτογραμμή. Στην Ελλάδα το 80% του πληθυσμού βρίσκεται σε πολύ κοντινή απόσταση από τις ακτογραμμές, ποσοστό το οποίο αναπτύσσεται ραγδαία.

Η σχέση μεταξύ της κλιματικής αλλαγής, ανόδου στάθμης της θάλασσας, και διάβρωσης παρακτίων ζωνών, θεωρείται αποδεκτή εδώ και καιρό από την επιστημονική κοινότητα. Η κλιματική αλλαγή έχει αυξήσει τη στάθμη της θάλασσας και εντείνει τα παράκτια ακραία καιρικά φαινόμενα σε διάρκεια και συχνότητα, επιδεινώνοντας τον κίνδυνο πλημμύρας, που μπορεί να οδηγήσει σε μόνιμη βύθιση των παράκτιων ζωνών. Επιπλέον, ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξάνεται, κυρίως σε παράκτιες ζώνες, ακολουθώντας μια τάση που θα συνεχιστεί τις επόμενες δεκαετίες. Οι άνθρωποι και οι υποδομές είναι πλέον πιο εκτεθειμένοι και τα σενάρια δείχνουν αύξηση αυτής της έκθεσης. Από την άποψη αυτή, η λήψη αποφάσεων είναι αναγκαία και καλείται τώρα ο κόσμος να ανταποκριθεί άμεσα μέσω της στήριξης των ακτογραμμών όποτε και όπου είναι δυνατόν, ενώ απαιτούνται πιο ενεργητικές μεσοπρόθεσμες έως και μακροπρόθεσμες παρεμβάσεις προσαρμογής των ακτών για να υπάρξουν άμεσα αποτελέσματα.

1.1 Γενικά στοιχεία

Η ακτογραμμή, το όριο δηλαδή μεταξύ ξηράς και θάλασσας, αλλάζει συνεχώς σχήμα και θέση λόγω των δυναμικών περιβαλλοντικών συνθηκών. Πραγματοποιούνται διάφορα αναπτυξιακά έργα σε ακτογραμμές, ασκώντας μεγάλη πίεση σε αυτές, οδηγώντας σε διάφορους παράκτιους κινδύνους όπως διάβρωση του εδάφους, διείσδυση του θαλάσσιου νερού, αλλαγή των ακτών κ.λπ. Η διάβρωση των ακτών, αποτελεί ένα παγκόσμιο πρόβλημα που επηρεάζει σχεδόν κάθε χώρα σε όλο τον κόσμο που έχει ακτογραμμή. Οι κίνδυνοι που επηρεάζουν τις ακτογραμμές, σχετίζονται με πολλές αλλαγές στο κλίμα, ατμοσφαιρικές διαταραχές, συνεχείς αλλαγές στα υδάτινα σώματα, και άναρχες κατασκευές που αλλοιώνουν σε μεγάλο βαθμό την φυσική ισορροπία των παράκτιων περιοχών.

Ωστόσο, παγκοσμίως, υπολογίζεται ότι μεγάλο ποσοστό του πληθυσμού κατοικεί στα παράκτια περιβάλλοντα. Αν και το παράκτιο περιβάλλον μπορεί να διατηρήσει κάποιο βαθμό φυσικού χαρακτήρα, η αυξημένη ανθρώπινη παράνομη τροποποίηση μειώνει αυτή τη «φυσικότητα». Η επιταχυνόμενη απελευθέρωση διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα έχει ως αποτέλεσμα την προβλεπόμενη υπερθέρμανση του πλανήτη περίπου 3 °C μέχρι το έτος 2030 [1].

Αυτή η αύξηση θα ήταν αρκετή για να ανεβάσει την παγκόσμια στάθμη της θάλασσας έως και 5 μέτρα σε μερικούς αιώνες, που είναι σύντομο χρονικό διάστημα από την άποψη της ανθρώπινης κατοίκησης των ακτών.

Το φαινόμενο αυτό έχει την τάση να εκθέτει ένα σημαντικό ποσοστό των ευάλωτων παράκτιων περιοχών σε πλημμύρες και καταστροφή των ενδιαιτημάτων. Σε συγχρονισμό με αυτές τις συνεχείς αλλαγές είναι η ύφεση των ακτογραμμών, που εκτιμάται ότι θα συμβεί στον παράκτιο πληθυσμό και τις υποδομές μείζονος οικονομικής και πολιτιστικής σημασίας σε όλες σχεδόν τις παράκτιες περιοχές παγκοσμίως.

Η θέση της ακτογραμμής και η μεταβαλλόμενη θέση αυτού του ορίου με την πάροδο του χρόνου είναι στοιχειώδους σημασίας για τους επιστήμονες, τους μηχανικούς και τους διαχειριστές της ακτοπλοΐας. Οι υπηρεσίες αρωγής και ανάπτυξης εξαρτώνται επίσης από τέτοιες πληροφορίες για να διευκολύνουν την ανάπτυξη αποτελεσματικών μέτρων για την πρόληψη, τον μετριασμό, ή τη διαχείριση των καταστροφών. Τόσο η αειφόρος διαχείριση των ακτών, όσο και ο μηχανικός σχεδιασμός απαιτούν πληροφορίες σχετικά με το πού βρίσκεται η ακτογραμμή, πού ήταν στο παρελθόν και πού προβλέπεται να είναι στο μέλλον.

Τέτοιες πληροφορίες απαιτούνται στο σχεδιασμό της προστασίας των ακτών, για τη βαθμονόμηση και την επαλήθευση αριθμητικών μοντέλων, για την

εκτίμηση της ανόδου της στάθμης της θάλασσας και για την ανάπτυξη ζωνών κινδύνου.

Η Τηλεπισκόπηση συμβάλλει στην αντικατάσταση των συντηρητικών δεδομένων της έρευνας. Αρκετές μελέτες που χρησιμοποιούν δορυφορικά δεδομένα έχουν αποδείξει την αποτελεσματικότητά τους στην κατανόηση των διαφόρων παράκτιων διεργασιών [2]. Οι διαστημικές τεχνολογίες έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν πληροφορίες σε μια μεγάλη περιοχή σε επαναλαμβανόμενη βάση και ως εκ τούτου, είναι πολύ χρήσιμες για τον εντοπισμό και την παρακολούθηση των διαφόρων παράκτιων χαρακτηριστικών. Γενικότερα έχουν διαμορφωθεί πολιτικές για τη ρύθμιση των παράκτιων εξελίξεων και για να υπάρξει υποβοήθηση στον καθορισμό των ορίων νομικής ιδιοκτησίας, καθώς και στην παράκτια έρευνα και παρακολούθηση.

1.2 Παράκτιες ζώνες

Δεν υπάρχει κοινή συμφωνία που να ορίζει τις παράκτιες ζώνες [3]. Η βιβλιογραφία συχνά αναφέρεται στις Παράκτιες Ζώνες ως τη διεπαφή μεταξύ ξηράς και θάλασσας. Αυτός ο ορισμός έχει υιοθετηθεί σε μεγάλο βαθμό από διαφορετικούς συγγραφείς αν και εγείρει σοβαρές αμφιβολίες για τη γεωγραφική του περιοχή.

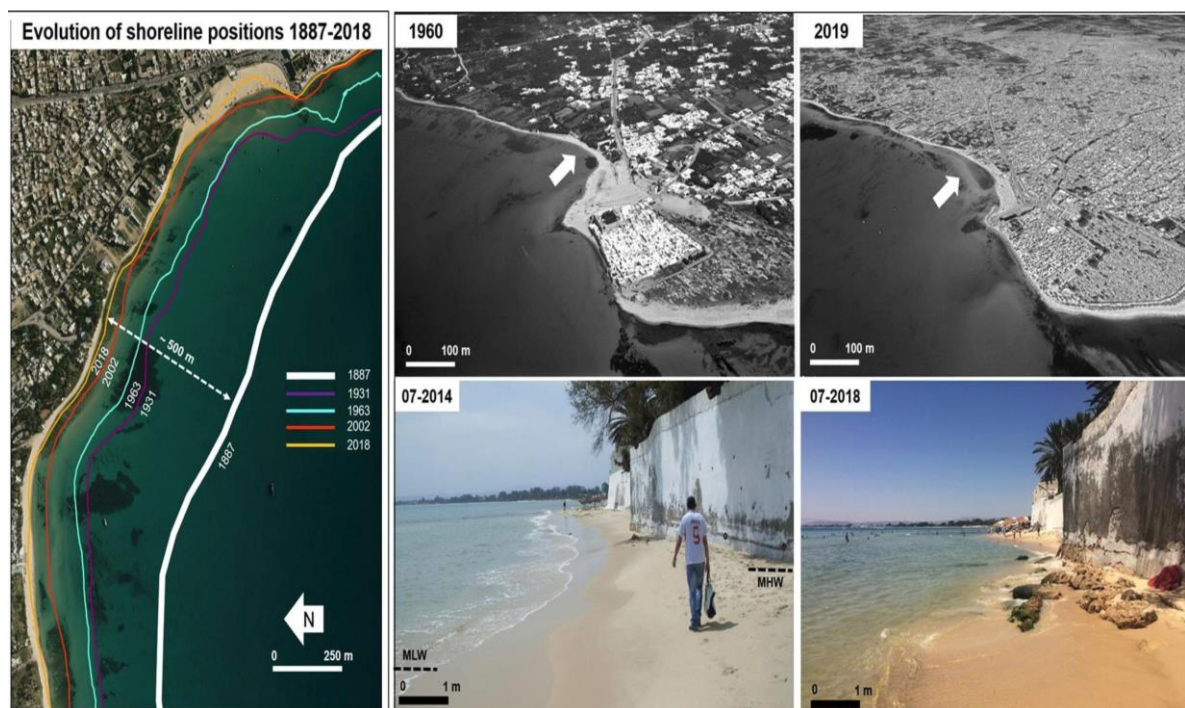
Από πλευράς σχεδιασμού, οι οριοθετήσεις είναι απαραίτητες για τον καθορισμό των περιοχών παρέμβασης, ιδιαίτερα σε τέτοιους δυναμικούς και διαφορετικούς χώρους, όπως οι παράκτιες ζώνες. Ωστόσο, δεν υπάρχουν καθολικά γεωγραφικά όρια για τον καθορισμό τους, καθώς εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το εύρος του έργου, τη διαθεσιμότητα των δεδομένων και μπορεί να ποικίλλουν ανάλογα με τη «φύση του περιβάλλοντος και τις ανάγκες διαχείρισης. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, «η γεωγραφική κλίμακα και η έκταση μιας δραστηριότητας διαχείρισης παράκτιας ζώνης θα πρέπει να προσαρμοστεί στα υπό εξέταση θέματα». Στην πράξη, τα έργα επιλέγουν συνήθως τα όρια που είναι τα πιο απλά στη διαχείριση (συχνά διοικητικά όρια). Ωστόσο, τα διοικητικά όρια δε συμπίπτουν γενικά με τα όρια φυσικών, ή κοινωνικών συστημάτων.

Λαμβάνοντας υπόψη αυτό το ευρύ πεδίο εφαρμογής, πολλές χώρες έχουν εισαγάγει χωρικά όρια στις παράκτιες ζώνες τους. Στην πράξη σχεδιασμού του 1991, η Δανία είχε ορίσει ως παράκτια ζώνη, μια περιοχή οριοθετημένη από την ακτογραμμή, με μήκος 3 km προς την ξηρά. Η Ισπανία έχει υιοθετήσει το όριο της Παράκτιας Ζώνης της από το ακριβές σημείο αναφοράς, αν και εξετάζει μια επέκταση κατά 200 μέτρα προς την ξηρά αυτού του σημείου αναφοράς στον νόμο περί ακτών της από το 1988. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρότεινε, το 2011, ότι η Ευρωπαϊκή Παράκτια Ζώνη θα πρέπει να περιλαμβάνει μια περιοχή 10 km από την

ακτογραμμή και ένα απόθεμα πλάτους 2 km από κάποιες συγκεκριμένες κατηγορίες κάλυψης γης (Παράκτιοι υγρότοποι όπως αλυκές, αλμυρές και παλίρροιες και Θαλάσσια ύδατα όπως παράκτιες λιμνοθάλασσες, εκβολές ποταμών).

Ένα από τα κριτήρια προοριζόταν να συμπεριλάβει τις εσωτερικές περιοχές υπό άμεση επίδραση των θαλάσσιων περιβαλλόντων. Σε άλλη αναφορά, η παράκτια ζώνη ορίζεται ως η απόσταση 100 km προς την ξηρά από την ακτογραμμή, ή η υψομετρική γραμμή περιγράμματος των 50 m. Ως προς τη θάλασσα, ορίζεται ως η απόσταση που έχει θεσπιστεί από το ψηλό σημείο του νερού και πρέπει να είναι 50 m βάθος.

Η ελκυστικότητα των παράκτιων ζωνών που συνδέεται με την υψηλή βιοποικιλότητα και την κοινωνικοοικονομική τους αξία, τις καθιστά πιο πυκνοκατοικημένες σε σύγκριση με άλλες περιοχές της ενδοχώρας και με τη σειρά της, επίσης πιο ευάλωτες στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, δηλαδή στην διάβρωση των ακτών, την άνοδο στάθμης της θάλασσας και στα ακραία καιρικά φαινόμενα. Αυτή η ευπάθεια προκύπτει όχι μόνο από την έκθεση των ανθρώπων, αλλά και από τις υποδομές στους κλιματικούς κινδύνους (συνάρτηση της παρουσίας των ανθρώπων και των μυριάδων δραστηριοτήτων τους σε αλληλεπίδραση με φυσικές παράκτιες διεργασίες). Ως εκ τούτου, αναφέρεται στην ικανότητά τους να προβλέπουν τις επιπτώσεις τους, αλλά και να ζουν μαζί τους και να τους αντιστέκονται και να ανακάμψουν από τις επιπτώσεις τους.



Σχήμα 1.1: Παράδειγμα εξέλιξης της μείωσης της παράκτιας τοποθεσίας από πιέσεις μέσα στα χρόνια [4]

1.3 Θεωρητική προσέγγιση

Οι παράκτιες ζώνες ορίζουν το σημείο διέλευσης μεταξύ της ξηράς και της θάλασσας και χαρακτηρίζονται από μια ποικιλία οικοσυστημάτων όπως περιοχές παραλιών, βράχοι, κοραλλιογενείς ύφαλοι, δέλτα, αμμόλοφοι, εκβολές ποταμών, βραχώδεις ακτές, αλμυρά έλη, βυθισμένη βλάστηση και υγρότοποι [5]. Ο ορισμός των παράκτιων ζωνών τονίζει τις επιρροές που μπορούν να επιβάλουν και οι δύο, η μία στην άλλη και επομένως «η παράκτια ζώνη μπορεί να θεωρηθεί περισσότερο η θάλασσα, ή περισσότερο η γη». Με απλά λόγια, η παράκτια ζώνη περιλαμβάνει την περιοχή όπου η ξηρά επηρεάζεται σημαντικά από τη θάλασσα και η θάλασσα επηρεάζεται σημαντικά από τη στεριά. Οι αλληλεξαρτήσεις που χαρακτηρίζουν αυτό το περίπλοκο σύστημα απαιτούν την προσθήκη της έννοιας της χρονικής κλίμακας στον ορισμό ότι «η παράκτια ζώνη, η οποία αντιπροσωπεύει τη διεπαφή μεταξύ ξηράς και θάλασσας, είναι μια από τις πιο δυναμικές περιοχές στη Γη. Η αλλαγή συμβαίνει σε όλες τις χρονικές κλίμακες από ώρες (με επιπτώσεις καταιγίδας) έως δεκαετίες και περισσότερο (λόγω της ανόδου της στάθμης της θάλασσας η διάβρωσης λόγω τεκτονικών διεργασιών)».

Αυτή η ποικιλομορφία είναι ελκυστική για ένα ευρύ φάσμα δραστηριοτήτων αναψυχής, καθιστώντας τις παράκτιες ζώνες προνομιακούς τόπους για τουριστικές, εμπορικές, και ψυχαγωγικές δραστηριότητες, όπως επίσης και για κατοικίες. Στατιστικά, συγκαταλέγεται, στις πιο βιομηχανοποιημένες περιοχές, συγκεντρώνοντας ζωτικής σημασίας υποδομές, συμπεριλαμβανομένων κρίσιμων διαδρομών μεταφορών και διεπαφών, συχνά σύνθετες, δυναμικές, πυκνοκατοικημένες και οικονομικά σημαντικές περιοχές. Η πυκνότητα του πληθυσμού στις παράκτιες ζώνες είναι γενικά πολύ υψηλότερη από την παγκόσμια μέση πυκνότητα του πληθυσμού.

Η πολυπλοκότητα της διαχείρισης των παράκτιων ζωνών αυξάνεται καθώς οι συνέπειες από την κλιματική αλλαγή γίνονται αισθητές σε αυτές τις περιοχές. Η αύξηση της θερμοκρασίας, η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, η διάβρωση, από ανθρωπογενείς και φυσικούς παράγοντες και τα ακραία καιρικά φαινόμενα είναι πλέον πιο συχνά και έντονα, οδηγώντας σε κλιμάκωση της ευπάθειας στις παράκτιες περιοχές. Μια τάση που επιδεινώνεται από τις μεταναστεύσεις των πληθυσμών και τον τουρισμό, η οποία αναμένεται να συνεχιστεί τις επόμενες δεκαετίες.

Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας είναι μία από τις κύριες ανησυχίες, καθώς παίζει καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση των ακτών. Οι επιπτώσεις σε

περιοχές με υψηλό πληθυσμό επιδεινώνονται ιδιαίτερα από τα ακραία επίπεδα της θάλασσας και τα ακραία καιρικά φαινόμενα όπως οι πλημμύρες και οι καταιγίδες. Όπως αναφέρθηκε, οι φυσικές και ανθρώπινες πιέσεις αποδυναμώνουν την ανθεκτικότητα των παράκτιων συστημάτων. Ως αποτέλεσμα, οι ευπάθειες αυξάνονται και ο κίνδυνος για τους παράκτιους κατοίκους γίνεται μεγαλύτερος. Έτσι, η ανάγκη για αποτελεσματική διαχείριση των ακτών είναι επιτακτική, καθώς η γη συνεχίζει να χάνει έδαφος στη θάλασσα.

1.4 Μοντέλα πρόβλεψης αλλαγής της ακτογραμμής

Έχει προταθεί μια μεγάλη ποικιλία αριθμητικών μοντέλων και μεθόδων για την ανίχνευση της αλλαγής της ακτογραμμής και επίσης για τη μαθηματική μοντελοποίηση αυτής της αλλαγής.

Σε πολλές περιπτώσεις υπολογίζονται επίσης οι παράμετροι όπως η αναταραχή της ζώνης, η επίδραση της συχνότητας, οι διακυμάνσεις στην κατευθυντική εξάπλωση και άλλοι μετασχηματισμοί των κυμάτων και διατυπώνονται οι λύσεις. Ως αποτέλεσμα, ορισμένα από τα μοντέλα συζητούνται εν συντομία σε αυτή την υποενότητα.

Η αλλαγή της ακτογραμμής επηρεάζεται από ένα πλήθος πολύπλοκων διεργασιών που λειτουργούν σε διάφορες κλίμακες χρόνου και μήκους. Σε μικρότερες χρονικές κλίμακες στις ενεργητικές ακτογραμμές, οι μεταφορές μέσω των ακτών που κυριαρχούν τα κύματα, οι βαθμίδες μεταφοράς σε μεγάλες ακτές, η δημιουργία κυμάτων και το κύμα καταιγίδας είναι οι κυρίαρχες διαδικασίες που οδηγούν στην αλλαγή της ακτογραμμής. Οι διαχειριστές των ακτών, οι επιστήμονες και οι μηχανικοί έχουν από καιρό αναζητήσει μια ισχυρή και πρακτική μεθοδολογία για την πρόβλεψη της αλλαγής της ακτογραμμής κατά μήκος των αμμωδών ακτών, σε χρονικές κλίμακες που εκτείνονται από αρκετά χρόνια έως και δεκαετίες. Το μοντέλο ισορροπίας, το οποίο επί του παρόντος πλησιάζει περισσότερο στην ικανοποίηση αυτών των απαιτήσεων γενικά περιλαμβάνει ένα σημαντικό επίπεδο εμπειρισμού και μπορεί να ονομαστεί ως «μοντέλα από πάνω προς τα κάτω», ή «μοντέλα κίνησης δεδομένων». Πιθανώς το πιο γνωστό και πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο παράδειγμα είναι το μοντέλο «GENESIS» το οποίο μπορεί να εφαρμοστεί στην πρόβλεψη της γενικευμένης εξέλιξης της ακτογραμμής για την ειδική περίπτωση όπου κυριαρχούν οι παραθαλάσσιες κλίσεις στη μεταφορά ιζημάτων.

Εδώ, χρησιμοποιούνται διάφορα μέτρα για την αντικειμενική αξιολόγηση της ικανότητας του μοντέλου. Η πρώτη είναι η γραμμική τετραγωνική συσχέτιση (r^2) μεταξύ της μετρούμενης (x) και της μοντελοποιημένης (x_m) της θέσης της

ακτογραμμής. Ενώ, αυτή η μέθοδος είναι χρήσιμη για τη διερεύνηση των συσχετίσεων μεταξύ των μετρήσεων και των προβλέψεων, είναι πιθανό οι σειρές να είναι καλά συσχετισμένες αλλά να έχουν μεγάλα υπολείμματα. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται επίσης πιο αυστηρές συγκριτικές μέθοδοι, οι οποίες συγκρίνουν τα υπολείμματα του μοντέλου με μια κατάλληλη γραμμή βάσης (x_b). Η επιλογή της βασικής γραμμής είναι κάπως αυθαίρετη. Εδώ, τόσο η γραμμική προσαρμογή στη σειρά της ακτογραμμής όσο και το μοντέλο DLT10 για τη θέση της ακτογραμμής χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της βελτιωμένης απόδοσης του μοντέλου. Η πρώτη συγκριτική μέθοδος, το Brier Skill Score έχει επίσης το πλεονέκτημα να λαμβάνει υπόψη το σφάλμα μέτρησης Δx .

$$BSS = 1 - \frac{\sum\{|x - x_m| - \Delta x\}^2}{\sum(x - x_b)^2} \quad (1.1)$$

Η διαδικασία της αναλυτικής ιεραρχίας είναι μια μέθοδος απόφασης πολλαπλών κριτηρίων που επιλύει προβλήματα λήψης αποφάσεων, ταξινομώντας εναλλακτικές λύσεις σύμφωνα με διάφορα κριτήρια [6]. Τα κύρια βήματα της μεθόδου περιλαμβάνουν:

- **Αναπαράσταση** ενός προβλήματος λήψης αποφάσεων, οργανώνοντας τα κριτήριά του σε μια ιεραρχική δομή.
- **Αξιολόγηση** της σχετικής σημασίας των κριτηρίων (μέσα σε ένα ιεραρχικό δέντρο) και στη συνέχεια των εναλλακτικών με σεβασμό σε κάθε κριτήριο. Αυτό γίνεται με την κατασκευή μιας λογικής σύγκρισης των ζευγών.
- **Δράση** στις περιπτώσεις όπου χρίζουν άμεσων επεμβάσεων

Για να εκτιμηθεί η αλλαγή της παράκτιας ακτογραμμής, γενικά εφαρμόζονται απλουστευμένα μοντέλα και η σχετική κλιμάκωση των μη-βεβαιοτήτων, λαμβάνοντας υπόψη την ευαισθησία της ακτής σε διάβρωση.

Το απλοποιημένο μοντέλο της διάβρωσης της παραλίας είναι ο τύπος που προτείνεται από το έργο Eurosion (2004), ο οποίος συνδυάζει την αναμενόμενη διάβρωση λόγω της ανόδου της στάθμης της θάλασσας με αλλαγή της ακτογραμμής λόγω των συνεχιζόμενων διεργασιών, όπως υπολογίζεται από τις προηγούμενες παρατηρήσεις των ακτών:

$$R_{\text{μελλοντικό}} = R_{\text{ιστορικό}} + S_{\text{μελλοντικό}} - S_{\text{ιστορικό}} / \tan(\alpha) \quad (1.2)$$

Όπου $\tan(\alpha)$ είναι η πλαγιά της παραλίας και S είναι η άνοδος της στάθμης της θάλασσας.

Για τη διάβρωση των βράχων συνδυάζεται η χωρική συνεχής γνώση της παλαιότερης διάβρωσης και η τοπική γνώση των ρυθμών διάβρωσης που υπολογίζονται για μερικές αντιπροσωπευτικές τοποθεσίες και τις απόψεις ειδικών. Η χρήση αυτών των μοντέλων είναι αμφισβητήσιμη, επομένως εξετάζεται μια κλιμάκωση των αβεβαιοτήτων σε πιθανή μελλοντική διάβρωση αντί για μια ενιαία μελλοντική θέση της ακτογραμμής.

Η μέθοδος της υδροδυναμικής λείου σωματιδίου (SPH) είναι μια σχετικά νέα μέθοδος για την εξέταση της διάδοσης εξαιρετικά μη γραμμικών κυμάτων θραύσης [7]. Η μέθοδος SPH μπορεί να θεωρηθεί ότι υπολογίζει τις τροχιές των σωματιδίων ρευστού που μπορούν να αλληλοεπιδράσουν σύμφωνα με τις εξισώσεις Navier-Stokes.

Μια εναλλακτική άποψη είναι ότι η περιοχή του ρευστού αντιπροσωπεύεται από τα κομβικά σημεία που είναι διάσπαρτα στο χώρο, χωρίς καθορισμένη δομή του πλέγματος και κινούνται με το ρευστό. Κάθε ένα από αυτά τα κομβικά σημεία φέρει βαθμωτές πληροφορίες, πυκνότητα, πίεση, συνιστώσες ταχύτητας κ.λπ.

$$f(x) = \sum f_{ij} W(x - x_j) V_j \quad (1.3)$$

Λαμβάνοντας υπόψη τη διατήρηση της μάζας και της ορμής γραμμένα σε μορφή σωματιδίων (Monaghan, 1992), τελικά εξάγεται μια εξίσωση που συσχετίζει την πίεση στο ρευστό με την τοπική πυκνότητα.

$$P = B \left[\left(\frac{p}{p_0} \right)^{\gamma} - 1 \right] \quad (1.4)$$

Ο παράγοντας « γ » λαμβάνεται ως 7. Αυτή η εξίσωση υποδηλώνει ότι το ρευστό είναι συμπιεστό. Με αυτόν τον τρόπο προκύπτουν διαφορετικές εξισώσεις για άλλα στοιχεία, όπως η ταχύτητα και το ιξώδες, τα οποία ενσωματώνουν επίσης την αριθμητική μοντελοποίηση μεγάλων και μικρών τυρβωδών δινών και τις τροχιές με τις οποίες το κύμα προσκρούει στην ακτή. Τέλος, οι εξισώσεις που προκύπτουν παρεμβάλλονται με τις τυπικές τιμές και εξάγονται συμπεράσματα.

Η μεταφορά άμμου γίνεται κρίσιμη παράμετρος κατά την εκτίμηση της διάβρωσης των ακτών. Οι πρακτικοί τύποι μεταφοράς της άμμου για το παράκτιο θαλάσσιο περιβάλλον είναι γενικά ημι-εμπειρικοί τύποι που μπορούν να ταξινομηθούν ως μέσες χρονικές, σχεδόν σταθερές, ή ημι-σταθερές. Με βάση τις προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά ιζημάτων των ποταμών, οι τύποι με μέσο όρο χρόνου προβλέπουν τη μεταφορά άμμου σε χρονική κλίμακα που είναι πολύ μεγαλύτερη από την περίοδο του κύματος, χρησιμοποιώντας τιμές μέσης ταχύτητας και συγκέντρωσης άμμου με μέσο όρο κυμάτων.

Ο τύπος «bijker» (1971) είναι ένα παράδειγμα μιας ευρέως χρησιμοποιούμενης φόρμουλας μεταφοράς με μέσο όρο χρόνου όπου η συνολική καθαρή μεταφορά είναι πάντα στην κατεύθυνση του μέσου ρεύματος και η συνιστώσα μεταφοράς, που σχετίζεται με το κύμα, δεν λαμβάνεται υπόψη. Έτσι, λαμβάνοντας υπόψη τις παραπάνω ποσότητες, ο νέος τύπος βασίζεται σε μια τροποποιημένη εκδοχή της έννοιας ημι-αστάθειας «μισού κύκλου». Σε αυτήν την έννοια, ο μέσος όρος των κυμάτων της συνολικής ταχύτητας μεταφοράς της άμμου όπως λαμβάνει χώρα στο ταλαντευόμενο οριακό στρώμα περιγράφεται ουσιαστικά ως η διαφορά μεταξύ των δύο ακαθάριστων ποσοτήτων άμμου που μεταφέρονται κατά τη διάρκεια του θετικού μισού κύκλου "κορυφής" και κατά τη διάρκεια του αρνητικού «κατώτερου». Επιπλέον, λαμβάνονται υπόψη τα φαινόμενα της μη σταθερής υστέρησης φάσης.

Η ακτογραμμή είναι μια από τις ταχέως μεταβαλλόμενες παράκτιες εδαφικές μορφές. Οι ακτές είναι το βασικό στοιχείο στο παράκτιο GIS και παρέχουν τις περισσότερες πληροφορίες για τη δυναμική της παράκτιας εδαφικής μορφής. Ως εκ τούτου, η ακριβής ανίχνευση και η συχνή παρακολούθηση των ακτογραμμών είναι πολύ σημαντική για την κατανόηση των παράκτιων διεργασιών και της δυναμικής των διάφορων παράκτιων χαρακτηριστικών. Ωστόσο, οι ερευνητές και οι μηχανικοί έχουν μελετήσει τα διάφορα επίπεδα της αυξανόμενης πολυπλοκότητας των πληροφοριών των κυμάτων από υπεράκτιες σε κοντινές ακτές.

Η χρήση συσκευών τηλεπισκόπησης, δορυφορικών δεδομένων, τοπογραφικών χαρτών και ηλεκτρονικών συσκευών που λειτουργούν στις ζώνες συχνότητας μικροκυμάτων, όπως τα RADARS χρησιμοποιούνται ευρέως στις μέρες μας. Οι εικόνες του ραντάρ συνθετικού διαφράγματος (SAR)

χρησιμοποιούνται πολύ συχνά για χρήση σε εφαρμογές γεωεπιστημών στις υγρές τροπικές περιοχές.

Οι αερομεταφερόμενες εικόνες ραντάρ «GEMS 1000» που αποκτήθηκαν το 1972 κατά τη διάρκεια του έργου «RADAM» χρησιμοποιήθηκαν επίσης για την αξιολόγηση των παράκτιων αλλαγών που έλαβαν χώρα τις τελευταίες τρεις δεκαετίες. Στην προοπτική εφαρμογής, τα δεδομένα SAR των τροχιακών και αερομεταφερόμενων αποδείχθηκαν μια θεμελιώδης πηγή πληροφοριών για τη γεωμορφολογική χαρτογράφηση που παρακολουθεί τις παράκτιες αλλαγές σε υγρά τροπικά περιβάλλοντα.

Επί του παρόντος, η χωρική ανάλυση της τηλεπισκόπησης έχει επιτύχει ακόμη και 1 cm, ή και περισσότερο την παράκτια ζώνη. Οι τρέχοντες δορυφόροι των ωκεανών σε τροχιά περιλαμβάνουν δορυφόρους της σειράς NOAA, δορυφόρους Land-satseries, MOS-1, JERS-1, μετεωρολογικούς δορυφόρους της Κίνας FY-N, SPOT, ERS, MODIS, Sea WiFS, δορυφόρους πόρων της Κίνας ZY-1, κ.λπ.

Χρησιμοποιώντας μεγάλης κλίμακας και ακριβείς πληροφορίες μακροεπίπεδου εντοπισμού της θέσης που παρέχονται από ποικίλους δορυφόρους, ο παράκτιος επιστήμονας μπορεί να παρακολουθεί τους διάφορους τύπους παράκτιας γεωμορφολογίας, καθώς και τις πληροφορίες χωρικής κατανομής τους σχετικά με το δέλτα των εκβολών των ποταμών, το παλιρροϊκό επίπεδο, τους παράκτιους αμμόλοφους, τους κοραλλιογενείς ύφαλους κ.λπ.

Τα δεδομένα εικόνας μπορούν επίσης να ληφθούν από πολυφασματικούς σαρωτές, ή αισθητήρες ραντάρ τοποθετημένους σε αεροσκάφη.

1.5 Αιτιολόγηση του προβλήματος - Ορολογία

Αρχικά ο όρος διάβρωση, νοείται, ως η εισχώρηση της θάλασσας στη στεριά και είναι η αλλαγή, ή αλλοίωση της αρχικής μορφολογίας του εδάφους, των ακτογραμμών και γενικά των παράκτιων περιοχών, ως αποτέλεσμα άναρχων ανθρωπογενών παρεμβάσεων στην παραποτάμια και παράκτια ζώνη, η λόγω της κλιματικής αλλαγής που έχει ως αποτέλεσμα τα ακραία καιρικά φαινόμενα μεγάλης έντασης. Επιπλέον ένας ακόμη παράγοντας της διάβρωσης είναι η φυσική διεργασία συρρίκνωσης, ή οπισθοχώρησης του εδάφους ως αποτέλεσμα των γεωλογικών αλλαγών (τεκτονικών) στον πυθμένα της θάλασσας.

Η διάβρωση πρόκειται για ένα φαινόμενο, που ανά περιοχές ποικίλει η ταχύτητα με την οποία εξελίσσεται. Το πρόβλημα της διάβρωσης οφείλεται σε αρκετούς παράγοντες οι οποίοι είναι φυσικοί αλλά και ανθρωπογενείς.

1.6 Πρόβλημα

Οι παράκτιες οριογραμμές είναι εργαλεία διαχείρισης που χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό περιοχών ευάλωτων σε παράκτιους κινδύνους όπως καταιγίδες, πλημμύρες και διάβρωση. Σκοπός τους είναι να προστατεύουν τους ανθρώπους, τις παράκτιες υποδομές και τους πόρους από κάθε είδους παράκτιους κινδύνους, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που σχετίζονται με την άνοδο της στάθμης της θάλασσας και την κλιματική αλλαγή. Παρά τον σημαντικό ρόλο τους στη μείωση της ευπάθειας και της έκθεσης σε κινδύνους, συχνά θεωρούνται περιοριστικά στην ανάπτυξη και ως εκ τούτου, συχνά αποτελούν πρόβλημα παρά μέρος των λύσεων διαχείρισης των ακτών.

Οι μεθοδολογίες για τον καθορισμό των παράκτιων οριογραμμών έχουν, ή θα έπρεπε να έχουν, δύο βασικά στοιχεία. Το ένα, που συνδέεται με τις Φυσικές Επιστήμες, περιλαμβάνει τη χρήση μαθηματικών μοντέλων και Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) και Τηλεπισκόπησης, προκειμένου να προβλεφθεί εάν και σε ποιο βαθμό μια ακτογραμμή θα μετακινηθεί προς τη στεριά, ή προς τη θάλασσα και για τον εντοπισμό περιοχών που είναι επιρρεπείς σε παράκτιους κινδύνους και στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Η άλλη συνιστώσα, που συνδέεται περισσότερο με τις Κοινωνικές Επιστήμες, αφορά τη συμμετοχή παράκτιων παραγόντων και ενδιαφερομένων στη διαδικασία καθορισμού και εφαρμογής των γραμμών οριοθέτησης των παράκτιων ορίων, διερευνώντας πώς αντιλαμβάνονται τα αποτελέσματα, ή τις αλλαγές που εισάγονται, τα αποδέχονται και πώς διαπραγματεύονται.

Η γεωγραφία είναι ο κύριος τομέας και ο σχεδιασμός που μπορεί να περιγράψει ως ο γενικός στόχος, στον οποίο αυτή η εξειδίκευση (Τηλεπισκόπηση και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών) παρέχει πολλά και επαρκή εργαλεία για να συνδυάσει τόσο τη μοντελοποίηση όσο και την κοινωνικές συνιστώσες των παράκτιων οριογραμμών.

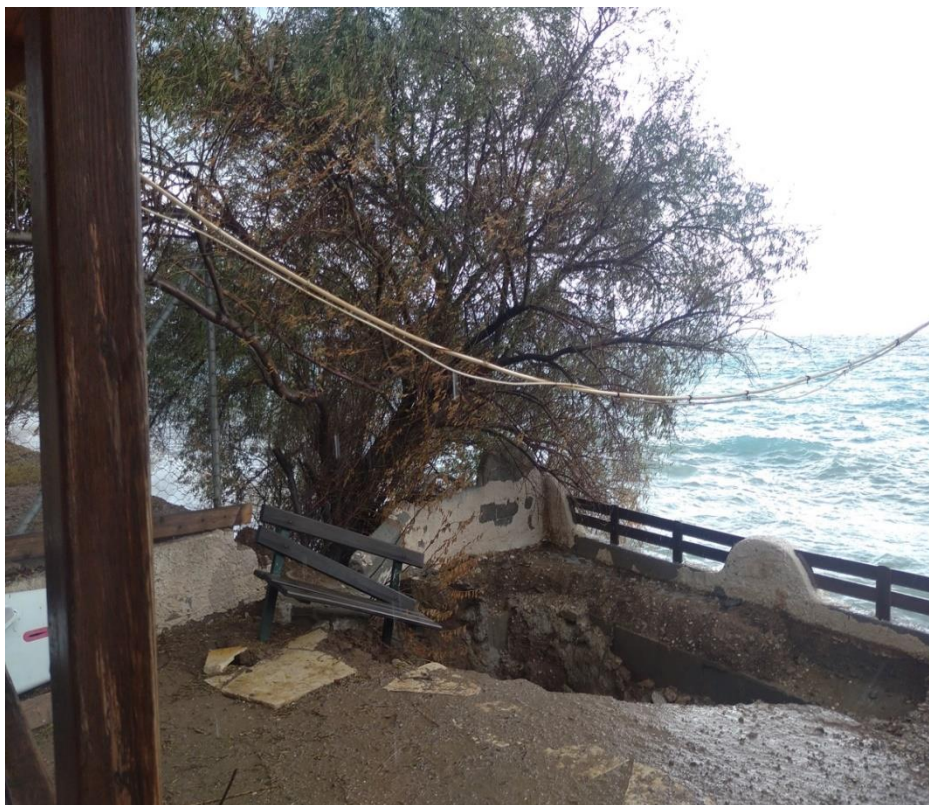
Ειδικά στην Ελλάδα το νομοθετικό πλαίσιο γύρω από την προστασία των παράκτιων περιοχών από ,την κλιματική κρίση , την διάβρωση , και την αύξηση στάθμης της θάλασσας , είναι πεπαλαιωμένο, πολύπλοκο και χρονοβόρο. Ο κρατικός μηχανισμός αδυνατεί σε αρκετές περιπτώσεις, να προασπίσει τις παράκτιες περιοχές από τα μείζονα προαναφερθέντα προβλήματα, που έχει ως αποτέλεσμα την οικονομική, πολιτιστική και περιβαλλοντική κατάπτωση των

παράκτιων περιοχών πανελλαδικά. Με αυτό το πλαίσιο λοιπόν το πρόβλημα εντείνεται αντί να αντιμετωπίζεται άμεσα.

Σε αντίθεση με αρκετές χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, όπου έχουν μεριμνήσει, και εφαρμόσει, τρόπους αντιμετώπισης αυτών των προβλημάτων, σε παράκτιες περιοχές πολλαπλάσιων χιλιομέτρων ,με παραδείγματα χωρών, όπως, κάτω χώρες, Ισπανία , Ιταλία, κτλ., χρησιμοποιώντας την αρχή της πρόληψης παρά της θεραπείας.

Η παράκτια ζώνη θέλει νομοθετικά πλαίσια προσαρμοσμένα στις ανάγκες της εποχής και των δυσκολιών της εκάστοτε περίπτωσης. Απαιτούνται γρήγορες αποφάσεις και πλήρη συμμετοχή του κρατικού μηχανισμού στην αντιμετώπιση αυτών των σημαντικών περιβαλλοντικών προβλημάτων , της διάβρωσης, και της κλιματικής κρίσης. Η φύση των προβλημάτων αυτών δεν επιτρέπει μεγάλα χρονικά περιθώρια αδράνειας, αλλά αποφασιστικές και συντονισμένες κινήσεις και πρωτοβουλίες, πριν να είναι αργά για την παράκτια ζωή της Ελλάδας όπως την ξέραμε.

Συντονισμένες δράσεις από κρατικούς φορείς και μη, ενημερώσεις πολιτών για την κατάσταση του παραλιακού οικοσυστήματος της περιοχής τους, μελέτες και έργα μακροπρόθεσμης βλέψης, είναι μερικές από τις δράσεις που πρέπει να γίνουν ώστε να περιοριστεί το συγκεκριμένο πρόβλημα.



Σχήμα 1.2: Παράδειγμα διάβρωσης σε οικίας στο Διακοπτό

Στην συγκεκριμένη εξετάζουσα περίπτωση, του προβλήματος της διάβρωσης στην ακτή της Εγκάλης Διακοπτού, ο ανθρωπογενής παράγοντας, είναι αυτός όπου ευθύνεται για την καταστροφή της εν λόγω παραλίας. Η κατασκευή λιμανιού, το οποίο δεν διαθέτει τις κατάλληλες προδιαγραφές, και περιβαλλοντικές μελέτες σε απόσταση μόλις τεσσάρων χιλιομέτρων από την παραλία. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την διακοπή της φυσικής ισορροπίας και παράκτιας στερεομεταφοράς υλικού παραλίας όπως, άμμος, χαλίκι, κροκάλα που έχει ως συνεπακόλουθο τον εγκλωβισμό του υλικού αυτού, και την διακοπή φυσικής μεταφοράς του, ακριβώς δίπλα από τον λιμενοβραχίονα. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την καταστροφή του οικοσυστήματος των γειτνιαζουσών παραλίων, όπου η θάλασσα έχει πλέον αντικαταστήσει την παραλία πολλών μέτρων που προϋπήρχε.



Σχήμα 1.3: α' παράδειγμα, 12 μέτρα παραλίας (2010)



Σχήμα 1.4: α' παράδειγμα, 0 μέτρα παραλίας (2021)

Τα προβλήματα που μπορεί να δημιουργήσει η διάβρωση ειδικά στην Ελλάδα είναι τεράστια λόγω της τεράστιας ακτογραμμής που διαθέτει. Επηρεάζονται η κοινωνική και η οικονομική ζωή του τόπου που εξελίσσεται το συγκεκριμένο φαινόμενο, συνοδευόμενο από καταστροφές παράκτιων υποδομών όπως σπίτια , δρόμοι, τουριστικές εγκαταστάσεις κτλ., θέτοντας άμεσα σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές και μελλοντικές μεταναστευτικές κρίσεις από τις εν λόγω περιοχές. Συνολικά στην Ελλάδα το 26.9% των παραλιακών ζωνών της βρίσκονται υπό διάβρωση, ποσοστό αρκετά μεγάλο, το οποίο κάθε χρόνο αυξάνεται με ραγδαία ταχύτητα.



Σχήμα 1.5: β' παράδειγμα, 12 μέτρα παραλίας (2010)

Στην Πελοπόννησο από τα συνολικά 1164 km παραλιών τα 306 km έχουν υποστεί διάβρωση ίση με το 26,3%. Σύμφωνα με τις αεροφωτογραφίες μπορεί να εξαχθεί ως συμπέρασμα ότι το πρόβλημα της διάβρωσης έχει ρυθμούς μείωσης του πλάτους της παραλίας της τάξης του 1 m το χρόνο, με το φαινόμενο να εξελίσσεται ραγδαία επιταχυνόμενα, πράγμα που μαρτυρά ότι δεν οφείλεται σε φυσικούς, γεωλογικούς παράγοντες, αλλά σε μεταφορά τεράστιων ποσοτήτων υλικού παραλίας και μετέπειτα εγκλωβισμό αυτών παραπλεύρως των μεγάλων κατασκευών.



Σχήμα 1.6: β' παράδειγμα, 0 μέτρα παραλίας (2021)

Η ραγδαία μείωση μήκους, ύψους και πλάτους της εν λόγω παραλίας σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα, συναρτήσκει του μεγέθους της καταστροφής, όπως μας βεβαιώνουν οι παραπάνω φωτογραφίες ,χρίζουν άμεσα κατασκευής έργων αντιδιαβρωτικής προστασίας. Οι κατασκευές θα βοηθήσουν στην μερική επαναφορά και διατήρηση παραλίας, όπως και προϋπήρχε, και στην μερική διάσωση του παράκτιου οικοσυστήματος. Ένας επίσης εξίσου μεγάλος αρνητικός παράγοντας γιγάντωσης του φαινομένου της διάβρωσης είναι οι αμμοληψίες από κοίτες ποταμών δηλαδή η απορρόφηση των υλικών αυτών, με αποτέλεσμα την μείωση του φυσικού εμπλουτισμού των παράκτιων περιοχών με φυσικό ποτάμιο υλικό.



Σχήμα 1.7: γ' παράδειγμα, σύγκριση 2015-2021



Σχήμα 1.8: 5^ο παράδειγμα, αεροφωτογραφία, 5-8 μέτρα παραλίας (2016) [8]

Η απομάκρυνση υλικού από την παράκτια περιοχή έχει διαταράξει τη φυσική ισορροπία των ιζημάτων και έχει θέσει σε κίνδυνο τη σταθερότητα της ακτογραμμής. Η απουσία προστατευτικού φράγματος και επιπρόσθετων δικλείδων προστασίας, σε συνδυασμό με τη δράση των κυμάτων και των ρευμάτων, έχει επιταχύνει τους ρυθμούς διάβρωσης, θέτοντας σε άμεση απειλή την στατικότητα και ακεραιότητα παράκτιων δομών.

Η διεξαγωγή μιας μελέτης λοιπόν για την ανάλυση των αιτιών της διάβρωσης της ακτογραμμής στην περιοχή αυτή κρίνεται αναγκαία. Χρησιμοποιώντας αρχές μηχανολογίας, η έρευνα στοχεύει να προτείνει αποτελεσματικές στρατηγικές μετριασμού για την αντιμετώπιση του προβλήματος της διάβρωσης και την προστασία του τοίχου από περαιτέρω φθορά. Η μελέτη θα περιλαμβάνει ένα συνδυασμό ερευνών και βιβλιογραφίας για την ανάπτυξη βιώσιμων και πρακτικών λύσεων, που στόχο έχουν την διάσωση του παραλιακού μετώπου.

Θα εστιάσουμε στην ενίσχυση και επιμήκυνση του ωφέλιμου χρόνου ζωής των υπάρχουσών κατασκευών, αλλά και την δημιουργία αντιδιαβρωτικών κατασκευών με την βοήθεια του τομέα της μηχανολογίας, ώστε να επιτύχουμε τα μέγιστα δυνατά αποτελέσματα, σε ένα αρκετά δύσκολο κατασκευαστικό περιβάλλον που είναι η παράκτια ζώνη.



Σχήμα 1.9: ε' παράδειγμα, αεροφωτογραφία, 0 μέτρα παραλίας (2020) [8]

Εστιάζοντας στη συγκεκριμένη περίπτωση της διάβρωσης της παραλίας, αυτή η έρευνα σκοπεύει να συνεισφέρει πολύτιμες γνώσεις στον τομέα της παράκτιας μηχανικής και να παράσχει καθοδήγηση στους λήπτες αποφάσεων και στους ενδιαφερόμενους φορείς που εμπλέκονται στη διαχείριση της παράκτιας ζώνης.

Η παράκτια ζώνη είναι μια ευαίσθητη περιβαλλοντικά, και ποικιλόμορφη περιοχή του συνολικού οικοσυστήματος. Στόχος μας είναι να επισημάνουμε το τεράστιο αυτό πρόβλημα, της διατάραξης του συγκεκριμένου οικοσυστήματος, από ανθρωπογενείς παράγοντες, και τις πιθανές λύσεις όπου θα δώσουν βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα αποτελέσματα στην αντιμετώπιση της εν λόγω διάβρωσης, με διεθνή πρότυπα που εφαρμόζονται σε πολλές χώρες στον κόσμο αρκετά χρόνια πριν ενταθεί το συγκεκριμένο πρόβλημα και στην Ελλάδα.



Σχήμα 1.10: Φορά ανέμων ως προς τη μορφολογία της περιοχής [8]

Οι άνεμοι που δημιουργούν αξιόλογο κυματισμό λόγω της μορφολογίας της περιοχής, είναι κατά 80% σε ετήσια βάση βόρειο-δυτικοί και ανατολικοί. Η παραλία αναφοράς βρίσκεται νότιο ανατολικά του λιμανιού. Πνέοντας ανατολικοί άνεμοι, οι κυματισμοί μεταφέρουν υλικό παραλίας προς τον εν λόγω λιμενοβραχίονα. Όταν πνέουν βόριο-δυτικοί άνεμοι το υπάρχον υλικό δεν δίνετε να επανέλθει στις κοντινές παράκτιες περιοχές από τις οποίες προήλθε διακόπτοντας την φυσική ισορροπία του παράκτιου μετώπου. Το μήκος του λιμενοβραχίονα, σε συνδυασμό με τον προσανατολισμό του λιμανιού, και την κατεύθυνση των ανέμων, δημιουργούν συνθήκες εγκλωβισμού του στην γωνία που σχηματίζει ο βραχίονας

Από την αεροφωτογραφία στο Σχήμα 1.10: **Φορά ανέμων ως προς τη μορφολογία της περιοχής** είναι εμφανείς και οι διευθύνσεις των ανέμων. Η ζώνη με την κόκκινη γραμμή (γραμμή εγκλωβισμού εκατοντάδων τόνων υλικού παραλίας) έχει ως αποτέλεσμα τις δυσανάλογες μετατοπίσεις της παράκτιας κίνησης ιζημάτων από τις ευπαθείς περιοχές πλέον, δίπλα σε έργα τέτοιου είδους. Ως αποτέλεσμα της εξαναγκασμένης μετακίνησης και αλλοίωσης της ακτογραμμής που οφείλεται στο συγκεκριμένο έργο, είναι, οι καταστροφές κατοικιών, δρόμων, υποβάθμιση φυσικού τοπίου, μείωση τουρισμού της περιοχής, πρόκληση οδικών ατυχημάτων, πρόκληση ατυχημάτων πεζών, στις περιοχές όπου εκρέει το υλικό παραλίας και επικρατεί βεβαιασμένη διάβρωση ακτογραμμής.

2. ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΩΝ ΑΚΤΩΝ

Οι χρήστες και οι διαχειριστές των ακτών σε όλο τον κόσμο αντιμετωπίζουν συχνά σοβαρή διάβρωση των ακτών τους. Πιθανές αιτίες διάβρωσης περιλαμβάνουν φυσικές διεργασίες (δηλαδή δράση κυμάτων, παλίρροιες, ρεύματα, άνοδος της στάθμης της θάλασσας, κ.λπ.) και έλλειμμα ιζημάτων λόγω ανθρωπίνης επίδρασης (δηλαδή αμμοληψίες και παράκτια έργα χωρίς περιβαλλοντικές μελέτες). Τα αντίμετρα για τη λειτουργία ελέγχου της διάβρωσης της παραλίας εξαρτώνται από τις τοπικές συνθήκες της ακτής και της παραλίας, το παράκτιο κλίμα και τη μεταφορά ιζημάτων [9].

Η συνεχής συντήρηση και βελτίωση των ακτογραμμών, σε συνδυασμό με την παρακολούθηση και τις μελέτες των παράκτιων διεργασιών έχουν αποδώσει σημαντική εμπειρία σε διάφορα μέτρα προστασίας των ακτών σε όλο τον κόσμο. Γενικά, μια παράκτια δομή σχεδιάζεται ως πρακτικό μέτρο για την επίλυση ενός εντοπιζόμενου προβλήματος. Ξεκινώντας με τον εντοπισμό του προβλήματος, αφού γίνει η επιλογή της λειτουργικής λύσης, ξεκινά ο δομικός σχεδιασμός, συμπεριλαμβανομένης της δημιουργίας δομικών εναλλακτικών λύσεων (δηλ. χρησιμοποιώντας διαφορετικά τεχνικά υλικά και διάφορες μεθόδους εκτέλεσης). Η τελική επιλογή θα γίνει μετά από επαλήθευση διαφόρων δομικών λύσεων ως προς τα λειτουργικά, περιβαλλοντικά και οικονομικά κριτήρια.

2.1 Γενικά

Η σταθερή υποχώρηση της ακτογραμμής υπό την επίδραση της θάλασσας, του ανέμου, του πάγου, αλλά και της ανθρωπίνης δραστηριότητας, σε επαρκή χρονικό ορίζοντα, έτσι ώστε η μέτρηση να μην επηρεάζεται από τις επιπτώσεις των καιρικών συνθηκών, τις καταιγίδες των κυμάτων και την τοπική δυναμική των ιζημάτων είναι γνωστό ως διάβρωση των ακτών. Ορίζεται ως το αρνητικό ισοζύγιο μεταξύ της επίδρασης της εναπόθεσης και των διεργασιών διάβρωσης και συνοδεύεται πάντα από απώλεια εδάφους. Η διάβρωση μπορεί να θεωρηθεί ως το αντίθετο της εναπόθεσης.

Εκδηλώνεται στο σημείο και την τοποθεσία όπου η παραλία αδυνατεί να διατηρήσει μια ισορροπία μεταξύ της ενέργειας που παράγεται από τα κύματα και των όγκων νερού που συγκεντρώνονται σε αυτήν. Επομένως, είναι δυνατόν να συμπεράνουμε ότι είναι συνέπεια μιας ανισορροπίας, αφενός, της ενεργειακής πρόσληψης και, αφετέρου, της αντίστασης της παράκτιας λωρίδας στην κίνηση των ιζημάτων της. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι η αιτία του προβλήματος. Η ίδια η πράξη της διάβρωσης είναι, τελικά, μια μέθοδος για την αποκατάσταση της ισορροπίας μέσω της άσκοπης δαπάνης ενέργειας.

Θεωρείται «κρίσιμο» όταν προκαλεί σοβαρό πρόβλημα όποτε ο ρυθμός διάβρωσης, όταν λαμβάνεται υπόψη με οικονομικούς, βιομηχανικούς, ψυχαγωγικούς, γεωργικούς, θαλάσσιους, πληθυσμιακούς, οικολογικούς και άλλους σχετικούς παράγοντες, σηματοδοτεί ότι η δράση για αποκατάσταση (διακοπή, ή καθυστέρηση) η διάβρωση είναι επιβεβλημένη. Αυτό συμβαίνει επειδή ο ρυθμός διάβρωσης είναι αυτός που σηματοδοτεί ότι πρέπει να ληφθούν μέτρα για να σταματήσει, ή να καθυστερήσει η διάβρωση.

Είναι δυνατόν να χωριστεί σε δύο κύριες κατηγορίες όπως τη μακροχρόνια διάβρωση, η οποία αναφέρεται στη μη αναστρέψιμη μακροπρόθεσμη υποχώρηση της ακτογραμμής, η οποία προκαλείται κυρίως από την αύξηση της μέσης (και σχετικής) στάθμης της θάλασσας, είτε λόγω αρνητικών ισοζυγίων παράκτιων ιζημάτων λόγω ανθρωπογενών παρεμβάσεων η τεκτονικών διεργασιών , που αναφέρεται στα αίτια που είτε προκαλούν τη μετανάστευση των ακτών προς την ξηρά (παράβαση παραλίας), είτε την πλημμύρα τους, και τη βραχυπρόθεσμη διάβρωση όπου τα φαινόμενα σε αυτή την κατηγορία είναι χρονικά βεβιασμένα.

Εναλλακτικά και ανάλογα με τις συνθήκες κάθε μεμονωμένου περιστατικού, μπορεί να ταξινομηθεί ως οξεία ή χρόνια. Η οξεία διάβρωση είναι το αποτέλεσμα μιας μεμονωμένης, επεισοδιακής εμφάνισης, όπως και στην περίπτωση αναφοράς, ενώ η χρόνια διάβρωση είναι μια κατάσταση που αναπτύσσεται με την πάροδο του χρόνου με σταθερό τρόπο.

Η σοβαρότητα της διάβρωσης των ακτών διαφέρει από τόπο σε τόπο και καθορίζεται από ποικίλες περιφερειακές πτυχές, όπως η τοπογραφία της ακτής (είτε πρόκειται για ακτή σε λιμάνι, είτε για ακτή στην ανοιχτή θάλασσα), η γεωλογία της ακτής (είτε είναι αμμώδης, είτε βραχώδης, καθώς και οι τεκτονικές αλλαγές που συμβαίνουν κατά μήκος των ακτών), η μορφολογία της ακτής (είτε έχει βαθμιαία κλίση όπως στην περίπτωση μας, είτε έντονη κλίση), τα επικρατούντα καιρικά μοτίβα και οι συνθήκες κυμάτων (άνεμοι, κανονικό ύψος κύματος, διαμήκη ρεύματα), η συχνότητα και η σοβαρότητα των έκτακτων καιρικών φαινομένων και των κυμάτων, τα αποθέματα ιζημάτων που υπάρχουν στην περιοχή (είτε η ακτογραμμή βρίσκεται κοντά σε ποτάμι, είτε όχι) κ.λπ.

Η κλίση του παράκτιου δαπέδου είναι κρίσιμης σημασίας στο σύνολο της διαδικασίας διάβρωσης, καθώς και στη μετακίνηση των ιζημάτων σε μεγαλύτερα βάθη. Η πλευρική ροή του υλικού μπορεί να επιβραδυνθεί από μια μέτρια κλίση, η οποία βοηθά στη διαφοροποίηση του φαινομένου της ανόδου της στάθμης της θάλασσας από αυτό της διάβρωσης των ακτών. Είναι πιθανό ότι το καλύτερο και πιο φυσικό είδος προστασίας για μια ακτογραμμή είναι μια παράκτια ζώνη με ήπια κλίση που είναι σχετικά σταθερή και στην οποία διασπείρεται το μεγαλύτερο μέρος της κυματικής ενέργειας. Από την άλλη πλευρά, μια τεράστια κλίση που είναι

απότομη οδηγεί συχνά σε επιτάχυνση της διάβρωσης και σε αύξηση της στάθμης της θάλασσας.

Ο υπολογισμός των ποσοστών διάβρωσης είναι μια ουσιαστική πτυχή για την απόκτηση γνώσης των παραγόντων που επηρεάζουν την ανάπτυξη των ακτών. Είναι επίσης απαραίτητος για την αποτελεσματική διαχείριση τόσο του φυσικού, όσο και του ανθρώπινου παράκτιου περιβάλλοντος, ιδίως για τις διαδικασίες επίλυσης προβλημάτων που εμπλέκονται στη διαχείριση.

Η διαδικασία «διάβρωση-μεταφορά-απόθεση» είναι ένα μόνιμο γεγονός στον κόσμο. Για παράδειγμα, μια πυκνά αστικοποιημένη παράκτια ζώνη θα είχε αναμφίβολα προκλήσεις με τη διάβρωση των ακτών, καθώς δεν υπάρχει χώρος για αλλαγές. Οι ερωτήσεις που πρέπει να απαντηθούν περιλαμβάνουν πόσος χώρος απαιτείται, καθώς και ποια είδη ανθρώπινων δραστηριοτήτων είναι συμβατά με μια μεταβαλλόμενη ακτογραμμή.

2.2 Τεκτονικές διεργασίες

Οι τεκτονικές διεργασίες σε μια παράκτια περιοχή, όπως και στο παράδειγμα μας, οδηγούν την ακτογραμμή στη μετατόπιση είτε προς την κατεύθυνση της θάλασσας, είτε προς την κατεύθυνση της ξηράς, ανάλογα με το αν η περιοχή ανεβαίνει, ή βυθίζεται.

Τα γεωτεκτονικά χαρακτηριστικά, δηλαδή η δράση των ρηγμάτων και οι ευστατικές κινήσεις του φλοιού της γης, προκαλούν ανοδικές, ή καθοδικές κινήσεις του εδάφους, με αποτέλεσμα την αντίστοιχη αλλαγή στη θέση και τη μορφή της ακτογραμμής. Αυτές οι κινήσεις μπορεί να προκληθούν είτε από ρήγματα, είτε από κινητικότητα του φλοιού της γης. Τα αποτελέσματα αυτά είναι συχνά συνεχή και έχουν αργές ταχύτητες είτε ανοδικής, είτε φθίνουσας κίνησης. Οι ξαφνικές ανυψώσεις, ή βύθιση της γης και οι επακόλουθες αλλαγές στην ακτογραμμή προκαλούνται από κινήσεις που οφείλονται σε τεκτονικούς λόγους. Στην Ελλάδα, ο Κορινθιακός κόλπος, είναι μια αρκετά σεισμογενής περιοχή, με μεγάλο αριθμό ρηγμάτων συγκριτικά με την έκταση του κόλπου.

Είναι δυνατόν διάφορες περιοχές της ίδιας παράκτιας περιοχής να βιώσουν ταυτόχρονη ανάταση και καθίζηση των χωριστών τμημάτων του στερεού φλοιού της γης. Οι ακτές που έχουν ανυψωθεί τεκτονικά χαρακτηρίζονται από βραχώδεις, απότομες ακτές και ακρωτήρια που διασπώνται από μικρούς κόλπους διαφορετικών σχημάτων. Αυτές οι ακτές χαρακτηρίζονται επίσης από έλλειψη αμμωδών παραλιών.

Όταν η φύση του εδάφους είναι πιο άκαμπτη και βραχύδης, η μορφή της ακτογραμμής θα είναι πιο ασταθής. Όταν το έδαφος είναι πιο εύφορο, οι πλαγιές είναι πιο ήπιες.

Όταν υπάρχει καθίζηση κατά μήκος της ακτής, τα ιζήματα έχουν την τάση να σπρώχνουν την ακτογραμμή πίσω στο σημείο που ήταν πριν από την καθίζηση. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, τα χαρακτηριστικά των παράκτιων ζωνών περιλαμβάνουν ήπιες κλίσεις, εκτεταμένες αμμώδεις παραλίες και μεγάλες εκτάσεις χαμηλού ύψους στο χερσαίο τμήμα, τα οποία βρίσκονται όλα σε τοποθεσίες με κοιτάσματα που είναι σχετικά πρόσφατες σε γεωλογική κλίμακα.

Οι τεκτονικά βυθιζόμενες παράκτιες περιοχές χαρακτηρίζονται από την παραγωγή τυπικών μορφών εδάφους, όπως μικροσκοπικά αμμώδη νησιά κοντά στην ακτογραμμή και αμέσως πίσω και κατά μήκος αυτής. Σωροί άμμου, γνωστοί και ως αμμόλοφοι, εμφανίζονται συχνά σε αυτά τα μέρη, όπως και περιοχές γης που βυθίζονται από παλιρροιακά κύματα. Φαίνεται ότι υπάρχει μια ισορροπία μεταξύ της ποσότητας του υλικού που χάνεται λόγω της παράκτιας καθίζησης και της ποσότητας που εναποτίθεται σε συγκεκριμένο βάθος για να καλυφθεί η διαφορά που προκαλείται από την τεκτονική καθίζηση.

Καταλήγοντας, οι τεκτονικές διεργασίες είναι ένας εξίσου σημαντικός παράγοντας για την αλλαγή του παραλιακού οικοσυστήματος, αλλά χωρίς βραχυπρόθεσμα και βεβιασμένα αποτελέσματα της επίδρασης του, στην παράκτια ζώνη.

2.3 Παράκτιες κυψέλες

Πολλές ακτές αποτελούνται από σχετικά ευθείες και επίπεδες (χαμηλής κλίσης) παραλίες. Αυτές οι απλές, επίπεδες ακτές μπορεί να διαφέρουν πολύ από τις αρχικά βυθισμένες ακτές. Η πιο βασική παράκτια μορφή είναι μια οδοντωτή ακτή (κόλπος-ακρωτήριο ακτή, ή ακτή κολπίσκων) που προκύπτει από καθίζηση, ή από βύθιση λόγω της ανόδου της στάθμης της θάλασσας. Η «επίθεση» των κυμάτων σε έναν τύπο ακτής με εσοχή κόλπου-ακρωτηρίου θα έχει ως αποτέλεσμα τη συγκέντρωση της ενέργειας των κυμάτων στα ακρωτήρια (λόγω διάθλασης) η και τη μείωση της ενέργειας των κυμάτων στους κόλπους αντίστοιχους του Κορινθιακού, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε διάβρωση του ακρωτηρίου και εναπόθεση κόλπων, εάν αυτές οι παράκτιες μορφές αποτελούνται από διαβρώσιμο υλικό [10].

Τα υπεράκτια ρεύματα που επιταχύνονται κατά μήκος των ακρωτηρίων και επιβραδύνονται στην περιοχή του κόλπου θα ενισχύσουν τη διάβρωση του

ακρωτηρίου και την εναπόθεση των κόλπων. Έτσι, τα ακρωτήρια κόβονται και οι κόλποι γεμίζουν. Σε περίπτωση ανομοιόμορφης αντίστασης στη διάβρωση, τα «μαλακότερα» ακρωτήρια θα διαβρωθούν ταχύτερα και τα πιο ανθεκτικά στη διάβρωση ακρωτήρια διατηρούνται ως είχαν.

Οι βραχώδης ακτές και απότομου βράχου που αποτελούνται από μεταβλητή διαβρωσιμότητα διατηρούνται ως ακανόνιστες ακτές. Εάν τα ακρωτήρια είναι εξίσου διαβρωτικά, η ακτογραμμή θα ευθυγραμμιστεί. Αυτό μπορεί να αποδειχθεί λαμβάνοντας υπόψη μια κυματιστή αμμώδη ακτογραμμή υπό επίθεση κυμάτων από σταθερή κατεύθυνση. Η μεταφορά στην ξηρά εξαρτάται από τη γωνία μεταξύ της ακτής κορυφής του κύματος (με βάση τη διάθλαση) και της ακτογραμμής. Ο ρυθμός μεταφοράς κατά μήκος της ακτής είναι μέγιστος στην κατηφορική πλευρά (μέγιστη γωνία κύματος) του προεξέχοντος ακρωτηρίου με αποτέλεσμα τη διάβρωση στην πλευρά του ανηφορικού ρεύματος και τη συσσώρευση στην κατηφορική πλευρά και την ευθυγράμμιση της ακτής μακροπρόθεσμα.

Σε μεγαλύτερες χωρικές κλίμακες, αυτή η διαδικασία, στην οποία κυριαρχεί η παράκτια μετατόπιση, θα συνεχιστεί έως ότου η ακτογραμμή αποτελείται από μια σειρά από ομαλές καμπύλες παραλίας (τόξα με καμπυλότητες μεταξύ 1 και 100 km, ανάλογα με το κυματικό κλίμα και τη διαβρωσιμότητα). Τα τελικά σημεία των τόξων μπορεί να συνδέονται με παλιά, πιο ανθεκτικά στη διάβρωση ακρωτήρια, με εκβολές και δέλτα ποταμών, με δέλτα άμπωτης παλιρροϊκών εισόδων, ή με τεχνητές κατασκευές. Τα κυρίαρχα κύματα θα στρέψουν τις παραλίες προς την κατεύθυνση της προσέγγισης του κυρίαρχου κύματος, μετακινώντας το ίζημα στο άκρο του τόξου προς τα κάτω του κύματος με αποτέλεσμα μια ακτή τύπου τόξου (κούφια). Ο σχηματισμός ομαλών ακτών τύπου τόξου είναι το βασικότερο στοιχείο «ισιώματος» των ακτών και αποτελεί το απόλυτο στάδιο της «κυματοκρατούμενης» παράκτιας εξέλιξης.

Τα σκληρά ακρωτήρια που υπάρχουν κατά μήκος μιας αμμώδους ακτογραμμής λειτουργούν ως φυσικοί βρόγχοι και χωρίζουν την ακτογραμμή σε κυψέλες ιζήματος. Ένα μεγάλο απομονωμένο ακρωτήριο συνήθως προκαλεί το σχηματισμό ενός βάθους στην κατηφορική ακτογραμμή του. Τα ακρωτήρια με πλατιές όψεις μπλοκάρουν σημαντικές ποσότητες κυματικής ενέργειας που προστατεύουν τις παραλίες στην υπήνεμη ζώνη.

Πιθανές πηγές ιζήματος μέσα σε μια κυψέλη είναι η εισροή ιζημάτων από ποτάμια και εκβολές ποταμών, η διάβρωση των βράχων και των αμμόλοφων, η χερσαία μεταφορά λόγω ασυμμετρίας των κυμάτων, η βιογενετική εναπόθεση (κελύφη και θραύσματα κοραλλιών) κ.λπ.

Εκτός από τις πηγές, διακρίνονται και οι αποθήκες, ή συσσωρεύσεις. Τα σωματίδια ιζήματος μπορούν να αποθηκευτούν για μια ορισμένη περίοδο, αλλά αργότερα τα ιζήματα μπορούν να κινητοποιηθούν ξανά για να λάβουν μέρος στη διαδικασία μεταφοράς.

Η παράκτια εξέλιξη και ως εκ τούτου, οι προϋπολογισμοί των παράκτιων ιζημάτων στις κυψέλες σχετίζονται στενά με τη μακροπρόθεσμη άνοδο της στάθμης της θάλασσας (σε σχέση με την ξηρά). Η απόκριση της ακτογραμμής στη σχετική άνοδο της στάθμης της θάλασσας μπορεί να χωριστεί ευρέως σε δύο κύριες κατηγορίες, την υπέρβαση της διάβρωσης και την παλινδρόμηση αποθέσεων.

Η διάβρωση αναφέρεται σε μια καθαρή κίνηση προς την ξηρά της ακτογραμμής σε περίπτωση ανόδου της σχετικής στάθμης της θάλασσας.

Η γνωστή ιδέα που σχετίζεται με την ύφεση της ακτογραμμής με την άνοδο της στάθμης του νερού είναι η έννοια της γεωμετρικής μετατόπισης του Bruun (1962, 1988), η οποία βασίζεται στην ιδέα ότι το (δυναμικό) προφίλ ισορροπίας της παραλίας και της ζώνης κινείται προς τα πάνω και προς την ξηρά ως απόκριση. Χρησιμοποιώντας αυτήν την έννοια, η απαιτούμενη ετήσια εισροή ιζήματος (χώρος φιλοξενίας) στην παραθαλάσσια ζώνη είναι ίση με την περιοχή της παραθαλάσσιας ζώνης επί τον ετήσιο ρυθμό, της σχετικής ανόδου της στάθμης της θάλασσας.

2.4 Η διάβρωση των ακτογραμμών στην Ελλάδα

Μελέτες έχουν δείξει ότι σε όλη την Ευρώπη το 1/5 των ακτών της υποχωρούν με ρυθμούς μεταξύ 0,5 και 2 m/έτος, ενώ σε σοβαρές καταστάσεις ο ρυθμός αυτός πλησιάζει ακόμα και τα 15 m/έτος. Περισσότερα από 15 τετραγωνικά χιλιόμετρα ετησίως χάνονται, ή καταστρέφονται σοβαρά. Οι επιπτώσεις της διάβρωσης των ακτών διαφέρουν από τόπο σε τόπο. Η Ελλάδα είναι η 4^η στην κατάταξη χώρα στην ΕΕ. με τα μεγαλύτερα επίπεδα διάβρωσης (28,6%) πίσω από τη Λετονία (32,8%), την Κύπρο (37,8%) και την Πολωνία (55%). Επίσης χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι η διάβρωση της ακτογραμμής που προκαλείται από τις διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως και στην περίπτωση αναφοράς μας, είναι ένα αρκετά μεγάλο ποσοστό εκ των αιτιών του φαινομένου αυτού.

Οι σημαντικότερες αιτίες για την αυξημένη διάβρωση στην Ελλάδα είναι οι ιδιαίτερα ισχυροί άνεμοι και οι καταιγίδες (ιδιαίτερα στον Κορινθιακό κόλπο όπου λόγω της καναλικής γεωμορφολογίας του η συσσώρευση των ανέμων πολλαπλασιάζεται), η ευπάθεια που προκαλείται στις ακτές από ανθρωπογενείς παρεμβάσεις, αλλά και το γεωμορφολογικό υπόστρωμα της ελληνικής

ακτογραμμής. Η διάβρωση αναμένεται να ενταθεί στο εγγύς μέλλον λόγω αρκετών παραγόντων όπως της προβλεπόμενης ανόδου της μέσης στάθμης της θάλασσας, της επιδείνωσης των ακραίων κυμάτων και της περαιτέρω μείωσης των αποθεμάτων ιζημάτων των ποταμών λόγω των αλλαγών στις βροχοπτώσεις και της κατασκευής των έργων διαχείρισης των ποταμών.

Συχνά, σε όλη την ιστορία της Ελλάδας, οι κατασκευές έργων σε παράκτιες περιοχές στερούμενες αδειοδοτήσεων και περιβαλλοντικών μελετών, ή η ανάπτυξη άλλων συγκρίσιμων δραστηριοτήτων, ανέτρεπαν τις φυσικές ισορροπίες και επιτάχυναν τις διαδικασίες διάβρωσης και υποχώρησης της ακτογραμμής.

Έχει πλέον αποδειχθεί ότι η ευρεία χρήση του σκυροδέματος, αποσκοπεί στη σταθεροποίηση της ακτής και την συγκράτηση του εδάφους απέναντι σε ακραία καιρικά φαινόμενα. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα τμήματα της ακτογραμμής που βρίσκονταν κάτω από τέτοιου είδους τεχνικές προστασίας, είχαν αρκετά θετικά αποτελέσματα και σταθεροποίηση του παράκτιου μετώπου. Η αποτελεσματικότητα αυτής της καθαρά τεχνολογικής προσέγγισης έγινε ιδιαίτερα σαφής και εφαρμόστηκε πλήρως σε αντιδιαβρωτικά αμυντικά έργα.

Είναι λοιπόν προφανές ότι ο σχεδιασμός και η υλοποίηση ενός τεχνολογικού έργου στην ακτογραμμή χρειάζεται τη συνεργασία μηχανικών, ωκεανογράφων και επιστημόνων με γνώση τη μηχανική και την επιστήμη των υλικών προκειμένου να ενισχυθεί η αποτελεσματικότητα του έργου.

2.5 Ανασχεδιασμός της μορφολογίας της παραλίας

Οι στατικές δομές προστασίας των ακτών, όπως τα θαλάσσια τοιχώματα και οι κυματοθραύστες χρησιμοποιούνται συνήθως για τη σταθεροποίηση της. Αυτές οι δομές συνδέονται συχνά με θετικά αποτελέσματα, συμπεριλαμβανομένης της εισαγωγής μιας τεχνητής συμμετρίας στην κατανομή του πλάτους της παραλίας κατά μήκος της ακτής, ύστερα από συγκεκριμένες μελέτες που το αποδεικνύουν. Έργα, όπως μη αδειοδοτημένα λιμάνια χωρίς καμία μελέτη περιβαλλοντικής επίπτωσης δημιουργούν παρεμβολή στον δυναμισμό της ακτογραμμής και στη μεταφορά ιζημάτων που θα επέτρεπε στις παραλίες να λειτουργούν φυσικά, όπως επίσης μετατόπιση του προβλήματος της διάβρωσης σε κοντινά απροστάτευτα τμήματα της παραλίας, εισαγωγή σκληρών δομών σε βιότοπο με μαλακό βυθό, μείωση του οικοτόπου με περικοπή του προφίλ της παραλίας, πιθανή δημιουργία ρευμάτων που είναι επικίνδυνα για τους κολυμβητές και μείωση της ποιότητας του νερού και της αισθητικής γενικότερα.

Μπορεί να χρειαστούν διάφορες τροποποιήσεις σε κατασκευές μηχανικής μετά την κατασκευή τους λόγω των επιζήμιων επιπτώσεων των προηγούμενων επεμβάσεων και αλλαγών στην κατάσταση των κατασκευών και της θέσης τους με την πάροδο του χρόνου (αλλαγές στα επίπεδα του νερού και συχνότητα καταιγίδων κ.λπ.). Πρόσφατες μελέτες απαιτούν την ανάγκη να γίνουν οι δομές προστασίας πιο συμβατές με τις φυσικές αξίες και τις ανθρώπινες ανάγκες αναψυχής. Η αλλαγή της ακτογραμμής και οι οικονομικές ανθρώπινες παρεμβάσεις αναγνωρίζονται πλέον ως αμοιβαία συνδεδεμένες, συχνά σε επαναληπτικούς κύκλους διάβρωσης και μετριασμού.

Οι τροποποιήσεις στις δομές προστασίας της ακτής περιλαμβάνουν το χαμήλωμα των κορυφών των κυματοθραυστών όπου και αν αυτοί υπάρχουν μείωση του μήκους των λιμενοβραχιόνων, ή την αύξηση του αριθμού, ή του πλάτους των κενών μεταξύ τους για την αποκατάσταση της φυσικής κυκλοφορίας και την προσπάθεια να ξεπεραστούν τα ελλείμματα του καθοδικού ιζήματος. Έχουν πραγματοποιηθεί διάφορες έρευνες σχετικά με τα παραπάνω. Μια έρευνα από αυτές αξιολογεί πώς αναδιαμορφώθηκε ένα αναδυόμενο σύστημα τμηματικού κυματοθραύστη στις ακτές της Τυρρηνίας της Ιταλίας για να ενισχύσει την παραλία προς την ξηρά για αναψυχή [11].

Οι αναδυόμενοι τμηματικοί κυματοθραύστες ,η κάθετων, προς την ακτή, προβόλων, δημιουργούν μια οπτική διείδυση στο θαλάσσιο τοπίο και οι διαφορές της μεγάλης ακτής στην προστασία και την έκθεση στα κύματα έχουν ως αποτέλεσμα μια διαμόρφωση ακτογραμμών και συσσωρευτών κολπίσκων. Οι παραλίες στους κόλπους δεν έχουν την ίδια μεταφορική ικανότητα για τους τουρίστες με τις παραλίες στα άλλα σημεία. Τα ρηχά βάθη των υδάτων απευθείας προς την ξηρά των κυματοθραυστών μπορούν να περιορίσουν, ή και να εξαλείψουν τις ευκαιρίες κολύμβησης και τα βαθύτερα νερά μεταξύ των κυματοθραυστών μπορούν να διοχετεύουν και να επιταχύνουν τις υπεράκτιες ροές και να δημιουργούν κίνδυνο για την ασφάλεια για τους κολυμβητές.

Οι βυθισμένοι κυματοθραύστες ως μια ακόμη εναλλακτική λύση απορρόφησης κυματικής ενέργειας, μπορεί να αυξήσει την επανεπεξεργασία των ιζημάτων στην παραλία. Οι μεγαλύτερες ενέργειες των κυμάτων αυξάνουν τις ταχύτητες του ρεύματος σε μακριές ακτές που μπορούν να βοηθήσουν στην απομάκρυνση των προεξοχών που σχηματίζουν προς την ξηρά των αναδυόμενων δομών, με πιο ίση κατανομή του χώρου της παραλίας και μεγαλύτερα βάθη νερού για κολύμπι. Τα προβλήματα της άνιση κατανομής του ιζήματος κατά μήκος της ακτής και των επιταχυνόμενων ρευμάτων μεταξύ των κατασκευών θα παρέμεναν εάν οι βυθισμένες κατασκευές παρέμεναν τμηματοποιημένες, αλλά αυτά τα προβλήματα μπορούν να μειωθούν κάνοντας τους βυθισμένους κυματοθραύστες συνεχείς.

3. ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ (ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΚΤΩΝ)

3.1 Παράκτια προστασία

Μια κουλτούρα κινδύνου που σχετίζεται με τις παράκτιες ζώνες, υπάρχει ήδη από τον μεσαίωνα, ιδιαίτερα στην Ευρώπη και στην περιοχή της Ανατολικής Ασίας, δηλαδή στην Κίνα και την Ιαπωνία, αν και μέχρι τότε, η σειρά για το πώς συνέβαιναν οι παράκτιες στρατηγικές ήταν αντίθετη από τη σημερινή.

Οι στρατηγικές προσαρμογής, όπως η υποχώρηση από ευάλωτες περιοχές, ήταν η πρώτη επιλογή. Η παράκτια άμυνα υιοθετήθηκε πολύ αργότερα στις πιο σύγχρονες εποχές στη Βόρεια Αμερική και στη συνέχεια παγκοσμίως. Στους τελευταίους δύο αιώνες, μια τέτοια στρατηγική επικρατεί παγκοσμίως σε παράκτιες ζώνες που έχουν την υποδομή τους επηρεασμένη από τη διάβρωση. Ωστόσο, το κόστος που σχετίζεται με την άμυνα των ακτών είναι υψηλό και αυξανόμενο, συχνά συνδυάζοντας πολύπλοκες τεχνολογικές διαδικασίες, γεγονός που καθιστά αδύνατη την προστασία κάθε παράκτιας περιοχής. Αυτό αφήνει στους λήπτες των αποφάσεων το καθήκον να επιλέξουν ποιες περιοχές θεωρούνται ως προτεραιότητα και την ανάπτυξη εις βάθος γνώσης της παράκτιας δυναμικής και των χαρακτηριστικών αυτών των συγκεκριμένων περιοχών.

Τα εδάφη που υποβλήθηκαν σε παρεμβάσεις παράκτιας άμυνας είναι πιθανό να επηρεαστούν λιγότερο από τις παράκτιες διεργασίες, αν και αυτό εξαρτάται από την αποτελεσματικότητά τους, καθώς και από τους ρυθμούς της στάθμης της θάλασσας και τα παράκτια ακραία καιρικά φαινόμενα. Εκτός από το προστατευτικό αποτέλεσμα για το οποίο σχεδιάστηκαν, αυτές οι δομές μπορεί να γίνουν χώροι αναψυχής.

3.2 Τρόποι αντιμετώπισης

Οι τρόποι αντιμετώπισης του προβλήματος της διάβρωσης ποικίλουν. Αρχικά η πρόταση που επέρχεται από την παρούσα πτυχιακή εργασία περιγράφεται ως λιγότερο «οικονομικής, και μόνιμης» λύσης, είναι η κατασκευή, προβόλων, εγκάρσια στον άξονα της ακτογραμμής σε συγκεκριμένη απόσταση

μεταξύ τους που ποικίλει ανάλογα με το μήκος της υπό διάβρωσης ακτής. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την «αποθήκευση» ιζημάτων της παραλίας χωρίς να διαφεύγει από το συγκεκριμένο χώρο που έχει ως συνεπακόλουθο τη μερική επαναφορά υλικού παράλιας και περιορισμό, ή τερματισμό της διάβρωσης. Επιπλέον με τη μερική επαναφορά της ακτής θα «απομακρυνθεί» η ζώνη θραύσεως που προέρχεται από την κυματική ενέργεια, από τις κατασκευές, με αποτέλεσμα τη λιγότερη καταπόνηση και επιμήκυνση του χρόνου ζωής των παράκτιων κατασκευών. Επίσης το έργο προστασίας θα συνοδευτεί και με εμπλουτισμό υλικού ανάμεσα στους προβόλους με κροκάλα, χαλίκι ποταμίσιο, και άμμο.

3.3 «Ήπια» προστασία

Ο απλούστερος τρόπος για να κατανοηθούν οι διαφορές, μεταξύ της μόνιμης και της βραχυπρόθεσμης άμυνας, ή προστασίας, είναι ότι οι σκληρές, προορίζονται για την αντιμετώπιση παράκτιων αλλαγών με μόνιμα μακροπρόθεσμα αποτελέσματα, ενώ οι ήπιες, προσπαθούν να προσαρμοστούν, και να συμπληρώσουν, φυσικές διεργασίες, με προσωρινής φύσεως αποτελέσματα. Ανάλογα με την περίπτωση και τον επιθυμητό στόχο στην παράκτια προστασία, οι τρόποι προστασίας ποικίλουν. Ενδεικτικά παραδείγματα, βραχυπρόθεσμης προστασίας, είναι τα παρακάτω



Σχήμα 3.1: Επέκταση παραλίας [12]

Η επέκταση της παραλίας με εμπλουτισμό υλικού, είναι μια αρκετά βιώσιμη για τον τόπο που θα εφαρμοστεί, λύση. Θα υπάρξει οικονομική, και περιβαλλοντική ανάπτυξη. Στο εξωτερικό ο εμπλουτισμός της ακτής συγκαταλέγεται στα περισσότερα αντιδιαβρωτικά έργα. Στα αρνητικά υπάρχει η συνεχής προσθήκη υλικού αν δεν υπάρχουν εγκάρσιοι πρόβολοι ή άλλων ειδών αντιδιαβρωτικά έργα, για διατήρηση του υλικού παραλίας.



Σχήμα 3.2: Δημιουργία αμμόλοφων με ανθεκτική βλάστηση [13]

Η δημιουργία αμμόλοφων, είναι ένα εξίσου προσωρινής φύσεως έργο. Έχει ως στόχο τη δημιουργία βλάστησης, ανθεκτικής στο θαλάσσιο περιβάλλον, την ελάχιστη συγκράτηση αμμώδους εδάφους παραλίας, αλλά και την τόνωση του τοπικού οικοσυστήματος. Στα αρνητικά, κατόπιν διεπαφής του με την θάλασσα, είναι εύκολη καταστροφή, αλλοίωση του, άρα δεν συνίσταται για τα είδη των παραλιών του Κορινθιακού κόλπου, αλλά για μεγάλων διαστάσεων, αμμώδεις παραλίες. Τέλος, η τροφοδοσία των αμμόλοφων μπορεί τελικά να καλύψει κάποιο κενό που προκύπτει από την αναποτελεσματικότητα της τροφοδοσίας στην παραλία, ή από ακραίες καιρικές συνθήκες και διάβρωση. Όταν διαχειρίζονται με ακρίβεια, οι αμμόλοφοι είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικοί κατά των πλημμυρών, αποτελώντας πολύτιμα συστήματα για τη χλωρίδα και την πανίδα. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί στην εφαρμογή τους. Αυτά προκύπτουν από διαφορετικές απόψεις που σχετίζονται με καθέναν από τους βασικούς παράγοντες και ενδιαφερόμενους φορείς. Η αποκατάσταση των αμμόλοφων μπορεί να έρχεται σε σύγκρουση με τα συμφέροντα της κατασκευής σε μια περιοχή με προνομιακή θέα στη θάλασσα, μπορεί να επηρεάσει την πρόσβαση στις ακτές λόγω των

περιορισμών της, ή μπορεί ακόμη και να οδηγήσει σε παράκτια συμπίεση λόγω της εξαφάνισης μιας περιοχής της παραλίας λόγω διεργασιών διάβρωσης, με επιπτώσεις στον τουρισμό.



Σχήμα 3.3: Αλλαγή προφίλ παραλίας [14]

Η αλλαγή του προφίλ της παραλίας έχει στα πλεονεκτήματα της εν λόγο πρακτικής, την μείωση της ενέργειας των κυμάτων και αποτελεί μια απλή διαδικασία μικρού κόστους. Στα αρνητικά, μπορεί να εφαρμοστεί επιτυχώς σε σημεία με χαμηλή ενέργεια των κυμάτων, και επίσης αποτελεί μια συνεχή διαδικασία ενώ συγκαταλέγεται και αυτή στις βραχυπρόθεσμες λύσεις.



Σχήμα 3.4: Σάκοι άμμου [15]

Η λύση των σάκων άμμου έχει στα θετικά της, την δυνατότητα τροφοδότησης των σάκων με τοπικά υλικά, (αν υπάρχουν και δεν βρίσκεται σε προχωρημένη διάβρωση η ακτή), ενώ είναι μια τάχιστα και προσωρινή λύση, αντιμετώπισης πλημμυρικών φαινομένων και συγκαταλέγονται εξίσου στον τομέα της τεχνικής διαμόρφωσης των ακτών. Στα αρνητικά τους, δεν αποτελούν ανθεκτικές λύσεις και δε βοηθούν σε προβλήματα διάβρωσης, παρά ολιγόωρης, μερικής, θωράκισης, παράκτιων κατασκευών.

Έτσι, οι βραχυπρόθεσμες άμυνες, είναι το προσωρινό αποτέλεσμα της αυξανόμενης ανάγκης ανταπόκρισης, στις αρνητικές επιπτώσεις που προκύπτουν από διαβρωτικά και ακραία καιρικά φαινόμενα.

Τα ήπια αμυντικά μέτρα, σχετίζονται συχνά με την εναπόθεση επιπρόσθετου υλικού στο παραλιακό μέτωπο και λοιπές σχεδόν μη επεμβατικές λύσεις. Σε σύγκριση με την μακροπρόθεσμη προστασία, οι ελαφριές, προσωρινές άμυνες, έχουν σημαντικά μικρότερο κόστος και λιγότερες τεχνικές δυσκολίες ως προς την υλοποίησή τους, αλλά έχουν πολύ σύντομο χρόνο ζωής.

Οι περιπτώσεις εναπόθεσης υλικού στην παραλία αναφέρονται σε μεγάλο βαθμό ως παράδειγμα ελαφριάς μηχανικής, καθώς αναγνωρίζονται έντονα θετικές

πτυχές. Από μια προσέγγιση διαχείρισης των ακτών, αυτό το βραχυπρόθεσμο μέτρο δεν έχει τα θετικά αποτελέσματα των μόνιμων αντιδιαβρωτικών κατασκευών. Επιπλέον, τέτοια μέτρα, όπως και άλλες ήπιες προσεγγίσεις, απαιτούν τη συμμετοχή ενός ευρύτερου φάσματος παραγόντων, περισσότερη παρακολούθηση και συνεχή συντήρηση που πρέπει να ληφθούν υπόψη από μια ανάλυση κόστους-οφέλους.

Γενικότερα, μπορούν να εφαρμοστούν διάφορες παράκτιες κατασκευές για την επίλυση, ή τουλάχιστον, τη μείωση των προβλημάτων διάβρωσης όπως αναφέρθηκαν και παραπάνω.

Ωστόσο, υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον τόσο στις ανεπτυγμένες όσο και στις αναπτυσσόμενες χώρες για χαμηλού κόστους, ή καινοτόμες μεθόδους προστασίας της ακτογραμμής, ιδίως καθώς το κεφαλαιουχικό κόστος των αμυντικών έργων και της συντήρησής τους συνεχίζει να αυξάνεται. Η έλλειψη φυσικών πετρωμάτων σε ορισμένες γεωγραφικές περιοχές μπορεί επίσης να είναι ένας λόγος για να αναζητήσουμε άλλα υλικά και συστήματα. Παρά το ενδιαφέρον αυτό, υπάρχουν ελάχιστες δημοσιευμένες και τεκμηριωμένες πληροφορίες σχετικά με την απόδοση δομών χαμηλού κόστους, ή κατοχυρωμένες με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας, ειδικά σε πιο εκτεθειμένο κυματικό κλίμα.

Νέα συστήματα όπως γεωσυστήματα (γεωσωλήνες, γεωκοντέινερ, γεωκουρτίνες) και ορισμένα άλλα (συχνά κατοχυρωμένα με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας) συστήματα έχουν κερδίσει δημοτικότητα τα τελευταία χρόνια λόγω (συχνά αλλά όχι πάντα λόγω της προχειρότητας και βραχυπρόθεσμης ζωής τους) της απλότητάς τους ως προς την τοποθέτηση και την κατασκευή, τη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας και τον ελάχιστο αντίκτυπό τους στο περιβάλλον.

Αυτά τα νέα συστήματα εφαρμόστηκαν με επιτυχία σε πολλές χώρες και αξίζει να εφαρμοστούν σε μεγαλύτερη κλίμακα. Λόγω της χαμηλότερης τιμής και της ευκολότερης εκτέλεσης, αυτά τα συστήματα μπορούν να αποτελέσουν μια καλή εναλλακτική λύση για την παραδοσιακή προστασία. Το κύριο εμπόδιο στην εφαρμογή τους είναι ωστόσο η έλλειψη κατάλληλων κριτηρίων σχεδιασμού [16].

Οι κατασκευές με χαμηλό λοφίο και οι βυθισμένες κατασκευές (LCS) ως αποκολλημένοι κυματοθραύστες, αλλά και οι τεχνητοί ύφαλοι αποτελούν κάποια πολύ κοινά μέτρα προστασίας των ακτών (που χρησιμοποιούνται μόνα τους, ή σε συνδυασμό με την τεχνητή άμμο).



Εικόνα 3.5: Τεχνητοί ύφαλοι για την καταπολέμηση της διάβρωσης των ακτών [17]

Ο σκοπός των κατασκευών, ή των υφάλων είναι να μειώσουν την υδραυλική φόρτιση σε ένα απαιτούμενο επίπεδο, επιτρέποντας μια δυναμική ισορροπία της ακτογραμμής. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, έχουν σχεδιαστεί για να επιτρέπουν τη μετάδοση μιας ορισμένης ποσότητας της ενέργειας του κύματος πάνω από τη δομή, από την άποψη της υπέρβασης και μετάδοσης μέσω της πορώδους δομής (αναδύμενοι κυματοθραύστες), ή θραύσης των κυμάτων και διασποράς της ενέργειας (βυθισμένες κατασκευές). Λόγω αισθητικών απαιτήσεων συνήθως προτιμώνται χαμηλά εξάλων. Ωστόσο, σε παλιρροϊκό περιβάλλον και συχνές καταιγίδες γίνονται λιγότερο αποτελεσματικές. Αυτός είναι επίσης ο λόγος που οι βυθισμένοι κυματοθραύστες με πλατύ λοφίο (που ονομάζονται επίσης τεχνητοί ύφαλοι) έγιναν δημοφιλείς, ειδικά στην Ιαπωνία. Ωστόσο, οι κατασκευές με πλατύ λοφίο είναι πολύ πιο ακριβές και η χρήση τους θα πρέπει να υποστηρίζεται από κατάλληλες μελέτες κόστους-οφέλους. Από την άλλη πλευρά, η ανάπτυξη εναλλακτικών υλικών και συστημάτων, για παράδειγμα, η χρήση γεωσωλήνων γεμισμένων με άμμο ως πυρήνας τέτοιων κατασκευών, μπορεί να μειώσει αποτελεσματικά το κόστος.

Η σχετικά νέα καινοτόμος παράκτια λύση είναι η χρήση δομών τεχνητών υφάλων που ονομάζονται "Reef Balls" ως βυθισμένοι κυματοθραύστες, παρέχοντας τόσο εξασθένηση των κυμάτων για τη μείωση της διάβρωσης της ακτογραμμής, όσο και δομές τεχνητών υφάλων. Οι μονάδες έχουν τρύπες πολλών

διαφορετικών μεγεθών για να παρέχουν καταφύγιο για πολλούς τύπους θαλάσσιας ζωής. Είναι κατασκευασμένες έτσι ώστε να είναι απλές στην κατασκευή και την ανάπτυξη και είναι μοναδικές στο ότι μπορούν να επιπλέουν στο σημείο πτώσης τους πίσω από οποιοδήποτε σκάφος χρησιμοποιώντας μια εσωτερική, φουσκωτή «μπάλα». Σε όλο τον κόσμο έχει ήδη εκτελεστεί ένας μεγάλος αριθμός έργων με τη χρήση αυτού του συστήματος.

Οι πρώτες εφαρμογές βασίστηκαν αποκλειστικά στην εμπειρία από προηγούμενα μικρότερα έργα. Από πρόσφατα, είναι διαθέσιμα πιο καλά τεκμηριωμένα κριτήρια σχεδιασμού. Τα κριτήρια σταθερότητας για αυτές τις μονάδες καθορίστηκαν με βάση αναλυτικές και πειραματικές μελέτες. Για τις τοποθεσίες υψηλής ενέργειας των κυμάτων, οι μονάδες μπορούν να αγκυρωθούν υδραυλικά με καλώδια στον πυθμένα της θάλασσας).



Εικόνα 3.6: Τοποθέτηση γεωυφάσματος για αναδιαμόρφωση παραλίας [18]

Τα συστήματα γεωφάσματος χρησιμοποιούν ένα συνθετικό ύφασμα υψηλής αντοχής ως μορφή για τη χύτευση μεγάλων μονάδων με πλήρωση με άμμο, ή κονίαμα. Μέσα σε αυτά τα συστήματα γεωφάσματος μπορεί να γίνει διάκριση μεταξύ σάκων, στρωμάτων, σωλήνων, δοχείων και κεκλιμένων κουρτινών. Όλα μπορούν να γεμιστούν με άμμο, ή κονίαμα, μια εξίσου προσωρινή αλλά οικονομική λύση.

3.4 «Σκληρή» προστασία

Το να γνωρίζουμε με ακρίβεια πού, και σε ποιο βαθμό, θα λάβει χώρα η διάβρωση, θεωρείται ζωτικής σημασίας για τη διαχείριση των ακτών. Οι διεργασίες διάβρωσης, είναι πλέον ένας από τους κύριους λόγους βιωσιμότητας, και οικονομικής ευμάρειας για τους παράκτιους πληθυσμούς, και τις υποδομές.

Οι παράκτιες άμυνες της μηχανικής, θεωρούνται ως η παραδοσιακή προσέγγιση στον τομέα των αντιδιαβρωτικών έργων , παρέχοντας ένα σταθερό φράγμα ενάντια στην ενέργεια των κυμάτων και της παλίρροιας, σπάζοντας κάθε αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο συστημάτων, ξηράς και θάλασσας [19]. Αυτά ήταν για πολύ καιρό, και εξακολουθούν να είναι, η λύση για την ανακούφιση των συνεπειών τέτοιων διαδικασιών όταν πρόκειται για μονάδες θωράκισης, όπως, κυματοθραύστες, εγκάρσιοι πρόβολοι, συρματοπλέγματα με πέτρες, αυλάκια, καλύμματα, θαλάσσια αναχώματα και θαλάσσια τοιχώματα.



Σχήμα 3.7: Κυματοθραύστες [20]

Οι κυματοθραύστες είναι κατασκευές όπου χρησιμοποιούνται σε αντιδιαβρωτικά έργα, σε συνδυασμό πάντα με άλλες παράκτιες μεθόδους συγκράτησης υλικών, αλλά και κατασκευή λιμανιών, μεγάλης χωρητικότητας πλοίων. Στόχος της κατασκευής αυτής, είναι η μείωση της κυματικής ενέργειας σε μεγάλο βαθμό, κάτι που ανακουφίζει το παράκτιο μέτωπο από έντονα καιρικά θαλάσσια φαινόμενα. Ειδικά αν έχει υποστεί διάβρωση, είναι μια πολύ καλή αμυντική επιλογή ,αποφόρτισης δυνάμεων, μιας ταλαιπωρημένης ακτογραμμής. Στα αρνητικά τους , είναι μεγάλο το κόστος κατασκευής , και οι δύσκολες τεχνικές συνθήκες υλοποίησης του έργου όπως δομή βυθού , υποβρύχιες εργασίες, καιρικές συνθήκες κτλ.

Αν και η χρήση στατικών κτιρίων προστασίας των ακτών θεωρείται συχνά ως μια αμετάκλητη μετατόπιση από μια δυναμική ακτογραμμή, οι κατασκευές μπορούν να αλλάξουν ώστε να ανταποκρίνονται καλύτερα στις ανθρώπινες απαιτήσεις και να παρέχουν μια πιο ρευστή παραλία. Υπάρχουν γενικότερα διάφορες συγκρίσεις μεταξύ των αλλαγών στον όγκο και στη μορφολογία της παραλίας και λόγω της μετατροπής των αναδυόμενων, κατακερματισμένων υπεράκτιων κυματοθραυστών σε μια συνεχή βυθισμένη δομή, κοντά στην ακτή.

Στην ακτή της Τοσκάνης της Ιταλίας, κατασκευάστηκαν τμηματικοί κυματοθραύστες μεταξύ του 1983 και του 1987. Με τις παραλίες να προεξέχουν προς την ξηρά των δομών και τους κόλπους προς την ξηρά των κενών, οι κυματοθραύστες δημιούργησαν μια ασύμμετρη ακτογραμμή. Οι στόχοι ήταν αύξηση πλάτους παραλίας κατά μήκος της ακτής και η βελτιωμένη θέα στη

θάλασσα. Στις φυσικές διαδικασίες δόθηκε μεγαλύτερη ευελιξία για την τροποποίηση της παραλίας κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Μετά την αλλαγή, η ακτογραμμή μερικώς επανήλθε.

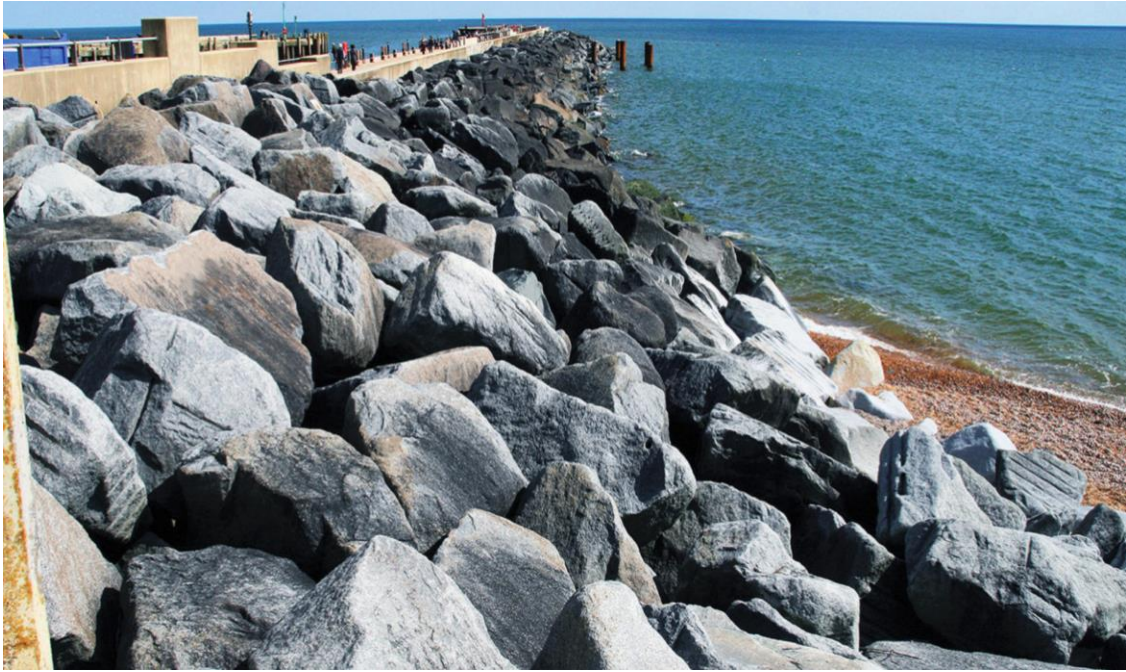
Τα ευρήματα δείχνουν ότι οι ανθρωπογενείς γεωμορφικές αλλαγές μπορούν να πραγματοποιηθούν τοπικά (δεκάδες έως εκατοντάδες μέτρα κατά μήκος της ακτής) ως απάντηση στις αντιληπτές ανάγκες των τοπικών διαχειριστών, παρόλο που η νέα συνθήκη έρχεται σε αντίθεση με τον παραδοσιακό στόχο της κατασκευής μιας πιο σταθερής παραλίας για την παράκτια προστασία [11].



Σχήμα 3.8: Συρματοκιβώτια με πέτρες [21]

Τα συρματοκιβώτια με πέτρες μειώνουν την ενέργεια των κυμάτων και μπορούν να χρησιμοποιηθούν τοπικά υλικά όπως πέτρες κροκάλα κτλ, επίσης με τις κατάλληλες κατασκευαστικές ενέργειες, χρησιμοποιούνται και σαν παράκτια τοιχώματα δεδομένου του μικρού κόστους κατασκευής τους. Ως αρνητικά, έχουν

μικρότερη διάρκεια ζωής, εξαιτίας της επαφής των μεταλλικών πλεγμάτων τους με την θάλασσα, πράγμα που επισπεύδει την οξείδωση των μεταλλικών κιβωτίων αρά και την μείωση του χρόνου ζωής τους.



Σχήμα 3.9: Προστασία παραλίας με ογκόλιθους [22]

Η προστασία της παραλίας με ογκόλιθους έχει ως πλεονεκτήματα, την απορρόφηση της ενέργειας των κυμάτων, την προστασία παράκτιων κατασκευών, και τη δυνατότητα κατασκευής προβόλων για συγκράτηση της εκάστοτε παραλίας από διαβρωτικά φαινόμενα. Είναι υλικό το οποίο μας δίνει πληθώρα κατασκευαστικών δυνατοτήτων, και επεξεργασίας αυτού, ειδικά στις μεγάλης δυσκολίας παράκτιες κατασκευές. Είναι σχετικά οικονομικές κατασκευές, καθώς, το κύριο υλικό(πέτρα) είναι φυσικό και η μόνη κοστοβόρα και δύσκολη διαδικασία είναι η μεταφορά και εναπόθεση τους. Είναι μια από τις επικρατέστερες λύσεις που κυριαρχούν στα αντιδιαβρωτικά έργα τόσο στην Ελλάδα όσο και στον υπόλοιπο κόσμο, αναλογούμενοι, τα μεγάλα πλεονεκτήματα (οικονομικά και τεχνικά) που μας προσφέρει η εν λόγω επιλογή.



Σχήμα 3.10: Θαλάσσιο τοίχωμα [23]

Τα θετικά των θαλάσσιων τοιχωμάτων είναι η αποτελεσματική προστασία της ακτογραμμής από διαβρωτικά και ακραία καιρικά φαινόμενα, προστασία δημοσίων υποδομών, όπως δρόμοι, πεζόδρομοι, πάρκα, τουριστικές εγκαταστάσεις. Η χρήση της παράκτιας αυτής άμυνας, χρησιμοποιείται κυρίως σε πολύ ανεπτυγμένες ακτές όπως, και σε μεγάλες πόλεις. Η λήψη των αποφάσεων σε αυτούς τους τομείς εξετάζει ουσιαστικά την οικονομική τους αξία, χρησιμοποιώντας μια προσέγγιση κόστους-οφέλους. Σε εξαιρετικά ανεπτυγμένες παράκτιες περιοχές, αυτό σημαίνει ότι η άμυνα των υποδομών είναι πιο πολύτιμη από το κόστος της μη άμυνας, με αυτές τις πόλεις να το υπερασπίζονται με κάθε κόστος. Οι μακροπρόθεσμες άμυνες, έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί και σε λιγότερο ανεπτυγμένες ακτές, με την παρουσία τέτοιων δομών να προκαλεί ένα εμφανές αίσθημα ασφάλειας, το οποίο με τη σειρά του αυξάνει τον τοπικό τουρισμό, οδηγώντας σε περαιτέρω ανάπτυξη [24].

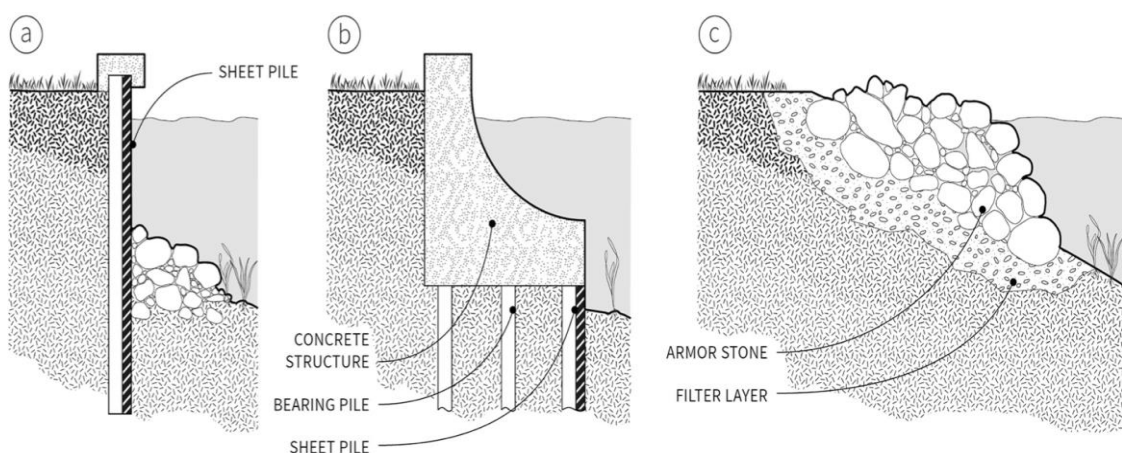
Η επαγόμενη ανάπτυξη που προκαλεί αυτή η αίσθηση ασφάλειας θα απαιτήσει κατά συνέπεια περισσότερα μέτρα διαχείρισης των ακτών για τη διευκόλυνση των αντιδιαβρωτικών διεργασιών.

Το σκυρόδεμα είναι το δεύτερο πιο χρησιμοποιούμενο υλικό στον κόσμο (μετά το νερό), καθώς είναι ένα οικονομικά αποδοτικό, εξαιρετικά ευέλικτο, χυτευόμενο υλικό, κατασκευασμένο με συστατικά που είναι ευρέως διαθέσιμα. Το σκυρόδεμα είναι ελκυστικό για θαλάσσιες εφαρμογές για αυτούς τους λόγους και λόγω των εγγενών μηχανικών ιδιοτήτων και της αντοχής του, συμπεριλαμβανομένων των επιθετικών συνθηκών. Οι πρόσφατες εξελίξεις στην επιστήμη των υλικών, τη μηχανική και την κατασκευαστική τεχνολογία, έχουν τη

δυνατότητα να κάνουν το σκυρόδεμα ένα ακόμη πιο βιώσιμο, ανθεκτικό και αξιόπιστο υλικό για την κατασκευή θαλάσσιων τοιχωμάτων.

Οι κύριοι μηχανικοί σκοποί ενός τσιμεντένιου θαλάσσιου τοιχώματος είναι η μείωση των επιπτώσεων των κυμάτων, της διάβρωσης της ακτογραμμής και των πλημμυρών. Τα τσιμεντένια τοιχώματα είναι γενικά ογκώδεις, μακριές κατασκευές από σκυρόδεμα οπλισμένες με χάλυβα. Ενώ ένας πολύ σημαντικός όγκος της έρευνας έχει διεξαχθεί σε δομές θαλάσσιων τοιχωμάτων τον περασμένο αιώνα, εξακολουθούν να υπάρχουν πολλές ανησυχίες σχετικά με τα θαλάσσια τοιχώματα. Τρεις από τις πιο σημαντικές από αυτές τις ανησυχίες είναι η οικολογική απόδοση των τοιχωμάτων από σκυρόδεμα που είναι συνήθως κακή, ο χάλυβας στα θαλάσσια τοιχώματα τείνει να διαβρώνεται με την πάροδο του χρόνου, οδηγώντας σε ρωγμές και ζημιές και η επισκευή των κατεστραμμένων θαλάσσιων τοιχωμάτων δεν πραγματοποιείται πάντα έγκαιρα.

Τα θαλάσσια τοιχώματα υπόκεινται σε δυνάμεις υψηλού μεγέθους λόγω της δράσης των κυμάτων, ειδικά κατά τη διάρκεια καταιγίδων λόγω θραύσης και υπέρβασης των κυμάτων. Επιπλέον, τα κύματα που αντανακλώνται από τα θαλάσσια τοιχώματα μπορούν να προκαλέσουν την απομάκρυνση σημαντικών ποσοτήτων ιζημάτων από το θαλάσσιο τοίχωμα στη θάλασσα, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε ανεπιθύμητο καθαρισμό κάτω από το θαλάσσιο τοίχωμα, καθώς και απώλεια των θαλάσσιων πόρων. Το Σχήμα 3.11 δείχνει τρία κοινά σχέδια θαλάσσιων τοιχωμάτων που συνήθως κατασκευάζονται για την προστασία των ακτών.



Σχήμα 3.11: Τυπικά σχέδια θαλάσσιων τοιχωμάτων από σκυρόδεμα για την προστασία των ακτών: α) Κατακόρυφο θαλάσσιο τοίχωμα, β) Καμπύλο θαλάσσιο τοίχωμα, γ) Riprap [25]

Τα κάθετα θαλάσσια τοιχώματα είναι ιδιαίτερα ελκυστικά σε τοποθεσίες όπου υπάρχει μικρή διαθεσιμότητα ή/και συνθήκες σκληρών κυμάτων και υψηλές υπερτάσεις. Η σταθερότητα ενός κατακόρυφου θαλάσσιου τοιχώματος έναντι οριζόντιων δυνάμεων και ολίσθησης παρέχεται από το βάρος του και την τριβή με την υποκείμενη επιφάνεια. Τέτοια θαλάσσια τοιχώματα υπόκεινται σε ανάκλαση ενός υψηλού κύματος μπροστά από τη δομή με συντελεστή ανάκλασης κοντά στη μονάδα, που οδηγεί σε μεγαλύτερες δυνάμεις και καθαρισμό στα σημεία κάτω από την κατασκευή.

Ο καμπύλος σχεδιασμός αυτών των θαλάσσιων τοιχωμάτων μειώνει την υπέρβαση των κυμάτων και ανακατευθύνει την ενέργεια των κυμάτων λόγω των κυμάτων που σπάνε πίσω σε μια κατεύθυνση προς τη θάλασσα. Η καμπύλη όψη της κατασκευής εξασθενεί την ενέργεια των κυμάτων με αποτέλεσμα χαμηλότερα μεγέθη τάσεων. Η ανάλυση της αστοχίας αποκαλύπτει ότι τα καμπύλα θαλάσσια τοιχώματα είναι πιο σταθερά και αποδίδουν καλύτερα κατά τη δυναμική φόρτωση σε σύγκριση με τους κατακόρυφους τοίχους. Ενώ παρουσιάζουν καλύτερη απόδοση, τα καμπύλα θαλάσσια τοιχώματα είναι συνήθως πιο περίπλοκα στο σχεδιασμό και την κατασκευή σε σύγκριση με τα κατακόρυφα θαλάσσια τοιχώματα. Τα θαλάσσια τοιχώματα με σκαλοπάτια μπορούν να θεωρηθούν ένα υποσύνολο καμπυλωτών θαλάσσιων τοίχων από προοπτικές φορτίου, υλικού και κατασκευής.

Οι κατασκευές γνωστές ως αναχώματα από μπάζα, είναι απλώς αναχώματα από διάφορα υλικά, συμπεριλαμβανομένων των τσιμεντόλιθων. Τα σχέδια Riprap είναι σχετικά φθηνά σε σύγκριση με τους κάθετους και καμπυλωτούς τοίχους. Επιπλέον, η απώλεια, ή η αποτυχία μερικών από τις πέτρες θωράκισης δεν θα οδηγήσει σε πλήρη κατάρρευση και το σύστημα μπορεί να συνεχίσει να λειτουργεί κανονικά. Η επισκευή, ή η αποκατάσταση του Riprap είναι επίσης σχετικά απλή. Η πορώδης γεωμετρία του Riprap έχει ως αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη διασπορά της κυματικής ενέργειας και μειωμένη ανάκλαση των κυμάτων. Ως εκ τούτου, το Riprap χρησιμοποιείται επίσης συνήθως μπροστά από κάθετα τοιχώματα θάλασσας για να αποφευχθεί η τριβή. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ειδικοί τύποι διαμορφώσεων Riprap που αποτελούνται από συμπλέκοντες τσιμεντόλιθους για τη μείωση της εκτόξευσης κυμάτων, της υπέρβασης και του καθαρισμού στη βάση των υπάρχοντων θαλάσσιων τοιχωμάτων σε περιπτώσεις υψηλών παλιρροϊκών ροών.

Η χρήση συμπλεκόμενων μπλοκ επιτρέπει την ελευθερία σχεδιασμού και την ευελιξία στην ανάπτυξη. Αυτά τα σχέδια Riprap μπορούν να περιλαμβάνουν το θαλάσσιο τοίχωμα, ή να χρησιμοποιηθούν ως βάση άλλων τύπων θαλάσσιων τοιχωμάτων.

Οι κοινές κατευθυντήριες γραμμές και τα πρότυπα σχεδιασμού για τα θαλάσσια τοιχώματα περιλαμβάνουν το «Manual Coast Engineering Manual»

(CEM), το «Shore Protection Manual» (SPH), τα πρότυπα «ASCE» και τα εγχειρίδια έκδοσης «FEMA». Ο σχεδιασμός του θαλάσσιου τοιχώματος περιλαμβάνει πολλαπλά κρίσιμα ζητήματα, συμπεριλαμβανομένης της στάθμης του νερού και των συνθηκών του κύματος, την επιλογή της κατάλληλης κατασκευής, ή σχεδίασης, την εκτίμηση της αναρρίχησης και της υπέρβασης, τις εκτιμήσεις για την προστασία των σημείων κάτω από την κατασκευή και τους περιορισμούς της κατασκευής και των υλικών.

Οι κυρίαρχες δυνάμεις για το σχεδιασμό των θαλάσσιων τοιχωμάτων περιλαμβάνουν τα υδροστατικά, υδροδυναμικά και κυματικά φορτία. Αυτές οι δυνάμεις θα πρέπει να προστεθούν σε άλλα φορτία όπως στα φορτία ανέμου και πρόσκρουσης με σχετικό συντελεστή συνδυασμού ανάλογα με την παράκτια κατάσταση της περιοχής. Ωστόσο, η ακριβής εκτίμηση των σχετικών φορτίων σχεδιασμού δεν προδιαγράφεται ρητά για διαφορετικά δομημένα περιβάλλοντα. Τα υδροστατικά φορτία προκύπτουν ως αποτέλεσμα της στατικής πίεσης του νερού στην κατασκευή. Ωστόσο, συνήθως δεν παρέχουν μια ισχύουσα συνθήκη φόρτωσης για το σχεδιασμό του θαλάσσιου τοιχώματος. Τα υδροδυναμικά φορτία προκαλούνται από τη δυναμική επίδραση της κίνησης του νερού στην επιφάνεια της κατασκευής και μπορούν να προσδιοριστούν με βάση τη μηχανική των ρευστών.

Τα φορτία κρούσης που προκύπτουν από τα συντρίμια, τον πάγο και άλλα αντικείμενα που χτυπούν τη δομή τυπικά μοντελοποιούνται ως συγκεντρωμένα φορτία. Τα κυματικά φορτία, τα οποία είναι συνήθως κρίσιμα για το σχεδιασμό, αντιπροσωπεύουν τη δυναμική πίεση που προκαλείται από τα κύματα στις κατασκευές. Οι δυνάμεις των κυμάτων εξαρτώνται τόσο από την κινηματική των κυμάτων όσο και από τα δυναμικά χαρακτηριστικά της δομής και τυπικά παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις. Ανάλογα με την περιοχή, τα θαλάσσια τοιχώματα ενδέχεται επίσης να υποβληθούν σε πλευρικές και κάθετες σεισμικές δυνάμεις καθώς και σε πιθανή ρευστοποίηση του εδάφους.

Τα κυματικά φορτία είναι δύσκολο να αναλυθούν, καθώς η αλληλεπίδραση της κυματικής δομής είναι πολύπλοκη και εξαρτάται από παράγοντες όπως οι συνθήκες της τοποθεσίας (π.χ. βάθος νερού, χαρακτηριστικά κύματος) και τη γεωμετρία/μορφή της κατασκευής. Η σωστή κατανόηση των δυνάμεων των κυμάτων είναι κρίσιμη για την αποφυγή της αστοχίας, δηλαδή της δομικής κατάρρευσης και ανατροπής στα θαλάσσια τοιχώματα, η οποία μπορεί να συμβεί όταν τα θαλάσσια τοιχώματα εκτίθενται σε μεγάλες δυνάμεις θραύσης των κυμάτων. Αν και οι υπάρχουσες κατευθυντήριες γραμμές και πρότυπα προτείνουν πρακτικές μεθόδους για τον προσδιορισμό των δυνάμεων του κύματος για κατακόρυφα θαλάσσια τοιχώματα, δεν υπάρχει σαφής μέθοδος που να παρέχει ακριβή εκτίμηση των φορτίων κύματος για όλες τις εφαρμογές και συνθήκες.

Η φθορά του οπλισμού σε οποιαδήποτε κατασκευή από σκυρόδεμα, συμπεριλαμβανομένων των τοιχωμάτων από σκυρόδεμα, επηρεάζει δυσμενώς τη δομική ασφάλεια και τη δυνατότητα συντήρησης.

Όταν ο χάλυβας είναι ενσωματωμένος στο σκυρόδεμα χωρίς επαρκή προστασία (κάλυμμα), ή όταν το σκυρόδεμα κάλυψης έχει ραγίσει, αρχίζει η είσοδος χλωρίου. Με την πάροδο του χρόνου, η εισροή του χλωρίου οδηγεί στην έναρξη της διάβρωσης με διάτρηση όταν η συγκέντρωση χλωρίου κοντά στην επιφάνεια του χάλυβα υπερβαίνει ένα κρίσιμο όριο. Αυτό το όριο δεν είναι εύκολο να υπολογιστεί, ή να προβλεφθεί, καθώς επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες που σχετίζονται με το χάλυβα, το σκυρόδεμα και το περιβάλλον έκθεσης. Η διάβρωση είναι η πιο σημαντική ανησυχία αντοχής για τα τσιμεντένια τοιχώματα και η πρόληψη/περιορισμός της είναι υψίστης σημασίας. Έχει γίνει πολλή έρευνα σχετικά με την εισροή του χλωρίου και τη διάβρωση στις θαλάσσιες συνθήκες, συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης ενός θεωρητικού μοντέλου για την πρόβλεψη της διάρκειας ζωής των θαλάσσιων τοίχων από οπλισμένο σκυρόδεμα, το οποίο δείχνει ότι η διάρκεια ζωής αυξάνεται με το πάχος του καλύμματος, την αντοχή σε εφελκυσμό του σκυροδέματος, τη συγκέντρωση χλωρίου, το βάθος ταφής και το επιφανειακό φορτίο, αλλά μειώνεται με την αύξηση της διαμέτρου του οπλισμού και της αναλογίας νερού-τσιμέντου.

Η απόδοση των θαλάσσιων τοιχωμάτων που προβλέπονται στη θεωρία και στην πράξη είναι συχνά διαφορετική. Αυτό οφείλεται εν μέρει στη ρωγμή του σκυροδέματος, η οποία είναι δύσκολο να μοντελοποιηθεί και μπορεί να τροποποιήσει σημαντικά το ρυθμό εισροής του χλωρίου. Σε θαλάσσια τοιχώματα, όπου το κάλυμμα από σκυρόδεμα συχνά ραγίζει λόγω τριβής, φαινομένων καταιγίδας και κακής συντήρησης, είναι μάλλον πιθανό ότι κάποια στιγμή θα συμβεί διάβρωση που προκαλείται από το χλώριο. Η πρόωρη διάβρωση μειώνει την απόδοση της κατασκευής υπό κανονικές συνθήκες. Υπό φόρτωση τυφώνα, τέτοια θαλάσσια τοιχώματα μπορεί να αποτύχουν με καταστροφικό τρόπο, προκαλώντας σημαντικές απώλειες ζών και οικονομικές ζημιές. Ως εκ τούτου, είναι κρίσιμο να ελαχιστοποιηθεί η διάβρωση που προκαλείται από το χλώριο στα θαλάσσια τοιχώματα.

Η διάβρωση απαιτεί την παρουσία τόσο οξυγόνου όσο και υγρασίας. Ως εκ τούτου, η διάβρωση τυπικά δεν ξεκινά σε οπλισμένο σκυρόδεμα που είναι μόνιμα βυθισμένο στο θαλασσινό νερό. Ακόμα κι αν ξεκινήσει η διάβρωση, ο ρυθμός διάβρωσης είναι αμελητέος λόγω της μικρής ποσότητας οξυγόνου που φτάνει στην επιφάνεια του χάλυβα.

Ο σχεδιασμός του μίγματος του σκυροδέματος μπορεί να τροποποιηθεί για να αυξηθεί ο χρόνος πριν από την έναρξη της διάβρωσης. Τέτοιες τροποποιήσεις

περιλαμβάνουν τη χρήση συμπληρωματικών τσιμεντοειδών υλικών (SCM), τη μείωση της αναλογίας νερού-τσιμέντου και τη μείωση του πορώδους και της διαπερατότητας του σκυροδέματος. Τέτοιες αλλαγές επιβραδύνουν την είσοδο του χλωρίου στο σκυρόδεμα, αν και μπορεί να είναι λιγότερο αποτελεσματικές όταν το χλώριο φτάσει σε μια κρίσιμη συγκέντρωση κοντά στην επιφάνεια του χάλυβα. Η χρήση SCM συχνά βελτιώνει τη βιωσιμότητα και την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος και τα περισσότερα σύγχρονα θαλάσσια σκυροδέματα περιλαμβάνουν τέτοια υλικά στους σχεδιασμούς των μειγμάτων τους.

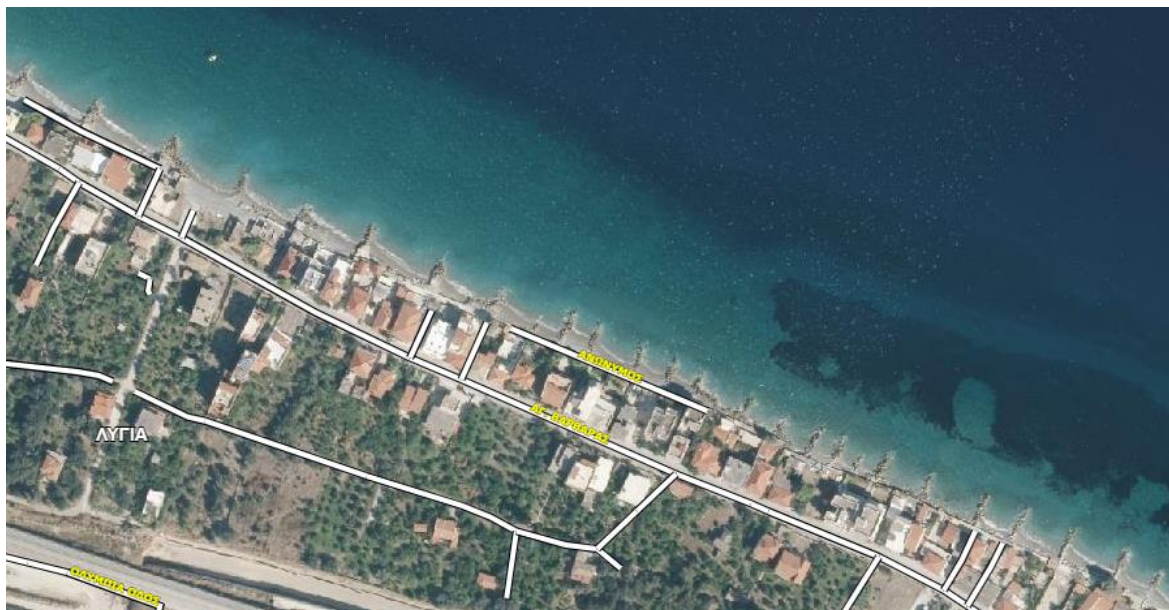
Η διάβρωση προκαλείται από τη χημική προσβολή των χλωριδίων στον χάλυβα και συμβαίνει όταν επαρκείς ποσότητες χλωριόντων εισχωρούν μέσω της μήτρας του σκυροδέματος για να φτάσουν στο χαλύβδινο οπλισμό. Τα χλωρίδια, τουλάχιστον στις συγκεντρώσεις που βρίσκονται στο θαλασσινό νερό, δεν είναι άμεσα επιβλαβή για το ίδιο το σκυρόδεμα. Αντίθετα, ένα μέρος των εισερχόμενων χλωριδίων αντιδρά χημικά με φάσεις αργίλικού σκυροδέματος για να σχηματίσει φάσεις όπως το άλας Friedel και επίσης απορροφάται σε φάσεις ένυδρου πυριτικού ασβεστίου. Αυτά τα χλωρίδια είναι «δεσμευμένα», δηλαδή δεν είναι «ελεύθερα» να εισχωρήσουν περαιτέρω και να διαβρώσουν τον χάλυβα. Αυτό το φαινόμενο της δέσμευσης του χλωρίου είναι σημαντικό, καθώς επιβραδύνει την είσοδο του χλωρίου και τελικά αυξάνει τη διάρκεια ζωής. Τα SCM, ειδικά αυτά που είναι πλούσια σε αλουμίνα, αυξάνουν την ικανότητα δέσμευσης του χλωρίου, η οποία μαζί με τη μικροδομική πυκνότητα, έχει ως αποτέλεσμα πολύ περιορισμένη είσοδο του χλωρίου.

Η εφαρμογή στεγανωτικών επιστρώσεων και αντιδιαβρωτικών προσμιγμάτων στο σκυρόδεμα, είτε ως τοπικές εφαρμογές, είτε σε όλο το υλικό μπορεί να οδηγήσει σε εξαιρετική αντιδιαβρωτική απόδοση της κατασκευής. Οι τοπικές εφαρμογές πρέπει να επαναλαμβάνονται περιοδικά. Ωστόσο, καμία λύση δε μπορεί να είναι αποτελεσματική εάν το κάλυμμα από σκυρόδεμα έχει ραγίσει. Η χρήση τέτοιων προσμιγμάτων μπορεί επίσης να αυξήσει το αρχικό κόστος, αν και μπορούν να μειώσουν το κόστος κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής, επιπλέον της παροχής περιβαλλοντικών οφελών.

Εφόσον χρησιμοποιείται συμβατικός οπλισμός από χάλυβα σε θαλάσσια τοιχώματα, υπάρχει πάντα η πιθανότητα έναρξης της διάβρωσης, ακόμη και όταν λαμβάνονται κατάλληλα μέτρα μετριασμού της διάβρωσης. Επομένως, η χρήση μη διαβρωτικού οπλισμού, όπως ο ανοξείδωτος χάλυβας, ή το πολυμερές ενισχυμένο με ίνες (FRP) είναι μια ελκυστική εναλλακτική λύση στη χρήση συμβατικών ράβδων από χάλυβα [26]. Τέτοιες ενισχύσεις δε διαβρώνονται και αρχίζουν να χρησιμοποιούνται πιο συχνά σε θαλάσσιες εφαρμογές. Ενώ η χρήση τους θα αυξήσει το αρχικό κόστος, έχει αποδειχθεί σημαντική εξοικονόμηση κόστους κατά τη διάρκεια ζωής.

Από την άλλη πλευρά τα αρνητικά της εν λόγω κατασκευής είναι ότι δεν παρέχεται πλήρης προστασία από την διάβρωση της ακτής , καθώς σε προχωρημένη διάβρωση το υλικό παραλίας που εκρέει έμπροσθεν των κατασκευών αυτών εκθέτει τα θεμέλια των τοιχωμάτων, δημιουργώντας κενά. Αυτά τα κενά που δημιουργούνται στα θεμέλια των τοιχιών, από εκροή υλικού στην βάση της κατασκευής, οδηγούν σε εισχώρηση της θάλασσας εντός του προστατευτικού τοιχείου , με σοβαρά προβλήματα στην στατικότητα της κατασκευής και συνέχιση της διάβρωσης πίσω από το τοιχίο. Επίσης δυο ακόμη σημαντικοί αρνητικοί παράγοντες των κατασκευών αυτών, είναι η μεγάλη φθορά τους κατά την πρόσκρουση των κυμάτων πάνω στις κατασκευές αυτές(δημιουργία ρωγμών και στατικών προβλημάτων), αλλά και το υψηλό κόστος κατασκευής και συντήρησής τους.

3.5 Βραχίονες



Σχήμα 3.12: Σύστημα προβόλων στη Λυγιά Κορινθίας [8]

Με βάση τις παραπάνω επιλογές, στα αντιδιαβρωτικά έργα, συμπεραίνουμε ότι μια από τις οικονομικότερες και μόνιμες αμυντικές κατασκευές, με μακροπρόθεσμα αποτελέσματα, είναι η χρήση προβολικών βραχιόνων για

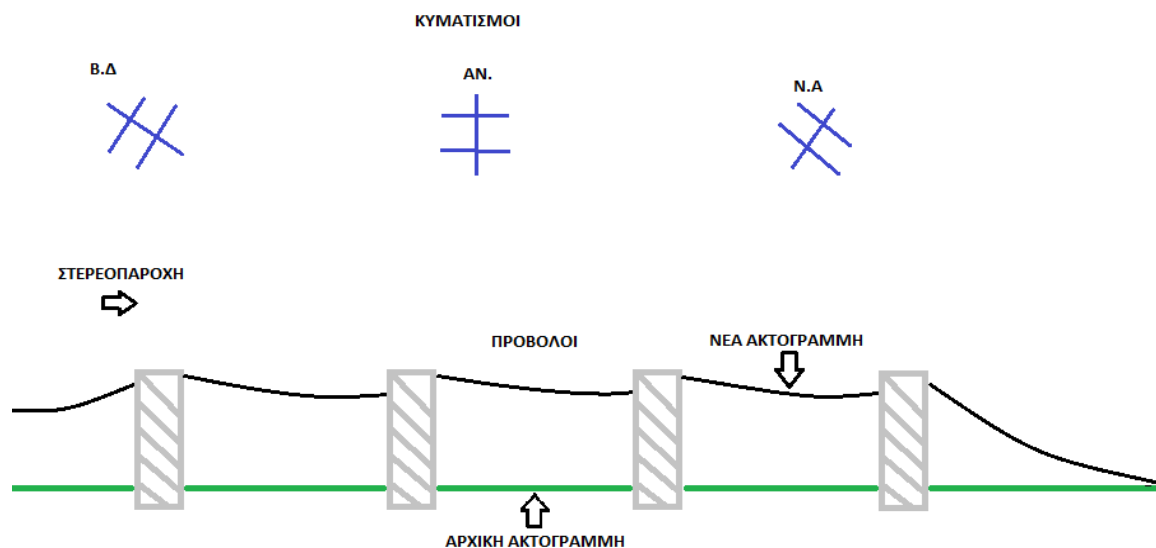
συγκράτηση υλικού παραλίας. Οι βραχίονες, συναντώνται ευρέως στα αμυντικά έργα σε όλον τον κόσμο είτε. Είναι αμυντικές κατασκευές που προσφέρουν εξασφάλιση αποθήκευσης παραλιακού υλικού αναμεσά τους. Η κατασκευή τους μπορεί να γίνει είτε με υλικό πέτρας – βράχων με συντεταγμένη τοποθέτηση είτε σε μορφή από μπετόν. Η συγκράτηση του υλικού αυτού προσφέρει πληθώρα θετικών αποτελεσμάτων για ταλαιπωρημένες παράκτιες περιοχές. Απομάκρυνση της ζώνης θραύσεως των κυμάτων σε παράκτιες κατασκευές και εδάφη, μερική επαναφορά της παραλίας και του παράκτιου οικοσυστήματος, τουριστική και πολιτιστική ανάπτυξη είναι μερικά από τα θετικά αποτελέσματα της εν λόγω αντιδιαβρωτικής πρακτικής.

Οι διαστάσεις και αποστάσεις, μεταξύ των βραχιόνων στις κατασκευές δεν γίνονται αυθαίρετα. Τα επιθυμητά αποτελέσματα εξαρτώνται από τις διατομές των βραχιόνων. Η διεθνής εμπειρία σχεδιασμού των βραχιόνων συνοψίζεται στις παρακάτω υποενότητες.

- Οι βραχίονες πρέπει να κατασκευάζονται όπου κυριαρχεί η στερεομεταφορά, ειδικά το έργο χρήζει ανάγκης με εμπλουτισμό υλικού.
- Το μήκος των βραχιόνων L_g συνήθως εκτείνεται σε όλο το πλάτος της ζώνης θραύσης, ή είναι μικρότερο από αυτό για να επιτραπεί μέρος της στερεομεταφοράς να τους διαπερνά.
- Η απόσταση ανάμεσα στους βραχίονες S_g θα πρέπει να είναι 3-5 φορές το μήκος του, $S_g=(3\sim 5L_g)$ ώστε να ελεγχθεί η διάβρωση ανάμεσά τους. Όσο πιο πλάγια είναι η πρόσπτωση των κυματισμών, τόσο πιο μικρή θα πρέπει να είναι η απόσταση S_g
- Η κατασκευή των βραχιόνων θα πρέπει να ξεκινήσει από τον βραχίονα που βρίσκεται στο τέλος του συστήματος.
- Στα ανοίγματα συνίσταται να γίνει τεχνητή τροφοδότηση με άμμο. Η τροφοδότηση πρέπει να ξεκινήσει αμέσως μετά την κατασκευή τους
- Θα πρέπει να εξασφαλιστεί ένα ελάχιστο πλάτος ακτής, ώστε η τυχόν διάβρωση λόγω εγκάρσιας στερεομεταφοράς να είναι ελεγχόμενη, δηλαδή να μη δημιουργεί προβλήματα σε υποδομές, κατασκευές κ.λπ., εξασφαλίζοντας έτσι την επιτυχία του έργου. Επιπλέον, οι κατασκευές θα πρέπει επεκτείνονται αρκετά μέσα στην αμμώδη παραλία, ώστε να μην κινδυνεύουν οι ίδιες από υποσκαφή και αστοχία όταν θα επέλθει τοπική διάβρωση
- Η στάθμη της στέψης τους θα πρέπει να βρίσκεται περίπου 0,5-1,0 m πάνω από τη στάθμη της θάλασσας (έξαλοι), ώστε να εγκλωβίζεται το παράκτιο κυματογενές ρεύμα κάτω από μέτριες κυματικές συνθήκες [27].

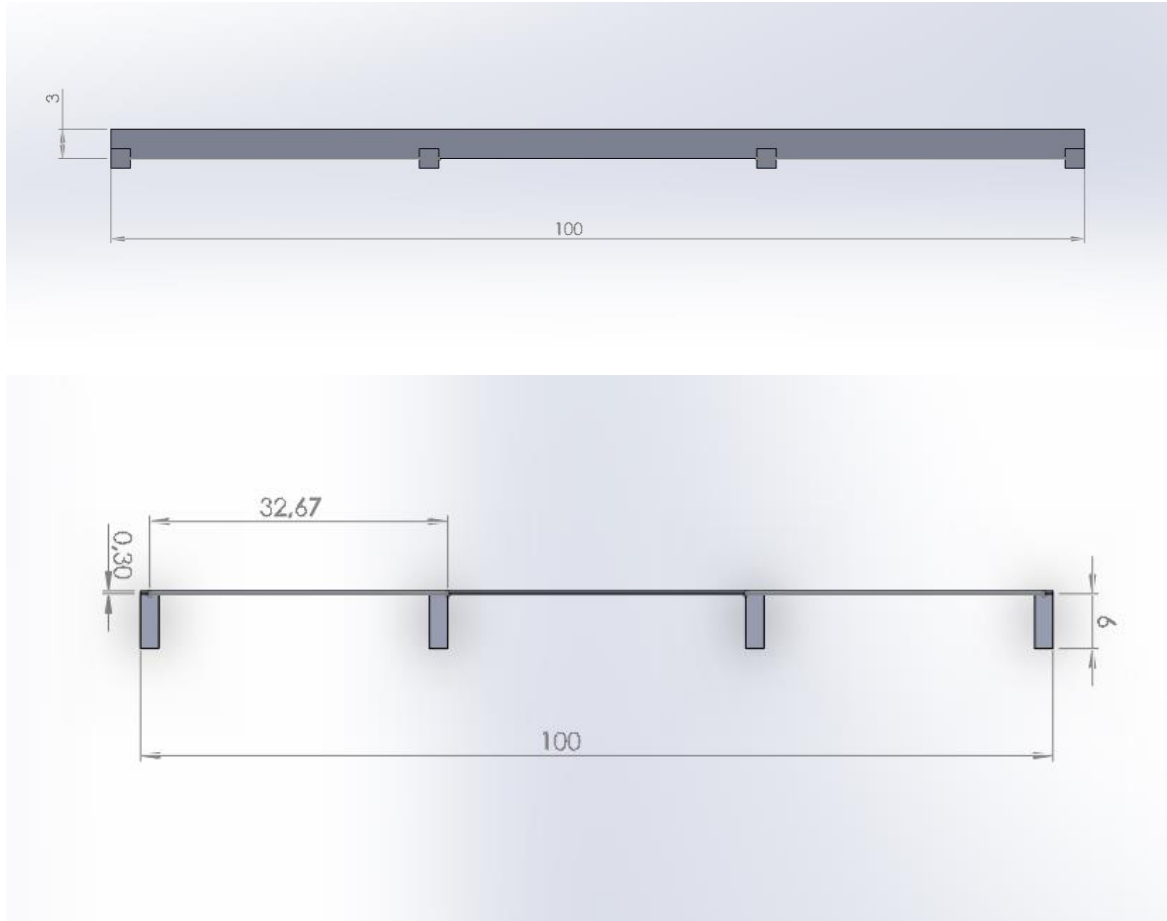
Ο πρόβολος είναι ένα άκαμπτο δομικό στοιχείο που εκτείνεται οριζόντια και στηρίζεται μόνο στο ένα άκρο. Συνήθως εκτείνεται από μια επίπεδη κατακόρυφη επιφάνεια όπως ένας τοίχος, στον οποίο πρέπει να στερεωθεί σταθερά. Όπως και άλλα δομικά στοιχεία, ένας πρόβολος μπορεί να διαμορφωθεί ως δοκός, ή πλάκα.

Όταν υποβάλλεται σε δομικό φορτίο στο μακρινό, χωρίς στήριξη άκρο του, ο πρόβολος μεταφέρει το φορτίο στο στήριγμα όπου ασκεί διατμητική τάση και ροπή κάμψης. Η κατασκευή προβόλου επιτρέπει τις προεξέχουσες κατασκευές χωρίς πρόσθετη στήριξη.



Σχήμα 3.13: Παράδειγμα τοποθέτησης προβόλων

Οι εγκάρσιοι παράκτιοι πρόβολοι, είναι μια από τις βασικότερες αντιδιαβρωτικές κατασκευές, η οποία προσφέρει πλήθος θετικών αποτελεσμάτων. Τα θετικά εφαρμογής, της εν λόγω κατασκευής, είναι η συγκράτηση υλικού παραλίας σε παράκτιες ζώνες, όπου πλήττονται από διαβρωτικά φαινόμενα. Η φύση της κατασκευής είναι αρκετά εύκολη στην εφαρμογή της, και παρέχει αρκετές δυνατότητες χρησιμοποίησης υλικών ως προς την κατασκευή των προβόλων. Οι πρόβολοι μπορούν να κατασκευαστούν από μπετόν η από ογκολίθους τοποθετημένους σε σειρά. Με αυτό τον τρόπο έχουμε αύξηση πλάτους ακτογραμμής και δημιουργία νέας, με μερική επαναφορά της προϋπάρχουσας παραλίας, όπως στην περίπτωση μας, απομάκρυνση της ζώνης θραύσης των κυμάτων από αμυντικές κατασκευές, αλλά και επαναφορά του συνολικού οικοσυστήματος της παράκτιας ζώνης μακροπρόθεσμα.

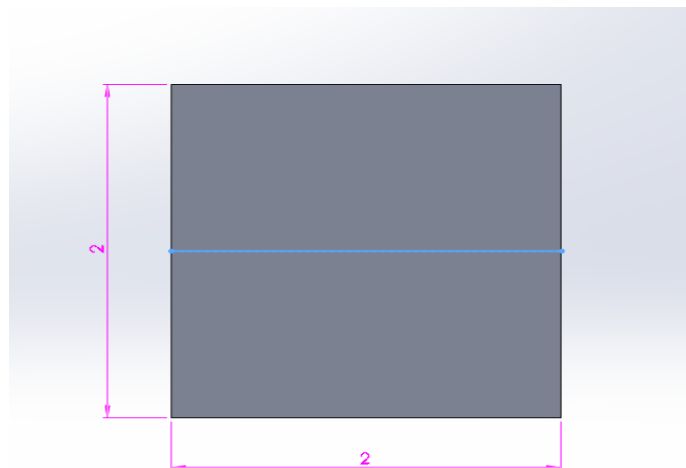


Σχήμα 3.14: Σχέδιο πρόωσης και κάτοψης υπάρχουσας τοιχοποιίας και προβόλων

Στο πρόβλημα της διάβρωσης στην περιοχή του Διακοπτού, έχει απορροφηθεί, όλο το υλικό παραλίας, και πλέον η ζώνη θραύσεως κυμάτων εφάπτεται σε υπάρχουσες κατασκευές, όπου πριν από μερικά χρόνια η θάλασσα ήταν σε απόσταση 25 μέτρων από την στεριά. Θα εφαρμοστεί το συγκεκριμένο αντιδιαβρωτικό έργο των προβόλων, καθώς η μορφολογία της περιοχής, η έκταση του προβλήματος, και το επιθυμητό αποτέλεσμα, συγκλίνουν στην συγκεκριμένη

επιλογή. Το σημείο αναφοράς μας είναι μια υπάρχουσα τοιχοποιία μήκους 100 μέτρων. Έμπροσθεν της τοιχοποιίας, θα τοποθετηθούν οι πρόβολοι, ώστε να δημιουργηθεί πάλι, έστω και σε μικρή κλίμακα, το προφίλ παραλίας που προϋπήρχε με όλα τα προαναφερθέντα θετικά αποτελέσματα. Θα απομακρυνθεί η ζώνη θραύσεως κυματικής ενέργειας από την προϋπάρχουσα κατασκευή και το καταπονημένο παράκτιο μέτωπο

Οι πρόβολοι για την ορθή αποτελεσματικότητά τους, απέναντι στο διαβρωτικό φαινόμενο, θα έχουν αποστάσεις, και διατομές συγκεκριμένες, βάση διεθνών κανόνων. Στο σχήμα 3.15 η τοιχοποιία 100 μέτρων και η τοποθέτηση προβόλων, εγκάρσια στον άξονα της, διατομών: 6 x 2 x 2 (μήκος, πλάτος, ύψος) μέτρων έκαστος. Στο παρακάτω σχήμα 3.16 είναι η πρόσοψη των διαστάσεων των προβόλων. Για την σταθερότητα των κατασκευών, οι πρόβολοι θα τοποθετηθούν 1 μέτρο κάτω από την επιφάνεια της διαβρωμένης ακτής ενώ ο μισός πρόβολος θα βρίσκεται στο νερό κατά το ήμισυ του ύψους του δηλαδή. Οι ακριβείς αποστάσεις και οι διατομές των προβόλων, θα μας επιφέρουν το επιθυμητό αποτέλεσμα, δημιουργίας, νέου προφίλ παραλίας από 3.5 έως 5 μέτρα πλάτους ακτής.



Σχήμα 3.15: Σχέδιο διατομών προβόλων

Στην συγκεκριμένη περίπτωση, εξαιτίας της βεβιασμένης διάβρωσης, το υλικό παραλίας δεν υπάρχει, και η φυσική αναπλήρωσή του, θα διαρκέσει αρκετό χρονικό διάστημα. Οπότε, το έργο χρήζει εμπλουτισμού υλικού παραλίας με τεχνικά μέσα, ώστε το αποτέλεσμα να είναι άμεσο.

Τα υλικά με τα οποία θα γίνει ο εμπλουτισμός της ακτής που θα δημιουργηθεί, μεταξύ των προβόλων, θα είναι διαφορετικών ειδών για δημιουργία προφίλ παραλίας, ίδιου με το προϋπάρχον, σεβόμενοι το συνολικό οικοσύστημα της παραλίας άρα και την περιβαλλοντική ταυτότητα της. Το πρώτο στρώμα θα είναι πέτρα μεσαίου μεγέθους (κροκάλα) για βάση, κάτι που προσφέρει σταθερότητα

στον όγκο της παραλίας. Το μεσαίο στρώμα θα είναι ψιλό χαλίκι ίδιο με το χαλίκι που προϋπήρχε , ενώ το τελευταίο στρώμα η επιφάνεια της παραλίας, θα είναι ψιλή άμμος.

Οι τοίχοι αντιστήριξης διατίθενται σε όλους τους τύπους, σχήματα και μεγέθη από απλούς τοίχους βαρύτητας έως τοίχους με διάτρηση για υπόγεια και τοίχους από ενισχυμένο έδαφος με χρήση γεωπλέγματος, για να ταιριάζουν σε ένα ευρύ φάσμα των αναγκών του έργου και των συνθηκών του χώρου.

Οι πρόβολοι, κατασκευάζονται με χρήση οπλισμένου σκυροδέματος, με θεμέλιο σχήματος L, ή ανεστραμμένου σχήματος T. Οι πρόβολοι λειτουργούν και σαν βοηθητική αντιστήριξη σε υπάρχουσες κατασκευές, όπως στην περίπτωση μας. Το θεμέλιο σχήματος L, αποτελείται από ένα στέλεχος και μια πλάκα βάσης (ή βάση). Η κατακόρυφη τάση πίσω από τον τοίχο μεταφέρεται στη βάση, αποτρέποντας την ανατροπή λόγω πλευρικής πίεσης από την ίδια τη μάζα του εδάφους, επιτρέποντας στους τοίχους του προβόλου να στέκονται ανεμπόδιστα.

Επιπλέον, μια βάση σε σχήμα T επωφελείται από το βάρος του εδάφους (και επομένως την κατακόρυφη τάση) μπροστά από τον τοίχο, παρέχοντας περαιτέρω σταθερότητα στη δομή αντιστήριξης. Τα θεμέλια μερικές φορές περιλαμβάνουν ένα επιπρόσθετο τμήμα στη βάση τους, το οποίο κολλάει στο έδαφος για να αποτρέψει την αστοχία της ολίσθησης.

Ένα μεγάλο πλεονέκτημα των προβολικών κατασκευών, σε σύγκριση με άλλους τύπους τοίχων αντιστήριξης, είναι ότι καταλαμβάνουν λίγο χώρο μόλις κατασκευαστούν και είναι κατάλληλοι για συγκρατημένα ύψη έως 5 μέτρα παραλιακού υλικού.

3.6 Παράκτια προσαρμογή

Η προσαρμογή στις παράκτιες περιοχές, με τέτοιου είδους προβλήματα, περιλαμβάνει όλα τα προαναφερθέντα μέτρα για την μελλοντική και ασφαλή διαβίωση της ανθρωπότητας στις εν λόγω περιοχές. Ωστόσο, ενώ αναγνωρίζονται τα πλεονεκτήματα της χρήσης ελαφριών και σκληρών άμυνων βραχυπρόθεσμα έως μεσοπρόθεσμα, υπάρχει πάντα ο κίνδυνος μετεγκατάστασης η ακόμα και εσωτερικής μετανάστευσης, ως έσχατη λύση σε περιπτώσεις αδρανείας κρατικών μηχανισμών, μεσοπρόθεσμα έως μακροπρόθεσμα. Ωστόσο, τα παράκτια αστικά περιβάλλοντα είναι στατιστικά τα πιο ανεπτυγμένα στον κόσμο, και πρόκειται για χωρικά συνδεδεμένους και αλληλοεξαρτώμενους χώρους ειδικά στις σύγχρονες κοινωνίες. Το εμπόριο, η βιομηχανία, οι υπηρεσίες, οι κατοικίες και οι χώροι αναψυχής, αυξάνονται συστηματικά, αναλογουμένοι τα οφέλη των παράκτιων

περιοχών. Εκτός από την αναστάτωση και ανυπολόγιστες συνέπειες που μπορεί να προκαλέσουν τέτοιες αλλαγές, οι μετεγκαταστάσεις είναι επίσης δαπανηρές αποφάσεις, σε σύγκριση με την προστασία των παράκτιων περιοχών από τον άνθρωπο, οπότε η προστασία είναι μονόδρομος.

Ένα πρόβλημα της τρέχουσας και μελλοντικής αστικοποίησης, σε μια εποχή όπου το κλίμα αλλάζει, η στάθμη της θάλασσας ανεβαίνει και η διάβρωση ολοένα και αυξάνεται, σχετίζεται με τις περιπτώσεις, που μπορούν να βρισκονται, ή βρίσκονται ήδη σε περιοχές που επηρεάζονται από παράκτιους κινδύνους, επιδεινώνοντας έτσι την τρωτότητά τους. Για το λόγο αυτό, η μόνη προφανής προσαρμοστική στρατηγική, είναι η μακροπρόθεσμη πρόβλεψη των επιπτώσεων αυτών, σε όλα τα μέρη του κόσμου, ώστε οι χώρες και οι κοινωνίες να γνωρίζουν και να πράττουν αναλόγως τις εκάστοτε περιπτώσεις.

Τέτοια μέτρα για παράδειγμα εφαρμόζονται επί του παρόντος στα 775 μίλια της ακτογραμμής του Ηνωμένου Βασιλείου που διαχειρίζεται το «National Trust».

Οι χαμηλές παράκτιες περιοχές και οι λιμενικές πόλεις αναμένεται να επηρεαστούν περισσότερο σε όλο τον κόσμο, λόγω της ανόδου των θαλασσών και των παράκτιων κινδύνων τους επόμενους αιώνες. Οι πλούσιες βιομηχανικές χώρες αναμένεται να είναι σε θέση να αμυνθούν από τέτοιες απειλές.

Οι δομές παράκτιας προστασίας πληθαίνουν ως αποτέλεσμα της διάβρωσης, της ανόδου στάθμης της θάλασσας και των θυελλωδών συνθηκών της. Με τη συνειδητοποίηση ότι οι περισσότερες παράκτιες υποδομές δε μπορούν να χαθούν, ή να αφαιρεθούν, απαιτείται έρευνα σχετικά με τους τρόπους που οι κατασκευές παράκτιας προστασίας μπορούν να κατασκευαστούν για να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις μηχανικής, παρέχοντας παράλληλα σχετικές υπηρεσίες οικοσυστήματος. Αυτή η προσέγγιση απαιτεί κατανόηση των τύπων των συναρμολογήσεων και των λειτουργικών τους ρόλων που είναι επιθυμητοί και εφικτοί σε αυτά τα νέα οικοσυστήματα.

Η εγγενής βιοποικιλότητα θα μπορούσε να δημιουργηθεί στις αμυντικές δομές μέσω διαφόρων παρεμβάσεων: τεχνητοί βράχοι, λάκκοι και χαραμάδες σε κυματοθραύστες. Οι απλές μέθοδοι βελτίωσης μπορούν να είναι οικονομικά αποδοτικές για τη διαχείριση της τοπικής βιοποικιλότητας. Απαιτείται προσοχή, ωστόσο, στη χονδρική υλοποίηση των συστάσεων χωρίς πλήρη εξέταση των επιθυμητών αποτελεσμάτων και των συνολικών στόχων διαχείρισης [28].

4. ΥΛΙΚΑ ΑΝΤΙΔΙΑΒΡΩΤΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ (ΥΛΙΚΑ – ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ – ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ)

Οι μηχανικές αντοχές των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν για τις ανάγκες των κατασκευών, πρέπει να είναι αρκετά υψηλές. Αρχικά τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν, ή οι προσμίξεις σε αυτά, θα πρέπει να δώσουν το υδατοστεγές χαρακτηριστικό. Η χρήση υδατοστεγών υλικών στις κατασκευές, ειδικά στο διαβρωτικό και επί μονίμου βάσεως υδάτινο περιβάλλον καθιστά αναγκαία τη στεγανοποίηση των κατασκευών από υγρασία και διάβρωση ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη διάρκεια ζωής των κατασκευών. Εδώ θα συνεισφέρει η επιστήμη τεχνολογίας των υλικών.

4.1 Εισαγωγικά στοιχεία για την κατασκευή

Οι επεμβάσεις που θα πρέπει να γίνουν στις υπάρχουσες κατασκευές, (τοιχίο) αποτελούν το επίχρισμα της κατασκευής μας. Η κατασκευή των εν λόγω πρόβολων θα γίνει με ενισχυμένο μπετόν τύπου C30/37 ή και C35/45. Το συγκεκριμένο μπετόν, είναι υψηλής απόδοσης και χρόνου ζωής απέναντι στο διαβρωτικό περιβάλλον όπου θα εφαρμοστεί, αλλά θα χρειαστούμε και επιπλέον υλικά με βελτιστοποιημένες μηχανικές ιδιότητες .

Σήμερα με την ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας έχουν δημιουργηθεί σύνθετα υλικά με αυξημένες και βελτιωμένες αντοχές στις δύσκολες συνθήκες εφαρμογής τους, με σχεδόν άριστα αποτελέσματα. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα στο θαλάσσιο-παραθαλάσσιο περιβάλλον όπου η διάβρωση των υλικών είναι σχεδόν 50% ταχύτερη απ' ότι στις υπόλοιπες περιοχές μεγάλης απόστασης από την θάλασσα και το αστικό περιβάλλον. Οι κατασκευές στην παράκτια ζώνη, δοκιμάζονται στο μέγιστο των ορίων τους.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν τα παρακάτω:

- **Οξείδωση μεταλλικών κατασκευών:** Συγκεκριμένα με μεγάλη επιτάχυνση λόγω διαβρωτικών ιόντων από τα θαλάσσια άλατα. Αυτό μειώνει δραστικά το χρόνο αντοχής της κατασκευής, και οδηγεί σε αποσύνθεση τις κατασκευές.
- **Διάβρωση των κατασκευών από σκυρόδεμα** σε απευθείας επαφή με θαλασσινό νερό: Οφείλεται στη στιγμιαία πρόσκρουση κυματικής ενέργειας σε συνδυασμό μεταφοράς και εκτόξευσης αδρανούς υλικού παραλίας (άμμου

θαλάσσης, χαλίκια, πέτρες, κροκάλα) πάνω στην κατασκευή, με αποτέλεσμα την αλλοίωση της επιφάνειας της, τη δημιουργία ρηγμάτων στο υλικό αλλά και στατικά προβλήματα που μπορεί να δημιουργηθούν από την ενέργεια πρόσκρουσης των κυμάτων πάνω σε αυτή.



Σχήμα 4.1: Φωτογραφία τοιχώματος

Από το Σχήμα 4.1: **Φωτογραφία τοιχώματος** παρατηρείται η επίδραση της διάβρωσης στην υπάρχουσα τοιχοποιία αναφοράς μας, πάνω σε υλικό πλίθας από μπετόν στο οποίο είχε εφαρμοστεί επίχρισμα δυο στρωμάτων κονιάματος. Το κονίαμα αποτελούνταν από ασβέστη, λευκό τσιμέντο, μαρμαρόσκονη και ποταμίσις άμμο. Το αποτέλεσμα από τη χρήση των παραπάνω υλικών στην επαφή με τη θάλασσα ήταν το συγκεκριμένο επίχρισμα να χάσει την αντοχή του και σε συνδυασμό με την «φυσική αμμοβολή» που δεχόταν, με αποτέλεσμα να φθαρεί και να μείνει η επιφάνεια των τσιμεντόλιθων εκτεθειμένη στις καιρικές συνθήκες.

Θα γίνει περεταίρω επικέντρωση στη μεγιστοποίηση και βελτιστοποίηση των τεχνικών χαρακτηριστικών των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν σε αυτή την περίπτωση.

Η σύσταση του σκυροδέματος για επίχρισμα στα έργα πρέπει να είναι εντός των πλαισίων που θέτει ο ΕΛΟΤ 408 και ΚΤΣ-97. Σύμφωνα με τον ΚΤΣ-97: Άμμος φυσική-συλλεκτή ονομάζεται το κλάσμα φυσικής απόθεσης το οποίο διέρχεται από το κόσκινο 8 ή το 3/8'' σε ποσοστό 100% και από το κόσκινο Νο 4 σε ποσοστό τουλάχιστον του 95%. Σύμφωνα με το ΕΛΟΤ EN12620: Άμμος (fine aggregates) ονομάζεται το κλάσμα με μέγιστο κόκκο (D) ≤ 4 mm.

Αρχικά ως αδρανή υλικά ονομάζονται τα λίθινα υλικά που δεν επιφέρουν χημικές μεταβολές στις σύνθετες τεχνητές ύλες των οποίων αποτελούν συστατικά. Τα αδρανή προέρχονται από εξόρυξη κατάλληλων πετρωμάτων ή και την ανάληψή τους από φυσικές εναποθέσεις των θραυσμάτων τους. Επίσης πρόσφατα χρησιμοποιούνται τεχνητά αδρανή που προέρχονται από επεξεργασία βιομηχανικών προϊόντων (συνθετικά).

Στο πρότυπο ΕΛΟΤ EN12620 περιλαμβάνονται πλην των φυσικών αδρανών επιπλέον τα τεχνητά αδρανή καθώς και τα ανακυκλωμένα για την παραγωγή σκυροδεμάτων. Επιπλέον δίνεται η δυνατότητα χρήσης ανάμικτου υλικού 0/8 καθώς και filler με αντίστοιχες ποιοτικές απαιτήσεις [29].

Εκτός από την χρήση τους στην παρασκευή σκυροδέματος τα αδρανή χρησιμοποιούνται στα επιχρίσματα, στην οδοποιία, στους σιδηροδρόμους και σε πολλές βιομηχανίες σαν πρώτη ύλη (τσιμέντο, ασβέστης) ή σαν προσθετικά (χαρτοποιία-ελαστικά).

Στον Ελλαδικό χώρο τα αποθέματα των πετρωμάτων που είναι κατάλληλα για την παραγωγή αδρανών υλικών είναι απεριορίστα και ο αριθμός των λατομείων που βρίσκονται σε λειτουργία υπερβαίνει τα 230.

Στα σκυροδέματα όπου η συμμετοχή των αδρανών καταλαμβάνει το 75-80% της μάζας τους, ο ρόλος τους στην δημιουργία ενός ανθεκτικού και συνεκτικού ιστού που θα παραλάβει τα φορτία της κατασκευής αλλά και θα αντέξει στις φυσικοχημικές επιδράσεις του περιβάλλοντος είναι καθοριστικός.

4.2 Ανίχνευση διάβρωσης οπλισμού

Το οπλισμένο σκυρόδεμα είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο υλικό στον κόσμο, όσον αφορά τις κατασκευές. Παρέχει προστασία στον εγκιβωτισμένο χάλυβα, κυρίως από τις αλκαλικές ουσίες και έχει τη δυνατότητα να αντέχει στο

χρόνο και στις υψηλές τάσεις, που προκύπτουν σε δυσμενή περιβάλλοντα. Παρ' όλ' αυτά, είναι αρκετά ευάλωτο σε παράκτια περιβάλλοντα, εξαιτίας των προσβολών ιόντων χλωρίου και της ενανθράκωσης και του προκαλούν υποβάθμιση [30]. Πρέπει να αναφερθεί ότι το απλό τσιμέντο, δηλαδή δίχως την ενίσχυση από χάλυβα, στα παράκτια περιβάλλοντα είναι γενικά σταθερό και ανθεκτικό. Όταν όμως προστίθεται η χαλύβδινη ενίσχυση, τίθεται ένα μεγάλο θέμα της αντοχής, λόγω του κινδύνου διάβρωσης της ενίσχυσης. Οι βασικοί παράγοντες που την προκαλούν, είναι η υψηλή περιεκτικότητα του θαλασσινού νερού σε χλώριο καθώς και το οξυγόνο της θάλασσας, ειδικά σε σημεία που υπόκεινται σε πιτσιλίσματα και σε διαρκή ψεκασμό. Κάποιοι επιπλέον λόγοι που συμβάλλουν στην επιδεινωμένη διάβρωση των ακτών είναι η χλωρίδα και η πανίδα της θάλασσας, η βακτηριολογική δραστηριότητα και τέλος τα βακτήρια όπου μειώνουν την ύπαρξη θειικών ενώσεων υπό αναερόβιες συνθήκες.

Η ευρωκανονική κατηγοριοποίηση των ποικίλων περιβαλλόντων δίνονται σε πρότυπο BSI (British Standard Institution), όπου ορίζει μια σειρά από κατηγορίες έκθεσης για τα τυπικά περιβάλλοντα που υπάρχουν κατασκευές από σκυρόδεμα. Οι κατηγορίες αυτές διακρίνονται ως εξής: κανένας κίνδυνος διάβρωσης (X0), διάβρωση λόγω ενανθράκωσης (XC), διάβρωση λόγω χλωρίου (XD, XS), προσβολή κατάψυξης/απόψυξης (XF) και χημική επίθεση (XA). Για κατασκευές των παραθαλάσσιων περιοχών που υπόκεινται σε διάβρωση λόγω του χλωρίου που υπάρχει στο θαλασσινό νερό, αναφερόμαστε σε διάβρωση κλάσης XS, εξαιρουμένης της δυνατότητας παγώματος-απόψυξης σε ψυχρά κλίματα, όπου αυτό σημαίνει ότι η κλάση XF είναι αρκετά πιθανή. Όσον αφορά τη κλάση διάβρωσης XS σε θαλάσσιο περιβάλλον, αναλύεται σε 4 περαιτέρω κλάσεις περιβαλλοντικής έκθεσης ως εξής: υποκλάση XS1, για έκθεση με αερομεταφερόμενο άλας και όχι άμεση επαφή με το θαλασσινό νερό, υποκλάση XS2, για μόνιμη έκθεση (μονίμως βυθισμένο στο νερό), υποκλάση XS2/3, για συχνή έκθεση (κύματα) και τέλος υποκλάση XS3 για σποραδική έκθεση (ψεκασμός που προέρχεται από τα κύματα, πιτσιλίσμα).

Από την άποψη της βιωσιμότητας, η ανίχνευση και η προστασία των κατασκευών από σκυρόδεμα από τη διάβρωση είναι ένας τρόπος εξοικονόμησης πόρων μέσω της αύξησης του κύκλου ζωής των κατασκευών από σκυρόδεμα. Παρά τη σημασία του ζητήματος, υπάρχουν λίγες μελέτες που προτείνουν ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο για την αύξηση της διάρκειας ζωής των κατασκευών από σκυρόδεμα.

Οι βασικοί παράγοντες που οδηγούν σε διάβρωση του οπλισμένου σκυροδέματος στα παράκτια περιβάλλοντα συνοψίζονται ως εξής:

- **Εισβολή χλωρίου και θειικών ιόντων μέσω διάχυσης** ή άλλων μηχανισμών διείσδυσης. Αξίζει να σημειωθεί, ότι αν και έχει παρατηρηθεί ότι ο συνδυασμός των ιόντων χλωρίου και των θειικών αλάτων προκαλεί διάβρωση, κανένα πείραμα δεν έχει αποκαλύψει τον μηχανισμό δράσης των δύο αυτών ιόντων ακόμη.
- **Το ανεπαρκές βάθος κάλυψης της προστασίας του χαλύβδινου οπλισμού**, ή το υπερβολικά πορώδες και κακώς συμπιεσμένο σκυρόδεμα, αυξάνουν τον κίνδυνο εισβολής. Ο χαλύβδινος οπλισμός θα διαβρωθεί άμεσα υπό την ύπαρξη οξυγόνου και υγρασίας.
- **Η μόλυνση από ορυκτά αδρανών υλικών**, τσιμέντου ή νερού κατά τη διάρκεια της κατασκευής, οδηγεί σε υποβάθμιση του σκυροδέματος. Γενικώς έχουν αναφερθεί σοβαρότατα επίπεδα ζημιάς, όπου χρησιμοποιήθηκε θαλασσινό νερό στη κατασκευή.
- **Η ενανθράκωση**, η οποία είναι η χημική αντίδραση μεταξύ του διοξειδίου του άνθρακα και προϊόντων που προκαλούν ενυδάτωση στο τσιμέντο, όπως το υδροξείδιο του ασβεστίου και το ένυδρου πυριτικού ασβεστίου σε μορφή γέλης, που οδηγεί στο σχηματισμό ανθρακικού ασβεστίου, με αποτέλεσμα να μειώνεται το pH του σκυροδέματος. Μέσω της ενανθράκωσης, προκαλείται η αποπαθητικοποίηση του χάλυβα και του μολυβδου, σε μια κατάσταση όπου προκαλείται η διάβρωση εντός των στοιχείων του σκυροδέματος.

Η διάβρωση και η υποβάθμιση του οπλισμένου σκυροδέματος προέρχεται ως αποτέλεσμα από οποιονδήποτε από τους παραπάνω λόγους. Ωστόσο, στα παράκτια περιβάλλοντα, η πιο κοινή αιτία που υποβαθμίζει τη ποιότητα του σκυροδέματος είναι η εισροή ιόντων χλωρίου. Η εισροή χλωρίου γίνεται με ρυθμό 3-5mm το χρόνο, ενώ η ανθράκωση συμβαίνει με ρυθμό μόλις 0,05mm ετησίως. Ακόμα και έτσι, η ανθράκωση είναι αυτή που προκαλεί τη μεγαλύτερη ζημία στο σκυρόδεμα, καθιστώντας έτσι το διοξείδιο του άνθρακα ως τη πιο ισχυρή διαβρωτική ένωση. Σε ξηρά κλίματα και σε κλίματα με συνεχείς ανέμους πρέπει να σημειωθεί ότι οι επιδράσεις της διάβρωσης είναι πιο εκτεταμένες. Απαιτείται επομένως μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση της διάβρωσης στις κατασκευές, λαμβάνοντας υπόψη τόσο την εισροή ιόντων χλωρίου όσο και τις περιπτώσεις ενανθράκωσης [31].

Οι ράβδοι οπλισμού που τοποθετούνται στο σκυρόδεμα, είναι εξαιρετικά αλκαλικής φύσης και παρουσιάζουν ένα λεπτό στρώμα παθητικού οξειδίου στην επιφάνεια, το οποίο προστατεύει τον οπλισμό από τη διάβρωση. Η αλκαλικότητα καθώς και το στρώμα οξειδίου προκύπτουν από τον σχηματισμό ιόντων υδροξειδίου, που παράγονται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ενυδάτωσης του τσιμέντου. Στη συνέχεια όμως το στρώμα οξειδίου θα εξουδετερωθεί, λόγω των

ιόντων χλωρίου που εισέρχονται στις ράβδους οπλισμού, μειώνοντας έτσι τη τιμή του pH.

Η διαδικασία έχει ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση των χαλύβδινων ράβδων, πολλαπλασιάζοντας τις ρωγμές και τελικά επηρεάζει την αντοχή του σκυροδέματος. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι ακόμη και με μη ανθρακούχο σκυρόδεμα μπορεί να προκληθεί διάβρωση με διάτρηση. Η θραύση θα σχηματίσει ένα ηλεκτροχημικό στοιχείο παρουσία οξυγόνου και υγρασίας. Το σκυρόδεμα θα λειτουργήσει ως ηλεκτρολύτης στο στοιχείο, ενώ οι ράβδοι οπλισμού από χάλυβα θα μεταδώσουν τα ηλεκτρόνια από την άνοδο στην κάθοδο, ολοκληρώνοντας έτσι το κύκλωμα του στοιχείου. Το οξυγόνο καταναλώνεται στην κάθοδο, η οποία απελευθερώνει ιόντα υδροξειδίου, αυξάνοντας την τοπική αλκαλικότητα. Αυτή η αύξηση θα σχηματίσει σκουριά (οξειδίο του σιδήρου) μαζί με οξύ στην ανοδική θέση. Η σκουριά διαστέλλεται σταδιακά, με αποτέλεσμα να παρουσιαστούν υψηλές τάσεις και δημιουργηθούν τέσσερα φαινόμενα που συνδυάζονται με βάση τη κλίμακα και το στάδιο της διάβρωσης:

- Εμφάνιση διαμήκων ρωγμών στο κάλυμμα σκυροδέματος.
- Μείωση της διατομής του χάλυβα λόγω παρουσίας αυξημένης σκουριάς.
- Υποβάθμιση του δεσμού μεταξύ του σκυροδέματος και του χάλυβα, μειώνοντας σημαντικά τη διάρκεια ζωής και τη φέρουσα ικανότητα του.
- Αύξηση της τάσης συνάφειας λόγω της ακτινικής πίεσης που προκαλείται από τη διόγκωση των προϊόντων διάβρωσης και την αυξημένη τραχύτητα της ράβδου οπλισμού κατά τα πρώτα στάδια διάβρωσης και σε δεύτερο στάδιο, καθώς συνεχίζεται η διαδικασία διάβρωσης, μείωση της τάσης συνάφειας.

Αναλυτικότερα, όσον αφορά την ενανθράκωση, είναι η διαδικασία κατά την οποία το ατμοσφαιρικό διοξείδιο του άνθρακα αντιδρά με την ενυδατωμένη πάστα τσιμέντου, με αποτέλεσμα να εξουδετερωθεί η αλκαλικότητα του σκυροδέματος. Αν και υπάρχουν και άλλα αέρια με την ίδια ικανότητα, όπως το διοξείδιο του θείου, τα αποτελέσματά τους είναι περιορισμένα σε σύγκριση με το διοξείδιο του άνθρακα. Η παρουσία ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα είναι ο κύριος λόγος που οδηγεί σε αυξημένα ποσοστά ενανθράκωσης, η οποία εντείνεται ιδιαίτερα υπό παράκτιες συνθήκες ανέμου και υγρασίας.

Όταν η ενανθράκωση φτάνει μέχρι τον χάλυβα, η αλκαλικότητα του διαλύματος των πόρων εξουδετερώνεται και τα προϊόντα ενυδάτωσης διαλύονται. Αυτό καταστρέφει το προστατευτικό στρώμα στις ράβδους χάλυβα, εκθέτοντας τον χάλυβα στην ατμόσφαιρα, η οποία, παρουσία επαρκούς υγρασίας και οξυγόνου, οδηγεί σε σημαντική διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού. Η προκύπτουσα ενανθράκωση δημιουργεί δύο περιοχές – άνοδος και κάθοδος: άνοδος όπου διαλύεται ο χάλυβας και μια κάθοδος όπου σχηματίζονται ιόντα υδροξειδίου. Η

ενανθράκωση μειώνει το pH του σκυροδέματος σε περίπου 8, ενώ το προστατευτικό στρώμα οξειδίου του σιδήρου στο σκυρόδεμα έχει ανάγκη ένα ελάχιστο pH μεταξύ 12 και 14. Άρα έχει ως αποτέλεσμα τη περαιτέρω αποπασθητικότητα του χάλυβα και ως εκ τούτου τη διάβρωση του.

Οι κύριοι παράγοντες που οδηγούν στη διάβρωση που προκαλείται από την ενανθράκωση είναι η υγρασία, το πορώδες του σκυροδέματος και η βροχή. Στις προστατευμένες περιοχές, ο συντελεστής ενανθράκωσης είναι υψηλός, ενώ για μη προστατευμένες περιοχές είναι χαμηλός.

Η φθορά των κατασκευών από σκυρόδεμα θέτει σε κίνδυνο τη δομική απόδοση. Τα αυξανόμενα κρούσματα υποβαθμισμένων συστημάτων υποδομής σε όλο τον κόσμο έχουν καταστήσει αναγκαία τη δοκιμή δειγμάτων σκυροδέματος προκειμένου να παρακολουθείται και να μελετάται η διάρκεια ζωής των δομών που κινδυνεύουν. Γενικώς αυτές οι δοκιμές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: σε καταστροφικές μέθοδοι δοκιμών (DTs) και σε μη (NDTs). Οι καταστροφικές μέθοδοι προκαλούν ελαφριά ζημιά στο δοκίμιο ενώ η μη-καταστροφικές το διατηρούν ανέπαφο.

Οι κύριοι στόχοι των δοκιμών αυτών είναι:

Προσδιορισμός της αιτίας της διάβρωσης

Δοκιμές, όπως η αντοχή σε θλίψη, το πάχος του καλύμματος και το μέτρο ελαστικότητας, παρέχουν πληροφορίες για τον προσδιορισμό της ποιότητας του σκυροδέματος σε μια κατασκευή. Τα αποτελέσματα των δοκιμών αυτών, προσδιορίζουν τη διάβρωση λόγω κακής συντήρησης ή κατασκευής. Σε τέτοιες περιπτώσεις, χρειάζεται μόνο μεμονωμένη επισκευή, κάτι που καθιστά τις ακριβές τεχνικές αναζωογόνησης περιττές.

Προσδιορισμός των προβληματικών περιοχών

Για τα κτίρια που χρησιμοποιούνται διαρκώς, η γεώτρηση σε συγκεκριμένες περιοχές είναι αδύνατη. Επομένως, οι μη καταστροφικές μέθοδοι μπορούν να εφαρμοστούν για να προσδιοριστεί η έκταση της διάβρωσης. Επιπροσθέτως, τα δείγματα μπορούν να εξαχθούν ανά πάσα στιγμή, έτσι ώστε να μπορεί να εκτιμηθεί η ανθεκτικότητά τους.

Ανάλυση απόδοσης τεχνικών που εισήχθησαν πρόσφατα υπό συνθήκες έκθεσης

Όταν εισάγονται για πρώτη φορά καινοτόμες λύσεις για τη φθορά του σκυροδέματος, όπως για παράδειγμα οι επιστρώσεις με μακροπρόθεσμη

απόδοση, οι σύνθετες ράβδοι ενίσχυσης και το σύνθετο τσιμέντο, θα πρέπει να ελέγχονται και να αξιολογούνται κατάλληλα και διεξοδικά πριν από την εφαρμογή τους σε κατασκευαστικά έργα.

Διερεύνηση ρωγμών

Το ραγισμένο σκυρόδεμα, σε θαλάσσια περιβάλλοντα, παρουσιάζει μια αρκετά ασυνήθιστη δραστηριότητα, όπου οι μικρότερες ρωγμές επουλώνονται σταδιακά λόγω της εναπόθεσης ετρινγκίτη, ασβεστίτη και βρουκίτη στις περιοχές της ρωγμής. Αυτό δεν εξαρτάται από τον τύπο του τσιμέντου και μειώνει σημαντικά το ρυθμό διάβρωσης.

Πρόβλεψη της υπολειπόμενης ζωής των κατασκευών από σκυρόδεμα

Αυτές οι δοκιμές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της υπολειπόμενης διάρκειας ζωής της κατασκευής συγκρίνοντας τα ληφθέντα αποτελέσματα με τις προσδοκίες των προτύπων.

4.3 Ποιοτικά χαρακτηριστικά

Οι απαιτήσεις του ΕΛΟΤ 408 και του ΚΤΣ-97 υπαγορεύουν την καταλληλότητα των αδρανών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή σκυροδέματος, ενώ το πρότυπο ΕΛΟΤ EN12620 καθορίζει την καταλληλότητα των αδρανών σύμφωνα με τις Ευρωπαϊκές Προδιαγραφές [32]. Η πιο σημαντική διάκριση μεταξύ των Ευρωπαϊκών και των Ελληνικών Προδιαγραφών είναι ότι οι πρώτες ορίζουν τομείς κριτηρίων που πρέπει να πληρούνται για τις περισσότερες φυσικές απαιτήσεις, ενώ οι δεύτερες θέτουν ξεκάθαρα όρια, όπως το εύρος τιμών για το Λος Άντζελες από 15 έως 50 και το εύρος τιμών για αντοχή σε τριβή και φθορά από 18 έως 32%.

Οι ιδιότητες που πρέπει να πληρούν ελέγχονται ως προς τα εξής χαρακτηριστικά:

- Η συνολική επιφάνεια των αδρανών, το μέγεθος των κόκκων και το σχήμα του κόκκου είναι όλα παραδείγματα **γεωμετρικών παραγόντων** που μπορούν να επηρεάσουν τη σύνθεση του σκυροδέματος και την αντλησιμότητα του. Το μέγεθος του κόκκου, που συμβολίζεται με το γράμμα d , είναι ευθέως ανάλογο με τη μικρότερη διάσταση, που συμβολίζεται με το γράμμα d , του δομικού στοιχείου που θα χρησιμοποιηθεί στο σκυρόδεμα. Οι κόκκοι μπορούν να ταξινομηθούν ως σφαιρικοί, γωνιακοί, επιμήκεις σαν πλάκες ή κυβικοί, ανάλογα με το σχήμα που

παίρνουν. Για χρήση στο σκυρόδεμα, το πρότυπο ΕΛΟΤ 408 ορίζει ότι το μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό κόκκων με αναλογία μεγαλύτερης προς μικρότερη διάσταση 3:1 δεν πρέπει να υπερβαίνει το πενήντα τοις εκατό. Στο πρότυπο ΕΛΟΤ Ν12620, δεν υπάρχει καθορισμένο όριο όπως στο πρότυπο Κ.Τ.Σ.'97. Αντίθετα, το σύνολο χαρακτηρίζεται σύμφωνα με τις γεωμετρικές ιδιότητες που διαθέτει. Με τη βοήθεια ενός συστήματος κατηγοριοποίησης που έχει όρια που κυμαίνονται από 0 έως 50% και 0 έως 55% αντίστοιχα για τις δύο προαναφερθείσες δοκιμές, του αποδίδεται η αντίστοιχη ονομασία σύμφωνα με τα αποτελέσματα από τις δοκιμές που έγιναν για τον προσδιορισμό της πλάκας. ευρετήριο και ο δείκτης σχήματος.

- **Φυσικά χαρακτηριστικά** επηρεάζοντας την αντοχή και την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος.
- **Αντοχή μητρικού πετρώματος**: Σύμφωνα με το νόμο, η θλιπτική αντοχή του μητρικού πετρώματος πρέπει να είναι τουλάχιστον 65 Μpa (ΕΛΟΤ 408). Από την άλλη πλευρά, το ΚΤΣ επιτρέπει τη δυνατότητα χρήσης χαμηλότερης αντοχής, εφόσον μπορεί να αποδειχθεί μέσω της ανάλυσης σύνθεσης ότι επιτυγχάνεται το απαραίτητο επίπεδο αντοχής και ανθεκτικότητας του σκυροδέματος για το έργο για το οποίο προορίζεται. Δεν χρειάζεται να γίνουν δοκιμές για τον προσδιορισμό της αντοχής του μητρικού βράχου σύμφωνα με το Ν12620 [29].
- **Αντοχή σε επιφανειακή φθορά και κρούση**. Για φυσικά αδρανή, όπου δεν είναι δυνατός ο προσδιορισμός της αντοχής του μητρικού πετρώματος, αξιολογείται εάν τα αδρανή είναι κατάλληλα για χρήση σε σκυρόδεμα. Παρόλο που και τα δύο πρότυπα κάνουν χρήση της δοκιμής του Λος Άντζελες, δεν είναι δυνατό να συγκριθούν άμεσα τα αποτελέσματα των δύο σετ μετρήσεων.
- **Ανθεκτικότητα σε αποσάθρωση**. Προϋπόθεση για τη χρήση των αδρανών στο σκυρόδεμα είναι να διατηρούν τον όγκο τους και να μην χάνουν υλικό όταν υποβάλλονται σε ύγρανση, ξήρανση, ψύξη και απόψυξη. Είτε η επίδραση των θεικών διαλυμάτων, είτε η εναλλαγή στους κύκλους ψύξης και απόψυξης, είναι που καθορίζει την ανθεκτικότητα του υλικού. Στην περίπτωση της άμμου θα πρέπει να παρουσιάζεται απώλεια μικρότερη από 10%, ενώ σε αυτή του αργίλου πρέπει να παρουσιάζεται απώλεια μικρότερη από 12%. Το ποσοστό απώλειας μάζας του χονδροειδούς αδρανούς κατά τη διάρκεια των κύκλων ψύξης-απόψυξης μπορεί να είναι από 0 έως 4%.
- Για τους σκοπούς της ανάλυσης, το **ειδικό βάρος** τυπικά αναλύεται στα απόλυτα, φαινόμενα και μικτά συστατικά του. Οι τιμές ειδικού βάρους των αδρανών του σκυροδέματος πρέπει να κυμαίνονται κάπου στο εύρος 2,40 και 3,0. Στον ΕΛΟΤ Ν12620 δεν προσδιορίζονται συγκεκριμένα βάρη. Για τον προσδιορισμό της πυκνότητας του χονδροειδούς υλικού, η προδιαγραφή ΕΝ απαιτεί τη χρήση φιάλης, όπως ακριβώς κάνει και για τον υπολογισμό της πυκνότητας των λεπτών κόκκων. Εναλλακτικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το καλάθι. Σε περίπτωση διαφωνίας, ωστόσο, θα ληφθεί υπόψη η μέτρηση που

πραγματοποιήθηκε με τη χρήση φιάλης. Το ειδικό βάρος του χονδροειδούς υλικού προσδιορίζεται σύμφωνα με τα πρότυπα ASTM χρησιμοποιώντας ένα καλάθι.

- **Πορώδες**. Αποτελεί μια σημαντική ιδιότητα που χαρακτηρίζεται από αρνητική σχέση με την αντοχή και τη μακροζωία των υλικών. Η μέτρηση της πρόσληψης νερού, χρησιμεύει ως βάση για τον προσδιορισμό της τιμής του. Η δοκιμή υδατοαπορροφητικότητας που εκτελείται σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ Ν12620 διαφέρει από τη σχετική δοκιμή ASTM (Κ.Τ.Σ.'97) σε μια σειρά από σημαντικά σημεία. Επομένως, σύμφωνα με το EN, για να αξιολογηθεί η αντίστοιχη υδατοαπορροφητικότητα των λεπτόκοκκων υλικών, πρέπει πρώτα να περάσει το υλικό από το κόσκινο 0,063 mm και μετά να γίνει η δοκιμή. Υπό το πρίσμα αυτό, το ASTM ορίζει, για τον υπολογισμό της υδατοαπορροφητικότητας των χονδροκόκκων υλικών, ότι το υλικό θεωρείται ότι βρίσκεται σε κορεσμένη και επιφανειακά ξηρή κατάσταση όταν μπορεί να φανεί ένα φιλμ νερού στον κόκκο, ενώ θεωρείται ότι είναι στα EN όταν απουσιάζει αυτή η ταινία [32].

- **Κοκκομετρική διαβάθμιση**: Το ποσοστό του αδρανούς που αποτελείται από κόκκους διαφορετικών μεγεθών. Ανάλογα με το μέγεθός τους, τα αδρανή χωρίζονται σε τέσσερις κύριες κατηγορίες: άμμος (λιγότερο από 4 χιλιοστά), χαλίκι ρυζιού (μεταξύ 4 και 8 χιλιοστά), χαλίκι (μεταξύ 8 και 16 χιλιοστά) και χαλίκι (μεταξύ 16 και 31,5 χιλιοστών). Το πρότυπο ΕΛΟΤ Ν12620 καθιερώνει, εκτός από τα θεμελιώδη κόσκινα της σειράς DIN, η οποία υιοθετεί και τα ενδιάμεσα κόσκινα της σειράς 2, ενώ ταυτόχρονα καταργεί τα αμερικανικά κόσκινα. Σε αυτό το πρότυπο, η ονομασία των αδρανών εξαρτάται από την περιοχή αυτών που διέρχονται από τα κόσκινα, ταξινομώντας τα σε βασικές κατηγορίες (λεπτά, χονδροειδή), με την παρατήρηση ότι το 99% των μεγεθών των σωματιδίων θα είναι εντός των ορίων.

Τα αδρανή που έχουν ταξινομηθεί σωστά και έχουν ένα εύρος μεγεθών των κόκκων που καλύπτει ολόκληρο το φάσμα έχουν λιγότερα κενά, χρησιμοποιούν λιγότερο συνδετικό υλικό και εμφανίζουν μεγαλύτερη συνοχή. Το KTS διευκρίνισε ότι η καμπύλη διαβάθμισης για το οπλισμένο σκυρόδεμα πρέπει να εμπίπτει στην υποζώνη D, προκειμένου να συμβαίνει αυτό κατά τον καθορισμό των υποζωνών για τα διαγράμματα. Μόνο το μη οπλισμένο σκυρόδεμα περιλαμβάνεται στο πεδίο εφαρμογής της Υποζώνης Z του διαγράμματος. Γενικά, οι καμπύλες κάτω από την υποζώνη D συσχετίζονται με σχετικά χονδροκόκκα αδρανή που έχουν χαμηλή εργασιμότητα, ενώ οι καμπύλες πάνω από την υποζώνη E αντιστοιχούν σε λεπτά -κοκκώδη αδρανή που απαιτούν σημαντική ποσότητα νερού και δημιουργούν σκυρόδεμα που έχουν μεγάλη πιθανότητα ρωγμών.

Η ύπαρξη παιπάλης στην άμμο (μέγεθος κόκκων μικρότερο από 0,075 χιλιοστά) πρέπει να λαμβάνεται προσεκτικά υπόψη και το ποσοστό σε εύθραυστα αδρανή δεν πρέπει να υπερβαίνει το 16 τοις εκατό, ενώ το ποσοστό σε φυσικά

αδρανή δεν πρέπει να υπερβαίνει το 5 τοις εκατό. Δεν υπάρχει ακριβής περιορισμός όπως υπήρχε στο Κ.Τ.Σ.'97 για το πρότυπο ΕΛΟΤ Ν12620. Ωστόσο, ανάλογα με το ποσοστό που περιλαμβάνεται στα συγκεντρωτικά στοιχεία, περιλαμβάνεται σε μια συγκεκριμένη κατηγορία με βάση τον πίνακα 11 του προτύπου, ο οποίος έχει ανώτατα όρια όπως παρουσιάζονται εκεί. Αυτά τα όρια καθορίζονται από το πρότυπο. Ως αποτέλεσμα, το μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό για τα φυσικά αδρανή εξακολουθεί να είναι 16%, ενώ το μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό για τα χονδροειδή αδρανή είναι 4%. Καθοριστική σημασία έχουν τα όρια που θα τεθούν από τον καταναλωτή αναλόγως των απαιτήσεων του έργου. Επίσης η δοκιμή του ισοδυνάμου της άμμου που ανάλογα με το περιβάλλον του έργου πρέπει να μην δίνει τιμή που να είναι μικρότερη από 65 και σε εξαιρετικές περιπτώσεις να είναι μεγαλύτερη του 75 μετρά την καθαρότητα της άμμου που επηρεάζει την αντοχή του σκυροδέματος και την συνάφεια του με τον σιδηρο-οπλισμό. Παρόλο που δεν έχει ακόμα καθοριστεί συγκεκριμένο κάτω όριο ή κατηγοριοποίηση από το πρότυπο ΕΛΟΤ EN12620 για την δοκιμή του ισοδυνάμου άμμου, αυτή χρησιμοποιείται και από το εν λόγω πρότυπο για τον προσδιορισμό της καθαρότητας της άμμου, χωρίς τα αποτελέσματα που προκύπτουν να είναι άμεσα συγκρίσιμα με το ισοδύναμο άμμου που γινόταν κατά ASTM λόγω της διαφοράς στα χρησιμοποιούμενα κόσκινα. Επιπλέον στο καινούργιο πρότυπο η καθαρότητα της άμμου ελέγχεται με την δοκιμή του Μπλε του μεθυλενίου, που δεν υπήρχε στο προηγούμενο πρότυπο.

Τα φυσικά - χημικά χαρακτηριστικά (καθαρότητα) δεν πρέπει να επηρεάζουν δυσμενώς α) την πήξη β) τη σκλήρυνση γ) την αντοχή δ) τη σταθερότητα του όγκου και ε) την προστασία του οπλισμού από την διάβρωση. Οι παρακάτω ενώσεις θεωρούνται γενικότερα επιβλαβείς:

- Ενώσεις Θείου
- Ενώσεις Σιδήρου
- Νιτρικά άλατα και αλογόνα
- Ενώσεις του μόλυβδου ή του ψευδαργύρου
- Χλωριούχες ή φωσφορικές ενώσεις
- Πυριτικοί άργιλοι
- Αποσαθρώσιμα συστατικά
- Οργανικά
- Γαιάνθρακες ή λιγνίτες
- Κερατόλιθοι

Η ποσότητα του άνυδρου χλωριούχου ασβεστίου που υπάρχει στα φυσικά αδρανή που λαμβάνονται από τη θάλασσα δεν πρέπει να υπερβαίνει το ένα τοις εκατό του συνολικού βάρους του τσιμέντου. Επιπλέον, πριν από τη χρήση των αδρανών στο σκυρόδεμα, είναι απαραίτητο να διερευνηθεί η πιθανότητα να καταστραφούν τα αδρανή ως αποτέλεσμα της αλκαλοειδούς αντίδρασης. Επιπλέον, οι απαιτήσεις συμβουλεύουν την αποφυγή πετρωμάτων που περιέχουν συστατικά όπως οπάλιο, ανδεδίτης, ρυόλιθος και δολομίτες. Αυτό συμβαίνει επειδή αυτά τα πετρώματα μπορεί να προκαλέσουν διόγκωση και ζεόλιθους ως αποτέλεσμα μιας αντίδρασης με τα αλκάλια στο τσιμέντο.

Εργαστηριακές δοκιμές, συμπεριλαμβανομένης της χημικής ανάλυσης, της ορυκτολογικής ανάλυσης και της πετρογραφικής έρευνας, είναι απαραίτητες για τον προσδιορισμό των προαναφερόμενων πληροφοριών. Επιπλέον, το ποσοστό των εύθρυπτων και μαλακών κόκκων δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 3%, και το ποσοστό των σβώλων αργίλου δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 0,25%.

Για τα αδρανή υλικά, το πρότυπο ΕΛΟΤ-N12620 καθορίζει ένα σύνολο δοκιμών που πρέπει να διεξαχθούν και ο παραγωγός είναι υπεύθυνος για τη δήλωση των αποτελεσμάτων αυτών των δοκιμών. Οι δοκιμές αυτές καθορίζονται από τις προδιαγραφές του έργου στο οποίο θα ενσωματωθούν τα αδρανή, καθώς και από τον τόπο προέλευσής τους. Μεταξύ αυτών είναι τα ακόλουθα:

- Περικτικότητα σε χλωριόιόντα
- Θειικά διαλυτά σε όξινο περιβάλλον
- Σύνολο θεικών
- Ύπαρξη στοιχείων που επηρεάζουν τον ρυθμό πήξης και ξήρανσης του σκυροδέματος
- Περικτικότητα σε ανθρακικά
- Εκπομπή ραδιενέργειας
- Διαφυγή βαρέων μετάλλων
- Διαφυγή πολυαρωματικών ανθράκων
- Διαφυγή άλλων επιβλαβών ουσιών

Ο παραγωγός υποχρεούται να υποβάλει δήλωση στο πιστοποιητικό που να αναφέρει λεπτομερώς τα αποτελέσματα των δοκιμών που περιγράφονται παραπάνω. Η δειγματοληψία των αδρανών σύμφωνα με τη χρήση τους και για διάφορους ελέγχους απαιτεί αντίστοιχους όγκους δείγματος για κάθε τύπο δοκιμής και σε συχνότητα που αντιστοιχεί στα κριτήρια. Επιπλέον, τα συσσωματώματα πρέπει να δειγματοληπτούνται με την κατάλληλη συχνότητα. Το δείγμα μπορεί να ληφθεί είτε στον τόπο παραγωγής του υλικού (από σταματημένο μεταφορικό

ιμάντα) είτε από πασσάλους στο ύψος στο μέσο του ύψους τους καθώς και από τουλάχιστον δέκα τοποθεσίες σε άμεση γειννίαση.

Το πρότυπο ΕΛΟΤ EN12620 καθορίζει μια προκαθορισμένη αναλογία για την ελάχιστη ποσότητα του σωρού που πρέπει να περιλαμβάνεται στο δείγμα. Για να δημιουργήσουμε ένα δείγμα που είναι αντιπροσωπευτικό του σωρού, μαζεύουμε δείγματα γύρω του χρησιμοποιώντας μια σέσουλα. Το κάτω τρίτο του σωρού δέχεται 19 μεζούρες, το μεσαίο τρίτο λαμβάνει 7 μεζούρες και το πάνω τρίτο λαμβάνει μόνο μία σέσουλα. Αυτή η αναλογία είναι συνάρτηση του τρόπου με τον οποίο ο όγκος των αδρανών κατανέμεται μέσα σε ένα κωνικό σωρό με στρογγυλή βάση. Σε περίπτωση που οι έλεγχοι δεν ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις, συλλέγονται άλλα δύο δείγματα και οι εξετάσεις γίνονται ξανά.

Η συγκεκριμένη παρτίδα θεωρείται απαράδεκτη εάν οι προδιαγραφές δεν πληρούνται από τον μέσο όρο των τριών δειγμάτων. Στο πλαίσιο του ελέγχου παραγωγής της μονάδας και σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN12620, τουλάχιστον το 90% των ταξινομήσεων μεγέθους κόκκου των δειγμάτων που έχουμε λάβει από διαφορετικές παρτίδες για περίοδο έως 6 μήνες το πολύ θα πρέπει να είναι εντός των επιτρεπόμενων αποκλίσεων. σύμφωνα με τις δηλωμένες από τον παραγωγό πρότυπες κοκκομετρικές διαβαθμίσεις. Αυτά τα δείγματα συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια του ελέγχου παραγωγής της μονάδας.

4.4 Ανάλυση ανθεκτικότητας παράκτιων κατασκευών από σκυρόδεμα

Το ευρέως διαδεδομένο είδος τσιμέντου τύπου Portland, δεν πληροί τις απαιτήσεις ανθεκτικότητας σε κατασκευές που βρίσκονται κατά μήκος της παράκτιας ζώνης όπου τα υλικά πρέπει να είναι αυξημένων μηχανικών αντοχών. Είναι απαραίτητο να προσδίδουν υψηλή αντοχή στις παράκτιες κατασκευές από σκυρόδεμα. Σχετικά με το σκυρόδεμα που είναι εκτεθειμένο σε αλατούχα ατμόσφαιρα, έχουν αποδειχθεί λεπτομέρειες σχετικά με τη διερεύνηση των κατασκευών που βρίσκονται στην παράκτια ζώνη και την αξιολόγηση των χημικών ιδιοτήτων του θαλασσινού νερού. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικές επιλογές όπως το τσιμέντο GBS, υγρό πρόσμικτο που αναστέλλει τη διάβρωση και σκόνη γρανίτη. Γίνεται επίσης μελέτη για τις συνθήκες αντοχής των δομών από σκυρόδεμα σε παράκτια περιοχή. Προορίζεται να εξάγει συμπεράσματα από την εκτέλεση πειραμάτων όπως τη δοκιμή ταχείας μετανάστευσης του χλωρίου (Rapid chloride migration test), τη δοκιμή αντοχής σε θλίψη και τη δοκιμή απώλειας βάρους. Συμπεραίνεται ότι ο συνδυασμός σκωρίας υψικαμίνων σε κόκκους (Ground Granulated Blast furnace Slag) και γρανίτη έχει δείξει επαρκή αντοχή στην

τριβή, αντοχή στη διαπερατότητα και χημική αντοχή στη διάβρωση από το θαλασσινό νερό [33].

Το χώμα υπολειμμάτων σόδας (SRS) είναι ένα τεχνικό έδαφος που σχηματίζεται από υπολείμματα σόδας. Από άποψη θεμελίωσης έργων, είναι αυτό και τα παρόμοια σε αυτό εδάφη, αρκετά αρνητικά για την υλοποίηση μιας κατασκευής. Το SRS περιέχει μια ποικιλία διαβρωτικών αλάτων, μεταξύ των οποίων, οι συγκεντρώσεις των ιόντων χλωρίου είναι περίπου 2-3 φορές μεγαλύτερη από αυτή του θαλασσινού νερού. Αυτά τα εξαιρετικά συγκεντρωμένα ιόντα χλωρίου μεταναστεύουν και διαχέονται σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα (RC) που κατασκευάζονται σε παράκτιες περιοχές αποτελούμενες από SRS μέσω πολλαπλών μηχανισμών μεταφοράς, πράγμα που δρα αρνητικά στον χρόνο ζωής των κατασκευών.

Το SRS μπορεί να ταξινομηθεί αναλύοντας τις ποσοτικές σχέσεις μεταξύ των διαβρωτικών ιόντων που περιέχει. Σε μια μελέτη συζητείται η επιδείνωση των δομών RC λόγω του διαβρωτικού περιβάλλοντος αλατούχου εδάφους και επανεξετάζονται οι εξελίξεις στην ανθεκτικότητα της δομής RC υπό τέτοιες συνθήκες.

Τα ευρήματα δείχνουν ότι ένα διαβρωτικό περιβάλλον, ειδικά όταν αυτό είναι αποτέλεσμα παράκτιων περιοχών από SRS, έχει πολύ σημαντική επίδραση στη φθορά των κατασκευών RC, απειλώντας σε μεγάλο βαθμό τέτοια έργα. Μία σειρά αποτελεσματικών μέτρων για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας των δομών RC σε αλατούχο έδαφος, συμπεριλαμβανομένων βελτιώσεων στην αντοχή του σκυροδέματος, μειώσεις της αναλογίας νερού-συνδετικού, προσθήκη ορυκτών πρόσμικτων και παράγοντες ενίσχυσης ινών, κ.λπ., θα μπορούσαν να αποτελέσουν μια ζωτική βάση για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας των κατασκευών RC που κινδυνεύουν λόγω παράκτιων περιοχών από SRS. Ζητήματα ζωτικής σημασίας που πρέπει να διερευνηθούν σχετικά με την ανθεκτικότητα των κατασκευών RC προτείνονται, συμπεριλαμβανομένου του μηχανισμού μεταφοράς και του μοντέλου πρόβλεψης διαβρωτικών ιόντων, στα οποία κυριαρχούν τα ιόντα χλωρίου (Cl⁻), δηλαδή σε δομές SRS και RC, ο μηχανισμός φθοράς των υλικών RC, μια μακροπρόθεσμη διαδικασία μείωσης απόδοσης των συστατικών του οπλισμένου σκυροδέματος, θεωρία σχεδιασμού ανθεκτικότητας και αποτελεσματικά μέτρα βελτίωσης της απόδοσης [34].

4.5 Άλλα Πιθανά είδη και προσμίξεις για το σκυρόδεμα

Η ορθή επιλογή βασικού υλικού σε αντιδιαβρωτικά έργα είναι μια από τις σημαντικότερες και ουσιαστικές αποφάσεις ενώ πρέπει να λάβουν οι μηχανικοί υπόψη ορισμένους από τους κύριους παράγοντες:

- **Αντοχή στον άνεμο:** Οι περισσότερες ζημιές συμβαίνουν επειδή διάφορα δομικά στοιχεία έχουν περιορισμένη αντίσταση στον αέρα λόγω ανεπαρκούς σχεδιασμού, εφαρμογής και φθοράς υλικού. Μπορεί να εμφανιστεί οπουδήποτε άνεμος με επαρκή ταχύτητα για να προκαλέσει ζημιές σε αδύναμα κτίρια και κατασκευές.
- **Διάβρωση:** Σε παράκτιες περιοχές όπως και στο παράδειγμά μας στο Διακοπτό, αλλά και στην προαναφερθείσα περίπτωση ο αέρας περιέχει υψηλά ίχνη υγρασίας που διευκολύνει την πρόκληση διάβρωσης υλικών, ή σκουριάς.
- **uPVC:** Ο συνδυασμός αλατιού, υγρασίας και αέρα θα καταστρέψει όλα τα απροετοίμαστα υλικά. Το uPVC είναι συνήθως το καλύτερο υλικό πλαισίωσης για χρήση σε θαλάσσια περιβάλλοντα έναντι πιο παραδοσιακών υλικών λόγω της πιο ανθεκτικής φύσης και της ευκολίας φροντίδας του.
- **Ανθεκτικότητα υλικού:** Η χρήση ποιοτικών υλικών που ανταποκρίνονται στις εκάστοτε κατασκευαστικές απαιτήσεις, αποτελεί έναν από τους μεγαλύτερους παράγοντες κατασκευής ενός έργου. Ειδικά στα αντιδιαβρωτικά έργα η ανθεκτικότητα των υλικών αποτελεί καθοριστικό παράγοντα βιωσιμότητας των κατασκευών αναλογούμενοι το δυσμενές περιβάλλον που είναι το παράκτιο, εκθέτει τις κατασκευές και τα υλικά που έχουν εφαρμοστεί, σε ακραίες συνθήκες.

Ράβδοι TMT από χάλυβα με ανθεκτικότητα στη διάβρωση (CRS)

Οι συρμάτινοι ράβδοι οπλισμού χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με το μπετόν για την κατασκευή ενός έργου από οπλισμένο σκυρόδεμα, που έχει πολύ μεγαλύτερη αντοχή. Ωστόσο, η διάβρωση των ράβδων οπλισμού, προκύπτει, λόγω της παρουσίας ιόντων χλωρίου στο σκυρόδεμα και το τσιμέντο που περιέχει υδροξειδίο του ασβεστίου παράγει, ανθρακικό ασβέστιο, παρουσία διοξειδίου του άνθρακα και υγρασίας στο περιβάλλον. Για την προστασία του χάλυβα από τη διάβρωση, το CRS TMT εισήχθη για να παρατείνει τη μακροζωία της δομής RCC. Αυτές οι ράβδοι παράγονται με μεγάλη προσοχή και με επαρκή προσθήκη στοιχείων αντοχής στη διάβρωση όπως ο χαλκός, το χρώμιο και ο φώσφορος. Αυτές οι ράβδοι TMT είναι οι πλέον κατάλληλες για περιοχές με υψηλή υγρασία, θαλάσσια ατμόσφαιρα, γέφυρες, φράγματα, αντιδιαβρωτικά παραθαλάσσια έργα όπως και στην περίπτωση μας, στέγες που είναι επιρρεπείς σε διαρροή νερού, περιοχές με νερό [35].

Φυσικές καταστροφές όπως η διάβρωση και τα ακραία καιρικά φαινόμενα, αφήνουν εκτεταμένες ζημιές και εξαφανίζουν την εξέλιξη που συνέβη σε δεκαετίες σε χρόνο μηδέν. Τέτοιες φυσικές καταστροφές που δεν έχουν λύση από την επιστημονική κοινότητα, ή τη σύγχρονη τεχνολογία ακόμη και μετά από αιώνες έρευνας παρέχουν μόνο μία επιλογή περιορισμού του μεγέθους των ζημιών με τη χρήση ποιοτικών υλικών που είναι κατάλληλα και αντέχουν σε αυτές τις τροπικές καιρικές συνθήκες.

Οι ζημιές από τα ακραία καιρικά φαινόμενα είναι στιγμιαίες, αλλά πολύ περισσότερες ζημιές περιμένουν τα κτίρια και τις κατασκευές όσον αφορά τα χρησιμοποιούμενα υλικά, λόγω της συνεχούς έκθεσης στην αλατούχα ατμόσφαιρα. Το σκληρό περιβάλλον απαιτεί τη χρήση βιώσιμων δομικών υλικών και θα πρέπει να δίνεται μεγαλύτερη προσοχή κατά τη χρήση αυτών των υλικών προκειμένου να διασφαλιστεί η ανθεκτικότητα, η αντοχή σε κινδύνους και η μείωση της συντήρησης. Όλες οι παράκτιες κατασκευές απαιτούν συντήρηση και επισκευές (περισσότερο από τις κατασκευές στην ενδοχώρα) επομένως θα πρέπει κανείς να χρησιμοποιεί κατάλληλα υλικά και μεθόδους για επισκευές, προσθήκες και άλλες εργασίες μετά την αρχική κατασκευή. Η παγκοσμιοποίηση έφερε νέες κατασκευαστικές τεχνολογίες και νέα προϊόντα, ή υλικά για να αντέξουν τις σκληρές συνθήκες στις παράκτιες περιοχές.

Αλεσμένη κοκκώδης σκωρία υψικάμινου (Ground granulated blast-furnace slag)

Για να αποφευχθεί η διείσδυση ιόντων χλωρίου πρέπει να παραχθεί ένα πυκνό, αδιαπέραστο σκυρόδεμα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση σκωρίας υψικάμινου (GGBS). Όταν το τσιμέντο GGBS ενυδατώνεται, σχηματίζεται πυριτικό όξινο ασβέστιο και πυριτικό τριασβέστιο. Ωστόσο, η αντίδραση παράγει και άλλες δευτερεύουσες ένυδρες ενώσεις, οι οποίες γεμίζουν αποτελεσματικά τους πόρους της πάστας τσιμέντου. Αυτό συμβαίνει επειδή υπάρχει περίσσεια αντιδραστικής αλουμίνας και πυριτίου στο υλικό. Το τσιμέντο GGBS έχει πιο αργό ρυθμό ενυδάτωσης από το συνηθισμένο τσιμέντο Portland (OPC) που βοηθά στη μείωση της διαπερατότητας του σκυροδέματος, καθώς ελαχιστοποιείται η ρωγμή λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας. Εναλλακτικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί τσιμέντο σκωρίας Portland σύμφωνα με το πρότυπο IS 455 με περισσότερο από 50% σκωρία, ή μείγμα συνηθισμένου τσιμέντου Portland και τσιμέντου σκωρίας, υπό την προϋπόθεση ότι υπάρχουν επαρκείς πληροφορίες σχετικά με την απόδοση τέτοιων αναμεμιγμένων τσιμέντων σε αυτές τις συνθήκες [36].

Για να επιλεγεί το καλύτερο δομικό υλικό για παράκτια κλίματα, πρέπει να κατανοηθούν τα προβλήματα που αντιμετωπίζει μια κατασκευή σε τέτοιες κλιματικές συνθήκες. Η θερμότητα και η υγρασία είναι οι καθοριστικές κλιματικές συνθήκες μιας παράκτιας περιοχής, που με τη σειρά της οδηγεί σε διάβρωση και διαρροή. Αυτό προκαλεί τη δραστική μείωση της διάρκειας ζωής της δομής.

Η κρυσταλλική τεχνολογία Kryton

Ολόκληρες οι σειρές κρυσταλλικών προϊόντων της Kryton ταιριάζουν καλύτερα στο παράκτιο κλίμα. Η ειδική τεχνολογία Krystol λειτουργεί μέσα από το σκυροδέμα. Τα στεγανωτικά προϊόντα είτε προστίθενται απευθείας στο μείγμα σκυροδέματος, είτε εφαρμόζονται στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Μόλις προστεθεί, το Krystol αντιδρά χημικά με το νερό και τα μη ενυδατωμένα σωματίδια τσιμέντου για να σχηματίσει αδιάλυτους κρυστάλλους σε σχήμα βελόνας. Αυτοί οι κρύσταλλοι γεμίζουν τους πόρους και τις μικρορωγμές στο σκυροδέμα για να μπλοκάρουν τις οδούς για το νερό και τα προβλήματα που δημιουργούνται. Το Krystol θα συνεχίσει να δίνει στη δομή του σκυροδέματος μια ικανότητα αυτοσφράγισης. Εάν το νερό εισαχθεί ξανά μέσω αύξησης της υδροστατικής πίεσης, ή μέσω ρωγμών τριχοειδούς γραμμής, το Krystol θα ξεκινήσει περαιτέρω κρυστάλλωση για να εξασφαλίσει μόνιμη αδιάβροχη προστασία. Το Krystol λειτουργεί επεκτατικά στη διάρκεια ζωής του σκυροδέματος [37].

ShaliSeal RSTC

Ειδικά στην Ελλάδα η κατάσταση των περισσότερων παραθαλάσσιων δρόμων είναι αξιολύπητη, κάτι που έχει σημαντικά ενταθεί τα τελευταία χρόνια. Ο λόγος είναι ότι η απλή είσοδος νερού στο δρόμο είναι η κύρια αιτία της ζημιάς λόγω των . Η διάρκεια ζωής των δρόμων μπορεί να αυξηθεί παρέχοντας κατάλληλες πλευρικές αποχετεύσεις και ανθεκτικό στο νερό ανώτερο στρώμα. Με τα χρόνια η STP Ltd ανέπτυξε το ειδικό ShaliSeal RSTC, το οποίο είναι σφραγιστικό με βάση την λιθανθρακόπισσα και σχεδόν ανεπηρέαστο από το νερό. Αυτό το προϊόν έχει εφαρμοστεί σε διάφορους δρόμους ΝΗΑΙ, ΡWΔ και άλλων ιδρυμάτων και έχει δώσει απίστευτα αποτελέσματα.

Χάλυβας COLORBOND Ultra

Ο χάλυβας COLORBOND Ultra έχει αναπτυχθεί ειδικά για χρήση σε δύσκολες θαλάσσιες και βιομηχανικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Συνιστάται ιδιαίτερα για τοποθεσίες με αυξημένη ποσότητα άλατος στον αέρα που είναι πιο

κοντά στην ακτογραμμή. Το COLORBOND Ultrasteel με μεταλλική επίστρωση AZ200 (ελάχιστη μάζα επίστρωσης AZ 200 gsm συνολικής μάζας επίστρωσης και στις δύο πλευρές) και το ειδικά σχεδιασμένο αστάρι αντοχής στη διάβρωση αποτελούν υλικά που μπορούν να αντιμετωπίσουν ικανά το πρόβλημα. Είναι ένα από τα πιο οικονομικά δομικά υλικά για σκληρά περιβάλλοντα [38].

Ο χάλυβας COLORBOND Ultra έχει γίνει ένα κατ' ουσία καθολικό δομικό υλικό για τη βιομηχανία του χάλυβα διεθνώς. Ξεκίνησε το 1966. Αναπτύχθηκε ειδικά ως απάντηση στις σκληρές κλιματολογικές και καιρικές συνθήκες, συμπεριλαμβανομένων των ακραίων διακυμάνσεων της θερμοκρασίας και της υγρασίας και της έντονης υπεριώδους ακτινοβολίας. Ο χάλυβας αυτός είναι ανθεκτικός, ελαφρύς και μακράς διάρκειας. χρησιμοποιείται σε όλες τις μορφές επένδυσης, συμπεριλαμβανομένων των στεγών και των τοίχων και λοιπών κατασκευών αναλογούμενοι τα θετικά που προσφέρει η εν λόγω επιλογή.

5. ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Έχουν διεξαχθεί διάφορες μελέτες για διαφορετικές μεθόδους αντιδιαβρωτικής προστασίας και συντήρησης. Γενικότερα έχουν γίνει συζητήσεις για τη χρήση προστατευτικών μέτρων σε κατασκευές εκτός από το σκυρόδεμα. Υπάρχουν πέντε βασικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία του σκυροδέματος που είναι ευαίσθητο στη διάβρωση:

- Επιδιορθώσεις μπαλωμάτων, ή μερική ανακατασκευή
- Αναστολείς διάβρωσης
- Προστατευτικές επικαλύψεις
- Καθοδική προστασία
- Εναλλακτικές ενισχύσεις

Σε μια κατασκευή από σκυρόδεμα που έχει «μολυνθεί» με χλώριο όπως στην συγκεκριμένη τοιχοποιία που θα επιδιορθώσουμε εξωτερικά, οι μερικές επισκευές, ή οι επισκευές με μπαλώματα παρέχουν μόνο περιορισμένη αντιμετώπιση του προβλήματος και είναι κατάλληλες μόνο όταν η ζημιά είναι μικρή. Οι αναστολείς της διάβρωσης είναι προσωρινές επιδιορθώσεις, καθώς είναι πρόσμικτα χημικών ενώσεων, ή εφαρμόζονται στην επιφάνεια του σκληρυμένου σκυροδέματος. Οι προστατευτικές επιστρώσεις παρέχουν ένα αδιαπέραστο στρώμα πάνω από το σκυρόδεμα για την αναστολή της εισόδου ιόντων χλωρίου. Η ηλεκτροχημική εξαγωγή χλωρίου (ECO) είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος μέτρησης, η οποία μειώνει την υπάρχουσα περιεκτικότητα σε χλώριο και αποτρέπει τις περαιτέρω ζημιές. Είναι μια οικονομική και μακροπρόθεσμη αποτελεσματική μέθοδος, που αφαιρεί τεράστιες ποσότητες μολυσματικών ιόντων χλωρίου.

Για τη μελέτη της απόδοσης του σκυροδέματος γενικότερα επέχει η εξής διαδικασία: τα δείγματα σκυροδέματος παρασκευάζονται με ποικίλη αναλογία νερού/τσιμέντου, περιεκτικότητα σε τσιμέντο και πολυμερείς/εποξειδικές προσθήκες και εκθέτονται σε ποικίλες συνθήκες σε παράκτιες περιοχές για περισσότερα από τέσσερα χρόνια. Η απόδοση των δειγμάτων σκυροδέματος που εκτίθενται στο περιβάλλον υψηλής συγκέντρωσης χλωρίου και θειικού άλατος έπειτα αξιολογούνται με μέτρηση της διάχυσης χλωρίου και μείωση της αντοχής σε θλίψη λόγω προσβολής θειικών ενώσεων. Τα αποτελέσματα σε συγκεκριμένη μελέτη έδειξαν ότι η ανάμιξη των σχεδιαστικών παραμέτρων, όπως η αναλογία νερού-τσιμέντου και η περιεκτικότητα σε τσιμέντο, επηρέασαν σημαντικά τόσο τη

διάχυση χλωρίου όσο και την αντίσταση του σκυροδέματος στις θειικές ενώσεις. Ομοίως, το επίπεδο στερεοποίησης και η περίοδος ωρίμανσης επηρέασαν την απόδοση του σκυροδέματος στο επιθετικό περιβάλλον. Επιπλέον, η απόδοση του σκυροδέματος από εποξειδικά τροποποιημένου σκυροδέματος ήταν καλύτερη από εκείνη του πολυμερούς σκυροδέματος [39].

Πολλοί φορείς σε όλο τον κόσμο πρέπει να διαχειρίζονται δομικά κατεστραμμένες παράκτιες υποδομές κατασκευασμένες από οπλισμένο σκυρόδεμα, που υπόκεινται σε εισροή χλωρίου που απαιτούν σημαντικές επισκευές. Αυτές οι επισκευές θα πρέπει να διασφαλίζουν τα βέλτιστα επίπεδα λειτουργικότητας και ασφάλειας και να ελαχιστοποιεί το κόστος και το περιβαλλοντική επίπτωση. Ωστόσο, υπάρχει μεγάλη ποσότητα πρωτοκόλλων, τεχνικών και υλικών για επισκευή και δεν υπάρχουν πολλές πληροφορίες για την απόδοση αντοχής τους [40].

Στο πλαίσιο του έργου MAREO σε συνεργασία με διάφορους ενδιαφερόμενους που εμπλέκονται καθ' όλη τη διάρκεια της δομικής ζωής, βασίστηκαν σε πιθανολογική μοντελοποίηση της φθοράς και της επισκευής, καθώς και την αξιολόγηση του κόστους της βιωσιμότητας, εκπομπές CO₂ και παραγωγή αποβλήτων. Η μεθοδολογία επεξηγείται με ένα αριθμητικό παράδειγμα με στόχο την αξιολόγηση και βελτίωση της βιωσιμότητας μιας τεχνικής επισκευής για δομές RC που υπόκεινται σε επαγόμενη από χλώριο ζημιά από διάβρωση. Τα συνολικά αποτελέσματα δείχνουν ότι οι βιώσιμες λύσεις αυξάνουν το παγκόσμιο κόστος, αλλά θα μπορούσαν να μειώσουν σημαντικά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις [41].

5.1 Διαμόρφωση της στρατηγικής συντήρησης και βελτιστοποίησης

Αυτό αποτελεί ένα κρίσιμο στάδιο στη συνολική διαδικασία διαχείρισης. Το σκεύασμα πρέπει να λαμβάνει υπόψη μια σειρά από διαφορετικούς παράγοντες, όπως τα χαρακτηριστικά της διαδικασίας φθοράς, τα στάδια συντήρησης (δηλαδή επιθεώρηση, επισκευή), τη φιλοσοφία συντήρησης (δηλαδή προληπτική, ή διορθωτική) και την τεχνική και οικονομική σκοπιμότητα της επιλεγμένης τεχνικής.

Τα αποτελέσματα της επιθεώρησης ειδοποιούν τον ιδιοκτήτη/χειριστή όταν επιτευχθεί ένα δεδομένο όριο φθοράς. Για τη διενέργεια επιθεωρήσεων χρησιμοποιούνται καταστροφικές και μη καταστροφικές μέθοδοι. Όσον αφορά τις μη καταστροφικές μεθόδους, η οπτική επιθεώρηση χρησιμοποιείται συνήθως για την αξιολόγηση της κατάστασης των δομών RC. Ωστόσο, για την οπτική επιθεώρηση, η εκτίμηση της δομικής κατάστασης παραμένει σε μεγάλο βαθμό αβέβαιη όταν πραγματοποιείται επιθεώρηση. Άλλες μη καταστροφικές τεχνικές στοχεύουν στον ποσοτικό προσδιορισμό της στιγμιαίας τιμής, ή της εξέλιξης στο

χρόνο μιας δεδομένης μεταβλητής (αντοχή υλικού, συγκέντρωση χλωρίου, ρυθμός διάβρωσης, κ.λπ.). Ωστόσο, τα αποτελέσματά τους επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τις περιβαλλοντικές συνθήκες μειώνοντας την ακρίβειά. Αν και οι καταστροφικές τεχνικές επιθεώρησης βελτιώνουν σημαντικά την εκτίμηση της δομικής κατάστασης, είναι πιο ακριβές και απαιτούν ένα μεγαλύτερο αριθμό δοκιμών όταν υπάρχει μεγαλύτερη μεταβλητότητα της επιθεωρούμενης παραμέτρου.

Η έκταση της ζημιάς που εκτιμάται κατά τις συνθήκες επιθεώρησης τελικά βοηθά στον προσδιορισμό της επιλογής της τεχνικής επισκευής. Κατά συνέπεια, η διαμόρφωση της στρατηγικής συντήρησης (επιθεώρηση και επισκευή) εξαρτάται από διάφορες πτυχές όπως το φαινόμενο που επιθεωρήθηκε (αντοχή υλικού, συγκέντρωση χλωρίου κ.λπ.), το μέγεθος του έργου (δομικό δίκτυο, συγκεκριμένη δομή ή στοιχείο), η χρήση της δομής (πυρηνική, μεταφορά, κ.λπ.), την υπολειπόμενη διάρκεια ζωής, τη θέση της δομής/εξαρτήματος και άλλες κοινωνικοοικονομικές πτυχές όπως οι προτεραιότητες της χώρας, η διαθεσιμότητα των πόρων κ.λπ. Για τον καθορισμό μιας κατάλληλης στρατηγικής συντήρησης, όλα τα ενδιαφερόμενα μέρη που συνδέονται με τη δομή κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής της θα πρέπει να συμμετέχουν σε αυτό το στάδιο [42].

5.2 Θαλάσσια τοιχώματα από σκυρόδεμα

Μέσα στον περασμένο αιώνα, παραδοσιακά κατασκευάζονταν παράκτιες κατασκευές για εφαρμογές υποδομής από ξυλεία, δομικό χάλυβα και/ή οπλισμένο/προεντεταμένο με χάλυβα σκυρόδεμα. Δεδομένων των επιθυμιών των ιδιοκτητών των περιουσιακών στοιχείων για αυξημένη διάρκεια ζωής, μειωμένη συντήρηση, επισκευή και αποκατάσταση, ελαστικότητα και βιωσιμότητα, έχει γίνει σαφές ότι τα παραδοσιακά δομικά υλικά δεν μπορούν να ανταποκριθούν αξιόπιστα σε αυτές τις προκλήσεις χωρίς περιοδικές και δαπανηρές παρέμβασεις.

Τα σύνθετα πολυμερή ενισχυμένα με ίνες (FRP) έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε εφαρμογές δομής ανθεκτικών γεφυρών για αρκετές δεκαετίες, αποδεικνύοντας την ικανότητά τους να παρέχουν μειωμένο κόστος συντήρησης, να επεκτείνουν τη διάρκεια ζωής και να αυξάνουν σημαντικά την ανθεκτικότητα του σχεδιασμού. Αυτή η εργασία διερευνά ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα αυτών των εφαρμογών, που σχετίζεται ειδικά με τον εσωτερικό οπλισμό για κατασκευές σκυροδέματος τόσο σε παθητικές (RC) όσο και σε προεντεταμένες (PC) εφαρμογές και τις αντιπαραβάλλει με το χρονοεξαρτώμενο αποτέλεσμα και το κόστος της διάβρωσης στη υποδομή μεταφορών. Η πρόσφατη ανάπτυξη έγκυρων

κατευθυντήριων γραμμών σχεδιασμού της διεθνούς μηχανικής κοινότητας αναδεικνύει το βιώσιμο (οικονομικό και περιβαλλοντικό) πλεονέκτημα των σύνθετων κατασκευών στο παράκτιο περιβάλλον [43].

Η αυξανόμενη συχνότητα ακραίων καιρικών φαινομένων, λόγω της κλιματικής αλλαγής, σε συνδυασμό με τον αυξανόμενο πληθυσμό, έχουν συμβάλει στην αυξανόμενη ζήτηση για παράκτιες κατασκευές για την προστασία και τη σταθεροποίηση των ακτογραμμών. Τα τσιμεντένια τοιχώματα είναι μια κοινή κατηγορία κατασκευών προστασίας ακτών, σχεδιασμένων με πρωταρχικούς στόχους, με σκοπό την απορρόφηση της δράσης των κυμάτων, την πρόληψη της διάβρωσης της ακτογραμμής και την άμβλυση των πλημμυρών. Έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές έρευνες για τη βελτίωση της απόδοσης του τοιχώματος σκυροδέματος. Αυτή η εργασία είναι μια ανασκόπηση της τρέχουσας τελευταίας τεχνολογίας στα θαλάσσια τοιχώματα κατασκευασμένα από σκυρόδεμα που επικεντρώνονται σε πτυχές σχεδιασμού, συμπεριλαμβανομένης της φόρτωσης κυμάτων και των καινοτόμων σχεδίων θαλάσσιων τοιχωμάτων, και απόδοσης ανθεκτικότητας.

Διαφορετικά συμβατικά τοιχώματα και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους επανεξετάζονται. Τα φορτία των κυμάτων στα θαλάσσια τοιχώματα έχουν λάβει σημαντική προσοχή και έχουν παρουσιαστεί πολλαπλές προσεγγίσεις για την ποσοτικοποίηση για τους διαφορετικούς τύπους των φορτίων. Παρόλα αυτά η ποσοτικοποίηση του φορτίου του κύματος παραμένει μία αρκετά απαιτητική εργασία, ειδικά για νέα σχέδια και η απόδοση υπό φορτίο για τέτοια σχέδια πρέπει να μετράται μέσω δοκιμών σε δεξαμενές κυμάτων. Αντλώντας έμπνευση από τις φυσικές ακτές, η τροποποίηση της πολυπλοκότητας της επιφάνειας σε μία πληθώρα κλιμάκων μπορεί να βελτιώσει την απόδοση των θαλάσσιων τοιχωμάτων. Η διάβρωση του χάλυβα είναι ένα σημαντικό πρόβλημα ανθεκτικότητας και η χρήση μη διαβρωτικής ενίσχυσης μπορεί να αυξήσει την ανθεκτικότητα του θαλάσσιου τοιχώματος προς διάβρωση. Άλλες ανησυχίες σχετικά με την ανθεκτικότητα περιλαμβάνουν την αντίδραση αλκαλικού πυριτίου και την προσβολή θεικών, τα οποία μπορούν να μετριαστούν μέσω του κατάλληλου σχεδιασμού του μείγματος, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης συμπληρωματικών τσιμεντοειδών υλικών. Παραδείγματα καινοτόμων σχεδιασμών θαλάσσιων τοιχωμάτων που έχουν την ικανότητα να ξεπερνούν τα συμβατικά τοιχώματα είναι αντικείμενα συζήτησης.

Οι πρόοδοι τα τελευταία χρόνια αφορούν το δομικό σχεδιασμό, και την επιστήμη των υλικών υποδομής τα οποία θα οδηγήσουν την ανάπτυξη πολυλειτουργικών θαλάσσιων τοιχωμάτων που είναι βιώσιμα και ανθεκτικά [44].

5.3 Νέες κατευθύνσεις για τα παράκτια κτίσματα από οπλισμένο σκυρόδεμα

Μια εναλλακτική και ορθολογική λύση για το οπλισμένο σκυρόδεμα είναι η δραστική ελαχιστοποίηση, ή εξάλειψη του κινδύνου διάβρωσης, υιοθετώντας είτε υψηλής αντοχής στη διάβρωση (HCR), είτε μη διαβρωτικά ενισχυτικά υλικά, αντίστοιχα. Τα πολυμερή οπλισμένα με ίνες (FRP) είναι επιλογές μη διαβρωτικών υλικών τόσο για οπλισμένο σκυρόδεμα (RC) όσο και για προεντεταμένο σκυρόδεμα (PC) που χρησιμοποιεί τεχνολογίες δεκαετιών, αλλά δεν έχει ακόμη ενσωματωθεί πλήρως στη διαδικασία επιλογής δομικών υλικών.

Ο ανοξείδωτος χάλυβας υψηλής περιεκτικότητας σε νικέλιο και χρώμιο (κράματα 316 και 2205) είναι παραδείγματα υλικών ενίσχυσης HCR που κερδίζουν αυξημένη χρήση τόσο για νέες, όσο και για ανακαινισμένες κατασκευές. Η μελέτη των Nolan S. et al. (2021) εστιάζει στις επιτυχημένες εφαρμογές του FRP-RC & PC, αντιπροσωπεύοντας τόσο δομικά όσο και οικονομικά αξιόπιστες λύσεις [45].

Ενώ, όλα τα προγράμματα που υπάρχουν έχουν επικεντρωθεί κυρίως στη βελτίωση της ποιότητας και της ταχύτητας κατασκευής, η κατηγορία των ανθεκτικών ινών ενισχυμένων πολυμερών (FRP) έχει παραμείνει σε μεγάλο βαθμό ανεπαρκής από τη λήξη του προγράμματος χρηματοδότησης Innovative Bridge Research and Construction (IBRC) το 2005.

Η πρόσφατη ανάπτυξη έγκυρων κατευθυντήριων γραμμών σχεδιασμού τόσο για τα FRP-RC όσο και για τα FRP-PC στις ΗΠΑ και στον Καναδά συμπληρώνουν και προάγουν το υπάρχον αποθετήριο διεθνών οδηγιών σχεδιασμού.

Υπάρχει μικρή αμφισβήτηση σχετικά με την ανάγκη για λύσεις μετριασμού της διάβρωσης για τις υπάρχουσες κατασκευές, ενώ ταυτόχρονα ερευνώνται βελτιωμένες λύσεις για τυχόν νέες κατασκευές. Ωστόσο, υπάρχει μια χαμένη ευκαιρία με την υπάρχουσα τεχνολογία FRP που θα μπορούσε να αναπτυχθεί αμέσως ευρέως. Πιθανότατα δεν θα υπάρξει ποτέ επαρκής χρηματοδότηση για την αντικατάσταση όλης της ανεπαρκούς υποδομής με νέες ανθεκτικές και αξιόπιστες λύσεις. Ωστόσο, για εκείνες τις αντικαταστάσεις που είναι εφικτές, θεωρείται ότι υπάρχει κάποια κοινωνική μειονεξία στη συνέχιση της οικοδόμησης στρατηγικής υποδομής με τη χρήση συμβατικών υλικών παλαιού τύπου με αποδεδειγμένη ανικανότητα να αντιμετωπίσουν την πρόκληση των άκρως διαβρωτικών περιβαλλόντων. Η πιο ορθολογική λύση που θα μπορούσε να υιοθετηθεί είναι η στόχευση της πλήρους εξάλειψης των πιθανοτήτων διάβρωσης, αντί απλά να καθυστερείται η διάβρωση (με πιθανότητα εμφάνισης στο μέλλον).

Υπήρξε επίσης μια υποχρησιμοποίηση της ανάλυσης του κόστους κύκλου ζωής (LCC) για τις γέφυρες και τις κατασκευές θαλάσσιων τοιχωμάτων για τη σύγκριση του πραγματικού κόστους έργου. Όταν χρησιμοποιείται το LCC, τα μοντέλα ανθεκτικότητας είναι συνήθως αισιόδοξα και προκατειλημμένα έναντι της πιο ακριβής ανθεκτικής λύσης. Αυτό όμως επιτυγχάνεται, αγνοώντας τις επιπτώσεις της ρωγμής στο σκυρόδεμα όπως συζητήθηκε, καθώς και έχουν αναφερθεί και διάφορα οικονομικά προβλήματα και εμπόδια μακροπρόθεσμα.

Ο οπλισμός FRP κατασκευάζεται από συνεχείς ίνες, τυπικά γυαλί (GFRP), βασάλτη (BFRP), άνθρακα (CFRP) ή αραμίδιο (AFRP). Οι ίνες εμποτίζονται με πολυμερή ρητίνη, συνήθως θερμοσκληρυνόμενο βινυλεστέρα, εποξειδικό, ή πολυεστέρα. Οι θερμοπλαστικές ρητίνες έχουν επίσης δείξει μια αρκετά υποσχόμενη απόδοση και ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τη δυνατότητα μορφοποίησης και ανακύκλωσης μετά την επεξεργασία. Οι ίνες παρέχουν αντοχή σε εφελκυσμό και ακαμψία και η ρητίνη λειτουργεί ως συνδετικό υλικό που μεταφέρει φορτίο στις γειτονικές ίνες. Ο ρόλος ενός κατασκευαστή οπλισμού FRP είναι να συνδυάζει ίνες και ρητίνη σε σύνθετες ράβδους έλξης [46].

Κατά τη διάρκεια της εξώθησης, οι ίνες επικαλύπτονται με ρητίνη και έλκονται μέσω μιας θερμαινόμενης μήτρας από την οποία αναδύονται ως ημιτελικό προϊόν. Στη συνέχεια, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες τεχνικές προετοιμασίας επιφανειών για την ενίσχυση της σύνδεσης της ράβδου FRP με το σκυρόδεμα, συμπεριλαμβανομένης της επίστρωσης με άμμο, της παραμόρφωσης της επιφάνειας, της ελικοειδούς αυλάκωσης ή συνδυασμών αυτών των μεθόδων. Άλλες τεχνικές κατασκευής περιλαμβάνουν το συνδυασμό ενός αριθμού σύνθετων ράβδων μικρής διαμέτρου που μπορούν να συστραφούν σε ένα μόνο σκέλος παρέχοντας μια εύκαμπτη διαμόρφωση (παρόμοια με το χαλύβδινο κλώνο 7 συρμάτων) που μπορεί να τυλιχθεί για τη μεταφορά και το χειρισμό [47]. Ως μη σιδηρούχο υλικό, το FRP είναι μη διαβρωτικό και αδιαπέραστο από την προσβολή του χλωρίου.

Ο κίνδυνος διείσδυσης του χλωρίου και της μετανάστευσης μέσω του σκυροδέματος είναι συνήθως υψηλότερος για τα εξαρτήματα των παράκτιων κατασκευών RC σε άμεση επαφή, ή σε κοντινή απόσταση από το θαλασσινό νερό. Σε αυτές τις θέσεις, όπως τονίστηκε προηγουμένως, η τάση για συσσώρευση χλωρίου στην επιφάνεια του σκυροδέματος έχει ως αποτέλεσμα υψηλότερες διαβαθμίσεις συγκέντρωσης, οι οποίες είναι ευνοϊκές για τη διάχυση. Επιπλέον, τα χλωρίδια μπορούν να διεισδύσουν γρήγορα στο σκυρόδεμα εάν υπάρχουν ρωγμές.

Τα θαλάσσια τοιχώματα RC όπως έχει ήδη αναφερθεί, αποτελούνται συνήθως από προκατασκευασμένα πάνελ τοίχου, χυτά διαφράγματα και συστήματα δεσμάτος όταν χρειάζεται. Τα στοιχεία θαλάσσιου τοιχώματος που

βρίσκονται στη ζώνη επαφής με το θαλασσινό νερό συνήθως απαιτούν πρόωρες επισκευές, ή αντικατάσταση λόγω σοβαρής ζημιάς που προκαλείται από τη διάβρωση του οπλισμού από ανθρακούχο χάλυβα. Η χρήση τοίχων πασσάλων από χαλύβδινο φύλλο συνήθως αποθαρρύνεται για μακροχρόνιες παράκτιες εφαρμογές λόγω της εκτεταμένης απώλειας διατομής και διάτρησης των προστατευτικών επικαλύψεων που εμφανίζεται στη ζώνη.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μελέτη της διαμήκους ανάπτυξης της ακτογραμμής μπορεί να αξιολογηθεί συγκρίνοντας τις διάφορες παραλλαγές από τα ιστορικά της μέρη, από το παρελθόν έως το σήμερα. Η πληθώρα των πληροφοριών που περιλαμβάνονται στις φωτογραφίες και η σύγκριση του «πριν» και του «μετά» δίνει μια καλή ευκαιρία να προσδιοριστεί ο ρυθμός αλλαγής της ακτογραμμής, τόσο μακροπρόθεσμα, όσο και βραχυπρόθεσμα. Επιπλέον, το να γνωρίζουμε πώς έχει εξελιχθεί η ακτή στο παρελθόν και ποιες δυνάμεις έχουν επηρεάσει αυτές τις αλλαγές βοηθά στη γνώση για το τι θα μπορούσε να συμβεί στο μέλλον.

Ωστόσο, δεν υπάρχει συμφωνία για τα χωρικά όρια που καθορίζουν τις παράκτιες περιοχές, καθώς εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από μεμονωμένες απόψεις σε επίπεδο κρατών. Ο ορισμός αυτών των περιοχών είναι απαραίτητος για τον προγραμματισμό των παρεμβάσεων, οι οποίες διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο και το εύρος του μέσου διαχείρισης.

Αυτοί οι ελκυστικοί χώροι από κοινωνικοοικονομική άποψη, είναι πιο πυκνοκατοικημένοι σε σύγκριση με άλλες περιοχές της ενδοχώρας. Κατά συνέπεια, οι άνθρωποι και οι υποδομές που βρίσκονται εδώ είναι πιο ευάλωτοι στα παράκτια ακραία διαβρωτικά και καιρικά φαινόμενα και στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας, που επιδεινώνονται από τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Η βιβλιογραφία αναφέρεται σε σενάρια ανόδου της στάθμης της θάλασσας που φθάνουν έως και τα δύο μέτρα το 2100, τα οποία μπορεί να ξεπεράσουν τα έξι μέτρα έως το 2500.

Όσον αφορά τους περιορισμούς από την έκθεση, οι διαδικασίες λήψης αποφάσεων έχουν ιστορικά χαρακτηριστεί από αντιδραστικές απαντήσεις που ορίζονται στη βιβλιογραφία ως η πράξη άμυνας, που αποτελούν άμεση ανάγκη απόκρισης σε τρέχουσες και περαιτέρω απειλές προκειμένου να προστατευθούν άνθρωποι και υποδομές από παράκτιους κινδύνους.

Ο ακαδημαϊκός κόσμος έχει αναγνωρίσει σε μεγάλο βαθμό τα πλεονεκτήματα των πρωτοβουλιών συμμετοχής του κοινού και τα εθνικά στρατηγικά πλαίσια και νομοθεσία έχουν συμπεριλάβει τη συμμετοχή του κοινού στις συστάσεις τους, υποθέτοντας ότι αυτές θα πρέπει να αποτελούν μέρος της όλης διαδικασίας.

Η προστασία των ακτών, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης των θαλάσσιων τοιχωμάτων από σκυρόδεμα, γίνεται ολοένα και πιο σημαντική υπό το φως της διάβρωσης των ακτών, της ανόδου της στάθμης της θάλασσας και της αυξημένης συχνότητας ακραίων καιρικών φαινομένων. Τα σωστά κατασκευασμένα και συντηρημένα τσιμεντένια τοιχώματα είναι ζωτικής σημασίας για την ανθεκτικότητα των παράκτιων κοινοτήτων και θα προστατεύουν αυτές τις κοινότητες από τη διάβρωση των ακτών και τις πλημμύρες, σε συνδυασμό με την καθοριστική βοήθεια που μας προσφέρει η ανάπτυξη της τεχνολογίας των υλικών στις εν λόγω κατασκευές.

Η υιοθέτηση αυτής της οικονομικής λύσης θα αποφύγει μεγάλο μέρος του διαρκώς υπάρχοντος κινδύνου διάβρωσης υλικών στις αντιδιαβρωτικές κατασκευές και μελλοντικών προσπαθειών διατήρησης που απαιτούνται επί του παρόντος στις εκτεθειμένες υποδομές.

Σαν σύνοψη της εργασίας για την περιοχή του Διακοπτού συμπερασματικά, θέτοντας την συγκεκριμένη περίπτωση ως αρκετά επείγουσα συγκριτικά με τον χρόνο υλοποίησης της και την υπάρχουσα κατάσταση ανάγκης στην οποία βρίσκεται, αναλύεται η ανάγκη εφαρμογής επιχρίσματος ως μέσο ομογενοποίησης προστασίας και μόνωσης της υπάρχουσας τοιχοποιίας μήκους 100 μέτρων με τα προαναφερθέντα υλικά ενίσχυσης όπως η χρήση συνθετικών υλικών FRP (Fiber-Reinforced Polymer) για το επίχρισμα του τοίχου προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα, όπως αυξημένη αντοχή, μειωμένο κόστος συντήρησης και παρατεταμένη διάρκεια ζωής. Τα σύνθετα υλικά FRP, που αποτελούνται από συνεχείς ίνες, ενσωματωμένες σε μια μήτρα πολυμερούς ρητίνης, παρέχουν εξαιρετική αντοχή σε εφελκυσμό και ακαμψία, ενώ είναι επίσης μη διαβρωτικά και αδιαπέραστα από προσβολή χλωρίου, επίσης τα υλικά Krystol θα δώσουν στη δομή του σκυροδέματος μια ικανότητα αυτοσφράγισης, ενώ θα υπάρξει ενίσχυση του τσιμεντένου τύπου Portland C30/37 ή και C35/45 που θα χρησιμοποιηθεί εξίσου στο επίχρισμα. Επιπλέον με βάση τα δεδομένα που αναλύθηκαν και το μήκος της εν λόγω ακτής όπου θα γίνει η εφαρμογή του αντιδιαβρωτικού έργου, επιλέχθηκε το προβολικό αντιδιαβρωτικό σύστημα τεσσάρων προβόλων. Το υλικό των προβόλων θα είναι εξίσου ενισχυμένο με ενισχυμένων πολυμερών (FRP) και χρήση χάλυβα COLORBOND Ultra όπου και αν χρειαστεί η εφαρμογή χάλυβα στην κατασκευή. Επίσης εξαιτίας της βεβαιωμένης διάβρωσης που είχε υποστεί η συγκεκριμένη ακτογραμμή αναφοράς, θα εφαρμοστεί και τεχνητός εμπλουτισμός της ακτής με υλικό παραλίας ώστε το έργο να λειτουργήσει άμεσα στην αποφόρτιση του ταιλιπωρημένου παράκτιου μετώπου της παραλίας Εγκάλης Διακοπτού. Το επιθυμητό αποτέλεσμα θα είναι η απομάκρυνση της ζώνης θραύσεως των κυμάτων που είχε ανέβει επικίνδυνα και βεβαιωμένα προς το έδαφος λόγω της διάβρωσης,

πάνω σε υπάρχουσες κατασκευές. Αυτή αποδεικνύεται μια πολλά υποσχόμενη λύση για το μετριασμό του προβλήματος της διάβρωσης της ακτής.

Η χρήση προβολικών κατασκευών, ενισχύει περαιτέρω τη σταθερότητα και την αποτελεσματικότητα της προτεινόμενης λύσης. Η ισορροπία ενεργητικής και παθητικής πίεσης, μαζί με τη συνεκτίμηση του νερού και άλλων προσαιξήσεων, διασφαλίζει τη δομική ακεραιότητα του τοίχου. Η κατακόρυφη τάση πίσω από τον τοίχο μεταφέρεται αποτελεσματικά στη βάση, αποτρέποντας την ανατροπή και επιτρέποντας στα τοιχώματα του προβόλου να αντέχουν την πλευρική πίεση.

Ένα αξιοσημείωτο πλεονέκτημα των τοίχων με πρόβολο είναι ο αποδοτικός σχεδιασμός τους, ο οποίος απαιτεί ελάχιστο χώρο μόλις κατασκευαστεί. Με την καταλληλότητά τους για ύψη έως και 5 μέτρα, αποδεικνύονται ιδανική επιλογή για την προστασία του τοίχου από τη διάβρωση της ακτής. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η διαδικασία κατασκευής θα απαιτήσει επαρκή χώρο πίσω από τον τοίχο, ιδιαίτερα εάν απαιτείται στήριξη υπαρχουσών πλαγιών. Η προσωρινή στήριξη κατά τη διάρκεια της κατασκευής μπορεί να είναι απαραίτητη για τη διασφάλιση της συνολικής σταθερότητας του συστήματος συγκράτησης.

Συμπερασματικά, η προτεινόμενη προσέγγιση κατασκευής του τοιχώματος και της προβολικής κατασκευής παρουσιάζει μια πρακτική και αποτελεσματική λύση για την καταπολέμηση της διάβρωσης της ακτής στην περιοχή της Εγκάλης Διακοπτού. Η εφαρμογή αυτής της λύσης, σε συνδυασμό με κατάλληλα μηχανολογικά και κατασκευαστικά μέτρα, θα παρέχει μακροπρόθεσμη προστασία, διασφαλίζοντας τη σταθερότητά του και ελαχιστοποιώντας τον κίνδυνο περαιτέρω ζημιών που σχετίζονται με τη διάβρωση.

Με την ενσωμάτωση καινοτόμων υλικών και την εφαρμογή ορθών αρχών μηχανολογίας, αυτή η μελέτη συμβάλλει στην πρόοδο των πρακτικών παράκτιας μηχανικής και προσφέρει πολύτιμες γνώσεις για παρόμοια έργα με στόχο την αντιμετώπιση της διάβρωσης των ακτών και την προστασία των παράκτιων υποδομών με βιώσιμο και αποτελεσματικό τρόπο.

Τέλος, καθοριστικός παράγοντας στην παράκτια ζώνη είναι η βελτίωση των νομοθετικών πλαισίων στην Ελλάδα, ώστε να είναι προσαρμοσμένα στις ανάγκες της εποχής και των δυσκολιών της εκάστοτε περίπτωσης. Απαιτούνται γρήγορες αποφάσεις και πλήρη συμμετοχή του κρατικού μηχανισμού στην αντιμετώπιση αυτών των σημαντικών περιβαλλοντικών προβλημάτων, της διάβρωσης, και της κλιματικής κρίσης. Η φύση των προβλημάτων αυτών δεν επιτρέπει μεγάλα χρονικά περιθώρια αδράνειας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] D.P. CALLAGHAN, D. WAINWRIGHT
The Impact of Various Methods of Wave Transfers from Deep Water to Nearshore When Determining Extreme Beach Erosion, *Coastal Engineering Journal*, 74 (2013), 50-58
- [2] S. KUMARAVEL, T. RAMKUMAR, B. GURUNANAM, M. SURESH, K. DHARANIRAJAN
An Application of Remote Sensing and GIS Based Shoreline Change Studies—A Case Study in the Cuddalore District, East Coast of Tamilnadu, South India, *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 2 (2013), 211-216
- [3] M.L. MARTINEZ, A. INTRALAWAN, G. VAZQUEZ, O. PEREZ-MAQUEO, P. SUTTON, R. LANDGRAVE
The coasts of our world: Ecological, economic and social importance, *Ecological Economics*, 63 (2007), 254-272
- [4] O. AMROUNI, A. HZAMI, E. HEGGY
Photogrammetric assessment of shoreline retreat in North Africa: Anthropogenic and natural drivers, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 157 (2019), 73-92
- [5] H.S. HANSEN, M. FUGLSANG
An Operational Web-Based Indicator System for Integrated Coastal Zone Management, *International Journal of Geo-Information*, 3 (2014), 326-344
- [6] G. LE COZANNET, M. GARCIN, T. BULTEAU, C. MIRGON, M.L. YATES, M. MENDEZ, A. BAILS, D. IDIER, C. OLIVEROS
An AHP-Derived Method for Mapping the Physical Vulnerability of Coastal Areas at Regional Scales, *Natural Hazards and Earth Systems*, 13 (2013), 1209-1227
- [7] R.A. DALRYMPLE, B.D. ROGERS
Numerical Modelling of Water Waves with the SPH Method, *Coastal Engineering Journal*, 53 (2006), 141-147
- [8] <https://maps.gov.gr>

- [9] Κ. ΠΑΠΑΔΟΓΙΑΝΝΗΣ
Διάβρωση και ανάπλαση παραλίας (παραλία Κουμ-Καπί Δήμου Χανίων).
Διπλωματική Εργασία, Χανιά: Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο
Κρήτης, 2013
- [10] L.C. VAN RIJN
Coastal erosion and control, *Ocean & Coastal Management*, 54 (2011), 867-887
- [11] E. PRANZINI, L. ROSSI , G. LAMI , N.L. JACKSON, K.F. NORDSTROM
Reshaping beach morphology by modifying offshore breakwaters, *Ocean and
Coastal Management*, 154 (2018), 168-177
- [12] <https://www.northcarolinahealthnews.org/2022/09/02/youth-climate-stories-beach-nourishment-tourism-homes-outer-banks/>
- [13] https://www.vims.edu/ccrm/outreach/living_shorelines/design/non_structural/beach_dune/index.php
- [14] <https://www.pevensey-bay.co.uk/reprofiling.html>
- [15] <https://coastalcare.org/2017/04/sandbagging-at-the-shore-north-carolinas-coastal-sand-bags-and-political-sandbaggers-by-william-neal-orrin-pilkey-norma-longo/>
- [16] K.W. PILARCZYK
Alternatives for coastal protection, *Geomorphology TUDelft HYDROpil
Consultancy, The Netherlands*, 2008
- [17] <https://www.huffingtonpost.gr/entry/ollandia-technetoi-efaloi-se-schema-legoyia-ten-katapolemese-tes-diavroses-ton-akton>
- [18] <https://www.superiorgroundcover.com/services/geotextile-tubes/>
- [19] S.N. JONKMAN , M.M. HILLEIN , R.J. NICHOLIS, W.KANNING, M. VAN LEDDEN
Costs of Adapting Coastal Defences to Sea-Level Rise— New Estimates and Their
Implications, *Journal of Coastal Research*, 29 (2013), 1212-1226
- [20] http://www.coastalwiki.org/wiki/Floating_breakwaters
- [21] <https://www.gabion-cage.com/gabioncage/gabion-coastal-protection.html>
- [22] <https://fpmccann.co.uk/product-and-services-ni-roi/quarrying/rock-boulders/>

- [23] <https://www.e-education.psu.edu/earth107/node/1062>
- [24] J. O'DONNELL
Sea Level Rise in Connecticut, Department of Marine Sciences and Connecticut Institute for Resilience and Climate Adaptation, 2019
- [25] USACoEi
Coastal engineering manual, US Army Corps of Engineers, 2008
- [26] Π. ΜΑΥΡΟΕΙΔΗΣ, Ε. ΡΑΚΑΝΤΑ, Γ. ΜΠΑΤΗΣ
Ανοξείδωτοι Χάλυβες Οπλισμού Σκυροδέματος: Μηχανικές ιδιότητες και συμπεριφορά απέναντι στην διάβρωση, 15ο Ελληνικό Συνέδριο Οπλισμένου Σκυροδέματος- Αλεξανδρούπολη, 2006
- [27] Θ. ΚΑΡΑΜΠΑΣ, Γ. ΚΡΕΣΤΕΝΙΤΗΣ, Χ. ΚΟΥΚΙΤΑΣ
Ακτομηχανική - Έργα Προστασίας Ακτών, Αθήνα: Σύνδεσμος ελληνικών ακαδημαϊκών βιβλιοθηκών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2015
- [28] L.B. FIRTH, R.C. THOMPSON, K. BOHN, M. ABBIATI, L. AIROLDI, T.J. BOUMA, F. BOZZEDA, V.U. CECCHERELLI, M.A. COLANGELO, A. EVANS, F. FERRARIO, M.E. HANLEY, H. HINZ, S.P.G. HOGGART, J.E. JACKSON, P. MOORE, E.H. MORGAN, S. PERKOL-FINKEL, M.W. SKOV, E.M. STRAIN, J. VAN BELZEN, S.J. HAWKINS
Between a rock and a hard place: Environmental and engineering considerations when designing coastal defence structures, Coastal Engineering , 87 (2014), 122-135
- [29] ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΥΠΟΥΡΓΙΚΗ ΑΠΟΦΑΣΗ
ΕΛΟΤ EN12620 (Αδρανή για σκυρόδεμα), ΥΠΟΥΡΓΙΚΟ ΦΕΚ 386/Β/20-3-2007, 2007
- [30] Α.Χ. ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ
Ενισχύσεις κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος και φέρουσας τοιχοποιίας με σύνθετα υλικά, κεφ 2 και 10, 2004
- [31] A. JAMES, E. BAZARCHI, A.A. CHINIFORUSH , P.P. AGHDAM, M.R. HOSSEINI, A. AKBARNEZHAD, I. MARTEK, F. GHODOOSI
Rebar corrosion detection, protection, and rehabilitation of reinforced concrete structures in coastal environments: A review, Construction and Building Materials, 224 (2019), 1026–1039
- [32] ΕΦΗΜΕΡΙΔΑ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ

ΕΛΟΤ 408, ΕΦΗΜΕΡΙΔΑ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ, 2, 1561, 83-110, 2016

[33] S. JAGHAN, M. NANDHINI

Analysis of durability of coastal concrete structures, Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences, 9 (2016), 1511-1514

[34] L. WU, Z. XIANG, H. JIANG, M. LIU, X. JU, W. ZHANG

A Review of Durability Issues of Reinforced Concrete Structures Due to Coastal Soda Residue Soil in China, Journal of Marine Science and Engineering, 10 (2022), 1740

[35] A. ISLAM

Corrosion Behaviours of High Strength TMT Steel Bars for Reinforcing Cement Concrete Structures, Procedia Engineering, 125 (2015), 623-630

[36] J. AHMAD, K. KONTOLEON, A. MAJDI, M. NAQASH, A. DEIFALLA, N. BEN KAHLA, H. ISLEEM, S. QAIDI

A Comprehensive Review on the Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBS) in Concrete Production, Sustainability, 14 (2022), 16-24

[37] P. AZARSA, R. GUPTA, A. BIPARVA

Durability and Self-Sealing Examination of Concretes Modified with Crystalline Waterproofing Admixtures, Materials, 14 (2021), 26-36

[38] BLUESCOPE

COLORBOND Ultra steel, Bluescope Data Sheet, (2021), 1-4

[39] M.A. BADER

Performance of concrete in a coastal environment, Cement & Concrete Composites, 25 (2013), 539-548

[40] Σ.Η. ΔΡΙΤΣΟΣ

Ενισχύσεις / Επισκευές κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, Πάτρα: Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 2006, 80-86

[41] Δ. ΣΟΦΙΑΔΕΛΗ

Διερεύνηση συνθηκών στερεομεταφοράς και κυματικής διαταραχής στο εσωτερικό διατάξεων μαρινών, Μεταπτυχιακή εργασία του Διατμηματικού

Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Επιστήμη & Τεχνολογία Υδατικών Πόρων», ΕΜΠ, 2014

[42] E. BASTIDAS-ARTEAGA, F. SCHOEFS

Sustainable Maintenance and Repair of RC Coastal Structures, Proceedings of the ICE - Maritime Engineering, 168 (2015), 162-173

[43] F. MICELLI, & A. NANNI

Issues Related to Durability of FRP Reinforcement for RC Structures Exposed to Accelerated Ageing, Proc., ASC 16th Annual Conference -Virginia Tech, Blacksburg, VA, M.W. Hyer and A.C. Loos, Eds., Paper 056, 12pp. CD-ROM, Sept. 9-12, 2001

[44] N. HOSSEINZADEH, M. GHIASIAN, E. ANDIROGLU, J. LAMERE, L. RHODE-BARBARIGOS, J. SOBCZAK, K.S. SEALEY, P. SURANENI

Concrete seawalls: A review of load considerations, ecological performance, durability and recent innovations, Ecological Engineering, 178 (2022), 106573

[45] ACI

ACI 440.1R-15 guide for the design and construction of structural concrete reinforced with fiber-reinforced polymer (FRP) bars, American Concrete Institute, Farmington Hills, 2015

[46] Δ. ΜΠΑΡΟΣ

Χρήση Ράβδων FRP ως Μέσο Όπλισης Κατασκευών Σκυροδέματος: Διαδικασίες Διαστασιολόγησης – Σύγχρονες Αντιλήψεις,
<http://eclass.upatras.gr/courses/CIV1507/>, Ed., Πάτρα: Πανεπιστήμιο Πατρών, 2006

[47] M. ROSSINI, & A. NANNI

MILDGLASS: GFRP Strand for resilient mild prestressed concrete, Final report for NCHRP IDEA project 207, Transportation Research Board, Washington, DC, 2020