

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΤΟΥ

ΣΠΥΡΟΥ ΦΩΤΕΙΝΗ

ΤΙΤΛΟΣ: Η ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΩΝ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΩΝ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ



ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

ΚΩΣΤΑΣ ΣΥΝΟΛΑΚΗΣ



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Φωτογραφία εξωφύλλου παρμένη απο παρουσίαση του καθηγητή Κώστα Συνολάκη στο ΤΕΕ δυτικής Κρήτης. Παρουσιάζεται η παραλία της Σάντα Μόνικα, Καλιφόρνια ΗΠΑ σε αντιδιαστολή με την Παραλία της Αγίας Μαρίνας, Χανία.

Περιεχόμενα

1. Ορισμοί	5
1.1 Ακτογραμμή και παραλία.....	5
1.2 Δημιουργία παράλιων	6
1.2.1 Υλικό παράλιων και τρόποι κατάταξης του.....	6
1.2.2 Διανομή του ιζήματος στην παραλία	8
1.3 Εποχιακός μηχανισμός λειτουργίας παράλιων	9
1.3.1 Καλοκαίρι.....	9
1.3.2 Χειμώνας.....	10
1.3.3 Σύγκριση καλοκαιρινού με χειμερινό προφίλ.....	11
1.3.4 Ισχυρές κυματικές καταιγίδες - αιτία διάβρωσης παράλιων.....	12
2. Η Διάβρωση των ακτογραμμών στην Ευρώπη και στην Ελλάδα.....	14
2.1 Ορισμός του προβλήματος.....	14
2.2 Η κατάσταση στην Ευρώπη - Ελλάδα	15
2.3 Ορισμός και πηγές παράκτιας διάβρωσης	16
2.4 Η κατάσταση στη Κρήτη	17
3. Αίτια διάβρωσης των Παράλιων της Κρήτης	21
3.1 Αμμοληψίες απο παραλίες	21
3.1.1 Καλύβες, Χανιά.....	22
3.2 Ανάπτυξη πάνω στην ενεργή ζώνη της παραλίας.....	25
3.2.1 Κατασκευές, με σωστή διαχείριση, στο ενεργό πλάτος της παραλίας, Σαντα Μόνικα (Santa Monica), Καλιφόρνια	26
3.2.2 Το παράδειγμα της Σταλίδας, νομού Ηράκλειου	28
3.3 Διάβρωση απο παραλιακούς δρόμους.....	29
3.3.1 Διάβρωση που οφείλεται στην καταστροφή των αμμοθινών απο την κατασκευή παραλιακού δρόμου, Ταυρωνίτης, Χανιά.....	30
3.3.2 Παραλιακός δρόμος και συνεπακόλουθη καταστροφή αμμοθινών στην παραλία της Νέας Χώρας, Χανιά.....	32
3.4 Διάβρωση προκαλούμενη απο ποτάμιες αμμοληψίες.....	33
3.4.1 Διάβρωση προκαλούμενη απο ποτάμιες αμμοληψίες, παραλία Ταυρωνίτη, Χανιά	33
3.5 Διάβρωση προκαλούμενη απο μικρές παράκτιες κατασκευές.....	34
3.5.1 Διακοπή στερεομεταφοράς	35
3.5.2 Διάβρωση προκαλούμενη απο συντονισμό κυμάτων και ανάκλαση.....	37
4. Υπολογισμοί Ακτομηχανικής Διερεύνησης.....	43
4.1 Μέθοδος SMB Ανεμολογικά Δεδομένα	43
4.1.1 Περιγραφή της Μεθόδου SMB και Υπολογισμός Αναπτύγματος Πελάγους (FETCH)...	44
4.1.2 Υπολογισμός κυματικού κλίματος με τη μέθοδο SMB	50
4.1.3 Υπολογισμός χαρακτηριστικών κυματισμών.....	56
4.1.4 Αποτελέσματα	60
4.2 Ροή Ενέργειας Και Στερεοπαροχή.....	61
4.2.1 Αναφορά Στα Μοντέλα Στερεοπαροχής	61
4.2.3 Συμπεράσματα	68
5. Επίλογος.....	69
Βιβλιογραφία.....	70

1. Ορισμοί

1.1 Ακτογραμμή και παραλία

Σύμφωνα με την πρόσφατη Ελληνική νομοθεσία και τον νόμο 2971 της 19.12.2001, ΦΕΚ 285 Α' που αφορά την παράκτια ζώνη, ορίζεται ως [1]:

«**Αιγιαλός**» είναι η ζώνη της ξηράς, που βρέχεται από τη θάλασσα από τις μεγαλύτερες και συνήθεις αναβάσεις των κυμάτων της.

«**Παραλία**» είναι η ζώνη ξηράς που προστίθεται στον αιγιαλό, καθορίζεται δε σε πλάτος μέχρι και πενήντα (50) μέτρα από την οριογραμμή του αιγιαλού, προς εξυπηρέτηση της επικοινωνίας της ξηράς με τη θάλασσα και αντίστροφα.

«**Παλιός αιγιαλός**» είναι η ζώνη της ξηράς, που προέκυψε από τη μετακίνηση της ακτογραμμής προς τη θάλασσα, οφείλεται σε φυσικές προσχώσεις ή τεχνικά έργα και προσδιορίζεται από τη νέα γραμμή αιγιαλού και το όριο του παλαιότερα υφιστάμενου αιγιαλού.

«**Λιμένας**» είναι ζώνη ξηράς και θάλασσας μαζί με έργα και εξοπλισμό, που επιτρέπουν κυρίως την υποδοχή κάθε είδους πλωτών μέσων και σκαφών αναψυχής, τη φορτοεκφόρτωση, αποθήκευση, παραλαβή και προώθηση των φορτίων τους, την εξυπηρέτηση επιβατών και οχημάτων και την ανάπτυξη επιχειρηματικών δραστηριοτήτων, που συνδέονται άμεσα ή έμμεσα με τις θαλάσσιες μεταφορές.

«**Λιμενικά έργα**» είναι εκείνα, που εκτελούνται ολικώς ή μερικώς στον αιγιαλό, την όχθη, την παραλία ή την παρόχθια ζώνη, μέσα στη θάλασσα, στον πυθμένα της θάλασσας και στο υπέδαφος του βυθού, καθώς και εκείνα που επιφέρουν διαμόρφωση ή αλλοίωση των χώρων αυτών ή που προβλέπονται από τις διατάξεις περί Λιμενικών Ταμείων.

Στην καθημερινότητα, ως ακτογραμμή ορίζουμε το σημείο εκείνο που τα τρία κύρια φυσικά στοιχεία, ο αέρας, το νερό και η γη, συναντώνται. Αυτή δεν είναι σταθερή, αλλά μεταβάλλεται με το χρόνο σε δύο κλίμακες. Βραχυπρόθεσμα οι κυματισμοί δύναται να μεταβάλλουν τη θέση της, ενώ μακροπρόθεσμα εξαρτάται από μεταβολές της Μέσης Στάθμης της Θάλασσας (ΜΣΘ) και από τη διάβρωση και την εναπόθεση ιζημάτων.

Ακτογραμμές οι οποίες θεωρούνται, από γεωλογικής σκοπιάς, «νέες» τείνουν να υποχωρούν και να διαβρώνονται. Με την πάροδο του χρόνου οι ακτογραμμές διαβρώνονται από τη κυματική ενέργεια και συγχρόνως εμπλουτίζονται με ίζημα το οποίο εισέρχεται σε αυτές από υδάτινες οδούς. Ως αποτέλεσμα σχηματίζεται σιγά σιγά το σύστημα παραλίας – αιγιαλού – θάλασσας (μέχρι το κρίσιμο βάθος), το οποίο συνήθως αποκαλείται απλά παραλία. Παραλίες ονομάζουμε τους γεωλογικούς σχηματισμούς οι

οποίοι έχουν ομαλή κλίση και αποτελούνται από ιζηματογεννές υλικό, συνήθως άμμο ή βότσαλα, και έχουν την ικανότητα να παραμένουν σχετικά σταθερές σε βάθος χρόνου. Έχουν την ικανότητα να απορροφούν την κυματική ενέργεια και λειτουργούν σαν «προφυλακτήρας» για την παράκτια ζώνη. Συγχρόνως αποτελούν βιότοπους μεγάλης σημασίας, χρησιμοποιούνται ως χώρος αναψυχής και αποφέρουν σημαντικά οικονομικά οφέλη τόσο σε τοπικό όσο και σε εθνικό επίπεδο. Στην Κρήτη υπάρχει πληθώρα παράλιων, οι οποίες πλέον λόγω ανθρωπογενών παρεμβάσεων διαβρώνονται με υψηλό ρυθμό. Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή γίνεται μια ενδελεχής μελέτη και σταχιολόγηση των αιτίων διάβρωσης των παραλιών της Κρήτης.

1.2 Δημιουργία παράλιων

1.2.1 Υλικό παράλιων και τρόποι κατάταξης του

Οι παραλίες αποτελούνται από υλικό (ιζήματα) το οποίο προέρχεται κυρίως από τρεις πηγές:

1. Διάβρωση γεωλογικών σχηματισμών της ενδοχώρας και μεταφοράς τους από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, ποτάμιες οδούς, πλημμύρες κλπ.
2. Αποσάθρωση των υπαρχόντων γεωλογικών σχηματισμών της ακτογραμμής.
3. Αποσαθρωμένους βιολογικούς παράγοντες, όπως κομμάτια και θρύψαλα κελυφών θαλασσίων οργανισμών, κοράλλια κλπ.

Ενδεικτικά, στην πολιτεία Φλωριδα, των ΗΠΑ, σε μερικές παραλίες η συμμετοχή βιολογικών παραγόντων φτάνει το 40% της συνολικής ποσότητας άμμου [2].

Το ίζημα κάθε παραλίας συνήθως διαφέρει από το περιοχή σε περιοχή. Για την κατάταξη και ταξινόμηση του μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι παρακάτω ιδιότητες [2]:

- Το χαρακτηριστικό μέγεθος των κόκκων (mm).
- Το μέγεθος φ (καθαρός αριθμός, χρησιμοποιείτε κυρίως από γεωλόγους).
- Η σύσταση, δηλαδή η κατανομή μεγέθους κόκκων ανά μονάδα βάρους.
- Η ειδική βαρύτητα.
- Το χρώμα.
- Η ταχύτητα καθίζησης.

Παραδείγματος χάρη, το ίζημα των παράλιων μπορεί να ταξινομηθεί ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων που το αποτελούν, ως εξής:

Πίνακας 1. Γεωμετρική ταξινόμηση ιζηματογενών κόκκων (κλασματική σε mm) [3].

Ονομασία	Διάμετρος
Κροκάλες – πολύ χοντρόκοκκες έως μεσόκοκκες (Boulders)	4096 - 128 mm
Κροκάλες – μεσόκοκκες έως πολύ λεπτόκοκκες (Cobbles)	128 – 16 mm
Χαλίκι (Pebbles)	64 – 0,25 mm
Άμμος (Sand)	0,25 – 0,0078 mm
Ιλύς (Silt)	0,0078 – 0,00049 mm
Αργίλος (Clay)	0,00049 - 0,00024mm

Πίνακας 2. Αριθμητική ταξινόμηση ιζηματογενών κόκκων (λογαριθμική σε φ) [3].

Ονομασία	Διάμετρος
Κροκάλες – πολύ χοντρόκοκκες έως μεσόκοκκες (Boulders)	-12 έως -7 mm
Κροκάλες – μεσόκοκκες έως πολύ λεπτόκοκκες (Cobbles)	-7 έως -4 mm
Χαλίκι (Pebbles)	-4 έως 2 mm
Άμμος (Sand)	2 έως 7 mm
Ιλύς (Silt)	7 έως 11 mm
Αργίλλος (Clay)	11 έως 12 mm

Το μέγεθος φ είναι ο αρνητικός λογάριθμός, με βάση 2, της διαμέτρου του

ιζήματος μιας παραλίας, εκφρασμένος σε χιλιοστά, δηλ: $\varphi = -\log_2(D(\text{mm}))$ (1). Είναι αριθμός ανάστροφος της διαμέτρου $D(\text{mm})$, αφού λύνοντας την παραπάνω σχέση προκύπτει ότι $D(\text{mm}) = 2^{-\varphi}$ (2).

Το μέγεθος φ χρησιμοποιείται γιατί τα περισσότερα ιζήματα παράλιων παρουσιάζουν κανονική κατανομή, όταν εκφραστούν σε μονάδες φ . Επίσης αν εκφραστεί το φ σε λογάριθμο με βάση το 10, προκύπτει:

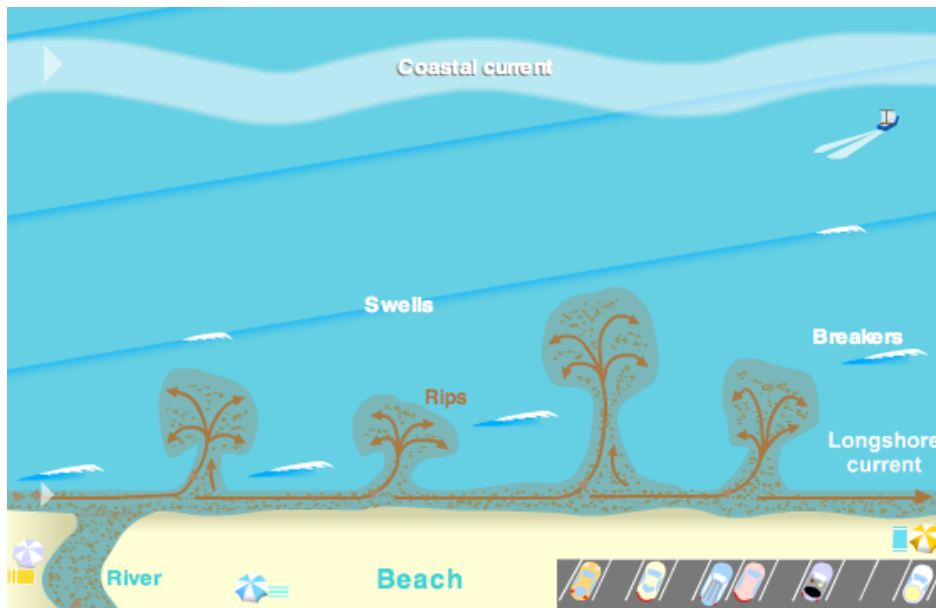
$$\text{Log}_{10}(D(\text{mm})) = -\varphi \log_{10}(2) \Rightarrow \varphi = -3,32 \log_{10}(D(\text{mm})) \quad (3)$$

Σημειώνεται ότι απο αυστηρά μαθηματική σκοπιά το φ είναι άστοχο, μαθηματικές συναρτήσεις, όπως ο λογάριθμος και το ημίτονο, είναι αδιάστατες.

1.2.2 Διανομή του ιζήματος στην παραλία

Κάθε παραλία αποτελείτε από ίζημα συγκεκριμένης σύστασης, τα χαρακτηριστικά του οποίου εξαρτώνται από τους εκάστοτε γεωλογικούς σχηματισμούς της ακτογραμμής και των περιοχών που βρίσκονται πίσω από αυτήν. Μέρος της ακτογραμμής και των γεωλογικών σχηματισμών που βρίσκονται πίσω από αυτή, διαβρώνεται και οδηγείται μέσω ποταμών, πλημμυρών και άλλων υδάτινων οδών ή και ακόμα με τον αέρα, σε παραλίες. Αφού το ίζημα φτάσει στην παραλία, ανακατανέμεται και διανέμεται κάθετα και οριζόντια μέσω θαλάσσιων ρευμάτων ή και αιολικών δυνάμεων [4].

Αφού το ίζημα φτάσει στην παραλία, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του (διάμετρος, ειδικό βάρος κ.α.) και τις συνθήκες που επικρατούν (κύματα, ρεύματα, άνεμοι κ.α.) αυτό θα αποτεθεί σε διάφορα σημεία της. Ως αποτέλεσμα μπορεί να αποτεθεί στην παραλία και να αυξήσει το πλάτος της, να σχηματίσει αμμοθίνες, να αναπληρώσει χαμένο ίζημα ή μπορεί να παρασυρθεί μακριά από την παραλία και να αποτεθεί σε περιοχή η οποία καλείται βαθιά νερά. Αυτή η περιοχή βρίσκεται μετά από ένα συγκεκριμένο σημείο, το οποίο διαφέρει από παραλία σε παραλία, και ονομάζεται κρίσιμο βάθος. Στην περιοχή αυτή, το ίζημα (άμμος) δεν μπορεί πλέον να μεταφερθεί πίσω στην παραλία, καθώς η δύναμη της βαρύτητας στο σημείο αυτό είναι μεγαλύτερη από την δύναμη των ρευμάτων που επικρατούν στην παραλία.



Εικόνα 1: Ιζηματομεταφορά σε παραλία [5].

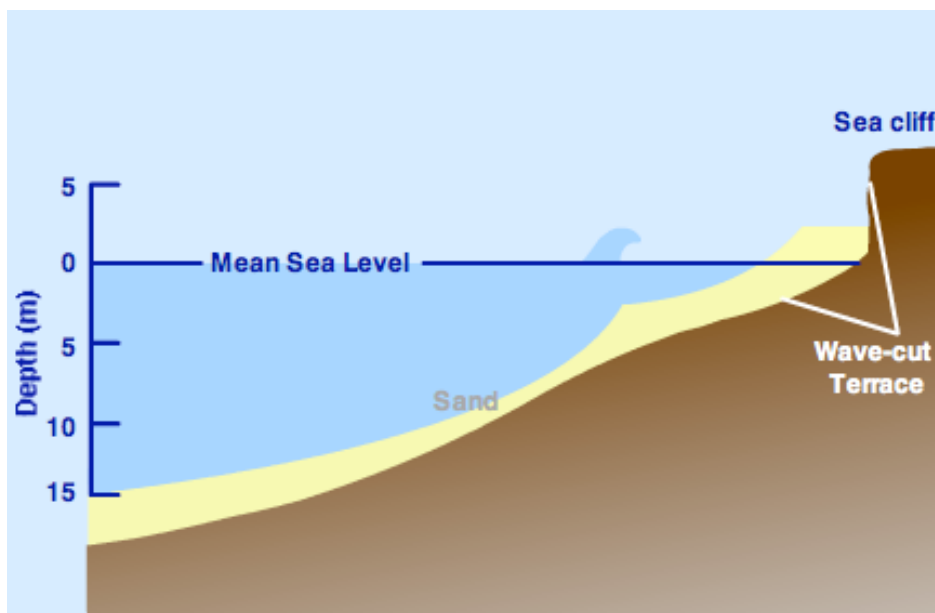
1.3 Εποχιακός μηχανισμός λειτουργίας παράλιων

Μια παραλία είναι ένα ενεργό σύστημα, μέσα στο οποίο συμβαίνει εποχιακή μεταφορά μάζας (άμμου). Το χειμώνα τα καιρικά φαινόμενα, δηλαδή η αιολική και η κυματική ενέργεια και τα θαλάσσια ρεύματα, είναι μεγαλύτερα σε ένταση από ότι το καλοκαίρι. Τα καιρικά φαινόμενα μεταφέρουν ενέργεια, η οποία είναι συνάρτηση της έντασης τους, συνεπώς μια παραλία δέχεται μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας το χειμώνα, η οποία δύναται να την διάβρωση. Εξαιτίας της εισροής ενέργειας κάποια χαρακτηριστικά της, όπως η κλίση και το πλάτος της, παρουσιάζουν εποχιακή διακύμανση. Μια πιο ενδελεχής ανάλυση της εποχιακής διακύμανσης παρουσιάζεται παρακάτω, ξεκινώντας από το καλοκαίρι.

1.3.1 Καλοκαίρι

Το καλοκαίρι η κυματική ενέργεια που δέχεται μια παραλία είναι μικρότερη από αυτήν του χειμώνα. Τα κύματα που δέχεται μια παραλία μπορούν να χωριστούν σε δύο κύριες κατηγορίες, τα ανεμογενή κύματα και τα βουβά κύματα ή ρεστία (swell waves). Τα ανεμογενή κύματα παράγονται κοντά στην παραλία και το αίτιο γέννησής τους είναι ο άνεμος. Η ρεστία είναι κύματα που παράγονται μακριά από την παραλία και το αίτιο γέννησής τους είναι έντονα καιρικά φαινόμενα (καταιγίδες, έντονες θαλασσοταραχές κλπ). Αυτά δημιουργούν κυματισμούς οι οποίοι αρχίζουν να διασπείρονται στο θαλάσσιο χώρο και έτσι όταν πλέον φτάσουν στην παραλία έχουν διαχωριστεί σε ομάδες με κοινή περίοδο. Για το λόγο αυτό τα κύματα της ρεστίας είναι πιο ομοιόμορφα και έχουν

ηπιότερα χαρακτηριστηκά από τα ανεμογενή κύματα. Το καλοκαίρι οι άνεμοι που πνέουν στην ευρύτερη περιοχή της Κρητης είναι ήπιοι και έχουν πολύ μικρότερη ένταση σε σύγκριση με τον χειμώνα. Έτσι τα κύματα που επικρατούν είναι η ρεστιά, τα οποία έχουν την ικανότητα να παρασέρνουν ίζημα από τον θαλάσσιο χώρο που βρίσκεται κοντά στην παραλία (πριν από το κρίσιμο βάθος) και να το αποθέτουν στην στεριά. Με αυτό τον τρόπο η παραλία αποκτά μεγαλύτερο πλάτος και ηπιότερες κλίσεις από τις ανάλογες του χειμώνα.

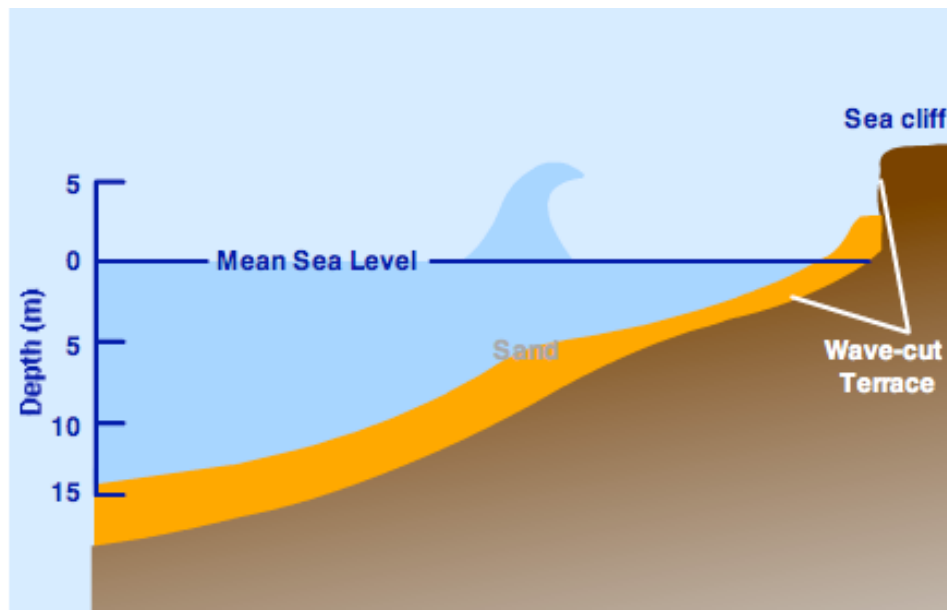


Εικόνα 2: Καλοκαιρινό προφίλ παραλίας [6].

1.3.2 Χειμώνας

Το χειμώνα, η παραλία εκτός από ρεστιά δέχεται και ανεμογενή κύματα. Τα ανεμογενή κύματα έχουν είναι ανομοιόμορφα και πιο ψηλά από την ρεστιά. Έτσι η παραλία πλημμυρίζει και παρασερνονται μεγάλες ποσότητες ιζήματος. Αυτές οι ποσότητες οδηγούνται στη θάλασσα, όπου και κατακάθονται και δημιουργούν έναν ή περισσότερους αναβαθμούς. Αυτοί οι αναβαθμοί βρίσκονται πριν από την περιοχή βαθιών νερών και «μεταφράζονται» από τα κύματα ως απότομες αλλαγές του βάθους του πυθμένα. Τα κύματα, αν συναντήσουν κάποιον αναβαθμό ο οποίος βρίσκεται σε μικρό βάθος σε σχέση με το ύψος κύματος θραύονται (ένας γενικός κανόνας είναι ότι η θραύση συμβαίνει όταν το ύψος κύματος προς το βάθος είναι περίπου 0,78 δηλ. όταν $H/d \sim 0,78$) και «απελευθερώνουν» μεγάλο μέρος της ενέργειας τους. Έτσι εξαιτίας της ύπαρξης αναβαθμών, η ενέργεια που δέχεται στην παραλία είναι πολύ μικρότερη από την ενέργεια που είχε το κύμα πριν τον αναβαθμό. Με τον τρόπο αυτό τα κύματα πλέον δεν

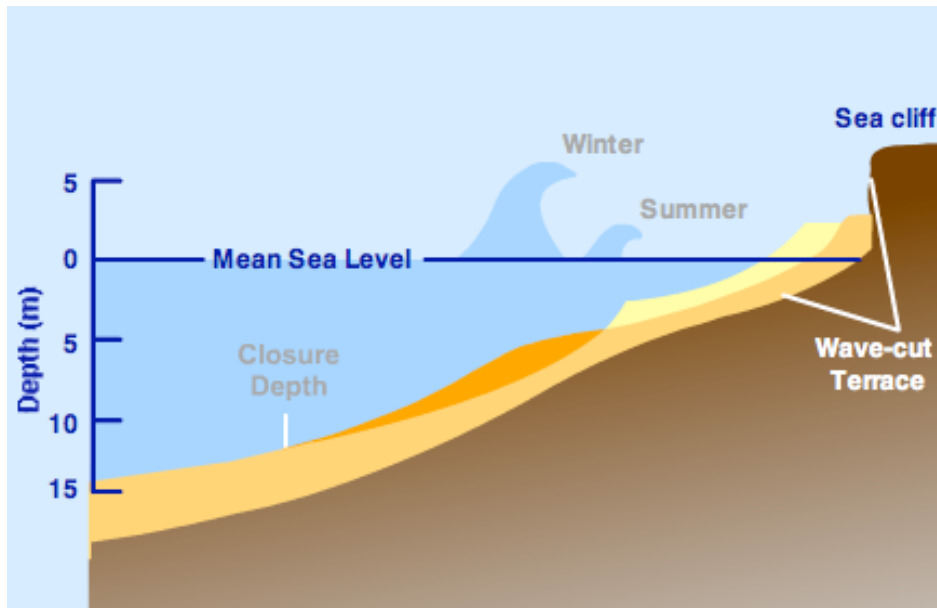
πλημμυρίζουν την παραλία και η περαιτέρω διάβρωση αποτρέπεται.



Εικόνα 3: χειμερινό προφίλ παραλίας [6].

1.3.3 Σύγκριση καλοκαιρινού με χειμερινό προφίλ

Το χειμώνα το πλάτος της παραλίας είναι μικρότερο από αυτό του καλοκαιριού, αφού μέρος της έχει μετακινηθεί στη θάλασσα, δημιουργώντας έναν ή περισσότερους αναβαθμούς. Τους καλοκαιρινούς μήνες, όταν επικρατεί ρεστία, το ίζημα από τους αναβαθμούς επιστρέφει ξανά στην παραλία αυξάνοντας το πλάτος της. Στην εικόνα 4 φαίνεται η σύγκριση του χειμερινού με το καλοκαιρινό προφίλ, ενώ παρουσιάζεται σχηματικά ένας αναβαθμός, ο οποίος εμφανίζεται με καφέ χρώμα. Με ανοικτό κίτρινο παρουσιάζεται το ίζημα του αναβαθμού, το οποίο έχει επιστρέψει πίσω στην στεριά και έχει μεγαλώσει το πλάτος της.

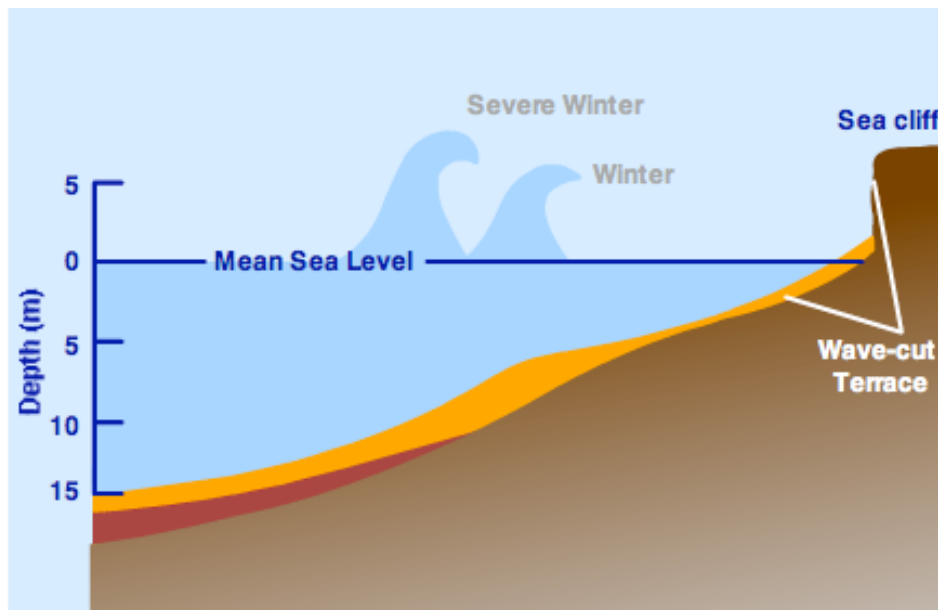


Εικόνα 4: Σύγκριση χειμερινού με καλοκαιρινό προφίλ παραλίας [6].

1.3.4 Ισχυρές κυματικές καταιγίδες - αιτία διάβρωσης παράλιων

Την χειμερινή περίοδο, κατά την διάρκεια μεγάλων κυματικών καταιγίδων, μέρος του ιζήματος μεταφέρεται πέραν των αναβαθμών και αποτίθεται σε περιοχή βαθιών νερών, όπου είναι πλέον αδύνατον να ξαναγυρίσει στην παραλία κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Αυτός ο μηχανισμός προκαλεί την φυσική διάβρωση σε μια παραλία.

Η φυσική διάβρωση της παραλίας δεν είναι κάθε χειμώνα ίδια, αλλά εξαρτάται από τα ακραία καιρικά φαινόμενα και τις ισχυρές κυματικές καταιγίδες. Συνήθως αντισταθμίζεται, και στις πλύστες των περιπτώσεων, όπου δεν υπάρχει ανθρωπογενής παρέμβαση, υπερκεράζεται από τις διαδικασίες απόθεσης ιζήματος. Επίσης μια παραλία μπορεί να διαβρώθει και από ανθρωπογενής παράγοντες. Όταν υπάρχει εκτεταμένη ανθρώπινη παρέμβαση σε μια παραλία τότε η διάβρωση μπορεί να είναι σημαντική. Σε αυτή την περίπτωση δεν είναι εφικτό να δημιουργηθούν αναβαθμοί. Έτσι τα χειμερινά κύματα που φτάνουν στην παραλία, δεν θα υποστούν θραύση ή η θραύση θα συμβαίνει πολύ κοντά στην ακτή. Τα κύματα αυτά θα μεταφέρουν μεγαλύτερη ενέργεια στην παραλία προκαλώντας πιθανές πλημμύρες και περαιτέρω διάβρωση.



Εικόνα 5: Σύγκριση κυματισμού - κυματισμός δριμύ χειμώνα σε αντιδιαστολή με ήπιο χειμώνα [6].

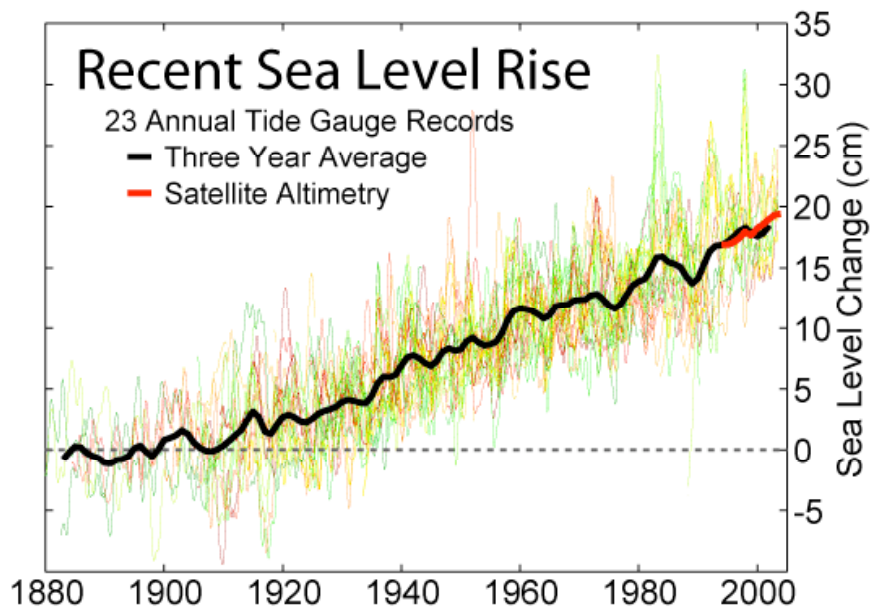
Όταν οι απώλειες ιζήματος αντισταθμίζονται από φυσικούς παράγοντες και ο μηχανισμός που περιγράφηκε παραπάνω (δημιουργία αναβαθμών) λειτουργεί φυσιολογικά, και η παραλία βρίσκεται σε ισορροπία (equilibrium beach profile) και δεν αναμένεται να παρουσιάσει διάβρωση. Σε αντίθεση όταν υπάρχουν ανθρωπογενείς παρεμβάσεις στην παράκτια ζώνη, τότε η παραλία είναι πιθανόν να δέκει μεγαλύτερη κυματική ενέργεια, εξαιτίας διαφόρων παραγόντων που θα εξεταστούν παρακάτω, από αυτήν που δύναται να αφομοιώσει και έτσι είναι πιθανόν να παρουσιαστεί διάβρωση

Ανθρώπινες παρεμβάσεις όπως είναι οι κατασκευές παράκτιων έργων, χωρίς τις κατάλληλες ακτομηχανικές μελέτες, οι αμμοληψίες από παραλίες, τον αιγιαλό και απο ποτάμια, η καταστροφή των αμμοθινών, η κατασκευή δρόμων ή κτηρίων πάνω στον αιγιαλό, μπορεί να αλλάξουν τις τοπικές ανεμολογικές και κυματικές συνθήκες και τα θαλάσσια ρεύματα. Αυτές οι επεμβάσεις μπορεί να μειώσουν το ενεργό πλάτος της παραλίας, μειώνοντας έτσι το ύψος του χειμερινού αναβαθμού με τελικό αποτέλεσμα να παρουσιαστεί διάβρωση στην παραλία.

2. Η Διάβρωση των ακτογραμμών στην Ευρώπη και στην Ελλάδα

2.1 Ορισμός του προβλήματος

Οι ακτογραμμές της Ελλάδας, και πιο συγκεκριμένα της Κρήτης, έχουν αρχίσει να διαβρώνονται με ανησυχητικά αυξανόμενο ρυθμό τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Στην Κρήτη, όπως και στην υπόλοιπη Ευρώπη, οι κύριοι παράγοντες για την εκτεταμένη και έντονη διάβρωση που παρατηρείται είναι ανθρωπογενείς. Η διάβρωση των ακτογραμμών είναι αναμενόμενη, καθώς η γη βρίσκεται σε μεσοπαγετώδης περίοδο, ενώ τον προηγούμενο αιώνα η ετήσια άνοδος της Μέσης Στάθμης Θαλάσσης (ΜΣΘ) ήταν 1,8 mm [7]. Όμως ο ρυθμός ανόδου της ΜΣΘ επιταχύνεται από το φαινόμενο του θερμοκηπίου έτσι επιταχύνεται και ο ρυθμός διάβρωσης πολλών ακτογραμμών.



Εικόνα 6: Διάγραμμα ανόδου της ΜΣΘ με το χρόνο [8].

Βέβαια η έντονη διάβρωση που παρατηρείτε στην ακτογραμμή της Κρήτης τις τελευταίες δεκαετίες δεν δικαιολογείται από την άνοδο της ΜΣΘ, αλλά από άλλους ανθρωπογενείς παράγοντες όπως [9]:

- Οι έντονες αμμοληψίες από ακτές και ανάντη υδάτινες οδούς.
- Ο κακός σχεδιασμός και οι αστοχίες των παράκτιων κατασκευών, που οδηγεί σε πληθώρα φαινομένων, όπως διάθλαση, ανάκλαση κυματισμών, διακοπή στερεομεταφοράς κ.α.
- Η κατασκευή έργων υποδομής κοντά ή πάνω στην ακτογραμμή, όπως οδικοί άξονες (τα οποία είτε καταστρέφουν είτε επηρεάζουν αρνητικά το ευαίσθητο σύστημα των

αμμοθίνων).

- Η κατασκευή οικημάτων και ξενοδοχειακών μονάδων πάνω στον αιγιαλό ή σε μικρή απόσταση από την ακτή (μείωση του ενεργό πλάτος της παραλίας).

Μετά από ενδελεχής καταγραφή, εξέταση και μελέτη των παρατηρούμενων προβλημάτων διάβρωσης σε πληθώρα παραλιών της Κρήτης, αλλά και τις υπόλοιπες Ελλάδας, βρέθηκε ένας κοινός παρανομαστής. Το κοινό πρόβλημα σε όλες τις περιπτώσεις διάβρωσης, είναι η έλλειψη μιας ενοποιημένης αρχής διαχείρισης της παράκτιας ζώνης, για την Κρήτη και για την υπόλοιπη Ελλάδα. Σε αρκετές χώρες υπάρχει μια αρχή αποκλειστικά υπεύθυνη για την διαχείριση, αξιολόγηση και έλεγχο της Παράκτιας ζώνης, όπως π.χ. η California Coastal Commission, η οποία είναι αποκλειστικά υπεύθυνη για την διαχείριση των ακτογραμμών της Καλιφόρνια στις ΗΠΑ [10].

Αυτή η έλλειψη, μιας ενιαίας και αποκλειστικά υπεύθυνης αρχής, έχει ως αποτέλεσμα είτε την αδυναμία κατασκευής αναγκαίων έργων ή εμπλουτισμού παραλιών λόγω γραφειοκρατίας είτε τον κακό ή ελλιπή σχεδιασμό των παράκτιων έργων, όταν αυτά εκτελούνται.

2.2 Η κατάσταση στην Ευρώπη - Ελλάδα

Η διάβρωση των ακτογραμμών της Ελλάδας άρχισε να γίνεται εμφανής από την δεκαετία του 1950, και σήμερα πλέον έχει αποκτήσει ανησυχητικές διαστάσεις. Η Ελλάδα έχει την μεγαλύτερη έκταση ακτογραμμών στην Μεσόγειο (έκταση 131.940 km², μήκος ακτογραμμών τουλάχιστον 13.676 km και περίπου 2.000 νησιά στο αρχιπέλαγος της) [11] και έτσι επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την ολοένα και μεγαλύτερη υποχώρηση των ακτογραμμών της. Βέβαια το πρόβλημα διάβρωσης των ακτογραμμών δεν αποτελεί μια ελληνική ιδιαιτερότητα, αλλά επηρεάζει αρνητικά ένα μεγάλο ποσοστό των ακτογραμμών, παγκοσμίως.

Στην Ευρώπη υπολογίζεται ότι ετησίως υποχωρούν 15 km² ακτογραμμής. Στην περίοδο 1999-2002, περίπου 250 με 300 σπίτια εγκαταλείφθηκαν ως αποτέλεσμα του επικείμενου παράκτιου κινδύνου διάβρωσης. Επίσης περίπου 20.000 km των ακτών της Ευρώπης, που αντιστοιχούν περίπου στο 20% των ακτογραμμών της αντιμετώπισαν έντονα προβλήματα το έτος 2004. Ακόμα 15.100 km ακτογραμμών υποχωρούν ενεργά, ενώ ~ 2.900 km συνεχίζουν να υποχωρούν, παρά τα παράκτια έργα προστασίας που έχουν κατασκευαστεί σε αυτές, ενώ άλλα 4.700 km έχουν σταθεροποιηθεί τεχνητά, προσωρινά [12].



Εικόνα 7: Κρηπιδότοιχος για σταθεροποίηση της ακτογραμμής του Κολυμβαρίου – 13/10/2008 [13].

Λαμβάνοντας υπόψη ότι, τα τελευταία 50 έτη, ο πληθυσμός που ζει στους ευρωπαϊκούς παράκτιους δήμους έχει υπερδιπλασιαστεί και ότι η αξία των ακίνητων περιουσιών που βρίσκονται σε ακτίνα 500 m έχει ιδιαίτερα αυξημένη αξία, γίνονται εύκολα αντιληπτές οι πιθανές επιπτώσεις της παράκτιας διάβρωσης. Οι παράκτιες πλημμύρες, αν δεν ληφθούν άμεσα, ενδεδειγμένα, λειτουργικά και περιβαλλοντικά φιλικά μέτρα προστασίας, θα αποτελέσουν ένα σημαντικό πρόβλημα. Επιπροσθέτως, η Κρήτη είναι πιο ευάλωτη στην παράκτια διάβρωση γιατί ένα μεγάλο μέρος του πληθυσμού της έχει ως κύρια απασχόληση τον παράκτιο τουρισμό. Υπολογίζεται ότι ο παράκτιος τουρισμός επιφέρει 195.739 θέσεις εργασίας [12] σε σύνολο 4.511.609 θέσεων εργασίας (Α΄ τρίμηνο του 2008) στην Ελλάδα [14].

2.3 Ορισμός και πηγές παράκτιας διάβρωσης

"Ως παράκτια διάβρωση ορίζεται η σταδιακή οπισθοχώρηση της ακτογραμμής υπό την επήρεια της θάλασσας σε ικανοποιητικό χρονικό ορίζοντα, συνήθως ετήσιο, ώστε η μέτρηση να μην επηρεάζεται από τις επιδράσεις του καιρού, τις κυματικές καταιγίδες και την τοπική δυναμική των ιζημάτων" [12].

Η παράκτια διάβρωση είναι ένα φυσικό φαινόμενο, του οποίου η ένταση συνήθως αντιμετωπίζεται απο άλλες φυσικές διεργασίες, όπως απο την εμπλήση, η οποία είναι η αντίθετη διαδικασία της διάβρωσης, και την ιζηματομεταφορά. Οι ιζηματογενείς κόκκοι μένουν σπάνια στην περιοχή γέννησης τους και μέσω διαφόρων μεταφορικών

παραγόντων καταλήγουν σε άλλες περιοχές. Οι κόκκοι, στις πιο πολλές περιπτώσεις, παρασύρονται από την μητρική πηγή τους και μεταφέρονται, για μικρές ή μεγάλες αποστάσεις, από ρευστά (υγρά ή αέρια) και τελικά αποτίθενται σε ένα χώρο ιζηματογένεσης [3]. Στις παραλίες το ίζημα συνήθως καταλήγει μέσω βροχοπτώσεων και άλλων κατακρημνισμάτων στην κοίτη των ποταμών και άλλων πλημμυρικών οδών και τελικά καταλήγει στην θάλασσα. Το ίζημα αυτό, σε συνδυασμό με το ίζημα που προέρχεται από τη διάβρωση της ακτογραμμής, παρέχει το υλικό για την ανάπτυξη των παράκτιων υφάλων, υγροτόπων, αλυκών, αμμοδών παραλίων και αμμόλοφων. Οι παράκτιοι αυτοί βιότοποι έχουν ένα ευρύ φάσμα οφελών, όπως προστασία από πλημμύρες, απορρόφηση της κυματικής ενέργειας κατά τη διάρκεια κυματικών καταιγίδων, μείωση του ευτροφισμού των παράκτιων υδάτων, το κατάλληλο έδαφος για φώλιασμα και εκκόλαψη ειδών πανίδας, καθώς επίσης και το κατάλληλο χώρο για οικονομικές και ψυχαγωγικές δραστηριότητες.

Η παράκτια διάβρωση είναι συνήθως αποτέλεσμα ενός συνδυασμού παραγόντων - φυσικών και ανθρώπογεννών - που αναπτύσσονται σε διαφορετικές κλίμακες.

Οι **φυσικοί παράγοντες** συμπεριλαμβάνουν: άνεμους, θύελλες, ρεύματα κοντά στην ακτή και τη σχετική άνοδο της στάθμης της θάλασσας.

Οι **ανθρώπογενείς παράγοντες** που επηρεάζουν την παράκτια διάβρωση περιλαμβάνουν τις παράκτιες κατασκευές, αμμοληψίες από παραλίες, διευθετήσεις κοίτης ποταμών (ιδιαίτερα η κατασκευή φραγμάτων), βυθοκορήσεις, καθάρισμα και επιδράσεις στην παράκτια βλάστηση και εξορύξεις ύδατος [12].

2.4 Η κατάσταση στη Κρήτη

Η Κρήτη με εμβαδόν 8.336 km και περίμετρο ακτογραμμών 1.046 km είναι το μεγαλύτερο νησί της Ελλάδας και το πέμπτο μεγαλύτερο νησί της Μεσογείου [15]. Το πλήθος των φυσικών παραλίων, το υποτροπικό κλίμα και η ομοιότητα με τοπία ιδιαίτερου φυσικού κάλους, όπως π.χ. αυτά της Χαβάης, είναι οι κύριοι λόγοι για τα περίπου 2 εκατομμύρια τουριστών που επισκέπτονται το νησί ετησίως, αριθμός τριπλάσιος του συνολικού πληθυσμού του [16]. Ο τουρισμός έχει αναπτυχθεί ραγδαία τα τελευταία χρόνια. Σαν επακόλουθο, μεγάλες τουριστικές μονάδες έχουν κατασκευαστεί κατά μήκος της βόρειας ακτογραμμής, ενώ αυτή την στιγμή και στην νότια ακτογραμμή του νησιού κατασκευάζονται μεγάλες τουριστικές υποδομές.

Οι παραλίες της Κρήτης είναι ο κύριος πόλος έλξης αυτού του αριθμού πλήθους τουριστών. Χωρίς να υπάρχουν ακριβής ποσοτικά στοιχεία, αν ληφθούν υπόψη στοιχεία

απο άλλες χώρες [17], υπολογίζεται ότι περίπου ότι το 70% των τουριστών της Κρήτης προσελκύονται απο τις παραλίες. Τα θερμά νερά του Αιγαίου σε συνδυασμό με το ήπιο κλίμα της Ελλάδας κάνουν δυνατή τη κολύμβηση, σχεδόν όλη την διάρκεια του έτους, ενώ το πλεονέκτημα της Κρήτης σε σχέση με τα υπόλοιπα νησιά είναι το μήκος των παράλιων της.

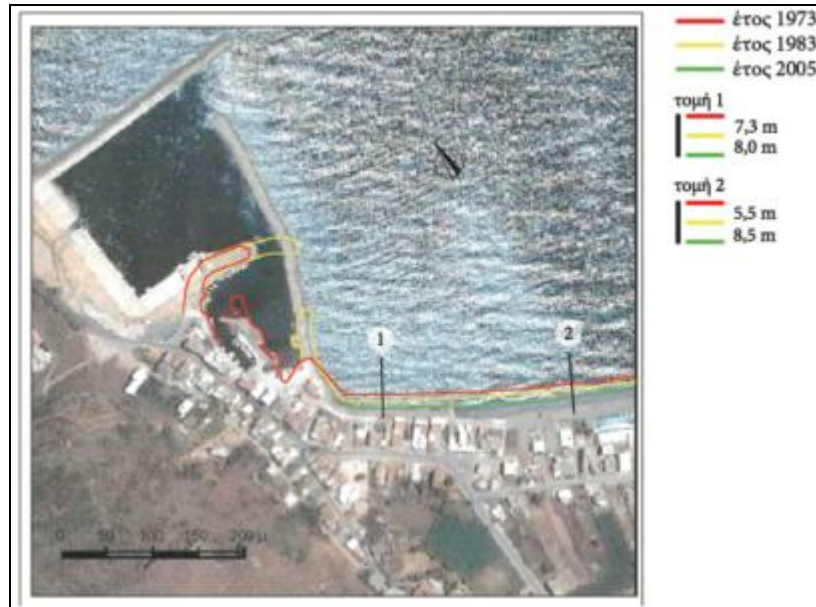


Εικόνα 8: Παραλία Φαλάσαρνα, Χανιά, Κρήτη - μήκος παραλίας > 3km [18].

Ο κύριος όγκος των τουριστών καταλύουν στις παράκτιες περιοχές. Επίσης ως αποτέλεσμα της τουριστικής βιομηχανίας, της εποχιακής απασχόλησης, της εισαγωγής νέων τεχνολογιών και βελτιώσεων στην κτηνοτροφία καθώς και της εισροής οικονομικών μεταναστών, ο παραθαλάσσιος μόνιμος πληθυσμός έχει πολλαπλασιαστεί. Η παραθαλάσσια πόλη των Χανίων το 1975 είχε πληθυσμό περίπου 40.000, ενώ σήμερα αριθμεί πάνω απο 70.000 κάτοικους [19]. Η αύξηση του τοπικού πληθυσμού οδήγησε στην αύξηση της αλιείας. Οι οδικοί άξονες και οι υποδομές, οι οποίες μέχρι το 1970 με δυσκολία ικανοποιούσαν τις τοπικές ανάγκες, αναπτύχθηκαν χωρίς επαρκή ή συνήθως χωρίς καθόλου σχεδιασμό. Με την αύξηση των εισοδημάτων, μεγάλο μέρος του τοπικού πληθυσμού προέβη στην αγορά κάποιου μέσου μεταφοράς και σκάφων αναψυχής, πιέζοντας περισσότερο για την κατασκευή δρόμων και μικρών λιμανιών [9].

Έτσι τις τελευταίες δεκαετίες οι παραλίες της Κρήτης διαβρώνονται, κυρίως λόγω ανθρωπογενών παραγόντων, που σχετίζονται με τον γρήγορο και συνήθως κακό σχεδιασμό παραθαλάσσιων έργων και υποδομών, που υπέβαλε η αλματώδης τουριστική ανάπτυξη. Συγχρόνως, οι αμμοληψίες συνεχίζουν να μειώνουν το φυσικό υλικό των παράλιων. Καμία συστηματική αποτύπωση του πλάτους και άλλων στοιχείων των

παράλιων δεν έχει πραγματοποιηθεί. Πλήθος παράλιων της βόρειας Κρήτης έχει πλέον λιγότερο απο το μισό πλάτος, συγκρινόμενο με παλαιότερο φωτογραφικό υλικό, ενώ άλλες παραλίες έχουν εξαφανιστεί και αντικατασταθεί απο δρόμους και κρηπιδότοιχους.

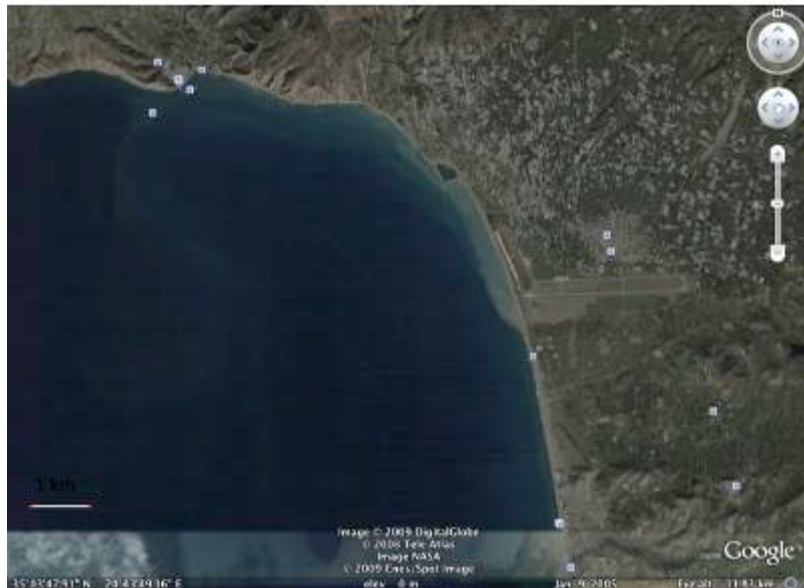


Εικόνα 9: Διαχρονική εξέλιξη παραλίας Κολυμβαρίου [20].

Επίσης οι αμμοθίνες, αν και αποτελούν ένα ιδιαίτερο και ευαίσθητο οικοσύστημα, έχουν συστηματικά εξαλείφει και αντικατασταθεί απο παραθαλάσσιους δρόμους και άλλες κατασκευές. Μικρά λιμάνια έχουν κατασκευαστεί σε λανθασμένες τοποθεσίες (τουλάχιστον όπως προκύπτει απο τι συνέπειες τους) και συνήθως χωρίς κάποια ακτομηχανική μελέτη. Ακόμα και οι απλές ακτομηχανικές μελέτες, όταν γίνονται, εκτελούνται χωρίς την ύπαρξη βασικών στοιχείων για τους κυματισμούς. Παλιρροιογράφοι υπάρχουν μόνο στην Σούδα και στην Γαύδο, άλλα συνήθως - όπως στο σεισμό των Κυθήρων στις 8 Ιανουαρίου του 2006, δεν λειτουργούν [9].

Επιπροσθέτως οι ακτομηχανικές μελέτες στην Ελλάδα συνήθως στηρίζονται σε φυσική προσομοίωση για πρόβλεψη και το σχεδιασμό των έργων. Τα αριθμητικά μοντέλα, τα οποία είναι εργαλεία που χρησιμοποιούνται ευρέως απο την παγκόσμια ακτομηχανική κοινότητα, χρησιμοποιούνται ελάχιστα. Σαν αποτέλεσμα, με λίγες μόνο εξαιρέσεις, τα περισσότερα μικρά λιμάνια που κατασκευάστηκαν απο την δεκαετία του 1980 και μετά έχουν προκαλέσει διάβρωση σε προσκείμενες και μη παραλίες, ενώ συνήθως απαιτείται η εκβάθυνση τους για να παραμείνουν λειτουργικά. Η εικόνα 10 είναι μια αεροφωτογραφία της περιοχής Κόκκινος Πύργος, στο νομό Ηράκλειου, στην οποία φαίνεται το ομώνυμο λιμάνι. Όπως είναι ξεκάθαρο, το λιμάνι του Κόκκινου

Πύργου διακόπτει την οριζόντια στερεομεταφορά της αντίστοιχης θαλάσσιας κυψέλης. Για το λόγο αυτό η είσοδος το λιμένα χρειάζεται συχνά εκβάθυνση, σχεδόν κάθε χρόνο όπως δήλωσαν οι κάτοικοι, ενώ η παραλία δυτικά του λιμένα έχει διαβρωθεί σημαντικά.



Εικόνα 10: Λιμάνι Κόκκινου Πύργου - 09/01/2005 [21].

Η κατάσταση των ακτογραμμών της Κρήτης επιδεινώνεται συνεχώς, ενώ με μαθηματική ακρίβεια πολλές παράλιες θα εξαφανιστούν. Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή θα εξεταστούν αντιπροσωπευτικά παραδείγματα παράλιων της Κρήτης. Για την κατάταξη και μελέτη της εξέλιξης των επιλεγμένων παράλιων, ερωτήθηκαν περισσότεροι από 21 αυτόπτες μάρτυρες, οι οποίοι είχαν μια ολοκληρωμένη εικόνα για την εξέλιξη των εξεταζόμενων παράλιων στο χρόνο. Οι ηλικίες τους κυμαινόταν από 38 έως 92 ετών και εξετάστηκαν σύμφωνα με την διεθνής πρακτική εξέτασης αυτόπτων μαρτύρων σε περιπτώσεις τσουνάμις [22].

3. Αίτια διάβρωσης των Παράλιων της Κρήτης

Παρακάτω θα παρατεθούν αναλυτικά τα κυριότερα ανθρωπογενή αίτια διάβρωσης των παράλιων της Κρήτης. Με κάθε αίτιο αναλύεται και ένα αντίστοιχο παράδειγμα διάβρωσης, για να γίνουν εμφανείς οι επιδράσεις κάθε παράγοντα σε υπαρκτές παραλίες. Πρέπει να αναφερθεί ότι συνήθως η έντονη διάβρωση οφείλεται σε περισσότερα από ένα αίτια, τα οποία δρουν αθροιστικά, με αποτέλεσμα την επιτάχυνση του ρυθμού διάβρωσης. Το πρώτο αίτιο το οποίο εξετάζεται είναι οι εκτεταμένες αμμοληψίες από παραλίες.

3.1 Αμμοληψίες από παραλίες

Η έντονη διάβρωση των παράλιων έχει τις ρίζες της στην δεκαετία του 1950, την περίοδο που ξεκίνησε η ανακατασκευή της Ελλάδας μετά τις καταστροφές του Δεύτερου Παγκοσμίου Πολέμου και του εμφυλίου. Οι κατασκευές στην Ελλάδα στηρίζονται στο οπλισμένο σκυρόδεμα, του οποίου τα κύρια δομικά υλικά είναι το τσιμέντο και η άμμος. Παρόλο την υψηλή αλατότητα της άμμου των παράλιων, η κοινή τακτική που ακολουθούταν ήταν η χρήση της για την κατασκευή οπλισμένων και μη κατασκευών. Ο λόγος αφενός ήταν ότι η άμμος πολλών παράλιων της Κρήτης, και της Ελλάδας, αποτελείται από λεπτόκοκκο ίζημα, το οποίο έχει πολύ καλές φυσικές ιδιότητες στην κατασκευή κτηρίων και έργων και αφετέρου, και πολύ σημαντικότερο, η άμμος από τις παραλίες αποτελούσε μια πηγή εύκολου και γρήγορου κέρδους για πολλούς εργολάβους.

Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την προσπάθεια εξεύρεσης πόρων από την τοπική αυτοδιοίκηση, οδήγησε στην εξόρυξη και μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων άμμου από πλειάδα παραλίων. Μια κοινή επιγραφή σε πολλές παραλίες μέχρι και τα μέσα της δεκαετίας του 1970 ήταν «πωλείται άμμος θαλάσσης». Επιπροσθέτως εργολάβοι προέβησαν σε παράνομες αμμοληψίες από απομονωμένες παραλίες για να αποφύγουν το «υψηλό» κόστος της θαλάσσιας άμμου.

Οι αμμοληψίες κρίθηκαν παράνομες το 1986, με το νόμο 1650 [23]. Σήμερα αυτός ο νόμος βρίσκει πραγματική ισχύ σε λίγες παραλίες καθώς συνήθως η άγνοια είναι ο κύριος λόγος περιβαλλοντικών καταστροφών σε παραλίες. Στον Δήμο Πελεκάνου, του νομού Χανίων, η άμμος θαλάσσης έχει, σε ορισμένα σημεία, ένα ιδιαίτον και ξεχωριστό ροζ χρώμα, το οποίο οφείλεται στην αποσάθρωση μικροοργανισμών, και έχει οδηγήσει στην ιδιαίτερη τουριστική ανάπτυξη της παραλίας. Για την αποφυγή της απομάκρυνσης άμμου από επισκέπτες, ο δήμος ενημερώνει, με πινακίδες, ότι η αμμοληψία είναι παράνομη (εικόνα 11). Παρόλα αυτά ακόμα, είτε λόγω άγνοιας είτε λόγω κέρδους, γίνονται παράνομες αμμοληψίες από παραλίες, που μοιραία οδηγούν στην εξάλειψή τους.



Εικόνα 11: Πινακίδα ενημέρωσης για την παράβαση της αμμοληψίας δήμος Πελεκάνου, Χανιά [24].

3.1.1 Καλύβες, Χανιά.

Ένα παράδειγμα εκτεταμένης παράκτιας διάβρωσης απο εξόρυξη άμμου (αμμοληψία) απο παράλια είναι αυτό των Καλύβων του νομού Χανίων. Οι Καλύβες είναι μια μικρή κοινότητα, η οποία βρίσκεται περίπου 20 km βορειοανατολικά της πόλης των Χανίων. Αυτόπτες μάρτυρες ανέφεραν ότι στην περιοχή, την δεκαετία του 1950, υπήρχε μια παραλία πλάτους έως και 100 m και μήκους περίπου 1 km, επίσης οι ψαράδες σε περιόδους έντονης θαλασσοταραχής αναγκαζόταν να μεταφέρουν τις βάρκες τους εσωτερικά, στο χωρίο για να τις προστατεύουν. Φωτογραφικό υλικό της περιόδου οδηγεί στην εκτίμηση ενός μέσου πλάτους παραλίας περίπου 50 m. Αξίζει να αναφερθεί ότι στην δεκαετία του 1930 μερικά σπίτια κτίστηκαν κοντά στην ακτή, αλλά, συμφωνά με μαρτυρίες, η επιρροή που είχαν στην παραλία ήταν μικρή.



Εικόνα 12: Παραλία Καλυβών στις πρώτες δεκαετίες του 20ου αιώνα [25].

Το 1954 ξεκίνησε η κατασκευή του διεθνές αεροδρομίου των Χανίων, γνωστού σήμερα ως διεθνής αερολιμένας Δασκαλογιάννη, στο Ακρωτήρι, ΒΑ των Χανίων. Το αεροδρόμιο αποτελούσε μια αναγκαία και απαραίτητη υποδομή για την εποχή και περιλάμβανε μια μεγάλη αεροπορική βάση - μέρος της οποίας ανήκει πλέον στην USAF και στο NATO. Το αεροδρόμιο περιλαμβάνει τρεις παράλληλους διαδρόμους προσγείωσης, απογείωσης, η οποίοι καλύπτουν εμβαδόν περίπου 600.000 m^2 . Σύμφωνα με μαρτυρίες, για την μείωση του κόστους κατασκευής, οι εργολάβοι χρησιμοποίησαν άμμο θαλάσσης. Μια απο τις παραλίες απο τις οποίες εξορύχτηκε άμμος ήταν αυτή των Καλυβών. Η παραλία, είχε μεγάλες ποσότητες άμμου, ενώ η μεταφορά της γινόταν κατευθείαν στο αεροδρόμιο, χωρίς να χρειάζεται η διάσχιση της πόλης των Χανίων. Οι κάτοικοι αναφέρουν ότι δεκάδες φορτηγά μετέφεραν άμμο καθημερινά, για πολλές εβδομάδες, ενώ η εξόρυξη συνεχίστηκε, με διαλλείματα, για αρκετούς μήνες. Αν υποτεθεί ότι για τους διάδρους του αεροδρομίου χρησιμοποιήθηκε άμμος θαλάσσης αποκλειστικά απο τις Καλύβες και ότι περίπου 750 kg άμμου απαιτούνται για κάθε 1 m^3 τσιμέντου [26], προκύπτει ότι περίπου 225.000 ton άμμου εξορύχτηκαν απο την παραλία. Τα αποτελέσματα αυτής της εξόρυξης έγιναν εμφανή στην παραλία μετά απο περίπου μία δεκαετία.

Μέχρι το 1965 η παραλία είχε διαβρωθεί σε βαθμό που οι έντονες θαλασσοταραχές πλημμύριζαν τις παραθαλάσσιες οικίες. Ένας μικρός κρηπιδότοιχος για προστασία απο τις έντονες θαλασσοταραχές κατασκευάστηκε, αλλά τελικά ο ίδιος επιτάχυνε την διάβρωση. Το 1965 ένας παραθαλάσσιος δρόμος προστέθηκε. Για την προστασία του συγκεκριμένου δρόμου ένας κρηπιδότοιχος μπροστά απο αυτών, στο

μέτωπο του κύματος. Στις αρχές της δεκαετίας του 1980 το πρόβλημα της διάβρωσης ήταν τόσο έντονο που άμεσα μέτρα προστασίας ήταν επιβεβλημένα. Ποσοτικά δεδομένα δεν υπάρχουν, αλλά σύμφωνα με αυτόπτες μάρτυρες η παραλία που είχε απομείνει είχε πλάτος μόλις 10 m.



Εικόνα 13: Παραλία στις πρώτες δεκαετίες του 20ου αιώνα [25].

Το 1987 η Κρήτη είχε ήδη αλλάξει ριζικά. Η τουριστική βιομηχανία είχε ανακαλύψει τις Καλύβες και πολλά μικρά ξενοδοχεία είχαν ήδη κτιστεί. Επιπροσθέτως στην περιοχή εξαιτίας του αυξανόμενου εποχιακού τουρισμού κατασκευάστηκε πληθώρα εξοχικών κατοικιών και βιλών. Αν κάποιος διασχίσει τον παραθαλάσσιο δρόμο, κατά μήκος του κρηπιδότοιχου, μπορεί ακόμα να δει τα «απομεινάρια» αυτού που κάποτε ήταν μια παραλία πλάτους περίπου 50 με 100 m. Η θάλασσα έχει φτάσει πλέον τον κρηπιδότοιχο και το βάθος της λίγα μέτρα από τον κρηπιδότοιχο είναι περίπου μισό μέτρο (0,5 m).

Ανατολικά των Καλυβών, όπου υπάρχει ένα μικρό δέλτα ποταμού, βρίσκεται ένα εναπομείναν κομμάτι παραλίας. Εξαιτίας της ύπαρξης του δέλτα δεν κτίστηκαν κατοικίες, και για τον λόγο αυτό δεν ήταν απαραίτητη η «προστασία» τους με κρηπιδότοιχο. Έτσι διασώθηκε ένα κομμάτι από την παραλία.



Εικόνα 14: Κρηπιδότοιχος και παραθαλάσσιος δρόμος, Καλύβες – 03/06/2008 [27].

3.2 Ανάπτυξη πάνω στην ενεργή ζώνη της παραλίας

Η ραγδαία τουριστική ανάπτυξη των τελευταίων ετών ακολουθήθηκε από την κατασκευή μεγάλων τουριστικών μονάδων κατά μήκος της βόρειας ακτογραμμής του νησιού, ενώ αυτή την στιγμή επεκτείνονται και στις νότιες παραλίες χωρίς κανένα σχεδόν χωροταξικό σχεδιασμό. Οι κατασκευές αυτές πραγματοποιήθηκαν σε πολύ μικρή απόσταση από την ακτογραμμή, αφενός εξαιτίας της ελλείψης γνώσης σχετικά με τις αρνητικές επιδράσεις κτηρίων πολύ κοντά στην ακτογραμμή, και αφετέρου γιατί δεν εφαρμοζόταν η νομοθεσία που ορίζει την γραμμή αιγιαλού – παραλίας [1].

Είναι σύνηθες φαινόμενο στην Ελλάδα, η ανάπτυξη σε μια παράκτια περιοχή να συμβαίνει εις βάρος της εκατοστέ παραλίας. Πολύ συχνά κατοικίες, ξενοδοχεία, επαγγελματικοί χώροι, και άλλες κατασκευές κτίζονται μέσα στην ενεργή ζώνη μιας παραλίας. Αυτό βέβαια είχε ιδιαίτερα αρνητικές συνέπειες στη λειτουργία της παραλίας. Κάθε υγιής παραλία έχει στη στεριά πλάτος, το οποίο μεταβάλλεται εποχιακά, και ανταλλάζει μάζα (άμμο) με το όλο οίκο-μηχανικό σύστημα της παραλίας. Άμμος από τη παραλία μεταφέρεται μέσα στη θάλασσα και αντίστροφα, και η παραλία έχει σταθερό πλάτος σε βάθος χρόνου, κάτω από κανονικές συνθήκες.

Αν όμως αυτό το πλάτος μειωθεί δραστικά από κάποια κατασκευή, τότε στο συγκεκριμένο σημείο, αλλά και γύρω από αυτό θα ξεκινήσει μια έντονη διαδικασία διάβρωσης. Αυτό συμβαίνει επειδή η κατασκευή εκτός του ότι αλλάζει τις τοπικές ανεμολογικές συνθήκες, επίσης εγκλωβίζει και έναν όγκο άμμου, ο οποίος φυσιολογικά θα ήταν ελεύθερος να μεταφερθεί στην ενεργή ζώνη της παραλίας. Είναι πολύ συχνό

φαινόμενο να παρατηρείται διάβρωση μπροστά απο καλοκαιρινά μαγαζιά και οικίες, τα οποία συνήθως έχουν κτιστεί χωρίς άδεια και πολύ κοντά στην ακτογραμμή.

Βέβαια αν η «εισβολή» στην παραλία δεν είναι εκτεταμένη, τότε η παραλία μπορεί να ξαναβρεί την ισορροπία της. Για να αποφευχθούν ζημιές και διάβρωση των εν λόγω κατασκευών υθίστατε, σε χώρες όπου γίνεται σωστή διαχείριση της παράκτιας ζώνης, κατά τους χειμερινούς μήνες να εναποτίθενται μπροστά στις κατασκευές, στον αιγιαλό συγκεκριμένοι όγκοι άμμου. Οι όγκοι άμμου έχουν διττή χρήση, αφενός προστατεύουν τις κατασκευές που βρίσκονται πίσω απο αυτές και αφετέρου εφοδιάζουν την παραλία με το κατάλληλο ίζημα για την αποφυγή της τοπικής διάβρωσης.

3.2.1 Κατασκευές, με σωστή διαχείριση, στο ενεργό πλάτος της παραλίας, Σαντα Μόνικα (Santa Monica), Καλιφόρνια.

Τέτοια παραδείγματα κατασκευών πάνω στην παραλία και προστασίας αυτών, με άμμο, απο την κυματική ενέργεια τους χειμερινούς μήνες, υπάρχουν πολλά ανά τον κόσμο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η παραλία της Santa Monica στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ. Οι εν λόγω ακτογραμμή στεγάζει μια 'τεχνητή' παραλία μήκους πολλών χιλιομέτρων και μεγάλου πλάτους (~70 έως 120 m). Η παραλία αυτή εμπλουτίζεται απο το 1952 ώστε να διατηρείτε στο ίδιο πλάτος.

Ο εμπλουτισμός (αναπλήρωση) παραλίας είναι μια ήπια διαχειριστική μέθοδος ακτογραμμής που χρησιμοποιείται ολοένα και περισσότερο παγκοσμίως. Η αναπλήρωση ακτογραμμής μπορεί να αποκαταστήσει μια διαβρωμένη παραλία στο παλαιότερο πλάτος της ή ακόμα και να επεκτείνει το πλάτος της κατά πολλές δεκάδες μέτρα. Η τεχνητή προέκταση της παραλίας επιτυγχάνεται με τοποθέτηση επιπρόσθετες ποσότητες άμμου, παρομοίων φυσικών χαρακτηριστικών με την υπάρχουσα. Σε βάθος χρόνου η τεχνητή, πλατύτερη, παραλία υπόκειται σε διάβρωση, αφού οι αρχικοί μηχανισμοί διάβρωσης δεν εξαλείφονται και για το λόγο αυτό χρειάζεται η τοποθέτηση άμμου ανά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα, για να συντηρηθεί η παραλία στο επιθυμητό πλάτος.



Εικόνα 15: Εμπλουτισμός της Venice beach, Καλιφόρνια – 08/12/2007 [27].

Οι κατασκευές πάνω στο ενεργό πλάτος της παραλίας είναι βασική αιτία διάβρωσης. Για να αποφευχθεί η περαιτέρω διάβρωση θα πρέπει να απομακρυνθούν οι κατασκευές από την παραλία, αλλά αυτό δεν κρίνεται πάντα οικονομικά συμφέρον. Έτσι αναπληρώνεται η ακτογραμμή, όπου χρειάζεται, σε συγκριμένες χρονικές περιόδους. Παραδείγματος χάρη στην παραλία της Santa Monica έπρεπε να κατασκευαστεί χώρος στάθμευσης. Λόγω της μεγάλης αξίας γης στην περιοχή, ο καταλληλότερος χώρος ήταν ο δημοτικός χώρος της παραλίας. Τα οφέλη-μειονεκτήματα από την κατασκευή αυτού του χώρου στάθμευσης κρίθηκαν ικανοποιητικά και έτσι προχώρησε η κατασκευή. Οι χώροι στάθμευσης κτίστηκαν πάνω στο ενεργό πλάτος της παραλίας, όπως φαίνεται στην εικόνα 16.



Εικόνα 16: Χώρος στάθμευσης στην παραλία της Santa Monica, Καλιφόρνια, ΗΠΑ - 08/12/2007 [27].

Στην περίπτωση αυτή αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί ένα μέρος της παραλίας για να κατασκευαστεί κάτι πάνω σε αυτή. Αυτό αποφασίστηκε, αφού τα οφέλη που θα προέκυπταν από την χρήση αυτή είναι πολύ μεγαλύτερα από την προκαλούμενη διάβρωση. Έτσι προχώρησε η κατασκευή, κατόπιν απαραίτητων μετρήσεων, μελετών και αδειών από την αρμόδια αρχή διαχείρισης της παράκτιας ζώνης της Καλιφόρνια (California Coastal Commission). Κάθε χρόνο οι χώροι στάθμευσης, οι οποίοι δεν μεταβάλλουν σημαντικά τις τοπικές ανεμολογικές συνθήκες προστατεύονται με την προσθήκη ποσοτήτων άμμου.

3.2.2 Το παράδειγμα της Σταλίδας, νομού Ηράκλειου

Στην Ελλάδα βέβαια δεν ακολουθείται η παραπάνω πρακτική, δηλαδή, η κατασκευή να υλοποιείται μόνο όταν κριθεί και όταν οι άλλες εναλλακτικές λύσεις δεν είναι αποδεκτές. Υπάρχουν πολλά παραδείγματα παράλιων όπου η κατάληψη της παραλίας από κτήρια έγινε εκτεταμένα χωρίς μελέτες ή εξέταση εναλλακτικών λύσεων. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η παραλία της Σταλίδας του νομού Μαλίων, Ηράκλειο. Στην παραλία τα κτίσματα είναι όχι μόνο πολύ κοντά στην παραλία, αλλά και κτισμένο το ένα δίπλα στο άλλο, χωρίς διάκενα μεταξύ τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να τίθεται ο λουόμενος σε υψηλό κίνδυνο σε περιπτώσεις ανάγκης εξαιτίας κάποιας φυσικής καταστροφής, όταν χρειάζεται η άμεση εκκένωση της παραλίας, π.χ. σε περιπτώσεις τσουνάμι.

Τα κτίσματα στην Σταλίδα, έχουν αλλάξει σε σημαντικό βαθμό τις τοπικές

ανεμολογικές συνθήκες και το ενεργό πλάτος της παραλίας. Έτσι, έχει ξεκινήσει η διαδικασία διάβρωσης της παραλίας, που σύμφωνα με μαρτυρίες και παλαιότερες αεροφωτογραφίες είναι σημαντική. Χωρίς κάποια μέτρα προστασίας και συντήρησης της παραλίας, ενδεχόμενος η παραλία της Σταλίδας δεν θα μπορεί στο μέλλον να φιλοξενήσει το πλήθος τουριστών που την επισκέπτονται κάθε χρόνο.

3.3 Διάβρωση απο παραλιακούς δρόμους

Ένα άλλο πρόβλημα, το οποίο που προκαλεί έντονη διάβρωση, είναι η κατασκευή δρόμων πάνω στην παραλία. Οι εκάστοτε τοπικές αρχές θέλοντας να διευκολύνουν την προσβασιμότητα στις παραλίες της αρμοδιότητας τους συνηθώς κατασκευάζουν δρόμους πάνω ή πολύ κοντά σε αυτές. Ο νόμος 2971 της 19.12.2001, ΦΕΚ 285 Α' [1] ορίζει ως παραλία την ζώνη πλάτους έως 50 απο τον αιγιαλό. Μπορεί πολλοί απο αυτούς τους δρόμους να βρίσκονται έξω απο την «παραλία», όπως αυτή ορίζεται απο το νόμο, αλλά σε πολλές περιπτώσεις μια παραλία έχει μεγαλύτερο πλάτος απο αυτό που ορίζει ο νόμος, αφού οι αμμοθίνες είναι και αυτές μέρος της. Επειδή οι παραθαλάσσιες εκτάσεις ή είναι κτισμένες ή η αξία τους είναι πολύ υψηλή, δεν αποφασίζεται η απαλλοτρίωση τους ώστε να διατηρηθεί αλώβητη η παραθαλάσσια ζώνη. Αντιθέτως η συνήθης τακτική είναι η κατασκευή δρόμων πάνω στις παραλίες και η καταστροφή του ευαίσθητου συστήματος των αμμοθινών. Αυτή η πρακτική είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη αφού δεν απαιτείται απαλλοτρίωση.

Το πρόβλημα με τους παραθαλάσσιους δρόμους δεν είναι ελληνική πρωτοτυπία. Σε όποιο μέρος της γης έχουν κατασκευαστεί δρόμοι δίπλα στη θάλασσα τα αποτελέσματα είναι συνήθως καταστροφικά. Η διάβρωση που δημιουργείται έχει μεγάλους ρυθμούς. Μετά απο κάποιο, μικρό συνήθως, χρονικό διάστημα η διάβρωση έχει απομακρύνει την προσκείμενη ακτογραμμή και αρχίζει να απειλεί το δρόμο. Για την προστασία του, οι τοπικές αρχές συνήθως επιλέγουν πυροσβεστικές λύσεις και «οχυρώνουν» την εκτεθειμένη πλευρά του δρόμου με ποίκιλες, αρκετές φορές αυτοσχέδιες, κατασκευές, όπως μεγάλους ογκόλιθους, πέτρες κάθε μεγέθους ακόμα και μπάζα.

Διάβρωση ακτογραμμών απο παραλιακούς δρόμους αντιμετωπίζει και το σύμπλεγμα νησιών της Πολιτείας της Χαβάης, ΗΠΑ. Η έντονη τουριστική ανάπτυξη, οι αυξημένες τιμές γης και η δυσκολία προσβασιμότητας στην ενδοχώρα έχουν οδηγήσει στην κατασκευή εκτεταμένων παραλιακών δρόμων στα νησιά του αρχιπελάγους της. Ένα τέτοιο νησί είναι το Ουάχου, στο οποίο βρίσκεται η Χονολουλού. Το παραλιακό οδικό

δίκτυο είναι εκτεταμένο και ήδη υπόκειται τα αποτελέσματα της διάβρωσης. Στην εικόνα 1 φαίνεται παραλιακός δρόμος και το πρόβλημα διάβρωσης που αντιμετωπίζει.



Εικόνα 17: «Οχρωμένος» παραλιακός δρόμος στο νησί Ουάχου, Χαβάης – 19/04/2008 [27].

3.3.1 Διάβρωση που οφείλεται στην καταστροφή των αμμοθινών απο την κατασκευή παραλιακού δρόμου, Ταυρωνίτης, Χανιά

Οι αμμοθίνες είναι ένα οικοσύστημα το οποίο συναντώνται ανάντη των παραλίων και αποτελεί ασπίδα προστασίας, τόσο για αυτές, όσο και για τις περιοχές πίσω απο αυτές. Οι αμμοθίνες είναι συστήματα αμμόλοφων, τα οποία συνήθως έχουν πλούσια χλωρίδα. Δυστυχώς τις τελευταίες δεκαετίες έχει τελεστεί μια συστηματική «εξολόθρευση» αυτών των συστημάτων, είτε λόγω αμμοληψίας είτε λόγω κατασκευής δρόμων και κτηρίων. Οι αμμοθίνες αποτελούν την τελευταία ασπίδα προστασίας της παραλίας. Όταν καταστραφούν τότε διαβρώνονται μεγάλα κομμάτια παραλίας, και πολλές φορές, ανάλογα με το ανάγλυφο, πλημμυρίζουν γειτονικές εκτάσεις και κατοικίες. Ένα παράδειγμα παραλιακού δρόμου ο οποίος κατέστρεψε το ευαίσθητο σύστημα των αμμοθινών είναι στην παραλία του Ταυρωνίτη, Χανιά.

Ο Ταυρωνίτης βρίσκεται περίπου 17 km δυτικά απο τα Χανιά. Η παραλία του Ταυρωνίτη έχει υποστεί διάβρωση απο δύο ανθρώπινους παράγοντες που έδρασαν αθροιστικά. Ο ένας είναι η καταστροφή των αμμοθινών για να κατασκευαστεί ένας παραλιακός δρόμος εκεί που βρισκόταν αυτές και ο άλλος η εκτεταμένη αμμοληψία απο τον ανάντη, ομώνυμο ποταμό.

Τη δεκαετία του 1990 η παραλία του Ταυρωνίτη υπολογίζεται ότι είχε πλάτος περίπου 25 m. Οι αμμοθίνες δεν ήταν εκτεταμένες στην περιοχή, αλλά η ύπαρξη τους

προσπάτεψε τις προσκείμενες γεωργικές εκτάσεις και οι πλημμύρες ήταν σπάνιες. Η παραλία του Ταυρωνίτη βρίσκεται περίπου 4 km ανατολικά της αμμώδους παραλίας του Κολυμβαρίου. Για την βελτίωση της προσβασιμότητας στην παραλία και καθώς η απαλλοτρίωση ιδιωτικών εκτάσεων είτε δεν εξετάστηκε, είτε κρίθηκε οικονομικά ασύμφορη, αποφασίστηκε η κατασκευή ενός ασφάλτινου δρόμου κατά μήκους της παραλίας, πλάτους περίπου 5 m, ο οποίος σε μεγάλο μέρος του κατασκευάστηκε πάνω σε αυτή. Η κατασκευή του δρόμου οδήγησε στην εξαφάνιση, του τοπικού συστήματος αμμοθίνων, ενώ η κατασκευή επικροτήθηκε απο το μεγαλύτερο μέρος του τοπικού πληθυσμού, που αγνοούσε το πραγματικό κόστος και τις επιπτώσεις.

Μέσα σε μια πενταετία, η παραλία που γειτόνευε άμεσα με τον δρόμο διαβρώθηκε και απέμειναν , ενώ το μέσο πλάτος της μειώθηκε δραστικά. Κατά την διάρκεια έντονων θαλασσοταραχών, τα κύματα φτάνουν στον δρόμο και πλημμυρίζουν τις γεωργικές εκτάσεις πίσω απο αυτόν, ενώ οι ρίζες πολλών δέντρων που βρίσκονται μεταξύ του δρόμου και της θάλασσας έχουν απογυμνωθεί, όπως φαίνεται στην εικόνα 18.



Εικόνα 18: Έντονη διάβρωση στην παραλία του Ταυρωνίτη, πλέον οι ρίζες των δέντρων έχουν αποκαλυφθεί [13].

Ο χειμώνας του 2008 ήταν δριμύς και συνέβησαν αρκετές ισχυρές κυματικές καταιγίδες, οι οποίες ενέτειναν το πρόβλημα της διάβρωσης. Η παραλία που βρίσκεται κοντά στις εκβολές του ποταμού Ταυρωνίτη έχει διαβρωθεί σημαντικά και ο παραλιακός δρόμος απειλείται (εικόνα 19).



Εικόνα 19: Διάβρωση της παραλία και παραλιακού δρόμου του Ταυρωνίτη [13].

3.3.2 Παραλιακός δρόμος και συνεπακόλουθη καταστροφή αμμοθινών στην παραλία της Νέας Χώρας, Χανιά

Άλλο παράδειγμα κατασκευής παραλιακού δρόμου και συνεπακόλουθης καταστροφής αμμοθινών συνέβη, δυτικά της συνοικίας της Νέας Χώρας, Χανιά. Οι αμμοθίνες στην συγκεκριμένη παραλία εκτινόταν για περισσότερο από 200 m από την αυτή. Οι ιδιοκτησίες ήταν δημόσιες και για το λόγο αυτό ήταν ανεκμετάλλευτες και το σύστημα των αμμοθινών παρέμενε ανέπαφο. Το 1994 ένας παραθαλάσσιος ασφάλτινος δρόμος διανοίχτηκε από τα Χανιά μέχρι την παραλία της Χρυσής ακτής, δυτικά της Νέας Χώρας. Όπως φαίνεται ο μόνος λόγος ήταν η εργολαβία, δεν υπήρχαν οικίες ή καταστήματα που θα εξυπηρετούντο καλύτερα από το δρόμο. Ο δρόμος είχε πλάτος ~ 4 m και κατασκευάστηκε σε απόσταση ~ 40 m από την παραλία, ενώ κτίστηκε στο μεγαλύτερο μέρος του πάνω στο ευαίσθητο σύστημα των αμμοθινών. Η οικολογική καταστροφή που προκάλεσε στην περιοχή δεν εντοπίζεται μόνο στην καταστροφή των αμμοθινών αλλά και στο γεγονός ότι χώρισε μεγάλο μέρος του συστήματος από την παραλία.

Σαν αποτέλεσμα η λεπτόκοκκη άμμος άρχισε να εξαφανίζεται. Οι περισσότερες αμμοθίνες έμειναν άθικτες από τον δρόμο, αλλά η εύκολη προσβασιμότητα τις κατέστησε μία «αγαπημένη» διαδρομή για ποδηλασία ή περπάτημα. Το ευαίσθητο σύστημα των αμμοθινών εξαφανίστηκε, ενώ ο δήμος μηνύθηκε από περιβαλλοντικές οργανώσεις για την πρόκληση καταστροφής στην χλωρίδα και πανίδα των αμμοθινών.

3.4 Διάβρωση προκαλούμενη απο ποτάμιας αμμοληψίες

Οι αμμοληψίες απο ποταμούς είναι απο τις κύριες αιτίες διάβρωσης των κατάντη παράλιων. Οι ποταμοί παρέχουν το ιζημα, άμμο, για την ανάπτυξη και διατήρηση των παράλιων. Οι αμμοληψίες απο ποταμούς έχει απαγορευτεί στην Ελλάδα και για το λόγο αυτό οι αμμοληψίες έχουν μετατοπιστεί στην ενδοχώρα. Η ποτάμια άμμος αποτελεί ένα ιδανικό δομικό υλικό γιατί, σε αντίθεση με την θαλάσσια δεν περιέχει αλάτι. Όμως η άμμος απο τους ποταμούς αποτελεί κύρια πηγή τροφοδοσίας των παράλιων, και η αμμοληψία απο αυτούς μοιραία θα οδηγήσει στην διάβρωση των κατάντη παράλιων.

3.4.1 Διάβρωση προκαλούμενη απο ποτάμιας αμμοληψίες, παραλία Ταυρωνίτη, Χανιά

Ο ποταμός Ταυρωνίτης είναι απο τους μεγαλύτερους της δυτικής Κρήτης και για χρόνια τροφοδότησε με ιζημα την ομώνυμη παραλία. Όμως πλέον ο ποταμός αδυνατεί να τροφοδοτήσει με επαρκής ποσότητες ιζηματος την παραλία, λόγω αμμοληψίας απο την κοίτη του. Οι ποσότητες άμμου που αντλούνται απο τον ποταμό είναι πολύ μεγάλες και η αμμοληψία είναι τόσο εκτεταμένη που ένα ολόκληρο εργοστάσιο αμμοληψίας έχει εγκατασταθεί μόλις 2 km απο την ακτή, όπως φαίνεται και στην εικόνα 20.



Εικόνα 20: Εργοστάσιο αμμοληψίας στο Ταυρωνίτη ποταμό, Μάρτιος 2007, η ίδια κατάσταση παραμένει έως σήμερα (09/01/2009) [13].

Όταν η επιστημονική ομάδα του Εργαστηρίου Φυσικών Καταστροφών και

Παράκτιας Μηχανικής του Πολυτεχνείου Κρήτης αναγνώρισε τις αμμοληψίες σαν ένα από τα κύρια προβλήματα διάβρωσης της ακτογραμμής, ο τοπικός τύπος έδειξε ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Οι δημοτικές αρχές έκαναν ένθερμες δηλώσεις ζητώντας την άμεση παύση των αμμοληψιών καθώς ούτως ή άλλως το εργοστάσιο λειτουργούσε χωρίς άδεια. Περισσότερο από ένα χρόνο μετά, μέχρι και αυτή την στιγμή (09/01/2009), οι αμμοληψίες συνεχίζονται ανενόχλητες, ενώ οι τοπικές αρχές συζητούν λύσεις για το πρόβλημα της διάβρωσης και για την προστασία του δρόμου που κατασκευάστηκε πάνω στις αμμοθίνες.



Εικόνα 17: Τοποθεσία του εργοστασίου αμμοληψίας στο Ταυρώνιη ποταμό [21].

3.5 Διάβρωση προκαλούμενη από μικρές παράκτιες κατασκευές

Η Κρήτη έχει μακρά ιστορία στην ναυσιπλοΐα, η οποία ξεκινάει τουλάχιστον από την Μινωική εποχή, την δεύτερη χιλιετία π.Χ. [28]. Οι Μινωίτες είχαν αναπτύξει εμπορική δραστηριότητα σε όλη την ανατολική Μεσόγειο και το τσουνάμι που προκάλεσε η ηφαιστειακή έκρηξη της Θήρας το 1620 π.Χ. δεν κατέστρεψε εντελώς αυτή την εμπορική δραστηριότητα. Πρόσφατες μελέτες υπονοούν ότι η καταστροφή του Μινωικού στόλου προήλθε από την εξαφάνιση του μεγάλου εμπορικού κέντρου της εποχής, της Σαντορίνης, σε συνδυασμό με την κλιματική αλλαγή που επακολούθησε την έκρηξη [29].

Καθόλα τα χρόνια που ακολούθησαν η Κρήτη, και η Ελλάδα γενικότερα, κράτησε αυτή την σχέση με την ναυσιπλοΐα. Πριν το 1980, στην Ελλάδα τα μικρά λιμάνια ήταν σχεδόν ανύπαρκτα. Με το πέρασμα του χρόνου η Κρήτη αναπτύχθηκε τουριστικά και οικονομικά, τα σκάφη αναψυχής πολλαπλασιάστηκαν και πλέον ήταν αδιανόητο για τους κατόχους να τα «τραβάνε» κάθε βράδυ στην στεριά. Για το λόγο αυτό πολλοί

επιχειρηματίες και εργολάβοι βρήκαν εύκολο και γρήγορο κέρδος στην κατασκευή αλιευτικών καταφυγίων και μαρίνων. Η κατασκευή αλιευτικών καταφυγίων και μαρίνων επιχορηγούταν από την Ευρωπαϊκή Ένωση και από την εκάστοτε κυβέρνηση, η οποία οραματιζόταν μια Ελλάδα γεμάτη με κωμοπόλεις που θα έμοιαζαν με το San Tropez, της Γαλλίας. Και έτσι αλιευτικά καταφύγια, μικρά λιμάνια και μικρές μαρίνες ξεκίνησαν να κτίζονται χωρίς κεντρικό σχέδιο, οργάνωση, χωρίς κυματικά, βαθυμετρικά και άλλα βασικά στοιχεία, και χωρίς κάποια στοιχειώδη μελέτη περιβαλλοντικών ή άλλων επιπτώσεων που είναι δυνατόν να προκαλέσουν αυτές οι κατασκευές [9].

Για τους παραπάνω λόγους πολλές από αυτές τις κατασκευές, είτε παρεμπόδισαν τη στερεομεταφορά στις θαλάσσιες κυψέλες που τοποθετήθηκαν, προκαλώντας μοιραία την διάβρωση ομώνων και κοντινών παραλίων, είτε λόγω κακού σχεδιασμού απαιτείται η συχνή εκβάθυνση τους για να παραμείνουν λειτουργικές, είτε και για τους δύο αυτούς λόγους. Σε πολλές περιπτώσεις, που εξετάστηκαν από το εργαστήριο Φυσικών Καταστροφών και Παράκτιας Μηχανικής του Πολυτεχνείου Κρήτης, οι κάτοικοι ανέφεραν ότι η κατασκευή των λιμανιών και οι συγκεκριμένες τοποθεσίες που επιλέχθηκαν για αυτά ήταν αμφιλεγόμενες. Είχαν δε, κινήσει πολλές αντιρρήσεις και για τον τρόπο επιλογής τους και για την αναγκαιότητα κατασκευής τους, ακόμη και πριν οι κατασκευές πραγματοποιηθούν.

3.5.1 Διακοπή στερεομεταφοράς

3.5.1.1 Το λιμάνι του κόκκινου Πύργου, Ηράκλειο

Ένα τυπικό παράδειγμα παρεμπόδισης στερεομεταφοράς σε θαλάσσια κυψέλη είναι αυτό του Κόκκινου Πύργου, ΝΑ της πόλης του Τυμπακίου, στο νομό Ηρακλείου. Στην περιοχή κατασκευάστηκε ένα εξωτερικό λιμάνι το οποίο έχει μήκος ~ 320 m μήκος, πλάτος ~ 280 m πλάτος και προοριζόταν για σκάφη εκτοπίσματος έως 2 m. Το λιμάνι αυτό κτίστηκε την δεκαετία του 1990 και η λειτουργικότητα του είναι περιορισμένη, καθώς χρειάζεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα εκβάθυνση. Συγκεκριμένα, το βάθος στην είσοδο (μπούκα) είναι αρκετές φορές το χρόνο μικρότερο του 1 m.

Πρακτικά δεν είναι προσβάσιμο από μεγάλα σκάφη, αλιευτικά και μη. Η κατασκευή του δεν στηρίχτηκε σε κάποια εμπειριστατωμένη μελέτη, καθώς υπάρχει πλήρης απουσία στοιχείων για το ύψος και την κατεύθυνση των κυμάτων και των ρευμάτων της περιοχής, όπως παραδέχεται μια προμελέτη (2006), για λογαριασμό του Οργανισμού Λιμένος Ηρακλείου που αφορά την κατασκευή ενός νέου, πολύ μεγαλύτερο λιμένα στην περιοχή [30].

Μετά την κατασκευή του, δεν διαβρώθηκε μόνο η όμορη δυτική παραλία αλλά επιπροσθέτως διάβρωση εμφανίστηκε και περίπου 2 km δυτικά του λιμένα, στην παραλία της Αγίας Γαλήνης, ενός ιδιαίτερα δημοφιλούς τουριστικού προορισμού. Η παραλία ανατολικά του λιμένα έχει μήκος ~30 m, και παραμένει σταθερή ως σήμερα παρά την ύπαρξη δρόμου πλάτους 5 m με ενσωματωμένο κρηπιδότοιχο, που κατασκευάστηκε με σκοπό την ευκολότερη πρόσβαση στην θάλασσα απο τα τοπικά ξενοδοχεία και ταβέρνες. Επίσης ΒΑ υπάρχει ένα, παλίας χρήσης, στρατιωτικό αεροδρόμιο, και δυτικά του, 70 m απο την ΜΣΘ υπάρχει σύστημα αμμοθίνων.

Η παραλία ανατολικά του λιμένα δεν έχει υποστεί διάβρωση, καθώς η στερεομεταφορά στην περιοχή, σύμφωνα με όλες τις ενδείξεις έχει φορά απο τα ΝΑ προς τα ΒΔ (εικόνα 10). Νότια της παραλίας υπάρχει ένα ποτάμι το οποίο τους χειμερινούς μήνες τροφοδοτεί την παραλία με ίζημα. Έτσι, στο νότιο βραχίονα, η όμορη παραλία έχει μεγαλώσει σε πλάτος αρκετά μέτρα, και συνεχίζει να μεγαλώνει, επειδή το λιμάνι εμποδίζει σε αυτό το σημείο την στερεομεταφορά. Επίσης η είσοδος του λιμένα βρίσκεται στο τέλος του νότιου βραχίονα και για το λόγο αυτό ίζημα απο την παραλία συγκεντρώνεται στην είσοδο, καθιστώντας το μη λειτουργικό.

Όπως φάνηκε και στην εικόνα 10, μια τυχαία χειμωνιάτικη μέρα την οποία το ποτάμι κατεβάζει ίζημα, η στερεομεταφορά έχει κατεύθυνση απο το νότο προς το βορρά, δηλαδή προς το λιμάνι. Άρα ήταν αναμενόμενο ότι, η είσοδος του λιμένα θα συγκεντρώνει ίζημα και θα χρειάζεται συχνή εκβάθυνση. Όπως επίσης ότι ο νότιος λιμενοβραχίονας θα συγκεντρώνει άμμο και θα πλαταίνει η παραλία στο σημείο αυτό ενώ στην παραλία κατάντη του λιμένα θα εμφανιστεί διάβρωση.

3.5.1.2 Ο λιμενοβραχίονας της Αγίας Μαρίνας, Χανιά

Ο οικισμός της Αγίας Μαρίνας βρίσκεται 8 km δυτικά της πόλη των Χανίων. Την δεκαετία του 1950, ένας θαλάσσιος τοίχος κατασκευάστηκε στον δρόμο ο οποίος περνούσε κοντά στην παραλία της Αγίας Μαρίνας. Εκ τότε, η μικρή παραλία βραχάκια στην Αγία Μαρίνα, μόλις 400 m σε μήκος, άρχισε να συρρικνώνεται και τελικά παρέμεινε στάσιμη, με ένα μέσο πλάτος περίπου 20 m. Το 1985, ένας μικρός λιμενοβραχίονας κατασκευάστηκε με σκοπό τη στέγαση των μικρών αλιευτικών σκάφων της περιοχής. Ο λιμενοβραχίονας δεν χρησιμοποιήθηκε ποτέ εκτεταμένα, καθώς οι χρήσεις γης άλλαξαν και όταν η κατασκευή ολοκληρώθηκε η περιοχή είχε ήδη αναπτυχθεί τουριστικά.

Στα μέσα της δεκαετίας του 1990, το μεγαλύτερο μέρος της παραλίας είχε εξαφανιστεί και είχε αντικατασταθεί απο μια παραλία με εποχιακό πλάτος μικρότερο απο

3 m. Το 2006, ένα απο τα τελευταία εναπομείναντα παραθαλάσσια οικήματα μιας παραλία που στο πρώτο μισό του περασμένου αιώνα ήταν αρκετά πλατιά και υγιής, εμφάνισε ρωγμές λόγω διάβρωσης και εγκαταλείφτηκε παντελώς στην τύχη του. Όπως φαίνεται στην εικόνα 18, ελάχιστη άμμος έχει παραμείνει, ενώ το οίκημα έχει καταρρεύσει.



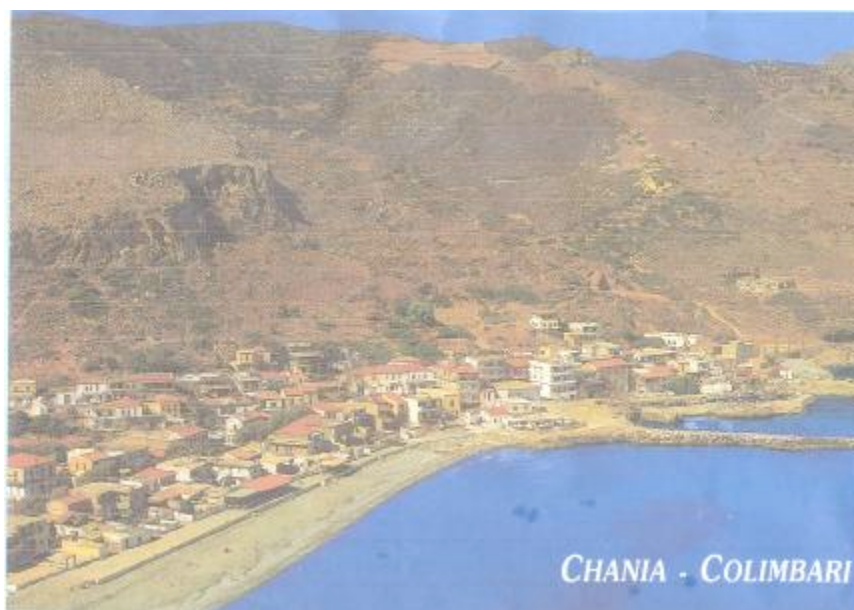
Εικόνα 18: Αποψη της περιοχής βραχάκια, Χανιά [13].

3.5.2 Διάβρωση προκαλούμενη απο συντονισμό κυμάτων και ανάκλαση

3.5.2.1 Κολυμβάρι, νομός Χανίων

Ένα άλλο παράδειγμα λιμενικού έργου, του οποίου η κατασκευή δεν συνυπολόγισε την στερεομεταφορά, της κυματικές συνθήκες και τα ρεύματα της περιοχής βρίσκεται στο δήμο του Κολυμβαρίου, στο δυτικό άκρο του νομού Χανίων. Το λιμάνι του Κολυμβαρίου κατασκευάστηκε το 2000 για να καλύψει την ανάγκη στέγασης των αλιευτικών σκαφών της περιοχής και ιδιοκτήτων σκαφών αναψυχής. Το μήκος του λιμανιού είναι ~ 330 m ενώ το πλάτος του ~ 180 m.

Το 1980, η παραλία του Κολυμβαρίου παρέμενε υγιείς και χρησιμοποιούταν κυρίως για λόγους αναψυχής κατοίκων και επισκεπτών (εικόνα 19). Η παραλία αποτελείτο κυρίως απο χοντρόκοκκο ίζημα, ενώ το μήκος της είναι ~4 km. Το δυτικότερο κομμάτι της παραλίας ήταν ιδιαίτερα στενό, μόλις 5 m πλατύ. Ανατολικά η παραλία γειτόνευε με αγροτικές εκτάσεις, έτσι σε κάποια σημεία έφτανε και μέχρι πλάτος 50 m. Αν συμπεριληφθεί και το ευαίσθητο σύστημα των αμμοθινών που αφθονούσαν στην περιοχή το πλάτος, σε αρκετά σημεία, υπερέβαινε τα 100 m.



Εικόνα 20: Η παραλία του Κολυμβαρίου το 1980 [31].

Το 2000, η κατασκευή του λιμανιού του Κολυμβαρίου ολοκληρώθηκε. Σύμφωνα με τις τοπικές εφημερίδες [32] το πλάτος της παραλίας μειώθηκε στο μισό μέσα σε δύο χρόνια απο την ολοκλήρωση της κατασκευής. Τα κύματα πλέον μπορούσαν να φτάσουν μέχρι της παραθαλάσσιες ιδιοκτησίες και να πλημμυρίσουν τις αυλές των σπιτιών. Οι κάτοικοι δεν θυμόντουσαν τόσο ψηλά κύματα στο παρελθόν.

Το 2005, μια εποχιακή καταιγίδα πλημμύρισε τις οικίες και καταστήματα σε τέτοιο βαθμό, ώστε οι κάτοικοι αναγκάστηκαν να ζητήσουν απο τις τοπικές λιμενικές αρχές λύση για το συγκεκριμένο πρόβλημα. Για το λόγο αυτό ένας κρηπιδότοιχος, κατασκευάστηκε στην περιοχή, παρομοίως με αυτόν των Καλυβών. Επίσης κατασκευάστηκε και ένας παραθαλάσσιος δρόμος, που περνάει μπροστά απο τα εστιατόρια και καταστήματα της περιοχής. Οι μαρτυρίες είναι αντικρουόμενες για το αν ο δρόμος κτίστηκε πάνω στον κρηπιδότοιχο ή μεταξύ αυτού και των καταστημάτων. Και στις δύο περιπτώσεις, η λύση που προτιμήθηκε για το πρόβλημα της διάβρωσης ήταν η κάλυψη της εναπομένουσας παραλίας με κρηπιδότοιχο, δρόμο και άλλες βαριές κατασκευές.



Εικόνα 21: Προστασία παραλίας με κρηπιδότοιχο – 13/10/2008 [27].

Τον Οκτώβριο του 2006, μία σειρά ισχυρών κυματικών καταιγίδων έπληξαν την περιοχή και σαν επακολουθώ ένα σπίτι κατέρρευσε. Ο κρηπιδότοιχος που ξεκίνησε το 2005 είχε σταματήσει λίγο πριν το συγκεκριμένο σπίτι. Μια ηλικιωμένη γυναίκα κατοικούσε το σπίτι και για καλή της τύχη νόμισε πως οι δονήσεις που προκαλούσαν τα κύματα οφείλονταν σε σεισμό, έτσι εκκένωσε το σπίτι λίγα λεπτά πριν καταρρεύσει. Το αποτέλεσμα φαίνεται στις εικόνες 21 και 22, οι οποίες δείχνουν την κατάσταση που επικρατούσε όταν η καταιγίδα έπληττε την περιοχή.



Εικόνα 21: Αποτελέσματα καταιγίδας [13].



Εικόνα 22: Μια μέρα μετά την καταιγίδα [13].

Όπως ανέφεραν οι κάτοικοι, αυτό που πλέον ήταν ξεκάθαρο, ήταν το ότι ο κρηπιδοτοιχός είχε μετακινήσει τις πλημμύρες και τις επιπτώσεις των κυματικών καταιγίδων ανατολικότερα, από το σημείο που αυτός τελείωνε. Οι συνεντεύξεις με αυτόπτες μάρτυρες αποκάλυψαν ότι κατά την διάρκεια της καταιγίδας, η οποία προκάλεσε την κατάρρευση του συγκεκριμένου σπιτιού, τα κύματα ερχόταν από δύο κατευθύνσεις. Ακόμα είχαν παρατηρήσει ότι τα κύματα ενώνονταν ανατολικά του κρηπιδότοιχου, δημιουργώντας ακόμη μεγαλύτερο ύψους κύμα. Η μία κατεύθυνση ήταν ΒΑ, φυσιολογική για την βόρεια Κρήτη αλλά η άλλη κατεύθυνση ήταν ΒΔ της κατεύθυνσης του κρηπιδότοιχου. Στην περιοχή, δεν υπάρχει ικανό ανάπτυγμα πελάγους για να δικαιολογήσει την ύπαρξη τέτοιων κυματισμών ΒΔ διεύθυνσης. Το λογικό συμπέρασμα είναι ότι η κυματισμοί αυτοί είναι οφείλονται σε κυματική ανάκλαση από τον κρηπιδότοιχο.

Η απαίτηση των κατοίκων για πλήρη ενημέρωση κατέληξε σε δήλωση των λιμενικών αρχών ότι το έργο είχε σχεδιαστεί σωστά, αλλά ο εργολάβος έκανε ένα μικρό «λάθος» στον προσανατολισμό του βραχίονα του λιμένα κατά λίγες μοίρες, λόγω μη καλής κατανόησης των παγκόσμιων συντεταγμένων. Οι εξηγήσεις του εργολάβου ήταν ότι είχε ακολουθήσει επακριβώς τα σχέδια που του δόθηκαν, αλλά ο σχεδιασμός ήταν αυτός που τελικά υστερούσε. Κανείς δεν δέχτηκε ότι η παρατηρούμενη διάβρωση, που εμφανίστηκε μετά την κατασκευή του λιμένα, είχε κάποια σχέση με την κατασκευή.

Μια ακόμα σημαντική λεπτομέρεια στην οποία δεν δόθηκε εξήγηση, ήταν ακόμη και χωρίς την διάβρωση ή την ανάκλαση των κυμάτων, ο λιμένας του Κολυμβαρίου που κατασκευάστηκε το 2000 είναι ανίκανος να στεγάσει σκάφη σε περιόδους έντονης

θαλασσοταραχής, τουλάχιστον όπως υποστήριζαν οι ιδιοκτήτες αλιευτικών και σκαφών αναψυχής του λιμένας Κολυμβαρίου.

Ο ίδιος μελετητής, πριν την καταστροφή του 2006, είχε προτείνει την τοποθέτηση εφτά αποσπασμένων κυματοθραυστών, μήκους 80 m, σε βάθος 4 m, ως λύση για το πρόβλημα της διάβρωσης της όμορης παραλίας. Η μελέτη βασίστηκε σε ένα φυσικό μοντέλο [33]. Κάθε κυματοθραύστης υπολογίζεται ότι κοστίζει περίπου 1 εκ. ευρώ, άλλα κανένα μακροχρόνιο στοιχείο κυμάτων ή ρευμάτων δεν λήφθηκε υπόψη κατά την μοντελοποίηση της παραλίας και του λιμένα. Υποστηρίχθηκε ότι το φυσικό μοντέλο έχει συνυπολογίσει την στερεομεταφορά και ότι οι αποσπασμένοι κυματοθραύστες είναι μια «μόνιμη» λύση στο πρόβλημα της διάβρωσης. Η κατάρρευση του σπιτιού πρόσθεσε ένα επιπλέον λόγο για την γρήγορη κατασκευή των αποσπασμένων κυματοθραυστών, χωρίς όμως να γίνει οποιαδήποτε εξέταση των αιτιών.

Ενώ η συζήτηση για μια μόνιμη λύση συνεχίζεται, η προέκταση του κρηπιδότοιχου μελετάται σαν τρόπος προστασίας των υπόλοιπων οικημάτων τα οποία κινδυνεύουν μετά την κατασκευή του, το 2005. Αυτή η καθυστέρηση επέτρεψε την πραγματοποίηση μιας μελέτης αξιολόγησης των εφτά αποσπασμένων κυματοθραυστών που προτείνεται να τοποθετηθούν. Λόγω έλλειψης πόρων είναι δυνατή η κατασκευή των πέντε από τους εφτά κυματοθραύστες. Επιπροσθέτως, ενστάσεις περιβαλλοντικών οργανώσεων, για την βιωσιμότητα αποικιών θαλάσσιων χελωνών σε γειτονική παραλία, μείωσε τον αριθμό κυματοθραυστών σε τρεις. Βέβαια καμία επιπρόσθετη μελέτη για τον αν τρεις αποσπασμένοι κυματοθραύστες θα είναι αποτελεσματικοί ή αν θα μεταφέρουν την διάβρωση ανατολικότερα δεν έχει διεξαχθεί. Επίσης δεν υπάρχει μέχρι την συγγραφή αυτής της διατριβής (09/01/2008) καμία μελέτη Περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Ακόμα και αν είναι αποτελεσματικοί, καινούργιες μελέτες με φυσικό μοντέλο που πραγματοποιούνται δεν θα βοηθήσουν στην εκτίμηση της διάβρωσης χωρίς επιπρόσθετες μελέτες.



Εικόνα 23: Φυσικό Μοντέλο για το λιμάνι του Κολυμβαρίου [33].

Φυσικά μοντέλα κλίμακας 1:100 δεν είναι ικανά να προσδιορίσουν την στερεομεταφορά της θαλάσσιας κυψέλης της περιοχής. Αν μικρύνει η διάμετρο των κόκκων όσο απαιτεί το μοντέλο, τότε οι δυνάμεις συνοχής μεταξύ των κόκκων γίνονται πολύ ισχυρές και τα αποτελέσματα του μοντέλου θα είναι αμφιβόλου ποιότητας. Χρειάζονται πληροφορίες για τις κυματικές συνθήκες, τα ρεύματα και άλλα στοιχεία της περιοχής και συνήθως κάποιο αναλυτικό μοντέλο. Επιπροσθέτως, η κυματική ανάκλαση στις σταθερές συνθήκες ενός εργαστηρίου, δεν μπορεί να υπολογίσει καταστάσεις υψηλών κυματικών καταιγίδων.

4. Υπολογισμοί Ακτομηχανικής Διερεύνησης

Για την παραλία του Κολυμβαρίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν αριθμητικά μοντέλα υπολογισμού κυματικών συνθηκών και στέρεο μεταφοράς [33]. Πρέπει να τονιστεί πως οι παρακάτω υπολογισμοί γίνονται για καθαρά εκπαιδευτικούς σκοπούς, αφού στην περιοχή δεν έχουν μετρηθεί οι ούτε κυματικές συνθήκες ούτε τα ρεύματα που επικρατούν ούτε υπάρχουν ανεμολογικά στοιχεία. Τα μοντέλα αυτά έχουν κυρίως ισχύ σε ωκεανούς και θάλασσες με μεγάλο ανάπτυγμα πελάγους (Fetch ή Fe). Στην συγκεκριμένη περίπτωση μπορεί να δώσουν μια πρόχειρη εκτίμηση των κυματικών συνθηκών της περιοχής και μια προσέγγιση της στερεομεταφοράς σε αυτή.

4.1 Μέθοδος SMB Ανεμολογικά Δεδομένα

Τα ανεμολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι παρμένα απο τον μετεωρολογικό σταθμό της Σούδας [34], του πιο κοντινού μετεωρολογικού σταθμού του οποίου τα δεδομένα ήταν προσβάσιμα. Τα ανεμολογικά δεδομένα είναι στην κλίμακα Beaufort και δίνουν ποσοστιαία περιγραφή της διεύθυνσης και της έντασης του ανέμου. Λόγω της θέσης της ακτής, οι διεύθυνσεις ανέμων που δύναται να δημιουργήσουν κυματισμούς στην παραλία είναι ο ανατολικός, βόρειο-ανατολικός και βόρειος άνεμος. Επίσης απο τα ανεμολογικά δεδομένα προκύπτει ότι ο άνεμος που θα επηρεάζει περισσότερο την παραλία θα είναι ο βόρειος, καθώς μόνο αυτός παρουσιάζει τιμές για ανέμους μεγαλύτερων των επτά (7) Beaufort.

Beaufort	Mean wind (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CALM	SUM
0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	27,615	27,615
1	0,9	0,394	0,153	0,46	0,153	0,1	0,055	0,427	0,318		2,07
2	2,45	3,088	1,457	3,515	2,07	0,789	0,646	3,242	4,195		19,002
3	4,4	4,293	2,65	4,271	1,435	0,493	0,635	5,18	6,286		25,243
4	6,7	3,198	1,719	1,533	0,526	0,23	0,405	4,381	4,392		16,384
5	9,35	1,172	0,482	0,307	0,241	0,142	0,164	2,114	1,446		6,068
6	12,3	0,438	0,153	0,088	0,099	0,066	0,077	1,008	0,537		2,466
7	15,5	0,131	0,044	0,022	0,077	0,33	0,022	0,329	0,164		0,822
8	18,95	0,033	0,011	0,011	0,022	0,11	0,11	0,077	0,033		0,209
9	22,6	0,011	0,011	0	0,11	0,11	0,11	0,011	0,011		0,077
10	26,45	0	0	0	0,011	0,011	0	0,011	0		0,033
>= 11	30,55	0,011	0	0	0	0	0	0	0	0	0,011

4.1.1 Περιγραφή της Μεθόδου SMB και Υπολογισμός Αναπτύγματος Πελάγους (FETCH)

Το πιο διαδεδομένο καθοριστικό μοντέλο βραχυπρόθεσμης περιγραφής της κατάστασης διαταραχής της θαλάσσιας επιφάνειας είναι το μοντέλο SMB (Svedrup – Munk - Bretschneider). Σύμφωνα με αυτό τα κύματα κατηγοριοποιούνται ως εξής :

- Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν κύματα πλήρως ανεπτυγμένης θάλασσας. Δημιουργούνται από την πνοή ανέμου μακράς διάρκειας κατά μήκος μεγάλου αναπτύγματος πελάγους.
- Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν τα κύματα, που δημιουργούνται από την μακρά πνοή ανέμου κατά μήκος περιορισμένου αναπτύγματος πελάγους.
- Στην τρίτη κατηγορία ανήκουν τα κύματα, που δημιουργούνται από την πνοή ανέμου σύντομης διάρκειας κατά μήκος μεγάλου αναπτύγματος πελάγους.

Τα χαρακτηριστικά (μήκος και ύψος) κύματος μεγαλώνουν με τη διάρκεια πνοής του ανέμου και το ανάπτυγμα πελάγους. Για το λόγο αυτό, τα μεγαλύτερα κύματα ανήκουν στην πρώτη κατηγορία.

Η βασική παραδοχή του μοντέλου SMB είναι ότι υπάρχει ένα κύμα, που κατά κάποιο

τρόπο αντιπροσωπεύει τη διαταραχή της θαλάσσιας επιφάνειας, το οποίο και ονομάζεται χαρακτηριστικό. Αντιστοιχεί προσεγγιστικά με το φυσικό κύμα, του οποίου το ύψος είναι δυνατό να εκτιμηθεί από την ακτή. Το ύψος του ισούται με το μέσο ύψος του 1/3 των υψηλότερων κυμάτων που εμφανίζονται.

Με το μοντέλο SMB υπολογίζονται το ύψος H και η περίοδος T του χαρακτηριστικού κύματος σαν μονοσήμαντες συναρτήσεις της ταχύτητας U του ανέμου, του αναπτύγματος πελάγους (Fetch) F και της διάρκειας πνοής του ανέμου D [35]. Χρησιμοποιούνται οι παρακάτω αδιάστατες εξισώσεις :

$$gH_s/U^2 = 0,283 \tanh(0,0125\Phi^{0,42}) \quad (4)$$

$$gT_s/U = 7,54 \tanh(0,077\Phi^{0,42}) \quad (5)$$

$$gD/U = 6,588 \exp[\sqrt{0,0161(\ln\Phi)^2 - 0,369(\ln\Phi) + 2,2024} + 0,8798(\ln\Phi)] \quad (6)$$

όπου Φ είναι ο συντελεστής αναπτύγματος πελάγους ($= gf/U^2$).

Το ανάπτυγμα πελάγους είναι ένα μέγεθος το οποίο έχει μονάδες μήκους και εκφράζει την απόσταση από το σημείο εκτίμησης ακτή που αναπτύσσεται ο κυματισμός.

Υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση :

$$F = \sum R \cos^2 \alpha / \sum \cos \alpha \quad (7)$$

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα αναπτύγματα πελάγους θέτοντας ως γωνία 0° την ανατολική διεύθυνση προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα [37].

Διεύθυνση Ανέμου (γωνία ανατολικά-βόρειο ανατολικά- βόρεια)	Απόσταση
0	21,8
5	24,1
10	24,7
15	413,4
20	318,7
25	193,3
30	144,4
35	164,2
40	353,8
45	182,3
50	151,2
55	186,4
60	150,3
65	133,6
70	179,5
75	196,8
80	271,7
85	228,7
90	245,1
95	240,6
100	205,4
105	12,7
110	7,5
115	5,4
120	4,1
125	4,0
130	3,5
135	3,3
140	3,0
145	2,4
150	2,4
155	2,3
160	2,3
165	2,2
170	2,1
175	2,1
180	1,6

Τα παραπάνω δεδομένα προέκυψαν από την μετατροπή του χάρτη σε ηλεκτρονική μορφή [37]. Για την περιοχή μελέτης χρειάζεται να εξεταστούν τρεις κατευθύνσεις ανέμου, καθώς οι διευθύνσεις ανέμου που επηρεάζουν την παραλία είναι η Ανατολική, η Βόρειοανατολική και η Βόρεια. Για την ανατολική διεύθυνση πρέπει να σημειωθεί πως για γωνία από 45° έως 0° δεν υπολογίζεται άνεμος, καθώς η παράκτια ζώνη ξεκινάει από την βόρειο-ανατολική διεύθυνση.

Πιο αναλυτικά κάθε διεύθυνση παρουσιάζεται παρακάτω:

Ανατολικός άνεμος:

Ri (km)	A	cosa	cos ² a	Ri*cos ² a
0	-45	0,70711	0,500005	0
0	-40	0,76604	0,586817	0
0	-35	0,81915	0,671007	0
0	-30	0,86603	0,750008	0
0	-25	0,90631	0,821398	0
0	-20	0,96969	0,940299	0
0	-15	0,96593	0,933021	0
0	-10	0,98481	0,969851	0
0	-5	0,99619	0,992395	0
21,8	0	1,0000	1,00000	21,8041
24,1	5	0,99619	0,992395	23,8993
24,7	10	0,98481	0,969851	23,9880
413,4	15	0,96593	0,933021	385,669
318,7	20	0,96969	0,940299	299,632
193,3	25	0,90631	0,821398	158,746
144,4	30	0,86603	0,750008	108,289
164,2	35	0,81915	0,671007	110,207
353,8	40	0,76604	0,586817	207,603
182,3	45	0,70711	0,500005	91,1689
	Total	16,96252		1431,007

Βορειοανατολικός άνεμος

Ri (km)	A	cosa	cos ² a	Ri*cos ² a
21,8	-45	0,70711	0,500005	10,90215
24,1	-40	0,76604	0,586817	14,13203
24,7	-35	0,81915	0,671007	16,59648
413,4	-30	0,86603	0,750008	310,0195
318,7	-25	0,90631	0,821398	261,7438
193,3	-20	0,96969	0,940299	181,7256
144,4	-15	0,96593	0,933021	134,7129
164,2	-10	0,98481	0,969851	159,2894
353,8	-5	0,99619	0,992395	351,0877
182,3	0	1,00000	1,000000	182,3363
151,2	5	0,99619	0,992395	150,0395
186,4	10	0,98481	0,969851	180,8044
150,3	15	0,96593	0,933021	140,197
133,6	20	0,96969	0,940299	125,5868
179,5	25	0,90631	0,821398	147,4713
196,8	30	0,86603	0,750008	147,5946
271,7	35	0,81915	0,671007	182,2907
228,7	40	0,76604	0,586817	134,2296
245,1	45	0,70711	0,500005	122,5727
	Total	16,96252		2953,333
Fetch (m)=	174109,3			

Βόρειος άνεμος

Ri (km)	A	cosa	cos ² a	Ri*cos ² a
182,3	-45	0,70711	0,500005	91,16898
151,2	-40	0,76604	0,586817	88,72055
186,4	-35	0,81915	0,671007	125,0924
150,3	-30	0,86603	0,750008	112,6972
133,6	-25	0,90631	0,821398	109,7063
179,5	-20	0,96969	0,940299	168,8184
196,8	-15	0,96593	0,933021	183,6098
271,7	-10	0,98481	0,969851	263,4768
228,7	-5	0,99619	0,992395	227,0021
245,1	0	1,00000	1,000000	245,1431
240,6	5	0,99619	0,992395	238,7312
205,4	10	0,98481	0,969851	199,1834
12,7	15	0,96593	0,933021	11,80523
7,5	20	0,96969	0,940299	7,048855
5,4	25	0,90631	0,821398	4,409674
4,1	30	0,86603	0,750008	3,091308
4,0	35	0,81915	0,671007	2,707781
3,5	40	0,76604	0,586817	2,07123
3,3	45	0,70711	0,500005	1,645165
	Total	16,96252		2086,13
Fetch (m)=	122984,7			

Το ενεργό ανάπτυγμα πελάγους (Fetch) υπολογίζεται από τον τύπο:

$$Fe = \sum x \cos^2 \phi_i / \sum \cos \phi_i \quad (8)$$

Σύμφωνα με τους πίνακες, το ενεργό ανάπτυγμα πελάγους Fe, για κάθε διεύθυνση είναι:

* **Ανατολική διεύθυνση:** Ενεργό ανάπτυγμα πελάγους Fe = 84362 m

* **Βορειοανατολική διεύθυνση:** Ενεργό ανάπτυγμα πελάγους Fe= 174109 m

* **Βόρεια διεύθυνση:** Ενεργό ανάπτυγμα πελάγους Fe= 122984 m

4.1

4.1.2 Υπολογισμός κυματικού κλίματος με τη μέθοδο SMB

Για τους υπολογισμούς πρέπει να μετατραπεί η εκτίμηση της κλίμακα Beaufort σε m/s. Κάθε κλάση της κλίμακας Beaufort αντιστοιχεί σε ένα εύρος τιμών σε μονάδες m/s. Η μετατροπή της κλίμακας Beaufort σε m/s γίνεται λαμβάνοντας το μέσο όρο του εύρους, που αντιστοιχεί σε κάθε κλάση.

ΚΛΙΜ. BEAUFORT	ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΑΝΕΜΟΥ	ΣΕ m/sec	ΣΕ km/h	κόμβοι	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗ ΞΗΡΑ
0	Άπνοια Calm	0 - 0.2	1	< 1	Ο καπνός υψώνεται κατακόρυφα
1	Σχεδόν άπνοια Light Air	0.3 - 1.5	1.5	< 1	Η διεύθυνση του ανέμου φαίνεται από τον καπνό και όχι από τον ανεμοδείκτη.
2	Πολύ ασθενής Light breeze	1.6 - 3.3	6-11	4-6	Άνεμος αισθητός στο πρόσωπο. Τα φύλλα των δένδρων θροίζουν και ο ανεμοδείκτης κινείται.
3	Ασθενής Gentle Breeze	3.4 - 5.4	12-19	7-10	Τα φύλλα και τα μικρά κλωνάρια των δένδρων βρίσκονται σε συνεχή κίνηση. Ο άνεμος τεντώνει μικρή σημαία.
4	Σχεδόν Μέτριος Moderate breeze	5.5 - 7.9	20 - 28	11-16	Ο άνεμος σηκώνει σκόνη και φύλλα χάρτου. Κινεί μικρά δένδρα.
5	Μέτριος Fresh Breeze	8.0 - 10.7	29 - 38	17-21	Μικρά δένδρα με φύλλα αρχίζουν να κινούνται. Σχηματίζονται κυματίδια σε λίμνες.
6	Ισχυρός Strong breeze	10.8 - 13.8	39 - 49	22-27	Κινούνται μεγάλα κλαδιά δένδρων. Ακούγεται συριγμός στα τηλεγραφικά σύρματα. Οι ομπρέλες χρησιμοποιούνται με δυσκολία.
7	Σχεδόν Θυελλώδης Near Gale	13.9 - 17.1	50 - 61	28-33	Τα δένδρα κινούνται ολόκληρα. Το αντίθετο στον άνεμο βάδισμα γίνεται δύσκολο.
8	Θυελλώδης Gale	17.2 - 20.7	62 - 74	34-40	Θραύει μικρά κλωνάρια δένδρων. Γενικά εμποδίζει το αντίθετο στον άνεμο βάδισμα.
9	Πολύ Θυελλώδης Strong gale	20.8 - 24.4	75 - 88	41-47	Προκαλούνται μικρές ζημιές σε κατασκευές. Αναρπάζονται πηλίνοι καπνοδόχοι και κεραμίδια.
10	Θύελλα Storm	24.5 - 28.4	89 - 102	48-55	Σπάνια παρατηρείται στο εσωτερικό της ξηράς. Ξεριζώνει δένδρα και προξενεί μεγάλες ζημιές σε κατασκευές.
11	Ισχυρή Θύελλα Violent Storm	28.5 - 32.6	103 - 117	56-63	Πολύ σπάνια παρατηρείται. Γίνονται πολύ μεγάλες ζημιές.
12	Τυφώνας Hurricane	32.7 και περισσότερο	>= 118	>= 64	...

Πίνακας 1: Μετατροπές της κλίμακας Beaufort [38]

Τα ανεμολογικά δεδομένα που είναι απαραίτητα για την ακτομηχανική διερεύνηση (συχνότητες πνοής των ανέμων ως προς την ένταση και τη διεύθυνση πνοής) μετατρέπονται στις κατάλληλες μονάδες. Σαν χρόνος πνοής του ανέμου D, λαμβάνεται το γινόμενο της συχνότητας του ανέμου (%) με το σύνολο των ωρών ενός ετούς (8760 hours). Αφού έχει υπολογιστεί το πραγματικό ανάπτυγμα πελάγους, κατά προσέγγιση, για κάθε επικρατούντα άνεμο, υπολογίζεται ο αδιαστατός λόγος Φ, από την σχέση : $\Phi(1) = gF/U^2$, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, U η μέση ταχύτητα, F το ενεργό ανάπτυγμα πελάγους για κάθε μια από τρεις διευθύνσεις ανέμου. Προκύπτουν, λοιπόν, οι παρακάτω πίνακες :

Ανατολικός άνεμος (E), Fe = 84362 m

Ανεμολογικά Δεδομένα			
	U	Ετήσιο ποσοστό (%) της διεύθυνσης του ανέμου.	$\Phi(1) = \frac{gF}{U^2}$
Beaufort	km/h	Ανατολικός άνεμος (E)	
1	3	0,46	82759983
2	8	3,515	1021728,19
3	16	4,271	137875,857
4	24	1,533	42747,9263
5	34	0,307	18436,174
6	44	0,088	9466,6688
7	56	0,022	5470,28788
8	68	0,011	3444,74444
9	81	0	2304,63406
10	96	0	1620,3302
11	110	0	1182,95725
Σύνολο	-	-	886,743422

Βορειοανατολικός άνεμος (NE), Fe = 174109 m

Ανεμολογικά Δεδομένα			
	U	Ετήσιο ποσοστό (%) της διεύθυνσης του ανέμου.	
Beaufort	km/h	Βορειοανατολικός άνεμος (NE)	$\Phi(1) = gF/U^2$
1	3	0,648	170.801,223
2	8	7,822	2.108.657,08
3	16	3,186	284.550,14
4	24	1,505	88.223,77
5	34	0,297	38048,84
6	44	0,099	195.37,44
7	56	0,044	11.289,66
8	68	0,011	7.109,31
9	81	0,000	4.756,34
10	96	0,000	3.344,06
11	110	0,000	2.441,40
Σύνολο	-	-	1.830,07

Βόρειος άνεμος (N), Fe = 122984 m

Ανεμολογικά Δεδομένα			
	U	Ετήσιο ποσοστό(%) της διεύθυνσης του ανέμου.	
Beaufort	km/h	Βόρειος άνεμος (N)	$\Phi(1)=gF/U^2$
1	3	0,394	120.647,991
2	8	3,088	1.489.481,37
3	16	4,293	200.996,25
4	24	3,198	62.318,18
5	34	1,172	26.876,36
6	44	0,438	13.800,5652
7	56	0,131	7.974,62
8	68	0,033	5.021,77
9	81	0,011	3.359,71
10	96	0	2.362,13
11	110	0,011	1.724,52
Σύνολο	-	-	1.292,69

Έπειτα, υπολογίζεται το Φ από την σχέση:

$$gD/U = 6,588 \exp \{ [0,0161(\ln \Phi)^2 - 0,369(\ln \Phi) + 2,2024]^{0,5} + 0,8798(\ln \Phi) \} \quad (9)$$

για την επίλυση του παραπάνω τύπου θέτουμε :

- $A = gD/U \quad (10)$
- $B = 6,588 \exp \{ [0,0161(\ln \Phi)^2 - 0,369(\ln \Phi) + 2,2024]^{0,5} + 0,8798(\ln \Phi) \} \quad (11)$

Με αυτό τον τρόπο για κάθε δοκιμή τυχαίου Φ , εξετάζεται αν ο όρος B προσεγγίζει αριθμητικά τον όρο A , ο οποίος έχει ήδη υπολογιστεί. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επαναληπτικής μεθόδου που προέκυψαν [36] και τέλος συγκρίνονται οι τιμές των $\Phi(1)$ και $\Phi(2)$ που και λαμβάνεται η ελάχιστη:

Ανατολικός άνεμος (E)

Mean wind U= (m/s)	$\Phi(1)=$ gF/U^2	%(ετήσιο) διεύθυνσης του ανέμου	D= %8760 (hr/yr)	gD/U	$\Phi(2)$	Min ($\Phi(1), \Phi(2)$)
0,1	170801223	0	0	0	0,00	0,00
0,9	2108657,0	0,153	1340,28	14609,05	3551,60	3551,60
2,45	284550,14	1,457	12763,32	51105,38	17383,9	17383,93
4,4	88223,772	2,65	23214	51756,67	17659,3	17659,37
6,7	38048,835	1,719	15058,44	22048,25	6021,71	6021,71
9,35	19537,444	0,482	4222,32	4430,049	754,45	754,45
12,3	11289,657	0,153	1340,28	1068,955	116,89	116,89
15,5	7109,3121	0,044	385,44	243,9462	16,67	16,67
18,95	4756,3362	0,011	96,36	49,88346	2,04	2,04
22,6	3344,0602	0,011	96,36	41,82706	1,62	1,62
26,45	2441,4038	0	0	0	0,00	0,00
30,55	1830,0735	0	0	0	0,00	0,00

Βορειοανατολικός άνεμος(NE)

Mean wind U= (m/s)	$\Phi(1)=$ gF/U^2	%(ετήσιο) διεύθυνσης του ανέμου	D= %8760 (hr/yr)	gD/U	$\Phi(2)$	Min ($\Phi(1), \Phi(2)$)
0,1	170801223	0	0	0	0,00	0,00
0,9	2108657,08	0,153	1340,28	14609,0	3551,60	3551,60
2,45	284550,143	1,457	12763,32	51105,3	17383,9	17383,93
4,4	88223,7724	2,65	23214	51756,6	17659,3	17659,37
6,7	38048,8357	1,719	15058,44	22048,2	6021,71	6021,71
9,35	19537,4444	0,482	4222,32	4430,04	754,45	754,45
12,3	11289,6572	0,153	1340,28	1068,95	116,89	116,89
15,5	7109,3121	0,044	385,44	243,946	16,67	16,67
18,95	4756,33624	0,011	96,36	49,8834	2,04	2,04
22,6	3344,06029	0,011	96,36	41,8270	1,62	1 62
26,45	2441,40384	0	0	0	0,00	0,00
30,55	1830,07356	0	0	ο	0,00	0,00

Βόρειος άνεμος (N)

Mean wind U= (m/s)	$\Phi(1)=$ gF/U^2	%(ετήσιο) διεύθυνσης του ανέμου	D= %8760 (hr/yr)	gD/U	$\Phi(2)$	Min ($\Phi(1), \Phi(2)$)
0,1	120647991	0	0	0	0,00	0,00
0,9	1489481,37	0,394	3451,44	37620,7	11854,7	11854,75
2,45	200996,236	3,088	27050,88	108313	43395,3	43395,30
4,4	62318,177	4,293	37606,68	83845,8	31908,6	31908 68
6,7	26876,3624	3,198	28014,48	41018,2	13213,5	13213 58
9,35	13800,5652	1,172	10266,72	10771,8	2396,44	2396,44
12,3	7974,61767	0,438	3836,88	3060,14	465,05	465,05
15,5	5021,7686	0,131	1147,56	726,294	70,27	70,27
18,95	3359,70902	0,033	289,08	149,650	8,74	8,74
22,6	2362,12684	0,011	96,36	41,8270	1,62	1 62
26,45	1724,52201	0	0	0	0,00	0 00
30,55	1292,69975	0,011	96,36	30,9424	1,09	1,09

4.1.3 Υπολογισμός χαρακτηριστικών κυματισμών

Υπολογισμός ύψους του χαρακτηριστικού κύματος στα βαθιά Hs από την παρακάτω σχέση:

$$gH_s/U^2 = 0,283 \tanh(0,0125\Phi^{0,42}) \Rightarrow H_s = (U^2/g)0,283 \tanh(0,0125\Phi^{0,42}) \quad (12)$$

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των παραπάνω πινάκων, η εξίσωση 12 δίνει τα εξής αποτελέσματα για κάθε διεύθυνση ανέμου:

Ανατολικός άνεμος (E)

Beaufort	Μέσος άνεμος (m/s)	Hs (m)
0	0,1	0
1	0,9	0,01
2	2,45	0,14
3	4,4	0,42
4	6,7	0,55
5	9,35	0,39
6	12,3	0,29
7	15,5	0,19
8	18,95	0,17
9	22,6	0
10	26,45	0
>=11	30,55	0

Βορειοανατολικός άνεμος (NE)

Beaufort	Μέσος άνεμος (m/s)	Hs (m)
0	0,1	0
1	0,9	0,01
2	2,45	0,14
3	4,4	0,42
4	6,7	0,55
5	9,35	0,39
6	12,3	0,29
7	15,5	0,19
8	18,95	0,17
9	22,6	0
10	26,45	0
>=11	30,55	0

Βόρειος άνεμος (N)

Beaufort	Μέσος άνεμος (m/s)	Hs (m)
0	0,1	0
1	0,9	0,01
2	2,45	0,14
3	4,4	0,42
4	6,7	0,55
5	9,35	0,39
6	12,3	0,29
7	15,5	0,19
8	18,95	0,17
9	22,6	0
10	26,45	0
>=11	30,55	0

Το συμπέρασμα που προκύπτει από τα παραπάνω ύψη κύματος είναι ότι δεν παρουσιάζονται κυματισμοί ικανοί ώστε να δημιουργούν πρόβλημα στην υπό μελέτη περιοχή. Το ύψος κύματος είναι $< 55 \text{ cm}$.

- Υπολογισμός περιόδου, T_s , του χαρακτηριστικού κύματος στα βαθιά από την σχέση:
 $gT_s/U = 7,54 \tanh(0,77\Phi^{0,25}) \Rightarrow T_s = (U/g)7,54 \tanh(0,77\Phi^{0,25}) \quad (13)$

και

Υπολογισμός του μήκους του κύματος, L_{so} , στα βαθιά για κάθε ταχύτητα ανέμου και κάθε διεύθυνση από την παρακάτω σχέση (θεωρία του Airy):

$$L_{so} = (gT^2)/(2\pi) \quad (14)$$

Για κάθε διεύθυνση ανέμου προκύπτουν οι παρακάτω πίνακες:

Ανατολικός άνεμος (E)

Beaufort	Μέσος άνεμος(m/s)	Ts (sec)	Lso
0	0,1	0	0
1	0,9	0,7	0,7
2	2,45	1,88	5,53
3	4,4	3,38	17,86
4	6,7	5,15	41,40
5	9,35	7,17	80,32
6	12,3	9,18	131,58
7	15,5	10,06	158,12
8	18,95	10,58	174,69
9	22,6	0	0
10	26,45	0	0
>=11	30,55	0	0

Βορειοανατολικός άνεμος (NE)

Beaufort	Μέσος άνεμος(m/s)	Ts (sec)	Lso
0	0,1	0	0
1	0,9	0,7	0,7
2	2,45	1,88	5,53
3	4,4	3,38	17,86
4	6,7	5,15	41,40
5	9,35	7,18	80,53
6	12,3	9,33	136,06
7	15,5	10,89	185,41
8	18,95	10,58	185,41
9	22,6	12,17	231,28
10	26,45	0	0
>=11	30,55	0	0

Βόρειος άνεμος (N)

Beaufort	Μέσος άνεμος (m/s)	Ts (sec)	Lso
0	0,1	0	0
1	0,9	0	0
2	2,45	1,88	5,54
3	4,4	3,38	17,86
4	6,7	5,15	41,40
5	9,35	7,19	80,63
6	12,3	9,44	139,10
7	15,5	11,64	211,57
8	18,95	12,64	249,41
9	22,6	12,17	231,28
10	26,45	0	0
>=11	30,55	15,41	370,71

4.1.4 Αποτελέσματα

Από τον πίνακα των ανεμολογικών δεδομένων προκύπτει ότι οι κυματισμοί είναι μικρού ύψους, σε ποσοστό 27,6 % ετησίως, ενώ ο επικρατέστερος άνεμος στον νομό Χανίων είναι ο βορειοδυτικός με ένταση 3 Beaufort και με συχνότητα εμφάνισης 6,3 %. Η περιοχή μελέτης προστατεύεται από τα βορειοανατολικά, και από τις τρεις διευθύνσεις που πνέουν στην περιοχή ο επικρατέστερος άνεμος είναι ο βόρειος με ένταση 3 Beaufort και με συχνότητα εμφάνισης 4,293 %. Επομένως, ο χαρακτηριστικός κυματισμός είναι αυτός που προκαλείται από Βόρειο Άνεμο (N) έντασης 3 Beaufort, με τα εξής χαρακτηριστικά:

-Χαρακτηριστικό ύψος $H_s = 0,42$ m

-Χαρακτηριστική περίοδος $T_s = 3,38$ s

-Μήκος κύματος στα βαθιά νερά $L_{s0} = 17,86$ m

Επίσης συμπεραίνεται ότι έχουμε κυματισμούς μικρής περιόδου καθώς όλα τα $T_s < 30$ sec. Από τα χαρακτηριστικά του κύματος ($H_s = 0,42$ m, $T_s = 3,38$ s και $L_{s0} = 17,86$ m) που υπολογίστηκαν με τη βοήθεια του μοντέλου SMB, συμπεραίνουμε ότι δε δημιουργείται κυματισμός μεγάλος σε ύψος, ώστε να δημιουργήσει πρόβλημα στην υπό μελέτη περιοχή, γεγονός που δικαιολογείται από το ότι ο επικρατέστερος άνεμος (N) είναι έντασης μόλις 3 Beaufort.

4.2 Ροή Ενέργειας Και Στερεοπαροχή

4.2.1 Αναφορά Στα Μοντέλα Στερεοπαροχής

Η παροχή στερεομεταφοράς κατά μήκος μιας ακτής είναι ένα στοιχείο απαραίτητο για τον σχεδιασμό σχεδόν όλων των παράκτιων έργων. Οι μέθοδοι υπολογισμού της είναι, με σειρά ακρίβειας, οι εξής:

1. Μετρήσεις στην υπό μελέτη ακτή.
2. Προσαρμογή μιας γνωστής τιμής στερεοπαροχής από μια γειτονική ακτή, αφού ληφθούν υπόψη οι τοπικές ιδιομορφίες.
3. Υπολογισμός της παροχής από δεδομένα χρονικών μεταβολών της παράκτιας ζώνης.
4. Εφαρμογή εμπειρικών ή ημιεμπειρικών καθοριστικών μοντέλων/μεθόδων.

Οι τρεις πρώτες μέθοδοι είναι σαφώς προτιμότερες, γιατί βασίζονται σε μετρήσεις πραγματικών φυσικών μεγεθών.

Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν τέτοιες μετρήσεις χρησιμοποιούνται τα καθοριστικά μοντέλα για τον υπολογισμό των παροχών. Τα μοντέλα αυτά έχουν προκύψει από μελέτες άλλων περιοχών, πιθανόν χωρίς καμιά ομοιότητα με την υπό μελέτη ακτή ή ακόμα κι από ημιεμπειρικές προσεγγίσεις. Στην παρούσα εργασία, επειδή δεν υπάρχουν μετρήσεις πραγματικών φυσικών μεγεθών θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος CERK (μοντέλο ροής ενέργειας των κυμάτων).

4.2.2 Μοντέλο CERK

Η μέθοδος **CERK** (Corps of Engineers Research Center) ή μέθοδος ροής ενέργειας είναι η συχνότερη χρησιμοποιούμενη διεθνώς. Υπολογίζει το ολικό φορτίο, δηλαδή αθροιστικά τα φορτία πυθμένα και αιωρήσεως, κατά μήκος μιας ακτής.

Οι παραδοχές του μοντέλου είναι οι εξής:

1. Λαμβάνονται υπόψη μόνο κυματογενή ρεύματα.
2. Η παροχή στερεομεταφοράς κατανέμεται ομοιόμορφα στη ζώνη θραύσης και στη ζώνη αποσβέσεως.
3. Δεν λαμβάνεται υπόψη το μέγεθος του κόκκου και η τραχύτητα του πυθμένα, οπότε ισχύει για λεπτόκοκκο και ομοιόμορφο ίζημα.

Αξίζει να τονίσουμε λοιπόν το γεγονός ότι η παραπάνω μέθοδος σύμφωνα με τις παραδοχές της δεν λαμβάνει υπόψη καθόλου τα ανεμογενή κύματα όπως επίσης και την εγκάρσια μεταφορά στην ακτή. Επιπλέον, η δεύτερη παραδοχή δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα (εφόσον η μορφολογία του πυθμένα δεν είναι ομοιόμορφη και η κατανομή δεν θα είναι ομοιόμορφη.), αλλά δεν παραβλέπει κάποια παράμετρο.

Η σειρά των πραγματοποιούμενων υπολογισμών είναι η ακόλουθη :

- Αρχικά απο τα χαρακτηριστικά του κύματος στα βαθιά υπολογίζεται η αρχική καμπυλότητα του κύματος ($\gamma_0 = H_0/L_0$).
- Υπολογίζεται η γωνία (β_0) που σχηματίζει το μέτωπο του κύματος στα βαθιά με την ακτογραμμή (μετρείται στον χάρτη), για κάθε διεύθυνση ανέμου που μελετάται και υπολογίζεται το $\sin(\beta_0)$. Για την περιοχή μεέτης και για τα ανεμολογικά δεδομένα ενδιαφέροντος, προκύπτει:

Άνεμος	β_0 (° μοίρες)	$\sin(2 \beta_0)$
E	64	- 0,616
NE	19	0,788
N	64	- 0,616

Υπολογίζεται η κυκλική συχνότητα του κυματισμού μέσω της εξισώσεως: $\sigma = 2\pi/T$. (15)

Υπολογίζεται η ταχύτητα του κύματος στα βαθιά μέσω της εξισώσεως: $C_0 = g/\sigma$. (16)

Υπολογίζεται η ταχύτητα της ομάδας στα βαθιά μέσω της εξισώσεως: $C_g = C_0/2$. (17)

Υπολογίζεται η ροή ενέργειας στα βαθιά κατά μήκος της ακτής και ανά μέτρο μήκους ακτογραμμής, για πνοή ανέμου καθ' όλη τη διάρκεια του έτους από τον τύπο:

$$P_L = (1/16)\rho g C_g H_0^2 \sin(2\beta_0) \quad (18)$$

Η παραπάνω τιμή πολλαπλασιάζεται με τη συχνότητα πνοής κάθε εντάσεως του ανέμου και εξάγονται οι σχετικές τιμές ροής ενέργειας στα βαθιά για κάθε ένταση.

- Υπολογίζεται το άθροισμα των ροών ενέργειας στα βαθιά κατά μήκος της ακτής και ανά μέτρο μήκους ακτογραμμής ($\Sigma_{PL} *_{\text{συχνότητα}}$).

Η στερεομεταφορά κατά μήκος της ακτής οφείλεται κυρίως στη θραύση κυμάτων υπό γωνία με την ακτογραμμή. Η στερεομεταφορά στη ζώνη πριν από τη θραύση είναι ασήμαντη, λόγω της μικρής συνιστώσας κινήσεως κατά μήκος της ακτής. Τα ιζήματα διαταράσσονται και τίθενται σε αιώρηση από τα θραυόμενα κύματα. Η μετατόπιση τους κμα γίνεται από τη συνιστώσα κμα της κινήσεως των κυμάτων και τα ρεύματα κμα, που δημιουργούνται από τα θραυόμενα κύματα. Η παροχή στερεομεταφοράς εξαρτάται από τη γωνία προπτώσεως των κυμάτων και την ενέργεια τους. Μεγιστοποιείται για γωνίες προσπτώσεως της τάξης των 45° , οπότε και μεγιστοποιείται η ταχύτητα του δημιουργούμενου ρεύματος κμα.

Έτσι ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

- Υπολογίζεται το ύψος του κύματος (H_s) στη θραύση μέσω του τύπου:

$$H_b/H_o = 0,3\gamma_o^{-0,33} \quad (19)$$

- Υπολογίζεται το βάθος του πεδίου ροής στη θραύση (d_b) με την παραδοχή ότι:

$$d_b = 80\%H_b \quad (20)$$

- Υπολογίζεται το μήκος κύματος στην θραύση (L_b) από την εξίσωση διασποράς:

$$L_b = L_o \tanh(2\pi * d_b / L_b) \quad (21)$$

- Υπολογίζεται η ταχύτητα του κύματος στη ζώνη θραύσεως (C_b) μέσω της εξισώσεως :

$$C_b = C_o L_b / L_o \quad (22)$$

Γίνεται παραδοχή ότι στη ζώνη θραύσης η ταχύτητα ομάδας (C_g) ισούται με την

ταχύτητα της φάσεως (C_0).

- Υπολογίζεται η γωνία (β_0) που σχηματίζει το μέτωπο του κύματος στην θραύση με την ακτογραμμή από το νόμο του Snell

$$\sin(\beta_b)/C_b = \sin(\beta_0)/C_0 \quad (23)$$

- Υπολογίζεται η ροή ενέργειας στη θραύση κατά μήκος της ακτής και ανά μέτρο μήκους ακτογραμμής, για πνοή ανέμου καθ' όλη τη διάρκεια του έτους από τον τύπο 24:

$$P_{LS} = (1/16)\rho g C_{gb} H_b^2 \sin(2\beta_b) \quad (24)$$

όπου $\rho=1,025 \text{ kg/m}^3$ η πυκνότητα του θαλασσινού νερού στους 20° C για τιμή αλατότητας ίση με $34^\circ /_{\text{oo}}$ [39].

- Η παραπάνω τιμή πολλαπλασιάζεται με την συχνότητα πνοής κάθε εντάσεως ανέμου και εξάγονται οι σχετικές τιμές ροής ενέργειας στην ζώνη θραύσης για κάθε ένταση.
- Υπολογίζεται το άθροισμα των ροών ενέργειας στη θραύση κατά μήκος της ακτής και ανά μέτρο μήκους ακτογραμμής.
- Υπολογίζεται η παροχή στερεομεταφοράς στη ζώνη θραύσης και στη ζώνη αποσβέσεως, κατά μήκος της ακτής και ανά μέτρο μήκους ακτογραμμής, για πνοή ανέμου καθ' όλη τη διάρκεια του έτους από τον τύπο 25:

$$Q_{LS} = 3,6 \cdot 10^6 \cdot H_b^{5/2} \sin(2\beta_b) \quad (25)$$

- Η παραπάνω τιμή πολλαπλασιάζεται με τη συχνότητα πνοής κάθε εντάσεως ανέμου και εξάγονται οι σχετικές τιμές στερεοπαροχής στη ζώνη θραύσης για κάθε ένταση.
- Υπολογίζεται το άθροισμα των παροχών στερεομεταφοράς στη ζώνη θραύσης και στη ζώνη αποσβέσεως, κατά μήκος του της ακτής και ανά μέτρο μήκους ακτογραμμής.
- Τα παραπάνω βήματα γίνονται για κάθε διεύθυνση ανέμου.
- Εξάγεται συγκεντρωτικός πίνακας, για τη ροή ενέργειας στα ανοιχτά, την ροή ενέργειας στη θραύση και την στερεοπαροχή στη ζώνη θραύσεως και στη ζώνη αποσβέσεως.
- Τα παραπάνω βήματα γίνονται για ένα τμήμα της περιοχής μελέτης.

Στην συνέχεια παρατήθονται οι πίνακες με τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για κάθε άνεμο, για τη ροή ενέργειας και για την παροχή στερεομεταφοράς στη ζώνη θραύσεως και αποσβέσεως.

Ανατολικής διεύθυνσης άνεμος

Beaufort	H_s	T_s	L_{so}	γ_o	$\sigma=2\pi/T$	$C_o= g/\sigma$	$C_g=C_o/2$	P_L
1	0,014	0,476	0,353	0,040	13,210	0,743	0,371	0
2	0,143	1,543	3,717	0,039	4,072	2,409	1,204	0,015
3	0,419	2,614	10,667	0,039	2,404	4,081	2,041	0,221
4	0,551	2,957	13,656	0,040	2,125	4,617	2,309	0,435
5	0,394	2,406	9,037	0,044	2,612	3,756	1,878	0,181
6	0,296	1,966	6,035	0,049	3,196	3,069	1,535	0,083
7	0,192	1,467	3,359	0,057	4,284	2,290	1,145	0,026
8	0,175	1,337	2,792	0,063	4,698	2,088	1,044	0,020
9	0	0,009	0,000	0,331	727,899	0,013	0,007	0

Beaufort	H_b	d_b	L_b	C_b	$\sin(\beta_b)$	β_b	P_{LS}	Q_{LS}
1	0,012	0,010	0,143	0,301	0,309	17,994	0	0
2	0,126	0,101	1,490	0,966	0,306	17,803	0,006	2,267
3	0,366	0,292	4,300	1,645	0,307	17,901	0,081	469,054
4	0,477	0,382	5,554	1,878	0,310	18,068	0,158	1788,158
5	0,333	0,266	3,767	1,566	0,318	18,533	0,066	300,894
6	0,240	0,192	2,610	1,327	0,330	19,255	0,030	61,058
7	0,148	0,119	1,523	1,038	0,346	20,231	0,009	5,651
8	0,131	0,105	1,302	0,974	0,356	20,828	0,007	3,102
9	0	0	0	0,010	0,554	33,637	0	0

Beaufort	Q_{LS} *ποσοστό πνοής
1	0
2	8
3	2003
4	2741
5	92
6	5
7	0
8	0
9	0
Σύνολο	4849

Βορειοανατολικής διεύθυνσης άνεμος

Beaufort	H_s	T_s	L_{so}	γ_o	$\sigma=2\pi/T$	$C_o= g/\sigma$	$C_g=C_o/2$	P_L
1	0,009	0,369	0,212	0,041	17,039	0,576	0,288	0
2	0,110	1,334	2,779	0,040	4,710	2,083	1,042	-0,005
3	0,358	2,402	9,007	0,040	2,616	3,750	1,875	-0,089
4	0,582	3,040	14,433	0,040	2,067	4,747	2,374	-0,296
5	0,503	2,752	11,827	0,043	2,283	4,297	2,149	-0,200
6	0,402	2,344	8,576	0,047	2,681	3,659	1,830	-0,109
7	0,282	1,839	5,278	0,053	3,417	2,871	1,435	-0,042
8	0,175	1,337	2,792	0,063	4,698	2,088	1,044	-0,012
9	0,225	1,505	3,537	0,064	4,175	2,350	1,175	-0,022

Beaufort	H_b	d_b	L_b	C_b	$\sin(\beta_b)$	β_b	P_{LS}	Q_{LS}
1	0,007	0,006	0,087	0,235	0,388	22,802	0,000	0
2	0,096	0,077	1,125	0,843	0,385	22,639	0,003	0,714
3	0,311	0,249	3,645	1,518	0,385	22,638	0,066	255,198
4	0,503	0,403	5,866	1,930	0,387	22,741	0,219	2832,328
5	0,428	0,342	4,889	1,776	0,393	23,151	0,147	1268,950
6	0,331	0,265	3,655	1,559	0,405	23,911	0,079	360,465
7	0,223	0,178	2,344	1,275	0,422	24,982	0,030	51,023
8	0,131	0,105	1,302	0,974	0,443	26,324	0,008	3,709
9	0,168	0,134	1,658	1,102	0,446	26,482	0,016	12,896

Beaufort	Q_{LS} *ποσοστό πνοής
1	0
2	1
3	676
4	4.869
5	612
6	55
7	2
8	0
9	0
Σύνολο	6.215

Βόρειας διεύθυνσης άνεμος

Beaufort	H_s	T_s	L_{so}	γ_o	$\sigma=2\pi/T$	$C_o = g/\sigma$	$C_g=C_o/2$	P_L
1	0,013	0,461	0,331	0,040	13,639	0,719	0,360	0
2	0,139	1,515	3,584	0,039	4,147	2,365	1,183	-0,007
3	0,419	2,616	10,685	0,039	2,402	4,084	2,042	-0,104
4	0,760	3,492	19,037	0,040	1,799	5,452	2,726	-0,454
5	0,800	3,536	19,521	0,041	1,777	5,521	2,760	-0,510
6	0,713	3,243	16,424	0,043	1,937	5,064	2,532	-0,372
7	0,516	2,613	10,659	0,048	2,405	4,079	2,040	-0,157
8	0,322	1,917	5,738	0,056	3,277	2,993	1,497	-0,045
9	0,225	1,505	3,537	0,064	4,175	2,350	1,175	-0,017

Beaufort	H_b	d_b	L_b	C_b	$\sin(\beta_b)$	β_b	P_{LS}	Q_{LS}
1	0,011	0,009	0,134	0,292	0,096	5,506	0,000	0,000
2	0,122	0,098	1,440	0,950	0,095	5,456	0,002	0,627
3	0,366	0,293	4,307	1,646	0,095	5,474	0,026	153,451
4	0,660	0,528	7,715	2,209	0,096	5,503	0,115	2933,412
5	0,688	0,551	7,976	2,256	0,097	5,549	0,129	3655,631
6	0,602	0,482	6,835	2,107	0,098	5,652	0,094	1907,640
7	0,420	0,336	4,589	1,756	0,102	5,848	0,040	325,629
8	0,250	0,200	2,586	1,349	0,107	6,122	0,011	25,137
9	0,168	0,134	1,658	1,102	0,111	6,371	0,004	3,563

Beaufort	Q_{LS} *ποσοστό πνοής
1	0
2	2
3	658
4	9.381
5	42.84
6	835
7	43
8	0
9	0
Σύνολο	15.203

4.2.3 Συμπεράσματα

Η στερεοπαροχή από το μοντέλο CERK υπολογίζεται για την παραλία του Κολυμβαρίου ότι είναι $\sim 3.436 \text{ m}^3/\text{year}$ ανά μέτρο παραλίας.

5. Επίλογος

Στην παρούσα μεταπτυχική εργασία παρουσιάστηκαν παραδείγματα ανθρωπογενούς φύσεως παράκτιων καταστροφών και διάβρωσης ακτογραμμής. Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν προερχόταν κυρίως από μαρτυρίες αυτόπτων μαρτύρων και ιστορικές φωτογραφίες. Ένα κοινό πρόβλημα που παρατηρήθηκε είναι η έλλειψη ενός κοινού φορέα, υπευθύνου για την παράκτια ζώνη και επίσης ο κακός και πρόχειρος σχεδιασμός λιμενικών έργων, όταν υπήρχε κάποιος στοιχειώδης σχεδιασμός.

Η κοινή τακτική στην Ελλάδα για την προστασία της ακτής από διάβρωση είναι οι βαρίες κατασκευές. Βέβαια η παγκόσμια τακτική αναφέρει και άλλα παραδείγματα, πιο ήπιων και περιβαλλοντικά φιλικών λύσεων. Όπως συγκεκριμένα αναφέρει η Ewing [40], οι παραλίες της Καλιφόρνιας επλουτίζονται από την δεκαετία του 1930. Ο εμπλουτισμός των παραλίων της Κρήτης δεν λαμβάνεται καν σαν λύση σε προβλήματα της διάβρωσης. Οι «βαρίες» λύσεις στο πρόβλημα διάβρωσης που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα είναι ξεπερασμένες παγκοσμίως.

Η πιο «αθώα» εξήγηση είναι η μη οικιότητα των τοπικών λιμενικών αρχών με την παγκόσμια πρακτική, όπως π.χ. με τη μέθοδο του εμπλουτισμού των παράλιων. Δυστυχώς συνήθως οι λιμενικές αρχές είναι επιφορτισμένες με τον σχεδιασμό και διαχείριση των λιμένων, και η προστασία των παράλιων συνήθως δεν βρίσκεται μέσα στις προτεραιότητες τους. Επιπροσθέτως τα λιμενικά έργα επιχορηγούνται από την κεντρική κυβέρνηση με μεγάλα ποσά και για τον λόγο αυτό οι εργολάβοι είναι πρόθυμοι να κατασκευάσουν το οποιοδήποτε λιμενικό έργο, το οποίο μετατρέπεται σε άμεσο κέρδος από το μέρος τους. Η διάβρωση των παράλιων συνήθως δεν λαμβάνεται υπόψη στην μελέτη κατασκευής ενός έργου, αλλά μόνο μετά την εμφάνιση της, και βέβαια οι τρόποι αντιμετώπισης της είναι οι επιχορηγούμενες βαρίες κατασκευές.

Καθώς η ΜΣΘ αυξάνεται, οι παραλίες της Κρήτης θα υποχωρήσουν ακόμα περισσότερο [41]. Μια ενοποιημένη άρχη διαχείρισης της παράκτιας ζώνης και εναλλακτικές μελέτες εμπλουτισμού παραλίων (όποτε αυτό κρίνεται αναγκαίο) είναι απαραίτητα για να διατηρηθεί ότι έχει παραμείνει από τις παραλίες της Κρήτης. Αυτό δεν μπορεί να γίνει ούτε με τις υπάρχουσες, όποτε αυτές υπάρχουν, ακτομηχανικές μελέτες ούτε με τις χρησιμοποιούμενες πρακτικές, οι οποίες ούτε στηρίζονται στην ανάγκη κατασκευής των έργων ούτε λαμβάνουν υπόψη τις τοπικές κλιματικές αλλαγές και τις μελλοντικές πειβαλλοντικές επιπτώσεις που αυτές δύναται να προκαλέσουν.

Βιβλιογραφία

1. Εφημερίς της Κυβερνήσεως
www.yen.gr/php/download_xitem.php?xitem=29892/ya_fek1393_05.pdf
2. University of Florida, Outreach Engineering Education Program - Bob Dean lectures
3. Ηλεκτρονική εκδοσή βιβλίου ιζηματολογίας
www.geo.auth.gr/647/
4. Coastal Engineer Manual (CEM)
<http://chl.erdc.usace.army.mil/cemtoc>
5. Coastal Morphology Group - Scripps Institution of Oceanography
http://coastalchange.ucsd.edu/st3_basics/beaches.html
6. Coastal Morphology Group - Scripps Institution of Oceanography
http://coastalchange.ucsd.edu/st3_basics/waves.html
7. Ηλεκτρονική εγκυκλοπένδια wikipedia: http://en.wikipedia.org/wiki/Sea_level_rise
8. Ηλεκτρονική εγκυκλοπένδια wikipedia:
http://en.wikipedia.org/wiki/File:Recent_Sea_Level_Rise.png
9. The plight of beaches of Crete
10. California Coastal Commission
<http://www.coastal.ca.gov/>
11. CIA – The world factbook,
<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/gr.html>
12. Μελέτη eurosion, ιστότοπος:
<http://www.eurosion.org/>
13. Λήψη: Νίκος Καλλιγέρης - Πολιτικός Μηχανικός
14. Γενική Γραμματεία Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας Ελλάδος:
ΕΡΕΥΝΑ ΕΡΓΑΤΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ
http://www.statistics.gr/Deiktes_menu_per_year.asp
15. <http://www.cretediscover.com/>
16. Ηλεκτρονική εγκυκλοπένδια wikipedia:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Crete>
17. THE ECONOMIC VALUE OF BEACHES – A 2002 UPDATE - James R. Houston, U.S. Army Engineer Research and Development Center
18. <http://i292.photobucket.com/albums/mm24/teokouv/DSC00097.jpg>

19. Γενική Γραμματεία Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας Ελλάδος:
http://www.statistics.gr/table_menu_per_year.asp
20. Αεροφωτογραφίες - Ευγενική προσφορά: Παύλου Παυλάκη
Επεξεργασία: Νίκος και Γιώργος Καλλιγέρης
21. Λογισμικό πρόγραμμα: google earth
22. CE SYNOLAKIS, EA OKAL - Tsunamis: Case Studies and Recent Developments, 2005
23. Εφημερίς της Κυβερνήσεως: Νόμος 1650
http://www.et.gr/view_publication/1986/1/160/svg?form.submitted=True
24. Λήψη: Αναστάσιος Παππάς – Μηχανικός Παραγωγής και Διοίκησης
25. Ευγενική προσφορά: Πέτρος Βλαχάκης
26. Τεχνοοικονομική μελέτη: Ίδρυση Μονάδας Παραγωγής Τσιμέντου, Θεσσαλονίκη 2000, Θεοδώρα Παπαδάμ κ.α.
27. Λήψη: Σπύρος Φωτεΐνης
28. Ίδρυμα Μείζονος Ελληνισμού (IME).
Ιστότοπος: <http://www.ime.gr/chronos/02/crete/gr/economy/index2.html>
29. Brunet et al (2007)
30. Προμελέτη εμπ για λιμάνη τυμπακίου
31. Τουριστικός Οδηγός Περιοχής
32. Χανιώτικα Νέα, ημερομηνίες 14.6.02 και 21.1.05
33. Μελέτη Μουτζούρη για κυματοθραύστες Κολυμβαρίου
34. Ocean Surface Waves - Stanislaw R. Massel
35. Weather underground
<http://www.wunderground.com>
36. The MathWorks - MATLAB
37. Autodesk - Autocad
38. <http-www.asxetos.gr/articlefull.aspxi=934>
39. Weisberg and Paris, 1974
40. Ewing, L (1998): «Beach Nourishment in the 21st Century», in California and the World Ocean '97, ASCE 0-7844-0297-3, 1366-1373
41. Ewing, L (2008): «Sea Level Rise: Major Impacts to Coastal eng. and coastal managment», in World Scientific Handbook of Coastal and Ocean Eng., in press