

14.1 Παράκτια διάβρωση

Η διάβρωση των ακτών, η μη αναστρέψιμη δηλαδή οπισθοχώρηση της ακτογραμμής, είναι μια φυσική διεργασία που μπορεί να αποτελέσει απειλή με πολλές αρνητικές κοινωνικο-οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις για αρκετές παράκτιες περιοχές (φωτο 14.1).

Η παράκτια διάβρωση προκαλείται τόσο από διεργασίες που δρουν στον άμεσο παράκτιο χώρο, όσο και από δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στις εσωτερικές ηπειρωτικές περιοχές. Οι διεργασίες του άμεσου παράκτιου χώρου αφορούν τις φυσικές όπως είναι ο κυματισμός, τα παράκτια ρεύματα και η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης και αυτές που σχετίζονται με τις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις και κυρίως την οικιστική και τουριστική ανάπτυξη των ακτών. Οι ενέργειες που αφορούν τις ηπειρωτικές χερσαίες περιοχές σχετίζονται κυρίως με ανθρωπογενείς επεμβάσεις όπως είναι η κατασκευή έργων για την αντιδιαβρωτική προστασία των εδαφών των υδρολογικών λεκανών (κυρίως διευθετήσεις χειμάρρων), οι εντατικές καλλιέργειες, οι αναδα-

σώσεις, και η κατασκευή φραγμάτων στα ανάντη τμήματα των ποταμών. Όλα αυτά έχουν σαν αποτέλεσμα τη μείωση της στερεοπαροχής που καταλήγει στις ακτές μέσω των κοιτών των υδρογραφικών δικτύων και τη συστηματική υποχώρηση των ακτογραμμών.

Το πρόβλημα της διάβρωσης των ακτών εντείνεται παγκοσμίως όλο και περισσότερο. Ενδεικτικά είναι τα στοιχεία για την Ευρώπη όπου έχει εκτιμηθεί ότι το ένα πέμπτο των ακτών της υποχωρούν με ρυθμούς που ανέρχονται μεταξύ 0,5 και 2 m/έτος ενώ σε εξαιρετικές περιπτώσεις ο ρυθμός αυτός φθάνει τα 15 m/έτος (European Commission, 2004). Περισσότερο επιρρεπείς είναι οι χαμηλές ακτές που αποτελούνται από χαλαρά ιζήματα. Ο πίνακας 14.1 περιλαμβάνει τα ποσοστά των ακτών ανά ευρωπαϊκή χώρα που υπόκεινται σε διάβρωση από τη δράση των θαλάσσιων διεργασιών. Τα ποσοστά αυτά διαφέρουν από χώρα σε χώρα ανάλογα με τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά των ακτών, τα ωκεανογραφικά χαρακτηριστικά των θαλάσσιων λεκανών και το βαθμό της ανθρωπογενούς παρέμβασης στον παράκτιο χώρο.



Φωτο 14.1 Υποχώρηση της ακτογραμμής λόγω διάβρωσης σε ακτή του Αργολικού κόλπου, Πόρτο Χέλι, Αργολίδα. Ο στύλος που χρησιμοποιούταν για το δέσιμο των πλοιαρίων, λόγω της υποχώρησης της ακτογραμμής, σήμερα βρίσκεται περίπου 4 m μέσα στη θάλασσα.

Πίνακας 14.1 Ποσοστά της ακτογραμμής των κρατών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης που υπόκεινται σε διάβρωση (πηγή: European Commission, 2004)

Χώρα	% της ακτογραμμής που έχει υποστεί διάβρωση	Χώρα	% της ακτογραμμής που έχει υποστεί διάβρωση
Βέλγιο	25,50	Ιταλία	22,80
Κύπρος	37,80	Λεττονία	32,80
Δανία	13,20	Λιθουανία	24,30
Εσθονία	2,00	Κάτω Χώρες	10,50
Φινλανδία	0,04	Πολωνία	55,00
Γαλλία	24,90	Πορτογαλία	28,50
Γερμανία	12,80	Ισπανία	11,50
Ελλάδα	28,60	Σουηδία	2,40
Ιρλανδία	19,90	Ηνωμένο Βασίλειο	17,30

Όσον αφορά την Ελλάδα, η παράκτια διάβρωση αποτελεί ίσως μια από τις σημαντικότερες περιβαλλοντικές απειλές αφού περίπου το 32% της ακτογραμμής (το 25% περίπου της νησιωτικής) υπόκειται σε υποχώρηση (πίνακας 14.2). Η διάβρωση των ελληνικών ακτών έχει σημαντικές κοινωνικο-οικονομικές συνέπειες, αφού ο θερινός παράκτιος τουρισμός αποτελεί μια πολύ σημαντική οικονομική δραστηριότητα ιδιαίτερα για το ελληνικό αρχιπέλαγος. Πρόσφατες, σχετικά συντηρητικές, εκτιμήσεις δείχνουν ότι οι αιγιαλοί αποτελούν το σημαντικότερο φυσικό πόρο της χώρας. Κάθε μέτρο παραλιακού μετώπου εισάγει κατά μέσο όρο πάνω από 1.350 € ετησίως στην Ελλάδα.

Οι αρνητικές επιπτώσεις της διάβρωσης των ακτών συνοψίζονται ως εξής:

- **Απώλεια γης οικολογικής αξίας.** Ενδεικτικά αναφέρεται ότι από τα 132.300 km² των ακτών που απειλούνται από τη διάβρωση στη διευρυμένη Ευρωπαϊκή Ένωση τα 47.500 km² καταλαμβάνονται από υγρότοπους και οικολογικά σημαντικές περιοχές (European Commission, 2004). Προβλέπεται ότι μέχρι το 2020 πάνω από το 50% των ευαίσθητων υφάλμυρων οικοσυστημάτων, όπως οι λιμνοθάλασσες και τα παράκτια έλη, θα εξαφανισθούν (Βελε-

γράκης, 2008). Επιπλέον η διάβρωση προκαλεί την καταστροφή φυσικών γεωμορφών όπως είναι οι παράκτιες θίνες και τα αμμόδη φράγματα που σε αρκετές περιπτώσεις προστατεύουν τις οικολογικά σημαντικές περιοχές.

- **Συνέπειες στην οικονομία.** Η αξία των οικονομικών αγαθών που περιλαμβάνουν την οικιστική και τουριστική δραστηριότητα στην ακτή, τη γεωργική γη και τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις, που βρίσκονται εντός της ζώνης των 500 m από την ακτογραμμή, για την Ευρωπαϊκή Ένωση ανέρχεται σε 500 - 1.000 δισεκατομμύρια € ενώ οι δαπάνες του δημοσίου για την προστασία από τη διάβρωση συνεχώς αυξάνονται. Τα παράκτια ευρωπαϊκά κράτη επενδύουν σημαντικά χρηματικά ποσά σε έργα παράκτιας προστασίας. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για το έτος 2001 τα ποσά αυτά έφθασαν τα 3,2 δισεκατομμύρια €.

- **Κίνδυνος απώλειας ανθρώπινων ζωών και περιουσιών.** Μεγάλο μέρος του πληθυσμού των ευρωπαϊκών παράκτιων περιοχών, που ανέρχεται σε 70 εκατομμύρια ανθρώπους, καθώς και οι κατοικίες τους βρίσκονται εκτεθειμένοι στον κίνδυνο της διάβρωσης και της κατάκλυσης από τη μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης (European Commission, 2004).

Πίνακας 14.2 Παράκτια διάβρωση στη νησιωτική Ελλάδα (πηγή: European Commission, 2004)

Νησιωτική περιοχή	Μήκος ακτογραμμής (km)	Έκταση (km ²)	Μήκος ακτογραμμής σε διάβρωση (km)	Έκταση απειλούμενων παράκτιων οικοσυστημάτων (km ²)
N. Β. Αιγαίου	1.311	3.854	231	349
N. Ν. Αιγαίου	3.423	5.329	503	929
N. Ιονίου	1.056	2.304	260	356
Κρήτη	1.148	8.365	756	355
Σύνολο	6.938	19.852	1.750	1.989

14.1.1 Μέτρα προστασίας των ακτών από τη διάβρωση

Τα προβλήματα που προκύπτουν από τη διάβρωση των παράκτιων περιοχών δημιουργούν την ανάγκη αναζήτησης τρόπων προστασίας. Οι προσπάθειες περιορισμού και ρύθμισης της παράκτιας διάβρωσης μπορεί να περιλαμβάνουν την εφαρμογή σκληρών (μηχανικών) λύσεων ή ήπιων μεθόδων. Στις ήπιες μεθόδους ανήκει η τεχνητή τροφοδοσία της παραλίας με ιζημα (beach nourishment) που ουσιαστικά αποτελεί μια διαδικασία μίμησης των φυσικών διεργασιών. Αντίθετα οι σκληρές λύσεις είναι η προσπάθεια σταθεροποίησης της ακτογραμμής με τεχνικές κατασκευές όπως είναι οι βραχίονες ή πρόβολοι (groins), οι τοίχοι προστασίας από τη διάβρωση (seawalls), οι κυματοθραύστες (breakwaters) και τα ζεύγη προβόλων (jetties). Τα τεχνητά αυτά έργα όμως αλληλεπιδρούν με την παράκτια μεταφορά των ιζημάτων κατά μήκος της ακτής προκαλώντας συχνά την ανεπιθύμητη απόθεση ιζήματος (πρόσχωση) ή τη διάβρωση παρακείμενων περιοχών.

Ανάλογα με τη θέση τους σε σχέση με την ακτογραμμή τα έργα, που κατασκευάζονται για την προστασία και τη διευθέτηση των ακτών, διακρίνονται στα εγκάρσια και στα παράλληλα. Μεταξύ των εγκάρσιων έργων τα σημαντικότερα και συνήθεστερα είναι οι βραχίονες και τα ζεύγη προβόλων ενώ στα παράλληλα έργα ανήκουν οι τοίχοι προστασίας των ακτών και οι κυματοθραύστες.

Τα υλικά κατασκευής των έργων αυτών ποικίλουν και καθορίζονται συνήθως από τις φυσικές και οικονομικές συνθήκες του χώρου που καλούνται να προστατέψουν. Τα περισσότερα φθηνά αλλά πλέον προσαρμοσμένα στο

φυσικό περιβάλλον υλικά είναι οι φυσικοί λίθοι κατάλληλου μεγέθους και βάρους (Κουτίτας, 1998). Άλλο υλικό που χρησιμοποιείται συχνά είναι το οπλισμένο σκυρόδεμα λαμβάνοντας όλες εκείνες τις προφυλάξεις ώστε να συμπεριφερθεί ικανοποιητικά στο θαλασσινό περιβάλλον. Σε περιοχές παραγωγής χάλυβα χρησιμοποιούνται μεταλλικές πασσαλοσανίδες ενώ τα γεωφύσματα και οι γεωμεμβράνες χρησιμοποιούνται αρκετά συχνά για την ενίσχυση των εδαφών θεμελίωσης και την προστασία των παράκτιων πρανών από τη δράση του κυματισμού (Κουτίτας, 1998).

Σε αρκετές περιπτώσεις για την αντιμετώπιση των αρνητικών επιπτώσεων που προκαλούνται από τη διάβρωση, όπως ήδη αναφέρθηκε, χρησιμοποιείται η τεχνητή τροφοδοσία των αιγιαλών με ιζημα. Η μέθοδος αυτή θεωρείται πολυέξοδη αλλά ταυτόχρονα και προσωρινή.

Είναι προφανές ότι κατά την επιλογή των έργων, που κρίνονται αναγκαία στην εκάστοτε περίπτωση, αλλά και κατά τον σχεδιασμό και την υλοποίησή τους απαιτείται ο υπολογισμός των δυνάμεων - πιέσεων που εξασκούνται από τις φυσικές διεργασίες στα στοιχεία των παράκτιων αυτών τεχνικών κατασκευών.

14.1.1.1 Σκληρές λύσεις προστασίας

14.1.1.1.1 Παράλληλες κατασκευές προστασίας από τη θαλάσσια διάβρωση

Τοίχοι προστασίας των ακτών (seawalls)

Είναι κατασκευές παράλληλες προς την ακτογραμμή που κατασκευάζονται με σκοπό την επιβράδυνση της



Φωτο 14.2 Τοίχος (seawall) κατασκευασμένο από ηφαιστειακούς ογκόλιθους για την προστασία από τη θαλάσσια διάβρωση στην περιοχή Green Point στο παράκτιο μέτωπο των περιχώρων της πόλης Melbourne, Victoria, Australia.



Φωτο 14.3 Τοιχίο (seawall) προστασίας του δρόμου από τη θάλασσα διάβρωση κατασκευασμένο από σκυρόδεμα σε ακτή της Αργολίδας.

διάβρωσης και την προστασία κτιρίων ή δρόμων από την καταστροφική δράση του κυματισμού (φωτο 14.2, 14.3). Μπορούν να κατασκευαστούν από τσιμέντο, μεγάλους ογκόλιθους φυσικών πετρωμάτων, πάσσαλους από ατσάλι ή ξύλο ή από σακιά γεμισμένα με άμμο ή άλλα υλικά. Η κατασκευή ενός τοίχου στη βάση ενός παράκτιου κρημνού μπορεί να μην αποτελεί πάντα την πλέον αποτελεσματική λύση κατά της διάβρωσης καθώς συνήθως οι κρημνοί διαβρώνονται και υποχωρούν τόσο από θαλάσσιες, όσο και από χερσαίες διεργασίες. Η χρησιμότητα των τοίχων προστασίας αμφισβητείται, διότι ο κατακόρυφος σχεδιασμός τους προκαλεί την ανάκλαση των κυμάτων καταιγίδας αλλάζοντας τη διεύθυνση διάδοσης της κυματικής ενέργειας. Ο σχεδιασμός και η κατασκευή των τοίχων πρέπει να προσαρμόζονται στις ανάγκες της εκάστοτε παράκτιας περιοχής. Αν δεν εναρμονίζονται με τις υπάρχουσες χρήσεις γης, οι τοίχοι οδηγούν σε περιβαλλοντική και αισθητική υποβάθμιση. Η γενικότερη εκτίμηση είναι ότι οι κατασκευές αυτές προκαλούν περισσότερα προβλήματα από εκείνα που προσπαθούν να λύσουν και θα πρέπει να αποφεύγεται τελείως η κατασκευή τους ή να κατασκευάζονται σε εξαιρετικές μόνο περιπτώσεις (Keller & Blodgett, 2006).

Κυματοθραύστες (breakwaters)

Οι κυματοθραύστες (breakwaters) είναι γραμμικές κατασκευές από ογκόλιθους ή σκυρόδεμα παράλληλες

προς την ακτογραμμή (φωτο 14.4). Συνήθως δε συνδέονται με την ακτή εκτός από τις περιπτώσεις που σκοπό έχουν την προστασία από τη δράση των κυμάτων περιορισμένων τμημάτων της που προορίζονται για τον ελλιμενισμό σκαφών (φωτο 14.5).

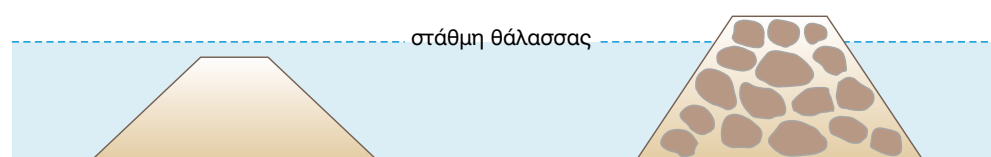
Κατασκευάζονται όμως και σαν έργα προστασίας των ακτών από τη διάβρωση (φωτο 14.6). Σε κάθε περίπτωση ένας κυματοθραύστης αποτελεί εμπόδιο στην παράκτια κυκλοφορία των ιζημάτων και μεταβάλλει τη μορφή της ακτογραμμής καθώς η παρουσία του δημιουργεί νέες περιοχές διάβρωσης και απόθεσης (σχήμα 14.3). Η αλληλεπίδραση των κυματοθραυστών με τις παράκτιες διεργασίες είναι δυνατό να προκαλέσει σημαντική διάβρωση ή με την πάροδο του χρόνου να φράξει την είσοδο ενός λιμανιού λόγω της απόθεσης ιζημάτων (φωτο 14.5). Στις περισσότερες περιπτώσεις οι αποθέσεις αυτές θα πρέπει να απομακρυνθούν με τεχνητό τρόπο δηλαδή με εκβάθυνση, εξόρυξη και απομάκρυνση των ιζημάτων από την όριξη του κυματοθραύστη περιοχή. Αν είναι επιθυμητό να μην προσαμμωθεί σε σημαντικό βαθμό η ακτή πίσω από τον κυματοθραύστη, πρέπει να επιτρέπεται η διέλευση μέρους της κυματικής ενέργειας, ώστε το νερό να κυκλοφορεί και να ανανεώνεται (Κουντίνας, 1998). Αυτό επιτυγχάνεται κατασκευάζοντάς τον βυθισμένο, υδραυλικά διαπερατό ή κατασκευάζοντάς τον κατά τμήματα, με αποστάσεις μεταξύ των τμημάτων μεγαλύτερες του $2L$ (όπου L είναι



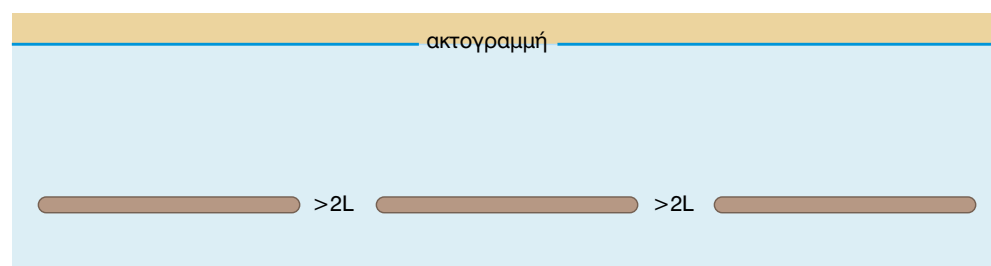
Φωτο 14.4 Κυματοθραύστης (breakwater) από γωνιώδη τεμάχια σκυροδέματος που έχει κατασκευαστεί για την προστασία τμήματος της πόλης Alexandria, Egypt.

το μήκος του κύματος) (σχήμα 14.1). Στην περίπτωση των βυθισμένων κυματοθραυστών η αποτελεσματικότητά τους δίνεται από το λόγο του ύψους του διερχόμενου (H_t) προς το ύψος του προσπίπτοντος (H_i) κύματος (Κουτίτας, 1998). Το μήκος των κατασκευών αυτών θα πρέπει να είναι μικρότερο από την απόστασή τους από

την ακτή (Κουτίτας, 1998) για να αποφευχθεί η πρόσχωση της ακτογραμμής εξαιτίας του φαινομένου της περίθλασης των κυμάτων. Η σταδιακή απόθεση ιζήματος πίσω από τον κυματοθραύστη αρκετά συχνά οδηγεί στη διαμόρφωση ενός τόμπολο.



Σχήμα 14.1 Διάφορα είδη κυματοθραυστών (breakwaters). L είναι το μήκος του κύματος που προσπίπτει. (τροποποιημένο από Κουτίτας, 1998)





Φωτο 14.5 Κυματοθραύστης (breakwater) που έχει κατασκευαστεί για τον ελλιμενισμό σκαφών, Sandringham Harbour, Melbourne, Victoria, Australia. Το επίμηκες παράκτιο ρεύμα είναι από τα δεξιά προς τα αριστερά (στην φωτο) και η αλληλεπίδρασή του με την κατασκευή έχει οδηγήσει στην απόθεση ιζήματος κατά μήκος του προστατευόμενου τμήματος της ακτογραμμής.



Φωτο 14.6 Κυματοθραύστης (breakwater) ενωμένος στο ένα άκρο με την ακτή κατασκευασμένος για την προστασία από τη δράση του κυματισμού αιγιαλού της πόλης Alexandria, Egypt.

14.1.1.1.2 Εγκάρσιες κατασκευές προστασίας των ακτών

Βραχίονες ή πρόβολοι (groins)

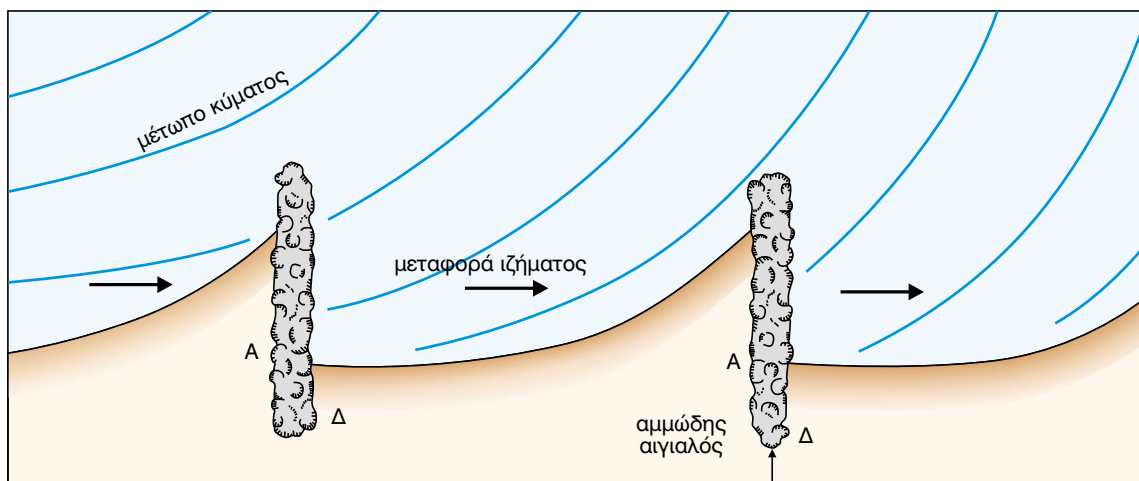
Οι βραχίονες ή πρόβολοι (groins) είναι γραμμικές κατασκευές κάθετες στην ακτή. Συνήθως κατασκευάζονται πολλοί μαζί διαδοχικά κατά μήκος της ακτογραμμής (φωτο 14.7) και σκοπό έχουν τη συγκράτηση του ιζηματος και την ενίσχυση των αμμωδών ακτών (αιγιαλών). Κατασκευάζονται συνήθως από λουκάνικα πολυαιθυλενίου γεμάτα με άμμο, από ογκόλιθους, ή αποτελούν φράγματα από ξύλινους ή μεταλλικούς πασσάλους. Το μήκος των προβόλων μπορεί να εκτείνεται σε όλο το πλάτος της ζώνης θραύσης των κυμάτων προκαλώντας μερική ή ολική διακοπή της παράκτιας στερεομεταφοράς. Η απόσταση μεταξύ των διαδοχικών βραχίωνων είναι διπλάσια ή τριπλάσια του μήκους τους και η στέψη τους βρίσκεται 0,5 - 1,0 m πάνω από τη μέση στάθμη της θάλασσας (Κουτίτας, 1998). Κατασκευάζονται κάθετα στην ακτή ή με μικρή κλίση προς τα κατάντη (σε σχέση με τη διεύθυνση της παράκτιας μεταφοράς των ιζημάτων).

Κάθε βραχίονας είναι σχεδιασμένος για να δεσμεύει ένα μέρος της άμμου της παράκτιας κυκλοφορίας. Μια ποσότητα του ιζηματος αυτού συσσωρεύεται στην πλευρά που το παράκτιο ρεύμα συναντά τον βραχίονα σχηματίζοντας έτσι έναν ανώμαλο μεν αιγιαλό μεγαλύτερου όμως πλάτους (σχήμα 14.2, φωτο 14.8). Ο μεγαλύτερου εύρους αιγιαλός που διαμορφώνεται με τον τρόπο αυτό, προστατεύει την ακτογραμμή από τη διάβρωση.

Η κατασκευή όμως βραχίωνων και η αλληλεπίδρασή τους με το παράκτιο ρεύμα δημιουργεί αρκετά συχνά προβλήματα σε παρακείμενες περιοχές. Ενώ το ιζημα παγιδεύεται και αποτίθεται στη μια πλευρά του βραχίονα, από την άλλη του πλευρά λαμβάνει χώρα διάβρωση, διότι το παράκτιο ρεύμα έχει απαλλαγεί από το ιζημα και ως γνωστόν η διαβρωτική ικανότητα του καθαρού (χωρίς ιζημα) νερού είναι μεγάλη. Έτσι μια σειρά από βραχίονες μπορεί να προστατεύει από τη διάβρωση την άμεση περιοχή στην οποία κατασκευάζονται με τη δημιουργία ενός αιγιαλού μεγαλύτερου πλάτους, προκαλεί όμως διάβρωση της παρακείμενης ακτογραμμής. Όταν με την πάροδο του χρόνου ένας βραχίονας παγιδεύσει και συγκρατήσει όλο το ιζημα που μπορεί, η άμμος συνεχίζει το ταξίδι της κατά μήκος της ακτής καθώς μεταφέρεται γύρω από το προς τη θάλασσα άκρο του βραχίονα. Η διάβρωση μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με την τεχνητή πλήρωση του χώρου μεταξύ των βραχίωνων με ιζημα, μια διεργασία γνωστή ως τεχνητή τροφοδοσία αιγιαλού (beach nourishment). Η μέθοδος αυτή προϋποθέτει την εξόρυξη άμμου από τον ωκεάνιο πυθμένα και την τοποθέτησή της στην ακτή. Με την τεχνητή τροφοδοσία του χώρου μεταξύ των βραχίωνων ελαχιστοποιείται η διάβρωση στην πίσω από αυτούς πλευρά. Αυτό γίνεται διότι οι βραχίονες θα δεσμεύουν λιγότερο ιζημα από την παράκτια κυκλοφορία. Εντούτοις, η κατασκευή των έργων αυτών θα πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή και λαμβάνοντας υπόψη τα μορφολογικά χαρακτηριστικά του ευρύτερου παράκτιου χώρου, τις πηγές τρο-



Φωτο 14.7 Πρόβολοι (groins) που έχουν κατασκευαστεί για την προστασία του αμμώδους αιγιαλού της Παραλίας Κατερίνης, Πιερία.



Σχήμα 14.2 Οι βραχίονες ή πρόβολοι (groins) κατασκευάζονται για να συσσωρεύσουν την άμμο στην πλευρά που το μεταφερόμενο από το παράκτιο ρεύμα ιζημα συναντά την κατασκευή προκαλώντας διάβρωση στο πίσω από τους βραχίονες τμήμα του αιγιαλού (A=απόθεση, Δ=Διάβρωση).



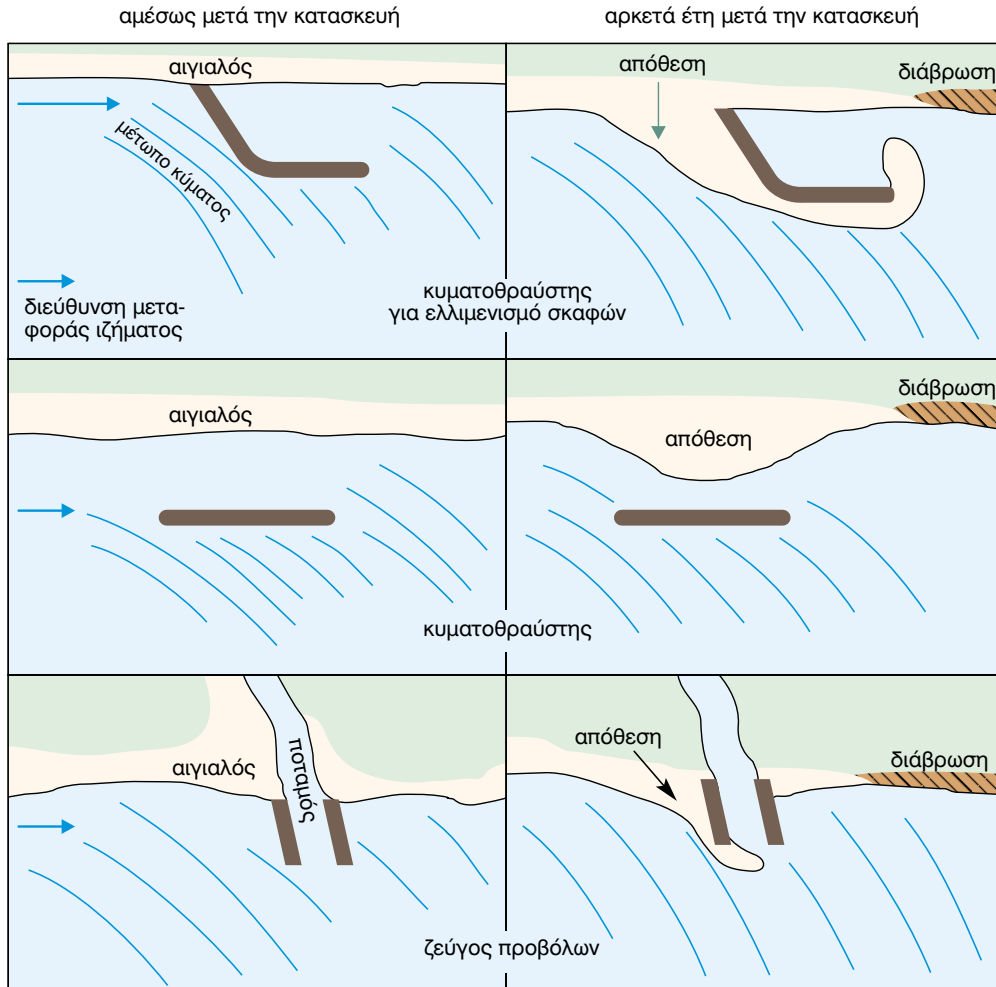
Φωτο 14.8 Σειρά προβόλων (groins) για τη διατήρηση του ιζήματος τεχνητά τροφοδοτούμενων αιγιαλών στην περιοχή Sandringham Harbour, Melbourne, Victoria, Australia. Το ιζημα συσσωρεύεται στην πλευρά που το παράκτιο ρεύμα συναντά τους βραχίονες σχηματίζοντας έτσι έναν ανώμαλο αιγιαλό μεγάλου πλάτους.

φοδοσίας της ακτής με ιζημα και κυρίως το ισοζύγιο των ιζημάτων της εκάστοτε περιοχής.

Ζεύγη προβόλων (Jetties)

Τα ζεύγη προβόλων (jetties) κατασκευάζονται κάθετα προς την ακτή στα στόμια των ποτάμιων εκβολών (σχήμα 14.3) καθώς και στους φυσικούς ή τεχνητούς

δίαυλους μέσω των οποίων εξασφαλίζεται η επικοινωνία μεταξύ μιας λιμνοθάλασσας και του ωκεανού. Τα ζεύγη προβόλων σχεδιάζονται και κατασκευάζονται με σκοπό τη διατήρηση και προστασία του δίαυλου που χρησιμοποιείται ως κανάλι για τη διέλευση των πλοίων. Χωρίς την κατασκευή των έργων αυτών οι δίαυλοι κινδυνεύουν να μετατοπιστούν αλλά και να προσχωθούν με



Σχήμα 14.3 Τα μορφολογικά αποτελέσματα της κατασκευής των κυματοθραυστών (breakwaters) και των ζευγών προβόλων (jetties). Μετά από ένα διάστημα λειτουργίας τους οι τεχνητές αυτές κατασκευές σε ορισμένα τμήματα της ακτογραμμής προκαλούν απόθεση ενώ σε άλλα διάβρωση. (τροποποιημένο από Keller & Blodgett, 2006)

ίζημα από την παράκτια κυκλοφορία. Τα ζεύγη προβόλων προστατεύουν επιπλέον τον διάνυλο - κανάλι από τα μεγάλα κύματα. Όπως οι βραχίονες έτσι και οι κατασκευές αυτές διακόπτουν την παράκτια κυκλοφορία των ιζημάτων προκαλώντας απόθεση και διαπλάτυνση της ακτής στην πλευρά που το παράκτιο ρεύμα συναντά τον πρόβολο και διάβρωση στην άλλη πλευρά.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, είναι αδύνατο να κατασκευαστεί ένας κυματοθραύστης, ένας βραχίονας ή ένα ζεύγος προβόλων που να μην αλληλεπιδρά με την παράκτια κυκλοφορία των ιζημάτων. Γι αυτό οι κατασκευές αυτές πρέπει να σχεδιάζονται προσεκτικά και να συνοδεύονται από μέτρα προστασίας που ελαχιστοποιούν, ή τουλάχιστον περιορίζουν, τις αρνητικές επιπτώσεις. Τα μέτρα προστασίας συνήθως περιλαμβάνουν την εκβάθυνση τμημάτων της ακτής, που αποτίθεται ίζημα εξαιτίας της αλληλεπίδρασης των φυσικών διεργασιών με τα τεχνικά έργα, και την ανάπτυξη τεχνητών συστημάτων παράκαμψης των ιζημάτων (sediment-bypass systems).

14.1.1.2 Ήπιες λύσεις προστασίας

Τεχνητή τροφοδοσία της ακτής με ίζημα (beach nourishment)

Η τεχνητή τροφοδοσία του αιγιαλού με ίζημα (beach nourishment), με σκοπό τη μείωση των ρυθμών υποχώρησης της ακτογραμμής, είναι μια μέθοδος εναλλακτική των τεχνητών κατασκευών. Στην πιο απλή της μορφή η τεχνητή τροφοδοσία περιλαμβάνει την τοποθέτηση άμμου στους αιγιαλούς με σκοπό την επίτευξη ενός θετικού ισοζυγίου ιζημάτων (φωτο 14.9). Θετικό ισοζύγιο ιζημάτων σημαίνει ότι το τελικό αποτέλεσμα της εισόδου και των απωλειών ιζημάτων σε έναν αιγιαλό είναι η περίσσεια άμμου ώστε ο εν λόγω αιγιαλός να μπορέσει να διατηρηθεί και να αναπτυχθεί. Όπως ήδη αναφέρθηκε, η τροφοδοσία του αιγιαλού με άμμο θεωρείται ήπια τεχνητή μέθοδος προστασίας των αιγιαλών από την παράκτια διάβρωση, σε αντίθεση με τα παράκτια τεχνικά έργα που αποτελούν τις σκληρές ή μηχανικές λύσεις. Το αποτέλε-



Φωτο 14.9 Τεχνητός εμπλουτισμός αιγιαλού (beach nourishment) με ιζημα που μεταφέρεται από άλλη περιοχή μέσω αγωγών στα παράκτια περίχωρα της Μελβούρνης (Melbourne), Victoria, Australia. Η τεχνική αυτή μέθοδος, για την προστασία των ακτών από τη διάβρωση, είναι πολύ δημοφιλής στο παράκτιο αυτό τμήμα της Victoria.

σμα της μεθόδου αυτής αισθητικά είναι σαφώς καλύτερο από αυτό των τεχνητών κατασκευών, καθώς δημιουργείται μια παραλία που προστατεύει την ακτογραμμή από τη διάβρωση ενώ ταυτόχρονα είναι ιδανική για την τουριστική αξιοποίηση της περιοχής.

Στα μέσα της δεκαετίας του 1970 η πόλη του Miami στη Florida των Η.Π.Α. και η U.S. Army Corps of Engineers ξεκίνησαν ένα φιλόδοξο πρόγραμμα τροφοδοσίας των αιγιαλών για να αναχαιτίσουν τα σοβαρά προβλήματα διάβρωσης που έπλητταν την περιοχή από το 1950. Το πρόγραμμα αυτό σχεδιάστηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να δημιουργήσει ένα θετικό ισοζύγιο ιζημάτων που θα προκάλούσε την αύξηση του πλάτους του αιγιαλού και θα προστάτευε τα παράκτια θέρετρα από ενδεχόμενες καταστροφές που θα προκαλούσαν τα κύματα καταιγίδων. Το κόστος για την ολοκλήρωση του προγράμματος ανήλθε σε περίπου 62 εκατομμύρια δολάρια ενώ για την αναπλήρωση των απωλειών λόγω της διάβρωσης χρειάστηκαν περίπου 160.000 m³ άμμου ανά έτος. Έως το 1980 περίπου 18 εκατομμύρια m³ άμμου εξορύχθηκαν από το βυθό μιας θαλάσσιας περιοχής μακριά από την ακτή και μεταφέρθηκαν στην παραλία δημιουργώντας έναν αιγιαλό πλάτους 200 m. Οι αλλαγές που συντελέστηκαν στην περιοχή μέσα στο χρονικό διάστημα μιας δεκαετίας ήταν εντυπωσιακές (φωτο 14.10).

Μέρος του προγράμματος του Μιαμί περιλάμβανε επιπλέον την ανάπτυξη παράκτιων αμμωδών θινών σταθεροποιημένων με βλάστηση με σκοπό να λειτουργήσουν προστατευτικά έναντι της διάβρωσης από τη δράση του κυματισμού και την ανύψωση της θαλάσσιας στάθμης λόγω καταιγίδων. Ειδικά διαμορφωμένα ξύλινα μονοπάτια επιτρέπουν τη διέλευση των πολιτών διαμέσου των αμμωδών λοφίσκων ενώ κάποιες περιοχές θινών κηρύχθηκαν προστατευόμενες. Το επιτυχημένο πρόγραμμα τροφοδοσίας της παραλίας του Μιαμί λειτουργήσε για πάνω από 20 έτη και κατάφερε να προστατεύσει τον αιγιαλό από μεγάλους τυφώνες που έπληξαν την περιοχή το 1979 και το 1992. Σε σχέση με τις αποσπασματικές μεθόδους ελέγχου της διάβρωσης που προηγήθηκαν το πρόγραμμα αυτό θεωρήθηκε σαφώς ως η καλύτερη λύση.

Η ήπια αυτή μέθοδος έχει εφαρμοστεί σε πάνω από 600 km μήκος ακτογραμμής των Η.Π.Α. Δεν είχαν όλες οι περιπτώσεις τα θετικά αποτελέσματα που αναφέρθηκαν για το παράκτιο μέτωπο του Μιαμί. Για παράδειγμα το 1982 στο Ocean City του New Jersey η τεχνητή τροφοδοσία ενός αιγιαλού κόστισε πάνω από 5 εκατομμύρια δολάρια. Μετά το πέρας του εγχειρήματος ακολούθησε μια σειρά από καταιγίδες που έπληξαν την παραλία προκαλώντας τη διάβρωση της άμμου σε διάστημα 2,5 μόλις μηνών. Το ιζημα με το οποίο τροφοδοτήθηκαν



(α)



(β)

Φωτο 14.10 Ο αιγιαλός του Miami (α) πριν και (β) μετά την τεχνητή τροφοδοσία του με ιζήμα (beach nourishment). (πηγή: U.S. Army Corps of Engineers)

οι αιγιαλοί του Miami έχει μερικώς διαβρωθεί και θεωρείται αναγκαία η επανατροφοδότησή τους που θα έχει ένα αρκετά μεγάλο κόστος.

Σήμερα η μέθοδος αυτή αμφισβητείται και αρκετοί θεωρούν ότι η τεχνητή τροφοδοσία του αιγιαλού δεν είναι τίποτα άλλο παρά προσθήκη άμμου που είναι καταδικασμένη αργά ή γρήγορα να απομακρυνθεί λόγω της διάβρωσης. Οι περισσότερες παραλίες για να παραμείνουν ανέπαφες στο χρόνο απαιτούν συχνά την σε τακτά χρονικά διαστήματα τεχνητή τους τροφοδοσία. Παγκοσμίως η μέθοδος αυτή προτιμάται σε αρκετές περιπτώσεις τόσο για την αποκατάσταση και την προστασία της ακτογραμμής από την παράκτια διάβρωση, όσο και για τη δημιουργία αιγιαλών αναψυχής.

14.1.1.3 Περιορισμός των αρνητικών συνεπειών της παράκτιας διάβρωσης

Για την αποφυγή ή τη μετρίαση των αρνητικών κοινωνικο-οικονομικών συνεπειών, που προκαλεί η διάβρωση των ακτών σε διάφορους τομείς, αρκετά συχνά επιχειρείται η σταδιακή αλλαγή των χρήσεων γης κατά μήκος της ακτογραμμής. Πρώτη προτεραιότητα πρέπει να δίνεται στην απαγόρευση της οικιστικής δραστηριότητας σε περιοχές υψηλής τρωτότητας στη διάβρωση και στη μετεγκατάσταση των απειλούμενων οικισμών, κτισμάτων και κατασκευών σε περισσότερο ασφαλείς περιοχές.

Για την ορθή διαχείριση του προβλήματος της διάβρωσης των ακτών μεταξύ των πρώτων ενεργειών που απαιτείται να γίνουν είναι ο προσδιορισμός των ρυθμών διάβρωσης. Η εκτίμηση των μελλοντικών ρυθμών υπο-

χώρησης βασίζονται στην παρατήρηση και καταγραφή των ιστορικών μεταβολών της ακτογραμμής και στην στατιστική ανάλυση των ωκεανογραφικών συνθηκών όπως είναι ο κυματισμός, ο άνεμος, και η μεταφορά ιζήματος. Στη συνέχεια λαμβάνοντας υπόψη τους σχετικούς ρυθμούς υποχώρησης της ακτογραμμής γίνονται προτάσεις για την ανάπτυξη προγραμμάτων διαχείρισης της διάβρωσης. Όλες αυτές οι ενέργειες οδηγούν στον προσδιορισμό μιας ζώνης, άλλοτε μικρότερου και άλλοτε μεγαλύτερου πλάτους, που εκτείνεται εσωτερικά της ακτογραμμής, όπου κάθε είδους χρήση όπως κατασκευές, οικιστική ανάπτυξη, γεωργική εκμετάλλευση και οποιαδήποτε ανθρώπινη δραστηριότητα θα πρέπει να είναι ελεγχόμενη ή να απαγορεύεται. Ο προσδιορισμός του πλάτους της ζώνης αυτής έχει ουσιαστική σημασία για τη διαχείριση της παράκτιας ζώνης και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη σοβαρά στο σχεδιασμό των χρήσεων γης με σκοπό την ελαχιστοποίηση των καταστροφών από την παράκτια διάβρωση. Δυστυχώς, κάτι τέτοιο δεν εφαρμόζεται παρά μόνο σε ελάχιστες περιοχές.

Για τη ρύθμιση και τον περιορισμό των αρνητικών συνεπειών της υποχώρησης της ακτογραμμής σήμερα ακολουθούνται δύο πρακτικές. Η πρώτη είναι η κατασκευή όλο και περισσότερων παράκτιων αμυντικών τεχνικών έργων με σκοπό τον έλεγχο της διάβρωσης. Η δεύτερη έχει να κάνει με την άποψη ότι ο άνθρωπος πρέπει να αποδεχτεί και να μάθει να ζει με την παράκτια διάβρωση μέσω ευέλικτων περιβαλλοντικών σχεδιασμών και την προσαρμογή κατάλληλων χρήσεων γης στην παράκτια ζώνη. Ενώ ο πρώτος τρόπος οδηγεί στην προσπάθεια ελέγχου της παράκτιας διάβρωσης με την κατασκευή τεχνικών έργων κατά μήκος της ακτογραμ-

μής, στη δεύτερη προσέγγιση οι περισσότερες κατασκευές στην παράκτια ζώνη θεωρούνται προσωρινές και περιορισμένης διάρκειας ζωής και μόνο μερικές στρατηγικής σημασίας κατασκευές υποδομής θεωρούνται μόνιμες και απαραίτητες.

Επιπλέον πρέπει να γίνει σαφές ότι η αξιοποίηση της παράκτιας ζώνης πρέπει να εξυπηρετεί το σύνολο των πολιτών και όχι μερικούς επιτήδειους που έχουν βασιική επιδίωξη το κέρδος. Η άποψη βέβαια αυτή βρίσκει αντίθετους εκείνους που αποσκοπούν στα οικονομικά οφέλη από την αξιοποίηση της παράκτιας ζώνης, οι οποίοι θεωρούν τις ακτές αρκετά "προσοδοφόρες για να μην αξιοποιηθούν". Δεχόμενοι την φιλοσοφία ότι με μικρές εξαιρέσεις η ανάπτυξη και αξιοποίηση των ακτών είναι προσωρινή, περιορισμένης δηλαδή χρονικής διάρκειας, και ότι πρέπει πρωτίστως να λαμβάνεται υπόψη ο πολίτης και το μακροπρόθεσμο συμφέρον του, είναι απαραίτητη η κατανόηση των ακόλουθων αρχών για την ορθή διαχείριση της παράκτιας διάβρωσης.

- Η διάβρωση των ακτών είναι μια φυσική διεργασία και όχι απαραίτητα μια φυσική καταστροφή.
- Κάθε τεχνητή κατασκευή στην παράκτια ζώνη προκαλεί μεταβολές. Οι μεταβολές αυτές αλληλεπιδρούν και έρχονται σε σύγκρουση με τις φυσικές διεργασίες προκαλώντας μια σειρά από δευτερογενείς μεταβολές. Αρκετά συχνά οι τεχνικές κατασκευές που έχουν σχεδιαστεί για να προστατεύουν μια παραλία μπορεί τελικά να οδηγήσουν στην καταστροφή ή την υποβάθμισή της.
- Η σταθεροποίηση της ακτογραμμής με τεχνικές κατασκευές προστατεύει τις περιουσίες και όχι την ίδια την ακτή. Οι περισσότερες ιδιοκτησίες που προστατεύονται με τεχνικά έργα ανήκουν σε σχετικά λίγους ανθρώπους ενώ αντίθετα τα χρήματα που έχουν δαπανηθεί για την προστασία τους προέρχονται από εισφορές πολλών απλών πολιτών.

14.2 Επιπτώσεις από τη μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης

14.2.1 Η συμπεριφορά των ακτών στις μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης

Η πτώση της σχετικής θαλάσσιας στάθμης και η αποχώρηση της θάλασσας από την ξηρά, όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι γνωστή σαν απόσυρση, ενώ η άνοδος της σχετικής θαλάσσιας στάθμης και η κατάκλυση παράκτιων χερσαίων περιοχών είναι γνωστή σαν επίκλυση. Η επίκλυση και η απόσυρση οδηγούν στη βύθιση και ανάδυση των ακτών αντίστοιχα. Ο τρόπος με τον οποίο μια συγκεκριμένη ακτογραμμή ανταποκρίνεται σε τέτοιες μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης, εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της ακτής και κυρίως από το αν αυτή κυριαρχείται από διεργασίες απόθεσης ή διάβρωσης. Στο σχετικό κεφάλαιο έγινε αναφορά στη σχέση

μεταξύ ευστατισμού και τεκτονισμού και/ή ισοστασίας στον καθορισμό της σχετικής στάθμης θάλασσας. Κατά μήκος των ακτών όπου κυρίαρχη διεργασία είναι η απόθεση, όπως για παράδειγμα σε έναν αιγιαλό που υπάρχει μεγάλη προσφορά ιζήματος από ένα ποτάμι, η συγκέντρωση και απόθεση των ιζημάτων μπορεί να οδηγήσει σε πρόσκωση οπότε η ξηρά προχωρεί εντός της θάλασσας σε πείσμα των ευστατικών κινήσεων. Η διεργασία αυτή είναι γνωστή σαν προέλαση. Αν αντίθετα η προσφορά ιζήματος είναι περιορισμένη και μικρότερη από την ποσότητα ιζήματος που χάνεται ή απομακρύνεται από τις διεργασίες της διάβρωσης και τη δράση του κυματισμού και των ρευμάτων, ο αιγιαλός μπορεί να υποχωρήσει προς την πλευρά της ξηράς κάτω από την επίδραση της ανόδου της σχετικής θαλάσσιας στάθμης.

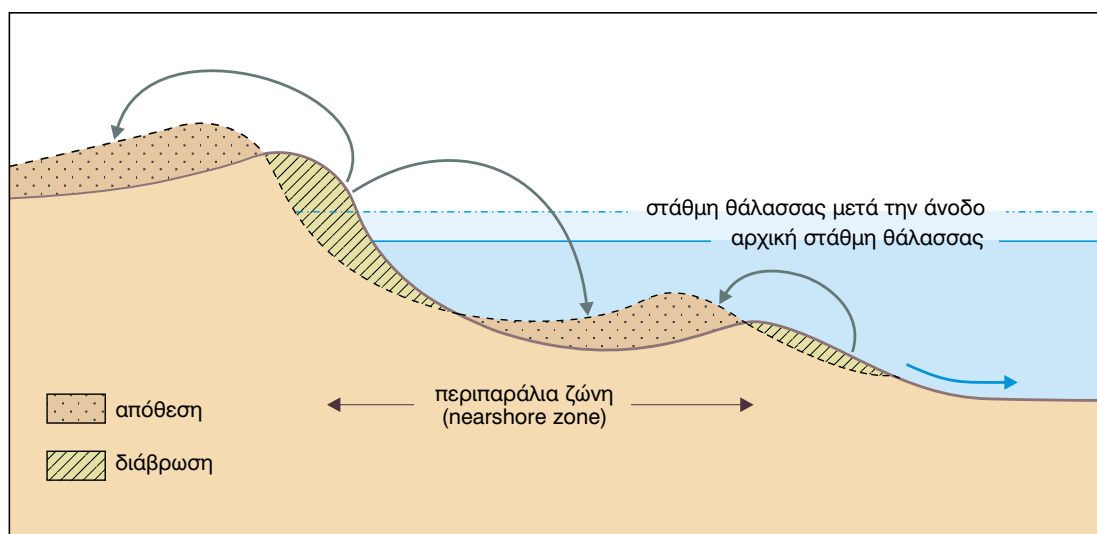
Η συμπεριφορά των διαφόρων παράκτιων συστημάτων στη μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης είναι σε αρκετές περιπτώσεις συγκεκριμένη και μπορεί να προβλεφθεί. Η πτώση της σχετικής στάθμης θάλασσας συνήθως οδηγεί στην ανάδυση, εγκατάλειψη και "απολίθωση" μιας ακτογραμμής. Πολλές απολιθωμένες ακτογραμμές του Πλειστόκαινου έχουν δημιουργηθεί με αυτό τον τρόπο. Όμως η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης συχνά οδηγεί στην προς την ξηρά μετατόπιση μιας "ενκίνητης" ακτογραμμής, όπως αυτής ενός αιγιαλού, ή στη βύθιση και καταπόντιση μιας πετρώδους ή βραχώδους ακτογραμμής, όπως αυτής ενός παράκτιου άγκυρου.

Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στις μεταβολές που πιθανά θα υποστούν εξαιτίας της μελλοντικής ανόδου της θαλάσσιας στάθμης οι αμμώδεις αιγιαλοί, τα αλμυρά έλη και οι παράκτιες αμμώδεις θίνες, που αποτελούνται από χαλαρά υλικά και συνιστούν χαρακτηριστικά παραδείγματα δυναμικά μεταβαλλόμενων παράκτιων γεωμορφών.

14.2.1.1 Αιγιαλοί – κανόνας του P. Bruun

Η συμπεριφορά των διαφορετικών παράκτιων συστημάτων στην άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά τη διάρκεια του Ολόκαινου αλλά και η πρόβλεψη των μελλοντικών τους αλλαγών έχει προσελκύσει το ερευνητικό ενδιαφέρον πολλών επιστημόνων. Η πρόβλεψη αυτή παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τρωτούς και δυναμικά μεταβαλλόμενους τύπους ακτών που αποτελούνται από ιζήματα. Έτσι αναπτύχθηκαν μοντέλα που συνδέουν την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης με τις αλλαγές στη μορφολογία των ακτών αυτών. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν τόσο το μοντέλο της ερμηνείας της ακτογραμμής (shoreline translation model) των Cowell & Thom (1994), όσο και το πλέον αποδεκτό, μεταξύ αυτών που έχουν κατά καιρούς προταθεί, μοντέλο που είναι γνωστό ως κανόνας του Bruun (Brunn Rule).

Ο Per Bruun (1962) πρότεινε ένα μοντέλο που περιγράφει τη συμπεριφορά μιας αμμώδους ακτής στην άνοδο της θαλάσσιας στάθμης. Πρόκειται για ένα διαστάτο, κάθετα στην ακτογραμμή, μοντέλο που εφαρ-



Σχήμα 14.5 Ένα διδιάστατο μοντέλο που περιγράφει τις αλλαγές στο προφίλ ενός αιγιαλού λόγω της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης. Τα βέλη δείχνουν τις δυνητικές διευθύνσεις μεταφοράς του ιζήματος. (τροποποιημένο από Dubois, 1992)

τους (φωτο 11.5). Η απόθεση αυτή αποτελεί ένα συχνό φαινόμενο και οφείλεται στη μείωση της μεταφορικής ικανότητας του ανέμου. Επιπλέον προβληματικός είναι ο καθορισμός του προς τη θάλασσα οριακού σημείου του προφίλ.

Πέραν των δυσκολιών και των αμφισβητήσεων που προκύπτουν από τις παραδοχές που αναφέρθηκαν, ο κανόνας του Bruun παραμένει εξαιρετικά ελκυστικός για αρκετούς λόγους. Κατ' αρχάς είναι πολύ απλός σαν συλλογισμός. Επιπλέον είναι διορατικός δεδομένου ότι κατά τη διάρκεια των τελευταίων περίπου 100 ετών παγκοσμίως, η στάθμη της θάλασσας ανέβαινε με ρυθμούς περίπου 1-2 mm/έτος και κατά τη διάρκεια της περιόδου αυτής σχεδόν το 70% των αμμωδών ακτών του κόσμου διαβρώθηκαν. Το θετικό του κανόνα αυτού είναι ότι δίνει τη δυνατότητα ποσοτικής εκτίμησης της υποχώρησης της ακτής από μια ενδεχόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης. Η εφαρμογή του δείχνει ότι η υποχώρηση αυτή είναι 50 ή 100 φορές μεγαλύτερη από το ποσό της ανόδου της στάθμης της θάλασσας. Για παράδειγμα μια άνοδος της μέσης θαλάσσιας στάθμης κατά 50 cm θα προκαλούσε την υποχώρηση του αιγιαλού κατά 25 έως 50 m.

Από τον κανόνα του Bruun προέκυψαν αρκετά θυγατρικά μοντέλα. Μετά την αρχική του διατύπωση κάποιες προσθήκες και διευκρινήσεις προτάθηκαν από τον ίδιο τον P. Bruun (1983, 1988) ενώ βελτιώσεις του μοντέλου επιχειρήθηκαν από τους Dean & Maurmeyer (1983) που μετέφεραν το σκεπτικό του για να ερμηνεύσουν την προς την πλευρά της χέρσου και ανοδική μετατόπιση ενός ολόκληρου φραγματικού νησιού (barrier island). Εκείνος όμως ο οποίος προσάρμοσε και δημιούργησε ένα εναλλακτικό μοντέλο ήταν ο Dubois (1992, 2002).

Το σκεπτικό του Bruun δεν εξαρτάται από τη μορφή του προφίλ της ακτής συνεπώς είναι δυνατό να προσαρμοστεί σε αιγιαλούς με περισσότερο πολύπλοκη μορφο-

λογία από αυτή του αρχικού σχήματος 14.4 (Dubois, 1992). Στο σχήμα 14.5 απεικονίζονται οι ζώνες διάβρωσης και απόθεσης που σχετίζονται με την προς την ακτή μετακίνηση του υποθαλάσσιου αμμόδους φράγματος (bar) μετά την μετατόπιση όλου του προφίλ προς την ακτή σαν αποτέλεσμα της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης. Επιπλέον στο εναλλακτικό αυτό μοντέλο το υλικό που προκύπτει από τη διάβρωση του αιγιαλού δε μετατοπίζεται μόνο προς την πλευρά της θάλασσας (όπως στον αρχικό κανόνα του Bruun). Μέρους του ιζήματος μετακινείται προς την ξηρά και αποτίθεται από τον κυματισμό ή τον άνεμο είτε στο μέτωπο της επιμήκους αμμώδους θίνας του αιγιαλού, είτε στην αύλακα (swale) που βρίσκεται πίσω από τη θίνα, είτε στη λιμνοθάλασσα (lagoon) που πιθανά βρίσκεται πίσω από αυτόν. Αν και η συνολική ποσότητα του ιζήματος σε ολόκληρο το προφίλ θα έπρεπε να διατηρείται σταθερή, το λεπτόκοκκο αιωρούμενο ιζημα μπορεί να μεταφερθεί προς τη θάλασσα και να αποτεθεί σε μεγαλύτερα βάθη έτσι ώστε το κατώτερο τμήμα του μετώπου της ακτής να μην ανυψώνεται μετά την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης αλλά απλώς να παύει να επηρεάζεται από τη δράση των κυμάτων (σχήμα 14.5).

Στην περιεκτική επισκόπηση της Επιστημονικής Επιτροπής για την Έρευνα των Ωκεανών (Scientific Committee for Ocean Research, SCOR, 1991) που αφορά την αντίδραση των αιγιαλών στις μεταβολές της στάθμης θάλασσας διατυπώθηκε μια σειρά συμπερασμάτων που συνοψίζονται ως εξής:

Οι ποσοτικές προβλέψεις της αλλαγής του αιγιαλού, που βασίζονται στο μοντέλο του Bruun, εξαρτώνται από ορισμένες παραμέτρους ο προσδιορισμός των οποίων είναι δύσκολος. Μπορεί να υπάρχει μια χρονική καθυστέρηση της αντίδρασης του αιγιαλού στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας, ωστόσο το κύριο εμπόδιο στην επίτευξη αποδεκτών προβλέψεων είναι ότι το μοντέλο

δεν περιλαμβάνει άλλες συνιστώσες του ισοζυγίου των ιζημάτων που μπορούν να προκαλέσουν διάβρωση ή προέλαση της ακτογραμμής (McLean, 2004). Εντούτοις διαπιστώνεται ότι ο κανόνας του Bruhn θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί μόνο για την κατά προσέγγιση εκτίμηση της τάξης μεγέθους των ρυθμών υποχώρησης της ακτογραμμής σε παράκτιες περιοχές που θεωρούνται κατάλληλες για την εφαρμογή του μοντέλου.

Η στάθμη της θάλασσας παγκοσμίως ανεβαίνει γεγονός που προκαλεί τη διάβρωση των αμμωδών ακτών σε ολόκληρη τη γη. Μεταξύ των αμμωδών αυτών ακτών περιλαμβάνονται οι φραγματικοί αιγιαλοί (barrier beaches) και τα φραγματικά νησιά (barrier islands). Παρότι ο κανόνας του Bruhn παρέχει μια γνώση της σχέσης μεταξύ της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης και της έκτασης της παράκτιας διάβρωσης, πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη ότι πέραν της ανόδου αυτής υπάρχει ένα πλήθος άλλων παραγόντων που συνεισφέρουν στη διάβρωση των ακτών.

14.2.1.2 Αλμυρά έλη

Η ανταπόκριση των αλμυρών ελών στην άνοδο της θαλάσσιας στάθμης εξαρτάται κατά ένα μεγάλο μέρος από την προσφορά ιζήματος. Καθοριστικής σημασίας για την τύχη ενός αλμυρού έλους είναι η ισορροπία μεταξύ της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης και της ανύψωσης της επιφάνειάς του που πραγματοποιείται με την κατακόρυφη επαύξηση λόγω της απόθεσης του λεπτόκοκκου ιζήματος (πηλού). Εάν ο ρυθμός επαύξησης και συνεπώς ανύψωσης της επιφάνειας του έλους είναι μικρότερος από τον αντίστοιχο ρυθμό ανύψωσης της θαλάσσιας στάθμης, το αλμυρό έλος θα βυθιστεί και θα καλυφθεί από τη θάλασσα. Αντίθετα, αν ο ρυθμός της

ανύψωσης της επιφάνειας του έλους είναι μεγαλύτερος από το ρυθμό ανόδου της θαλάσσιας στάθμης, το έλος θα αναδυθεί και ίσως αποξηρανθεί και μετατραπεί σε χέρσο. Υπάρχει και το ενδεχόμενο η κατακόρυφη επαύξηση της επιφάνειας του έλους να είναι ίση με την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης. Στην περίπτωση αυτή το αλμυρό έλος δε θα βυθισθεί ούτε θα αποξηρανθεί, αλλά απλώς θα διατηρηθεί λόγω της αποκατάστασης ισορροπίας μεταξύ ιζηματογένεσης και ανύψωσης του επιπέδου της θάλασσας.

14.2.1.3 Παράκτιες αμμώδεις θίνες

Καθώς το επίπεδο της θάλασσας ανεβαίνει σε μια παράκτια περιοχή θινών, οι θαλάσσιες διεργασίες προσεγγίζουν τις αμμώδεις θίνες που αναπτύσσονται κοντά στην ακτογραμμή διαβρώνοντας το μέτωπό τους (φωτο 14.11) και υποχρεώνοντάς τις να αποκτήσουν μεγάλη κλίση (Carter & Stone, 1989). Η διάβρωση του μετώπου των θινών από τη θάλασσα είναι πιθανό να τροφοδοτήσει με ιζημα τον αιγιαλό. Η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης μπορεί επίσης να αποθέσει την άμμο που προκύπτει από την παραβίαση των θινών στο χώρο που βρίσκεται πίσω από αυτές.

Η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης έχει σαν αποτέλεσμα τη μετανάστευση των παράκτιων αμμωδών θινών προς την ξηρά είτε με την αύξηση της κλίσης του μετώπου τους είτε με την παραβίασή τους. Κατά μήκος αρκετών ακτών κατά τη διάρκεια της επίκλυσης του Ολόκαινου οι αμμώδεις θίνες μετακινήθηκαν εσωτερικά προς την πλευρά της ξηράς πίσω από την ακτογραμμή που σταδιακά υποχωρούσε.



Φωτο 14.11 Διαβρούμενες παράκτιες θίνες (coastal sand dunes) στο δέλτα του Εύφρου, ανατολικά των εκβολών του ποταμού.

14.2.2 Εκτίμηση της τρωτότητας των ακτών σε μια ενδεχόμενη μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει παρατηρηθεί μια ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών υπολογιστών, η οποία συνέβαλε αποτελεσματικά στην αντιμετώπιση διαφόρων γεωγραφικών προβλημάτων σχετικών και με φυσικές καταστροφές. Όπως έχει αναφερθεί, μια φυσική απειλή για τις παράκτιες περιοχές είναι η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης που, σύμφωνα με τις προβλέψεις, αναμένεται να είναι θεαματική μέχρι το έτος 2100.

Κατά καιρούς έχουν εφαρμοστεί διάφορες μεθοδολογίες για την εκτίμηση της τρωτότητας των παράκτιων περιοχών σε μια ενδεχόμενη μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης τόσο σε τοπικό επίπεδο, όσο και σε μεγαλύτερες κλίμακες της τάξης ολόκληρων χωρών. Η συχνότερα εφαρμοζόμενη μεθοδολογία είναι η ονομαζόμενη συνήθης (common methodology). Σκοπός των μεθοδολογιών αυτών είναι η αναγνώριση και η εκτίμηση των οικολογικών, φυσικογεωγραφικών και κοινωνικοοικονομικών επιπτώσεων από την αναμενόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης, η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο η ανάπτυξη και άλλοι κοινωνικο-οικονομικοί παράγοντες επιδρούν στην επικινδυνότητα, η ποσοτική και ποιοτική εκτίμηση των αρνητικών αποτελεσμάτων και τελικά η λήψη μέτρων προστασίας.

Σε πρώτη φάση απαιτείται ο προσδιορισμός των παράκτιων περιοχών που αναμένεται να αντιμετωπίσουν μεγαλύτερο πρόβλημα. Προφανώς πρόκειται για τις περιοχές χαμηλού υψόμετρου ο καθορισμός των οποίων μπορεί να γίνει από λεπτομερείς χάρτες και ψηφιακά μοντέλα εδάφους (Digital Elevation Models - D.E.M.).

Επιπλέον η λεπτομερής υπαίθρια γεωμορφολογική χαρτογράφηση (η καταγραφή δηλαδή και αποτύπωση των παράκτιων γεωμορφών όπως είναι οι αιγιαλοί, οι κρημνοί, τα παράκτια έλη, οι θίνες) βοηθά στην κατανόηση της μελλοντικής συμπεριφοράς της ακτογραμμής σε σχέση με την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης. Ιδιαίτερη σημασία έχει και η ανθεκτικότητα στις θαλάσσιες διεργασίες των γεωλογικών σχηματισμών που καταλήγουν στην ακτογραμμή.

Η απεικόνιση της τάσης της ακτογραμμής (αν η ξηρά υποχωρεί ή προελαύνει έναντι της θάλασσας) και η ποσοτικοποίηση των ρυθμών αυτών, όπως έχουν καταγραφεί για το παρελθόν, αποτελεί άλλη μια παράμετρο που βοηθά στον καθορισμό των τρωτών στην άνοδο της θαλάσσιας στάθμης περιοχών. Μια πρώτη εκτίμηση των ιστορικών μεταβολών της ακτογραμμής και ο ποσοτικός υπολογισμός των ρυθμών τους μπορεί να γίνει με τη χρήση και τη συγκριτική παρατήρηση αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων διαφορετικών ετών λήψης.

Η διαφοροποίηση του σημαντικού ύψους των κυμάτων που πλήττουν την ακτογραμμή αποτελεί άλλη μια σημαντική παράμετρο προσδιορισμού της τρωτότητάς της.

14.2.2.1 Δείκτης Παράκτιας Τρωτότητας (Coastal Vulnerability Index - C.V.I.)

Σημαντική για την εκτίμηση της τρωτότητας των παράκτιων περιοχών στην άνοδο της θαλάσσιας στάθμης είναι η συνεισφορά της εφαρμογής του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας (Coastal Vulnerability Index - C.V.I.). Ο Δείκτης Παράκτιας Τρωτότητας αποτελεί μια μαθηματική έκφραση που έχει αρχικά χρησιμοποιηθεί από τους Gornitz et al. (1994); Shaw et al. (1998) και Thielert & Hammar-Klose (1999) για την εκτίμηση της τρωτότητας των ακτών των Η.Π.Α. και του Καναδά. Ο δείκτης περιλαμβάνει παραμέτρους σχετικές με την τοπογραφία (μορφολογική κλίση), τη γεωμορφολογία, τη γεωλογία, τον κυματισμό, την παλίρροια και τις πρόσφατες μεταβολές της ακτογραμμής (προέλαση – υποχώρηση). Για την εκτίμηση της τρωτότητας μιας παράκτιας περιοχής στην άνοδο της θαλάσσιας στάθμης εφαρμόζεται ο μαθηματικός τύπος του δείκτη κατά μήκος της ακτογραμμής αξιοποιώντας την τεχνολογία των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.). Ο τύπος του δείκτη έχει την ακόλουθη μορφή:

$$C.V.I. = \sqrt{\frac{(a b c d e f g)}{7}}$$

όπου:

a: παράγοντας που αφορά τη γεωμορφολογία,

b: παράγοντας που αφορά την παράκτια κλίση,

c: παράγοντας που αφορά τα σενάρια ανόδου της θαλάσσιας στάθμης,

d: παράγοντας που αφορά τη διάβρωση - υποχώρηση της ακτογραμμής,

e: παράγοντας που αφορά το μέσο σημαντικό ύψος των κυμάτων,

f: παράγοντας που αφορά το μέσο εύρος παλίρροιας και τέλος

g: παράγοντας που αφορά τη γεωλογία.

Ο αρχικός τύπος περιλαμβάνει 6 παράγοντες. Στην παραπάνω μαθηματική έκφραση έχει προστεθεί και ένας έβδομος που είναι αυτός που αφορά τη γεωλογία (Σενή κ.α., 2010).

Όλες οι παραπάνω μεταβλητές λαμβάνουν ακέραιες τιμές που κυμαίνονται από 1 έως 5. Οι μεγαλύτερες τιμές χαρακτηρίζουν τις περισσότερες τρωτές, ως προς τη συγκεκριμένη παράμετρο, περιοχές. Για παράδειγμα στις ακτές που καταλαμβάνονται από κρημούς δίνεται η τιμή 1 διότι θεωρούνται ως πολύ μικρής τρωτότητας. Αντίθετα οι αμμώδεις αιγιαλοί θεωρούνται ως πολύ υψηλής τρωτότητας και τους δίνεται η τιμή 5. Πραγματοποιείται δηλαδή μια βαθμονόμηση της ακτής σε πέντε κατηγορίες με συγκεκριμένα, για κάθε παράμετρο του δείκτη, κριτήρια. Στον πίνακα 14.3 φαίνεται η κατηγοριοποίηση για κάθε έναν από τους παράγοντες που ακολουθήθηκε για την εκτίμηση του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας των ανατολικών ακτών των Η.Π.Α.

Πίνακας 14.3 Κατάταξη των ακτών σε κατηγορίες τρωτότητας (από πολύ μικρής έως πολύ μεγάλης) για κάθε έναν από τους παράγοντες – μεταβλητές που εμπλέκονται στην εκτίμηση του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας (Coastal Vulnerability Index - C.V.I.). Ο πίνακας είναι ενδεικτικός των ακτών του Ατλαντικού των Η.Π.Α. (Pendleton et al., 2004)

Παράγοντας	Πολύ μικρή τρωτότητα (1)	Μικρή τρωτότητα (2)	Μέση τρωτότητα (3)	Υψηλή τρωτότητα (4)	Πολύ υψηλή τρωτότητα (5)
Γεωμορφολογία	Παράκτιοι βραχώδεις κρημνοί, ακτές ria, φιορδ (fjords)	Μέσης κλίσης παράκτιοι κρημνοί σχηματισμών ενδιάμεσης αντοχής	Χαμηλοί παράκτιοι κρημνοί χαλαρών σχηματισμών	Χαλικώδεις αιγιαλοί, εκβολικά συστήματα, λιμνοθάλασσες	Φραγματικοί αιγιαλοί, αμμώδεις αιγιαλοί, αλμυρά έλη, πεδία πηλού, ποτάμια δέλτα, κοραλλιογενείς ύφαλοι
Προέλαση/ υποχώρηση της ακτογραμμής (σε m/έτος)	>2,0	1,0-2,0	(-1,0)-1,0	(-2,0)-(-1,0)	<-2,0
Παράκτια κλίση (%)	>1,20	1,20-0,90	0,90-0,60	0,60-0,30	<0,30
Σχετική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης (mm/έτος)	<1,8	1,8-2,5	2,5-3,0	3,0-3,4	>3,4
Μέσο ύψος κύματος (m)	<0,55	0,55-0,85	0,85-1,05	1,05-1,25	>1,25
Μέσο εύρος παλίρροιας (m)	>6,0	4,0-6,0	2,0-4,0	1,0-2,0	<1,0

Η χαρτογραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων του υπολογισμού του δείκτη βοηθά στον εντοπισμό των πλέον τρωτών περιοχών και αποτελεί σημαντικό εργαλείο για το σχεδιασμό των μέτρων που πρέπει να ληφθούν καθώς και για τον εντοπισμό των τμημάτων της παράκτιας ζώνης που χρήζουν άμεσης προστασίας.

14.2.3 Κοινωνικο-οικονομικές επιπτώσεις από τη μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης

Οι κοινωνικο-οικονομικές επιπτώσεις από την αναμενόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης μπορούν να σχηματιστούν ως εξής (Bijlsma, 1996):

- Σημαντικές θα είναι οι αρνητικές επιπτώσεις σε διάφορες δραστηριότητες στην παράκτια ζώνη όπως ο τουρισμός, τα αποθέματα και η ποιότητα του γλυκού νερού, η αλιεία, η γεωργική δραστηριότητα στις παράκτιες αλλουβιακές πεδιάδες και στα δέλτα, οι οικισμοί και οι κατοικημένες περιοχές, οι οικονομικές υπηρεσίες, και η ανθρώπινη υγεία.
- Εξαιρετικά υψηλό είναι το κόστος για την προστασία και τη λήψη μέτρων ώστε να αποφευχθούν ή να μετριαστούν οι αρνητικές επιπτώσεις σε χαμηλές νησιωτικές περιοχές, όπως είναι τα νησιά Marshal και οι Μαλδίβες, αλλά και σε ολόκληρες χώρες που φιλοξενούν εκτεταμένες δελταϊκές πεδιάδες χαμηλού υψόμετρου όπως είναι το Bangladesh, η Νιγηρία, η Αίγυπτος και η Κίνα.

- Ο αριθμός των ανθρώπων που υποφέρουν σήμερα από πλημμύρες στην παράκτια ζώνη εκτιμάται σε 40 εκατομμύρια, και αναμένεται να διπλασιαστεί ή ακόμη και να τριπλασιαστεί έως το έτος 2100.

- Οι προσπάθειες προσαρμογής στα νέα δεδομένα, που προκύπτουν από την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης, θα πρέπει να συμπεριλάβουν την εκτίμηση των περιβαλλοντικών, οικονομικών, κοινωνικών και πολιτισμικών αξιών ανά τμήματα της παράκτιας ζώνης. Μια τέτοια εκτίμηση θεωρείται απαραίτητη διότι αρκετές χώρες θα βρεθούν στη δύσκολη θέση να πάρουν αποφάσεις σχετικά με το ποιες ακτές θα πρέπει να προστατευθούν και ποιες θα πρέπει να εγκαταλειφθούν.

Μία ένδειξη των μεγάλων χρηματικών ποσών που απαιτούνται για την προστασία των παράκτιων περιοχών αποτελεί η εκτίμηση του Houghton (1994) σύμφωνα με τον οποίο μόνο για τις Η.Π.Α. το οικονομικό κόστος για την προστασία των ακτών και των απωλειών σε γη θα φθάσει περίπου τα 7 δισεκατομμύρια δολάρια. Πρέπει να σημειωθεί ότι στο ποσό αυτό δεν περιλαμβάνεται το κόστος από την υφαλμύριση του υπόγειου νερού από τη θάλασσα, ο περιορισμός της γεωργικής γης και των αγροτικών δραστηριοτήτων στην παράκτια ζώνη και τα προβλήματα υγείας που πιθανά να προκαλέσει η μελλοντική άνοδος της θαλάσσιας στάθμης.

Δυστυχώς ανάλογη ποσοτική εκτίμηση των επιπτώσεων για τον ελληνικό χώρο δεν έχει πραγματοποιηθεί.

Πίνακας 14.4 Κατανομή των χρήσεων γης (σε km²) στις υψομετρικές ζώνες 0-0,5, 0-1 και 0-2 m για τα δέλτα των ποταμών Εύηνου (Ε), Μόρνου (Μ), Καλαμά (Κ) και Πηνειού (Π) (Καρύμπαλης & Γάκη-Παπαναστασίου, 2008)

Χρήση γης	Υψομετρική ζώνη 0-0,5 m				Υψομετρική ζώνη 0-1 m				Υψομετρική ζώνη 0-2 m			
	Ε	Μ	Κ	Π	Ε	Μ	Κ	Π	Ε	Μ	Κ	Π
Αστική δόμηση	1,80	0,01	0,01	0,02	2,90	0,01	0,01	0,05	3,60	0,01	0,02	0,05
Μόνιμες καλλιέργειες	3,00	1,00	0,24	4,56	7,70	1,95	0,40	10,57	17,50	3,10	6,55	2,58
Αιγιαλοί	5,80	0,40	2,19	0,97	7,60	0,43	3,22	1,07	8,40	0,53	3,70	1,26
Δάσος πλατύφυλλων				0,28				0,97				1,50
Φυσικοί βοσκότοποι			2,19	0,69			3,04	2,07			3,67	4,66
Σκληροφυλλική βλάστηση				0,01				0,05				0,97
Τυρφώνες			0,92				1,83				4,12	
Παράκτια έλη	1,90	1,17	1,47		3,10	1,32	1,56		3,60	1,43	1,56	
Σύνολο (km ²)	12,50	2,58	7,02	6,51	21,30	3,71	10,06	14,78	33,1	5,07	15,95	11,01

14.2.4 Οι επιπτώσεις από τη μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης στην Ελλάδα

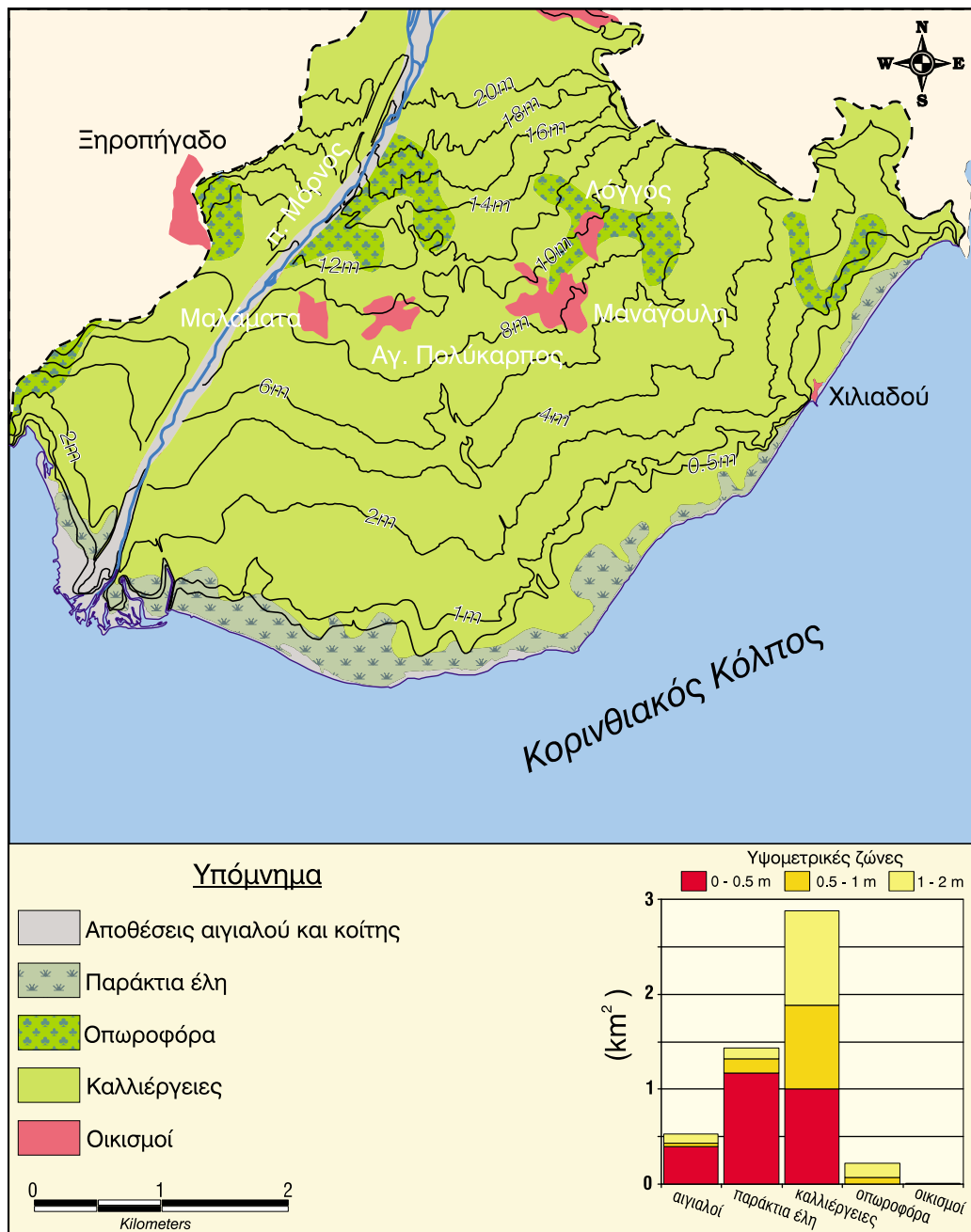
Με δεδομένη την εξάπλωση των χαμηλών παράκτιων περιοχών στην ηπειρωτική Ελλάδα, με τη μορφή δέλτα ποταμών, λιμνοθαλασσών, παράκτιων αλλουβιακών πεδιάδων και μικρών αιγιαλών, τη σημαντική τους εποίκιση, καθώς και την τουριστική και βιομηχανική τους αξιοποίηση, που υπήρξε ιδιαίτερα σημαντική τις τελευταίες δεκαετίες, οι επιπτώσεις από την αναμενόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης θεωρείται ότι θα είναι εξαιρετικά σημαντικές (Maroukian, 1990).

Για την ηπειρωτική Ελλάδα τα παράκτια μήκη που αντιστοιχούν σε απόκρημνες ακτές και σε παράκτιες πεδιάδες είναι 48,04 % και 38,27 % αντίστοιχα ενώ σε δελταϊκές πεδιάδες, λιμνοθάλασσες και σε παραλίες αντιστοιχούν πολύ μικρότερα ποσοστά που ανέρχονται σε 6,39 %, 3,73 % και 3,57 % αντίστοιχα (Gaki-Papanastassiou et al., 1997). Η κατανομή των πέντε τύπων ακτών ανά γεωγραφικό διαμέρισμα δεν είναι ομοιόμορφη παντού. Αξιοσημείωτη είναι η μεγάλη έκταση των χαμηλών παράκτιων περιοχών (δελταϊκές πεδιάδες και λιμνοθάλασσες) στη Θράκη (88 %). Οι περιοχές που οι δελταϊκές πεδιάδες καταλαμβάνουν σημαντική έκταση και αναμένεται να πληγούν κοινωνικο-οικονομικά από τη μελλοντική κατάκλυση λόγω της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης είναι η Ήπειρος (24,23 %, με κυριότερα τα δέλτα των ποταμών Καλαμά, Λούρου και Αραχθού) και η Θράκη (25,69 %, με σημαντικότερη χαμηλή περιοχή το δέλτα του Έβρου). Έχει υπολογισθεί ότι οι περιοχές των δελταϊκών πεδιάδων που θα κατακλυσθούν από θαλάσσιο νερό έως το έτος 2100, θα καταλαμβάνουν κατά μέσο όρο το 13,16 % της συνολικής τους έκτασης (Μαρουκιάν κ.α., 2001).

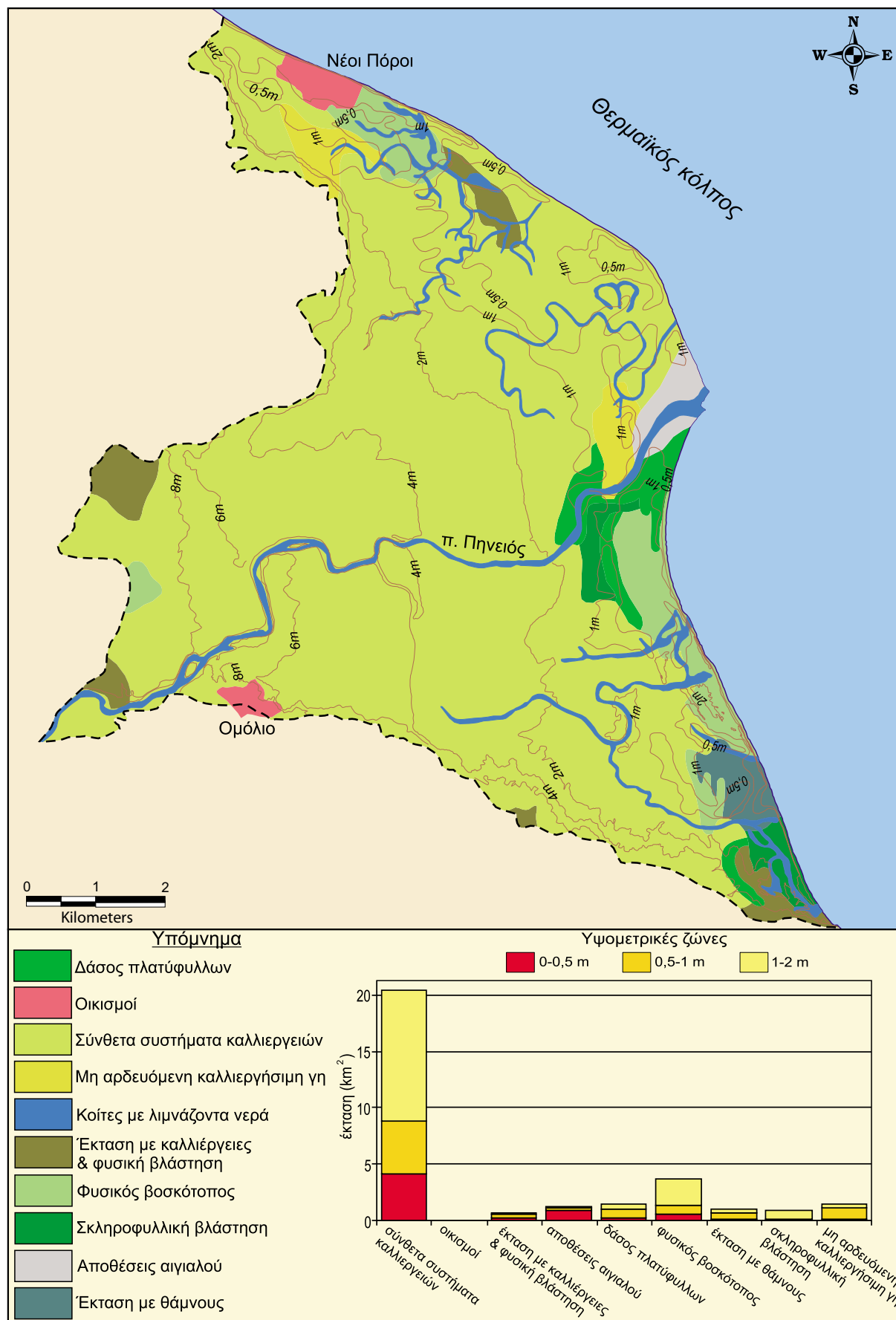
Ενδεικτικά ακολουθεί μια πρώτη εκτίμηση των επιπτώσεων για τα δέλτα των ποταμών Εύηνου, Μόρνου,

Καλαμά και Πηνειού. Οι περιοχές που αναμένεται άμεσα να αντιμετωπίσουν σημαντικό πρόβλημα κατάκλυσης από μια ενδεχόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης είναι αυτές που έχουν υψόμετρο μικρότερο από 50 cm. Οι εκτάσεις της υψομετρικής αυτής ζώνης για τα τέσσερα δέλτα ανέρχονται σε 12,5 km², 2,58 km², 7,02 km² και 6,5 km² αντίστοιχα (Καρύμπαλης & Γάκη-Παπαναστασίου, 2008). Πέραν όμως των χαμηλών αυτών περιοχών σημαντικές θα είναι και οι επιπτώσεις στις μεγαλύτερες υψομετρικές ζώνες των 0,5 - 1 m και 1 - 2 m δεδομένου ότι ακόμη και αν δεν κατακλυσθούν άμεσα θα αναδιανεμηθούν οι χρήσεις γης εντός αυτών. Ο πίνακας 14.4 περιλαμβάνει τις εκτάσεις των χρήσεων γης ανά υψομετρική ζώνη για κάθε ένα από τα δέλτα αυτά. Αξιοσημείωτο είναι ότι μεταξύ άλλων σημαντικό πρόβλημα αναμένεται να αντιμετωπίσει η πόλη του Μεσολογγίου, που βρίσκεται στο βορειοδυτικό άκρο του δέλτα του Εύηνου, μεγάλη έκταση της οποίας βρίσκεται κάτω από το 1 m (Karymbalis & Chalkias, 2005). Για το συγκεκριμένο δέλτα αρκετά σημαντικές θα είναι οι επιπτώσεις για τη λιμνοθάλασσα Κλείσοβα, αφού η κατάκλυση της περιοχής του Λούρου θα επέτρεπε την επικοινωνία του Πατραϊκού κόλπου με τη λιμνοθάλασσα.

Μεγάλο μέρος των χαμηλών εκτάσεων καταλαμβάνεται από καλλιεργήσιμα εδάφη συνεπώς σημαντικές θα είναι οι επιπτώσεις για τις τοπικές αγροτικές οικονομίες (σχήματα 14.6, 14.7). Περιορισμός των καλλιεργήσιμων εκτάσεων θα προκληθεί επιπλέον από την υφαλμύριση των υδροφόρων οριζόντων και των εδαφών που γειτνιάζουν με την ακτογραμμή. Πρέπει να τονιστεί ότι σε περιοχές, όπου ήδη παρατηρείται διάβρωση και υποχώρηση της ακτογραμμής, τα φαινόμενα αυτά ενδέχεται να ενταθούν με την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης ενώ σε περιοχές που προελαύνουν, που κυρίως είναι οι ενεργές ποτάμιες εκβολές, ενδέχεται τα αρνητικά αποτελέσματα να μετριαστούν λόγω της προσφοράς και απόθεσης των ποτάμιων ιζημάτων.



Σχήμα 14.6 Χάρτης χρήσεων γης του δέλτα του ποταμού Μόρνου στη Στερεά Ελλάδα. Το διάγραμμα του σχήματος περιλαμβάνει τις εκτάσεις ανά χρήση γης που βρίσκονται στην υψομετρική ζώνη από την ακτογραμμή έως το υψόμετρο των 50 cm, που αποτελεί και την περισσότερη ευάλωτη στην άνοδο της θαλάσσιας στάθμης περιοχή, καθώς και εκείνες των υψομετρικών ζωνών 50 cm - 1 m και 1 m - 2 m αντίστοιχα.



Σχήμα 14.7 Χάρτης χρήσεων γης του δέλτα του Πηνειού ποταμού στη Θεσσαλία. Το διάγραμμα του σχήματος περιλαμβάνει τις εκτάσεις ανά χρήση γης που βρίσκονται στην υψομετρική ζώνη από την ακτογραμμή έως το υψόμετρο των 50 cm, που αποτελεί και την περισσότερο ευάλωτη στην άνοδο της θαλάσσιας στάθμης περιοχή, καθώς και εκείνες των υψομετρικών ζωνών 50 cm - 1m και 1m - 2m αντίστοιχα.