



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Προστασία ακτών από την διάβρωση

*Αντώνης Βελεγράκης
Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας*



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αιγαίου**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης





**ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΘΑΛΑΣΣΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑ 11
Προστασία ακτών από την διάβρωση

Α.Φ. Βελεγράκης

11 Προστασία ακτών από την διάβρωση

11. 1 Διάβρωση ακτών

Η άνοδος της μέσης θαλάσσιας στάθμης

Αλλαγή κυματικού καθεστώτος και φουσκοθαλασιές

Ανθρωπογενείς επιδράσεις

11 .2 Επιλογές προστασίας

11.1 Μη Δράση (No action)

11.2 Υποχώρηση και επανεγκατάσταση (retreat and relocation)

11.3 «Σκληρά Μέτρα» προστασίας (hard structures)

11.4 Εμπλουτισμός ακτής (beach nourishment/replenishment)

11. 1 Διάβρωση ακτών

Υπάρχουν σημαντικά παγκόσμια προβλήματα διάβρωσης (οπισθοχώρησης των παραλιών).

Τα προβλήματα αυτά μπορεί να οφείλονται σε

(α) φυσικούς η/και

(β) ανθρωπογενείς παράγοντες δηλ. σε επεμβάσεις στο περιβάλλον με διάφορους τρόπους και σε διάφορες χωρικές κλίμακες



Σχήμα 11.1 Αεροφωτογραφία των Outer Banks, N. Carolina, U.S.A. Παράδειγμα 'φυσικής' παράκτιας διάβρωσης φραγματονησίδας. Προσέξτε τους παλαιούς κατεστραμμένους δρόμους. (Τροποποιημένο από SEPM, 1996).



Σχήμα 11.2 Cape May, New Jersey, USA. Ανθρωπογενής διάβρωση ακτής. Προσέξτε την οπισθοχώρηση της ακτής (1000 m) μετά από το τελευταίο πρόβολο (groin-groyne). (Τροποποιημένο από SEPM, 1996).

Παραδείγματα παράκτιας διάβρωσης

	Erosion				Causes	Reference
	Long-term		Short-term			
	%	rate	%	rate		
St.Lawrence, Canada		up to 1.5m/y			Storm waves/surges	Forbes et al, 2004
S. Carolina (US)	70%	1.4 m/yr	59%	1.8 m/y	Storm waves and surges, SLR	Morton & Miller, 2005
Louisiana	91%	8.2±4.4 m/yr	88%	12.0 m/y	Subsidence, storm waves and surges, SLR, sediment supply reduction, coastal works	Morton et al, 2004
Texas (US)	64%	1.8±1.3 m/yr	48%	2.6 m/y	Subsidence, storm waves and surges, SLR, sediment supply reduction, coastal works	Morton et al, 2004
C. California (US)	53%	0.3±0.1 m/yr	79%	0.8±0.4 m/y	El Niño, storm waves and surges, SLR, sediment supply reduction, coastal works	Hapke et al, 2006
E. China	44%			420 m/y (delta)	Subsidence, storms, SLR, sediment supply reduction, coastal works, sand abstraction	Cai et al, 2009
Provence, France	40%	0.1±0.03 m/yr			60% of erosion due to SLR	Brunel and Sabatier, 2009
Cies Islands (Spain)		0.44 m/yr		1.7 - 3.2 m/y	NAO Storm waves and surges, SLR, sand abstraction	Costas & Alejo, 2007
E. UK			67%		Storm waves and surges, SLR,	Taylor et al., 2004
Romania, Black Sea	> 50%	5- 25 m/yr			Storm waves and surges, SLR, sediment supply reduction, coastal works	Stanica & Panin, 2009
Nigeria				3 m/y	Storm waves and surges, SLR sediment supply reduction	Okude & Ademiluyi, 2006
Negril (Jamaica)	> 80%	Up to 1.4 m/yr			Storm waves and surges, SLR, sediment supply and seagrass reduction,	RiVAMP, 2010

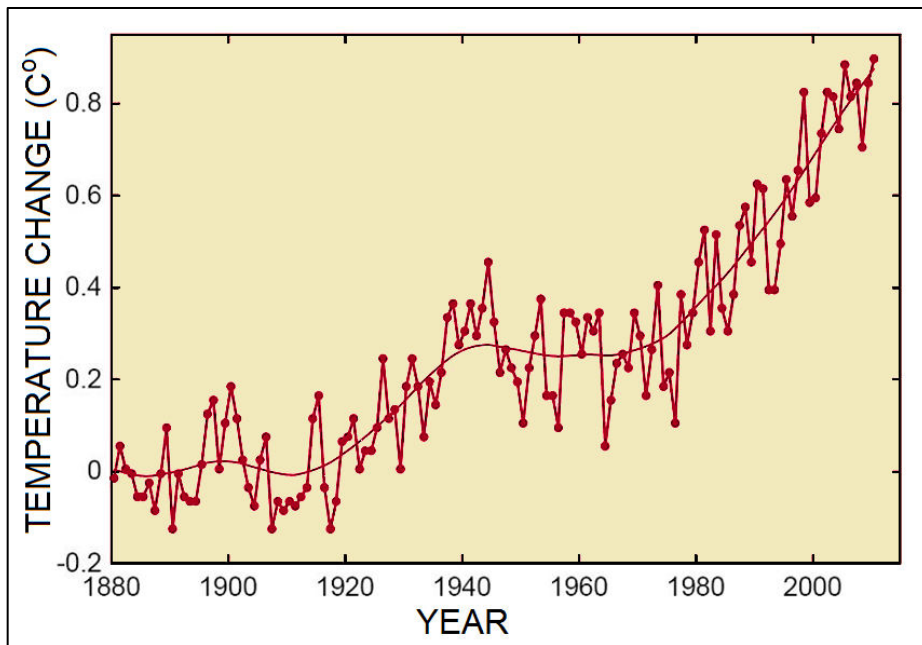
Παράκτια διάβρωση στη Ευρώπη

Country	Coastline (km)	Coastline erosion 2001 (km)	Protected coastline 2001 (km)	Eroded protected coastline (km)	Total eroded coastline (km)
Belgium	98	25	46	18	53
Cyprus	66	25	0	0	25
Denmark	4605	607	201	92	716
Estonia	2548	51	9	0	60
Finland	14018	5	7	0	12
France	8245	2055	1360	612	2803
Germany	3524	452	772	147	1077
Greece	15780	3945	579	156	4368
Italy	7468	1704	1083	438	2349
Malta	173	7	0	0	7
Poland	634	349	138	134	353
Portugal	1187	338	72	61	349
Spain	6584	757	214	147	824
Sweden	13567	327	85	80	332
UK	17381	3009	2373	677	4705
Total	100925	15111	7546	2925	19732

Φυσικές αιτίες: η άνοδος της μέσης θαλάσσιας στάθμης

Τον τελευταίο αιώνα υπάρχει άνοδος της στάθμης της θάλασσας. Η άνοδος είναι πολύ πιθανό να οφείλεται στην άνοδο της θερμοκρασίας, που με την σειρά της μπορεί να οφείλεται τόσο σε γυσικούς όσο και ανθρωπογενείς παράγοντες (βλ. Κεφ. 3)

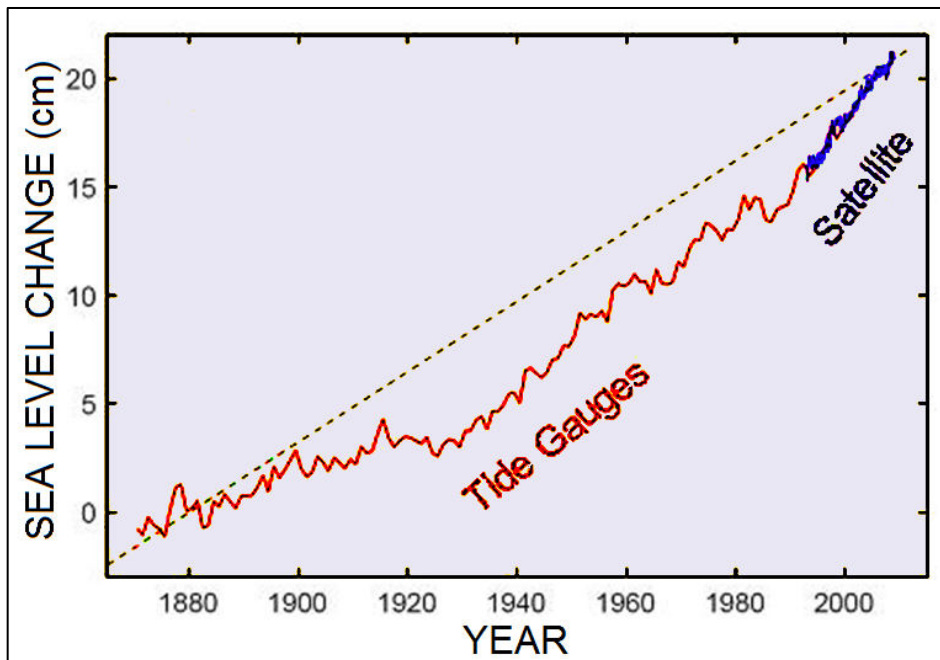
Πρέπει όμως να θυμάστε ότι η τάση ανόδου δεν είναι συνεχής ούτε και παγκόσμια. Για παράδειγμα, οι Tsimplis and Baker (2000, Geophysical Research Letters) βρήκαν ότι τη περίοδο 1960-1995 η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης στον Ατλαντικό είχε μειωθεί (δηλ. η κλίση της καμπύλης ανόδου είχε μειωθεί), ενώ στη Μεσόγειο η σταθμη μειωνόταν. Τα τελευταία έτη οι τάσεις αυτές έχουν αντιστραφεί.



Σχήμα 11.3 Μέση θερμοκρασία 1880-2010. NASA Data (Rahmstorf, 2011).

Προγνώσεις για 2100:

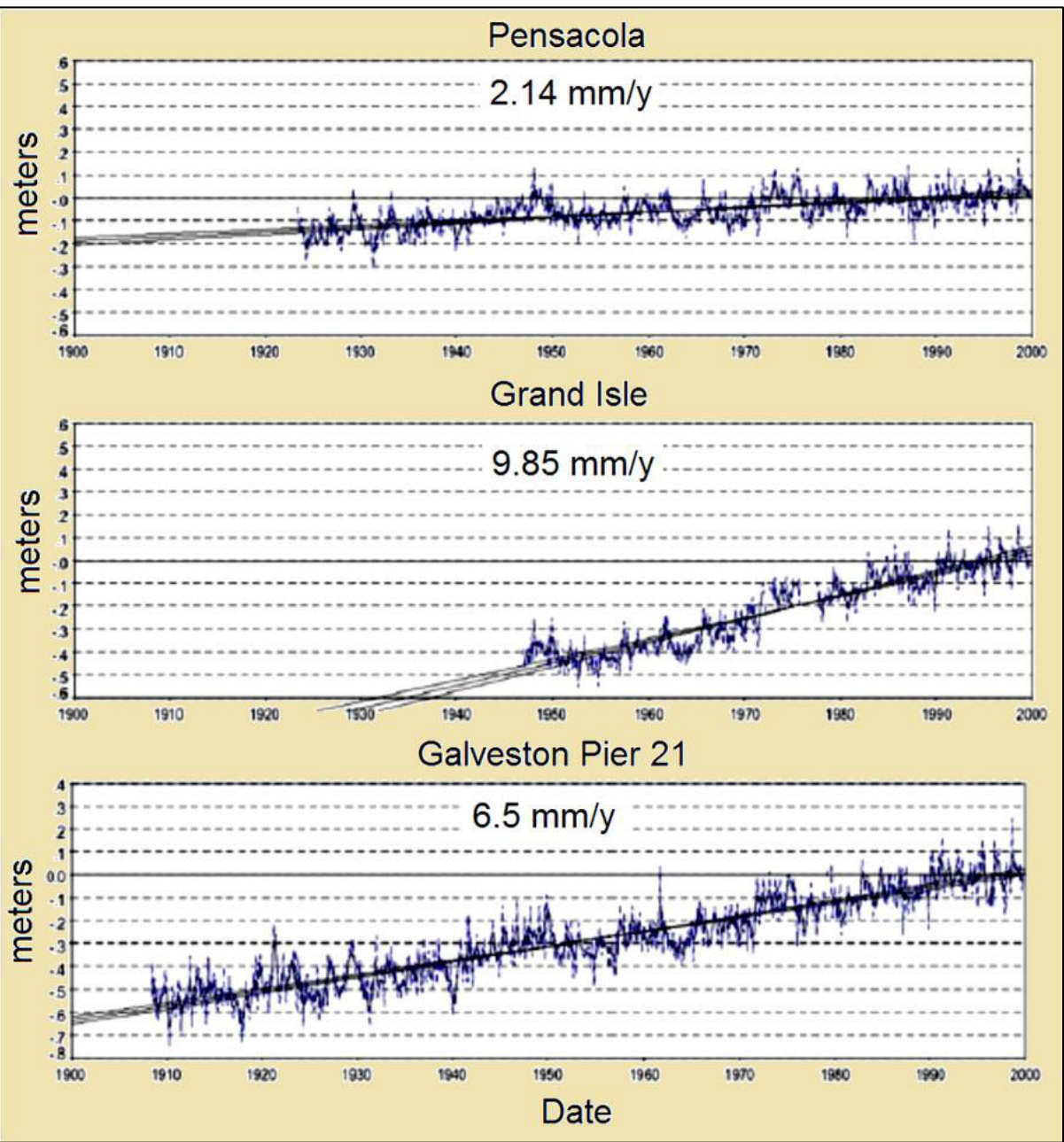
- Αύξηση 0.5 - 4.0 °C, εξαρτώμενη από το Σενάριο Ανάπτυξης (IPCC, 2007)



Σχήμα 11.4 Παγκόσμια θαλάσσια στάθμη 1860-2010 (Rahmstorf, 2011).

Προγνώσεις για 2100:

- 0.26 – 0.98 m (IPCC, 2013)
 - > 1 m αν προσυπολογισθεί η άνοδος λόγω της τήξης ηπειρωτικών πάγων (Rahmstorf, 2007)
- Πάνω από τη στάθμη 1980-1999



Σχήμα 11.5 Θαλάσσια στάθμη στη Pensacola (FL) 2.14 mm/yr, Grand Isle (LA)- 9.85 mm/yr, and Galveston (TX)- 6.5 mm/yr. (Βασισμένο στους Savonis et al., 2008)

Αλλαγές στα ακραία φαινόμενα

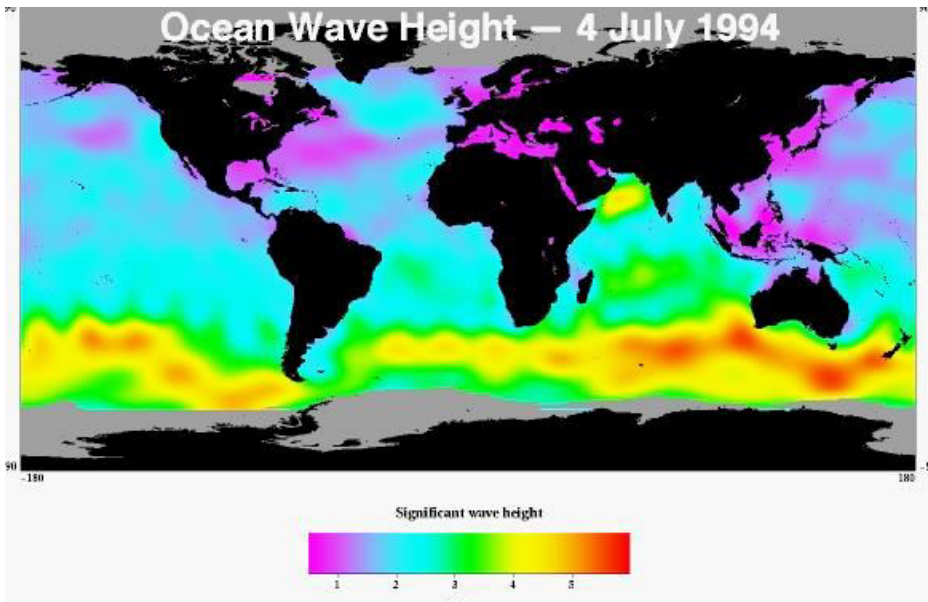
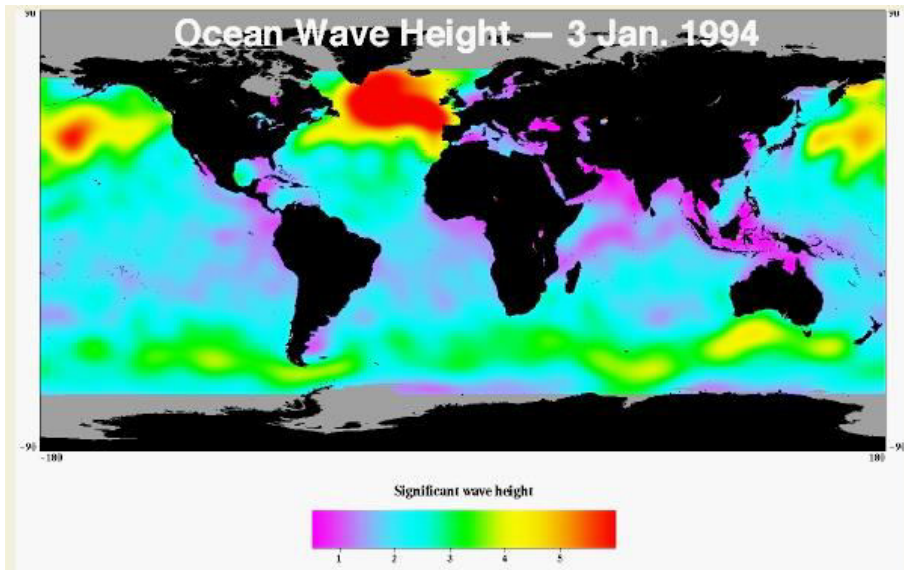
Η αύξηση της μέσης θαλάσσιας στάθμης δεν είναι ο μόνος λόγος διάβρωσης ακτών. Άλλοι παράγοντες, όπως η μεταβλητότητα της παράκτιας υδροδυναμικής μπορεί να έχει δραματικές επιπτώσεις στην παραλία (και τις παράκτιες κοινωνίες και τα κτίσματα / υποδομή τους)

Η παραλία αντιδρά πολύ δυναμικά στην αυξομείωση της προσπίπτουσας κυματικής ενέργειας (και τα ανάλογα κυματογενή ρεύματα). Έτσι, η παραλία διαβρώνεται τον χειμώνα (δηλ. κάτω από υψηλή κυματική ενέργεια) και κτίζεται το καλοκαίρι (σε ήπιες κυματικές συνθήκες).

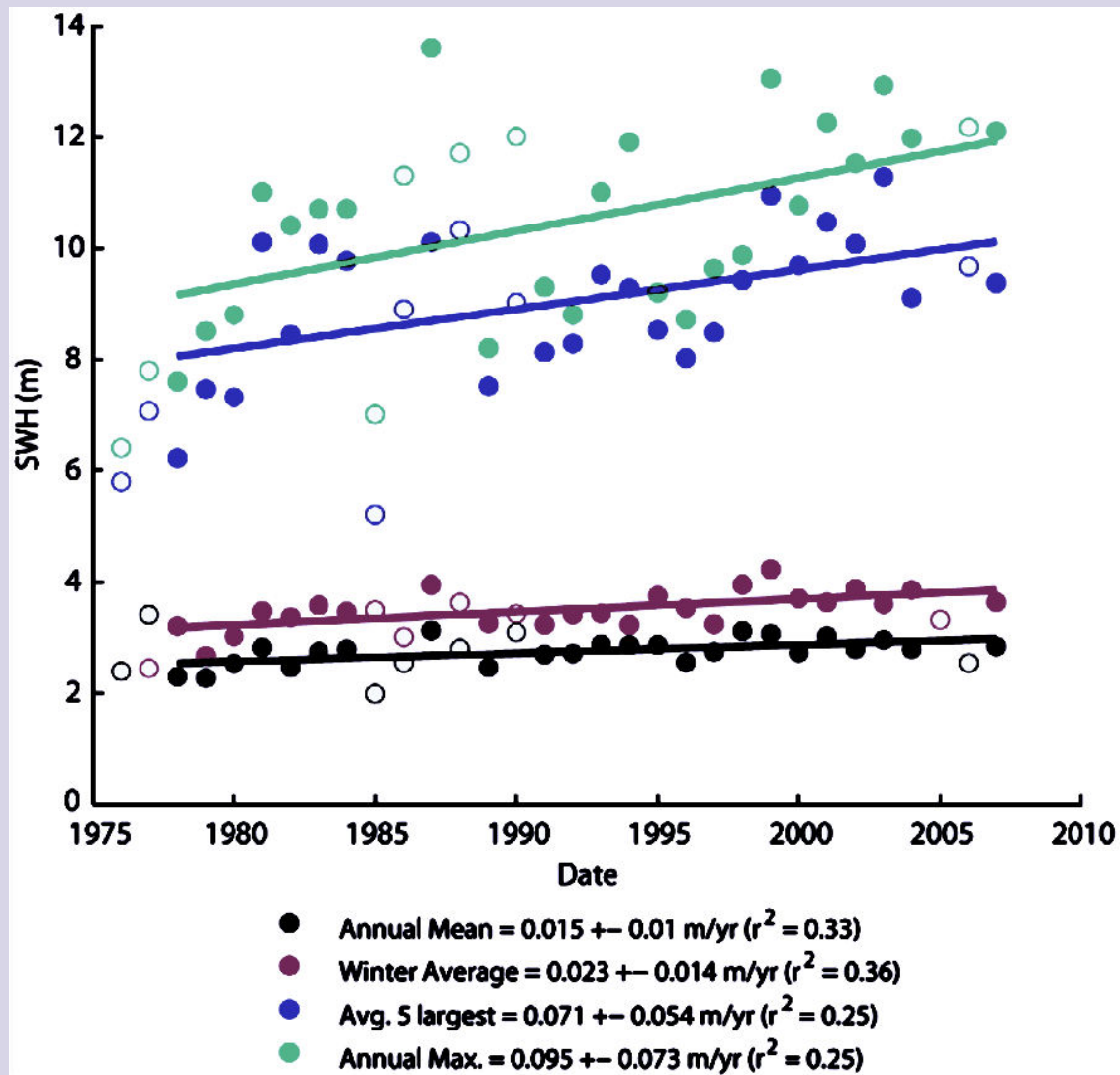
Η μορφολογία της και η μορφοδυναμική της (π.χ. η κλίση της παραλίας, το βάθος κλεισίματος, η θέση, διαστάσεις και σχήμα των χερσαίων και υποθαλάσσιων μορφολογικών χαρακτηριστικών, η κάθετη και παράλληλη προς την ακτή ιζηματομεταφορά (βλ. Κεφ. 8, 9 και 10) εξαρτώνται από τις παραμέτρους των προσπιπτόντων κυμάτων (H , T , και L).

Τελευταία έχουν διαπιστωθεί αλλαγές στη συχνότητα/ένταση και καταστροφικότητα των θυελλών και κυματικών συνθηκών

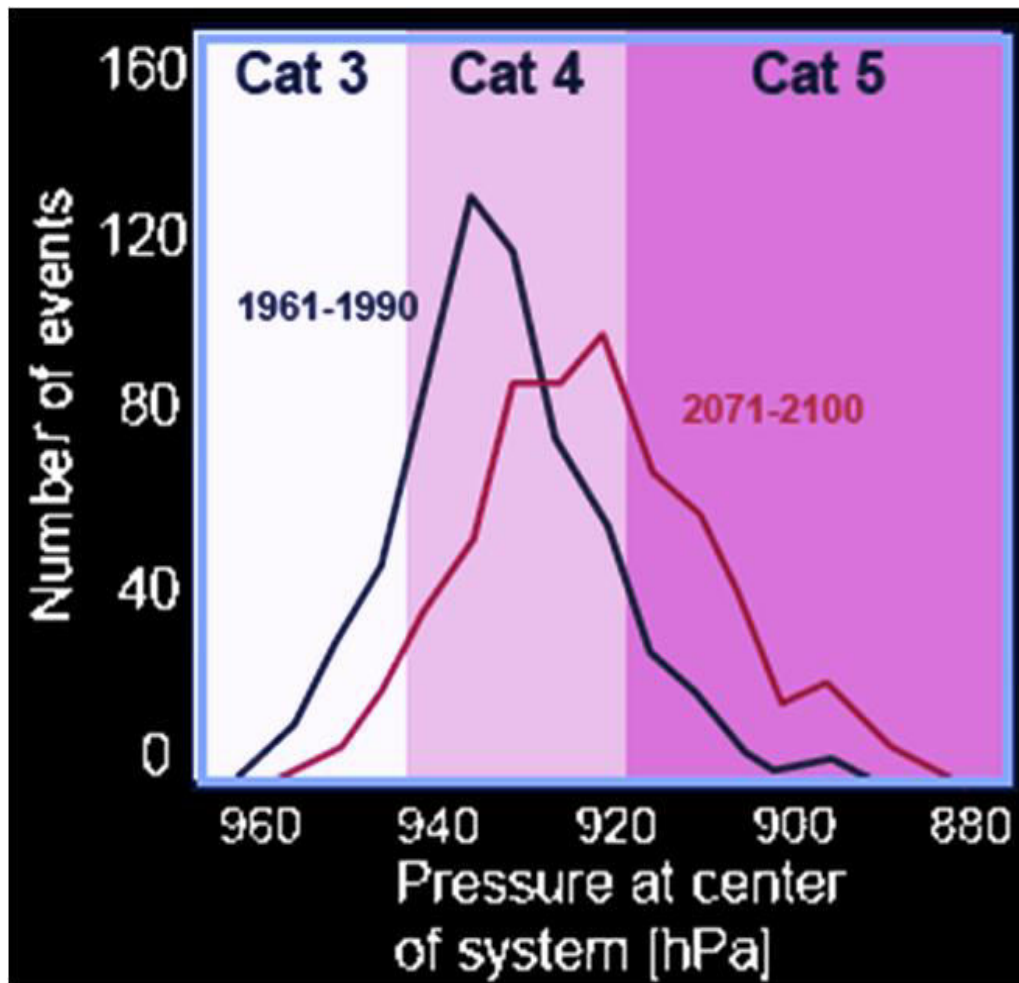
Οι αλλαγές αυτές δεν είναι όμως χωρο-χρονικά ίδιες, δηλ. διαφέρουν σημαντικά από περιοχή σε περιοχή κι από περίοδο σε περίοδο.



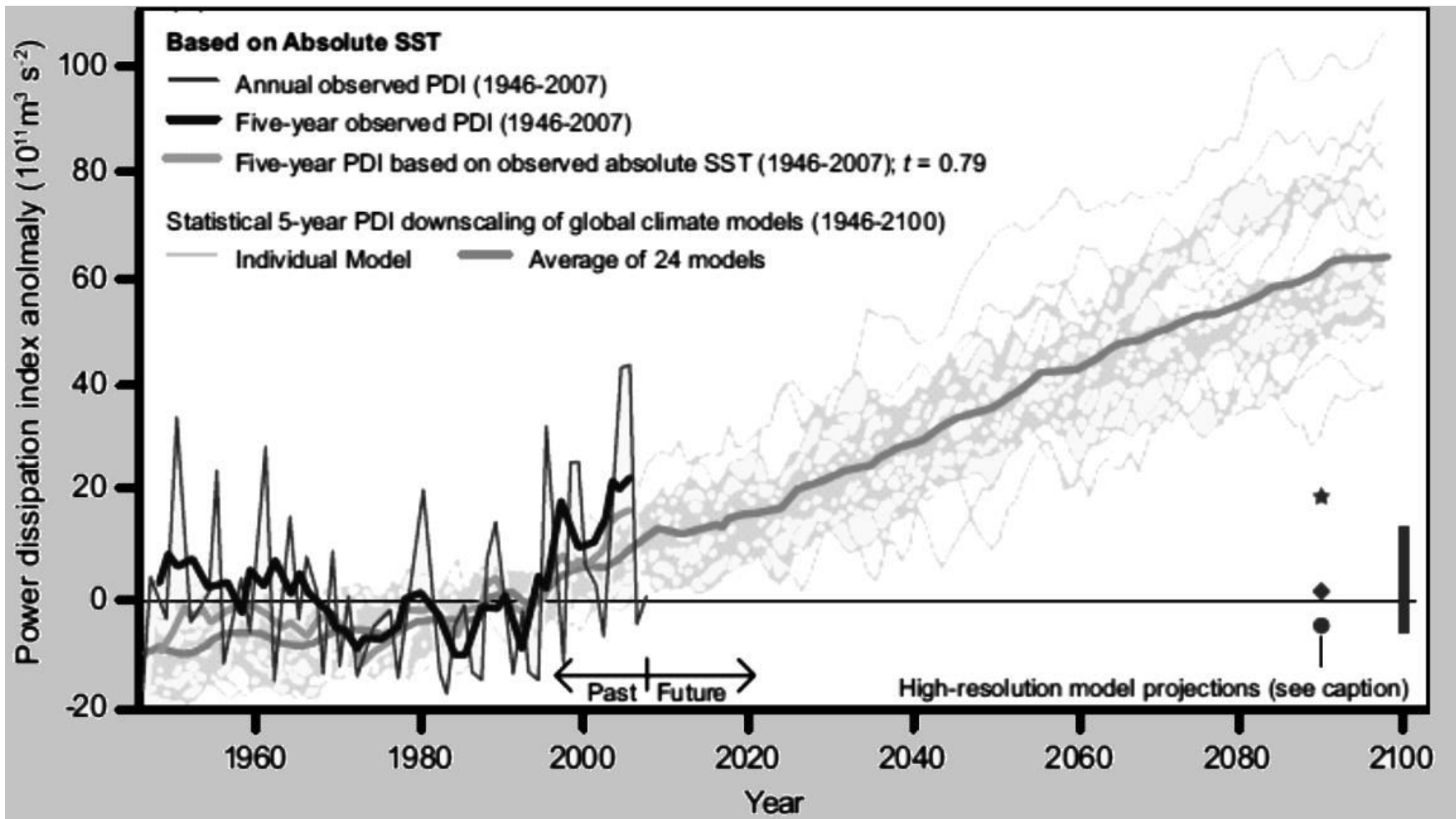
Σχήμα 11.6 Ύψος κύματος τον Ιανουάριο και Ιούλιο. (Τροποποιημένο από SEPM, 1996).



Σχήμα 11.7 Αύξηση στα στατιστικά κυματικά ύψη στη πλατφόρμα NDBC #46005 platform (NE Pacific). Το ετήσιο μέγιστο σημαντικό ύψος κύματος maximum significant wave height έχει αυξηθεί 2.4 m! Τα τελευταία 25 έτη (Τροποποιημένο από τους Ruggiero et al., 2010).



Σχήμα 11.8 Προγνώσεις (estimates) δείχνουν αύξηση στον αριθμό των πολύ ισχυρών θυελλών στις US ακτές (Τροποποιημένο από M. Beniston, 2009).



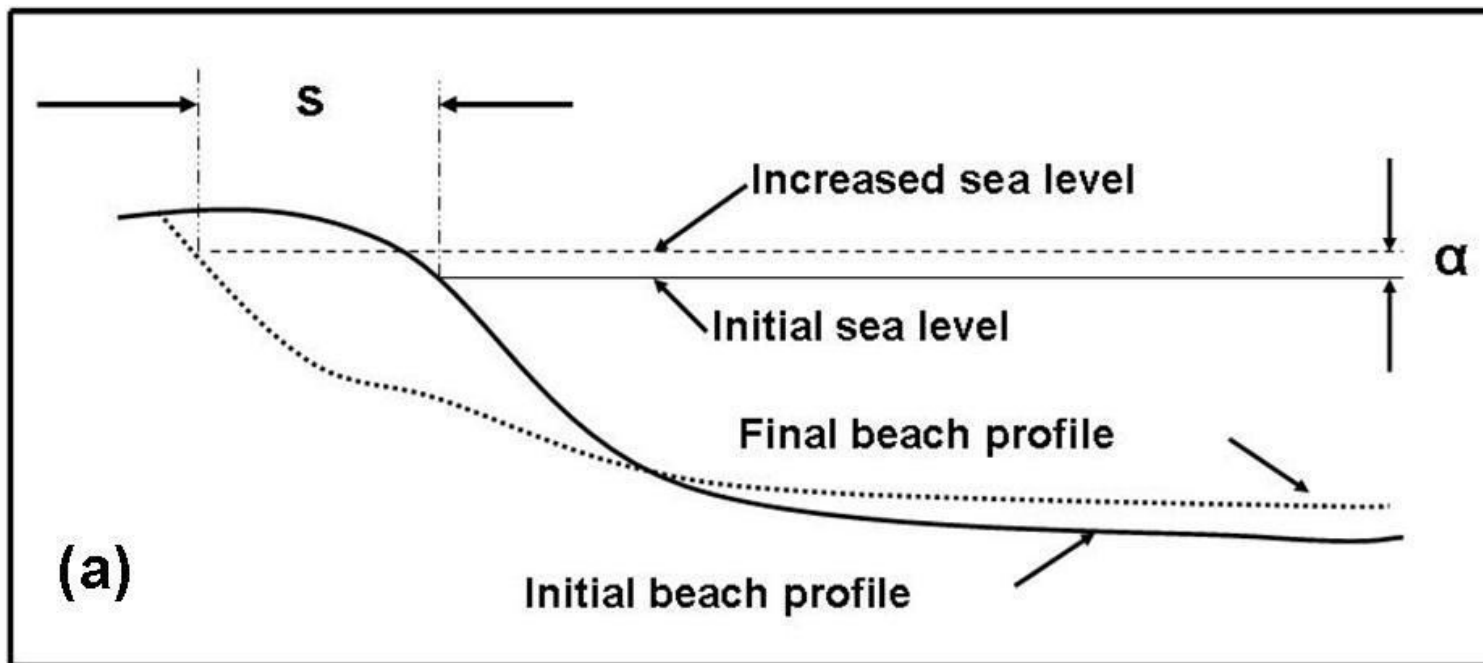
Σχήμα 11.9 Παρατηρούμενη και μελλοντική αύξηση στην ένταση των θυελλών (hurricane). Αν η αύξηση οφείλεται στη μεγαλύτερη αύξηση της Ατλαντικής SST σχετικά με αυτή των άλλων ωκεανών, η τάση μπορεί να αντιστραφεί λόγω εξισορρόπησης των SSTs μεταξύ των λεκανών. Αν όμως οφείλεται στις απόλυτες SSTs, τότε τα φαινόμενα να γίνουν περισσότερο ακραία (Από Steffen, 2009).

Οπισθοχώρηση της παραλίας λόγω της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης

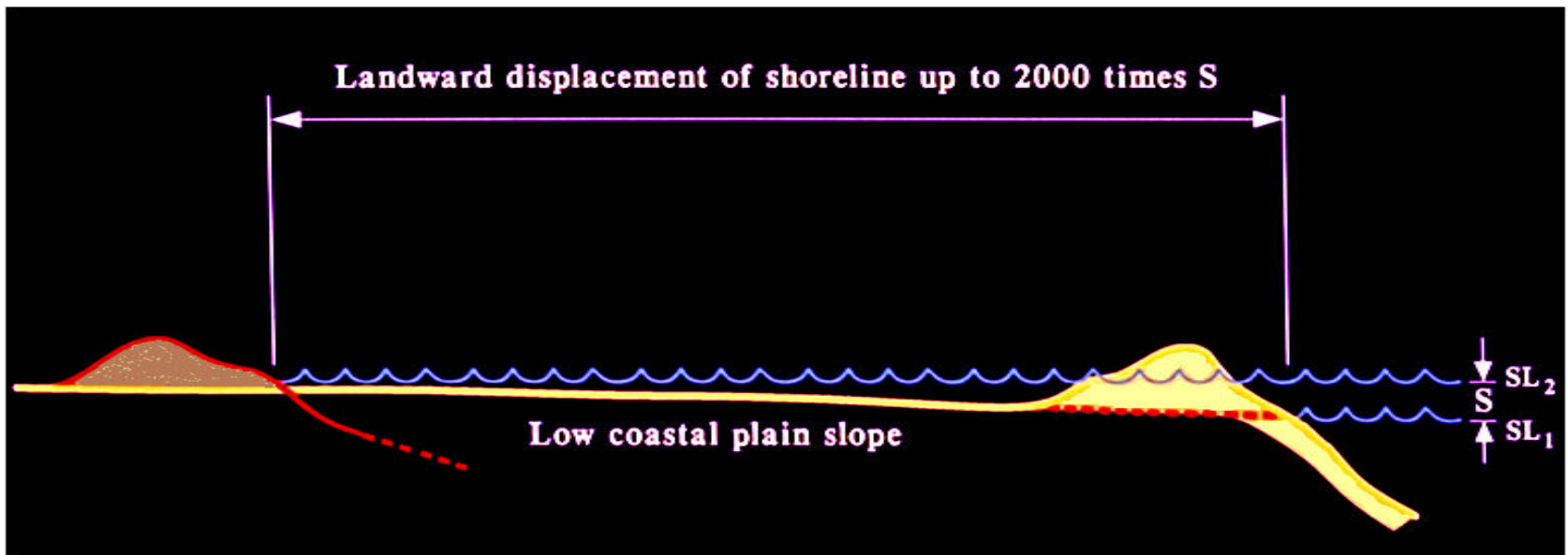
Όπως θυμάστε (βλ. Κεφ. 10) έχουν προταθεί διάφορα μοντέλα για την πρόγνωση του αποτελέσματος στις ακτές της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης.

Γενικά, αν η θαλάσσια στάθμη ανεβεί κατά α , τότε η παραλία θα αντιδράσει με οπισθοχώρηση S .

Οι προγνώσεις οπισθοχώρησης γίνονται με μοντέλα, τα οποία όμως απαιτούν αξιολόγηση με παρατηρήσεις πεδίου.



Σχήμα 11.10 Αν η θάλασσα στάθμη ανεβεί κατά α , τότε η παραλία θα αντιδράσει με οπισθοχώρηση S

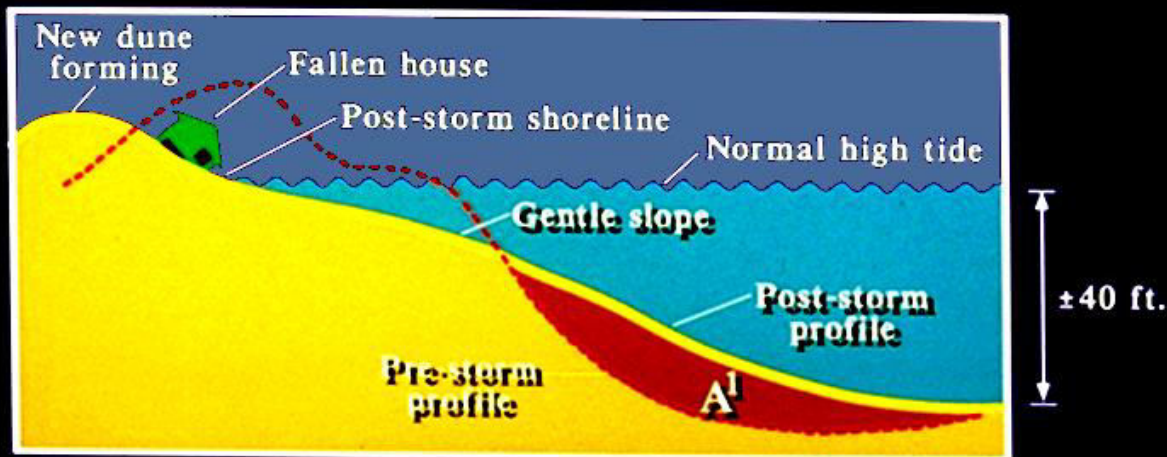
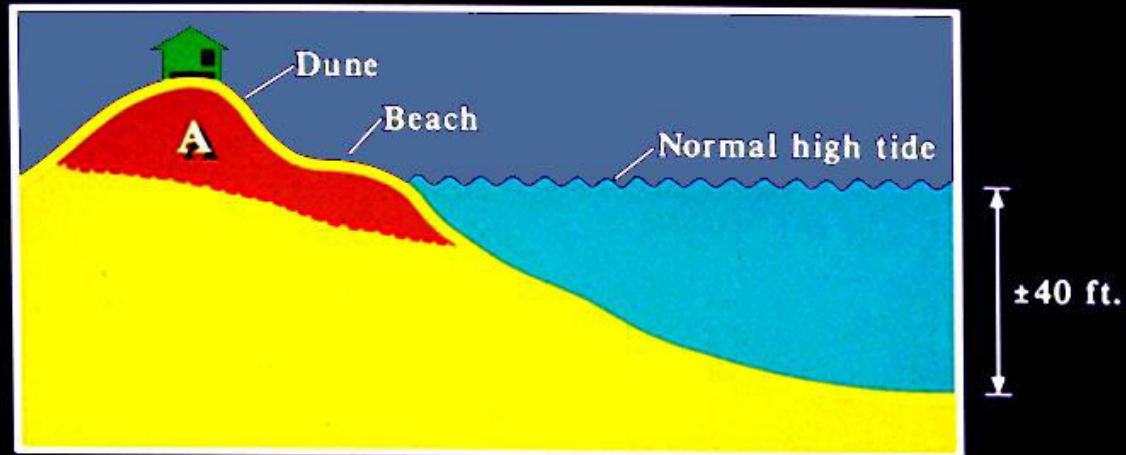


Σχήμα 11.11 Το αποτέλεσμα της ανόδου της θάλασσας σε παραλίες με μικρή κλίση και δυνατότητα οπισθοχώρησης. (Τροποποιημένο από SEPM, 1996).



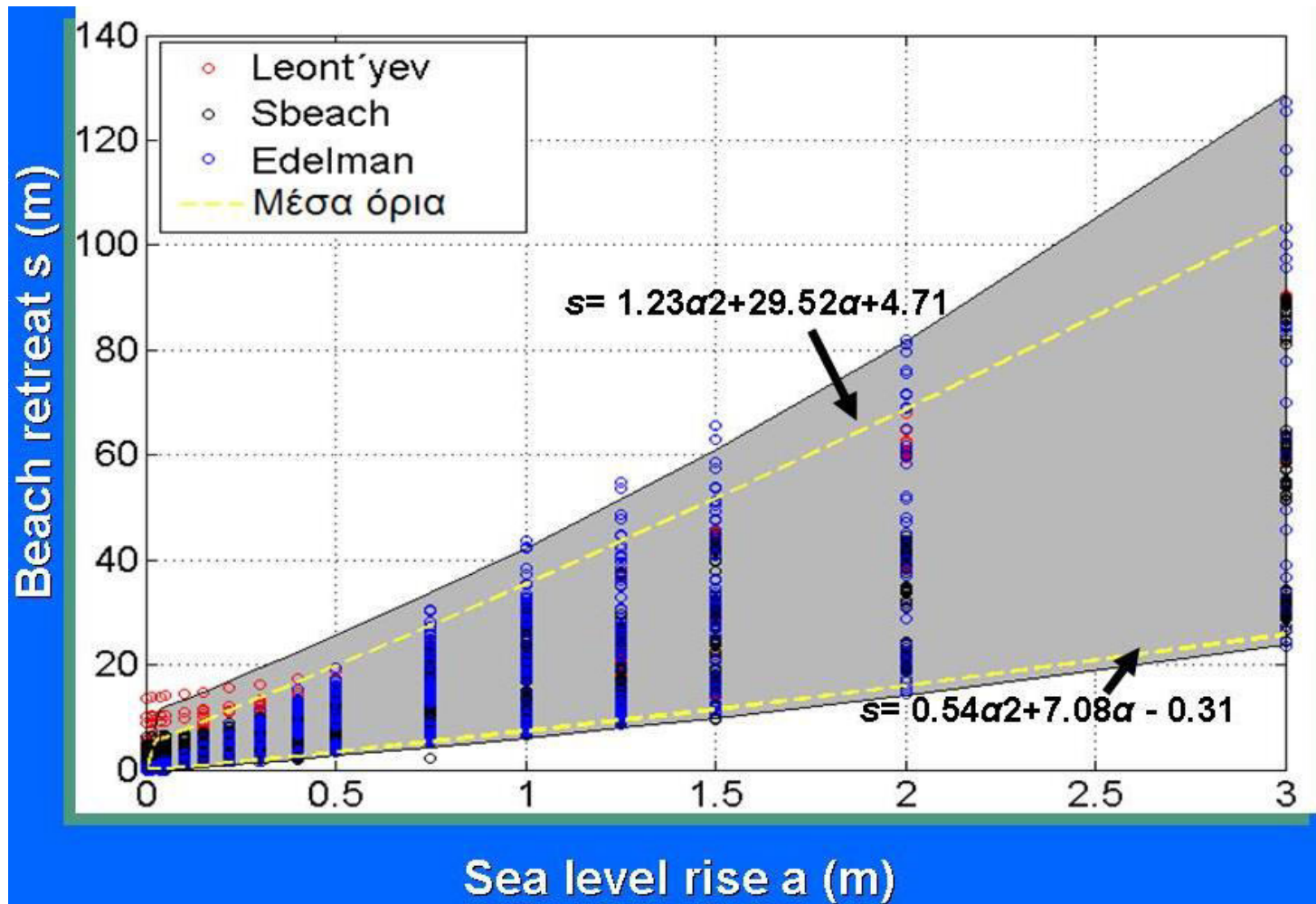
Σχήμα 11.12 Οπισθοχώρηση παραλίας σε 50 έτη. Morris Island, S. Carolina, US ((Τροποποιημένο από SEPM, 1996).

Beach Flattening in Response to a Storm

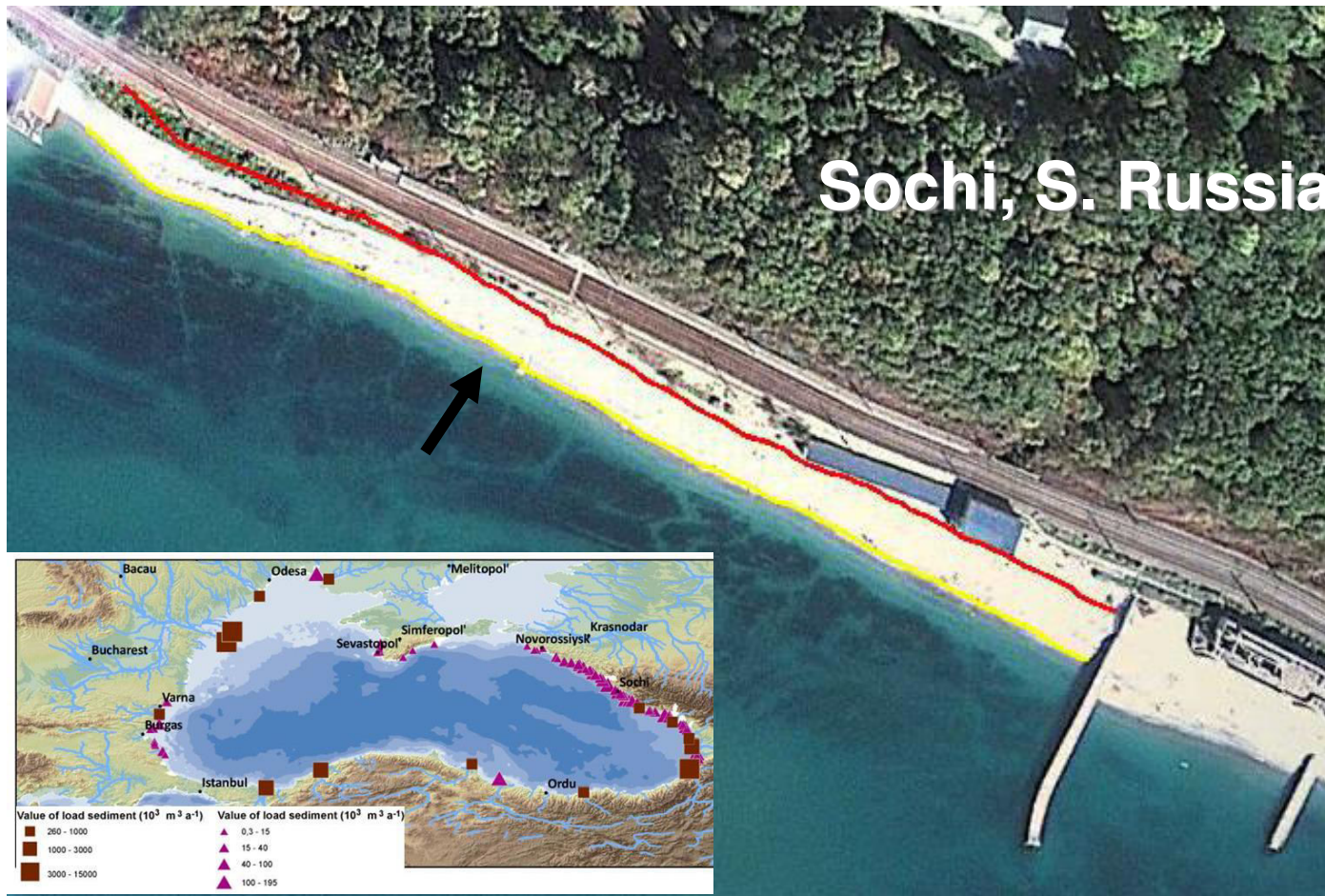


Volume of sand eroded from A approximately equals the volume deposited in A¹

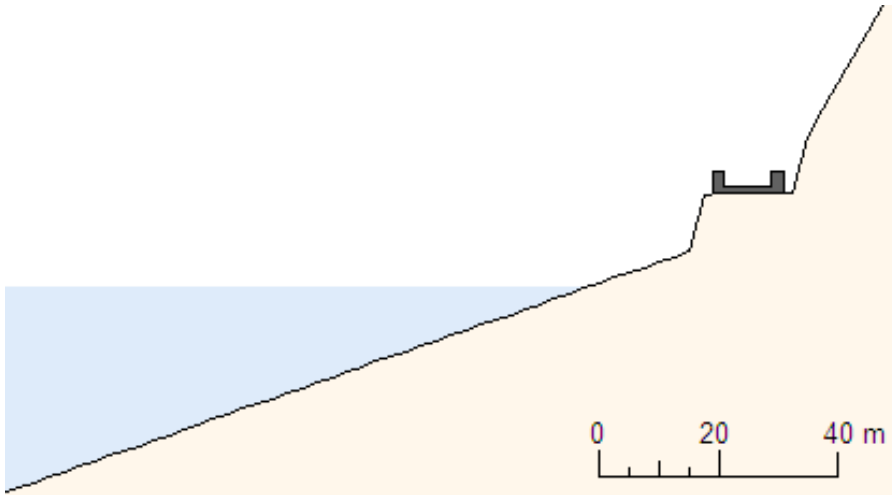
Σχήμα 11.13 Αντίδραση παραλίας σε θυελλώδη κύματα. Οι παραλίες αντιδρούν με οπισθοχώρηση και με επιπεδοποίηση (flattening) του προφίλ η/και δημιουργία υποθαλάσσιων ύφαλων (offshore bars). Και στις δυο περιπτώσεις υπάρχει ελάττωση της κυματικής ενέργειας. (Τροποποιημένο από SEPM, 1996).



Σχήμα 11. 14 Προγνώσεις παραλιακής οπισθοχώρησης από φουσκοθαλασιές (16384 πειράματα) με τα μοντέλα Leont'yev, SBEACH και Edelman. (Monioudi et al., 2009; 2011)

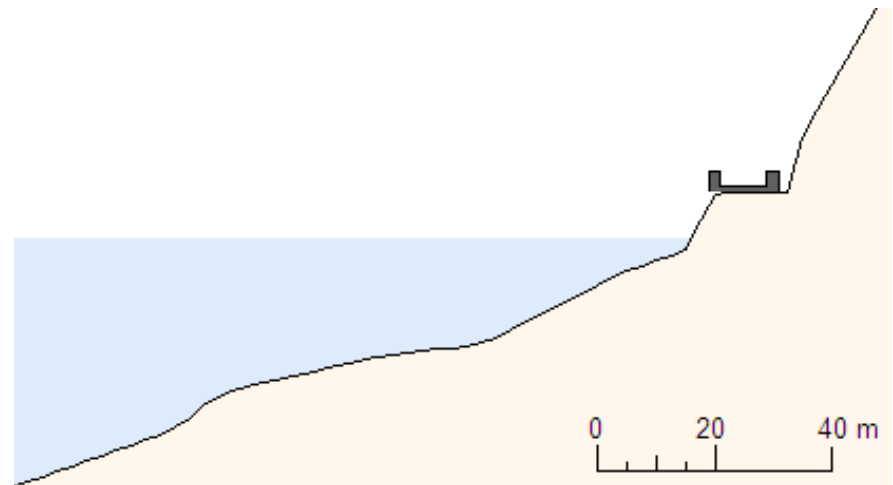


Σχήμα 11.15 Η σιδηροδρομική γραμμή Moscow-Sochi (Black Sea). Η κόκκινη γραμμή δείχνει την οπισθοχώρηση κάτω από 1 m φουσκοθαλασσιά και κύματα (στα ανοικτά) με ύψος $H = 4 \text{ m}$ and περίοδο $T = 7.9 \text{ s}$, σύμφωνα με το μοντέλο Leont' yev (1996) (Velegrakis, 2011)



Κανονική στάθμη

Φουσκοθαλασσιά
(Storm surge) 1 m







Σχήμα 11.16 Halloween" storm (Οκτώβριος / Νοέμβριος 1991), Pea Island, N. Carolina, US. Προσέξτε το μεγάλο εύρος της ζώνης του σερφ, το οποίο είναι μεγαλύτερο από αυτό της φραγματογενούς νήσου (150 m) (Τροποποιημένο από SEPM, 1996).

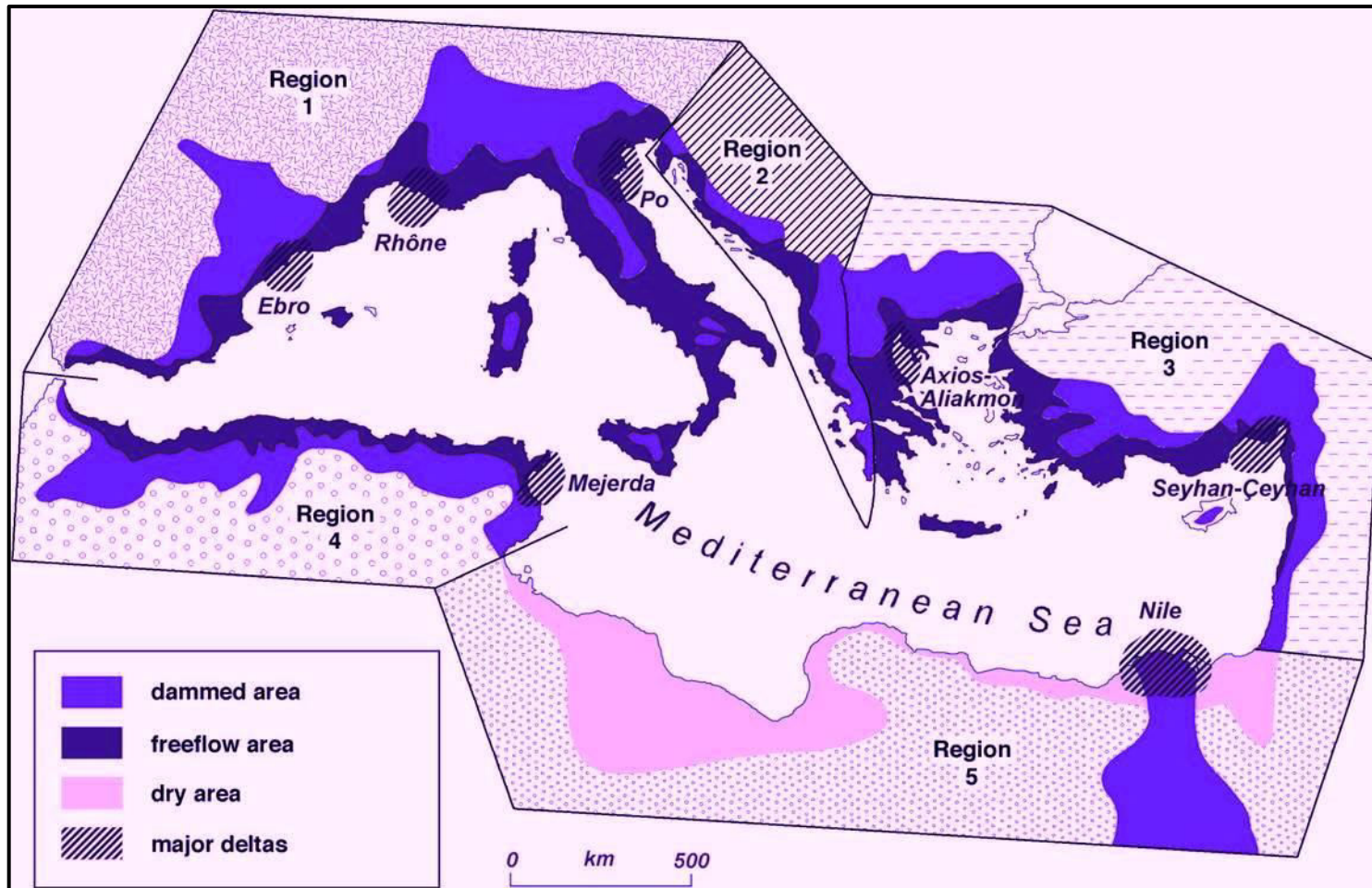


Σχήμα 11.17 Nags Head, N. Carolina, U.S.A. Η θύελλα του Halloween (Οκτώβριος / Νοέμβριος) 1991. (Τροποποιημένο από SEPM, 1996).

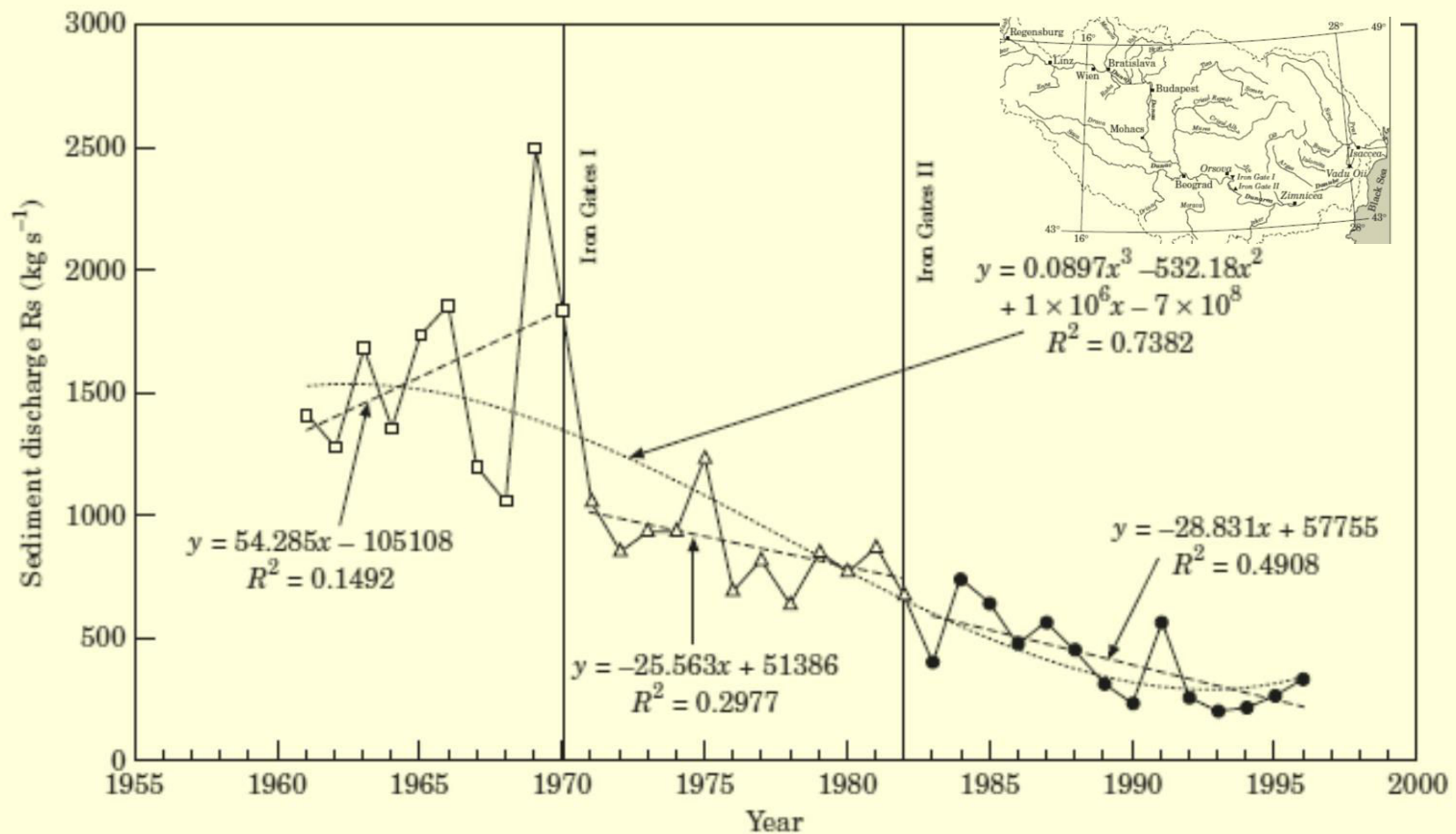
Ανθρωπογενείς επιδράσεις

Την παραλιακή διάβρωση έχουν δημιουργήσει/επιδεινώσει διάφορες πρακτικές όπως

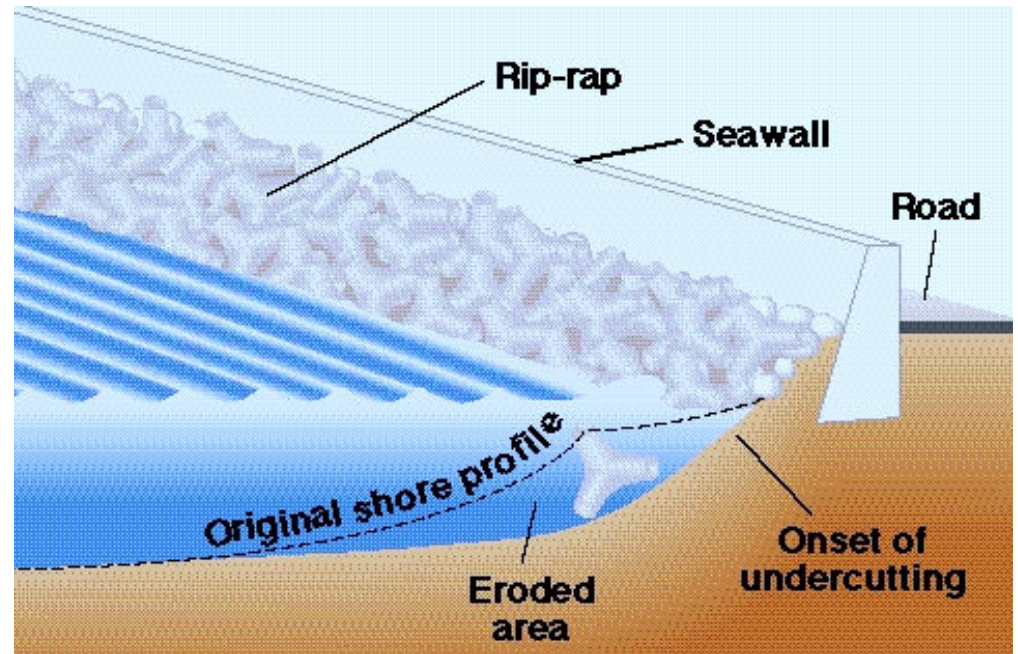
- η κατασκευή φραγμάτων που παγιδεύουν ιζήματα που θα αναπλήρωναν τα ιζήματα που χάνονται στα ανοικτά
- άστοχα παράκτια έργα και
- η δημιουργία ισχυρών παράκτιων κυματισμών από γρήγορα πλοία



Σχήμα 11.18 Η παροχή ιζήματος στην Μεσόγειο έχει μειωθεί από 1012×10^6 σε 355×10^6 tons/yr μεταξύ 1950 και 2000 λόγω της κατασκευής 3500 φραγμάτων το 84% των οποίων κατασκευάστηκαν αυτή τη περίοδο (Βασισμένο στους Roulos et al., 2002).



Σχήμα 11.19 Οι ετήσιες ιζηματοπαροχές του Δούναβη στο σταθμό του Vadu Oii (1961–1996). Παροχές στα κατάντη των φραγμάτων Iron Gates I (Δ), και Iron Gates II (•) (Βασισμένο στους Panin and Jira, 2002)



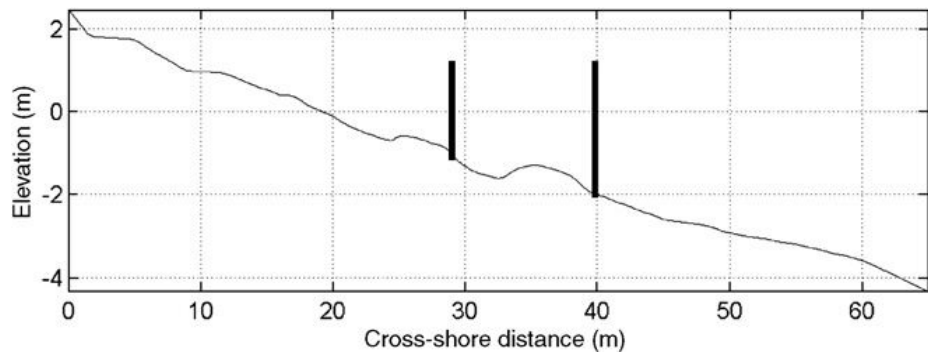
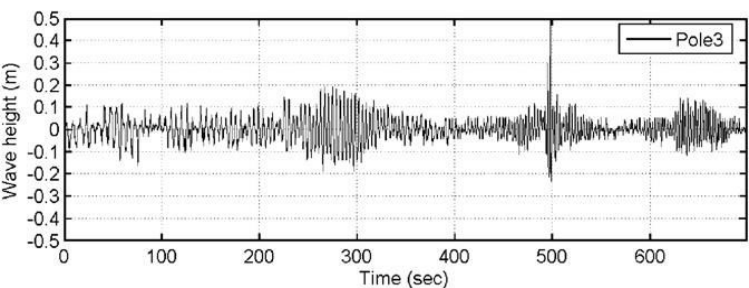
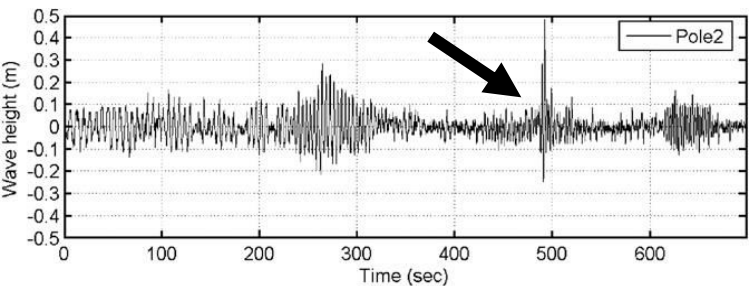
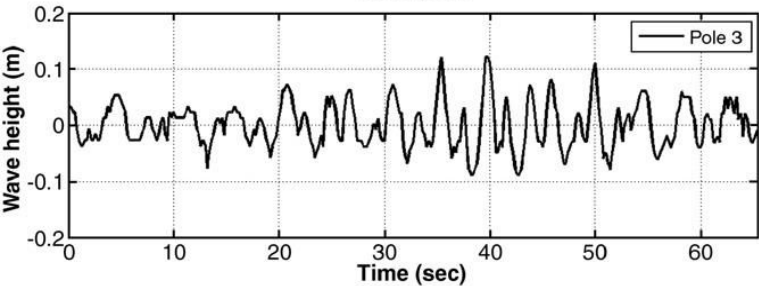
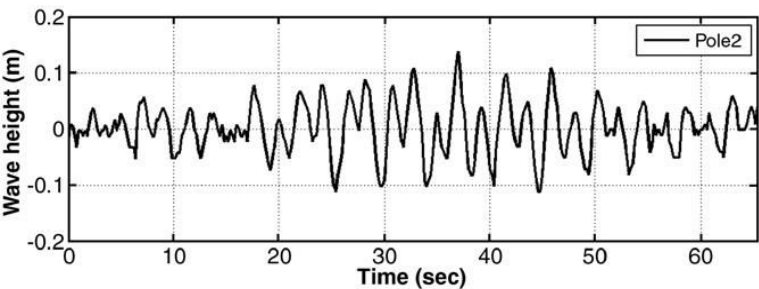
Σχήμα 11. 20 Διάβρωση παραλιών από άστοχα παράκτια έργα όπως παράκτιοι τοίχοι (fronting seawalls):
(a) Florida (Από Morton et al., 2004),
(b) Ερεσός, Λέσβος
(c) Διαβρωτικές διεργασίες λόγω παράκτιων τοίχων ((Τροποποιημένο από SEPM, 1996).



Σχήμα 11.21 Κύματα πλοίων (Ship waves) από το M/V Nissos Mykonos (141 m length, 8410 tons, operational speed 26.5 knots) στην είσοδο του λιμένα Μυτιλήνης (b) τα αργά πλοία δεν δημιουργουν σημαντικά απόνερα (d) απόνερα πλοίων



Σχήμα 11.22 (a) Καταστροφή παράκτιου τοίχου από ταχύ πλοίο (M/V Aiolos Kenteris, operational speed 31 knots). (b) Διάβρωση από απόνερα σε Καναδικό ποταμόκολπο (Από τη Canadian Wildlife Service)



Σχήμα 11.23

(a) Απόνερα από συμβατικό ferry μετρημένα σε βάθος 2 m (Pole 2) και 1.2 m (Pole 3). Διάρκεια φαινομένου ~ 65 s, max. wave height (2 m) 0.24 m.

(b) Ύψη κύματος από απόνερα γρήγορου πλοίου. Διάρκεια φαινομένου ~680 s- 4 κυματικά πακέτα. Max. Wave height 0.74 m σε 2 m βάθος.

(c) Παραλιακή διατομή και θέσεις παρατηρήσεων



11 .2 Επιλογές προστασίας

Οι διαφορετικές επιλογές για αντίδραση στην παράκτια διάβρωση είναι:

- Μη Δράση (No action)
- Υποχώρηση και επανεγκατάσταση (retreat and relocation)
- «Σκληρά Μέτρα» προστασίας (hard structures)
- Εμπλουτισμός Ακτής (beach nourishment/replenishment)

Μη Δράση (No action)

Η πιο απλή από τις επιλογές είναι να αφήσουμε την φύση στην ησυχία της, δηλ. να μην προσπαθήσουμε να κάνουμε τίποτα για να προστατεύσουμε μια παραλία σε διάβρωση.

Στε πολλές περιπτώσεις, ενώ η ακτογραμμή θα οπισθοχωρήσει, η παραλία (και η έκταση / όγκος των χαρών ιζημάτων) μπορεί να παραμείνει περίπου η ίδια.

Το πρόβλημα είναι ότι σαν χερσαίο ζώο, ο Homo Sapiens δεν θέλει να βλέπει την θάλασσα να κερδίζει χώρο από την γη, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις χερσαίων περιοχών με περιορισμένη έκταση και μεγάλους πληθυσμούς (όπως π.χ. τα νησιά της Ιαπωνίας και Μ. Βρετανίας).

Επιπροσθέτως, στις περισσότερες περιπτώσεις οι παραλίες παρουσιάζουν μεγάλη οικοδομική ανάπτυξη, την οποία η διάβρωση μπορεί να απειλήσει. Έτσι, η επιλογή της μη δράσης εφαρμόζεται μόνον εκεί που δεν υπάρχουν μεγάλα οικονομικά συμφέροντα (π.χ στο Willapa Bay, Washington, όπου αν και η διάβρωση είναι περίπου 40-50 m/ έτος δεν πάρθηκε κανένα μέτρο (Komar, 1998)).



Σχήμα 11.24 Μεταβολή παραλίας. Ο φάρος βρισκόταν στην ακτή (400 m) κατά την διάρκεια του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου. Morris Island, S. Carolina, USA. (Τροποποιημένο από SEPM, 1996).

Υποχώρηση και επανεγκατάσταση (retreat and relocation)

Μια από τις επιλογές για τους παράκτιους πληθυσμούς και τα κτίσματα τους είναι να οπισθοχωρήσουν στα ενδότερα, δηλ. να επανεγκατασταθούν σε περιοχές μακριά από την ακτή.

Κάτι τέτοιο σημαίνει ότι τα περισσότερα κτίρια θα αφεθούν στην τύχη τους, ενώ κάποια (συνήθως με μεγάλη πολιτιστική η/και συναισθηματική αξία) θα μεταφερθούν προς τα ενδότερα. (Αυτή είναι η λύση που προτείνει γενικά σαν την καλύτερη ο Orrin Pilkey (Duke University)).

Όμως αν και μερικές φορές αυτή η στρατηγική είναι καλή (από μακροχρόνιας οικονομικής και αισθητικής άποψης), δεν είναι πάντα εφικτή λόγω κυρίως κοινωνικών και οικονομικών συμφερόντων.

The Case for Retreat

Sea-level is rising and the shoreline is retreating. We face economic and environmental realities that leave us two choices:

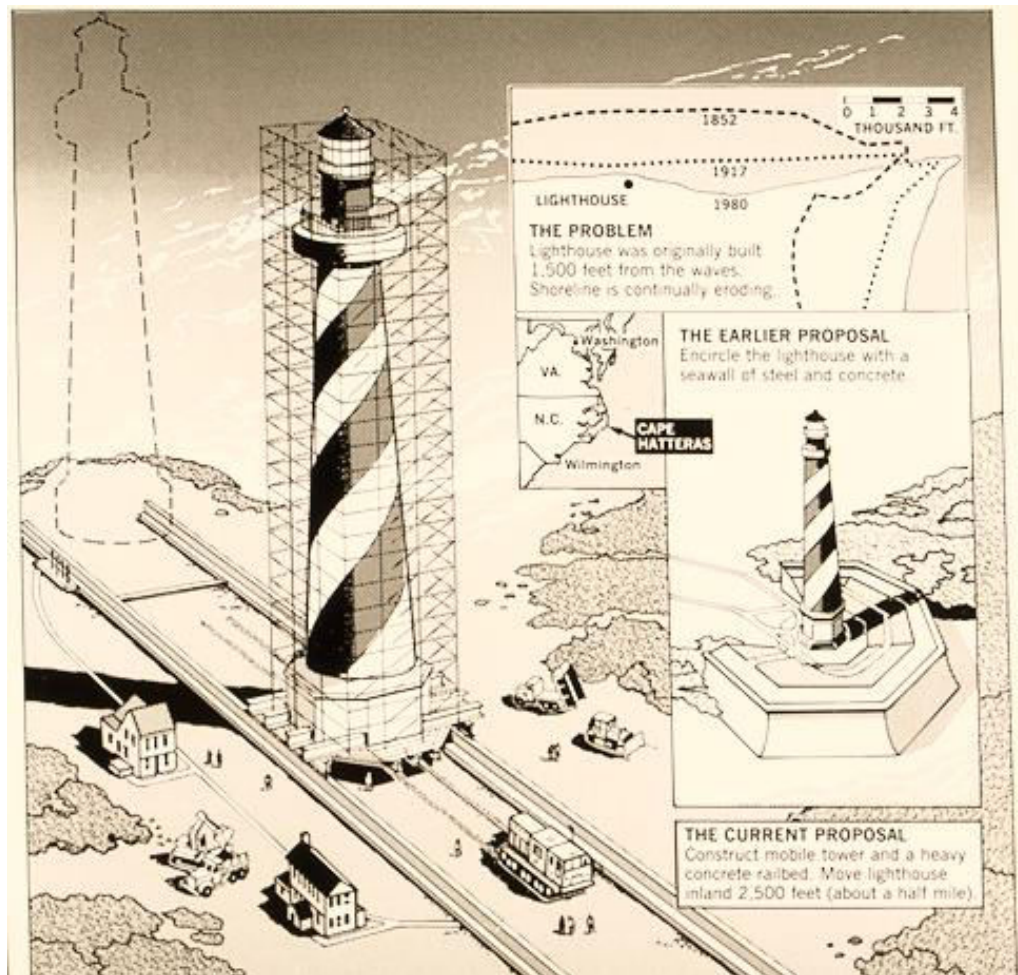
- 1) plan a strategic retreat now, or**
- 2) undertake a vastly expensive program of armoring the coastline, and as required, retreating through a series of unpredictable disasters.**

Howard and others (1985)

Σχήμα 11. 25 Η περίπτωση της οπισθοχώρησης (Τροποποιημένο από SEPM, 1996).



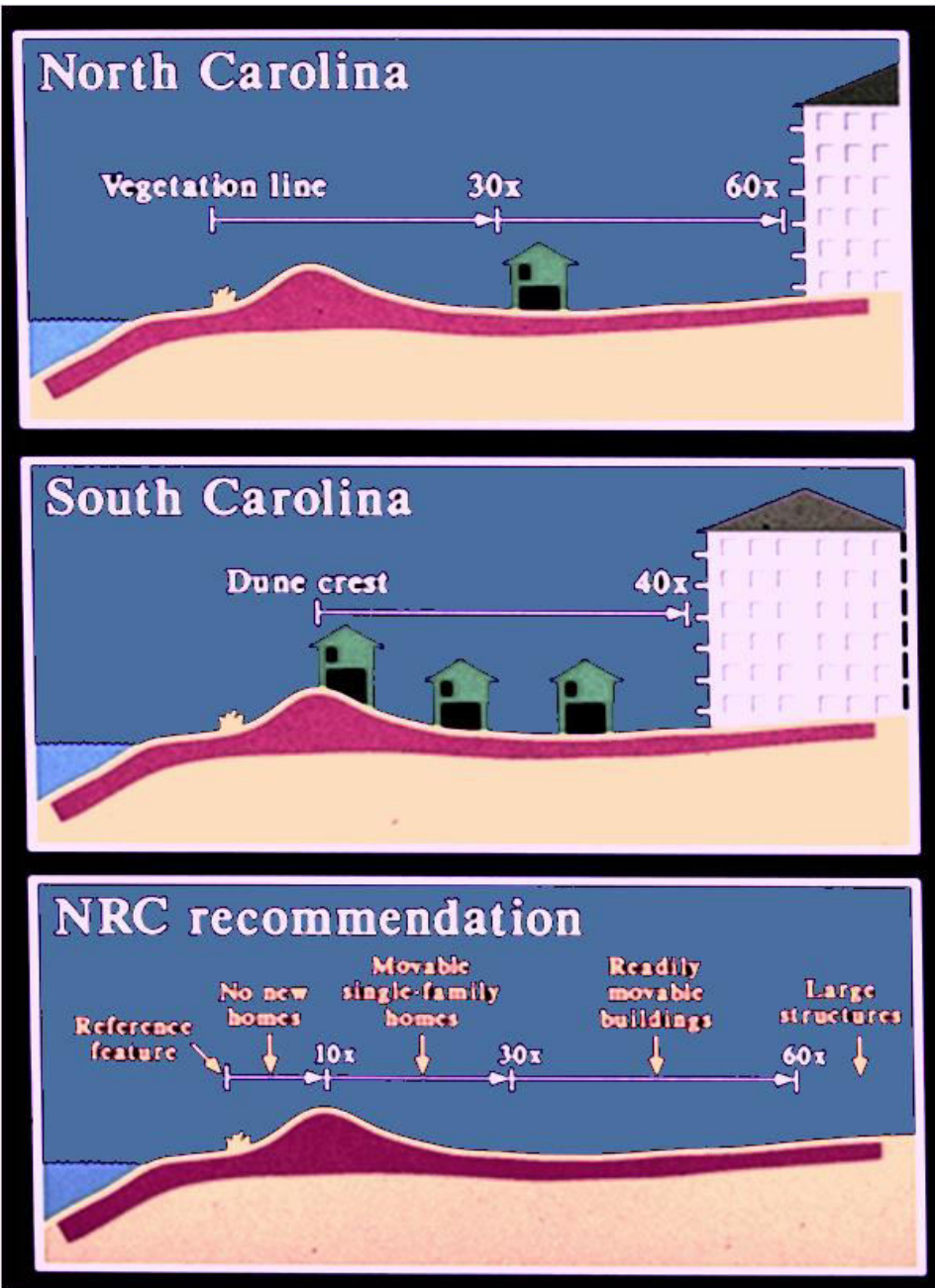
Σχήμα 11. 26 Coney Island, New York, U.S.A. Επανεγκατάσταση του Brighton Beach Hotel το οποίο μεταφέρθηκε 700 m όρος τα ενδότερα με την χρήση 6 ατμομηχανών το 1888. (Τροποποιημένο από SEPM, 1996).



Σχήμα 11.27 Cape Hatteras, North Carolina, USA. Ορίσθηκε Επιτροπή (από τις National Academy of Sciences και National Academy of Engineering) για να προτείνει το καλύτερο τρόπο για την σωτηρία του φάρου του Hatteras (Hatteras lighthouse). Η επιτροπή κατέληξε ότι η καλύτερη λύση είναι να το επαναγκαταστήσει στα ενδότερα. (Τροποποιημένο από SEPM, 1996).



Σχήμα 11.28 Μικρές οικοδομές μπορούν να μεταφερθούν και επανακτισθούν σχετικά εύκολα/οικονομικά (Τροποποιημένο από SEPM, 1996). . Δεν ισχύει το ίδιο και για τις μεγάλες οικοδομές (και ιδιαίτερα για τις αντισεισμικές οικοδομές της Ελλάδας) που απαιτούν μεγάλη προσπάθεια και υπέρογκα έξοδα.



Σχήμα 11.29 Οι κανονισμοί που ισχύουν στις Καρολίνες ΗΠΑ για την οικοδόμηση νέων παράκτιων κτιρίων. (Τροποποιημένο από SEPM, 1996).

«Σκληρά Μέτρα» προστασίας (hard structures)

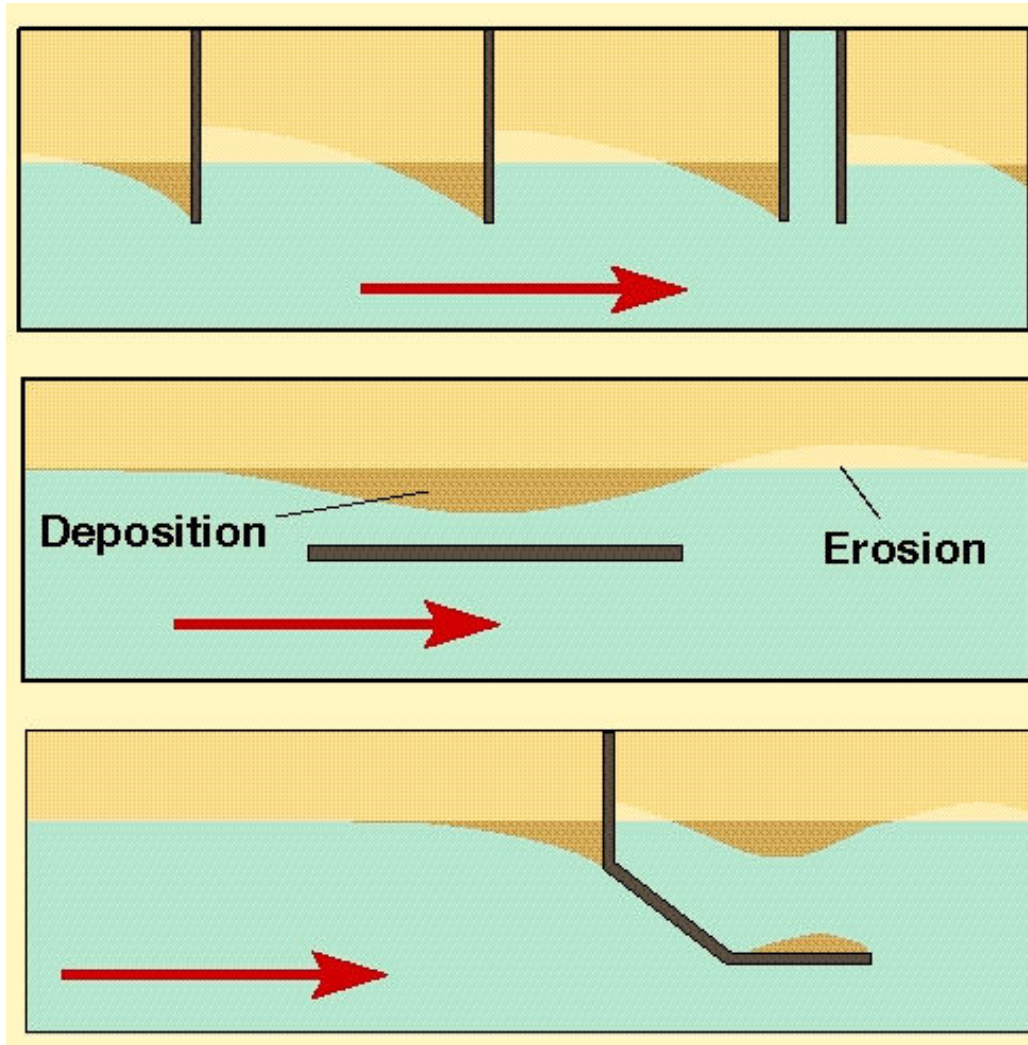
Σε πολλές περιπτώσεις τα σκληρά μέτρα παράκτιας προστασίας προτιμούνται από όλες τις άλλες επιλογές. Οι λόγοι πίσω από αυτήν την επιλογή δεν είναι πάντα ορθολογιστικοί, αν και σε αρκετές περιπτώσεις είναι η μόνη εφικτή λύση

Οι διάφορες σκληρές κατασκευές που θωρακίζουν την παραλία / ακτή είναι:

- Πρόβολοι και κυματοθραύστες (groynes and breakwaters)
- Παράκτιοι τοίχοι με ή χωρίς προστατευτικά πρηνή (seawalls with reventments or not)

Οι λύσεις που θα επιλεχθούν εξαρτώνται από τις τοπικές συνθήκες, την ικανότητα του μελετητή και οικονομικές / πολιτικές πιέσεις

Να θυμάστε όμως ότι όλες έχουν τόσο πλεονεκτήματα όσο και μειονεκτήματα



Σχήμα 11.30 Αποτελέσματα προβόλων/κυματοθραυστών ιζηματομεταφορά παράλληλα προς την ακτή (Τροποποιημένο από SEPM, 1996).

Hard Stabilization (Seawalls, etc.)

Advantages

- **Most dependable way to save beachfront property**

Disadvantages

- **Degrades the recreational beach**
- **Reduces beach access**
- **Costly**
- **Unsightly**

Σχήμα 11.31 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των διάφορων σκληρών μέτρων προστασίας (Τροποποιημένο από SEPM, 1996).

Πρόβολοι/κυματοθραύστες

Δομές κάθετες η απομακρυσμένες από την ακτή



Σχήμα 11.32 Sea Bright, New Jersey, U.S.A. Πρόβολοι κάθετοι στην ακτή. (Τροποποιημένο από SEPМ, 1996).



Σχήμα 11.33 N. Carolina coast. Το αποτέλεσμα των κάθετων προβόλων στην παγίδευση της ιζηματομεταφοράς παράλληλα προς την ακτή (Τροποποιημένο από SEPM, 1996).



Σχήμα 11.34 Βόρειο μέρος του Galveston Island, Texas, U.S.A. Πρόβολος από γρανίτη. (Τροποποιημένο από SEPM, 1996).



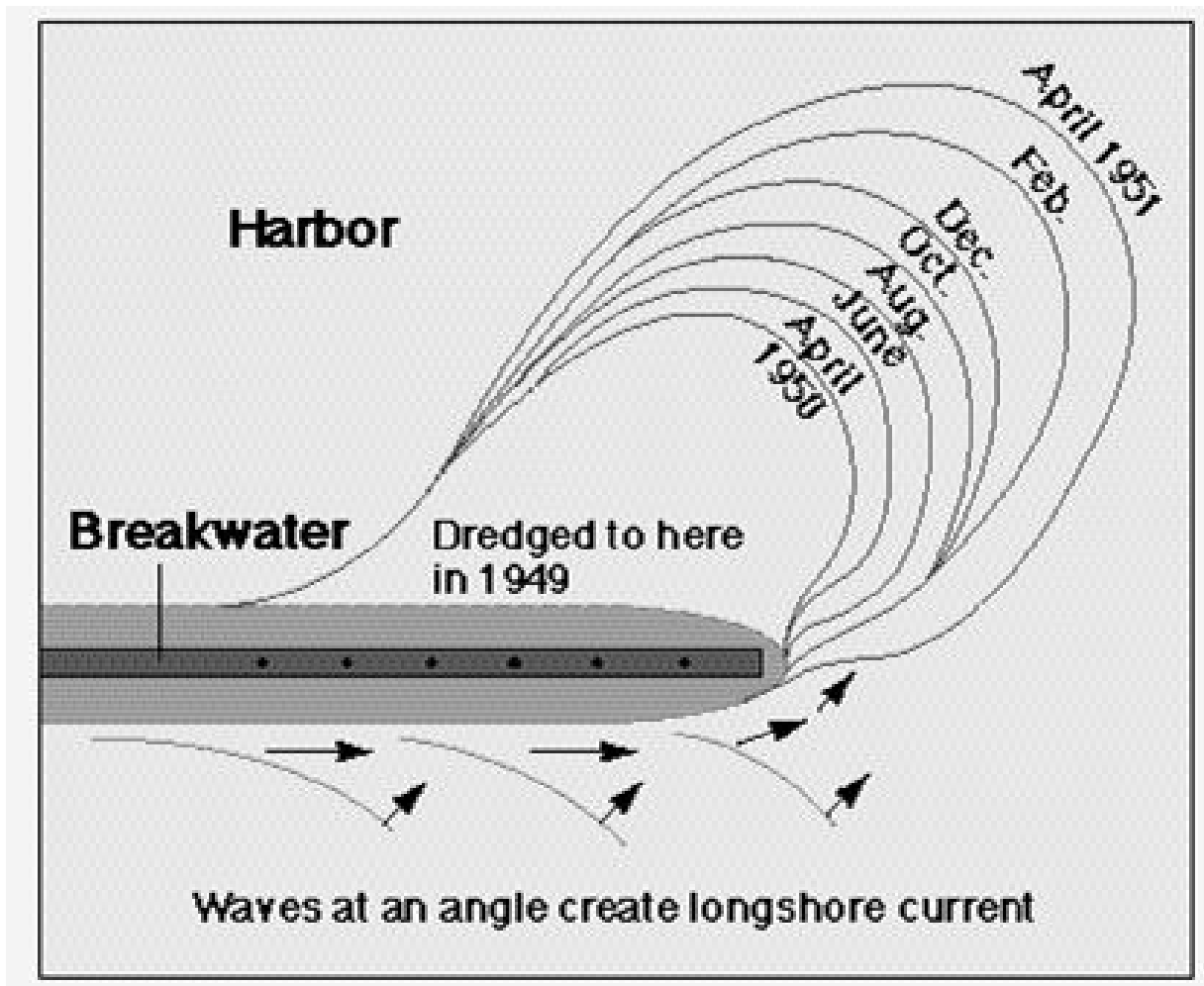
Σχήμα 11.35 Tamara Plage, Rabat, Morocco. Σήμερα οι σκληρές παράκτιες κατασκευές συνήθως κατασκευάζονται από τσιμεντένια τετράεδρα (concrete tetrahedra) τα οποία μπορούν να κλειδώσουν μεταξύ τους και να επιτραπούν κυματική τυρβώδη ροή ανάμεσα τους (σε αντίθεση με την ανάκλαση των συνεκτικών πρανών) με αποτέλεσμα την σχετική απόσβεση της κυματικής ενέργειας. (Τροποποιημένο από SEPM, 1996).



Σχήμα 11. 36 Κυματοθραύστες από τσιμεντένια τετράεδρα που δημιουργούν καταφύγιο σε βραχώδη ακτή. (Τροποποιημένο από SEPM, 1996).



Σχήμα 11.37 Νότια ακτή Σικελίας (Sicily). Αεροφωτογραφία που δείχνει καταφύγια κατασκευασμένα σε ακτές που δεν έχουν φυσικούς κόλπους. Αυτές οι κατασκευές χρειάζονται εξαιρετική μελετητική προσοχή και έχουν μεγάλο κόστος διατήρησης. (Τροποποιημένο από SEPM, 1996).



Σχήμα 11.38 Προβλήματα προσάμωσης σε κυματοθραύστες. (Τροποποιημένο από SEPM, 1996).



Σχήμα 11.39 Manasquan Inlet, New Jersey, U.S.A. Jetties για την σταθεροποίηση παλιρροιακών εισόδων. (Τροποποιημένο από SEPM, 1996).



Σχήμα 11.40 Redington Shores, Florida, US. Ο κυματοθραύστης κτίσθηκε το 1988 και έχει ήδη παγιδεύσει αρκετή άμμο με αποτέλεσμα να δημιουργεί διάβρωση στα κατάντη (downdrift). (Τροποποιημένο από SEPM, 1996).

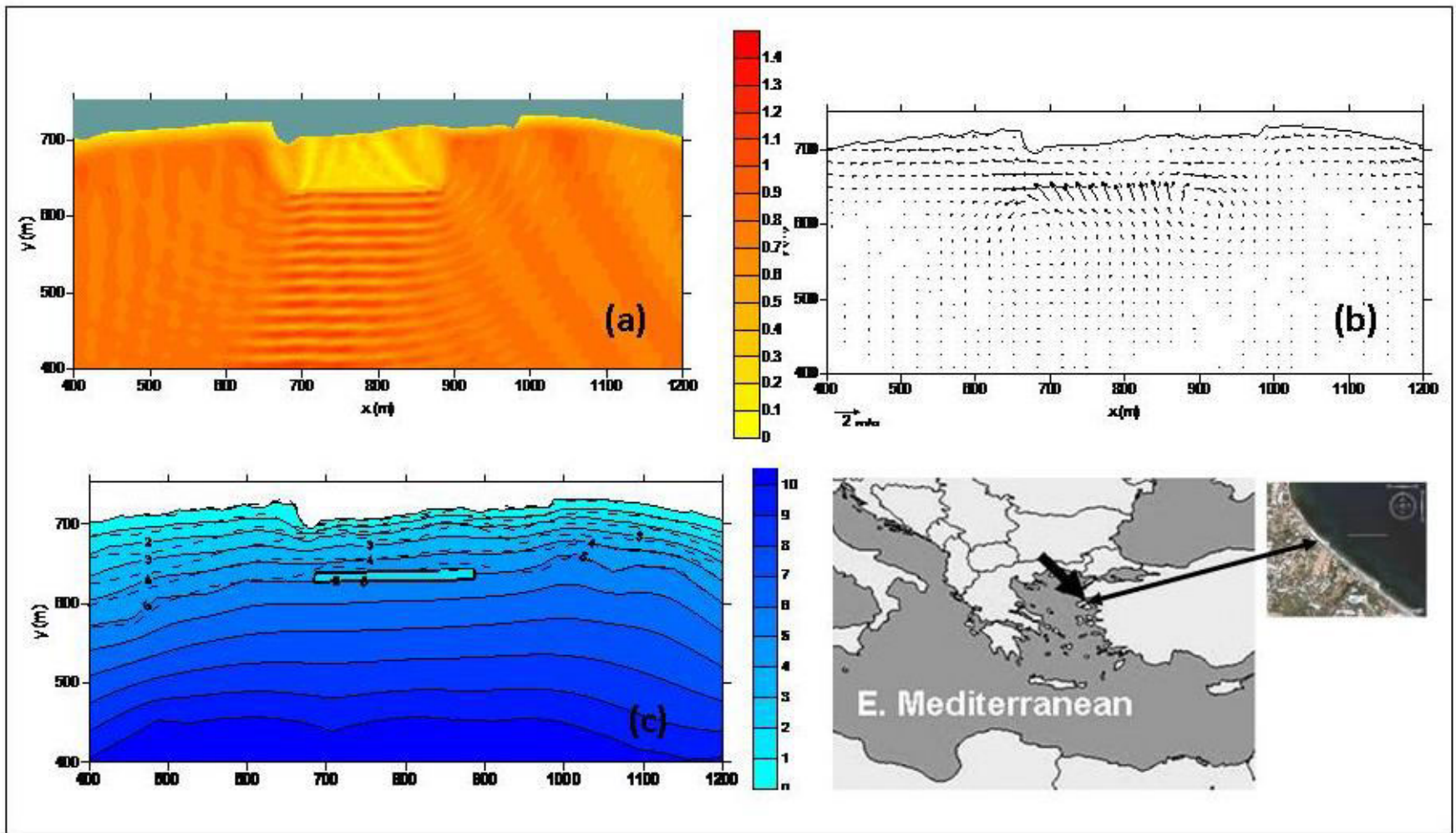


Fig. 11.41 Αποτελέσματα από 2-DH morphodynamic model αποτελέσματα από τη Λέσβο (East Aegean Sea, Greece) για τις μορφοδυναμικές επιπτώσεις από παράλληλο κυματοθραύστη. (a) Παράκτιο κυματικό ύψος (m) (b) Κυματογενή ρεύματα (c) Εξέλιξη μορφολογίας (solid line, initial bathymetry (isobaths); stippled line, final bathymetry (isobaths). Ισοδύναμα κύματα από A, NE, E and SE sectors) (Τροποποιημένο από Karambas et al., 2008).



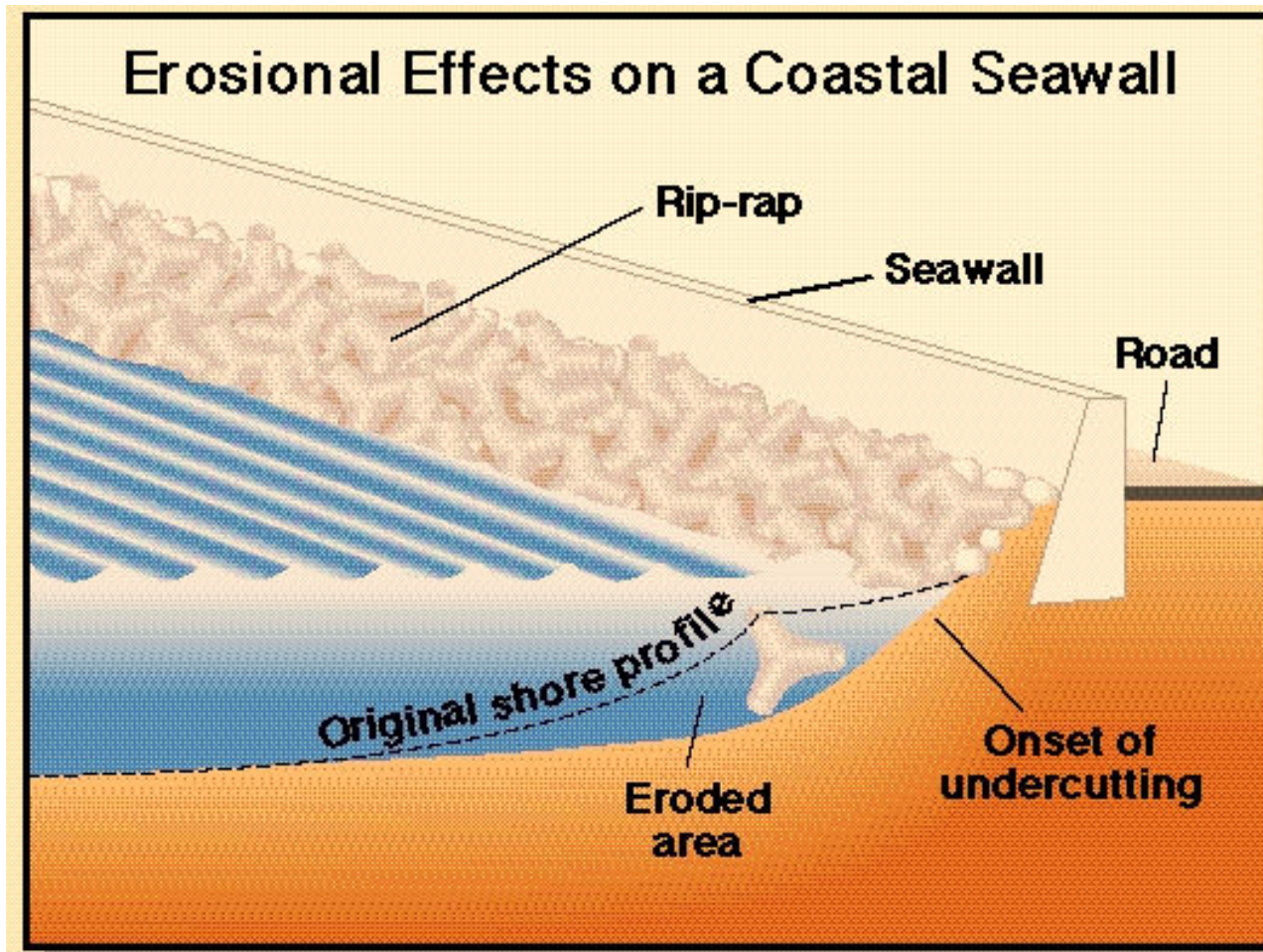
Σχήμα 11.42 Beachrock, Bahamas. Λιθοποιημένα παραλιακά ιζήματα, λόγω κατακρήμνισης ανθρακικού τσιμέντου. Φυσικό «σκληρό μέτρο» προστασίας??? (Τροποποιημένο από SEPM, 1996).

Οι παράκτιοι τοίχοι (sea walls)

Δομές παράλληλες στη παραλία



Σχήμα 11.43 South Mayaguez, Puerto Rico. Παράδειγμα ανορθολογιστικού, αντιαισθητικού μέτρου προστασίας (Τροποποιημένο από SEPM, 1996).



Σχήμα 11.44 Διάγραμμα που δείχνει τα διαβρωτικά αποτελέσματα ενός παράκτιου τοίχου. Τα κύματα ανακλούν στον τοίχο, δημιουργώντας ισχυρές τυρβώδεις ροές που απομακρύνουν την άμμο ή αλλά προστατευτικά υλικά εμπρός από τον τοίχο με αποτέλεσμα την υπόσκαψη του (Τροποποιημένο από SEPM, 1996).



Σχήμα 11.45 Vero Beach, Florida, U.S.A. Σκληρή προστασία με ανορθόδοξα υλικά.... (Τροποποιημένο από SEPМ, 1996).

Modes of Beach Destruction by Seawalls

Placement loss

- **Seawall is built on the recreational beach**

Passive degradation

- **Beach continues to retreat and narrows in front of the seawall**

Active degradation

- **Seawall directly causes erosion**

Σχήμα 11.46 Τα μειονεκτήματα των παράκτιων τοίχων



Σχήμα 11.47 Ακτή 80 km νότια του Tokyo, Japan. Οι Ιάπωνες χρησιμοποιούν κατά κόρον τέτοιου είδους δομές. Μην ξεχνάτε όμως ότι έχουν μεγάλους πληθυσμούς και μικρές εκτάσεις. (Τροποποιημένο από SEPM, 1996).

Μειονεκτήματα

Τα κυριότερα μειονεκτήματα των σκληρών μέτρων προστασίας, εκτός από τα μεγάλα οικονομικά έξοδα είναι:

Οι πρόβολοι αν και μπορούν να δημιουργήσουν παραλίες στα ανάντη είναι βέβαιοι ότι θα έχουν σαν αποτέλεσμα διάβρωση στα κατόντη. Αυτό πρέπει πάντοτε να λαμβάνεται υπόψη σε αυτού του είδους τις κατασκευές.

Αισθητικά μειονεκτήματα και μηχανικά μειονεκτήματα αφού οι τοίχοι θα έχουν σαν αποτέλεσμα την μείωση του εύρους της παραλίας καθώς δεν θα μπορεί η ακτή να οπισθοχωρήσει (passive beach degradation) ή μπορούν ακόμα να επιφέρουν οι ίδιοι αυξημένη διάβρωση (active degradation).

Τα διαβρωτικά αποτελέσματα των παρακτίων τοίχων οφείλονται κυρίως στην ανάκλαση των κυμάτων με την ταυτόχρονη δημιουργία μεγάλων τυρβωδών ροών που απομακρύνουν την άμμο ή αλλά προστατευτικά υλικά εμπρός από τον τοίχο και τον υποσκάπτουν (active degradation).

Εμπλουτισμός Ακτής (beach nourishment ή replenishment)

Ο εμπλουτισμός παραλίας αναφέρεται στην τοποθέτηση μεγάλων ποσοτήτων χαλαρών υλικών (άμμου ή χαλικιών) στην παραλία με σκοπό

(α) την δημιουργία καλύτερης ψυχαγωγικής ακτής και

(β) την προστασία της ενδοχώρας, λόγω της απορρόφησης της κυματικής ενέργειας από την παραλία.

Η επιλογή αυτή θεωρείται μαλακή (soft) και έχει αρκετά πλεονεκτήματα (αισθητικά και μηχανικά). Είναι όμως ακριβή λύση και χρειάζεται μεγάλη προσοχή στην σχεδίαση/πραγματοποίηση της, αφού η πράξη έχει δείξει ότι πολλά προγράμματα κατέληξαν σε παταγώδη αποτυχία.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι περισσότεροι εμπλουτισμοί ακτής χρειάζονται περιοδικά επανεμπλουτισμό. Έτσι, η επιλογή αυτή μπορεί να είναι πολύ ακριβή.

Τα καλύτερα από αισθητική και ουσιαστική άποψη υλικά για αναπλήρωση προέρχονται από την θάλασσα (marine aggregates). Πρέπει όμως να εξαχθούν πέρα από (τουλάχιστον) το βάθος κλεισίματος (closure depth, βλ. Κεφ. 8), αλλιώς η εξαγωγή θα δημιουργήσει προβλήματα.

Εμπλουτισμός Ακτής (συν.)

Ο εμπλουτισμός τη ακτής χρειάζεται εμπειριστατωμένες μελέτες, που θα βασίζονται σε καλά (και μερικές φορές μακροχρόνια) δεδομένα πεδίου (κυματικές, μορφολογικές και ιζηματολογικές χρονοσειρές) και καλοφτιαγμένα μοντέλα προσομοίωσης.

Πέρα από τη προσοχή στη μελετητική./κατασκευαστική φάση, χρειάζεται επίσης και παρακολούθηση (monitoring) μετά το πέρας του έργου.

Απαιτείται επιλογή κατάλληλων υλικών (αισθητικά και μηχανικά δηλ. σε σχέση με το μέγεθος, πυκνότητα και διαβάθμιση).

Αν π.χ. Τα ιζήματα έχουν μικρότερο μέγεθος η πυκνότητα από αυτήν που χρειάζεται για την παραμονή τους στην ακτή θα χαθούν γρήγορα.

Αν η διαβάθμιση δεν είναι καλή, μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την διείσδυση (percolation) στην ζώνη διαβροχής με αποτέλεσμα παραλιακή διάβρωση.

Εμπλουτισμός Ακτής (συν.)

Μην ξεχνάτε ότι ο εμπλουτισμός των ακτών μπορεί να αλλάξει το σχήμα (planform) τους (βλ. Κεφ. 9 και 10).

Έτσι μια φυσική εξέλιξη θα είναι η διασπορά των νέων ιζημάτων όχι μόνον κάθετα αλλά και παράλληλα προς την ακτή, έτσι ώστε το 'σχήμα ισορροπίας' να αποκατασταθεί.

Έτσι χρειάζεται προσεκτικός καθορισμός της έκτασης της ακτής αναπλήρωσης. Ισχύει (Komar, 1998)

$$t_p = f(\lambda^2, 1/H^{5/2})$$

όπου t_p είναι ο χρόνος που χρειάζεται για την μεταφορά του νέου ιζήματος έξω από την περιοχή εμπλουτισμού, λ είναι το μήκος της ακτής εμπλουτισμού και H είναι το ύψος κύματος.



Σχήμα 11.48 Miami Beach, Florida, US.
Αεροφωτογραφία της παραλίας του
Μιαμι στις αρχές των 1970's.
(Τροποποιημένο από SEPM, 1996).



Σχήμα 11.49 Η παραλία του Μαϊάμι (Φλόριντα) πριν την αναπλήρωση της με άμμο (1970's). Προσέξτε πόσο κοντά βρίσκεται η θάλασσα στα ξενοδοχεία. (Από SEPM, 1996). Μια από τις αιτίες της διάβρωσης ήταν ο θαλάσσιος τοίχος που τοποθετήθηκε πολύ κοντά στην ακτογραμμή (Τροποποιημένο από SEPM, 1996).



Σχήμα 11.50 Η παραλία του Μαϊάμι (Φλόριντα) μετά την αναπλήρωση της με άμμο (1981). Μέγεθος του έργου:16 km, κόστος: \$60 million Ανάδοχος: U.S Army Corps of Engineers. (Τροποποιημένο από SEPM, 1996).



Σχήμα 11.51 Miami Beach, Florida, U.S.A. Αεροφωτογραφία της παραλίας του Miami (Miami Beach) την 26 Αυγούστου 1992, μετά από τον νέο εμπλουτισμό της με marine aggregates. (Τροποποιημένο από SEPM, 1996).



Σχήμα 11.52 Long Beach Island, New Jersey, U.S.A. Εμπλουτισμός ακτής με nearshore (λάθος?) marine aggregates. (Τροποποιημένο από SEPM, 1996).



Σχήμα 11.53 Indian Shores, St. Petersburg, Florida. Αεροφωτογραφία που δείχνει μεγάλο έργο εμπλουτισμού ακτής με marine aggregates. (Τροποποιημένο από SEPM, 1996).



Σχήμα 11.54 North Topsail Beach, North Carolina, U.S.A. Αποκατάσταση αμμοθινών. (Τροποποιημένο από SEPM, 1996).



Σχήμα 11.55 Carolina Beach, North Carolina, US (4/1986). Το αποτέλεσμα ενός μεγάλου προγράμματος εμπλουτισμού (1985). (Τροποποιημένο από SEPM, 1996).

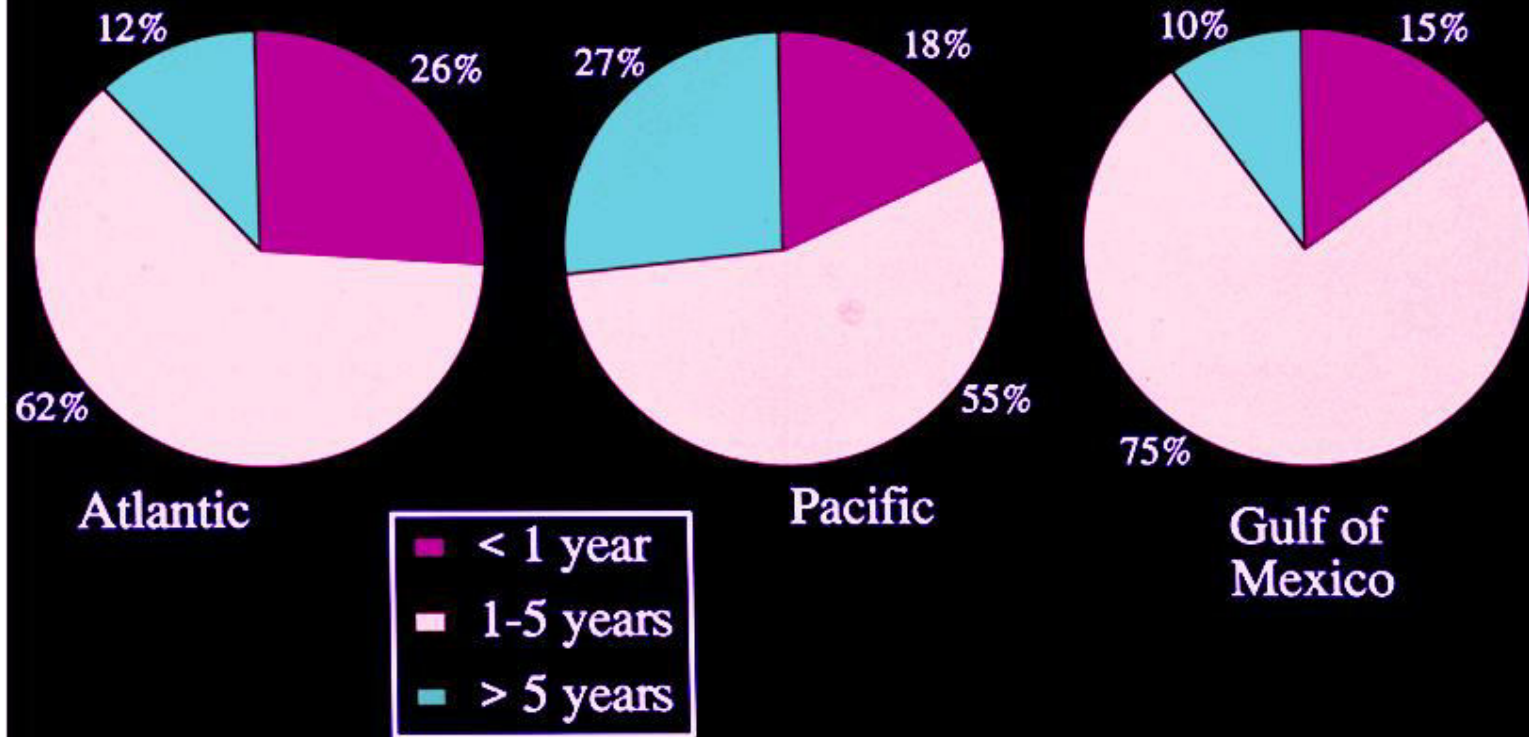


Σχήμα 11.56 Carolina Beach, North Carolina (10/1987). (Τροποποιημένο από SEPM, 1996).



Σχήμα 11.57. Carolina Beach, North Carolina (4/1988). Επαναμπλουτισμός.
(Τροποποιημένο από SEPM, 1996).

U.S. Beach Replenishment Project Durability



Σχήμα 11.58. Διάρκεια ζωής των έργων αναπλήρωσης ακτών στις Ηνωμένες Πολιτείες (Τροποποιημένο από SEPM, 1996). Υπολογίστε ότι μιλάμε για έργα, που το συνολικό τους κόστος μπορεί να φθάνει τα δισεκατομμύρια \$).