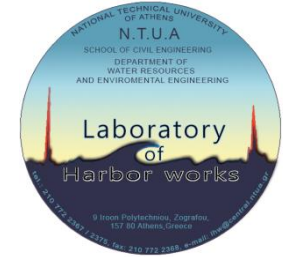




**Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο**  
**Σχολή Πολιτικών Μηχανικών**  
**Εργαστήριο Λιμενικών Έργων**



# Οι συνέπειες της κλιματικής αλλαγής στο σχεδιασμό των παράκτιων έργων Πρόβλεψη και Αντιμετώπιση

**Βασιλική Τσουκαλά**

Αν. Καθηγήτρια Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ

Δ/ντρια Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων







18.05.2013

















# Η κλιματική αλλαγή

- ❁ Η κλιματική αλλαγή είναι γεγονός και παρατηρούνται ήδη:
  - ❁ αύξηση της θερμοκρασίας
  - ❁ άνοδος της Μέσης Στάθμης της Θάλασσας
  - ❁ αύξηση των ακραίων φαινομένων ως προς την ένταση και τη συχνότητα εμφάνισης
  - ❁ πλημμύρες σε παράκτιες περιοχές
  - ❁ υπερχείλιση ποταμών
  - ❁ ανεμοθύελλες

- ❁ Η **ανθρώπινη δραστηριότητα** αναγνωρίζεται ως ο κύριος παράγοντας πρόκλησης της κλιματικής αλλαγής, **ωστόσο ο άνθρωπος είναι και ο τελικός αποδέκτης των επιπτώσεων!**





# Πρόβλεψη της κλιματικής αλλαγής

- ☀ Η πρόγνωση του μελλοντικού κλίματος είναι το πλέον αναγκαία, αν και οι δυνατότητες περιορίζονται στις σχετικές προβλέψεις που προέρχονται από τη χρήση των **κλιματικών μοντέλων** για τα διάφορα **σενάρια εκπομπών**.
- ☀ Από τη χρήση των κλιματικών μοντέλων προκύπτουν χρήσιμα στοιχεία σχετικά με :
  - ✓ την αναμενόμενη άνοδο της **M.S.T.**
  - ✓ το σημαντικό ύψος κύματος **H<sub>s</sub>**, κλπ.
- ☀ Σημαντική θέση στο εγχείρημα της πρόβλεψης του κλίματος στο μέλλον, έχει ο παράγοντας της αβεβαιότητας ως προς:
  - ✓ τον τοποχρονικό προσδιορισμό και την ένταση των προβλεπόμενων ακραίων φαινομένων,
  - ✓ την επιλογή του καταλληλότερου κλιματικού μοντέλου και τη δυνατότητα αξιόπιστης πρόγνωσης του κλίματος με χρήση κλιματικών μοντέλων,
  - ✓ την συσχέτιση της κλιματικής αλλαγής με την ανθρώπινη δραστηριότητα και τη συγκέντρωση των αερίων του θερμοκηπίου.

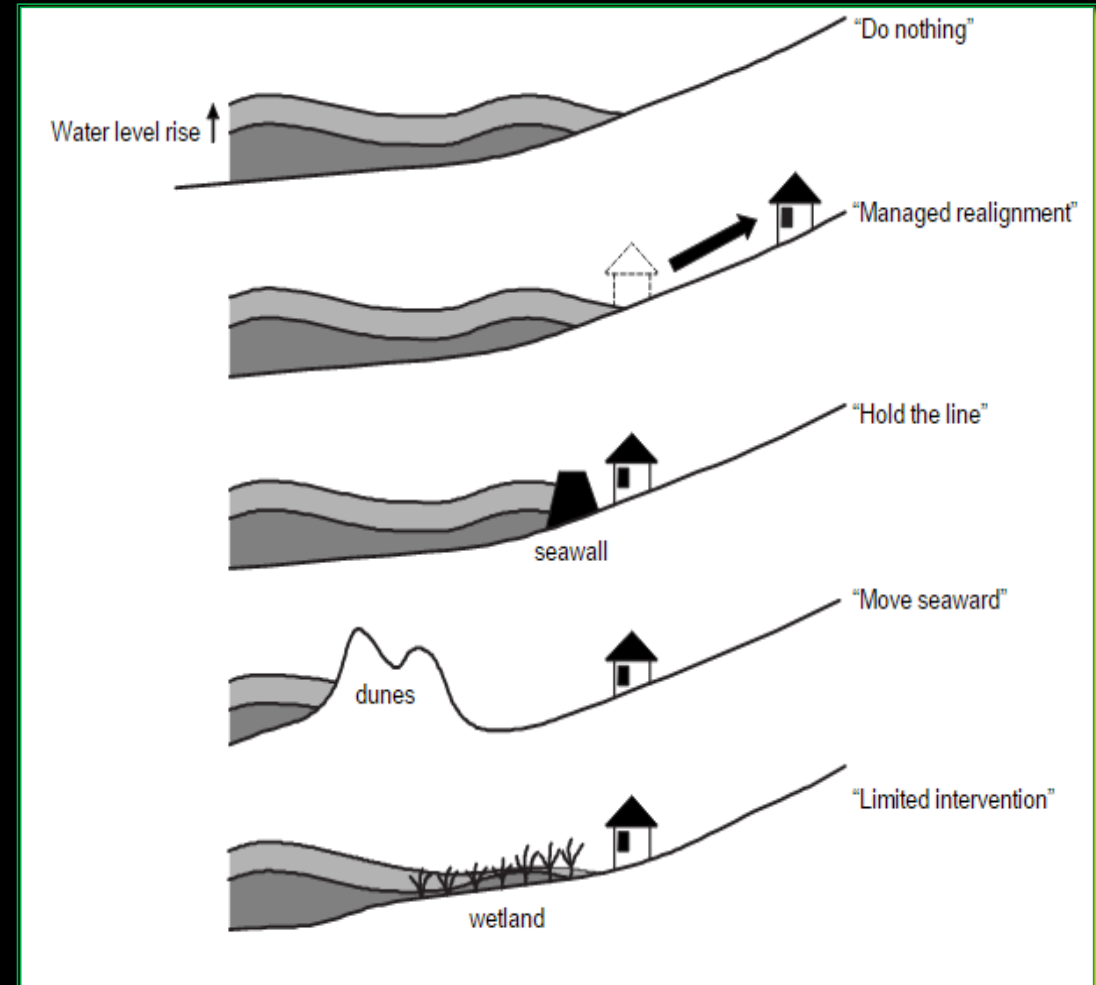


# Υφιστάμενη έρευνα και γενικές στρατηγικές

Στόχος δεν είναι απλώς η αντιμετώπιση ενός καταστροφικού γεγονότος, αλλά η εκ των προτέρων προσαρμογή της παράκτιας ζώνης στην κλιματική αλλαγή,

Όστε να :

- ➔ μετριάζονται οι αρνητικές συνέπειες
- ➔ μειώνεται η τρωτότητα των περιοχών που εκτίθενται στον κίνδυνο διάβρωσης και κατάκλυσης.





# Η παράκτια ζώνη και η διάβρωση

- ❁ Οι παράκτιες περιοχές αποτελούν **μεγάλες οικιστικές ζώνες** και αποτελούν **ζωτικό ρόλο στην οικονομία** πολλών κρατών.
- ❁ Παράλληλα είναι οι πλέον **εκτεθειμένες στην κλιματική αλλαγή** και συνεπώς η προστασία τους κρίνεται επιτακτική.
- ❁ Ωστόσο, η παράκτια διάβρωση δεν αποτελεί απλώς την εξέλιξη ενός φυσικού φαινομένου, αλλά επηρεάζεται ή και προκαλείται από πλήθος παραγόντων, οι οποίοι ενδεχομένως αλληλοεπηρεάζονται.

## Φυσικοί παράγοντες

- ✓ κύματα
- ✓ άνεμος
- ✓ παλίρροιες
- ✓ ρεύματα κοντά στις ακτές
- ✓ θύελλες
- ✓ άνοδος της Μ.Σ.Θ.
- ✓ διεργασίες στις πλαγιές
- ✓ συμπύκνωση του εδάφους

## Ανθρωπογενείς παράγοντες

- ✓ σκληρά μέτρα προστασίας
- ✓ εγγειοβελτιωτικά έργα
- ✓ έργα διευθέτησης των ποταμών
- ✓ βυθοκορήσεις
- ✓ καθαρισμός της βλάστησης
- ✓ εξόρυξη φυσικού αερίου και νερού
- ✓ κύματα που προκαλούνται από τα πλοία



# Επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής στην παράκτια ζώνη

- ✿ Οι παράκτιες περιοχές εκτίθενται σε κίνδυνο λόγω
  - ⦿ αύξησης της συχνότητας εμφάνισης των καταιγίδων
  - ⦿ ανόδου της Μ.Σ.Θ.
- ✿ Μεταβολές στη συχνότητα των ανέμων και των καταιγίδων, αλλά και του Ηs οδηγούν σε:
  - ⦿ μορφοδυναμικές αλλαγές στην παράκτια ζώνη
  - ⦿ διάβρωση των ακτών και των αμμολόφων,
  - ⦿ πλημμύρα των χαμηλότερων περιοχών

ο κίνδυνος αναμένεται **διαρκώς αυξανόμενος** με τη μεγαλύτερη αύξηση το δεύτερο μισό του αιώνα που διατρέχουμε.

- ✿ Σαφώς, η αναβάθμιση των αμυντικών μηχανισμών, η λήψη σχετικών μέτρων προστασίας και η υιοθέτηση προτεινόμενων στρατηγικών, θα μπορούσαν να μετριάσουν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.

# Κύριες κλιματικές μεταβλητές με επιπτώσεις στην παράκτια ζώνη

Κλιματικές μεταβλητές	Αναμενόμενες αλλαγές μέχρι το 2100	Επιπτώσεις στην παράκτια ζώνη
<b>ΜΕΣΗ ΣΤΑΘΜΗ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ</b>	<p>Προβλέπεται άνοδος της μέσης στάθμης της θάλασσας της τάξεως των 0.2 – 0.85 cm παγκοσμίως μέχρι το 2100, ανεξάρτητα της ενεργούς τεκτονικής κάθε περιοχής και τη λιθολογική της σύσταση.</p>	<p>Προκαλεί διάβρωση της παράκτιας ζώνης με μεγάλη πιθανότητα πλημμύρας. Η διάβρωση είναι πιο έντονη σε μαλακά αργιλικά εδάφη και σε δέλτα ποταμών, σε αντίθεση με τα ασβεστολιθικά εδάφη που είναι πιο σκληρά.</p>



# Κύριες κλιματικές μεταβλητές με επιπτώσεις στην παράκτια ζώνη

Κλιματικές μεταβλητές	Αναμενόμενες αλλαγές μέχρι το 2100	Επιπτώσεις στην παράκτια ζώνη
<b>ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑ</b>	<p>Χαμηλή βεβαιότητα στις προβλέψεις λόγω της έλλειψης στοιχείων, διότι είναι συνδυασμός πολλών παραγόντων, κυρίως της πίεσης και των ανέμων. Επομένως, η δράση της ακολουθεί τις προβλέψεις των χαρακτηριστικών των κυμάτων (προβλέπεται άνοδος κατά 40% του Hs), της άνοδου της θερμοκρασίας και των προβλέψεων των ανέμων.</p>	<p>Οι επιπτώσεις στην παράκτια ζώνη κυμαίνονται από μικρές έως ολέθριες, ειδικά όταν η μετεωρολογική παλίρροια συνδυάζεται με την αστρονομική. Μπορεί να προκαλέσει τροποποίηση της μορφολογίας του εδάφους, είτε με τοποθέτηση ή απομάκρυνση του ιζήματος. Επίσης, μπορεί να προκαλέσει αλλοίωση του παράκτιου περιβάλλοντος και σε ακραίες περιπτώσεις καταστροφή καλλιεργειών, δασών ή και οικοτόπων.</p>
<b>ΑΝΕΜΟΙ</b>	<p>Χαμηλή βεβαιότητα στις προβλέψεις λόγω της έλλειψης στοιχείων (εξαιρούνται οι άνεμοι που σχετίζονται με τους τροπικούς κυκλώνες).</p>	<p>Σε συνδυασμό με την άνοδο της Μ.Σ.Θ και της μετεωρολογικής παλίρροιας, ευθύνονται για τη δημιουργία μεγάλων κυμάτων που έχουν ολέθριες επιπτώσεις για την παράκτια ζώνη.</p>

# Μέτρα προστασίας

Στη διάθεση των υπευθύνων για την εύρεση λύσης για την προστασία της παράκτιας ζώνης βρίσκονται:

## Συμβατικά έργα προστασίας

- θωράκιση μετώπου ακτής
- φυσικοί αναβαθμοί και κυματοθραύστες
- έργα κάθετα στην ακτή



## Ήπια μέτρα προστασίας

- τεχνητός εμπλουτισμός των ακτών
- τεχνητή φυτοκάλυψη παράκτιας ζώνης
- τεχνητοί ύφαλοι
- πλωτοί κυματοθραύστες









2004



2006





# Μέτρα προστασίας

Το ζητούμενο είναι σε κάθε περίπτωση να επιλεγούν τα **κατάλληλα μέτρα** ώστε η λύση

- ✿ να είναι **άμεση** και να αντιμετωπιστεί ένας επικείμενος κίνδυνος,
- ✿ να είναι **αποτελεσματική για μεγάλο χρονικό διάστημα**,
- ✿ να είναι **ουσιαστική** και να μη μεταφέρει το πρόβλημα σε γειτονική περιοχή.

# Μέτρα προστασίας

## Δράση των κυβερνήσεων

Το φαινόμενο της διάβρωσης πρέπει να αντιμετωπιστεί σε τοπικό, περιφερειακό, εθνικό και διεθνές επίπεδο, ώστε μέσω μιας διασυνοριακής συνεργασίας, να ακολουθηθεί μια κοινή στρατηγική αλλά και πολιτική που να οδηγεί στην αναχαίτιση του προβλήματος.

## Διερεύνηση

Επιβάλλεται ο εντοπισμός και η διερεύνηση των περιοχών που χρήζουν άμεσης προστασίας από τη διάβρωση και ο καθορισμός του κινδύνου ως προς την έκταση και το ρυθμό διάβρωσης. Ακόμη, οι περιοχές που πλήττονται από τη διάβρωση αλλά και η αποτελεσματικότητα των μέτρων προστασίας, πρέπει να παρακολουθούνται και σε περίπτωση αναποτελεσματικότητάς τους να αντικαθίστανται από άλλα μέτρα.



# Μέτρα προστασίας

## Προγράμματα Ευαισθητοποίησης

Η ευαισθητοποίηση των πολιτών για τις δυνητικές επιπτώσεις της ανόδου της στάθμης της θάλασσας, λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου, σε συνδυασμό με την παροχή κινήτρων από τις κυβερνήσεις για τη χάραξη αναχαιτιστικής πολιτικής, αποτελεί σημαντικό μέτρο προστασίας.

## Απαγόρευση της Δόμησης στις παράκτιες ζώνες

Επιπρόσθετα, πρέπει να απαγορευτεί η δόμηση, σε περιοχές που είναι ευαίσθητες σε διάβρωση ή ευπαθείς σε πλημμύρες και να παραχωρηθούν κίνητρα στους πολίτες για τη μεταφορά των ιδιοκτησιών τους μακριά από τις ακτές

# Μέτρα προστασίας

## Μελέτη Εκτίμησης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων

Η υποχρεωτική εκπόνηση περιβαλλοντικής μελέτης για της συνέπειες της κατασκευής έργων στις παράκτιες ζώνες, συμβάλλει στον εντοπισμό και στην αντιμετώπιση φαινομένων όπως η διάβρωση και θα πρέπει να περιλαμβάνει τις ανησυχίες για διάβρωση των ακτών.

## Απόδοση ευθύνης και αποκατάσταση ζημιών

Η ευθύνη για την αποκατάσταση των ζημιών αλλά και για την αντιμετώπιση πιθανών κινδύνων εξαιτίας της διάβρωσης των ακτών, πρέπει να μετατοπιστεί στους κατασκευαστές τεχνικών έργων, αλλά και στους δικαιούχους και στους επενδυτές, έτσι ώστε να τους αναπτυχθεί μεγαλύτερο αίσθημα υπευθυνότητας.



# Μελέτη Περίπτωσης: Κυματοθραύστης λιμένα Ρεθύμνου -1



Βρίσκεται στη Βόρεια ακτή της Κρήτης

- Πληθυσμός 32.468 κατ.
- ~ 8.0 km ακτογραμμή

Διοικητικό, εμπορικό και συγκοινωνιακό κέντρο του Ν. Ρεθύμνης

Σημαντικός τουριστικός προορισμός με πλήθος δραστηριοτήτων γύρω από το λιμάνι



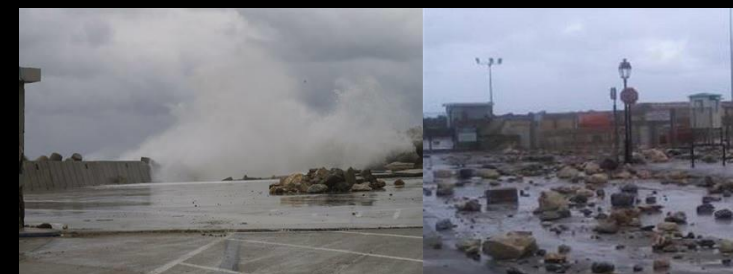
# Μελέτη Περίπτωσης: Κυματοθραύστης λιμένα Ρεθύμνου -2

Αντιμετωπίζει ήδη

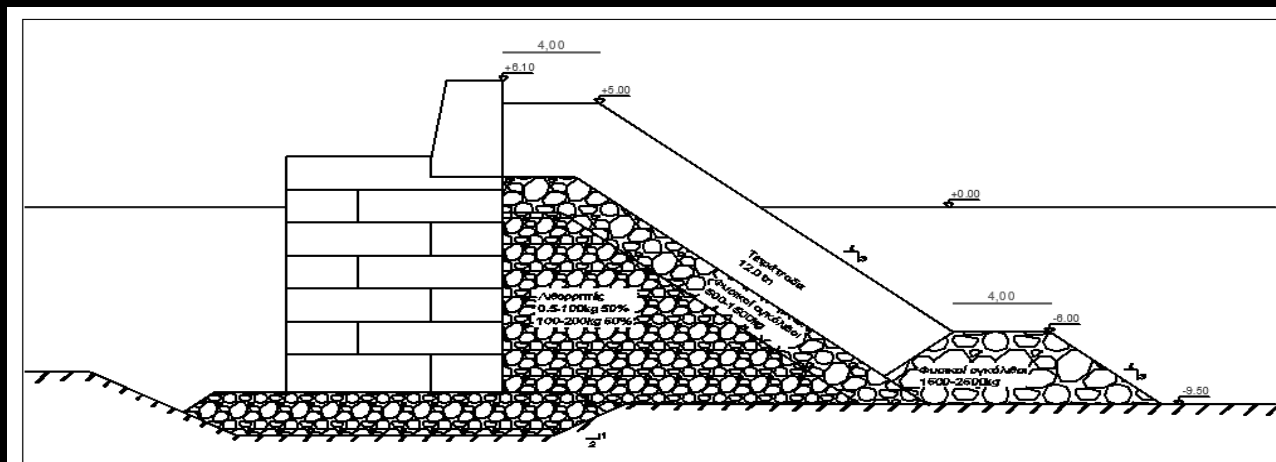
προβλήματα παράκτιας πλημμύρας

- ✓ Ισχυροί Βόρειοι άνεμοι δημιουργούν μεγάλο κυματισμό και η ευρύτερη περιοχή του λιμένα πλήττεται με έντονα πλημμυρικά φαινόμενα, τα οποία εντείνονται λόγω της κλιματικής αλλαγής.
- ✓ Η κυματική υπερπήδηση κατά μήκος του κυματοθραύστη είναι σύνηθες φαινόμενο, όπως και οι καταστροφές που συνεπάγεται.

Η ασφάλεια και η επάρκεια του κυματοθραύστη είναι κρίσιμη τόσο για την ίδια την κατασκευή όσο και για τις περιουσίες, τον πληθυσμό και τις δραστηριότητές του.



# Έλεγχος υφιστάμενου κυματοθραύστη -1

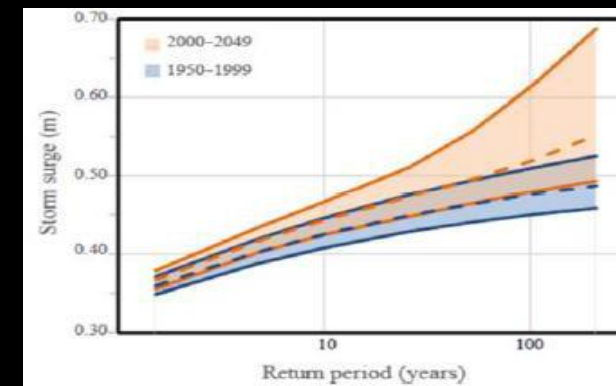
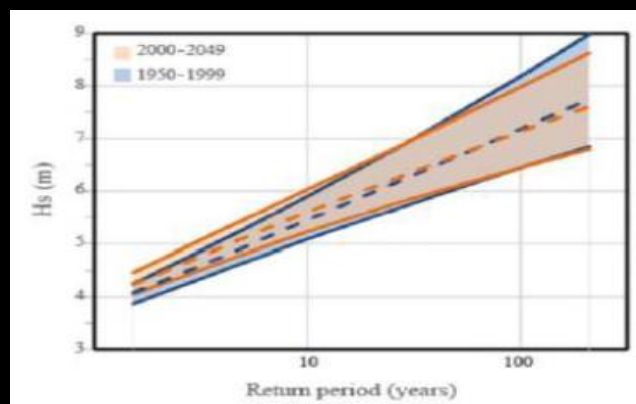
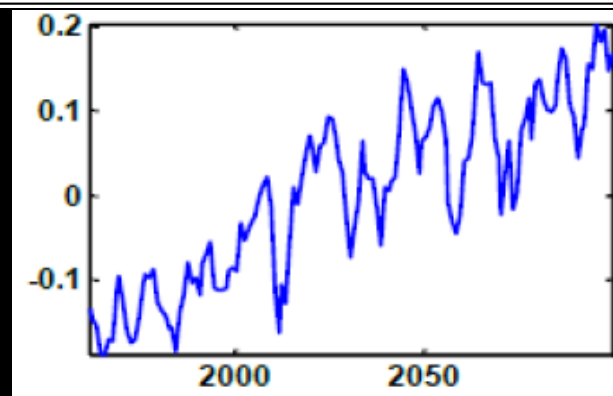


Έλεγχοι :

1. παρούσες συνθήκες

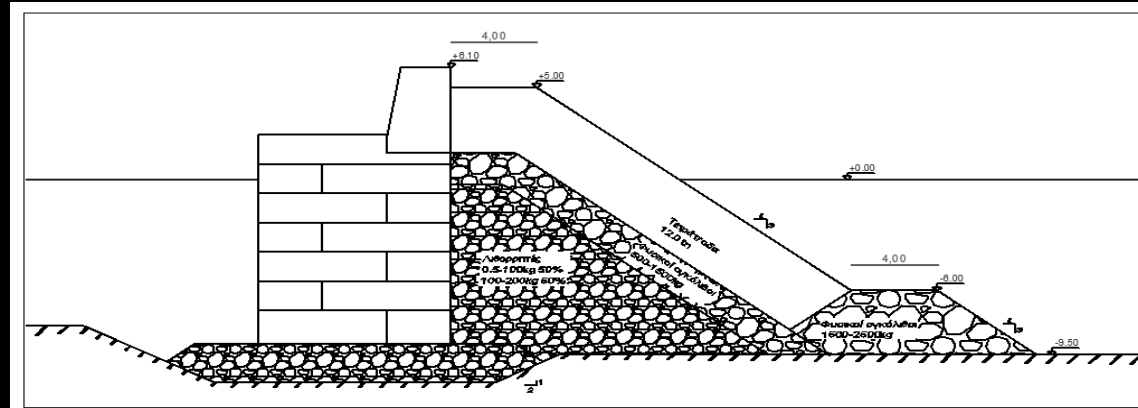
2. 2050 και συγκεκριμένα :

- ✓ για άνοδο ΜΣΘ +0.20 m
- ✓ καμία μεταβολή στο  $H_s$





# Έλεγχος υφιστάμενου κυματοθραύστη -2



Προκύπτει ότι:

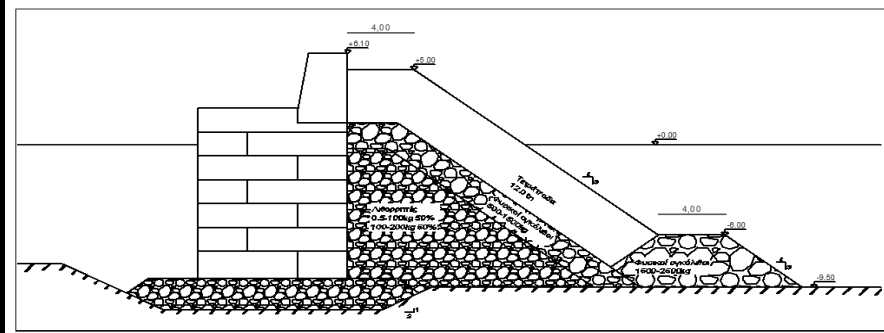
η **μέση παροχή κυματικής υπερπήδησης** θα αυξηθεί σημαντικά αφού το έξαλο τμήμα του κυματοθραύστη μειώνεται εξαιτίας της ανόδου της ΜΣΘ



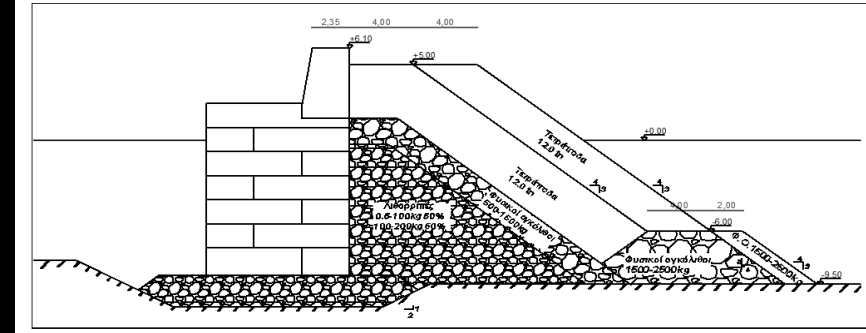
**Συνίσταται η αναβάθμιση της διατομής**

# Εναλλακτικές προτάσεις αναβάθμισης κυματοθραύστη -1

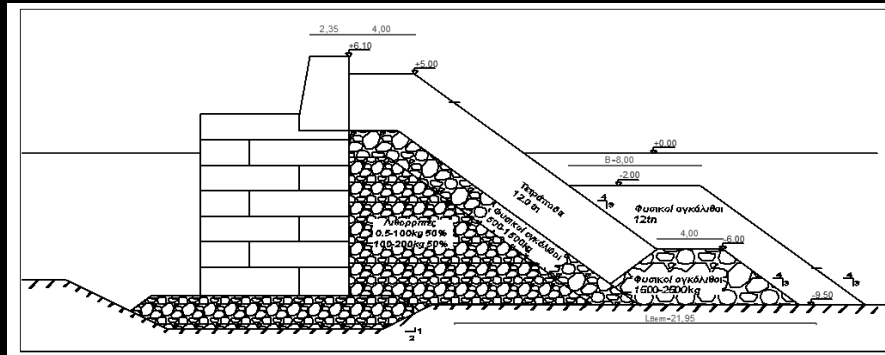
Α. Υφιστάμενος κυματοθραύστης



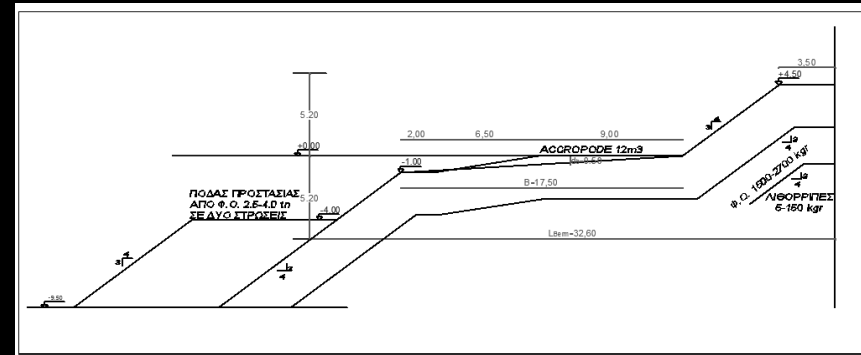
Β. Προσθήκη στρώσης ογκολίθων θωράκισης



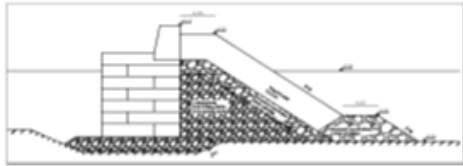
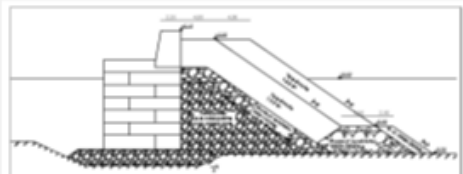
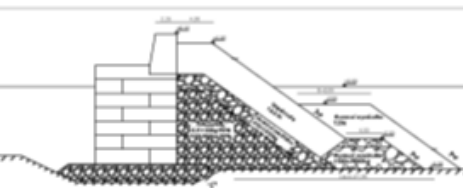
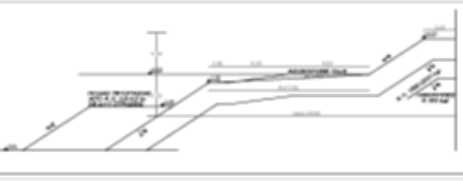
Γ. Προσθήκη αναβαθμού ανάντη



Δ. Προτεινόμενη αναβάθμιση Δημ. Λιμενικού Ταμείου Ρεθύμνου, 2015



# Εναλλακτικές προτάσεις αναβάθμισης κυματοθραύστη -2

Διατομές	Ευστάθεια θωράκισης $K_d$		Ευστάθεια πόδα $N_{od}$		Κυματική υπερπήδηση $q$ (l/s/m)		Κόστος (€/m)	
	Μελέτη	2050	Μελέτη	2050	Μελέτη	2050		
A. Υφιστάμενος κυματοθραύστης		8.74	8.74	2.76	2.47	5.914	7.465	
B. Προσθήκη ογκολίθων θωράκισης		8.74	8.74	1.57	1.42	1.865	2.354	5392.00
Γ. Προσθήκη αναβαθμού <u>ανάπτυξη</u>		<b>8.74</b>	<b>8.74</b>	<b>0.62</b>	<b>0.57</b>	<b>1.346</b>	<b>1.889</b>	<b>1288.00</b>
Δ. Προτεινόμενη διατομή Μελέτης <u>Δημ. Λιμενικού</u> <u>Ταμείου</u> <u>Ρεθύμνου</u>		3.64	3.64	4.69	4.17	1.396	1.964	13992.00



# Συμπεράσματα-Προτάσεις -1

- ✿ Η ευαισθητοποίηση στο θέμα της προστασίας του περιβάλλοντος και η συνειδητοποίηση ότι οι ίδιες οι ανθρώπινες δραστηριότητες βλάπτουν τελικά την ανθρωπότητα θα ανακόψει την επιδείνωση της κατάστασης με το σημερινό ρυθμό.
- ✿ Τα συμπεράσματα των διεπιστημονικών ομάδων που ασχολούνται με την κλιματική αλλαγή πρέπει
  - Ⓜ να λαμβάνονται υπόψη από τους ιθύνοντες και
  - Ⓜ να ενσωματώνονται στις πολιτικές σχεδιασμού.
- ✿ Σημαντική είναι η ανάπτυξη αξιόπιστων κλιματικών μοντέλων, βάσει των οποίων προκύπτουν νέα δεδομένα για το σχεδιασμό των νέων έργων και τον επανασχεδιασμό των υφιστάμενων.

## Συμπεράσματα-Προτάσεις -2

- ✿ Κατά την επιλογή μέτρων προστασίας πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η ευρύτερη περιοχή και οι αποφάσεις να μην έχουν αυστηρά τοπικό χαρακτήρα.
- ✿ Προτείνεται ο επανέλεγχος των υφιστάμενων έργων, υπό το σενάριο της κλιματικής αλλαγής, και η αναβάθμισή τους, σε περίπτωση που δεν πληρούνται τα κριτήρια αποτελεσματικότητας.
- ✿ Σημαντική είναι η καταγραφή των κρίσιμων υποδομών και η δημιουργία μητρώου, ώστε να δρομολογηθεί η αναβάθμισή τους, αλλά και η δημιουργία συστημάτων παρακολούθησής τους, ώστε σε ενδεχόμενο κίνδυνο να υπάρξει έγκαιρη προειδοποίηση και η σχετική κινητοποίηση.

# Συμπεράσματα-Προτάσεις -3

Από τη Μελέτη Περίπτωσης προκύπτει :

- ✿ αύξηση της τάξης του 0.20 m της Μ.Σ.Θ. οδηγεί σε αύξηση κατά 26% της παροχής κυματικής υπερπήδησης.
- ✿ ο επανασχεδιασμός και η αναβάθμιση του υφιστάμενου έργου μπορεί να επιτευχθεί με μέτριο κόστος.
- ✿ η αναβάθμιση του κυματοθραύστη του λιμένα Ρεθύμνου, προτείνεται με την προσθήκη αναβαθμού ανάντη, η οποία συνδυάζει:
  - ✓ καλύτερη απόκριση και
  - ✓ το μικρότερο εκτιμώμενο κόστος κατασκευής,  
μεταξύ των εναλλακτικών προτάσεων που εξετάστηκαν.





Σας ευχαριστώ!

