

ΕΚΤΟ ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΖΩΝΩΝ

ΑΘΗΝΑ, 24 - 27 ΝΟΕΜΒΡΙΟΥ 2014

ΕΙΣΗΓΗΣΕΙΣ



Έκδοση
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΛΙΜΕΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ
Ε.Μ.Π.

ΤΡΙΤΗ ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΝΕΔΡΙΑ**ΘΑΛΗΣ – ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΙ ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΖΩΝΕΣ**

31	Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΙΣ ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΘΑΛΑΣΣΕΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ – ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΘΑΛΗΣ-CCSEAWAYS	Πρίνος Π.	315
32	ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΚΑΙ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑ ΣΤΟ ΑΙΓΑΙΟ. ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΕΠΕΙΣΟΔΙΩΝ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑΣ ΣΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΜΕ ΤΗΝ ΓΕΝΙΚΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ	Αναγνωστοπούλου Χ. Τολικά Κ. Βελίκου Κ. Τεγούλιας Ι. Βαγενάς Χ.	325
33	ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΑΝΟΔΟΥ ΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΩΝ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΘΑΛΑΣΣΩΝ	Μαμούτος Ι. Τράγου Ε. Κακαγιάννης Γ.	335
34	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ SWAN ΓΙΑ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ ΣΕ ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ	Αθανασούλης Γ.Α. Μπελιμπασάκης Κ.Α. Γεροστάθης Θ.Π. Καπελώνης Ζ.Γ.	345
35	ΑΚΡΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑΣ ΣΤΗ ΜΕΣΟΓΕΙΟ ΘΑΛΑΣΣΑ ΛΟΓΩ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ	Κρεστενίτης Γ.Ν. Ανδρουλιδάκης Γ.Σ. Κομπιάδου Κ. Μακρής Χ. Μπαλτίκας Β.	355
36	ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΙΣ ΑΚΡΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΙΚΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΑΙΓΑΙΟ ΠΕΛΑΓΟΣ	Γαλιατσάτου Π. Πρίνος Π.	365
37	ΔΕΙΚΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΚΑΤΑΚΛΙΣΗ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΤΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ ΠΕΛΑΓΟΥΣ	Κόκκινος Δ. Γαλιατσάτου Π. Πρίνος Π.	375
38	ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΩΝ ΑΚΤΩΝ	Καραμπάς Θ. Γαλιατσάτου Π. Πρίνος Π.	385

ΔΕΙΚΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΚΑΤΑΚΛΙΣΗ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΤΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ ΠΕΛΑΓΟΥΣ

Δ. Κόκκινος, Υποψήφιος Διδάκτορας, Α.Π.Θ.
Π. Γαλιατσάτου, Ερευνητικός Συνεργάτης, Α.Π.Θ.
Π. Πρίνος, Καθηγητής, Α.Π.Θ.

Εργαστήριο Υδραυλικής και Υδραυλικών Έργων
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης,
54124 Θεσσαλονίκη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία γίνεται μία εκτίμηση της τρωτότητας σε κατάκλιση για τρεις περιοχές του Αιγαίου πελάγους (Θράκη, Λέσβος, Χανιά) και ξεχωριστά για τρεις χρονικές περιόδους. Μία για το παρόν κυματικό κλίμα (1951-1999) και 2 για το μελλοντικό (2000-2049, 2050-2099). Λαμβάνοντας υπόψη την κλιματική αλλαγή (δεδομένα πίεσης και ανέμου από προσομοίωση με βάση το σενάριο εκπομπών A1B SRES του IPCC) και με τη χρήση ενός κυματικού (SWAN) και ενός υδροδυναμικού μοντέλου (MeCSM) εξάγονται οι χρονοσειρές των δεδομένων που απαιτούνται για τη μεθοδολογία που θα χρησιμοποιηθεί (σημαντικό ύψος, περίοδος και διεύθυνση κυματισμού και μετεωρολογική παλίρροια αντίστοιχα).

Η μεθοδολογία περιλαμβάνει τα εξής βήματα: 1) Ορισμός του κινδύνου (καταιγίδα) 2) Εκτίμηση της αναρρίχησης των κυματισμών στην ακτή 3) Υπολογισμός μιας βοηθητικής ενδιάμεσης παραμέτρου (FIP) και 4) Εκτίμηση του δείκτη τρωτότητας. Βασικό πλεονέκτημα της μεθοδολογίας είναι ότι γίνεται κατηγοριοποίηση των καταιγίδων σε 5 βαθμίδες και εκτιμάται η αντίδραση της ακτής για μια μέση φόρτιση που αντιστοιχεί σε κάθε κατηγορία. Έτσι ένα κυματικό γεγονός μπορεί να ενταχθεί στην κατάλληλη κατηγορία και να εντοπισθεί άμεσα η επίδραση του στην παράκτια περιοχή.

Για τη σύνδεση των κυματικών δεδομένων με τις ακτές που εξετάζονται, λαμβάνονται μηκοτομές του εδάφους (προφίλ) κάθετα στην ακτογραμμή και εξάγονται αποτελέσματα για όλα τα προφίλ ξεχωριστά, με σκοπό μια ολοκληρωμένη εικόνα για την τρωτότητα σε κατάκλιση της κάθε περιοχής.

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προκύπτει πως η περιοχή των Χανίων είναι η πιο ευπαθής σε κατάκλιση καθώς παρουσιάζει υψηλή τρωτότητα σχεδόν σε όλο το εύρος των ακτών της και για όλα τα χρόνια που μελετήθηκαν. Οι ακτές του Θράκης παρουσιάζονται και αυτές σε μεγάλο ποσοστό τρωτές σε κατάκλιση, με τις ευπαθείς περιοχές να εντοπίζονται κοντά στο Δέλτα του Έβρου και τις λιμνοθάλασσες που βρίσκονται ανατολικά της λίμνης Βιστωνίδα. Αντίθετα, η περιοχή της Λέσβου που μελετάται δείχνει να μην αντιμετωπίζει τόσο μεγάλο κίνδυνο παρά μόνο σε πολύ μικρό ποσοστό των ακτών της και, ταυτόχρονα, η κατάσταση αυτή να μην επηρεάζεται μελλοντικά.

FLOOD VULNERABILITY INDEX FOR COASTAL AREAS OF THE AEGEAN SEA

D. Kokkinos, PhD Candidate, AUTH.
P. Galiatsatou, Research Associate, AUTH.
P. Prinos, Professor, AUTH.

Hydraulics Laboratory
Department of Civil Engineering, Aristotle University of Thessaloniki (AUTH)
54124 Thessaloniki, Greece, tel. +32310-995689,
e-mail: dimitrikok@civil.auth.gr

ABSTRACT

The objective of this paper is to assess storm-induced coastal vulnerability for 3 coastal areas of the Aegean sea (Thrace, Lesbos island, Chania), prone to flooding, for three time periods, one for the present climate (1951-1999) and two for future climate conditions (2000-2049, 2050-2099). Climate change effects (data for pressure and wind are calculated from RegCM3 simulation according to the scenario A1B SRES of IPCC) are taken into account and simulations by the SWAN (wave model) and MeCSM (hydrodynamic model) provide data for significant wave height, wave period and direction and storm surge.

The procedure includes the following: 1) Characterization of the forcing (storm) 2) Evaluation of the beach response (Run-up) 3) Estimation of Flood Intermediate Parameter 4) Assessment of coastal vulnerability to flooding. The main advantage of the methodology is the categorization of all storms into two classes for each area and the estimation of flood potential for each storm class. Hence, coastal managers are able to find coastal areas which are sensitive to a given storm class and decide where to take action.

Various cross-sections along the coastline are taken into account and are examined for the given data of each storm class separately for having a detailed description of the beach response to flooding.

The results indicate that the coastal area of Chania is the most vulnerable to flooding. Almost the entire coast appears to have "High" or "Very High" vulnerability for both present and future conditions. The coastline of Thrace seems to be vulnerable to flooding, too. A part of the area, located mostly near the Ebro Delta and the lagoons near Vistonida lake, appears sensitive to big storms and flooding. Finally, only a small percentage of the area at the western part of Lesbos Island appears to be vulnerable to flooding.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι παράκτιες περιοχές είναι από τους πιο σημαντικούς παράγοντες ευημερίας στην Ευρωπαϊκή ήπειρο μιας και το 40% του πληθυσμού της ΕΕ κατοικεί σε αυτές. Η κλιματική αλλαγή αναμένεται να δημιουργήσει προβλήματα σε πολλές από αυτές, οπότε κρίνεται επιτακτική ανάγκη η εκτίμηση της τρωτότητας τους σε κατάκλιση, ώστε να υιοθετήσουν οι κατάλληλες στρατηγικές αντιμετώπισης του φαινομένου αυτού.

Ως τρωτότητα ενός παράκτιου συστήματος, στο άρθρο αυτό, ορίζεται η πιθανότητα να προκληθούν ζημιές σε αυτό, από την επίδραση μιας κυματικής καταιγίδας (Gouldby and Samuels, 2005). Είναι συνάρτηση τόσο της ευαισθησίας του συστήματος στον κίνδυνο, όσο και της ίδιας της έντασης των συνεπειών της και, ουσιαστικά, δείχνει τη δυνατότητα ενός συστήματος να προσαρμοστεί και να αντιμετωπίσει τις συνέπειες της καταιγίδας αυτής. Η πολυπλοκότητα της μορφής των παράκτιων περιοχών καθιστά ιδιαίτερα δύσκολη τη δημιουργία ενός γενικού μοντέλου παράκτιας τρωτότητας. Ιδιαίτερα διαδομένοι για το σκοπό αυτό, είναι οι δείκτες τρωτότητας. Οι πιο απλοί από αυτούς υπολογίζουν μόνο τη φυσική τρωτότητα, ενώ οι πιο πολύπλοκοι λαμβάνουν υπόψη και κοινωνικο-οικονομικά στοιχεία. Ο Gornitz (1991) προτείνει έναν τέτοιο δείκτη που έχει ευρεία εφαρμογή στις ακτές των ΗΠΑ και του Καναδά. Ο Cutter et al. (2003) ανέπτυξε έναν δείκτη (CSoVI) ο οποίος λαμβάνει υπόψη του και κοινωνικά-οικονομικά κριτήρια, με συνολικά 11 μεταβλητές, ο οποίος σχεδιάστηκε για να εφαρμοστεί στις ακτές της Αυστραλίας και των ΗΠΑ. Το 2010, οι McLaughlin & Cooper πρότειναν έναν δείκτη ο οποίος έχει εφαρμογή τόσο σε τοπική όσο και μεγαλύτερη κλίμακα, ο οποίος εστιάζει όμως κυρίως στη διάβρωση και λιγότερο στην πλημμύρα.

Στο άρθρο αυτό υιοθετείται η μεθοδολογία που προτείνεται από τους Mendoza & Jimenez, 2009, για την εκτίμηση ενός δείκτη τρωτότητας σε πλημμύρα εστιάζοντας μόνο στο φυσικό περιβάλλον και την αντίδρασή του σε πιέσεις όπως τα κύματα και η ανθρώπινη δραστηριότητα. Δημιουργήθηκε για να εφαρμοστεί στις ακτές της Καταλονίας, αλλά μπορεί να βρει εφαρμογή σε ολόκληρη τη Μεσογειακή λεκάνη που το κλίμα είναι παρόμοιο. Στο άρθρο αυτό εφαρμόζεται σε τρεις περιοχές του Ελλαδικού χώρου, όπου, αν και υπάρχουν κάποιες μελέτες για την τρωτότητα σε πιθανή άνοδο της στάθμης της θάλασσας (Doukakis, 2005), δεν έχει εφαρμοστεί κάτι ανάλογο σε περιοχική κλίμακα, για την τρωτότητα σε πλημμύρα στις συγκεκριμένες περιοχές.

Στις επόμενες ενότητες παρουσιάζεται, αρχικά, αναλυτική περιγραφή της μεθόδου που εφαρμόστηκε, στη συνέχεια δίνονται πληροφορίες σχετικά με τις περιοχές μελέτης και τα κυματικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν και τέλος παρατίθενται και αναλύονται αποτελέσματα και συμπεράσματα.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στη μεθοδολογία που εφαρμόζεται στο παρόν άρθρο, γίνεται κατηγοριοποίηση όλων των κυματικών καταιγίδων και εξετάζεται η επίδραση της κάθε κατηγορίας ως προς τις συνέπειές της. Έτσι, μια καταιγίδα μπορεί να καταταχθεί σε μία από τις κατηγορίες που έχουν δημιουργηθεί ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της και έτσι να εκτιμηθούν οι συνέπειες της χωρίς την εκ νέου εκτίμηση της τρωτότητας.

Το πρώτο βήμα της μεθοδολογίας, που θα εφαρμοστεί παρακάτω, αφορά στον ορισμό του κινδύνου, δηλαδή της κυματικής καταιγίδας. Η κυματική καταιγίδα ορίζεται ως

ένα γεγονός όπου το σημαντικό ύψος κύματος (H_s) έχει τιμές μεγαλύτερες από μία προκαθορισμένη τιμή για μια ελάχιστη χρονική διάρκεια. Το όριο για το H_s επιλέχθηκε έτσι ώστε οι καταιγίδες που υπερβαίνουν την τιμή του να έχουν αξιοσημείωτη επίδραση στις ακτές, ενώ ως ελάχιστη διάρκεια θεωρήθηκε το διάστημα των 6 ωρών.

Αφού οριστούν και εντοπιστούν οι καταιγίδες, ακολουθεί η ταξινόμησή τους σε 5 κατηγορίες: I-weak, II-moderate, III-significant, IV-severe, V-extreme. Ως κριτήριο για την κατηγοριοποίηση χρησιμοποιείται η ενέργεια E της κάθε καταιγίδας όπως αυτή ορίστηκε από τους Dolan and Davis (1992)

$$E = \int_{t_1}^{t_2} H_s dt \quad (1)$$

όπου t_1 - t_2 το χρονικό διάστημα που διαρκεί η καταιγίδα. Η ταξινόμηση των καταιγίδων επιτεύχθηκε χρησιμοποιώντας την ανάλυση συστάδων (cluster analysis) και πιο συγκεκριμένα την περίπτωση της συσσωρευτικής ιεραρχικής κατηγοριοποίησης σύμφωνα με τη μέθοδο Ward (1963).

Στη συνέχεια, για όλες τις καταιγίδες υπολογίζεται το ύψος αναρρίχησης του κύματος (Run-up) για τη μέγιστη τιμή του H_s της κάθε καταιγίδας και την αντίστοιχη περίοδο του κύματος (T_p). Για τις τιμές αυτές του H_s έχει ληφθεί και η αντίστοιχη τιμή της μετεωρολογικής παλίρροιας που χρησιμοποιείται παρακάτω. Για τον υπολογισμό του χρησιμοποιήθηκε η σχέση που προτείνεται από τον Stockdon et al. (2006) όπως

$$Ru = 1.1 \left(0.35 \tan \beta (H_s L_0)^{1/2} + \left(H_s L_0 \frac{(0.563 \tan \beta^2 + 0.004)^{1/2}}{2} \right) \right) \quad (2)$$

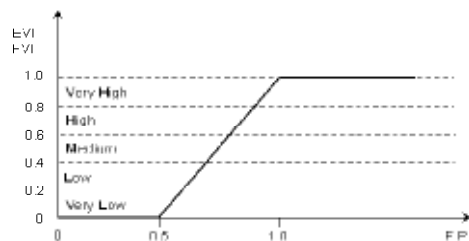
όπου $\tan \beta$ η κλίση της ακτής για την οποία υπολογίζεται η αναρρίχηση και L_0 το μήκος του κύματος στα βαθιά νερά που αντιστοιχεί στην T_p . Γνωρίζοντας την αναρρίχηση για όλες τις καταιγίδες της κάθε κατηγορίας υπολογίζεται εύκολα μία μέση τιμή, αντίστοιχα.

Μετά τον ορισμό και την ποσοτικοποίηση του κίνδυνου (κυματικές καταιγίδες) για κάθε ακτή, επόμενο βήμα είναι η σύνδεση με την αντίδραση της κάθε μίας ξεχωριστά και η εκτίμηση της τρωτότητά της. Έτσι, για να υπολογιστούν οι τελικοί δείκτες τρωτότητας χρησιμοποιείται μία ενδιάμεση παράμετρος πλημμύρας, η FIP (Flood Intermediate Parameter), η οποία υπολογίζεται για κάθε κατηγορία καταιγίδων και δίνεται από την εξίσωση 3 (Mendoza & Jimenez, 2009):

$$FIP = \frac{(Ru + \sigma_{Ru}) + \xi}{B} \quad (3)$$

όπου Ru το μέσο ύψος αναρρίχησης της κάθε κατηγορίας, σ_{Ru} η τυπική απόκλιση του ύψους αναρρίχησης, ξ η μέση μετεωρολογική παλίρροια της κάθε κατηγορίας και B το ύψος του μετώπου της κάθε ακτής.

Ο δείκτης τρωτότητας υπολογίζεται με βάση τον κανόνα που παρουσιάζεται στο Σχ. 2. Η πιο "ασφαλής" περίπτωση ορίζεται για τιμές του $FIP < 0.5$, δηλαδή για $B > 2(Ru + \xi)$ όπου τυπικά η τρωτότητα θεωρείται μηδενική, ενώ αντίστοιχα η δυσμενέστερη περίπτωση προκύπτει για $FIP > 1$. Οι ενδιάμεσες τιμές χωρίζονται σε 5 κατηγορίες (Very Low, Low, Medium, High, Very High).

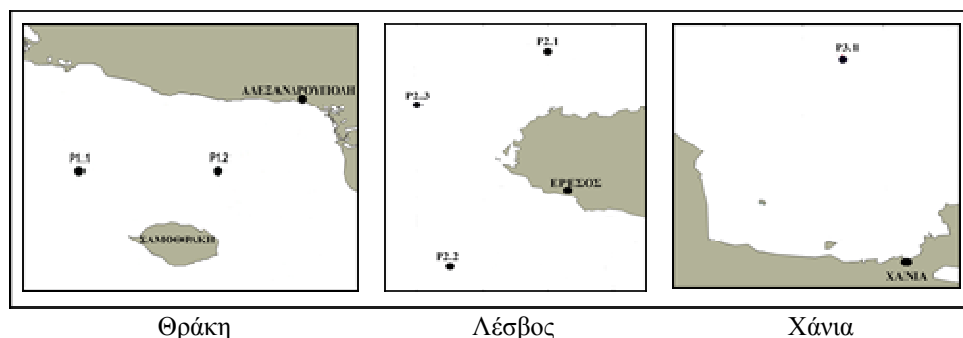


Σχήμα 2. Υπολογισμός δείκτη τρωτότητας σε κατάκλιση (FVI) (Mendoza & Jimenez, 2009)

Figure 2. Evaluation of FVI (Mendoza & Jimenez., 2009)

3. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Οι περιοχές που εξετάστηκαν ως προς την τρωτότά τους σε κατάκλιση είναι η περιοχή της Θράκης, της Λέσβου και των Χανίων όπως φαίνεται στο Σχ. 3. Για τις τρεις αυτές περιοχές, πληροφορίες για τα γεωμορφολογικά στοιχεία αντλήθηκαν με τη βοήθεια λογισμικού GIS, από Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM), με διάσταση καννάβου στο έδαφος 5 m. Σε κάθε περιοχή χαράχθηκαν πάνω στο DEM τομές κάθετες στην ακτογραμμή και εξήχθησαν μηκοτομές (προφίλ) σε αριθμό ικανό, ώστε να περιγράψουν το σύνολο της μορφολογίας των περιοχών μελέτης.



Σχήμα 3. Περιοχές μελέτης και σημεία χρήσης κυματικών δεδομένων
Figure 3. Study areas and wave data spots

Η παράκτια περιοχή της Θράκης που μελετάται είναι συνολικού μήκους 100km και βρίσκεται ανάμεσα στο Δέλτα του Έβρου και τη λίμνη Βιστωνίδα. Ολόκληρη η παράκτια ζώνη χαρακτηρίζεται από ποικιλία ως προς τη μορφή των παραλιών και τις κλίσεις του εδάφους. Το δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης έχει ως βασικό στοιχείο τα χαμηλά υψόμετρα και την παρουσία αρκετών μικρών λιμνοθαλασσών, ενώ πολύ χαμηλά υψόμετρα ακτής υπάρχουν και στα ανατολικά. Κατά μήκος της ακτής επιλέχθηκαν 63 προφίλ και μελετήθηκαν ξεχωριστά ώστε να υπάρχει μία πιο λεπτομερής εικόνα ως προς την τρωτότητα του συνόλου της ακτής σε κατάκλιση. Η μέση κλίση του μετώπου των παραλιών είναι περίπου 8%, (με εύρος τιμών από 1.5% έως και 20%, καθώς προφίλ με

μεγαλύτερες τιμές δεν μελετήθηκαν), ενώ το μέγιστο ύψος του μετώπου έχει τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 0.4m και 3m.

Η δεύτερη περιοχή μελέτης (Χανιά) βρίσκεται στο βόρειο τμήμα του νομού Χανίων και αφορά παράκτια περιοχή συνολικού μήκους περίπου 30 km, η οποία βρίσκεται σε ακτίνα 20 km αριστερά και 9 km δεξιά από την πόλη των Χανίων. Παρουσιάζεται σχετικά ομοιόμορφη σε όλο το μήκος της ως προς τη μορφή των παραλιών και επιλέχθηκαν 39 προφίλ με μέση κλίση που φτάνει το 10% και εύρος 3-19%. Το μέγιστο ύψος του μετώπου έχει τιμές από 0.4m έως και 5m.

Η περιοχή της Λέσβου εκτείνεται από την Ερεσό μέχρι και την αρχαία Άντισσα και είναι συνολικού μήκους 8 km. Είναι μία περιοχή με ιδιαίτερη μορφολογία ακτών. Αποτελείται από μικρούς κυρίως κολπίσκους, εκτός από την περιοχή της Σκάλας Ερεσού που βρίσκεται νοτιοδυτικά και την περιοχή του Κάμπου η οποία βρίσκεται στο βόρειο τμήμα του νησιού. Επιλέχθηκαν συνολικά 14 προφίλ, 5 στο νοτιοδυτικό τμήμα (Σκάλα Ερεσού), 4 στο δυτικό (1 ακτή βόρεια και μία νότια του οικισμού Σίγρι) και 5 στο βόρειο (σε 3 ακτές δυτικά της αρχαίας Αντισσας). Όπως και στις άλλες περιοχές, μελετήθηκαν ξεχωριστά μεταξύ τους σε σχέση με τα κυματικά δεδομένα. Πρόκειται γενικά για μια ποικιλόμορφη περιοχή ως προς τις κλίσεις του μετώπου της ακτής και ως προς τη στέψη αυτού, με τις τιμές των 2 μεγεθών να κυμαίνονται από 2 έως 20% και 0.2m έως 2m, αντίστοιχα.

4. ΚΥΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Τα κυματικά δεδομένα, που χρησιμοποιήθηκαν στο παρόν άρθρο, είναι αποτέλεσμα προσομοίωσης που βασίστηκε στο κυματικό μοντέλο, τρίτης γενιάς, SWAN. Η χωρική ανάλυση του μοντέλου, όπως διαμορφώθηκε στα πλαίσια του προγράμματος CCSEAWAVS της πράξης Θαλής, είναι $0.005^\circ \times 0.005^\circ$ και έγινε προσομοίωση του κλίματος για τις χρονικές περιόδους (1951-1999, 2000-2049, 2050-2099), (Krestenitis et al., 2013). Η ατμοσφαιρική διέγερση του κυματικού μοντέλου αποτελείται από πεδία ανέμου (ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου σε ύψος 10 m από την επιφάνεια της θάλασσας) του κλιματικού μοντέλου RegCM3 (Dickinson et al. 1989), με βάση το σενάριο εκπομπών A1B SRES του IPCC (Τολικά, 2012). Τα δεδομένα που εξήχθησαν έχουν χρονικό βήμα 3 ώρες και αφορούν σε εκτιμήσεις για το σημαντικό ύψος (H_s), την περίοδο (T_p) και τη διεύθυνση του κυματισμού. Τα δεδομένα πίεσης και ανέμου του κλιματικού μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν και για την εξαγωγή της μετεωρολογικής παλίρροιας (ξ) με τη βοήθεια του υδροδυναμικού μοντέλου MeCSM (Krestenitis et al., 2011) για ανάλυση 10×10 km και χρονικό βήμα 6 ωρών (Krestenitis et al., 2014).

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρέχουν έναν μεγάλο αριθμό σημείων με κυματικά δεδομένα. Έτσι, με σκοπό τη χρήση αντιπροσωπευτικών σημείων στην μεθοδολογία που αναπτύχθηκε προηγούμενα, έγινε έλεγχος για ομογενείς περιοχές ως προς τα κυματικά τους δεδομένα (Γαλιατσάτου, 2014). Εκτιμώντας τα αποτελέσματα της ομογενοποίησης, τελικά, επιλέχθηκαν δύο σημεία για την περιοχή της Θράκης, τρία σημεία για την περιοχή της Λέσβου και ένα για την περιοχή των Χανίων. Τα κυματικά δεδομένα κάθε σημείου φορτίζουν τις ακτές της αντίστοιχης περιοχής, ενώ από τους κυματισμούς του κάθε σημείου έχουν ληφθεί υπόψη μόνο αυτοί με διεύθυνση προς την ακτή.

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Με τη βοήθεια του λογισμικού matlab, εξήχθησαν τα κυματικά δεδομένα που αφορούν στις καταιγίδες των πέντε κατηγοριών, για κάθε σημείο μελέτης. Οι μέσες τιμές αυτών για κάθε κατηγορία καταιγίδας δίνονται στον Πίνακα 1 (St=Αριθμός καταιγίδων, D= μέση διάρκεια καταιγίδων, H_{smax} =μέση τιμή για τα μέγιστα H_s των καταιγίδων, EC= μέση ενέργεια).

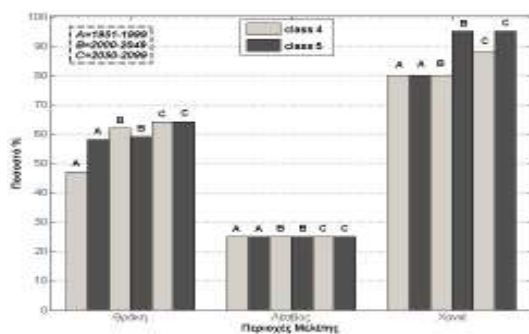
Πίνακας 1. Μέσες τιμές κυματικών δεδομένων ανά περιοχή και κατηγορία καταιγίδας
Table 1. Average values of wave data for each study area and storm class

Σημεία (συντετ.)	Κατηγορίες Καταιγίδων	1951-1999					2000-2049					2050-2099					
		St	D (h)	H_s (m)	EC (m^2h)	ξ (m)	St	D (h)	H_s (m)	EC (m^2h)	ξ (m)	St	D (h)	H_s (m)	EC (m^2h)	ξ (m)	
Θράκη	P1.1 (25.30° 40.65°)	1	25	13	1,8	21	0,14	64	16	2,0	32	0,14	40	14	1,8	23	0,13
		2	37	22	2,1	46	0,14	17	35	2,6	79	0,14	33	26	2,3	58	0,14
		3	9	32	2,5	85	0,14	3	44	3,1	148	0,15	10	40	2,7	134	0,15
		4	6	47	2,6	146	0,12	4	51	2,9	208	0,10	3	60	3,1	287	0,01
		5	4	41	3,0	245	0,14	1	60	3,4	445	0,14	1	138	3,2	559	0,16
	P1.2 (25.70° 40.65°)	1	63	12	1,9	34	0,13	68	10	2,0	31	0,15	64	11	2,0	33	0,15
		2	17	24	2,3	78	0,16	29	17	2,3	63	0,18	17	21	2,2	73	0,14
		3	8	29	2,5	133	0,17	14	24	2,4	94	0,17	8	28	2,6	120	0,15
		4	4	48	2,6	212	0,13	11	29	2,7	143	0,15	4	44	2,8	205	0,06
		5	2	52	3,3	319	0,05	1	56	3,4	375	0,28	2	89	2,6	397	0,07
Λέσβος	P2.1 (25.90° 39.40°)	1	261	14	2,4	61	0,11	219	12	2,3	54	0,12	300	14	2,4	63	0,11
		2	84	30	2,7	167	0,12	117	27	2,7	143	0,13	69	34	2,8	187	0,16
		3	66	44	3,0	283	0,12	85	42	3,0	275	0,17	57	54	3,1	356	0,11
		4	32	62	3,4	493	0,13	25	68	3,6	544	0,16	17	81	3,4	588	0,07
		5	3	84	4,6	1076	0,18	12	90	3,9	845	0,14	9	109	4,3	1080	0,13
	P2.2 (25.75° 39.00°)	1	259	13	2,5	55	0,10	437	17	2,7	86	0,11	301	15	2,6	62	0,09
		2	138	27	3,2	149	0,10	65	38	3,7	272	0,12	117	28	3,2	157	0,15
		3	78	43	3,7	313	0,09	48	55	4,2	519	0,13	72	38	3,7	286	0,12
		4	22	61	4,4	644	0,12	9	84	5,0	1077	0,15	39	68	4,2	576	0,04
		5	5	112	4,4	1201	0,14	1	172	7,1	3172	0,09	1	216	4,8	1578	0,06
	P2.3 (25.70° 39.30°)	1	174	17	2,6	59	0,11	238	19	2,6	72	0,11	162	15	2,5	54	0,09
		2	100	33	3,1	168	0,12	40	34	3,5	191	0,12	124	30	3,1	164	0,14
		3	33	48	3,7	368	0,12	28	39	3,8	302	0,17	20	73	3,9	442	0,11
		4	3	90	4,9	843	0,17	18	59	3,9	461	0,14	5	83	4,5	815	0,06
		5	2	133	4,7	1368	0,13	6	88	4,7	864	0,13	3	172	4,8	1395	0,09
Χανιά	P3.1 (24.00° 25.80°)	1	396	15	2,9	103	0,09	320	13	2,9	85	0,09	435	14	2,9	99	0,07
		2	203	36	3,6	343	0,09	202	29	3,4	244	0,09	223	36	3,4	310	0,07
		3	80	64	4,3	772	0,10	188	51	3,9	535	0,09	117	60	4,0	673	0,08
		4	10	93	5,0	1467	0,14	33	86	4,8	1167	0,11	33	99	4,8	1337	0,10
		5	8	114	6,1	2045	0,11	6	117	5,5	2084	0,12	3	135	6,9	2913	0,10

Στην περιοχή της Θράκης για τον ορισμό των καταιγίδων θεωρήθηκε ως κατώτατο όριο το 1.5m για το H_s , ενώ οι παραλίες φορτίστηκαν για τα κυματικά δεδομένα και των 2 σημείων, για κυματισμούς με διεύθυνση ΝΔ έως ΝΑ. Παρατηρώντας τα αποτελέσματα για τις κατηγορίες 4 και 5 που είναι και οι δυσμενέστερες, είναι εμφανής μια αυξητική τάση, σε σχέση με το παρόν κλίμα, στις μέγιστες τιμές του H_s κατά τη δεύτερη χρονική περίοδο, ενώ στην 3^η η αύξηση αυτή περιορίζεται. Διαφοροποίηση έχουμε μόνο στην κατηγορία 5 της 3^{ης} περιόδου για την φόρτιση του σημείου P1.2 όπου υπάρχει αισθητή μείωση του H_s κατά περίπου 20%. Εξάλλου, το μέσο ύψος κύματος κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα και για τις 3 χρονικές περιόδους, κάτι που είναι λογικό αφού η περιοχή είναι "προστατευμένη".

Η περιοχή της Λέσβου, αντίθετα είναι πιο "εκτεθειμένη" και όπως αναμένεται έχει αρκετά μεγαλύτερες τιμές H_s στο σύνολο των κυματισμών. Εκεί το ελάχιστο όριο ορίστηκε στα 2 m. Από τα 3 σημεία, το P2.1 φορτίζει τις βόρειες ακτές της Λέσβου (λαμβάνονται υπόψη οι κυματισμοί με διεύθυνση από 250° έως 340°), το P2.2 φορτίζει τις ΝΔ ακτές (λαμβάνονται υπόψη οι Δ έως Β κυματισμοί) και το P2.3 φορτίζει τις δυτικές ακτές (λαμβάνονται υπόψη οι κυματισμοί με διεύθυνση ΒΔ έως ΝΔ). Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι για το τις βόρειες ακτές αναμένεται μείωση των μέγιστων τιμών του H_s , για την κατηγορία 5 των καταιγίδων, της τάξης του 15% και 7% για τη 2^η και 3^η περίοδο αντίστοιχα. Έχουμε, όμως, σημαντική αύξηση στον αριθμό των γεγονότων της κατηγορίας αυτής για το μελλοντικό κλίμα (4 και 3 φορές περισσότερα από το παρόν κλίμα, αντίστοιχα). Για τις ΝΔ ακτές έχουμε αύξηση των τιμών του H_s για την κατηγορία 5 της τάξης του 60% για την περίοδο 2000-2049, ενώ γιατί την περίοδο 2050-2099 περιορίζεται στο 9% σε σχέση πάντα με το παρόν κλίμα. Σημαντική είναι και η αύξηση που παρατηρείται στη διάρκεια των καταιγίδων της ίδιας κατηγορίας η οποία είναι της τάξης του 50% και 90% αντίστοιχα για τις 2 χρονικές περιόδους. Τέλος, για τα κυματικά δεδομένα με τα οποία φορτίζονται οι δυτικές ακτές (σημείο P2.3) οι τιμές του H_s παραμένουν σχεδόν ίδιες για την 5^η κατηγορία, ενώ μειώνονται αισθητά για την 4^η (20% και 8%, αντίστοιχα).

Στην περιοχή των Χανίων, παρουσιάζεται μία μικρή μείωση στις μέσες τιμές του H_s για την δεύτερη περίοδο, η οποία διατηρείται και για την τρίτη εκτός από την κατηγορία 5 όπου προκύπτει μια αύξηση κατά 0.8m (Ως όριο για τον ορισμό μιας καταιγίδας θεωρήθηκαν τα 2.5m). Όμως, παρατηρείται, ταυτόχρονα, μια σταδιακή μείωση του αριθμού των καταιγίδων της κατηγορίας 5. Όσον αφορά στη μέση διάρκεια, δεν υπάρχουν μεγάλες διαφοροποιήσεις στις μέσες τιμές και για τις 3 χρονικές περιόδους εκτός από την 3η στην κατηγορία 5 που εντοπίζεται αύξηση της τάξης του 18%.



Σχήμα 4. Ποσοστό ακτών με υψηλή τρωτότητα σε κατάκλιση για τις κατηγορίες καταιγίδων 4 και 5

Figure 4. Beach profiles percentage with high vulnerability to flooding for storm classes 4 and 5

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία εξετάστηκε η τρωτότητα για κάθε ένα προφίλ ξεχωριστά και για τις 3 περιοχές και παράχθηκαν 5 ενδείξεις μία για κάθε κατηγορία καταιγίδων. Στο Σχ. 4 φαίνεται το ποσοστό των προφίλ που εμφανίζουν μεγάλη ή πολύ

μεγάλη τρωτότητα (αθροιστικά) σε πλημμύρα, για τις καταιγίδες των κατηγοριών 4 και 5, οι οποίες είναι και οι δυσμενέστερες, για τις 3 χρονικές περιόδους μελέτης.

Στην περιοχή της Θράκης φαίνεται ότι ένα μεγάλο ποσοστό των ακτών είναι ιδιαίτερα τρωτό σε κατάκλιση. Το ποσοστό αυτό ξεκινάει από το 58% στην πρώτη περίοδο και φτάνει με μικρή αύξηση μέχρι το 63% για τις καταιγίδες κατηγορίας 5, ενώ γι' αυτές της κατηγορίας 4 για το παρόν κλίμα είναι στο 48% και αυξάνεται στο 63% στις επόμενες 2 χρονικές περιόδους. Η υψηλή τρωτότητα γενικά παρουσιάζεται στις περιοχές που βρίσκονται στα ανατολικά (Δέλτα Έβρου) και στα δυτικά (λιμνοθάλασσες) της περιοχής μελέτης. Αυτό οφείλεται στα πολύ χαμηλά υψόμετρα που έχουν οι ακτές στις θέσεις αυτές. Στην περιοχή της Λέσβου υψηλή τρωτότητα ως προς τις καταιγίδες των κατηγοριών 4 και 5, παρουσιάζεται μόνο στο 25% των προφίλ και για τις 3 χρονικές περιόδους, αφού οι διακυμάνσεις στις τιμές του H_s είναι μικρές και τα ύψη μετώπου στα προφίλ των ακτών είναι σχετικά μεγάλα. Αντίθετα, στην περιοχή των Χανίων παρουσιάζεται υψηλή τρωτότητα σε πολύ μεγάλο ποσοστό των προφίλ, για όλες τις περιόδους. Παρά τα μεγάλα ύψη μετώπου στις ακτές (μ.ο.=2,5 m) υπάρχουν καταιγίδες με μεγάλα ύψη κύματος, αλλά και μέτριες κλίσεις στις ακτές που βοηθούν την αναρρίχηση του κύματος. Μάλιστα, εντοπίζεται μια αξιοσημείωτη αύξηση του ποσοστού για την δεύτερη και τρίτη περίοδο της τάξεως του 12%, για τις καταιγίδες των κατηγοριών 5.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται μία μεθοδολογία εκτίμησης της τρωτότητας σε κατάκλιση, η οποία εφαρμόζεται σε 3 παράκτιες περιοχές του Αιγαίου πελάγους. Με τη μέθοδο αυτή εκτιμάται η τρωτότητα για αντιπροσωπευτικές καταιγίδες, χωρισμένες σε πέντε κατηγορίες, αντί να υπολογίζεται για κάθε περίπτωση κυματικών συνθηκών. Αυτό επιτρέπει στους φορείς διαχείρισης των ακτών να συνδέουν κάθε καταιγίδα με τις πιθανές συνέπειες, ανάλογα με την κατηγορία στην οποία ανήκει, να εντοπίζουν εύκολα τις ευπαθείς περιοχές και να λαμβάνουν τα κατάλληλα μέτρα για την αντιμετώπιση του προβλήματος.

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προκύπτει πως η πιο τρωτή παράκτια περιοχή σε κατάκλιση είναι αυτή των Χανίων, όπου ένα ποσοστό μεταξύ 80-95% εμφανίζει μεγάλη ή πολύ μεγάλη τρωτότητα για τις καταιγίδες κατηγορίας 4 και 5 τόσο για το παρόν, όσο και για το μελλοντικό κυματικό κλίμα. Μικρότερης έκτασης αλλά πάλι σημαντικού μεγέθους είναι και το ποσοστό που προκύπτει για την περιοχή της Θράκης. Πάνω από το 50% παρουσιάζονται ιδιαίτερα ευπαθείς σε πλημμύρα, για τις κατηγορίες 4 και 5, με τις παραλίες αυτές να τοποθετούνται κατά κύριο λόγο κοντά στο Δέλτα του Έβρου και στις λιμνοθάλασσες κοντά στη λίμνη Βιστωνίδα. Τέλος, τα παράλια της Λέσβου που εξετάζονται, φαίνεται να έχουν το μικρότερο πρόβλημα από τις τρεις περιοχές και αυτό τοποθετείται σε συγκεκριμένες ακτές τόσο για το μελλοντικό κυματικό κλίμα όσο και για το παρόν.

7. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Ερευνητικού Προγράμματος (CCSEAWAVS: Estimating the effects of climate change on sea level and wave climate of

the Greek seas, coastal vulnerability and safety of coastal and marine structures). Το Ερευνητικό Πρόγραμμα έχει συγχρηματοδοτηθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο - ΕΚΤ) και από εθνικούς πόρους μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» του Εθνικού Στρατηγικού Πλαισίου Αναφοράς (ΕΣΠΑ) – Ερευνητικό Χρηματοδοτούμενο Έργο: Θαλής. Επένδυση στην κοινωνία της γνώσης μέσω του Ευρωπαϊκού Κοινωνικού Ταμείου.

Το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM) παρασχέθηκε δωρεάν από τον φορέα "Εθνικό Κτηματολόγιο και Χαρτογράφηση" (ΕΚΧΑ Α.Ε.).

8. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Γαλιατσάτου Π. και Πρίνος Π., (2014). "Εκτίμηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στη μεταβολή του ακραίου κυματικού κλίματος στο Αιγαίο Πέλαγος", *6ο Πανελλήνιο Συνέδριο για τη Διαχείριση και Βελτίωση Παράκτιων Ζωνών, Αθήνα*.
- Κρεστενίτης Γ., Αθανασούλης Γ., Μπελμπασιάκης Κ., Ανδρουλιδάκης Γ., Κομπιάδου Κ., Μακρής Χ., Μπαλτίκας Β., Γαβριλιάδης Π., Γεωργίου Γ., Γεροστάθης Γ., Καπελώνης Ζ., Τσαντίλη Ι. (2013) "Νέα Βάση Δεδομένων : Χρονοσειρές ύψους, μέσης περιόδου και μέσης διεύθυνσης διάδοσης κυματισμού, μετεωρολογικής παλίρροιας και στάθμης θάλασσας", *Τεχνική Έκθεση-Παραδοτέο 2.1, Ερευνητικό Πρόγραμμα Θαλής CCSEAWAVS*.
- Cutter SL, Boruff BJ, Shirley WL (2003) "Indicators of social vulnerability to environmental hazards". *Social Sci Q* 84:242–261
- Dolan, R. and Davis, R.E., (1992) "An intensity scale for Atlantic coast northeast storms", *Journal of Coastal Research*, 7(1), 53-84.
- Doukakis, E., (2005), "Coastal vulnerability and risk parameters", *European Water, Vol 11/12*, 3-7.
- Gornitz V (1991) "Global coastal hazards from future sea level rise". *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol* 89:379–398
- Gouldby, B. and Samuels, P. (2007) "Language of Risk. Project definitions. FLOODsite" *Report T32-04-01*
- Krestenitis YN, Androulidakis YS, Kontos YN, Georgakopoulos G (2011) "Coastal inundation in the north-eastern Mediterranean coastal zone due to storm surge events" *Journal of Coastal Conservation* 15:353–368.
- Krestenitis YN, Androulidakis YS, Kombiadou K., Makris C., Baltikas V. (2014) "Modeling storm surges in the Mediterranean Sea under the A1B climate scenario", *COMECAP, Heraklion, Crete, Greece*
- McLaughlin S, Cooper JAG (2010) "A multi-scale coastal vulnerability index: a tool for coastal managers?" *Environ Hazards* 9:1–16. *Earthscan ISSN: 1878-0059*
- Mendoza, E.T. and Jiménez, J.A. (2009) "Regional geomorphic vulnerability analysis to storms for Catalan beaches" *P. I. Civil Eng-Mar. En.*, 162, 3, 127–135.
- Stockdon, H. F., Holman, R.A., Howd, P.A., and Sallenger, A.H., (2006) "Empirical parameterization of setup, swash, and run-up", *Coastal Engineering* 53, 573-588.
- Ward, J.H., (1963) "Hierarchical grouping to optimize an objective function", *Journal of the American Statistical Association*, 58, 236-244.