



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ
ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΕΡΓΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΗΣ
ΑΚΤΗΣ ΣΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ
ΑΛΛΑΓΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗ
ΤΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΟΔΙΚΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

ΙΩΑΝΝΗΣ ΒΛΑΧΑΚΗΣ

ΑΘΗΝΑ ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2019

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ: Βασιλική Τσουκαλά, Αν. Καθηγήτρια

ΣΥΝΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Μιχάλης Κ. Χονδρός, Διδάσκων (ΠΔ 407/1980)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται τους τρόπους προσαρμογής των παράκτιων προστατευτικών έργων εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής. Σκοπός είναι η ενίσχυση της παράκτιας οδικής ασφάλειας. Γίνεται εκτενής αναφορά στην επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην παράκτια ζώνη αλλά και ειδικότερα στην οδική ασφάλεια των παραλιακών οδών. Προτείνονται μέθοδοι ενίσχυσης των παράκτιων έργων και συγκεκριμένα κριτήρια αξιολόγησης αυτών με σκοπό την αντιμετώπιση των μελλοντικών κλιματικών αλλαγών. Επιπρόσθετα, γίνεται εφαρμογή των προτεινόμενων μεθόδων σε δυο παράκτιες περιοχές όπου η κατασκευή των έργων προστασίας του παράκτιου οδικού δικτύου έγινε χωρίς να ληφθεί υπόψιν ο παράγοντας της κλιματικής αλλαγής. Ακολουθεί ο έλεγχος επάρκειας των υφιστάμενων έργων και, τέλος, συστήνεται η βέλτιστη μέθοδος ενίσχυσης, ώστε να αντιμετωπιστούν οι μελλοντικές επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής.

ABSTRACT

In the present thesis ways for upgrading existing coastal protection works due to climate change are proposed. The aim of this upgrading is to enhance coastal resilience and coastal roads safety. This dissertation presents a thorough review on the climate change and its impact to coastal zones and more in particular in road safety. A series of alternative methods for upgrading of existing coastal structures is proposed along with a number of criteria (environmental, technical and economical) to evaluate these methods. The methodology proposed herein is then applied to real-life cases in two coastal areas with existing coastal protection works (revetments). The latter have been designed without taking into account the factor of climate change impacts. The site specific optimum alternative is determined based upon the performance indicated by the aforementioned criteria. The said methodology can be applied in any coastal zone and therefore can be proved useful for the engineering community dealing with this kind of problems.

Τίτλος Διπλωματικής Εργασίας: ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΕΡΓΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΑΚΤΗΣ ΣΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΟΔΙΚΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Title of Thesis: ADAPTATION OF COASTAL PROTECTION WORKS TO CLIMATE CHANGE EFFECTS FOR ENHANCING COASTAL ROAD SAFETY

Λέξεις κλειδιά: Παράκτια Ζώνη, Κλιματική Αλλαγή, Οδική Ασφάλεια

Key words: Coastal Zone, Climate Change, Road Safety

Όνομα Σπουδαστή: Ιωάννης Βλαχάκης

Επιβλέπουσα: Αν. Καθηγήτρια Βασιλική Τσουκαλά

Συνεπιβλέπων: Μιχάλης Χονδρός, Διδάσκων

ΕΚΤΕΝΗΣ ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία (ΔΕ) ενσωματώνει τη διερεύνηση της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής στην παράκτια ζώνη, με έμφαση σε περιοχές με υφιστάμενους παράκτιους οδικούς άξονες, προτείνοντας μεθόδους προσαρμογής των υφιστάμενων έργων προστασίας της ακτής, για την ενίσχυση της παράκτιας οδικής ασφάλειας. Στόχος είναι η διερεύνηση και η πρόταση φιλικών προς το περιβάλλον, οικονομικοτεχνικά βέλτιστων και προσαρμοστικών ως προς την κλιματική αλλαγή, μεθόδων αναβάθμισης των υφιστάμενων έργων προστασίας της ακτής. Σκοπός της Διπλωματικής Εργασίας είναι να αποτελέσει χρήσιμο εργαλείο κυρίως για τους μελετητές-μηχανικούς που σχεδιάζουν παράκτια έργα προστασίας.

Αρχικά γίνεται εκτενής αναφορά στο φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής σε παγκόσμιο επίπεδο και στις μεταβολές των μετεωρολογικών συνθηκών που παρατηρούνται για μεγάλη χρονική κλίμακα. Ακολουθεί μια πιο εξειδικευμένη αναφορά στον τρόπο που επιδρά το φαινόμενο αυτό, μέσω της μεταβολής της μέσης στάθμης της θάλασσας, του ύψους των κυμάτων και της μετεωρολογικής παλίρροιας, τόσο στην παράκτια ζώνη όσο και στην παράκτια οδική ασφάλεια, και κατ' επέκταση και στα υφιστάμενα έργα προστασίας των παράκτιων ακτών.

Εν συνεχεία, γίνεται ανάλυση δύο συναφών ερευνών που έγιναν με σκοπό την ενίσχυση των υφιστάμενων έργων, ώστε να αποφευχθεί τυχόν αστοχία εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής. Βάσει της πρώτης έρευνας των Koftis et al. (2015) που αφορούσε την αναβάθμιση του έξαλου κυματοθραύστη του Λιμένα Αλεξανδρούπολης, προτάθηκαν τρεις τρόποι αναβάθμισης μέσω της προσθήκης ογκόλιθων θωράκισης στον πόδα του έργου, μέσω της κατασκευής μιας επιπλέον στρώσης θωράκισης στην ανάντη πλευρά και στη στέψη και μέσω της κατασκευής αποσπασμένου ύφαλου κυματοθραύστη. Η δεύτερη έρευνα των Burcharth et al. (2014) επικεντρώθηκε σε εναλλακτικούς τρόπους ενίσχυσης των έργων θωράκισης της ακτογραμμής, προτείνοντας συμπερασματικά ως ενδεδειγμένες λύσεις την προσθήκη στρώσεων θωράκισης στο μέτωπο της κατασκευής με ηπιότερη κλίση μειώνοντας την υπερπήδηση και αυξάνοντας την ευστάθεια της θωράκισης, την προσθήκη ογκόλιθων θωράκισης στον πόδα του έργου μέχρι την ίσαλο, την κατασκευή ξεχωριστού ύφαλου κυματοθραύστη και τέλος την προσθήκη ογκόλιθων θωράκισης από τον πόδα του έργου μέχρι το ύψος της υφιστάμενης στέψης.

Επιπροσθέτως, μέσω της παρούσας διπλωματικής εργασίας προτείνεται μια ολοκληρωμένη μεθοδολογική προσέγγιση για την ενίσχυση και αναβάθμιση των παράκτιων έργων, ούτως ώστε αυτά να είναι ανθεκτικά σε μελλοντικές αλλαγές του κλίματος και πιο συγκεκριμένα την αύξηση της θαλάσσιας στάθμης και ταυτόχρονα την εντονότερη κυματική δράση. Η προτεινόμενη μεθοδολογία περιλαμβάνει επίσης τον καθορισμό κριτηρίων απόδοσης των κατασκευών και τον προσδιορισμό σεναρίων κλιματικής αλλαγής για όλη την περίοδο ζωής του έργου. Τα διάφορα προτεινόμενα σενάρια ενίσχυσης των υφιστάμενων παράκτιων υποδομών αξιολογούνται με επιλεγμένα τεχνικό-οικονομικά και περιβαλλοντικά κριτήρια απόδοσης, σε συγκεκριμένες συνθήκες κλιματικής αλλαγής.

Οι εναλλακτικές μέθοδοι ενίσχυσης των υφιστάμενων θωρακίσεων της ακτογραμμής που μελετώνται είναι η αύξηση του ύψους του τοιχίου προστασίας, η ηπιότερη κλίση μετώπου θωράκισης, η πρόσθετη στρώση θωράκισης, η αύξηση ύψους στέψης και επέκταση θωράκισης, η ενίσχυση ύφαλου πόδα και η κατασκευή ύφαλου κυματοθραύστη.

Ακολούθως δίνεται ο ακριβής καθορισμός των κριτηρίων αξιολόγησης των παραπάνω τρόπων ενίσχυσης, που διακρίνονται σε τεχνικά, οικονομικά και περιβαλλοντικά κριτήρια. Με τα τεχνικά κριτήρια αξιολογείται η απόδοση των διάφορων εναλλακτικών μεθόδων ενίσχυσης των έργων θωράκισης και καθορίζεται η ευστάθεια των ογκόλιθων θωράκισης, η ευστάθεια του πόδα κατασκευής και η παροχή κυματικής υπερπήδησης. Τα οικονομικά κριτήρια αφορούν το κόστος

κατασκευής της κάθε προτεινόμενης μεθόδου, ανά τρέχον μέτρο μήκους καθώς και η ανάγκη για περαιτέρω μελέτες. Όσον αφορά τα περιβαλλοντικά κριτήρια, τα στοιχεία που λαμβάνονται υπόψιν είναι το θαλάσσιο και χερσαίο χωρικό αποτύπωμα των νέων έργων, η οπτική όχληση και ο απαιτούμενος όγκος υλικών κατασκευής.

Στην παρούσα διπλωματική εξετάζεται στην πράξη η εφαρμογή των προτεινόμενων μεθόδων σε δυο περιοχές με διαφορετικά γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά και διαφορετικές συνθήκες θαλάσσιας κατάστασης. Η πρώτη περιοχή ονομάζεται Χατζίνα, και βρίσκεται στην κωμόπολη των Βραχναϊκών του νομού Αχαΐας της Περιφέρειας Δυτικής Ελλάδος, ενώ η δεύτερη περιοχή βρίσκεται στο Λουτράκι, του νομού Κορίνθου, της Περιφέρειας Πελοποννήσου. Ο σκοπός αυτής της πρακτικής εφαρμογής, μέσω της διπλωματικής εργασίας, είναι να προταθεί η(οι) βέλτιστη(ες) λύση(εις) ενίσχυσης του υφιστάμενου παράκτιου έργου, στις δυο παραπάνω περιοχές, ώστε να οχυρωθεί η παράκτια ζώνη και πιο συγκεκριμένα η παραλιακή οδός, διασφαλίζοντας με τον τρόπο αυτό την οδική ασφάλεια. Η πιθανή μελλοντική αύξηση του επιπέδου της στάθμης της θάλασσας και η εντονότερη κυματική δράση, αποτελέσματα της μεταβολής των κλιματικών συνθηκών μέσα στα επόμενα χρόνια, ενισχύουν την επικινδυνότητα για τους χρήστες της παραλιακής οδού.

Στην περιοχή της Χατζίνας προτάθηκε και κατασκευάστηκε πρόσφατα παράκτιο έργο θωράκισης του παραλιακού δρόμου της 28ης Οκτωβρίου, ο οποίος ενώνει τις περιοχές Ρογίτικα, Χατζίνα και συνεχίζει στις συνοικίες Βραχναίικα και Τσουκαλείικα. Ο εν λόγω παραλιακός δρόμος αντιμετώπιζε σοβαρά προβλήματα διάβρωσης και υπερπήδησης, εξαιτίας της θαλάσσιας δράσης. Στην δεύτερη περιοχή του Λουτρακίου προτάθηκε και κατασκευάστηκε πρόσφατα παράκτιο έργο θωράκισης της ακτής και συγκεκριμένα για ένα τμήμα που ξεκινά από το τουριστικό περίπτερο «Καταρράκτες» μέχρι το ξενοδοχείο «Πευκάκια», σε συνολικό μήκος ακτογραμμής περίπου 800μ. Στην περιοχή μελέτης παρατηρούνται έντονα προβλήματα υποσκαφών και υπερπήδησης, λόγω έλλειψης της θωρακίσεως του ποδός του πρανούς και λόγω της δράσης των θαλάσσιων κυματισμών.

Σε αυτές τις δύο περιοχές πραγματοποιήθηκε έλεγχος επάρκειας των υφιστάμενων έργων θωράκισης όσον αφορά τις μελλοντικές επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής και προτάθηκαν εναλλακτικοί τρόποι ενίσχυσης τους. Η βέλτιστη λύση ενίσχυσης για κάθε έργο αντίστοιχα προέκυψε με βάση τα κριτήρια αξιολόγησης που αναφέρθηκαν ως ανωτέρω.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
ABSTRACT	3
ΕΚΤΕΝΗΣ ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	13
1.1 Γενική Ανασκόπηση.....	13
1.2 Στόχοι	13
1.3 Μεθοδολογία	13
1.4 Σημεία καινοτομίας.....	13
1.5 Δομή Διπλωματικής Εργασίας.....	14
1.6 Ευχαριστίες	14
2 ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ	15
2.1 Εισαγωγή.....	15
2.2 Κλιματική Αλλαγή	15
2.2.1 Ηλιακή ακτινοβολία	16
2.2.2 Ατμοσφαιρική σύσταση.....	17
2.2.3 Αλλαγές στη χρήση γης.....	17
2.3 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου	17
2.4 Κλιματική Αλλαγή και Κατακρημνίσεις.....	21
2.5 Κλιματική Αλλαγή και Άνεμοι.....	23
2.6 Σενάρια Εκπομπών Αερίων του Θερμοκηπίου (SRES).....	24
2.7 Βεβαιότητα και Αξιοπιστία των Κλιματικών Μοντέλων.....	24
2.8 Η Κλιματική Αλλαγή στην Ευρώπη και στην Μεσόγειο.....	25
2.9 Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στις φυσικές παραμέτρους.....	25
2.10 Ακραία καιρικά φαινόμενα	27
2.10.1 Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα ακραία καιρικά φαινόμενα	30
3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΖΩΝΗ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΟΔΙΚΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΡΓΩΝ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ.....	33
3.1 Επίδραση Κλιματικής Αλλαγής στην Παράκτια Ζώνη.....	33
3.1.1 Άνοδος της μέσης στάθμης της θάλασσας παγκοσμίως.....	33
3.1.2 Ανεμογενή κύματα	45
3.1.3 Μετεωρολογική παλίρροια.....	45

3.2	Επίδραση Κλιματικής Αλλαγής στην Παράκτια Οδική Ασφάλεια.....	48
3.3	Κατηγορίες Έργων Παράκτιας Προστασίας.....	51
3.4	Έρευνες Συναφείς με την Ενίσχυση Παράκτιων Έργων.....	54
3.4.1	Έρευνα των Koftis et al. 2015.....	54
3.4.2	Έρευνα των Burcharth et al. 2014.....	58
4	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΕΡΓΩΝ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ.....	61
4.1	Προτεινόμενες Μέθοδοι Ενίσχυσης.....	61
4.1.1	(Α) Αύξηση ύψους τοιχίου προστασίας.....	61
4.1.2	(Β) Ηπιότερη κλίση μετώπου θωράκισης.....	62
4.1.3	(Γ) Πρόσθετη στρώση θωράκισης.....	62
4.1.4	(Δ) Αύξηση ύψους στέψης και επέκταση θωράκισης.....	62
4.1.5	(Ε) Ενίσχυση ύφαλου πόδα.....	63
4.1.6	(ΣΤ) Κατασκευή ύφαλου κυματοθραύστη.....	63
4.2	Προσδιορισμός Σεναρίου Κλιματικής Αλλαγής.....	63
4.3	Καθορισμός Κριτηρίων Αξιολόγησης.....	65
4.3.1	Τεχνικά Κριτήρια.....	65
4.3.2	Οικονομικά Κριτήρια.....	68
4.3.3	Περιβαλλοντικά Κριτήρια.....	69
5	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ.....	71
5.1	Εισαγωγή.....	71
5.2	Περιοχή Χατζίνας, Αχαΐα, Δυτική Ελλάδα.....	71
5.2.1	Συλλογή και Επεξεργασία Στοιχείων.....	71
5.3	Περιοχή Λουτράκι, Κόρινθος, Περιφέρεια Πελοποννήσου.....	77
5.3.1	Συλλογή και Επεξεργασία Στοιχείων.....	77
5.3.2	Εφαρμογή Προτεινόμενων Μεθόδων Ενίσχυσης.....	82
5.4	Αξιολόγηση των Αποτελεσμάτων και Πρόταση Βέλτιστης Μεθόδου.....	93
6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	97
6.1	Σύνοψη Αποτελεσμάτων.....	97
6.2	Συνολικά Συμπεράσματα.....	98
6.3	Προτάσεις.....	98
6.4	Περαιτέρω Έρευνα.....	99
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	101

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1-1. Διάγραμμα ροής σταδίων Διπλωματικής Εργασίας.....	13
Εικόνα 2-1: Μεταβολές στη μέση παγκόσμια θερμοκρασία από το 1856 έως το 2005 (Πηγή: NASA).	16
Εικόνα 2-2: Σχηματική παράσταση του φαινομένου του θερμοκηπίου.	18
Εικόνα 2-3: Τα επίπεδα συγκέντρωσης του CO ₂ τα τελευταία 1000 χρόνια (μπλε καμπύλη, άξονας τιμών αριστερά) σε σύγκριση με τη διακύμανση της μέσης θερμοκρασίας παγκοσμίως (κόκκινη γραμμή, άξονας τιμών δεξιά). (Πηγή: AR4- IPCC).....	20
Εικόνα 2-4: Μεταβολή της συγκέντρωσης των θερμοκηπιακών αερίων κατά τη χρονική περίοδο 1975-2015 (Πηγή: AR4 - IPCC).....	20
Εικόνα 2-5: Προβλεπόμενες ετήσιες και εποχιακές αλλαγές στις τιμές ημερήσιας κατακρήμνισης (σε mm) για την περίοδο 2081-2100.	22
Εικόνα 2-6: Σχηματική απεικόνιση της επίδρασης της αύξησης της θερμοκρασίας στον κύκλο των μουσώνων.	31
Εικόνα 3-1. Θαλάσσιοι παράγοντες πρόκλησης παράκτιων πλημμυρών.....	33
Εικόνα 3-2: Σχέση μεταξύ ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας και απομάκρυνση, μέσω εξάτμισης ή μέσω αποκοπής, τμήματος του παγοκαλύμματος. Στην 1η περίπτωση το ισοζύγιο της μάζας αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας (Ανταρκτική), ενώ στη 2η περίπτωση μειώνεται.	40
Εικόνα 3-3: Εκτίμηση της ανόδου της Μ.Σ.Θ, κατά τη χρονική περίοδο 1990-2100, σύμφωνα με το σενάριο A1	43
Εικόνα 3-4: Εκτίμηση της Μέσης Στάθμης της Θάλασσας, κατά τη χρονική περίοδο 1990-2100, για τα σενάρια A2,B1,B2 της IPCC.....	44
Εικόνα 3-5: Διαγράμματα μεταβολής της θερμοκρασίας και της μέσης στάθμης της θάλασσας σύμφωνα με το αισιόδοξο και απαισιόδοξο σενάριο της IPCC.....	44
Εικόνα 3-6: Σχηματική απεικόνιση των συνιστωσών της παλίρροιας (αστρονομική και μετεωρολογική).....	46
Εικόνα 3-7: Επίδραση της υφαλοκρηπίδας στο μέγεθος της μετεωρολογικής παλίρροιας.....	47
Εικόνα 3-8: Συνδυασμός της δράσης του φαινομένου της ανόδου της μέσης στάθμης της θάλασσας και της μετεωρολογικής παλίρροιας (Πηγή: Global Conference on Global Warming,2015).	48
Εικόνα 3-9: Περιοχή Ρεθύμνου (16.02.2012). «Η θάλασσα βγήκε στη στεριά» [www.Rethemnosnews.gr]	49
Εικόνα 3-10: Περιοχή Καλαμάτας (29.09.2018). «Ζημιές και προβλήματα στη Μεσσηνία από τον μεσογειακό κυκλώνα» [www.messinialive.gr]	49
Εικόνα 3-11: Tybee Island, GA, United States (03.09.2016). «Flooding of Coast, Caused by Global Warming, Has Already Begun» [www.nytimes.com].....	49
Εικόνα 3-12: Hemsby, on the Norfolk coast, UK (05.12.2013). «Seven cliff-top homes collapsed on the night of the worst storm surge for 60 years» [www.bbc.com]	50
Εικόνα 3-13: Εναλλακτικές διαχείρισης παράκτιων πλημμυρών.....	52
Εικόνα 3-14: Σκαριφήματα εναλλακτικών σχεδιασμών αναχωμάτων (dikes).....	53
Εικόνα 3-15: Εναλλακτικές κατασκευής θωράκισης ακτογραμμής.	53
Εικόνα 3-16: Θωράκιση ακτογραμμής με φυσικούς ογκόλιθους για την προστασία της παράκτιας ζώνης και των παραλιακών οδών.....	54

Εικόνα 3-17: Τρόποι αναβάθμισης ύφαλου κυματοθραύστη (a) αύξηση πλάτους στέψης της κατασκευής (b) προσθήκη μιας επιπλέον στρώσης θωράκισης (Koftis et al. 2015).	55
Εικόνα 3-18: Τρόποι αναβάθμισης έξαλου κυματοθραύστη (Koftis et al. 2015).	56
Εικόνα 3-19: Εγκάρσιες τομές της αναβαθμισμένης δομής για τις διάφορες εναλλακτικές λύσεις (Koftis et al. 2015).	57
Εικόνα 3-20: Τρόποι αναβάθμισης έργων θωράκισης με αύξηση του υψομέτρου της στέψης (Burcharth et al. 2014).	58
Εικόνα 3-21: Τρόποι αναβάθμισης όπου η αύξηση του επιπέδου κορυφής του κυματοθραύστη δεν είναι επιτρεπτή (Burcharth et al. 2014).	59
Εικόνα 4-1. Μέγιστη και μέση μεταβολή στάθμης θάλασσας (SLH) για τρεις χρονικές περιόδους (Krestenitis et al., 2013).	64
Εικόνα 4-1. Απεικόνιση βασικών γεωμετρικών διαστάσεων πόδα κατασκευής.	66
Εικόνα 4-2. Σχηματική απεικόνιση παραμέτρων που λειτουργούν ως δεδομένα εισόδου στο ΤΝΔ (EurOtop Manual, 2018) για τον υπολογισμό της κυματικής υπερπήδησης.	67
Εικόνα 5-1. Περιοχή Χατζίνας στο διαμέρισμα Αχαΐας της Περιφέρειας Δυτικής Ελλάδος.	71
Εικόνα 5-2 Διάβρωση μετώπου του παραλιακού οδικού δικτύου στην περιοχή Χατζίνα (έτος 2007).	72
Εικόνα 5-3 Απεικόνιση του Σχεδίου Οριζοντιογραφίας και θέση τυπικής διατομής, ΘΧ 9, του υπό διερεύνηση υφιστάμενου έργου θωράκισης παραλιακού δρόμου στην Χατζίνα	73
Εικόνα 5-4 Τυπική Διατομή έργου θωράκισης ΘΧ9.	73
Εικόνα 5-5. Περιοχή Λουτράκι στο νομό Κορίνθου της Περιφέρειας Πελοποννήσου.	77
Εικόνα 5-6. Ανεπαρκής προστασία κατακόρυφου μετώπου παραλιακού δρόμου	78
Εικόνα 5-7. Ανεπαρκής θωράκιση του μετώπου του δρόμου	79
Εικόνα 5-8. Άποψη εξέδρας και χρήση από λουόμενους. Πρόβλημα υποσκαφής στο νότιο άκρο της.	79
Εικόνα 5-9. Απεικόνιση του Σχεδίου Οριζοντιογραφίας και θέση διατομής 2-2, του υπό διερεύνηση υφιστάμενου έργου θωράκισης στην περιοχή Λουτρακίου.	80
Εικόνα 5-10. Διατομή έργου θωράκισης 2-2.	81
Εικόνα 5-11. Εναλλακτική Α: Αύξηση του ύψους του τοιχίου προστασίας	83
Εικόνα 5-12. Εναλλακτική Β: Ηπιότερη κλίση μετώπου θωράκισης.	85
Εικόνα 5-13. Εναλλακτική Γ: Πρόσθετη στρώση θωράκισης.	86
Εικόνα 5-14. Εναλλακτική Δ: Αύξηση ύψους στέψης και επέκταση θωράκισης	88
Εικόνα 5-15. Εναλλακτική Ε: Δημιουργία πόδα θωράκισης.	90

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3-1. Οδικά ατυχήματα στην Ελλάδα για το έτος 2015 που οφείλονται σε καιρικές συνθήκες (www.nrso.ntua.gr/data/).	51
Πίνακας 4-1. Τιμές συντελεστή KD (Shore Protection Manual, 1984).....	65
Πίνακας 4-2. Επεξήγηση παραμέτρων που λειτουργούν ως δεδομένα εισόδου στο TNΔ (EurOtop Manual, 2018) για τον υπολογισμό της κυματικής υπερπήδησης	67
Πίνακας 4-3. Αποδεκτά όρια μέσης κυματικής υπερπήδησης (EurOtop Manual, 2018).....	68
Πίνακας 5-1. Συγκριτική αξιολόγηση εναλλακτικών μεθόδων ενίσχυσης της θωράκισης έναντι κλιματικής αλλαγής για την περιοχή Λουτρακίου.....	95

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενική Ανασκόπηση

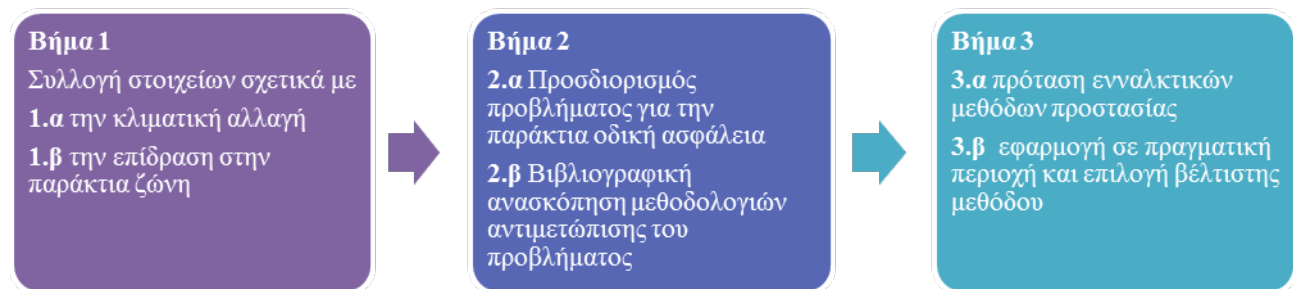
Το γενικότερο πλαίσιο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας (ΔΕ) ενσωματώνει τη διερεύνηση της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής στην παράκτια ζώνη, με έμφαση σε περιοχές με υφιστάμενους παράκτιους οδικούς άξονες και την πρόταση μεθόδων προσαρμογής των υφιστάμενων έργων, προστασίας της ακτής, για την ενίσχυση της παράκτιας οδικής ασφάλειας.

1.2 Στόχοι

Ο στόχος της Διπλωματικής Εργασίας, είναι η διερεύνηση και η πρόταση φιλικών προς το περιβάλλον, οικονομικοτεχνικά βέλτιστων και προσαρμοστικών ως προς την κλιματική αλλαγή, μεθόδων αναβάθμισης υφιστάμενων έργων προστασίας της ακτής. Η αναμενόμενη χρησιμότητα από την επίτευξη του στόχου της Διπλωματικής Εργασίας κρίνεται σημαντική κυρίως για τους μελετητές-μηχανικούς που σχεδιάζουν παράκτια έργα προστασίας.

1.3 Μεθοδολογία

Συνοπτικά, τα βασικά στάδια της εκτέλεσης της Διπλωματικής Εργασίας: α) συλλογή στοιχείων σχετικά με την κλιματική αλλαγή β) συλλογή στοιχείων σχετικά με την επίδραση στην παράκτια ζώνη γ) προσδιορισμός προβλήματος για την παράκτια οδική ασφάλεια δ) βιβλιογραφική ανασκόπηση μεθοδολογιών προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή για το συγκεκριμένο πρόβλημα ε) πρόταση μεθόδων προστασίας ζ) εφαρμογή σε πραγματική περιοχή και επιλογή βέλτιστης μεθόδου. Παρακάτω παρατίθεται ένα διάγραμμα ροής των σταδίων της Διπλωματικής Εργασίας, απεικονίζοντας μία συνολική εικόνα για το αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας και την αλληλουχία των ενεργειών για την αντιμετώπισή του.



Εικόνα 1-1. Διάγραμμα ροής σταδίων Διπλωματικής Εργασίας

1.4 Σημεία καινοτομίας

Τα σημεία καινοτομίας της παρούσας ΔΕ είναι τα εξής:

- ✓ Προτείνεται μια προσέγγιση για την ενίσχυση υφιστάμενων έργων θωράκισης της ακτογραμμής. Από τη βιβλιογραφική αναδίφηση προκύπτει ότι δεν υπάρχει αντίστοιχη έρευνα για τα ελληνικά δεδομένα, παρά μόνο υπάρχει μια σχετική έρευνα για τις ακτές της Δανίας με πολύ διαφορετικές γεωμορφολογικές συνθήκες παράκτιας ζώνης. Επίσης, παρόμοιες μελέτες εστιάζουν στην ενίσχυση λιμενικών έργων (π.χ. κυματοθραυστών) όπου

η προσήνεμη και η υπήνεμη πλευρά βρέχεται από θαλάσσια ύδατα. Στην παρούσα έρευνα, πίσω από το έργο θωράκισης θεωρούνται διαβάσεις πεζών και παραλιακοί δρόμοι.

- ✓ Πέραν των τεχνικό-οικονομικών κριτηρίων αξιολόγησης των εναλλακτικών, όπως προτείνεται και στις διεθνείς παρόμοιες μελέτες που αναφέρθηκαν παραπάνω, η παρούσα ΔΕ προτείνει την εισαγωγή και κύριων περιβαλλοντικών κριτηρίων αξιολόγησης.

1.5 Δομή Διπλωματικής Εργασίας

Η παρούσα ΔΕ έχει δομηθεί σε έξι κεφάλαια. Στο πρώτο Κεφάλαιο δίνεται μια ανασκόπηση του αντικειμένου, των στόχων και της μεθοδολογίας που ακολούθησε η ΔΕ. Το Κεφάλαιο αυτό κλείνει με τις ευχαριστίες προς όλους όσους συντέλεσαν στην ολοκλήρωση της εργασίας. Στο δεύτερο Κεφάλαιο παρουσιάζεται η συλλογή των στοιχείων που εκπονήθηκε σχετικά με την κλιματική αλλαγή και τα σενάρια πρόβλεψης της μελλοντικής εξέλιξης διάφορων φυσικών φαινομένων. Στο τρίτο Κεφάλαιο, σε συνέχεια του προηγούμενου, παρουσιάζεται αναλυτικά η επίδραση της κλιματικής αλλαγής συγκεκριμένα στην παράκτια ζώνη και ειδικότερα στην παράκτια οδική ασφάλεια λόγω πλημμυρικής κατάκλυσης παράκτιων οδικών αξόνων που προκαλείται από την άνοδο της Στάθμης της Θάλασσας και την ταυτόχρονη δράση ακραίων (ή μη) κυματισμών. Στο τέταρτο Κεφάλαιο παρουσιάζεται η βιβλιογραφική ανασκόπηση που εκπονήθηκε για την αντιμετώπιση του προβλήματος από διεθνείς έρευνες. Έχοντας ως βάση τις τελευταίες, προτείνονται στην παρούσα ΔΕ μέθοδοι ενίσχυσης υφιστάμενων παράκτιων έργων για την προστασία από άνοδο της Στάθμης της Θάλασσας και ταυτόχρονη κυματική δράση. Στο Κεφάλαιο 5 γίνεται εφαρμογή των εναλλακτικών μεθόδων ενίσχυσης των παράκτιων έργων, σε μια πραγματική περίπτωση και επιλέγεται η βέλτιστη με κριτήρια προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή. Τέλος στο τελευταίο Κεφάλαιο 6, το οποίο αποτελεί και το σημαντικότερο Κεφάλαιο της παρούσας ΔΕ, πραγματοποιείται η σύνθεση των πρωτότυπων συμπερασμάτων και προτάσεων ως επιστέγασμα ολόκληρης της ερευνητικής προσπάθειας της ΔΕ, περιλαμβάνοντας σύντομη σύνοψη των αποτελεσμάτων, τα συνολικά συμπεράσματα καθώς και τις προτάσεις εφαρμογής των αποτελεσμάτων και περαιτέρω έρευνας.

1.6 Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία αποτελεί την Διπλωματική Εργασία μου, με την οποία ολοκληρώνω τις σπουδές μου στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, στην Σχολή Πολιτικών Μηχανικών. Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους όσους συνέβαλαν στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας, αλλά και των σπουδών μου γενικότερα.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την κα Βασιλική Τσουκαλά, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Ε.Μ.Π. για την ανάθεση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, για την άρτια συνεργασία και το χρόνο που διέθεσε συμβάλλοντας καθοριστικά στην επίλυση όλων των εμποδίων και των προβληματισμών που προέκυψαν και που οδήγησαν τελικά στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας. Θα ήθελα, επίσης, να ευχαριστήσω θερμά τον Διδάσκοντα κ. Μιχάλη Χονδρό, Διδάκτορα Πολιτικό Μηχανικό Ε.Μ.Π. και φίλο, για την συνεισφορά του στην βιβλιογραφική αναζήτηση, για τον πολύτιμο χρόνο που μου διέθεσε ανιδιοτελώς και για την συνεχή στήριξη τους τα χρόνια των σπουδών μου.

Ευχαριστίες στους φίλους μου, Αποστόλου Σπύρο, Γεννηματά Σοφία, Τσιούρη Θεοχάρη και Κωνσταντά Μαρία για την βοήθεια, την συμπαράσταση και την στήριξη τους όλα αυτά τα χρόνια.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την συνεχή στήριξη και την υπομονή τους όλα τα χρόνια των σπουδών μου.

2 ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

2.1 Εισαγωγή

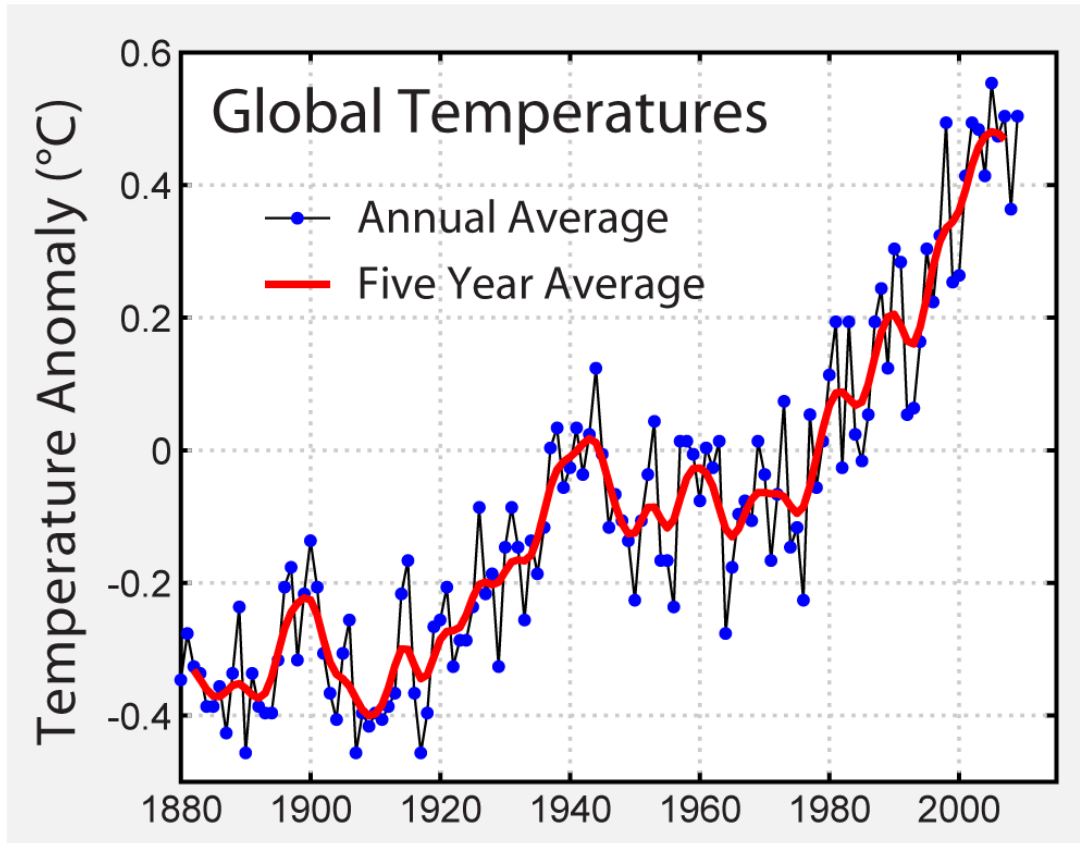
Το κλίμα της γης δεν ήταν ποτέ σταθερό αλλά εξαιτίας της παρουσίας παγετωδών και μεσοπαγετωδών περιόδων συνεχώς μεταβαλλόταν. Βέβαια, τα τελευταία 50 χρόνια, έχουν παρουσιαστεί σημαντικές διαφοροποιήσεις, οι οποίες αποτέλεσαν την αφορμή για επιπρόσθετη έρευνα και μελέτη, ώστε να διασαφηνιστούν οι αιτίες που τις προκαλούν. Η ανθρώπινη παρέμβαση στο φυσικό περιβάλλον θεωρείται από τους περισσότερους ως η κύρια αιτία της κλιματικής μεταβολής των τελευταίων χρόνων. Αυτό είναι αποτέλεσμα της καύσης ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας, σε συνδυασμό με την πληθώρα των βιομηχανικών και γεωργικών δραστηριοτήτων.

2.2 Κλιματική Αλλαγή

Η κλιματική αλλαγή αναφέρεται στη μεταβολή του παγκόσμιου κλίματος και ειδικότερα στις μεταβολές των μετεωρολογικών συνθηκών που παρατηρούνται για μεγάλη χρονική κλίμακα, μεγαλύτερη των 30 ετών. Η κύρια αιτία των κλιματικών αλλαγών, όπως έχει επικρατήσει, είναι οι δραστηριότητες των ανθρώπων, οι οποίες έχουν σοβαρές επιπτώσεις στο κλίμα, όπως για παράδειγμα η τροποποίηση της ατμοσφαιρικής σύνθεσης, στη Σύμβαση - Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για τις Κλιματικές Μεταβολές (UNFCCC). Επομένως, ο όρος κλιματική αλλαγή αναφέρεται στη μεταβολή αυτή που οφείλεται άμεσα ή έμμεσα σε ανθρώπινες δραστηριότητες, διακρίνοντας την από την κλιματική μεταβλητότητα που έχει κατά κύριο λόγο φυσικά αίτια. Η έννοια της κλιματικής αλλαγής είναι άμεσα συνδεδεμένη με την αύξηση της παγκόσμιας θέρμανσης του πλανήτη και ειδικότερα με το φαινόμενο του θερμοκηπίου, που αποτελεί εν γένει τον πρωτεύοντα μηχανισμό της παγκόσμιας θέρμανσης. Σύμφωνα με την τέταρτη Έκθεση Αξιολόγησης (AR4) της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC) η πιθανότητα, η αύξηση της θερμοκρασίας του κλιματικού συστήματος να οφείλεται στις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου, είναι μεγαλύτερη από 95%.

Η IPCC είναι μια επιστημονική διακυβερνητική επιτροπή η οποία λειτουργεί υπό την αιγίδα του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών και ιδρύθηκε το 1988 από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (WMO, World Meteorological Organization). Ο σκοπός της επιτροπής είναι η έρευνα και η αξιολόγηση των αιτιών και παραγόντων που προκαλούν την κλιματική αλλαγή, όπως επίσης και των επιπτώσεων των κλιματικών μεταβολών που οφείλονται στην ανθρώπινη δραστηριότητα, μελετώντας παράλληλα πολιτικές και δράσεις για την αντιμετώπιση των κινδύνων. Μέχρις στιγμής έχει δημοσιεύσει διάφορες εκθέσεις Αποτίμησης Έρευνας (Assessment Reports), για ζητήματα που άπτονται της παγκόσμιας κλιματικής μεταβολής ενώ παράλληλα συντονίζει επιστήμονες από ολόκληρο τον κόσμο.

Ο όρος παγκόσμια θέρμανση του πλανήτη (global warming) αναφέρεται στην αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας και του νερού των ωκεανών, που είναι αποτέλεσμα της ανθρώπινης δραστηριότητας των τελευταίων 50 ετών. Η μέση θερμοκρασία του πλανήτη έχει αυξηθεί κατά $0.6 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ από τα τέλη του 19ου αιώνα, σύμφωνα με τις επιστημονικές έρευνες που διεξάγει η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC) του ΟΗΕ και αναμένεται να αυξηθεί κατά $1.4 - 5.8^{\circ}\text{C}$ εντός της χρονικής περιόδου 1990-2100, αναλόγως του ρυθμού εκπομπής των αερίων του θερμοκηπίου τα χρόνια αυτά.



Εικόνα 2-1: Μεταβολές στη μέση παγκόσμια θερμοκρασία από το 1856 έως το 2005 (Πηγή: NASA).

Το κλίμα της Γης διαμορφώνεται από παράγοντες οι οποίοι μπορεί να είναι είτε φυσικοί είτε ανθρωπογενείς. Κατά κύριο λόγο το κλίμα είναι αποτέλεσμα της απορρόφησης και της αναδιανομής της ηλιακής ακτινοβολίας μεταξύ του σύμπαντος και της γης. Η ηλιακή ακτινοβολία παρέχει την ενέργεια η οποία κινεί τα καιρικά φαινόμενα διαμορφώνοντας το κλίμα στη γη. Το ένα τρίτο της ηλιακής αυτή ακτινοβολίας ανακλάται πίσω στο διάστημα, ενώ το υπόλοιπο απορροφάται από τις διαφορετικές συνιστώσες του κλιματικού συστήματος: την ατμόσφαιρα, τους ωκεανούς, την ξηρά και τις διάφορες μορφές ζωής. Η γη εκπέμπει επίσης υπέρυθρη ακτινοβολία προς το διάστημα, εκτός από την προαναφερθείσα ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία. Αυτή η λεπτή ισορροπία μεταξύ της εξερχόμενης και της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας έχει σαν αποτέλεσμα την διαμόρφωση του παγκόσμιου κλίματος. Οποιαδήποτε αλλαγή στους παράγοντες που επιδρούν τόσο στην εισερχόμενη όσο και την εξερχόμενη ακτινοβολία ή στον μηχανισμό αναδιανομής της ενέργειας οδηγούν σε αλλαγή του κλίματος. Οι παράγοντες που επηρεάζουν αυτή την αναδιανομή ενέργειας συνοψίζονται στα παρακάτω υποκεφάλαια.

2.2.1 Ηλιακή ακτινοβολία

Οι μεταβολές της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στη γη οφείλονται στην ηλιακή δραστηριότητα, και στις βραδείες μεταβολές της γεωμετρίας της τροχιάς της γης, συμπεριλαμβανομένων και των αλλαγών στην κλίση του άξονα της γης. Ο Charles H. Hargood ήταν ο πρώτος που αναφέρθηκε στη μετατόπιση του άξονα περιστροφής της γης, (1958) χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα χιλιάδων χρονολογήσεων με τη χρήση της μεθόδου C14, των κλιματολογικών γεγονότων των τελευταίων 100.000 ετών. Απέδειξε τελικά ότι το εξωτερικό κέλυφος της Γης είχε ξεπηδήσει πάνω από το

εσωτερικό της, αλλάζοντας τρεις φορές τη σχετική θέση των πόλων κατά την διάρκεια αυτής της περιόδου.

Με βάση δορυφορικές μετρήσεις του γήινου βαρυτικού πεδίου, αποδείχθηκε ότι ο βόρειος γεωγραφικός πόλος μετατοπίζεται προς τη Γροιλανδία κατά περίπου 10 cm/yr, τα τελευταία 100 χρόνια. Σύμφωνα με τον dr.Jianli Chen (2013), η μετατόπιση αυτή της θέσης του Βόρειου Πόλου στα νότια άλλαξε το 2005, όπου παρατηρήθηκε εκτροπή κατεύθυνσης προς την ανατολή. Η ομάδα του dr.Jianli Chen, χρησιμοποιώντας δορυφορικές εικόνες GRACE της NASA υπολόγισε ότι από το 2005 έως το 2013 η αλλαγή της εκτροπής της θέσης του Βόρειου Πόλου είναι της τάξεως των 1.2 m. Η αλλαγή μπορεί να οφείλεται κατά κύριο λόγο στην ανακατανομή της μάζας του πλανήτη λόγω της υπερθέρμανσης του και λιγότερο στις μετατοπίσεις των τεκτονικών πλακών.

2.2.2 Ατμοσφαιρική σύσταση

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου αποτελεί το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα της επίδρασης της σύστασης της ατμόσφαιρας στη διαμόρφωση του κλίματος και θα αναλυθεί στη συνέχεια. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου, οφείλεται κυρίως στις εκπομπές αερίων, όπως είναι το διοξείδιο του άνθρακα και το μεθάνιο. Τα αέρια αυτά εγκλωβίζουν την ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία στην ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η θερμοκρασία στη γη. Αντίθετη είναι η δράση των αιωρούμενων σωματιδίων, τα οποία εκπέμπονται τόσο από φυσικές όσο και από ανθρωπογενείς πηγές και τα οποία αντανakλούν ή/και απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι εκρήξεις των ηφαιστείων, οι οποίες εκτοξεύουν μεγάλες ποσότητες αερίων και σωματιδίων στα ψηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Τα σωματίδια αυτά μπορεί να παραμείνουν εκεί για πολλά χρόνια οδηγώντας σε ψύξη την κατώτερη ατμόσφαιρα, ιδιαίτερα αισθητή στο ημισφαίριο στο οποίο έγινε η έκρηξη.

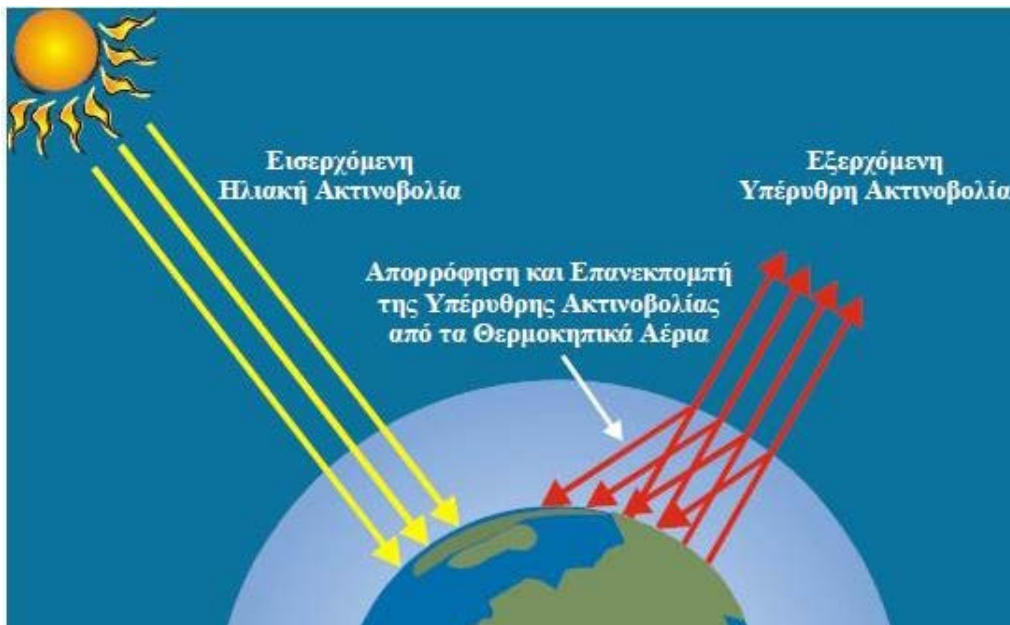
2.2.3 Αλλαγές στη χρήση γης

Ο άνθρωπος προσπαθώντας να ικανοποιήσει τις προσωπικές του ανάγκες, αντικαθιστά τα δάση με καλλιεργήσιμες εκτάσεις, τη βλάστηση με τσιμέντο ή ασφάλτο επηρεάζοντας με αυτόν τον τρόπο, το μηχανισμό με τον οποίο απορροφάται η ηλιακή ακτινοβολία από την επιφάνεια της γης και κατ' επέκταση θερμαίνει την ατμόσφαιρα. Αυτές οι επεμβάσεις επομένως επηρεάζουν και τα υδρολογικά χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής, καθώς η ποσότητα του νερού των κατακρημνίσεων συναντά εμπόδιο κατά την απορρόφηση του από το έδαφος. Επομένως άμεσο αποτέλεσμα των ανθρωπογενών αυτών παρεμβάσεων, είναι η αυξημένη συχνότητα εμφάνισης των πλημμυρικών φαινομένων, στο οποίο θα γίνει αναφορά σε επόμενο κεφάλαιο.

2.3 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου υπό φυσιολογικές συνθήκες είναι ένα φυσικό και αναγκαίο φαινόμενο για την ύπαρξη και διατήρηση ζωής πάνω στον πλανήτη Γη. Τα τελευταία χρόνια βέβαια το φαινόμενο του θερμοκηπίου έχει ταυτιστεί πλήρως με την κλιματική αλλαγή και την υπερθέρμανση του πλανήτη. Η απειλή του φαινομένου προέρχεται από την υπερβολή του, η οποία οφείλεται κατά κόρον στις ανθρωπογενείς εκπομπές ρύπων. Είναι διαπιστωμένο ότι οι υδρατμοί της ατμόσφαιρας σε συνδυασμό με ορισμένα αέρια γνωστά και ως θερμοκηπιακά αέρια (Green House Gases, GHG), επιτρέπουν τη διέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας προς τη γη, ενώ αντίθετα απορροφούν και εκπέμπουν εκ νέου προς το έδαφος ένα μέρος της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης. Αυτή η παγίδευση της υπέρυθρης ακτινοβολίας από τα συγκεκριμένα αέρια, καλείται φαινόμενο του θερμοκηπίου. Χωρίς αυτόν το μηχανισμό η μέση

θερμοκρασία της γης θα ήταν κατά 35 °C χαμηλότερη και επομένως η ύπαρξη ζωής θα ήταν αδύνατη με τη μορφή που υπάρχει σήμερα. Η **Εικόνα 2.2** που ακολουθεί, αποτελεί μία γραφική αναπαράσταση του φαινομένου του θερμοκηπίου.



Εικόνα 2-2: Σχηματική παράσταση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου ενισχύεται από την αύξηση των εκπομπών των θερμοκηπιακών αερίων και ιδίως του διοξειδίου του άνθρακα από τον άνθρωπο και έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας στον πλανήτη. Είναι σημαντικό να αναφερθεί, ότι εκτός από τις ανθρωπογενείς εκπομπές θερμοκηπιακών αερίων, σημαντικό ρόλο για την εξέλιξη του φαινομένου του θερμοκηπίου έχει παίξει και η εκτεταμένη καταστροφή των τροπικών δασών, τα οποία με τη σειρά τους συμβάλουν σημαντικά στην ισορροπία των θερμοκηπιακών αερίων στην ατμόσφαιρα, καθώς είναι αυτά που αυτά ρυθμίζουν τις ποσότητες των υδρατμών και του οξυγόνου του πλανήτη. Στον **Πίνακα 2.1** που ακολουθεί, καταγράφονται τα κυριότερα αέρια της ατμόσφαιρας που ευθύνονται για την ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου, καθώς και η συνεισφορά τους σε αυτό.

Πίνακας 2.1: Αέρια του θερμοκηπίου και η συνεισφορά τους στο φαινόμενο. (Πηγή: SRES - IPCC)

Αέρια	Συνεισφορά (%)
Διοξείδιο του Άνθρακα	>60
Μεθάνιο	15-20
Υποξείδιο του Αζώτου	7-9
Χλωροφθοράνθρακες	
CFC 11	0.7-0.75
CFC 12	0.75-0.85

CFC 22	0.40-0.50
--------	-----------

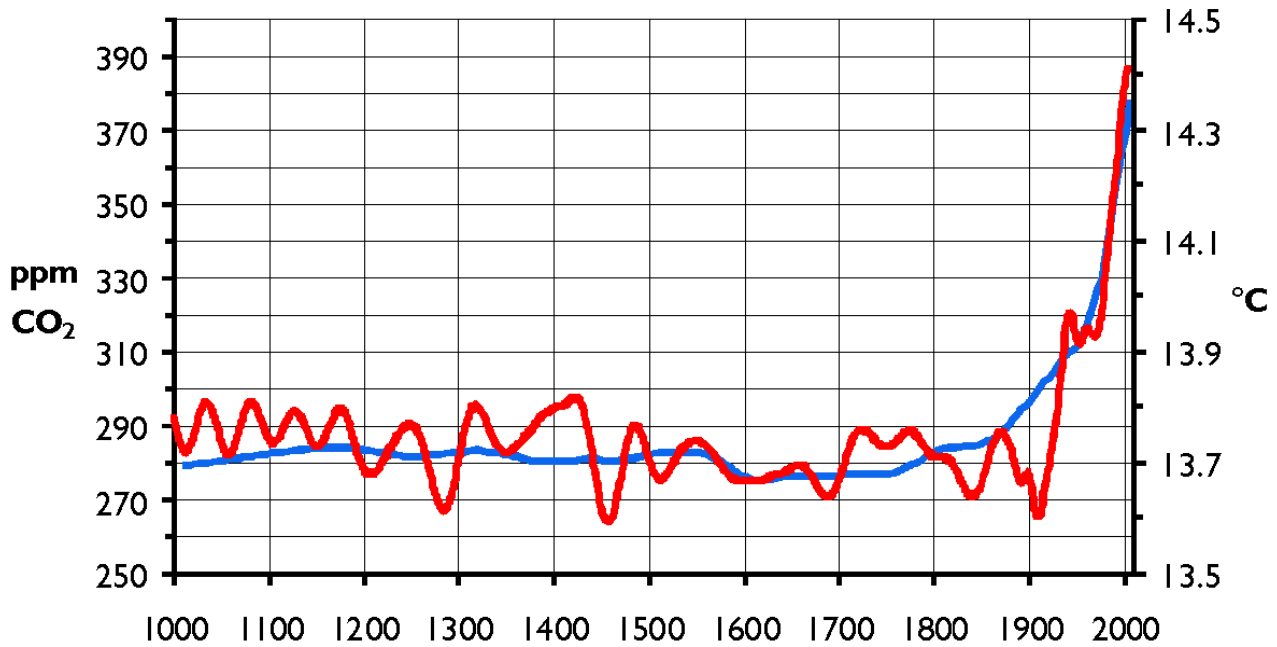
Η συγκέντρωση των αερίων των κατώτερων στρωμάτων της ατμόσφαιρας, δηλαδή εκείνων που επηρεάζουν σημαντικά τη ζωή του ανθρώπου, αυξάνεται κατά 450 εκατομμύρια τόνους μεθανίου ετησίως, όπως έχει αποδειχθεί με πρόσφατες μετρήσεις του Παγκόσμιου Οργανισμού Μετεωρολογίας (WMO) του ΟΗΕ,. Επιπρόσθετα, οι συγκεντρώσεις σε διοξείδιο του άνθρακα και μεθάνιο έχουν αυξηθεί κατά 31% και 150% αντίστοιχα από το 1750, ενώ βρίσκονται στα υψηλότερα επίπεδα των τελευταίων 650.000 ετών (**Πίνακας 2.2**). Εκτιμάται ότι τα τρία τέταρτα της ανθρωπογενούς παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα, οφείλεται σε χρήση ορυκτών καυσίμων, ενώ το υπόλοιπο προέρχεται από αλλαγές που συντελούνται στο έδαφος, κυρίως μέσω της αποψύλωσης των τροπικών δασών και της ηφαιστειακής δραστηριότητας. Στις Εικόνες 2-8 και 2-9 που ακολουθούν φαίνεται αρχικά ο ρυθμός μεταβολής του διοξειδίου του άνθρακα σε διάρκεια 1000 ετών και η συσχέτιση του με την άνοδο της θερμοκρασίας, ενώ στη συνέχεια καταγράφονται οι συγκεντρώσεις των θερμοκηπιακών αερίων, τη χρονική περίοδο 1975 – 2015.

Πίνακας2.2: Καταγραφή της μεταβολής της ποσότητας των κύριων θερμοκηπιακών αερίων στην ατμόσφαιρα, για τη χρονική περίοδο 1750-1998 (Πηγή: *Contribution of Working Group I, Climate Change 2007, IPCC*)

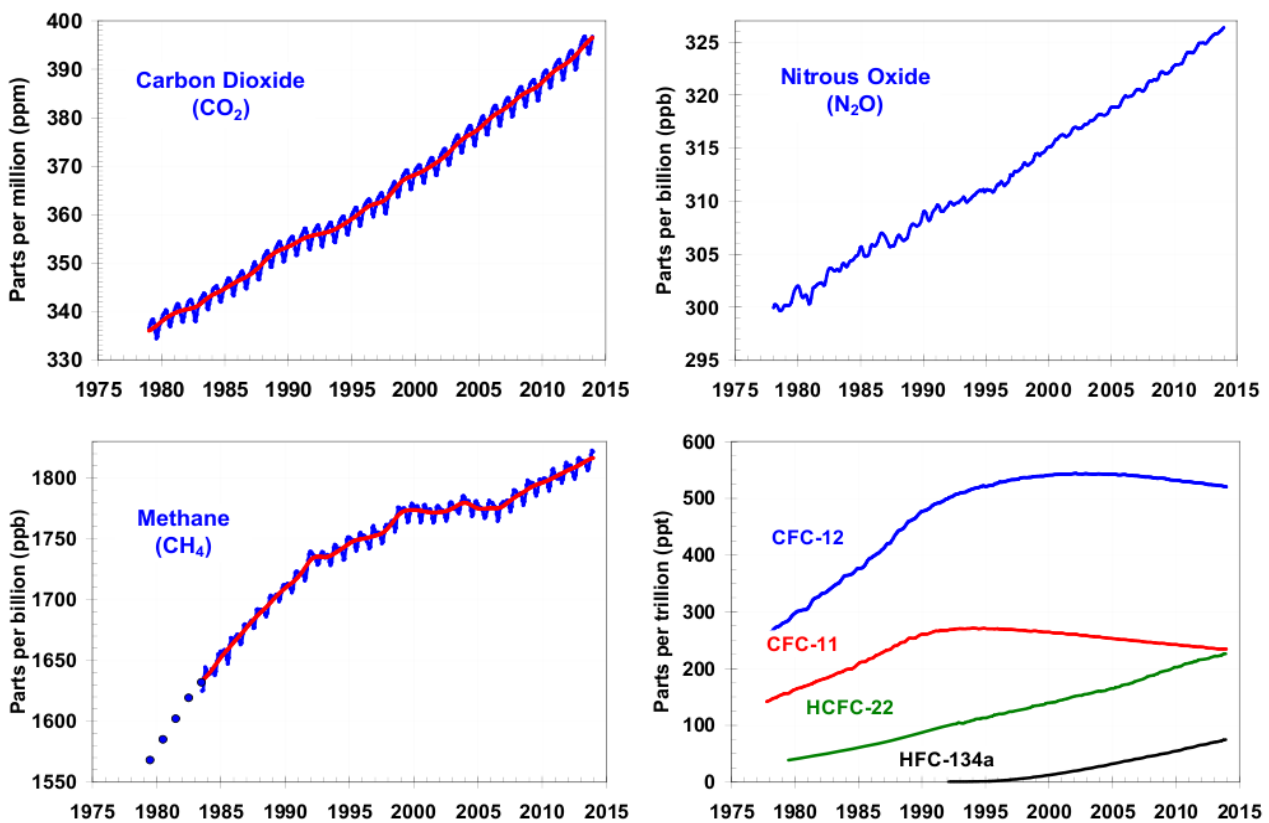
Αέρια	Επίπεδο 1988	Επίπεδο 1750	Ποσοστό αύξησης	Συνεισφορά στο φαινόμενο [W/m ²]
Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂)	365 ppm	278 ppm	31%	1,46
Μεθάνιο (CH ₄)	1,745 ppb	0,7 ppb	150%	0,48
Υποξείδιο του Αζώτου (N ₂ O)	314ppb	297 ppb	16%	0,15

Στην Εικόνα **2.3** που ακολουθεί φαίνεται η σχέση μεταξύ θερμοκρασίας και συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα. Είναι φανερό λοιπόν ότι η άνοδος της θερμοκρασίας σχετίζεται άμεσα με την αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα, καθώς οι μέσες ετήσιες τιμές και των δύο μεταβλητών ακολουθούν την ίδια κατανομή. Βέβαια δεν έχει επαληθευτεί ακόμη εάν όντως η αύξηση του CO₂ προκαλεί την άνοδο της τιμής της θερμοκρασίας παγκοσμίως ή απλώς συντελεί στην άνοδο της. Ό,τι και από τα δύο να συμβαίνει το μόνο σίγουρο είναι ότι αυτές οι δύο μεταβλητές είναι άμεσα συνδεδεμένες μεταξύ τους.

Στη Εικόνα **2.4** φαίνονται οι ανοδικές τάσεις των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου από το 1975 έως σήμερα, σύμφωνα με την 4η Ειδική Έκθεση για την Κλιματική Αλλαγή που συνέταξε η IPCC.



Εικόνα 2-3: Τα επίπεδα συγκέντρωσης του CO₂ τα τελευταία 1000 χρόνια (μπλε καμπύλη, άξονας τιμών αριστερά) σε σύγκριση με τη διακύμανση της μέσης θερμοκρασίας παγκοσμίως (κόκκινη γραμμή, άξονας τιμών δεξιά). (Πηγή: AR4- IPCC)



Εικόνα 2-4: Μεταβολή της συγκέντρωσης των θερμοκηπιακών αερίων κατά τη χρονική περίοδο 1975-2015 (Πηγή: AR4 - IPCC)

Η επιστημονική μελέτη της IPCC έδειξε ότι η αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα κατά 36% κατά τη διάρκεια των 1000 ετών, προκαλεί άνοδο της θερμοκρασίας της τάξεως των 0.8 °C. Μετά το 2005, οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου βρίσκονται στην κορυφή των εκτιμήσεων και αν δεν παρθούν άμεσες πολιτικές δράσεις, η αύξηση της θερμοκρασίας αναμένεται να φτάσει στο ανώτερο εύρος των προβλέψεων. Αναφορικά με τις διαστάσεις που θα έχει ενδεχομένως η άνοδος της θερμοκρασίας ως το τέλος του αιώνα, η IPCC εξετάζει τέσσερα πιθανά σενάρια εκπομπής αερίων (SRES), χωρίς ωστόσο να καταγράφει τις πιθανότητες εμφάνισής τους.

Βάσει των σεναρίων SRES, η IPCC εκτιμά ότι είναι πολύ πιθανό η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας της γης να αυξηθεί από 0.3 °C στο πιο αισιόδοξο σενάριο και έως 4.8 °C στο δυσμενέστερο ως το τέλος του αιώνα σε σχέση με τη μέση θερμοκρασία της περιόδου 1986-2005. Η μεγάλη διαφορά των προβλέψεων εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τις ποσότητες των θερμοκηπιακών αερίων που θα εκλυθούν στην ατμόσφαιρα εντός των δεκαετιών που θα έρθουν. Αξίζει να αναφέρουμε ότι η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας έχει ήδη αυξηθεί κατά περίπου 0.8 °C.

Οι επιστήμονες εκτιμούν ότι αυτή η αύξηση της μέσης τιμής της θερμοκρασίας παγκοσμίως μπορεί να προκαλέσει πληθώρα αρνητικών επιπτώσεων σε αρκετές φυσικές μεταβλητές, όπως για παράδειγμα στη μέση στάθμη της θάλασσας, στην ένταση των ακραίων καιρικών φαινομένων και στη μεταβολή των μετεωρολογικών συνθηκών (κατεύθυνση και ένταση πνοής ανέμου). Επίσης μπορεί να προκαλέσει την εξαφάνιση ποικίλων βιολογικών ειδών (κυρίως της παράκτιας ζώνης) σε ακραίες περιπτώσεις. Όπως αναφέρει ο Thomas Stocker, 2008 τα κύματα καύσωνα ενδέχεται να γίνουν συχνότερα και να διαρκούν περισσότερο, ενώ ταυτόχρονα η άνοδος της θερμοκρασίας θα προκαλέσει ισχυρότερη βροχόπτωση στις περιοχές που σήμερα είναι υγρές και ασθενέστερη στις περιοχές που είναι σήμερα ξηρές. Τέλος, η IPCC εκτιμά ότι η στάθμη της θάλασσας πιθανότατα θα ανέβει κατά μέσο όρο από 26 - 82 cm έως το έτος 2100, αναλόγως την άνοδο της θερμοκρασίας, κάτι το οποίο αποτελεί μια από τις σοβαρότερες συνέπειες της αύξησης της θερμοκρασίας.

Σύμφωνα με μελέτες εντός του παρόντα αιώνα, θα παρατηρηθεί σημαντική μείωση της ετήσιας βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, ιδίως στην περιοχή της Μεσογείου και της Μέσης Ανατολής όπου βρίσκεται και η Ελλάδα. Οι περιοχές που θα επηρεαστούν περισσότερο άμεσα από την άνοδο της μέσης στάθμης της θάλασσας, είναι οι γόνιμες και πυκνοκατοικημένες παράκτιες και χαμηλού υψόμετρου περιοχές. Σύμφωνα με δεδομένα παλιρροιογράφων, υπολογίζεται ότι η άνοδος της μέσης στάθμης παγκοσμίως είναι της τάξεως του 1.7mm/yr και ειδικότερα στην περιοχή της Μεσογείου της τάξεως του 1.1 – 1.3 mm/yr (Marcos and Tsimplis 2008). Εκτός από την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στις φυσικές μεταβλητές που αναφέρθηκαν παραπάνω (θερμοκρασία, κατακρημνίσεις και άνεμοι), η μεταβολή του κλίματος προκαλεί και αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων, τόσο άμεσες όσο και έμμεσες. Η άνοδος της μέσης στάθμης της θάλασσας σε συνδυασμό με την αύξηση της έντασης και της συχνότητας των ακραίων καιρικών φαινομένων προκαλεί άμεσα τη διάβρωση των παράκτιων περιοχών και την υφαλμύριση των υπόγειων υδροφορέων. Η κακή ποιότητα του νερού δημιουργεί εύφορο έδαφος για τη μετάδοση διαφόρων ασθενειών, όπως η ελονοσία και σε συνδυασμό με τη μείωση του εδάφους έχει ζημιογόνες επιπτώσεις για τη γεωργία και τον τουρισμό.

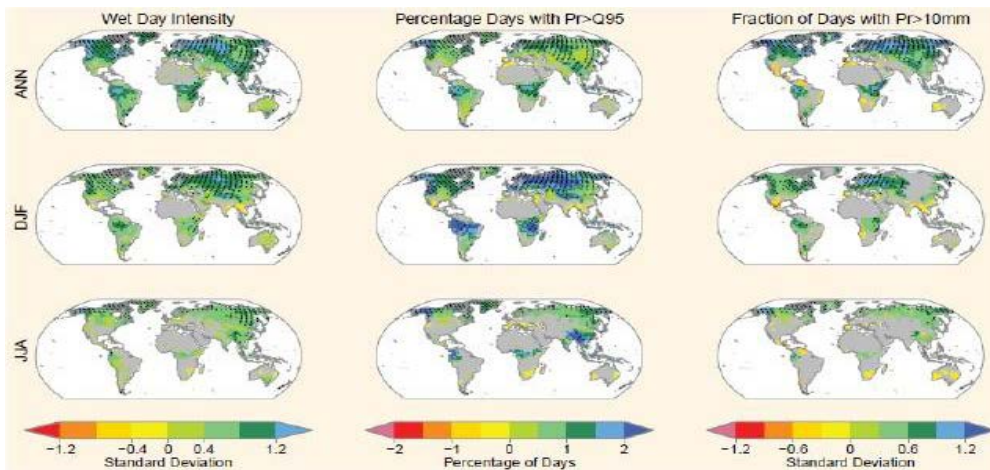
2.4 Κλιματική Αλλαγή και Κατακρημνίσεις

Η αύξηση της μέσης ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας από 0.3 °C – 4.8 °C παγκοσμίως και η άνοδος της τιμής της θερμοκρασίας των υδάτων, όπως αναφέρει η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC), επιδρά άμεσα στον υδρολογικό κύκλο του νερού, καθώς μεταβάλλει τη μέση στάθμη της θάλασσας και επηρεάζει την ένταση, τη συχνότητα και την ποσότητα των κατακρημνίσεων και της εξάτμισης του νερού σε διάφορες περιοχές. Σύμφωνα με τους Alexander et al. 2006, οι κατακρημνίσεις επηρεάζονται απευθείας από τον υδρολογικό κύκλο και τις

συγκεντρώσεις των υδρατμών καθώς όσο αυξάνεται η θερμοκρασία τόσο εντονότερη είναι και η εξάτμιση, επομένως ισχυρότερες και συχνότερες οι κατακρημνίσεις. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ότι η επιφάνεια των θαλάσσιων λεκανών κάθε λεπτό εξατμίζεται κατά ένα δις. κυβικών μέτρων νερού, το οποίο με τη σειρά του διοχετεύεται στην ατμόσφαιρα όπου και παραμένει για περίπου μία βδομάδα. Ακολούθως, επιστρέφει στη γη, με τη μορφή κατακρημνίσεων, τροφοδοτώντας τα υδάτινα οικοσυστήματα. Επομένως όσο η θερμοκρασία αυξάνεται τόσο αυξάνεται και ο αριθμός των υδρατμών που παραμένουν στην ατμόσφαιρα, το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα να εμφανίζονται πιο συχνές και πιο έντονες βροχοπτώσεις.

Όπως γίνεται αντιληπτό, το μέγεθος της αλλαγής του φαινομένου παραμένει αβέβαιο και διαφέρει από περιοχή σε περιοχή. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα άλλες περιοχές της γης να γίνονται υγρότερες ενώ άλλες ξηρότερες. Παρόλα αυτά, τα περισσότερα κλιματικά μοντέλα προβλέπουν ότι κατά το τέλος του 21ου αιώνα θα παρατηρηθεί αύξηση της συχνότητας των έντονων φαινομένων κατακρημνίσεως ειδικά στις τροπικές περιοχές (μεγάλα γεωγραφικά πλάτη) και στα μεσαία πλάτη το χειμώνα (Kharin et al., 2007; Kim et al., 2010; Tebaldi et al., 2006). Επιπρόσθετα, πιθανολογείται ότι σε κάποιες περιοχές του πλανήτη, σύμφωνα με τους Tebaldi et al., 2006, να μην θα αυξηθεί η συχνότητα των πιο έντονων βροχοπτώσεων, αλλά ταυτόχρονα θα μειωθούν οι ήπιες βροχοπτώσεις και ως εκ τούτου να μειωθεί η συνολική ποσότητα νερού. Σύμφωνα με την Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή, είναι πιθανό τα σπάνια φαινόμενα πολύ έντονων κατακρημνίσεων που έχουν χρόνο επανεμφάνισης τα 20 χρόνια, να εμφανίζονται πλέον πιο συχνά στο τέλος του 21ου αιώνα, με χρόνο επανεμφάνισης πλέον από 5 -15 χρόνια σε αρκετές περιοχές της γης. (Tebaldi et al., 2006)

Στην **Εικόνα 2.5** που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι προβλεπόμενες αλλαγές όσον αφορά την ένταση των κατακρημνίσεων και τα ποσοστά των βροχερών ημερών σύμφωνα με την IPCC για το χρονικό διάστημα 2081-2100, Στην πρώτη στήλη της Εικόνας φαίνεται η μελλοντική ένταση των υγρών ημερών σε όλο τον πλανήτη, ενώ στη δεύτερη στήλη ακολουθεί το ποσοστό των 5% πιο βροχερών ημερών του έτους και στην τρίτη στήλη το ποσοστό των ημερών με κατακρήμνιση μεγαλύτερη των 10mm, προς το σύνολο των ημερών του έτους. Τα ποσοστά αυτά προκύπτουν από τη διαφορά των ποσοστών της περιόδου 2081-2100 με τα αντίστοιχα ποσοστά της περιόδου 1980-1999. Επίσης να αναφερθεί ότι η 1η γραμμή δείχνει την αλλαγή στο σύνολο του έτους, η 2η γραμμή για τους μήνες Δεκέμβριο – Ιανουάριο - Φεβρουάριο (DJF) και η 3η για τους μήνες Ιούνιο – Ιούλιο -Αύγουστο (JJA). (Πηγή: SREX)



Εικόνα 2-5: Προβλεπόμενες ετήσιες και εποχιακές αλλαγές στις τιμές ημερήσιας κατακρήμνισης (σε mm) για την περίοδο 2081-2100.

2.5 Κλιματική Αλλαγή και Άνεμοι

Σύμφωνα με τους McVicar et al., 2008, οι άνεμοι είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τις φυσικές διεργασίες και τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Αφενός η ταχύτητα του ανέμου επηρεάζει τον υδρολογικό κύκλο του νερού και κατ' επέκταση την ποσότητα αλλά και την ταχύτητα της εξάτμισης και αφετέρου επηρεάζει την ανθρώπινη δραστηριότητα, καθώς οι ακραίες τιμές της αποτελούν μεγάλη απειλή για την ανθρώπινη ασφάλεια όσον αφορά τη ναυσιπλοΐα και την κατασκευή παράκτιων έργων και ψηλών κτιρίων. Όπως αναφέρουν οι McInnes et al., 2009b, οι άνεμοι στα μεσαία πλάτη μπορούν να προκαλέσουν άνοδο της στάθμης της θάλασσας τοπικά και κατ' επέκταση αλλαγή στα χαρακτηριστικά του κύματος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αλλαγή των δραστηριοτήτων της στεριάς. Το μέγεθος και οι επιπτώσεις που προκαλούν οι άνεμοι μελετώνται σε συνδυασμό με τα φαινόμενα που σχετίζονται, όπως για παράδειγμα τους τροπικούς και εξωτροπικούς κυκλώνες, τις καταιγίδες και τους ανεμοστρόβιλους. Βέβαια λόγω των περιορισμένων σε αριθμό μετρήσεων και των ελλειπών προσομοιώσεων των κλιματικών μοντέλων, η αβεβαιότητα των υπολογισμών των μέσων και μεγίστων ταχυτήτων των ανέμων είναι αρκετά μεγάλη. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκαν σημαντικές μειώσεις στις μέσες και ακραίες τιμές της ταχύτητας για το δεύτερο μισό του 20ου αιώνα (με εξαίρεση την Ανταρκτική και την κεντρική και ανατολική Αυστραλία) όπως αναφέρουν οι Turner et al., 2005 and McVicar et al. 2008 και σύμφωνα με τις μελέτες της SREX. Ωστόσο, επειδή οι εκτιμήσεις αυτές προκύπτουν από την ανάλυση σχετικών φαινομένων, η βεβαιότητα τους είναι αρκετά χαμηλή. Οι μεταβολές, που παρατηρήθηκαν στους τροπικούς κυκλώνες παγκοσμίως, ήταν ασήμαντες, ωστόσο η εμφάνιση πιο εντατικών ανεμοθυελλών από το 1980 υπήρξε σημαντική.

Στον **Πίνακα 2.3** που ακολουθεί, φαίνονται συνολικά και συνοπτικά οι παρατηρούμενες και οι προβλεπόμενες αλλαγές σε κάθε μία από τις κλιματικές μεταβλητές που έγινε αναφορά, συνοδευόμενες από την βεβαιότητα και την πιθανότητα εμφάνισης τους (Πηγή: SREX).

Πίνακας 2.3: Συνοπτικά οι παρατηρούμενες και προβλεπόμενες αλλαγές όσον αφορά τη θερμοκρασία, τις κατακρημνίσεις και τους ανέμους (Πηγή: SREX).

Κλιματικές μεταβλητές	Παρατηρούμενες αλλαγές από το 1950	Αναμενόμενες αλλαγές μέχρι το 2100
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	Πολύ πιθανή μείωση των κρύων ημερών και νυχτών με αντίστοιχη αύξηση των ζεστών παγκοσμίως. Μεσαία βεβαιότητα στην αύξηση της διάρκειας και στον αριθμό των θερμών περιόδων στις περισσότερες περιοχές. Χαμηλή ή μέτρια βεβαιότητα για τις τάσεις των ακραίων θερμοκρασιακών μεταβλητών λόγω της έλλειψης στοιχείων στις περισσότερες περιοχές της γης.	Προβλέπεται μείωση της συχνότητας και του μεγέθους των κρύων ημερών/νυκτών και αύξηση των θερμών αντίστοιχα παγκοσμίως. Πολύ πιθανή αύξηση της διάρκειας, της συχνότητας και / ή της έντασης των θερμών περιόδων ή κυμάτων καύσωνα στις περισσότερες περιοχές του πλανήτη.

ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΙΣ	Πιθανή σημαντική αύξηση του αριθμού των έντονων βροχοπτώσεων σε περισσότερες περιοχές συγκριτικά με αυτές που ίσως υπάρξουν σημαντικές μειώσεις. Έντονες διαφοροποιήσεις από περιοχή σε περιοχή.	Πιθανή αύξηση της συχνότητας εμφάνισης των φαινομένων των ακραίων βροχοπτώσεων κυρίως στις τροπικές περιοχές και στις περιοχές υψηλών γεωγραφικών πλατών του πλανήτη, ενώ κατά τη διάρκεια του χειμώνα στις περιοχές μεσαίων πλατών.
ΑΝΕΜΟΙ	Χαμηλή βεβαιότητα για τις τάσεις λόγω της έλλειψης στοιχείων.	Χαμηλή βεβαιότητα στις προβλέψεις για ακραίους ανέμους λόγω της έλλειψης στοιχείων (εξαιρούνται οι άνεμοι των τροπικών κυκλώνων).

2.6 Σενάρια Εκπομπών Αερίων του Θερμοκηπίου (SRES)

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί περιγράφονται τα σενάρια εκπομπής των αερίων του θερμοκηπίου (GHG), όπως αυτά έχουν οριστεί από την 4η Ειδική Έκθεση (AR4) της Διακυβερνητικής Επιτροπής για τη Κλιματική Μεταβολή (IPCC). Τα σενάρια αυτά (SRES: Special Report on Emissions Scenarios), έχουν σαν στόχο τον περιορισμό της αύξησης της θερμοκρασίας κατά 2°C παγκοσμίως. Ένα σημείο που πρέπει να τονίσουμε στα συγκεκριμένα σενάρια είναι η μεγάλη αβεβαιότητα πραγματοποίησης, καθώς γίνεται απλή πρόγνωση των μελλοντικών ανθρωπογενών εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου (GHG), βάσει των ήδη καταγεγραμμένων συγκεντρώσεων GHG στην ατμόσφαιρα. Τα σενάρια αυτά καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα από τις πηγές των μελλοντικών εκπομπών, όπως για παράδειγμα οι δημογραφικές, οι τεχνολογικές και οι οικονομικές εξελίξεις. Ωστόσο κανένα από τα σενάρια αυτά δεν συμπεριλαμβάνει τυχόν μελλοντικές πολιτικές, μέσω των οποίων θα αντιμετωπίζεται άμεσα η κλιματική μεταβολή.

Λόγω του γεγονότος ότι τα μελλοντικά επίπεδα των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου παγκοσμίως είναι αποτέλεσμα ενός πολύ περίπλοκου δυναμικού συστήματος το οποίο με τη σειρά του επηρεάζεται από διαφορετικούς παράγοντες, όπως η αύξηση του πληθυσμού, η κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη και η τεχνολογική πρόοδος, οι μακροπρόθεσμες προβλέψεις είναι σχεδόν αδύνατες. Ωστόσο, σύμφωνα με την IPCC, τα σενάρια αυτά αποτελούν θεωρητικά χρήσιμα εργαλεία για επιστημονικές αξιολογήσεις και βοηθούν στην κατανόηση της συμπεριφοράς των συστημάτων και στην ανάλυση των κλιματικών αλλαγών.

2.7 Βεβαιότητα και Αξιοπιστία των Κλιματικών Μοντέλων

Η πρόβλεψη του κλίματος παγκοσμίως παραμένει αβέβαιη και δύσκολη. Η κύρια αιτία της αβεβαιότητας αυτής είναι η μεταβλητότητα των φυσικών διεργασιών και η λανθασμένη προσέγγιση τους, χρησιμοποιώντας μεθόδους κλασικής στατιστικής. Το κλίμα δεν υπήρξε ποτέ σταθερό, αλλά μεταβάλλεται ακανόνιστα σε όλες τις χρονικές κλίμακες κατά τη διάρκεια όλης της ιστορίας του πλανήτη. Ως εκ τούτου, η χρήση των ντετερμινιστικών προσεγγίσεων είναι βολική για την εισαγωγή των δεδομένων στα μοντέλα πρόβλεψης της κλιματικής αλλαγής, αλλά από την άλλη δεν περιλαμβάνει την πολυπλοκότητα του κλιματικού συστήματος. Επίσης ούτε οι προγνώσεις βάσει σεναρίων, προβλέπουν τη φυσική μεταβλητότητα του παρελθόντος στο σύνολο της. Επομένως, λόγω της εξάρτησης της κλιματικής μεταβλητότητας με την αβεβαιότητα, η αβεβαιότητα των προβλέψεων πηγάζει από τις παρατηρήσεις του παρελθόντος. Από την άλλη πλευρά η χρήση των πιθανοτικών μεθόδων μπορούν να περιγράψουν και να εξηγήσουν την αέναη κίνηση του κλίματος.

Επιπλέον το φαινόμενο Hurst μπορεί να δώσει τις κατάλληλες τροποποιήσεις στην κλασική στατιστική, καθώς μπορεί να συσχετίσει δύο ή και περισσότερα φυσικά φαινόμενα / μεταβλητές μεταξύ τους.

Για τους προαναφερθέντας λόγους, σύμφωνα με την IPCC η βεβαιότητα που χρησιμοποιείται από τους μελετητές για να χαρακτηρίσουν τις μεταβλητές χωριστά καθώς και τα ακραία καιρικά φαινόμενα είναι οι ακόλουθες:

- Υψηλή βεβαιότητα
- Μέτρια βεβαιότητα
- Χαμηλή βεβαιότητα
- Όταν εμφανίζεται υψηλή βεβαιότητα στην εμφάνιση ενός φαινομένου, αναφέρεται και το ποσοστό εμφάνισης του. Δηλαδή:
 - Προφανώς σίγουρο με πιθανότητα εμφάνισης 99% - 100%
 - Πολύ πιθανό, με πιθανότητα εμφάνισης 90% - 100%
 - Πιθανό, με πιθανότητα εμφάνισης 66% - 100%
 - Περισσότερο από το πιθανό, με πιθανότητα 50% - 100%
 - Εξίσου πιθανό με το απίθανο, με πιθανότητα 33% - 66%
 - Απίθανο, με πιθανότητα εμφάνισης 0% - 33%
 - Πολύ απίθανο, με πιθανότητα εμφάνισης 0% - 10%
 - Εξαιρετικά απίθανο, με πιθανότητα εμφάνισης 0% - 1%

2.8 Η Κλιματική Αλλαγή στην Ευρώπη και στην Μεσόγειο

Από το 1950 έχει παρατηρηθεί μία μείωση των ψυχρών ημερών και νυχτών με αντίστοιχη αύξηση των θερμών στη Ευρώπη. Τα κύματα καύσωνα σε συνδυασμό με της συνθήκες ξηρασίας που επικρατούν δημιουργούν εύφορο έδαφος για την άνοδο της θερμοκρασίας (Vautard et al., 2007; Senevirathe et al., 2010; Hirschi et al., 2011). Επίσης, σύμφωνα με έρευνες των τελευταίων τεσσάρων χρόνων, αποδείχθηκε ότι κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου. Η συχνότητα και η ένταση των ακραίων φαινομένων βροχόπτωσης θα αυξηθούν. Οι προσομοιώσεις της IPCC έδειξαν ότι ενδέχεται στις περιοχές της Ευρώπης αλλά και της Μεσογείου να αυξηθούν οι κατακρημνίσεις κατά τη χρονική περίοδο Οκτώβριο – Μάρτιο, εξαιτίας της αύξησης της ατμοσφαιρικής υγρασίας και της δράσης των εξωτροπικών κυκλώνων. Κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου (Απρίλιος - Σεπτέμβριος) αναμένεται σταθερότητα στον αριθμό των βροχοπτώσεων στις περιοχές της Ευρώπης, ενώ αξιοσημείωτη μείωση στην περιοχή της Μεσογείου. Η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια του 21ου αιώνα θα συνεχίσει να αυξάνεται, με σημαντική άνοδο κατά τη χειμερινή περίοδο στη βόρεια Ευρώπη, σε αντίθεση με τις περιοχές της κεντρικής Ευρώπης και της Μεσογείου, όπου τα καλοκαίρια αναμένονται πιο ζεστά. Οι περιοχές που παρουσιάζουν τη μέγιστη θερμοκρασιακή άνοδο βρίσκονται στο νοτιότερο κομμάτι της Μεσογείου.

2.9 Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στις φυσικές παραμέτρους

Η κλιματική αλλαγή εκτός από την αύξηση της θερμοκρασίας επηρεάζει και άλλες φυσικές μεταβλητές, όπως είναι η μέση στάθμη της θάλασσας και των κλιματολογικών συνθηκών που επικρατούν σε κάθε περιοχή (τοπικοί άνεμοι). Επίσης επιδρά στη δράση των θαλάσσιων ρευμάτων και κατ' επέκταση στη δράση των κυμάτων, στην παλίρροια καθώς και στην ενίσχυση των ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως για παράδειγμα η εμφάνιση των κυματικών καταιγίδων. Ο μηχανικός λοιπόν υποχρεούται να λαμβάνει υπόψη του τυχόν μεταβολές των παραμέτρων αυτών τόσο στο στάδιο του σχεδιασμού όσο και της υλοποίησης των έργων, καθώς οι μεταβλητές επηρεάζουν

άμεσα την παράκτια ζώνη και να έχει σαν τελικό στόχο τη μέγιστη δυνατή αντοχή του έργου στην υδραυλική φόρτιση. Επιπρόσθετα, Ο μηχανικός θα πρέπει να λαμβάνει υπόψιν του το χαρακτηριστικό ύψος κύματος, την καμπυλότητα και την περίοδο αιχμής των κυμάτων της περιοχής μελέτης τη δεδομένη χρονική στιγμή αλλά και να προβλέπει τις μελλοντικές εκτιμήσεις των συγκεκριμένων παραμέτρων. Οι πιο συνηθισμένες μορφές αστοχίας των παράκτιων έργων είναι:

1. Η αστάθεια της θωράκισης ενός παράκτιου έργου,
2. Στην παροχή υπερπήδησης των κυμάτων που προκαλεί αστάθεια στη λιμενολεκάνη και
3. Στη διάβρωση του πόδα του κυματοθραύστη.

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι για να αποφευχθούν οι ζημιογόνες επιπτώσεις της μεταβολής των κλιματικών παραμέτρων στις παράκτιες περιοχές, πρέπει η γεωμετρία και τα χαρακτηριστικά ενός παράκτιου τεχνικού έργου να επαναπροσδιορίζονται εκ νέου αναλόγως την περιοχής μελέτης (η ζωή του έργου είναι συνήθως 100 χρόνια), όπως για παράδειγμα το ύψος στέψης του έργου. Επίσης παρατηρείται πως η Ευρωπαϊκή Ένωση με τις Διατάξεις που ορίζει στα κράτη – μέλη προωθεί τη χρησιμοποίηση ήπιων μεθόδων προστασίας των παράκτιων περιοχών, έργων φιλικότερων προς το περιβάλλον και αναλόγως του προβλήματος που έχει να αντιμετωπίσει η εκάστοτε περιοχή δύναται να γίνει συνδυασμός σκληρών και ήπιων μορφών έργων προστασίας.

Ο πρωτεύων παράγοντας που επηρεάζει τη ζωή στις παράκτιες περιοχές είναι η άνοδος της στάθμης της θάλασσας. Η άνοδος της μέσης στάθμης της θάλασσας σε συνδυασμό με την κυματική δράση της κάθε περιοχής, αυξάνει τα φαινόμενα της κυματικής υπερπήδησης ενός τεχνικού έργου προστασίας της παράκτιας ζώνης (κυματοθραύστες, πρόβολοι, κ.ο.κ) και κατ' επέκταση την πιθανότητα πλημμύρας ή διάβρωσης τόσο του ίδιου του έργου όσο και της παράκτιας ζώνης που αυτό προστατεύει. Η κυματική υπερπήδηση επιβαρύνεται από την πνοή των ανέμων και ειδικά όταν αυτοί είναι θαλάσσιοι και εγκάρσιοι στο έργο. Όπως είναι αναμενόμενο, το ύψος, η περίοδος και η διεύθυνση των κυμάτων εξαρτώνται από την ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου (**εξισώσεις 2.2, 2.3**). Σύμφωνα με τους Gonzalez, Escriva and De Rouck (2002), η υπερπήδηση σε λογαριθμική κλίμακα είναι ανάλογη του τετραγώνου της ταχύτητας του ανέμου. Η αύξηση του χαρακτηριστικού ύψους κύματος, καθώς και η αλλαγή των χαρακτηριστικών στοιχείων ενός κύματος (περίοδος επανεμφάνισης T και κατεύθυνση), έχει ως άμεσο αποτέλεσμα την ενίσχυση της κυματικής ενέργειας του κύματος. Βάσει της **εξίσωσης 2.1** αποδεικνύεται ότι όσο αυξάνεται το χαρακτηριστικό ύψος κύματος κάθε περιοχής αυξάνεται εκθετικά και η ενέργεια του. Η αυξημένη αυτή ενέργεια σε συνδυασμό με την άνοδο της μέσης στάθμης της θάλασσας έχει ως αποτέλεσμα το κύμα να συναντά το τεχνικό έργο προστασίας της παράκτιας ζώνης σε υψηλότερο σημείο από το σημείο στέψης με αποτέλεσμα να το υπερπηδά.

$$E = \rho * g * H^2 / 8 \text{ όπου:} \quad (\text{Εξ. 2.1})$$

ρ : η πυκνότητα του νερού,

g : η επιτάχυνση της βαρύτητας και

H : το χαρακτηριστικό ύψος κύματος κάθε περιοχής.

Οι **εξισώσεις 2.2 και 2.3** που ακολουθούν προέρχονται από τις εξισώσεις JONSWAP (Hasselmann et al., 1973).

$$H = 0.0016 * g - 0.5 * X 0.5 * U \quad (\text{Εξ. 2.2})$$

$$f_p = 3.5 * g^{0.67} * X - 0.33 * U - 0.33 \quad (\text{Εξ. 2.3})$$

H: το χαρακτηριστικό ύψος κύματος της περιοχής

g: η επιτάχυνση της βαρύτητας

X: το ανάπτυγμα πελάγους (fetch)

U: η ταχύτητα του ανέμου

f_p: η μέγιστη τιμή της συχνότητας

Το 1980 ο Donelan στις εξισώσεις αυτές που συνδέουν το χαρακτηριστικό ύψος κύματος και την περίοδο επαναφοράς του κύματος με την ταχύτητα του αέρα, εισήγαγε και την έννοια της διεύθυνσης του αέρα, **εξισώσεις 2.4, 2.5.**

$$H = 0.0036 * g - 0.62 * F^{0.38} * (U * \cos\phi)^{1.24} \quad (\text{Εξ. 2.4})$$

$$f_p = 1.85 * g^{0.77} * F^{-0.23} * (U * \cos\phi)^{-0.54} \quad (\text{Εξ. 2.5})$$

Όπου φ: η γωνία διεύθυνσης ανέμου και κύματος

και F: το ανάπτυγμα πελάγους στην ίδια διεύθυνση με τα κύματα

Σύμφωνα με τις τέσσερις προαναφερθείσες εξισώσεις (**εξίσωση 2.2, 2.3, 2.4, 2.5**) το χαρακτηριστικό ύψος κύματος είναι ανάλογο με την ταχύτητα του ανέμου που τα προκαλεί.

Σύμφωνα με την IPCC (Trenberth et al., 2007) παρατηρείται μία τάση αύξησης του χαρακτηριστικού ύψους κύματος και του μέγιστου ύψους κύματος κατά τη διάρκεια του χειμώνα στις περιοχές μεσαίου γεωγραφικού πλάτους όπως είναι για παράδειγμα στις περιοχές του Β. Ατλαντικού Ωκεανού, του Β. Ειρηνικού Ωκεανού, δυτικά της υποτροπικής ζώνης του Ν. Ατλαντικού, ανατολικά του Ινδικού ωκεανού και της Σινικής θάλασσας (νότια Κίνα). Αντίθετα αναμένεται μείωση του χαρακτηριστικού ύψους κύματος στις περιοχές δυτικά του Ειρηνικού ωκεανού, στη θάλασσα της Τασμανίας και νότια του Ινδικού ωκεανού. Η μέγιστη τιμή του ύψους κύματος κατά τη διάρκεια του χειμώνα αναμένεται ότι θα αυξάνεται με ρυθμό της τάξεως των 0.4m / δεκαετία στην περιοχή του Β. Ατλαντικού. Η επιδείνωση αυτή της κυματικής δράσης σε αυτές τις περιοχές είναι αποτέλεσμα της μετατόπισης των κυματικών καταιγίδων προς το βορρά και την εμφάνιση συχνότερων ανέμων με ταχύτητα μεγαλύτερη των 15 m/s (IPCC 2007a). Στις υπόλοιπες περιοχές του πλανήτη δε θα παρατηρηθεί καμία αξιοσημείωτη αλλαγή στην κατεύθυνση και στην ταχύτητα των τοπικών ανέμων παγκοσμίως, όπως υποστηρίζουν οι ερευνητές.

2.10 Ακραία καιρικά φαινόμενα

Με τον όρο ακραίο καιρικό / κλιματικό φαινόμενο αναφερόμαστε στα μετεωρολογικά εκείνα φαινόμενα στα οποία παρατηρούνται οι μέγιστες ή ελάχιστες τιμές που εμφανίζονται σε μια περιοχή. Ένα καιρικό φαινόμενο μπορεί να χαρακτηριστεί ως ακραίο είτε λόγω της έντασης, είτε λόγω της διάρκειας, είτε λόγω της συχνότητας επανεμφάνισης του. Οι συνέπειές του είναι κυρίως ανάλογες της έντασης και της συχνότητας επανεμφάνισης του στην ίδια περιοχή. Σύμφωνα με τις μελέτες παγκόσμιων οργανισμών προβλέπεται ότι φαινόμενα όπως τα κύματα καύσωνα, οι ραγδαίες βροχοπτώσεις καθώς και οι έντονες θύελλες αναμένεται να εμφανιστούν εντονότερα και συχνότερα τα επόμενα χρόνια. Συγκεκριμένα, η θερμοκρασία στην Ελλάδα αναμένεται να αυξηθεί κατά 7-10

°C και οι βροχοπτώσεις θα μειωθούν κατά 30% – 40% κατά την περίοδο 2071 – 2100, σύμφωνα με την επιστημονική μελέτη που διεξάχθηκε από το Παρατηρητήριο Κλιματικών Αλλαγών του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΕΑΑ).

Ως αποτέλεσμα των ακραίων καιρικών φαινομένων έχουμε την εκδήλωση φυσικών καταστροφών, η ένταση των οποίων είναι ανάλογη της προσαρμοστικότητας του περιβάλλοντος και των έμβιων οργανισμών καθώς και της ύπαρξης εξωτερικών παραγόντων που να το ενισχύουν ή να το αποδυναμώνουν. Επιπρόσθετα, ένα ακραίο καιρικό φαινόμενο μπορεί να είναι αποτέλεσμα δύο ή περισσότερων ήπιων φαινομένων, όπως για παράδειγμα, μεγάλη πιθανότητα πλημμύρας εμφανίζεται όταν ένα κορεσμένο σε υγρασία έδαφος δέχεται έντονη βροχόπτωση.

Πολύ συχνά οι πλημμύρες και η ξηρασία αναφέρονται ως ακραία καιρικά φαινόμενα που ενδεχομένως οι άνθρωποι θα τεθούν να αντιμετωπίσουν στο μέλλον, ωστόσο αυτά δεν αποτελούν ακραία καιρικά φαινόμενα αλλά έχουν ακραίες συνέπειες. Στα ακραία καιρικά φαινόμενα σύμφωνα με την πέμπτη έκθεση αξιολόγησης της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC), "Climate Phenomena and their Relevance for Future Regional Climate Change" (2014), ανήκουν οι μουσώνες, το φαινόμενο El Nino, οι κυκλώνες και οι εξωτροπικοί κυκλώνες, φαινόμενα τα οποία καταγράφονται στον **Πίνακα 2.5** που ακολουθεί με τις μελλοντικές τους εκτιμήσεις μέχρι το έτος 2100.

Πίνακας 2.5: Οι παρατηρούμενες και οι προβλεπόμενες αλλαγές των ακραίων καιρικών φαινομένων βάση της IPCC, 2012.

Ακραία καιρικά φαινόμενα	Παρατηρούμενες αλλαγές από το 1950	Αναμενόμενες αλλαγές μέχρι το 2100
ΜΟΥΣΩΝΕΣ	Χαμηλή βεβαιότητα για τις τάσεις λόγω ανεπάρκειας δεδομένων.	Χαμηλή βεβαιότητα λόγω ανεπάρκειας δεδομένων.
El Nino	Μέτρια βεβαιότητα από τις παρελθοντικές τάσεις προς πιο συχνή εμφάνιση του φαινομένου σε περιοχές του Ειρηνικού Ωκεανού κοντά στον Ισημερινό. Ανεπαρκείς ενδείξεις για πιο συγκεκριμένες δηλώσεις.	Χαμηλή βεβαιότητα λόγω ανεπάρκειας δεδομένων.
ΤΡΟΠΙΚΟΙ ΚΥΚΛΩΝΕΣ	Χαμηλή βεβαιότητα στις μακροχρόνιες παρατηρούμενες ισχυρές ανοδικές τάσεις, λαμβάνοντας υπόψιν τις παρελθοντικές μεταβολές στην αποδοτικότητα των παρατηρήσεων	Πιθανή μείωση ή καμία αλλαγή στη συχνότητα εμφάνισης των τροπικών κυκλώνων. Πιθανή αύξηση της μέσης μέγιστης ταχύτητας του ανέμου, αλλά όχι σε όλες τις λεκάνες. Πιθανή αύξηση των ισχυρών βροχοπτώσεων που σχετίζονται με τροπικούς κυκλώνες.
ΕΞΩΤΡΟΠΙΚΟΙ ΚΥΚΛΩΝΕΣ	Πιθανή αύξηση των φαινομένων. Χαμηλή βεβαιότητα στις αλλαγές της έντασης σε διάφορες περιοχές.	Πιθανές αλλαγές στη δραστηριότητα των εξωτροπικών κυκλώνων τοπικά. Χαμηλή βεβαιότητα στις μελλοντικές προβλέψεις λόγω μη αξιοπιστίας των κλιματικών μοντέλων. Μέτρια βεβαιότητα στη μείωση των αριθμών των καταιγίδων στις περιοχές μεσαίων γεωγραφικών πλατών

<p>ΞΗΡΑΣΙΕΣ</p>	<p>Μέτρια βεβαιότητα ότι ορισμένες περιοχές του κόσμου έχουν βιώσει πιο έντονη και πιο μακρά περίοδο ξηρασίας, ιδίως στη Νότια Ευρώπη και τη Δυτική Αφρική. Επίσης, εντοπίζονται και αντίθετες τάσεις.</p>	<p>Μέτρια βεβαιότητα στην προβλεπόμενη αύξηση της διάρκειας και της έντασης της ξηρασίας σε ορισμένες περιοχές του κόσμου συμπεριλαμβανομένης της Νότιας Ευρώπης, της Μεσογείου, της Κεντρικής Ευρώπης, της Βόρειας και Κεντρικής Αμερικής, του Μεξικό, της Βορειοανατολικής Βραζιλίας και της Νότιας Αφρικής. Συνολικά χαμηλή βεβαιότητα λόγω ανεπαρκούς συμφωνίας μεταξύ των διαφόρων προβλέψεων.</p>
<p>ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ</p>	<p>Τα διαθέσιμα στοιχεία είναι περιορισμένα για την αξιολόγηση των παρατηρούμενων αλλαγών σε συχνότητα και ένταση σε τοπική κλίμακα. Επιπρόσθετα, υπάρχει μικρή βεβαιότητα και για την τάξη της παγκόσμιας κλίμακας, λόγω ασυμφωνίας μοντέλων. Συνολικά έχουμε μικρή βεβαιότητα. Υψηλή βεβαιότητα στην τάση για πρόωρη εμφάνιση των ακροτάτων της άνοιξης για ροές ποταμών που τροφοδοτούνται από το λιώσιμο του χιονιού και τους παγετώνες.</p>	<p>Χαμηλή βεβαιότητα στις παγκόσμιες προβλέψεις των αλλαγών για συχνότερη εμφάνιση πλημμυρών λόγω ανεπαρκών αποδεικτικών στοιχείων. Μεσαία βεβαιότητα (με βάση τη φυσική αιτιολόγηση) για τις προβλεπόμενες αυξήσεις των ισχυρών βροχοπτώσεων που δημιουργούν τοπικές πλημμύρες σε ορισμένες λεκάνες απορροής. Πολύ πιθανή η πρόωρη εμφάνιση ροών αιχμής στα ποτάμια την άνοιξη από το λιώσιμο του χιονιού και τους παγετώνες.</p>
<p>ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ</p>	<p>Χαμηλή βεβαιότητα στις παγκόσμιες τάσεις για μεγάλες κατολισθήσεις σε ορισμένες περιοχές. Πιθανή αυξημένη τήξη των παγετώνων με πιθανές προκύπτουσες φυσικές επιπτώσεις.</p>	<p>Υψηλή βεβαιότητα ότι οι αλλαγές στην εκδήλωση ισχυρών βροχοπτώσεων επηρεάζουν τις κατολισθήσεις. Τα κύματα καύσωνα και η τήξη των παγετώνων θα επηρεάσουν φαινόμενα όπως οι αστάθειες των πρηνών, κινήσεις εδαφικών μαζών και υπερχειλίσσεις λιμνών.</p>

Όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 2.5 στα ακραία καιρικά φαινόμενα ανήκουν εμμέσως και τα φαινόμενα της ξηρασίας και της πλημμύρας. Ως ξηρασία χαρακτηρίζεται η σημαντική μείωση του διαθέσιμου νερού κατά τη διάρκεια μιας αξιοσημείωτης χρονικής περιόδου και εκτείνεται σε μεγάλη περιοχή (Τσακίρης, 1995). Όπως είναι λογικό η ύπαρξη και η διάρκεια των περιόδων της ξηρασίας επηρεάζει την ύπαρξη ζωής σε πολλές περιοχές του πλανήτη, τις κοινωνικό-οικονομικές δραστηριότητες του ανθρώπου, καθώς και διάφορα στοιχεία του περιβάλλοντος, όπως παραδείγματος χάριν τα οικοσυστήματα. Ανάλογα με την επιλογή των υδρολογικών παραμέτρων και μεταβλητών ενδιαφέροντος, η ξηρασία διακρίνεται σε μετεωρολογική, υδρολογική και γεωργική.

Ως *μετεωρολογική ξηρασία* σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (WMO), χαρακτηρίζεται το φαινόμενο κατά το οποίο παρατηρείται μείωση ίση ή μεγαλύτερη του 40% του ετήσιου νετού μιας περιοχής και διαρκεί συνήθως περισσότερο από δύο έτη.

Ως *υδρολογική ξηρασία* χαρακτηρίζεται το φαινόμενο κατά το οποίο εμφανίζεται υδρολογικό έλλειμμα σε μία περιοχή και ως *γεωργική* είναι το φαινόμενο κατά το οποίο εμφανίζονται χαμηλά ποσοστά εδαφικής υγρασίας.

Ως *πλημμύρα* χαρακτηρίζεται το φυσικό φαινόμενο που εμφανίζεται όταν η χωρητικότητα του συστήματος αποστράγγισης (φυσικού ή τεχνητού), δεν μπορεί να διοχετεύσει τον όγκο του νερού που παράγεται από τη βροχόπτωση. Οι πλημμυρικοί όγκοι νερού μπορεί να προέρχονται είτε από

την τοπική βροχόπτωση, είτε από την υπερχειλίση ενός ποταμού, είτε από τη θραύση κάποιου φράγματος, είτε τέλος από την εισροή της θάλασσας σε παράκτιες περιοχές (Μαμάσης, 2007). Επίσης μπορεί να είναι προϊόν ατμοσφαιρικών διαταραχών, που συνοδεύονται από ραγδαίες βροχοπτώσεις για σύντομο χρονικό διάστημα. Οι ξαφνικές πλημμύρες προέρχονται ανάλογα με την περιοχή εμφάνισής τους, είτε από ραγδαίες καταιγίδες, είτε από τυφώνες στην ζώνη των τροπικών. Οι ξαφνικές πλημμύρες εμφανίζονται σε μικρό χρονικό διάστημα και παρατηρείται ταχεία ανύψωση νερού, το οποίο στο πέρασμα του προκαλεί μεγάλες καταστροφές σε κατασκευές ή παρασύρει οτιδήποτε συναντήσει λόγω της ερμητικότητας του.

Οι πλημμύρες θεωρούνται από τους συχνότερους και καταστρεπτικότερους τύπους φυσικών καταστροφών και σύμφωνα με τη μελέτη των Downton, et al., 2001 επηρεάζουν το μεγαλύτερο αριθμό ανθρώπων και δημιουργούν τις περισσότερες ζημιές από όλες τις φυσικές καταστροφές σε ετήσια βάση. Σύμφωνα με τους παγκόσμιους ασφαλιστικούς οργανισμούς, οι πλημμύρες κατέχουν το ποσοστό του 26% στην παγκόσμια κλίμακα καταστροφών, το 8% του συνόλου των θανάτων και 27% του οικονομικού κόστους που προκαλούνται από τις φυσικές καταστροφές για την περίοδο 1950-2002 (MunichRe, 2005).

Σύμφωνα με την επιστημονική μελέτη της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή, όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του πλανήτη, τόσο θα αυξάνεται και ο κίνδυνος για πιθανές πλημμύρες και περιόδους ξηρασίας σε διάφορες περιοχές του πλανήτη (Wetherald and Manabe, 2002; Table SPM2 in IPCC, 2007).

Στον Ελληνικό χώρο οι πλημμύρες οφείλονται κατά πλείστον σε καταρρακτώδεις βροχές, που συνοδεύουν τη διέλευση υφέσεων (κυκλώνες). Ένα σπανιότερα εμφανιζόμενο είδος πλημμύρας στην Ελλάδα είναι η παράκτια πλημμύρα, η οποία είναι αποτέλεσμα του κυματισμού της θάλασσας ή μιας μεγάλης λίμνης. Ο κυματισμός προκαλείται συνήθως από τους ισχυρούς ανέμους που πνέουν στην περιοχή, ενώ σπάνια με μηδαμινή εμφάνιση στην Ελλάδα, μπορεί να εμφανιστούν και θαλάσσια κύματα βαρύτητας (Tsunami). Διαδίδονται στην επιφάνεια της θάλασσας με ταχύτητα η οποία εξαρτάται από το πάχος του νερού της θάλασσας και είναι της τάξεως των 200 m/sec. Κατά την διάδοσή τους μεταφέρουν σημαντικές ποσότητες νερού και προκαλούν σημαντικές καταστροφές σε πολύ μεγάλες αποστάσεις.

2.10.1 Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα ακραία καιρικά φαινόμενα

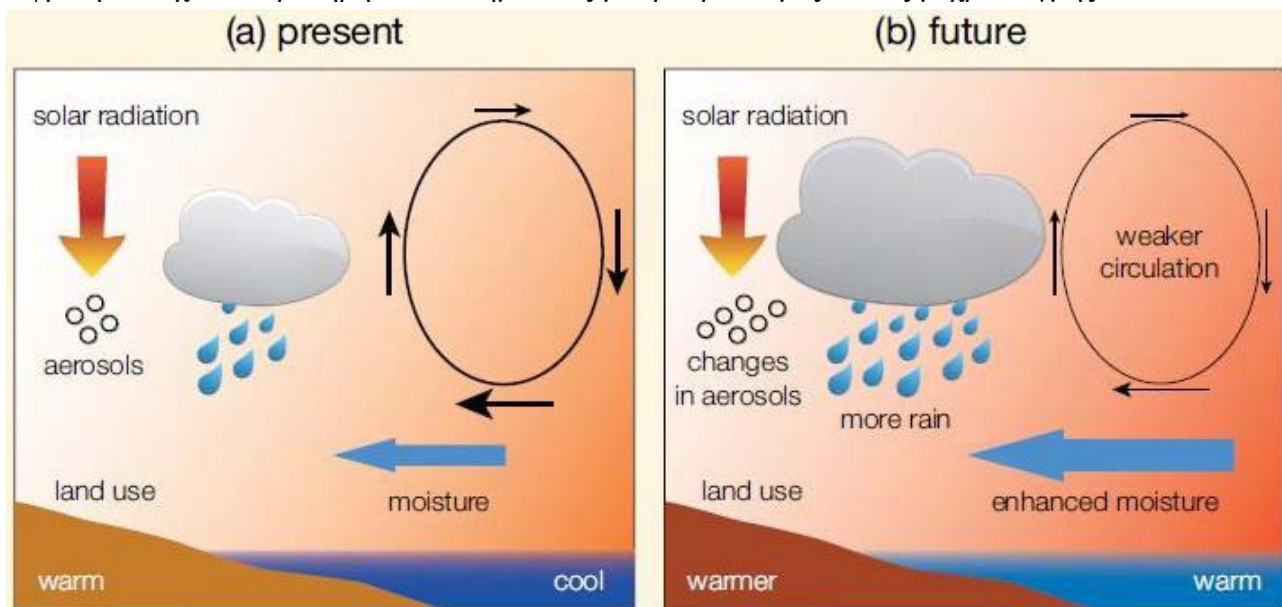
Βασιζόμενοι στα αποτελέσματα της πέμπτης έκθεσης για την κλιματική αλλαγή της IPCC θα προσπαθήσουμε να προβλέψουμε τα ακραία κλιματικά φαινόμενα.

Το φαινόμενο των μουσώνων επηρεάζει κυρίως την Ασία, την Αυστραλία, την Αμερική και την Αφρική. Είναι αποτέλεσμα της διαφοράς θερμοκρασίας και κατ' επέκταση και πίεσης μεταξύ των ηπείρων και των ωκεανών. Άμεση συνέπεια της δράσης τους είναι οι σφοδρές βροχοπτώσεις σε πολλές περιοχές του κόσμου, στις οποίες οφείλεται η ύπαρξη και η ανάπτυξη της βλάστησής τους. Η ένταση και η διάρκεια του φαινομένου των μουσώνων είναι συνδυασμός διαφόρων παραγόντων, όπως η περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε υγρασία, η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ ηπείρων και ωκεανών, η κάλυψη και η χρήση γης των ηπείρων, καθώς και η συγκέντρωση των αιωρημάτων της ατμόσφαιρας.

Παρόλο που η έναρξη του φαινομένου οφείλεται στη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ ηπείρων και ωκεανών, ωστόσο η διάρκεια και η ένταση τους οφείλονται στην περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε υγρασία και στην κυκλοφορία του αέρα αντίστοιχα. Στα τέλη του 1970, έχει καταγραφεί ότι οι θερινοί μουσώνες της Ανατολικής Ασίας εμφανίστηκαν αποδυναμωμένοι και περιορισμένοι, λόγω κυρίως των μεταβολών στην κυκλοφορία του αέρα. Αυτό είχε ως συνέπεια την αύξηση της ξηρασίας στη Βόρεια Κίνα και των πλημμυρών στον ποταμό Yangtze στη Νότια Κίνα.

Σύμφωνα με τις μελλοντικές προβλέψεις που δημοσιεύτηκαν στην 5η Έκθεση της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC), εικάζεται ότι το φαινόμενο των μουσώνων θα προκαλέσει εντονότερη βροχόπτωση σε μεγαλύτερες σε έκταση περιοχές εξαιτίας της αύξησης της θερμοκρασίας και κατ' επέκταση της αύξησης της υγρασίας στην ατμόσφαιρα. Παρόλα αυτά, οι επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής στην ένταση και στη μεταβλητότητα του φαινομένου είναι περίπλοκες και αβέβαιες.

Επίσης τον 20ο αιώνα παρατηρήθηκε μία σχέση επίδρασης του φαινομένου El Nino στη δράση των μουσώνων της Αυστραλίας, του Δυτικού Ειρηνικού ωκεανού και της Νότιας Αμερικής. Όσον αφορά τη δράση των μουσώνων στη Βόρεια Αμερική, οι ενδείξεις για τις τάσεις του φαινομένου είναι αβέβαιες, αλλά επικρατεί η άποψη της αύξησης των βροχοπτώσεων, ενώ στην Ινδία και στην Αφρική δεν έχουν παρατηρηθεί συστηματικές μακροπρόθεσμες τάσεις μέχρι στιγμής.



Εικόνα 2-6: Σχηματική απεικόνιση της επίδρασης της αύξησης της θερμοκρασίας στον κύκλο των μουσώνων.

Η ανωτέρω **Εικόνα 2.6** είναι μία σχηματική αναπαράσταση της επίδρασης της αύξησης της θερμοκρασίας στο κύκλο των μουσώνων. Όπως είναι ευρέως γνωστό, η ξηρά θερμαίνεται γρηγορότερα από τη θάλασσα και το ποσοστό θέρμανσης της είναι ανάλογο με την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας, το οποίο είναι ανάλογο με την κάλυψη και τις χρήσεις γης της περιοχής.

Επίσης, η κυκλοφορία των μουσώνων εκτός της υγρασίας και των χρήσεων γης, επηρεάζεται και από την ατμοσφαιρική ρύπανση, καθώς οι αλλαγές στη συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων της ατμόσφαιρας επηρεάζουν την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια της γης και μέρος της οποίας διανέμεται αλλού.

Συμπερασματικά, σύμφωνα με τα κλιματικά μοντέλα της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC), προβλέπεται ότι η βροχόπτωση λόγω του φαινομένου των μουσώνων θα αυξηθεί κατά 5% - 15% παγκοσμίως, βάσει των σεναρίων εκπομπής αερίων. Η έναρξη του φαινομένου, προβλέπεται να γίνεται νωρίτερα και ο τερματισμός πιθανόν να καθυστερεί, με αποτέλεσμα την επιμήκυνση των περιόδων των μουσώνων. Ωστόσο μελλοντικές προβλέψεις για την ένταση και τη διάρκεια των βροχοπτώσεων είναι αβέβαιες, καθώς με το πέρασμα των χρόνων το φαινόμενο συνδέεται όλο και περισσότερο με το φαινόμενο του El Nino. Το μόνο σίγουρο σύμφωνα με την έκθεση της IPCC είναι ότι οι περισσότερες περιοχές του κόσμου στο μέλλον θα πληγούν από το φαινόμενο των ακραίων καιρικών φαινομένων.

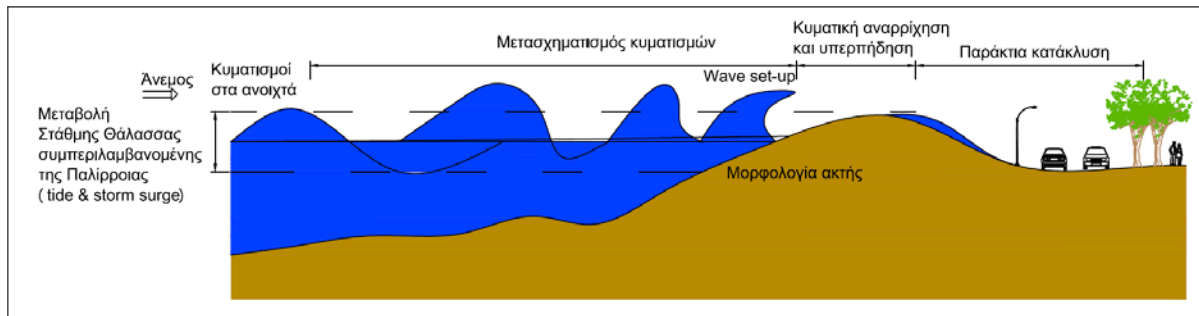
3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΖΩΝΗ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΟΔΙΚΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΡΓΩΝ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

3.1 Επίδραση Κλιματικής Αλλαγής στην Παράκτια Ζώνη

Οι πλημμύρες από τη θάλασσα θεωρούνται από τις πιο επικίνδυνες και επιβλαβείς φυσικές καταστροφές που πλήττουν αστικές περιοχές γειτνιάζουσες με ακτές. Υπολογίζεται ότι οι ετήσιες ζημιές από τις παράκτιες πλημμύρες μπορεί να αυξηθούν κατά 30 φορές έως το 2050 και κατά 700 φορές έως το 2100 και ότι ο αριθμός των Ευρωπαίων που κάθε χρόνο θα είναι εκτεθειμένοι σε καταστροφικές παράκτιες πλημμύρες, θα αυξηθεί από περίπου 102.000 σήμερα, σε 530.000 έως 740.000 το 2050 και σε 1,52 έως 3,64 εκατομμύρια το 2100 (Vousdoukas et al., 2018).

Οι πλημμύρες από τη θάλασσα οφείλονται στους εξής παράγοντες (Εικ. 3.1):

- αστρονομική παλίρροια,
- μετεωρολογική παλίρροια (storm surge),
- ανύψωση Στάθμης Θάλασσας (ΣΘ) και
- κυματική δράση (αναρρίχηση, υπερπήδηση και άνοδος στάθμης στα ρηγά νερά - wave setup).



Εικόνα 3-1. Θαλάσσιοι παράγοντες πρόκλησης παράκτιων πλημμυρών.

3.1.1 Άνοδος της μέσης στάθμης της θάλασσας παγκοσμίως

Το επίπεδο της μέσης στάθμης της θάλασσας επηρεάζεται από πολλούς και διαφορετικούς περιβαλλοντικούς παράγοντες οι οποίοι συμβαίνουν σε διαφορετικές χρονικές κλίμακες. Ανάλογα με τις αιτίες και τους μηχανισμούς που το προκαλούν το φαινόμενο της μεταβολής της στάθμης της θάλασσας μπορεί να χαρακτηριστεί ως τοπικό ή ως παγκόσμιο φαινόμενο. Οι μηχανισμοί που επηρεάζουν σε παγκόσμια κλίμακα τη στάθμη της θάλασσας (ευστατισμός) οφείλονται σε διάφορα αίτια, όπως για παράδειγμα στη μεταβολή του όγκου των ωκεάνιων υδάτων λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας (κλιματική αιτία), στη μεταβολή της χωρητικότητας των ωκεάνιων λεκανών κυρίως μέσα από την ισοστατική τροποποίηση της λιθόσφαιρας (τεκτονική αιτία), στην αργή πλήρωση των ωκεάνιων λεκανών με ιζήματα, με ρυθμό περίπου 3mm/100 έτη (ιζηματολογική αιτία) καθώς και σε μεταβολές της πυκνότητας του θαλασσινού νερού που μεταβάλλουν τον όγκο του. Σε τοπικό επίπεδο οι μηχανισμοί που μεταβάλλουν τη στάθμη της θάλασσας μπορεί να οφείλονται στις ανοδικές ή καθοδικές κινήσεις των τεκτονικών πλακών της κάθε περιοχής ή στις ισοστατικές κινήσεις του στερεού φλοιού της γης, με επαναφορά του χέρσου στα προηγούμενα ύψη με την υποχώρηση των παγετώνων ή των θαλάσσιων υδάτων στις ωκεάνιες λεκάνες (Walcott 1972; Clark et al., 1978).

Σύμφωνα με τον N.A.Morner (2000), οι μεταβολές στη μέση στάθμη της θάλασσας παγκοσμίως μπορεί να οφείλονται στην παραμόρφωση του θαλάσσιου γεωειδούς. Με τον όρο *γεωειδές* αναφερόμαστε στην ισοδυναμική επιφάνεια του πεδίου έλξης και περιστροφής της Γης που

πλησιάζει περισσότερο στη μέση στάθμη της θάλασσας (Mean Sea Level - MSL). Το μέσο επίπεδο στάθμης της θάλασσας θεωρείται ότι έχει διορθωθεί από τις επιδράσεις των μεταβολών της πυκνότητας του θαλάσσιου ύδατος, των παλιρροιών και των ρευμάτων. Σύμφωνα με τον N.A.Morner η παραμόρφωση του θαλάσσιου γεωειδούς οφείλεται στην ταχύτητα περιστροφής της γης γύρω από τον άξονα της και στη βαρύτητα της γης. Οποιαδήποτε μεταβολή σε έναν από αυτούς τους μηχανισμούς μεταβάλλει οριζόντια ή κατακόρυφα το γεωειδές της στάθμης της θάλασσας.

Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC) και συγκεκριμένα οι Warrick and Oerlemans το 1990 διεξήγαγαν τις πρώτες παρατηρήσεις και μετρήσεις για την άνοδο της στάθμης της θάλασσας παγκοσμίως. Στην πρώτη αυτή εκτίμηση (FAR: First Assessment Report) έγινε αναφορά στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας κατά τη διάρκεια του 20ου αιώνα συγκριτικά με τον 19ο αιώνα. Επίσης, αναφέρθηκαν και στην αύξηση του ρυθμού ανόδου της μέσης στάθμης της θάλασσας κατά τη διάρκεια του 21ου αιώνα εξαιτίας της θερμικής διαστολής του νερού των ωκεανών και της τήξης των πάγων ανεξαρτήτως του φαινομένου του θερμοκηπίου. Η δεύτερη αναφορά σχετικά του Warrick et al., 1996 επιβεβαίωσε τα συμπεράσματα της πρώτης.

Οι μετρήσεις της μεταβολής της στάθμης της θάλασσας σχετικά με τη στεριά γίνονται είτε με τους παλιρροιογράφους είτε με τη δορυφορική υψομετρία. Ο παλιρροιογράφος είναι ένα όργανο που αποτελείται από έναν καταγραφικό αυτογραφικό μηχανισμό και έναν πλωτήρα. Ο πλωτήρας τοποθετείται μέσα σε έναν ειδικό σωλήνα στη θάλασσα ώστε να προστατεύεται από τους κυματισμούς και καταγράφει την κατακόρυφη κίνηση εξαιτίας της μεταβολής της στάθμης της θάλασσας. Στη συνέχεια αναλύονται και επεξεργάζονται τα δεδομένα, προσδιορίζεται η μέση στάθμη της θάλασσας (μ.σ.θ.) και δίνεται υψόμετρο σε σταθερό σημείο της στεριάς που έχει τοποθετηθεί ο παλιρροιογράφος. Ο συνδυασμός της επιλογής των τεκτονικά σταθερών θέσεων παλιρροιογράφων και η εξαγωγή μέσου όρου καταγραφών από πολυάριθμους σταθμούς καταλήγει σε εκτιμήσεις παγκόσμιας στάθμης της θάλασσας με πολύ χαμηλή αβεβαιότητα. Συγκεκριμένα, στην Ελλάδα, υπάρχουν 27 παλιρροιογράφοι από τους οποίους μόνο οι 4 είναι ικανοί να παρέχουν μετρήσεις για χρονικές περιόδους μεγαλύτερες των 40 ετών. Αυτοί είναι ο σταθμός της Θεσσαλονίκης, του Κατάκολου, της Αλεξανδρούπολης και της Λέρου.

Σχετικά με τις παρατηρήσεις για την μεταβολή της στάθμης της θάλασσας μέσω της μεθόδου της δορυφορικής υψομετρίας, πρέπει να επισημανθεί ότι η αξιοπιστία των δορυφορικών δεδομένων στις παράκτιες περιοχές εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την «επιμόλυνση» του σήματος εξαιτίας της στεριάς. Αυτό είναι πολύ σημαντικό για τις παράκτιες περιοχές με πολύπλοκες ακτογραμμές όπως για παράδειγμα οι παράκτιες περιοχές του Αιγαίου και οι ανατολικές περιοχές του Ιονίου. Ως αποτέλεσμα τα δεδομένα που καταγράφονται λίγα δεκάδες χιλιόμετρα από την ακτή δεν μπορούν να θεωρηθούν αξιόπιστα. Ο συνδυασμός των αποτελεσμάτων των παλιρροιογράφων και της δορυφορικής υψομετρίας που έχουν διεξαχθεί μέχρι σήμερα, μαρτυρούν άνοδο της στάθμης της θάλασσας με ρυθμό 1.8 mm/year (Bindoff et al., 2007). Δορυφορικές μετρήσεις των τελευταίων 15 χρόνων δίνουν αύξηση του ρυθμού στα 3 mm/year (Bindoff et al., 2007). Η μεταβολή αυτή της στάθμης της θάλασσας τα τελευταία 5.000 χρόνια θεωρείται ότι είναι αποτέλεσμα της θερμικής διαστολής του θαλάσσιου ύδατος, της τήξης των πάγων των οροσειρών καθώς και αυτών της Ανταρκτικής και της Γροιλανδίας, παράγοντες οι οποίοι θα αναλυθούν διεξοδικά στη συνέχεια.

Η σημερινή τιμή ανόδου της μέσης παγκόσμιας στάθμης εκτιμάται στα 1–2 mm/year (Bindoff et al., 2007). Βέβαια στο μέλλον αναμένεται να αυξηθεί διότι η ποσότητα του νερού των ωκεανών αναμένεται να αυξηθεί εξαιτίας της τήξης των πάγων των οροσειρών και των παγετώνων εν όψει της αναμενόμενης κλιματικής αλλαγής (Church et al., 2001). Στον **Πίνακα 3.1** που ακολουθεί, παρουσιάζονται τα επίπεδα της θαλάσσιας στάθμης και ο ρυθμός ανόδου της σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα του παρελθόντος. Σύμφωνα με την IPCC προβλέπεται ότι η άνοδος της

στάθμης μέχρι το 2100 θα κυμανθεί μεταξύ των 0.2m και των 2m αναλόγως των εκάστοτε ισχυρότων σεναρίων SRES.

Σύμφωνα με την ημι-εμπειρική σχέση του Rahmstorf, 2007 μεταξύ της αύξησης της τιμής της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας και της θαλάσσιας στάθμης, προκύπτει η μεταβολή κατά 1°C οδηγεί σε άνοδο της θαλάσσιας στάθμης της τάξεως των 10–30 cm. Επομένως, υιοθετώντας τις προβλέψεις των σεναρίων SRES (IPCC 2007) για την μελλοντική τιμή της θερμοκρασίας (1.4 – 5.8oC), η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης υπολογίζεται ότι θα κυμαίνεται από 0.5 m σε 1.4 m. Η δυσμενέστερη εξέλιξη προβλέπεται από την μελέτη των Pfeffer et al. (2008) με πιθανή άνοδο μεταξύ 0.8 m και 2 m, υποστηρίζοντας πως στην αναφορά του IPCC (2007) δεν είχε επιτυχώς προσομοιωθεί η δυναμική εξέλιξη (η μείωση) των παγετώνων της Γροιλανδίας και της Ανταρκτικής, άποψη η οποία υποστηρίζεται και από άλλους ερευνητές (Rohling et al., 2009; Grinsted et al., 2010).

Σε αντίθεση με τους Pfeffer, Rohling, και Grinsted, νέες έρευνες αποδεικνύουν ότι οι θαλάσσιοι πάγοι της Ανταρκτικής δε συνεισφέρουν στην άνοδο της μέσης στάθμης της θάλασσας καθώς είναι αρκετά παχύτεροι από ότι υπολόγιζαν οι ερευνητές μέχρι σήμερα.

Πίνακας 3.1: Στοιχεία θέσης της θαλάσσιας στάθμης και του ρυθμού αύξησής της όπως προκύπτουν από τα γεωλογικά στοιχεία του παρελθόντος, εκτιμήσεις και ενόργανες μετρήσεις των τελευταίων δεκαετιών. (Πηγή: Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής - Τράπεζα της Ελλάδος).

Χρονική περίοδος	Θέση ΘΣ	Ρυθμός αύξησης ΘΣ	Πηγή προέλευσης δεδομένων
120 ka (προηγούμενη μεσοπαγετώδης)	+ 4–9 m		Stirling <i>et al.</i> , 1998; McCulloch and Esat, 2000; Kopp <i>et al.</i> , 2009
120 ka (προηγούμενη μεσοπαγετώδης)		1.6 m/100y 16 mm/y	Rohling <i>et al.</i> , 2008
40–41 ka (θερμή περίοδος κατά την τελευταία παγετώδη)		20 mm/y (μέγιστος μέσα σε 1000y)	Siddall <i>et al.</i> , 2003
21–3 ka	- 120 m		Waelbroeck <i>et al.</i> 2002; Siddall <i>et al.</i> , 2003; Peltier and Fairbanks, 2006
1900–σήμερα		1.8 mm/y	Bindoff <i>et al.</i> , 2007
τελευταία 15 χρόνια		3 mm/y	Bindoff <i>et al.</i> , 2007
σήμερα		1-2 mm/y	Bindoff <i>et al.</i> , 2007
πρόβλεψη επόμενων 100 χρόνων	0.2–2 m		IPCC 2007, Pfeffer <i>et al.</i> , 2008

Η τελική θαλάσσια στάθμη των 0.85 m καταλήγει από την πιθανή ύπαρξη ανασταλτικών παραγόντων που θα εμποδίζουν την επιπλέον άνοδο, όπως για παράδειγμα η εξάντληση των υπόγειων υδάτων και η μείωση της αποτελεσματικότητας των ωκεανών στην απορρόφηση της ηλιακής θερμότητας λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη (Church *et al.*, 2011). Στο σημείο αυτό χρησιμοποιείται η λέξη πιθανή, καθώς είναι δύσκολο να προβλεφθεί η χαοτική συμπεριφορά των φυσικών συστημάτων σε μία θεωρητική υπόθεση που είναι η υπερθέρμανση του πλανήτη.

Στον **Πίνακα 3.2** που ακολουθεί φαίνονται οι εκτιμήσεις της αναφοράς της IPCC του 2013, όσον αφορά τη συμβολή των επιμέρους κλιματικών συνιστωσών στο ρυθμό μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης. Σύμφωνα με τις παρακάτω εκτιμήσεις ο ρυθμός ανόδου της θαλάσσιας στάθμης (ως σύνολο των επιμέρους κλιματικών συνιστωσών) έχει υπερδιπλασιαστεί για το διάστημα 1993-2010, σε σχέση με το διάστημα 1901-1990. Στη σύγκριση των ίδιων χρονικών διαστημάτων επιπλέον παρατηρείται από τις μετρήσεις ότι η συνεισφορά της κλιματικής συνιστώσας της θερμικής διαστολής σχεδόν τετραπλασιάζεται, ενώ σχεδόν διπλασιάζεται και η συνεισφορά από το λιώσιμο των πάγων κατά τη πιο πρόσφατη χρονική περίοδο 1993-2010.

Πίνακας 3.2: Οι επιμέρους κλιματικές συνιστώσες (mm) του ρυθμού μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης και οι αντίστοιχες τιμές από τις παρατηρήσεις βάση την αναφορά του IPCC 2013

Source	1901–1990	1971–2010	1993–2010
Observed contributions to global mean sea level (GMSL) rise			
Thermal expansion	–	0.8 [0.5 to 1.1]	1.1 [0.8 to 1.4]
Glaciers except in Greenland and Antarctica ^a	0.54 [0.47 to 0.61]	0.62 [0.25 to 0.99]	0.76 [0.39 to 1.13]
Glaciers in Greenland ^a	0.15 [0.10 to 0.19]	0.06 [0.03 to 0.09]	0.10 [0.07 to 0.13] ^b
Greenland ice sheet	–	–	0.33 [0.25 to 0.41]
Antarctic ice sheet	–	–	0.27 [0.16 to 0.38]
Land water storage	–0.11 [–0.16 to –0.06]	0.12 [0.03 to 0.22]	0.38 [0.26 to 0.49]
Total of contributions	–	–	2.8 [2.3 to 3.4]
Observed GMSL rise	1.5 [1.3 to 1.7]	2.0 [1.7 to 2.3]	3.2 [2.8 to 3.6]
Modelled contributions to GMSL rise			
Thermal expansion	0.37 [0.06 to 0.67]	0.96 [0.51 to 1.41]	1.49 [0.97 to 2.02]
Glaciers except in Greenland and Antarctica	0.63 [0.37 to 0.89]	0.62 [0.41 to 0.84]	0.78 [0.43 to 1.13]
Glaciers in Greenland	0.07 [–0.02 to 0.16]	0.10 [0.05 to 0.15]	0.14 [0.06 to 0.23]
Total including land water storage	1.0 [0.5 to 1.4]	1.8 [1.3 to 2.3]	2.8 [2.1 to 3.5]
Residual^c	0.5 [0.1 to 1.0]	0.2 [–0.4 to 0.8]	0.4 [–0.4 to 1.2]

Notes:

^a Data for all glaciers extend to 2009, not 2010.

^b This contribution is not included in the total because glaciers in Greenland are included in the observational assessment of the Greenland ice sheet.

^c Observed GMSL rise – modelled thermal expansion – modelled glaciers – observed land water storage.

Σύμφωνα με τις πρώτες προβλέψεις της IPCC το 1990, είχε εκτιμηθεί πως η άνοδος της τιμής της θερμοκρασίας τη χρονική περίοδο 1990-2005 θα ήταν της τάξεως του 0.15 – 0.30°C / δεκαετία, γεγονός που επιβεβαιώθηκε από την παρατηρούμενη αύξηση που ήταν της τάξεως του 0.2 oC / δεκαετία, με αποτέλεσμα την ενίσχυση της εμπιστοσύνης στις βραχυπρόθεσμες μελέτες. Όλα τα κλιματικά μοντέλα υπέδειξαν ότι ακόμη και αν σταματήσει εντελώς η παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου, η θερμοκρασία θα συνεχίσει να αυξάνεται με ρυθμός 1 °C / δεκαετία. Για αυτό το λόγο στον **Πίνακα 3.3** που ακολουθεί, ως σημείο αναφοράς χρησιμοποιούνται οι χρονοσειρές της περιόδου 1980-1999 για την εκτίμηση της θερμοκρασίας και της μέσης στάθμης της θάλασσας την τελευταία δεκαετία του 21ου αιώνα.

Οι εκτιμήσεις της ανόδου της μέσης στάθμης της θάλασσας παγκοσμίως για το τέλος του 21ου αιώνα βασίζονται στην αύξηση της θερμοκρασίας εκείνη τη χρονική στιγμή. Σύμφωνα λοιπόν με το πιο συντηρητικό σενάριο (B1) την τελευταία δεκαετία του 21ου αιώνα, η θερμοκρασία του αέρα θα αυξηθεί από 1.1°C έως και 2.9 °C, ενώ με βάση το δυσμενέστερο σενάριο A1F1, η αύξηση πιθανόν να κυμαίνεται από 2.4°C σε 6.4 °C (**Πίνακας 3.3**). Αντίστοιχα, η προβλεπόμενη άνοδος της θαλάσσιας στάθμης για το 2090-2099, σε σχέση με αυτήν της περιόδου 1980-1999, σύμφωνα με το

σενάριο B1 αναμένεται να κυμανθεί μεταξύ 0.18 m έως 0.38 m και για το A1FI σενάριο από 0.26 m έως και 0.59 m.

Πίνακας 3.3: Εκτιμήσεις για την αύξηση της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας και της ανύψωσης της μέσης στάθμης της θάλασσας για τη χρονική περίοδο 2090-99 σε σχέση με την περίοδο 1980-99, για τα διαφορετικά σενάρια εκπομπών (SRES) των αερίων του θερμοκηπίου (IPCC 2007).

Σενάρια	Αλλαγή ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας (°C)		Ανύψωση θαλάσσιας στάθμης (μέτρα)
	Καλύτερη πρόβλεψη	Εύρος κύμανσης	Εύρος κύμανσης
A1B	2,8	1,7 – 4,4	0,21 – 0,48
A1FI	4,0	2,4 – 6,4	0,26 – 0,59
A1T	2,4	1,4 – 3,8	0,20 – 0,45
A2	3,4	2,0 – 5,4	0,23 – 0,51
B1	1,8	1,1 – 2,9	0,18 – 0,38
B2	2,4	1,4 – 3,8	0,20 – 0,43

Το πολύ μεγάλο εύρος μεταξύ των αποτελεσμάτων μαρτυρά τη δυσκολία των υπεύθυνων φορέων να προβλέψουν τη μεταβολή της στάθμης της θάλασσας.

3.1.1.1 Παράγοντες που επηρεάζουν τη μέση στάθμη της θάλασσας παγκοσμίως

Η παγκόσμια στάθμη της θάλασσας επηρεάζεται από τις μεταβολές στην ποσότητα του επίγειου νερού που αποθηκεύεται στο έδαφος και στην επιφάνεια της γης. Οι ανθρώπινες επεμβάσεις, όπως η οικοδόμηση φραγμάτων, η υπερβολική κατανάλωση υπόγειου νερού, η αποψίλωση των δασών, η καταστροφή των υγροτόπων και η τήξη των μόνιμα παγωμένων εδαφών, σε συνδυασμό με τις διάφορες φυσικές διαδικασίες μπορούν να επηρεάσουν αρκετά τον υδρολογικό κύκλο. Πέραν της αβεβαιότητας σχετικά με τη συμβολή αυτών των παραγόντων στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας, σύμφωνα με την IPCC η υδρολογική συμβολή είναι της τάξεως των 0.4 - 0.75 mm/yr με μια μέση εκτίμηση περίπου 0,1 mm/yr και κατά τη διάρκεια των τελευταίων 100 ετών η συμβολή θα μπορούσε να είναι περίπου 0.5 cm.

Επιπλέον οι παράκτιες φυσικές διαδικασίες όπως η καθίζηση, η πρόσχωση και η διάβρωση, καθώς επίσης και τα τεκτονικά φαινόμενα είναι ειδικές περιπτώσεις που μπορούν να συνεισφέρουν θετικά ή αρνητικά στην ενίσχυση της τάσης ανόδου της θαλάσσιας στάθμης, κυρίως όμως ως τοπικό φαινόμενο. Για παράδειγμα αρκετά μέρη της Σκανδιναβίας, παρουσιάζουν πτώση της μέσης στάθμης της θάλασσας της τάξεως του 1m/αιώνα, ως αποτέλεσμα της ισοστατικής κίνησης του στερεού φλοιού της γης από την τελευταία εποχή των παγετώνων. Δηλαδή τμήματα της Σκανδιναβίας ακόμη υψώνονται μετά το τέλος της τελευταίας εποχής των παγετώνων, ως αντίδραση στο λιώσιμο των πάγων όπου προηγουμένως πίεζαν με το βάρος τους το έδαφος. Με εξαίρεση τους σεισμούς και τα τσουνάμι, τα οποία μπορούν να προκαλέσουν ταχύτατες ολικές αλλαγές (Broerse et al., 2011) και τις μετασεισμικές παραμορφώσεις, που προκαλούν τοπικές μεταβολές στη στάθμη της θάλασσας (Watson et al., 2010), οι τεκτονικές διεργασίες προκαλούν μεταβολές στη μέση στάθμη της θάλασσας με πολύ αργό ρυθμό της τάξεως του 0.1mm/yr (Moucha et al., 2008).

Σύμφωνα με την τέταρτη έκθεση αξιολόγησης (AR4) της IPCC στις αιτίες που οφείλονται οι ανοδικές ή καθοδικές κινήσεις της μέσης στάθμης της θάλασσας παγκοσμίως προστίθενται άλλες

τρεις, σύμφωνα με τις οποίες οφείλεται η ξαφνική και ανησυχητική μεταβολή των τελευταίων 50 χρόνων και οι οποίες ενεργοποιήθηκαν από τη απότομη άνοδο της θερμοκρασίας. Οι αιτίες αυτές είναι πρωτίστως η θερμική διαστολή του θαλάσσιου ύδατος, η τήξη των πάγων της ξηράς και εν συνεχεία της Γροιλανδίας και της Ανταρκτικής (White et al.,2005; Miller and Douglas,2007; Zhang and Church,2012). Η πιο διαδεδομένη παρανόηση γύρω από την αλλαγή του κλίματος είναι πως η τήξη του θαλάσσιου πάγου αποτελεί την κύρια αιτία ανόδου της στάθμης της θάλασσας παγκοσμίως. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η άποψη αυτή είναι λανθασμένη, δεδομένου ότι ο πάγος επιπλέει και ήδη εκτοπίζει τη μάζα του νερού (θεωρία της άνωσης). Ωστόσο, η τήξη αυτή μπορεί να οδηγήσει σε έμμεσες συνεισφορές στο επίπεδο της θάλασσας, μέσω της μείωσης της λευκαύγειας (ικανότητα ανάκλασης της επιφάνειας – albedo). Αυτό θα έχει ως συνέπεια τη μεγαλύτερη απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας και κατ' επέκταση την τήξη του πάγου της ξηράς. Επιπλέον, η συνεχιζόμενη τήξη των πλωτών παγόβουνων θα επιτρέψει την ταχύτερη ροή των πάγων της ξηράς στους ωκεανούς, παρέχοντας έτσι μια πρόσθετη συμβολή στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας (Bindoff et al., 2007).

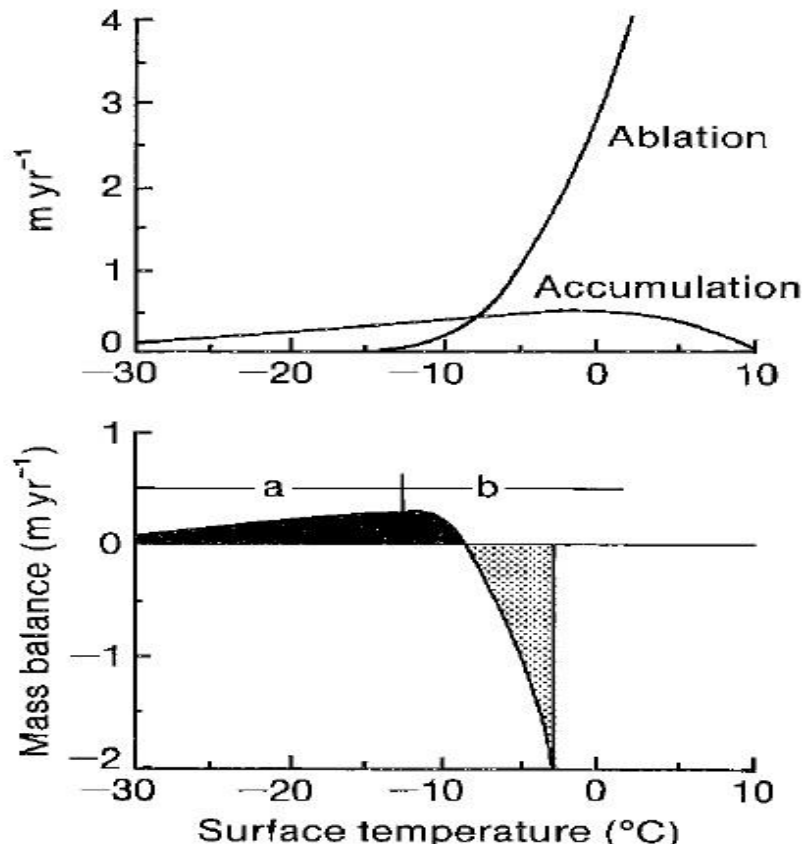
Αναλυτικότερα από το 1880 η μέση στάθμη της θάλασσας έχει ανυψωθεί κατά 17 cm (κατά μέσο όρο 0.13 mm/y). Έρευνες αποδεικνύουν ότι η τήξη των πάγων στην Ανταρκτική και στη Γροιλανδία επιταχύνουν την άνοδο της στάθμης της θάλασσας και συγκεκριμένα την έχουν ανεβάσει περισσότερο από 11mm. Τη δεκαετία του 1990, η τήξη των παγοκαλυμμάτων στους πόλους ήταν υπεύθυνη για το 10% της ανόδου της στάθμης της θάλασσας, ενώ σήμερα το ποσοστό ανέρχεται σε πάνω από 30%.

3.1.1.2 Θερμική διαστολή του θαλάσσιου ύδατος

Ο κύριος παράγοντας που προκαλεί την άνοδο της παγκόσμιας στάθμης της θάλασσας είναι η διαστολή και η επέκταση του όγκου του νερού των ωκεάνιων λεκανών η οποία προκαλείται από την αύξηση της θερμοκρασίας. Αρχικά αυξάνεται η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας, στην συνέχεια ακολουθεί η αύξηση της θερμοκρασίας των υδάτων, με το νερό των ωκεανών να ζεσταίνεται, και κατ' επέκταση την πυκνότητα του να ελαττώνεται, με αποτέλεσμα τη μέση στάθμη της θάλασσας να αυξάνεται (Church et al.,2011a). Οι διακυμάνσεις στη στάθμη οφείλονται αφενός στην πυκνότητα του νερού και αφετέρου στην αλατότητά του, με το συγκεκριμένο κριτήριο να επηρεάζει μόνο τοπικά το φαινόμενο της ανόδου της μέσης στάθμης της θάλασσας και όχι παγκοσμίως (Church et al.,2010). Ως εκ τούτου οι διακυμάνσεις της μέσης στάθμης της θάλασσας είναι εντονότερες στις τροπικές και υποτροπικές περιοχές, όπου το θαλασσινό νερό είναι πιο ζεστό. Πολλές θεωρητικές έρευνες και μελέτες αποδεικνύουν τη σπουδαιότητα της θερμικής διαστολής για την άνοδο της στάθμης της θάλασσας, ποσοτικοποιώντας τα αποτελέσματα τους αλλά η ύπαρξη ενός τρισδιάστατου μοντέλου που θα τα καταγράφει είναι πολύ δύσκολη έως αδύνατη καθώς δε γνωρίζουμε επακριβώς πως λειτουργούν οι μηχανισμοί της φύσης. Μελέτες της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή υποστηρίζουν στην Ειδική αναφορά της ότι η θερμική διαστολή του νερού θα είναι υπεύθυνη για τη μελλοντική άνοδο της μέσης στάθμης της θάλασσας σε ποσοστό 70 με 75%. Η ωκεάνια διαστολή κατά τη διάρκεια των τελευταίων 100 ετών έχει υπολογιστεί ότι έχει συμβάλει περίπου κατά 2 με 7 cm στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Όπως είναι αναμενόμενο η τήξη των πάγων της στεριάς αλλά και της Γροιλανδίας ενισχύουν την άνοδο της μέσης στάθμης της θάλασσας παγκοσμίως αλλά σε μικρότερο βαθμό. Ερευνητικά μοντέλα που έχουν δημιουργηθεί προσομοιάζοντας τον κύκλο του νερού υποδεικνύουν ότι στο μέλλον οι πάγοι της Ανταρκτικής θα σταματήσουν να ενισχύουν την άνοδο της στάθμης των ωκεανών καθώς θα δεχθούν νέα περίοδο ψύχους, με αποτέλεσμα να επιβραδυνθεί το λιώσιμο των πάγων παρά την αύξηση της θερμοκρασίας παγκοσμίως.

3.1.1.3 Τήξη των πάγων των οροσειρών

Η πιο άμεση επίπτωση της κλιματικής αλλαγής είναι το λιώσιμο των πάγων και των παγοκαλυμμάτων σε ολόκληρο τον κόσμο. Με τον όρο παγοκαλύμματα εννοούμε τους μεγάλους όγκους πάγων έκτασης 50.000 km² έκτασης γης και καλύπτουν συνολικά περίπου το 10% της επιφάνειας της γης εκτός από την Αυστραλία. Σύμφωνα με το National Snow & Ice Data Center (NSIDC) τα παγοκαλύμματα αποτελούν τη μεγαλύτερη δεξαμενή γλυκού νερού, καθώς αποτελούνται σε ποσοστό 75% από αυτό. Κατά τη διάρκεια του περασμένου αιώνα, τα παγοκαλύμματα της Γροιλανδίας και της Ανταρκτικής ήταν πυκνά και ευσταθή. Πλέον αυτό δεν ισχύει καθώς άρχισε να υποχωρεί το θεωρούμενο ως ευσταθές άκρο των πάγων της Γροιλανδίας, συμβάλλοντας στην άνοδο της παγκόσμιας μέσης στάθμης της θάλασσας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κάθε χρόνο μεγαλύτερο ποσοστό του πάγου λιώνει σε σχέση με αυτό που μπορεί να αντικατασταθεί. Όσο η ατμοσφαιρική θερμοκρασία αυξάνεται ή οι υψηλές θερμοκρασίες διαρκούν για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα και/ή η βροχόπτωση δεν είναι επαρκής τότε τα παγοκαλύμματα χάνουν σημαντική ποσότητα από τη μάζα τους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτού του φαινομένου είναι το όρος Κιλιμάντζαρο στην Αφρική το οποίο ενώ βρίσκεται σε μία τροπική χώρα, έχει αρκετά ψηλή κορυφή έτσι ώστε να εμφανίζονται και να διατηρούνται εκεί πάγοι εδώ και πολλούς αιώνες. Παρόλα αυτά κατά τη διάρκεια του περασμένου αιώνα, ο όγκος του όρους μειώθηκε περίπου κατά 80%. Εάν ο ρυθμός αυτός της τήξης του πάγου διατηρηθεί τότε υπάρχει μεγάλη πιθανότητα κάθε ίχνος πάγου σε αυτό να εξαφανιστεί, όπως συνέβη στην Αλάσκα, στα Ιμαλάια και στις Άνδεις (Meehl et al., 2007). Η απώλεια αυτή στην πραγματικότητα άρχισε να υφίσταται από τη μικρή εποχή των Παγετώνων (Grove, 1988) και στη συνέχεια έγινε παγκόσμια ανησυχία στα μέσα του 20ου αιώνα. Στην **Εικόνα 3.2** που ακολουθεί, παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας του αέρα και της ισορροπίας της μάζας των στρωμάτων πάγου στην επιφάνεια της γης, η οποία όπως είναι λογικό να διαφέρει από περιοχή σε περιοχή. Η απομάκρυνση μέρος των παγοκαλυμμάτων αφορά περιοχές με ετήσιο μέσο όρο θερμοκρασίας μεγαλύτερο των -15 με -10°C. Η υποχώρηση του πάγου εκδηλώνεται με το αρνητικό ισοζύγιο μάζας, το οποίο δηλώνει ότι λιώνει περισσότερος πάγος από αυτόν που αντικαθίσταται ετησίως (Meehl et al., 2007). Στο δεύτερο διάγραμμα της Εικόνας 3.1 φαίνεται ότι η συσσώρευση πάγου αυξάνεται με τη θερμοκρασία, φθάνει σε ένα μέγιστο στην περιοχή του σημείου πήξεως και στη συνέχεια μειώνεται. Η πρώτη δημοσιευμένη εκτίμηση για τη συμβολή της υποχώρησης του πάγου (παγετώνες και στρώματα πάγου) στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας είναι του Meier (1984). Μετά το Meier ακολούθησαν και άλλες μελέτες υπολογισμού της συμβολής των πάγων στην άνοδο της παγκόσμιας μέσης στάθμης της θάλασσας.



Εικόνα 3-2: Σχέση μεταξύ ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας και απομάκρυνση, μέσω εξάτμισης ή μέσω αποκοπής, τμήματος του παγοκαλύμματος. Στην 1^η περίπτωση το ισοζύγιο της μάζας αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας (Ανταρκτική), ενώ στη 2^η περίπτωση μειώνεται.

3.1.1.4 Τήξη των πάγων της Γροιλανδίας

Το στρώμα πάγου της Γροιλανδίας είναι το δεύτερο μεγαλύτερο μετά από αυτό της Ανταρκτικής και καλύπτει το 80% της έκτασης του νησιού. Η άνοδος της θερμοκρασίας πιθανόν να προκαλέσει ταχύτερη τήξη του στρώματος πάγου στη Γροιλανδία έναντι από αυτό της Ανταρκτικής, λόγω της ύπαρξης πιο θερμού παγοκαλύμματος στην πρώτη περίπτωση. Στην Ανταρκτική, οι θερμοκρασίες είναι αρκετά κάτω του σημείου τήξεως, ώστε ακόμη και με κάποια παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας, οι θερμοκρασίες θα μπορούσαν να παραμείνουν αρκετά χαμηλά για να αποτρέψουν μια εκτενή τήξη. Σύμφωνα με τις εκθέσεις που έχουν δημοσιευτεί από το 1982 και έπειτα (Radok et al., 1982; KostECKa and Williams, 1988; Braithwaite and Oleson, 1989) από διάφορα πανεπιστήμια (Oregon State University) και ερευνητικά προγράμματα, οι επιστήμονες γνώριζαν ότι το στρώμα πάγου που καλύπτει την επιφάνεια του νησιού λεπταίνει, και ιδιαίτερα στο νοτιοδυτικό του άκρο (Weidick, 1984). Στον Πίνακα 3.4 που ακολουθεί καταγράφεται η σχέση του ρυθμού απομάκρυνσης του πάγου της Γροιλανδίας σε σχέση με την κλιματική αλλαγή. Η μέθοδος και η έρευνα των Ambach and Kuhn (1989) καταγράφει τη σχέση αλληλεπίδρασης του ρυθμού απώλειας όγκου των παγοκαλυμμάτων σε σχέση με τα φυσικά φαινόμενα, όπως η θερμοκρασία, η βροχόπτωση και η ακτινοβολία. Η θερμοκρασία αν και θεωρείται βασικός παράγοντας που επηρεάζει το συγκεκριμένο φαινόμενο, αποδεικνύεται ότι εξίσου σημαντικό ρόλο παίζουν και οι αλλαγές στον εποχιακό κύκλο, στη βροχόπτωση και στη νέφωση. Σύμφωνα με τους Reeh and

Gundestrup, 1985 μπορεί να παρατηρηθεί συσσώρευση του χιονιού και του πάγου στην περιοχή της Γροιλανδίας, παρόλη την αύξηση της θερμοκρασίας. Εάν αυξηθεί η ετήσια βροχόπτωση ομοιόμορφα κατά 5% ανά °C, η βροχόπτωση μπορεί να αντισταθμίσει περίπου το 30% των επιπτώσεων που μπορεί να προκαλέσει η αύξηση της θερμοκρασίας.

Πίνακας 3.4: Εκτίμηση του ισοζυγίου μάζας των στρωμάτων πάγων της Γροιλανδίας, σε σχέση με τη θερμοκρασία, τον υετό και τη νέφωση (Πηγή: IPCC 2009).

Source	T (+1°C)	P (+5%)	C (+5%)	Remarks
Ambach & Kuhn (1989)	+0 31	-0 13		Analysis of EGIG data
Bindschadler (1985)	+0 45			EGIG data/retreating margin
Braithwaite and Olesen (1990)	+0 36 to +0 48			Energy balance calculation
Oerlemans (1990)	+0 37	0 11	-0 06	Energy balance Model

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για τον 21ο αιώνα, αναμένεται με τα σημερινά δεδομένα υετού και νέφωσης ότι στην περιοχή της Γροιλανδίας και αβεβαιότητας της τάξεως των $0.3 \pm 0.2 \text{ mm/yr/}^\circ\text{C}$ η παγκόσμια μέση στάθμη της θάλασσας θα αυξηθεί κατά $0.23 \pm 0.16 \text{ mm/yr}$. Επομένως η τήξη των πάγων της Γροιλανδίας επηρεάζει λιγότερο την άνοδο της παγκόσμιας μέσης στάθμης της θάλασσας από ότι η απομάκρυνση των πάγων της στεριάς και κατ' επέκταση από ότι η θερμική διαστολή του ωκεάνιου ύδατος.

3.1.1.5 Το στρώμα πάγου της Ανταρκτικής

Η Ανταρκτική είναι μία πολύ ψυχρή ήπειρος με το μεγαλύτερο μέρος της να καλύπτεται από πάγο, λόγω της σχετικά ελάχιστης ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται. Η σταθερότητα του παγοκαλύμματος της Ανταρκτικής είναι υπό αμφισβήτηση, μιας και έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί δεν στοιχειοθετούν την προσαρμοστικότητα του στρώματος πάγου της μετά την τελευταία παγετώδη-μεσοπαγετώδη περίοδο. Φαίνεται ότι το παγοκάλυμμα της Ανταρκτικής έχει άμεση σχέση και αλληλεπίδραση με το κλίμα της περιοχής, καθώς ο θαλάσσιος πάγος της Ανταρκτικής επεκτείνεται ετησίως κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ενώ το μεγαλύτερο τμήμα του λιώνει το καλοκαίρι. Αυτός ο πάγος σχηματίζεται από το νερό του ωκεανού και επιπλέει σε αυτό, οπότε δε συμβάλει στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Η έκταση του θαλάσσιου πάγου γύρω από την Ανταρκτική έχει παραμείνει εν γένει σταθερή τις τελευταίες δεκαετίες, αν και οι αλλαγές στο πάχος του δεν είναι ξεκάθαρες. Αντιθέτως υπάρχουν όλο και περισσότερες ενδείξεις ότι τα θαλάσσια στρώματα πάγου της Δυτικής Ανταρκτικής μπορεί να εμφανίσουν σημαντική μείωση της μάζας τους με πιθανές σημαντικές συνέπειες για το επίπεδο της θάλασσας. Οι Budd and Smith (1985) και στη συνέχεια οι Giovinetto and Bentley (1985) προσπάθησαν να υπολογίσουν τον όγκο του παγοκαλύμματος που καταγράφεται την καλοκαιρινή περίοδο στην Ανταρκτική και εκτίμησαν ότι συνείφερε σε άνοδο στάθμης της θάλασσας της τάξεως των 0.6 mm/yr . Παρόλα αυτά, υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα στο μέγεθος του παγοκαλύμματος της, εξαιτίας της ανάκλασης της

ακτινοβολίας στον πάγο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να παρουσιάζεται μεγάλο σφάλμα κατά τη διαδικασία υπολογισμού του πάχους του παγοκαλύμματος μέσω της δορυφορικής υψομετρίας.

Μία επισκόπηση των επιστημονικών μελετών με δεδομένα από το 1992 έως το 2006 υποδεικνύουν ότι μία λογική εκτίμηση για τις καθαρές απώλειες του πάγου ανέρχεται στους 50 γιγατόνους πάγου ανά έτος (αντιστοιχεί σε 0,14 mm άνοδο της στάθμης της θάλασσας). Ωστόσο σύμφωνα με μία έρευνα που δημοσιεύθηκε στο Nature Geoscience αποκάλυψε ότι οι θαλάσσιοι πάγοι που καλύπτουν την ήπειρο είναι παχύτεροι από ό,τι πίστευαν οι ειδικοί μέχρι τώρα. Δύο ερευνητικές ομάδες που αποτελούνταν από επιστήμονες από το Ηνωμένο Βασίλειο, τις ΗΠΑ και την Αυστραλία, ανέλυσαν μια περιοχή της Ανταρκτικής εκτάσεως 500.000 m², με τη βοήθεια ενός ρομπότ, γνωστού με το όνομα "SeaBed". Το υποβρύχιο αυτό ρομπότ ανέλυσε τα στρώματα πάγου σε βάθος 20-30 μέτρων κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας στις παράκτιες περιοχές της Ανταρκτικής και οι ερευνητές ανακάλυψαν ότι το πάχος του πάγου είναι παχύτερο απ' ό,τι υπολόγιζαν, καθώς επίσης και ότι το 76% των χαρτογραφημένων πάγων ήταν "παραμορφωμένο", που σημαίνει ότι τεράστιες πλάκες πάγου συγκρούστηκαν με άλλες και δημιούργησαν πιο πυκνά σώματα πάγου. Εν ολίγοις, καμία έρευνα δεν καταλήγει σε κάποιο συγκεκριμένο συμπέρασμα στο εάν το παγοκάλυμμα της Ανταρκτικής και ιδίως της Δυτικής Ανταρκτικής συμβάλλει θετικά ή αρνητικά στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Συνοψίζοντας, οι επιστήμονες υποστηρίζουν ότι μία μελλοντική αύξηση της θερμοκρασίας θα οδηγήσει σε αυξημένη συσσώρευση πάγου στην περιοχή της Ανταρκτικής, με αποτέλεσμα να φέρει αρνητική συμβολή στην αλλαγή της στάθμης της θάλασσας.

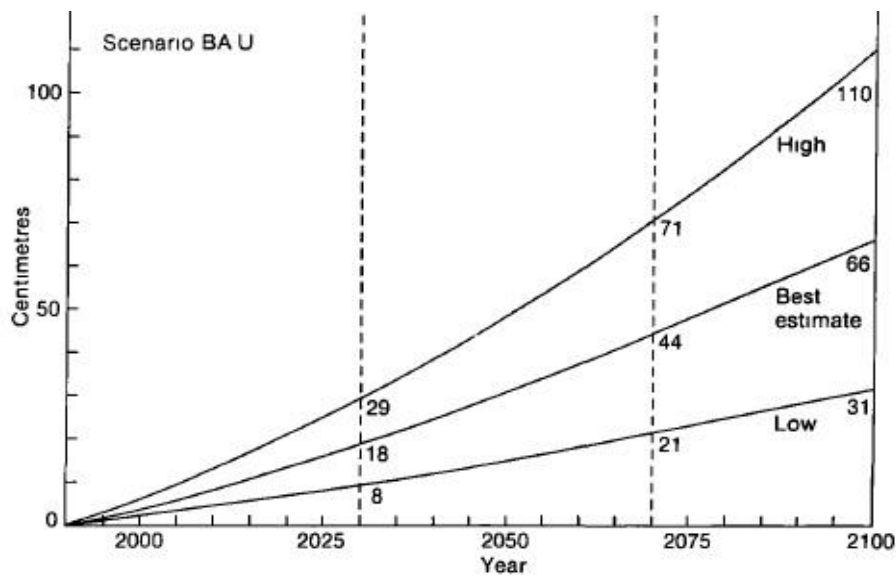
3.1.1.6 Εκτιμώμενη μελλοντική άνοδος της μέσης στάθμης της θάλασσας παγκοσμίως

Παρόλο που έχουν καταγραφεί οι παράγοντες που μέχρι πρότινος έχουν επιδράσει στις μεταβολές της μέσης στάθμης της θάλασσας παγκοσμίως, ωστόσο δεν έχει εκτιμηθεί ακόμη με ακρίβεια η επίδραση τους στη μελλοντική άνοδο της θάλασσας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι συνθήκες που επικρατούν σε κάθε χρονική στιγμή δεν είναι οι ίδιες, δεδομένου ότι η ποσότητα των αερίων του θερμοκηπίου (GHG) διαφέρει από περιοχή σε περιοχή και από περίοδο σε περίοδο. Επομένως διαφέρει και η θερμοκρασία. Εάν παρθούν ως δεδομένα τα μέχρι πρότινος καταγεγραμμένα στοιχεία, τότε η προβλεπόμενη μελλοντική άνοδος της θάλασσας θα είναι μεταξύ 10-30cm στις επόμενες 4 δεκαετίες. Σύμφωνα όμως με την IPCC, σε κάθε Σενάριο από τις Εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου (SRES), που έχει προαναφερθεί, αντιστοιχεί και ένα διάγραμμα που αναπαριστά τη μεγαλύτερη, τη χαμηλότερη και τη μέση εκτίμηση της ανόδου της στάθμης της θάλασσας παγκοσμίως. Στον **Πίνακα 3.5** που ακολουθεί καταγράφεται η επίδραση που έχουν όλοι οι κλιματικοί παράγοντες που αναλύθηκαν προηγουμένως, δηλαδή η θερμική διαστολή του νερού των ωκεανών, η τήξη των πάγων της στεριάς και των παγοκαλυμμάτων της Γροιλανδίας και της Ανταρκτικής, στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας για τη χρονική περίοδο 1985-2030 σύμφωνα με το σενάριο A1 της IPCC. Οι εκτιμήσεις είναι υπολογισμένες σε cm.

Πίνακας 3.5: Οι παράγοντες που επηρεάζουν την άνοδο της Μ.Σ.Θ (cm), και η επίδραση τους κατά την περίοδο 1985-2030, σύμφωνα με το σενάριο A1 (IPCC 2007).

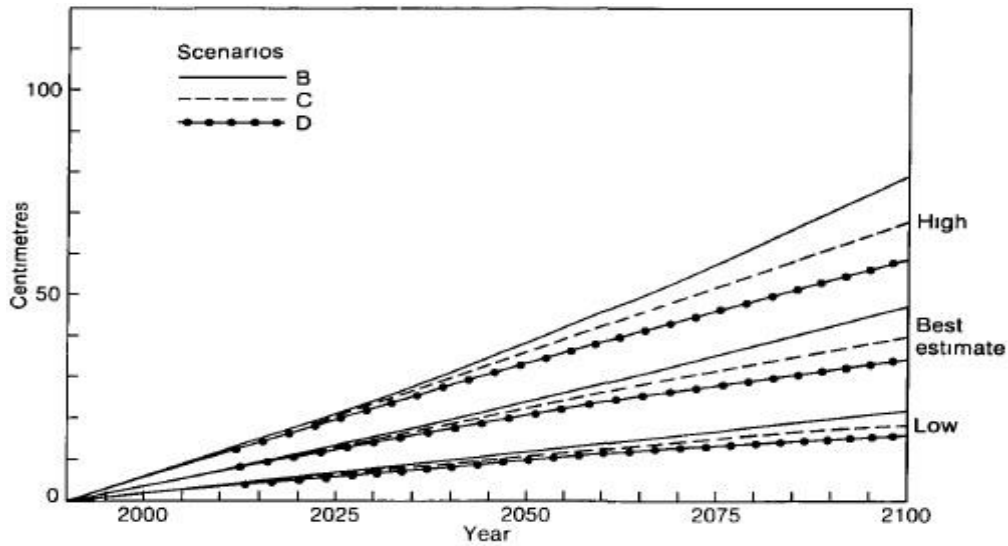
	Thermal Expansion	Mountain Glaciers	Greenland	Antarctica	TOTAL
HIGH	149	103	37	00	289
BEST ESTIMATE	101	70	18	-0.6	183
LOW	68	23	0.5	0.8	87

Επίσης στις Εικόνες 3.3 και 3.4 που ακολουθούν, καταγράφονται οι εκτιμήσεις συνολικά της ανόδου της μέσης στάθμης της θάλασσας παγκοσμίως για τη χρονική περίοδο 1990-2100. Οι εκτιμήσεις και εδώ, είναι υπολογισμένες σε cm. Στην Εικόνα 3.3 παρατηρείται ότι σύμφωνα με το σενάριο A1, η καλύτερη εκτίμηση της ανόδου της Μ.Σ.Θ για το έτος 2030 είναι τα 18 cm, η χαμηλότερη τιμή προκύπτει ότι είναι τα 8 cm και η υψηλότερη τα 29cm. Στην ίδια εικόνα καταγράφονται και οι αντίστοιχες τιμές για το έτος 2070, με την καλύτερη εκτίμηση τα 44cm.



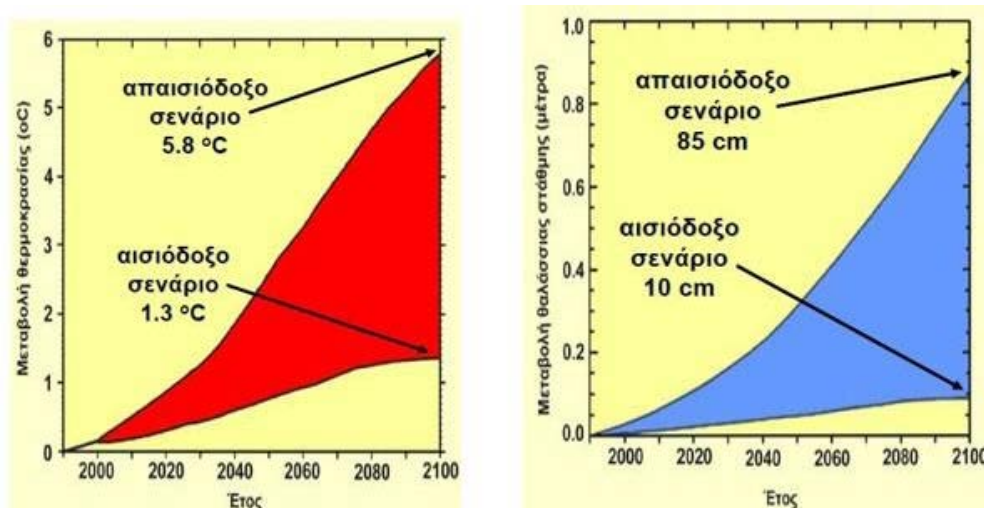
Εικόνα 3-3: Εκτίμηση της ανόδου της Μ.Σ.Θ, κατά τη χρονική περίοδο 1990-2100, σύμφωνα με το σενάριο A1

Αντίστοιχα με την Εικόνα 3.3, στην Εικόνα 3.4 καταγράφονται πάλι η βέλτιστη, η χαμηλότερη και η υψηλότερη εκτίμηση της ανόδου της Μ.Σ.Θ για τη χρονική περίοδο 1990-2100 για όλα τα σενάρια. Το σενάριο B αντιστοιχεί στο σενάριο A2 της IPCC, το σενάριο C στο σενάριο B1' της IPCC και το σενάριο D στο σενάριο B2 της IPCC. Παρατηρείται ότι το σενάριο A1 είναι το δυσμενέστερο σενάριο που μπορεί να πραγματοποιηθεί.



Εικόνα 3-4: Εκτίμηση της Μέσης Στάθμης της Θάλασσας, κατά τη χρονική περίοδο 1990-2100, για τα σενάρια A2,B1,B2 της IPCC

Εν κατακλείδι στην Εικόνα 3.5 φαίνονται οι τιμές της μεταβολής της θερμοκρασίας και της μέσης στάθμης της θάλασσας παγκοσμίως σύμφωνα με το αισιόδοξο B1 και απαισιόδοξο σενάριο A1 εκπομπής των αερίων του θερμοκηπίου σύμφωνα με την τέταρτη έκθεση της Διακυβερνητικής Επιτροπής της Κλιματικής Αλλαγής.



Εικόνα 3-5: Διαγράμματα μεταβολής της θερμοκρασίας και της μέσης στάθμης της θάλασσας σύμφωνα με το αισιόδοξο και απαισιόδοξο σενάριο της IPCC.

Συμπερασματικά, παρατηρείται σημαντική άνοδος της μέσης στάθμης της θάλασσας παγκοσμίως, λόγω της μέχρι πρότινος κλιματικής αλλαγής, πέραν των μειώσεων στις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου. Αύξηση της Μ.Σ.Θ πάνω από 1m θεωρείται απίθανο να συμβεί, ακόμη και στην περίπτωση πραγματοποίησης του δυσμενέστερου σεναρίου (A1) σύμφωνα με την IPCC, στο οποίο εκτιμάται ότι θα πραγματοποιηθεί άνοδος 3 με 6 φορές γρηγορότερη από την ήδη παρατηρηθείσα των τελευταίων 100 χρόνων. Οποιαδήποτε και να είναι η άνοδος της μέσης στάθμης της θάλασσας τα επόμενα χρόνια, το μόνο σίγουρο είναι ότι θα φέρει σημαντικές επιπτώσεις στις παράκτιες

περιοχές και το περιβάλλον γενικότερα. Η διάβρωση των ακτών, οι πλημμύρες παράκτιων περιοχών, η υφαλμύριση των υπόγειων υδροφορέων καθώς και η απώλεια οικοτόπων για τα ψάρια, πουλιά και φυτά, είναι κάποιες από τις επιπτώσεις που πιθανόν να προκληθούν από την άνοδο της μέσης στάθμης της θάλασσας παγκοσμίως. Επίσης αρκετές χώρες όπως το Μπαγκλαντές, το Βιετνάμ, η Κίνα και η Ινδία είναι ευάλωτες στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας, με μεγάλο μέρος του πληθυσμού τους να ζει σε επικίνδυνες παράκτιες περιοχές, όπως δέλτα ποταμών, των οποίων το σύστημα συνδέεται με τον ωκεανό. Επιπλέον σύμφωνα με τον Nicholls et al., 1999 αρκετοί κάτοικοι διαφόρων νησιωτικών κρατών, όπως για παράδειγμα των Φιλιππίνων και της Ινδονησίας θα αναγκαστούν να μεταναστεύσουν δεδομένου ότι εκτοπίζονται λόγω της εισχώρησης της θάλασσας στις παράκτιες περιοχές.

3.1.2 Ανεμογενή κύματα

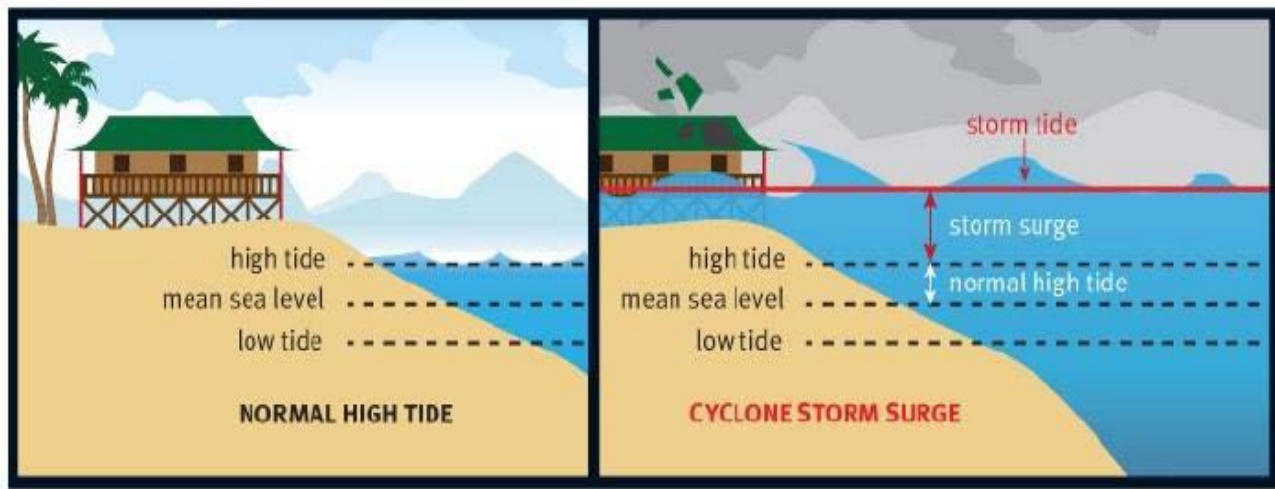
Η δημιουργία ενός θαλάσσιου κύματος οφείλεται κυρίως στη δράση του ανέμου. Τα μόρια του νερού μέσω της τριβής με τα μόρια του αέρα απορροφούν την κινητική ενέργεια του ανέμου με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός κύματος, το μέγεθος του οποίου εξαρτάται τόσο από το πλάτος της θαλάσσιας περιοχής στην οποία σχηματίζεται, όσο και από την ένταση του ανέμου που επικρατεί. Σε φυσιολογικές συνθήκες στην ανοικτή θάλασσα τα θαλάσσια κύματα μπορούν να φθάσουν το ύψος των 6m, όπως για παράδειγμα στη Μεσόγειο αλλά και τα 18m, όπως παρατηρείται στον Ατλαντικό και στον Ειρηνικό Ωκεανό. Ωστόσο σε αρκετές περιπτώσεις, ιδίως όταν επικρατούν ακραία καιρικά φαινόμενα τα κύματα μπορούν να ξεπεράσουν το ύψος των 20 και 30 μέτρων.

Εφόσον η κλιματική αλλαγή έχει μεταβάλει τη μέση στάθμη της θάλασσας παγκοσμίως αλλά και την ταχύτητα και την κατεύθυνση των ανέμων, προκύπτει εύλογα το συμπέρασμα ότι θα έχουν μεταβληθεί και τα χαρακτηριστικά του κύματος αντίστοιχα. Σύμφωνα με τους Neil et al., 2009 και από τις κλιματικές ενδείξεις των τελευταίων 12.000 ετών, έχει παρατηρηθεί μία αύξηση του χαρακτηριστικού ύψους κύματος (Hs) της τάξεως του 40% λόγω της ανόδου της μέσης στάθμης της θάλασσας. Η ενίσχυση των ανέμων αλλά και η παρουσία ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως για παράδειγμα κυκλώνες, το φαινόμενο El Niño, καταιγίδες φέρουν άμεση επίδραση στην αύξηση του χαρακτηριστικού ύψους κύματος. Επειδή η τιμή του χαρακτηριστικού ύψους κύματος είναι επακόλουθο πολλών παραγόντων, τα κλιματικά μοντέλα εμφανίζουν δυσκολία στην παραμετροποίηση της εκάστοτε μεταβλητής. Ωστόσο σύμφωνα με την Ειδική αναφορά της IPCC προβλέπεται μία αύξηση του χαρακτηριστικού ύψους κύματος σε αρκετές περιοχές μέσω γεωγραφικών πλατών που θα είναι επακόλουθο της ενίσχυσης της εμφάνισης των ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως θα αναλυθεί στο επόμενο κεφάλαιο (Meehl et al., 2007b). Επίσης σύμφωνα με τους Hemer et al., 2014 προβλέπεται άνοδος του χαρακτηριστικού ύψους κύματος στις περιοχές της Ινδονησίας και στις ανατολικές ακτές της Αυστραλίας λόγω της ενίσχυσης των δυτικών ανέμων στο Νότιο ωκεανό. Εν ολίγοις, οι αλλαγές στο χαρακτηριστικό ύψος κύματος αντανακλά κυρίως τις αλλαγές στους ανέμους παγκοσμίως.

3.1.3 Μετεωρολογική παλίρροια

Μετά την άνοδο της θάλασσας ένα άλλο φυσικό φαινόμενο που επηρεάζεται από τη μεταβολή του κλίματος παγκοσμίως και με τη σειρά του απειλεί τις παράκτιες περιοχές είναι η μετεωρολογική παλίρροια (storm surge). Η μετεωρολογική παλίρροια αποτελεί σημαντικό υπαίτιο παράγοντα

πρόκλησης πλημμυρικών φαινομένων, παρόλα αυτά είναι δύσκολο να προβλεφθεί λόγω της πολυπλοκότητας της.



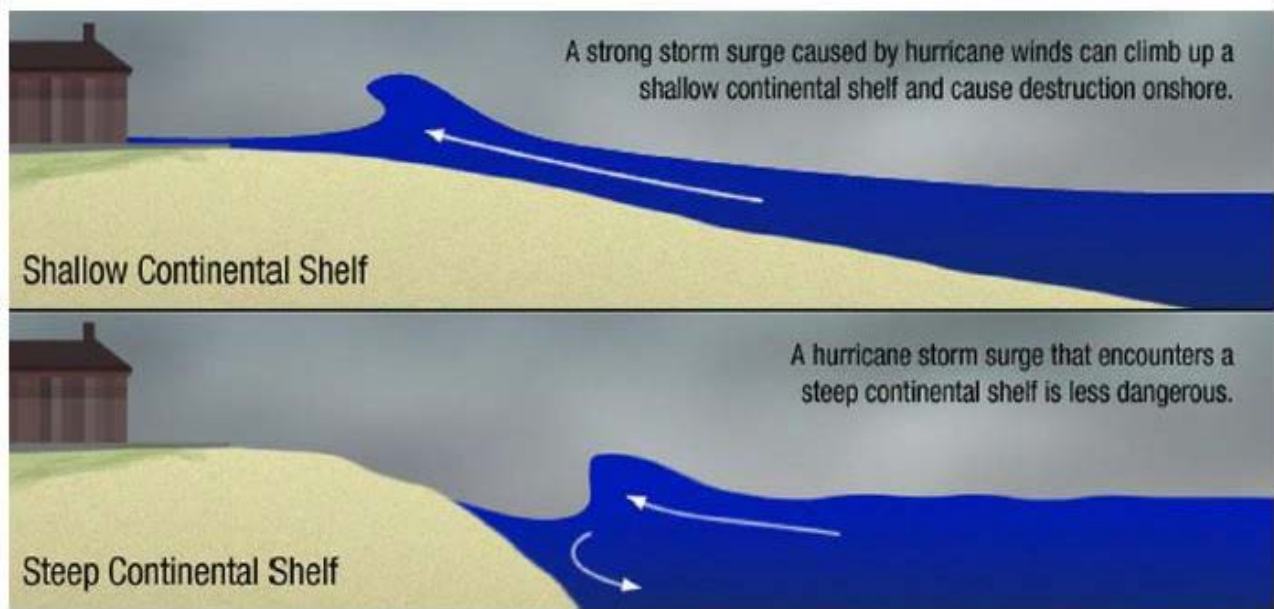
Εικόνα 3-6: Σχηματική απεικόνιση των συνιστωσών της παλίρροιας (αστρονομική και μετεωρολογική)

Ο όρος *Μετεωρολογική παλίρροια* (storm surges) αναφέρεται στην αύξηση της στάθμης της θάλασσας υπό την παρουσία μίας θύελλας ή καταιγίδας. Σύμφωνα με τον Κουτίτα, 1998 το φαινόμενο της μετεωρολογικής παλίρροιας οφείλεται στην επίδραση του ανέμου και των χαμηλών βαρομετρικών συστημάτων. Όταν η ατμοσφαιρική πίεση μειώνεται σε μία περιοχή, τότε παρατηρείται άνοδος της μέσης στάθμης της θάλασσας με σκοπό να αποκατασταθεί η υδροστατική ισορροπία (Pirazzoli, 2000).

Οι επιπτώσεις της μετεωρολογικής παλίρροιας στην παράκτια ζώνη είναι ανάλογες της αύξησης της στάθμης της θάλασσας και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως για παράδειγμα από τις μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσης, την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου, την τοπογραφία της περιοχής καθώς και από το σχήμα της ακτογραμμής. Συγκεκριμένα όσον αφορά τη συνιστώσα της ατμοσφαιρικής πίεσης, όσο μεγαλύτερη είναι η πτώση της πίεσης τόσο υψηλότερη είναι η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στη διαφορά μεταξύ της χαμηλής πίεσης που επικρατεί στο κέντρο του κυκλώνα/θύελλα και της υψηλότερης περιβαλλοντικής πίεσης έξω από τον πυρήνα. Αναφορικά σε περιοχές όπου δεν εμποδίζεται η ροή του νερού επικρατεί ο γενικός κανόνας πως για κάθε mbar πτώσης της τιμής της ατμοσφαιρικής πίεσης αντιστοιχεί άνοδος της στάθμης της θάλασσας κατά 1 cm.

Όσον αφορά την ένταση και την κατεύθυνση του ανέμου έχει παρατηρηθεί ότι στις ανοιχτές θάλασσες όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα του ανέμου τόσο υψηλότερη είναι η μετεωρολογική παλίρροια. Ωστόσο στις ακτές και στις κλειστές λεκάνες έχει παρατηρηθεί ότι θύελλες χαμηλότερης ταχύτητας με προσανατολισμό του ανέμου κάθετα στις ακτές, προκαλούν μεγαλύτερα και εντονότερα παλιρροϊκά φαινόμενα.

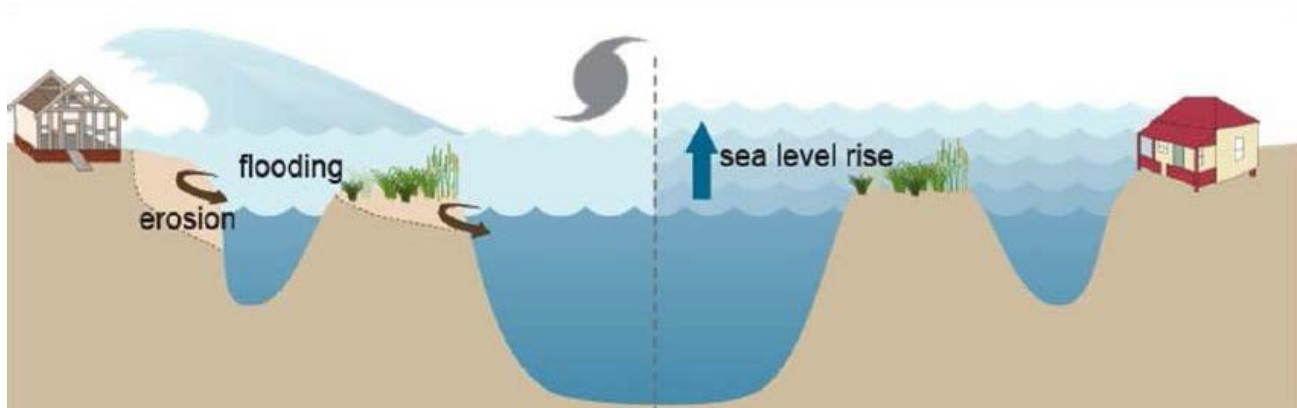
Επιπλέον, όσον αφορά το σχήμα της ακτογραμμής, η παλίρροια είναι μεγαλύτερη όταν η θύελλα συναντήσει κοίλη έναντι κυρτής ακτογραμμής. Η βαθυμετρία και η τοπογραφία της περιοχής επηρεάζουν επίσης το φαινόμενο της μετεωρολογικής παλίρροιας καθώς έχει παρατηρηθεί ότι στα μεγάλα βάθη, το φαινόμενο δε γίνεται αντιληπτό. Επίσης, το φαινόμενο της μετεωρολογικής παλίρροιας είναι εντονότερο σε πλατιές υφαλοκρηπίδες με ήπια κλίση, σ' αντίθεση με τις απότομες υφαλοκρηπίδες μικρού πλάτους (Εικόνα 3.7).



Εικόνα 3-7: Επίδραση της υφαλοκρηπίδας στο μέγεθος της μετεωρολογικής παλίρροιας.

Τέλος η ποσότητα της μετεωρολογικής παλίρροιας που παράγεται από έναν κυκλώνα, μπορεί να επηρεαστεί και από την αστρονομική παλίρροια, αναλόγως τη χρονική στιγμή που ο κυκλώνας θα προσπέσει στη στεριά. Εάν τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή η μετεωρολογική παλίρροια συμπέσει με την υψηλή στάθμη της αστρονομικής παλίρροιας, τότε η πρώτη ενισχύεται σημαντικά. Σε αντίθετη περίπτωση, η έκταση των βλαβών μπορεί να είναι περιορισμένες.

Οι επιπτώσεις της Μετεωρολογικής παλίρροιας στη φύση κυμαίνονται από μεγάλες έως ολέθριες και ειδικά σε περιοχές όπου κυριαρχούν τροπικοί κυκλώνες, όπως για παράδειγμα στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής (Neddman and Keim, 2011). Στον ελλαδικό χώρο οι περιοχές που πλήττονται περισσότερο από το φαινόμενο αυτό είναι οι δελταϊκές ακτές του Εύηνου στο Μεσολόγγι, του Καλαμά στην Ηγουμενίτσα, του Αχελώου, του Μόρνου στον Κορινθιακό, του Πηνειού και του Αλφειού στην Ηλεία, του Αλιάκμονα και του Αξιού στο Θερμαϊκό, του Στρυμόνα στην Αμφίπολη, του Νέστου και του Έβρου, όπως και οι δελταϊκές περιοχές στο Μαλλιακό, στον Αμβρακικό, στο Λακωνικό, στο Μεσσηνιακό και στον Αργολικό κόλπο (Πηγή: Τράπεζα της Ελλάδος). Αποτέλεσμα ενός storm surge είναι η τροποποίηση της μορφολογίας του εδάφους της παράκτιας ζώνης είτε με τοποθέτηση είτε με εκτόπιση ιζήματος, η αλλοίωση του παράκτιου περιβάλλοντος αλλά και η καταστροφή καλλιεργείων, δασών ή και οικότυπων που βρίσκονται πάνω σε αυτή. Όταν το φαινόμενο της μετεωρολογικής παλίρροιας συνδυαστεί με την άνοδο της μέσης στάθμης της θάλασσας, τα αποτελέσματα είναι πλέον ορατά στους κατοίκους των παράκτιων περιοχών (Εικόνα 3.8).



Εικόνα 3-8: Συνδυασμός της δράσης του φαινομένου της άνοδου της μέσης στάθμης της θάλασσας και της μετεωρολογικής παλίρροιας (Πηγή: Global Conference on Global Warming, 2015).

Επειδή η μετεωρολογική παλίρροια είναι ένα σύνθετο φαινόμενο πολλών παραγόντων, οι προβλέψεις για τη δράση της ακολουθούν τις προβλέψεις των χαρακτηριστικών παραμέτρων των κυμάτων, της αύξησης της θερμοκρασίας και τις προβλέψεις των ανέμων. Οι περιοχές που είναι πιο ευπαθείς στο φαινόμενο της μετεωρολογικής παλίρροιας είναι οι περιοχές του Β. Ατλαντικού, της Αυστραλίας και της Ινδονησίας, οι οποίες συνδυάζουν την άνοδο της θερμοκρασίας με την εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων είτε αυτά είναι άνεμοι ή θαλάσσια ρεύματα είτε είναι καταιγίδες.

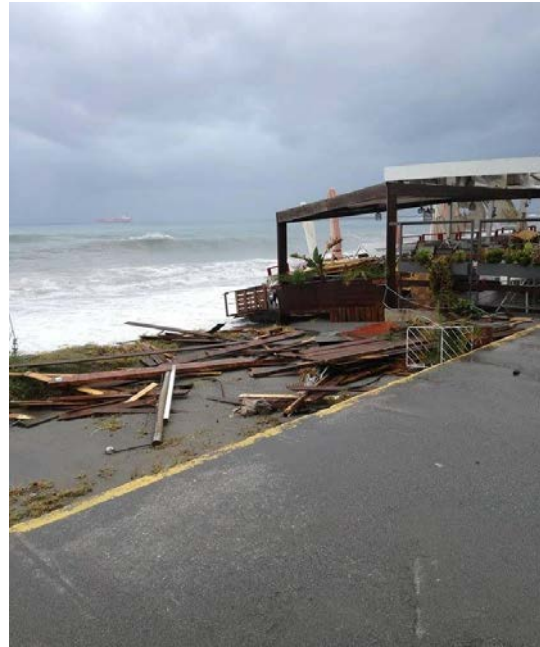
3.2 Επίδραση Κλιματικής Αλλαγής στην Παράκτια Οδική Ασφάλεια

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η κλιματική αλλαγή αυξάνει την πιθανότητα πλημμύρας από τη θάλασσα. Γι' αυτό το λόγο αποτελεί ένα υψηλής προτεραιότητας πρόβλημα τόσο σε επιστημονικό όσο και σε κοινωνικό και οικονομικό επίπεδο. Στον πλανήτη μας οι επιδράσεις της έχουν ήδη παρατηρηθεί: ανύψωση της ΣΘ, μεταβολές στα συστήματα ατμοσφαιρικής και θαλάσσιας κυκλοφορίας, αύξηση στη συχνότητα και την ένταση ακραίων καιρικών φαινομένων, πλημμυρών και ξηρασιών κ.ά. Η ταχεία αστικοποίηση των παράκτιων περιοχών σε συνδυασμό με την κλιματική αλλαγή, τις συχνά ανεπαρκείς υποδομές, αλλά και τη κακή διαχείριση των αρχών διοίκησης, οδηγούν στην αύξηση των κινδύνων πλημμύρας για τις παράκτιες κοινότητες. Επιπλέον, σε πολλές περιοχές, η ευπάθεια στις πλημμύρες έχει αυξηθεί λόγω της παράκτιας διάβρωσης. Οι προσπίπτοντες κυματισμοί μέσω των φαινομένων της αναρρίχησης και της υπερπήδησης σε συνδυασμό με τη γεωμορφολογία της παράκτιας περιοχής και την ανύψωση της ΣΘ, κατακλύζουν όλο και συχνότερα και βιαιότερα τις παράκτιες περιοχές.

Στην Ελλάδα, με περίπου 16.000 χιλιόμετρα ακτογραμμής και 2.500 νήσους, το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού και της κοινωνικό-οικονομικής δραστηριότητας βρίσκεται εγκαταστημένο στην Παράκτια Ζώνη. Οι παραλιακοί δρόμοι αποτελούν ένα από τα συχνότερα τεχνικά έργα που βρίσκονται πλησίον της ακτογραμμής και πλήττονται άμεσα από τη θαλάσσια δράση. Τα πλημμυρικά γεγονότα που έχουν καταγραφεί τα τελευταία χρόνια, θέτοντας σε κίνδυνο την ασφάλεια των οδηγών που χρησιμοποιούν τους παραλιακούς δρόμους είναι πολυπληθή και έχουν εμφανιστεί σε όλη τη χώρα. Οι κίνδυνοι που προκαλούνται από τις θαλάσσιες πλημμύρες, προφανώς δεν απαντώνται μόνο στα Ελληνικά παράλια αλλά και διεθνώς.



Εικόνα 3-9: Περιοχή Ρεθύμνου (16.02.2012). «Η θάλασσα βγήκε στη στεριά» [www.Rethemnosnews.gr]



Εικόνα 3-10: Περιοχή Καλαμάτας (29.09.2018). «Ζημιές και προβλήματα στη Μεσσηνία από τον μεσογειακό κυκλώνα» [www.messinialive.gr]



Εικόνα 3-11: Tybee Island, GA, United States (03.09.2016). «Flooding of Coast, Caused by Global Warming, Has Already Begun» [www.nytimes.com]



Εικόνα 3-12: Hemsby, on the Norfolk coast, UK (05.12.2013). «Seven cliff-top homes collapsed on the night of the worst storm surge for 60 years» [www.bbc.com]

Την τελευταία δεκαετία, η Ελλάδα καταλαμβάνει σταθερά μία από τις χειρότερες θέσεις στην οδική ασφάλεια στην Ευρώπη των 28. Ταυτόχρονα, η Ελλάδα κατέγραψε μία εντυπωσιακή μείωση του αριθμού των νεκρών σε οδικά ατυχήματα της τάξης του 45% την περίοδο 2009-2015. Το οικονομικό και κοινωνικό κόστος των νεκρών, τραυματιών και υλικών ζημιών των καταγεγραμμένων οδικών ατυχημάτων με παθόντες στην Ελλάδα ξεπερνάει τα 3 δις € ετησίως. Ενδεχομένως τριπλασιάζεται εάν υπολογιστεί ο πραγματικός αριθμός των παθόντων αλλά και τα ατυχήματα με υλικές ζημιές μόνο.

Σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία οι αριθμοί των οδικών ατυχημάτων (www.nrso.ntua.gr/data/) με τραυματίες και νεκρούς για το έτος 2015, που οφείλονται σε καιρικές συνθήκες ανέρχονται αντίστοιχα σε 102 και 940 αντίστοιχα. Η σφοδρότητα των συγκεκριμένων ατυχημάτων οφείλεται σε συνθήκες βροχής σε ένα ποσοστό περίπου 75%, ενώ το υπόλοιπο 25% οφείλεται σε λοιπές (other,) καιρικές συνθήκες συμπεριλαμβάνοντας και την παράκτια πλημμύρα. Συνεπώς ο αριθμός των ατυχημάτων (232 για το έτος 2015) που οφείλονται σε λοιπές καιρικές συνθήκες παραμένει μεγάλος και σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η διερεύνηση μεθόδων προστασίας των παραλιακών οδών.

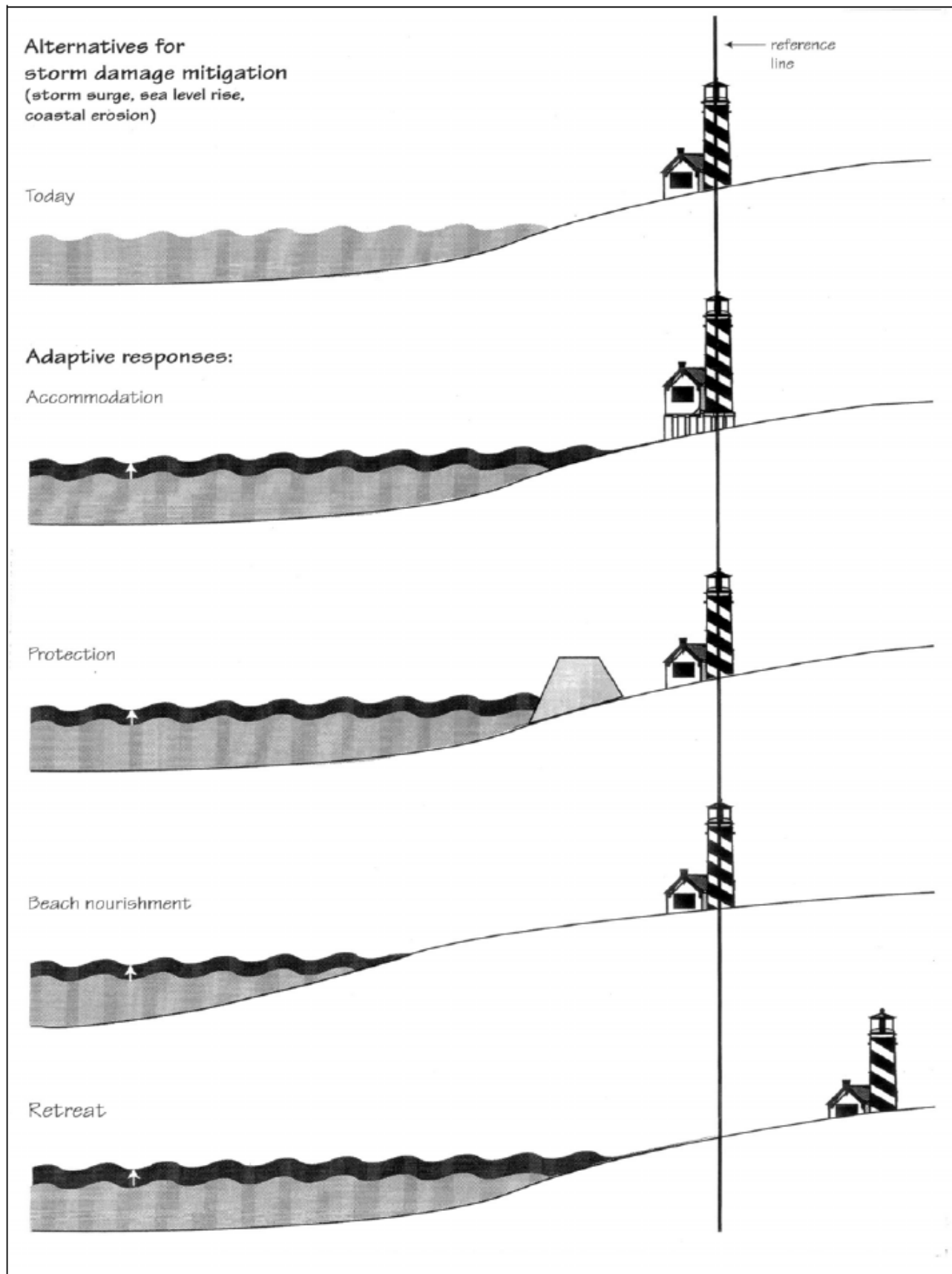
Πίνακας 3-1. Οδικά ατυχήματα στην Ελλάδα για το έτος 2015 που οφείλονται σε καιρικές συνθήκες (www.nrso.ntua.gr/data/).

Weather Conditions	Fatalities				Road Accidents				Fatalities per 100 accidents		
	Inside built-up area	Outside built-up area	Total	%	Inside built-up area	Outside built-up area	Total	%	Inside built-up area	Outside built-up area	Total
Clear sky	350	341	691	87%	8.666	1.834	10.500	92%	4	19	7
Rain	35	47	82	10%	484	244	728	6%	7	19	11
Other	3	17	20	3%	143	69	212	2%	2	25	9
Total	388	405	793	100%	9293	2147	11.440	100%	4,175	18,86	7
%	49%	51%	100%		81%	19%	100%				

3.3 Κατηγορίες Έργων Παράκτιας Προστασίας

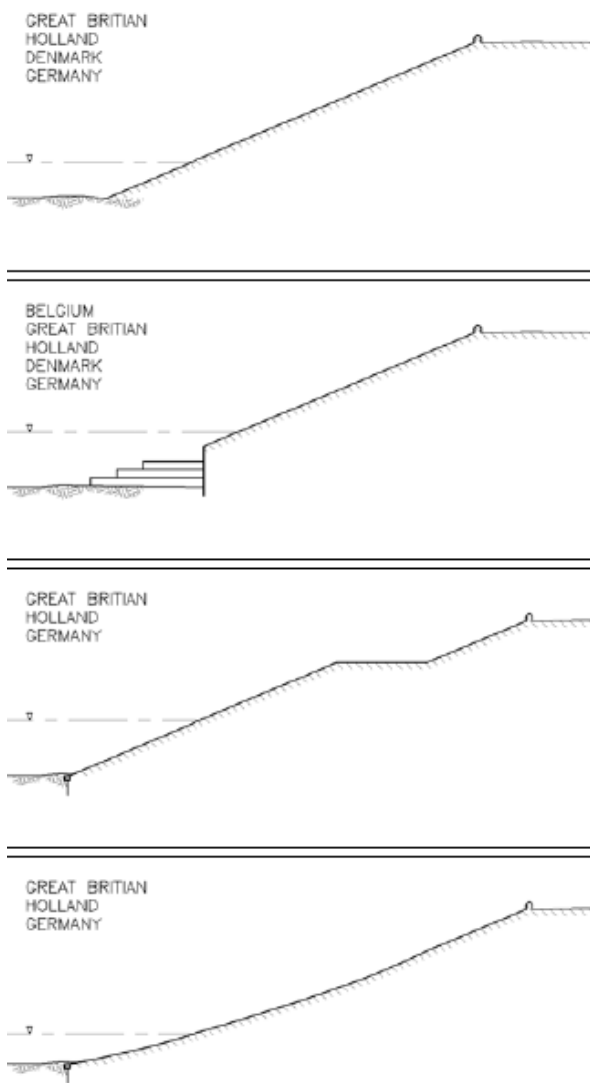
Για την προστασία της παράκτια ζώνης και συγκεκριμένα για την προστασία έναντι παράκτιων πλημμυρών οι μελετητές μηχανικοί, παγκοσμίως, διαθέτουν τις εξής εναλλακτικές διαχείρισης (βλ. Εικόνα 3.13):

1. Αναβάθμιση παράκτιων υποδομών
2. Θωράκιση ακτογραμμής
3. Μετριασμός θαλάσσιας επέλασης (αναπλήρωση ακτής)
4. Οπισθοχώρηση παράκτιων υποδομών

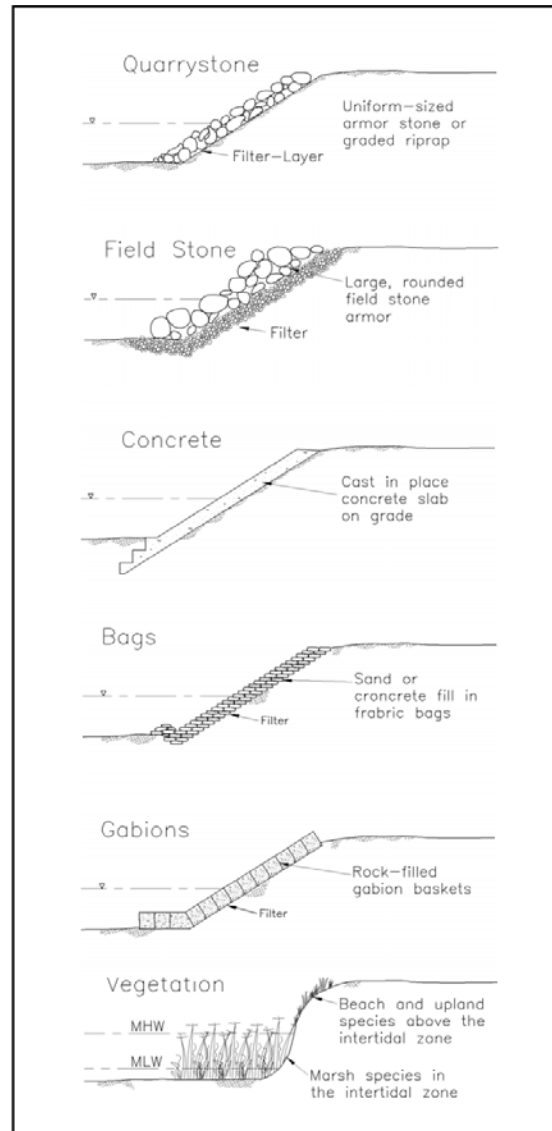


Εικόνα 3-13: Εναλλακτικές διαχείρισης παράκτιων πλημμυρών.

Η θωράκιση της ακτογραμμής μπορεί να γίνει είτε κατασκευάζοντας αναχώματα είτε τοποθετώντας κατάλληλα υλικά, συνήθως φυσικούς ογκόλιθους, στο πρανάς της ακτογραμμής.

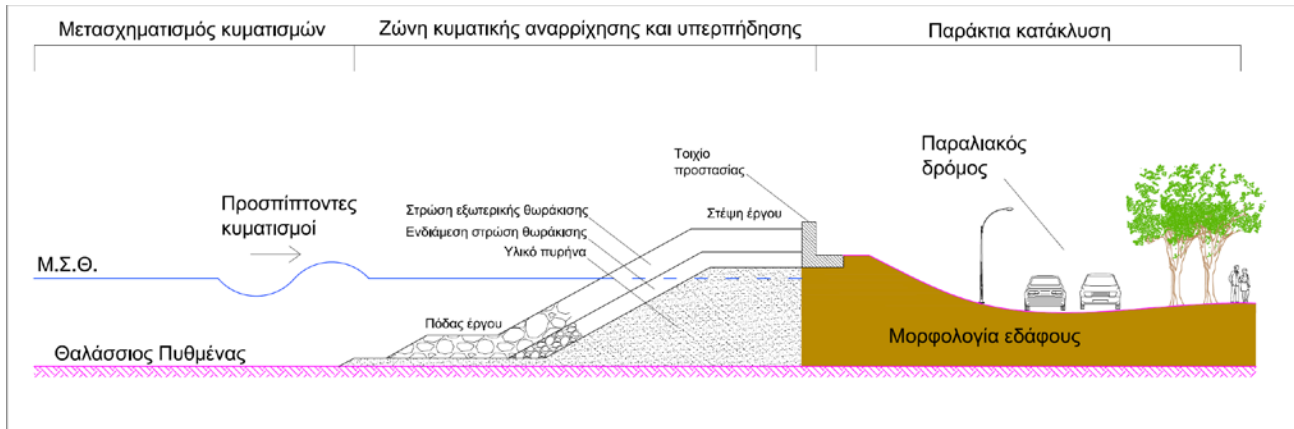


Εικόνα 3-14: Σκαριφήματα εναλλακτικών σχεδιασμών αναχωμάτων (dikes).



Εικόνα 3-15: Εναλλακτικές κατασκευές θωράκισης ακτογραμμής.

Η παρούσα διπλωματική εστιάζει στη διερεύνηση της λύσης της θωράκισης με φυσικούς ογκόλιθους, καθώς είναι αυτή που έχει βρει ευρεία εφαρμογή στη χώρα μας.



Εικόνα 3-16: Θωράκιση ακτογραμμής με φυσικούς ογκόλιθους για την προστασία της παράκτιας ζώνης και των παραλιακών οδών.

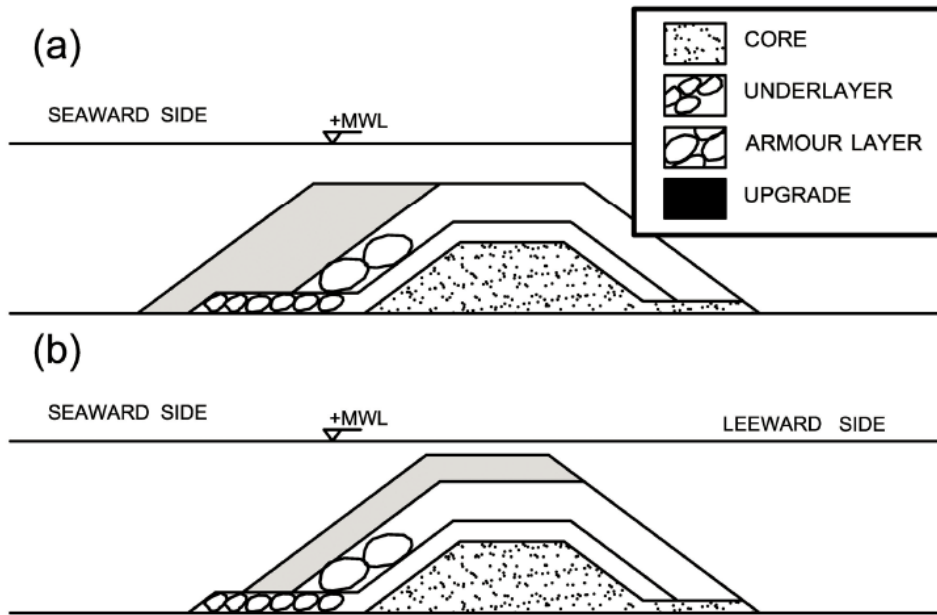
3.4 Έρευνες Συναφείς με την Ενίσχυση Παράκτιων Έργων

3.4.1 Έρευνα των Koftis et al. 2015

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης έρευνας οι κυματοθραύστες μπορούν να αναβαθμιστούν/ ενισχυθούν με τους ακόλουθους τρόπους.

Όσον αφορά την αναβάθμιση των ύψαλων κυματοθραυστών, που έχουν κατασκευαστεί με φυσικούς ογκόλιθους, ο βασικός περιορισμός έγκειται στο ότι η δομή τους θα πρέπει να παραμένει συνεχώς κάτω από τη στάθμη της θάλασσας. Ως εκ τούτου, οι δύο βασικές ιδέες αναβάθμισης είναι οι εξής:

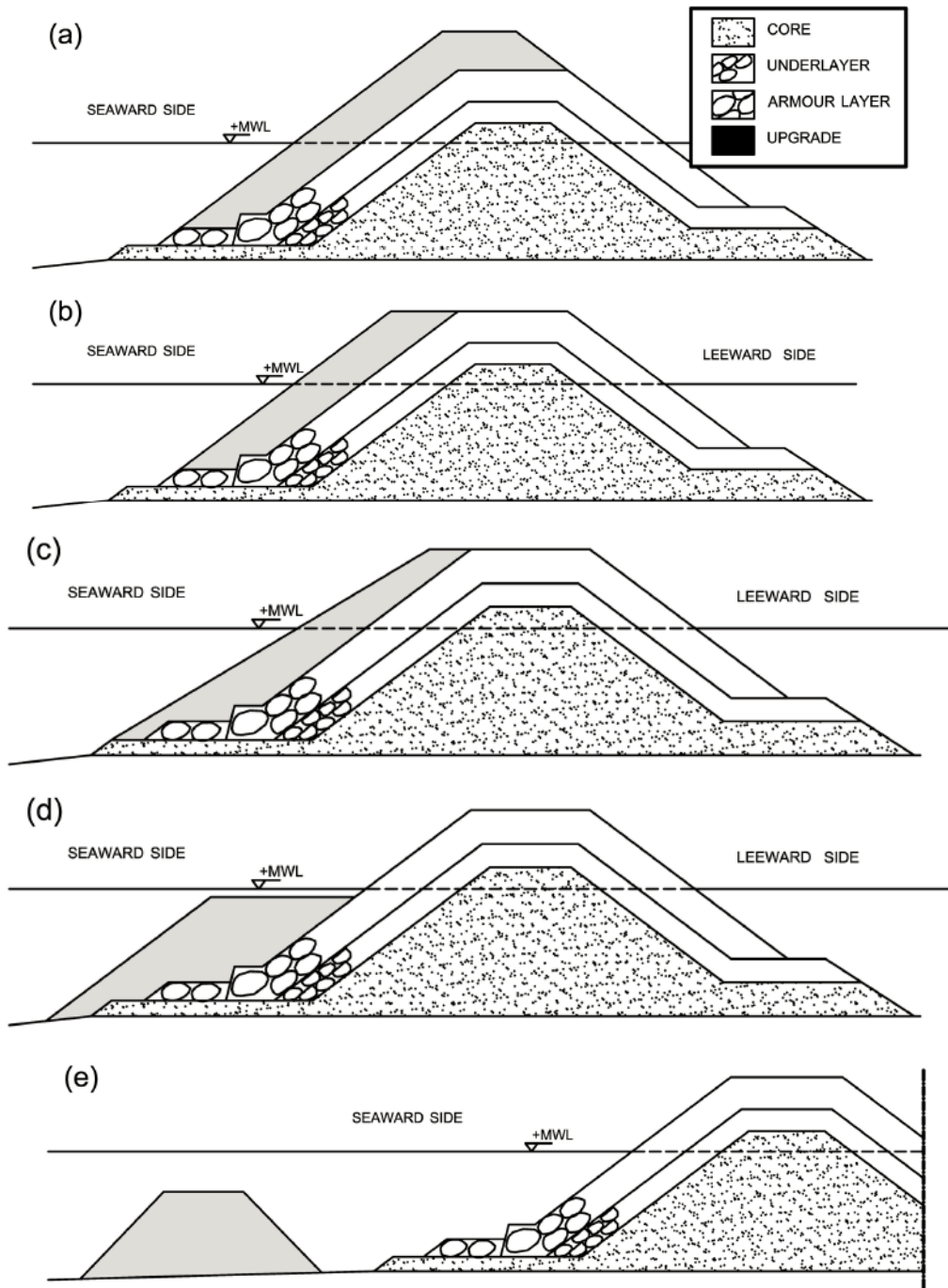
- Αύξηση του πλάτους στέψης, όπως εμφανίζεται στην ακόλουθη Εικόνα 3-17.
- Η προσθήκη μιας επιπλέον στρώσης θωράκισης και μείωση του ελεύθερου περιθωρίου της κατασκευής, εφόσον η αναβαθμισμένη κατασκευή παραμένει πλήρως βυθισμένη, αποτυπώνεται στην ακόλουθη Εικόνα 3-17.



Εικόνα 3-17: Τρόποι αναβάθμισης ύφαλου κυματοθραύστη (a) αύξηση πλάτους στέψης της κατασκευής (b) προσθήκη μιας επιπλέον στρώσης θωράκισης (Koftis et al. 2015).

Στην περίπτωση των έξαλων κυματοθραυστών και όπου η αύξηση της στέψης αυτών είναι επιτρεπτή, πιθανή αναβάθμιση θα περιλάμβανε την κατασκευή μιας επιπλέον στρώσης θωράκισης στην ανάντη πλευρά και στην κορυφή με σκοπό την ενίσχυση της κύριας θωράκισης και τον περιορισμό της υπερπήδησης των κυματισμών (βλ. Εικόνα 3-18a). Σε αντίθετη περίπτωση, οι πιθανοί τρόποι αναβάθμισης είναι οι εξής:

- Προσθήκη ογκόλιθων θωράκισης και διαμόρφωση επιπλέον στρώσης (Εικόνα 3-18b)
- Προσθήκη ογκόλιθων θωράκισης και διαμόρφωση επιπλέον στρώσης με ήπια κλίση (Εικόνα 3-18c)
- Προσθήκη ογκόλιθων θωράκισης στον πόδα του έργου (Εικόνα 3-18d)
- Κατασκευή αποσπασμένου/ανεξάρτητου, ύφαλου κυματοθραύστη (Εικόνα 3-18e)



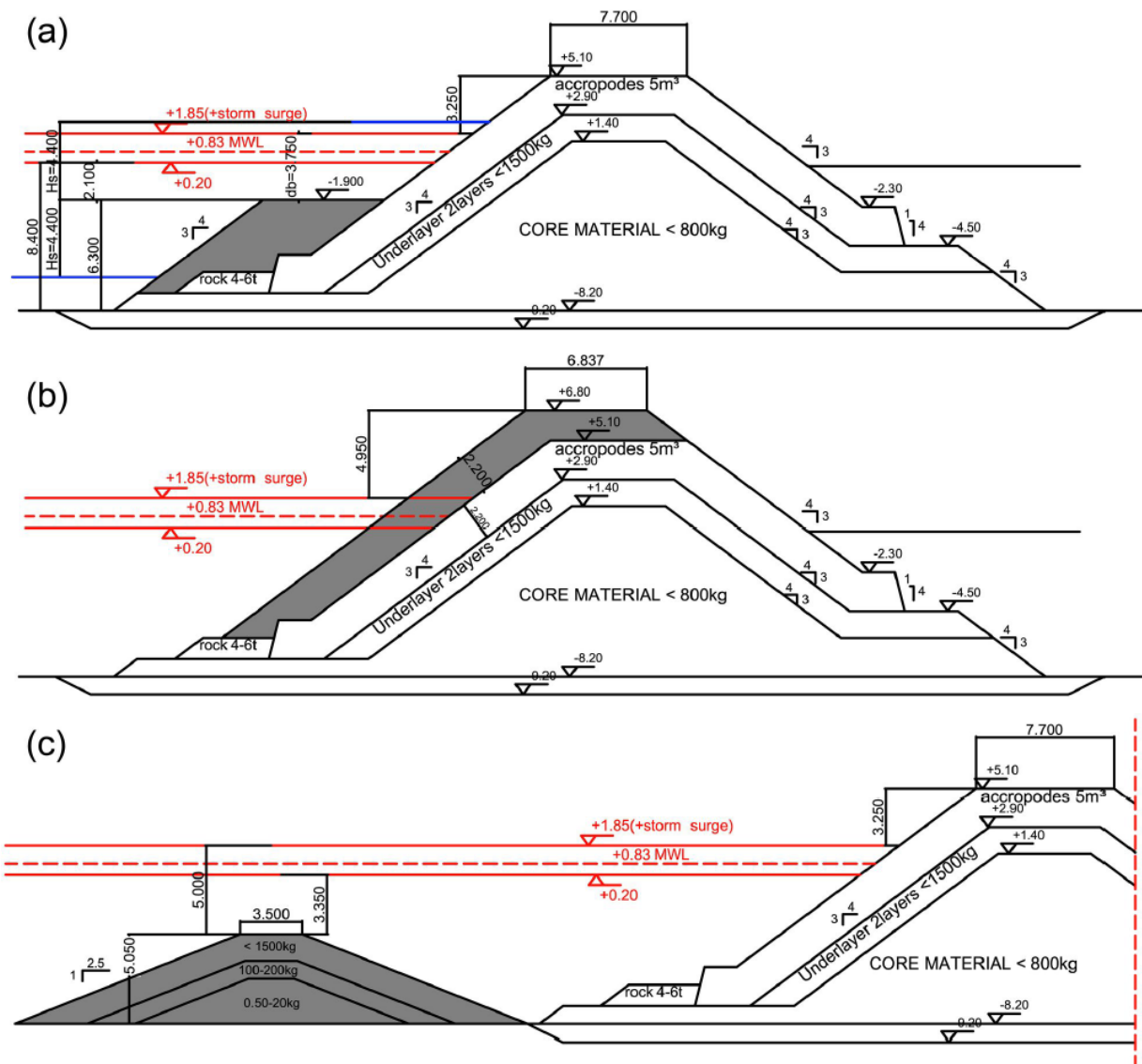
Εικόνα 3-18: Τρόποι αναβάθμισης έξαλου κυματοθραύστη (Koftis et al. 2015).

Η αξιολόγηση των παραπάνω λύσεων, έγινε με βάση κριτήρια κόστους κατασκευής καθώς και τεχνικά κριτήρια:

Στη συγκεκριμένη έρευνα (Koftis et al. 2015), που αφορούσε τον έξαλο κυματοθραύστη του Λιμένα Αλεξανδρούπολης, επιλέχθηκαν τρεις τρόποι αναβάθμισης (Εικόνα 3-19):

- Προσθήκη ογκόλιθων θωράκισης στον πόδα του έργου.
- Κατασκευή μιας επιπλέον στρώσης θωράκισης στην ανάντη πλευρά και στη στέψη.
- Κατασκευή αποσπασμένου/ανεξάρτητου, ύφαλου κυματοθραύστη

Η αξιολόγηση των παραπάνω λύσεων, έγινε με βάση κριτήρια κόστους κατασκευής καθώς και τεχνικά κριτήρια. Από οικονομικής άποψης η προσθήκη ογκόλιθων θωράκισης στον πόδα του έργου είναι η πιο ενδεδειγμένη λύση, ενώ η κατασκευή μιας επιπλέον στρώσης θωράκισης είναι η πιο ακριβή. Ωστόσο αν τα τεχνικά κριτήρια και συγκεκριμένα το κριτήριο ευστάθειας του έργου δεν κρίνονται ικανοποιητικά βάσει των προβλεπόμενων κλιματικών αλλαγών, πιθανότατα ο δεύτερος εναλλακτικός τρόπος να είναι ο προτιμητέος.



Εικόνα 3-19: Εγκάρσιες τομές της αναβαθμισμένης δομής για τις διάφορες εναλλακτικές λύσεις (Koftis et al. 2015).

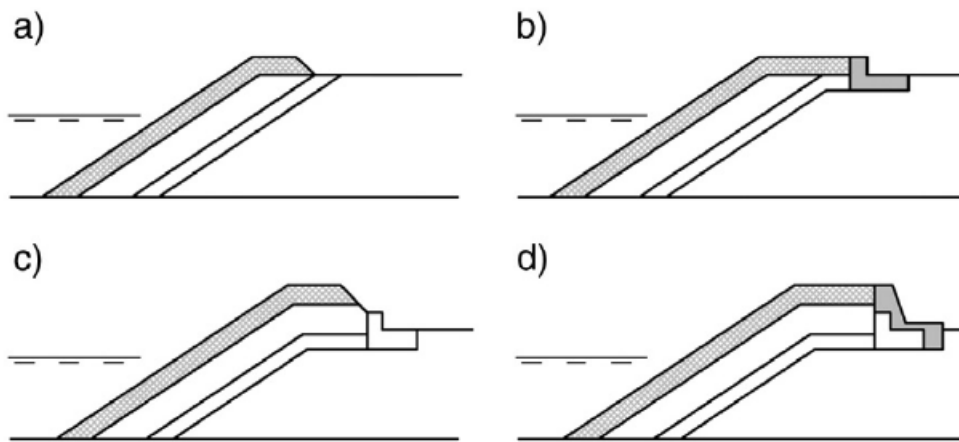
Άξιο αναφοράς είναι το γεγονός ότι στα αποτελέσματα της έρευνας αναδείχθηκε ότι η επιρροή της κλιματικής αλλαγής είναι πιο έντονη στην αύξηση του επιπέδου της θάλασσας όσο και στην αύξηση των μετεωρολογικών παλιρροιών, παρά στην αύξηση του ύψους των κυματισμών. Κατά συνέπεια, οι αναβαθμισμένες κατασκευές που μελετήθηκαν απέτυχαν τελικά να εκπληρώσουν τα κριτήρια που σχετίζονται με την υπερπήδηση και τη μετάδοση των κυματισμών, αλλά κατάφεραν να

ικανοποιήσουν τα κριτήρια ευστάθειας, σύμφωνα με τις μελλοντικές συνθήκες που πιθανόν να δημιουργήσει η κλιματική αλλαγή. Συνεπώς η τελική επιλογή της βέλτιστης εναλλακτικής αναβάθμισης προτείνεται σύμφωνα με το ελάχιστο κόστος κατασκευής.

3.4.2 Έρευνα των Burcharth et al. 2014

Η συγκεκριμένη έρευνα κρίνεται πιο συναφής σε σχέση με την προηγούμενη καθώς διερευνά εναλλακτικούς τρόπους ενίσχυσης έργων θωράκισης της ακτογραμμής. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης έρευνας τα εν λόγω έργα μπορούν να αναβαθμιστούν/ ενισχυθούν με τους ακόλουθους τρόπους.

Η αύξηση του υψομέτρου της στέψης της θωράκισης είναι το πιο προφανές μέτρο για την προστασία από την υπερπήδηση του κύματος. Στην ακόλουθη Εικόνα 3-20 αποτυπώνονται οι τρόποι αναβάθμισης όπου η αύξηση της στέψης είναι επιτρεπτή.



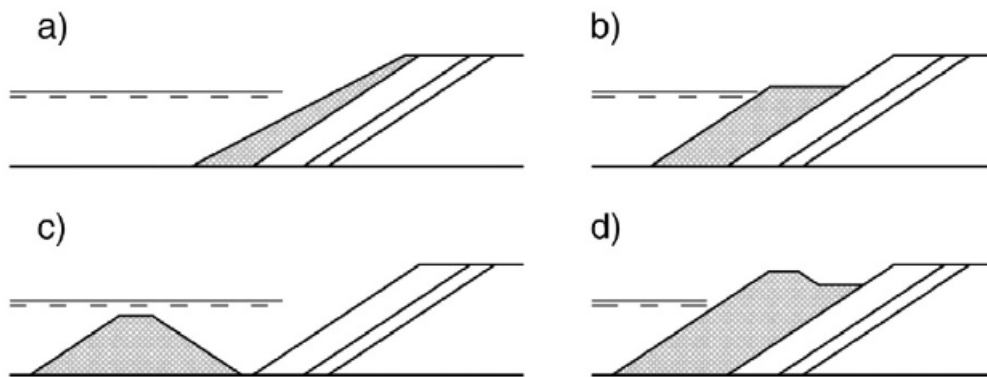
Εικόνα 3-20: Τρόποι αναβάθμισης έργων θωράκισης με αύξηση του υψομέτρου της στέψης (Burcharth et al. 2014).

Ωστόσο σε πολλές περιοχές με παραλιακό μέτωπο και έντονη κοινωνικο-οικονομική δραστηριότητα (π.χ. καταστήματα εστίασης, κατοικίες κτλ) αυτό δεν είναι επιτρεπτό, καθώς εμποδίζεται ή μειώνεται η θέα προς τη θάλασσα. Στην ακόλουθη Εικόνα 3-21 αποτυπώνονται οι τρόποι αναβάθμισης όπου η αύξηση της στέψης δεν είναι επιτρεπτή.

Στις περιπτώσεις αυτές εφαρμόζεται η α) προσθήκη στρώσεων θωράκισης στο μέτωπο της κατασκευής με ηπιότερη κλίση μειώνοντας την υπερπήδηση και αυξάνοντας την ευστάθεια της θωράκισης. Επίσης, εναλλακτικοί τρόποι περιλαμβάνουν:

- b) την προσθήκη ογκόλιθων θωράκισης στον πόδα του έργου μέχρι την ίσαλο
- c) την κατασκευή ξεχωριστού ύφαλου κυματοθραύστη,
- d) την προσθήκη ογκόλιθων θωράκισης από τον πόδα του έργου μέχρι το ύψος της υφιστάμενης στέψης

Πρέπει να σημειωθεί ότι για να επιτευχθεί σωστή ένωση, η προσθήκη των νέων στρώσεων θωράκισης θα πρέπει να γίνει κατά προτίμηση με τον ίδιο τύπο και μέγεθος των ογκόλιθων θωράκισης που έχει η ήδη υπάρχουσα κατασκευή.



Εικόνα 3-21: Τρόποι αναβάθμισης όπου η αύξηση του επιπέδου κορυφής του κυματοθραύστη δεν είναι επιτρεπτή (Burcharth et al. 2014).

Σύμφωνα με τα συμπεράσματα της έρευνας των Burcharth et al. (2014), σε περιπτώσεις όπου η κλίση του πυθμένα και της χερσαίας επιφάνειας παραμένουν ήπιες (με κλίση της τάξεως του 1:100), τότε ο πιο οικονομικός τρόπος αναβάθμισης φαίνεται να είναι η προσθήκη μιας επιπλέον στρώσης θωράκισης στο μέτωπο της κατασκευής. Ωστόσο, σε αντίθετη περίπτωση, όπου η κλίση μπορεί να είναι απότομη (π.χ. λόγω διάβρωσης), καθίσταται απαραίτητη η προσθήκη ογκόλιθων θωράκισης στον πόδα του έργου. Σ' αυτή την περίπτωση το κόστος της αναβάθμισης θα αυξηθεί σημαντικά σε σχέση με την πρώτη περίπτωση, εξαιτίας της εντονότερης κυματικής δράσης. Η έρευνα έδειξε ότι δεν υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις στα κόστη αναβάθμισης όσον αφορά την προσθήκη ογκόλιθων θωράκισης στον πόδα του έργου είτε μέχρι την ίσαλο γραμμή είτε μέχρι το ύψος της υφιστάμενης στέψης. Επιπλέον, σημαντικό συμπέρασμα της έρευνας αποτελεί το γεγονός ότι οι τρόποι αναβάθμισης των έργων θωράκισης με αύξηση του υψομέτρου της στέψης θωράκισης φαίνεται μη αποδοτική, σε σύγκριση με τις λύσεις που περιγράφονται ως άνω. Η αναβάθμιση μέσω της κατασκευής ενός αποσπώμενου ύφαλου κυματοθραύστη μπροστά από το υφιστάμενο έργο θωράκισης φαίνεται πολύ πιο ακριβή λύση από τους υπόλοιπους τρόπους.

4 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΕΡΓΩΝ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία προτείνεται μια προσέγγιση για την ενίσχυση και αναβάθμιση των παράκτιων έργων, ούτως ώστε αυτά είναι αποδοτικά σε μελλοντικές αλλαγές του κλίματος και πιο συγκεκριμένα στην αύξηση της θαλάσσιας στάθμης και ταυτόχρονα την εντονότερη κυματική δράση. Η προτεινόμενη μεθοδολογία συμπεριλαμβάνει επίσης τον καθορισμό κριτηρίων απόδοσης των κατασκευών και τον προσδιορισμό σεναρίων κλιματικής αλλαγής για όλη την περίοδο ζωής του έργου. Τα διάφορα προτεινόμενα σενάρια ενίσχυσης των υφιστάμενων παράκτιων υποδομών αξιολογούνται με επιλεγμένα κριτήρια απόδοσης, τεχνικό-οικονομικά και περιβαλλοντικά, σε συγκεκριμένα σενάρια κλιματικής αλλαγής.

4.1 Προτεινόμενες Μέθοδοι Ενίσχυσης

Οι εναλλακτικές μέθοδοι ενίσχυσης των υφιστάμενων θωρακίσεων της ακτογραμμής που προτείνονται από την παρούσα διπλωματική είναι οι εξής:

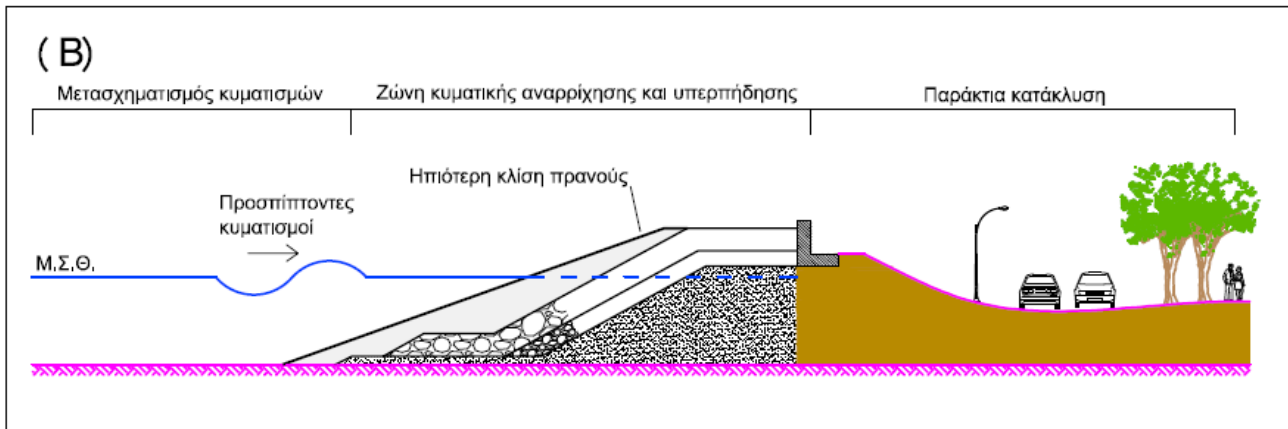
- Αύξηση του ύψους του τοιχείου προστασίας
- Ηπιότερη κλίση μετώπου θωράκισης
- Πρόσθετη στρώση θωράκισης
- Αύξηση ύψους στέψης και επέκταση θωράκισης
- Ενίσχυση ύφαλου πόδα
- Κατασκευή ύφαλου κυματοθραύστη

Ενδεικτικά σκαριφήματα αυτών των μεθόδων παρουσιάζονται ακολούθως.

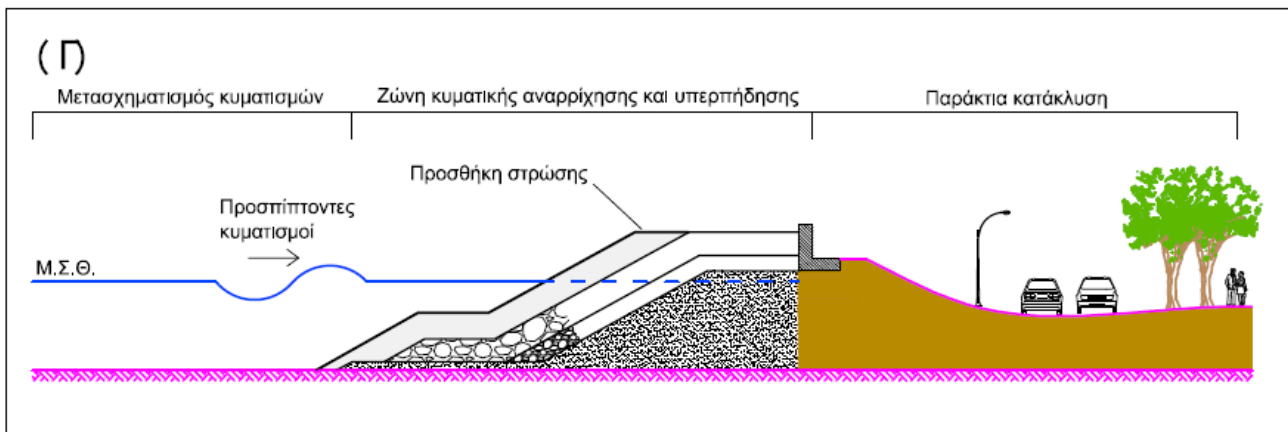
4.1.1 (A) Αύξηση ύψους τοιχείου προστασίας



4.1.2 (Β) Ηπιότερη κλίση μετώπου θωράκισης



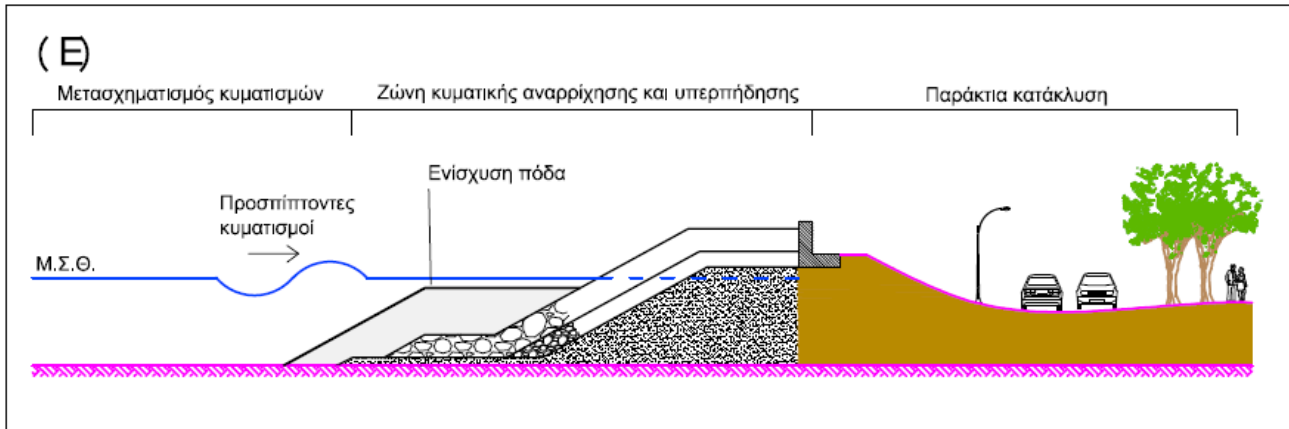
4.1.3 (Γ) Πρόσθετη στρώση θωράκισης



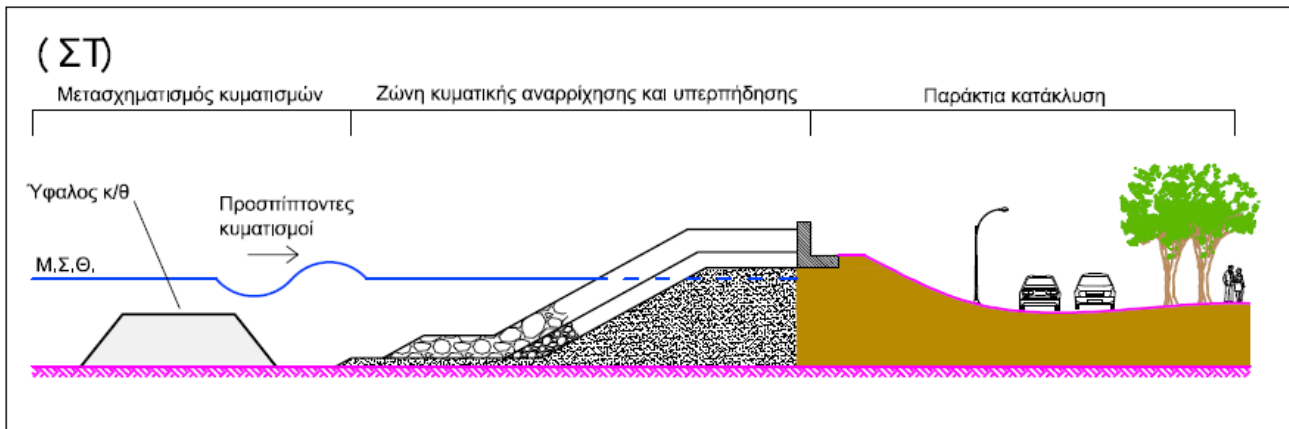
4.1.4 (Δ) Αύξηση ύψους στέψης και επέκταση θωράκισης



4.1.5 (Ε) Ενίσχυση ύφαλου πόδα



4.1.6 (ΣΤ) Κατασκευή ύφαλου κυματοθραύστη

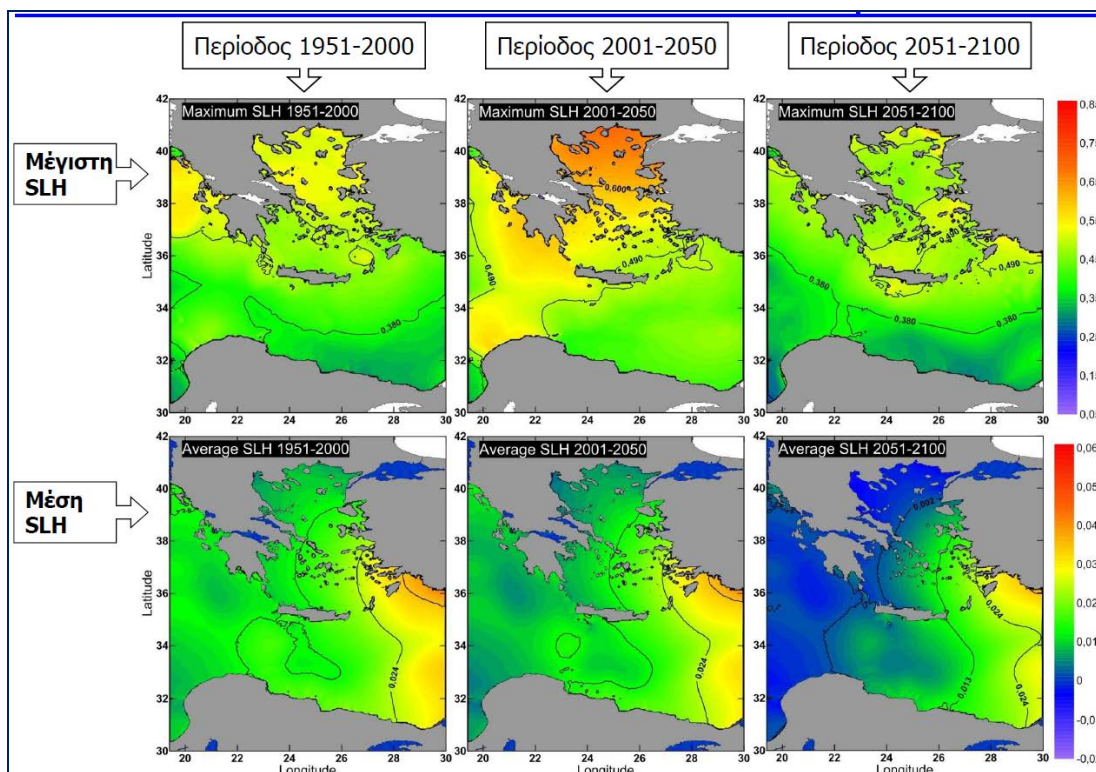


4.2 Προσδιορισμός Σεναρίου Κλιματικής Αλλαγής

Χρήσιμα συμπεράσματα για την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στις Ελληνικές θάλασσες προκύπτουν από προβλέψεις διάφορων σεναρίων κλιματικής αλλαγής για την άνοδο της Μέγιστης Πλήμμης, πρόσθετη άνοδο της ΣΘ λόγω μετεωρολογικής παλίρροιας (storm surge) και αύξηση του μέσου και μέγιστου ύψους κύματος. Τα δεδομένα αυτά προκύπτουν από τις ακόλουθες πηγές: Intergovernmental Panel on Climate Change (<https://www.ipcc.ch/>), European Environment Agency (www.eea.europa.eu) και NOAA (www.noaa.gov).

Επίσης, στο πλαίσιο πρόσφατων ερευνητικών έργων (π.χ. "CCSEWAVS: 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", thalis-ccseawavs.web.auth.gr) έχουν γίνει προβλέψεις για αλλαγές στα συγκεκριμένα μεγέθη. Στην έρευνα των Mamoutos et al. (2014) εκτιμήθηκε η τάση της θαλάσσιας στάθμης στις τελευταίες δύο δεκαετίες όπως προκύπτει από δορυφορικά δεδομένα για τέσσερις περιοχές των Ελληνικών θαλασσών. Η τάση είναι ανοδική, κοντά στις εκτιμήσεις για όλη τη Μεσόγειο στην ίδια περίοδο (Tsimplis et al. 2013). Στη συγκεκριμένη έρευνα αναφέρεται ότι οποιαδήποτε προσπάθεια για πρόγνωση της θαλάσσιας στάθμης στο Αιγαίο μέχρι το τέλος του 21^{ου} αιώνα απαιτεί μεγαλύτερη εμπιστοσύνη στις προβλέψεις για τη μεταβλητότητα των ροών θερμότητας και μάζας μεταξύ Αιγαίου και Μαύρης Θάλασσας. Με βάση τα αποτελέσματα του μοντέλου που εφαρμόστηκε στο πλαίσιο του προγράμματος, και κάνοντας χρήση των πρώτων

εκτιμήσεων της τάσης στη μεταβολή της μάζας, η εκτίμηση είναι ότι θα υπάρξει **άνοδος της στάθμης** (Mamoutos et al., 2014, Εικόνα 7-2, Krestenitis et al., 2013) στις **Ελληνικές θάλασσες από 20 έως 25 cm για το έτος 2050 και 40-45cm για το έτος 2100 (Koftis et al., 2015)**. Το αποτέλεσμα αυτό θεωρείται ότι εμπεριέχει σημαντικές αβεβαιότητες και θα πρέπει να θεωρηθεί μόνο σαν μια πρώτη προσπάθεια να μελετηθεί η εξέλιξη της στάθμης στις Ελληνικές ακτές. Στην έρευνα των Galiatsatou and Prinos (2014) παρουσιάζονται δεδομένα για τις **επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στο χαρακτηριστικό ύψος κύματος H_s και στην ακραία μετεωρολογική παλίρροια (storm surge)**. Στην έρευνα αυτή αναφέρεται ως συμπέρασμα ότι π.χ. στην περιοχή του Ν. Αιγαίου, οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στο θαλάσσιο κυματικό κλίμα δεν είναι τόσο εμφανείς, ενώ παρατηρείται αύξηση της ακραίας μετεωρολογικής παλίρροιας κατά την περίοδο 2000-2049, σε σχέση με την περίοδο 1950-1999. Η αύξηση του χαρακτηριστικού ύψους κύματος μπορεί να εκτιμηθεί στο 8% στο έτος 2100 (Galiatsatou et al., 2014).



Εικόνα 4-1. Μέγιστη και μέση μεταβολή στάθμης θάλασσας (SLH) για τρεις χρονικές περιόδους (Krestenitis et al., 2013).

Στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιούνται τα αποτελέσματα του Ερευνητικού Έργου "CCSEWAVS" σχετικά με την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στη ΣΘ και στο κυματικό κλίμα στις ελληνικές θάλασσες. Πιο συγκεκριμένα το σενάριο που θα διερευνηθεί είναι (Koftis et al. 2015):

- i. Αύξηση της Μέσης Στάθμης Θάλασσας λόγω κλιματικής αλλαγής. Θα χρησιμοποιηθούν τα αποτελέσματα προσομοίωσης του Regional Climate Model (RegCM3) για τις περιόδους 1950-2000 και 2001-2100, όπως παρουσιάζεται στην Τεχνική Έκθεση WP 1.5 (Τραγου et al., 2013) του εν λόγω Ερευνητικού Έργου. Η αύξηση της ΜΣΘ στα ελληνικά ύδατα λαμβάνεται ίση με 0,25μ στο έτος 2050 και 0,45μ στο έτος 2100. Ταυτόχρονη αύξηση του ύψους κύματος περίπου κατά 3% στο έτος 2050 και κατά 8% στο έτος 2100.

4.3 Καθορισμός Κριτηρίων Αξιολόγησης

4.3.1 Τεχνικά Κριτήρια

Τα τεχνικά κριτήρια που αξιολογούν την απόδοση των διάφορων εναλλακτικών μεθόδων ενίσχυσης των έργων θωράκισης καθορίζονται ως εξής:

4.3.1.1 Ευστάθεια ογκόλιθων θωράκισης

Ευστάθεια ογκόλιθων θωράκισης. Στην περίπτωση των ογκόλιθων, το συγκεκριμένο κριτήριο αφορά τη στιγμή εκκίνησης εμφάνισης αστοχιών (damage 0-5%). Για την σχεδίαση της θωρακίσεως, υπολογίζεται με τους τύπους του Hudson το απαιτούμενο ατομικό βάρος των ογκόλιθων. Το ατομικό βάρος θωρακίσεως υπολογίζεται από τον τύπο (τύπος του HUDSON, όπως αναφέρεται στο εγχειρίδιο Shore Protection Manual, 1984):

$$B = \frac{\gamma_r H_i^3}{K_D (S_r - 1)^3 \text{ctg}\theta} \quad (\text{Εξ. 4.1})$$

όπου

B = ατομικό βάρος Φ.Ο. κύριας θωρακίσεως σε tn

H_i = ύψος κύματος σχεδιασμού σε m

K_D = συντελεστής ευσταθείας υλικού θωρακίσεως (όπως απεικονίζεται στον παρακάτω πίνακα)

S_r = γ_r/γ_w = ειδικό βάρος υλικού θωρακίσεως

γ_w = ειδικό βάρος νερού θαλάσσης

θ = γωνία κλίσεως πρανούς

γ_r = ειδικό βάρος ογκόλιθων σε tn/m³

Πίνακας 4-1. Τιμές συντελεστή KD (Shore Protection Manual, 1984)

Stone shape	Placement	Damage, D ⁽⁴⁾ = 0-5%	
		Breaking waves ⁽¹⁾	Non-breaking waves ⁽²⁾
Smooth rounded	Random	1.2	2.4
Rough angular	Random	2.0	4.0
Rough angular	Special ⁽³⁾	5.8	7.0

4.3.1.2 Ευστάθεια πόδα κατασκευής

Ευστάθεια ποδός. Χρησιμοποιείται ως κριτήριο η μη εμφάνιση αστοχίας, με παράμετρο αστοχιών στον πόδα της κατασκευής, N_{od} < 0.5 (Burcharth et al. 2014), λαμβάνοντας υπόψη τα πιο κρίσιμα επίπεδα στάθμης θαλάσσιου ύδατος που δύναται να δημιουργήσουν συνθήκες θραύσης κυματισμών στον πόδα της κατασκευής.

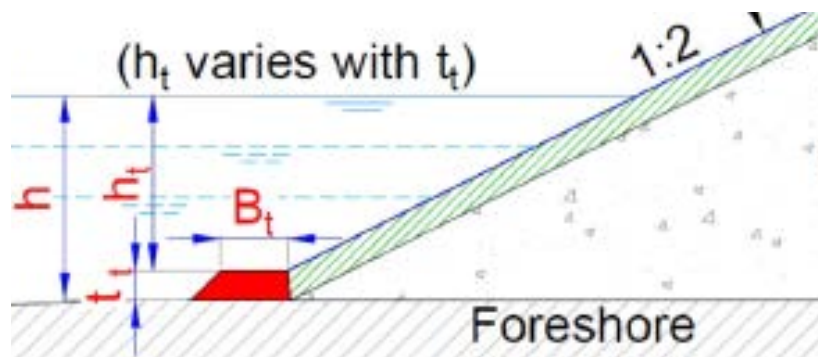
$$\tilde{u}_d = \frac{\pi H_S}{T_{m-1.0} \sinh kh_t} \quad (\text{Εξ. 4.2})$$

όπου

$$\kappa = \frac{2\pi}{L_{m-1.0}} = \frac{2\pi}{\frac{g}{2p} T_{m-1.0}^2} \quad (\text{Εξ. 4.3})$$

$$N_{OD} = 0.032 \left(\frac{t_t}{H_s}\right) \left(\frac{B_t}{H_s}\right)^{0.3} \left(\frac{H_s}{\Delta D_{n50}}\right)^3 \left(\frac{\tilde{u}_\delta}{\sqrt{gH_s}}\right) \quad (\text{Εξ. 4.4})$$

$$D_{n50} = 0.32 \frac{H_s}{\Delta(N_{OD})^{1/3}} \left(\frac{B_t}{H_s}\right)^{0.1} \left(\frac{t_t}{H_s}\right)^{1/3} \left(\frac{\tilde{u}_\delta}{\sqrt{gH_s}}\right)^{1/3} \quad (\text{Εξ. 4.5})$$

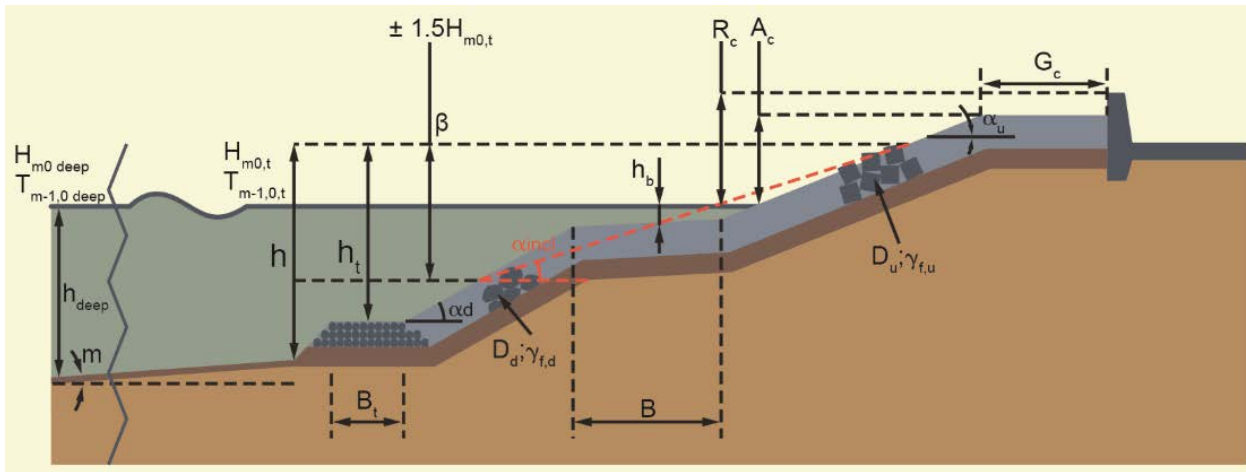


Εικόνα 4-2. Απεικόνιση βασικών γεωμετρικών διαστάσεων πόδα κατασκευής.

4.3.1.3 Μέση παροχή υπερπήδησης

Παροχή κυματικής υπερπήδησης.

Ο υπολογισμός της κυματικής υπερπήδησης γίνεται με χρήση της Τεχνητής Νοημοσύνης και συγκεκριμένα του Τεχνητού Νευρωνικού Δικτύου (overtopping.ing.unibo.it/overtopping/, EurOtop Manual, 2018) που έχει εκπαιδευθεί με χιλιάδες πειραματικές μετρήσεις και λαμβάνει υπόψη του ως δεδομένα εισόδου όλα τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της κατασκευής αλλά και τα εισερχόμενα κυματικά χαρακτηριστικά όπως παρουσιάζονται ακολούθως.



Εικόνα 4-3. Σχηματική απεικόνιση παραμέτρων που λειτουργούν ως δεδομένα εισόδου στο TNA (EurOtop Manual, 2018) για τον υπολογισμό της κυματικής υπερπήδησης

Πίνακας 4-2. Επεξήγηση παραμέτρων που λειτουργούν ως δεδομένα εισόδου στο TNA (EurOtop Manual, 2018) για τον υπολογισμό της κυματικής υπερπήδησης

#	Input	Units	Definition of the parameter
1	Name	[-]	Label/ID of the test
2	m	[-]	Cotangent of the foreshore slope; 1000 = horizontal foreshore
3	h	[m]	Water depth at the toe of the structure
4	Hm0,t	[m]	Significant wave height at the toe of the structure
5	Tm-1,0,t	[s]	Spectral wave period at the toe of the structure
6	β	[°]	Wave obliquity
7	ht	[m]	Toe submergence
8	Bt	[m]	Toe width
9	hb	[m]	Berm submergence
10	B	[m]	Horizontal berm width
11	cot α_d	[-]	Cotangent of the angle that the part of the structure below the berm
12	cot α_u	[-]	Cotangent of the angle that the part of the structure above the berm
13	γ_{fd}	[-]	Roughness factor for cot α_d
14	γ_{fu}	[-]	Roughness factor for cot α_u
15	Dd	[m]	Size of the structure elements along cot α_d
16	Du	[m]	Size of the structure elements along cot α_u
17	Ac	[m]	Armour crest height with respect to swl
18	Rc	[m]	Crest height with respect to swl
19	Gc	[m]	Crest width
20	Kr_Flag	-	Logical flag to obtain the prediction of Kr (0 or 1)
21	Kt_Flag	-	Logical flag to obtain the prediction of Kt (0 or 1)
22	q_Flag	-	Logical flag to obtain the prediction of q (0 or 1)

Οι επιτρεπτές (EurOtop Manual, 2018) παροχές υπερπήδησης με ύπαρξη πεζόδρομου και οχημάτων πίσω από τη θωράκιση απεικονίζονται στον παρακάτω πίνακα. Η αυστηρότερη τιμή, που υιοθετείται και στην παρούσα διπλωματική, είναι ίση με $q=0.3$ l/sm.

Πίνακας 4-3. Αποδεκτά όρια μέσης κυματικής υπερπήδησης (EurOtop Manual, 2018)

Hazard type and reason	Mean discharge q (l/s per m)	Max volume V_{max} (l per m)
People at structures with possible violent overtopping, mostly vertical structures	No access for any predicted overtopping	No access for any predicted overtopping
People at seawall / dike crest. Clear view of the sea.		
$H_{m0} = 3$ m	0.3	600
$H_{m0} = 2$ m	1	600
$H_{m0} = 1$ m	10-20	600
$H_{m0} < 0.5$ m	No limit	No limit
Cars on seawall / dike crest, or railway close behind crest		
$H_{m0} = 3$ m	<5	2000
$H_{m0} = 2$ m	10-20	2000
$H_{m0} = 1$ m	<75	2000
Highways and roads, fast traffic	Close before debris in spray becomes dangerous	Close before debris in spray becomes dangerous

4.3.2 Οικονομικά Κριτήρια

4.3.2.1 Κόστος κατασκευής ανά τρέχον μέτρο

Το συγκεκριμένο κριτήριο αντιπροσωπεύει το κόστος κατασκευής, της κάθε προτεινόμενης μεθόδου, ανά τρέχον μέτρο μήκους. Για κάθε εναλλακτική μέθοδο υπολογίζεται το εμβαδόν των απαραίτητων υλικών κατασκευής που απαιτούνται και οι τιμές μονάδος βασίζονται στα εγκεκριμένα Πρότυπα Τιμολόγια Λιμενικών Έργων (7η βελτίωση 2017) όπως δημοσιεύτηκαν στο ΦΕΚ Β 1746 /19.05.2017 η Υ.Α. ΔΝΣγ/οικ.35577/ΦΝ 466/4.5.2017 του Υπουργού Υποδομών & Μεταφορών «Κανονισμός Περιγραφικών Τιμολογίων Εργασιών για δημόσιες συμβάσεις έργων». Πρόκειται για την επανέκδοση των ενιαίων τιμολογίων του Ν. 3669/2008 προς εφαρμογή στις συμβάσεις του Ν. 4412/2016. Ο νέος Κανονισμός εφαρμόζεται υποχρεωτικά στις δημόσιες συμβάσεις έργων του ν.4412/2016 για τον υπολογισμό της εκτιμώμενης αξίας σύμβασης έργου, όπως καθορίζεται στο άρθρο 6 του ν. 4412/2016 και κατά τη σύνταξη των προϋπολογισμών δημοσίων έργων όπως προσδιορίζεται στις περιπτώσεις (στ), (θ) και (ι) της παρ. 7 του άρθρου 53.

4.3.2.2 Ανάγκη για περαιτέρω μελέτες

Πέραν των παραπάνω κριτηρίων που αντιστοιχούν στην ευστάθεια και στην αποδοτικότητα της αναβαθμισμένης κατασκευής να εμποδίσει την κυματική υπερπήδηση, προτείνεται ένα επιπλέον

κριτήριο που έχει να κάνει με την ανάγκη εκπόνησης περαιτέρω μελετών. Για παράδειγμα, στην περίπτωση της εναλλακτικής που προβλέπεται η κατασκευή ενός νέου ύφαλου κυματοθραύστη, ανάντη της υφιστάμενης θωράκισης, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η διερεύνηση της μορφολογίας του πυθμένα (γίνεται απαραίτητη λοιπόν η επικαιροποίηση της τοπογραφική αποτύπωσης), η διερεύνηση του υπεδάφους (γίνεται απαραίτητη η εκπόνηση γεωτεχνικών ερευνών), η διερεύνηση της θαλάσσιας βιολογίας (όπως π.χ. η ύπαρξη λιβαδιών Ποσειδωνίας), η ακτομηχανική διερεύνηση της επίπτωσης του ύφαλου κυματοθραύστη σε παρακείμενες ακτές και τέλος η μέριμνα για την απρόσκοπτη λειτουργία της ναυσιπλοΐας στην ευρύτερη περιοχή. Αντίθετα, στην περίπτωση αύξησης μόνο του ύψους του προστατευτικού τοιχίου οι παραπάνω μελέτες δεν χρειάζονται.

4.3.3 Περιβαλλοντικά Κριτήρια

Επιπλέον των τεχνικό-οικονομικών κριτηρίων που παρουσιάζονται παραπάνω, η παρούσα διπλωματική προτείνει και κάποια βασικά κριτήρια για την ιεράρχηση των εναλλακτικών μεθόδων σε σχέση με το περιβάλλον. Προφανώς, τα κριτήρια που ανήκουν σ' αυτή την κατηγορία μπορούν να είναι πολυπληθή. Στο πλαίσιο όμως της παρούσας έρευνας λαμβάνονται υπόψη τα ακόλουθα:

- **Θαλάσσιο και χερσαίο χωρικό αποτύπωμα των νέων έργων.** Για παράδειγμα, στην περίπτωση της εναλλακτικής που προβλέπεται η κατασκευή ενός νέου ύφαλου κυματοθραύστη, το χωρικό αποτύπωμα είναι σημαντικότερο σε σχέση με τη λύση όπου προτείνεται η κατασκευή νέου υψηλότερου προστατευτικού τοιχίου. Συμπεριλαμβάνοντας τις επιπτώσεις στα θαλάσσια ύδατα και στη θαλάσσια βιολογία.
- **Οπτική όχληση.** Για παράδειγμα, στην περίπτωση της εναλλακτικής που προβλέπεται η κατασκευή νέου υψηλότερου προστατευτικού τοιχίου, η οπτική όχληση των κατοίκων της παράκτιας ζώνης και των οδηγών που χρησιμοποιούν τους παραλιακούς δρόμους είναι σημαντικότερη σε σχέση με τη λύση όπου προτείνεται η κατασκευή ενός νέου ύφαλου κυματοθραύστη.
- **Απαιτούμενος όγκος υλικών κατασκευής.** Στην περίπτωση της αύξησης του ύψους στέψης και της επέκτασης της θωράκισης ο όγκος των απαιτούμενων υλικών κατασκευής είναι σημαντικά μεγαλύτερος από τη λύση όπου προτείνεται η κατασκευή νέου υψηλότερου προστατευτικού τοιχίου.

5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ

5.1 Εισαγωγή

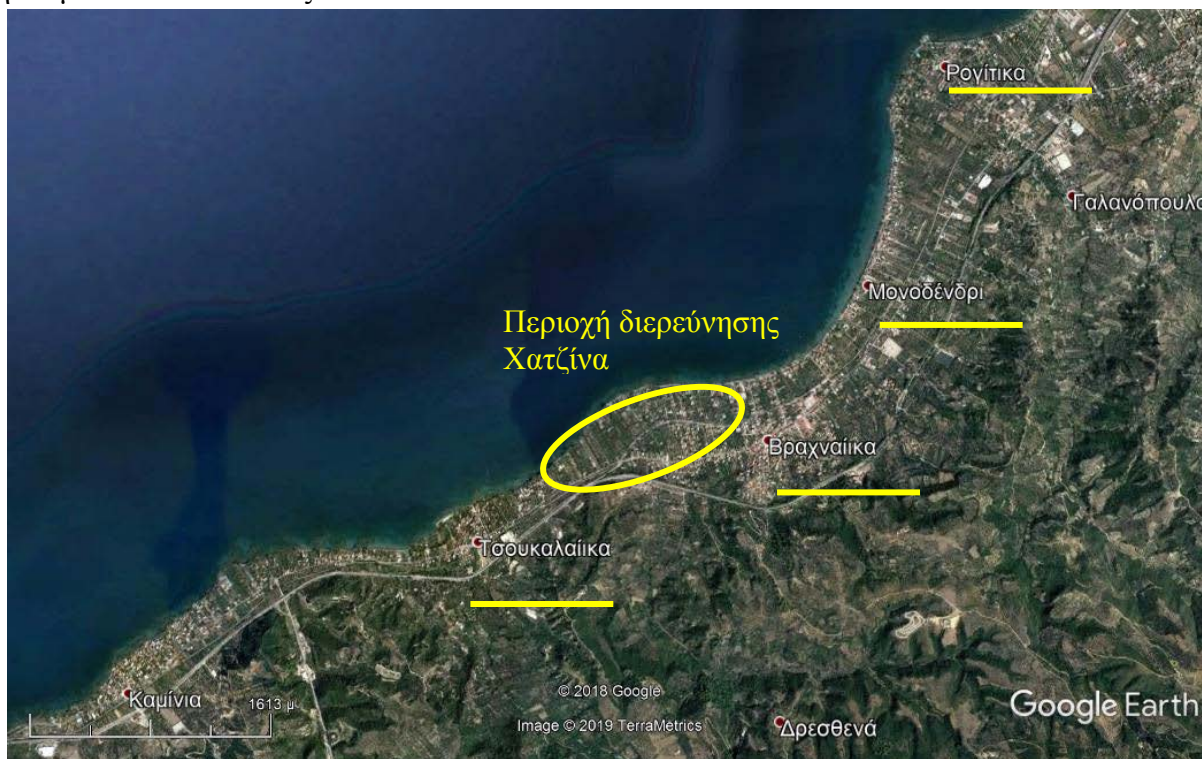
Στην παρούσα διπλωματική εξετάστηκε η εφαρμογή των προτεινόμενων μεθόδων σε δυο περιοχές με διαφορετικά γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά και διαφορετικές συνθήκες θαλάσσιας κατάστασης. Η πρώτη βρίσκεται στην περιοχή Χατζίνα, η οποία ανήκει στην κομόπολη Βραχναϊκών του νομού Αχαΐας, της Περιφέρειας Δυτικής Ελλάδος, ενώ η δεύτερη περιοχή βρίσκεται στο Λουτράκι του νομού Κορινθίας, της Περιφέρειας Πελοποννήσου. Σκοπός της διπλωματικής είναι να προταθεί η(οι) βέλτιστη(ες) λύση(εις) ενίσχυσης του υφιστάμενου παράκτιου έργου, στις δυο παραπάνω περιοχές, ώστε να οχυρωθεί η παράκτια ζώνη και πιο συγκεκριμένα η παραλιακή οδός, διασφαλίζοντας η οδική ασφάλεια. Η πιθανή μελλοντική αύξηση του επιπέδου της στάθμης της θάλασσας και η εντονότερη κυματική δράση, τα οποία θα είναι αποτέλεσμα της μεταβολής των κλιματικών συνθηκών τα επόμενα χρόνια, ενισχύουν την επικινδυνότητα για τους χρήστες της παραλιακής οδού. Ακολούθως παρουσιάζεται η εφαρμογή των προτεινόμενων μεθόδων ανά περιοχή.

5.2 Περιοχή Χατζίνας, Αχαΐα, Δυτική Ελλάδα

5.2.1 Συλλογή και Επεξεργασία Στοιχείων

5.2.1.1 Υφιστάμενη Κατάσταση Περιοχής Χατζίνας, Αχαΐα, Δυτική Ελλάδα

Η υπό διερεύνηση περιοχή βρίσκεται στο νομό Αχαΐας της Περιφέρειας Δυτικής Ελλάδος και υπάγεται στην παραθαλάσσια κομόπολη Βραχναϊκά η οποία απέχει 12 χιλιόμετρα από την Πάτρα. Διοικητικά από 1/1/2011 ανήκει στο διευρυμένο Δήμο Πατρέων, αποτελώντας τον κυριότερο οικισμό της ομώνυμης δημοτικής κοινότητας. Σύμφωνα με την εθνική απογραφή του 2011 έχει πληθυσμό 2.571 κατοίκους.



Εικόνα 5-1. Περιοχή Χατζίνας στο διαμέρισμα Αχαΐας της Περιφέρειας Δυτικής Ελλάδος

5.2.1.2 Προσδιορισμός Προβλήματος Περιοχής Χατζίνας

Στην υπό διερεύνηση περιοχή προτάθηκε και κατασκευάστηκε πρόσφατα παράκτιο έργο θωράκισης του παραλιακού δρόμου 28ης Οκτωβρίου, ο οποίος ενώνει τις περιοχές Ρογίτικα, Χατζίνα και συνεχίζει στις συνοικίες Βραχναίικα και Τσουκαλείικα. Ο εν λόγω παραλιακός δρόμος αντιμετώπιζε σοβαρά προβλήματα διάβρωσης, εξαιτίας της θαλάσσιας δράσης, κάτι που αποτυπώνεται χαρακτηριστικά στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 5-2 Διάβρωση μετώπου του παραλιακού οδικού δικτύου στην περιοχή Χατζίνα (έτος 2007).

Όσον αφορά την παραλία Βραχναίικων, και συγκεκριμένα από το βορειοανατολικό άκρο της ακτής που εξετάστηκε (προς Μονοδένδρι) και μέχρις αποστάσεως 1.200 m περίπου προς Τσουκαλαίικα, η εξεταζόμενη ακτή παρουσιάζει έντονη διάβρωση. Η διάβρωση αυτή είναι ιδιαίτερος έντονη στην ακτή από την περιοχή «Χατζίνα» μέχρι και σε απόσταση 300m περίπου δυτικά του υφιστάμενου αλιευτικού καταφυγίου.

5.2.1.3 Περιγραφή Υφιστάμενου Έργου Θωράκισης

Αξίζει να σημειωθεί ότι στην εξεταζόμενη παράκτια περιοχή, στην οποία δεν ήταν εφικτή η δημιουργία κολυμβητικών ακτών καθώς δεν υφίστατο, κατασκευάστηκαν τρία παράκτια έργα θωράκισης της ακτογραμμής (revetment). Συγκεκριμένα, οι θέσεις που θωρακίστηκαν ήταν στην περιοχή Ρογίτικα – Μονοδένδρι (Εικόνα 5-1), Χατζίνα (Εικόνα 5-1 και Εικόνα 5.2), καθώς και μεταξύ Βραχναίικων και Μονοδένδρι, (Εικόνα 5-1), με ολικό μήκος στένης, περίπου 865μ, 687μ και 92μ αντίστοιχα, στα όρια της ζώνης θραύσεως των κυματισμών, με σκοπό την μείωση της κυματικής ενέργειας κοντά στην ακτογραμμή. Μία τυπική διατομή της θωρακίσεως δίνεται στην Εικόνα 5-4.

με σκοπό την καλύτερη αγκύρωση της θωράκισης. Δημιουργείται έτσι αναβαθμός στη στάθμη -0.30 κάτω από την Μ.Σ.Θ. και πλάτους στέψης 5.00 m.

Κάτω από την στρώση θωρακίσεως τοποθετήθηκε πυρήνας αποτελούμενος από διαβαθμισμένη λιθορριπή 50 έως 100 kg. Η στέψη του πυρήνα έχει πλάτος τουλάχιστον 3.50m, το οποίο επιτρέπει την διέλευση ανατρεπόμενων φορτηγών, ώστε η θωράκιση να μπορεί να κατασκευασθεί εξ ολοκλήρου από ξηράς. Επίσης, κάτω από τις στρώσεις της θωρακίσεως και τον πυρήνα της διατομής διαστρώθηκε μη υφαντό γεωφάσμα, με σκοπό την βελτίωση των συνθηκών θεμελίωσης καθώς και τον διαχωρισμό της λιθορριπής από το λεπτόκοκκο υλικό του υποκείμενου φυσικού εδάφους.

Τέλος στα σημεία όπου η θωράκιση γεινιάζει άμεσα με την παραλιακή οδό κατασκευάζεται στηθαίο από έγχυτο άοπλο σκυρόδεμα, διαστάσεων 0,60m x 0,80m. Το στηθαίο πακτώνεται στο ρείθρο της οδού με τεμάχια μορφοσιδήρου IPE 100 ανά 3m.

Επίσης, δημιουργήθηκε παραλιακός πεζόδρομος μεταξύ του στηθαίου και της στέψης της θωράκισης. Ο πεζόδρομος έχει πλάτος 1,5μ. και κλίση 1% προς τη μεριά της θάλασσας για την απορροή των ομβρίων. Επίσης, έγινε τοποθέτηση προστατευτικών κιγκλιδωμάτων, ύψους 0,8 m, επί του στηθαίου, σε απόσταση 0,15 m από τον πεζόδρομο.

Κατά μήκος του έργου δημιουργήθηκαν έξι (6) ανοίγματα πρόσβασης στον πεζόδρομο. Τα ανοίγματα έχουν πλάτος 5μ και στις θέσεις αυτές το υψόμετρο του πεζόδρομου εξισώνεται με αυτό του δρόμου, ώστε να διευκολύνεται η πρόσβαση. Αυτό επιτυγχάνεται με την κατασκευή του πεζόδρομου με κλίση 5% πριν και μετά το σημείο εισόδου.

Πιο συγκεκριμένα, μεταξύ του στηθαίου και της θωράκισης τοποθετήθηκε υλικό ανακουφιστικού πρίσματος, διαβαθμίσεως 20-50 kg. Το ανακουφιστικό πρίσμα στο άνω μέρος του φέρει στρώση πάχους 20cm αποτελούμενη από υλικό υπόβασης οδοστρωσίας Π.Τ.Π. Ο-155, πάνω από αυτή τοποθετήθηκε στρώση πάχους 10cm αποτελούμενη από υλικό βάσης οδοστρωσίας Π.Τ.Π. Ο-155 και πάνω από αυτή τοποθετήθηκε υλικό επίστρωσης πεζόδρομου πάχους 10cm.

Κατά μήκος των έργων θωράκισης και σε επιλεγμένες θέσεις, που εμφανίζουν το χαμηλότερο υψόμετρο δρόμου, το στηθαίο διακόπτεται με διάκενα πλάτους 1μ. για την απορροή των ομβρίων.

Τέλος σημειώνεται ότι δεν αποκόπτεται η απορροή των υφιστάμενων αγωγών ομβρίων, οι οποίοι διευθετούνται με προεκτάσεις μέσα από την θωράκιση, ενώ αφήθηκαν κενά και στις θέσεις των υφιστάμενων κλιμάκων προσπέλασης προς την θάλασσα.

5.2.1.4 Κριτήρια Σχεδιασμού Υφιστάμενης Θωράκισης

Στην περιοχή της Χατζίνας οι προσπίπτοντες κυματισμοί που ελήφθησαν υπόψη για το σχεδιασμό του υφιστάμενου έργου θωράκισης έχουν τα κάτωθι χαρακτηριστικά:

$H_s = 2.00$ m, $T_p = 6.71$ sec στα ανοιχτά (βαθιά νερά)

Ο πόδας της θωράκισης όμως βρίσκεται σε αρκετά μικρό βάθος, με αποτέλεσμα οι προσπίπτοντες κυματισμοί να έχουν ήδη υποστεί θραύση, βάση της συνθήκης θραύσης:

$$Hbr = 0,8 \times dbr$$

όπου,

Hbr Ύψος κύματος θραυόμενου κυματισμού [m]

dbr Βάθος πυθμένα στην περιοχή θραύσης [m]

Επομένως, θεωρώντας μέγιστο βάθος στον πόδα του πρανούς ίσο με 1,50 μ., το μέγιστο ύψος των προσπιπτόντων κυματισμών που μπορεί να αναπτυχθεί υπολογίζεται ίσο με:

$$Hbr = 0,8 \times 1,60 = 1,28\mu$$

Η θωράκιση συνεπώς σχεδιάστηκε για κυματικές συνθήκες:

$$Hbr = 1.28 \text{ m}, T_p = 6.71s$$

Επιπρόσθετα οι γεωμετρικές παράμετροι για το έργο θωράκισης έχουν ως εξής:

$$\gamma_r = \text{ειδικό βάρος } \Phi.O. = 2.6 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma_w = \text{ειδικό βάρος ύδατος} = 1.025 \text{ t/m}^3$$

συνεφατόμενη γωνίας πρανούς λιθορριπής : Cotθ = 3.0

KD = 2 για θραυόμενους κυματισμούς (δυσμενέστερη περίπτωση)

5.2.1.5 Επίδραση Κλιματικής Αλλαγής στην Υφιστάμενη Θωράκιση

Εφαρμόζοντας τους ελέγχους ευστάθειας θωράκισης, ποδός και υπερπήδησης, όπως περιγράφηκαν αναλυτικά στο υποκεφάλαιο 4.3.1, για το επιλεγθέν σενάριο κλιματικής αλλαγής όπως περιγράφηκε στο υποκεφάλαιο 4.2 προκύπτουν τα ακόλουθα αποτελέσματα.

5.2.1.5.1 Ευστάθεια ογκόλιθων θωράκισης

Παράμετρος	Έτος		
	2019	2050	2100
Hbr (m) ύψος κύματος στον πόδα του έργου	1.280	1.480	1.640
Tp (sec) περίοδος κύματος	6.710	6.710	6.710
d (m) βάθος ύδατος στον πόδα του έργου από τη ΜΣΘ	1.600	1.850	2.050
cot(θ) Κλίση πρανών	3.000	3.000	3.000
γ_r , ειδικό βάρος $\Phi.O.$ tn/m ³	2.600	2.600	2.600
γ_w , ειδικό βάρος ύδατος tn/m ³	1.025	1.025	1.025
KD συντελεστής ευστάθειας	2.000	2.000	2.000
B (Hudson formula) απαιτούμενο βάρος ογκόλιθου (tn)	0.250	0.387	0.527
Bu βάρος υφιστάμενου ογκόλιθου (tn)	0.5-1	0.5-1	0.5-1
Έλεγχος επάρκειας βάρους υφιστάμενου ογκόλιθου	OK	OK	OK

5.2.1.5.2 Ευστάθεια πόδα κατασκευής

Παράμετρος	Έτος		
	2019	2050	2100
Hs (m) ύψος κύματος στον πόδα του έργου	1.280	1.480	1.640
Tm-1,0 (sec) περίοδος κύματος	6.710	6.710	6.710
d (m) βάθος ύδατος στον πόδα του έργου από τη ΜΣΘ	1.600	1.850	2.050
Lm-1,0 (sec) Μήκος κύματος	25.940	27.780	29.160
k Κυματαριθμός	0.242	0.226	0.215
ht (m) βάθος στέψης πόδα	0.300	0.550	0.750
tt (m) πάχος στέψης	0.600	0.600	0.600
Bt (m) πλάτος στέψης	5.000	5.000	5.000
ud (m/s) τροχιακή ταχύτητα κύματος πυθμένα	1.508	1.609	1.683
γr , ειδικό βάρος Φ.Ο. tn/m ³	2.600	2.600	2.600
γw , ειδικό βάρος ύδατος tn/m ³	1.025	1.025	1.025
Δ (=γr/ γw-1)	1.537	1.537	1.537
Nod , Toe damage	0.500	0.500	0.500
Dn50 (m) μέση διάμετρος απαιτούμενου ογκ. στον πόδα	0.225	0.244	0.258
B απαιτούμενο βάρος ογκόλιθου πόδα (tn)	0.015	0.020	0.023
Bu βάρους υφιστάμενου ογκόλιθου πόδα (tn)	0.5-1	0.5-1	0.5-1
Έλεγχος επάρκειας βάρους υφιστάμενου ογκόλιθου πόδα	OK	OK	OK

5.2.1.5.3 Μέση παροχή υπερπήδησης

Παράμετρος	Έτος		
	2019	2050	2100
M	20	20	20
H	1.6	1.85	2.05
Hm0,t	1.28	1.48	1.64
Tm-1,0,t	6.71	6.71	6.71
Beta	0	0	0
Ht	0.3	0.55	0.75
Bt	5	5	5
Hb	0.15	0.4	0.6
B	0	0	0
cot(a_d)	3	3	3
cot(a_u)	3	3	3
gammaf_d	0.6	0.6	0.6
gammaf_u	0.6	0.6	0.6
Dd	0.5	0.5	0.5
Du	0.5	0.5	0.5
Ac	2	1.75	1.55
Rc	2	1.75	1.55
Gc	4.2	4.2	4.2

q (l/sm) παροχή υπερπήδησης	3.90E-05	2.53E-04	9.29E-04
Αποδεκτό όριο q (l/sm)	3.00E-01	3.00E-01	3.00E-01
Έλεγχος επάρκειας θωράκισης σε υπερπήδηση	OK	OK	OK

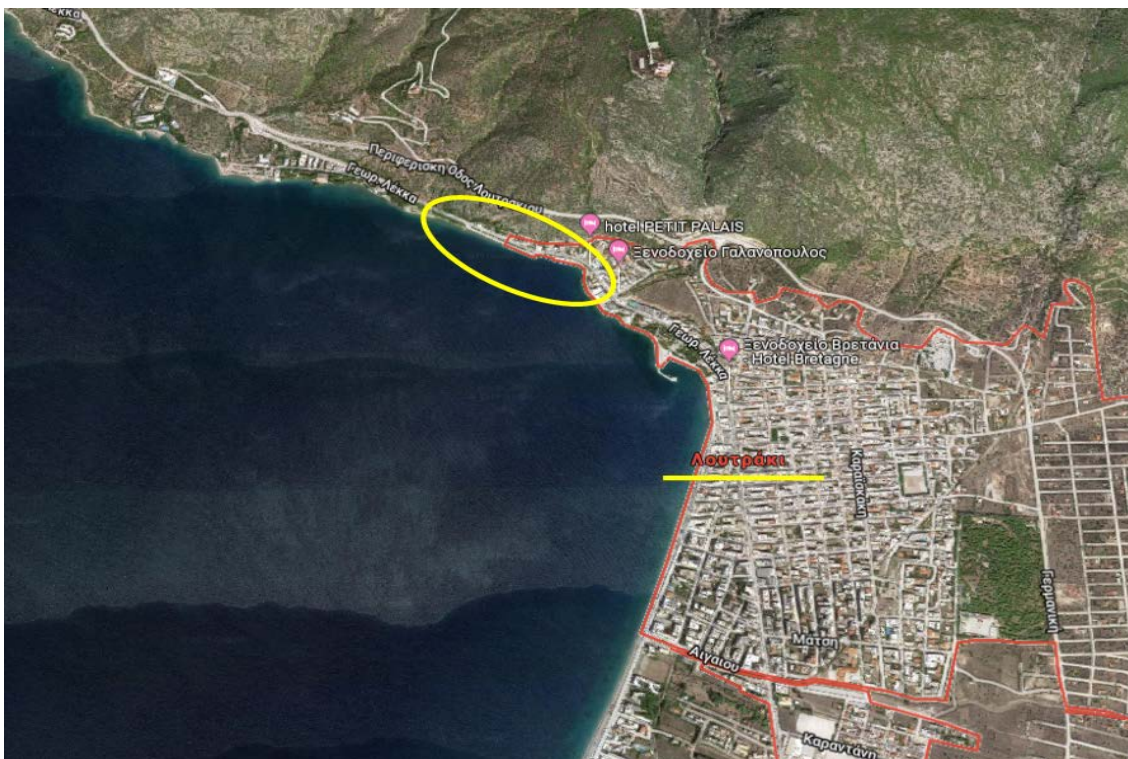
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, το συγκεκριμένο έργο θωράκισης θα είναι επαρκές για όλα τα τεχνικά κριτήρια που εξετάστηκαν στις πιθανές μελλοντικές επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής που διερευνήθηκαν. Γι' αυτό το λόγο η συγκεκριμένη θωράκιση δεν προχωράει περαιτέρω στην παρούσα έρευνα προς διερεύνηση των βέλτιστων μεθόδων αναβάθμισης, καθώς δεν χρήζει ενίσχυσης.

5.3 Περιοχή Λουτράκι, Κόρινθος, Περιφέρεια Πελοποννήσου

5.3.1 Συλλογή και Επεξεργασία Στοιχείων

5.3.1.1 Υφιστάμενη Κατάσταση Περιοχής Λουτρακίου

Η υπό διερεύνηση περιοχή βρίσκεται στο Δήμο Λουτρακίου ο οποίος ανήκει στο νομό Κορινθίας της περιφέρειας Πελοποννήσου. Απέχει 84 χιλιόμετρα από την Αθήνα και 4 από την Κόρινθο και κατά την απογραφή του 2011 είχε 11.564 κατοίκους. Πρόκειται για μια αρκετά αναγνωρισμένη λουτρόπολη από το 1925, η οποία είναι τουριστικό θέρετρο γνωστό για τα ιαματικά λουτρά και τα μεταλλικά νερά του και βρέχεται από τον Κορινθιακό κόλπο.



Εικόνα 5-5. Περιοχή Λουτράκι στο νομό Κορίνθου της Περιφέρειας Πελοποννήσου

5.3.1.2 Προσδιορισμός Προβλήματος

Στην υπό διερεύνηση περιοχή προτάθηκε και κατασκευάστηκε πρόσφατα παράκτιο έργο θωράκισης της ακτής και συγκεκριμένα για την περιοχή από το τουριστικό περίπτερο «Καταρράκτες» μέχρι το ξενοδοχείο «Πευκάκια», σε συνολικό μήκος ακτογραμμής περίπου 800μ. Στην περιοχή μελέτης παρατηρούνται έντονα προβλήματα υποσκαφών, λόγω έλλειψης της θωρακίσεως του ποδός του πρανούς και λόγω της δράσης των θαλάσσιων κυματισμών (Εικ. 5-6 & 5-7).

Συγκεκριμένα, ξεκινώντας από το νοτιοανατολικό άκρο της περιοχής μελέτης και οδεύοντας προς το βορειοδυτικό, και για μήκος περίπου 240μ. διαπιστώνεται η ύπαρξη ανεπαρκούς θωρακίσεως από Φυσικούς Ογκολίθους, μπροστά από το κατακόρυφο μέτωπο του παραλιακού δρόμου. Η υφιστάμενη θωράκιση έχει αστοχήσει πλήρως σε ορισμένα σημεία με αποτέλεσμα την εμφάνιση κυματικής υπερπήδησης.

Στο βορειοδυτικό πέρας της εξεταζόμενης περιοχής υπάρχει κλίμακα που οδηγεί σε εξέδρα (πρόβολο) από σκυρόδεμα μήκους 6μ., η οποία χρησιμοποιείται από τους λουόμενους. Το βαθύτερο σημείο του προβόλου εμφανίζει έντονο πρόβλημα υποσκαφής. Ανάντη της εξέδρας που λειτουργεί ως πρόβολος επί της ακτής, έχει παγιδευτεί λεπτόκοκκο ίζημα δημιουργώντας μια επιφάνεια για τους λουόμενους μήκους περίπου 10μ. και μέγιστου πλάτους 8μ. (Εικ. 5-8)

Συνεχίζοντας προς το βορειοδυτικό όριο της περιοχής μελέτης, και για μήκος περίπου 70μ., υπάρχει επίσης ανεπαρκής θωράκιση (με μπάζα και φ.ο. μικρής διαμέτρου) του κατακόρυφου μετώπου του παραλιακού δρόμου.



Εικόνα 5-6. Ανεπαρκής προστασία κατακόρυφου μετώπου παραλιακού δρόμου



Εικόνα 5-7. Ανεπαρκής θωράκιση του μετώπου του δρόμου



Εικόνα 5-8. Άποψη εξέδρας και χρήση από λουόμενους. Πρόβλημα υποσκαφής στο νότιο άκρο της.

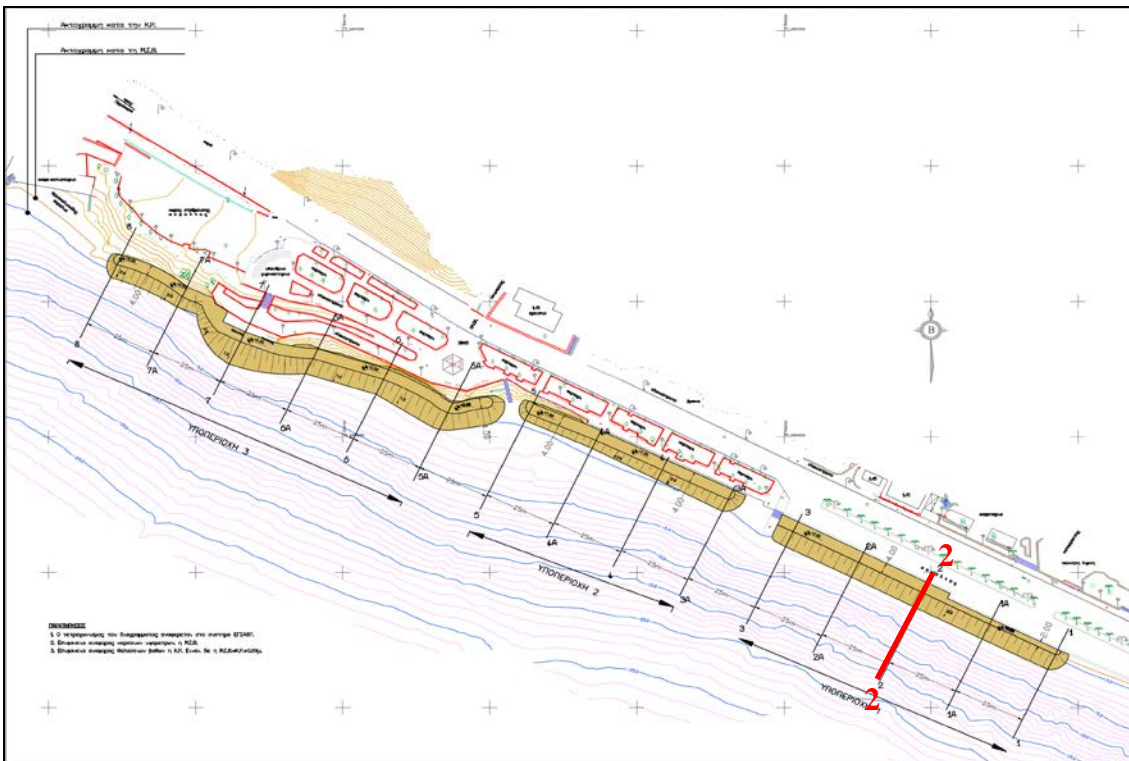
5.3.1.3 Περιγραφή Υφιστάμενου Έργου Θωράκισης

Στη συγκεκριμένη περιοχή και λόγω των θεμάτων που αναφέραμε προηγουμένως κατασκευάστηκε έργο προστασίας του παραλιακού δρόμου με πρηνές κλίσης 1:1.5 και θωράκιση με φυσικούς ογκολίθους.

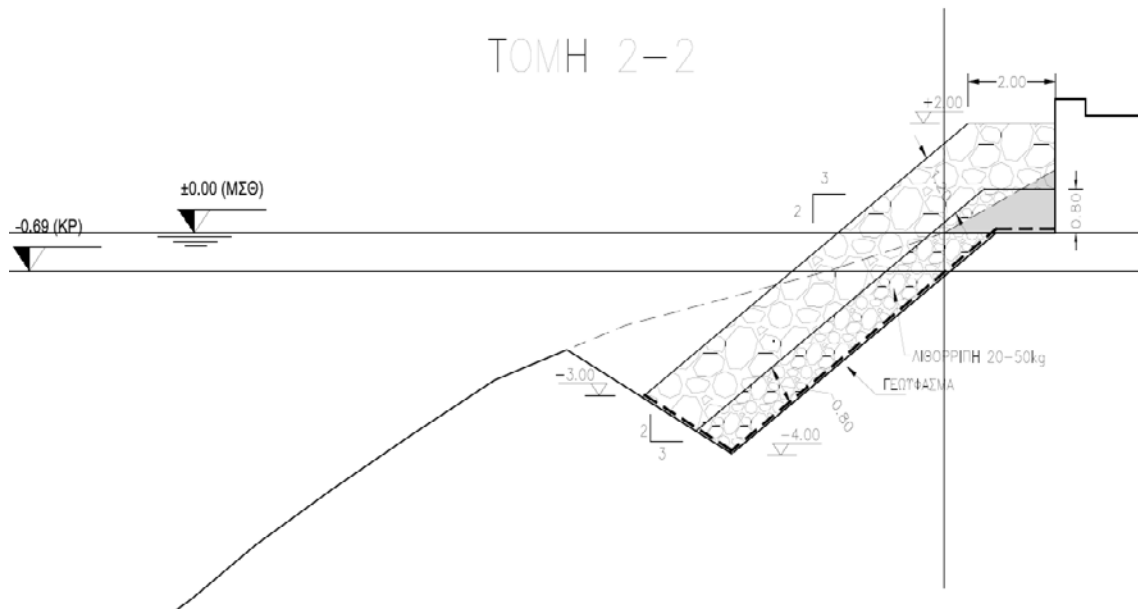
Η στέψη της θωρακίσεως τοποθετείται στο +2.00 από την Μέση Στάθμη Θάλασσας και έχει εύρος 2.0 m για τα πρώτα 40μ και εύρος 4.0 m για τα υπόλοιπα 65μ.

Η εξωτερική στρώση της θωρακίσεως αποτελείται από φυσικούς ογκολίθους (Φ.Ο.) ατομικού βάρους 0.3-0.5 τόνων και έχει πάχος 1,20 μέτρων. Η στρώση καλύπτει όλη την στέψη και στην συνέχεια με κλίση 2:3 φθάνει μέχρι τον φυσικό πυθμένα. Κάτω από την στρώση θωρακίσεως τοποθετείται πυρήνας αποτελούμενος από κατάλληλα διαβαθμισμένη λιθορριπή βάρους 20-50 κιλών, ενώ κάτω από τις στρώσεις της θωρακίσεως και τον πυρήνα της διατομής διαστρώνεται γεωύφασμα. (βλ. Εικόνα 5-9 και Εικόνα 5-10)

Η απότομη κλίση του πυθμένα, στην συγκεκριμένη περιοχή δεν επιτρέπει την κατασκευή κατάλληλης προστασίας ποδός με αναβαθμό. Για αυτό το λόγο, στον πόδα του πρηνούς θωρακίσεως, εκσκάφτηκε όρυγμα μέγιστου βάθους 3.29m με κλίση 2:3. Με αυτό τον τρόπο ο φυσικός πυθμένας δημιούργησε ανάχωμα και λειτουργεί ως αντέρεισμα ποδός, υποστηρίζοντας την ευστάθεια του πρηνούς.



Εικόνα 5-9. Απεικόνιση του Σχεδίου Οριζοντιογραφίας και θέση διατομής 2-2, του υπό διερεύνηση υφιστάμενου έργου θωράκισης στην περιοχή Λουτρακίου.



Εικόνα 5-10. Διατομή έργου θωράκισης 2-2.

5.3.1.4 Κριτήρια Σχεδιασμού Υφιστάμενης Θωράκισης

Η θωράκιση σχεδιάστηκε για κυματικές συνθήκες:

$$H_{br} = 2.8 \text{ m}, T_p = 8.5 \text{ s}$$

Επιπρόσθετα, οι γεωμετρικές παράμετροι για το έργο θωράκισης έχουν ως εξής:

$$\gamma_r = \text{ειδικό βάρος } \Phi.O. = 2.6 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma_w = \text{ειδικό βάρος ύδατος} = 1.025 \text{ t/m}^3$$

$$\text{συνεφαπτόμενη γωνίας πρανούς λιθορριπής : } \text{Cot}\theta = 1.5$$

Σύμφωνα με την έρευνα των Burcarth et al. (2014) η επίδραση της κλιματικής αλλαγής δεν επηρεάζει σημαντικά την ευστάθεια της κατασκευής. Αυτό επαληθεύτηκε και στην προηγούμενη περιοχή της Χατζίνιας όπου όλοι οι έλεγχοι επαληθεύτηκαν για τις μελλοντικές θαλάσσιες συνθήκες. Συνεπώς, στην περιοχή του Λουτρακίου το βάρος της παρούσας διερεύνησης δίνεται στον υπολογισμό της μέσης κυματικής υπερπήδησης.

5.3.1.4.1 Μέση παροχή υπερπήδησης

Παράμετρος	Έτος		
	2019	2050	2100
m	2,000	2,000	2,000
h	3,000	3,250	3,450
Hm0,t	2,800	2,900	3,000
Tm-1,0,t	8,500	8,500	8,500
beta	0,000	0,000	0,000
ht	3,000	3,250	3,450
Bt	0,000	0,000	0,000
hb	0,000	0,000	0,000
B	0,000	0,000	0,000
cot(a_d)	1,500	1,500	1,500
cot(a_u)	1,500	1,500	1,500
gammaf_d	0,600	0,600	0,600
gammaf_u	0,600	0,600	0,600
Dd	0,560	0,560	0,560
Du	0,560	0,560	0,560
Ac	2,000	1,750	1,550
Rc	2,200	1,950	1,750
Gc	2,000	2,000	2,000
q (l/sm) παροχή υπερπήδησης	2,08E-01	3,19E-01	4,85E-01
Αποδεκτό όριο q (l/sm)	3,00E-01	3,00E-01	3,00E-01
Έλεγχος επάρκειας θωράκισης σε υπερπήδηση	OK	NOT OK	NOT OK

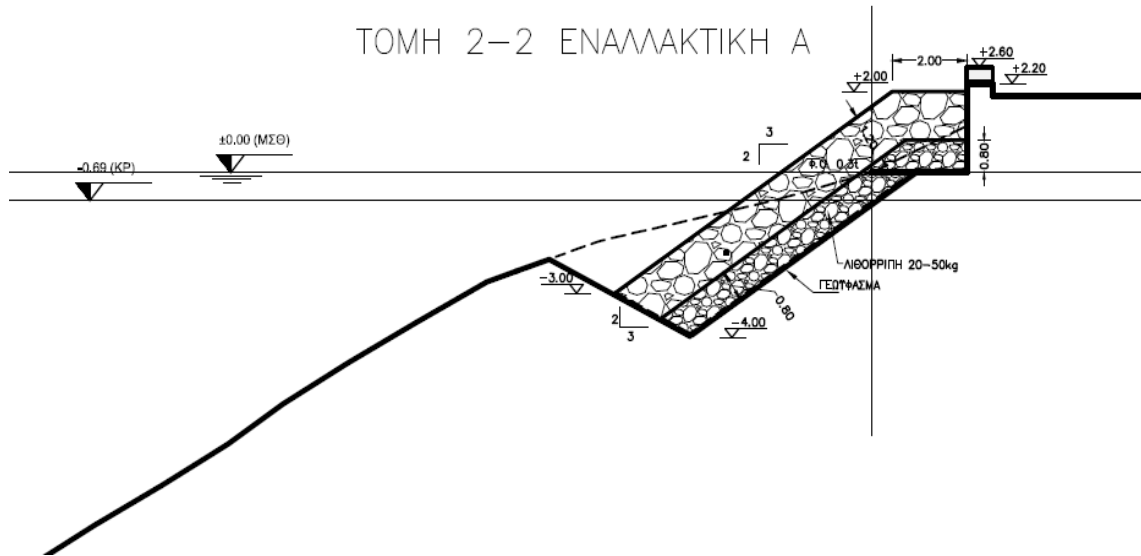
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα ο συγκεκριμένος σχεδιασμός θωράκισης δεν επαρκεί σε έλεγχο υπερπήδησης, οριακά για το έτος 2050 και πλήρως για το έτος 2100. Ακολουθως δίνονται οι εναλλακτικές μέθοδοι ενίσχυσης.

5.3.2 Εφαρμογή Προτεινόμενων Μεθόδων Ενίσχυσης

Με βάση τον παραπάνω έλεγχο επάρκειας σε υπερπήδηση, γίνεται σαφές ότι μελλοντικά, το υφιστάμενο έργο θωράκισης δεν θα προσφέρει προστασία έναντι παράκτιων πλημμυρών όσον αφορά την υπερπήδηση λόγω κλιματικής αλλαγής. Γι' αυτό το λόγο διερευνώνται οι εναλλακτικοί τρόποι ενίσχυσης του υφιστάμενου έργου με σκοπό την επιλογή του βέλτιστου.

5.3.2.1 Εναλλακτική Α

Η συγκεκριμένη εναλλακτική αφορά την αύξηση του ύψους του τοιχίου προστασίας υπερπήδησης κατά 0,40μ, δηλαδή το υψόμετρο της στέγης του τοιχίου να ανέλθει από +2,20μ σε +2,60μ.



Εικόνα 5-11. Εναλλακτική Α: Αύξηση του ύψους του τοιχίου προστασίας

5.3.2.1.1 Τεχνικά Κριτήρια

Μέση παροχή υπερπήδησης:

Παράμετρος	Έτος		
	2019	2050	2100
m	2.000	2.000	2.000
h	3.000	3.250	3.450
Hm0,t	2.800	2.900	3.000
Tm-1,0,t	8.500	8.500	8.500
beta	0.000	0.000	0.000
Ht	3.000	3.250	3.450
Bt	0.000	0.000	0.000
Hb	0.000	0.000	0.000
B	0.000	0.000	0.000
cot(a_d)	1.500	1.500	1.500
cot(a_u)	1.500	1.500	1.500

gammaf_d	0.600	0.600	0.600
gammaf_u	0.600	0.600	0.600
Dd	0.560	0.560	0.560
Du	0.560	0.560	0.560
Ac	2.000	1.750	1.550
Re	2.600	2.350	2.150
Gc	2.000	2.000	2.000
q (l/sm) παροχή υπερπήδησης	1.26E-01	2.06E-01	3.05E-01
Αποδεκτό όριο q (l/sm)	3.00E-01	3.00E-01	3.00E-01
Έλεγχος επάρκειας θωράκισης σε υπερπήδηση	OK	OK	NOT OK

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα ο συγκεκριμένος σχεδιασμός θωράκισης επαρκεί σε έλεγχο υπερπήδησης, για το έτος 2050 και οριακά δεν επαρκεί για το έτος 2100.

5.3.2.1.2 Οικονομικά Κριτήρια

Η συγκεκριμένη ενίσχυση θα πραγματοποιηθεί με οπλισμένο σκυρόδεμα και θα έχει εμβαδό 0,28 m². Η τιμή ανά κυβικό μέτρο σκυροδέματος είναι 100€/m³.

Επομένως η τιμή ανά τρέχον μέτρο μήκος είναι 0,28*100=28€ **ανά τρέχον μέτρο μήκους**.

Ανάγκη για περαιτέρω μελέτες: Στην εναλλακτική αυτή επειδή γίνεται μόνο αύξηση του ύψους του τοιχίου προστασίας δεν υπάρχει ανάγκη για περαιτέρω μελέτες (πέραν του ελέγχου στατικότητας).

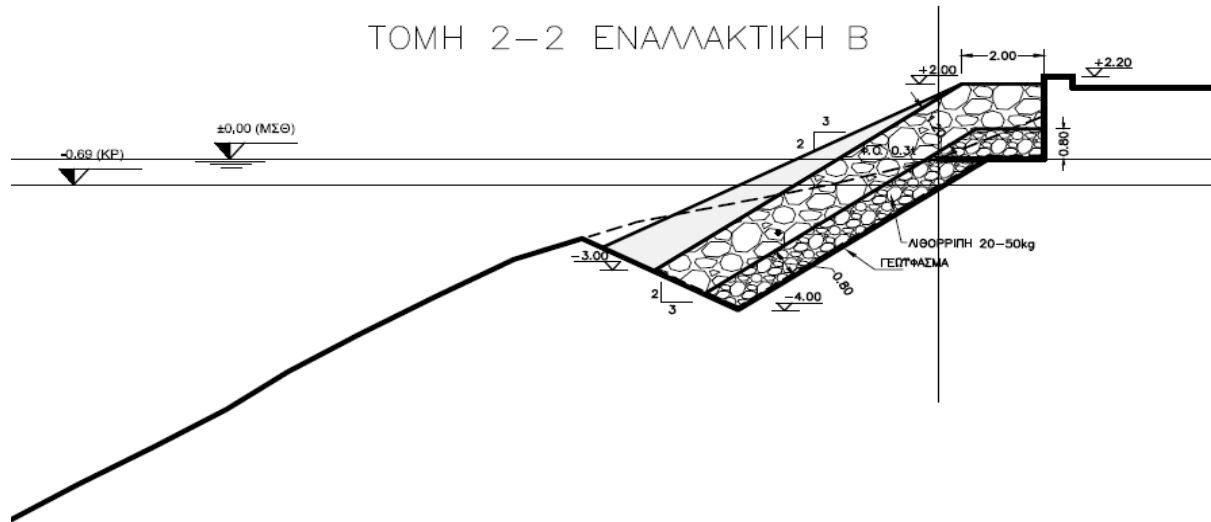
5.3.2.1.3 Περιβαλλοντικά Κριτήρια

- **Θαλάσσιο και χερσαίο χωρικό αποτύπωμα των νέων έργων.** Στην περίπτωση της εναλλακτικής αυτής δεν επηρεάζονται τα θαλάσσια ύδατα και η θαλάσσια βιολογία της περιοχής. Επίσης το χερσαίο χωρικό αποτύπωμα του έργου δεν είναι μεγαλύτερο σε σχέση με το υφιστάμενο έργο.
- **Οπτική όχληση.** Στην περίπτωση της εναλλακτικής αυτής εξαιτίας της κατασκευής νέου υψηλότερου προστατευτικού τοιχίου, η οπτική όχληση των κατοίκων της παράκτιας ζώνης και των οδηγών που χρησιμοποιούν τους παραλιακούς δρόμους θα είναι σημαντική.
- **Απαιτούμενος όγκος υλικών κατασκευής.** Η απαίτηση σε υλικά κατασκευής δεν είναι μεγάλη.

5.3.2.2 Εναλλακτική Β

Η συγκεκριμένη εναλλακτική αφορά την κατασκευή ηπιότερης κλίσης μετώπου θωράκισης με τοποθέτηση ογκόλιθων σε ηπιότερη κλίση πρανών. Ωστόσο, λόγω της απότομης κλίσης του

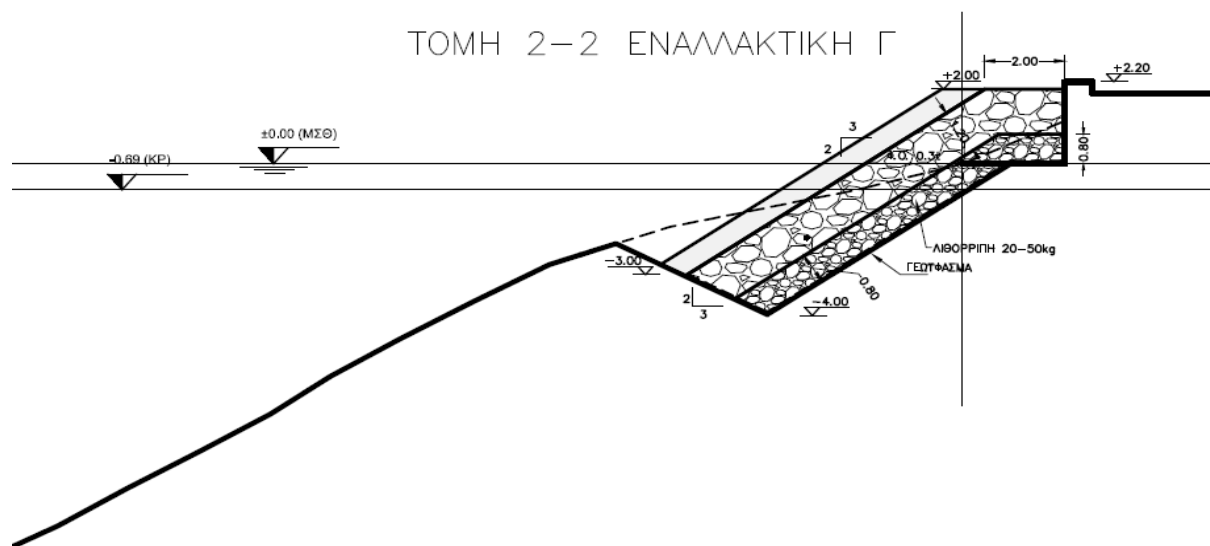
πυθμένα, η ηπιότερη κλίση ($\geq 1:2.5$) των πρανών δεν είναι δυνατό να κατασκευαστεί. Στο ακόλουθο σκαρίφημα απεικονίζεται η τοποθέτηση ογκόλιθων με ηπιότερη κλίση 1:2. Ακόμα και σ' αυτή την περίπτωση όπου οι ογκόλιθοι στον πόδα βρίσκουν αντιστήριξη στο όρυγμα, η στέψη δεν μπορεί να κατασκευαστεί όπως απεικονίζεται, καθώς χρειάζεται διαπλάτυνση τουλάχιστον 0,60μ για να τοποθετηθεί ένας ογκόλιθος. Συνεπώς, λόγω μη κατασκευασιμότητας η παρούσα εναλλακτική απορρίπτεται.



Εικόνα 5-12. Εναλλακτική Β: Ηπιότερη κλίση μετώπου θωράκισης.

5.3.2.3 Εναλλακτική Γ

Η συγκεκριμένη εναλλακτική αφορά την κατασκευή πρόσθετης στρώσης θωράκισης στο μέτωπο της υφιστάμενης, με πάχος περίπου 0,60μ, δηλαδή την προσθήκη στρώσης πάχους ενός φυσικού ογκόλιθου, χωρίς την ταυτόχρονη αύξηση του υψομέτρου της στέψης θωράκισης.



Εικόνα 5-13. Εναλλακτική Γ: Πρόσθετη στρώση θωράκισης.

5.3.2.3.1 Τεχνικά Κριτήρια

Μέση παροχή υπερπήδησης:

Παράμετρος	Έτος		
	2019	2050	2100
m	2.000	2.000	2.000
h	3.000	3.250	3.450
Hm0,t	2.800	2.900	3.000
Tm-1,0,t	8.500	8.500	8.500
beta	0.000	0.000	0.000
ht	3.000	3.250	3.450
Bt	0.000	0.000	0.000
hb	0.000	0.000	0.000
B	0.000	0.000	0.000
cot(a_d)	1.500	1.500	1.500
cot(a_u)	1.500	1.500	1.500
gammaf_d	0.600	0.600	0.600
gammaf_u	0.600	0.600	0.600
Dd	0.560	0.560	0.560
Du	0.560	0.560	0.560
Ac	2.000	1.750	1.550
Rc	2.200	1.950	1.750
Gc	2.600	2.600	2.600

q (l/sm) παροχή υπερπήδησης	1.49E-01	2.40E-01	3.52E-01
Αποδεκτό όριο q (l/sm)	3.00E-01	3.00E-01	3.00E-01
Έλεγχος επάρκειας θωράκισης σε υπερπήδηση	OK	OK	NOT OK

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα ο συγκεκριμένος σχεδιασμός θωράκισης επαρκεί σε έλεγχο υπερπήδησης, για το έτος 2050 και δεν επαρκεί για το έτος 2100.

5.3.2.3.2 Οικονομικά Κριτήρια

Η συγκεκριμένη ενίσχυση θα πραγματοποιηθεί με φυσικούς ογκόλιθους που θα καταλαμβάνουν εμβαδό 5,24 m². Η τιμή ανά κυβικό μέτρο φυσικών ογκόλιθων είναι 13€.

Επομένως η τιμή ανά τρέχον μέτρο μήκος είναι 5,24*13=68,12€**ανά τρέχον μέτρο μήκους**.

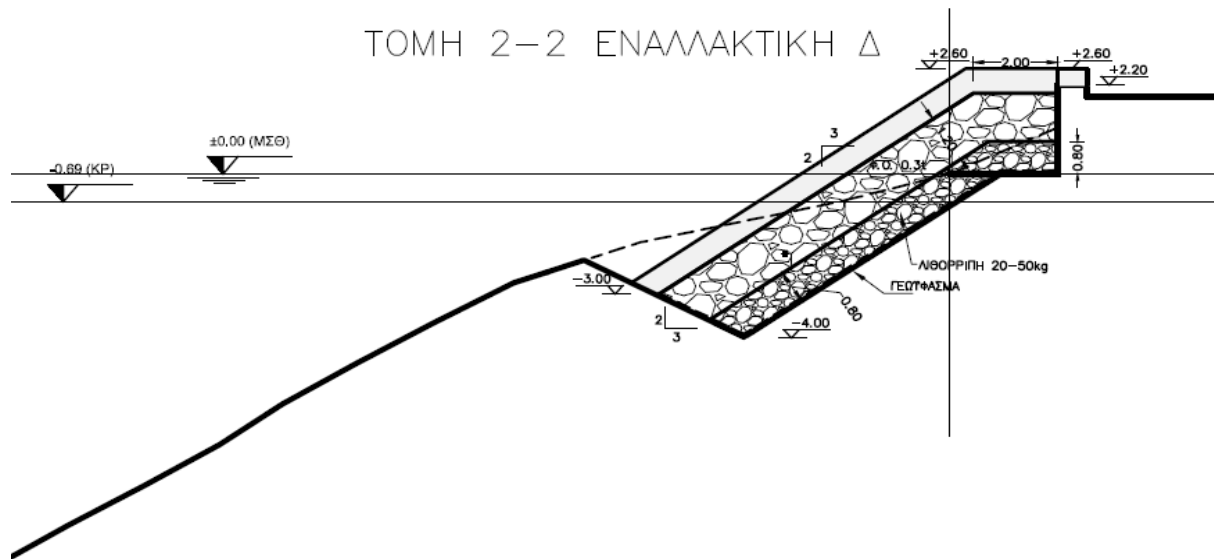
Ανάγκη για περαιτέρω μελέτες: Στην συγκεκριμένη εναλλακτική απαιτείται η διερεύνηση του υπεδάφους με την απαραίτητη εκπόνηση γεωτεχνικών ερευνών και η ακτομηχανική διερεύνηση της επίπτωσης σε παρακείμενες ακτές.

5.3.2.3.3 Περιβαλλοντικά Κριτήρια

- **Θαλάσσιο και χερσαίο χωρικό αποτύπωμα των νέων έργων.** Στην συγκεκριμένη εναλλακτική υπάρχουν μικρές επιπτώσεις στα θαλάσσια ύδατα και στην θαλάσσια βιολογία της περιοχής αφού προβαίνουμε σε επέκταση της υφιστάμενης κατάστασης προς τη μεριά της θάλασσας.
- **Οπτική όχληση.** Στην συγκεκριμένη εναλλακτική η οπτική όχληση των κατοίκων της παράκτιας ζώνης και των οδηγών που χρησιμοποιούν τους παραλιακούς δρόμους παραμένει ακριβώς η ίδια.
- **Απαιτούμενος όγκος υλικών κατασκευής.** Στην περίπτωση αυτή τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν είναι μια στρώση από φυσικούς ογκολίθους.

5.3.2.4 Εναλλακτική Δ

Η συγκεκριμένη εναλλακτική αφορά την ανύψωση του προστατευτικού τοιχίου και ταυτόχρονα την κατασκευή πρόσθετης στρώσης θωράκισης στο μέτωπο και στη στέψη της υφιστάμενης, με πάχος περίπου 0,60μ, δηλαδή την προσθήκη στρώσης πάχους ενός φυσικού ογκόλιθου.



Εικόνα 5-14. Εναλλακτική Δ: Αύξηση ύψους στέψης και επέκταση θωράκισης

5.3.2.4.1 Τεχνικά Κριτήρια

Μέση παροχή υπερπήδησης:

Παράμετρος	Έτος		
	2019	2050	2100
m	2.000	2.000	2.000
h	3.000	3.250	3.450
Hm0,t	2.800	2.900	3.000
Tm-1,0,t	8.500	8.500	8.500
beta	0.000	0.000	0.000
ht	3.000	3.250	3.450
Bt	0.000	0.000	0.000
hb	0.000	0.000	0.000
B	0.000	0.000	0.000
cot(a_d)	1.500	1.500	1.500
cot(a_u)	1.500	1.500	1.500
gammaf_d	0.600	0.600	0.600
gammaf_u	0.600	0.600	0.600
Dd	0.560	0.560	0.560
Du	0.560	0.560	0.560

Ac	2.000	1.750	1.550
Rc	2.600	2.350	2.150
Gc	2.600	2.600	2.600
q (l/sm) παροχή υπερπήδησης	8.81E-02	1.44E-01	2.15E-01
Αποδεκτό όριο q (l/sm)	3.00E-01	3.00E-01	3.00E-01
Έλεγχος επάρκειας θωράκισης σε υπερπήδηση	OK	OK	OK

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα ο συγκεκριμένος σχεδιασμός θωράκισης επαρκεί σε έλεγχο υπερπήδησης, για το έτος 2050 και για το έτος 2100.

5.3.2.4.2 Οικονομικά Κριτήρια

Η συγκεκριμένη ενίσχυση θα πραγματοποιηθεί με οπλισμένο σκυρόδεμα που θα καταλαμβάνει εμβαδό 0,28 m² και από φυσικούς ογκόλιθους που θα καταλαμβάνουν εμβαδό 6,81 m².

Επομένως η τιμή ανά τρέχον μέτρο μήκος είναι $(0,28*100)+(6,81*13)=116,53\text{€}$ ανά τρέχον μέτρο μήκους.

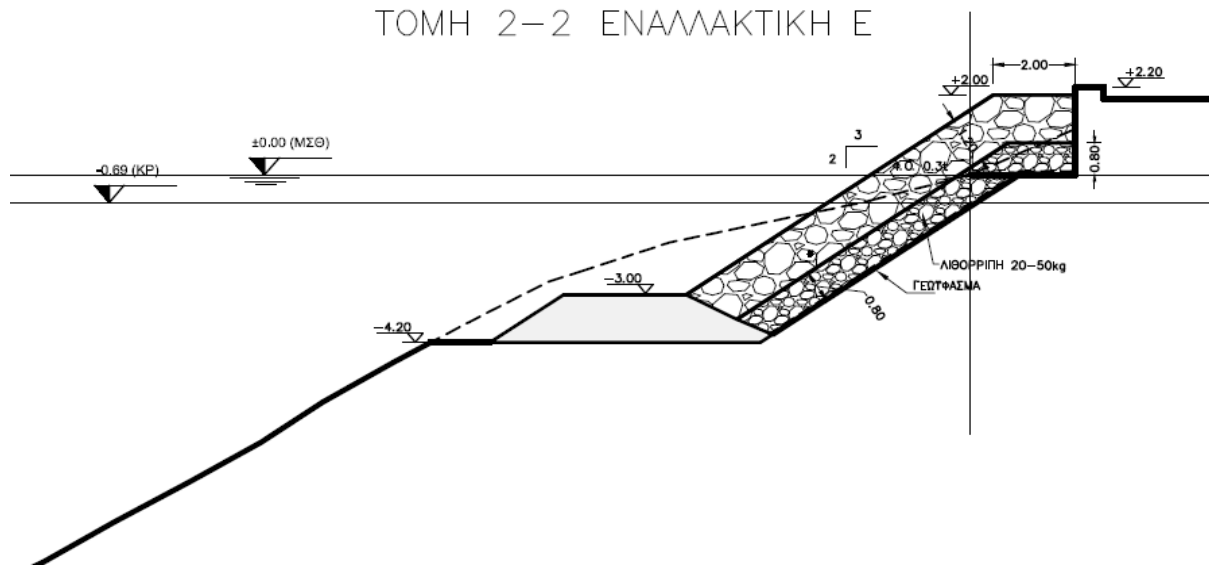
Ανάγκη για περαιτέρω μελέτες: Στην συγκεκριμένη εναλλακτική απαιτείται η διερεύνηση του υπεδάφους με την απαραίτητη η εκπόνηση γεωτεχνικών ερευνών και η ακτομηχανική διερεύνηση της επίπτωσης σε παρακείμενες ακτές.

5.3.2.4.3 Περιβαλλοντικά Κριτήρια

- **Θαλάσσιο και χερσαίο χωρικό αποτύπωμα των νέων έργων.** Στην συγκεκριμένη εναλλακτική υπάρχουν μικρές επιπτώσεις στα θαλάσσια ύδατα και στην θαλάσσια βιολογία της περιοχής αφού προβαίνουμε σε επέκταση της υφιστάμενης κατάστασης προς τη μεριά της θάλασσας. Το χερσαίο χωρικό αποτύπωμα αυξάνεται επειδή διαπλατύνεται η στέψη.
- **Οπτική όχληση.** Στην περίπτωση της εναλλακτικής αυτής εξαιτίας της κατασκευής νέου υψηλότερου προστατευτικού τοιχείου, η οπτική όχληση των κατοίκων της παράκτιας ζώνης και των οδηγών που χρησιμοποιούν τους παραλιακούς δρόμους θα είναι σημαντική όπως και στην εναλλακτική Α.
- **Απαιτούμενος όγκος υλικών κατασκευής.** Στην περίπτωση αυτή θα χρησιμοποιηθεί σημαντική ποσότητα φυσικών ογκόλιθων και σκυροδέματος για την επέκταση της θωράκισης. Επομένως για την εναλλακτική αυτήν ο απαιτούμενος όγκος υλικών κατασκευής θα είναι μεγάλος.

5.3.2.5 Εναλλακτική Ε

Εξεταζόμενη λύση με δημιουργία πόδα θωράκισης με έδραση στα -4,20μ. Ο πόδας θα έχει πλάτος στέψης 3,0μ, πάχος 1,2μ και το προσήνεμο πρανές θα έχει την ίδια κλίση με το πρανές της θωράκισης. Πρέπει να σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη λύση εγείρει και θέματα ευστάθειας κατά τη φάση της κατασκευής, καθώς ελλοχεύει ο κίνδυνος να κατολισθήσουν οι υφιστάμενοι ογκόλιθοι κατά τη διάρκεια των εργασιών στον πόδα (λαμβάνοντας υπόψη και την απότομη κλίση του πυθμένα).



Εικόνα 5-15. Εναλλακτική Ε: Δημιουργία πόδα θωράκισης

5.3.2.5.1 Τεχνικά Κριτήρια

Ευστάθεια πόδα κατασκευής:

Παράμετρος	Έτος		
	2019	2050	2100
Hs (m) ύψος κύματος στον πόδα του έργου	2.800	2.900	3.000
Tm-1,0 (sec) περίοδος κύματος	8.500	8.500	8.500
d (m) βάθος ύδατος στον πόδα του έργου από τη ΜΣΘ	4.200	4.450	4.650
Lm-1,0 (sec) Μήκος κύματος	52.400	53.800	54.900
k Κυματαριθμός	0.120	0.117	0.114
ht (m) βάθος στέψης πόδα	3.000	3.250	3.450
tt (m) πάχος στέψης	1.200	1.200	1.200
Bt (m) πλάτος στέψης	3.000	3.000	3.000
ud (m/s) τροχιακή ταχύτητα κύματος πυθμένα	1.971	1.972	1.988
γr , ειδικό βάρος Φ.Ο. tn/m ³	2.600	2.600	2.600
γw , ειδικό βάρος ύδατος tn/m ³	1.025	1.025	1.025
Δ	1.537	1.537	1.537
Nod , Toe damage	0.500	0.500	0.500
Dn50 (m) μέση διάμετρος απαιτούμενου ογκ. Πόδα	0.403	0.408	0.415
B απαιτούμενο βάρος ογκόλιθου πόδα (tn)	0.089	0.093	0.097
Bu βάρους υφιστάμενου ογκόλιθου πόδα (tn)	0.500	0.500	0.500
Έλεγχος επάρκειας βάρους υφιστάμενου ογκόλιθου πόδα	OK	OK	OK

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα ο συγκεκριμένος σχεδιασμός θωράκισης επαρκεί σε έλεγχο επάρκειας ογκόλιθων πόδα, για το έτος 2050 και για το έτος 2100.

Μέση παροχή υπερπήδησης:

Παράμετρος	Έτος		
	2019	2050	2100
m	2.000	2.000	2.000
h	4.200	4.450	4.650
Hm0,t	2.800	2.900	3.000
Tm-1,0,t	8.500	8.500	8.500
beta	0.000	0.000	0.000
ht	3.000	3.250	3.450
Bt	3.000	3.000	3.000
hb	0.000	0.000	0.000
B	0.000	0.000	0.000
cot(a_d)	1.500	1.500	1.500
cot(a_u)	1.500	1.500	1.500
gammaf_d	0.600	0.600	0.600
gammaf_u	0.600	0.600	0.600
Dd	0.560	0.560	0.560
Du	0.560	0.560	0.560
Ac	2.000	1.750	1.550
Rc	2.200	1.950	1.750
Gc	2.000	2.000	2.000
q (l/sm) παροχή υπερπήδησης	1.91E-01	3.08E-01	4.52E-01
Αποδεκτό όριο q (l/sm)	3.00E-01	3.00E-01	3.00E-01
Έλεγχος επάρκειας θωράκισης σε υπερπήδηση	OK	NOT OK	NOT OK

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα ο συγκεκριμένος σχεδιασμός θωράκισης δεν επαρκεί σε έλεγχο υπερπήδησης, οριακά για το έτος 2050 και πλήρως για το έτος 2100.

5.3.2.5.2 Οικονομικά Κριτήρια

Η συγκεκριμένη κατασκευή του πόδα του έργου θα πραγματοποιηθεί με φυσικούς ογκόλιθους που θα καταλαμβάνουν εμβαδό 6,12m².

Επομένως η τιμή ανά τρέχον μέτρο μήκος είναι 6,12*13=79,56€ ανά τρέχον μέτρο μήκους.

Ανάγκη για περαιτέρω μελέτες: Στη συγκεκριμένη εναλλακτική απαιτείται η διερεύνηση του υπεδάφους με την απαραίτητη εκπόνηση γεωτεχνικών ερευνών και ακτομηχανική διερεύνηση της επίπτωσης σε παρακείμενες ακτές.

5.3.2.5.3 Περιβαλλοντικά Κριτήρια

- **Θαλάσσιο και χερσαίο χωρικό αποτύπωμα των νέων έργων.** Στην συγκεκριμένη εναλλακτική θα υπάρξουν επιπτώσεις στα θαλάσσια ύδατα και στη θαλάσσια βιολογία της περιοχής αφού προβαίνουμε σε σημαντική αλλαγή της υφιστάμενης κατάστασης του πυθμένα της περιοχής.
- **Οπτική όχληση.** Στην συγκεκριμένη εναλλακτική η οπτική όχληση των κατοίκων της παράκτιας ζώνης και των οδηγών που χρησιμοποιούν τους παραλιακούς δρόμους είναι μηδενική.
- **Απαιτούμενος όγκος υλικών κατασκευής.** Στην περίπτωση αυτήν θα χρησιμοποιηθούν σημαντικές ποσότητες φυσικών ογκολίθων για την κατασκευή του πόδα του έργου.

5.3.2.6 Εναλλακτική ΣΤ

Τέλος, η εναλλακτική ΣΤ, δηλαδή η κατασκευή αποσπασμένου ύφαλου κυματοθραύστη δεν διερευνάται περαιτέρω, καθώς δεν μπορεί να κατασκευαστεί εμπροσθεν της θωράκισης λόγω απότομης κλίσης του πυθμένα.

5.4 Αξιολόγηση των Αποτελεσμάτων και Πρόταση Βέλτιστης Μεθόδου

Στο παρόν Κεφάλαιο εξετάστηκε η δυνατότητα εφαρμογής των προτεινόμενων μεθόδων σε δυο περιοχές με διαφορετικά γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά και διαφορετικές συνθήκες θαλάσσιας κατάστασης.

Η πρώτη, στην περιοχή Χατζίνα Αχαΐας της, έδειξε σύμφωνα με τα αποτελέσματα, ότι το συγκεκριμένο έργο θωράκισης θα είναι επαρκές για όλα τα τεχνικά κριτήρια που εξετάστηκαν στις πιθανές μελλοντικές επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής που διερευνήθηκαν. Γι' αυτό το λόγο η συγκεκριμένη θωράκιση δεν προχώρησε περαιτέρω στην παρούσα έρευνα προς διερεύνηση των βέλτιστων μεθόδων αναβάθμισης, καθώς δεν χρήζει ενίσχυσης. Ένα σημαντικό συμπέρασμα που προκύπτει από αυτή τη διερεύνηση είναι ότι θωρακίσεις στις οποίες ο πόδας τους βρίσκεται σε πολύ ρηγά νερά (με βάθη μικρότερα από περίπου 3μ) και ο πυθμένας ανάντη έχει ήπια κλίση δέχονται πολύ ήπια κυματική δράση καθώς η ενέργεια των εισερχόμενων κυματισμών έχει μειωθεί σημαντικά λόγω θραύσης ανάντη της κατασκευής. Συνεπώς, συνεκτιμώντας κανείς και την τάση των μελετητών-μηχανικών να υπερδιαστασιοποιούν τα έργα (υπέρ ασφαλείας) όλοι οι έλεγχοι είτε ευστάθειας είτε υπερπήδησης πληρούνται για τα σενάρια κλιματικής αλλαγής που εξετάστηκαν έως το 2100.

Στη δεύτερη περιοχή στο Λουτράκι Κορίνθου διερευνήθηκαν όλες οι εναλλακτικές και εφαρμόστηκαν οι τέσσερις (Α, Γ, Δ & Ε) καθώς 2 απορρίφθηκαν (Β & ΣΤ) επειδή δεν μπορούν να κατασκευαστούν στη συγκεκριμένη περιοχή λόγω απότομης κλίσης πυθμένα. Ακολούθως παρουσιάζεται (Πίνακας 5-1) μια συγκριτική αξιολόγηση αυτών των εναλλακτικών.

Γίνεται φανερό ότι η Εναλλακτική Δ, δηλαδή η επέκταση της θωράκισης με την ταυτόχρονη ανύψωση του προστατευτικού τοιχίου παρέχει, ως αναμενόμεν, την καλύτερη προστασία από κυματική υπερπήδηση για τα έτη 2050 και 2100. Δεύτερη αποδοτικότερη λύση σε σχέση με την προστασία από την κυματική υπερπήδηση, είναι η λύση Α που επαρκεί για το έτος 2050 και οριακά δεν επαρκεί για το έτος 2100. Έπεται η λύση Γ, ενώ η λιγότερο αποδοτική μεταξύ όλων είναι η εναλλακτική Ε με την ύψαλη κατασκευή πόδα προστασίας.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα η οικονομικότερη εναλλακτική είναι η Α (ανύψωση του προστατευτικού τοιχίου), με σημαντική διαφορά από τη δεύτερη, τη Γ, που είναι 2,4 φορές ακριβότερη. Ακολουθεί η Ε που είναι σχεδόν 3 φορές ακριβότερη και τελευταία έρχεται η Δ που είναι σχεδόν 4 φορές ακριβότερη σε σχέση με την Α. Επιπλέον η Α, είναι η μόνη εναλλακτική που δεν απαιτεί την εκπόνηση πρόσθετων γεωτεχνικών και ακτομηχανικών ερευνών.

Η λύση Α έχει ελάχιστη επίδραση στο θαλάσσιο και χερσαίο χωρικό αποτύπωμα καθώς η επέμβαση γίνεται εντός των ορίων που καταλαμβάνει το υφιστάμενο έργο. Η λύση Γ έχει επίδραση στο θαλάσσιο χωρικό αποτύπωμα καθώς η επέμβαση γίνεται εντός θαλάσσης. Ενώ οι λύσεις Δ και Ε έχουν μείζονος σημασίας επίδραση στο χωρικό αποτύπωμα.

Αντίστοιχη είναι και η απαίτηση σε ποσότητα υλικών, όπου η εναλλακτική Α απαιτεί σχετικά μικρές ποσότητες σκυροδέματος ενώ στην αντίθετη πλευρά η Δ απαιτεί σημαντικές ποσότητες φυσικών ογκόλιθων και σκυροδέματος.

Αντιθέτως, η εναλλακτική Α παρουσιάζει το μεγαλύτερο επίπεδο οπτικής όχλησης για τους χρήστες της παραλιακής οδού.

Έχοντας ως βάση τα παραπάνω αποτελέσματα και τη συγκριτική αξιολόγηση, στο πλαίσιο της παρούσας ΔΕ προκρίνεται ως βέλτιστη η εναλλακτική μέθοδος Α καθώς εμποδίζει την κυματική υπερπήδηση, με το μικρότερο κόστος κατασκευής και με ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις πλην του περιορισμού της θέας των οδηγών και των πεζών που χρησιμοποιούν τον παραλιακό δρόμο. Ως δεύτερη βιώσιμη λύση προκρίνεται η Γ. Ενώ οι λύσεις Δ και Ε απορρίπτονται για οικονομικούς, τεχνικούς και περιβαλλοντικούς λόγους.

Πίνακας 5-1. Συγκριτική αξιολόγηση εναλλακτικών μεθόδων ενίσχυσης της θωράκισης έναντι κλιματικής αλλαγής για την περιοχή Λουτρακίου.

Κατηγορίες	Κριτήρια	ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ				
		ΕΤΟΣ	Α	Γ	Δ	Ε
Τεχνικό	Μέση παροχή υπερπήδησης	2019	OK	OK	OK	OK
		2050	OK	OK	OK	NOT OK
		2100	NOT OK	NOT OK	OK	NOT OK
Οικονομικά	Κόστος κατασκευής ανά τρέχον μέτρο	1	2.4	4.1	2.9	
	Ανάγκη για περαιτέρω μελέτες	x	√	√	√	
Περιβαλλοντικά	Θαλάσσιο και χερσαίο χωρικό αποτύπωμα	1	2	3	3	
	Οπτική όχληση	3	1	2	1	
	Απαιτούμενος όγκος υλικών κατασκευής	1	2	3	2	

Όπου:

OK	Υπερπήδηση μικρότερη του ανεκτού ορίου
NOT OK	Υπερπήδηση μεγαλύτερη του ανεκτού ορίου
1	Πολλαπλάσιο του κόστους της οικονομικότερης εναλλακτικής (Α)
x	Δεν απαιτούνται περαιτέρω μελέτες
√	Απαιτούνται περαιτέρω μελέτες
1	Μικρή επίπτωση
2	Μέτρια επίπτωση
3	Μεγάλη επίπτωση

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 Σύνοψη Αποτελεσμάτων

Εξετάστηκε η δυνατότητα εφαρμογής των προτεινόμενων μεθόδων σε δυο περιοχές με διαφορετικά γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά και διαφορετικές συνθήκες θαλάσσιας κατάστασης. Η πρώτη, στην περιοχή Χατζίνα Αχαΐας της, έδειξε σύμφωνα με τα αποτελέσματα, ότι το συγκεκριμένο έργο θωράκισης θα είναι επαρκές για όλα τα τεχνικά κριτήρια που εξετάστηκαν στις πιθανές μελλοντικές επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής που διερευνήθηκαν. Γι' αυτό το λόγο η συγκεκριμένη θωράκιση δεν προχώρησε περαιτέρω στην παρούσα έρευνα προς διερεύνηση των βέλτιστων μεθόδων αναβάθμισης, καθώς δεν χρήζει ενίσχυσης.

Στη δεύτερη περιοχή, στο Λουτράκι Κορίνθου, σύμφωνα με τα αποτελέσματα ο υφιστάμενος σχεδιασμός θωράκισης δεν επαρκεί σε έλεγχο υπερπήδησης, οριακά για το έτος 2050 και πλήρως για το έτος 2100. Γι' αυτό το λόγο διερευνήθηκαν οι εξής τέσσερις εναλλακτικές:

- (Α) Αύξηση ύψους τοιχίου προστασίας
- (Γ) Πρόσθετη στρώση θωράκισης
- (Δ) Αύξηση ύψους τοιχίου προστασίας και επέκταση θωράκισης
- (Ε) Κατασκευή ύφαλου πόδα

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα η εναλλακτική Δ, παρέχει, ως αναμενόταν, την καλύτερη προστασία από κυματική υπερπήδηση για τα έτη 2050 και 2100 ικανοποιώντας το όριο των 0,3 l/sm. Δεύτερη αποδοτικότερη λύση σε σχέση με την προστασία από την κυματική υπερπήδηση, είναι η λύση Α και έπεται η λύση Γ, ενώ η λιγότερο αποδοτική μεταξύ όλων είναι η εναλλακτική Ε με την κατασκευή πόδα προστασίας.

Η οικονομικότερη εναλλακτική είναι η Α (28€ ανά τρέχον μέτρο μήκους), με σημαντική διαφορά από τη δεύτερη, τη Γ, που είναι 2,4 φορές ακριβότερη (68€ ανά τρέχον μέτρο μήκους). Ακολουθεί η Ε (80€ ανά τρέχον μέτρο μήκους) που είναι σχεδόν 3 φορές ακριβότερη και τελευταία έρχεται η Δ που είναι σχεδόν 4 φορές ακριβότερη σε σχέση με την Α (116€ ανά τρέχον μέτρο μήκους). Επιπλέον η Α, είναι η μόνη εναλλακτική που δεν απαιτεί την εκπόνηση πρόσθετων γεωτεχνικών και ακτομηχανικών ερευνών.

Η λύση Α έχει ελάχιστη επίδραση στο θαλάσσιο και χερσαίο χωρικό αποτύπωμα καθώς η επέμβαση γίνεται εντός των ορίων που καταλαμβάνει το υφιστάμενο έργο. Η λύση Γ έχει επίδραση στο θαλάσσιο χωρικό αποτύπωμα καθώς η επέμβαση γίνεται εντός θαλάσσης. Ενώ οι λύσεις Δ και Ε έχουν μείζονος σημασίας επίδραση στο χωρικό αποτύπωμα.

Αντίστοιχη είναι και η απαίτηση σε ποσότητα υλικών, όπου η εναλλακτική Α απαιτεί σχετικά μικρές ποσότητες σκυροδέματος, ενώ στην αντίθετη πλευρά η Δ απαιτεί σημαντικές ποσότητες φυσικών ογκόλιθων και σκυροδέματος.

Αντιθέτως, η λύση Α παρουσιάζει το μεγαλύτερο επίπεδο οπτικής όχλησης για τους χρήστες της παραλιακής οδού.

6.2 Συνολικά Συμπεράσματα

Ένα πολύ σημαντικό συμπέρασμα που προκύπτει από την έρευνα που εκπονήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας ΔΕ για την περιοχή της Χατζίνας είναι ότι οι υφιστάμενες θωρακίσεις, στις οποίες

- ο πόδας βρίσκεται σε αρκετά ρηγά νερά (με βάθη μικρότερα από περίπου 3μ)
- ο πυθμένας έχει ήπια κλίση,
- και το μεγαλύτερο ποσοστό του έργου βρίσκεται άνω της θαλάσσιας στάθμης

δέχονται πολύ ήπια κυματική δράση, γιατί η ενέργεια των εισερχόμενων κυματισμών έχει μειωθεί σημαντικά λόγω θραύσης ανάντη της κατασκευής. Η ήπια αυτή δράση δεν οδηγεί σε σημαντική υπερπήδηση και το έργο προσφέρει προστασία ακόμα και κάτω από τα πιο απαισιόδοξα σενάρια κλιματικής αλλαγής. Επιπρόσθετα, συνεκτιμώντας κανείς και την τάση των μελετητών-μηχανικών να υπερδιαστασιολογούν τα έργα (υπέρ ασφαλείας) όλοι οι έλεγχοι είτε ευστάθειας είτε υπερπήδησης πληρούνται για όλα τα σενάρια κλιματικής αλλαγής που εξετάστηκαν.

Από τις εναλλακτικές που διερευνήθηκαν για την περιοχή του Λουτρακίου προκύπτει:

- Η εναλλακτική της αύξησης του ύψους του τοιχίου προστασίας με ταυτόχρονη επέκταση της θωράκισης προσφέρει τη μεγαλύτερη προστασία έναντι κυματικής υπερπήδησης. Ωστόσο, είναι και η ακριβότερη λύση με σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον.
- Η εναλλακτική της αύξησης του ύψους του τοιχίου προστασίας είναι αποδοτική με το μικρότερο κόστος κατασκευής. Ωστόσο, εμποδίζει τη θέα των οδηγών και των πεζών που χρησιμοποιούν τον παραλιακό δρόμο.
- Οι εναλλακτικές κατασκευής ηπιότερης κλίσης πρανούς ή κατασκευής ύψαλου κυματοθραύστη εμπροσθεν της υφιστάμενης θωράκισης δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε πυθμένες με απότομη κλίση.
- Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προκύπτει ότι η αύξηση της Μέσης Στάθμης Θάλασσας είναι ο κρίσιμος παράγοντας που επηρεάζει την κυματική υπερπήδηση. Η αύξηση του κυματικού κλίματος δεν επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό, γιατί αφενός δεν αναμένεται μεγάλη αύξηση στα ύψη κύματος τα επόμενα χρόνια και αφετέρου για τα ελληνικά δεδομένα, οι κυματισμοί στον πόδα του έργου θωράκισης της ακτογραμμής είναι θραυόμενοι, που σημαίνει ότι δεν μπορούν να ξεπερνούν περίπου το 80% του βάθους εκεί. Συνεπώς, κυματισμοί με μεγάλο ύψος στα βαθιά προσπίπτουν στο έργο, με ύψος που έχει συγκεκριμένο άνω όριο.

6.3 Προτάσεις

Οι προτάσεις της παρούσας ΔΕ είναι οι εξής:

- Η ενσωμάτωση της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής στο σχεδιασμό ή αναβάθμιση νέων ή υφιστάμενων, αντίστοιχα, ακτομηχανικών έργων και έργων θωρακίσεων της ακτογραμμής. Είναι υψίστης σημασίας να λαμβάνονται υπόψη οι παράμετροι που αλλάζουν λόγω κλιματικής αλλαγής και επηρεάζουν το σχεδιασμό, δηλαδή η στάθμη θάλασσας, οι κυματισμοί και η μετεωρολογική παλίρροια.
- Σε κάθε έργο ενίσχυσης υφιστάμενων θωρακίσεων θα πρέπει να διερευνώνται κατ' ελάχιστον όλες οι εναλλακτικές που παρουσιάστηκαν στην παρούσα ΔΕ και ακολούθως με κοινωνικό-οικονομικά, τεχνικά και περιβαλλοντικά κριτήρια να επιλέγεται η βέλτιστη.

6.4 Περαιτέρω Έρευνα

Περαιτέρω έρευνα περιλαμβάνει:

- Για συγκεκριμένα σενάρια κλιματικής αλλαγής και γεωμετρικών παραμέτρων να διερευνηθεί η τιμή του λόγου Rc/h (υψόμετρο στέψης προς βάθος έδρασης κατασκευής), πέραν της οποίας η προκύπτουσα κυματική υπερπήδηση ξεπερνάει το αυστηρότερο όριο των $0,3 \text{ l/sm}$ που υιοθετήθηκε και στην παρούσα ΔΕ και αφορά την ύπαρξη πεζών και οχημάτων πίσω από τη θωράκιση.
- Να εφαρμοστούν οι εναλλακτικές σε περισσότερες περιοχές με διαφορετικές γεωμορφολογικές και θαλάσσιες συνθήκες και να ενσωματωθούν περισσότερα κριτήρια αξιολόγησης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

• Διεθνής βιβλιογραφία

Ablain, M., A.Cazenave, G.Valladeau, and S.Guinehut, 2009: *A new assessment of the error budget of global mean sea level rate estimated by satellite altimetry over 1993–2008*. *Ocean Sci.*, 5, 193–201.

Adams, P. N., D. L. Inman, and N. E. Graham, 2008: *Southern California deep-water wave climate: Characterization and application to coastal processes*. *J. Coast. Res.*, 24, 1022–1035.

Allan, J. C., and P. D. Komar, 2006: *Climate controls on US West Coast erosion processes*. *J. Coast. Res.*, 22, 511–529.

Allen, M. R., D. J. Frame, C. Huntingford, C. D. Jones, J. A. Lowe, M. Meinshausen, and N. Meinshausen, 2009: *Warming caused by cumulative carbon emissions towards the trillionth tonne*. *Nature*, 458, 1163–1166.

Alley, R. B., S. Anandkrishnan, T. K. Dupont, B. R. Parizek, and D. Pollard, 2007: *Effect of sedimentation on ice-sheet grounding-line stability*. *Science*, 315, 1838–1841.

Andrade, C., H. O. Pires, R. Taborda, and M. C. Freitas, 2007: *Projecting future changes in wave climate and coastal response in Portugal by the end of the 21st century*. *J. Coast. Res.*, SI50, 263–257.

Anschütz, H., et al., 2009: *Revisiting sites of the South Pole Queen Maud Land Traverses in East Antarctica: Accumulation data from shallow firn cores*. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 114, D012204.

Arendt, A., et al., 2012: *Randolph Glacier Inventory [v2.0]: A dataset of global glacier outlines*. Global Land Ice Measurements from Space, Boulder CO, USA. Digital Media.

Arthern, R., D. P. Winebrenner, and D. G. Vaughan, 2006: *Antarctic snow accumulation mapped using polarization of 4.3-cm wavelength microwave emission*. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 111, D06107.

Bahr, D. B., and V. Radić, 2012: *Significant contribution to total mass from very small glaciers*. *Cryosphere*, 6, 763–770.

Bahr, D. B., M. Dyurgerov, and M. F. Meier, 2009: *Sea-level rise from glaciers and ice caps: A lower bound*. *Geophys. Res. Lett.*, 36, L03501.

Bales, R. C., et al., 2009: *Annual accumulation for Greenland updated using ice core data developed during 2000–2006 and analysis of daily coastal meteorological data*. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 114, D06116.

Banks, H. T., and J. M. Gregory, 2006: Mechanisms of ocean heat uptake in a coupled climate model and the implications for tracer based predictions of ocean heat uptake. *Geophys. Res. Lett.*, 33, L07608.

Barrand, N. E., et al., 2013: Computing the volume response of the Antarctic Peninsula ice sheet to warming scenarios to 2200. *J. Glaciol.*, 55, 397–409.

Beckley, B. D., et al., 2010: Assessment of the Jason-2 Extension to the TOPEX/ Poseidon, Jason-1 sea-surface height time series for global mean sea level monitoring. *Mar. Geodesy*, 33, 447–471.

Bengtsson, L., S. Koumoutsaris, and K. Hodges, 2011: Large-scale surface mass balance of ice sheets from a comprehensive atmosphere model. *Surv. Geophys.*, 32, 459–474.

Biancamaria, S., A. Cazenave, N. M. Mognard, W. Llovel, and F. Frappart, 2011: Satellite-based high latitude snow volume trend, variability and contribution to sea level over 1989/2006. *Global Planet. Change*, 75, 99–107.

Bindoff, N. L., et al., 2007: Observations: Oceanic climate change and sea level. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds.)] Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 385–432.

Bindschadler, R. A., et al., 2013: Ice-sheet model sensitivities to environmental forcing and their use in projecting future sea level (The SeaRISE Project). *J. Glaciol.*, 59, 195–224.

Bintanja, R., G. J. van Oldenborgh, S. S. Drijfhout, B. Wouters, and C. A. Katsman, 2013: Important role for ocean warming and increased ice-shelf melt in Antarctic sea-ice expansion. *Nature Geosci.*, 6, 376–379.

Bittermann, K., S. Rahmstorf, M. Perrette, and M. Vermeer, 2013: Predictability of 20th century sea-level rise from past data. *Environ. Res. Lett.*, 8, 014013.

Bjork, A. A., et al., 2012: An aerial view of 80 years of climate-related glacier fluctuations in southeast Greenland. *Nature Geosci.*, 5, 427–432.

Blum, M. D., and H. H. Roberts, 2009: Drowning of the Mississippi Delta due to insufficient sediment supply and global sea-level rise. *Nature Geosci.*, 2, 488–491.

Boening, C., J. K. Willis, F. W. Landerer, R. S. Nerem, and J. Fasullo, 2012: The 2011 La Niña: So strong, the oceans fell. *Geophys. Res. Lett.*, 39, L19602.

Bouttes, N., J. M. Gregory, and J. A. Lowe, 2013: The reversibility of sea-level rise. *J. Clim.*, 26, 2502–2513.

Bracegirdle, T. J., W. M. Connolley, and J. Turner, 2008: Antarctic climate change over the twenty first century. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 113, D03103.

Braithwaite, R. J., and O. B. Olesen, 1989: Calculation of glacier ablation from air temperature, West Greenland. In: *Glacier Fluctuations and Climatic Change* [J. Oerlemans (ed.)]. Kluwer Academic, Dordrecht, Netherlands, pp. 219–233.

Brierley, C., M. Collins, and A. Thorpe, 2010: The impact of perturbations to ocean-model parameters on climate and climate change in a coupled model. *Clim. Dyn.*, 34, 325–343.

Broerse, D. B. T., L. L. A. Vermeersen, R. E. M. Riva, and W. van der Wal, 2011: Ocean contribution to co-seismic crustal deformation and geoid anomalies: Application to the 2004 December 26 Sumatra-Andaman earthquake. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 305, 341–349.

Boé, J. Terray, L. Habets, F. Martin, 2007: Statistical and dynamical downscaling of the Seine basin climate for hydrometeorological studies. *Int. J. Climatol.*, Vol. 27, pp. 1643-1655.

Booij, N., Ris, R. C., Holthuijsen, L.H., 1999: A Third-Generation Wave Model for Coastal Regions. 1. Model Description and Validation. *J. Geophys. Res.*, Vol. 104, pp. 7649-7666.

Brown, S.J., Caesar, J., Ferro, C.A., 2008: Global changes in extreme daily temperature since 1950. *J. Geophys. Res.*, Vol. 113, D05, p. 115.

Bruun, P. (1962). Sea-level-rise as a cause of shore erosion, *Journal of Waterways and Harbors Division (ASCE)* 88, pp117-130

Caires, S., Swail, V.R., Wang, X.L., 2006: Projection and analysis of extreme wave climate. *J. Climate*, Vol. 19, No. 21, pp.5581-5605.

Chen J.L., Wilson C.R & Tapley B.D: Contribution of ice sheet and mountain glacier melt to recent sea level rise, 2013

Chen J.L., Wilson C.R , Ries J. C & Tapley B. D., 2013: *Rapid ice melting drives Earth's pole to the east.*

Church, J. A., and N. J. White, 2006: *A 20th century acceleration in global sea-level rise.* *Geophys. Res. Lett.*, 33, L01602.

Church, J. A., and N. J. White, 2011: *Sea-level rise from the late 19th to the early 21st century.* *Surv. Geophys.*, 32, 585–602.

Church, J. A., N. J. White, and J. M. Arblaster, 2005: *Significant decadal-scale impact of volcanic eruptions on sea level and ocean heat content.* *Nature*, 438, 74–77.

Church, J. A., P. L. Woodworth, T. Aarup, and W. S. Wilson, (eds.) 2010: *Understanding Sea-Level Rise and Variability*. Wiley-Blackwell, Hoboken, NJ, USA, 428 pp.

Church, J. A., D. Monselesan, J. M. Gregory, and B. Marzeion, 2013: *Evaluating the ability of process based models to project sea-level change*. Environ. Res. Lett., 8, 015051.

Church, J. A., J. M. Gregory, N. J. White, S. M. Platten, and J. X. Mitrovica, 2011a: *Understanding and projecting sea level change*. Oceanography, 24, 130–143.

Church, J. A., et al., 2001: Changes in sea level. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noquer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C. A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 639–693.

Church, J. A., et al., 2011b: Revisiting the Earth’s sea-level and energy budgets from 1961 to 2008. Geophys. Res. Lett., 38, L18601.

Clark, J. A., and C. S. Lingle, 1977: Future sea-level changes due to West Antarctic ice sheet fluctuations. Nature, 269, 206–209.

Clarke, P. J., D. A. Lavallee, G. Blewitt, T. M. van Dam, and J. M. Wahr, 2005: Effect of gravitational consistency and mass conservation on seasonal surface mass loading models. Geophys. Res. Lett., 32, L08306.

Cogley, J. G., 2009b: A more complete version of the World Glacier Inventory. Ann. Glaciol., 50, 32–38.

Colberg, F., and K. L. McInnes, 2012: The impact of future changes in weather patterns on extreme sea levels over southern Australia. J. Geophys. Res. Oceans, 117, C08001.

Coles, S. G., and J. A. Tawn, 1990: Statistics of coastal flood prevention. Philos. Trans. R. Soc. London A, 332, 457–476.

Connolley, W. M., and T. J. Bracegirdle, 2007: An Antarctic assessment of IPCC AR4 coupled models. Geophys. Res. Lett., 34, L22505.

Conrad, C. P., and B. H. Hager, 1997: Spatial variations in the rate of sea level rise caused by the present-day melting of glaciers and ice sheets. Geophys. Res. Lett., 24, 1503–1506.

Cook, A. J., and D. G. Vaughan, 2010: Overview of areal changes of the ice shelves on the Antarctic Peninsula over the past 50 years. Cryosphere, 4, 77–98.

De Rouck J., Geeraerts J., Troch P., Kortenhuis A., Pullen T., Franco L.: *New Results on Scale Effects for Wave Overtopping at Coastal Structures*

Dickinson, R., Errico, R., Giorgi, F., Bates, G., 1989: A regional climate model for the western United States. *Clim. Chang.*, Vol. 15, No. 3, pp. 383-422.

Durman, C., Gregory, J., Kassel, D., Jones, R., Murphy, J., 2001: A comparison of extreme European daily precipitation simulated by a global and a regional climate model for present and future climates. *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, Vol. 127, pp.1005-1015.

Easterling David R., et al., 2000: *Climate Extremes: Observations, Modeling and Impacts*

Frías, M.D, Mínguez, R., Gutiérrez, J.M., Méndez, F.J. (2012): Future regional projections of extreme temperature in Europe: A nonstationary seasonal approach. *Clim. Chang.*, Vol. 113, pp. 371-392.

Galiatsatou P. & Prinos P.: *Analysing the Effects of Climate Change on Wave Height Extremes in the Greek Seas.*

Gerald A. Meehl, Francis Zwiers, Jenni Evans, Thomas Knutson, Linda Mearns & Peter Whetton: *Trends in Extreme Weather and Climate Events: Issues Related to Modeling Extremes in Projections of Future Climate Change.*

Gudmundsson, L., Bremnes, J.B., Haugen, J.E., Engen Skaugen, T. (2012). Technical Note: Downscaling RCM precipitation

IPCC 2013: *Climatic change 2013, The Physical Science Basis*

IPCC 2013: *Sea Level Change*

IPCC scenarios

IPCC special report: emissions scenarios

IPCC special report: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*

Kokkinos D., Prinos P. & Galiatsatou P., 2014: *Assessment of Coastal Vulnerability for Present and Future Climate Conditions in Coastal Areas of the Aegean Sea.*

Marcos, M. and Tsimplis, M.N., 2008: *Coastal sea level trends in Southern Europe*, *Geophysical Journal International*, 175(1), 70-82

Martinez-Asensio, A., M. Marcos, M.N. Tsimplis, D. Gomis, S. Josey, G. Jorda, 2014: Impact of the atmospheric climate modes on Mediterranean Sea level variability, *Global Planet*, 118, 1-15

Meehl, G. A., et al., 2005: How much more global warming and sea level rise? *Science*, 307, 1769–1772.

Meehl, G. A., et al., 2007: Global climate projections. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 755–828.

Meehl, G. A., et al., 2012: Relative outcomes of climate change mitigation related to global temperature versus sea-level rise. *Nature Clim. Change*, 2, 576–580.

Merrifield, M. A., and M. E. Maltrud, 2011: Regional sea level trends due to a Pacific trade wind intensification. *Geophys. Res. Lett.*, 38, L21605.

Miller, L., and B. C. Douglas, 2007: Gyre-scale atmospheric pressure variations and their relation to 19th and 20th century sea level rise. *Geophys. Res. Lett.*, 34, L16602.

Milly, P. C. D., A. Cazenave, and M. C. Gennero, 2003: Contribution of climate-driven change in continental water storage to recent sea-level rise. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 100, 13158–13161.

Milly, P. C. D., et al., 2010: Terrestrial water-storage contributions to sea-level rise and variability. In: *Understanding Sea-Level Rise and Variability* [J. A. Church, P. L. Woodworth, T. Aarup and W. S. Wilson (eds.)]. Wiley-Blackwell, Hoboken, NJ, USA, pp. 226–255.

Milne, G. A., and J. X. Mitrovica, 1998: Postglacial sea-level change on a rotating Earth. *Geophys. J. Int.*, 133, 1–19.

Morton, I.D., Bowers, J., Mould, 1997: *Estimating return period wave heights and wind speeds using a seasonal point process model*. *Coast. Eng.*, Vol 31, No 1-4, pp. 211-219.

M. Monirul Qader Mirza, 2003: *Climate change and extreme weather events: can developing countries adapt?*

Paul A. Hwang, William J. Teague & Gregg A. Jacobs, David W. Wang, 2015: *A statistical comparison of wind speed, wave height, and wave period derived from satellite altimeters and ocean buoys in the Gulf of Mexico region*

Pfeffer, W. T., J. T. Harper, and S. O’Neel, 2008: Kinematic constraints on glacier contributions to 21st-century sea-level rise. *Science*, 321, 1340–1343.

Phillips, T., H. Rajaram, and K. Steffen, 2010: Cryo-hydrologic warming: A potential mechanism for rapid thermal response of ice sheets. *Geophys. Res. Lett.*, 37, L20503.

Polvani, L. M., M. Previdi, and C. Deser, 2011: Large cancellation, due to ozone recovery, of future Southern Hemisphere atmospheric circulation trends. *Geophys. Res. Lett.*, 38, L04707.

Price, S. F., A. J. Payne, I. M. Howat, and B. E. Smith, 2011: Committed sea-level rise for the next century from Greenland ice sheet dynamics during the past decade.

Varavut Limpasuvan & Dennis L. Hartmann, 1999: *Wave maintained Annular Modes of Climate Variability*

Warrick R., Oerlemans J.: *Sea Level Rise, IPCC 2009*

White, N. J., J. A. Church, and J. M. Gregory, 2005: Coastal and global averaged sea level rise for 1950 to 2000. *Geophys. Res. Lett.*, 32, L01601.

Global Conference on Global Warming, 2015

• Ελληνική βιβλιογραφία

Διαμάντη Π., 2014: *Παράκτιες πλημμύρες στις ελληνικές ακτές και κλιματική αλλαγή.*

Εθνικό Πρόγραμμα Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων: *Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα επιφανειακά και υπόγεια υδατικά σώματα του ελλαδικού χώρου.*

Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών

Κοσμά Δ. & Πολυζώη Γ.: *Περιβαλλοντικά συστήματα με εφαρμογές στη στατιστική: Κλιματική Αλλαγή: Δείκτες και Γεγονότα*

Λυκουργιώτης Σ. & Στείρος Ε.: *Μετεωρολογική παλίρροια και κίνδυνος πλημμυρών παράκτιων περιοχών στο Αιγαίο.*

Μπατέλης Σ. & Μόσχου Ε.: *Κλιματική αλλαγή, Δυναμική Hurst – Kolmogorov και Αβεβαιότητα*

Ορφανού Λ., 2012: *Αλλαγές στις ακραίες κλιματικές καταστάσεις και οι επιπτώσεις τους στο περιβάλλον*

Παπαδοπούλου Μ., 2012: *Επικινδυνότητα παράκτιων περιοχών λόγω ανύψωσης της στάθμης της θάλασσας*

Παράσχος Α., 2012: *Κλιματική αλλαγή και στάθμη της θάλασσας*

Πρίνος Π.: *Η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στις ελληνικές θάλασσες και παράκτιες περιοχές – το πρόγραμμα Θαλής - CCSEAWAVS, Έκτο Πανελλήνιο Συνέδριο: Διαχείριση και Βελτίωση Παράκτιων Ζωνών, Αθήνα 2014.*

Τολικά Κ., Αναγνωστοπούλου Χ., Τεγούλιας Ι., Βελίκου Κ., Βαγενάς Χ., *Κλιματικές Μεταβολές και Μετεωρολογική Παλίρροια στο Αιγαίο, Δυναμικός υποβιβασμός κλίμακας πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης (10x10km) του μοντέλου RegCM3: Συγκρίσεις και μελλοντικές προβολές στην Ελληνική Περιοχή*, Thalys Annual Meeting _2015, Thessaloniki 2-3 February 2015.

- **Πηγές Διαδικτύου**

<http://www.Rethemnosnews.gr>

<http://www.messinialive.gr>

<http://www.nytimes.com>

<http://www.bbc.com>

<https://el.wikipedia.org>

<https://www.nrso.ntua.gr/data>

<https://www.overtopping.ing.unibo.it/overtopping/>