

Διπλωματική Εργασία

Κλιματική Αλλαγή και Διαχείριση Παράκτιων Τεχνικών Έργων



Συντονιστής καθηγητής:

Θεοφάνης Καραμπάς

Ονοματεπώνυμο φοιτητή:
Ζαχαριάδου Ζουμπουλιάνα

Θεσσαλονίκη 2013

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη	6
ABSTRACT	7
<u>ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</u>	
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
1. ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΚΛΙΜΑ	8
1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	9
1.2.1 Εισαγωγή	9
1.2.2 Η ιστορία του παγκόσμιου κλίματος	11
2. ΤΑ ΑΙΤΙΑ ΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ	16
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	16
2.2 ΑΙΤΙΑ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ	17
2.2.1 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου	17
2.2.2 Η τρύπα του όζοντος	17
2.2.3 Η ρύπανση της ατμόσφαιρας	18
2.2.4 Η ρύπανση-μόλυνση του νερού	19
2.2.5 Η μόλυνση του εδάφους	19
2.2.6 Η όξινη βροχή	20
2.2.7 Η ρύπανση του περιβάλλοντος	21
2.2.8 Η ραδιενεργός ρύπανση	21
2.3 ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ	22
2.3.1 Η άνοδος της θερμοκρασίας	22
2.3.2 Το λιώσιμο των πάγων	23
2.3.3 Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας	23
2.3.4 Τα ακραία καιρικά φαινόμενα	24
2.3.5 Η απώλεια της βιοποικιλότητας	24
3. ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΙ ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ	25
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	25
3.2 ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΤΟΥ ΜΟΝΤΡΕΑΛ (1987)	25
3.3 Η IPCC (1988)	26
3.4 Η ΣΥΜΒΑΣΗ –ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΩΝ Η.Ε. ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ	28
3.5 ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΤΟΥ ΚΙΟΤΟ (1997)	28
3.6 Η ΣΥΝΟΔΟΣ ΤΗΣ ΚΟΠΕΓΧΑΓΗΣ (2009)	29
3.7 Η ΣΥΝΟΔΟΣ ΤΟΥ ΜΕΞΙΚΟΥ (2010)	29
4. ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ	30
4.1 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΙΣ ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΖΩΝΕΣ	30
4.1.1 Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας	30
4.1.2 Η αύξηση συχνότητας ακραίων καιρικών φαινομένων	32

4.1.3 Η αύξηση ρυθμού διάβρωσης παραλιών	36
4.1.4 Δευτερεύουσες επιπτώσεις	37
4.2 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΛΙΜΕΝΩΝ	37
4.3 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΤΩΝ ΛΙΜΕΝΩΝ	38
4.4 ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΤΩΝ ΛΙΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΣΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΔΙΑΤΗΡΩΝΤΑΣ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	38
4.4.1 Εισαγωγή	38
4.4.2 Τεχνητή αναπλήρωση ακτής	39
4.4.3 Βυθισμένοι κυματοθραύστες	40
4.4.4 Πλωτοί κυματοθραύστες	40
4.4.5 Καινοτόμες ύφαλες κατασκευές	40
4.4.6 Τεχνητή φυτοκάλυψη	40
4.4.7 Μηχανολογικός εξοπλισμός	41
4.4.8 Τήρηση νομοθεσίας	41
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	42
<u>ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</u>	
1. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΡΕΥΝΑΣ	43
2. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	45
2.1 ΧΑΡΤΕΣ - ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ	45
2.2 ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΙ	46
3. ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΚΑΙ ΚΥΜΑΤΟΓΕΝΟΥΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ	50
3.1 ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ WAVE-L	50
3.2 ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΥΜΑΤΟΓΕΝΟΥΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΥΨΩΣΗΣ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ WICIR	54
4. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ	59
4.1 ΚΥΜΑΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	59
4.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ - ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ	59
5. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ- ΠΡΟΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ	66
5.1 ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΗ ΠΡΑΝΩΝ	66
5.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΟΓΚΟΛΙΘΟΥ ΘΩΡΑΚΙΣΗΣ	66
5.3 ΑΝΑΡΡΙΧΗΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ	68
5.4 ΠΡΟΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΗΣ ΠΡΑΝΩΝ	70
6. ΑΚΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ	76
6.1 ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΑΜΜΟΥ-ΙΣΟΔΥΝΑΜΟΙ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΙ	76
6.2 ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΑΚΟΓΡΑΜΜΗΣ	79
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	88
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι	91

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ (ΣΧΗΜΑΤΩΝ)

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Σχήμα 1.1 Μέση ετήσια επιφανειακή θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου, από υπολογιστικό μοντέλο στο NCAR, κατά την Πέρμια περίοδο	11
Σχήμα 1.2 Επιφανειακή θερμοκρασία κατά το Παλαιόκαινο -Ηώκαινο θερμοκρασιακό μέγιστο	12
Σχήμα 1.3 Μεταβολή της θερμοκρασίας στον πλανήτη, τα τελευταία 150,000 χρόνια.....	13
Σχήμα 1.4 Επιφανειακές θερμοκρασίες, κατά το μέγιστο της τελευταίας παγετώδους περιόδου ..	14
Σχήμα 1.5 Μεταβολή της θερμοκρασίας στον πλανήτη, τα τελευταία 18,000 χρόνια.....	15
Σχήμα 1.6 Επιφανειακές θερμοκρασίες, κατά την μικρή εποχή των παγετώνων	15
Σχήμα 1.7 Θερμοκρασιακές μεταβολές του περασμένου αιώνα	16
Σχήμα 4.1 Μελλοντικές μεταβολές της παγκόσμιας στάθμης της θάλασσας σύμφωνα με την IPCC	32
Σχήμα 4.2 Μετεωρολογική παλίρροια	33
Σχήμα 4.3 Στοιχεία μετεωρολογικής παλίρροιας.....	34
Σχήμα 4.4 Ο εποχιακός κύκλος μιας παραλίας, σχηματικά και σε φωτογραφία.....	35

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Σχήμα 1.1 Περιοχή εργασίας.....	44
Σχήμα 2.1 Έργα αντιστήριξης παραλιακού δρόμου	45
Σχήμα 2.2. Προστασία παραλιακής οδού με πρανές από φυσικούς ογκόλιθους)	46
Σχήμα 3.1 Διακριτοποίηση των μεταβλητών	52
Σχήμα 4.1 Ισοϋψείς σημαντικού ύψους κύματος. Β κυματισμοί	62
Σχήμα 4.2 Ανύψωση της μέσης στάθμης θάλασσας. Β κυματισμοί	62
Σχήμα 4.3 Ισοϋψείς σημαντικού ύψους κύματος. ΒΑ κυματισμοί	63
Σχήμα 4.4 Ανύψωση της μέσης στάθμης θάλασσας. ΒΑ κυματισμοί	63
Σχήμα 4.5 Ισοϋψείς σημαντικού ύψους κύματος. Α κυματισμοί	64
Σχήμα 4.6 Ανύψωση της μέσης στάθμης θάλασσας. Α κυματισμοί	64
Σχήμα 4.7 Ισοϋψείς σημαντικού ύψους κύματος. ΝΑ κυματισμοί	65
Σχήμα 4.8 Ανύψωση της μέσης στάθμης θάλασσας. ΝΑ κυματισμοί	65
Σχήμα 6.1 Ρυθμός στερεοπαροχής παράλληλα στην ακτή και εξέλιξη ακτογραμμής	81
Σχήμα 6.2 Ισοϋψείς ισοδύναμου ύψους κύματος. Β κυματισμοί.....	85
Σχήμα 6.3 Ισοϋψείς ισοδύναμου ύψους κύματος. ΒΑ κυματισμοί	85
Σχήμα 6.4 Ισοϋψείς ισοδύναμου ύψους κύματος. Α κυματισμοί	86
Σχήμα 6.5 Ισοϋψείς ισοδύναμου ύψους κύματος. ΝΑ κυματισμοί	86
Σχήμα 6.6 Πρόβλεψη εξέλιξης ακτογραμμής.....	87

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Σχήμα Π.1 Το φαινόμενο της μετεωρολογικής παλίρροιας.....	91
Σχήμα Π.2 Διακριτοποίηση των μεταβλητών	95
Σχήμα Π.3 Ανύψωση της στάθμης της θάλασσας λόγω Ν ανέμων	98
Σχήμα Π.4 Ανύψωση της στάθμης της θάλασσας λόγω ΝΔ ανέμων	99
Σχήμα Π.4 Ανύψωση της στάθμης της θάλασσας λόγω Δ ανέμων	100

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Πίνακας 2.1 Κυματικές παράμετροι για Β άνεμο	48
Πίνακας 2.2 Κυματικές παράμετροι για ΒΑ άνεμο	48
Πίνακας 2.3 Κυματικές παράμετροι για Α άνεμο	48
Πίνακας 2.4 Κυματικές παράμετροι για ΝΑ άνεμο	48
Πίνακας 4.1 Χαρακτηριστικά κυματισμών σχεδιασμού διατομής	59
Πίνακας 6.1 Χαρακτηριστικά ισοδύναμων κυματισμών	77

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η κλιματική αλλαγή, είτε εξαιτίας των διαταραχών που προκαλούνται από τον άνθρωπο, είτε εξαιτίας των γεωλογικών κύκλων, έχει γίνει ολοκάθαρα αντιληπτή και έχει δώσει σοβαρά σημάδια τα οποία δείχνουν την δριμύτητα του φαινομένου.

Η κλιματική αλλαγή εκφράζεται στην ανοιχτή θάλασσα και την παράκτια ζώνη μέσα από μια σειρά επιπτώσεων, οι σημαντικότερες από τις οποίες είναι:

- η άνοδος της στάθμης της θάλασσας
- η αύξηση συχνότητας ακραίων καιρικών φαινομένων
- η αύξηση ρυθμού διάβρωσης στις παραλίες
- σημαντικές δευτερεύουσες επιπτώσεις στο παράκτιο περιβάλλον

Αυτοί οι παράγοντες αναμένεται να επηρεάσουν μεγάλα τμήματα της παράκτιας ζώνης καθώς και σημαντικό μέρος της Ολοκληρωμένης Διαχείρισης των Παράκτιων Ζωνών.

Το πρώτο μέρος της διπλωματικής εργασίας επικεντρώνεται στις περιβαλλοντικές συνέπειες της κλιματικής αλλαγής σε λιμάνια, ενώ στο δεύτερο μέρος διερευνήθηκε η αύξηση του επιπέδου της θάλασσας που παρατηρήθηκε στο Β και ΒΑ Αιγαίο, τους χειμώνας των ετών 2009–2010 και 2010–2011, η οποία οφείλεται στο φαινόμενο της μετεωρολογικής παλίρροιας.

Η μετεωρολογική παλίρροια προκαλείται από τη δράση του ανέμου στην επιφάνεια της θάλασσας, καθώς ο άνεμος ωθεί το επιφανειακό νερό προς την ξηρά με αποτέλεσμα, τη συσσώρευση νερού κοντά στην ακτή. Στη συγκεκριμένη εργασία, έντονα καιρικά φαινόμενα, μεγάλης διάρκειας Νότιων και Νοτιοδυτικών ανέμων της τάξης των (7 – 8 Bf) οδήγησαν σε αύξηση της στάθμης της θάλασσας. Η αύξηση της στάθμης της θάλασσας σε συνδυασμό με τη δράση κυματισμών προκάλεσε καταστροφές υποδομών (οδοστρώματα, θαλάσσιοι τοίχοι).

Το αντικείμενο της παρούσας ερευνητικής εργασίας είναι η συμβολή στην προστασία τριών ακτών της Λέσβου από της δράση των κυματισμών σε συνδυασμό με την ανύψωση της στάθμης της θάλασσας, καθώς και η Ακτομηχανική διερεύνηση για την εκτίμηση των επιπτώσεων στην ακτογραμμή μετά την υλοποίηση των προτεινόμενων έργων προστασίας. Οι τρεις ακτές που πραγματοποιήθηκε η διερεύνηση είναι: Ακτή Εφταλούς, Πέτρας και Θερμής. Η παρούσα εργασία αφορά την ακτή Θερμής.

Λέξεις κλειδιά: : κλιματική αλλαγή, παράκτιες κατασκευές, άνοδος στάθμης θάλασσας, διάβρωση των ακτών, μοντελοποίηση κύματος,

ABSTRACT

Climate change, either because of disturbances caused by humans , either because of geological cycles , has been quite clearly understood and has given serious signs which indicate a severity of the phenomenon.

Climate change is expressed in the open sea and coastal zone through a series of impacts, the most important of which are:

- The sea level rise
- The increase frequency of extreme weather events
- The increase of the consequent erosion rates on soft sandy beaches
- important secondary effects on the coastal environment

These factors are expected to affect large parts of the coastal zone and an important part of the Integrated Coastal Zone Management .

The first part of the thesis focuses on the environmental effects of climate change on ports, while the second part investigated the increase in sea level observed in the S and SE Aegean, in the winters of the years 2009 -2010 and 2010-2011 , which is due the phenomenon of meteorological tides.

The meteorological tides caused by the action of the wind on the surface of the sea, as the wind pushes the water surface to dry resulting in the accumulation of water near the shore . In this work, severe weather , long south and southwest of the winds of the order of (7 - 8 Bf) led to an increase in sea levels. The rise in sea level combined with wave action devastated infrastructure (roadways , sea walls) .

The object of this research work is to help protect three coasts of the island by the action of waves coupled with rising sea levels, and the Coastal investigation to assess the impact on the shoreline after the implementation of the proposed protection works . The three coasts held to investigate are: Coast Eftalou , Petra and Thermis. This work involves the shore Thermis .

Keywords :climate change, coastal structures, sea level rise, coastal erosion, wave modeling

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αρχαίες καταγραφές και σύγχρονες παρατηρήσεις και μελέτες βεβαιώνουν ότι η θέση, το σχήμα και η σύσταση των ακτογραμμών και της παράκτιας ζώνης μεταβάλλονται διαρκώς σαν αποτέλεσμα μιας αέναης διεργασίας και αλληλεπίδρασης της υδρόσφαιρας, ατμόσφαιρας και λιθόσφαιρας. Μαρτυρίες κοσμογονικών αλλαγών αναφέρονται στις μυθολογίες πολλών λαών και ευρήματα θαλάσσιων οργανισμών σε περιοχές μεγάλου υψομέτρου μαρτυρούν την ύπαρξη θάλασσας σε παλαιότερες γεωλογικές εποχές. Τις τελευταίες όμως δεκαετίες, η ανθρωπότητα αντιμετωπίζει έναν κίνδυνο πρωτόγνωρο. Οι αυξημένες και αλόγιστες εκπομπές αερίων ρύπων έχουν απορρυθμίσει το θερμοστάτη του πλανήτη μας, με αποτέλεσμα να επηρεαστεί η ενεργειακή ισορροπία του και το φαινόμενο του θερμοκηπίου από “προϋπόθεση ύπαρξης ζωής” να μετατρέπεται σε ένα σύγχρονο εφιάλτη. Οι κλιματικές αλλαγές που παρατηρούνται αναγνωρίζονται σαν την πιο σοβαρή απειλή για το παγκόσμιο περιβάλλον. Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, η επιταχυνόμενη διάβρωση των παράκτιων περιοχών, οι έντονες κυματικές καταιγίδες, η εξαφάνιση των παράκτιων οικοσυστημάτων και η έντονη αστικοποίηση συνθέτουν ένα εκρηκτικό μίγμα που απαιτεί μελέτη, μέτρα και συνείδηση πριν η κατάσταση του περιβάλλοντος γίνει μη αναστρέψιμη [1].

Η διεθνής κοινότητα, στην προσπάθειά της να καταπολεμήσει την υπερθέρμανση του πλανήτη, πραγματοποιεί ανά τακτά χρονικά διαστήματα διασκέψεις και συμβούλια με απώτερο σκοπό τη δέσμευση των κρατών για μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου.

1. ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΚΛΙΜΑ

1.1 ΚΛΙΜΑ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

Κλίμα είναι το σύνολο των μέσων τιμών των διαφόρων στοιχείων που ορίζουν τον καιρό, όπως είναι η θερμοκρασία, η υγρασία, οι βροχές, οι άνεμοι, το χιόνι καθώς και βίαια φαινόμενα όπως οι καταιγίδες, οι τυφώνες κ.λπ. Όλα αυτά είναι εκδηλώσεις των κινήσεων και μεταβολών της κατώτερης ατμόσφαιρας (τροπόσφαιρα) που αλληλεπιδρούν με τις διάφορες φυσικοχημικές διεργασίες, τη δράση των ζωντανών οργανισμών και έκτακτα περιστατικά όπως οι εκρήξεις των ηφαιστείων. Κινητήρια δύναμη όλου αυτού του συστήματος είναι η ηλιακή ενέργεια που παγιδεύεται στην ατμόσφαιρα. Επομένως, η ισχυροποίηση του φαινομένου του θερμοκηπίου, που σημαίνει περισσότερη ενέργεια στην ατμόσφαιρα, δεν συνεπάγεται μόνο άνοδο της θερμοκρασίας αλλά και ευρύτερη διατάραξη του κλίματος του πλανήτη [2].

Βασικός λόγος που το κλίμα της Γης δεν παρουσιάζει μεγάλες μεταβολές είναι η μακρόχρονη σταθερότητα της ατμόσφαιρας. Διαφορετική σύνθεσή της σημαίνει πιθανώς πολύ διαφορετικό μέσο κλίμα. Βεβαίως το κλίμα παρουσιάζει μεγάλες διαφορές, ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και τις τοπικές συνθήκες, αλλά υφίσταται και μικρές αλλαγές σε σχέση με το χρόνο. Έτσι το κλίμα διαφόρων περιοχών έχει υποστεί αρκετές αλλαγές στη διάρκεια της ιστορικής περιόδου [2].

Οι παράγοντες που επιδρούν στη διαμόρφωση και την εξέλιξη του κλίματος είναι πολλοί :

Εξωτερικά αίτια:

1. Ηλιακή δραστηριότητα (η ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας).
2. Τροχιά της γης
3. Μετεωρίτες (καταστροφικά γεγονότα, όπως πρόσκρουση μεγάλων μετεωριτών στη

Γη, ή ακόμα και προσέγγιση μεγάλων ουρανίων σωμάτων, όπως της Αφροδίτης, στη Γη).

Εσωτερικά αίτια (Φυσικά)

1. Εκρήξεις ηφαιστειών (η ηφαιστειακή δράση, μπορεί να παίζει κάποιο ρόλο στη δημιουργία παγετώνων. Η εμφάνιση παγετώνων συμβαίνει σε περιόδους με αυξημένη ηφαιστειακή δραστηριότητα. Τα ηφαίστεια έχουν παίξει μακροχρόνιο και δημιουργικό ρόλο στην ιστορία της γης).
2. Απρόβλεπτα φυσικά φαινόμενα (Φαινόμενα όπως το Ελ Νίνιο , που προκύπτουν από την αύξηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια των ωκεανών, μπορεί να επηρεάσουν το κλίμα όλου του πλανήτη).

Εσωτερικά αίτια (Ανθρωπογενή)

1. Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (η ανθρώπινη δραστηριότητα σε σχέση με την καύση υδρογονανθράκων και την έκλυση διοξειδίου του άνθρακα (CO2) στην ατμόσφαιρα).
2. Σωματίδια / σύννεφα
3. Εξαφάνιση των δασών, διάβρωση...(η ανθρώπινη δραστηριότητα σε σχέση με τη χρήση της γης και συγκεκριμένα την μετατροπή των δασών σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις (αλλαγή της λευκαύγειας), ή ακόμα και σε ημι-έρημες εκτάσεις)[3].

1 .2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

1.2.1 Εισαγωγή

Παλαιοκλιματολογία είναι η επιστήμη που μελετά τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούσαν στη Γη τις παλαιότερες γεωλογικές περιόδους.

Τα συμπεράσματά της βασίζονται στη γεωλογία, δηλ. στη μελέτη των παλαιότερων στρωμάτων του εδάφους και στην παλαιοντολογία, δηλ. στη μελέτη των υπολειμμάτων των οργανισμών που με το θάνατό τους έπαθαν μεταβολές χημικής υφής και απολιθώθηκαν τα σκληρά τους μέρη (οστά, κελύφη κ.λπ.)[4].

Ανάλογα με τα πετρώματα της γης χωρίζουμε την ιστορία της γης στις εξής περιόδους [5]:

ΑΙΩΝΑΣ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΕΠΟΧΗ	ΕΚ. ΈΤΗ ΠΡΙΝ	
Καινοζωικός	Τεταρτογενής	Ολόκαινος	0,01	Πολλά θηλαστικά πεθαίνουν από τις εναλλασσόμενες παγετώδεις περιόδους. Ενώνεται η Βόρεια με τη Νότια Αμερική. Τα σπονδυλωτά εξελίσσονται ταχύτατα καθώς το περιβάλλον αλλάζει περιοδικά. Εμφανίζεται ο σύγχρονος άνθρωπος (Homo sapiens).
		Πλειστόκαινος	1,6	
	Τριτογενής	Πλειόκαινος	6,3	Εμφανίζονται τα μεγάλα θηλαστικά. Αναπτύσσονται τα πουλιά και τα θηλαστικά. Τα πρωτεύοντα θηλαστικά εξελίσσονται ενώ εξαπλώνονται και τα λιβάδια. Σχηματίζονται τα Ιμαλάια και το Γκραν Κάνιον. Οι ήπειροι αρχίζουν να παίρνουν το σημερινό τους σχήμα.
		Μειόκαινος	23	
	Παλαιογενής	Ολιγόκαιμος	36,6	
Ηώκαιμος		53		
Παλαιόκαιμος	66			
Μεσοζωικός	Κρητιδική		135	Εμφανίζονται τα ανθόφυτα και τα πρώτα μικρά χερσαία θηλαστικά. Οι δεινόσαυροι εξαφανίζονται.

Κλιματική Αλλαγή και Διαχείριση Παράκτιων Τεχνικών Έργων

			Σχηματίζονται οι αποθέσεις πετρελαίου και φυσικού αερίου.
	Ιουρασική	205	Αφθονούν οι δεινόσαυροι. Η Αρχαιοπτέρυγα, το αρχαιότερο γνωστό πτηνό, εξελίσσεται από τα ερπετά. Η Παγγαία διαμελίζεται.
	Τριαδική	250	Εμφανίζονται τα θηλαστικά. Τα σποριόφυτα επικρατούν. Η Βόρεια Αμερική και η Ευρώπη είναι τροπικές χώρες.
Παλαιοζωικός	Πέρμια	290	Τα κωνοφόρα αντικαθιστούν τις φτέρες. Πολλαπλασιάζονται τα ερπετά. Επεκτείνονται οι έρημοι.
	Λιθανθρακοφόρος	355	Απέραντα ελώδη δάση αναπτύσσονται στις εκβολές των ποταμών. Από τα δάση αυτά σχηματίζονται τα αποθέματα λιθάνθρακα. Τα αμφίβια αφθονούν. Τα πρώτα ερπετά εξελίσσονται από τα αμφίβια. Παγετώδης περίοδος στην Γκοντβάνα.
	Δεβόνιος	410	Οι καρχαρίες και πολλά άλλα είδη αφθονούν στις θάλασσες. Τα πρώτα έντομα και αμφίβια, όπως ο Ιχθυόστεγος, κάνουν την εμφάνισή τους. Σχηματίζονται τα πρώτα δάση από σποριόφυτα, όπως οι γιγαντιαίες φτέρες και τα βρύα. Σχηματίζονται οι πρώτοι ψαμμίτες στις έρημους.
	Σιλούριος	438	Ανάπτυξη των πρώτων απλών φυτών, όπως η Κουκσόνια, κατά μήκος των ακτών ή σε εκβολές ποταμών. Εμφανίζονται τα πρώτα οδοιποφάρα ψάρια. Ψάρια εμφανίζονται επίσης σε λίμνες και ποτάμια. Οι ήπειροι αρχίζουν να μετακινούνται και να πλησιάζουν μεταξύ τους.
	Ορδοβίσια	510	Εμφανίζονται τα καρκινοειδή μαζί με τα πρώτα ιχθυόμορφα σπονδυλωτά. Κοραλλιογενείς ύφαλοι αρχίζουν να σχηματίζονται στους ωκεανούς, ενώ οι νότιες ήπειροι μετατοπίζονται προς τους Πόλους. Παγετώδης περίοδος στη Σαχάρα.
	Κάμβριος	570	Δεν υπάρχει χερσαία ζωή. Μια ποικιλία φυκών και ασπόνδυλων ευημερεί στους ωκεανούς. Εμφανίζονται τα μαλάκια και αρθρωτά οστρακοφόρα ασπόνδυλα, όπως οι τριλοβίτες.
Προκάμβριο	4.600-570	Έχουμε τον σχηματισμό της Γης, τα πρώτα ιζηματογενή πετρώματα, αναερόβια βακτήρια και μικροσκοπικά φύκη. Ελάχιστες όμως καταγραφές απολιθωμάτων υπάρχουν από την περίοδο αυτή, αλλά ξέρουμε ότι εμφανίστηκαν τότε οι πρώτοι μονοκύτταροι οργανισμοί, όπως τα κυανοφύκη. Αργότερα εμφανίστηκαν και πολυκύτταρο, οργανισμοί με μαλακά μέρη, όπως οι μέδουσες	

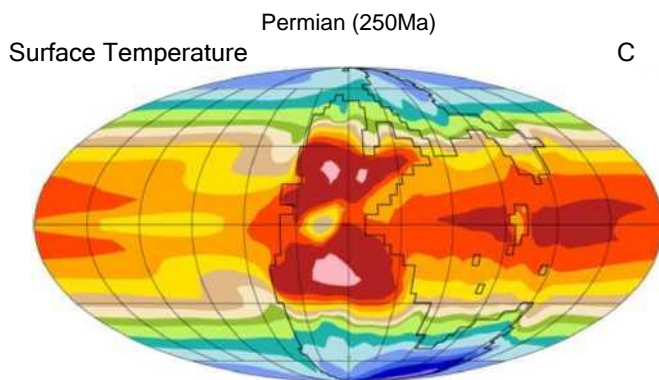
1.2.2 Η Ιστορία του παγκόσμιου κλίματος

Αρχικά, η Γη δεν είχε τη σημερινή της όψη: υπήρχε μία μόνο ήπειρος, η Πανγαία, και μία μόνο θάλασσα, η Πανθάλασσα. Η Γη απέκτησε την εικόνα που έχει σήμερα πριν 65 εκατομμύρια χρόνια περίπου, στις αρχές του Καινοζωικού αιώνα. Από γεωλογική άποψη, οι ωκεανοί δημιουργήθηκαν με την εξής χρονολογική σειρά: Ειρηνικός, Αρκτικός, Ινδικός και τέλος, ο Ατλαντικός. Η Μεσόγειος θάλασσα άρχισε να σχηματίζεται πριν 200 εκατομμύρια χρόνια και η δημιουργία του πυθμένα της ολοκληρώθηκε 20 με 30 εκατομμύρια έτη πριν.[6]

Με αφετηρία την Πέρμια περίοδο, που χαρακτηρίστηκε από δραματικά για τον πλανήτη γεγονότα, αποδεικνύονται οι εναλλαγές ψυχρών και θερμών περιόδων που υπέστη το παγκόσμιο κλίμα διαμέσου εκατομμυρίων χρόνων.

Πριν την έναρξη της Πέρμιας περιόδου, περίπου πριν από 600-800 εκατομμύρια χρόνια, ο πλανήτης γη ήταν καλυμμένος με πάγο, εξαιτίας κυρίως της διάταξης των ηπείρων και της κλίσης του άξονα της γης, σύμφωνα με στοιχεία του προγράμματος COMET και του National Environmental Education Foundation (2009).

Πέρμια Περίοδος (250-300 εκ. χρόνια πριν)



Σχήμα 1.1: Μέση ετήσια επιφανειακή θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου, από υπολογιστικό μοντέλο στο NCAR, κατά την Πέρμια περίοδο.

Σύμφωνα με στοιχεία του UCAR (2005), που σχεδόν ταυτίζονται με στοιχεία του προγράμματος COMET σε συνεργασία με το National Environmental Education Foundation (2009), πριν από 250 εκατομμύρια χρόνια, η θερμοκρασία των ωκεανών, σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη παρουσίαζε αύξηση κατά 8°C, συγκριτικά με την αντίστοιχη του 2009.

Η αύξηση της θερμοκρασίας, είχε ως αποτέλεσμα την εξαφάνιση 90 % των θαλάσσιων ειδών και 70 % των χερσαίων. Αίτια της κλιματικής αλλαγής αποτέλεσαν οι μαζικές εκρήξεις ηφαιστειών, που προκάλεσαν αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου σε υψηλότερες του 2009 εκπομπές. Η ηφαιστειακή δραστηριότητα, είχε απελευθερώσει στην ατμόσφαιρα μεγάλες ποσότητες CO₂ και SO₂.

Ιουρασικό (145-200 εκ. χρόνια πριν)

Στην αρχή και τα μέσα της περιόδου αυτής, το εσωτερικό τμήμα της Πανγαίας ήταν πολύ θερμό και ξηρό ενώ έρημος κάλυπτε τα σημερινά τροπικά δάση του Αμαζονίου.(Scotese C.R.2002).

Εξαιτίας της διάσπασης της Πανγαίας, στα τέλη της περιόδου αυτής, το παγκόσμιο κλίμα έγινε ψυχρότερο. Το εσωτερικό της Πανγαίας, ήταν λιγότερο ξηρό, ενώ εποχιακό χιόνι και πάγος κάλυψε του Πόλους (Scotese C. R. 2002).

Κρητιδικό (65-145 εκ. χρόνια πριν)

Η πρώιμη Κρητιδική περίοδος, χαρακτηριζόταν από ήπιο ψυχρό κλίμα, με έντονες χιονοπτώσεις κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ενώ στις πολικές περιοχές είχαν αναπτυχθεί δασώδεις περιοχές.

Αντίθετα, κατά το ανώτερο Κρητιδικό, το παγκόσμιο κλίμα ήταν θερμότερο από το κλίμα της σημερινής εποχής, αφού στις πολικές περιοχές η ύπαρξη πάγου ήταν μηδενική, ενώ σύμφωνα με στοιχεία του NOAA τα επίπεδα CO₂ ήταν κατά 2-4 φορές πιο αυξημένα από τα σημερινά. Επιπρόσθετα, κατά την αλλαγή των εποχών, οι δεινόσαυροι μετακινούνταν μεταξύ των ζεστών και ψυχρών θερμοκρασιακών ζωνών, όπως αναφέρει ο Scotese C. R. (2002).

Παλαιογενές (23-65 εκ. χρόνια πριν)

Το παλαιογενές διακρίνεται σε τρεις μικρότερες περιόδους, το παλαιόκαινο (65-55 εκ. χρόνια πριν), το Ηώκαινο (34-55 εκ. χρόνια πριν) και το Ολιγόκαινο (23-34 εκ. χρόνια πριν). Σύμφωνα με στοιχεία του προγράμματος COMET και του National Environmental Education Foundation (2009), πριν από 55 εκατομμύρια χρόνια, η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη, είχε ως αποτέλεσμα τη βλάστηση φυλλωδών δέντρων πλησίον των πολικών περιοχών και την αύξηση της στάθμης της θάλασσας. Η στάθμη της θάλασσας έφτασε σε ύψος 200 m περίπου υψηλότερα, από την αντίστοιχη στάθμη του 2009, επιφέροντας δυσμενείς συνέπειες και προκαλώντας τη βύθιση περιοχών της Βορείου Αμερικής και ολόκληρης της Ανατολικής Ευρώπης.

Η περίοδος αυτή, ονομάστηκε ως Πλειστόκαινο - Ηώκαινο θερμικό μέγιστο, αφού βρισκόταν ανάμεσα στις προαναφερθείσες γεωλογικά χρονικές περιόδους και οι θερμοκρασίες της εποχής εκείνης απεικονίζονται στο μοντέλο του σχήματος 1.2.

Κατά τη διάρκεια του Ηώκαινου, πριν από περίπου 50 εκατομμύρια χρόνια, εμφανίζεται ο σχηματισμός πάγων στον νότιο Πόλο αλλά όχι στον βόρειο.

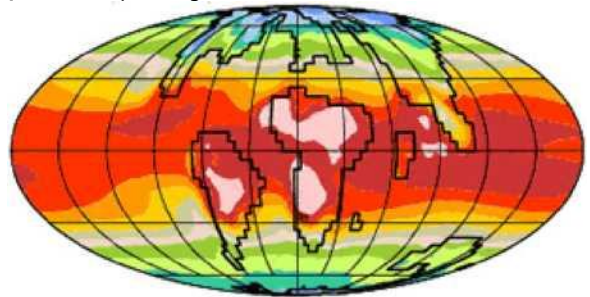
Ωστόσο, το κλίμα της εν λόγω περιόδου θεωρείται θερμότερο από το σημερινό. Σύμφωνα με στοιχεία

του προγράμματος COMET και του National Environmental Education Foundation (2009), η

περίοδος αυτή, σηματοδοτεί την έναρξη παγετώνων, κυρίως εξαιτίας της περιορισμένης υποθαλάσσιας ηφαιστειακής δράσης, που είχε ως αποτέλεσμα την μείωση της στάθμης της θάλασσας, εξαιτίας του σχηματισμού πάγων.

Στο Ολιγόκαινο, ολόκληρος ο νότιος πόλος καλύφθηκε από πάγο.

Paleocene-Eocene Thermal Maximum
(55 million years ago)



Σχήμα 1.2: Επιφανειακή θερμοκρασία κατά το Παλαιόκαινο-Ηώκαινο θερμοκρασιακό μέγιστο.

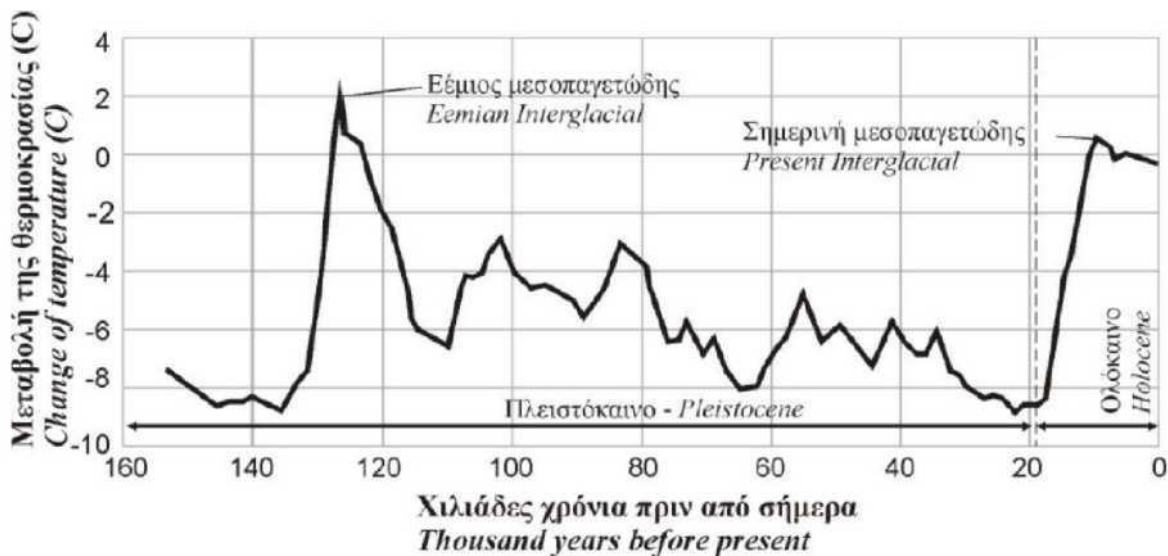
Νεότερα χρόνια

Σημαντικότερη περίοδος αποτελεί το τεταρτογενές ως η νεότερη χρονικά περίοδος της γεωλογικής χρονικής κλίμακας της ιστορίας της γης, η άφιξη της οποίας τοποθετείται πριν από 1,6-2 εκ. χρόνια. Το τεταρτογενές το οποίο συνίσταται από την Πλειστόκαινη και την Ολόκαινη περίοδο, παρουσιάζει διαδοχικές εναλλαγές θερμών και ψυχρών κλιματικών περιόδων που καλούνται ως παγετώδεις και μεσοπαγετώδεις αντίστοιχα.

Η έναρξη των παγετωδών και μέσοπαγετωδών περιόδων, οφείλεται σύμφωνα με στοιχεία του προγράμματος COMET και του National Environmental Education Foundation (2009), στην περιστροφή και την κλίση του άξονα της γης. Η διάρκεια των παγετωδών περιόδων, όπως αναφέρεται στην ίδια πηγή, διαρκούσε αρχικά περίπου 41,000 έτη, ενώ στην πιο πρόσφατη ιστορία, είχε διάρκεια της τάξης των 100,000 ετών. Αντίθετα, οι μεσοπαγετώδεις περίοδοι, κρατούσαν συνήθως από 10,000 μέχρι 30,000 έτη.

Οι απόψεις περί τον αριθμό των παγετωδών και μεσοπαγετωδών περιόδων που σημειώθηκαν κατά τη διάρκεια του τεταρτογενούς, δίστανται. Η Παπαγεωργίου Μ. et all (2008) υποστηρίζει ότι ενώ παλαιότερα γινόταν λόγος για την ύπαρξη 4 παγετωδών και 4 μεσοπαγετωδών περιόδων, σήμερα έχει διαπιστωθεί η ύπαρξη επιπρόσθετων περιόδων, όπως κύκλοι των 400,000, 100,000 και 10,000 ετών, καθώς και μικρότερες περίοδοι των 500 ετών αλλά και ψευδόκυκλοι των 100-150 ετών. Ο Παυλίδης Σ. αναφέρεται στην ύπαρξη 17 κύκλων παγετώνων, εκ των οποίων οι έξι είναι κοινώς αποδεκτές.

Η μεταβολή της θερμοκρασίας κατά τα τελευταία 150 χιλιάδες χρόνια, παρουσιάζεται στο σχήμα 1.3. Στο εν λόγω γράφημα εμφανίζεται μια μεσοπαγετώδης περίοδος περίπου πριν από 130 -115 χιλιάδες χρόνια. Ο Παναγίδης Ι., τοποθετεί το θερμοκρασιακό μέγιστο πριν από 125,000 χρόνια και αναφέρει ότι η διάρκειά του ανερχόταν στα 10,000 χρόνια. Η μέση θερμοκρασία της εποχής, όπως υπογραμμίζει, ήταν λίγο ψηλότερη από αυτήν των τελευταίων χρόνων. Σύμφωνα με στοιχεία του προγράμματος COMET και του National Environmental Education Foundation (2009), το ύψος των ωκεανών ήταν κατά 6 m αυξημένο σε σχέση με το αντίστοιχο του 2009, εξαιτίας διαφοροποιήσεων της τροχιάς της γης που οδήγησαν στην τήξη του πάγου των πολικών περιοχών.

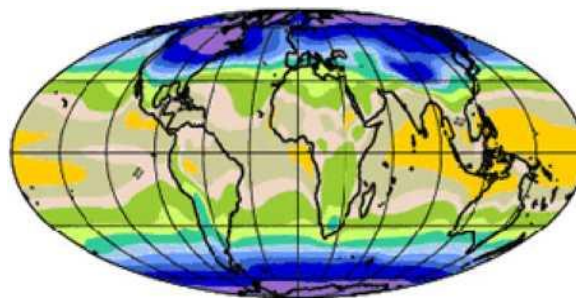


Σχήμα 1.3: Μεταβολή της θερμοκρασίας στον πλανήτη, τα τελευταία 150,000 χρόνια

Κατά την τελευταία περίοδο των παγετώνων, πριν από 115-18 χιλιάδες χρόνια, η θερμοκρασία στον πλανήτη ήταν από 4 μέχρι 7 °C χαμηλότερη από την αντίστοιχη του 2009, σύμφωνα με στοιχεία του προγράμματος COMET και του National Environmental Education Foundation (2009). Ο Παναγίδης αναφέρει ότι για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα, 40-18 χιλιάδες χρόνια πριν, στα περισσότερα μέρη της γης επικρατούσε ένας ατέλειωτος χειμώνας.

Το μέγιστο της τελευταίας παγετώδους περιόδου χρονολογείται γύρω στα 21,000 χρόνια πριν και οι θερμοκρασίες που επικρατούσαν κατά τη διάρκεια του απεικονίζονται στο σχήμα 1.4.

Last Glacial Maximum

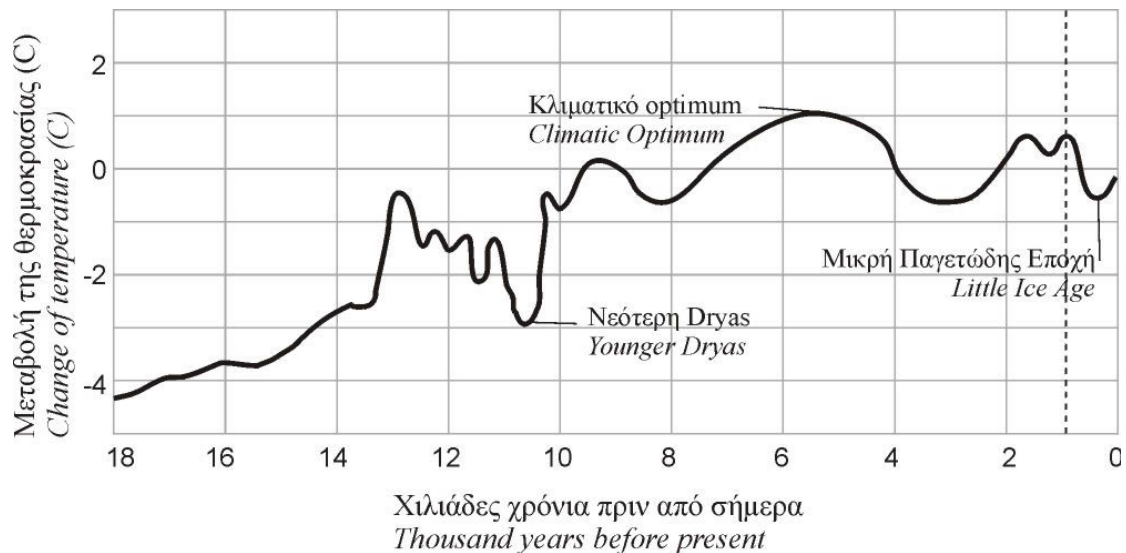


(21 thousand years ago)

Σχήμα 1.4: Επιφανειακές θερμοκρασίες, κατά το μέγιστο της τελευταίας παγετώδους περιόδου

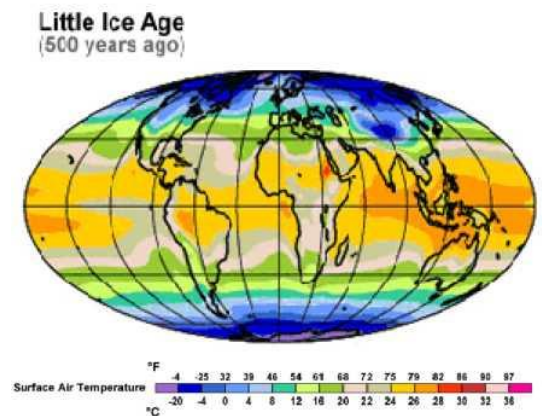
Στο σχήμα 1.5, απεικονίζεται η μεταβολή της θερμοκρασίας πριν από 18 χιλιάδες χρόνια μέχρι και τη σημερινή εποχή. Κατά τη διάρκεια της περιόδου αυτής, παρατηρείται η ανοδική τάση της θερμοκρασίας, με εξαίρεση την περίοδο που είναι γνωστή ως η Νεότερη Δρυάδα, γύρω στα 13000 χρόνια πριν.

Την χρονική περίοδο 12-5,000 χρόνια πριν, το παγκόσμιο κλίμα ήταν θερμό ενώ μουςώνες λάμβαναν χώρα στην περιοχή της Σαχάρας μετατρέποντάς την σε μια καταπράσινη κοιλάδα, σύμφωνα με στοιχεία του προγράμματος COMET και του National Environmental Education Foundation (2009). Στα 5,000 χρόνια πριν παρατηρείται το κλιματικό Optimum του Ολόκαινου, που αντιστοιχεί σε θερμοκρασιακό μέγιστο της εποχής. Σημειώνεται ότι οι θερμοκρασίες της περιόδου εκείνης ήταν υψηλότερες από τις σημερινές μόνο στο βόρειο ημισφαίριο και κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, ενώ κατά τους χειμερινούς ήταν χαμηλότερες σύμφωνα με στοιχεία του NOAA, το οποίο αποδίδει την κλιματική αλλαγή σε αλλαγές στην τροχιά της γης και την χαρακτηρίζει ως φυσικό φαινόμενο.



Σχήμα 1.5: Μεταβολή της θερμοκρασίας στον πλανήτη, τα τελευταία 18,000 χρόνια

Η μικρή εποχή των παγετώνων (Little Ice Age), τοποθετείται πριν από 550-200 χρόνια. Κατά τη διάρκεια της εποχής αυτής, σύμφωνα με στοιχεία του προγράμματος COMET και του National Environmental Education Foundation (2009), υπήρχαν πολλά ενεργά ηφαίστεια στον πλανήτη, οι εκπομπές των οποίων σκίαζαν τον ήλιο με αποτέλεσμα την μείωση της θερμοκρασίας. επιφανειακές θερμοκρασίες που επικρατούσαν εκείνη την εποχή παρουσιάζονται στο σχήμα 1.6.



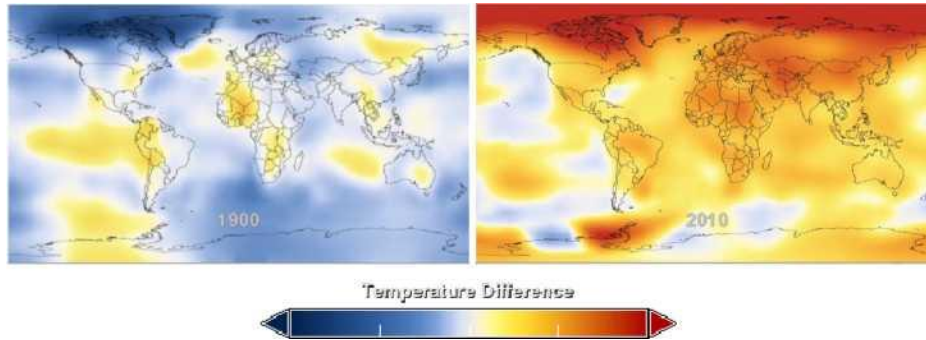
Σχήμα 1.6: Επιφανειακές θερμοκρασίες, κατά την μικρή εποχή των παγετώνων

Σημερινή Κατάσταση

Στη σημερινή εποχή βιώνεται μια θερμή περίοδος, κατά την οποία ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας των τελευταίων 50 ετών ανέρχεται στους 0.13° C/δεκαετία και είναι σχεδόν διπλάσιος συγκριτικά με τον αντίστοιχο των τελευταίων 100 ετών που φτάνει τους 0.07° C, σύμφωνα με στοιχεία του προγράμματος COMET και του National Environmental Education Foundation (2009).

Η αύξηση της θερμοκρασίας, τόσο της επιφάνειας της γης όσο και των ωκεανών στο πέρασμα των δεκαετιών του τελευταίου αιώνα απεικονίζεται στο σχήμα 1.7. Αναφορικά με το θέμα, ο Shoemaker J. A. (2010), υπογραμμίζει ότι η τελευταία δεκαετία από το 2000 μέχρι και το 2009, είναι η θερμότερη των τελευταίων 150 χρόνων, με δραματικές συνέπειες για τον πλανήτη. Αποτέλεσμα της υπερθέρμανσης του πλανήτη την τελευταία δεκαετία,

είναι η άνοδος της στάθμης της θάλασσας κατά 2.5 cm, με ρυθμό ανόδου περίπου διπλάσιο από τον αντίστοιχο του τελευταίου αιώνα. Επιπρόσθετα, ο Shoemaker J. A. (2010), επισημαίνει τον κίνδυνο βύθισης των πολιτειών του Τέξας και Κεντάκυ, εξαιτίας της μείωσης του όγκου του πάγου της Αρκτικής θάλασσας, κατά 300,000 m² που καταγράφηκε το καλοκαίρι του 2009 [7].



Σχήμα 1.7: Θερμοκρασιακές μεταβολές του περασμένου αιώνα

2. ΑΙΤΙΑ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ-ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ



2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το κλίμα είναι η μέση καιρική κατάσταση που επικρατεί σε μια ορισμένη περιοχή, για μεγάλη χρονική περίοδο και ποικίλλει λόγω φυσικών συνθηκών. Το παγκόσμιο κλίμα είναι αποτέλεσμα της πολύπλοκης αλληλεπίδρασης πολλών παραγόντων, που χαρακτηρίζουν από τη μια την κύρια πηγή ενέργειας (την ηλιακή ακτινοβολία) και από την άλλη ένα μεγάλο αριθμό γήινων χαρακτηριστικών και φαινομένων που το διαμορφώνουν, όπως η σύσταση της ατμόσφαιρας, οι άνεμοι, τα θαλάσσια ρεύματα, η βροχή, οι ηφαιστειακές εκρήξεις, κ.λπ. Το κλίμα στον πλανήτη μας δεν ήταν ποτέ σταθερό, ωστόσο όπως έχει αποδειχτεί πρόσφατα, υπάρχουν διαφοροποιήσεις πέραν του φυσιολογικού τις τελευταίες δεκαετίες λόγω ανθρώπινων, βιομηχανικών και γεωργικών δραστηριοτήτων και παρεμβάσεων.

2.2 ΑΙΤΙΑ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ [8]

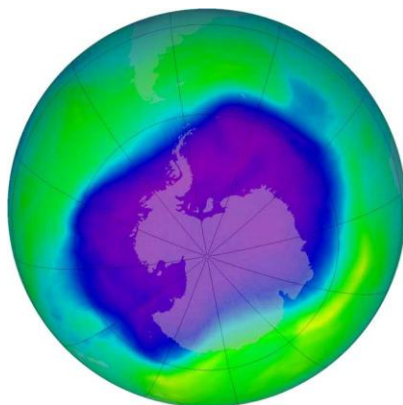
2.2.1 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου



Οι ακτίνες του ήλιου θερμαίνουν την επιφάνεια της Γης. Καθώς η θερμοκρασία στη Γη αυξάνεται, η θερμότητα επιστρέφει στην ατμόσφαιρα και ένα μέρος της απορροφάται ή αντανακλάται πίσω στη Γη από τα αέρια του θερμοκηπίου, που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα, όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), οι υδρατμοί, το οξείδιο του αζώτου, το μεθάνιο και το όζον. Αυτή η φυσική διαδικασία ονομάζεται φαινόμενο του θερμοκηπίου και είναι αυτή που ευθύνεται για τη ζωή στον πλανήτη μας. Χωρίς αυτή, ο μέσος όρος θερμοκρασίας του πλανήτη μας θα ήταν -18°C. Με απλά λόγια μπορούμε να πούμε ότι η Γη είναι περικυκλωμένη από ένα στρώμα αόρατων αερίων, (όπως το διοξείδιο του άνθρακα), που λειτουργούν ακριβώς σαν ένα θερμοκήπιο, κρατάνε τη ζεστασιά του ήλιου κοντά στον πλανήτη και δεν την αφήνουν να φύγει.

Λόγω των επιπτώσεων της ανθρώπινης δραστηριότητας στο περιβάλλον κατά τον τελευταίο αιώνα, η συγκέντρωση αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, το 80% των οποίων αποτελεί το CO₂, είναι σήμερα υψηλότερη απ' ό,τι τα τελευταία 650.000 χρόνια. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αυξηθεί ο μέσος όρος της θερμοκρασίας κατά 0,74°C σε όλο τον κόσμο και κατά 1°C ειδικά στην Ευρώπη. Με τη χρήση καυσίμων, όπως για παράδειγμα της βενζίνης και του πετρελαίου, για την παραγωγή ενέργειας, η ανθρωπότητα έχει προκαλέσει την έκλυση τεραστίων ποσοτήτων CO₂ στην ατμόσφαιρα. Επιπλέον, υπάρχουν και άλλα αέρια του θερμοκηπίου προερχόμενα από ορισμένες βιομηχανικές δραστηριότητες, τη γεωργία και τις χλωματερές.

2.2.2 Η τρύπα του όζοντος



--

Το φυσικό στρώμα όζοντος (O₃), που βρίσκεται στη στρατόσφαιρα (25 χλμ. περίπου πάνω από τη γη) και το οποίο δρα σαν «ασπίδα» απέναντι στην υπεριώδη ακτινοβολία, σήμερα κινδυνεύει άμεσα. Η παρουσία του όζοντος προστατεύει την ύπαρξη ζωής στη Γη και απορροφά το μεγαλύτερο μέρος της υπεριώδους ακτινοβολίας του ήλιου, που ως γνωστό είναι βλαβερή για τους ζωντανούς οργανισμούς. Παράλληλα, η στρατόσφαιρα επιτρέπει τη διέλευση ενός μικρού μέρους της υπεριώδους ακτινοβολίας, που είναι απαραίτητη για τη διαβίωση των ζωντανών οργανισμών. Ωστόσο, την τελευταία δεκαετία η στιβάδα του όζοντος έχει μειωθεί κατά 6-7% από διάφορα αέρια που χρησιμοποιούν οι άνθρωποι στη Γη. Οι χλωροφθοριούχοι άνθρακες (CFC's) που απελευθερώνονται από τα αεροζόλ, τις κλιματιστικές συσκευές, τα ψυγεία, τους πυροσβεστήρες και λοιπές συσκευές, ανεβαίνουν στη στρατόσφαιρα με αποτέλεσμα την αραιώση του στρώματος του όζοντος και τη δημιουργία της γνωστής τρύπας του όζοντος πάνω από την Ανταρκτική. Σημαντική βλάβη, επίσης, προκαλούν τα αέρια των αεριωθούμενων αεροπλάνων.

2.2.3 Η ρύπανση της ατμόσφαιρας



Η ρύπανση της ατμόσφαιρας είναι ένα άλλο μεγάλο πρόβλημα των σύγχρονων κοινωνιών, καθώς παρατηρήθηκε εντονότερα τις τελευταίες δεκαετίες παράλληλα με την πρόοδο που σημείωσε ο άνθρωπος. Τα εργοστάσια, οι μονάδες παραγωγής ενέργειας, οι μονάδες επεξεργασίας μεταλλευμάτων (π.χ. χυτήρια χαλκού), τα σύγχρονα μέσα μεταφοράς (αυτοκίνητα, αεροπλάνα) είναι υπεύθυνα για την εκπομπή βλαβερών αερίων και σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης, επίσης, συνιστούν φυσικά φαινόμενα, όπως οι πυρκαγιές και η έκρηξη ηφαιστειών. Συγκεκριμένα, στις μεγάλες βιομηχανικές πόλεις, ο αέρας είναι τόσο μολυσμένος που διακρίνεται από την αλλαγή του χρώματος. Ονομάζεται «νέφος», έχει καφέ χρώμα και είναι βλαβερός τόσο για τους ανθρώπους που τον αναπνέουν όσο και για τα δέντρα, τα φυτά και τα ζώα. Σε πολλές περιοχές, η μόλυνση της ατμόσφαιρας επιφέρει βλαβερές συνέπειες στην αγροτική παραγωγή και στα τρόφιμα που καταναλώνουμε.

2.2.4 Η ρύπανση-μόλυνση του νερού



Η αξία του νερού είναι αδιαμφισβήτητη, καθώς απ' αυτό εξαρτάται κάθε ζωντανός οργανισμός πάνω στη Γη προκειμένου να επιβιώσει, από τους ανθρώπους έως το πιο μικρό ζώο, έντομο και φυτό. Είναι, λοιπόν, πολύτιμο και πρέπει να το προστατεύουμε. Δυστυχώς, όμως, σε όλο τον πλανήτη παρατηρείται ρύπανση των ποταμών, των λιμνών, των θαλασσών αλλά και των υπόγειων υδάτων, επειδή τα εργοστάσια εναποθέτουν εκεί τα σκουπίδια και τα απόβλητά τους. Επίσης, εκεί συχνά καταλήγουν τα λύματα και από τα νοικοκυριά. Τα υπόγεια ύδατα μολύνονται, όταν χύνονται στο έδαφος διάφορα βλαβερά και επικίνδυνα για την υγεία υγρά, που απορροφούνται από το έδαφος και καταλήγουν στον υδροφόρο ορίζοντα. Τέτοια επικίνδυνα υγρά είναι η βενζίνη, τα λάδια από αυτοκίνητα, μηχανές κ.λπ., τα απορρυπαντικά, τα διαλυτικά, ορισμένα λιπάσματα, φυτοφάρμακα και εντομοκτόνα που χρησιμοποιούνται για την καλλιέργεια της γης και την περιποίηση των κήπων. Επίσης, ρύπανση προκαλούν όλων των ειδών τα πλαστικά (σακούλες, ποτήρια, παιχνίδια κ.λπ.), τα ελαστικά (αυτοκινήτων, ποδηλάτων, εξαρτημάτων μηχανημάτων κ.λπ.), τα είδη αλουμινίου (τενεκεδάκια αναψυκτικών, οικιακές συσκευές, πόρτες, παράθυρα κ.λπ.). Τα πλαστικά σκουπίδια που καταλήγουν στη θάλασσα είναι υπεύθυνα για το θάνατο χιλιάδων θαλάσσιων θηλαστικών και πουλιών που ζουν κοντά στη θάλασσα καθώς και εκατομμυρίων ψαριών.

2.2.5 Η μόλυνση του εδάφους



Το έδαφος αποτελεί, γενικά, τον ενδιάμεσο αποδέκτη ανάμεσα στην ατμόσφαιρα και την υδρόσφαιρα και είναι το επιφανειακό στρώμα του φλοιού της Γης, το οποίο συνίσταται από ανόργανη και οργανική ύλη, νερό, αέρα και ζωντανούς οργανισμούς. Ο σχηματισμός του

εδάφους είναι μια εξαιρετικά αργή διεργασία, γι' αυτό το έδαφος, ουσιαστικά, θεωρείται ως ένας μη ανανεώσιμος πόρος. Το έδαφος, μάς χαρίζει τροφή, βιομάζα και πρώτες ύλες. Επίσης, αποθηκεύει, διηθεί και μετασχηματίζει πολλές ουσίες, μεταξύ των οποίων νερό, θρεπτικά συστατικά και άνθρακα.

Ωστόσο, το έδαφος απειλείται από πολλές διεργασίες, όπως η διάβρωση, η μείωση της οργανικής ύλης, η μείωση της βιοποικιλότητας, οι πλημμύρες και οι κατολισθήσεις και η ρύπανση. Ιδιαίτερα, όσον αφορά στη ρύπανση, τα τελευταία χρόνια το έδαφος και το υπέδαφος υφίστανται αλλοίωση σε βάθος μερικών μέτρων από τα λιπάσματα, τα φυτοφάρμακα και τα ζιζανιοκτόνα. Επίσης, το έδαφος μολύνεται από τοξικές ουσίες, ρύπους, πλαστικά αντικείμενα, σκουπίδια κ.λπ.

Άλλες αιτίες μόλυνσης του εδάφους είναι οι ρύποι της ατμόσφαιρας και η όξινη βροχή, η οποία επηρεάζει άμεσα την ποιότητά του και έμμεσα επιδρά στη βλάστηση, τα δάση και τη γεωργική παραγωγή. Σημαντική, εξάλλου, αιτία ρύπανσης του εδάφους είναι η υπερεκμετάλλευση της Γης για σκοπούς παραγωγής γεωργικών προϊόντων. Σε πολλές περιοχές του πλανήτη, τα εδάφη είναι εξαντλημένα με αποτέλεσμα να μην αποδίδουν εξίσου καλά, όπως τα προηγούμενα χρόνια. Η διείσδυση μολυσματικών ουσιών στο έδαφος, μέσω καλλιεργειών παραγωγής τροφίμων και ζωοτροφών καθώς και μέσω της εκτροφής ορισμένων ζώων, επηρεάζει την ασφάλεια των τροφίμων και των ζωοτροφών και έμμεσα την υγεία και ασφάλεια των ανθρώπων.

Η βιολογική ή οικολογική γεωργία, ίσως, αποτελέσει στο μέλλον την ιδανική λύση για γεωργική ανάπτυξη, με μοναδικό γνώμονα την προστασία του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας.

2.2.6 Η όξινη βροχή



Το φαινόμενο της όξινης βροχής παρατηρείται τις τελευταίες δεκαετίες στις βιομηχανικές κυρίως περιοχές της Γης. Τα καυσαέρια των αυτοκινήτων, τα αέρια (κυρίως θείο και άζωτο), που εκπέμπουν τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος και άλλες βιομηχανίες, αναμειγνύονται με το νερό και το καθιστούν όξινο. Έτσι, λοιπόν, η βροχή (ή το χιόνι) που πέφτει στη Γη και περιέχει τα βλαβερά και μολυσμένα αέρια, ονομάζεται όξινη βροχή.

Η όξινη βροχή είναι βλαβερή τόσο για τους ανθρώπους και τα ζώα όσο και για τα φυτά, τα ποτάμια και τις λίμνες καθώς και τους οργανισμούς που διαβιούν εκεί. Όταν η βροχή είναι μολυσμένη, νεκρώνονται λίμνες και ποτάμια, ενώ καταστρέφονται τεράστιες εκτάσεις δασών. Επίσης, η όξινη βροχή μολύνει το πόσιμο νερό που καταναλώνουν οι άνθρωποι και φυσικά και τα ζώα.

Επιπρόσθετα, η όξινη βροχή επιδρά αρνητικά σε πετρώματα, όπως τα μάρμαρα, οι ασβεστόλιθοι, ο βασάλτης και άλλα. Αρχαία μνημεία που είναι εκτεθειμένα στις καιρικές

συνθήκες εδώ και χιλιάδες χρόνια, εξαιτίας της όξινης βροχής, υφίστανται διάβρωση με κίνδυνο σε λίγα χρόνια να χάσουν τη μορφή τους και να γίνουν σκόνη.

2.2.7 Η ρύπανση του περιβάλλοντος



Κατά τις τελευταίες δεκαετίες, η μεγάλη τεχνολογική πρόοδος και η ραγδαία βιομηχανική ανάπτυξη έχουν προκαλέσει ανεπανόρθωτη ρύπανση στο περιβάλλον. Πέραν από τη μόλυνση της ατμόσφαιρας, των νερών και του εδάφους, το φυσικό περιβάλλον ρυπαίνεται από τις τεράστιες ποσότητες απορριμμάτων που δημιουργούν οι άνθρωποι καθημερινά στο σπίτι, στο σχολείο, στην εργασία, στην εκδρομή, στο ταξίδι κ.λπ. Τα σκουπίδια που συλλέγονται από τα απορριμματοφόρα οχήματα μεταφέρονται σε χώρους που ονομάζονται «χωματερές» όπου, άλλα οχήματα καλύπτουν τα σκουπίδια με χώμα ή τα ρίχνουν σε τρύπες. Όμως, οι ποσότητες των σκουπιδιών είναι πολύ μεγαλύτερες από τους χώρους.

2.2.8 Η ραδιενεργός ρύπανση



Στη διάρκεια της βιολογικής του εξέλιξης, ο άνθρωπος έχει καταφέρει να προσαρμοστεί στην ύπαρξη «ιονίζουσας ακτινοβολίας» διαφόρων προελεύσεων που αποτελεί τη φυσική ραδιενέργεια. Η ανάπτυξη, ωστόσο, των ποικίλων εφαρμογών της πυρηνικής ενέργειας

καθώς και η εκτεταμένη χρήση των ακτινογραφιών από την ιατρική, δημιούργησαν μια νέα κατάσταση. Τώρα πια οι ζωντανοί οργανισμοί έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να υποβληθούν σε ακτινοβολία πολύ πιο έντονη από τη φυσική. Τα πυρηνικά ατυχήματα σε όλα τα στάδια των πυρηνικών εφαρμογών έχουν ήδη δημιουργήσει σοβαρές καταστάσεις ρύπανσης, ενώ η αποθήκευση των ραδιενεργών αποβλήτων απειλεί μελλοντικά με εκτεταμένη ραδιενεργό ρύπανση τη Βιόσφαιρα. Τα ραδιενεργά στοιχεία μεταφέρονται με τον άνεμο, τη βροχή, τα ποτάμια, τα θαλάσσια ρεύματα, κ.λπ. και εισχωρούν στους βιογεωχημικούς κύκλους και στο εσωτερικό των ζωντανών οργανισμών. Η μεταπήδησή τους στις τροφικές αλυσίδες και η συγκέντρωσή τους (και μάλιστα επιλεκτική) με τη διαδικασία της βιολογικής συσσώρευσης αποτελούν μεγάλη απειλή για κάθε είδους ζωή και, κυρίως, για τα ανώτερα ζώα και τον άνθρωπο. Οι συνέπειες της έκθεσης στη ραδιενέργεια, ακόμα και σε χαμηλές δόσεις, είναι πολύ επικίνδυνες, (καρκίνοι, γενετικές μεταλλάξεις κ.λπ.).

Ειδικότερα, το πρόβλημα διάθεσης των πυρηνικών αποβλήτων παραμένει, ίσως, το σημαντικότερο «αγκάθι» της πυρηνικής βιομηχανίας με εύλογες προεκτάσεις στο περιβάλλον και την ποιότητα της ανθρώπινης ζωής. Η λύση στο πρόβλημα αυτό βρίσκεται, φυσικά, στα χέρια των εμπλεκόμενων κρατών.

2.3 ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ

2.3.1 Η άνοδος της θερμοκρασίας



Το φαινόμενο του θερμοκηπίου προκαλεί την αύξηση της θερμοκρασίας της Γης, λόγω της τρομακτικής αύξησης του διοξειδίου του άνθρακα. Είναι γεγονός ότι, οι πιο ψηλές θερμοκρασίες παρατηρήθηκαν από το 1991 έως σήμερα. Σύμφωνα, μάλιστα, με επιστημονικά δεδομένα, προβλέπεται ότι η θερμοκρασία σε όλο τον πλανήτη ενδέχεται να αυξηθεί κατά 1,1 μέχρι 6,4°C κατά τη διάρκεια του αιώνα που διανύουμε, εάν οι αρμόδιοι φορείς δεν προβούν στην άμεση λήψη των κατάλληλων μέτρων για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Πιο συγκεκριμένα, στη νότια Ευρώπη, οι κλιματικές αλλαγές αναμένεται να επιδεινώσουν τις υφιστάμενες συνθήκες, δηλ. τις υψηλές θερμοκρασίες (καύσωνες) και την ξηρασία, δεδομένου ότι πρόκειται για μια περιοχή, η οποία είναι ιδιαίτερα ευάλωτη στις διακυμάνσεις του κλίματος. Η άνοδος της θερμοκρασίας αναμένεται να αυξήσει τη συχνότητα των πυρκαγιών και να επιφέρει περαιτέρω μείωση στο διαθέσιμο νερό.

2.3.2 Το λιώσιμο των πάγων



Η άνοδος της θερμοκρασίας στη Γη θα επιφέρει το λιώσιμο των πάγων στους δύο πόλους της Γης καθώς και όπου υπάρχουν παγετώνες. Η θαλάσσια περιοχή που καλύπτεται από τον Αρκτικό πάγο στο Βόρειο Πόλο έχει συρρικνωθεί κατά 10% κατά τις τελευταίες δεκαετίες. Επίσης, το πάχος του πάγου πάνω από το νερό έχει σημειώσει μείωση κατά 40%. Στην Ανταρκτική, ο πάγος έχει καταστεί ασταθής. Επίσης, οι παγετώνες στη Βόρεια Ευρώπη, τη Βόρεια Αμερική και όπου αλλού υπάρχουν θα συρρικνωθούν. Επιπρόσθετα, όσον αφορά τους παγετώνες των Ελβετικών Άλπεων, είναι πιθανόν να εξαφανιστεί το 75% τους, μέχρι το 2050.

2.3.3 Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας



Εάν πραγματοποιηθούν οι προβλέψεις για το λιώσιμο των πάγων και των παγετώνων, είναι φυσικό επόμενο να ανέβει και η στάθμη της θάλασσας. Κατά τον εικοστό αιώνα η στάθμη ανήλθε κατά 12 έως 22 εκατοστά και σύμφωνα με τις προβλέψεις, κατά τον εικοστό πρώτο αιώνα θα ανέλθει μέχρι και τα 59 εκατοστά. Οι προβλέψεις αυτές, όμως, δεν περιλαμβάνουν τις μελλοντικές γρήγορες μεταβολές στην κίνηση των πάγων από τη Γροιλανδία και την Ανταρκτική. Κάτι τέτοιο δεν αποκλείει τη μεγαλύτερη άνοδο της στάθμης της θάλασσας, μέχρι σήμερα.

Σε μια τέτοια περίπτωση, συστάδες νησιών στους ωκεανούς καθώς και παραθαλάσσιες πόλεις και χωριά ενδέχεται να βυθιστούν. Επίσης, θα επηρεαστεί η γεωργία στις παραθαλάσσιες περιοχές αφού τα υπόγεια νερά θα καταστούν υφάλμυρα. Θα τεθεί σε άμεσο κίνδυνο η ανθρώπινη υγεία αφού η υφαλμύρωση του υδροφόρου ορίζοντα θα επηρεάσει και το πόσιμο νερό. Οι κάτοικοι των περιοχών που θα επηρεαστούν θα αναζητήσουν νέο τόπο διαβίωσης με επιπτώσεις και στην οικονομία των χωρών.

2.3.4 Τα ακραία καιρικά φαινόμενα



Καιρικά φαινόμενα, όπως η ξηρασία, οι καταιγίδες, οι πλημμύρες, ο καύσωνας αναμένεται ότι θα είναι συχνότερα αλλά και εντονότερα. Κατά την τελευταία δεκαετία σε ολόκληρο τον κόσμο σημειώθηκαν τρεις φορές περισσότερες φυσικές καταστροφές εξαιτίας του καιρού, σε σχέση με τη δεκαετία του 1960. Προβλέπεται ότι από το 2070 και μετά, κύματα καύσωνα θα σημειώνονται κάθε δύο χρόνια. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το κύμα καύσωνα που σημειώθηκε στην Ευρώπη το 2003, προκαλώντας το θάνατο αρκετών Ευρωπαίων πολιτών και προξενώντας πυρκαγιές μεγάλης έκτασης καθώς και γεωργικές καταστροφές ύψους πάνω από 10 δισεκατομμύρια ευρώ. Παράλληλα, η κλιματική αλλαγή θα αυξήσει τον κίνδυνο ερημοποίησης, που ήδη έχει αρχίσει στη Νότια Ευρώπη.

Οι καταιγίδες και οι πλημμύρες θα προκαλέσουν καταστροφή των καλλιεργειών και διάβρωση του εδάφους, με αντίκτυπο στη γεωργία. Ενδέχεται, επίσης, να δημιουργηθούν προβλήματα στην ποιότητα του νερού, λόγω μόλυνσης των πηγών, γεγονός το οποίο θα έχει άμεσες επιπτώσεις και στην ανθρώπινη υγεία, αφού αυξάνεται ο κίνδυνος μόλυνσεων, αναπνευστικών προβλημάτων και θανάτων. Παρεμφερής επίπτωση αποτελεί και η διεύρυνση των περιοχών που επηρεάζονται από την αύξηση της ξηρασίας, τη μείωση των βροχοπτώσεων και τη μείωση της ποσότητας πόσιμου νερού. Το γεγονός αυτό θα δημιουργήσει προβλήματα στη γεωργία (μείωση παραγωγής, καταστροφή σοδειών, θάνατος ζώων, αυξημένος κίνδυνος για πυρκαγιές). Η αναζήτηση νερού και τροφής καθώς και οι ασθένειες θα οδηγήσουν στη μετακίνηση πληθυσμών με σκοπό την εξεύρεση καλύτερων συνθηκών διαβίωσης.

2.3.5 Η απώλεια της βιοποικιλότητας



Η βιοποικιλότητα είναι το σύνολο των ζωντανών οργανισμών, ειδών και οικοσυστημάτων που αποτελούν τη ζωή στη Γη, δηλαδή τα ζώα, τα πουλιά, τα ψάρια και τα φυτά (πανίδα και

χλωρίδα). Πολλά είδη αναμένεται να εξαφανιστούν από τις περιοχές οι οποίες θα επηρεαστούν άμεσα από τις αλλαγές του κλίματος σ' ολόκληρο τον πλανήτη. Ζώα των οποίων το φυσικό περιβάλλον διαβίωσης βρίσκεται στους πόλους της Γης ή γενικά σε ψυχρά κλίματα, όπως για παράδειγμα οι πολικές αρκούδες, οι φώκιες και οι πιγκουίνοι θα επηρεαστούν ανεπανόρθωτα από την άνοδο της θερμοκρασίας και το λιώσιμο των πάγων. Επίσης, πτηνά θα αναγκαστούν να αποδημήσουν σε διαφορετικές περιοχές από αυτές στις οποίες ζούσαν μέχρι σήμερα. Τα τροπικά και άλλα δάση στις νότιες περιοχές θα οδηγηθούν σε αφανισμό και ένα ποσοστό της τάξης του 60% των ειδών που υπάρχουν σε ορεινές περιοχές, θα εξαφανιστούν. Στον αντίκτυπο αυτόν της κλιματικής αλλαγής στην βιοποικιλότητα, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει άμεσα ο ίδιος ο άνθρωπος, καθώς η πρόοδος και ο υπερπληθυσμός επιβάλλουν την επέκταση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων σε ολόένα και μεγαλύτερες εκτάσεις Γης. Με τον τρόπο αυτό, δάση εξαφανίζονται και παρθένες εκτάσεις γεμίζουν κτίρια. Τα ζώα που διέμεναν στα δάση αυτά είναι εξαναγκασμένα να αναζητήσουν φυλιά σε άλλο χώρο, που θα πρέπει να πληροί ορισμένες προϋποθέσεις, ανάλογα με τις ανάγκες τους. Ως εκ τούτου, μεγάλος αριθμός ζώων, φυτών, δέντρων κ.λπ. απειλούνται με αφανισμό. Παράλληλα, αναμένεται να επεκταθεί η περίοδος ξηρασίας και να αυξηθεί ο κίνδυνος πυρκαγιών. Στη Μεσόγειο θάλασσα, όπου η θερμοκρασία του νερού προβλέπεται να αυξηθεί, θα εισβάλουν νέα είδη ψαριών, τα οποία θα επηρεάσουν τη δραστηριότητα των επαγγελματιών στον τομέα της αλιείας.

3. ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΙ ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Δεν υπάρχει πια αμφιβολία πως ο κίνδυνος καταστροφικής αλλαγής του κλίματος του πλανήτη είναι η μεγαλύτερη απειλή που αντιμετωπίζει σήμερα η ανθρωπότητα. Όλοι οι επιστήμονες πλέον συμφωνούν πως ναι, η κλιματική αλλαγή συμβαίνει, πως για αυτήν ευθύνονται οι εκπομπές «αερίων του θερμοκηπίου» από τις ανθρώπινες δραστηριότητες και προειδοποιούν πως αν δεν μειωθούν οι παγκόσμιες εκπομπές τουλάχιστον στο ένα τρίτο των σημερινών πριν τα μέσα του αιώνα, μας περιμένει μια οικολογική αλλά και κοινωνική κατάρρευση: ελλείψεις νερού, ερημοποίηση, παράκτια διάβρωση και πλημμύρες, καταστροφές σοδειών, εξάπλωση ασθενειών, εκατομμύρια “κλιματικοί πρόσφυγες”, συχνότερα και εντονότερα ακραία καιρικά φαινόμενα καθώς και εξαφανίσεις ειδών [9]

Οι σημαντικότερες προσπάθειες της διεθνούς κοινότητας για την αντιμετώπιση των κλιματικών αλλαγών συνοψίζονται παρακάτω:

3.2 ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΤΟΥ ΜΟΝΤΡΕΑΛ (1987)

Το στρώμα του όζοντος απορροφά ένα μέρος της επικίνδυνης υπεριώδους Β (UV-B) ακτινοβολίας από τον ήλιο. Σαν αποτέλεσμα της ανακάλυψης της τρύπας του όζοντος στην Ανταρκτική το 1985, οι κυβερνήσεις αναγνώρισαν την ανάγκη λήψης μέτρων για περιστολή της παραγωγής και της κατανάλωσης ενός αριθμού ουσιών που μειώνουν το στρώμα του όζοντος, όπως είναι τα CFCs και τα Halons.

Το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ ψηφίστηκε το 1987 και εκ τότε υπέστη έξι προσαρμογές και τέσσερις τροποποιήσεις. Στόχος του Πρωτοκόλλου είναι ο σταδιακός περιορισμός και η αντικατάσταση των χημικών ουσιών που καταστρέφουν το στρώμα του όζοντος το αργότερο μέχρι το 2040, αρχικά από τις αναπτυσσόμενες χώρες και έπειτα από τις αναπτυσσόμενες.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση ενσωμάτωσε το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ στο ρυθμιστικό της πλαίσιο με τους Κανονισμούς 541/91 και 3093/94 οι οποίοι προβλέπουν αυστηρότερα μέτρα από εκείνα του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ. Ο τελευταίος βρίσκεται κάτω από διαδικασία αναθεώρησης. Ένας αριθμός βιομηχανικών κλάδων όπως η ψύξη, τα αφρώδη πλαστικά, οι διαλύτες, τα αεροζόλς καθώς και η γεωργία επηρεάζονται από τα μέτρα ελέγχου. Οφείλουν να αντικαταστήσουν τις ελεγχόμενες ουσίες από εναλλακτικές (υποκατάστατα) [10,11].

3.3 Η IPCC (1988)

Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την αλλαγή του κλίματος (IPCC), συστάθηκε το 1988 από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (WMO) και το Περιβαλλοντολογικό Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών (UNEP). Η IPCC, αποτελεί ένα διεθνή επιστημονικό οργανισμό και τελεί υπό την αιγίδα του ΟΗΕ. Το 2007, είχε τιμηθεί με το Νόμπελ Ειρήνης για την προσπάθειά της για διάδοση περισσότερης γνώσης αναφορικά με τις κλιματικές αλλαγές που οφείλονται σε ανθρωπογενή αίτια και τα προτεινόμενα μέτρα μετριασμού και εξουδετέρωσης των κλιματικών αλλαγών.

Η IPCC αποσκοπεί στη συλλογή και επιστημονική αξιολόγηση δεδομένων για τις κλιματικές αλλαγές, καθώς και στην εξαγωγή πορισμάτων και προτάσεων σχετικά με τις δυνητικές επιπτώσεις, τα μέτρα πρόληψης και περιορισμού αλλά και την προσαρμογή του ανθρώπου στις κλιματικές συνθήκες.

Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την αλλαγή του κλίματος, έχει στο ενεργητικό της, τέσσερις δημοσιευμένες εκθέσεις αξιολόγησης, με πιο πρόσφατη την 4η έκθεση αξιολόγησης του 2007.

Η πρώτη έκθεση αξιολόγησης της επιτροπής που δημοσιεύτηκε το 1990, επισήμανε την υπαιτιότητα της ανθρώπινης δραστηριότητας στις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα, προβλέποντας την περαιτέρω αύξηση της ήδη κατά 0.3-0.6 βαθμούς κελσίου αυξημένης θερμοκρασίας του πλανήτη κατά τον προηγούμενο αιώνα. Η σημασία των πορισμάτων της 1ης έκθεσης αξιολόγησης οδήγησε στην σύσταση του Πλαισίου των Ηνωμένων εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC) που αποσκοπεί στην μείωση της υπερθέρμανσης του πλανήτη και στην αντιμετώπιση των δυνητικών συνεπειών της κλιματικής αλλαγής.

Το 1995, η 2^η έκθεση αξιολόγησης της IPCC, υπογράμμισε την ανθρώπινη επίδραση στις κλιματικές αλλαγές και διαδραμάτισε καθοριστικό παράγοντα στην υιοθέτηση του Πρωτοκόλλου του Κιότο το 1997. Το 2001, στην 3^η έκθεση αξιολόγησης, η IPCC διαπίστωσε ότι το μεγαλύτερο μέρος της ευθύνης για την αύξηση της θερμοκρασίας των τελευταίων 50 χρόνων οφειλόταν εξολοκλήρου στις ανθρώπινες δραστηριότητες. Τα βασικά συμπεράσματα της πιο πρόσφατης έκθεσης αξιολόγησης της IPCC το 2007, υπογραμμίζουν τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες, ως το πρωταρχικό αίτιο των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, το οποίο συμβάλλει στην επιτάχυνση της κλιματικής αλλαγής, με δυσμενή επιπτώσεις στην ανθρωπότητα. Προτείνει δραστική μείωση των παγκόσμιων εκπομπών και τονίζει την ανάγκη προσαρμογής του ευρύτερου κοινωνικού συνόλου στην κλιματική αλλαγή.

❖ **Η 4^η έκθεση αξιολόγησης της IPCC**

➤ **Τα μέρη της 4^{ης} έκθεσης αξιολόγησης**

Το 2007 η IPCC εξέδωσε την 4^η έκθεση αξιολόγησης, σχετικά με τις κλιματικές αλλαγές, αποτελούμενη από τέσσερις τόμους. Οι τρεις πρώτοι τόμοι παρήχθησαν από τις τρεις ομάδες εργασίας που διαπραγματεύτηκαν διαφορετικά θέματα μελέτης, ενώ ο τέταρτος αφορά τη συνοπτική αναφορά της επιτροπής.

➤ **Ο 1^{ος} τόμος της 4^{ης} έκθεσης αξιολόγησης**

Στον πρώτο τόμο της 4^{ης} έκθεσης αξιολόγησης (AR4), η ομάδα εργασίας I (WG1), παρείχε σημαντική πληροφόρηση, σχετικά με τα αίτια των κλιματικών αλλαγών, φυσικά και ανθρωπογενή. Αξιολόγησε, επιπρόσθετα τόσο τις κλιματικές αλλαγές των προηγούμενων αιώνων, όσο και την τότε κατάσταση της κάθε ηπείρου.

Τα βασικά συμπεράσματα της, όπως αυτά παρατίθενται στην Τεχνική Περίληψη της WG1, συνοψίζονται παρακάτω.

- Η αύξηση της θερμοκρασίας τα τελευταία 50 χρόνια οφείλεται σε ανθρωπογενή αίτια με πιθανότητα 90 %.
- Η μέση θερμοκρασία του πλανήτη αυξήθηκε τα τελευταία 100 χρόνια κατά 0.74°C.
- Η συχνότητα και η ένταση ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως καύσωνες, τροπικοί κυκλώνες και πλημμύρες έχουν αυξηθεί.
- Οι όγκοι των πάγων της Γροιλανδίας και της Αρκτικής ισοδυναμούν με άνοδο της στάθμης της θάλασσας κατά 7 και 57 μέτρα αντίστοιχα.
Ο ετήσιος μέσος ρυθμός συρρίκνωσης των πάγων της Αρκτικής είναι περίπου 3% ανά δεκαετία από το 1978.
- Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, εξαιτίας της τήξης των πάγων της Αρκτικής και της Γροιλανδίας, ανέρχεται στα 0.14 - 0.28 mm/year, από το 1993 μέχρι το 2003.

➤ Ο 2ος τόμος της 4ης έκθεσης αξιολόγησης

Η δεύτερη ομάδα εργασίας (WGII) ασχολήθηκε διεξοδικά με τις επιπτώσεις των κλιματικών αλλαγών και χαρτογράφησε στον δεύτερο τόμο της έκθεσης αξιολόγησης τις μελλοντικές τάσεις του πλανήτη εξαιτίας των αλλαγών του κλίματος.

Τα βασικά συμπεράσματα της, όπως αυτά παρατίθενται στην Τεχνική Περίληψη της WGII, συνοψίζονται παρακάτω.

Η αύξηση της θερμοκρασίας, ως απόρροια ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, επιδρά σε πολλά φυσικά και βιολογικά συστήματα, που επηρεάζονται από τις τοπικές κλιματικές αλλαγές.

- Αναμένεται συνολική απώλεια παράκτιων περιοχών που θα ανέρχεται στο 33 % εξαιτίας της ανόδου της στάθμης της θάλασσας κατά 36 cm περισσότερο από το 2000 μέχρι το 2080. Μεγαλύτερες απώλειες, αναμένεται να λάβουν χώρα στις ακτές της Αμερικής, στη Μεσόγειο, τον Ατλαντικό και τον Κόλπο του Μεξικού.
- Όλα τα παράκτια οικοσυστήματα είναι ευάλωτα στις κλιματικές αλλαγές, εξαιτίας της ανόδου της στάθμης της θάλασσας και ιδιαίτερα τα κοράλλια. Αναμένεται μεγάλη θνησιμότητα τους, εξαιτίας της αύξησης της επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας κατά 1-3 °C κατά τη διάρκεια του 21^{ου} αιώνα, εκτός και αν παρουσιαστεί θερμική προσαρμογή των ειδών.
- Οι πλημμύρες και οι καταιγίδες σε παράκτιες περιοχές με χαμηλό υψόμετρο είναι πιθανόν να αποτελέσουν μεγαλύτερο κίνδυνο για τις παράκτιες ζώνες σε σχέση με την άνοδο της στάθμης της θάλασσας.
- Οι επιπτώσεις σχετίζονται κυρίως με την άνοδο της στάθμης της θάλασσας αλλά και με τη λήψη μέτρων αντιμετώπισης και περιορισμού. Χωρίς τη λήψη μέτρων, είναι πιθανόν περισσότερο από 100 εκατομμύρια άνθρωποι να υποστούν τις συνέπειες μιας παράκτιας καταιγίδας ή πλημμύρας κάθε χρόνο από το 2080 και μετά.

➤ Ο 3ος τόμος της 4ης έκθεσης αξιολόγησης

Η τρίτη ομάδα εργασίας (WGIII), αξιολόγησε τα μέτρα σταθεροποίησης και μετριασμού των επιπέδων των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, με απώτερο σκοπό τον περιορισμό της υπερθέρμανσης του πλανήτη και τα παρουσίασε μαζί με το σχετικό οικονομικό κόστος στον τρίτο τόμο της 4^{ης} έκθεσης αξιολόγησης.

Τα βασικά συμπεράσματα της, όπως αυτά παρατίθενται στην Τεχνική Περίληψη της WGIII, συνοψίζονται παρακάτω.

- Η σταθεροποίηση της συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου στα επίπεδα των 445-535 ppm κοστίζει λιγότερο από το 3% του Παγκόσμιου Ακαθάριστου Προϊόντος.
- Αναμένεται αύξηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, από 20% που ήταν το 2010 σε περίπου 30 % το 2030, εξαιτίας της ασύμφορης χρήσης άνθρακα [7].

3.4 ΣΥΜΒΑΣΗ – ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΩΝ Η.Ε. ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ (ΡΙΟ 1992)

Η Σύμβαση - Πλαίσιο των Η.Ε. για τις κλιματικές αλλαγές υπεγράφη από 154 χώρες και την Ευρωπαϊκή Ένωση τον Ιούνιο του 1992 στο Ρίο, κατά τη διάρκεια της Συνόδου Κορυφής για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη και η Ελλάδα επικύρωσε την Σύμβαση με τον Νόμο 2205/1994.

Η σύμβαση δεν έθεσε νομικά δεσμευτικές υποχρεώσεις αλλά τις βάσεις για περαιτέρω δράση στο μέλλον. Την εποχή που επικρατούσαν πολλές αμφισβητήσεις για την επιστημονική στήριξη της ανάγκης υιοθέτησης μέτρων, η σύμβαση έθεσε τις γενικές αρχές και τη διαδικασία για τη μετέπειτα υιοθέτηση δεσμεύσεων, κυρίως μέσω των τακτικών συνόδων.

Η Σύμβαση προβλέπει για όλα τα Κράτη, αναγνωρίζοντας κοινές αλλά διαφοροποιημένες υποχρεώσεις και την ύπαρξη εθνικών αναπτυξιακών προτεραιοτήτων, τα εξής:

1. την ανάπτυξη, τακτική ενημέρωση και δημοσιοποίηση εθνικών απογραφών των ανθρωπογενών εκπομπών βάσει συγκρίσιμων μεθοδολογιών,
2. τη δημοσίευση, αναθεώρηση και εφαρμογή εθνικών προγραμμάτων για την αντιμετώπιση των κλιματικών αλλαγών.
3. την υιοθέτηση πολιτικών και μέτρων με στόχο την επαναφορά των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου στα επίπεδα του έτους 1990 μέχρι το 2000 για τα Κράτη που περιλαμβάνονται στο Παράρτημα Ι της Σύμβασης (ανεπτυγμένα κράτη). Η σύμβαση δίνει τη δυνατότητα ο στόχος αυτός να επιτευχθεί από κάθε κράτος ξεχωριστά ή από κοινού με άλλα.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση με δήλωσή της, που κατετέθη ταυτόχρονα με το έγγραφο επικύρωσης της Σύμβασης, έθεσε σαν συνολικό στόχο της (για όλα τα κράτη-μέλη από κοινού) τη σταθεροποίηση των εκπομπών της διοξειδίου του άνθρακα μέχρι το έτος 2000 στα επίπεδα του 1990 [12]

3.5 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΤΟΥ ΚΙΟΤΟ (1997)

Το πρωτόκολλο του Κιότο θεσπίστηκε το 1997 και αποτελεί μια από τις σημαντικότερες διεθνείς νομοθετικές πράξεις καταπολέμησης της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Με το πρωτόκολλο του Κιότο συμφωνήθηκε ανάμεσα στα ανεπτυγμένα κράτη, η μείωση και ο περιορισμός των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 5% μέχρι το

2012, από τα επίπεδα που επικρατούσαν το 1990. Σημειώνεται ότι, αναπτυσσόμενα κράτη όπως η Κίνα δεν συμπεριλαμβάνονταν στο πρωτόκολλο, ενώ οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής αρνήθηκαν την επικύρωσή του, θεωρώντας το Πρωτόκολλο ζημιογόνο για την οικονομία τους.

Το πρωτόκολλο του Κιότο, περιλαμβάνει νομικά δεσμευτικούς και ποσοτικοποιημένους στόχους για την καταπολέμηση των κλιματικών αλλαγών και αφορά έξι αέρια του θερμοκηπίου, το CO₂, το CH₄, το N₂O (πρωτοξείδιο του αζώτου), των HFC (υδροφθορανθράκων), των PFC (υπερφθοριωμένων υδρογονανθράκων) και του SF₆ (εξαφθοριούχου θείου). Στο εν λόγω πρωτόκολλο προτείνονται μέτρα για την επίτευξη των στόχων, στα οποία περιλαμβάνεται η αύξηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ενεργειακής αποτελεσματικότητας, καθώς και η συνεργασία των συμβαλλόμενων μερών με την ανταλλαγή πληροφοριών και το συντονισμό των εθνικών πολιτικών.

Στο Πρωτόκολλο του Κιότο περιλαμβάνεται και το εμπόριο δικαιωμάτων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, που δίνει το δικαίωμα σε κάθε μέρος να πουλήσει το ποσοστό των εκπομπών του, στην περίπτωση που δεν έχει εξαντλήσει το ανώτερο επιτρεπτό όριο εκπομπών, σε ένα άλλο μέρος που έχει ξεπεράσει το όριο αυτό[7].

3.6 Η ΣΥΝΟΔΟΣ ΤΗΣ ΚΟΠΕΓΧΑΓΗΣ (2009)

Η Σύνοδος της Κοπεγχάγης, το 2009 αποτελεί την 15^η Σύνοδο του ΟΗΕ για την κλιματική αλλαγή και την 5^η Συνδιάσκεψη των συμβαλλόμενων μερών του Πρωτοκόλλου του Κιότο. Στόχος της συνόδου ήταν η αντικατάσταση του Πρωτοκόλλου του Κιότο, το οποίο πρόκειται να λήξει το 2012, με τη θέσπιση νέων δεσμεύσεων για τον περιορισμό των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου για την μετά το 2012 εποχή.

Ωστόσο, η Σύνοδος της Κοπεγχάγης για την κλιματική αλλαγή, σύμφωνα με τον Bledar Feta (2009), αποτέλεσε μια συμφωνία μη δεσμευτικού χαρακτήρα, σύμφωνα με την οποία αναγνωρίζεται η ανάγκη περιορισμού των εκπομπών αερίων κατά 50 % σε σχέση με το επίπεδα του 1990, μέχρι το 2050, ώστε να περιοριστεί η αύξηση της θερμοκρασίας σε επίπεδα μικρότερα από 2 °C.

Οι δεσμεύσεις των αναπτυσσόμενων χωρών για μείωση των εκπομπών αερίων πραγματοποιήθηκαν σε εθελοντική βάση. Συγκεκριμένα οι ΗΠΑ δεσμεύτηκαν για μείωση των εκπομπών αερίων κατά 17 % σε σχέση με τα επίπεδα του 2005 μέχρι το 2020, ενώ η Ευρωπαϊκή ένωση και η Ιαπωνία κατά 20-30 % και 25 % σε σχέση με τα επίπεδα του 1990, αντίστοιχα.

Στη Σύνοδο της Κοπεγχάγης για την κλιματική αλλαγή, οι προαναφερόμενες χώρες, δεσμεύτηκαν για την παροχή κονδυλίου προς της αναπτυσσόμενες χώρες, με σκοπό τη λήψη μέτρων για καταπολέμηση των κλιματικών αλλαγών, όπως αναδάσωση, πράσινη ανάπτυξη, μείωση των εκπομπών [7].

3.7 Η ΣΥΝΟΔΟΣ ΤΟΥ ΜΕΞΙΚΟΥ (2010)

Η Σύνοδος του Μεξικού αποτελεί την 16^η Σύνοδο του ΟΗΕ για την κλιματική αλλαγή και την 6^η Συνδιάσκεψη των συμβαλλόμενων μερών του Πρωτοκόλλου του Κιότο. Στόχος της Συνόδου ήταν η αντικατάσταση του Πρωτοκόλλου του Κιότο και η θέσπιση μιας νέας δεσμευτικής νομικά συμφωνίας για τον περιορισμό των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου για την μετά το 2012 εποχή.

Ωστόσο, η τελική συμφωνία της Συνόδου του Μεξικού δεν ήταν δεσμευτική, αλλά περιλάμβανε την απόφαση για την προπαρασκευή ενός νέου πρωτοκόλλου, στο οποίο θα συμπεριλαμβάνονταν και οι χώρες που δεν είχαν κυρώσει στο παρελθόν το Πρωτόκολλο του Κιότο. Επιπρόσθετα, συμφωνήθηκε η δημιουργία του Πράσινου Ταμείου για το Κλίμα,

το οποίο θα διαχειρίζεται κονδύλια ύψους δεκάδων δις δολαρίων ετησίως, με στόχο την ενίσχυση των αναπτυσσόμενων κρατών. Στην τελική συμφωνία, περιλαμβάνεται επίσης, η ανάπτυξη πολιτικής για μετριασμό της αποψίλωσης των δασών REDD, σύμφωνα με την οποία θα παρέχεται η δυνατότητα στις χώρες που αποτελούν ρυπαντές, να εξαγοράζουν δικαιώματα εκπομπής CO₂, από χώρες με μειωμένες εκπομπές [7].

4. ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ

4.1 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΙΣ ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΖΩΝΕΣ

Η κλιματική αλλαγή, είτε εξαιτίας των διαταραχών που προκαλούνται από τον άνθρωπο, είτε εξαιτίας των γεωλογικών κύκλων, έχει γίνει ολοκάθαρα αντιληπτή και έχει δώσει σοβαρά σημάδια τα οποία δείχνουν την δριμύτητα του φαινομένου.

Η κλιματική αλλαγή εκφράζεται στην ανοιχτή θάλασσα και την παράκτια ζώνη, μέσα από μια σειρά επιπτώσεων, οι οποίες θα επηρεάσουν μεγάλα τμήματα της παράκτιας ζώνης και εξαιτίας αυτού σημαντικό τμήμα της ολοκληρωμένης διαχείρισης των παρακτιών ζωνών (ΟΔΠΖ) ασχολείται με αυτές τις επιπτώσεις, οι σημαντικότερες από τις οποίες είναι:

4.1.1 Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας που μπορεί να υπερβεί το ποσοστό των 5 mm το χρόνο [13].

Μία από τις σοβαρότερες επιπτώσεις του φαινομένου του θερμοκηπίου αναμένεται να είναι και η αύξηση της μέσης στάθμης της θάλασσας. Η αύξηση αυτή οφείλεται κυρίως στη διαστολή του θαλασσινού νερού λόγω αύξησης της θερμοκρασίας, λιώσιμο των αλπικών παγετώνων, λιώσιμο των πάγων της Γροιλανδίας και της Ανταρκτικής. Τα τελευταία 140 χρόνια, η αύξηση της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας κατά 0,4-0,8°C είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της μέσης στάθμης των ωκεανών κατά 10-20 cm. Η IPCC εκτιμά πως η επιδείνωση της αποσταθεροποίησης του κλίματος θα επιφέρει μια αύξηση της μέσης στάθμης της θάλασσας κατά 15-95 cm στον επόμενο αιώνα. Παραλιακές ζώνες και μικρά νησιά είναι ιδιαίτερα ευάλωτα σε αυτή την άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Οι παραλιακές ζώνες με μικρή ή μηδενική κλίση θα αντιμετωπίσουν τον κίνδυνο να κατακλυστούν από το θαλασσινό νερό. Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας θα έχει σαν συνέπεια να προχωρήσουν τα θαλάσσια νερά βαθύτερα στην ξηρά, σε βαθμό που να προκληθούν φυσικές και υλικές καταστροφές στα δέλτα των ποταμών, στις παράκτιες πόλεις, στις τουριστικές εγκαταστάσεις, στις καλλιέργειες και αλλού. Ορισμένες περιοχές θα καταστούν ιδιαίτερα ευάλωτες λόγω και της φυσικής βύθισης της ξηράς ως προς τη θάλασσα, ενώ παράλληλα θα ενισχυθεί η φυσική διάβρωση των ακτογραμμών. Το φαινόμενο αυτό, ονομάζεται 'Κατακλυσμός' και ορίζεται ως η 'μόνιμη μετακίνηση της θάλασσας στη χερσαία ζώνη'[1]. Η WGII (2007), προβλέπει συνολική απώλεια παράκτιων περιοχών που θα ανέρχεται στο 33 % το 2080. Μεγαλύτερες απώλειες, αναμένεται να λάβουν χώρα στις ακτές της Αμερικής, στη Μεσόγειο, τον Ατλαντικό και τον Κόλπο του Μεξικού.

Κύριοι παράγοντες που επιδρούν στην άνοδο της μέσης στάθμης της θάλασσας [14]:

- **Η θερμική ωκεάνια διαστολή** είναι ένα φαινόμενο που συνδέεται με τις αλλαγές στην πυκνότητα του νερού (στερικές αλλαγές) και εξαρτάται από τη θερμοκρασία και την αλατότητα του νερού. Παρουσιάζεται εντονότερη στις τροπικές και υποτροπικές περιοχές, όπου το θαλασσινό νερό είναι πιο ζεστό. Η ωκεάνια

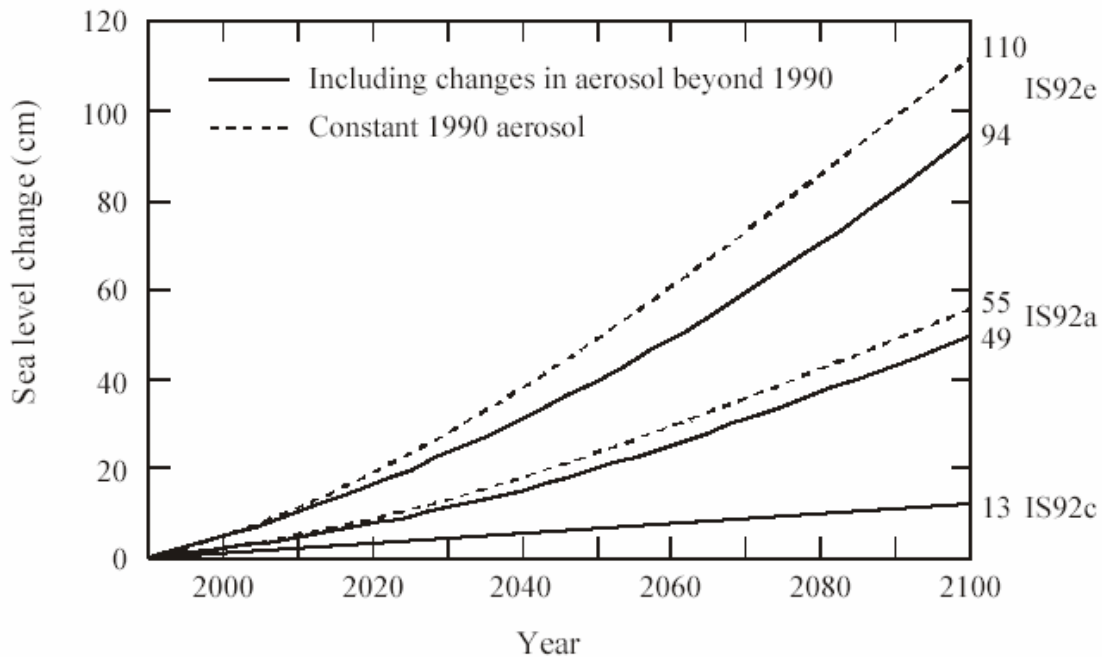
διαστολή κατά τη διάρκεια των τελευταίων 100 ετών έχει υπολογιστεί να έχει συμβάλει περίπου κατά 2-7 cm στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας .

- **Η τήξη των παγετώνων και των στρωμάτων πάγου** είναι πιθανό να αυξηθεί ως συνέπεια της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου. Υπάρχει μια μεγάλη αβεβαιότητα σχετικά με την ισορροπία της μάζας των στρωμάτων πάγου στην επιφάνεια της Γης και την ακριβή συμβολή της στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Η μείωση των παγετώνων άρχισε σε πολλές περιοχές του κόσμου από τα μέσα του 19ου αιώνα. Αυτό έχει διαπιστωθεί στις Άλπεις και τη νότια κεντρική Αλάσκα, αλλά όχι την Καναδική Αρκτική. Τα στοιχεία που παρατηρήθηκαν υπολογίζουν ότι η υποχώρηση του πάγου (παγετώνες και στρώματα πάγου) έχει συμβάλει στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας περίπου 2-5 cm κατά τη διάρκεια των τελευταίων 100 ετών. Το μέγεθος της ανόδου της στάθμης της θάλασσας λόγω της μείωσης του όγκου των παγετώνων έχει υπολογιστεί στα (περίπου) 0,35 mm/έτος στην περίοδο 1890 –1990 και 0,6 mm/έτος μεταξύ 1985 και 1993. Η συμβολή της Γροιλανδίας και των Ανταρκτικών στρωμάτων πάγου στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας παραμένει ασαφής. Δεδομένου ότι το μεγαλύτερο μέρος του γλυκού νερού αποθηκεύεται σε αυτά τα δύο τεράστια στρώματα πάγου, ακόμη και μια μικρή απώλεια στον όγκο τους θα μπορούσε να έχει σημαντικά αποτελέσματα στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Ένα θερμότερο κλίμα στο μέλλον θα αυξήσει πιθανότατα το ποσοστό τήξης στα επιφανειακά στρώματα πάγου της Γροιλανδίας. Αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε μια αύξηση της στάθμης της θάλασσας. Αντίθετα, τα Ανταρκτικά στρώματα πάγου θα δοκιμάσουν πιθανότατα μια αύξηση στο ποσοστό συγκέντρωσης που θα μπορούσε να προκαλέσει μια μείωση της στάθμης της θάλασσας. Δεδομένου ότι οι ανταρκτικές θερμοκρασίες είναι πολύ χαμηλές, λίγη μόνο επιφάνεια λειώνει. Η απώλεια πάγου οφείλεται κυρίως σε αποκοπή των παγόβουνων.
- **Οι μεταβολές στην ποσότητα του επίγειου υγρού νερού** που αποθηκεύεται στο έδαφος και την επιφάνεια θεωρούνται ότι έχουν άμεση επίδραση στην αλλαγή της στάθμης της θάλασσας, αν και δεν είναι σαφές εάν είχαν παίξει σημαντικό ρόλο στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας στο παρελθόν. Οι ανθρώπινες επεμβάσεις, όπως η οικοδόμηση φραγμάτων, η υπερβολική κατανάλωση υπόγειου νερού, η αποδάσωση, η καταστροφή των υγρότοπων και η τήξη των μόνιμα παγωμένων εδαφών, καθώς και διάφορες φυσικές διαδικασίες μπορούν να επηρεάσουν αρκετά τον υδρολογικό κύκλο. Παρά την αβεβαιότητα σχετικά με τη συμβολή αυτών των παραγόντων στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας, πολλές μελέτες υποστηρίζουν ότι η υδρολογική συμβολή στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας κατά τη διάρκεια του προηγούμενου αιώνα θα μπορούσε να είναι σημαντική. Η IPCC έχει υπολογίσει ότι η τρέχουσα συμβολή μπορεί να κυμανθεί μεταξύ – 0,4 mm/έτος και + 0,75 mm/έτος, με μια μέση εκτίμηση περίπου 0,1mm/έτος και ότι κατά τη διάρκεια των τελευταίων 100 ετών η συμβολή θα μπορούσε να είναι περίπου 0,5 cm .
- **Οι παράκτιες φυσικές διαδικασίες** όπως η καθίζηση, η πρόσχωση και η διάβρωση, καθώς επίσης και τα τεκτονικά φαινόμενα είναι ειδικές περιπτώσεις και μπορούν να έχουν σημαντικά αποτελέσματα που ενισχύουν ή που αντιστρέφουν την τάση ανόδου της στάθμης της θάλασσας. Σε παγκόσμια κλίμακα η συμβολή τους στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας θεωρείται ασήμαντη .

Προβλέψεις για τη στάθμη της θάλασσας [1]

Στον αιώνα που πέρασε, το παγκόσμιο επίπεδο της θάλασσας έχει ανέβει από 10 έως 20 cm. Παρά το ότι τα τελευταία χρόνια η θερμοκρασία του πλανήτη ανήλθε κατά 0,6°C και η συγκέντρωση CO₂ στην ατμόσφαιρα έχει αυξηθεί κατά 30%, φαίνεται πως δεν έχει συμβεί καμία δραματική επιτάχυνση στην άνοδο της μ.σ.θ.. Όμως, μέχρι τα έτη 2025 – 2030, η

στάθμη της θάλασσας αναμένεται να ανέβει 2 με 3 φορές γρηγορότερα από ότι στο παρελθόν, σε άμεση ανταπόκριση στο διπλασιασμό των ποσοτήτων CO₂ στην ατμόσφαιρα. Η αναμενόμενη άνοδος της μ.σ.θ. σύμφωνα με την IPCC ενδέχεται να είναι της τάξης του ενός μέτρου και θα συμβεί σταδιακά μέσα στα επόμενα 100 χρόνια. Βάσει των προβλέψεων για το κλίμα και των σεναρίων εκπομπής, η IPCC έχει υπολογίσει το μέγεθος της μελλοντικής αλλαγής της στάθμης της θάλασσας για την περίοδο 1990-2100, ως αποτέλεσμα της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου. Για μια άνοδο της θερμοκρασίας 1,5-4,5° C τα μοντέλα υπολογίζουν μια παγκόσμια μέση άνοδο της στάθμης της θάλασσας κατά 13-94 cm την περίοδο 1990-2100 (Σχ. 4.1).



Σχήμα 4.1: Μελλοντικές μεταβολές της παγκόσμιας στάθμης της θάλασσας σύμφωνα με την IPCC.

Οι αλλαγές στη μελλοντική στάθμη της θάλασσας δεν θα είναι ομοιόμορφες σε όλο το κόσμο. Το αποτέλεσμα στις θάλασσες διαφόρων περιοχών μπορεί να είναι πολύ διαφορετικό και θα εξαρτηθεί από τους τοπικούς παράγοντες. Τα τοπικά χαρακτηριστικά κλίματος, όπως οι διαφορές θερμοκρασίας, ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, ανέμων και πίεσης, καθώς επίσης και αλλαγές στην ωκεάνια κυκλοφορία και πυκνότητα νερού θα είναι σημαντικά για τις μεταβολές της στάθμης της θάλασσας. Άλλοι σημαντικοί παράγοντες που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την τοπική άνοδο της στάθμης της θάλασσας είναι οι μετακινήσεις εδάφους που προκαλούνται από φυσικές και ανθρωπογενείς αιτίες, όπως οι τεκτονικές μετακινήσεις, η καθίζηση, η φυσική άνοδος, η διάβρωση ή μείωση των ιζημάτων.

4.1.2 Η αύξηση της συχνότητας των ακραίων καιρικών φαινομένων που οδηγούν στην εμφάνιση ισχυρών θυέλλων ακόμη και τυφώνων μέσα στο εσωτερικό της λεκάνης της Μεσογείου. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία υψηλότερων κυμάτων και ισχυρότερων ρευμάτων στην παράκτια ζώνη [13].

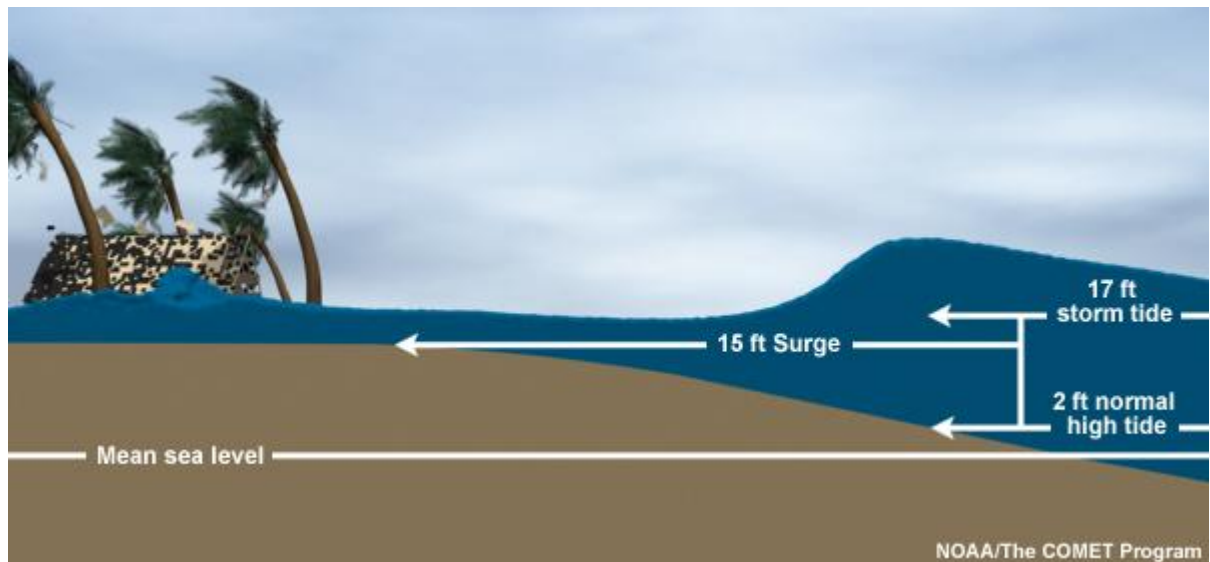
Ορισμένες παράκτιες ζώνες, βιώνουν στις μέρες μας το φαινόμενο των πλημμυρών από τα νερά των ωκεανών, με πιο πρόσφατη την περίπτωση των ακτών της Αυστραλίας. Η συχνότητα, το μέγεθος και η έκταση των πλημμυρών, είναι συνάρτηση της υπερθέρμανσης

του πλανήτη, της αύξησης της στάθμης της θάλασσας, την αύξηση του ύψους της πλημμυρίδας της παλίρροιας και την αύξηση της έντασης και συχνότητας των καταιγίδων.

Η WGII (2007), επισημαίνει στην αναφορά της ότι, είναι πιθανόν περισσότερο από 100 εκατομμύρια άνθρωποι να υποστούν τις συνέπειες μιας παράκτιας καταιγίδας ή πλημμύρας κάθε χρόνο από το 2080 και μετά [7].

➤ **Μετεωρολογική Παλίρροια (Storm Surge) [15]**

Μια καταιγίδα σε αβαθείς παράκτιες περιοχές μπορεί να προκαλέσει μεγάλες διακυμάνσεις της στάθμης του νερού, εάν το κύριο σώμα του νερού βρίσκεται, σε μεγάλη έκταση, σε αβαθή νερά. Αυτό, είναι κοινώς γνωστό ως κύμα θύελλας ή μετεωρολογική παλίρροια. Η δραστηριότητα του φαινομένου, μπορεί να προκαλέσει είτε αύξηση (setup) είτε πτώση (setdown) της στάθμης του νερού σε διαφορετικές θέσεις και διαφορετική χρονική στιγμή -με την αύξηση της στάθμης, να κυριαρχεί σε κάθετο μέγεθος, πλευρική έκταση και διάρκεια. Ειδικότερα, τα αίτια πρόκλησης ενός τέτοιου φαινομένου αποτελούν: οι έντονοι επιφανειακοί άνεμοι και τα ρεύματα στον πυθμένα που προκαλούνται από αυτούς, ο προσανατολισμός των ανέμων σε σχέση με την ακτή, η επιτάχυνση Coriolis καθώς αναπτύσσονται τα επιφανειακά ρεύματα, η ατμοσφαιρική πίεση, το μέγεθος του βαρομετρικού χαμηλού, η ένταση και η ταχύτητα προώθησης, η ανύψωση κυμάτων λόγω ανέμων, το σχήμα της ακτογραμμής, η βαθυμετρία της περιοχής, οι βροχοπτώσεις και η επιφανειακή απορροή. Περιοχές οι οποίες είναι επιρρεπείς σε τέτοιου είδους φαινόμενα, κατά τη διάρκεια αλλά και μετά την εκτόνωση του φαινομένου, είναι περιοχές με χαμηλά υψόμετρα και ήπιες μορφολογικές κλίσεις. (Robert M. Sorensen, 2006)



Σχήμα 4.2: Μετεωρολογική παλίρροια (Πηγή: <http://www.nhc.noaa.gov/surge/>, last viewed September 10)

Οι επιφανειακοί άνεμοι μεγάλης έντασης (κυκλώνες), δημιουργούν το φαινόμενο της ανύψωσης λόγω ανέμου, ωθώντας το επιφανειακό νερό προς τις παράκτιες περιοχές με αποτέλεσμα το «piling up» του νερού κοντά στην ακτή. Η χαμηλή κεντρική πίεση του κυκλώνα προκαλεί το φαινόμενο του ανάστροφου βαρομέτρου. Η διαφορά μεταξύ της

χαμηλής πίεσης στο κέντρο του κυκλώνα και της υψηλότερης περιβαλλοντικής πίεσης έξω από τον πυρήνα, μπορεί να προκαλέσει άνοδο της στάθμης του νερού. Σαν γενικός κανόνας αναφέρεται ότι για κάθε mbar πτώσης της κεντρικής πίεσης του τυφώνα, η στάθμη του νερού ανεβαίνει κατά 1 cm. (Θ.Β. Καραμπάς κ.ά., 2008)

Οι περιοχές όπου θα εμφανίζεται το φαινόμενο της μετεωρολογικής παλίρροιας θα εξαρτώνται από το βαθμό αλλαγής στο επίπεδο της θάλασσας καθώς αυτό θα μεταβάλλει τόσο τις περιοχές πλημμύρας όσο και το βάθος τους. Παρόλα αυτά, καθώς το φαινόμενο προκαλείται κυρίως από ανεμογενή αίτια, η αύξηση της στάθμης της θάλασσας θα έχει πολύ μικρή επίδραση στη μεταβλητότητα του επιπέδου του νερού που συνδέεται με την ατμοσφαιρική πίεση ή τη μετεωρολογική παλίρροια. Ωστόσο, υπάρχουν ενδείξεις ότι η παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας θα επηρεάσει τόσο την ένταση όσο και τη συχνότητα τέτοιων φαινομένων. Αυτές οι αλλαγές θα έχουν σημαντική επίδραση στα επίπεδα του νερού με αποτέλεσμα να αλλάξουν σε μεγάλο βαθμό η παράκτια μηχανική και οι παράκτιες μέθοδοι διαχείρισης σε περιοχές που υπόκεινται σε μεγάλες διακυμάνσεις της στάθμης του νερού λόγω των μετεωρολογικών πιέσεων, δηλαδή από την ατμοσφαιρική πίεση ή την μετεωρολογική παλίρροια.



Σχήμα 4.3: Στοιχεία μετεωρολογικής παλίρροιας Πηγή:

http://www.nhc.noaa.gov/surge/images/surgebulge_COMET.jpg, last viewed September 10,2010)

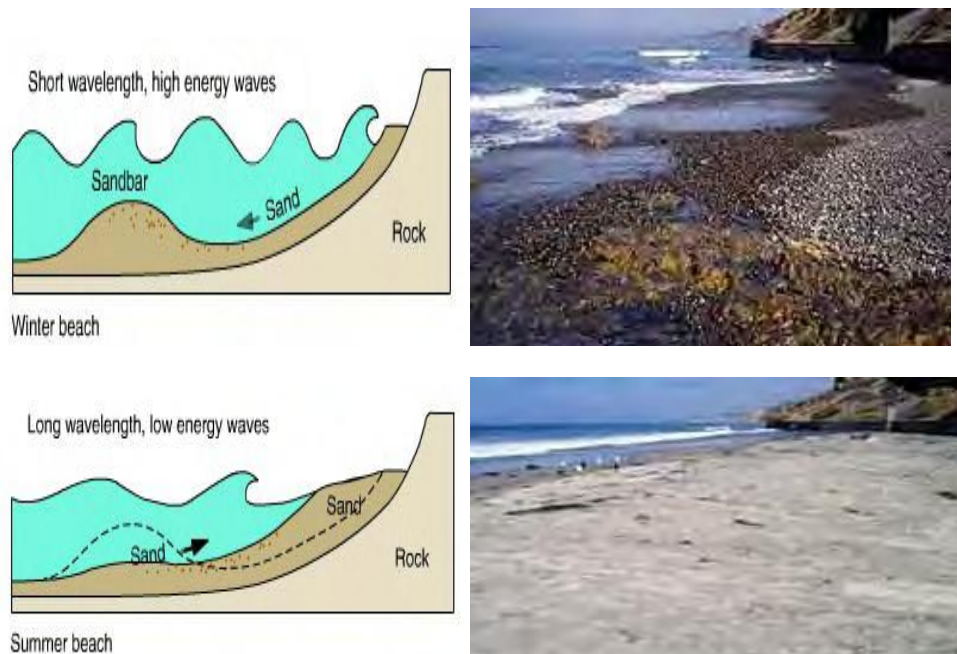
Η μετεωρολογική παλίρροια μπορεί επίσης να προκαλέσει μεγάλης έκτασης, βραχυπρόθεσμη αύξηση του επιπέδου του νερού. Σύμφωνα με τη σύνταξη της αναφοράς για την ASCE Hurricane Katrina, διαπιστώθηκε ότι τα ανώτερα επίπεδα νερού εξαιτίας της μετεωρολογικής παλίρροιας και του βαρομετρικού χαμηλού, ανήλθαν στα 6m πάνω από τη φυσιολογική στάθμη στην περιοχή του Plaquemines Parish και στα 3.7m στην είσοδο των καναλιών κατά μήκος της περιοχής New Orleans Lakeshore.

Ο συνδυασμός της σύνθεσης των παραλιών και των χαρακτηριστικών της καταιγίδας καθορίζει πως οι παραλίες επηρεάζονται από τις καταιγίδες. Παραδείγματος χάρη, η υποχώρηση των απόκρημνων και υδαρών ακτών εμφανίζεται επεισοδιακά, χωρίς

οποιαδήποτε μετακίνηση προς τη θάλασσα μεταξύ των γεγονότων υποχώρησης. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τις αμμώδεις παραλίες, οι οποίες τείνουν τουλάχιστον σε εν μέρει αποκατάσταση μετά από τις καταιγίδες.

Επίσης, ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τη μετεωρολογική παλίρροια είναι το μήκος και το πλάτος της Υφαλοκρηπίδας. Αυτό σημαίνει πως μια ήπια και ρηχή κλίση μπορεί να παράγει ένα μεγαλύτερο κύμα σε σχέση με μια απότομη κλίση υφαλοκρηπίδας. Για παράδειγμα, το κύμα μετεωρολογικής παλίρροιας που μπορεί να πλήξει τις ακτές της Louisiana, μια περιοχή με υφαλοκρηπίδα μεγάλου εύρους και μικρού βάθους, μπορεί να φτάσει τα 20-foot ενώ ο ίδιος έντασης άνεμος στην περιοχή Miami Beach, Florida, μια περιοχή όπου το βάθος της υφαλοκρηπίδας αυξάνεται πολύ γρήγορα, μπορεί να προκαλέσει κύμα της τάξης των 8 ή 9-foot.

Η αμμώδης παραλία είναι σαν ένας μάντλας μεταφοράς, ο οποίος λειτουργεί μεταξύ των αμμόλοφων και των υποθαλάσσιων αναβαθμών άμμου στα ανοικτά. Αυτές οι δύο μεγάλες δεξαμενές άμμου και η παραλία αποτελούν ένα σύστημα διανομής της άμμου, το οποίο χειρίζονται ο άνεμος και τα κύματα. Τα κύματα καταιγίδας διαβρώνουν την παραλία και μεταφέρουν την άμμο στα ανοικτά. Μια ποσότητα από αυτή την άμμο αποθηκεύεται σε υποθαλάσσιους αναβαθμούς ή κοντά στην παραλία, ενώ η υπόλοιπη μεταφέρεται στα ανοικτά και εναποτίθεται σε σχετικά βαθιά νερά, όπου πλέον έχει χαθεί για πάντα από το παράκτιο σύστημα. Τα κύματα σε ήρεμο καιρό τείνουν να επαναφέρουν την άμμο που βρίσκεται στους αναβαθμούς και κοντά στην παραλία, πίσω και επάνω στην παραλία (σχήμα 4.4). Εκεί ο άνεμος μεταφέρει τους ψιλούς κόκκους άμμου για να διαμορφώσει τους αμμόλοφους. Οποιαδήποτε παρέμβαση στη χερσαία και θαλάσσια μετακίνηση της άμμου, όπως η εγκατάσταση παράκτιων κατασκευών, θα μπορούσε να οδηγήσει σε απώλεια εδάφους.



Σχήμα 4.4 - Ο εποχιακός κύκλος μιας παραλίας, σχηματικά και σε φωτογραφία. Το χειμώνα, τα κύματα καταιγίδας, καθώς και τα συνήθη, υψηλής ενέργειας κύματα μεταφέρουν την άμμο της παραλίας σε υποθαλάσσιους αναβαθμούς. Το καλοκαίρι, όταν η ενέργεια και το μήκος των κυμάτων είναι σαφώς μικρότερα, η άμμος μεταφέρεται σταδιακά και πάλι προς την παραλία

4.1.3 Η αύξηση του ρυθμού διάβρωσης στις παραλίες με ψιλή άμμο και οι ταχύτατες μορφολογικές αλλαγές τους [13].

Η παράκτια διάβρωση είναι μια φυσική διαδικασία στην οποία υποβάλλονται οι ακτές, η οποία ενισχύεται και επιταχύνεται εξαιτίας των κλιματικών αλλαγών. Οι ακτογραμμές διαβρώνονται εξαιτίας κυρίως της επίδρασης του νερού της θάλασσας, των ποταμών, των υπογείων νερών και των βροχοπτώσεων. Επιπρόσθετα, στη διάβρωση των παράκτιων ζωνών συμβάλλει και ο άνεμος, καθώς και η θερμοκρασία. Ωστόσο, τα κύρια αίτια της διάβρωσης των ακτογραμμών συνίστανται από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας, τις πλημμύρες, την αυξημένη ένταση των καταιγίδων, το αυξημένο ύψος των κυμάτων και τα έντονα καιρικά φαινόμενα, όπως τυφώνες, που παρατηρούνται στις παράκτιες ζώνες, ως συνέπειες της ανθρώπινης δραστηριότητας στον πλανήτη που συμβάλλει στις κλιματικές αλλαγές. Συγκεκριμένα, η υπερθέρμανση του πλανήτη που οδηγεί στην τήξη των πάγων, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της επιφάνεια του υγρού στοιχείου και την άνοδο της στάθμης της θάλασσας, συνέπεια των οποίων είναι η αύξηση της δημιουργίας κυμάτων στα οποία είναι εκτεθειμένες οι ακτογραμμές. Σημειώνεται ότι η διάβρωση είναι αποτέλεσμα κυρίως των αυξημένου ύψους κυμάτων και των θαλάσσιων, μεγάλης ισχύος, ρευμάτων. Επιπρόσθετα, σε περιοχές με χαμηλό υψόμετρο, η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, οδηγεί σε διάβρωση των ακτών που επιφέρει δυσμενείς επιπτώσεις, όπως καθίζηση του εδάφους. Επιπλέον, ο ρυθμός διάβρωσης των ακτογραμμών αυξάνεται, λόγω της αυξημένης συχνότητας και έντασης των ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως τυφώνες, καταιγίδες και πλημμύρες. Σύμφωνα με τον Δουκάκη Ε. (2005), τα ακραία καιρικά φαινόμενα, ενισχύουν τα παράκτια ρεύματα και οδηγούν σε γρηγορότερη απώλεια εδαφών[7].

Παράκτια διάβρωση μπορεί να παρατηρηθεί και εξαιτίας του περιορισμού της διαθεσιμότητας των ιζημάτων προς τις ακτές, λόγω φτωχών βροχοπτώσεων που οδηγούν στην μειωμένη ή και καθόλου ροή των ποταμών και κατ' επέκταση ιζημάτων προς τις ακτές. Σύμφωνα με την παράγραφο 1.3.3 της 4^η έκθεσης αξιολόγησης της ομάδας εργασίας 2, τρανό παράδειγμα διάβρωσης των ακτογραμμών εξαιτίας των κλιματικών μεταβολών, παρατηρήθηκε στην Εσθονία και στις πολικές περιοχές. Η αύξηση των καταιγίδων, αλλά και η επικράτηση ήπιων χειμώνων στην Εσθονία, οδήγησε στην τήξη των πάγων, με αποτέλεσμα την πρόκληση αλλαγών στην παράκτια γεωμορφολογία.

Το 2004 το Eurosrion Programme (2004), αναφέρει στο δεύτερο μέρος του PART 2 - Maps and statistics, ότι η ολική μείωση των ακτογραμμών της Κύπρου το 2001 ήταν 25 Km, από την 66 Km συνολικά ακτογραμμή του νησιού. Αποτελέσματα της παράκτιας διάβρωσης στην Ευρώπη, σύμφωνα με το PART 1 - Major findings and Policy Recommendations of the EUROSION project, είναι ο σοβαρός επηρεασμός ή τα σοβαρά προβλήματα διάβρωσης που αντιμετωπίζει το 20 % των ακτών της Ευρώπης, η ετήσια απώλεια της επιφάνεια της γης σε παράκτιες ζώνες κατά 15 Km , η εγκατάλειψη 250- 300 σπιτιών από το 1999-2002 , η μείωση της αξίας της γης κατά 10% για 3000 σπίτια, η υποχώρηση της ακτογραμμής κατά 0.5 με 2 μέτρα ετησίως σε ορισμένες περιοχές.

Η διάβρωση διακρίνεται σε βραχυπρόθεσμη και μακροπρόθεσμη διάβρωση. Η μακροπρόθεσμη διάβρωση προκαλείται από τη μείωση της ετήσιας απόθεσης ιζημάτων, σύμφωνα με τη Victorian Coastal Strategy 2008, εξαιτίας της ανόδου της στάθμης της θάλασσας και οδηγεί σε μόνιμη υποχώρηση των ακτών, όπως αναφέρει ο Δουκάκης Ε. (2005). Αντίθετα, η βραχυπρόθεσμη διάβρωση, είναι αποτέλεσμα ακραίων καιρικών φαινομένων και προκαλεί έντονη διάβρωση των ακτογραμμών, η οποία, σύμφωνα με το Δουκάκη Ε. (2005), αποκαθιστάται φυσικά στη διάρκεια του χρόνου, δηλαδή δεν οδηγεί απαραίτητα σε μόνιμη απώλεια των ακτών.

Η έντονη διάβρωση των ακτών που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια, ανά το παγκόσμιο, οφείλεται τόσο στις κλιματικές μεταβολές που προαναφέρθηκαν, όσο και σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Η ανθρωπίνη επέμβαση, όπως η κατασκευή μεγάλων φραγμάτων ανάντη των ακτών που αποτρέπει τις ποτάμιες αποθέσεις σε αυτές, η εξόρυξη άμμου ή αλλιώς αμμοληψία που προκαλεί τη διατάραξη της ισορροπίας των ιζημάτων, η εκρίζωση δέντρων, η άντληση υπόγειων νερών που συμβάλλει στην καθίζηση του εδάφους και γενικότερα η ανάπτυξη των ακτογραμμών, οδηγούν είτε σε μακροχρόνια είτε σε βραχυχρόνια διάβρωση των ακτών. Επιπρόσθετα, σύμφωνα με τον Δουκάκη Ε. (2005), τα τεχνικά έργα, όπως βραχίονες, κυματοθραύστες, λιμάνια, ενδέχεται να προκαλέσουν επιτάχυνση της διάβρωσης των παρακείμενων ακτών. Το Eurosrion Programme (2004), PART 5 4 - Guidelines for incorporating coastal erosion issues into Environmental Assessment (EA) procedures, αναφέρει ως ανθρωπογενείς παράγοντες που οδηγούν σε διάβρωση των ακτών, τα λιμάνια, τις εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας, όπως τα αιολικά πάρκα, τα κατασκευαστικά τουριστικά θέρετρα, τις μαρίνες, τα προστατευτικά κατασκευαστικά έργα όπως κυματοθραύστες και την εξόρυξη υδρογονανθράκων και φυσικού αερίου[7].

4.1.4 Σημαντικές δευτερεύουσες επιπτώσεις στο παράκτιο περιβάλλον και σοβαρή επίπτωση στα παράκτια οικοσυστήματα, συμπεριλαμβανομένης και της βιοποικιλότητας[13]. – Υφαλμύρωση παράκτιων υδροφορέων

Έχει παρατηρηθεί, σταδιακή εξαφάνιση ή συρρίκνωση παράκτιων υδροβιότοπων, εξαιτίας της ανόδου της στάθμης της θάλασσας που αυξάνει την αλατότητα του νερού, προκαλώντας, αντικατάσταση της βλάστησης του γλυκού νερού με βλάστηση αλμυρού νερού, σύμφωνα με στοιχεία της WGII (2007). Η αύξηση της συγκέντρωσης άλατος στο νερό μπορεί να εμφανιστεί και σε περιοχές με θερμότερα κλίματα, εξαιτίας της αυξητικής τάσης της θερμοκρασίας που οδηγεί σε εξατμισμό σημαντικής ποσότητας νερού. Αυξημένη συγκέντρωση άλατος, παρατηρείται και στους υπογείους υδροφορείς με αποτέλεσμα την υφαλμύρωσή τους, καθιστώντας το νερό ακατάλληλο για χρήση για σκοπούς άρδευσης, ύδρευσης αλλά και για εξυπηρέτηση της οικοδομικής βιομηχανίας. Τόσο, η υφαλμύρωση των υδροφορέων, όσο και η εισχώρηση θαλάσσιων υδάτων σε εκβολές ποταμών, οφείλονται σε κλιματικές αλλαγές λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη και κυρίως εξαιτίας της ανόδου της στάθμης της θάλασσας.

4.2 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΛΙΜΕΝΩΝ [13]

Ένα λιμάνι από λειτουργικής άποψης αποσκοπεί στην απομόνωση μιας υδάτινης μάζας από τις φυσικές περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν στην παράκτια περιοχή που κατασκευάστηκε, έτσι ώστε τα κύματα και τα ρεύματα να ελαττωθούν για χάρη της ασφαλούς αγκυροβόλησης και υπηρεσιών των πλοίων(φόρτωση και εκφόρτωση). Η απομόνωση έχει ως κύριο αποτέλεσμα την δημιουργία στάσιμων μαζών νερού και επομένως την πιθανότητα της μείωσης της ποιότητας του νερού και των οικολογικών περιβαλλοντικών συνθηκών στις λιμενολεκάνες.

Μια κρίσιμη παράμετρος αξιολόγησης αυτού του αποτελέσματος είναι ο χρόνος ανανέωσης της λιμενολεκάνης . Ως χρόνος ανανέωσης ορίζεται ο χρόνος που απαιτείται για την πλήρη ανανέωση των μαζών της λιμενολεκάνης με νερό της ανοιχτής θάλασσας και είναι ένας συγκεντρωτικός δείκτης της ποιότητας του νερού του λιμανιού. Είναι προφανές ότι μικρός χρόνος ανανέωσης σημαίνει καλύτερη ποιότητα νερού αλλά ταυτόχρονα σημαίνει και λιγότερη προστασία του λιμανιού από τα στοιχεία και μικρότερη ασφάλεια για τα αγκυροβολημένα πλοία- σκάφη. Η ποιότητα νερού δεν είναι ομοιόμορφη στη

λιμενολεκάνη και δημιουργείται μια περίπλοκη τρισδιάστατη υδροδυναμική κατάσταση που καταλήγει σε περιοχές με καλύτερα ή χειρότερα ποσοστά ανανέωσης του νερού και επομένως σε ποιότητα νερού.

Η κατάσταση είναι πιο κρίσιμη κατά την διάρκεια του καλοκαιριού, όταν η αύξηση της θερμοκρασίας του νερού στην λιμενολεκάνη έχει ως αποτέλεσμα στη μείωση διάλυσης οξυγόνου και κατά συνέπεια, μεγαλύτερη πιθανότητα για την εμφάνιση ανοξικών συνθηκών και σε ταχύτερη επιδείνωση των περιβαλλοντικών συνθηκών. Αυτό το πρόβλημα είναι το κυριότερο της μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων στα λιμάνια. Κατά την διαδικασία σχεδιασμού της λιμενολεκάνης, ο προσανατολισμός της εισόδου, η πολυπλοκότητα του σχήματος των εσωτερικών υπολεκανών, η τεχνητή αύξηση της κυκλοφορίας του νερού και η ανανέωση είναι θέματα που πρέπει να λυθούν παράλληλα με τα θέματα λειτουργίας του λιμανιού σε μια διαδικασία ανατροφοδότησης πληροφοριών.

4.3 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΤΩΝ ΛΙΜΑΝΙΩΝ [13]

Οι προβλεπόμενες κλιματικές αλλαγές όπως περιγράφονται μέσα από τις επιπτώσεις που επιφέρουν για την παράκτια ζώνη, θα αποσπάσουν την προσοχή από τους λειτουργικούς σκοπούς των λιμανιών. Παρακάτω αναφέρονται ζητήματα τα οποία θα πρέπει να επανεξεταστούν κατά τον σχεδιασμό των υφιστάμενων και μελλοντικών λιμανιών.

- **Καταστολή των κυμάτων που υπερπηδούν τις κορυφές των κυματοθραυστών.** Αυτό μπορεί να επιτευχθεί είτε αυξάνοντας το ύψος των κορυφών των κυματοθραυστών, προκειμένου να αποφευχθεί η υπερπήδηση από τα ακραία κύματα, είτε με την δημιουργία τεχνητών υφάλων (δευτερεύοντες κυματοθραύστες) μπροστά από τους υπάρχοντες κυματοθραύστες έτσι ώστε να απορροφάται μέρος της ενέργειας των κυμάτων προτού προσεγγίσουν στον κύριο κυματοθραύστη.
- **Καταστολή των κυμάτων που εισέρχονται στη λιμενολεκάνη μέσω της περίθλασης/ διάθλασης.** Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με το σωστό προσανατολισμό της εισόδου του λιμανιού και τον περιορισμό των μέγιστων επιτρεπόμενων διαστάσεων. Είναι φανερό ότι αυτό το μέτρο θα μειώσει τις ταχύτητες ανταλλαγής στις μάζες νερού μεταξύ λιμενολεκάνης και ανοιχτής θάλασσας, με αποτέλεσμα την αύξηση του χρόνου ανανέωσης των υδάτων. Η λιμενολεκάνη θα έχει μέρη με χαμηλή κυκλοφορία και κατά συνέπεια χαμηλή ποιότητα νερού και οικολογικών συνθηκών.
- **Διακύμανση του επιπέδου της επιφάνειας της θάλασσας.** Οι διακυμάνσεις του επιπέδου της θάλασσας μεταξύ του υψηλότερου και του χαμηλότερου επιπέδου του νερού θα αυξηθεί, καθώς τα ακραία καιρικά φαινόμενα (καταιγίδες) θα είναι πιο έντονα από ότι σήμερα. Αυτό πρέπει να αντιμετωπιστεί με ειδικό σχεδιασμό των κορυφών των κρηπιδότοιχων (αποβάθρες, προβλήτες) και του κατάλληλου αγκυροβολήματος των πλοίων. Πρακτικές που εφαρμόζονται σε περιοχές με υψηλό παλιρροιακό εύρος θα εφαρμοστούν και σε περιοχές της Μεσογείου.

4.4 ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΤΩΝ ΛΙΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΣΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΔΙΑΤΗΡΩΝΤΑΣ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

4.4.1 Εισαγωγή

Τα μεγάλα τεχνικά έργα, όπως λιμάνια, μαρίνες, κυματοθραύστες και βραχίονες, χαρακτηρίζονται ως σκληρά μέτρα προστασίας των ακτών και οδηγούν όπως

προαναφέρθηκε σε παράκτια διάβρωση των γειτονικών ακτών, στη διατάραξη του ισοζυγίου των φερτών υλικών και στην παρεμπόδιση της ελεύθερης κυκλοφορίας των θαλάσσιων μαζών. Χαρακτηριστικά το EuroSION Project (2004), αναφέρει στο PART 1 - Major findings and Policy Recommendations of the EUROSION project, ότι το 63% των 875 χιλιομέτρων ακτών που διαβρώνονται τις τελευταίες δεκαετίες, εντός της ευρωπαϊκής ένωσης, βρίσκεται σε απόσταση λιγότερη από 30 χιλιόμετρα από περιοχές που άλλαξαν πρόσφατα λόγω τεχνικών έργων, όπως λιμενοβραχίονες, κυματοθραύστες, αναχώματα και άλλα.

Οι επιπτώσεις των σκληρών μέτρων προστασίας των ακτών, οδήγησε στην λήψη ηπιότερης μορφής μέτρων, περιβαλλοντικά φιλικών, που συστήνονται τόσο από το EuroSION Programme, όσο και από την IPCC. Τα ήπια τεχνικά μέτρα στοχεύουν στην μείωση των αρνητικών επιπτώσεων που επιφέρουν τα σκληρά μέτρα των έργων προστασίας των ακτών αναφορικά με την αισθητική του τοπίου, την ανεμπόδιση κυκλοφορία υδάτων και τη μετατόπιση των προβλημάτων διάβρωσης στις γειτονικές παρακείμενες ακτές, αλλά και στην τροποποίηση της ενέργειας των κυμάτων, των παλιρροιών και του ανέμου. Η εφαρμογή μέτρων ήπιας προστασίας των ακτών, εναρμονισμένων με το περιβάλλον, όπως τροφοδότηση ακτών με άμμο, τεχνητοί ύφαλοι, σταθεροποίηση παράκτιων πρανών κρίνεται ως το πλέον αποτελεσματικό μέτρο αντιμετώπισης της παράκτιας διάβρωσης [7].



4.4.2 Τεχνητή αναπλήρωση ακτής

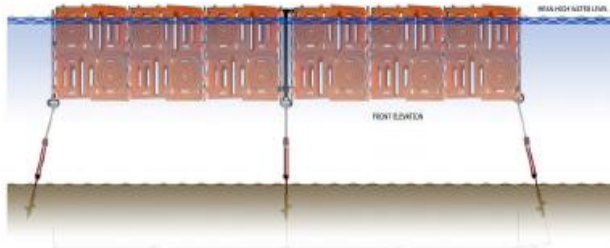
Ο περιοδικός τεχνητός εμπλουτισμός των ακτών δύναται να αποκαταστήσει το ανθρωπογενές διαταραγμένο περιβάλλον εξαιτίας της τουριστικής ανάπτυξης αλλά και να αποκαταστήσει το ισοζύγιο των φερτών υλικών. Η τεχνητή τροφοδότηση των ακτών για ενίσχυση της προστασίας τους, προτείνεται από το EuroSION Programme (2004) στο πρώτο του μέρος, και προϋποθέτει τον εντοπισμό αποθεμάτων από τα οποία είναι εφικτή η μεταφορά ιζημάτων χωρίς την διατάραξη της φυσικής ισορροπίας.

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου αυτής, οι ακτές τροφοδοτούνται με άμμο ώστε να επεκταθούν προς τη θάλασσα. Η μέθοδος μπορεί να συνδυαστεί και με άλλες μεθόδους όπως την τοποθέτηση τεχνητών ύφαλων, ογκόλιθων, ή πυθμενικών προβόλων και κυματοθραυστών που συμβάλλουν στον εγκλωβισμό της μεταφερθείσας ποσότητας άμμου και στη μείωση των πλευρικών και εγκάρσιων απωλειών. Επιπρόσθετα, οδηγούν τα κύματα σε μια πρώτη θραύση και σε απώλεια κυματικής ενέργειας πριν αυτά προσεγγίσουν τις ακτές [7, 16].



4.4.3 Βυθισμένοι κυματοθραύστες

Οι βυθισμένοι κυματοθραύστες, κατασκευάζονται από λιθορριπή και ογκόλιθους, παράλληλα με την ακτή. Εξαιτίας του ότι η στέψη τους βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας, καθιστούν δυνατή την ανεμπόδιστη κυκλοφορία των θαλάσσιων μαζών, διατηρείται η ποιότητα των ατμοσφαιρικών συνθηκών, ενώ παράλληλα ανακλούν μέρος της κυματικής ενέργειας με αποτέλεσμα την προστασία των ακτών από τη διάβρωση, αλλά και την επέκταση ή δημιουργία μιας αμμώδους παραλίας [7,13,16].



4.4.4 Πλωτοί κυματοθραύστες

Η χρήση πλωτών κυματοθραυστών, όπου είναι δυνατό, προτιμάται διότι παρεμποδίζουν τις αυξημένες διακυμάνσεις της στάθμης του νερού της θάλασσας στο εσωτερικό της λιμενολεκάνης και διατηρείται η γεωμετρία της λιμενολεκάνης, βοηθώντας στην ανεμπόδιστη κυκλοφορία και ανανέωση των υδάτινων μαζών σε όλη την έκταση της λιμενολεκάνης [13,16].



4.4.5 Καινοτόμες ύφαλες κατασκευές

Προ-κατασκευασμένοι τεχνητοί ύφαλοι από σκυρόδεμα, διαφόρων μορφών βοηθούν στη βελτίωση των ενδιαιτημάτων και συνεπώς του εμπλουτισμού της θαλάσσιας πανίδας. Περιβαλλοντικά φιλικό έργο προστασίας ακτών. Τα κενά που έχουν οι κατασκευές εξασφαλίζουν συνθήκες αναπαραγωγής της πανίδας αλλά και ταυτόχρονα, συμβάλουν στην απόσβεση των κυματισμών εξαιτίας των υδροδυναμικών στροβίλων που δημιουργούνται. Σε σύγκριση με τους βυθισμένους κυματοθραύστες έχουν το σημαντικό πλεονέκτημα ότι είναι προκατασκευασμένοι και ανατάξιμοι [16].

4.4.6 Τεχνητή φυτοκάλυψη

Η φυτείες υδρόφιλων θάμνων ή άλλων κατάλληλων φυτών στην παράκτια ζώνη, κατά μήκος των ακτογραμμών, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της έκτασης των ακτών [7].

4.4.7 Μηχανολογικός εξοπλισμός

Η παροχή και χρήση συγχρονου μηχανολογικού εξοπλισμού, όπως αντλίες νερού, σε στρατηγικά σημεία της λιμενολεκάνης βοηθά στην κυκλοφορία και ανανέωση νερού. Επίσης η περιοδική χρήση φορητων βυθοκόρρων προκειμένου να διατηρηθεί το βάθος του πυθμένα στην περιοχή εισόδου της λιμενολεκάνης όπου η ιζηματοποίηση μπορεί να αυξηθεί[13].

4.4.8 Τήρηση της υφισταμενης νομοθεσίας και αυστηρός έλεγχος εφαρμογής της.

Βιβλιογραφία

- [1] Δουκάκη Ε. (2005) Ανάπτυξη Παράκτιας Ζώνης , Αθήνα , Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- [2] Χατζημπίρος Κ., Οικολογία: Οικοσυστήματα και προστασία του περιβάλλοντος, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, 2001.
- [3] Παπαγεωργίου Μαρίνα, Καραφέρη Παναγιώτα, Μανταφούνης Αθανάσιος «Κλιματικές Αλλαγές – Ακραία Καιρικά φαινόμενα» 4^ο Συνέδριο ΠΕΕΚΠΕ Ναύπλιο 12-14/12/2008
- [4] http://5dim-pyrgou.ilei.sch.gr/climate/html/clim_acient.htm
- [5] <http://www.tsiridesfoundation.com/cgibin/hweb?-A=452&-V=museum>
- [6] Δουκάκης Ε., Ωκεανογραφία, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1998.
- [7] Δαρείου Έφη, εργασία, Νοέμβριος 2011, «Κλιματικές Αλλαγές και Παράκτια Έργα»
- [8] [http://www.cyprus.gov.cy/moi/pio/pio.nsf/All/AA26C15005CB53D3C225764900250FF1/\\$file/PERIVALLON%20BOOKLET%20LR2%20\(2\).pdf](http://www.cyprus.gov.cy/moi/pio/pio.nsf/All/AA26C15005CB53D3C225764900250FF1/$file/PERIVALLON%20BOOKLET%20LR2%20(2).pdf)
- [9] http://medsos.gr/medsos/index.php?view=article&id=150%3A2008-11-24-13-00-25&option=com_content&Itemid=56
- [10] http://wikipedia.qwika.com/en2el/Montreal_Protocol
- [11] Μαραγκός Δ. «Το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ»
- [12] <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=226&language=el-GR>
- [13] Καραμπάς Θεοφάνης «Έκθεση του προγράμματος Θησέας»
- [14] Brochier F. and E. Ramieri, Climate Change Impacts on the Mediterranean Coastal Zones, Fondazione Eni Enrico Mattei, Nota di Lavoro 27.2001, 2001.
- [15] Παπαδοπούλου διπλωματική εργασία Ιούνιος 2012

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η αύξηση της στάθμης θάλασσας που παρατηρήθηκε στο Β και ΒΑ Αιγαίο τους χειμώνες των ετών 2009 –2010 και 2010-2011 οφείλεται στο φαινόμενο της μετεωρολογικής παλίρροιας. Η μετεωρολογική παλίρροια προκαλείται από τη δράση του ανέμου στην επιφάνεια της θάλασσας καθώς ο άνεμος ωθεί το επιφανειακό νερό προς την ξηρά με αποτέλεσμα τη συσσώρευση νερού κοντά στην ακτή. Παρόμοια ανύψωση της στάθμης της θάλασσας μπορεί να προκαλέσει και η διαφορά των ατμοσφαιρικών πιέσεων ανάμεσα σε δύο θαλάσσιες περιοχές. Η παρατηρούμενη αύξηση της στάθμης θάλασσας στο Β και ΒΑ Αιγαίο εμφανίστηκε μετά από έντονα μετεωρολογικά φαινόμενα ισχυρών (7 – 8 Bf) και μεγάλης διάρκειας Νότιων και Νοτιο-Δυτικών ανέμων. Η σημαντική αυτή ανύψωση της στάθμης της θάλασσας οδήγησε, σε συνδυασμό με τη δράση των κυματισμών, σε σημειακές καταστροφές υποδομών (οδοστρώματα, θαλάσσιοι τοίχοι). Τέτοια φαινόμενα αναμένεται να ενταθούν στο μέλλον και να συνδυαστούν με την επιπλέον ανύψωση της μέσης στάθμης της θάλασσας, λόγω της διαστολής του νερού και το λιώσιμο των πάγων.

Η προστασία των παράκτιων υποδομών από τη δράση των κυματισμών αλλά και της ευρύτερης παράκτιας περιοχής από τις πλημμύρες απαιτεί την κατασκευή ορθά σχεδιασμένων τεχνικών έργων (θαλάσσιοι τοίχοι, έργα διευθέτησης πρανή από λιθορριπή, κυματοθραύστες, αναπλήρωση ακτής με άμμο κλπ).

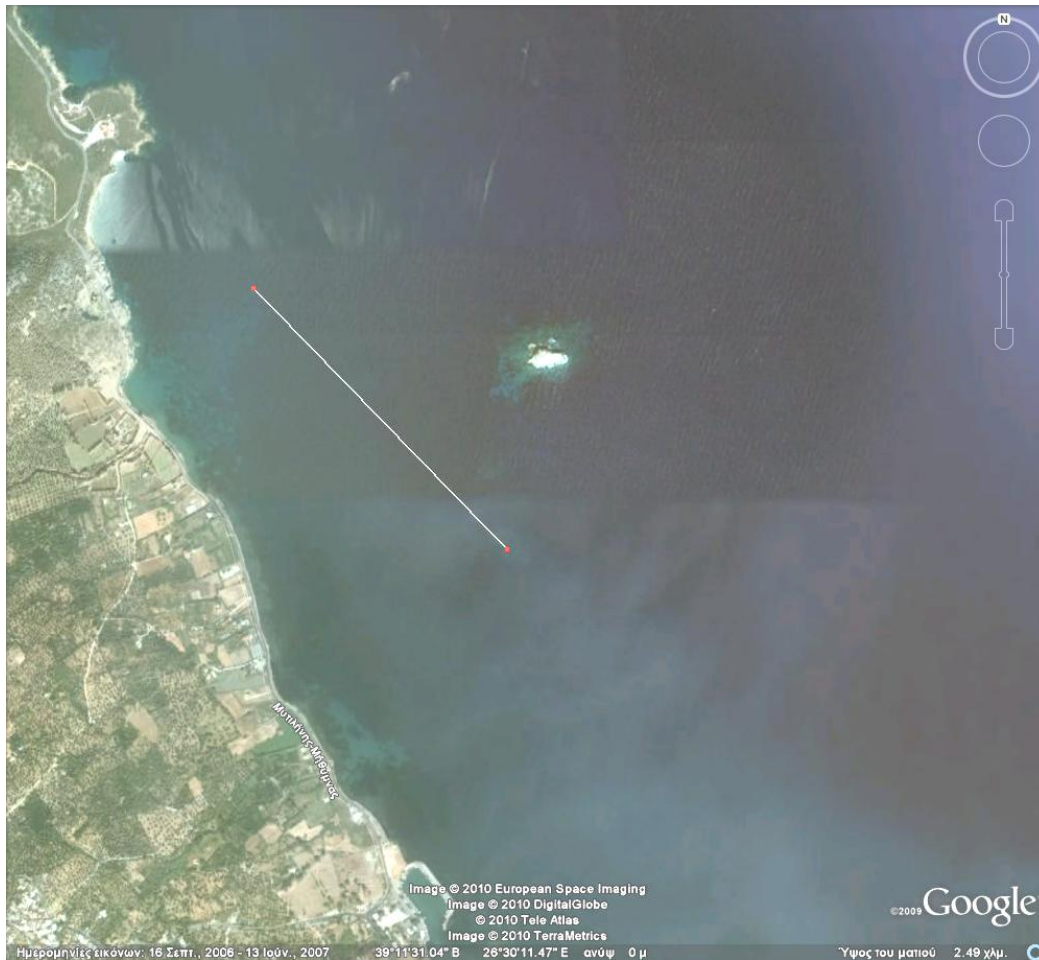
Το αντικείμενο της παρούσας ερευνητικής εργασίας είναι η συμβολή στην προστασία τριών ακτών της Λέσβου από της δράση των κυματισμών σε συνδυασμό με την ανύψωση της στάθμης της θάλασσας, καθώς και η Ακτομηχανική διερεύνηση για την εκτίμηση των επιπτώσεων στην ακτογραμμή μετά την υλοποίηση των προτεινόμενων έργων προστασίας. Πιο συγκεκριμένα η έρευνα περιλαμβάνει:

- Εκτίμηση κυματικού πεδίου και κυματογενών ρευμάτων
- Εκτίμηση ανύψωσης της στάθμης της θάλασσας λόγω συνέργειας μετεωρολογικής παλίρροιας, αστρονομικής παλίρροιας και κυματισμών
- Συμβολή στο σχεδιασμό Θαλάσσιων τοίχων προστασίας της ακτής
- Υπολογισμός μέγιστης αναρρίχησης και υπερπήδησης των θαλάσσιων τοίχων από τους κυματισμούς με τη χρήση προηγμένων μαθηματικών μοντέλων
- Εκτίμηση υποσκαφής του πόδα των έργων με τη χρήση μαθηματικών μοντέλων
- Εκτίμηση τυχόν διαβρωτικών φαινομένων στις παρακείμενες αμμώδης παραλίες (Ακτομηχανική διερεύνηση)

Οι τρεις ακτές που πραγματοποιήθηκε η διερεύνηση είναι: Ακτή Εφταλούς, Πέτρας και Θερμής. Η παρούσα εργασία αφορά την ακτή Θερμής.

Η περιοχή εργασίας εκτείνεται σε ένα μήκος 1200 μέτρων περίπου και βρίσκεται στην παράκτια περιοχή Βόρεια της Θερμής, αμέσως μετά τον οικισμό έως την Ι.Ν. του Αγ.

Γεωργίου (Σχήμα 1.1). Η ακτή έχει A-BA προσανατολισμό και βρίσκεται μπροστά από τον παραλιακό δρόμο που συνδέει την Πόλη της Μυτιλήνης με τον Μανταμάδο.



Σχήμα 1.1. Περιοχή εργασίας (η λευκή γραμμή έχει μήκος 1000 m).

Στην ακτή προσπίπτουν κυρίως B, BA, A και NA κυματισμοί. Η δράση των κυματισμών, σε συνδυασμό με την ανύψωση της στάθμης της θάλασσας, έχει σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση φαινόμενων τοπικής διάβρωσης και υποσκαφής αλλά και διαβροχής του οδοστρώματος σε σημεία χαμηλού υψομέτρου. Στην παρούσα εργασία θα προταθεί διατομή διευθέτησης πρανούς που θα αποτελείται από θωράκιση και φίλτρο. Επιπλέον η διατομή θα σχεδιαστεί με τρόπο που εμποδίζεται η μέγιστη αναρρίχηση των υψηλών κυματισμών στο πρανές, και έτσι, όταν πνέουν ισχυροί άνεμοι κυρίως σε θυελλώδεις καταστάσεις, να περιορίζεται η υπερπήδηση των ογκολίθων από τους κυματισμούς.

2. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

2.1. ΧΑΡΤΕΣ -ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

Τα τοπογραφικά και βυθομετρικά στοιχεία για την εργασία ελήφθησαν από χάρτη της Υδρογραφικής Υπηρεσίας και από την τοπογραφική/βυθομετρική μελέτη της ομάδας έρευνας του Πανεπιστημίου Αιγαίου.

Η ακτή της εργασίας σχηματίζεται στις τερματικές αλλουβιακές αποθέσεις της λεκάνης απορροής και περιλαμβάνει τις εκβολές ποταμοχείμαρρων, οι οποίοι αποχετεύουν περιοχές με διαφοροποιημένη λιθολογία. Πίσω από τα μικρού εύρους παράκτια αλλούβια εμφανίζονται αποθέσεις πλευρικών κορημάτων (κυρίως χαλαρά κροκαλοπαγή που περιέχουν κροκάλες σερπεντινίτη, ασβεστόλιθου και βασάλτη), ενώ στα ενδότερα Περμολιθανθρακοφόροι σχιστόλιθοι και μάρμαρα.

Η παραλία είναι πολύ μικρού εύρους και έχει υποστεί ανθρώπινη παρέμβαση, αφού έχει επιχωματωθεί με αδρανή υλικά. Σε κάποια σημεία για την προστασία του παραλιακού δρόμου έχουν κατασκευαστεί έργα αντιστήριξης χωρίς προστασία ποδός (Σχήμα 2.1).



Σχήμα 2.1. Έργα αντιστήριξης παραλιακού δρόμου.

Επιπλέον λόγω πρόσφατης αστοχίας των κατασκευών τοποθετήθηκαν σε κάποια σημεία, προσωρινά, φυσικοί ογκόλιθοι προστασίας (Σχήμα 2.2).



Σχήμα 2.2. Προστασία παραλιακής οδούς με πρανές από φυσικούς ογκόλιθους

Το μέτωπο της παραλίας χαρακτηρίζεται από φτωχά διαβαθμισμένα χονδρόκοκκα ιζήματα (μέσου μεγέθους 2-4 mm), χαλίκια και κροκάλες. Τα ιζήματα της υποθαλάσσιου παραλιακού μετώπου βρέθηκαν να είναι παρόμοιας κοκκομετρίας και ορυκτολογικής σύστασης, ενώ στα βαθύτερα τα ιζήματα ήταν λιγότερο χονδρόκοκκα.

Η βαθυμετρική μελέτη έδειξε σχετικά ομαλό ανάγλυφο στα ανοικτά, με τις ισοβαθείς σχεδόν παράλληλες με την ακτογραμμή. Στην περιοχή εμφανίζονται λιβάδια *Posidonia sp.*, τα οποία φαίνεται ότι παγιδεύουν λεπτόκοκκα ιζήματα.

2.2. ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΙ

Για τον υπολογισμό του κυματικού κλίματος στα ανοικτά της περιοχής γίνεται η εκτίμηση του σημαντικού ύψους κύματος H_s , της περιόδου T_p της μέγιστης ενεργειακής πυκνότητας και της μέσης περιόδου T_z από τις σχέσεις JONSWAP:

$$\frac{gH_s}{U^2} = 0,0016 \left(\frac{gx}{U^2} \right)^{0.5} \quad (2.1)$$

$$\frac{gT_p}{U} = 0,286 \left(\frac{gx}{U^2} \right)^{0.33} \quad (2.2)$$

$$\frac{gT_z}{U} = 0,22 \left(\frac{gx}{U^2} \right)^{0.33} \quad (2.3)$$

Αν F είναι το γραμμικό μήκος αναπτύγματος, ελέγχεται αν ισχύει η ανισότητα:

$$\frac{gt_D}{U} > 68,8 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{0.66} \quad (2.4)$$

με t_D τη διάρκεια.

Εφόσον ισχύει η ανισότητα τότε στη θέση του x εφαρμόζεται το F. Αν δεν ισχύει τότε από την παραπάνω σχέση, σαν ισότητα, υπολογίζεται το F στη θέση του x.

Ο υπολογισμός έγινε για 4 κατευθύνσεις του Β, ΒΑ, Α και ΝΑ τομέα. Ο υπολογισμός του ενεργού μήκους ανάπτυξης των κυματισμών γίνεται σε ένα τομέα $\pm 45^\circ$ ως προς την κύρια κατεύθυνση, με βάση τις ακτίνες ανά 10° από τον τύπο (Κουτίτας, 1994):

$$F_{\text{eff}} = \frac{\sum_i F_i \cos a_i}{\sum_i \cos a_i} \quad (2.5)$$

όπου ο ακέραιος i περιγράφει την κατεύθυνση ακτινών ανά 10° εκατέρωθεν της κατευθύνσεως του ανέμου, F_i το γραμμικό μήκος αναπτύγματος της κατεύθυνση i και a_i η γωνία που σχηματίζει η ακτίνα i με την κατεύθυνση του ανέμου. Τα μήκη αναπτύγματος F_i υπολογίστηκαν από τους χάρτες της Υδρογραφικής Υπηρεσίας.

Τα ενεργά μήκη αναπτύγματος που προέκυψαν από την παραπάνω μεθοδολογία είναι:

$$F_B = 45000 \text{ m}$$

$$F_{BA} = 36000 \text{ m}$$

$$F_A = 24600 \text{ m}$$

$$F_{NA} = 33400 \text{ m}$$

Χρησιμοποιώντας τα ανεμολογικά δεδομένα του σταθμού Μυτιλήνης της ΕΜΥ έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

Πίνακας 2.1. Κυματικές παράμετροι για Β άνεμο

Ένταση ανέμου (B)	Συχνότητα εμφάνισης f (%)	Σημαντικό ύψος κύματος H_s (m)	Περίοδος κορυφής φάσματος T_p (sec)
3	6.314	0.41	3.21
4	7.224	0.64	3.74
5	2.894	0.89	4.18
6	1.611	1.18	4.59
7	0.482	1.48	4.97
8	0.110	1.81	5.31
9	0.011	2.16	5.65
10	0.011	2.52	5.95

Πίνακας 2.2. Κυματικές παράμετροι για ΒΑ άνεμο

Ένταση ανέμου (B)	Συχνότητα εμφάνισης f (%)	Σημαντικό ύψος κύματος H_s (m)	Περίοδος κορυφής φάσματος T_p (sec)
3	1.173	0.36	2.92
4	2.137	0.55	3.40
5	1.863	0.77	3.80
6	1.743	1.02	4.17
7	0.581	1.28	4.52
8	0.164	1.56	4.83
9	0.022	1.87	5.13
10	0.011	2.18	5.41

Πίνακας 2.3. Κυματικές παράμετροι για Α άνεμο

Ένταση ανέμου (B)	Συχνότητα εμφάνισης f (%)	Σημαντικό ύψος κύματος H_s (m)	Περίοδος κορυφής φάσματος T_p (sec)
3	1.151	0.34	2.86
4	1.074	0.54	3.33
5	0.329	0.75	3.72
6	0.099	0.99	4.09
7	0.022	1.24	4.42
8	0.011	1.51	4.73
9	0.011	1.81	5.03
10	0.000	2.12	5.30

Πίνακας 2.4. Κυματικές παράμετροι για NA άνεμο

Ένταση ανέμου (B)	Συχνότητα εμφάνισης f (%)	Σημαντικό ύψος κύματος H_s (m)	Περίοδος κορυφής φάσματος T_p (sec)
3	2.346	0.40	3.16
4	1.710	0.63	3.68
5	0.515	0.87	4.11
6	0.219	1.15	4.52
7	0.044	1.45	4.89
8	0.011	1.76	5.23
9	0.000	2.11	5.56
10	0.000	2.46	5.86

3. ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΚΑΙ ΚΥΜΑΤΟΓΕΝΟΥΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

3.1. ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ WAVE-L

Το μοντέλο WAVE-L είναι ένα μοντέλο μετάδοσης γραμμικών κυματισμών. Οι εξισώσεις που επιλύονται είναι υπερβολικής μορφής προκύπτουν από την αντικατάσταση της κατανομής της πίεσης και των ταχυτήτων, από τη γραμμική θεωρία (κυματισμοί μικρού εύρους), στις γραμμικοποιημένες εξισώσεις Navier-Stokes και έτσι έχουν τη δυνατότητα περιγραφής της μετάδοσης των απλών αρμονικών γραμμικών κυματισμών σε οποιοδήποτε βάθος ήπιας κλίσης (συνδυασμός των φαινομένων της διάθλασης, περίθλασης, ανάκλασης και ρηχότητας).

Οι εξισώσεις γράφονται (Copeland, 1985α, Watanabe & Maruyama, 1986, Καραμπάς, 2004-κεφάλαιο 3):

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial(U_w d)}{\partial x} + \frac{\partial(V_w d)}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial U_w}{\partial t} + \frac{1}{d} \frac{\partial(c^2 \eta)}{\partial x} - \frac{1}{d} \frac{g \eta}{\cosh(kd)} \frac{\partial d}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial V_w}{\partial t} + \frac{1}{d} \frac{\partial(c^2 \eta)}{\partial y} - \frac{1}{d} \frac{g \eta}{\cosh(kd)} \frac{\partial d}{\partial y} = 0 \quad (3.1)$$

όπου η είναι η ανύψωση της ελεύθερης επιφάνειας της θάλασσας λόγω του κυματισμού, d το βάθος της θάλασσας, U_w και V_w είναι οι μέσες ως προς το βάθος οριζόντιες ταχύτητες κατά x και y , k ο αριθμός κύματος και c η ταχύτητα διάδοσης του κυματισμού, $c=L/T$.

Η απώλεια της ενέργειας λόγω θραύσης των κυματισμών στην ακτή ή πάνω στους κυματοθραύστες εισάγεται στο μοντέλο μέσω της προσομοίωσης των τάσεων Reynolds με τη θεώρηση τυρβώδη συντελεστή ιξώδους. Στο β' μέρος των εξισώσεων της ορμής προστίθενται οι όροι:

$$\dots = \nu_h \frac{\partial U_w^2}{\partial x^2} + \nu_h \frac{\partial U_w^2}{\partial y^2}$$

$$\dots = \nu_h \frac{\partial V_w^2}{\partial x^2} + \nu_h \frac{\partial V_w^2}{\partial y^2} \quad (3.2)$$

όπου ν_h ένας τεχνητός τυρβώδης συντελεστής ιξώδους (Καραμπάς, 2004, κεφ. 3).

Ο συντελεστής τυρβώδους ιξώδους υπολογίζεται από (Battjes, 1975):

$$v_h = 2h \left(\frac{D}{\rho} \right)^{1/3} \quad (3.3)$$

όπου D η απώλεια της ενέργειας λόγω της θραύσης τυχαίων κυματισμών

$$D = \frac{1}{4} Q_b f_s \gamma g H_m^2 \quad (3.4)$$

με f_s τη μέση συχνότητα φάσματος, H_m το μέγιστο δυνατό ύψος κύματος ($H_m = \gamma h$, με γ μία σταθερά) και Q_b συντελεστή που σχετίζεται με τη πιθανότητα θραύσης του κυματισμού. Μετά την παραδοχή κατανομής Rayleigh, ο συντελεστής Q_b δίνεται από τη λύση της παρακάτω εξίσωσης:

$$\frac{1 - Q_b}{\ln Q_b} = \left(\frac{H_{rms}}{H_m} \right)^2 \quad (3.5)$$

όπου H_{rms} είναι το μέσο τετραγωνικό ύψος (στο πρόγραμμα υπολογίζεται από τη σχέση $H_{rms} = 2 \langle z^2 \rangle^{1/2}$ όπου οι αγκύλες $\langle \rangle$ δηλώνουν μέση χρονική τιμή).

Είναι φανερό ότι, όταν $H_{rms} \ll H_m$, τότε $Q_b \ll 1$ (μη θραυόμενοι κυματισμοί).

Η παραπάνω εξίσωση της απώλειας D μπορεί να περιγράψει την απώλεια τυχαίων κυματισμών σε πολύπλοκη βυθομετρία.

Η απώλεια της ενέργειας λόγω τριβής πυθμένα προσομοιώνεται με τους γραμμικοποιημένους όρους στο β' μέρος των εξισώσεων της ορμής:

$$\begin{aligned} \dots &= -f_b \sigma U_w \\ \dots &= -f_b \sigma V_w \end{aligned} \quad (3.6)$$

όπου σ η γωνιακή συχνότητα, f_b είναι ο γραμμικοποιημένος συντελεστής τριβής που συνδέεται με τον συντελεστή τριβής (κύματος) f_w με τη σχέση:

$$f_b \sigma = \frac{1}{2} f_w \sqrt{U_w^2 + V_w^2} \quad (3.7)$$

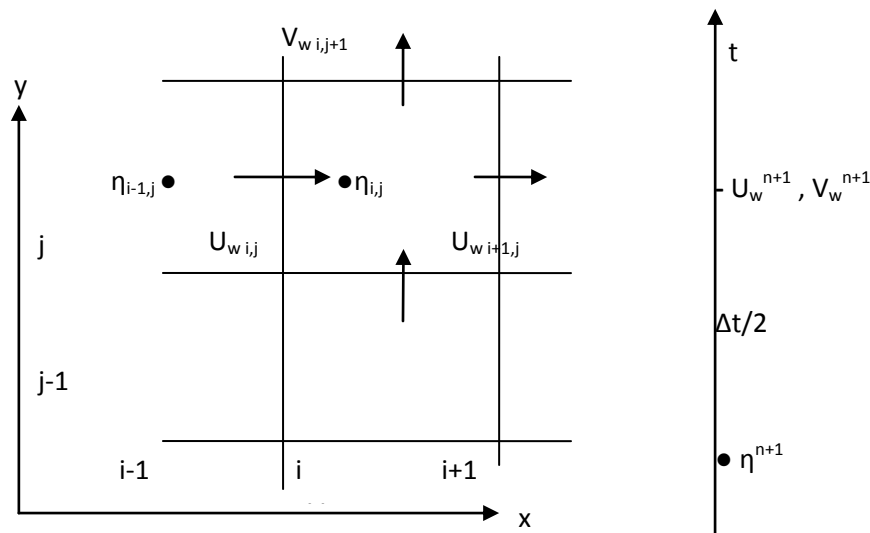
Ανακεφαλαιώνοντας, οι τελικές εξισώσεις του μοντέλου κυματισμών είναι οι εξής:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial(U_w d)}{\partial x} + \frac{\partial(V_w d)}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial U_w}{\partial t} + \frac{1}{d} \frac{\partial(c^2 \eta)}{\partial x} - \frac{1}{d} \frac{g \eta}{\cosh(kd)} \frac{\partial d}{\partial x} = v_h \frac{\partial^2 U_w}{\partial x^2} + v_h \frac{\partial^2 U_w}{\partial y^2} - f_b \sigma U_w$$

$$\frac{\partial V_w}{\partial t} + \frac{1}{d} \frac{\partial(c^2 \eta)}{\partial y} - \frac{1}{d} \frac{g \eta}{\cosh(kd)} \frac{\partial d}{\partial y} = \frac{\partial \left(v_h \frac{\partial V_w}{\partial x} \right)}{\partial x} + \frac{\partial \left(v_h \frac{\partial V_w}{\partial y} \right)}{\partial y} - f_b \sigma V_w \quad (3.8)$$

Για την ολοκλήρωση τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν γνωστά ρητά σχήματα πεπερασμένων διαφορών που εφαρμόζονται στην αριθμητική ολοκλήρωση των εξισώσεων μακρών κυματισμών (Κουτίτας, 1985).



Σχήμα 3.1. Διακριτοποίηση των μεταβλητών.

Στο σημείο $i\Delta x$ και στο χρόνο $n\Delta t$ (όπου Δx και Δt το χρονικό και χωρικό βήμα διακριτοποίησης) οι μερικές παράγωγοι των εξισώσεων (3.8) προσεγγίζονται, σε έναν έκκεντρο κανάβο (όπου, σύμφωνα με το Σχήμα 3.1, στο κέντρο του κανάβου υπολογίζεται η ανύψωση η ενώ οι ταχύτητες U_w και V_w στην άκρη), ως εξής (Κουτίτας, 1985, Copeland, 1985):

$$\frac{\eta_i^{n+1} - \eta_i^n}{\Delta t} + \frac{(U_w d)_{i+1,j}^n - (U_w d)_{i,j}^n}{\Delta x} + \frac{(V_w d)_{i,j+1}^n - (V_w d)_{i,j}^n}{\Delta y} = 0$$

$$\frac{U_w^{n+1} - U_w^n}{\Delta t} + \left(\frac{1}{d}\right)_i \frac{(c^2 \eta)_{i,j}^{n+1} - (c^2 \eta)_{i-1,j}^{n+1}}{\Delta x} - \frac{1}{d_{i,j}} \frac{g \eta_{i,j}^n}{\cosh(k_{i,j} d_{i,j})} \frac{d_{i,j} - d_{i-1,j}}{\Delta x} =$$

$$v_h \frac{U_w^n_{i+1,j} - 2U_w^n_{i,j} + U_w^n_{i-1,j}}{\Delta x^2} + v_h \frac{U_w^n_{i,j+1} - 2U_w^n_{i,j} + U_w^n_{i,j-1}}{\Delta x^2} - f_b \sigma U_{w_{i,j}}^n$$

$$\frac{V_w^{n+1} - V_w^n}{\Delta t} + \left(\frac{1}{d}\right)_i \frac{(c^2 \eta)_{i,j}^{n+1} - (c^2 \eta)_{i,j-1}^{n+1}}{\Delta x} - \frac{1}{d_{i,j}} \frac{g \eta_{i,j}^n}{\cosh(k_{i,j} d_{i,j})} \frac{d_{i,j} - d_{i,j-1}}{\Delta x} =$$

$$v_h \frac{V_w^n_{i+1,j} - 2V_w^n_{i,j} + V_w^n_{i-1,j}}{\Delta x^2} + v_h \frac{V_w^n_{i,j+1} - 2V_w^n_{i,j} + V_w^n_{i,j-1}}{\Delta x^2} - f_b \sigma V_{w_{i,j}}^n$$

(3.9)

Οι οριακές συνθήκες που εφαρμόστηκαν πλευρικά ήταν συνθήκες σπογγώδους ζώνης (τεχνική απορρόφησης των κυματισμών -sponge layer- των Larsen and Dancy, 1983). Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται σε ένα διάστημα μήκους x_s από το όριο και προς την ανοικτή θάλασσα. Στο εσωτερικό του διαστήματος αυτού οι μεταβλητές η , U_w και V_w διαίρονται, σε κάθε χρονικό βήμα, με έναν συντελεστή $\mu(x)$ που ορίζεται:

$$\mu(x) = \exp \left[\left(2^{-x/\Delta x} - 2^{x_s/\Delta x} \right) \ln \beta \right]$$

(3.10)

όπου β είναι μία σταθερά η οποία εξαρτάται από τον αριθμό των σημείων του διαστήματος x_s δηλαδή το $x_s/\Delta x$. Ο αριθμός αυτός μπορεί να καθορίσει και τον συντελεστή της (μερικής) ανάκλασης.

Το σύστημα διεγείρεται από μία χρονοσειρά $\eta_i^*(t)$ ανύψωσης της ελεύθερης επιφάνειας που εφαρμόζεται σε μία γραμμή του εσωτερικού της λιμενολεκάνης παράλληλα σε ένα όριο και σε απόσταση $20\Delta x$ από αυτό (Larsen and Dancy, 1983, Lee and Suh, 1998).

Η χρονοσειρά διέγερσης είναι ημιτονοειδής:

$$\eta_i^* = 2 \frac{H}{2} \sin(\sigma(t-t_f)) \cos \phi \quad c \frac{\Delta t}{\Delta x} \quad (3.11)$$

με

$$t_f = \sin(\phi) x/c$$

όπου H είναι το ύψος του κύματος στην είσοδο του πεδίου, c η ταχύτητα μετάδοσης, Δt και Δx το χρονικό και το χωρικό βήμα, σ συχνότητα και ϕ η γωνία πρόσπτωσης.

Η ανύψωση $\eta_i^*(t)$ προστίθεται στην υπολογισμένη ανύψωση στο εσωτερικό του πεδίου, δηλ. η τελική τιμή του η είναι το άθροισμα του προσπίπτοντος κυματισμού $\eta_i^*(t)$ και του αποτελέσματος από το εσωτερικό του πεδίου. Στα πρώτα 20 ($x_s/\Delta x=20$) σημεία επιβάλλεται η συνθήκη ορίου απορρόφησης (sponge layer) ώστε να απορροφώνται οι ανακλώμενοι κυματισμοί από το εσωτερικό του υπολογιστικού πεδίου.

Στα όρια πλήρους ανάκλασης εφαρμόζονται οι οριακές συνθήκες: $U_w=0$ ή $V_w=0$ (και $\partial\eta/\partial s=0$, όπου s ο άξονας κάθετα στο όριο). Η ανάκλαση περιγράφεται αυτόματα στο πρόγραμμα ορίζοντας το κατακόρυφο μέτωπο με το χαρακτηριστικό βάθος -1.

3.2. ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΥΜΑΤΟΓΕΝΟΥΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΥΨΩΣΗΣ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ WICIR (Wave Induced CIRculation)

Η απώλεια της ενέργειας των κυματισμών, κυρίως λόγω της θραύσης τους, σε συνδυασμό με την επίδραση των φαινομένων της διάθλασης και περίθλασης, οδηγεί στη δημιουργία παράκτιων κυματογενών ρευμάτων.

Ολοκληρώνοντας τις εξισώσεις ισορροπίας ως προς το βάθος και ως προς την περίοδο του κύματος προκύπτουν από τους μη γραμμικούς όρους και από τους όρους βαθμίδος της πίεσης, επιπλέον όροι, γνωστοί ως τάσεις ακτινοβολίας.

Οι εξισώσεις συνέχειας και ισορροπίας, για το υπολογισμό του κυματογενούς ρεύματος, γράφονται (Καραμπάς, 2004):

$$\frac{\alpha_z}{a} + \frac{\partial(Uh)}{\partial x} + \frac{\partial(Vh)}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + g \frac{\alpha_z}{a} =$$

$$-\frac{1}{\rho h} \left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left(v_h h \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left(v_h h \frac{\partial U}{\partial y} \right) + \frac{\tau_{sx}}{\rho h} - \frac{\tau_{bx}}{\rho h}$$

$$\frac{\partial \mathcal{N}}{\partial t} + U \frac{\partial \mathcal{N}}{\partial x} + V \frac{\partial \mathcal{N}}{\partial y} + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} =$$

$$-\frac{1}{\rho h} \left(\frac{\partial S_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left(v_h h \frac{\partial V}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left(v_h h \frac{\partial V}{\partial y} \right) + \frac{\tau_{sy}}{\rho h} - \frac{\tau_{by}}{\rho h}$$

(3.12)

όπου ζ η ανύψωση της μέσης στάθμης θάλασσας και U και V είναι οι μέσες ως προς το βάθος οριζόντιες ταχύτητες του ρεύματος κατά x και y , h το συνολικό βάθος, $h=d+\zeta$. Οι τάσεις ακτινοβολίας που είναι συναρτήσεις των αποτελεσμάτων του κυματικού μοντέλου, U_w , V_w και η , υπολογίζονται από την εργασία του Copeland (1985β):

$$\frac{S_{xx}}{\rho} = d^2 \langle U_w^2 \rangle + A_r - d^2 \left\langle \left(\frac{\partial U_w}{\partial x} + \frac{\partial V_w}{\partial y} \right)^2 \right\rangle + B_r + \frac{\partial}{\partial x} \left\langle U_w \left(\frac{\partial U_w}{\partial x} + \frac{\partial V_w}{\partial y} \right) \right\rangle + D_r +$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left\langle V_w \left(\frac{\partial U_w}{\partial x} + \frac{\partial V_w}{\partial y} \right) \right\rangle + D_r + \frac{1}{2} g \langle \eta^2 \rangle$$

$$\frac{S_{yy}}{\rho} = d^2 \langle V_w^2 \rangle + A_r - d^2 \left\langle \left(\frac{\partial U_w}{\partial x} + \frac{\partial V_w}{\partial y} \right)^2 \right\rangle + B_r + d^2 \frac{\partial}{\partial y} \left\langle V_w \left(\frac{\partial U_w}{\partial x} + \frac{\partial V_w}{\partial y} \right) \right\rangle + D_r +$$

$$d^2 \frac{\partial}{\partial x} \left\langle U_w \left(\frac{\partial U_w}{\partial x} + \frac{\partial V_w}{\partial y} \right) \right\rangle + D_r + \frac{1}{2} g \langle \eta^2 \rangle$$

$$\frac{S_{xy}}{\rho} = d^2 \langle U_w V_w \rangle + A_r \quad (3.13)$$

όπου τα σύμβολα ' $\langle \rangle$ ' δηλώνουν ολοκλήρωση ως προς τη περίοδο του κύματος

(δηλ. $\langle A \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T A(t) dt$) και:

$$A_r = \frac{k}{4 \sinh^2 kd} (\sinh 2kd + 2kd) \quad B_r = \frac{1}{4k \sinh^2 kd} (\sinh 2kd - 2kd)$$

$$D_r = \frac{d}{4 \sinh^2 kd} \left(\frac{1}{2kd} \sinh 2kd - \cosh 2kd \right)$$

Στο μοντέλο WAVE-L οι τάσεις ακτινοβολίας υπολογίζονται με τη χρήση των (3.13). Οι εκφράσεις αυτές βασίζονται στη γραμμική θεωρία κυματισμών και είναι γενικές, χωρίς την παραδοχή απλά προωθούμενων κυματισμών (μια παραδοχή που γίνεται πολύ συχνά). Έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολύπλοκα πεδία του παράκτιου χώρου όπου συνυπάρχουν τα φαινόμενα της διάθλασης, θραύσης, περίθλασης και (μερικής ή ολικής) ανάκλασης των κυματισμών.

Οι διατμητικές τάσεις τ_{bx} και τ_{by} στις εξισώσεις ορμής των σχέσεων (3.12) προσομοιώνουν την απώλεια της ενέργειας λόγω τριβής στον πυθμένα. Ο ρόλος τους είναι σημαντικός στην εκτίμηση των κυματογενών ρευμάτων και γι' αυτό απαιτείται μια όσο το δυνατόν ορθότερη προσομοίωσή τους.

Τραχύτητα αμμώδους πυθμένα

Πριν υπολογιστούν οι διατμητικές τάσεις θα πρέπει πρώτα να εκτιμηθεί η τραχύτητα του θαλάσσιου αμμώδους πυθμένα k_s στον παράκτιο χώρο κάτω από τη δράση των κυματισμών, όπου θα λαμβάνεται υπόψη και η ύπαρξη αμμοκυματιών. Τα αμμοκυματία δεν επιδρούν άμεσα στη μετάδοση των κυματισμών αλλά όμως επιδρούν σημαντικά στο σχηματισμό της οριακής στοιβάδας και την ένταση της τύρβης κοντά στον πυθμένα. Συνεπώς επηρεάζουν την κατανομή του κυματογενούς ρεύματος αλλά και τη μεταφορά φερτών στον πυθμένα. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τους, το ύψος η_r και το μήκος λ , συνδέονται με τα χαρακτηριστικά του κυματισμού και της άμμου. Το ύψος η_r των αμμοκυματιών σε περιβάλλον τυχαίων κυματισμών δίνεται ως συνάρτηση του αριθμού κινητικότητας Ψ (Καραμπάς, 2004, κεφάλαιο 4):

$$\frac{\eta_r}{\Xi} = 21 \Psi^{-1.85} \quad \text{για } \Psi > 10 \quad \text{με} \quad \Psi = \frac{U_o^2}{(s-1)gd_{50}} \quad (3.14)$$

όπου U_o είναι το πλάτος (μέγιστη τιμή) της οριζόντιας κυματικής ταχύτητας στον πυθμένα (για $z=-d$) που υπολογίζεται από τη σχέση της γραμμικής θεωρίας κυματισμών $U_o = \pi H / (T \sinh(kh))$, $s = \rho_s / \rho$ (όπου ρ_s η πυκνότητα του ιζήματος και ρ η πυκνότητα του νερού, $s \approx 2.65$), d_{50} η μέση διάμετρος των κόκκων και Ξ το πλάτος τροχιάς των μορίων κοντά στον πυθμένα λόγω του κυματισμού, $\Xi = U_o \frac{T}{2\pi}$. Η ταχύτητα U_o και η περίοδος T σχετίζονται με το σημαντικό ύψος κύματος.

Η σχέση που συνδέει το η_r με το μήκος των αμμοκυματιών λ είναι:

$$\frac{\eta_r}{\lambda} = 0.342 - 0.34 \sqrt[4]{\theta_{2.5}} \quad (3.15)$$

όπου $\theta_{2.5}$ η παράμετρος Shields που αντιστοιχεί σε επίπεδο πυθμένα με τραχύτητα $2.5d_{50}$:

$$\theta_{2.5} = \frac{\frac{1}{2} f_{2.5} V_o^2}{(s-1)gd_{50}} \quad (3.16)$$

με $f_{2.5}$ τον συντελεστή τριβής για τραχύτητα $2.5d_{50}$:

$$f_{2.5} = \exp \left[5.213 \left(\frac{2.5d_{50}}{\Xi} \right)^{0.19} - 5.977 \right] \quad (3.17)$$

Όταν επικρατούν έντονες κυματικές συνθήκες και η τιμή της παραμέτρου Ψ πάρει μεγάλες τιμές, $\Psi > 240$, τότε τα αμμοκυμάτια εξαφανίζονται και ο πυθμένας είναι πλέον επίπεδος.

Σε ιδιαίτερα ήπιες συνθήκες για $\Psi < 10$ δεν σχηματίζονται αμμοκυμάτια.

Μετά τον υπολογισμό του ύψους η_r και του μήκους λ των αμμοκυματιών, η τραχύτητα του αμμώδους πυθμένα k_s υπολογίζεται από:

$$k_s = 8 \frac{\eta_r^2}{\lambda} + 170 \sqrt{\theta_{2.5} - 0.05} \quad d_{50} \quad (3.18)$$

Διατμητικές τάσεις

Για τον υπολογισμό των διατμητικών τάσεων των σχέσεων (3.12) θεωρούνται οι συνολικές ταχύτητες στον πυθμένα και όχι μόνο οι ταχύτητες του ρεύματος ή του κύματος. Όπως αναφέρθηκε στην κυματογενή κυκλοφορία ένα υλικό σημείο εκτελεί συνδυασμένη κίνηση: κυματική παλινδρομική και κίνηση ρεύματος. Οι συνολικές ταχύτητες κοντά στον πυθμένα u_b και v_b δίνονται από (Καραμπάς, 2004, κεφάλαιο 4):

$$\begin{aligned} u_b(t) &= U + u_{w-b}(t) \\ v_b(t) &= V + v_{w-b}(t) \end{aligned} \quad (3.19)$$

όπου u_{w-b} , v_{w-b} οι ταχύτητες του κύματος κοντά στον πυθμένα.

Οι διατμητικές τάσεις δίνονται από τις σχέσεις:

$$\begin{aligned} \tau_{bx} &= \frac{1}{2} \rho f_{cw} < u_b \sqrt{u_b^2 + v_b^2} > \\ \tau_{by} &= \frac{1}{2} \rho f_{cw} < v_b \sqrt{u_b^2 + v_b^2} > \end{aligned} \quad (3.20)$$

όπου f_{cw} είναι ο συνολικός συντελεστής τριβής λόγω κύματος-ρεύματος.

Η ύπαρξη των κυματισμών στη συνδυασμένη αυτή κίνηση κύματος-ρεύματος επιδρά στην κατακόρυφη κατανομή της οριζόντιας ταχύτητας του ρεύματος αυξάνοντας την τύρβη κοντά στον πυθμένα. Άρα ο συντελεστής f_{cw} θα πρέπει να είναι συνάρτηση των συντελεστών τριβής ρεύματος f_c και κύματος f_w . Μία απλοποιημένη έκφραση είναι ένας γραμμικός συνδυασμός των f_c και f_w :

$$f_{cw} = a_{cw} f_c + (1 - a_{cw}) f_w \quad (3.21)$$

όπου ο συντελεστής a_{cw} κατά x δίνεται από τη σχέση: $a_{cw-x} = U / (U + U_o)$, ενώ κατά y από:

$$a_{cw-y} = V / (V + U_o).$$

Ο συντελεστής τριβής λόγω ρεύματος f_c είναι συνάρτηση του συντελεστή τριβής Chezy c_c :

$$f_c = \frac{2g}{c_c^2}$$
$$c_c = 18 \log_{10} \left(\frac{12h}{k_s} \right) \quad (3.22)$$

Ο συντελεστής τριβής λόγω κυματισμών δίνεται από τη σχέση:

$$f_w = \exp \left[5.213 \left(\frac{k_s}{\Xi} \right)^{0.19} - 5.977 \right] \quad (3.23)$$

Συντελεστής οριζόντιας διάχυσης

Ο συντελεστής οριζόντιας διάχυσης v_h υπολογίζεται από τη σχέση (Καραμπάς, 2004):

$$v_h = 0.5 U_o H \quad (3.24)$$

Ο συντελεστής οριζόντιας διάχυσης δεν εισάγεται μόνο για την προσομοίωση της τύρβης αλλά κυρίως εισάγεται να προσομοιώσει την ανάμιξη στη ζώνη θραύσης όπου η επίδραση της οριζόντιας διασποράς είναι ιδιαίτερα σημαντική σε σχέση με την τυρβώδη διάχυση.

4. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

4.1. ΚΥΜΑΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Για το σχεδιασμό της διατομής και την εκτίμηση της αναρρίχησης χρησιμοποιήθηκαν οι δυσμενέστερες κυματικές καταστάσεις των Πινάκων 2.1, 2.2, 2.3, και 2.4, οι οποίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1. Χαρακτηριστικά κυματισμών σχεδιασμού διατομής

Κατεύθυνση	Σημαντικό Ύψος H_s (m)	Περίοδος Κορυφής φάσματος T_p (sec)
B	2.52	5.95
BA	2.18	5.41
A	2.12	5.30
NA	1.76	5.23

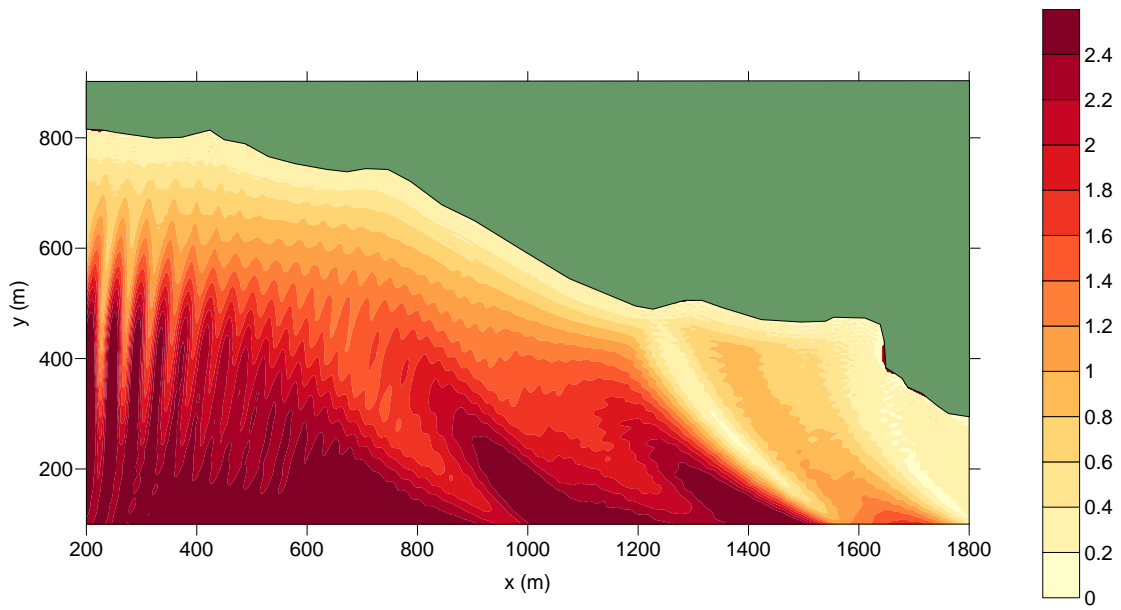
Εφαρμόζονται όλες οι παραπάνω κατευθύνσεις ώστε να προκύψει η δυσμενέστερη κατάσταση για το σχεδιασμό της λιθορριπής προστασίας της ακτής.

4.2. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ -ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

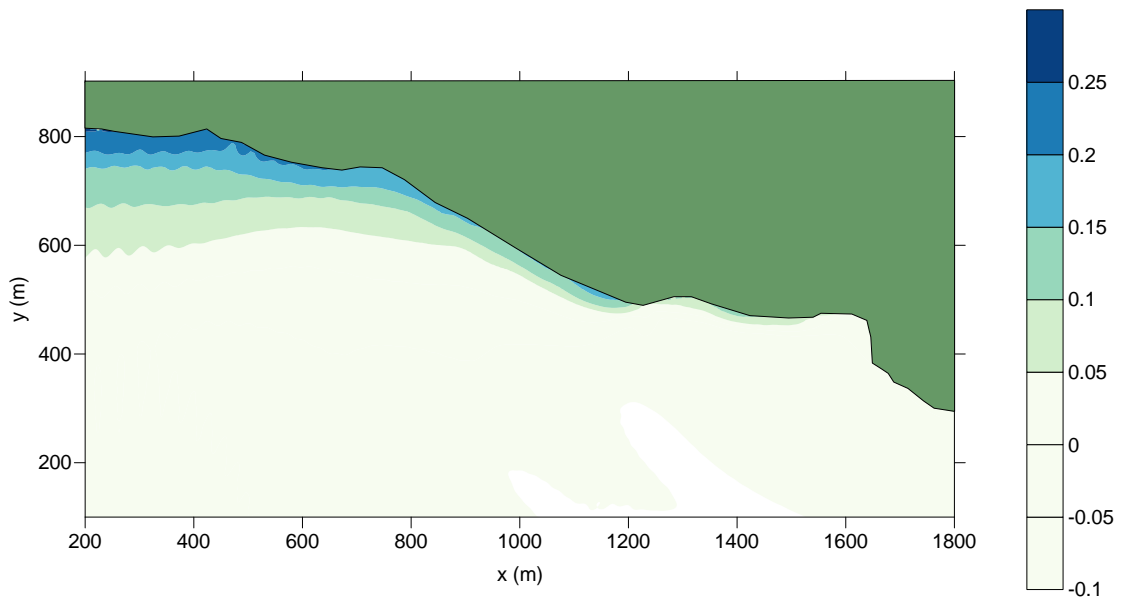
Στην παράγραφο αυτή θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα τω εφαρμογών του μοντέλου WAVE_L και WICIR με σκοπό τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών των κυματισμών και της ανύψωσης της στάθμης θάλασσας στην περιοχή των τεχνικών έργων προστασίας.

Στα Σχήματα 4.1, 4.3, 4.5 και 4.7 παρουσιάζονται οι ισοϋψείς του σημαντικού ύψους κύματος H_s . Στα Σχήματα 4.2, 4.4, 4.6 και 4.8 παρουσιάζεται η ανύψωση της μέσης στάθμης θάλασσας λόγω των Β, ΒΑ, Α και ΝΑ κυματισμών. Είναι φανερή η επίδραση της θραύσης στην παράκτια ζώνη που συνεπάγεται τη μείωση του προσπίπτοντος κυματισμού στη ακτή αλλά και ταυτόχρονα την ανύψωση της μέσης στάθμης της θάλασσας στη ζώνη θραύσης. Η ανύψωση αυτή οδηγεί στην αύξηση του συνολικού βάθους της θάλασσας κοντά στην ακτή, η οποία συνυπολογίζεται στο μοντέλο μετάδοσης κυματισμών, εφόσον το μέγιστο δυνατό ύψος κύματος σε ένα σημείο συνδέεται με το βάθος της θάλασσας στο σημείο αυτό. Από τα αποτελέσματα των μοντέλων εκτιμήθηκε ότι οι κυματισμοί που προσβάλλουν τις προτεινόμενες κατασκευές διευθέτησης πρανούς έχουν ύψος μικρότερο των 0.4 m. Θεωρώντας ανύψωση της στάθμης της θάλασσας λόγω μετεωρολογικής και αστρονομικής παλίρροιας (της τάξης του 0.4 - 0.5 m, σύμφωνα με το ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι) οι κυματισμοί που προσβάλλουν τις προτεινόμενες κατασκευές διευθέτησης πρανούς έχουν μέγιστο ύψος 0.8 m.

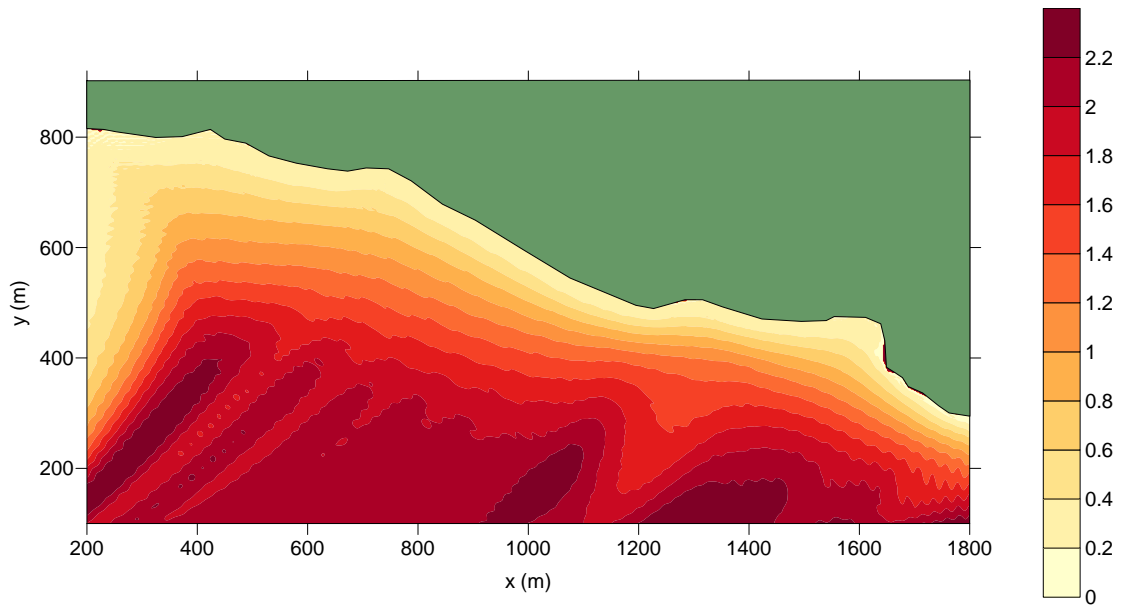
ΣΧΗΜΑΤΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 4



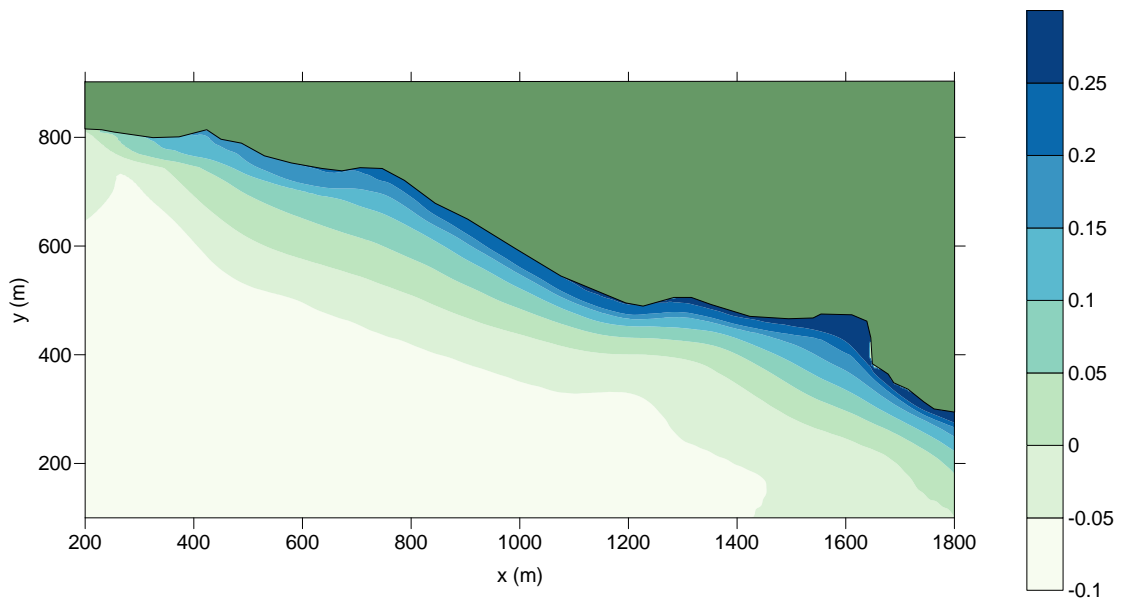
Σχήμα 4.1. Ισοψείς σημαντικού ύψους κύματος. Β Κυματισμοί: $H_s = 2.52\text{m}$, $T_p = 5.95\text{ sec}$.



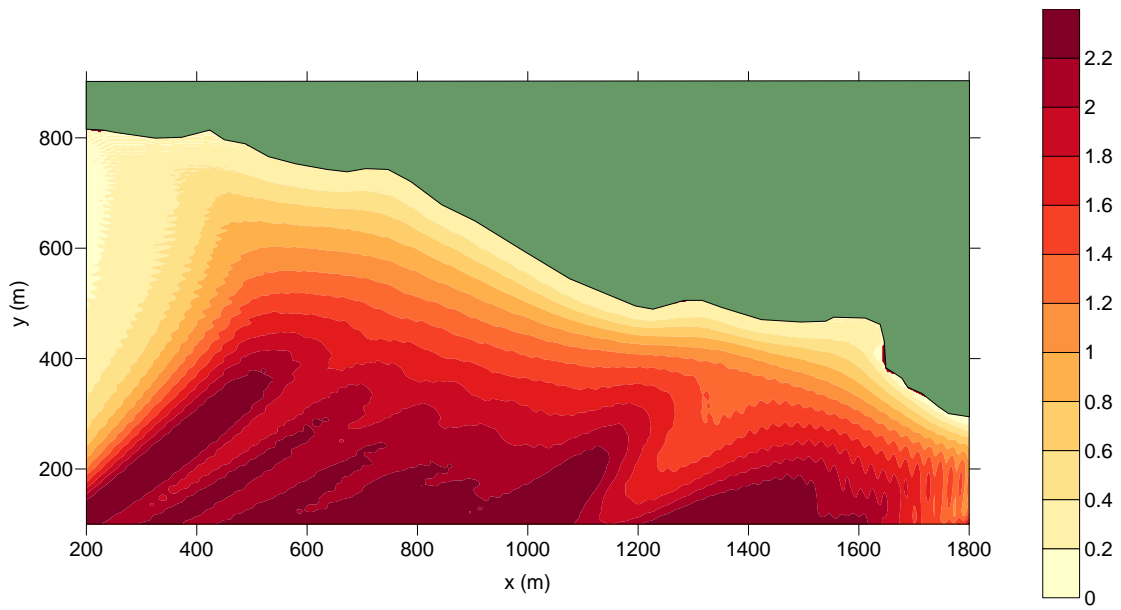
Σχήμα 4.2. Ανύψωση της μέσης στάθμης θάλασσας. Β Κυματισμοί: $H_s = 2.52\text{m}$, $T_p = 5.95\text{ sec}$.



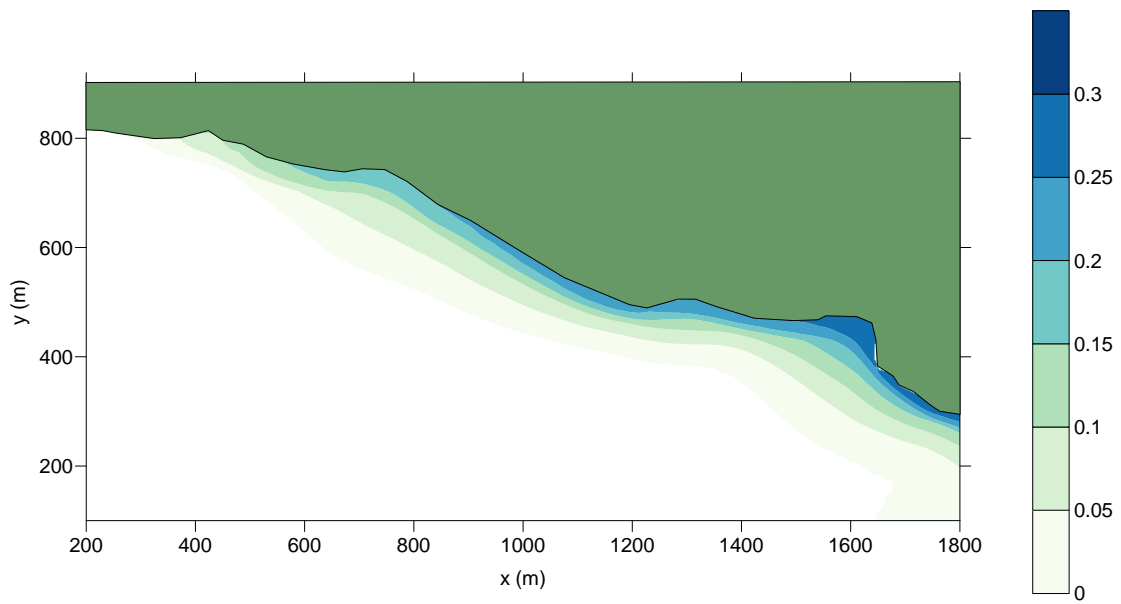
Σχήμα 4.3. Ισοϋψείς σημαντικού ύψους κύματος. ΒΑ Κυματισμοί: $H_s = 2.18\text{m}$, $T_p = 5.41\text{ sec}$.



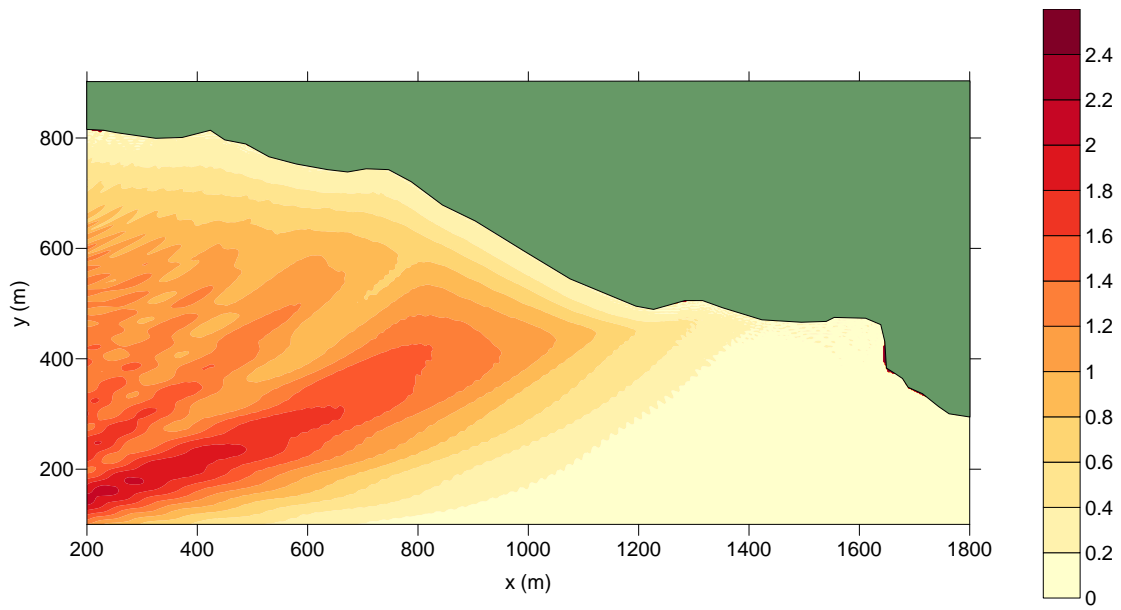
Σχήμα 4.4. Ανύψωση της μέσης στάθμης θάλασσας. ΒΑ Κυματισμοί: $H_s = 2.18\text{m}$, $T_p = 5.41\text{ sec}$.



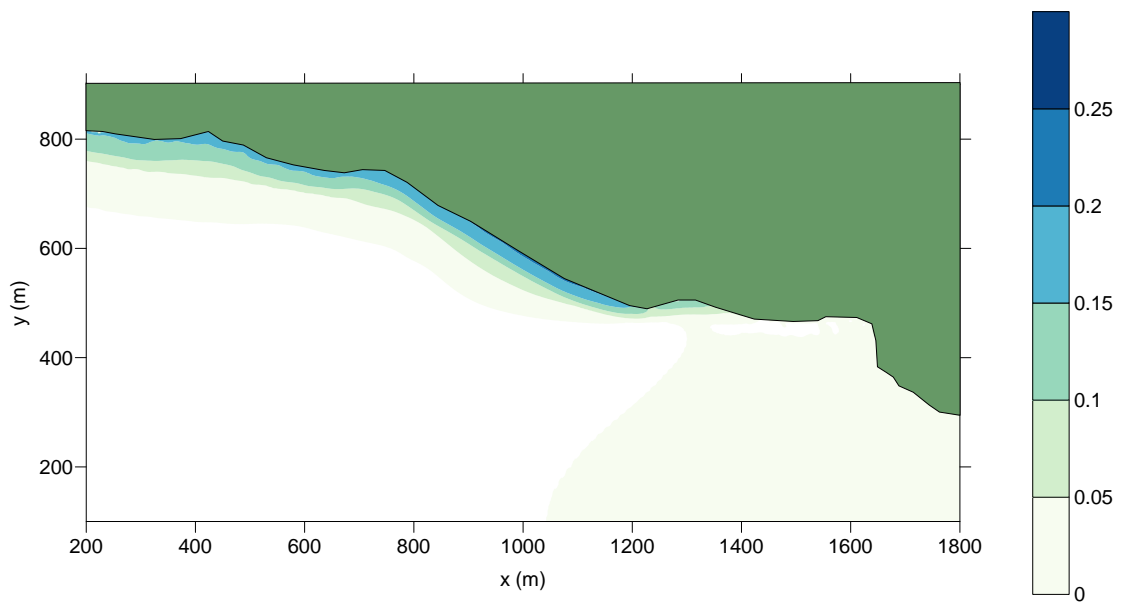
Σχήμα 4.5. Ισοϋψείς σημαντικού ύψους κύματος. Α Κυματισμοί: $H_s = 2.12\text{m}$, $T_p = 5.30\text{ sec}$.



Σχήμα 4.6. Ανύψωση της μέσης στάθμης θάλασσας. Α Κυματισμοί: $H_s = 2.12\text{m}$, $T_p = 5.30\text{ sec}$.



Σχήμα 4.7. Ισοψείς σημαντικού ύψους κύματος. ΝΑ Κυματισμοί: $H_s = 1.76 \text{ m}$, $T_p = 5.23 \text{ sec}$



Σχήμα 4.8. Ανύψωση της μέσης στάθμης θάλασσας. ΝΑ Κυματισμοί: $H_s = 1.76 \text{ m}$, $T_p = 5.23 \text{ sec}$.

5. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ

5.1. ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΗ ΠΡΑΝΩΝ

Μία κλασική μέθοδος προστασίας ακτής από τη διάβρωση και τον έλεγχο της αναρρίχησης των κυματισμών, είναι η κατασκευές διευθετήσεων πρανών παράλληλα με την ακτογραμμή. Οι κατασκευές αυτές εμποδίζουν τη διάβρωση της ακτής (γιατί δέχονται την επίδραση των κυματισμών) και τη σταθεροποιούν. Έτσι η παράκτια ζώνη θωρακίζεται και προστατεύονται και άλλα τεχνικά έργα, όπως π.χ. οδοποιίας, κατοικίες κλπ. Επίσης προστατεύουν την παράκτια ζώνη από τις πλημμύρες λόγω της αναρρίχησης των κυματισμών και της μετεωρολογικής παλίρροιας (storm surges). Συνήθως κατασκευάζονται με περιορισμένο πλάτος παραλίας ή ακόμη και χωρίς παραλία, ώστε να μπορούν να δέχονται στο μέτωπό τους απ' ευθείας την δράση των κυματισμών όταν επικρατούν ισχυροί άνεμοι και κυρίως θυελλώδεις καταστάσεις (Silvester & Hsu, 1997, σελ. 279).

Στην παρούσα εργασία επιλέγεται η παραπάνω τεχνική λύση στα σημεία που θα γίνουν επιχωματώσεις για την κατασκευή του ποδηλατοδρόμου. Η διατομή που αποτελείται από θωράκιση και φίλτρο, φαίνεται στην επισυναπτόμενη κατασκευαστική τομή.

5.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΟΓΚΟΛΙΘΟΥ ΘΩΡΑΚΙΣΗΣ

Ο υπολογισμός του ογκολίθου θωράκισης μπορεί να βασιστεί στην πρόσφατη έρευνα του Van der Meer (1993, σελίδες 40 και 59, Pilarczyk and Zeidler, 1996, σελίδα 225) που προτείνει τη χρήση των παρακάτω σχέσεων:

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 6.2 P^{0.18} \left(\frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \xi^{-0.5} \quad \xi < \xi_c \quad (5.1)$$

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 1.0 P^{-0.13} \left(\frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \sqrt{\cot \alpha} \xi^P \quad \xi > \xi_c$$

όπου

$$\xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H_s}{L_o}}}$$

$$\xi_c = \left[6.2 P^{0.31} \sqrt{\tan \alpha} \right]^{\frac{1}{P+0.5}}$$

και

D_{n50} η μέση διάμετρος του ογκολίθου θωράκισης

H_s : σημαντικό ύψος του κύματος που προσπίπτει

tana η κλίση πρανούς

Lo το μήκος κύματος στα βαθιά νερά

$$\Delta = \frac{\rho_r}{\rho_w} - 1$$

ρ_r : πυκνότητα ογκόλιθου

ρ_w : πυκνότητα νερού

m_{50} : η μάζα του ογκόλιθου που αντιστοιχεί στη διάμετρο D_{n50}

N= αριθμός κυμάτων που προσπίπτουν ($N=1000\sim 7500$)

P: συντελεστής που σχετίζεται με τη διαπερατότητα της κατασκευής:

P=0.1 → όταν ο πυρήνας καλύπτεται από μια αδιαπέραστη στρώση π.χ. γεωύφασμα

P=0.4 → όταν εκτός από την θωράκιση υπάρχει φίλτρο και πυρήνας

P=0.5 → όταν υπάρχει μόνο θωράκιση και φίλτρο, και

P=0.6 → όταν υπάρχει μόνο θωράκιση

S: επίπεδο ζημιών

S =2-3 → αρχή ζημιών (αντιστοιχεί στον τύπο του Hudson για αμελητέες ζημιές)

S =5-8 → ενδιάμεσες ζημιές

S =12 → σημαντικές ζημιές (το φίλτρο είναι ορατό)

Δεχόμενοι τις παρακάτω τιμές των παραμέτρων:

P=0.1

S=2

N=4400 (περίπου 8 ώρες διάρκεια θαλασσοταραχής)

$\Delta=1.6$

κλίση πρανούς tana 1:2

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του μαθηματικού μοντέλου (Σχήματα 4.1, 4.3, 4.5 και 4.7) και θεωρώντας τη κατάσταση ανύψωσης της μέσης στάθμης της θάλασσας (Σχήματα 4.2, 4.4, 4.6 και 4.8) επαυξημένη με την ανύψωση λόγω μετεωρολογικής και αστρονομικής παλίρροιας (της τάξης του 0.4 - 0.5 m) το σημαντικό ύψος κύματος H_w που προσβάλλει την κατασκευή και η περίοδος κορυφής του φάσματος T_p είναι:

$H_w=0.8$ m

$T_p=6.22 \text{ sec}$

Με βάση τα παραπάνω χαρακτηριστικά του κύματος ($H_s=H_w=0.8 \text{ m}$ και $T_p=6.22 \text{ sec}$) καταλήγουμε στη μέση διάμετρο του ογκολίθου θωράκισης

$D_{n50} = 0.5 \text{ m}$ βάρους $W_{50}=330 \text{ kg}$.

Θα τοποθετηθούν δύο στρώσεις ογκολίθων και συνεπώς το πάχος της θωράκισης θα είναι διπλάσιο της μέσης διαμέτρου του ογκολίθου (δηλ. 1 m).

Αν η εξόρυξη και μεταφορά δεν είναι εύκολη ο ογκολίθος θωράκισης μπορεί να είναι τεχνητός π.χ. κύβος.

Στην ενδιάμεση στρώση (φίλτρο) θα τοποθετηθούν λιθορριπές ατομικού βάρους $W_{50}/10=33 \text{ kg}$. Το πάχος της εσωτερικής στρώσης είναι το μισό της μέσης διαμέτρου του ογκολίθου θωράκισης (δηλ. 0.25 m).

Τέλος, ανάμεσα στο φίλτρο και το έδαφος θα τοποθετηθεί γεώφασμα ή πυρήνας ατομικού βάρους $0.05-5 \text{ Kg}$.

5.3. ΑΝΑΡΡΙΧΗΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ

Η αναρρίχηση R των κυματισμών σε πρανή από λιθορριπή υπολογίζεται από (Μέμος 2002, σελ. 362):

$$R = 1.6 \gamma \xi H_s \quad (5.2)$$

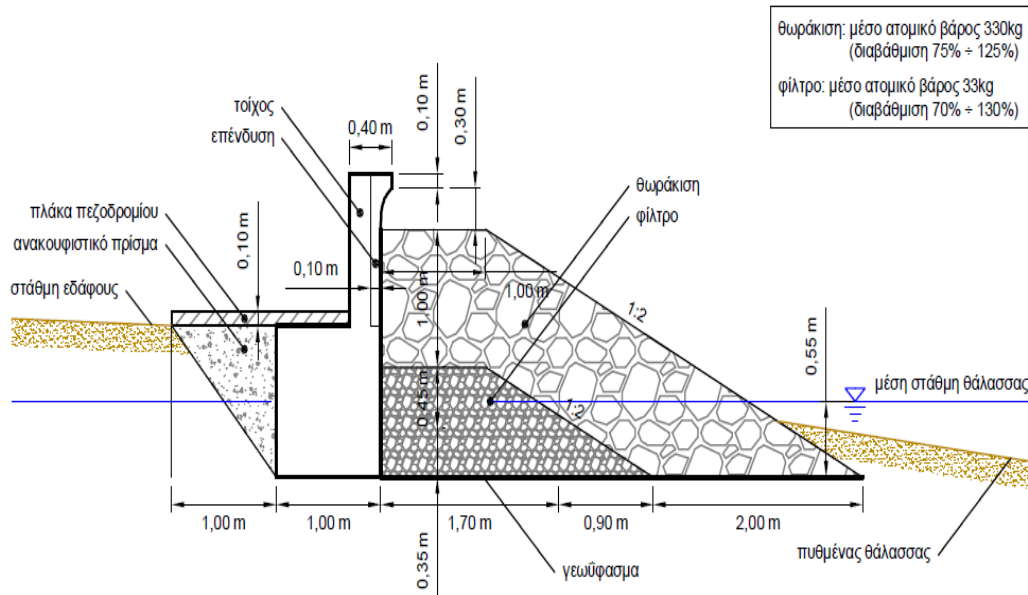
όπου $\xi = \tan \alpha / \sqrt{H_s / L_o}$ (με μέγιστη τιμή $\xi=2$) και γ ένας διορθωτικός συντελεστής (με μέγιστη τιμή $\gamma=0.5$).

Για τιμές παραμέτρων $L_o=60.4 \text{ m}$, $\tan \alpha=1/2$, $H_s=H_w=0.8 \text{ m}$ και μέγιστη τιμές των $\gamma=0.5$ και $\xi=2$ καταλήγουμε:

$$R=1.3 \text{ m}.$$

Η δυσμενέστερη αυτή τιμή χρησιμοποιείται για τη διαμόρφωση της διατομής.

ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ



5.4 ΠΡΟΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΗΣ ΠΡΑΝΩΝ

Αντικείμενο του παρόντος προϋπολογισμού είναι ο καθορισμός τιμών μονάδος των εργασιών, που είναι απαραίτητες για την έντεχνη ολοκλήρωση του Έργου.

Οι τιμές μονάδας του παρόντος προϋπολογισμού αναφέρονται σε μονάδες πλήρως περαιωμένων εργασιών, όπως περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω, οι οποίες θα εκτελεστούν στην περιοχή του Έργου.

Άρθρο 1.03 Έξαλλες καθαιρέσεις τμημάτων κατασκευών λιμενικών έργων χωρίς την χρήση εκρηκτικών υλών

Κωδικός Αναθεώρησης ΛΙΜ 1123

Για την καθαίρεση εξάλων τμημάτων κάθε είδους κατασκευών λιμενικών έργων, σε οποιοδήποτε ύψος άνω της θαλάσσης, αποτελούμενων από υλικά πάσης φύσεως όπως λιθοδομές, λιθοδέματα, άοπλο ή οπλισμένο σκυρόδεμα, μεταλλικές κατασκευές κλπ., καθώς και των ενσωματωμένων σε αυτά εξαρτημάτων όπως αγωγοί, μεταλλικά εξαρτήματα, δέστρες, προσκρουστήρες, κλίμακες, εξοπλισμός θαλάσσιας σήμανσης κλπ., χωρίς την χρήση εκρηκτικών υλών, συμπεριλαμβανομένων των πάσης φύσεως τυχόν εμπιερισμένων υλικών, όπως λιθορριπών ή αμμοχάλικων πληρώσεως κυψελών τεχνητών ογκολίθων ή κυψελωτών κιβωτίων κλπ.

Περιλαμβάνονται:

α) Η αποκόμιση, θαλάσσια μεταφορά και απόρριψη των προϊόντων καθαιρέσεως σε βάθη θαλάσσης μεγαλύτερα των 50 m, ή σε βάθη που ορίζουν αρμόδιες Υπηρεσίες (π.χ. ΓΕΝ) ή προβλέπουν οι περιβαλλοντικοί όροι ανεξαρτήτως αποστάσεως μεταφοράς, σε θέσεις εγκεκριμένες από τις αρμόδιες Αρχές και σε διασπορά, ώστε η συντελούμενη πρόσχωση να μη μειώνει το βάθος στις θέσεις απορρίψεως πέραν των 3.00 m,

ή/και

β) Η μεταφορά των κατάλληλων προϊόντων καθαιρέσεως, ανεξαρτήτως αποστάσεως και μεθόδου μεταφοράς, και η απόθεσή τους σε χερσαίους ή/και θαλάσσιους χώρους του έργου ή και εκτός αυτού, που προβλέπονται από την μελέτη του έργου, και εγκρίνονται αρμοδίως, προς χρήση στο έργο ή προς μελλοντική χρησιμοποίησή τους,

Η ως άνω καθαίρεση, αποκόμιση, μεταφορά και απόρριψη ή απόθεση θα εκτελούνται σύμφωνα με τους περιβαλλοντικούς όρους.

Περιλαμβάνεται επίσης η δαπάνη ανέλκυσης και απόρριψης μεμονωμένων αντικειμένων οποιουδήποτε μεγέθους, βάρους και σύστασης (όπως π.χ. φυσικοί ογκολίθοι, παλαιές αλυσίδες, άγκυρες, τεμάχια σκυροδέματος, εμπόδια οποιουδήποτε είδους, μεταλλικά τεμάχια ή εξαρτήματα κλπ.) που μπορούν να ανασυρθούν με τον χρησιμοποιούμενο εξοπλισμό, καθώς και κάθε άλλη δαπάνη για την πλήρη εκτέλεση της υπόψη εργασίας σύμφωνα με την μελέτη και τους λοιπούς όρους δημοπράτησης.

Ενιαία τιμή ανά κυβικό μέτρο με επιμέτρηση του όγκου της προς καθαίρεση κατασκευής ή τμήματος αυτής

ΕΥΡΩ Ολογράφως: Δεκαοχτώ

Αριθμητικώς: 18,00€/m³

Άρθρο 4.02 Λιθορριπές ατομικού βάρους λίθων 0,5 έως 100 kg

Κωδικός Αναθεώρησης LIM 2210

Για την κατασκευή λιθορριπών σε οποιοδήποτε βάθος θάλασσας ή ύψος άνω αυτής, με στερεούς λίθους προελεύσεως λατομείου ατομικού βάρους 0,5 έως 100 kg, προς έδραση λιμενικών έργων, ή κατασκευή τμημάτων λιμενικών έργων, στις θέσεις και στάθμες που προβλέπονται από την τεχνική μελέτη του έργου, ήτοι για την προμήθεια και επιλογή του καταλλήλου υλικού ομαλής διαβάθμισης, έλεγχο, φορτοεκφόρτωση, χερσαία ή/και θαλάσσια μεταφορά ανεξαρτήτως αποστάσεως, βύθιση, διάστρωση και τακτοποίηση, εκτελούμενη κατά οριζόντιες στρώσεις, με τη βοήθεια δύτη εφ' όλης της επιφανείας και πάχους όχι μεγαλύτερου του 1,00 m, εκτός αν άλλως καθορίζεται από την μελέτη, καθώς και για κάθε άλλη εργασία και δαπάνη για την πλήρη και σύμφωνα με την μελέτη κατασκευή λιθορριπών.

Τ ιμή ανά κυβικό μέτρο (m³) λιθορριπής, μετρούμενο με αρχικές και τελικές διατομές.

ΕΥΡΩ Ολογράφως: Είκοσι πέντε

Αριθμητικώς: 25,00€/m³

Το φίλτρο του έργου μας αποτελείται από λιθορριπή ατομικού βάρους W50/10=33 kg και το πάχος της εσωτερικής στρώσης είναι 0,45m. Ο όγκος εργασιών υπολογίζεται ως εξής:

$$\{ 0,45m \times (1m + 1,70m + 0,9m) / 2m \} \times 1200m = 972m^3$$

Συνολικό κόστος : 972x25=24300€

Άρθρο 4.07 Λιθορριπές ανακουφιστικού πρίσματος ατομικού βάρους 20 - 100 kg

Κωδικός Αναθεώρησης LIM 2230

Κατασκευή λιθορριπών σε οποιοδήποτε βάθος θάλασσας ή ύψος άνω αυτής, από στερεούς λίθους προελεύσεως λατομείου ατομικού βάρους από 20 έως 100 kg, για την δημιουργία ανακουφιστικού πρίσματος όπισθεν των κρηπιδοτοιχίων σύμφωνα με την μελέτη του έργου, δηλαδή προμήθεια του καταλλήλου υλικού, διαλογή και διαβάθμιση αυτού, φορτοεκφόρτωση, μεταφορά χερσαία ή/και θαλάσσια ανεξαρτήτως αποστάσεως και μέσου, διάστρωση και τακτοποίηση, εκτελούμενη κατά οριζόντιες στρώσεις σε όλη την επιφάνεια του πρίσματος, με τη βοήθεια δύτη, καθώς κάθε άλλη εργασία και δαπάνη για την πλήρη σύμφωνα με τους όρους της συμβάσεως κατασκευή των πρισμάτων λιθορριπών ανακουφιστικού πρίσματος.

Τ ιμή ανά κυβικό μέτρο (m³) λιθορριπής, μετρούμενο με αρχικές και τελικές διατομές.

ΕΥΡΩ Ολογράφως: Είκοσι πέντε

Αριθμητικώς: 25,00€/m³

Για την κατασκευή του ανακουφιστικού πρίσματος του έργου μας θα απαιτηθεί λιθορριπή ανακουφιστικού πρίσματος. Ο όγκος εργασιών υπολογίζεται ως εξής:

$$(1\text{m} \times 1\text{m}/2) \times 1200\text{m} = 600\text{m}^3$$

$$\text{Συνολικό κόστος : } 600 \times 25 = 15000\text{€}$$

Άρθρο 4.08.01 Θωράκιση λιμενικών έργων με φυσικούς ογκολίθους ατομικού βάρους 200-1500Kg

Κωδικός Αναθεώρησης ΛΙΜ 2320

Για την κατασκευή στρώσεων θωράκισης εξωτερικών λιμενικών έργων, σε οποιοδήποτε βάθος θάλασσας ή ύψος άνω αυτής, από φυσικούς λίθους, προελεύσεως λατομείου εξ υγιών πετρωμάτων, ήτοι για την προμήθεια του κατάλληλου υλικού, διαλογή και διαβάθμιση αυτού, φορτοεκφόρτωση, χερσαία και θαλάσσια μεταφορά, ανεξαρτήτως αποστάσεως, βύθιση διάστρωση τακτοποίηση και μόρφωση, εκτελούμενη σε οριζόντιες στρώσεις καθώς και την διαμόρφωση της κεκλιμένης παρειάς, με τη βοήθεια δύτη στις στάθμες και θέσεις που καθορίζονται στα σχέδια της μελέτης, καθώς και για κάθε άλλη εργασία και δαπάνη για την πλήρη και σύμφωνα με τις προδιαγραφές και τους όρους δημοπράτησης, κατασκευή θωράκισης εξωτερικών λιμενικών έργων. σε οποιοδήποτε βάθος θαλάσσης και οποιοδήποτε ύψος άνω της ΜΣΘ.

όπως και για κάθε άλλη εργασία και δαπάνη, για την πλήρη και κατασκευή τμημάτων λιμενικών έργων ή μόρφωση προστασίας αυτών

Τιμή ανά κυβικό μέτρο (m³), μετρούμενο με αρχικές και τελικές διατομές με φυσικούς ογκολίθους ατομικού βάρους 200-1500 kg

ΕΥΡΩ Ολογράφως: Είκοσι έξι

Αριθμητικώς: 26,00€/m³

Θα τοποθετηθούν δύο στρώσεις ογκολίθων θωράκισης μέσης διαμέτρου Dn50=0,5m και βάρους W50=330 kg και συνεπώς το πάχος θωράκισης θα είναι 1m. Ο όγκος εργασιών υπολογίζεται ως εξής:

$$\{ 1,45\text{m} \times (1\text{m} + 1,70\text{m} + 0,9\text{m} + 2\text{m}) / 2 \} \times 1200\text{m} = 972\text{m}^3 = 3900\text{m}^3$$

$$\text{Συνολικό κόστος : } 3900 \times 26 = 101400\text{€}$$

Άρθρο 4.11.02 Προμήθεια και διάστρωση υφαντού γεωυφάσματος σε ύφαλα τμήματα θαλασσίων έργων εφελκυστικής αντοχής κατά την κύρια διεύθυνση 300 kN/m.

Κωδικός Αναθεώρησης ΥΔΡ 6361

Για την προμήθεια και υποθαλάσσια διάστρωση σε οποιοδήποτε βάθος, υφαντών πολυεστερικών γεωυφασμάτων, σε ύφαλα τμήματα θαλασσίων έργων, περιλαμβανομένης της δαπάνης προμηθείας και μεταφοράς επί τόπου των έργων από οποιαδήποτε απόσταση των γεωυφασμάτων, όλων των απαιτούμενων υλικών συγκόλλησης, ραφής κλπ., της δαπάνης προετοιμασίας, κοπής, ραφής ή συγκόλλησης, απομείωσης και φθοράς του γεωυφάσματος κατά την κοπή, φορτοεκφόρτωσης, καταβίβασης του γεωυφάσματος στην κατάλληλη στάθμη διαστρώσεως, διάστρωσης από καταδυτικό συνεργείο, στην έκταση και στις στάθμες που προβλέπονται στην μελέτη, επικάλυψη των φύλλων του, αγκύρωσης των άκρων του, και γενικά για κάθε δαπάνης εργαλείων, εξοπλισμού και προσωπικού που θα απαιτηθεί για την πλήρη διάστρωση του γεωυφάσματος και οποιαδήποτε άλλη δαπάνη μη αναφερόμενη αλλά απαραίτητη για την πλήρη και έντεχνη εκτέλεση της εργασίας, σύμφωνα με την σύμβαση, τις τεχνικές προδιαγραφές και τα σχέδια της μελέτης.

Τιμή ανά τετραγωνικό μέτρο (m²) καλυπτόμενης επιφάνειας με γεωύφασμα εφελκυστικής αντοχής (κατά την κύρια διεύθυνση)300 kN/m

ΕΥΡΩ Ολογράφως: Οκτώ

Αριθμητικώς: 8,00€/m²

Απαιτούνται τα παρακάτω m²:

$$(1,7m + 0,9m + 2m) \times 1200m = 5520 \text{ m}^2$$

$$\text{Συνολικό κόστος : } 5520 \times 8 = 44160 \text{ €}$$

Άρθρο 8.02.01 Ανωδομές λιμενικών έργων από οπλισμένο έγχυτο επί τόπου σκυρόδεμα κατηγορίας C20/25

Κωδικός Αναθεώρησης LIM 4240

Για την κατασκευή ανωδομών λιμενικών έργων (όπως κρηπιδοτοίχων, προβλητών, μώλων, κυματοθραυστών, νησίδων κλπ.) σε οποιοδήποτε ύψος άνω της θάλασσας, οπλισμένο σκυρόδεμα, ελάχιστης περιεκτικότητας σε τσιμέντο ανά m³ σκυροδέματος σύμφωνα με τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος και την μελέτη, δηλαδή για την προμήθεια και μεταφορά ανεξαρτήτως αποστάσεως όλων των απαιτούμενων υλικών επί τόπου των έργων, συμπεριλαμβανομένων των τυχόν προβλεπομένων προσθέτων σκυροδέματος, πλην του σιδηρού οπλισμού του σκυροδέματος και πλην των βλήτρων των αρμών διαστολής, φορτοεκφόρτωση, προσέγγιση και ανάμιξη αυτών στις αναλογίες που καθορίζονται από την εγκεκριμένη μελέτη συνθέσεως του σκυροδέματος, έλεγχο της ποιότητας αυτού, προμήθεια επί τόπου των έργων, κατασκευή, αποσύνδεση αφού παρέλθει ο

προβλεπόμενος από τις τεχνικές προδιαγραφές χρόνος και επανασύνδεση των σιδηροτύπων, συνδέσμων και ικριωμάτων που απαιτούνται για την κατασκευή του έργου, μεταφορά και διάστρωση του σκυροδέματος στους τύπους σε στρώσεις πάχους όχι μεγαλύτερου των 0.40 m, συμπύκνωση του σκυροδέματος κάθε στρώσεως με δονητές, προμήθεια, μεταφορά επί τόπου των έργων ανεξαρτήτως αποστάσεως, φορτοεκφόρτωση και ανάμειξη όλων των απαιτούμενων εν γένει υλικών, επίπαση της τελευταίας (άνω) στρώσεως της ανωδομής με σκληρυντικό μίγμα και ενσωμάτωση αυτού στην μάζα του νωπού σκυροδέματος με μηχανικά μέσα ή χειρωνακτική εργασία, συντήρηση του σκυροδέματος, καθώς επίσης και για κάθε εργασία και δαπάνη για την διαμόρφωση εγκαρσίων αρμών διαστολής στις θέσεις που προβλέπονται από την μελέτη του έργου, ήτοι για την προμήθεια και μεταφορά επί τόπου των έργων, όλων των απαιτούμενων εν γένει υλικών διαμόρφωσης αρμών διαστολής και για τις εργασίες πλήρωσης και σφράγισης των αρμών διαστολής, καθώς επίσης και κάθε εργασία και δαπάνη για την ενσωμάτωση αγωγών διέλευσης παροχών και την διαμόρφωση φρεατίων, καναλιών, θέσεων πακτώσεως δεστρών, προσκρουστήρων, κρίκων προσδέσεως, κλιμάκων αναρριχήσεως και λοιπών ειδών εξοπλισμού αναδομών λιμενικών έργων, καθώς και κάθε άλλη εργασία και δαπάνη για την πλήρη και σύμφωνα με τους όρους της Συμβάσεως, κατασκευή αναδομών λιμενικών τεχνικών έργων.

Τιμή ανά κυβικό μέτρο σκυροδέματος (m³).

ΕΥΡΩ Ολογράφως: Εκατόν πέντε

Αριθμητικώς: 105,00€/m³

Για την κατασκευή του τοίχου θα απαιτηθεί οπλισμένο έγχυτο σκυρόδεμα κατηγορίας C20/25. Ο όγκος εργασιών υπολογίζεται ως εξής:

$$1\text{m} \times 1\text{m} \times 1200\text{m} + 0,4\text{m} \times 1\text{m} \times 1200\text{m} = 1680 \text{ m}^3$$

$$\text{Συνολικό κόστος : } 1680 \times 105 = 176400$$

Άρθρο 8.03.01 Επιστρώσεις δαπέδων από άοπλο ή οπλισμένο σκυρόδεμα κατηγορίας C 16/20

Κωδικός Αναθεώρησης LIM 4300

Τιμή ανά κυβικό μέτρο σκυροδέματος (m³).

ΕΥΡΩ Ολογράφως: ενενήντα Αριθμητικώς: 90,00€/m³

Για την κατασκευή του πεζοδρομίου απαιτείται η επιστρωση δαπέδου από οπλισμένο ή άοπλο σκυρόδεμα κατηγορίας C16/20. Ο όγκος εργασιών υπολογίζεται ως εξής:

$$1,6\text{m} \times 0,10\text{m} \times 1200\text{m} = 192\text{m}^3$$

$$\text{Κόστος : } 192 \times 90 = 17280\text{€}$$

Επίσης για την ολοκλήρωση κατασκευής του πεζοδρομίου απαιτείται η τοποθέτηση πλακιδίων πεζοδρομίου με τιμή αγοράς και τοποθέτησης 30 €/m².

Απαιτούνται τα παρακάτω m²:

$$1,6\text{m}\times 1200\text{m}= 1920\text{m}^2$$

$$\text{Κόστος : } 1920\times 30=57600\text{€}$$

$$\text{Άρα συνολικό κόστος: } 74880\text{€}$$

6. ΑΚΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

Στο κεφάλαιο αυτό εφαρμόζεται ένα μαθηματικό μοντέλο εξέλιξης ακτογραμμής με σκοπό τη διερεύνηση των επιπτώσεων στην ακτογραμμή από την κατασκευή των προτεινόμενων έργων προστασίας.

6.1. Παράκτια μεταφορά άμμου – ισοδύναμοι κυματισμοί

Το κύριο μέρος των ακτομηχανικών φαινομένων λαμβάνει χώρα μέσα στην ζώνη θραύσης των κυματισμών, δηλ. από το βάθος όπου πραγματοποιείται η θραύση μέχρι και την ακτή. Συγκεκριμένα, με τη θραύση των κυματισμών και τη μετακίνηση του μετώπου θραύσης προς την ακτή, δημιουργούνται έντονα τυρβώδη φαινόμενα στην υδάτινη μάζα που έχουν ως αποτέλεσμα την αιώρηση των λεπτόκοκκων κυρίως υλικών του πυθμένα (ίλυος και άμμου). Η πλάγια πρόσπτωση των κυματισμών στην ακτή δημιουργεί λοιπόν κατά μήκος της ακτής μια συνιστώσα μεταφοράς νερού που ισοδυναμεί με ένα ρεύμα (longshore current). Το ρεύμα αυτό αποτελεί και τον βασικό παράγοντα μεταφοράς των υλικών (σε αιώρηση και σαν φορτίο πυθμένα) κατά μήκος της ακτής. Λόγω των φαινομένων αυτών μάλιστα, οι μορφές των ακτών έχουν διαχρονικά προσαρμοστεί ώστε να είναι κάθετες στους κύριους προσπίπτοντες κυματισμούς.

Στην Ακτομηχανική μελέτη ιδιαίτερη σημασία έχουν οι χαρακτηριστικοί κυματισμοί που ορίστηκαν ως οι ισοδύναμοι κυματισμοί και είναι αντιπροσωπευτικοί της κυματικής κατάστασης σε ετήσια βάση. Αφού επιλεγεί μια αντιπροσωπευτική περίοδος T του ισοδύναμου κυματισμού για κάθε διεύθυνση πνοής υπολογίζεται το ύψος του ισοδύναμου κυματισμού από τη μέση τετραγωνική τιμή των Borah and Balloffet, (1985):

$$H^2 T = \frac{\sum H_i^2 T_i f_i}{\sum f_i} \quad (6.1)$$

όπου H_i , T_i , f_i τα ύψη, οι περίοδοι και οι συχνότητες εμφάνισης των κυμάτων που αντιστοιχούν στα διάφορα επίπεδα έντασης του ανέμου από την σχετική διεύθυνση. Ο ισοδύναμος κυματισμός είναι ο κυματισμός που εμφανίζεται με συχνότητα $f = \sum f_i$ και έχει το ίδιο ενεργειακό περιεχόμενο με το σύνολο των κυματισμών των διαφόρων εντάσεων του σχετικού τομέα.

Με βάση τα παραπάνω υπολογίστηκαν το σημαντικό ύψος κύματος H_e , η περίοδος T_e και η συχνότητα εμφάνισης f των ισοδύναμων κυματισμών ανοιχτού πελάγους που συνοψίζονται στον παρακάτω Πίνακες 6.1.

Πίνακας 6.1. Χαρακτηριστικά ισοδύναμων κυματισμών

B άνεμος

BF	U (m/s)	Συχνότητα Εμφάνισης f %	H _{os} (m)	T _p (sec)	T _e (m)	H _e (m)
3	4,3	6.314	0.41	3.21	3.74	0.78
4	6,7	7.224	0.64	3.74		
5	9,3	2.894	0.89	4.18		
6	12,3	1.611	1.18	4.59		
7	15,5	0.482	1.48	4.97		
8	18,9	0.110	1.81	5.31		
9	22,6	0.011	2.16	5.65		
10	26,4	0.011	2.52	5.95		
Σύνολο		18.657				

BA άνεμος

BF	U (m/s)	Συχνότητα Εμφάνισης f %	H _{os} (m)	T _p (sec)	T _e (m)	H _e (m)
3	4,3	1.173	0.36	2.92	3.72	0.86
4	6,7	2.137	0.55	3.40		
5	9,3	1.863	0.77	3.80		
6	12,3	1.743	1.02	4.17		
7	15,5	0.581	1.28	4.52		
8	18,9	0.164	1.56	4.83		
9	22,6	0.022	1.87	5.13		
10	26,4	0.011	2.18	5.41		
Σύνολο		7.694				

A άνεμος

BF	U (m/s)	Συχνότητα Εμφάνισης f %	H _{os} (m)	T _p (sec)	T _e (m)	H _e (m)
3	4,3	1.151	0.34	2.86	3.22	0.58
4	6,7	1.074	0.54	3.33		
5	9,3	0.329	0.75	3.72		
6	12,3	0.099	0.99	4.09		
7	15,5	0.022	1.24	4.42		
8	18,9	0.011	1.51	4.73		
9	22,6	0.011	1.81	5.03		
10	26,4	0.000	2.12	5.30		
Σύνολο		2.70				

NA άνεμος

BF	U (m/s)	Συχνότητα Εμφάνισης f %	H _{os} (m)	T _p (sec)	T _e (m)	H _e (m)
3	4,3	2.346	0.40	3.16	3.53	0.65
4	6,7	1.710	0.63	3.68		
5	9,3	0.515	0.87	4.11		
6	12,3	0.219	1.15	4.52		
7	15,5	0.044	1.45	4.89		
8	18,9	0.011	1.76	5.23		
9	22,6	0.000	2.11	5.56		
10	26,4	0.000	2.46	5.86		
Σύνολο		4.85				

6.2. Μοντέλο εξέλιξης ακτογραμμής

Στο κεφάλαιο αυτό εφαρμόζεται ένα μοντέλο μίας γραμμής για την πρόβλεψη της εξέλιξης της ακτογραμμής (one-line model). Η ανάπτυξη του μοντέλου βασίστηκε στον αλγόριθμο που παρουσιάστηκε από τους Kraus και Harikaki (1983). Το μοντέλο βασίζεται στην αριθμητική επίλυση μιας παραλλαγής της εξίσωσης ροής ενέργειας CERC (Coastal Engineering Manual, 2002) για την πρόβλεψη του ρυθμού της κατά μήκος μεταφοράς της άμμου. Η εξίσωση αυτή γράφεται (Kraus και Harikaki, 1983):

$$Q = (H^2 c_g)_b (\beta_1 \sin 2\alpha_{bs} - \beta_2 \cos \alpha_{bs} \partial H_b / \partial x) \quad (6.1)$$

όπου Q είναι η κατά μήκος της ακτής στερεοπαροχή, H είναι το ύψος κύματος, c_g είναι η ταχύτητα ομάδας κυματισμών σύμφωνα με την γραμμική θεωρία, και α_{bs} είναι η γωνία που σχηματίζουν οι κορυφές των θραυόμενων κυματισμών με την ακτογραμμή. Ο δείκτης b υποδηλώνει συνθήκες θραύσης.

Η γωνία των θραυόμενων κυματισμών με την ακτογραμμή, α_{bs} , σχετίζεται με την γωνία που σχηματίζουν οι θραυόμενοι κυματισμοί με τον άξονα των x , α_b , και την γωνία μεταξύ της ακτογραμμής και του άξονα των x με την εξής σχέση:

$$\alpha_{bs} = \alpha_b - \alpha_s = \alpha_b - \tan^{-1} \left(\frac{\partial y}{\partial x} \right) \quad (6.2)$$

όπου y είναι η θέση της ακτογραμμής σε σχέση με τον άξονα των x .

Οι αδιάστατοι συντελεστές β_1 και β_2 δίνονται από τις σχέσεις :

$$\beta_1 = K_1 / \left[16 \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) (1 - \lambda) 1.416^{5/2} \right] \quad (6.3)$$

$$\beta_2 = K_2 / \left[8 \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) (1 - \lambda) (\tan \beta) 1.416^{5/2} \right] \quad (6.4)$$

όπου ρ_s και ρ είναι οι πυκνότητες του ιζήματος ($\rho_s / \rho = 1,6$) και του θαλασσινού νερού αντίστοιχα ($\rho_s / \rho = 1,6$) λ είναι το πορώδες του ιζήματος το οποίο αποτελείται κυρίως από άμμο ($\lambda = 0,4$) και $\tan \beta$ είναι η μέση κλίση της παραλίας. Ο παράγοντας $1.416^{5/2}$ μετατρέπει την τιμή του σημαντικού ύψους κύματος σε μέση τετραγωνική τιμή του ύψους (Coastal Engineering Manual, 2002).

Ο πρώτος όρος στην Εξ. (6.1) γνωστός και ως τύπος CERC, περιγράφει την κατά μήκος της ακτής μεταφορά του ιζήματος λόγω του παράκτιου ρεύματος το οποίο προκαλείται από πλάγια προσπίπτοντες θραυόμενους κυματισμούς. Ο δεύτερος όρος περιγράφει το παράκτιο ρεύμα (long-shore current) το οποίο προκαλείται από την μεταβλητότητα που παρατηρείται στο θραυόμενο ύψος κύματος κατά μήκος της ακτής λόγω περίθλασης των κυμάτων. Ο πρώτος όρος είναι εφαρμόσιμος όταν η κατά μήκος της ακτής μεταφορά της άμμου συμβαίνει σε φυσικές ευθύγραμμες παραλίες ενώ ο τελευταίος σε παραλίες που είναι κοντά σε κατασκευές και σε ακρωτήρια.

Η αριθμητική τιμή των συντελεστών K_1 και K_2 έχει προσδιοριστεί εμπειρικά στο Coastal Engineering Manual (2002) ($K_1 = 0.45$, $K_2 = 0.40$) καθώς και από τους Kraus και Harikai (1983) ($K_1 = 0.3$, $K_2 = 0.4$). Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιούνται οι δεύτερες τιμές.

Μια βασική παράμετρος στα μοντέλα μιας γραμμής είναι το βάθος μέχρι το οποίο η άμμος μεταφέρεται ενεργά. Το οριακό αυτό βάθος 'κλεισίματος' h_* (closure depth) - ή βάθος αναφοράς του σημείου θραύσης - είναι το βάθος που αντιστοιχεί στο (θαλάσσιο) όριο των διακυμάνσεων του ενεργού προφίλ. Λόγω όμως της στατιστικής φύσης του μεγέθους αυτού και της σπανιότητας των δεδομένων το κατώφλι κίνησης δεν μπορεί να καθοριστεί με βεβαιότητα και συχνά είναι δύσκολο ακόμα και να εκτιμηθεί. Ο Hallermeier (1978, 1981) έδωσε μια έκφραση για των υπολογισμό ενός οριακού βάθους D (ή h_*) προσδιοριζόμενο ως το όριο προς τη θάλασσα, της ζώνης μέσα στην οποία λαμβάνει χώρα σημαντική στερεομεταφορά κατά μήκος της ακτής αλλά και εγκάρσια:

$$D = 2.28H_s - 68.5 \left(H_s^2 / gT_s^2 \right) \quad (6.5)$$

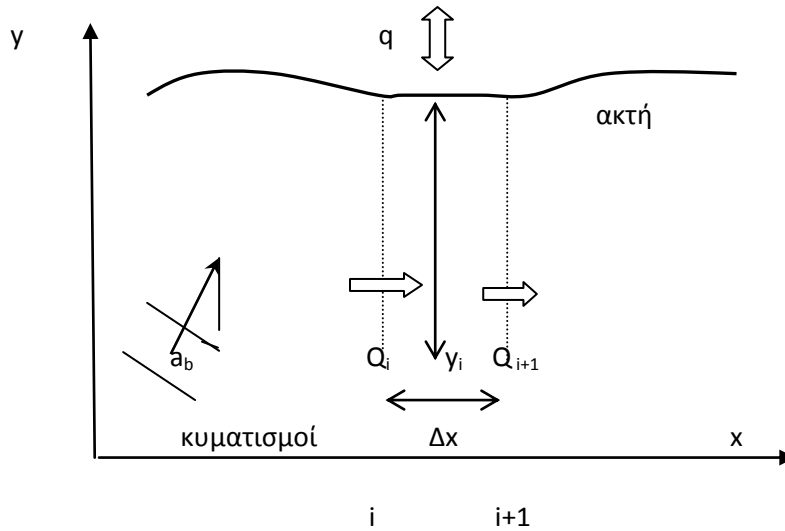
όπου H_s είναι το σημαντικό ύψος και T_s η αντίστοιχη περίοδος των τοπικών κυματισμών και g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας.

Διαμόρφωση του μοντέλου

Η εξίσωση συνέχειας της άμμου η οποία είναι η βασική εξίσωση του μοντέλου 1-Line γράφεται (Καραμπάς, 2004):

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{1}{D} \left(\frac{\partial Q}{\partial x} - q \right) = 0 \quad (6.6)$$

όπου y είναι η θέση της ακτογραμμής, x είναι η κατά μήκος της ακτής συντεταγμένη, t είναι ο χρόνος, Q είναι ο κατά μήκος της ακτής ρυθμός στερεομεταφοράς όπως αυτός δίνεται από την Εξ. (6.1) και q είναι ο ρυθμός εγκάρσιας στερεομεταφοράς (m^3/s m μήκους της ακτής). Όλοι οι παραπάνω συμβολισμοί παρουσιάζονται αναλυτικά στο σχήμα που ακολουθεί:



Σχήμα 6.1. Ρυθμός στερεοπαροχής παράλληλα στην ακτή και εξέλιξη ακτογραμμής.

Αριθμητική επίλυση με πεπλεγμένο σχήμα

Για τους αριθμητικούς υπολογισμούς επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί ένα πεπλεγμένο σχήμα πεπερασμένων διαφορών, στο οποίο οι εξισώσεις επιλύονται για όλες της συντεταγμένες της παραλίας ταυτόχρονα, αντί ενός ρητού. Η επιλογή έγινε με βάση το γεγονός ότι τα πεπλεγμένα σχήματα δεν διέπονται από το κριτήριο Courant, είναι δηλαδή σταθερά για οποιοδήποτε χρονικό βήμα (Kraus και Harikαι, 1983).

Η Εξ. (6.6) εκφράζεται σε διαφορική μορφή με τη χρήση έκκεντρου κανάβου. Οι στερεοπαροχές υπολογίζονται στις διατομές (κορυφές κανάβου) και οι τεταγμένες y στα μέσα των διατομών. Στο σημείο $i\Delta x$ και στο χρόνο $n\Delta t$ (όπου Δx και Δt το χωρικό και χρονικό βήμα διακριτοποίησης) οι μερικές παράγωγοι της Εξ. 6.6 προσεγγίζονται από τη σχέση (Σχήμα 6.1):

$$\frac{y_i^{n+1} - y_i^n}{\Delta t} = -\frac{1}{D} \left(\frac{Q_{i+1}^{n+1} - Q_i^{n+1}}{2\Delta x} + \frac{Q_{i+1}^n - Q_i^n}{2\Delta x} - q_{i+1/2}^{n+1} \right) \quad (6.7)$$

Αντικαθιστώντας την Εξ. (6.1) στην Εξ. (6.7) και ακολουθώντας τη μεθοδολογία των Kraus και Harikαι (1983) εξάγεται το ακόλουθο σύστημα εξισώσεων:

$$\left. \begin{aligned} y_i^{n+1} &= B(Q_i^{n+1} - Q_{i+1}^{n+1}) + G_i \\ Q_i^{n+1} &= E_i(y_{i-1}^{n+1} - y_i^{n+1}) + F_i \end{aligned} \right\} \quad (6.8)$$

όπου οι τιμές των B, G_i, E_i και F_i είναι υπολογισμένες στο προηγούμενο χρονικό βήμα και δίνονται από τις σχέσεις:

$$\left. \begin{aligned} G_i &= y_i + B(Q_i^n - Q_{i+1}^n + 2\Delta x q_i^n) \\ B &= \Delta t / (2D\Delta x) \\ E_i &= (H^2 c_g)_{bi} \left(2\beta_1 \cos 2\alpha_b \cos^2 \alpha_s + \beta_2 \frac{\partial H_b}{\partial x} \sin \alpha_b \cos \alpha_s \right) / \Delta x \\ F_i &= (H^2 c_g)_{bi} \left[\beta_1 \sin 2\alpha_b (2 \cos^2 \alpha_s - 1) - \beta_2 \frac{\partial H_b}{\partial x} \cos \alpha_b \cos \alpha_s \right] \end{aligned} \right\} \quad (6.9)$$

Το σύστημα των εξισώσεων (6.8) περιέχει δύο ομάδες αγνώστων, τις $\{y^{n+1}\}$ και $\{Q^{n+1}\}$. Καθώς οι οριακές συνθήκες συνήθως εκφράζονται με όρους του ρυθμού στερεομεταφοράς, επιλύεται το σύστημα για την ομάδα $\{Q^{n+1}\}$ πρώτα. Από την αντικατάσταση της πρώτης εξίσωσης του συστήματος στη δεύτερη προκύπτει:

$$-BE_i Q_{i-1}^{n+1} + (1 + 2BE_i) Q_i^{n+1} - BE_i Q_{i+1}^{n+1} = E_i (G_{i-1} - G_i) + F_i \quad (6.10)$$

Για $i = 2$ έως N η Εξ. (6.10) αντιπροσωπεύει $N-1$ εξισώσεις με $N-1$ αγνώστους.

Για την προσομοίωση της επίδρασης των παράκτιων τεχνικών έργων στην εξέλιξη της ακτογραμμής αλλά και των γειτονικών ακτών, εισάγουμε τις παρακάτω τρεις οριακές συνθήκες:

α. Ύπαρξη αδιαπέραστου προβόλου (groin ή βραχίονας λιμένα).

Στην περίπτωση αυτή θεωρούμε ότι η κατασκευή κάθετα σε μια ακτή δεν επιτρέπει την μεταφορά άμμου κατάντη αυτής και άρα:

$$Q=0 \quad (6.11)$$

β. Διαπερατός πρόβολος (βυθισμένος ή μικρού μήκους)

Όταν ένα μόνο μέρος της αερομεταφοράς διέρχεται κατάντη του προβόλου τότε:

$$Q = \gamma_\alpha Q_0 \quad (6.12)$$

όπου Q_0 η στερεομεταφορά που υπολογίστηκε αγνοώντας την παρουσία του προβόλου και γ_α ένας συντελεστής ($0 < \gamma_\alpha < 1$) που ορίζει το ποσοστό της στερεομεταφοράς που διέρχεται.

γ. Ακτή σε ισορροπία

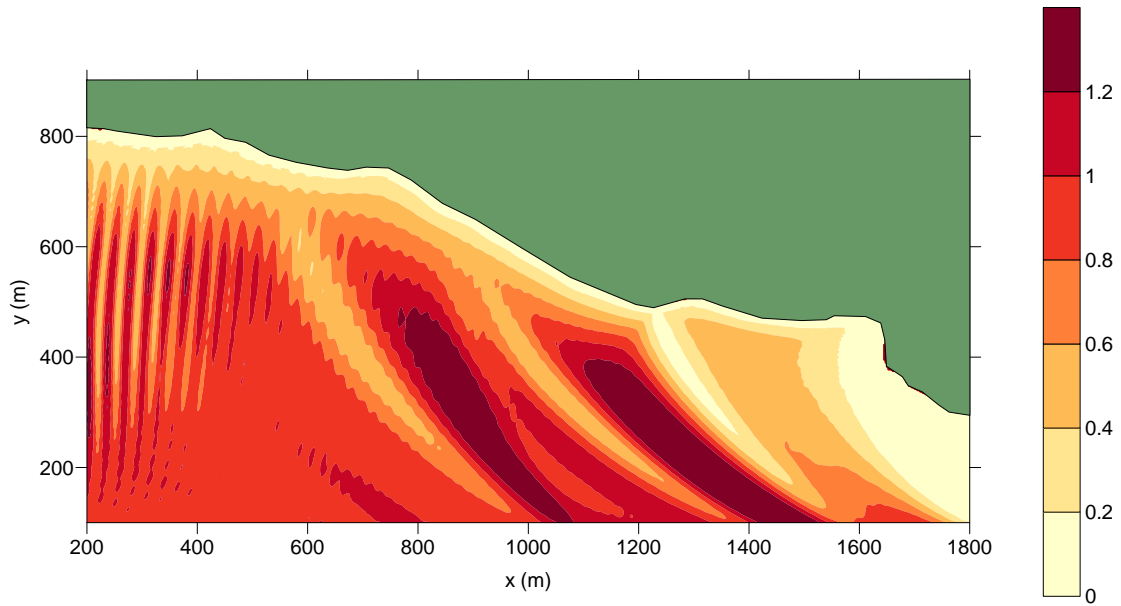
Εάν διαπιστωθεί ότι η ακτογραμμή της περιοχής που μελετάται δεν μεταβάλλεται σημαντικά σε ένα σχετικά μακρύ χρονικό διάστημα, τότε μπορούμε να υποθέσουμε ότι βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας, δηλαδή από τα όρια του υπολογιστικού πεδίου εισέρχεται (ή/και εξέρχεται) συγκεκριμένη στερεοπαροχή:

$$Q_b = Q_{b\pm 1} \quad (6.13)$$

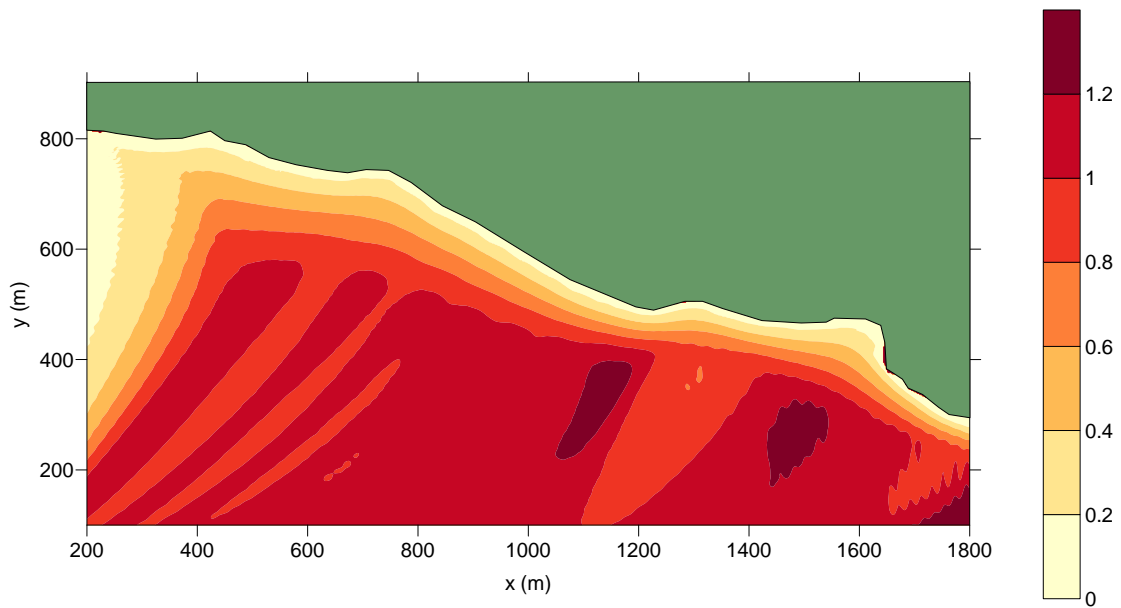
όπου Q_b και $Q_{b\pm 1}$ είναι οι στερεοπαροχές στο όριο και στο γειτονικό του σημείο του υπολογιστικού σημείου.

Τα δεδομένα του μοντέλου (δηλ. το ύψος κύματος H και η γωνία πρόσπτωσης α_b στο σημείο θραύσης) υπολογίζονται από το μοντέλο WAVE_L με βάση τα χαρακτηριστικά των ισοδύναμων κυματισμών που δίνονται στον Πίνακα 6.1. Οι ισοϋψείς των ισοδύναμων κυματισμών που προέκυψαν από τις εφαρμογές του μοντέλου WAVE_L, για B, BA, A και NA κυματισμούς, παρουσιάζονται στα Σχήματα 6.2, 6.3, 6.4 και 6.5. Με βάση τα αποτελέσματα αυτά (δηλ. το ύψος κύματος H και η γωνία πρόσπτωσης α_b στο σημείο θραύσης) εφαρμόστηκε το μοντέλο εξέλιξης ακτογραμμής. Στο Σχήμα 6.6. παρουσιάζεται η πρόβλεψη της εξέλιξης της ακτογραμμής μετά την επαλληλία των τεσσάρων κυματικών καταστάσεων. Είναι φανερό η τάση σταθεροποίησης της ακτογραμμής. Συνεπώς τα προτεινόμενα έργα δεν θα επιφέρουν διάβρωση στην υφιστάμενη ακτογραμμή.

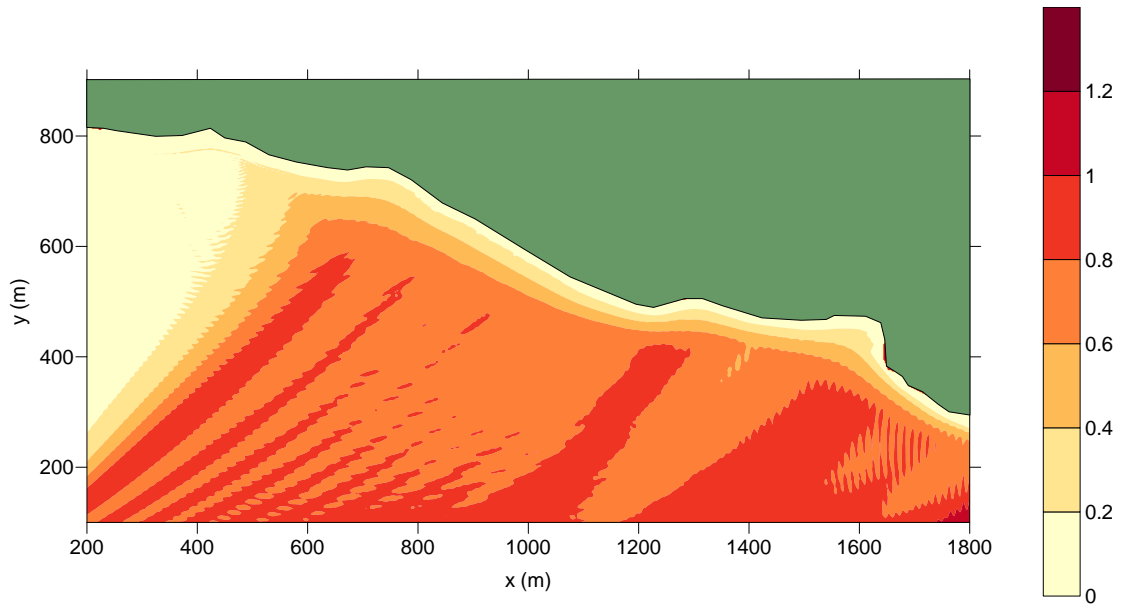
ΣΧΗΜΑΤΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 6



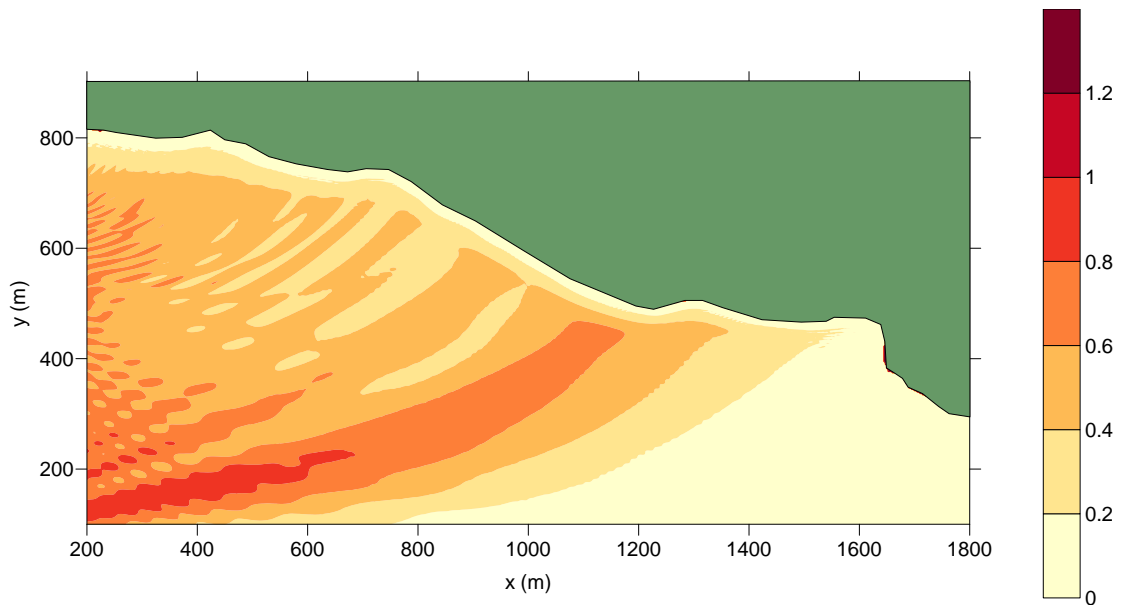
Σχήμα 6.2. Ισοϋψείς ισοδύναμου ύψους κύματος. Β Κυματισμοί



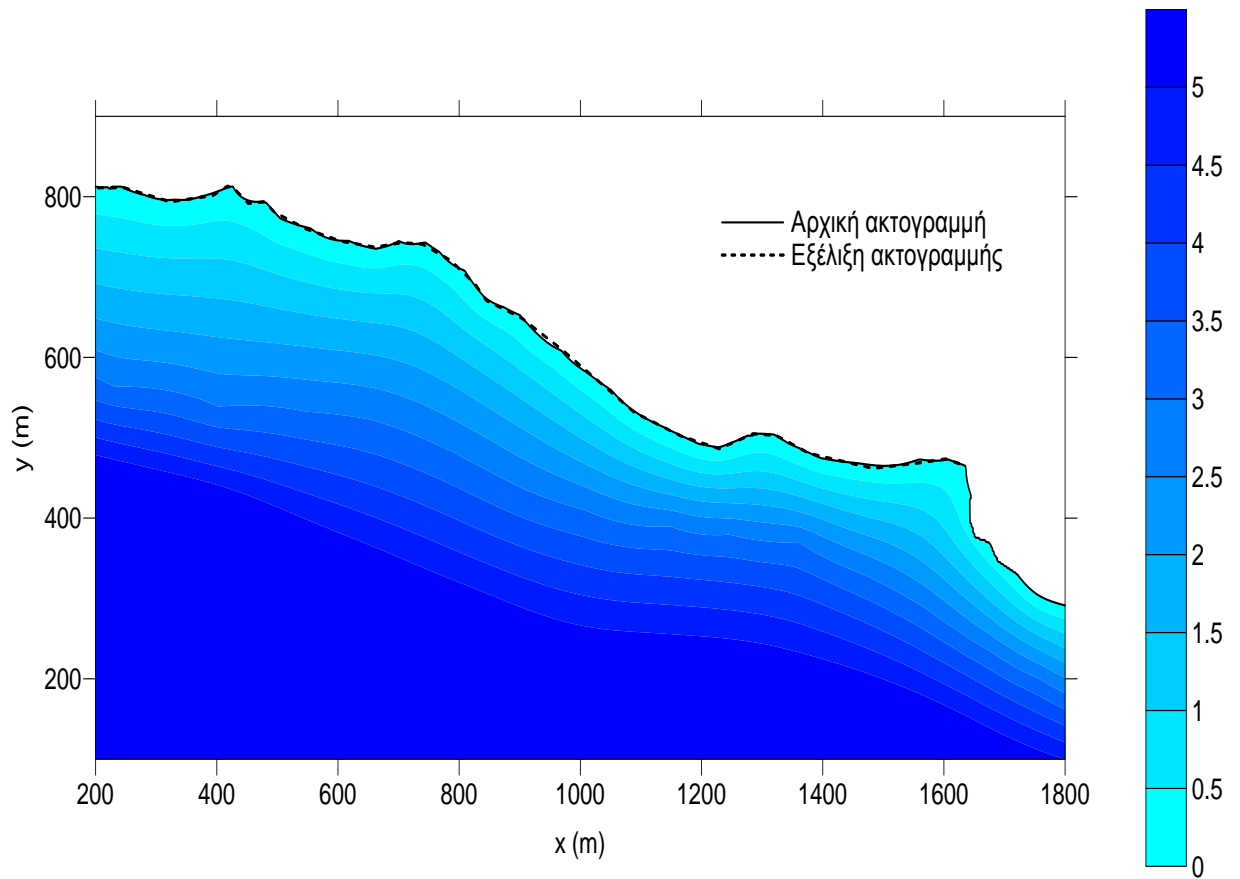
Σχήμα 6.3. Ισοϋψείς ισοδύναμου ύψους κύματος. ΒΑ Κυματισμοί.



Σχήμα 6.4. Ισοϋψείς ισοδύναμου ύψους κύματος. Α Κυματισμοί.



Σχήμα 6.5. Ισοϋψείς ισοδύναμου ύψους κύματος. ΝΑ Κυματισμοί.



Σχήμα 6.6. Πρόβλεψη εξέλιξης της ακτογραμμής

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση (Αγγλικά)

Battjes, J. A. (1975), "Modelling of turbulence in the surf zone", Proc. Symp. Modelling Techniques, California, ASCE, pp. 1050-1061.

Borah D.K. and Balloffet A. (1985), "Beach evolution caused by littoral drift barrier", *J. of Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng.*, ASCE, vol 111, no4, 645-660.

Coastal Engineering Manual (2002) US Army Corps of Engineers.

Copeland, G. J. M., (1985α). 'A Practical Alternative to the Mild-Slope Equation' Coastal Engineering, 9, pp 125-149.

Copeland, G. J. M., (1985β). 'Practical radiation stress calculations connected with equations of wave propagation' Coastal Engineering, 9, pp 195-219.

Hallermeier, R. J. 1978. "Uses for a Calculated Limit Depth to Beach Erosion," Proceedings of the 16th International Conference on Coastal Engineering, American Society of Civil Engineers, Hamburg, pp 1493- 1512.

Hallermeier, R. J. 1981. "A Profile Zonation for Seasonal Sand Beaches from Wave Climate," Coastal Engineering, Vol 4, pp 253-277.

Karambas Th. V. (1999), "Numerical simulation of linear wave propagation, wave-induced circulation, sediment transport and beach evolution", Coastal Engineering and Marina Developments, WIT Press, Eds C.A. Brebbia and P. Anagnostopoulos, pp. 253-274.

Karambas Th. V. and C. Koutitas (1998). On the dispersion process of wind generated flows in coastal waters. Protection and Restoration of the Environment IV, eds K. Katsifarakis et al., pp. 307-314.

Koutitas, C.G. (1988) Mathematical Models in Coastal Engineering, Pentech Press Limited, London.

Karambas Th. V., Koutitas Chr (2005). Mathematical models for the environmental design of coastal structures, 9th CONFERENCE ON ENVIRONMENTAL SCIENCE AND TECHNOLOGY – 2005 Rhodes, Greece, 692-697.

Kraus, N.C. and Harikai S. (1983). Numerical model of the shoreline change at Oarai Beach. Coastal Engineering, 7(1), pp 1-28.

Larsen, J. Dancy, H., (1983): 'Open Boundaries in Short Wave Simulations - A New Approach', Coastal Engineering, 7, pp 285-297.

Lee C. and K-D- Suh, (1998): Internal generation of waves for time-dependent mild-slope equations, Coastal Engineering, 34, pp 35-57.

Leont'yen I. O. (1999), "Modelling of morphological changes due to coastal structures", Coastal Eng., 38, 143-166.

Madsen P.A., Rugbjerg M. and Warren I.R. (1988). Subgrid Modelling in Depth Integrated Flows. ICCE-1988, pp. 505-511.

Pilarczyk K.W. & Zeidler R.B. (1996). Offshore Breakwaters and Shore Evolution Control, A.A. Balkema, Rotterdam.

Roelvink J.A. (1993). 'Dissipation in random wave groups incident on a beach'. Coastal Engineering, 19, pp. 127-150.

Shore Protection Manual, Coastal Engineering Research Center, U.S. Army Corps of Engineers, Fort Belvoir, Va., 1977.

Silvester R. & Hsu J.R.C., (1997). 'Coastal Stabilization'. World Scientific, Singapore.

Tsanis I., U. Saied (2007). A Wind-Driven Hydrodynamic and Pollutant Transport Model, Global NEST Journal, in press.

Van der Meer (1993). 'Conceptual design of rubble mound breakwaters' Delft Hydraulics Publications, no 483.

Van der Meer (2000). 'Design of concrete armour layers'. Coastal Structures '99, Losada (ed), Balkema, pp. 213-221.

Watanabe A., Maruyama K., (1986). 'Numerical modeling of nearshore wave field under combined refraction, diffraction and breaking', Coastal Engineering in Japan, vol. 29, pp. 19-39.

Ελληνική

Καραμπάς Θ. (2004). 'Υπολογιστική κυματομηχανική και ακτομηχανική – Θεωρητική προσέγγιση εκπαιδευτικό & επιχειρησιακό λογισμικό', Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας, Παν. Αιγαίου, Μυτιλήνη.

Κουτίτας Χ. (1998). 'Εισαγωγή στην παράκτια τεχνική και τα λιμενικά έργα', Εκδόσεις Ζήτη, Θεσ/νίκη.

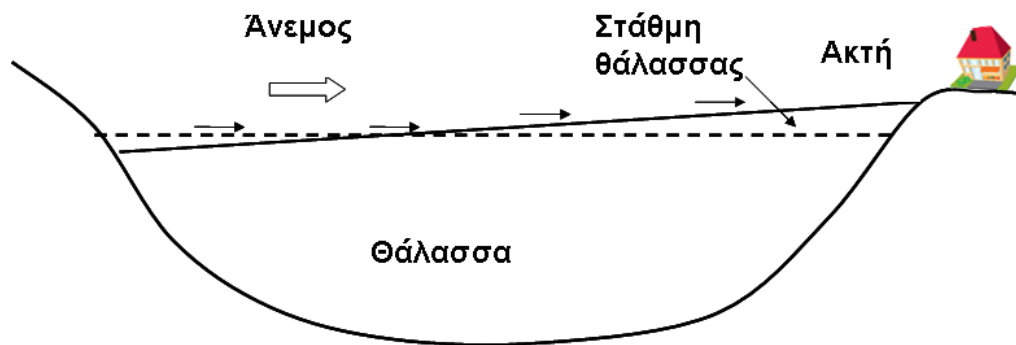
Κουτίτας, Χ. (1985), "Μαθηματικά ομοιώματα στην Παράκτια Μηχανική", Θεσσαλονίκη.

Μέμος, Κ. (2002), 'Μαθήματα Λιμενικών Έργων', Ε.Μ.Π., Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑΣ

Η αύξηση της στάθμης θάλασσας που παρατηρήθηκε στο Β και ΒΑ Αιγαίο το 2009 και το 2010 οφείλεται στο φαινόμενο της μετεωρολογικής παλίρροιας. Η μετεωρολογική παλίρροια προκαλείται από τη δράση του ανέμου στην επιφάνεια της θάλασσας καθώς και των πιέσεων ενός βαρομετρικού χαμηλού. Ο άνεμος ωθεί το επιφανειακό νερό προς την ξηρά με αποτέλεσμα τη συσσώρευση νερού κοντά στην ακτή (Σχήμα Π.1). Επίσης η διαφορά των ατμοσφαιρικών πιέσεων ανάμεσα σε δύο θαλάσσιες περιοχές μπορεί και αυτή να προκαλέσει ανύψωση της στάθμης της θάλασσας.



Σχήμα Π.1. Το φαινόμενο της μετεωρολογικής παλίρροιας.

Η σημαντική αυτή ανύψωση της στάθμης της θάλασσας οδήγησε, σε συνδυασμό με τη δράση των κυματισμών, σε σημειακές καταστροφές υποδομών (οδοστρώματα, θαλάσσιοι τοίχοι) και σε υπερπήδηση των έργων προστασίας των ακτών και τη διαβροχή των οδοστρωμάτων.

Η ανύψωση της στάθμης θάλασσας και η εμφάνιση πλημμύρων στις παραθαλάσσιες περιοχές εξαρτάται από:

- Το μέγεθος των ατμοσφαιρικών πιέσεων του βαρομετρικού χαμηλού συστήματος,
- Την ένταση και την ταχύτητα προώθησης του ατμοσφαιρικού συστήματος,
- Τον προσανατολισμό των ανέμων σε σχέση με την ακτή,

- Τη μορφολογία της ακτογραμμής και τη βαθυμετρία της παράκτιας ζώνης

Ο εντοπισμός και ο χαρακτηρισμός των επικίνδυνων περιοχών σε συνδυασμό με την πρόγνωση και η λήψη κατάλληλων μέτρων συντελεί στην αποτροπή καταστροφικών συνεπειών από τις θαλάσσιες πλημμύρες και συμβάλλει σημαντικά στην αναβάθμιση της ποιότητας ζωής των πληθυσμών των παράκτιων περιοχών.

Υλοποίηση της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ του ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και του συμβουλίου της 23^{ης} Οκτωβρίου 2007 «για την αξιολόγηση και την διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας».

ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΟΥΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

Η χρήση μαθηματικών ομοιωμάτων και κυρίως του υδροδυναμικού μοντέλου μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης, είναι ένα σημαντικό εργαλείο στην πρόβλεψη και προστασία της παράκτιας ζώνης από πλημμύρες λόγω μετεωρολογικής παλίρροιας.

Το μαθηματικό ομοίωμα της ανεμογενούς κυκλοφορίας περιγράφει την περίπου οριζόντια κίνηση σε παράκτιο γεωφυσικό πεδίο εκτεινόμενο σε δύο οριζόντιες διαστάσεις μεταβλητού βάθους περικλειόμενο από όρια ακτών και ανοικτής θάλασσας.

Το γενεσιουργό αίτιο της ροής είναι οι διατμητικές τάσεις που εξασκεί ο άνεμος στην επιφάνεια.

Οι εξισώσεις συνέχειας και ισορροπίας, γράφονται (Κουτίτας, 1985, 1998):

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial(Uh)}{\partial x} + \frac{\partial(Vh)}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} =$$

$$\frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left(v_h h \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left(v_h h \frac{\partial U}{\partial y} \right) + fV + \frac{\tau_{sx}}{\rho h} - \frac{\tau_{bx}}{\rho h}$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} =$$

$$\frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left(v_h h \frac{\partial V}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left(v_h h \frac{\partial V}{\partial y} \right) - fU + \frac{\tau_{sy}}{\rho h} - \frac{\tau_{by}}{\rho h} \quad (\Pi.1)$$

όπου:

ζ η ανύψωση της μέσης στάθμης θάλασσας

U και V είναι οι μέσες ως προς το βάθος οριζόντιες ταχύτητες του ρεύματος κατά x και y αντίστοιχα,

h το συνολικό βάθος θάλασσας, $h=d+z$ (d το σταθερό βάθος)

ν_h ο συντελεστής οριζόντιας διάχυσης

τ_{bx} , τ_{by} οι διατμητικές τάσεις στον πυθμένα κατά x και y αντίστοιχα, που προσομοιώνουν την απώλεια της ενέργειας λόγω τριβής

τ_{sx} , τ_{sy} οι διατμητικές τάσεις στην επιφάνεια, λόγω του ανέμου, κατά x και y αντίστοιχα

f συντελεστής Coriolis ($f=2\Omega\sin\phi$, όπου Ω η γωνιακή ταχύτητα της γης και ϕ το γεωγραφικό πλάτος). Στην περιοχή μελέτης $f=0.0001$.

Οι διατμητικές τάσεις στην επιφάνεια δίνονται από τις σχέσεις:

$$\begin{aligned}\tau_{sx} &= \rho k W_x \sqrt{W_x^2 + W_y^2} \\ \tau_{sy} &= \rho k W_y \sqrt{W_x^2 + W_y^2}\end{aligned}\quad (\text{Π.2})$$

όπου W_x και W_y οι συνιστώσες της ταχύτητας του ανέμου και k ο συντελεστής τριβής ανέμου στην επιφάνεια, $k=0.000001 \div 0.000003$.

Οι διατμητικές τάσεις στον πυθμένα υπολογίζονται από:

$$\begin{aligned}\tau_{bx} &= \frac{1}{2} \rho f_c U \sqrt{U^2 + V^2} \\ \tau_{by} &= \frac{1}{2} \rho f_c V \sqrt{U^2 + V^2}\end{aligned}\quad (\text{Π.3})$$

όπου f_c ο συντελεστής τριβής.

Ο συντελεστής τριβής f_c είναι συνάρτηση του συντελεστή τριβής Chezy c_c :

$$f_c = \frac{2g}{c_c^2} \quad (\text{Π.4})$$

όπου

$$c_c = 18 \log_{10} \left(\frac{12h}{k_s} \right)$$

(k_s είναι η απόλυτη τραχύτητα του πυθμένα).

Οι τιμές του συντελεστή τριβής Chezy c_c είναι της τάξης $10 \sim 50 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$.

Το μοντέλο δίνει τη δυνατότητα υπολογισμού τρισδιάστατου πεδίου ταχυτήτων με την υιοθέτηση κατανομής των ταχυτήτων ως προς το βάθος (Κουτίτας 1985, 1988, Karambas and Koutitas, 1998):

$$u(z) = a z^2 + b z + c \quad (\text{Π.5})$$

(η αρχή του άξονα z βρίσκεται στην επιφάνεια, δηλ. $z=0$ στην επιφάνεια και $z=-h$ στον πυθμένα)

Οι τιμές των συντελεστών a , b και c δίνονται από:

$$a = \frac{\tau_s - \tau_b}{\rho} \frac{1}{2h\nu_t} \quad b = \frac{\tau_s}{\rho\nu_t} \quad c = U - \frac{ah^2}{3} + \frac{bh}{2}$$

όπου ν_t ο ιξώδης συντελεστής τύρβης κατά την κατακόρυφη διεύθυνση (Κουτίτας, 1985, 1988):

$$\nu_t = 0.1h(u_{*b} + u_{*s}) \quad (\text{Π.6})$$

με u_{*b} και u_{*s} τις ταχύτητες τριβής στον πυθμένα και την επιφάνεια αντίστοιχα:

$$u_{*b} = \sqrt{\frac{\tau_b}{\rho}} \quad u_{*s} = \sqrt{\frac{\tau_s}{\rho}} \quad (\text{Π.7})$$

Η παραπάνω σχέση δίνει πολύ καλά αποτελέσματα της κατανομής της ταχύτητας ως προς το βάθος, κυρίως εκτός της περιοχής κοντά στην επιφάνεια.

Μια εναλλακτική κατανομή που δίνει πιο ρεαλιστική επιφανειακή ταχύτητα ρεύματος δίνεται από (Κουτίτας, 1985, 1988, Tsanis, 2007):

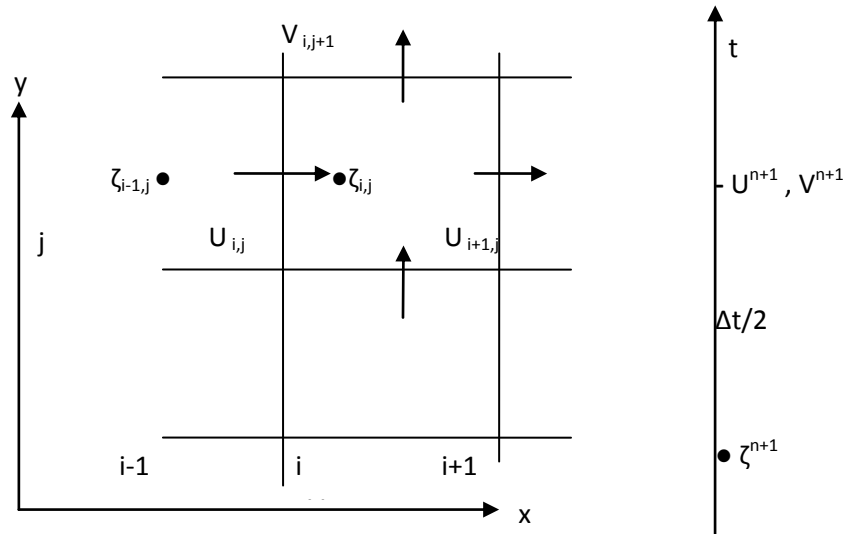
$$u(z) = \left(\frac{3}{4} \frac{\tau_s h}{\rho \nu_t} - \frac{3}{2} U \right) \left[\left(\frac{z}{h} \right)^2 - 1 \right] + \frac{\tau_s h}{\rho \nu_t} \left(\frac{z}{h} + 1 \right) \quad (\text{Π.8})$$

Ο συντελεστής οριζόντιας διάχυσης ν_h χρησιμοποιείται για την προσομοίωση της απόσβεσης λόγω των στροβίλων με διαστάσεις μικρότερες του χωρικού βήματος και δίνεται από την γνωστή προσέγγιση Smagorinsky:

$$\nu_h = \ell^2 \left[\left(\frac{\partial U}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial y} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (\text{Π.9})$$

όπου ℓ το μήκος ανάμιξης, $\ell \approx 0.5 \Delta x$ (Madsen et al., 1988)

Για την ολοκλήρωση των εξισώσεων *.1 χρησιμοποιείται ένα ρητό έκκεντρο σχήμα πεπερασμένων διαφορών (Κουτίτας, 1985).



Σχήμα Π.2. Διακριτοποίηση των μεταβλητών.

Στο σημείο $i\Delta x$ και στο χρόνο $n\Delta t$ (όπου Δx , Δy και Δt το χρονικό και τα χωρικά βήματα διακριτοποίησης) οι μερικές παράγωγοι των εξισώσεων (*.1) προσεγγίζονται, σε έναν έκκεντρο κανάβο (όπου, σύμφωνα με το Σχήμα **, στο κέντρο του κανάβου υπολογίζεται η ανύψωση η ενώ οι ταχύτητες U και V στην άκρη), ως εξής (Κουτίτας, 1985, 1988):

$$\frac{\zeta_i^{n+1} - \zeta_i^n}{\Delta t} + \frac{(U \overline{(d+\zeta)})_{i+1,j}^n - (U \overline{(d+\zeta)})_{i,j}^n}{\Delta x} + \frac{(V \overline{(d+\zeta)})_{i,j+1}^n - (V \overline{(d+\zeta)})_{i,j}^n}{\Delta y} = 0$$

$$\frac{U_{i,j}^{n+1} - U_{i,j}^n}{\Delta t} + U_{i,j}^n \frac{U_{i+1,j}^n - U_{i-1,j}^n}{2\Delta x} + \bar{V}_{i,j}^n \frac{U_{i,j+1}^n - U_{i,j-1}^n}{2\Delta y} + g \frac{\zeta_{i,j}^{n+1} - \zeta_{i-1,j}^{n+1}}{\Delta x} + v_h \frac{U_{i+1,j}^n - 2U_{i,j}^n + U_{i-1,j}^n}{\Delta x^2} + v_h \frac{U_{i,j+1}^n - 2U_{i,j}^n + U_{i,j-1}^n}{\Delta y^2} + \left[\frac{\tau_{sy}}{\rho h} - \frac{\tau_{by}}{\rho h} \right]^n$$

$$\frac{V_{ij}^{n+1} - V_{ij}^n}{\Delta t} + U_{ij}^n \frac{U_{i+1,j}^n - U_{i-1,j}^n}{2\Delta x} + \bar{V}_{ij}^n \frac{U_{ij+1}^n - U_{ij-1}^n}{2\Delta y} + g \frac{\zeta_{ij}^{n+1} - \zeta_{ij-1}^{n+1}}{\Delta y} =$$

$$V_h \frac{V_{i+1,j}^n - 2V_{ij}^n + V_{i-1,j}^n}{\Delta x^2} + V_h \frac{V_{ij+1}^n - 2V_{ij}^n + V_{ij-1}^n}{\Delta y^2} + \left[\frac{\tau_{sx}}{\rho h} - \frac{\tau_{bx}}{\rho h} \right]^n \quad (\Pi.10)$$

όπου:

$$\overline{(d+\zeta)}_{i+1,j}^n = \left((d+\zeta)_{i,j}^n + (d+\zeta)_{i+1,j}^n \right) / 2$$

$$U \overline{(d+\zeta)}_{i,j}^n = U \left((d+\zeta)_{i,j}^n + (d+\zeta)_{i-1,j}^n \right) / 2$$

$$\overline{(d+\zeta)}_{i,j+1}^n = \left((d+\zeta)_{i,j}^n + (d+\zeta)_{i,j+1}^n \right) / 2$$

$$V \overline{(d+\zeta)}_{i,j}^n = V \left((d+\zeta)_{i,j}^n + (d+\zeta)_{i,j-1}^n \right) / 2$$

$$\bar{U}_{ij}^n = \left(U_{ij}^n + U_{i+1,j}^n + U_{i,j-1}^n + U_{i+1,j-1}^n \right) / 4$$

$$\bar{V}_{ij}^n = \left(V_{ij}^n + V_{ij+1}^n + V_{i-1,j}^n + V_{i-1,j+1}^n \right) / 4$$

Στα όρια πλήρους ανάκλασης εφαρμόζονται οι οριακές συνθήκες: $U=0$ ή $V=0$, $\partial\zeta/\partial n=0$, όπου n ο άξονας κάθετα στο όριο. Η ανάκλαση περιγράφεται αυτόματα στο πρόγραμμα ορίζοντας το κατακόρυφο μέτωπο με το χαρακτηριστικό βάθος -1 .

Σε κάθε χρονικό βήμα υπολογίζεται και η ολική κινητική ενέργεια του πεδίου:

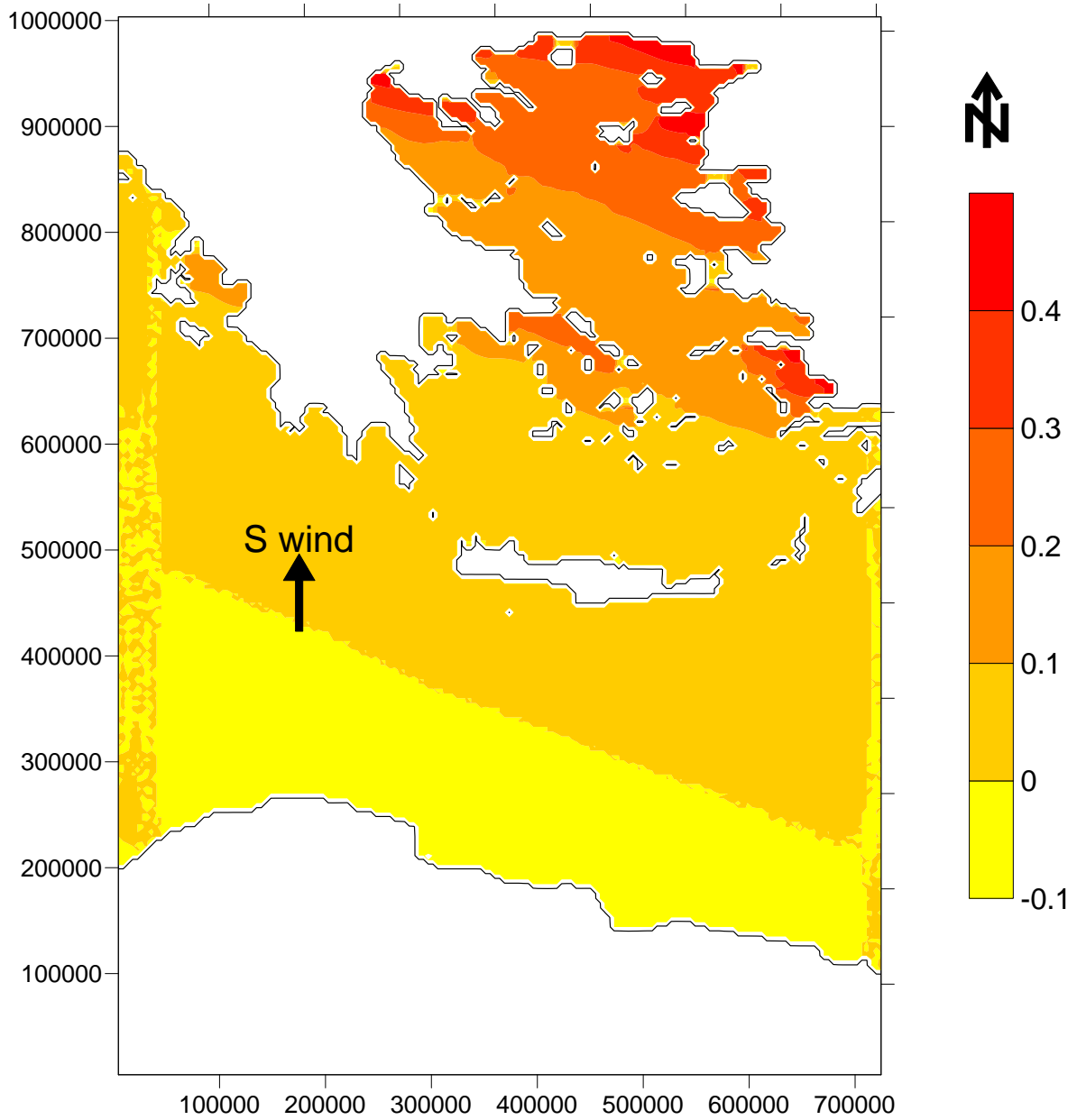
$$E_{κιν}^n = \sum_i \sum_j \left[(U_{ij}^n)^2 + (V_{ij}^n)^2 \right] \frac{h_{ij}}{2} \Delta x \Delta y$$

Το φαινόμενο θεωρείται ότι μονιμοποιήθηκε όταν ο λόγος $\frac{|E_{κιν}^{n+1} - E_{κιν}^n|}{E_{κιν}^{n+1}}$ γίνει μικρότερος από μια επιθυμητή τιμή (10^{-3} - 10^{-4}).

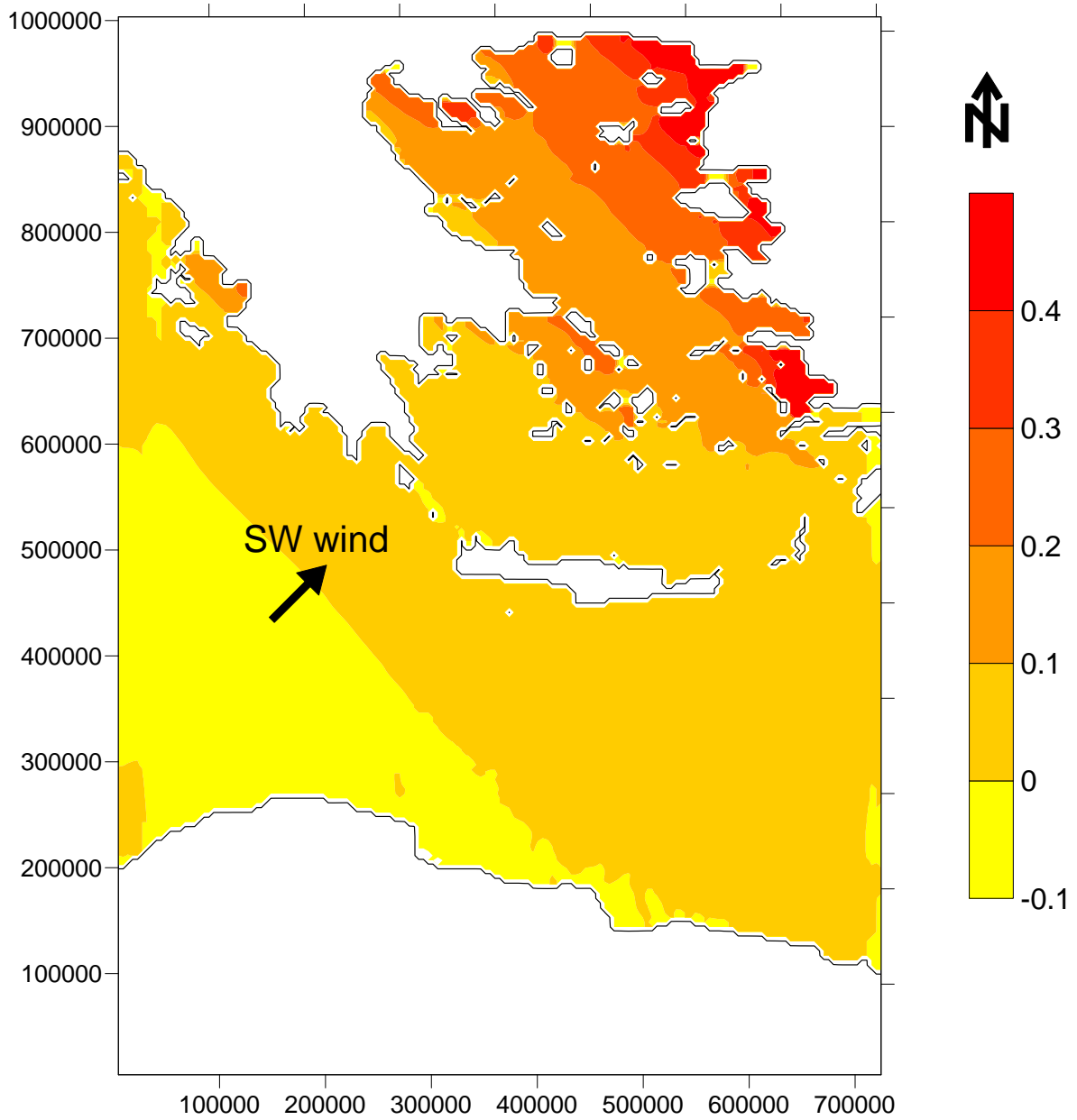
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Το μοντέλο εφαρμόστηκε στο Αιγαίο Πέλαγος με χωρικό βήμα διακριτοποίησης $\Delta x=2500$ m. Θεωρήθηκε ταχύτητα ανέμου $W=24$ m/s κατευθύνσεων N, ΝΔ και Δ. Η διάρκεια πνοής λήφθηκε ίση με 3 ημέρες. Η συνθήκες αυτές είναι παρόμοιες με εκείνες που επικρατούσαν το 2009 και το 2010 οπότε και παρατηρήθηκε το φαινόμενο της μετεωρολογικής παλίρροιας στις ακτές του ΒΑ Αιγαίου. Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου παρουσιάζονται στα Σχήματα Π.3, Π.4 και Π.5.

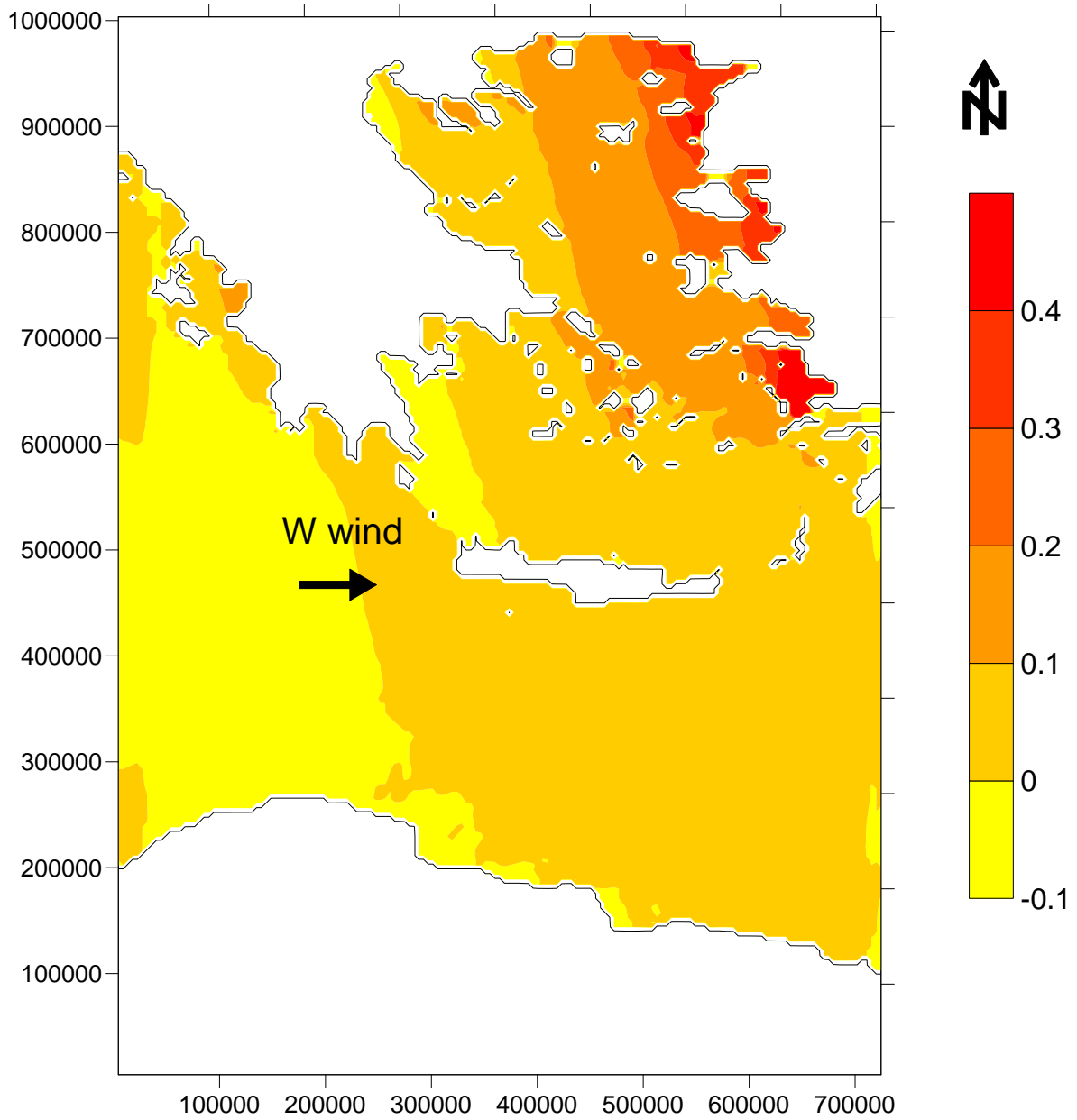
Στα Σχήματα φαίνεται ότι η αναμενόμενη μέγιστη ανύψωση της στάθμης της θάλασσας κάτω από τις παραπάνω συνθήκες είναι της τάξης των 40-50 cm στις Β-ΒΑ περιοχές. Η πρόβλεψη αυτή συμφωνεί με την παρατηρούμενη ανύψωση στο ΒΑ Αιγαίο.



Σχήμα Π.3. Ανύψωση της στάθμης της θάλασσας λόγω N ανέμων



Σχήμα Π.4. Ανύψωση της στάθμης της θάλασσας λόγω ΝΔ ανέμων



Σχήμα Π.5. Ανύψωση της στάθμης της θάλασσας λόγω Δ ανέμων