



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

**ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΥΠΕΡΑΚΤΙΩΝ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΘΑΛΑΣΣΙΟ
ΧΩΡΟ**



υπό

ΔΕΣΠΟΙΝΑ ΣΠΗΛΙΩΤΗ

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων για την απόκτηση του

Διπλώματος Πολιτικού Μηχανικού

Βόλος, Ιούνιος 2017

© 2017 Δέσποινα Σπηλιώτη

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής Δρ. Γεώργιος Εφραιμίδης
(Επιβλέπων) Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής Δρ. Παναγιώτης Ντακούλας
Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής Δρ. Πολυξένη Καλλιόγλου
Λέκτορας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Πρώτα απ' όλα, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μου, Επίκουρο Καθηγητή κ. Γεώργιο Εφραιμίδη, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της δουλειάς μου. Επίσης, είμαι ευγνώμων στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της διπλωματικής εργασίας μου, τον Καθηγητή κ. Παναγιώτη Ντακούλα και την Λέκτορα κ. Πολυξένη Καλλιόγλου για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου. Ευχαριστώ τους φίλους και τις φίλες μου για την ηθική υποστήριξή τους. Ευχαριστώ την οικογένειά μου για την κατανόηση, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια των τελευταίων μηνών της προσπάθειάς μου, για την ολόψυχη αγάπη και υποστήριξη όλα αυτά τα χρόνια και τους αφιερώνω αυτή την εργασία.

Δέσποινα Σπηλιώτη

**ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΥΠΕΡΑΚΤΙΩΝ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΘΑΛΑΣΣΙΟ
ΧΩΡΟ**

**GEOTECHNICAL STABILITY CONDITIONS OF ENERGY
OFFSHORE INFRASTRUCTURES IN GREEK COASTAL AREA**

Δέσποινα Σπηλιώτη

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, 2017

Επιβλέπων Καθηγητής: Γεώργιος Θ. Εφραιμίδης, Επίκουρος Καθηγητής Τμήματος
Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Περίληψη

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι να παρουσιάσει τις γεωτεχνικές συνθήκες που επικρατούν σε ένα θαλάσσιο περιβάλλον (συμπεριλαμβανομένων των τεκτονικών και μετεωρολογικών συνθηκών) και δύναται να επηρεάσουν την κατασκευή και τη λειτουργία μιας υπεράκτιας υποδομής εκμετάλλευσης ενεργειακών πόρων. Η εργασία επικεντρώνεται ταυτόχρονα στις ειδικές αυτές συνθήκες που επικρατούν στον Ελληνικό θαλάσσιο χώρο καθώς και στα βασικά χαρακτηριστικά τέτοιων ενεργειακών υποδομών όπως είναι τα θαλάσσια αιολικά πάρκα και οι πλατφόρμες εξόρυξης πετρελαίου και φυσικού αερίου. Τέλος, πραγματοποιείται μια προσέγγιση για τον τρόπο προσομοίωσης τέτοιων εγκαταστάσεων μέσα από το γεωτεχνικό πρόγραμμα ανάλυσης FLAC.

Λέξεις κλειδιά: Υπεράκτιες ενεργειακές κατασκευές, θαλάσσια γεωλογία, μετεωρολογία, υδρογονάνθρακες, Ελλάδα

Abstract

The purpose of this paper is to present the offshore geotechnical, tectonic and meteorological conditions that may have effects during the construction and operation of energy offshore infrastructures. This diploma thesis focuses on the specific conditions that exist in Greek coastal areas as well as on basic characteristics of energy constructions such as offshore wind farms and oil and gas platforms. Finally, an approach is made of how we simulate such constructions through the geotechnical analysis program FLAC.

Keywords: Energy offshore infrastructures, subsea geology, meteorology, hydrocarbons, Greece

Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1	Εισαγωγή	8
Κεφάλαιο 2	Θαλάσσια γεωλογία - Ειδικές θαλάσσιες τεκτονικές και μετεωρολογικές συνθήκες	10
2.1	Γεωλογική θαλάσσια ιστορία	10
2.2	Ωκεανογραφικά χαρακτηριστικά πυθμένα	11
2.2.1	Υφαλοκρηπίδα	11
2.2.2	Υποθαλάσσιες τάφροι - οροσειρές	16
2.2.3	Υποθαλάσσια ρήγματα	18
2.3	Ανεμοί	25
2.4	Κύματα- Θαλάσσια ρεύματα	30
2.5	Παλίρροιες - Στάθμη της θάλασσας	37
2.6	Σεισμικότητα περιοχής - Ηφαίστεια - Τσουνάμι	42
Κεφάλαιο 3	Υπεράκτιες κατασκευές εκμετάλλευσης ενεργειακών πόρων	52
3.1	Υπεράκτια αιολικά πάρκα	52
3.2	Υπεράκτια άντληση πετρελαίου και εξόρυξη φυσικού αερίου	58
3.3	Γεωκίνδυνοι (geohazards)	70
Κεφάλαιο 4	Προσομοίωση απεικόνισης υπεράκτιας κατασκευής με τη χρήση του προγράμματος FLAC	74
4.1	Αποτύπωση θαλάσσιας περιοχής – πυθμένα	74
4.2	Προσομοίωση κατασκευής	77
Κεφάλαιο 5	Συζήτηση - Συμπεράσματα	87
	Βιβλιογραφία	89

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

Η παρούσα διπλωματική αφορά τις ειδικές συνθήκες, τεχνικές και γεωλογικές που μπορεί να επικρατούν σε ένα υπεράκτιο περιβάλλον. Το υπεράκτιο περιβάλλον είναι μια περιοχή του πλανήτη μας από την οποία είναι δυνατό, ανάλογα με τις χερσαίες περιοχές, να γίνει παραγωγή ενέργειας. Η διαδικασία παραγωγής ενέργειας σε υπεράκτιο περιβάλλον γίνεται είτε από ανανεώσιμες πηγές που αφορούν την εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού στο θαλάσσιο περιβάλλον, είτε από την εξόρυξη πετρελαίου από κοιτάσματα που βρίσκονται κάτω από το βυθό της θάλασσας αλλά και φυσικού αερίου και τη διοχέτευσή τους μέσω υποθαλάσσιων αγωγών. Για τις παραπάνω διαδικασίες παραγωγής ενέργειας απαιτούνται γεωτεχνικές κατασκευές που στο θαλάσσιο περιβάλλον γεγονός που καθιστά αναγκαία τη γνώση για τη θάλασσα και τις γεωλογικές και μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν σε αυτή.

Η πρώτη υπεράκτια κατασκευή στον κόσμο πραγματοποιήθηκε το 1947 και ήταν μια εξέδρα εξόρυξης πετρελαίου σε βάθος μόλις 6 m 18 μίλια από τις ακτές της Λουιζιάνα στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, Σχήμα (1.1).



Σχήμα 1.1 Η πρώτη υπεράκτια εγκατάσταση πλατφόρμας στη Λουιζιάνα το 1947 [2].

Σήμερα υπάρχουν πάνω από 7 χιλιάδες υπεράκτιες πλατφόρμες σε όλο τον κόσμο εγκατεστημένες σε βάθη που αρχίζουν πλέον να ξεπερνούν τα 2 Km. Έως τις αρχές της δεκαετίας του 1970 οι εγκαταστάσεις σε βαθιά νερά αφορούσαν βάθη από 50 m

έως 100 m με την πλειοψηφία των κατασκευών να βρίσκονται ακόμα σε βάθη κάτω των 50 m. Κατά τον 21^ο αιώνα όταν γίνεται αναφορά σε βαθιά και σε πολύ βαθιά νερά εννοούνται τα βάθη της τάξεως των 500 m και 1.500 m αντίστοιχα [2].

Στο κυρίως κείμενο της εργασίας αρχικά γίνεται λόγος γενικά για τις ειδικές θαλάσσιες συνθήκες που είναι δυνατό να επηρεάσουν μια υφιστάμενη ή μελλοντική κατασκευή εκμετάλλευσης ενεργειακών πόρων. Ειδικότερα αναλύονται περαιτέρω οι εκάστοτε συνθήκες που επικρατούν στον Ελληνικό θαλάσσιο χώρο. Οι συνθήκες αυτές σχετίζονται πρωτίστως με τα γεωλογικά και τεκτονικά χαρακτηριστικά του πυθμένα της θαλάσσιας περιοχής, δηλαδή την υφαλοκρηπίδα και τα υλικά που συνθέτουν τον πυθμένα, την ενδεχόμενη ύπαρξη τάφρων, οροσειρών αλλά και υποθαλάσσιων ρηγμάτων. Επίσης, διερευνούνται οι μετεωρολογικές συνθήκες που αφορούν τους ανέμους της περιοχής κατασκευής, τα θαλάσσια κύματα, τη μεταβολή της στάθμης της θάλασσας. Τέλος, σε ένα υπεράκτιο περιβάλλον πρέπει να εξεταστεί κατά κόρον η σεισμικότητα της περιοχής, η ηφαιστειότητα αλλά και το ενδεχόμενο δημιουργίας τσουνάμι.

Στη συνέχεια της εργασίας αναφέρονται βασικά είδη υπεράκτιων ενεργειακών κατασκευών. Αυτά είναι τα υπεράκτια αιολικά πάρκα, οι πλατφόρμες άντλησης πετρελαίου και η εξόρυξη και υποβρύχια μεταφορά φυσικού αερίου. Παρουσιάζονται τα γενικά χαρακτηριστικά δόμησης των κατασκευών αυτών και αναφέρεται συνοπτικά η περιγραφή του αντίστοιχου υπεράκτιου έργου εγκαταστάσεων Πρίνου στη Βόρεια Ελλάδα. Τέλος, γίνεται μια αναφορά στους γεωκινδύνους που επικρατούν γενικά σε ένα υπεράκτιο περιβάλλον.

Στο τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζεται η καταγραφή ενός κώδικα που πραγματοποιήθηκε στο γεωτεχνικό πρόγραμμα επίλυσης προβλημάτων FLAC 2D και αποτελεί την απεικόνιση ενός τύπου υπεράκτιας κατασκευής με σκοπό τη μελλοντική διερεύνηση αυτού σε ειδικές γεωτεχνικές και μετεωρολογικές συνθήκες.

Κεφάλαιο 2 Θαλάσσια γεωλογία - Ειδικές θαλάσσιες τεκτονικές και μετεωρολογικές συνθήκες

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται όλες οι ειδικές συνθήκες που επικρατούν σε μια παράκτια περιοχή ή και στο γενικότερο θαλάσσιο περιβάλλον όπου μπορεί να υφίσταται μια κατασκευή εκμετάλλευσης ενεργειακών πόρων. Το κεφάλαιο επικεντρώνεται στις συνθήκες που επικρατούν στον Ελληνικό χώρο και δύναται να επηρεάσουν σημαντικά την ανέγερση μιας τέτοιας καινούργιας κατασκευής ή την συνέχιση της λειτουργίας μιας ήδη υπάρχουσας.

2.1 Γεωλογική θαλάσσια ιστορία

Η μελέτη των παράκτιων περιοχών αλλά και των ωκεανών αποτελεί μέρος μιας επιστήμης που ονομάζεται ωκεανογραφία. Ο άνθρωπος από την αρχαιότητα είχε την ανάγκη να μελετήσει το θαλάσσιο περιβάλλον τόσο για την επιβίωσή του όσο και για την επικοινωνία μεταξύ των λαών. Η πρώτη περίοδος στην ιστορία της ωκεανογραφίας αρχίζει με την καταγραφή εμπορικού θαλάσσιου ταξιδιού στον ελληνικό χώρο (7.250 π.Χ.) έπειτα με την εμπορική δραστηριότητα των Αιγυπτίων (3.500 π.Χ.) αλλά και το πέρασμα των Ελλήνων από το στενό του Γιβραλτάρ. Ακολουθούν ο πρώτος παγκόσμιος Άτλαντας (Πτολεμαίος, 90-160), οι ναυτικές εξερευνήσεις των Σκανδιναβικών λαών (Βίκινγκς, 793-1066) έως ότου ο Χριστόφορος Κολόμβος φτάσει στα νησιά της Καραϊβικής (1492) και ο Φερδινάνδος Μαγγελάνος πρώτος πραγματοποιήσει τον περίπλου της γης (1519-1522). Κατά την δεύτερη περίοδο πραγματοποιούνται η χαρτογράφηση του Ειρηνικού ωκεανού (J.Cook, 1728-1779), ερευνητικές αποστολές της βαθιάς θάλασσας με σημαντικότερη αυτή του Τσάλεντζερ (1872-1876), μελέτη μετεωρολογικών φαινομένων και σεισμικών δραστηριοτήτων, αποστολές εξερεύνησης των ωκεανών σε διεθνές επίπεδο όπως το Atlantic Polar Front Program (1970-1981) και η χρήση πλέον δορυφόρων από το 1978 έως και το 1995 [1]. Τέλος στην σύγχρονη περίοδο θεωρείται πλέον επιτακτική η αντιμετώπιση περιβαλλοντικών προβλημάτων κατ' επέκταση και προβλημάτων στο θαλάσσιο περιβάλλον με σύγχρονες μεθόδους και τεχνικές. Έτσι εξελίσσονται με τη χρήση δορυφόρων μελέτες για την καταγραφή και

πρόβλεψη μετεωρολογικών φαινομένων όπως είναι οι μεταβολές θερμοκρασίας και κλίματος αλλά και μελέτες για την αλληλεπίδραση χημικών, φυσικών και βιολογικών παραγόντων στο ευρύτερο περιβάλλον.

Στην Ελλάδα οι εθνικοί φορείς που ασχολούνται με την ωκεανογραφική έρευνα είναι δύο, α) η Υδρογραφική Υπηρεσία του Πολεμικού Ναυτικού με τις πρώτες υδρογραφήσεις να πραγματοποιούνται στο Μαλιακό κόλπο το 1906 και β) το Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών, το οποίο πήρε την τελική του μορφή το 2001 και αποτελεί μετεξέλιξη ινστιτούτων και οργανισμών η απαρχή των οποίων ήταν επίσης οι αρχές του 20^{ου} αιώνα [1].

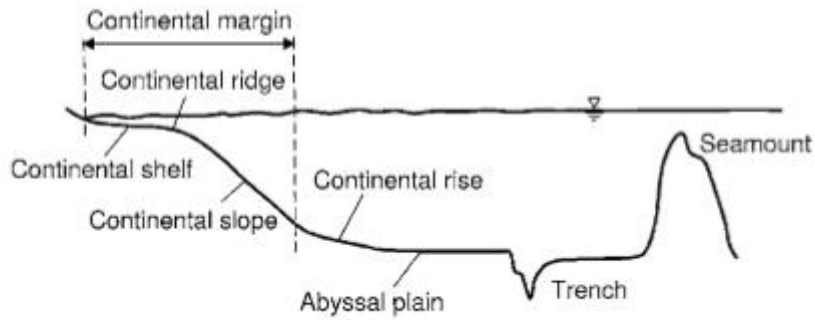
Γενικά η ωκεανογραφία διακρίνεται σε τέσσερις κατηγορίες σύμφωνα με τα θέματα τα οποία πραγματεύεται. Αυτές είναι η γεωλογική, η φυσική, η χημική και η βιολογική ωκεανογραφία. Η μορφολογία του πυθμένα και οι συσχετιζόμενοι γεωκίνδυνοι αποτελούν αντικείμενο μελέτης της γεωλογικής ωκεανογραφίας, ενώ τα φυσικά φαινόμενα που έχουν να κάνουν κυρίως με το υγρό στοιχείο, όπως είναι τα κύματα, οι παλίρροιες και λοιπά, είναι αντικείμενο της φυσικής ωκεανογραφίας. Αυτοί είναι οι δύο κλάδοι της ωκεανογραφίας που αφορούν κυρίως τις συνθήκες δόμησης και ευστάθειας υπεράκτιων κατασκευών για την εκμετάλλευση ενεργειακών πόρων [1].

2.2 Ωκεανογραφικά χαρακτηριστικά πυθμένα

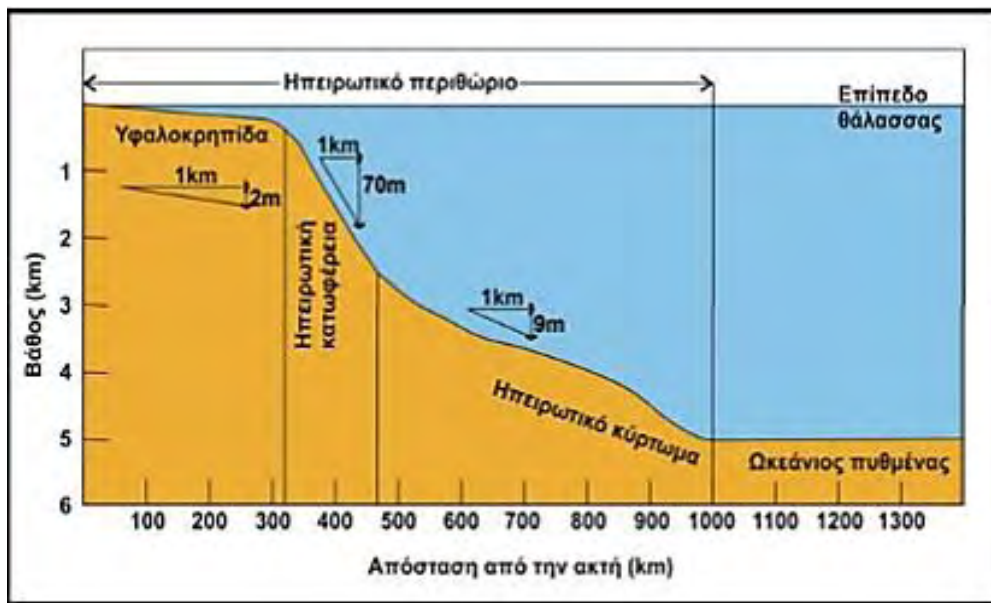
2.2.1 Υφαλοκρηπίδα

Στην ωκεανογραφία υφαλοκρηπίδα ονομάζουμε το πρώτο κύριο χαρακτηριστικό ενός ωκεανού που βρίσκεται στα σύνορα μεταξύ του ηπειρωτικού και του ωκεάνιου φλοιού της γης. Η υφαλοκρηπίδα (continental shelf) αποτελεί το πιο αβαθές τμήμα ενός ωκεανού, το οποίο μαζί με την ηπειρωτική κατώφρεια (continental slope) αποτελούν το ηπειρωτικό περιθώριο (continental margin) του ωκεανού. Τα ηπειρωτικά περιθώρια καλύπτουν συνολικά περίπου το 20% του επίγειου ωκεάνιου πυθμένα και διαχωρίζονται σε περιθώρια ατλαντικού και ειρηνικού τύπου, Σχήματα (2.2, 2.3). Τα περιθώρια ατλαντικού τύπου χαρακτηρίζονται από μεγάλους και μικρής κλίσης υφαλοκρηπίδα, ενώ τα περιθώρια ειρηνικού τύπου από πολύ μικρού έως ανύπαρκτου μήκους υφαλοκρηπίδα [10].

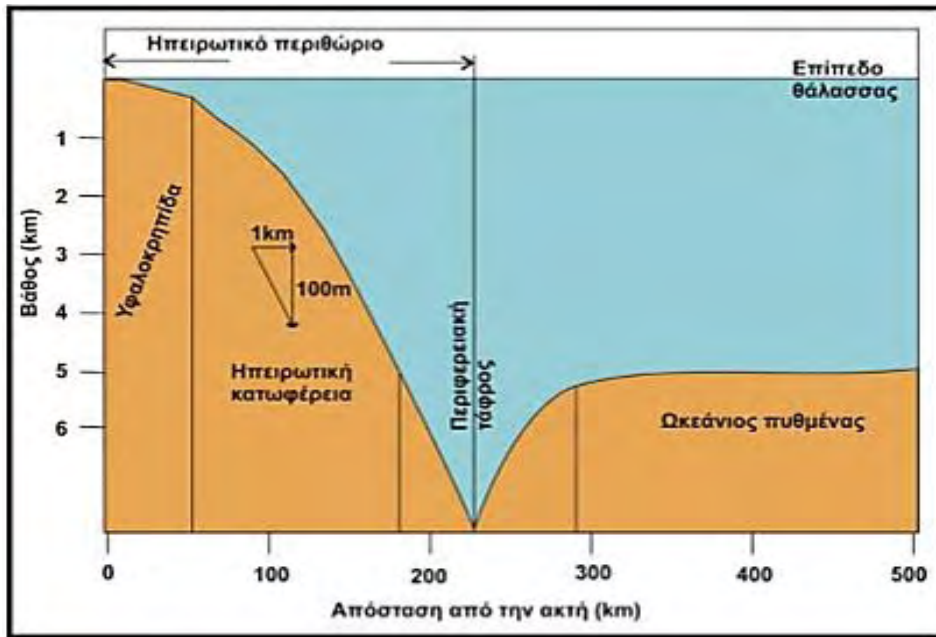
Στα κοινά βασικά χαρακτηριστικά των ωκεανών συμπεριλαμβάνεται επίσης η ηπειρωτικό κύρτωμα (continental rise) και ακολουθεί η αβυσσική πεδιάδα (abyssal plain), η οποία αντιστοιχεί σε μεγάλη επίπεδη έκταση στον πυθμένα του ωκεανού [2], Σχήμα (2.1).



Σχήμα 2.1 Τοπογραφικά χαρακτηριστικά ωκεάνιου πυθμένα [1].

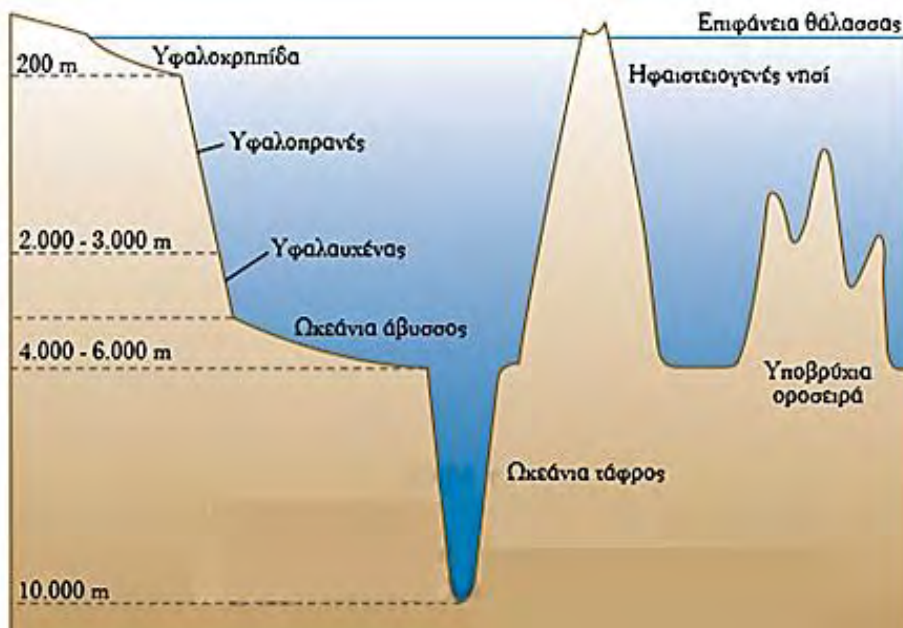


Σχήμα 2.2 Ηπειρωτικό περιθώριο Ατλαντικού τύπου [10].



Σχήμα 2.3 Ηπειρωτικό περιθώριο Ειρηνικού τύπου [10].

Η ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα εκτείνεται μέχρι το βάθος των 200 m, η επιφάνειά της είναι ομαλή ενώ το πλάτος της έχει μικρή κλίση και μπορεί να φτάνει και τα 100 Km περιμετρικά των ηπείρων. Σε αυτή μπορούν να συναντηθούν χαμηλές ράχες ή και αβαθείς χαράδρες (trench) [9]. Η μορφολογία του βυθού φαίνεται στο παρακάτω σχήμα όπου παρουσιάζονται και τα αντίστοιχα βάθη, Σχήμα (2.4).



Σχήμα 2.4 Μορφολογία του βυθού [1].

Σχετικά με τον ορισμό της υφαλοκρηπίδας παρατηρείται διαφορά σε ότι αφορά την γεωλογική (ωκεανογραφική) και την νομική έννοια του όρου. Ο ορισμός της κατά τη γεωλογία είναι το τμήμα το οποίο αποτελεί την ομαλή προέκταση της ακτής κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας ως το σημείο στο οποίο αυτή διακόπτεται απότομα. Η υφαλοκρηπίδα διακόπτεται εκεί όπου ο βυθός αποκτά απότομη κλίση 30° - 45° [26]. Για πρώτη φορά στο Διεθνές Δίκαιο η υφαλοκρηπίδα ορίστηκε στη Διεθνή Σύμβαση των Η.Ε. της Γενεύης για την Υφαλοκρηπίδα του 1958. Σύμφωνα με αυτόν τον ορισμό, η υφαλοκρηπίδα ενός κράτους εκτεινόταν στο τμήμα του θαλάσσιου βυθού που βρίσκεται γύρω από τις ακτές του και πέρα από την Αιγιαλίτιδα ζώνη (τα χωρικά ύδατα) μέχρι βάθους 200 μέτρων, εκτός αν ήταν εφικτή η εκμετάλλευση των φυσικών πόρων και σε μεγαλύτερο βάθος, οπότε εκτεινόταν ως το βάθος εκείνο [26].

Η υφαλοκρηπίδα και το καθεστώς της σήμερα ορίζεται στο Διεθνές Δίκαιο και παραχωρείται στο παράκτιο κράτος, για λόγους πρακτικούς και πολιτικούς όμως ο νομικός ορισμός της διαφέρει από τον γεωλογικό. Σύμφωνα με τη Σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών για το Δίκαιο της Θάλασσας του 1982 ως υφαλοκρηπίδα ορίζεται κατά βάση ο βυθός της θάλασσας εντός ακτίνας 200 ναυτικών μιλίων από την ακτή. Αυτό ισχύει ανεξάρτητα από τη γεωλογική μορφή του βυθού. Σε περίπτωση όμως που το υφαλοπλαίσιο εκτείνεται και πέρα των 200 μιλίων από την ακτή, τότε η υφαλοκρηπίδα κατά το Διεθνές Δίκαιο προεκτείνεται είτε ως τα 350 ν.μ. είτε ως τα 100 ν.μ. πέραν της ισοβαθούς των 2.500 m. είτε ως τα 60 ν.μ. από τη βάση του ηπειρωτικού ανυψώματος [26]. Στην περίπτωση αυτή η σημαντικότητα των διαφορών έγκειται στο γεγονός ότι έτσι κρίνονται δικαιώματα όπως είναι η εξόρυξη πετρελαίου, η αλιεία, η εξόρυξη φυσικού αερίου και φυσικά η ναυτική δικαιοδοσία. Για τη νησιώτικη υφαλοκρηπίδα ισχύουν ομοίως τα παραπάνω [1].

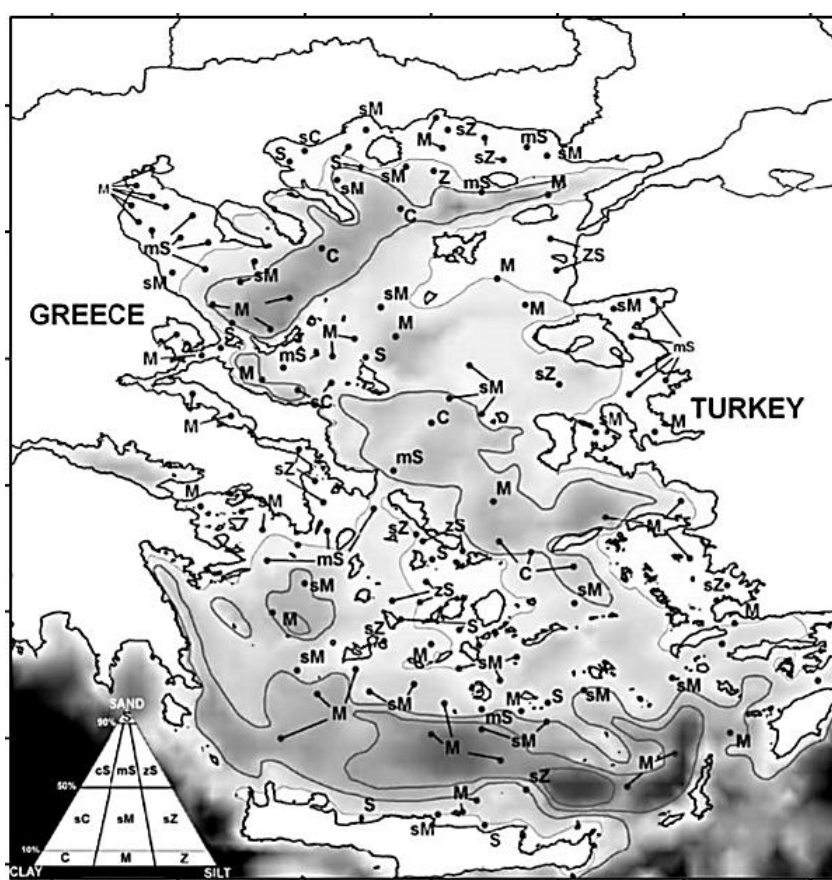
Οι ελληνικές ακτογραμμές εκτείνονται στα 15000 Km, μήκος που αντιπροσωπεύει περίπου το 8% των ευρωπαϊκών ακτογραμμών και η ηπειρωτική της υφαλοκρηπίδα καταλαμβάνει περίπου την έκταση των 372000 Km² [17]. Οι περιοχές της Ελλάδας κατατάσσονται στις περιοχές όπου η υφαλοκρηπίδα τους έχει μικρό παλιρροιακό εύρος. Σε αυτές τις περιοχές τα κύματα μετακινούν τα ιζήματα στις παράκτιες ζώνες, ενώ σε μεγαλύτερα βάθη τα θαλάσσια ρεύματα μετακινούν τα λεπτότερα ιζήματα όπως είναι η ιλύς και η άργιλος. Όμως όταν η προσφορά αυτών των υλικών από τις γειτονικές περιοχές είναι περιορισμένη παρατηρείται κάλυψη σημαντικού μέρους της

υφαλοκρηπίδας με υπολειμματικές αμμώδεις αποθέσεις που αποτελούν κατάλοιπα προηγούμενης παγετώδους περιόδου [10].

Στην περιοχή του βορείου Αιγαίου η επικρατούσα διαδικασία ιζηματογένεσης κατά τη διάρκεια της τελευταίας παγετώδους περιόδου, ήταν μέσω των ροών βαρύτητας. Στις απομονωμένες λεκάνες, λόγω της χαμηλότερης θέσης της στάθμης της θάλασσας και ενδεχομένως λόγω κάποιων σεισμικών γεγονότων, δημιουργήθηκαν συνθήκες κατάλληλες για την έναρξη των ροών των ιζημάτων. Κατά τη διάρκεια της παγετώδους περιόδου τεράστιες ροές κατακρημνίσεων κυριάρχησαν στις απόκρημνες πλαγιές της λεκάνης της Λήμνου. Αυτή η υπόθεση υποστηρίζεται από την παρουσία βιοκλαστικού υλικού, ηπειρωτικής προέλευσης, δηλαδή θραύσματα κελυφών και κελύφη οργανισμών καθώς και από χάλικες και κροκάλες παράκτιας προέλευσης. Επίσης, παρατηρούνται συχνά μικρής κλίμακας κατακρημνίσεις με αμμώδη ιζήματα λάσπης, ειδικά στη κατωφέρεια της Σαμοθράκης [32]. Γενικά η παραπάνω διαδικασία της βαρυτικής ροής σε συνδυασμό με την εποχιακή απόθεση από νεφελοειδή στρώματα είναι οι κυρίαρχοι μηχανισμοί ιζηματογένεσης στο Βόρειο Αιγαίο. Οι κυριότεροι παράγοντες που ελέγχουν την ιζηματογένεση στα ηπειρωτικά περιθώρια, στις λεκάνες και στα πρηνή των λεκανών του Βορείου Αιγαίου είναι η προσφορά υλικού χερσαίας προέλευσης από γειτονικά ποτάμια, τα ισχυρά ρεύματα βυθού, η μορφολογία των λεκανών, η μεταβολή της στάθμης της θάλασσας, η σεισμική δραστηριότητα και η τεκτονική καταβύθιση των λεκανών λόγω των εφελκυστικών τάσεων που επικρατούν. Η κατανομή των επιφανειακών ιζημάτων του Αιγαίου ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της υφής τους φαίνεται στον υποκείμενο χάρτη, Σχήμα (2.5) [32].

Στα ορυκτά των ιζημάτων της περιοχής του Βορείου Αιγαίου κυριαρχεί ο σμεκτίτης με ποσοστό 40% έως 50% και ακολουθούν ο ιλλίτης (25% έως 35%) και ο καολίνιτης μαζί με τον χλωρίτη (10% έως 20%). Στα σαπροπηλικά ιζήματα, το κυρίαρχο ορυκτό είναι ο ιλλίτης με ποσοστό 35% έως 40%, εμφανίζοντας μια τάση μείωσης από βορρά προς νότο και ακολουθεί ο σμεκτίτης (35% έως 40%) με αντίστροφη ποσοτική σχέση του ενός με το άλλο. Εκτός από την αύξηση της περιεκτικότητας του ιλλίτη και της μείωσης του σμεκτίτη καθώς κατευθυνόμαστε προς το βορά παρατηρείται και μικρή αύξηση της συγκέντρωσης του χλωρίτη. Τόσο ο ιλλίτης, όσο και ο σμεκτίτης, είναι ορυκτά με χερσογενή καταγωγή. Η εμφάνιση σμεκτίτη είναι μεγαλύτερη σε λεκάνες απορροής που βρίσκονται κοντά στη Λήμνο, όπου κυριαρχούν ηφαιστειακοί

σχηματισμοί. Η υψηλή περιεκτικότητα σε ιλλίτη, η οποία χαρακτηρίζεται ασυνήθιστη για την Ανατολική Μεσόγειο, αποδίδεται στην εγγύτητα της λεκάνης απορροής του Βορείου Αιγαίου με τα Βαλκάνια και τη Τουρκία που αποτελούν τις χερσαίες πηγές. Ακόμα από τα σημαντικότερα ορυκτά των ιζημάτων του Βορείου Αιγαίου, είναι ο χαλαζίας, ο ασβεστίτης, ο μαγνησιούχος ασβεστίτης, ο δολομίτης, ενώ εντοπίστηκαν σποραδικά και σε μικρότερες ποσότητες, καλιούχοι άστριοι, αμφίβολοι, αραγονίτης και σιδηροπυρίτης [32].



Σχήμα 2.5 Κατανομή των επιφανειακών ιζημάτων του Αιγαίου ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της υφής τους (ονοματολογία κατά Folk, 1974). (M/mud: πηλός, Z/silt: ιλός, C/clay: άργιλος, mS/muddy sand: πηλόχος άμμος, sM/sandy mud: αμμώδης πηλός) [32].

2.2.2 Υποθαλάσσιες τάφροι - οροσειρές

Χαρακτηριστικός σχηματισμός σε ένα θαλάσσιο πυθμένα είναι η λεγόμενη υποθαλάσσια τάφρος. Οι τάφροι αποτελούν τεκτονικά χαρακτηριστικά που έχουν προκύψει από τις παραμορφώσεις του φλοιού της γης και είναι εσοχές του βυθού που

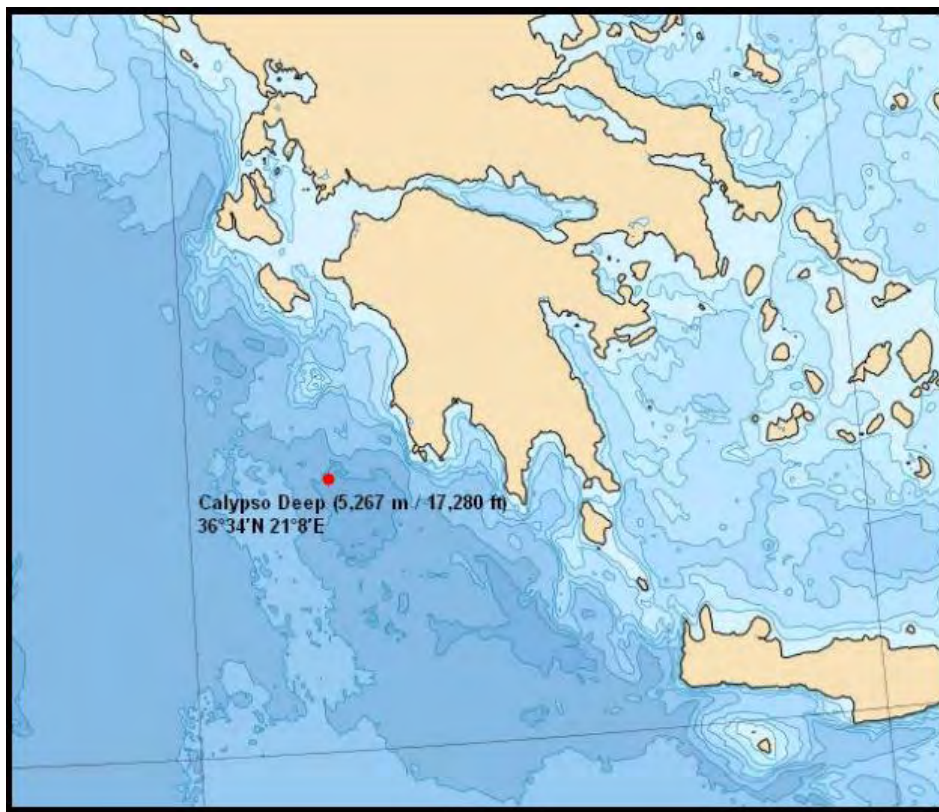
χαρακτηρίζονται από μεγάλο βάθος χαρακτηριστικές τομές. Η κλίση των πλευρών μιας τάφρου μπορεί να είναι είτε απότομη είτε ομαλή. Στον ελληνικό χώρο συναντάται η τάφρος του Ταΐναρου με το βάθος των 4.404 m που βρίσκεται νοτιοδυτικά της Πελοποννήσου [1].



Σχήμα 2.6 Κάνυον στην κατωφέρεια του Θερμαϊκού κόλπου [10].

Στην κατωφέρεια του Θερμαϊκού κόλπου μετά τη υφαλοκρηπίδα εμφανίζονται υποθαλάσσια κάνυον, δηλαδή χαράδρες που καταλήγουν έως και τον πυθμένα της τάφρου του βορείου Αιγαίου, Σχήμα (2.6) [10]. Η τάφρος αυτή έχει μέγιστο βάθος τα 1476 m στη λεκάνη Άθω - Σποράδων. Στην ίδια τάφρο περιλαμβάνεται η εξίσου βαθιά λεκάνη βόρεια της Λήμνου με το μέγιστο βάθος των 1469 m [12]. Στον ελλαδικό χώρο βρίσκεται το βαθύτερο σημείο της Μεσογείου στα 5267 m. Είναι το

γνωστό ως «φρέαρ των Οινουσσών» ή « Calypso Deep » νοτιοδυτικά της Πύλου στο Ιόνιο πέλαγος, Σχήμα (2.7) [26].



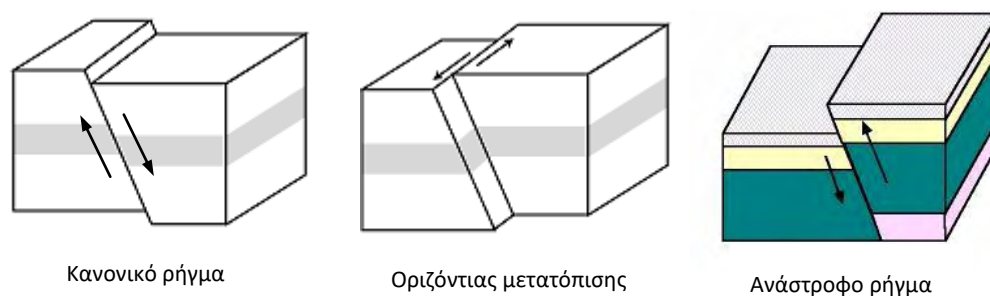
Σχήμα 2.7 Το βαθύτερο σημείο της Μεσογείου «φρέαρ των Οινουσσών» ή « Calypso Deep » [26].

Εκτός από τις τάφρους, συναντιούνται και άλλοι σχηματισμοί όπως είναι τα υποθαλάσσια όρη ή οροσειρές. Οι παραπάνω σχηματισμοί είναι ανυψώσεις του βυθού (μία ή πολλές σε σειρά), οι οποίες ξεπερνούν το ύψος των 1.000 m. Στην περίπτωση όπου οι κορυφές αυτών υπερβαίνουν την επιφάνεια της θάλασσας παρατηρούνται εμφανίσεις νησιών. Τα νησιά Ισλανδία, Αζόρες και Μπουβέ ανήκουν σε αντίστοιχες οροσειρές του Ατλαντικού ωκεανού [1].

2.2.3 Υποθαλάσσια ρήγματα

Κατά την κίνηση κυρίως των λιθοσφαιρικών πλακών δημιουργούνται δυνάμεις που οδηγούν στην θραύση των πετρωμάτων και έτσι προκαλείται η σχετική μετακίνηση κάποιων τμημάτων. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται τα ρήγματα (faults) ή τα

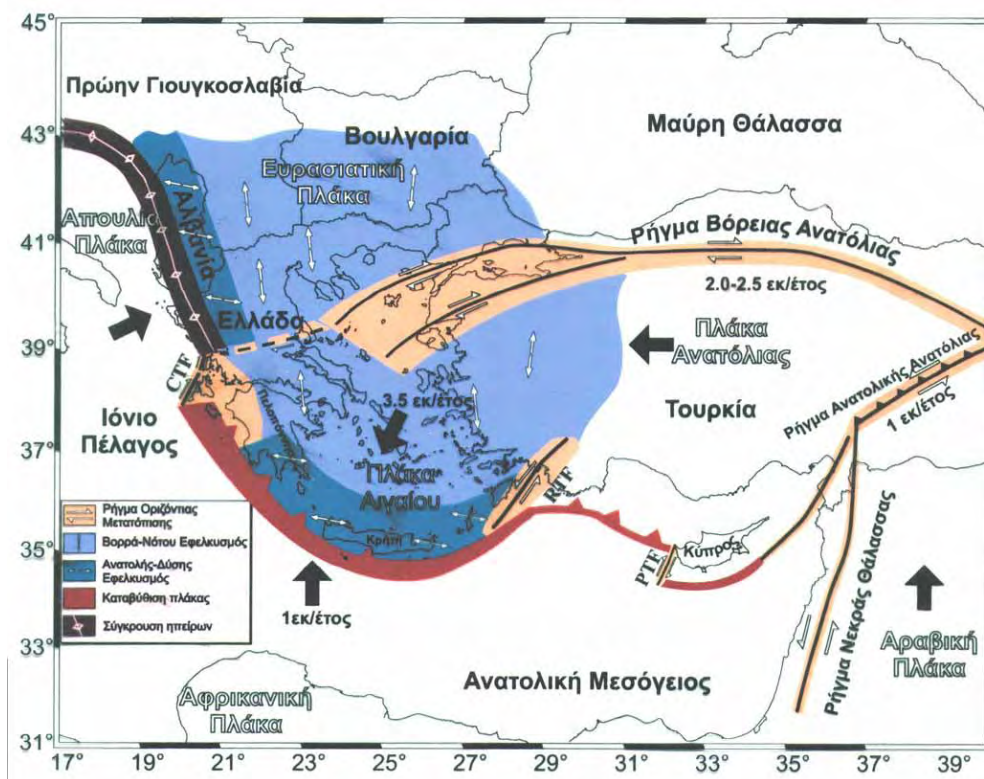
πεδιά ρηγμάτων που εμφανίζονται ως ασυνέχειες των υποκείμενων πετρωμάτων και χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένο προσανατολισμό. Τα ρήγματα διακρίνονται σε κανονικά ρήγματα (normal faults), σε ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης (strike-slip faults) και σε ανάστροφα ρήγματα (reverse faults), Σχήμα (2.8). Σεισμογόνα ονομάζονται τα ρήγματα στα οποία με τη ρήξη των πετρωμάτων απελευθερώνεται η αντίστοιχη ενέργεια που προκαλεί τον σεισμό. Τα υποθαλάσσια ρήγματα σχετίζονται άμεσα με το ενεργό πεδίο τάσεων της κάθε περιοχής. Αυτό είναι ικανό να επηρεάσει τόσο προϋπάρχοντα ρήγματα όσο και να δημιουργήσει νέα. Ο χαρακτηρισμός των ρηγμάτων πραγματοποιείται σύμφωνα με παράγοντες οι οποίοι σχετίζονται με την γεωλογική ηλικία αλλά και την γεωμετρία του ρήματος και αυτοί καθορίζουν το κατά πόσο ένα ρήγμα καθίσταται ενεργό. Σύμφωνα με τη γεωμετρία σημαντική είναι η σχέση μεταξύ του προσανατολισμού του ρήματος (επιφάνεια ολίσθησης) και του τοπικού πεδίου τάσεων. Συγκεκριμένα εάν η γωνία του ρήματος σε σχέση με την μικρότερη κύρια τάση φτάνει τις 90 μοίρες στα κανονικά ρήγματα και τις 45 μοίρες στα ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης είναι πιθανό το ρήγμα να ενεργοποιηθεί προκαλώντας σεισμό.



Σχήμα 2.8 Είδη ρηγμάτων, κανονικό, οριζόντιας μετατόπισης και ανάστροφο [28].

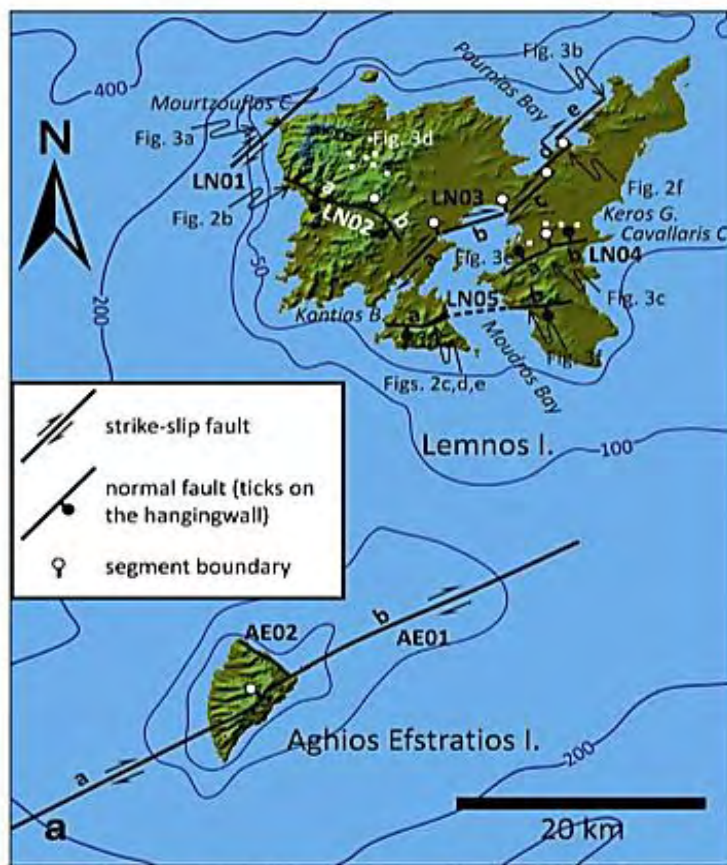
Η χρονολόγηση της τελευταίας ενεργοποίησης του εκάστοτε ρήματος βασιζόμενη σε τυπικούς γεωλογικούς χάρτες και ιστορικές καταγραφές είναι ένας ακόμη καθοριστικός παράγοντας για να χαρακτηριστεί ένα ρήγμα ενεργό. Ωστόσο, λαμβάνεται υπόψη και η ενδεχόμενη σχετική παραμόρφωση ιζημάτων του πεδίου. Τέλος, το γεωμορφολογικό αποτέλεσμα κατά την εκτόνωση του ρήματος στην επιφάνεια του εδάφους αποτελεί ένα καθοριστικό παράγοντα που χαρακτηρίζει τα ενεργά ρήγματα. Αυτό συμπεριλαμβάνει απόκρημνες επιφάνειες ολίσθησης, βαθειά διάβρωση στο επάνω μέρος του κατόπτρου του ρήματος και γραμμική διάταξη γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών [3].

Η παραμόρφωση του φλοιού της περιοχής του Αιγαίου είναι ανομοιόμορφα κατανομημένη με τη δράση των ρηξιγενών ζωνών και ρηγμάτων να δημιουργούν ένα πολύπλοκο υποθαλάσσιο ανάγλυφο. Την βόρεια αυτή περιοχή επηρεάζει η ονομαζόμενη NAF (North Anatolian Fault) ZONE, η ζώνη βόρειου ανατολικού ρήγματος ή αλλιώς του ρήγματος της Βόρειας Ανατολίας, Σχήμα (2.9). Αυτό είναι ένα μεγάλο δεξιόστροφο ρήγμα δια μέσου του οποίου πραγματοποιείται η κίνηση της τουρκικής μικροπλάκας προς τα δυτικά. Το ρήγμα αυτό εκτιμάται ότι φτάνει έως την περιοχή Ζακύνθου - Κεφαλονιάς [13].



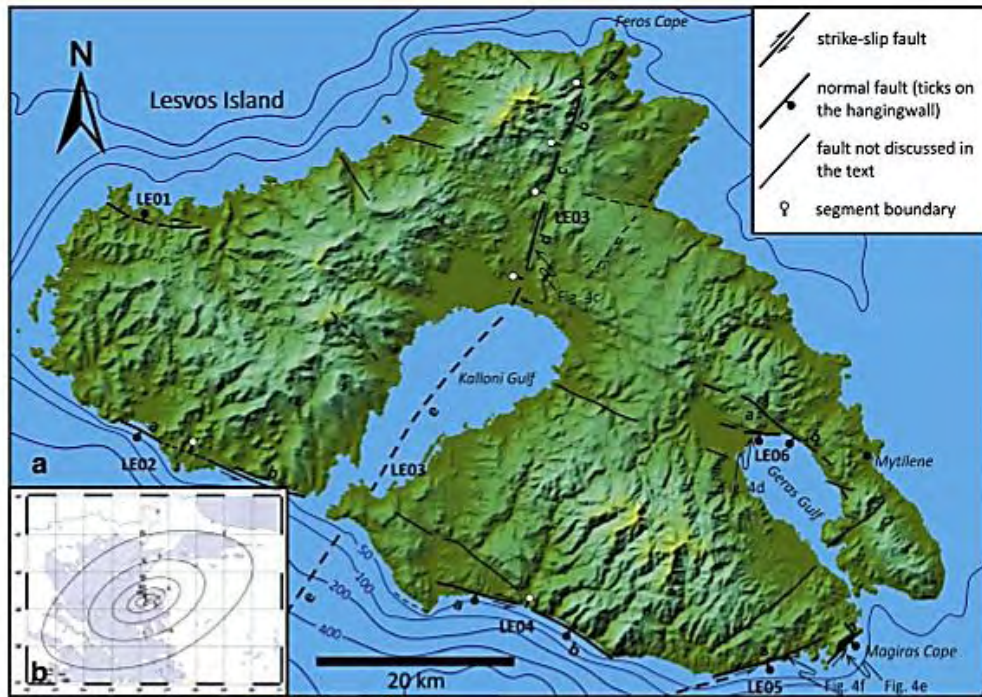
Σχήμα 2.9 Ρήγμα της Βόρειας Ανατολίας και η κίνηση των πλακών [13].

Η ύπαρξη αυτού του μεγάλου ρήγματος οδηγεί στο συμπέρασμα ότι, πλήθος ενεργών ρηγμάτων είναι δυνατό να εμφανίζονται στην περιοχή του βορειοανατολικού Αιγαίου. Τα ρηγματογενή τμήματα αυτής της περιοχής καθορίζονται από την απόστασή τους από τις ζώνες κύριων μετατοπίσεων.

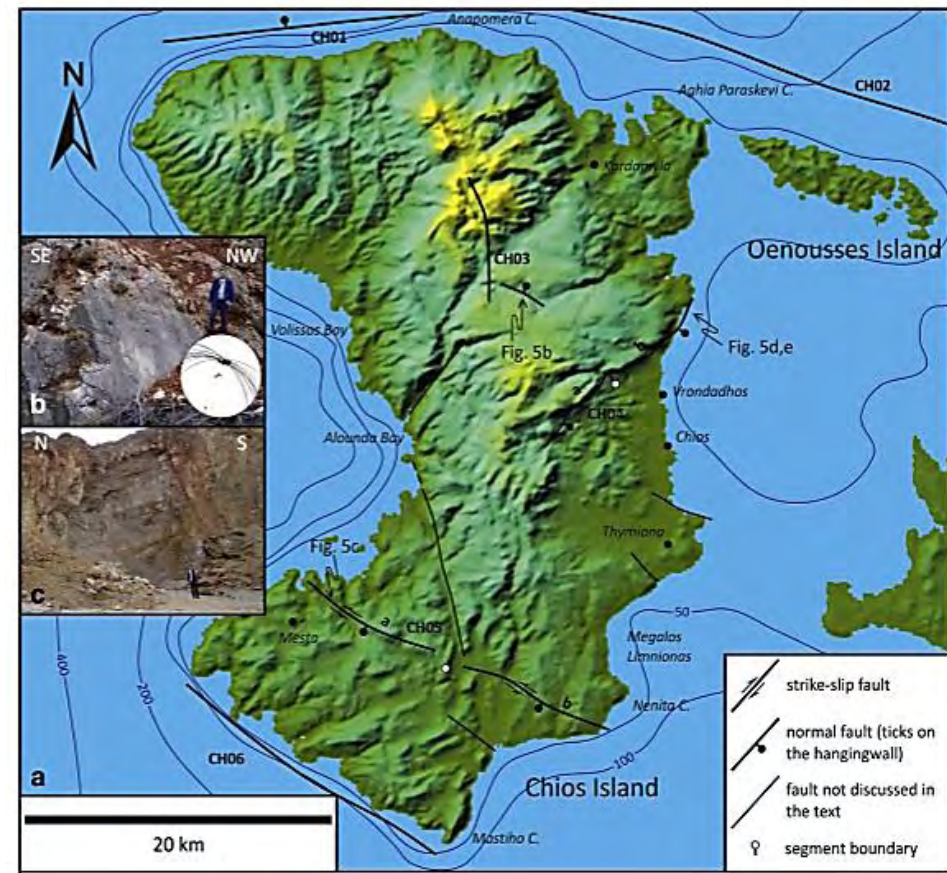


Σχήμα 2.10 Μορφοτεκτονικός χάρτης των νησιών Λήμνου και Αγίου Ευστρατίου με τις κύριες ζώνες ρηγμάτων [3].

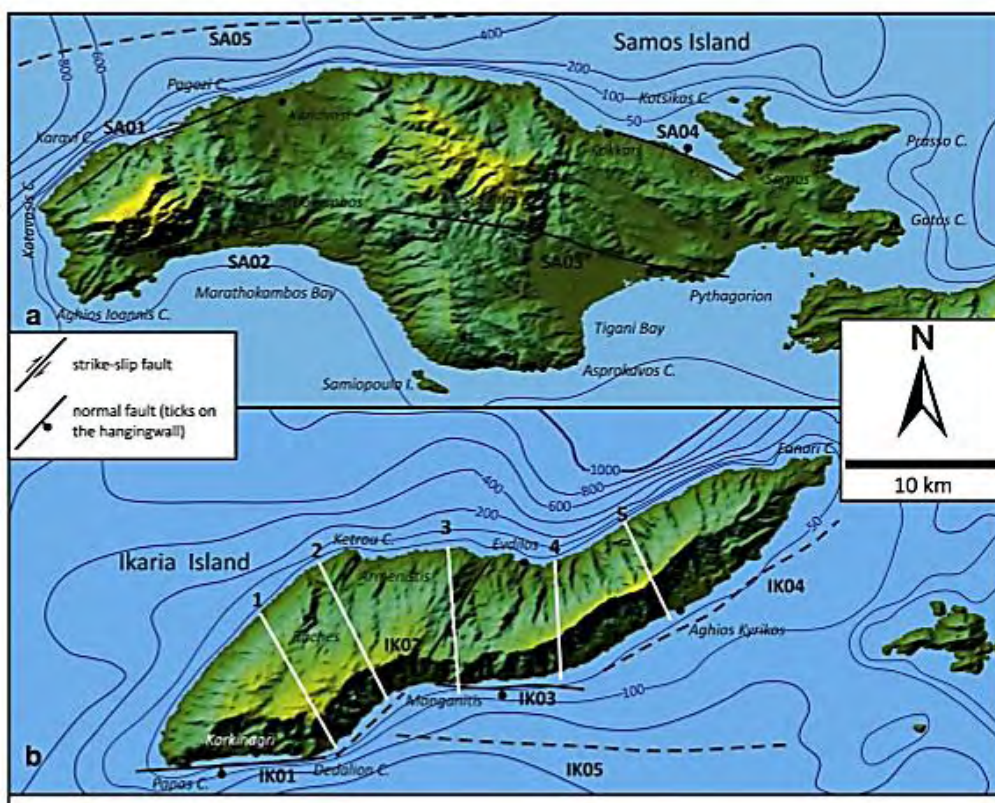
Αυτός ο συσχετισμός εξασθενεί προς στις κεντρικές και νοτιότερες περιοχές του ελλαδικού χώρου. Γενικά τα νησιά αυτής της περιοχής μεταξύ των οποίων είναι η Λήμνος, η Λέσβος, η Χίος, η Σάμος και η Ικαρία, έχουν κοινό χαρακτηριστικό ότι ποικίλα τμήματα των ακτογραμμών τους διαμορφώνονται από τα ρήγματα που αναπτύσσονται στις προαναφερόμενες ζώνες, Σχήματα (2.10 έως 2.13) [3].



Σχήμα 2.11 Μορφοτεκτονικός χάρτης της νήσου Λέσβου. Κύριες ζώνες ενεργών ρηγμάτων (a) και ισοσεισμικός χάρτης του σεισμού της Αγίας Παρασκευής εν έτη 1867 (b) [3].



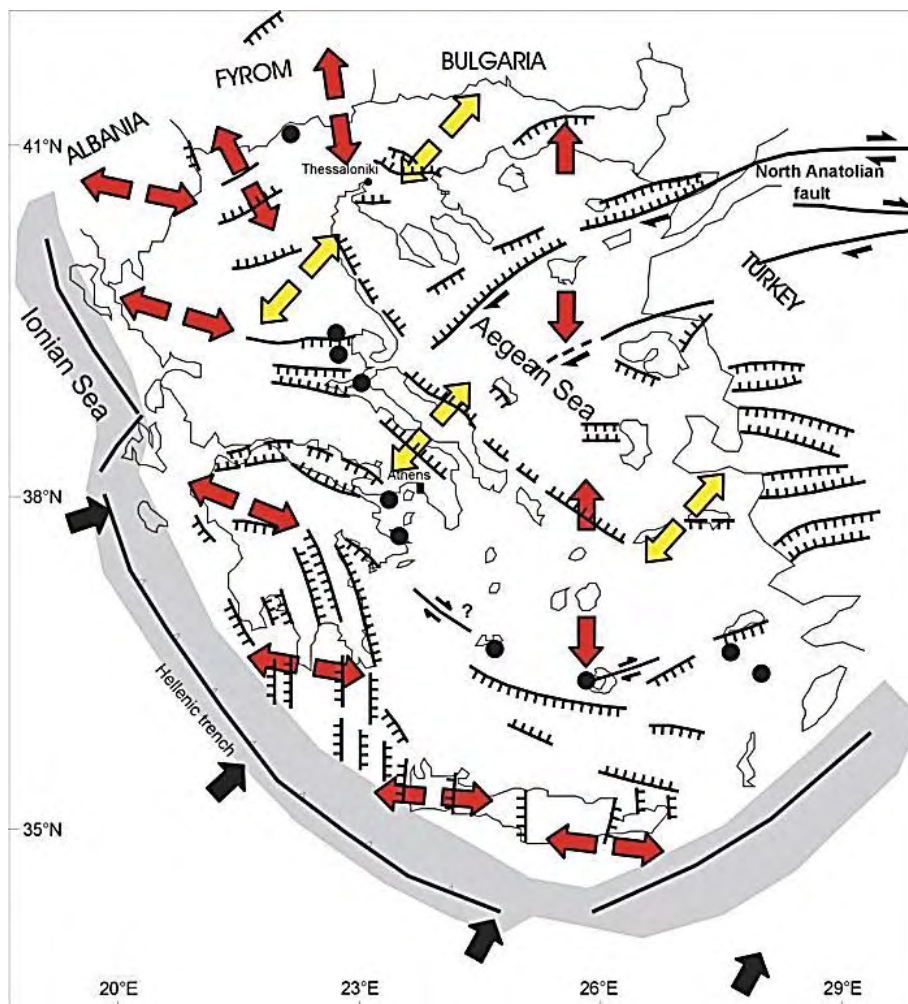
Σχήμα 2.12 Μορφοτεκτονικός χάρτης της Χίου με τις ζώνες ρηγμάτων [3].



Σχήμα 2.13 Μορφοτεκτονικός χάρτης των νήσων Σάμου, Ικαρίας με τις ζώνες ρηγμάτων [3].

Η «τοξοειδής» βύθιση της Αφρικανικής λιθосφαιρικής μικροπλάκας στα νότια της Κρήτης κάτω από την Αιγαιακή λιθосφαιρική μικροπλάκα αλλά και άλλες πλευρικές τάσεις είχαν ως αποτέλεσμα ο Ελλαδικός χώρος να υποστεί διάφορες τεκτονικές φάσεις συμπίεσης και εφελκυσμού. Έτσι, σήμερα το γεωτεκτονικό καθεστώς της ευρύτερης περιοχής ελληνικού χώρου αποτελείται από το Ελληνικό τόξο (Hellenic arc), Σχήμα (2.14). Τα κύρια μορφοτεκτονικά χαρακτηριστικά, τα οποία συνθέτουν το Ελληνικό τόξο του παραπάνω σχήματος είναι τα εξής: το εξωτερικό ιζηματογενές τόξο, η ελληνική περιφερειακή τάφρος, το ηφαιστειακό τόξο του Αιγαίου και η λεκάνη πίσω από το τόξο. Το εξωτερικό ιζηματογενές τόξο περιλαμβάνει τις δυτικές εξωτερικές οροσειρές της δυτικής Ελλάδας, την Κρήτη και τα Δωδεκάνησα. Η ελληνική περιφερειακή τάφρος (Hellenic trench) περιβάλλει το ιζηματογενές τόξο από το Ιόνιο πέλαγος μέχρι το νότιο τμήμα της Κρήτης και της Ρόδου με υποθαλάσσια βυθίσματα από 2000 m έως 5000 m. Το ηφαιστειακό τόξο σχετίζεται με το εσωτερικό μέρος και τα ηφαίστεια των νήσων Σαντορίνης, Μήλου, Κω, Πάτμου, Νισύρου, Μεθάνων, Αντιπάρου και Ψαθούρας. Τέλος, η λεκάνη πίσω από το τόξο

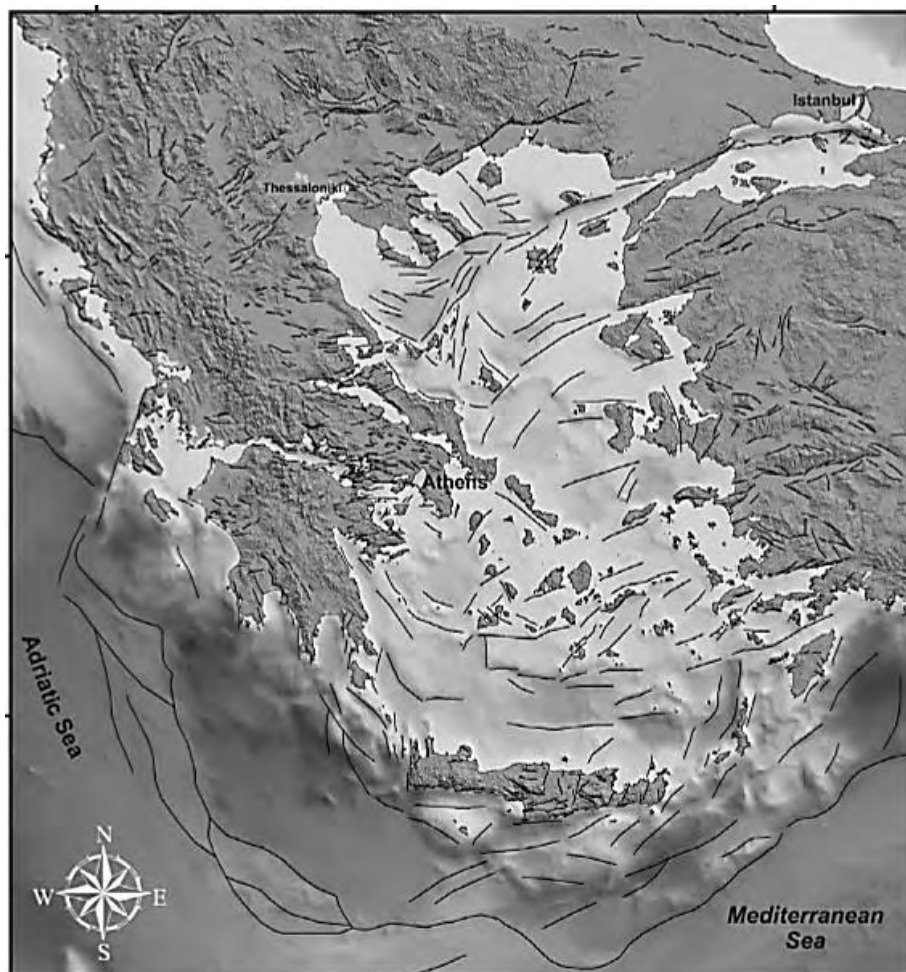
σχετίζεται με τις εφελκυστικές τάσεις που δημιουργούνται και αντικατοπτρίζεται κατά βάση στην περιοχή του Κρητικού πελάγους [11], [13].



Σχήμα 2.14 Κόρια χαρακτηριστικά της ενεργού τεκτονικής του Ελληνικού τόξου και του ευρύτερου χώρου του Αιγαίου, όρια λιθοσφαιρικών πλακών, τα σπουδαιότερα κανονικά ρήγματα, ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης (διεύθυνσης ολίσθησης). Τα κίτρινα βέλη δείχνουν τη διεύθυνση του εφελκυστικού πεδίου και τα κόκκινα βέλη τη διεύθυνση του ενεργού εφελκυσμού. Τα μαύρα βέλη δείχνουν τη διεύθυνση κίνησης της Αφρικανικής πλάκας και τη διεύθυνση των συμπιεστικών τάσεων [13].

Η συσχέτιση των ενεργών ρηγμάτων με τη σεισμική δραστηριότητα των περιοχών είναι άμεση. Επομένως, τα ενεργά ρήγματα πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη κατά τον αντισεισμικό σχεδιασμό κατασκευών, ακόμη και αυτά που ενεργοποιούνται με εξαιρετικά μεγάλη περίοδο επαναφοράς. Στον παρακάτω χάρτη παρατηρούμε τα

κυριότερα τεκμηριωμένα ενεργά και πιθανά ενεργά ρήγματα στην ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου και της Ελλάδας, Σχήμα 2.15 [14].



Σχήμα 2.15 Χάρτης των κυριότερων βιβλιογραφικά τεκμηριωμένων ενεργών και πιθανά ενεργών ρηγμάτων του ευρύτερου χώρου του Αιγαίου (Ελλάδα και γύρω περιοχές) [14].

2.3 Άνεμοι

Ο ατμοσφαιρικός αέρας αποτελείται από αέριες μάζες διαφορετικών θερμοκρασιών. Οι αέριες μάζες με υψηλές θερμοκρασίες έχουν μικρότερη πυκνότητα από αυτές των χαμηλότερων θερμοκρασιών. Συνεπώς, τα στρώματα αέρα με χαμηλή θερμοκρασία έρχονται και καταλαμβάνουν τη θέση των πιο θερμών, τα οποία με τη σειρά τους τείνουν να ανεβαίνουν προς τα πάνω. Στον πλανήτη μας η θερμότητα του ήλιου απορροφάται σε διαφορετικό βαθμό από τη στεριά σε σχέση με τη θάλασσα. Κατά τη διάρκεια της μέρας, αέρια στρώματα από τη θάλασσα κατευθύνονται προς τη στεριά,

θερμαίνονται και ανεβαίνουν προς τα πάνω. Αυτό σχετίζεται και με την γρήγορη διακύμανση της θερμοκρασίας στη στεριά. Τη νύχτα ακολουθείται η αντίστροφη διαδικασία. Επιπλέον, σύμφωνα με την περιστροφή της γης, το ανάγλυφο του εδάφους αλλά και τη θέση του ήλιου παρατηρείται μία κυκλική κίνηση αέριων μαζών και διαμόρφωση του λεγόμενου βαρομετρικού. Όλα τα παραπάνω συντελούν στην δημιουργία των ανέμων [4], [6].

Γενικά οι άνεμοι καθώς ταξιδεύουν με διαφορετικές ταχύτητες και σε διαφορετικά υψομετρικά επίπεδα πάνω από τη στεριά αλλά και τη θάλασσα μπορεί να προκαλέσουν ένα πλήθος από διαφορετικά είδη καταιγίδων. Αποτελέσματα, λοιπόν, των ανέμων αποτελούν οι αεροχείμαρροι, οι τροπικοί κυκλώνες, οι τυφώνες, οι θύελλες και χιονοθύελλες, οι μουσώνες και οι ανεμοστρόβιλοι [33].

Το ζητούμενο εδώ αποτελεί η ταχύτητα του ανέμου, μονάδα μέτρησης της οποίας είναι συνήθως τα m/s ή τα km/h. Για την ανοικτή θάλασσα οι μετρήσεις της ταχύτητας των ανέμων πραγματοποιούνται με ανεμόμετρα σε πλωτούς μετρητικούς σταθμούς σε εγκαταστάσεις εξόρυξης πετρελαίου, Σχήμα (2.16). Μετρήσεις ακόμη γίνονται από απόσταση συνήθως από τα ενεργά όργανα παρακολούθησης Doppler Wind Lidar σε ξηρά και θάλασσα. Τα όργανα αυτά καταγράφουν την κίνηση των αιωρούμενων σωματιδίων της ατμόσφαιρας. Λειτουργούν με την εκπομπή ακτινοβολίας Laser και την ακόλουθη μέτρηση των προκύπτουσων συχνοτήτων Doppler, εκτιμώντας έτσι την αντίστοιχη ταχύτητα του ανέμου. Τέλος, υπάρχουν και οι δορυφορικές μετρήσεις με ενεργά όργανα, όπως σκεδασίμετρα ή με παθητικά ραδιόμετρα μικροκυμάτων. Το πρώτο σκεδασίμετρο που τοποθετήθηκε σε δορυφόρο ήταν το 1978 (Seasat) όπου προσδιορίστηκε η ταχύτητα και η διεύθυνση ανέμου πάνω από επιφάνεια ωκεανού. Αρχή λειτουργίας του σε συνθήκες ουδέτερης ευστάθειας είναι η παροχή διανυσμάτων τροχιάς ανέμου από τον συσχετισμό της ενέργειας που σκεδάζεται προς τα πίσω με την ταχύτητα του ανέμου στα 10 m, Σχήμα (2.17). Τα παθητικά ραδιόμετρα μικροκυμάτων βασίζονται στη θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται ανάλογα με την τραχύτητα της επιφάνειας της θάλασσας. Παράδειγμα στην προσπάθεια ανάπτυξης μεθόδων προσδιορισμού της διεύθυνσης του ανέμου σε τέτοιες περιπτώσεις αποτελεί το Special Sensor Microwave Imager (SSM/I), μέρος του προγράμματος Defense Meteorological Sattelite Program (DMSP), Σχήμα (2.18) [5].



α.

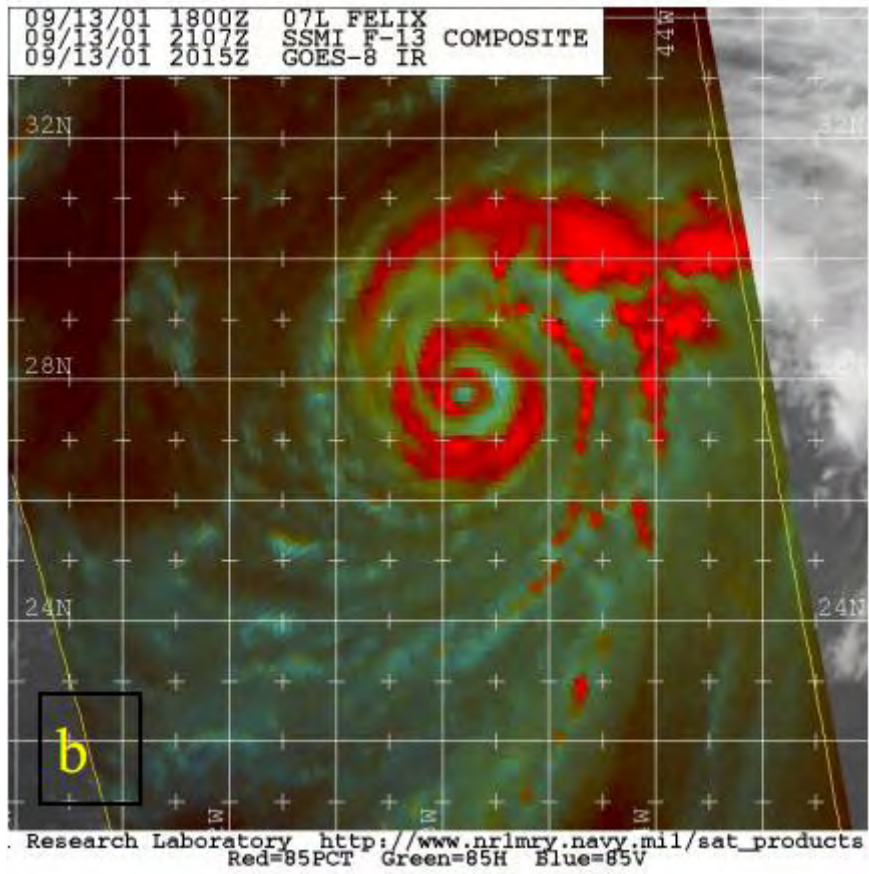


β.

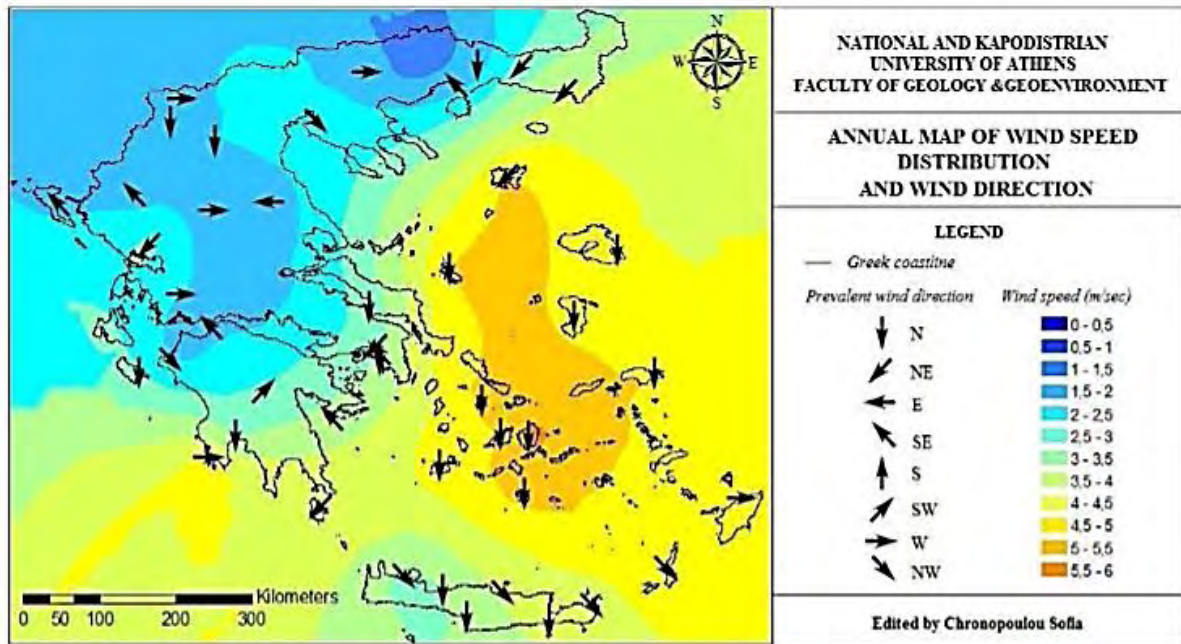
Σχήμα 2.16 Ανεμόμετρα, α) ανεμόμετρο με μέτρηση ταχύτητας στον άξονα β) ανεμόμετρο Sonic με μετρητή θερμικής ενέργειας [4].



Σχήμα 2.17 Αρχή λειτουργίας σκεδασίμετρου [5].

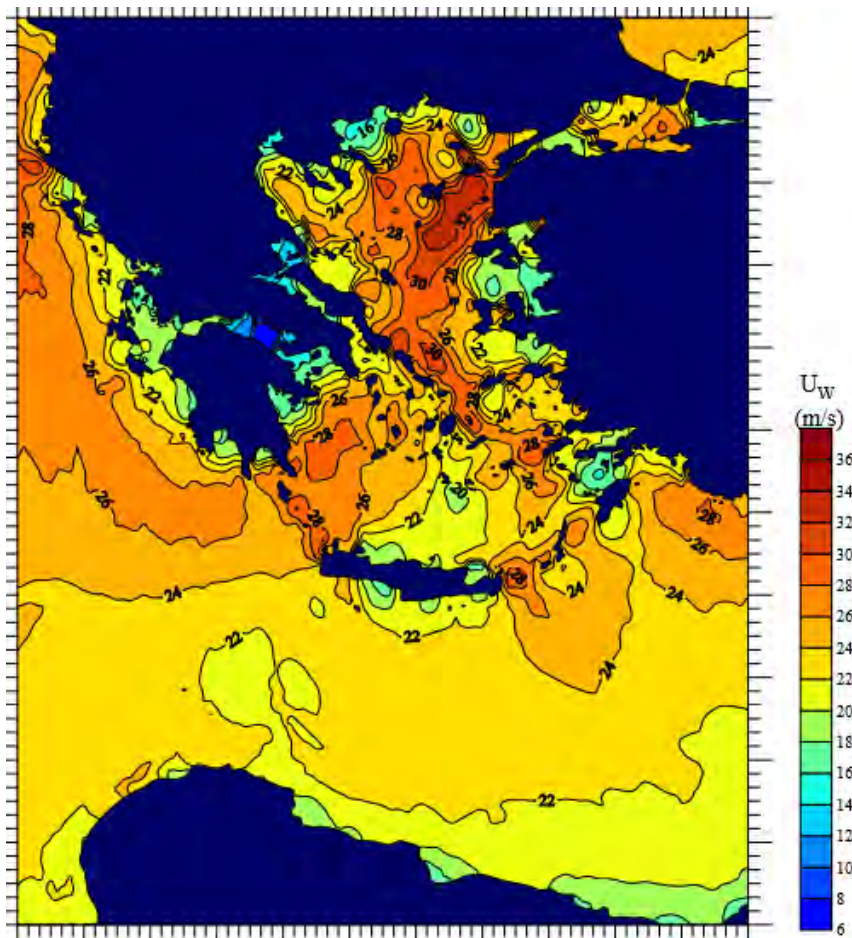


Σχήμα 2.18 Τυφώνας Felix όπως καταγράφηκε από το SSM/I του DMSP στις 13/09/2001 [29].



Σχήμα 2.19 Ετήσια κατανομή διευθύνσεων και ταχύτητας ανέμου στον Ελλαδικό χώρο [11].

Οι μεγαλύτερες ταχύτητες ανέμου στον Ελληνικό χώρο επικρατούν στις θαλάσσιες περιοχές έναντι των περιοχών της ηπειρωτικής Ελλάδας σύμφωνα με αντίστοιχη μελέτη για την ταχύτητα και τη διεύθυνση των ανέμων. Οι μέσες τιμές των ετήσιων αυτών ταχυτήτων για τις θαλάσσιες περιοχές, κυμαίνονται από 1 m/sec έως 5,5 m/sec με τη μέγιστη τιμή να παρατηρείται στην περιοχή του κεντρικού Αιγαίου με κατευθύνσεις από τα βορειοδυτικά προς τα νοτιοανατολικά.



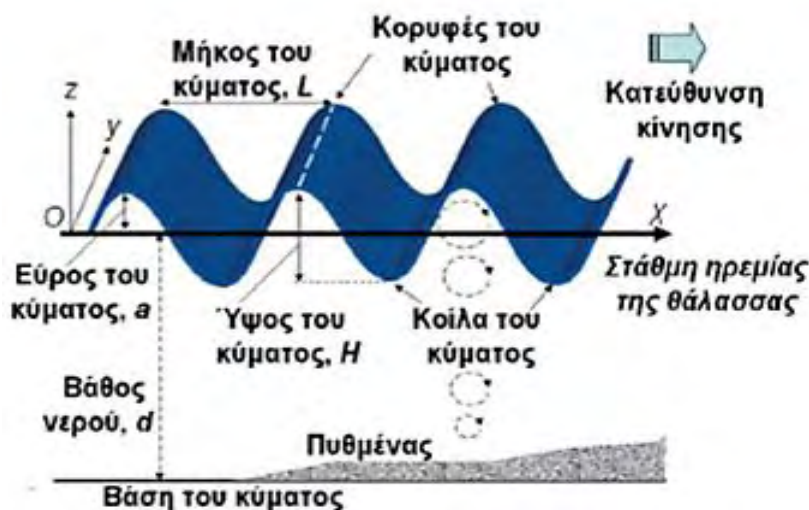
Σχήμα 2.20 Τιμές σχεδίασης της ταχύτητας του ανέμου στον Ελληνικό χώρο για περίοδο επαναφοράς τα 50 έτη [11].

Η κατανομή των ταχυτήτων στην περιοχή του Ιονίου πελάγους διαφέρει καθώς εδώ παρατηρούνται στα βόρεια άνεμοι έντασης 1 m/sec έως 2 m/sec ενώ υψίσταται σταδιακή αύξηση προς τις νότιες ακτές της Πελοποννήσου με 3 m/sec έως και 4 m/sec. Αντίστοιχα στην ηπειρωτική Ελλάδα οι τιμές αυτές κυμαίνονται από 1,5 m/sec έως 2,5 m/sec στα κεντρικά και τις τιμές 3,5 m/sec έως 4 m/sec προς την περιφέρεια

της Πελοποννήσου. Στο 78% των σταθμών που μελετήθηκαν οι άνεμοι που επικρατούν πνέουν από βόρειες, βορειοανατολικές και βορειοδυτικές διευθύνσεις. Η παραπάνω ετήσια κατανομή απεικονίζεται και στον παρακάτω χάρτη, Σχήμα (2.19). Η εποχή κατά την οποία θεωρείται ότι εμφανίζονται οι λιγότεροι άνεμοι στην Ελλάδα είναι η άνοιξη [11]. Από τον άτλαντα ανέμων και κυματισμού του Ελληνικού Κέντρου Θαλάσσιων Ερευνών λαμβάνεται ο αντίστοιχος χάρτης με τις τιμές ταχύτητας ανέμου σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο (m/s) που είναι πιθανό να σημειωθούν στις αντίστοιχες περιοχές του ελληνικού θαλάσσιου χώρου μία φορά στα 50 έτη, Σχήμα (2.20) [11].

2.4 Κύματα – Θαλάσσια ρεύματα

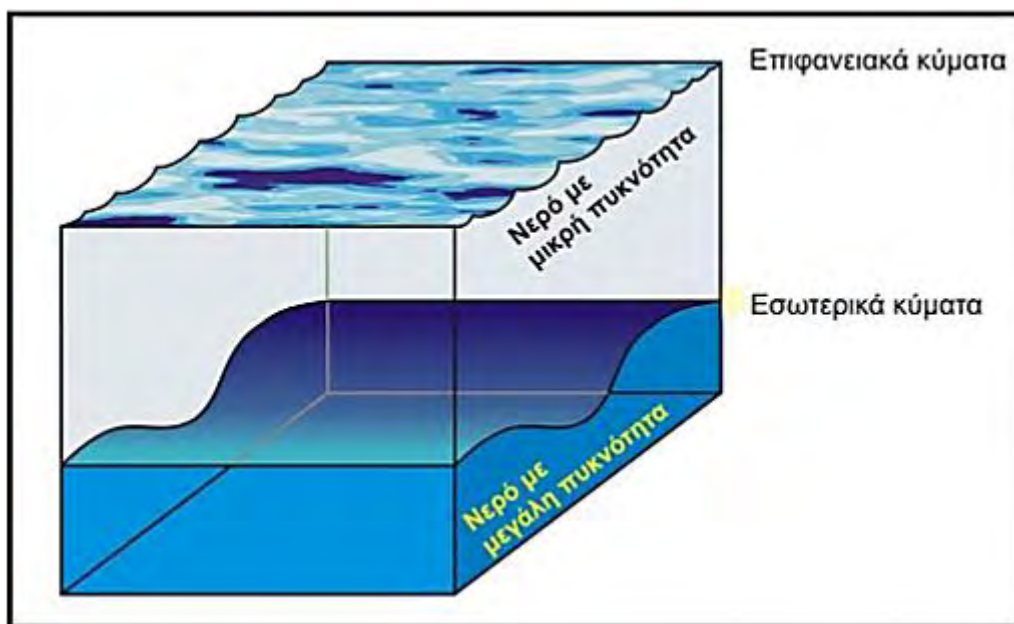
Η αιολική ενέργεια ασκεί δυνάμεις πίεσης, οι οποίες διαταράσσουν την ισορροπία στην επιφάνεια της θάλασσας δημιουργώντας έτσι τα επιφανειακά κύματα. Οι παράγοντες οι οποίοι οδηγούν στο σχηματισμό των επιφανειακών κυμάτων και καθορίζουν το μέγεθός τους είναι η ταχύτητα του ανέμου, η διάρκεια, το εύρος του καθώς και η απόσταση πάνω από την επιφάνεια που φυσάει το ρεύμα αέρα [2].



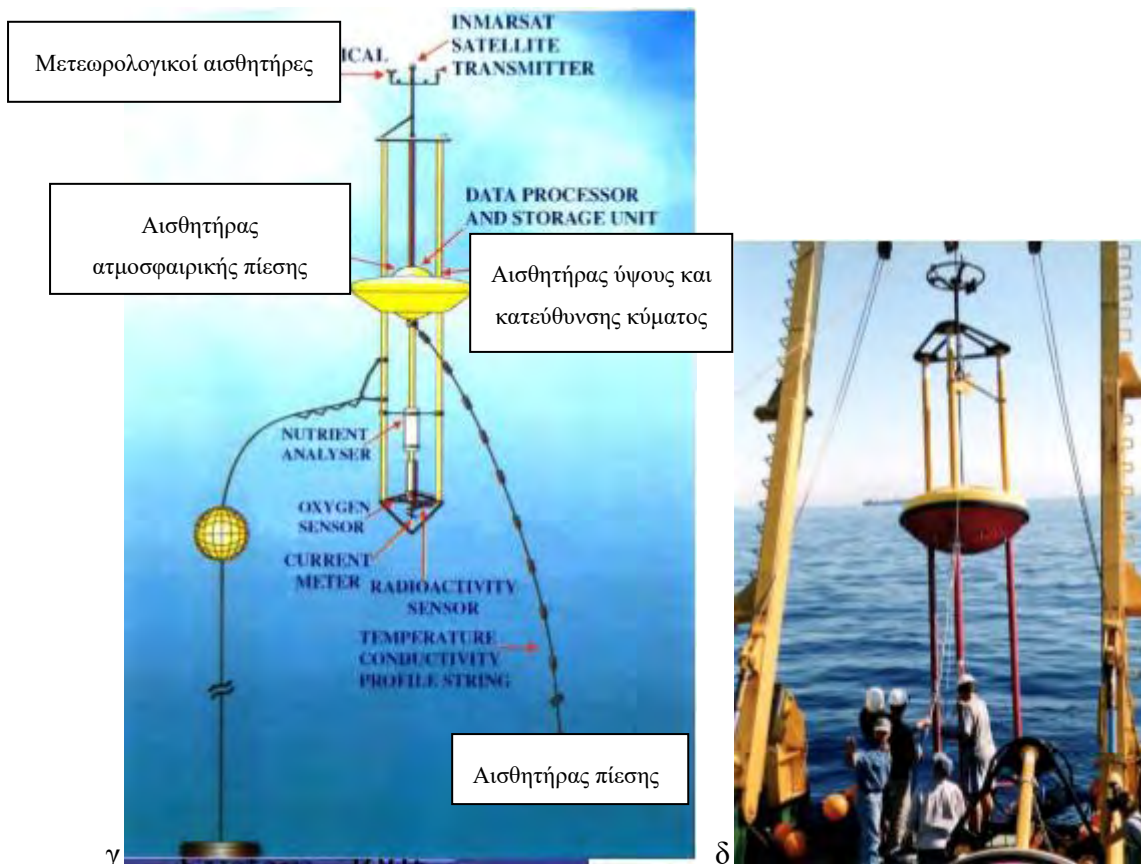
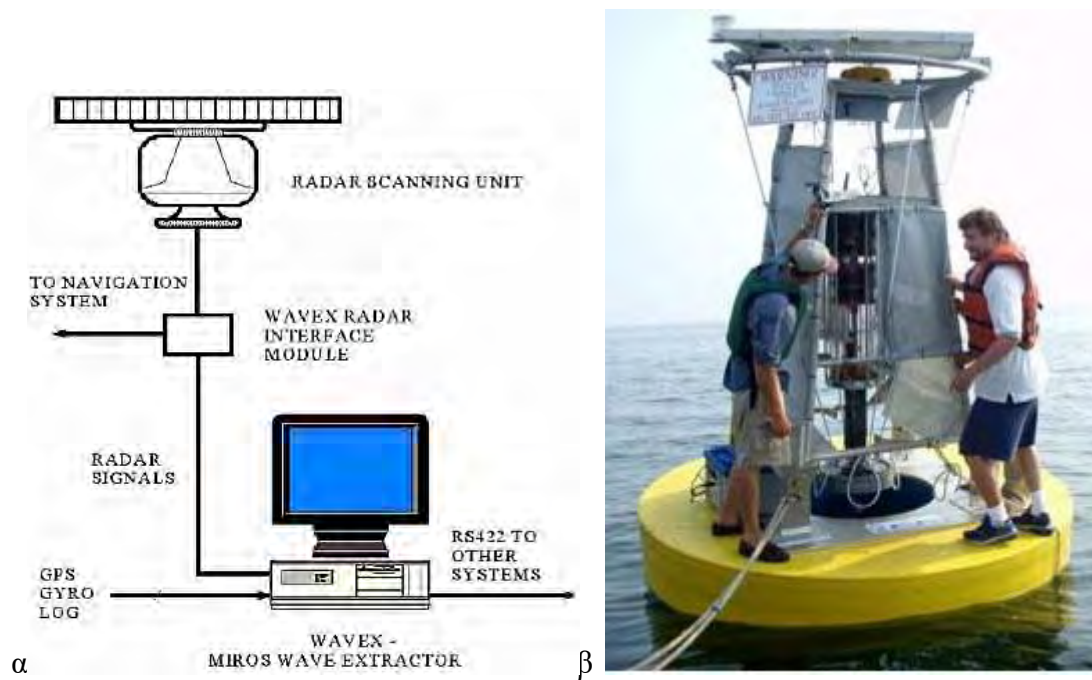
Σχήμα 2.21 Βασικά χαρακτηριστικά ενός ιδεατού κύματος [17].

Κύρια χαρακτηριστικά ενός κύματος είναι το μήκος του κύματος, το ύψος του και το βάθος από την επιφάνεια της θάλασσας στο οποίο διαδίδεται. Από αυτά τα

χαρακτηριστικά μπορούν έπειτα να υπολογιστούν ποσότητες όπως είναι η ταχύτητα μετάδοσης και η επιτάχυνση ενός κύματος. Η γραφική παράσταση ενός κύματος είναι ημιτονοειδής σύμφωνα με τη γραμμική θεωρία (Airy) με μήκος κύματος να ορίζεται η απόσταση μεταξύ των δύο διαδοχικών κορυφών του, ύψος κύματος η διαφορά μεταξύ του μέγιστου και ελάχιστου σημείου και βάθος του η κατακόρυφη απόσταση της μέσης επιφάνειας της θάλασσας από τον πυθμένα. Η περίοδος του κύματος είναι ο χρόνος που χρειάζεται για να διανύσει ένα μήκος κύματος, Σχήμα (2.21) [2]. Τα εσωτερικά κύματα είναι αυτά που δρουν κατά βάση στη διεπιφάνεια των θερμών με τα πιο βαθιά και ψυχρά νερά των ωκεανών. Εσωτερικά κύματα μετρώνται έως και το βάθος των 1000 m με ύψος κύματος τα 60 m. Η διαφορά της πυκνότητας μεταξύ αυτών των διεπιφανειών είναι μικρή σχετικά με τη διεπιφάνεια νερού και ατμόσφαιρας, επομένως η ενέργεια ενεργοποίησης εσωτερικών κυμάτων είναι μικρότερη όπως και ταχύτητα μετάδοσής τους, Σχήμα (2.22) [2].

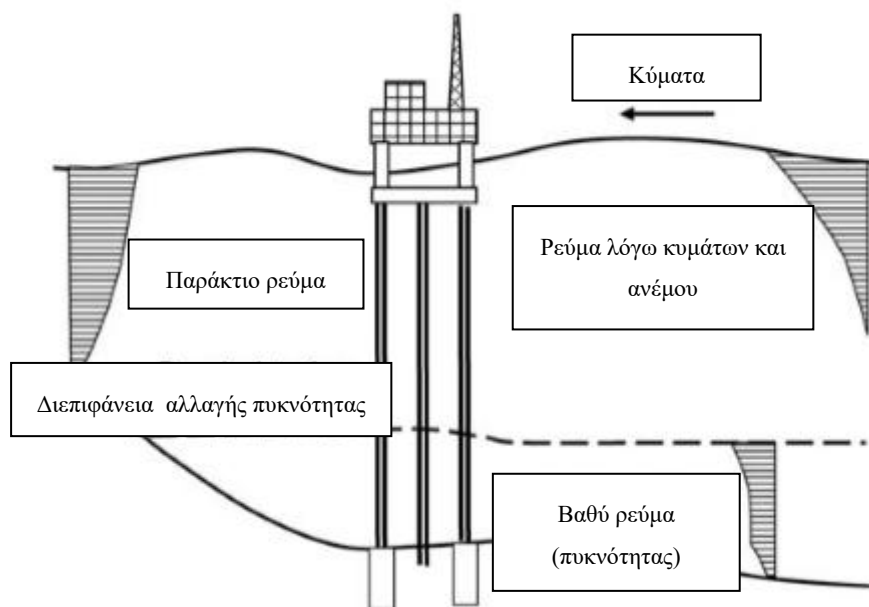


Σχήμα 2.22 Επιφανειακά και εσωτερικά κύματα [10].



Σχήμα 2.23 α) Κυματικός Σταθμός Ραντάρ, β) Επιτόπιες μετρήσεις με ποντισμένα όργανα, γ)δ) Βuoys του δικτύου Ποσειδών στα πλαίσια μοντελοποίησης και πρόγνωσης των κυμάτων [5].

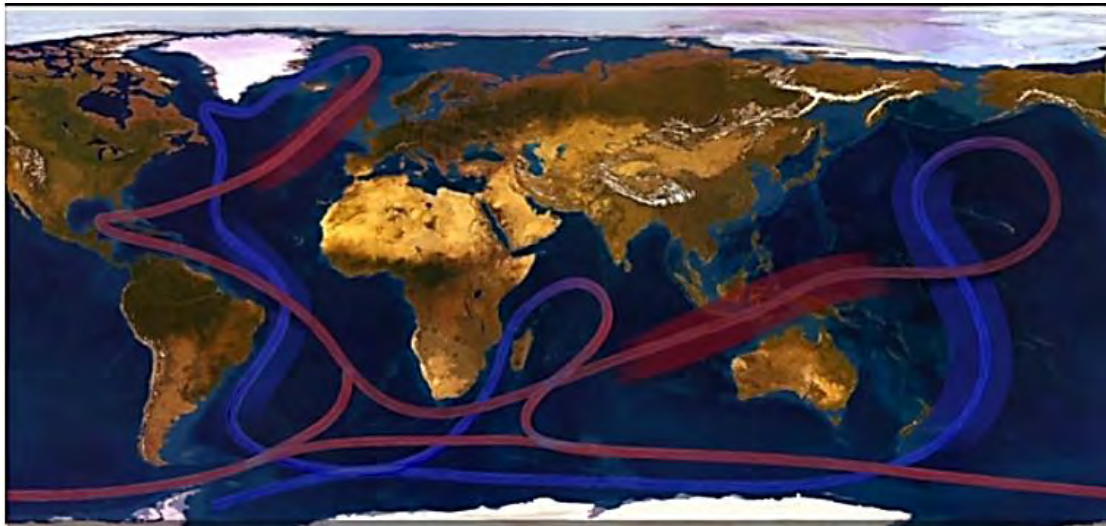
Στην Ελλάδα παροχέας κυματολογικών δεδομένων είναι το ΕΛΚΕΘΕ (Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών) με επιτόπιες μετρήσεις από buoys και ναυτικά ραντάρ, αλλά και η ΕΜΥ (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία) και η Υδρογραφική Υπηρεσία, οι οποίοι περιορίζονται μόνο στις αριθμητικές προσομοιώσεις σε θεωρητικό επίπεδο καθώς δεν παρέχουν κυματικές προγνώσεις, Σχήμα (2.23). Γενικά οι μετρήσεις που πραγματοποιούνται είναι διαφόρων ειδών. Είναι οι επιτόπιες μετρήσεις με ποντισμένα όργανα όπως πιεσόμετρα βυθού, κυματογράφοι και συστήματα sonar ULS, είναι οι δορυφορικές μετρήσεις, οι μετρήσεις με κοινά ναυτικά ραντάρ τόσο από τη στεριά όσο και από πλέοντα πλοία. Τέλος, πραγματοποιούνται επίσης οπτικές παρατηρήσεις, παρατηρήσεις μέσω βιντεοκάμερας στην παράκτια ζώνη αλλά και αριθμητικές αναλύσεις-προσομοιώσεις [5].



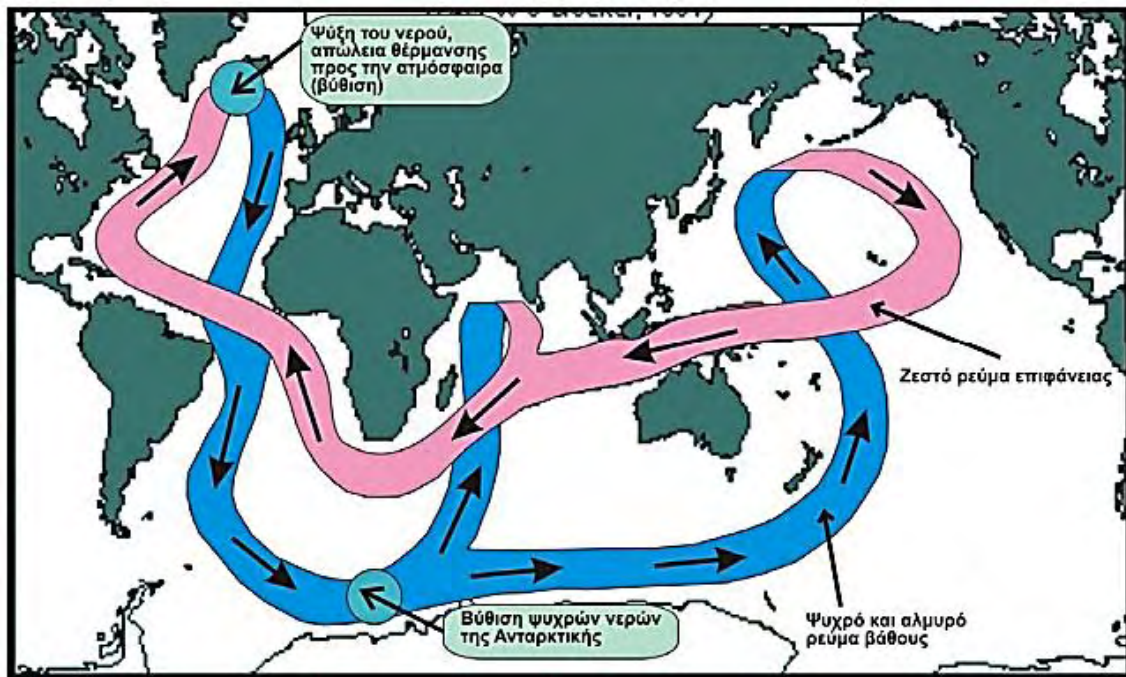
Σχήμα 2.24 Αλληλεπίδραση θαλάσσιων ρευμάτων [2].

Οι κυματισμοί γενικά αλληλεπιδρούν με τα λεγόμενα θαλάσσια ρεύματα, Σχήμα (2.24). Τα ωκεάνια ρεύματα δημιουργούν μία συνεχόμενη κίνηση και ροή επιδρώντας έτσι στα νερά που βρίσκονται κοντά στις ακτές, στα νερά της ανοιχτής θάλασσας, στην επιφάνεια αλλά και σε όλο το βάθος των ωκεανών. Στην επιφάνεια της θάλασσας ρεύματα δημιουργούνται λόγω των παλιρροιών και των τοπικών ανέμων και κυμάτων, ενώ σε μεγαλύτερα βάθη αυτή η ροή οφείλεται στις διαφορετικές πυκνότητες του νερού με την εναλλαγή των θερμοκρασιών αλλά και της αλατότητας. Τα πρώτα ονομάζονται επιφανειακά ενώ τα δεύτερα βαθιά ρεύματα. Τα επιφανειακά

ρεύματα είναι κυρίως αποτέλεσμα της βαρυτικής έλξης μεταξύ Γης και Σελήνης και σε μικρότερο βαθμό μεταξύ Γης και Ήλιου. Στα βαθιά ρεύματα έχουμε την κυκλοφορία της θερμότητας ανά την θαλάσσια επιφάνεια της Γης γνωστή ως «global conveyor belt» ή αλλιώς παγκόσμια ζώνη μεταφοράς, της οποίας η σχηματική αναπαράσταση φαίνεται παρακάτω, Σχήματα (2.25, 2.26) [2].



Σχήμα 2.25 Παγκόσμια κυκλοφορία της θερμότητας μέσω θαλάσσιων ρευμάτων [30].



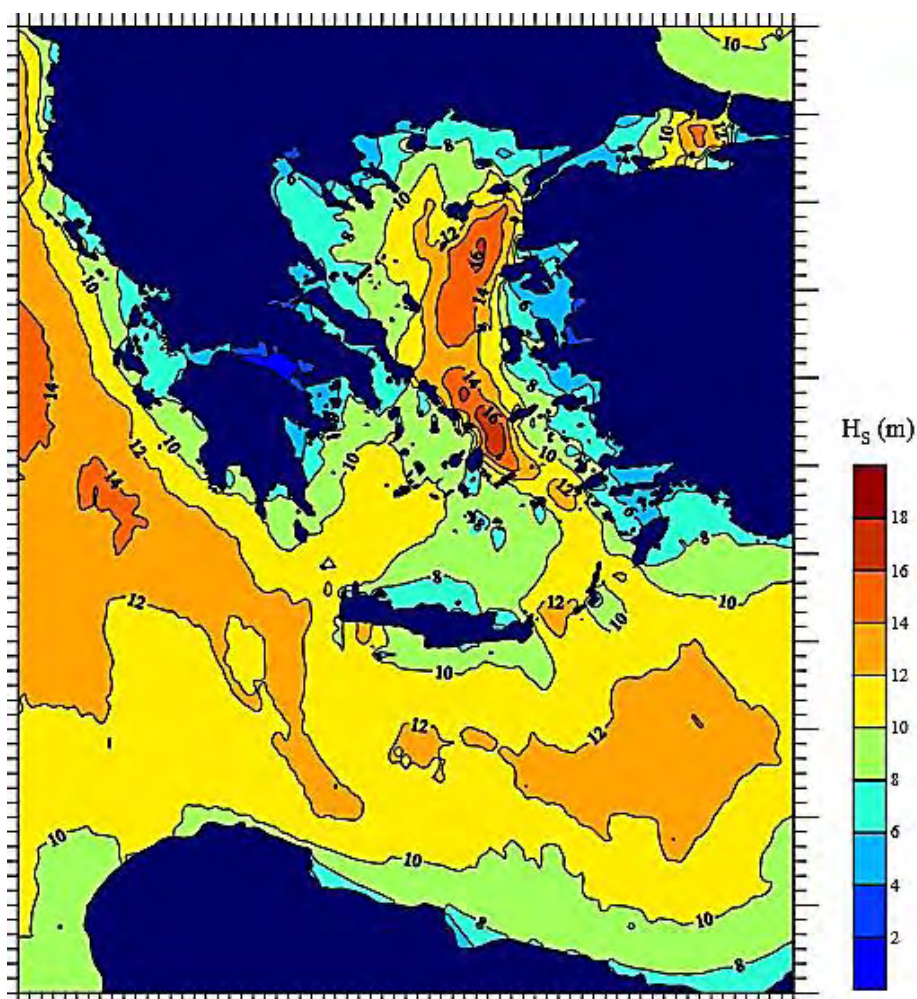
Σχήμα 2.26 Παγκόσμιος μάντας μεταφοράς νερού [10].

Η μεταφορά αυτή του νερού σε παγκόσμιο επίπεδο αρχίζει από τον βόρειο Ατλαντικό ωκεανό όπου οι ψυχρές ατμοσφαιρικές συνθήκες ψύχουν τις επιφανειακές θαλάσσιες μάζες με αποτέλεσμα αυτές να βυθίζονται ως τον πυθμένα και να κινούνται προς τα νότια στη δυτική πλευρά του Ατλαντικού. Στη συνέχεια κατευθύνονται προς την Ανταρκτική, ενώνονται με τα επίσης ψυχρά νερά της και συνεχίζουν εισχωρώντας στον Ινδικό και τον Ειρηνικό ωκεανό. Εκεί αντλούνται σταδιακά προς τα πάνω και συνεχίζουν τη μεταφορά τους προς τον Ατλαντικό, ως επιφανειακά πλέον ρεύματα κατευθυνόμενα από το νότο προς το βορά έως ότου επιστρέψουν στη θάλασσα της Νορβηγίας και βυθιστούν ξανά. Η κυκλοφορία των υδάτων κατά μήκος αυτού του παγκόσμιου ιμάντα μεταφοράς εκτιμάται ότι διαρκεί περίπου 1000 χρόνια και είναι ιδιαίτερος σημαντική και καθοριστική για την κατανομή της ζωής στα μεγάλα βάθη των ωκεανών [10].



Σχήμα 2.27 Χάρτης χωρικής κατανομής του ύψους κυματισμού ($H < 1,25m$) σε ετήσια βάση [11].

Τα θαλάσσια ρεύματα γενικά κινούν το ενδιαφέρον των γεωτεχνικών μηχανικών καθώς μπορούν να έχουν πολύ σημαντικές συνέπειες σε υπεράκτιες γεωτεχνικές κατασκευές. Για τον Ελλαδικό χώρο παρατηρείται στον χάρτη του Σχήματος 2.27 η ποσοστιαία κατανομή του ύψους κύματος μεταξύ των τιμών 0,5 m και 1,25 m σε ετήσια βάση. Για παράδειγμα στη περιοχή του νοτίου Αιγαίου το ποσοστό των κυμάτων που έχουν ύψος κύματος έως και 1,25 m κυμαίνεται από 20% έως και 60%, Σχήμα (2.27) [11].



Σχήμα 2.28 Τιμές σχεδίασης του ύψους κυματισμού στον Ελληνικό χώρο για περίοδο επαναφοράς τα 50 έτη [11].

Από τον άτλαντα ανέμου και κυματισμού του Ελληνικού Κέντρου Θαλάσσιων Ερευνών λαμβάνεται ο εξής χάρτης με τις τιμές σχεδίασης του σημαντικού ύψους κύματος σε μέτρα (m) για περίοδο επαναφοράς τα 50 έτη. Παρατηρούνται, δηλαδή,

με τους κατάλληλους χρωματισμούς στις αντίστοιχες περιοχές του ελληνικού θαλάσσιου χώρου, τα αντίστοιχα ύψη κύματος που υπάρχει πιθανότητα να σημειωθούν μία φορά στα πενήντα χρόνια, Σχήμα (2.28) [11].

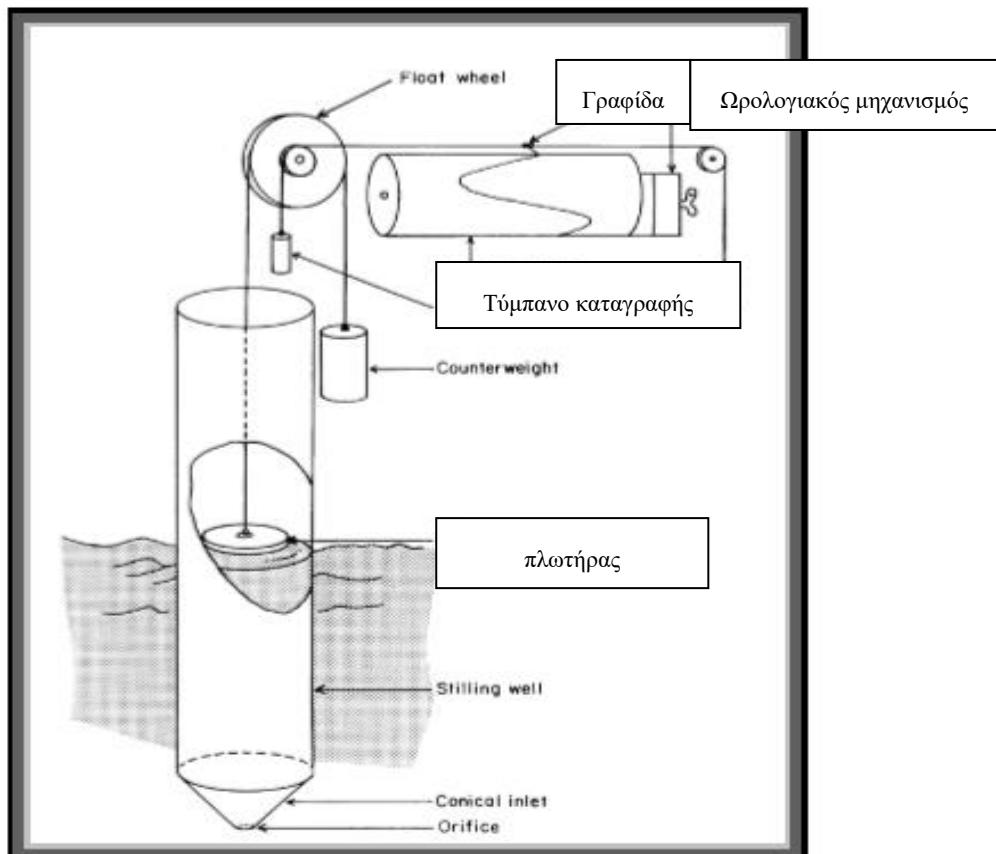
2.5 Παλίρροιες - Στάθμη της θάλασσας

Παλίρροια ονομάζεται το φαινόμενο που σχετίζεται με την κατακόρυφη κίνηση της θάλασσας και δρα περιοδικά καθώς οφείλεται κυρίως στις περιοδικές, βαρυτικές ελκτικές δυνάμεις που ασκούνται στη Γη από τον Ήλιο και τη Σελήνη. Οι διαδοχικές εναλλασσόμενες άνοδοι και κάθοδοι της στάθμης της θάλασσας μπορούν να έχουν σαν αποτέλεσμα την διαδοχική επικάλυψη και αποκάλυψη μιας παράκτιας περιοχής, δηλ. τη πλημμυρίδα και την άμπωτη, αντίστοιχα [10]. Η στάθμη της θάλασσας μετράται και καταγράφεται με δύο ειδών συστήματα, αυτά που προορίζονται για τις παράκτιες περιοχές και αυτά που προορίζονται για την ανοιχτή θάλασσα. Στις παράκτιες περιοχές υπάρχει βεβαίως μεγάλη προσβασιμότητα, παρ' όλα αυτά υφίστανται τοπικές διαταραχές στη στάθμη της θάλασσας λόγω παράκτιων ρευμάτων και λοιπά, οι οποίες δυσκολεύουν τη διαδικασία. Επομένως, σημαντικό ρόλο παίζει η επιλογή της κατάλληλης τοποθεσίας για τη διαδικασία των μετρήσεων [8].

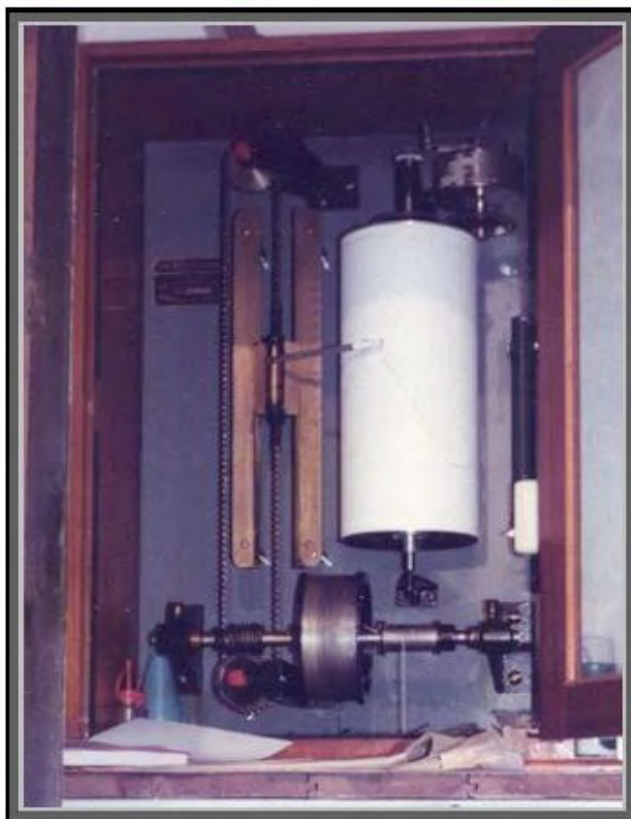
Συστήματα μέτρησης και καταγραφής της στάθμης της θάλασσας αποτελούν τα παλιρροιόμετρα, οι μηχανικοί παλιρροιογράφοι και τα συστήματα ραντάρ. Τα παλιρροιόμετρα χρησιμοποιούνται εδώ και χιλιάδες έτη αν και πλέον η χρήση τους αν και οικονομική, είναι σπάνια λόγω αυξημένης πιθανότητας σφαλμάτων. Αυτά είναι πρακτικά κατακόρυφες μετρητικές σταδίες, οι οποίες μπορούν να τοποθετηθούν σχεδόν παντού, Σχήμα (2.29). Οι μηχανικοί παλιρροιογράφοι αποτελούνται από τον πλωτήρα και ένα σύστημα καταγραφής της μεταβολής της στάθμης συναρτήσει του χρόνου, με τη μορφή μιας συνεχούς καμπύλης σε ειδική ταινία προσαρμοσμένη σε ένα τύμπανο καταγραφής, Σχήματα (2.30, 2.31).



Σχήμα 2.29 Παλιρροϊόμετρο τοποθετημένο σε προβλήτα λιμένα [8].



Σχήμα 2.30 Μηχανικός παλιρροιογράφος, πλωτήρας και σύστημα καταγραφής [8].



Σχήμα 2.31 Παλιρροιογράφος, σύστημα καταγραφής [8].



Σχήμα 2.32 Σύστημα ραντάρ [8].

Η αντοχή των μηχανικών παλιρροιογράφων είναι μεγάλη όπως υψηλό είναι και το κόστος λειτουργίας τους. Η ακρίβειά τους περιορίζεται στα δύο εκατοστά για τη στάθμη της θάλασσας και στα δύο λεπτά για την καταγραφή του χρόνου και

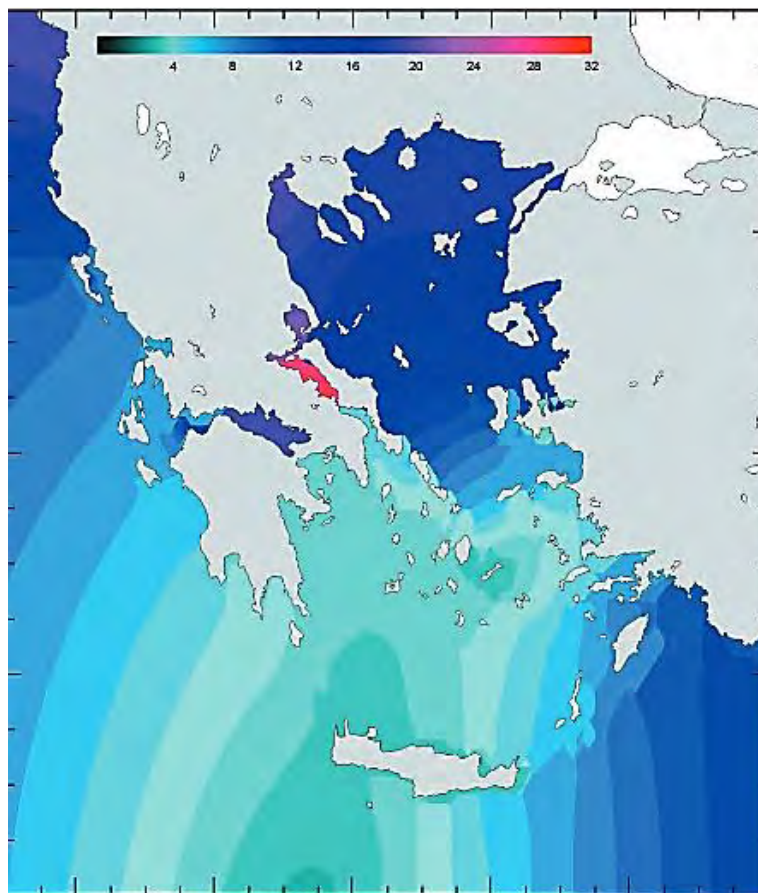
αποτελούν την πηγή των περισσότερων ιστορικών καταγραφών. Τα συστήματα τα οποία έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια είναι τα συστήματα ραντάρ καθώς είναι εύκολα στη λειτουργία και στη συντήρησή τους και αντικαθιστούν επίσης και παλαιότερα όργανα. Εδώ για τον υπολογισμό του ύψους της στάθμης της θάλασσας χρησιμοποιείται η μεταβολή της φάσης του μεταδιδόμενου και του λαμβανόμενου σήματος, Σχήμα (2.32) [8]. Στην Ελλάδα ο επίσημος φορέας καταγραφής των παλιρροιών είναι η Υδρογραφική Υπηρεσία του Πολεμικού Ναυτικού, η οποία διαθέτει πλήρες σύστημα κυρίως μηχανικών παλιρροιογράφων που βρίσκονται εγκατεστημένα στα μεγάλα λιμάνια της χώρας [10].

Στη Μεσόγειο θάλασσα οι παλίρροιες είναι αποτέλεσμα αλληλεπίδρασης μεταξύ της δράσεις των τοπικών αστρονομικών δυνάμεων και το παλιρροιακό κύμα του Ατλαντικού που δύναται να διεισδύσει σε αυτή μέσω του Στενού του Γιβραλτάρ. Πρακτικά στη περιοχή της Μεσογείου, που αποτελεί μια κλειστή θάλασσα, το παλιρροιακό φαινόμενο είναι ασήμαντο σχετικά με άλλα θαλάσσια τμήματα της γης. Στον ελληνικό χώρο το παλιρροιακό εύρος διαφέρει ανά περιοχή, σύμφωνα με τη μορφολογία των ακτών αλλά και τη διασπορά των νησιών του [11]. Το μέσο εύρος κάθετης διακύμανσης στις ελληνικές θάλασσες δεν ξεπερνά τα 0,30 m. Αποκορύφωμα του φαινομένου αποτελεί παγκοσμίως ο κόλπος Φάντι (Fundì) στον Καναδά, όπου το παλιρροιακό εύρος φτάνει τα 15 m, [10]. Γενικά το Αιγαίο χαρακτηρίζεται κυρίως από ασθενείς παλίρροιες με ιδιαίτερα χαμηλές τιμές, συγκεκριμένα στο βόρειο Αιγαίο με μέσο εύρος 0,20 m στην περιοχή του Θερμαϊκού κόλπου, 0,25 m στην περιοχή της Καβάλας και 0,19 m στην περιοχή του λιμένα της Αλεξανδρούπολης. Οι αλλαγές στη στάθμη της θάλασσας είναι κυρίως ημι-ημερήσιες αν και παρατηρούνται και διακυμάνσεις διάρκειας αρκετών ημερών. Ενδεικτικές μετρήσεις φαίνονται στον παρακάτω πίνακα για ορισμένους λιμένες με το μέσο και μέγιστο εύρος της παλίρροιας, Σχήμα (2.33) [11].

Τα πιο ισχυρά παλιρροιακά ρεύματα εμφανίζονται σε περιοχές στενές όπως το ρεύμα στο στενό του Ευρίπου και στο στενό κοντά στη γέφυρα της Χαλκίδας. Στη Χαλκίδα η κατεύθυνση των παλιρροιακών ρευμάτων εναλλάσσεται κάθε έξι ώρες και το μέσο εύρος ανέρχεται έως και τα 42 cm. Οι Ελληνικές θάλασσες περιγράφονται από 4 παλιρροιακά συστήματα, Σχήμα (2.34) [11].

ΠΕΡΙΟΧΗ	ΜΕΣΟ ΕΥΡΟΣ	ΜΕΓΙΣΤΟ ΕΥΡΟΣ
Θεσσαλονίκη	0,20	0,94
Αλεξανδρούπολη	0,19	0,65
Χαλκίδα	0,42	1,20
Χίος	0,10	0,37
Πειραιάς	0,05	0,38
Σύρος	0,05	0,32
Ρόδος	0,10	0,45
Σούδα	0,06	0,25
Λευκάδα	0,11	0,30

Σχήμα 2.33 Ενδεικτικές μετρήσεις μέσου εύρους και μέγιστου εύρους για ορισμένους λιμένες στους οποίους πραγματοποιούνται σχετικές μετρήσεις παλίρροιας [11].

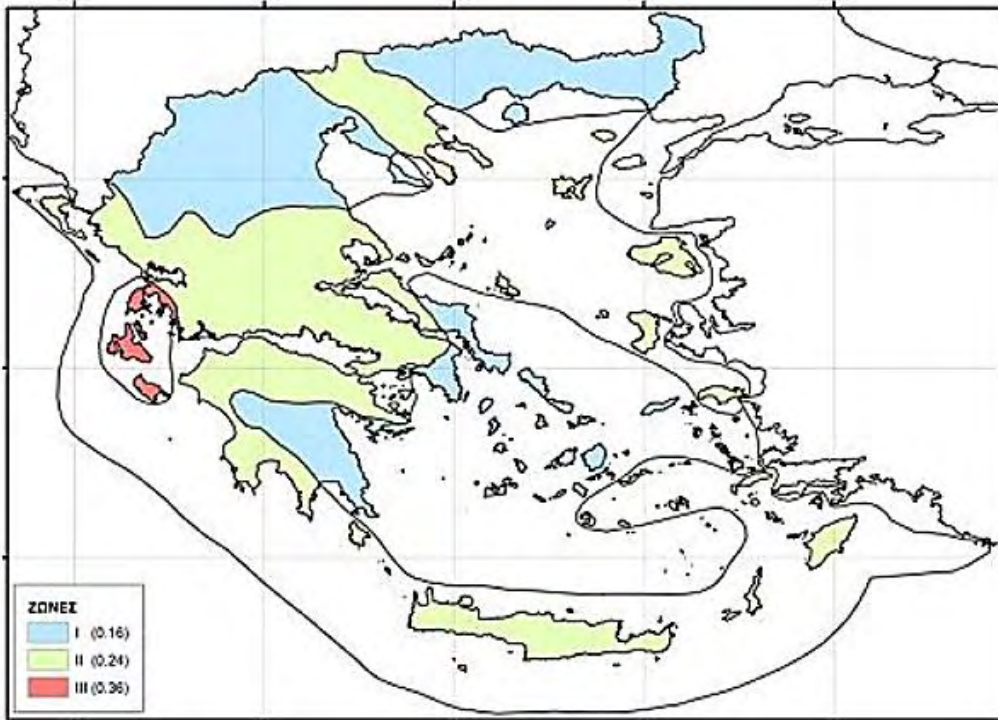


Σχήμα 2.34 Τα τέσσερα μεγάλα παλίρροϊκά συστήματα των Ελληνικών θαλασσών [38].

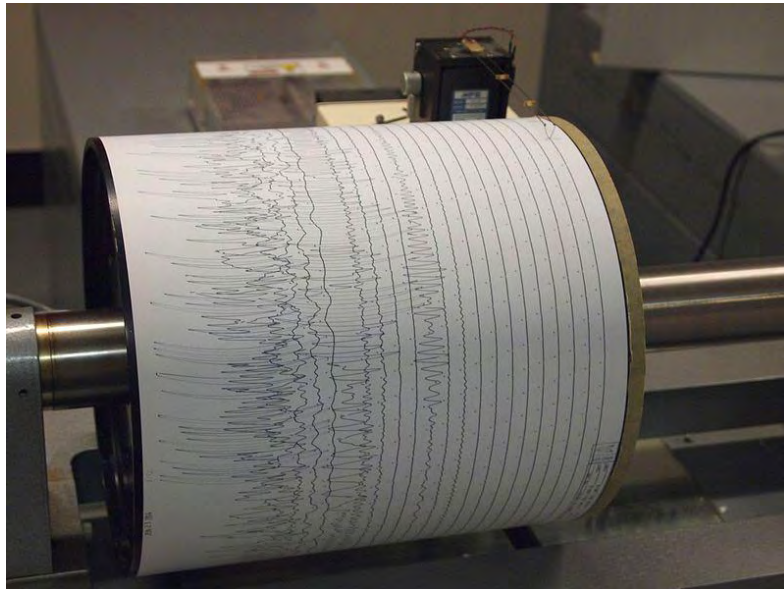
2.6 Σεισμικότητα περιοχής - Ηφαίστεια - Τσουνάμι

Το επιφανειακό τμήμα της γης που ονομάζεται φλοιός μαζί με ένα τμήμα του μανδύα της, αποτελείται από έναν αριθμό μικρών και μεγάλων πλακών, τις γνωστές ως λιθοσφαιρικές πλάκες. Οι πλάκες αυτές κινούνται με αποτέλεσμα τη συσσώρευση τεράστιων ποσοτήτων δυναμικής ενέργειας. Ταυτόχρονα με την σχετική κίνηση αυτών των πλακών αναπτύσσονται και οι αντίστοιχες τάσεις στα πετρώματά τους. Στην περίπτωση όπου συμβαίνει αστοχία αυτών των πετρωμάτων πραγματοποιείται διάρρηξη, εκλύεται η συσσωρευμένη δυναμική ενέργεια και μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια ταλάντωσης των υλικών σημείων, η οποία γίνεται αισθητή έως και την επιφάνεια της γης. Αυτή η ταλάντωση ονομάζεται τεκτονικός σεισμός. Το σημείο στην επιφάνεια της γης στο οποίο εκδηλώνεται ο σεισμός ονομάζεται επίκεντρο του σεισμού. Οι σεισμικές δονήσεις μεταφέρονται στις γειτονικές περιοχές του επικέντρου με τα σεισμικά κύματα. Το μέγεθος του εκάστοτε σεισμού προσδιορίζεται από την κλίμακα τοπικού μεγέθους Richter, μία από τις πιο γνωστές κλίμακες, η οποία χρησιμοποιείται και στην Ελλάδα. Οι περιοχές χαρακτηρίζονται σύμφωνα τη σεισμική τους επικινδυνότητα. Στα ευρύτερα πλαίσια της συνολικής έκτασης της γης η σεισμική δραστηριότητα συγκεντρώνεται στις περιοχές που βρίσκονται πάνω και κοντά στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών. Στα πλαίσια του Ελλαδικού χώρου η σεισμική επικινδυνότητα μια περιοχής καθορίζεται από τον αντίστοιχο χάρτη ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας, Σχήμα (2.35). Ο ευρύτερος χώρος του Αιγαίου και της ελληνικής χώρας ανήκει στις πιο σεισμογενείς περιοχές του πλανήτη με έντονη και ταχύτατη παραμόρφωση καθώς η Αφρικανική πλάκα συγκλίνει με τη Μικρασιατική πλάκα κάτω από τη μικροπλάκα του Αιγαίου έως και 50 cm το χρόνο. Τα στατιστικά στοιχεία κατατάσσουν την Ελλάδα στη πρώτη θέση από άποψη σεισμικότητας στη Μεσόγειο και την Ευρώπη και στην έκτη θέση παγκοσμίως [22], [26].

Οι σεισμικές κινήσεις καταγράφονται με τα ειδικά όργανα που ονομάζονται σειсмоγράφοι, Σχήμα (2.37). Οι σειсмоγράφοι διαχωρίζονται σε μηχανικούς, ηλεκτρονικούς, ηλεκτρομαγνητικούς και ψηφιακούς σειсмоγράφους. Η αναγραφή της σεισμικής κίνησης γίνεται όσο το δυνατό πιο πιστή, έχει τη μορφή της παρακάτω γραφικής παράστασης για ένα τυχαίο σεισμό και ονομάζεται σεισμόγραμμα, [13], Σχήμα (2.36).



Σχήμα 2.35 Ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας στον Ελληνικό χώρο [22].

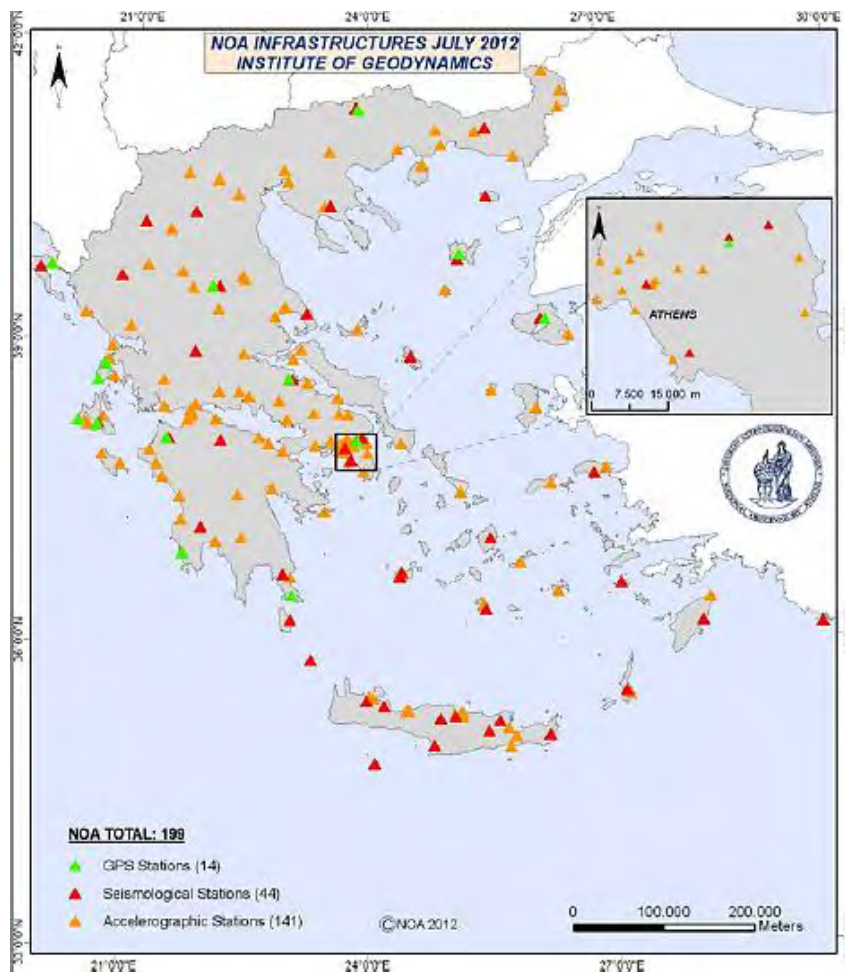


Σχήμα 2.36 Σεισμόγραμμα τυχαίου σεισμού [26].



Σχήμα 2.37 Εγκατάσταση σειсмоγράφων [27].

Το μόνιμο σεισμολογικό δίκτυο της Ελλάδας αποτελείται από 45 σταθμούς ψηφιακής τεχνολογίας, οι οποίοι καταγράφουν σε πραγματικό χρόνο τη συνεχή σεισμική δραστηριότητα στη χώρα αλλά και τα σεισμικά κύματα από ισχυρούς σεισμούς σε οποιοδήποτε σημείο της Γης. Το δίκτυο έχει μετατραπεί στη σημερινή εξελιγμένη μορφή του από τη δεκαετία του 1990 και έπειτα. Οι παράμετροι, λοιπόν, που προσδιορίζονται αφορούν τις γεωγραφικές συντεταγμένες που έχει το επίκεντρο του εκάστοτε σεισμού, το βάθος του, το χρόνο γένεσής του και το μέγεθός του. Οι σεισμολογικοί σταθμοί του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου της χώρας συνδέονται με διεθνή δίκτυα ενώ ανταλλάσσουν συνεχώς και σεισμολογικά δεδομένα σε πραγματικό χρόνο με γειτονικές χώρες, Σχήμα (2.38) [21].

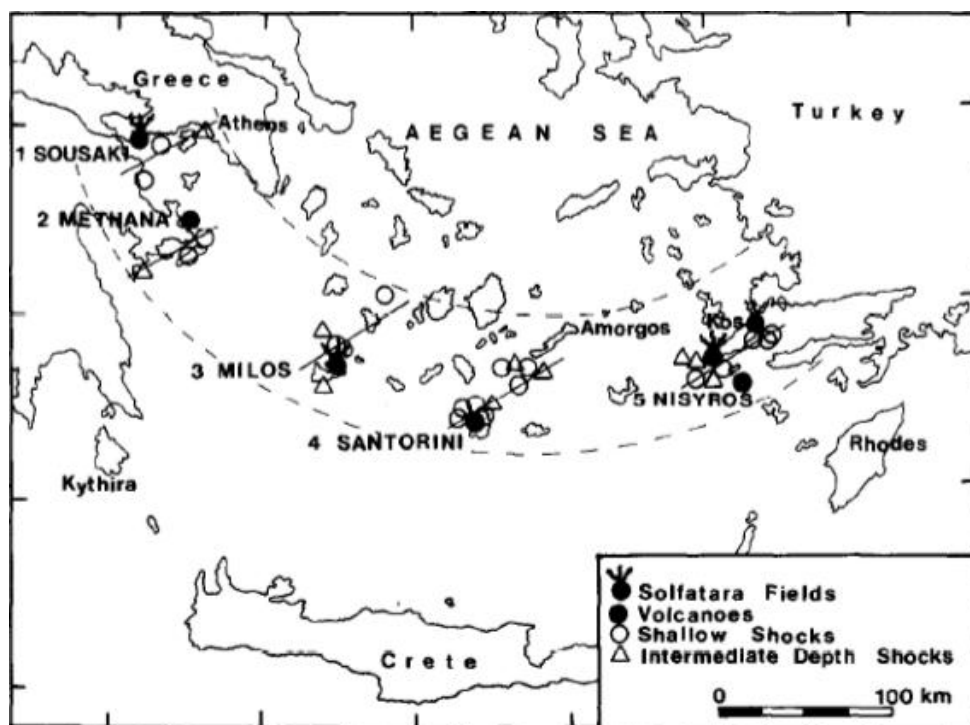


Σχήμα 2.38 Το μόνιμο σεισμολογικό δίκτυο των 45 ψηφιακών σταθμών (κόκκινα τρίγωνα) του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου που καλύπτει τον Ελληνικό χώρο. Επίσης φαίνονται οι εγκατεστημένοι σταθμοί Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (πράσινα τρίγωνα) και οι επιταχυνσιογράφοι (πορτοκαλί τρίγωνα) [21].

Ο μεγαλύτερος σεισμός στην Ελλάδα τα τελευταία εκατό χρόνια είναι αυτός της 12ης Αυγούστου το 1953 με το επίκεντρο να βρίσκεται στα ανατολικά της Ιθάκης, εστιακό βάθος 6 Km και έντασης 7,2 της κλίμακας Ρίχτερ. Οι δραματικές επιπτώσεις αυτού του σεισμού στα Ιόνια νησιά αναφέρουν κοντά στις 30.000 ολικές καταστροφές κτιρίων και εκατοντάδες απώλειες ανθρωπίνων ζωών. Οι αμέσως επόμενοι σημαντικοί σε ένταση και καταστροφικότητα σεισμοί είναι, ο σεισμός στο Βόλο το 1955, στη Θεσσαλονίκη το 1978, στην Αθήνα τα έτη 1981 και 1999 και της Καλαμάτας το 1986. Ο σεισμός του Βόλου τον Απρίλιο του 1955 ήταν μεγέθους 6,2 Ρίχτερ, το επίκεντρό του ήταν μέσα στον Παγασητικό κόλπο και μαζί με το

μετασεισμό των 5,8 Ρίχτερ δύο ημέρες μετά, συγκλόνισαν τον τόπο προκαλώντας ολοκληρωτικές καταστροφές [25].

Γενεσιουργός δύναμη ενός σεισμού μπορεί να είναι επίσης η έκρηξη ενός ηφαιστείου ή και ανάποδα. Η ηφαιστειακό τόξο της Ελλάδας, όπως έχει προαναφερθεί εκτείνεται κατά βάση στο νότιο Αιγαίο, έχει μήκος 500 Km και πλάτος από 20 Km έως 40 Km. Το πιο γνωστό ελληνικό ηφαίστειο είναι αυτό της Σαντορίνης που άρχισε να σχηματίζεται πριν από 2,5 εκατομμύρια χρόνια με τελευταίο εξελικτικό στάδιο αυτό του κύκλου των Μινωικών εκρήξεων στο τέλος της εποχής του Χαλκού. Η σημερινή μορφή του νησιού είναι αποτέλεσμα αυτής της δραστηριότητας. Η τεκτονική ρηξιγενής δομή στην περιοχή της Σαντορίνης σχετίζεται με τη διασπορά των σεισμικών επικέντρων στην ευρύτερη περιοχή. Τα επίκεντρα των σεισμών πάνω στο ηφαιστειακό τόξο βρίσκονται πάνω σε πέντε παράλληλες γραμμές οι οποίες περνούν από τα αντίστοιχα ηφαιστειακά κέντρα. Οι παράλληλες αυτές γραμμές είναι οι αντίστοιχες διευθύνσεις των πέντε κανονικών ρηγμάτων του τόξου στα οποία γίνονται οι σεισμοί και πραγματοποιείται η έξοδος του ηφαιστειακού υλικού, όπως τέφρα, ελαφρόπετρα και λάβα, Σχήματα (2.39, 2.40) [18].



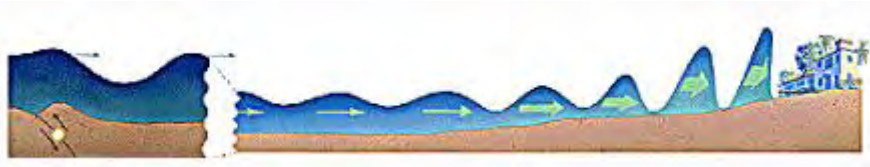
Σχήμα 2.39 Χάρτης του Νοτίου Αιγαίου με τις πέντε σεισμο-ηφαιστειακές δομές, οι οποίες πιθανόν αντιστοιχούν σε κανονικές ρηξιγενείς ζώνες [18].



Σχήμα 2.40 Σχηματική απεικόνιση (τομή) του ελληνικού τόξου, [19]

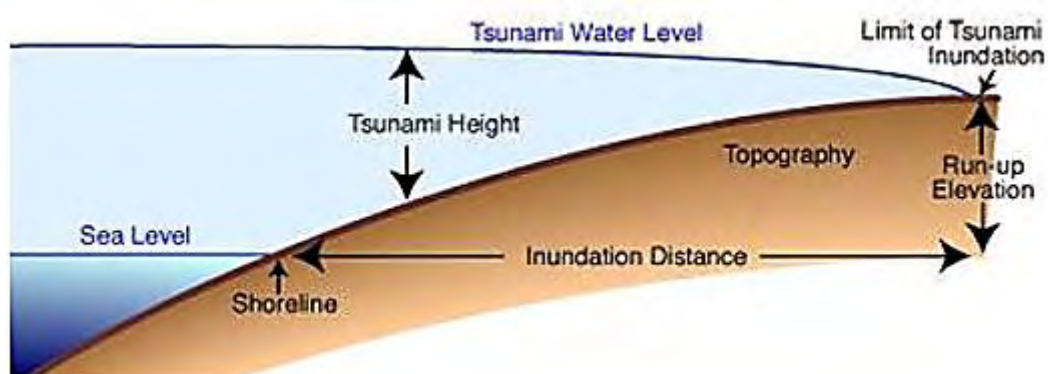
Οι σεισμοί, οι εκρήξεις ηφαιστειών και οι υποθαλάσσιες κατολισθήσεις προκαλούν κύματα βαρύτητας κατά την απότομη μετατόπιση μεγάλων ποσοτήτων νερού σε έναν υδάτινο σχηματισμό, έναν ωκεανό ή μια θάλασσα [19]. Ο διεθνής όρος από το 1963 και έπειτα για την ονομασία αυτών των κυμάτων είναι τσουνάμι (tsunami) και προέρχεται από την Ιαπωνία, μία χώρα που υποφέρει αρκετά από αυτό το φαινόμενο [20]. Αντίστοιχα, παλαιοτσουνάμι ονομάζονται τα τσουνάμι που έχουν δημιουργηθεί πριν από τις ιστορικές καταγραφές ή που δεν υπάρχουν γι' αυτά γραπτές παρατηρήσεις [19]. Ένα τσουνάμι σύμφωνα με τα γενικά χαρακτηριστικά του δεν θεωρείται σοβαρός κίνδυνος για τις πλέουσες κατασκευές στα βαθιά νερά, αλλά για τις καταστροφικές συνέπειες που μπορεί να έχει όταν αυτό φτάσει πλέον σε μία παράκτια περιοχή. Αυτό συμβαίνει διότι το μήκος κύματος ενός τσουνάμι κυμαίνεται από 50 Km έως και 400 Km, ενώ το ύψος του σε μεγάλα βάθη κοντά στην εστία δημιουργίας του μπορεί να είναι στην αρχή μισό μέτρο, δηλαδή σαν ένα απλό κύμα, αλλά στη συνέχεια γιγαντώνεται με πολύ μεγάλη ταχύτητα και καθώς φτάνει στην ακτή να αγγίζει μέχρι και τα 40 m ύψους κύματος, Σχήμα (2.41). Η περίοδος ενός τέτοιου κύματος είναι ιδιαιτέρως μεγάλη και μπορεί να φτάνει και τη μία ώρα. Στην περίπτωση που ένα τσουνάμι χτυπήσει την ακτή τότε δημιουργούνται μία σειρά από

άλλα κύματα, με το κάθε ακόλουθο κύμα να είναι υψηλότερο από το προηγούμενο [20].



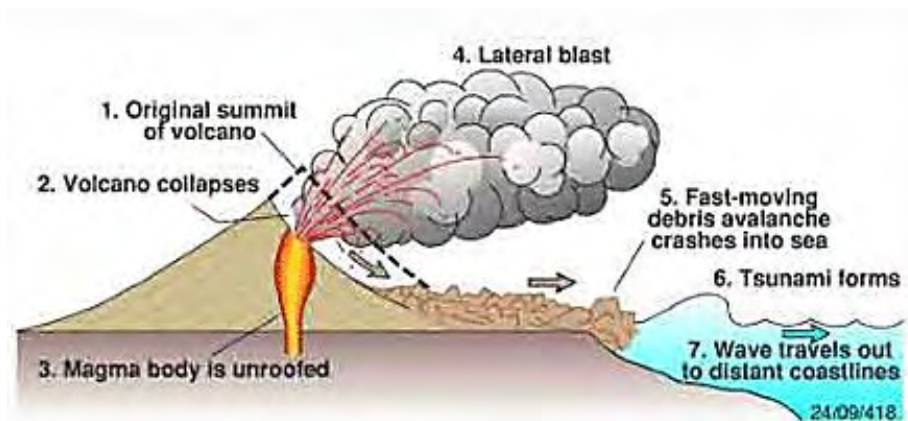
Σχήμα 2.41 Σχηματική απεικόνιση ενός κύματος τσουνάμι που καθώς ταξιδεύει αυξάνει το ύψος τους έως ότου φτάσει στη στεριά [23].

Η περίοδος αυτών των κυμάτων κυμαίνεται από 10 έως 30 λεπτά της ώρας γεγονός που δίνει μια πιθανότητα οι άνθρωποι να προλάβουν να καταφύγουν σε κάποιο ασφαλές ύψωμα στο μεσοδιάστημα. Η ταχύτητα αυτών των γιγαντιαίων κυμάτων είναι ανάλογη του βάθους της θάλασσας και αυτός είναι ο λόγος που από τη δυνατή ταχύτητα των 1000 Km την ώρα στον ανοιχτό ωκεανό, η ταχύτητα κοντά στην ακτή μειώνεται δραματικά καθώς ελαττώνεται το βάθος. Η μείωση της ταχύτητας οδηγεί, επομένως, στην μείωση του μήκους κύματος και στην ολοένα αύξηση του ύψους κύματος καθώς η ορμή του διατηρείται σταθερή όπως και η περίοδος του, σχήμα (2.42) [20].



Σχήμα 2.42 Αναρρίχηση (run-up) και πλημμύρα (inundation) που προκαλείται από το τσουνάμι [24].

Τα πρώτο αίτιο δημιουργίας των κυμάτων τσουνάμι είναι οι υποθαλάσσιοι σεισμοί μεγέθους μεγαλύτερου των 6.5 βαθμών Ρίχτερ και εστιακού βάθους μικρότερου των 50 Km. Ακόμα και οι σεισμοί με το εστιακό τους κέντρο να βρίσκεται κοντά στις ακτές μπορούν να δημιουργήσουν τσουνάμι ενώ κύριο ρόλο παίζει αν η μετατόπιση του πυθμένα που προκαλεί ο σεισμός είναι κατακόρυφη ή όχι, καθώς τα κύματα αυτά σχηματίζονται γενικά όταν ο σεισμός προκαλεί κατακόρυφη μετατόπιση του πυθμένα. Το 5% των τσουνάμι σχηματίζονται από ηφαιστεια, είτε αυτά είναι βίαιες υποθαλάσσιες εκρήξεις, εκρήξεις στην επιφάνεια της γης ή απώλεια πυροκλαστικού υλικού μέσα στον ωκεανό, Σχήμα (2.43). Οι υποθαλάσσιες κατολισθήσεις ή η κατακρήμνιση τμημάτων της ακτής στη θάλασσα είναι επίσης αίτιο δημιουργίας ενός τσουνάμι. Τέτοιες κατολισθήσεις γίνονται συνήθως σε αποθέσεις προδέλτα των ποταμών όπου έχουμε τη συσσώρευση μεγάλου όγκου ασταθών στρωμάτων από χαλαρά υλικά. Γενικά όλα τα συσσωρευμένα ιζήματα εκτίθενται σε τεκτονικές κινήσεις, ρεύματα, θύελλες και κύματα ανέμων που οδηγούν στην αποσταθεροποίησή τους. Κατολισθήσεις είναι δυνατό να σημειωθούν επίσης από βροχοπτώσεις, χιονοπτώσεις και πλημμύρες ποταμών. Τέλος, η πιο σπάνια αιτία δημιουργίας ενός τσουνάμι είναι η πρόσκρουση ενός μετεωρίτη στο νερό της θάλασσας [19].



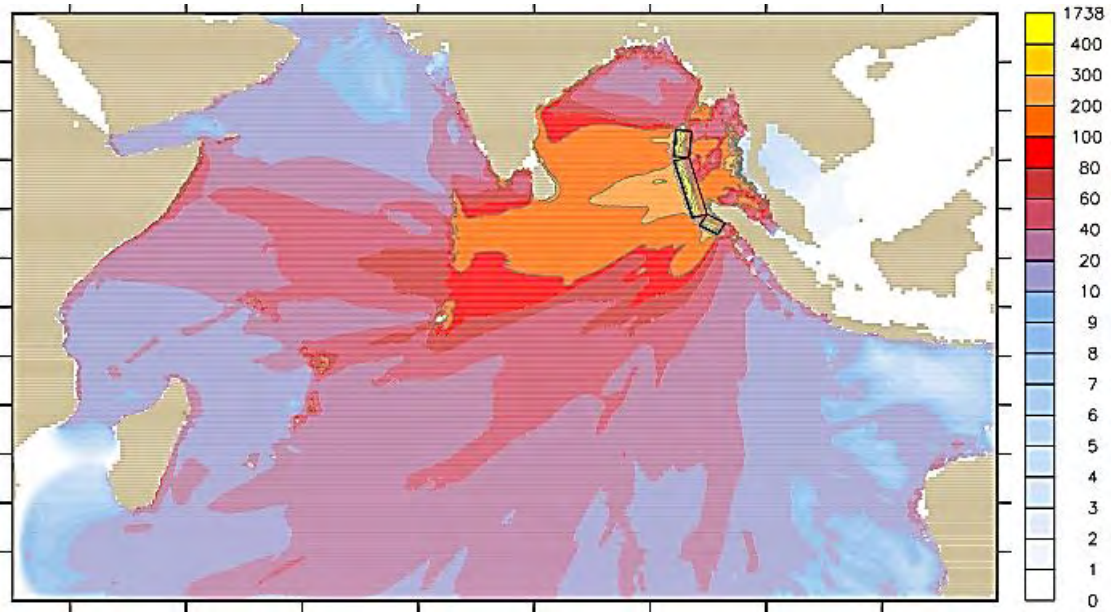
Σχήμα 2.43 Σχηματική απεικόνιση πρόκλησης κύματος τσουνάμι από την έκρηξη ηφαιστείου [23].

Σε όλο τον Ευρω-Μεσογειακό χώρο τα τσουνάμι έχουν τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης στην Ελλάδα λόγω της υψηλής σεισμικότητας. Γενικά δεν εμφανίζονται συχνά στο χώρο της Μεσογείου αλλά όταν συμβαίνει αυτό αποβαίνουν ιδιαίτερος καταστροφικά. Η έρευνα της χώρας μας στον τομέα αυτό διεξάγεται από το

Γεωδυναμικό Ινστιτούτο με την ανάπτυξη και του εθνικού κέντρου προειδοποίησης για τσουνάμι να έρχεται από το 2010 και έπειτα. Η έρευνα αυτή περιλαμβάνει την οργάνωση καταλόγων και βάσεων δεδομένων, τους γεωφυσικούς μηχανισμούς γένεσης των κυμάτων τσουνάμι, την αριθμητική προσομοίωση της γένεσης, διάδοσης και αναρρίχησης των κυμάτων, τον εντοπισμό παλαιοτσουνάμι με γεωλογικές μεθόδους, την ανάπτυξη κλιμάκων έντασης, την εκτίμηση της επικινδυνότητας και την ανάπτυξη τοπικών συστημάτων προειδοποίησης [21].

Σύμφωνα με τον Ηρόδοτο το πρώτο καταγεγραμμένο τσουνάμι στην ανατολική Μεσόγειο συνέβη το 479 π.Χ. στην Ποτίδαια της Χαλκιδικής τα κύματα του οποίου κατέστρεψαν τον στόλο του βασιλιά Ξέρξη. Προϊστορικά είναι γνωστό το τσουνάμι που προκλήθηκε από την έκρηξη του ηφαιστείου της Θήρας ή Σαντορίνης γύρω στα 1490 π.Χ. με κύματα ύψους 120 m και οδήγησε στην καταστροφή του Μινωικού πολιτισμού. Το τελευταίο μεγάλο τσουνάμι που έπληξε το Αιγαίο δημιουργήθηκε από το σεισμό της Σαντορίνης το 1956. Το κύμα ξεκίνησε από την περιοχή γύρω από το ηφαίστειο, όπου πιθανώς έγινε και μια υποθαλάσσια κατολίσθηση και έφτασε στην ανατολική πλευρά της Αμοργού με ύψος 22 m με 25 m [20].

Σε παγκόσμιο επίπεδο κατά τη σύγχρονη ιστορία μια από τις χειρότερες φυσικές καταστροφές σημειώθηκε το Δεκέμβριο του 2004 όταν ο σεισμός των 9,3 Ρίχτερ βόρεια του νησιού Σουμάτρα της Ινδονησίας στον ανατολικό Ινδικό Ωκεανό δημιούργησε τσουνάμι ύψους μέχρι 30 m που έπληξε 15 χώρες και έφτασε στα παράλια της ανατολικής Αφρικής, Σχήμα (2.44). Ο απολογισμός κυμαίνεται από 230 έως 280 χιλιάδες θύματα [26].



Σχήμα 2.44 Περιοχές επίδρασης ανά τον κόσμο και μέγιστα ύψη κύματος σε εκατοστά για το τσουνάμι της 26^{ης} Δεκεμβρίου του 2004 στην Ινδονησία [31].

Κεφάλαιο 3 Υπεράκτιες κατασκευές εκμετάλλευσης ενεργειακών πόρων

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα τρία βασικά είδη υπεράκτιων κατασκευών προς εκμετάλλευση των ενεργειακών πόρων του πλανήτη μας και ειδικότερα της χώρας μας. Αναφέρονται τα υπεράκτια αιολικά πάρκα, οι εξέδρες άντλησης πετρελαίου και οι υποθαλάσσιοι αγωγοί διοχέτευσης φυσικού αερίου και περιγράφονται τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά τους.

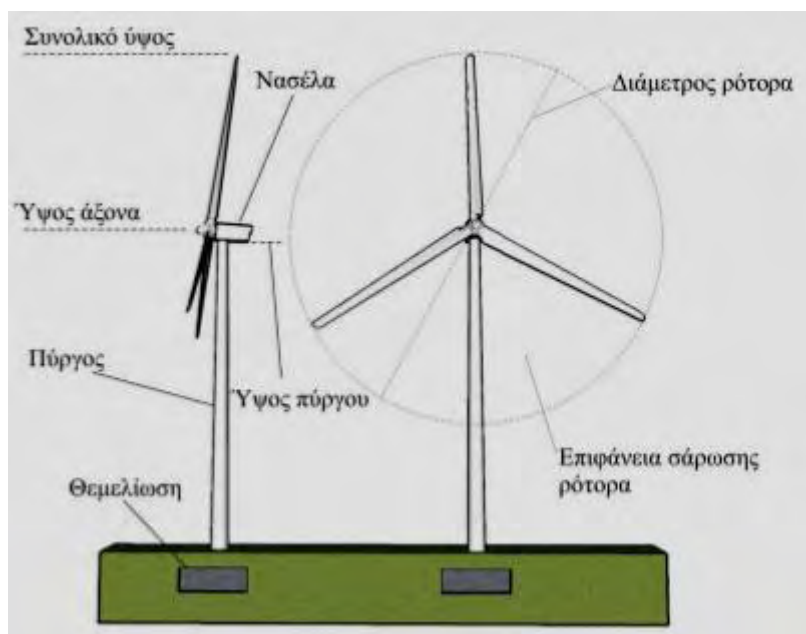
3.1 Υπεράκτια αιολικά πάρκα

Τα υπεράκτια αιολικά πάρκα (offshore wind farms) αποτελούν μια νέα σχετικά παγκόσμια προσπάθεια αύξησης της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από την εκμετάλλευση του ανέμου. Η αιολική ενέργεια αποτελεί ανανεώσιμη μορφή ενέργειας, δηλαδή η παραγωγή της δεν έχει ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση επιβλαβών ουσιών στο περιβάλλον όπως είναι το διοξείδιο του άνθρακα, τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα κάτι που συμβαίνει με άλλες μορφές ενέργειας. Με τη νέα πρακτική των υπεράκτιων αιολικών πάρκων εγκαθίστανται ανεμογεννήτριες σε θαλάσσιες περιοχές πέρα από την ξηρά, αυξάνοντας έτσι κατά πολύ τις κατάλληλες περιοχές εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας. Επομένως, μικρές σε έκταση χώρες με περιορισμένες κατάλληλες περιοχές για εγκατάσταση αιολικού πάρκου στην ξηρά, αλλά που διαθέτουν μεγάλες επιφάνειες θαλασσών, όπως η Ελλάδα, έχουν τη δυνατότητα να δημιουργήσουν τα θαλάσσια αιολικά πάρκα. Αξίζει να σημειωθεί πως η ταχύτητα του ανέμου στην επιφάνεια της θάλασσας είναι συνήθως μεγαλύτερη από αυτή στην ξηρά εμφανίζοντας έτσι μεγαλύτερη αποδοτικότητα στα πάρκα του υπεράκτιου περιβάλλοντος [34].

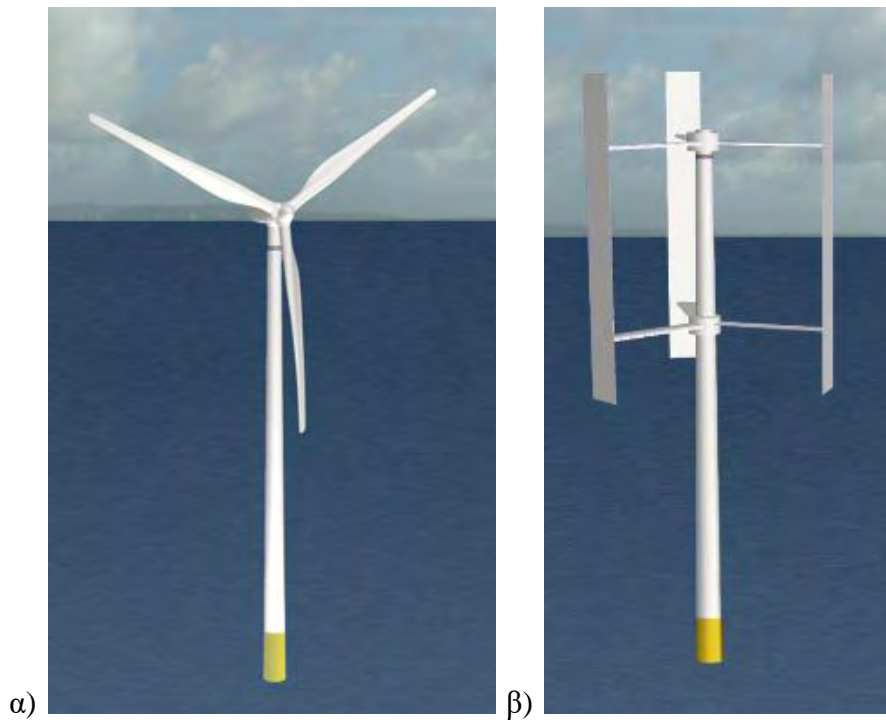
Ειδικότερα ένα αιολικό πάρκο είναι μία συστοιχία πολλών ανεμογεννητριών, οι οποίες εγκαθίστανται και λειτουργούν σε μία περιοχή με υψηλό αιολικό δυναμικό και διοχετεύουν το σύνολο της παραγωγής του στο ηλεκτρικό σύστημα. Επιπλέον, υπάρχει και η δυνατότητα οι ανεμογεννήτριες να λειτουργούν αυτόνομα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε περιοχές που δεν ηλεκτροδοτούνται ή για την παραγωγή μηχανικής ενέργειας για χρήση σε αντλιοστάσια. Η κατασκευή υπεράκτιων ανεμογεννητριών έναντι αυτών στις χερσαίες περιοχές, απαιτεί

σημαντική εφαρμοσμένη μηχανική όσον αφορά την υποδομή, την τοποθέτηση, την ηλεκτρική σύνδεση και την χρήση υλικών, τα οποία πρέπει να αντέχουν στο διαβρωτικό θαλάσσιο περιβάλλον. Με τη πάροδο των ετών το μέγεθος των ανεμογεννητριών αυξάνεται όπως αυξάνεται και η απόσταση των εγκαταστάσεων από την ακτή σε περιοχές με μεγαλύτερες και πιο σταθερές ταχύτητες ανέμου. Επίσης, η τεχνολογία προοδεύει, περισσότεροι κατασκευαστές παράγουν πλέον ανεμογεννήτριες για υπεράκτια χρήση με αποτέλεσμα να γίνονται ολοένα και πιο αποδοτικές, γεγονός που συμβάλει στην αύξηση του αριθμού των αιολικών πάρκων και της αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας [35].

Οι ανεμογεννήτριες λειτουργούν μετατρέποντας την αιολική ενέργεια σε μηχανική και στη συνέχεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Τα βασικά μέρη μιας ανεμογεννήτριας είναι η θεμελίωση, ο πύργος, ο άξονας και ο ρότορας. Σχήμα (3.1). Σύμφωνα με τον άξονά τους οι ανεμογεννήτριες διαχωρίζονται σε οριζόντιου και κατακόρυφου άξονα, Σχήμα (3.2). Ο διαχωρισμός τους με βάση τον αριθμό των πτερυγίων τις κατατάσσει σε μονόπτερες, δίπτερες, τρίπτερες και με πολλά πτερύγια, Σχήμα (3.3). Η πρόοδος της κατασκευής μιας ανεμογεννήτριας γίνεται αντιληπτή από το παρακάτω σχήμα με τη διάμετρο του ρότορα να φτάνει τα 126 μέτρα έως το 2010, Σχήμα (3.4) [36].



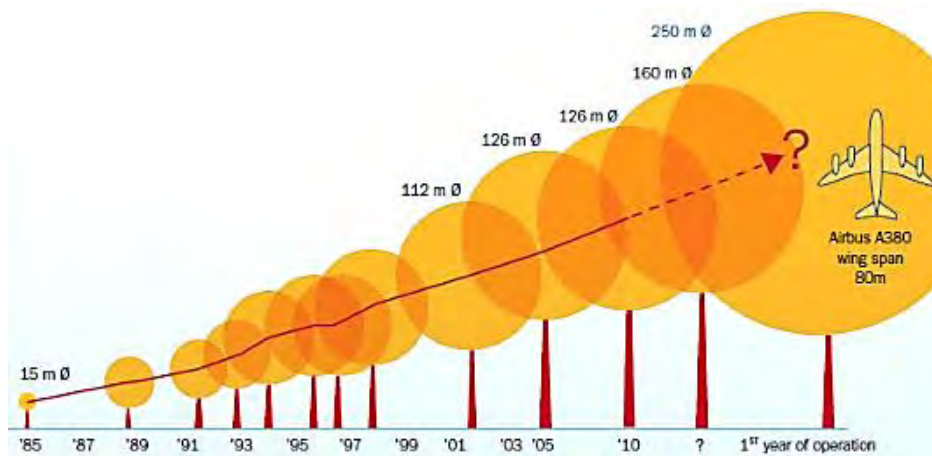
Σχήμα 3.1 Βασικά χαρακτηριστικά μιας ανεμογεννήτριας [36].



Σχήμα 3.2 α) Ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα, β) ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα [37].

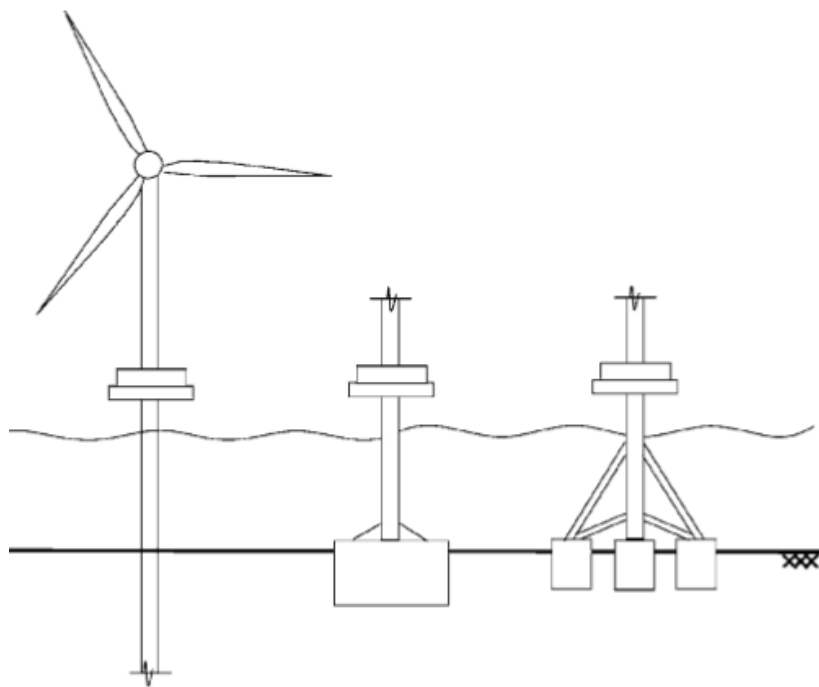


Σχήμα 3.3 Είδη ανεμογεννητριών, μονόπτερη, δίπτερη, τρίπτερη και με πολλά πτερύγια [4].



Σχήμα 3.4 Εξέλιξη μεγέθους ανεμογεννήτριας κατά τη διάρκεια των ετών [4].

Το κατακόρυφο βάρος της εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας σε υπεράκτιο περιβάλλον είναι πολύ χαμηλό ενώ τα οριζόντια φορτία παραμένουν εξαιρετικά σημαντικά. Επομένως, το ζητούμενο είναι η σχεδίαση μιας οικονομικής θεμελίωσης που θα μπορεί να αντιστέκεται στις δυνάμεις του αέρα και των κυμάτων με σχετικά μικρό αυτοφερόμενο βάρος. Συνήθως οι ανεμογεννήτριες θεμελιώνονται σε μεγάλης διαμέτρου μονού πυλώνα, εφόσον όμως το βάθος θεμελίωσης αυξάνεται μπορεί η χρήση επιπλέον θεμελίωσης είτε ως μία ενιαία βάση θεμελίωσης από σκυρόδεμα είτε ως ένας τρίποδος βάσης θεμελίωσης από χάλυβα, Σχήμα (3.5) [2].



Σχήμα 3.5 Τρόποι θεμελίωσης μιας υπεράκτιας ανεμογεννήτριας αιολικού πάρκου. (μονός πυλώνας, πυλώνας εδρασμένος σε ενιαία θεμελίωση, πυλώνας εδρασμένος σε τρίποδα θεμελίων) [2].

Στην Ευρώπη τα υπεράκτια πάρκα μεγάλης κλίμακας ξεκίνησαν, πιο αργά απ' ό,τι αναμενόταν. Μεγάλα πάρκα έχουν εγκατασταθεί στο Ηνωμένο Βασίλειο, τη Δανία, το Βέλγιο, την Κίνα, τη Γερμανία, την Ολλανδία, τη Σουηδία, τη Νορβηγία, την Ιαπωνία, την Πορτογαλία και την Κορέα, ενώ εγκαταστάσεις σχεδιάζονται στις ΗΠΑ και στη Γαλλία. Πρώτη ανέπτυξε τα υπεράκτια αιολικά πάρκα η Δανία, η οποία κατείχε περίπου τη μισή παγκόσμια αγορά το 2005, αλλά περιορίστηκε στο 20% το

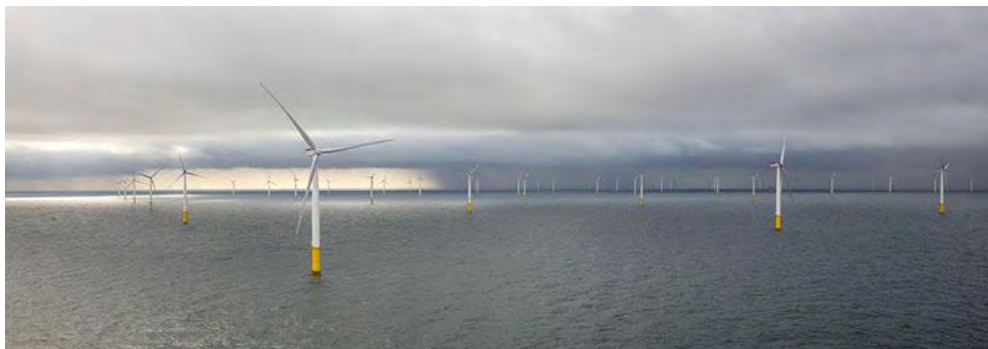
2012. Γενικά η ποιότητα του υπεράκτιου αιολικού πόρου είναι πιο υψηλή από αυτή του χερσαίου οπότε μπορεί να παραχθεί μέχρι και 50% περισσότερη ενέργεια από την εγκατεστημένη ισχύ. Οι εμφανέστεροι παράγοντες που καθορίζουν το συνολικό κόστος κατά τη διάρκεια ζωής ενός έργου είναι το βάθος του νερού, η απόσταση από την ακτή, η θεμελίωση, η σύνδεση με το δίκτυο και η υποδομή που απαιτείται για τη λειτουργία και τη συντήρησή του. Εκτιμάται ότι μέχρι το 2050, το κόστος των υπεράκτιων πάρκων ίσως μειωθεί στο μισό. Στον Ελληνικό θαλάσσιο χώρο το αιολικό δυναμικό είναι υψηλό και ειδικότερα σε κάποιες περιοχές των ελληνικών θαλασσών, το τοπικό δυναμικό είναι από τα υψηλότερα της Ευρώπης [16].

Στην Ελλάδα δεν υπάρχουν ακόμα εγκατεστημένα υπεράκτια αιολικά πάρκα αν και έχει εκδηλωθεί σχετικό ενδιαφέρον. Στο αυξημένο κόστος εγκατάστασης ενός τέτοιου πάρκου προστίθεται η δυσκολία διασύνδεσης με το ευρύτερο δίκτυο ενέργειας. Με εξαίρεση κάποια νησιά που είναι διασυνδεδεμένα με το κεντρικό δίκτυο όπως η Άνδρος, η Σκιάθος και τα περισσότερα από τα νησιά του Ιονίου, τα υπόλοιπα είναι μη διασυνδεδεμένα με αποτέλεσμα να υπάρχουν περιορισμοί στην αιολική ισχύ που μπορεί να εγκατασταθεί σε αυτά. Το 2010 επιλέχθηκαν προκαταρκτικά από το Υπουργείο 12 θαλάσσιες περιοχές ανά τη χώρα για μελλοντική εγκατάσταση θαλάσσιων αιολικών πάρκων. Αυτές οι περιοχές είναι ο Άγιος Ευστράτιος, η Αλεξανδρούπολη, η Κάρπαθος, η Κέρκυρα, η Θάσος, η Κύμη, η Λήμνος, η Λευκάδα, οι Πεταλιοί, η Σαμοθράκη και το Φανάρι Ροδόπης, Σχήμα (3.6). Τα κριτήρια επιλογής που τέθηκαν ήταν ο αποκλεισμός περιοχών όπου η ανάπτυξη θαλάσσιων πάρκων είναι ασύμβατη με άλλες χρήσεις εντός ζώνης 6 ναυτικών μιλίων, ο αποκλεισμός περιοχών με βάθη μεγαλύτερα από 50 μέτρα, η αποφυγή θέσεων με σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και η ελαχιστοποίηση της οπτικής όχλησης από τις εγκαταστάσεις. Επίσης, υπάρχουν 24 αιτήσεις υπό αξιολόγηση που ακολουθούν τη διαδικασία του Νόμου 3468/2006 με πάνω από το 50% της δυναμικότητας των αιτήσεων να συγκεντρώνεται στην περιοχή της Λήμνου, της Κέρκυρας και των παραλιακών περιοχών της Θράκης, ενώ εκδηλώνεται επίσης ενδιαφέρον για περιοχές όπως η περιοχή των Διαπόντιων νήσων της Κέρκυρας, τα στενά Εύβοιας και Άνδρου, η Κάσος και μερικές ακόμα διάσπαρτες περιοχές [39].



Σχήμα 3.6 Περιοχές που επιλέχθηκαν στην Ελλάδα για μελλοντική εγκατάσταση θαλάσσιων αιολικών πάρκων [40].

Το μεγαλύτερο υπεράκτιο αιολικό πάρκο στον κόσμο Gemini εγκαινιάστηκε στις αρχές του Μάη του 2017 στην Ολλανδία, Σχήματα (3.7, 3.8). Το πάρκο διαθέτει 150 ανεμογεννήτριες και βρίσκεται περίπου 135 χιλιόμετρα ανοικτά των βόρειων ακτών της Ολλανδίας. Το έργο αποτελεί προϊόν συνεργασίας εταιρειών από την Ολλανδία, τον Καναδά και τη Γερμανία και έχει δυνατότητα παραγωγής περίπου 600 μεγαβάτ (MW) υπό συνθήκες πλήρων ανέμων, αρκετά για να καλύψουν τις ανάγκες 785.000 ολλανδικών νοικοκυριών [41].



Σχήμα 3.7 Άποψη του θαλάσσιου αιολικού πάρκου Gemini της Ολλανδίας [42].



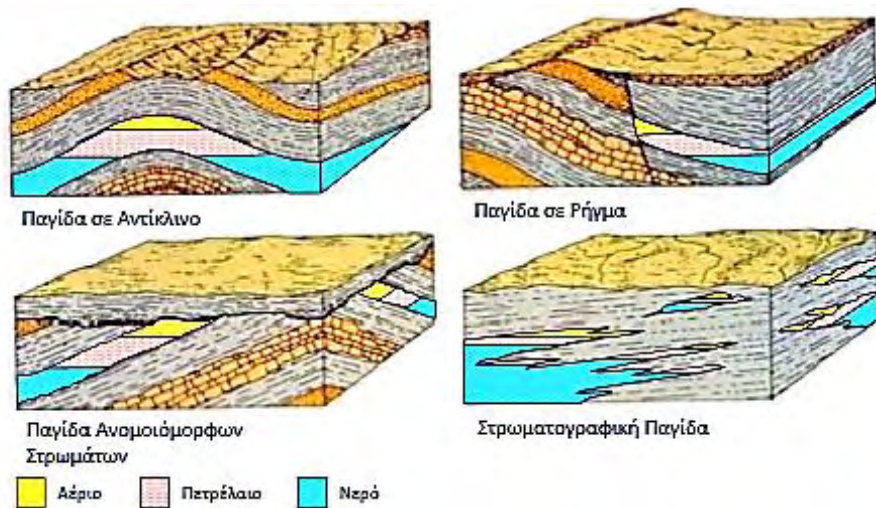
Σχήμα 3.8 Άποψη του θαλάσσιου αιολικού πάρκου Gemini της Ολλανδίας [42].

3.2 Υπεράκτια άντληση πετρελαίου και εξόρυξη φυσικού αερίου

Το πετρέλαιο είναι ένα φυσικό μίγμα από εκατοντάδες διαφορετικές ενώσεις υδρογονανθράκων που έχουν παγιδευτεί στο υπέδαφος με μικρές αναλογίες άλλων χημικών ουσιών όπως ενώσεις θείου, αζώτου και οξυγόνου. Η γενικά αποδεκτή θεωρία για τη δημιουργία του πετρελαίου υποστηρίζει ότι οφείλεται στην αποσύνθεση ζωικών και φυτικών οργανισμών που εγκλείστηκαν μέσα στα πετρώματα σε μεγάλο βάθος στη Γη. Το πετρέλαιο σήμερα εντοπίζεται σε τυπικά ιζηματογενή πετρώματα και στη βάση των πετρελαϊκών κοιτασμάτων ανευρίσκεται σχεδόν πάντα αλμυρό νερό, γεγονότα που ενισχύουν την παραπάνω θεωρία. Σε ότι αφορά τη συσσώρευση του πετρελαίου ορισμένες μικρές ποσότητες πετρελαίου διαρρέουν στο υπέδαφος και κάποιες φτάνουν ακόμα και στην επιφάνεια της Γης, ενώ ο μεγάλος όγκος του είναι εγκλωβισμένος ανάμεσα σε μη πορώδη πετρώματα και άλλα εμπόδια που δεν επιτρέπουν την μετανάστευση του. Δημιουργούνται έτσι οι στρωματογραφικές παγίδες δηλαδή οι φυσικές δεξαμενές του πετρελαίου, Σχήμα (3.9). Τα τοιχώματα τους αποτελούνται από λάσπη και διάφορα πετρώματα που εμποδίζουν το πετρέλαιο να εξέλθει και ονομάζονται περιφερειακοί μονωτήρες. Περιφερειακός μονωτήρας ακόμα μπορεί να θεωρηθεί και το νερό, γιατί εξαιτίας του μεγαλύτερου ειδικού βάρους που έχει, εμποδίζει το πετρέλαιο να διαρρεύσει. Στις

θαλάσσιες περιοχές η εύρεση ενδείξεων κοιτασμάτων πετρελαίου είναι σχεδόν ακατόρθωτη χωρίς την βοήθεια τεχνολογικών μέσων λόγω της δύσκολης πρόσβασης στο βυθό. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται αναφορικά είναι η σεισμική μέθοδος με τη δημιουργία τεχνητών σεισμικών δονήσεων, η ηλεκτρική μέθοδος σε ότι έχει να κάνει με την αγωγιμότητα του πετρελαίου, η ηλεκτρομαγνητική μέθοδος, η σταθμική και η ραδιενεργή μέθοδος βασιζόμενη στα ραδιενεργά μέταλλα που εμπεριέχει το πετρέλαιο [43].

Στη σύγχρονη εποχή το πετρέλαιο αποτελεί ίσως την πιο σημαντική πρώτη ύλη για την βιομηχανία και την παραγωγή ενέργειας καθορίζοντας έτσι το παρόν και το μέλλον της παγκόσμιας οικονομίας. Το πετρέλαιο χρησιμοποιείται συνήθως για την παραγωγή καυσίμων σε μηχανές εσωτερικής καύσης, αποτελεί πρώτη ύλη πολλών χημικών προϊόντων, ορισμένων εκρηκτικών υλών καθώς και συνθετικών προϊόντων όπως είναι τα πλαστικά. Η ακατέργαστη μορφή του πετρελαίου κατά την εξόρυξή του, το καθιστά πρακτικά άχρηστο και επομένως απαραίτητη καθίσταται η επεξεργασία του στα διυλιστήρια έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εμπορικές και βιομηχανικές εφαρμογές. Η κύρια διαδικασία που χρησιμοποιείτε στη διύλιση είναι η απόσταξη. Κατά αυτό την απόσταξη δημιουργούνται τα παράγωγα του πετρελαίου που είναι το υγραέριο, η βενζίνη, το πετρέλαιο κίνησης και θέρμανσης, η κηροζίνη, το μαζούτ, ορυκτέλαια διαφορετικής σύστασης και τα στερεά υπολείμματα όπως είναι η πίσσα και η παραφίνη [43]. Το φυσικό αέριο απελευθερώνεται από το πετρέλαιο καθώς οι υδρογονάνθρακες ρέουν στην επιφάνεια και η πίεση μειώνεται. Σε ένα κοίτασμα πετρελαίου το παραγόμενο αέριο συνήθως ονομάζεται αέριο παραγόμενου πετρελαίου. Σε ένα κοίτασμα φυσικού αερίου, όπου δεν υπάρχει πετρέλαιο, αναφέρεται ως αέριο μη προερχόμενο από κοίτασμα πετρελαίου. Γενικά οι υδρογονάνθρακες εξάγονται από τα κοιτάσματα μέσω πηγαδιών που αποτελούν μια σειρά από αγωγούς μειούμενης διαμέτρου που έχουν σταθεροποιηθεί με τοποθέτηση τσιμέντου εξωτερικά τους [45].



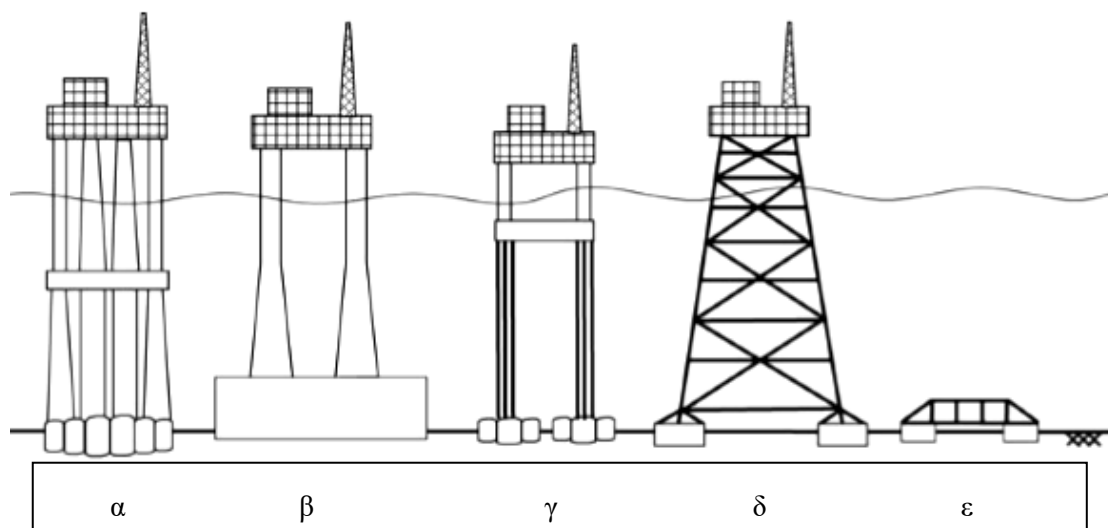
Σχήμα 3.9 Γεωλογικοί σχηματισμοί (στρωματογραφικές παγίδες) συσσώρευσης πετρελαίου και φυσικού αερίου [44].

Η υπεράκτια άντληση πετρελαίου εκτείνεται στις παράκτιες περιοχές σχεδόν όλου του πλανήτη, ενώ με την εξέλιξη της τεχνολογίας επιτυγχάνονται εξορύξεις σε όλο πιο μακρινές περιοχές και σε μεγαλύτερα βάθη. Περιοχές με την μεγαλύτερη παραγωγή πετρελαίου αποτελούν η Βόρεια Θάλασσα, ο κόλπος του Μεξικού και οι Καναδικές ακτές του Ατλαντικού Ωκεανού. Σημαντικά, επίσης, κοιτάσματα αποτελούν περιοχές της Νότιας Αφρικής, της Ρωσίας, της Μέσης Ανατολής, του Περσικού κόλπου και της Σαουδικής Αραβίας, Σχήμα (3.10) [43].



Σχήμα 3.10 Κοιτάσματα πετρελαίου σε παγκόσμια κλίμακα, αποδεδειγμένα και μη [43].

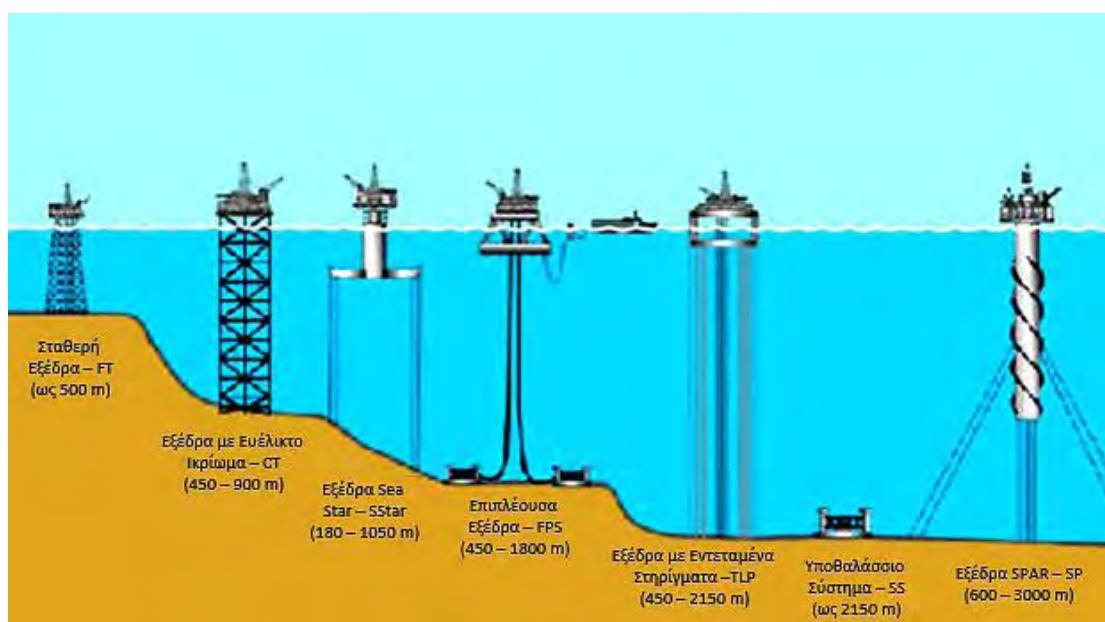
Η υπεράκτια τεχνολογία έχει την απαρχή της στον Κόλπο του Μεξικού με θεμέλια μεταλλικών πύργων να εδράζονται κατάλληλα σε μαλακές αργίλους. Έπειτα με την ανάπτυξη των υπεράκτιων κατασκευών στη Βόρεια Θάλασσα οι παραπάνω τεχνικές, οι οποίες δεν ήταν κατάλληλες για τις πιο σκληρές αργίλους και πυκνές άμμους της περιοχής, αντικαταστάθηκαν με τις βάσεις βαρύτητας από σκυρόδεμα. Αυτό το είδος των ρηχών θεμελίων αποτελούν πλέον μια οικονομική και ορισμένες φορές και μόνη πρακτική εναλλακτική λύση. Ιστορικά, τα υπεράκτια αβαθή θεμέλια αποτελούνταν είτε από μεγάλες βάσεις βαρύτητας σκυροδέματος για την υποστήριξη μεγάλων υποδομών ή από προσωρινά στηρίγματα από χάλυβα μέχρι την εγκατάσταση των πύργων. Στη σύγχρονη εποχή, οι ρηχές θεμελιώσεις έχουν γίνει πιο ποικίλες, Σχήμα (3.11) [2].



Σχήμα 3.11 Είδη υπεράκτιων ρηχών θεμελίων για εξέδρες εξόρυξης υποθαλάσσιων κοιτασμάτων: α) κατασκευή βασισμένη σε θεμελίωση βαρύτητας (GBS), β) κατασκευή βάσης βαρύτητας (GBS), γ) πλατφόρμα με βάση εντεταμένων πυλώνων (Tension-leg platform), δ) θεμελίωση τύπου Jacket και ε) υποθαλάσσιο σύστημα βυθού [2].

Μία υπεράκτια εξέδρα πετρελαίου πρέπει να είναι ικανή να φιλοξενήσει το απαραίτητο εργατικό δυναμικό, να κάνει υποθαλάσσιες γεωτρήσεις, να αντλεί και να διαχειρίζεται το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο και να μπορεί να αποθηκεύει το προϊόν της άντλησης μέχρι την μεταφορά του στην ξηρά και την μετέπειτα διύλιση του. Οι εξέδρες αυτές δύναται είτε να εδράζονται στο βυθό είτε να επιπλέουν στην θάλασσα. Οι τύποι των εξέδρων εξόρυξης πετρελαίου με τα αντίστοιχα βάθη στα

οποία κατασκευάζονται φαίνονται αναλυτικά στο παρακάτω σχήμα. Αυτές είναι οι σταθερές εξέδρες που εφαρμόζονται μέχρι το βάθος των 500 m, οι εξέδρες που εδράζονται σε μεταλλικού πύργους μέχρι το βάθος των 900 m, οι εξέδρες τύπου sStar έως τα 1.050 m, οι επιπλεύουσες ή ημι-υποβρύχιες εξέδρες μέχρι το βάθος των 1.800 m, οι εξέδρες τύπου TLP έως τα 2.150 m, τα υποθαλάσσια συστήματα του βυθού επίσης στα 2.150 m και οι εξέδρες τύπου spar που μπορούν να εφαρμοστούν μέχρι και το βάθος των 3.000 m, Σχήμα (3.12) [44].



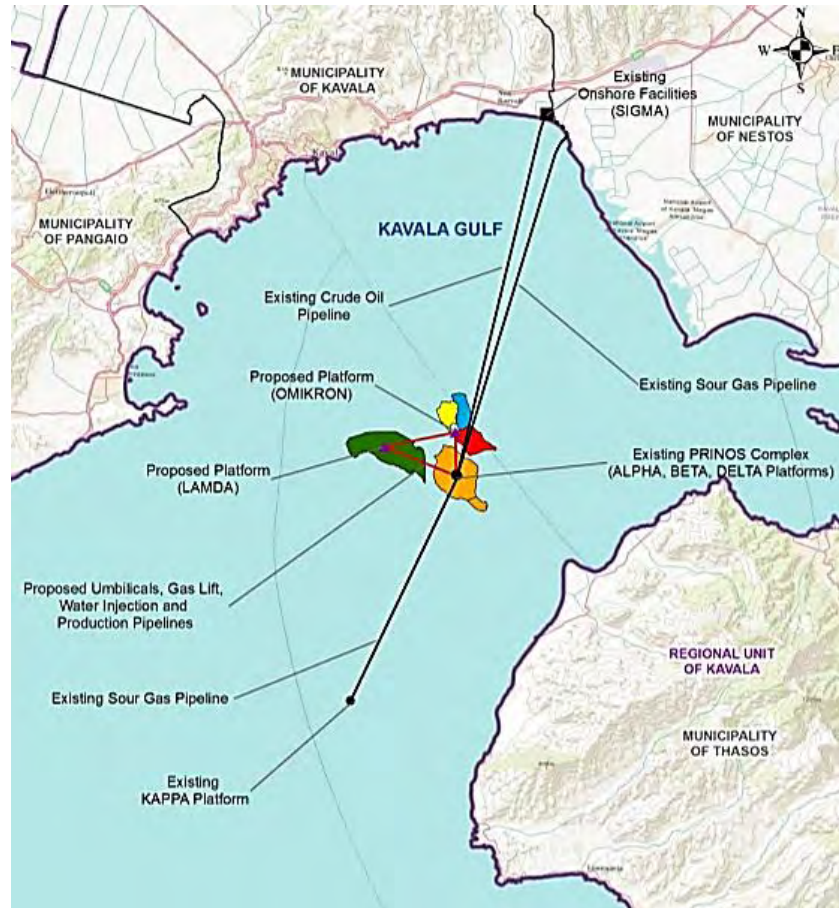
Σχήμα 3.12 Σχηματική απεικόνιση τύπων εξέδρων εξόρυξης πετρελαίου και τα αντίστοιχα βάθη εφαρμογής [44].

Στην Ελλάδα μέχρι σήμερα οκτώ ξεχωριστά κοιτάσματα υδρογονανθράκων έχουν ανακαλυφθεί στον Κόλπο της Καβάλας. Τρία από αυτά, της Νότιας Καβάλας, του Πρίνου και του Βόρειου Πρίνου, βρίσκονται σε παραγωγή, Σχήμα (3.13). Η Νότια Καβάλα περιέχει γλυκό καθαρό φυσικό αέριο με μικρό όγκο συμπυκνώματος, ενώ οι δύο μη εκτιμημένες ανακαλύψεις περιέχουν ελαφρύ γλυκό πετρέλαιο και αέριο κοιτάσματος πετρελαίου. Τα υπόλοιπα κοιτάσματα περιέχουν όξινο αργό, δηλαδή πετρέλαιο με υψηλή περιεκτικότητα σε υδροθείο, και αέριο κοιτάσματος πετρελαίου. Η αρχική επεξεργασία των παραγόμενων ρευστών του ταμιευτήρα διεξάγεται στο υπεράκτιο Σύμπλεγμα του Πρίνου, στην εξέδρα Δέλτα όπου πραγματοποιείται διαχωρισμός μονού σταδίου πετρελαίου, νερού και φυσικού αέριου. Το Σύμπλεγμα

των εξεδρών του Πρίνου βρίσκεται πάνω από το κέντρο του κοιτάσματος, 8 Km δυτικά της νήσου Θάσου και 18 Km νότια των χερσαίων εγκαταστάσεων. Στο Σύμπλεγμα του Πρίνου υπάρχει επίσης εξοπλισμός για την άντληση θαλασσινού νερού, την επεξεργασία και την εισπίεση του στους ταμιευτήρες προκειμένου να διατηρηθεί η πίεση αυτών. Ακόμα, υπάρχει εξοπλισμός για τη συμπίεση του γλυκού φυσικού αερίου στα πηγάδια με σκοπό την ενίσχυση της παραγωγής (gas lift). Το ημι-κατεργασμένο πετρέλαιο και φυσικό αέριο μεταφέρονται στις χερσαίες εγκαταστάσεις επεξεργασίας του εργοστασίου Σίγμα μέσω αγωγών για περαιτέρω επεξεργασία. Το υπεράκτιο σύμπλεγμα εξεδρών ηλεκτροδοτείται μέσω δύο ανεξάρτητων υποβρυχίων καλωδίων μέσης τάσης. Το Σύμπλεγμα του Πρίνου αποτελείται από τέσσερις εξέδρες: τις Άλφα και Βήτα που είναι εξέδρες παραγωγής ή γεωτρήσεων και η κάθε μία περιέχει δώδεκα υποδοχές γεώτρησης, την εξέδρα Δέλτα που περιλαμβάνει όλο τον απαραίτητο εξοπλισμό επεξεργασίας και την αίθουσα ελέγχου και την εξέδρα Κάππα που βρίσκεται στον κόλπο της Καβάλας, πάνω από το κοιτάσμα γλυκού φυσικού αερίου της Νότιας Καβάλας, 12 Km νοτιοανατολικά του Συμπλέγματος Πρίνου, Σχήματα (3.14 έως 3.17). Η εξέδρα Κάππα έχει εξέδρα παραγωγής πανομοιότυπη με την Άλφα και Βήτα και περιέχει δύο πηγάδια καθώς και τον εξοπλισμό για τη συμπίεση και ξήρανση του παραγόμενου φυσικού αερίου. Γενικά η Κάππα λειτουργεί με τηλεχειρισμό εξ' αποστάσεως από τη Δέλτα και παράγει κατά διαστήματα. Το μερικώς κατεργασμένο πετρέλαιο και φυσικό αέριο μεταφέρεται μέσω υποθαλάσσιων αγωγών στο χερσαίο εργοστάσιο, που ονομάζεται εργοστάσιο Σίγμα και περιλαμβάνει μονάδες για τη μετατροπή του όξινου φυσικού αερίου σε γλυκό φυσικό αέριο, για την αφύγρανση, αφαλάτωση, σταθεροποίηση και αποθήκευση του παραγόμενου αργού πετρελαίου και περιέχει εγκαταστάσεις που επιτρέπουν την ασφαλή φόρτωση του επεξεργασμένου πετρελαίου στα δεξαμενόπλοια [45].

Στον κόλπο της Καβάλας η κοκκομετρική ανάλυση των ιζημάτων δείχνει ότι το μεγαλύτερο μέρος αυτών καλύπτεται από λεπτόκοκκα ιζήματα με ποσοστά λάσπης και αργίλου μεταξύ 85% και 95%. Αυξημένα ποσοστά άμμου και λάσπης, με υψηλή περιεκτικότητα σε μαρμαρυγία και διοξείδιο του πυριτίου βρέθηκαν στο νότιο-ανατολικό τμήμα και κατά μήκος των βορειοανατολικών και ανατολικών ακτών του κόλπου. Η κύρια πηγή των λεπτόκοκκων υλικών θεωρείται ότι είναι ο ποταμός Νέστος. Όσον αφορά τη σεισμικότητα της περιοχής, η χερσαία και υπεράκτια

περιοχή του έργου κατατάσσεται στην σεισμική ζώνη κινδύνου Ι, δηλαδή στην κατώτερη κατηγορία [15].



Σχήμα 3.13 Περιοχή εξόρυξης Πρίνου και υφιστάμενες εγκαταστάσεις [15].



Σχήμα 3.14 Εξέδρα Πρίνος Β [46].



Σχήμα 3.15 Εξέδρα Πρίνος Α [46].

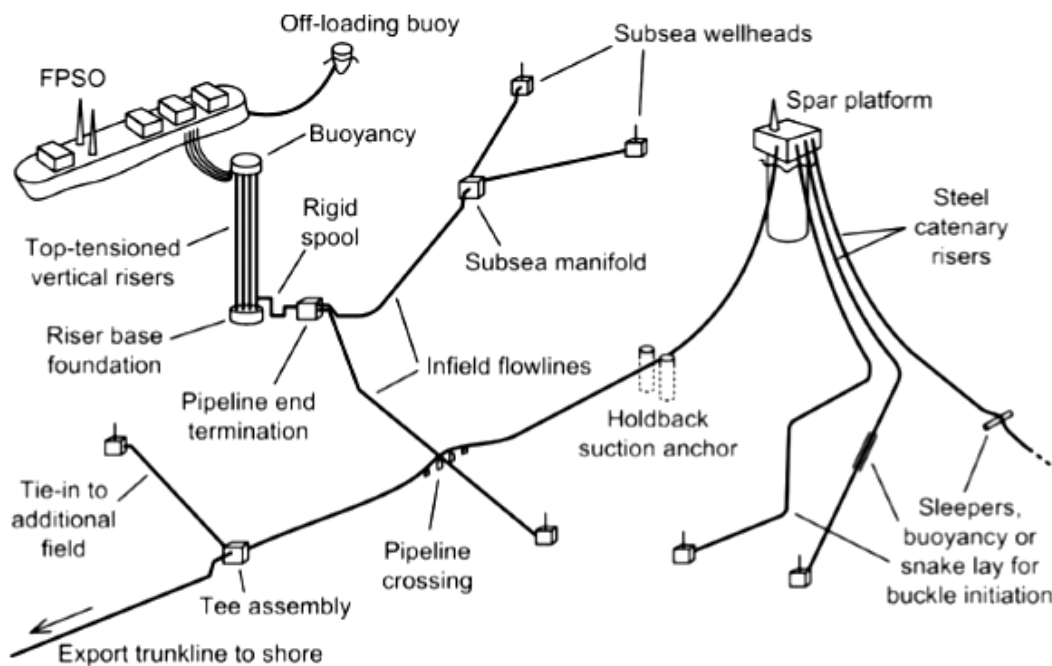


Σχήμα 3.16 Εξέδρα Καβάλα Κ [45].



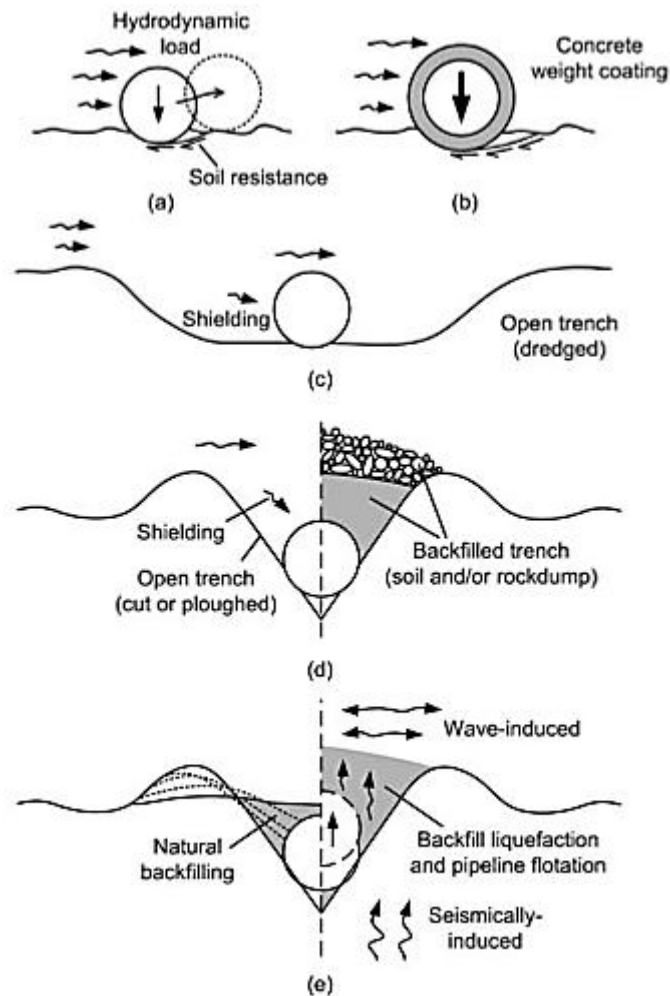
Σχήμα 3.17 Εξέδρα Πρίνος Δ [45].

Τα κοιτάσματα φυσικού αερίου βρίσκονται συνήθως μακριά από τα κύρια κέντρα κατανάλωσης, συνεπώς πρέπει να μεταφερθεί, αν και οι βιομηχανίες χημικής επεξεργασίας είναι συχνά εγκατεστημένες στην περιοχή της παραγωγής. Η μεταφορά του φυσικού αερίου εξαρτάται από την κατάστασή του. Σε αέρια κατάσταση μεταφέρεται με αγωγούς υπό υψηλή πίεση, ενώ σε υγρή κατάσταση μεταφέρεται με τα κατάλληλα δεξαμενόπλοια. Οι μεγάλοι αγωγοί υψηλής πίεσης καθιστούν δυνατή τη μεταφορά του αερίου σε απόσταση χιλιάδων χιλιομέτρων, όπως είναι οι αγωγοί της Βόρειας Αμερικής, που εκτείνονται από το Τέξας και τη Λουιζιάνα μέχρι τη βορειοανατολική ακτή και από την Αλμπέρτα του Καναδά ως τον Ατλαντικό. Αντίστοιχοι αγωγοί εκτείνονται από τη Σιβηρία μέχρι την Κεντρική και Δυτική Ευρώπη [26]. Αντίστοιχα για τη μεταφορά φυσικού αερίου σε υποθαλάσσιες περιοχές χρησιμοποιούνται οι υποβρύχιοι αγωγοί φυσικού αερίου. Αυτοί οι αγωγοί αποτελούν τις αρτηρίες υπεράκτιας μεταφοράς των υδρογονανθράκων, με πρόσφατο παράδειγμα στην Κύπρο με την ανακάλυψη του μεγάλου κοιτάσματος της Αφροδίτης στο τεμάχιο 12 της κυπριακής ΑΟΖ (αποκλειστικής οικονομικής ζώνης).



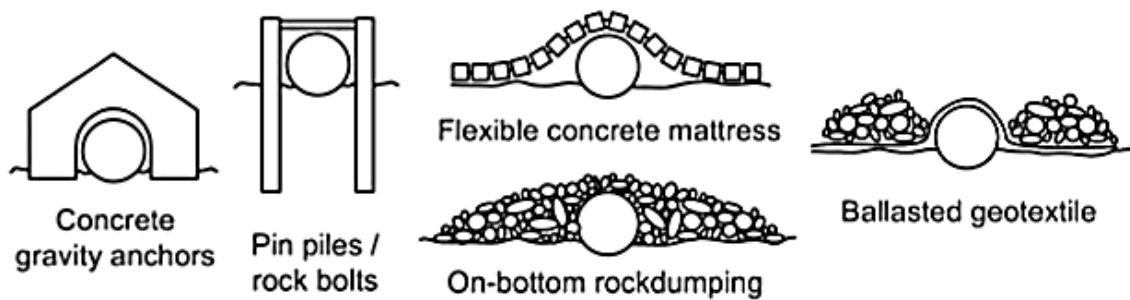
Σχήμα 3.18 Δίκτυο υποθαλάσσιων αγωγών και σχετικές υποδομές [2].

Οι άκαμπτοι αγωγοί είναι κατασκευασμένοι από χάλυβα και διαθέτουν εσωτερική και εξωτερική ειδική επικάλυψη για την προστασία τους από τη διάβρωση, για τη θερμική τους μόνωση και την αύξηση του βάρους με αποτέλεσμα μεγαλύτερη ευστάθεια. Η διάμετρος των άκαμπτων αγωγών κυμαίνεται συνήθως από 10 cm έως και 1,5 m. Οι εύκαμπτοι αγωγοί αποτελούν σύνθεση μετάλλων και άλλων πολυμερών και η διάμετρός του κυμαίνεται από τα 10 cm έως τα 50 cm. Η παραγωγή εύκαμπτων αγωγών είναι πολύ δαπανηρή αλλά η τοποθέτησή τους πραγματοποιείται γρήγορα ενάντια στην τοποθέτηση των άκαμπτων αγωγών. Γενικά, σε ένα δίκτυο υποθαλάσσιων αγωγών εμπεριέχονται ειδικές ανυψωτικά συστήματα για τη μεταφορά του υγρού από το δίκτυο αγωγών στο βυθό της θάλασσας στις σταθερές ή επιπλέουσες εγκαταστάσεις στην επιφάνεια αυτής. Αυτά μπορεί να είναι είτε κατακόρυφοι αγωγοί ανύψωσης αγκυρωμένοι στον πυθμένα είτε αγωγοί που αιωρούνται στο νερό μέσω αλυσιδωτών σωληνώσεων ανύψωσης. Στο υποκείμενο σχήμα απεικονίζεται ένα αντίστοιχο υποθαλάσσιο δίκτυο αγωγών με τις ανάλογες εγκαταστάσεις που το απαρτίζουν, Σχήμα (3.18) [2].



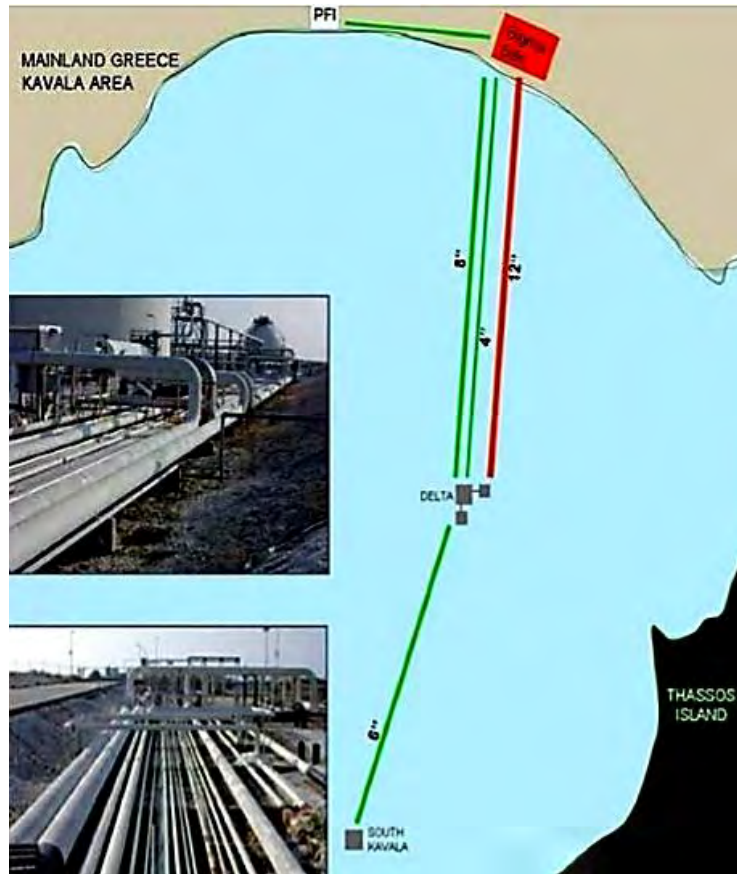
Σχήμα 3.19 Εκτιμήσεις σχεδιασμού και λύσεις για την ευστάθεια υποθαλάσσιων αγωγών: α) αστάθεια στο κάτω μέρος του αγωγού, β) επικάλυψη αγωγού με σκυρόδεμα βαρύτητας, γ) διάνοιξη τάφρου, δ) διάνοιξη τάφρου με ή χωρίς επιχώματος, ε) φυσική επίχωση και υγροποίηση επιχώματος [2].

Στην περίπτωση όπου ένας αγωγός δεν είναι σταθερός στο πυθμένα της θάλασσας ή δύναται αν εκτεθεί σε μεγάλη εξωτερική φόρτιση ενδέχεται να πρέπει να θαφτεί ή απλά να θωρακιστεί μέσα σε μία τάφρο. Για την εκτίμηση αυτών των ενεργειών απαιτείται γεωτεχνική μελέτη με σκοπό την βελτιστοποίηση της ευστάθειας των αγωγών. Τέτοιες εκτιμήσεις σχεδιασμού ευστάθειας και τεχνικές διακοπόμενης αγκύρωσης αγωγών απεικονίζονται σχεδιαστικά παρακάτω, Σχήματα (3.19, 3.20) [2].



Σχήμα 3.20 Τεχνικές αγκύρωσης υποθαλάσσιων αγωγών ανά διαστήματα [2].

Όσον αφορά το έργο ανάπτυξης Πρίνου στον Ελληνικό χώρο, που αναφέρθηκε παραπάνω, για τη μεταφορά των υδρογονανθράκων χρησιμοποιούνται τέσσερις αγωγοί διασύνδεσης, Σχήμα (3.21): ένας υποβρύχιος αγωγός με διάμετρο 6” (ίντσες) και μήκος 12 Km για τη μεταφορά του γλυκού, αφυγρανθέντος αερίου από την εξέδρα «Κάππα» στην εξέδρα «Δέλτα», ένας υποβρύχιος αγωγός με διάμετρο 12” και μήκος 18 Km για τη μεταφορά του όξινου, αφυγρανθέντος φυσικού αερίου από την εξέδρα «Δέλτα» στις χερσαίες εγκαταστάσεις, ένας υποβρύχιος αγωγός με διάμετρο 8” και μήκος 18 Km για τη μεταφορά του όξινου, αφυγρανθέντος αργού πετρελαίου από την εξέδρα «Δέλτα» στις χερσαίες εγκαταστάσεις και ένας υποβρύχιος αγωγός με διάμετρο 5,3” και μήκος 18 Km για την ανακυκλοφορία του γλυκού φυσικού αερίου από τις χερσαίες εγκαταστάσεις στην εξέδρα «Δέλτα» για την εισπίεση αερίου (gas lift) στις γεωτρήσεις παραγωγής. Οι υφιστάμενοι αγωγοί είναι επικαλυμμένοι με σκυρόδεμα σε όλο το μήκος τους για την προστασία από τη διάβρωση και τις εξωτερικές επιδράσεις. Κοντά στις εξέδρες οι γραμμές καλύπτονται με πέτρες για πρόσθετη προστασία από την πτώση αντικειμένων, όπως οι άγκυρες των σκαφών εφοδιασμού που προσεγγίζουν τις εξέδρες. Σε βάθος θάλασσας κάτω από τα 20 m οι γραμμές είναι θαμμένες για πρόσθετη προστασία από τις άγκυρες μικρών σκαφών και τις μηχανότρατες [45].

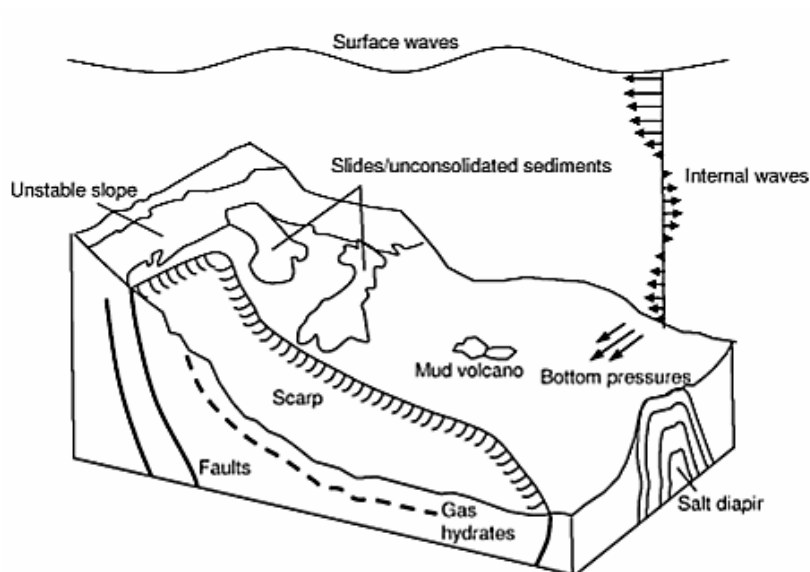


Σχήμα 3.21 Υφιστάμενες συνδέσεις υποβρύχιων αγωγών μεταξύ των υπεράκτιων εγκαταστάσεων και μεταξύ των υπεράκτιων και χερσαίων εγκαταστάσεων [45].

3.3 Γεωκίνδυνοι (geohazards)

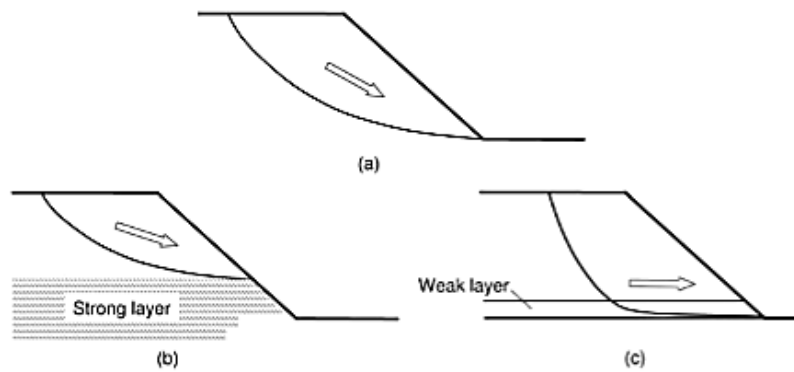
Οι γεωκίνδυνοι ορίζονται ως γεωλογικές και υδροδυναμικές συνθήκες που δύναται να οδηγήσουν σε μετακινήσεις: εδαφικών μαζών, βραχωδών μαζών και πετρωμάτων, υγρών ή αερίων κατά τη διάρκεια αιφνίδιων γεγονότων ή σταδιακών παραμορφώσεων. Σχετικά με τις υπεράκτιες κατασκευές εξόρυξης πετρελαίου και φυσικού αερίου οι γεωκίνδυνοι έχουν ορισμένη πιθανότητα να προκαλέσουν τραυματισμούς ή απώλειες ζωής, καταστροφές στο περιβάλλον ή την ίδια την κατασκευή και να επιβάλλουν αύξηση του κόστους λειτουργίας της και μείωση της αποδοτικότητάς της. Οι δύο βασικές κατηγορίες των γεωκινδύνων που σχετίζονται με τις υποδομές στο βυθό της θάλασσας είναι οι εξής: α) τα επικίνδυνα σπάνια και αιφνίδια γεγονότα στη φύση, όπως είναι οι σεισμοί και τα ηφαίστεια που μπορεί να οδηγήσουν σε υποθαλάσσιες κατολισθήσεις, ρευμάτων και έκλυση αερίων και β) οι επικίνδυνες γεωλογικές συνθήκες που σχετίζονται με την τεκτονική ή και τον

ερπυσμό των υλικών. Επίσης, η επικινδυνότητα ποικίλει ανάλογα με την τοποθεσία των εγκαταστάσεων, τη συχνότητα εμφάνισης γεωλογικών φαινομένων και τη σοβαρότητά τους καθώς και την ανθρώπινη επέμβαση στον περιβάλλοντα χώρο. Στην ανοικτή θάλασσα οι γεωκίνδυνοι περιλαμβάνουν αστοχίες πρανών, τεκτονικά και μη ρήγματα, ρευστοποιήσεις, σεισμικές δονήσεις, ηφαίστεια λάσπης, διαρροές αερίων και αλατιού, εσωτερικά ρεύματα, Σχήμα (3.22) [2].



Σχήμα 3.22 Σχηματική αναπαράσταση από υπεράκτιους γεωκινδύνους [2].

Ειδικότερα, οι αστοχίες των πρανών συνήθως συμβαίνουν κατά μήκος προκαθορισμένων επιφανειών ολίσθησης όπως απεικονίζονται παρακάτω. Γενικά, αυτές οι κυκλικές επιφάνειες ολίσθησης σχετίζονται με ομογενείς αποθέσεις υλικών και οι μη κυκλικές επιφάνειες με μη ομογενείς αποθέσεις αντίστοιχα. Η επιφάνεια αστοχίας που δημιουργείται μπορεί να έχει μια σύνθετη μορφή ευθειών και καμπύλων στην περίπτωση όπου εμφανίζονται υψηλής ή χαμηλής αντοχής στρώματα, Σχήμα (3.23) [2].



Σχήμα 3.23 Μηχανισμοί για περιστροφικές και σύνθετες επιφάνειες αστοχίας πρανών [2].

Κατά τη λειτουργία υπεράκτιων εξέδρων συμβαίνουν τακτικά ατυχήματα και τραγωδίες και απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στην πιστή εφαρμογή των αυστηρών κανόνων ασφάλειας των κατασκευών αυτών, σύμφωνα με τις ισχύουσες προδιαγραφές. Στις ΗΠΑ αναφέρθηκαν 69 υπεράκτιοι θάνατοι, 1.349 τραυματισμοί, και 858 πυρκαγιές και εκρήξεις στις υπεράκτιες εξέδρες άντλησης στον Κόλπο του Μεξικού κατά την δεκαετία 2001 έως 2010. Τον Ιούλιο του 1988, 167 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους όταν η υπεράκτια εξέδρα (Piper Alfa) στη Βόρεια Θάλασσα εξερράγη μετά από μια διαρροή αερίου. Τον Μάρτιο του 1980, πλατφόρμα ανατράπηκε σε μια καταιγίδα στη Βόρεια Θάλασσα με την απώλεια 123 ζώων. Στις 21 Απριλίου 2010, η πλατφόρμα Deepwater Horizon, 52 μίλια μακριά από την ακτή της Βενετίας, στη Λουιζιάνα, εξερράγη, σκοτώνοντας 11 άτομα και δύο ημέρες αργότερα βυθίστηκε. Έτσι δημιουργήθηκε η χειρότερη πετρελαιοκηλίδα στην ιστορία των ΗΠΑ. Ο βαθμός ευαισθητοποίησης έχει αυξηθεί πλέον καθώς πολλά είναι τα πρόσφατα ατυχήματα σε υπεράκτιες πλατφόρμες ανά τον κόσμο όπως στην Αυστραλία το 2009, στις Ηνωμένες Πολιτείες το 2010, στην Κίνα το 2011, στη Βραζιλία το 2012 και σε μια πλατφόρμα αερίου στη Βόρεια Θάλασσα το 2012. Μια ανάλυση διαφόρων περιστατικών στις πλατφόρμες πετρελαίου και φυσικού αερίου στον Κόλπο του Μεξικού από το 1996 έως και το 2010 έδειξε ότι τα περιστατικά ατυχημάτων συσχετίζονται με την εκμετάλλευση υδρογονανθράκων σε όλο και πιο βαθιά νερά. Συγκεκριμένα για μια μέση πλατφόρμα σε κάθε 30 μέτρα προστιθέμενου βάθους αυξάνεται η πιθανότητα ατυχήματος κατά 8,5 % [47]. Επομένως, η επέκταση των δραστηριοτήτων εξόρυξης υδρογονανθράκων σε βαθιά νερά απαιτεί την συστηματική επεξεργασία και ανάλυση της επικινδυνότητας των γεωκινδύνων. Οι

τομείς που έχουν εντοπιστεί με σκοπό τη βελτίωση της γεωτεχνικής μηχανικής για την αντιμετώπιση των γεωκινδύνων περιλαμβάνουν την ανάπτυξη μοντέλων για τα εδάφη που εμπεριέχουν αέρια και υδρογονάνθρακες, την επαρκή εκτίμηση της αντοχής των εδαφών και της πίεσης πόρων σε μεγάλα βάθη, την καθιέρωση αξιόπιστων μεθόδων για την πρόβλεψη αστοχίας πρανών και της έκτασής τους καθώς και την διερεύνηση συνθηκών που σχετίζονται με τις κατολισθήσεις, όπως είναι η ταχύτητα της ολίσθησης, οι επιπτώσεις της ολίσθησης και της δημιουργίας τσουνάμι [2].

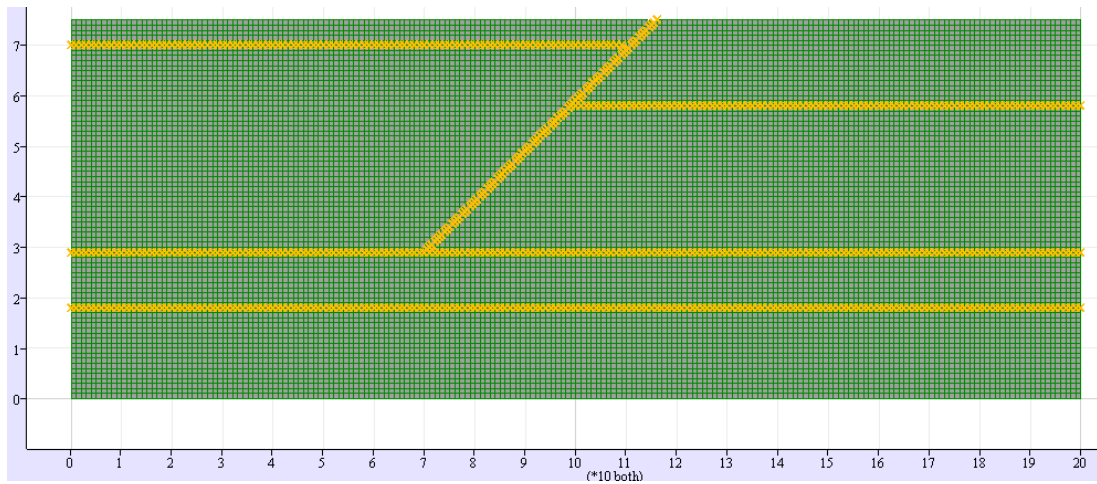
Κεφάλαιο 4 Προσομοίωση απεικόνισης υπεράκτιας κατασκευής με τη χρήση του προγράμματος FLAC

Στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιήθηκε η δημιουργία ενός κώδικα στο πρόγραμμα Flac 2D, στις δύο διαστάσεις, που απεικονίζει μια κατασκευή σε ένα υποθαλάσσιο περιβάλλον για τη μετέπειτα παραμετρική διερεύνηση ευστάθειας και απόκρισης σε ειδικές θαλάσσιες συνθήκες, όπως παραδείγματος χάρη μια αιφνίδια σεισμική δόνηση. Αυτή η κατασκευή αποτελεί έναν πυλώνα με θεμελίωση σε βάση βαρύτητας.

4.1 Αποτύπωση θαλάσσιας περιοχής – πυθμένα

Αρχικά δημιουργήθηκε ένας μη συμμετρικός κάρναβος (εντολή grid) 200 x 75 και ορίστηκαν οι εδαφικές ιδιότητες (properties), όπως είναι η πυκνότητα (density), το μέτρο ισότροπης συμπίεσης (bulk), και το μέτρο διάτμησης (shear) καθώς και το μοντέλο που τις περιγράφει (model elastic). Ορίστηκαν, επίσης, οι διάφορες γραμμές (εντολή generate line) που θα οριοθετήσουν στη συνέχεια τα διαφορετικά υλικά της αποτύπωσης, Σχήμα (4.1).

```
config gwflow cprudm dynamic extra 10  
  
grid 200,75  
  
model elastic  
  
prop perm=1.0E-6 density=1.4 bulk=5E5 shear=5E5  
  
;  
  
gen line 0,18 200,18  
  
gen line 70,29 116,75  
  
gen line 0,29 200,29  
  
gen line 99,58 200,58  
  
gen line 0,70 111,70
```



Σχήμα 4.1 Αποτύπωση της υποθαλάσσιας περιοχής και του πρανούς της υφαλοκρηπίδας στο πρόγραμμα *Flac*.

Στη συνέχεια ορίστηκαν τα στρώματα (layers) των υλικών που περιγράφουν την περιοχή αποτύπωσης του πρανούς και του πυθμένα της θάλασσας, όπως και τα εδαφικά χαρακτηριστικά τους αντίστοιχα. Αυτά είναι βραχώδη, αργιλικά και αμμώδη υλικά, Σχήμα (4.2).

```

config gwflow cppudm dynamic extra 10

grid 200,75

model elastic

prop perm=1.0E-6 density=1.4 bulk=5E5 shear=5E5

;

gen line 0,18 200,18

gen line 70,29 116,75

gen line 0,29 200,29

gen line 99,58 200,58

gen line 0,70 111,70

;

group 'Rock:marble' region 30 10

```

group 'Rock:siltstone' region 160 24

group 'Soil-Clay:organic silt or clay' region 171 68

group 'Soil-Sand:uniform - fine' region 181 47

;

model mohr notnull group 'Rock:marble'

prop density=2700.0 bulk=3.72E10 shear=2.23E10 cohesion=2.53E7 friction=21.2
dilation=0.0 tension=1800000.0 notnull group 'Rock:marble'

model mohr notnull group 'Rock:siltstone'

prop density=2700.0 bulk=1.57E10 shear=1.08E10 cohesion=3.47E7 friction=32.1
dilation=0.0 tension=3000000.0 notnull group 'Rock:siltstone'

model mohr notnull group 'Soil-Clay:organic silt or clay'

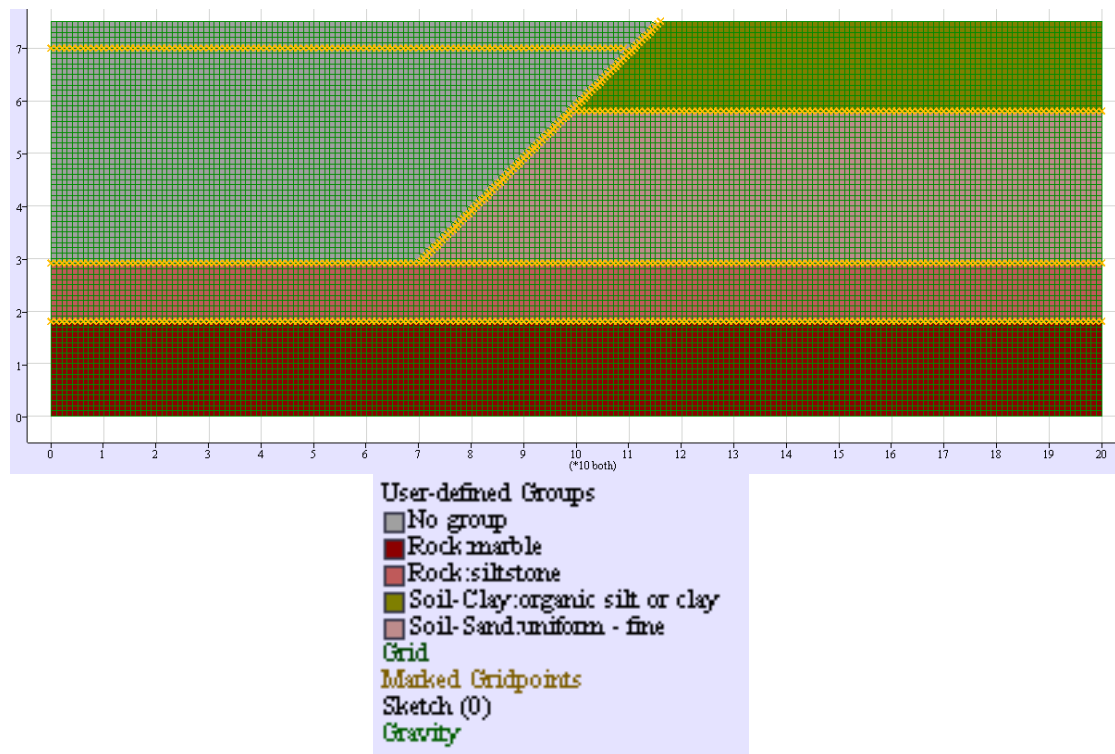
prop density=1550.0 bulk=3.33E5 shear=2E5 cohesion=7000.0 friction=20.0
dilation=0.0 tension=0.0 notnull group 'Soil-Clay:organic silt or clay'

model mohr notnull group 'Soil-Sand:uniform - fine'

prop density=1600.0 bulk=1E7 shear=6E6 cohesion=0.0 friction=32.0 dilation=0.0
tension=0.0 notnull group 'Soil-Sand:uniform - fine'

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	Πυκνότητα	Μέτρο ισότροπης συμπίεσης	Μέτρο διάτμησης	Γωνία τριβής	Συνοχή
(μονάδες)	D (t/m ³)	K (MPa)	G (MPa)	φ (μοίρες)	c
εντολή	density	bulk	shear	friction	cohesion

Εδαφικά υλικά	Group
Βράχος-μάρμαρο	Rock: marble
Ιλυώδης βράχος	Rock: siltstone
Άργιλος	Soil-Clay
Άμμος	Soil-Sand



Σχήμα 4.2 Αποτύπωση εδαφικών στρωμάτων της περιοχής στο πρόγραμμα Flac.

4.2 Προσομοίωση κατασκευής

Για την αποτύπωση του πυλώνα αποκόπηκε η κατάλληλη περιοχή του καννάβου (εντολή model nul) και ορίστηκαν όλες οι διεπιφάνειες (interfaces), οριζόντιες και κατακόρυφες, μεταξύ του υλικού της κατασκευής και του περιβάλλοντα θαλασσινού νερού και του πυθμένα καθώς και οι ιδιότητες των διεπιφανειών, Σχήματα (4.3 έως 4.5). Η μοντελοποίηση της διεπιφάνειας μεταξύ εδάφους – κατασκευής και νερού κατασκευής είναι απαραίτητη στην περίπτωση ενός τραχύ πυλώνα. Σύμφωνα με το πρόγραμμα οι διεπιφάνειες περιλαμβάνουν διατμητικά ελατήρια και ορίζονται τα k_s k_n που κατά κανόνα είναι δέκα φορές η ισοδύναμη δυσκαμψία της γειτονικής ζώνης με τη μεγαλύτερη δυσκαμψία.

```
config gwflow cprudm dynamic extra 10
```

```
grid 200,75
```

```
model elastic
```

```
prop perm=1.0E-6 density=1.4 bulk=5E5 shear=5E5
```

```

;
;front
;
m n i 30 j 30 35
m n i 30 46 j 30
m n i 46 j 30 35
m n i 30 33 j 35
m n i 43 46 j 35
m n i 33 j 35 75
m n i 43 j 35 75
;
gen line 0,18 200,18
gen line 70,29 116,75
gen line 0,29 200,29
gen line 99,58 200,58
gen line 0,70 33,70
gen line 42,70 111,70
;
;soil under
gen 0,0 0,9.5 100,9.5 100,0 i 1 201 j 1 19
gen 0,9.5 0,14.5 100,14.5 100,9.5 i 1 201 j 19 30
;water front
gen 0,14.5 0,17 14.5,17 14.5,14.5 i 1 30 j 30 35
gen 0,17 0,35 16,35 16,17 i 1 33 j 35 71
gen 0,35 0,37 16,37 16,35 i 1 33 j 71 76
;water-soil behind

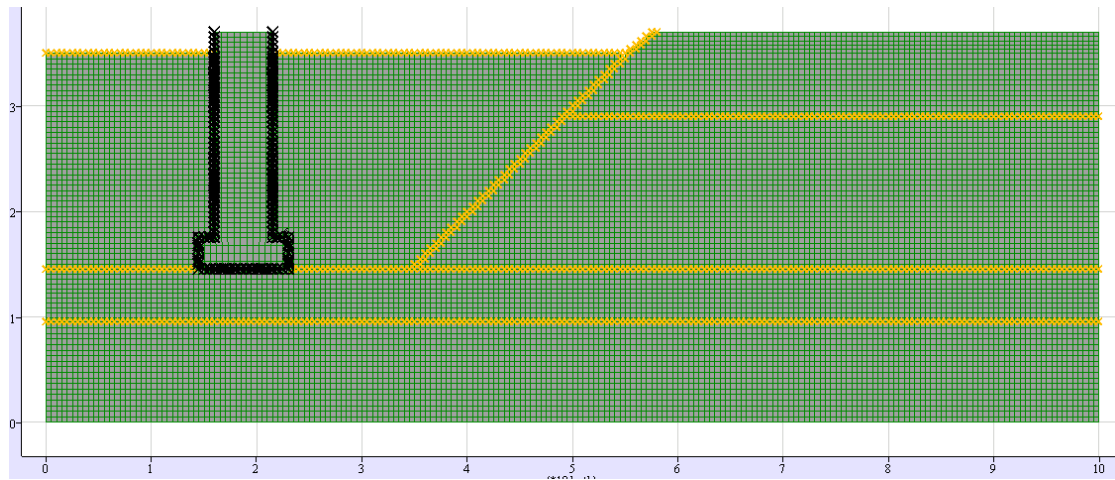
```

```

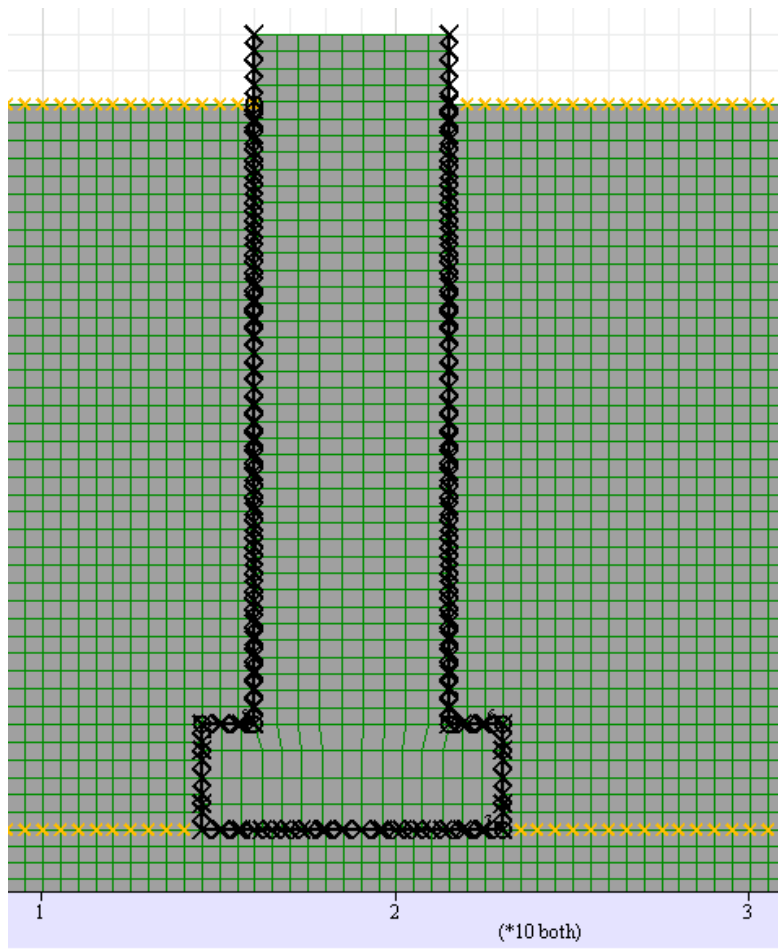
gen 23,14.5 23,17 100,17 100,14.5 i 47 201 j 30 35
gen 21.5,17 21.5,35 100,35 100,17 i 44 201 j 35 71
gen 21.5,35 21.5,37 100,37 100,35 i 44 201 j 71 76
;
m n reg 14,72
m n reg 100,72
;
;wall
gen 14.5,14.5 14.5,17.5 23,17.5 23,14.5 i 31 46 j 31 35
gen 16,17.5 16,37 21.5,37 21.5,17.5 i 34 43 j 35 76
;
; vertical interfaces
interface 1 aside from 33,36 to 33,71 bside from 34,35 to 34,76
interface 1 glue kn=5.e7 ks=1.
interface 2 aside from 30,30 to 30,36 bside from 31,31 to 31,35
interface 2 glue kn=5.e7 ks=1.
interface 3 aside from 44,36 to 44,71 bside from 43,35 to 43,76
interface 3 glue kn=5.e7 ks=1.
interface 4 aside from 47,30 to 47,36 bside from 46,31 to 46,35
interface 4 glue kn=5.e7 ks=1.
;
; horizontal interfaces
interface 5 aside from 30,36 to 33,36 bside from 31,35 to 34,35
interface 5 glue kn=5.e7 ks=1.
interface 6 aside from 44,36 to 47,36 bside from 43,35 to 46,35
interface 6 glue kn=5.e7 ks=1.

```

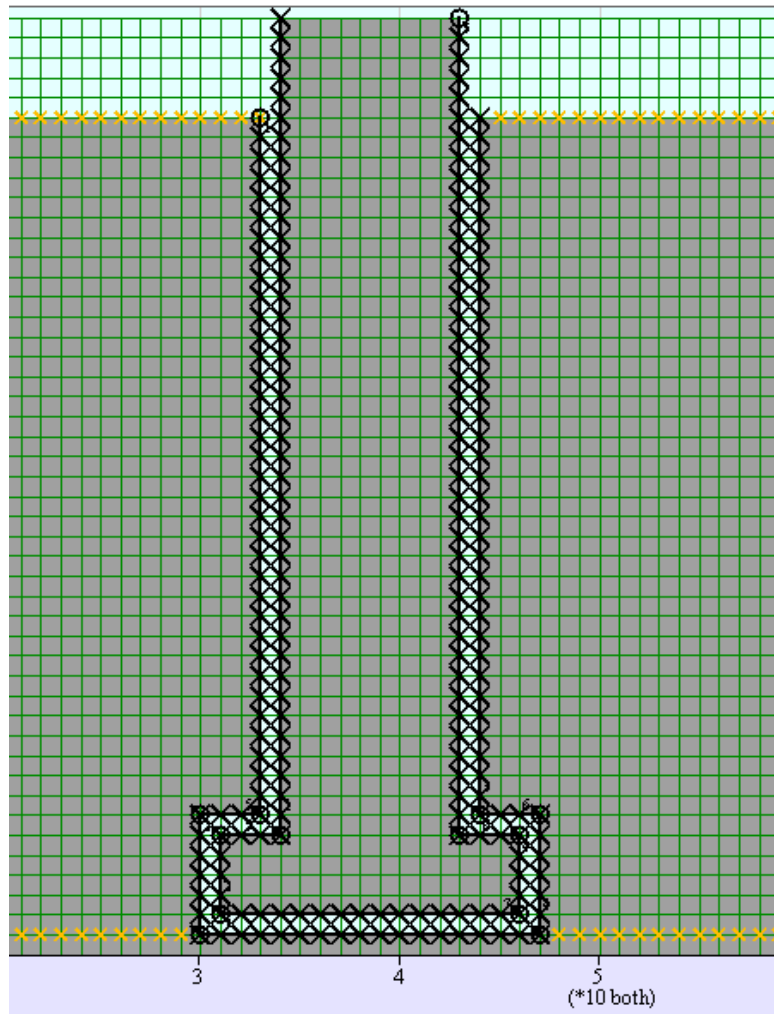
interface 7 aside from 31,31 to 46,31 bside from 30,30 to 47,30



Σχήμα 4.3 Αποτύπωση της υπεράκτιας κατασκευής στον κάρναβο, στο πρόγραμμα *Flac*.



Σχήμα 4.4 Διεπιφάνειες κατασκευής – θαλασσινού νερού και πυθμένα στο πρόγραμμα *Flac*.



Σχήμα 4.5 Οι διεπιφάνειες της κατασκευής σε μεγέθυνση με την εντολή *IJ Space* του καννάβου στο πρόγραμμα *Flac*.

Εντέλει, συνολικά η αποτύπωση του πυλώνα στο συγκεκριμένο υποθαλάσσιο περιβάλλον που εμπεριέχει όλα τα στρώματα των εδαφών, την περιοχή του νερού και των διεπιφανειών παρουσιάζεται παρακάτω, Σχήμα (4.6).

```

config gwflow cprudm dynamic extra 10
grid 200,75
model elastic
prop perm=1.0E-6 density=1.4 bulk=5E5 shear=5E5
;

```

```
;front
;
m n i 30 j 30 35
m n i 30 46 j 30
m n i 46 j 30 35
m n i 30 33 j 35
m n i 43 46 j 35
m n i 33 j 35 75
m n i 43 j 35 75
;
gen line 0,18 200,18
gen line 70,29 116,75
gen line 0,29 200,29
gen line 99,58 200,58
gen line 0,70 33,70
gen line 42,70 111,70
;
;
;soil under
gen 0,0 0,9.5 100,9.5 100,0 i 1 201 j 1 19
gen 0,9.5 0,14.5 100,14.5 100,9.5 i 1 201 j 19 30
;water front
gen 0,14.5 0,17 14.5,17 14.5,14.5 i 1 30 j 30 35
gen 0,17 0,35 16,35 16,17 i 1 33 j 35 71
gen 0,35 0,37 16,37 16,35 i 1 33 j 71 76
;water-soil behind
```

```

gen 23,14.5 23,17 100,17 100,14.5 i 47 201 j 30 35
gen 21.5,17 21.5,35 100,35 100,17 i 44 201 j 35 71
gen 21.5,35 21.5,37 100,37 100,35 i 44 201 j 71 76
;
m n reg 14,72
m n reg 100,72
;
;wall
gen 14.5,14.5 14.5,17.5 23,17.5 23,14.5 i 31 46 j 31 35
gen 16,17.5 16,37 21.5,37 21.5,17.5 i 34 43 j 35 76
;
; vertical interfaces
interface 1 aside from 33,36 to 33,71 bside from 34,35 to 34,76
interface 1 glue kn=5.e7 ks=1.
interface 2 aside from 30,30 to 30,36 bside from 31,31 to 31,35
interface 2 glue kn=5.e7 ks=1.
interface 3 aside from 44,36 to 44,71 bside from 43,35 to 43,76
interface 3 glue kn=5.e7 ks=1.
interface 4 aside from 47,30 to 47,36 bside from 46,31 to 46,35
interface 4 glue kn=5.e7 ks=1.
;
; horizontal interfaces
interface 5 aside from 30,36 to 33,36 bside from 31,35 to 34,35
interface 5 glue kn=5.e7 ks=1.
interface 6 aside from 44,36 to 47,36 bside from 43,35 to 46,35
interface 6 glue kn=5.e7 ks=1.

```

```

interface 7 aside from 31,31 to 46,31 bside from 30,30 to 47,30
interface 7 unglue kn=5.e8 ks=10 friction=32
;
fix x i=1
fix x i=201
fix x y j=1
;
water bulk=1.
water density=1.0
set gravity=9.81
set flow=off
set mech=on
set dyn=off
;
group 'Rock:marble' reg 30 10
group 'Rock:siltstone' region 160 24
group 'Soil-Clay:organic silt or clay' region 171 68
group 'Soil-Sand:uniform - fine' region 181 47
;
model mhr notnull group 'Rock:marble'
prop density=2700.0 bulk=3.72E10 shear=2.23E10 cohesion=2.53E7 friction=21.2
dilation=0.0 tension=1800000.0 notnull group 'Rock:marble'
model mhr notnull group 'Rock:siltstone'
prop density=2700.0 bulk=1.57E10 shear=1.08E10 cohesion=3.47E7 friction=32.1
dilation=0.0 tension=3000000.0 notnull group 'Rock:siltstone'
model mhr notnull group 'Soil-Clay:organic silt or clay'

```

prop density=1550.0 bulk=3.33E5 shear=2E5 cohesion=7000.0 friction=20.0
dilation=0.0 tension=0.0 notnull group 'Soil-Clay:organic silt or clay'

model mohr notnull group 'Soil-Sand:uniform - fine'

prop density=1600.0 bulk=1E7 shear=6E6 cohesion=0.0 friction=32.0 dilation=0.0
tension=0.0 notnull group 'Soil-Sand:uniform - fine'

group con reg 40 40

mo el group con

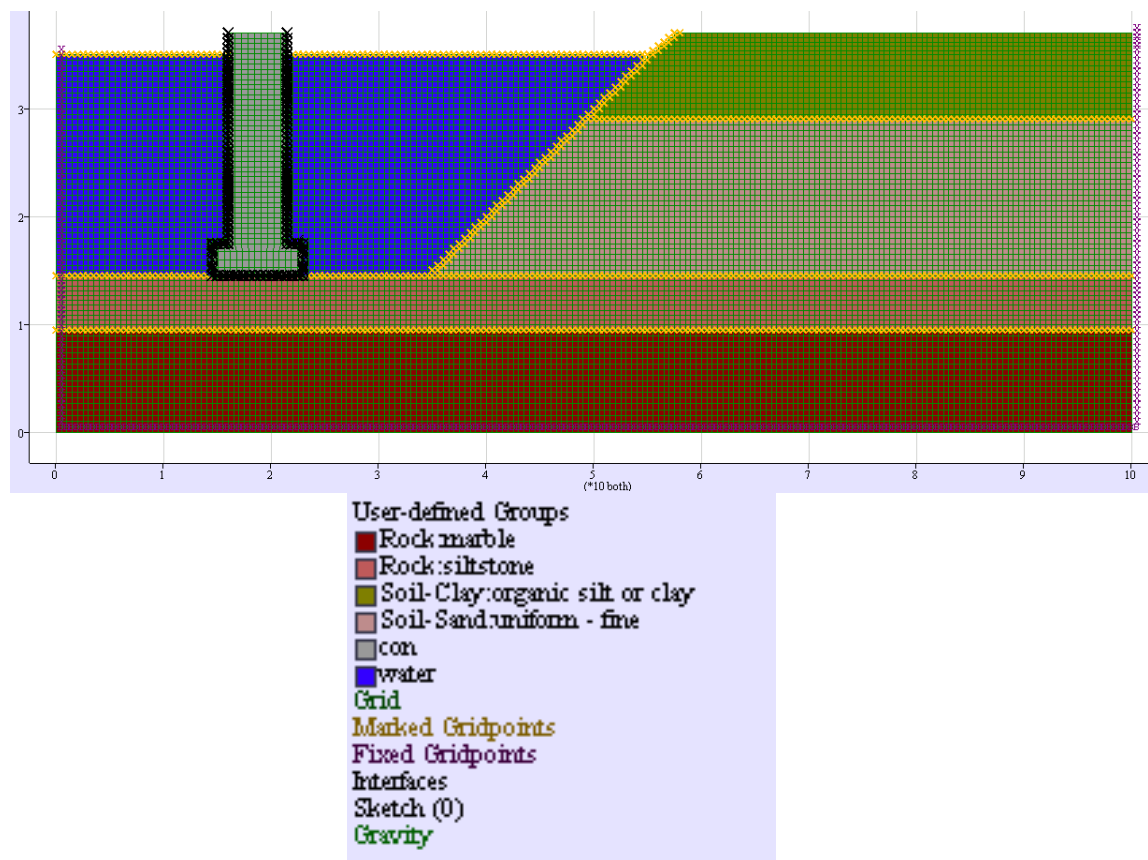
prop dens=2.5 bulk=1e6 shear=4e5 group con

group water reg 15 50

group water reg 65 50

mo el group water

prop perm=1e-5 density=0.01 bulk=2.e6 shear=20 por 0.99 group water



Σχήμα 4.6 Απεικόνιση της υπεράκτιας κατασκευής στο πρόγραμμα Flac.

Η αποτύπωση και η μελλοντική παραμετρική διερεύνηση και η απόκριση μιας αντίστοιχης κατασκευής στον υποθαλάσσιο χώρο θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί από το πρόγραμμα Flac 3D, στις 3 διαστάσεις, για την εξαγωγή ακριβέστερων αποτελεσμάτων. Λογισμικά τα οποία χρησιμοποιούνται για την επίλυση γεωτεχνικών προβλημάτων αποτελούν: το FLAC 2D, FLAC 3D, το FACE, το ABACUS αλλά και το UDEC.

Κεφάλαιο 5 Συζήτηση - Συμπεράσματα

Στην Ελλάδα οι επενδύσεις σε υποδομές που έχουν ξεκινήσει ή προγραμματίζονται ως το 2022 συμπεριλαμβάνουν: τον αγωγό TAP, που θα μεταφέρει φυσικό αέριο από το Αζερμπαϊτζάν μέσω Τουρκίας, Ελλάδας και Αλβανίας στην Ιταλία και την ευρωπαϊκή αγορά καθώς και τον ελληνοβουλγαρικό αγωγό, τον πλωτό σταθμό υγροποιημένου φυσικού αερίου (ΥΦΑ) στην Αλεξανδρούπολη και την επέκταση του υφιστάμενου σταθμού ΥΦΑ στη Ρεβυθούσα, την υπό κατασκευή λιγνιτική μονάδα ηλεκτροπαραγωγής της ΔΕΗ στην Πτολεμαίδα και τις υποβρύχιες διασυνδέσεις των Κυκλάδων και της Κρήτης με το ηπειρωτικό σύστημα [41]. Πρόσφατα εγκρίθηκε από το υπουργείο Ενέργειας και Περιβάλλοντος η παραχώρηση του δικαιώματος έρευνας και εκμετάλλευσης υδρογονανθράκων σε νέες θαλάσσιες περιοχές στην ελληνική ΑΟΖ (Αποκλειστική Οικονομική Ζώνη). Οι περιοχές αυτές αφορούν τα νοτιοδυτικά και δυτικά της Κρήτης καθώς και τη Δυτική Ελλάδα, δηλαδή το Ιόνιο πέλαγος. Πιο συγκεκριμένα η περιοχή αφορά τα νοτιοδυτικά της Κέρκυρας και δυτικά της Λευκάδας και πρόκειται για έκταση 6.700 Km² που ανήκει στην ευρύτερη Περιαδριατική Ζώνη και θεωρείται ότι έχει γεωλογική συγγένεια με τις υπό έρευνα και υπό εκμετάλλευση περιοχές του Μαυροβουνίου, της Κροατίας και της Αλβανίας. Η Ελλάδα έχει ήδη πετύχει τον στόχο του 2020 καθώς καλύπτεται περίπου ποσοστό 18% της παραγόμενης ενέργειας που οφείλει να προέρχεται από τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Στις αρχές του 2019 θα είναι εφικτή η εξόρυξη των πρώτων κοιτασμάτων πετρελαίου από το Κατάκολο δυτικά της Πελοποννήσου. Από το κοίτασμα θα αντλούνται 1.500 βαρέλια ημερησίως και 11 με 12 εκατομμύρια m³ φυσικού αερίου. Η γεώτρηση δεν θα είναι ορατή από την επιφάνεια, καθώς θα γίνει σε βάθος 2,5 Km ενώ το πετρέλαιο θα μεταφέρεται στην Καβάλα με πλοίο μια φορά το μήνα [41].

Οι ωκεανοί και οι θάλασσες που περιβάλλουν τις ηπείρους του πλανήτη μας προσφέρουν συνεχώς το έναυσμα για την επίτευξη στόχων όπως είναι η κάλυψη ολοένα και μεγαλύτερου ποσοστού των ενεργειακών αναγκών της κάθε χώρας είτε από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είτε από συμβατικούς ενεργειακούς πόρους. Προκειμένου να εξελιχθούν όλες οι υπεράκτιες τεχνολογίες εκμετάλλευσης ενεργειακών πόρων και οι αντίστοιχες κατασκευές ενεργειακών υποδομών, τόσο παγκοσμίως όσο και στον Ελληνικό χώρο, απαραίτητη καθίσταται η γνώση των γεωτεχνικών, τεχνικογεωλογικών και κλιματικών συνθηκών που επικρατούν στη

θάλασσα, ποιες ήταν αυτές που επικρατούσαν στο παρελθόν, αλλά και ποιες θα επικρατούν στο μέλλον. Η σύνθετη μορφή και η ιδιαιτερότητα του ελληνικού υποθαλάσσιου χώρου, λόγω νεοτεκτονικής και σεισμικής δραστηριότητας, απαιτεί λεπτομερείς μελέτες των διαφόρων συνθηκών σε συνδυασμό με τις επί τόπου και τις εργαστηριακές μετρήσεις των παραμέτρων που επηρεάζουν την μηχανική συμπεριφορά του πυθμένα αυτού. Στο πλαίσιο αυτό είναι απαραίτητη η καταγραφή των υποθαλάσσιων σεισμικών ρηγμάτων, η οριοθέτηση των περιοχών του ελληνικού τόξου που χρήζουν εκπόνησης ειδικών μελετών για εντοπισμό υδρογονανθράκων, η εκπόνηση γεωφυσικών και σεισμικών διασκοπήσεων για την «ακτινογραφία» του θαλάσσιου πυθμένα καθώς και η ακριβής καταγραφή της γεωμορφολογίας του. Πρέπει να διασφαλίζεται, λοιπόν, η πρόσβαση σε έγκαιρες παρατηρήσεις και πληροφορίες για την κατάσταση της εκάστοτε περιοχής με απώτερο σκοπό, κατά την κατασκευή και λειτουργία των ενεργειακών υποδομών, να μεγιστοποιείται το ποσοστό απόδοσης και να ελαχιστοποιείται η πιθανότητα αστοχίας τους. Τα παραπάνω δεδομένα θα πρέπει να αξιοποιούνται με την βοήθεια εξελιγμένων γεωτεχνικών λογισμικών τα οποία θα προβλέπουν την μηχανική συμπεριφορά του θαλάσσιου πυθμένα, των εδραζόμενων σε αυτόν ενεργειακών υποδομών καθώς και των προτεινόμενων έργων ενίσχυσης και υποστήριξης.

Βιβλιογραφία

- [1] Μοίρα Π.Γ., Μυλωνόπουλος Δ.Ν., 2010, *Ναυτική Γεωγραφία*, Αθήνα, ISBN:978-960-337-093-2.
- [2] Randolph M., and Gourvenec S., 2011, *Offshore Geotechnical Engineering*, Spon Press, Montreal, ISBN 978-0-415-47744-4.
- [3] Chatzipetros A., Kiratzi A., Sboras S., Zouros N., and Pavlides S., 2013, *Active faulting in the north-eastern Aegean Sea Islands, Tectonophysics* 597-598 (2013) 106-122.
- [4] Μπάρλας Ι., 2012, Διπλωματική εργασία: *Μελέτη Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου και Σύνδεσή του στο Δίκτυο*, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.
- [5] Σουκισιάν Τ., Ινστιτούτο Ωκεανογραφίας ΕΛΚΕΘΕ, 2010, *Δεδομένα και διαδικασίες για την αξιόπιστη εκτίμηση υπεράκτιας κυματικής και αιολικής ενέργειας στην Ανατολική Μεσόγειο θάλασσα*.
- [6] Καλογεροπούλου Τ., 2010, Διπλωματική εργασία: *Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα*, Αθήνα.
- [7] Γιαννακίδης Α., 2004, Διπλωματική εργασία: *Σχεδίαση και μοντελοποίηση μιας βενθικής ακάτου (benthic lander) για τη μελέτη του φαινομένου της επαναιώρησης και μεταφοράς ιζημάτων στον πυθμένα της θάλασσας*, Κρήτη.
- [8] Παπαζαχαρίου Δ., 2013, Διδακτορική Διατριβή: *Ανάπτυξη παλιρροϊκού μοντέλου για τη Μεσόγειο Θάλασσα με αφομοίωση αλιμετρικών δεδομένων και δεδομένων από παλιρροϊκούς σταθμούς σε υδροδυναμικά μοντέλα*, Θεσσαλονίκη.
- [9] Παπαστέργιος Γ. Κ., 2005, *Σημειώσεις εργαστηρίου ιζηματολογίας*, Θεσσαλονίκη
- [10] http://www.geo.auth.gr/courses/gge/gge768e/E_OCEAN_ALBANAKIS/PDF/, Αλμπανάκης Κ., 2007, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- [11] Αργυρόπουλος Δ. & συνεργάτες, Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ) του έργου «Αιολικό σύστημα παράγωγης ηλεκτρικής ενέργειας Κρήτης (Α.Σ.Π.Η.Ε. ΚΡΗΤΗΣ)», *Υποέργο υποθαλάσσιας διασύνδεσης*, ΤΕΡΝΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΒΕΤΕ.

- [12] Μακρής Β, 2007, Μεταπτυχιακή διατριβή: *Κυκλοφορία υδάτινων μαζών και βιογεωχημεία του Αιγαίου πελάγους*, Βόλος.
- [13] <http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg871y/>, Συνοπτική Γεωτεκτονική Εξέλιξη του Ευρύτερου Ελληνικού Χώρου, Μουντράκης Δ. (χρόνος προσπέλασης Ιούνιος 2017).
- [14] Παυλίδης Σ., 2008, 3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής και Τεχνικής Σεισμολογίας, Άρθρο 1826, *Ασθενείς ρηξιγενείς ζώνες του Αιγαίου για ένα σταθερό φλοιό*, Αθήνα.
- [15] Energean oil & gas, 2016, Μελέτη περιβαλλοντικών και κοινωνικών επιπτώσεων για έργο ανάπτυξης υπεράκτιων εγκαταστάσεων Πρίνου, *ΜΠΚΕ 08 Τρέχουσα κατάσταση του περιβάλλοντος*.
- [16] Χατζημπίρος Κ., 2014, 6^ο Πανελλήνιο Συνέδριο: Διαχείριση και Βελτίωση Παράκτιων Ζωνών, *Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα στην Προοπτική του 2050*, Αθήνα.
- [17] Δεληκαράογλου Δ., Δεληκαράογλου Σ., 2010, 11^ο Εθνικό Συνέδριο Χαρτογραφίας: Η χαρτογραφία του Ελληνικού κράτους, *Χαρτογράφηση του Ελληνικού Θαλάσσιου Χώρου στα πλαίσια ενός Σχεδίου Δράσης με Αντικείμενο την Ολοκληρωμένη Θαλάσσια Πολιτική – Η συνεισφορά των αλιμετρικών γεωδαιτικών δορυφόρων*, Αθήνα.
- [18] Κατσένης Η., 2012, Διπλωματική εργασία: *Θαλάσσια γεωλογική δομή και σεισμική στρωματογραφία της καλδέρας της Σαντορίνης*, Πάτρα
- [19] Τακουμάκη Π., 2014, Μεταπτυχιακή εργασία: *Βιβλιογραφική προσέγγιση των μεθοδολογιών μελέτης των παλαιοτσουνάμι στον Ελλαδικό χώρο*, Αθήνα
- [20] <https://physics4u.wordpress.com/2011/03/28/%CE%AC-%CE%AC-2/>, Physics4u's weblog, 2011, *Τα καταστρεπτικά τσουνάμι* (χρόνος προσπέλασης Ιούνιος 2017).
- [21] <http://www.gein.noa.gr>, Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (χρόνος προσπέλασης Ιούνιος 2017).
- [22] <http://www.oasp.gr>, Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (χρόνος προσπέλασης Ιούνιος 2017).

- [23] <http://volcano.oregonstate.edu/tsunamis>, Oregon State University, *Volcanic tsunamis* (χρόνος προσπέλασης Ιούνιος 2017).
- [24] <https://walrus.wr.usgs.gov/tsunami/srilanka05>, USGS science for a changing world, *The December 26, 2004 Indian Ocean Tsunami: Initial Findings on Tsunami Sand Deposits, Damage, and Inundation in Sri Lanka* (χρόνος προσπέλασης Ιούνιος 2017).
- [25] Σπυρόπουλος Ρ. Ι., 1997, «Χρονικό των σεισμών της Ελλάδος – από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα».
- [26] <https://el.wikipedia.org>.
- [27] www.google.com.
- [28] <https://www.geol.umd.edu>, University of Maryland, Department of Geology (χρόνος προσπέλασης Ιούνιος 2017).
- [29] <http://www.nhc.noaa.gov>, National Hurricane Center, National Oceanic and Atmospheric Administration U.S., (χρόνος προσπέλασης Ιούνιος 2017).
- [30] <http://oceanservice.noaa.gov>, National Ocean Service, National Oceanic and Atmospheric Administration U.S., (χρόνος προσπέλασης Ιούνιος 2017)
- [31] http://nctr.pmel.noaa.gov/indo_1204.html, Center for Tsunami Research, National Oceanic and Atmospheric Administration, United States Department Of Commerce, (χρόνος προσπέλασης Ιούνιος 2017).
- [32] Αργυρόπουλος Δ., ENVECO Α.Ε., *Υποέργο υποθαλάσσιας διασύνδεσης και διασύνδεσης Εύβοιας/Φθιώτιδας*, Ρόκας Αιολική Βόρειος Ελλάς I & II.
- [33] <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/wind/> (χρόνος προσπέλασης Ιούνιος 2017),
- [34] <http://www.helmepacadets.gr/files/YperaktiaAiolikaParka.pdf>, Helmera, Ελληνική ένωση προστασίας θαλάσσιου περιβάλλοντος, *Υπεράκτια αιολικά πάρκα*, (χρόνος προσπέλασης Ιούνιος 2017).
- [35] Σαΐτης Γ., Κοβές Σ., 2012, Διπλωματική εργασία: *Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και βιοκλιματικός σχεδιασμός*, Θεσσαλονίκη.
- [36] Γιαννάκα Γ., 2010, Μεταπτυχιακή εργασία: *Χαρακτηριστικά αιολικής ενέργειας: Περιγραφή και χωροθέτηση θαλάσσιων αιολικών πάρκων*, Θεσσαλονίκη

- [37] http://www.aquaret.com/index31ad.html?option=com_content&view=article&id=203&Itemid=344&lang=el, Aquatic Renewable Energy Technologies, (χρόνος προσπέλασης Ιούνιος 2017).
- [38] <http://epublishing.ekt.gr/sites/ektpublishing/files/ebooks/Sohelme.pdf>, Parathanassiou E., Zenetos A., 2005, *State of the Hellenic Marine Environment*, Institute of Oceanography, Athens, (χρόνος προσπέλασης Ιούνιος 2017).
- [39] <https://www.wwf.gr/images/pdfs/WindFarmsLow.pdf>, *Θαλάσσιες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας*, WWF, (χρόνος προσπέλασης Ιούνιος 2017).
- [40] http://www.cres.gr/kape/publications/pdf/MIS_sept15/MIS%20375406%20EN_VECO_SMPE.pdf, 2005, *Στρατηγική μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων εθνικού προγράμματος θαλάσσιων αιολικών πάρκων*, (χρόνος προσπέλασης Ιούνιος 2017).
- [41] <http://www.michanikos-online.gr>.
- [42] <http://geminiwindpark.nl/foto-s.html>.
- [43] Μπογάτσας Χ., 2015, Μεταπτυχιακή εργασία: *Ανάλυση επικινδυνότητας υπεράκτιων εξέδρων πετρελαίου σε γεωκινδύνους*, Χανιά.
- [44] <http://www.chemeng.ntua.gr/courses/pngtech/files/Oil%20Production-1.pdf>, *Κοιτάσματα υδρογονανθράκων*, Τεχνολογία Πετρελαίου και Φυσικού Αερίου, (χρόνος προσπέλασης Ιούνιος 2017).
- [45] Energean oil & gas, 2016, Μελέτη περιβαλλοντικών και κοινωνικών επιπτώσεων για έργο ανάπτυξης υπεράκτιων εγκαταστάσεων Πρίνου, *ΜΠΚΕ 06 Αναλυτική περιγραφή έργου*.
- [46] <http://www.kavalaoil.gr/index.php?act=viewCat&catId=20>, Καβάλα Oil A.E., (χρόνος προσπέλασης Ιούνιος 2017).
- [47] Φεγγάρου Δ. Ι., 2015, Διπλωματική εργασία: *Περιγραφή διάφορων τύπων εξέδρων άντλησης πετρελαίου και ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους*, Ακαδημία εμπορικού ναυτικού, Θεσσαλονίκη.