



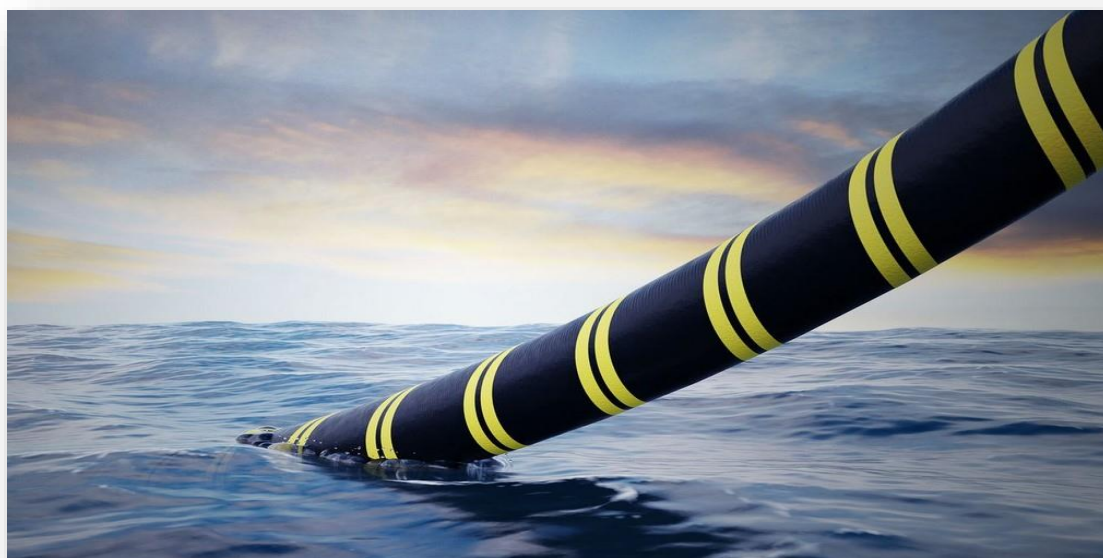
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ-
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΔΡΑΓΑΖΗ

**ΧΑΡΑΞΗ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ
ΚΑΙ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΠΡΑΝΩΝ**



Επιβλέπων : Καττής Μαρίνος, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ
Συνεπιβλέπων: Ψαρρόπουλος Πρόδρομος, ΕΔΙΠ, ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2022



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ-
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΔΡΑΓΑΖΗ

ΧΑΡΑΞΗ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΚΑΙ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΠΡΑΝΩΝ

Επιβλέπων : Καττής Μαρίνος, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

Συνεπιβλέπων: Ψαρρόπουλος Πρόδρομος, ΕΔΙΠ, ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την.....

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

.....

Καττής Μαρίνος

Αν. Καθηγητής, Ε.Μ.Π

.....

Ψαρρόπουλος Πρόδρομος

Μέλος Ε.ΔΙ.Π., Ε.Μ.Π.

.....

Τσομπανάκης Ιωάννης

Αν. Καθηγητής, Πολ. Κρήτης

Αθήνα, Ιούλιος, 2022

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους επιβλέποντες καθηγητές μου κ. Μαρίνο Καπτή και κ. Πρόδρομο Ψαρρόπουλο, που συνέβαλαν με τις γνώσεις και την επιστημονική τους κατάρτιση στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Ιδιαίτερως θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ψαρρόπουλο για την προθυμία που επέδειξε αλλά και για την πολύτιμη καθοδήγησή του στα προβλήματα που συναντούσα.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Νίκο Μακράκη ο οποίος ήταν πάντα παρών και έτοιμος να βοηθήσει με τις γνώσεις του γύρω από τα εφαρμοσμένα υπολογιστικά εργαλεία αλλά και για τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου για την πολύτιμη υποστήριξη που μου παρείχαν.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο την ανάπτυξη ενός υπολογιστικού εργαλείου με βάση το οποίο θα επιτυγχάνεται η χάραξη ενός υποθαλάσσιου έργου αποφεύγοντας τις επικίνδυνες γεωτεχνικά περιοχές. Στα πρώτα κεφάλαια γίνεται μια εκτενής παρουσίαση για τα υποθαλάσσια καλώδια και τους υποθαλάσσιους αγωγούς, καθώς δίνονται και πληροφορίες σχετικά με την διαδικασία της πόντισης τους, τα απαιτούμενα μέσα που χρειάζονται για να γίνει η πόντιση, τα τεχνικά χαρακτηριστικά που πρέπει να έχουν, αλλά και τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για να προστατευτούν από τους κινδύνους. Επίσης γίνεται μια αναφορά στους γεωκινδύνους που αναπτύσσονται στο υπεράκτιο περιβάλλον, με ιδιαίτερη έμφαση στο χώρο της Μεσογείου και τις επιπτώσεις που μπορεί να προκαλέσουν στις θαλάσσιες κατασκευές. Στην συνέχεια, μέσα από το περιβάλλον των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και την διεξαγωγή αναλύσεων, έγινε η προκαταρκτική χάραξη αποφυγής ή διασταύρωσης των υποθαλάσσιων καλωδίων με δυνητικά επικίνδυνα πρηνή. Αρχικά δημιουργήθηκε μια γεωβάση, με βάση την οποία ο αναλυτής, λαμβάνει πληροφορίες σχετικά με το βάθος και τις κλίσεις της περιοχής μελέτης, καθώς και σε ποιο σημείο μπορεί ενδεχομένως να υπάρξει αστοχία. Οι δυνητικά επικίνδυνες περιοχές που διασταυρώνονται με την προκαταρκτική χάραξη μοντελοποιούνται και αναλύονται μέσω του προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων Plaxis. Στο πρόγραμμα Plaxis, γίνεται αρχικά η καταχώρηση της γεωμετρίας των πρηνών, ενώ στην συνέχεια καταχωρούνται τα εδαφικά τους χαρακτηριστικά, έτσι ώστε να επιτευχθεί η προσομοίωση των πρηνών και να γίνει ο υπολογισμός του συντελεστή ασφαλείας. Εφόσον γίνει και ο υπολογισμός του συντελεστή ασφαλείας, τότε ο χρήστης καλείται να αποφασίσει για το αν η χάραξη θα διασταυρωθεί με το επικίνδυνο πρηνές ή αν θα πρέπει να το αποφύγει, δημιουργώντας έτσι μια νέα χάραξη. Σημειώνεται σε αυτό το σημείο, ότι η περιοχή μελέτης είναι στον Ελληνικό θαλάσσιο χώρο και πιο συγκεκριμένα στην θαλάσσια περιοχή μεταξύ Κρήτης και Πελοποννήσου. Το εργαλείο πρόκειται να εφαρμοστεί για την ηλεκτρική διασύνδεση μεταξύ Κρήτης και Πελοποννήσου, η οποία θα επιτευχθεί μέσω της πόντισης υποβρυχίων καλωδίων.

Abstract

The main purpose of this thesis is to develop a smart decision-support tool that will accomplish the optimal route selection of an offshore infrastructure. In the first chapters there is an extensive presentation on submarine cables and submarine pipelines, as well as information about their immersion process, the required means that needed to perform the immersion and the technical characteristics that they must have, but also the methods which being used to protect against risks. Reference is also made to the geo-hazards that develop in the offshore environment, with particular emphasis on the Mediterranean area and the effects it may have on offshore infrastructures. Subsequently, through the environment of the Geographic Information Systems and the conduct of analyzes, the preliminary delineation of the avoidance or intersection of the submarine cables with potentially dangerous slopes was done. Initially a geobase was created, based on which the analyst receives information about the depth and slopes of the study area, as well where there may be a failure. The potentially hazardous areas that intersect with the preliminary design are modeled and analyzed through the Plaxis program. In the Plaxis program, the geometry of the slopes is registered first, while their territorial characteristics are registered, in order to modelized the slopes and to calculate their safety factor. If the safety factor is calculated, then the user is asked to decide whether the intersection will intersect with the dangerous slope or whether it should be avoided, thus creating a new alignment. It is noted at this point that the study area, is in the Greek sea area and more specifically in the sea area between Crete and the Peloponnese. These tool will be applied for the electrical connection between Crete and the Peloponnese, which will be achieved through the immersion of submarine cables..

Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες.....	5
Περίληψη	7
Abstract.....	9
Κεφάλαιο 1.....	13
Εισαγωγή.....	13
Κεφάλαιο 2.....	15
Υποθαλάσσια ενεργειακά έργα	15
2.1 Υποβρύχια καλώδια	15
2.1.1 Ιστορική Εξέλιξη στην Ελλάδα	15
2.1.2 Διασύνδεση υπεράκτιων αιολικών πάρκων	16
2.1.3 Ηλεκτροδότηση πλωτών δεξαμενών άντλησης πετρελαίου.	17
2.1.4: Τύποι υποβρύχιων καλωδίων.....	18
2.1.5: Πλοία πόντισης καλωδίων.	22
2.2 : Υποθαλάσσιοι Αγωγοί.....	25
2.2.1 : Ιστορική εξέλιξη.....	25
2.2.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά αγωγών	28
2.2.3 Διαδικασία πόντισης υποθαλάσσιων αγωγών	29
2.2.5 Αστοχίες υποθαλάσσιων αγωγών.....	32
2.2.6: Μεγάλα έργα υποθαλάσσιων αγωγών.....	35
Κεφάλαιο 3.....	38
Υποθαλάσσιοι Γεωκίνδυνοι.....	38
3.1: Εισαγωγή	38
3.2 : Γεωκίνδυνοι στην θάλασσα.	40
3.3 Γεωκίνδυνοι στην Μεσόγειο Θάλασσα.....	47
3.4 Επιπτώσεις στις κατασκευές	52
3.4.1 Επιπτώσεις στα υποθαλάσσια καλώδια.....	53
3.4.2. Επιπτώσεις στους υποθαλάσσιους αγωγούς.....	54
Κεφάλαιο 4.....	55
Ευστάθεια υποθαλάσσιων πρανών	55
4.1 Εισαγωγή	55
4.2: Αναλυτικές σχέσεις.....	55

4.2.1 : Εισαγωγή.....	55
4.2.3 : Ανάλυση απειρομήκους υποθαλάσσιου πρηνούς.....	59
4.3 Αριθμητική προσομοίωση.....	69
4.3.1: Εισαγωγή.....	69
4.3.2 : Περιγραφή προγράμματος.....	69
4.4 Συγκρίσεις αναλυτικών σχέσεων με αριθμητική προσομοίωση :	88
4.5 Συμπεράσματα:	94
Κεφάλαιο 5.....	95
5.1 : Εισαγωγή	95
5.2 : Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών – GIS.....	95
5.2.1: Εισαγωγή.....	95
5.2.2 : Περιγραφή του προγράμματος ArcGIS	97
5.3 Εφαρμογή: Σύνδεση Πελοποννήσου – Κρήτης	101
5.4 Συμπεράσματα:	114
Κεφάλαιο 6.....	115
Γενικά Συμπεράσματα - Προτάσεις	115
Βιβλιογραφία.....	116

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια όλο και πιο πολλά έργα κατασκευάζονται στο θαλάσσιο περιβάλλον. Οι ωκεανοί και οι θάλασσες καταλαμβάνουν το 73% της επιφάνειας του πλανήτη, ως επακόλουθο η ανθρώπινη δραστηριότητα αρχικά να αναπτύσσεται και να εγκαθιδρύεται γύρω από αυτό και χρόνο με τον χρόνο να ενσωματώνεται μέσα σε αυτό το περιβάλλον. Η απαρχή των θαλάσσιων έργων γίνεται το 1850 με ποντίσεις καλωδίων, ώστε να γίνει εξυπηρέτηση του σκοπού για τηλεπικοινωνία. Σήμερα τα υποθαλάσσια καλώδια, όπως περιγράφεται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 2, είναι υπεύθυνα για την μεταφορά ενέργειας μεταξύ χωρών, νησιών, καθώς και για την ηλεκτροδότηση μεγάλων θαλάσσιων εγκαταστάσεων, όπως οι πλατφόρμες εξόρυξης πετρελαίου και φυσικού αερίου. Ακόμα, τα υποθαλάσσια καλώδια είναι υπεύθυνα για την μεταφορά ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι οποίες βρίσκονται στο θαλάσσιο περιβάλλον και αξιοποιούν τον αέρα, και την παλίρροια για την δημιουργία ηλεκτρικής ενέργειας.

Η συνεχής ζήτηση ενέργειας παγκοσμίως έκανε την καύση υδρογονανθράκων να είναι η μοναδική πηγή ενέργειας η οποία θα μπορούσε να την καλύψει. Για την μεταφορά των υδρογονανθράκων χρησιμοποιούνται υποθαλάσσιοι αγωγοί, οι οποίοι μπορεί να διασχίζουν μεγάλες εκτάσεις που μπορεί να φτάνουν και χιλιάδες χιλιόμετρα. Το δίκτυο των υποθαλάσσιων αγωγών αναπτύσσεται όλο και περισσότερο χρόνο με τον χρόνο, προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες τόσο σε ευρωπαϊκό, όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο.

Όμως το θαλάσσιο περιβάλλον μπορεί να αποβεί πιο καταστροφικό έναντι του χερσαίου περιβάλλοντος καθώς εγκυμονεί περισσότερους και απρόβλεπτους κινδύνους. Τον θαλάσσιο πυθμένα είναι δύσκολο να τον προσεγγίσει ένας άνθρωπος καθώς δεν είναι στο φυσικό του περιβάλλον, ιδιαίτερα στα βάθη που αναπτύσσονται τα περισσότερα έργα η προσέγγιση του είναι ακόμα πιο δυσμενής. Για αυτόν τον λόγο οι μελέτες γύρω από το θαλάσσιο περιβάλλον και τους κινδύνους που ελλοχεύει έχουν αναπτυχθεί σε τέτοιο βαθμό ώστε να μπορεί να προβλεφθεί και να υπολογιστεί οποιασδήποτε υποθαλάσσιος γεωκίνδυνος. Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται οι γεωκίνδυνοι που μπορεί να αναπτυχθούν στο θαλάσσιο περιβάλλον (πχ οι κατολισθήσεις, οι σεισμοί, το τσουνάμι, κλπ.) τόσο σε παγκόσμια κλίμακα όσο και στην θάλασσα της Μεσογείου που είναι και η περιοχή μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Τα εργαλεία που εξειδικεύονται σε αυτές τις αναλύσεις, διαθέτουν πλέον μια σειρά από αλγορίθμους οι οποίοι μπορούν μέσα σε λίγες ώρες να ελέγξουν την επικινδυνότητα κάποιας φυσικής δραστηριότητας και να προβλέψουν τις

επιπτώσεις που μπορεί να έχει μια κατασκευή καθώς και την αντοχή της όταν τεθεί σε κίνδυνο.

Η παρούσα διπλωματική έχει ως στόχο την ανάπτυξη ενός υπολογιστικού εργαλείου, με βάση το οποίο θα επιτυγχάνεται η χάραξη ενός υποθαλάσσιου έργου μεγάλου μήκους, αποφεύγοντας τις περιοχές που μπορεί να δημιουργήσουν γεωκίνδυνο. Έμφαση δόθηκε κυρίως στις υποθαλάσσιες κατολισθήσεις πρηνών, με επίκεντρο την θαλάσσια περιοχή ανάμεσα στην Πελοπόννησο και την Κρήτη. Αναλυτικότερα, μέσω του γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών και των δεδομένων που συλλέχθηκαν, έγινε η εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για τους γεωκινδύνους που ελλοχεύει η περιοχή αυτή. Διαπιστώθηκε πως υπάρχουν απότομα πρηνή, τα οποία μπορεί να θέσουν σε κίνδυνο την θαλάσσια κατασκευή που πρόκειται να διέλθει από εκεί. Με βάση τα εργαλεία που διαθέτουν τα Γ.Σ.Π, έγινε η διαπίστωση για το αν η χάραξη πρέπει να διέλθει από τις επικίνδυνες περιοχές ή αν πρέπει να τις αποφύγει.

Πιο αναλυτικά στο Κεφάλαιο 4, διερευνάται ο συντελεστής ασφαλείας των επικίνδυνων υποθαλάσσιων πρηνών με την χρήση αριθμητικής προσομοίωσης η οποία έγινε μέσω του προγράμματος Plaxis. Για μεγαλύτερη ακρίβεια στα αποτελέσματα, ο συντελεστής ασφαλείας υπολογίστηκε και με την χρήση αναλυτικών σχέσεων ώστε να συγκριθούν τα δυο αποτελέσματα. Ως παράμετροι για τον συντελεστή ασφαλείας τίθενται τα ιζήματα και η γωνία εσωτερικής τριβής, ενώ γίνεται και η δημιουργία κάποιων πιθανών σεναρίων για τις συνθήκες που επικρατούν στο πρηνές ώστε να προσεγγίζει το προσομοίωμα την πραγματικότητα.

Στο κεφάλαιο 5 γίνεται η βέλτιστη χάραξη ενός έργου χρησιμοποιώντας τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (Γ.Σ.Π). Η περιοχή μελέτης είναι το δυτικό Αιγαίο και πιο συγκεκριμένα η χάραξη θα ξεκινάει από την Πελοπόννησο (Νεάπολη Βοιών) και θα καταλήγει στο δυτικό κομμάτι της Κρήτης (Νωπηγεία Χανίων). Στόχος είναι να αποφευχθούν οι ασταθείς περιοχές, τα πρηνή που ενδέχεται να αστοχήσουν αλλά και να επιτευχθεί η μικρότερη δυνατή απόσταση.

Για την τελική χάραξη που πρόκειται να ακολουθήσει το έργο, όπως αναφέρεται και στο Κεφάλαιο 6 με τα τελικά συμπεράσματα, λαμβάνονται υπόψιν όλα τα κριτήρια που έχουν τεθεί μέσω των Γ.Σ.Π, ώστε να παρθεί η απόφαση για το αν η χάραξη θα πρέπει να διασταυρωθεί με μια επικίνδυνη περιοχή ή αν θα πρέπει να την αποφύγει.

Κεφάλαιο 2

Υποθαλάσσια ενεργειακά έργα

Η τελευταία εικοσαετία αποτελεί ορόσημο για την ανάπτυξη και λειτουργία υποθαλάσσιων ενεργειακών έργων. Η συνεχής αναζήτηση για ορυκτό πλούτο καθώς και η ανάγκη για εύρεση εναλλακτικών μορφών ενέργειας έχουν οδηγήσει την διεθνή επιστημονική κοινότητα να δραστηριοποιείται ολοένα και περισσότερο στο θαλάσσιο περιβάλλον. Οι ποντίσεις καλωδίων και η κατασκευή υποθαλάσσιων αγωγών είναι μερικά από τα πιο συνήθη έργα σήμερα, καθώς θεωρούνται έργα μείζονος σημασίας για την μεταφορά ενέργειας, τόσο από και προς τα νησιωτικά συμπλέγματα, όσο και μεταξύ των διαφορετικών κρατών.

2.1 Υποβρύχια καλώδια

Τα υποβρύχια καλώδια χρησιμοποιούνται και λειτουργούν εδώ και εκατοντάδες χρόνια με σκοπό την ηλεκτροδότηση παράκτιων περιοχών όπου η δημιουργία τοπικών μονάδων ηλεκτροδότησης ήταν αδύνατη. Σήμερα, τα υποβρύχια καλώδια πέρα από την διανομή ηλεκτρικής ενέργειας σε νησιά, χρησιμοποιούνται για την ηλεκτροδότηση πλωτών παράκτιων δεξαμενών, καθώς και στην διανομή ηλεκτρικής ενέργειας στο ηπειρωτικό δίκτυο από παράκτιες εγκαταστάσεις όπως τα θαλάσσια αιολικά πάρκα.

2.1.1 Ιστορική Εξέλιξη στην Ελλάδα

Η πόντιση των πρώτων ελληνικών καλωδίων έγινε το 1859 και συνέδεαν τον Πειραιά με την Σίφνο, την Σύρο και την Χίο, με σκοπό την αντιμετώπιση των τηλεγραφικών αναγκών. Μια δεκαετία αργότερα έγινε πόντιση και στα Ιόνια νησιά με το καλωδιακό πλοίο «AGNES», ιδιοκτησία μιας αγγλομεσογειακής τηλεγραφικής εταιρείας, ενώ ένα χρόνο αργότερα μια συμφωνία μεταξύ Ελλάδας και Τουρκίας είχε ως αποτέλεσμα την πλήρη κάλυψη της τηλεγραφικής σύνδεσης της νησιωτικής χώρας με την ηπειρωτική, αλλά και με ξένες χώρες. Το 1992 έγιναν οι πρώτες ποντίσεις οπτικών ινών που συνέδεαν όλα τα νησιά μεταξύ τους, καθώς και με διεθνείς συνδέσεις με κράτη όπως το Ισραήλ, η Ιταλία και η Τουρκία.

Ως προς την ηλεκτρική διασύνδεση των νησιών χρησιμοποιήθηκαν καλώδια εναλλασσόμενου ρεύματός (<52kV) με ισχύ της τάξης των 10-30MW ανά καλώδιο. Το μέγιστο επιτρεπτό οικονομικά μήκος διασύνδεσης είναι μεταξύ 10 και 30 χιλιομέτρων, αλλά μπορεί να υπερβεί αυτόν τον αριθμό σε περίπτωση που χρειαστεί. Μειονέκτημα στην διασύνδεση μεγάλων αποστάσεων

αποτελούν οι διηλεκτρικές απώλειες οι οποίες αυξάνονται όταν πρόκειται για καλώδια εναλλασσόμενου ρεύματος.

2.1.2 Διασύνδεση υπεράκτιων αιολικών πάρκων

Η αιολική ενέργεια σήμερα καλύπτει το 15% της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη, ενώ ένα 3% προέρχεται από τα υπεράκτια αιολικά πάρκα. Διακρίνονται σε δυο κατηγορίες:

- α) Σε αυτά που είναι πακτωμένα στον βυθό της θάλασσας και σε βάθος μικρότερο των 50 μέτρων και
- β) Σε αυτά που επιπλέουν σε ειδικές εξέδρες και μπορούν να εγκατασταθούν σε μεγαλύτερο βάθος, το οποίο μπορεί να φτάσει και 300 μέτρα.

Κάθε αιολική τουρμπίνα απέχει η μια από την άλλη τουλάχιστον 300 μέτρα, ενώ το ρεύμα που παράγουν καταλήγει στην στεριά μέσω υποβρύχιων καλωδίων. Τα καλώδια που συνδέουν τις αιολικές τουρμπίνες μεταξύ τους είναι συνήθως τριφασικά με μέση τάση (10-36kV) ενώ δεν πρέπει να ξεπερνάνε τα 10km από την στεριά. Στην περίπτωση που τα αιολικά πάρκα βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από την στεριά, προκειμένου να μην υπάρχει απώλεια ενέργειας, χρησιμοποιούνται τριφασικά καλώδια με τάση μεγαλύτερη των 100kV καθώς και ενδιάμεσοι πλωτοί ηλεκτρικοί σταθμοί.



Εικόνα 2.1 : Υπεράκτιο αιολικό πάρκο
(Πηγή: www.issuewire.com)

2.1.3 Ηλεκτροδότηση πλωτών δεξαμενών άντλησης πετρελαίου.

Η εξέλιξη της τεχνολογίας, έχει οδηγήσει στην αναβάθμιση των μηχανών αλλά και των συστημάτων που χρειάζονται ώστε να μπορέσει να γίνει η εξόρυξη των υδρογονανθράκων. Για να μπορέσει όμως μια τέτοια αναβάθμιση να προσφέρει το μέγιστο δυνατό όφελος, πρέπει και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται να πληροί κάποιες προϋποθέσεις. Προκειμένου να επιτευχθεί μια καλύτερη μετάδοση ενέργειας, η οποία στην περίπτωση των πλωτών δεξαμενών, επιτυγχάνεται μέσω των υποβρυχίων καλωδίων, στόχος είναι η μετάδοση ηλεκτρικής ενέργειας από την ξηρά σε πλατφόρμες οι οποίες δεν απέχουν πολλά χιλιόμετρα από το χερσαίο κομμάτι.

Οι καιρικές συνθήκες καθώς και η απόσταση μιας δεξαμενής από την ακτή, μπορούν να παίξουν και κομβικό ρόλο στην λειτουργία των πλωτών δεξαμενών. Προκειμένου να εξασφαλιστεί η ασφαλής λειτουργία του συστήματος, η ηλεκτροδότηση των δεξαμενών άντλησης υδρογονανθράκων μπορεί να προσφερθεί από γεννήτριες όταν επικρατούν ακραίες καιρικές συνθήκες. Πρόκειται για γεννήτριες οι οποίες δουλεύουν με πετρελαιοκινητήρα και είναι εγκατεστημένες πάνω στην πλατφόρμα. Η χρήση και η παρουσία αυτών των γεννητριών πάνω στην πλατφόρμα δυσχεραίνει σημαντικά την διαδικασία της εξόρυξης. Η λειτουργία τους προϋποθέτει μεγάλο χώρο και εξειδικευμένο προσωπικό κάτι το οποίο είναι οικονομικά ζημιογόνο για την λειτουργία των δεξαμενών. Εκτός από τις οικονομικές επιπτώσεις, η λειτουργία των γεννητριών επιβαρύνει και το περιβάλλον καθώς οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα είναι αρκετά μεγάλες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η Νορβηγία όπου το 2006 σύνδεσε την πλειοψηφία των δεξαμενών άντλησης υδρογονανθράκων με το χερσαίο τμήμα μέσω υποβρυχίων καλωδίων και μείωσε 25% τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

Μια ακόμα περίπτωση ηλεκτροδότησης πλωτών δεξαμενών είναι με την χρήση πλωτών αιολικών πάρκων η σύνδεση των οποίων γίνεται με χρήση υποβρυχίων καλωδίων. Η ανάπτυξη των αιολικών πλωτών πάρκων έχει εξελιχθεί σε τόσο μεγάλο βαθμό που πλέον μπορούν να χωροθετηθούν και σε μεγάλα βάθη με αποτέλεσμα να προσφέρουν ηλεκτρική ενέργεια στις όμορες πλωτές εξέδρες. Οι άνεμοι που πνέουν στα βάθη αυτά είναι αρκετά ευνοϊκοί για τα αιολικά πάρκα, με μια μέση ταχύτητα ανέμου 10-11m/s, ενέργεια που εξασφαλίζει ότι μπορεί να προσφέρει ηλεκτροδότηση έως και 2 ώρες. Στην περίπτωση όμως που η ταχύτητα του ανέμου είναι χαμηλή και οι απαιτήσεις για ηλεκτροδότηση υψηλές, η ηλεκτροδότηση προέρχεται τόσο από τα πλωτά αιολικά πάρκα όσο και από τις γεννήτριες που βρίσκονται πάνω στις δεξαμενές. (*Magnus Korpåsa (2012)*)



Εικόνα 2.2 : Υπεράκτια πλατφόρμα άντλησης καυσίμων που ηλεκτροδοτείται από υπεράκτιο αιολικό πάρκο.

(Πηγή : Journal of Petroleum Technology - Society of Petroleum Engineers)

2.1.4: Τύποι υποβρύχιων καλωδίων.

Καλώδια οπτικής ίνας για τηλεπικοινωνίες.

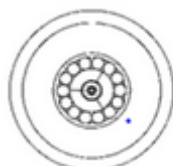
Τα υποβρύχια καλώδια αποτελούν σήμερα μια από τις μεγαλύτερες εφευρέσεις, καθώς έχουν μια μονοπωλιακή θέση στον χώρο των τηλεπικοινωνιών. Είναι πλέον γνωστό σε όλους τους ανθρώπους ότι τα καλώδια αυτά αποτελούν την ραχοκοκαλιά ενός συστήματος το οποίο είναι υπεύθυνο για την διάδοση οποιασδήποτε επικοινωνίας καθώς και για την μεταφορά δεδομένων. Σήμερα το δίκτυο καλωδίων που έχει αναπτυχθεί ξεπερνά το ένα εκατομμύριο χιλιόμετρα και κείται στα βάθη των ωκεανών.

Ενώ τα υποβρύχια καλώδια εξαπλώνονται με φειδώ, προσφέροντας ένα μεγάλο εύρος ζώνης στο παγκόσμιο δίκτυο τηλεπικοινωνιών και στην πραγματικότητα είναι αρκετά διασκορπισμένα. Κάθε μεγάλη χώρα που δεν αποτελεί κόμβο για τις τηλεπικοινωνίες έχει ένα πολύ χαμηλό αριθμό καλωδιακών συνδέσεων, ως αποτέλεσμα τα καλώδια αυτά να πρέπει να αντέξουν όλο το βάρος και τις απαιτήσεις της χώρας και να προσφέρουν παράλληλα γρήγορες συνδέσεις με καλή ποιότητα εξυπηρέτησης.

Προκειμένου λοιπόν να καλύψουν οποιαδήποτε ανάγκη χρειαστεί, τα υποβρύχια καλώδια έχουν σχεδιαστεί για να μεταδίνουν με ταχύτητες της τάξεως των 100 Gbits/s ενώ μπορεί να φτάσουν και στα 400 Gbits/s, γεγονός που συνεπάγεται ότι ανά 1 δευτερόλεπτο θα μεταφέρονται δεκάδες Terabits σε όλο τον κόσμο, προσφέροντας πληροφορίες από κάθε γωνιά της γης μέσα σε δευτερόλεπτα.

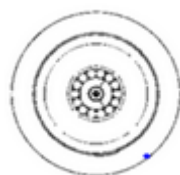
Τα υποβρύχια καλώδια τηλεπικοινωνιών διακρίνονται σε 5 κατηγορίες και διαχωρίζονται ανάλογα με το βάθος που πρόκειται να ποντιστούν:

- Τα Light-Weight Cables (LW) χρησιμοποιούνται για μεγάλα βάθη (>1000m) καθώς δεν φέρουν κάποια προστασία αφού οι κίνδυνοι σε αυτά τα βάθη θεωρούνται αμελητέοι. Η μέγιστη ανοχή που μπορεί να αντέξει ο συγκεκριμένος τύπος είναι μέχρι 70kN και μέγιστη υδροστατική πίεση 78MPa (περίπου 8000m βάθος).



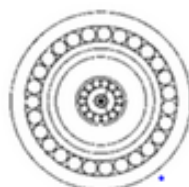
Εικόνα 2.3 : Light-Weight Cable

- Τα Light-Weight Screened Cables (LWS) χρησιμοποιούνται από 500m-1000m βάθος και αποτελούνται από φύλλα χάλυβα τα οποία τα προστατεύει από πιθανά δαγκώματα ψαριών. Η μέγιστη ανοχή που μπορεί να αντέξει ο συγκεκριμένος τύπος είναι μέχρι 70kN ενώ η αντοχή σε κάμψη είναι μέχρι 1500mm.



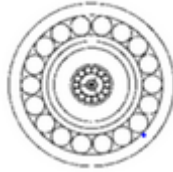
Εικόνα 2.4 : Light-Weight Screened Cable

- Τα Single-Armored Light Cables (SAL) χρησιμοποιούνται από 200-500m βάθος και έχουν ένα λεπτό στρώμα από σύρμα ώστε να αυξήσουν την αντοχή τους και να προστατέψουν το LW που βρίσκεται εσωτερικά. Η μέγιστη ανοχή που μπορεί να αντέξει ο συγκεκριμένος τύπος είναι μέχρι 280kN.



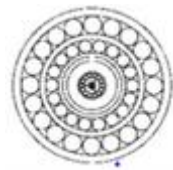
Εικόνα 2.5 : Single-Armored Light Cable

- Single-Armored Cables (SA) χρησιμοποιούνται από 50-200m βάθος και έχουν την ίδια προστασία με τα SAL



Εικόνα 2.6 : Single-Armored Cable

- Double-Armored Cable (DA) χρησιμοποιούνται για μικρά βάθη (<50m) και αποτελούνται από δυο συρματένια επίπεδα προστασίας τα οποία μπορούν να προσφέρουν ανοχή μέχρι 500kN.



Εικόνα 2.7 : Double-Armored Cable

Καλώδια ηλεκτροδότησης

Υπάρχουν πολλοί τύποι ηλεκτρικών καλωδίων σήμερα. Τα περισσότερα από αυτά σχεδιάζονται ανάλογα με τις ανάγκες του έργου καθώς οι συνθήκες διαφέρουν από έργο σε έργο.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται πέντε διαφορετικοί τύποι καλωδίων που αποτελούν την πλειοψηφία των υποβρύχιων ενεργειακών καλωδίων.

- Τύπος νο.1 : Ο τύπος νο.1 χρησιμοποιείται για την ηλεκτροδότηση μικρών νησιών ή για σύνδεση παράκτιων αιολικών πάρκων σε κοντινή απόσταση από την ακτή. Φέρει μόνωση XLPE και EPR ώστε να είναι ανθεκτικό σε μεγάλες θερμοκρασίες λόγω του πολυαιθυλενίου που αποτελεί την εξωτερική γόμωση του καλωδίου. Αυτός ο τύπος καλωδίου μπορεί να φτιάσει μέχρι και 30 km σε μήκος ενώ έχει ισχύ 30MW.



Εικόνα 2.8 : Τύπος νο.1

- Τύπος νο.2 : Ο συγκεκριμένος τύπος καλωδίων χρησιμοποιείται για την ηλεκτρική σύνδεση νησιών μεγάλου πληθυσμού, φέρει μόνωση XLPE ενώ μπορεί να φτάσει μέχρι 150 km σε μήκος προσφέροντας ισχύ της τάξεως των 180 MW.



Εικόνα 2.9 : Τύπος no.2

- Τύπος no.3 : Αυτός ο τύπος καλωδίου χρησιμοποιείται για μεσαίες αποστάσεις, όπως ποτάμια ή λίμνες, διαθέτει μονωτικό υλικό τύπου XLPE. Το μήκος του καλωδίου είναι μπορεί να φτάσει μέχρι 50 km, ενώ διαθέτει μεγάλη ισχύ, καθώς μεταφέρει ενέργεια 700MW ανά 3 καλώδια.



Εικόνα 2.10 : Τύπος no.3

- Τύπος no.4 : Ο τύπος no.4 είναι ο βασικός τύπος καλωδίων όπου χρησιμοποιείται για την ηλεκτροδότηση πλωτών εξεδρών ή πλωτών αιολικών πάρκων. Το μήκος του μπορεί να ξεπεράσει τα 500 km ενώ μπορεί να διαθέσει ηλεκτρική ενέργεια της τάξεως των 1000MW ανά ζεύγος καλωδίων.



Εικόνα 2.11 : Τύπος no.4

- Τύπος no.5 : Ο συγκεκριμένος τύπος υποβρυχίων καλωδίων θεωρείται από τους πιο αξιόπιστους καθώς έχει σχεδιαστεί για ηλεκτροδότηση σε μέρη που απέχουν πολλά μίλια από την ακτή. Πιο συγκεκριμένα ηλεκτροδοτούν εξέδρες άντλησης υδρογονανθράκων οι οποίοι απέχουν από την ακτή έως 500 km, ενώ μεταφέρουν ενέργεια της τάξεως των 600 MW ανά καλώδιο.



Εικόνα 2.12 : Τύπος no.5

2.1.5: Πλοία πόντισης καλωδίων.

Οι πρόσφατες ραγδαίες εξελίξεις της τεχνολογίας και η ανάπτυξη των κλάδων γύρω από την μηχανική δεν θα μπορούσε να αφήσει ακλόνητη την ναυσιπλοΐα στον εν λόγω τομέα. Πλέον οποιαδήποτε εταιρεία ασχολείται με τα καλώδια και τις ποντίσεις αυτών, έχει τον δικό της στόλο πλοίων με σκοπό την άμεση προσαρμογή του κάθε πλοίου στις ανάγκες του έργου αλλά και ως προς το φυσικό περιβάλλον που πρόκειται να κινηθεί.

Τα πλοία πόντισης καλωδίων (CLV) εξελίχθηκαν και αναπτύχθηκαν σε 3 περιόδους.

α) Η πρώτη περίοδος ξεκινά την δεκαετία του 1850, με απώτερο σκοπό την περίοδο να είναι η πόντιση καλωδίων για τις ανάγκες επέκτασης του δικτύου του τηλεγράφου σε κοντινές αποστάσεις.

β) Η δεύτερη περίοδος ξεκινάει την δεκαετία του 1940, όπου γίνονται οι πρώτες ποντίσεις ομοαξονικών καλωδίων. Την περίοδο αυτή, τα πλοία πόντισης καλωδίων αναπτύχθηκαν ως προς το μήκος και το πλάτος τους, καθώς η πόντιση των καλωδίων αυτών, έπρεπε να γίνεται για μεγάλες αποστάσεις όπως π.Χ. ωκεανούς. Κατά συνέπεια τα CLVs γίνονται πλέον πιο μεγάλα ώστε να σηκώνουν πιο μεγάλο φορτίο.

γ) Τέλος από το 1980 έως και σήμερα, τα πλοία αυτά εξελίχθηκαν επιπλέον και ως προς την τεχνολογία την οποία φέρουν, διαθέτοντας πλέον προηγμένα συστήματα που εξομαλύνουν την διαδικασία της πόντισης καθιστώντας την ευκολότερη και απλούστερη. Συγκεκριμένα στις αρχές του 1980 έγιναν οι πρώτες μετατροπές στα εν λόγω πλοία προκειμένου αυτά να βελτιώσουν την διαδικασία πόντισης. Μια δεκαετία αργότερα η μαζική ανάπτυξη των υποβρυχίων καλωδίων είχε ως αποτέλεσμα και την αύξηση του μεγέθους των CLVs.



Εικόνα 2.13 : Αύγουστος 1850, πρώτη προσπάθεια πόντισης καλωδίων

(Πηγή : www.sciencephoto.com.)

Στον 21^ο αιώνα όλο και πιο εξελιγμένος εξοπλισμός τοποθετείται στα πλοία αυτά, προκειμένου να αυτοματοποιηθεί η διαδικασία της πόντισης καλωδίων. Ένα από αυτά είναι το σύστημα DP (Dynamic Position) το οποίο έχει την δυνατότητα να πιλοτάρει το πλοίο και να το κατευθύνει με βάση τα δεδομένα που του έχουν καταχωρηθεί. Για παράδειγμα σε περίπτωση κυματισμού το σύστημα αυτό επαναφέρει το πλοίο στην πορεία που του έχει καθοριστεί και δεν παρεκκλίνει από τα ρεύματα που δρουν πάνω του. Επίσης μπορεί το συγκεκριμένο σύστημα να συλλέξει μετεωρολογικά δεδομένα αλλά και ακριβείς συντεταγμένες για την τοποθεσία του πλοίου με αποτέλεσμα να υπολογίζει πιθανή παρέκκλιση του πλοίου από αστάθμητους παράγοντες. Ένας ακόμη αναγκαίος μηχανισμός με τον οποίο έχουν εξοπλιστεί τα πλοία σήμερα είναι το CLM (Cable Laying Machine) το οποίο είναι απαραίτητο για την σωστή λειτουργία των CLV. Το CLM υπάρχει σε δυο μορφές πάνω στο πλοίο, σε τυμπανοειδή και σε γραμμική μορφή. Και οι δυο τύποι έχουν αρκετά πλεονεκτήματα, η τυμπανοειδής μορφή καταλαμβάνει λιγότερο χώρο πάνω στο κατάστρωμά και αναπτύσσεται το καλώδιο με μεγάλη και σταθερή ένταση, ενώ η γραμμική μορφή καταλαμβάνει μεγαλύτερο χώρο στο κατάστρωμα αλλά το καλώδιο αναπτύσσεται με μικρότερη ένταση. Ο μηχανισμός πόντισης πρέπει να βρίσκεται σε απόλυτο συγχρονισμό με τη διαδικασία πλεύσης του πλοίου, έτσι ώστε για κάθε μέτρο πλεύσης του πλοίου να γίνεται ταυτόχρονα η πόντιση

ενός μέτρου καλωδίου, χωρίς να υπάρχει αδυναμία συγχρονισμού των συστημάτων πλεύσης – πόντισης. (Nelson, R. A., & Daly, J. M. (1975)).



Εικόνα 2.14 : Τυμπανοειδής μορφή CLM

(Πηγή: www.maritimeprofessional.com)



Εικόνα 2.15 : Γραμμική μορφή CLM

(Πηγή: www.maritimeprofessional.com)

Ένα από τα πλοία πόντισης καλωδίων που αξίζει να αναφερθεί είναι “Lewek Connector,” το οποίο θεωρείται μέχρι και σήμερα το μεγαλύτερο πλοίο CLV στον κόσμο. Το συγκεκριμένο πλοίο μπορεί να λειτουργήσει μέχρι και για

4000m βάθος, χρησιμοποιεί δυο δεξαμενές καλωδίων και μπορεί να μεταφέρει μέχρι και 9000 τόνους φορτίου. Ακόμα διαθέτει ελικοδρόμιο και δυο ρομποτικά υποβρύχια (WROV) τα οποία παρακολουθούν την διαδικασία της πόντισης. Το συγκεκριμένο πλοίο έχει συμμετάσχει στην ηλεκτρική σύνδεση πλωτού αιολικού πάρκου (Hornsea Project One) όπου η πόντιση των καλωδίων ολοκληρώθηκε μετά από 130 μέρες.



Εικόνα 2.15: Καλωδιακό πλοίο Lewek Connector

(Πηγή : /www.marinelog.com)

2.2 : Υποθαλάσσιοι Αγωγοί

Η κατασκευή υποθαλάσσιων αγωγών είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την παραγωγή πετρελαίου και αερίου στην θάλασσα. Για πολλές εταιρίες οι αγωγοί αποτελούν τον γρηγορότερο, ασφαλέστερο και οικονομικότερο τρόπο για την συνεχή μεταφορά πετρελαίου και αερίου. Η συλλογή, η μεταφορά του παραγόμενου πετρελαίου, η παραγωγική επεξεργασία καθώς και η αποθήκευση από υπεράκτιες πετρελαιοπηγές και πεδία εξόρυξης φυσικού αερίου, επιτυγχάνεται μέσω υποθαλάσσιων αγωγών.

2.2.1 : Ιστορική εξέλιξη

Οι πρώτοι υποθαλάσσιοι αγωγοί δημιουργήθηκαν στις αρχές του 1940 προκειμένου να χρησιμοποιηθούν ως διανομείς για τις ανάγκες του δεύτερου παγκόσμιου πόλεμου, καθώς μετέφεραν καύσιμα σε στρατεύματα που βρίσκονταν στην Γαλλία από την Αγγλία. Η τεχνολογία αυτή εφευρέθηκε από την βρετανική εταιρεία εγκατάστασης αγωγών κάτω από τον ωκεανό (PLUTO)

και επηρέασε σημαντικά την εξέλιξη των υποβρυχίων καλωδίων αλλά και των πλοίων τα οποία τροποποιήθηκαν για τις ανάγκες του έργου. Ο πρώτος αγωγός είχε διάμετρο 50 χιλιοστά και αποτελούταν από μολύβδο και ήταν τυλιγμένος με διάφορες προστατευτικές στρώσεις, ενώ η θωράκιση του αποτελούταν από χάλυβα ώστε να είναι ανθεκτικός κάτω από το νερό, ενώ παράλληλα διέθετε μεγάλη ευελιξία, όπως μια καλωδίωση τηλέγραφου για την εποχή.



Εικόνα 2.16: Πόντιση αγωγών από την PLUTO.

(Πηγή : <https://en.wikipedia.org>)

Μία δεκαετία αργότερα οι Ηνωμένες Πολιτείες έκαναν την πρώτη απόπειρα κατασκευής υποβρυχίου αγωγού έκτασης 16km στον Κόλπο του Μεξικού για τις ανάγκες μεταφοράς αερίου, γεγονός που θεωρήθηκε πρωτοποριακό για την εποχή. Αργότερα ακολούθησαν και άλλα έργα όπως στις θάλασσες της Μεσογείου, της Ωκεανίας, της νότιας Ασίας, της Λατινικής Αμερικής, και της Αφρικής όπου κατασκευάστηκαν 10 υποβρύχιοι αγωγοί εκτάσεως 104 χιλιομέτρων περίπου ο καθένας, με ανώτατο βάθος στα 1.463 μέτρα (Κόλπος Μεξικού) και με διάμετρο έως 1000 mm.

Ως προς την τεχνολογία των πλοιαρίων όπου χρησιμοποιούσαν τότε για τη μεταφορά των αγωγών αναπτύχθηκε η μέθοδος Lay-barge στον Κόλπο του Μεξικού. Η μέθοδος αυτή οδήγησε στην κατασκευή μιας σειράς ιδιότυπων πλοίων, τροχών και φορτηγίδων και αναπτύχθηκε μία διαφορετική τεχνολογία η οποία αφορούσε στην κατασκευή των αγωγών. Πιο συγκεκριμένα, τοποθετούνταν οι σωλήνες με κεκλιμένη ευθεία γραμμή και εκεί γινόταν η συγκόλληση μεταξύ των μικρών τμημάτων του κάθε αγωγού. Από μία

φορτηγίδα η οποία έφερε κυλίνδρους στο κατάστρωμα της γινόταν η μεταφορά και η συγκόλληση των επιμέρους τμημάτων του κάθε σωλήνα και από την πρύμνη της φορτηγίδας αφήνονταν σταδιακά ο σωλήνας στη θάλασσα για να επιτευχθεί η πόντιση. Οι περισσότεροι υποθαλάσσιοι αγωγοί τοποθετήθηκαν τότε με τη μέθοδο αυτή, καθώς αποδείχθηκε ότι ήταν η πιο αξιόπιστη και πιο ευέλικτη. Προκειμένου να εξασφαλίσουν οι φορτηγίδες την ευστάθεια του πλοίου για να κάνουν σωστή πόντιση, είχαν προσδεθεί με βαρούλκα και αγκύρια στον πυθμένα, ώστε να διατηρούν σταθερή πορεία. Σήμερα έχουν αντικατασταθεί αυτές οι μέθοδοι από προωθητές οι οποίοι εξαλείφουν τα πιθανά προβλήματα που δημιουργούν οι κυματισμοί. Οι πρώιμοι αγωγοί ήταν όλοι σε βάθη νερού προσβάσιμα στους δύτες και πάρα πολλές κατασκευαστικές εργασίες γινόντουσαν με την βοήθεια αυτών όταν επρόκειτο να γίνουν συνδέσεις.

Σήμερα οι απαιτήσεις της υπεράκτιας παραγωγής πετρελαίου απαιτεί την πόντιση αγωγών σε πολύ μεγάλο βάθος το οποίο μπορεί να ξεπερνά τα 3000 μέτρα με αποτέλεσμα να μην μπορεί να γίνει οποιαδήποτε παρέμβαση από ανθρώπινο παράγοντα στην κατασκευή του αγωγού, ενώ έχει αφεθεί από το πλοίο. Μία από τις χώρες που ανέπτυξαν ραγδαία αυτήν την κατηγορία έργων ήταν η Κίνα η οποία το 2006 κατάφερε να κατασκευάσει υποβρύχιους αγωγούς μήκους 778 km με διάμετρο 700 mm οι οποίοι κατέχουν την δεύτερη θέση παγκοσμίως σε έκταση υποβρυχίων αγωγών. Σήμερα την πρώτη θέση την κατέχει ο αγωγός Nord Stream. Πρόκειται για ένα σύστημα δίδυμων αγωγών διαμέτρου 1219 mm και διασχίζει 1224 Km, ενώνει το Βίμποργκ της Ρωσίας με την γερμανική ακτή Greifswald και μεταφέρει φυσικό αέριο στην Ευρώπη. Οι δίδυμοι αυτοί αγωγοί μπορούν να μεταφέρουν 55 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα αερίου το χρόνο, και να διανείμουν αέριο σε χώρες της μεσογείου, την Γαλλία, την Αγγλία και την Δανία. Το έργο κόστισε 7,4 δις. Ευρώ και είχε διάρκεια κατασκευής 2 χρόνια (Απρίλιος 2010- Οκτώβριος 2012).



Εικόνα 2.17 : Απεικόνιση της θέσης του αγωγού Nord Stream. (Πηγή : <https://en.wikipedia.org>)

2.2.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά αγωγών

Οι πρώτοι αγωγοί κατασκευάστηκαν χρησιμοποιώντας βιδωτές συνδέσεις και φλάντζες καθώς οι τεχνικές επεξεργασίας του χάλυβα και συγκόλλησης δεν είχαν αναπτυχθεί εκείνη την περίοδο. Οι μηχανικές συνδέσεις συνεχίζουν να χρησιμοποιούνται και σήμερα, αλλά σχεδόν όλες οι γραμμές παραγωγής που κατασκευάζουν αγωγούς για τη μεταφορά πετρελαίου και φυσικού αερίου δημιουργούν αρμούς που ενώνονται μέσω συγκόλλησης μεταλλικών τόξων. Τα μέταλλα που χρησιμοποιούνται για το σχηματισμό των αρθρώσεων είναι χάλυβες χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα και μαγγάνιο. Ο βαθμός υψηλότερης αντοχής επιτυγχάνεται όταν χρησιμοποιούνται χάλυβες χαμηλής περιεκτικότητας σε κράματα.

Ως προς τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή αγωγών αλλά και για την αποφυγή της πιθανής διάβρωσης τους, είναι ευρέως γνωστό ότι οι κατασκευαστικές εταιρίες δίνουν περισσότερη σημασία σε αυτά τα κομμάτια της κατασκευαστικής αλυσίδας, τόσο για την κατασκευή νέων αγωγών όσο και για την συντήρηση των ήδη υπαρχόντων. Για παράδειγμα υπάρχουν πολλοί νέοι αγωγοί οι οποίοι λειτουργούν σε μεγάλα βάθη σε θερμοκρασίες πάνω από 150°, σε μεγάλες συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα καθώς και σε υψηλές πιέσεις. Βέβαια υπάρχουν και αγωγοί που βρίσκονται στη Μέση Ανατολή και χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά αργού πετρελαίου και φυσικού αερίου, το οποίο χάρις στην οξύτητα που έχει διαβρώνει με ποιο ταχύ ρυθμό τον αγωγό. Προκειμένου να αντιμετωπίσουν οι ειδικοί αυτό το πρόβλημα κατασκευάζουν πλέον υψηλότερης ποιότητας αγωγούς από ξηρούς υδρογονάνθρακες και αντικαθιστούν όλους τους παλιούς που βρίσκονται σε προχωρημένη διάβρωση.

Όταν πρόκειται να οριστούν οι διαστάσεις και η λειτουργία ενός έργου αυτομάτως ορίζονται οι προδιαγραφές των υλικών από το οποίο θα κατασκευαστεί ο αγωγός, αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο εκάστοτε αγωγός να συμμορφώνεται και να ακολουθεί τις οδηγίες και τις απαιτήσεις των αρμοδίων φορέων όπως του αμερικανικού Ινστιτούτου πετρελαίου (API) ή του 5L όπου διασφαλίζεται η καταλληλότητα του υλικού και η ακεραιότητα του αγωγού. Στην περίπτωση των υποθαλάσσιων αγωγών οι σχετικές προδιαγραφές είναι ρcl 2.2. Το 1999 η προδιαγραφή αυτή προσαρμόστηκε στα παγκόσμια πρότυπα (ISO 3189) και κάλυπτε την επιλογή και τη χρήση ενός ενιαίου διαμήκους και ελικοειδούς συγκολλημένου σωλήνα. Ουσιαστικά το ISO 3183 ήταν αντικαταστάτης του API 5L καθώς κάλυπτε ένα μεγάλο φάσμα συνθέσεων υλικών για σωληνώσεις. Ένας χαλύβδινος αγωγός πρέπει να έχει υψηλή αντοχή διατηρώντας την ολκιμότητα του, την αντοχή σε θραύση, αλλά και την συγκολλητική ιδιότητα του.

Πιο αναλυτικά:

- Η αντοχή είναι η ικανότητα του χαλύβδινου αγωγού να αντιστέκεται σε διαμήκης και εγκάρσιες δυνάμεις εφελκυσμού που δέχεται ο σωλήνας όταν αυτός έχει τεθεί σε λειτουργία.

- Η ολκιμότητα είναι η ικανότητα του σωλήνα να αντιστέκεται στις παραμορφώσεις που επιβάλλονται στον σωλήνα από υπερβολικές πιέσεις.
- Η σκληρότητα είναι ικανότητα του υλικού από το οποίο έχει φτιαχτεί ο σωλήνας να αντέχει σε πιθανές δυνάμεις ή φορτία που ασκούνται σε αυτόν έτσι ώστε να μην σταματάει η λειτουργία του αγωγού από ρωγμές ή αυλακώσεις.
- Η συγκολλησιμότητα είναι η ικανότητα και η ευκολία παραγωγής μιας ποιοτικής συγκόλλησης και μιας θερμαινόμενης ζώνης επαρκούς αντοχής και ανθεκτικότητας

Η πιο σημαντική ιδιότητα που πρέπει να έχει ένας υποθαλάσσιος αγωγός όπως αναφέρεται παραπάνω, είναι η συγκολλησιμότητα. Κύριος λόγος είναι ο οικονομικός παράγοντας, καθώς όσο πιο πολύ επιβραδύνεται η εγκατάσταση του αγωγού τόσο αυξάνεται το κόστος του έργου εξαιτίας του υψηλού κόστους λειτουργίας του πλοίου. Όσο πιο γρήγορα συγκολληθεί ο σωλήνας τόσο πιο γρήγορα μπορεί να εγκατασταθεί στον πυθμένα. Η απαιτούμενη ισορροπία αυτών των ιδιοτήτων που πρέπει να έχει ένας υποθαλάσσιος αγωγός, εξαρτάται από την προβλεπόμενη χρήση του. Για παράδειγμα ένας αγωγός ο οποίος πρόκειται να λειτουργήσει σε αρκτικές συνθήκες πρέπει να έχει ένα μεγάλο πάχος τοιχώματος ώστε να έχει μεγάλη ανθεκτικότητα αλλά και αντοχή στις χαμηλές θερμοκρασίες. Παρόλα αυτά το μεγάλο πάχος ενός αγωγού, δύναται να επιφέρει προβλήματα στη διαδικασία συγκόλλησης και για το λόγο αυτό, κατά την κατασκευή του αγωγού, πρέπει να τεθεί περιορισμός στα κράματα, ώστε ο χάλυβας να δεχτεί μια πολύπλοκη θερμομηχανική επεξεργασία προκειμένου να επιτευχθεί η συγκόλληση.

2.2.3 Διαδικασία πόντισης υποθαλάσσιων αγωγών

Η διαδικασία εναπόθεσης θαλάσσιων αγωγών είναι εξαιρετικά δύσκολη και απαιτητική, καθώς πρέπει να αντιμετωπιστούν μεγάλες προκλήσεις ιδιαίτερα όταν η διαδικασία της πόντισης δυσχεραίνεται από φυσικούς παράγοντες όπως ο κυματισμός και το βάθος βύθισης. Για αυτό το λόγο η διαδικασία αυτή έχει συγκεκριμένες τεχνικές και συγκεκριμένα βήματα για τη σωστή εναπόθεση του αγωγού.

Υπάρχουν τρεις μέθοδοι με τις οποίες μπορεί ένας αγωγός να ποντιστεί και διακρίνονται στη μέθοδο S-lay, J-lay και στη ρυμούλκηση. Και στις τρεις περιπτώσεις η δυσκολία που δημιουργείται είναι το πως θα καταπολεμηθεί η άνωση που ασκείται στον αγωγό και πως θα επιτευχθεί η πόντιση του αγωγού ώστε να πέσει στο σημείο που πρέπει. Ως προς την σταθεροποίηση του στον πυθμένα, αυτή επιτυγχάνεται στην περίπτωση των ρηχών νερών μέσω έγχυσης σκυροδέματος πάνω στον αγωγό. Όταν πρόκειται για μεγάλα βάθη, ο αγωγός διαθέτει εκ κατασκευής μεγάλο βάρος από μόνος του, λόγω της μόνωσης που φέρει και μπορεί να κρατηθεί χωρίς να παρασύρεται από υπόγεια ρεύματα.

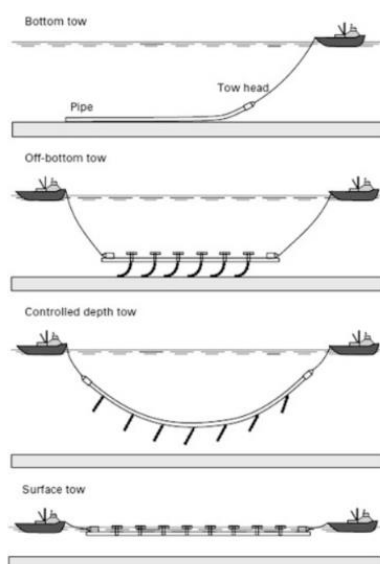
Η διαδικασία της εναπόθεσης ενός αγωγού μέσω ρυμούλκησης είναι η λιγότερο απαιτητική από τις άλλες δύο καθώς χρειάζεται ένα ρυμουλκό και κάποια σώματα. Τα σώματα αυτά προκαλούν άνωση και κρατάνε τον αγωγό στην επιφάνεια ώστε να μη βυθιστεί. Στόχος είναι να ρυμουλκηθεί ο αγωγός στο σημείο που πρόκειται να βυθιστεί και όταν φτάσει στο σημείο αυτό να του αφαιρεθούν τα ανωστικά σώματα και να βυθιστεί αργά και σταθερά στο πυθμένα.

Υπάρχουν τέσσερις τρόποι ρυμούλκησης ενός αγωγού:

Επιφανειακά, μέσου βάθους, πάνω από τον πυθμένα και σύρσιμο στον πυθμένα.

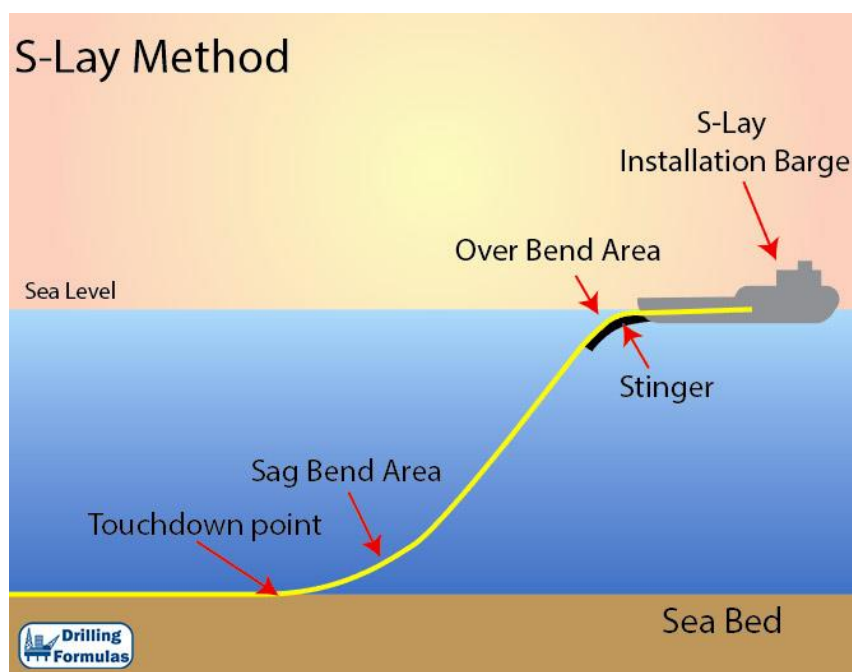
- Στην πρώτη περίπτωση ο αγωγός διατηρείται στην επιφάνεια του νερού μέσω ανωστικών σωμάτων.
- Στη δεύτερη περίπτωση ο αγωγός βρίσκεται σε ένα μικρό βάθος κάτω από την επιφάνεια του νερού και χάρις στην ελκτική δύναμη που του ασκεί το ρυμουλκό, κινείται και διατηρείται σε αυτό το βάθος. Όταν το ρυμουλκό σταματήσει να κινείται τότε η ελκτική δύναμη παύει να υφίσταται και ο αγωγός βυθίζεται.
- Στην τρίτη περίπτωση ο αγωγός βρίσκεται κάποια μέτρα πάνω από τον πυθμένα και με τη χρήση ανωστικών σωμάτων θα φτάσει στο σημείο που πρέπει να βυθιστεί. Τα σώματα αυτά κατόπιν αφαιρούνται και ο αγωγός επικάθεται στον πυθμένα.

Η ρυμούλκηση με σύρσιμο στον πυθμένα χρησιμοποιείται μόνο όταν ο πυθμένας είναι επίπεδος και χωρίς μεγάλο βάθος αλλά δεν ενδείκνυται καθώς προκαλεί μεγάλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις στην χλωρίδα του βυθού.



Εικόνα 2.18: Στην εικόνα διακρίνονται οι 4 τρόποι ρυμούλκησης αγωγού σε (από πάνω προς τα κάτω) Σύρσιμο στον πυθμένα, Πάνω από τον πυθμένα, Μέσου βάθους και Επιφανειακά. (Πηγή : <https://en.wikipedia.org>)

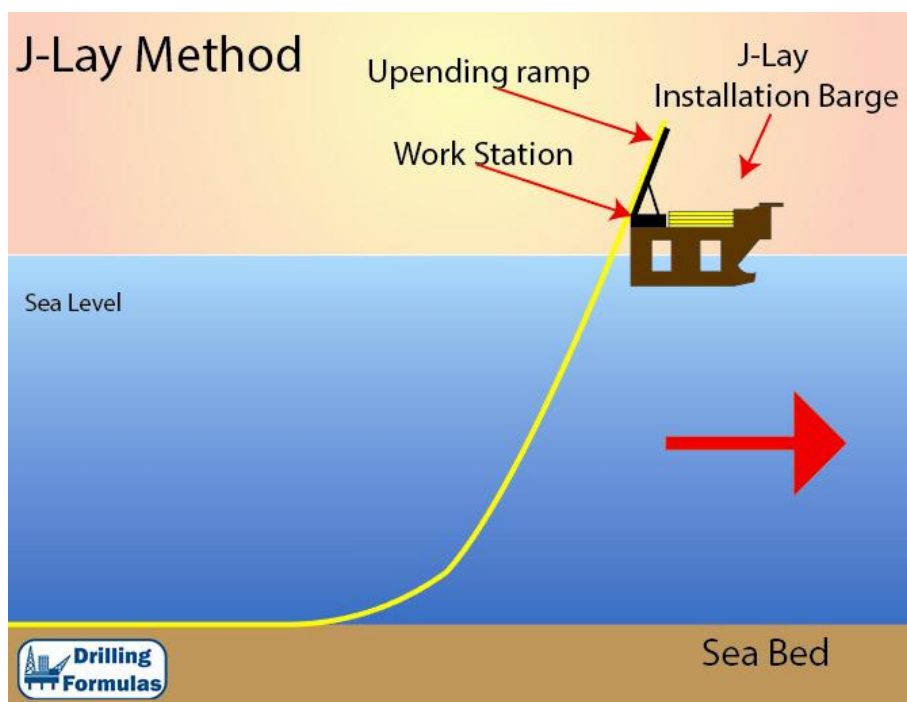
Η μέθοδος S-lay εφαρμόζεται για βάθη έως και 1981m (6500 ft) και έχει πάρει το όνομά της εξαιτίας του σχήματος που παίρνει ο αγωγός όταν βυθίζεται μέσα στο νερό. Στη μέθοδο αυτή ο αγωγός αφήνεται από το μπροστινό τμήμα του σκάφους όταν αυτό βρίσκεται εν κινήσει, και εισχωρεί μέσα στο νερό μέχρι να φτάσει στο σημείο επαφής με τον πυθμένα και η συγκόλληση των επιμέρους τμημάτων του αγωγού γίνεται πάνω στο πλοίο ώστε να υπάρχει συνεχής ροή εναποθέσεις του αγωγού. Η κίνηση του πάνω στο πλοίο αλλά και η εναπόθεση του από το πλοίο επιτυγχάνεται μέσω δοκών οι οποίοι είναι η στήριξη του αγωγού και έχουν την δυνατότητα να ελέγχουν την καμπυλότητα κατά την εναπόθεση, ώστε να μην υπάρχει το φαινόμενο του λογισμού. Επίσης οι δοκοί είναι ρυθμιζόμενοι και μπορούν να αυξομειώνουν το μήκος τους ανάλογα με το βάθος που βρίσκεται ο πυθμένας.



Εικόνα 2.19 : Πόντιση αγωγού με την μέθοδο S-Lay

(Πηγή : www.drillingformulas.com)

Η μέθοδος J-Lay έχει δημιουργηθεί για να ξεπερνάει κάποια προβλήματα τα οποία προκύπταν με τη μέθοδο S-Lay. Στην μέθοδο αυτή ο αγωγός ανυψώνεται μέσω ενός πυργίσκου και από εκεί αφήνεται στο νερό. Το όνομά του έχει προκύψει από τη μορφή που παίρνει ο αγωγός μέσα στο νερό, δηλαδή μία μόνο καμπύλωση του και όχι δύο όπως κάνει η μέθοδος S-lay. Η μέθοδος αυτή ενδείκνυται για μεγάλα βάθη που μπορούν να ξεπεράσουν τα 2000 m (6,560 ft), καθώς οι τάσεις που ασκούνται στον αγωγό με τη μέθοδο αυτή είναι πολύ μικρές. Επίσης μπορεί να αντέξει μεγαλύτερες μετακινήσεις και υποθαλάσσια ρεύματα από ότι στη μέθοδο S-lay.



Εικόνα 2.19 : Πόντιση αγωγού με την μέθοδο J-Lay

(Πηγή : www.drillingformulas.com)

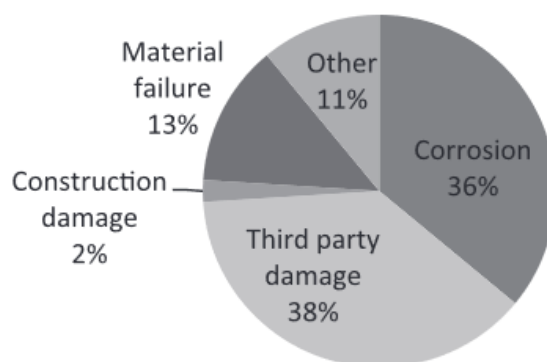
2.2.5 Αστοχίες υποθαλάσσιων αγωγών

Οι υποθαλάσσιοι αγωγοί κατέχουν ένα εξαιρετικό ποσοστό ασφάλειας και αξιοπιστίας ως προς τη λειτουργία τους και την κατασκευή τους. Παρόλα αυτά όπως κάθε έργο έτσι και οι αγωγοί εμφανίζουν αστοχίες κατά διαστήματα. Οι συνήθεις αστοχίες οφείλονται σε διαρροές και μερικές φορές σε αποτυχιές λειτουργικότητας, όπως μπλοκαρίσματα που περιορίζουν τη ροή του αγωγού. Οποιαδήποτε αστοχία γίνει υπεράκτια μπορεί να προκαλέσει βιβλικές καταστροφές στη χλωρίδα και την πανίδα της θάλασσας αλλά και να προκαλέσει τραυματισμούς και απώλεια ζωής. Επίσης, επιφέρει επιπτώσεις και στη διαδικασία της παραγωγής, καθώς και στην αδυναμία εκπλήρωσης των αναγκών ζήτησης ορυκτών καυσίμων τόσο βραχυπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα και έως ότου γίνει η αντικατάσταση του αγωγού.

Οι περισσότερες μορφές αστοχίας συνήθως εμφανίζονται με το που τεθεί σε λειτουργία ο αγωγός για λόγους που οφείλονται στην κατασκευή και στο σχεδιασμό του. Για αυτό το λόγο στατιστικά, οι πρώτες αστοχίες ενός υπεράκτιου αγωγού εμφανίζονται τα πρώτα δύο χρόνια λειτουργίας του. Εφόσον ένας αγωγός δεν εμφανίσει οποιαδήποτε δυσλειτουργία τα πρώτα έτη λειτουργίας του τότε η πιθανότητα να αστοχήσει μελλοντικά είναι πάρα πολύ μικρή. Οι αστοχίες σε μακροχρόνιο επίπεδο οφείλονται κατά κύριο λόγο σε ζημιές που προκαλούνται από αγκύρια ή πτώση αντικειμένων από ασυνήθιστα

σοβαρές καταγίδες ή από σεισμούς και πιο σπάνια από βυθίσεις πλοίων. Η πιο συνηθισμένη μορφή αστοχίας σε μακροχρόνιο επίπεδο είναι η διάβρωση του αγωγού, η οποία προκαλείται από το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται (θαλασσινό νερό) αλλά και στην κακή συντήρηση του.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αστοχίας αγωγού η οποία οφείλεται σε κατασκευαστικό λάθος, είναι η περίπτωση ενός αγωγού πετρελαίου ο οποίος επρόκειτο να βυθιστεί στη Βόρεια θάλασσα. Πιο συγκεκριμένα όταν ολοκληρώθηκε η φάση της κατασκευής και επρόκειτο να γίνει η συγκόλληση των επιμέρους τμημάτων, ο αγωγός τοποθετήθηκε σε μηχάνημα με ακτίνες Χ προκειμένου να εντοπιστούν πιθανές ρωγμές οι οποίες ήταν αδύνατο να εντοπιστούν δια γυμνού οφθαλμού. Τα αποτελέσματα που έδειξαν οι ακτίνες Χ ήταν διαμήκεις γραμμές οι οποίες εμφανίζονταν σε όλη την έκταση του αγωγού. Ουσιαστικά φαίνεται να ήταν οι ρωγμές οι οποίες είχαν προκληθεί από την κύλιση των επιμέρους τμημάτων του αγωγού πάνω στις πλάκες του εργοστασίου. Ως αποτέλεσμα αυτού, ο αγωγός μήκους 42 χιλιομέτρων ενώ είχε κατασκευαστεί ολοκληρωτικά, απορρίφθηκε και δεν προχώρησε η βύθιση του. Αστοχία μπορεί να προκληθεί και κατά τη διάρκεια της πόντισης. Σε περιπτώσεις όπου η φορτηγίδα κινείται πιο γρήγορα από την ταχύτητα που πρέπει, τότε είναι πολύ πιθανόν να προκληθεί λογισμός στον αγωγό και ως αποτέλεσμα να πρέπει να αντικατασταθεί το κομμάτι αυτό που λύγισε. Αυτό μπορεί να συμβεί και στην περίπτωση που η φορτηγίδα δεχτεί κάποια πλαϊνή δύναμη από θαλάσσιο κύμα και δεν διαθέτει τους κατάλληλους μηχανισμούς για να παραμείνει στην θέση της. Μία ακόμα αστοχία που έχει καταγραφεί σε υποθαλάσσιο αγωγό προέκυψε από κακή χωροθέτηση του αγωγού στον πυθμένα, καθώς στο σημείο που βρισκόταν περνούσαν ισχυρά παλιρροιακά ρεύματα με αποτέλεσμα να χαθεί η στρώση σκυροδέματος που είχε τοποθετηθεί πάνω από τον αγωγό η οποία λειτουργούσε ως βαρίδιο ώστε να μην επιδράν η άνωση και έφερε τον αγωγό στην επιφάνεια.



Εικόνα 2.20 : Διάγραμμα κατανομής αστοχιών θαλάσσιων αγωγών

(Πηγή : "Corrosion induced failure analysis of subsea pipelines")

Ένας από τους συνήθεις παράγοντες που προκαλούν αστοχία του αγωγού είναι η διάβρωση. Η διάβρωση του υποθαλάσσιου αγωγού εξασθενεί την αντίσταση του στις εσωτερικές και εξωτερικές δυνάμεις, με αποτέλεσμα να γίνεται ευάλωτος. Υπάρχουν δύο μορφές διάβρωσης, η μία εσωτερική και η άλλη εξωτερική. Ως προς την εσωτερική διάβρωση, αυτή προκύπτει εξαιτίας μιας ηλεκτρονικής διεργασίας που σχηματίζεται από την παρουσία ρύπων όπως το διοξείδιο του άνθρακα το υδροθείο και από κάποια μορφή μικροβίων. Το διοξείδιο του άνθρακα διαλύεται στο νερό και διασπάται σε διττανθρακικά ανιόντα και ιόντα υδρογόνου τα οποία δρουν ως οξειδωτικά στον αγωγό. Η διάβρωση αυτής της μορφής συνήθως αναπτύσσεται τοπικά και στη συνέχεια επεκτείνεται σε μεγάλο μέρος του αγωγού και μπορεί να προκαλέσει φουσκάλες στο εξωτερικό τμήμα του, με αποτέλεσμα να προκληθούν σπασίματα και ρωγμές. Η εξωτερική διάβρωση του αγωγού οφείλεται στις συνθήκες που επικρατούν στο εξωτερικό του περιβάλλον όπως το θαλασσινό νερό και τα ιζήματα. Πιο συγκεκριμένα οι αγωγοί στον θαλασσινό νερό περιβάλλονται από διαλυμένο διοξείδιο το οποίο δρα ως οξειδωτής, όσο περισσότερη είναι η συγκέντρωση του στη μεταλλική επιφάνεια τόσο υψηλότερος είναι ο πιθανός ρυθμός διάβρωσης. Στην περίπτωση που ο αγωγός είναι θαμμένος κάτω από μία ιζηματογενή στρώση τότε η οξείδωση δεν επιτυγχάνεται από την παρουσία οξυγόνου αλλά από όξινα οργανικά ιζήματα τα οποία συμβάλλουν στην μικροβιολογική διάβρωση του.



Εικόνα 2.21 : Θαλάσσιος αγωγός ο οποίος εμφάνισε θραύση εξαιτίας της διάβρωσης.

(Πηγή : www.worldpipelines.com)

2.2.6: Μεγάλα έργα υποθαλάσσιων αγωγών

Nord Stream, Baltic Sea

Ο αγωγός Nord stream είναι ο μεγαλύτερος υποθαλάσσιος αγωγός στον κόσμο με μήκος 1.224 χιλιόμετρα και διασχίζει τη Βαλτική θάλασσα από το Nyborg της Ρωσίας έως τις Γερμανικές ακτές. Πρόκειται για έναν αγωγό 48 ίντσών ο οποίος μεταφέρει φυσικό αέριο από την Ρωσία στην Ευρώπη και είναι ικανός να μεταφέρει 55 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα ετησίως, καλύπτοντας έτσι τις ανάγκες για παροχή φυσικού αερίου της κεντρικής Ευρώπης, της Αγγλίας και της Γαλλίας. Το κόστος του έργου ανήλθε στα 10 δισεκατομμύρια δολάρια ενώ κατασκευάστηκε και διαχειρίζεται από διάφορες εταιρείες στην Ευρώπη, όπως η gazprom και η Germany's Wintershall and E.ON Ruhrgas. Η κατασκευή του έργου έγινε σε δύο φάσεις η πρώτη ολοκληρώθηκε τον Νοέμβριο του 2011, ενώ ο αγωγός τέθηκε πλήρως σε λειτουργία τον Οκτώβριο του 2012. (Wikipedia 2018)

Langeled gas pipeline, North Sea

Πριν από την ολοκλήρωση της κατασκευής του αγωγού Nord stream τη θέση του μεγαλύτερου υποθαλάσσιου αγωγού κατείχε ο αγωγός Langeled. Ο αγωγός Langeled κατασκευάστηκε για τη μεταφορά φυσικού αερίου από τη Νορβηγία στο Ηνωμένο Βασίλειο και έχει τη δυνατότητα να μεταφέρει έως 25 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα ετησίως ώστε να καλύπτει περίπου το 20% της ζήτησης Φυσικού αερίου στην Βρετανία. Το μήκος του είναι στα 1166 χιλιόμετρα και φέρει διάμετρο 48 ίντσες καθώς διασχίζει την βόρεια θάλασσα από το Nyhamna της Νορβηγίας στο Easington στην Αγγλία, όπου από εκεί συνδέεται με το δίκτυο της Gassco στην ηπειρωτική Ευρώπη.



Εικόνα 2.22 : Αγωγός Langeled

(Πηγή : <https://en.wikipedia.org>)

Franpipe, North Sea

Ο αγωγός Franpipe που συνδέει την πλατφόρμα ανύψωσης Draupner με τον τερματικό σταθμό υποδοχής στο λιμάνι του Ouest στο Dunkerque στη γαλλική ακτή διασχίζει 840 χιλιόμετρα κατά μήκος της Βόρειας Θάλασσας. Ο αγωγός φυσικού αερίου διαμέτρου 42 ιντσών που ανήκει στη Gassled και λειτουργεί από τη Gassco είναι ικανός να μεταφέρει 54 εκατομμύρια κυβικά εκατοστά φυσικού αερίου την ημέρα. Ο υποθαλάσσιος αγωγός φυσικού αερίου που κατασκευάστηκε με επένδυση 1,3 δισ. Δολάρια τέθηκε σε λειτουργία το 1998. Η Statoil παρέχει τεχνικές υπηρεσίες για τον αγωγό. Ο τερματικός σταθμός της Dunkerque ανήκει στο 65% της εταιρικής σχέσης Gassled και στο 35% της GDF Suez. Η πλατφόρμα Draupner είναι ένας κεντρικός κόμβος για τον έλεγχο της πίεσης, του όγκου και της ποιότητας των ροών αερίου στους υπεράκτιους αγωγούς φυσικού αερίου της Νορβηγίας.

EastMed, Mediterranean Sea

Ο αγωγός EastMed αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα projects που πρόκειται να κατασκευαστούν στη Μεσόγειο αλλά και στον Ελλαδικό χώρο σε θαλάσσιο περιβάλλον. Στόχος του αγωγού είναι η μεταφορά φυσικού αερίου από την Ανατολική Μεσόγειο στην Ελλάδα και από εκεί στην Ιταλία. Ο αγωγός θα έχει μήκος 1900 km και διάμετρο 24 ιντσών, θα ξεκινάει από το Ισραήλ και θα έχει ενδιάμεσο σταθμό την Κύπρο και από εκεί την Ελλάδα (Κρήτη, Πελοπόννησος), εκ των οποίων τα 1.300 χιλιόμετρα θα είναι στο υπεράκτιο κομμάτι ενώ τα 600 θα είναι στο χερσαίο. Το μέγιστο βάθος που θα φτάσει θα είναι τα τρία χιλιόμετρα ενώ θα έχει τη δυνατότητα να μεταφέρει 10 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα το χρόνο. Η κατασκευή του αγωγού μετά από πολλές αναβολές θα ξεκινήσει το 2022 και πρόκειται να ολοκληρωθεί το 2027.



Εικόνα 2.23 : Αγωγός EastMed

(Πηγή : <https://en.wikipedia.org>)

Galsi Pipeline, Mediterranean Sea

Ένας ακόμα αγωγός που υπάρχει στη Μεσόγειο Θάλασσα είναι ο αγωγός Galsi. Πρόκειται για έναν αγωγό φυσικού αερίου ο οποίος ξεκινάει από την Αλγερία και καταλήγει στην Ιταλία με ενδιάμεσο σταθμό της Σαρδηνία. Η έκταση του σε μήκος είναι 837 χιλιόμετρα, εκ των οποίων τα 565 χιλιόμετρα είναι υπεράκτια και τα 272 χιλιόμετρα στην ξηρά. Ο αγωγός έχει διάμετρο 26-32-48 ίντσες (ανάλογα με το τμήμα) ενώ φτάνει σε μέγιστο βάθος 878 μέτρα. Αποτελείται από ανθρακούχο χάλυβα με εξωτερικό περίβλημα πολυπροπυλενίου για το υπεράκτιο τμήμα και πολυαιθυλενίου για το χερσαίο τμήμα. Μπορεί να μεταφέρει 8 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα αερίου το χρόνο και συμβάλλει καθοριστικά στην οικονομική ανάπτυξη της Σαρδηνίας καθώς το φυσικό αέριο είναι πιο οικονομικό από άλλες μορφές ενέργειας.



Εικόνα 2.23: Αγωγός Galsi

(Πηγή : <https://en.wikipedia.org>)

Κεφάλαιο 3

Υποθαλάσσιοι Γεωκίνδυνοι

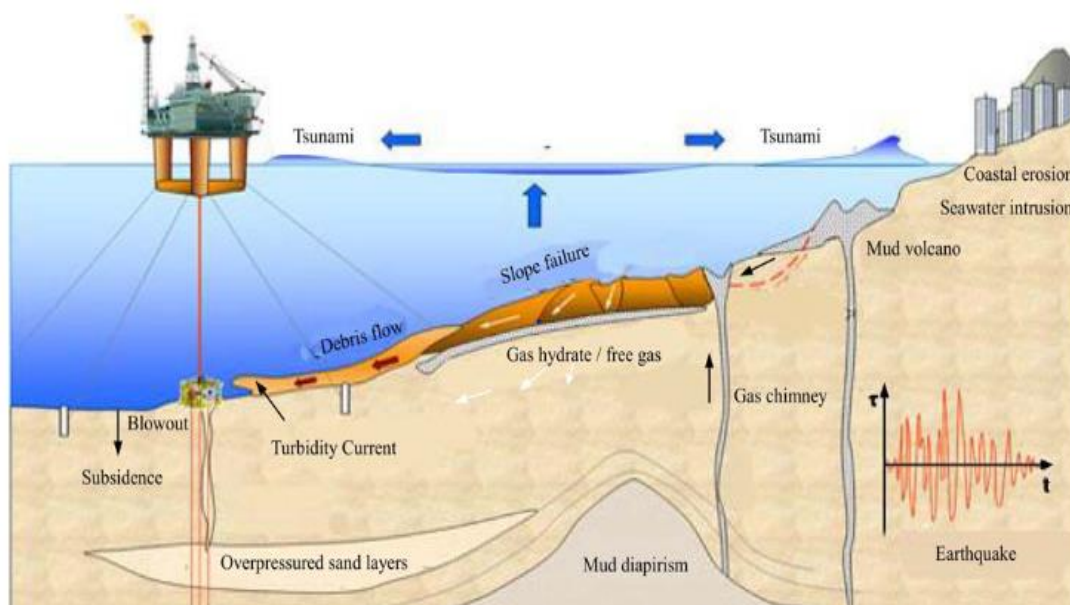
Οι υποθαλάσσιοι γεωκίνδυνοι είναι ολοένα και περισσότερο στην επικαιρότητα τις τελευταίες δεκαετίες. Η συνεχής επέκταση των θαλάσσιων έργων σε μεγαλύτερα βάθη αλλά και η ανάγκη για την συνεχή και ασφαλή λειτουργία τους, έχει οδηγήσει την επιστημονική κοινότητα και τον κατασκευαστικό κλάδο να μελετήσει και να αντιμετωπίσει τους πιθανούς γεωκινδύνους που μπορούν να αποβούν μοιραίοι για οποιαδήποτε κατασκευή. Οι επιπτώσεις που ενδέχεται να προκαλέσουν οι γεωκίνδυνοι μπορούν να αποβούν μοιραίες και μη αναστρέψιμες, (π.χ. οικολογική καταστροφή) και να κινδυνέψουν ανθρώπινες ζωές, δηλαδή άνθρωποι που θα εργάζονται στις θαλάσσιες κατασκευαστικές δραστηριότητες.

3.1: Εισαγωγή

Οι μελέτες γύρω από τους θαλάσσιους γεωκινδύνους έχουν αυξηθεί ραγδαία τα τελευταία χρόνια εξαιτίας της επέκτασης των θαλάσσιων έργων σε όλο και πιο βαθιά νερά. Ορισμένοι υποθαλάσσιοι γεωκίνδυνοι μπορεί να προκαλέσουν καταστροφές σε θαλάσσιες εγκαταστάσεις, των οποίων η επιδιόρθωση ή η αποκατάσταση να είναι δύσκολο να πραγματοποιηθεί. Για αυτόν το λόγο αυτό, οι μελέτες γύρω από τους γεωκινδύνους ανθίζουν χρόνο με τον χρόνο και γίνονται όλο και πιο αξιόπιστες καθώς τα αποτελέσματα και οι αναλύσεις τους μπορούν να αποτρέψουν τεράστιες καταστροφές. Μια μελέτη εκτίμησης κίνδυνου από γεωλογικά φαινόμενα απαιτεί την πλήρη γνώση διαφορετικών επιστημονικών κλάδων όπως της γεωλογίας, της γεωφυσικής, της ιζηματολογίας, της γεωτεχνικής και της δυναμικής των ρευστών. Οποιαδήποτε γνώση όμως γύρω από έναν κλάδο για να αξιοποιηθεί καταλλήλως, πρέπει να συνοδεύεται με αξιόπιστα δεδομένα, τα οποία στην περίπτωση των υποθαλάσσιων γεωκινδύνων συλλέγονται με βυθομετρικές αναλύσεις, με γεωτρήσεις του θαλάσσιου πυθμένα, με γεωτεχνικές και περιβαλλοντικές εκτιμήσεις.

Η χαρτογράφηση του θαλάσσιου πυθμένα είναι το πρώτο βήμα για την απογραφή των πιθανών κινδύνων που μπορεί να υπάρχουν σε μια υπεράκτια περιοχή. Θεωρείται ως ένα από τα πιο αξιόπιστα εργαλεία που μπορεί να κάνει μια ολοκληρωμένη εκτίμηση της γεωγραφικής επικινδυνότητας του θαλάσσιου εδάφους σε περιοχές με μεγάλη έκταση όπου οι μετρήσεις με sonar ή με δειγματοληψία του πυθμένα θεωρούνται αδύνατες. Ο καθορισμός όμως των εδαφικών πληροφοριών σε μορφολογική βάση είναι περιορισμένος, καθώς απαιτούνται λεπτομερείς έρευνες για να είναι πλήρης η εικόνα και η κατάσταση δραστηριότητας των δυνητικά επικίνδυνων περιοχών. Τέτοιες έρευνες περιλαμβάνουν τη χρήση αυτόνομων πλατφόρμων, οι οποίες έχουν σχεδιαστεί

για να λαμβάνουν δεδομένα HR με απευθείας δειγματοληψία, αλλά διακρίνονται για το υψηλό κόστος λειτουργίας. Για αυτό το λόγο η χαρτογράφηση του θαλάσσιου πυθμένα δεν είναι μόνο το βασικό εργαλείο για μία ολοκληρωμένη μελέτη γεωκινδύνων αλλά πολλές φορές αποτελεί μονόδρομο καθώς είναι το πιο αξιόπιστο εργαλείο για την πλήρη μελέτη μεγάλων θαλάσσιων περιοχών.



Εικόνα 3.1: Απεικόνιση όλων των πιθανών θαλάσσιων γεωκινδύνων

(Πηγή : www.marineboard.eu)

Εξαιτίας της συνεχούς διάδοσης αλλά και της αυξανόμενης χρήσης μεθόδων, όπως πολλαπλών δεσμών και άλλων τεχνικών χαρτογράφησης, η θαλάσσια γεωλογία διέρχεται μία ιστορική στιγμή. Η επιστημονική κοινότητα ασχολείται όλο και περισσότερο με την χαρτογράφηση του βυθού, με αποτέλεσμα να λαμβάνονται τεράστιες ποσότητες βαθυμετρικών δεδομένων εξαιρετικά υψηλής ανάλυσης που μας επιτρέπουν να αντιληφθούμε τον θαλάσσιο πυθμένα πιο διεξοδικά και λεπτομερώς. Το αντίκτυπο που έχουν αυτά τα δεδομένα είναι αντίστοιχο με την επίδραση που είχε ο πρώτος βυθομετρικός χάρτης ο οποίος αποτέλεσε θεμέλιο για την πλήρη κατανόηση των παγκόσμιων τεκτονικών διεργασιών που οδήγησε στην ανακάλυψη των τεκτονικών πλακών.

Χάρη της τεχνικής της πολυδεσμικής χαρτογράφησης, υπάρχει πλέον η ικανότητα να χαρτογραφηθεί σε συνεχή ρυθμό μία επιφάνεια του θαλάσσιου πυθμένα γεγονός που αποτελεί επανάσταση στην κατανόηση της θαλάσσιας μορφοδυναμικής. Έχουν αλλάξει σημαντικά οι λεπτομέρειες με τις οποίες μπορούμε να ερμηνεύσουμε την τεκτονική και ιζηματογενή διαδικασία κατά τη διάρκεια ενός γεωκίνδυνου. Τα πολυδεσμικά sonar υπέστησαν ραγδαία ανάπτυξη κατά τη δεκαετία του 80, αν και ο αριθμός των ερευνών στη θάλασσα χρησιμοποιώντας αυτή την τεχνική ήταν περιορισμένος εκείνη την περίοδο. Από τη δεκαετία του 90 ξεκίνησαν να χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερα

συστήματα υποβρύχιας χαρτογράφησης. Σήμερα τα σύγχρονα συστήματα σόναρ συλλέγουν τα όποια δεδομένα ταυτόχρονα και με οπτικές και με ακουστικές δέσμες, ενώ επεξεργάζονται ταυτόχρονα τα δεδομένα τα οποία συλλέγουν. Η χρήση αυτών των δεδομένων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τηλεπισκόπηση των χαρακτηριστικών του θαλάσσιου πυθμένα μέσω αρκετών εφαρμογών και ως αποτέλεσμα να μπορέσουν να εκπονηθούν οι γεωτεχνικές μελέτες.

3.2 : Γεωκίνδυνοι στην θάλασσα.

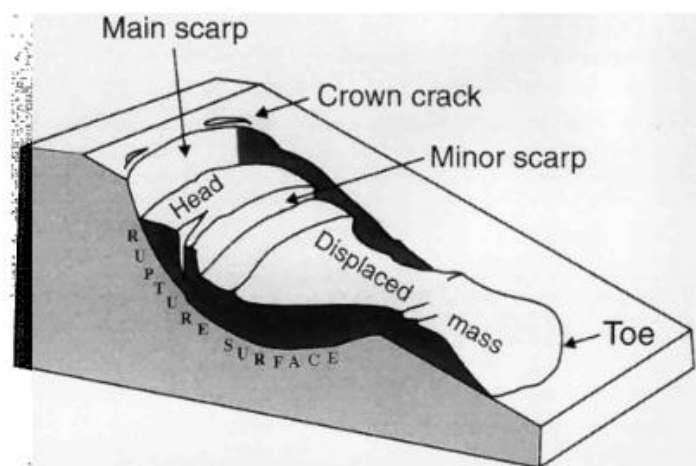
Κατολίσθηση πρηνούς

Ένας από τους πιο συνήθεις γεωκινδύνους που δημιουργούνται στο θαλάσσιο περιβάλλον είναι η κατολίσθηση μιας εδαφικής επιφάνειας. Η αστοχία των θαλάσσιων πρηνών είναι η κύρια απειλή και μπορεί να έχει καταστροφικές επιπτώσεις στην υπεράκτια ανάπτυξη. Η αστάθεια των πρηνών αποτελεί ζήτημα ακόμη και όταν πρόκειται για υφαλοκρηπίδες με κλίση που δεν ξεπερνά τις $0,5^\circ$. Η έκταση που μπορεί να έχουν αυτές οι επιφάνειες κυμαίνονται από σχετικά μικρές παράκτιες επιφάνειες έως απέραντες επιφάνειες πολλών τετραγωνικών χιλιομέτρων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η ολίσθηση μιας εδαφικής στρώσης στην Νορβηγία (Storegga slide), όπου είναι μια από τις μεγαλύτερες κατολισθήσεις που έχουν ερευνηθεί ποτέ. Η αστοχία της επιφάνειας αυτής έγινε πριν από 8000 χρόνια και περιελάβανε την μετακίνηση 5600 km^3 υλικού, ενώ η κλίση της επιφάνειας αυτής πριν την αστοχία δεν ξεπερνούσε τις 2° . Η έκταση όπου κατάφερε να επηρεάσει η κατολίσθηση αυτή άγγιζε τα 30000 km^2

Οι κατολισθήσεις διαθέτουν δύο βασικά χαρακτηριστικά:

- α) Μία ρήξη επιφανείας (επιφάνεια αστοχίας, επιφάνεια ολίσθησης) και
- β) Μία μετατοπισμένη μάζα ιζήματος ή βραχώδους επιφανείας.

Η επιφάνεια ρήξης είναι εκεί όπου έγινε η αστοχία και από εκεί που ξεκίνησε η κατολίσθηση. Δεν πρόκειται μόνο για μία επιφάνεια αλλά για περισσότερες από μία όπου βρίσκονται στην συγκεκριμένη περιοχή. Ως προς το εδαφικό υλικό, αυτό μετατοπίζεται συνήθως και μετακινείται μαζί με όλη την επιφάνεια που καταρρέει αλλά πολλές φορές μετακινείται εντελώς και πέρα από αυτό. Επιπλέον η μάζα αυτή του εδαφικού υλικού μπορεί να παραμείνει άθικτη ή ελαφρώς έως πολύ παραμορφωμένη, καθώς μπορεί και να διασπαστεί σε διακριτά μπλοκ ολίσθησης. Σε μερικές ολισθήσεις μέρος της μάζας ή και ολόκληρη, διασπάται και δημιουργεί μία δική της ροή ανεξάρτητη από την κατολίσθηση.



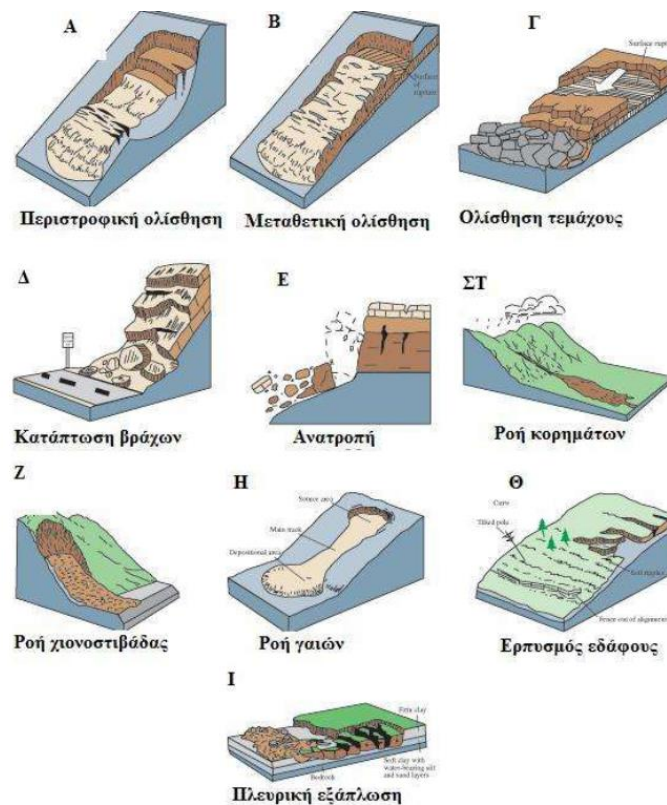
Εικόνα 3.2: Κατολίσθηση πρηνούς

(Πηγή : www.planat.ch)

Η επιφάνεια ρήξης ιδιαίτερα σε ομοιογενές υλικό αποκτά το σχήμα μιας σέσουλας όπως απεικονίζεται στην εικόνα 3.1 , δηλαδή δημιουργείται μια κοίλη στην επιφάνεια του εδάφους όπου από εκεί διαφεύγει η εδαφική μάζα. Ωστόσο εάν είναι μηχανικά ανομοιογενές υλικό, τότε η επιφάνεια αστοχίας έχει πιο επίπεδη μορφή.

Μια από τις πιο διαδεδομένες ταξινομήσεις κατολισθήσεων είναι αυτή του Varnes (Varnes, D.J. (1978)). Ο Varnes αντιλαμβάνεται ως κατολίσθηση οτιδήποτε περιλαμβάνει μετακίνηση ενός τμήματος πρηνούς αλλά όχι τις καθιζήσεις, τις χιονοστιβάδες και τις μετακινήσεις παγωμένων μαζών. Πιο αναλυτικά ο Varnes θεωρεί πως υπάρχουν 6 είδη κατολισθήσεων:

- Οι πτώσεις όπου ουσιαστικά είναι η αποκόλληση κάποιων τμημάτων εδάφους από ένα απότομο πρηνές.
- Η ανατροπή η οποία δημιουργείται όταν παρακαλούνται ανατροπές βράχων ή κορημάτων εξαιτίας κάποιων τάσεων που ασκούνται στο πρηνές.
- Η ολίσθηση η οποία διακρίνεται σε περιστροφική και μεταθετική.
- Οι πλευρικές εκτάσεις οι οποίες είναι ρευστοποιήσεις μαλακών υλικών.
- Οι εδαφικές ροές δηλαδή συνεχόμενες κινήσεις εδαφικών υλικών στο χώρο, και οι σύνθετες όπου ουσιαστικά είναι συνδυαστικές κινήσεις κατολισθήσεων οι οποίες δρουν ταυτόχρονα.



Εικόνα 3.3: Κατολίσθηση πρानούς κατά Varnes.

(Πηγή : www.semanticscholar.org)

Σεισμοί

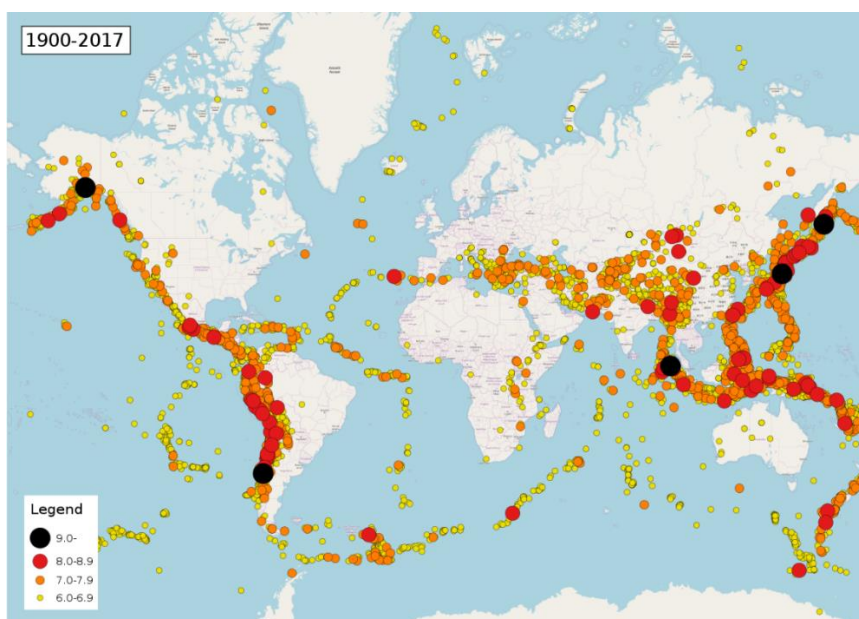
Ως σεισμός ορίζεται η ξαφνική απελευθέρωση συσσωρευμένης ενέργειας στον φλοιό της γης. Τα εγκάρσια κύματα ή αλλιώς τα σεισμικά κύματα που δημιουργούνται έπειτα από κάποια σεισμική δραστηριότητα είναι υπεύθυνα για τις καταστροφές τόσο στο περιβάλλον όσο και στις ανθρώπινες κατασκευές, καθώς μεταφέρουν την ενέργεια που δημιουργείται από τις μετακινήσεις των λιθοσφαιρικών πλακών και την διοχετεύουν σε οποιαδήποτε σώμα βρεθεί στο πέρασμα τους είτε αυτό είναι σε στερεά, είτε σε υγρή μορφή. Στην περίπτωση που το μέσο διάδοσης των κυμάτων αυτών είναι στερεό τότε προκαλείται θραύση στα πετρώματα, καθώς και στις ανθρώπινες κατασκευές ενώ προκαλείται διάρρηξη των δεσμών συνοχής ή μόνιμη παραμόρφωση των υλικών. Όταν το μέσο διάδοσης είναι ρευστό τότε το υλικό παραμορφώνεται προσωρινά και ρευστοποιείται εξαιτίας της θερμότητας που δημιουργείται, με αποτέλεσμα η ρευστοποίηση αυτή να καταλήγει σε κατολίσθηση κάποιου πρानούς.

Το φαινόμενο αυτό δεν μπορεί εύκολα να προβλεφθεί και να υπολογιστεί η επικινδυνότητά του. Για αυτό τον λόγο όταν γίνονται γεωτεχνικές μελέτες λαμβάνεται πάντα υπόψιν η παράμετρος του σεισμού, ακόμα και αν η περιοχή αυτή δεν έχει παρουσιάσει στο παρελθόν σεισμική δραστηριότητα. Ο τρόπος με τον οποίο υπολογίζεται ο αναμενόμενος σεισμός είναι με βάση την προϊστορία που έχει η περιοχή αυτή αλλά και από τα ενεργά και μη ρήγματα που μπορεί ανά πασα στιγμή να προκαλέσουν σεισμό. Ακόμα για τον σεισμικό

σχεδιασμό απαιτείται η γνώση του πλάτους του σεισμικού κύματος, η συχνότητα και η χρονική διάρκεια του, ώστε να δημιουργηθεί μια προσομοίωση του σεισμού και να υπολογιστεί η ανθεκτικότητα των κατασκευών στις συνθήκες αυτές.

Αρκετές μελέτες έχουν δείξει ότι ένας σεισμός μπορεί να προκαλέσει μεγαλύτερες ζημιές στο θαλάσσιο περιβάλλον από ότι στην ξηρά. Πιο συγκεκριμένα αρκετές είναι οι μελέτες που επισημαίνουν ότι οι σεισμοί στην θάλασσα χαρακτηρίζονται από την διάδοση κάθετων σεισμικών κινήσεων στον πυθμένα της θάλασσας και δημιουργούν ένα κύμα συμπίεσης το οποίο μπορεί να προκαλέσει μεγάλες ζημιές, τόσο στα πλοία, όσο και στις πλωτές κατασκευές. (*Formato Kindle 2012*).

Οι καταστροφές ενός σεισμού μπορούν να δημιουργηθούν είτε άμεσα είτε έμμεσα. Έμμεσα μια κατασκευή μπορεί να πληγεί όχι εξαιτίας των σεισμικών κυμάτων που μπορεί να δεχθεί, άλλα από κάποια υποθαλάσσια κατολίσθηση η οποία έγινε εξαιτίας του σεισμού. Έτσι όλα τα αγκύρια που κράταγαν την κατασκευή σταθερή και ήταν εγκατεστημένα στον πυθμένα, να αποκολληθούν από αυτόν και να θέσουν την κατασκευή σε κατάσταση κινδύνου και σε μια ανεξέλεγκτη πορεία. Άμεσα μια θαλάσσια κατασκευή μπορεί να πληγεί από σεισμό μέσω των θαλάσσιων κυμάτων που μπορεί να προκαλέσει (Τσουνάμι).



Εικόνα 3.4: Απεικόνιση όλων των μεγάλων σεισμών(>6 R) στον πλανήτη από το 1900-2017

(Πηγή : Wikipedia)

Στην εικόνα 3.4 είναι εύκολα αντιληπτό ποιες περιοχές είναι δυνητικά επικίνδυνες. Μια από αυτές είναι και η Μεσόγειος η οποία δεν διακρίνεται για την δημιουργία μεγάλων μεγεθών σεισμών, αλλά για την μεγάλη συχνότητα με την οποία δημιουργούνται οι σεισμοί εκεί. Ακόμα αξίζει να σημειωθεί ότι οι περισσότεροι σεισμοί που διακρίνονται στην εικόνα 3,4 έχουν ως επίκεντρο τον ευρύτερο θαλάσσιο χώρο, δείχνοντας έτσι την επικινδυνότητα που έχουν να αντιμετωπίσουν οι κατασκευές που δραστηριοποιούνται στον χώρο αυτό.

Ηφαίστεια

Πολλοί είναι οι γεωκίνδυνοι οι οποίοι σχετίζονται με ενεργά ηφαίστεια. Οι κίνδυνοι αυτοί μπορεί να διαφέρουν σημαντικά καθώς το μέγεθος τους εξαρτάται από τον τύπο του ηφαιστείου, τον τρόπο με τον οποίο εκρήγνυται, από το σχήμα του, αλλά και από το περιβάλλον που βρίσκεται γύρω του. Ένας κίνδυνος που υπάρχει γύρω από κάθε ηφαίστειο είναι τα επιβλαβή αέρια όπως το διοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του θείου, θειούχο υδρογόνο χλώριο και φθόριο. Η επικινδυνότητα των αερίων αυτών για τον άνθρωπο έχει συμβάλει στην μελέτη γύρω από την συμπεριφορά των ηφαιστείων καθώς οι συνθήκες είναι τέτοιες που δεν μπορούν να προσεγγιστούν με ευκολία και να επιτευχθούν μελέτες στο πεδίο.

Ένα μέρος της επικινδυνότητας των ηφαιστείων είναι τα αέρια που εκπέμπει, αλλά αυτό που το καθιστά ακόμα πιο επικίνδυνο είναι η πιθανή έκρηξη του. Η έκρηξη ενός ηφαιστείου οφείλεται στην πίεση αερίων. Αν κατά την εξέλιξη της διαδικασίας κατά την οποία το μάγμα ανεβαίνει στην επιφάνεια, αυτό καταφέρνει να διαστείλει όλα τα αέρια που πιθανόν περιέχει, τότε η έκρηξη του ηφαιστείου θα είναι μικρή. Εάν όμως το μάγμα αποτελείται από τα ηφαιστειογενή πετρώματα, δακίτη και ριόλιθο, τότε το μάγμα αποκτά μια παχύρρευστη μορφή και άρα δεν υπάρχει διαφυγή των αερίων, με αποτέλεσμα η έκρηξη του ηφαιστείου να είναι αναπόφευκτη.



Εικόνα 3.5: Έκρηξη χερσαίου ηφαιστείου.

(Πηγή : Wikipedia)

Εκτός όμως από τα ηφαίστεια που βρίσκονται στην ξηρά και τους γεωκινδύνους που ενδέχεται να προκαλέσουν υπάρχουν και αυτά που είναι στον πυθμένα της θάλασσας και επηρεάζουν άμεσα τόσο το χερσαίο κόμματι όσο και το θαλάσσιο.

Έρευνες έχουν δείξει πως τα περισσότερα ηφαίστεια στην Γη βρίσκονται στο θαλάσσιο χώρο, τα οποία ονομάζονται υποθαλάσσια ηφαίστεια. Μάλιστα

πολλοί είναι εκείνοι που θεωρούν ότι ο αριθμός των εντοπισμένων ηφαιστειών στην θάλασσα είναι πολύ μικρός σε σχέση με τον πραγματικό αριθμό. Τα περισσότερα υποθαλάσσια ηφαίστεια εντοπίζονται στις άκρες των τεκτονικών πλακών, όπου οι περιοχές αυτές ονομάζονται μέσσοωκεάνιες κορυφογραμμές. Ο τρόπος με τον οποίο εκρήγνυνται διαφέρει από αυτήν των χερσαίων ηφαιστειών. Όταν οι δυο λιθοσφαιρικές πλάκες συμπιέζονται μεταξύ τους τότε το μάγμα είναι αυτό που αναβλύζει από τα σπασίματα και δημιουργείται μια υποθαλάσσια ηφαιστειακή έκρηξη. Τα ηφαίστεια τα οποία εκρήγνυνται σε ρηχά νερά είναι και υπεύθυνα για την δημιουργία νέων νήσων. Πιο συγκεκριμένα όταν γίνεται η έκρηξη εκρήγνυται πυκνός καπνός μαζί με κομμάτια βράχων τα οποία βγαίνουν εκτός τις επιφάνειας του νερού. Όταν η λάβα βγαίνει από τον κρατήρα τότε το παγωμένο νερό την ψύχει ακαριαία και τη διαλύει σε μικρά στερεά κομμάτια.

Τα περισσότερα υποθαλάσσια ηφαίστεια βρίσκονται στα βάθη των ωκεανών. Αυτά τα ηφαίστεια υφίστανται μεγάλη πίεση εξαιτίας των ωκεανών που τα περιβάλλουν. Λόγω των υψηλών πιέσεων αποφεύγεται η απόδραση των αερίων, με αποτέλεσμα η λάβα που αναβλύζει να στερεοποιείται και να δημιουργείται ένας κώνος με απότομες πλευρές. Η συνεχής ανάβλυση της λάβας φέρνει το ηφαίστειο όλο και πιο κοντά στην επιφάνεια του νερού, κάνοντας έτσι την πιθανότητα να γίνει μια βίαιη έκρηξη όλο και πιο μεγάλη.



Εικόνα 3.6: Έκρηξη υποθαλάσσιου ηφαιστείου.

(Πηγή : www.nationalgeographic.org)

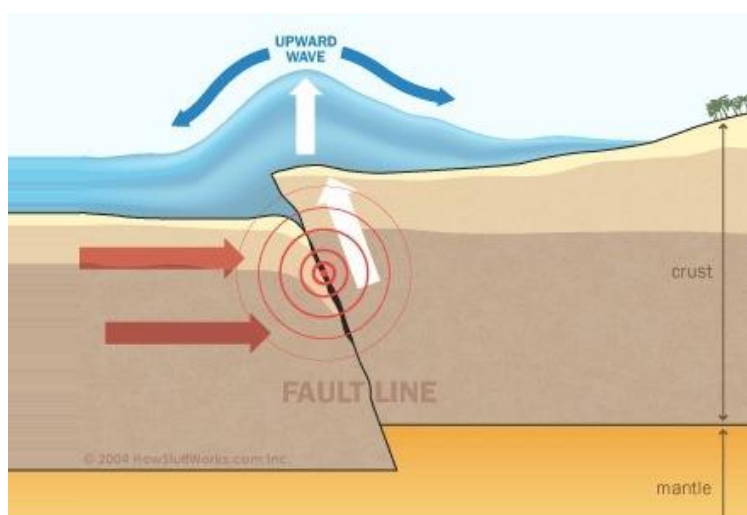
Τσουνάμι

Η λέξη τσουνάμι προέρχεται από δυο ιαπωνικές λέξεις την λέξη "Tsu" που σημαίνει λιμάνι και από την λέξη "nami" που σημαίνει κύμα. Αυτό το όνομα του ταιριάζει ιδιαίτερα καθώς τα τσουνάμι μπορούν να γίνουν βίαια και θανατηφόρα, καθώς πλησιάζουν σε ρηχά νερά και στην ακτογραμμή. Έχουν την ικανότητα να φτάνουν σε ακραία ύψη και να διασχίζουν μέχρι και την ενδοχώρα, εξαιτίας της ενέργειας που μεταφέρουν.

Είναι ένα εντελώς διαφορετικό φαινόμενο από τα κύματα που κινούνται με τον άνεμο όπως παρατηρούνται στις παραλίες ή την άμπωτη. Τα τσουνάμι

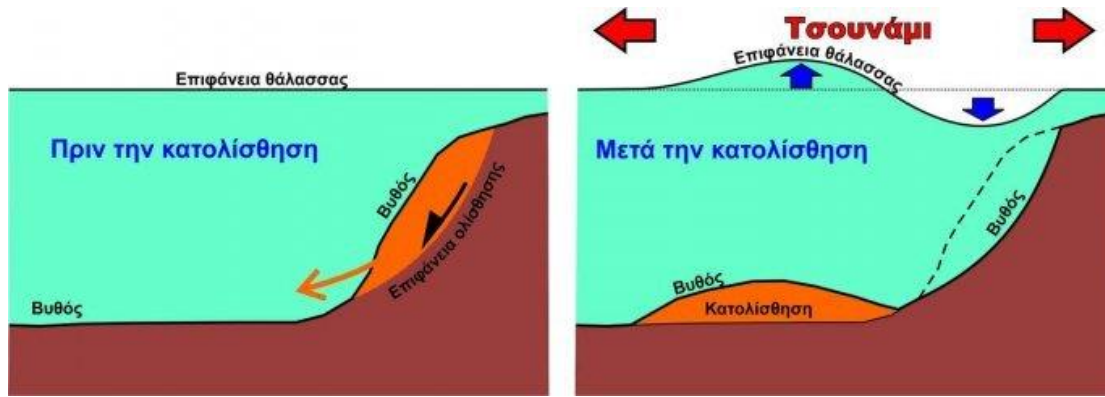
δημιουργούνται από μια μεγάλης έντασης και διάρκειας, διαταραχή του θαλάσσιου πυθμένα ενός ωκεανού και προκαλεί μετατόπιση μεγάλου όγκου νερού. Καθώς το νερό προσπαθεί να επιτύχει βαρυτική ισορροπία, μπορεί να δημιουργηθεί τσουνάμι. Διαφέρουν σημαντικά από οποιοδήποτε άλλο τύπο κύματος, ρεύματος ή παλιρροιακής κίνησης που υπάρχει. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό είναι ότι έχουν τη δυνατότητα να ταξιδεύουν σε ολόκληρο τον ωκεανό. Για παράδειγμα ένα τσουνάμι μπορεί να ταξιδέψει με μεγάλη ταχύτητα και να διασχίσει αρκετά ναυτικά μιλιά μέσα στην θάλασσα. Ένα ακόμα χαρακτηριστικό τους είναι ότι η ενέργεια που μεταφέρει ένα τσουνάμι κατανέμεται σε όλο το βάθος του ωκεανού δηλαδή από την επιφάνεια μέχρι τον πυθμένα δημιουργώντας έτσι μεγάλες καταστροφές στις θαλάσσιες εγκαταστάσεις, σε αγωγούς, καλώδια και πλοία.

Η πιο κοινή αιτία για τσουνάμι είναι οι σεισμοί στο βυθό της θάλασσας, ιδιαίτερα εκείνοι που αναπτύχθηκαν σε μικρό βάθος νερού και σε ζώνες καταβύθισης. Η αιτία αυτή δεν είναι η μοναδική, αλλά το βάθος στο οποίο βρίσκεται το ρήγμα που προκάλεσε τον σεισμό. Οι επιστημονικές μελέτες έχουν δείξει ότι πέρα από το βάθος κάτω από την επιφάνεια του νερού, καθοριστικό ρόλο παίζει και το μέγεθος του σεισμού, αλλά και το εστιακό του βάθος. Στην περίπτωση που ένας σεισμός ξεπερνάει τα 7.0 R δημιουργείται ο κίνδυνος για πιθανό τσουνάμι, καθώς μόνο οι σεισμοί σε τέτοιο βαθμό μπορούν να προκαλέσουν επαρκή κίνηση κατά μήκος του ρήγματος και να εκτοπίσουν αρκετό νερό για να σχηματιστεί τσουνάμι. Μια άλλη γνωστή αιτία για τσουνάμι είναι οι κατολισθήσεις. Η κατολίσθηση μπορεί να συμβεί πλήρως υποβρύχια, ή θα μπορούσε να ξεκινήσει στη στεριά και να στείλει υλικό στο νερό. Η κύρια αιτία υποθαλάσσιων κατολισθήσεων είναι οι μεγάλοι σεισμοί.



Εικόνα 3.7: Απεικόνιση του τρόπου με τον οποίο δημιουργείται ένα τσουνάμι μετά από σεισμό.

(Πηγή : <https://science.howstuffworks.com>)

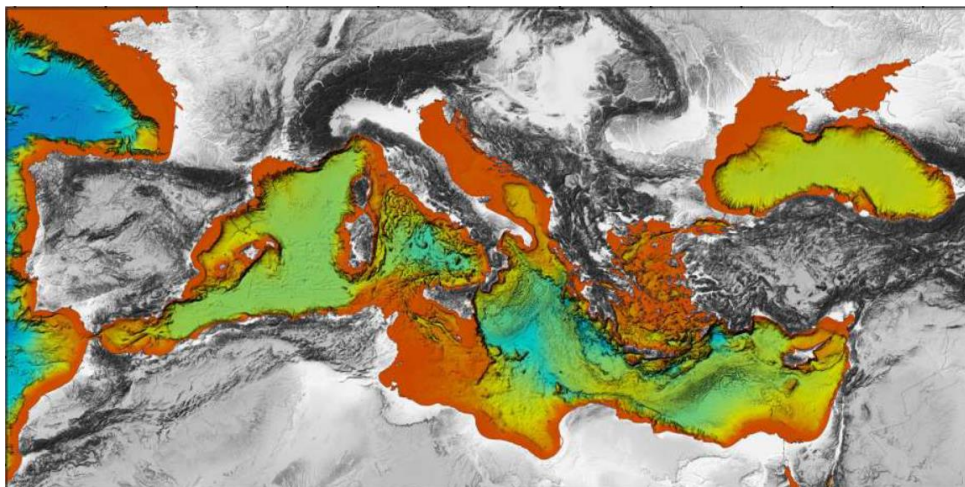


Εικόνα 3.8: Απεικόνιση του τρόπου με τον οποίο δημιουργείται ένα τσουνάμι εξαιτίας κατολίσθησης.

(Πηγή : www.xronometro.com)

3.3 Γεωκίνδυνοι στην Μεσόγειο Θάλασσα.

Η Μεσόγειος θάλασσα είναι ευρέως γνωστή για την ηφαιστιογενή και σεισμική δραστηριότητα της. Ενώ πολλές είναι οι αναφορές για πρόκληση καταστροφών η απώλειες ζών εξαιτίας των δραστηριοτήτων αυτών. Οι περισσότεροι γεωκίνδυνοι στην Μεσόγειο οφείλονται σε γεωλογικές διαδικασίες που σχετίζονται με μετακινήσεις λιθοσφαιρικών πλακών, ενεργά ρήγματα και κατολισθήσεις. Ο σχηματισμός της Μεσογείου σήμερα οφείλεται στην σύγκρουση δυο λιθοσφαιρικών πλακών. Της Αφρικανικής πλάκας, η οποία υπεισέρχεται στην Ευρωασιατική πλάκα, ενώ στη σύγκρουση αυτή οφείλεται το ανάγλυφο της Μεσογείου. Η μελέτη των γεωκινδυνων που δημιουργούνται στην Μεσόγειο είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς μπορούν να επηρεάσουν εκατομμύρια ζωές που βρίσκονται στις όχθες της.



Εικόνα 3.9: Γεωμορφολογική απεικόνιση του θαλασσιού πυθμένα της Μεσογείου.

(Πηγή : EMODNET Bathymetry 2016)

Οι απότομες και στενές υφαλοκρηπίδες της Μεσογείου και η μεγάλη τεκτονική δραστηριότητα των πλακών της, έχουν δημιουργήσει πολλές κατολισθήσεις πρανών. Μέχρι σήμερα έχουν καταγραφεί πάνω από 600 κατολισθήσεις υποθαλάσσιων πρανών στην Μεσόγειο. Οι κατολισθήσεις στην μεσόγειο μπορούν να δημιουργηθούν σε ένα μεγάλο εύρος βάθους το οποίο μπορεί να κυμαίνεται από 50-100m έως και 2000m, ενώ ο όγκος του μετακινούμενου υλικού φτάνει μέχρι τα 1000 κυβικά μέτρα. Κύρια αιτία των κατολισθήσεων είναι η σεισμική δραστηριότητα αλλά και το μαλακό εδαφικό υλικό από το οποίο αποτελείται ο πυθμένας (ιζηματογενής στρώσεις). Εκτός όμως από τα φυσικά αίτια, το γεγονός είναι ότι η Μεσόγειος θάλασσα περιβάλλεται από πολλές κατοικημένες περιοχές και ως επακόλουθο από πολλές ανθρώπινες δραστηριότητες. Αυτή η διαδικασία έχει οδηγήσει στην συνεχή εκμετάλλευση της και στην συνεχή χρήση του θαλάσσιου πυθμένα. Αποτέλεσμα αυτών των αιτιών είναι η αλλοίωση του ανάγλυφου του πυθμένα και άρα να γίνεται πιο ευάλωτος σε φυσικές δραστηριότητες όπως σεισμοί.

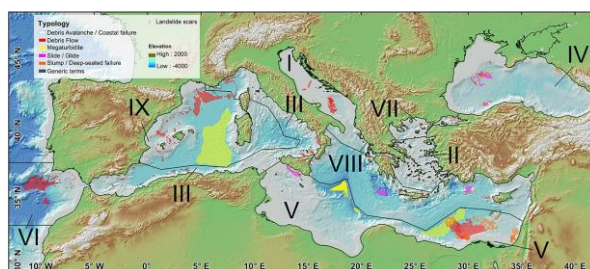
Ένα στοιχείο που έχουν δείξει οι καταγραφές των υποθαλάσσιων κατολισθήσεων στην Μεσόγειο είναι ότι όλες έγιναν στα άκρα των ενεργών ρηγμάτων της, όπως στην Αλγερία, στον Κορινθιακό κόλπο, στο Αιγαίο και στο ρήγμα της βόρειας Ανατολίας. Σε όλες τις περιπτώσεις όμως το μέγεθος τους ήταν σχετικά μικρό χωρίς να προκληθούν περαιτέρω καταστροφές. Αλλά αυτό που αξίζει να σημειωθεί είναι ότι παρά το γεγονός ότι οι κατολισθήσεις αυτές είναι σχετικά μικρές σε έκταση, επαναλαμβάνονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Για αυτόν τον λόγο έχουν μπει στο πλαίσιο ερευνών, η συχνότητα με την οποία μπορούν να επηρεάσουν άμεσα της παράκτιες και υπεράκτιες υποδομές, ενώ μπορούν να θέσουν και σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές μέσω των κυμάτων που ενδεχομένως να δημιουργήσουν.

Μια από τις μεγαλύτερες υποθαλάσσιες κατολισθήσεις που έχουν γίνει ποτέ στην μεσόγειο είναι η Gondola slide. Η περιοχή την οποία επηρέασε στην συνέχεια ήταν στα νοτιοδυτικά της Αδριατικής θάλασσας. Πιο συγκεκριμένα η κατολίσθηση αυτή έγινε σε βάθος 50m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας ενώ ο όγκος της εδαφικής μάζας που μετακινήθηκε ήταν 45 km³ · διανύοντας μια απόσταση άνω των 50 χιλιομέτρων. Ύστερα από πρόσφατες μετρήσεις που έγιναν στο σημείο αυτό, υπολογίστηκε ότι το βάθος από το οποίο ξεκίνησε η κατολίσθηση είχε τροποποιηθεί αρκετά, πηγαίνοντας από τα 50m στα 180m. Η κατολίσθηση αυτή δεν άφησε ανεπηρέαστες τις παράκτιες περιοχές αφού επλήγησαν από κύματα τσουνάμι ύψους 10 μέτρων σε μια χρονική περίοδο 20 λεπτών. (Dalla Valle, G., Gamberi, F., Fogliani, F., & Trincardi, F. (2015).

Όπως προαναφέρθηκε και σε προηγούμενο υποκεφάλαιο τα τσουνάμι είναι κύματα τα οποία δημιουργούνται έπειτα από ενεργειακή δραστηριότητα στον θαλάσσιο πυθμένα. Έχει καταγραφεί ότι το 15% από τα τσουνάμι που δημιουργούνται κάθε χρόνο παγκοσμίως λαμβάνουν χώρα στην Μεσόγειο θάλασσα. Ενώ αναμένονται να δημιουργηθούν στο μέλλον σε περιοχές όπως νότια της Αλγερίας, στο τόξο της Καλαβρίας και στο Ελληνικό ηφαιστειακό τόξο.

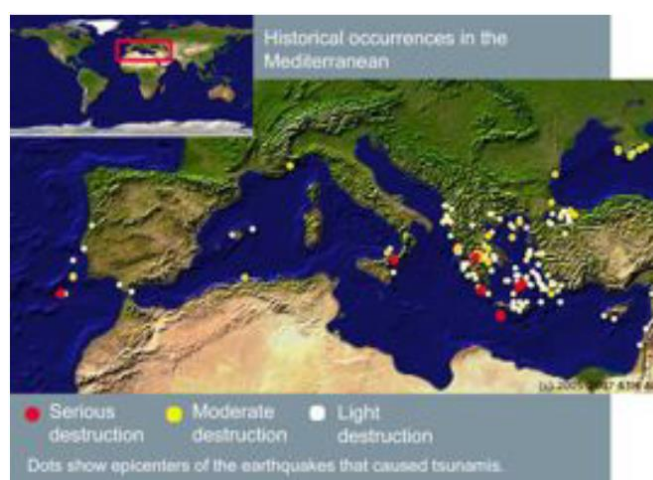
Η επικινδυνότητα των τσουνάμι είναι τόσο μεγάλη για την Μεσόγειο, καθώς μπορεί ανά πάσα στιγμή να δημιουργηθεί από αστάθμητους παράγοντες και να θέσει σε κίνδυνο πολλές ανθρώπινες ζωές. Το γεγονός αυτό πηγάζει από την θέση που μπορούν να δημιουργηθούν, καθώς σε πολλές περιπτώσεις είναι κοντά στην στεριά και χωρίς να αφήνουν περιθώρια αντίδρασης από τον ανθρώπινο παράγοντα.

Στον παρελθόν είχαν καταγραφεί αρκετά τέτοιου είδους κύματα, τα οποία είχαν τέτοια ένταση και διέλυσαν και ολόκληρους πολιτισμούς. Ένα από τα πιο γνωστά παραδείγματα είναι το τσουνάμι που προκλήθηκε στην μεσόγειο και συγκεκριμένα στον Ελλαδικό χώρο από την έκρηξη του ηφαιστείου της Σαντορίνης, το οποίο σύμφωνα με ιστορικούς έφερε τέτοια δύναμη όπου κατάφερε να καταστρέψει ένα μεγάλο κομμάτι της Κρήτης αλλά και να πλήξει πολλές περιοχές της ανατολικής Μεσογείου. Υπήρξαν ακόμα περιπτώσεις όπως το τσουνάμι που δημιουργήθηκε το 2002 κοντά στην νήσο Στρόμπολη και κατάφερε μέσα σε 3 λεπτά από την στιγμή που έγινε η υποθαλάσσια κατολίσθηση να πλήξει το νησί. Όμως δεν είναι όλες οι περιπτώσεις τσουνάμι στην Μεσόγειο ίδιες. Υπάρχουν και τσουνάμι όπως αυτό του 2003 στην βόρεια Αλγερία, όπου χρειάστηκε 80 λεπτά για να φτάσει σε κάποια κοντινή ακτή. Ο χρόνος αυτός υπήρξε καθοριστικός ώστε να γίνει εκκένωση των περιοχών κοντά στην θάλασσα.



Εικόνα 3.10: Απεικόνιση των καταγεγραμμένων υποθαλάσσιων κατολισθήσεων διαχρονικά στην Μεσόγειο θάλασσα.

(Πηγή : EMODNET Bathymetry 2016)



Εικόνα 3.11: Απεικόνιση των Τσουνάμι που δημιουργήθηκαν στην Μεσόγειο.

(Πηγή : EMODNET Bathymetry 2016)

Σύμφωνα με το Ινστιτούτο Γεωλογικής Έρευνας των Ηνωμένων Πολιτειών (USGS) στην μεσόγειο θάλασσα υπάρχει το μεγαλύτερο ποσοστό ενεργών ηφαιστειών ανά το κόσμο. Τα ηφαίστεια στην Μεσόγειο θάλασσα εντοπίζονται τόσο στην ξηρά όσο και υποθαλάσσια, ενώ πολλά από αυτά είναι γνωστά εξαιτίας των μεγάλων καταστροφών που έχουν προκαλέσει ανά καιρούς. Τα ενεργά ηφαίστεια στην Μεσόγειο θάλασσα είναι κατανεμημένα σε δυο ηφαιστειογενή τόξα, στο Ελληνικό ηφαιστειακό τόξο και στο ηφαιστειακό τόξο της Καλαβρίας. Και στις δυο περιπτώσεις τα ηφαίστεια εντοπίζονται πάνω από σεισμικά ρήγματα τα οποία έχουν εστιακό βάθος πάνω από 100 χιλιόμετρα.

Είναι δύσκολο να προσδιοριστεί ο τρόπος με τον οποίο δημιουργήθηκαν τα ηφαίστεια. Σύμφωνα με τους ειδικούς η δημιουργία ενός ηφαιστείου προκύπτει έπειτα από μια σειρά γεγονότων όπως συγκρούσεις μεταξύ πλακών καταπτώσεις εδαφικών μαζών κλπ. Στην περιοχή της Ελλάδας το επικρατέστερο σενάριο είναι ότι η δημιουργία των ηφαιστειών οφείλεται σε σύγκρουση των δυο λιθοσφαιρικών πλακών και πιο συγκεκριμένα στην υποβύθιση της Αφρικάνικης πλάκας έναντι της Ευρωασιατικής. Ενώ τα ηφαίστεια στο τόξο της Καλαβρίας ενδεχομένως να δημιουργήθηκαν έπειτα από εκρήξεις σε διασταυρώσεις ρηγμάτων και σύνθετης υποβύθισης.

Εκτός από τα ηφαίστεια που βρίσκονται σε χέρσο έδαφος υπάρχουν και αυτά που βρίσκονται στον θαλάσσιο πυθμένα της Μεσογείου. Σήμερα ένας μεγάλος αριθμός εντοπίζεται στο Τυρρηνικό πέλαγος στις δυτικές ακτές της Ιταλίας. Το υποθαλάσσιο ηφαίστριο Marsili είναι ένα από τα μεγαλύτερα της περιοχής και αυξημένης επικινδυνότητας σύμφωνα με τους γεωλόγους. Στην περίπτωση ενός μεγάλου σεισμού θα είναι τόσο μεγάλη η ποσότητα μάγματος που θα εκβάλει τόσο ώστε να δημιουργηθεί τσουνάμι το οποίο θα επιφέρει μεγάλες επιπτώσεις στις ακτές της Ιταλίας.



Εικόνα 3.12: Χάρτης απεικόνισης Ηφαιστειών στην μεσόγειο θάλασσα.

(Πηγή : [Francesca Cigna](#), Perspectives Concerning Satellite EO and Geohazard Risk Management: landslide hazards)

Η Μεσόγειος θάλασσα χαρακτηρίζεται για την υψηλή σεισμικότητα της. Θεωρείται από τις πιο ενεργά σεισμικές περιοχές, εξαιτίας της σύγκλισης που

γίνεται μεταξύ των λιθοσφαιρικών πλακών, η οποία ξεκίνησε περίπου πριν από 50 εκατομμύρια χρόνια και μετακινείται 4 έως 10 χιλιοστά τον χρόνο. Τα υψηλότερα ποσοστά σεισμικότητας στην περιοχή της Μεσογείου εντοπίζονται στο σημείο όπου γίνεται η καταβύθιση της Αφρικανικής Πλάκας έναντι της Ευρασιατικής και είναι ζώνη της Βόρειας Ανατολίας στη δυτική Τουρκία και της Καλαβρίας στη νότια Ιταλία.

Στον ελληνικό χώρο παρατηρείται έντονη σύγκλιση των 2 λιθοσφαιρικών πλακών όπου υπολογίζεται 35 χιλιοστά το χρόνο και είναι υπεύθυνη για την μεγάλη σεισμικότητα της χώρας και για την παρουσία πολλών ενεργών ρηγμάτων στο Αιγαίο και στην εν λόγω περιοχή έχουν καταγραφεί δύο από τους υψηλότερους σε μέγεθος σεισμούς στην ιστορία της Μεσογείου. Το 1903 στα Κύθηρα και το 1926 στη Ρόδο. Το μέγεθος των δύο αυτών σεισμών ήταν κοντά στα 8 ρίχτερ (8,2R στα Κύθηρα και 7,8R στην Ρόδο) και δημιούργησαν μεγάλες καταστροφές τις παράκτιες περιοχές. Ωστόσο ιστορικές πηγές αναφέρουν πως το 365 και το 1303 ενδεχομένως να προκλήθηκαν σεισμοί μεγάλης έντασης στο Ελληνικό τόξο σε σχέση με τους δυο προαναφερθέντες.

Ένα από τα σημαντικότερα ρήγματα στην περιοχή της Μεσογείου θάλασσας είναι αυτό της Ανατολίας. Το ρήγμα της Ανατολίας βρίσκεται στη θάλασσα του Μαρμαρά και προκαλεί ανά τακτά χρονικά διαστήματα υψηλής έντασης σεισμούς. Το ανωτέρω ρήγμα φιλοξενεί το μεγαλύτερο μέρος της σεισμικότητας της πλάγιας προς τα δεξιά οριζόντιας κίνησης μεταξύ της μικροπλάκας της Ανατολίας και της Ευρασιατικής Πλάκας. Η μετακίνηση αυτή ανέρχεται στα 24 χιλιοστά ανά έτος. Η καταστροφικότητα του ρήγματος αυτού φανερώθηκε το 1999 όπου ένας σεισμός μεγέθους 7,6 της κλίμακας Ρίχτερ στη Νικομήδεια, κατάφερε να σκοτώσει περισσότερα από 17.000 άτομα και να πλήξει μία από τις πιο πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές της Τουρκίας, προκαλώντας τεράστιες καταστροφές σε σπίτια, κατασκευές, αλλά και στις βιομηχανικές μονάδες που ήταν στην περιοχή αυτή.

Στο κάτω μέρος της βορειοανατολικής Σικελίας και της νότιας Ιταλίας η υποχώρηση που παρατηρείται κάτω από το τυρρηνικό πέλαγος, οφείλεται σε σεισμική δραστηριότητα η οποία εντοπίζεται σε βάθος μεγαλύτερο των 500 χιλιομέτρων. Παρά τον αργό ρυθμό σύγκλισης στο τόξο της Καλαβρίας, 8 χιλιοστά ανά έτος, η περιοχή αυτή έχει προκαλέσει μερικούς από τους πιο καταστροφικούς σεισμούς στην Ευρώπη. Το 1893 προκλήθηκε σεισμός στη Σικελία και κατάφερε να καταστρέψει πολλές πόλεις κατά μήκος της ανατολικής Ακτής. Το 1908 στο στενό της Μεσσήνης (ένα σημείο μεταξύ Σικελίας και Ιταλίας), δημιουργήθηκε ένας ακόμα σεισμός μεγέθους 7 της κλίμακας ρίχτερ. Η σφοδρότητα του σεισμού ήταν τόσο μεγάλη που προκάλεσε 72 χιλιάδες θανάτους, ενώ μέχρι και σήμερα θεωρείται από τους πιο θανατηφόρους ευρωπαϊκούς σεισμούς.

Το Red Sea Rift θεωρείται ένα από τα πιο καταστροφικά ρήγματα για την Ανατολική Μεσόγειο. Το συγκεκριμένο ρήγμα καταλήγει στο νότιο όριο της νεκράς θάλασσας και φιλοξενεί την αριστερή πλευρική κίνηση μεταξύ των πλακών της Αφρικής και της Αραβίας. Σύμφωνα με καταγεγραμμένα ιστορικά

γεγονότα το 1839 δημιουργήθηκε ένας αρκετά μεγάλος καταστροφικός σεισμός ο οποίος στοίχισε τη ζωή σε 20.000 άτομα σε περιοχές της Μέσης Ανατολής.



Εικόνα 3.12: Χάρτης που απεικονίζει τους σεισμούς, τα σεισμικά ρηγμάτα και τις ζώνες υποβύθισης στην Μεσόγειο θάλασσα. Με κόκκινες βούλες είναι οι σεισμοί, με μαύρες γραμμές αναπαρίστανται οι θέσεις των ρηγμάτων, ενώ οι ζώνες υποβύθισης βρίσκονται μέσα στα μαύρα παράθυρα.

(Πηγή : USGS)

3.4 Επιπτώσεις στις κατασκευές

Οποιαδήποτε μεταβολή στο ανάγλυφο ενός εδάφους, επιφέρει επιπτώσεις στις κατασκευές που βρίσκονται πάνω σε αυτό. Στην περίπτωση που υπάρχει μεταβολή όμως στο ανάγλυφο του πυθμένα της θάλασσας, οι επιπτώσεις στις επικείμενες κατασκευές είναι αναπόφευκτες. Η δυσκολία που έχουν να αντιμετωπίσουν οι μηχανικοί και γεωλόγοι στα θαλάσσια έργα, είναι να εντοπίσουν οποιαδήποτε μεταβολή (π.χ. μετατοπίσεις, κατολισθήσεις) του πυθμένα. Η παρακολούθηση του αναγλύφου του πυθμένα, πρέπει να γίνεται τόσο κατά τη φάση της κατασκευής όσο και κατά τη διάρκεια λειτουργίας του έργου.

3.4.1 Επιπτώσεις στα υποθαλάσσια καλώδια

Η ανακάλυψη σχετικά με την πιθανότητα να υπάρξουν υποβρύχιες κατολισθήσεις σε μεγάλα βάθη, έγινε τη δεκαετία του 1950 έπειτα από μία ανάλυση που έγινε στις διακοπές των επικοινωνιών και παρατηρήθηκε ότι οι διακοπές αυτές δεν οφείλονταν σε κακές συνθήκες αλλά σε βλάβη του υποθαλάσσιου καλωδίου έπειτα από κατολίσθηση. Σήμερα οι αναφορές για σπάσιμο υποθαλάσσιων καλωδίων ανέρχονται στις 150 με 200 το χρόνο και μόλις το 35% εντοπίζονται σε βάθη μεγαλύτερα από 200 μέτρα, ενώ το 65% εντοπίζεται σε βάθος μικρότερο των 200 μέτρων και προκύπτει από δραστηριότητες όπως η αλιεία και η ναυσιπλοΐα. Ωστόσο όταν τα καλώδια εντοπίζονται σε υφαλοκρηπίδα, σε μεγάλες κλίσεις πρανών η πιθανότητα να σπάσουν εξαιτίας κάποιου γεωκινδύνου ανέρχεται στο 33%. (*Oceanography (Washington D.C.) June 2014*)

Ο γεωκίνδυνος αυτός συνήθως είναι κάποια κατολίσθηση πρανούς έπειτα από κάποια σεισμική δραστηριότητα. Η θραύση ενός υποθαλάσσιου καλωδίου επιτυγχάνεται είτε όταν το καλώδιο βρίσκεται στο φρύδι του πρανούς, είτε στο πόδι αυτού. Στην πρώτη περίπτωση το καλώδιο ακολουθεί την ροή της εδαφικής μάζας και προκαλείται θραύση εξαιτίας της μετατόπισης του καλωδίου για πολλά χιλιόμετρα, ενώ στη δεύτερη περίπτωση το καλώδιο δέχεται ένα μεγάλο φορτίο το οποίο αποτελείται από τη μετατοπισμένη εδαφική μάζα και από βραχώδες υλικά, με αποτέλεσμα να μην αντέξει το βάρος και να κοπεί. Το 2006 ένας σεισμός στα ανοιχτά της θάλασσας των Φιλιππίνων μεγέθους 7 ρίχτερ, κατέστρεψε 3 υποθαλάσσια καλώδια τα οποία βρίσκονταν στο φρύδι ενός πρανούς που αστόχησε, ενώ άλλα 19 τα οποία βρίσκονταν στο πόδι του πρανούς, καταστράφηκαν από το μεγάλο φορτίο εδαφικής μάζας που δέχτηκαν.

Σήμερα περισσότερα από 1,2 εκατομμύρια χιλιόμετρα υποθαλάσσιων καλωδίων βρίσκονται στην θάλασσα. Η πλειοψηφία αυτών έχει έρθει αντιμέτωπη με κάποια κατολίσθηση, παρόλα αυτά πολύ λίγα καλώδια ήταν αυτά που θλίφτηκαν.

Προκειμένου να αποτραπεί η καταστροφή ενός καλωδίου από κάποια εδαφική κατολίσθηση λαμβάνονται τα εξής μέτρα :

- Αύξηση του μήκους καλωδίου που θα ποντιστεί, έτσι ώστε σε περίπτωση μετακίνησης του από την αρχική θέση, το περισσευούμενο καλώδιο να αποτρέψει την θλίψη.
- Αποφυγή των επικίνδυνων περιοχών.
- Θωράκιση των καλωδίων, με ειδικές εξωτερικές στρώσεις για μεγαλύτερη αντοχή στα φορτία που πρόκειται να δεχτεί από υποθαλάσσια κατολίσθηση.

3.4.2. Επιπτώσεις στους υποθαλάσσιους αγωγούς

Οι αγωγοί μεταφοράς φυσικού αερίου, πετρελαίου ή ρευστοποιημένων υγρών, σχεδιάζονται με ειδικά υλικά έτσι ώστε να προσφέρουν αντοχή σε εξωτερικά φορτία, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που μπορεί να προκληθούν από γεωλογικές δυνάμεις. Συγκεκριμένα, οι αγωγοί φυσικού αερίου πρέπει να σχεδιάζονται σύμφωνα με τους κανονισμούς που θέτουν οι αρμόδιοι φορείς. Για τη συμμόρφωση με αυτούς τους κανονισμούς, ο σχεδιασμός νέων αγωγών, συμπεριλαμβανομένων επισκευών ή αντικατάστασης, πρέπει να λαμβάνει υπόψη το φορτίο που μπορεί να επιβληθεί από τις γεωλογικές δυνάμεις.

Όπως και στην περίπτωση των υποθαλάσσιων καλωδίων, έτσι και οι αγωγοί διατρέχουν μεγάλους κινδύνους από κατολισθήσεις πρηνών, τσουνάμι, ρευστοποίηση εδάφους και υποθαλάσσιες εκρήξεις ηφαιστειών. Στην περίπτωση που δημιουργηθεί κάποια κατολίσθηση ο αγωγός μετατοπίζεται και προκαλείται ένα τέντωμα στη σωλήνωση του, το οποίο ανάλογα με τη δύναμη που δέχεται είτε μπορεί να τον σπάσει σε δύο κομμάτια, είτε να προκληθεί κάποια ανύψωση και να αποσυνδεθεί από κάποιο τμήμα. Ωστόσο σημασία έχει και σε ποιο σημείο θα προκληθεί η κατολίσθηση. Όσο πιο κοντά είναι στον αγωγό τόσο πιο δύσκολο είναι να αποφευχθεί το σπάσιμο, ενώ στην περίπτωση που απέχει από αυτόν κάποια ικανοποιητική απόσταση ενδέχεται να αποφύγει την καταστροφή, προκαλώντας μόνο κάποιες πλαστικές παραμορφώσεις στο εξωτερικό περίβλημά του.

Τα μεγάλα κύματα καθώς και το τσουνάμι είναι ένας από τους γεωκινδύνους που μπορεί να έρθει αντιμέτωπος ένας υποθαλάσσιος αγωγός. Χαρακτηριστικό παράδειγμα επίδρασης αυτού του φαινομένου, είναι ο τυφώνας Katrina (2005), όπου 102 υποθαλάσσιοι αγωγοί καταστράφηκαν στον κόλπο του Μεξικού από τα τεραστία κύματα που δημιουργήθηκαν. Μέτρο πρόληψης σε αυτόν τον γεωκίνδυνο, μπορεί να θεωρηθεί η απόσταση που θα έχει ο αγωγός από τον πυθμένα. Οι υδροδυναμικές δυνάμεις που αναπτύσσονται γύρω από τον αγωγό, είναι ανάλογες με την απόσταση που έχει ο αγωγός από τον πυθμένα. Όσο πιο κοντά είναι ο αγωγός στον πυθμένα, τόσο μικρότερη θα είναι και η υδροδυναμική δύναμη που θα δεχτεί από το τσουνάμι. (*Enjin Zhao, (2019)*)

Κεφάλαιο 4

Ευστάθεια υποθαλάσσιων πρανών

Στο κεφάλαιο αυτό μελετήθηκε η ευστάθεια ενός υποθαλάσσιου πρανούς το οποίο βρίσκεται ανατολικά των Κυθήρων και εκτείνεται μέχρι το ακρωτήριο Μαλέα. Η μελέτη του πρανούς που παρουσιάζεται στην συνέχεια έγινε μέσω του προγράμματος Plaxis.2D.7.1, αλλά και μέσω αναλυτικών τύπων, ώστε να γίνει η σύγκριση των αποτελεσμάτων και να επιλεγεί ο επικρατέστερος συντελεστή ασφαλείας του πρανούς αλλά και η επικινδυνότητα αυτού.

4.1 Εισαγωγή

Στο προηγούμενο κεφάλαιο παρουσιάστηκε η επικινδυνότητα των κατολισθήσεων και οι επιπτώσεις που μπορούν να προκληθούν από μια τέτοια δραστηριότητα, καθώς και ποσό βλαβερές μπορεί να γίνουν για τις κατασκευές. Στο κεφάλαιο αυτό θα μελετηθεί ποσοτικά η επικινδυνότητα των υποθαλάσσιων κατολισθήσεων. Ουσιαστικά πρόκειται για μια μελέτη ευστάθειας πρανών με τη χρήση αναλυτικών εξισώσεων και διαγραμμάτων που προκύπτουν από αυτές. Η μελέτη αφορά υποθαλάσσια πρανή, απειρομήκη, υπό την επίδραση παραγόντων όπως ο σεισμός και η παρουσία νερού. Η περιοχή την οποία μελετάμε στην συνέχεια διακρίνεται για την μεγάλη κλίση της, αλλά και για την ιδιαίτερη μορφολογία του πυθμένα της.

4.2: Αναλυτικές σχέσεις

4.2.1 : Εισαγωγή

Όταν γίνεται η μελέτη για την ευστάθεια ενός πρανούς ουσιαστικά μελετάται η αδυναμία του πρανούς να συγκρατηθεί, χρησιμοποιώντας την διατμητική του αντοχή. Η πιο συνηθισμένη μορφή υπολογισμού της ευστάθειας ενός πρανούς είναι μέσω ενός συντελεστή του οποίου η ανάλυση γίνεται με μεθόδους οριακής ισορροπίας. Ο συντελεστής ασφαλείας υποδεικνύει το πόσο ευσταθές είναι ένα πρανές ανάλογα με το μέγεθος της τιμής του. Αν ο συντελεστής κυμαίνεται κοντά στην μονάδα, τότε θεωρούμε πως το πρανές βρίσκεται σε οριακή ισορροπία δηλαδή η πιθανότητα να αστοχήσει είναι μεγάλη αλλά όχι και σίγουρη. Όταν ο συντελεστής είναι κάτω από 1, τότε το πρανές είναι ασταθές

και ενδέχεται να αστοχήσει ανά πάσα στιγμή. Και στην περίπτωση που είναι μεγαλύτερο της μονάδας τότε θεωρείτε πως είναι ευσταθές και δεν αστοχεί.

Ο συντελεστής αυτός ορίζεται από τον παρακάτω τύπο :

$$FS = \frac{\text{Διατμητική αντοχή}}{\text{Διατμητικές τάσεις}}$$

Ως διατμητική αντοχή ορίζεται η αντοχή του πρανούς να αντιστέκεται στην μεταβολή της φυσικής του κατάστασης και να παραμένει σταθερό και ακλόνητο από την επιβολή εξωτερικών δυνάμεων ή την βαρύτητα, ενώ ως διατμητικές τάσεις θεωρούνται οι δυνάμεις που ενεργούν στο πρανές με σκοπό να το βγάλουν από την κατάσταση ισορροπίας στην οποία βρίσκεται. Όταν ο αριθμός των διατμητικών τάσεων υπερέρχει από την διατμητική αντοχή του πρανούς τότε υπάρχει αστοχία του πρανούς και κατολίσθηση.

Όστοςο κύριος παράγοντας για την μελέτη της ευστάθειας ενός πρανούς είναι τα χαρακτηριστικά του εδαφικού υλικού. Συγκεκριμένα αν μέσα σε αυτό υπάρχουν πόροι νερού τότε η συμπεριφορά του πρανούς διαφέρει. Καθώς η πίεση στο εσωτερικό του πρανούς μπορεί να αυξηθεί εξαιτίας της ύπαρξης νερού με αποτέλεσμα αυτό να λειτουργήσει αρνητικά για την ευστάθεια του.

Υπάρχουν τρεις βασικές συνθήκες που ενδέχεται να επικρατούν σε ένα πρανές και να λαμβάνονται υπόψιν για την ανάλυση της ευστάθειας του :

- Αστράγγιστες συνθήκες όπου εάν ο μηχανισμός ενεργοποίησης είναι τόσο γρήγορος, τότε δεν επιτυγχάνεται η αποστράγγιση εξαιτίας της ύπαρξης νερού.
- Πλήρως στραγγιζόμενες συνθήκες όπου στην περίπτωση αυτή δεν υπάρχει παρουσία νερού στο εδαφικό υλικό.
- Μερικώς στραγγιζόμενες συνθήκες, όπου υπάρχει μια διάχυση των πιέσεων των πόρων αλλά παραμένουν υψηλές.

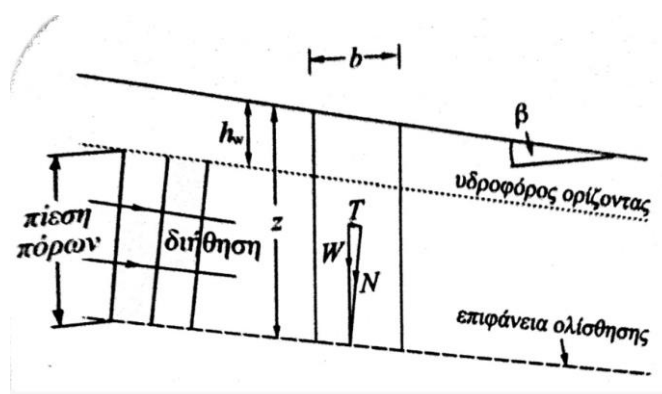
Οι αστράγγιστες συνθήκες κατά την επιβολή κάποιας σεισμικής δράσης δέχονται περισσότερη πίεση εξαιτίας της ύπαρξης νερού. Όταν επικρατούν πλήρως στραγγιζόμενες συνθήκες ο αργός ρυθμός παραμόρφωσης του πρανούς σχετίζεται με την απουσία νερού στο εσωτερικό του. Ως προς τις μερικώς στραγγιζόμενες συνθήκες το πρανές βρίσκεται σε μια δυναμική ισορροπία εξαιτίας της αυξημένης πίεσης των πόρων νερού, αλλά και από την στερεοποίηση.

4.2.2 : Μέθοδοι ευστάθειας πρανών

Επίπεδη μεταφορική ολίσθηση.

Η επίπεδη μεταφορική ολίσθηση υποθέτει την μετακίνηση μιας μάζας εδάφους επάνω από μία μόνο επίπεδη επιφάνεια ολίσθησης παράλληλη στην επιφάνεια του εδάφους και αγνοεί τα φαινόμενα στα άκρα και τις πλευρές. Η ανάλυση αυτού του είδους εφαρμόζεται περισσότερο σε κοκκώδη εδάφη, μη συνεκτικά εδάφη ($c'=0$), εδάφη με διαστρωμάτωση ή στρωσιγενή, με κλίση παράλληλα στο πρανές, εδάφη με διαβρωμένες διατομές οι οποίες δημιουργούν ανώτερους ασθενέστερους οριζόντες και πρανή που έχουν ήδη μια αβαθή “πλάκα” ολίσθησης τέτοια ώστε η διατμητική αντοχή στην επιφάνεια ολίσθησης να έχει μειωθεί στην παραμένουσα τιμή της.

Έστω ένα κατακόρυφο τμήμα εδάφους με πλάτος b και μοναδιαίο πάχος σε ένα πρανές με κλίση β . Ο υδροφόρος ορίζοντας είναι παράλληλος προς την επιφάνεια του εδάφους σε βάθος h_w με σταθερή διήθηση η οποία υποτίθεται παράλληλη προς την επιφάνεια του εδάφους. (Graham Barnes, 2014)



Εικόνα 4.2: Επίπεδη μεταφορική ολίσθηση.

(Πηγή : Barnes, 2014)

Στην μέθοδο αυτή η εφαπτόμενη τάση T στο πρανές και η ολική τάση σ δίνεται από τους ακόλουθους τύπους:

$$T = W \sin\beta = \gamma z b \sin\beta$$

$$\sigma = W \cos\beta \cos\beta / b = \gamma z \cos^2\beta$$

Ο ολικός συντελεστής ασφαλείας δίνεται από την σχέση:

$$F = \frac{c' + \tan\phi' \cos^2\beta (\gamma z - \gamma_w z + \gamma_w h_w)}{\gamma z \sin\beta \cos\beta}$$

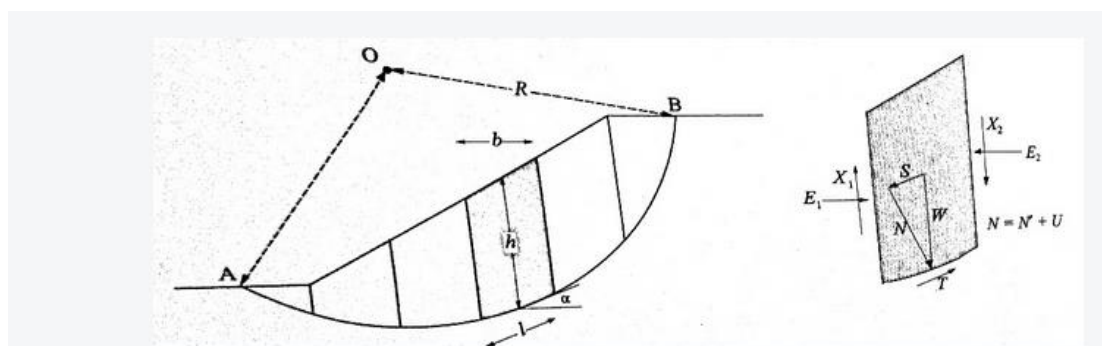
Η μέθοδος αυτή διακρίνεται σε ορισμένες επιμέρους περιπτώσεις:

- Ξηρό, μη συνεκτικό πρανές όταν $c'=0$ και $h_w=z$
- Υγρό μη συνεκτικό πρανές όταν $c'=0$ και $h_w=0$
- Μη συνεκτικό πρανές ($c'=0$) με λόγο πίεσης πόρων r_u
- Μη συνεκτικό πρανές με υδροφόρο ορίζοντα κάτω από την επιφάνεια ολίσθησης ο οποίος δημιουργεί αναρρόφηση στην επιφάνεια ολίσθησης
- Βυθισμένο πρανές χωρίς διήθηση
- Έδαφος με στρώσεις
- Αστράγγιστες συνθήκες

Ανάλυση ενεργών τάσεων- μέθοδος των λωρίδων

Υποτίθεται μια επιφάνεια ολίσθησης σχήματος κυκλικού τόξου με ακτίνα R . Το εδαφικό τμήμα επάνω από το κυκλικό τόξο έχει μοναδιαίο πάχος και διαιρείται σε έναν αριθμό κατακόρυφων λωρίδων ίσου πλάτους d και μεταβλητού ύψους h . Αν ο αριθμός των λωρίδων είναι αρκετά μεγάλος, η βάση κάθε λωρίδας μπορεί να θεωρηθεί ευθεία γραμμή με κλίση α ως προς την οριζόντια και μήκος $l=b \sec \alpha$.

Το τμήμα διαιρείται σε λωρίδες μόνο για τη διευκόλυνση της ανάλυσης. Υποτίθεται ότι το τμήμα (όλες οι λωρίδες) περιστρέφεται ως προς το κέντρο του κύκλου O σαν στερεό σώμα, ώστε ο συντελεστής ασφαλείας να είναι ο ίδιος για κάθε λωρίδα, δηλαδή υπάρχει ενιαίος συντελεστής ασφαλείας για την επιλεγμένη δοκιμαστική επιφάνεια. Αυτό συνεπάγεται ότι ανάμεσα στις λωρίδες πρέπει να ενεργούν δυνάμεις που είναι γνωστές ως ενδιάμεσες δυνάμεις και συνήθως λαμβάνονται E κάθετες και εφαπτομενικές X στις πλευρές των λωρίδων. (Graham Barnes, 2014)



Εικόνα 4.3: Μέθοδος των λωρίδων.

(Πηγή : Graham Barnes, 2014)

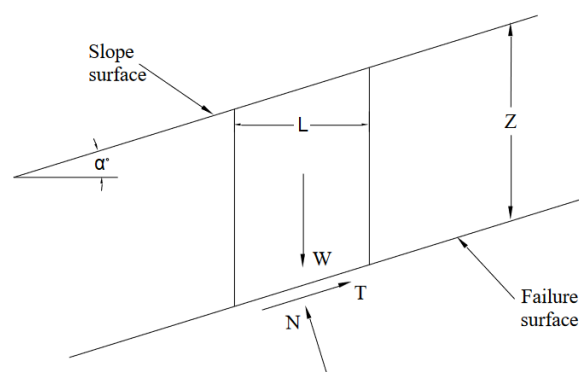
Οι δυνάμεις που δρουν σε μια λωρίδα είναι:

1. Το ολικό βάρος της λωρίδας $W = \gamma b h$ όπου γ το ειδικό βάρος του εδάφους.
2. Το βάρος κάθε λωρίδας προκαλεί μια διατμητική δύναμη παράλληλα στη βάση της ίση με $S = W \sin \alpha$.
3. Η ολική κάθετη δύναμη στη βάση είναι $N = \sigma l$.
4. Η ολική κάθετη δύναμη λαμβάνεται από την ολική κάθετη τάση η οποία έχει δύο συνιστώσες, την ενεργό κάθετη δύναμη $N' = \sigma' l$ και τη δύναμη του νερού $U = u l$ όπου u είναι η πίεση των πόρων στο κέντρο της βάσης της λωρίδας.
5. Η διατμητική αντίσταση του εδάφους δημιουργεί μια διατμητική δύναμη $T = \tau m l$.
6. Οι πλευρικές δυνάμεις μπορούν να αναλυθούν σε ολικές κάθετες δυνάμεις $E1$ και $E2$ και σε εφαπτομενικές διατμητικές δυνάμεις $X1$ και $X2$.

4.2.3 : Ανάλυση απειρομήκους υποθαλάσσιου πρανούς

Ως απειρομήκες χαρακτηρίζεται ένα πρανές όπου το μήκος τους είναι πολύ μεγαλύτερο από το ύψος τους. Στην ανάλυση αυτή γίνεται η θεώρηση ότι η επιφάνεια αστοχίας είναι παράλληλη με την επιφάνεια του εδάφους και ότι το βάθος της επιφάνειας που αναμένουμε να ολισθήσει, θα είναι συγκριτικά μικρό με το ύψος του πρανούς.

Η μελέτη που ακολουθεί πραγματοποιήθηκε σε υποθαλάσσιο πρανές σε στατικές και ψευδοστατικές συνθήκες. Ενώ θεωρήθηκε πως ένα κομμάτι της επιφάνειας του αποτελείται από μια ιζηματογενή στρώση υλικού.



Εικόνα 4.4: Απειρομήκες πρανές.

(Πηγή : Graham Barnes, 2014)

Λαμβάνοντας υπόψιν την αστοχία μιας εδαφικής στρώσης μήκους L κατά μήκος ενός απειρομήκους πρανούς, τότε προκύπτουν κάθετες δυνάμεις και δυνάμεις διάτμησης στο έδαφος N και S , σε μια επιφάνεια παράλληλη προς το πρανές το οποίο έχει πάχος z , συναρτήσει του βάρους του εδαφικού υλικού W .

Ο τύπος για το βάρος δίνεται από την σχέση : $W = \gamma z L \cos a$ όπου a είναι η γωνία κλίσης του πρανούς σε rad.

Ενώ οι ενεργές τάσεις N' και S' δίνονται από τις σχέσεις :

$$N' = W \cos a - \gamma_w z L \cos^2 a = \gamma' z L \cos^2 a$$

$$S = W \sin a - \gamma_w z L \cos a \sin a = \gamma' z L \cos a \sin a$$

Όπου γ είναι το ολικό βάρος του εδάφους ενώ γ' είναι το βυθισμένο ειδικό βάρος.

Η σχέση με την οποία συνδέονται είναι :

$$\gamma' = \gamma - \gamma_w$$

Οι ορθές και διατμητικές τάσεις που ενεργούν πάνω στην επιφάνεια ολίσθησης A του πρανούς δίνονται από τους παρακάτω τύπους.

Για απειρομήκες ξηρό πρανές υπό στατικές συνθήκες :

$$\sigma'_{st} = \frac{N'}{A} = \gamma' z \cos^2 a$$

$$\tau_{st} = \frac{S}{A} = \gamma' z \cos a \sin a$$

Για απειρομήκες ξηρό πρανές υπό ψευδοστατικές συνθήκες :

$$\sigma'_{ps} = \gamma z \cos a (\cos a - k \sin a)$$

$$\tau_{ps} = \gamma z \cos a (\sin a + k \cos a)$$

*όπου k ο συντελεστής ψευδοστατικής επιτάχυνσης

Για πλήρως βυθισμένο απειρομήκες πρανές υπό στατικές συνθήκες :

$$\sigma'_{st} = \frac{N'}{A} = \gamma' z \cos^2 a$$

$$T_{st} = \frac{S}{A} = \gamma' z \cos a \sin a$$

Για πλήρως βυθισμένο απειρομήκες πρανές υπό ψευδοστατικές συνθήκες :

$$\sigma'_{ps} = \gamma' z \cos a (\cos a - k \sin a)$$

$$T_{ps} = \gamma' z \cos a (\sin a + k \cos a)$$

Για τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας ενός πλήρως βυθισμένου πρανούς χρησιμοποιήθηκαν οι εξής τύποι :

Για την στατική ανάλυση :

$$FS_{ST} = \frac{(\gamma' z \cos^2 a - u_e) \tan \Phi_{CR}}{\gamma' z \cos a \sin a}$$

- όπου Φ_{CR} είναι η κρίσιμη γωνία του πρανούς
- και u_e είναι η πίεση των πόρων από την παρουσία νερού όπου υπολογίζεται από τον τύπο : $u_e = \gamma_w z L \cos a \sin a$

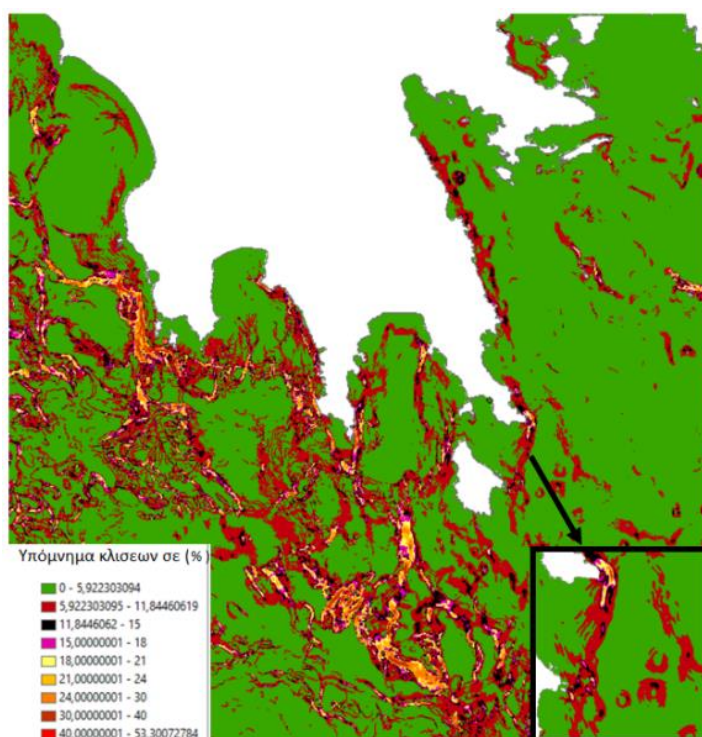
Για την ψευδοστατική ανάλυση :

$$FS_{PS} = \frac{c / (\cos a)^2}{\gamma' z (\tan a + k)} + \frac{1 - k \tan a}{\tan a + k} \tan \varphi$$

- όπου c είναι η συνοχή του εδαφικού υλικού
- ως φ ορίζεται η γωνία εσωτερικής τριβής

Ανάλυση του υπό μελέτη πρανούς.

Το υπό μελέτη πρανές βρίσκεται στο βόρειο ανατολικό κομμάτι των Κυθήρων και εκτείνεται μέχρι το νότιο κομμάτι του ακρωτηρίου Μαλέα. Πρόκειται για μια ράχη η οποία ενώνει την Πελοπόννησο με την Κρήτη και έχει κατά μήκος κλίση 20° ενώ σε κάποια σημεία ξεπερνάει τον αριθμό αυτό.



Εικόνα 4.1: Χάρτης της περιοχής μελέτης με απεικόνιση των κλίσεων στο πρανές

Ως προς την γεωμετρία του πρανούς έγινε υπολογισμός του πλάτους του, το οποίο ανέρχεται στα 26 χιλιόμετρα, με μέσο βάθος φρυδιού πρανούς -200m και βάθος του πόδα πρανούς -1200 m . Οι ισοβαθείς δείχνουν ότι οι απότομες κλίσεις δεν εκτείνονται σε όλο το πλάτος του πρανούς αλλά σε συγκεκριμένα μέρη αυτού.

Η διαδικασία που ακολουθείται στην συνέχεια για την ανάλυση της συμπεριφοράς του πρανούς και την εύρεση συντελεστή ασφάλειας είναι :

- Εύρεση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του πρανούς (οριζόντια και κατακόρυφη απόσταση, βάθος, κλίση, κτλ.)
- Εύρεση των παραμέτρων του εδαφικού υλικού από το οποίο αποτελείται καθώς και το πάχος στρώσεων των επιμέρους υλικών .
- Εφαρμογή των αναλυτικών σχέσεων για τον προσδιορισμό του συντελεστή ασφάλειας. (Αντιμετώπιση πρανούς ως απειρομήκης)
- Δημιουργία προσομοιώματος του πρανούς σε εξειδικευμένο λογισμικό προκειμένου να ελεγχθεί η συμπεριφορά του σε γεωλογικούς κινδύνους.

- Υπολογισμός συντελεστή ασφαλείας από το εξειδικευμένο λογισμικό.
- Σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ αναλυτικών σχέσεων και λογισμικού.

Η μελέτη που ακολουθεί στην συνέχεια αφορά μια διατομή του πρανούς αυτού με την παραδοχή ότι η συμπεριφορά του θα είναι ίδια σε όλη την έκταση.

Όπως προαναφέρθηκε πρόκειται για ένα ανομοιογενές πέρανες ύψους 1000 μέτρων και οριζόντιας απόστασης 11000 μέτρων. Συνεπώς η γωνία κλίσης (α) ανέρχεται στις $5,1^\circ$ ή $0,089 \text{ rad}$.

Το πρανές αποτελείται από 2 εδαφικές στρώσεις από βραχομάζα και από ιζήματα. Το ύψος των ιζημάτων πάχους z που χρησιμοποιείται στους τύπους είναι 100m 150m 200m και 250m

Ως προς τις ιδιότητες του εδαφικού υλικού τα ιζήματα έχουν μηδενική συνοχή άρα $c = 0 \text{ Kpa}$ ενώ το ειδικό βάρος είναι $\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$ ενώ του νερού είναι $\gamma_w = 9,8 \text{ kN/m}^3$

Η γωνία εσωτερικής τριβής κυμαίνεται από $0 - 30^\circ$

Ως προς τον συντελεστή ψευδοστατικής επιτάχυνσης οι τιμές που έχουν παρθεί είναι $0,03 \text{ g}$, $0,06 \text{ g}$, $0,07 \text{ g}$ και $0,09 \text{ g}$.

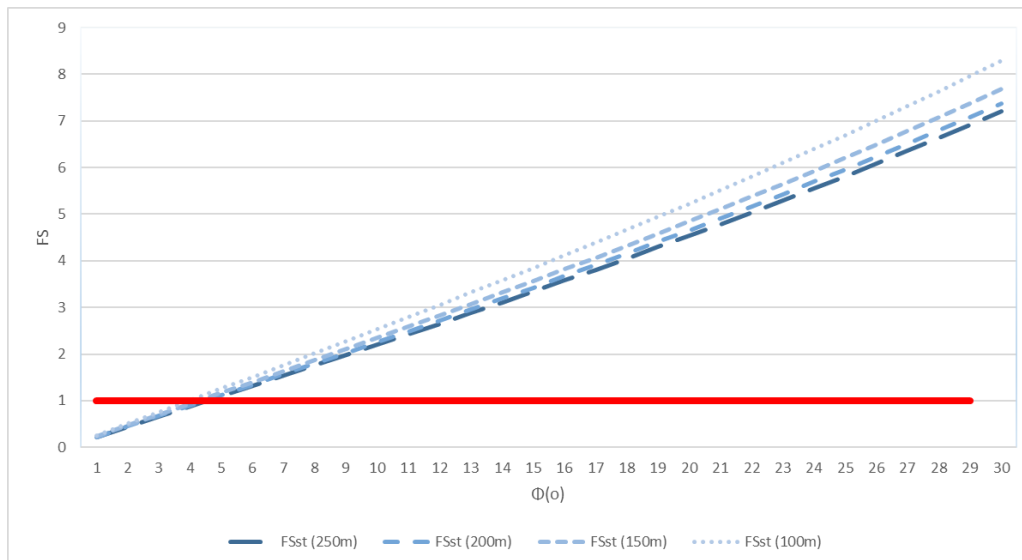
Το πρανές φτάνει στην απόλυτη ισορροπία όταν η κρίσιμη γωνία γίνει ίση με την γωνία κλίσης του πρανούς. Οπότε $\Phi_{cr} = 5,1^\circ$

Για τον υπολογισμό της πίεσης των πόρων έχει θεωρηθεί ότι το $L = 1\text{m}$ και άρα η τιμή του u_e είναι σταθερή. $u_e = -173,543$

Στην συνέχεια παρουσιάζονται σε μορφή πίνακα τα αποτελέσματα των αναλύσεων για τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας υπό στατικές συνθήκες:

Πίνακας 4.1 : Πίνακας αποτελεσμάτων στατικών αναλύσεων

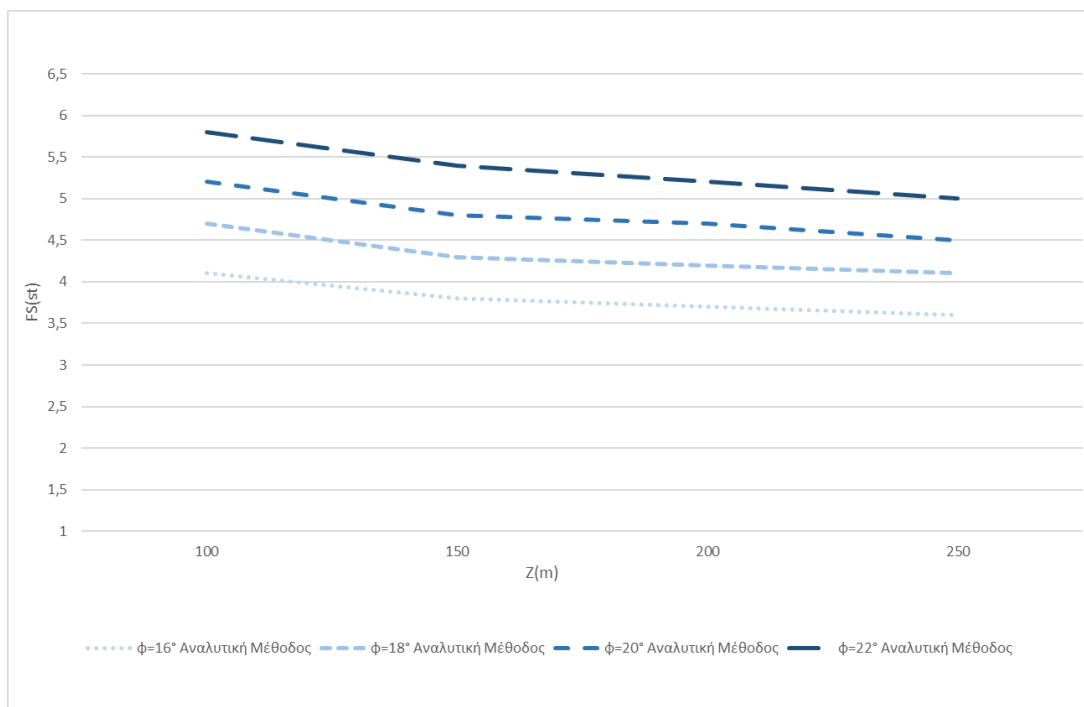
Φ(ο)	FSst (z=250m)	FSst (z = 200m)	FSst (z=150m)	FSst (z=100m)
1	0,22	0,22	0,23	0,25
2	0,44	0,44	0,46	0,50
3	0,65	0,67	0,69	0,75
4	0,87	0,89	0,93	1,00
5	1,09	1,11	1,16	1,25
6	1,31	1,34	1,39	1,51
7	1,53	1,57	1,63	1,76
8	1,75	1,79	1,87	2,01
9	1,97	2,02	2,10	2,27
10	2,19	2,25	2,34	2,53
11	2,42	2,48	2,58	2,79
12	2,65	2,71	2,82	3,05
13	2,87	2,95	3,07	3,31
14	3,11	3,18	3,31	3,58
15	3,34	3,42	3,56	3,84
16	3,57	3,66	3,81	4,11
17	3,81	3,91	4,07	4,39
18	4,05	4,15	4,32	4,66
19	4,29	4,40	4,58	4,94
20	4,53	4,65	4,84	5,22
21	4,78	4,90	5,11	5,51
22	5,03	5,16	5,37	5,80
23	5,29	5,42	5,65	6,09
24	5,55	5,69	5,92	6,39
25	5,81	5,96	6,20	6,69
26	6,08	6,23	6,49	7,00
27	6,35	6,51	6,78	7,32
28	6,63	6,79	7,07	7,63
29	6,91	7,08	7,37	7,96
30	7,19	7,38	7,68	8,29



Εικόνα 4.6: Διάγραμμα Συντελεστή ασφαλείας – Γωνία εσωτερικής τριβής για πάχη ιζημάτων $z=100\text{m}$, $z=150\text{m}$, $z=200\text{m}$, $z=250\text{m}$

Στο παραπάνω διάγραμμα διακρίνεται πως ο συντελεστής ασφαλείας αυξάνεται ανάλογα με την αύξηση της γωνίας εσωτερικής τριβής για όλα τα πάχη ιζημάτων.

Ακόμα σύμφωνα με τα αποτελέσματα το πρανές φτάνει σε απόλυτη ισορροπία $FS_{st} = 1$ όταν η γωνία εσωτερικής τριβής ξεπεράσει 5° ή $0,87\text{ rad}$, γεγονός που οφείλεται στην συνοχή των ιζημάτων που είναι 0



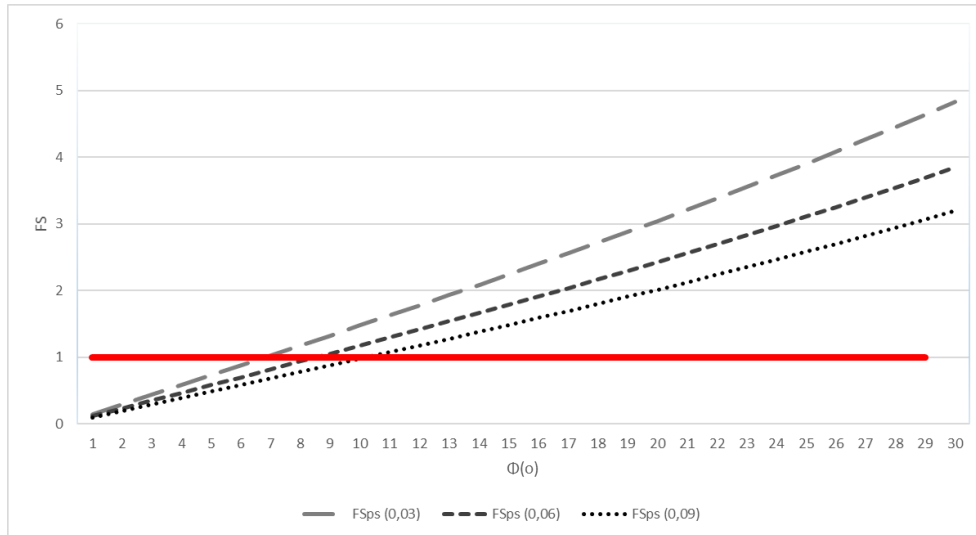
Εικόνα 4.7: Διάγραμμα Συντελεστή ασφάλειας – Πάχους ιζημάτων για γωνία εσωτερικής τριβής $\phi=16^\circ$, $\phi=18^\circ$, $\phi=20^\circ$, $\phi=22^\circ$

Ένα ακόμα διάγραμμα που προκύπτει από τις αναλύσεις είναι αυτό μεταξύ συντελεστή ασφαλείας και πάχους ιζημάτων. Αυτό που παρατηρείται είναι πως ο συντελεστής ασφαλείας έχει μια πτωτική τάση όταν αυξάνεται το πάχος των ιζημάτων ενώ όταν αυξάνεται η γωνία εσωτερικής τριβής ο συντελεστής αυξάνεται.

Στην συνέχεια βρέθηκε ο συντελεστής ασφαλείας υπό την επίδραση ψευδοστατικών δυνάμεων. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 4.2 : Πίνακας αποτελεσμάτων ψευδοστατικών αναλύσεων

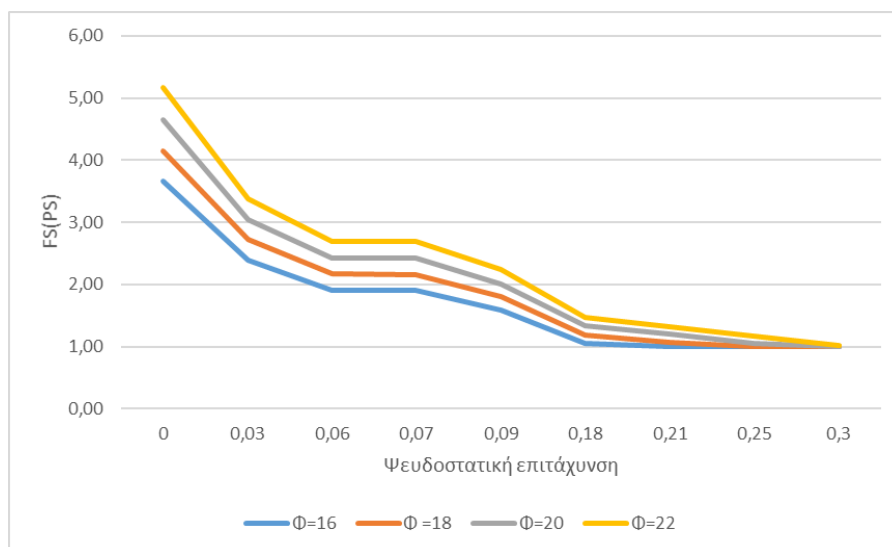
Φ(ο)	FSps (k=0,03)	FSps (k=0,06)	FSps (k=0,07)	FSps (k=0,09)
1	0,14	0,11	0,11	0,09
2	0,29	0,23	0,23	0,19
3	0,43	0,34	0,34	0,29
4	0,58	0,46	0,46	0,38
5	0,73	0,58	0,58	0,48
6	0,87	0,70	0,69	0,58
7	1,02	0,81	0,81	0,67
8	1,17	0,93	0,93	0,77
9	1,32	1,05	1,05	0,87
10	1,47	1,17	1,17	0,97
11	1,62	1,29	1,29	1,07
12	1,77	1,41	1,41	1,17
13	1,93	1,53	1,53	1,27
14	2,08	1,66	1,66	1,37
15	2,24	1,78	1,78	1,48
16	2,39	1,91	1,90	1,58
17	2,55	2,03	2,03	1,69
18	2,71	2,16	2,16	1,79
19	2,88	2,29	2,29	1,90
20	3,04	2,42	2,42	2,01
21	3,21	2,55	2,55	2,12
22	3,37	2,69	2,69	2,23
23	3,55	2,82	2,82	2,34
24	3,72	2,96	2,96	2,46
25	3,90	3,10	3,10	2,58
26	4,07	3,25	3,24	2,69
27	4,26	3,39	3,39	2,82
28	4,44	3,54	3,54	2,94
29	4,63	3,69	3,69	3,06
30	4,82	3,84	3,84	3,19



Εικόνα 4.7: Διάγραμμα Συντελεστή ασφαλείας – Γωνία εσωτερικής τριβής υπό την επίδραση ψευδοστατικών δυνάμεων μεγέθους 0,03 , 0,06 και 0,09

Το συμπέρασμα που προκύπτει από τον πίνακα και το διάγραμμα είναι πως το πρανές μπορεί να είναι ευσταθές όταν δεχτεί μια ψευδοστατική δύναμη της τάξεως του 0,03 g όταν η γωνία εσωτερικής τριβής ξεπεράσει της 7°. Ωστόσο για ψευδοστατικές δυνάμεις της τάξεως του 0,06 g και 0,09 g το πρανές μπορεί να παραμείνει ευσταθές όταν η γωνία εσωτερικής τριβής είναι μεγαλύτερη από 9° και 11° αντίστοιχα.

Ακόμα το πάχος των ιζημάτων δεν επηρεάζει τον συντελεστή ασφαλείας καθώς η συνοχή του εδαφικού υλικού είναι μηδενική $c=0$. Ενδεικτικά παρουσιάζεται στην συνέχεια ένα διάγραμμα του Συντελεστή Ασφαλείας με Ψευδοστατικές δυνάμεις για ένα πάχος ιζημάτων 200m. Στο διάγραμμα αυτό το πάχος ιζημάτων επηρεάζει το πρανές μόνο όταν η ψευδοστατική επιτάχυνση είναι 0 .



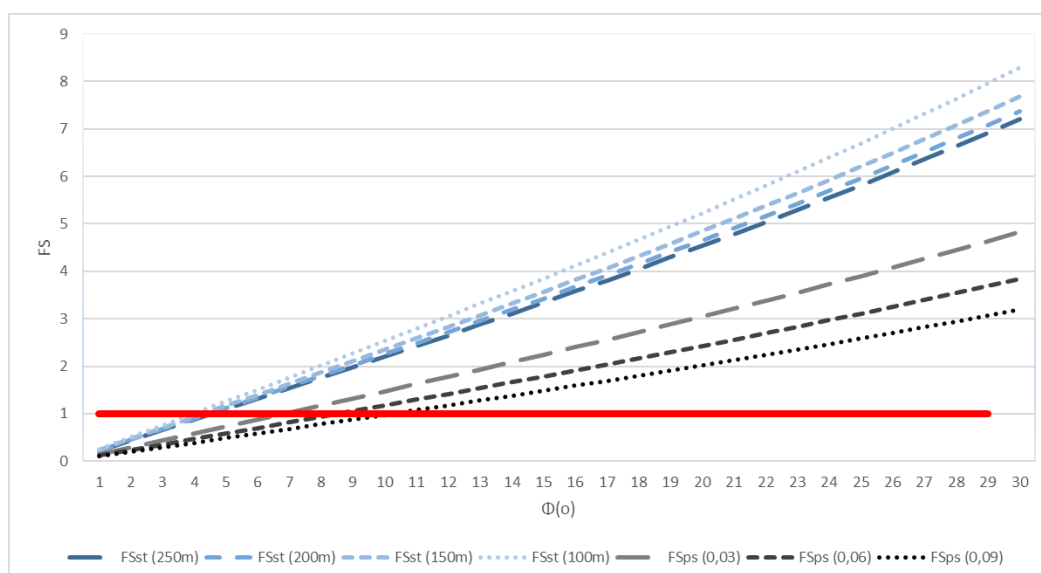
Εικόνα 4.8: Διάγραμμα Συντελεστή ασφαλείας - Ψευδοστατικών επιταχύνσεων για πάχος ιζημάτων 200m

Αυτό που παρατηρείται στο διάγραμμα είναι πως το πρανές μπορεί να αντέξει σε ψευδοστατική επιτάχυνση μεγαλύτερη του 0,3 g στην περίπτωση που η γωνία εσωτερικής τριβής είναι μεγαλύτερη από 22°. Πιο αναλυτικά το πρανές στην περίπτωση που η γωνία εσωτερικής τριβής είναι 16° αστοχεί σε μια επιτάχυνση της τάξεως του 0,18g , στην περίπτωση που η γωνία είναι 18° τότε το πρανές αστοχεί σε επιτάχυνση 0,21 g , ενώ όταν η γωνία είναι 20° το πρανές αστοχεί σε επιτάχυνση μεγέθους 0,25 g.

Συμπεράσματα αποτελεσμάτων

Τα συμπεράσματα που μπορούμε να εκλάβουμε από τις αναλυτικές σχέσεις και την αντιμετώπιση του πρανούς ως απειρομήκης είναι :

1. Ο συντελεστής ασφαλείας είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με την γωνία εσωτερικής τριβής , όσο αυξάνεται η τιμή της τόσο αυξάνεται και η τιμή του συντελεστή.
2. Η ιζηματογενής στρώση λαμβάνεται υπόψιν μόνο όταν δεν επιβάλλονται στο πρανές ψευδοστατικές δυνάμεις.
3. Όσο πιο μεγάλο το πάχος της ιζηματογενούς στρώσης τόσο πιο μικρός γίνεται ο συντελεστής ασφαλείας.
4. Η ελάχιστη γωνία εσωτερικής τριβής υπό στατικές συνθήκες είναι 5,1°
5. Η ελάχιστη γωνία εσωτερικής τριβής υπό την εφαρμογή ψευδοστατικών δυνάμεων είναι : 7° όταν εφαρμόζεται δύναμη 0,03 g
9° όταν εφαρμόζεται δύναμη 0,06 g
11° όταν εφαρμόζεται δύναμη 0,09 g
6. Το πάχος των ιζημάτων δεν επηρεάζει τον συντελεστή ασφαλείας όταν δέχεται ψευδοστατικές δυνάμεις αφού η συνοχή του εδαφικού υλικού των ιζημάτων είναι 0 .



Εικόνα 4.9: Διάγραμμα Συντελεστή ασφαλείας – Γωνία εσωτερικής τριβής για πάχη ιζημάτων 100 m , 150 m , 200 m , 250 m και ψευδοστατικών δυνάμεων 0,03 g , 0.06 g, 0.09 g

4.3 Αριθμητική προσομοίωση

4.3.1: Εισαγωγή

Στην συνέχεια των αναλύσεων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό PLAXIS 2-D προκειμένου να γίνει η αριθμητική προσομοίωση του πρανούς. Χάρη στις δυνατότητες που παρέχει το πρόγραμμα έγινε η γεωμετρική κατασκευή του πρανούς καθώς και ο προσδιορισμός των εδαφικών στρώσεων και των γεωλογικών χαρακτηριστικών τους όπως και οι συνθήκες κάτω από τις οποίες βρίσκεται το πρανές. Θέτοντας όλα αυτά τα κριτήρια, το πρόγραμμα ήταν δυνατό να υπολογίσει και να αναπαραστήσει πιθανές μετακινήσεις κάποιας επιφάνειας του πρανούς, τις φορτίσεις που δέχεται όπως και τον συντελεστή ασφαλείας.

Στην περίπτωση του υπό μελέτη πρανούς το μοντέλο που σχεδιάστηκε είχε δυο μορφές. Αρχικά αντιμετωπίστηκε ως ένα ομοιογενές πρανές το οποίο αποτελείται από βραχομάζα και αναλύθηκε σε στατικές και ψευδοστατικές συνθήκες και δευτερευόντως αναλύθηκε ως ανομοιογενές πρανές το οποίο αποτελούνταν από βραχομάζα στην βάση του και στο επιφανειακό μέρος είχε ιζήματα.

Ουσιαστικά εφαρμοστήκαν 5 διαφορετικά σενάρια αναλύσεων προκειμένου να υπάρξει μια πιο εμπειριστατωμένη μελέτη και να γίνουν οι ανάλογες συγκρίσεις αποτελεσμάτων. Τα σενάρια που εφαρμόστηκαν είναι :

- Στατική και ψευδοστατική ανάλυση ομοιογενούς πρανούς χωρίς υδροφόρο ορίζοντα. (Σενάριο 1)
- Στατική και ψευδοστατική ανάλυση ομοιογενούς πρανούς με υδροφόρο ορίζοντα. (Σενάριο 2)
- Στατική και ψευδοστατική ανάλυση ανομοιογενούς πρανούς με ιζήματα σε όλη την επιφάνεια του πρανούς και χωρίς υδροφόρο ορίζοντα. (Σενάριο 3)
- Στατική και ψευδοστατική ανάλυση ανομοιογενούς πρανούς με ιζήματα σε όλη την επιφάνεια του πρανούς και με υδροφόρο ορίζοντα. (Σενάριο 4)
- Στατική και ψευδοστατική ανάλυση ανομοιογενούς πρανούς με ιζήματα μόνο στο φρύδι του πρανούς και με υδροφόρο ορίζοντα. (Σενάριο 5)

4.3.2 : Περιγραφή προγράμματος

Το Plaxis 2-D είναι ένα λογισμικό διδιάστατης απεικόνισης το οποίο έχει την δυνατότητα να υπολογίζει και να παρουσιάζει τις παραμορφώσεις που επιτυγχάνονται σε κάποιο έργο. Αποτελεί ένα από τα βασικά εργαλεία για την εκπόνηση γεωτεχνικών μελετών εξαιτίας των δυνατοτήτων που προσφέρει

αλλά και την αξιοπιστία των μεθόδων που χρησιμοποιεί (πεπερασμένα στοιχεία)για να φέρει εις πέρας τους υπολογισμούς.

Αποτελείται από τέσσερα υπό προγράμματα:

- Το πρόγραμμα σχεδιασμού ή αλλιώς Input program
- Το πρόγραμμά υπολογισμού ή Calculation program
- Το πρόγραμμα εξαγωγής των αποτελεσμάτων ή Output program
- Το πρόγραμμα δημιουργίας διαγραμμάτων ή Curves program

Των οποίων η χρήση είναι απαραίτητη για την ολοκληρωμένη μελέτη του έργου.

Στο πρόγραμμα σχεδιασμού (Input program) σχεδιάζεται η γεωμετρία του προσομοιώματος, καθορίζονται οι ιδιότητες των εδαφικών υλικών, παράγεται το γεωμετρικό δίκτυο του προσομοιώματος καθώς και προσδιορίζονται οι αρχικές συνθήκες που επικρατούν στο προσομοίωμα και οι δυνάμεις που επιδρούν πάνω σε αυτό.

Το πρόγραμμα υπολογισμού (Calculation program) είναι υπεύθυνο για τον καθορισμό των υπολογισμών που επιθυμούμε να γίνει στο έργο. Έχει 4 κατηγορίες υπολογισμών:

- α) Το plastic calculation όπου χρησιμοποιείται για στατικές αναλύσεις,
- β) Το consolidation analyses που χρησιμοποιείται σε στατικές αναλύσεις όπου έχουν σαν παράμετρο και τον χρόνο.
- γ) Το phi-c reduction που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας και
- δ) Το dynamic analyses με βάση το οποίο γίνονται οι αναλύσεις με παράμετρο τον σεισμό. Ακόμα το υποπρόγραμμα αυτό προσφέρει την δυνατότητα να επιλέξουμε σημεία σε χαρακτηριστικές θέσεις στα οποία θέλουμε κατά την διαδικασία του υπολογισμού να εμβαθύνει .

Το πρόγραμμα εξαγωγής των αποτελεσμάτων (Output program) είναι εκείνο που ακολουθεί μετά το πρόγραμμα του υπολογισμού. Σε αυτό το πρόγραμμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα οπτικά αλλά και αριθμητικά ενώ προσφέρει και την δυνατότητα να επιλέξει ο χρήστης τον τρόπο της απεικόνισης

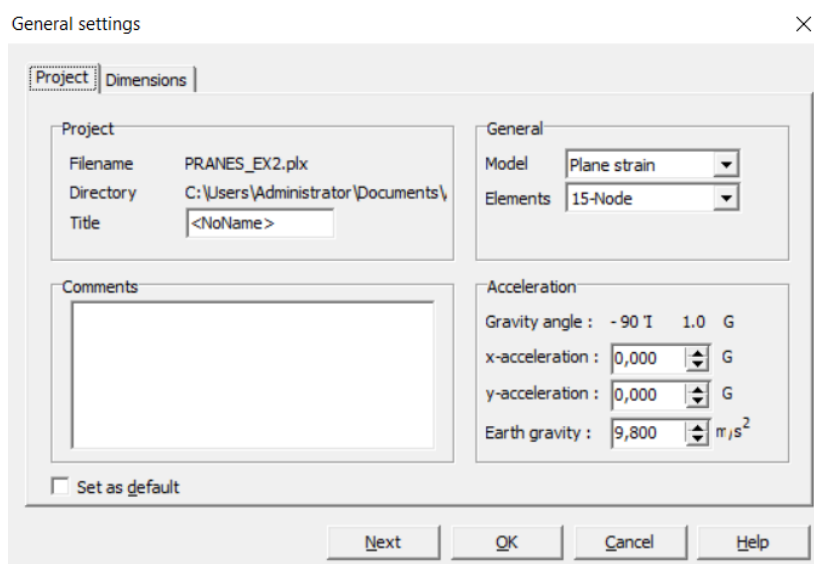
Τέλος στο curves program έχει την δυνατότητα ο χρήστης να δει σε μορφή διαγράμματος τα αποτελέσματα συναρτήσει πολλών μεταβλητών όπως ο χρόνος.

4.3.3 : Ανάλυση μοντέλου.

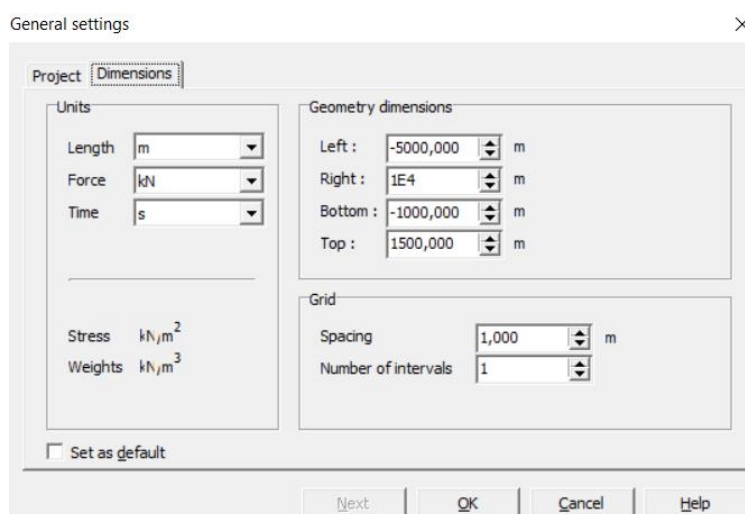
Στατική και ψευδοστατική ανάλυση ομοιογενούς πρανούς με υδροφόρο ορίζοντα και χωρίς . (Σενάριο 1 και 2)

Αρχικά γίνεται ο προσδιορισμός των γενικών ρυθμίσεων του προγράμματος. Κάποια από τα πεδία που πρέπει να υποδείξουμε στο πρόγραμμα σε αυτήν την φάση είναι :

- Τα τριγωνικά στοιχεία με βάση τα οποία θα κάνει τους υπολογισμούς. Στην περίπτωση του υπό μελέτη πρανούς χρησιμοποιήθηκαν 15-κομβικά τριγωνικά στοιχεία τα οποία παρέχουν μεγάλη ακρίβεια στους υπολογισμούς των τάσεων και των παραμορφώσεων.
- Ο καθορισμός των επιταχύνσεων που δέχεται το μοντέλο, οι οποίες εφαρμόζονται μόνο στην ψευδοστατική ανάλυση.
- Ο καθορισμός των μονάδων με βάση τους οποίους θα κάνει τους υπολογισμούς
- Και τέλος γίνεται ο καθορισμός των διαστάσεων του μοντέλου.

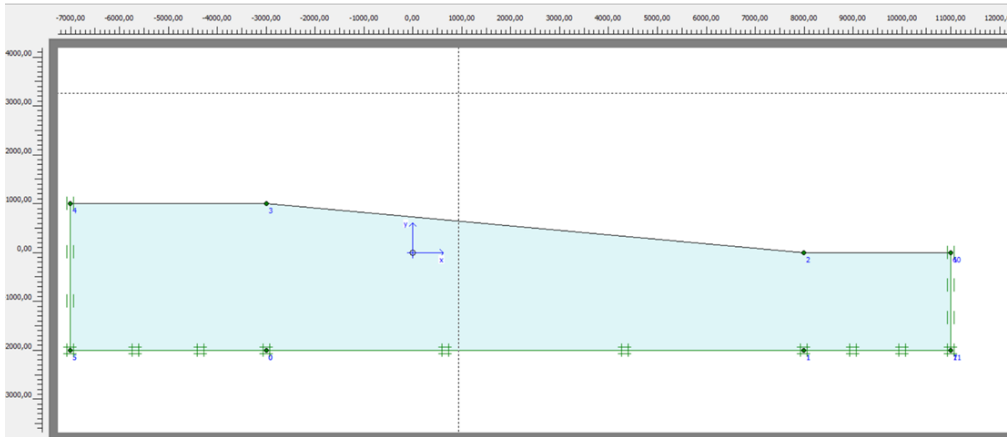


Εικόνα 4.10: Γενικές ρυθμίσεις μοντέλου.



Εικόνα 4.11: Γενικές ρυθμίσεις μοντέλου.

Στην συνέχεια σχεδιάζεται η γεωμετρία του πρανούς. Το υπό μελέτη πρανές θα έχει οριζόντια απόσταση 11000 m , κατακόρυφη απόσταση 1000 m και γωνία κλίσης 5,1° .



Εικόνα 4.12: Σχεδιασμός ομοιογενούς πρανούς.

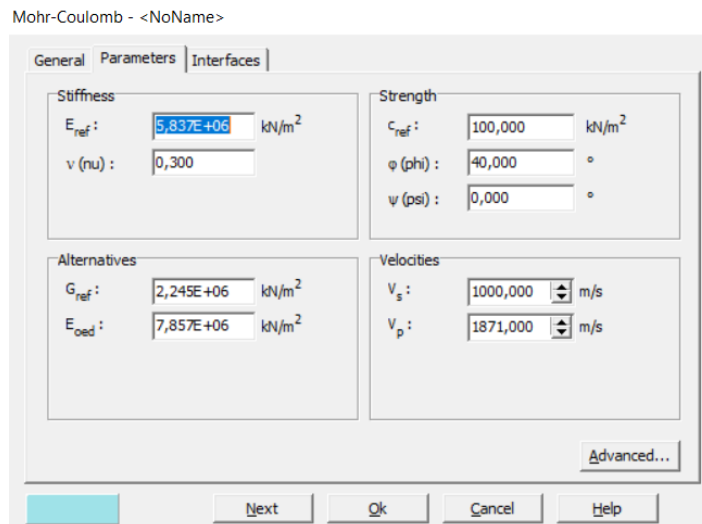
Ακολουθεί ο καθορισμός των ιδιοτήτων των υλικών από το οποίο αποτελείται το πρανές. Όπως προαναφέρθηκε και στην εισαγωγή η πρώτη μελέτη αντιμετώπιζε το πρανές ως ομοιογενές αποτελούμενο από βραχώδες υλικό. Προκειμένου να γίνει όσο το δυνατόν καλύτερη προσέγγιση της πραγματικότητας χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο Mohr-Coulomb.

Οι παράμετροι του υλικού που εισήχθησαν στο μοντέλο ήταν :

- Ειδικό βάρος υλικού : $\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$
- Μέτρο ελαστικότητας Young : $E_{\text{ref}} = 587100 \text{ kN/m}^2$
- Συντελεστή poisson : $\nu = 0.3$
- Συνοχή του υλικού : $c = 100 \text{ kN/m}^2$
- Γωνία εσωτερικής τριβής : $\phi = 40^\circ$

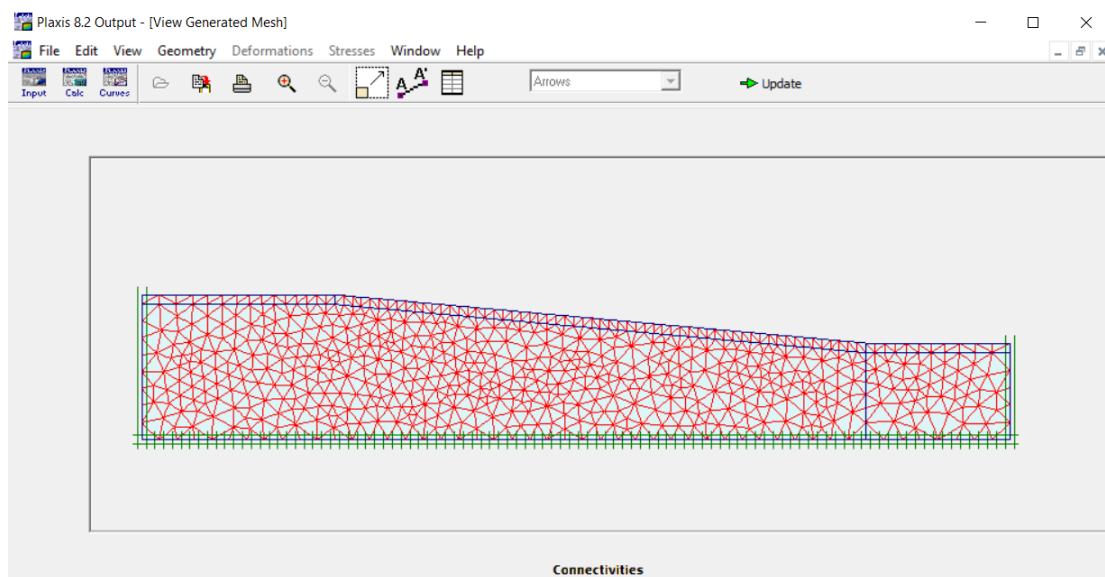
Mohr-Coulomb - <NoName>

Εικόνα 4.13: Καθορισμός παραμέτρων υλικού.



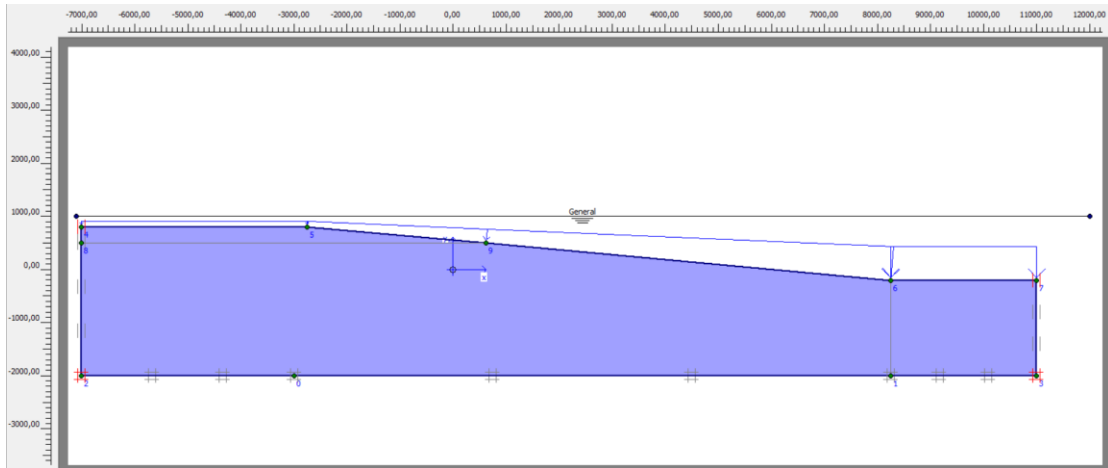
Εικόνα 4.14: Καθορισμούς παραμέτρων υλικού.

Στην συνέχεια ακολούθησε η δημιουργία δικτύου πεπερασμένων στοιχείων. Η διαδικασία αυτή είναι πλήρως αυτοματοποιημένη και είναι βασισμένη στην τριγωνοποίηση της επιφάνειας του προσομοιώματος. Η πύκνωση του δικτύου που χρησιμοποιήθηκε ήταν η πιο πυκνή που διέθετε το πρόγραμμα $n_c = 400$.



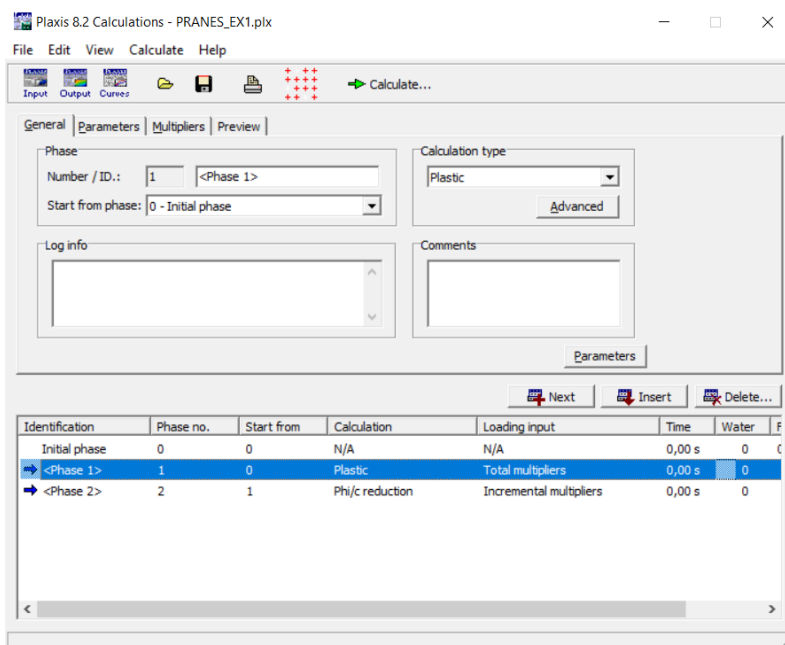
Εικόνα 4.15: Εφαρμογή δικτύου πεπερασμένων στοιχείων.

Στην συνέχεια για το σενάριο 2 γίνεται ο καθορισμός του υδροφόρου ορίζοντα όπου στην περίπτωση μας είναι 200 m πάνω από το φρύδι του πρανούς. Στο σενάριο 1 παρακάμπτουμε αυτό το βήμα και προχωράμε στο υποπρόγραμμα των υπολογισμών.



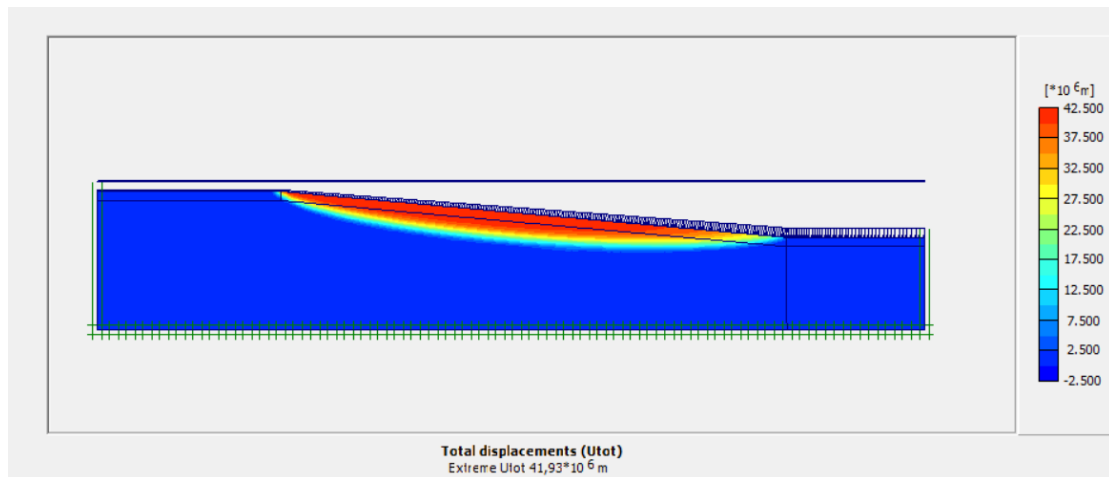
Εικόνα 4.16: Καθορισμός υδροφόρου ορίζοντα.

Εφόσον θέσουμε και σαν παράμετρο τον υδροφόρο ορίζοντα το πρόγραμμα είναι σε θέση να μεταβεί στο υποπρόγραμμα των υπολογισμών. Εκεί οι παράμετροι που πρέπει να καθοριστούν είναι η μέθοδος που θα χρησιμοποιήσει το πρόγραμμα. Στην περίπτωση αυτή επιλέχθηκε να κάνει μια στατική ανάλυση (plastic analysis) του πρανούς και εφόσον ολοκληρωθεί ο υπολογισμός, μέσω της μεθόδου phi-c reduction να υπολογιστεί και ο συντελεστής ασφαλείας.

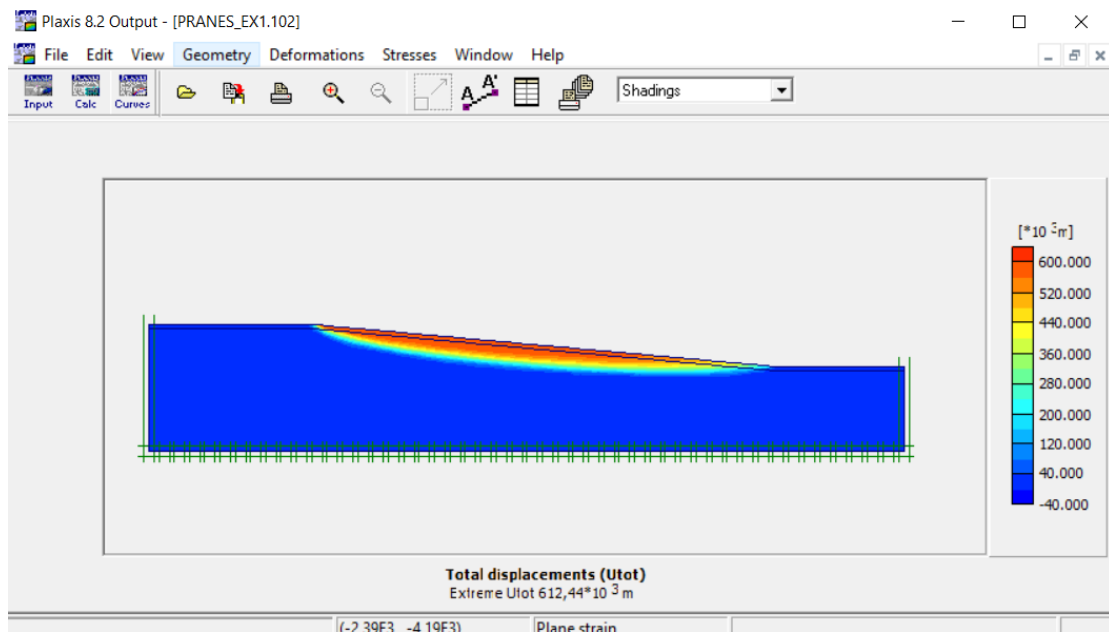


Εικόνα 4.17: Καθορισμός των αναλύσεων που θα κανείς το υποπρόγραμμα.

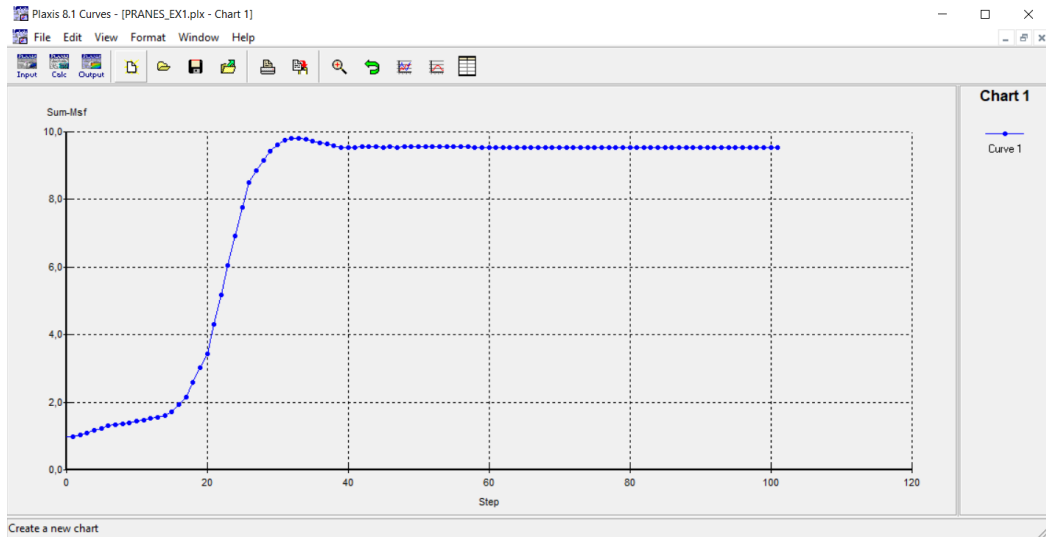
Τα αποτελέσματα των αναλύσεων παρουσιάζονται στην συνέχεια .Στην πρώτη εικόνα απεικονίζονται οι συνολικές μετατοπίσεις που θα δημιουργηθούν στο πρανές. Ενώ στην δεύτερη εικόνα απεικονίζεται ο συντελεστής ασφαλείας που προκύπτει από το υποπρόγραμμα των διαγραμμάτων.



Εικόνα 4.18: Συνολικές μετατοπίσεις ομοιογενούς πρανούς με υδροφόρο ορίζοντα.



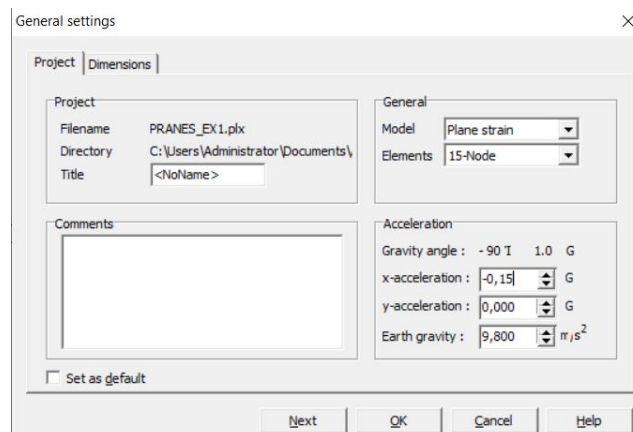
Εικόνα 4.19: Συνολικές μετατοπίσεις ομοιογενούς πρανούς χωρίς υδροφόρο ορίζοντα.



Εικόνα 4.20: Υπολογισμός συντελεστή ασφαλείας ομοιογενούς πρανούς υπό στατικές συνθήκες και υδροφόρο ορίζοντα.

Ο συντελεστής ασφαλείας και των 2 σεναρίων σε στατικές συνθήκες είναι σχεδόν ο ίδιος. Όταν υπάρχει υδροφόρος ορίζοντας το πρανές έχει συντελεστή ασφαλείας 9,6 ενώ όταν δεν υπάρχει υδροφόρος ορίζοντας το πρανές έχει συντελεστή ασφαλείας 9,5. Αναλύοντας τα αποτελέσματα αυτά είναι εύκολα αντιληπτό ότι το πρανές στα σενάρια αυτά (Σενάριο 1 και 2) είναι αρκετά ασφαλές και δεν παρουσιάζει κάποια αστάθεια σε στατικές συνθήκες. Το γεγονός αυτό οφείλεται στα εδαφικά χαρακτηριστικά από τα οποία αποτελείται το πρανές, δηλαδή η ομοιογένεια του βραχώδους υλικού.

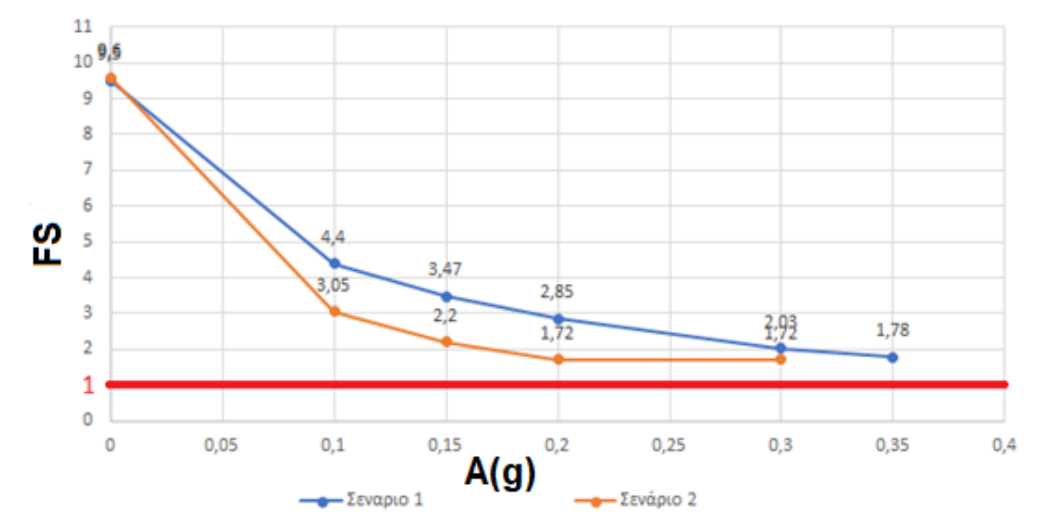
Στην συνέχεια εφαρμόστηκαν ψευδοστατικές δυνάμεις προκειμένου να γίνει μια εκτενέστερη μελέτη του πρανούς. Οι δυνάμεις εφαρμόστηκαν και για πρανές με υδροφόρο ορίζοντα αλλά και χωρίς. Οι ψευδοστατικές δυνάμεις κυμαίνονταν από $-0,05\text{ g}$ έως $-0,35\text{ g}$. Το αρνητικό πρόσημο στις δυνάμεις οφείλεται στο γεγονός, ότι το πρανές σχεδιάστηκε στο πρόγραμμα με φορά από αριστερά προς τα δεξιά. Καθώς το λογισμικό Plaxis έχει την ιδιαιτερότητα να ασκεί τις δυνάμεις από δεξιά προς τα αριστερά γεγονός που αντί να μειώνει τον συντελεστή τον μεγάλωνε, έτσι ασκήθηκαν αντίθετες δυνάμεις ώστε να προκύψουν τα αναμενόμενα αποτελέσματα.



Εικόνα 4.21: Γενικές ρυθμίσεις προγράμματος Plaxis

Μέσω των γενικών ρυθμίσεων ορίστηκε το μέγεθος της ψευδοστατικής δύναμης που επιδρά στο πρανές. Η δύναμη αυτή ορίστηκε μόνο για τον οριζόντιο άξονα X και όχι και για τον κατακόρυφο.

Στην συνέχεια παρουσιάζεται ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα με την διακύμανση του συντελεστή ασφαλείας σε σχέση με τις οριζόντιες ψευδοστατικές δυνάμεις που ενεργούν στο πρανές.

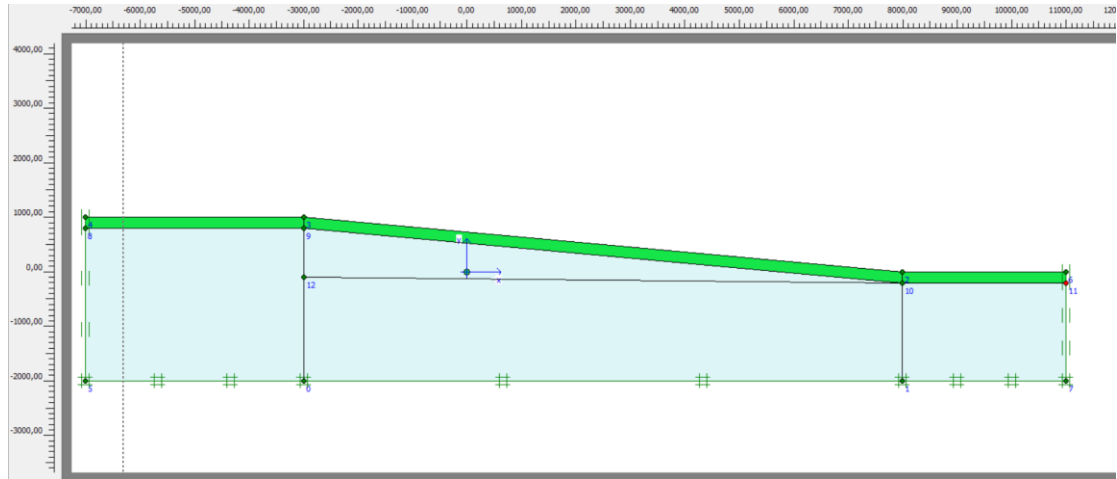


Εικόνα 4.22: Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστή ασφαλείας – Οριζόντια ψευδοστατική επιτάχυνση για ομοιογενές πρανές.

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται με το παραπάνω διάγραμμα δείχνουν ότι το πρανές σε στατικές συνθήκες είναι ευσταθές αλλά η ευστάθεια αυτή μπορεί να χαθεί όταν δράσει πανό σε αυτό μια οριζόντια ψευδοστατική δύναμη μεγέθους μεγαλύτερη του 0,3G.

Στατική και ψευδοστατική ανάλυση ανομοιογενούς πρανούς με ιζήματα σε όλη την επιφάνεια του πρανούς και με υδροφόρο ορίζοντα. (Σενάριο 3 και 4)

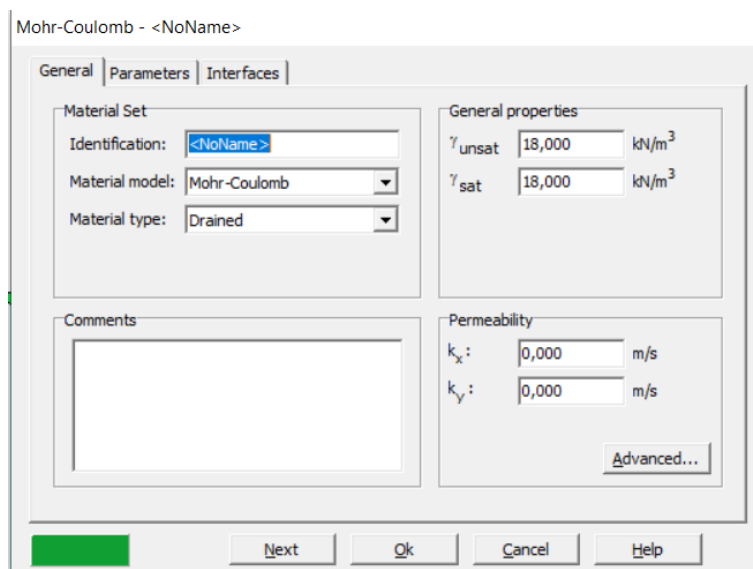
Στο σενάριο 3 και 4 έγινε η θεώρηση ότι το υπό μελέτη πρανές είναι ανομοιογενές και αποτελείται από βραχομάζα το 80% και από ιζήματα το υπόλοιπο 20 %. Ουσιαστικά αυτό σημαίνει ότι το πάχος ιζημάτων σε ένα πρανές ύψους 1000 m όπως είναι αυτό που γίνεται η μελέτη είναι 200 m.



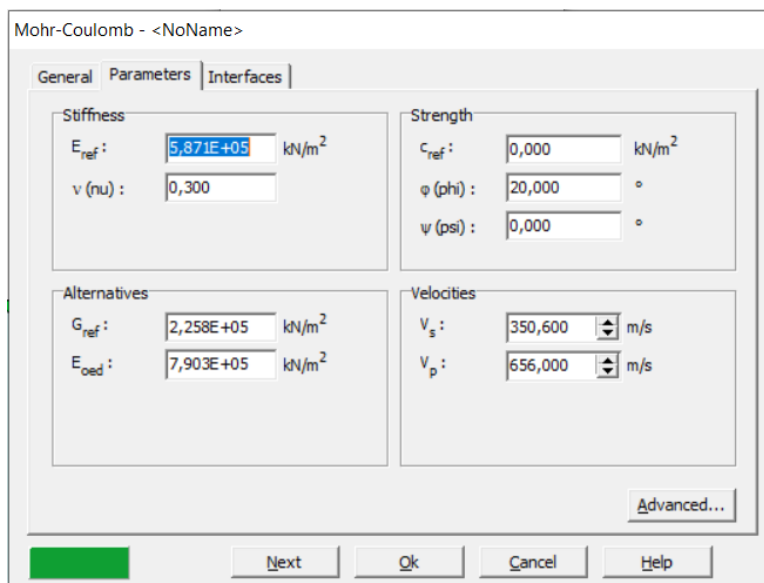
Εικόνα 4.23: Σχεδιασμός ανομοιογενούς πρανούς.

Οι ιδιότητες του βραχώδους υλικού παρέμειναν ίδιες όπως και στα σενάρια 1 και 2 ωστόσο αυτό που αξίζει να σημειωθεί είναι οι ιδιότητες του ιζηματογενούς υλικού. Η μέθοδος Mohr-coulomb χρησιμοποιήθηκε και για αυτές τις αναλύσεις όπως και στις προηγούμενες. Αναλυτικότερα οι ιδιότητες του ιζηματογενούς υλικού είναι οι εξής :

- Ειδικό βάρος υλικού : $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
- Μέτρο ελαστικότητας Young : $E_{\text{ref}} = 587100 \text{ kN/m}^2$
- Συντελεστή poisson : $\nu = 0.3$
- Συνοχή του υλικού : $c = 0 \text{ kN/m}^2$
- Γωνία εσωτερικής τριβής : $\phi = 20^\circ$



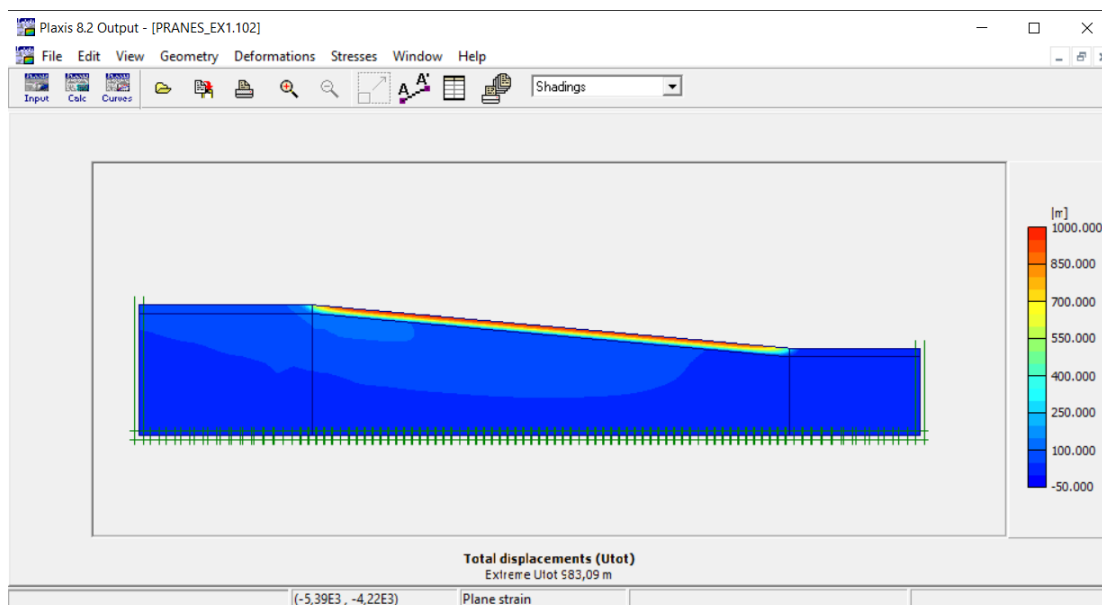
Εικόνα 4.24.1: Καθορισμούς παραμέτρων ιζηματογενούς υλικού



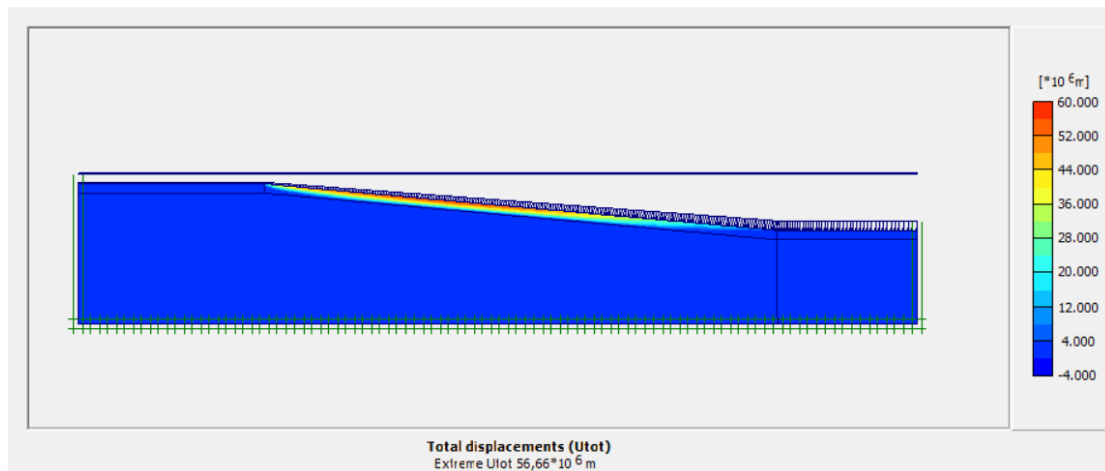
Εικόνα 4.24.2: Καθορισμούς παραμέτρων ιζηματογενούς υλικού

Στην συνέχεια μέσω του προγράμματος υπολογισμού έγινε η στατική και ψευδοστατική ανάλυση του πρανούς καθώς και ο υπολογισμός του συντελεστή ασφαλείας για κάθε περίπτωση μέσω της μεθόδου Phi-c reduction . Πρώτα παρουσιάζονται οι συνολικές μετατοπίσεις για το ανομοιογενές πρανές και στην συνέχεια ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα του συντελεστή ασφαλείας με την ψευδοστατική δύναμη για τα σενάρια 3 και 4 .

Ο υδροφόρος ορίζοντας τέθηκε στα 200 m πάνω από το φρέδι του πρανούς όπως και στα προηγούμενα σενάρια.

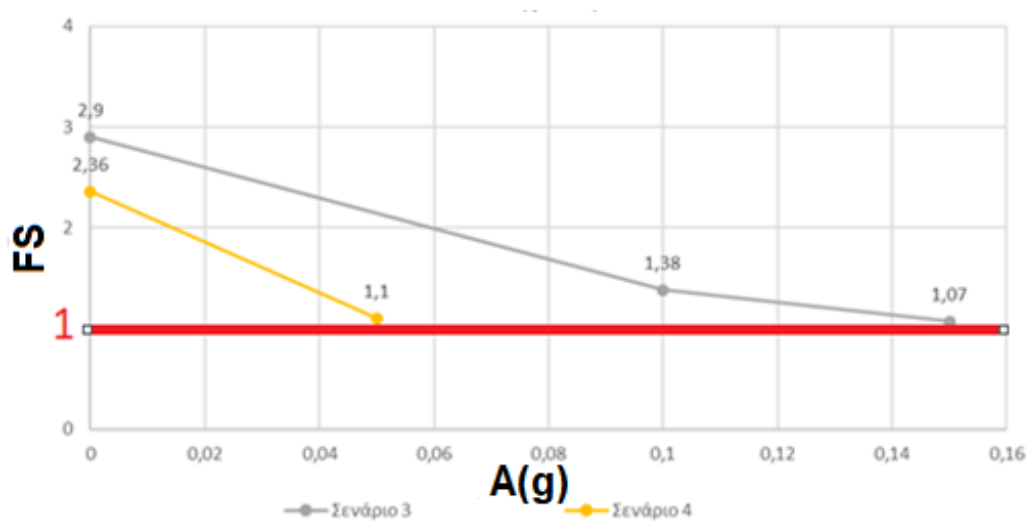


Εικόνα 4.25: Συνολικές μετατοπίσεις ανομοιογενούς πρανούς χωρίς υδροφόρο ορίζοντα με πάχος ιζημάτων 200 m .



Εικόνα 4.26: Συνολικές μετατοπίσεις ανομοιογενούς πρανούς με υδροφόρο ορίζοντα και πάχος ιζημάτων 200 m .

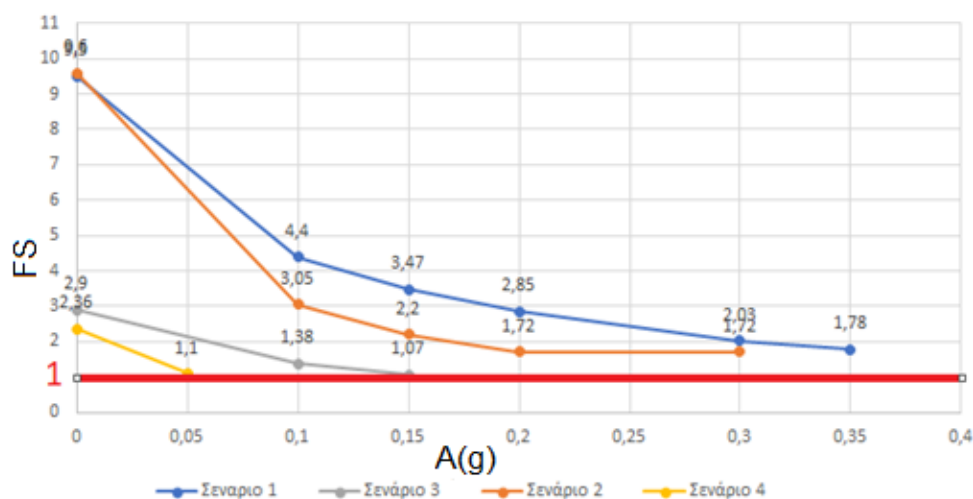
Τα αποτελέσματα των συνολικών μετατοπίσεων μέσα από το υποπρόγραμμα εξαγωγής δείχνουν ότι σε περίπτωση αστοχίας η μετακινούμενη μάζα θα είναι κύριος ιζήματα και όχι βραχώδες υλικό.



Εικόνα 4.27: Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστή ασφαλείας – Οριζόντια ψευδοστατική επιτάχυνση για ανομοιογενές πρανές.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από το παραπάνω διάγραμμα είναι πως ο συντελεστής ασφαλείας μειώνεται σημαντικά από την ύπαρξη ιζηματογενούς στρώσης στο πρανές. Ωστόσο αυτό που προκαλεί εντύπωση είναι η ευκολία αστοχίας του πρανούς υπό την επίδραση οριζοντίων ψευδοστατικών επιταχύνσεων ιδιαίτερα στην περίπτωση ύπαρξης υδροφόρου ορίζοντα. Αφού με την πρόκληση μιας μικρής ψευδοστατικής επιτάχυνσης της τάξεως του

0,05G το πρανές θα αστοχήσει, ωστόσο στην περίπτωση της μη ύπαρξης υδροφόρου ορίζοντα το πρανές χρειάζεται μια ψευδοστατική επιτάχυνση δεκαπλάσια από αυτήν του σεναρίου 4 για να προκληθεί αστοχία.



7

Εικόνα 4.28: Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστή ασφαλείας – Οριζόντια ψευδοστατική για τα σεναρία 1 ,2 ,3, 4

Τα συμπεράσματα που μπορεί να προκύψουν από την σύγκριση των τεσσάρων σεναρίων που προαναφέρθηκαν είναι :

- Στην περίπτωση που το υλικό του πρανούς αποτελείται εξ ολοκλήρου από βραχομάζα τότε η αστοχία προκύπτει μετά από την άσκηση μιας μεγάλης ψευδοστατικής δύναμης η οποία θα ξεπερνάει τα 0,35g ή τα 0,30g στην περίπτωση που το πρανές βρίσκεται υποθαλάσσια και 200m κάτω από την επιφάνεια του νερού.
- Όταν το πρανές αποτελείται από βραχομάζα στο κύριο μέρος του και από ιζήματα στην επιφάνεια αυτού τότε η ευστάθεια χάνεται εύκολα όταν ασκείται ψευδοστατική επιτάχυνση.
- Σε περίπτωση αστοχίας του ανομοιογενούς πρανούς η μετακινούμενη μάζα θα είναι κυρίως ιζήματα τα οποία βρίσκονται στην ράχη του πρανούς.
- Όταν ένα ανομοιογενές πρανές είναι πλήρως βυθισμένο και η φραστική στάθμη βρίσκεται στα 200m πάνω από αυτό τότε χρειάζεται η επίδραση μιας μικρής δύναμης ώστε να αστοχήσει και να κατολισθήσουν τα ιζήματα από την ράχη του πρανούς.

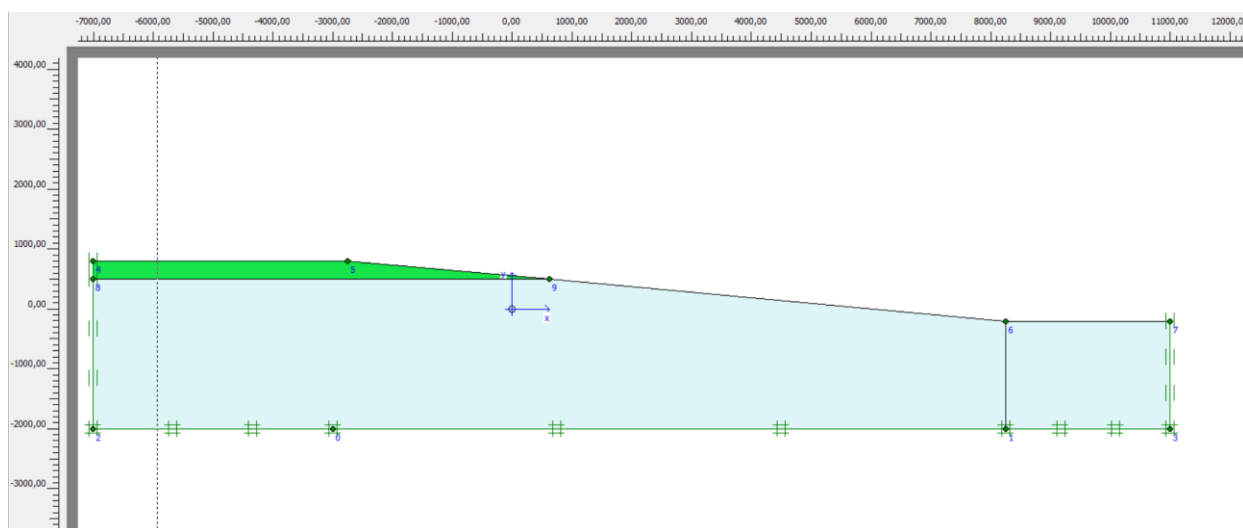
Τέλος, με βάση τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα που προκύπτουν από αυτά, μπορούμε να διαπιστώσουμε πως το μοντέλο που μελετήθηκε δεν μπορεί να υφίσταται στην πραγματικότητα και πιο συγκεκριμένα στην περιοχή

που γίνεται η μελέτη. Καθώς ο τρόπος με τον οποίο κατανεμήθηκε η θέση των ιζημάτων δείχνει πως μια μικρή σεισμική διέγερση μπορεί να τα μετακινήσει από την ράχη του πρανούς, και να παραμείνουν μόνο αυτά που είναι στο φρύδι του πρανούς. Για αυτό τον λόγο το σενάριο 5 που ακολουθεί στην συνέχεια φαίνεται να είναι πιο αντιπροσωπευτικό σε σχέση με την πραγματική θέση των ιζημάτων.

Στατική και ψευδοστατική ανάλυση ανομοιογενούς πρανούς με ιζήματα μόνο στο φρύδι του πρανούς και με υδροφόρο ορίζοντα. (Σενάριο 5)

Το σενάριο 5 όπως θα αποδειχτεί και στην συνέχεια με βάση τα αποτελέσματα που προκύπτουν, φαίνεται να είναι το επικρατέστερο σενάριο για την δομή του πρανούς που βρίσκεται στην περιοχή μελέτης. Η περιοχή μελέτης διακρίνεται για την έντονη σεισμικότητα της εξαιτίας των ρηγμάτων που βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή του δυτικού Αιγαίου, οπότε θεωρείται αδύνατον το πρανές αυτό να περιέχει ιζήματα στην ράχη του από την στιγμή που τα αποτελέσματα του σεναρίου 4 έδειξαν ότι αστοχεί με την άσκηση μιας πολύς μικρής ψευδοστατικής επιτάχυνσης.

Ακόμα, στο σενάριο αυτό η μελέτη έγινε για διαφορετικά πάχη ιζημάτων (100 – 150 – 200 - 250 m) καθώς και για διαφορετικές γωνίες εσωτερικής τριβής (16° – 18° – 20° -22°) για το ιζηματογενές υλικό. Οι διαστάσεις του πρανούς παρέμειναν ίδιες όπως και στα προηγούμενα σενάρια δηλαδή 1000m κατακόρυφη απόσταση , 11000 m οριζόντια απόσταση και γωνιά κλίσης 5,1° .



Εικόνα 4.29: Σχεδιασμός ανομοιογενούς πρανούς.

Ο σχεδιασμός του πρανούς όπως απεικονίζεται στην εικόνα έγινε με βάση την κλίση που υπάρχει σε αυτό. Δηλαδή στο σενάριο 5 η ιζηματογενής στρώση ακολουθεί την ίδια κλίση με το υπόλοιπο πρανές. Οι τιμές του πάχους του πρανούς διακυμάνθηκαν από 100 m έως 250 m με βήμα ανά 50 m .

Στην συνέχεια ακολουθούν οι ιδιότητες των δυο υλικών με το μοντέλο του Mohr-coulomb.

Οι ιδιότητες του βραχώδους υλικού παρέμειναν ίδιες όπως και στα προηγούμενα σενάρια και είναι :

- Ειδικό βάρος υλικού : $\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$
- Μέτρο ελαστικότητας Young : $E_{\text{ref}} = 587100 \text{ kN/m}^2$
- Συντελεστή poisson : $\nu = 0.3$
- Συνοχή του υλικού : $C = 100 \text{ kN/m}^2$
- Γωνία εσωτερικής τριβής : $\Phi = 40^\circ$

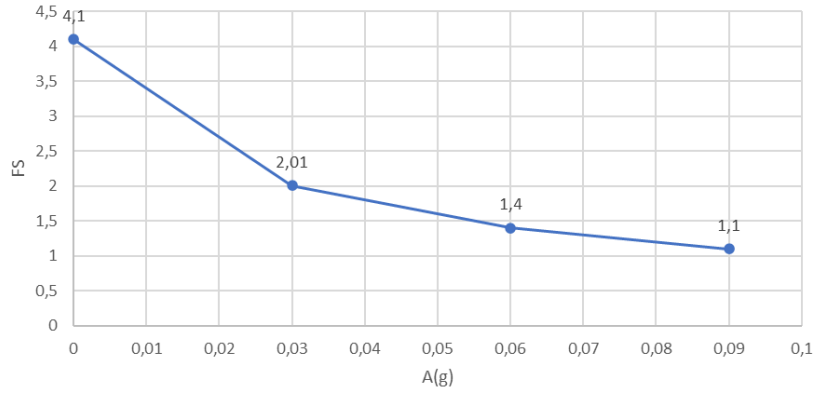
Οι ιδιότητες του ιζηματογενούς υλικού είναι :

- Ειδικό βάρος υλικού : $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
- Μέτρο ελαστικότητας Young : $E_{\text{ref}} = 587100 \text{ kN/m}^2$
- Συντελεστή poisson : $\nu = 0.3$
- Συνοχή του υλικού : $C = 0 \text{ kN/m}^2$
- Γωνία εσωτερικής τριβής : $\Phi = 16^\circ, 18^\circ, 20^\circ, 22^\circ$

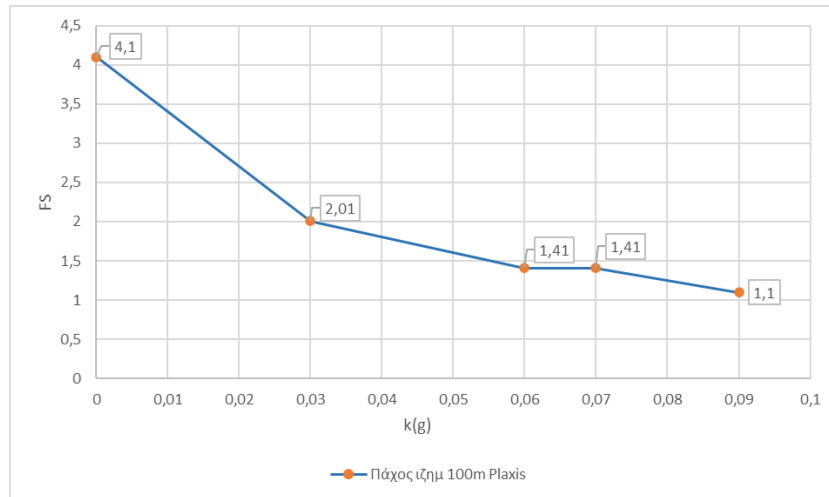
Στην συνέχεια ορίστηκε ο υδροφόρος ορίζοντας 200 m πάνω από το πρανές ο οποίος παρέμενε σταθερός ανεξάρτητα από την αύξηση της ιζηματογενούς στρώσης και ακολούθησε η στατική και ψευδοστατική ανάλυση του πρανούς μέσω του προγράμματος υπολογισμού του λογισμικού Plaxis.

Για πάχος ιζημάτων 100 m :

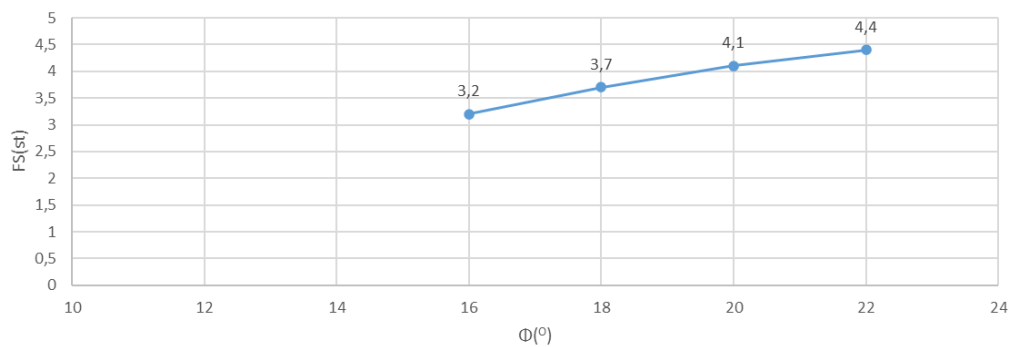
Ως γωνία εσωτερικής τριβής ορίστηκαν οι 20° στο πρώτο διάγραμμα και 18° στο δεύτερο διάγραμμα.



Εικόνα 4.30: Διάγραμμα Συντελεστή ασφαλείας – Ψευδοστατικής επιτάχυνσης για γωνία εσωτερικής τριβής $\Phi = 20^\circ$

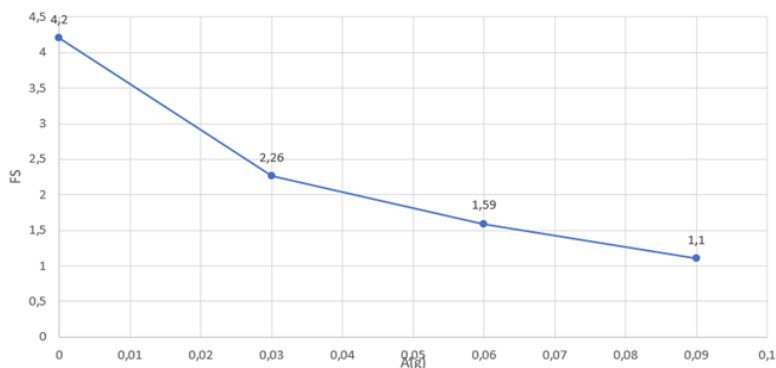


Εικόνα 4.31: Διάγραμμα Συντελεστή ασφαλείας – Ψευδοστατικής επιτάχυνσης για γωνία εσωτερικής τριβής $\Phi = 18^\circ$

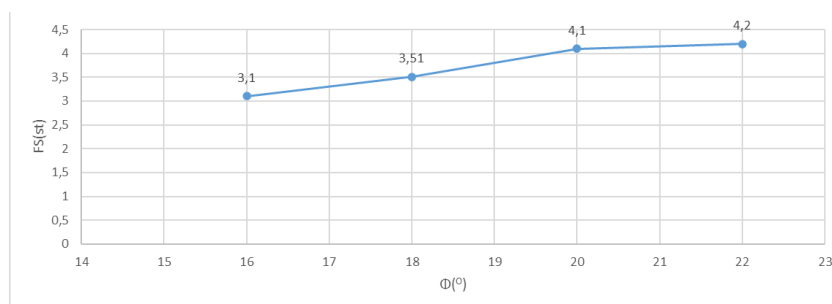


Εικόνα 4.32: Διάγραμμα Συντελεστή ασφαλείας – Γωνία εσωτερικής τριβής για πάχος ιζημάτων $z = 100m$

Για πάχος ιζημάτων 150 m :

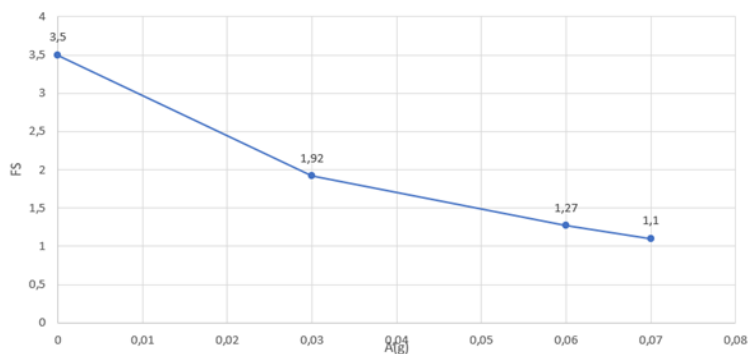


Εικόνα 4.33: Διάγραμμα Συντελεστή ασφαλείας – Ψευδοστατικής επιτάχυνσης για γωνία εσωτερικής τριβής $\Phi = 22^\circ$

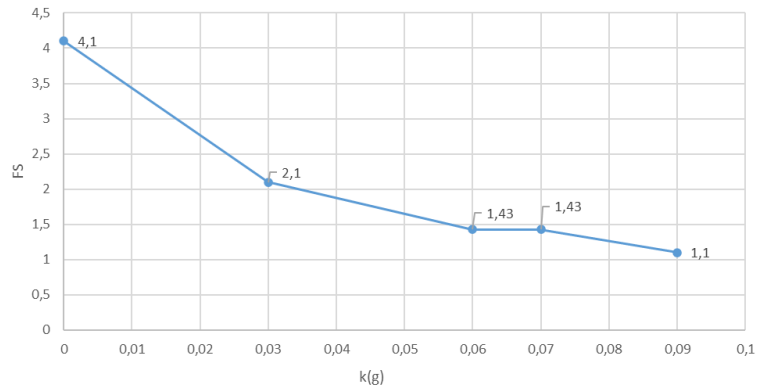


Εικόνα 4.34: Διάγραμμα Συντελεστή ασφαλείας – Γωνία εσωτερικής τριβής για πάχος ιζημάτων $z = 150\text{m}$

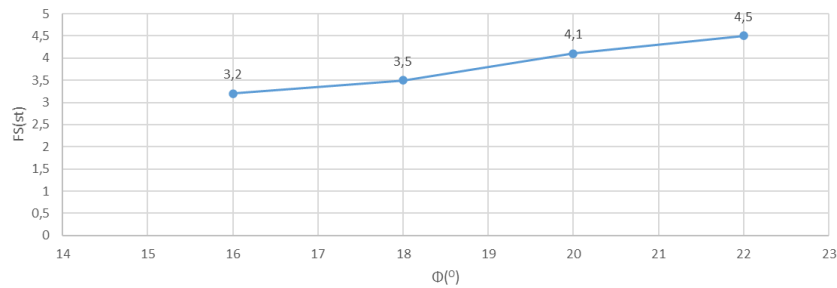
Για πάχος ιζημάτων 200 m :



Εικόνα 4.35: Διάγραμμα Συντελεστή ασφαλείας – Ψευδοστατικής επιτάχυνσης για γωνία εσωτερικής τριβής $\Phi = 18^\circ$

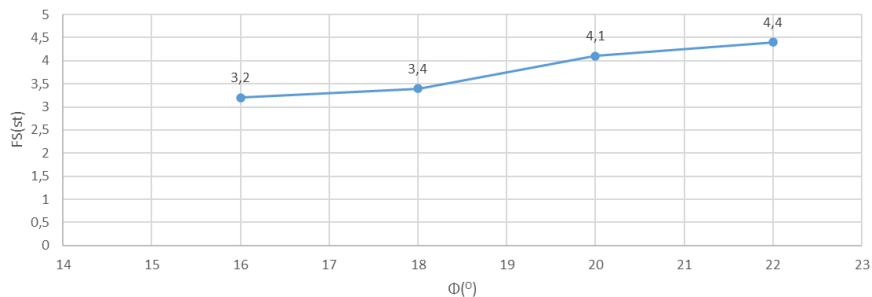


Εικόνα 4.36: Διάγραμμα Συντελεστή ασφαλείας – Ψευδοστατικής επιτάχυνσης για γωνία εσωτερικής τριβής $\Phi = 20^\circ$

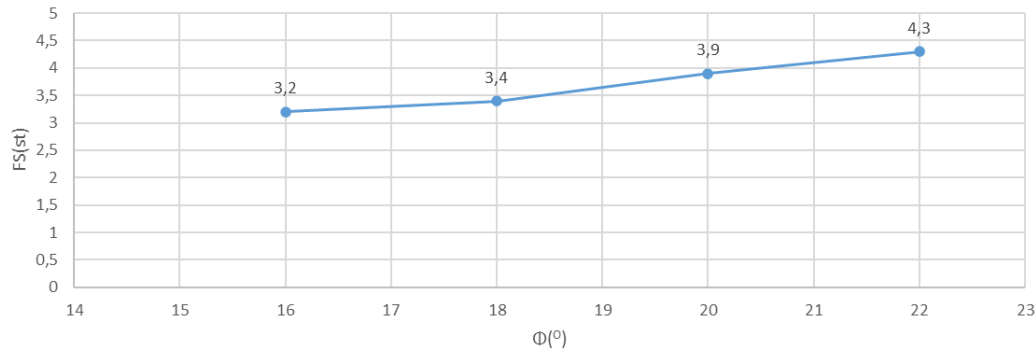


Εικόνα 4.37: Διάγραμμα Συντελεστή ασφαλείας – Γωνία εσωτερικής τριβής για πάχος ιζημάτων $z = 200$ m

Για τις περιπτώσεις των ιζηματογενών στρώσεων πάχους 250 m και 300 m δεν εξετάστηκαν με ψευδοστατική ανάλυση παρά μόνο με στατική ανάλυση καθώς η αστοχία προκλινόταν ακόμα και με την ελάχιστη δυνατή επιτάχυνση που μας επέτρεπε να χρησιμοποιήσουμε το λογισμικό.

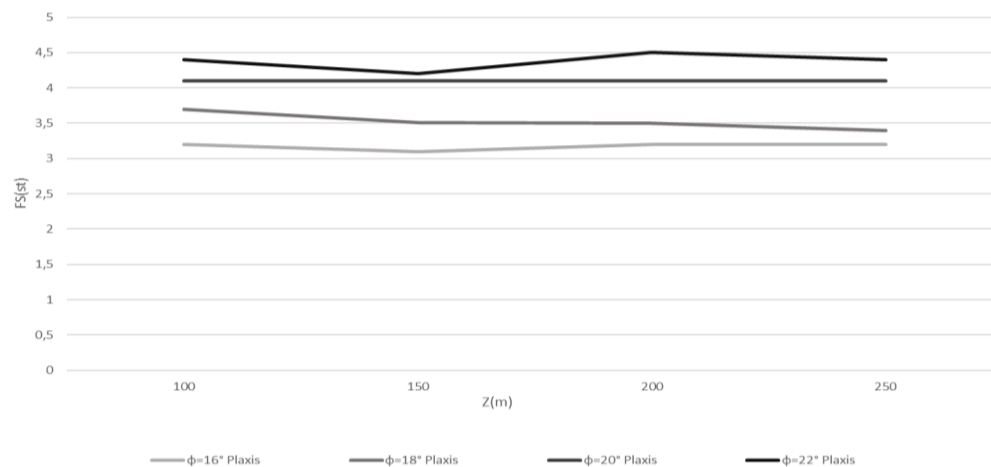


Εικόνα 4.38: Διάγραμμα Συντελεστή ασφαλείας – Γωνία εσωτερικής τριβής για πάχος ιζημάτων $z = 250$ m



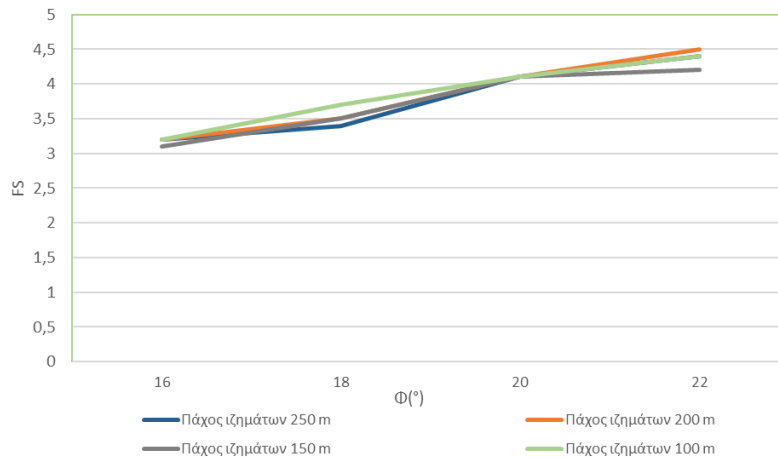
Εικόνα 4.39: Διάγραμμα Συντελεστή ασφαλείας – Γωνία εσωτερικής τριβής για πάχος ιζημάτων $z = 300$ m

Στην συνέχεια ακολουθούν τα συγκεντρωτικά διαγράμματα των αναλύσεων αυτών καθώς και οι συγκρίσεις μεταξύ τους.



Εικόνα 4.40: Συγκεντρωτικό διάγραμμα Συντελεστή ασφαλείας – Πάχους ιζημάτων για γωνίες εσωτερικής τριβής $\Phi = 16^\circ, 18^\circ, 20^\circ, 22^\circ$

Στην εικόνα 4.40 παρουσιάζεται η διακύμανση του συντελεστή ασφαλείας σε σχέση με το πάχος της ιζηματογενούς στρώσης για τέσσερις διαφορετικές γωνίες εσωτερικής τριβής. Αυτό που παρατηρείται είναι πως όσο αυξάνεται η γωνία εσωτερικής τριβής τόσο αυξάνεται και ο συντελεστής ασφαλείας ενώ η αύξηση της ιζηματογενούς στρώσης δεν δείχνει να επηρεάζει ιδιαίτερα τον συντελεστή ασφαλείας σε στατικές συνθήκες.

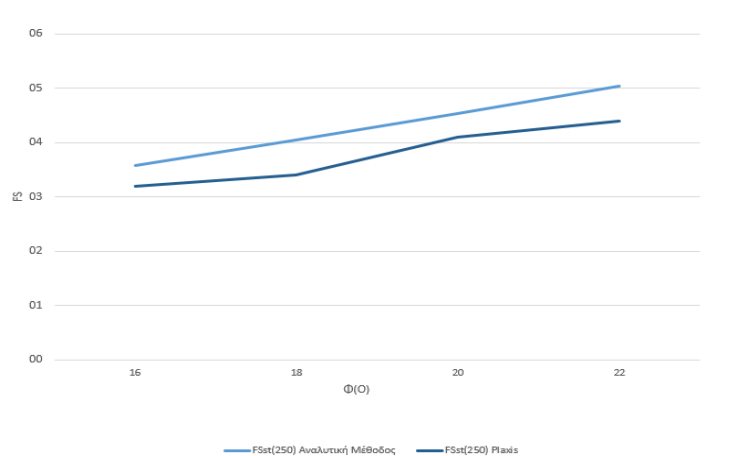


Εικόνα 4.41: Συγκεντρωτικό διάγραμμα Συντελεστή ασφαλείας – Γωνίας εσωτερικής τριβής για πάχη ιζημάτων $z = 100\text{m}, 150\text{m}, 200\text{m}, 250\text{m}$.

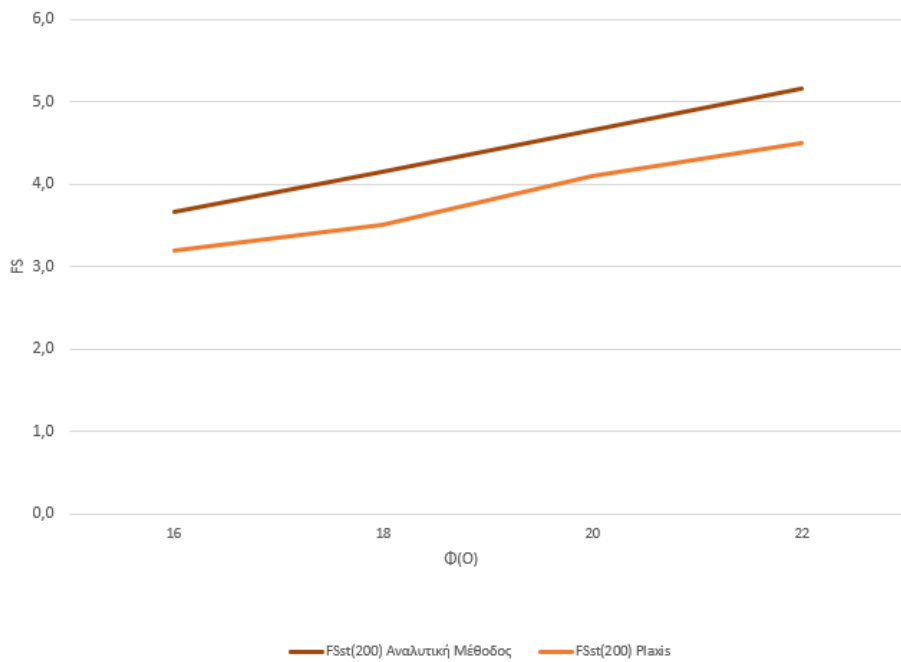
4.4 Συγκρίσεις αναλυτικών σχέσεων με αριθμητική προσομοίωση :

Στο σημείο αυτό γίνονται οι συγκρίσεις των αναλυτικών σχέσεων και των αποτελεσμάτων του προγράμματος Plaxis. Υπενθυμίζεται πως ο συντελεστής ασφαλείας στις αναλυτικές σχέσεις υπολογίστηκε με τους τύπους ενός απειρομήκου πρανούς, ενώ οι συντελεστές ασφαλείας που προέκυψαν από την αριθμητική προσομοίωση υπολογίστηκαν μέσω της ανάλυσης ρ - c reduction που έχει το λογισμικό Plaxis.

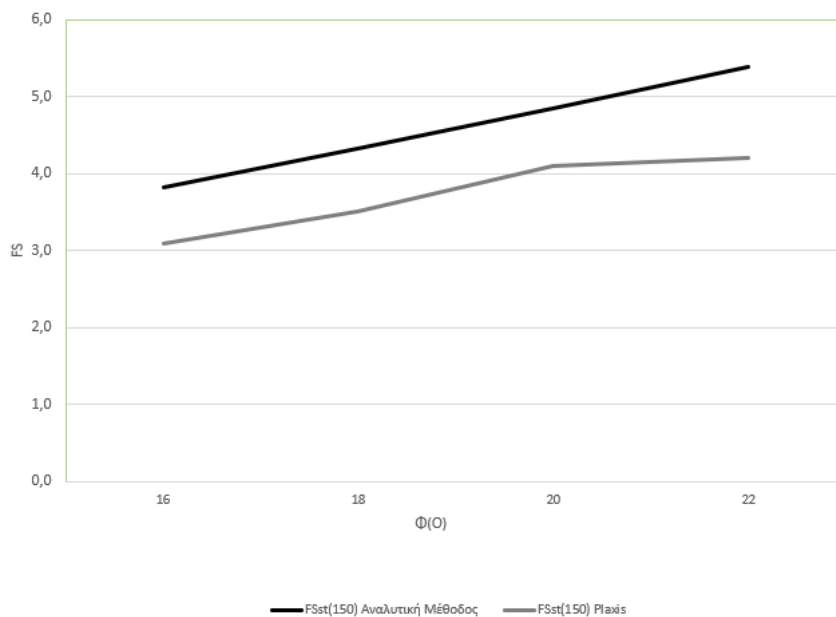
Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά διαγράμματα με τις διακυμάνσεις του συντελεστή ασφαλείας σε σχέση με την γωνία εσωτερικής τριβής αλλά και σε σχέση με την ψευδοστατική επιτάχυνση που ασκείται σε αυτό.



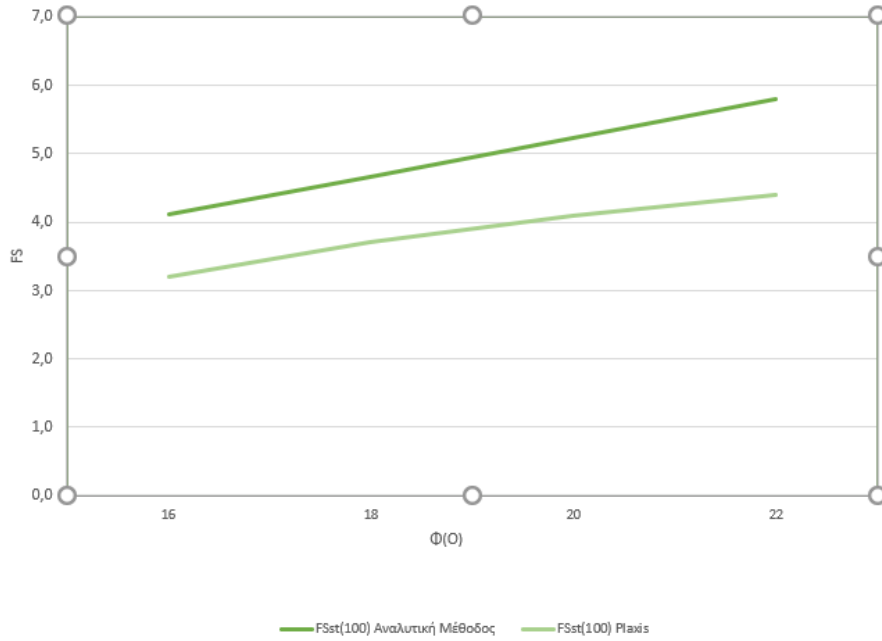
Εικόνα 4.42: Διάγραμμα Συντελεστή ασφαλείας – Γωνία εσωτερικής τριβής στο οποίο συγκρίνονται τα αποτελέσματα μεταξύ Αναλυτικών σχέσεων και Plaxis για πρανές με πάχος ιζημάτων 250m.



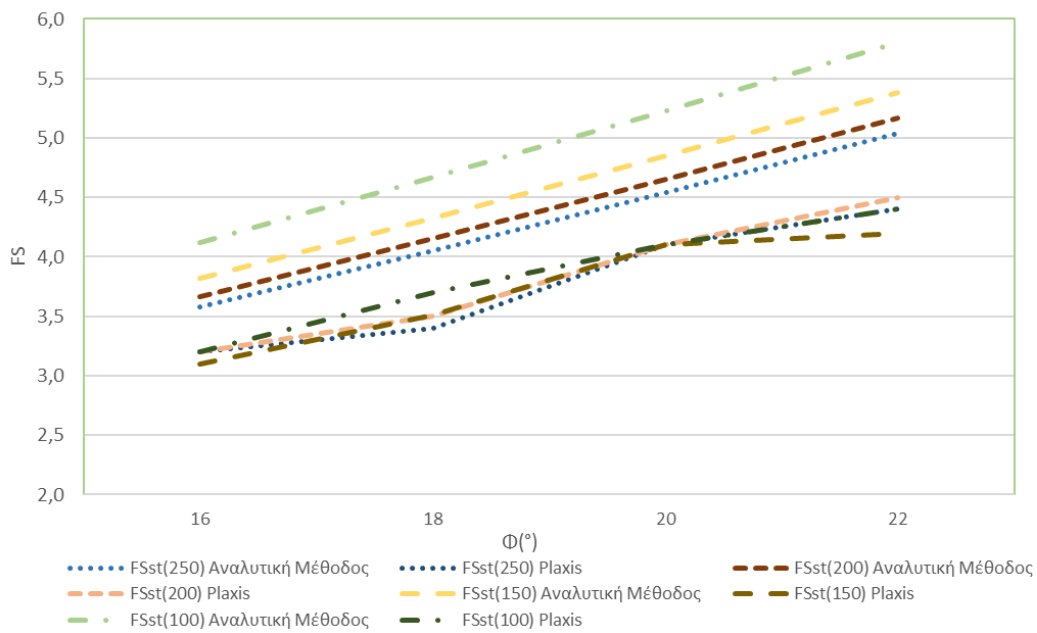
Εικόνα 4.43: Διαγραμμα Συντελεστή ασφαλείας – Γωνία εσωτερικής τριβής στο οποίο συγκρίνονται τα αποτελέσματα μεταξύ Αναλυτικών σχέσεων και Plaxis για πρανές με πάχος ιζημάτων 200m.



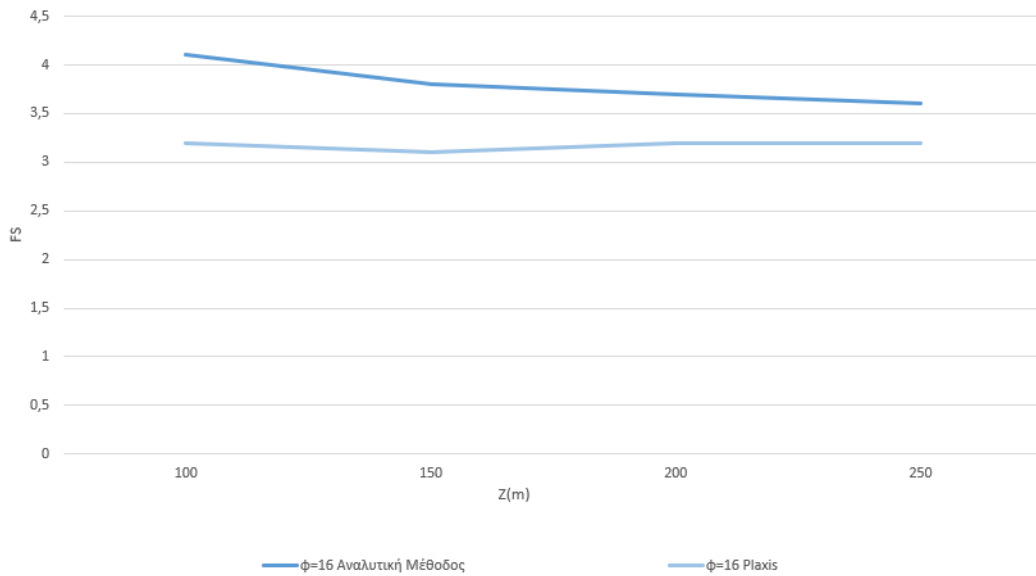
Εικόνα 4.44: Διαγραμμα Συντελεστή ασφαλείας – Γωνία εσωτερικής τριβής στο οποίο συγκρίνονται τα αποτελέσματα μεταξύ Αναλυτικών σχέσεων και Plaxis για πρανές με πάχος ιζημάτων 150m.



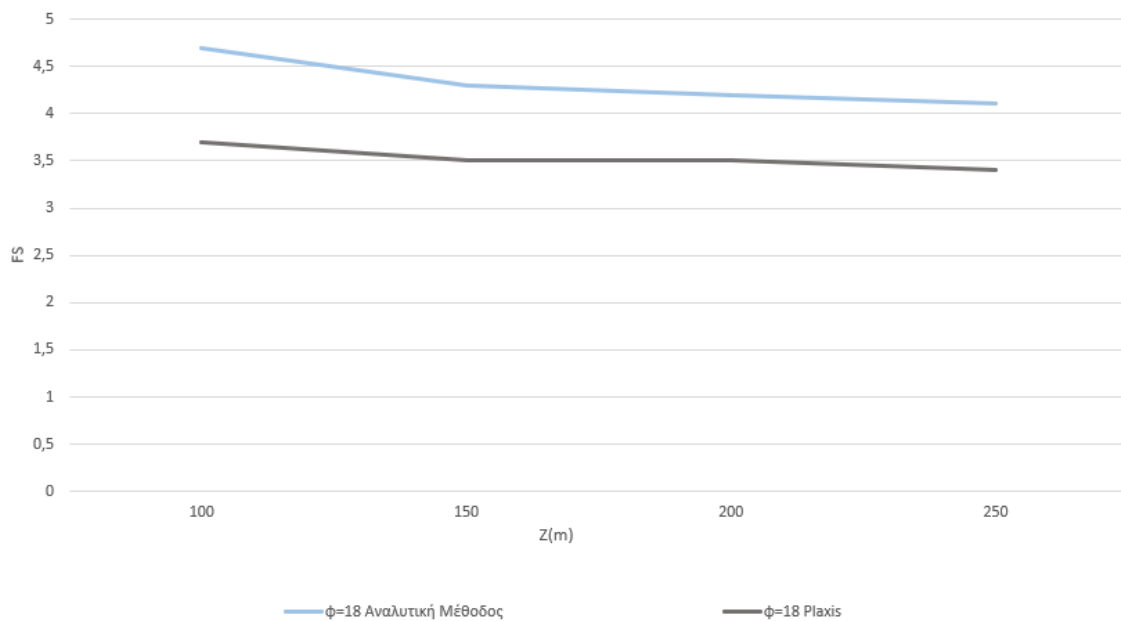
Εικόνα 4.45: Διαγράμμα Συντελεστή ασφαλείας – Γωνία εσωτερικής τριβής στο οποίο συγκρίνονται τα αποτελέσματα μεταξύ Αναλυτικών σχέσεων και Plaxis για πρανές με πάχος ιζημάτων 100m.



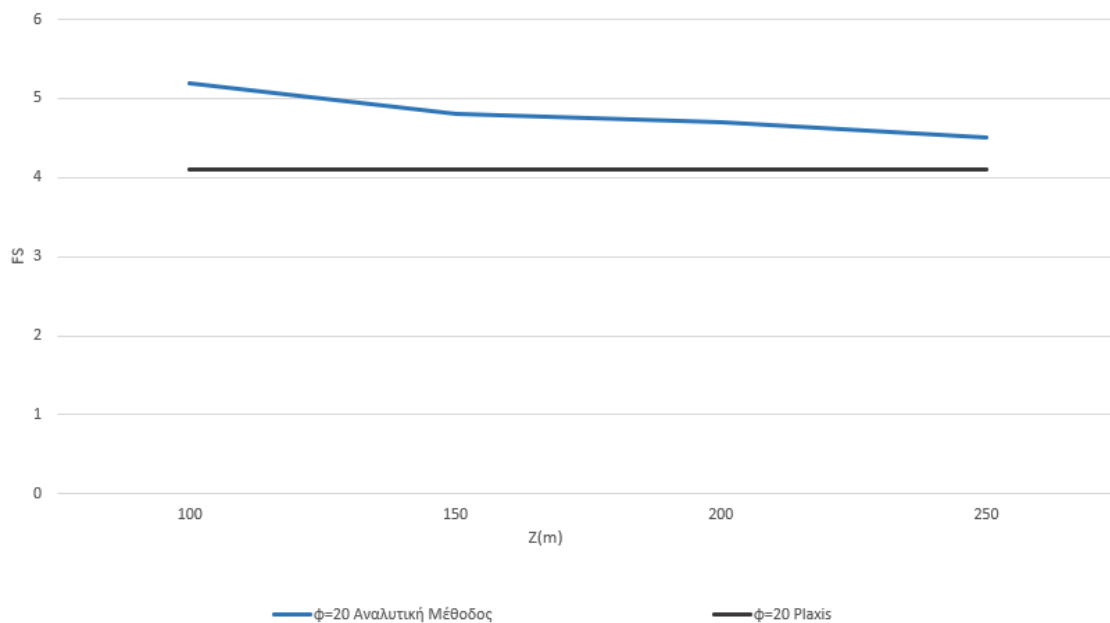
Εικόνα 4.46: Συγκεντρωτικό διάγραμμα Συντελεστή ασφαλείας – Γωνίας εσωτερικής τριβής στο οποίο συγκρίνονται τα αποτελέσματα μεταξύ Αναλυτικών σχέσεων και Plaxis για πάχη ιζημάτων $z = 100\text{m}, 150\text{m}, 200\text{m}, 250\text{m}$.



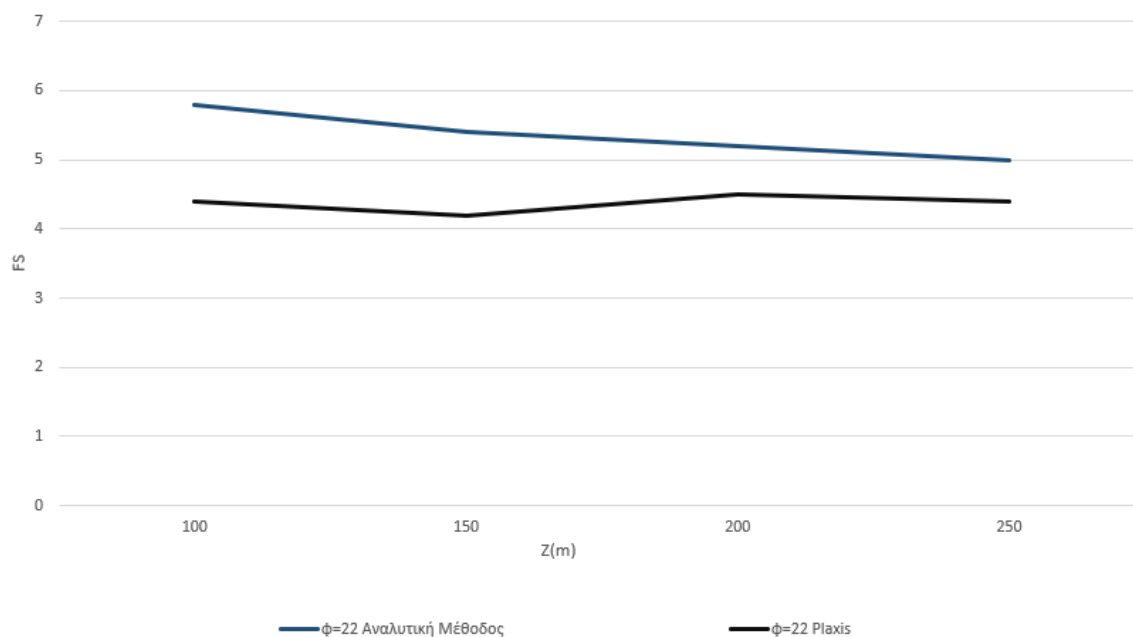
Εικόνα 4.47: Διαγραμμα Συντελεστή ασφαλείας – Πάχος ιζημάτων στο οποίο συγκρίνονται τα αποτελέσματα μεταξύ Αναλυτικών σχέσεων και Plaxis για πρανές με γωνία εσωτερικής τριβής $\Phi=16^\circ$.



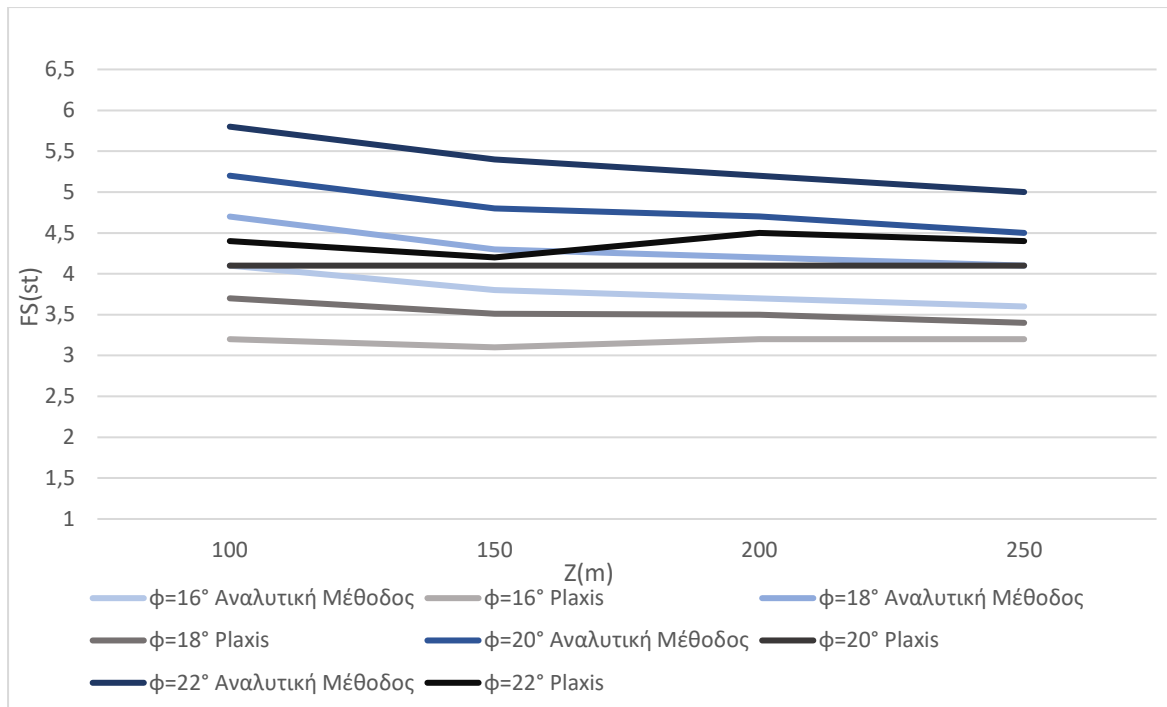
Εικόνα 4.48: Διαγραμμα Συντελεστή ασφαλείας – Πάχος ιζημάτων στο οποίο συγκρίνονται τα αποτελέσματα μεταξύ Αναλυτικών σχέσεων και Plaxis για πρανές με γωνία εσωτερικής τριβής $\Phi=18^\circ$.



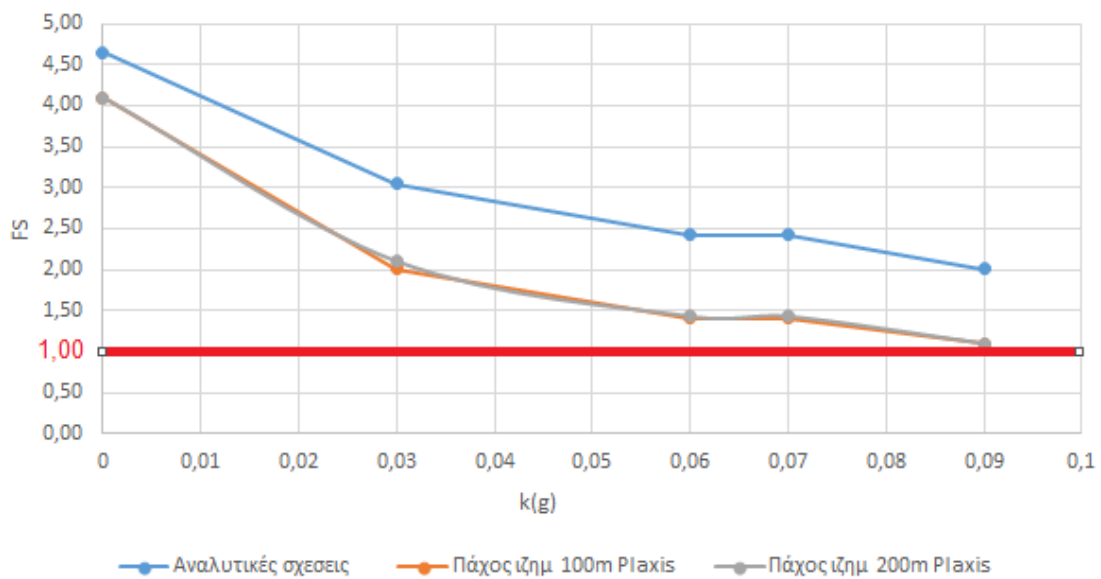
Εικόνα 4.49: Διαγραμμα Συντελεστή ασφαλείας – Πάχος ιζημάτων στο οποίο συγκρίνονται τα αποτελέσματα μεταξύ Αναλυτικών σχέσεων και Plaxis για πρανές με γωνία εσωτερικής τριβής $\Phi=20^\circ$.



Εικόνα 4.50: Διαγραμμα Συντελεστή ασφαλείας – Πάχος ιζημάτων στο οποίο συγκρίνονται τα αποτελέσματα μεταξύ Αναλυτικών σχέσεων και Plaxis για πρανές με γωνία εσωτερικής τριβής $\Phi=22^\circ$.



Εικόνα 4.51: Συγκεντρωτικό διάγραμμα Συντελεστή ασφαλείας – Πάχους ιζημάτων για γωνίες εσωτερικής τριβής $\Phi = 16^\circ, 18^\circ, 20^\circ, 22^\circ$



Εικόνα 4.52: Συγκεντρωτικό διάγραμμα Συντελεστή ασφαλείας – Ψευδοστατικής επιτάχυνσης μεταξύ αποτελεσμάτων των αναλυτικών σχέσεων και Plaxis, για γωνία εσωτερικής τριβής $\Phi=18^\circ$.

Αναλύοντας τα συγκεντρωτικά διαγράμματα καταλαβαίνουμε πως οι διαφορές των αποτελεσμάτων δεν είναι μεγάλες μεταξύ των δυο μεθόδων ως προς την διακύμανση του συντελεστή ασφαλείας σε σύγκριση με την γωνία εσωτερικής τριβής και το πάχος ιζημάτων. Ωστόσο στην περίπτωση των ψευδοστατικών δυνάμεων παρουσιάζεται μια διαφορά στα αποτελέσματα μεταξύ αναλυτικών σχέσεων και Plaxis. Ειδικότερα στην εικόνα 4,52 βλέπουμε τα αποτελέσματα των αναλύσεων του Plaxis να δείχνουν πως το πρανές αστοχεί για γωνία εσωτερικής τριβής $\Phi=18^\circ$ στο ιζηματογενές υλικό, όταν η ψευδοστατική επιτάχυνση ξεπεράσει τα 0,09G ενώ στις αναλυτικές σχέσεις το πρανές αστοχεί για επιτάχυνση μεγαλύτερη του 0,21G.

4.5 Συμπεράσματα:

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την μελέτη του πρανούς μεταξύ αναλυτικών σχέσεων και του λογισμικού Plaxis είναι τα εξής :

- Ιζηματογενής στρώση στο πρανές μπορεί να υπάρξει μόνο αν αυτή βρίσκεται στο φρύδι του πρανούς.
- Η αύξηση του πάχους των ιζημάτων δείχνει να μειώνει σε πολύ μικρό ρυθμό τον συντελεστή ασφαλείας του πρανούς.
- Η αύξηση της γωνίας εσωτερικής τριβής είναι συνυφασμένη και με την αύξηση του συντελεστή ασφαλείας, αφού όσο αυξάνεται η γωνία τόσο θεμελιώνεται η ευστάθεια του πρανούς.
- Ένα πλήρως βυθισμένο ανομοιογενές πρανές έχει μειωμένο συντελεστή ασφαλείας σε σχέση με ένα πρανές που βρίσκεται στην ξηρά με ίδια γεωμετρικά και γεωλογικά χαρακτηριστικά.
- Το πάχος των ιζημάτων θα μπορούσε να θεωρηθεί μικρότερο από 100m αλλά η έκδοση του λογισμικού Plaxis δεν το επέτρεπε.
- Η ελάχιστη γωνία εσωτερικής τριβής για το υπό μελέτη πρανές στο λογισμικό Plaxis ήταν 16° καθώς το πρόγραμμα έδειχνε πως η ευστάθεια του πρανούς υπό την επίδραση ψευδοστατικής επιτάχυνσης επιτυγχάνεται για γωνία εσωτερικής τριβής από 16° και πάνω για πάχος ιζημάτων 100m.

Κεφάλαιο 5

Βελτιστοποίηση Χαράξεων μέσω GIS

5.1 : Εισαγωγή

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας και ο εκσυγχρονισμός των μηχανημάτων και των μεθόδων λειτουργίας τους, έχει οδηγήσει σε μια διαφορετική αντιμετώπιση της διαδικασίας αναφορικά με την εκπόνηση των έργων. Οποιοδήποτε έργο σήμερα το οποίο πρόκειται να κατασκευαστεί σε μεγάλη κλίμακα προϋποθέτει την ακριβή χωροθέτηση του πάνω στην περιοχή μελέτης. Το εργαλείο με το οποίο μπορεί να επιτευχθεί κάτι τέτοιο, είναι μέσω ενός γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών ή αλλιώς GIS. Με βάση το εργαλείο αυτό θα επιτευχθεί και η βέλτιστη χάραξη στο κεφάλαιο αυτό.

Στο κεφάλαιο αυτό θα προσδιοριστεί ο τρόπος με τον οποίο μπορεί να γίνει η βέλτιστη χάραξη ενός έργου μέσω του συστήματος GIS. Η περιοχή μελέτης είναι το δυτικό Αιγαίο και πιο συγκεκριμένα η χάραξη θα ξεκινάει από την Πελοπόννησο και θα καταλήγει στο δυτικό κομμάτι της Κρήτης. Στόχος είναι να αποφευχθούν οι επικίνδυνες περιοχές αλλά και να επιτευχθεί η μικρότερη δυνατή απόσταση.

Το έργο αυτό θα λειτουργεί σε θαλάσσιο περιβάλλον και πιο συγκεκριμένα θα πρέπει να εγκατασταθεί στον πυθμένα. Συνήθως τα έργα που απαιτούν τέτοια είδους χάραξη είναι είτε πόντιση καλωδίων ή η κατασκευή υποθαλάσσιου αγωγού. Η σημαντικότητα των δυο αυτών έργων είναι τόσο μεγάλη που δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να τεθεί υπό αμφισβήτηση η σωστή λειτουργία τους. Για αυτόν τον λόγο οι χαράξεις που δημιουργούνται μέσω των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών προσφέρουν ανάλογα με τα δεδομένα, υψηλές ακρίβειες ώστε να εξασφαλισθεί η σωστή χάραξη και να μην τεθεί η κατασκευή ή η λειτουργία του έργου σε κίνδυνο.

Τα κριτήρια που τέθηκαν στο GIS ώστε να δημιουργήσει με αυτοματοποιημένο τρόπο την χάραξη είναι το κριτήριο του βάθους και των κλίσεων.

5.2 : Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών – GIS

5.2.1: Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια ύστερα από την ραγδαία ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών ξεκίνησε μια προσπάθεια ανάπτυξης αυτοματοποιημένων τρόπων για την αποτελεσματικότερη αποθήκευση, ανάλυση και παρουσίαση

γεωγραφικών δεδομένων. Τα GIS- Geographical Information Systems: Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα (ΓΠΣ) καλύπτουν τις παραπάνω ανάγκες και πρόκειται για υπολογιστικά συστήματα τα οποία χρησιμοποιούνται για τη συλλογή, διαχείριση, ολοκλήρωση, εκμετάλλευση, ανάλυση και εμφάνιση δεδομένων τα οποία αναφέρονται σε ένα τμήμα της γήινης επιφάνειας. Συγκεκριμένα με την βοήθεια των υπολογιστών επιτυγχάνουν την ανάπτυξη και το χειρισμό μιας βάσης δεδομένων στην οποία είναι γεωγραφικά ή κατά χώρο προσανατολισμένα και ουσιαστικά να αποτελούν συστήματα εξομοίωσης του πραγματικού χώρου.

Ειδικές περιπτώσεις Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών, οι οποίες διατηρούν όμως το βασικό τους σκεπτικό είναι τα M.I.M.S (Map Information Management Systems) με έμφαση στην χαρτογραφία και τα L.I.S (Land Information Systems) και στα οποία δίνεται έμφαση στις ανάγκες κυρίως των κτηματολογικών εφαρμογών.

Τις περισσότερες φορές τα δεδομένα ενός ΓΠΣ οργανώνονται σε πληροφοριακά επίπεδα τα οποία αφορούν στην ίδια γεωγραφική περιοχή και το καθένα από αυτά περιλαμβάνει είτε δεδομένα στην αρχική τους μορφή είτε επεξεργασμένες θεματικές πληροφορίες. Στη συνέχεια, όλα τα δεδομένα μετατρέπονται σε ψηφιακή μορφή και η επεξεργασία τους γίνεται με ειδικό λογισμικό.

Τα εν λόγω συστήματα χρησιμοποιούνται σε πληθώρα εφαρμογών και ταξινομούνται στις παρακάτω κατηγορίες:

α) Στις περιβαλλοντικές εφαρμογές και ειδικότερα στην δημιουργία και διαχείριση βάσεων περιβαλλοντικών δεδομένων σε τοπικό, εθνικό ή παγκόσμιο επίπεδο.

β) Στις εφαρμογές στις γεωεπιστήμες.

γ) Στις δασολογικές εφαρμογές και

δ) Στις φυσικές καταστροφές.

Επίσης, σημαντικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι κοινωνικό-οικονομικές εφαρμογές οι οποίες απαρτίζονται από το κτηματολόγιο, τις δημογραφικές έρευνες, τις εφαρμογές στις επιστήμες υγείας, ανάλυσης αγοράς καθώς και στην εγκληματολογία και στα δίκτυα κοινής ωφέλειας. Τέλος, ιδιαίτερο ρόλο διαδραματίζουν οι διαχειριστικές εφαρμογές οι οποίες απαρτίζονται από την ευρεία εφαρμογή τους στην τοπική αυτοδιοίκηση, στον χωροταξικό-πολεοδομικό σχεδιασμό, στις μεταφορές και στην πλοήγηση. [21]

Βάσει του τρόπου καταχώρησης και επεξεργασίας των χαρτογραφικών στοιχείων τα δεδομένα χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

α) Τα ψηφιδωτά (Raster) και

β) Τα διανυσματικά (Vector).

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω τα γεωγραφικά δεδομένα θα πρέπει να μετατραπούν σε ψηφιακή μορφή με την βοήθεια της χρήσης αρχείων που είναι συμβατά με τα GIS και καθένα από τα είδη δεδομένων είναι κατάλληλο για διαφορετικές εφαρμογές . Σημειώνεται επίσης πως ένα από τα πλεονεκτήματα των GIS είναι η δυνατότητα τους να απεικονίζουν τα χωρικά δεδομένα στη σωστή τους θέση στον χώρο κάτι το οποίο για να λάβει χώρα απαιτεί ένα σύστημα αναφοράς όπου κάθε σημείο του χώρου αντιστοιχεί σε ένα μοναδικό ζεύγος πραγματικών αριθμών.

Στον Ελλαδικό χώρο χρησιμοποιούνται ευρέως τα ακόλουθα συστήματα αναφοράς:

- Η Παγκόσμια Εγκάρσια Μερκατορική προβολή και
- Το Παγκόσμιο WGS 84 το οποίο χρησιμοποιείται από το δορυφορικό σύστημα GPS.

Ειδικότερα το τελευταίο κάνει χρήση του ελλειψοειδούς WGS 84 και δύο ειδών συστημάτων συντεταγμένων:

(α) γεωγραφικές (φ,λ) και

(β) καρτεσιανό τρισδιάστατο σύστημα, με αρχή το κέντρο του ελλειψοειδούς και άξονες x,y επί του ισημερινού με θετικό άξονα y προς το βόρειο πόλο και θετικό άξονα x προς την κατεύθυνση του μεσημβρινού του Greenwich.

Ως τρίτη παράμετρος μπορεί να ληφθεί το γεωδαιτικό υψόμετρο του σημείου (h) που αντιπροσωπεύει την απόσταση του σημείου από την επιφάνεια του ελλειψοειδούς.

5.2.2 : Περιγραφή του προγράμματος ArcGIS

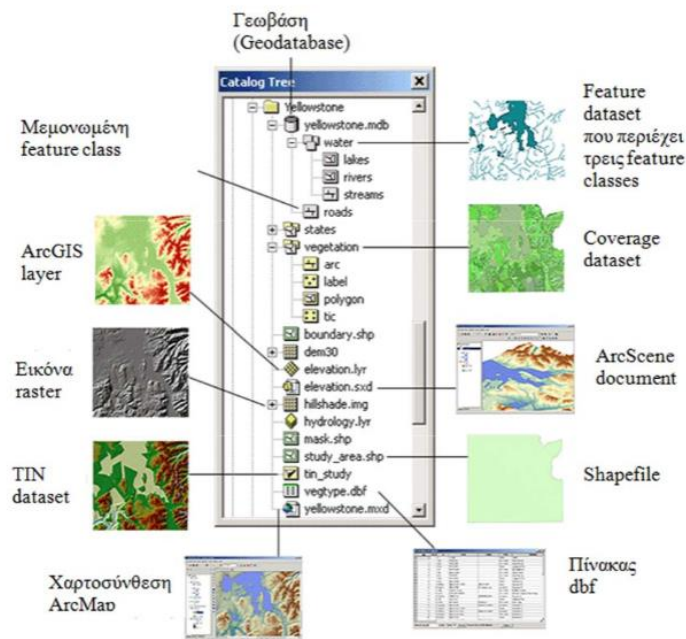
Το πρόγραμμα ArcGIS είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα γεωγραφικά συστήματα αναφοράς καθώς διαθέτει όλα τα απαραίτητα εργαλεία ώστε να εξασφαλισθεί η σωστή κατασκευή ή χάραξη κάποιου έργου.

Το ArcGIS είναι νέας συνδυασμός από πολλά λογισμικά για μικρότερες εφαρμογές προκείμενου να δημιουργηθεί ένα πλήρες πακέτο ΣΓΠ. Αποτελείται από πολλά πλαίσια εφαρμογής όπως το ArcGIS Desktop, ArcGIS Engine, Server GIS-ArcSDE, ArcIMS, ArcGIS Server και το Mobile GIS – ArcPa. Στην μελέτη που παρουσιάζεται στην συνέχεια αξιοποιείται το ArcGIS Desktop. Αντίστοιχα το ArcGIS Desktop περιλαμβάνει ένα σύνολο υπό εφαρμογών το ArcMap ,ArcCatalog , ArcToolbox και το ModelBuilder.

Το ArcMap αποτελεί την κεντρική εφαρμογή του ArcGIS Desktop. Σε αυτό εκτελούνται όλες οι λειτουργίες οι οποίες βασίζονται σε χάρτες και περιλαμβάνουν χαρτογραφία, ανάλυση του χάρτη, επεξεργασία. Τα αρχεία τα οποία δημιουργεί το ArcMap έχουν την προέκταση .mxd. Κάποιες από τις δυνατότητες της εφαρμογής είναι η δημιουργία και επεξεργασία χαρτών, η

εμφάνιση, επεξεργασία και ανάλυση γεωγραφικών δεδομένων , η αναζήτηση των χωρικών δεδομένων, ο συμβολισμός των δεδομένων με πολυάριθμους τρόπους, η δημιουργία γραφημάτων και η διαμόρφωση των αρχείων σε εκτυπώσιμους χάρτες.

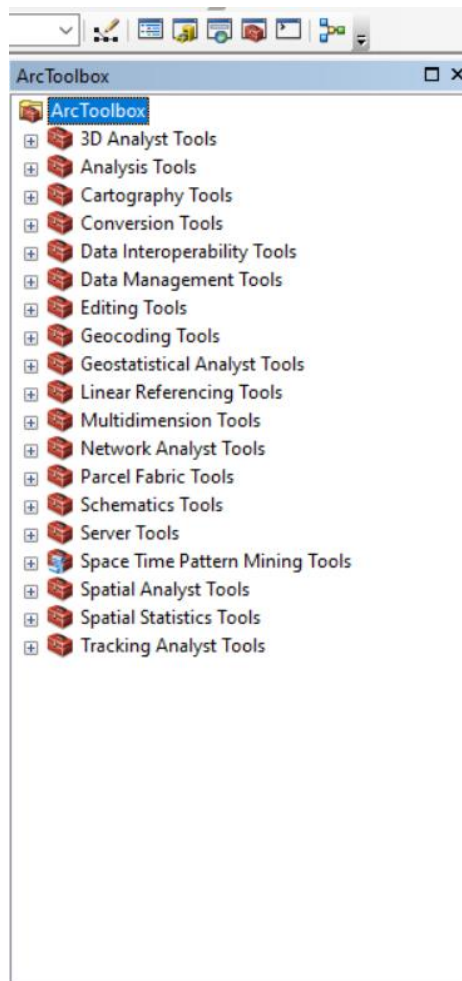
Το περιβάλλον ArcCatalog παρέχει στον χρήστη μια ολοκληρωμένη άποψη του συνόλου των μορφών δεδομένων που υποστηρίζονται από το ArcGIS: data fide, databases καθώς και άλλων αρχείων του ArcGIS. Έχει τη μορφή του Windows explorer, προσαρμοσμένου όμως στην αναγνώριση και αντιστοίχως το «συμβολισμό» με τα κατάλληλα εικονίδια των ειδικών δομών των χωρικών δεδομένων. Τα χωρικά δεδομένα συχνά αποτελούνται από ομάδες αρχείων και ενώ στον Windows explorer εμφανίζονται ως σύνολο φακέλων και αρχείων (folders και files), ο ArcCatalog εμφανίζει και διαχειρίζεται τα χωρικά δεδομένα ως ενιαίες οντότητες. Επίσης, στα περιεχόμενα εμφανίζει μόνο τις δομές που αναγνωρίζει και όχι αρχεία άλλων τύπων που τυχόν υπάρχουν σε ένα φάκελο (folder). (Τσούλος, Λ., Σκοπελίτη, Α., Στάμου, Λ. (2015)).



Εικόνα 5.1: Ο κατάλογος δεδομένων του ArcCatalog.

(Πηγή: www.desktop.arcgis.com)

Το Arc toolbox είναι μια εργαλειοθήκη μέσα από την οποία ο χρήστης αποκτά πρόσβαση σε όλα τα εργαλεία του ArcGIS. Η κατανομή των εργαλείων είναι σε τέτοια μορφή (δενδροειδής με διακλαδώσεις) ώστε να μην συναντιόνται δυσκολίες στον χρήστη και να βρίσκει εύκολα το εργαλείο που χρειάζεται.



Εικόνα 5.2: Εργαλειοθήκη Arctoolbox

(Πηγή: www.desktop.arcgis.com)

Επιπλέον, το πρόγραμμα έχει την δυνατότητα μέσω του Attribute table να απεικονίζει τα δεδομένα που υπάρχουν μέσα στο πρόγραμμα με την μορφή πίνακα ώστε να καταλαβαίνει ο χρήστης το περιεχόμενο των δεδομένων που επεξεργάζεται. Τα δεδομένα αυτά μπορεί να είναι αριθμοί, σύμβολα ή γράμματα.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται κάποια από τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την χάραξη:

Topo to raster : Το εργαλείο αυτό έχει την ικανότητα να δημιουργήσει ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους. Πιο συγκεκριμένα μπορεί να πάρει πληροφορία μέσα από κάποια διανυσματική μορφή, όπως μια ισοϋψής και με βάση την πληροφορία αυτή να δημιουργήσει μια εικόνα όπου οι εδαφοψηφιδές της να απεικονίζει την πληροφορία αυτή με αποχρώσεις κάποιων χρωματικής σκάλας.

Polygon to Raster :

Μέσω αυτού του εργαλείου οι πολυγωνικές οντότητες μετατρέπονται σε αρχεία ψηφιδωτής μορφής.

Raster to Polygon:

Δουλεύει αντίστροφα σε σχέση με το polygon to raster, δηλαδή μετατρέπει τα αρχεία που είναι σε ψηφιδωτή μορφή σε διανυσματική μορφή.

Weighted overlay :

Το εργαλείο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη πραγματοποίηση μιας πολυκριτηριακής ανάλυσης καθώς αποτελεί ένα εργαλείο σταθμισμένης υπέρθεσης. Τα δεδομένα που εισάγονται στο περιβάλλον του είναι τα θεματικά επίπεδα σε ψηφιδωτή μορφή, με τη δυνατότητα κατά την εφαρμογή του εργαλείου κάθε ένα από αυτά να αποτελέσει κριτήριο με ξεχωριστό βάρος επιρροής

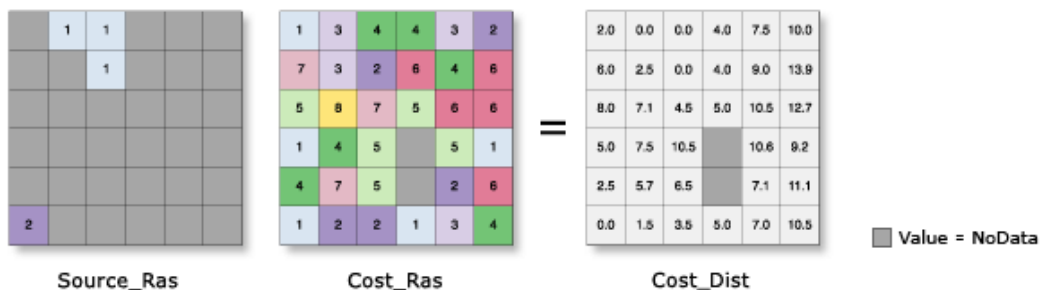
Slope :

Με το εργαλείο αυτό μπορούν να υπολογιστούν οι κλίσεις ή οποίες αναπαρίστανται μέσω ενός ψηφιακού μοντέλου εδάφους. Για να εφαρμοστεί το εργαλείο αυτό πρέπει το υπόβαθρο από το οποίο αντλεί την πληροφορία να είναι σε μορφή raster.

Cost Distance:

Το εργαλείο αυτό έχει ως στόχο να υπολογίζει την λιγότερο δαπανηρή διαδρομή ξεκινώντας από μια αφετηρία ψηφίδας και καταλήγει στο γειτονικό του μέσω του πλησιέστερου λιγότερου δαπανηρού κελιού. Ουσιαστικά ο αλγόριθμος του εργαλείου θεωρεί το κέντρο των κελίων ως κόμβο και ενώνει με πολλαπλές συνδέσεις τους κόμβους των γειτονικών κελίων.

Η διαδικασία που ακολουθεί το εργαλείο αυτό είναι να αναθέτει τιμές στην επιφάνεια εισαγωγής ή οποία βρίσκεται σε ψηφιδωτή μορφή στην συνέχεια αναθέτει το ψηφιδωτό κόστος σε κάθε κελί το οποίο προκύπτει ανά μονάδα απόστασης σε δεύτερο ψηφιδωτό αρχείο. Στην συνέχεια κάνει υπέρθεση των δυο προαναφερθέντων ψηφιακών αρχείων και προκύπτει ένα αρχείο εξόδου που περιέχει σε κάθε ψηφίδα του το συνολικό κόστος.



Εικόνα 5.3: Στάδια επεξεργασίας του εργαλείου Cost distance.

(Πηγή: www.desktop.arcgis.com)

Cost path:

Το cost path είναι το αμέσως επόμενο εργαλείο που χρησιμοποιεί ο χρήστης του προγράμματος προκειμένου να δημιουργήσει την λιγότερο δαπανηρή διαδρομή. Την αφετηρία και τον τερματικό σταθμό της διαδρομής καθορίζονται από το χρήστη. Τα δεδομένα που χρειάζεται το εργαλείο αυτό για να τρέξει είναι το διανυσματικό αρχείο που προκύπτει από το cost distance και ένα δεύτερο διανυσματικό αρχείο που ονομάζεται backlink. Η διαδρομή προκύπτει από την ένωση των κόμβων σύνδεσης των κελιών με τις ελάχιστες τιμές κόστους που έχει ορίσει το αρχείο costdist μεταξύ των δυο σημείων που έχει ορίσει ο χρήστης.

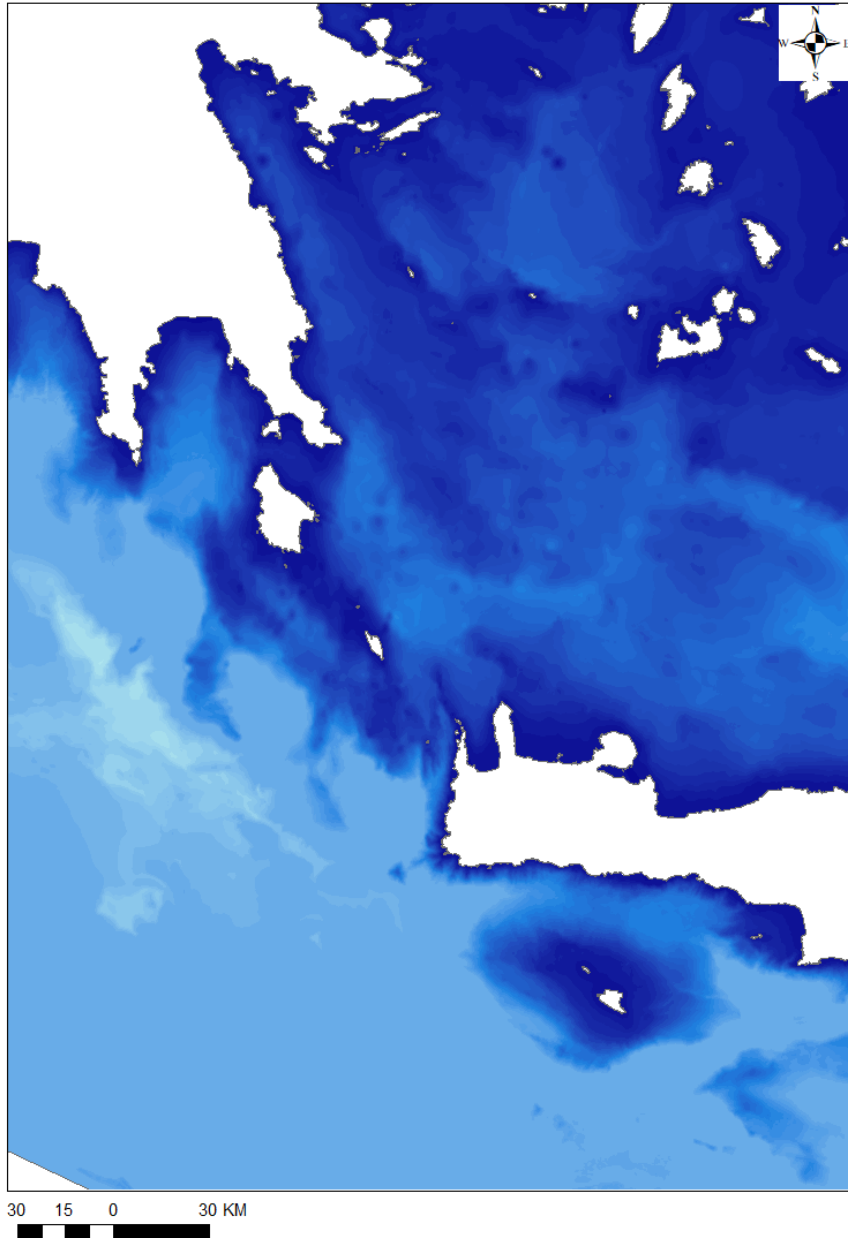
Reclassify:

Στο εργαλείο αυτό ο χρήστης έχει την δυνατότητα να ορίσει εκείνος τις τιμές ενός ψηφιδωτού αρχείου με βάση τα δικά του κριτήρια. Η διαδικασία αυτή μπορεί να γίνει είτε μεμονωμένα δηλαδή για μια μόνο ψηφίδα είτε για μια ομάδα ψηφιδών.

5.3 Εφαρμογή: Σύνδεση Πελοποννήσου – Κρήτης

Στην παρούσα εφαρμογή αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο μπορεί να επιτευχθεί η βέλτιστη χάραξη ενός υποθαλάσσιου έργου το οποίο αφορά την πόντιση καλωδίων μεταξύ Πελοποννήσου και Κρήτης. Τα σημεία προσγειάωσης των υποβρυχίων καλωδίων είναι στο κόλπο του Κίσσαμου στην Κρήτη και πιο συγκεκριμένα στο χωριό Νωπηγεία του νομού χανίων και στην χερσόνησο Μαλέα στην Πελοπόννησο και πιο συγκεκριμένα την Νεάπολη Βοιών. Στόχος είναι να γίνει η πόντιση των καλωδίων με το μικρότερο δυνατό κόστος, το οποίο στην περίπτωση μας είναι το μήκος καλωδίου που πρέπει να ποντιστεί. Ουσιαστικά αυτό σημαίνει πως η χάραξη πρέπει να γίνει με το ελάχιστο δυνατό βάθος και τις ελάχιστες δυνατές κλίσεις ώστε να εξασφαλισθεί η ασφάλεια των καλωδίων.

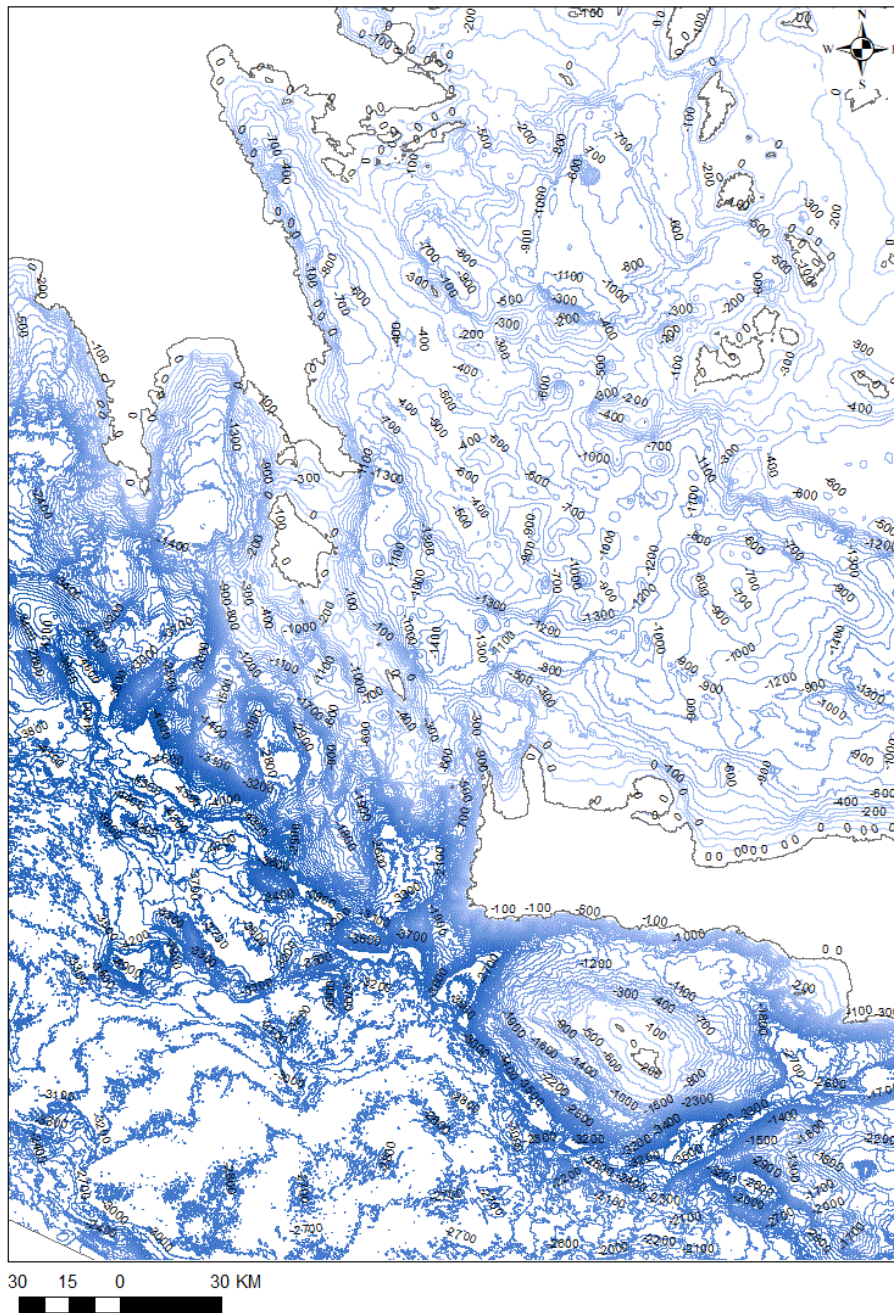
Αρχικά έγινε η εύρεση των απαραίτητων δεδομένων που χρειάζονται για την δημιουργία ενός υποβάθρου με βάση το οποίο τα εργαλεία του ArcGIS θα τρέξουν τους αλγορίθμους τους. Ο πρώτος εντοπισμός ήταν η εύρεση ενός ψηφιακού μοντέλου εδάφους ώστε να γίνει γνωστή η βαθυμετρία της περιοχής μελέτης. Μέσω της ιστοσελίδας EMODnet.com έγινε η λήψη της δορυφορικής εικόνας η οποία περιείχε την υψομετρική πληροφορία



Εικόνα 5.4: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους

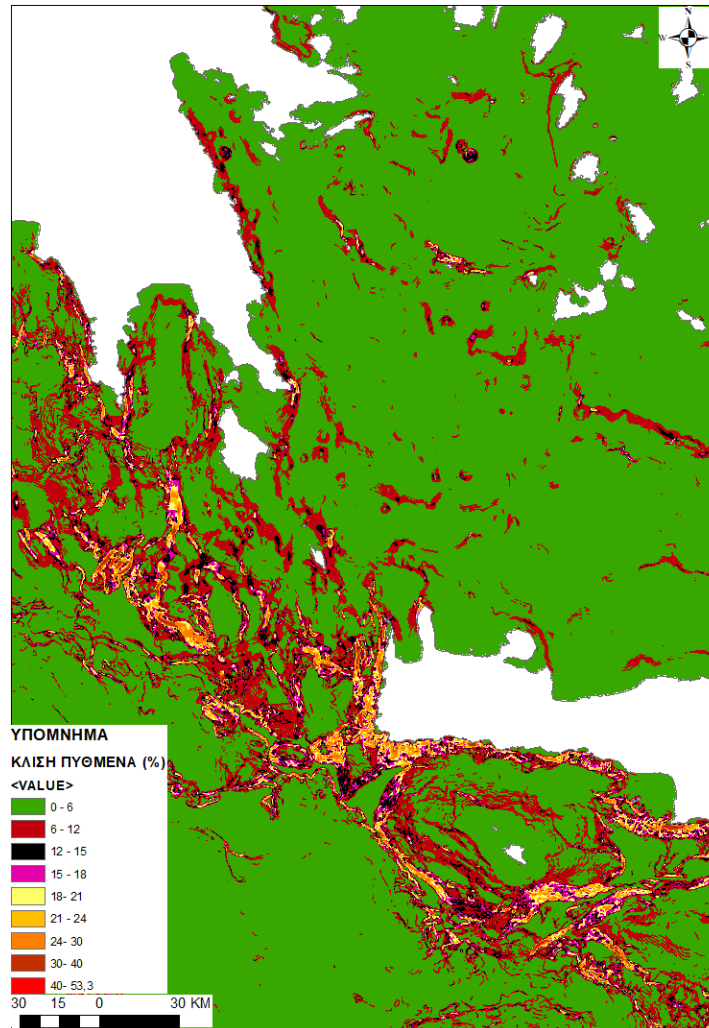
Στην εικόνα 5.4 αυτό που διακρίνεται είναι οι διαβαθμίσεις του θαλάσσιου πυθμένα μέσω των αποχρώσεων του μπλε. Όσο πιο σκούρο χρώμα τόσο μικρότερο και το βάθος του πυθμένα ενώ όσο πιο ανοιχτό τόσο πιο μεγάλο.

Στην συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν τα εργαλεία contours και slope ώστε να δημιουργηθούν ο χάρτης με τις ισοβαθείς και τις κλίσεις αντίστοιχα.



Εικόνα 5.5: Χάρτης ισοβαθών με ισοδιάσταση 100m.

Το μέγιστο βάθος που παρατηρείται στην περιοχή μελέτης είναι -1400m και βρίσκεται βορειοανατολικά των Αντικυθήρων.



Εικόνα 5.6: Χάρτης κλίσεων σε ποσοστό επι της εκατό.

Έντονες κλίσεις παρατηρούνται ανατολικά των Κυθήρων οι οποίες φτάνουν και 21% καθώς και στο νότιο κομμάτι του ακρωτηρίου Μαλέα με μέγιστη κλίση που μπορεί να φτάνει και το 30%.

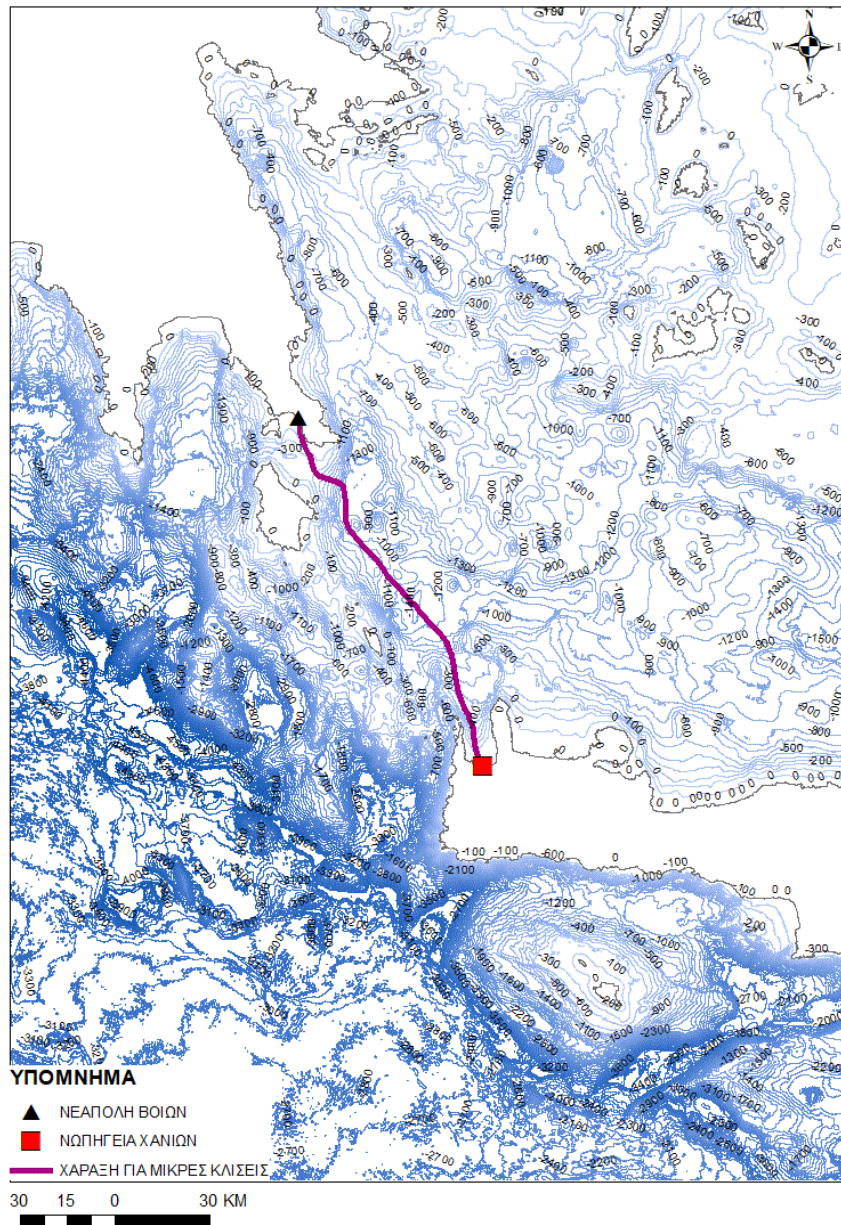
Χαράξεις με κριτήρια βάθους και κλίσεων.

Δημιουργία χάραξης θέτοντας ως κριτήριο να διέρχεται το έργο από περιοχές με μικρές κλίσεις.

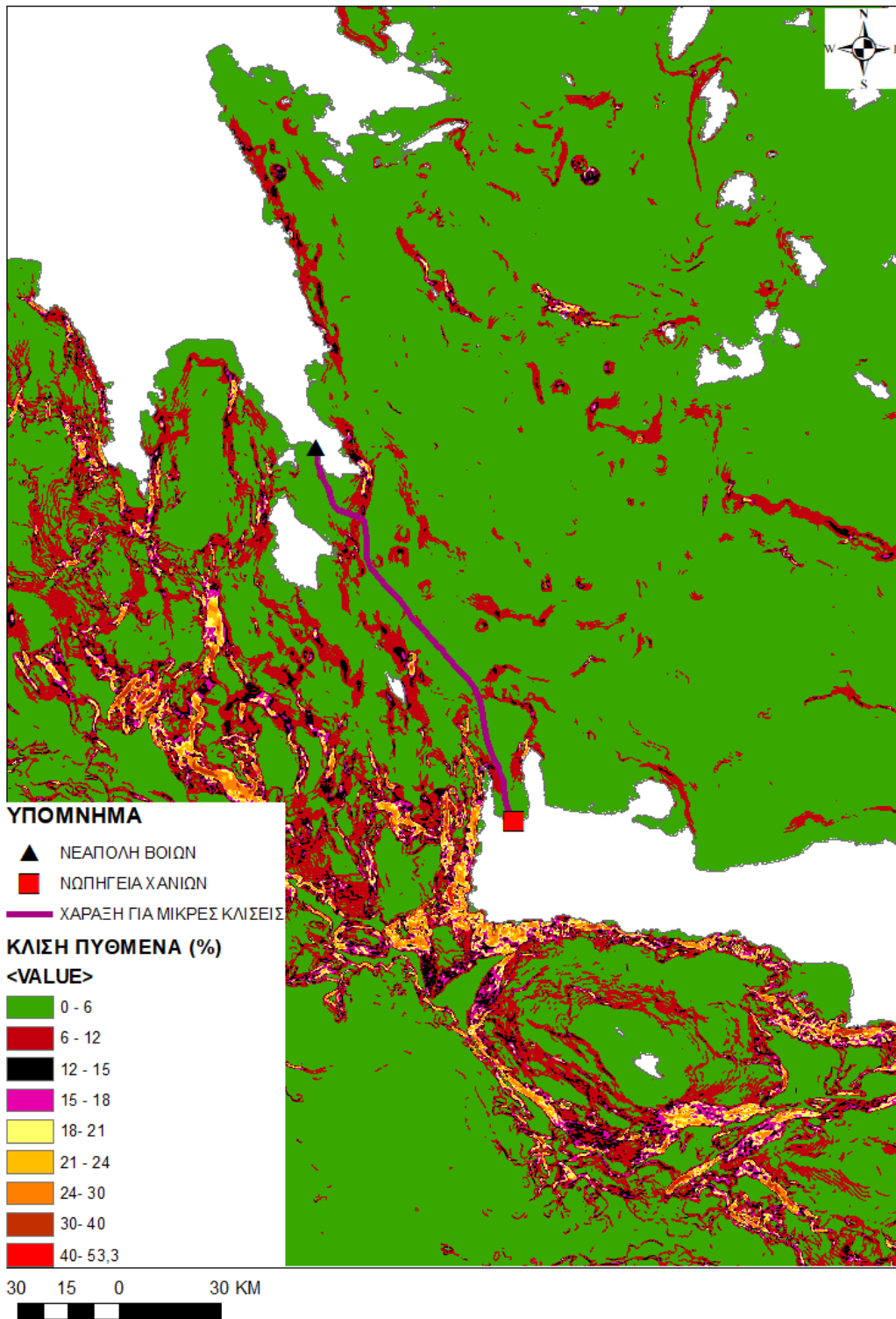
Αρχικά δημιουργήθηκε μια χάραξη η οποία θα περνάει από περιοχές όπου οι κλίσεις δεν θα ξεπερνούσαν της 3 μοίρες. Για να υλοποιηθεί ένα τέτοιο κριτήριο έπρεπε να γίνει ομαδοποίηση των περιοχών που είχαν δημιουργηθεί από τον χάρτη με τις κλίσεις του πυθμένα και να αποδοθούν βάρη σε κάθε μια από αυτές τις περιοχές μέσω του εργαλείου reclassify. Οι περιοχές που απεικόνιζαν

κλίσεις μικρότερες ή ίσες των 3 μοιρών είχαν βάρος ίσο με 1(το μικρότερο βάρος) ενώ όλες οι υπόλοιπες είχαν βάρος ίσο με 9 (το μέγιστο δυνατό βάρος). Έτσι τέθηκε στο πρόγραμμα να κάνει μια χάραξη που θα περνάει από περιοχές που έχουν μέχρι 3 μοίρες κλίση και όπου συναντούσε κάποια άλλη περιοχή να διέρχεται μέσα από αυτήν με την μικρότερη δυνατή απόσταση.

Τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία αυτής της χάραξης ήταν το cost distance και cost path.



Εικόνα 5.8: Χάρτης που απεικονίζει την διαδρομή που θα ακολουθήσουν τα καλώδια έχοντας ως κριτήριο ότι η χάραξη πρέπει να διέρχεται από περιοχές με μικρές κλίσεις(>3%)

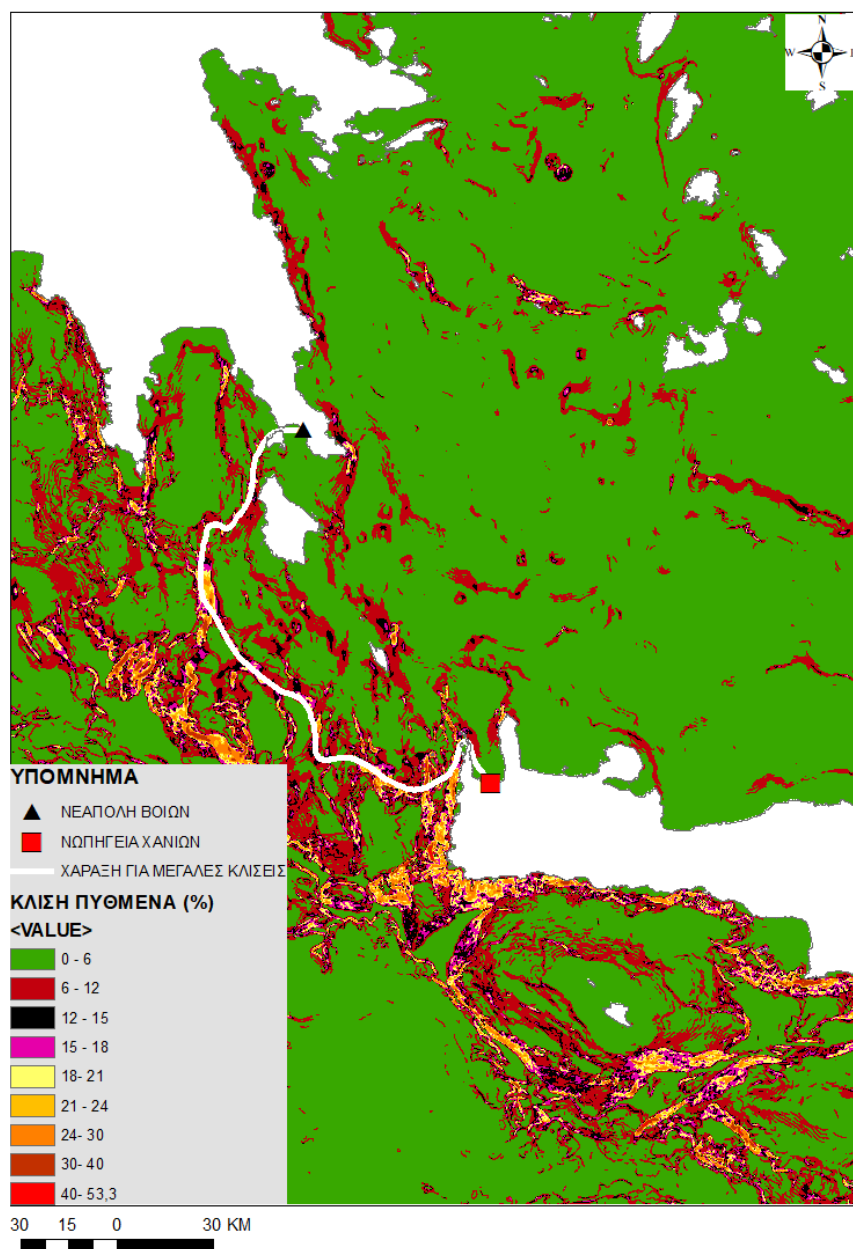


Εικόνα 5.8: Χάρτης που απεικονίζει την διαδρομή που θα ακολουθήσουν τα καλώδια έχοντας ως κριτήριο ότι η χάραξη πρέπει να διέρχεται από περιοχές με μικρές κλίσεις(>3%) .

Θέτοντας ως κριτήριο τις ελάχιστες κλίσεις στο πρόγραμμα προκύπτει ότι το έργο θα διέρχεται από μέγιστο βάθος 1400 και η μέγιστη κλίση που θα διέλθει θα κυμαίνεται έως 11%

Δημιουργία χάραξης θέτοντας ως κριτήριο να διέρχεται το έργο από περιοχές με μεγάλες κλίσεις.

Στην χάραξη αυτή το κριτήριο που τέθηκε είναι να διέρχεται από μεγάλες κλίσεις. Για την υλοποίηση της χάραξης αυτής αποδοθήκαν χαμηλά βάρη μέσω του εργαλείου reclassify σε περιοχές με κλίσεις από 12 % και πάνω ενώ υψηλά βάρη δόθηκαν στις περιοχές με χαμηλές κλίσεις (< 12%).



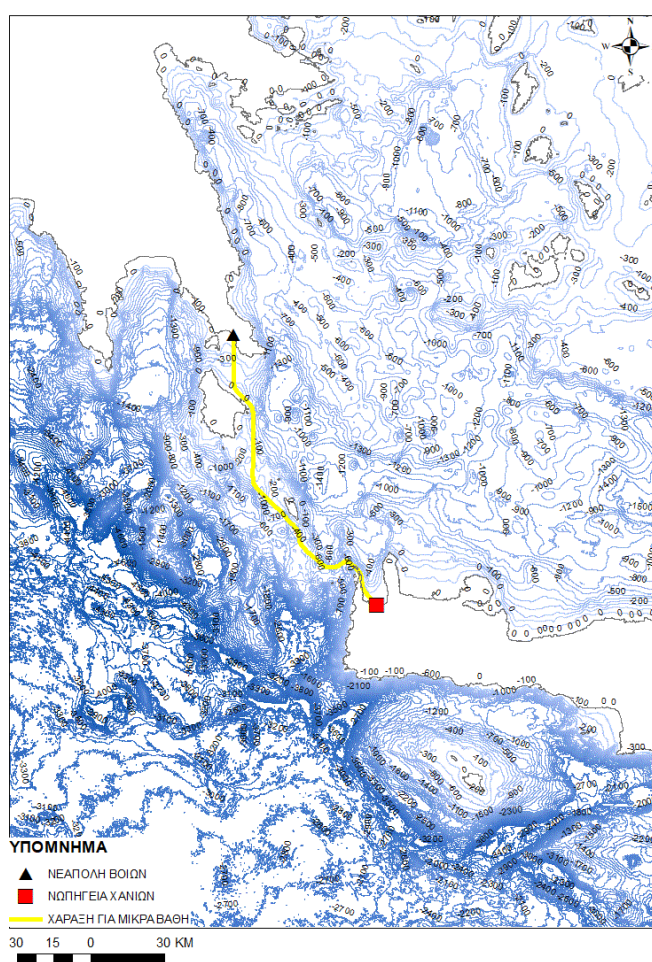
Εικόνα 5.9: Χάρτης που απεικονίζει την διαδρομή που θα ακολουθήσουν τα καλώδια έχοντας ως κριτήριο ότι η χάραξη πρέπει να διέρχεται από περιοχές με μεγάλες κλίσεις (<12%) .

Το μέγιστο βάθος από το οποίο διέρχεται η χάραξη αυτή ξεπερνάει τα 2100 m ενώ η μέγιστη κλίση φτάνει το 40%.

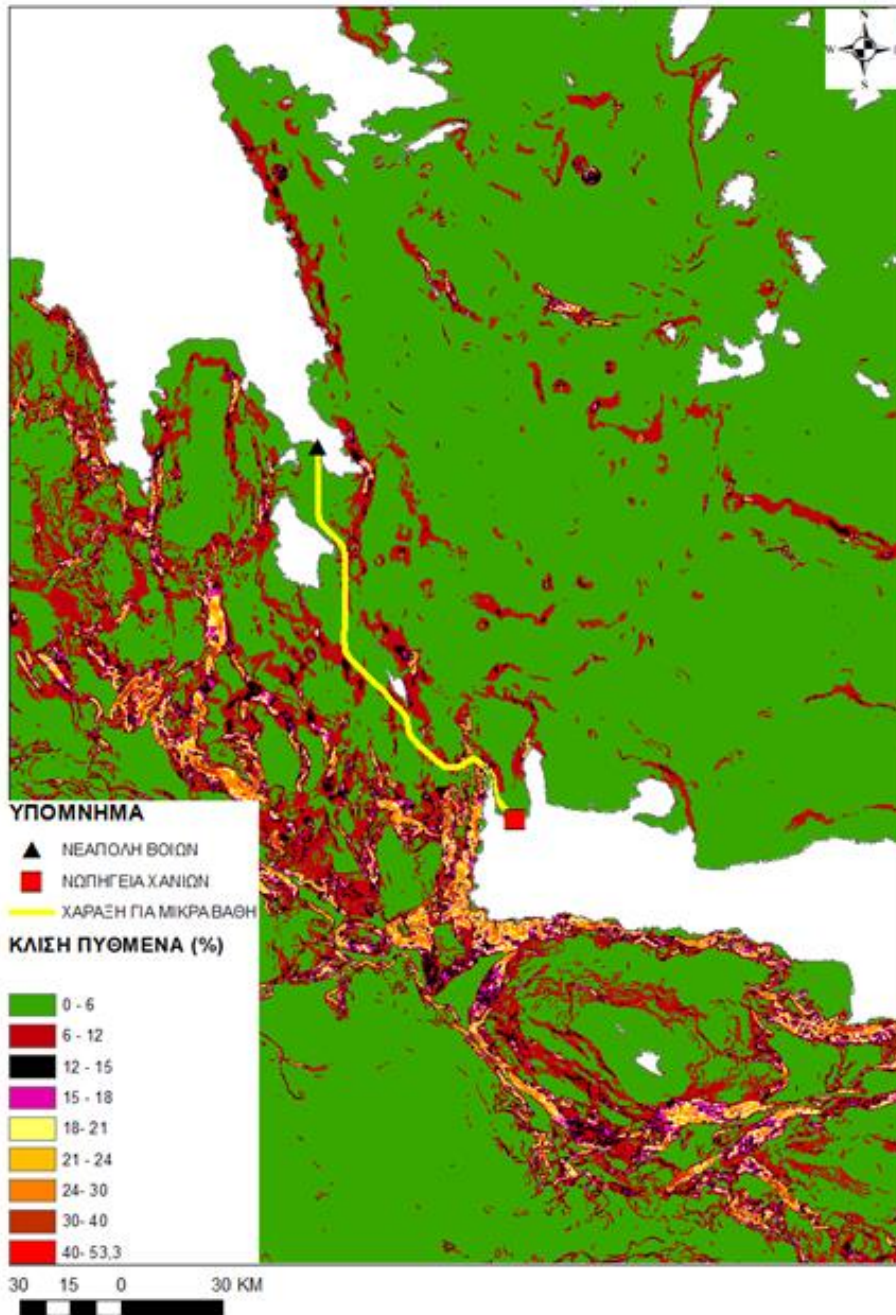
Δημιουργία χάραξης θέτοντας ως κριτήριο να διέρχεται το έργο από περιοχές με μικρά βάθη.

Για την συγκεκριμένη χάραξη το κριτήριο ήταν να περνάει από περιοχές που έχουν βάθος χαμηλότερο ή ίσο των 600 m .Όπως και στις κλίσεις έτσι και εδώ έγινε ομαδοποίηση των περιοχών ανάλογα με τα βάθη. Δημιουργήθηκαν 20 διαφορετικές περιοχές όπου κάθε μια περιείχε ένα διαφορετικό εύρος τιμών π.Χ. οι περιοχές με αριθμό 1, περιέχουν βάθη από (0m) – (100m)

Στην συνέχεια δοθήκαν βάρη σε αυτές τις περιοχές και τα χαμηλότερο βάρος που ήταν ίσο με 1 δοθήκανε σε περιοχές που είχαν βάθος ≤ 600 m και στις περιοχές που είχαν μεγαλύτερο βάθος δόθηκε το μέγιστο δυνατό βάρος.



Εικόνα 5.10: Χάρτης που απεικονίζει την διαδρομή που θα ακολουθήσουν τα καλώδια έχοντας ως κριτήριο ότι η χάραξη πρέπει να διέρχεται από περιοχές με μικρά βάθη (>600m).



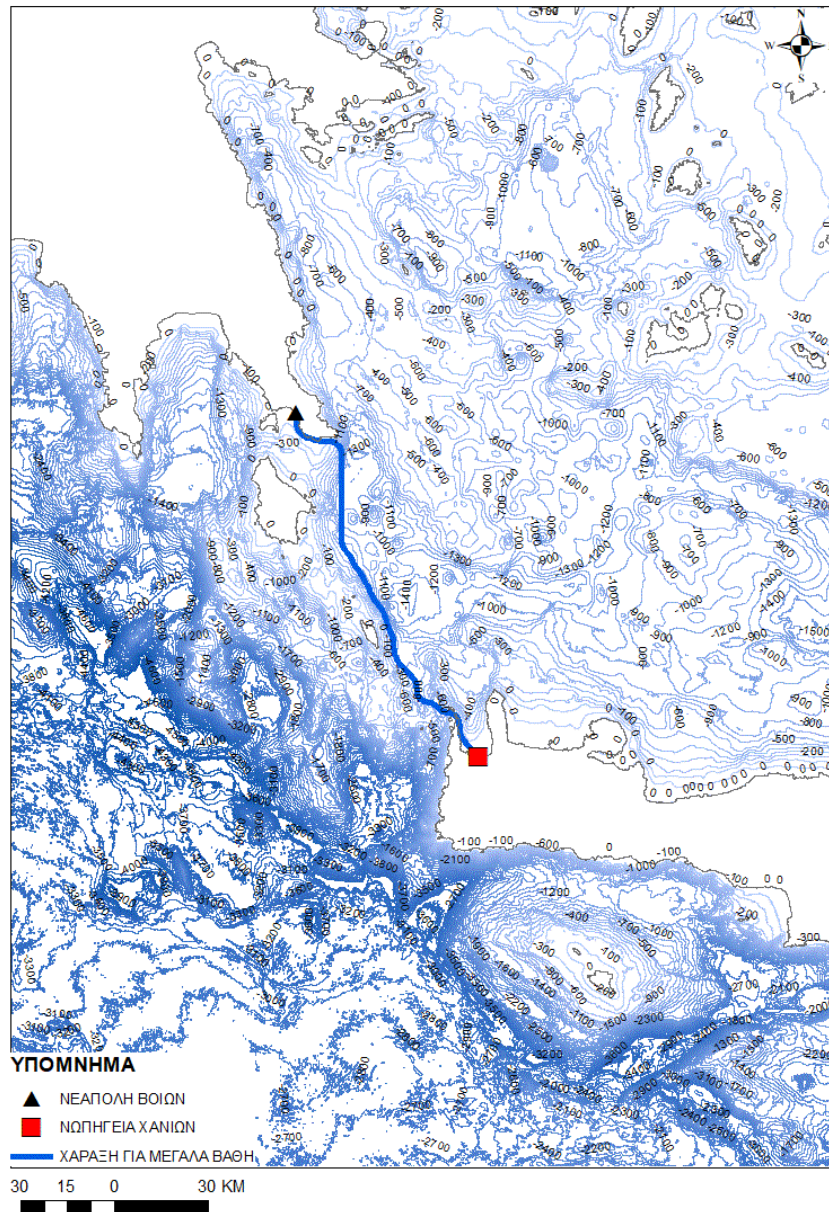
Εικόνα 5.11: Χάρτης που απεικονίζει την διαδρομή που θα ακολουθήσουν τα καλώδια έχοντας ως κριτήριο ότι η χάραξη πρέπει να διέρχεται από περιοχές με μικρά βάθη (>600m).

Το μέγιστο βάθος μέσα από το οποίο διέρχεται η χάραξη είναι κοντά στα 900m ενώ η μέγιστη κλίση του πυθμένα από την οποία περνάει είναι 30%

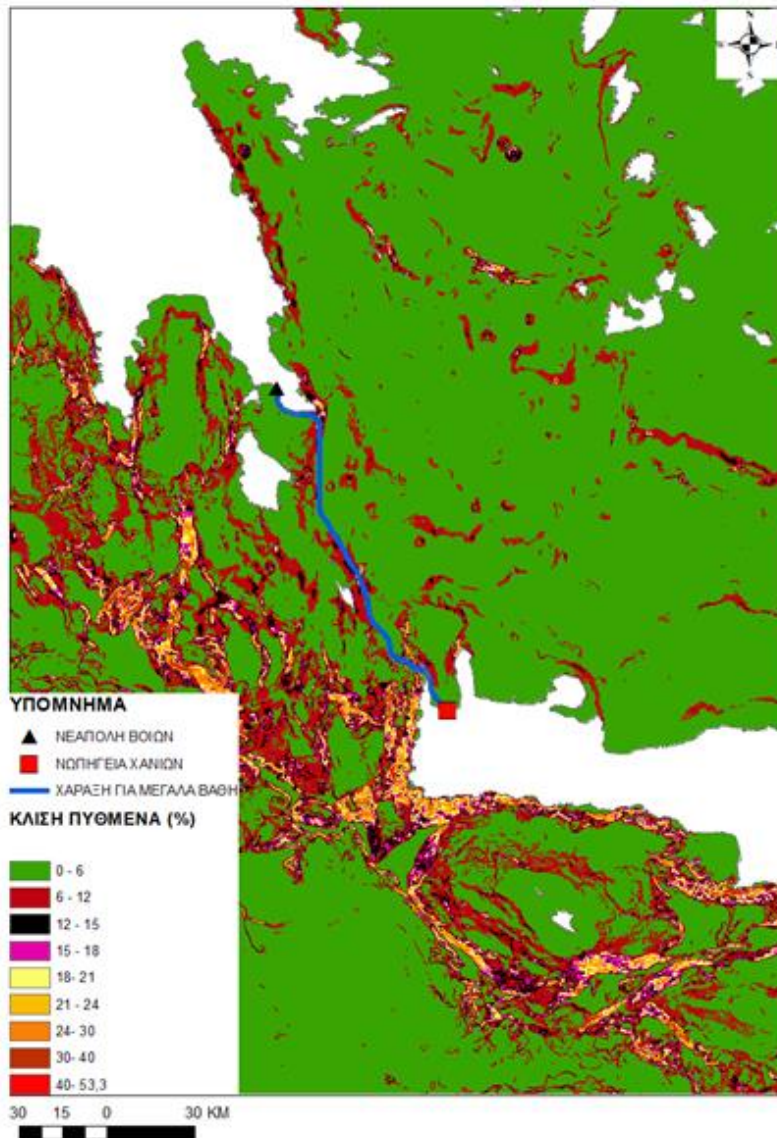
Δημιουργία χάραξης θέτοντας ως κριτήριο να διέρχεται το έργο από περιοχές με μεγάλα βάθη.

Το κριτήριο που εφαρμόστηκε για αυτήν την χάραξη ήταν να διέρχεται μέσα από περιοχές που έχουν βάθος μεγαλύτερο των 1000 μέτρων

Στις περιοχές με βάθη μεγαλύτερα των 1000 μέτρων δοθήκαν βάρη ίσο με 1 ενώ στις λιγότερο βαθιές περιοχές δοθήκαν υψηλότερα βάρη τα οποία πήγαιναν κλιμακωτά ανάλογα με το βάθος.



Εικόνα 5.12: Χάρτης που απεικονίζει την διαδρομή που θα ακολουθήσουν τα καλώδια έχοντας ως κριτήριο ότι η χάραξη πρέπει να διέρχεται από περιοχές με μεγάλα βάθη (< 1000m).



Εικόνα 5.13: Χάρτης που απεικονίζει την διαδρομή που θα ακολουθήσουν τα καλώδια έχοντας ως κριτήριο ότι η χάραξη πρέπει να διέρχεται από περιοχές με μεγάλα βάθη (< 1000m).

Η χάραξη αυτή διέρχεται από μέγιστο βάθος 1300 m το οποίο εντοπίζεται στο νότιο κομμάτι της χερσονήσου Μαλέα αλλά και από μέγιστες κλίσεις οι οποίες φτάνουν το 30% και εντοπίζονται στα ανατολικά των Αντικυθήρων.

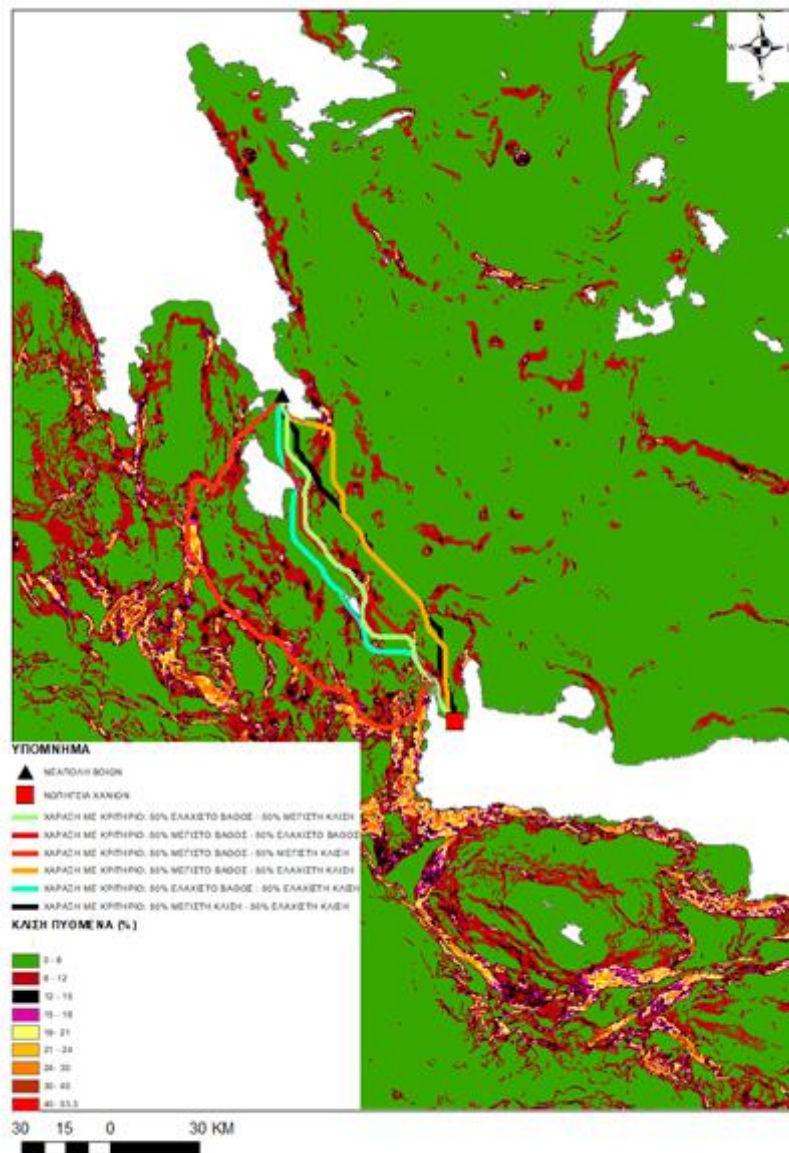
Στην συνέχεια έγινε ένας συνδυασμός των προαναφερθέντων κριτηρίων ώστε να δημιουργηθεί η καλύτερη δυνατή χάραξη που να εκπληρεί τα κριτήρια μικρότερου δυνατού μήκους αλλά και ασφάλειας.

Τα κριτήρια αυτά διακρίνονται σε :

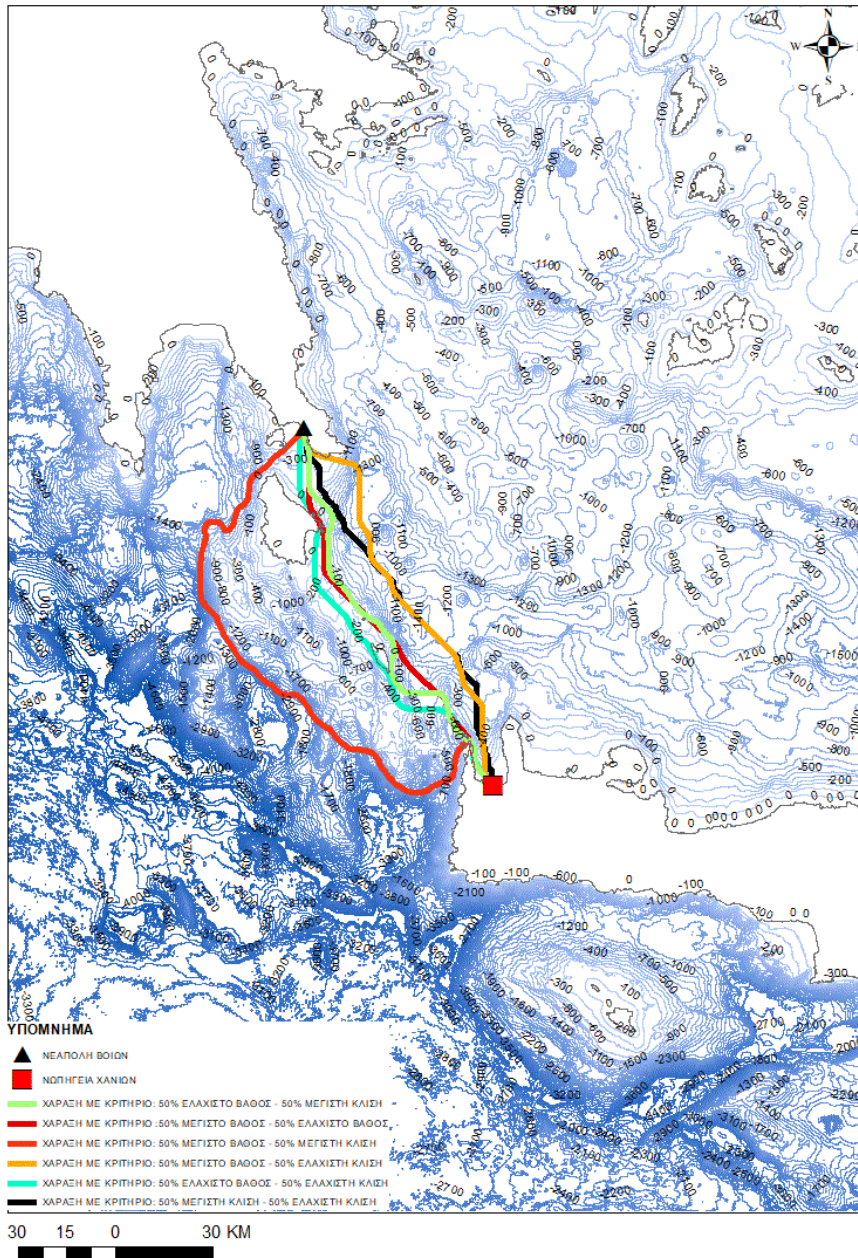
- Χάραξη η οποία να διέρχεται κατά 50% από μεγάλες κλίσεις και 50% από μεγάλα βάθη.

- Χάραξη η οποία να διέρχεται κατά 50% από μεγάλες κλίσεις και 50% από μικρά βάθη.
- Χάραξη η οποία να διέρχεται κατά 50% από μεγάλα βάθη και 50% από μικρά βάθη.
- Χάραξη η οποία να διέρχεται κατά 50% από μεγάλα βάθη και 50% από μικρές κλίσεις.
- Χάραξη η οποία να διέρχεται κατά 50% από μικρά βάθη και 50% από μικρές κλίσεις.
- Χάραξη η οποία να διέρχεται κατά 50% από μεγάλες κλίσεις και 50% από μικρές κλίσεις.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι χαράξεις αυτές στις εικόνες 5,13 και 5,14 με υπόβαθρο τον χάρτη των κλίσεων και των ισοβαθών αντίστοιχα.



Εικόνα 5.13: Χάρτης που απεικονίζει τις συνδυαστικές χαράξεις που έγιναν με συνδυασμό των κριτηρίων βάθους και κλίσεων.



Εικόνα 5.14: Χάρτης που απεικονίζει τις συνδυαστικές χαράξεις που έγιναν με συνδυασμό των κριτήριων βάθους και κλίσεων.

Κάποια στοιχεία που προκύπτουν από την επεξεργασία των προηγούμενων χαρτών οι οποίοι απεικονίζουν τις πιθανές χαράξεις είναι:

- Η χάραξη η οποία διέρχεται κατά 50% από μεγάλες κλίσεις και 50% από μεγάλα βάθη διέρχεται από μέγιστο βάθος 2500m και από μέγιστη κλίση πυθμένα 30-40%.
- Η χάραξη η οποία να διέρχεται κατά 50% από μεγάλες κλίσεις και 50% από μικρά βάθη διέρχεται από μέγιστο βάθος 1400m και από μέγιστη κλίση πυθμένα 15%

- Η χάραξη η οποία να διέρχεται κατά 50% από μεγάλα βάθη και 50% από μικρά βάθη διέρχεται από μέγιστο βάθος 900m και από μέγιστη κλίση πυθμένα 30-40%.
- Η χάραξη η οποία να διέρχεται κατά 50% από μεγάλα βάθη και 50% από μικρές κλίσεις διέρχεται από μέγιστο βάθος 1400m και από μέγιστη κλίση πυθμένα 20%.
- Η χάραξη η οποία να διέρχεται κατά 50% από μικρά βάθη και 50% από μικρές κλίσεις διέρχεται από μέγιστο βάθος 700m και από μέγιστη κλίση πυθμένα 15%.
- Η χάραξη η οποία να διέρχεται κατά 50% από μεγάλες κλίσεις και 50% από μικρές κλίσεις διέρχεται από μέγιστο βάθος 1400m και από μέγιστη κλίση πυθμένα 15%.

5.4 Συμπεράσματα:

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από το κεφάλαιο 5 είναι τα εξής:

- Στην περιοχή μελέτης, μετά την ανάλυση των δεδομένων δεν προκύπτουν μεγάλα βάθη παρά μόνο μεγάλες κλίσεις. Οι μεγάλες κλίσεις παρατηρούνται στο νότιο τμήμα του ακρωτηρίου Μαλέα, στα ανατολικά των Αντικυθήρων και στο δυτικό τμήμα της Γραμβούσας οι οποίες μπορούν να φτάσουν σε κάποια τμήματα το 30 – 40%.
- Η περιοχή μελέτης δεν εμφανίζει μεγάλα βάθη καθώς το μέγιστο βάθος που εντοπίζεται είναι 1400m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας.
- Οι χαράξεις οι οποίες διέρχονται από το πρανάς που μελετήσαμε στο κεφάλαιο 4 δείχνουν να μην είναι επιθυμητές αφού φτάνουν σε μεγάλο βάθος και χρειάζονται την πόντιση μεγάλου μήκους καλωδίου προκειμένου να υλοποιηθούν.
- Η χάραξη με κριτήριο το μέγιστο βάθος και την μέγιστη κλίση δείχνει να είναι η πιο κοστοβόρα από όλες.
- Η λιγότερο κοστοβόρα χάραξη είναι εκείνη που διέρχεται από μικρά βάθη και μικρές κλίσεις, γεγονός που την κάνει την πιο επιθυμητή από τις άλλες αφού είναι πιο κοντά στα κριτήρια που τέθηκαν.

Κεφάλαιο 6

Γενικά Συμπεράσματα - Προτάσεις

Μέσα από τη μελέτη του αντικειμένου των υποθαλάσσιων έργων μεγάλου μήκους και πιο συγκεκριμένα μέσα από τα όσα αναφέρονται στην παρούσα εργασία προέκυψαν βασικά συμπεράσματα. Αρχικά τα υπεράκτια έργα όπως καλώδια και αγωγοί, δεν έχουν γνωρίσει ακόμα ιδιαίτερη ανάπτυξη στην περιοχή της Μεσογείου. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι η περιοχή μελέτης είναι γεμάτη από γεωκινδύνους δύσκολους να αντιμετωπιστούν και να μελετηθούν. Πολλά έργα έχουν προγραμματιστεί αλλά δεν έχουν προχωρήσει στο στάδιο της υλοποίησής τους. Επομένως, η Μεσόγειος θάλασσα εξαιτίας της γεωγραφικής της θέσης, καθώς περιβάλλεται από 3 ηπείρους και δεκάδες χώρες, μπορεί να αποτελέσει σταυροδρόμι για την διανομή ορυκτού πλούτου.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία στόχος ήταν η δημιουργία ενός υπολογιστικού εργαλείου με βάση το οποίο θα επιτυγχάνεται η χάραξη ενός υποθαλάσσιου έργου αποφεύγοντας τις επικίνδυνες γεωτεχνικά περιοχές. Η χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών βοήθησε στην κατανόηση του αναγλύφου του θαλάσσιου πυθμένα της Μεσογείου και στον εντοπισμό των περιοχών που ενδεχομένως να ελλοχεύουν κινδύνους για το έργο. Η χρήση των εργαλείων που βρίσκονται στα ΓΣΠ βοήθησε στην δημιουργία πιθανών διαδρομών που θα ακολουθήσει το έργο με βάση κάποια κριτήρια που του τέθηκαν όπως το μήκος και το βάθος. Ενώ στην συνέχεια εντοπίστηκε στις διαδρομές αυτές τα πρανή που πρέπει να μελετηθούν ώστε να προσδιοριστεί ποσοτικά και ποιοτικά ο κίνδυνος που ενδέχεται να προκληθεί στην κατασκευή.

Μέσα από το πρόγραμμα Plaxis και με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων που χρησιμοποιεί έγινε ο υπολογισμός του συντελεστή ασφαλείας των επικίνδυνων για το έργο πρανών. Το συμπέρασμα που προκύπτει από το εν λόγω λογισμικό είναι πως στην περίπτωση ιζηματογενούς στρώσης το πρανές θα αστοχήσει ακόμα και με την επίδραση ενός πολύ μικρού σεισμού ενώ στην περίπτωση που το πρανές δεν αποτελείται από ιζηματογενής στρώση αλλά εξ ολοκλήρου από βραχομάζα τότε δεν εμπίπτει λόγος ανησυχίας για το έργο, αφού ο συντελεστής ασφαλείας που προκύπτει είναι αρκετά υψηλός.

Η επέκταση του συγκεκριμένου υπολογιστικού εργαλείου μπορεί να βοηθήσει σε μια ολοκληρωμένη γεωτεχνική μελέτη ενός έργου καθώς και στην τελική χάραξη ενός υποθαλάσσιου έργου σε πραγματικές συνθήκες. Ωστόσο για να γίνει αυτό, θα πρέπει να βρεθούν δεδομένα καλύτερης ακρίβειας και για τα δύο προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν, που για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας δεν υπήρχε πρόσβαση. Ακόμα το υπολογιστικό αυτό εργαλείο μπορεί να λειτουργήσει πλήρως αυτοματοποιημένα και να μην χρειάζεται ο χρήστης να επέμβει στα προγράμματα αυτά θέτοντας εκείνος τα εργαλεία που πρόκειται να χρησιμοποιήσει.

Βιβλιογραφία

- [1] Thomas Worzyk , Submarine Power Cables: Design, Installation, Repair, Environmental Aspects ,
- [2] Nelson, R. A., & Daly, J. M. (1975). *Electric Cables for Offshore Facilities. Offshore Technology Conference*. doi:10.4043/2428-a-ms
- [3] Magnus Korpåsa*, Leif Warlanda, Wei Heb, John Olav Giæver Tandea ,”A Case-Study on Offshore Wind Power Supply to Oil and Gas Rigs”
- [4] Chesnoy, José - Undersea Fiber Communication Systems, Second Edition (2015, Academic Press)
- [5] An overview of the vessels for electrical submarine cable laying, houlong Yuan et al 2021 J. Phys.: Conf. Ser.1865 032083
- [6] Subsea pipeline engineering / Andrew C. Palmer and Roger A. King. -- 2nd ed.p. cm. ISBN-13: 978-1-59370-133-8
- [7] Offshore operation facilities : equipment and procedures / Huacan Fang, Menglan Duan. ISBN 978-0-12-396977-4
- [8] Χατζηγεωργίου, Ι., 2015. Δυναμική των αγωγών μεταφοράς ρευστών. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα:Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών
- [9] Francesco L. Chiocci , Antonio Cattaneo , Roger Urgeles . “Seafloor mapping for geohazard assessment: state of the art ”
- [10] ‘Seafloor mapping for geohazard assessment: State of the art ‘ , March 2011
- [11] ‘SUBMARINE LANDSLIDES’ Monty A. Hampton Homa J. Lee U.S. Geological Survey, Menlo Park, California
- [12] ‘Ring of Fire :An Encyclopedia of the Pacific Rim’s Earthquakes, Tsunamis, and Volcanoes Bethany’ D. Rinard Hinga
- [13] U.S. Geological Survey. 2015 ‘ Seismicity of the Earth 1900–2013 Mediterranean Sea and vicinity’ ,
- [14] Insights into Submarine Geohazards from Breaks in Subsea Telecommunication Cables, June 2014 Oceanography (Washington D.C.)
- [15] Offshore Geotechnical Engineering, Mark Randolph and Susan Gourvenec, 2011 USA.
- [16] Dalla Valle, G., Gamberi, F., Foglini, F., & Trincardi, F. (2015). The Gondola Slide: A mass transport complex controlled by margin topography (South-Western Adriatic Margin, Mediterranean Sea).
- [17] Εδαφομηχανική αρχές και εφαρμογές Graham Barnes , Αθήνα 2014

- [18] Χαλκιάς Χ., 2011 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ
- [19] Καπράλης, Γεώργιος Αριθμητική προσομοίωση φράγματος υπό στατικές και σεισμικές συνθήκες με έμφαση στην αλληλεπίδραση εδάφους, νερού και φράγματος.
- [20] Τσούλος, Λ., Σκοπελίτη, Α., Στάμου, Λ. 2015. Εισαγωγή στο ArcGIS.
- [21] Σημειώσεις Ευστάθειας Πρανών - Μ. Σακελλαρίου
- [22] Νικόλαος Μακράκης, Ανάπτυξη και Εφαρμογή Υπολογιστικού Εργαλείου για τη βελτιστοποίηση της χάραξης υποθαλάσσιων αγωγών και καλωδίων που υπόκεινται σε γεωκινδύνους
- [23] Χατζηχρήστος Θ., Μαρσέλη Κ., 2013, Τα Βασικά του ArcGis 10.1 for Desktop, QnE.
- [24] Enjin Zhao, (2019) Numerical Study on the Hydrodynamic Characteristics of Submarine Pipelines under the Impact of Real-World Tsunami-LikeWaves.
- [25] Varnes, D.J. (1978) Slope Movement Types and Processes.

Ηλεκτρονική βιβλιογραφία

- en.wikipedia.org
- <https://www.offshore-technology.com>
- desktop.arcgis.com
- www.arcgis.com

