

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

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΥΠΟΓΕΙΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΛΩΔΙΩΝ ΥΨΗΛΗΣ ΚΑΙ ΥΠΕΡΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ
ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΟΥΣ ΓΕΩΚΙΝΔΥΝΟΥΣ»**

ΗΛΙΟΠΟΥΛΟΥ ΓΕΩΡΓΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ:
ΜΑΡΙΝΟΣ ΚΑΤΤΗΣ, ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ
ΠΡΟΔΡΟΜΟΣ ΨΑΡΡΟΠΟΥΛΟΣ, ΕΔΙΠ/ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ, 2018

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την Οκτωβρίου
2018.

.....

.....

.....

Αναπλ. Καθηγητής ΕΜΠ

ΕΔΙΠ ΕΜΠ

Αναπλ. Καθηγητής Π.Κ

Αθήνα, Οκτώβριος 2018

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	ΣΕΛ.3
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	ΣΕΛ.5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	ΣΕΛ.7
ABSTRACT.....	ΣΕΛ.7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	ΣΕΛ. 9
1.1 ΥΠΟΓΕΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΛΩΔΙΩΝ ΥΨΗΛΗΣ ΚΑΙ ΥΠΕΡΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ.....	ΣΕΛ. 9
1.2 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	ΣΕΛ. 9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΚΑΛΩΔΙΑ ΚΑΙ ΥΨΗΛΗ – ΥΠΕΡΥΨΗΛΗ ΤΑΣΗ	
ΡΕΥΜΑΤΟΣ.....	ΣΕΛ.11
2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΛΩΔΙΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΥΤΟΥ.....	ΣΕΛ. 11
2.1.1 ΥΨΗΛΗ ΚΑΙ ΥΠΕΡΥΨΗΛΗ ΤΑΣΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ.....	ΣΕΛ.11
2.1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	ΣΕΛ.12
2.1.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΥΤΡ.....	ΣΕΛ.12
2.1.4 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΥΤΡ.....	ΣΕΛ.13
2.2 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΜΕ HVDC.....	ΣΕΛ. 14
2.2.1 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΜΕ HVDC.....	ΣΕΛ.14
2.2.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΛΩΔΙΩΝ ΜΕ ΕΝΑΕΡΙΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ.....	ΣΕΛ.17
2.2.3 ΔΙΑΦΟΡΑ HVDC ΚΑΙ HVAC ΓΙΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΚΑΛΩΔΙΑ....	ΣΕΛ.18
2.3 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	ΣΕΛ. 19
2.3.1 ΕΝΑΕΡΙΑ ΔΙΚΤΥΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ.....	ΣΕΛ.19
2.3.2 ΥΠΟΓΕΙΑ ΔΙΚΤΥΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ.....	ΣΕΛ.21
2.3.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ 2 ΜΕΘΟΔΩΝ.....	ΣΕΛ.23

2.3.4 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ.....	ΣΕΛ.25
2.3.5 Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΩΝ ΚΑΛΩΔΙΑΚΩΝ ΛΥΣΕΩΝ SILEC.....	ΣΕΛ.26
2.4 ΤΕΧΝΙΚΗ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΚΑΛΩΔΙΩΝ	
ΥΨΗΛΗΣ-ΥΠΕΡΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ.....	ΣΕΛ.29
2.4.1 ΤΕΧΝΙΚΑ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	ΣΕΛ.29
2.4.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΟΡΥΓΜΑΤΩΝ.....	ΣΕΛ.35
2.4.3 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ.....	ΣΕΛ.35
3.1 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	ΣΕΛ.36
3.1.1 ΠΟΛΙΤΙΚΑ- ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΑ ΖΗΤΗΜΑΤΑ.....	ΣΕΛ.38
3.1.2 ΟΦΕΛΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ.....	ΣΕΛ.39
3.1.3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΥΡΩΠΑΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ.....	ΣΕΛ.41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3°: ΓΕΩΚΙΝΔΥΝΟΙ.....	ΣΕΛ.45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4°: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	ΣΕΛ. 79
4.1 ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ...	ΣΕΛ.79
4.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤ/ΤΩΝ.	
4.2.1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΚΑΙ ΠΡΟΒΟΛΙΚΟ	
ΣΥΣΤΗΜΑ.....	ΣΕΛ.102
4.2.2 ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΡΗ ΤΟΥ ArcInfo – ARCGIS.....	ΣΕΛ.104
4.2.3 ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	
(ΕΓΣΑ '87).....	ΣΕΛ.105
4.2.4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ.....	ΣΕΛ.108
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5°: ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΙΘΑΝΕΣ	
ΠΡΟΕΚΤΑΣΕΙΣ.....	ΣΕΛ. 126
5.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	ΣΕΛ.126
5.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	ΣΕΛ.128
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	ΣΕΛ.129

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών (τομέα έργων υποδομής και αγροτικής ανάπτυξης) κατά το ακαδημαϊκό έτος 2017-2018 στο πλαίσιο ολοκλήρωσης των προπτυχιακών σπουδών μου στο ανωτέρω πανεπιστημιακό ίδρυμα.

Την επίβλεψη είχαν οι καθηγητές του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου κύριοι Καττής Μαρίνος, αναπληρωτής καθηγητής ΕΜΠ και Ψαρρόπουλος Πρόδρομος, ΕΔΙΠ ΕΜΠ, προς τους οποίους θα ήθελα να εκφράσω ολόψυχα την απέραντη ευγνωμοσύνη μου, καθώς υπήρξαν για εμένα η επιστημονική αλλά και η ανθρώπινη σκέπη σε όλη σχεδόν τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής αυτής διατριβής αλλά και κατά τα χρόνια των σπουδών μου. Μου έμαθαν ότι η γνώση δεν παραχωρείται αλλά ανακαλύπτεται επαγωγικά από εμάς. Με δίδαξαν να είμαι σκεπτόμενο και ελεύθερο πνεύμα και μου έδειχναν δρόμους που βαθμιαία αποκάλυπταν αλήθειες πρωτόγνωρες. Ήταν για εμένα προσωπικό πρότυπο γνώσης, γνώσης που βασίζεται σε επιστημονική μεθοδολογία, κι εγώ μία μαθητευόμενη, πάντα, με την αίσθηση και το άγχος ότι η προσπάθειά μου είναι ημιτελής απέναντι στην ομορφιά και την απεραντοσύνη της γνώσης. Με δίδαξαν ότι ο αγώνας για τη βελτίωση των συνθηκών ζωής δεν αφορά μόνο τεχνικές γνώσεις, αλλά είναι μια ηθική φιλοσοφία που διέπει όλη τη ζωή του μηχανικού, μια πορεία ανθρωπιστική, ερευνητική, που όμως είναι και εσωτερική. Θέλω να πω πως, αν εγώ ήμουν μία μαθητευόμενη μύσσης του επιστημονικού μυστηρίου, αυτοί ήταν οι αληθινοί μυσταγωγοί. Τους ευχαριστώ θερμά.

Ευχαριστώ την οικογένειά μου, τις φίλες και φίλους συμφοιτητές μου, που στάθηκαν και συνεργάτες μου, για την άοκνη συμπαράστασή τους.

Στην οικογένειά μου,
που μου έμαθε πως
«...ένα μόνο δεν μου δίνει το όνειρο. Το όριο.
Ως πού να κινδυνεύσω. Γιατί τότε πια δεν θα ήταν όνειρο. Θα ήταν ...γεράματα».

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Είναι γεγονός πως τα καλώδια αποτελούν σημαντική κατασκευή που σκοπό έχει την μεταφορά ηλεκτρικού ρεύματος. Τις τελευταίες δεκαετίες η παρουσία τους στο οδικό δίκτυο, λόγω ανάγκης μεταφοράς ρεύματος από τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος σε εγκαταστάσεις κι όχι μόνο, έχει υποστεί μεταβολές ως προς την τοποθέτησή τους στο χώρο.

Το έργο της υπογειοποίησης των καλωδίων κυρίως υψηλής και υπερυψηλής τάσης ξεκίνησε περίπου πριν από μερικά χρόνια σε διάφορες ευρωπαϊκές χώρες και στόχος αποτελεί η συνέχιση του και στον ελλαδικό χώρο. Αξίζει ωστόσο να τονιστεί, ότι η επέκταση των υπόγειων καλωδίων σε νέες περιοχές εισάγει νέες συνιστώσες στις απαιτούμενες μελέτες χάραξης τους, όπως για παράδειγμα ο παράγοντας των γεωκινδύνων, ο οποίος πρέπει να λαμβάνεται υπόψη με μεγαλύτερη βαρύτητα, αλλά και το κόστος του συνολικού έργου.

Στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής εργασίας αναπτύχθηκε πρότυπο σχέδιο της χάραξης της διαδρομής του υπόγειου καλωδιακού συστήματος επί της εθνικής οδού Κορίνθου – Πατρών, καθώς και αυτόματο εργαλείο εκτίμησης της προαναφερθείσας διαδρομής σε περιβάλλον Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ArcGIS 10.3 forDesktop, λαμβάνοντας υπ' όψη τη φυσιολογία και τους υπάρχοντες γεωκινδύνους της περιοχής μελέτης.

ABSTRACT

It is true that the cables are an important structure designed to carry electric current. In recent decades, their presence on the road network, due to the need to transfer electricity from power plants to installations and beyond, has changed in their placement in space.

The project of undergrounding of high-voltage cables started some years ago in various European countries and its aim is to continue in Greece as well. It is worth noting, however, that the extension of the underground cables to new areas introduces

new components to their required design studies, such as the geo-dangers factor, which should be taken into account with greater weight but also the cost of the overall project.

Within this framework, a pilot project was developed for the route of the underground cable system on the Corinth - Patras national road, as well as an automatic tool for estimating the above - mentioned route in an environment of Geographical Information Systems. Specifically, the ArcGIS 10.3 forDesktop software was used, taking into account the physiology and existing geographies of the study area.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΥΠΟΓΕΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΛΩΔΙΩΝ ΥΨΗΛΗΣ ΚΑΙ ΥΠΕΡΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ

Θέμα της παρούσας εργασίας αποτελεί η χάραξη των υπόγειων καλωδίων υψηλής και υπερυψηλής τάσης επί της νέας Εθνικής Οδού Κορίνθου-Πατρών λαμβάνοντας υπ' όψη τη φυσιολογία και τοπολογία της περιοχής μελέτης αλλά και τους δυνητικούς γεωκινδύνους που υπάρχουν σε αυτήν. Παρουσιάζεται η εξέλιξη των καλωδίων διαχρονικά, αναφέρονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα τους και παράλληλα πραγματοποιείται σύγκριση των χαρακτηριστικών και της λειτουργίας τους με τα αντίστοιχα καλώδια των εναέριων γραμμών.

Περιγράφεται η εξέλιξη των υπόγειων καλωδίων και η χρήση τους σε χώρες της Ε.Ε. και ταυτόχρονα εντοπίζονται τα βασικά ζητήματα που διαμορφώνουν εμπόδια στην επιλογή τους σε διάφορες χώρες.

Σε πολλές αναπτυγμένες χώρες τα καλώδια ρεύματος τοποθετούνται υπόγεια λόγω της ασφάλειας που προσφέρουν, της ελαχιστοποίησης της έκθεσης σε ακραία καιρικά φαινόμενα, του ορθότερου αισθητικού αποτελέσματος λόγω της μη οπτικής όχλησης κ.α..

Η μη ορθή ενημέρωση του κοινού για τα πλεονεκτήματα της υπόγειας τοποθέτησης των καλωδίων είναι που υποστηρίζει τις όποιες υφιστάμενες αντιδράσεις υπάρχουν σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο.

1.2 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει την ακόλουθη δομή:

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: Εισαγωγή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα διάφορα χαρακτηριστικά των καλωδίων υψηλής και υπερυψηλής τάσης, πραγματοποιείται σύγκριση των υπόγειων καλωδίων με εναέριες γραμμές, ενώ επίσης περιγράφεται προσεγγιστικά ο τρόπος υπολογισμού του κόστους κατασκευής της χάραξης της διαδρομής ενός υπόγειου καλωδιακού συστήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά στους γεωκινδύνους που αφορούν στην περιοχή μελέτης και όχι μόνο. Η ύπαρξή τους λαμβάνεται σοβαρά υπ'

όψη για τον κατάλληλο σχεδιασμό της χάραξης του υπόγειου καλωδίου, στα Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα και στον τρόπο που αυτά διαχειρίζονται πολυεπίπεδες πληροφορίες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: Στο κεφάλαιο αυτό δίνεται έμφαση στα Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα και στον τρόπο που αυτά διαχειρίζονται πολυεπίπεδες πληροφορίες. Παρουσιάζεται επίσης το περιβάλλον ArcGIS που χρησιμοποιήθηκε κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Πραγματοποιείται αναφορά στη φυσιολογία και τοπολογία της περιοχής, ενώ επίσης χρησιμοποιείται το περιβάλλον του ArcGIS 10.3 forDesktop για το σχεδιασμό του ζητούμενου μοντέλου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: Στο τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται συμπεράσματα και προεκτάσεις που προέκυψαν από την ανάπτυξη του εργαλείου του Κεφαλαίου 4.

Ακολουθεί η βιβλιογραφία. Για τη συγγραφή των βιβλιογραφικών παραπομπών στο κείμενο και των βιβλιογραφικών αναφορών στο τέλος του κειμένου επελέγη το πρότυπο της APA style (American Psychological Association, 2010, Παναγιωτακόπουλος, 2009).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΚΑΛΩΔΙΑ ΚΑΙ ΥΨΗΛΗ-ΥΠΕΡΥΨΗΛΗ ΤΑΣΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΛΩΔΙΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΥΤΟΥ

Η μεταφορά ηλεκτρικού ρεύματος γίνεται μέσω των αγωγών με σκοπό την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας ή την μετάδοση ηλεκτρικών σημάτων. Οι αγωγοί διακρίνονται σε:

- μονόκλωνους, αποτελούμενους από συμπαγές σύρμα κυκλικής διατομής,
- πολύκλωνους, αποτελούμενους από πολλά σύρματα ομοκεντρικά επί διαδοχικών στρωμάτων,
- λεπτοπολύκλωνους, δηλαδή πολύκλωνους αποτελούμενους από στριμμένα σύρματα καθένα εκ των οποίων περιλαμβάνει πολλά συρματίδια.

Καλώδιο ορίζεται το σύνολο ενός ή περισσοτέρων μονωμένων αγωγών που βρίσκονται εντός του ίδιου περιβλήματος.

Μια βασική κατηγοριοποίηση των καλωδίων στηρίζεται στους σκοπούς που αυτά εξυπηρετούν. Βάσει αυτών διαμορφώνονται οι ακόλουθες κατηγορίες:

- καλώδια υψηλής τάσης προς μεταφορά ρεύματος από εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος στις εγκαταστάσεις,
- καλώδια χαμηλής τάσης προς διανομή του ρεύματος στις κτιριακές εγκαταστάσεις,
- καλώδια για εντοιχισμό προς μεταφορά ρεύματος στο εσωτερικό των κτιρίων επί των μόνιμων ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων,
- υπόγεια καλώδια,
- υποθαλάσσια καλώδια,
- καλώδια συσκευών.

2.1.1 ΥΨΗΛΗ ΚΑΙ ΥΠΕΡΥΨΗΛΗ ΤΑΣΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Βάσει της Διεθνούς Ηλεκτροτεχνικής Επιτροπής (International Electrotechnical Committee- IEC) ως υψηλή τάση ορίζεται:

- εναλλασσόμενο ρεύμα: τάση > 1000V
- συνεχές ρεύμα: τάση > 1500V

Οι υψηλές τάσεις ακολουθούν τις εξής βαθμίδες λειτουργίας εξοπλισμού κατά IEC:

- α) Μέση Τάση: 1-50 kV
- β) Υψηλή Τάση: 50-345 kV
- γ) Υπέρ Υψηλή Τάση: 345-765 kV
- δ) Ιδιαίτερα Υψηλή Τάση: >765 kV

2.1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Οι γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης ακολούθησαν ιστορικά την παρακάτω περιγραφόμενη εξέλιξη:

- 1) 1891: 15kV - Γερμανία
- 2) 1911: 110kV - Γερμανία
- 3) 1929: 220kV - Γερμανία
- 4) 1932: 287kV - ΗΠΑ
- 5) 1952: 400kV - Σουηδία
- 6) 1959: 500kV - ΕΣΣΔ
- 7) 1965: 735kV - Καναδάς
- 8) 1986: 1200kV - ΕΣΣΔ

2.1.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΥΤΡ

Τα συστήματα μεταφοράς HVDC (High Voltage Direct Current) επί μεγάλων αποστάσεων χαρακτηρίζονται γενικά από χαμηλό κόστος επένδυσης και αντίστοιχα χαμηλά επίπεδα ενεργειακών απωλειών. Σημαντικό κόστος έχει βέβαια ο εξοπλισμός μετατροπής του HVDC συστήματος στους τερματικούς, αλλά συνολικά το κόστος των γραμμών μεταφοράς συνεχούς ρεύματος είναι χαμηλότερο από τις γραμμές εναλλασσομένου ρεύματος. Τα συστήματα HVDC λειτουργούν με λιγότερες απαιτήσεις αγωγών, λόγω της μη απαίτησης για υποστήριξη τριών φάσεων. Βάσει των επιπέδων τάσης και των κατασκευαστικών λεπτομερειών τα αντίστοιχα επίπεδα απωλειών μεταφοράς του HVDC κυμαίνονται περίπου σε 3,5% ανά 1,000km.

Η μεταφορά HVDC χαρακτηρίζεται επίσης και από τα ακόλουθα τεχνικά πλεονεκτήματα. Το HVDC έχει τη δυνατότητα μεταφοράς ισχύος μεταξύ ξεχωριστών δικτύων εναλλασσομένου ρεύματος. Ο έλεγχος της ορθής ροής ισχύος HVDC μεταξύ ξεχωριστών συστημάτων εναλλασσομένου είναι δυνατό να γίνει αυτόματα. Το HVDC είναι δυνατό να υποστηρίξει τις διαδικασίες ελέγχου των συστημάτων.

Συνδυαστικά τα οικονομικά και τεχνικά πλεονεκτήματα της μεταφοράς HVDC το ορίζουν ως μια ιδανική επιλογή για τη σύνδεση ηλεκτρικών πηγών που βρίσκονται σε απόσταση από τους βασικούς χρήστες.

Χαρακτηριστικές εφαρμογές όπου η τεχνολογία μετάδοσης HVDC έχει αναδείξει την δυναμική της είναι οι ακόλουθες:

- Μετάδοση με υποθαλάσσια καλώδια, όπως για παράδειγμα η σύνδεση μεταξύ Νορβηγίας και Κάτω Χωρών.
- Μαζική μεταφορά ισχύος επί μεγάλης απόστασης χωρίς την ύπαρξη ενδιάμεσων Ρευματοδοτών (π.χ. το υφιστάμενο σύστημα μεταφοράς στον ποταμό Νέλσον).
- Υποστήριξη της χωρητικότητας ήδη κατασκευασμένου ηλεκτρικού δικτύου όταν η τοποθέτηση καλωδίων είναι πολύ δαπανηρή, δύσκολη ή και ανέφικτη.
- Μεταφορά ισχύος και σταθεροποίηση ασύγχρονων δικτύων εναλλασσομένου. Δυνατή και η μεταφορά ισχύος μεταξύ χωρών που χρησιμοποιούν εναλλασσόμενο αλλά διαφορετικών συχνοτήτων.
- Σταθεροποίηση κύριου υφιστάμενου ηλεκτρικού δικτύου εναλλασσομένου.
- Εισαγωγή ανανεώσιμων πηγών με βασικότερη τον άνεμο επί του βασικού δικτύου μεταφοράς.

2.1.4 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΥΤΡ

Σημαντικά μειονεκτήματα των συνεχών υψηλών τάσεων είναι τα ακόλουθα:

Οι μετατροπείς (δηλ. οι εξοπλισμοί που εκτελούν τη μετατροπή μεταξύ εναλλασσόμενου και συνεχούς ρεύματος) από εναλλασσόμενη σε συνεχή τάση και το αντίστροφο έχουν ένα όριο υπερφόρτισης.

1. Σε μικρές σχετικά αποστάσεις οι απώλειες στους μετατροπείς είναι μεγαλύτερες από τις απώλειες σε μια γραμμή μεταφοράς εναλλασσόμενης τάσης.
2. Οι διακόπτες ισχύος σε συνεχείς υψηλές τάσεις είναι δύσκολο να κατασκευαστούν λόγω της δημιουργίας εξαιρετικά μεγάλων τόξων.
3. Ο έλεγχος της ροής φορτίων σε ένα σύστημα συνεχούς υψηλής τάσης είναι δύσκολος και απαιτεί μεγάλη ακρίβεια.

Γενικά τα μειονεκτήματα των HVDC εντοπίζονται σε μεγάλο βαθμό στην μετατροπή, στην μεταλλαγή, στον έλεγχο, στη διαθεσιμότητα και στη συντήρηση. Το

HVDC θεωρείται μειωμένης αξιοπιστίας και περιορισμένης διαθεσιμότητας λόγω της απαίτησης για επιπλέον εξοπλισμό.

Οι σταθμοί μετατροπής που απαιτούνται έχουν σημαντικά υψηλό κόστος και είναι δαπανηροί, ενώ ταυτόχρονα έχουν συγκεκριμένη δυνατότητα υπερφόρτωσης. Όταν οι αποστάσεις μεταφοράς δεν είναι πολύ μεγάλες, οι απώλειες στους σταθμούς μετατροπής είναι δυνατό να είναι υψηλότερες συγκριτικά με μιας γραμμής μεταφοράς εναλλασσομένου.

Ένα σύστημα HVDC λειτουργικά έχει υψηλές απαιτήσεις για ανταλλακτικά, λόγω του ότι πρόκειται για συστήματα μερικώς τυποποιημένα συγκριτικά με τα συστήματα εναλλασσομένου ρεύματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.2 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΜΕ HVDC

2.2.1 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΜΕ HVDC

Η χρήση DC καλωδίων έχει κριθεί απαραίτητη για την μεταφορά υψηλών ποσοτήτων ενέργειας σε αντίστοιχα μεγάλες αποστάσεις. Επί αυτών στηρίζεται η ανάπτυξη των HVDC διασυνδέσεων. Ο σχεδιασμός των DC καλωδίων έχει πολλές ομοιότητες με τον σχεδιασμό των AC καλωδίων (καλωδίων συνεχούς ρεύματος). Βάσει του είδους της μόνωσης που τα περιβάλλει διαμορφώνονται οι ακόλουθοι τέσσερις τύποι των DC καλωδίων:

- 1) καλώδια ελαίου,
- 2) καλώδια αερίου υπό πίεση,
- 3) καλώδια χαρτιού εμβαπτισμένου σε λάδι,
- 4) καλώδια δικτυωμένου πολυαιθυλενίου.

Ειδικότερα το τελευταίο είδος καλωδίων αποτελεί την πιο πρόσφατη εξέλιξη του κλάδου.

Τα καλώδια ελαίου αρχικά αναπτύχθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν για τη στεριά. Σημαντικό χαρακτηριστικό τους που τα κάνει να πλεονεκτούν σε σύγκριση με τα υπόλοιπα είναι η μόνωση τους, που είναι ανθεκτική επί μεγάλων φορτίσεων λειτουργίας. Τα μειονεκτήματά τους σχετίζονται άμεσα ή έμμεσα με τη ροή λαδιού κατά μήκος του καλωδίου. Σημαντικός περιορισμός ωστόσο, διαμορφώνεται στο συνολικό μήκος που δεν μπορεί να ξεπερνά τα 100km, ενώ ο κίνδυνος διαρροής

λαδιού μπορεί να ορίσει περιβαλλοντικά ζητήματα. Υπό την προϋπόθεση επίλυσης ζητημάτων που σχετίζονται με την παροχή λαδιού επί μεγάλων αποστάσεων, είναι δυνατή η εφαρμογή των καλωδίων και υποθαλάσσια. Μια χαρακτηριστική εφαρμογή αποτελεί η διασύνδεση Ισπανίας- Μαρόκου που επετεύχθη το 1997 με τοποθέτηση 4 καλωδίων σε βάθος που έφτασε έως και τα 615m.

Τα καλώδια αερίου υπό πίεση διακρίνονται για την μεγάλη αντοχή τους σε υψηλές φορτίσεις λειτουργίας, γι' αυτό και επιλέγονται για μεταφορά ενέργειας επί μεγάλων αποστάσεων και βαθών. Πολλά ζητήματα όμως τίθενται και προκύπτουν κατά την κατασκευή τους.

Τα καλώδια χαρτιού εμβαπτισμένου σε λάδι παρουσιάζουν κατασκευαστικές ομοιότητες με τα καλώδια ελαίου. Περιμετρικά του βασικού αγωγού έχουν τοποθετημένα πολλά στρώματα εμβαπτισμένου χαρτιού για επίτευξη μόνωσης. Σημαντικά πλεονεκτήματα τους είναι η απλή δομή και κατασκευή, καθώς και η χαμηλού κόστους συντήρηση τους. Θεωρούνται ιδανικά για την υποθαλάσσια μεταφορά ενέργειας επί μεγάλων αποστάσεων, ενώ σε αυτά δεν υπάρχει κίνδυνος διαρροής λαδιού στο περιβάλλον. Μια χαρακτηριστική εφαρμογή αυτών είναι η χρήση τους επί της διασύνδεσης της Ισπανίας με τη Μαγιόρκα. Η διπολική διασύνδεση αυτή στηρίχθηκε σε HVDC400MW.

Τα καλώδια δικτυωμένου πολυαιθυλενίου (XLPE) χαρακτηρίζονται για τη σημαντική τους μόνωση, που προσφέρει υψηλή αντίσταση για τη μείωση του ρεύματος διαρροής και παράλληλα μηδενισμό των τοπικών υψηλών ηλεκτρικών πεδίων. Επιπλέον, χαρακτηριστικά τους είναι η υψηλή διάρκεια ζωής, η ευκαμψία που έχουν και βάσει αυτής γίνεται ευκολότερη η διέλευση από εμπόδια, ενώ ο σχεδιασμός του στηρίζεται στην ικανοποίηση συγκεκριμένων απαιτήσεων ονομαστικού ρεύματος και τάσης. Οι μέθοδοι τοποθέτησής τους επιτρέπουν μεγαλύτερη ευκολία και λιγότερο χρόνο στην εγκατάστασή τους κατά μήκος αυτοκινητοδρόμων και αγροτικών περιοχών. Κατ' επέκταση, για μείωση διαστάσεων, βάρους και κόστους υπόγειων καλωδίων μπορεί να γίνει χρήση καλωδίων δικτυωμένου πολυαιθυλενίου.

Η δομή καλωδίου υψηλής τάσης με XLPE θα περιλαμβάνει πάντοτε τα εξής στοιχεία:

1. Πυρήνα αγωγού

Ο αγωγός αλουμινίου ή χαλκού μεταφέρει το ηλεκτρικό ρεύμα. Η συμπεριφορά του αγωγού χαρακτηρίζεται από δύο ιδιαίτερα αξιοσημείωτα φαινόμενα: το φαινόμενο του “δέρματος” και το φαινόμενο εγγύτητας.

Το φαινόμενο του “δέρματος” είναι η συγκέντρωση της ροής ηλεκτρικού ρεύματος γύρω από την περιφέρεια των αγωγών. Αυξάνεται ανάλογα με τη διατομή του αγωγού που χρησιμοποιείται. Η μικρή απόσταση που διαχωρίζει τις φάσεις στο ίδιο κύκλωμα παράγει το φαινόμενο εγγύτητας. Όταν η διάμετρος του αγωγού είναι σχετικά μεγάλη σε σχέση με την απόσταση που χωρίζει τις τρεις φάσεις, το ηλεκτρικό ρεύμα τείνει να συγκεντρώνεται στις επιφάνειες που βλέπουν στους αγωγούς. Το ρεύμα τείνει να κυκλοφορεί στα καλώδια με τη χαμηλότερη αυτεπαγωγή. Στην πράξη, το φαινόμενο εγγύτητας είναι ασθενέστερο από το φαινόμενο του δέρματος και μειώνεται γρήγορα όταν τα καλώδια απομακρύνονται το ένα από το άλλο.

Το φαινόμενο εγγύτητας είναι αμελητέο όταν η απόσταση μεταξύ δύο καλωδίων στο ίδιο κύκλωμα ή σε δύο γειτονικά κυκλώματα είναι τουλάχιστον 8 φορές μεγαλύτερη από την εξωτερική διάμετρο του καλωδίου.

Υπάρχουν δύο σχέδια αγωγού, συμπαγή στρογγυλό λανθάνον και τμηματικό "Milliken" λανθάνον.

1. Συμπαγείς στρογγυλοί αγωγοί, που αποτελούνται από διάφορα στρώματα ομόκεντρων συρμάτων με συρματόσχοινα.
2. Οι τμηματικοί αγωγοί, που είναι επίσης γνωστοί ως αγωγοί "Milliken", οι οποίοι αποτελούνται από διάφορους αγωγούς διατομής που συναρμολογούνται μεταξύ τους για να σχηματίσουν έναν κυλινδρικό πυρήνα.

2. Ημιαγώγιμη οθόνη στον αγωγό.

Για να αποφευχθεί η συγκέντρωση ηλεκτρικού πεδίου, υπάρχει μια επιφάνεια εξαιρετικά λείου ημιαγωγού XLPE μεταξύ του αγωγού και της μόνωσης.

3. Μόνωση XLPE.

Όπως υποδηλώνει η ονομασία, η μόνωση απομονώνει τον αγωγό όταν εργάζεται σε υψηλή τάση από την οθόνη που λειτουργεί με δυναμικό γείωσης. Η μόνωση πρέπει να μπορεί να αντέξει το ηλεκτρικό πεδίο υπό ονομαστικές και μεταβατικές συνθήκες λειτουργίας.

4. Ημιαγώγιμη οθόνη με μόνωση.

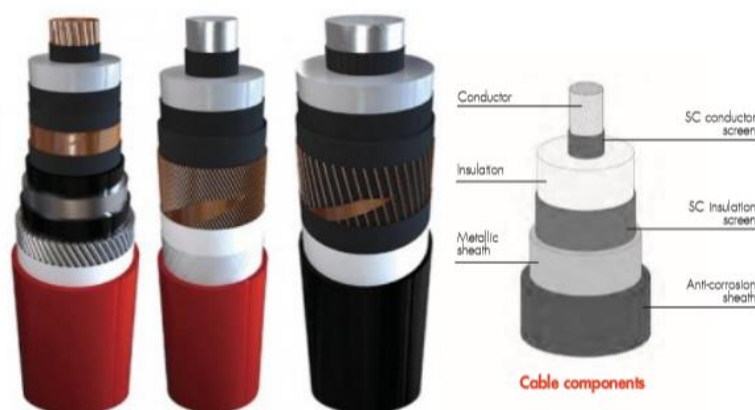
Αυτό το στρώμα έχει την ίδια λειτουργία με την οθόνη του αγωγού.

5. Μεταλλική οθόνη.

Όταν η τάση φθάνει σε δεκάδες ή και εκατοντάδες kV, απαιτείται μεταλλική οθόνη. Η κύρια λειτουργία του είναι να “ακυρώσει” το ηλεκτρικό πεδίο εκτός του καλωδίου. Λειτουργεί ως το δεύτερο ηλεκτρόδιο του πυκνωτή που σχηματίζεται από το καλώδιο.

6. Προστατευτικό σακάκι κατά της διάβρωσης.

Το περίβλημα έχει διπλή λειτουργία: Απομονώνει τη μεταλλική οθόνη από το έδαφος (ειδικά για γραμμές με ειδικές συνδέσεις οθόνης) αλλά και προστατεύει τα μεταλλικά στοιχεία της οθόνης από την υγρασία και τη διάβρωση.



Εικόνα 1. Καλώδια δικτυωμένου πολυαιθυλενίου (XLPE), (ICF 2003)

2.2.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΛΩΔΙΩΝ ΜΕ ΕΝΑΕΡΙΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ

Τα υπόγεια καλώδια έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τα καλώδια που υποστηρίζουν τις εναέριες γραμμές μεταφοράς. Για τις εναέριες γραμμές μεταφοράς είναι απαραίτητη η ύπαρξη μιας ζώνης ασφαλείας περιμετρικά αυτών. Βάσει αυτής της ζώνης απαιτείται εντός πλάτους περίπου 60m να μην υπάρχουν κτίρια, κατασκευές και ψηλά δέντρα. Αντίθετα τα υπόγεια δίκτυα με DC καλώδια δεν επιβάλλουν τέτοιους αυστηρούς περιορισμούς καθώς δεν είναι υπεύθυνα για πρόκληση ζημιών ή θανάτων λόγω ατυχημάτων επί του οδικού δικτύου.

Σημαντικές διαφορές εντοπίζονται και στα επίπεδα θορύβου. Ορισμένα επίπεδα θορύβου είναι υπαρκτά επί των εναέριων γραμμών μεταφοράς κυρίως στο πλαίσιο του φαινομένου κορώνα και υπό κατάλληλες συνθήκες υγρασίας. Αντίθετα στα υπόγεια καλώδια δεν διαμορφώνονται επίπεδα θορύβου επί όμορων περιοχών.

Στις περιοχές από τις οποίες διέρχονται οι εναέριες γραμμές, τα δημιουργούμενα ηλεκτρομαγνητικά πεδία επηρεάζουν τις χρήσεις γης και παράλληλα επιδρούν αρνητικά στα επίπεδα των αξιών. Πολύ σημαντική είναι και η λήψη μέτρων προστασίας στο πλαίσιο των επιπτώσεων που διαμορφώνονται από τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Στην περίπτωση των υπόγειων καλωδίων, τα δημιουργούμενα ηλεκτρομαγνητικά πεδία είναι πολύ περιορισμένα και δεν τίθεται ζήτημα άμεσης λήψης μέτρων προστασίας.

Σε πολλές περιπτώσεις τα δίκτυα των εναέριων γραμμών απαιτούν για την εγκατάσταση τους την κατάλληλη διαμόρφωση του περιβάλλοντος (αποψιλώσεις, διανοίξεις κλπ). Αυτό επιφέρει μεταβολές στην υφιστάμενη περιβαλλοντική και οικολογική ισορροπία, επιδρώντας παράλληλα και αισθητικά στο περιβάλλον. Για τους ιδιοκτήτες ακινήτων σε όμορα των διερχόμενων εναέριων γραμμών εδαφικά τμήματα αυτό μεταφράζεται και ως απώλεια της αξίας της γης 2-4%.

Βάσει των ανωτέρω στοιχείων είναι απόλυτα λογικό να υπάρχουν αντιδράσεις για το σχεδιασμό και την κατασκευή εναέριων γραμμών μεταφοράς, κάτι που δεν σημειώνεται στα υπόγεια δίκτυα. Ωστόσο, κανείς δεν αμφισβητεί το γεγονός πως η εγκατάσταση υπόγειων καλωδίων είναι αρκετά πιο δαπανηρή απ αυτής των εναέριων καθώς οι μέθοδοι τοποθέτησής τους αλλά και η επιπρόσθετη μόνωσή τους το απαιτούν. Ακόμη, δύσκολη αποτελεί η ενσωμάτωσή τους σε ένα υπάρχον δίκτυο εναέριο ή μη καλωδιακού συστήματος λόγω αντιστασιακών διαφορών · λύση γι' αυτό; ο χωρισμός των δικτύων με πλέγμα σε μεμονωμένα δίκτυα.

2.2.3 ΔΙΑΦΟΡΑ HVDC ΚΑΙ HVAC ΓΙΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΚΑΛΩΔΙΑ

Τα υπόγεια καλώδια χαρακτηρίζονται για την αυξημένη χωρητικότητα τους, δεδομένου πως οι αγωγοί τους περιβάλλονται από ένα λεπτό μονωτικό στρώμα και μεταλλική θωράκιση. Όταν εναλλασσόμενο ρεύμα διαρρέει τους αγωγούς, οι χωρητικότητες δείχνουν να λειτουργούν παράλληλα με το φορτίο. Για το χωρητικό ρεύμα φόρτισης απαιτείται διαρροή του αγωγού με επιπρόσθετο ρεύμα. Τα επίπεδα

απωλειών είναι δυνατό να αυξηθούν με διηλεκτρικό στοιχείο επί της μόνωσης του αγωγού.

Με τη χρήση συνεχούς ρεύματος, η χωρητικότητα του καλωδίου φορτίζεται όταν μεταβάλλεται η τάση και δεν υπάρχει απαίτηση για χωρητικό ρεύμα φόρτισης.

Επί υποθαλάσσιων καλωδίων AC (εναλλασσόμενου ρεύματος) το σύνολο του ρεύματος που διαρρέει τους αγωγούς χρησιμοποιείται για τη φόρτιση των χωρητικοτήτων των καλωδίων. Αυτό οδηγεί σε καθορισμό συγκεκριμένων μηκών των καλωδίων. Αντίθετα, δεν διαμορφώνονται περιορισμοί στα μήκη των καλωδίων στην περίπτωση των DCυποθαλάσσιων καλωδίων.

Αξίζει να επισημανθεί πως συστήματα μεταφοράς HVDC κρίνονται ιδανικά για την περίπτωση σύνδεσης με καλώδια επί μεγάλων αποστάσεων (π.χ. απομακρυσμένες ανεμογεννήτριες).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.3 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

2.3.1 ΕΝΑΕΡΙΑ ΔΙΚΤΥΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

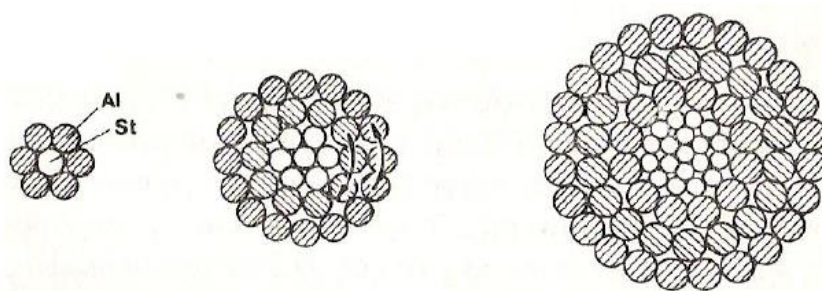
Οι εναέρια γραμμές αποτελούν μια απλή και φθηνή λύση για την μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας. Χαρακτηρίζονται για το σημαντικά χαμηλό κόστος κατασκευής και συντήρησης τους, καθώς και την ευκολία και την ταχύτητα των διαδικασιών επισκευής. Σε αποστάσεις έως 500m δεν δημιουργούνται προβλήματα. Οι δαπάνες όμως κατασκευής αυξάνονται σημαντικά για αποστάσεις μεγαλύτερες του 1km. Αξίζει να σημειωθεί πως κρίνεται απαγορευτική η εφαρμογή τους για αποστάσεις μεγαλύτερες των 2km ή επί απομακρυσμένων νησιών. Σε κάθε περίπτωση σημαντικό πλεονέκτημα κρίνεται η ταχύτατη και χαμηλού κόστους επισκευή και συντήρηση, που υποστηρίζει την εύρυθμη λειτουργία του δικτύου. (Λαμπρίδης, 2002).

Οι αγωγοί εναέριων γραμμών πρέπει να αντέχουν σε μηχανική και θερμική καταπόνηση και να μην προκαλούν μεγάλες απώλειες Κορώνα. Περιλαμβάνουν τα ακόλουθα στοιχεία (Λαμπρίδης, 2002):

- 1) τριφασικό κύκλωμα,
- 2) πυλώνες ή πύργους επί των οποίων αναρτώνται ή στηρίζονται οι αγωγοί μέσω μονωτήρων,
- 3) μονωτήρες ανάρτησης ή στήριξης,

4) στοιχεία σύνδεσης καθώς και απόσβεσης των μηχανικών ταλαντώσεων, αλλά και στοιχεία προστασίας των μονωτήρων από ηλεκτρικά τόξα.

Στα εναέρια δίκτυα χρησιμοποιούνται αποκλειστικά πολύκλωνοι αγωγοί για αποφυγή κάθε πιθανότητας θραύσης τους. Οι πολύκλωνοι αγωγοί περιλαμβάνουν πολλά σύρματα συστρεφόμενα κατά τέτοιο τρόπο προς δημιουργία ενός πολλαπλού αγωγού υψηλής ευκαμψίας και αντοχής.



Εικόνα 2. Πολύκλωνοι αγωγοί εναέριων γραμμών (ICF 2003)



Εικόνα 3. Συνήθης όψη εναέριων γραμμών (Overhead or Underground A Comparison, Harry Orton, OCEI Vancouver, Canada)

Βασικά υλικά κατασκευής των εναέριων γραμμών μεταφοράς είναι:

- χαλκός εφελκυσμένος εν ψυχρώ,
- αλουμίνιο,
- ατσάλι (με επικάλυψη από ψευδάργυρο),
- μπρούντζος (σπάνια),
- σύνθετοι αγωγοί αλουμινίου με χαλύβδινη ενίσχυση.

Σε κάθε περίπτωση η χρήση αγωγών αλουμινίου ορίζει σε χαμηλότερα επίπεδα το κόστος της κατασκευής των πυλώνων.

Πίνακας 1. Αποστάσεις αγωγών εναέριων γραμμών, (ICF 2003)

1. Τάση (πολική)	15-50 kV	150 kV	400 kV
2. Γενικά πάνω από το έδαφος και οικοδομές	5,25	6,25	8,0
3. Πάνω από δρόμους με οχήματα	6,75	7,75	10,25
4. Πάνω από σιδηροδρομικές γραμμές	9,25	10,25	12,75
5. Πάνω από ξένες γραμμές, μέχρι 50kV	1,20	2,80	5,30
6. Οριζοντίως ή κατακορύφως από κτίρια	3,00	4,00	6,50

Πίνακας 2. Ελάχιστες αποστάσεις κατά τους κανονισμούς VDE 0210, (ICF 2003)

Ελάχιστες αποστάσεις εναέριων γραμμών Υ.Τ. Κατά τους κανονισμούς VDE 0210, για θερμοκρασία 40 ⁰ C, σε μέτρα (m).		
Ονομαστική τάση	$U_N = 0 - 110kV$	$U_N > 110kV$
Πάνω από το έδαφος	6	$6 + \frac{U_N - 110}{150}$
Πάνω από τους δρόμους με διέλευση οχημάτων	7	$7 + \frac{U_N - 110}{150}$
Οριζόντια απόσταση από ισουψή εμπόδια	3	$3 + \frac{U_N - 110}{150}$

2.3.2 ΥΠΟΓΕΙΑ ΔΙΚΤΥΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Τα υπόγεια ηλεκτρικά καλώδια χρησιμοποιούνται σε όλες σχεδόν τις ευρωπαϊκές χώρες, κυρίως για τμήματα των δικτύων μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας εντός αστικών, ημιαστικών και αγροτικών περιοχών. Γενικά οι υπόγειες

ηλεκτρικές γραμμές έχουν υψηλότερο κόστος από τις εναέριες γραμμές για τους ακόλουθους λόγους (ICF, 2003):

- Απαιτείται πρόσθετη μόνωση επειδή τα καλώδια τοποθετούνται συχνά μόλις ένα μέτρο κάτω από το έδαφος.
- Χρειάζεται επιπλέον έδαφος για το άκρο σφράγισης και τη σύνδεση των καλωδίων με τις εναέριες γραμμές.
- Η πρόσβαση στα καλώδια είναι απαραίτητη για επισκευές και συντήρηση, επομένως το έδαφος πάνω από τα καλώδια δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για καλλιέργεια ή βιομηχανικούς σκοπούς.
- Με εναλλασσόμενο ρεύμα είναι απαραίτητο να προβλεφθεί η ισχύς στα 400kV και αυτό απαιτεί υποσταθμούς κάθε 15-20km
- Σε ένα υπάρχον δίκτυο εναέριων γραμμών είναι δύσκολο να ενσωματωθούν υπόγεια καλώδια. Για να επιλυθεί αυτό, είναι απαραίτητο να διαμορφωθούν χωριστά δίκτυα και να χρησιμοποιηθούν/ λειτουργήσουν ως μερικά δίκτυα. Αυτό απαιτεί πρόσθετες επενδύσεις για την υποστήριξη του μετασχηματισμού σε αυτά τα μερικά δίκτυα.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα περιοχών που μελέτησαν ιδιαιτέρως τα υπόγεια δίκτυα καλωδίων τροφοδοσίας ηλεκτρικής ενέργειας είναι τα ακόλουθα:

- Η πόλη της Νέας Υόρκης - τα υποστήριξε από το 1890.
- Η Σγκαπούρη - έχει 100% υπόγεια δίκτυα.
- Η Ολλανδία - η διανομή της γίνεται 100% υπόγεια.
- Το Βέλγιο απαγόρευσε τις εναέριες γραμμές από το 1992.
- Η Δανία αντικατέστησε έξι εναέριες γραμμές 132kV με δύο νέα καλώδια UG 400kV το 1997 και το 1999.
- Οι καταγίδες του Δεκεμβρίου του 1999 στη Γαλλία προκάλεσαν πολλά προβλήματα διακοπών ρεύματος και αυτό στάθηκε ορόσημο για την υποστήριξη μιας νέας πολιτικής με 25% υπόγειες γραμμές.



Εικόνα 4. Τυπική μορφή υπόγειου δικτύου (Overhead or Underground A Comparison, Harry Orton, OCEI Vancouver, Canada)

2.3.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΥΟ ΜΕΘΟΔΩΝ

Θα πρέπει να επισημανθεί πως η διαφορά κόστους μεταξύ των εναέριων γραμμών και των υπόγειων δικτύων δεν είναι γραμμική, καθώς αυξάνεται η ονομαστική ισχύς και το κόστος των υπόγειων καλωδίων είναι υψηλότερο από το κόστος της ισοδύναμης εναέριας γραμμής. Για παράδειγμα, το κόστος κεφαλαίου για τα υπόγεια δίκτυα σε τάσεις μέχρι 90kV εκτιμάται ότι είναι περίπου 2 φορές υψηλότερο από το αντίστοιχο των εναέριων γραμμών. Για την τάση των 225kV η εκτίμηση είναι περίπου 3 φορές υψηλότερη, ενώ για τα 400kV οι εκτιμήσεις είναι περίπου 10 φορές υψηλότερες. Αυτές οι εκτιμήσεις διαφέρουν σε χώρες εντός και εκτός της Ευρώπης, ενώ είναι κοινά αναγνωρισμένες οι τεχνικές δυσκολίες που έχει η εγκατάσταση μεγάλων κλιμάκων γραμμών και κυρίως 400kV (ICF, 2003).

Πίνακας 3. Σύγκριση κόστους υπόγειων και εναέριων γραμμών (ICF 2003)

Voltage (kV)	Based on Installation Cost	Based on Lifetime Costs
20	1.2-1.5	1
66	3	1.5
132	5.7	2.6
225	5-10	N/A
400	5-10	N/A

Τα έξοδα λειτουργίας και συντήρησης επίσης για τα καλώδια εκτιμώνται ότι είναι περίπου το 1/10 του αντίστοιχου κόστους των εναέριων γραμμών και αυτό επειδή τα υπόγεια καλώδια έχουν χαμηλότερες απώλειες από τις αντίστοιχες των εναέριων γραμμών. Επιπλέον, υπάρχει σήμερα πλεονάζουσα δυναμικότητα στην Ευρωπαϊκή αγορά καλωδίων μεταφοράς που έχει οδηγήσει γενικά σε πτώση των τιμών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί τρέχον υπόγειο έργο στη Δανία που

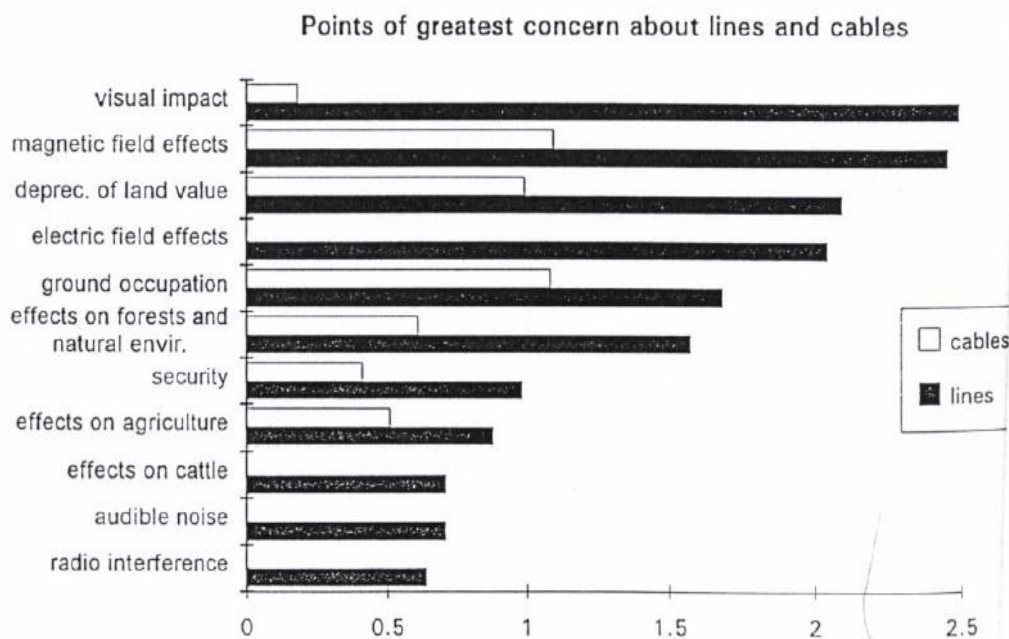
αποδεικνύει ότι το κόστος κατασκευής υποθαλάσσιων (των 400kV) γραμμών είναι περίπου 3-4 φορές πιο δαπανηρό από των εναέριων γραμμών (ICF, 2003).

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα των υπόγειων δικτύων μεταφοράς είναι ότι δεν είναι ορατά. Υπάρχουν όμως και άλλα οφέλη για τις επιχειρήσεις κοινής ωφελείας, τους πελάτες και τις τοπικές επιχειρήσεις. Οι απώλειες μετάδοσης είναι χαμηλότερες στα υπόγεια δίκτυα από τις εναέριες γραμμές. Ωστόσο, οι περισσότερες απώλειες (περίπου 80%) συμβαίνουν στο χαμηλότερο επίπεδο των τάσεων των δικτύων διανομής. Ακόμη και σε αυτές τις χαμηλότερες τάσεις οι απώλειες εντοπίζονται κατά τη διάρκεια των διαδικασιών μετατροπής ή οφείλονται σε άλλα μη τεχνικά ζητήματα (ICF, 2003).

Τα υπόγεια καλώδια δεν είναι ευαίσθητα σε ζημιές από καταιγίδες (εκτός από το νερό) και είναι λιγότερο πιθανό να προκαλέσουν θάνατο ή τραυματισμό λόγω τυχαίας επαφής με τις γραμμές/ καλώδια. Επίσης μπορεί να προκληθεί σε αυτά μικρή ζημιά από θύελλα, ενώ στις εναέριες γραμμές στην Ευρώπη είναι ένα πολύ συχνό γεγονός, ιδιαίτερα σε χαμηλές/ μεσαίες τάσεις. Αυτό είναι κυρίως επειδή οι πυλώνες των 400kV έχουν σχεδιαστεί για να αντέχουν υψηλότερες ταχύτητες ανέμου και λόγω του ύψους τους, οι αγωγοί είναι λιγότερο ευάλωτοι στην πτώση δέντρων (ICF, 2003).

Στα περισσότερα κράτη μέλη η κατασκευή νέων εναέριων γραμμών έχει συναντήσει πολλές αντιδράσεις από τις τοπικές κοινότητες και τις αρχές, καθώς και από περιβαλλοντικές οργανώσεις, σε βαθμό που η έγκριση για την κατασκευή νέων γραμμών έχει γίνει στην καλύτερη περίπτωση μια μακρόχρονη διαδικασία (π.χ. 10 χρόνια) ή σχεδόν αδύνατη. Σε αυτές τις περιπτώσεις, τα υπόγεια δίκτυα διαμορφώνουν μια εφικτή λύση.(ICF, 2003)

Βέβαια είναι πολύ ενδιαφέρον να επισημανθεί πως αν και η κοινή γνώμη ζητά συχνά την αντικατάσταση των εναέριων δικτύων με τα υπόγεια, περίπου το 60% των χωρών έχει δηλώσει ότι αντιμετωπίζει έντονες διαμαρτυρίες σχετικά με το εν θέματι ζήτημα και το 40% ακολουθεί νομικές διόδους.



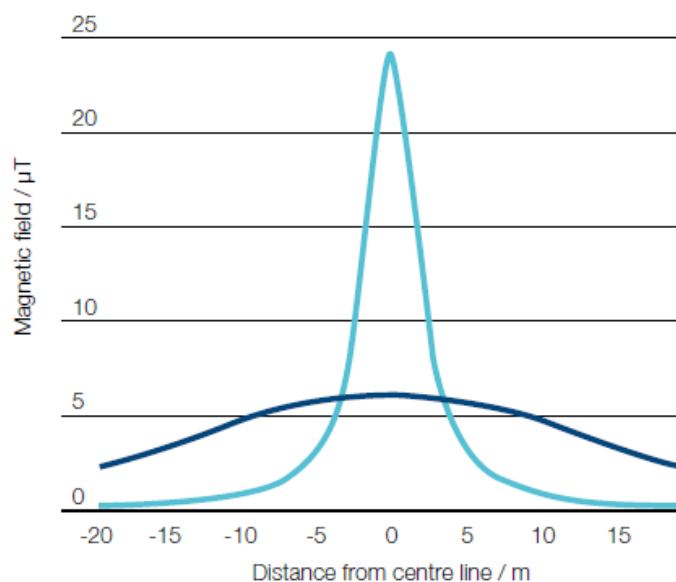
Εικόνα 5. Ζητήματα μεγάλης ανησυχίας σχετικά με τις γραμμές και τα καλώδια (ICF 2003)

2.3.4 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ

Οι εναέριες γραμμές είναι πηγή δύο πεδίων: του ηλεκτρικού πεδίου (που παράγεται από την τάση) και του μαγνητικού πεδίου (που παράγεται από το ρεύμα). Τα υπόγεια καλώδια εξαλείφουν το ηλεκτρικό πεδίο εντελώς όπως είναι καθώς προβάλλεται από το περίβλημα γύρω από το καλώδιο, αλλά εξακολουθούν όμως να παράγουν μαγνητικά πεδία. Καθώς πλησιάζει η πηγή ενός μαγνητικού πεδίου το πεδίο γίνεται υψηλότερο. Τα καλώδια είναι συνήθως εγκατεστημένα 1m κάτω από το έδαφος. Οι αγωγοί αντίθετα στις εναέριες γραμμές βρίσκονται συνήθως άνω των 10m από το έδαφος, έτσι ώστε το μαγνητικό πεδίο να βρίσκεται ακριβώς πάνω από αυτά. Ωστόσο, καθώς τα μεμονωμένα καλώδια εγκαθίστανται πολύ πιο κοντά από τους αγωγούς μιας επιβαρυσμένης γραμμής, αυτό οδηγεί το μαγνητικό πεδίο από τα καλώδια να περιορίζεται πιο γρήγορα με την απόσταση από το μαγνητικό από τις εναέριες γραμμές. Συνολικά λοιπόν, άμεσα πάνω από το καλώδιο και σε μικρή απόσταση από τις πλευρές αυτού, παράγεται το μεγαλύτερο πεδίο. Στον ακόλουθο πίνακα και το γράφημα παρουσιάζονται σχετικά στοιχεία. (NationalGrid, 2015).

Πίνακας 4. Ανάπτυξη μαγνητικού πεδίου ανάλογα με την απόσταση (NationalGrid, 2015)

				Magnetic field in μT at distance from centreline			
				0m	5m	10m	20m
400kV	Trough	0.13m spacing 0.3m depth	Max	83	7	1.8	0.5
			Typical	21	2	0.5	0.1
	Direct buried	0.5m spacing 0.9m depth	Max	96	13	3.6	0.9
			Typical	24	3	0.9	0.2
	Deep bore tunnel	25m depth	Max	0.11	0.10	0.09	0.05
			Typical	0.03	0.03	0.02	0.01



Εικόνα 6. Μαγνητικό πεδίο επί εναέριων και υπόγειων γραμμών (NationalGrid, 2015)

2.3.5 Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΩΝ ΚΑΛΩΔΙΑΚΩΝ ΛΥΣΕΩΝ SILEC

Το εμπορικό σήμα Silec είναι συνώνυμο με στερεές-διηλεκτρικές καλωδιακές λύσεις τα τελευταία πενήντα χρόνια. Προσφέρει μια απόλυτα σύγχρονη προσέγγιση για την παροχή μιας πλήρους σειράς συστημάτων καλωδίων υψηλής τάσης. Είναι σχεδιασμένα και κατασκευασμένα για να εξασφαλίζουν τη μέγιστη διάρκεια ζωής και την καλύτερη απόδοση, διατηρώντας ταυτόχρονα την αποτελεσματικότητα του

κόστους. Τα υπόγεια καλώδια μετάδοσης HV/ EHV της σειράς Silec HV/ EHV και τα ποικίλα αξεσουάρ είναι αξιόπιστα, καθώς και περιβαλλοντικά βιώσιμα και ασφαλή για να καλύψουν τις ανάγκες των υφιστάμενων και μελλοντικών συστημάτων μετάδοσης. Υπερβαίνουν τις απαιτήσεις των τεχνικών προδιαγραφών των πελατών, ενώ χρησιμοποιούνται διεθνώς (IEC 60840, IEC 60287, IEC 62067, ICEA S-108-720 και AEIC CS9). Σημαντικές εσωτερικές δοκιμές περιλαμβάνουν: δοκιμές πιστοποίησης για καλώδια μέχρι 500kV, δοκιμές δυνατοτήτων για τάση μέχρι 700kV και δοκιμές μερικής εκφόρτισης (PD) σε $1pC$. (SILEC, 2013)

Με περισσότερα από 14.000km καλωδίων, 30.000 τερματικά και 18.000 αρθρώσεις που έχουν εγκατασταθεί και έχουν τεθεί σε λειτουργία από το 1962, οι λύσεις των υπογείων καλωδίων της General Cable της Silec είναι μια πολύ καλή επιλογή για μια αυξημένη διάρκεια ζωής ολόκληρου του καλωδιακού συστήματος. (SILEC, 2013)

Στους ακόλουθους πίνακες παρουσιάζονται χαρακτηριστικά αριθμητικά δεδομένα που αποτυπώνουν βασικά στοιχεία των καλωδίων SILEC. Βασικοί παράγοντες που διαμορφώνουν ειδικές παραμέτρους είναι: η θερμοκρασία εδάφους, η θερμοκρασία του αέρα, το βάθος τοποθέτησης, η θερμική αντίσταση του εδάφους και η εγγύτητα των κυκλωμάτων. (SILEC, 2013)

Πίνακας 5. Τυπικά αριθμητικά δεδομένα καλωδίων SILEC (SILEC, 2013)

Um = 72.5 kV (copper conductors)

Sections kcmil	Overall diameter Inches	Weight lb/ft	DC conductor resistance at 20 °C Ω/1000 ft	AC apparent conductor resistance at 90 °C Ω/1000 ft	Capacitance μF/1000 ft	CONTINUOUS CURRENT RATING, A Earthing at one point				CONTINUOUS CURRENT RATING, A Earthing in several points			
						Direct buried	Pulled in ducts (Trefoil)	In air, trefoil Exposed to solar radiation (*)	In air, flat Exposed to solar radiation (*)	Direct buried	Pulled in ducts (Trefoil)	In air, trefoil Exposed to solar radiation (*)	In air, flat Exposed to solar radiation (*)
500	2.31	3.84	0.022	0.028	0.075	538	541	590	612	493	417	553	532
750	2.53	4.87	0.015	0.020	0.085	652	658	733	761	581	472	672	633
1000	2.73	5.87	0.011	0.015	0.095	765	773	880	915	659	518	785	723
1250	2.90	6.95	0.009	0.012	0.105	857	870	1002	1042	718	552	874	789
1500	3.04	7.85	0.007	0.010	0.110	927	945	1100	1145	762	579	945	843
1750	3.18	8.90	0.007	0.010	0.120	988	1013	1191	1242	796	601	1007	886
2000	3.28	9.85	0.005	0.008	0.125	1043	1073	1271	1325	821	617	1053	918
2500	3.55	11.90	0.004	0.006	0.140	1267	1278	1570	1638	936	672	1236	1039
3000	3.73	13.71	0.004	0.005	0.145	1377	1394	1733	1810	985	706	1329	1099
3500	3.89	15.25	0.003	0.005	0.150	1468	1493	1875	1958	1018	730	1399	1144
4000	4.03	16.98	0.003	0.004	0.160	1552	1584	2000	2091	1039	747	1449	1168

Um = 245 kV (copper conductors)

Sections kcmil	Overall diameter Inches	Weight lb/ft	DC conductor resistance at 20 °C Ω/1000 ft	AC apparent conductor resistance at 90 °C Ω/1000 ft	Capacitance μF/1000 ft	CONTINUOUS CURRENT RATING, A Earthing at one point				CONTINUOUS CURRENT RATING, A Earthing in several points			
						Direct buried	Pulled in ducts (Trefoil)	In air, trefoil Exposed to solar radiation (%)	In air, flat Exposed to solar radiation (%)	Direct buried	Pulled in ducts (Trefoil)	In air, trefoil Exposed to solar radiation (%)	In air, flat Exposed to solar radiation (%)
1000	3.59	6.99	0.011	0.015	0.050	707	741	813	818	628	548	753	719
1250	3.75	8.00	0.009	0.012	0.050	782	829	915	915	678	586	834	781
1500	3.88	9.01	0.007	0.010	0.055	838	895	996	993	718	614	900	834
1750	4.02	10.02	0.006	0.009	0.060	887	953	1072	1064	752	636	960	880
2000	4.14	11.03	0.005	0.008	0.060	927	1054	1134	1120	778	654	1008	919
2500	4.39	13.11	0.004	0.006	0.065	1076	1240	1355	1315	867	701	1167	1032
3000	4.57	14.92	0.004	0.005	0.065	1151	1345	1479	1430	912	723	1255	1089
3500	4.77	16.74	0.003	0.004	0.070	1201	1426	1574	1508	938	747	1319	1138
4000	4.89	18.35	0.003	0.004	0.075	1260	1506	1670	1596	974	760	1386	1176
5000	5.18	22.05	0.003	0.004	0.080	1279	1524	1718	1637	993	791	1430	1219

Um = 420 kV (copper conductors) - Maximum single-phase short-circuit = 63 kA - 1 s

Sections mm ²	Overall diameter Inches	Weight lb/ft	DC conductor resistance at 20 °C Ω/1000 ft	AC apparent conductor resistance at 90 °C Ω/1000 ft	Capacitance μF/1000 ft	CONTINUOUS CURRENT RATING, A Earthing at one point				CONTINUOUS CURRENT RATING, A Earthing in several points			
						Direct buried	Pulled in ducts (Trefoil)	In air, trefoil Exposed to solar radiation (%)	In air, flat Exposed to solar radiation (%)	Direct buried	Pulled in ducts (Trefoil)	In air, trefoil Exposed to solar radiation (%)	In air, flat Exposed to solar radiation (%)
400	4.39	7.52	0.0143	0.0616	0.040	638	668	694	705	577	544	658	669
500	4.39	8.12	0.0112	0.0488	0.040	719	761	803	812	635	590	749	759
630	4.38	8.79	0.0086	0.0389	0.045	803	863	917	922	690	633	839	846
800	4.39	9.80	0.0067	0.0317	0.050	885	967	1038	1036	740	672	929	932
1000	4.63	11.61	0.0054	0.0234	0.055	1013	1121	1233	1215	782	725	1040	1036
1200	4.75	12.88	0.0046	0.0204	0.055	1078	1200	1334	1307	813	747	1103	1093
1600	5.46	18.38	0.0034	0.0159	0.060	1192	1425	1517	1469	864	789	1213	1193
2000	5.28	19.86	0.0027	0.0133	0.065	1279	1555	1672	1603	902	819	1303	1276
2500	5.58	23.55	0.0022	0.0113	0.070	1362	1674	1827	1736	936	846	1390	1353

Η General Cable προσφέρει μερικές από τις πιο εξελιγμένες τεχνολογίες υψηλής τάσης στον κλάδο, σύμφωνα με αυστηρά πρότυπα κατασκευής. Γενικά, λαμβάνει υπόψη τις ακόλουθες παραμέτρους κατά το σχεδιασμό και την τοποθέτηση των καλωδίων (SILEC, 2013):

- Θερμομηχανική και δυναμική καταπόνηση κατά τη λειτουργία.
- Στεγανότητα. Είναι γνωστό ότι η εισροή νερού μπορεί να προκαλέσει βλάβες. Η αντοχή και η προστασία από εισροή στα καλώδια εξασφαλίζονται με σφραγισμένες συσκευές που συμμορφώνονται με τα πρότυπα IEC 62067. Αυτές οι συσκευές δοκιμάζονται διεξοδικά σε αναγνωρισμένα διεθνή εργαστήρια δοκιμών.
- Το πλήρες σύστημα συγκόλλησης συνδέσμων και τερματισμών ελέγχεται και εγκρίνεται σύμφωνα με σχετικές συστάσεις των διαχειριστών των δικτύων μεταφοράς.

2.4 ΤΕΧΝΙΚΗ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΚΑΛΩΔΙΩΝ ΥΨΗΛΗΣ-ΥΠΕΡΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ

2.4.1 ΤΕΧΝΙΚΑ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Υπάρχει περιορισμένος αριθμός κατασκευαστών καλωδίων σε όλο τον κόσμο, ειδικά για καλώδια υψηλών τάσεων που απαιτούνται από το National Grid. Οι τύποι καλωδίων που περιγράφονται παρακάτω περιλαμβάνουν και τις παλαιότερες τεχνολογίες ως αναδυόμενες.

Τύποι καλωδίων:

Καλώδια XLPE από 33kV έως 400kV

FFC από 33kV έως 400kV

PPL-FFC 275kV και 400kV

MHN έως 33kV

GIL

Οι νέες τεχνικές κατασκευής και εγκατάστασης περιλαμβάνουν (ICF, 2003):

- Μείωση των διαστάσεων και των βαρών των καλωδίων HV και EHV (ExtraHighVoltage) μέσω της χρήσης υλικών όπως πολυαιθυλένιο με σταυροειδείς δεσμούς (XLPE). Τέτοια καλώδια διαμορφώνονται σε μεγαλύτερα μήκη, με λιγότερες αρθρώσεις, σημαντική ευκολία εγκατάστασης και μείωση των χρόνων τοποθέτησης των καλωδιακών συστημάτων.
- Μηχανικές μεθόδους τοποθέτησης που αποφεύγουν εκτεταμένες ανασκαφές και μεταφορά υλικών.
- Μεθόδους εγκατάστασης των καλωδίων χωρίς "ατέλειες" που σέβονται τη διατήρηση των χαρακτηριστικών του περιβάλλοντος στο οποίο εισάγονται.

Υπάρχουν πολλές διαφορετικές διαθέσιμες μέθοδοι εγκατάστασης καλωδίων. Η κάθε χρησιμοποιούμενη μέθοδος εξαρτάται από μια σειρά παραγόντων συμπεριλαμβανομένης της χρήσης γης και των διαφορετικών περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών. Οι ποικίλες επιλογές περιγράφονται παρακάτω (NationalGrid, 2015).

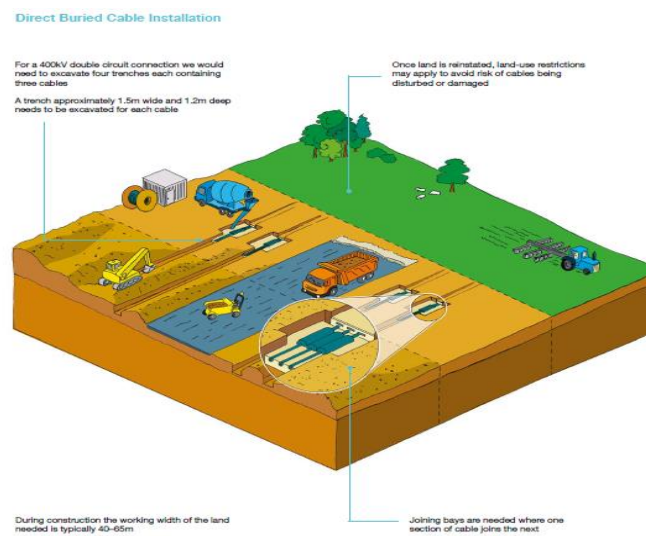
Τα άμεσα θαμμένα καλώδια αποτελούν την πιο παραδοσιακή μέθοδο εγκατάστασης καλωδίων υψηλής τάσης σε αστικές και αγροτικές περιοχές. Πρόκειται για την απευθείας ταφή με απαιτούμενο βάθος 1,2m. Μία θερμικά σταθερή απορροή τσιμεντοειδούς άμμου χρησιμοποιείται για να εξασφαλίσει μια τυπική θερμική

αγωγιμότητα γύρω από τα καλώδια προς διατήρηση της χωρητικότητας μεταφοράς ρεύματος. Συνήθως ένα μεγάλο καλώδιο μπορεί να έχει πλάτος έως 65m ανάλογα με το τον αριθμό των κυκλωμάτων και το μέγεθος του αγωγού εγκατάστασης. Οι κόμβοι αρμού είναι απαραίτητοι ανά διαστήματα περίπου 500-1.000m για να επιτρέψουν την σύνδεση των επιμέρους τμημάτων του καλωδίου (NationalGrid, 2015).

Η άμεση "ταφή" καλωδίων απαιτεί την εκσκαφή τάφρων στις οποίες έχουν εγκατασταθεί τα καλώδια σε ένα στρώμα επιλεγμένης άμμου ή τσιμεντοειδούς άμμου με τη χρήση βαρούλκων ή κυλίνδρων ισχύος. Ειδικά φύλλα ή ξυλεία χρησιμοποιείται για να υποστηρίξει τις πλευρές των τάφρων. Το κλείσιμο της εκσκαφής πραγματοποιείται με τη χρήση εγκεκριμένου υλικού πληρώσεως, που τοποθετείται απευθείας γύρω από τα καλώδια με προστατευτικά καλύμματα που τοποθετούνται πάνω από τα καλώδια στην εκσκαφή. Όλα τα υλικά πληρώσεως, όπως η τσιμεντοειδής άμμος / η ειδικά επιλεγμένη άμμος πρέπει να συμπιεστούν προσεκτικά γύρω από τα καλώδια, ώστε να μην υπάρχουν θύλακες αέρα. Η παρουσία τυχόν θυλάκων αέρα θα υποβαθμίσει την ποιότητα του καλωδιακού συστήματος. Διεξάγονται τακτικές δοκιμές κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας για να εξασφαλιστεί το σωστό επίπεδο και η επίτευξη της συμπίκνωσης. Υπάρχουν βέβαια ζητήματα ασφάλειας και περιβάλλοντος που συνδέονται με την εγκατάσταση της άμεσης ταφής καλωδίων. Αυτά περιλαμβάνουν τη διακοπή της κυκλοφορίας, τον υπερβολικό θόρυβο, τις δονήσεις, καθώς και την δημιουργία σκόνης. Απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στα φυτά που πρόκειται να καλλιεργηθούν στην περιοχή και τα επίπεδα της κυκλοφορίας που θα αναπτυχθούν. Η άμεση ταφή είναι συνήθως η φθηνότερη μέθοδος για την εγκατάσταση υπόγειων καλωδίων, όπου οι όποιοι περιορισμοί στη χρήση γης δεν δημιουργούν πρόβλημα. Όπου υπάρχει απαίτηση για διέλευση μεγάλων οδών ή μέσω αστικών περιοχών, το κόστος αυτού του τύπου διαμορφώνεται σε υψηλό επίπεδο, λόγω των μεγάλων εκσκαφών από την άποψη της διαχείρισης της κυκλοφορίας, την οικοδόμηση και τους νομικούς περιορισμούς. (NationalGrid, 2015)



Εικόνα 7. Άμεση εγκατάσταση καλωδίων σε μια αγροτική περιοχή
(NationalGrid, 2015)



Εικόνα 8. Εγκατάσταση άμεσου καλυμμένου καλωδίου
(NationalGrid, 2015)

Μια εναλλακτική, αλλά πιο ακριβή μέθοδος της άμεσης ταφής καλωδίων είναι η εγκατάσταση με αγωγούς. Το πλεονέκτημα μιας εγκατάστασης με αγωγούς είναι ότι οι αγωγοί μπορεί να εγκατασταθούν σε μικρότερα τμήματα κατά μήκος του δικτύου και η διαδρομή έτσι να αφήνει βραχύτερα τμήματα εκτεθειμένης τάφρου, ενώ περιορίζει τους κινδύνους και τη διατάραξη του κοινού. Τα περισσότερα καλωδιακά συστήματα έχουν ειδικά σχέδια καλωδίων και επομένως το καλώδιο μπορεί να κατασκευαστεί μόνο μόλις συμφωνηθεί η σύμβαση. Αυτό μπορεί να προκαλέσει μεγάλες καθυστερήσεις. Η εγκατάσταση αγωγών έχει το πλεονέκτημα της εξοικονόμησης του χρόνου εγκατάστασης (NationalGrid, 2015).

Μια άλλη μέθοδος είναι η διαμόρφωση επιφανειακών κοιλοτήτων. Πρόκειται για την τοποθέτηση σε γειωμένη επιφάνεια, την εκσκαφή χαντακιών και την κατασκευή

μιας βάσης από σκυρόδεμα στο κάτω μέρος της τάφρου προς στήριξη των κοιλοτήτων. Οι κοιλότητες τοποθετούνται σε βάθος έτσι ώστε μόνο το κάλυμμα να είναι ορατό. Τα καλώδια τοποθετούνται απευθείας μέσα στις κοιλότητες, οι οποίες καλύπτονται με καλύμματα οπλισμένου σκυροδέματος. Απαιτούμενη είναι η μηχανική προστασία των καλωδίων και των καλωδίων με βελτιωμένη θερμική αγωγιμότητα. Επί τέτοιων επιφανειών δεν είναι συνήθως κατάλληλες διαδρομές για κυκλοφορία βαρέων οχημάτων. Επομένως, το δίκτυο του National Grid κανονικά χρησιμοποιείται μόνο σε ασφαλείς περιοχές. Σε αγροτικές περιοχές, η άμεση ταφή καλωδίων είναι λιγότερο οπτικά παρεμβατική από αυτήν την επιλογή. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι σχετικά ελάχιστες και ενδέχεται να περιλαμβάνουν θόρυβο, σκόνη και περιορισμούς πρόσβασης κατά την κατασκευή ή και κατά τις επόμενες φάσεις συντήρησης. (NationalGrid, 2015)



Εικόνα 9. Εγκατεστημένα δίκτυα 275KV κατά μήκος πλωτών επιφανειών
(NationalGrid, 2015)

Τέλος, η εγκατάσταση σήραγγας χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό γενικά σε αστικές περιοχές. Η εκσκαφή και ο σχεδιασμός της σήραγγας εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το μέγεθος της σήραγγας που απαιτείται και τον τύπο του εδάφους στο οποίο πρόκειται να κατασκευασθεί. Οι σήραγγες είναι επενδεδυμένες με βιδωτά τμήματα και κατάλληλα σφραγισμένα. Απαιτούνται λεπτομερείς έρευνες των συνθηκών εδάφους για τον προσδιορισμό του καταλληλότερου σχεδιασμού. Το βάθος μιας σήραγγας είναι συνήθως γύρω στα 25-30m και διαθέτει κλίση 1:1.000 για την

ελεύθερη αποστράγγιση. Η κατασκευή σήραγγας απαιτεί μια σημαντική έκταση γης - περίπου 3.000sqm για διάμετρο 12m άξονα. Μια σήραγγα απαιτεί τουλάχιστον δύο διόδους για πρόσβαση προς συντήρηση και την εγκατάσταση των καλωδίων σε κάθε άκρο. Επιπλέον, σήραγγες μεγάλου μήκους απαιτούν επιθεώρηση και σημεία άμεσης πρόσβασης και εξόδου κατά μήκος της διαδρομής για να διασφαλιστεί η διαφυγή από τη σήραγγα εντός ασφαλών ορίων. (NationalGrid, 2015)

Μια σήραγγα με διάμετρο περίπου 4m θα ήταν απαιτούμενη για να παρασχεθεί επαρκές περιθώριο για 12 πυρήνες καλωδίων και υποδοχές σύνδεσης. Μέσα στη σήραγγα μπορεί να απαιτείται ένα όχημα που έχει πρόσβαση σε σιδηροτροχιές, ώστε να παρέχεται ασφαλής έξοδος κινδύνου και να επιτρέπεται η επιθεώρηση, συντήρηση και επισκευή. Επίσης παρέχεται ψύξη καλωδίων με αναγκαστική ψύξη του αέρα από ηλεκτρικούς ανεμιστήρες. Εάν είναι απαραίτητο, μπορεί να παρασχεθεί πρόσθετη ψύξη από ένα σύστημα ψύξης νερού. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης βαθιών σηράγγων είναι ότι οι υπόγειες παροχές όπως το νερό και το νερό αποχέτευσης δεν επηρεάζονται και μπορούν να γίνουν διασταυρώσεις με ποτάμια ή άλλα έργα. Επίσης, λόγω περιορισμένης επιφανειακής γης, η κανονική ανάπτυξη μιας σήραγγας μπορεί να γίνει στο επίπεδο του εδάφους και κατά μήκος της διαδρομής της σήραγγας να είναι δυνατή η διακοπή κατά τη διάρκεια κατασκευής και συντήρησης. Ωστόσο, αυτά συνεπάγονται σημαντικό κόστος σχετικό με τον προγραμματισμό, την απόκτηση γης και τον σχεδιασμό. Επιπλέον, στο αρχικό εργοτάξιο είναι πιθανό να δημιουργηθούν περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως π.χ. διακοπή της κυκλοφορίας, θόρυβος, κραδασμοί και σκόνη. (NationalGrid, 2015)



Εικόνα 10. Κτίριο επί της σήραγγας (NationalGrid, 2015)

Στο πλαίσιο των διαδικασιών κατασκευής σήραγγων, χρησιμοποιούνται προ-σχηματισμένα (προκατασκευασμένα) τμήματα σκυροδέματος, τα οποία τοποθετούνται σε μια προ-ανασκαμμένη βαθιά ανοικτή τάφρο. Το βάθος τοποθέτησης εξαρτάται από τις συνθήκες εδάφους και την προτεινόμενη μελλοντική χρήση της γης. Τα τμήματα της σήραγγας απαιτούν επίσης την κατασκευή ενός ειδικού κελύφους για την ορθή λειτουργία των ανεμιστήρων εξαερισμού για τον εξαναγκασμένο αέρα ψύξης και κυρίως τα σημεία εισόδου στις σήραγγες. Επιπλέον μπορεί επίσης να απαιτηθούν σημεία πρόσβασης/ εξόδου επί της γραμμής της σήραγγας ανάλογα με το μήκος της. Η σήραγγα πρέπει να είναι επαρκούς μεγέθους για να παρέχει επαρκή χώρο για την εγκατάσταση και τη λειτουργία των καλωδίων, τον εξαερισμό για την αφαίρεση της θερμότητας και την ασφαλή πρόσβαση για το προσωπικό κατά τη διάρκεια εργασιών εγκατάστασης και συντήρησης των καλωδίων. Η γη πάνω από τη σήραγγα μπορεί να αξιοποιηθεί με κάποιους όμως συγκεκριμένους περιορισμούς. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την κατασκευή μιας σήραγγας καλωδίων είναι σημαντικές. Περιλαμβάνουν θόρυβο, δονήσεις, οπτική όχληση, δημιουργία και εναπόθεση σκόνης λόγω της ανασκαφής των τάφρων κ.α.. (NationalGrid, 2015)



Εικόνα 11. Εγκατάσταση σήραγγας σε περιοχή της κεντρικής Ευρώπης
(NationalGrid, 2015)

2.4.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΟΡΥΓΜΑΤΩΝ

Κατά την κατασκευή ενός έργου που αφορά την χάραξη και υλοποίηση υπόγειων δικτύων για τοποθέτηση υπόγειων καλωδίων ρεύματος, είναι απαραίτητος ο έλεγχος - η διασφάλιση της ευστάθειας των ορυγμάτων/ πρανών και η αντιμετώπιση τυχόν ζητημάτων κατολίσθησης.

Είναι απαραίτητο κατά τη μελέτη της χάραξης να έχουν ληφθεί σχετικές πληροφορίες (δεδομένα) που αφορούν: τον τύπο του εδάφους που θα διανοιχθεί, τη δομή του εδάφους, τις υψομετρικές διαφορές και κλίσεις του υφιστάμενου εδάφους, στοιχεία του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, τη χωροθέτηση άλλων πλησιέστερων τεχνικών έργων κ.α.. Είναι απαραίτητη η διεξαγωγή αναλύσεων για πιθανές κατολισθήσεις- καταπτώσεις που πιθανόν να επηρεάσουν το υπό κατασκευή δίκτυο, καθώς και ο έλεγχος κατολισθητικών φαινομένων στη ζώνη κατασκευής του έργου.

Οι κατολισθήσεις συνοδεύονται πάντα από μετακίνηση υλικού και κατά μεγάλο ποσοστό είναι αιφνίδιες. Αν πραγματοποιηθούν κατά τη διάρκεια της κατασκευής του έργου και της τοποθέτησης των καλωδίων είναι δυνατό να προκαλέσουν τοπικές ζημιές, που ακολούθως θα επιφέρουν αύξηση του κόστους κατασκευής (λόγω επιδιόρθωσης των φθορών).

Αν οι κατολισθήσεις συμβούν μετά την κατασκευή του έργου, τότε ακόμη και η ισορροπία του κατολισθέντος υλικού επί του εδάφους κάτω από το οποίο υφίστανται τα καλώδια, χρειάζεται επί μέρους εξέταση. Το νέο υλικό πλέον έχει υψηλή ευαισθησία και αστάθεια και είναι δυνατό να οδηγήσει και σε νέα φαινόμενα κατολίσθησης, που μπορεί να επηρεάσουν ακόμη και το έδαφος που καλύπτει τα υπόγεια καλώδια.

Όταν πλησίον της θέσης της χάραξης του δικτύου υφίστανται εδάφη μεγάλων κλίσεων είναι απαραίτητη η λήψη μέτρων αντιστήριξης, ώστε να μην επηρεαστεί το κατασκευαζόμενο δίκτυο από φαινόμενα καταπτώσεων, κατολισθήσεων κ.α..

2.4.3 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Ο εξοπλισμός μεταφοράς υψηλής τάσης μεταφέρει ηλεκτρική ενέργεια σε μεγάλες αποστάσεις από το σημείο δημιουργίας σε υποδεέστερα δίκτυα διανομής. Η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται είτε με εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) είτε με συνεχές ρεύμα (DC) μέσω γραμμών μεταφοράς ή καλωδίων σε ένα εύρος τάσης. Στην

Ευρώπη, τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούνται βασικά από τέσσερις ομάδες επιπέδων τάσης:

- Υψηλή τάση: 750kV (υποθαλάσσια καλώδια), 400kV (πρότυπο στο Nordel, Ηνωμένο Βασίλειο και Ιρλανδία), 380kV (πρότυπο στα περισσότερα UCTE), 220kV έως 300kV (μη τυποποιημένο).
- Υψηλή τάση 60kV έως 150kV.
- Μέση τάση από 10kV έως 50kV.
- Χαμηλή τάση 0.2kV έως 0.4kV.

Στις περισσότερες χώρες, το δίκτυο EHV ορίζεται ως το δίκτυο μετάδοσης με τα άλλα επίπεδα τάσης που ορίζονται ως δίκτυα διανομής. Ορισμένες χώρες όπως η Γαλλία και το Βέλγιο περιλαμβάνουν το δίκτυο HV ως μετάδοση. Το μεγαλύτερο μέρος του ηλεκτρικού συστήματος στην Ευρώπη είναι AC αν και χρησιμοποιείται DC για τη μετάδοση ηλεκτρισμού σε μεγάλες αποστάσεις ή συστήματα σύνδεσης με διαφορετικές λειτουργικές συχνότητες (π.χ. Nordel - UCTE). Κάτω από το AC, η ηλεκτρική ενέργεια μεταδίδεται συνήθως μέσω τριών ενεργών αγωγών. Το DC γενικά περιλαμβάνει έναν αγωγό και μεγάλοι σταθμοί μετατροπής πρέπει να ανεγερθούν σε κάθε άκρο της γραμμής για να μετατρέψουν το ηλεκτρικό ρεύμα στο AC. (ICF, 2003)

3.1 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Οι κύριοι παράγοντες που καθορίζουν τον σχεδιασμό των γραμμών μεταφοράς και τα υπόγεια καλώδια είναι η απαίτηση ισχύος του κυκλώματος και το μήκος. Αυτά, με τη σειρά τους, καθορίζουν την πιο οικονομική επιλογή λειτουργίας αναφορικά με την τάση και το κόστος εγκατάστασης. (ICF, 2003)

Το κόστος μονάδας του υποθαλάσσιου δικτύου καλωδίων είναι πολύ μικρότερο από το χερσαίο δίκτυο καλωδίων, επειδή το υποθαλάσσιο καλώδιο μπορεί να μεταφερθεί από το εργοστάσιο στο εργοτάξιο και στη συνέχεια να τοποθετηθεί από ένα πλοίο σε πολύ μεγάλα κατασκευασμένα μήκη. Αυτό μειώνει τον αριθμό των αρθρώσεων που απαιτούνται και αποφεύγει την ένταση εργασίας της εγκατάστασης καλωδίων εδάφους. Επίσης, το καλώδιο μπορεί να είναι μικρότερο σε μέγεθος, καθώς η απορρόφηση της θερμότητας είναι αποτελεσματικότερη στον βυθό της θάλασσας

παρά στην γη. Οι πραγματικές δαπάνες ποικίλλουν από έργο σε έργο και το πραγματικό κόστος της αγοράς μπορεί μόνο να καθοριστεί μέσω των ανταγωνιστικών προσφορών. Οι τιμές εξαρτώνται από παράγοντες όπως οι τιμές των μετάλλων, η παγκόσμια ζήτηση και η διαθέσιμη παραγωγική ικανότητα. Γενικά η ευρωπαϊκή αγορά καλωδίων μεταφοράς είναι μικρή και εξειδικευμένη με τρεις κύριους φορείς (Pirelli, Nexans και ABB) που ελέγχουν το μεγαλύτερο μέρος της αγοράς καλωδίων μεταφοράς. Δεν υπήρξε σημαντική επέκταση στα ευρωπαϊκά δίκτυα μεταφοράς τα τελευταία χρόνια (το συνολικό δίκτυο αυξήθηκε μόνο κατά περίπου 3% τα τελευταία πέντε χρόνια) και ως αποτέλεσμα είναι η πλεονάζουσα παραγωγική ικανότητα (εκτιμάται ότι είναι διπλάσια από την τρέχουσα ζήτηση) να οδηγήσει σε πτώση των τιμών των καλωδίων και κλείσιμο των εγκαταστάσεων παραγωγής σε Βερολίνο, Calais και Erith (HB). (ICF, 2003)

Ορισμένες εταιρείες μεταφοράς, ρυθμιστές ηλεκτρικής ενέργειας και προμηθευτές στην Ευρώπη έχουν παράσχει ωστόσο εκτιμήσεις για το κόστος κατασκευής των υπόγειων δικτύων καλωδίων σε σύγκριση με τις εναέριες γραμμές (Πίνακας 6). Οι εκτιμήσεις κόστους για μια γραμμή 400kV για καλώδιο γης AC ποικίλλουν σημαντικά, αλλά γενικά οι διαφορές έχουν μειωθεί σε σχέση με αυτές που ίσχυαν πριν από μερικά χρόνια. Στη Γαλλία, για παράδειγμα, η RTE έχει μειώσει τις εκτιμήσεις της για καλώδια 400kV από 20 φορές ως προς το κόστος των εναέριων γραμμών σε 10-12 φορές τα τελευταία δύο χρόνια. Αυτό οφείλεται στην αυξημένη έρευνα και ανάπτυξη της οικονομικής ζωής των καλωδίων, της τοποθέτησής τους σε μειωμένα βάθη και των τεχνολογικών εξελίξεων στο σχεδιασμό των καλωδίων. (ICF, 2003)

Πίνακας 6. Κόστος κατασκευής των υπόγειων δικτύων καλωδίων (ICF, 2003)

	380/400kV Cables:lines multiplier	150/220kV Cables:lines multiplier	Source
Austria	8	-	Verbund APG Styria link
Denmark	Euro 2.5/km	4.0	Eltra/Elkraft
ETSO	Euro 5m/km more than lines	-	ETSO
Finland	3.5 (sea cable)	-	Fingrid
France-rural	>10	2.2-3	RTE-Piketty Report
France-urban	10-12	1.6-2	RTE
Ireland	-	7.7	ESB National Grid
Italy	8	5	Terna
Norway	6.5	4.5	Statnett
Spain	25	-	REE
UK	15-25	n/a	National Grid

Σε σημαντικό επίπεδο κυμαίνονται και τα έξοδα συντήρησης των υπόγειων καλωδίων. Η αξιοπιστία των καλωδίων επηρεάζεται συχνά από την πρόωρη γήρανση των εξαρτημάτων τους και ο χρόνος που το δίκτυο μένει εκτός λειτουργίας όταν πραγματοποιούνται επισκευές. Η εμπειρία των γραμμών υψηλής τάσης σε ολόκληρη την Ευρώπη έχει αποδείξει ότι οι πυλώνες έχουν διάρκεια ζωής 50-60 έτη και για την αντικατάσταση και επιδιόρθωση αυτών και των εξαρτημάτων τους απαιτούνται συνολικά διαστήματα περίπου 30 ετών. Γενικά, τα καλώδια μετάδοσης έχουν υπολογιζόμενη διάρκεια ζωής 40 έτη, αλλά η εμπειρία στο Ηνωμένο Βασίλειο αποδεικνύει ότι ορισμένα καλώδια γεμάτα με πετρέλαιο "γερνούν" πρόωρα και πρέπει να αντικατασταθούν με σημαντικό κόστος. Τα RTE έχουν επίσης υποστεί προβλήματα συντήρησης με καλωδιακά συστήματα, αλλά κυρίως οι αρθρώσεις και ο εξοπλισμός που συνδέει το καλώδιο και την εναέρια γραμμή. Οι εξελίξεις στην τεχνολογία (όπως η χρήση αλουμινένιων περιβλημάτων αντί του χαλκού) αναμένεται να επιλύσουν μερικά σημαντικά ζητήματα. (NationalGrid, 2015)

3.1.1 ΠΟΛΙΤΙΚΑ- ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΑ ΖΗΤΗΜΑΤΑ

Υπάρχουν πολιτικά ή κανονιστικά ζητήματα που σχετίζονται ειδικά με την κατασκευή εναέριων γραμμών ή υπόγειων καλωδίων.

Το Βέλγιο έχει απαγόρευση για την κατασκευή νέων εναέριων γραμμών και στη Γαλλία έχει πραγματοποιηθεί μια συμφωνία μεταξύ κυβέρνησης και βιομηχανίας σχετικά με πολιτικές και στόχους για τα υπόγεια καλώδια. Σε άλλες χώρες, όπως η Ελβετία, η διαδικασία έγκρισης είναι δύσκολη και χρονοβόρα, καθώς η κυβέρνηση μπορεί να παραπέμψει σημαντικά έργα υποδομής σε δημόσια διαβούλευση. Η έγκριση για την κατασκευή γραμμών υψηλής τάσης συνήθως απαιτεί έγκριση σε ομοσπονδιακό επίπεδο. Μπορεί επίσης να απαιτούνται άδειες και εγκρίσεις σε επίπεδο τοπικής αυτοδιοίκησης. Αυτή η διαδικασία μπορεί να είναι πολύ χρονοβόρα (πάνω από 10 έτη σε ορισμένες περιπτώσεις). (ICF, 2003)

Εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης, τα κράτη μέλη εφαρμόζουν την Οδηγία για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Αυτό απαιτεί να εκπονηθεί Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων για όλες τις γραμμές ισχύος με τάση άνω των 220kV και 15km σε μήκος. Ορισμένα κράτη μέλη έχουν θέσει χαμηλότερα όρια. Στην Ιταλία, για παράδειγμα, μια ΜΠΕ είναι υποχρεωτική για όλες τις γραμμές άνω των

150kV και περισσότερο από 15km. Σε περιφερειακό επίπεδο απαιτείται ΜΠΕ για όλες τις γραμμές άνω των 100kV και άνω των 10km. Επιπλέον, πραγματοποιείται μια διαδικασία διαλογής για προτεινόμενες γραμμές μεταξύ 3 και 10 km. Προτάσεις για την ανέγερση γραμμών σε περιβαλλοντικά ευαίσθητες περιοχές ή σε μεγάλο βαθμό κατοικημένων περιοχών απαιτούν ΜΠΕ. (ICF, 2003)

3.1.2 ΟΦΕΛΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Στον ακόλουθο πίνακα 7 παραθέτονται τα βασικά οφέλη των υπόγειων δικτύων καλωδίων (σε όλα τα επίπεδα τάσεων) και το επίπεδο στο οποίο το μεγαλύτερο μέρος του κάθε οφέλους θα συγκεντρωθεί.

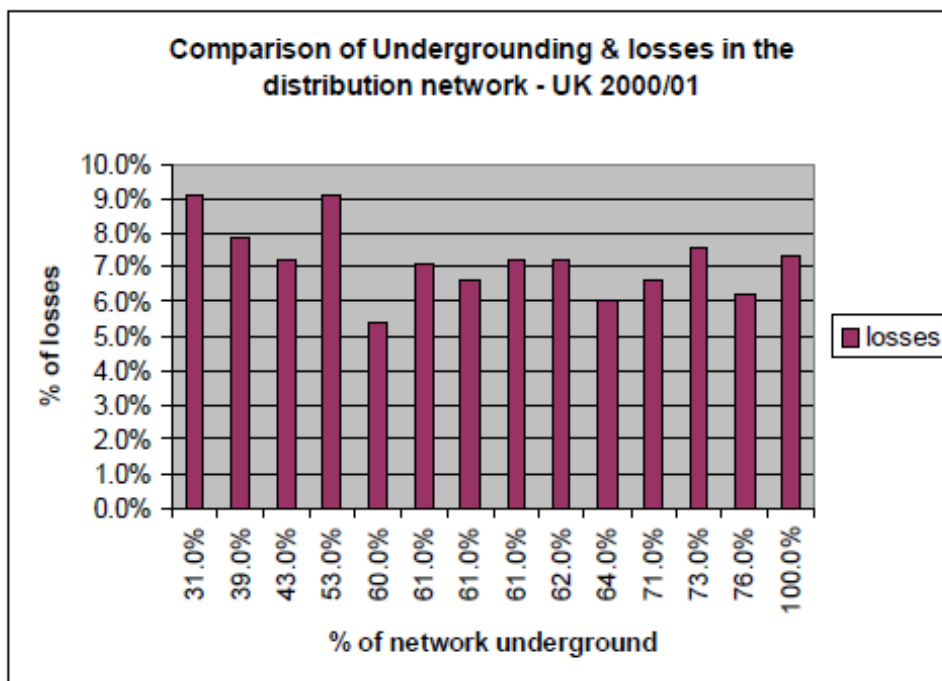
Πίνακας 7. Οφέλη των υπόγειων δικτύων (ICF, 2003)

Benefit type	Beneficiaries			
	Utilities	Customers	Local residents	Wider community
Reduced transmission losses	✓			✓
Lower maintenance costs	✓			
Improved electricity service reliability		✓		
Reduced weather damage	✓	✓		✓
Reduced accidents (inc wildlife electrocutions)			✓	✓
Improved views/property values			✓	
Health & Environment (e.g. noise, EMFs, vegetation management)			✓	✓

Οι απώλειες μετάδοσης είναι επίσης ένα σημαντικό ζήτημα. Σύμφωνα με στοιχεία που δημοσίευσε ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας, οι απώλειες μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας στην ΕΕ είναι σημαντικές. Ειδικότερα στη Νορβηγία και την Ελβετία το 2000 κυμαίνονταν μεταξύ 3,7 και 10,6% (ο μέσος όρος της Ευρωπαϊκής Ένωσης ήταν 7,3 τοις εκατό). Αν και οι απώλειες μετάδοσης είναι

γενικά χαμηλότερες στα υπόγεια καλώδια από ότι στις εναέριες γραμμές, οι περισσότερες απώλειες στην πραγματικότητα συμβαίνουν εντός της χαμηλότερης τάσης των δικτύων διανομής. Στην Αγγλία και την Ουαλία, για παράδειγμα, περίπου 2% της ηλεκτρικής ενέργειας χάνεται κατά τη μετάδοση υψηλής τάσης σε σύγκριση με το 7% στο δίκτυο διανομής χαμηλής / μέσης τάσης. Στις Κάτω Χώρες, όπου οι απώλειες μετάδοσης είναι χαμηλότερες, περίπου 0,8% της ηλεκτρικής ενέργειας χάνεται στη μετάδοση και 3,9% στο δίκτυο διανομής. Οι λόγοι για τα υψηλά επίπεδα απωλειών οφείλονται σε ένα συνδυασμό παραγόντων (ICF, 2003):

- Σε χαμηλότερες τάσεις απαιτείται υψηλότερο ρεύμα για τη διανομή ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας.
- Ο μετασχηματισμός σε χαμηλότερες τάσεις μπορεί να συμβεί σε πολλά σημεία του δικτύου (δηλαδή από 132kV - 110kV - 66kV - 33kV - 11kV) και σε καθεμία από αυτές τις περιπτώσεις υπάρχουν απώλειες.
- Μη τεχνικές απώλειες, όπως σφάλματα μετρητών, απεριόριστη προσφορά και παράνομη άντληση / κλοπή.



Εικόνα 12. Σύγκριση απωλειών δικτύου
(ICF, 2003)

3.1.3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΥΡΩΠΑΪΚΩΝ ΧΩΡΩΝ

Το ισπανικό δίκτυο έχει επεκταθεί ταχύτατα τα τελευταία χρόνια. Η RedElectrica de Espana (REE) διαθέτει σήμερα περίπου 1.800km κατασκευασμένων γραμμών 400kV. Όπως και με την Πορτογαλία, η χρήση των καλωδίων ως εναλλακτική λύση δεν ήταν ένα σημαντικό θέμα, αν και, όπως και αλλού στην ΕΕ, όλες οι νέες HV γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος με μήκος μεγαλύτερο από 15km πρέπει να έχουν ΕΙΑ. Η κατασκευή νέων εναέριων γραμμών έχει συναντήσει ισχυρή αντίδραση στην Ισπανία, αλλά σύμφωνα με την REE, η τοπική κοινότητα στην Tarifa αντιτάχθηκε επίσης στην υπόγεια καλωδιακή σύνδεση με το Μαρόκο. Η Ισπανία χρηματοδοτεί γενικά την έρευνα για την υπεραγωγιμότητα και εξετάζει προσεκτικά στις εξελίξεις στην GIL, η οποία θεωρήθηκε για τα 400kV υπόγειου έργου στο αεροδρόμιο της Μαδρίτης. (ICF, 2003)

Στη Νορβηγία, κατά τα τελευταία δέκα χρόνια, η Statnett δεν έχει επενδύσει σημαντικά στη νέα δύναμη των υπόγειων γραμμών (καλωδίων), με εξαίρεση ένα υποθαλάσσιο καλώδιο μεταξύ Νορβηγίας και Δανίας (Skagerrak). Οι προγραμματισμένες επενδύσεις εντός της Νορβηγίας περιλαμβάνουν την τοποθέτηση μιας γραμμής 130km 300kV μεταξύ Kjaebu και Sunndalsøra. Το Statnett επίσης σχεδιάζει την ανάπτυξη νέων καλωδιακών συνδέσεων με την Ολλανδία (NorNed) και το Ηνωμένο Βασίλειο (διασύνδεση της Βόρειας Θάλασσας).

Η μακροπρόθεσμη στρατηγική αποσκοπεί στην επέκταση του δικτύου μεταφοράς στο Βέλγιο. Η Νορβηγία υποστηρίζει γενικά την κατασκευή νέων γραμμών στα 420kV, αλλά και την ανακατασκευή υφιστάμενων 300kV γραμμών έως 420kV συμπεριλαμβανομένης της ενίσχυσης των πυλώνων. Δεν υπάρχει σχέδιο και υψηλό ενδιαφέρον για υπόγεια καλώδια. (ICF, 2003)



Εικόνα 13. Υπόγεια δίκτυα, (NationalGrid 2015)

Στην Ολλανδία το μήκος του κυκλώματος των 380kV στις Κάτω Χώρες είναι περίπου 2.000km. Είναι όλες εναέριες γραμμές εκτός από μερικά καλώδια κοντά σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και σε βιομηχανικές χώρες. Υπάρχουν πάνω από 220km υπόγειου καλωδίου στα 150kV. Γενικά έχουν υπάρξει μόνο ελάχιστες επενδύσεις στην επέκταση των δικτύων τα τελευταία χρόνια, εν μέρει λόγω των δυσκολιών που προκύπτουν από τον προγραμματισμό και την έγκριση των νέων γραμμών μεταφοράς. Η Tennet και η National Grid του Ηνωμένου Βασιλείου έχουν δημιουργήσει μια κοινοπραξία (BritNed) για να αξιολογηθεί η σκοπιμότητα κατασκευής καλωδίων συνεχούς ρεύματος 1,320MW μεταξύ Κάτω Χωρών και Ηνωμένου Βασιλείου. (ICF, 2003)

Το δίκτυο μεταφοράς της Ελλάδας αποτελείται από περίπου 11.000km ηλεκτρικών γραμμών και μέχρι πρόσφατα λειτουργήσε μεμονωμένο σύστημα από το δυτικοευρωπαϊκό δίκτυο. Το διασυνδεδεμένο ηπειρωτικό σύστημα μετάδοσης αποτελείται από 400kV, 150kV και 66kV και συνδέεται με τη γειτονική Αλβανία και την Βουλγαρία. Γενικά κρίνεται αξιόλογο το δυναμικό των υπογείων δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη και την πρώην Γιουγκοσλαβία μέσω γραμμών 400kV και 150kV. Υπάρχει ένα νέο DC 400kV (Galatina-Arachthos) που συνδέει την Ελλάδα με την Ιταλία. (ICF, 2003)

Αναφορικά με την Γερμανία, η δομή της γερμανικής βιομηχανίας ηλεκτρικής ενέργειας είναι πολύπλοκη με πάνω από 900 εταιρείες ηλεκτρικής ενέργειας, πολλές από τις οποίες είναι μικρές εταιρείες κοινής ωφέλειας. Το δίκτυο υψηλής τάσης ανήκει πλέον σε τέσσερις μεγάλες ολοκληρωμένες εταιρείες - E.ON Netz, RWE Net, EnBW Transportnetze, οι οποίες είναι θυγατρικές τριών μεγαλύτερων. Υπάρχουν περίπου 35km θαμμένα (220kV και 62km 380 / 400kV) υπόγεια καλώδια κυρίως σε πυκνοκατοικημένα κέντρα όπως το Βερολίνο. Η έγκριση για νέα έργα μεταφοράς διαβιβάζεται στο πλαίσιο του Planning Act 1990. Αυτό ορίζει τις διαδικασίες προγραμματισμού που πρέπει να υιοθετηθούν για την κατασκευή καλωδιώσεων άνω των 110kV. Οι διαδικασίες αυτές καθορίζουν την προετοιμασία των εγγράφων σχεδιασμού και την συμμετοχή των εμπλεκόμενων δήμων. Η έκδοση σχετικής άδειας δεν είναι τόσο αυστηρή όσο σε κάποια άλλα κράτη μέλη της ΕΕ. Μια εφαρμογή σχεδιασμού για την κατασκευή ενός πυλώνα υψηλής τάσης απλά πρέπει να υποβληθεί περίπου 14 ημέρες πριν από την έναρξη της κατασκευής. Πολλές γραμμές και καλώδια βρίσκονται κοντά σε σιδηροδρομικές γραμμές και αυτοκινητόδρομους. (ICF, 2003)

Στην Γαλλία η RTE (Δίκτυο Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας) εκμεταλλεύεται δύο υποσυστήματα: ένα κύριο δίκτυο μετάδοσης και διασύνδεσης των 400kV το οποίο είναι που χρησιμοποιείται για ανταλλαγές ενέργειας μεταξύ των γαλλικών περιφερειών και άλλων χωρών, και ένα περιφερειακό δίκτυο υπο-μεταφοράς με τρία επίπεδα τάσης: 225kV, 90kV και 63kV. Περίπου το 3% των δικτύων 63/ 90kV και 225kV κατασκευάζεται υπόγεια κυρίως σε αστικά κέντρα. Το 1997, υπογράφηκε συμφωνία βάσει της οποίας η EDF θα κατασκευάζει υπόγεια το 20% όλων των νέων γραμμών υψηλής τάσης. Η RTE δηλώνει ότι αυτό επιτεύχθηκε το 1998, όταν το ένα τέταρτο όλων των νέων γραμμών HV (δηλαδή 63kV - 150kV) τέθηκαν υπόγεια. Συμφωνήθηκε επίσης ότι δεν θα υπάρξει αύξηση του συνολικού μήκους του δικτύου εναέριας γραμμής. Προτεραιότητα δίνεται στις επενδύσεις σε αστικές περιοχές, όπου οι τάσεις είναι χαμηλότερες, αν και η Γαλλία είναι μία από τις πιο προηγμένες χώρες που υποστηρίζει υπόγειες γραμμές μεταξύ 150kV και 230kV. Τα μεγάλα προτεινόμενα έργα απαιτούν έγκριση από την Εθνική Επιτροπή συν την αποδοχή από τις τοπικές αρχές. Η διαδικασία έγκρισης διαρκεί συνήθως τουλάχιστον πέντε έτη. Η Γαλλία χρησιμοποιεί τεχνολογία XLPE σε χαμηλότερες τάσεις από τη δεκαετία του 1970 και έχει χτίσει ένα μικρό (300 μέτρα) GIL. Υπάρχουν βέβαια ορισμένες ανησυχίες στη Γαλλία σχετικά με τη μελλοντική χρήση του GIL, κυρίως στη χρήση του SF₆, το οποίο αποτελεί παράγοντα που συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. (ICF, 2003)

Το ιταλικό δίκτυο αποτελείται από 9,761km Γραμμές 380kV, 12,557km 220kV γραμμές και 20.332km γραμμές 150/ 132kV. Υπάρχει σύνδεση 380kV AC στη Σικελία με την ηπειρωτική Ιταλία (και υπάρχουν σχέδια για διπλασιασμό της χωρητικότητας) και 44km χερσαίων καλωδίων DC που αποτελούν μέρος του θαλάσσιου καλωδιακού συνδέσμου με την Ελλάδα. Η σύνδεση μεταξύ του Otranto (It) και του Αετού (Gr) απαιτούσε την τοποθέτηση 163km υποβρύχιου καλωδίου, το οποίο για μεγάλο τμήμα του μήκους του βρίσκεται σε βάθος περίπου 1.000m.(ICF, 2003)

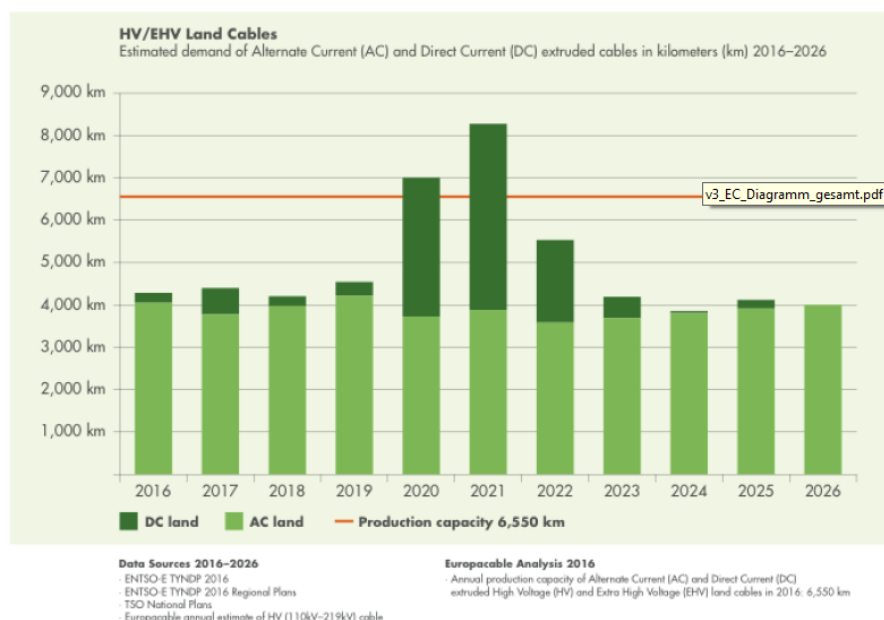
Το σχέδιο αυτό στην Ιταλία έχει σχεδιαστεί για να διευκολύνει τον διπλασιασμό της δυναμικότητας μεταφοράς στα επόμενα χρόνια. Μια έκθεση που καταρτίστηκε τον Ιούλιο του 2000 από την Terna και τη ΔΕΗ για την κατασκευή του HVDC, έδειξε ότι το συνολικό κόστος των 207km θαλάσσιων και χερσαίων καλωδίων έφτασε τα 137,5 εκατ. €. Οι σταθμοί μετατροπής είχαν ένα κόστος περίπου 40 εκατ. € ο καθένας. Υπάρχουν επίσης υποπολλαπλασιαστικά καλώδια DC 200kV που συνδέουν

την Κορσική με τη Σαρδηνία και την Ιταλία με την Κορσική. Υπάρχουν σχέδια για την οικοδόμηση μιας άμεσης σύνδεσης μεταξύ Ιταλίας και Σαρδηνίας και διεξάγεται σχετική μελέτη σκοπιμότητας. Στα 220kV υπάρχουν υπόγεια καλώδια σε αστικά κέντρα, όπως τη Ρώμη, τη Νάπολη και το Τορίνο. (ICF, 2003)

Η υπόγεια καλωδίωση διαμόρφωσε επίσης μια σημαντική λύση που οδεύει προς ολοκλήρωση στη γραμμή των 207km 380kV μεταξύ Santa Sofia και Matera. Το έργο ξεκίνησε το 1992 αλλά η συνέχεια του ανεστάλη από την περιφερειακή αρχή λόγω του οι προγραμματισμένες αλλαγές στη γραμμή δεν είχαν εγκριθεί. Όταν ολοκληρωθεί η γραμμή θα συνδεθεί με τη γραμμή διασύνδεσης Ιταλίας - Ελλάδα. Άλλες σχεδιαζόμενες επενδύσεις περιλαμβάνουν μια γραμμή 40km380kV που συνδέει τη Ρεϋπύγου για και την Udine. Αυτή θα συνδεθεί με το σχεδιαζόμενο Cordignano - Lienz. Υπάρχουν επίσης σχέδια για την κατασκευή 215km 380kV γραμμής μεταξύ της Rizziconi και της Laino στη νότια Ιταλία για την ενίσχυση του δικτύου μεταξύ της Σικελίας και της Καλαβρίας. (ICF, 2003)

Στην ακόλουθη εικόνα 14 παραθέτονται αριθμητικά δεδομένα που προέρχονται από σχετική ανάλυση για τις απαιτήσεις και την μεταφορά υψηλής τάσης ρεύματος με καλώδια το χρονικό διάστημα 2016-2026.

Europacable analysis of estimated demand and supply of HV/EHV transmission cables in Europe 2016-2026



Εικόνα 14. Αποτελέσματα ευρωπαϊκής ανάλυσης για το διάστημα 2016-2026 (Volker, 2017)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : ΓΕΩΚΙΝΔΥΝΟΙ

Γενικά Στοιχεία

Γεωλογικά φαινόμενα όπως οι σεισμοί, οι πλημμύρες, οι κατολισθήσεις, οι ηφαιστειακές εκρήξεις κτλ. συμβαίνουν σαν συνέπεια των φυσικών διεργασιών του ενεργού πλανήτη μας. Στην περίπτωση όμως που τα φαινόμενα αυτά ενδέχεται να προκαλέσουν δυσμενείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη ζωή και δραστηριότητα χαρακτηρίζονται ως γεωλογικοί κίνδυνοι (geohazards).

Η πιθανότητα εκδήλωσης ενός γεωλογικού κινδύνου δεδομένου μεγέθους, δηλαδή του ποσού της ενέργειας που απελευθερώνεται κατά τη δράση του, εξαρτάται από το αίτιο που τον προκαλεί και την επιδεκτικότητα της περιοχής που πλήττεται. Επιπλέον, κάποιοι γεωλογικοί κίνδυνοι, όπως οι κατολισθήσεις, οι εδαφικές καθιζήσεις, οι ρευστοποιήσεις είναι τοπικής κλίμακας ενώ οι σεισμοί, οι πλημμύρες, οι ηφαιστειακές εκρήξεις μπορεί να επηρεάσουν πολύ μεγάλες γεωγραφικά περιοχές.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας γίνεται αναφορά στους γεωκινδύνους εκείνους που σχετίζονται με την ευρύτερη περιοχή μελέτης (Βόρεια Πελοπόννησος) και συγκεκριμένα με τη σεισμικότητα, τις ρευστοποιήσεις, την αστάθεια των πρανών και την καρστική γεωμορφολογία, ως κίνδυνος πρόκλησης καθιζήσεων/καταπτώσεων.

Σεισμικότητα -Σεισμικό ρήγμα

Στο φλοιό της γης, τα πετρώματα βρίσκονται υπό την επίδραση τάσεων που συντελούν στην ελαστική τους παραμόρφωση. Όταν το ποσό της δυναμικής ενέργειας που συσσωρεύεται σε ένα δεδομένο σημείο του υπεδάφους υπερβεί κάποια συγκεκριμένη τιμή τότε προκαλείται στιγμιαία θραύση του πετρώματος. Η θραύση δημιουργεί μία ρηξιγενή επιφάνεια εκατέρωθεν της οποίας κινούνται τα δύο τεμάχια του διαρρηγμένου πετρώματος. Αυτή η επιφάνεια ονομάζεται σεισμικό ρήγμα. Ένα μέρος της δυναμικής ενέργειας μετατρέπεται σε κινητική, θέτοντας το πέτρωμα σε ταλάντωση και εκλύεται υπό μορφή σεισμικών κυμάτων διαμέσου του υπεδάφους προς όλες τις κατευθύνσεις.



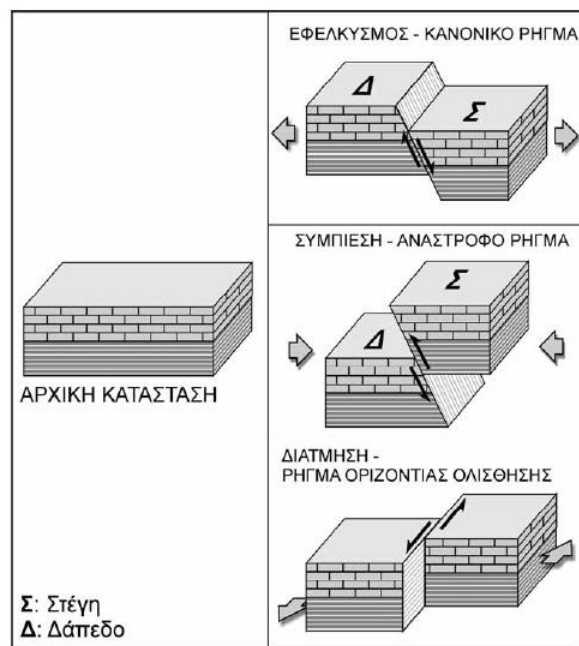
Εικόνα 15. Κατασκευή φράγματος πάνω σε ενεργό σεισμικό ρήγμα στις Σκουριές,
(Παπαζάχος 2016)

Ταξινόμηση ρηγμάτων

Η κατάταξη των ρηγμάτων γίνεται σύμφωνα με το εντατικό πεδίο, το οποίο ήταν υπεύθυνο για τη δημιουργία τους και το είδος της κίνησης των τεμαχών. Έτσι, σύμφωνα με αυτή την ταξινόμηση τα ρήγματα διακρίνονται σε:

- **Κανονικά ρήγματα ή ρήγματα βαρύτητας**, τα οποία είναι αποτέλεσμα εφελκυστικών τάσεων και χαρακτηρίζονται από το ότι το ένα τέμαχος που βρίσκεται επάνω από το άλλο («στέγη» του ρήματος) έχει υποχωρήσει σε σχέση με το άλλο τέμαχος («δάπεδο» ρήματος), ώστε προκαλείται αύξηση χώρου.
- **Ανάστροφα ρήγματα**, δημιουργούνται κατά τη διάρκεια συμπιεστικών τάσεων και χαρακτηρίζονται από το ότι η «στέγη» του ρήματος έχει ανέλθει σε σχέση με το «δάπεδο», ώστε προκαλείται σμίκρυνση χώρου.
- **Οριζόντιας ολίσθησης ρήγματα**, σχηματίζονται από διατμητικές τάσεις που προκαλούν πλευρική κίνηση των δύο τεμαχών σε κατακόρυφη επιφάνεια ολίσθησης.

- **Ρήγματα σύνθετης κίνησης**, τα οποία μπορεί να είναι πλαγιοκανονικά και πλαγιοανάστροφα.



Εικόνα 16. Κατάταξη των ρηγμάτων σύμφωνα με το εντατικό πεδίο (Παπανικολάου & Σίδερης, 2006).

Μια επιπλέον κατάταξη των ρηγμάτων γίνεται σύμφωνα με τη δραστηριοποίησή τους. Έτσι τα ρήγματα διακρίνονται καταρχήν σε:

- **Ενεργά ρήγματα**, τα οποία έχουν δράσει από το Ανώτερο Πλειστόκαινο (περίπου 500.000 χρόνια) έως σήμερα και δεν αποκλείεται επαναδραστηριοποίησή τους στο άμεσο ή απώτερο μέλλον.
- **Ανενεργά ρήγματα**, χαρακτηρίζονται αυτά που έχουν αμελητέα πιθανότητα ενεργοποίησης στο απώτερο μέλλον.

Σεισμοί

Σεισμός είναι η απότομη κίνηση ενός τμήματος του φλοιού της γης, η οποία συνοδεύεται από απότομη έκλυση ενέργειας. Στην εστία του σεισμού λαμβάνει χώρα η διάρρηξη των πετρωμάτων, και τα ελαστικά σεισμικά κύματα που δημιουργούνται είναι αυτά που καταγράφονται από τους σεισμολογικούς σταθμούς.

Κάθε σεισμός έχει τη δική του ταυτότητα που τη προσδιορίζουν τα φυσικά χαρακτηριστικά του, τα επαγόμενα φαινόμενα και οι επιπτώσεις του. Τα φυσικά

χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν το μέγεθος, το επίκεντρο και το χρόνο εκδήλωσης του σεισμού. Από τους σειсмоγράφους προσδιορίζεται επίσης το υπόκεντρο (εστία) του σεισμού που βρίσκεται σε κάποιο βάθος από την επιφάνεια.

Κατηγορίες σειμών

Μέχρι το 1922 όλοι οι σεισμοί που παρατηρούνταν στην επιφάνεια της γης θεωρούνται ως επιφανειακοί σεισμοί, δηλαδή σεισμοί με εστιακό βάθος εντός του φλοιού της γης. Όμως, αργότερα αποδείχθηκε ότι αυτό δεν ισχύει αφού εντοπίστηκαν σεισμοί σε μεγαλύτερα βάθη. Σήμερα γνωρίζουμε ότι σεισμικές εστίες μπορούν να φτάσουν το βάθος των 700km (Παπανικολάου & Σίδερης, 2006). Από άποψη βάθους, οι σεισμοί διακρίνονται σε:

- **Κανονικοί σεισμοί ή σεισμοί επιφάνειας**, με εστιακό βάθος μικρότερο των 60km Αυτοί οι σεισμοί παρατηρούνται στις μεσο-ωκεάνιες ράχες και ανάλογα με τα αίτια γένεσής τους μπορεί να προέρχονται από τις διαδικασίες της ορογένεσης (τεκτονικοί σεισμοί), από τις ηφαιστειακές εκρήξεις (ηφαιστειογενείς σεισμοί) και από καταρρεύσεις υπόγειων φυσικών κοιλοτήτων (εγκατακρημνισιογενείς σεισμοί). Η εστία των τεκτονικών σειμών είναι δυνατόν να βρίσκεται σε μεγάλο βάθος ή και να είναι κοντά στην επιφάνεια. Υπολογίζεται ότι το 90% περίπου του συνόλου των επιφανειακών σειμών είναι τεκτονικής προέλευσης. Οι ηφαιστειογενείς σεισμοί προηγούνται ή συνοδεύουν τις ηφαιστειακές εκρήξεις και προκαλούνται από τις κινήσεις και την αλλαγή της πίεσης του μάγματος κάτω από το ηφαίστειο. Τέλος, οι εγκατακρημνισιογενείς σεισμοί οφείλονται σε καταπτώσεις φυσικών εγκοίλων.
- **Πλουτώνιοι σεισμοί ή σεισμοί βάθους**, είναι οι σεισμοί που εντοπίζονται σε εστιακά βάθη μεταξύ 60-300km (σεισμοί ενδιάμεσου βάθους) και άνω των 300km (σεισμοί μεγάλου βάθους). Δημιουργούνται σε περιθώρια σύγκλισης των τεκτονικών πλακών και οφείλονται στις τάσεις που αναπτύσσονται στην ελαστικά παραμορφώσιμη λιθόσφαιρα.



Εικόνα 17. Αστοχία του οδοστρώματος μετά το σεισμό της Λευκάδας 2015

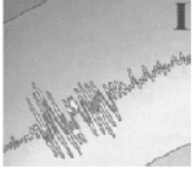
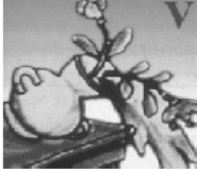


Μέγεθος και ένταση σεισμού

Η αναγκαιότητα σύγκρισης ενός σεισμού με κάποιο άλλο σεισμικό συμβάν σε άλλο τόπο και χρόνο, όσον αφορά στα χαρακτηριστικά του σαν φυσικό φαινόμενο και τα αποτελέσματά του στη λειτουργία μιας οργανωμένης κοινωνίας, επέβαλλε την υιοθέτηση δύο διαφορετικών φυσικών ποσοτήτων, του μεγέθους και της έντασης αντίστοιχα.

Με σκοπό την εκτίμηση της ενέργειας ελαστικής παραμόρφωσης που απελευθερώνεται από τους σεισμούς, οι επιστήμονες εισήγαγαν το «μέγεθος» του σεισμού, το οποίο φανερώνει το πόσο μεγάλος είναι ένας σεισμός και εκφράζεται σε βαθμούς της κλίμακας Richter, που πρώτος επινόησε ο Αμερικανός σεισμολόγος Charles Richter το 1935. Η κλίμακα είναι λογαριθμική και έχει βαθμονόμηση από 0-10, με μεγαλύτερο καταγεγραμμένο μέγεθος σεισμού είναι 8,6 Richter. Επιπλέον, το υπολογιζόμενο μέγεθος στηρίζεται επάνω σε αντικειμενικά κριτήρια και ειδικότερα σε μετρήσεις που γίνονται στα σειсмоγράμματα.

Μετά από ένα σεισμό καθορίζεται η έντασή του, ποσότητα η οποία υποδηλώνει την έκταση των μακροσεισμικών αποτελεσμάτων του σεισμού που πλήττει μια περιοχή. Η ένταση ενός σεισμού εκφράζεται με έμμεσο τρόπο και μετριέται με βάση μακροσεισμικές κλίμακες. Οι κλίμακες έντασης που έχουν επικρατήσει και χρησιμοποιούνται σήμερα είναι η **Τροποποιημένη Κλίμακα Mercalli** (Modified

Mercalli), η οποία κυμαίνεται από 0-12 βαθμούς και άρχισε να χρησιμοποιείται ευρέως από το 1931 έως το 1974 στην Ελλάδα, ενώ χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα στις ΗΠΑ και η **Ευρωπαϊκή Μακροσεισμική Κλίμακα** (European Macro seismic Scale) την οποία υιοθέτησε το 1992 το συμβούλιο της Ευρώπης με σκοπό τη χρήση μιας ενιαίας κλίμακας που θα έχει την καλύτερη δυνατή εφαρμογή. Η ένταση καθορίζεται από τις επιπτώσεις του σεισμού στους ανθρώπους, στις κατασκευές, στις γεωλογικές δομές κ.α. (Παπαζάχος & Παπαζάχου, 1999). Οι δύο μακροσεισμικές κλίμακες περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω.

Βαθμοί		
I	Γράφεται μόνο από τα σεισμικά όργανα.	
II	Αισθητός σε μερικούς σε ησυχία στους ψηλότερους ορόφους.	
III	Αισθητός από λίγους στα σπίτια.	
IV	Αισθητός από πολλούς στα σπίτια, από μερικούς στο ύπαιθρο. Ξύπνημα λίγων. Φυγή λίγων στο ύπαιθρο. Κρότος παραθύρων. χτύπος στις πόρτες.	
V	Αισθητός από όλους στα σπίτια και στο ύπαιθρο. Ξύπνημα πολυάριθμων. Φυγή πολυάριθμων στο ύπαιθρο. Αίωρηση ελεύθερα κρεμασμένων αντικειμένων. Ήχηση κουδουνιών ρολογιών. Ανατροπή μερικών μικρών αντικειμένων.	
VI	Ήχηση μικρών καμπάνων. Ανατροπή πολυάριθμων μεγάλων αντικειμένων. Πτώση λίγων κεραμιδιών, καπνοδόχων. Βλάβες λίγες, ελαφρές.	
VII	Ήχηση μεγάλων καμπάνων. Πτώση πολυάριθμων κεραμιδιών, καπνοδόχων. Βλάβες μέτριες, πολλές. Μερική καταστροφή λίγων οικοδομών.	
VIII	Μερική καταστροφή σε ποσοστό μεγαλύτερο του 25% του ολικού αριθμού των κανονικών οικοδομών. Ολική καταστροφή λίγων κτιρίων.	
IX	Μερική καταστροφή σε ποσοστό μεγαλύτερο του 50% του ολικού αριθμού των κανονικών οικοδομών. Ολική καταστροφή σε ποσοστό μεγαλύτερο του 25% του ολικού αριθμού των κτιρίων.	
X	Μερική καταστροφή όλων των κανονικών οικοδομών. Ολική καταστροφή σε ποσοστό μεγαλύτερο του 50% του ολικού αριθμού των κτιρίων.	
XI	Ολική καταστροφή όλων των κτιρίων.	
XII	Κατάρρευση όλων των οικοδομών μέχρι τα θεμέλια.	

Εικόνα 18. Τροποποιημένη κλίμακα Mercalli (MM) (Λέκκας, 2000)

Πίνακας 8. Περιγραφή της σεισμικής έντασης κατά την EMS (Λέκκας, 2000)

ΕΝΤΑΣΗ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
I (όχι αισθητός)	(α) Δεν είναι αντιληπτός από τους ανθρώπους. (β) Δεν έχει επίδραση στα κτίρια. (γ) Δεν υπάρχουν καταστροφές.

<p>II (ελαφρά αισθητός)</p>	<p>(α) Είναι αισθητός από λίγους (μικρότερος από 1%) και ιδιαίτερα από αυτούς που είναι στο σπίτι.</p> <p>(β) Δεν έχει επίδραση στα κτίρια.</p> <p>(γ) Δεν υπάρχουν καταστροφές.</p>
<p>III (Ασθενής)</p>	<p>(α) Είναι αισθητός από αρκετούς ανθρώπους που είναι στο σπίτι τους. Οι άνθρωποι αισθάνονται μια ταλάντωση ή βλέπουν τη λάμπα να κουνιέται.</p> <p>(β) Κάποια αντικείμενα που υπάρχουν στο σπίτι αρχίζουν να κουνιούνται.</p> <p>(γ) Δεν υπάρχουν καταστροφές στα κτίρια.</p>
<p>IV (Ευρέως παρατηρητός)</p>	<p>(α) Ο σεισμός είναι αισθητός από πολλούς ανθρώπους που μένουν στο σπίτι και από μερικούς που βρίσκονται έξω από το σπίτι. Η ταλάντωση δεν είναι υπερβολική και δεν προκαλεί φόβο στους ανθρώπους. Οι παρατηρητές βλέπουν να κινούνται ελαφρά αντικείμενα (όπως κρεβάτι, καρέκλα, κλπ.).</p> <p>(β) Παράθυρα και πόρτες τρίζουν. Αντικείμενα που κρέμονται στους τοίχους ταλαντεύονται. Ελαφριά έπιπλα μετακινούνται. Σε ξύλινες κατασκευές μπορεί να υπάρξουν ρωγμές.</p> <p>(γ) Δεν υπάρχουν καταστροφές σε κτίρια.</p>
<p>V (Αισθητός)</p>	<p>(α) Ο σεισμός είναι αισθητός πολύ από τους ανθρώπους που βρίσκονται μέσα στο σπίτι και από αρκετούς που εκείνη τη στιγμή βρίσκονται έξω. Αρκετοί άνθρωποι φοβούνται και βγαίνουν έξω από το σπίτι τους. Κάποιοι άνθρωποι που κοιμούνται ξυπνούν. Οι παρατηρητές αισθάνονται μια δυνατή ταλάντωση όλου του κτιρίου (δωματίων, επίπλων, κλπ.).</p> <p>(β) Τα αντικείμενα που κρέμονται κλονίζονται σε σημαντικό βαθμό. Μικρά</p>

	<p>αντικείμενα που πριν ήταν στηριγμένα αρχίζουν να πέφτουν. Πόρτες και παράθυρα ανοίγουν και κλείνουν. Υγρά χύνονται από γεμάτα δοχεία. Ζώα που είναι κλεισμένα κάπου γίνονται ανήσυχα.</p> <p>(γ) Λίγα κτίρια παθαίνουν ζημιές πρώτου βαθμού.</p>
<p>VI (Ελαφρά καταστροφικός)</p>	<p>(α) Γίνεται αισθητός από πολλούς ανθρώπους που βρίσκονται μέσα στο σπίτι και από πολλούς που βρίσκονται π.χ. σε δρόμους, κλπ. Μερικοί άνθρωποι χάνουν την ισορροπία τους και πολλοί από αυτούς προσπαθούν να βγουν έξω από το σπίτι.</p> <p>(β) Έπιπλα μπορούν να μετακινηθούν και μικρά αντικείμενα μπορούν να πέσουν. Σε μικρές αποστάσεις πιάτα και ποτήρια σπάζουν. Ζώα μπορεί να φοβηθούν.</p> <p>(γ) Καταστροφές πρώτου βαθμού σε αρκετά κτίρια, και μερικά υφίστανται καταστροφές δευτέρου βαθμού.</p>
<p>VII (Καταστροφικός)</p>	<p>(α) Πολλοί άνθρωποι είναι φοβισμένοι και προσπαθούν να βγουν από τα σπίτια τους. Δύσκολο είναι για πολλούς που βρίσκονται σε ψηλούς ορόφους να μείνουν εκεί.</p> <p>(β) Έπιπλα μετακινούνται καθώς και βαριά έπιπλα μπορεί να ανατραπούν. Αντικείμενα πέφτουν σε μεγάλο βαθμό από ράφια. Το νερό εξέρχεται από δοχεία, δεξαμενές, πισίνες.</p> <p>(γ) Πολλά κτίρια με τρωτότητα τάξης Β και λίγα τάξης Γ υπόκεινται σε καταστροφές βαθμού 2. Πολλά κτίρια τάξης Α και λίγα τάξης Β υπόκεινται σε καταστροφές βαθμού 3. Λίγα κτίρια τάξης Α υπόκεινται σε καταστροφές βαθμού 4. Η καταστροφή είναι εμφανής στα ανώτερα τμήματα των κτιρίων.</p>
<p>VIII</p>	<p>(α) Πολλοί άνθρωποι είναι δύσκολο να</p>

(Ισχυρά Καταστροφικός)	<p>σταθούν ακόμα και έξω.</p> <p>(β) Τα έπιπλα ανατρέπονται. Αντικείμενα όπως τηλεόραση, γραφομηχανές, κλπ. πέφτουν στο έδαφος. Ταφόπετρες σε μερικές περιπτώσεις μετατοπίζονται ή ανατρέπονται. Ρευστοποιήσεις πραγματοποιούνται σε μαλακά εδάφη.</p> <p>(γ) Πολλά κτίρια τρωτότητας τάξης Γ υπόκεινται σε καταστροφές βαθμού 2. Πολλά κτίρια τάξης Β και λίγα τάξης Γ υπόκεινται σε καταστροφές βαθμού 3. Αρκετά κτίρια τάξης Α και λίγα τάξης Β υπόκεινται σε καταστροφές βαθμού 4, λίγα κτίρια τάξης Α υπόκεινται σε καταστροφές βαθμού 5 και λίγα κτίρια τάξης Δ υπόκεινται σε καταστροφές βαθμού 2.</p>
IX (Συντριπτικός)	<p>(α) Γενικός πανικός. Άνθρωποι πέφτουν στο έδαφος .</p> <p>(β) Πολλά μνημεία και κολόνες πέφτουν ή ανατρέπονται. Ρευστοποιήσεις παρατηρούνται σε μαλακά εδάφη.</p> <p>(γ) Πολλά κτίρια με τρωτότητα τάξης Γ υπόκεινται σε καταστροφές βαθμού 3 επίσης πολλά κτίρια τάξης Β και λίγα τάξης Γ υπόκεινται σε καταστροφές βαθμού 4. Πολλά κτίρια τάξης Α και λίγα τάξης Β υπόκεινται σε καταστροφές βαθμού 5. Πολλά κτίρια τάξης Δ υπόκεινται σε καταστροφές βαθμού 3. Πολλά κτίρια τάξης Ε υπόκεινται σε καταστροφές βαθμού 2.</p>
X (Ισχυρά Συντριπτικός)	<p>(γ) Πολλά κτίρια τρωτότητας τάξης Γ υπόκεινται σε καταστροφές βαθμού 4. Αρκετά κτίρια τάξης Β και λίγα τάξης Γ υπόκεινται σε καταστροφές βαθμού 5. Αυτό παθαίνουν επίσης και πολλά από τα κτίρια τάξης Α. Πολλά κτίρια τάξης Δ υπόκεινται σε καταστροφές βαθμού 3 και λίγα βαθμού 4. Πολλά κτίρια τάξης Ε</p>

	υπόκεινται σε καταστροφές βαθμού 2.
XI (Εξαιρετικά Συντριπτικός)	(γ) Αρκετά κτίρια με τρωτότητα της τάξης Γ υπόκεινται σε καταστροφές βαθμού 4. Μερικά κτίρια Β και πολλά τάξης Γ υπόκεινται σε καταστροφές βαθμού 5. Πολλά κτίρια τάξης Δ υπόκεινται σε καταστροφές βαθμού 4 και λίγα υπόκεινται σε καταστροφές βαθμού 5. Αρκετά κτίρια τάξης Ε υπόκεινται σε καταστροφές βαθμού 3 και λίγα βαθμού 4. Πολλά κτίρια τάξης Ζ υπόκεινται σε καταστροφές βαθμού Ζ και λίγα σε βαθμού 3.
XII (Ολοκληρωτικά Καταστροφικός)	(γ) Πρακτικά όλα τα οικοδομήματα πάνω και κάτω από το έδαφος καταστρέφονται.

Η διαφορά μεταξύ του μεγέθους και έντασης ενός σεισμού είναι ότι για συγκεκριμένο σεισμό το μέγεθος έχει μια μοναδική τιμή ανεξαρτήτως τοποθεσίας, ενώ αντίθετα η ένταση του σεισμού εξαρτάται κάθε φορά από την απόσταση μιας θέσης που ορίζουμε από το επίκεντρο του σεισμού, δηλαδή διαφέρει από θέση σε θέση. Ο βαθμός της έντασης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Οι κυριότεροι αφορούν το μέγεθος του σεισμού, το μηχανισμό γένεσης, τον τρόπο διάρρηξης των πετρωμάτων, το βάθος της εστίας, τα πετρώματα που διαπερνούν τα σεισμικά κύματα, τις τοπικές εδαφικές συνθήκες, τον υδροφόρο ορίζοντα και τα χαρακτηριστικά των κατασκευών (Λέκκας, 2000).

Σεισμικός κίνδυνος

Ο σεισμός είναι φαινόμενο το οποίο εκδηλώνεται συνήθως χωρίς σαφή προειδοποίηση και δεν μπορεί να αποτραπεί. Γι' αυτό το λόγο αποτελεί ένα σημαντικό κίνδυνο και παρά τη μικρή χρονική διάρκεια του, έχει συχνά καταστροφικά αποτελέσματα. Ο σεισμικός κίνδυνος εξαρτάται από τη σεισμική επικινδυνότητα της περιοχής και από τη τρωτότητα των τεχνικών κατασκευών που βρίσκονται σε αυτή. Έχει καταγραφεί ότι οι μεγαλύτερες εντάσεις σε ένα σεισμικό γεγονός παρατηρούνται κατά μήκος των σεισμικών ρηγμάτων και κατά μήκος τους εντοπίζονται οι μεγαλύτερες καταστροφές.

Ένας σεισμός δύναται να προκαλέσει απώλειες ανθρώπινων ζώων, ζημιές στις τεχνικά έργα, όπως κατάρρευση και αστοχίες κτιρίων, γεφυρών, δρόμων και φραγμάτων, καταστροφή υπηρεσιών και υποδομών και έντονες καταστροφές στο φυσικό περιβάλλον. Εκτός από τις παραπάνω, άμεσες επιπτώσεις, ο σεισμός έχει ως επακόλουθο την ενεργοποίηση δευτερογενών συνοδών σεισμικών φαινομένων με σημαντικότερα τις πυρκαγιές, οι οποίες προκαλούνται από την ανάφλεξη καύσιμων υλικών ή από τη δημιουργία βραχυκυκλωμάτων και τις πλημμύρες, σαν αποτέλεσμα καταστροφής του δικτύου υδρεύσεως και αποχετεύσεως του δομικού ιστού. Κατά τη διάρκεια σεισμικών δονήσεων εκδηλώνεται ταυτόχρονα ή αμέσως μετά τη σεισμική κίνηση ένας αριθμός συνοδών γεωδυναμικών φαινομένων, τα οποία βρίσκονται σε άμεση συσχέτιση και είναι άμεσο αποτέλεσμα της σεισμικής διέγερσης. Αυτά τα φαινόμενα περιλαμβάνουν τις κατολισθήσεις και τις καταπτώσεις βράχων σε απότομα πρανή, τη ρευστοποίηση εδαφών, τις χιονοστοιβάδες, τις μεταθέσεις ακτογραμμών, την εμφάνιση εδαφικών διαρρήξεων και τα θαλάσσια κύματα βαρύτητας (τσουνάμι), με εξίσου σοβαρές επιπτώσεις. Πολλές φορές οι καταστροφές που προκαλούνται από αυτά τα φαινόμενα είναι πολύ μεγαλύτερες από τα άμεσα αποτελέσματα του σεισμού (Λέκκας, 2000).

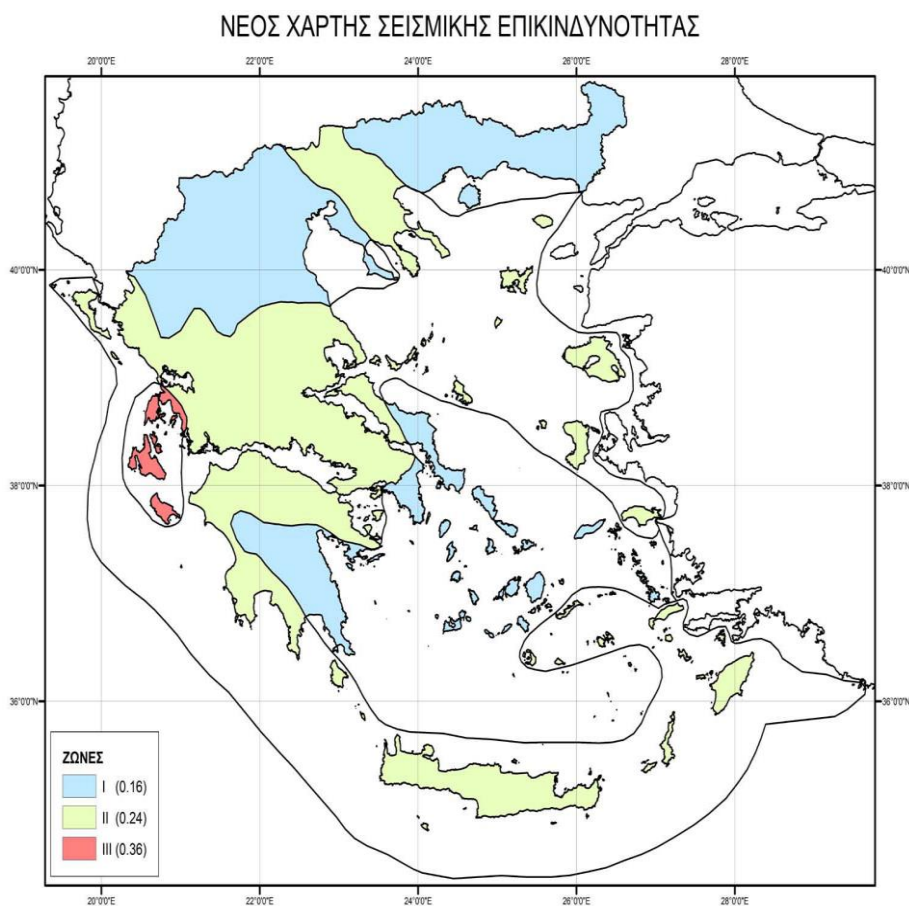
Σεισμικότητα στην Ελλάδα

Η Ελλάδα κατέχει την πρώτη θέση στην Ευρώπη από πλευράς σεισμικότητας και την έκτη παγκοσμίως. Η έντονη σεισμικότητα του ελληνικού χώρου είναι αποτέλεσμα της γεωγραφικής της θέσης, η οποία συμπίπτει με την περιοχή της Μεσογείου, όπου λαμβάνει χώρα η υποβύθιση της Αφρικανικής κάτω από την Ευρασιατική λιθοσφαιρική πλάκα.

Από τα ιστορικά χρόνια έχουν καταγραφεί μεγάλου μεγέθους σεισμικά γεγονότα με σοβαρές επιπτώσεις και ανθρώπινες απώλειες. Το σοβαρότερο σεισμικό συμβάν στην Ελλάδα τα τελευταία εκατό χρόνια, είναι ο σεισμός μεγέθους $M=7,2$ R που έγινε στην Κεφαλονιά το 1953 με απολογισμό 476 ανθρώπινες απώλειες, 2412 τραυματίες και 27.659 καταρρεύσεις και 2.780 σοβαρές υλικές ζημιές σε σπίτια και στις υποδομές στην Κεφαλονιά, τη Ζάκυνθο και την Ιθάκη (Παπαζάχος & Παπαζάχου, 1999). Κάποιοι από τους σημαντικότερους σεισμούς στην Ελλάδα συνέβησαν στον την Αλκυονίδες (1981), τον Πύργο (1993), το Αίγιο (1995), την Πάρνηθα (1999).

Επιπλέον, στον ελληνικό χώρο έχουν αναφερθεί γεωδυναμικά φαινόμενα που συνοδεύουν καταστροφικούς σεισμούς.

Σύμφωνα με τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (Ε.Α.Κ. 2000 και την αναθεώρησή του με το ΦΕΚ1154/Β'/12/8/2003) ο Ελληνικός χώρος διαιρείται σήμερα σε 4 ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας (I, II, III, IV), με αντίστοιχες τιμές ενεργού εδαφικής επιτάχυνσης σχεδιασμού 0,12 g για τη πρώτη ζώνη, 0,16 g για τη δεύτερη ζώνη, 0,24 g για την τρίτη ζώνη και 0,36 g για την τέταρτη ζώνη (όπου g η επιτάχυνση της βαρύτητας). Ο Χάρτης Σεισμικής Επικινδυνότητας που συνοδεύει τον Ε.Α.Κ. (ΟΑΣΠ, 2004) τέθηκε σε εφαρμογή από 1-1-2004 και χρησιμοποιείται σε όλες τις μελέτες τεχνικών έργων και λοιπών κατασκευών.

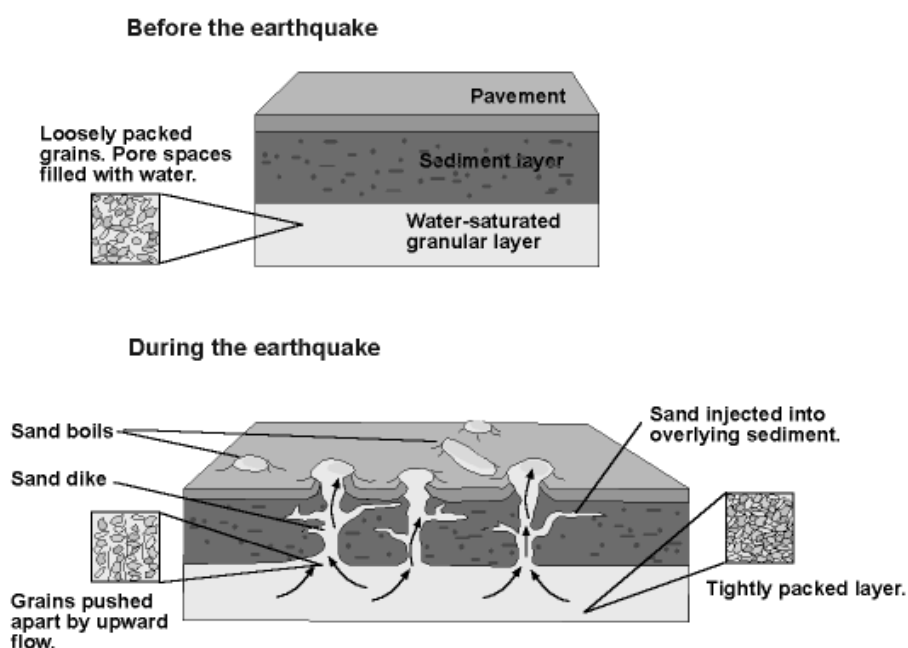


Εικόνα 19. Χάρτης Σεισμικής Επικινδυνότητας (ΟΑΣΠ,2004)

Ρευστοποίηση εδάφους

Η ρευστοποίηση των εδαφών είναι ένα συνοδό γεωδυναμικό φαινόμενο, που συμβαίνει κατά τη διάρκεια της σεισμικής δραστηριότητας και προξενεί σημαντικές καταστροφές στις κατασκευές, οι οποίες είναι θεμελιωμένες στα συγκεκριμένα εδάφη. Ο όρος περιγράφει τις παραμορφώσεις που συμβαίνουν σε μη συνεκτικά κοκκώδη εδάφη, κορεσμένα σε νερό, τα οποία βρίσκονται υπό αστράγγιστες συνθήκες, δηλαδή σε συνθήκες όπου το νερό δεν μπορεί να διαφύγει από το έδαφος.

Το φαινόμενο είναι πολύπλοκο και απαιτεί ειδικές εδαφικές συνθήκες για να πραγματοποιηθεί. Ο μηχανισμός της ρευστοποίησης περιγράφεται στην επόμενη εικόνα. Πριν το σεισμό χαλαρά συνδεδεμένοι κοκκώδεις σχηματισμοί, κορεσμένοι σε νερό, δηλαδή τα κενά μεταξύ των κόκκων είναι πληρωμένα με νερό, βρίσκονται σε δυναμική ισορροπία. Κατά τη διάρκεια του σεισμού, οι απότομες διατμητικές φορτίσεις του εδάφους προκαλούν αύξηση της πίεσης του νερού των πόρων και παράλληλα ελάττωση των ενεργών τάσεων που δρουν στο έδαφος. Οι σχηματισμοί χάνουν τη διατμητική τους αντοχή και αποκτούν συμπεριφορά βαρέως υγρού (SEED, 1979). Το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία ανοδικής ροής νερού και κόκκων προς το υπερκείμενο εδαφικό στρώμα, με ταυτόχρονη επαναδιευθέτηση των κόκκων του υποκείμενου στρώματος, με πιο πυκνό τρόπο.



Εικόνα 20. Μηχανισμός ρευστοποίησης εδάφους από σεισμό (Λέκκας, 2000)

Συνήθεις εκδηλώσεις ρευστοποιήσεων στην επιφάνεια του εδάφους είναι:

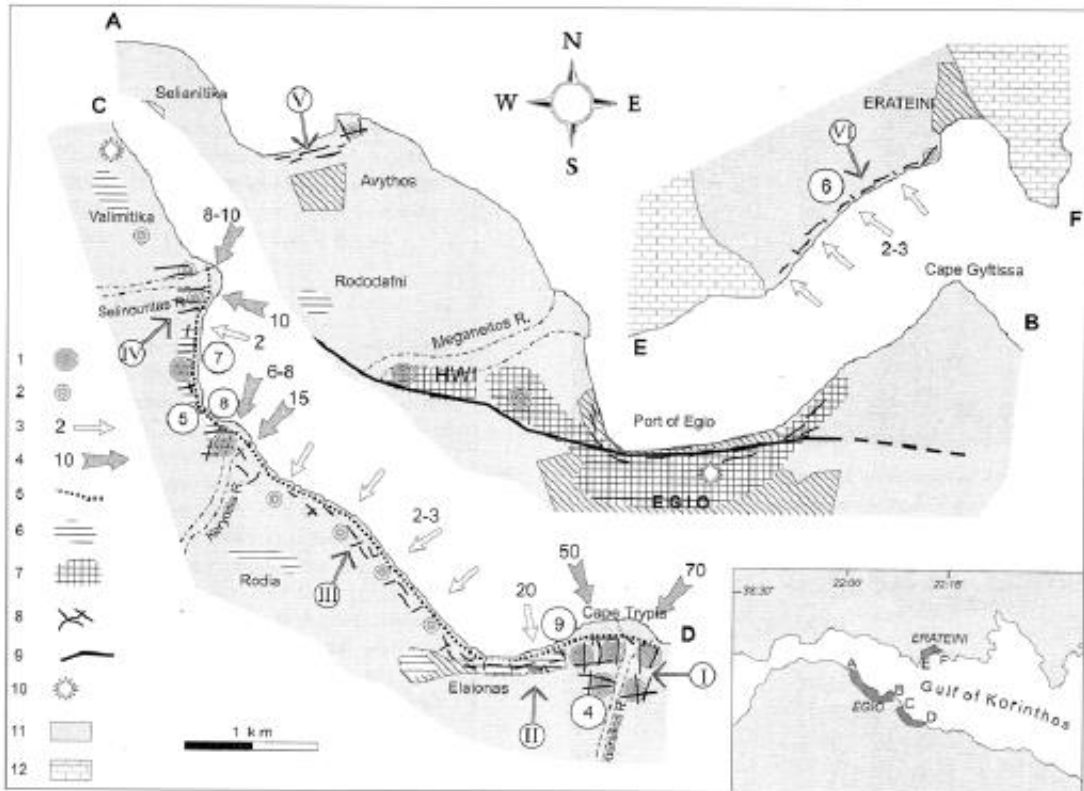
- η άνοδος και η εκροή στην επιφάνεια κορεσμένων σε νερό άμμων και ιλύος με τη μορφή κρατήρων μέσω ρωγμών,
- οι διαφορικές καθιζήσεις που αφορούν τις κατασκευές (απώλεια της διατμητικής αντοχής του εδάφους θεμελίωσης) προκαλούν βύθιση ή ανύψωση και μερική κλίση των κατασκευών, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις συμβαίνει οριζόντια μετάθεση του εδάφους,
- οι εδαφικές διαρρήξεις,
- οι κατολισθήσεις,
- η δημιουργία ανώμαλων κυματισμών στην ελεύθερη επιφάνεια.

Στην Ελλάδα έχουν εμφανιστεί φαινόμενα ρευστοποιήσεων κατά τη διάρκεια μεγάλων σεισμών, σε περιοχές που δομούνται από πρόσφατους, ασύνδετους σχηματισμούς. Συχνά, ρευστοποιήσεις συμβαίνουν σε πεδινές εκτάσεις και παραθαλάσσιες περιοχές, όπου ο υδροφόρος ορίζοντας έχει μικρό βάθος από την επιφάνεια. Στους σεισμούς της Κυλλήνης το 1988, του Πύργου το 1993 και του Αιγίου το 1995 εκδηλώθηκαν εκτεταμένες ρευστοποιήσεις, οι οποίες ήταν υπεύθυνες για επιπλέον καταστροφές.



Εικόνα 21.α) Φαινόμενα ρευστοποίησης εδάφους με εκροή νερού και άμμου στην επιφάνεια, β) Ρευστοποίηση εδάφους με εκροή στην επιφάνεια κορεσμένων άμμων και ιλύος με τη μορφή κρατήρων (Γεωδίφης, 2017)

Οι Lekkas et al (1996) ερευνήσαν το φαινόμενο των ρευστοποιήσεων κατά τη διάρκεια του σεισμού του Αιγίου στις 15 Ιουνίου 1995. Ο σεισμός είχε μέγεθος $M=6,1R$ και προκάλεσε ρευστοποιήσεις στους Τεταρτογενείς σχηματισμούς (αλλούβια, παράκτιες και ποτάμιες αποθέσεις) της παράκτιας ζώνης δυτικά και ανατολικά του Αιγίου.

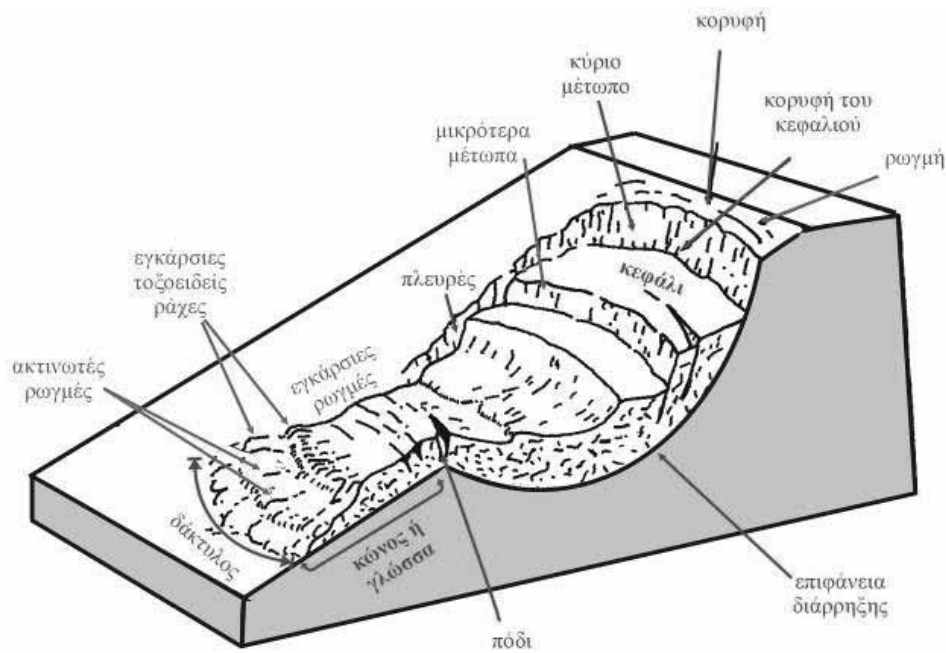


Εικόνα 22. Χάρτης των ρευστοποιήσεων και των υπόλοιπων γεωδυναμικών φαινομένων που έλαβαν χώρα στο σεισμό του Αιγίου του 1995 (1-2 Ρευστοποιήσεις, 3-4 Μετακινήσεις ακτών, 5 Ακτογραμμή μετά το σεισμό, 6-7 Περιοχές με καταστροφές, 8 Εδαφικές διαρρήξεις, 9 Σεισμική διάρρηξη, 10 Καταρρεύσεις κτιρίων, 11 Μεταλλικά ιζήματα, 12 Αλπικό υπόβαθρο) (Lekkas et al, 1996)

Αστάθεια πρανών - Κατολισθήσεις

Ο όρος “**Κατολίσθηση**” (Landslide) είναι ο πλέον κοινός και ευρέως χρησιμοποιούμενος για να περιγράψει την κίνηση πετρώματος, εδάφους ή κορημάτων ενός πρανούς, φυσικού ή τεχνητού, προς τα κατόντη και προς τα έξω (Κούκης 1985). Αποτελεί ένα γεωλογικό φαινόμενο που περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα μετακινήσεων μάζας εδάφους.

Ο Varnes (1978) απεικόνισε τα χαρακτηριστικά μιας τυπικής κατολίσθησης (τύπος σύνθετης μετακίνησης) στο παρακάτω σχέδιο.



Εικόνα 23. Σχέδιο και ονοματολογία μιας τυπικής κατολίσθησης (τύπος σύνθετη μετακίνηση εδάφους) (Varnes, 1978)

Στο σχέδιο διακρίνονται τα χαρακτηριστικά:

- **κύριο μέτωπο**, είναι η απότομη επιφάνεια που δημιουργείται στο αδιατάρακτο έδαφος περιφερειακά της κατολίσθησης εξαιτίας της μετακίνησης των υλικών,
- **δευτερεύοντα μέτωπα**, είναι οι απότομες επιφάνειες εντός του διαταραγμένου εδαφικού υλικού της κατολίσθησης,
- **κεφάλι**, βρίσκεται στο ανώτερο τμήμα της κατολίσθησης και αποτελείται από τα ανώτερα τμήματα των υλικών που κατολίσθησαν,
- **κορυφή**, είναι το αδιατάρακτο υλικό που βρίσκεται στα υψηλότερα σημεία του κύριου μετώπου,
- **κορυφή του κεφαλιού**, είναι του ψηλότερο σημείο της επαφής μεταξύ του διαταραγμένου υλικού και του κύριου μετώπου,
- **κύριο σώμα**, αποτελεί τη μετακινημένη μάζα του υλικού, η οποία συγκεντρώνεται στο κάτω τμήμα του σώματος της κατολίσθησης (σε αυτό το σημείο η κινητική ενέργεια μηδενίζεται),
- **επιφάνεια διάρρηξης**, είναι η επιφάνεια πάνω στην οποία γίνεται η μετακίνηση της κατολισθαίνουσας μάζας πάνω στο σταθερό υπόβαθρο,

- **επιφάνεια ολίσθησης**, είναι η επιφάνεια πάνω στην οποία γίνεται η κύρια μετατόπιση της μάζας που κατολισθαίνει,
- **πόδι**, είναι το ακραίο τμήμα του κύριου σώματος της κατολίσθησης,
- **δάκτυλος**, είναι το περιθώριο των υλικών που κατολίσθησαν στη μεγαλύτερη απόσταση από το κύριο μέτωπο,
- **πλευρές**, είναι οι πλευρές της κατολίσθησης, δεξιά θεωρείται η πλευρά που βρίσκεται προς τα δεξιά όταν ο παρατηρητής βρίσκεται στο κεφάλι,
- **κόνος ή γλώσσα**, είναι το τμήμα των υλικών που έχουν ξεπεράσει την επιφάνεια διάρρηξης και έχουν ολισθήσει πάνω στην αρχική επιφάνεια του πρηνούς.

-Εκδήλωση κατολισθήσεων

Οι εδαφικές ή βραχώδεις μάζες στην επιφάνεια της γης υφίστανται σε μια κατάσταση ισορροπίας, η οποία έχει διαμορφωθεί κατά την διάρκεια φυσικών διεργασιών εξέλιξης του γήινου ανάγλυφου. Στην περίπτωση που ορισμένες εσωτερικές ή εξωτερικές μεταβολές, οι οποίες μπορεί να οφείλονται είτε σε φυσικούς παράγοντες είτε στη συμβολή του ανθρώπου, επιδράσουν σε ένα πρηνές τότε η ισορροπία του διαταράσσεται. Οι υφιστάμενες δυνάμεις που αντιτίθενται στην ολίσθηση (παθητικές δυνάμεις) με βασικότερη την τριβή, υπερνικούνται από τις ενεργητικές δυνάμεις, κυρίως τη δύναμη της βαρύτητας.

Εξετάζοντας από κινηματική άποψη το σύνολο των μεταβολών αυτών, διακρίνουμε δύο βασικές συνιστώσες κίνησης, μία οριζόντια και μία κατακόρυφη. Αν η εδαφική ή βραχώδης μάζα κινηθεί μόνο προς την κατακόρυφη διεύθυνση, το φαινόμενο ονομάζεται καθίζηση, κατάρρευση ή κατάπτωση και συνδέεται με την ανάπτυξη ορθής τάσης σε οριζόντιο επίπεδο. Αν εκτός από την κατακόρυφη συνιστώσα υπάρχει και οριζόντια συνιστώσα κίνησης, δηλαδή εκτός της ορθής τάσης συνυπάρχει και η διατμητική τάση, η οποία μάλιστα υπερβαίνει τη διατμητική αντοχή του σχηματισμού, τότε χρησιμοποιείται ο γενικός όρος κατολίσθηση.

Για την εκδήλωση ενός κατολισθητικού φαινομένου απαιτείται η συνύπαρξη πολλών παραγόντων πέραν των προηγούμενων, οι οποίοι έχουν σχέση με τις γεωλογικές (λιθολογία, γεωλογική δομή), τεκτονικές (ρήγματα, πτυχές), γεωτεχνικές,

γεωμορφολογικές (διάβρωση, αποσάθρωση, αύξηση πίεσης νερού πόρων) και περιβαλλοντολογικές συνθήκες (κατακρημνίσματα, υδροφόρος ορίζοντας) αλλά και τις ανθρώπινες παρεμβάσεις και δραστηριότητες (φόρτιση πρανού, εκσκαφή βάσης πρανού, αύξηση κλίσης και ύψους πρανού, τεχνητές δονήσεις, αποψιλώσεις).

Εικόνα α



Εικόνα β



Εικόνα γ



Εικόνες: α) Καταπτώσεις βράχων σε τμήμα οδικού άξονα μετά το σεισμό της Λευκάδας 2003, β) Κατολίσθηση της Τσακώνας το 1993 τύπος περιστροφική ολισθήση εδαφους σε σχηματισμούς του φλύσχη, γ) Κατολίσθηση της Τσακώνας το 2003 στο τμήμα της Εθνικής Οδού Τρίπολης-Καλαμάτας

-Ταξινόμηση κατολισθήσεων

Για την ταξινόμηση των κατολισθήσεων έχουν προταθεί από πολλούς ερευνητές διαφορετικές ταξινομήσεις ανάλογα με το στόχο του καθενός, που αφορά κάποιους από τους παράγοντες της κατολίσθησης, όπως τον τύπο μετακίνησης, το είδος του υλικού που κατολισθαίνει, την ταχύτητα της μετακίνησης, τη γεωμετρία του φαινομένου, την ηλικία, τα αίτια που ενεργοποιούν τη μετακίνηση κ.α. Η πιο αποδεκτή ταξινόμηση των κατολισθήσεων είναι του Varnes (1978), καθώς είναι μια από τις πληρέστερες ταξινομήσεις και προσαρμόζεται εύκολα στις εκάστοτε συνθήκες. Κάθε κατολίσθηση μπορεί να ταξινομηθεί και να περιγραφεί από δύο ονόματα. Το πρώτο περιγράφει τον τύπο της κίνησης και το δεύτερο περιγράφει το είδος του υλικού. Τα υλικά διακρίνονται στο βραχώδες υπόβαθρο, τα συμπαγή εδάφη και τα χαλαρά εδάφη (κορήματα), όπως παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 9. Σύντομη ταξινόμηση των κατολισθητικών κινήσεων (Varnes, 1978)

ΤΥΠΟΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ		ΤΥΠΟΣ ΥΛΙΚΟΥ (πριν τη μετακίνηση)		
		Υπόβαθρο	Έδαφος	
			Επικρατούν τα αδρομερή υλικά	Επικρατούν τα λεπτόκοκκα υλικά
Πτώσεις		Πτώσεις βράχων	Πτώσεις κορημάτων	Πτώσεις γαιών
Ανατροπές		Ανατροπές βράχων	Ανατροπές κορημάτων	Ανατροπές γαιών
Ολισθήσεις	Περιστροφικές	Κάθιση βράχων	Κάθιση κορημάτων	Κάθιση γαιών
	Μεταθετικές	Ολίσθηση τεμάχους Ολίσθηση βράχων	Ολίσθηση τεμάχους κορημάτων Ολίσθηση κορημάτων	Ολίσθηση τεμάχους γαιών Ολίσθηση γαιών
Πλευρικές εκτάσεις		Έκταση βράχων	Έκταση κορημάτων	Έκταση γαιών
Ροες		Ροή βράχων	Ροή κορημάτων	Ροή γαιών
		(Βαθύς ερπυσμός)	(ερπυσμός εδάφους)	
Σύνθετες		Συνδυασμός δυο ή περισσότερων κύριων τύπων μετακίνησης		

Στη συνέχεια γίνεται μια συνοπτική αναφορά στον κάθε τύπο μετακίνησης σύμφωνα με την παραπάνω ταξινόμηση:

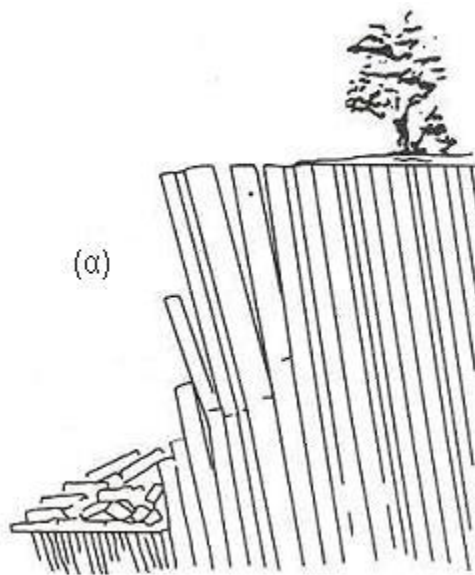
- **Καταπτώσεις**

Πρόκειται για την αποκόλληση μιας μάζας συνεκτικού εδάφους ή βράχου από πρανές μεγάλης κλίσης κατά μήκος μιας επιφάνειας ασυνέχειας, με μικρή ή σχεδόν μηδενική διατμητική αντοχή. Η κίνηση του υλικού γίνεται με ελεύθερη πτώση μέσω κύλισης ή αναπήδησης και είναι εξαιρετικά γρήγορη μετακίνηση. Οι πτώσεις διακρίνονται σε πτώσεις βράχων, πτώσεις κορημάτων και πτώσεις εδαφών. Κύριες αιτίες εκδήλωσης μια πτώσης είναι η επίδραση της βαρύτητας, η διαφορική διάβρωση, η παρουσία ρευμάτων και η διάβρωση που αυτά προκαλούν και οι εκσκαφές. Σε αυτή την κατηγορία διακρίνονται οι πτώσεις βράχων, οι πτώσεις κορημάτων και οι πτώσεις γαιών.

- **Ανατροπές**

Η κίνηση οφείλεται σε τάσεις, οι οποίες προκαλούν περιστροφή της εδαφικής ή βραχώδους μάζας γύρω από ένα σημείο ή άξονα που εντοπίζεται χαμηλότερα από το κέντρο βάρους τους. Προκαλείται κυρίως από τη βαρύτητα και από την επίδραση του νερού των ρωγμών της μετακινούμενης μάζας.

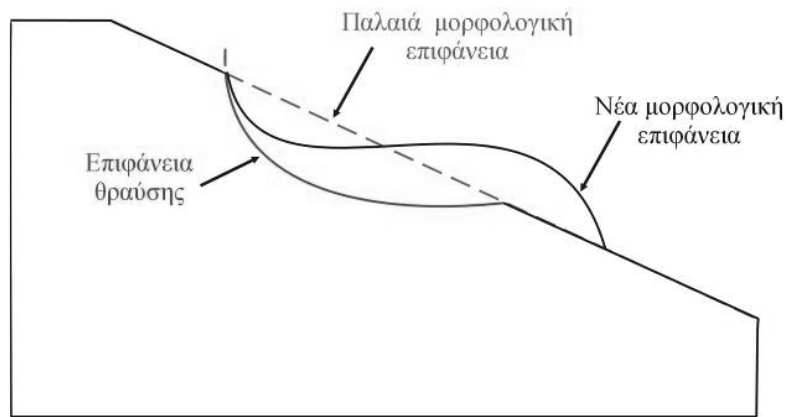
Το φαινόμενο εξελίσσεται συνήθως σε πτώση ή ολίσθηση και η ταχύτητα είναι εξαιρετικά αργή έως εξαιρετικά γρήγορη. Διακρίνονται σε ανατροπές βράχων, ανατροπές κορημάτων και ανατροπές εδαφών, συνήθως αργίλων.



Εικόνα 26. Ανατροπή λόγω κάμψης (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007)

- **Ολισθήσεις**

Στις ολισθήσεις η μετακίνηση εδαφικής ή βραχώδους μάζας λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια διατμητικής παραμόρφωσης επάνω σε επιφάνειες διάρρηξης. Η κίνηση μπορεί να μη συμβεί ταυτόχρονα σε όλη τη μάζα. Οι ολισθήσεις διακρίνονται σε περιστροφικές και μεταθετικές (Varnes, 1978).



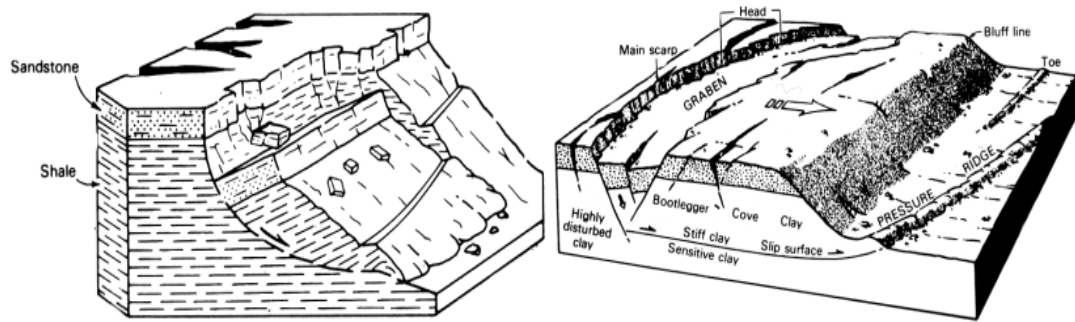
Εικόνα 27. Τομή κατά μήκος του άξονα της ολίσθησης μορφής σχήματος S

- **Περιστροφική ολίσθηση**

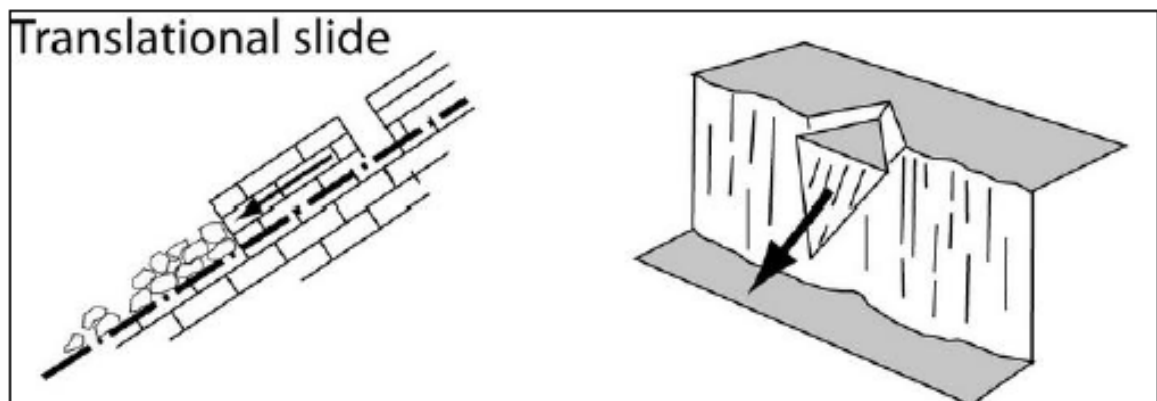
Η ολίσθηση η οποία συμβαίνει κατά μήκος μιας κοίλης επιφάνειας διάρρηξης με κίνηση περιστροφική γύρω από άξονα παράλληλο προς την επιφάνεια του εδάφους, περιγράφεται σαν περιστροφική ολίσθηση. Το ανώτερο τμήμα της μετακινούμενης μάζας κάμπτεται προς τα πίσω ενώ στη βάση της παρατηρείται ανύψωση, με μικρή εσωτερική παραμόρφωση. Η ταχύτητα χαρακτηρίζεται από εξαιρετικά αργή έως εξαιρετικά γρήγορη. Τέτοιου τύπου ολισθήσεις συμβαίνουν τόσο σε ομοιογενείς σχηματισμούς και κυρίως σε επιχώματα όσο και σε ανομοιογενείς σχηματισμούς, στους οποίους η κίνηση ακολουθεί τις προϋπάρχουσες επιφάνειες ασυνεχειών.

- **Μεταθετική ολίσθηση**

Η ολίσθηση αυτή αφορά μια μετακινούμενη μάζα, η οποία ολισθαίνει κατά μήκος μιας επίπεδης ή κυματοειδούς επιφάνειας διάρρηξης. Η κίνηση ελέγχεται από επιφάνειες ασυνέχειας, όπως ρήγματα, διακλάσεις, στρώση. Η ταχύτητα της μετακίνησης χαρακτηρίζεται από εξαιρετικά αργή έως εξαιρετικά γρήγορη. Οι μεταθετικές ολισθήσεις είναι γενικά μικρότερου βάθους από τις περιστροφικές. Διακρίνονται, σε ολισθήσεις τεμαχών και ολισθήσεις κερματισμένων μονάδων βράχου. Περεταίρω διαχωρίζονται σε μορφής σφήνας σε βραχώδη πρηνή (Varnes, 1978) και σε ολισθήσεις με αστοχία επίπεδης μορφής.



Εικόνα 28. Περιτροφική ολίσθηση βράχου και Μεταθετική ολίσθηση εδάφους (Varnes, 1978)



Εικόνα 29. Μεταθετικές ολισθήσεις, με αστοχία επίπεδης μορφής και με αστοχία μορφής σφήνας (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007)

- **Εκτάσεις**

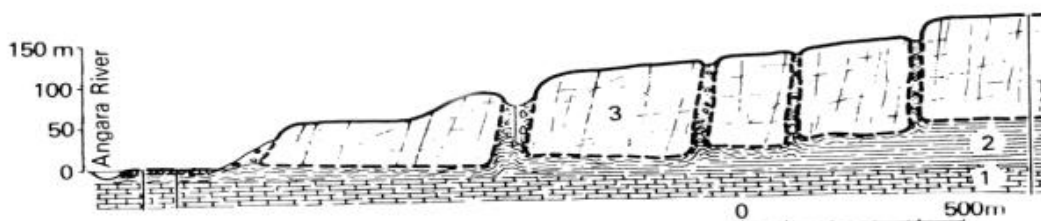
Η κίνηση που επικρατεί στις εκτάσεις είναι η πλευρική διάταση συνεκτικού βράχου ή εδάφους, που υπέρκειται μαλακών σχηματισμών και πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια εφελκυστικών τάσεων. Διακρίνονται σε έκταση βράχων και έκταση ρευστοποίησης.

- **Εκτάσεις βράχων**

Οι εκτάσεις βράχων απαντούν σε κατακερματισμένες βραχώδεις μάζες και συχνά σχετίζονται με καθίζηση των βραχωδών τεμαχών όταν υπόκεινται πιο μαλακά υλικά. Η κίνηση είναι αργή και επεκτείνεται αρκετά χιλιόμετρα.

- **Εκτάσεις ρευστοποίησης**

Οι εκτάσεις ρευστοποίησης δημιουργούνται σε ευαίσθητες αργίλους και ιλύες, οι οποίες όταν διαταραχθούν παρουσιάζουν απώλεια της αντοχής τους. Τα διαποτισμένα χαλαρά ιζήματα του υποβάθρου μετασχηματίζονται από μια στερεή σε μια ρευστή κατάσταση. Η θραύση των υπερκείμενων συνεκτικών ιζημάτων είναι βαθμιαία και αρχίζει σαν καθίζηση με προοδευτική έκταση. Η ταχύτητα είναι μεγάλη.



Εικόνα 30. Έκταση βράχων με κατακόρυφες ρωγμές που υπέρκεινται μαλακών σχηματισμών (Varnes, 1978)

- **Ροές**

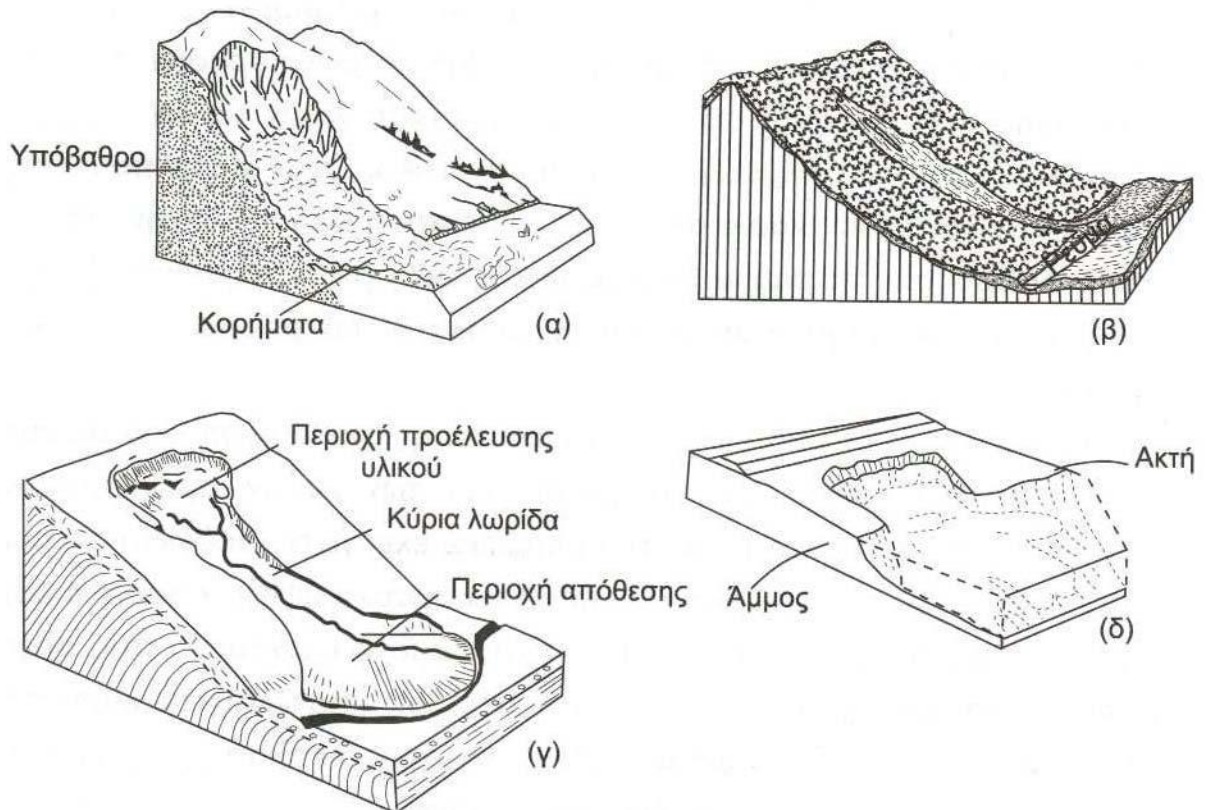
Οι ροές είναι συνεχείς κινήσεις στο χώρο, μη αναστρέψιμες παραμορφώσεις, στις οποίες οι επιφάνειες διάτμησης είναι μικρής έκτασης και συνήθως δεν διατηρούνται. Πρόκειται για γρήγορες ή αργές μετακινήσεις χαλαρών υλικών με ή χωρίς παρουσία υγρής φάσης, που συμβαίνουν ως αντίδραση στην ασκούμενη πίεση. Οι μετακινήσεις έχουν τα χαρακτηριστικά ρευστών με υψηλό ιξώδες. Διακρίνονται σε ερπυσμούς, ροές κορημάτων και ροές εδαφών.

- **Ερπυσμός**

Ο ερπυσμός είναι μια εξαιρετικά αργή κίνηση υλικού που φτάνει τα μερικά εκατοστά το χρόνο και είναι γενικά δυσδιάκριτη. Περιλαμβάνει χαλαρά υλικά, όπως ο επιφανειακός μανδύας αποσάθρωσης, που κινούνται ακόμη και σε μικρής κλίσης πρανή με την παρουσία νερού. Τα ανώτερα τμήματα κινούνται γρηγορότερα από τα κατώτερα με αποτέλεσμα χαρακτηριστικές καμπυλώσεις.

- **Ροές κορημάτων και εδαφών**

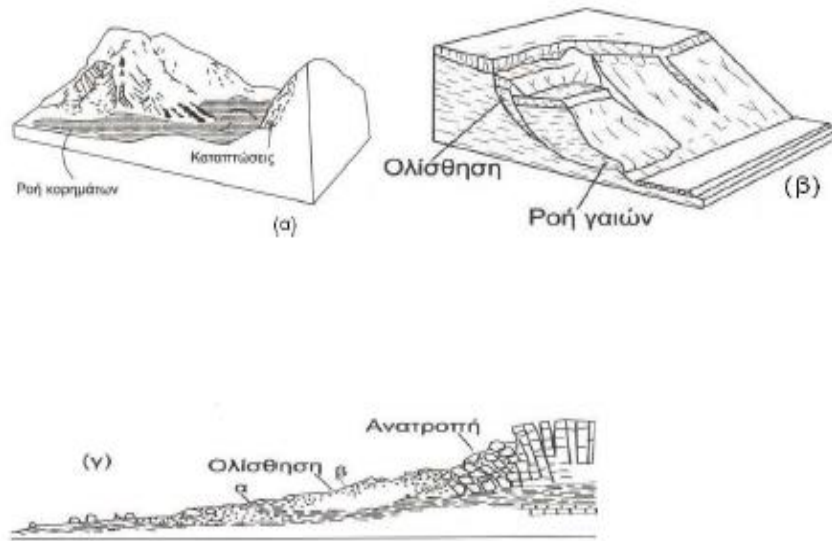
Οι ροές κορημάτων και εδαφών διακρίνονται από το υλικό που συμμετέχει και είναι χονδρόκοκκο στις πρώτες και λεπτόκοκκο στις δεύτερες. Αναγνωρίζονται από μεγαλύτερες μετατοπίσεις που συμβαίνουν υπό την επίδραση της βαρύτητας. Ακολουθούν προϋπάρχουσες διαδρομές στράγγισης, σχηματίζοντας ριπίδια και κώνους.



Εικόνα 31. Ροές κορημάτων στην πρώτη σειρά και ροή εδάφους και ροή άμμου στη δεύτερη σειρά (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007)

- **Σύνθετες κινήσεις**

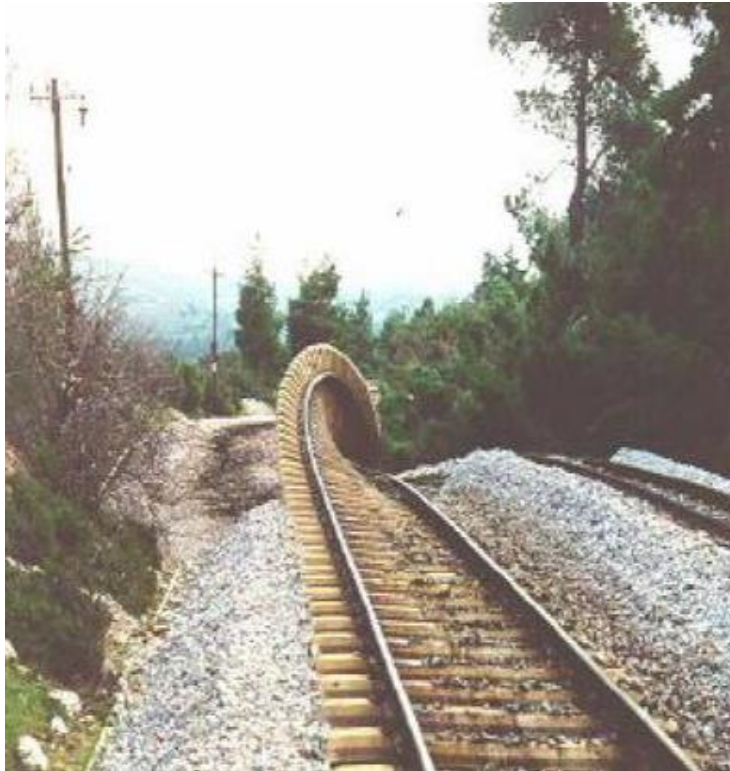
Αποτελούν συνδυασμό δύο ή περισσότερων από τις παραπάνω κατηγορίες. Οι κατολισθήσεις περιλαμβάνουν περισσότερους από έναν τύπους κινήσεων, οι οποίοι είτε δρουν ταυτόχρονα είτε εξελίσσονται σε διαφορετικές διαδικασίες με τον χρόνο.



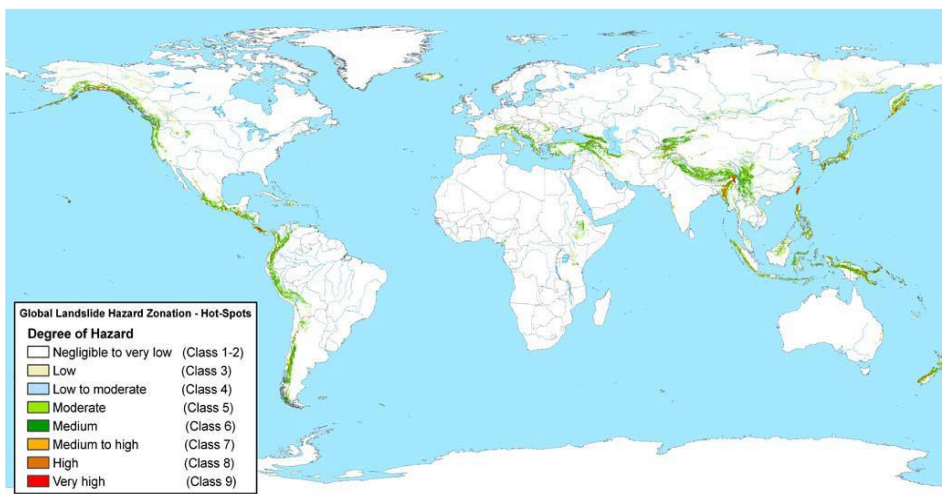
Εικόνα 32. Σύνθετες κινήσεις υλικών (α) καταπτώσεις και ροή, (β) ολίσθηση και ροή, (γ) ανατροπή και ολίσθηση (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007)

- Κατολισθήσεις στον Ελληνικό χώρο

Σε πολλές χώρες του κόσμου αλλά και στην Ελλάδα το πρόβλημα των κατολισθήσεων είναι αρκετά έντονο και η συχνότητά τους φαίνεται να βρίσκεται σε άνοδο, όπως φαίνεται και στον παρακάτω Παγκόσμιο Χάρτη Ζωνών Επικινδυνότητας Κατολισθήσεων. Αυτά τα φαινόμενα κατέχουν την πρώτη θέση ανάμεσα στα φυσικά καταστροφικά φαινόμενα από άποψη πρόκλησης ζημιών. Οι κύριοι λόγοι που συμβαίνει αυτό είναι η αύξηση του πληθυσμού ως αποτέλεσμα της ανάπτυξης της αστικοποίησης και της ανεξέλεγκτης χρήσης γης, η αποψίλωση, η κατασκευή τεχνικών έργων που επηρεάζουν την ευστάθεια μιας περιοχής, οι ακραίες καιρικές συνθήκες λόγω κλιματικής αλλαγής. Οι επιπτώσεις μπορούν να είναι άμεσες, όπως απώλεια ανθρώπινων ζώων και καταστροφή υποδομών και έμμεσες, όπως αποφράξεις ρεμάτων, πλήρωση ταμιευτήρων, καταστροφή αγροτικής γης κ.λ.π.



Εικόνα 33. Αστοχία της σιδηροδρομικής γραμμής μετά την κατολίσθηση της Μαλακάσας 1994 (4^ο ΓΕΛ Αμαρουσίου 2013-14)



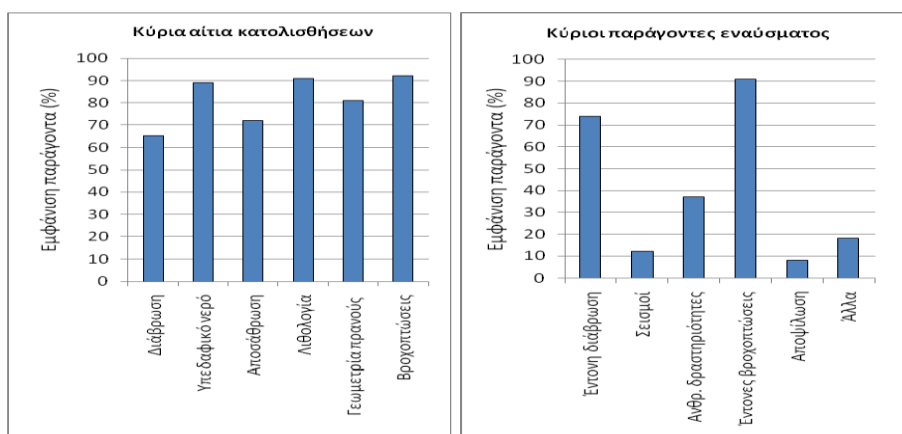
Εικόνα 34. Παγκόσμιος Χάρτης Ζωνών Επικινδυνότητας Κατολισθήσεων. Η Ελλάδα εμφανίζεται να βρίσκεται στη ζώνη μεσαίου κινδύνου (F. Nadim et al,2006)

Τα αίτια της γένεσης κατολισθητικών φαινομένων στην Ελλάδα είναι συνήθως το αποτέλεσμα της συνδυασμένης δράσης γεωλογικών, γεωτεχνικών, τεκτονικών,

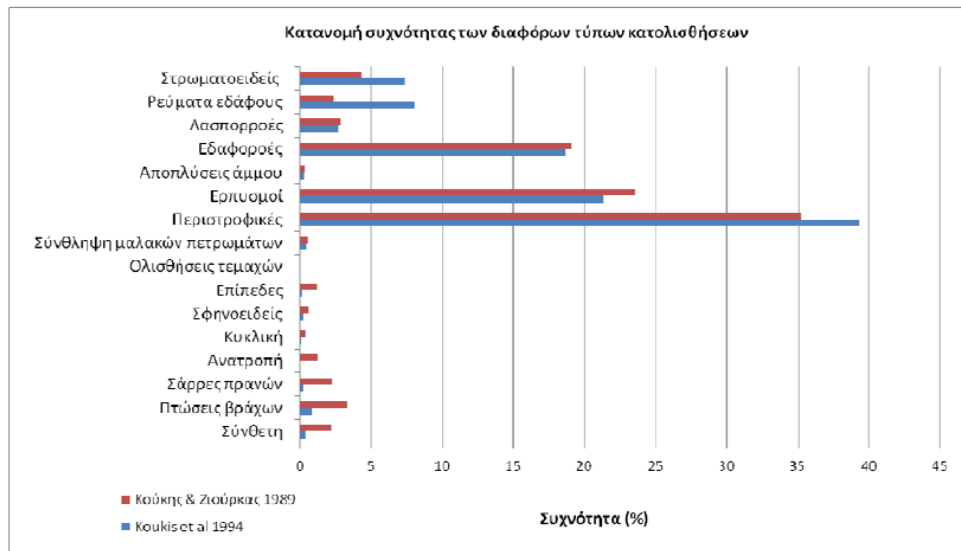
υδρογεωλογικών, τοπογραφικών, μορφολογικών και περιβαλλοντικών παραγόντων, αλλά και των ανθρώπινων παρεμβάσεων. Ο Ελληνικός χώρος χαρακτηρίζεται από:

- γεωμορφολογική και γεωλογική πολυμορφία, με μεγάλες μορφολογικές κλίσεις και απότομα πρηνή και διαφοροποιημένα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών,
- έντονη τεκτονική παραμόρφωση των σχηματισμών και υψηλή σεισμικότητα,
- τα μικρά μεγέθη των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών των γεωλογικών σχηματισμών,
- ανθρώπινες παρεμβάσεις, όπως αποψίλωση των δασών, διαμόρφωση των πρηνών, υπεράντληση υδροφόρου ορίζοντα,
- ακραία καιρικά φαινόμενα, όπως υψηλές και απότομες βροχοπτώσεις, έντονες χιονοπτώσεις.

Οι Κούκης και Ζιούρκας (1989) και οι Koukisetal (1994) έπειτα από στατιστική επεξεργασία διαφόρων παραγόντων των κατολισθήσεων του ελληνικού χώρου διαπιστώνουν ότι η πλειοψηφία των κατολισθητικών φαινομένων είναι αβαθείς (<5μ.) και αφορούν τρεις συχνότερους τύπους κατολισθήσεων, περιστροφικές ολισθήσεις, ερπυσμούς και ροές εδαφών. Το 61% των κατολισθήσεων συμβαίνουν σε περιοχές αποψίλωσης και το 57% σε κλίσεις πρηνών από 16° έως 30°. Επίσης, καταγράφουν ως μακράν πιο συνήθεις παράγοντες (>90%) που συνδέονται με το έναυσμα της κίνησης τις παρατεταμένες έντονες βροχοπτώσεις (Κούκης & Ζιούρκας, 1989, Koukis et al, 1997 και Koukis et al, 2005).

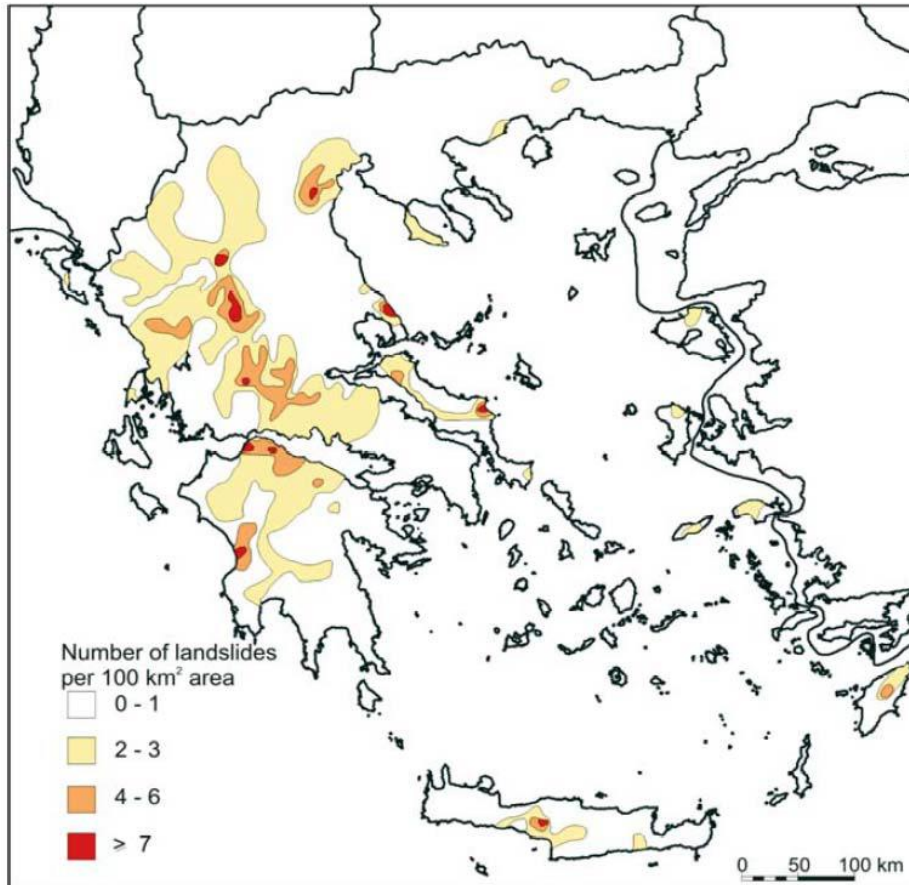


Εικόνα 35. Συχνότητα εμφάνισης αιτιών κατολισθήσεων και παραγόντων εναύσματος στον Ελληνικό χώρο (Koukiset al, 1997)



Εικόνα 36. Πίνακας κατανομής συχνότητας των τύπων κατολισθήσεων στον Ελληνικό χώρο (Κούκις & Ζιούρκας 1989, Koukias et al 1994)

Ο αριθμός των κατολισθήσεων που καταγράφονται κάθε χρόνο είναι μεγάλος. Κατά μήκος του οδικού δικτύου και σε οικιστικές περιοχές έχουν καταγραφεί πάνω από 500 περιπτώσεις τα τελευταία 50 χρόνια (Ι.Γ.Μ.Ε., Πανεπιστήμια, Υπουργείο Εθνικής Οικονομίας, Υπουργείο Γεωργίας, κλπ.) με χαρακτηριστικές τις κατολισθήσεις της Ε.Ο. Αθηνών - Λαμίας στη Μαλακάσα το 1995 και της Ε.Ο. Κορίνθου - Πατρών στη θέση Παναγοπούλα. Οι Koukias et al (2005) κατάρτησαν ένα χάρτη ζωνών κατολισθητικής επικινδυνότητας του Ελληνικού χώρου μελετώντας τον αριθμό των φαινομένων ανά 100 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Έτσι στον υπόλοιπο ελληνικό χώρο έχουν εκδηλωθεί σημαντικές κατολισθήσεις στις ορεινές περιοχές κατά μήκος της οροσειράς της Πίνδου, στην Πιερία, στο Πήλιο, στο Μικρό Χωριό Καρπενησίου, στην Εύβοια, στη δυτική Στερεά Ελλάδα, στη βόρεια και δυτική Πελοπόννησο αλλά και στην Κρήτη. Οι περισσότερες και μεγαλύτερες κατολισθήσεις που έχουν γίνει στον Ελλαδικό χώρο αποτελούν κυρίως ζώνες παλαιότερης ενεργοποίησης, ενώ οι πρόσφατες κατολισθήσεις εκδηλώνονται περισσότερο με την μορφή αστοχιών σε τεχνικά έργα.



Εικόνα 37. Χάρτης ζωνών κατολισθητικής επικινδυνότητας στον Ελληνικό χώρο
(Koukis et al, 2005)

Τέλος, οι κατολισθήσεις, οι καταπτώσεις και οι καθιζήσεις αποτελούν συνήθη δευτερεύοντα φαινόμενα των σεισμών. Η υψηλή σεισμικότητα επιδρά σε μάζες με οριακές συνθήκες ισορροπίας. Οι πιο έντονες κατολισθήσεις συμβαίνουν κατά την εκδήλωση σεισμών μεγέθους μεγαλύτερου από $M=6R$. Δεν είναι τυχαίο άλλωστε, ότι μεγάλος αριθμός κατολισθήσεων συνδέεται με έντονα σεισμικά γεγονότα, όπως οι σεισμοί της Κυλλήνης το 1988, της Μήλου το 1992, του Πύργου το 1993, των Γρεβενών το 1995, της Αθήνας 1999. Οι σεισμοί των Αλκονοίδων το 1981 προκάλεσαν εκτεταμένες κατολισθήσεις στην περιοχή της Περαχώρας, ο σεισμός της Καλαμάτας το 1986 εκτεταμένες καταπτώσεις στον Ταΰγετο και ο σεισμός της Σκύρου στα πρανή του Κάστρου.

Καρστ

Σε πολλές περιοχές της γης στις οποίες επικρατούν τα ανθρακικά πετρώματα, κυρίως ασβεστόλιθοι, δολομίτες και μάρμαρα, διαμορφώνεται μια επιφανειακή μορφολογία

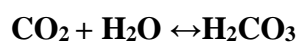
και μια υποεπιφανειακή δομή σαν αποτέλεσμα της διάλυσης αυτών των πετρωμάτων από το νερό, η οποία είναι γνωστή ως **Karst**.



Εικόνα 38: Καρστική διάβρωση με διεύρυνση των διακλάσεων του ασβεστολίθου, (προσωπικό αρχείο)

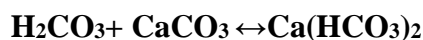
-Σχηματισμός καρστ

Η διαδικασία της διάλυσης ονομάζεται καρστική διάβρωση και λαμβάνει χώρα όταν το μετεωρικό νερό εμπλουτίζεται σε CO₂ απευθείας από την ατμόσφαιρα ή/και από το έδαφος και μετατρέπεται σε διαλυτικό μέσο σύμφωνα με τη χημική αντίδραση:



Η διαλυτική ικανότητα του νερού αυξάνεται μέχρι τον κορεσμό του σε CO₂. Νερά με θερμοκρασία 0° C και συνηθισμένη περιεκτικότητα σε CO₂ μπορούν να διαλύσουν 70mg/lit περίπου. Στη φύση οι τιμές διαλυτικής ικανότητας του νερού ανέρχονται περίπου σε 100 – 200 mg/lit (Σωτηριάδης, 1984).

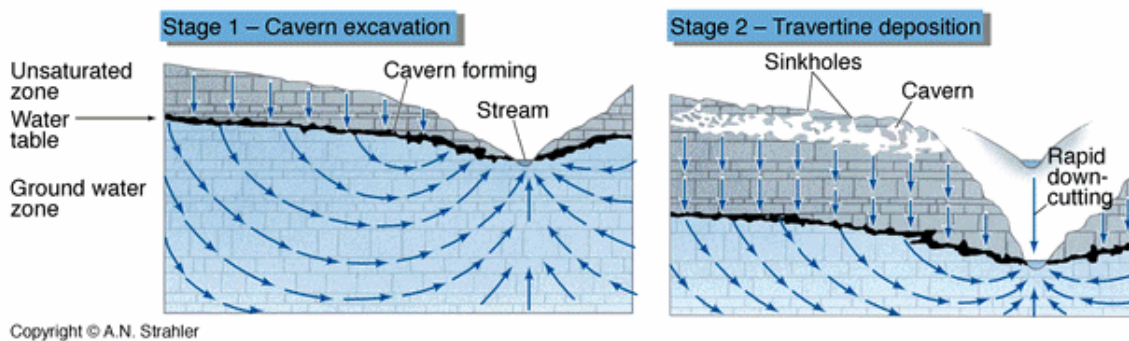
Οι επιδεικτικοί στη χημική διάλυση ανθρακικοί σχηματισμοί, οι οποίοι αποτελούνται από άλατα του ασβεστίου και μαγνησίου (CaCO₃, MgCO₃), κατά την επαφή τους με το όξινο ανθρακικό διάλυμα μετατρέπονται σε διαλυτά όξινα ανθρακικά άλατα, σύμφωνα με την παρακάτω χημική αντίδραση:



Αν έχουμε περίσσεια ποσότητα CO_2 στο νερό, η παραπάνω αντίδραση μετατοπίζεται προς τα δεξιά και αυξάνεται η ποσότητα του $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Αντίθετα, διαφυγή CO_2 από το διάλυμα προκαλεί τη μετατροπή του $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ σε αδιάλυτο CaCO_3 με αποτέλεσμα την απόθεση του ανθρακικού ασβεστίου (Παπαδοπούλου-Βρυνιώτη, 2000).

Η κυκλοφορία του νερού υπόγεια στα ανθρακικά πετρώματα γίνεται μέσω του δευτερογενούς πορώδους, δηλαδή των ρωγμών, των διακλάσεων και των ρηγματών που διακόπτουν τη συνέχειά τους. Με την πάροδο χιλιάδων χρόνων η ροή του νερού μέσα από τη μάζα τους δημιουργεί υπόγεια καρστικά συστήματα, όπως είναι τα υπόγεια έγκοιλα, οι καταβόθρες και τα σπήλαια, που συνήθως φιλοξενούν υπόγειες υδροφορίες. Σε αυτά τα συστήματα ο κορεσμός των νερών σε διαλυμένο CaCO_3 είναι υπεύθυνος για τη δημιουργία των σπηλαιοαποθέσεων.

Η δημιουργία υπόγειων καρστικών εγκοίλων στο εσωτερικό της ανθρακικής μάζας, εξαρτάται από τη θέση του υδροφόρου ορίζοντα. Τα ακόρεστα σε διαλυμένο CaCO_3 νερά είναι ικανά να διαλύσουν το πέτρωμα και να διευρύνουν περαιτέρω της ρωγμές. Μια πτώση του υδροφόρου ορίζοντα σε μεγαλύτερο βάθος, εξαιτίας της γεωμορφολογικής εξέλιξης και της καρστικής διάβρωσης, δημιουργεί επιπλέον ζώνες υπόγειων εγκοίλων, όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 39. Σχηματισμός υπόγειων εγκοίλων και σπηλαίων κοντά στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα (Παπαδοπούλου-Βρυνιώτη, 2000)

Η διάλυση των ασβεστόλιθων τόσο επιφανειακά όσο και υπόγεια εξαρτάται επίσης από την περιεκτικότητα του ασβεστόλιθου σε CaCO_3 . Αν είναι μεγαλύτερη του 90% αναπτύσσεται ένα έντονο καρστ ενώ το καρστ είναι περιορισμένο όταν η

περιεκτικότητα σε CaCO_3 είναι μικρότερη του 60% (Σωτηριάδης, 1984). Φυσικά το μεγαλύτερο ρόλο παίζει η κατάσταση του πετρώματος. Τα ανθρακικά πετρώματα που έχουν υποστεί κατακερματισμό ή πτύχωση λόγω των έντονων τεκτονικών διεργασιών, διατέμνονται από ρωγμές και διακλάσεις, οι οποίες δημιουργούν το δευτερογενές πορώδες που είναι σημαντικός παράγοντας για τη διάλυση και ελέγχει σε μεγάλο βαθμό το σχήμα της διατομής των εγκοίλων.

Καρστικές μορφές

Ο βαθμός ανάπτυξης των επιφανειακών και υπόγειων μορφών που σχηματίζονται σε ανθρακικούς σχηματισμούς, ποικίλει από περιοχή σε περιοχή. Κάποιες καρστικές περιοχές παρουσιάζουν έντονο ανάγλυφο με εμφανή την επιφανειακή διάλυση των πετρωμάτων και άλλες έχουν ομαλό ανάγλυφο με λίγα ίχνη καρστικοποίησης.

Οι καρστικές μορφές χωρίζονται σε επιφανειακές και υπόγειες. Επιφανειακές μορφές είναι οι μερικών εκατοστών αυλακώσεις και βυθίσματα στην επιφάνεια των πετρωμάτων, όπως οι γλυφές και δακτυλογλυφές και οι δομές πολλών μέτρων, όπως τα καρστικά φρέατα, οι δολίνες, οι ουβάλες και οι πόλγες. Οι υπόγειες καρστικές μορφές είναι οι καταβόθρες, οι μικροί και μεγάλοι οχετοί, τα σπήλαια και τα έγκοιλα (Παπαδοπούλου-Βруνιώτη, 2000).

Οι υπόγειες γεωμορφές είναι οι πιο σημαντικές μορφές καρστικοποίησης, οι οποίες σχετίζονται με πιθανούς γεωκινδύνους. Οι καταβόθρες είναι καρστικοί αγωγοί ή έγκοιλα, που φτάνουν μέχρι την επιφάνεια του εδάφους κατακόρυφα ή με μεγάλη κλίση. Δέχονται μόνιμα ή περιοδικά επιφανειακά και υπόγεια νερά και συνδέονται με συστήματα σπηλαίων. Τα σπήλαια είναι επίσης έγκοιλα μεγάλων διαστάσεων, τα οποία επικοινωνούν με την επιφάνεια μέσω ενός φυσικού ανοίγματος.



Εικόνα 40. Καρστική υδροφορία μέσα στον ασβεστόλιθο (disigma.gr)



Εικόνα 41. Μεγάλου μεγέθους καρστικά έγκοιλα στην πόλη της Κοπαΐδας (disigma.gr)

-Καρστικός κίνδυνος στην Ελλάδα

Η Ελλάδα είναι χώρα με πλούσιο σπηλαιολογικό πλούτο εξαιτίας της φύσης των πετρωμάτων. Τα ανθρακικά πετρώματα αποτελούν περισσότερο από το 60% των πετρωμάτων της χώρας. Έτσι, η διαδικασία της διάλυσης συμβαίνει σε μεγάλο βαθμό.

Σε περιοχές με επιφανειακό εδαφικό στρώμα που καλύπτει καρστικά υπόγεια συστήματα συμβαίνουν τοπικές καθιζήσεις στην επιφάνεια του εδάφους, υπό την επίδραση της βαρύτητας. Με την αυξανόμενη διάλυση του πετρώματος και τη μεγέθυνση της εδαφικής κοιλότητας προκαλούνται αρχικά επιφανειακές διαρρήξεις, παρατηρούνται παραμορφώσεις στα υπερκείμενα εδαφικά στρώματα με αργούς ρυθμούς, σε χρονικό διάστημα εβδομάδων ή και χρόνων και στη συνέχεια λαμβάνει χώρα η κατάρρευση και καθίζηση στην επιφάνεια του εδάφους.

Ο καρστικός κίνδυνος στον ελλαδικό χώρο είναι συνήθης, διότι οι χρήσεις γης επεκτείνονται συνεχώς σε περιοχές που είναι επιρρεπείς σε φαινόμενα καθιζήσεων από καρστικά συστήματα. Η ανάγκη για νερό και η υπεράντληση οδηγεί στην πτώση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα και στην συνεχή διάλυση των υποεπιφανειακών ανθρακικών πετρωμάτων. Επίσης, τα υπόγεια καρστικά συστήματα τροφοδοτούν ποταμούς και πηγές και σε περιπτώσεις έντονης συγκέντρωσης υδάτων μπορεί να προκαλέσουν πλημμύρες, ροές κορημάτων και διαφόρων τύπων ολισθήσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

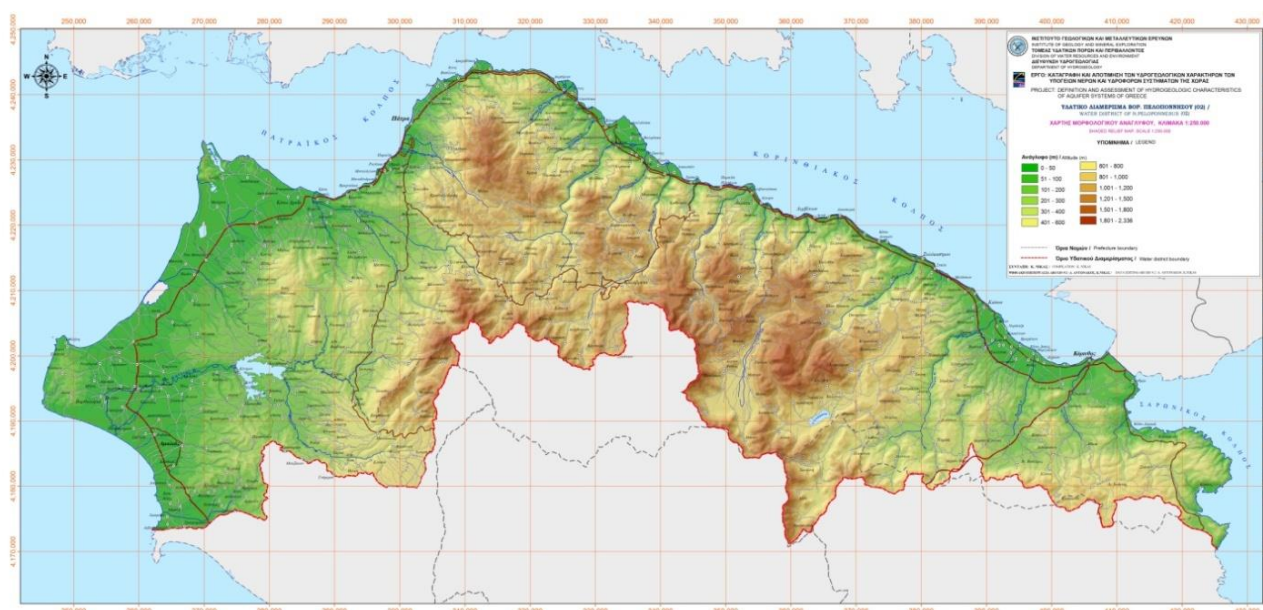
4.1 ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Τοπογραφία - Γεωμορφολογία

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο Νομό Αχαΐας, στο ΒΔ τμήμα της Πελοποννήσου και περιλαμβάνει τα τμήματα της Νέας Εθνικής Οδού Κορίνθου-Πατρών «Ελίκη-Ροδιά-Διακοφτό» και «Ψαθόπυργος-Παναγοπούλα-Λαμπίρι».

Το γεωμορφολογικό ανάγλυφο της περιοχής της Βόρειας Πελοποννήσου χαρακτηρίζεται κυρίως ορεινό, με ορεινούς όγκους που κυμαίνονται από 600m έως 2.341m υψόμετρο και κυριότερα όρη από τα δυτικά προς τα ανατολικά, το Παναχαϊκό με μέγιστο υψόμετρο 1.926m, τον Ερύμανθο ή Ωλονό με μέγιστο υψόμετρο 2.224m και τα Αροάνια ή Χελμός με μέγιστο υψόμετρο 2.341m. Το ανάγλυφο επίσης περιλαμβάνει ημιορεινό τμήμα, με υψόμετρο 100m– 600m και πεδινό από 0m– 100m, που αποτελεί την παράκτια ζώνη. Εξαιτίας της τεκτονικής των βόρειων ακτών της Πελοποννήσου έχουν διαμορφωθεί κλιμακωτές, ήπιες πεδινές εκτάσεις (μορφολογικές αναβαθμίδες) που καταλήγουν στη θάλασσα.

Εικόνα 42. Χάρτης Μορφολογικού Ανάγλυφου Υδατικού Διαμερίσματος Β. Πελοποννήσου, κλίμακας 1:250.000 (ΙΓΜΕ, 2010)



Η ευρύτερη περιοχή μελέτης ανήκει στη Λεκάνη Απορροής Ρεμάτων Παραλίας Β. Πελοποννήσου (GR27) με έκταση 3.685 χλμ², που αποτελεί τμήμα του Υδατικού Διαμερίσματος Βόρειας Πελοποννήσου (ΥΔ 02) σύμφωνα με την υπ' αριθμ. 706/2010 (ΦΕΚ 1383/Β/2-9-10) Απόφαση της Εθνικής Επιτροπής Υδάτων. Η εν λόγω λεκάνη εκτείνεται στις Περιφερειακές Ενότητες Αργολίδας, Κορινθίας και Αχαΐας. Τα γεωγραφικά όρια της περιοχής αποτελούν στα δυτικά οι ορεινοί όγκοι των Δήμων Πατρέων και Ερυμάνθου, στα νότια τα όρη Ερύμανθος, Χελμός, Ολίγυρτος, Λύρκειο, Ονειών, Τραπεζώνα και στα ανατολικά ο Σαρωνικός Κόλπος.

Το κύριο υδρογραφικό δίκτυο αποτελούν οι ποταμοί Σελινούντας, Βουραϊκός, Ασωπός, Σύθας (Τρικαλίτικος) και Κράθις, οι οποίοι εκβάλλουν στον Κορινθιακό κόλπο. Κατά μήκος τους αναπτύσσονται μεγάλες προσχωσιγενείς πεδιάδες καθώς οι ποταμοί μεταφέρουν και αποθέτουν κλαστικά ιζήματα, ενώ στο εσωτερικό της Βόρειας Πελοποννήσου σχηματίζονται πεδινές εκτάσεις στις κλειστές λεκάνες Φενεού και Στυμφαλίας.

Πίνακας 10. Ποταμοί και ρέματα στη Λεκάνη Απορροής Ρεμάτων Παραλίας Βορ. Πελοποννήσου (GR27) (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013)

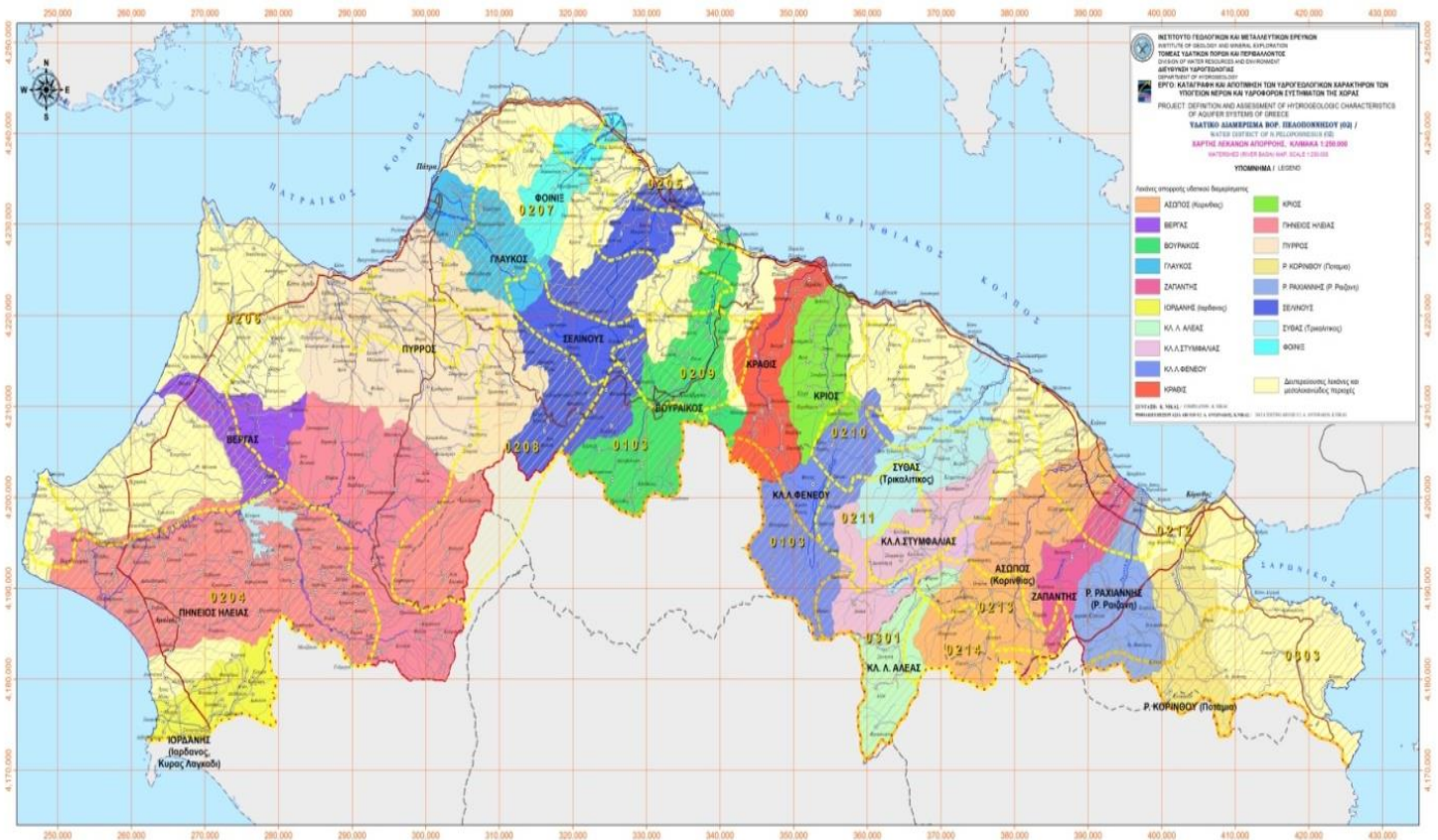
ΟΝΟΜΑ	ΜΗΚΟΣ ΚΥΡΙΑΣ ΚΟΙΤΗΣ (χλμ)	ΕΚΤΑΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΠΟΤΑΜΟΥ (χλμ ²)
ΣΕΛΙΝΟΥΣ Π.	47,82	386,60
ΑΣΩΠΟΣ Π.	38,24	281,28
ΒΟΥΡΑΪΚΟΣ Π.	37,51	254,35
ΤΡΙΚΑΛΙΤΙΚΟΣ Π.	31,98	177,77
ΡΑΙΖΑΝΗ Ρ.	23,58	165,70
ΠΟΤΑΜΙΑ Ρ.	9,59	162,91
ΚΡΑΘΙΣ Π.	32,58	153,97
ΚΡΙΟΣ Π.	20,32	113,88
ΓΛΑΥΚΟΣ Π.	26,31	109,38
ΦΟΙΝΙΚΑΣ Π.	22,83	95,85
ΜΕΓΑΝΕΙΤΑΣ Ρ.	16,01	81,75
ΚΥΡΙΛΛΟΥ Ρ.	4,32	74,59
ΔΕΡΒΕΝΙΟ Ρ.	8,12	68,17
ΦΟΝΙΣΣΑ Ρ.	13,00	53,08
ΣΚΟΥΠΑΪΙΚΟ Ρ.	10,83	46,39

Οι κυριότερες λίμνες στη λεκάνη αυτή είναι η λίμνη Στυμφαλία, η οποία έχει έκταση 3,57 χλμ² και η τεχνητή λίμνη Ασωπού με έκταση 1,28 χλμ² σύμφωνα με την Ειδική Γραμματεία Υδάτων (2013).

ΟΝΟΜΑ	ΕΚΤΑΣΗ ΛΙΜΝΗΣ (χλμ ²)	ΕΚΤΑΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΛΙΜΝΗΣ (χλμ ²)
ΛΙΜΝΗ ΣΤΥΜΦΑΛΙΑ	3,57	222,29
ΤΕΧΝΗΤΗ ΛΙΜΝΗ ΑΣΩΠΟΥ	1,28	244,60

Η περιοχή μελέτης τοποθετείται ανάμεσα στις λεκάνες απορροής των ποταμών Γλαύκος και Φοίνικας δυτικά και Σελινούντας και Βουραϊκός ανατολικά, σύμφωνα με το «Χάρτη Λεκανών Απορροής» κλίμακας 1:250.000 του ΙΓΜΕ (2010) που ακολουθεί.

Εικόνα 43. Χάρτης Λεκανών Απορροής Υδατικού Διαμερίσματος Β. Πελοποννήσου, Κλίμακας 1:250.000 (ΙΓΜΕ,2010)

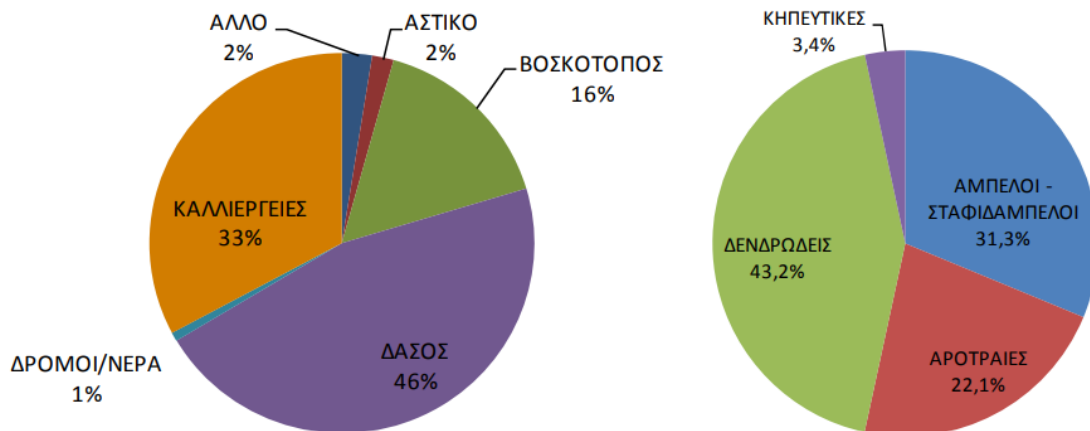


Χρήσεις γης

Στην περιοχή της Βόρειας Πελοποννήσου, σε μια συνολική έκταση 3.685χλμ², διακρίνονται οι βασικές κατηγορίες χρήσεων γης όπως παρουσιάζονται στον παρακάτω χάρτη και στα διαγράμματα. Το 46% αποτελούν τα δάση, το 33% οι καλλιέργειες, το 16% οι βοσκότοποι και οι αστικές εκτάσεις και άλλες χρήσεις αποτελούν το 5%.



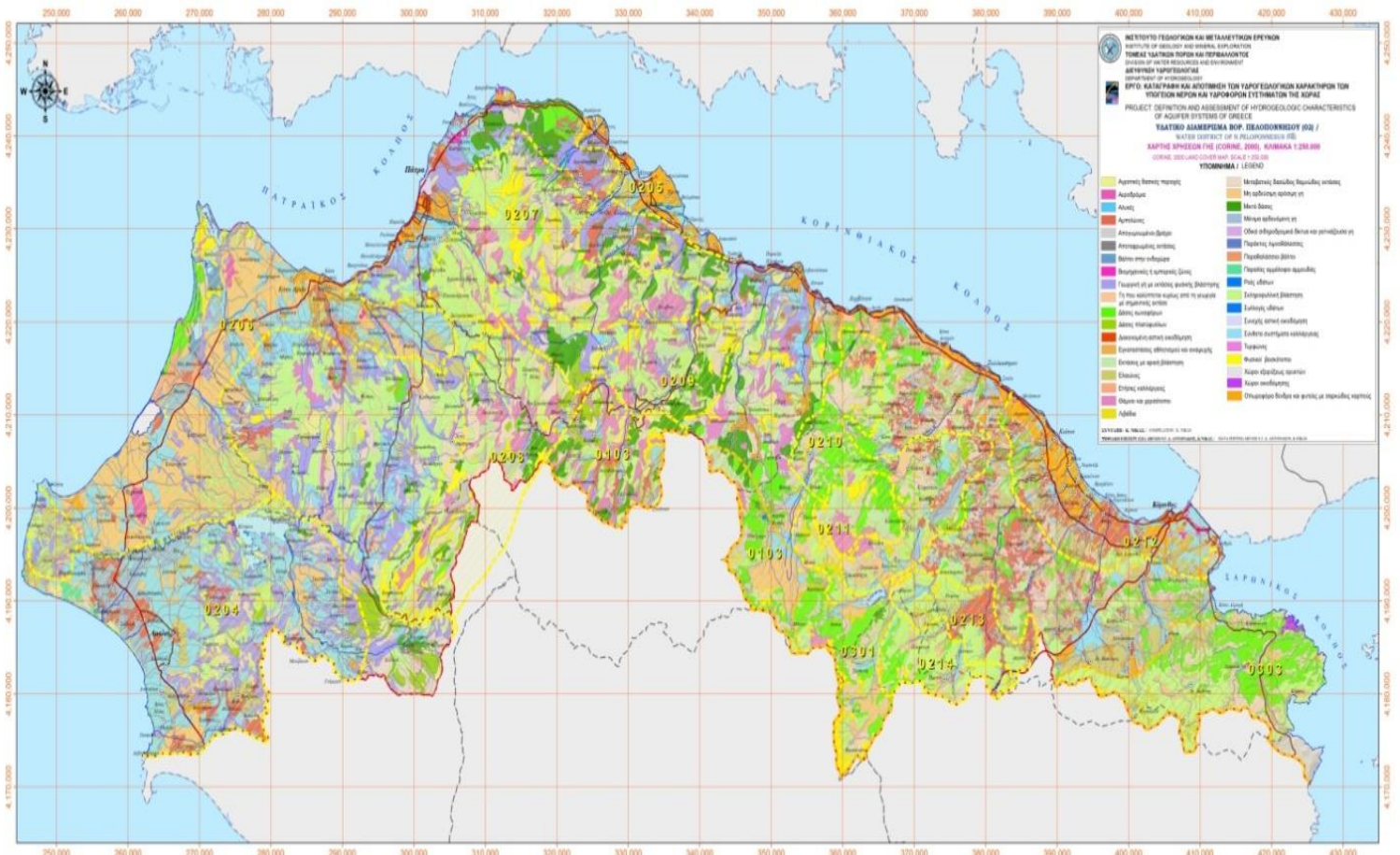
Εικόνα 44. Χάρτης χρήσεων γης της Λεκάνης Απορροής Ρεμάτων παραλίας Βόρ. Πελοποννήσου (GR27) (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013)



Εικόνα 45. Κατανομή χρήσεων γης και καλλιεργειών στη ΛΑΠ Ρεμάτων παραλίας Βόρ. Πελοποννήσου (GR27) (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013)

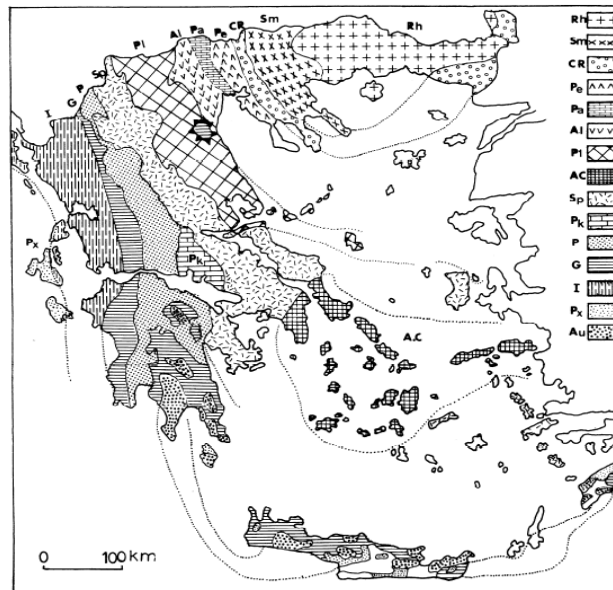
Επιπλέον, σύμφωνα με το χάρτη «Χρήσης – Κάλυψη γης» Υδατικού Διαμερίσματος Β. Πελοποννήσου του ΙΓΜΕ (2010) οι χρήσεις γης στην περιοχή μελέτης σχετίζονται με δάση κωνοφόρων και μεικτών δέντρων στην περιοχή Ψαθόπυργου - Παναγοπούλας και στην περιοχή Ελίκης – Ροδιάς – Διακοφτό με σύνθετα συστήματα καλλιέργειας, οπωροφόρα δέντρα και γεωργική γη με εκτάσεις φυσικής βλάστησης και λίγη δασική έκταση.

Εικόνα 46. Χάρτης «Χρήσης – Κάλυψη γης» Υδατικού Διαμερίσματος Β. Πελοποννήσου, κλίμακας 1:250.000 (ΙΓΜΕ, 2010)



Γεωλογία - Τεκτονική

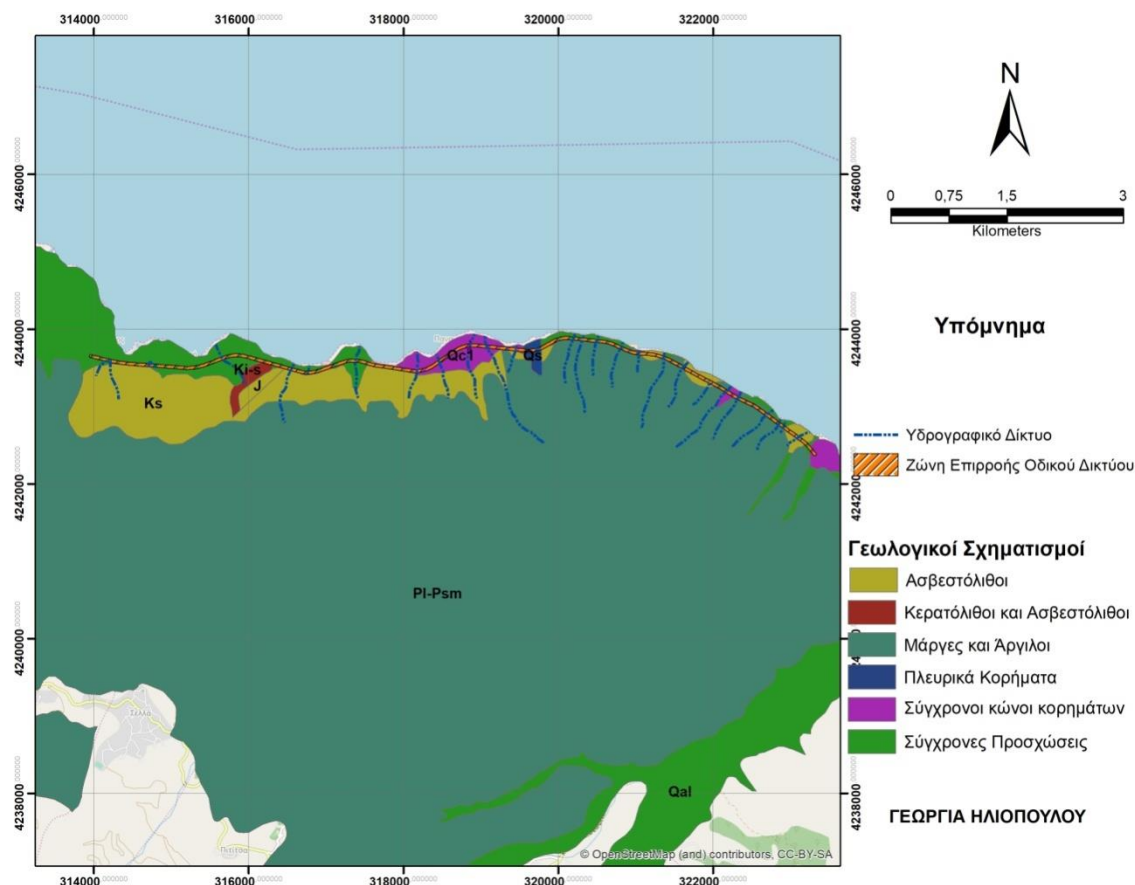
Ο Ελληνικός χώρος δομείται από γεωτεκτονικές ζώνες, δηλαδή συγκεκριμένες στρωματογραφικές αλληλουχίες, στηριζόμενες στους ιδιαίτερους λιθολογικούς χαρακτήρες και στην ιδιαίτερη τεκτονική συμπεριφορά τους (Aubouin, 1959). Οι γεωτεκτονικές ζώνες του ελληνικού χώρου τοποθετούνται σε συγκεκριμένες παλαιογεωγραφικές θέσεις στον πυθμένα της θάλασσας της Τηθύος. Από το Τριαδικό και έπειτα οι γεωτεκτονικές ζώνες δημιουργήθηκαν κάποιες σε περιβάλλοντα υποθαλάσσιων ράχων και οι υπόλοιπες σε βαθιές αύλακες με συγκεκριμένες δομές ανάπτυξης. Ο Brunn (1960) διαχώρισε τις ελληνικές γεωτεκτονικές ζώνες σε δύο κύριες ομάδες με διάταξη BBD-NNA, τις εξωτερικές στα δυτικά στις οποίες εκδηλώθηκε μια φάση ορογένεσης, η αλπική και τις εσωτερικές στα ανατολικά στις οποίες εκδηλώθηκαν και παλαιότερες ορογένεσεις.



Εικόνα 47. Γεωτεκτονική διάταξη των Ελληνίδων ζωνών: Rh. Μάζα της Ροδόπης, Sm. Σερβομακεδονική μάζα, CR. Περιοδοπική ζώνη, (Pe. Ζώνη Παιονίας, Pa. Ζώνη Πάικου, Al. Ζώνη Αλμωπίας) = Ζώνη Αξίου, Pl. Πελαγονική ζώνη, Ac. Αττικο-Κυκλαδική ζώνη, Sp. Πελαγονική ζώνη, Pk. Ζώνη Παρνασσού -Γκιώνας, P. Ζώνη Πίνδου, G. Ζώνη Γαβρόβου -Τρίπολης, ι. Ιόνιος ζώνη, PX. Ζώνη Παξών ή Προαπούλια, Au. Ενότητα πλακωδών ασβεστολίθων (Plattencalk) πιθανόν της Ιονίου ζώνης (Mountrakis et al, 1983)

Γεωλογία περιοχής μελέτης

Με βάση τους γεωλογικούς χάρτες φύλλο «Ναύπακτος» και «Αίγιον» του Ι.Γ.Μ.Ε. κλίμακας 1:50.000 στην περιοχή μελέτης απαντώνται μεταλλικοί σχηματισμοί, δηλαδή αλλουβιακά ριπίδια, προϊόντα αποσάθρωσης και προϊόντα επίχωσης και το αλπικό βραχώδες υπόβαθρο, το οποίο συνίσταται από σχηματισμούς που ανήκουν στην γεωτεκτονική ζώνη Ωλονού-Πίνδου.



Εικόνα 49. Γεωλογικός Χάρτης περιοχής μελέτης ψηφιοποιημένος από Φύλλο ΙΓΜΕ 1:50000 –Ναύπακτος (ArcMap)

Μεταλλικά ιζήματα

Τα πρόσφατα μεταλλικά ιζήματα του Πλειο-Πλειστόκαινου και του Τεταρτογενούς τοποθετούνται ασύμφωνα στους αλπικούς σχηματισμούς. Τα Πλειο-Πλειστόκαινικα ιζήματα αποτελούνται από τα κροκαλοπαγή, τα οποία καλύπτουν μεγάλη έκταση των λόφων της περιοχής, ενώ οι τεταρτογενείς αποθέσεις συνιστούν κατά το μεγαλύτερο

μέρος τους εδαφικά υλικά παλαιών και πρόσφατων κατολισθήσεων, αλλά και σύγχρονες ασύνδετες αποθέσεις και κορήματα.

Τεταρτογενές

Σύγχρονες ποτάμιες αποθέσεις, πλευρικά κορήματα, κώνοι κορημάτων, υλικά αποσάθρωσης και υλικά πρόσφατων και παλαιότερων κατολισθήσεων. Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται και οι σύγχρονες αποθέσεις κοίτης που αναπτύσσονται εκατέρωθεν της κοίτης των ποταμών. Πρόκειται για υλικά με μεγάλη ετερογένεια αλλά με επικράτηση κατά κανόνα των άμμων, χαλίκων και κροκαλών.

Πλειστόκαινο - Πλειόκαινο

Ποταμολιμναίες και λιμνοθαλάσσιες αποθέσεις (άργιλοι, πηλοί, άμμοι, συνεκτικά κροκαλοπαγή και μάργες). Στην περιοχή μελέτης τα κροκαλοπαγή αναπτύσσουν μεγάλα πάχη με παρεμβολές στρωμάτων λεπτομερούς υλικού. Εμφανίζονται νότια των χωριών Ροδιάς και Διακοφτού και στην περιοχή του Ψαθόπυργου-Παναγοπούλας-Λαμπίρι.

Ζώνη Ωλονού-Πίνδου

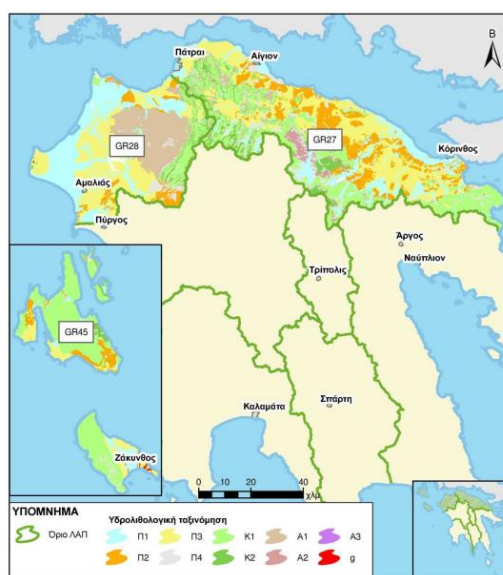
Αν. Κρητιδικόι πλακώδεις ασβεστόλιθοι χρώματος γκριζόλευκο έως ερυθρού με ενστρώσεις πυριτολίθων. Τα κατώτερα μέλη του υποβάθρου δομούνται από λευκότεφρους λεπτο-μεσοπλακώδεις ασβεστόλιθους με ενδιαστρώσεις καστανέρυθρων κερατόλιθων και υπότεφρων αργιλικών ασβεστολίθων, ενώ τα ανώτερα στρώματα αποτελούνται από μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθους με θραύσματα ρουδιστών και παρουσιάζουν στρώσεις ψαμμιτών και αργιλικών σχιστολίθων με κερατόλιθους. Επίσης είναι έντονη η παρουσία των σχιστοκερατόλιθων και πηλιτών, μαργών και ψαμμιτών, όπου και αποτελούν τη ζώνη μετάβασης προς το φλύσχη. Οι ασβεστόλιθοι εμφανίζονται έντονα τεκτονισμένοι και διακλασμένοι με πάχος στρώσης έως 30 cm. Εμφανίζονται στην περιοχή του Ψαθόπυργου-Παναγοπούλας και νότια του χωριού Ελίκη.

Υδρογεωλογία περιοχής μελέτης

Σύμφωνα με τον υδρολιθολογικό χάρτη που ακολουθεί (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013) οι γεωλογικοί σχηματισμοί ταξινομούνται με βάση την υδρογεωλογική τους συμπεριφορά. Αυτή η συμπεριφορά τους είναι υπεύθυνη για την πρόκληση

κατολισθητικών φαινομένων, πλημμυρών και άλλων γεωκινδύνων που σχετίζονται με τη διαπερατότητά τους.

Όσον αφορά την περιοχή μελέτης, στις πεδινές παράκτιες περιοχές της Ελίκης-Διακοφτού αναπτύσσονται κοκκώδη υδροφόρα συστήματα, που φιλοξενούν υπόγειες υδροφορίες. Στις Ολοκαινικές αποθέσεις, στα αλουβιακά ριπίδια, στις δελταϊκές αποθέσεις των ποταμών και στα κορήματα δημιουργούνται προσχωματικοί φρεάτιοι υδροφόροι ορίζοντες με πάχος που κυμαίνεται, από μερικά, έως αρκετές δεκάδες μέτρα και εντός των Πλειο-Πλειστοκαινικών αποθέσεων (συνεκτικά κροκαλοπαγή) εντοπίζονται ελεύθεροι και υπό πίεση υδροφόροι ορίζοντες σε μεγάλα βάθη (>100m). Επιπλέον, πιο δυτικά στην περιοχή Ψαθόπυργου-Λαμπίρι κυριαρχούν οι πλακώδεις ασβεστόλιθοι υψηλής έως μέτριας υδροπερατότητας εξαιτίας του δευτερογενούς πορώδους που αναπτύσσεται στην κερματισμένη βραχομάζα τους. Νότια από αυτούς εντοπίζονται μη προσχωματικές αποθέσεις μικρής έως πολύ μικρής υδροπερατότητας (αδιαπέρατες μάργες).



Υδρολιθολογική ταξινόμηση

Κοκκώδεις σχηματισμοί

P1 Προσχωματικές κυρίως αποθέσεις κυμαινόμενης υδροπερατότητας

P2 Νεογενείς και Πλειστοκαινικές αποθέσεις μέτριας έως μικρής υδροπερατότητας

P3 Μη προσχωματικές αποθέσεις μικρής έως πολύ μικρής υδροπερατότητας

P4 Κορήματα κυμαινόμενης υδροπερατότητας

Καρστικοί σχηματισμοί

K1 Ανθρακικοί σχηματισμοί υψηλής έως μέτριας υδροπερατότητας

K2 Ανθρακικοί σχηματισμοί μέτριας έως μικρής υδροπερατότητας

Ρωγματώδεις σχηματισμοί

A1 Ρωγματώδεις σχηματισμοί μικρής έως πολύ μικρής υδροπερατότητας (φλύσχης)

A2 Ρωγματώδεις σχηματισμοί μικρής έως πολύ μικρής υδροπερατότητας (φυλλίτες-χαλαζίτες-σχετόλιθοι)

A3 Ρωγματώδεις σχηματισμοί μικρής έως πολύ μικρής διαπερατότητας (τυριγενή)

Γύφοι
Γύφοι

Εικόνα 50. Υδρολιθολογικός χάρτης Υδατικού Διαμερίσματος Βόρειας Πελοποννήσου (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013)

Νεοτεκτονική περιοχής μελέτης

Οι αλπικοί γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής μελέτης έχουν υποστεί την επίδραση επανειλημμένων τεκτονικών γεγονότων που είχαν ως αποτέλεσμα τόσο την πτύχωση και διάρρηξη των σχηματισμών όσο και μεγαλύτερης κλίμακας επωθήσεις και λεπιώσεις. Επιπλέον, οι γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής διακόπτονται από ενεργές ρηξιγενείς ζώνες, οι οποίες αποδίδονται στις πρόσφατες νεοτεκτονικές κινήσεις του Κορινθιακού κόλπου.

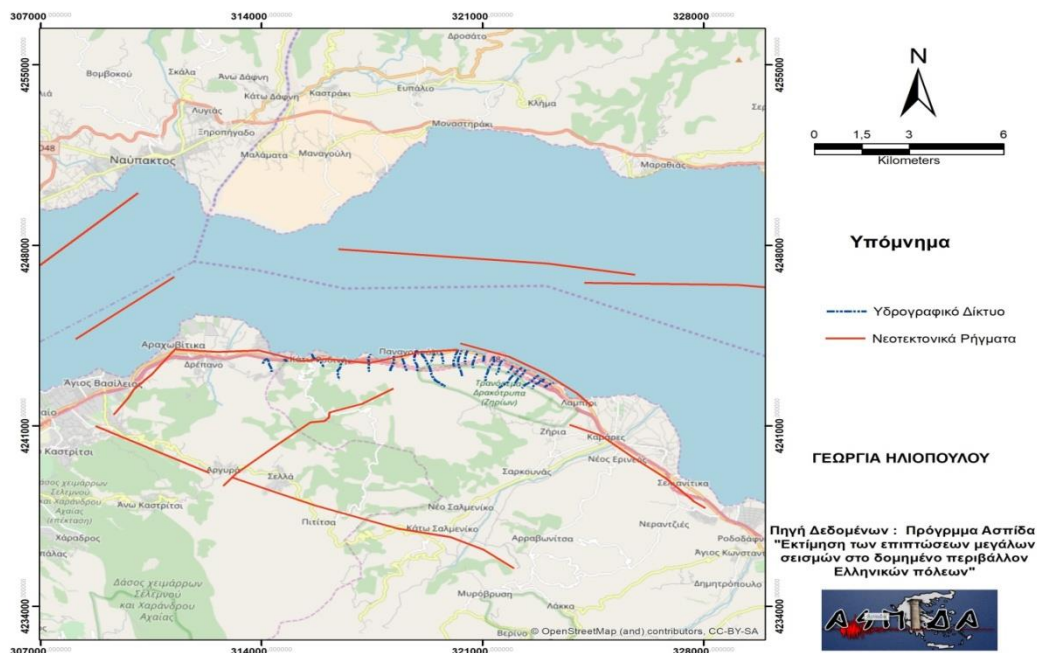
Στην περιοχή μελέτης εντοπίζονται δύο μεγάλου μήκους, σημαντικές ρηξιγενείς ζώνες Πλειστοκαινικής ηλικίας, οι οποίες έχουν επηρεάσει την εξέλιξη της ευρύτερης περιοχής:

- **Ρήγμα «Ψαθόπυργου – Παναγοπούλας».** Εντοπίζεται στα δυτικά του Νομού Αχαΐας, στην περιοχή της Παναγοπούλας κατά μήκος των ακτών με διεύθυνση ΔΒΔ. Το ρήγμα είναι κανονικό με μικρή κλίση προς βορρά ($30^{\circ}\pm 5^{\circ}$) και μήκος περίπου 12km από την περιοχή Αραχωβίτικα στα δυτικά έως τον υποθαλάσσιο χώρο βόρεια από το χωριό Λαμπίρι. Το άλμα του ρήγματος έχει υπολογιστεί πάνω από 400m ως προς την κατακόρυφη συνιστώσα και ο ρυθμός ανύψωσης έχει προσδιοριστεί 0,7-0,8 χιλ./έτος. Οριοθετεί προς νότο τους ασβεστόλιθους της ζώνης Ωλονού-Πίνδου και προς βορρά τις Άνω Πλειστοκαινικές - Τεταρτογενείς ασύνδετες αποθέσεις πλευρικών κορημάτων (Παπανικολάου et al, 2006). Το ρήγμα είναι ενεργό και το μέγεθος αναμενόμενων σεισμών είναι $M=5,7R$ (Παπαζάχος, 1989).



Εικόνα 52: α) Γενική άποψη του ρήγματος της Παναγοπούλας, β) Η κατοπτρική επιφάνεια του ρήγματος Ψαθόπυργου-Παναγοπούλας (Palyvos N. Et al., 2008)

- **Ρήγμα «Ελίκης – Σελλά».** Το ρήγμα εμφανίζεται πιο ανατολικά, στην περιοχή Ελίκης-Ροδιάς. Έχει μικρή κλίση προς βορρά (35° - 45°) και διεύθυνση Α-Δ. Είναι κανονικό ρήγμα και έχει μήκος περίπου 25km. Οριοθετεί το αλπικό υπόβαθρο του Παναχαϊκού όρους προς νότο από τα μεταλπικά ιζήματα προς βορρά. Το ρήγμα αυτό είναι ενεργό και για το λόγο αυτό ανυψώνει τα παράλια του Διακοφτού κατά 1,5km/έτος (Stewart & VitaFinzi, 1996). Το μέγιστο μέγεθος σεισμού υπολογίζεται περίπου $M= 6,7$ R (Roberts & Jackson, 1991).



Εικόνα 53. Νεοτεκτονικός Χάρτης της περιοχής μελέτης (ArcMap)

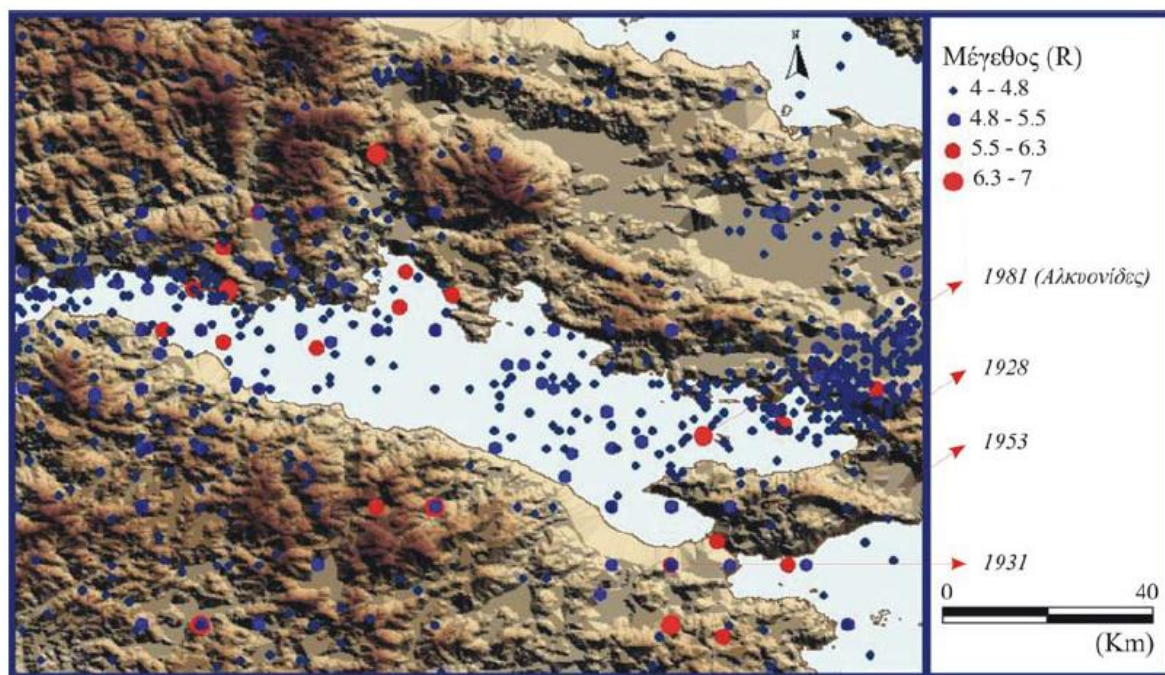
Γεωκίνδυνοι

Σεισμικότητα

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται σε συνεχή γεωδυναμική εξέλιξη λόγω έντονης νεοτεκτονικής δραστηριότητας του Κορινθιακού κόλπου, που έχει σαν αποτέλεσμα την εκδήλωση συχνών σεισμών μεγάλου μεγέθους. Τα μεγάλα σύγχρονα ενεργά ρήγματα του Νομού Αχαΐας διεύθυνσης περίπου Α-Δ, όπως το ρήγμα Ψαθόπυργου-Παναγοπούλας, Ελίκης-Σελλά, το ρήγμα του Αιγίου και το ρήγμα του Πλατάνου είναι υπεύθυνα για σεισμούς μεγάλου μεγέθους στην περιοχή. Για παράδειγμα το ρήγμα του Αιγίου όταν ενεργοποιήθηκε το 1995 είχε προκαλέσει ένα από τους μεγαλύτερους

σεισμούς της περιοχής, μεγέθους $M=6,1 R$ με επίκεντρο 15km BBA του Αιγίου και εστιακό βάθος 10km. Παρατηρήθηκε επιπλέον σεισμική διάρρηξη του εδάφους μήκους 5km και κατακόρυφης μετακίνησης 5εκ.

Όπως παρατηρείται στον παρακάτω χάρτη της σεισμικότητας του Κορινθιακού κόλπου, οι σεισμοί εντοπίζονται στις περιοχές των ενεργών ρηξιγενών ζωνών του βόρειου περιθωρίου του Κορινθιακού κόλπου όπως προαναφέρθηκε.



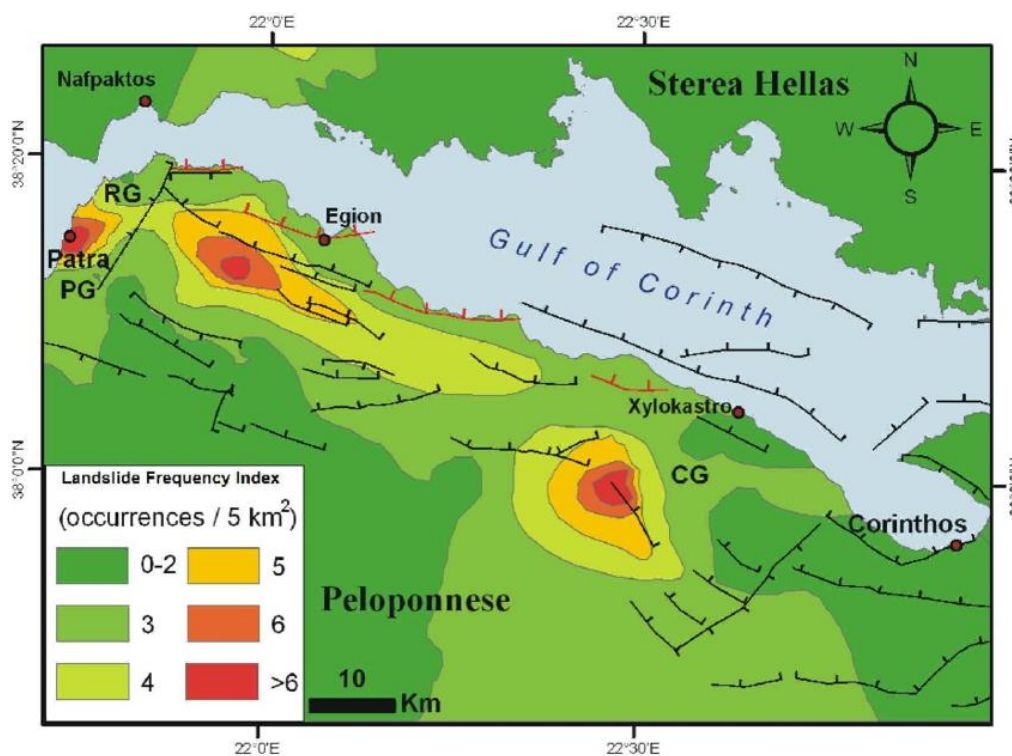
Εικόνα 54. Χάρτης σεισμικότητας Κορινθιακού κόλπου την περίοδο 1900-1999
(Papazachos et al, 2000)

Οι Δρακόπουλος et al (1987) διαπίστωσαν ότι υπάρχει μεγάλη πυκνότητα σεισμών στο διάυλο Ρίου-Αντιρρίου και στις ακτές του Δυτικού Κορινθιακού κόλπου έως την περιοχή της Ακράτας. Με τη μέθοδο της στατιστικής ανάλυσης δέχονται ότι η περίοδος επανάληψης σεισμού μεγέθους $M=6,2R$ είναι 50 χρόνια ενώ η αντίστοιχη περίοδος για σεισμό μεγέθους $M>7,0R$ είναι 65 χρόνια. Επίσης, με βάση τις διαστάσεις των ρηξιγενών ζωνών της περιοχής καταλήγουν ότι το αναμενόμενο μέγιστο μέγεθος σεισμού σε περίπτωση ενεργοποίησης θα είναι $M=6,6R$. Με βάση τα παραπάνω δεδομένα αναμένεται υψηλή σεισμική επικινδυνότητα στην περιοχή μελέτης.

Η έντονη σεισμικότητα εκτός από τα άμεσα αποτελέσματα στις κατασκευές, όπως έχει αναφερθεί μπορεί να προκαλέσει την εκδήλωση δευτερογενών σεισμικών φαινομένων, όπως κατολισθήσεις και καταπτώσεις στις περιοχές των Άνω κρητιδικών ασβεστολίθων της ζώνης Ωλονού – Πίνδου και των νεότερων συμπαγών κροκαλοπαγών και ρευστοποιήσεις, καθιζήσεις και εδαφικές εφελκυστικές ρωγμές στους Πλειο-Πλειστοκαινικούς και Τεταρτογενείς ασύνδετους σχηματισμούς.

Κατολισθήσεις

Στην περιοχή της Βόρειας Πελοποννήσου η εκδήλωση παράκτιων και υποθαλάσσιων κατολισθήσεων και αστάθειας των πρανών είναι συχνή. Οι περιοχές με τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης κατολισθήσεων είναι οι περιοχές πλησίον των μεγάλων ενεργών ρηξιγενών ζωνών και πιο συγκεκριμένα οι πρόποδες των ορεινών όγκων που αναπτύσσονται νότια του Αιγίου και του Λαμπιρίου, η περιοχή της Πάτρας και νότια του Ξυλοκάστρου, με βάση και τον παρακάτω χάρτη. Βασικές αιτίες είναι η τεκτονική ανύψωση του ρηξιτεμάχους του δαπέδου στο νότιο περιθώριο της Κορινθιακής τάφρου και η συνεχής δημιουργία πρανών με έντονες μορφολογικές κλίσεις.



Εικόνα 55. Χάρτης Συχνότητας Κατολισθήσεων του Κορινθιακού κόλπου (Sabatakakisetal, 2015)

Αυτά τα φαινόμενα απαντώνται σε ευρύ φάσμα γεωλογικών σχηματισμών, με τη συνέργεια ενδογενών (ρηγματογόνος τεκτονισμός – σεισμικότητα του Κορινθιακού κόλπου) αλλά και εξωγενών παραγόντων (έντονες βροχοπτώσεις), δημιουργώντας σοβαρά προβλήματα και επιπτώσεις στα χωριά και τα τεχνικά έργα της περιοχής.

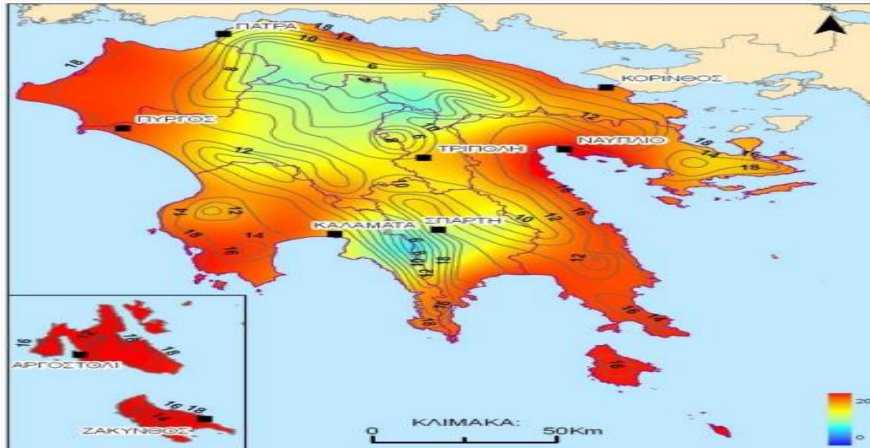
Οι έντονα τεκτονισμένοι και πτυχωμένοι γεωλογικοί σχηματισμοί και συγκεκριμένα οι Άνω Κρητιδικοί ασβεστόλιθοι της ζώνης Ωλονού-Πίνδου με εναλλαγές διαφορετικών λιθολογικών οριζόντων (σχιστολιθικές ή μαργαϊκές ενστρώσεις και κερατόλιθοι), δημιουργούν απότομα πρηνή και προκαλούν συχνά αποκολλήσεις σφηνοειδών βραχωδών μαζών.

Η ποικιλία των Τεταρτογενών ιζημάτων (άργιλοι, άμμοι, κροκαλοπαγή, ψαμμίτες) σε συνδυασμό με την έντονη νεοτεκτονική δραστηριότητα συνηγορούν στην αστάθεια των πρηνών. Οι κατολισθήσεις συμβαίνουν παράλληλα με τα δύο συστήματα ρηγμάτων, που αναφέρουν οι Δούτσος & Καμηλάρης (1984), δηλαδή ΒΔ και ΒΑ διεύθυνσης και το νεότερο ΔΝΔ και ΒΒΑ διεύθυνσης. Οι σεισμικές δονήσεις διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στο έναυσμα των κατολισθητικών φαινομένων και στη δημιουργία ρευστοποιήσεων στα μεταλλικά ιζήματα της περιοχής.

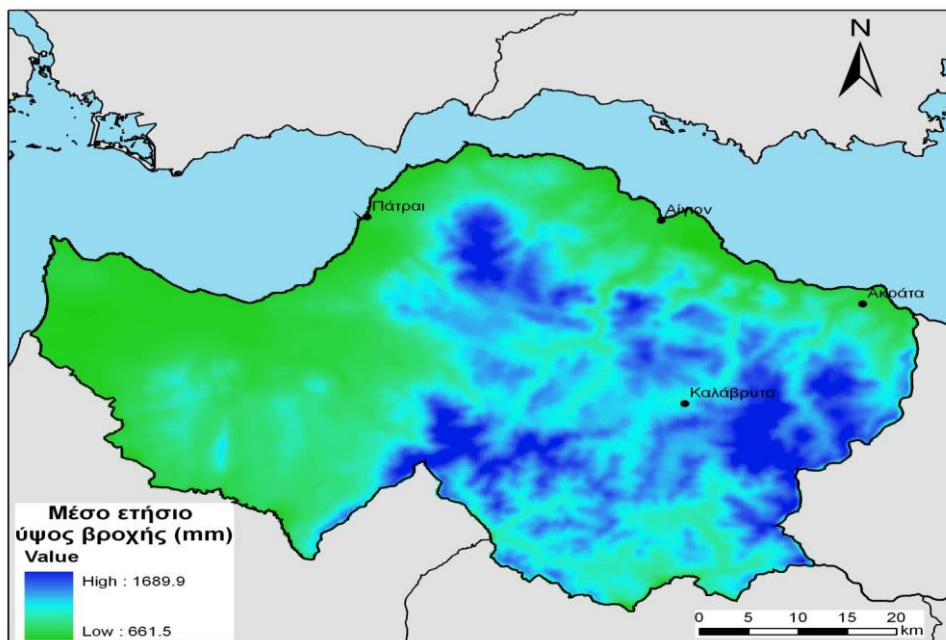
Ένας επιπλέον βασικός παράγοντας που επηρεάζει την ευστάθεια αυτών των σχηματισμών είναι η παρουσία νερού. Το ποσοστό των κατακρημνισμάτων που δέχονται οι περιοχές της Βόρειας Πελοποννήσου συμβάλλει στη διάβρωση και τη διάλυση των σχηματισμών από τα ποτάμια του Σελινούντα και του Κερυνίτη της περιοχής μελέτης, τα ρέματα και τους χειμάρρους και στη μείωση της διατμητικής αντοχής των συμπαγών ασβεστολίθων, κροκαλοπαγών και μαργών, ανατρέποντας την κατάσταση ισορροπίας των πρηνών. Το νερό διεισδύει στη μάζα των σχηματισμών αυτών αλλά και των σύγχρονων Τεταρτογενών ιζημάτων και κατεισδύει με γρήγορο ρυθμό, προκαλώντας τον κορεσμό του εδάφους, την αύξηση του βάρους του και της πίεσης του νερού των πόρων.

Η Βόρεια Πελοπόννησος δέχεται μεγάλο ύψος ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, τα οποία κατανέμονται άνισα στις διάφορες περιοχές. Στις ορεινές περιοχές οι βροχοπτώσεις είναι πιο έντονες και κυμαίνονται από τα 697km/έτος έως 1178km/έτος, σύμφωνα με την Ειδική Γραμματεία Υδάτων (2013). Τα μέσα ετήσια κατακρημνίσματα αντιστοιχούν κατά προσέγγιση σε έναν όγκο 2,27 δις m³ νερού ανά έτος. Στα ανάντη τμήματα των ποταμών το ύψος βροχής κυμαίνεται από 900km/έτος

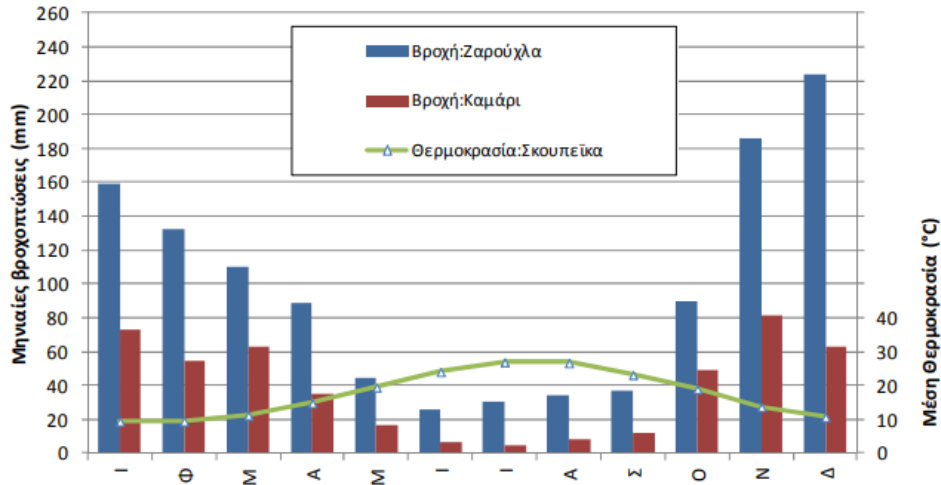
έως 1000χιλ./έτος ενώ στις παράλιες περιοχές το εύρος διακύμανσης είναι από 400km/έτος έως 600km/έτος. Το μεγαλύτερο ποσοστό των βροχοπτώσεων παρουσιάζεται κατά τους μήνες Οκτώβριο ως και Μάρτιο, με πιο υγρό μήνα το Δεκέμβριο και πιο ξηρό τον Ιούνιο (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013), όπως παρουσιάζεται και στο παρακάτω ιστόγραμμα.



Εικόνα 56. Χάρτης κατανομής της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης και της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας στην Πελοπόννησο (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013)



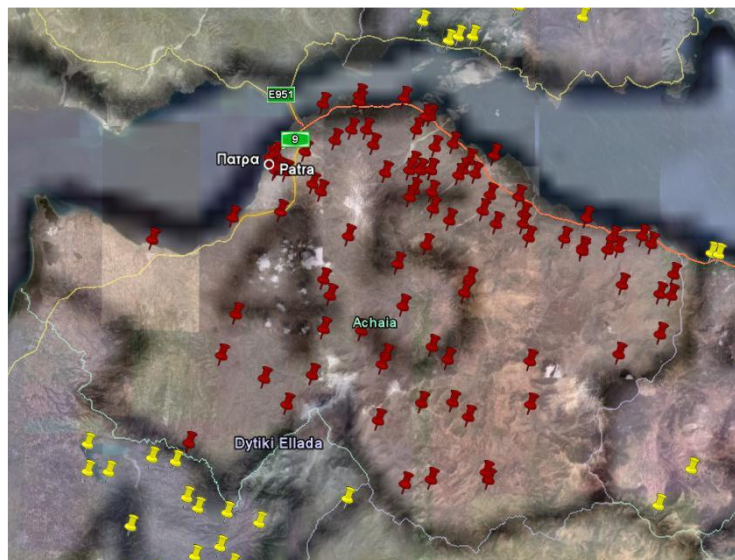
Εικόνα 57. Βροχομετρικός χάρτης Νομού Αχαΐας (Δημητροπούλου Ι., 2008).



Εικόνα 58. Ιστόγραμμα της μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης και μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας σε σταθμούς της παράκτιας Βόρειας Πελοποννήσου (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013)

Οι Koukis et al (1997) αντιπαραβάλλοντας δεδομένα βροχόπτωσης με κατολισθητικά συμβάντα για την περίοδο 1953-1991 στην περιοχή της βόρειας Πελοποννήσου διαπιστώνουν σημαντική συσχέτιση μεταξύ των βροχοπτώσεων και του ρυθμού εκδήλωσης κατολισθήσεων.

Στον επόμενο χάρτη του Νομού Αχαΐας έχουν καταγραφεί οι θέσεις κατολισθητικών φαινομένων.



Εικόνα 59. Σημεία κατολισθήσεων του Νομού Αχαΐας παριστάνονται με κόκκινες πινέζες (Κυρακύκλας, 2009)

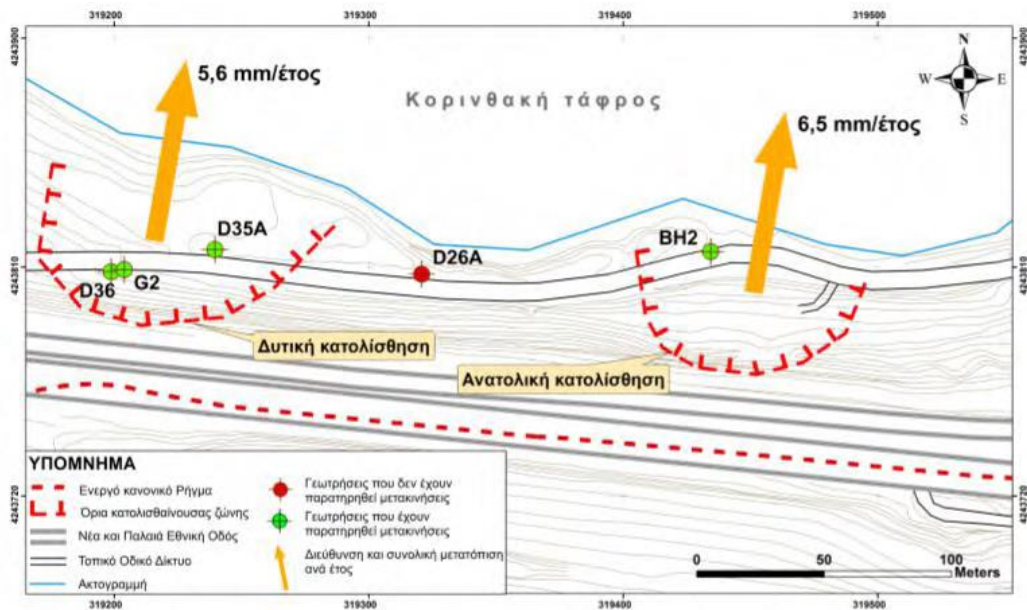
Μερικές από τις σημαντικότερες κατολισθήσεις της ευρύτερης περιοχής μελέτης είναι:

- **μεταθετική ολίσθηση Τσιρλού:** Συνέβη στους ασβεστόλιθους της ζώνης Ωλονού-Πίνδου και συνοδεύτηκε από μετακίνηση του υλικού σε απόσταση εκατοντάδων μέτρων. Το έναυσμα για την εκδήλωση της κίνησης των μαζών έδωσαν οι παρακείμενοι χείμαρροι και τα έντονα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα.
- **κατολίσθηση Πλατάνου:** Περιλαμβάνει μια παλιά κατολισθαίνουσα ζώνη στην περιοχή του χωριού Πλάτανος, στην οποία έχουν σημειωθεί φαινόμενα μεταθετικής ολίσθησης και ερπυσμού (Tsiambaosetal 2015). Η ρηξιγενής ζώνη μεταξύ του αλπικού υποβάθρου και των νεότερων πλειστοκαινικών αποθέσεων είναι υπεύθυνη για τις αργές μετακινήσεις που συμβαίνουν μέχρι και σήμερα. Οι αποθέσεις τροφοδοτούνται από υπόγεια νερά, που προέρχονται από την αποστράγγιση των ασβεστολίθων ή την επιφανειακή απορροή. Παράλληλα, σημαντικό ρόλο παίζουν οι σεισμικές δονήσεις, οι τοπικές υποσκαφές καθώς και ανθρωπογενή αίτια. Η περιοχή καλύπτεται σήμερα από υλικά παλαιότερων αλλά και νεότερων κατολισθήσεων έως την παραλιακή ζώνη.
- **κατολίσθηση Καρυάς:** Αποτελεί μία εκτεταμένη κατολισθαίνουσα ζώνη, στην οποία περιοδικά προκαλούνται αστοχίες με ταυτόχρονη δραστηριότητα ερπυσμού. Η πρώτη μετακίνηση συνέβη το 1962 και περιελάμβανε ροή κορημάτων μήκους 700m και πλάτος 250μ.(Sabatakakis et al., 2005). Επόμενες μετακινήσεις συνέβησαν το 1999 με μήκος 500m, στα κορήματα και στην αποσαθρωμένη ζώνη του φλύσχη κατά τη διάρκεια μιας έντονης και μακράς διάρκειας βροχόπτωσης και το 2001 ύστερα από έντονη βροχόπτωση, με αποτέλεσμα εδαφική ροή και μεταθετικές ολισθήσεις προερχόμενες από τα κορήματα. Βασικός παράγοντας τη μετακίνησης ήταν η παρουσία των επιφανειακών υδάτων που συγκεντρώνονται στην κατολισθαίνουσα ζώνη καθώς και των υδάτων που προέρχονται από την αποστράγγιση των ασβεστόλιθων (Sabatakakis et al, 2005).

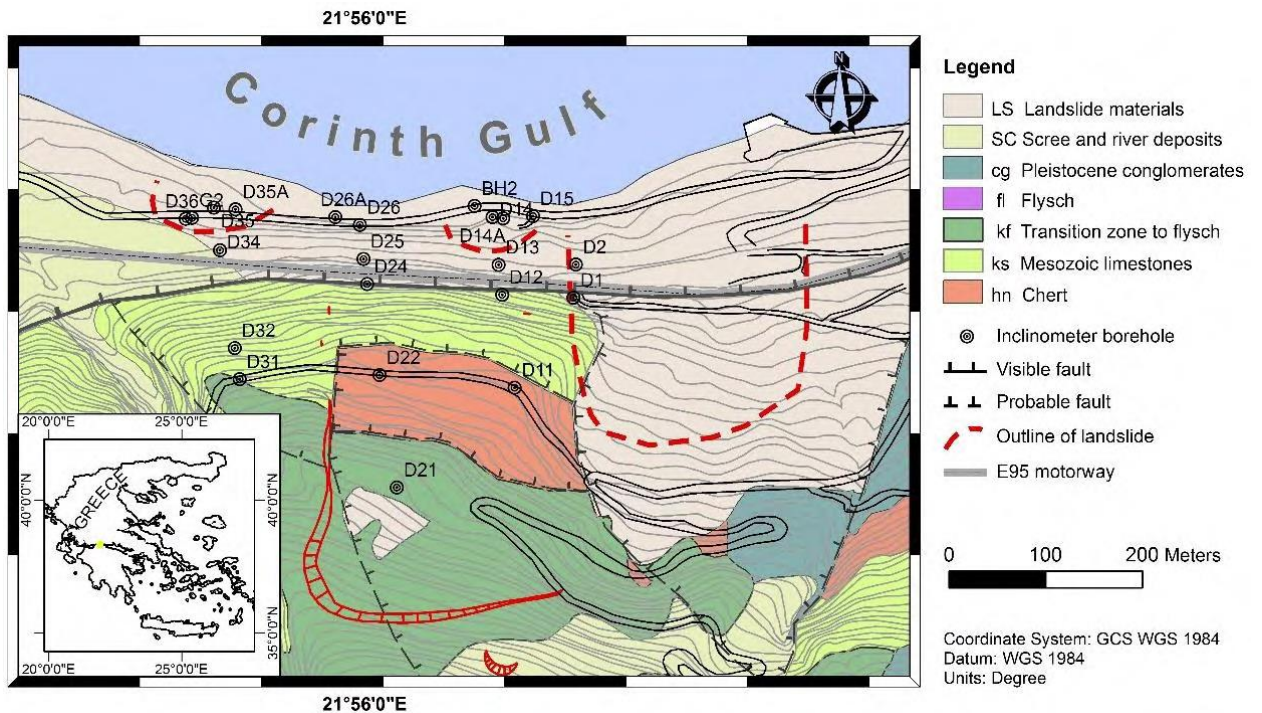
- **κατολίσθηση Παναγοπούλας:** Αποτελεί μια σύνθετου τύπου κατολίσθηση, της οποίας η επιφάνεια ολίσθησης είναι κατά προσέγγιση επίπεδη. Η ολίσθηση πραγματοποιείται στην επαφή του σχηματισμού του φλύσχη της ζώνης Ωλονού-Πίνδου με τα ανώτερα Πλειοκαινικά-Πλειστοκαινικά ιζήματα (Sabatakakisetal., 2015). Η πρώτη κατολίσθηση συνέβη το 1971 με επίπεδο ολίσθησης που επεκτεινόταν στα ανάντι της Εθνικής Οδού πρηνή και με βάθος 20m. Το αποτέλεσμα ήταν η δημιουργία εδαφικού κώνου κατολίσθησης και καταπτώσεις ασβεστολιθικών, ραδιολαριτικών και κροκαλοπαγών τεμαχών, καθώς επίσης και η παρουσία ρωγμών στους Άνω Κρητιδικούς ασβεστόλιθους της ζώνης Ωλονού-Πίνδου, εξαιτίας της ανομοιογένειας του σχηματισμού και της ρηγματογόνου και πτυχογόνου τεκτονικής. Το επόμενο κατολισθητικό φαινόμενο, προκλήθηκε το 1971 από την εισροή υδάτων μέσω των ρωγμών σε υποκείμενα στρώματα αργιλικής σύστασης και από τις χωματουργικές εργασίες διαμόρφωσης των πρηνών. Άλλη μια μετακίνηση έλαβε χώρα το 1972στο ανάντη πρηνές και ακόμα και σήμερα η περιοχή εμφανίζει συνεχή «κινητικότητα». Σύμφωνα με την Κωνσταντοπούλου (2017) πρόσφατες μετρήσεις αποκλισιομέτρων από γεωτρήσεις στην κατολίσθηση υποδηλώνουν το βάθος ολίσθησης από 19m έως 25m και το συνολικό μέγεθος μετακίνησης υπολογίζεται από 6,7km έως 9,9km για την περίοδο Οκτώβριο 2015 – Μάρτιο 2017. Η γενική διεύθυνση μετακίνησης της κατολισθαίνουσας μάζας είναι BBA.



Εικόνα 60. Η μεγάλη κατολίσθηση της Παναγοπούλας το 1971 τύπος περιστροφική ολίσθηση εδάφους σε εναλλαγές ασβεστολίθων – σχιστολίθων, (Κυρακύκλας, 2009)



Εικόνα 61. Χάρτης εδαφικών μετακινήσεων σύμφωνα με δεδομένα γεωτρήσεων της περιοχής της Παναγοπούλας. Οριοθετούνται δύο ενεργές κατολισθαίνουσες περιοχές, η ανατολική και η δυτική περιοχή με διαφορετική μετακίνηση (Κωνσταντοπούλου, 2017)

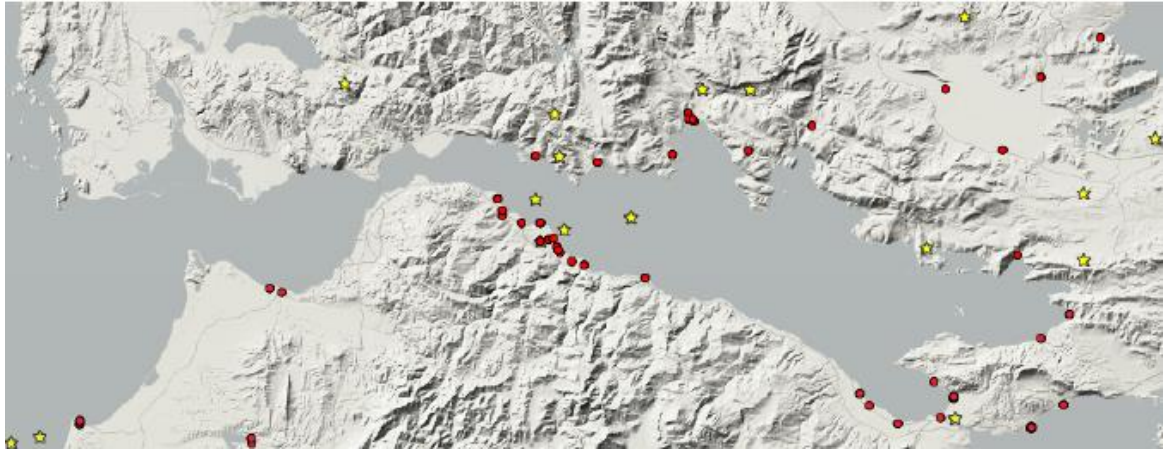


Εικόνα 62. Τεχνικογεωλογικός χάρτης της κατολίσθησης της Παναγοπούλας (Kavouraetal, 2016)

Ρευστοποίηση

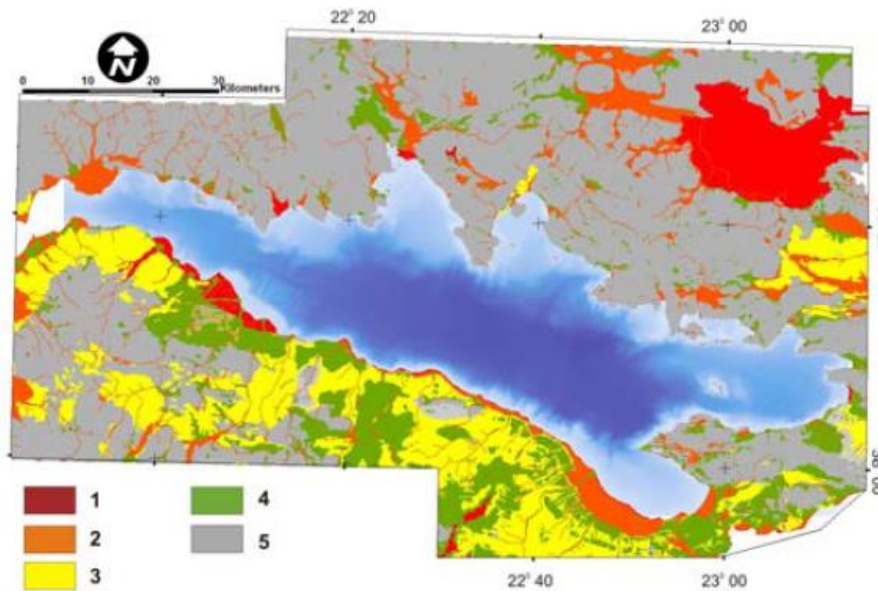
Στην ευρύτερη περιοχή μελέτης, έπειτα από μεγάλου μεγέθους σεισμούς έχουν εμφανιστεί φαινόμενα ρευστοποιήσεων εξαιτίας των σεισμικών δονήσεων του εδάφους. Οι παράκτιες περιοχές και οι πεδινές εκτάσεις της Βόρειας Πελοποννήσου, οι οποίες δομούνται από τεταρτογενή προσχλωσιγενή, ασύνδετα ιζήματα (κορήματα, αλουβιακά ριπίδια, προϊόντα κατολισθήσεων κ.α.), τροφοδοτούνται από υπόγεια και επιφανειακά ύδατα με αποτέλεσμα ο υδροφόρος ορίζοντας να έχει μικρό βάθος και έτσι οι σχηματισμοί να είναι κορεσμένοι και επιρρεπείς στις ρευστοποιήσεις.

Σύμφωνα με πληροφορίες από τη βάση δεδομένων DALON.1.0 αρκετοί είναι οι καταγεγραμμένοι ιστορικοί σεισμοί που έχουν προκαλέσει φαινόμενα ρευστοποιήσεων στην περιοχή του Κορινθιακού κόλπου αλλά και στην ευρύτερη περιοχή μελέτης. Η πιο παλιά καταγραφή είναι το 373 μ.Χ. ο σεισμός της Ελίκης, ο οποίος προκάλεσε δευτερογενή σεισμικά φαινόμενα εκ των οποίων ρευστοποιήσεις εδάφους και κατολισθήσεις. Ο σεισμός του 1817 ανατολικά του Αιγίου, προκάλεσε βύθιση της περιοχής Αλυκή και κάλυψη της πεδιάδας έως 2km εσωτερικά, με άργιλο που αναδύθηκε από τη γη. Ο σεισμός του Αιγίου το 1861 προκάλεσε παραμορφώσεις του εδάφους, πλευρικές εκτάσεις με ρωγμές και ρευστοποιήσεις που παρατηρήθηκαν κοντά στην πόλη του Αιγίου και στις παράκτιες πεδιάδες των ποταμών Σελινούντας, Κερυνίτης και Βουραϊκός. Επίσης, παρατηρήθηκαν κρατήρες άμμου με διάμετρο έως 2m και ύψος 1m. Οι σεισμοί του 1909 στην περιοχή της Καμάρας κοντά στο Αίγιο και του 1965 στην Ερατεινή παρήγαγαν ρευστοποιήσεις στα παράκτια ασύνδετα ιζήματα (Parathanassiou et al., 2010). Τέλος, ο πιο πρόσφατος σεισμός του Αιγίου το 1995 έχει ερευνηθεί αρκετά για τα δευτερογενή σεισμικά φαινόμενα που δημιούργησε. Κατά τη διάρκεια του σεισμού εκδηλώθηκαν εκτεταμένες ρευστοποιήσεις και εδαφικές ρωγμές από τις οποίες αναδυόταν αμμώδες υλικό στους Τεταρτογενείς σχηματισμούς (αλλούβια, παράκτιες και ποτάμιες αποθέσεις) της παράκτιας ζώνης μεταξύ των ποταμών Σελινούντα και Βουραϊκό, στο δέλτα του ποταμού Μεγανείτη και στην Ερατεινή (Lekkasetal, 1996).



Εικόνα 63. Ιστορικά φαινόμενα ρευστοποιήσεων στον Κορινθιακό κόλπο
(Parathanassiou et al., 2014)

Οι Parathanassiou et al. (2010) δημιούργησαν ένα χάρτη επιδεκτικότητας ρευστοποιήσεων του Κορινθιακού κόλπου. Σύμφωνα με αυτό η περιοχή του Ψαθόπυργου-Παναγοπούλας χαρακτηρίζεται σαν ενδιάμεσης επιδεκτικότητας σε ρευστοποίηση και η περιοχή της Ελίκης-Ροδιάς σαν αρκετά υψηλής επιδεκτικότητας σε ρευστοποίηση.



Εικόνα 64. Χάρτης επιδεκτικότητας ρευστοποιήσεων των γεωλογικών σχηματισμών του Κορινθιακού κόλπου. 1. Αρκετά υψηλής επιδεκτικότητας, 2. Υψηλής επιδεκτικότητας, 3. Ενδιάμεσης επιδεκτικότητας, 4. Χαμηλής επιδεκτικότητας, 5. Υπόβαθρο (Parathanassiou et al., 2010).

Καρστ

Τα υπόγεια καρστικά δίκτυα είναι συχνά υπεύθυνα για την πρόκληση καθιζήσεων τοπικού χαρακτήρα. Το εδαφικό στρώμα που καλύπτει τα καρστικά έγκοιλα είναι πιθανό να καθιζήσει λόγω της απόπλυσης εδαφικού υλικού που συμβαίνει από την κυκλοφορία του υπόγειου νερού μέσα από το δευτερογενές πορώδες, δηλαδή τις ρωγμές και τις καρστικές κοιλότητες.

Στην περιοχή μελέτης συγκεκριμένα, εμφανίζονται οι πλακώδεις Άνω Κρητιδικό ασβεστόλιθοι της ζώνης Ωλονού-Πίνδου με ενδιαστρώσεις κερατολίθων και πηλιτών, οι οποίοι έχουν υποστεί έντονο κερματισμό με αποτέλεσμα να έχει σχηματιστεί ένα δίκτυο τεκτονικών ασυνεχειών, διακλάσεων και ρωγμών. Αυτές οι ασυνέχειες αποτελούν τις προνομιακές οδούς της υπόγειας κίνησης του νερού, με αποτέλεσμα οι ασβεστόλιθοι να χαρακτηρίζονται σαν σχηματισμοί υψηλής έως μέτριας υδροπερατότητας. Τα κατακρημνίσματα διηθούνται μέσω των ρωγμών του πετρώματος, διευρύνοντας τις ασυνέχειες μέσω της διάλυσης έως τις αδιαπέρατες παρεμβολές των κερατολίθων και των πηλιτών που εμφανίζονται κατά θέσεις. Σε αυτό το ετερογενές υδροφόρο μέσο, δεν είναι δυνατή η δημιουργία υπόγειων αγωγών μεγάλης διαμέτρου, όπως συμβαίνει σε ένα τυπικό καρστ. Είναι χαρακτηριστικό ότι δεν συναντώνται επιφανειακές καρστικές μορφές στους ασβεστόλιθους της περιοχής μελέτης. Η ροή του νερού γίνεται μέσω αγωγών μικρού εύρους. Επιπλέον, αναπτύσσονται καρστικά υδροφόρα συστήματα, στα οποία η υδροφορία δημιουργείται κατά κανόνα σε μικρά βάθη και σε πολλά επίπεδα λόγω της τεκτονικής τους δομής (διακλάσεις, ρήγματα, πτυχές) και της λιθολογίας τους, η οποία δημιουργεί εναλλαγές διαπερατών και αδιαπέρατων ζωνών.

Ταυτόχρονα, οι υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής συμβάλλουν καθοριστικά στην διαχρονική εκδήλωση των φαινομένων αστάθειας. Τα καρστικά συστήματα υπογείων υδάτων που αναπτύσσονται στους ασβεστόλιθους, φιλοξενούν υπόγειες υδροφορίες, οι οποίες είναι υπεύθυνες για την δημιουργία πηγών μικρής έως μέτριας παροχής και την τροφοδοσία των σύγχρονων κορημάτων και των κροκαλοπαγών. Οι υδροφορίες αποτελούν σημαντικό παράγοντα εκδήλωσης κατολισθήσεων. Η αύξηση της πίεσης των πόρων στους αδρόκοκκους σχηματισμούς και η πίεση που αναπτύσσεται στις ρωγμές και διακλάσεις των Άνω Κρητιδικών ασβεστολίθων είναι υπεύθυνες για πολλές από τις κατολισθήσεις της περιοχής μελέτης.

4.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Ορισμοί & βασικές έννοιες

- Φαινόμενο: Ο,τιδήποτε υποπίπτει στην ανθρώπινη αντίληψη.
- Γεωγραφικό (Γεωχωρικό ή χωρικό) φαινόμενο: Ο,τιδήποτε υποπίπτει στην ανθρώπινη αντίληψη και έχει σχέση με τη Γη (τον πραγματικό κόσμο).
- Γεωγραφικές (Γεωχωρικές ή χωρικές) οντότητες (entities) ή στοιχεία: Αντικείμενα του πραγματικού κόσμου τα οποία δεν υποδιαιρούνται σε επιμέρους οντότητες της ίδιας κατηγορίας.
- Χαρτογραφικές οντότητες ή στοιχεία: Το υποσύνολο των γεωγραφικών (γεωχωρικών – χωρικών) οντοτήτων που πρόκειται να αποδοθούν χαρτογραφικά
- Αντικείμενο (object): Η έκφραση μιας οντότητας σε ψηφιακό περιβάλλον.
- Τα αντικείμενα και οι σχετικές με αυτά ιδιότητες και τιμές αντιπροσωπεύουν τις γεωγραφικές οντότητες.

Τα γεωγραφικά φαινόμενα, μπορεί να είναι συγκεκριμένα ή αφηρημένα, μπορούν να αναφέρονται στο δισδιάστατο ή τρισδιάστατο χώρο ή ακόμη και να αποτελούν χρονοσειρές αν πρόκειται για φαινόμενα που μεταβάλλονται δυναμικά στο χρόνο. Ο χάρτης αποτελεί το εργαλείο-κλειδί για τη μελέτη των χωρικών φαινομένων και των μεταξύ τους σχέσεων.

4.2.1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΚΑΙ ΠΡΟΒΟΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Τα Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα υλοποιούν μία αλυσίδα από λειτουργίες που επιτρέπουν τη μετάβαση από την παρατήρηση και τη συλλογή χωρικών δεδομένων, στην αποθήκευση, επεξεργασία, ανάλυση και απόδοσή τους και την περαιτέρω αξιοποίησή τους για τη λήψη αποφάσεων και εξαγωγή συμπερασμάτων. Ο χάρτης είναι ένα σύστημα πληροφοριών: αποτελείται από ένα σύνολο δεδομένων που έχουν αποθηκευτεί και αναλυθεί και οι πληροφορίες που πηγάζουν από αυτό το σύνολο χρησιμοποιούνται για τη λήψη αποφάσεων. Για να είναι χρήσιμος ένας χάρτης, πρέπει να μεταφέρει την πληροφορία με σαφή και ευκρινή τρόπο προς τους χρήστες. Τα Συστήματα Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων (ΣΔΒΔ) – Database

Management Systems (DBMS) είναι συστήματα λογισμικού για τη δημιουργία, διαχείριση και αξιοποίηση της Βάσης Δεδομένων από ένα οργανισμό και τους χρήστες της. Ως **δεδομένα** νοούνται οι πληροφορίες που κρίνεται ότι είναι σημαντικές για τον χρήστη ή τον οργανισμό/φορέα τον οποίο έχει σκοπό να εξυπηρετήσει το σύστημα. Ως **Βάση Δεδομένων** θεωρείται ένα οργανωμένο σύνολο πληροφοριών, το οποίο είναι δομημένο με τρόπο που να επιτρέπει τη διαχείριση των δεδομένων για διάφορες εφαρμογές. Η συγκρότηση των **χωρικών οντοτήτων** σε περιβάλλον ΓΠΣ στηρίζεται στην άρρηκτη σύνδεση των γεωμετρικών στοιχείων με τα περιγραφικά χαρακτηριστικά. Τα **γεωμετρικά στοιχεία** είναι η έκφραση των χωρικών δεδομένων σε μία από τις τρεις βασικές κατηγορίες χωρικών φαινομένων: σημειακά, γραμμικά και επιφανειακά, είναι δε ο γραφικός τρόπος με τον οποίο αυτά αναπαριστώνται.

Η περιγραφή του γεωγραφικού χώρου σε περιβάλλον Η/Υ υλοποιείται:

- Με την αποθήκευση των γεωμετρικών στοιχείων (θέση υπό μορφή συντεταγμένων) που καταγράφουν τα γεωγραφικά φαινόμενα.
- Με την αποθήκευση των περιγραφικών χαρακτηριστικών τους (ιδιότητες) που τα προσδιορίζουν πλήρως και καθορίζουν τη μεταξύ τους διαφοροποίηση.
- Με τον προσδιορισμό των τοπολογικών τους σχέσεων. Για κάθε κατηγορία χωρικών στοιχείων που υπάρχουν στη ΒΔ, δημιουργείται ένα θεματικό επίπεδο (layer).

Το ArcGIS Desktop (“ArcGIS Help 10.2”) είναι από τα κύρια πλαίσια λειτουργίας του ArcGIS και αποτελεί ένα ολοκληρωμένο σύνολο εργαλείων που παρέχουν στον χρήστη πρόσβαση σε γεωγραφικές οντότητες και δυνατότητες εκτέλεσης χωρικών διεργασιών. Απαρτίζεται από εξειδικευμένα υποσυστήματα με αντικείμενο την επισκόπηση, επεξεργασία, ανάλυση και απόδοση χωρικών δεδομένων και συμπληρώνεται από εξειδικευμένες επεκτάσεις (extensions). Οι εφαρμογές αυτές είναι: ArcCatalog, ArcToolbox, ArcMap. Επιπλέον, διατίθενται και υποσυστήματα που είναι γνωστά ως επεκτάσεις και ενεργοποιούνται από τον χρήστη κατά περίπτωση. Ορισμένες από αυτές είναι: 3D Analyst, Data Interoperability, Geostatistical Analyst, Network Analyst, Publisher, Schematics, Spatial Analyst, Statistical Analyst, Tracking Analyst, Production Manager. Σημειώνεται επίσης ότι το

ArcGIS έχει τρία επίπεδα χρήσης: ArcView, ArcEditor, ArcInfo. Η πλήρης λειτουργικότητα βρίσκεται στο τρίτο επίπεδο (ArcInfo). Σε όλες τις εφαρμογές του ArcGIS είναι διαθέσιμη η βοήθεια ArcGIS Desktop Help που ενεργοποιείται είτε αυτόνομα από τη λίστα εφαρμογών του ArcGIS Start>All Programs>ArcGIS Desktop Help, είτε από το πλήκτρο Help του βασικού μενού κάθε εφαρμογής.

4.2.2 ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΡΗ ΤΟΥ ArcInfo – ARCGIS

Η έκδοση αυτή έχει δημιουργηθεί με τη γλώσσα προγραμματισμού C++ και περιέχει μια ομάδα από ενοποιημένες εφαρμογές στις οποίες περιλαμβάνονται οι ArcCatalog, ArcMAP, ArcToolbox, ModelBuilder. Ειδικότερα για κάθε εφαρμογή:

1. ArcCatalog: Το περιβάλλον ArcCatalog παρέχει στον χρήστη μια ολοκληρωμένη άποψη του συνόλου των μορφών δεδομένων που υποστηρίζονται από το ArcGIS: data files, 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). Ο ArcCatalog είναι το υποσύστημα που χρησιμοποιείται για την οργάνωση και διαχείριση των χωρικών δεδομένων και επιτρέπει τη σύνδεση με τους «φυσικούς» χώρους που είναι αποθηκευμένα τα δεδομένα και οι χάρτες, τη διερεύνηση, τη διαχείριση και την αναζήτησή τους.
2. ArcToolbox: Το ArcToolbox είναι μια συλλογή από εργαλεία γεωεπεξεργασίας, στην οποία τα εργαλεία είναι οργανωμένα κατά λειτουργική ενότητα (toolbox). Κάθε ενότητα περιέχει ομάδες (toolsets) κι αυτές με τη σειρά τους περιέχουν εργαλεία (tools). Από το λογισμικό δίνεται η δυνατότητα, ο χρήστης να κατασκευάσει δικά του εργαλεία και να τα αποθηκεύσει.

3. ModelBuilder: Το ModelBuilder χρησιμοποιείται για τη δημιουργία, επεξεργασία και διαχείριση μοντέλων γεωπροετοιμασίας. Τα μοντέλα είναι ροές εργασίας που συνδυάζουν ακολουθίες εργαλείων γεωπροεπεξεργασίας, τροφοδοτώντας την έξοδο ενός εργαλείου σε άλλο. Για να δημιουργηθεί ένα μοντέλο γεωπροετοιμασίας στο ModelBuilder, προστίθενται εργαλεία και δεδομένα σε μια προβολή μοντέλου και, στη συνέχεια, γίνονται συνδέσεις μεταξύ τους για να καθορισθεί η σειρά εκτέλεσης.
4. ArcMAP: Το ArcMap αποτελεί το κύριο συστατικό της σειράς προγραμμάτων γεωγραφικών επεξεργασιών του ArcGIS της Esri και χρησιμοποιείται κυρίως για την προβολή, επεξεργασία, δημιουργία και ανάλυση γεωχωρικών δεδομένων. Το ArcMap επιτρέπει στο χρήστη να διερευνά δεδομένα εντός ενός συνόλου δεδομένων, να συμβολίζει αντίστοιχα τις λειτουργίες και να δημιουργεί χάρτες. Αυτό γίνεται μέσω δύο ξεχωριστών τμημάτων του προγράμματος, του πίνακα περιεχομένων και του πλαισίου δεδομένων.

4.2.3 ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (ΕΓΣΑ '87)

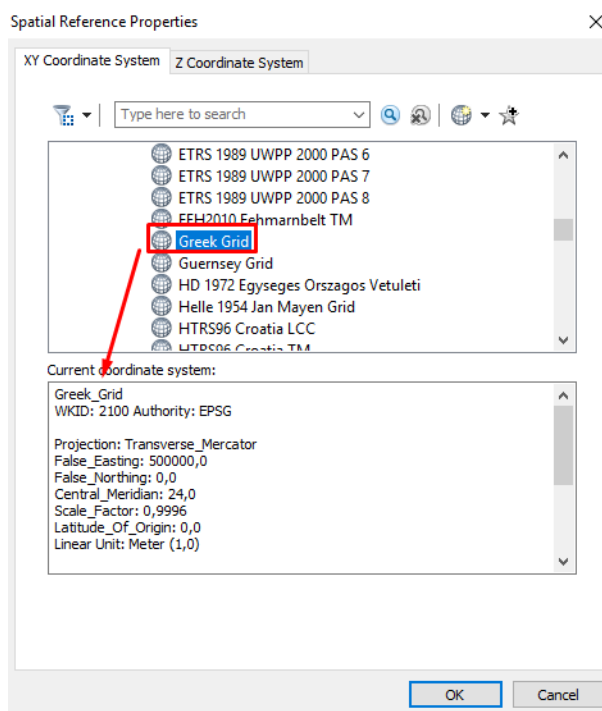
Ο εννοιολογικός σχεδιασμός συνίσταται στον προσδιορισμό του περιεχομένου (χωρικών οντοτήτων) της βάσης δεδομένων, των περιγραφικών τους χαρακτηριστικών και των σχέσεων μεταξύ τους (Τσούλος, 2008). Στην περίπτωση της βάσης χαρτογραφικών δεδομένων, ο εννοιολογικός σχεδιασμός προϋποθέτει την απάντηση στα ακόλουθα ερωτήματα:

Ποιο είναι το εύρος κλιμάκων που θα καλύπτει η βάση δεδομένων; Ποιο είναι το σύστημα αναφοράς που θα χρησιμοποιηθεί για την καταγραφή της γεωμετρίας; Π.χ. για εφαρμογές του ελλαδικού χώρου χρησιμοποιείται το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ '87). Ποιες οντότητες (φυσικές και εννοιολογικές, χωρικές ή μη) – θεματικά επίπεδα θα περιλαμβάνει η βάση; Ποιο γεωμετρικό αρχέτυπο (σημείο, γραμμή ή πολύγωνο) θα χρησιμοποιηθεί για να καταγραφούν οι χωρικές οντότητες που περιλαμβάνονται σε κάθε θεματικό επίπεδο;

Αναγκαία λοιπόν κρίνεται η ψηφιακή καταγραφή των χωρικών οντοτήτων από αναλογικό χάρτη, η οποία έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία αρχείων με τις συντεταγμένες των σημείων τα οποία περιγράφουν τη γεωμετρία κάθε οντότητας. Οι συντεταγμένες αυτές αναφέρονται στο τοπικό σύστημα αναφοράς του μέσου ψηφιοποίησης (π.χ. ψηφιοποιητή, οθόνης, σαρωτή) και γι' αυτό δεν έχουν γεωγραφική έννοια. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητη η υλοποίηση του μετασχηματισμού ο οποίος μετατρέπει τις συντεταγμένες των χωρικών οντοτήτων από το σύστημα αναφοράς του μέσου ψηφιοποίησης στο σύστημα απεικόνισης του εκάστοτε ψηφιοποιούμενου χάρτη. Ο μετασχηματισμός αυτός ονομάζεται **γεωαναφορά** ή γεωγραφική προσαρμογή. Με τη γεωγραφική προσαρμογή επιλύεται το πρόβλημα της κλίμακας, μετάθεσης και στροφής (σε σχέση με το σύστημα αναφοράς του χάρτη) κατά την τυχαία τοποθέτηση του αναλογικού χάρτη στην επιφάνεια του μέσου ψηφιοποίησης (ψηφιοποιητής, οθόνη, σαρωτής). Επιπλέον, είναι γνωστό ότι κάθε έντυπος χάρτης παραμορφώνεται λόγω των ιδιοτήτων του υλικού (χαρτιού) εκτύπωσης, από μεταβολές της θερμοκρασίας και υγρασίας αλλά και από τον τρόπο αναπαραγωγής του. Είναι επομένως χρήσιμο, το μοντέλο που υλοποιεί τη γεωγραφική προσαρμογή να συνορθώνει ταυτόχρονα και τις παραμορφώσεις αυτές (διαφορετική κλίμακα κατά μήκος των αξόνων, μη καθετότητα των αξόνων). Κατάλληλο μοντέλο για τον σκοπό αυτό είναι ο ομοπαράλληλος μετασχηματισμός (Affine transformation) ή πολυωνυμικός μετασχηματισμός 1ου βαθμού (Τσούλος, 2008, Νάκος, 2011).

Για τη χαρτογραφική κάλυψη του Ελλαδικού χώρου, χρησιμοποιούνται τα παρακάτω προβολικά συστήματα: η προβολή HATT, το προβολικό σύστημα 3ο (TM3), το προβολικό σύστημα UTM και το προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ' 87.

Με βάση αυτά, πραγματοποιήθηκαν οι απαραίτητες διαδικασίες προκειμένου να οριστεί στην παρούσα εργασία, σύστημα αναφοράς (κοινό σε υπόβαθρο και αρχείο .cad) με τίτλο ΕΓΣΑ '87 (ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ '87).



Εικόνα 65. Επιλογή προβολικού συστήματος ΕΓΣΑ '87 στο περιβάλλον του Arcmap.

Το ΕΓΣΑ'87 είναι το πλέον πρόσφατο προβολικό σύστημα που χρησιμοποιείται στην Ελλάδα. Η χώρα καλύπτεται από μια ενιαία ζώνη με κεντρικό μεσημβρινό $\lambda_0=24^\circ$, ο οποίος έχει τετμημένη 500.000m (False Easting), προκειμένου να αποφεύγονται αρνητικές τιμές οριζόντιων συντεταγμένων. Αρχή των τεταγμένων είναι ο Ισημερινός. Οι παραμορφώσεις απόστασης στα άκρα του Ελλαδικού χώρου είναι οι μέγιστες δυνατές και φτάνουν το 0,001. Το ΕΓΣΑ'87 τείνει να καθιερωθεί ως το επίσημο προβολικό σύστημα της χώρας, καθώς εξασφαλίζει μια ενιαία γεωαναφορά για κάθε τόπο, έτσι ώστε να μπορούν να μελετηθούν τα μακρο- και μικρο- χαρακτηριστικά μιας περιοχής, χωρίς να είναι απαραίτητη η εισαγωγή νέων δεδομένων.

	Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα
Όνομα προβολικού συστήματος:	Αναφοράς 87
Γεωδαιτικό Datum:	ΕΓΣΑ 87 με αφετηρία το βάθρο Διονύσου
Ελλειψοειδές αναφοράς:	GRS'80
Μεγάλος ημιάξονας ελλειψοειδούς a:	6378137,000m
Επιλάτνυση ελλειψοειδούς 1/f:	1/298,257222101
Παράγων Κλίμακας (scale factor):	0.9996

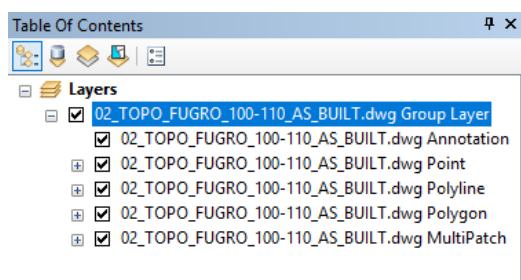
Εικόνα 66. Προδιαγραφές/χαρακτηριστικά του Ελληνικού Προβολικού Συστήματος Αναφοράς ΕΓΣΑ '87

4.2.4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ-ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

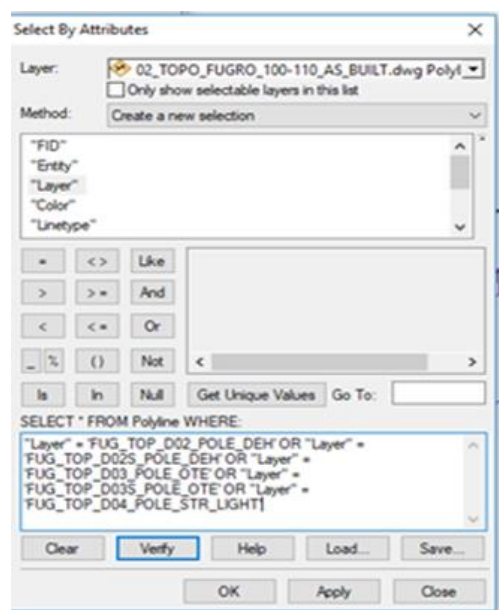
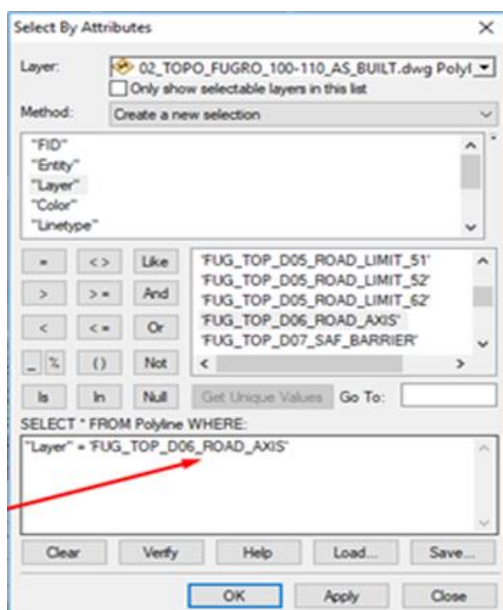
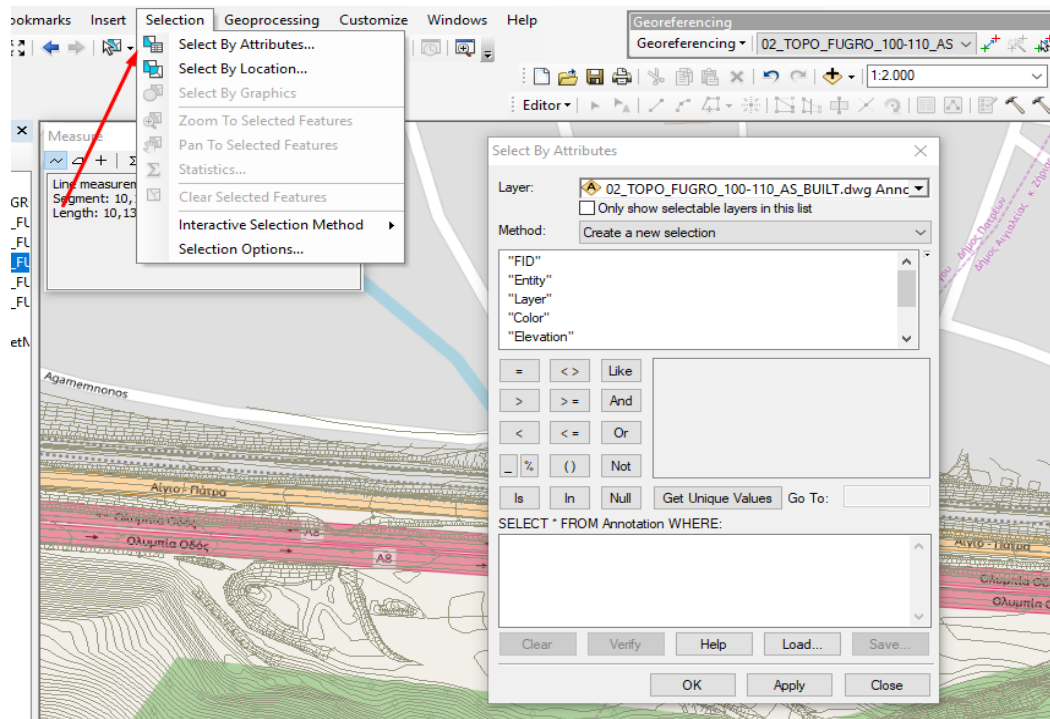
{Πρωτογενή δεδομένα}

Αρχικά, πραγματοποιείται εισαγωγή του autocad. αρχείου το οποίο περιλαμβάνει την πρωταρχική πληροφορία σε σχέση με τον εξοπλισμό του οδικού δικτύου των τμημάτων της Νέας Εθνικής Οδού Κορίνθου-Πατρών «Ελίκη-Ροδιά-Διακοφτό» και «Ψαθόπυργος-Παναγοπούλα-Λαμπίρι», αντίστοιχα. Χρησιμοποιήθηκαν αυτά τα τμήματα ως βάση επεξεργασίας προκειμένου να επέλθει το ζητούμενο αποτέλεσμα της χάραξης διαδρομής των καλωδίων κατά μήκος του οδικού άξονα, σε απόσταση 40m από αυτόν και 14,5m από τα πλευρικά του όρια. Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκε το εργαλείο “AddData” στο περιβάλλον του ArcGis, και στη συνέχεια αναλύθηκε στα παρακάτω επίπεδα πληροφορίας (layers).



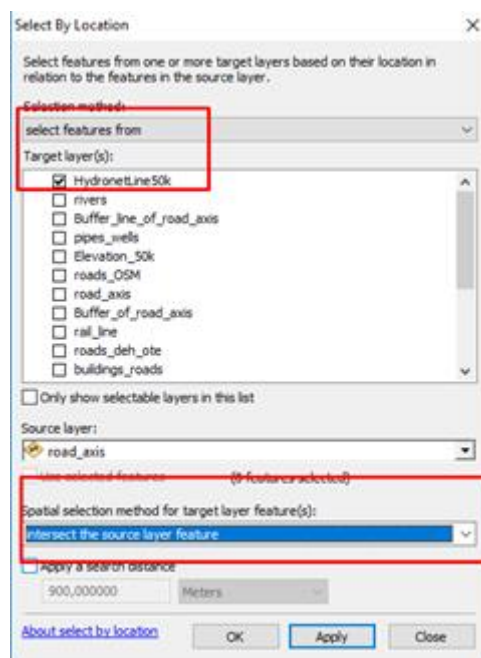
Εικόνα 67. Επίπεδα πληροφορίας autocad

Συγκεκριμένα, για το τμήμα «Ψαθόπυργος-Παναγοπούλα-Λαμπίρι», διακρίνονται οι οντότητες του αρχείου που χρειάζονται για τη μελέτη της χάραξης, μέσω του μενού “Selection”. Στο μενού αυτό, υπάρχει η δυνατότητα να γίνει επιλογή δεδομένων είτε βάσει της περιγραφικής τους πληροφορίας (SelectbyAttributes), είτε βάσει της γεωγραφικής τους πληροφορίας (SelectbyLocation). Για το σκοπό αυτό, επιτελέστηκαν αναζητήσεις με βάση τη γλώσσα προγραμματισμού SQL και τα περιγραφικά χαρακτηριστικά των οντοτήτων, ενώ χρησιμοποιήθηκαν τα πεδία “Layer” και “ GetUniqueValues” για να γίνει η εξαγωγή τους σε ξεχωριστά επίπεδα πληροφορίας (κυλώνες Δ.Ε.Η – Ο.Τ.Ε, ποτάμια, ισουψείς, σιδηροδρομικό δίκτυο, γέφυρες, άξονας οδικού δικτύου κλπ).



Εικόνα 68. Αποσπάσματα από την αναζήτηση περιγραφικών χαρακτηριστικών του αρχείου autocad με βάση το πεδίο Layer

Έπειτα εισάγεται στη βάση δεδομένων το επίπεδο πληροφορίας με το υδρογραφικό δίκτυο με βάση το τοπογραφικό φύλλο 1:50000 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού Βορειοδυτικής Πελοποννήσου. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος χωρικής αναζήτησης “SelectionbyLocation” μέσω της τεχνικής της τομής των οντοτήτων (Intersect the Source Layer). Ως πηγή (SourceLayer) επιλέχθηκε το ευρύτερο υδρογραφικό δίκτυο και ως τέμνουσα οντότητα ο άξονας του οδικού δικτύου έχοντας ως στόχο να επιλεχθούν μόνο οι κλάδοι του υδρογραφικού δικτύου της ΒΔ Πελοποννήσου (χείμαρροι, ποτάμια κλπ) που διασταυρώνονται με το οδικό δίκτυο της περιοχής μελέτης. Σ’ αυτές τις περιοχές το καλώδιο θα υποστεί υπογειοποίηση.



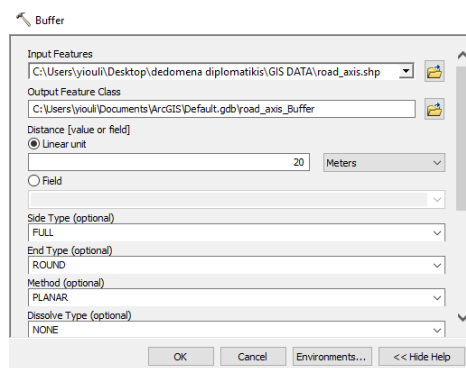
Εικόνα 69. Παράθυρο διαλόγου χωρικής αναζήτησης με γεωγραφικά κριτήρια του υδρογραφικού δικτύου σε σχέση με το οδικό δίκτυο

Τα αποτελέσματα των παραπάνω διεργασιών αποτελούν τις επιλεγμένες οντότητες για την κατασκευή νέων θεματικών επιπέδων πληροφορίας. Στη συνέχεια αποθηκεύονται σε διανυσματική μορφή μορφοτύπου shapefile (.shp), μέσω της εντολής data>exportdata κι έτσι δίνεται το έναυσμα για την επεξεργασία των δευτερογενών πλέον δεδομένων στο σχεδιαστικό αυτό περιβάλλον.

{Δευτερογενή Δεδομένα}

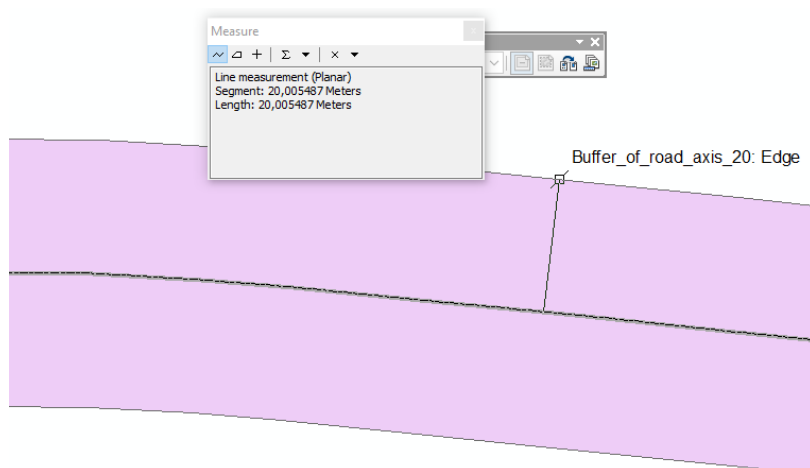
Τα δευτερογενή γεωγραφικά και στατιστικά δεδομένα είναι τα παράγωγα δεδομένα από τα αντίστοιχα πρωτογενή. Στην παρούσα εργασία τα δευτερογενή δεδομένα προήλθαν από ψηφιοποίηση μέσω Internet Map Servers (π.χ. Google Earth, Υπηρεσία Θέασης Ορθοφωτοχαρτών της Κτηματολόγιο ΑΕ κλπ.

Αρχικό στάδιο της επεξεργασίας των δευτερογενών δεδομένων αποτελεί η δημιουργία ζωνών επιρροής (buffers) των οποίων η περίμετρος έχει μία προκαθορισμένη απόσταση (20m, 40m) από τα πλευρικά όρια του οδικού άξονα που μελετάται.



Εικόνα 70. Ορισμός παραμέτρων στο εργαλείο γεωεπεξεργασίας Buffer (πχ περίπτωση 20m).

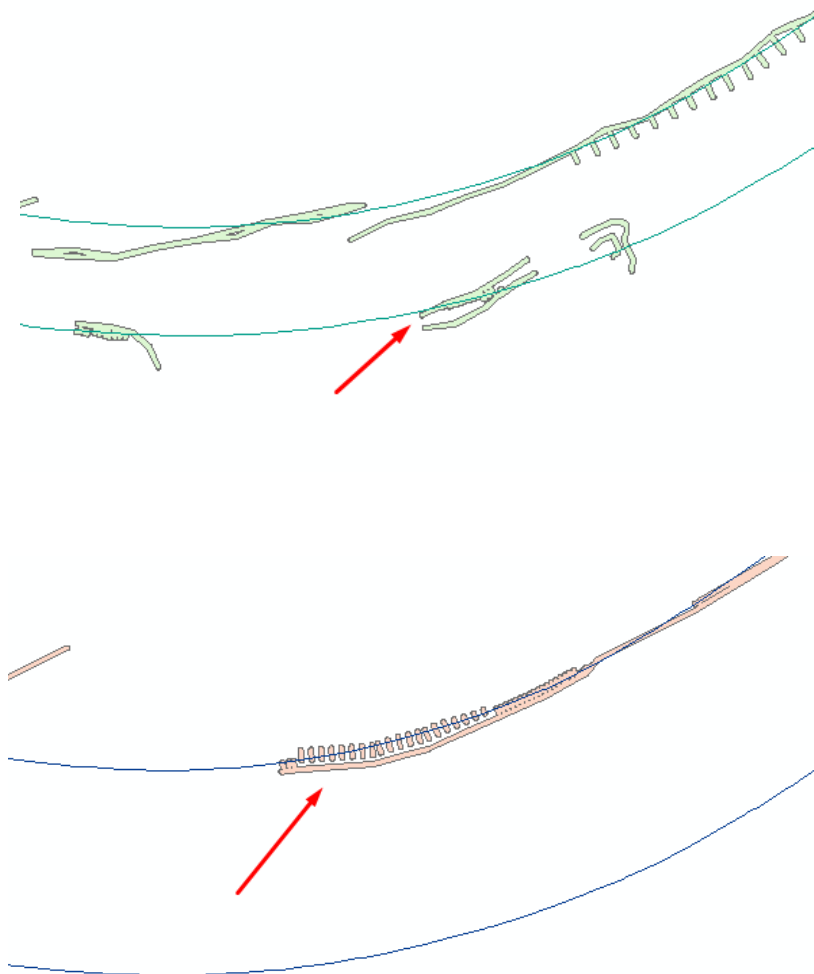
Για την εμφάνιση των ζωνών αυτών, δημιουργούνται επιφάνειες για την μετέπειτα συσχέτιση τους με τα εμπόδια κατά μήκος της διαδρομής του καλωδίου.



Εικόνα 71. Αποτύπωση τμήματος της ζώνης επιρροής (buffer) του οδικού δικτύου.

Αναλυτικότερα, τα buffers είναι επιφάνειες ζωνώδους μορφής, οι οποίες δημιουργούνται έτσι ώστε η περίμετρός τους να έχει μία προκαθορισμένη απόσταση από ένα ή περισσότερα αντικείμενα. Χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν τη ζώνη επιρροής ή εγγύτητας ενός γεωγραφικού αντικείμενου. Όσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός επιρροής του, τόσο μεγαλύτερο το buffer. Συγκεκριμένα, στο ArcGIS, η εντολή buffer βρίσκεται στην εργαλειοθήκη Proximity της Analysis Tools και από το πλαίσιο διαλόγου της εντολής ορίζονται οι επιμέρους παράμετροι. Για τη δημιουργία της ζώνης επιρροής, ο χρήστης επιλέγει την απόσταση της περιμέτρου του buffer από το αντικείμενο (εντολή Value στο MapInfo Professional). Σε αυτή την περίπτωση η απόσταση θα είναι ίδια για κάθε αντικείμενο αν επιλεγούν περισσότερα του ενός. Η τιμή της διαμέτρου προσδιορίζεται από το αντίστοιχο πεδίο της βάσης δεδομένων ή από την εκάστοτε μαθηματική συνάρτηση που μπορεί να καθορίσει ο χρήστης. Στην περίπτωση που πρόκειται να δημιουργηθούν ζώνες επιρροής για περισσότερα του ενός αντικείμενα, μπορούν να δημιουργηθούν ξεχωριστά buffers για τα αντικείμενα αυτά, ή ένα ενιαίο για όλα τα αντικείμενα του επιπέδου αυτού.

Πριν την κατασκευή των ζωνών επιρροής για τα εμπόδια (ποτάμια, ισουψείς, σιδηροδρομικό δίκτυο, τοίχοι αντιστήριξης, γέφυρες κλπ) εφαρμόστηκε χωρική αναζήτηση με βάση γεωγραφικά κριτήρια ώστε να μείνουν εκείνα τα οποία διασταυρώνονται (intersect) με τη ζώνη επιρροής του δρόμου των 20m. Το ίδιο επαναλήφθηκε και για τα εμπόδια σε σχέση με τη ζώνη επιρροής του οδικού δικτύου των 40m αντίστοιχα. Για την ορθή επιλογή των εμποδίων σε σχέση με τις δύο ζώνες επιρροής (20, 40) μετατράπηκε η πολυγωνική τους επιφάνεια σε γραμμή. Αυτό πραγματοποιήθηκε καθώς μας ενδιαφέρουν τα πλευρικά όρια της κάθε ζώνης επιρροής.



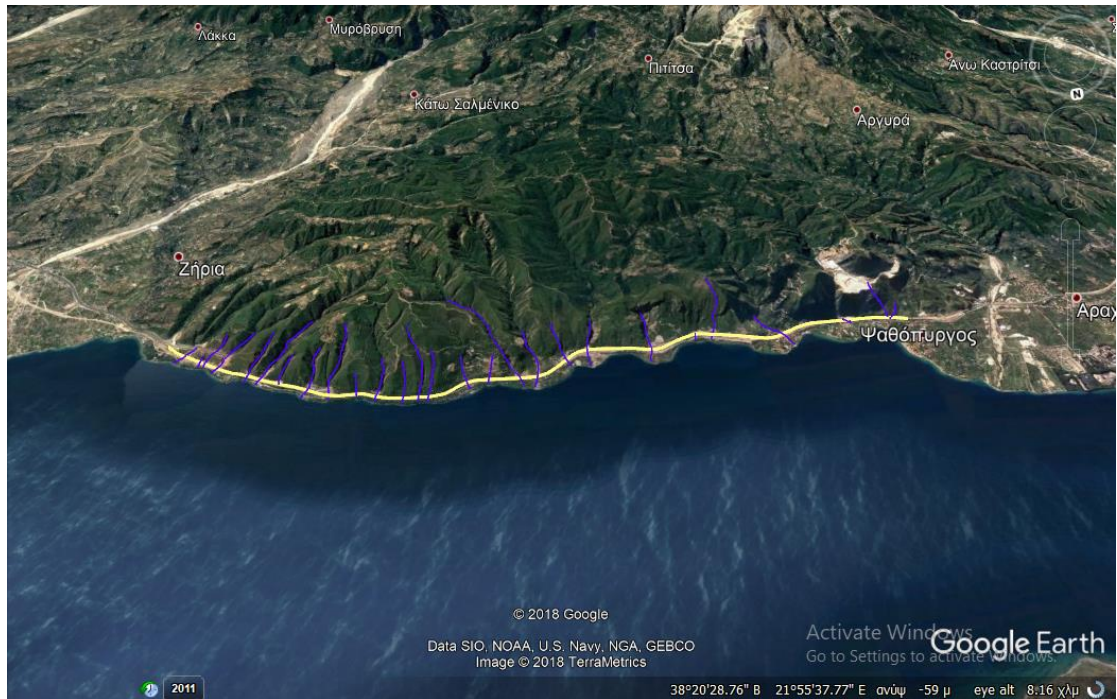
Εικόνα 72. Α) Στην πάνω εικόνα απόσπασμα από τμήμα του δρόμου της ζώνης επιρροής των 20m και των εμποδίων με ζώνη επιρροής 1m. Β) Στην κάτω εικόνα απόσπασμα από τμήμα του δρόμου της ζώνης επιρροής των 40m και των εμποδίων με ζώνη επιρροής 1m

Από τα 165076 εμπόδια επιλέχθηκαν 1506 για τη ζώνη επιρροής των 40m και 2306 για τη ζώνη επιρροής των 20m.

Για κάθε εμπόδιο από τα προηγούμενα μεμονωμένα επίπεδα πληροφορίας (πυλώνες Δ.Ε.Η – Ο.Τ.Ε, ισουψείς, σιδηροδρομικό δίκτυο, γέφυρες) κατασκευάστηκαν ζώνες επιρροής των εμποδίων έχοντας κάνει παραδοχή του μεγέθους απόστασης σε 1m εκτός του σιδηροδρομικού δικτύου όπου το πλάτος του θεωρείται προσεγγιστικά ίσο με 3m. Αξίζει να σημειωθεί ότι ταυτόχρονα επιλέχθηκε η απλοποίηση των επιφανειών αυτών (dissolve) για την ελαχιστοποίηση του αριθμού των παραγόμενων

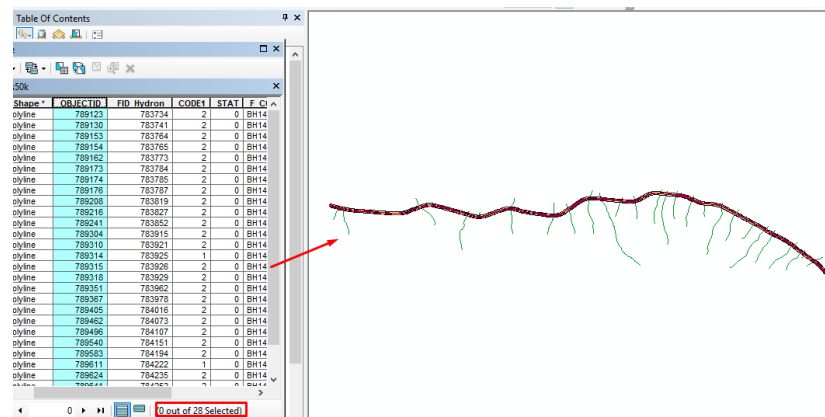
οντοτήτων για να είναι πιο λειτουργικό το μοντέλο τόσο σε χρόνο όσο και σε αριθμό διανυσματικών πράξεων.

Όσον αφορά τα εμπόδια που αφορούν τις κοίτες των υδατορευμάτων κατά μήκος του νέου οδικού δικτύου πραγματοποιήθηκε οπτική παρατήρηση του πλάτους τους χρησιμοποιώντας δορυφορικό υπόβαθρο google earth αφού πρώτα έγινε η μετατροπή των layers 50k από μορφότυπο shapfile σε KML.



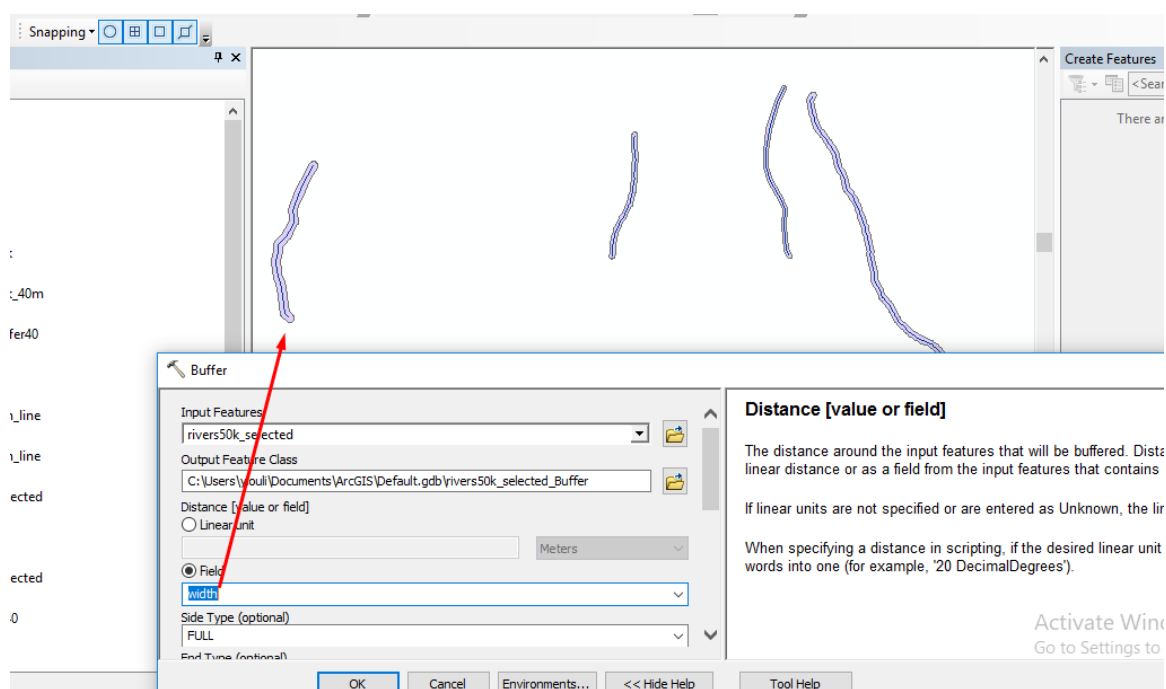
Εικόνα 73. Όψη οδικού δικτύου και υδατορευμάτων Ανατολή-Δύση

Από το τοπογραφικό φύλλο 1:50000 της ΓΗΣ παρατηρήθηκαν 28 άξονες υδατορευμάτων.



Εικόνα 74. Άξονες υδατορευμάτων

Στη συνέχεια, επιλέχθηκαν με βάση τα περιγραφικά χαρακτηριστικά τα ρέματα με μοναδικό κλειδί FID, διότι σε αυτά μετρήθηκε με δορυφορική παρατήρηση κατ' εκτίμηση το πλάτος της εγκοιβωτισμένης κοίτης. Στα 13 αυτά ρέματα εφαρμόζεται ζώνη επιρροής στο καθένα με βάση την οπτική παρατήρηση που πραγματοποιήθηκε στο google earth. Για την κατασκευή των buffers χρησιμοποιήθηκε η νέα στήλη που δημιουργήθηκε με το πλάτος των ρεμάτων από τον πίνακα περιγραφικών χαρακτηριστικών των επιλεγμένων ρεμάτων. Το μέγεθος του κάθε buffer είναι ανάλογο του πλάτους που έχει εντοπισθεί στο earth.

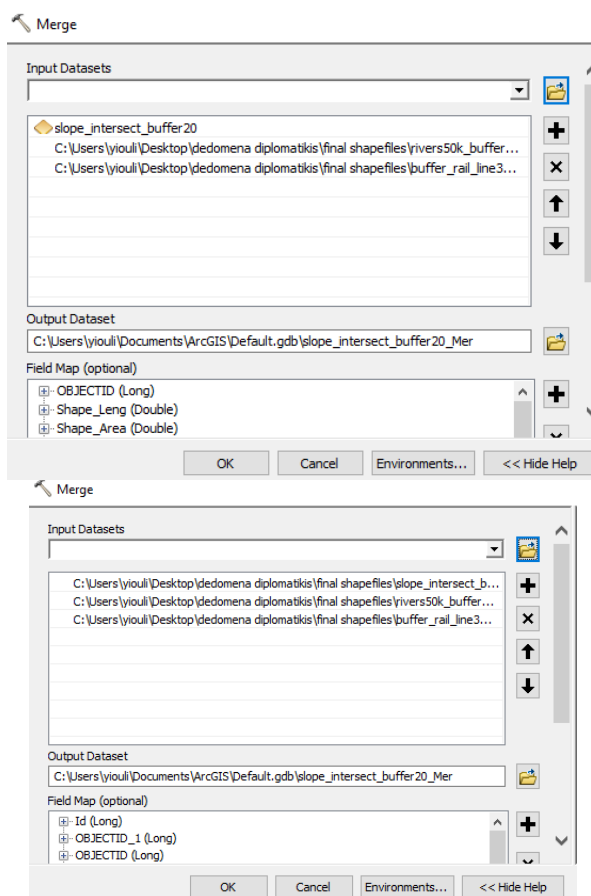


Εικόνα 75. Αποτύπωση τμήματος της ζώνης επιρροής (buffer) των υδατορευμάτων κατά μήκος του οδικού δικτύου.

Είναι αδιαμφισβήτητο ότι το σχήμα και οι πληροφορίες της βάσης δεδομένων των γραμμικών και επιφανειακών αντικειμένων είναι δυνατόν να τροποποιηθούν, το ένα σε σχέση με το άλλο, μέσω πλήθους λειτουργιών, που αποσκοπούν στο διαχωρισμό τους (split), στη συνένωσή τους (combine, merge, union), στη διαγραφή τμημάτων, που βρίσκονται εντός (Erase) ή εκτός (Erase Outside) ενός επιλεγμένου γεωγραφικού αντικειμένου, κ.λπ.. Αυτού του είδους οι λειτουργίες στο ArcGIS βρίσκονται είτε στο αναπτυσσόμενο μενού του Editor της εργαλειοθήκης Editor, εάν πρόκειται για οντότητες που βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο πληροφορίας, είτε στο ArcToolbox στην

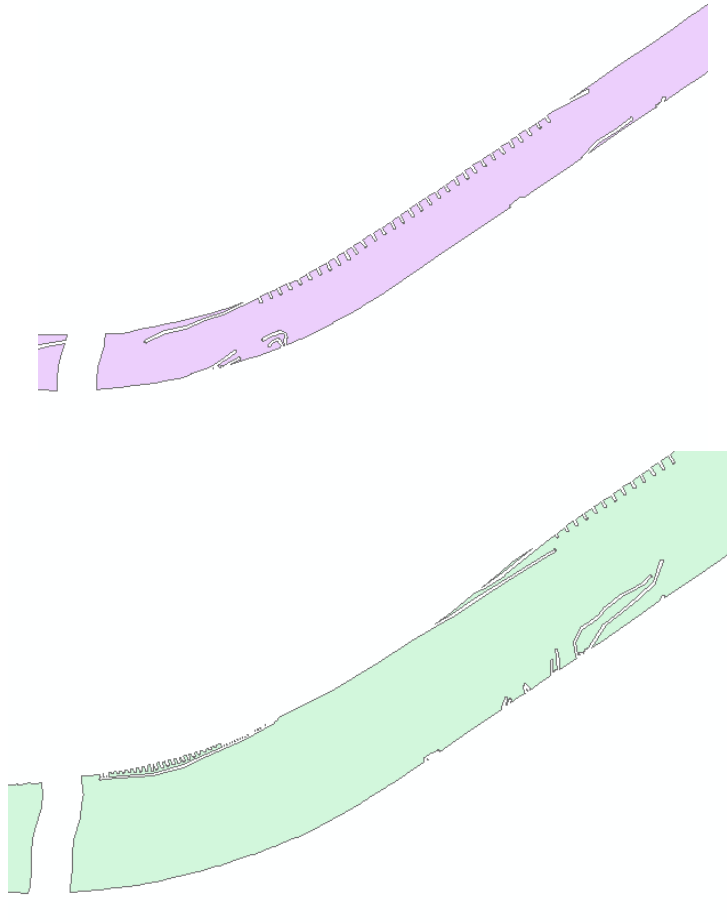
εργαλειοθήκη Analysis Tools, όταν πρόκειται για συνδυασμό δύο επιπέδων πληροφορίας με σκοπό τη δημιουργία ενός νέου.

Στη δεδομένη λοιπόν περίπτωση της εργασίας πραγματοποιείται η εντολή erase αφού πρώτα γίνει απλοποίηση στο κάθε εμπόδιο με την εντολή dissolve (επιλέγοντας dissolveall) προκειμένου να γίνει ενοποίηση. Έτσι δε θα υπάρχουν εσωτερικά όρια των συμφωνηθέντων buffers μεταξύ τους. Για κάθε buffer και layer εφαρμόζεται η εντολή εκείνη [DefineProjection>GreekGrid] η οποία θέτει το σύστημα συντεταγμένων που θα πρέπει να αντιπροσωπεύει τις υπάρχουσες οντότητες, και τέλος στο συνολικό layer. Στόχος είναι όλα τα buffers να συγχωνευτούν σε ένα θεματικό επίπεδο πληροφορίας, και να απλοποιηθούν με χρήση της εντολής merge. Αυτή τη διαδικασία την πραγματοποιούμε και για τις δύο ζώνες επιρροής των 20m και 40m..



Εικόνα 76. Εμφάνιση του εργαλείου γεωπεξεργασίας της συγχώνευσης οντοτήτων (merge) και για τις δύο ζώνες επιρροής των 20 και 40m.

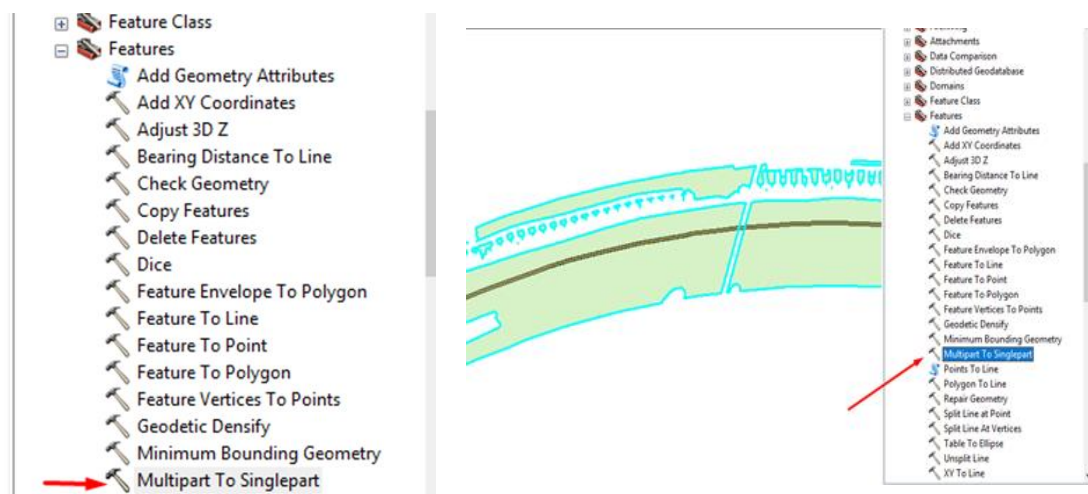
Έπειτα εφαρμόζεται η εντολή erase για να αφαιρεθούν οι επιφάνειες των εμποδίων που είναι εκτός των 20m αλλά και των 40m από την επιφάνεια του οδικού άξονα. Παρατηρήθηκε ότι απομένουν τα εμπόδια που είναι εντός της ζώνης επιρροής του οδικού δικτύου των 20m και των 40m. Με τη χρήση του εργαλείου erase διαπιστώθηκε ότι το νέο θεματικό επίπεδο συμπεριφέρεται ως μία οντότητα.



Εικόνα 77. Αποτύπωση του επιπέδου των ζωνών επιρροής για το ίδιο τμήμα του οδικού δικτύου μετά την εντολή erase και για τις δύο ζώνες επιρροής των 20 και των 40m.

Το γεγονός αυτό δεν ικανοποιεί την εφαρμογή καθώς οι ζώνες επιρροής των εμποδίων είναι ενοποιημένες και δεν μπορούν να αναλυθούν σε επιμέρους οντότητες. Για το σκοπό αυτό, γίνεται διαμερισματοποίηση των ενωμένων οντοτήτων με την εντολή multiparttosinglepart.

(Λόγω ασυνέχειας που παρουσιάζει ο χωρικός ιστός, πραγματοποιήθηκε χωρική αναζήτηση με βάση χωρικά κριτήρια.)

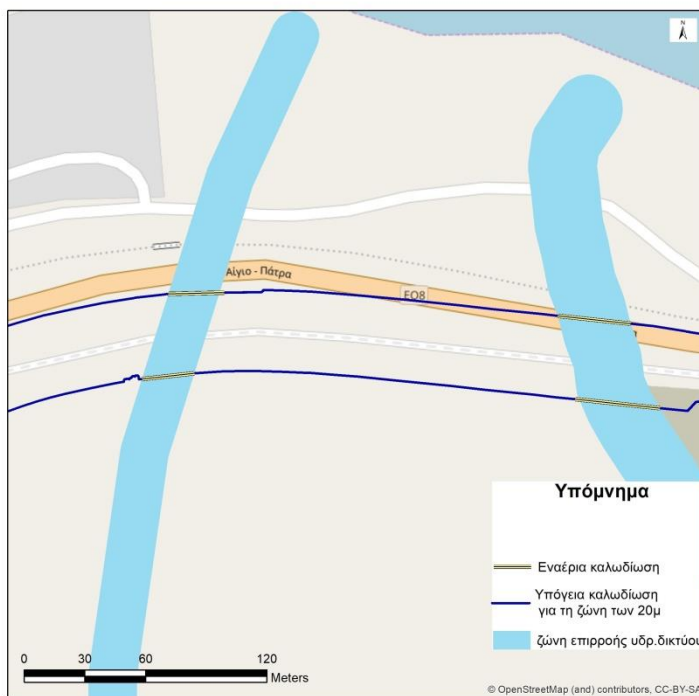


Εικόνα 78. Επιλογή του εργαλείου διαμερισματοποίησης των οντοτήτων Multipart to Singlepart

Ο χωρικός ιστός διαμερισματοποιήθηκε σε επιμέρους τμήματα και επιλέγονται τα πολύγωνα που διασταυρώνονται με το δρόμο.

Τελευταίο στάδιο αποτελεί η μετατροπή του πολυγώνου σε γραμμή με την εντολή Feature to line.

Αφού το πολύγωνο μετατράπηκε σε γραμμή στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν κάποιες διορθώσεις με το εργαλείο split διαχωρισμού για να αφαιρεθούν κάποιες οντότητες που δεν αποτελούσαν εμπόδιο για τη χάραξη του καλωδίου. Στους χάρτες που ακολουθούν παρατηρούνται οι τελικές χαράξεις της υπόγειας καλωδίωσης των 20 και 40m. Στην περίπτωση διασταύρωσης της χάραξης υπόγειας καλωδίωσης με την εγκιβωτισμένη κοίτη των κυρίων ρεμάτων στην περιοχή μελέτης το καλώδιο ακολουθεί εναέρια διαδρομή λόγω κόστους.



Εικόνα 79. α) Χάρτης απεικόνισης της υπόγειας καλωδίωσης για τις ζώνες των 20m, 40m σε τμήμα της περιοχής μελέτης. β) Χάρτης απεικόνισης της υπόγειας και εναέριας καλωδίωσης της περιοχής μελέτης

Περιοχή «Ελίκη-Ροδιά-Διακοφτό»

Η διαδικασία επεξεργασίας της δεδομένης περιοχής μυείται της προαναφερθείσας. Αρχικά πραγματοποιείται εισαγωγή του τμήματος του .cad αρχείου στο περιβάλλον του ArcMap και στη συνέχεια ξεχωρίζονται οι απαραίτητες οντότητες που αντιστοιχούν στα πλευρικά όρια του δρόμου και των δύο ρευμάτων. Ο διαχωρισμός έγινε μέσω της επιλογής περιγραφικών χαρακτηριστικών του πεδίου Layer από το autocad αρχείο σε συνδυασμό με οπτική παρατήρηση από δορυφορικά δεδομένα (google earth). Αφού απομονώθηκαν τα όρια των δύο ρευμάτων εξάγονται σε μεμονωμένο shapfile που περιλαμβάνει τα όρια του δρόμου.

Στη συνέχεια, το αυτόνομο shapfile μετατράπηκε σε KML προκειμένου να εντοπιστούν τα όρια των περιοχών με οικίες, τα πλάτη των ρευμάτων κλπ.

Αρχικό στάδιο της επεξεργασίας των δευτερογενών δεδομένων αποτελεί η δημιουργία ζωνών επιρροής (buffers) των οποίων η περίμετρος έχει μία προκαθορισμένη απόσταση (20m, 40m) από τον οδικό άξονα που μελετάται.

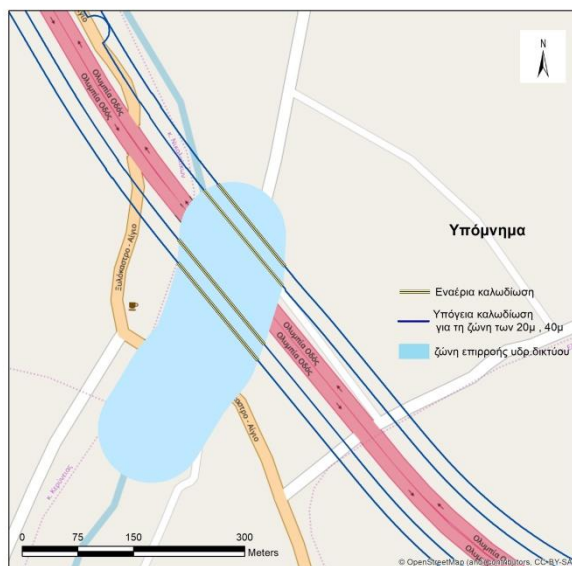
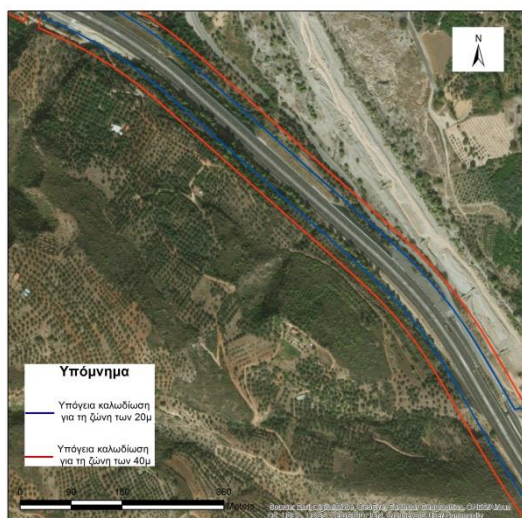
Για τα όρια των περιοχών, οριοθετήθηκαν οι οικιστικές περιοχές μέσω οπτικής παρατήρησης από το GoogleEarth. Επιλέχθηκαν, λοιπόν, με βάση τα περιγραφικά χαρακτηριστικά τα ρέματα με μοναδικό κλειδί ObjectID, διότι σε αυτά μετρήθηκε με δορυφορική παρατήρηση το πλάτος της εγκοιβωτισμένης κοίτης. Στα 5 αυτά ρέματα εφαρμόζεται ζώνη επιρροής στο καθένα με βάση την οπτική παρατήρηση που πραγματοποιήθηκε στο google earth. Για την κατασκευή των buffers χρησιμοποιήθηκε η νέα στήλη που δημιουργήθηκε με το πλάτος των ρευμάτων από τον πίνακα περιγραφικών χαρακτηριστικών των επιλεγμένων ρευμάτων.

Όσον αφορά τους οικισμούς, μεταφέρονται οι παρατηρούμενες από το google earth οικιστικές περιοχές στο arc μετατρέποντας τα αρχεία από KML σε layer και θέτοντάς τα σε σύστημα αναφοράς greekgrid. Η ζώνη επιρροής με την οποία αναπαρίστανται έχει μία προκαθορισμένη απόσταση 1m από παραδοχή.

Στη συνέχεια, πραγματοποιείται η εντολή erase αφού πρώτα γίνει απλοποίηση στο κάθε εμπόδιο με την εντολή dissolve (επιλέγοντας dissolve all) προκειμένου να γίνει ενοποίηση. Για κάθε buffer και layer εφαρμόζεται η εντολή εκείνη [Define Projection>Greek Grid] η οποία θέτει το σύστημα συντεταγμένων που θα πρέπει να

αντιπροσωπεύει τις υπάρχουσες οντότητες, και τέλος στο συνολικό layer. Στόχος είναι όλα τα buffers να συγχωνευτούν σε ένα θεματικό επίπεδο πληροφορίας, και να απλοποιηθούν με χρήση της εντολής merge. Αυτή τη διαδικασία την πραγματοποιούμε και για τις δύο ζώνες επιρροής των 20m και 40m.

Τελικό στάδιο της επεξεργασίας της δεδομένης περιοχής αποτελεί η μετατροπή της ζώνης επιρροής σε γραμμή με στόχο την τελική μορφή παρουσίασης της χάραξης του καλωδίου κατά μήκος του οδικού άξονα.



Εικόνα 80. α) Χάρτης απεικόνισης της υπόγειας καλωδίωσης για τις ζώνες των 20m, 40m σε τμήμα της περιοχής μελέτης. β) Χάρτης απεικόνισης της υπόγειας και εναέριας καλωδίωσης της περιοχής μελέτης

Μοντελοποίηση της χάραξης μέσω του εργαλείου ModelBuilder

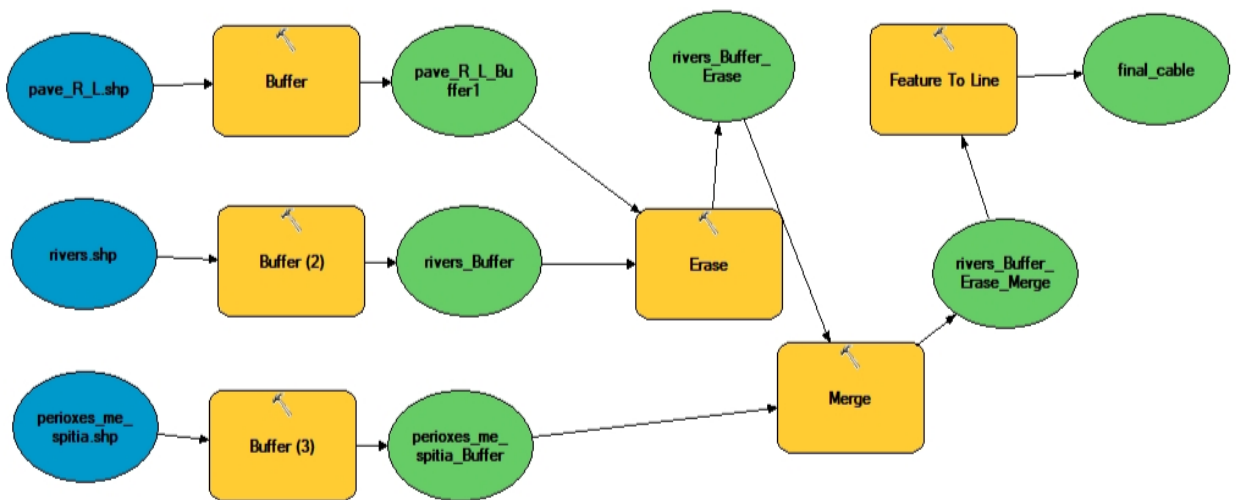
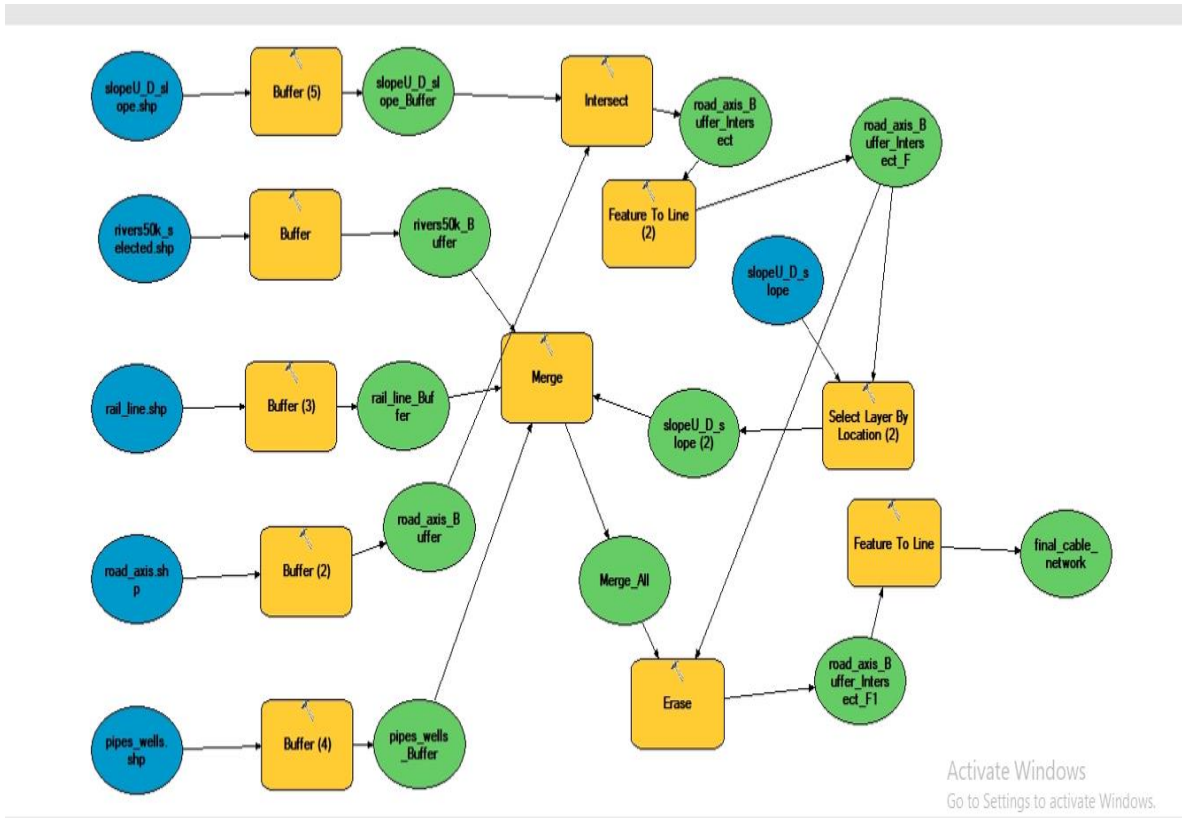
Το ModelBuilder είναι μια εφαρμογή που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία, την επεξεργασία και τη διαχείριση μοντέλων. Τα μοντέλα είναι ροές εργασίας που συνδυάζουν ακολουθίες εργαλείων γεωπροεπεξεργασίας, τροφοδοτώντας την έξοδο μιας εφαρμογής σε άλλη ως είσοδο. Το ModelBuilder μπορεί επίσης να θεωρηθεί ως οπτική γλώσσα προγραμματισμού για τη δημιουργία ροών εργασίας. Ενώ το ModelBuilder είναι πολύ χρήσιμο για την κατασκευή και την εκτέλεση απλών ροών εργασίας, παρέχει επίσης προηγμένες μεθόδους για την επέκταση της λειτουργικότητας του ArcGIS, επιτρέποντάς τη δημιουργία μοντέλων ως εργαλείο.

Τα πλεονεκτήματα του ModelBuilder συνοψίζονται ως εξής:

- Το ModelBuilder είναι μια εύχρηστη εφαρμογή για τη δημιουργία και εκτέλεση ροών εργασίας που περιέχουν μια σειρά εργαλείων.
- Δημιουργούνται εργαλεία της αρεσκείας του χρήστη με το ModelBuilder. Τα εργαλεία που δημιουργούνται με το ModelBuilder μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε γραμμές κώδικα της γλώσσας προγραμματισμού Python.
- Το ModelBuilder, μαζί με το scripting, είναι ένας τρόπος για να ενσωματωθεί το ArcGIS σε άλλες εφαρμογές.

Στη δεδομένη λοιπόν διπλωματική εργασία, κατασκευάστηκε μία αυτοματοποιημένη εφαρμογή διασύνδεσης των προαναφερθέντων εργαλείων (σαν εντολές input και output σε κάθε κελί του) προκειμένου να παραχθεί η όδευση/χάραξη του υπόγειου καλωδίου και στα δύο οδικά τμήματα.

Τα διαγράμματα ροής για τα δύο οδικά τμήματα που προκύπτουν είναι τα παρακάτω:



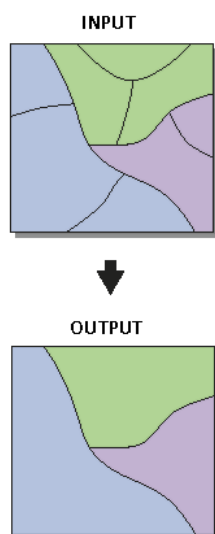
Εικόνα 81. Διαγράμματα ροής για τις περιοχές α, β αντίστοιχα για τη χάραξη του καλωδίου σε απόσταση 20m από τα πλευρικά όρια του οδικού άξονα

ΓΛΩΣΣΑΡΙ ΕΝΤΟΛΩΝ (HELP BY ARCGIS 10.3 FOR DESKTOP)

- ✓ **MERGE** : Στο ArcGIS, χρησιμοποιείται η εντολή merge, προκειμένου να ενωθούν δύο οντότητες που βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο πληροφορίας. Σε αυτή την περίπτωση, ενώνονται οι δύο οντότητες σε μία, η οποία διατηρεί τα περιγραφικά χαρακτηριστικά της μίας από τις δύο.
- ✓ **DISSOLVE** : Στην περίπτωση της ομαδοποίησης οντοτήτων με τα ίδια χαρακτηριστικά, χρησιμοποιείται η εντολή Dissolve που βρίσκεται στο ArcToolbox>DataManagementTools>Generalization. Αυτό το εργαλείο χρησιμοποιείται για τη δημιουργία μιας απλοποιημένης κάλυψης από μια πιο περίπλοκη. Παρόλο που η κάλυψη εισόδου μπορεί να περιέχει πληροφορίες που αφορούν πολλές ιδιότητες χαρακτηριστικών, η κάλυψη εξόδου περιέχει πληροφορίες μόνο για το στοιχείο διάλυσης. Η συγχώνευση πολυγώνων με αυτό το εργαλείο είναι το αντίστοιχο των διασταυρούμενων πολυγώνων σε επικαλύψεις. Το Dissolve θα αφαιρέσει τα όρια.

Dissolve

Aggregates features based on specified attributes.



- ✓ CLIP : Το εργαλείο Clip χρησιμοποιείται προκειμένου να απομονωθεί τμήμα των δεδομένων μιας περιοχής ως προς μια ευρύτερη ομάδα δεδομένων. Αυτό το εργαλείο χρησιμοποιεί μια διαδικασία πλακιδίων για να χειριστεί πολύ μεγάλα σύνολα δεδομένων για καλύτερη απόδοση και επεκτασιμότητα. Οι δυνατότητες κλιπ μπορούν να είναι σημεία, γραμμές και πολύγωνα, ανάλογα με τον τύπο των χαρακτηριστικών εισόδου.

Clip



- ✓ ERASE : Η εντολή Erase χρησιμοποιείται για τη διαγραφή μιας περιοχής από μια ευρύτερη. Τα EraseFeatures μπορούν να είναι σημείο, γραμμή ή πολύγωνο, εφόσον η λειτουργία εισαγωγής είναι του ίδιου ή μικρότερου τύπου. Μια λειτουργία διαγραφής πολυγώνων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διαγραφή πολυγώνων, γραμμών ή σημείων από τις λειτουργίες εισόδου. Μια λειτουργία διαγραφής γραμμής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διαγραφή γραμμών ή σημείων από τις λειτουργίες εισόδου. Μια λειτουργία διαγραφής σημείου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διαγραφή σημείων από τις λειτουργίες εισόδου.

Erase

Creates a feature class by overlaying the Input Features with the polygons of the Erase Features. Only those portions of the input features falling outside the erase features outside boundaries are copied to the output feature class.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΙΘΑΝΕΣ ΠΡΟΕΚΤΑΣΕΙΣ

5.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκε η γεωχωρική χάραξη των υπόγειων καλωδίων υψηλής και υπερυψηλής τάσης κατά μήκος δύο οδικών τμημάτων της νέας εθνικής οδού Κορίνθου – Πατρών. Για το σκοπό αυτό, έγινε διαχωρισμός των εμποδίων σε φυσικά και τεχνητά ώστε να υπολογιστεί η περιοχή όδευσης του καλωδίου.

Το ΒΔ τμήμα περιλάμβανε τις περιοχές Ελίκη-Ροδιά-Διακοφτό ενώ το ΒΑ τις περιοχές Ψαθόπυργος-Παναγοπούλα-Λαμπίρι. Τα τμήματα αυτά έχουν μεγάλο ιστορικό κατολισθητικών συμβάντων με βάση αυτά που έχουν ειπωθεί παραπάνω, και απαιτούν προσεκτική μελέτη για την υπογειοποίηση της εναέριας καλωδίωσης.

Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ArcGIS 10.3 forDesktop όπου αρχικά καταχωρήθηκαν και ψηφιοποιήθηκαν τα απαραίτητα θεματικά επίπεδα πληροφορίας ώστε να πραγματοποιηθεί η γεωχωρική ανάλυση για την όδευση του καλωδίου.

Επόμενο στάδιο ήταν η κατασκευή ενός ευρετηρίου σε γεωβάση δεδομένων ώστε να προκύψουν οι ζώνες επιρροής (buffer) των 20m και 40m για τα οδικά τμήματα. Στη συνέχεια οι ζώνες επιρροής μετατράπηκαν από επιφάνειες σε γραμμικά στοιχεία και υπολογίστηκε το μήκος τους. Συγκεκριμένα στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα υπολογισμένα μήκη της περιοχής μελέτης (ΒΑ: Ελίκη-Ροδιά-Διακοφτό, ΒΔ : Ψαθόπυργος-Παναγοπούλα-Λαμπίρι).

Πίνακας 11. Μήκος (km) του κάθε τμήματος

ΠΕΡΙΟΧΗ / ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΟΔΙΚΟ ΑΞΟΝΑ	ΜΗΚΟΣ (km)
ΒΑ τμήμα/ 20m	17,9
ΒΑ τμήμα/ 40m	20,15
ΒΔ τμήμα/ 20m	30,1
ΒΔ τμήμα/ 40m	42,47

Όσον αφορά την εκτίμηση του κόστους λήφθηκαν υπ' όψιν βιβλιογραφικές αναφορές και δημοσιευμένες εργασίες. Τόσο για το ΒΔ τμήμα όσο και για το ΒΑ το κόστος καλωδίου υπολογίζεται προσεγγιστικά σύμφωνα με την αναφορά της ICFConsulting. Αναλυτικά τα κόστη παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 12. Μήκος του κάθε τμήματος και κόστος κυκλώματος

ΠΕΡΙΟΧΗ / ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΟΔΙΚΟ ΑΞΟΝΑ	ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΟ ΚΟΣΤΟΣ ΜΟΝΟΥ/ΔΙΠΛΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ (EUROS)	ΜΗΚΟΣ (km)
ΒΑ τμήμα/ 20m	4475000/7160000	17,9
ΒΑ τμήμα/ 40m	5037500/8060000	20,15
ΒΔ τμήμα/ 20m	7525000/12040000	30,1
ΒΔ τμήμα/ 40m	10617500/16988000	42,47

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η υπογειοποίηση του καλωδίου, αν κι έχει μειωθεί το κόστος της τα τελευταία χρόνια, παραμένει υψηλό. Παρ' όλα αυτά, αποτελεί μια εφικτή εφαρμογή στην περιοχή μελέτης ειδικά στα τμήματα όπου διέρχονται χείμαρροι ή ποτάμια αλλά και κατά μήκος του νέου οδικού δικτύου.

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι ειδικά για την υπογειοποίηση καλωδίων υψηλής τάσης **προτείνεται** η μέθοδος GIL (GasInsulatedLines) ή αλλιώς μέθοδος Γραμμών με μόνωση με αέριο (θείο ή άζωτο) για την ταφή των καλωδίων. Η μέθοδος αυτή παρέχει ένα μεγάλο βαθμό «ακύρωσης» του μαγνητικού πεδίου, κάτι το οποίο επιτρέπει τη διέλευση υψηλού ηλεκτρικού φορτίου.

Επιπρόσθετα, όσον αφορά την περιοχή μελέτης και ειδικότερα την περιοχή της Παναγοπούλας, όπου έχουν εκδηλωθεί κατολισθήσεις με βάθος έως και 25m, συνιστάται διαφορετική παραμετροποίηση σε σχέση με το βάθος υπογειοποίησης του καλωδίου.

Η μελλοντική υπογειοποίηση των καλωδίων στην περιοχή μελέτης απαιτεί ενδελεχείς γεωλογικές μελέτες λόγω του υψηλού κινδύνου εκδήλωσης κατολισθήσεων στην υπό εξέταση περιοχή.

5.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα υπόγεια ηλεκτρικά καλώδια χρησιμοποιούνται σε όλες σχεδόν τις ευρωπαϊκές χώρες, κυρίως για τμήματα των δικτύων μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας επί αστικών περιοχών, αλλά και στην ύπαιθρο όπου υπάρχει ανάγκη για διατήρηση των οικολογικών ή ιστορικών συμφερόντων. Οι υπόγειες ηλεκτρικές γραμμές έχουν, ωστόσο, πιο υψηλό κόστος από τις εναέριες γραμμές. Οι διαφορές κόστους μεταξύ των εναέριων γραμμών και των υπόγειων δικτύων καλωδίων δεν είναι αναλογικές, καθώς αυξάνεται η ονομαστική ισχύς και το κόστος των υπόγειων καλωδίων περισσότερο από το κόστος της ισοδύναμης εναέριας γραμμής.

Επίσης παρόλο που τα έξοδα λειτουργίας και συντήρησης για τα υπόγεια καλώδια είναι πολύ χαμηλότερα, τα έξοδα επισκευής μπορεί να είναι υψηλότερα, καθώς η ανίχνευση, η ταυτοποίηση και η επισκευή των υπόγειων καλωδίων είναι πολύ πιο χρονοβόρες και πολύπλοκες διαδικασίες.

Αξίζει να τονισθεί πως σήμερα έχουν πραγματοποιηθεί σημαντικές επενδύσεις στην έρευνα και την ανάπτυξη με στόχο τη μείωση των διαφορών κόστους. Αυτό περιλαμβάνει την ανάπτυξη στερεών μονωμένων καλωδίων που βασίζονται σε διασταυρωμένο πολυαιθυλένιο (XLPE) και γραμμές με μόνωση με αέριο (GIL). Η τεχνολογία έχει πλέον αναπτυχθεί και εκατοντάδες μέτρα καλωδίων είναι δυνατό να τοποθετηθούν υπόγεια σε αρκετά χιλιόμετρα και πάνω από 100km καλωδίου XLPE 400kV συστημάτων εγκαθίστανται επί του παρόντος στην Ευρώπη με το μεγαλύτερο καλώδιο στην Ευρώπη (Κοπεγχάγη) να ξεπερνά τα 20 km. Αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιείται σε αστικά κέντρα καθώς και σε αγροτικές περιοχές με ευαίσθητο περιβάλλον.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΗ

Αναγνωστοπούλου Σ., (2015). *Κατολισθαίνουσα ζώνη Παναγοπούλας: Διαχρονική εξέλιξη εδαφικών μετακινήσεων με ενόργανες μετρήσεις και αποτελεσματικότητα των μέτρων προστασίας*, Διατριβή Διπλώματος Ειδίκευσης, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών.

Δημητροπούλου Ι., (2008). *Ποιοτική εκτίμηση της σχέσης κατολισθήσεων και βροχοπτώσεων στη Βόρεια Πελοπόννησο*, Διπλωματική Εργασία, Πάτρα.

Δούτσος Θ. & Καμηλάρης Χ., (1984). Οι κατολισθήσεις του Νομού Αχαΐας (Μηχανισμός, καταστροφές και έργα προστασίας), *Ορυκτός Πλούτος*, τεύχος 30, σελ. 45-60, Αθήνα.

Ειδική Γραμματεία Υδάτων, (2013). *Σχέδιο Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Βόρειας Πελοποννήσου*, σελ. 1864.

Ζιούρκας Κ.& Κούκης Γ., (1992). Ζωνοποίηση της επικινδυνότητας λόγω κατολισθήσεων στον Ελληνικό χώρο και απεικόνισή της σε χάρτες μικρής και μέσης κλίμακας. *Ορυκτός πλούτος*, 77, σελ. 9-30.

ΠΓΜΕ, (2010). *Μελέτη Υδατικών Αποθεμάτων Βόρειας Πελοποννήσου, με έμφαση στα ποιοτικά χαρακτηριστικά και σε φαινόμενα υφαλμύρισης*, Γ' ΚΠΣ Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ανταγωνιστικότητα.

Κούκης Γ., (1980). Κατολισθητικά φαινόμενα στην Ελληνικό χώρο και η σημασία τους στην οδοποιία. *Δελτίο Κ.Ε.Δ.Ε.*, 2, σελ. 106-149.

Κούκης Γ., (1999). «Κατολισθητικές κινήσεις και περιβάλλον».

Κούκης Γ. & Ρόζος Δ., (1982). Γεωτεχνικές συνθήκες και κατολισθητικές κινήσεις στον Ελληνικό χώρο σε σχέση με τη γεωλογική δομή και γεωτεκτονική εξέλιξη, *Ορυκτός πλούτος* 16, σελ. 53-69.

Κούκης Γ. & Ζιούρκας Κ., (1989). Κατολισθητικές κινήσεις στον Ελληνικό χώρο - Στατιστική θεώρηση. *Ορυκτός πλούτος*, 58, σελ. 39-58.

Κούκης Γ. & Σαμπατακάκης Ν., (2007). «Γεωλογία τεχνικών έργων».

Κυρακύκλας Χ., (2009). *Επεξεργασία και απεικόνιση βάσης δεδομένων κατολισθήσεων σε περιβάλλον Google Earth – Εφαρμογή στο Νομό Αχαΐας*, Διπλωματική Εργασία, Αθήνα.

Κωνσταντοπούλου Μ., (2017). *Διαχρονική εξέλιξη των οριζόντιων μετακινήσεων σε εκτεταμένες κατολισθαίνουσες ζώνες με τη συνδυαστική χρήση ενόργανης παρακολούθησης και στατιστικών προσεγγίσεων*, Διατριβή Διπλώματος Ειδίκευσης, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών.

Λαμπρίδης, Δ. (2002). *Κατασκευαστικά στοιχεία εναέριων γραμμών μεταφοράς. Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας II*. ΑΠΘ: Αυτοέκδοση.

Λέκκας Ε., (2000). *Φυσικές και Τεχνολογικές Καταστροφές*, Εκδόσεις Access, σ. 278, Αθήνα.

Loftus D.L. & Τσόφλιας Π., (1971). *Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας, κλίμακας 1:50.000 - Φύλλο ΝΑΥΠΑΚΤΟΣ*, έκδοση ΙΓΜΕ.

Μπαντής Σ., (2001). *Διαχείριση Φυσικών Κινδύνων, Κατολισθήσεις*, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών : Προστασία Περιβάλλοντος και Βιώσιμη Ανάπτυξη.

Παναγιωτακόπουλος, Χ. (2009). *Η Συγγραφή μιας Ακαδημαϊκής Εργασίας*.

Ανακτήθηκε 10 Απριλίου, 2012, από

www.cetl.elemedu.upatras.gr/docs/stguide_cp.pdf

Παπαδοπούλου-Βρυνιώτη Α. Κ., (2000). *Σημειώσεις θεμάτων «Καρστικής Γεωμορφολογίας»*, ΕΚΠΑ.

Παπαζάχος Β. και Παπαζάχου Κ., (1999). *"Οι σεισμοί της Ελλάδας"*, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Παπανικολάου Δ. et al, (2006). *Νεοτεκτονική – Εδαφοδυναμική Μελέτη περιοχής εξόδου σήραγγας Παναγοπούλας*, Τεχνική Έκθεση, υπέρ ΕΡΓΟΣΕ.

Παπανικολάου Δ. & Διακάκης Μ., (2011). *Μεταβολές στην ένταση και κατανομή των φυσικών καταστροφών*, Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής.

Παπανικολάου Δ. & Σίδερης Χ., (2006). *Εισαγωγή στη Γεωλογία*.

Ρόζος Δ., (1989). *Τεχνικογεωλογικές συνθήκες στο Νομό Αχαΐας - Γεωμηχανικοί χαρακτήρες των Πλειο-πλειστοκαινικών ιζημάτων*, Διδακτορική Διατριβή, Πάτρα.

Τσόφλιας Π., (2005). *Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας, κλίμακας 1:50.000 - Φύλλο ΑΙΓΙΟ*, έκδοση ΙΓΜΕ.

Ψωμόπουλος, Κ. (2014). *Μεταφορά ενέργειας με υψηλή συνεχή τάση*. ΑΤΕΙ Πειραιά: Αυτοέκδοση.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

Aubouin J., (1959). Contribution à l'étude géologique de la Grèce septentrionale: les confins de l'Épire et de la Thessalie. Thèse, sciences, Univ. Paris, 1958 et Ann. géol. Pays hellén., 10, 1-525, Athènes.

Aversa et al. (Eds) (2016). Associazione Geotecnica Italiana, Rome, Italy, ISBN 978-1-138-02988-0

Billiris H. et al, (1991). Geodetic determination of tectonic deformation in central Greece from 1900 to 1988, *Nature*, Vol. 350, p. 124-129.

Brooks M. & Ferentinos G., (1984). Tectonics and sedimentation in the Gulf of Corinth and the Zakynthos and Kefallinia channels, Western Greece, *Tectonophysics*, Vol. 101, p. 25-54.

Brunn JH, (1960). Les zones helléniques internes et leur extension. Réflexions sur l'orogénèse alpine. *Bull. Soc. Géol. Fr.* II, p. 470-486

Clarke P. J. et al, (1997). Geodetic estimate of seismic hazard in the Gulf of Korinthos, *Geophysical. Res. Lett.*, Vol. 24, p. 1303-1306.

Doutsos T. et al, (1988). The Corinth-Patras rift as the initial stage of continental fragmentation behind an active island arc (Greece), *Basin Research*, Vol. 1, p. 177-190.

Farrokh N. et al, (2006) .“Global landslide and avalanche hotspots”, *Landslides*, Issue 3.

ICF, (2003). Overview of the Potential for Undergrounding the Electricity Networks in Europe. United Kingdom.

Kavoura K. et al, (2016). Long term ground displacements due to a large landslide in western Greece, *Landslides and Engineered Slopes. Experience, Theory and Practice*

Koukis G. et al, (1994). Slope movements in the Greek territory – a statistical approach. *Proceedings 7th International Congress, IAEG, 4621-4628, Lisboa, Portugal.*

Koukis G. et al, (1997). Relationship between rainfall and landslides in the formations of Achaia county, Greece, *Proceedings Int. Symp. On Engineering Geology and the Environment, IAEG, vol. 1, p. 793-798, Athens, Greece.*

Koukis G. et al, (2005). Landslide hazard zonation in Greece, *Proceedings of the Open Symposium on landslide risk analysis and sustainable disaster management by International Consortium of Landslides, Washington, USA, 13-14 October 2005, Chapter 37, p. 291-296.*

Koukis G. & Rozos D., (1990). Geotechnical properties of the Neogene sediments in the NW Peloponnesus, Greece, *Proceedings 6th International Congress, IAEG, 1, p. 405-412, Amsterdam.*

Koukis G. & Rozos D., (1993). Mineralogical composition and texture of the Neogene sediments of the NW Peloponnesus, Greece, *Proceedings International Symposium on Geotechnical Engineering of Hard Soils – Soft Rocks, 1, p. 195-202, Athens.*

Lekkas E. et al, (1996). “Liquefaction, ground fissures and coastline change during the Egio earthquake (15 June 1995, Central-Western Greece)”. *Terra Nova, Vol. 8, N. 6, 648-654.*

Loftus D.L. & Τσόφλιας Π., (1971). Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας, κλίμακας 1:50.000 - Φύλλο NAYΠΙΑΚΤΟΣ, έκδοση ΙΓΜΕ.

McCall G.J.H. et al., (1992). *Geohazards. Natural and man-made. 227p., Chapman & Hall, London.*

Mountrakis, D. et al, (1983) Paleographic conditions in the western pelagonian margin in Greece during the initial rifting of the continental area. Canadian Journal of Ear. Sc., 20, 1673 -1681.

National Grid, (2015). Undergrounding high voltage electricity transmission lines. The technical issues.

NEXANS, 60-500 kV High Voltage Underground Power Cables XLPE insulated cables.

Palyvos N. et al., (2008). Geomorphic and biological indicators of paleoseismicity and Holocene uplift rate at a coastal normal fault footwall (western Corinth Gulf, Greece), Geomorphology, 96, p. 16-38.

Papathanassiou G., (2010). Assessment of liquefaction susceptibility of geological units in the area of Gulf of Corinth, Greece, Fifth International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, San Diego.

Papathanassiou et al., (2014). Scenario liquefaction hazard map of the Gulf of Corinth, Research Gate.

Papazachos B.C., (1989). Seismogenic volumes and long term earthquake prediction in Greece. New trends in the Seismology and the Physics of the Earth's Interior in the area of Greece, Thessaloniki, p. 90-102.

Papazachos B.C. et al, (2000). A catalogue of earthquakes in Greece and surrounding area for the period 550BC-1999, Publ. Geoph. Lab., Univ. of Thessaloniki, p. 1-133.

Popescu M., (1996). 'From Landslide causes to Landslide Remediation', 7th Int.Symp. on Landslides Trondheim, Norway Special Lecture, Balkema, Rotterdam.

Publication manual of the American Psychological Association. 2010. Washington, DC : American Psychological Association

Roberts S. & Jackson J., (1991). Active normal faulting in Central Greece: and overview In: *The Geometry of Normal Faults* eds Roberts, A.M., Yielding, G. & Freeman, B., Geol. Soc., Lond. Spec. Publ, 56, p. 125-142.

Rontogianni T., (1984). *Étude néotectonique des rivages occidentaux du canal d'Atalanti (Grèce centrale)*. Thèse 3ème Cycle, Univ. Paris Sud, 190 p.,Orsay.

Sabatakakis N. et al., (2005). Composite landslides induced by heavy rainfalls in suburban areas: City of Patras and surrounding area, Western Greece, *Landslides*, 2(3), p. 202-211.

Sabatakakis N. et al, (2015). Deep-seated structurally controlled landslides of Corinth Gulf rift zone, Greece: the case of Panagopoula Landslide, 13th ISRM Congress Proceedings - Int'l Symposium on Rock Mechanics - Innovations in Applied and Theoretical Rock Mechanics, ISBN: 978-1-926872-25-4, p. 651.

Seed H.B., (1979). "Soil Liquefaction and Cyclic Mobility Evaluation for Level Ground during Earthquakes". *Jnl. Geotechnical Eng. Div., ASCE*, 105:GT2, 201-255.

SILEC (2013). High and extra -high Voltage underground solutions. Generalcable. NorthAmerica.

Stefatos A. et al, (2002). Seismic reflection imaging of active offshore faults in the Gulf of Corinth: their seismotectonic significance, *Basin Research*, Vol. 14, p. 487-502.

Stewart I. & Vita-Finzi C., (1996). Coastal uplift on active normal faults: The Eliki Fault, Greece, *Geophysical Research Letters*, Vol. 23, p. 1853-1856.

Tselentis G-A. & Makropoulos K., (1986). Rates of crustal deformation in the Gulf of Corinth (central Greece) as determined from seismicity, *Tectonophysics* 24, p. 55-61.

Tsiambaos G. et al, (2015). Composite landslides affecting flysch and Neogene weak rock formations induced by heavy rainfall, 13th ISRM Congress Proceedings - Int'l

Symposium on Rock Mechanics - Innovations in Applied and Theoretical Rock Mechanics, ISBN: 978-1-926872-25-4, p. 651.

Varnes D.J., (1978). "Slope movement Types and Processes", In Special Report 176: Landslides: Analysis and Control (R.L. Schuster and R.. Kriezek), TRB, National Research Council, Wassington D.C., 11-33.

Varnes D.J., (1984). "Landslide Hazard Zonation: a renew of principles and practice", Commission on Landslides of the IAEG, UNESCO, Natural Hazards No 3

Volker, W. (2017). Underground cables in Europe: Overview. www.europacable.eu

Westaway R., (2002). The quaternary evolution of the Gulf of Corinth, central Greece: coupling between surface processes and flow in the lower continental crust, Tectonophysics, Vol. 348, p. 269-318.

ΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ

www.europacable.eu

<http://www.jimkava.com/wp->

content/uploads/2011/10/%CE%9A%CE%B5%CF%86%CE%AC%CE%BB%CE%B1%CE%B9%CE%BF-2.pdf

<https://web.archive.org/web/20140208095726/http://dnvgl.com/news-events/news/word-record-hvdc-transmission.aspx>

<https://opencourses.auth.gr/modules/document/file.php/OCRS315/%CE%A0%CE%B1%CF%81%CE%BF%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%AC%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82%20%CE%9C%CE%B1%CE%B8%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF%CF%82/SHE%20II%2002.pdf>