Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΗΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΠΗΝΕΛΟΠΗ Σ. ΣΩΤΗΡΙΟΥ

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΠΡΑΝΩΝ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΚΔΗΛΩΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ-ΒΡΑΧΟΚΑΤΑΠΤΩΣΕΩΝ ΥΠΟ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ ΣΕ ΘΕΣΕΙΣ ΤΗΣ ΗΠΕΙΡΟΥ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2019

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΠΗΝΕΛΟΠΗ Σ. ΣΩΤΗΡΙΟΥ

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΠΡΑΝΩΝ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΚΔΗΛΩΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ-ΒΡΑΧΟΚΑΤΑΠΤΩΣΕΩΝ ΥΠΟ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ ΣΕ ΘΕΣΕΙΣ ΤΗΣ ΗΠΕΙΡΟΥ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας
Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας

Επιβλέπων Καθηγητής
Καθηγητής κ. Βασίλης Μαρίνος

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

© Πηνελόπη Σ. Σωτηρίου, Εργ. Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας, 2019.
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΠΡΑΝΩΝ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΚΔΗΛΩΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ-ΒΡΑΧΟΚΑΤΑΠΤΩΣΕΩΝ ΥΠΟ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ ΣΕ ΘΕΣΕΙΣ ΤΗΣ ΗΠΕΙΡΟΥ- *Διπλωματική εργασία*

© Pinelopi S. Sotiriou, School of Geology, Dept. of Geology. All right reserved.
ENGINEERING GEOLOGICAL EVALUATION ON THE SLOPES STABILITY AND SUSCEPTIBILITY ASSESSMENT ON THE LANDSLIDE AND ROCKFALL PHENOMENA UNDER SEISMIC MOTION IN SELECTED AREAS OF EPIRUS PERFECTURE- *Bachelor Thesis*

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ 7
ΠΕΡΙΛΗΨΗ 8
ABSTRACT 10
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ 11
1.1 Αντικείμενο έρευνας 11
1.2 Μεθοδολογία 11
1.3 Θέση Έρευνας 12
1.4 Εκτελεσθείσες Εργασίες 12
1.5 Προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν 13
1.5.1 Επεξεργασία των φωτογραφιών από τη χρήση UAV 13
1.5.2 ArcGIS 14
1.5.3. AutoCAD -Autodesk 15
1.5.4 RocData- Rocsience Inc 15
1.5.5 SLIDE 2018- Rocsience Inc 16
2 ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ 18
2.1 Ορισμοί 18
2.2 Ταξινόμηση Κατολισθήσεων 19
2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν τις κατολισθήσεις 24
2.4 Ευστάθεια Πρανών 25
2.5 Μέτρα αντιστηρίξεων πρανών 27
2.6 Αποτύπωση κατολισθήσεων με χρήση UAV (Unmanned Aerial Vehicle – Μη επανδρωμένο αερόχημα) 31
3. ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ ΠΟΥ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΑΠΟ ΣΕΙΣΜΟ 33
3.1 Εκτίμηση του κινδύνου κατολισθήσεων κατά μήκος του οδικού άξονα Φλώρινας- Πισοδερίου- Καστοριάς 40
3.2 Περίπτωση Καλιφόρνια, Σεισμός LOMA PRIETA 1988 43
3.3 Περίπτωση Κεφαλονιάς, Σεισμός 2014 44
4. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ 47
4.1 Θέση- Γεωμορφολογία 47
4.2 Κλίμα 50
4.3 Σεισμικότητα 52
4.4 Γεωλογία ευρύτερης περιοχής 55
4.5 Γεωλογία της περιοχής έρευνας 60

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

4.5.1 Δομή- Τεκτονική της περιοχής μελέτης....65
4.5.2 Υδρογεωλογικές συνθήκες....66
5 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟΝ ΟΙΚΙΣΜΟ ΜΕΛΛΙΣΟΥΡΓΟΙ....68
5.1 Επιλογή Θέσης....68
5.2 Τεχνικογεωλογική αξιολόγηση....68
5.3 Περίπτωση 1η : Δεν υπάρχει κατολίσθηση....79
5.4 Περίπτωση 2η : Μια πιθανή παλιά κατολίσθηση....83
5.5 Περίπτωση 3η : Δύο πιθανές παλιές κατολισθήσεις....89
5.6 Μηχανισμός Λειτουργίας της Κατολίσθησης....95
6. ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ....97
6.1 Ανάλυση 1ης Περίπτωσης....97
6.2 Ανάλυση 2ης Περίπτωσης....106
6.3 Ανάλυση 3ης Περίπτωσης....115
7. ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΓΙΑ ΤΕΧΝΗΤΟ ΠΡΑΝΕΣ ΕΚΤΟΣ ΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ....124
8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ....132
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ....138

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία αποτελεί διπλωματική εργασία η οποία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια των προπτυχιακών σπουδών του Αριστοτελείου Πανεπιστήμιου Θεσσαλονίκης, στο τμήμα της Γεωλογίας, στο τομέα Γεωλογίας (εργαστήριο τεχνικής γεωλογίας και υδρογεωλογίας). Κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας μού δόθηκε η δυνατότητα να εντρυφήσω περισσότερο σε έννοιες της τεχνικής γεωλογίας και συγκεκριμένα σε κατολισθητικά φαινόμενα.

Για το λόγο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Βασίλη Μαρίνο για τη βοήθεια, τη συμπαράσταση και τις γνώσεις που μου παρείχε τόσο κατά την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής όσο και κατά τη διάρκεια των προπτυχιακών μου σπουδών. Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να τονίσω ότι ο κ. Μαρίνος αποτέλεσε την πηγή έμπνευσης στο σύνολο των προπτυχιακών μου σπουδών και έγινε η αιτία για την επιλογή μου να συνεχίσω στον τομέα τεχνικής γεωλογίας μέσα από τις εμπειρίες και τις ευκαιρίες που μου έδωσε, πράγμα για το οποίο είμαι πολύ χαρούμενη και ευγνώμων.

Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Στρατή Καραντανέλη και τον επίκουρο καθηγητή κ. Γιώργο Παπαθανασίου για την αμέριστη βοήθεια τους και τη συμβουλευτική δράση που μου παρείχαν κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας τόσο με τις γεωλογικές τους γνώσεις όσο και με την καθοδήγησή τους για τη σωστή χρήση προγραμμάτων.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον κ. Γιώργο Αγγίσταλη, τον κ. Μανώλη Χαραλαμπάκη και την κ. Ειρήνη Σαρκουμπέτα για την αμέριστη και ουσιαστική βοήθεια που μου προσέφεραν κατά την διάρκεια της πρακτικής μου άσκησης στη Εγνατία Α.Ε. Σε αυτό το διάστημα είχα στη διάθεσή μου προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική (πχ AutoCAD της Autodesk και Slide της Rocscience Inc), και απεριόριστες έρευνες προς μελέτη.

Τέλος, η εργασία αυτή δεν θα είχε πραγματοποιηθεί χωρίς την συμπαράσταση των γονιών μου Κατερίνα και Σωτήρη και της αδερφής μου Χριστίνας, οι οποίοι με στηρίζουν σε όλη τη διάρκεια της σταδιοδρομίας μου.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής αφορά στην αποτύπωση πιθανών κατολισθήσεων που μπορεί να προέκυψαν στο χωριό των Μελισσουργών από την ισχυρή σεισμική δόνηση που πραγματοποιήθηκε στη 1 Μαΐου του 1967 και έπληξε τους νομούς Άρτας και Ιωαννίνων. Συγκεκριμένα μελετήθηκαν διάφορα ενδεχόμενα για την εκτίμηση της επιδεκτικότητας εκδήλωσης κατολισθήσεων και βραχοκαταπτώσεων εντός και εκτός των Μελισσουργών. Η επιλογή του συγκεκριμένου οικισμού πραγματοποιήθηκε κατόπιν μελέτης βιβλιογραφικών αναφορών αλλά και δημοσιεύσεων σε τοπικές εφημερίδες, οι οποίες αναφέρονται σε σοβαρές καταστροφές που προκλήθηκαν από τη σεισμική δόνηση του 1967. Πιο συγκεκριμένα η θέση η οποία μελετάται στη παρούσα διπλωματική δεν έχει ενδείξεις ενεργούς κατολίσθησης αλλά η μορφολογία της παραπέμπει στο ενδεχόμενο ύπαρξης μίας η και δύο πιθανών παλαιών. Σκοπός της διπλωματικής είναι να τεθούν προς έρευνα τα 3 ενδεχόμενα που προέκυψαν από την εργασία υπαίθρου και στη συνέχεια να εξεταστούν ως προς την ευστάθειά τους α) κατά τις στατικές τους συνθήκες (ξηρές), β) με σεισμική φόρτιση και γ) με πίεση πόρων. Τα ενδεχόμενα που προέκυψαν κατά τη χαρτογράφηση είναι :

- 1ο Ενδεχόμενο: Κατά το ενδεχόμενο αυτό η περιοχή μελέτης δεν έχει υποστεί κάποια κατολίσθηση και αποτελείται στη πλειοψηφία της επιφανειακά από σύγχρονες αποθέσεις.
- 2ο Ενδεχόμενο: Κατά το ενδεχόμενο αυτό η περιοχή μελέτης έχει υποστεί μία παλιά κατολίσθηση η οποία όπως ειπώθηκε οφείλεται σε σεισμική δόνηση. Η πλειοψηφία της περιοχής αυτής επιφανειακά αποτελείται από τα υλικά αυτής της κατολίσθησης.
- 3ο Ενδεχόμενο: Κατά το ενδεχόμενο αυτό η περιοχή μελέτης έχει υποστεί δύο παλιές κατολισθήσεις που κατά πάσα πιθανότητα συνδέονται μεταξύ τους και οφείλονται και αυτές στη σεισμική δόνηση του 1967. Η περιοχή αποτελείται αντίστοιχα από τα υλικά της κάθε κατολίσθησης τα οποία έχουν τις ίδιες παραμέτρους διατμητικής αντοχής.

Η εργασία αποτελείται από 4 μέρη, εκ των οποίων το πρώτο μέρος αποτελείται από 3 κεφάλαια. Το 1ο κεφάλαιο εμπεριέχει εκτενείς αναφορές στις εκτελεσθείσες εργασίες που πραγματοποιήθηκαν για την εκπόνηση της διπλωματικής. Στο 2ο και στο 3ο κεφάλαιο καταγράφεται η βιβλιογραφική επισκόπηση των κατολισθήσεων ως φυσικό φαινόμενο και η ταξινόμηση αυτών, καθώς επίσης και η περιγραφή των κατολισθήσεων που ενεργοποιούνται από σεισμικές δονήσεις ενώ γίνεται και αναφορά παραδειγμάτων τέτοιων μελετών σε παγκόσμια και τοπική κλίμακα. Το δεύτερο μέρος αποτελείται από 2 κεφάλαια. Το 4ο κεφάλαιο αναφέρεται στα γεωλογικά στοιχεία της ευρύτερης περιοχής, αλλά και της περιοχής μελέτης σε κλίμακα 1 :6.000. Στο 5ο κεφάλαιο γίνεται εκτενής αναφορά των τριών ενδεχόμενων που προέκυψαν κατά την υπαίθρια εργασία σε συνδυασμό με κατασκευασμένες γεωλογικές τομές, χάρτες κλίμακας 1:6.000 και προσομοίωμα της περιοχής για τα ενδεχόμενα 2 και 3.

Το τρίτο μέρος αποτελείται από 1 κεφάλαιο και περιλαμβάνει τις αναλύσεις από το γεωτεχνικό λογισμικό οριακής ευστάθειας πρανών Slide 2018 της εταιρείας Rocscience Inc. Στο τέταρτο μέρος μελετάται ως προς τα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά και την ευστάθεια του, ένα τεχνητό πρανές οδοποιίας που βρίσκεται λίγο πιο έξω από το χωριό των Μελισσουργών. Στο κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνονται

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

οι αναλύσεις από το γεωτεχνικό λογισμικό οριακής ευστάθειας πρανών Slide 2018 της εταιρείας Rocscience Inc για το συγκεκριμένο πρανές.

Τέλος, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι τα πάχη των σχηματισμών και οι σχετικές γεωτεχνικές παράμετροι αποτελούν παραδοχές σύμφωνα με την επιτόπου τεχνικογεωλογική αξιολόγηση και δεν αποτελούν αποτέλεσμα πλήρους γεωερευνητικού προγράμματος.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ABSTRACT

The present senior thesis deals with the map of possible landslides that may have occurred in the village Melissourgi due to the strong seismic load at the 1st of May 1967 that struck Arta and Ioannina prefectures. Specifically, various options have been studied to assess the feasibility of landslides and rock falls inside and outside the area of Melissourgi. The settlement was selected after studying bibliographical references and publications in local newspapers that reported serious catastrophes caused by the 1967 earthquake. In particular, the position studied in this thesis has no indications of active landslides, but its morphology suggests the possibility of one or two possible old ones. The purpose of the thesis is to investigate the three possible outcomes that came from the work in the field and then to analyze the stability a. in their static (dry) state; b. with seismic load; and c. with pore pressure. During the mapping three case studies arise:

- Case study 1: The area has not been subjected to landslides and its surface is mostly composed of modern surface deposits.
- Case study 2: The area has been subjected to an old landslide which was resulted, as mentioned above, due to an earthquake. Its surface is mostly composed of the materials of this specific landslide
- Case study 3: The area has been subjected to two old landslides which are probably related to each other and they were also resulted due to the earthquake of 1967

This thesis consists of 4 parts, the first part of which consists of 3 chapters. The 1st chapter contains extensive references to the work carried out to prepare the thesis. The 2nd and 3rd chapter contain the bibliographic overview of landslides as a natural phenomenon and their classification, as well as the description of landslides triggered by seismic vibrations, while mention also examples of these studies worldwide and locally. The second part consists of 2 chapters. Chapter 4 deals with the geological formation of the wider area and the 1: 6,000 scale study area. In chapter 5 extensive references are given for the three case studies resulting from work field in conjunction with constructed geological sections, 1: 6,000 scale maps and conceptual models of case studies 2 and 3.
The third part consists of 1 chapter which includes analyzes by Rocscience Inc.'s Slide 2018 slope boundary geotechnical software. In the fourth part a bank roadside slope just outside the village of Melissurgi is being studied in terms of its geo-technical characteristics and stability. This chapter includes analyzes from Rocscience Inc's Slide 2018 slope boundary geotechnical software for this slope.
Finally, it is important to note that the thicknesses of the formations and the relevant geotechnical parameters are assumptions according to the on-site geo-geological assessment and are not the result of a complete geo-exploration program.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο έρευνας

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής είναι η γεωλογική και τεχνικογεωλογική αξιολόγηση της ευστάθειας πρανών αλλά και η εκτίμηση της επιδεκτικότητας των κατολισθήσεων και βραχοκαταπτώσεων υπό σεισμική φόρτιση σε διάφορες θέσεις της Ηπείρου. Οι κατολισθήσεις αυτές θεωρείται ότι μπορεί να προκλήθηκαν από την ισχυρή σεισμική δόνηση που πραγματοποιήθηκε στη 1 Μαΐου του 1967 και έπληξε τους νομούς Άρτας και Ιωαννίνων. Τα ενδεχόμενα των κατολισθήσεων και βραχοκαταπτώσεων μελετήθηκαν για περιοχές εντός και εκτός του οικισμού των Μελισσουργών. Έτσι τέθηκαν προς έρευνα τα 3 ενδεχόμενα που προέκυψαν από την εργασία υπαίθρου και στη συνέχεια εξετάστηκαν ως προς την ευστάθειά τους α) κατά τις στατικές τους συνθήκες (ξηρές), β) με σεισμική φόρτιση και γ) με πίεση πόρων. Τα ενδεχόμενα που προέκυψαν κατά τη χαρτογράφηση είναι :

- 1^{ο} Ενδεχόμενο: Κατά το ενδεχόμενο αυτό η περιοχή μελέτης δεν έχει υποστεί κάποια κατολίσθηση και αποτελείται στη πλειοψηφία της επιφανειακά από σύγχρονες αποθέσεις.
- 2^{ο} Ενδεχόμενο: Κατά το ενδεχόμενο αυτό η περιοχή μελέτης έχει υποστεί μία παλιά κατολίσθηση η οποία όπως ειπώθηκε οφείλεται σε σεισμική δόνηση. Η πλειοψηφία της περιοχής αυτής επιφανειακά αποτελείται από τα υλικά αυτής της κατολίσθησης.
- 3^{ο} Ενδεχόμενο: Κατά το ενδεχόμενο αυτό η περιοχή μελέτης έχει υποστεί δύο παλιές κατολισθήσεις που κατά πάσα πιθανότητα συνδέονται μεταξύ τους και οφείλονται και αυτές στη σεισμική δόνηση του 1967. Η περιοχή αποτελείται αντίστοιχα από τα υλικά της κάθε κατολίσθησης τα οποία έχουν τις ίδιες παραμέτρους διατμητικής αντοχής.

1.2 Μεθοδολογία

Η σύνταξη της παρούσας διπλωματικής βασίστηκε

α) Σε βιβλιογραφικά στοιχεία που αναφέρονται στην μελέτη των κατολισθήσεων και βραχοκαταπτώσεων
β) Σε βιβλιογραφικά στοιχεία που βασίζονται στη μελέτη κατολισθήσεων που οφείλονται σε σεισμική δόνηση.
γ) Σε βιβλιογραφικές αναφορές αλλά και δημοσιεύσεων σε τοπικές εφημερίδες, οι οποίες αναφέρονται σε σοβαρές καταστροφές που προκλήθηκαν από τη σεισμική δόνηση του 1967.
δ) Στη γεωλογική και τεχνικογεωλογική αξιολόγηση των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής σε θεωρητικό επίπεδο, μέσα από βιβλιογραφικές αναφορές.
ε) Στη κατανόηση των προγραμμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στην εκπόνηση της μελέτης τόσο σε θεωρητικό, όσο και σε πρακτικό επίπεδο.
στ) Στη προσωπική γεωλογική και τεχνικογεωλογική αξιολόγηση των σχηματισμών από την εργασία πεδίου.

Οι βιβλιογραφικές αναφορές που χρησιμοποιήθηκαν για της ανάγκες ης παρούσας γεωλογικής- γεωτεχνικής μελέτης παρουσιάζονται στη βιβλιογραφία στο τέλος του κειμένου.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Η θέση που επιλέχθηκε να μελετηθεί δεν έχει ενδείξεις ενεργούς κατολίσθησης αλλά η μορφολογία της παραπέμπει στο ενδεχόμενο ύπαρξης μίας η και δύο πιθανών παλαιών. Η γεωλογική και τεχνικογεωλογική αξιολόγηση βασίστηκε σε 2^{ο} στάδιο στη χαρτογράφηση της περιοχής κατά την εργασία υπαίθρου.

1.3 Θέση Έρευνας

Ο οικισμός των Μελισσουργών ανήκει στο γεωγραφικό διαμέρισμα της Ηπείρου και συγκεκριμένα στο νομό της Άρτας. Γεωλογικά η περιοχή μελέτης ανήκει στη Ιόνιο ζώνη και στη ζώνη της Πίνδου.

Χάρτης 1: Γεωγραφική θέση των Μελισσουργών (από el.wikipedia.org)

Συγκεκριμένα μελετήθηκαν διάφορα ενδεχόμενα για την εκτίμηση της επιδεκτικότητας εκδήλωσης κατολισθήσεων και βραχοκαταπτώσεων εντός και εκτός των Μελισσουργών. Η επιλογή του συγκεκριμένου οικισμού πραγματοποιήθηκε κατόπιν μελέτης βιβλιογραφικών αναφορών αλλά και δημοσιεύσεων σε τοπικές εφημερίδες, οι οποίες αναφέρονται σε σοβαρές καταστροφές που προκλήθηκαν από τη σεισμική δόνηση του 1967. Πιο συγκεκριμένα η θέση η οποία μελετάται στη παρούσα διπλωματική δεν έχει ενδείξεις ενεργούς κατολίσθησης αλλά η μορφολογία της παραπέμπει στο ενδεχόμενο ύπαρξης μίας η και δύο πιθανών παλαιών.

1.4 Εκτελεσθείσες Εργασίες

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω εργασίες:

- Αρχικά πραγματοποιήθηκε η αξιολόγηση υπάρχοντών ερευνών και βιβλιογραφικών αναφορών που αφορούν την περιοχή.
- Μελετήθηκαν και επεξεργάστηκαν αεροφωτογραφίες και γεωλογικοί χάρτες της περιοχής.
- Έγινε εκτενής επισκόπηση, στη βιβλιογραφική θεωρία των κατολισθήσεων, σχετικά με τον τρόπο εκδήλωσης και τα είδη τους.
- Περιεγράφηκαν αναλυτικά οι μέθοδοι αναλύσεων ευστάθειας πρανών, καθώς και οι τεχνικογεωλογικές και γεωτεχνικές παράμετροι για τις κατολισθήσεις.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Επίσης έγινε αναφορά στα UAV, για τον τρόπο λειτουργίας, τις εφαρμογές, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, καθώς και στα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική και στον τρόπο χρήσης τους.

- Έπειτα πραγματοποιήθηκε πτήση Drone-UAV για τη συλλογή αεροφωτογραφιών στον οικισμό των Μελισσουργών αλλά και στο τεχνητό πρανές οδοποιίας έξω από τον οικισμό.
- Έγινε γεωλογική χαρτογράφηση της περιοχής και κατασκευάστηκαν γεωλογικοί χάρτες σε κλίμακα 1:6.000. Η χαρτογράφηση είχε πλάτος περίπου 320 m και μήκος 670m.
- Η χαρτογράφηση βοήθησε στη σύνταξη τριών γεωλογικών μηκοτομών σε κλίμακα 1:6.000 κατά μήκος των πιθανών κατολισθήσεων καθώς στη κατασκευή δύο τεχνικογεωλογικών προσομοιωμάτων για τις περιπτώσεις όπου υφίστανται πιθανές παλιές κατολισθήσεις.
- Ψηφιοποιήθηκαν οι κατολισθήσεις, μέσα από τα δεδομένα που λήφθηκαν με τη βοήθεια του UAV.
- Πραγματοποιήθηκαν τεχνικογεωλογική αξιολόγηση των γεωλογικών σχηματισμών σύμφωνα με το GSI, το βαθμό αποσάθρωσης και το βαθμό κερματισμού.
- Αναγνωρίστηκαν οι πιθανές κατολισθήσεις και ο μηχανισμός λειτουργίας τους.
- Έγιναν αναλύσεις ευστάθειας με το πρόγραμμα Slide 2018 της Rocsience Inc, για τις πιθανές κατολισθήσεις εντός του χωριού των Μελισσουργών αλλά και για το τεχνητό πρανές οδοποιίας έξω από τον οικισμό.
- Τέλος ακολούθησε η σύνταξη της διπλωματικής εργασίας.

Τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν στη παρούσα διπλωματική και ο τρόπος χρήσης τους αναλύεται παρακάτω.

1.5 Προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν

1.5.1 Επεξεργασία των φωτογραφιών από τη χρήση UAV

Για την αποτύπωση των κατολισθήσεων στη παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκαν αεροφωτογραφίες που λήφθηκαν από UAV. Για κάθε περιοχή λήφθηκε ένα πλήθος φωτογραφιών από τον χειριστή του αερομηχανήματος , Στρατή Καραντανέλη. Έτσι λοιπόν κατασκευάστηκε ένα τρισδιάστατο σύννεφο σημείων (3D point cloud) που βοήθησε στη δημιουργία του τελικού ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DEM) με σκοπό να εξαχθεί ένα φωτομωσαϊκό ή η υφή της επιφάνειας. Για την περιοχή των Μελισσουργών ελήφθησαν 388 φωτογραφίες, ενώ για το πρανές έξω από το χωρίο 31.

Οι φωτογραφίες που λαμβάνονται μέσω της χρήσης του UAV, μπορούν να μετατραπούν σε φωτομωσαϊκό η ψηφιακό μοντέλο (DEM) με χρήση ειδικού λογισμικού. Οι φωτογραφίες αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περιβάλλον GIS για περαιτέρω επεξεργασία εφόσον είναι γεωαναφερμένες. Η επεξεργασία αυτή χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική μέσω του προγράμματος ArcGIS όπως θα αναλυθεί στην συνέχεια.

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του DEM ήταν το Pix4d , μέσω του οποίου έγινε η επεξεργασία των φωτογραφιών που ελήφθησαν στην περιοχή των Μελισσουργών και στο πρανές του Φλύσχη έξω από το χωριό, όπως θα δούμε στα

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

παρακάτω κεφάλαια. Συνεπώς για την επεξεργασία φωτογραφιών χρησιμοποιήθηκε η ακόλουθη διαδικασία:

1. Εισαγωγή γεωαναφερμένων εικόνων για την κάθε περιοχή ξεχωριστά
2. Αποκοπή των περιοχών που δεν χρειάζονται στην ανάλυση όπως είναι ο ουρανός κ.τ.λ. , με ειδικά εργαλεία του λογισμικού και επιλογή των περιοχών που θα πρέπει να επεξεργαστούν.
3. Εύρεση κοινών σημείων των φωτογραφιών (για την περιοχή των Μελισσουργών ήταν 21.093, ενώ για την περιοχή έξω από το χωριό ήταν 22.944
4. Κατασκευή πυκνού σύννεφου
5. Κατασκευή DEM

Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως στο λογισμικό αυτό υπάρχει ένα περιορισμός στις περιπτώσεις της έντονης φυτοκάληψης, γεγονός που δυσκολεύει την χρήση του DEM για περαιτέρω επεξεργασία. Σε αυτή την περίπτωση το λογισμικό δεν προσφέρει την δυνατότητα αφαίρεσης της πληροφορίας των εμποδίων όπως είναι η φυτοκάληψη, τα σπίτια, τα αυτοκίνητα κτλ. όπως μπορεί να γίνει με τη χρήση άλλων λογισμικών και οργάνων όπως LiDAR.

1.5.2 ArcGIS

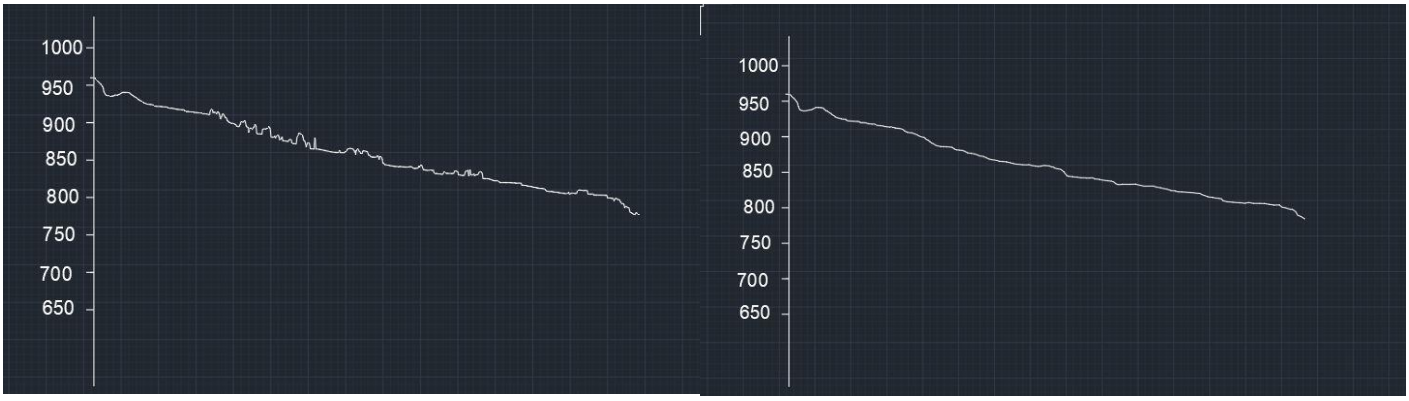
Κατά την πραγματοποίηση μιας σεισμικής δόνησης, οι κατολισθήσεις που πραγματοποιούνται δεν είναι δυνατόν να εντοπιστούν εξ' ολοκλήρου μόνο με την επιτόπου έρευνα. Όπως προαναφέρθηκε η χρήση των UAV και επεξεργασία των αποτελεσμάτων του, είναι ένα μέσο που βοηθά στην αποτύπωση των κατολισθήσεων. Σε πρώτο στάδιο της έρευνας, πριν ακόμη την γίνει η μελέτη στο πεδίο κύρια πηγή της απεικόνισης της περιοχής, υπήρξαν οι δορυφορικές εικόνες των Μελισσουργών μέσω του Google Earth.
Μετά την επίσκεψη στο πεδίο και αφού δημιουργήθηκαν τα DEM με την μέθοδο που αναλύθηκε πιο πάνω, τα εργαλεία που είχα στη διάθεση μου έδωσαν ένα ακριβέστερο αποτέλεσμα. Με τα κατάλληλα εργαλεία (π.χ. Hillshade) του προγράμματος ArcGIS ψηφιοποιήθηκαν οι πιθανές κατολισθήσεις, όπως θα αναλυθούν στη συνέχεια στο Κεφάλαιο 5. Η ψηφιοποίηση των ορίων κατολίσθησης όπως ακριβώς χαρτογραφήθηκε από τη μελέτη πεδίου και την μελέτη του DEM, έγινε επάνω στο DEM (αφού πρώτα επεξεργάστηκε με το εργαλείο Hillshade του ArcGIS), και επάνω σε ορθοφωτογραφία για την καλύτερη κατανόηση των ορίων. Το αρχείο Hillshade που προέκυψε ήταν και αυτό γεωαναφερμένο, στο παγκόσμιο σύστημα γεωαναφοράς, το WGS 84.
Μέσω του προγράμματος ArcGIS ψηφιοποιήθηκε σε πρώτο στάδιο η ευρύτερη περιοχή της μελέτης από τον γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ, Φύλλο Πράμαντα. Η ψηφιοποίηση έγινε σε κλίμακα 1:50.000 και ο χάρτης που προέκυψε ήταν γεωαναφερμένος στο ελληνικό σύστημα συντεταγμένων, Greek Grid. Το επόμενο βήμα ήταν να κατασκευαστεί ένας γεωλογικός χάρτης (για κάθε μία από τις 3 περιπτώσεις του κεφαλαίου 5), κλίμακας 1:6.000 της περιοχής μελέτης, όπως ακριβώς παρατηρήθηκε από την χαρτογράφηση πεδίου. Για τη σωστή κατασκευή των χαρτών, έπρεπε να μετατραπεί το σύστημα συντεταγμένων του DEM της περιοχής των Μελισσουργών, από WGS 84 σε Greek Grid, έτσι ώστε να τοποθετηθεί το DEM ακριβώς επάνω στον ψηφιοποιημένο χάρτη κλίμακας 1:50.000. Στη συνέχεια ψηφιοποιήθηκαν επάνω στο DEM οι δρόμοι και τα ποτάμια, όπως ακριβώς είναι στην πραγματικότητα σε κλίμακα 1:6.000, και τέλος οι ψηφιοποιήθηκαν οι σχηματισμοί και τα όριά τους όπως παρατηρήθηκαν από τη γεωλογική χαρτογράφηση υπαίθρου.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

1.5.3. AutoCAD -Autodesk

Για την καλύτερη κατανόηση της γεωλογίας κατασκευάστηκαν ψηφιακές γεωλογικές τομές (και για τις 3 περιπτώσεις του 5^{ου} Κεφαλαίου), μέσω του προγράμματος AutoCAD. Για την αποτύπωση της ακριβής μορφολογίας εισήχθη στο πρόγραμμα Global Mapper το γεωαναφερμένο αρχείο DEM, όπου με τη χρήση ενός εργαλείου του λογισμικού κατασκευάστηκε η μορφολογική τομή, η οποία σώθηκε ως Distance/ Elevation σε αρχείο txt. Για τη κατασκευή της γεωλογικής τομής στο AutoCAD ήταν αναγκαία η εισαγωγή στη πρώτη γραμμή του txt της εντολής polyline και η μετατροπή του txt σε αρχείο με κατάληξη .scr έτσι ώστε να διαβαστεί από το AutoCAD.
Η μορφολογική τομή που είχε πλέον κατασκευαστεί, περιείχε σφάλματα όπως σπίτια, δέντρα κτλ., τα οποία για την ακριβέστερη αποτύπωση της μορφολογίας έπρεπε να αφαιρεθούν χειροκίνητα εξομαλύνοντας όσο το δυνατόν με μεγαλύτερη ακρίβεια τα υπερβολικά εξογκώματα της μορφολογικής τομής. Αφού δημιουργήθηκε η μορφολογική τομή κατασκευάστηκε η γεωλογική με τα κατάλληλα εργαλεία του AutoCAD. Η τομή αυτή ήταν γεωαναφερμένη αφού προήλθε από αρχείο DEM, αλλά μετατράπηκε σε δισδιάστατη αντί για τρισδιάστατη τομή. Τέλος με το ίδιο πρόγραμμα κατασκευάστηκε το Conceptual model (βλ. Κεφάλαιο 5).



Εικόνα 1: Στα αριστερά απεικονίζεται η μορφολογική τομή με τα σφάλματα (δέντρα, σπίτια κτλ.), ενώ στα δεξιά η μορφολογική τομή όπως δημιουργήθηκε από την εξομάλυνση αυτών των εμποδίων στο πρόγραμμα AutoCAD.

1.5.4 RocData- Rocsience Inc

Το RocData είναι ένα πρόγραμμα που χρησιμοποιεί ένα σύνολο εργαλείων για την ανάλυση των δεδομένων σχετικά με την αντοχή του πετρώματος και του εδάφους. Συγκεκριμένα προσδιορίζει την αντοχή και την γωνία τριβής (καθώς και άλλες παραμέτρους) των γεωλογικών σχηματισμών. Οι εκτιμήσεις αυτές γίνονται με βάση τα αποτελέσματα τριαξονικών δοκιμών ή δοκιμών άμεσης διάτμησης. Το RocData χρησιμοποιεί τέσσερα από τα πιο διαδεδομένα κριτήρια αντοχής, το Generalized Hoek-Brown, το Mohr-Coulomb, το Barton-Bandis και το Power Curve. Για την εύρεση των γεωτεχνικών παραμέτρων χρησιμοποιήθηκε το κριτήριο Mohr-Coulomb

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

εισάγοντας παραμέτρους από προσωπική εκτίμηση, υπολογίστηκε η αντοχή της βραχόμαζας (συνοχή c και γωνία τριβής φ). Τα στοιχεία που πρέπει να εισαχθούν στο πρόγραμμα για την εκτίμηση των παραμέτρων είναι το GSI, το ειδικό βάρος (unit weight), γ (kN/m^3), η τιμή ανεμπόδιστης θλίψης σ_{ci} (MPa), ο συντελεστής διατάραξης της βραχόμαζας D και το ύψος του πρανούς εφόσον πρόκειται για μελέτη κατολίσθησης.

1.5.5 SLIDE 2018- Rocsience Inc

Υπάρχουν πολλές μέθοδοι ανάλυσης ευστάθειας ενός πρανούς. Οι μέθοδοι αυτές περιλαμβάνουν τις απλές μεθόδους ανάλυσης και τις αριθμητικές μεθόδους ανάλυσης. Οι απλές μέθοδοι ανάλυσης ουσιαστικά αναφέρονται στην ισορροπία ενός γεωυλικού που κινείται υπό την επίδραση της βαρύτητας στην ελεύθερη επιφάνεια του πρανούς. Γίνεται λοιπόν μία σύγκριση μεταξύ των δυνάμεων που συγκρατούν την μάζα του υλικού και των δυνάμεων που τείνουν να προκαλέσουν την ολίσθηση. Έτσι οι διατμητικές αντοχές των υλικών διέπονται από το κριτήριο Mohr-Coulomb κατά μήκος της πιθανής επιφάνειας ολίσθησης. Το σώμα γεωυλικού που τείνει να ολισθήσει καθορίζεται από την κάτω πλευρά, την επιφάνεια ολίσθησης και από την πάνω πλευρά, δηλαδή την επιφάνεια του πρανούς. Σκοπός είναι ο υπολογισμός του συντελεστή ασφαλείας ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος των δυνάμεων που συγκρατούν το υλικό προς τις δυνάμεις που τείνουν να προκαλέσουν την ολίσθηση, με αποτέλεσμα να προσδιορίζεται η δυσμενέστερη επιφάνεια ολίσθησης (για συντελεστή ασφαλείας βλ. κεφάλαιο 2.5)
Οι αριθμητικές διαδικασίες ανάλυσης περιλαμβάνουν: τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων και την μέθοδο των πιθανοτήτων (probabilistic method). Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό τάσεων και παραμορφώσεων σε κατασκευές που εδράζονται στο έδαφος, ενώ η μέθοδος των πιθανοτήτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρόσθετη μέθοδος .
Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση ευστάθειας ήταν η μέθοδος Bishop, ενώ χρησιμοποιήθηκε ακόμη μέθοδος Probabilistic Analysis (βλ κεφάλαιο 6.1.1).
Το SLIDE είναι ένα λογισμικό για τον έλεγχο της ευστάθειας πρανών, με πάρα πολλές λειτουργίες που επιτρέπουν την εκτέλεση όσο το δυνατόν ακριβέστερων αναλύσεων. Το λογισμικό αυτό παρέχει την δυνατότητα υπολογισμού Sensitivity Analysis, Probabilistic Analysis και Back Analysis.

<u>Sensitivity Analysis</u>
Μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιαδήποτε παράμετρος στο μοντέλο ως μια τυχαία μεταβλητή έτσι ώστε να καθοριστεί γρήγορα και εύκολα ο συντελεστής ασφαλείας και η επιφάνεια ολίσθησης. Τα αποτελέσματα μπορούν να παρουσιαστούν σε γραφικές παραστάσεις

<u>Probabilistic Analysis</u>
Προσδιορίζει ένα πιθανό δείκτη αστοχίας για κάθε επιφάνεια ολίσθησης με το μικρότερο συντελεστή ασφαλείας για το σύνολο των ολισθήσεων, εισάγοντας σχεδόν οποιαδήποτε παράμετρο ως τυχαία μεταβλητή. Η μέθοδος αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων των υλικών ή σε συνθήκες υπογείων νερών.

<u>Back Analysis</u>

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Σχεδιάζεται για ένα συγκεκριμένο παράγοντα ασφαλείας. Βοηθάει στην επαλήθευση των μέτρων υποστήριξης που έχουν σχεδιαστεί ώστε να επιτευχθεί ο ζητούμενος συντελεστής ασφαλείας.

Σε αρχικό στάδιο έπρεπε να σχηματιστεί το γεωαναφερμένο πρανές για τις αναλύσεις. Μια από τις δυνατότητες που παρέχει το πρόγραμμα αυτό, είναι η εισαγωγή αρχείων .dxf, δηλαδή των αρχείων των γεωλογικών τομών του AutoCAD που έχουν σωθεί σε .dxf. Για να μπορέσει το SLIDE να διαβάσει αυτό το αρχείο, θα έπρεπε οι γεωλογικοί σχηματισμοί , η μορφολογική τομή και τυχόν ρήγματα που εμπεριέχονται στο μοντέλο, να σωθούν στο AutoCAD ως διαφορετικά layer με συγκεκριμένη ονομασία. Έτσι με τη δημιουργία του αρχείου .dxf και την εισαγωγή το στο SLIDE δόθηκαν οι απαιτούμενοι παράμετροι, c (cohesion) (kPa) , φ (degrees) (^{0}) και γ (unit weight) (kN/m^3) για κάθε σχηματισμό σύμφωνα με το κριτήριο Mohr Coulomb. Τέλος οι αναλύσεις έτρεξαν με τη μέθοδο Bishop και προέκυψαν συγκεκριμένοι συντελεστές ασφαλείας για κάθε παράμετρο που εισήχθη στο πρόγραμμα (σεισμική φόρτιση, και πίεση πόρων). Για τα όρια των συντελεστών ασφαλείας για ευστάθεια βλ. Κεφάλαιο 2.6 Ευστάθεια Πρανών

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

2 ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ

2.1 Ορισμοί

Η κατολίσθηση αποτελεί ένα φυσικό φαινόμενο, τα οποίο έχει την ικανότητα να πλήξει ανθρώπινες ζωές και ανθρώπινες κατασκευές. Για τον λόγο αυτό γεννιέται η ανάγκη για την κατανόηση, την μελέτη και την άμεση αντιμετώπιση της από τους ερευνητές. Παρακάτω παρατίθενται οι ορισμοί που έχουν δοθεί κατά καιρούς για την κατολίσθηση από διάφορους ερευνητές.

1. " Μια γρήγορη κίνηση μάζας πετρώματος, εναπομένοντος εδάφους ή ιζήματος ενός πρανούς, της οποίας το κέντρο βάρους μετακινείται προς τα κάτω και προς τα έξω" Terzaghi (1950).
2. "Μια γρήγορη κίνηση που οφείλεται στην ολίσθηση πετρωμάτων ενός τμήματος πρανούς που διαχωρίζεται από το υπόλοιπο σταθερό τμήμα με μία καλά καθορισμένη επιφάνεια" Zaruba - Mlenc (1969).
3. Ο Coates (1977), δίνει τις παρακάτω προϋποθέσεις για κατάταξη μίας κίνησης στις κατολισθήσεις:
   - Να ανήκει στις κινήσεις μαζών.
   - Η δύναμη που παίζει πρωτεύοντα ρόλο να είναι η βαρύτητα.
   - Το μετακινούμενο υλικό να είναι τμήμα όρους ή λόφου.
   - Η ζώνη ή το επίπεδο της κίνησης να μην ταυτίζεται με γεωλογικό ρήγμα.
   - Η κίνηση να γίνεται προς τα κάτω και προς τα έξω με ελεύθερη επιφάνεια.
   - Η ταχύτητα της κίνησης να είναι σχετικά μεγάλη (ο ερπυσμός όχι).
   - Η κίνηση να εκδηλώνεται με πτώση, ολίσθηση ή ροή.
4. "κίνηση πρανών" αντί του όρου "κατολίσθηση" που περιλαμβάνει κάθε κίνηση πρανούς που οφείλεται σε ολίσθηση, κατάπτωση, ανατροπή, ροή και ερπυσμό (Varnes,1980, συμφωνεί και ο Nemcok,1982).

Τα κύρια μέρη μιας κατολίσθησης κατά IAEG (1990) απεικονίζονται στην (Εικόνα 2) και είναι:

Η Κύρια κατακρήμνιση, που αποτελεί την απότομη επιφάνεια του φυσικού εδάφους (από την κίνηση της ολίσθησης) στο ανώτερο τμήμα της ολίσθησης.

*Η Δευτερεύουσα κατακρήμνιση, η οποία είναι η μ*ικρότερη κατακρήμνιση στο σώμα της μάζας που έχει ολισθήσει και έχει προέλθει από διαφορικές κινήσεις της.

Το Κύριο σώμα. Το κύριο σώμα αποτελεί η μετακινούμενη μάζα μεταξύ της κύριας κατακρήμνισης και του πόδα της κατολίσθησης.

Η Επιφάνεια ολίσθησης. Η επέκταση της κύριας κατακρήμνισης κάτω από τη μετακινούμενη μάζα της κατολίσθησης.

Η Μετακινούμενη μάζα. Η μάζα του πρανούς που έχει μετακινηθεί από την αρχή της θέσης, λόγω της κατολίσθησης.

Το Πόδι της κατολίσθησης. Το κάτω τμήμα της κατολίσθησης που υπερβαίνει την αρχική επιφάνεια του εδάφους.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Ο Δάκτυλος ποδός αποτελεί το κατώτερο όριο του ποδός, (έχει τη μεγαλύτερη απόσταση από τη στέψη της κατολίσθησης).

Η Πλευρά. Η δεξιά ή αριστερή πλευρά της κατολίσθησης, η οποία καθορίζεται κοιτώντας από τη στέψη της κατολίσθησης προς τη μάζα της .

Η Ζώνη απομείωσης. Η περιοχή όπου η μετακινούμενη μάζα υπόκεινται της αρχικής επιφάνειας του φυσικού εδάφους.

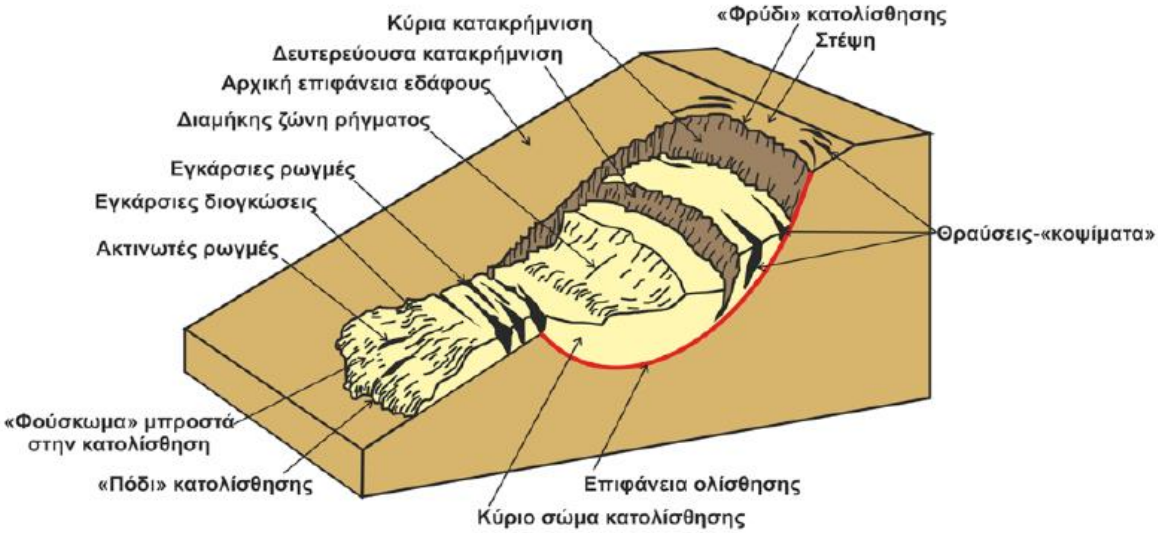
Η Ζώνη συσσώρευσης . Η περιοχή στην οποία η μετακινούμενη μάζα υπέρκεινται της αρχικής επιφάνειας του φυσικού εδάφους.

Οι Εγκάρσιες ρωγμές. Ρωγματώσεις εγκάρσια στην κύρια διεύθυνση της κίνησης, μεταξύ του πόδα της κατολίσθησης και του κύριου σώματος της.

Οι Ακτινωτές ρωγμές , αποτελούν ρωγματώσεις στον πόδα της κατολίσθησης.

Οι Εγκάρσιες διογκώσεις αναφέρονται στις διογκώσεις στον πόδα

της κατολίσθησης



Εικόνα 2 : Κύρια μέρη της κατολίσθησης Από (Μαρίνος & Χρηστάρας, 2016)

2.2 Ταξινόμηση Κατολισθήσεων

Ο Erskine (1973), ταξινομεί τις κατολισθήσεις με βάση την εξέλιξή τους, δίνοντας βαρύτητα στις επιπτώσεις που πιθανόν να έχουν στα διάφορα έργα. Έτσι ταξινομεί τις κατολισθήσεις ως:

- Σταθεροποιημένες (χωρίς ενδείξεις πρόσφατης ενεργοποίησης),
- Πρόσφατες ενεργές (εκδηλώνονται με πρόσφατες κινήσεις),
- Ενεργές (αυτές που δείχνουν να μην έχουν σταθεροποιηθεί),
- Επαναδραστηριοποιημένες πρόσφατα (επαναδραστηριοποίηση μετά από περίοδο σταθεροποίησης).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Οι Zaruba-Mencl (1976) ταξινόμησαν τις κατολισθήσεις ανάλογα με τη συνεκτικότητα και τη φύση του υλικού.

Ο Coates (1977) ταξινομεί τις κατολισθήσεις με βάση δύο παραμέτρους:

Α. Το υλικό μετακίνησης, όπου διακρίνει τις εξής κατηγορίες:

1. βραχώδες υπόβαθρο,
2. μανδύα αποσάθρωσης-κορήματα,
3. ιζήματα (γεώδεις σχηματισμοί)

Β. Τον τύπο κίνησης, χαρακτηρίζοντας τις καλαισθητικές κινήσεις ως:

1. ολίσθηση
2. ροή
3. κατάπτωση

Η ταξινόμηση όμως που χρησιμοποιείται σήμερα είναι αυτή που προτάθηκες από τον Varnes (1978, 1980) και στηρίζεται

1. Στο είδος της κίνησης
2. Στον τύπο του υλικού που μετακινείται

Ανάλογα με το είδος της μετακίνησης του γεωλογικού υλικού που μετακινείται διακρίνονται κινήσεις οι οποίες εκδηλώνονται:

- Στο βραχώδες υπόβαθρο (bedrock)
- Στους εδαφικούς σχηματισμούς (engineering soils) που διακρίνονται σε κορήματα (debris) και σε γαίες (earth).

Ανάλογα με τον τύπο της μετακίνησης διακρίνονται:

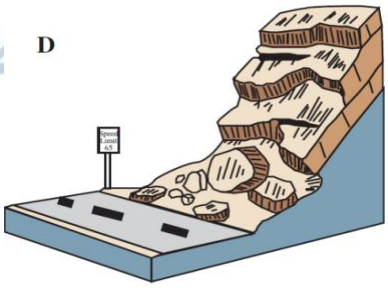
- Καταπτώσεις (falls)
- Ανατροπές (toppling)
- Ολισθήσεις (slides)
- Πλευρικές εξαπλώσεις (spreads)
- Ροές (flows)
- Σύνθετες μορφές

Καταπτώσεις (Falls)

Οι πτώσεις είναι απότομες κινήσεις μαζών γεωλογικών υλικών, που αποκολλώνται από απότομα πρανή ή πλαγιές (Εικόνα 3). Αυτός ο διαχωρισμός συμβαίνει κατά μήκος των ασυνεχειών (π.χ διαρρήξεις, στρώση) και η κίνηση γίνεται με ελεύθερη πτώση, αναπήδηση και κύλιση. Οι πτώσεις επηρεάζονται έντονα από την βαρύτητα, την αποσάθρωση και την παρουσία νερού κατά μήκος των ασυνεχειών.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

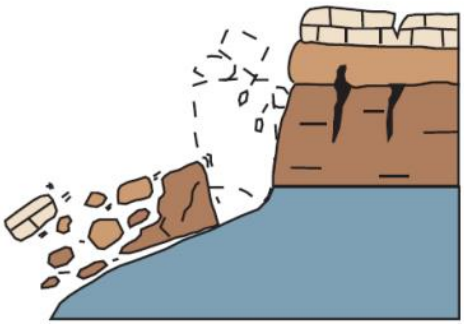
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ



Εικόνα 3: Σχέδιο που απεικονίζει την κατάπτωση. (Από Novotný, 2013)

Ανατροπές (Topples)

Η ανατροπή μπορεί να εκδηλωθεί προς τα έξω με ανατροπή και κατάπτωση τεμάχους, εφόσον οριοθετείτε από ασυνέχειες που αποκλίνουν ± 10º από την κλίση του πρανούς (Εικόνα 4). Οι κατολισθήσεις αυτού του τύπου επηρεάζονται άμεσα από την βαρύτητα και τη δράση του νερού που κινείται μέσα στις ασυνέχειες τις βραχόμαζας.



Εικόνα 4: Στα αριστερά φωτογραφία από ανατροπή (USA Utah, Canyonlonds, φωτογραφία από Novotný. Στα δεξια σχέδιο που απεικονίζει την ανατροπή (Από Novotný, 2013)

Ολισθήσεις (Slides)

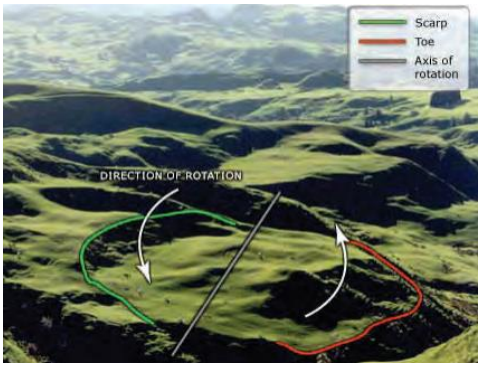
Τα εδαφικά υλικά που κατολισθαίνουν οροθετούνται από τους υποκείμενους σταθερούς ορίζοντες, με μια επιφάνεια που έχει τη μορφή ‘‘κουταλιού’’ η οποία διαμορφώνεται κατά μήκος μιας ή περισσοτέρων επιφανειών αδυναμίας του υλικού κάτω από τη δράση διατμητικών δυνάμεων. Χωρίζεται σε :

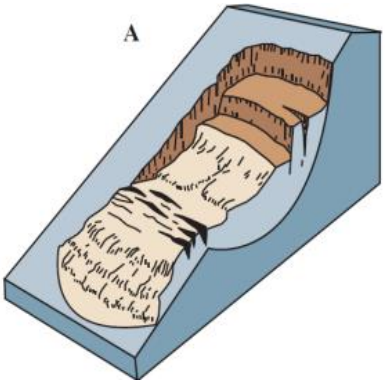
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

1. Περιστροφική ολίσθηση

Η επιφάνεια ολίσθησης στην περίπτωση αυτή είναι κοίλη ή κυλινδρική, ακολουθώντας τις προϋπάρχουσες επιφάνειες ασυνέχειας, με μικρή παραμόρφωση του τεμάχους που ολισθαίνει (Εικόνα 5).

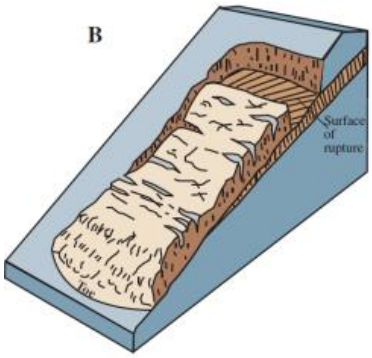




Εικόνα 5: Στα αριστερά περιστροφική ολίσθηση στη Νέα Ζηλανδία. (Photograph by Michael J. Crozier, Encyclopedia of New Zealand, updated September 21, 2007.) (Highland, L.M. & Bobrowsky, 2008) *Στα δεξιά σχέδιο που απεικονίζει την περιστροφική ολίσθηση Από (Novotný, 2013)*

2. Μεταθετική (στρωματώδεις) ολίσθηση.

Η επιφάνεια ολίσθησης στην περίπτωση αυτή είναι σχεδόν επίπεδη και το εδαφικό ή βραχώδες υλικό (ολίσθηση τεμάχους) κινείται κατά μήκος αυτής προς τα κάτω και προς τα έξω (Εικόνα 6). Κυρίως η κίνηση αυτή ελέγχεται από την ύπαρξη ασυνεχειών όπως στρώση, ρήγματα, διαρρήξεις κλπ.



Εικόνα 6: Κατολίσθηση στο Beatton River Valley, British Columbia, Canada, φωτογραφία από Réjean Couture, Canada Geological Survey (Highland, L.M. & Bobrowsky, 2008) . *Στα δεξιά απεικονίζεται Σχέδιο που απεικονίζει την μεταθετική ολίσθηση (Από Novotný, 2013)*

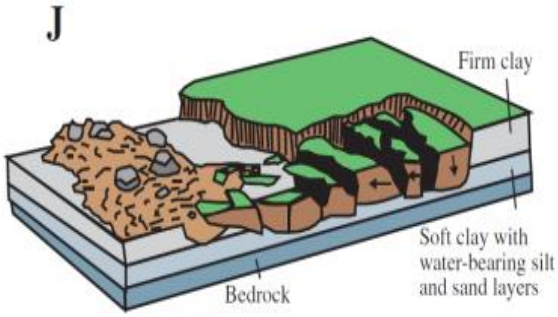
Πλευρικές εξαπλώσεις (spreads)

Στις πλευρικές εξαπλώσεις η κίνηση συνοδεύεται από διατμητικές και εφελκυστικές ρωγμές. Η κίνηση μπορεί να είναι επέκταση της βραχόμαζας ή συνεκτικών εδαφών

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

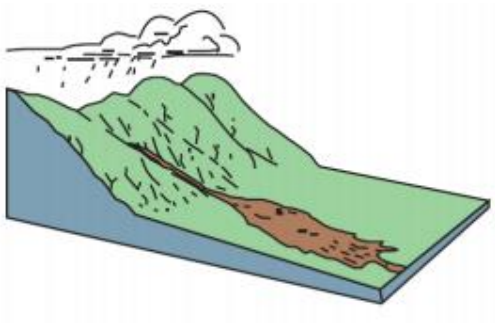
πάνω σε μαλακά εδαφικά υλικά όπως ρέουσες πλαστικές αργίλους ή λεπτόκοκκες άμμους και ιλύες που ρευστοποιούνται (Εικόνα 7).



Εικόνα 7: Στα αριστερά φωτογραφία από το Sunset Lake, WASHINGTON, USA, 2001 triggering factor - σεισμός (Photo S.Kramer). Στα δεξιά σχέδιο που απεικονίζει τις πλευρικές εξαπλώσεις. (Από Novotný, 2013)

Ροές

Το φαινόμενο αυτό, παρουσιάζει κινούμενη μάζα ρευστοποιημένων εδαφικών υλικών η οποία ρέει επάνω σε μια άλλη σταθερή μάζα. (ροές εδαφών, ρεύματα γαιών, ρεύματα κορημάτων). Το φαινόμενο αυτό μπορεί να γίνει υπό τις συνθήκες περιεχόμενη υγρασίας και με ταχύτητες που μπορεί να γίνουν εξαιρετικά μεγάλες (Εικόνα 8).

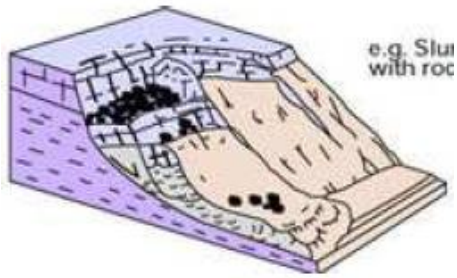


Εικόνα 8: Στα αριστερό φωτογραφία από τη Βραζιλία. Στο σημείο 1 φαίνεται μονοπάτι από ρεύματα κορημάτων και στο σημείο 2 φαίνεται η καινούρια γέφυρα (η παλιά καταστράφηκε από τα ρεύματα κορημάτων). Φωτογραφία από J. Novotný. Στα δεξιά απεικονίζεται σχέδιο από ρευστοποίηση εδάφους. (Από Novotný, 2013)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Σύνθετες κινήσεις: Είναι ολισθήσεις που περιλαμβάνουν περισσότερους από έναν τύπο κίνησης. Η κατολίσθηση ξεκινάει με έναν τύπο και στη συνέχεια μετατρέπεται σε κάποιον άλλον (Εικόνα 9).



Εικόνα 9: Στα δεξιά περιστροφική ολίσθηση που έχει μετατραπεί σε ροή μετακινούμενων υλικών. (ΡΟΖΟΣ, n.d.) Στα δεξιά σχέδιο από σύνθετη κατολίσθηση. (Από Novotný, 2013)

Ερπυσμός

Το φαινόμενο αυτό αναφέρεται σε αργές έως πολύ αργές ολισθήσεις εδαφικών μαζών που δεν αναπτύσσουν εφελκυστικές ρωγμές με αποτέλεσμα να είναι δύσκολος ο εντοπισμός της ζώνης δράσης τους (ο μη περιορισμός τους εξελίσσεται σε περιστροφική ολίσθηση).

2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν τις κατολισθήσεις

Οι δυνάμεις οι οποίες επιδρούν στους σχηματισμούς, φέρνοντάς τους σε κατάσταση ισορροπίας, προκαλώντας το φαινόμενο της κατολίσθησης, μπορεί να προέρχονται είτε από εσωτερικά, είτε από εξωτερικά αίτια. Τα αίτια των κατολισθήσεων (triggering) οφείλονται σε γεωμορφολογικές, φυσικές και ανθρώπινες διεργασίες. Συγκεκριμένα: (Μαρίνος & Χρηστάρας, 2016)

Γεωμορφολογικές διεργασίες:

- Τεκτονική ανύψωση
- Επίδραση παγετώνων
- Ανύψωση λόγω ηφαιστείου
- Διάβρωση της βάσης του πρανούς από ποτάμια ή θάλασσα
- Διάβρωση της βάσης του πρανούς
- Εσωτερική διάβρωση
- Φόρτιση από φυσική απόθεση στη στέψη του πρανούς
- Απομάκρυνση φυτοκάληψης

Φυσικές διεργασίες

- Έντονη μικρής διάρκειας βροχόπτωση
- Απότομο λιώσιμο χιονιού

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

- Παρατεταμένη βροχόπτωση
- Αποσάθρωση λόγω παγετού
- Αποσάθρωση από διόγκωση και συρρίκνωση εδαφών

Ανθρώπινες διεργασίες

- Φόρτιση στο μέτωπο ή στη στέψη του πρανούς
- Υποσκαφή της βάσης (ποδάρι πρανούς)
- Υποβάθμιση της στάθμης σε ταμιευτήρες
- Άρδευση
- Κακή συντήρηση αποστραγγιστικών
- Διαρροή υδάτων από τεχνικά έργα
- Δονήσεις τεχνητές
- Λατομεία και μεταλλεία
- Αποψίλωση

Οι κύριες όμως παράμετροι που επηρεάζου την ευστάθεια ενός πρανούς είναι:

- Η κλίση επιφάνειας εδάφους και η εσωτερική γεωμετρία
- Ο τύπος των γεωλογικών σχηματισμών (χαλαροί σχηματισμοί μπορούν να κινηθούν προς τα κατάντι ευκολότερα από τα βραχώδη υλικά)
- Τον δυσμενή προσανατολισμό στρώσης, σχιστότητας, διακλάσεων και ρηγμάτων ως προς τον προσανατολισμό του πρανούς
- Παρουσία διατμημένου υλικού είτε από παλιά κατολίσθηση , είτε από τεκτονική διαταραχή
- Παρουσία υλικού αργιλικής συμπεριφοράς ή πλαστικού υλικού χωρίς αντοχή
- Η παρουσία υπόγειου ή επιφανειακού νερού. Η πίεση του νερού πιέζει το υπό ολίσθηση μπλοκ είτε αυξάνοντας τις υδροστατικές δυνάμεις του στις ανοιχτές ασυνέχειες, είτε αυξάνοντας τις πιέσεις πόρων στις αδιαπέρατες ασυνέχειες. Μειώνονται δηλαδή οι ενεργές τάσεις.
- Η αποσάθρωση του υλικού
- Η σεισμικότητα
- Η ηφαιστειακή δραστηριότητα
- Ανθρώπινη παρέμβαση

2.4 Ευστάθεια Πρανών

Τα πρανή μπορεί να είναι φυσικά ή τεχνητά και να περιλαμβάνουν βραχώδης ή εδαφικούς σχηματισμούς. Ένα φυσικό πρανές όπως αναφέρθηκε μπορεί να αστοχήσει υπό την επίδραση γεωλογικών, τεκτονικών, φυσικών ή εξωγενών παραγόντων. Σε κάθε πρανές η διαφορά στάθμης και οι κλίσεις που το χαρακτηρίζουν δημιουργούν δυνάμεις βαρύτητας. Αυτές οι δυνάμεις, σε συνδυασμό με τις πιέσεις πόρων που ασκούνται από το νερό στο εσωτερικό των σχηματισμών, δημιουργούν διατμητικές τάσεις στο εσωτερικό τους και τείνουν να μετακινήσουν την μάζα, ούτως ώστε να εξομαλύνουν το έδαφος. Η διατμητική αντοχή του εδάφους αντιτίθεται στις τάσεις αυτές και στην όταν αυτές την υπερβούν, τότε οδηγούν σε θραύση του πρανούς και σε κατολίσθηση (Turner & Schuster, 1996).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

1. Ευστάθεια πρανών έναντι στατικών φορτίων (στατικές συνθήκες)

Ο κύριος παράγοντας της αστάθειας των πρανών είναι η βαρύτητα, η οποία τείνει να παρασύρει προς τα κάτω και προς τα έξω τη μάζα του εδάφους. Επιπλέον η ευστάθεια των πρανών εξαρτάται και από τη συνοχή (c- kPa) και την εσωτερική τριβή (φ-^{o}), που τείνουν να διατηρήσουν σε ευστάθεια τα υλικά που αποτελούν το πρανές. Τέλος, εξαρτάται από τη στρώση και τη κατατμητικότητα του εδάφους, την επίδραση των ατμοσφαιρικών συνθηκών και την αποστράγγιση του πρανούς
Όπως αναφέρθηκε αν το υλικό που μελετάται είναι βραχώδες, τότε αναμένονται ανατροπές, επίπεδες και σφηνοειδής ολισθήσεις, ενώ αντίθετα σε εδαφικά υλικά και έντονα διαταραγμένες βραχόμαζας αναμένονται κυκλικές αστοχίες. Έτσι, πραγματοποιείται ανάλυση με μεθόδους οριακής ισορροπίας, από την οποία προκύπτει ένας συντελεστής, που εκφράζει τον βαθμό ασφαλείας ή την αντοχή του πετρώματος έναντι θραύσης ή ολίσθησης. Ο συντελεστής αυτός, είναι ο συντελεστής ασφαλείας F, ο οποίος ισοδυναμεί με τις δυνάμεις που συγκροτούν έναντι της ολίσθησης, προς τις δυνάμεις που ωθούν προς ολίσθηση.

Αν F<1, τότε έχουμε αστοχία
Αν F>1, τότε έχουμε ευστάθεια
Αν F=1, τότε έχουμε οριακή ισορροπία
(1)

Οι δυνάμεις που συγκροτούν έναντι της ολίσθησης είναι η κάθετη συνιστώσα του βάρους στην επιφάνεια, η τριβή και η συνοχή κατά μήκος της επιφάνειας ολίσθησης. Αντίθετα οι δυνάμεις που ωθούν προς ολίσθηση είναι η παράλληλη συνιστώσα του βάρους με την επιφάνεια, η δύναμη του νερού μέσα στις ασυνέχειες, η δύναμη πιθανού σεισμού και η φόρτιση (εξωτερικό βάρος) επάνω στο υπό ολίσθηση μπλοκ.

2. Ευστάθεια πρανών έναντι σεισμικών φορτίων (δυναμικές συνθήκες)

Η εκδήλωση ενός σεισμού μπορεί να επιφέρει σημαντικές παραμορφώσεις και μετατοπίσεις, μόνιμες και μη, στα πρανή (Ambraseys & Srbulov, 1995). Αυτό εξαρτάται από την αντοχή του υλικού, τη σύσταση του πρανούς, καθώς και την εδαφική κίνηση. Έτσι σύμφωνα με τον ΕΑΚ 2000 η ευστάθεια των φυσικών και τεχνιτών πρανών σε περίπτωση σεισμικής φόρτισης, πρέπει να ελέγχεται με θεώρηση πρόσθετων εδαφικών επιταχύνσεων που δρουν στην εδαφική μάζα.

Οριζόντια: $\alpha_h = \alpha_\pi$ (2)
Κατακόρυφη: $\alpha_{v=} \pm 0.50\alpha_\pi$

Όπου
α_π : η σεισμική επιτάχυνση σχεδιασμού του πρανούς (0.5α για τα φυσικά πρανή και $(\alpha_\beta+\alpha_\kappa)/2$ για τα πρανή αναχωμάτων, όπου α είναι η ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας (βλ. κεφαλαίο 4.3 Σεισμικότητα)
Ακόμη στη περίπτωση όπου εξετάζονται οι δυναμικές συνθήκες πρέπει να ληφθούν υπόψιν οι συνθήκες αποστράγγισης και οι πιέσεις πόρων r_u.
Σύμφωνα με τα παραπάνω προκύπτει από το άρθρο 12 του DIN 4084 και τα σχετικά άρθρα του ισχύοντος ΕΑΚ ότι πρέπει να ερμηνεύονται οι συνθήκες στις οποίες βρίσκονται τα γεωυλικά, σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα ο οποίος καθορίζει και

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

τους κατά περίπτωση ελάχιστους απαιτούμενους συντελεστές ασφαλείας για μία κατολίσθηση.

α/α Συνδυασμού	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Σεισμός	N	N	N	N	O	O	O	O
Ανώτατη στάθμη υπόγειου ορίζοντα 50-ετίας	N	N	O	O	N	N	O	O
Αστοχία αγωγών αποστράγγισης	N	O	O	N	N	O	O	N
Περίπτωση φόρτισης (DIN 1054, Αρθρο 2.2)					3	2	1	
Απαιτούμενος συντελεστής ασφαλείας	-	-	1,0	-	1,2	1,3	1,4	-

Πίνακας 1: Απαιτούμενοι συντελεστές ασφαλείας σύμφωνα με το άρθρο 12 του DIN 4084 και τα σχετικά άρθρα του ισχύοντος ΕΑΚ

όπου :

Σεισμός

N Σεισμός σχεδιασμού σύμφωνα με τον ΕΑΚ, παραγρ. 5.4.

O Οχι σεισμός.

Ανώτατη στάθμη υπογείου ορίζοντα 50-ετίας

N Προβλεπόμενη ανώτατη στάθμη υπόγειου ορίζοντα 50-ετίας.

O Προβλεπόμενη ετήσια ανώτατη στάθμη υπόγειου ορίζοντα.

Αστοχία αγωγών αποστράγγισης

N Οι αγωγοί αποστράγγισης δεν έχουν καμία επίδραση στην ετήσια ανώτατη στάθμη υπόγειου ορίζοντα και στη στάθμη της 50-ετίας.

O Οι αγωγοί αποστράγγισης επιτυγχάνουν το στόχο τους να ταπεινώσουν την ετήσια ανώτατη στάθμη υπόγειου ορίζοντα και τη στάθμη της 50-ετίας

Για τους συνδυασμούς α/α 3, 5, 6 και 7 πρέπει να υπολογίζονται πάντοτε συντελεστές ασφαλείας. Ο συνδυασμός με α/α 8 πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στις περιπτώσεις που η απαιτούμενη ταπείνωση της στάθμης του υπογείου ορίζοντα είναι μεγάλη.

2.5 Μέτρα αντιστηρίξεων πρανών

Μετά από κάθε γεωλογική έρευνα και αφότου βρεθεί ο τύπος αστοχίας του πρανούς, ο απώτερος σκοπός του γεωλόγου είναι να βρει τα μέτρα αντιστήριξης που πρέπει να τοποθετηθούν στο πρανές για να ευσταθεί. Τα μέτρα αντιστήριξης χωρίζονται σε παθητικά, ενεργητικά και βελτίωση ποιότητας της βραχόμαζας. Τα παθητικά μέτρα εμποδίζουν τα τεμάχη που έχουν μετακινηθεί να προκαλέσουν ζημιές, έχουν μικρότερο κόστος και συνδυάζονται με προειδοποιητικές μεθόδους (όταν έχουν συμβεί η θα συμβούν μετακινήσεις). Τα ενεργητικά μέτρα αποτελούν την πρώτη και πιο άμεση λύση στο πρόβλημα της κατολίσθησης, διότι μειώνουν τη πιθανότητα οποιασδήποτε μετακίνησης. Αυτό επιτυγχάνεται είτε μειώνοντας τις δυνάμεις που προκαλούν την ολίσθηση ή αυξάνοντας τις δυνάμεις που αντιτίθενται στην ολίσθηση.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

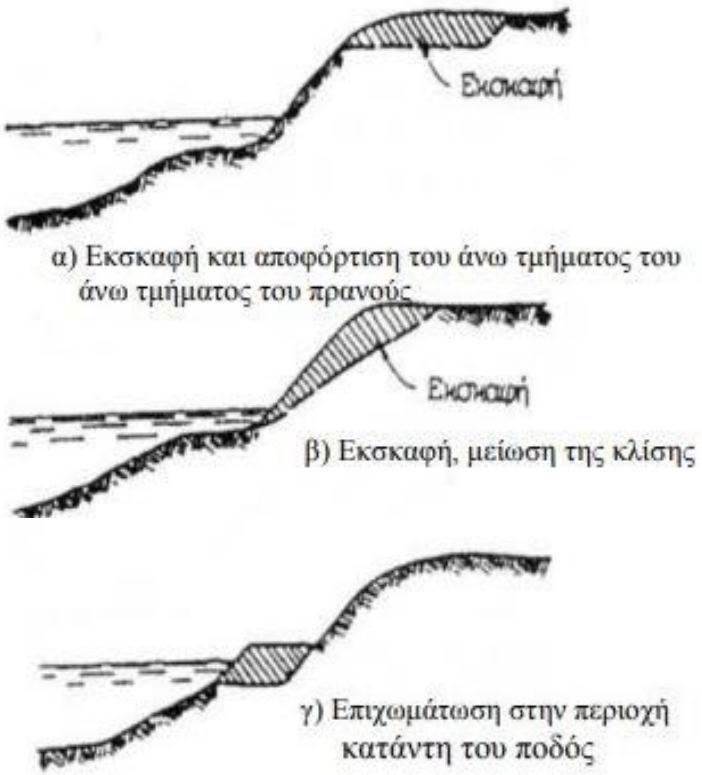
Έτσι προτείνονται κάποια μέτρα τα οποία είναι διατεταγμένα σε τέσσερις ομάδες: 1) την τροποποίηση της γεωμετρίας των πρανών, 2) την αποστράγγιση, 3) τις διατηρούμενες δομές και 4) την εσωτερική ενίσχυση των πρανών (Popescu, 2002).

1.	**ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΤΩΝ ΠΛΑΓΙΩΝ**
1.1.	Αφαίρεση υλικού από την περιοχή οδηγώντας στην κατολίσθηση (με πιθανή αντικατάσταση από ελαφρύ συμπλήρωμα)
1.2.	Προσθήκη υλικού στην περιοχή διατηρώντας την ευστάθεια (αντίβαρο ή συμπλήρωμα)
1.3.	Μείωση της γενικής γωνίας κλίσεων
2.	**ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗ**
2.1.	Η επιφάνεια στραγγίζει για να εκτρέψει το νερό από τη ροή επάνω στην περιοχή ολίσθησης (συλλέγοντας τάφρους και σωλήνες)
2.2.	Ρηχοί ή βαθιοί αγωγοί τάφρων γεμάτα με τα γεωυλικά ελεύθερου-στραγγίγματος (συμπληρώματα χονδροειδών κόκκων και γεωσυνθετικών)
2.3.	Στήριγμα των χονδρόκοκκων υλικών (υδρολογική επίδραση)
2.4.	Κάθετες (μικρής διαμέτρου) γεωτρήσεις με άντληση ή αυτό-στράγγιγμα
2.5.	Κάθετα (μεγάλης διαμέτρου) φρεάτια με στράγγιγμα βαρύτητας
2.6.	Οριζόντιες ή κάθετες γεωτρήσεις
2.7.	Σήραγγες αποστράγγισης, στοές
2.8.	Κενή απομάκρυνση νερού
2.9.	Αποστράγγιση με μετάγγιση
2.10.	Ηλεκτρο-οσμωτική απομάκρυνση νερού
2.11.	Φύτευση βλάστησης (υδρολογική επίδραση)
3.	**ΔΟΜΕΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ**
3.1.	Τοίχοι διατήρησης βαρύτητας
3.2.	Φατνωματικοί τοίχοι
3.3.	Τοίχοι με συρματοκιβώτια
3.4.	Παθητικοί πάσσαλοι, μεσόβαθρα και κιβώτια
3.5.	Επί τόπου ενισχυμένοι τοίχοι έγχυτου σκυροδέματος
3.6.	Ενισχυμένα έργα συγκράτησης εδαφών με ταινία/λωρίδα - πολυμερές/μεταλλικά στοιχεία ενίσχυσης
3.7.	Στήριγμα χονδρόκοκκου υλικού (μηχανική επίδραση)
3.8.	Δίχτυα παρακράτησης των μετώπων των βραχώδη πρανών
3.9.	Συστήματα μείωσης ή παύσης των καταπτώσεων βράχων (τάφροι, πάγκοι, περιφράξεις και τοίχοι)
3.10.	Προστατευτικά βραχώδη/τσιμεντένια τεμάχια ενάντια στη διάβρωση
4.	**ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΩΝ ΠΛΑΓΙΩΝ**
4.1.	Μπουλόνια βράχων
4.2.	Μικροπάσσαλοι
4.3.	Κάρφωμα εδάφους
4.4.	Αγκυρώσεις (προεντεταμένες ή μη)
4.5.	Τσιμεντένεση
4.6.	Κολώνες πέτρας ή ασβέστη/τσιμέντου
4.7.	Θερμική επεξεργασία
4.8.	Πάγωμα
4.9.	Ηλεκτροοσμωτικές αγκυρώσεις
4.10.	Φύτευση βλάστησης (δυναμική μηχανική επίδραση)

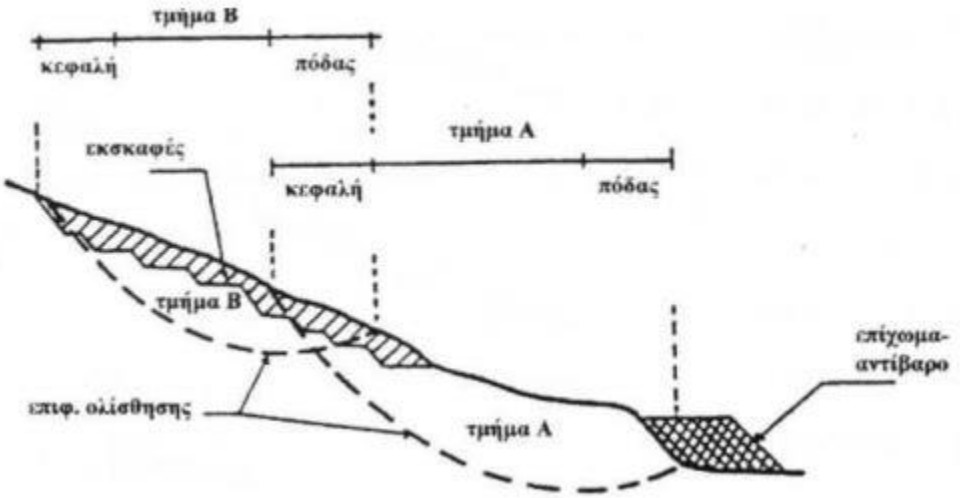
Πίνακας 2 :Μέτρα αποκατάστασης κατολισθήσεων (Πολυκρέτης, 2013)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.



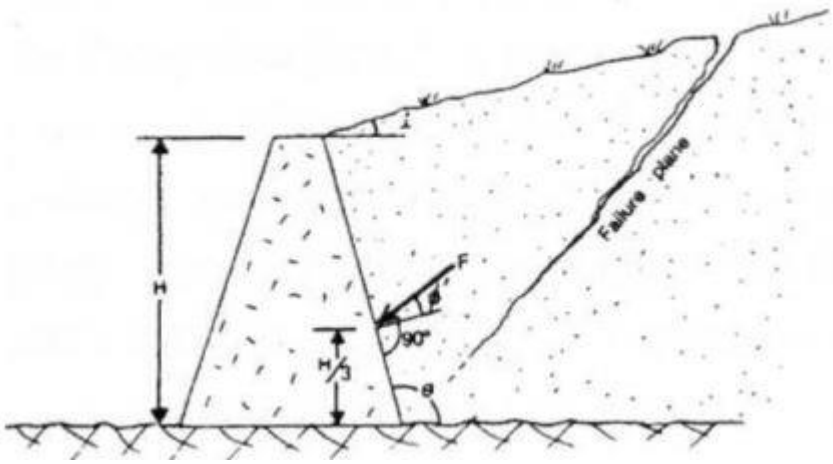
Σχήμα 1: Αλλαγή στη γεωμετρία του πρανούς (από Δημιτριάκη, 2014)



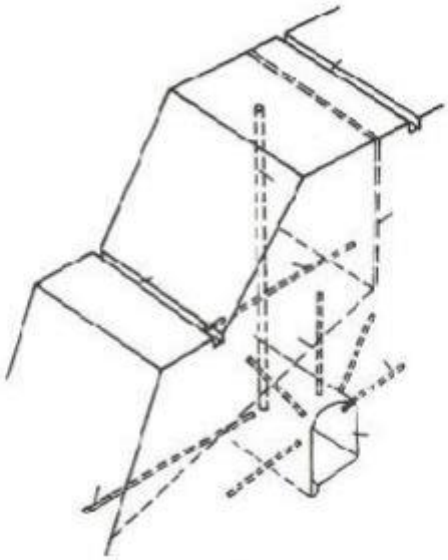
Σχήμα 2: Διάταξη συνδυασμένων έργων εκσκαφών και κατασκευής αντίβαρων (από Δημιτριάκη, 2014)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.



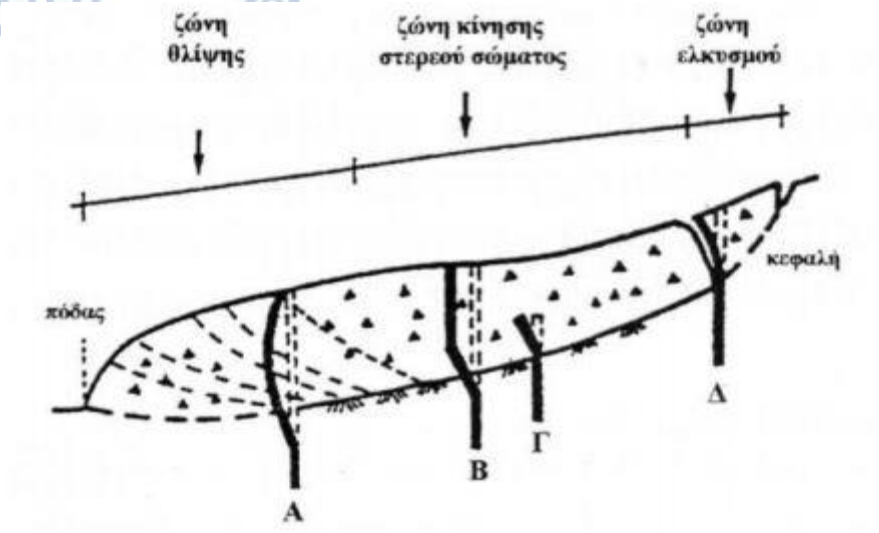
Σχήμα 3 Τοίχος αντιστήριξης (από Δημιτριάκη, 2014)



Σχήμα 4 Μέτρα διευθέτησης της επιφανειακής απορροής και μέτρα εκτόνωσης της υδροστατικής πίεσης.(γεωτρήσεις για την εκτόνωση των πιέσεων και η αποστραγγιστική στοά στη βάση του τεχνητού πρανούς) (από Δημιτριάκη, 2014)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.



Σχήμα 5: Τρόποι λειτουργίας πασσάλων σε κατολίσθηση (από Δημιτριάκη, 2014)

2.6 Αποτύπωση κατολισθήσεων με χρήση UAV (Unmanned Aerial Vehicle – Μη επανδρωμένο αερόχημα)

Για την πιο αποτελεσματική γεωλογική και τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση, εξετάζεται μέσω της παρούσας διπλωματικής, η χρήση νέων σύγχρονων μεθόδων, όπως είναι η χρήση του UAV (Unmanned Aerial Vehicle). Μέσω του UAV πραγματοποιήθηκε λήψη αεροφωτογραφιών για τη περιοχή μελέτης οι οποίες έπειτα αναλύθηκαν με την χρήση της φωτογραμμετρίας.

Φωτογραμμετρία ονομάζεται «Η τεχνική κατά την οποία λαμβάνονται τρισδιάστατες πληροφορίες χαρακτηριστικών μέσω δύο ή περισσότερων φωτογραφιών του ίδιου αντικειμένου, λαμβανόμενες από διαφορετικές γωνίες» (Vasuki et al., 2014). Η εξέλιξη των νέων τεχνολογικών επιτευγμάτων έχει οδηγήσει στην λήψη τρισδιάστατων πληροφοριών υψηλής ανάλυσης, τεχνολογίες που βασίζονται στην σάρωση επιφανειών με την χρήση laser (Bemis et al., 2014). Η διαδικασία λήψης των δεδομένων είναι εξαιρετικά χρονοβόρα αλλά και ακριβή, καθιστώντας τη συγκεκριμένη τεχνολογία να αποτελεί διαδικασία υψηλού κόστους. Ως αποτέλεσμα, χρησιμοποιούνται λογισμικά που εκμεταλλεύονται την φωτογραμμετρία, μεμονωμένα ή σε συνδυασμό με τα προαναφερόμενα συστήματα (Bemis et al., 2014)

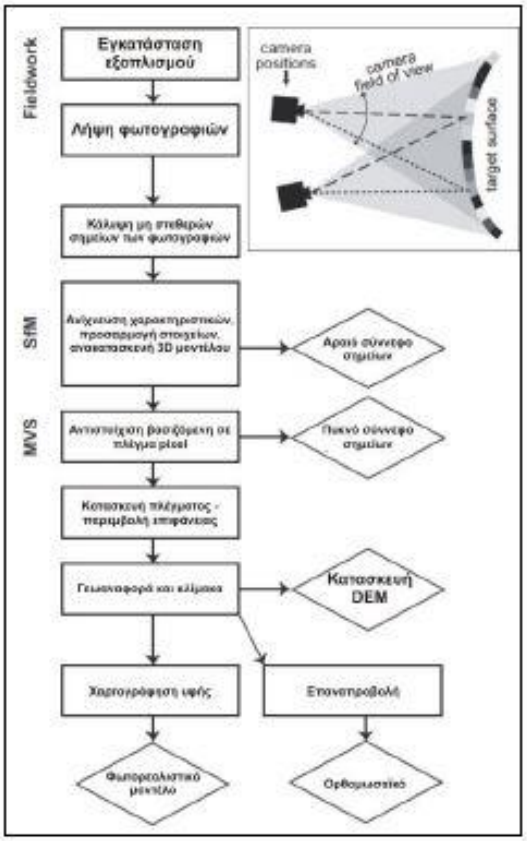
Τα UAV έχουν εγκατεστημένους αισθητήρες, όπως είναι για παράδειγμα οι μονάδες αδρανειακής κίνησης (IMU) και τα γυροσκόπια. Οι αισθητήρες αυτοί εντοπίζουν και διαμορφώνουν την ευθυγράμμιση και την θέση του αεροχήματος (Colomina & Molina, 2014, Siebert & Teizer, 2014, Vasuki et al., 2014). Ακόμη παρέχεται η δυνατότητα να συνδυάζεται σε αυτή τη μέθοδο το χαμηλό κόστος με την υψηλή ακρίβεια. Πρόκειται ουσιαστικά για χρήση του Παγκόσμιου Συστήματος Γεωαναφοράς (GPS) για τον εντοπισμό της θέσης του αεροχήματος σε πραγματικό χρόνο σε οποιοδήποτε σημείο της Γης (Siebert & Teizer, 2014, Colomina & Molina, 2014, Bemis et al., 2014). Μία επιπλέον παροχή της χρήσης UAV είναι η δυνατότητα λήψης γεωαναφερμένων

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

δεδομένων υψηλής ακρίβειας (φωτογραφίες, βίντεο κτλ) σε πραγματικό χρόνο για μεγάλες αποστάσεις. Αυτό γίνεται με τη χρήση ψηφιακών φωτογραφικών μηχανών και καμερών παραγωγής βίντεο, με μικρό βάρος σε συνδυασμό με την ζωντανή απεικόνιση των πληροφοριών που έχουν ληφθεί σε μία απομακρυσμένη βάση, και τη χρήση GPS (Siebert & Teizer, 2014, Bemis et al., 2014). Έτσι καταλήγουμε στο συμπέρασμα, ότι το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των UAV είναι ότι τροφοδοτούν άμεσα και γρήγορα τον άνθρωπο με φωτογραφίες από δομές και σημεία τα οποία δεν εντοπίζονται με ευκολία με γυμνό μάτι.

Μετά από την λήψη της πληροφορίας μέσω του UAV τελικός σκοπός είναι η δυνατότητα κατασκευής τρισδιάστατων εικόνων, οι οποίες παρέχουν πληροφορίες όπως η τοποθεσία, η λεπτομερής επιφανειακή γεωμετρία και ο προσανατολισμός. Έτσι λοιπόν κατασκευάζεται ένα τρισδιάστατο σύννεφο σημείων (3D point cloud) το οποίο θα βοηθήσει στη δημιουργία του τελικού ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DEM) με σκοπό να εξαχθεί ένα φωτομωσαϊκό ή η υφή της επιφάνειας (Vasuki et al., 2014). Ο κατάλληλος συνδυασμός αυτών των εικόνων με γεωλογικούς χάρτες θα οδηγήσει στην κατασκευή οπτικών μοντέλων που θα αφορούν τόσο την κλασσική όσο και την τεχνική γεωλογία και γεωφυσική (Vasuki et al., 2014). Τέλος πρέπει να τονιστεί ότι η μεγάλη εξέλιξη της συγκεκριμένης τεχνολογίας δίνει τη δυνατότητα λήψης αρκετών ψηφιακών δεδομένων ακρίβειας εκατοστού, σε μόλις λίγα λεπτά (Vasuki et al., 2014).



Διάγραμμα 1: Στο διάγραμμα παρουσιάζεται η μεθοδολογία φφωτογραμμετρίας με συγκεκριμένα βήματα (Bemis et al., 2014)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

3. ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ ΠΟΥ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΑΠΟ ΣΕΙΣΜΟ

Οι σεισμοί έχουν αναγνωριστεί από το παρελθόν ως κύρια αιτία κατολισθήσεων, σύμφωνα με τον (Keefer, 1984). Οι κατολισθήσεις είναι ένα από τα πιο καταστροφικά αποτελέσματα των ισχυρών σεισμικών δονήσεων, ενώ τις περισσότερες φορές η καταστροφή που προκαλείται από τις κατολισθήσεις είναι πιο έντονη σε κλίμακα ζημιών και ανθρώπινων απώλειών από την καταστροφή που προκαλείται από την ίδια τη σεισμική δόνηση (Jibson et al., 2000). Οι κατολισθήσεις που ενεργοποιούνται από μέτριους έως ισχυρούς σεισμούς μπορεί να βρίσκονται είτε κοντά σε ενεργά ρήγματα είτε στην κοντά στο επίκεντρο. Οι ισχυρές σεισμικές δονήσεις διαταράσσουν την ισορροπία των πρανών μεταβάλλοντας τις τάσεων που ασκούνται σε αυτά, προκαλώντας έτσι κατολισθήσεις, λόγω δημιουργίας ελαστικών κυμάτων διαφορετικής συχνότητας στα γεωυλικά.
Η μελέτη των κατολισθήσεων που ενεργοποιούνται από σεισμικές δονήσεις σχετίζονται σε μεγάλο βαθμό με το μέγεθος του σεισμού και με διάφορους παράγοντες αλλά και τη συσχέτιση αυτών των παραγόντων μεταξύ τους (Keefer, 1984) Τέτοιοι είναι οι εξής (Keefer, 1984):

1. Η μέγιστη απόσταση των κατολισθήσεων από το επίκεντρο του σεισμού.
2. Η μέγιστη απόσταση των κατολισθήσεων από την επιφανειακή διάρρηξη του ρήγματος
3. Η έκταση της περιοχής που επηρεάζεται από τις κατολισθήσεις λόγω σεισμικής δόνησης
4. Η ελάχιστη σεισμική ένταση κατά την οποία προκαλούνται οι κατολισθήσεις

Έτσι έχει εντοπίσει από διάφορους ερευνητές, η σύνδεση ανάμεσα στην κατανομή των κατολισθήσεων με τοπογραφικούς παράγοντες. Μέσω της παρατήρησης των κατολισθήσεων μετά από σεισμό προκύπτει το βασικό συμπέρασμα ότι η προκαλούμενη ισχυρή εδαφική κίνηση ενισχύεται σε περιοχές με απότομη μορφολογία (Harp & Jibson, 2002), Jibson et al., 2000) ενώ αποσβένεται, χωρίς να υπάρχει ακόμη ενόργανη απόδειξη, σε περιοχές που έχουν τη μορφή κοιλάδας (Harp et al., 2014). Σύμφωνα με το (Kieffer & Rathje, 2011), οι προϋποθέσεις για την πραγματοποίηση κατολίσθησης είναι οι εξής:

- Η ύπαρξη ασθενούς και παραμορφωμένου γεωλογικού (Harp & Jibson, 2002)
- Εξαιρετικά υψηλή στάθμη υπόγειου νερού τόσο σε βάθος όσο και στα ανώτερα στρώματα
- Υψηλές τιμές ισχυρής εδαφικής κίνησης

Τα υλικά, τα οποία είναι πιο επιδεκτικά σε κατολίσθηση προκαλούμενη από σεισμική δόνηση σύμφωνα με τον (Keefer, 1984), είναι :

1. οι φτωχά συγκολλημένοι βραχώδεις σχηματισμοί,
2. οι μεγαλύτερης αντοχής βραχώδεις σχηματισμοί με μεγάλης εμμονής ασυνέχειες οι οποίες ανατέλλουν στο πρανές,
3. οι ακόρεστες υπολειμματικές και κολλούβιες άμμοι,
4. τα ηφαιστειακά εδάφη τα οποία περιέχουν ασθενείς αργίλους,

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

5. οι αιολικές αποθέσεις,
6. συγκολλημένα εδάφη, κοκκώδη αλλούβια εδάφη,
7. κοκκώδεις δελταϊκές αποθέσεις και
8. κοκκώδεις τεχνητές επιχώσεις

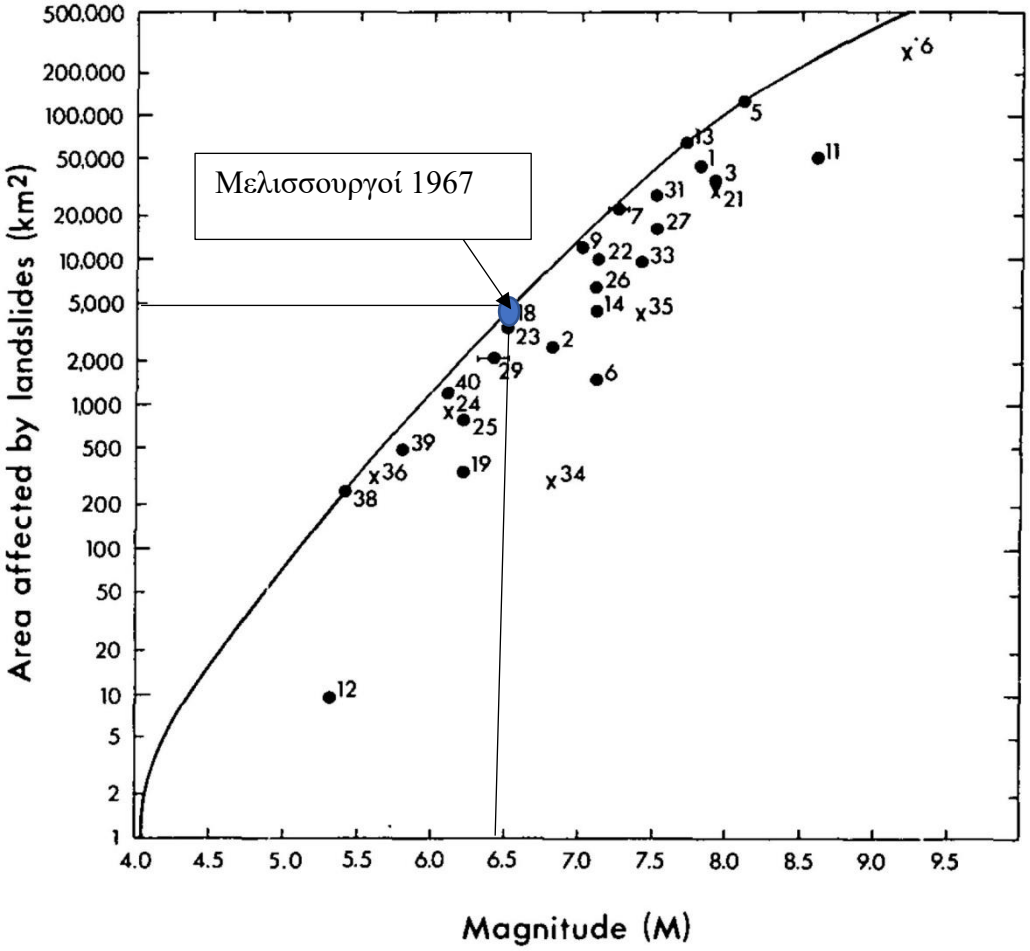
Μέσω διαγράμματος (Εικόνα 10) παρατηρούμε ότι από σεισμούς μεγέθους M>4 οι περιοχές αρχίζουν να επηρεάζονται, ενώ η μέγιστη έκταση περιοχής που επηρεάζεται είναι 500.000 km^2 για μέγεθος σεισμού M=9.2. Το συγκεκριμένο σχήμα έχει χρησιμοποιηθεί από ερευνητές για την μελέτη νεότερων σεισμών (Jibson & Harp, 2011, Jibson et al., 2004). Η κάθε περιοχή, αποτελεί ένα συνολικό όριο γύρω από τις περιοχές οι οποίες εμφάνισαν κατολισθητικά φαινόμενα. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι πρόκειται κυρίως για ασύμμετρες και ακαθόριστες στο σχήμα περιοχές, κάτι το οποίο οφείλεται στο επίκεντρο του σεισμού και στην τεκτονική δομή της περιοχής. (Keefer, 1984) Μέσω της μελέτης των 40 μεγάλων και καταστροφικών σεισμών (Keefer, 1984) εξήχθησαν τα παρακάτω συμπεράσματα:

ΜΕΓΕΘΟΣ ΣΕΙΣΜΟΥ	ΤΥΠΟΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ
M=4	Καταπτώσεις βράχων, ολισθήσεις βράχων, εδαφικές καταπτώσεις και ολισθήσεις διαταραγμένων εδαφών
M=4.5	Καθιζήσεις εδαφών, ολισθήσεις εδαφικών τεμαχών
M=5	Καταπτώσεις βράχων, ολισθήσεις βραχωδών τεμαχών, αργές εδαφικές ροές, πλευρικές εδαφικές εξαπλώσεις, ακαριαίες ροές εδαφών και υποθαλάσσιες κατολισθήσεις
M=6	Ροές βραχωδών υλικών
M=6.5	Εδαφικές ροές

Πίνακας 3: Συσχέτιση του τύπου κατολίσθησης με το μέγεθος του σεισμού (Keefer, 1984)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

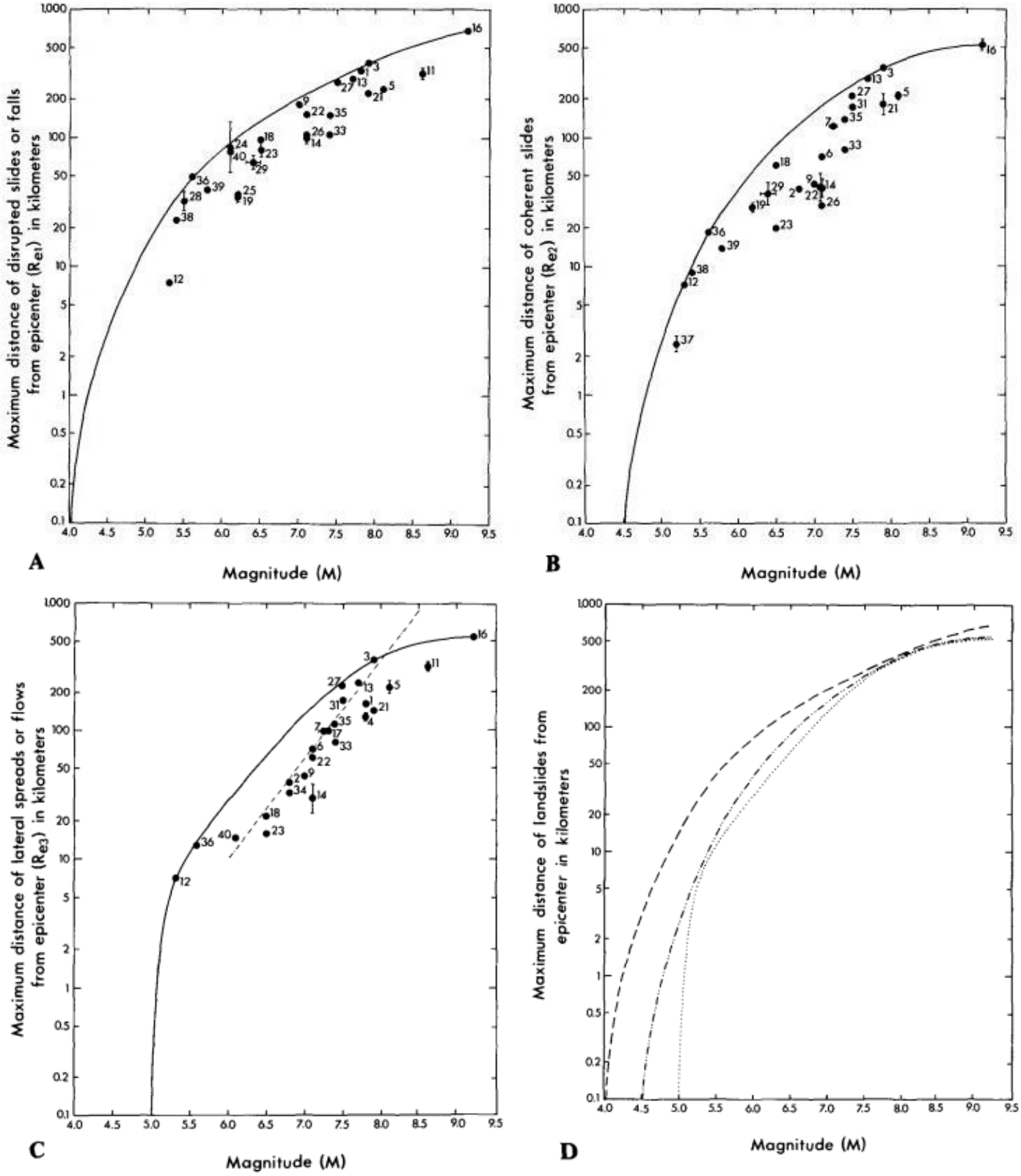
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας



Εικόνα 10: Συσχέτιση του μεγέθους σεισμού με την έκταση η οποία επηρεάζεται από κατολισθήσεις. Το δείγμα για την εξαγωγή αυτού του σχήματος είναι 40 μεγάλοι και καταστροφικοί σεισμοί. Η καμπύλη προσδιορίζει το άνω όριο της επηρεαζόμενης περιοχής. (Keefer, 1984) Με μπλε βούλα απεικονίζεται η σεισμός της περιοχής μελέτης το 1967 M=6,4 που σύμφωνα με το διάγραμμα επηρεάζει μια περιοχή περίπου 5.000km^2.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

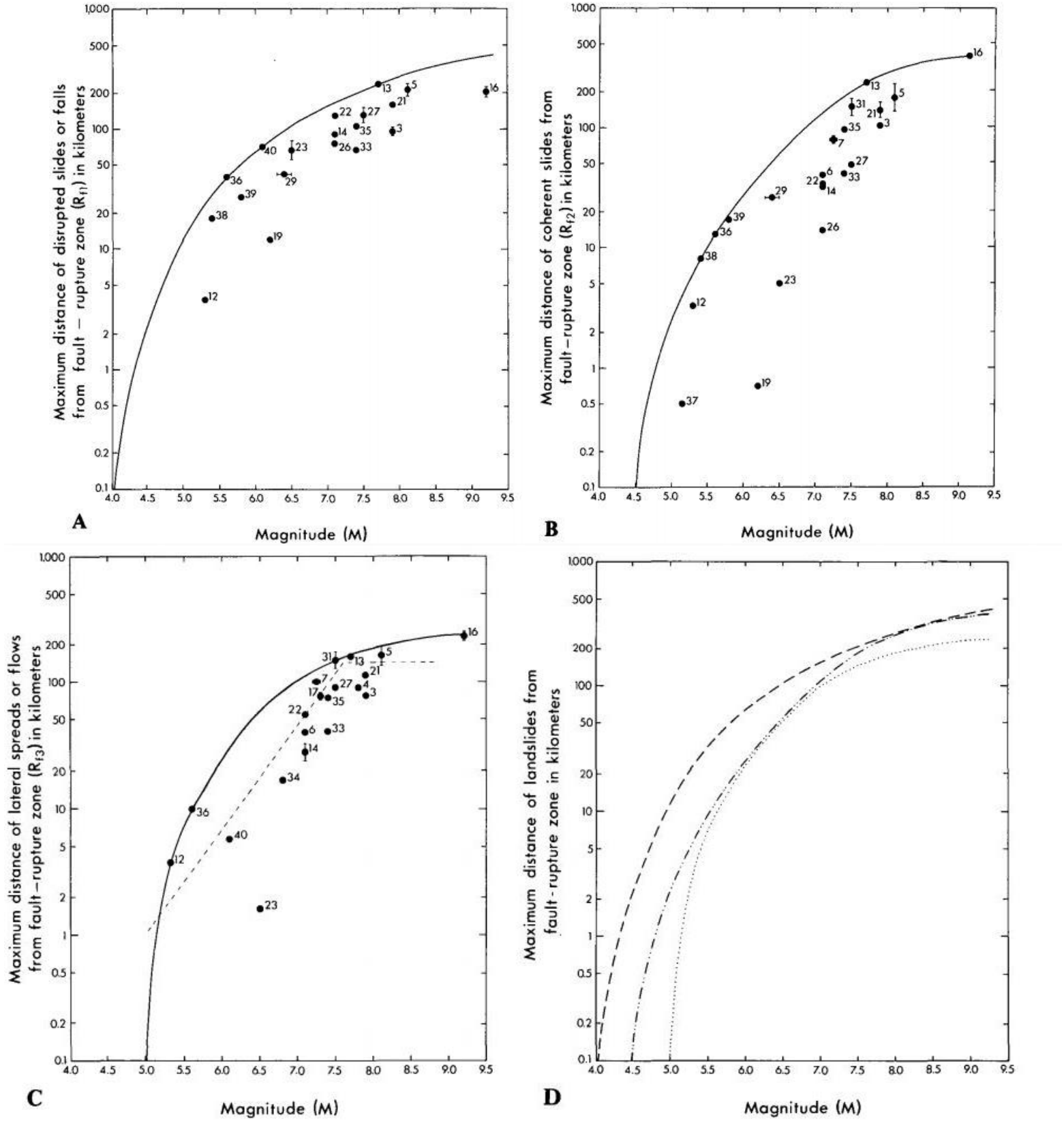
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Εικόνα 11: Παρατηρούμε 4 διαφορετικά σχήματα που αφορούν τη συσχέτιση διαφορετικών κατολισθητικών φαινομένων με την απόστασή τους από το επίκεντρο του σεισμού (δείγμα μελέτης – 40 σεισμοί). (Keefer, 1984)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Εικόνα 12: Παρατηρούμε 4 διαφορετικά σχήματα τα οποία αφορούν την συσχέτιση διαφορετικών κατολισθητικών φαινομένων με την απόστασή τους από το ρήγμα – περιοχή διάρρηξης (δείγμα μελέτης – 40 σεισμοί) (Keefer, 1984)

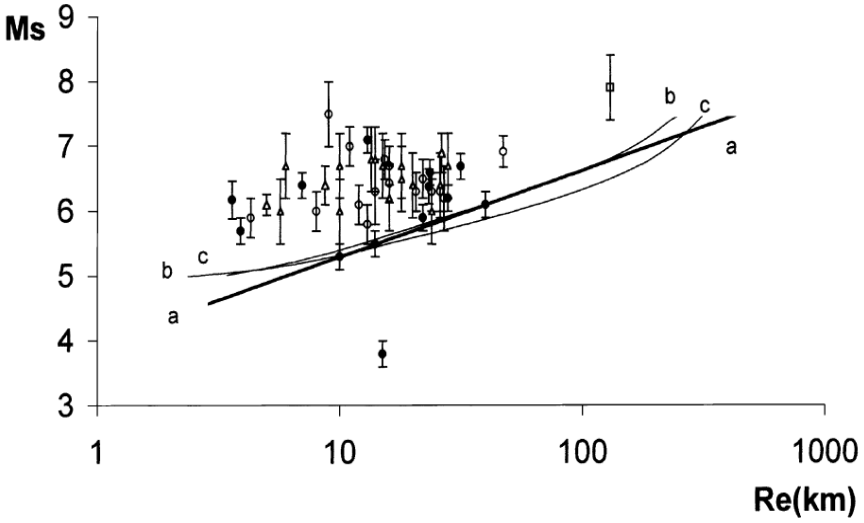
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Θα πρέπει να παρατεθεί επίσης η μελέτη των (Papadopoulos & Plessa, 2000) (Highland, L.M. & Bobrowsky, 2008) οι οποίοι μελέτησαν 47 περιπτώσεις σεισμών στον ελληνικό χώρο (1960 – 1996). Έτσι κατέληξαν στο διάγραμμα το οποίο συνδέει μέγεθος του σεισμού με απόσταση των κατολισθήσεων από το επίκεντρο του σεισμού. Η εξίσωση της ευθείας είναι η εξής:

$$\log(Re)=-2.98+0.75Ms$$

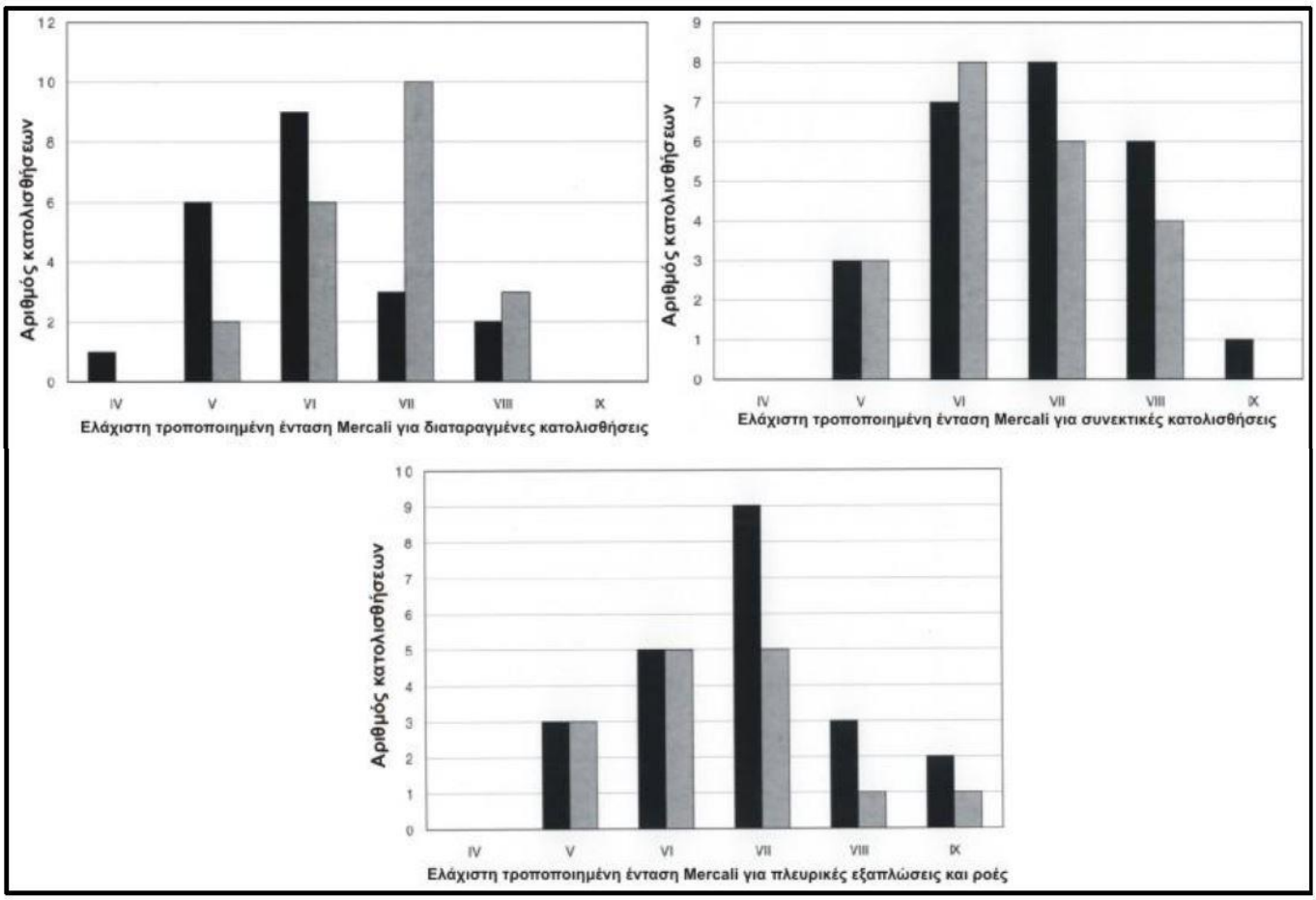
όπου:
Re : είναι η απόσταση από το επίκεντρο εκφρασμένη σε χιλιόμετρα και
Ms :είναι το επιφανειακό μέγεθος του σεισμού
Το εύρος των μεγεθών των σεισμών που μελετήθηκαν κυμαίνεται από 5.3 έως 7.9 Έπειτα, πραγματοποιήθηκε σύγκριση με τις ήδη υπάρχουσες εργασίες άλλων ερευνητών όπως του (Keefer, 1984). Στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 13), φαίνεται ότι, η ευθεία "a-a" συμπίπτει απόλυτα με την ευθεία του "c-c" του (Keefer, 1984)ότι για μέγεθος σεισμού M=7 (Papadopoulos & Plessa, 2000).



Εικόνα 13: Στο σχήμα αυτό απεικονίζεται Η εφαρμογή των Papadopoulos & Plessa, 2000 στην εξίσωση του Keefer. Το διάγραμμα αυτό συσχετίζει το μέγεθος του σεισμού με την επικεντρική απόσταση των κατολισθήσεων που ενεργοποιούνται από σεισμούς . Στο συγκεκριμένο διάγραμμα η γραμμή "α-α" αναφέρεται στο κατώτερο όριο των αναφερόμενων περιπτώσεων, η γραμμή "b-b" εξήχθη από τον Ambraseys, 1988 ενώ η γραμμή "c-c" εξήχθη από τον Keefer, 1984. Το συγκεκριμένο δείγμα αφορά 47 περιπτώσεις σεισμών στον Ελλαδικό χώρο (Papadopoulos & Plessa, 2000).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Εικόνα 14: Το συγκεκριμένο διάγραμμα προσδιορίζει την μέγιστη ένταση στην τροποποιημένη κλίμακα Mercali (MMI) από σεισμούς οι οποίοι προκάλεσαν συγκεκριμένα κατολισθητικά γεγονότα. Με μαύρη μπάρα φαίνονται τα δεδομένα του Keefer, 1984 ενώ με γκρι μπάρα εμφανίζονται τα δεδομένα του Rodriguez et al., 1999. (Keefer, 2002)

Έτσι το ερώτημα που προκύπτει από τη μελέτη των κατολισθήσεων που ενεργοποιούνται από σεισμούς είναι: «Αν δε γνωρίζαμε ότι η πραγματοποίηση κατολισθήσεων σε μια περιοχή προέρχεται από σεισμική δόνηση, θα μπορούσε η ανάλυση των κατολισθήσεων να υποδείξει τον παράγοντα πρόκλησης;» (Jibson & Keefer, 1993). Η απάντηση σε αυτό το ερώτημα βρίσκεται στο γεγονός ότι υπάρχει μικρή πιθανότητα για να πραγματοποιηθεί κατολίσθηση σε ασεισμικές συνθήκες, ενώ θα πρέπει ο παράγοντας πρόκλησης να είναι άλλος (π.χ. βροχόπτωση, υπόγεια νερά κλπ.). Ακόμη η ελάχιστη σεισμική ένταση που απαιτείται για την ενεργοποίηση μιας κατολίσθησης μπορεί να υποδειχθεί από την στατιστική ανάλυση των κατολισθήσεων. (Jibson & Keefer, 1993).
Τέλος θα πρέπει να παρατεθούν σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3) τα σημαντικότερα αποτελέσματα που αντιστοιχούν σε κάθε μία από τις πέντε υψηλές εντάσεις (VII, VIII, IX, X, XI) της κλίμακας MM (Modified Mercalli Scale):

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

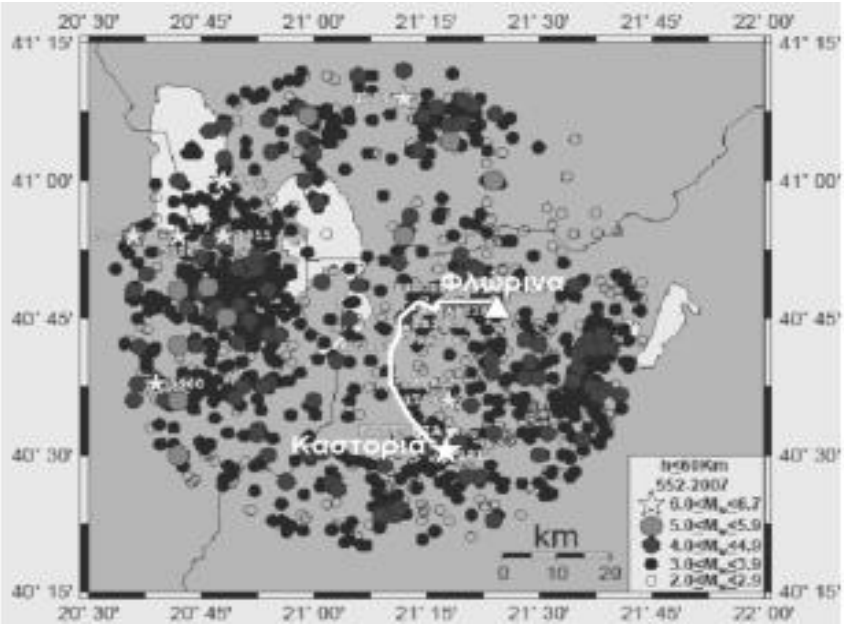
Ένταση VII	Ένταση VIII	Ένταση IX
Ρωγμές σε πολλές κατασκευές (σπίτια, τείχη, κάστρα, κλπ). Μικρές βλάβες σε διάφορες κατασκευές. Καταρρεύσεις μερικών ασθενών κατασκευών (αγροικιών, κλπ) και μη δομικών τμηματών κτηρίων	Σημαντικές βλάβες σε πολλές κατασκευές. Καταστροφή αρκετών κατασκευών. Κατάρρευση μερικών κανονικών κατασκευών.	Εκτεταμένες βλάβες. Καταστροφή πολλών κατασκευών. Κατάρρευση αρκετών κατασκευών.

Πίνακας 4 : Εκτίμηση των μακροσεισμικών εντάσεων της κλίμακας ΜΜ και η επίδρασή τους στα κτήρια (Από Παπαζάχος και Παπαζάχου, 2003)

Παρακάτω παρατίθενται κάποια ενδεικτικά παραδείγματα κατολισθήσεων που ενεργοποιήθηκαν από σεισμική δόνηση, σε τοπική και παγκόσμια κλίμακα.

3.1 Εκτίμηση του κινδύνου κατολισθήσεων κατά μήκος του οδικού άξονα Φλώρινας- Πισοδερίου- Καστοριάς

Μετά από γεωφυσικές μελέτες και παρατηρήσεις στην ευρύτερη περιοχή προέκυψε η ύπαρξη μιας «εν δυνάμει» σεισμικής δραστηριότητας (Mountrakis κ.α., 1999, Drakatos κ.α., 2005). Ο χαρακτηρισμός αυτός αποδεικνύεται και από τους έξι μεγάλους σεισμούς (Κοζάνη 1695, M=6,5, VII, Καστοριά 1709, M=6,0, VII, Καστοριά



Χάρτης 2: Στο σχήμα απεικονίζεται ο υπό μελέτη οδικός άξονας καθώς και τα επίκεντρα των σεισμών στην περιοχή. (Alexoudi et al., 2010)

1812, M=6,5, VIII, Σιάτιστα 1894, M = 6,1, VII, Αλβανία 1960, M=6,5, VIII+, Γρεβενά 1995, M=6,6, IX+) που κατεγράφησαν τα τελευταία 300 έτη και προκάλεσαν εκτεταμένες αστοχίες στις κατασκευές της περιοχής.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Μορφολογικά, η περιοχή χαρακτηρίζεται ως ορεινή και ημιορεινή με παρουσία έντονου ανάγλυφου έχοντας μέσο υψόμετρο τα 1000 m και μέγιστο περίπου 1800 m. Το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής αποτελείται

- από τα κρυσταλοσχιστώδη πετρώματα Παλαιοζωικής ηλικίας της Πελαγονικής
- από το ανθρακικό κάλυμμα του Τριαδικού – Ιουρασικού,
- από τους οφειόλιθους με τα συνοδά τους ιζήματα επωθημένους στην Πελαγονική και από τα Μ-Α Κρητιδικά επικλυσιγενή ιζήματα.

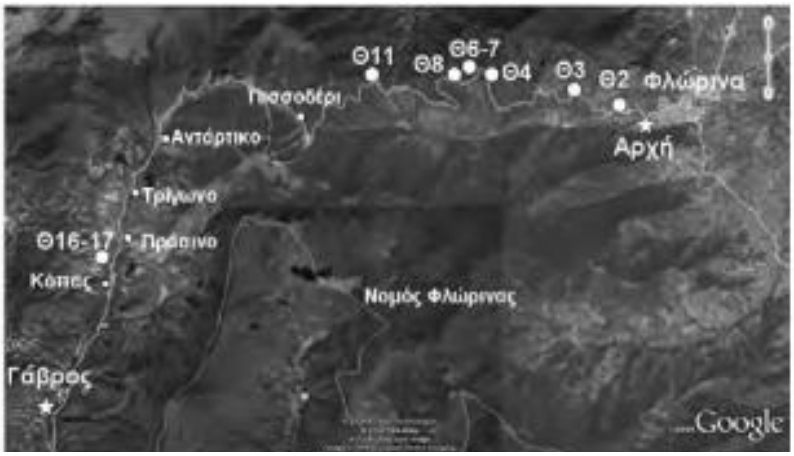
Ο υπομελέτη δρόμος διέρχεται από περιοχή που κυριαρχούν :

- γνεύσιοι, σχιστόλιθοι και οι αμφιβολίτες
- από πλουτωνικά πετρώματα (γρανίτες της Φλώρινας)
- και από Πλειστοκαινικούς σχηματισμούς (άμμος, κροκαλοπαγή, ψαμμίτες).

Το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής αποτελείται από επιμήκεις χείμαρρους που προκαλούν διάβρωση στα πετρώματα του υποβάθρου και αποστραγγίζουν τα ψηλότερα τμήματα των ορεινών όγκων.

Κατά τη μελέτη πεδίου κατά μήκος του δρόμου, εντοπίστηκαν 15 περιοχές που εκτιμήθηκε ότι είναι επιδεικτικές σε κατολισθήσεις (Εικόνα 15). Στις θέσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις για την κλίση και το ύψους του πρανούς, καθώς επίσης και για τον προσανατολισμό και τις ιδιότητες των ασυνεχειών. Σε 8 από αυτές πραγματοποιήθηκαν δοκιμές έλξης ασυνεχειών και κρουσιμετρήσεις με τη σφύρα Schmidt. Επίσης πραγματοποιήθηκαν εργαστηριακές δοκιμές που περιλάμβαναν δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης, τριαξονικής θλίψης, σημειακής φόρτισης και διάτμησης ασυνεχειών, με πάνω από 200 επιλεγμένα δείγματα. Ακόμη έγινε προσδιορισμός του πορώδους ,της φυσικής υγρασίας και του φαινόμενου βάρους. Τέλος τις θέσεις ύπαρξης εδαφικών σχηματισμών προσδιορίστηκαν η κοκκομετρία και τα όρια Atterberg. Έτσι η περιοχή εξετάστηκε για δυο τύπους αστοχίας:

1. επίπεδη αστοχία κατά μήκος ασυνεχειών που προϋπάρχουν με παραμέτρους διατμητικής αντοχής που προέκυψαν από τις εργαστηριακές δοκιμές και
2. αστοχία κατά μήκος κυκλικής ή καμπύλης επιφάνειας διερχόμενης από τη βραχόμαζα



Εικόνα 15: Υπό εξέταση θέσεις πρανών επιδεκτικών σε κατολισθήσεις. (Alexoudi et al., 2010)

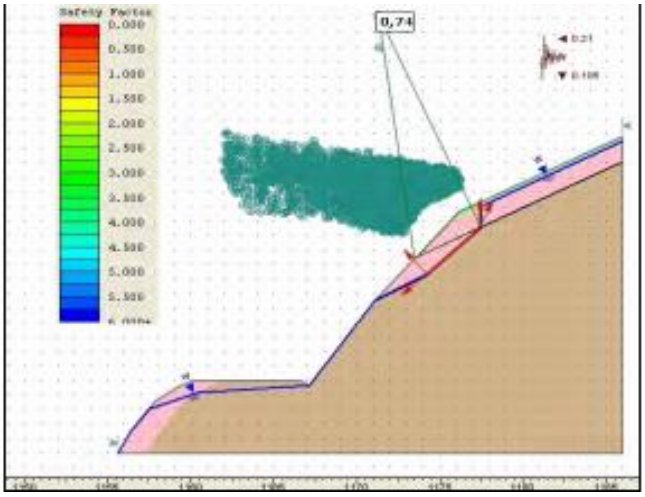
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Ως πιθανές θέσεις πρανών επιδεκτικών σε κατολισθήσεις προσδιορίστηκαν, μετά από επιτόπου μετρήσεις, οι Θ2, Θ3, Θ4, Θ6, Θ7, Θ8, Θ11, Θ16 και Θ17. Με άσπρο χρώμα (κύκλος) εικονίζονται τα πρανή που αναμένεται να εκδηλωθεί αστοχία, με άσπρο χρώμα (σταυρός) τα πρανή σε κατάσταση οριακής ισορροπίας και με άσπρο χρώμα (τετράγωνο), τα πρανή σε κατάσταση ευστάθειας. Η μελέτη της ευστάθειας των πρανών πραγματοποιήθηκε για δέκα διαφορετικά σενάρια με βάση συνδυασμούς του σχετικού ύψους του νερού πλήρωσης των ασυνεχειών και της σεισμικής δράσης (Πίνακας 5). Ενδεικτικά, στην (Εικόνα 16) για την θέση Θ8, παρουσιάζεται το αναλυτικό μοντέλο που παράχθηκε στο SLIDE.

Σενάριο	Ίδιο βάρος	Σεισμός	Σχετ.ύψος νερού	Συντελ. ασφαλείας
1	ν	-	-	1,30
2	ν	0,16g	-	1,10
3	ν	0,20g	-	1,10
4	ν	-	100%	1,20
5	ν	0,16g	100%	1,00
6	ν	0,20g	100%	1,00
7	ν	0,42g	100%	1,00
8	ν	0,16g	80%	1,00
9	ν	0,20g	80%	1,00
10	ν	0,42g	80%	1,00

Πίνακας 5: Φορτία και ελάχιστοι συντελεστές ασφαλείας για 10 σενάρια ανάλυσης. . (Alexoudi et al., 2010)



Εικόνα 16: Μοντέλο του πρανούς στη θέση Θ8. . (Alexoudi et al., 2010)

Στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται οι συντελεστές ασφάλειας που προέκυψαν ανά σενάριο στις επιλεγμένες θέσεις. Με έντονη πλάγια γραφή σημειώνονται τα πρανή που αναμένεται να αστοχήσουν ενώ με υπογράμμιση, τα πρανή που βρίσκονται σε κατάσταση οριακής ασφαλείας. Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων, προέκυψε ότι θα επέλθει αστοχία με ταυτόχρονη δράση Νερού και Σεισμού, σε όλα τα πρανή που εξετάστηκαν, ανεξαρτήτως του βαθμού πλήρωσης των ασυνεχειών, εφόσον η σεισμική επιτάχυνση είναι 0,42g.

Θέση	Σεν.1	Σεν.2	Σεν.3	Σεν.4	Σεν.5	Σεν.6	Σεν.7	Σεν.8	Σεν.9	Σεν.10
Θ2	1,67	1,42	1,33	1,32	1,11	1,11	***0,94***	1,20	1,16	***0,98***
Θ3	1,33	1,17	1,13	1,26	1,12	1,09	***0,94***	1,08	1,09	***0,94***
Θ4	***1,26***	***1,08***	***1,05***	1,20	1,04	1,01	***0,86***	1,06	1,02	***0,87***
Θ6	***1,23***	***1,02***	***0,98***	***1,02***	***0,87***	***0,84***	***0,71***	***0,92***	***0,88***	***0,74***
Θ7	1,45	1,19	1,14	***1,04***	***0,89***	***0,86***	***0,73***	***0,99***	***0,95***	***0,79***
Θ8	***1,26***	***1,06***	***1,02***	***0,96***	***0,84***	***0,81***	***0,69***	***0,91***	***0,88***	***0,74***
Θ11	1,33	1,11	***1,06***	***1,01***	***0,87***	***0,84***	***0,71***	***0,94***	***0,91***	***0,76***
Θ16	1,36	1,17	1,13	***1,06***	***0,93***	***0,90***	***0,78***	1,03	***0,99***	***0,85***
Θ17	1,53	1,29	1,23	***1,15***	1,02	***0,96***	***0,80***	1,13	1,04	***0,86***

Πίνακας 6: Συντελεστές ασφάλειας για 10 σενάρια. . (Alexoudi et al., 2010)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Τα σενάρια 1, 4 και 9 είναι τα πιο πιθανά να συμβούν καθώς:

1. το πρώτο αναφέρεται σε πιθανή κατολίσθηση από το Ι.Β. του πρανούς,
2. το δεύτερο από πιθανή κατολίσθηση κατά την περίοδο που λιώνουν τα χιόνια ή μετά από έντονη βροχόπτωση και
3. το τρίτο σε πιθανό σεισμό που μπορεί να αντιμετωπίσει η περιοχή.

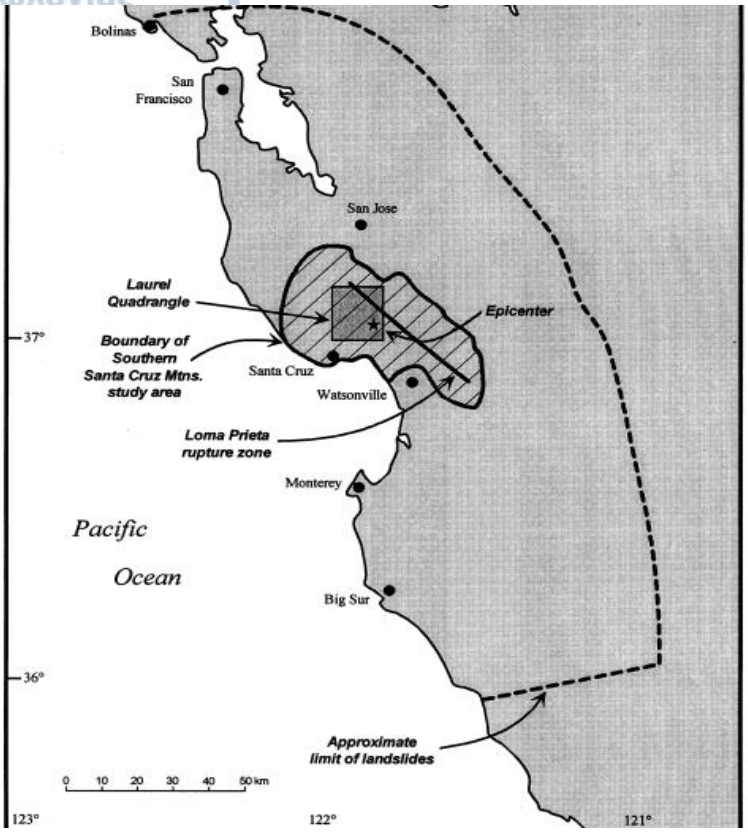
Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα προτείνονται μέτρα πρόληψης σε περίπτωση εκδήλωσης μιας κατολίσθησης.

3.2 Περίπτωση Καλιφόρνια, Σεισμός LOMA PRIETA 1988

Ο σεισμός Loma Prieta μεγέθους 6.9, προκάλεσε κατολισθήσεις σε όλη την έκταση της κεντρικής Καλιφόρνια και συγκεκριμένα, στο κόλπο του Σαν Φρανσίσκο - Monterey Bay, στις 17 Οκτωβρίου 1989. Το επίκεντρο του σεισμού είχε βάθος περίπου 18 km, 37°02’Β, 121°53’Δ, στο νότιο τμήμα της Santa Cruz και 85 km νοτιοανατολικά του San Francisco. Οι περισσότερες από αυτές τις κατολισθήσεις σημειώθηκαν σε μία έκταση 2000km^2 σε ορεινή περιοχή. Η περιοχή που επλήγη από το σεισμό είναι αστική με πληθυσμό περίπου 7 εκατομμυρίων. Παρά το γεγονός ότι, το επίκεντρο του σεισμού ήταν κάτω από σχετικά αραιοκατοικημένη περιοχή, 62 άνθρωποι σκοτώθηκαν και η οικονομική ζημιά ήταν μεγαλύτερη από 6 δισεκατομμύρια δολάρια. Πολλοί δρόμοι καταστράφηκαν ή μπλόκαραν και περισσότεροι από 100 κατοικίες και άλλες κατασκευές καταστράφηκαν.
Η περιοχής χαρακτηρίζεται από εντελώς επίπεδες επιφάνειες μέχρι και απότομα πρανή. Το κλίμα είναι Μεσογειακό, δηλαδή χαρακτηρίζεται από ζεστά, ξηρά καλοκαίρια και δροσερούς, βροχερούς χειμώνες. Οι μέσες ετήσιες βροχοπτώσεις ποικίλλουν σε όλη την περιοχή από περίπου 250 έως 2000 mm. (Rantz, 1971). Ο σεισμός συνέβη κατά τη διάρκεια του τέταρτου έτους της ξηρασίας, όταν οι βροχοπτώσεις ήταν περίπου 50 έως 70 % του φυσιολογικού, και στο τέλος της ξηράς εποχής του καλοκαιριού.
Η κατανομή αυτών των κατολισθήσεων διερευνάται στατιστικά, για να προσδιοριστούν οι κατολισθήσεις που συσχετίζονται με την απόσταση από το επίκεντρο του σεισμού, την απότομη κλίση και τον τύπο της βραχόμαζας. Η συγκέντρωση των κατολισθήσεων που ορίζεται ως ο αριθμός των κατολισθήσεων ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο, είναι αντιστρόφως ανάλογη με την απόσταση από την πηγή του σεισμού και ανάλογη με τον παράγοντα της απότομής κλίσης. Οι κατολισθήσεις διαφέρουν μεταξύ των γεωλογικών σχηματισμών ανά περιοχή, σύμφωνα με τις λιθολογικές διάφορες και το βαθμό αντοχής των πετρωμάτων. Από προηγούμενες μελέτες που είχαν πραγματοποιηθεί στην περιοχή για τις κατολισθήσεις αυτές, προέκυψε το συμπέρασμα ότι οι κατολισθήσεις ήταν ήδη ενεργοποιημένες από σεισμούς που είχαν συμβεί αρκετές δεκαετίες νωρίτερα.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας



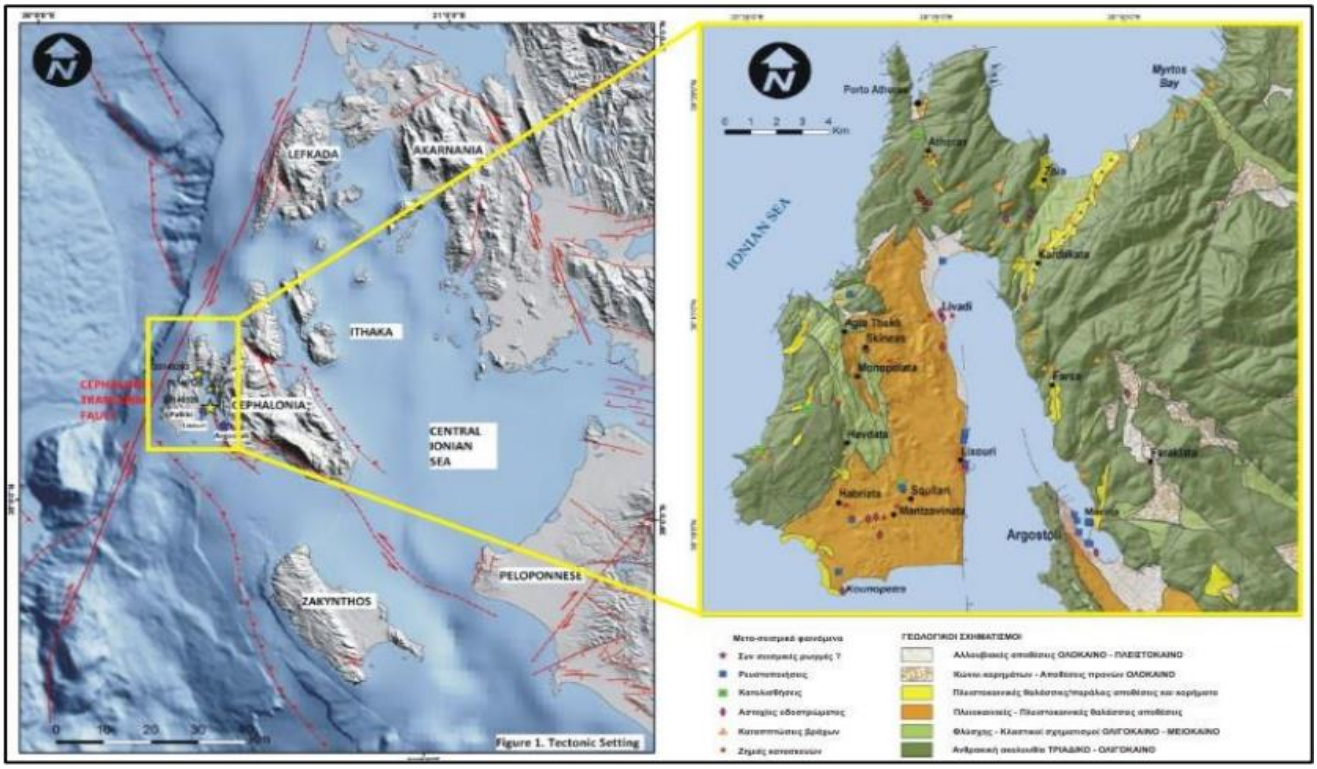
Εικόνα 17: San Francisco–Monterey Bay στην Καλιφόρνια, γεωγραφικά όρια των κατολισθήσεων που πραγματοποιήθηκαν από το σεισμό 1989 Loma Prieta. (Keefer, 2000)

3.3 Περίπτωση Κεφαλονιάς, Σεισμός 2014

Στις 26 Ιανουαρίου και στις 3 Φεβρουαρίου του 2014 πραγματοποιήθηκαν 2 ισχυρές σεισμικές δονήσεις μικρού εστιακού βάθους και μεγέθους M=6.0 κα M=6.1 αντίστοιχα στο δυτικό και κεντρικό τμήμα του νησιού (σύμφωνα με το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών - ΝΟΑ). Οι σεισμικές δονήσεις προκάλεσαν καταπτώσεις βράχων, μικρού έως μεσαίου μεγέθους κατολισθήσεις, ρευστοποιήσεις αστοχίες οδοστρωμάτων και πέτρινων τοιχίων (Valkaniotis et al. 2014). Αντίθετα στο ανατολικό και βόρειο τμήμα του νησιού παρατηρήθηκαν ελάχιστες καταπτώσεις βράχων και κατολισθήσεις φτωχών σε ποιότητα γεωυλικών. (Valkaniotis et al. 2014).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

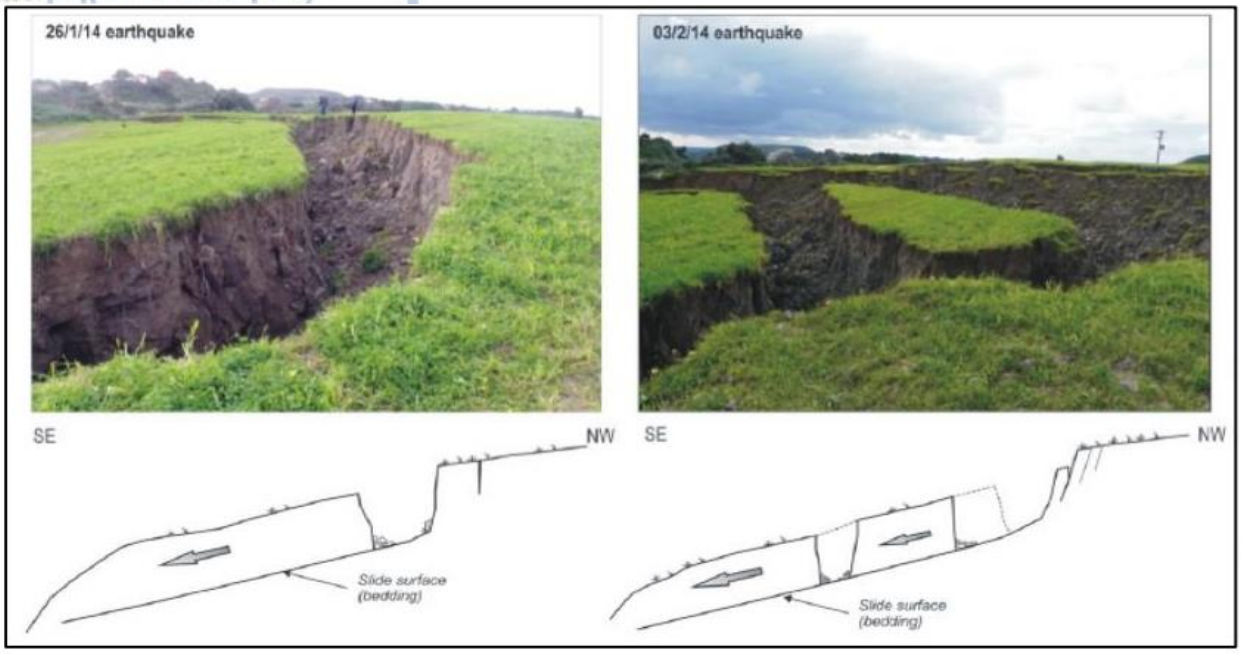


Χάρτης 3: Στα αριστερά επεικονίζεται το ψηφιακό μοντέλο εδάφους για την περιοχή των νησιών του Ιονίου Πελάγους, τα επίκεντρα των 2 σεισμών της Κεφαλλονιάς κατά το 2014 καθώς επίσης και τις κύριες τεκτονικές δομές που επηρεάζουν την περιοχή. Στα Δεξιά παρατηρούμε το δυτικό τμήμα της Κεφαλονιάς, τους γεωλογικούς σχηματισμούς από τους οποίου αποτελείται και σημειακά, τις παρατηρήσεις υπαίθρου (Valkaniotis et al., 2014, τροποποιημένο από (Γρενδας, 2016)

Σε ακτίνα περίπου 10 Km γύρω από το επίκεντρο του 1^{ου} σεισμού στις 26 Ιανουαρίου πραγματοποιήθηκαν αστοχίες πρανών, που απέκλεισαν το οδικό δίκτυο προκαλώντας για αρκετές μέρες κυκλοφοριακό πρόβλημα. (Valkaniotis et al. 2014) Ακόμη παρατηρήθηκαν κατολισθήσεις μικρού έως και μεσαίου μεγέθους σε νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα, ακόμη και σε κλαστικούς σχηματισμούς Μειοκαινικού φλύσχη. Τέλος η πιο εντυπωσιακή περίπτωση κατολίσθησης με 20m μήκος και 30 m πλάτος, είναι αυτή που προκλήθηκε στο Σουλλάρι σε ομογενή Πλειοκαινικά- Πλειστοκαινικά ιζήματα. Παρατηρήθηκε ότι η στέψη της κατολίσθησης είναι παράλληλη σε προϋπάρχουσες δομές συστημάτων ασυνεχειών διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ ενώ ενεργοποιήθηκε εκ νέου κατά τον δεύτερο σεισμό (Valkaniotis et al., 2014).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας



Εικόνα 18: στην εικόνα παρατηρούμε τη μεγάλη κατολίσθηση στο Σουλλάρι μετά τον πρώτο και μετά τον δεύτερο σεισμό του 2014 στην Κεφαλλονιά όπως επίσης και δισδιάστατα σχήματα για κάθε περίπτωση (Valkaniotis et al., 2014)

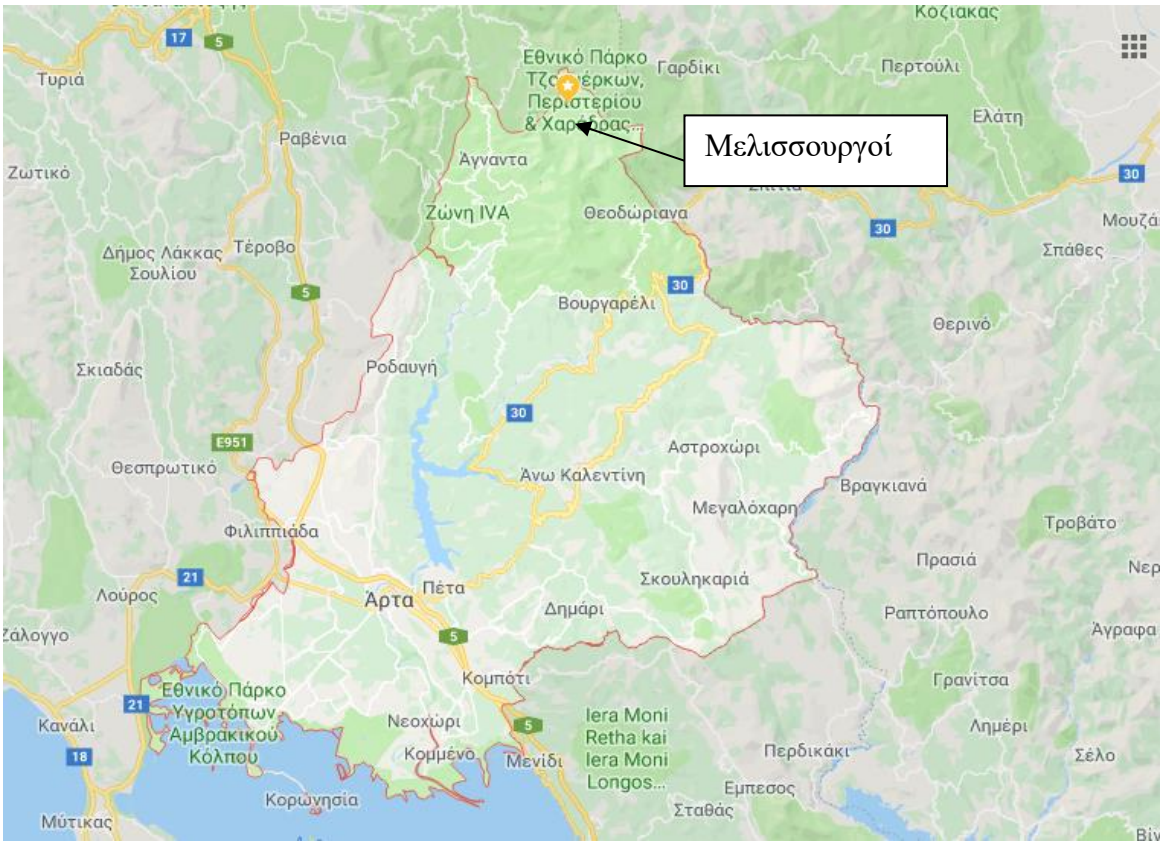
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

4. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

4.1 Θέση- Γεωμορφολογία

Η περιοχή έρευνας ανήκει στο γεωγραφικό διαμέρισμα της Ηπείρου και συγκεκριμένα στο νομό της Άρτας (Χάρτης 4). Οι Μελισσουργοί αποτελούσαν μέχρι και το 2010 ξεχωριστή κοινότητα που περιείχε ένα ορεινό τμήμα στο βορειότερο σημείο του νομού, στις πλαγιές των Τζουμέρκων. Η έκτασή της ήταν 36,5km^2 συνόρευε με το δήμο Άγναντων και με τους νομούς Τρικάλων και Ιωαννίνων. Μετά τις αυτοδιοικητικές εκλογές του 2010 και μετά το σχέδιο Καλλικράτης, οι Μελισσουργοί ανήκουν στο Δήμο κεντρικών Τζουμέρκων ως ξεχωριστή δημοτική κοινότητα. Πιο συγκεκριμένα, στο Νομό Άρτας στον οποίο συνιστάται ο Δήμος Κεντρικών Τζουμέρκων με έδρα το Βουργαρέλι, αποτελείται από τις Δημοτικές Ενότητες: Αθαμανίας και Αγνάντων και τις Κοινότητες: Θεοδωριανών Μελισσουργών

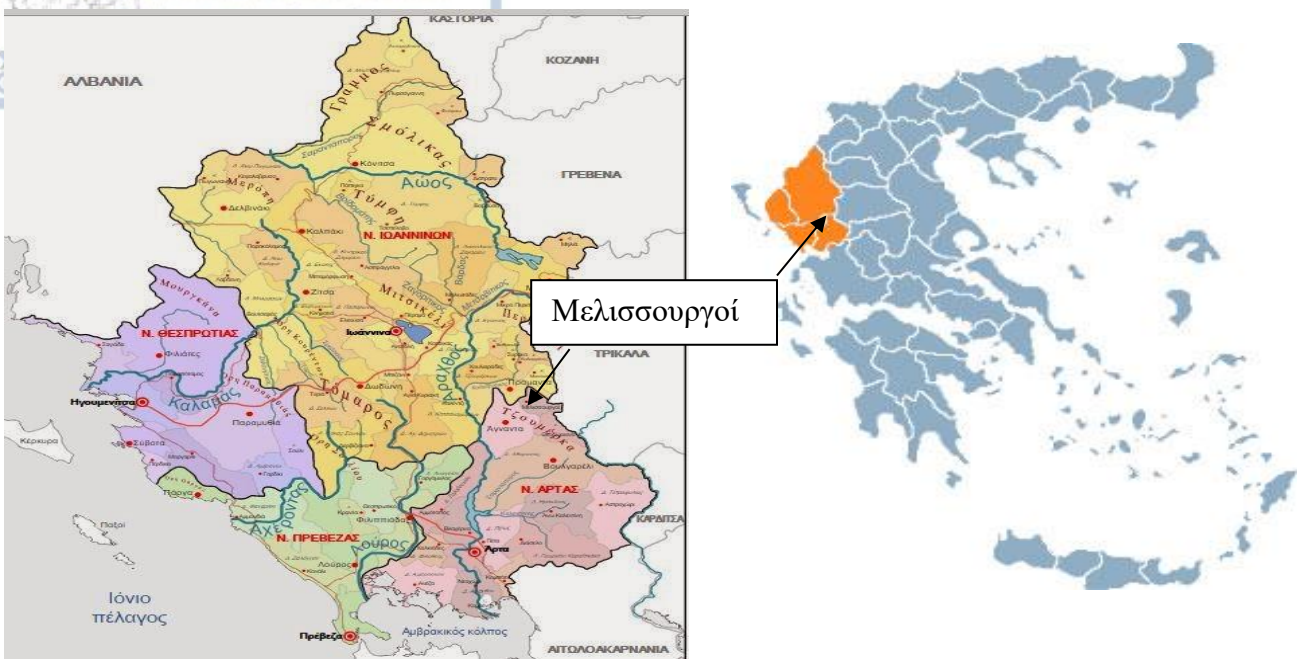


Χάρτης 4: Γεωγραφική θέση των Μελισσουργών σε σχέση με τον Νομό Άρτας. Τροποποιημένο

Τα Τζουμέρκα χαρακτηρίζονται καθαρά από έντονο ορεινό ανάγλυφο, καθώς αποτελούν το 8ο υψηλότερο βουνό στην Ελλάδα. Συγκεκριμένα αποτελούνται από επιβλητικές υψηλές ασβεστολιθικές κορυφογραμμές, εκτεταμένα υποαλπικά οροπέδια, χαράδρες, και επικλινείς πλαγιές. Το πυκνό υδρογραφικό δίκτυο των Τζουμέρκων, χαρακτηρίζεται από μεγάλους ποταμούς και παραποτάμους, με μόνιμη ή εποχιακή ροή.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



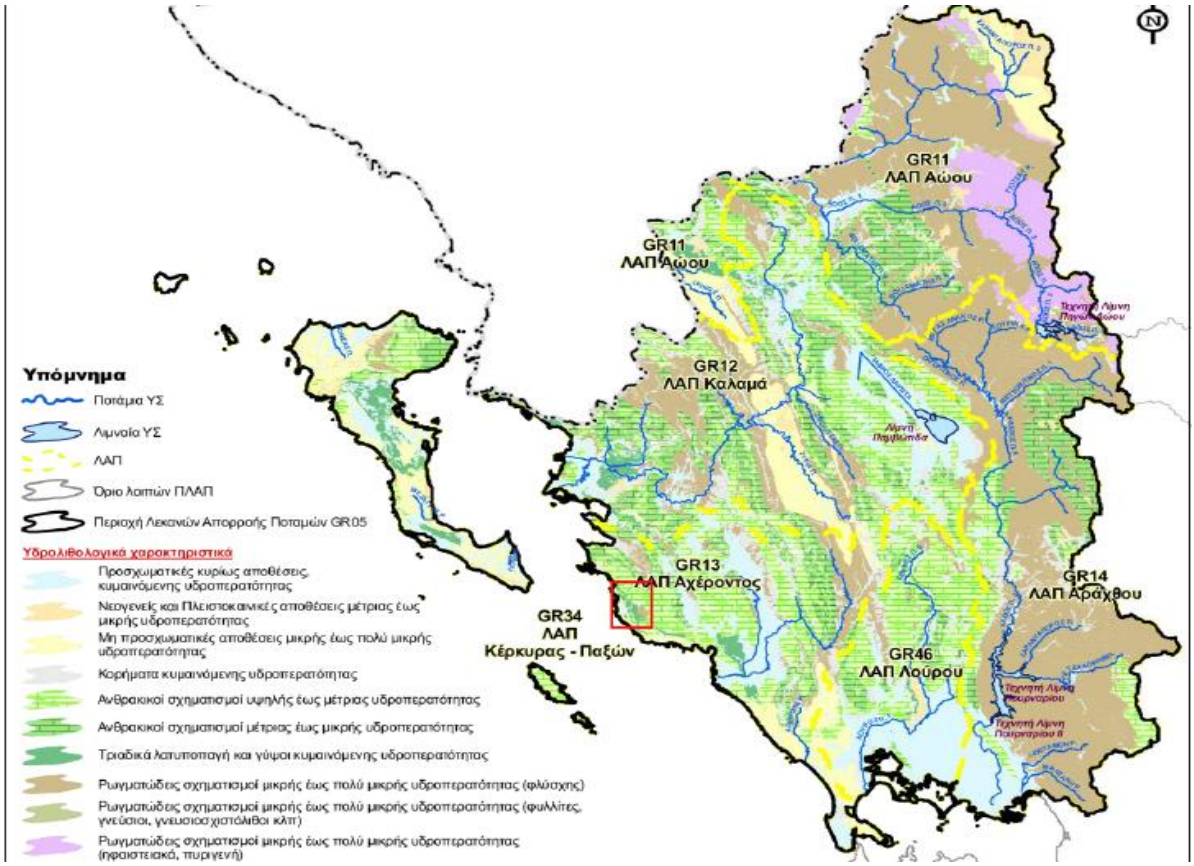
Χάρτης 5: Στα αριστερά Χάρτης Ηπείρου.. Στα δεξιά Θέση της Ηπείρου στην Ελλάδα,από Τέλλης,2013

Η διαμόρφωση του ανάγλυφου των Τζουμέρκων καθορίστηκε άμεσα από την ύπαρξη δύο μεγάλων ποταμών της περιοχής, του Αράχθου και του Αχελώου. Πιο συγκεκριμένα, η κύρια κοίτη του Αράχθου φτάνει τα 105 km μήκος, με κατεύθυνση ΒΒΑ – ΝΝΔ, ενώ η λεκάνη απορροής του καταλαμβάνει περίπου 2000 m^2. Καλύπτεται κυρίως από φλύσχη και ορίζεται Β - ΒΔ από τις λεκάνες απορροής του Αώου και του Βοϊδομάτη, στα ανατολικά από τη λεκάνη απορροής του Αχελώου και Δυτικά από την αντίστοιχη του Λούρου. Από τους πιο σημαντικού είναι ο παραπόταμος του Αράχθου, ο Καλλαρύτικος, ο οποίος αποστραγγίζει την ευρύτερη περιοχή των Βορείων Τζουμέρκων, καθώς και των νοτίων παρυφών του όρους Λάκμος (Περιστέρι), ενώ δέχεται τα νερά πλήθους ρεμάτων και χειμάρρων, με σημαντικότερους το Μελισσουργιώτικο , τον Καλαρύτικο και το Ματσουκιώτικο ποταμό.
Αντίστοιχα, η κύρια κοίτη του Αχελώου έχει μήκος που φτάνει τα 220 km. Η λευκή λάσπη που μεταφέρει από τη ζώνη του φλύσχη έως τις εκβολές του προσδίδει στον Αχελώο το όνομα Ασπροπόταμος. Η έκταση της λεκάνης απορροής του, που είναι μεγάλη και αποτελείται κυρίως από ασβεστόλιθους, καταλαμβάνοντας στην ανατολική πλευρά το σύνολο της έκτασης των Τζουμέρκων.
Οι κυρίες υδροφορίες της λεκάνης απορροής του Αράχθου αναπτύσσονται στους ανθρακικού σχηματισμούς της Ιονίου ζώνης αλλά και στις εμφανίσεις των ανθρακικών της Πίνδου και Γαβρόβου- Τρίπολης. Στους ανθρακικούς σχηματισμούς της ζώνης Πίνδου λόγω των πυριτικών - κερατολιθικών παρεμβολών αναπτύσσονται επιμέρους διαφορετικής κάθε φορά έκτασης υδρογεωλογικές λεκάνες και κατ' επέκταση και ανάλογης δυναμικότητας υδροφορίες. Η έντονη τεκτονική καταπόνηση που έχουν υποστεί τα πετρώματα της περιοχής έχει ως αποτέλεσμα τον κερματισμό των πετρωμάτων και την ένωση καταθέσεις των επιμέρους λεπιώσεων με αποτέλεσμα τη δημιουργία πλέον αξιόλογων υδροφοριών. Σημαντικές υδροφόρες αναπτύσσονται στους κοκκώδεις σχηματισμός των τεταρτογενών αποθέσεων. Στις εμφανίσεις του

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

φλύσχη αναπτύσσονται τοπικής σημασίας υδροφορίες, μικρής δυναμικότητας που καλύπτουν τοπικές υδρευτικές, αδρευτικές και κτηνοτροφικές ανάγκες.



Χάρτης 6 Υδρολιθολογικός Χάρτης Υδατικού Διαμερίσματος Ηπείρου (Σχέδιο Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος της Ηπείρου, 2013, ΦΕΚ Β 2292-17.09.2013) (Από Χρήστος Α. ΚΟΪΟΣ. 2014).

Οι Μελισσουργοί βρίσκονται σε υψόμετρο 900m στις πλαγιές των Τζουμέρκων στο ΒΑ άκρο του νομού της Άρτας. Η τωρινή μορφολογία των Μελισσουργών έχει επηρεαστεί από την απόθεση πρόσφατων κορημάτων τα οποία βρίσκονται σε μεγάλη έκταση μέσα στο χωριό. Η κλίση του φυσικού ανάγλυφου είναι σχετικά απότομη, και η φυτοκάληψη σχετικά πυκνή.

Το υδρογραφικό δίκτυο των Μελισσουργών αποτελούν οι ποταμοί Μελισσουργιώτικος, και Πραμαντιώτικος οι οποίοι διασχίζουν τους Μελισσουργούς και τα Πράμαντα αντίστοιχα. Τα νερά των 2 ποταμών συναντώνται Βόρεια του χωριού Πράμαντα σε μια περιοχή που ονομάζεται Μνήμα Λάμπρος και τα νερά του ποταμού που σχηματίζεται απορρέουν στον ποταμό Καλαρρίτικο.

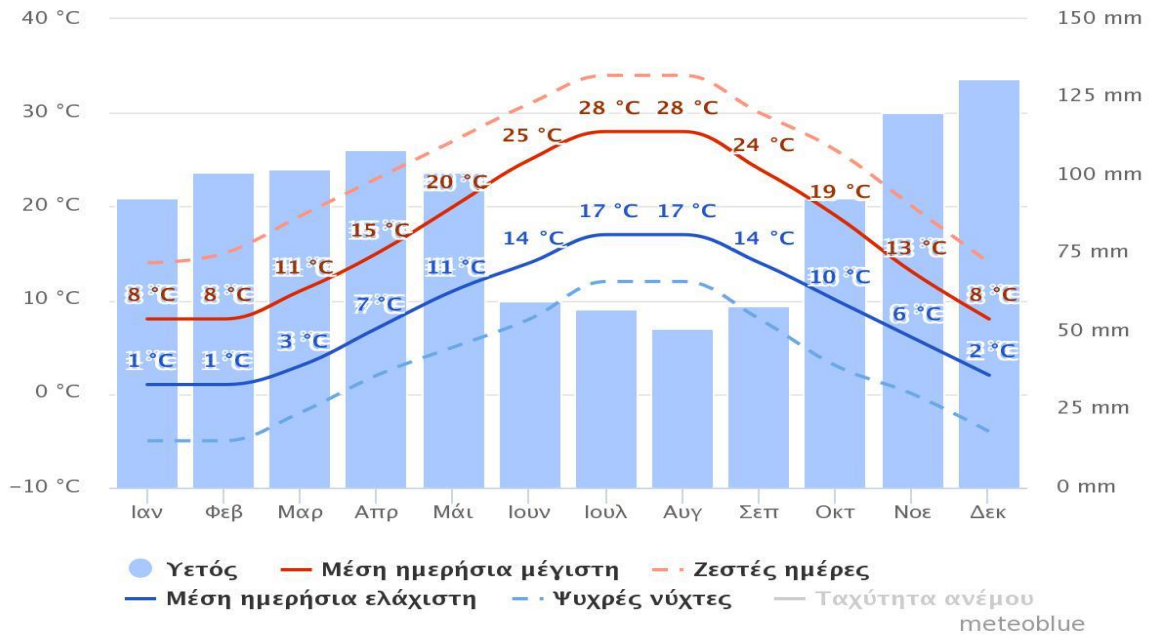
Η οικιστική ανάπτυξη είναι αραιή και αφορά μικρά χωριά και οικισμούς που βρίσκονται σε ακτίνα λίγων χιλιομέτρων από ήδη υπάρχουσες ενεργές κατολισθήσεις είτε από θεωρητικά μελλοντικές.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

4.2 Κλίμα

Το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται ως μεταβατικό, από μεσογειακό σε εύκρατο, διατηρώντας τα χαρακτηριστικά του πρώτου, κυρίως στα χαμηλά υψόμετρα και λιγότερο στις ορεινές περιοχές. Το κλίμα χαρακτηρίζεται από ψυχρό έως δριμύ χειμώνα, πλούσιο σε βροχές, και από ζεστό καλοκαίρι με αρκετές τοπικές βροχές. (σύμφωνα με το αρχείο του Meteoblue). Ακόμη παρατηρείται υψηλή νέφωση με τους παγετούς να εμφανίζονται από τον Οκτώβριο έως τον Μάϊο, ενώ σημειώνονται και ολικοί παγετοί. Όταν οι χειμώνες είναι αρκετά δριμείς, παρατηρείται σε πολλές περιπτώσεις πήξη των λιμνών της περιοχής. Συνεπώς κατά τη διάρκεια του χειμώνα, οι χιονοπτώσεις και οι βροχοπτώσεις είναι άφθονες, ενώ η θερμοκρασία φτάνει σε αρκετά χαμηλά επίπεδα, με αποτέλεσμα τη παρατεταμένη χιονοκάλυψη. Σε αντίθεση τα καλοκαίρια στην περιοχή είναι δροσερά, με τοπικές αλλά εξίσου σημαντικές βροχοπτώσεις.

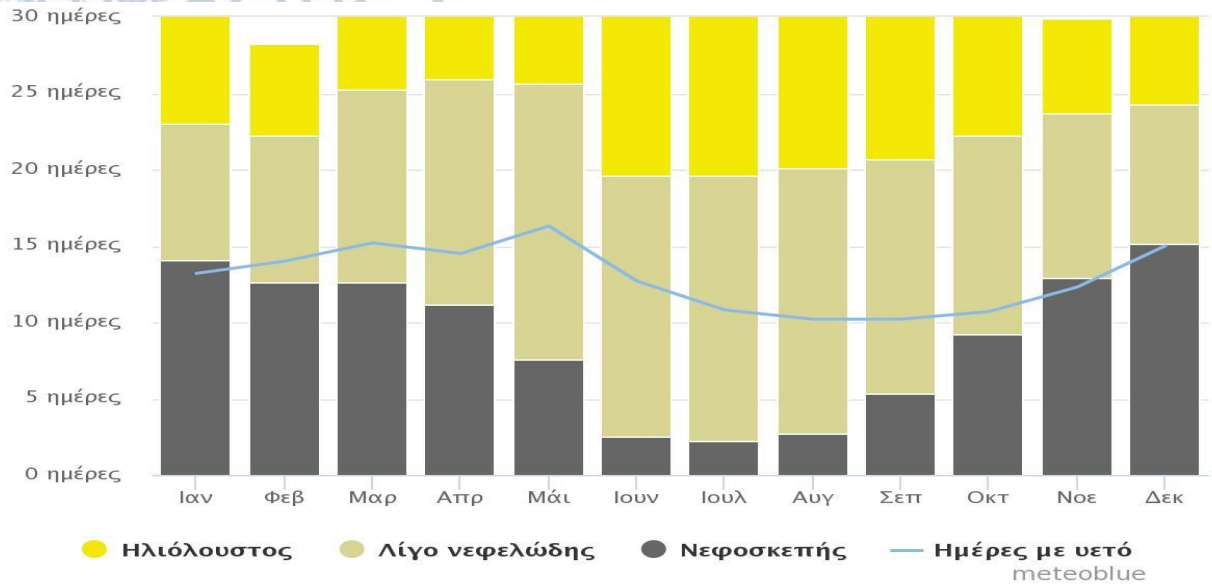


Διάγραμμα 1: Η «ημερήσια μέση μέγιστη" (συμπαγής κόκκινη γραμμή) δείχνει τη μέγιστη θερμοκρασία μιας μέσης ημέρας για κάθε μήνα στους Μελισσουργούς. Ομοίως, "ημερήσια μέση ελάχιστη" (συμπαγής μπλε γραμμή) δείχνει τη μέση ελάχιστη θερμοκρασία. Οι ζεστές ημέρες και κρύες νύχτες (διακεκομμένες κόκκινες και μπλε γραμμές) δείχνουν τον μέσο όρο της πιο ζεστής μέρας και πιο κρύας νύχτας του κάθε μήνα για τα τελευταία 30 χρόνια (Από www.meteoblue..gr).

Επομένως κατά μέσο όρο οι χαμηλότερες θερμοκρασίες σημειώνονται τους χειμερινούς μήνες (Δεκέμβριο, Ιανουάριο και Φεβρουάριο) με μέση θερμοκρασία 1-8ºC, ενώ η θερμοκρασία στη πιο κρύα νύχτα του χειμώνα έχει φτάσει μέχρι και – 6ºC κατά μέσο όρο στο βάθος των χρόνων για τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο. Αντίθετα οι μεγαλύτερες κατά μέσο όρο θερμοκρασίες στη περιοχή μελέτης σημειώνονται τους καλοκαιρινούς μήνες (Ιούλιο και Αύγουστο) με μέση θερμοκρασία να κυμαίνεται μεταξύ 17-28ºC, με τη πιο ζεστή ημέρα να φτάνει μέχρι και 33 ºC.

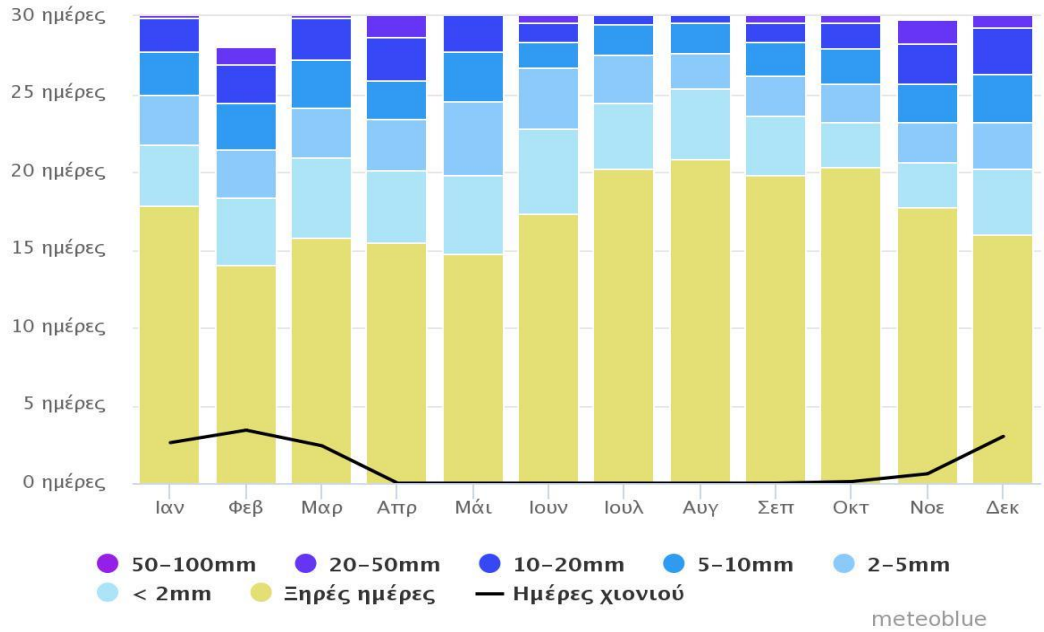
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Διάγραμμα 2: Το γράφημα δείχνει το μηνιαίο αριθμό ημερών με καιρό αίθριο, λίγο νεφελώδη, νεφοσκεπή και τις ημέρες με βροχή. Οι ημέρες με λιγότερο από 20% νεφοκάλυψη θεωρούνται ως αίθριες, με 20-80% νεφοκάλυψη ως νεφελώδεις και με περισσότερα από 80%, ως νεφοσκεπείς (Από www.meteoblue..gr).

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι του θερινούς μήνες η βροχόπτωση εμφανίζεται 10-13 μέρες ανά μήνα , ενώ τους χειμερινούς μήνες η κατείσδυση βροχής ανέρχεται σε 15-17 μέρες ανά μήνα. Συνεπώς πρόκειται για μια περιοχή στην οποία οι βροχοπτώσεις είναι συνεχείς, με αποτέλεσμα η τροφοδοσία των περατών πετρωμάτων με νερό να μη σταματάει ούτε τους θερινούς μήνες. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα είτε την δημιουργία ενός ενιαίου υδροφόρου μεγάλης δυναμικότητας είτε τη συνεχή τροφοδοσία των ανεξάρτητων μικρότερης δυναμικότητας υδροφόρων, που σε κάθε περίπτωση ευνοεί τις κατολισθήσεις.



Διάγραμμα 3: Το διάγραμμα αυτό δείχνει πόσες μέρες ανά μήνα, επιτυγχάνονται ορισμένα ποσά υετού (Από www.meteoblue..gr).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

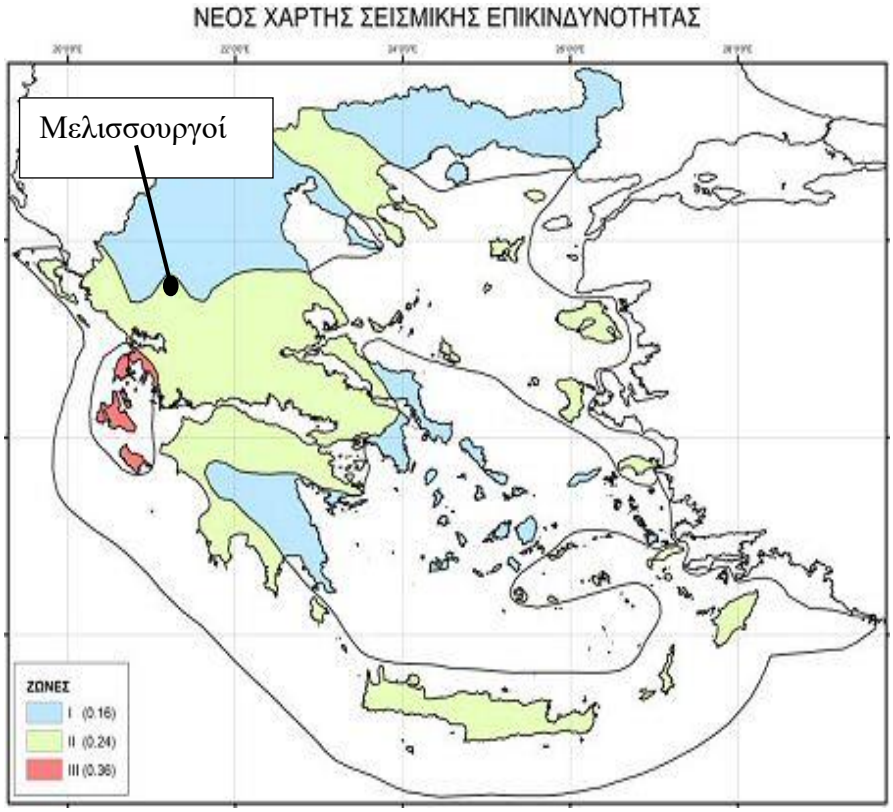
4.3 Σεισμικότητα

Σύμφωνα με την ισχύουσα τροποποίηση των διατάξεων του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (ΦΕΚ 1154Β',12-8-2003) η περιοχή της μελέτης εντάσσεται στη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας ΙΙ, με μέγιστη σεισμική επιτάχυνση εδάφους

$$A=\alpha \times g \qquad (1)$$

Όπου:
g: η επιτάχυνση της βαρύτητας
α: η ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας ΙΙ με τιμή α= 0.24
και 90% πιθανότητα μη υπέρβασης τα επόμενα 50 χρόνια (Χάρτης 8).

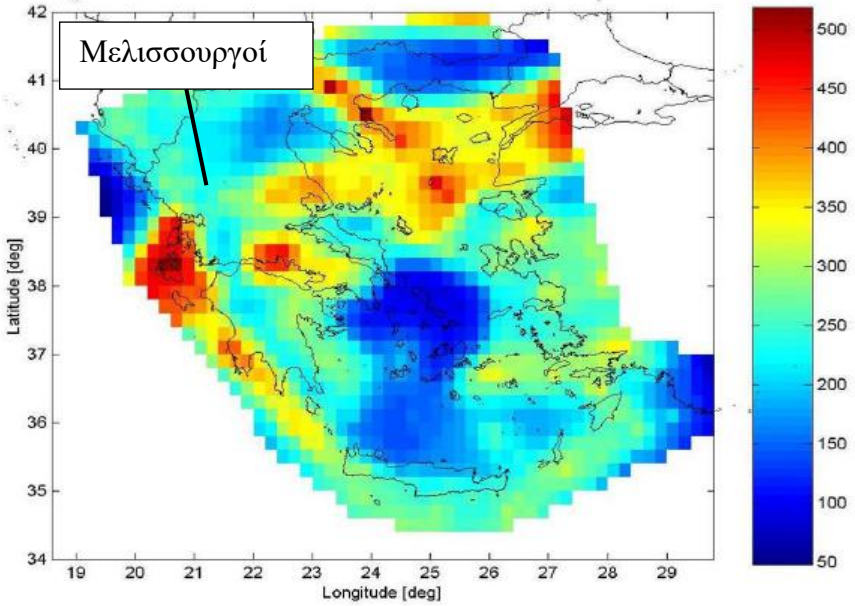
Συνεπώς σύμφωνα με τον τύπο (2) του κεφαλαίου 2.5 η οριζόντια σεισμική επιτάχυνση της περιοχής μελέτης είναι α_h= α= 0.24, ενώ η κατακόρυφη σεισμική επιτάχυνση είναι α_v= $\pm$0.50α = $\pm$ 0.12



Χάρτης 7:Ο.Α.Σ.Π., Υπουργείο υποδομών μεταφορών και δικτύων, Νέος Χάρτης Σεισμικής Επικινδυνότητας Ελλάδας 2003.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμ



Χάρτης 8 : Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης (cm/sec^2) με 90% πιθανότητα μη υπέρβασης τα επόμενα 50 χρόνια (Από Χρήστος Α. ΚΟΪΟΣ, 2014).

Στη 1 Μαΐου του 1967 και ώρα 07:09:02 GMT ένας ισχυρός σεισμός (M=6,4) έπληξε τους νομούς Άρτας και Ιωαννίνων. Προκλήθηκαν σοβαρά προβλήματα στους νομούς, με 940 συνολικές καταστροφές σπιτιών, 2.567 μη επισκευάσιμες βλάβες , 2.674 σοβαρές και 4.609 ελαφρότερες. Σύμφωνα με τις πληροφορίες του τύπου, 9 άνθρωποι σκοτώθηκαν και 56 τραυματίστηκαν. Οι μεγαλύτερες εντάσεις στο νομό Άρτας παρατηρήθηκαν στα χωριά: Δροσοπηγή (IX), Μελισσουργούς (VIII+), Θεοδώριανα, Αθαμάνιο και Τετράκωμο (VIII) ενώ στο νομό Ιωαννίνων στα χωριά: Περιστέρι (VIII), Μέτσοβο, Βαθύπεδο (VII+). (BGNOA, 1967). Πραγματοποιήθηκε προσεισμός (M=4,0) στις 25 Μαρτίου και ακολούθησαν πολλοί μετασεισμοί ο μεγαλύτερος των οποίων (M=5,3) έγινε την ίδια ημέρα στις 9:50 μετά τον κύριο σεισμό. Ο σεισμός αυτός ήταν επιφανειακός h=n (normal) αφού το εστιακό του βάθος ήταν μικρότερο των 60km (h<60km). Συγκεκριμένα το εστιακό βάθος μετρήθηκε 34km.

Το ρήγμα που έδωσε το σεισμό του 1967 ανήκει στη σεισμική ζώνη Αλβανίδες- Πίνδος που περιλαμβάνει κανονικά ρήγματα διεύθυνσης ΒΒΔ-ΝΝΑ, και βρίσκεται κατά μήκος της κορυφογραμμής των Αλβανίδων- Ελληνίδων οροσειρών. Τα ρήγματα αυτά οφείλονται σε εφελκυστικές δυνάμεις που ασκούνται κατά τη διεύθυνση Α-Δ (Papazachos et al., 1984) και είναι συνέπεια της ορογενετικής διαδικασίας που πραγματοποιείται στην περιοχή. Αυτό έχει άμεση σχέση με τη συμπίεση που ασκείται κατά μήκος της Ελληνικής τάφρου και των ανατολικών ακτών της Αδριατικής. Συγκεκριμένα πρόκειται το ρήγμα της Άρτας (κωδικός αριθμός : 4.1), σύμφωνα με τις βιβλιογραφικές αναφορές (Παπαζάχος και Παπαζάχου, 2003) και (Papazachos et al. 2001) είναι κανονικό. Το γεωγραφικό μήκος και πλάτος (φ, λ) του μέσου της τομής του ρήγματος με το οριζόντιο επίπεδο είναι φ= 39,43 και λ=21,23. Το μήκος του ρήγματος είναι 26 km, το αζιμούθιο ζ=11 , η κλίση θ=49° και η γωνία ολίσθησης λ=-87. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία το ρήγμα της Άρτας έχει δώσει μόνο ένα σεισμό, αυτόν του 1967

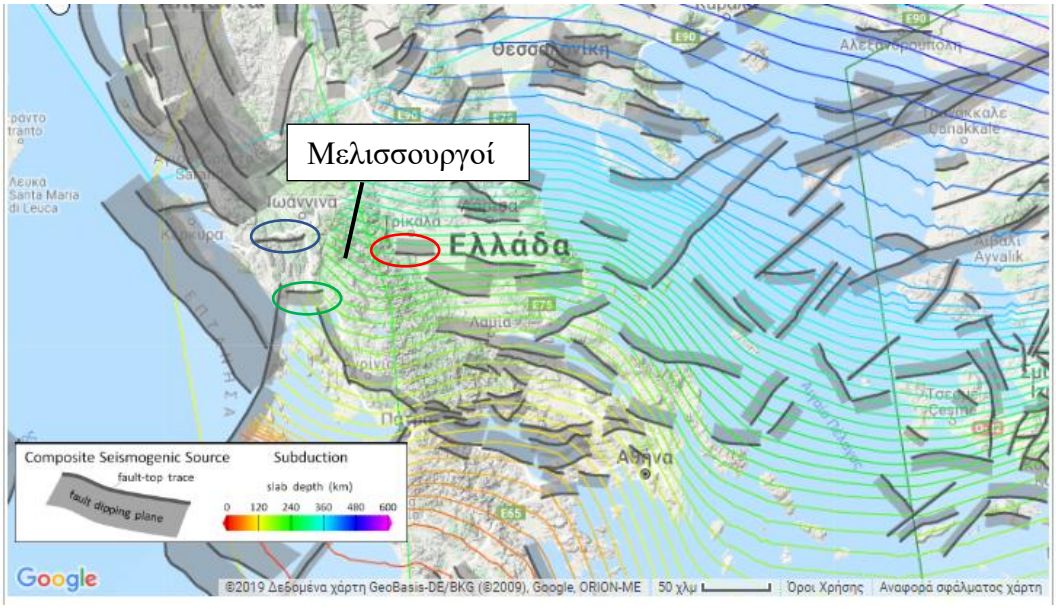
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

No	Όνομα	Φ	λ	L	ζ	θ	λ
4.1	Άρτας	39.43	24.23	26	11	49	-87

Πίνακας 7: Συνοπτικός πίνακας των στοιχείων του ρήγματος της Άρτας (Παπαζάχος και Παπαζάχου, 2003

Πραγματοποιήθηκε έρευνα για ύπαρξη ενεργών ρηγμάτων σε ακτίνα 30 km γύρω από τη περιοχή μελέτης, με σκοπό την εύρεση σεισμών από ρήγματα που θα μπορούσαν να επηρεάσουν άμεσα την περιοχή. Από την έρευνα αυτή προέκυψε ότι έχουν πραγματοποιηθεί 324 σεισμοί μεγέθους (ML. 4-7). Τα ρήγματα που έχουν δώσει αυτούς τους σεισμούς είναι το ρήγμα των Ιωάννινων (όπου είναι και αυτό με τη μεγαλύτερη κινητικότητα), το ρήγμα των Τρικάλων και τέλος το ρήγμα της Άρτας (Χάρτης 9)



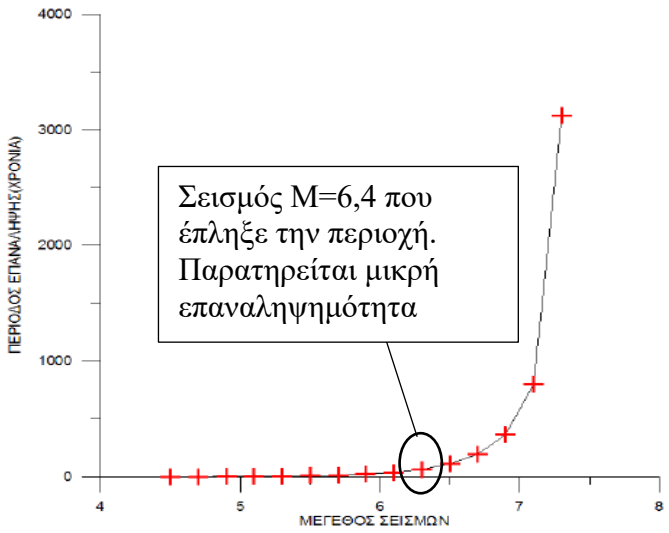
Χάρτης 9: Χάρτης που απεικονίζει τα ρήγματα που υπάρχουν σε ακτίνα 30 km από τη περιοχή μελέτης. Με μπλε είναι το ρήγμα των Ιωαννίνων, με κόκκινο των Τρικάλων και με πράσινο της Άρτας. (Από SHARE, http://diss.rm.ingv.it/share-edsf/)

Χρόνος Γένεσης (GMT)	Γεωγραφικό Πλάτος	Γεωγραφικό Μήκος	Βάθος (χμ)	Μέγεθος (ML)	Επίκεντρο	Απόσταση (χμ) από τους Μελισσουργούς (Γ.Πλ.:39.5096 Γ.Μήκ.:21.1441)
2008/06/30 13:40:10	39.39	20.85	55	4.1	28.0 χμ ΒΒΔ της Άρτας	28.5
2005/09/15 03:30:21	39.70	20.96	14	4.1	10.0 χμ ΑΒΑ των Ιωαννίνων	26.4
2005/04/26 23:13:53	39.30	21.14	26	4.1	20.4 χμ ΒΑ της Άρτας	23.3
1999/03/31 00:00:25	39.61	20.90	54	4.3	7.7 χμ ΝΝΑ των Ιωαννίνων	23.7
1989/09/19 07:57:07	39.48	21.36	1	4.5	35.9 χμ ΔΝΔ των Τρικάλων	18.8

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

1972/04/11 11:12:11	39.40	21.40	10	4.0	36.0 χμ ΔΝΔ των Τρικάλων	25.1
1970/01/31 01:26:44	39.40	21.00	10	4.0	26.7 χμ Β της Άρτας	17.4
1969/10/16 22:55:40	39.50	20.90	10	4.0	19.1 χμ ΝΝΑ των Ιωαννίνων	21.0
1967/06/12 18:12:38	39.30	21.20	10	4.1	24.1 χμ ΒΑ της Άρτας	23.8
1967/05/05 20:18:27	39.70	20.90	10	4.0	5.5 χμ ΒΑ των Ιωαννίνων	29.8
1967/05/04 03:18:25	39.75	21.00	10	4.0	15.7 χμ ΒΑ των Ιωαννίνων	29.4
1967/05/01 09:50:00	39.70	20.90	10	5.0	5.5 χμ ΒΑ των Ιωαννίνων	29.8



Διάγραμμα 4: Περίοδος επανάληψης των διαφορετικών σεισμικών μεγεθών της Ζώνης ΙΙ

4.4 Γεωλογία ευρύτερης περιοχής

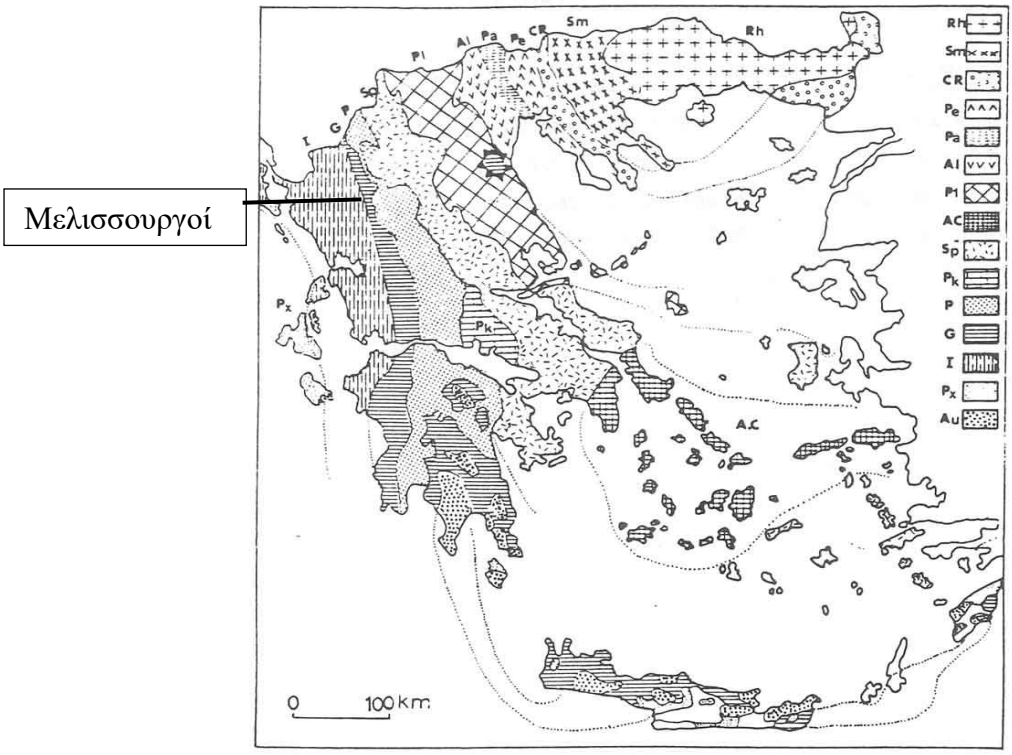
Σύμφωνα με το γεωλογικό πλαίσιο στη γεωτεκτονική δομή της Ηπείρου συμμετέχουν:

1. Οι σχηματισμοί της Μεσοελληνικής αύλακας, όπου συναντώνται στην υπολεκάνη του Σαραντάπορου με ψαμμίτες, κροκαλοπαγή και μάργες
2. Το οφειολιθικό σύμπλεγμα στο Β και Α τμήμα της λεκάνης Αώου
3. Η ζώνη της Πίνδου στα Αθαμάνια όρη (Τζουμέρκα), που εμφανίζεται επωθημένη στο φλυσχικό σύγκλινο του Αράχθου της Ιόνιας ζώνης.
4. Η ζώνη Γαβρόβου- Τριπόλεως, στο ΝΑ τμήμα των βουνών του Βάλτου
5. Και τέλος η Ιόνιος ζώνη, η οποία καταλαμβάνει το μεγαλύτερο τμήμα της Ηπείρου και συναντάται Α από τον Άραχθο και τον όρο Τύμφη έως και Δ στις ακτές του Ιονίου.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Οι γεωτεκτονικές ζώνες από τις οποίες δομείται η περιοχή Τζουμέρκων και ιδιαίτερα η περιοχή μελέτης, Μελισσουργοί, ανήκουν στην Ιόνιο ζώνη και στη ζώνη Ωλονού – Πίνδου.



Χάρτης 10: Γεωτεκτονικές ενότητες ΕλλάδαςRh: Μάζα της Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιροδοπική ζώνη, (Pe: Ζώνη Παιανίας, Pa: Ζώνη Πάικου, Al: Ζώνη Αλμωπίας) = Ζώνη Αξιού, PI: Πελαγονική ζώνη, Ac: Αττικό-Κυκλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Pk: Ζώνη Παρνασσού - Γκιώνας, P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόβου - Τρίπολης, I: Ιόνιος ζώνη, Px: Ζώνη Παξών ή Προαπούλια, Au: Ενότητα "Ταλέα όρη - πλακώδεις ασβεστόλιθοι" πιθανόν της Ιονίου ζώνης.. (Κατά Mountrakis et al. 1983)

<u>Ζώνη Ωλονού -Πίνδου</u>

Λιθοστρωματογραφική εξέλιξη

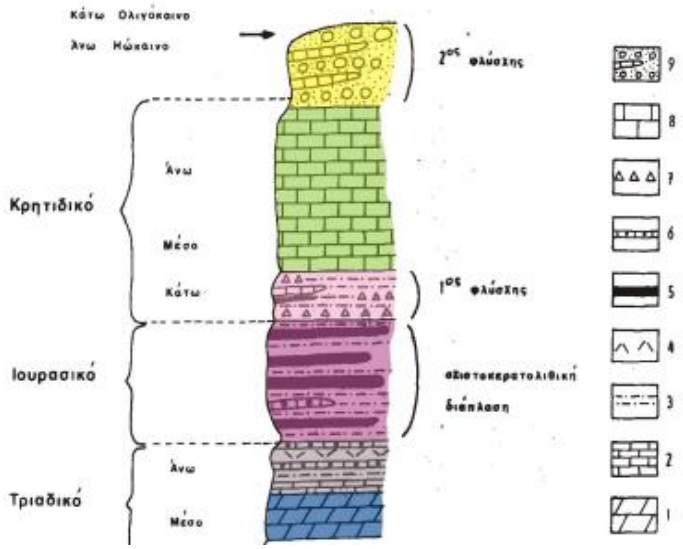
Γενικά τα πρώτα αλπικά ιζήματα σε όλη την έκταση της ζώνης Πίνδου, είναι ψαμμίτες, πυριτόλιθοι μάργες και ασβεστόλιθοι. Αυτά συνιστούν μία κλαστική ιζηματογένεση και είναι ηλικίας Μέσου- Άνω Τριαδικού. Η κλαστική ιζηματογέννεση εξελίσσεται προς το Άνω Τριαδικό σε ασβεστιτικούς τουρβιδίτες Καρνίου, ασβεστόλιθος με παρεμβολές κερατόλιθων καθώς και ηφαίστειοϊζηματογενή υλικά με ανδεσίτες, τόφφους και ορισμένες φορές βασάλτες. Σε όλη τη διάρκεια τοι Ιουρασικού γινόταν συνεχής απόθεση των ιζημάτων της βαθιάς θάλασσας (ραδιολαριτικούς κερατόλιθους, αργίλους, ψαμμίτες, πελαγικούς πυριτικούς ασβεστόλιθους και ιασπίδες) που συνιστούν τη γνωστή σχιστοκερατολιθική διάπλαση (πάχος διάπλασης περίπου 150-200m). Αυτή εξελίσσεται προς τα πάνω σε μία σειρά ρυθμιστικών εναλλαγών από πελίτες, ψαμμίτες, μάργες, ραδιολαρίτες και πελαγικούς και λατυποπαγείς ασβεστόλιθους που θυμίζει συμπεριφορά φλύσχη, και συγκεκριμένα του 1^{ου} Φλύσχη ηλικίας Κάτω Κρητιδικού. Στην ίδια χρονική περίοδο συνεχίστηκε η ιζηματογένεση χωρίς καμία διακοπή και χωρίς ασυμφωνία, με απόθεση πελαγικών

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

πλακωδών ασβεστόλιθων, με ενστρώσεις πυριτικές και αργιλικές ασβεστιτικών τουρβιδιτών και μαργών με πάχος 500 m.

Στα τέλη του Κρητικού η ιζηματογένεση γίνεται περισσότερο ασβέστομαργαϊκή μεταβατική προς το φλύσχη (2ος Φλύσχης της Πίνδου) η απόθεση του οποίου από το Δάνιο σχετίζεται στο Τριτογενές μέχρι τον Άνω Ηώκαινο και χαρακτηρίζεται από ρυθμικές εναλλαγές ψαμμιτών και μαργών και σπανιότερα κροκαλοπαγών και ασβεστόλιθων. Έτσι τελειοποιήθηκε η Αλπική ιζηματογένεση στη ζώνη Πίνδου και διαμορφώθηκε η δομή που εμφανίζεται στη λιθοστρωματογραφική στήλη.



Εικόνα 19: Λιθοστρωματογραφική στήλη αντιπροσωπευτική της ζώνης Ωλονού – Πίνδου. 1: δολομίτες. 2: πλακώδεις ασβεστόλιθοι, 3: αργιλοψαμμίτες, 4: ηφαιστειοϊζηματογενή υλικά, 5: κερατόλιθοι, 6: ασβεστόλιθοι με πυριτικές ενστρώσεις, 7: λατυποπαγή, 8: ανωκρητιδικοί ασβεστόλιθοι, 9:σχηματισμός φλύσχη, Τριτογενούς. (Moudrakis, 2010)

Ιόνιος Ζώνη

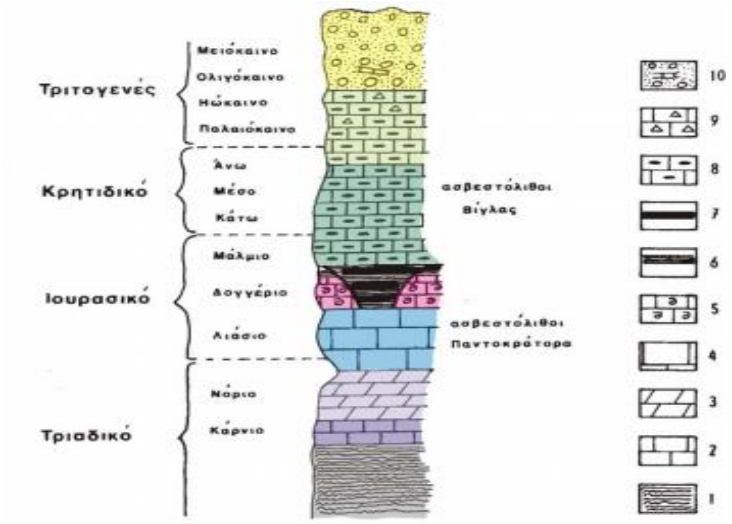
Λιθοστρωματογραφική εξέλιξη.

Η Ιόνιος ζώνη συγκροτείται αποκλειστικά από Αλπικά ιζηματογενή πετρώματα και χαρακτηρίζεται ως ηπειρωτική λεκάνη με ημιπελαγική και πελαγική ιζηματογένεση. Στα πρώτα αλπικά ιζήματα της ζώνης περιλαμβάνεται η Εβαποριτική σειρά, με εμφανίσει κοιτασμάτων γύψου και ανυδρίτη, κυρίως κατά μήκος των μεγάλων ρηγμάτων και εφιππεύσεων. Η ηλικία υπολογίζεται Περμοτριαδική ενώ αναφέρονται και ορισμένες παρεμβολές αυτών μέσα σε ασβεστόλιθους του Κάτω Λιασίου. Στη σειρά αυτή εμπεριέχονται ακόμη δολομίτες και ασβεστολιθικά λατυποπαγή του Κάτω έως Μέσου Τριαδικού. Πάνω στους εβαπορίτες αποτίθενται οι νηριτικοί ασβεστόλιθοι του Α Τριαδικού, δηλαδή οι μαύροι ασβεστολιθοι με απολιθώματα Megalodon, δολομίτες, ασβεστολιθικά λατυποπαγή και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι. Στη συνέχεια αποτίθενται ασβεστόλιθοι του Κάτω Μέσου Λιασίου (Κάτω Ιουρασικό) με πάχος γύρω στα 600m. Στο Άνω Λιάσιο αρχίζει ο σχηματισμός της ημιπελαγικής λεκάνης της Ιονίου ζώνης με βύθιση του χώρου με κανονικά ρήγματα.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Έπειτα ακολούθησε ο τεμαχισμός της Ιουνίου λεκάνης σε μικρές επιμέρους λεκάνες. Στο Α. Ιουρασικό γίνεται η βύθιση της Ιονίου λεκάνης και αρχίζει η απόθεση πελαγικών ασβεστόλιθων με κερατολιθικές ενστρώσεις που διαρκεί μέχρι το τέλος του Ηωκαίνου κατά την έναρξη της απόθεσης του φλύσχη. Οι ασβεστόλιθοι αυτοί είναι οι ασβεστόλιθοι Βίγλας, πάχους 2-30cm, συνήθως λευκοί ή τεφροί και για αποθεσή τους κράτησε μέχρι το Τιθώνιο και όλο το Κρητιδικό. Τέλος αποτίθεται ο φλύσχης που χαρακτηρίζεται από εναλλαγές ιλυωδών μαργών και μεσόκοκκων έως χονδρόκοκκων ψαμμιτών στο Άνω Ηώκαινο – Ακουϊτάνιο. Το πάχος του είναι τόσο μεγάλο που σε μεγάλα σύγκλινα υπερβαίνει τα 3000 μ.

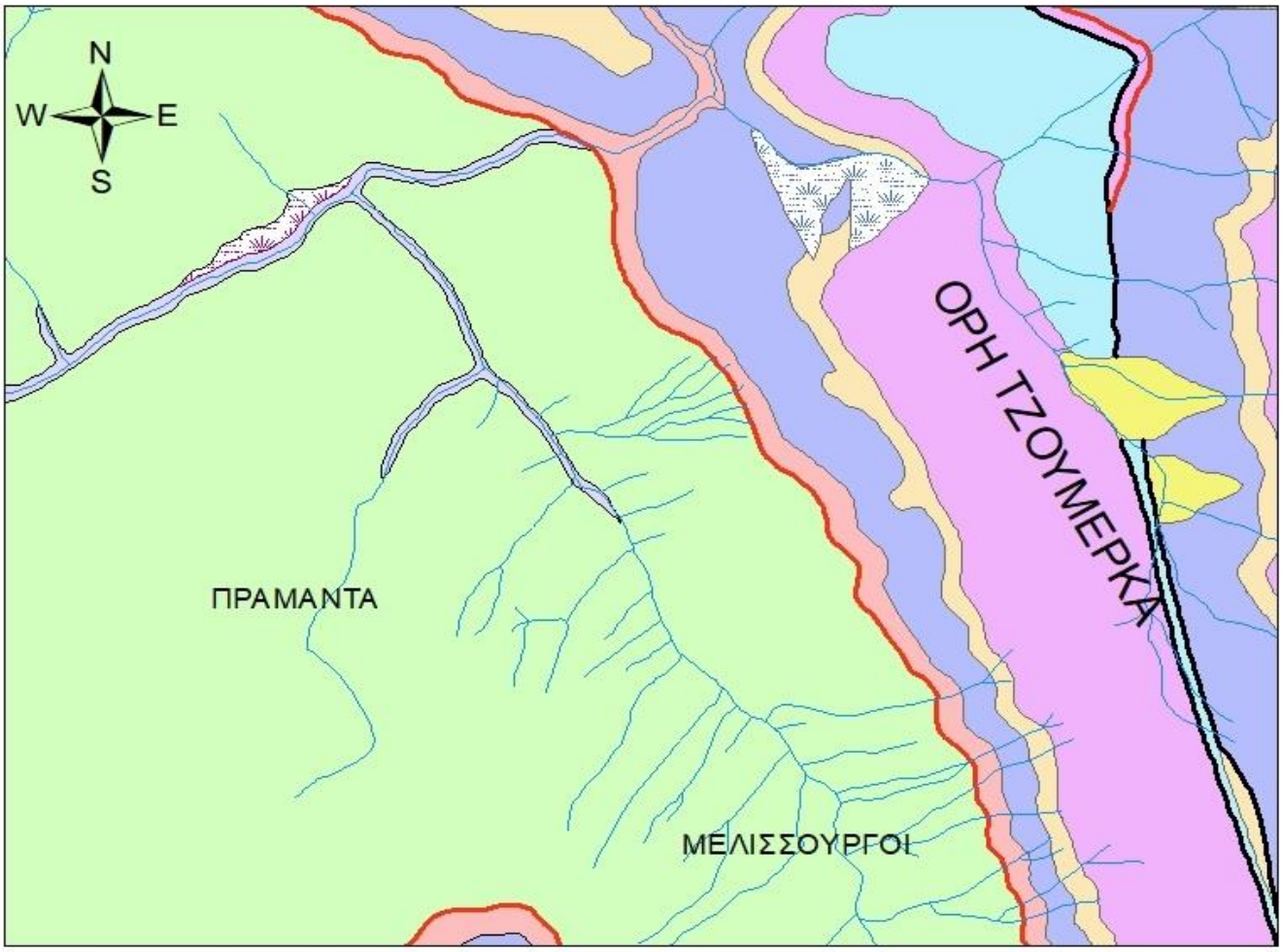


Εικόνα 20 : Λιθοστρωματογραφική στήλη της Ιουνίου ζώνης . ς. 1: γύψος, 2: μαύροι ασβεστόλιθοι, 3: δολομίτες, 4:ασβεστόλιθοι νηριτικοί «Παντοκράτορα», 5: ασβεστόλιθοι του Ammonitico rosso, 6: σχιστό-λιθοι με Posidonomyes, 7:κερατόλιθοι, 8: ασβεστόλιθοι πελαγικοί «Βίγλας», 9:ασβεστόλιθοι ημιπελαγικοί Ηωκαίνου, 10: φλύσχης. (Moudrakis, 2010)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

ΦΥΛΛΟ ΠΡΑΜΑΝΤΑ



0 400800 1.600 2.400 3.200 Meters

1:50.000

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- Αλλουβιακές αποθέσεις
- Πρόσφατα Κορήματα
- Παλιά Κορήματα
- Νεότερες Παγετώδεις αποθέσεις- Βούρμιο

ΣΕΙΡΑ ΠΙΝΔΟΥ

- Φλύσχης- Μαιστρίχτιο- Ηώκαινο
- Πελαγικοί Ασβεστόλιθοι- Άνω Κρητιδικό
- Μετάβαση από Ασβεστόλιθο σε Φλύσχη Πίνδου - Κάτω Κρητιδικό
- Κερατόλιθοι Ιουρασικό- Κάτω Κρητιδικό
- Ασβεστόλιθοι- Άνω Τριαδικού

ΖΩΝΗ ΙΟΝΙΟΥ

- Φλύσχης Ιονίου

- ΚΑΝΟΝΙΚΟ ΡΗΓΜΑ
- ΕΠΩΘΗΣΗ
- ΠΟΤΑΜΙΑ

Χάρτης 11:. Τροποποιημένος χάρτης από φύλλο Πράμαντα του ΙΓΜΕ (1957)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

4.5 Γεωλογία της περιοχής έρευνας

Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται οι γεωλογικές συνθήκες που αφορούν την αποτύπωση γεωλογικών και τεκτονικών δομών όπως ακριβώς παρατηρήθηκαν στην ύπαιθρο καθώς και την υδρογεωλογία της περιοχής μελέτης

Η χαρτογράφηση και η απόδοση της λιθολογίας έγινε σε 2 κλίμακες. Όλη η περιοχή της μελέτης όπου και απεικονίζεται η κατολίσθηση πραγματοποιήθηκε σε κλίμακα 1:6.000, και περιλαμβάνει τη λιθολογία μετά από προσωπική χαρτογράφηση. Ακόμη παρατίθεται ο γεωλογικός χάρτης του ΙΓΜΕ, Φύλλο Πράμαντα, όπως είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο (Χάρτης 12), επεξεργασμένος με το πρόγραμμα ArcGIS, για την καλύτερη κατανόηση της γεωλογίας της ευρύτερης περιοχής. Ο χάρτης αυτός παρουσιάζει μία απόκλιση σε σχέση με την προσωπική μου παρατήρηση στην ύπαιθρο, καθώς απεικονίζει την επώθηση της Πίνδου στο ΝΔ σημείο του χάρτη λίγα μέτρα πιο Δ από την πραγματικότητα. Οι αναφορές που θα γίνονται για την περιοχή μελέτης από εδώ και στο εξής, γίνονται σε κλίμακα 1:6.000, ενώ οι αναφορές σε σημεία θα παραπέμπουν στον ακόλουθο χάρτη .

Χάρτης 12: Τροποποιημένος χάρτης του Google earth. Τα σημεία που απεικονίζονται είναι τα σημεία της τεχνικογεωλογικής αξιολόγισης.

Τα υλικά της περιοχής όπως προαναφέρθηκε ανήκουν κυρίως στην Ιόνιο ζώνη αλλά συναντώνται και υλικά της Πίνδου. Έτσι ο διαχωρισμός των γεωυλικών με βάση ην προσωπική παρατήρηση έγινε σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

Γεωλογικός Σχηματισμός		Σύσταση	Θέση Εμφάνισης- Μορφή	
			Υγιής Μορφή	Κερματισμός-Αποσάθρωση
Φλύσχης		90:10 ψαμμίτης:ιλυόλιθος	Θέση 7,8,9. Μικρή αποσάθρωση στην επιφάνεια των ασυνεχειών	Καταλαμβάνεις μεγάλη έκταση. Πλήρως αποσαθρωμένη ζώνη μέσα σε ζώνες πιθανών κατολισθήσεων
Ασβεστόλιθος		Ασβεστολιθική	-	Θέση 2. Εμφανίζεται κατακερματισμένος-αποδιοργανομένος.
Σύγχρονες Αποθέσεις	Μανδύας Αποσάθρωσης	Ιλυολιθική και αργιλική, με ψαμμιτικές λατύπες	Καλύπτει τη μεγαλύτερη έκταση της περιοχής επιφανειακά (Στο 1^{ο} ενδεχόμενο βλ. κεφάλαιο 5).	
	Κορήματα	Ασβεστολιθική, Κερατολιθική και Ψαμμιτική		
	Αποθέσεις μεταφοράς από ρέμα	Κυρίως Ασβεστολιθική		
Πιθανά Υλικά Κατολίσθησης		Ανομοιομορφία φλυσχικών υλικών, σύγχρονων αποθέσεων και κορημάτων	Καλύπτει τη μεγαλύτερη έκταση της περιοχής επιφανειακά (Στο 2^{ο} και 3^{ο} ενδεχόμενο βλ. κεφάλαιο 5).	
Υλικά καταπτώσεων		Ασβεστολιθική, Κερατολιθική	Θέση 4	

Φλύσχης: Ο φλύσχης της περιοχής μελέτης ανήκει στην Ιόνιο ζώνη και αποτελείται κυρίως από στρώματα ψαμμιτικών υλικών με πολύ μικρές ενστρώσεις ιλυολίθων ανά περιοχή. Η συνολική ποσοστιαία αναλογία της ψαμμιτικής σε σχέση με την ιλυολιθική λιθόφαση είναι περίπου 90:10 (κυμαίνεται μεταξύ 80:20 και 90:10). Οι πάγκοι των ψαμμιτών είναι μεγέθους <1m και το χρώμα τους θα χαρακτηρίζονταν τεφρό έως υποκίτρινο στις θέσεις όπου η αποσάθρωση είναι μεγαλύτερη. Επιφανειακά σε μεγάλη έκταση μέσα στις ζώνες πιθανών κατολισθήσεων, παρουσιάζει αποσαθρωμένη ζώνη που θυμίζει έδαφος με διάσπαρτα χαλίκια ψαμμιτών. Στις πιο υγιής εμφανίσεις του φλύσχη στα σημεία 7, 8 και 9, ο ψαμμίτης εμφανίζεται πιο τεφρός ενώ σε κάποια σημεία υποκίτρινος λόγω προχώρησης της αποσάθρωσης σε μικρή έκταση στο σώμα του ψαμμίτη. Οι ιλυόλιθοι που υπάρχουν σε μικρή ποσότητα, εμφανίζονται λεπτοστρωματώδεις και αρκετά αποσαθρωμένοι ανάμεσα στις εμφανίσεις του ψαμμίτη (Εικόνα 21).

Μπορούμε να υποθέσουμε ότι στο σημείο 2 στο ΝΔ τμήμα, εμφανίζεται πλήρως αποσαθρωμένη ζώνη φλύσχη, η οποία μπορεί να χαρακτηρισθεί ως έδαφος. Η αποσάθρωση σε αυτή τη θέση οφείλεται κατά κύριο λόγο στην επαφή του Φλύσχη με τον επώθηση της Πίνδου. Αυτή η ζώνη διάτμησης είναι υπεύθυνη για τον κερματισμό των υλικών και την αποσάθρωσή τους, που επιτυγχάνεται από τη ροή νερού μέσα από αυτή τη ζώνη διάτμησης. Επειδή όμως δεν είμαστε σίγουροι πως αυτή η εμφάνιση είναι φλυσχικά υλικά και όχι κορηματικά θεωρούμε πως η τεκτονική επαφή του φλύσχη και

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

του ασβεστόλιθου της Πίνδου έχει καλυφθεί από σύγχρονες αποθέσεις και δεν εντοπίζεται στο σημείο 2 επιφανειακά.

Στο σώμα της κατολίσθησης ο φλύσχης στα περισσότερα σημεία εμφανίζεται πλήρως αποσαθρωμένος και ανακατεμένος με κορήματα.

Εικόνα 21: Φλύσχης που εμφανίζεται στο σημείο 7.

Εικόνα 22: Πιθανή αποσαθρωμένη ζώνη φλύσχη στο σημείο 2

<u>*Ασβεστόλιθοι:*</u> Οι ασβεστόλιθοι που συναντώνται στην περιοχή είναι οι Πελαγικοί ασβεστόλιθοι της Πίνδου ηλικίας Άνω Τριαδικού. Οι ασβεστόλιθοι αυτοί κυρίως δεν εμφανίζουν δομή, εκτός από ένα σημείο στο οποίο εμφανίζουν λεπτοστρωματώδη δομή τάξεως περίπου 10cm και χαρακτηριστικό υπόλευκο έως γκρίζο χρώμα, ενώ παρατηρούνται συχνές κερατολιθικές ενστρώσεις. Στο σημείο 2 που εμφανίζονται οι Πελαγικοί Ασβεστόλιθοι, είναι κατακερματισμένοι με δομή αποδιοργανωμένη, η οποία οφείλεται στην επώθηση τους επάνω στο Φλύσχη της Ιονίου ((Εικόνα 24). Σε κάποια σημεία η δομή τος εμφανίζεται πιο συμπαγής, χωρίς όμως αυτή να επηρεάζει τη συνολική αποδιοργανωμένη εικόνα του ασβεστόλιθου (Εικόνα 23). Το χρώμα τους σε ορισμένα σημεία είναι υποκίτρινα λόγω αποσάθρωσης.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογ
Α.Π.Θ

Εικόνα 23 Πιο συμπαγής δομή του ασβεστόλιθου στο Σημείο 2β

Εικόνα 24: Πλήρως αποδομημένοι και κατακερματισμένοι ασβεστόλιθοι.

<u>Σύγχρονες αποθέσεις:</u> Οι αποθέσεις αυτές καταλαμβάνουν τη μεγαλύτερη έκταση της περιοχής (Περίπτωση 1 κεφ. 6), ενώ εμφανίζονται σε πάχος περίπου 5m. Πρόκειται για χαλαρά έως μέτρια συνεκτικά εδαφικά υλικά στα οποία συμπεριλαμβάνεται ο μανδύας αποσάθρωσης, τα κορήματα και οι αποθέσεις από το ρέμα μέσα στους Μελισσουργούς. Τα υλικά του μανδύα αποσάθρωσης είναι ποικίλης προέλευσης κυρίως ιλυολιθικά και αργιλικά κιτρινοκάστανου χρώμματος, με την συμμετοχή ψαμμιτικών λατύπων και ριζικών συστημάτων φυτών.

Τα κορήματα είναι κυρίως ασβεστολιθικά με εμφανίσεις κερατόλιθων καθώς και ψαμμιτικά και προέρχονται από την αποσάθρωση των γύρω βραχωδών σχηματισμών μετά από μετακίνηση και κύλιση. Τα κορήματα αυτά βρίσκονται σε όλη την έκταση της πιθανής κατολίσθησης.

Κατά μήκος του ρέματος έχουν αποτεθεί ασβεστολιθικά κορήματα μεταφοράς (ασβεστολιθικές λατύπες) που αποτέθηκαν εκεί μετά από μετακίνηση και κύλιση εξαιτίας της κίνησης του ρέματος

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

Εικόνα 25: Επαφή κορημάτων με τον Φλύσχη της Ιονίου. Η Θέση αυτή βρίσκεται στο σημείο 8

Εικόνα 27 : Εμφάνιση κορημάτων στη θέση 7

Εικόνα 26: Ασβεστιτικά κορήματα στη Θέση 5

<u>Πιθανά Υλικά κατολισθήσεων (θα εξεταστούν ως πιθανότητες ύπαρξης παρακάτω) :</u> Εντοπίζονται σε μεγάλη έκταση και αποτελούν προϊόντα εκτεταμένων κατολισθήσεων. Χαρακτηρίζονται από έντονη ανομοιομορφία φλυσχικών υλικών, σύγχρονών

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

αποθέσεων- κορημάτων και μεγάλης έκτασης ολισθημένων τεμαχών φλύσχη και ασβεστόλιθου. (εξετάζονται ως ενδεχόμενα στο επόμενο κεφάλαιο).

Υλικά καταπτώσεων: Ασβεστολιθικοί όγκοι και μεγάλα βραχώδη τεμάχη που προέρχονται από καταπτώσεις και ολισθήσεις υπερκείμενων μεγαλύτερων υψομετρικά σημείων ασβεστολιθικών εμφανίσεων. Τα τεμάχη αυτά είναι κυρίως ασβεστολιθικής σύστασης με αραιές ενστρώσεις κερατόλιθων. Οι όγκοι αυτοί παρατηρήθηκαν και κατά μήκος του δρόμου με μεγέθη να φτάνουν τα 2m (Εικόνα 28).

Εικόνα 28: Στα αριστερά παρατηρούμε ένα Μπλοκ αποσαθρωμένου Ασβεστόλιθου μεγέθους περίπου 2m κατά μήκος του δρόμου στο σημείο 3β. Στα δεξιά παρατηρούμε Μπλοκ Ασβεστόλιθου με Κερατόλιθο, μεγέθους μεγαλύτερο από 2m κατά μήκος του δρόμου στο σημείο 4.

4.5.1 Δομή- Τεκτονική της περιοχής μελέτης

Οι τιμές που θα δοθούν παρακάτω είναι κατά προσέγγιση καθώς δεν έχουν χρησιμοποιηθεί τα κατάλληλα εργαλεία π.χ. πυξίδα, διότι δεν αποτελούν σκοπό της συγκεκριμένης διπλωματικής.

Στρώση και Ασυνέχειες

Η στρώση αποτελεί την κύρια ασυνέχεια των σχηματισμών και είναι η πιο συχνή ασυνέχεια που συναντάται στην ύπαιθρο. Οι κλίσεις κυμαίνονται από 10°-30°, ενώ πρόκειται για στρώματα τα οποία δεν παρουσιάζουν πτυχώσεις αφού οι Ασβεστόλιθοι

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

της Πίνδου εμφανίζονται σε πολύ μικρή έκταση και ο Φλύσχης της Ιονίου εμφανίζεται συνήθως σε τεράστια αντίκλινα. Πιο συγκεκριμένα ο Ασβεστόλιθος της Πίνδου εμφανίζεται στη θέση 2, δυτικά του χωριού των Μελισσουργών σε ένα πρανές που κλείνει 80° Α-ΒΑ. Ο Ασβεστόλιθος στο συγκεκριμένο σημείο εμφανίζεται ως αποδομημένος, γεγονός που οδηγεί στην εξαφάνιση της στρώσης. Παρόλα αυτά σε ένα σημείο της θέση 2 εμφανίζεται ένας λιγότερο αποδομημένος Ασβεστόλιθος με διακριτή στρώση με κλίση περίπου 10°-20° ΒΔ-ΝΑ. Στη θέση αυτή εμφανίζονται άλλες 2 ασυνέχειες, J1 με κλίση περίπου 80° ΒΑ και J2 με κλίση περίπου 70° ΒΒΑ.
Ως αναφορά τον Φλύσχη της Ιονίου στα αμιγώς ιλυολιθικά στρώματα οι στρώσεις παρουσιάζουν απόσταση που κυμαίνεται <1m. Η εμφάνιση του ιλυόλιθου γίνεται σε πάρα πολύ λεπτά στρώματα με αποσαθρωμένες επιφάνειες . Στα αμιγώς ψαμμιτικά στρώματα οι στρώσεις παρουσιάζουν απόσταση που κυμαίνεται από 0.2-1 cm ενώ διακρίνονται άλλες 2 τουλάχιστον ασυνέχειες.

Ρήγματα και Ζώνες Τεκτονισμού

Το κυριότερο ρήγμα της περιοχής είναι η επώθηση της Πίνδου Δ του χωριού των Μελισσουργών και συγκεκριμένα στη Θέση 2. Το επωθημένο τεκτονικό κάλυμμα της Πίνδου εμφανίζεται επωθημένο πάνω στην Ιόνιο ζώνη, υπερκαλύπτοντας της ζώνη Γαβρόβου- Τριπόλεως. Το συγκεκριμένο ρήγμα δεν είναι ορατό στο χωρίο των Μελισσουργών (στην περιοχή που χαρτογραφήθηκε). Στο σημείο 2 όπου εμφανίζονται οι Πελαγικοί Ασβεστόλιθοι της Πίνδου, θα έπρεπε να παρατηρείται επιφανειακά η επώθηση της Πίνδου επάνω στην Ιόνιο ζώνη, γεγονός που δεν πραγματοποιείται καθώς η επώθηση φαίνεται να καλύπτεται από σύγχρονες αποθέσεις. Τέλος μέσα στο χωρίο σε κλίμακα 1:5.000 δεν εμφανίζονται σύμφωνα με το φύλλο Πράμαντα του ΙΓΜΕ άλλα ρήγματα. Το γεγονός αυτό δεν θα μπορούσε να επαληθευτεί σύμφωνα με την προσωπική χαρτογράφηση καθώς το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης καλύπτεται είτε με σύγχρονες αποθέσεις ή με υλικά πιθανής παλιάς κατολίσθησης όπως θα δούμε στη συνέχεια.

4.5.2 Υδρογεωλογικές συνθήκες

Στον Φλύσχη της Ιονίου η υδροπερατότητα περιορίζεται αρκετά σε σχέση με την υδροπερατότητα που παρουσιάζει ο Φλύσχης της Πίνδου και του Γαββρόβου και αυτό οφείλεται στη συγκεκριμένη περίπτωση στη μικρότερη τεκτονική καταπόνηση που έχει υποστεί ο φλύσχης της Ιονίου σε σχέση με αυτή των άλλων ζωνών. Οι υδρογεωλογικές συνθήκες που διαμορφώνουν την περιοχή είναι σύνθετες και εκτιμάται ότι επηρεάζονται από τους εξής παράγοντες;

1. Την λιθολογική σύσταση των υλικών της πιθανής κοτολισθείσας μάζας (φλύσχης), όπου κατά κύριο λόγο χαρακτηρίζεται από εναλλαγές σχετικά αδιαπέρατων ιλυολίθων σε πολύ μικρή ποσότητα με σχετικά περατών ψαμμιτών ανακατεμένα με κορήματα
2. Τις συνθήκες τροφοδοσίας σε υπόγεια νερά δια μέσο των προς τα ΝΔ αναπτυσσόμενων ασβεστολιθικών υλικών και εξαιτίας της παρουσίας ρήγματος.
3. Την παρουσία ρεμάτων μέσα στο χωριό, τα οποία τροφοδοτούν άμεσα τους υπόγειους υδροφορείς, υποσκάπτουν και μεταφέρουν κορηματικά υλικά.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Σχετικά λοιπόν με τις βιβλιογραφικές αναφορές για την υδρολιθολογική συμπεριφορά των συγκεκριμένων γεωλογικών σχηματισμών διακρίνονται σε θεωρητικό επίπεδο (χωρίς στοιχεία από δοκιμές) οι εξής βασικές κατηγορίες:

1. **Διαπερατοί σχηματισμοί**, όπου σε αυτούς διακρίνονται:

   1.1 Οι πορώδες σχηματισμοί στους οποίους η κυκλοφορία του νερού γίνεται μέσω του πρωτογενούς πορώδους τους. Σε αυτή τη κατηγορία κατατάσσονται τα υλικά καταπτώσεων, τα ασβεστολιθικά κορήματα στα οποία αναπτύσσονται τοπικοί υδροφόροι μέσω των εποχιακών πηγών και τα υλικά των κατολισθήσεων. Ακόμη περατή θα μπορούσε να θεωρηθεί και η ζώνη του αποσαθρωμένου φλύσχη, καθώς και ο μανδύας αποσάθρωσης μέσα στο χωριό. Πραγματοποιείται μικρή ανάπτυξη υδροφόρων στην ζώνη αποσάθρωσης, η οποία λόγω της αργιλοϊλυώδους σύστασης παρουσιάζει μικρή περατότητα. Ωστόσο οι παρατεταμένες υγροί περίοδοι στη περιοχή μελέτης καθιστούν τον μανδύα κατά πάσα πιθανότητα κορεσμένο ειδικότερα στην επαφή του με τους Ασβεστόλιθους της Πίνδου.

   1.2 Οι καρστικοί σχηματισμοί στους οποίους η κυκλοφορία γίνεται μέσω του δευτερογενούς πορώδους τους, δηλαδή μέσω των ασυνεχειών (ρήγματα, διακλάσεις, κ.α.). Σε αυτήν την κατηγορία κατατάσσονται οι ασβεστόλιθοι του Άνω Τριαδικού. Οι ασβεστόλιθοι αυτοί εμφανίζονται στη θέση 2 ως κατακερματισμένοι και αποδομημένοι εξαιτίας της τεκτονικής τους καταπόνησης, γεγονός που τους καθιστά ακόμη πιο περατούς.

2. **Επιφανειακά περατοί σχηματισμοί**. Σε αυτήν την κατηγορία κατατάσσεται ο φλύσχης στην πιο υγιή του εμφάνιση στο χωριό των Μελισσουργών, στον οποίο αναμένεται επιλεκτική κυκλοφορία νερού στο επιφανειακό αποσαθρωμένο τμήμα του. Πιο συγκεκριμένα οι ιλυόλιθοι χαρακτηρίζονται από μικρό πορώδες και ασυνέχειες που κλείνουν σε βάθος (κλειστές ασυνέχειες), δημιουργώντας έτσι συνθήκες χαμηλής υδροπερατότητας έως και αδιαπέρατης υδρογεωλογικής συμπεριφοράς. Η ιδιότητά τους αυτή δεν επηρεάζει όμως κατά μεγάλο βαθμό την υδρολογική συμπεριφορά του φλύσχη, διότι οι ιλυόλιθοι εμφανίζονται σε πολύ μικρό ποσοστό (περίπου 10%) Σε αντίθεση με τους ιλυόλιθους, οι ψαμμίτες παρουσιάζουν υψηλότερη περατότητα, λόγω της συστηματικότερης κατάτμησής τους από ασυνέχειες με πιο ανοιχτές διεπιφάνειες. Συνεπώς αναμένεται ανάπτυξη ενιαίας υπόγειας υδροφορίας στα σημεία που έχουμε εμφάνιση φλύσχη. Το νερό μπορεί να κινείται επιλεκτικά μέσω των δικτύων των ασυνεχειών των ψαμμιτών, δημιουργώντας υδροφόρους ορίζοντες καθώς αυτοί δεν μπορούν να σταματήσουν από τους σχεδόν αδιαπέρατους ιλυόλιθους, λόγω της μικρής τους εμφάνισης. Η δυναμικότητα όμως αυτών των ανεξάρτητων υδροφόρων ίσως να ελαττώνεται σε βάθος καθώς η δομή των πετρωμάτων γίνεται πιο σφικτή, μειώνεται ο βαθμός της αποσάθρωσης και κλείνουν οι ασυνέχειες των ψαμμιτών, μειώνοντας ως επακόλουθο το δευτερογενές πορώδες

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

5 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟΝ ΟΙΚΙΣΜΟ ΜΕΛΛΙΣΟΥΡΓΟΙ

5.1 Επιλογή Θέσης

Όπως προαναφέρθηκε η περιοχή έρευνας ανήκει στο γεωγραφικό διαμέρισμα της Ηπείρου και συγκεκριμένα στο νομό της Άρτας. Ο οικισμός των Μελισσουργών τέθηκε προς έρευνα για την εκτίμηση των καλαισθητικών φαινομένων. Η επιλογή του συγκεκριμένου οικισμού πραγματοποιήθηκε κατόπιν μελέτης βιβλιογραφικών αναφορών αλλά και δημοσιεύσεων σε τοπικές εφημερίδες, οι οποίες αναφέρονται σε σοβαρές καταστροφές που προκλήθηκαν από τη σεισμική δόνηση του 1967. Πιο συγκεκριμένα η θέση η οποία μελετάται στη παρούσα διπλωματική δεν έχει ενδείξεις ενεργούς κατολίσθησης αλλά η μορφολογία της παραπέμπει στο ενδεχόμενο ύπαρξης μίας η και δύο πιθανών παλαιών κατολισθήσεων.
Για την αποτύπωση αυτών των κατολισθήσεων ήταν αναγκαία η χαρτογράφηση της περιοχής και η ταξινόμηση των γεωυλικών σύμφωνα με τα παρακάτω συστήματα. Έτσι για τη καλύτερη κατανόηση της γεωλογίας στον οικισμό των Μελισσουργών, κατασκευάστηκε ο παρακάτω χάρτης. Συνεπώς, οι αναφορές που θα γίνονται για την περιοχή μελέτης από εδώ και στο εξής, γίνονται σε κλίμακα 1:6.000, ενώ οι αναφορές σε σημεία θα παραπέμπουν στον ακόλουθο χάρτη (Εικόνα 29).

Εικόνα 29: Τροποποιημένος χάρτης του Google earth. Τα σημεία που απεικονίζονται είναι τα σημεία της τεχνικογεωλογικής αξιολόγισης.

5.2 Τεχνικογεωλογική αξιολόγηση

Η μελέτη αυτών των πιθανών κατολισθήσεων και πιο συγκεκριμένα η μελέτη των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής, βασίστηκε στα χαρακτηριστικά και στην ταξινόμηση βραχωδών και εδαφικών υλικών. Η ταξινόμηση των βραχωδών υλικών

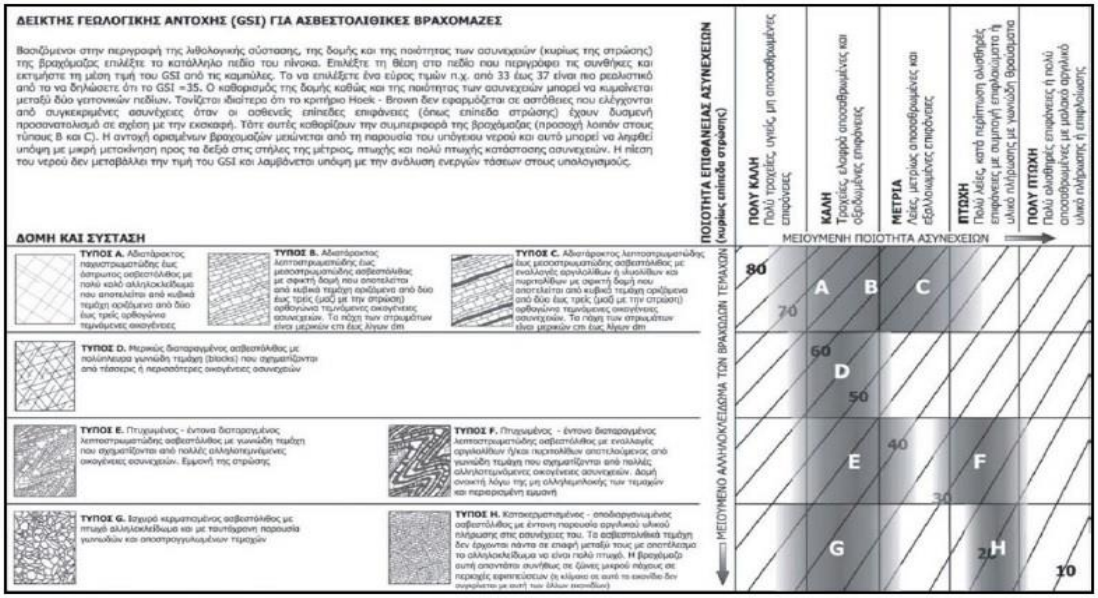
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

βασίστηκε στο σύστημα GSI (Geological Strength Index), στο σύστημα ταξινόμησης αντοχής IRS (Intact rock Strength) και στο βαθμό αποσάθρωσής του. Σύμφωνα με τους Hoek & Marinos (2000) για την ταξινόμηση των βραχωδών σχηματισμών με το σύστημα GSI πρέπει να εξεταστούν δύο παράγοντες:

- Η δομή της βραχόμαζας, που χαρακτηρίζει το βαθμό αλληλεμπλοκής των βραχωδών τεμαχών
- Η κατάσταση των επιφανειών των ασυνεχειών που χαρακτηρίζει το μέγεθος της διατμητικής τους αντοχής

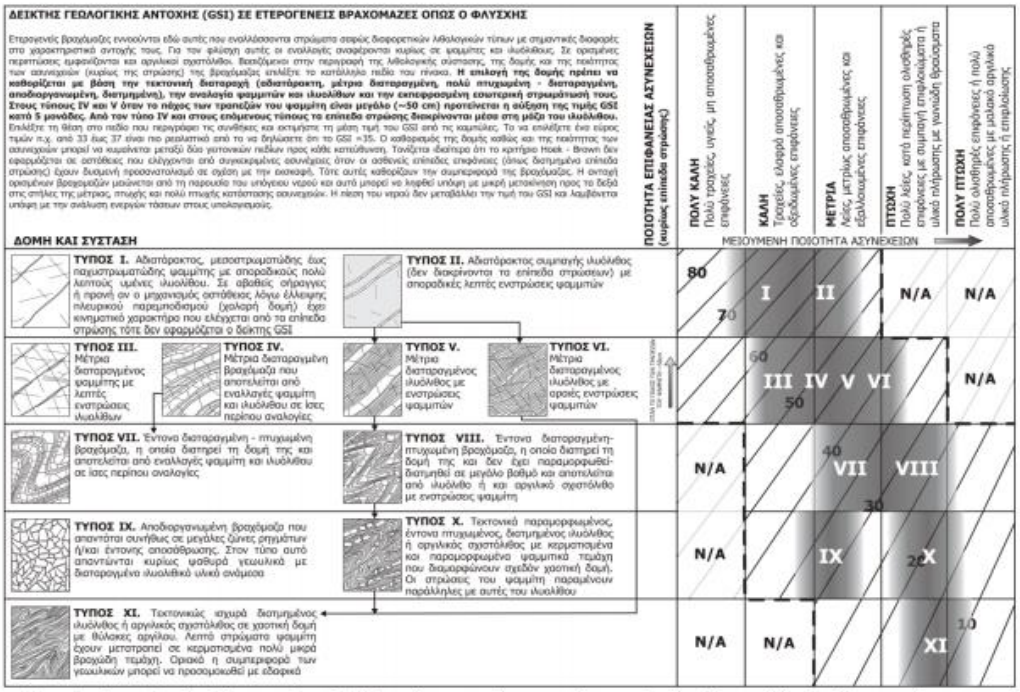
Η ύπαρξη της ετερογένειας των βραχομαζών οδήγησε στη κατασκευή συστημάτων GSI για ετερογενή βραχόμαζα όπως για φλύσχη (Εικόνα 31), μολλάσα και ασβεστόλιθο (Εικόνα 30) (Μαρίνος 2007). Για την περιοχή μελέτης χρησιμοποιήθηκε το GSI για φλύσχη και ασβεστόλιθο.



Εικόνα 30: Σύστημα ταξινόμησης βραχόμαζας GSI για ασβεστόλιθο (Μαρίνος,2007)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Εικόνα 31: Σύστημα ταξινόμησης βραχόμαζας GSI για φλύσχη (Μαρίνος,2007)

Το 2ο στοιχείο που βοήθησε στην ταξινόμηση βραχωδών και εδαφικών υλικών, είναι ο βαθμός αποσάθρωσης. Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιήθηκε σύστημα ταξινόμησης κατά ISRM, 1981 (Εικόνα 32), κατά το οποίο το βραχώδες υλικό ταξινομείται σε 6 τάξεις με βάση την αποσάθρωσή του.

Κατηγορία πετρώματος	Περιγραφή	Κατηγορία κατά την ISRM
Υγιές (F)	Χωρίς ίχνη αποσάθρωσης	I
Ελάχιστα αποσαθρωμένο	Η αποσάθρωση περιορίζεται στις επιφάνειες των ασυνεχειών	II
Ολίγον αποσαθρωμένο	Έντονη αποσάθρωση στις επιφάνειες των ασυνεχειών και ελαφρά αποσάθρωση στη μάζα του υλικού	III
Μετρίως αποσαθρωμένο	Εκτεταμένη αποσάθρωση στη μάζα του υλικού, χωρίς το υλικό να παρουσιάζει ευθρυπτότητα.	IV
Έντονα αποσαθρωμένο	Εκτεταμένη αποσάθρωση στη μάζα του υλικού, με τοπική ευθρυπτότητα του υλικού	V
Πλήρως αποσαθρωμένο	Πλήρης αποσάθρωση και μεγάλη ευθρυπτότητα του υλικού, με διατήρηση της υφής και της δομής	VI
Έδαφος	Η υφή και δομή του υλικού έχει καταστραφεί και το υλικό μπορεί να χαρακτηρισθεί ως έδαφος (υπολειμματικός σχηματισμός)	-

Εικόνα 32: Ταξινόμηση για αποσάθρωση της βραχόμαζας (ISRM,1981)

Τέλος χρησιμοποιήθηκε το σύστημα ταξινόμησης αντοχής IRS (Intact rock Strength) (Εικόνα 33). Το σύστημα αυτό είναι ένα εύκολος τρόπος υπολογισμού της αντοχής του άρρηκτου βράχου στην ύπαιθρο ο οποίος μπορεί να συγκριθεί με την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη UCS (Unifies Compressive Strength). Οι τιμές που δόθηκαν με

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

αυτό το σύστημα στη παρούσα διπλωματική είναι κατά προσέγγιση, καθώς δεν αποτελούν σκοπό της διπλωματικής. Είναι σημαντικό όμως να τονιστεί πως χρειάζονται πολλές δοκιμές στην ύπαιθρο, αλλά και εργαστηριακές δοκιμές για να εξαχθεί να ικανοποιητικό αποτέλεσμα.

Αντοχή άρρηκτου βράχου - Intact Rock Strength (IRS)	Έλεγχος αντοχής με σφυρί βάρους 1 Kg	Περιγραφή υλικού	Τύπος
<1.25 MPa	θρυμματίζεται στο χέρι	Πάρα πολύ αδύναμο	R0
1.25 - 5 MPa	Μια λεπτή βραχώδης πλάκα σπάει εύκολα με το χέρι	Πολύ αδύναμο	R1
5 - 12.5 MPa	Μια λεπτή βραχώδης πλάκα σπάει δύσκολα με το χέρι	Αδύναμο	R2
12.5 - 50 MPa	Μία βραχώδης μάζα σπάει με ελαφριά χτυπήματα σφυριού	Μέτρια δυνατό	R3
50 - 100 MPa	Μία βραχώδης μάζα σπάει με δυνατά χτυπήματα σφυριού	Δυνατό	R4
100 -200 MPa	Δυνατά χτυπήματα σφυριού δημιουργούν θραύσματα	Πολύ σκληρό	R5
>200 MPa	Δυνατά χτυπήματα σφυριού δημιουργούν ήχο χωρίς θραύσματα	Πάρα πολύ σκληρό	R6

Εικόνα 33: Ταξινόμηση της αντοχής του άρρηκτου βράχου με τη χρήση του σφυριού

Έτσι σύμφωνα με τις παραπάνω ταξινομήσεις προέκυψαν οι Τεχνικογεωλογικές ενότητες της περιοχής

1. *Τεχνικογεωλογική ενότητα (ΤΕ) 1: Κορήματα*

Η συγκεκριμένη τεχνικογεωλογική ενότητα αφορά την περίπτωση 1, ενώ δεν υφίσταται στις περιπτώσεις 2 και 3 όπως θα δούμε στα παρακάτω υποκεφάλαια. Η ΤΕ συναντάται στα σημεία 1, 3α, 3β, 4, 6α, 6β. Τα πρανή αυτής της ενότητας έχουν ύψος περίπου 10m και διατηρούν κλίση 50°-60° στη θέση 1, ενώ στις υπόλοιπες το ύψος είναι 4-7m διατηρώντας κλίσεις περίπου 40°-60°. Πρόκειται για καλά συγκολλημένα ασβεστολιθικά κορήματα με αργιλοϊλυώδες συνδετικό υλικό. Το υλικό μπορεί να εκσκαφτεί πολύ εύκολα με το γεωλογικό σφυρί δεδομένο που παραπέμπει σε πιο φτωχή διαγένεση του υλικού. Η μάζα των κορημάτων περιέχει τεμάχη τα οποία ολίσθησαν και προέρχονται από την αποσάθρωση των ασβεστόλιθων της Πίνδου και του Φλύσχη της Ιονίου και κορήματα που μεταφέρθηκαν λόγω ρεμάτων. Τα τεμάχη αυτά βρίσκονται σε όλη την έκταση του χωριού και κατά πάσα πιθανότητα σχετίζονται σε αυτή την περίπτωση με τη μεταφορά τους από την κίνηση των ρεμάτων, είτε από τοπικές αποκολλήσεις και σφηνοειδής ολισθήσεις από τα υπερκείμενα ασβεστολιθικά. Πρέπει να αναφερθεί ότι σε ορισμένα ριπίδια είναι δυνατόν να παρατηρηθεί η στρώση του σχηματισμού, καθώς και κάποιες εναλλαγές με κερατόλιθους, χωρίς όμως να υπάρχουν πολύ μεγάλα τεμάχη ασβεστολιθικού υλικού. Εξαίρεση σε αυτό αποτελεί η θέση 3β στην οποία εμφανίζονται τεμάχη έως και 2m. Ακόμη σε αυτή την ΤΕ συμπεριλαμβάνεται και ο μανδύας αποσάθρωσης ο οποίος σε πολλές περιπτώσεις βρίσκεται ανακατεμένος με κορήματα.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

Εικόνα 35: Κορήματα Νότια από το ρέμα στη θέση 6α

Εικόνα 34: Κορήματα μέσα στο ρέμα στο σημείο 6α

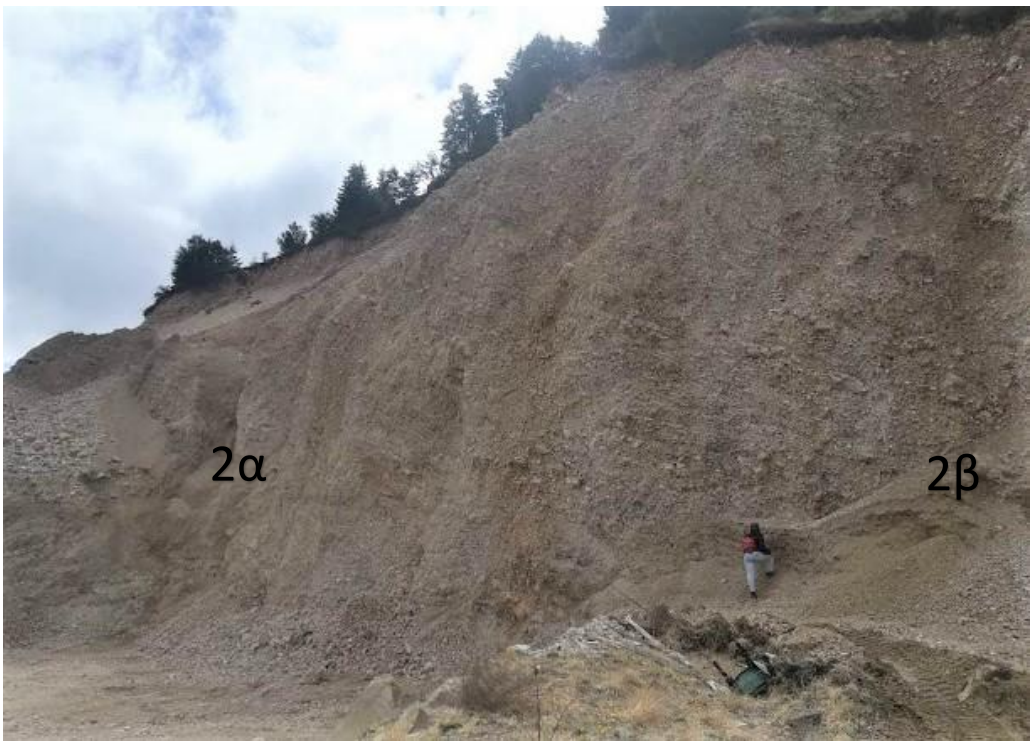
2. *<u>Τεχνικογεωλογική ενότητα 2: Ασβεστόλιθοι</u>*

Αφορά τη θέση 2. Τα πρανή αυτά έχουν ύψος περίπου 15m και διατηρούν κλίση 80°-90°. Σε αυτή την ΤΕ ανήκουν οι ασβεστόλιθοι της Πίνδου, οι οποίοι εξαιτίας της λεπίωσής τους (επώθηση την Πίνδου πάνω στην Ιόνιο) εμφανίζονται κατά κύριο λόγω κατακερματισμένοι και αποδομημένοι, ενώ σε ορισμένα σημεία εμφανίζονται πιο συμπαγής και με δομή. Η πιο υγιής παρουσία τους είναι περιορισμένη, γεγονός που δεν τους καθιστά ικανούς για να ταξινομηθούν σε διαφορετική ΤΕ. Οι ασβεστόλιθοι εμφανίζονται κατά κύριο λόγο Το GSI που δόθηκε για το ασβεστόλιθο αυτής της ΤΕ είναι GSI= 15-20 τύπος G. Η δομή του ασβεστόλιθου έχει εξαφανιστεί, λόγω της τεκτονικής παραμόρφωσης που έχει δεχθεί, γεγονός που οδηγεί στη μετατροπή του συμπαγή ασβεστόλιθου σε κατακερματισμένο (Εικόνα 36). Το υλικό εφόσον είναι ασβεστόλιθος ανήκει στην κατηγορία δυνατό R4 αλλά δίνοντας του την μικρότερη τιμή σ_{ci} για ασβεστόλιθους. Ως προς την αποσάθρωση ο ασβεστόλιθος εμφανίζεται μέτρια έως πολύ αποσαθρωμένος (Τύπος IV-V) καθώς η αποσάθρωση έχει προχωρήσει στο σώμα των ασβεστόλιθων.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Εικόνα 37: Πλήρως αποδομημένοι ασβεστόλιθοι. Η Εικόνα αυτή βρίσκεται στο Σημείο 2α.



Εικόνα 36 : Πρανές ύψους περίπου 15m. Βρίσκεται στο σημείο 2 της Εικόνας. Στο σημείο 2 επάνω στο δρόμο ήταν το σημείο εκκίνησης του Drone.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

3. <u>Τεχνικογεωλογική ενότητα 3: Φλύσχης</u>

Αφορά τις θέσεις 9,8,7β. Σε αυτή την ΤΕ εμφανίζεται η πιο υγιής μορφή του φλύσχη που παρατηρήθηκε στους Μελισσουργούς. Πρόκειται για φλύσχη της Ιονίου με εναλλαγές ψαμμίτη: ιλυόλιθου, 90:10. Το πάχος των ψαμμιτών όπως αναφέρθηκε είναι <1m ενώ των ιλυολίθων είναι της τάξεως των λίγων cm. Στην περίπτωση αυτή ο φλύσχης εμφανίζεται περισσότερο ψαμμιτικός και χαρακτηρίζεται με GSI = 50-55 (τύπος III στο GSI για φλύσχη). Το υλικό αυτό σπάει με ορισμένα σημεία με ελαφρά χτυπήματα με το γεωλογικό σφυρί λόγω της αποσάθρωσής του, ενώ άλλα σημεία όπου εμφανίζεται πιο υγιές σπάει πιο δύσκολα με το γεωλογικό σφυρί. Το γεγονός αυτό το χαρακτηρίζει μέτρια δυνατό ως δυνατό (τύπος R3-R4). Ως προς την αποσάθρωση του το υλικό χαρακτηρίζεται λίγο έως μετρίως αποσαθρωμένο (τύπος III-IV) καθώς η αποσάθρωση δεν περιορίζεται μόνο στις ασυνέχειες του σχηματισμού αλλά έχει συνεχίσει στο σώμα του, χωρίς αυτό να παρουσιάζει ευθρυπτότητα (Εικόνα 38). Τα ψαμμιτικά στρώματα παρουσιάζουν πιο συχνά σημάδια αποσάθρωσης από τα ιλυολιθικά, γεγονός που τους προσδίδει αυτήν την κίτρινη απόχρωση παράλληλα με τις ασυνέχειες και τους συνδέει άμεσα με την ευχέρεια κίνησης των υπόγειων υδάτων μέσα από το δευτερογενές πορώδες τους. Οι ιλυόλιθοι σε αντίθεση είναι επιδεκτικοί στη ταχεία χαλάρωσή τους μετά από την έκθεσή τους σε ατμοσφαιρικές συνθήκες, καθώς υπόκεινται στο φαινόμενο της σχάσης.

Εικόνα 38 : Υπόβαθρο της περιοχής- Φλύσχης της Ιονίου Ζώνης. σύσταση περισσότερο ψαμμιτική. Η θέση αυτή βρίσκεται στο σημείο 9

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

4. *Τεχνικογεωλογική ενότητα 4: Υλικά Πιθανής Παλιάς Κατολίσθησης*

Η συγκεκριμένη τεχνικογεωλογική ενότητα αφορά τις περιπτώσεις 2 και 3, ενώ δεν υφίσταται στην περίπτωση 1 όπως θα δούμε στα παρακάτω υποκεφάλαια. Η ΤΕ συναντάται στα σημεία 5,6γ, 6δ,. ενώ σε αυτή ανήκουν τα υλικά πιθανής παλιάς κατολίσθησης. Αυτά τα υλικά αποτελούνται από τον κατολισθείσα μάζα του φλύσχη της Ιονίου ζώνης, τα κορήματα που περιέχουν τεμάχη τα οποία ολίσθησαν και προέρχονται από την αποσάθρωση των ασβεστόλιθων και των ψαμμιτών (Εικόνα 39), κορήματα που μεταφέρθηκαν λόγω ρεμάτων και την αποσαθρωμένη ζώνη φλύσχη που μπορεί να χαρακτηρισθεί ως έδαφος (Εικόνα 40). Τα υλικά αυτά λόγω της ανομοιομορφίας τους παρουσιάζουν ακανόνιστη συμπεριφορά και καμία συνοχή. Το πάχος αυτών των υλικών υπολογίζεται 15m. Η εικόνα αυτή των ανακατεμένων κορημάτων (ασβεστολιθικής και ψαμμιτικής προέλευσης) με τον μανδύα αποσάθρωσης και τα ασβεστολιθικά τεμάχη σε όλη την έκταση του χωριού κατά πάσα πιθανότητα σχετίζονται με παλιότερα κατολισθητικά φαινόμενα

Εικόνα 39 : Εμφάνιση ανακατεμένων κορημάτων στη θέση 7

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

Εικόνα 40 : Κορήματα ανακατεμένα με φλυσχικά- εδαφικά αποσαθρωμένα υλικά στο σημείο 6γ και 6δ.

Τεχνικογεωλογικές Ενότητες	*GSI*	*Αποσάθρωση*		*Αντοχή Άρρηκτου Βράχου (IRS)*	
		Ορισμός	*Τύπος*	*Περιγραφή*	*Τύπος*
ΤΕ1: Κορήματα (Στη περίπτωση 1)	-	-	-	-	-
ΤΕ2 :Ασβεστόλιθος	15-20	Μέτρια-Πολύ	IV-V	Αδύναμο-Μέτρια αδύναμο	R2-R3
ΤΕ3: Φλύσχης	50-55	Λίγο-Μέτρια	III-IV	Μέτρια Δυνατό-Δυνατό	R3-R4
ΤΕ4: Υλικά Πιθανής Κατολίσθησης (Στις περιπτώσεις 2 και 3)	-	-	-	-	-

Πίνακας 8: Τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών

<u>Παράμετροι σχεδιασμού</u>

Για την εύρεση των γεωτεχνικών παραμέτρων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα RockData της Rocksience Inc. Σύμφωνα με το κριτήριο Mohr-Coulomb εισάγοντας παραμέτρους από προσωπική εκτίμηση, υπολογίστηκε η αντοχή της βραχόμαζας (συνοχή c και γωνία τριβής φ). Η εισαγωγή των στοιχείων είναι η εξής:

- Το GSI όπως προαναφέρθηκε εκτιμάται, από τα συστήματα GSI για ετερογενή βραχόμαζα για φλύσχη και ασβεστόλιθο (Μαρίνος 2007).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

- Το ειδικό βάρος (unit weight), γ (kN/m^3), υπολογίστηκε ποιοτικά σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα (Εικόνα 41)

Rock strength	Rock category (examples)	Unit weight of rock *D* [*kN/m*^{3}]
Solid rock	most hard solid rock, intact, compact and dense quartz rock and basalt, other extraordinary hard rocks	28.0 - 30.0
Highly hard rock	very hard granit rock, quartz porphyry, very hard granite, hard flinty shale, quartzite, very hard sand rock and very hard cacite	26.0 - 27.0
Hard rock	granite, very hard sandstone and calcite, quarzite lode, hard conglomerate, very hard ore, hard limestone, marble, dolomite, pyrite	25.0 - 26.0
Rock	sandstone, ore, medium sandy shale, flagstone	24.0
Medium rock	hard mudstone, softer sand rock and calcite, chalky clay	23.0 - 24.0
Soft rock	shale, soft limestone, calk, salt rock, frozen ground, anthracite, marl, remoulded sandstone, soft conglomerate, ground with fels	22.0 - 26.0
Weak soil	compact clay, soil eluvium, black coal	20.0 - 22.0 18.0 - 20.0

Εικόνα 41: Πίνακας εκτίμησης του ειδικού βάρους

- Η τιμή ανεμπόδιστης θλίψης σ_{ci} (UCS) υπολογίστηκε και αυτή σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα δίνοντας μια μέση τιμή σ_{ci} (MPa) (Εικόνα 42)

Intact Uniaxial Compressive Strength

Field Estimate of Strength	Examples	Strength (MPa)
Specimen can only be chipped with a geological hammer.	Fresh basalt, chert, diabase, gneiss, granite, quartzite.	>250
Specimen requires many blows of a geological hammer to fracture it.	Amphibolite, sandstone, basalt, gabbro, gneiss, granodiorite, limestone, marble, rhyolite, tuff.	100-250
Specimen requires more than one blow of a geological hammer to fracture it.	Limestone, marble, phyllite, sandstone, schist, shale.	50-100
Cannot be scraped or peeled with a pocket knife, specimen can be fractured with a single blow from a geological hammer.	Claystone, coal, concrete, schist, shale, siltstone.	25-50
Can be peeled with a pocket knife with difficulty, shallow indentation made by firm blow with point of a geological hammer.	Chalk, rocksalt, potash.	5-25
Crumbles under firm blows with point of a geological hammer, can be peeled by a pocket knife.	Highly weathered or altered rock.	1-5
Indented by thumbnail.	Stiff fault gouge.	0.25-1

Εικόνα 42 : Πίνακας εκτίμησης του σ_{ci}

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Ενότητα Φλύσχη

Η ενότητα του Φλύσχη περιλαμβάνει ψαμμίτες με πολύ λεπτές ιλυολιθικές ενστρώσεις. Σύμφωνα λοιπόν με προσωπικές εκτιμήσεις με δεδομένο ότι ο φλύσχης αποτελείται 90 % από ψαμμίτη και 10% από ιλυόλιθο, υπολογίστηκε η σταθερά m_i για άρρηκτο βράχο m_i =16. Η αντοχή των ψαμμιτών σε μονοαξονική θλίψη σ_{ci} υπολογίζεται κατά προσέγγιση από 50-100 MPa με τιμή 50 MPa, ενώ η παράμετρος διατάραξης της βραχόμαζας υπολογίζεται D=0. Η τιμή του φαινόμενου βάρους υπολογίζεται από 23-24 kN/m^3 με μέση τιμή γ= 23,5 kN/m^3. Τέλος η γωνία τριβής και η συνοχή υπολογίζεται με τη βοήθεια του προγράμματος Rock Data 5.0 με το κριτήριο Mohr Coulomb έχοντας τιμές 47.76 ^{o} και 1150kPa αντίστοιχα.

ΦΛΥΣΧΗΣ		
GSI	50-55	Τύπος ΙΙΙ
σ_{ci} (MPa)	50	
mi	16	
D	0	
γ (kN/m^3)	23,5	
c (kPa)	1150	
φ (^{o})	47,76	

Πίνακας 9: Παράμετροι σχεδιασμού του φλύσχη

Ενότητα Ασβεστόλιθου

Σύμφωνα λοιπόν με προσωπικές εκτιμήσεις υπολογίστηκε η σταθερά mi για άρρηκτο βράχο m_i=12. Η αντοχή των ασβεστόλιθων σε μονοαξονική θλίψη σ_{ci} υπολογίζεται κατά προσέγγιση από 50-100 MPa με τιμή 50 MPa η ελάχιστη για ασβεστόλιθους καθώς αυτοί χαρακτηρίζονται ως κερματισμένοι και αποσαθρωμένοι. Η παράμετρος διατάραξης της βραχόμαζας υπολογίζεται D=0, ενώ η τιμή του φαινόμενου βάρους υπολογίζεται από 22-26 kN/m^3 με μέση τιμή γ= 24 kN/m^3. Τέλος η γωνία τριβής και η συνοχή υπολογίζεται με τη βοήθεια του προγράμματος Rock Data 5.0 με το κριτήριο Mohr Coulomb έχοντας τιμές 56.24^o και 231kPa αντίστοιχα.

ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ		
GSI	35-40	Τύπος G
σ_{ci} (MPa)	50	
m_i	12	
D	0	
γ (kN/m^3)	24	
c (kPa)	231	
φ (^{o})	56,24	

Πίνακας 10: Παράμετροι σχεδιασμού του ασβεστόλιθου

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Ενότητα Κορημάτων

Για την ενότητα κορημάτων δόθηκαν εμπειρικά η γωνία τριβής φ = 30° ,η συνοχή c= 100 kPa και η τιμή φαινόμενου βάρους γ= 18 kN/m^3

ΚΟΡΗΜΑΤΑ	
γ	18
c (kPa)	100
φ (^{o})	30

Πίνακας 11: Παράμετροι σχεδιασμού των κορημάτων

Ενότητα Υλικών Πιθανής Παλιάς Κατολίσθησης

Τέλος για τα υλικά πιθανών παλιών κατολισθήσεων των περιπτώσεων 2 και 3 δόθηκαν επίσης εμπειρικά η γωνία τριβής φ= 15° ,η συνοχή c= 0 kPa και η τιμή φαινόμενου βάρους γ=18 kN/m^3

ΥΛΙΚΑ ΠΙΘΑΝΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ	
γ (kN/m^3)	18
c (kPa)	0
φ (^{o})	15

Πίνακας 12: Παράμετροι σχεδιασμού των υλικών κατολίσθησης

5.3 Περίπτωση 1^η : Δεν υπάρχει κατολίσθηση

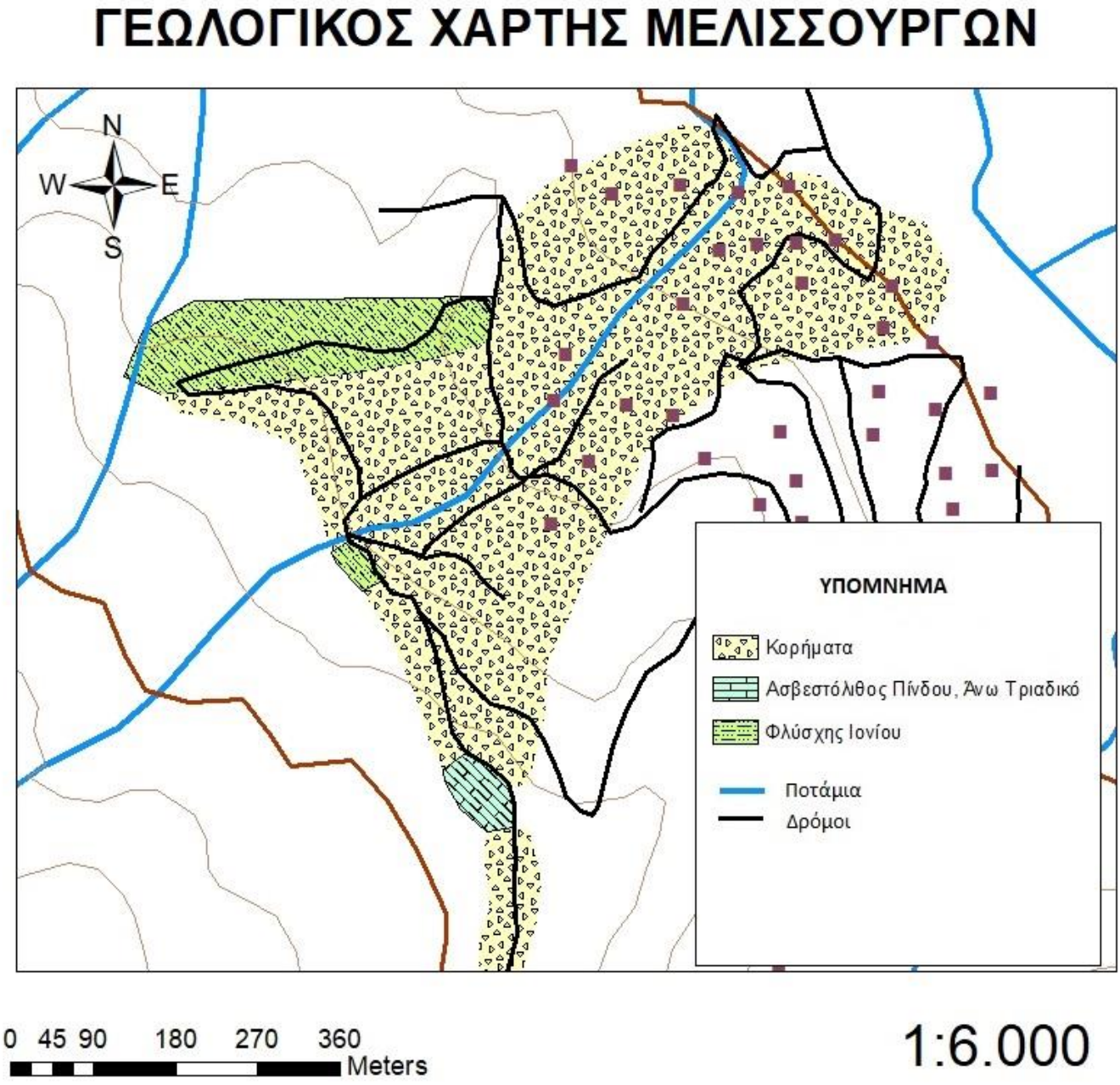
Η πρώτη περίπτωση που πρέπει να εξεταστεί, είναι αύτη, κατά την οποία δεν υφίσταται κάποια πιθανή παλιά κατολίσθηση στο χωρίο των Μελισσουργών. Σε αυτή την περίπτωση δεν υπάρχει ανομοιόμορφη μάζα υλικών παλιάς κατολίσθησης, τα οποία μετά την ολίσθηση τους θα είχα διαμορφώσει την μορφολογία του χωριού. Με αυτή την υπόθεση οι ασβεστολιθικοί όγκοι και τα μεγάλα βραχώδη τεμάχη που βρέθηκαν εντός του χωριού, δεν είναι υλικά ενιαίας κατολίσθησης αλλά προέρχονται από τοπικές καταπτώσεις υπερκείμενων ασβεστολιθικών εμφανίσεων ή αποτελούν ασβεστολιθικά κορήματα. Συνεπώς η τελική μορφολογία της περιοχής καθορίστηκε από τα κορήματα τα οποία είτε προήρθαν από την αποσάθρωση των ασβεστολιθικών

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

και φλυσχικών πετρωμάτων μετά από κύλιση, είτε παρασύρθηκαν από ρέματα και αποτέθηκαν σε διάφορα σημεία μέσα στο χωριό.

Έτσι μετά από την εργασία πεδίου, στην περιοχή της έρευνας, προέκυψε ο παρακάτω χάρτης (Χάρτης 13) που απεικονίζει την γεωλογία των Μελισσουργών, όπως αποτυπώθηκε από τη χαρτογράφηση.

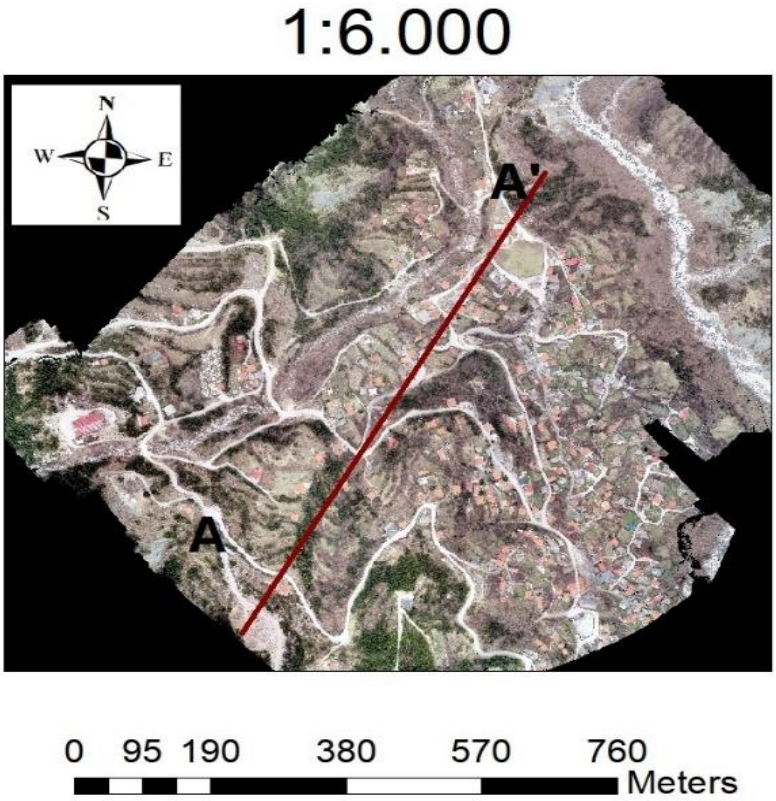


Χάρτης 13 : Γεωλογικός χάρτης Μελισσουργών. Ενδεχόμενο 1ο.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

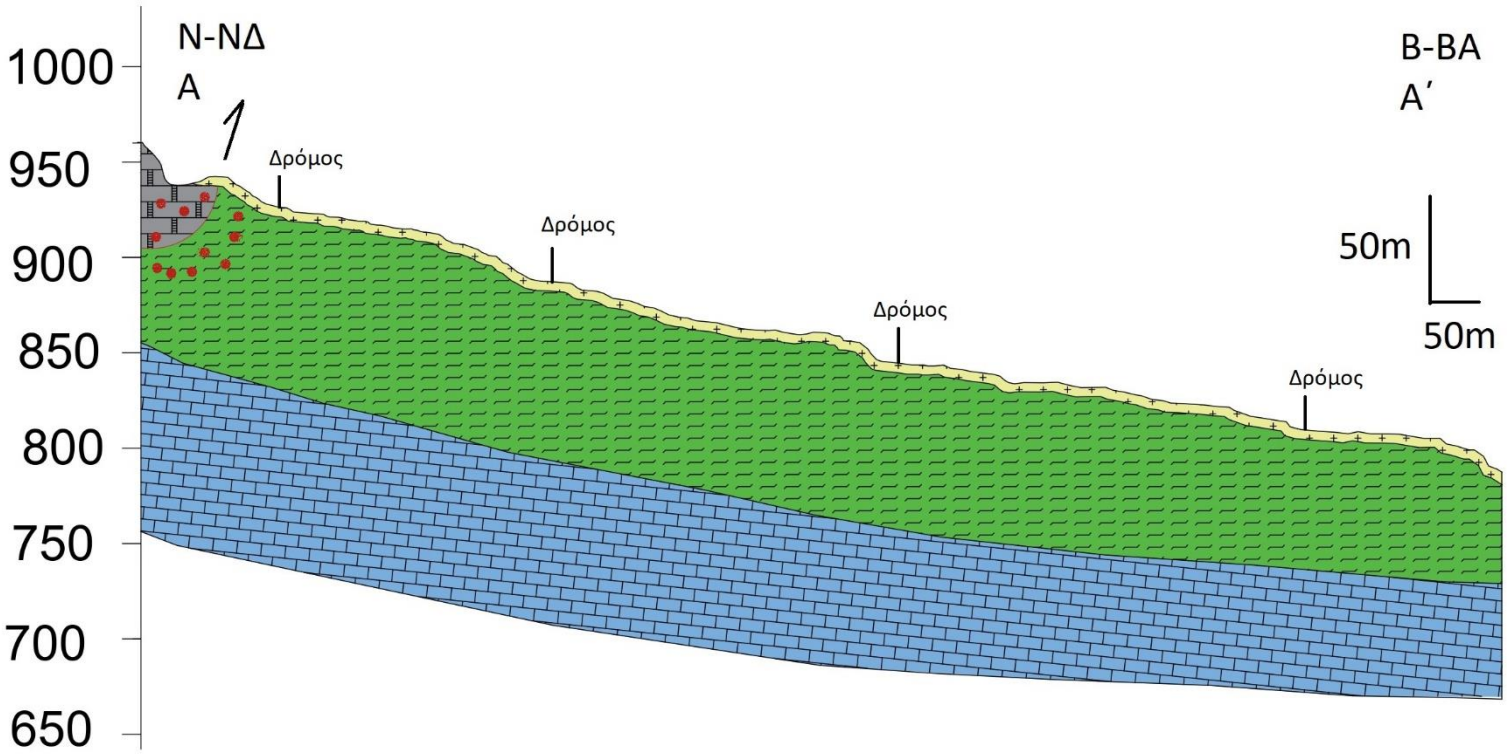
Για την κατανόηση της γεωλογίας όπως αποτυπώθηκε από την έρευνα πεδίου κατασκευάστηκε γεωλογική τομή Α-Α', με την διεύθυνση που δίνεται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 43). Η γεωλογική τομή έχει ως αφετηρία τη θέση 2 έως και τον Μελισσουργιώτικο ποταμό με κατεύθυνση ΝΝΔ-ΒΒΑ (Τομή 1).

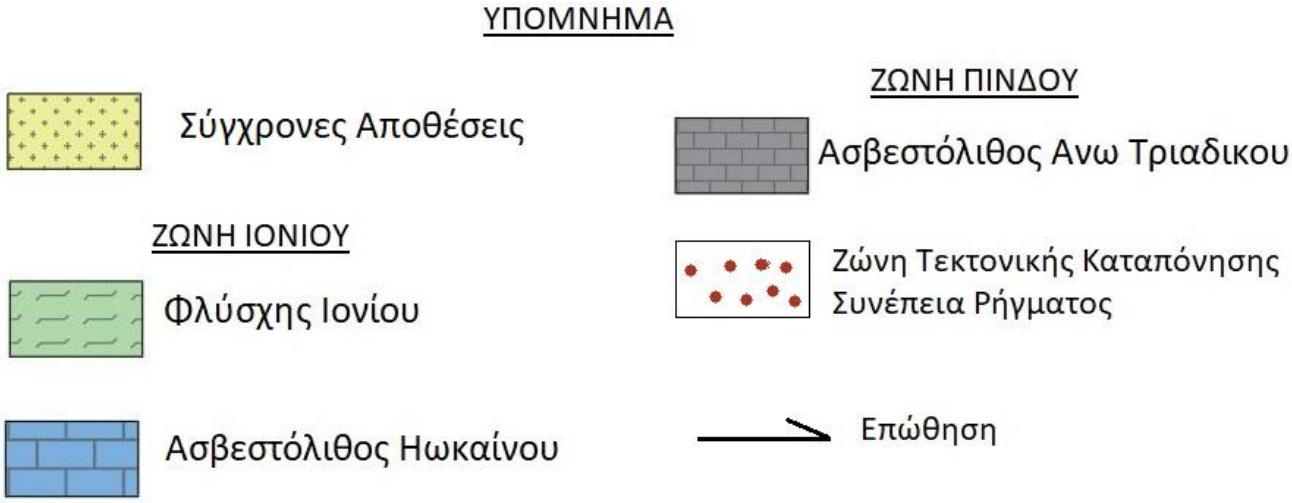


Εικόνα 43: Αποτύπωση τομής πάνω σε ορθοφωτογραφία

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ





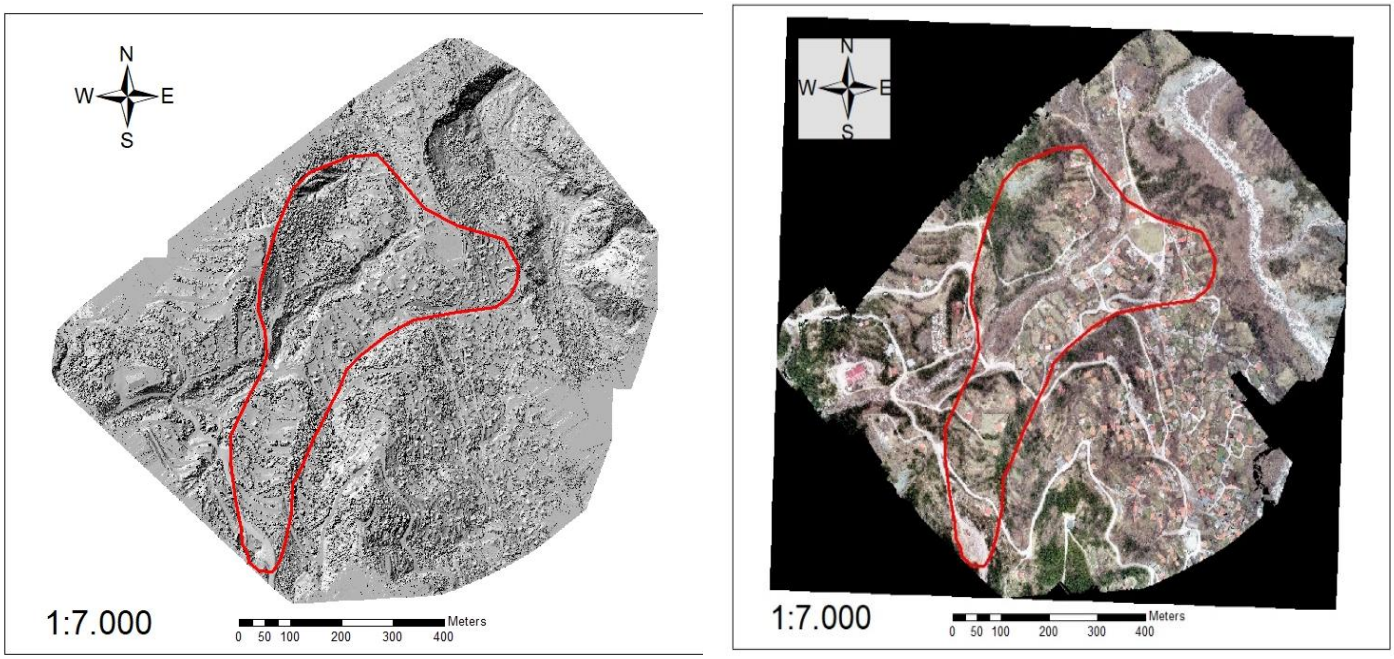
Τομή 1: Γεωλογική τομή για την 1η Περίπτωση όπου δεν υφίσταται κατολίσθηση. (πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε: AutoCAD)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

5.4 Περίπτωση 2η : Μια πιθανή παλιά κατολίσθηση

Η δεύτερη περίπτωση που πρέπει να εξεταστεί είναι αύτη κατά την οποία υφίσταται μία πιθανή παλιά κατολίσθηση στο χωρίο των Μελισσουργών. Σε αυτή την περίπτωση υπάρχει μια ανομοιόμορφη μάζα υλικών παλιάς κατολίσθησης. Η κατολίσθηση αυτή πιθανολογείται ότι ενεργοποιήθηκε από το σεισμό το 1967. Τα υλικά αυτά είναι ανακατεμένα κορήματα μεταφοράς από το ρέμα που υπάρχει μέσα στο χωριό, είτε κορήματα από αποσάθρωση των γύρω πετρωμάτων, υλικά καταπτώσεων ασβεστολιθικής και φλυσχικής προέλευσης, και αποσαθρωμένες ζώνες του φλύσχη που στις περισσότερες περιπτώσεις θυμίζουν έδαφος. Η πιθανή αυτή ολίσθηση είναι περιστροφική. Το μέγιστο πλάτος της ολισθαίνουσας μάζας υπολογίζεται γύρω στα 350m ενώ το μήκος της περίπου στα 800m. Το βάθος της ολισθαίνουσας μάζας υπολογίζεται περίπου στα 15m. Η υψομετρική διαφορά από τον πόδα της κατολίσθησης έως το φρύδι είναι της τάξεως των 150 m. Το φρύδι της κατολίσθησης εντοπίζεται λίγα m ανατολικά της θέσης 2 (Εικόνα 45) , η οποία είναι και η θέση πτήσης του Drone. Το δυτικό άκρο της κατολίσθησης εντοπίζεται στη θέση 7 (Εικόνα 47), εμφανίζοντας ρωγμές στο οδόστρωμα. Η ψηφιοποίηση αυτής της κατολίσθησης έγινε με το πρόγραμμα ArcGIS πάνω σε φωτογραφία από DEM και σε ορθοφωτογραφία για την καλύτερη κατανόηση των ορίων της (Εικόνα 44). Τα όρια αυτά καθορίστηκαν από τη χαρτογράφηση και τη μελέτη για τη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης.

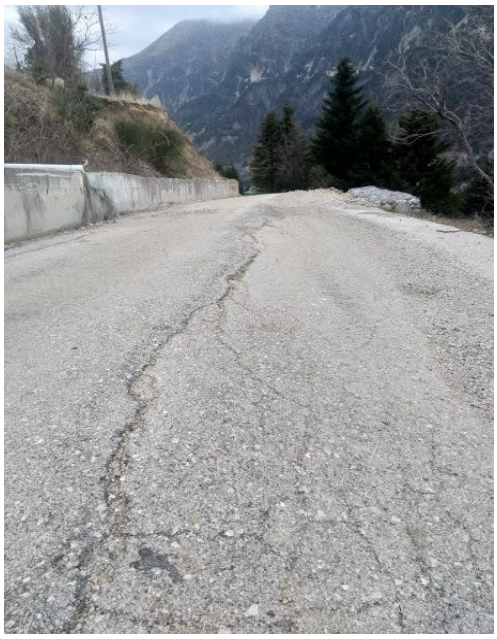


Εικόνα 44: Ψηφιοποίηση της κατολίσθησης στη περίπτωση 2. Στα αριστερά φωτογραφία από το DEM , στα δεξια ορθοφωτογραφία. Κατασκευάστηκε στο ArcGIS βλ. κεφάλαιο 1.2.2.1

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

Εικόνα 45 : Τεχνητό Πρανές ύψους περίπου 70-80m. Θέση 2, θέση πτήσης του Drone.



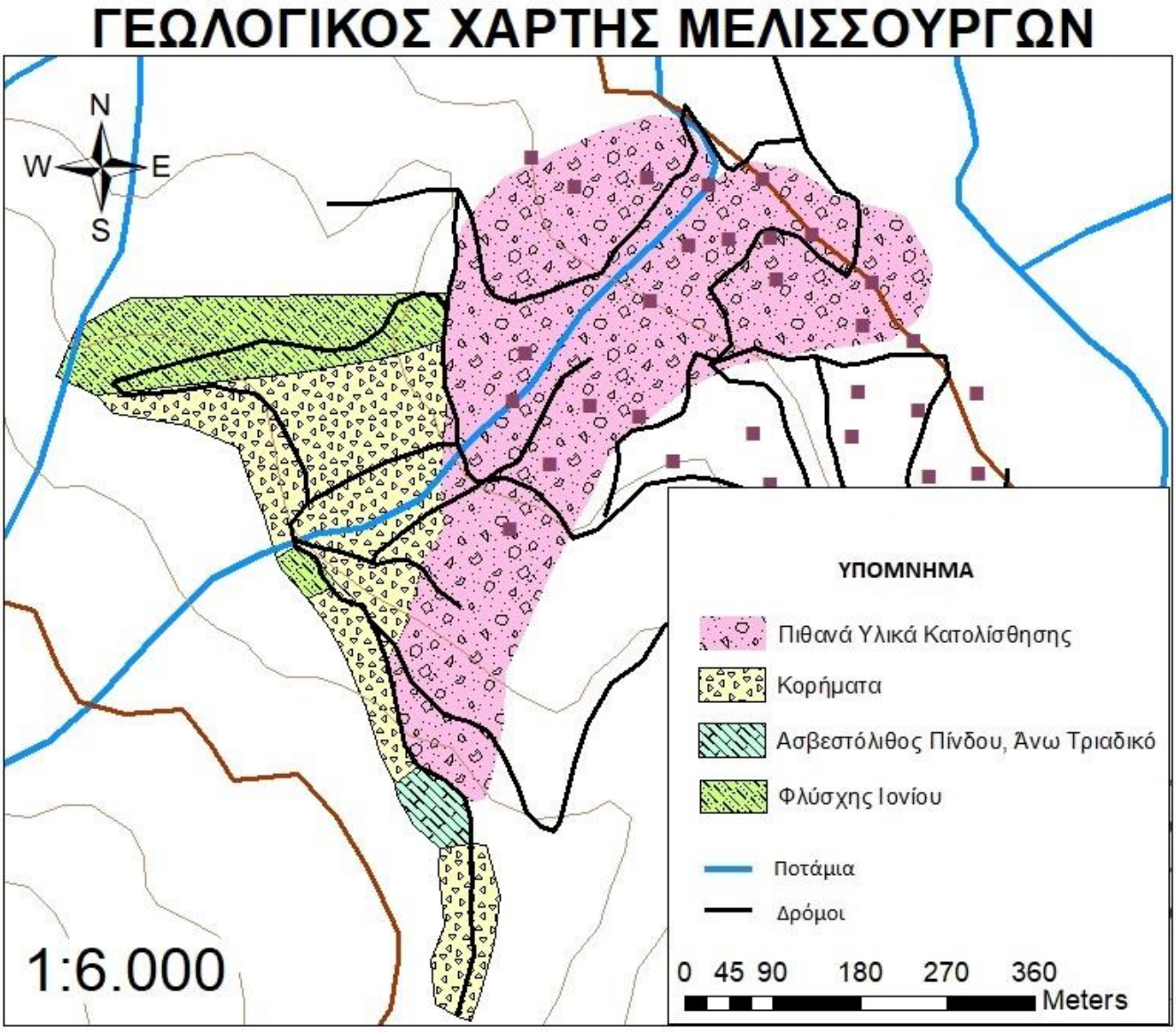
Εικόνα 47 : Εμφάνιση ρωγμών στο οδόστρωμα που υποδηλώνουν την μία πλευρά της κατολίσθησης στη θέση 7

Εικόνα 46 : Πεσμένα ζαρζανέτια. Πιθανολογείται από την κίνηση της κατολίσθησης στη θέση 7

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

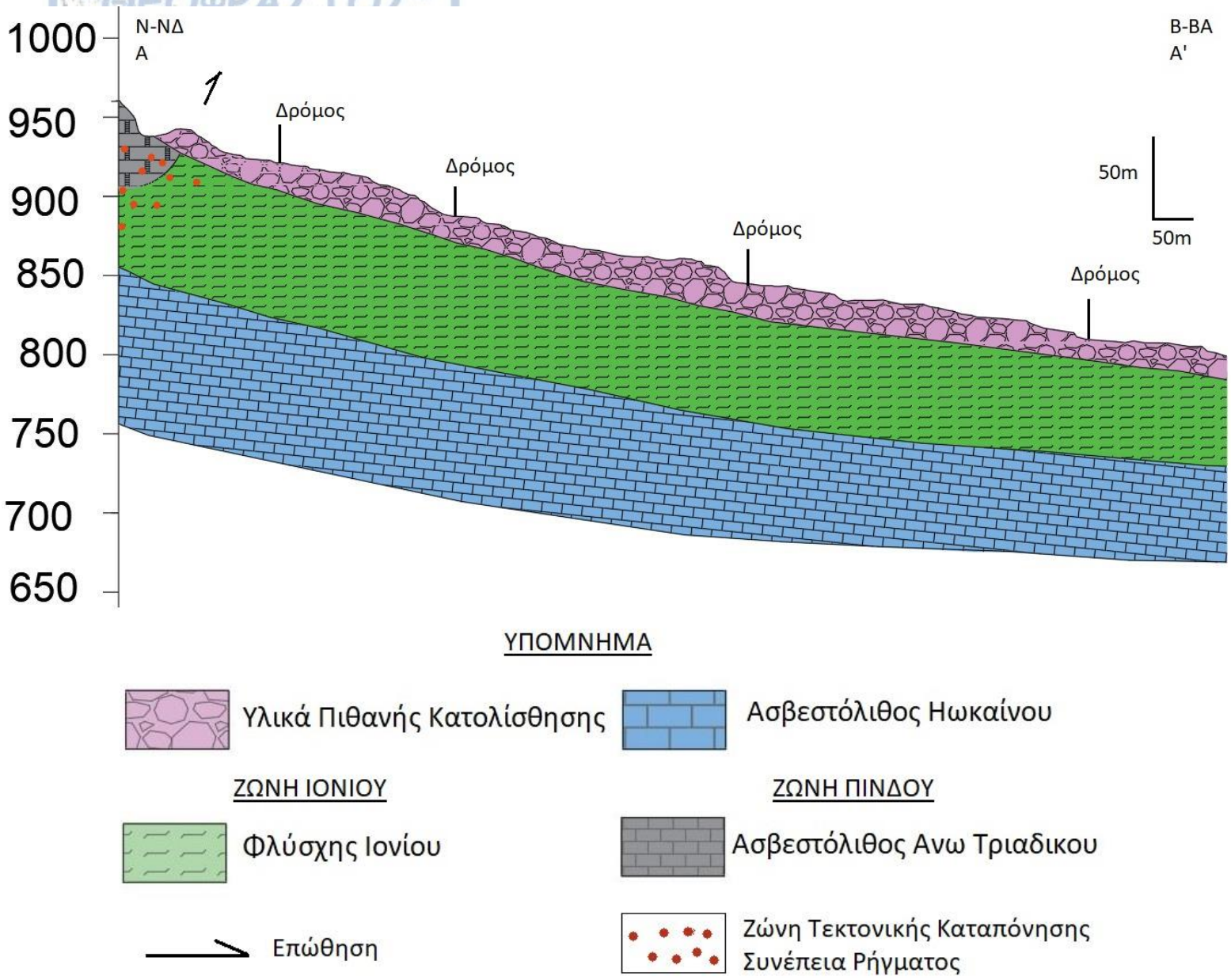
Έτσι κατασκευάστηκε εκ νέου ο γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης, κλίμακας 1:6.000 (Χάρτης 14), καθώς και η γεωλογική τομή Α-Α' (Εικόνα 43), προσαρμόζοντας τα καινούρια στοιχεία, δηλαδή τα πιθανά υλικά της κατολίσθησης, τα οποία περιλαμβάνουν το μεγαλύτερο επιφανειακό μέρος του χωριού (Τομή 2).



Χάρτης 14 Γεωλογικός χάρτης των μελισσουργών για την Περίπτωση 2.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

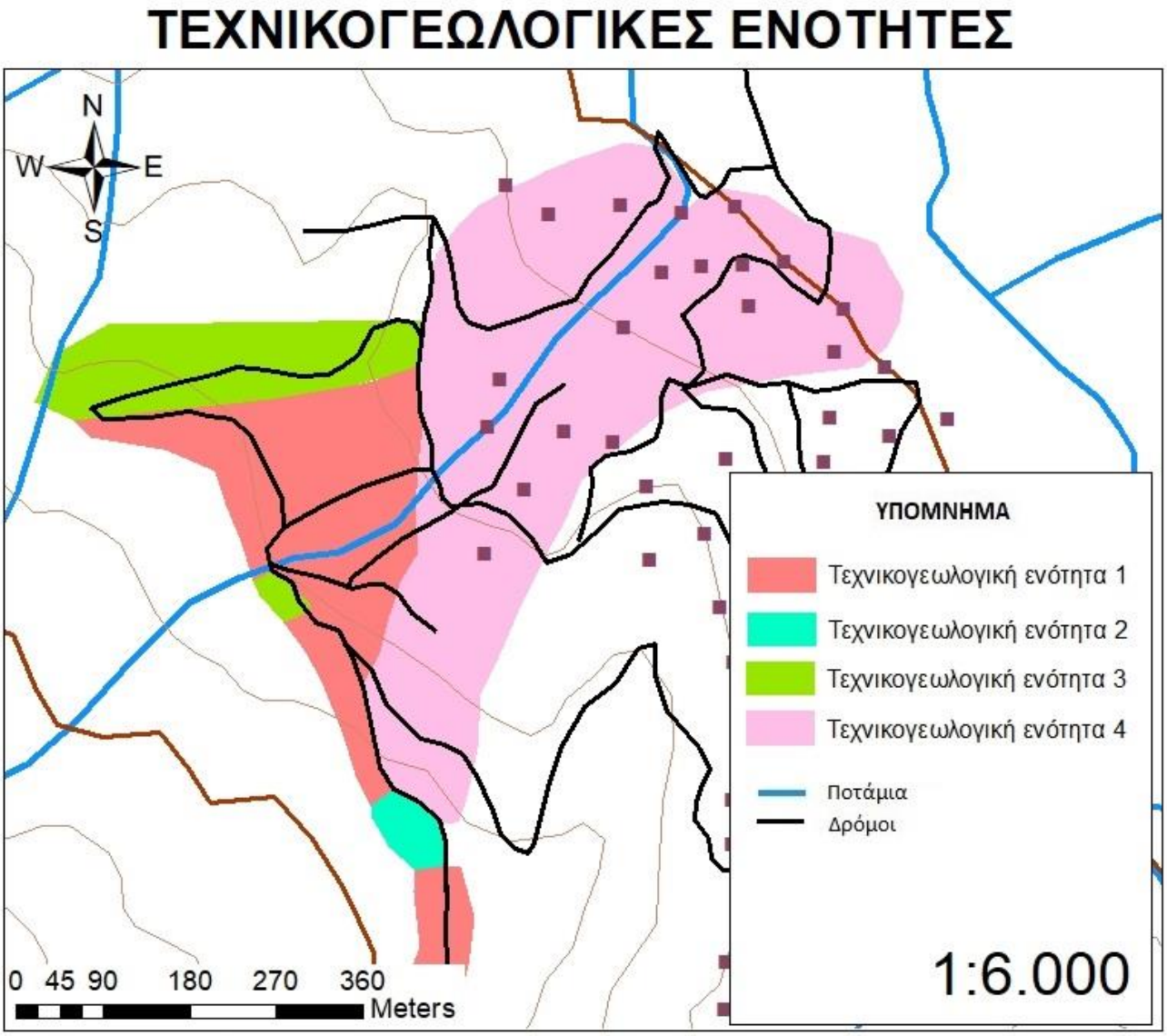


Τομή 2: Γεωλογική τομή για την 2η Περίπτωση όπου υφίσταται μια κατολίσθηση. (πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε: AutoCAD)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

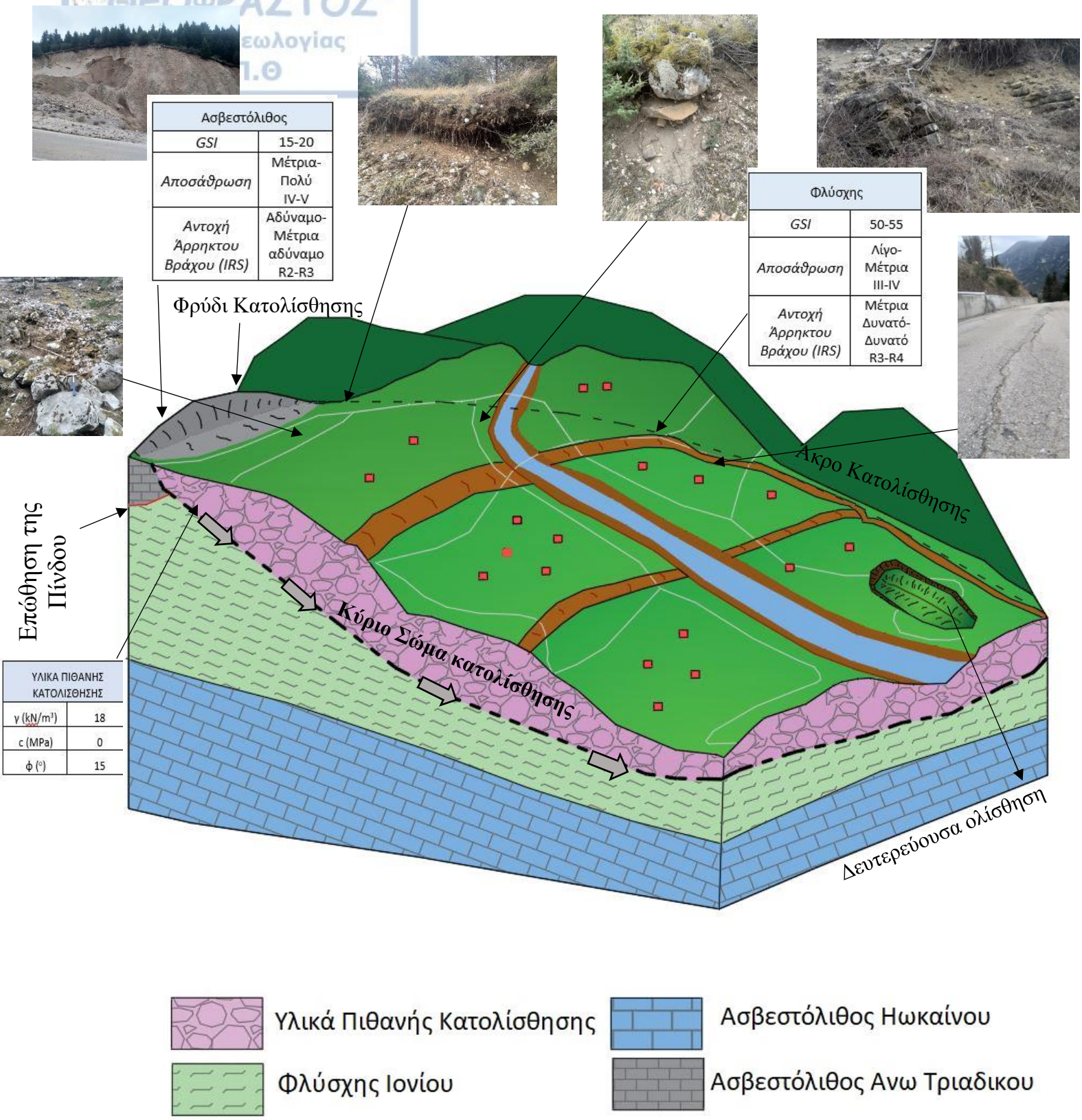
Ως αναφορά τη τεχνικογεωλογική αξιολόγηση της περιοχής, οι τεχνικογεωλογικές ενότητες στην περίπτωση όπου έχει πραγματοποιηθεί μία πιθανή παλιά κατολίσθηση, διαμορφώνονται σύμφωνα με την παρακάτω εικόνα (Χάρτης 13).



Χάρτης 15: Τεχνικογεωλογικός χάρτης των Μελισσουργών

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Γεωλογίας
Π.Θ



Εικόνα 48: Τεχνικογεωλογικό προσομοίωμα της περιοχής, επεξεργασμένο με πρόγραμμα AutoCAD

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

5.5 Περίπτωση 3η : Δύο πιθανές παλιές κατολισθήσεις

Η δεύτερη περίπτωση που πρέπει να εξεταστεί είναι αυτή κατά την οποία υφίστανται 2 πιθανές παλιές κατολισθήσεις. Στην περίπτωση αυτή υπάρχουν 2 ανομοιόμορφες μάζες υλικών, που προέρχονται από πιθανές παλιές κατολισθήσεις. Οι κατολίσθήσεις αυτές πιθανολογείται ότι ενεργοποιήθηκαν από το σεισμό του 1967, ενώ δεν αποκλείεται η κίνηση της μίας να επηρεάζει την άλλη. Τα υλικά αυτά και σε αυτή την περίπτωση είναι ανακατεμένα κορήματα μεταφοράς από το ρέμα που υπάρχει μέσα στο χωριό, είτε κορήματα από αποσάθρωση των γύρω πετρωμάτων, υλικά καταπτώσεων ασβεστολιθικής και φλυσχικής προέλευσης, και αποσαθρωμένες ζώνες του φλύσχη που στις περισσότερες περιπτώσεις θυμίζουν έδαφος. Οι 2 πιθανές ολισθήσεις είναι περιστροφικού τύπου. Ως αναφορά την 1η κατολίσθηση το μέγιστο πλάτος της ολισθαίνουσας μάζας υπολογίζεται γύρω στα 210m ενώ το μήκος της περίπου στα 800m. Το βάθος της ολισθαίνουσας μάζας υπολογίζεται περίπου στα 15m. Η υψομετρική διαφορά από τον πόδα της κατολίσθησης έως το φρύδι είναι της τάξεως των 150 m. Το φρύδι της κατολίσθησης εντοπίζεται ανατολικά της θέσης 2 (Εικόνα 45) , η οποία είναι και η θέση πτήσης του Drone.

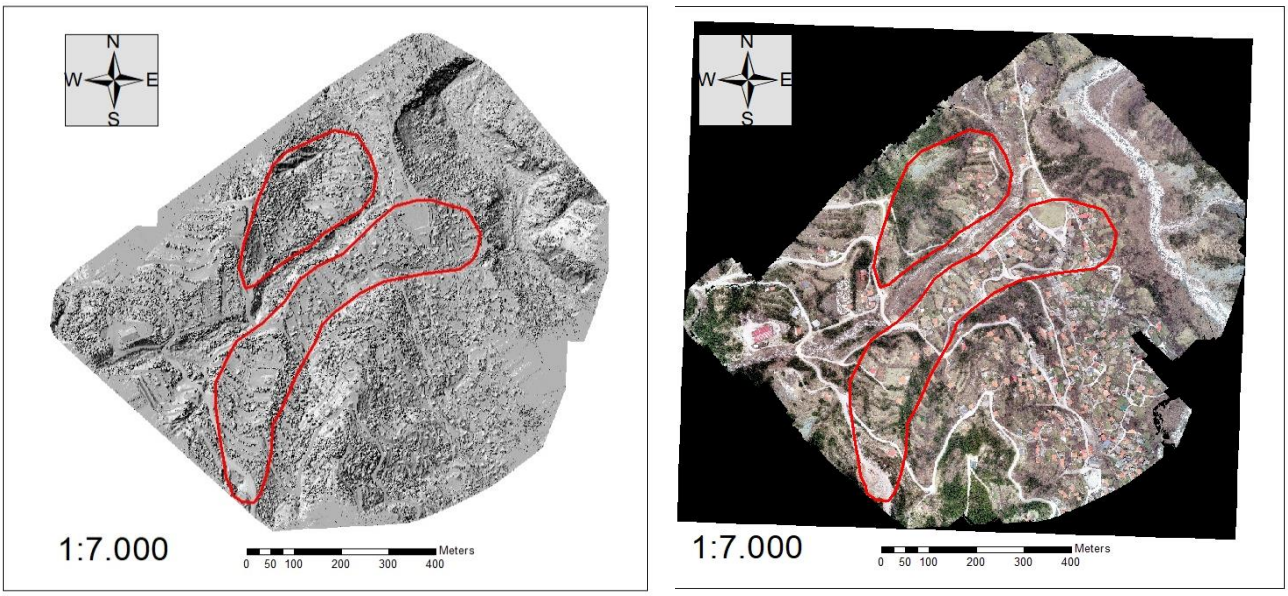
Το μέγιστο πλάτος της 2ης κατολίσθησης υπολογίζεται γύρω στα 140 m ενώ το μήκος της περίπου στα 400m. Το φρύδι της πιθανής κατολίσθησης βρίσκεται στη θέση 6δ, ενώ το δυτικό άκρο της εντοπίζεται στη θέση 7 (Εικόνα 47), εμφανίζοντας ρωγμές στο οδόστρωμα. Η υψομετρική διαφορά από τον πόδα της κατολίσθησης έως το φρύδι είναι της τάξεως των 90m.

Εικόνα 49 : Εμφάνιση Κορημάτων ανακατεμένα με φλυσχικά-εδαφικά αποσαθρωμένα υλικά πάνω από το ρέμα. Φρύδι πιθανής 2ης κατολίσθησης

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

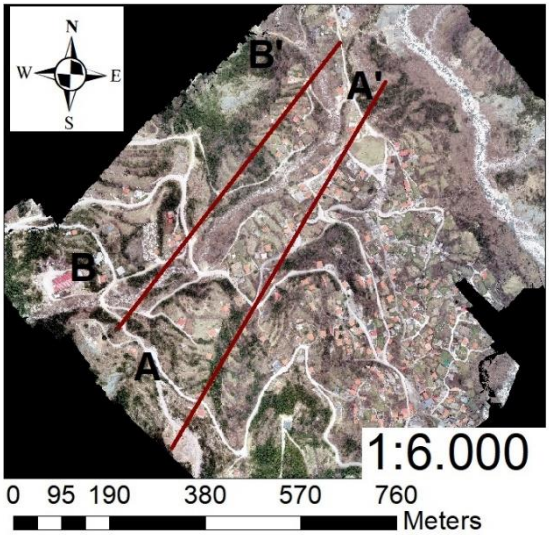
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Για την καλύτερη κατανόηση των ορίων των 2 κατολισθήσεων, χρησιμοποιήθηκε και σε αυτή την περίπτωση το πρόγραμμα ArcGIS, έτσι ώστε να ψηφιοποιηθούν οι κατολισθήσεις σε αρχεία DEM αλλά και σε ορθοφωτογραφίες (Εικόνα 50).



Εικόνα 50 : Ψηφοποίησση των 2 πιθανών κατολισθήσεων στη περίπτωση 3.. Στα αριστερά φωτογραφία από το DEM , στα δεξια ορθοφωτογραφία

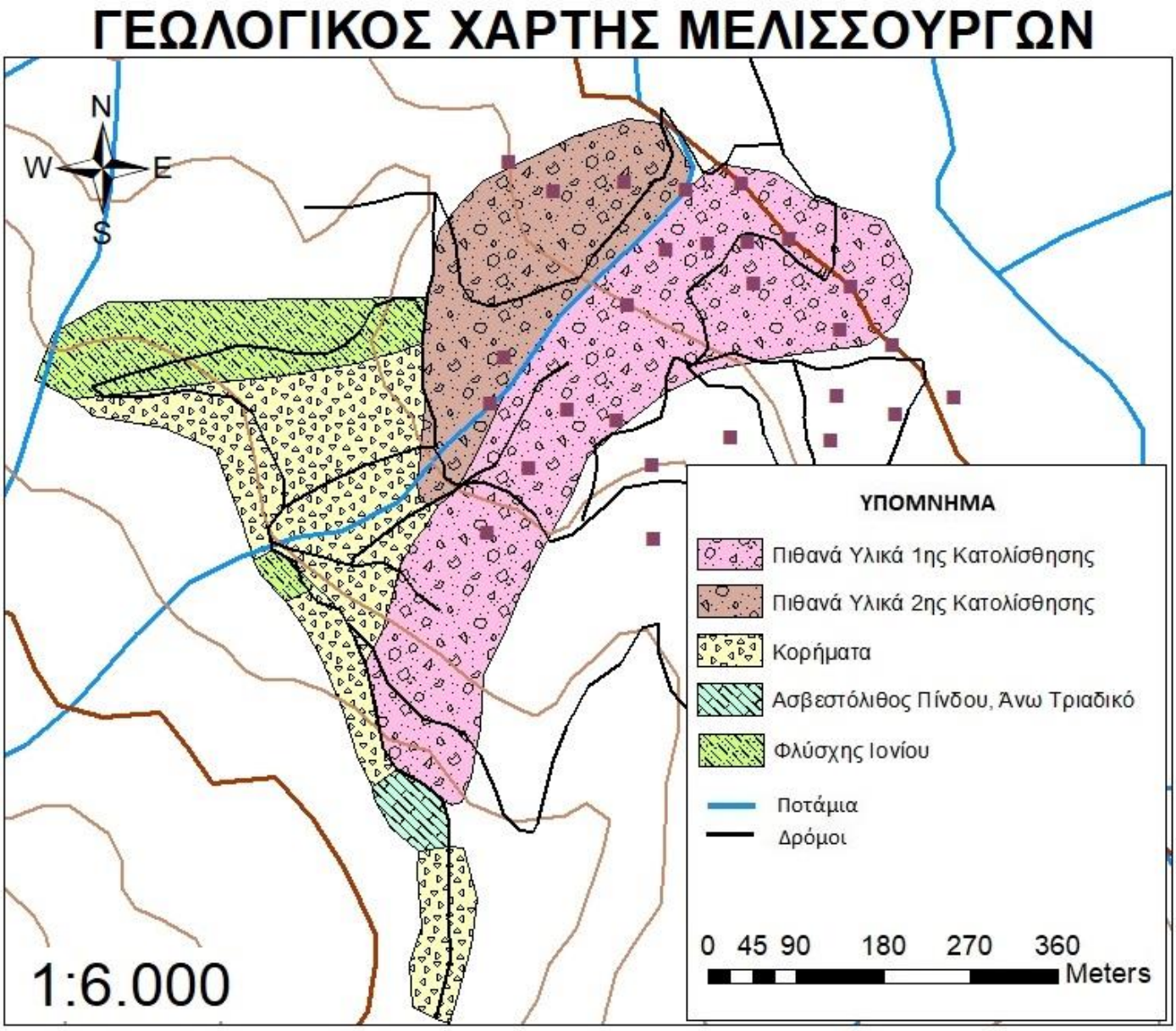
Τέλος κατασκευάστηκε εκ νέου ο γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης, κλίμακας 1:6.000 (Χάρτης 16), προσαρμόζοντας τα καινούρια στοιχεία, δηλαδή τα πιθανά υλικά των 2 κατολισθήσεων , τα οποία περιλαμβάνουν το μεγαλύτερο επιφανειακό μέρος του χωριού. Η τομή Α-Α΄ της περίπτωσης 2, παραμένει η ίδια (Τομή 2), ενώ κατασκευάζεται καινούρια τομή Β-Β' για την απεικόνιση της 2ης κατολίσθησης, σύμφωνα με την παρακάτω εικόνα (Τομή 3).



Εικόνα 51: Αποτύπωση τομής πάνω σε ορθοφωτογραφία

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

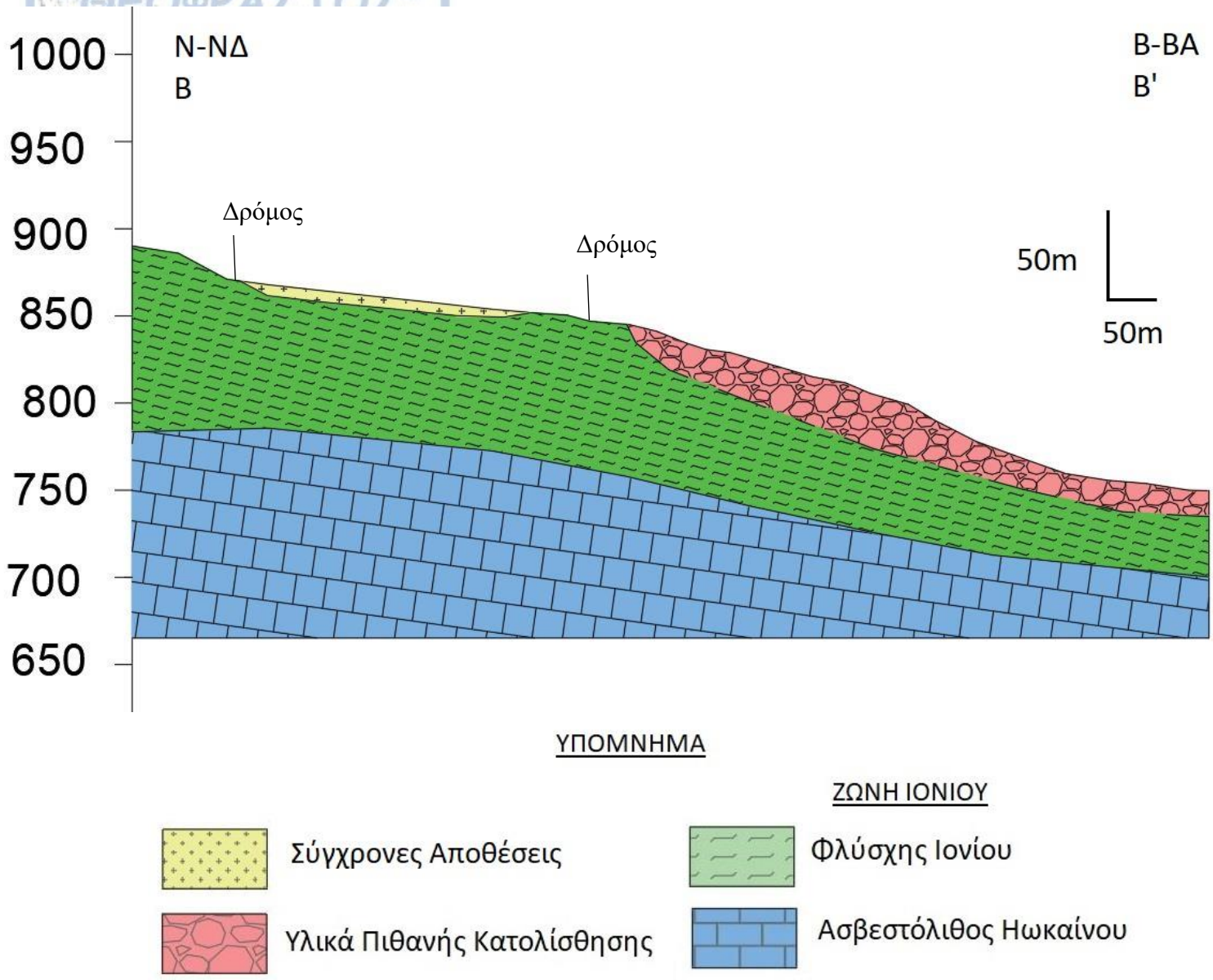
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Χάρτης 16: Γεωλογικός χάρτης των Μελισσουργών για την Περίπτωση 3

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

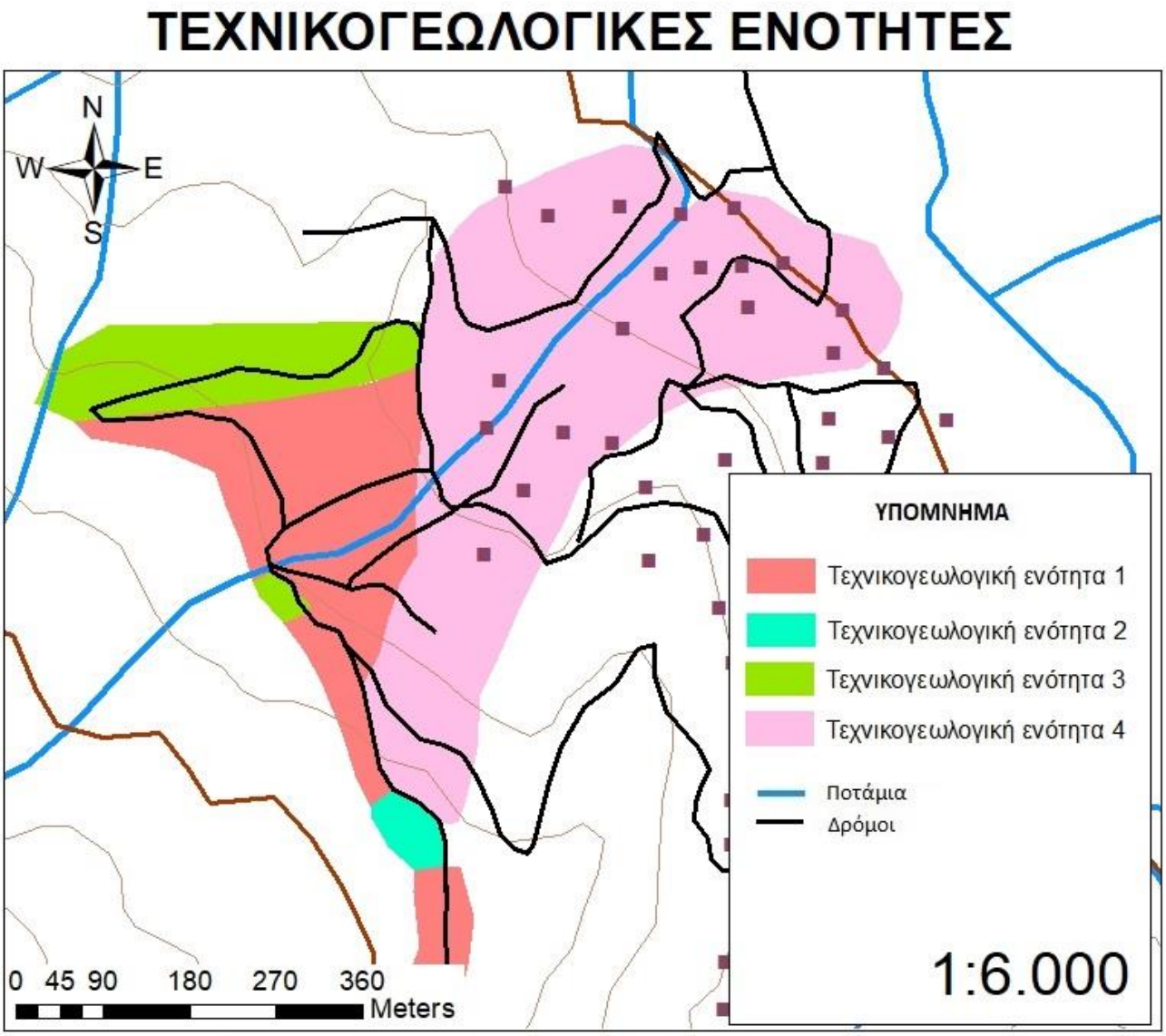


Τομή 3: Γεωλογική τομή για την 3η Περίπτωση όπου υφίστανται δυο κατολισθήσεις. (πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε: AutoCAD)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

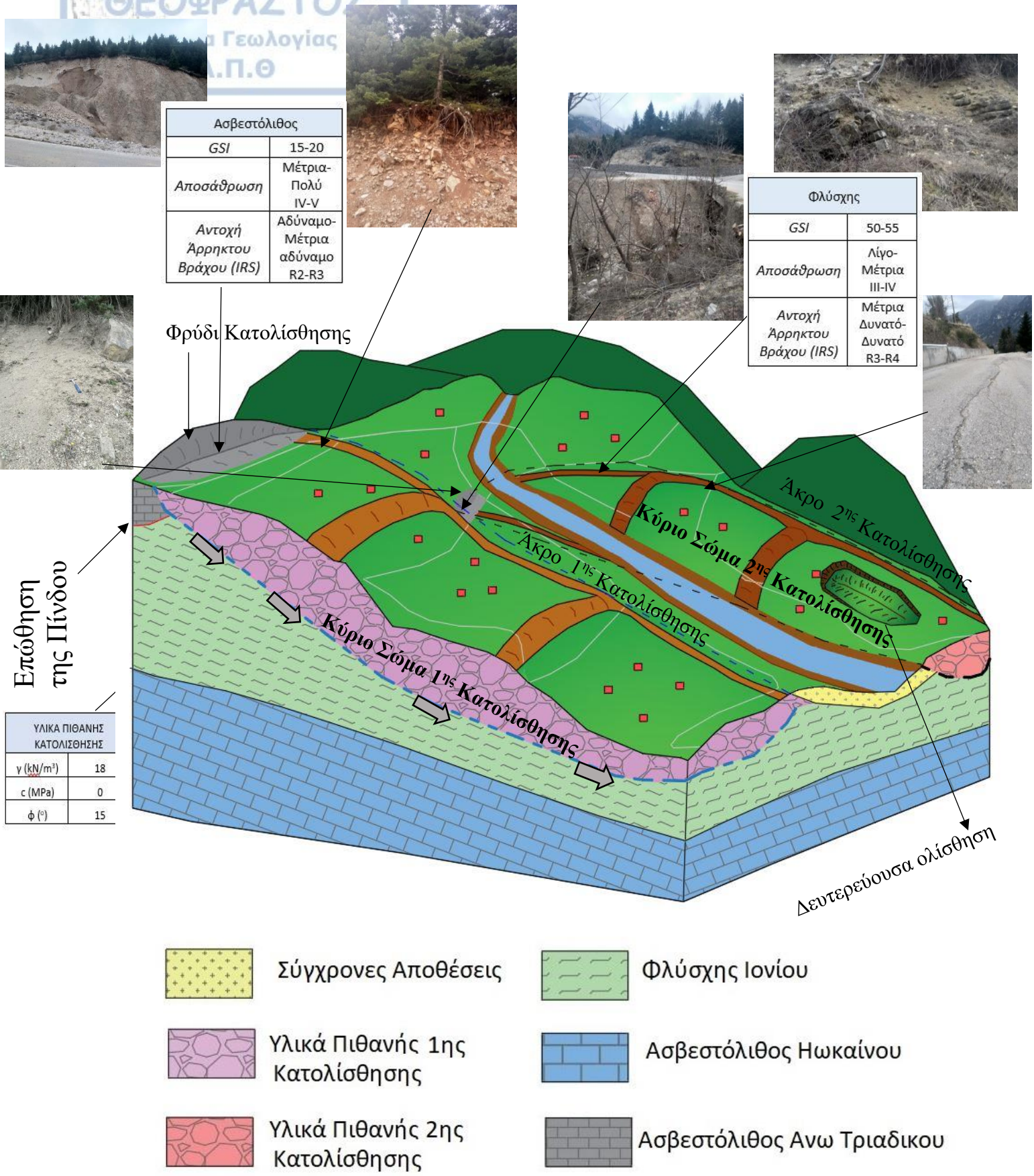
Ως αναφορά τη τεχνικογεωλογική αξιολόγηση της περιοχής, οι τεχνικογεωλογικές ενότητες στην περίπτωση όπου υφίστανται δύο πιθανές παλιές κατολισθήσεις, διαμορφώνονται σύμφωνα με την παρακάτω εικόνα (Χάρτης 17).



Χάρτης 17: Τεχνικογεωλογικός χάρτης των Μελισσουργών

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ



Ασβεστόλιθος	
GSI	15-20
Αποσάθρωση	Μέτρια-Πολύ IV-V
Αντοχή Άρρηκτου Βράχου (IRS)	Αδύναμο-Μέτρια αδύναμο R2-R3

Φλύσχης	
GSI	50-55
Αποσάθρωση	Λίγο-Μέτρια III-IV
Αντοχή Άρρηκτου Βράχου (IRS)	Μέτρια Δυνατό-Δυνατό R3-R4

ΥΛΙΚΑ ΠΙΘΑΝΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ	
γ (kN/m³)	18
c (MPa)	0
ϕ (°)	15

Σύγχρονες Αποθέσεις
Φλύσχης Ιονίου
Υλικά Πιθανής 1ης Κατολίσθησης
Ασβεστόλιθος Ηωκαίνου
Υλικά Πιθανής 2ης Κατολίσθησης
Ασβεστόλιθος Ανω Τριαδικου

Εικόνα 52: Τεχνικογεωλογικό προσομοίωμα της περιοχής, επεξεργασμένο με πρόγραμμα AutoCAD

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

5.6 Μηχανισμός Λειτουργίας της Κατολίσθησης

Η εξέταση της 2ης και 3ης περίπτωσης αποτελούν υποθέσεις οι οποίες θα επαληθευτούν στο κεφάλαιο 7 με τις αναλύσεις χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα SLIDE 2018. Η πιθανότητα ύπαρξης και ενεργοποίησης αυτών των κατολισθήσεων είναι αποτέλεσμα πολλών συνθηκών. Προκριμένου λοιπόν να αξιολογηθούν οι συνθήκες ευστάθειας του φυσικού ανάγλυφου δίνεται μια προσέγγιση για τους μηχανισμούς γένεσης και εξέλιξης των κατολισθητικών φαινομένων. Οι δύο πιθανές κατολισθήσεις φαίνεται να οφείλονται στους ίδιους παράγοντες (σεισμική δόνηση), ενώ δεν αποκλείεται στη περίπτωση 3, η μια κατολίσθηση να είναι απόρροια της δεύτερης. Η ερμηνεία των ενδεχόμενων κατολισθητικών φαινόμενων θα απαιτούσε γεωλογική διερεύνηση της ευρύτερης περιοχής, η οποία ξεφεύγει από το πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής, όμως οι κύριοι παράγοντες που ενεργοποίησαν τυχόν κατολισθήσεις μελετήθηκαν σε κλίμακα 1:5.000. Στη συνέχεια παρουσιάζεται το πιθανότερο κατά την άποψη μου σενάριο του μηχανισμού λειτουργίας των συγκεκριμένων κατολισθητικών φαινομένων.

1. Σε πρώτο στάδιο και ο κύριος παράγοντας που θα εξεταστεί στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία είναι η ύπαρξη σεισμικής δόνησης. Η ενεργοποίηση της συγκεκριμένης κατολίσθησης χρονολογείται το 1967 και είναι απόρροια σεισμικής δόνησης μεγέθους 6.4.
2. Σε δεύτερο στάδιο λόγω ρηξιγενούς τεκτονισμού δημιουργήθηκαν τα μεγάλα ρήγματα με κατεύθυνση σχεδόν Β-Ν, με ένα από τα οποία αποκόπτεται η περιοχή στη στέψη της κατολίσθησης. Το ρήγμα αυτό είναι ανάστροφο και φέρνει σε επαφή τους Ασβεστόλιθους της Πίνδου με τον φλύσχη της Ιονίου. Η επαφή αυτή φαίνεται να εντοπίζεται στο φρύδι της κατολίσθησης, χωρίς όμως να έχει χαρτογραφηθεί στη παρούσα διπλωματική, λόγω κάλυψης της από σύγχρονες αποθέσεις. Η ευρύτερη περιοχή γύρω από το ρήγμα φαίνεται να έχει επηρεαστεί, καθώς αυτό συντελεί στην έντονη καταπόνηση και διάρρηξη των πετρωμάτων που είναι σε επαφή με το ρήγμα, ενώ συνεισφέρει στην αποκόλληση μεγάλων όγκων κυρίως ασβεστολιθικών, καθώς και στην εδαφοποίηση του φλύσχη.
3. Τέλος από υδρογεωλογική άποψη θα πρέπει να αναφερθεί ως αίτιο η μικρή ανάπτυξη υδροφόρων στην ζώνη αποσάθρωσης, η οποία λόγω της αργιλοϊλυώδους σύστασης παρουσιάζει μικρή περατότητα. Ωστόσο οι παρατεταμένες υγροί περίοδοι στη περιοχή μελέτης καθιστούν τον μανδύα κατά πάσα πιθανότητα κορεσμένο ειδικότερα στην επαφή του με τους Ασβεστόλιθους της Πίνδου. Ακόμη αναμένεται μεγαλύτερη παρουσία νερού στα νοτιά του χωριού στη θέση 2 όπου βρίσκεται το φρύδι της μίας κατολίσθησης της περίπτωσης 2 και 3, λόγω της ζώνης τεκτονισμού. Το νερό περνάει μέσα από το ρήγμα αλλά και από τον κερματισμένο και αποδιοργανωμένο ασβεστόλιθο με τον οποίο βρίσκεται σε επαφή. Τέλος σημαντική περατότητα παρατηρείται στις σύγχρονες αποθέσεις που υφίστανται στη περιοχή και αποτελούν μαζί με τα φλυσχικά υλικά, τα υλικά της κατολίσθησης.

Αποτέλεσμα αυτών των δράσεων είναι το φλυσχικό υλικό σε συνδυασμό με τις μεγάλης έκτασης σύγχρονες αποθέσεις δίνουν τα υλικά της κύριας μάζας της κατολίσθησης τα οποία αντίστοιχα αποτεόύνται, από λατύπες ψαμμίτη και πιο μεγάλα ολισθημένα τεμάχη φλύσχη, και κορήματα μεταφοράς από το ρέμα, κορήματα από αποσάθρωση των γύρω πετρωμάτων και όγκων που έχουν ολισθήσει. Το μέσο πάχος

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

αυτών των υλικών υπολογίζεται γύρω στα 15m. Συγχρόνως συμβαίνει θραύση των ασβεστολιθικών μαζών που βρίσκονται στη στέψη της κατολίσθησης. Από τη θραύση προέκυψαν καταπτώσεις και ολισθήσεις μαζών δημιουργώντας τα υλικά καταπτώσεων από όγκους ασβεστόλιθων ποικίλου μεγέθους από μεγάλα τεμάχη περίπου 2m έως και διάσπαρτους λίθους.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

6. ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ

Στη παρούσα διπλωματική πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με το πρόγραμμα Slide 2018 της Rocsience Inc με σκοπό την αναλυτικότερη εξέταση της ευστάθειας της περιοχής μελέτης. Εξετάστηκαν τα 3 ενδεχόμενα που προέκυψαν από τη χαρτογράφηση (βλ. κεφάλαιο 5) ως προς την ευστάθειά τους:

1. Κατά τις στατικές τους συνθήκες (ξηρές), όπου η ευστάθειά τους εξαρτάται αποκλειστικά από τη διατμητική αντοχή των υλικών (c και φ – εύρεση με το κριτήριο Mohr- Coulomb) σε συνδυασμό κλίση του πρανούς.
2. Με πίεση πόρων, όπου η ευστάθεια εξαρτάται από τη διατμητική αντοχή των υλικών, από την κλίση του πρανούς αλλά και την πίεση πόρων που ασκεί το νερό που απαντάται μέσα στα κενά, ανάμεσα στα σωματίδια του εδάφους. Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με πίεση πόρων r_u =0,1 , r_u =0,2 , r_u =0,3.
3. Τέλος με σεισμική δόνηση, όπου η ευστάθεια εξαρτάται εξίσου από την κλίση του πρανούς και τη διατμητική αντοχή των υλικών. Ο πιο σημαντικός παράγοντας σε αυτή την περίπτωση είναι η σεισμική επιτάχυνση που δημιουργείται κατά την γένεση ενός σεισμού. Σε πρώτο στάδιο σε όλα τα μοντέλα χρησιμοποιήθηκε η σεισμική επιτάχυνση της σεισμικής ζώνης ΙΙ κατά ΕΑΚ α=0.24 (βλ κεφάλαιο 4.3). Σε μια περίπτωση ακολουθήθηκε διαφορετική μέθοδος όπως θα αναλυθεί συνέχεια.

Στα ενδεχόμενα 2 και 3, όπου έχουν εκδηλωθεί μία και δύο κατολισθήσεις, αντίστοιχα, πραγματοποιήθηκαν δύο ειδών αναλύσεις. Στην αρχή πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις για την εύρεση των κύκλων ολίσθησης με συντελεστή F<1. Οι αναλύσεις αυτές αποσκοπούν στην εύρεση οποιονδήποτε κύκλων ολίσθησης με συντελεστή ασφαλείας F<1, που σχηματίζονται εξαιτίας των γεωτεχνικών παραμέτρων των σχηματισμών, της μορφολογίας αλλά και των συνθηκών που επικρατούν.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις για τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας μη κυκλικής καθορισμένης επιφάνειας ολίσθησης. Έτσι μελετήθηκε ως προς την ευστάθεια η επιφάνεια ολίσθησης που είχε καθοριστεί από την αρχή, δηλαδή η επαφή των υλικών κατολίσθησης με τον φλύσχη της Ιονίου. Η επιφάνεια αυτή έχει βάθος 15m και μήκος περίπου 700m για την 1η περίπτωση και 330m για την 2η περίπτωση.

Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι λόγω έλλειψης τόσο δειγματοληπτικών γεωτρήσεων, όσο και επιτόπου και εργαστηριακών δοκιμών για τον προσδιορισμό των μηχανικών παραμέτρων των γεωυλικών και το ακριβές πάχος των σχηματισμών, η εφαρμογή των αναλύσεων έγινε με τη παραδοχή σεναρίων. Τα μοντέλα κατασκευάστηκαν με το πρόγραμμα AutoCAD, αποθηκεύτηκαν σε αρχείο .dxf και εισήχθησαν για επεξεργασία στο πρόγραμμα SLIDE.

6.1 Ανάλυση 1ης Περίπτωσης

Για την 1η περίπτωση θα εξεταστεί το μοντέλο της περίπτωση 1ης του κεφαλαίου 5.1, κατά το οποίο στη περιοχή μελέτης συμμετέχουν οι σύγχρονες αποθέσεις, οι οποίες περιλαμβάνουν το μεγαλύτερο επιφανειακό μέρος της περιοχής μελέτης. Το πάχος αυτών των αποθέσεων είναι 5m. Ακόμη συμμετέχουν ο ασβεστόλιθος της Πίνδου ηλικίας Άνω Τριαδικού, ο οποίος βρίσκεται στη το Ν-ΝΔ σημείο της περιοχής μελέτης και έρχεται σε επαφή (τεκτονική) με τον φλύσχη της

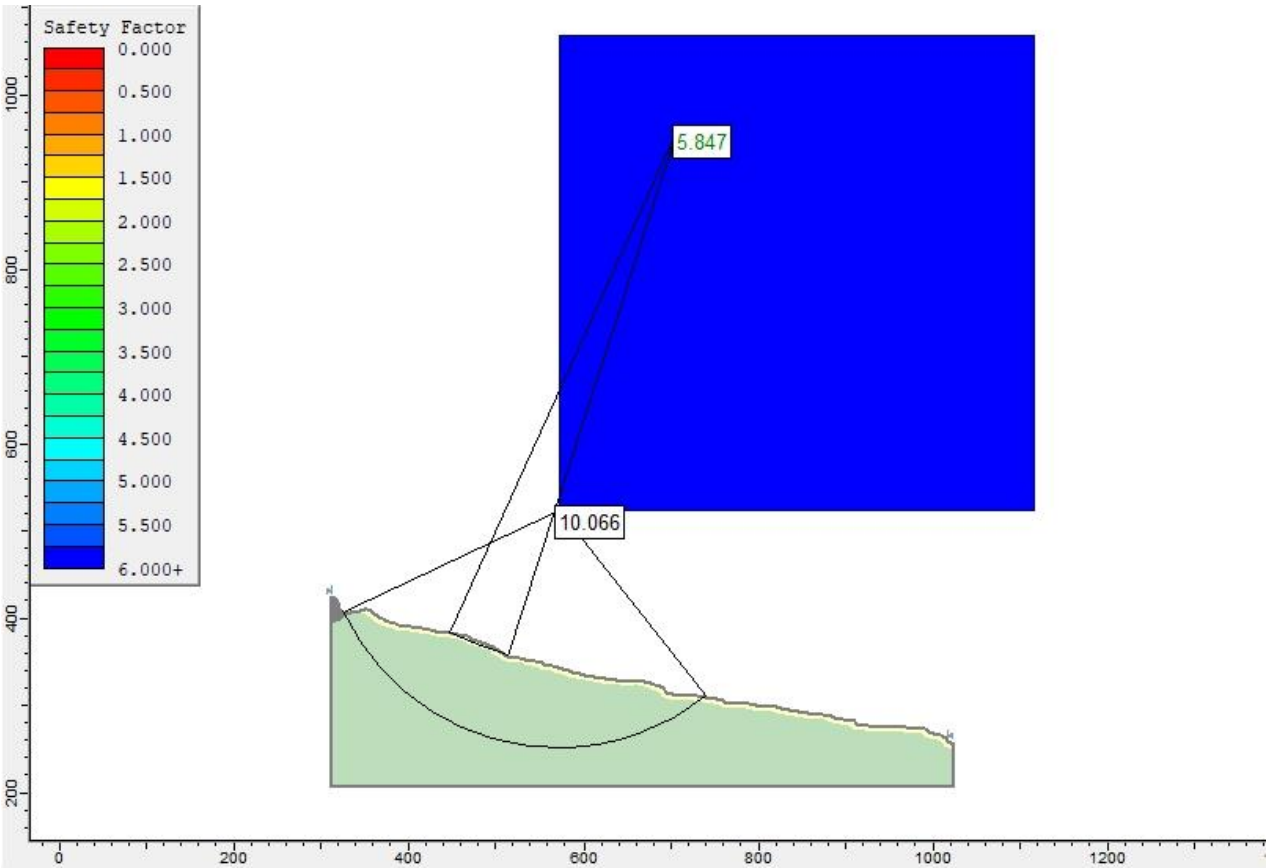
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Ιονίου. Δίνοντας λοιπόν τις αντίστοιχες παραμέτρους έχουμε τα παρακάτω αποτελέσματα:

1. Στατικές Συνθήκες (ξηρές)

Τύπος Γεωυλικού	Unit Weight γ (kN/m^3)	Συνοχή c (kN/m^2)	Γωνία Τριβής φ (^{o})	Μικρότερος Συντελεστής Ασφαλείας (Μέθοδος Bishop)
Σύγχρονες Αποθέσεις	18	100	30	5,847
Φλύσχης	23,5	1150	47,76	
Ασβεστόλιθος	24	231	56,24	



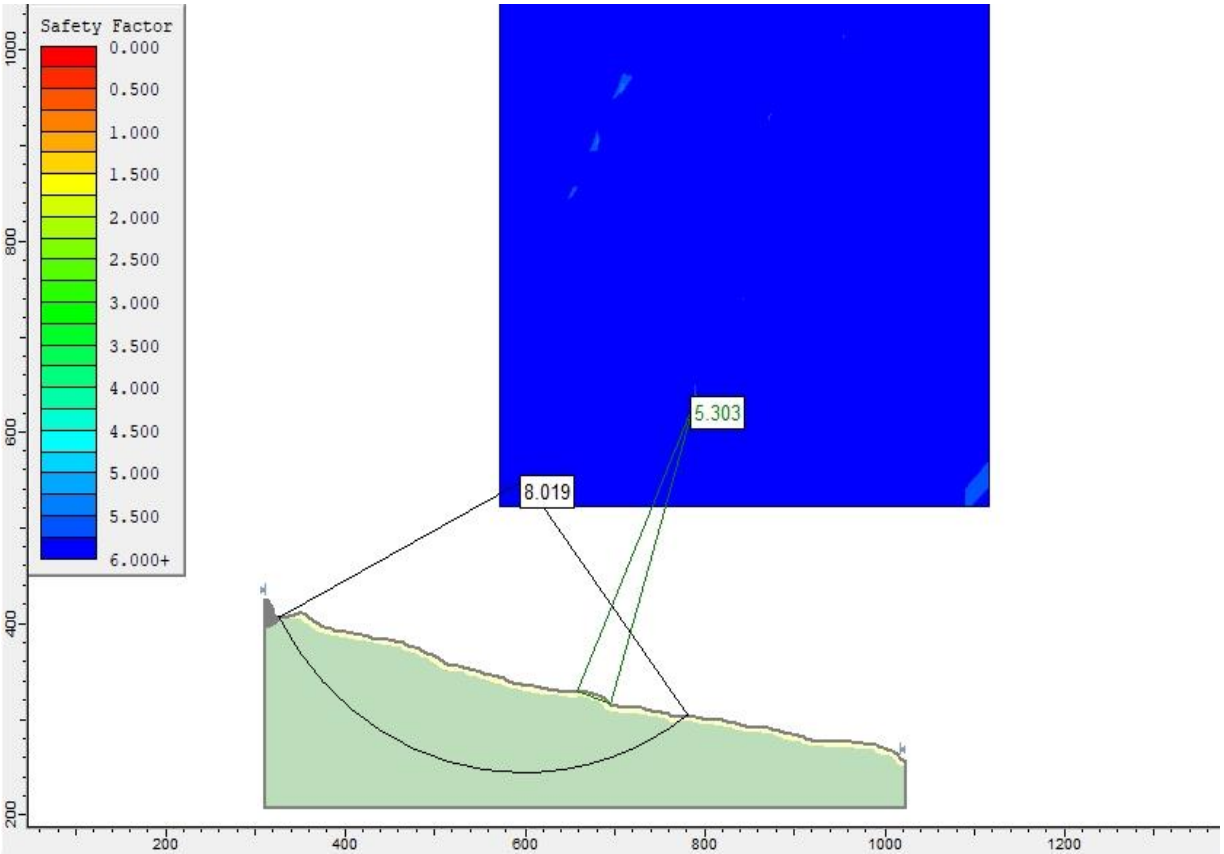
Εικόνα 53: Κύκλοι ολίσθησης με τον χαμηλότερο συντελεστή ασφαλείας σε στατικές - ξηρές συνθήκες (Με κίτρινο χρώμα απεικονίζεται οι σύγχρονες αποθέσεις που εδράζονται επί του Φλύσχη της Ιονίου- πράσινο χρώμα. Με γκρι χρώμα απεικονίζεται ο Ασβεστόλιθος της Πίνδου).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

2. Στατικές συνθήκες (υγρές- Πίεση πόρων)

Τύπος Γεωυλικού	Unit Weight γ (kN/m^3)	Συνοχή c (kN/m^2)	Γωνία Τριβής φ (°)	Ru	Μικρότερος Συντελεστής Ασφαλείας (Μέθοδος Bishop)
Σύγχρονες Αποθέσεις	18	100	30	0.3	5.303
Φλύσχης	23,5	1150	47,76	0.3	
Ασβεστόλιθος	24	231	56,24	0.3	



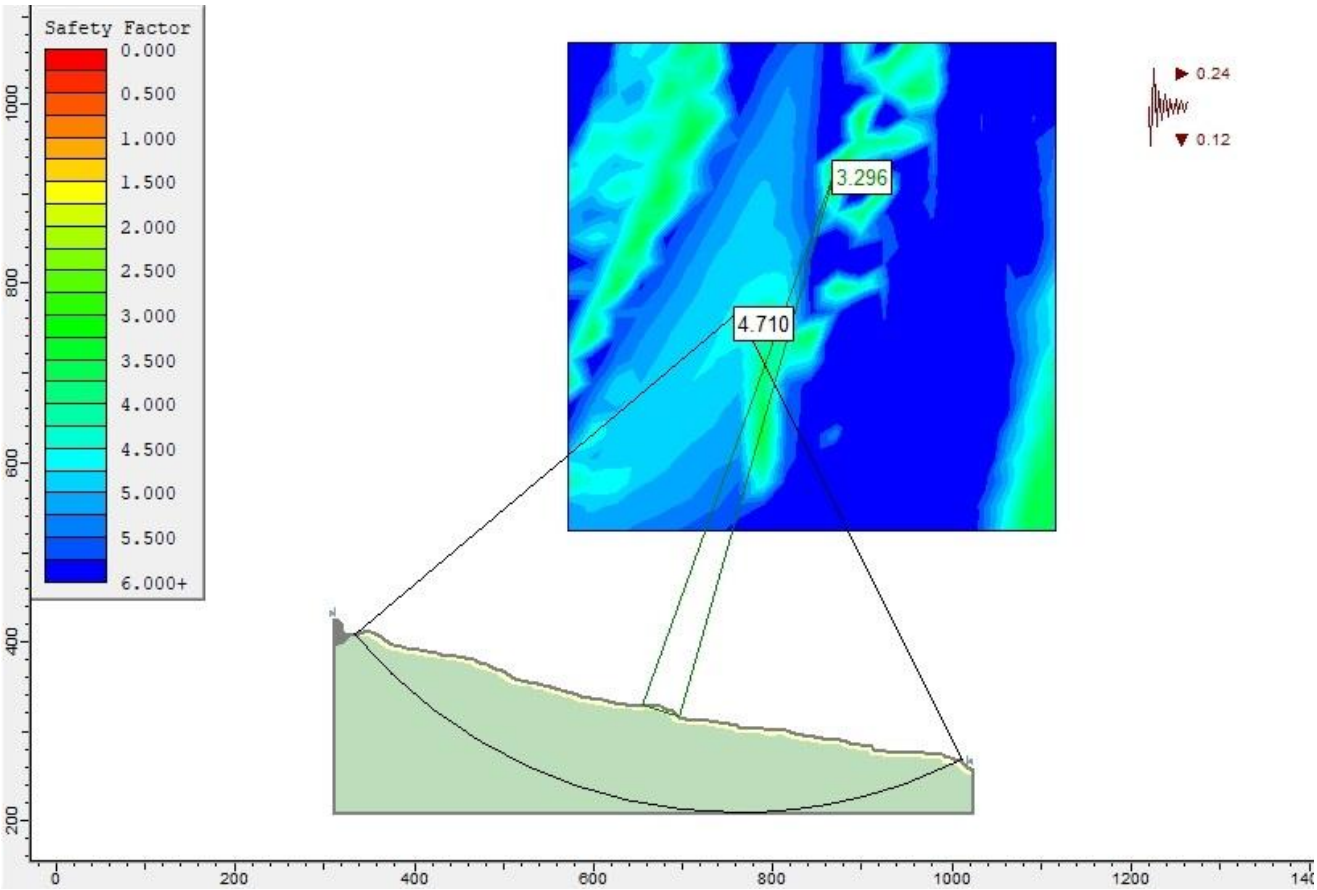
Εικόνα 54: Κύκλοι ολίσθησης με τον χαμηλότερο συντελεστή ασφαλείας σε στατικές - υγρές συνθήκες

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

3. Δυναμικές Ξηρές συνθήκες -Σεισμική επιτάχυνση κατά ΕΑΚ

Τύπος Γεωυλικού	Unit Weight γ (kN/m^3)	Συνοχή c (kN/m^2)	Σεισμική επιτάχυνση	Γωνία Τριβής φ (°)	Μικρότερος Συντελεστής Ασφαλείας (Μέθοδος Bishop)
Σύγχρονες Αποθέσεις	18	100	α_h= 0,24 α_v= 0.12	30	3,296
Φλύσχης	23,5	1150	α_h= 0,24 α_v= 0.12	47,76	
Ασβεστόλιθος	24	231	α_h= 0,24 α_v= 0.12	56,24	



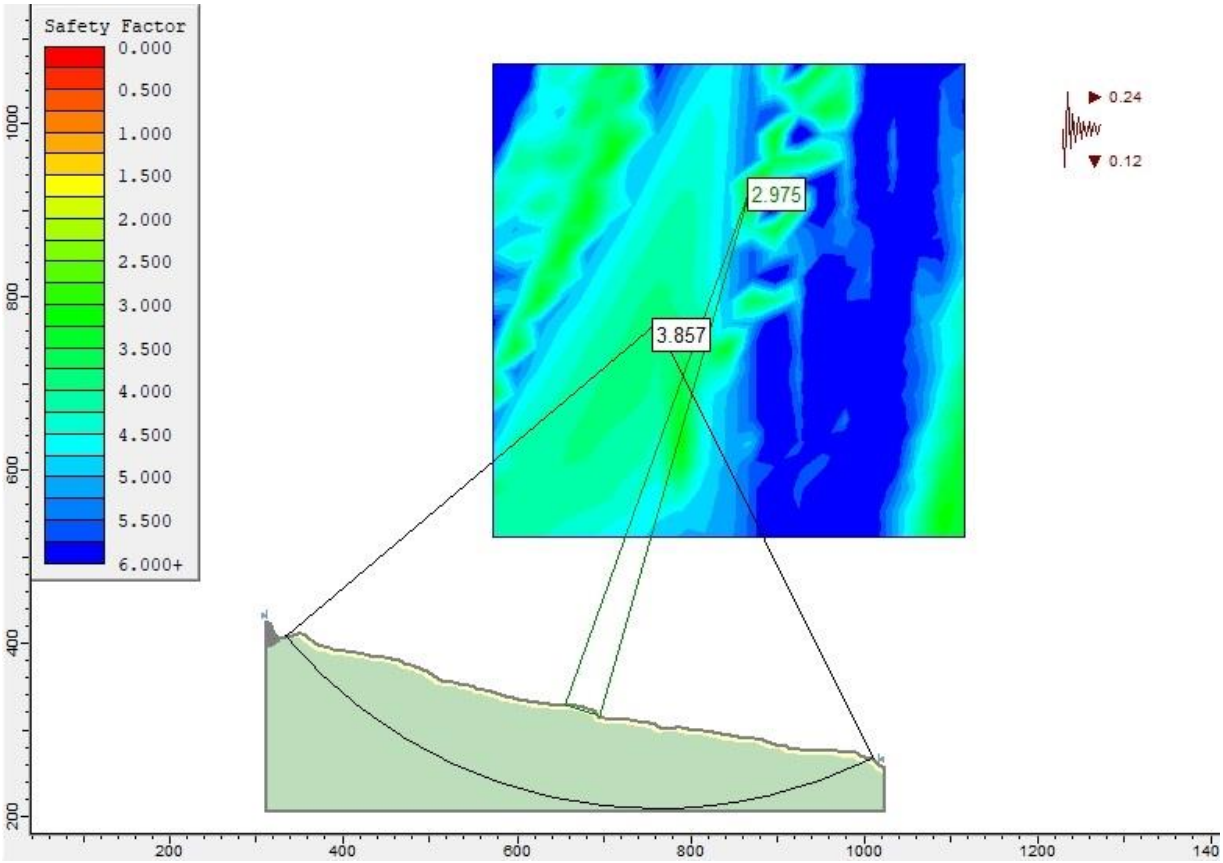
Εικόνα 55: Κύκλοι ολίσθησης με τον χαμηλότερο συντελεστή ασφαλείας σε δυναμικές - ξηρές συνθήκες

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

4. Δυναμικές υγρές συνθήκες -Σεισμική επιτάχυνση κατά ΕΑΚ

Τύπος Γεωυλικού	Unit Weight γ (kN/m^3)	Συνοχή c (kN/m^2)	Γωνία Τριβής φ (°)	Σεισμική επιτάχυνση	Ru	Μικρότερος Συντελεστής Ασφαλείας (Μέθοδος Bishop)
Σύγχρονες Αποθέσεις	18	100	30	α_h= 0,24 α_v= 0.12	0.3	2,975
Φλύσχης	23,5	1150	47,76	α_h= 0,24 α_v= 0.12	0.3	
Ασβεστόλιθος	24	231	56,24	α_h= 0,24 α_v= 0.12	0.3	



Εικόνα 56: Κύκλοι ολίσθησης με τον χαμηλότερο συντελεστή ασφαλείας σε δυναμικές – υγρές συνθήκες

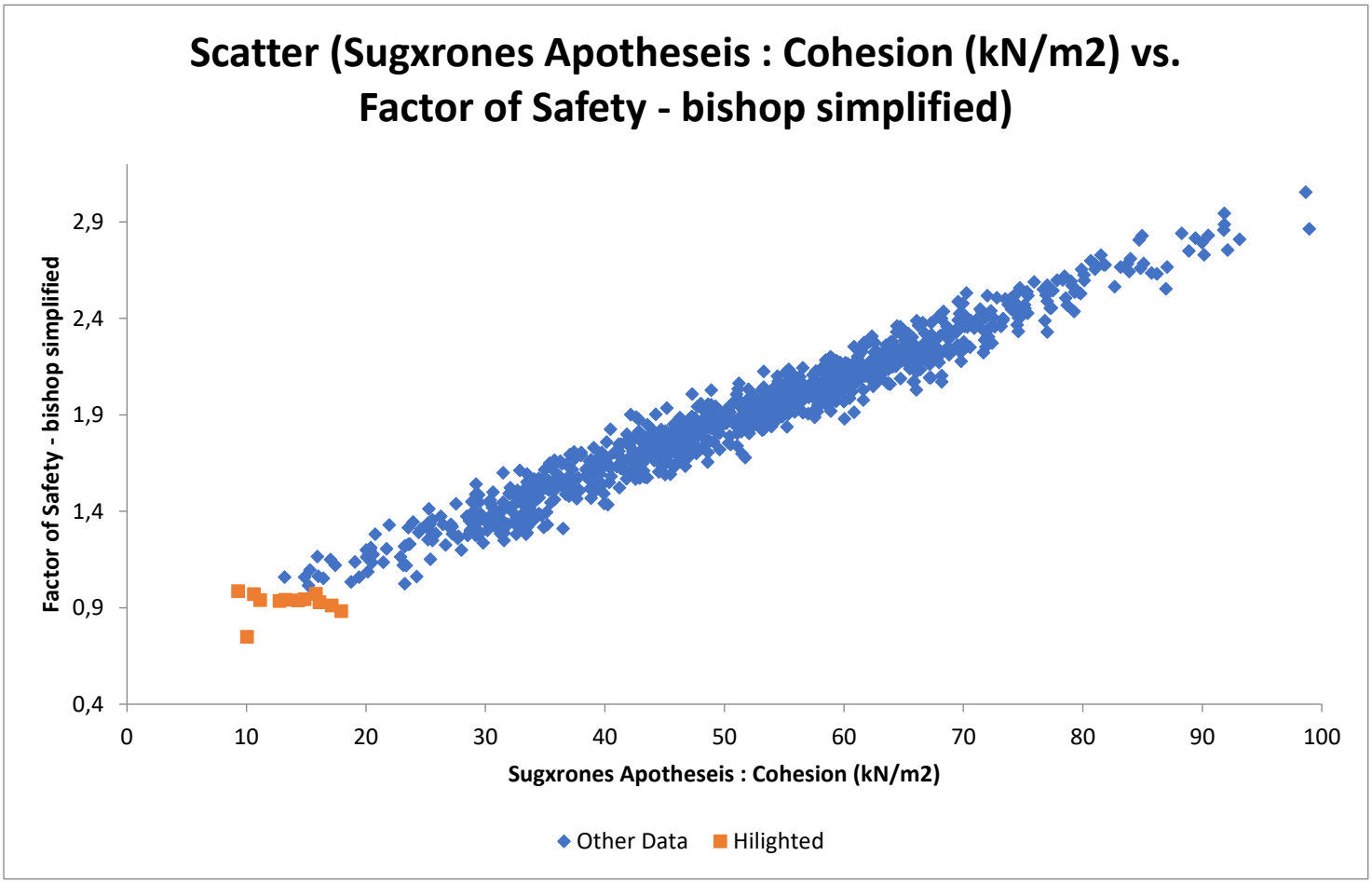
Από τα παραπάνω προκύπτει ότι στην περίπτωση που ισχύει το ενδεχόμενο 1 στη περιοχή μελέτης, τότε αυτό ευσταθεί σε οποιεσδήποτε συνθήκες. Εξαιτίας της καλής διατμητικής αντοχής των κορημάτων, η περιοχή ευσταθεί με ελάχιστο συντελεστή

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

ασφαλείας 2.431 ακόμη και σε δυναμικές υγρές συνθήκες, στο χειρότερο σενάριο, δηλαδή με ru=0.3 (πλήρως κορεσμένα υλικά) σε συνδυασμό με τη δυσμενέστερη τιμής της σεισμικής κάθετης επιτάχυνσης α =0.36 και οριζόντιας σεισμικής επιτάχυνσης α=0.18 που αντιστοιχεί σε ένα σεισμό πολύ μεγάλου μεγέθους.

Για να έχει νόημα η μελέτη των ενδεχομένων 2 και 3, θα πρέπει να έχει πραγματοποιηθεί κάποια παλιά κατολίσθηση, ώστε τα υλικά αυτής της κατολίσθησης να έχουν καλύψει το μεγαλύτερο επιφανειακό μέρος της περιοχής μελέτης. Για το λόγο αυτό πραγματοποιήθηκε μια ανάλυση πιθανότήτων (Probabilistic Analysis) με το πρόγραμμα Slide 2018. Στόχος αυτής της ανάλυσης είναι να μελετηθεί ποια θα έπρεπε να ήταν η διατμητική αντοχή των σύγχρονων αποθέσεων έτσι ώστε να αστοχούσαν σε μια σεισμική δόνηση που θα έδινε επιτάχυνση σύμφωνα με τα δεδομένα του ΕΑΚ. Το εύρος των τιμών που δόθηκαν για τη συνοχή των αποθέσεων είναι c= 0-100kPa και φ=15-30°. Τα αποτελέσματα της μελέτης που έδωσαν κύκλους ολίσθησης με συντελεστή FS<1, δηλαδή κύκλους που οδηγούν σε αστοχία σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα, έδειξαν πως για συνοχή c=0-18 kPA (Πίνακας 12) με τα αντίστοιχα (Πίνακα 14) δίνουν ισότροπη ολίσθηση (Διάγραμμα 5) και (Διάγραμμα 6). Ακόμη υπολογίστηκαν οι τιμές c και φ για οριακή ισορροπία (Πίνακας 13). Οι τιμές c και φ που προέκυψαν αντιστοιχούν πρακτικά σε αντοχή υλικών παλιάς κατολίσθησης.



Διάγραμμα 5: Στο διάγραμμα απεικονίζονται με πορτοκαλί χρώμα (Hilighted) οι τιμές της συνοχής οι οποίες δίνουν ολίσθηση, δηλαδή συντελεστή ασφαλείας- bishop simplified FS<1. Με μπλε χρώμα απεικονίζονται οι τιμές που δεν δύνανται για ολίσθηση.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμ

Σύγχρονες Αποθέσεις : c (kN/m2)	Factor of Safety - bishop simplified
2,56434	0,734117
3,17231	0,679627
4,29197	0,776569
4,66614	0,722412
6,94159	0,770234
7,11659	0,867791
7,13867	0,868713
7,70176	0,986647
7,80789	0,721788
9,29776	0,985511
10,0474	0,750243
10,6282	0,971077
11,1445	0,939587
12,7746	0,934877
13,2494	0,940961
14,3313	0,938096
14,8736	0,943967
15,8123	0,971783
16,1178	0,929386
17,1408	0,912183
17,9379	0,88231

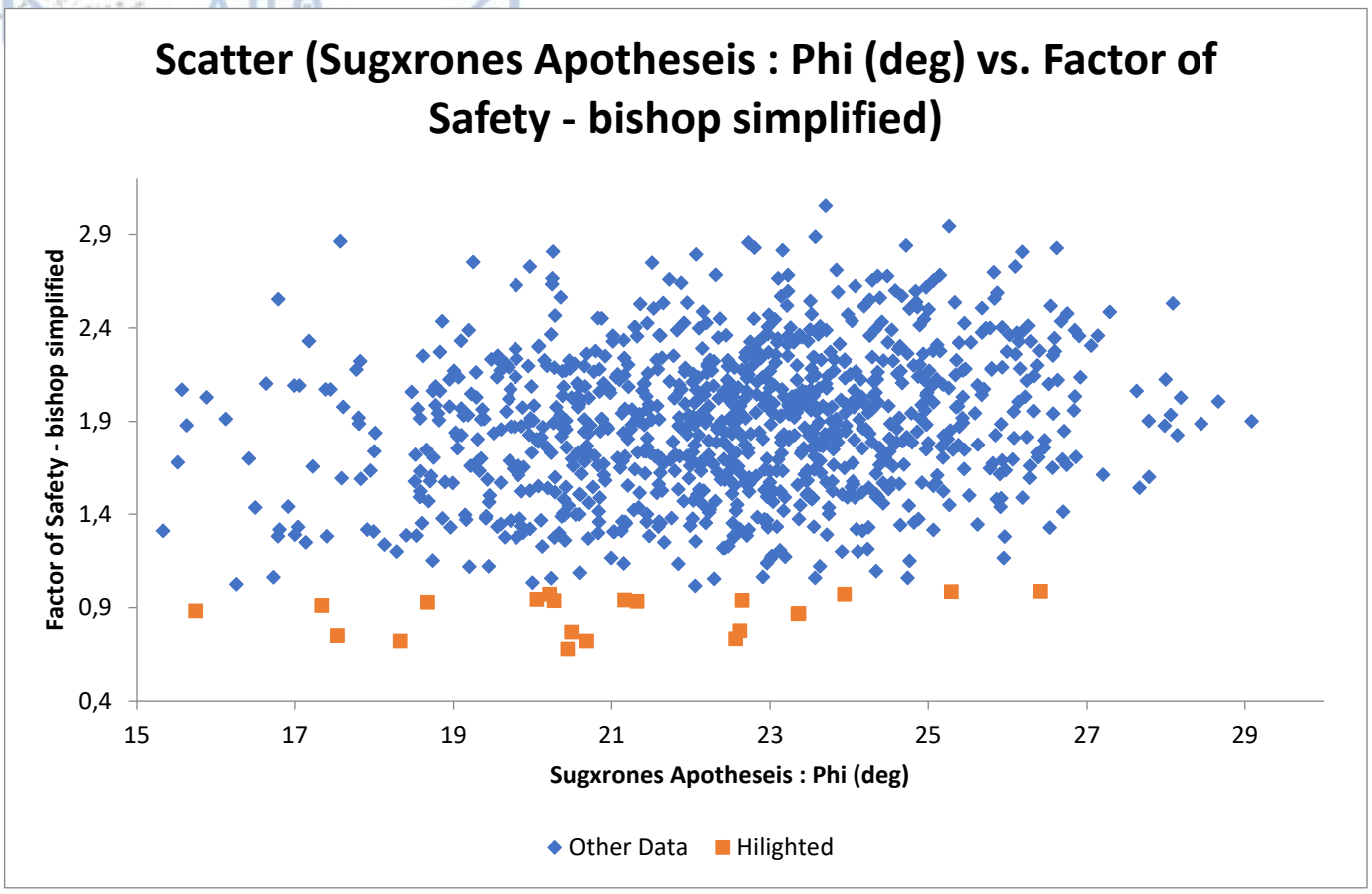
Πίνακας 13: Πίνακας που αντιστοιχίζει τις τιμές που πρέπει να λάβει η συνοχή των σύγχρονων αποθέσεων της περιοχής μελέτης για να δώσει συντελεστή αστοχίας FS<1. Αντιστοίχιση για κάθε συνοχή η τιμή συντελεστή ασφαλείας που προκύπτει.

Σύγχρονες Αποθέσεις : c (kN/m2)	Factor of Safety - bishop simplified
13,1849	1,05836
14,8685	1,05855
15,1903	1,01587
15,3261	1,09546
16,0239	1,06392
16,4291	1,05323
18,7707	1,03415
19,4448	1,05811
20,1535	1,08644
23,2627	1,02421
24,2529	1,06225

Πίνακας 14: Πίνακας που παραθέτει τις τιμές της συνοχής για οριακή ισορροπία FS:1-1.09

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας



Διάγραμμα 6: Στο διάγραμμα απεικονίζονται με πορτοκαλί χρώμα (Hilighted) οι τιμές της γωνίας τριβής οι οποίες δίνουν ολίσθηση, δηλαδή συντελεστή ασφαλείας- bishop simplified FS<1. Με μπλε χρώμα απεικονίζονται οι τιμές που δεν δύνανται για ολίσθηση.

Σύγχρονες Αποθέσεις : φ(°)	Factor of Safety - bishop simplified
15,7493	0,88231
17,3384	0,912183
17,5383	0,750243
18,3261	0,721788
18,6682	0,929386
20,0596	0,943967
20,2226	0,971783
20,2778	0,938096
20,4517	0,679627
20,4996	0,770234
20,685	0,722412
21,1625	0,940961
21,3217	0,934877

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

22,5648	0,734117
22,6151	0,776569
22,6435	0,939587
23,3508	0,867791
23,3628	0,868713
23,938	0,971077
25,2923	0,985511
26,4114	0,986647

Πίνακας 15: Πίνακας που αντιστοιχίζει τις τιμές που πρέπει να λάβει η γωνία τριβής των σύγχρονων αποθέσεων της περιοχής μελέτης για να δώσει συντελεστή αστοχίας FS<1. Αντιστοίχιση για κάθε γωνία τριβής η τιμή συντελεστή ασφαλείας που προκύπτει.

Σύγχρονες Αποθέσεις : φ(°)	Factor of Safety - bishop simplified
16,2644	1,02421
16,7319	1,06225
20,0026	1,03415
20,2393	1,05811
20,5983	1,08644
22,0564	1,01587
22,2928	1,05323
22,907	1,06392
23,5671	1,05855
24,3399	1,09546
24,7406	1,05836

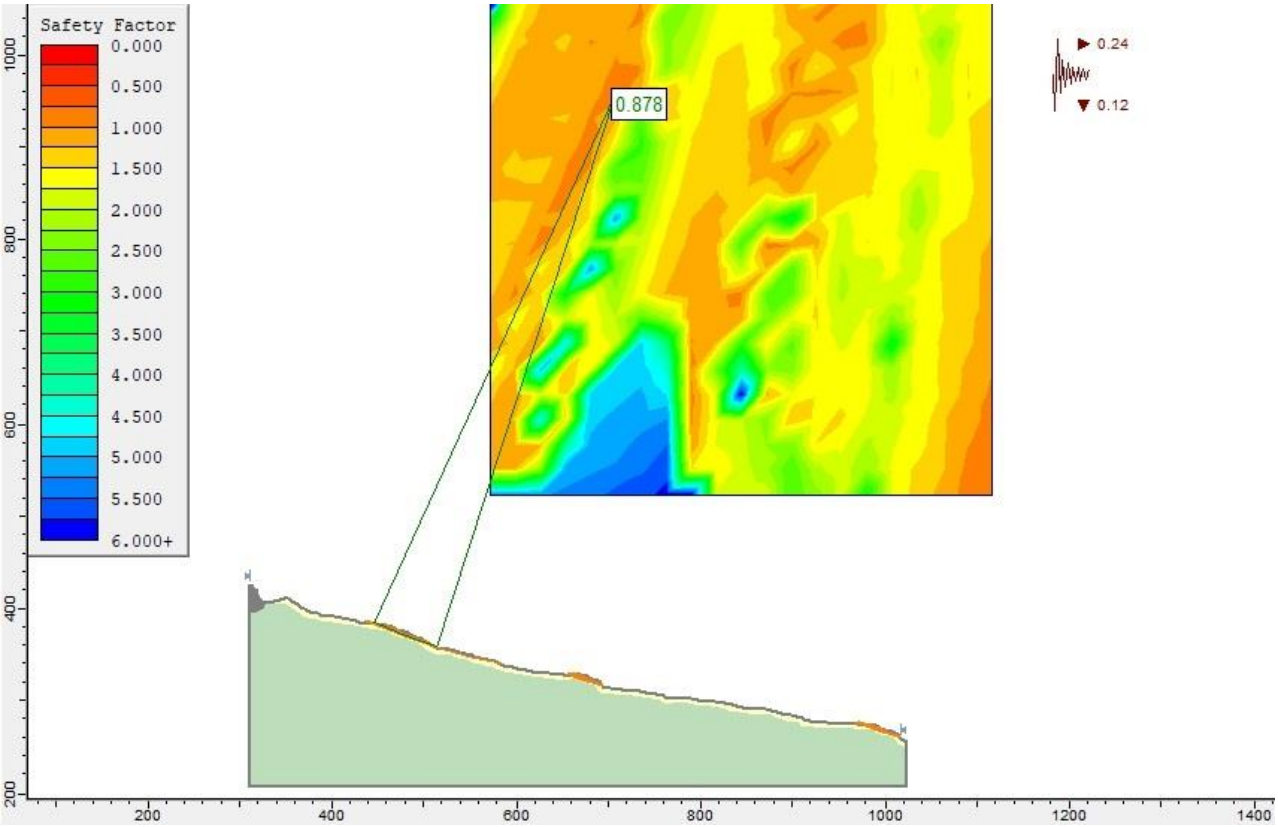
Πίνακας 16: Πίνακας που παραθέτει τις τιμές της γωνία τριβής για οριακή ισορροπία FS<1.1

Στη συνέχεια παρατίθεται ένα παράδειγμα με κατάλληλες τιμές συνοχής c και γωνίας τριβής φ, ώστε να επέλθει αστοχία (FS<1):

Τύπος Γεωυλικού	Unit Weight γ (kN/m^3)	Συνοχή c (kN/m^2)	Σεισμική επιτάχυνση	Γωνία Τριβής φ (°)	Μικρότερος Συντελεστής Ασφαλείας (Μέθοδος Bishop)
Σύγχρονες Αποθέσεις	18	17.9	α_h= 0,24 α_v= 0.12	15.7	0,878
Φλύσχης	23,5	1150	α_h= 0,24 α_v= 0.12	47,76	
Ασβεστόλιθος	24	231	α_h= 0,24 α_v= 0.12	56,24	

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ



Εικόνα 57: Κύκλοι ολίσθησης με συντελεστή ασφαλείας FS<1 σε δυναμικές - ξηρές συνθήκες (Με κίτρινο χρώμα απεικονίζεται οι σύγχρονες αποθέσεις που εδράζονται επί του Φλύσχη της Ιονίου- πράσινο χρώμα. Με γκρι χρώμα απεικονίζεται ο Ασβεστόλιθος της Πίνδου). Με πορτοκαλί φαίνονται οι κύκλοι ολίσθησης που δημιουργούνται για FS<1

Συνεπώς για να έχουν νόημα οι παρακάτω αναλύσεις της περίπτωσης 2 και 3, θα πρέπει να έχει πραγματοποιηθεί παλιά κατολίσθηση η οποία έχει ενεργοποιηθεί από το σεισμό του 1967 (σύμφωνα με τις αναφορές) . Η κατολίσθηση αυτή θα πρέπει να έγινε μέσα στο σχηματισμό των σύγχρονων αποθέσεων, οι οποίες θα πρέπει να είχαν διατμητική αντοχή σύμφωνα με τον Πίνακα 14 και Πίνακα 16 , για τη συνοχή και γωνία τριβής αντίστοιχα. Σύμφωνα με αυτό το σενάριο προκλήθηκαν μία ή δύο κατολισθήσεις στη περιοχή μελέτης, η ανάλυση ευστάθειας των οποίων αναλύεται εκτενέστερα στα παρακάτω δυο υποκεφάλαια.

6.2 Ανάλυση 2ης Περίπτωσης

Για την 2η περίπτωση θα εξεταστεί το μοντέλο της 2ης περίπτωση του κεφαλαίου 5.2 κατά το οποίο στη περιοχή μελέτης έχει πραγματοποιηθεί μια παλιά κατολίσθηση, η οποία ενεργοποιήθηκε από τη σεισμική δόνηση του 1967. Σε αυτήν την περίπτωση τα υλικά αυτής της κατολίσθησης αποτελούν το μεγαλύτερο επιφανειακό μέρος της περιοχής μελέτης με πάχος 15m. Η επαφή αυτών των υλικών με τον Φλύσχη της Ιονίου

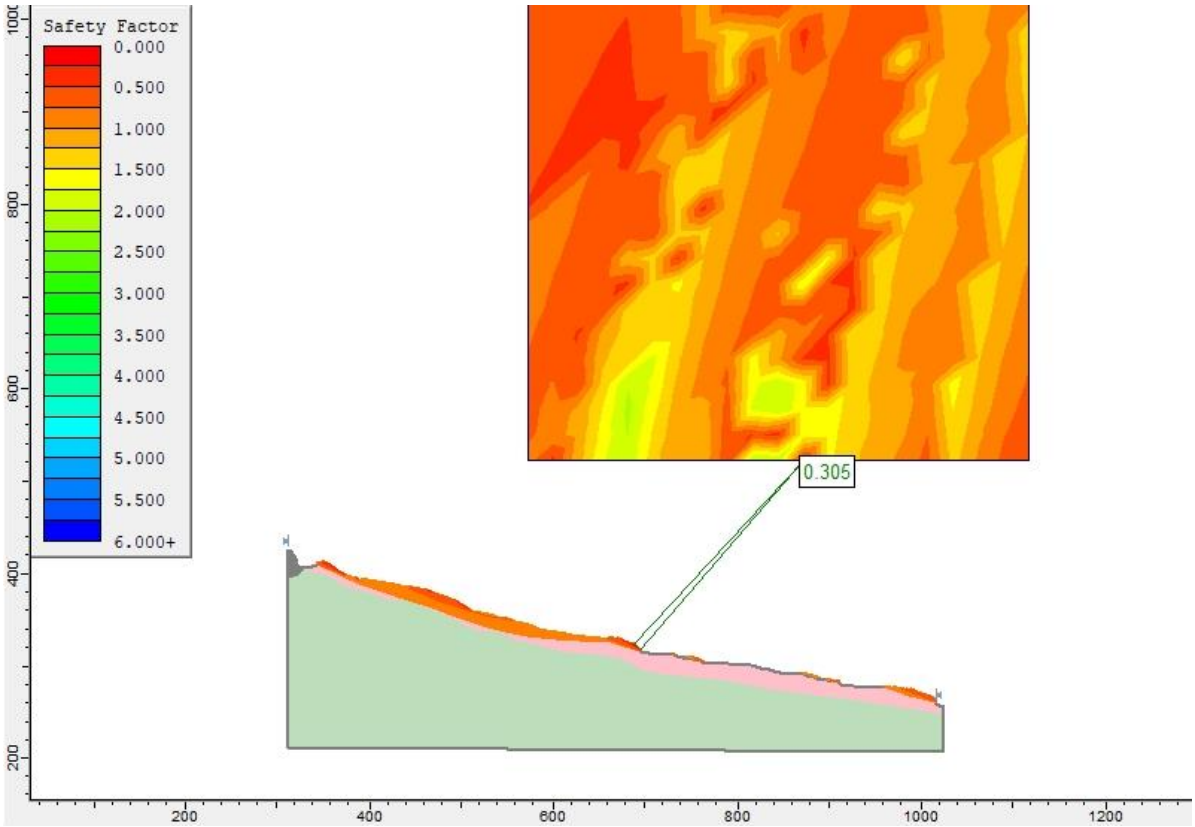
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

είναι η επιφάνεια ολίσθησης που καθορίστηκε κατά την έρευνα πεδίου. Ακόμη συμμετέχουν ο ασβεστόλιθος της Πίνδου ηλικίας Άνω Τριαδικού ο οποίος βρίσκεται στη το Ν-ΝΔ σημείο της περιοχής μελέτης και έρχεται σε επαφή (τεκτονική) με τον φλύσχη της Ιονίου.
Παρακάτω παρατίθενται οι δυο αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν για την περιοχή σε στατικές συνθήκες.:

1. Στατικές Συνθήκες (ξηρές)

Τύπος Γεωυλικού	Unit Weight γ (kN/m^3)	Συνοχή c (kN/m^2)	Γωνία Τριβής φ (^{o})	Συντελεστής Ασφαλείας κρίσιμης επιφάνειας (Μέθοδος Bishop)
Υλικά Πιθανής Κατολίσθησης	18	0	15	1,377
Φλύσχης	23,5	1150	47,76	
Ασβεστόλιθος	24	231	56,24	

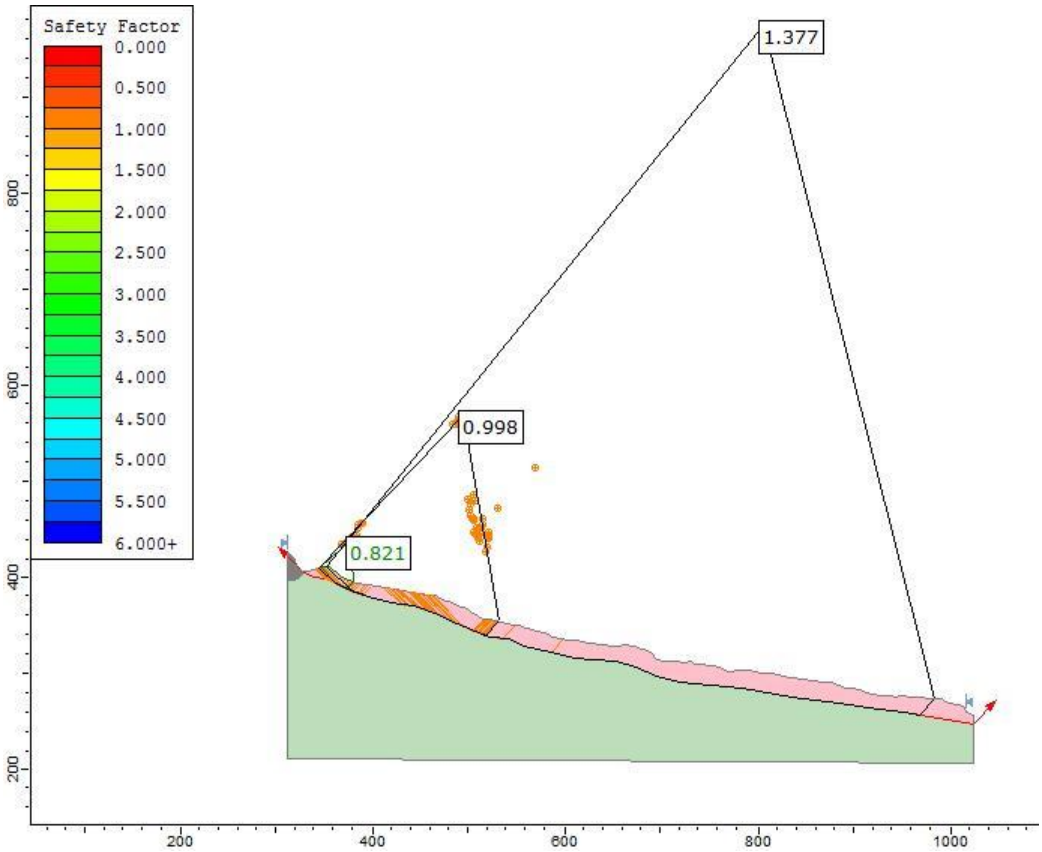


Εικόνα 58: Κύκλοι ολίσθησης με τον χαμηλότερο συντελεστή ασφαλείας σε στατικές - ξηρές συνθήκες (Με ροζ χρώμα απεικονίζονται τα υλικά πιθανής παλιάς κατολίσθησης το οποίο εδράζεται επί του Φλύσχη της Ιονίου- πράσινο χρώμα. Με γκρι χρώμα απεικονίζεται ο Ασβεστόλιθος της Πίνδου). Με πορτοκαλί χρώματα απεικονίζονται οι κύκλοι ολίσθησης που δημιουργούνται με συντελεστή ασφαλείας F<1

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Κατά την πραγματοποίηση της ανάλυσης, για την εύρεση κυκλικών ολισθήσεων στην περιοχή μελέτης σε στατικές συνθήκες, προέκυψαν κύκλοι ολίσθησης με συντελεστή μικρότερο του ενός. Οι κύκλοι αυτοί δίνουν ολισθήσεις μικρού αλλά και μεγάλου όγκου, άλλες σε βάθος μέχρι και 15m. Έτσι στη συνέχεια υπολογίστηκε η καθορισμένη επιφάνεια ολίσθησης (Εικόνα 59).



Εικόνα 59: Δεύτερη ανάλυση με σκοπό την εύρεση συντελεστή ασφαλείας της κρισιμότερης επιφάνειας ολίσθησης.

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι ο συντελεστής ασφαλείας της μη κυκλικής επιφάνειας ολίσθησης που έχει ήδη κατοριστεί είναι F=1.377 (Εικόνα 59). Το ενδεχόμενο να προκληθεί τεράστια κατολίσθηση, με κυκλό ολίσθησης την επαφή των υλικών παλιάς κατολίσθησης και του φλύσχη, είναι μη αποδεκτό καθως ο συντελεστης ασφαλείας είναι μεγαλυτερος του ενός F= 1.377.

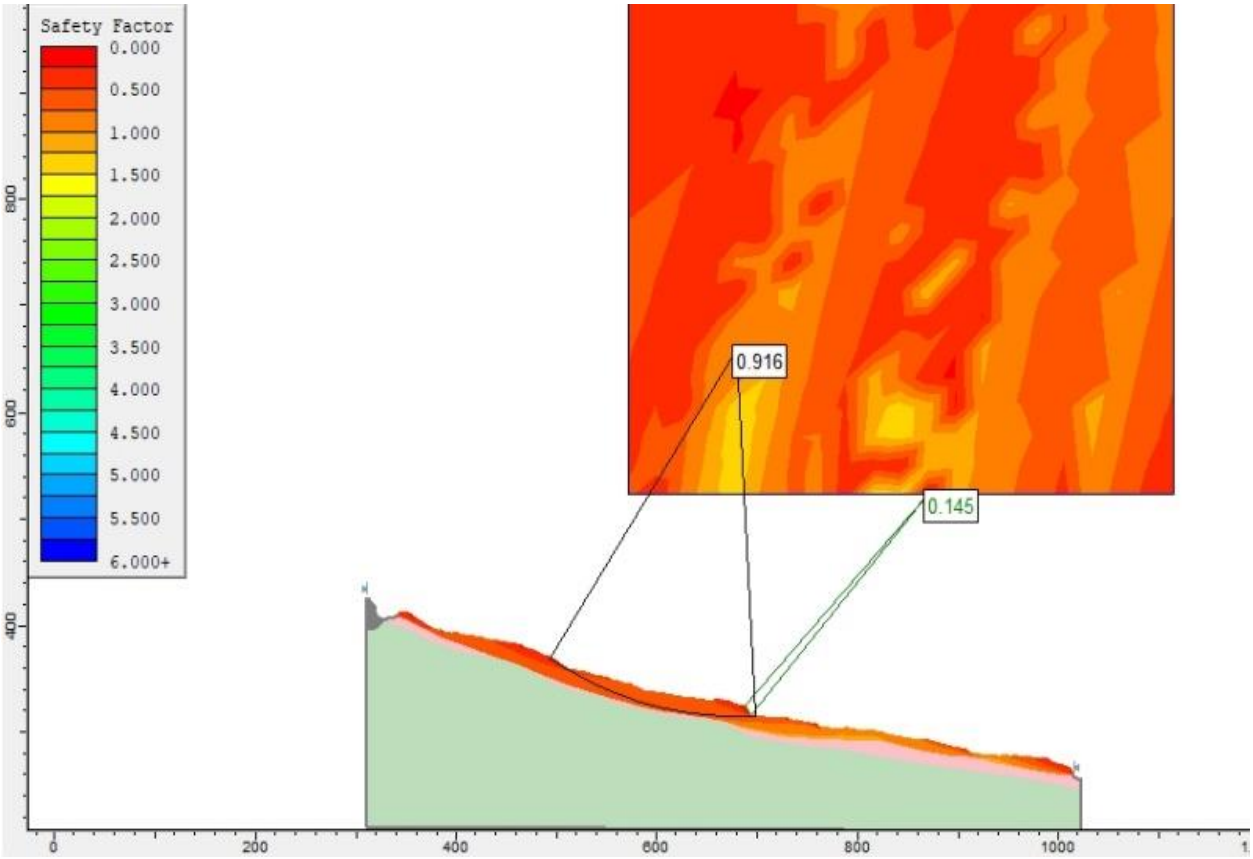
2. Στατικές συνθήκες (υγρές- Πίεση πόρων)

Στη συγκεκριμένη περίπτωση πραγματοποιήθηκαν 3 διαφορετικές αναλύσεις ευστάθειας με r_u=0.1 , r_u=0.2, ru=0.3. Ο ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας μειώνεται δραματικά από τα 0.205 με r_u=0.1 στα 0.145 με r_u=0.3, με την παρουσία νερού, δηλ. έπειτα από έντονη ή παρατεταμένη βροχόπτωση. Παρακάτω παρατίθεται το αποτέλεσμα των δύο αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν με πίεση πόρων ru=0.3.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

Τύπος Γεωυλικού	Unit Weight γ (kN/m^3)	Συνοχή c (kN/m^2)	Γωνία Τριβής φ (°)	Ru	Συντελεστής Ασφαλείας κρίσιμης επιφάνειας (Μέθοδος Bishop)
Υλικά Πιθανής Κατολίσθησης	18	0	15	0.3	0,910
Φλύσχης	23,5	1150	47,76	0.3	
Ασβεστόλιθος	24	231	56,24	0.3	

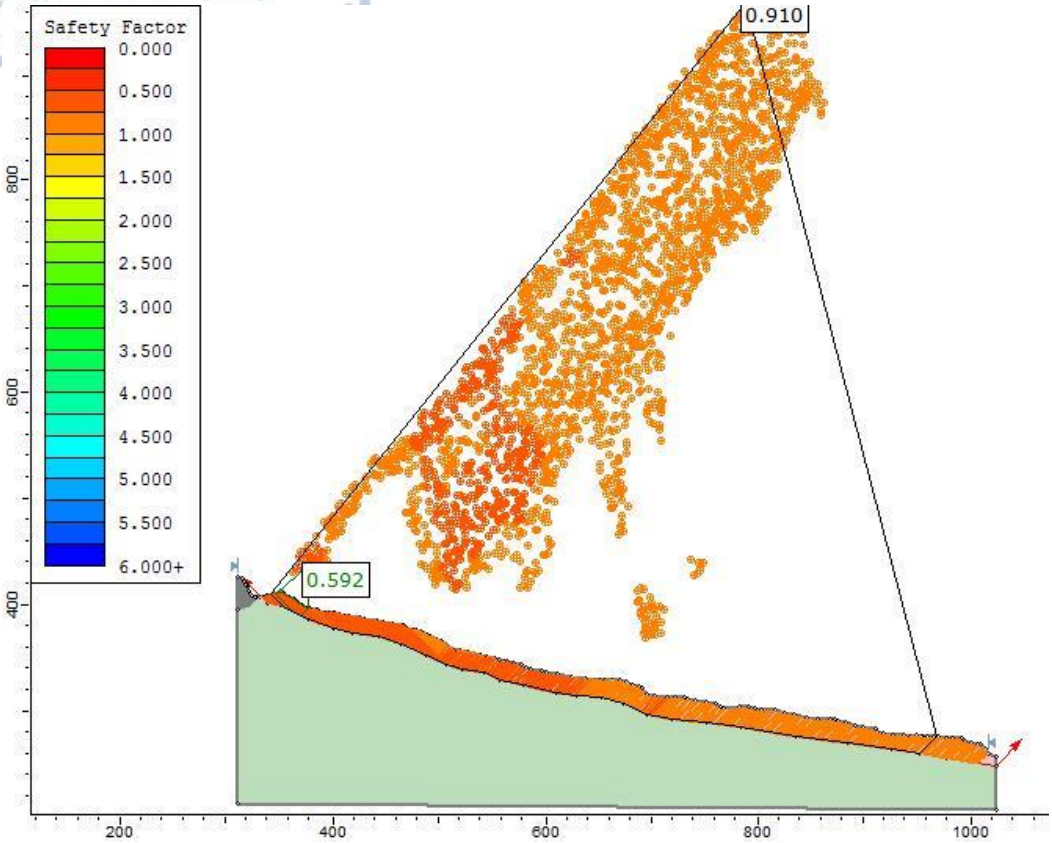


Εικόνα 60: Κύκλοι ολίσθησης με τον χαμηλότερο συντελεστή ασφαλείας σε στατικές – υγρές συνθήκες.

Στη ανάλυση ευστάθεια σε στατικές υγρές συνθήκες, με πίεση πόρων r_u=0.3 δηλαδή έπειτα από παρατεταμένη προέκυψαν κύκλοι ολίσθησης με συντελεστή μικρότερο του ενός. Οι κύκλοι αυτοί δίνουν ολισθήσεις μικρού αλλά και μεγάλου όγκου, άλλες σε βάθος μέχρι και 15m. Έτσι στη συνέχεια υπολογίστηκε η καθορισμένη επιφάνεια ολίσθησης (Εικόνα 61).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας



Εικόνα 61: Δεύτερη ανάλυση με σκοπό την εύρεση συντελεστή ασφαλείας της κρισιμότερης επιφάνειας ολίσθησης.

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι ο συντελεστής ασφαλείας της μη κυκλικής επιφάνειας ολίσθησης που έχει ήδη κατοριστεί είναι F=0.910 (Εικόνα 59). Το ενδεχόμενο να προκληθεί κατολίσθηση, με κυκλό ολίσθησης την επαφή των υλικών παλιάς κατολίσθησης και του φλύσχη, είναι αποδεκτό καθως ο συντελεστης ασφαλείας είναι μικρότερος του 1.3 σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα F= 0.910.

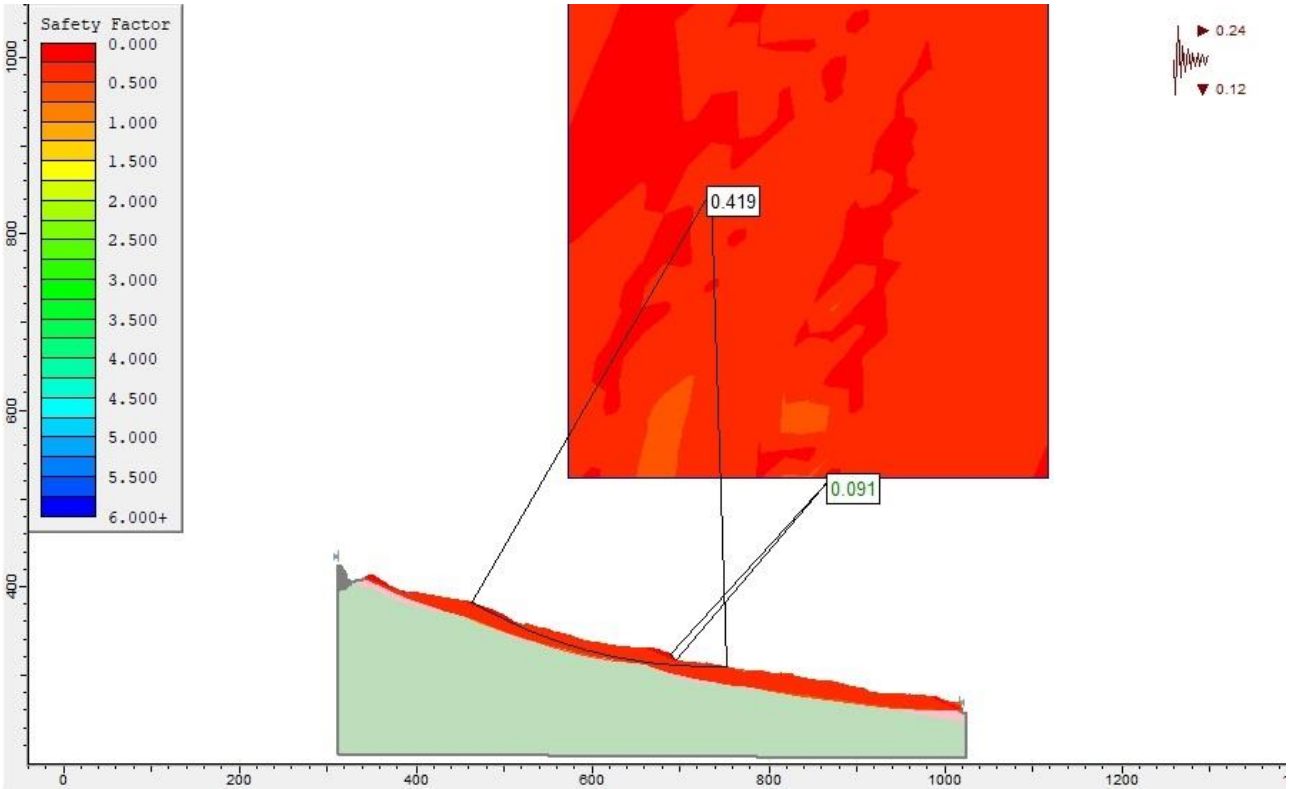
3. Δυναμικές Ξηρές συνθήκες -Σεισμική επιτάχυνση κατά ΕΑΚ

Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιήθηκε μόνο η σεισμική επιτάχυνση κατά ΕΑΚ (α=0.24), αφού πραγματοποιούνται ολισθήσεις ακόμη και στατικές- ξηρές συνθήκες. Έτσι οποιαδήποτε σεισμική δόνηση και αν προκληθεί στη περιοχή μελέτης θα απομειώσει τις αντοχές των γεωυλικών, μειώνοντας το συντελεστή ασφάλειας, με αποτέλεσμα την δημιουργία κύκλων ολίσθησης μέσα στα υλικά πιθανής κατολίσθησης, που φτάνουν σε ορισμένα σημεία ακόμη και τα 15m βάθος.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

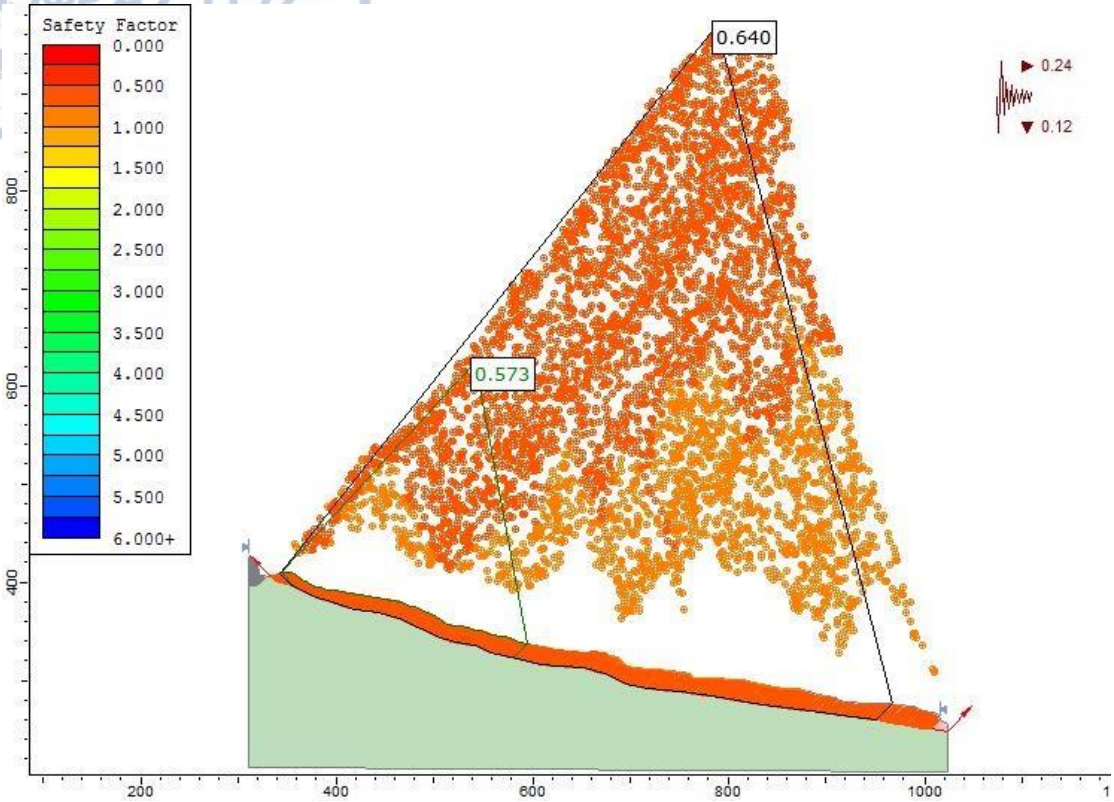
Τύπος Γεωυλικού	Unit Weight γ (kN/m^3)	Συνοχή c (kN/m^2)	Σεισμική επιτάχυνση	Γωνία Τριβής φ (°)	Συντελεστής Ασφαλείας κρίσιμης επιφάνειας (Μέθοδος Bishop)
Υλικά Πιθανής Κατολίσθησης	18	0	α_h= 0,24 α_v= 0.12	15	0,640
Φλύσχης	23,5	1150	α_h= 0,24 α_v= 0.12	47,76	
Ασβεστόλιθος	24	231	α_h= 0,24 α_v= 0.12	56,24	



Εικόνα 62: Κύκλοι ολίσθησης με τον κρισιμότερο συντελεστή ασφαλείας σε δυναμικές – ξηρές συνθήκες.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Εικόνα 63 :Δεύτερη ανάλυση με σκοπό την εύρεση συντελεστή ασφαλείας της κρισιμότερης επιφάνειας ολίσθησης.

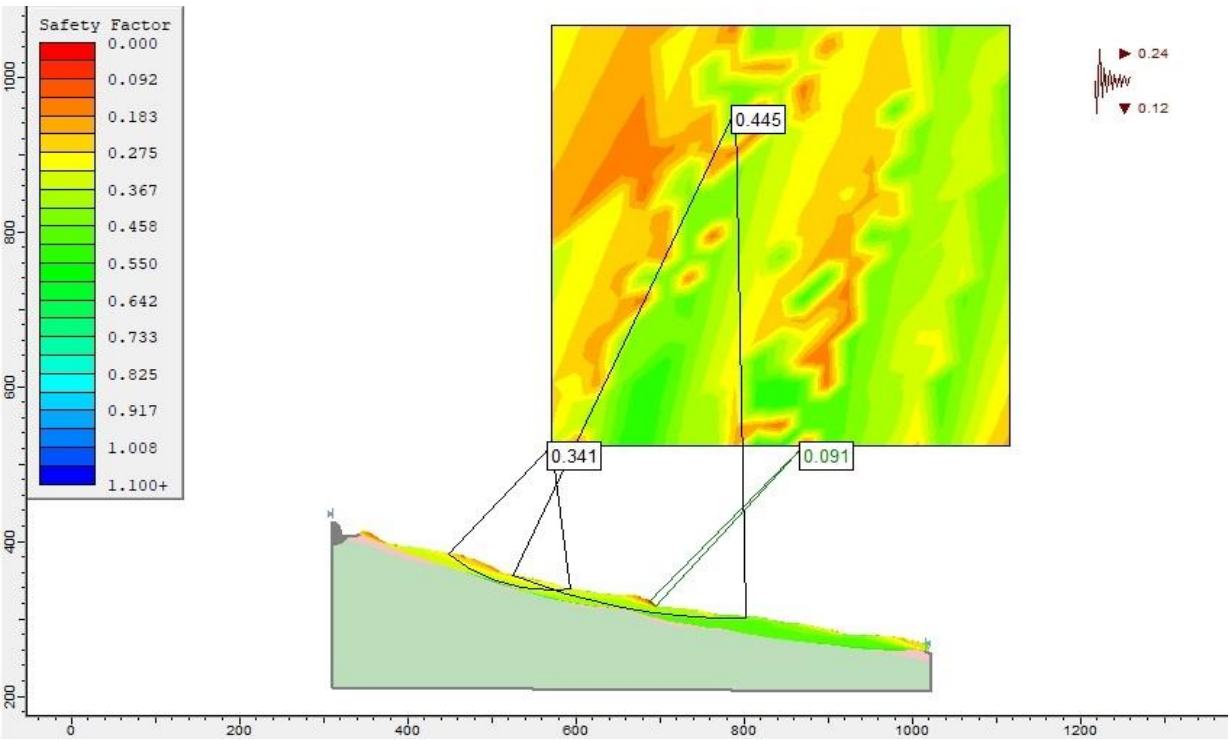
4. Δυναμικές υγρές συνθήκες -Σεισμική επιτάχυνση κατά ΕΑΚ

Στη συγκεκριμένη περίπτωση πραγματοποιήθηκαν 3 διαφορετικές αναλύσεις ευστάθειας με την παρουσία νερού με ru=0.1 , ru=0.2, ru=0.3, δηλαδή έπειτα από έντονη ή παρατεταμένη βροχόπτωση. Ακόμη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε μόνο η σεισμική επιτάχυνση κατά ΕΑΚ (α=0.24), αφού πραγματοποιούνται ολισθήσεις ακόμη και στατικές- ξηρές συνθήκες. Έτσι οποιαδήποτε σεισμική δόνηση και αν προκληθεί στη περιοχή μελέτης θα απομειώσει τις αντοχές των γεωυλικών, μειώνοντας το συντελεστή ασφάλειας, με αποτέλεσμα την δημιουργία κύκλων ολίσθησης μέσα στα υλικά πιθανής κατολίσθησης, που φτάνουν σε ορισμένα σημεία ακόμη και τα 15m βάθος. Ο συντελεστής ασφαλείας μειώνεται δραματικά από τα 0.165 με ru=0.1 στα 0.091 με ru=0.3, Παρακάτω παρατίθεται το αποτέλεσμα της ανάλυσης με ru=0.3 με σεισμική οριζόντια επιτάχυνση α=0.24 και κάθετη σεισμική επιτάχυνση α=0.12.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

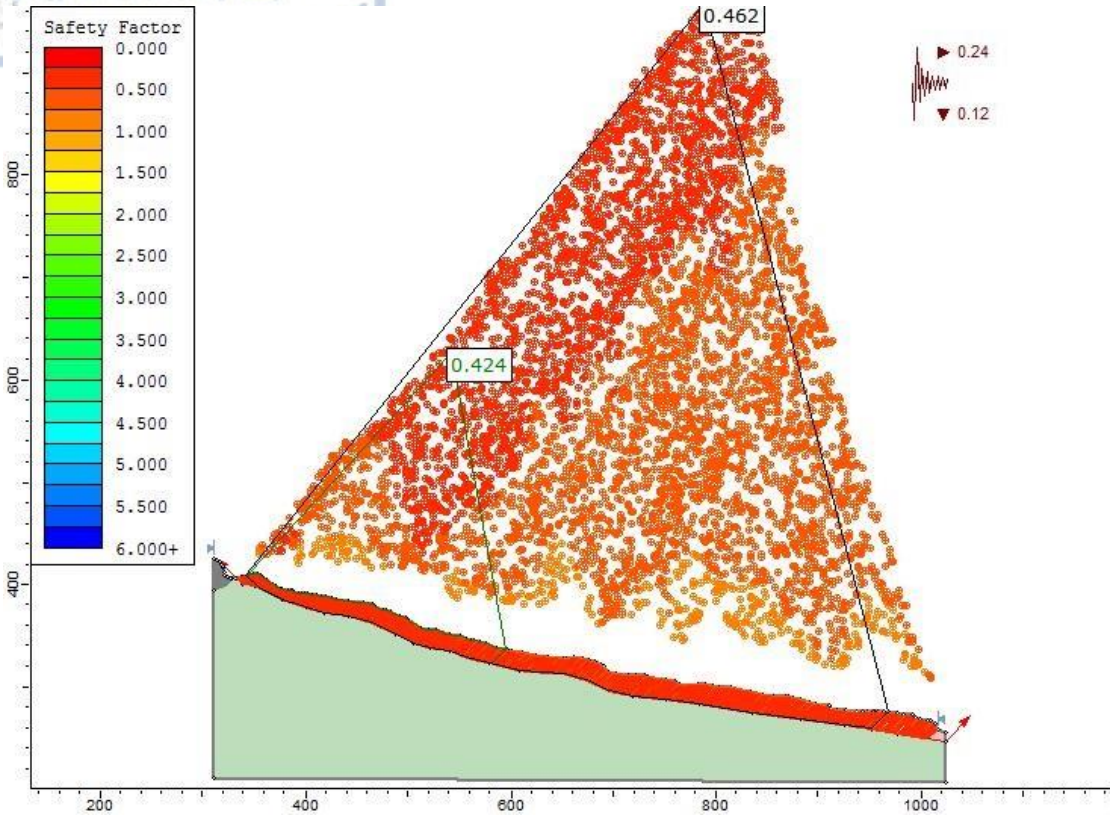
Τύπος Γεωυλικού	Unit Weight γ (kN/m^3)	Συνοχή c (kN/m^2)	Γωνία Τριβής φ (°)	Σεισμική επιτάχυνση	Ru	Συντελεστής Ασφαλείας κρίσιμης επιφάνειας (Μέθοδος Bishop)
Υλικά Πιθανής Κατολίσθησης	18	0	15	α_h= 0,24 α_v= 0.12	0.3	0,462
Φλύσχης	23,5	1150	47,76	α_h= 0,24 α_v= 0.12	0.3	
Ασβεστόλιθος	24	231	56,24	α_h= 0,24 α_v= 0.12	0.3	



Εικόνα 64: Κύκλοι ολίσθησης με τον χαμηλότερο συντελεστή ασφαλείας σε δυναμικές – υγρές συνθήκες

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας



Εικόνα 65: Δεύτερη ανάλυση με σκοπό την εύρεση συντελεστή ασφαλείας της κρισιμότερης επιφάνειας ολίσθησης.

Σύμφωνα με τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν για αυτή την περίπτωση, προκύπτει ότι για στην Ν-ΝΔ πλευρά των Μελισσουργών από το σημείο 2 και με κατεύθυνση Α-ΒΑ έως και το Μελισσουργιώτικο ποταμό η περιοχή μελέτης παρουσιάζει αστάθεια σε οποιεσδήποτε συνθήκες. Οι κύκλοι ολίσθησης που δημιουργούνται είναι αρκετοί, δίνοντας από επιπόλαιες μέχρι και πιο σημαντικές ολισθήσεις.

Όμως η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης που πρέπει να μελετηθεί στην παρούσα διπλωματική είναι η επαφή των υλικών πιθανής παλιάς κατολίσθησης με τον φλύσχη. Η επιφάνεια αυτή σύμφωνα με τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν δίνει ολίσθηση σε όλες τις συνθήκες, εκτός από τις στατικές ξηρές συνθήκες όπου ο συντελεστής ασφαλείας είναι μεγαλύτερος του ενός F=1.377. Παρατηρείται ότι ο συντελεστής ασφαλείας μειώνεται (F=0.640) τόσο κατά την σεισμική επίδραση, όσο και σε περίπτωση έντονης ή παρατεταμένης βροχόπτωσης ($0.1 \leq r_u \leq 0.3$) (F=0.910). Συνεπώς από τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει ότι ο συντελεστής ασφαλείας είναι μικρότερος του 1.3 σε στατικές υγρές συνθήκες και χαμηλότερος του 1 σε δυναμικές συνθήκες. Έτσι σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα αναμένεται κατολίσθηση έπειτα από παρατεταμένη έντονη βροχόπτωση (στατικές υγρές συνθήκες με πίεση πόρων $0.1 \leq r_u \leq 0.3$ και έπειτα από σεισμική δόνηση με σεισμική επιτάχυνση της σεισμικής ζώνης ΙΙ κατά ΕΑΚ α=0.24 (δυναμικές ξηρές αλλά και υγρές συνθήκες. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης αναφέρονται στο ενδεχόμενο αστοχίας ολόκληρης της επιφάνειας ολίσθησης που έχει εξαρχής καθοριστεί δηλαδή την κατολίσθηση με 15m βάθος και γύρω στα 700m πλάτος. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι προέκυψαν

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμ. Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

μικρότεροι συντελεστές ασφαλείας για εξίσου σημαντικά επικίνδυνες επιφάνειες ολίσθησης, με όγκο κατολισθούμενων υλικών ελάχιστα μικρότερο από τον όγκο που δίνουν οι ολισθήσεις των παραπάνω αναλύσεων.

	Σεισμική κάθετη και οριζόντια συνιστώσα	Πίεση Πόρων	Συντελεστής Ασφαλείας κρίσιμης επιφάνειας (Μέθοδος Bishop) 2η Περίπτωση	Συντελεστής Ασφαλείας σύμφωνα με διεθνή πρότυπα
Στατικές Ξηρές συνθήκες	-	-	1,377	1,0
Στατικές Υγρές συνθήκες	-	r_u=0.3	0,910	1.3
Δυναμικές Ξηρές Συνθήκες	α_h=0.24 α_v=0.12	-	0,640	1,0
Δυναμικές υγρές συνθήκες	α_h=0.24 α_v=0.12	r_u=0.3	0,462	

6.3 Ανάλυση 3ης Περίπτωσης

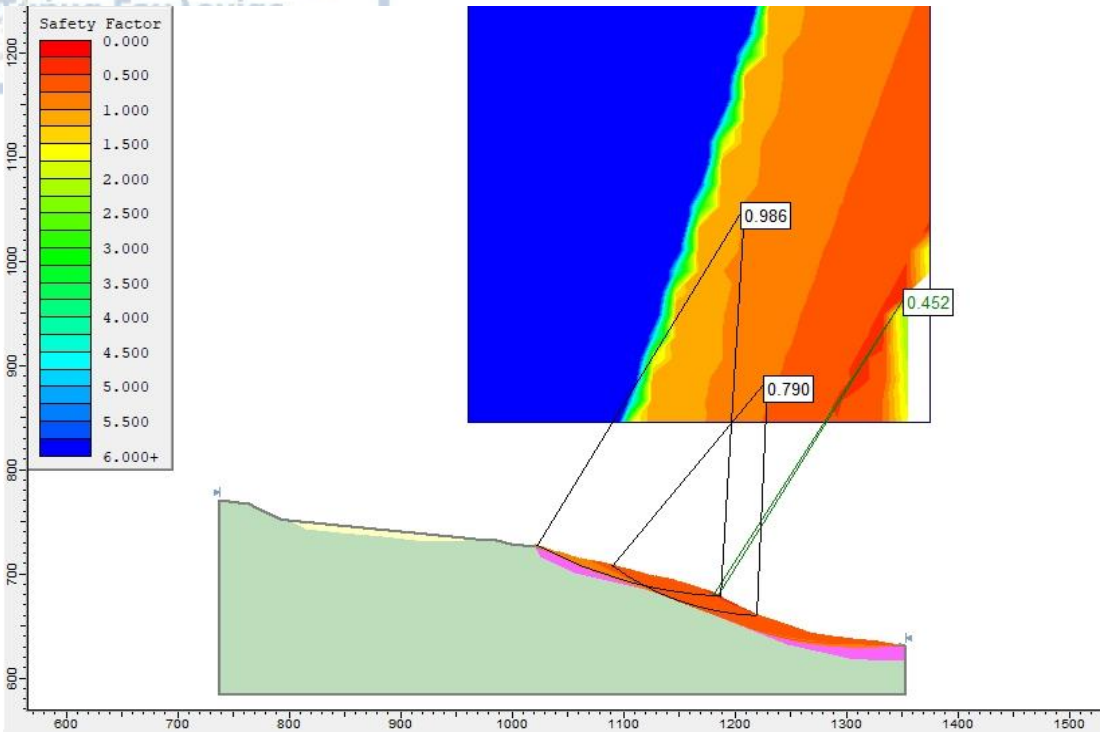
Για την 3η περίπτωση θα εξεταστεί το μοντέλο της 3ης περίπτωση του κεφαλαίου 5.1 κατά το οποίο στη περιοχή μελέτης έχουν πραγματοποιηθεί δυο παλιές κατολισθήσεις, οι οποίες ενεργοποιήθηκαν από τη σεισμική δόνηση του 1967 και κατά πάσα πιθανότητα αυτές συνδέονται μεταξύ τους. Σε αυτήν την περίπτωση τα υλικά αυτής της κατολίσθησης αποτελούν το μεγαλύτερο επιφανειακό μέρος της περιοχής μελέτης με πάχος 15m. Ακόμη συμμετέχουν ο ασβεστόλιθος της Πίνδου ηλικίας Άνω Τριαδικού ο οποίος βρίσκεται στη το Ν-ΝΔ σημείο της περιοχής μελέτης και έρχεται σε επαφή (τεκτονική) με τον φλύσχη της Ιονίου.
Δίνοντας λοιπόν τις αντίστοιχες παραμέτρους έχουμε τα παρακάτω αποτελέσματα.:

1. <u>Στατικές Συνθήκες (ξηρές)</u>

Τύπος Γεωυλικού	Unit Weight γ (kN/m^3)	Συνοχή c (kN/m^2)	Γωνία Τριβής φ (°)	Συντελεστής Ασφαλείας κρίσιμης επιφάνειας (Μέθοδος Bishop)
Υλικά Πιθανής Κατολίσθησης	18	0	15	0,996
Φλύσχης	23,5	1150	47,76	
Ασβεστόλιθος	24	231	56,24	

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

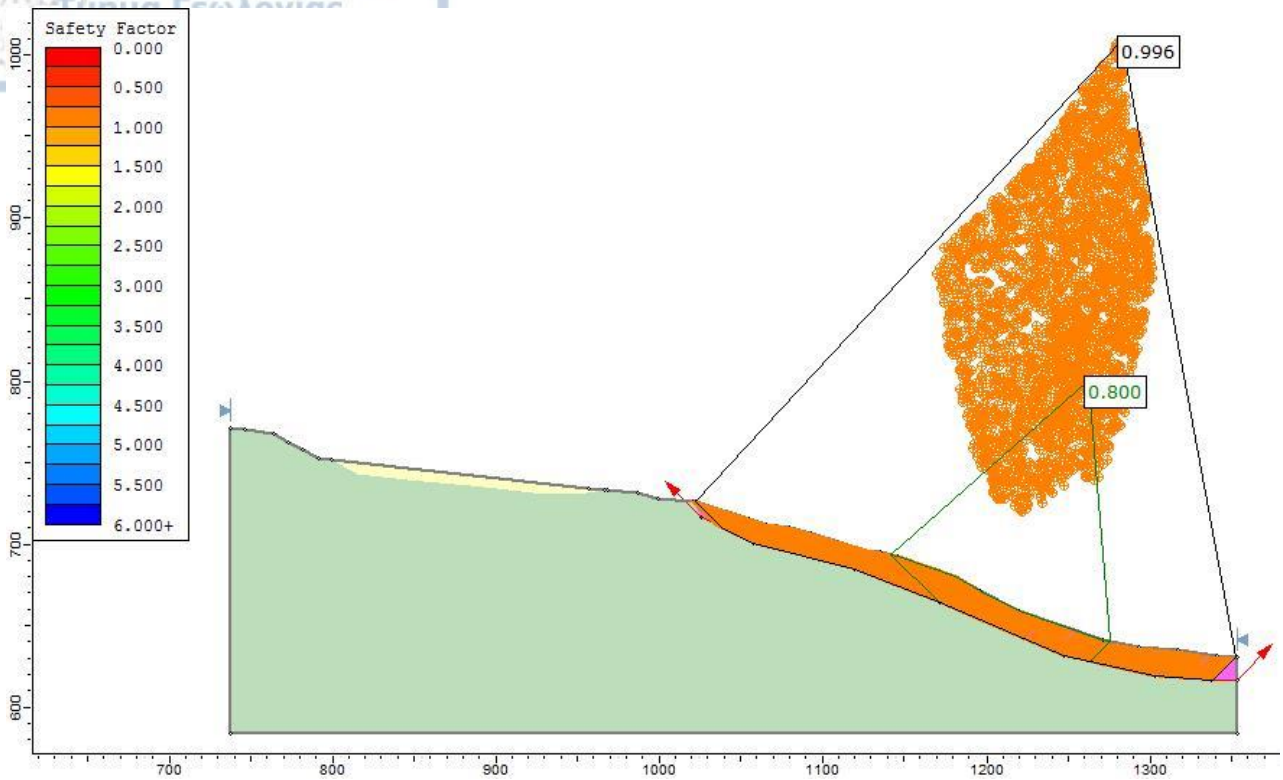
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Εικόνα 66: Κύκλοι ολίσθησης με τον χαμηλότερο συντελεστή ασφαλείας σε στατικές - ξηρές συνθήκες.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας



Εικόνα 67: Δεύτερη ανάλυση με σκοπό την εύρεση συντελεστή ασφαλείας της κρισιμότερης επιφάνειας ολίσθησης.

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι ο συντελεστής ασφαλείας της μη κυκλικής επιφάνειας ολίσθησης που έχει ήδη κατοριστεί είναι F=0.996 (Εικόνα 59). Το ενδεχόμενο να προκληθεί κατολίσθηση, με επιφάνεια ολίσθησης την επαφή των υλικών παλιάς κατολίσθησης και του φλύσχη, είναι αποδεκτό σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα καθως ο συντελεστης ασφαλείας είναι μικρότερος του 1.3 σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα F= 0.996.

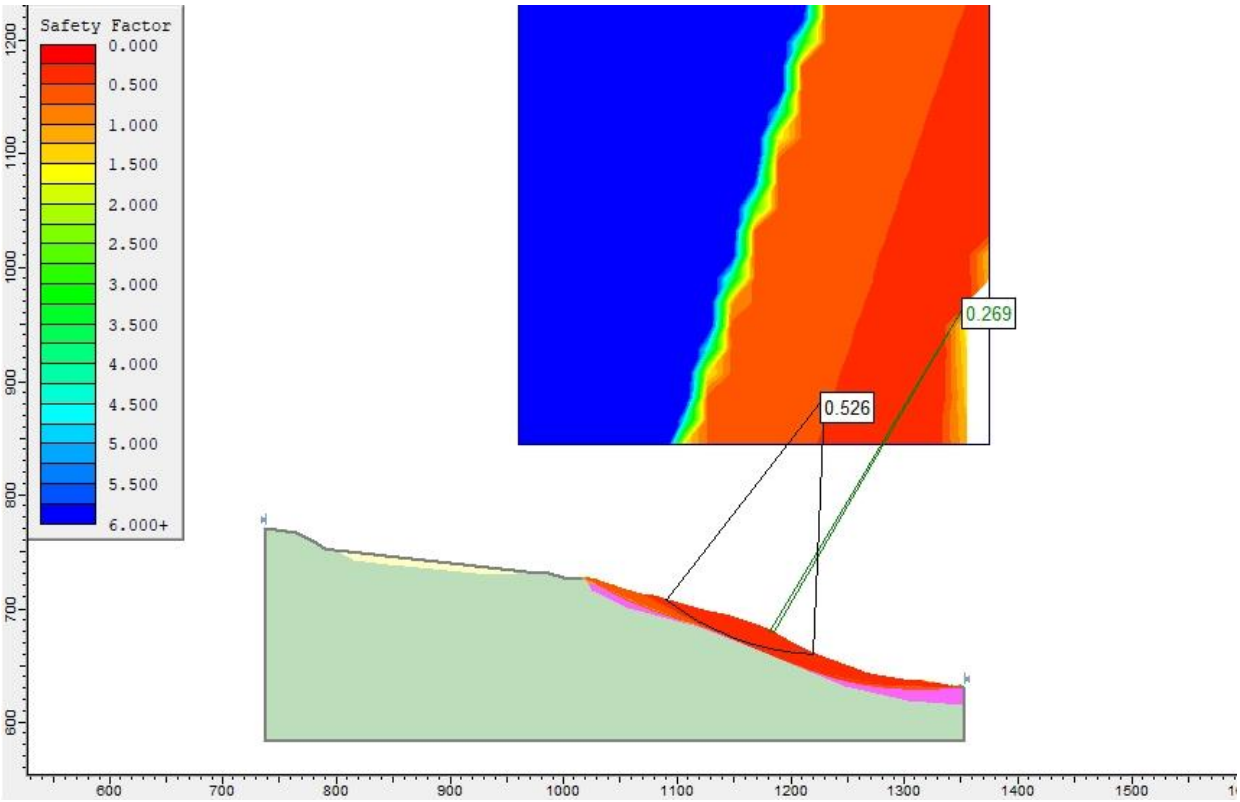
2. Στατικές συνθήκες (υγρές- Πίεση πόρων)

Στη συγκεκριμένη περίπτωση πραγματοποιήθηκαν 3 διαφορετικές αναλύσεις ευστάθειας με ru=0.1 , ru=0.2, ru=0.3. Ο συντελεστής ασφαλείας για τις κυκλικές ολισθήσεις μειώνεται δραματικά από τα 0.392 με ru=0.1 στα 0.269 με ru=0.3, με την παρουσία νερού, δηλ. έπειτα από έντονη ή παρατεταμένη βροχόπτωση. Παρακάτω παρατίθεται το αποτέλεσμα της ανάλυσης με ru=0.3.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

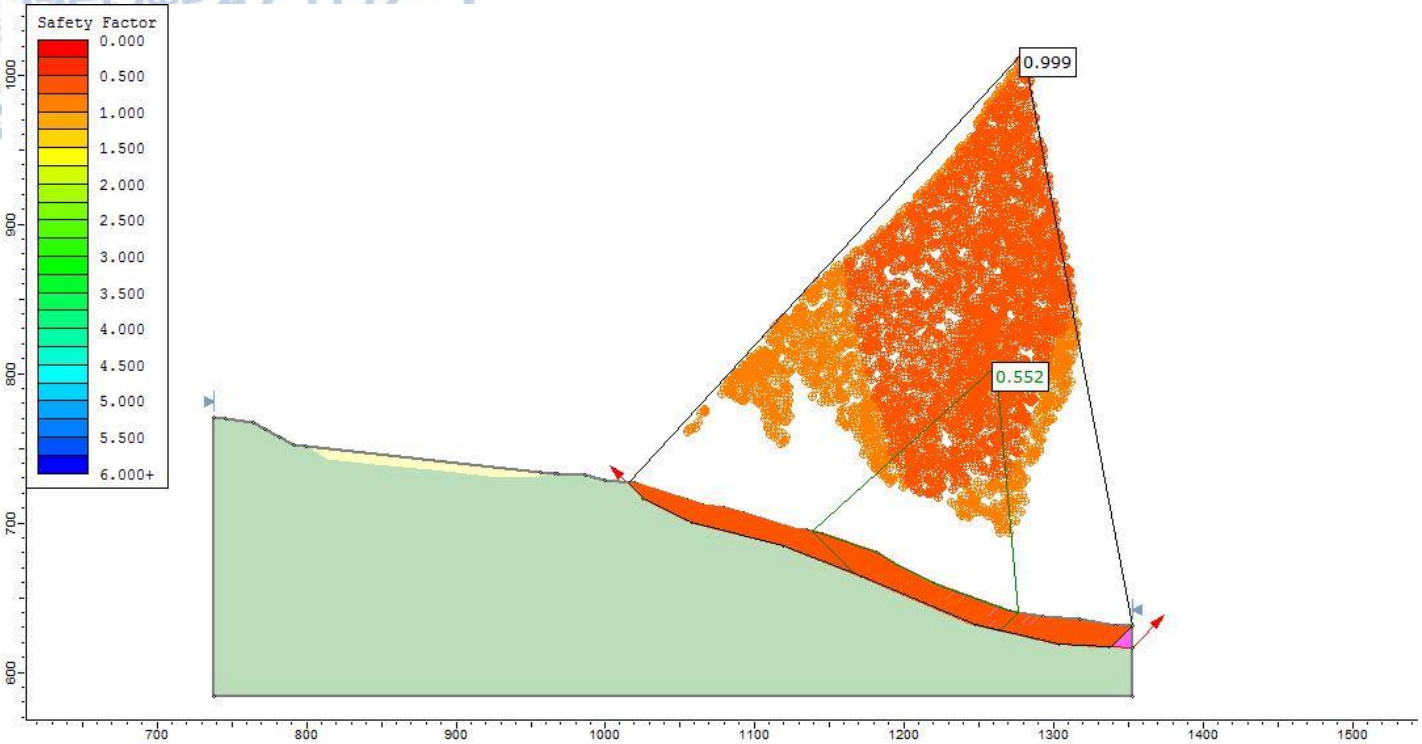
Τύπος Γεωυλικού	Unit Weight γ (kN/m^3)	Συνοχή c (kN/m^2)	Γωνία Τριβής φ (^{o})	Ru	Συντελεστής Ασφαλείας κρίσιμης επιφάνειας (Μέθοδος Bishop)
Υλικά Πιθανής Κατολίσθησης	18	0	15	0.3	0,999
Φλύσχης	23,5	1150	47,76	0.3	
Ασβεστόλιθος	24	231	56,24	0.3	



Εικόνα 68: Κύκλοι ολίσθησης με τον χαμηλότερο συντελεστή ασφαλείας σε στατικές – υγρές συνθήκες.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Εικόνα 69: Δεύτερη ανάλυση με σκοπό την εύρεση συντελεστή ασφαλείας της κρισιμότερης επιφάνειας ολίσθησης.

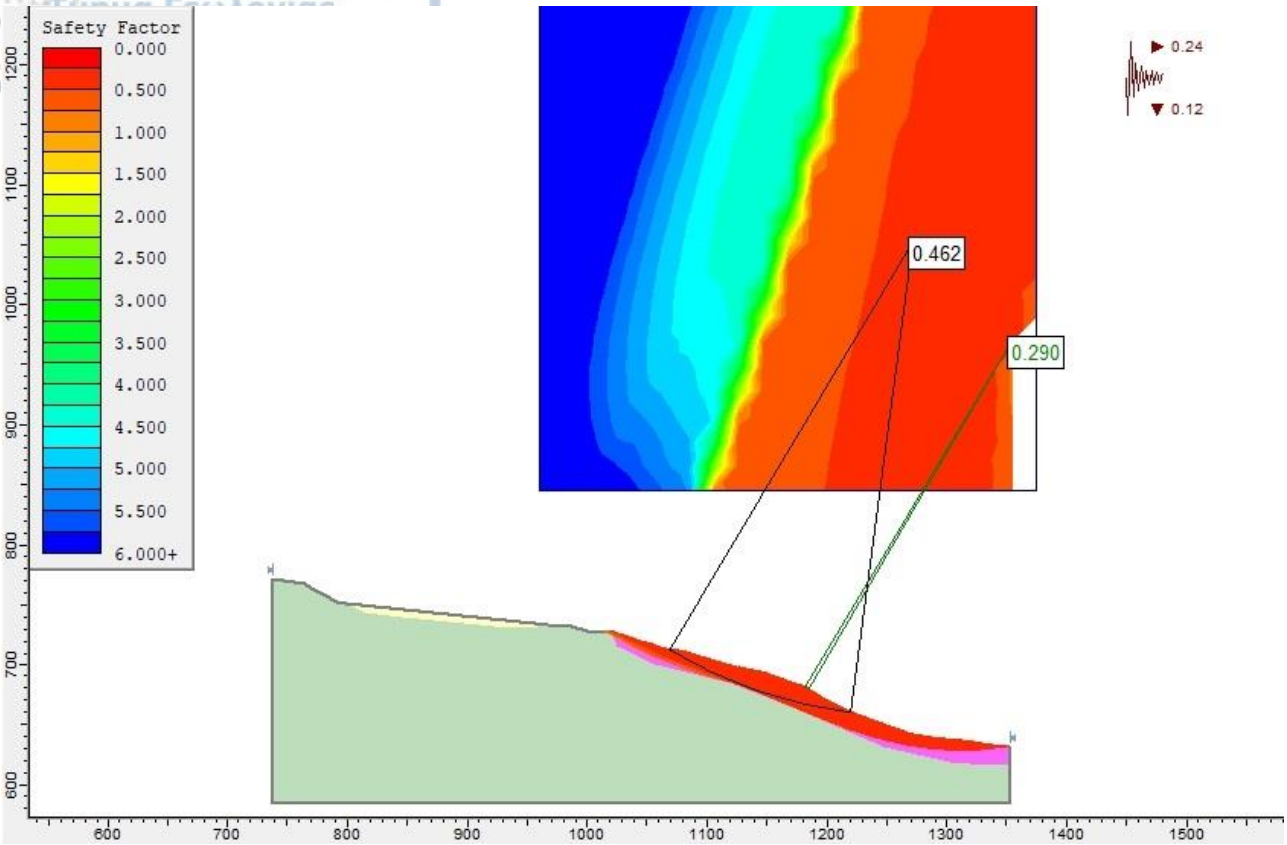
3. Δυναμικές Ξηρές συνθήκες -Σεισμική επιτάχυνση κατά ΕΑΚ

Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιήθηκε μόνο η σεισμική επιτάχυνση κατά ΕΑΚ (α=0.24), αφού πραγματοποιούνται ολισθήσεις ακόμη και στατικές- ξηρές συνθήκες. Έτσι οποιαδήποτε σεισμική δόνηση και αν προκληθεί στη περιοχή μελέτης θα απομειώσει τις αντοχές των γεωυλικών, μειώνοντας το συντελεστή ασφάλειας, με αποτέλεσμα την δημιουργία κύκλων ολίσθησης μέσα στα υλικά πιθανής κατολίσθησης, που φτάνουν σε ορισμένα σημεία ακόμη και τα 15m βάθος.

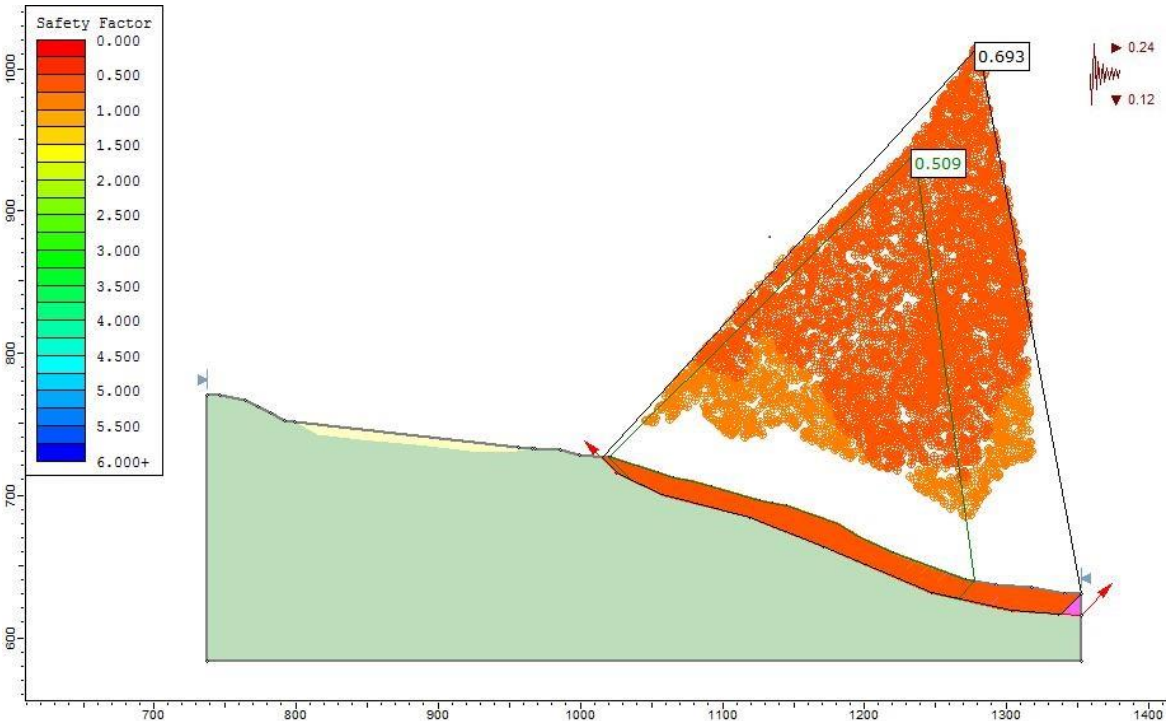
Τύπος Γεωυλικού	Unit Weight γ (kN/m^3)	Συνοχή c (kN/m^2)	Σεισμική επιτάχυνση	Γωνία Τριβής φ (°)	Συντελεστής Ασφαλείας κρίσιμης επιφάνειας (Μέθοδος Bishop)
Υλικά Πιθανής Κατολίσθησης	18	0	α_h= 0,24 α_v= 0.12	15	0,693
Φλύσχης	23,5	1150	α_h= 0,24 α_v= 0.12	47,76	
Ασβεστόλιθος	24	231	α_h= 0,24 α_v= 0.12	56,24	

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Εικόνα 70: Κύκλοι ολίσθησης με τον χαμηλότερο συντελεστή ασφαλείας σε δυναμικές – ξηρές συνθήκες.



Εικόνα 71: Δεύτερη ανάλυση με σκοπό την εύρεση συντελεστή ασφαλείας της κρισιμότερης επιφάνειας ολίσθησης.

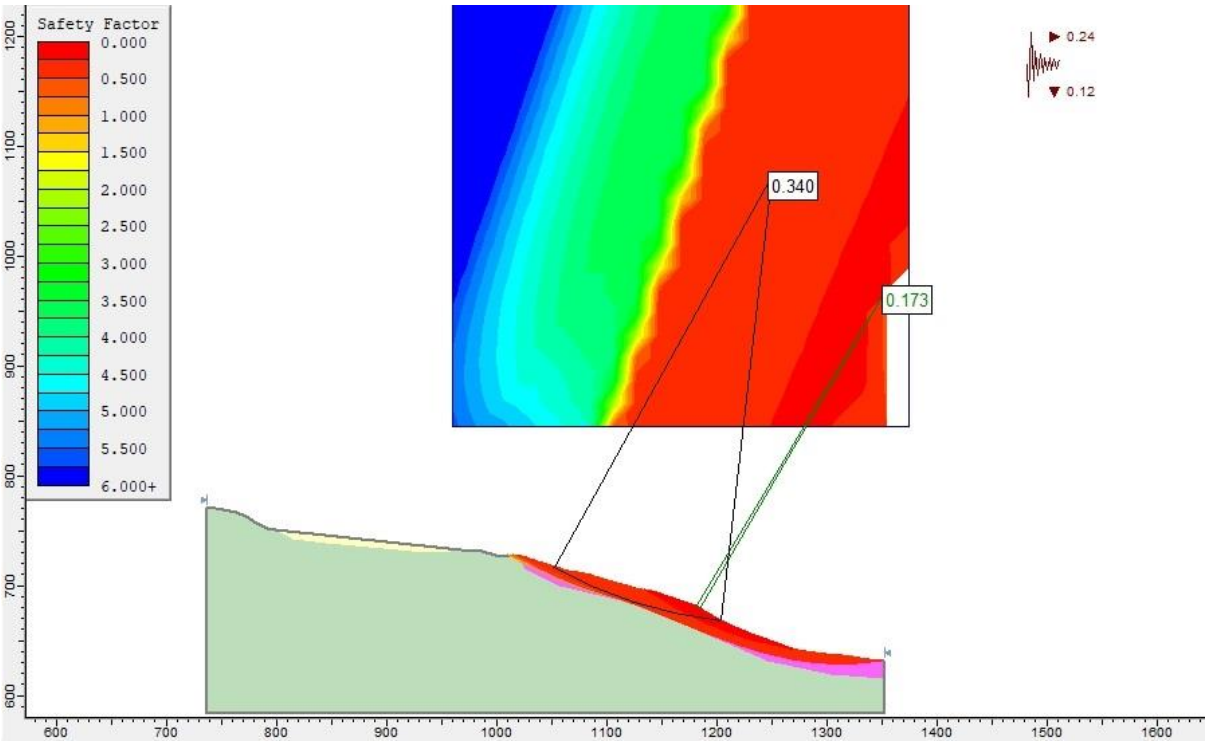
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

4. Δυναμικές Ξηρές συνθήκες -Σεισμική επιτάχυνση κατά ΕΑΚ

Στη συγκεκριμένη περίπτωση πραγματοποιήθηκαν 3 διαφορετικές αναλύσεις ευστάθειας με την παρουσία νερού με ru=0.1 , ru=0.2, ru=0.3, δηλαδή έπειτα από έντονη ή παρατεταμένη βροχόπτωση. Ακόμη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε μόνο η σεισμική επιτάχυνση κατά ΕΑΚ (α=0.24), αφού πραγματοποιούνται ολισθήσεις ακόμη και στατικές- ξηρές συνθήκες. Έτσι οποιαδήποτε σεισμική δόνηση και αν προκληθεί στη περιοχή μελέτης θα απομειώσει τις αντοχές των γεωυλικών, μειώνοντας το συντελεστή ασφάλειας, με αποτέλεσμα την δημιουργία κύκλων ολίσθησης μέσα στα υλικά πιθανής κατολίσθησης, που φτάνουν σε ορισμένα σημεία ακόμη και τα 15m βάθος. Ο συντελεστής ασφαλείας μειώνεται δραματικά από τα 0.251 με ru=0.1 στα 0.173 με ru=0.3, Παρακάτω παρατίθεται το αποτέλεσμα της ανάλυσης με ru=0.3 με σεισμική οριζόντια επιτάχυνση α=0.24 και κάθετη σεισμική επιτάχυνση α=0.12.

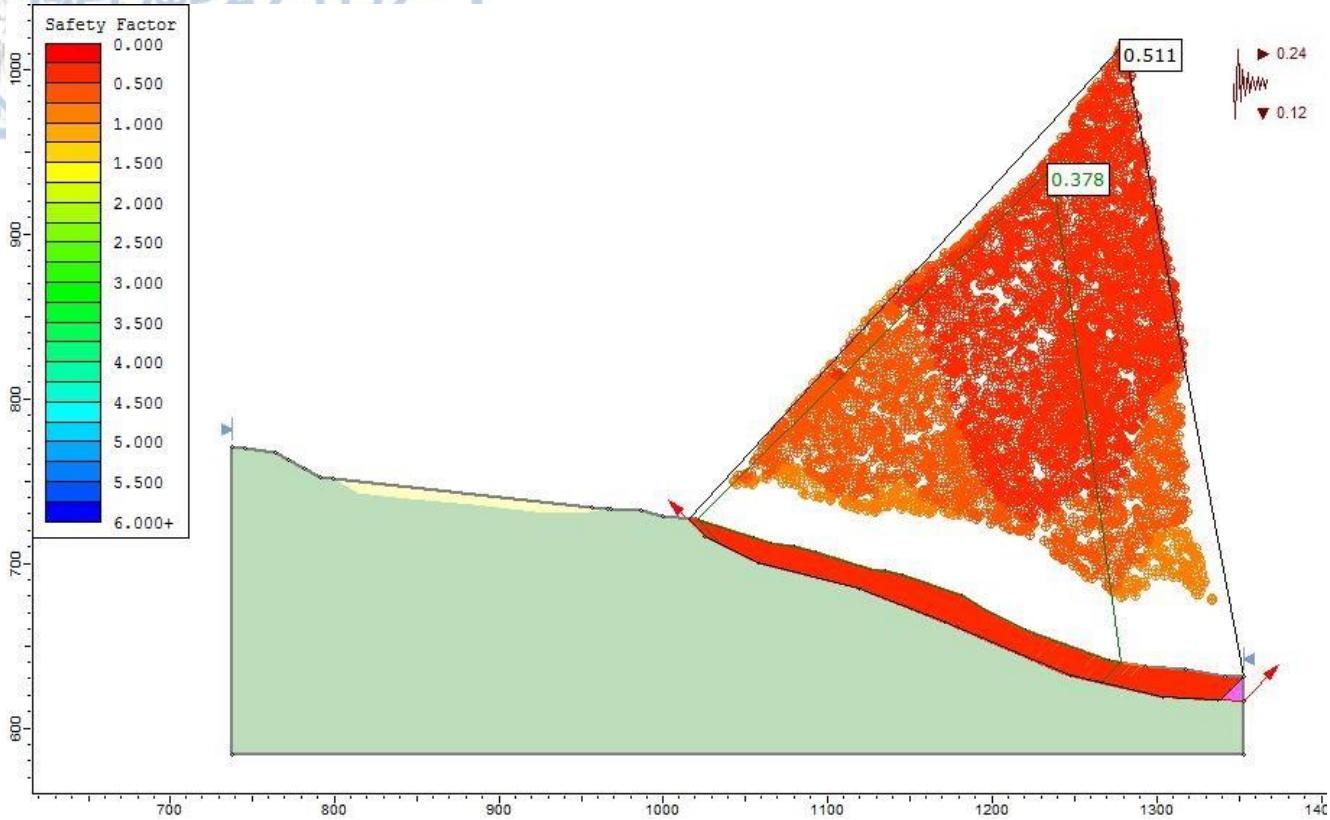
Τύπος Γεωυλικού	Unit Weight γ (kN/m^3)	Συνοχή c (kN/m^2)	Γωνία Τριβής φ (^{o})	Σεισμική επιτάχυνση	Ru	Συντελεστής Ασφαλείας κρίσιμης επιφάνειας (Μέθοδος Bishop)
Υλικά Πιθανής Κατολίσθησης	18	0	15	α_h= 0,24 α_v= 0.12	0.3	0,511
Φλύσχης	23,5	1150	47,76	α_h= 0,24 α_v= 0.12	0.3	
Ασβεστόλιθος	24	231	56,24	α_h= 0,24 α_v= 0.12	0.3	



Εικόνα 72: Κύκλοι ολίσθησης με τον χαμηλότερο συντελεστή ασφαλείας σε δυναμικές – υγρές συνθήκες

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Εικόνα 73: Δεύτερη ανάλυση με σκοπό την εύρεση συντελεστή ασφαλείας της κρισιμότερης επιφάνειας ολίσθησης.

Σύμφωνα με τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν για τη μια κατολίσθηση σε αυτή την περίπτωση, προκύπτει ότι για στην Ν-ΝΔ πλευρά των Μελισσουργών από το σημείο 2 και με κατεύθυνση Α-ΒΑ έως και το Μελισσουργιώτικο ποταμό η περιοχή μελέτης παρουσιάζει αστάθεια σε οποιεσδήποτε συνθήκες αφού το μοντέλο ταυτίζεται με αυτό του κεφαλαίου 6.2. Για τη δεύτερη κατολίσθηση στην Β-ΒΑ πλευρά των Μελισσουργών από το σημείο 6 και με κατεύθυνση Α-ΒΑ έως και το Μελισσουργιώτικο ποταμό η περιοχή μελέτης παρουσιάζει αστάθεια σε οποιεσδήποτε συνθήκες. Οι κύκλοι ολίσθησης που δημιουργούνται είναι αρκετοί, δίνοντας από επιπόλαιες μέχρι και πιο σημαντικές ολισθήσεις.

Όμως η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης που πρέπει να μελετηθεί στην παρούσα διπλωματική είναι η επαφή των υλικών πιθανής παλιάς κατολίσθησης με τον φλύσχη. Η επιφάνεια αυτή σύμφωνα με τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν δίνει ολίσθηση σε όλες τις συνθήκες, εκτός από τις στατικές ξηρές συνθήκες, με F=0.150. Παρατηρείται ότι ο συντελεστής ασφαλείας μειώνεται (F=0.693) τόσο κατά την σεισμική επίδραση, όσο και σε περίπτωση έντονης ή παρατεταμένης βροχόπτωσης ($0.1 \leq r_u \leq 0.3$) (F=0.999). Συνεπώς από τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει ότι ο συντελεστής ασφαλείας είναι μικρότερος του 1.3 σε στατικές υγρές συνθήκες και χαμηλότερος του 1 σε δυναμικές συνθήκες. Έτσι σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα αναμένεται κατολίσθηση έπειτα από παρατεταμένη έντονη βροχόπτωση (στατικές υγρές συνθήκες με πίεση πόρων $0.1 \leq r_u \leq 0.3$ και έπειτα από σεισμική δόνηση με σεισμική επιτάχυνση της σεισμικής ζώνης ΙΙ κατά ΕΑΚ α=0.24 (δυναμικές ξηρές αλλά και υγρές συνθήκες. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης αναφέρονται στο ενδεχόμενο αστοχίας ολόκληρης της επιφάνειας ολίσθησης που έχει εξαρχής καθοριστεί δηλαδή την κατολίσθηση με 15m βάθος και γύρω στα 330m πλάτος. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι προέκυψαν μικρότεροι συντελεστές ασφαλείας για εξίσου σημαντικά

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

επικίνδυνες επιφάνειες ολίσθησης, με όγκο κατολισθούμενων υλικών ελάχιστα μικρότερο από τον όγκο που δίνουν οι ολισθήσεις των παραπάνω αναλύσεων.

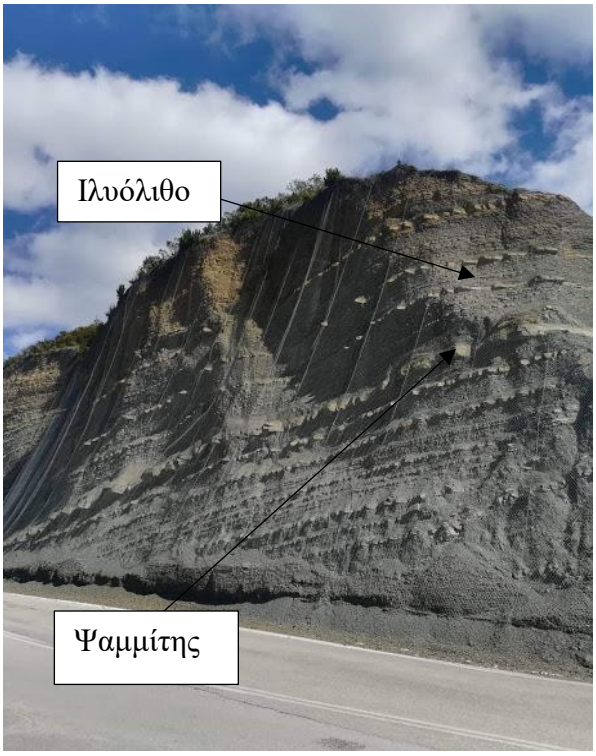
	Σεισμική κάθετη και οριζόντια συνιστώσα	Πίεση Πόρων	Συντελεστής Ασφαλείας κρίσιμης επιφάνειας (Μέθοδος Bishop) 3η Περίπτωση	Συντελεστής Ασφαλείας σύμφωνα με διεθνή πρότυπα
Στατικές Ξηρές συνθήκες	-	-	1.150	1,0
Στατικές Υγρές συνθήκες	-	r_u=0.3	0,999	1.3
Δυναμικές Ξηρές Συνθήκες	α_h=0.24 α_v=0.12	-	0,693	1,0
Δυναμικές υγρές συνθήκες	α_h=0.24 α_v=0.12	r_u=0.3	0,511	

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

7. ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΓΙΑ ΤΕΧΝΗΤΟ ΠΡΑΝΕΣ ΕΚΤΟΣ ΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

Στόχος του συγκεκριμένου ενδεικτικού παραδείγματος είναι να αναλυθεί η ευστάθεια ορυγματικού πρανούς, εκτός της πιθανής κατολίσθησης, στη 2η επαρχιακή οδό, λίγο πιο έξω από το χωριό των Πραμάντων. Το ύψος του πρανούς υπολογίζεται περίπου 40m, μη γνωρίζοντας ακριβώς το βάθος του φλύσχη λόγω έλλειψης της πληροφορίας γεωτρήσεων στη συγκεκριμένη περιοχή (Εικόνα 66). Κατά κανόνα όμως, το πάχος του φλύσχη της Ιονίου ζώνης είναι αρκετά μεγάλο, που σε μεγάλα σύγκλινα υπερβαίνει τα 2.000.
Το συγκεκριμένο πρανές χαρακτηρίζεται από εναλλαγές ιλυολίθων και μεσόκοκκων έως χονδρόκοκκων ψαμμιτών, χαρακτηρίζοντας το όμως περισσότερο ιλυολιθικό, αφού η αναλογία του είναι περίπου 70:30 (ιλυόλιθος: ψαμμίτης). Το πάχος των ψαμμιτικών στρωμάτων κυμαίνεται από λίγα εκατοστά έως και περίπου 1m. Το χρώμα των ιλυολίθων είναι γκριζόμαυρο ενώ των ψαμμιτών τεφρό έως υποκίτρινο στις θέσεις όπου η αποσάθρωση είναι μεγαλύτερη.



Εικόνα 74: Ορυγματικό πρανές, εκτός της πιθανής κατολίσθησης, στη 2η επαρχιακή οδό, λίγο πιο έξω από το χωριό των Πραμάντων.

Αποσάθρωση

Τα ψαμμιτικά στρώματα συνήθως παρουσιάζουν πιο συχνά σημάδια αποσάθρωσης από τα ιλυολιθικά, κατά μήκος των ασυνεχειών που τους προσδίδει αυτό το κιτρινωπό χρώμα, γεγονός που συνδέεται με την εν μέρει κίνηση των υπόγειων υδάτων μέσα από

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

το δευτερογενές πορώδες τους. Έτσι στη πλειοψηφία των ψαμμιτικών στρωμάτων η αποσάθρωση χαρακτηρίζεται ως μέτρια (IV)

Οι ιλυόλιθοι ως προς την αποσάθρωση είναι αρκετά επιδεκτικοί στην ταχεία χαλάρωση τους μετά από έκθεσή τους σε ατμοσφαιρικές συνθήκες ακόμη κι αν είναι υγιής (φαινόμενο της σχάσης). Συνεπώς οι ιλυόλιθοι ανήκουν στην κατηγορία του έντονα έως και πλήρες αποσαθρωμένου υλικού, μόνο στην επιφανειακή τους εμφάνιση (τύπος V-VI), καθώς σε βάθος η μορφή τους αλλάζει και ο βαθμός αποσάθρωσης τους καλυτερεύει.

Κατάσταση ασυνεχειών

Η στρώση αποτελεί την κύρια και πιο συχνή ασυνέχεια με κλίση περίπου 40° προς Α-ΒΑ (πρόχειρος υπολογισμός από παρατήρηση στην ύπαιθρο). Για τα υπόλοιπα συστήματα διακλάσεων που μπορεί να υπάρχουν στα ψαμμιτικά υλικά δεν έχουν ληφθεί μετρήσεις, καθώς δεν αποτελούν σκοπό της συγκεκριμένης διπλωματικής. Η κλίση του πρανούς είναι απότομη περίπου 70-80° και το πρανές κλίνει Β-ΒΔ

Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά

Στον Φλύσχη της Ιονίου η υδροπερατότητα περιορίζεται αρκετά σε σχέση με την υδροπερατότητα που παρουσιάζει ο Φλύσχης της Πίνδου και του Γαββρόβου και αυτό οφείλεται :

1 Στην μικρότερη τεκτονική καταπόνηση που έχει υποστεί ο φλύσχης της Ιονίου σε σχέση με αυτή των άλλων ζωνών
2 Στην επικράτηση σε μεγάλο ποσοστό ιλυολίθων στη μάζα των οποίων τα συστήματα των διακλάσεων είτε δεν εμφανίζονται σε μεγάλο ποσοστό, είτε εμφανίζονται επιφανειακά και κλείνουν πολύ γρήγορα σε βάθος.

Η υδροπερατότητα στα συνεκτικά πετρώματα καθορίζεται από το πρωτογενές και κυρίως από το δευτερογενές πορώδες τους. Οι ιλυόλιθοι χαρακτηρίζονται από μικρό πορώδες και ασυνέχειες που κλείνουν σε βάθος (κλειστές ασυνέχειες), δημιουργώντας έτσι συνθήκες χαμηλής υδροπερατότητας έως και αδιαπέρατης υδρογεωλογικής συμπεριφοράς. Επιφανειακά όμως οι ιλυόλιθοι εμφανίζονται αποσαθρωμένοι, γεγονός που ευνοεί την είσοδο νερού μέχρι ένα συγκεκριμένο βάθος. Σε αντίθεση με τους ιλυόλιθους, οι ψαμμίτες παρουσιάζουν υψηλότερη περατότητα, λόγω της συστηματικότερης κατάτμησής τους από ασυνέχειες με πιο ανοιχτές διεπιφάνειες.

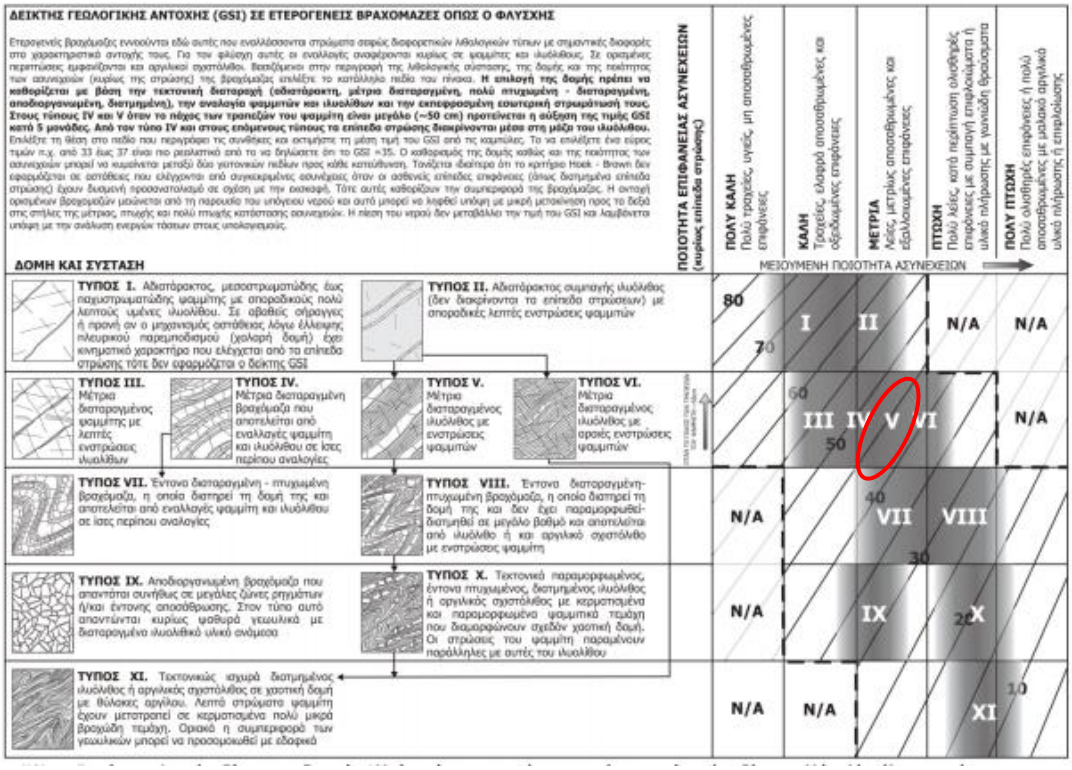
Συνεπώς δεν αναμένεται σημαντική ανάπτυξη ενιαίας υπόγειας υδροφορίας. Το νερό μπορεί να κινείται επιλεκτικά μέσω των δικτύων των ασυνεχειών των ψαμμιτών, δημιουργώντας ασθενείς υδροφόρους ορίζοντες ανεξάρτητους μεταξύ τους καθώς διαχωρίζονται από σχεδόν αδιαπέρατους ιλυόλιθους, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη υποπιέσεων. Η ύπαρξη αυτών των ανεξάρτητων υδροφόρων, πιθανολογείται πως παρουσιάζεται μόνιμη, καθώς ακόμη και του θερινούς μήνες η βροχόπτωση εμφανίζεται 10-13 μέρες ανά μήνα. Η εισροή νερού όμως στους ψαμμιτικούς πάγκους αναμένεται μεγαλύτερη κατά τους υγρούς μήνες καθώς η κατείσδυση βροχής ανέρχεται σε μέσο όρο 15-17 μέρες ανά μήνα (πρέπει να ληφθεί υπόψιν και το λιώσιμο του χιονιού). Η δυναμικότητα όμως αυτών των ανεξάρτητων υδροφόρων ελαττώνεται σε βάθος καθώς η δομή των πετρωμάτων γίνεται πιο σφικτή, καθώς μειώνεται ο βαθμός της αποσάθρωσης και κλείνουν οι ασυνέχειες των ιλυολίθων, μειώνοντας ως επακόλουθο το δευτερογενές πορώδες.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ ΚΑΤΑ GSI

Πραγματοποιήθηκε κατάταξη βραχόμαζας σύμφωνα με το εμπειρικό σύστημα ταξινόμησης GSI (Hoek, Marinos,2007) για φλύσχη, οπού αξιολογήθηκαν τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά της βραχόμαζας (δομή πετρώματος κατάσταση ασυνεχειών) από επιφανειακές παρατηρήσεις. Συνεπώς το GSI που δόθηκε από προσωπική παρατήρηση ήταν 43-48 (Εικόνα 67)



Εικόνα 75: GSI Φλύσχη

Από τεχνικογεωλογικής άποψης οι εναλλαγές ιλυολίθων και ψαμμιτών πρακτικά μεταφράζονται ως εναλλαγές υλικών μικρής και μεγάλης αντοχής, αντίστοιχα. Πιο συγκεκριμένα οι καλά συγκολλημένοι κόκκοι άμμου των ψαμμιτών παρουσιάζουν γενικώς ικανοποιητική αντοχή, η οποία οδηγεί σε ευστάθεια πρανών. Στη συγκεκριμένη όμως περίπτωση, οι ψαμμίτες εμφανίζονται σε μικρό ποσοστό και στα περισσότερα σημεία μερικώς αποσαθρωμένοι, με εναλλαγές στρωμάτων ιλυόλιθων, οι οποίοι γενικώς χαρακτηρίζονται ως υλικά μικρής αντοχής, γεγονός που απομειώνει τις αντοχές όλης της βραχόμαζας. Έτσι οι ολισθήσεις που αναμένονται στο συγκεκριμένο πρανές είναι περιστροφικές και οφείλονται στις μειωμένες αντοχές των επιφανειακών κυρίως ιλυολίθων.

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

Για την εύρεση των γεωτεχνικών παραμέτρων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα RockData της rocksience. Σύμφωνα με το κριτήριο Mohr-Coulomb εισάγοντας παραμέτρους από προσωπική εκτίμηση, υπολογίστηκε η αντοχή της βραχόμαζας (συνοχή c και γωνία τριβής φ). Σύμφωνα λοιπόν με το GSI: 43-48 τύπος V για φλύσχη και με δεδομένο ότι ο φλύσχης αποτελείται 30 % από ψαμμίτη και 70% από ιλυόλιθο, υπολογίστηκε η σταθερά mi για άρρηκτο βράχο mi=8,4 με τη βοήθεια του παρακάτω πίνακα (Εικόνα 68).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Flysch type	Proportions of values for each member of rock type to be considered for the weighted "intact rock" property determination
I, III	Use values for sandstone beds
II	Use values for siltstone or shale
IV	Thin beds: Reduce sandstone values by 10% and use full values for siltstone Thick beds: Use equivalent values for siltstone and sandstone beds
V	Reduce sandstone values by 20% and use full values for siltstone
VI	Use values for siltstone or shale
VII	Reduce sandstone values by 20% and use full values for siltstone
VIII	Reduce sandstone values by 20% and use full values for siltstone
IX	Use equivalent values for siltstone and sandstone beds according to their participation
X	Reduce sandstone values by 40% and use full values for siltstone
XI	Use values for siltstone or shale

Εικόνα 76: Πίνακας απομείωσης των χαρακτηριστικών της βραχόμαζας σύμφωνα με το GSI

Η αντοχή του φλύσχη σε μονοαξονική θλίψη σ_{ci} σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, υπολογίζεται κατά προσέγγιση 37MPa, ενώ η παράμετρος διατάραξης της βραχόμαζας υπολογίζεται D=0. Η τιμή του φαινόμενου βάρους υπολογίζεται από γ= 23,5 kN/m^3. Τέλος η γωνία τριβής και η συνοχή υπολογίζεται με τη βοήθεια του προγράμματος Rock Data 5.0 με το κριτήριο Mohr Coulomb έχοντας τιμές 31,22 ° και 158 kPa αντίστοιχα.

ΦΛΥΣΧΗΣ		
GSI	43-48	Τύπος V
σ_{ci} (MPa)	35	
mi	8.4	
D	0	
γ (kN/m^3)	23,5	
c (kPa)	158	
φ (°)	31,22	

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Η μεθοδολογία που πρέπει να ακολουθείται για τον υπολογισμό της ευστάθειας βραχωδών ορυγματικών πρανών είναι η παρακάτω (Πίνακας 16):

α/α Συνδυασμού	**1**	**2**	**3**	**4**
Σεισμός	N	N	O	O
Ανώτατη πίεση πόρων ασυνεχειών 50 - ετίας	N	O	N	O
Απαιτούμενος συντελεστής ασφαλείας	-	1,0	1,2	1,3

Πίνακας 17: Συντελεστές ασφάλειας βραχωδών πρανών - θραύση συνολικού πρανούς

όπου :

Σεισμός

N Σεισμός σχεδιασμού σύμφωνα με τον ΕΑΚ, παραγρ. 5.4.

O Οχι σεισμός.

Ανώτατη στάθμη υπογείου ορίζοντα 50-ετίας.

N Προβλεπόμενη ανώτατη πίεση πόρων ασυνεχειών 50-ετίας (κορεσμός ασυνεχειών)

O Προβλεπόμενη ετήσια ανώτατη πίεση πόρων ασυνεχειών.

Έτσι πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με το πρόγραμμα Slide 2018 σε στατικές συνθήκες ξηρές (δεν υπάρχει στο παραπάνω πίνακα, αλλά πραγματοποιείται για την εκτίμηση της αντοχής σε φυσικές συνθήκες) με μέγιστο συντελεστή ασφαλείας για οριακή ισορροπία FS=1. Ακόμη πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις σε υγρές συνθήκες με πίεση πόρων r_u =0,1 , r_u =0,2 , r_u =0,3, και μέγιστο συντελεστή ασφαλείας FS=1.2 όταν πρόκειται για προβλεπόμενη ανώτατη πίεση πόρων ασυνεχειών 50-ετίας (κορεσμός ασυνεχειών) και FS=1.3 όταν πρόκειται για προβλεπόμενη ετήσια ανώτατη πίεση πόρων ασυνεχειών. Τέλος πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις σε δυναμικές υγρές συνθήκες με προβλεπόμενη ετήσια ανώτατη πίεση πόρων ασυνεχειών r_u =0,1 , r_u =0,2 , r_u =0,3 και σεισμική επιτάχυνση της σεισμικής ζώνης ΙΙ κατά ΕΑΚ α=0.24 (βλ κεφάλαιο 4) και μέγιστο συντελεστή ασφαλείας FS=1

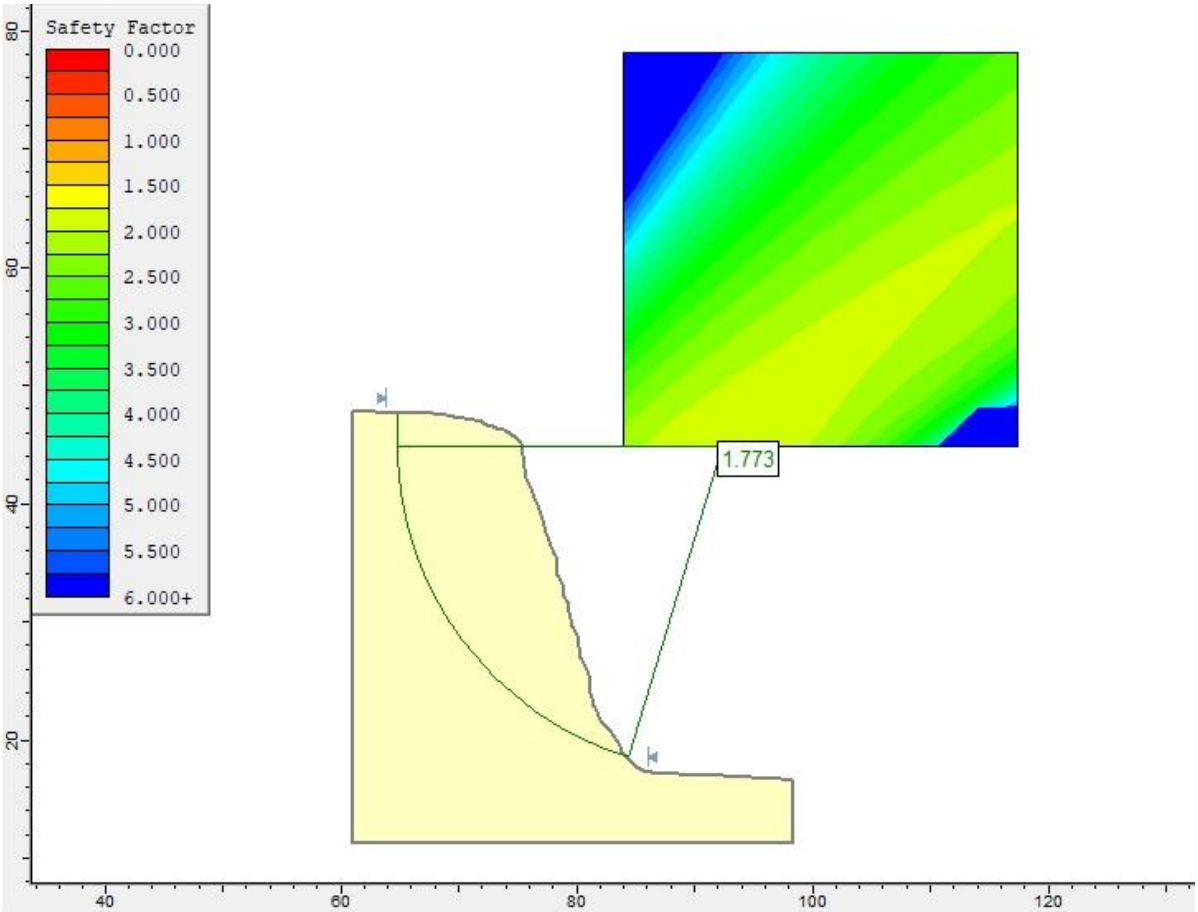
Ακολουθεί η ανάλυση ευστάθειας ορυγματικού πρανούς σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

1. Στατικές Ξηρές συνθήκες

Τύπος Γεωυλικού	Unit Weight γ (kN/m^3)	Συνοχή c (kN/m^2)	Γωνία Τριβής φ (^{o})	Συντελεστής Ασφαλείας (Μέθοδος Bishop)
Φλύσχης	23,5	158	31,22	1,811



Εικόνα 77: Ανάλυση ευστάθειας σε στατικές ξηρές συνθήκες σε πρανές φλύσχη.

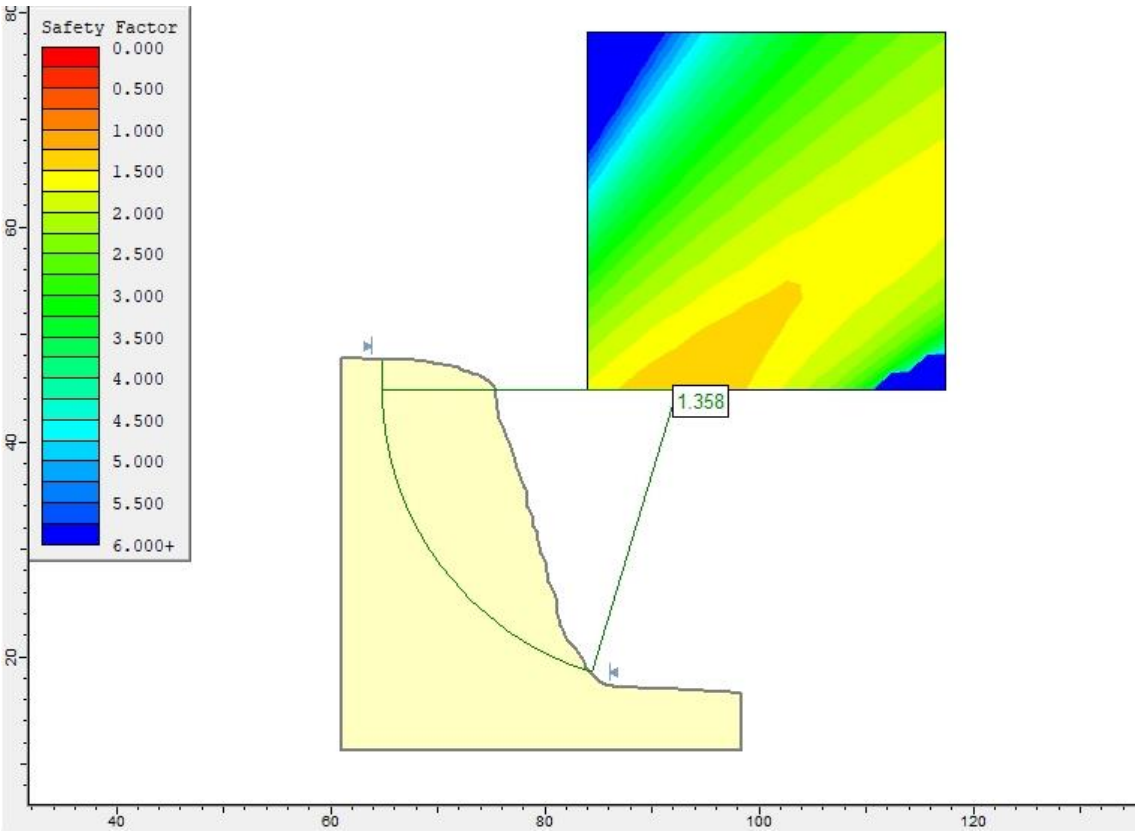
Σε στατικές ξηρές συνθήκες δεν αναμένεται κάποια ισότροπη ολίσθηση. Οι κύκλοι ολίσθησης που σχηματίζονται έχουν ελάχιστο συντελεστή ασφαλείας FS=1.811 >1, οπότε σύμφωνα με το διεθνή κανονισμό αυτός ο συντελεστής ασφαλείας δεν δύναται για ολίσθηση.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

2. Στατικές Υγρές συνθήκες- Πίεση πόρων

Τύπος Γεωυλικού	Unit Weight γ (kN/m^3)	Συνοχή c (kN/m^2)	Γωνία Τριβής φ (°)	Ru	Συντελεστής Ασφαλείας (Μέθοδος Bishop)
Φλύσχης	23,5	158	31,22	0,1	1,634
Φλύσχης	23,5	158	31,22	0,2	1,496
Φλύσχης	23,5	158	31,22	0,3	1,358



Εικόνα 78: Ανάλυση ευστάθειας σε πρανές φλύσχη, σε στατικές υγρές συνθήκες. Πίεση πόρων ru=0.3

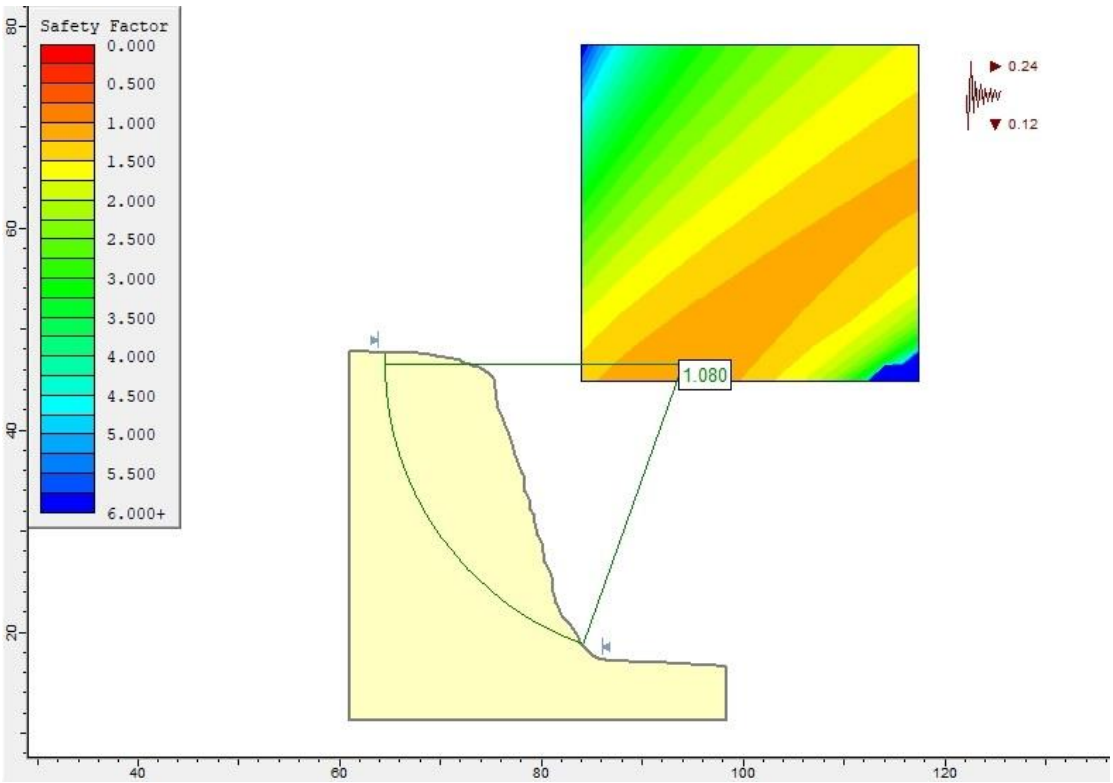
Σε στατικές υγρές συνθήκες με προβλεπόμενη ετήσια ανώτατη πίεση πόρων ασυνεχειών ru=0.1 και ru=0.2 οι συντελεστές ασφαλείας είναι μεγαλύτεροι από 1.3 (FS>1.3), όπου σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα δεν αναμένεται ισότροπη ολίσθηση. (FS=1.671 και FS= 1.531 αντίστοιχα).
Στο χειρότερο σενάριο, άμα η προβλεπόμενη ετήσια πίεση πόρων είναι ru=0.3, δηλαδή μετά από συνεχόμενες και εκτεταμένες βροχοπτώσεις ο συντελεστής ασφαλείας FS=1.390 θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι πλησιάζει στη κατάσταση ισορροπίας FS=1.3 για στατικές υγρές συνθήκες.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

3. Δυναμικές Υγρές συνθήκες- Πίεση πόρων

Τύπος Γεωυλικού	Unit Weight γ (kN/m^3)	Συνοχή c (kN/m^2)	Γωνία Τριβής φ (^{o})	Ru	Σεισμική επιτάχυνση	Συντελεστής Ασφαλείας (Μέθοδος Bishop)
Φλύσχης	23,5	158	31,22	0,1	α_h= 0,24 α_v= 0.12	1,295
Φλύσχης	23,5	158	31,22	0,2	α_h= 0,24 α_v= 0.12	1,118
Φλύσχης	23,5	158	31,22	0,3	α_h= 0,24 α_v= 0.12	1,080



Εικόνα 79: Ανάλυση ευστάθειας σε πρανές φλύσχη, σε δυναμικές υγρές συνθήκες. Πίεση πόρων ru=0.3.

Σε δυναμικές υγρές συνθήκες με προβλεπόμενη ετήσια ανώτατη πίεση πόρων ασυνεχειών ru=0.1 και ru=0.2 οι συντελεστές ασφαλείας είναι μεγαλύτεροι από 1 (FS>1), όπου σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα δεν αναμένεται ισότροπη ολίσθηση. (FS=1.295 και FS= 1.118 αντίστοιχα). Με πίεση πόρων ru=0.3, δημιουργείται επιφάνεια ολίσθησης με συντελεστή ασφαλείας FS=1.080. δηλαδή πολύ κοντά στην οριακή ισορροπία του πρανούς FS=1 σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα.

Σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα θεωρείται ότι κατά τη μελέτη του συγκεκριμένου πρανούς κατά τη κατασκευή οδοποιίας, κρίθηκε αναγκαίο λόγω των αποτελεσμάτων του συντελεστή ασφάλειας πολύ κοντά στην οριακή ισορροπία, να κατασκευαστεί μεταλλικό πλέγμα για τη συγκράτηση υλικού που ενδέχεται να ολισθήσει.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλυθούν κάποια από τα βασικά σημεία της παρούσας διπλωματικής, τα οποία θα οδηγήσουν στον επίλογο της έρευνας. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής ήταν να εξεταστούν οι πιθανές κατολισθήσεις που μπορεί να προέκυψαν στον οικισμό των Μελισσουργών από την ισχυρή σεισμική δόνηση που πραγματοποιήθηκε στη 1 Μαΐου του 1967 και έπληξε τους νομούς Άρτας και Ιωαννίνων. Συγκεκριμένα μελετήθηκαν διάφορα ενδεχόμενα για την εκτίμηση της επιδεκτικότητας εκδήλωσης κατολισθήσεων και βραχοκαταπτώσεων εντός και εκτός των Μελισσουργών.

Για να πραγματοποιηθεί ο συγκεκριμένος στόχος ακολουθήθηκαν τα εξής στάδια:

- Αρχικά πραγματοποιήθηκε η αξιολόγηση υπάρχοντών ερευνών και βιβλιογραφικών αναφορών που αφορούν την περιοχή.
- Μελετήθηκαν και επεξεργάστηκαν αεροφωτογραφίες και γεωλογικοί χάρτες της περιοχής.
- Έγινε εκτενής επισκόπηση, στη βιβλιογραφική θεωρία των κατολισθήσεων, σχετικά με τον τρόπο εκδήλωσης και τα είδη τους.
- Περιεγράφηκαν αναλυτικά οι μέθοδοι αναλύσεων ευστάθειας πρανών, καθώς και οι τεχνικογεωλογικές και γεωτεχνικές παράμετροι για τις κατολισθήσεις. Επίσης έγινε αναφορά στα αερομηχανήματα- UAV, για τον τρόπο λειτουργίας, τις εφαρμογές, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, καθώς και στα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική και στον τρόπο χρήσης τους.
- Έπειτα πραγματοποιήθηκε πτήση Drone-UAV για τη συλλογή αεροφωτογραφιών στον οικισμό των Μελισσουργών αλλά και στο τεχνητό πρανές οδοποιίας έξω από τον οικισμό.
- Έγινε γεωλογική χαρτογράφηση της περιοχής και κατασκευάστηκαν γεωλογικοί χάρτες σε κλίμακα 1:6.000. Η χαρτογράφηση είχε πλάτος περίπου 320 m και μήκος 670m.
- Η χαρτογράφηση βοήθησε στη σύνταξη τριών γεωλογικών μηκοτομών σε κλίμακα 1:6.000 κατά μήκος των πιθανών κατολισθήσεων καθώς στη κατασκευή δύο τεχνικογεωλογικών προσομοιωμάτων για τις περιπτώσεις όπου υφίστανται πιθανές παλιές κατολισθήσεις.
- Ψηφιοποιήθηκαν οι κατολισθήσεις, μέσα από τα δεδομένα που λήφθηκαν με τη βοήθεια του UAV.
- Πραγματοποιήθηκαν τεχνικογεωλογική αξιολόγηση των γεωλογικών σχηματισμών σύμφωνα με το GSI, το βαθμό αποσάθρωσης και το βαθμό κερματισμού.
- Αναγνωρίστηκαν οι πιθανές κατολισθήσεις και ο μηχανισμός λειτουργίας τους.
- Έγιναν αναλύσεις ευστάθειας με το πρόγραμμα Slide 2018 της Rocsience Inc, για τις πιθανές κατολισθήσεις εντός του χωριού των Μελισσουργών αλλά και για το τεχνητό πρανές οδοποιίας έξω από τον οικισμό.
- Τέλος ακολούθησε η σύνταξη της διπλωματικής εργασίας.

Ο οικισμός των Μελισσουργών, που είναι η κύρια περιοχή μελέτης της παρούσας διπλωματικής, υπάγεται στο νομό της Άρτας. Η επιλογή του συγκεκριμένου οικισμού πραγματοποιήθηκε κατόπιν μελέτης βιβλιογραφικών αναφορών αλλά και δημοσιεύσεων σε τοπικές εφημερίδες, οι οποίες αναφέρονται σε σοβαρές καταστροφές που προκλήθηκαν από τη σεισμική δόνηση του 1967.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Τα υλικά της περιοχής ανήκουν κυρίως στην Ιόνιο ζώνη αλλά συναντώνται και υλικά της Πίνδου. Έτσι ο διαχωρισμός των γεωυλικών με βάση ην προσωπική παρατήρηση έγινε σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">Γεωλογικός Σχηματισμός</th><th rowspan="2">Σύσταση</th><th colspan="2">Θέση Εμφάνισης- Μορφή</th></tr>
<tr><th>Υγιής Μορφή</th><th>Κερματισμός-Αποσάθρωση</th></tr>
<tr><td colspan="2">Φλύσχης Ιονίου</td><td>90:10
ψαμμίτης:ιλυόλιθος</td><td>Θέση 7,8,9. Μικρή αποσάθρωση στην επιφάνεια των ασυνεχειών</td><td>Καταλαμβάνει μεγάλη έκταση. Πλήρως αποσαθρωμένη ζώνη μέσα σε ζώνες πιθανών κατολισθήσεων</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ασβεστόλιθος</td><td>Ασβεστολιθική</td><td>-</td><td>Θέση 2. Εμφανίζεται κατακερματισμένος-αποδιοργανομένος.</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Σύγχρονες Αποθέσεις</td><td>Μανδύας Αποσάθρωσης</td><td>Ιλυολιθική και αργιλική, με ψαμμιτικές λατύπες</td><td colspan="2" rowspan="3">Καλύπτει τη μεγαλύτερη έκταση της περιοχής επιφανειακά (Στο 1^{ο} ενδεχόμενο βλ. κεφάλαιο 5).</td></tr>
<tr><td>Κορήματα</td><td>Ασβεστολιθική, Κερατολιθική και Ψαμμιτική</td></tr>
<tr><td>Αποθέσεις μεταφοράς από ρέμα</td><td>Κυρίως Ασβεστολιθική</td></tr>
<tr><td colspan="2">Πιθανά Υλικά Κατολίσθησης</td><td>Ανομοιομορφία φλυσχικών υλικών, σύγχρονων αποθέσεων και κορημάτων</td><td colspan="2">Καλύπτει τη μεγαλύτερη έκταση της περιοχής επιφανειακά (Στο 2^{ο} και 3^{ο} ενδεχόμενο βλ. κεφάλαιο 5).</td></tr>
<tr><td colspan="2">Υλικά καταπτώσεων</td><td>Ασβεστολιθική, Κερατολιθική</td><td colspan="2">Θέση 4</td></tr>
</table>

Ύστερα από την τενικογεωλογική αξιολόγηση κατά την υπαίθρια έρευνα (GSI, ποιότητα και δομή βραχόμαζας) προέκυψε η κατηγοριοποίηση των τεχνικογεωλογικών ενοτήτων αλλά και ο χαρακτηρισμός της βραχόμαζας σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

Τεχνικογεωλογικές Ενότητες	*GSI*	*Αποσάθρωση*		*Αντοχή Άρρηκτου Βράχου (IRS)*	
		Ορισμός	*Τύπος*	*Περιγραφή*	*Τύπος*
ΤΕ1: Κορήματα (Στη περίπτωση 1)	-	-	-	-	-
ΤΕ2 :Ασβεστόλιθος	15-20	Μέτρια-Πολύ	IV-V	Αδύναμο-Μέτρια αδύναμο	R2-R3
ΤΕ3: Φλύσχης	50-55	Λίγο-Μέτρια	III-IV	Μέτρια Δυνατό-Δυνατό	R3-R4
ΤΕ4: Υλικά Πιθανής Κατολίσθησης (Στις περιπτώσεις 2 και 3)	-	-	-	-	-

Η θέση που μελετήθηκε στη παρούσα διπλωματική δεν έχει ενδείξεις ενεργούς κατολίσθησης αλλά η μορφολογία της παραπέμπει στο ενδεχόμενο ύπαρξης μίας η και δύο πιθανών παλαιών. Μετά από την εργασία πεδίου τέθηκαν προς έρευνα τα 3 ενδεχόμενα που προέκυψαν και στη συνέχεια εξετάστηκαν ως προς την ευστάθειά τους α) κατά τις στατικές τους συνθήκες (ξηρές), β) με σεισμική φόρτιση και γ) με πίεση πόρων. Τα ενδεχόμενα που προέκυψαν κατά τη χαρτογράφηση είναι :

- 1^{ο} Ενδεχόμενο: Κατά το ενδεχόμενο αυτό οι καταστροφές από τη σεισμική δόνηση του 1967, δεν έχουν πραγματοποιηθεί στη κλίμακα που έχει αναφερθεί και συνεπώς η περιοχή μελέτης δεν έχει υποστεί κάποια κατολίσθηση, με αποτέλεσμα η περιοχή να αποτελείται στη πλειοψηφία της από σύγχρονες επιφανειακές αποθέσεις. Οι αποθέσεις αυτές επικάθονται πάνω στο φλύσχη της Ιονίου ενώ στα Β-ΒΔ του χωριού ο φλύσχης έρχεται σε τεκτονική επαφή με τον ασβεστόλιθο της Πίνδου ηλικίας Άνω Τριαδικού. Συνεπώς η τελική μορφολογία της περιοχής καθορίστηκε από τα κορήματα τα οποία είτε προήρθαν από την αποσάθρωση των ασβεστολιθικών και φλυσχικών πετρωμάτων μετά από κύλιση, είτε παρασύρθηκαν από ρέματα και αποτέθηκαν σε διάφορα σημεία μέσα στο χωριό.
- 2^{ο} Ενδεχόμενο: Στη περίπτωση που αυτές οι καταστροφές υφίστανται και έχουν δημιουργηθεί από τη σεισμική δόνηση του 1967, τότε στη περιοχή έχει πραγματοποιηθεί μία παλιά κατολίσθηση. Η πλειοψηφία της περιοχής αυτής επιφανειακά αποτελείται από τα υλικά αυτής της κατολίσθησης. Τα υλικά αυτά είναι ανακατεμένα κορήματα μεταφοράς από το ρέμα που υπάρχει μέσα στο χωριό, είτε κορήματα από αποσάθρωση των γύρω πετρωμάτων, υλικά καταπτώσεων ασβεστολιθικής και φλυσχικής προέλευσης, και αποσαθρωμένες ζώνες του φλύσχη που στις περισσότερες περιπτώσεις θυμίζουν έδαφος. Η πιθανή αυτή ολίσθηση είναι περιστροφική. Το μέγιστο πλάτος της ολισθαίνουσας μάζας υπολογίζεται γύρω στα 350m ενώ το μήκος της περίπου στα 800m. Το βάθος της ολισθαίνουσας μάζας υπολογίζεται περίπου στα 15m. Η υψομετρική διαφορά από τον πόδα της κατολίσθησης έως το φρύδι είναι της τάξεως των 150 m. Το φρύδι της κατολίσθησης εντοπίζεται λίγα m ανατολικά της θέσης 2 , η οποία είναι και η θέση πτήσης του Drone. Το δυτικό άκρο της κατολίσθησης εντοπίζεται στη θέση 7, εμφανίζοντας ρωγμές στο οδόστρωμα.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

- 3ο Ενδεχόμενο: Κατά το ενδεχόμενο αυτό η περιοχή μελέτης έχει υποστεί δύο παλιές κατολισθήσεις που κατά πάσα πιθανότητα συνδέονται μεταξύ τους και οφείλονται και αυτές στη σεισμική δόνηση του 1967. Η περιοχή αποτελείται αντίστοιχα από τα υλικά της κάθε κατολίσθησης τα οποία έχουν τις ίδιες παραμέτρους διατμητικής αντοχής. Τα υλικά αυτά και σε αυτή την περίπτωση είναι ανακατεμένα κορήματα μεταφοράς από το ρέμα που υπάρχει μέσα στο χωριό, είτε κορήματα από αποσάθρωση των γύρω πετρωμάτων, υλικά καταπτώσεων ασβεστολιθικής και φλυσχικής προέλευσης, και αποσαθρωμένες ζώνες του φλύσχη που στις περισσότερες περιπτώσεις θυμίζουν έδαφος. Οι 2 πιθανές ολισθήσεις είναι περιστροφικού τύπου. Ως αναφορά την 1η κατολίσθηση το μέγιστο πλάτος της ολισθαίνουσας μάζας υπολογίζεται γύρω στα 210m ενώ το μήκος της περίπου στα 800m. Το βάθος της ολισθαίνουσας μάζας υπολογίζεται περίπου στα 15m. Η υψομετρική διαφορά από το πόδι της κατολίσθησης έως το φρύδι είναι της τάξεως των 150 m. Το φρύδι της κατολίσθησης εντοπίζεται στη θέση 2 , η οποία είναι και η θέση πτήσης του Drone. Το μέγιστο πλάτος της 2ης κατολίσθησης υπολογίζεται γύρω στα 140 m ενώ το μήκος της περίπου στα 400m. Το φρύδι της πιθανής κατολίσθησης βρίσκεται στη θέση 6δ, ενώ το δυτικό άκρο της εντοπίζεται στη θέση 7, εμφανίζοντας ρωγμές στο οδόστρωμα. Η υψομετρική διαφορά από το πόδι της κατολίσθησης έως το φρύδι είναι της τάξεως των 90m.

Στης συνέχεια πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με το πρόγραμμα Slide 2018 της Rocsience Inc για τον προσδιορισμό των κυκλικών ολισθήσεων και στα 3 ενδεχόμενα που προέκυψαν από την χαρτογράφηση της περιοχής μελέτης:

1. Κατά τις στατικές τους συνθήκες (ξηρές), όπου η ευστάθειά τους εξαρτάται αποκλειστικά από τη διατμητική αντοχή των υλικών (c και φ – εύρεση με το κριτήριο Mohr- Coulomb) σε συνδυασμό κλίση του πρανούς.
2. Με πίεση πόρων, όπου η ευστάθεια εξαρτάται από τη διατμητική αντοχή των υλικών, από την κλίση του πρανούς αλλά και την πίεση πόρων που ασκεί το νερό που απαντάται μέσα στα κενά, ανάμεσα στα σωματίδια του εδάφους. Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με πίεση πόρων r_u =0,1 , r_u =0,2 , r_u =0,3.
3. Τέλος με σεισμική δόνηση, όπου η ευστάθεια εξαρτάται εξίσου από την κλίση του πρανούς και τη διατμητική αντοχή των υλικών. Ο πιο σημαντικός παράγοντας σε αυτή την περίπτωση είναι η σεισμική επιτάχυνση που δημιουργείται κατά την γένεση ενός σεισμού. Σε πρώτο στάδιο σε όλα τα μοντέλα χρησιμοποιήθηκε η σεισμική επιτάχυνση της σεισμικής ζώνης ΙΙ κατά ΕΑΚ α=0.24

Από τις αναλύσεις προέκυψε ότι, στη 1η περίπτωση, τα κορηματικά υλικά ευσταθούν σε οποιεσδήποτε συνθήκες (στατικές ή δυναμικές, υγρές ή ξηρές) με συνοχή c=100kPa και φ=30ο. Η περιοχή ευσταθεί ακόμη και στις δυσμενέστερες συνθήκες, δηλαδή με την μεγαλύτερη σεισμική επιτάχυνση που μπορεί να προκληθεί (σεισμική κάθετη επιτάχυνση α =0.36 και οριζόντια σεισμική επιτάχυνση α=0.18). Τα υλικά αυτά δίνουν ισότροπη ολίσθηση με την επίδραση σεισμικής δόνησης, μόνο στις περιπτώσεις μεταβάλλονται οι τιμές της διατμητικής τους αντοχής. Συνεπώς το εύρος των τιμών δίνουν ισότροπη ολίσθηση είναι για τη συνοχή των αποθέσεων, c= 0-18 kPa και για τη γωνία τριβής, φ=15-30ο. οι τιμές αυτές ουσιαστικά αποτελούν τις τιμές υλικών πιθανής παλιάς κατολίσθησης.
Στη περίπτωση 2 και 3 η αστάθεια αυτή εντοπίζεται εντός των υλικών κατολίσθησης (c=0) δίνοντας επιπόλαιες αλλά και πιο σημαντικές ολισθήσεις. Όμως η κρίσιμη

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

επιφάνεια ολίσθησης που μελετήθηκε στην παρούσα διπλωματική είναι η επαφή των υλικών πιθανής παλιάς κατολίσθησης με τον φλύσχη. Συγκεκριμένα στην 2η περίπτωση η επιφάνεια αυτή σύμφωνα με τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν δίνει ολίσθηση σε όλες τις συνθήκες, εκτός από τις στατικές ξηρές συνθήκες. Στη 3η περίπτωση η επιφάνεια ολίσθησης έχει συντελεστή ασφαλείας μικρότερο του ενός σε όλες τις συνθήκες. Τα αποτελέσματα του παρακάτω πίνακα της περίπτωσης 2 και 3 αναφέρονται στο ενδεχόμενο αστοχίας ολόκληρης της επιφάνειας ολίσθησης που έχει εξαρχής καθοριστεί .

	Σεισμική κάθετη και οριζόντια συνιστώσα	Πίεση Πόρων	Μικρότερος Συντελεστής Ασφαλείας	Συντελεστής Ασφαλείας κρίσιμης επιφάνειας (Μέθοδος Bishop)		Συντελεστής Ασφαλείας σύμφωνα με διεθνή πρότυπα
			1η Περίπτωση	2η Περίπτωση	3η Περίπτωση	
Στατικές Ξηρές συνθήκες	-	-	5,847	1,377	1.150	1,0
Στατικές Υγρές συνθήκες	-	r_u=0.3	5,303	0,910	0,999	1.3
Δυναμικές Ξηρές Συνθήκες	α_h=0.24 α_v=0.12	-	3,296	0,640	0,693	1,0
Δυναμικές υγρές συνθήκες	α_h=0.24 α_v=0.12	r_u=0.3	2,975	0,462	0,511	

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι προέκυψαν μικρότεροι συντελεστές ασφαλείας για εξίσου σημαντικά επικίνδυνες επιφάνειες ολίσθησης, με όγκο κατολισθούμενων υλικών ελάχιστα μικρότερο από τον όγκο που δίνουν οι ολισθήσεις του παραπάνω πίνακα. Συνεπώς σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα τα υλικά πιθανής παλιάς κατολίσθησης, δύνανται σε εκ νέου κατολίσθηση και στις 2 περιπτώσεις. Οι κατολισθήσεις που θα εκδηλωθούν αναμένονται να έχουν 15m βάθος και μέγιστο πλάτος περίπου 700m και 330m, στη 2η και στη 3η περίπτωση αντίστοιχα.

Τέλος πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις ευστάθειας σε τεχνητό πρανές οδοποιίας, εκτός της πιθανής κατολίσθησης, στη 2η επαρχιακή οδό, λίγο πιο έξω από το χωριό των Πραμάντων. Το ύψος του πρανούς υπολογίζεται περίπου 40m, μη γνωρίζοντας ακριβώς το βάθος του φλύσχη λόγω έλλειψης της πληροφορίας γεωτρήσεων στη συγκεκριμένη περιοχή. Το συγκεκριμένο πρανές χαρακτηρίζεται από εναλλαγές ιλυολίθων και μεσόκοκκων έως χονδρόκοκκων ψαμμιτών, χαρακτηρίζοντας το όμως περισσότερο ιλυολιθικό, αφού η αναλογία του είναι περίπου 70:30 (ιλυόλιθος: ψαμμίτης).
Έτσι μετά τις αναλύσεις προέκυψε ότι σε δυναμικές υγρές συνθήκες με προβλεπόμενη ετήσια ανώτατη πίεση πόρων ασυνεχειών ru=0.1 και ru=0.2 οι συντελεστές ασφαλείας είναι μεγαλύτεροι από 1 (FS>1), όπου σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα δεν αναμένεται ισότροπη ολίσθηση. (FS=1.295 και FS= 1.118 αντίστοιχα). Με πίεση πόρων ru=0.3, δημιουργείται επιφάνεια ολίσθησης με συντελεστή ασφαλείας FS=1.080. δηλαδή πολύ κοντά στην οριακή ισορροπία του πρανούς FS=1 σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Ακόμη σε δυναμικές υγρές συνθήκες με προβλεπόμενη ετήσια ανώτατη πίεση πόρων ασυνεχειών ru=0.1 και ru=0.2 οι συντελεστές ασφαλείας είναι μεγαλύτεροι από 1 (FS>1), όπου σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα δεν αναμένεται ισότροπη ολίσθηση. (FS=1.295 και FS= 1.118 αντίστοιχα). Με πίεση πόρων ru=0.3, δημιουργείται επιφάνεια ολίσθησης με συντελεστή ασφαλείας FS=1.080. δηλαδή πολύ κοντά στην οριακή ισορροπία του πρανούς FS=1 σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Alexoudi, M., Papaliangas, T., Patronis, X. I., Manolopoulou, S. B., Stefamishs, T. ., Tsigas, T. A., & Katavatis, C. B. (2010). Landslide hazard assessment along the Florina-Pisoderi-Kastoria roadline (in Greek) Εκτίμηση του κινδύνου κατολισθήσεων κατά μήκος του οδικού άξονα Landslide hazard assessment along the Florina-Pisoderi-Kastoria roadline, (September).

Ambraseys, N. & Srbulov, M. 1995, Earthquake induced displacements of slopes, Soil Dynamics

and Earthquake Engineering, Elsevier, vol. 14: 59 – 71. Great Britain

Bemis S., Micklethwaite S., Turner D., James M., Akciz S., Thiele S., Bangash H., 2014. Ground-based and UAV-Based photogrammetry: A multi-scale, high resolution mapping tool for structural geology and paleoseismology. Journal of Structural Geology v. 69, p. 163–178, doi: 10.1016/j.jsg.2014.10.007.

Colomina I., Molina P., 2014. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing:A review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 92, pp. 79–97.

Harp E., 2009. Landslide inventories: the essential part of seismic landslide hazard analyses. An International Conference in Commemoration of 10th Anniversary of the Chi-Chi Earthquake

Harp E., Hartzell S., Jibson R., Ramirez-Guzman L., Schmitt R., 2014. Relation of Landslides Triggered by the Kiholo Bay Earthquake to Modeled Ground Motion. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 104, No. 5, pp. 2529–2540, doi: 10.1785/0120140047

Harp, E. L., & Jibson, R. W. (2002). Anomalous Concentrations of Seismically Triggered Rock Falls in Pacoima Canyon : Are They Caused by Highly Susceptible Slopes or Local Amplification of Seismic Shaking ? (Vol. 92, pp. 3180–3189).

Harp E., Jibson R., Dart R., 2013. The Effect of Complex Fault Rupture on the Distribution of Landslides Triggered by the 12 January 2010, Haiti Earthquake. Landslide Science and Practice, p.625.

Highland, L.M., & Bobrowsky, P. (2008). The Landslide Handbook — A Guide to Understanding Landslides.

Jibson R., Harp E., 2012. Extraordinary Distance Limits of Landslides Triggered by the 2011 Mineral, Virginia, Earthquake. Bulletin of the Seismological Society of America, v. 106, p. 2368-2377

Jibson R., Harp E., Michael J., 2000. A method for producing digital probabilistic seismic landslide hazard maps. Engineering Geology, v. 58, p. 271-289.

Jibson R., Harp E., 2011. Field Reconnaissance Report of Landslides Triggered by the January 12, 2010, Haiti Earthquake. U.S. Geological Survey

Jibson R., Keefer D., 1989. Statistical analysis of factors affecting landslide distribution in the New Madrid seismic zone, Tennessee and Kentucky. Engineering geology Volume. 27: 509-542.

Jibson R., Keefer D., 1993. Analysis of the seismic origin of landslides: Examples for the New Madrid seismic zone. Geological Society of America Bulletin, v. 105, no. 4, p. 521-536

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Jibson, W., & Keefer, D. K. (1993). *Analysis of the Origin of Landslides in the New Madrid Seismic Zone*.

Karantanellis, S., Marinos, V., & Vassilakis, E. (2019). Object-Based Characterization and Semantic Labeling of Landslide and Rockfall phenomena using UAV photogrammetry Object-Based Characterization and Semantic Labeling of Landslide and Rockfall phenomena using UAV photogrammetry, (May).

Keefer, D. K. (2000). Statistical analysis of an earthquake-induced landslide distribution — the 1989 Loma Prieta , California event, *58*, 231–249.

Keefer, D. K. (1984). Landslides caused by earthquakes (pp. 406–421).

Keefer D., 2002. Investigating landslides caused by earthquakes – a historical review. Surveys in Geophysics, 23: 473. doi:10.1023/A:1021274710840

Kieffer D., Jibson R., Rathje E., Kelson K., 2006. Landslides Triggered by the 2004 Niigata Ken Chuetsu, Japan, Earthquake. Earthquake Spectra, DOI: 10.1193/1.2173021

Marinos, V., & Marinos, P. (2005). The Geological Strength Index : Applications and limitations The geological strength index : applications and limitations, (January). https://doi.org/10.1007/s10064-004-0270-5

Motion, G., Harp, E. L., Hartzell, S. H., Jibson, R. W., Ramirez-guzman, L., & Schmitt, R. G. (2015). Relation of Landslides Triggered by the Kiholo Bay Earthquake to Modeled Relation of Landslides Triggered by the Kiholo Bay Earthquake to Modeled Ground Motion, (September). https://doi.org/10.1785/0120140047

Novotný, J. (2013). VARNES LANDSLIDE CLASSIFICATION, (November).

Siebert S., Teizer J., 2014. Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system. Automation in Construction, 1–14

Valkaniotis S., Ganas A., Papathanassiou G., Papanikolaou M., 2014. Field observations of geological effects triggered by the January–February 2014 Cephalonia (Ionian Sea, Greece) earthquakes. Tectonophysics 630, 150-157

Varnes, D. (1958). Slope Movement Types and Processes. In *LANDSLIDE TYPES AND PROCESSES* (p. 33).

Vasuki Y., Holden E.-J., Kovesi P., Micklethwaite S., 2014. Semi-automatic mapping of geological Structures using UAV-based photogrammetric data: An image analysis approach. Computers & Geosciences, v. 69, 22-32

Papadopoulos G., Plessa A., 2000. Magnitude–distance relations for earthquakeinduced landslides in Greece. Engineering Geology, v. 58, 377–386

Αλεξούδη, Μ.Ν., Παπαλιάγκας Θ., Πατρώνης, Χ. Ι., Μανωλοπούλου, Σ.Β., Στεφανίδης, Θ. Σ, Τσίγκας, Θ. , Καταβάτης, Χ.Β.(2010) Εκτίμηση του κινδύνου κατολισθήσεων κατά μήκος του οδικού άξονα Φλώρινας-Πισοδερίου-Καστοριάς., Βόλος

Γεωργακάς, Δ., & Κατσέλης, Σ. (2007). Χαρτογράφηση των κατολισθήσεων που προκλήθηκαν στο σεισμό του Πακιστάν (2004) με χρήση δορυφορικών εικόνων ASTER και IKONOS= Mapping of landslides triggered by the earthquake in pakistan (2004) using ASTER and IKONOS satellite images. Πανελλήνια και Διεθνή Γεωγραφικά Συνέδρια, Συλλογή Πρακτικών, 2, 24-29.

Γρένδας, Ν. Α. (2016). Τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση και αποτύπωση κατολισθήσεων στο δυτικό τμήμα της Λευκάδας.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Καραβούρης, Γ., Περλέρος, Β., Ατζουλάτος, Γ., Ηλίας, Κ., Τσεκουράς, Γ., Κοτζαγεωργής, Γ., & Γκαργκουλάς, Ν. (2013). Σχέδιο διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Ηπείρου. Ήπειρος.

Κοϊος, Χ. (2014). Αξιολόγηση της γεωλογικής καταλληλόλητας των γεωλογικών σχηματισμών κατά μήκος της κατασκευής του αγωγού φυσικού αερίου στην περιοχή δήμου Περδίκα, περιφέρειας ηπείρου μεταπτυχιακή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Κουρκούλης, Ρ., Δρόσος, Β., & Γκαζέτας, Γ. (2006). Αξιολόγηση των κατολισθήσεων και της καταστρεπτικότητας των καταγραφεισών διεγέρσεων του Μ 6 . 8 Σεισμού Mid – Niigata 2004 Evaluation of landslides and shaking destructiveness of the M6 . 8 Mid – Niigata 2004 Earthquake. *5ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής & ΓεωπεριβΑλλοντικής Μηχανικής*, 1–7.

Λιαρικος, Κ., Μαραγκού, Π., Ζωγράφου, Κ., Καλεβρά, Ν., Κορακάκη, Ε., & Κορδοπάτης, Π. (2012). Η Ελλάδα τότε & τώρα διαχρονική χαρτογράφηση των καλύψεων γης.

Μαρίνος, Β., & Χρηστάρας, Β. (2016). *ΤΕΧΝΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ 6 ο Μάθημα Ευστάθεια πρανών*.

Μαρίνος, Β., & Χρηστάρας, Β. (2016). *7 ο Μάθημα Ευστάθεια πρανών Ευστάθεια βραχωδών πρανών*.

Μητσίας, Κ. (2011). *Υπολογισμός της στερεοπαροχής του Μελισσουργιώτικου ρέματος Υπολογισμός της στερεοπαροχής του Μελισσουργιώτικου ρέματος Πτυχιακή Εργασία*.

Μπίρος, Δ. (2014). *«Τεχνικογεωλογική αξιολόγηση γνευσιακών βραχομαζών στην ευστάθεια τεχνητών πρανών οδοποιίας. τύποι βραχόμαζας – μηχανισμοί αστοχίας – αναλύσεις ευστάθειας» μεταπτυχιακή*.

Μπίσα, Σ. Α. (2011). *Τα προβλήματα των κατολισθήσεων στην ευρύτερη περιοχή του Μετσόβου*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Παπαζάχος, Β. ., Μουντράκης, Δ. ., Παπαζάχος, Κ. ., Τρανός, Μ. ., Καρακαϊσης, Γ. ., & Σαββαϊδης, Α. . (2001). *Τα ρήγματα που προκάλεσαν τους γνωστούς ισχυρούς σεισμούς στην Ελλάδα και στη γύρω περιοχή από τον 5ο αιώνα π.Χ. μέχρι σήμερα*. Θεσσαλονίκη.

Παπαθανασίου, Γ., Παυλίδης, Σ. Β., Χρηστάρας, Β. Γ., & Πιτιλάκης, Κ. Δ. (2004). Φαινόμενα ρευστοποίησης που προκλήθηκαν από το σεισμό της Λευκάδας (14/08//03 ms= 6.4). Δελτίον της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, 36(4), 1796-1805.

Πολυκρέτης Χρήστος (2013), Ανάπτυξη μοντέλων εκτίμησης της επιδεκτικότητας για εκδήλωση κατολίσθησης με τη χρήση μεθόδων γεωπληροφορικής και τεχνητής νοημοσύνης.

Ρόζος, Δ. Ε. (n.d.). Κατολισθητικά φαινόμενα.

Ιστοσελίδες

www.meteoblue.gr
el.wikipedia.org

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης