



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΔΑΝΔΙΚΑ ΜΑΡΙΑ

**ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ
ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΦΛΥΣΧΗ
ΣΤΟΝ ΕΠΑΡΧΙΑΚΟ ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΣΤΟΝ
ΤΥΜΦΡΗΣΤΟ ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ – ΦΘΙΩΤΙΔΑΣ ΜΕ
ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΣΜΗΕΑ (UAV)**

Διπλωματική Εργασία

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των

απαιτήσεων για την απόκτηση του

Διπλώματος του Γεωλόγου

Θεσσαλονίκη 2018

[0]



ΔΑΝΔΙΚΑ ΜΑΡΙΑ

ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ
ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΦΛΥΣΧΗ ΣΤΟΝ ΕΠΑΡΧΙΑΚΟ
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΣΤΟΝ ΤΥΜΦΗΡΗΣΤΟ ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ
– ΦΘΙΩΤΙΔΑΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΣΜΗΕΑ (UAV)

Υποβλήθηκε στο τμήμα Γεωλογίας

Τομέας Γεωλογίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Βασίλειος Μαρίνος

Αναπληρωτής Καθηγητής ΑΠΘ



© Δανδίκη Μαρία, Τομέας Γεωλογίας, 2018

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.

ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΦΛΥΣΧΗ ΣΤΟΝ ΕΠΑΡΧΙΑΚΟ ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΣΤΟΝ ΤΥΜΦΡΗΣΤΟ ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ – ΦΘΙΩΤΙΔΑΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΣΜΗΕΑ (UAV)

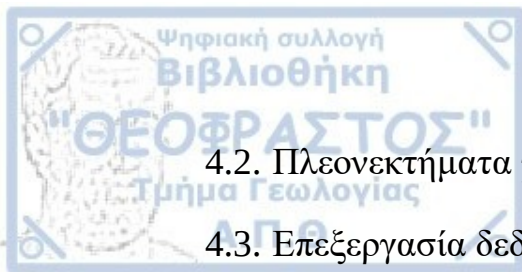
Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται 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.



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος.....	5
Περίληψη.....	6
Abstract.....	7
1. Εισαγωγή.....	5
1.1. Σκοπός - Αντικείμενο μελέτης.....	5
1.2. Μεθοδολογία – Εργαλεία έρευνας.....	5
2. Περιοχή μελέτης.....	9
2.1. Γεωμορφολογία.....	9
2.2. Γεωτεκτονική θέση – στρωματογραφία.....	10
2.3. Τεκτονική.....	11
2.4. Υδρολογικό καθεστώς.....	12
2.5. Γεωλογικοί σχηματισμοί	12
3. Κατολισθήσεις.....	13
3.1. Γενικά.....	13
3.2. Ταξινόμηση κατολισθήσεων.....	14
3.3. Αίτια εκδήλωσης κατολισθήσεων.....	18
3.4. Κατολισθήσεις στην περιοχή μελέτης.....	19
3.4.1. Ιστορική καταγραφή φαινομένων.....	19
3.4.2. Ταξινόμηση.....	21
4. UAV.....	25
4.1. Γενικά.....	25



4.2. Πλεονεκτήματα χρήσης σε κατολισθήσεις.....	25
4.3. Επεξεργασία δεδομένων.....	26
4.4. Εφαρμογή της μεθόδου στην περιοχή μελέτης.....	27
5. Τεχνικογεωλογική αξιολόγηση.....	29
5.1. Εισαγωγή.....	29
5.2. Γεωτρήσεις.....	30
5.3. Ομαδοποίηση Γεωλογικών Σχηματισμών.....	36
5.4. Δοκιμές Τυποποιημένης Διείσδυσης (SPT).....	37
5.5. Εργαστηριακές.....	40
5.6. Κλισιόμετρα.....	40
5.7. Βάθος Μετακινούμενου Υλικού.....	40
5.8. Γεωλογικές Τομές.....	41
6. Σύνοψη.....	47
Βιβλιογραφία.....	48



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια της απόκτησης του Διπλώματος του Γεωλόγου του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα της παρούσας εργασίας Βασίλειο Π. Μαρίνο, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας, για την ανάθεση του θέματος, τη συνεχή καθοδήγηση του και την επίλυση προβληματισμών που δημιουργήθηκαν γύρω από το θέμα της διπλωματικής.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στα μελετητικά γραφεία του κυρίου Μαλέρδου και κυρίου Κωνσταντινίδη, του κυρίου Ζαρκαδούλα, την εταιρεία Έδαφος και τέλος τον κύριο Παρασχούδη, για όλα τα πρωτογενή δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν σ' αυτήν τη μελέτη.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Στρατή Καραντανέλλη, υποψήφιο διδάκτορα, για την πολύτιμη καθοδήγηση του με την επεξεργασία των δεδομένων από το UAV.

Για τη βοήθεια του στο σχεδιασμό των γεωλογικών τομών θα ήθελα να ευχαριστήσω τον συμφοιτητή μου Αριστείδη Γκόγκα.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στη μητέρα μου για τη στήριξη της κατά τη διάρκεια πραγματοποίησης των σπουδών μου και της υλοποίησης της παρούσας διπλωματικής.



Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της κατολίσθησης, η οποία βρίσκεται Δυτικά του χωριού Τυμφρηστός. Η κατολίσθηση αυτή συμβαίνει σε περιβάλλον φλύσχη.

Σημαντικό εργαλείο σε αυτή τη μελέτη ήταν η χρήση της τεχνολογίας UAV (Unmanned Aerial Vehicle), που διευκολύνει την πιο αναλυτική χαρτογράφηση και αποτύπωση της κατολίσθησης.

Διαθέσιμα στοιχεία για τη συγκεκριμένη διπλωματική αποτέλεσαν α) οι αεροφωτογραφίες που λήφθηκαν μέσω του αεροχήματος DJI Phantom 3 Professional, β) οι γεωλογικές εκθέσεις που εκπονήθηκαν το 1996 και το 1999 και γ) οι πληροφορίες που συλλέχθηκαν κατά την υπαίθρια έρευνα στο διάστημα 23-25/03/2018.

Συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο αναφέρεται ο σκοπός, το αντικείμενο μελέτης και η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε σ' αυτήν την εργασία.

Το δεύτερο κεφάλαιο περιλαμβάνει ορισμένα γεωμορφολογικά – γεωλογικά στοιχεία για την περιοχή μελέτης.

Στο τρίτο κεφάλαιο, γίνεται μία ανάλυση σχετικά με την ταξινόμηση και τα αίτια των κατολισθήσεων. Επίσης, σ' αυτό το κεφάλαιο γίνεται μία ιστορική αναδρομή και ταξινόμηση της κατολίσθησης, που βρίσκεται στην περιοχή μελέτης.

Το τέταρτο κεφάλαιο αναφέρεται σε γενικά στοιχεία που αφορούν την τεχνολογία UAV, καθώς και ορισμένα πλεονεκτήματα της μεθόδου όσο αφορά το φαινόμενο των κατολισθήσεων. Επιπλέον, περιλαμβάνεται και η εφαρμογή της στη συγκεκριμένη κατολίσθηση.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται μία εκτενής αναφορά στη γεωτεχνική αξιολόγηση της κατολίσθησης.

Τέλος, παρουσιάζεται η σύνοψη της συνολικής εργασίας.



Abstract

In this report a landslide located west of the village Timfristos, is investigated. This landslide occurs in a flysch environment.

An important tool of this study was the use of UAV (Unmanned Aerial Vehicle) technology which facilitates the detailed mapping and footprint of the landslide.

The available data for the specific project are a) aerial photographs captured by the drone DJI Phantom 3 Professional b) the geological exhibitions in 1996 and 1999 and c) the information collected in an outdoor research during 23-25/03/2018.

The first chapter mentions the purpose, the subject of study and the methodology used in this work.

The second chapter of this report comprises geomorphological and geological data about the investigated location.

In the third chapter, the classification and causes of landslides are analyzed. The historic background and the classification of the landslide in Timfristos are also studied.

In the fourth chapter, general information about the UAV technology is outlined as well as the benefit of this method in the investigation of landslide phenomena. Additionally, the application of UAV technology in this study is discussed herein.

In the fifth chapter, there is an extensive reference to geotechnical assessment of landslide.

Finally, the summary of the overall work is presented.



1. Εισαγωγή

1.1 Σκοπός - Αντικείμενο μελέτης

Το κύριο αντικείμενο αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της κατολίσθησης, η οποία βρίσκεται Δυτικά του χωριού Τυμφορηστός, με τη χρήση της τεχνολογίας UAV (Unmanned Aerial Vehicle). Σκοπός είναι η αποτύπωση των ορίων της κατολίσθησης και η σύγκριση με το παρελθόν. Τα αποτελέσματα αυτά προέκυψαν από την υπαίθρια αποτύπωση που έγινε στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής και τα αρχεία που μας δόθηκαν, τα οποία περιείχαν μελέτες της κατολίσθησης που είχαν γίνει στο παρελθόν.

1.2 Μεθοδολογία – Εργαλεία έρευνας

Γι' αυτήν τη διπλωματική εκτελέστηκαν ορισμένες εργασίες, οι οποίες είναι οι εξής:

- Εργασία στην ύπαιθρο. Πραγματοποιήθηκε πολήμερη επίσκεψη στην περιοχή έρευνας και έγινε συλλογή φωτογραφιών. Επίσης, με το UAV έγιναν ορισμένες πτήσεις για την καλύτερη χαρτογράφηση και αποτύπωση της κατολίσθησης.
- Επεξεργασία φωτογραφιών που τραβήχτηκαν από το UAV για την παραγωγή Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (DEM) και ορθομωσαϊκών.
- Αποδελτίωση των πληροφοριών που υπάρχουν στα αρχεία που μας δόθηκαν από τα μελετητικά γραφεία και χρήση ορισμένων στοιχείων από αυτά.
- Δημιουργία χαρτών με τα όρια της κατολίσθησης με τη χρήση του Google Earth σε συνδυασμό με την επεξεργασία τους σε GIS.

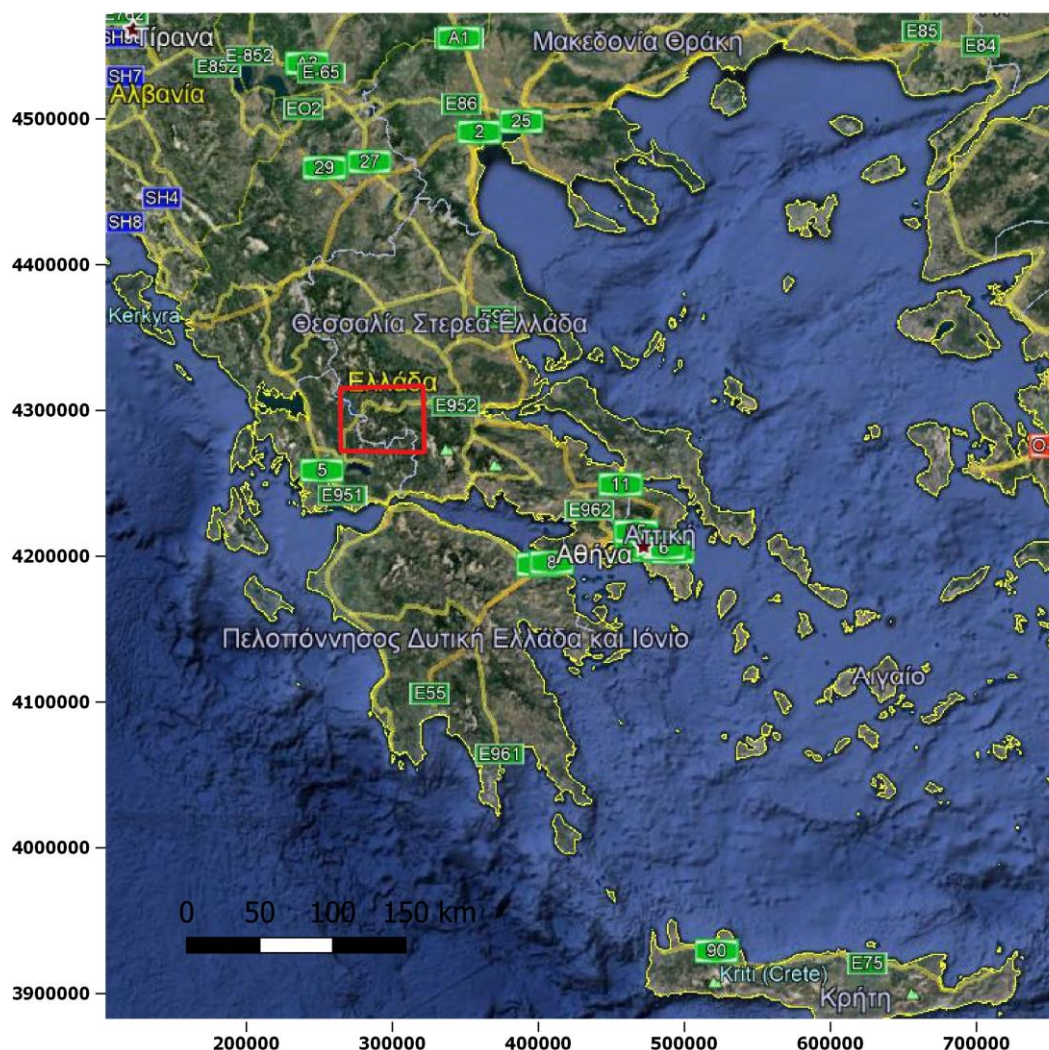
2. Περιοχή μελέτης

2.1 Γεωμορφολογία

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται ΔΝΔ από το χωριό Τυμφρηστός και πιο συγκεκριμένα στις Ράχες Τυμφρηστού.

Ο Τυμφρηστός είναι ένα χωριό που ανήκει στο Νομό Φθιώτιδας. Στο παρελθόν, το χωριό ονομαζόταν Πέρα Κάψη και το 1929 μετονομάστηκε σε Τυμφρηστός. Το χωριό απέχει 60 χιλιόμετρα από τη Λαμία και 17 χιλιόμετρα από το Καρπενήσι.

Το χωριό Τυμφρηστός είναι χτισμένο στους πρόποδες του όρους Τυμφρηστός (2.315μ), σε υψόμετρο που κυμαίνεται από 450μ έως 900μ, με θέα ανατολικά προς την κοιλάδα του Σπερχειού και τον Εθνικό Δρυμό της Οίτης. Στα Νότια βρίσκεται η οροσειρά Κοκκάλια – Σαράνταινα και δυτικά το ομώνυμο βουνό.



Χάρτης 1: Χάρτης της Ελλάδας. Με κόκκινο πλαίσιο η περιοχή του Τυμφρηστού, από το Google Earth τροποποιημένος στο QGIS με γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ87.

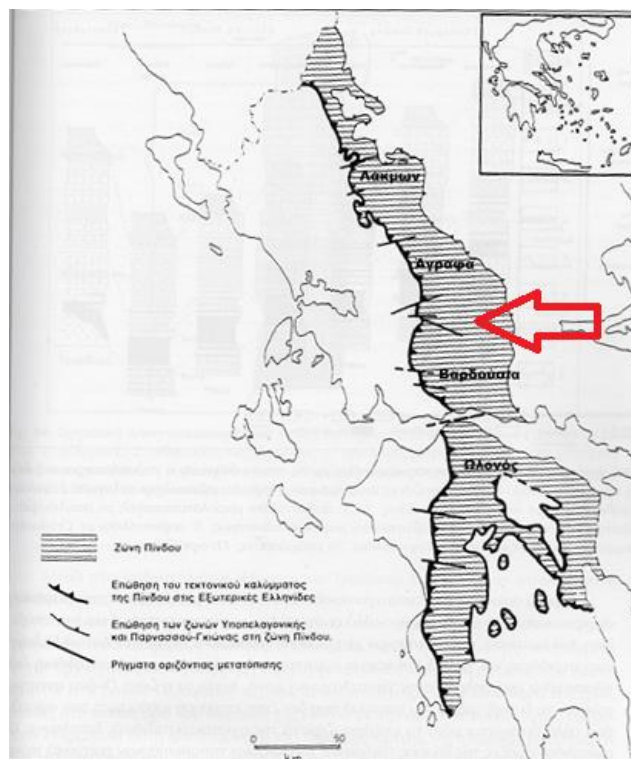
Η ψηλότερη κορυφή του βουνού Τυμφρηστού, που ονομάζεται Βελούχι, έχει υψόμετρο 2.315 μέτρα. Η οροσειρά αυτή αποτελεί φυσικό όριο μεταξύ της Βόρειας με τη Νότια Ελλάδα και της Δυτικής με την Ανατολική Στερεά Ελλάδα.

Το βουνό περικλείεται στα βόρεια από τα Άγραφα, στα νότια από τα Βαρδούσια και στα ανατολικά του βρίσκεται ο κάμπος του Σπερχειού. Το Καρπενήσι είναι κτισμένο στις πλαγιές του βουνού. Από το όρος πηγάζουν οι ποταμοί Σπερχειός και Καρπενησιώτης και κοντά στις κορυφές του υπάρχει μία Αλπική λίμνη. Επίσης, το βουνό αποτελεί σημαντικό βιότοπο και για τη χλωρίδα και για την πανίδα της περιοχής. Το έδαφος του ορεινού όγκου έχει το χρώμα της τέφρα και γι' αυτό το λόγο, μία από τις εκδοχές που υπάρχουν, αναφέρει ότι πήρε το όνομα του.

Επιπλέον, η ευρύτερη περιοχή είναι ιδιαίτερα ορεινή με ισχυρές και απότομες κλίσεις φυσικών πρανών, που διακόπτονται από πολλούς χειμάρρους και μισγάγγειες. Αρκετά και μεγάλα τμήματα της περιοχής καλύπτονται από πυκνή και δασώδη βλάστηση.

2.2 Γεωτεκτονική θέση – στρωματογραφία

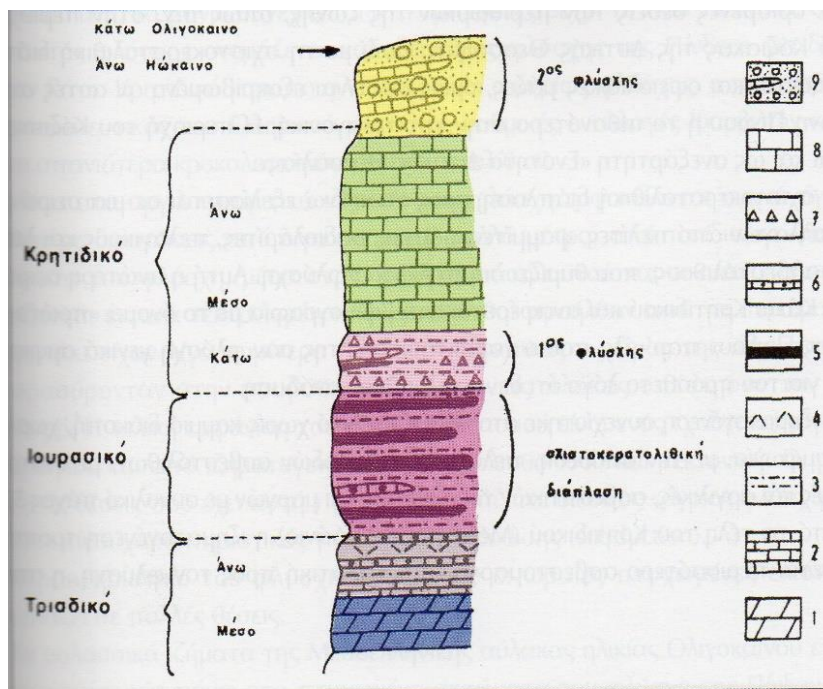
Από γεωτεκτονικής πλευράς η ευρύτερη περιοχή ανήκει στη ζώνη Ωλονού – Πίνδου.



Χάρτης 2: Χάρτης που δείχνει το χώρο επέκτασης του τεκτονικού καλύμματος της Πίνδου στην ηπειρωτική Ελλάδα (Κατά Ζούρο 1993) (Τροποποιημένο), το κόκκινο βέλος δείχνει που βρίσκεται η περιοχή του Τυμφρηστού (Μουντράκης, 2010).

Η ζώνη Ωλονού – Πίνδου θεωρήθηκε σαν η πιο βαθιά Ελληνική αύλακα και συνήθως αναφέρεται σαν « το Ελληνικό ευγεωσύγκλινο » κατά τη διάρκεια του Μεσοζωικού. Η ζώνη αυτή ανήκει στις Εξωτερικές Ελληνίδες και αντιπροσωπεύει τον παλιό κατεστραμμένο ωκεανό της Νέο – Τηθύος (Μουντράκης, 1985).

Από λιθολογικής άποψης τα αλπικά ιζήματα που υπάρχουν στη ζώνη αυτή είναι ηλικίας Μέσου – Άνω Τριαδικού και είναι κυρίως ψαμμίτες, πυριτιόλιθοι, μάργες και ασβεστόλιθοι, που εξελίσσονται με το χρόνο σε ασβεστιτικούς ψαμμίτες, ασβεστόλιθους με παρεμβολές κερατολίθων και ηφαιστειοϊζηματογενή υλικά. Κατά τη διάρκεια του Ιουρασικού υπήρξε συνεχή απόθεση ιζημάτων βαθιάς θάλασσας.



Σχήμα 1: Σχηματική 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 φλύσχης, Τριτογενούς (Μουντράκης, 2010).

Η ιζηματογένεση συνεχίστηκε στο Άνω Κρητιδικό, χωρίς καμία διακοπή στην ιζηματογένεση, με την απόθεση πελαγικών πλακωδών ασβεστόλιθων. Στη συνέχεια, από το τέλος Κρητιδικού μέχρι το Άνω Ηώκαινο αποτίθεται φλύσχης. Αυτός ο φλύσχης ονομάστηκε φλύσχης της Πίνδου και είναι χαρακτηριστικό του οι πολλές πτυχωμένες εμφανίσεις. Τέλος, πάνω από το φλύσχη με ασυμφωνία τοποθετήθηκαν τα μολассικά ιζήματα της Μεσοελληνικής αύλακας ηλικίας Ολιγοκαίνου.

2.3 Τεκτονική

Τα στρώματα της ζώνης Ωλονού – Πίνδου αναδύθηκαν με την τελική ορογένεση και πτύχωση στο Άνω Ηώκαινο – Κάτω Ολιγόκαινο, οι οποίες προκύψαν από την τελική ηπειρωτική σύγκρουση της Απουλίας πλάκας με την ενωμένη Ευρασία. Η σύγκρουση αυτή προκάλεσε ισχυρές συμπιεστικές τάσεις και συνέβη η επώθηση της ζώνης προς τα δυτικά υπό τη μορφή τεκτονικού καλύμματος, με ταυτόχρονη λεπίωση των στρωμάτων της. Η ζώνη Ωλονού – Πίνδου έχει επωθηθεί πάνω στη ζώνη Γαβρόβου – Τρίπολης και έχει καθιερωθεί με το όνομα « Το τεκτονικό κάλυμμα της Πίνδου ».

Πάνω στα στρώματα της ζώνης Πίνδου και πιο συγκεκριμένα στο Τριτογενή φλύσχη, βρίσκονται τεκτονικά τοποθετημένες οφιολιθικές μάζες, που το πιο πιθανό είναι να προέρχονται από το δυτικό ωκεάνιο χώρο της Υποπελαγονικής και τοποθετήθηκαν με εφελκυστική τεκτονική στο Ολιγόκαινο – Μειόκαινο. Η εφελκυστική αυτή τεκτονική κινήθηκε προς τα ΝΔ και προκάλεσε την κατάρρευση του ορογενούς. Τέλος, η ερμηνεία της επώθησης του τεκτονικού καλύμματος της Πίνδου συμπίπτει με την σύγχρονη άποψη για την επώθηση των Ελληνίδων προς τα Δυτικά.

2.4 Υδρολογικό καθεστώς

Η περιοχή χαρακτηρίζεται από ένα πυκνό υδρογραφικό δίκτυο με λεκάνες απορροής. Έχει ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό, το οποίο είναι το φαινόμενο της ύπαρξης πάρα πολλών πηγών. Λόγω έντονων και μικρής διάρκειας βροχοπτώσεων και εξαιτίας των μεγάλων κλίσεων της περιοχής, παρουσιάζεται πολύ έντονη διάβρωση στις πλαγιές και σχηματισμό χαραδρώσεων. Στα σημεία που υπάρχουν επιφανειακές αποθέσεις του Τεταρτογενούς και λόγω υδροπερατότητας αυτών των σχηματισμών δημιουργούνται εποχικοί υδροφόροι ορίζοντες, οι οποίοι τροφοδοτούν και διάφορες μικρές πηγές. Στη χειμερινή περίοδο και λόγω βροχοπτώσεων και χιονοπτώσεων υπάρχει κορεσμός με νερό της επιφανειακής ζώνης της περιοχής με αποτέλεσμα μείωση των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων των σχηματισμών της ζώνης αυτής και αυτό εύκολα οδηγεί σε εδαφικές αστάθειες.

2.5 Γεωλογικοί σχηματισμοί

Η περιοχή που χαρτογραφήθηκε αποτελείται από φλύσχη (Άνω Κρητιδικό – Κάτω Τεταρτογενές) και από χαλαρές Τεταρτογενείς επιφανειακές αποθέσεις. Ο φλύσχος αποτελεί το υπόβαθρο της περιοχής. Επίσης, ο σχηματισμός αυτός διαχωρίζεται ανάλογα με τη συμμετοχή των ψαμμιτών και των ιλυολίθων. Ανάλογα με τη λιθολογική σύσταση του φλύσχη εξαρτάται και η μηχανική του συμπεριφορά. Οι αποθέσεις του Τεταρτογενούς αποτελούνται από προϊόντα αποσάθρωσης, διάβρωσης και μεταφοράς.

Αναλυτικότερα οι σχηματισμοί που συναντώνται, από τους νεότερους προς του παλαιότερους είναι:

- Πλευρικά κορήματα, από θραύσματα των σχηματισμών του φλύσχη ποικίλων διαστάσεων ψαμμιτικής, ή και ιλυολιθικής σύστασης με λιγότερα λεπτομερή υλικά.
- Υλικά μανδύα αποσάθρωσης, που αποτελούνται από ιλυώδεις άμμους με θραύσματα ιλυολίθων και κυρίως ψαμμιτών.
- Φλύσχικά ιζήματα, που αποτελούνται από την ψαμμιτική (ψαμμίτες καστανέρυθρου χρώματος, λεπτόκοκκους έως αδρόκοκκους) και την ιλυολιθική φάση (εναλλαγές φυλλώδων ιλυολίθων – αργιλικών σχιστόλιθων τεφρού χρώματος και λεπτόκοκκων ψαμμιτών, τεφρού έως μελανότεφρου χρώματος).

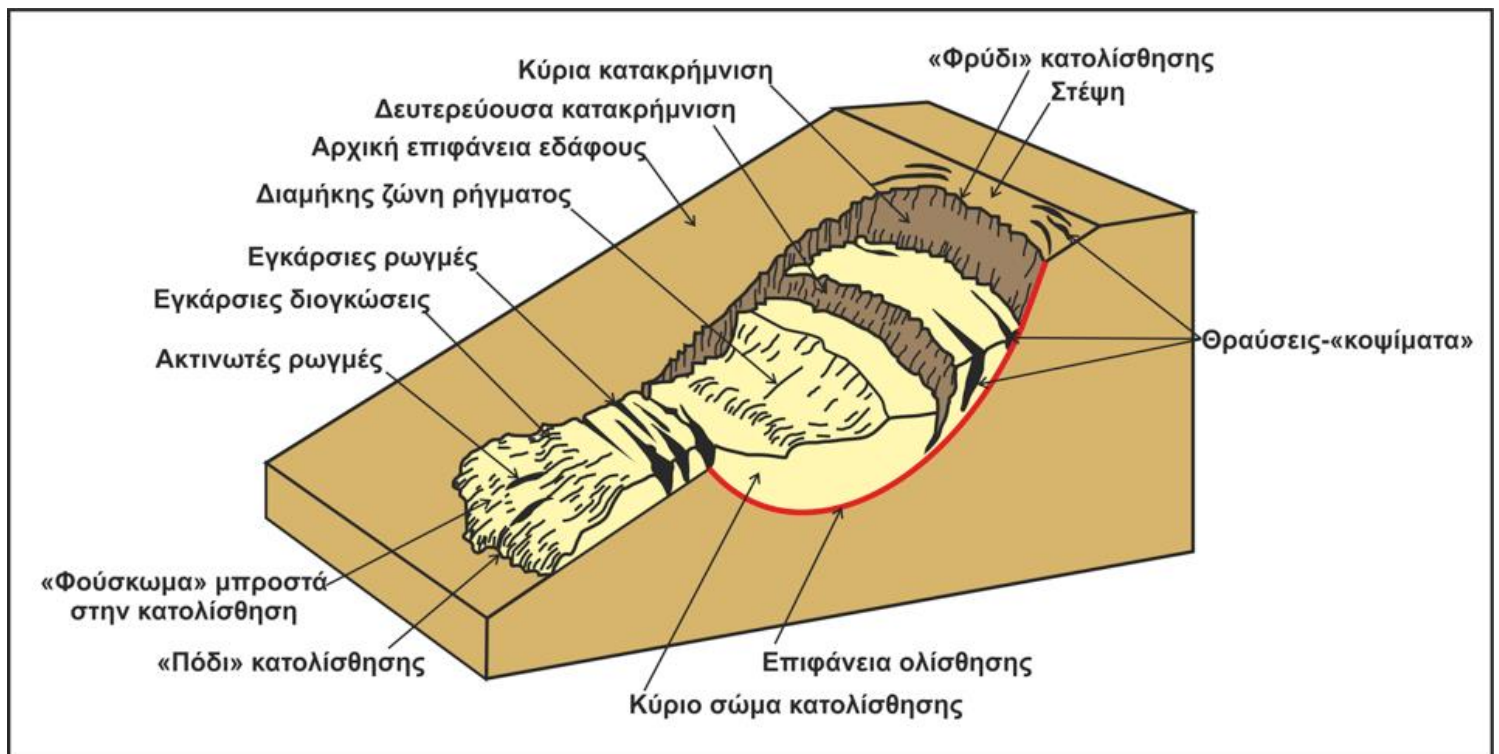
3. Κατολισθήσεις

3.1 Γενικά

Με τον όρο «μετακίνηση μαζών» (mass movements) χαρακτηρίζεται κάθε μετακίνηση τμήματος πρανούς που οφείλεται σε ολίσθηση, κατάπτωση, ανατροπή, ροή και ερπυσμό (Varnes, 1978). Η κατολίσθηση εκφράζει το αποτέλεσμα της αναζήτησης μίας νέας ισορροπίας τους εδάφους.

Τα κύρια χαρακτηριστικά μίας τυπικής μορφής κατολίσθησης σύμφωνα με τους Κούκη και Σαμπατακάκη (2007) φαίνονται στο **Σχήμα 2** και είναι τα εξής:

- ❖ **Στέψη:** Το ανώτερο σταθερό τμήμα του φυσικού εδάφους, το πλησιέστερο προς την κύρια κατακρήμνιση.
- ❖ **Κύρια κατακρήμνιση:** Απότομο βύθισμα της επιφάνειας του φυσικού εδάφους στο ανώτερο τμήμα της ολίσθησης (στέψη), που προκλήθηκε από την κίνηση της ολισθαίνουσας μάζας.
- ❖ **«Φρύδι» κατολίσθησης:** Βρίσκεται στην κορυφή της κατολίσθησης και αποτελείται από τα ανώτερα τμήματα των υλικών που κατολίσθησαν.
- ❖ **Δευτερεύουσα κατακρήμνιση:** Δευτερεύουσα επιφάνεια θραύσης της μετακινούμενης μάζας που έχει προέλθει από διαφορετικές μετακινήσεις της μάζας αυτής.



Σχήμα 2: Τυπική μορφή κατολίσθησης εδαφών σε μη προδιαγεγραμμένη επιφάνεια, από "Τεχνική Γεωλογία"
Β.Χρηστάρας, Β.Μαρίνος

- ❖ **Κύριο σώμα κατολίσθησης:** Το τμήμα της μετακινούμενης μάζας που υπέρκειται της επιφάνειας ολίσθησης, μεταξύ της κύριας κατακρήμνισης και της απόληξης της επιφάνειας ολίσθησης.
- ❖ **«Πόδι» κατολίσθησης:** Το τμήμα της κατολίσθησης που έχει κινηθεί πέραν της απόληξης της επιφάνειας ολίσθησης και το οποίο υπέρκειται της αρχικής επιφάνειας του εδάφους.
- ❖ **Επιφάνεια ολίσθησης:** Η επιφάνεια που αποτελεί επέκταση της κύριας κατακρήμνισης κάτω από τη μετακινούμενη μάζα της κατολίσθησης, πάνω στην οποία έγινε η ολίσθηση.
- ❖ **Αρχική επιφάνεια εδάφους:** Η επιφάνεια του εδάφους πριν την εκδήλωση της κατολίσθησης.

3.2 Ταξινόμηση κατολισθήσεων

Ο Varnes (1978) πρότεινε ένα σύστημα ταξινόμησης κατολισθήσεων που περιλαμβάνει όλες τις εδαφικές μετακινήσεις που μπορούν να παρατηρηθούν σε πρανή, εκτός των καθιζήσεων. Σύμφωνα με τους Κούκη και Σαμπατακάκη (2007), η ταξινόμηση κατά Varnes είναι πιο «ευέλικτη» και εφαρμόζεται πιο εύκολα στις εκάστοτε συνθήκες. Τα βασικά κριτήρια για την ταξινόμηση είναι ο τύπος της μετακίνησης και ο τύπος του μετακινούμενου υλικού. Ανάλογα με τον τύπο της κίνησης διακρίνονται σε πτώσεις, ανατροπές, ολισθήσεις, πλευρικές εκτάσεις, ροές και σε σύνθετες, που αποτελούν συνδυασμό περισσότερων τύπων. Επιπλέον, ανάλογα με το υλικό που μετακινείται διακρίνονται κινήσεις που γίνονται είτε στο υπόβαθρο, είτε στο έδαφος, το οποίο διακρίνεται σε κορήματα και γαίες. Στο **Σχήμα 3** φαίνονται οι διάφοροι τύποι ταξινόμησης πρανών που προκύπτουν από τον συνδυασμό των παραπάνω.

Τύπος κίνησης	Υπόβαθρο	Τύπος υλικού	
		Εδάφη	
		<i>Κορήματα</i>	<i>Γαίες</i>
Πτώσεις	Πτώσεις βράχων	Πτώσεις κορημάτων	Πτώσεις γαιών
Ανατροπές	Ανατροπές βράχων	Ανατροπές κορημάτων	Ανατροπές γαιών
Ολισθήσεις - κυκλικές μεταθετικές	καθίζηση βράχων Ολίσθηση βράχων	Καθίζηση κορημάτων Ολισθήσεις κορημάτων	Καθίζηση γαιών Ολισθήσεις γαιών
Πλευρικές Εκτάσεις	Έκταση βράχων	Έκταση κορημάτων	Έκταση γαιών
Ροές	Ροή βράχων	Ροή κορημάτων	Ροή γαιών (ή ροή ιλύος)
Σύνθετες	Συνδυασμός δύο ή περισσότερων κύριων τύπων μετακινήσεων		

Σχήμα 3: Ταξινόμηση μετακίνησης πρανών κατά Varnes (1978)

Επομένως, τα είδη κατολισθητικών κινήσεων σύμφωνα με την ταξινόμηση του Varnes (1978) και των ορισμών από τους Κούκη και Σαμπατακάκη (2007), είναι τα εξής:

- **Καταπτώσεις (falls)**

Στις καταπτώσεις, μία μάζα οποιουδήποτε μεγέθους, αποσπάται από ένα απότομο εδαφικό ή βραχώδες πρανές, κατά μιας επιφάνειας, χωρίς ή ελάχιστη διατμητική μετατόπιση και η πτώση γίνεται κυρίως ελεύθερα, με αναπήδηση ή κύλιση στην επιφάνεια του πρανούς. Η μετακίνηση είναι πολύ μέχρι εξαιρετικά γρήγορη και είναι δυνατό να έχουν προηγηθεί αυτής μικρότερες μετακινήσεις που οδήγησαν στον προοδευτικό αποχωρισμό της μετακινούμενης μάζας από το μητρικό πέτρωμα.

- **Ανατροπές (topples)**

Στις ανατροπές, η κίνηση είναι μία προς τα έξω περιστροφή της αποσπώμενης μάζας από ένα βραχώδες κυρίως πρανές, γύρω από σημείο ή άξονα περιστροφής που βρίσκεται χαμηλότερα από το κέντρο βάρους της μετακινούμενης μάζας. Προκαλείται κυρίως από τη βαρύτητα και από τις δυνάμεις που ασκούνται από τα γειτονικά τεμάχια ή από την επίδραση του νερού (υδροστατικές πιέσεις, παγετός) που γεμίζει τις ασυνέχειες και ρωγμές.

- **Ολισθήσεις (slides)**

Στις ολισθήσεις, η μετακίνηση προϋποθέτει κυρίως διατμητική παραμόρφωση και μετατόπιση – θραύση του υλικού κατά μήκος μιας ή περισσότερων επιφανειών, που μπορεί να είναι ορατές ή όχι και να εκδηλώνονται μέσα σε μία σχετικά στενή ζώνη. Η μετακίνηση μπορεί να είναι προοδευτική, δηλαδή η διατμητική θραύση να μη συμβαίνει ταυτόχρονα σε όλη την επιφάνεια που θα αποτελέσει τελικά την επιφάνεια θραύσης, αλλά να επεκτείνεται διαδοχικά πέρα από την αρχική περιοχή τοπικής θραύσης. Η μάζα που μετατοπίζεται μπορεί να ολισθήσει προς τα κατάντη απομακρυνόμενη από την αρχική επιφάνεια θραύσης.

Σύμφωνα με το Varnes (1978), οι ολισθήσεις ανάλογα με τη μορφή της επιφάνειας ολίσθησης καθώς και το μηχανισμό μετακίνησης διακρίνονται στις περιστροφικές και στις μεταθετικές.

- Περιστροφικές ολισθήσεις (rotational slides)

Οι περιστροφικές ολισθήσεις γίνονται συνήθως κατά μήκος κοίλων προς τα πάνω επιφανειών με μικρή παραμόρφωση στο εσωτερικό της μετακινούμενης μάζας. Το ανώτερο τμήμα της μετακινούμενης μάζας κινείται σχεδόν κατακόρυφα προς τα κάτω με μία μικρή κάμψη προς τα πίσω, λόγω της περιστροφικής κίνησης, ενώ στη βάση της μετακινούμενης μάζας παρατηρείται ανύψωση (φούσκωμα).

- Μεταθετικές ολισθήσεις (translational slides)

Στις μεταθετικές ολισθήσεις η μάζα που αποσπάται από το πρανές μετακινείται προς τα έξω ή προς τα κάτω και έξω, κατά μήκος μίας κατά προσέγγιση επίπεδης ή ομαλής – κυματοειδούς επιφάνειας, με πολύ μικρή ή καθόλου περιστροφική κίνηση ή κάμψη. Η μετακινούμενη μάζα ολισθαίνει παράλληλα πάνω στην επιφάνεια ολίσθησης.

- **Πλευρικές εξαπλώσεις (lateral spreads)**

Στις πλευρικές εξαπλώσεις η κίνηση που επικρατεί είναι η πλευρική διάσταση του υλικού που διευκολύνεται από διατμητικές ή εφελκυστικές ρωγμές.

Οι βασικοί τύποι πλευρικών εξαπλώσεων είναι οι εξής:

- Εξάπλωση τεμαχών (block spreads)

Στις εξαπλώσεις τεμαχών οι βραχώδεις γεωλογικοί σχηματισμοί που υπέρκεινται άλλων ασθενέστερων, διαχωρίζονται με κατακόρυφες ρωγμές σε τεμάχια. Το υποκείμενο υλικό συνθλίβεται και συχνά καλύπτει τις ρωγμές που δημιουργούνται. Η μετατόπιση κατανέμεται σε όλη την εκτεινόμενη μάζα, είναι πολύ αργή και η επιφάνεια της κατά κανόνα είναι πολύ μεγάλη.

- Εξαπλώσεις λόγω ρευστοποίησης (liquefaction spreads)

Οι εξαπλώσεις λόγω ρευστοποίησης δημιουργούνται κυρίως σε ευαίσθητες αργίλους και ιλύες. Η θραύση είναι συνήθως βαθμιαία, δηλαδή ξεκινά σε μία περιοχή σαν τοπικό φαινόμενο και επεκτείνεται. Συχνά, η αρχική θραύση είναι μία εκτεταμένη καθίζηση και η προοδευτική επέκτασή της γίνεται αντίστροφα, δηλαδή από την αρχική θραύση προς τα πίσω (στέψη). Η κύρια μετατόπιση είναι μεταθετική.

- Σύνθετες πλευρικές εξαπλώσεις (complex spreads)

Οι σύνθετες πλευρικές εξαπλώσεις εκδηλώνονται ως έντονες παραμορφώσεις σε σχεδόν οριζόντια επιφανειακά σκληρά και διερρηγμένα πετρώματα που υπέρκεινται παχιών στρωμάτων σκληρών ρωγματωμένων αργίλων ή μαλακών σχιστόλιθων τα οποία με τη σειρά τους υπέρκεινται κάποιου σκληρού βραχώδους υπόβαθρου.

- **Ροές (flows)**

Οι ροές, υγρές ή ξηρές, γρήγορες ή αργές εκδηλώνονται κυρίως σε χαλαρά υλικά. Στις αργές ροές ταξινομείται από το Varnes και ο ερπυσμός, που είναι μία αργή, όχι άμεσα ορατή κίνηση του επιφανειακού μανδύα του εδάφους ή του σαθρού καλύμματος των πετρωμάτων. Ο όρος ερπυσμός χρησιμοποιείται για τις αργές και συνεχείς στο χώρο παραμορφώσεις (Varnes, 1976).

- Ροές βραχώδους υπόβαθρου

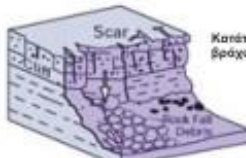
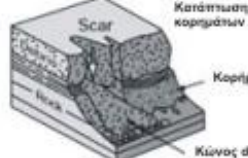
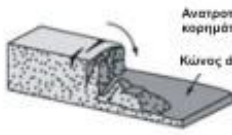
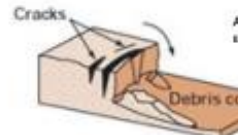
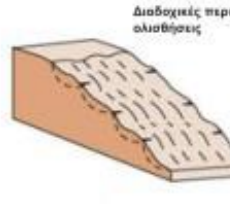
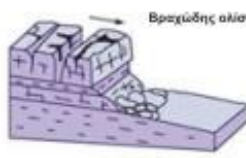
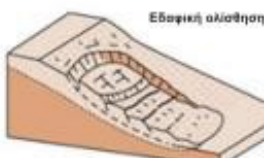
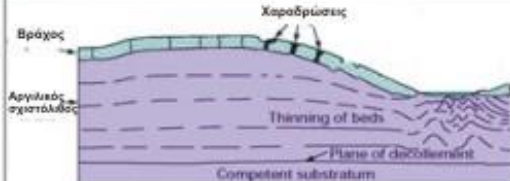
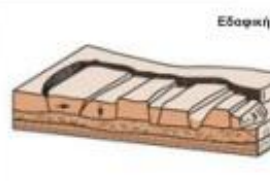
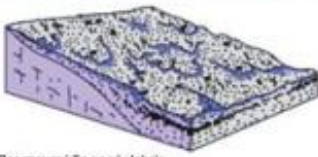
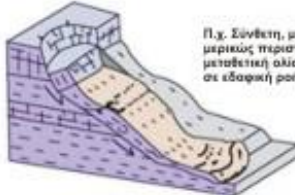
Στις ροές βραχώδους υπόβαθρου περιλαμβάνονται οι παραμορφώσεις της βραχομάζας που κατανέμονται ανάμεσα σε πολλές και μικρές ή μεγάλες ρωγμές – διακλάσεις, χωρίς εντοπισμό της μετατόπισης κατά μήκος μίας συγκεκριμένης επιφάνειας. Οι μετακινήσεις είναι εξαιρετικά αργές και λίγο πολύ σταθερές στο χρόνο.

- Ροές κορημάτων

Στα χαλαρά υλικά οι μετατοπίσεις είναι σημαντικά μεγαλύτερες και πολύ πιο ευκρινείς σε σχέση με εκείνες στο βραχώδες υπόβαθρο. Οι επιφάνειες ολίσθησης μέσα στη μετακινούμενη μάζα δεν είναι ορατές. Το όριο ανάμεσα στη μετακινούμενη μάζα και στο υλικό που δεν μετακινείται είναι σαφές και εντοπίζεται σχετικά εύκολα.

- **Σύνθετες μετακινήσεις πρανών (composite slides)**

Σαν σύνθετες ολισθήσεις ταξινομούνται αυτές στις οποίες διαφορετικού τύπου μετακινήσεις γίνονται σε διαφορετικές περιοχές της ολισθαίνουσας μάζας, μερικές φορές και ταυτόχρονα (Cruden and Varnes, 1996).

Υλικό		Βράχος	Debris	Έδαφος
Τύπος ολισθήσεως				
ΚΑΤΑΠΤΩΣΕΙΣ		 Κατάπτωση βράχων	 Κατάπτωση κορημάτων (debris) Κορήματα Κώνος debris	 Εδαφική κατάπτωση Καλλούβια Κώνος debris
	ΑΝΑΤΡΟΠΕΣ	 Ανατροπή βράχων	 Ανατροπή κορημάτων (debris) Κώνος debris	 Cracks Ανατροπή εδάφους Debris cone
ΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ	Περιστροφικές	 Μεμονωμένη περιστροφική ολίσθηση Failure surface	 Σταθερό κεφάλι Παλλαπή περιστροφική ολίσθηση Ανεπαρκές μέγεθος Failure surface	 Διαδοχικές περιστροφικές ολισθήσεις
	Μεταθετικές (Επίπεδες)	 Βραχίδια ολίσθηση	 Ολίσθηση κορημάτων (debris)	 Εδαφική ολίσθηση
ΕΞΑΠΛΩΣΕΙΣ	 Βράχος Αργιλικός σχιστόλιθος Χαραδρώσεις Thinning of beds Plane of décollement Competent substratum	 Π.χ. Προέκταση κοιλότητας λόγω διαβρωσης και κύρτωση πλαγιάς	 Εδαφική εξάπλωση	
ΡΟΕΣ	 Περριγενή ροή debris	 Ροή κορημάτων debris	 Εδαφική ροή (λασπώδης ροή)	
ΣΥΝΘΕΤΕΣ ΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ	 Π.χ. Κατάπτωση - εδαφική ροή με κατάπτωσης βράχων και debris	 Π.χ. Σύνθετη, μη-κυκλική, μερικώς περιστροφική/μερικώς μεταθετική ολίσθηση με μετάβαση σε εδαφική ροή στον πόδα		

Σχήμα 4: Σχηματικά όλοι οι τύποι κατολισθήσεων (Varnes, 1978), από "Τεχνική Γεωλογία"
Β.Χρηστάρας, Β.Μαρίνος

3.3 Αίτια εκδήλωσης κατολισθήσεων

Η εκδήλωση των κατολισθήσεων μπορεί να οφείλεται σε πολλά αίτια, τα οποία αναφέρονται κυρίως σε γεωλογικούς, γεωμορφολογικούς, κλιματικούς και ανθρωπογενείς παράγοντες (**Σχήμα 5**).

Το έναυσμα (triggering factor) συνήθως αποτελεί ένα συγκεκριμένο γεγονός, όπως είναι μία έντονη βροχόπτωση ή ένας σεισμός.

1. ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΟΗΚΕΣ	
1	Πλαστικό χαμηλής αντοχής υλικό
2	Ευαίσθητο υλικό
3	Υλικό επιρρεπές σε θραύση
4	Αποσαθρωμένο υλικό
5	Διατμημένο υλικό
6	Ρωγματωμένο ή διακλασμένο υλικό
7	Βραχομάζα με δυσμενή προσανατολισμό ασυνεχειών (στρώση, σχιστότητα, διακλάσεις)
8	Βραχομάζα με δυσμενή προσανατολισμό ασυνεχειών (ρήγματα, επιφάνειες επαφής, ασυμφωνίες)
9	Διαφοροποιήσεις στην υδροπερατότητα
10	Διαφοροποιήσεις στη δυσκαμψία (στιφρό ή πυκνό υλικό υπερκείμενο πλαστικού υλικού)
2. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ	
1	Τεκτονική ανύψωση
2	Ανύψωση λόγω ηφαιστείων
3	Επίδραση παγετώνων
4	Ποτάμια διάβρωση της βάσης του πρσανού
5	Θαλάσσια διάβρωση της βάσης του πρσανού
6	Διάβρωση της βάσης του πρσανού από παγετώνες
7	Διάβρωση των πλευρών του πρσανού
8	Εσωτερική διάβρωση
9	Φόρτιση από φυσική απόθεση υλικών στη στέψη του πρσανού
10	Απομάκρυνση φυτοκάλυψης (από πυρκαγιά, διάβρωση κ.λπ.)
3. ΦΥΣΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ	
1	Έντονη, μικρής διάρκειας βροχόπτωση
2	Γρήγορο λιώσιμο χιονιού
3	Παρατεταμένη υψηλή βροχόπτωση
4	Γρήγορη πτώση στάθμης νερού μετά από πλημμύρες, παλίρροιες ή διάρρηξη φυσικών φραγμάτων
5	Σεισμοί
6	Εκρήξεις ηφαιστείων
7	Διάρρηξη λιμνών σε κρατήρες ηφαιστείων
8	Λιώσιμο παγωμένου εδάφους
9	Αποσάθρωση λόγω παγετού
10	Αποσάθρωση από διόγκωση και συμπίκνωση εδαφών
4. ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ	
1	Εκσκαφές στη βάση (πόδι) του πρσανού
2	Φόρτιση στο μέτωπο ή πάνω από τη στέψη του πρσανού
3	Υποβιβασμός της στάθμης σε ταμιευτήρες
4	Άρδευση
5	Κακή συντήρηση αποστραγγιστικών έργων
6	Διαρροή νερών από τεχνικά έργα (δίκτυα, δεξαμενές κ.λπ.)
7	Αποψίλωση
8	Λατομεία και μεταλλεία
9	Δημιουργία χωματερών
10	Τεχνητές δονήσεις (κυκλοφορία οχημάτων, λειτουργία μηχανών, τοποθέτηση πασσάλων κ.λπ.)

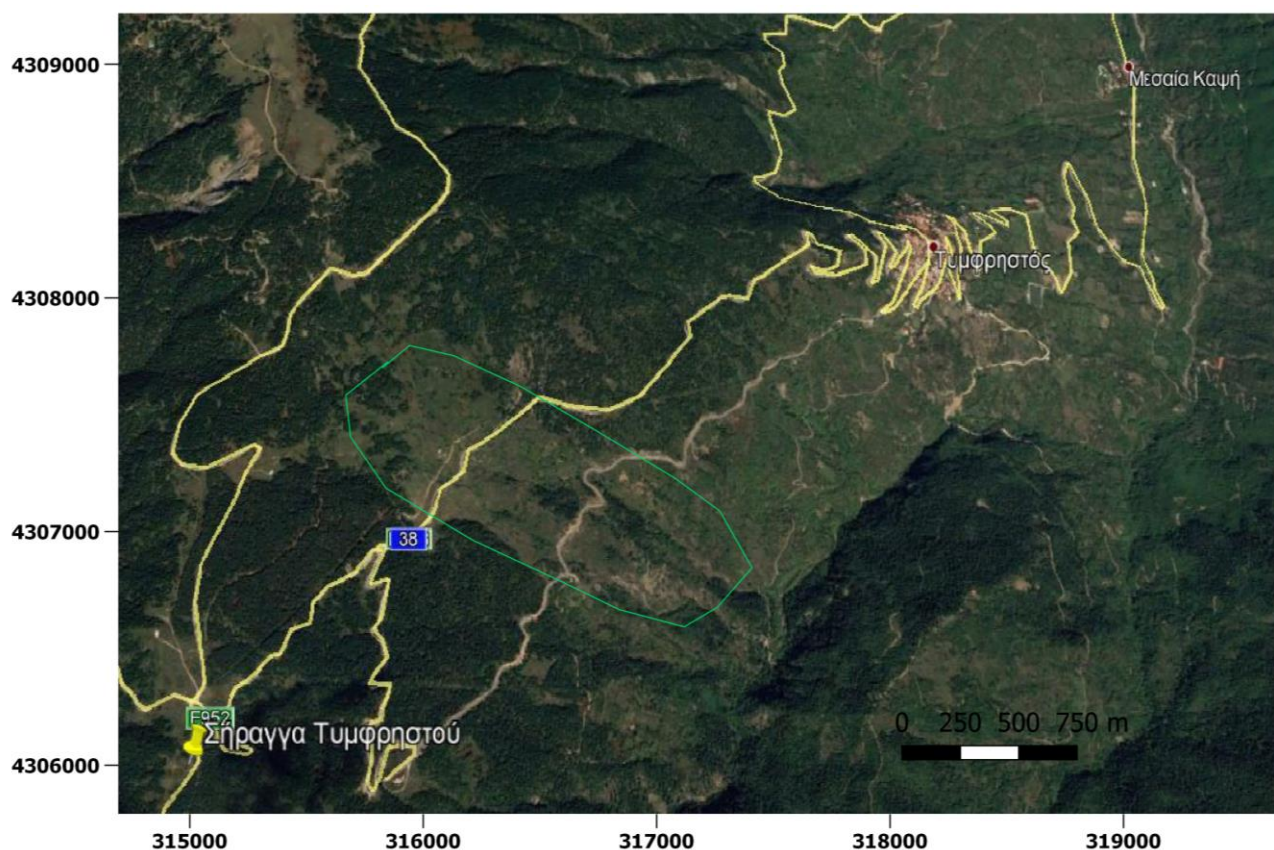
Σχήμα 5: Παράγοντες εκδήλωσης κατολισθήσεων σύμφωνα με το WP/WLI, 1994 (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007).

3.4 Κατολισθήσεις στην περιοχή μελέτης

3.4.1 Ιστορική καταγραφή φαινομένων

Το 1999 εκπονήθηκε γεωλογική αναγνώριση από μία Μελετητική ομάδα, που αφορούσε τη μελέτη οδοποιίας της Ανατολικής πρόσβασης της Σήραγγας Τυμφρηστού, η οποία αποτελεί τμήμα της Εθνικής Οδού Λαμίας – Καρπενησίου. Η ολοκλήρωση της κατασκευής της σήραγγας ήταν αναγκαία και επείγουσα, γιατί με τη σήραγγα θα αποφεύγονταν η περιοχή «Ράχες Τυμφρηστού» με τα μεγάλα υψόμετρα, τους πολλούς ελιγμούς και τις συχνές διακοπές της κυκλοφορίας λόγω χιονοπτώσεων. Η υπό μελέτη οδός παρουσίαζε ιδιαίτερα μεγάλα προβλήματα, λόγω του έντονου ανάγλυφου της περιοχής, των δυσμενών γεωλογικών, των κλιματολογικών (χιόνια, παγετός) και των ευαίσθητων περιβαλλοντικών συνθηκών.

Με γεωλογική μελέτη και γεωτεχνική έρευνα που πραγματοποιήθηκαν λίγα χρόνια πιο πριν (1996) προέκυψε ότι υπάρχει μία εκτεταμένη ενεργή κατολίσθηση σε θέση μεταξύ της Σήραγγας και του χωριού Τυμφρηστός (**Χάρτης 3**). Η εν λόγω κατολίσθηση είναι αυτή που μελετάται σ' αυτήν την εργασία.



Χάρτης 3: Χάρτης που δείχνει τη θέση της σήραγγας και τη θέση του χωριού. Με πράσινο πλαίσιο η κατολίσθηση που μελετάται, από το Google Earth τροποποιημένος στο QGIS με γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ87.

Γενικά μέχρι και σήμερα, μεγάλα τμήματα των φυσικών κλιτύων της περιοχής βρίσκονται σε οριακή κατάσταση ισορροπίας, εμφανίζοντας συχνά εδαφικούς ερπυσμούς και παλιές και νεότερες ενεργείς κατολισθήσεις. Το γεγονός αυτό δεν οφείλεται μόνο στις απότομες κλίσεις των φυσικών πρανών, αλλά και σε άλλους παράγοντες, όπως είναι η σύσταση του εδάφους και οι έντονες βροχοπτώσεις – χιονοπτώσεις.

Σύμφωνα με τη γεωλογική μελέτη που πραγματοποιήθηκε το 1999 προέκυψαν κάποια στοιχεία για την κατολίσθηση μεταξύ της Σήραγγας Τυμφρηστού και του οικισμού Τυμφρηστός. Πρόκειται για μία περιοχή που κατολισθαίνει και όχι για μία μεμονωμένη ενιαία κατολίσθηση. Το υψηλότερο μέτωπο της περιοχής βρίσκεται κοντά στη ράχη του υδροκρίτη του φυσικού πρανούς σε υψόμετρο περίπου 1.260,0 μ και έχει μήκος (πλάτος κατολίσθησης στο μέτωπο) περίπου 500,0μ. Τα χαλαρά υλικά και ο κερματισμένος – διαταραγμένος φλύσχης γενικά είναι υδροπερατά και λόγω των υψηλών βροχοπτώσεων και των συχνών χιονοκαλύψεων επιτρέπουν τη δημιουργία υδροφόρου ορίζοντα, ο οποίος τροφοδοτεί τα εγκάρσια ρέματα που διατρέχουν την περιοχή.

Στο παρελθόν, εξαιτίας της απότομης κλίσης των πρανών, της ύπαρξης χαλαρών υλικών και ιλυολίθων μειωμένης αντοχής και της δημιουργίας υδροφόρου ορίζοντα με μεγάλη υδραυλική κλίση, είχε ως αποτέλεσμα την εκδήλωση μία εκτεταμένης κατολίσθησης και ροές γαιών, οι οποίες έφθασαν πολύ χαμηλά στο φυσικό πρανές.

Μέχρι και σήμερα, στο μέτωπο της κατολισθαίνουσας περιοχής παρατηρούνται αλλεπάλληλες επιπεδώσεις και ανορθώσεις του εδάφους. Επιπλέον, δεν αποκλείεται από την υψηλή αρχική κατολίσθηση (ψηλότερα από την υφιστάμενη οδό Λαμίας – Καρπενησίου) μικρότερες ποσότητες των προϊόντων κατολίσθησης με τη μορφή ροής γαιών να κύλησαν και κατά μήκος των διπλανών εγκάρσιων κοιλάδων, οι οποίες όμως στη συνέχεια διαβρώθηκαν. Οι μελετητές οδηγήθηκαν στο ενδεχόμενο αυτό, κυρίως λόγω της μορφολογικής εικόνας και πιο συγκεκριμένα του απαλότερου ανάγλυφου, της ύπαρξης μικροβαθμίδων και της έλλειψης δενδρώδους βλάστησης.

Σε προηγούμενες φάσεις της αναζήτησης λύσης διέλευσης της οδού Λαμίας – Καρπενησίου εκτελέστηκαν κατά μήκος του άξονα της κατολίσθησης πέντε ερευνητικές γεωτρήσεις. Από τα αποτελέσματα των γεωτρήσεων προέκυψε ότι το βέβαιο βάθος της κατολίσθησης (ή των κατολισθήσεων) κυμαινόταν μεταξύ 4,20μ και 5,80μ με πολύ μικρή πιθανότητα ύπαρξης και μίας βαθύτερης ολίσθησης στα 12,0μ έως 14,0μ. Η Μελετητική Ομάδα θεώρησε ότι το τμήμα της οδού το οποίο διέρχεται από την κατολίσθηση είναι ασταθές, παρά την κατασκευή στραγγιστηρίων και τοποθέτησης σαραζανέτ. Η αστάθεια αυτή εκδηλώνεται κυρίως ως «πλευρική ώθηση» του σώματος της οδού. Λόγω της μεγάλης έκτασης της κατολίσθησης τα έργα σταθεροποίησης, όπως είναι η ελεγχόμενη απομάκρυνση των επιφανειακών υδάτων, η αποστράγγιση των υπόγειων υδάτων, η αντικατάσταση των ασταθών υλικών στη ζώνη της οδού με βραχώδεις ογκόλιθους, δε μπορούν να εξασφαλίσουν τη σταθερότητα της κατολίσθησης στο βάθος του χρόνου.

3.4.2 Ταξινόμηση

Στην περιοχή μελέτης μας η κύρια κατολίσθηση είναι συνδυασμός διάφορων τύπων μετακινήσεων. Η κατολίσθηση αυτή είναι ενεργή και ανήκει στην κατηγορία των μεγάλων κατολισθήσεων κλίμακας φυσικού πρανούς (πλαγιάς).

Κατά θέσεις υπάρχουν ενεργές καταπτώσεις τεμαχών ψαμμίτη με αποτέλεσμα να παρατηρούνται σπασίματα στο δρόμο και οι κορμοί των δέντρων να έχουν κτυπήματα και είναι πεσμένοι στο έδαφος (**Εικόνα 1, Εικόνα 2**).



***Εικόνα 1:** Σπασμένοι κορμοί δέντρων λόγω πτώσεων βράχων, φωτογραφία τραβηγμένη από τη συγγραφέα στις 24-3-2018.*



***Εικόνα 2:** Υλικά που έχουν κατολισθήσει στην άκρη του δρόμου, φωτογραφία τραβηγμένη από τη συγγραφέα στις 23-3-2018.*

Επίσης, σε ορισμένες θέσεις διακρίνεται εύκολα ότι υπάρχει ενεργή ολίσθηση ή έχει δράσει πρόσφατα, επειδή εκεί η επιφάνεια της κύριας κατακρήμνισης είναι γυμνή από φυτοκάλυψη (**Εικόνα 3**).



Εικόνα 3: Επιφάνεια κύριας κατακρήμνισης μία ενεργούς ολίσθησης, φωτογραφία τραβηγμένη από τη συγγραφέα στις 23-3-2018.

Ορισμένες επιπλέον ενδείξεις ύπαρξης περιστροφικής ολίσθησης είναι ορισμένες εξάρσεις του ανάγλυφου (“γλώσσες”) με ανώμαλες μικρολοφώδεις επιφάνειες (βυθίσματα και φουσκώματα) και η ύπαρξη πηγών και συγκεντρώσεις νερού (μικρές λίμνες) πάνω στις πλαγιές (**Εικόνα 4, Εικόνα 5**).



Εικόνα 4: Τυπική μορφή κατολισθήσεων, βυθίσματα και φουσκώματα, φωτογραφία τραβηγμένη στις 25-3-2018.



Εικόνα 5: Μικρή λίμνη στην πλαγιά της κατολίσθησης, φωτογραφία τραβηγμένη από τη συγγραφέα στις 24-3-2018.

Το τμήμα ακριβώς πάνω από το πόδι μίας περιστροφικής ολίσθησης είναι μία ζώνη συμπίεσης. Στη περιοχή του ποδιού διαπιστώνεται μία ζώνη εφελκυσμού και ανύψωσης, επειδή το μετακινούμενο υλικό πρέπει να εκταθεί πάνω από διογκώσεις και ρωγμές οδοστρώματων (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007) (**Εικόνα 6**).



Εικόνα 6: Ρωγμές οδοστρώματος και το δεξί όριο της κατολίσθησης (από πάνω), φωτογραφία τραβηγμένη από τη συγγραφέα στις 25-3-2018.

Μία ακόμα ένδειξη είναι η διάταξη των δέντρων στις περιστροφικές ολισθήσεις, σύμφωνα με την οποία οι κορμοί τους γέρνουν προς τα κατόντη (**Εικόνα 7**).



Εικόνα 7: Η κάμψη των κορμών των δέντρων προς τα κατόντη, φωτογραφία τραβηγμένη από τη συγγραφέα στις 24-3-2018.



Εικόνα 8: Ροή κορημάτων (debris flow), φωτογραφία τραβηγμένη από τη συγγραφέα στις 24-3-2018.

4. UAV

4.1 Γενικά

Τα τελευταία χρόνια η χρήση εναλλακτικών συστημάτων αεροφωτογράφισης, όπως είναι τα αυτόματα / ημιαυτόματα Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ) ή αλλιώς στα αγγλικά UAV (Unmanned Aerial Vehicle), έχει προσεγγίσει το ερευνητικό και το πρακτικό ενδιαφέρον διαφορετικών επιστημών, μεταξύ των οποίων και της Φωτογραμμετρίας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι παρέχουν μεγάλη ευελιξία, ταχύτητα και οικονομία κατά τη συλλογή των δεδομένων και επιπλέον τα τελικά προϊόντα είναι αρκετά υψηλής ανάλυσης και ακρίβειας με ποικίλες χρήσεις.

Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη (UAV) είναι τα κάθε είδους ιπτάμενα οχήματα που δεν έχουν χειριστή στην άτρακτο τους, αλλά πραγματοποιούν πτήσεις είτε αυτόνομα είτε μέσω τηλεκατεύθυνσης. Ο όρος UAS (Unmanned Aerial Systems) περιλαμβάνει όλες τις συσκευές, το προσωπικό και τις διαδικασίες οι οποίες χρησιμοποιούνται προκειμένου το μη επανδρωμένο αεροσκάφος να θεωρείται ως ολοκληρωμένο σύστημα. Τα μη επανδρωμένα αέρια συστήματα (UAS) έχουν λάβει αρκετά ονόματα και ακρώνυμα, όπως "aerial robot", όμως τα πιο διαδεδομένα είναι το UAV και το "drone" (Colomina and Molina, 2014).

Αρχικά, αυτά τα συστήματα είχαν δημιουργηθεί για στρατιωτικούς σκοπούς, ωστόσο από τη έρευνα ορισμένων ερευνητικών ομάδων έγινε αντιληπτό στα τέλη της δεκαετίας του '70 η δυνατότητα αυτών των συστημάτων για χαρτογράφηση (Colomina and Molina, 2014).

Τα είδη των μη επανδρωμένων αεροσκάφη χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες. Η πρώτη είναι αυτή με τις σταθερές πτέρυγες, όπως τα αεροπλάνα. Η δεύτερη κατηγορία είναι αυτή με τις έλικες, όπως τα ελικόπτερα.

4.2 Πλεονεκτήματα χρήσης σε κατολισθήσεις

Οι κατολισθήσεις έχουν αναγνωριστεί ως σημαντικός τύπος φυσικής καταστροφής παγκοσμίως και είναι σημαντικό κίνδυνος στις περισσότερες ορεινές και λοφώδεις περιοχές. Υπάρχει ανάγκη να βελτιωθεί η κατανόησή μας για τις διαδικασίες κατολίσθησης, να εντοπιστούν οι μηχανισμοί που προκαλούν κατολισθήσεις, να αναπτυχθούν μέθοδοι χαρτογράφησης ευαισθησίας λόγω κατολισθήσεων, να διατηρηθούν ιστορικά αρχεία σχετικά με τις κατολισθήσεις και να αναπτυχθούν ευέλικτες και αξιόπιστες μέθοδοι παρακολούθησης (Lucieer et al., 2014).

Κατά την τελευταία δεκαετία υπήρξε αύξηση της χρήσης της τηλεπισκόπησης για τη χαρτογράφηση και την παρακολούθηση των κατολισθήσεων, όπως επιπλέον υπήρξε και σημαντική βελτίωση της χωρικής ανάλυσης της τεχνολογίας της τηλεπισκόπησης

με την εισαγωγή της σάρωσης με λέιζερ, τόσο αερομεταφερόμενα όσο και επίγεια, και των μην επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (UAV) (Lucieer et al., 2014).

Οι μέθοδοι παρατήρησης της Γης μας δίνουν χρήσιμες πληροφορίες για την παραγωγή λεπτομερών ορθοφωτογραφιών και ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM). Αυτά τα προϊόντα μπορούν να μας δώσουν μία εικόνα για τη κινηματική, το ρυθμό ροής και τη διόγκωση των κατολισθήσεων. Επιπλέον, αυτές οι νέες τεχνικές επιτρέπουν τον υπολογισμό του όγκου του συσσωρευμένου υλικού από την κατολίσθηση και τη χαρτογράφηση τοπογραφικών αλλαγών (Lucieer et al., 2014).

Οι παλιότερες τεχνικές ανίχνευσης κατολισθήσεων και παρατήρησης της Γης δεν είναι τόσο ευέλικτες, όσο η νέα πλατφόρμα τηλεπισκόπησης των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (UAV). Οι πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία UAV προσφέρουν νέες δυνατότητες χαρτογράφησης και παρακολούθησης του περιβάλλοντος με εξαιρετικά υψηλή ανάλυση (ανάλυση 1-20cm) (Lucieer et al., 2014).

Από τα βασικά πλεονεκτήματα των UAV όσο αφορά τη μελέτη κατολισθήσεων είναι ότι έχουν την ικανότητα να συλλέγουν εικόνες εξαιρετικά υψηλής ανάλυσης και μπορούν να πετούν κατ' απαίτηση σε περιοχές που έχουν δύσκολη πρόσβαση σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα. Επιπλέον, μεταφέρουν πολλούς αισθητήρες, όπως μικρές κάμερες ελαφρού μεγέθους, GPS και αυτόματο πιλότο και διαθέτουν προηγμένο λογισμικό που επιτρέπει ακριβή γεωκωδικοποίηση των εικόνων. Επίσης, η τεχνολογία UAV σε συνδυασμό με την τεχνική γνωστή ως Structure from Motion (SfM) μπορεί να προσφέρει οικονομικά και αποδοτικά μέσα για την απόκτηση πυκνών και ακριβών δεδομένων 3D της επιφάνειας της Γης (Lucieer et al., 2014).

4.3 Επεξεργασία δεδομένων

Μία σύνθετη διαδικασία, η οποία περιλαμβάνει τεχνικές της Φωτογραμμετρίας, έχει αναπτυχθεί και έχει εφαρμοστεί για την επεξεργασία των λήψεων μέχρι την παραγωγή των τελικών προϊόντων. Ειδικά σχεδιασμένα λογισμικά δέχονται απ' ευθείας τα δεδομένα από την πτήση και καλύπτουν όλα τα επιμέρους στάδια της φωτογραμμετρικής επεξεργασίας. Ένα από αυτά τα στάδια είναι και η παραγωγή νέφους σημείων (point cloud).

Οι φωτογραφίες που λαμβάνονται μέσω της χρήσης UAV είναι δυνατό να επεξεργαστούν με ειδικό λογισμικό και να μετατραπούν σε ορθοφωτοχάρτες ή ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM). Δημιουργείται ένα μωσαϊκό από τις αεροφωτογραφίες και ενώνονται σε μία, μετά από επεξεργασία και συνδυασμό των επικαλυπτόμενων αεροφωτογραφιών.

Εφόσον, οι φωτογραφίες έχουν γεωαναφερθεί, τότε τα αποτελέσματα που εξάγονται μπορούν να εισαχθούν σε περιβάλλον GIS για περαιτέρω επεξεργασία. Ένα τελικό προϊόν μπορεί να είναι η δημιουργία ενός πλήρως τρισδιάστατου μοντέλου αντικειμένου.

4.4 Εφαρμογή της μεθόδου στην περιοχή μελέτης

Για τη μελέτη της κατολίσθησης μας η παραγωγή δεδομένων φωτογραμμετρίας πραγματοποιήθηκε με σύστημα UAV. Το συγκεκριμένο drone ανήκει στο τμήμα Γεωλογίας του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (Α.Π.Θ) και εφαρμόζεται σε περιοχές που είναι δυσπρόσιτες.

Το drone που χρησιμοποιήθηκε είναι της εταιρίας DJI και το όνομα του είναι Phantom 3 Professional. Στην **Εικόνα 9** απεικονίζεται το συγκεκριμένο drone.

Ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά του Phantom 3 Professional είναι τα εξής:

- Πραγματοποιείται λήψη βίντεο 4K και λήψη φωτογραφιών με ανάλυση 12 megapixel, με αισθητήρα που δίνει μεγαλύτερη ευκρίνεια και χαμηλότερο θόρυβο με ζωντανή μετάδοση στο χειριστή, μέσω κινητού.
- Με το Σύστημα Εντοπισμού Θέσης βελτιώνεται η ακρίβεια της πτήσης ακόμα σε θέσεις όπου δεν υπάρχει διαθέσιμο σήμα GPS.
- Δυνατότητα λειτουργίας αυτόματου πιλότου.
- Ο ελεγκτής πτήσης εξασφαλίζει την ασφαλή επιστροφή του αεροσκάφους σε περίπτωση απώλειας σήματος και αποθηκεύει δεδομένα από κάθε πτήση στη συσκευή αποθήκευσης επί του σκάφους.

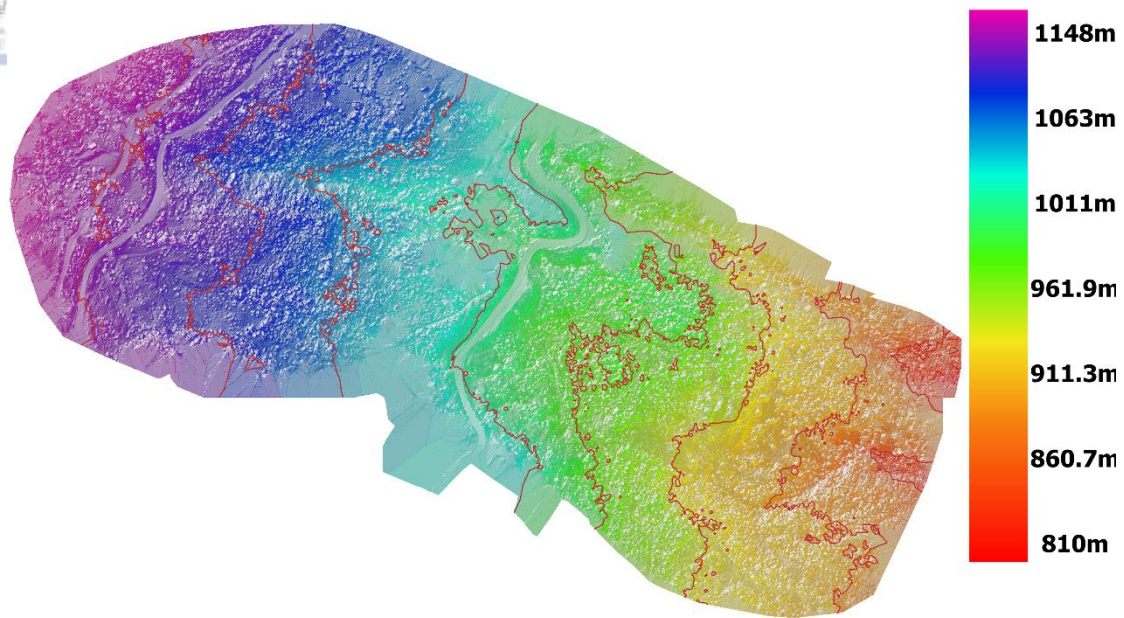


Εικόνα 9: Drone DJI Phantom 3 Professional, <https://www.drone-world.com/dji-phantom-3-professional>.

Για την περιοχή της κατολίσθησης μας λήφθηκε ένα πλήθος αεροφωτογραφιών, με χειριστή του αεροσκάφους τον Στρατή Καραντανέλλη.

Οι φωτογραφίες αυτές χρησιμοποιήθηκαν για την τελική κατασκευή του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DEM) και των ορθομωσαϊκών (**Εικόνα 10, Εικόνα 11**). Στην πτήση που πραγματοποιήθηκε για την κατολίσθηση στις 24-3-2018 λήφθηκαν 207 φωτογραφίες.

Πρέπει να τονιστεί ότι οι αεροφωτογραφίες πρέπει να ληφθούν με ορθό τρόπο, έτσι ώστε η αλληλοεπικάλυσή τους να είναι πιο σωστή και αυτό να έχει ως αποτέλεσμα τα τελικά προϊόντα να είναι πιο λεπτομερή.



Εικόνα 11: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM) με κλίμακα υψομέτρου και οι κόκκινες γραμμές είναι οι ισοϋψείς (ανά 40m), τροποποιημένο στο QGIS.



Εικόνα 10: Ορθομωσαϊκό της κατολίσθησης, προέκυψε από την επεξεργασία των εικόνων του UAV.

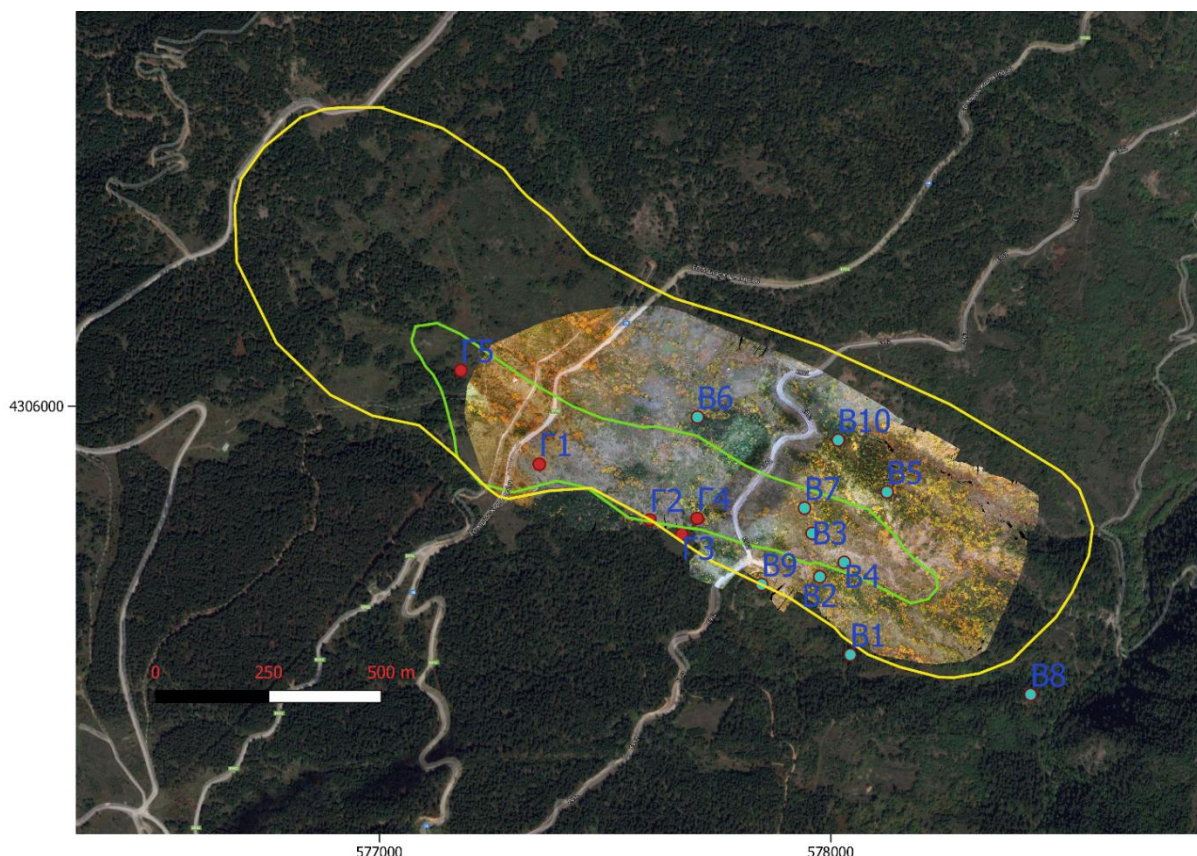
5. Τεχνικογεωλογική αξιολόγηση

5.1 Εισαγωγή

Το 1996 έγιναν ορισμένες εργασίες για τη Μελέτη της «Βελτίωσης Ε.Ο. Λαμίας – Καρπενησίου στην Ανατολική πρόσβαση Σήραγγας Τυμφρηστού». Σκοπός της γεωτεχνικής διερεύνησης είναι η διαπίστωση της σύστασης της γεωμάζας που βρίσκεται στη ζώνη κατολίσθησης στις Ράχες Τυμφρηστού και η παροχή γεωτεχνικών στοιχείων. Για τη συγκεκριμένη Γεωτεχνική Έρευνα πραγματοποιήθηκαν πέντε δειγματοληπτικές γεωτρήσεις (Γ1, Γ2, Γ3, Γ4 και Γ5).

Επιπρόσθετα, το 1999 μελετήθηκε η περιοχή κατολίσθησης στη Βόρεια πλευρά Τυμφρηστού με στόχο την εύρεση περισσότερων στοιχείων για τις ασταθείς περιοχές. Γι' αυτό το λόγο εκτελέστηκαν δέκα γεωτρήσεις (B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B9 και B10) με σκοπό την εξακρίβωση του πάχους των κατολισθημένων υλικών, του είδους των υλικών, καθώς και την ποιότητα του υποβάθρου.

Στο **Χάρτης 4** φαίνονται οι θέσεις των γεωτρήσεων σε σχέση με τη λήψη που έγινε από το UAV, μαζί με τα όρια της κατολίσθησης όπως ήταν στους χάρτες του 1997 και με τη δικιά μας αποτύπωση.



Χάρτης 4: Χάρτης με τις θέσεις των γεωτρήσεων. Με πράσινη γραμμή συμβολίζονται τα όρια της κατολίσθησης όπως ήταν στους χάρτες στο παρελθόν και με κίτρινη γραμμή είναι η δικιά μας αποτύπωση, τροποποιημένος στο QGIS με γεωδοιτικό σύστημα αναφοράς wgs84 UTM zone 34N.

5.2 Γεωτρήσεις

Η συνολική γεωτεχνική έρευνα στην περιοχή της κατολίσθησης περιλάμβανε συνολικά την εκτέλεση δεκαπέντε γεωτρήσεων. Από τα αποτελέσματα των γεωτρήσεων ομαδοποιήθηκαν οι γεωλογικοί σχηματισμοί και καθορίστηκαν τα όρια τους.

Στα πρώτα μέτρα όλων των γεωτρήσεων βρέθηκαν υλικά κατολίσθησης, τα οποία προέρχονται από τον έντονα διαταραγμένο σχηματισμό του υποβάθρου και κυρίως του Αργιλικού σχιστόλιθου. Ο σχηματισμός αυτός έχει “ασθενή” μηχανικά χαρακτηριστικά και βρίσκεται σε κατάσταση οριακής ισορροπίας και παράγει εύκολα υλικά κατολίσθησης. Τα υλικά αυτά είναι αργιλικής σύστασης και διαχωρίζονται σε δύο ορίζοντες, τα πολύ επιφανειακά και τα βαθύτερα.. Τα επιφανειακά είναι καστανόχρωμα και έχουν χαλαρή δομή, σε αντίθεση με τα βαθύτερα που είναι πιο τεφρά και χαρακτηρίζονται από πυκνότερη δομή. Τα πρώτα προέρχονται από την αποσάθρωση των κατολισθημένων υλικών, ενώ τα δεύτερα αποτελούν την κύρια μάζα των υλικών αυτών. Το βάθος και των δύο αυτών οριζόντων κυμαίνεται από 8 έως 25 m. Στους σχηματισμούς του υποβάθρου εκτός από τον Αργιλικό σχιστόλιθο ανήκει και ο Ψαμμίτης, ο οποίος εμφανίζεται συνήθως με τη μορφή ενστρώσεων μέσα στον Ιλύολιθο.

➤ Γεώτρηση Γ1

Βάθος (m)	Περιγραφή
0.00 - 0.40	Επιφανειακή καστανή άργιλος με χαλίκια
0.40 - 5.50	Άργιλος καστανότεφρη, χαμηλής πλαστικότητας με άμμο και χαλίκια
5.50 - 14.20	Άργιλος τεφρή χαμηλής πλαστικότητας με άμμο και γωνιώδη χαλίκια σχιστολιθικής προέλευσης, εναλλασσόμενη με στρώσεις αργιλοποιημένου αργιλικού σχιστόλιθου τεφρού χρώματος. Η κατανομή των αδρομερών και λεπτοκόκκων στοιχείων είναι ανομοιόμορφη και η διάκριση των στρώσεων ασαφής
14.20 - 27.40	Αργιλικός Σχιστόλιθος κατακερματισμένος και αποσαθρωμένος ως αργιλοποιημένος, με εναλλαγές υγιούς υλικού. Ο σχηματισμός εμφανίζεται σαν συμπαγής αργιλοαμμώδης μάζα με σχιστολιθικά θραύσματα και γωνιώδη χαλίκια ποικίλης διαβάθμισης τα οποία είναι ανομοιόμορφα κατανεμημένα.
27.40 - 36.00	Ψαμμίτης τεφρός, λεπτόκοκκος, συμπαγής, διελαυνόμενος από δίκτυο φλεβιδίων ασβεστίτη

➤ Γεώτρηση Γ2

Βάθος (m)	Περιγραφή
-----------	-----------

0.00 - 5.00

Άργιλος καστανή, χαμηλής πλαστικότητας, συνεκτική με πολλή, καλά διαβαθμισμένη άμμο και λεπτά χαλίκια

5.00 - 13.45

Άργιλος καστανή, χαμηλής πλαστικότητας με κυμαινόμενα ποσοστά άμμου και γωνιωδών χαλικιών, κατανεμημένων ανομοιόμορφα μέσα στην αργιλική μάζα. Ο σχηματισμός είναι στιφρός και σταδιακά, μετά ~ 9.5m το χρώμα γίνεται τεφρό

13.45 - 34.80

Αργιλικός Σχιστόλιθος τεφρός, κατακερματισμένος και εξαλλοιωμένος σε σχηματισμό όπου αναμιγνύονται τα συμπαγέστερα σχιστολιθικά στοιχεία, σε μορφή γωνιωδών χαλικιών και θραυσμάτων, με τεφρή χαμηλής πλαστικότητας αργιλοαμμώδη μάζα. Τα όρια μεταξύ των σχηματισμών στους οποίους επικρατούν τα αδρομερέστερα στοιχεία και σε εκείνους όπου επικρατούν τα αργιλοαμμώδη είναι ασαφή

34.80 - 43.80

Αργιλικός Σχιστόλιθος τεφρός, κατακερματισμένος και αποσαθρωμένος διελαυνόμενος από δίκτυο φλεβιδίων ασβεστίτη

43.80 - 50.00

Αργιλικός Σχιστόλιθος, τεφρός, διελαυνόμενος από δίκτυο ασβεστολιθικών φλεβιδίων σε εναλλασσόμενες στρώσεις υγιούς και αποσαθρωμένου υλικού. Ο σχηματισμός εμφανίζει έντονο κερματισμό

➤ Γεώτρηση Γ3

Βάθος (m)	Περιγραφή
0.00 - 5.10	Άργιλος καστανή, χαμηλής πλαστικότητας, με πολλά γωνιώδη χαλίκια και άμμο, ανομοιόμορφα κατανεμημένα (έως αργιλώδη αμμοχάλικα ποικίλης διαβάθμισης)
5.10 - 5.40	Ψαμμίτης μεσόκοκκος, κατακερματισμένος και αποσαθρωμένος
5.40 - 7.60	Αργιλώδη αμμοχάλικα, ψαμμιτικής προέλευσης, ποικίλης διαβάθμισης και κατανομής των χονδρόκοκκων μέσα στην αργιλική μάζα
7.60 - 8.50	Αργιλικός Σχιστόλιθος, τεφρός, κατακερματισμένος και αποσαθρωμένος
8.50 - 10.20	Άργιλος τεφρή, χαμηλής πλαστικότητας με άμμο και χαλίκια σχιστολιθικής προέλευσης
10.20 - 10.50	Αργιλικός Σχιστόλιθος τεφρός κερματισμένος
10.50 - 17.40	Άργιλος τεφρή, χαμηλής πλαστικότητας, συνεκτική, με άμμο και χαλίκια σχιστολιθικής προέλευσης
17.40 - 20.50	Αργιλικός Σχιστόλιθος τεφρός, κατακερματισμένος και αποσαθρωμένος
20.50 - 23.10	Αργιλικός Σχιστόλιθος τεφρός, με δίκτυο φλεβιδίων ασβεστίτη, κερματισμένος έως κατακερματισμένος κατά θέσεις αποσάθρωσης
23.10 - 25.30	Άργιλος κυανότερη, χαμηλής πλαστικότητας με κυμαινόμενο και ανομοιόμορφα κατανεμημένο ποσοστό σχιστολιθικών χαλικιών και άμμου (έως αργιλώδες αμμοχάλικο)

25.30 - 33.40	Άργιλος τεφρή, χαμηλής πλαστικότητας με άμμο και γωνιώδη χαλίκια κυμαινόμενων ποσοστών και ανομοιόμορφης κατανομής
33.40 - 36.00	Αργιλικός Σχιστόλιθος τεφρός, κερματισμένος και εξαλλοιωμένος, διελαυνόμενος από δίκτυο ασβεστιτικών φλεβιδίων
36.00 - 36.50	Άργιλος τεφρή
36.50 - 38.60	Αργιλικός Σχιστόλιθος, τεφρός, κερματισμένος και αποσαθρωμένος, διελαυνόμενος από δίκτυο φλεβιδίων ασβεστίτη
38.60 - 42.20	Αργιλικός Σχιστόλιθος, τεφρός, κατακερματισμένος και αποσαθρωμένος ανάμικτος με τεφρή, χαμηλής πλαστικότητας, άργιλο με χαλίκια
42.20 - 43.10	Άργιλος τεφρή, χαμηλής πλαστικότητας, με γωνιώδη χαλίκια σχιστολιθικής προέλευσης
43.10 - 50.00	Αργιλικός Σχιστόλιθος τεφρός διελαυνόμενος από δίκτυο φλεβιδίων ασβεστίτη, κατακερματισμένος και αποσαθρωμένος

➤ Γεώτρηση Γ4

Βάθος (m)	Περιγραφή
0.00 - 1.20	Άργιλος καστανή
1.20 - 1.70	Εναλλαγές τεφρού κερματισμένου σχιστόλιθου με καστανή άργιλο
1.70 - 5.80	Αργιλώδες αμμοχάλικο καστανό έως καστανότεφρο με χαμηλής πλαστικότητας λεπτόκοκκα, καλά διαβαθμισμένο
5.80 - 7.70	Άργιλος τεφρή με χαλίκια
7.70 - 9.20	Αργιλικός σχιστόλιθος τεφρός, κατακερματισμένος και αποσαθρωμένος, ανάμικτος με τεφρή άργιλο
9.20 - 10.90	Αργιλικός σχιστόλιθος τεφρός, κατακερματισμένος και αποσαθρωμένος σε εναλλασσόμενες ζώνες έντονου βαθμού αποσάθρωσης (εμφάνιση αργιλώδους αμμοχάλικου)
10.90 - 12.20	Άργιλος καστανή με χαλίκια
12.20 - 13.50	Ψαμμίτης χονδρόκοκκος καστανοκίτρινος
13.50 - 14.50	Ιλυώδες αμμοχάλικο, καστανό, συνεκτικής δομής ψαμμιτικής προέλευσης
14.50 - 16.20	Ψαμμίτης καστανός, αποσαθρωμένος
16.20 - 16.80	Ψαμμίτης καστανός, ασθενώς αποσαθρωμένος με καστανή άργιλο
16.80 - 17.20	Άργιλος καστανή με λεπτό άμμο

17.20 - 19.80	Ψαμμίτης καστανός, κατακερματισμένος και αποσαθρωμένος
19.80 - 25.11	Εναλλασσόμενοι ορίζοντες, κατακερματισμένου και αποσαθρωμένου ψαμμίτη υγής, ενώ παρεμβάλλονται στρώσεις αργιλόδους αμμοχάλικου ψαμμιτικής προέλευσης

➤ Γεώτρηση Γ5

Βάθος (m)	Περιγραφή
0.00 - 4.20	Αργιλώδες αμμοχάλικο καστανό, με λεπτόκοκκα χαμηλής πλαστικότητας
4.20 - 4.90	Αργιλικός σχιστόλιθος τεφρός κατακερματισμένος και εξαλλοιωμένος ανάμικτος με χαλικομιγή άργιλο
4.90 - 8.30	Αργιώδη αμμοχάλικα ποικίλης διαβάθμισης, σχιστολιθικής προέλευσης, συμπαγούς δομής με κυμαινόμενα ποσοστά χαμηλής πλαστικότητας λεπτόκοκκων, καστανότεφρου χρώματος
8.30 - 10.20	Ψαμμίτης τεφρός, λεπτόκοκκος, κατακερματισμένος, έντονα αποσαθρωμένος στην αρχή της στρώσης
10.20 - 12.70	Ψαμμίτης τεφρός, υγής λεπτόκοκκος, ασθενώς κερματισμένος
12.70 - 20.40	Ψαμμίτης τεφρός, λεπτόκοκκος, έντονα κερματισμένος έως κατακερματισμένος κατά θέσεις αποσαθρωμένος

➤ Γεώτρηση Β1

Βάθος (m)	Περιγραφή
0.00 - 2.00	Άργιλος χαλικώδης καστανόχρωμη με τεμάχια ψαμμίτη, μικρής - μέσης πλαστικότητας
2.00 - 15.00	Άργιλος μελανόχρωμη, μέσης πλαστικότητας, χαλικώδης, με τεμάχια ψαμμίτη και ιλυόλιθου
15.00 - 25.00	Φλύσχης ιλυολιθικός, έντονα τεκτονισμένος, πολύ αποσαθρωμένος σε Αργιλικό σχιστόλιθο με τεμάχια ψαμμίτη και ιλυόλιθου. Ασυνέχειες πολλές λείες σε τυχαίες διευθύνσεις

➤ Γεώτρηση Β2

Βάθος (m)	Περιγραφή
0.00 - 16.70	Φλύσχης ιλυολιθικός, έντονα διαταραγμένος και πολύ αποσαθρωμένος σε Άργιλο χαλικώδη μελανόχρωμη. Τοπικά εμφανίζονται τεμάχια κερματισμένου ψαμμίτη (3.50 - 6.10 m και 6.90 - 7.80 m)
16.70 - 25.40	Φλύσχης ιλυολιθικός διαταραγμένος και αποσαθρωμένος έχει μετατραπεί σε Αργιλικό σχιστόλιθο, με πολύ πυκνές και λείες ασυνέχειες



25.40 - 30.00 Φλύσχης ψαμμιτικός, λεπτομεσόκοκκος, κατακερματισμένος, ελαφρά αποσαθρωμένος με τραχείες κλειστές επιφάνειες ασυνεχειών

➤ Γεώτρηση B3

Βάθος (m)	Περιγραφή
0.00 - 14.00	Άργιλος χαλικώδης, μελανόχρωμη με χάλικες και κροκάλες ψαμμιτικής και ιλυολιθικής προέλευσης, μικρής - μέσης πλαστικότητα. Τοπικά εμφανίζονται ογκόλιθοι ψαμμίτη (6.80 - 7.00 m και 5.80 - 6.70 m)
14.00 - 25.00	Φλύσχης ιλυολιθικός, έντονα τεκτονισμένος και αποσαθρωμένος έχει μετατραπεί σε Αργιλικό σχιστόλιθο

➤ Γεώτρηση B4

Βάθος (m)	Περιγραφή
0.00 - 1.80	Άργιλος αμμώδης με χάλικες ψαμμιτικής κυρίως σύστασης, καστανού χρώματος, μικρής πλαστικότητας
1.80 - 15.00	Φλύσχης ψαμμιτικός, ελαφρά - μέτρια αποσαθρωμένος, έντονα κερματισμένος και τοπικά κατακερματισμένος με τραχείες και κλειστές ασυνέχειες
15.00 - 21.40	Φλύσχης ιλυολιθικός ελαφρά αποσαθρωμένος, κατακερματισμένος, με ελαφρά τραχείες ασυνέχειες, κλειστές και αραιά πληρωμένες με δευτερογενή άργιλο. Τοπικά πάρα πολύ αποσαθρωμένος σε άργιλο μελανότεφρη, στιφρή, χαλικώδη
21.40 - 30.00	Φλύσχης ψαμμιτικός κατακερματισμένος, μέτρια αποσαθρωμένος με τραχείες ασυνέχειες

➤ Γεώτρηση B5

Βάθος (m)	Περιγραφή
0.00 - 1.10	Άμμος αργιλωδής, με χάλικες ψαμμιτικούς, καστανού χρώματος
1.10 - 12.50	Άργιλος μελανόχρωμη, μικρής - μέσης πλαστικότητα με χάλικες και κροκάλες ψαμμιτικής και ιλυολιθικής σύστασης
12.50 - 17.40	Φλύσχης ψαμμιτικός κατακερματισμένος, μέτρια αποσαθρωμένος, οξειδωμένος, με τραχείες κενές επιφάνειες ασυνεχειών
17.40 - 20.00	Άργιλος χαλικώδης, μελανόχρωμη
20.00 - 25.00	Φλύσχης ιλυολιθικός έχει μετατραπεί σε αργιλικό σχιστόλιθο, μελανού χρώματος με πολλές πυκνές και λείες ασυνέχειες

➤ Γεώτρηση B6

Βάθος (m)	Περιγραφή
0.00 - 24.00	Άργιλος μελανόχρωμη, μικρής - μέσης πλαστικότητας με χάλικες και κροκάλες ψαμμιτικής και ιλυολιθικής σύστασης. Τοπικά διατηρείται η δομή του αργιλικού σχιστόλιθου (15.50 - 19.60 m)
24.00 - 37.50	Φλύσχης ιλυολιθικός, έντονα τεκτονισμένος και αποσαθρωμένος έχει μετατραπεί σε αργιλικό σχιστόλιθο
37.50 - 45.50	Φλύσχης ψαμμιτικός έντονα κερματισμένος και τοπικά κατακερματισμένος, ελαφρά αποσαθρωμένος με τραχείες κλειστές ασυνέχειες
45.50 - 50.00	Αργιλικός σχιστόλιθος

➤ Γεώτρηση B7

Βάθος (m)	Περιγραφή
0.00 - 1.10	Άργιλος αμμώδης με ψαμμιτικούς χάλικες, καστανόχρωμη
1.10 - 15.90	Άργιλος, μέσης - μικρής πλαστικότητας, χαλικώδης, μελανόχρωμη
15.90 - 35.00	Φλύσχης ιλυολιθικός έντονα τεκτονισμένος και αποσαθρωμένος σε Αργιλικό σχιστόλιθο, με πολλές λείες και τυχαίες επιφάνειες ασυνεχειών και διάσπαρτα τεμάχια ιλυολιθικής και ψαμμιτικής σύστασης

➤ Γεώτρηση B8

Βάθος (m)	Περιγραφή
0.00 - 5.30	Άργιλος αμμώδης, μικρής - μέσης πλαστικότητας, καστανού χρώματος
5.30 - 8.30	Άργιλος μελανόχρωμη με χάλικες και κροκάλες ψαμμιτικής κυρίως προέλευσης
8.30 - 18.40	Φλύσχης ιλυολιθικός έντονα διαταραγμένος και αποσαθρωμένος σε Αργιλικό σχιστόλιθο
18.40 - 24.50	Φλύσχης ψαμμιτικός, έντονα κερματισμένος και τοπικά κατακερματισμένος, γκριζομέλανος, ελαφρά αποσαθρωμένος με ασυνέχειες τραχείες, τοπικά πληρωμένες με δευτερογενή ασβεστίτη
24.50 - 25.30	Ιλυόλιθος βραχώδης, κατακερματισμένος

➤ Γεώτρηση B9

Βάθος (m)	Περιγραφή
0.00 - 14.60	Άργιλος καστανόχρωμη, συνεκτική, σκληρή με χάλικες και κροκάλες ψαμμιτικής σύστασης

14.60 - 25.00 Φλύσχης ιλυολιθικός μελανόχρωμος πολύ αποσαθρωμένος έχει μετατραπεί σε Αργιλικό σχιστόλιθο

Βάθος (m)	Περιγραφή
0.00 - 4.50	Άργιλος μικρής - μέσης πλαστικότητας, καστανού χρώματος, χαλικώδης, με τεμάχια κυρίως ψαμμιτικής προέλευσης
4.50 - 25.00	Άργιλος μελανόχρωμη χαλικώδης με τεμάχια ψαμμιτικής και ιλυολιθικής προέλευσης. Τοπικά διαιρείται η δομή του Αργιλικού σχιστόλιθου, είναι όμως αμυδρή και όχι συστηματική

5.3 Ομαδοποίηση Γεωλογικών Σχηματισμών

❖ Υλικά Κατολίσθησης

Στα υλικά αυτά ανήκει και ο επιφανειακό μανδύας, ο οποίος είναι μία ζώνη που έχει ιδιότητες χαλαρού εδαφικού υλικού. Αποτελείται κυρίως από προϊόντα αποσάθρωσης του φλύσχη.

Στα υλικά κατολίσθησης ανήκουν:

- 1) Άργιλος αμμόδης καστανόχρωμη με χάλικες κυρίως ψαμμιτικής προέλευσης
- 2) Άργιλος τεφρή χαλικώδης, μικρής – μέσης πλαστικότητας με τεμάχια ψαμμιτικής και ιλυολιθικής προέλευσης

❖ Σχηματισμοί υποβάθρου

Το υπόβαθρο της περιοχής μελέτης, όπως έχει αναφερθεί, είναι ο φλύσχος, ο οποίος είναι κυρίως ιλυολιθικής σύστασης, έντονα τεκτονισμένος και διαταραγμένος και αποτελείται κυρίως από Αργιλικό σχιστόλιθο. Μικρότερο εύρος ανάπτυξης έχουν ο Ψαμμίτης και ο βραχώδης Ιλυόλιθος.

Επομένως, συνοπτικά οι σχηματισμοί είναι οι εξής:

- a) Αργιλικός σχιστόλιθος, που προήλθε από έντονο τεκτονισμό και αποσάθρωση χωρίς δομή
- b) Ψαμμίτης κυρίως ενστρώσεις κυμαινόμενου πάχους, ενώ σπανιότερα εμφανίζεται σα ψαμμιτική φάση του φλύσχη
- c) Ιλυόλιθος βραχώδης, απουσιάζει σχεδόν από όλες τις γεωτρήσεις και αποτελεί την πιο υγιή μορφή του ιλυόλιθου

5.4 Δοκιμές Τυποποιημένης Διείσδυσης (SPT)

Στη μελέτη που έγινε το 1996 εκτελέστηκαν δοκιμές διείσδυσεως μέσα στις γεωτρήσεις (Γ1, Γ2, Γ3, Γ4 και Γ5) με την τυποποιημένη μέθοδο SPT.

Κατά τη δοκιμή αυτή μετρίεται ο αριθμός των κρούσεων που απαιτείται για τη διείσδυση του τυποποιημένου δειγματολήπτη (Terzaghi) κατά 15 cm, τρεις φορές διαδοχικά. Από τις μετρήσεις αυτές λαμβάνεται υπόψη το άθροισμα των κρούσεων των δύο τελευταίων διείσδυσεων και ονομάζεται αριθμός κρούσεων N. Επίσης, όταν η διείσδυση είναι μικρότερη από 15 cm για 50 κρούσεις, η δοκιμή σταματάει και εκλαμβάνεται ως άρνηση και καταγράφεται το βάθος της διείσδυσεως σε cm για 50 κρούσεις.

▪ Γεώτρηση Γ1

Βάθος (m)	Κρούσεις / 15 cm	N
2.00 - 2.45	4 - 6 - 7	13
4.20 - 4.31	50/11	APN
6.20 - 6.65	13 - 23 - 23	46
8.30 - 8.75	12 - 19 - 27	46
10.70 - 11.07	33 - 28 - 50/7	APN
13.50 - 13.64	50/14	APN
26.10 - 26.36	22 - 50/11	APN

▪ Γεώτρηση Γ2

Βάθος (m)	Κρούσεις / 15 cm	N
4.50 - 4.95	3 - 4 - 5.5	9.5
6.80 - 7.25	8 - 10 - 16	26
8.60 - 9.05	7 - 10 - 19	29
10.60 - 11.05	24 - 13 - 15	28
13.00 - 13.45	14 - 20 - 24	44
15.50 - 15.95	18 - 19 - 23	42



19.60 - 19.69	50/9	APN
22.00 - 22.45	31 - 28 - 48	76
25.00 - 25.45	14 - 24 - 35	59
27.00 - 27.45	19 - 29 - 41	70
28.90 - 29.32	24 - 38 - 50/12	APN
31.20 - 31.65	32 - 41 - 46	87
33.40 - 33.79	21 - 46 - 50/9	APN
35.80 - 35.85	50/5	APN

▪ Γεώτρηση Γ3

Βάθος (m)	Κρούσεις / 15 cm	N
2.60 - 3.05	7 – 5 – 10	15
4.60 - 5.05	12 - 8 -17	25
7.30 - 7.57	18 - 50/12	APN
9.60 - 10.05	12 - 38 - 40	73
12.00 - 12.45	13 - 23 - 28	51
13.90 - 14.35	16 - 32 - 33	65
16.90 - 17.35	41 - 22 - 31	53
19.00 - 19.26	26 - 50/11	APN
23.70 - 24.10	27 - 47 - 50/10	APN
25.90 - 26.32	29 - 25 - 50/12	APN
29.00 - 29.27	34 - 50/12	APN
31.50 - 31.78	30 - 50/13	APN
33.30 - 33.44	50/14	APN

▪ Γεώτρηση Γ4

Βάθος (m)	Κρούσεις / 15 cm	N
2.40 - 2.85	6 - 8 - 13	21
5.40 - 5.85	6 - 9 - 15	24
7.20 - 7.65	27 - 30 - 29	59
9.10 - 9.20	50/10	APN
10.90 - 11.35	10 - 11 - 14	25
14.10 - 14.54	25 - 34 - 50/14	APN
16.10 - 16.21	50/11	APN
18.70 - 18.75	50/5	APN
21.40 - 21.53	50/13	APN
22.90 - 23.33	23 - 29 - 50/13	APN
25.00 - 21.11	50/11	APN

▪ Γεώτρηση Γ5

Βάθος (m)	Κρούσεις / 15 cm	N
2.00 - 2.45	6 - 5 - 5	10
3.70 - 4.15	10 - 6 - 6	12
5.80 - 6.25	6/9/2015	24
7.90 - 8.29	37 - 46 - 50/9	APN

Η δοκιμή SPT δίνει μία ποσοτική εικόνα της μηχανικής συμπεριφοράς του εδάφους και με ορισμένες προϋποθέσεις περιγράφει τη φέρουσα ικανότητα και τις αναμενόμενες καθιζήσεις των θεμελιώσεων τεχνικών έργων.

Η δοκιμή αυτή είναι πιο αξιόπιστη στις περιπτώσεις αμμωδών εδαφικών σχηματισμών, αλλά σε όλες όμως τις εδαφικές συνθήκες δίνει χρήσιμες πληροφορίες για τη συνεκτικότητα και την πυκνότητα του εδάφους.

Όμως, η ύπαρξη μεμονωμένων χονδρών χαλικιών έχει ως αποτέλεσμα τεχνητά αυξημένο αριθμό κρούσεων N και συνεπώς δε θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στις περιπτώσεις αυτές. Επομένως, σε αμμοχάλικα και σε εδάφη με μεγάλο ποσοστό χαλικιών, τα αποτελέσματα της δοκιμής αυτής έχουν μικρή αξιοπιστία (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2002).

5.5 Εργαστηριακές δοκιμές

	Δοκιμή Ανεμπόδιστης Θλίψης	Τριαξονική Θλίψη CUpp				Μονοαξονική θλιπτική αντοχή	Δοκιμή Άμεσης Διάτμησης		Αντοχή Ανεμπόδιστης Θλίψης
	qu (kN/m ²)	φ (°)	φ' (°)	c (kPa)	c' (kPa)	σ _{ci} (MPa)	c (kN/m ²)	φ (°)	σ _c =(14+0.175XD)X _I ₃ (kPa)
Άργιλος αμμώδης καστανή	128	-	-	-	-	-	-	-	-
Άργιλος τεφρή χαλικώδης	76	16	18	42	37	-	-	-	-
Αργιλικός Σχιστόλιθος	207	24	23.5	15	25	5 - 7	24 180 180	18 16 16	-
Ψαμμίτης	-	-	-	-	-	-	-	-	72.6

5.6 Κλισιόμετρα

Τα κλισιόμετρα χρησιμοποιούνται για λόγους ασφαλείας του έργου και όταν απαιτείται παρακολούθηση του εδάφους, της μεταβολής της κλίσης του κατά μήκος μίας γεώτρησης και της μεταβολής της κλίσης των δομικών στοιχείων.

Στις γεωτρήσεις Γ1, Γ2 και Γ3 τοποθετήθηκαν σωλήνες αποκλισιομέτρου. Σχεδιάστηκαν τα προφίλ των σχετικών μετακινήσεων και δεν εντοπίστηκαν περιοχές οριζόντιων μετακινήσεων. Οι μικρομετακινήσεις που εμφανίστηκαν ήταν εντός των ορίων ακριβείας των μετρήσεων.

Ωστόσο, ο χρόνος μέτρησης των κλισιομέτρων ήταν πολύ μικρός, ώστε να εντοπίσει τυχόν μικρές ερπυστικές μετακινήσεις. Μπορούσαν να εντοπίσουν μόνο ένα έντονο κατολισθητικό φαινόμενο υπό εξέλιξη, το οποίο δε συνέβη στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

5.7 Βάθος Μετακινημένου Υλικού

Με τις έρευνες που έγιναν μετά από την εξέταση όλων των δειγμάτων δεν διαπιστώθηκε ενιαία επιφάνεια ολίσθησης. Υπήρξε η υπόθεση ότι υπάρχει ερπυστική ολίσθηση στη διεπιφάνεια μανδύα – ψαμμίτη. Επίσης, υπάρχουν σχετικά επιφανειακές (βάθος 5 - 10 m) ολίσθησεις με έντονο χαρακτήρα.

Η περιοχή δε φαίνεται να έχει καταφέρει να ανακτήσει μία μακροχρόνια ισορροπία, αντιθέτως κατά καιρούς και ειδικά σε περιόδους έντονων βροχοπτώσεων εμφανίζει περισσότερες αστάθειες. Το βαθύτερο μετακινημένο σημείο, στην περιοχή μείζονος

αστάθειας, βρίσκεται στη γεώτρηση B6 με βάθος 24.00 m. Προς τα κατάντη το βάθος του μετακινημένου υλικού μειώνεται σχετικά και φτάνει μέχρι και τα 8 m.

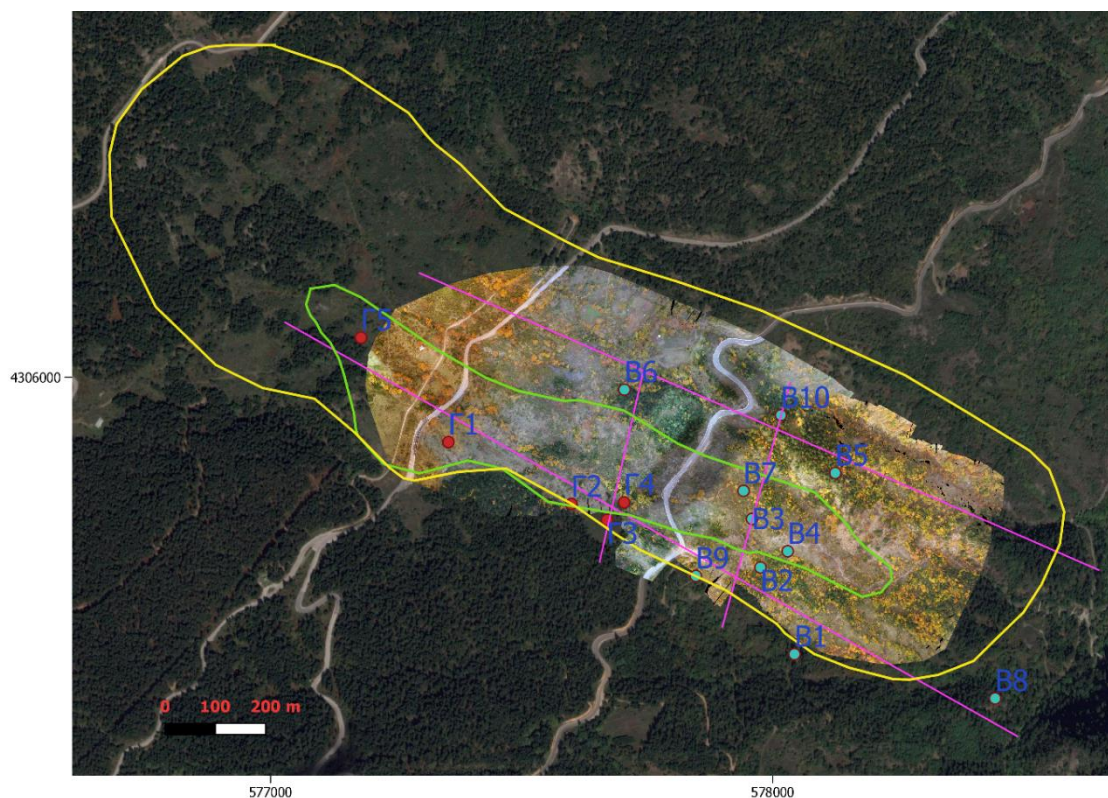
Πρόκειται για μία περιοχή με μεγάλο βάθος κατολισθημένων υλικών, χωρίς να υπάρχουν ενδιάμεσα σημεία σταθερού υλικού. Η έκταση γενικά των ολισθημένων υλικών είναι πολύ μεγάλη (πλάτος της τάξεως των 800 m και μήκος της τάξεως των 2.000 m).

Εκτιμάται ότι η ευρύτατη αστάθεια ξεκίνησε από τα κατάντη και διαδοχικά (με απώλεια της στήριξης του ποδός) ανήλθε προς τα ανάντη και σταματάει εκεί που εμφανίζεται το βραχώδες υπόβαθρο στην επιφάνεια.

5.8 Γεωλογικές Τομές

Για την καλύτερη απεικόνιση της κατολίσθησης σε βάθος σχεδιάστηκαν τέσσερις γεωλογικές τομές (**Εικόνα 12, Εικόνα 13, Εικόνα 14, Εικόνα 15**). Αυτές οι τομές επιλέχθηκαν έτσι ώστε να καλυφθεί όσο είναι περισσότερο δυνατόν μεγαλύτερη έκταση της κατολίσθησης σε μήκος και σε πλάτος. Επίσης, ένας ακόμα λόγος που επιλέχθηκαν αυτές οι τομές είναι ο περιορισμός που υπήρχε λόγω των θέσεων των γεωτρήσεων.

Στο **Χάρτη 5** φαίνονται οι γεωλογικές τομές σε σχέση με τη λήψη που έγινε από το UAV, μαζί με τα όρια της κατολίσθησης όπως ήταν στους χάρτες του 1997 και με τη δικιά μας αποτύπωση.



Χάρτης 5: Χάρτης που δείχνει με μωβ γραμμές τις Γεωλογικές τομές, τροποποιημένος στο QGIS με γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς wgs84 UTM zone 34N.



Υπόμνημα

❖ Υλικά Κατολίσθησης



→ Άργιλος αμμώδης καστανόχρωμη με χάλικες κυρίως ψαμμιτικής προέλευσης



→ Άργιλος χαλικώδης τεφρή, μικρής – μέσης πλαστικότητας με τεμάχια ψαμμιτικής και ιλυολιθικής προέλευσης

❖ Σχηματισμοί Υποβάθρου



→ Αργιλικός Σχιστόλιθος



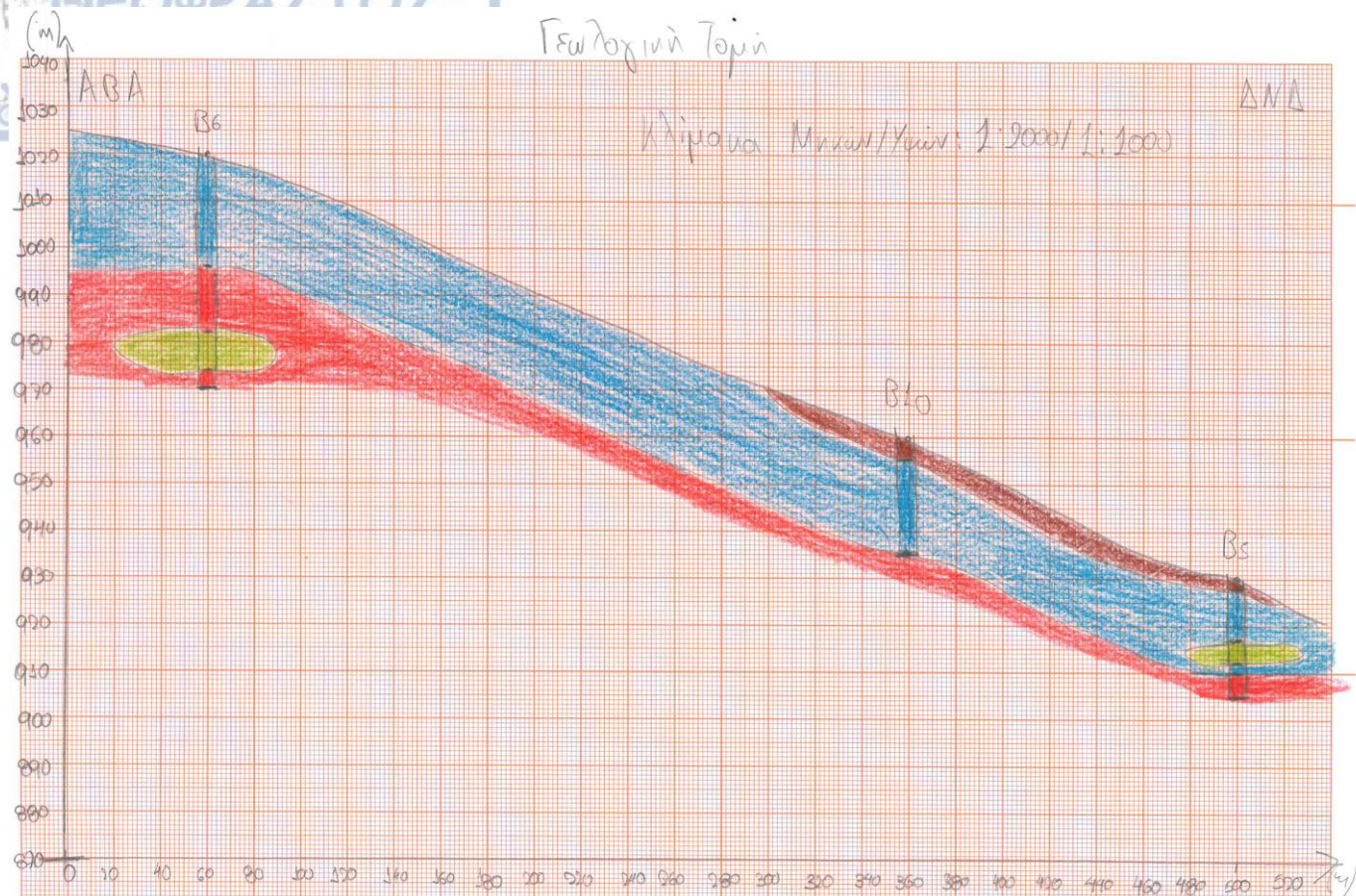
→ Ψαμμίτης

Σημείωση: Οι περιγραφές των σχηματισμών δόθηκαν με τις δειγματοληψίες που έγιναν από τα Μελετητικά Γραφεία που ερεύνησαν την κατολίσθηση το 1999.

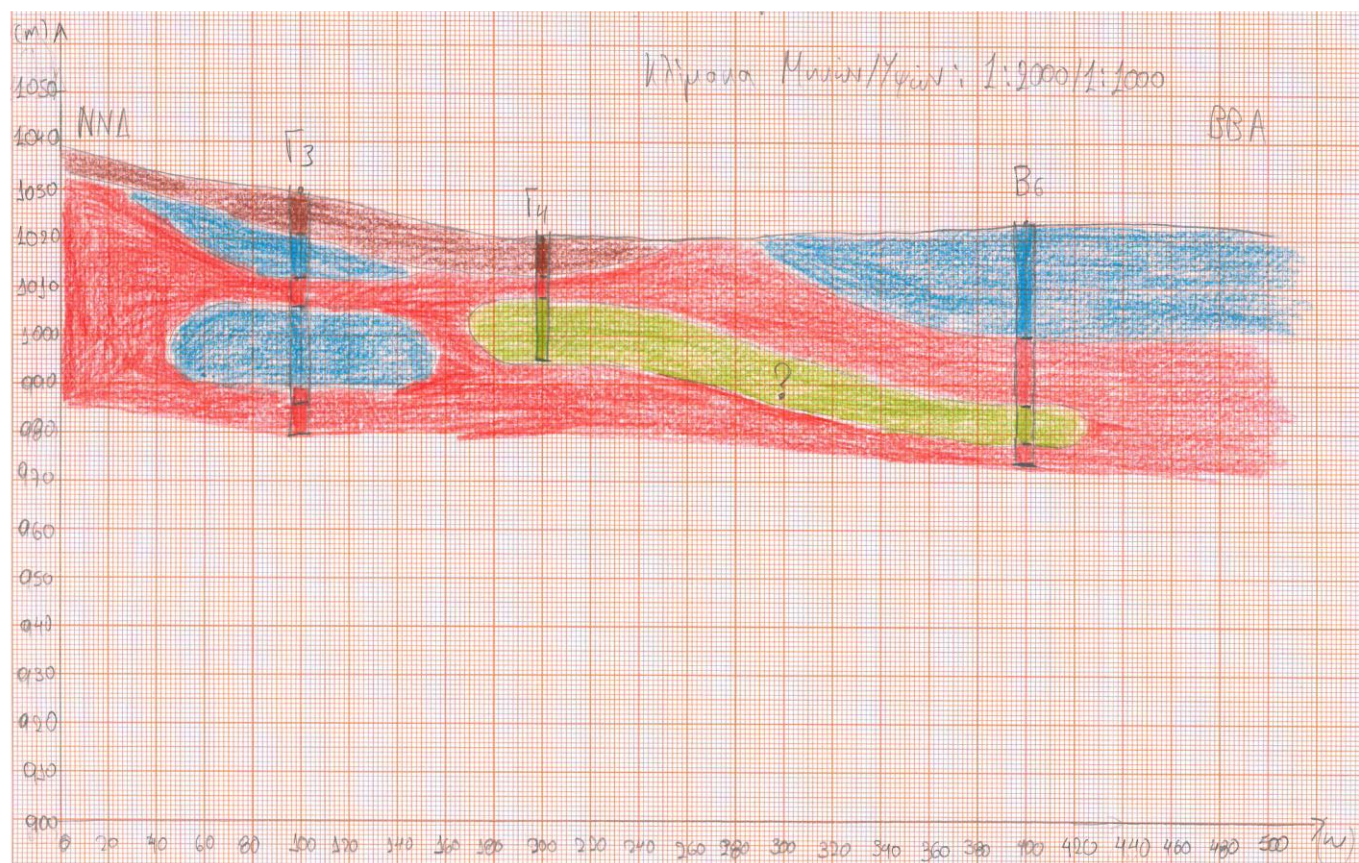
Επίσης, ο **Χάρτης 6** απεικονίζει τα όρια της κατολίσθησης που προέκυψαν από τη δική μας αποτύπωση, μαζί με ορισμένες χαρακτηριστικές φωτογραφίες από την ύπαιθρο.

Γεωλογική Τμήση

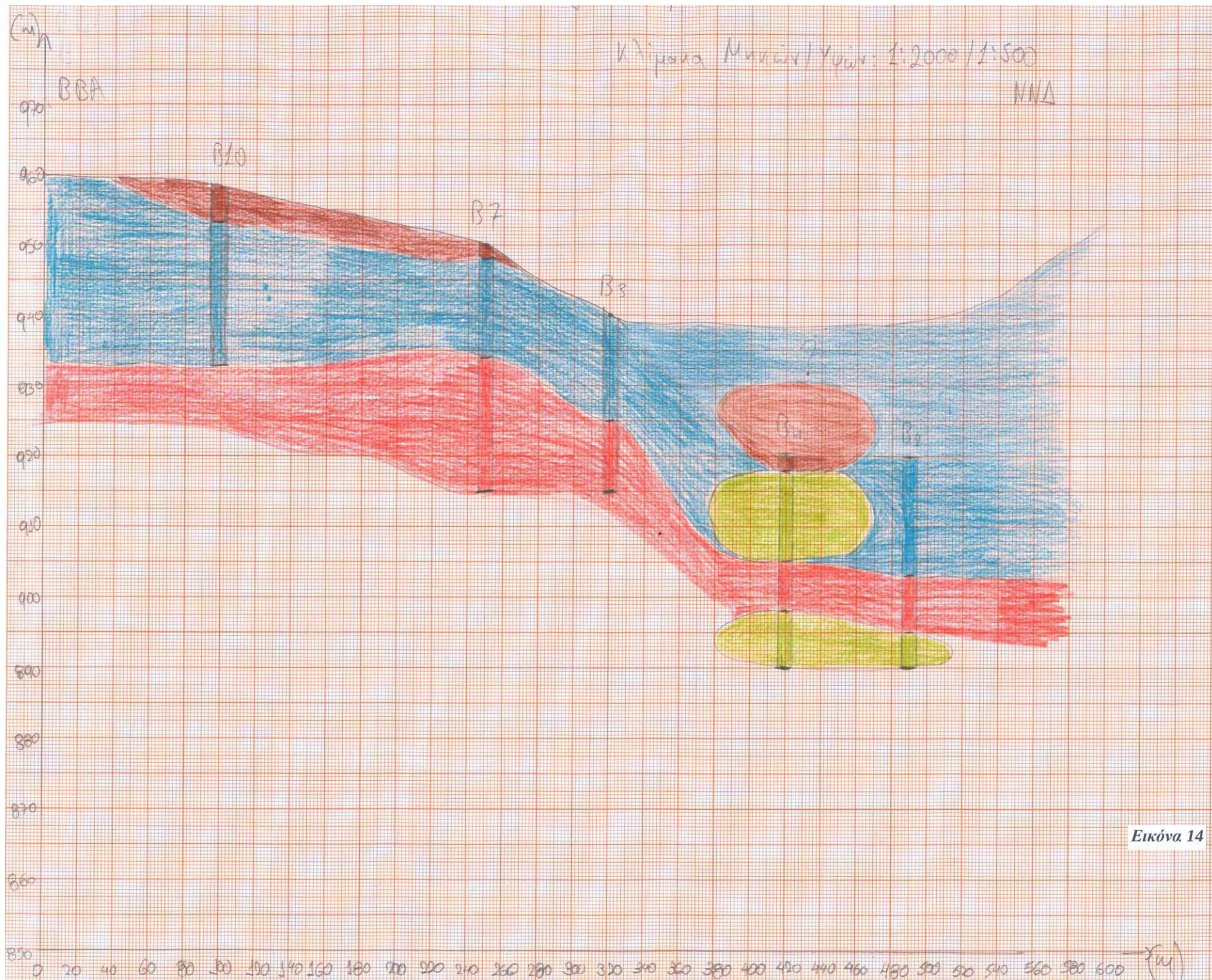
Μέγεθος Μηνών/Χρυσών: 1:2000/1:1000



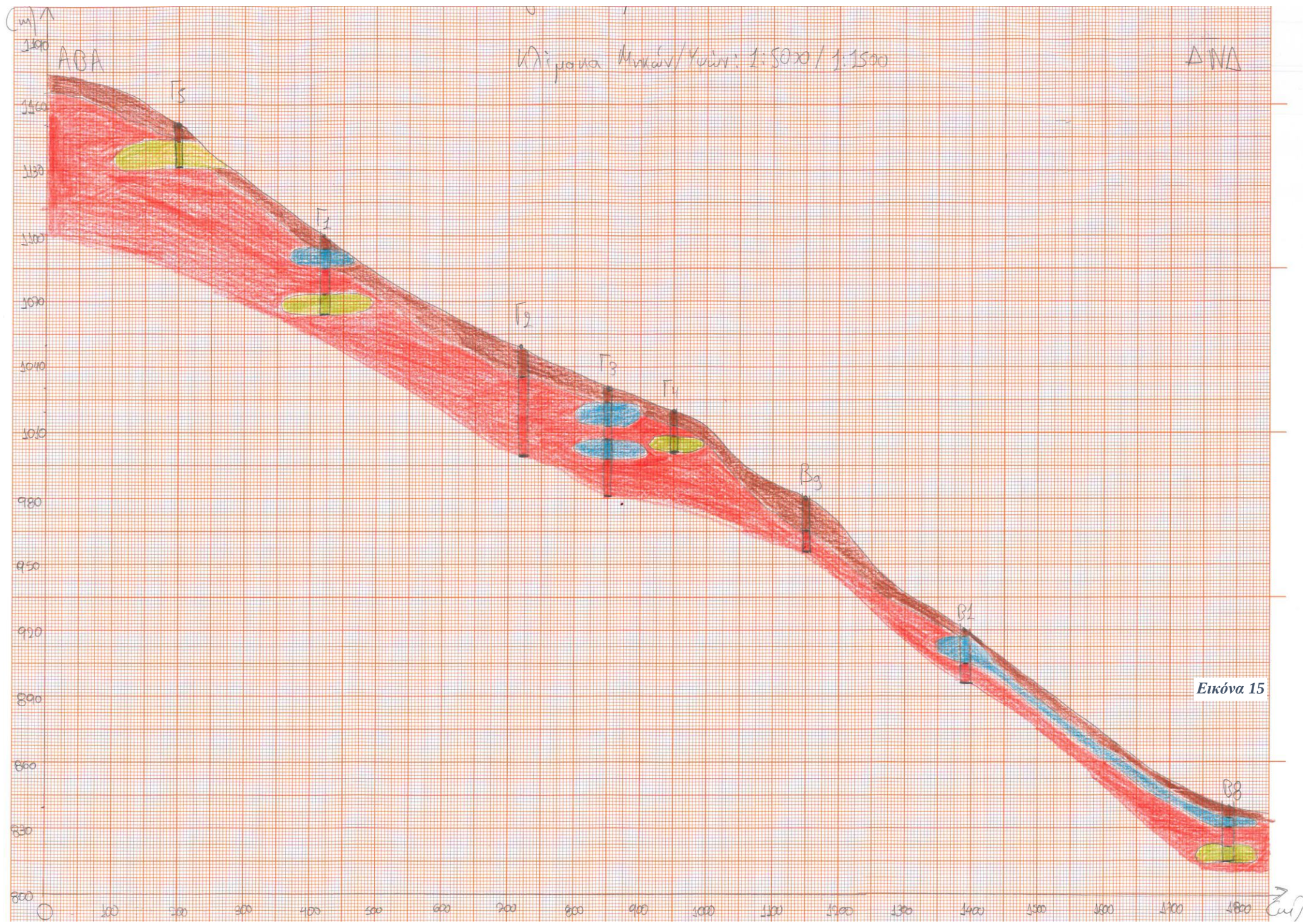
Εικόνα 12

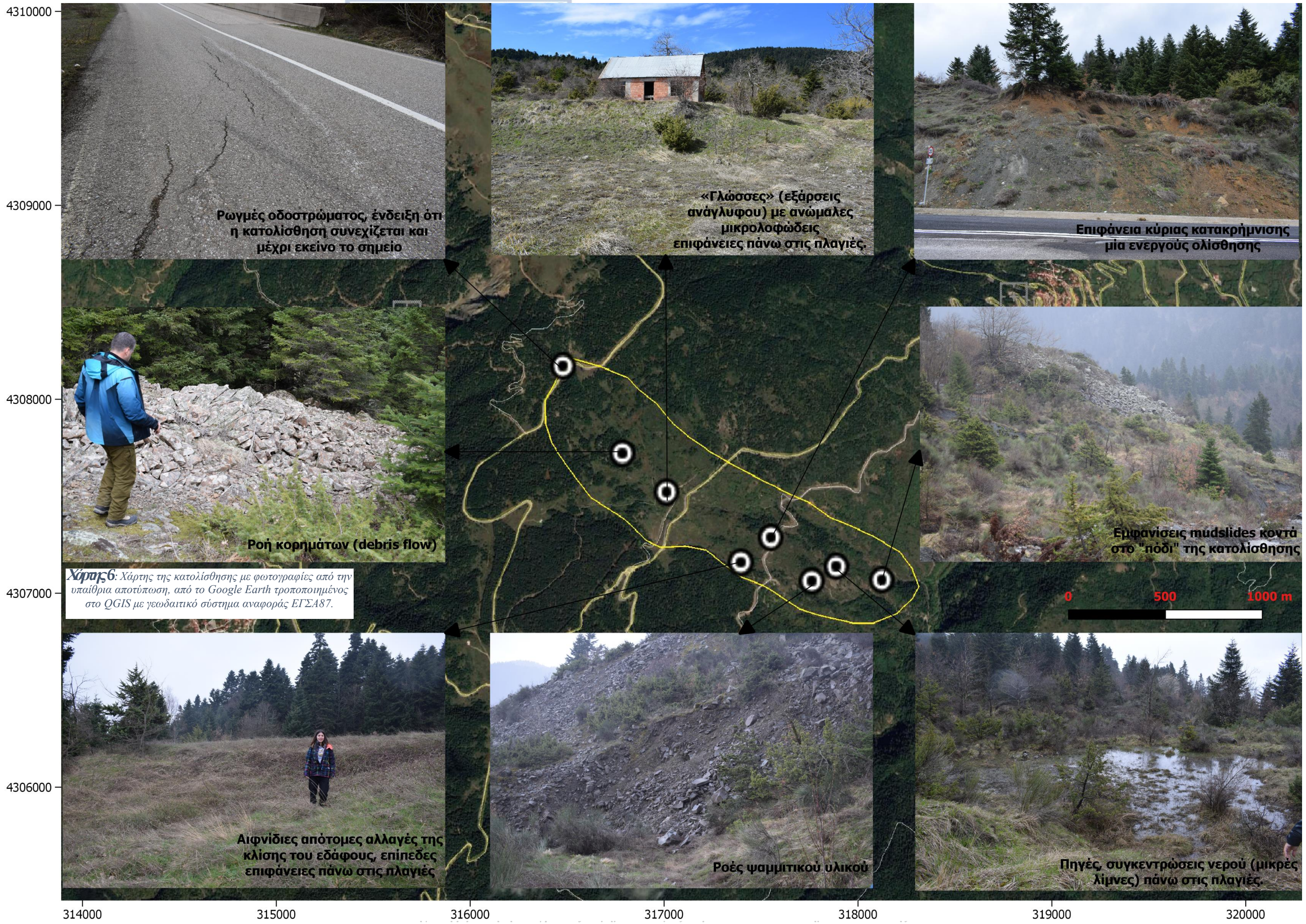


Εικόνα 13



Εικόνα 14





6. Σύνοψη

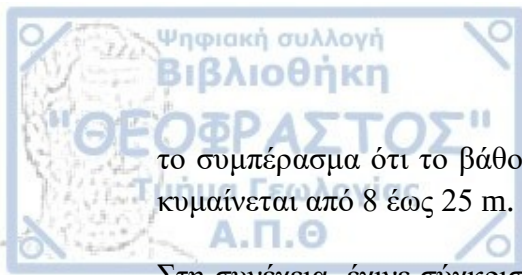
Αντικείμενο αυτής της διπλωματικής εργασίας ήταν η μελέτη κατολίσθησης Δυτικά του χωριού Τυμφορηστός, με τη χρήση μη επανδρωμένου αεροχήματος UAV. Σκοπός ήταν η αποτύπωση των ορίων της κατολίσθησης και η σύγκριση με το παρελθόν. Για το προσδιορισμό των απαραίτητων παραμέτρων πραγματοποιήθηκε μία πολυήμερη εργασία στην ύπαιθρο, όπου εκεί πραγματοποιήθηκε υπαίθρια αποτύπωση της κατολίσθησης, ταυτόχρονα και μετρήσεις με τη χρήση μη επανδρωμένου αεροχήματος UAV.

Η κατολίσθηση που μελετήθηκε αποτελείται από πολλές μικρότερες σε μέγεθος ολισθήσεις. Η κύρια κατολίσθηση είναι συνδυασμός διάφορων τύπων μετακινήσεων. Είναι ενεργή και έχει πολύ μεγάλη έκταση σε μήκος και σε πλάτος και γι' αυτό ανήκει στην κατηγορία των μεγάλων κατολισθήσεων κλίμακας φυσικού πρανούς (πλαγιάς). Επιπλέον, η κατολίσθηση είναι συνδυασμός διάφορων τύπων μετακινήσεων, δηλαδή σε ορισμένες θέσεις εμφανίζει περιστροφικό χαρακτήρα, ενώ σε άλλες παρουσιάζει ροές υλικών, είτε ψαμμιτικών είτε κορημάτων.

Τα υλικά κατολίσθησης είναι αργιλικής φύσης και προέρχονται από το φλυσχικό υπόβαθρο της περιοχής. Λόγω της έντονης διάτμησης αλλά και βαρυτικής κίνησης από την κατολίσθηση ο Ιλυόλιθος ή Αργιλικός σχιστόλιθος έχει φυλλοποιηθεί πλήρως και σε αρκετές θέσεις έχει αργιλοποιηθεί. Πολλές φορές στις γεωτρήσεις περιγράφεται ως Αργιλικός σχιστόλιθος και χαρακτηρίζεται ως υπόβαθρο, ενώ δεν είναι καθόλου σαφής ο διαχωρισμός του υποβάθρου μίας τέτοιας μεγάλης κατολίσθησης. Αν θεωρηθεί ότι ο σχηματισμός αυτός ότι είναι στη θέση του, επειδή έχει μεγάλη έκταση σχεδόν σε όλες τις γεωτρήσεις, τότε από τη στιγμή που είναι εντελώς διαταραγμένος, δεν έχει καθόλου δομή και έχει φυλλοποιηθεί, ο δείκτης γεωλογικής αντοχής (GSI) του θα είναι πολύ χαμηλός, δηλαδή θα έχει τιμή ανάμεσα στο 10-20. Η συμπεριφορά αυτής της ζώνης υπό ορισμένες συνθήκες (περιοδική υγρασία και ξήρανση), είναι παρόμοια με τη συμπεριφορά ενός χαλαρού γαιώδους υλικού.

Η επεξεργασία των δεδομένων, που παράχθηκαν από το UAV, έγινε σε ειδικά λογισμικά και είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ψηφιακών μοντέλων εδάφους (DEM) και τη δημιουργία ορθομωσαϊκών μέσω της φωτογραμμετρίας, δηλαδή την αλληλοεπικάλυψη των αεροφωτογραφιών. Η έντονη και η πυκνή βλάστηση της περιοχής αποτέλεσαν ανασταλτικούς παράγοντες στη δημιουργία τρισδιάστου μοντέλου της κατολίσθησης. Για το λόγο αυτό συνδυάστηκαν τα δεδομένα του UAV μαζί με την υπαίθρια αποτύπωση για να τοποθετηθούν τα όρια της κατολίσθησης στο Google Earth.

Επιπλέον, υπήρξε η δυνατότητα πρόσβασης σε μελέτες της κατολίσθησης που έγιναν το 1996 και το 1999. Αυτές περιλάμβαναν τα μητρώα των γεωτρήσεων, που πραγματοποιήθηκαν εκείνη τη χρονική περίοδο, μαζί με εργαστηριακές δοκιμές και χάρτες που έδειχναν τα όρια της κατολίσθησης. Με τα δεδομένα που υπήρχαν βγήκε



το συμπέρασμα ότι το βάθος των κατολισθημένων υλικών είναι σχετικά μεγάλο και κυμαίνεται από 8 έως 25 m.

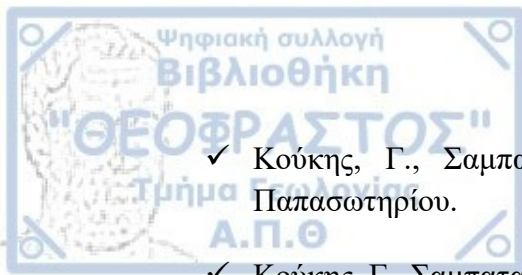
Στη συνέχεια, έγινε σύγκριση των ορίων της κατολίσθησης όπως ήταν στο παρελθόν σε σχέση με την υπαίθρια αποτύπωση που έγινε στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας. Το αποτέλεσμα της σύγκρισης ήταν ότι η έκταση των ολισθημένων υλικών με το πέρασμα του χρόνου γίνεται πολύ μεγαλύτερη ως προς το μήκος και το πλάτος της.

Τέλος, σχεδιάστηκαν γεωλογικές τομές με βάση των αποτελεσμάτων των γεωτρήσεων και επίσης, δημιουργήθηκε ένας χάρτης στο GIS με τα όρια της κατολίσθησης μαζί με φωτογραφίες από την υπαίθρια αποτύπωση.

Βιβλιογραφία

Ελληνική:

- ✓ Μαλδέρος, Γ., Κωνσταντινίδης, Π., Ζαρκούδης, Μ., Παρασχούδης, Β., ΕΔΑΦΟΣ Ε.Π.Ε. (1996). "Γεωτεχνική Έρευνα και Μελέτη Ανατολικής Πρόσβασης Σήραγγας Τυμφρηστού".
- ✓ Μαλδέρος, Γ., Κωνσταντινίδης, Π., Ζαρκούδης, Μ., Παρασχούδης, Β., ΕΔΑΦΟΣ Ε.Π.Ε. (1999). "Γεωλογικής Έκθεση Ανατολικής Πρόσβασης Σήραγγας Τυμφρηστού".
- ✓ Μαλδέρος, Γ., Κωνσταντινίδης, Π., Ζαρκούδης, Μ., Παρασχούδης, Β., ΕΔΑΦΟΣ Ε.Π.Ε. (1999). "Γεωτεχνική Έρευνα Περιοχών Κατολίσθησης που αφορούν στις Λύσεις 2 και 4 και Μελέτη Ανατολικής Πρόσβασης Σήραγγας Τυμφρηστού".



- ✓ Κούκης, Γ., Σαμπατακάκης, Ν. (2002). "Τεχνική Γεωλογία". Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
- ✓ Κούκης, Γ., Σαμπατακάκης, Ν. (2007). "Γεωλογία Τεχνικών Έργων". Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
- ✓ Μαρίνος, Β. (2007). "Δείκτης Γεωλογικής Αντοχής (GSI) σε ετερογενείς βραχομάζες, όπως ο φλύσχης".
- ✓ Μαρίνος, Β. (2011). Παρουσιάσεις μαθήματος "Γεωλογικές και Περιβαλλοντικές Μελέτες Τεχνικών Έργων".
- ✓ Μουντράκης, Δ. (2010). "Γεωλογία και Γεωτεχνική εξέλιξη της Ελλάδας". Εκδόσεις University Studio Press.
- ✓ Χρηστάρας, Β., Μαρίνος, Β. (2015). Παρουσιάσεις μαθήματος "Τεχνικής Γεωλογίας".

Αγγλική:

- ✓ Cruden, D.M., Varnes, D.J. (1996). "Landslides Types and Processes". In Turner AK, Schuster RL (eds) Landslides Investigation And Mitigation, Spec. Rep. 247, Transportation Research Board, National Research Council, Washington , pp. 36-75.
- ✓ Colomina, I., Molina, P. (2014). "Unmanned Aerial Systems for Photogrammetry and Remote Sensing: A Review". *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 92 (2014): 79–97.
- ✓ Lucieer, A, Steven M.J. and Darren T. (2014). "Mapping Landslide Displacements Using Structure from Motion (SfM) and Image Correlation of Multi-Temporal UAV Photography". *Progress in Physical Geography* 2014, Vol. 38(1): 97–116.
- ✓ Varnes, D.J (1958). "Landslide Types and Processes". In Special Report 29: Landslides and Engineering Practice (E.B Eckel, ed.), HRB, National Research Council, Washington D.C., pp. 20-47.
- ✓ Varnes, D.J. (1978). "Slopes Movement Types and Processes". In Special Report 176 Landslides: Analysis and Control (R.L Schuster and R.J Krizek, edss.), TRB, National Research Council, Washington D.C., pp. 12-33.