



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:
ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ UAV ΚΑΙ LIDAR,
ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ
ΔΙΑΤΜΗΜΕΝΟΥ ΦΛΥΣΧΗ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΟΛΙ ΓΡΕΒΕΝΩΝ

ΚΥΡΙΑΚΙΔΟΥ ANNA
ΑΕΜ:4998



Επιβλέποντες:
Βασίλειος Μαρίνος, Επίκουρος Καθηγητής
Δρ. Θωμάς Μακεδών, (ΕΔΙΠ)
Δρ. Γεώργιος Παπαθανασίου, (ΕΔΙΠ)

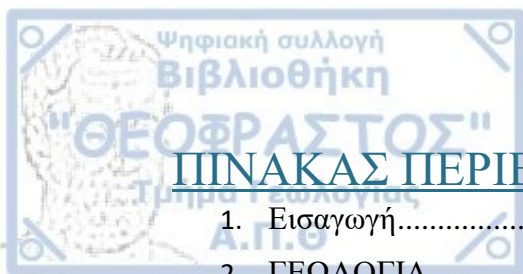


Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ LIDAR ΚΑΙ
UAV ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΠΙΝΔΟΥ (ΠΕΡΙΒΟΛΙ, Ν. ΓΡΕΒΕΝΩΝ)

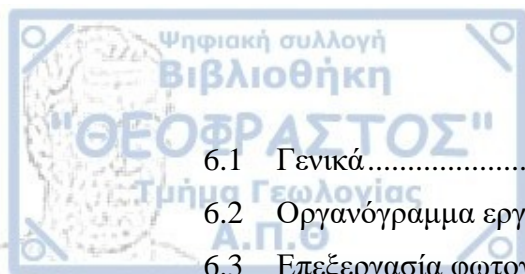
Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται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

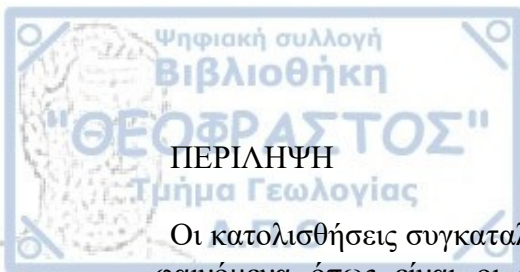


ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. Εισαγωγή.....	7
2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	9
2.1 Γενικά.....	9
2.2 Λιθοστρωματογραφία της περιοχής.....	9
2.3 Σεισμική επικινδυνότητα της περιοχής μελέτης	12
2.4 Μικροκλίμα της περιοχής μελέτης.....	14
3. ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ.....	16
3.1 Γενικά.....	16
3.2 Ορισμοί και συστήματα ταξινόμησης των κατολισθήσεων.....	16
3.2.1 Ορισμοί κατολισθήσεων	16
3.2.2 Ταξινομήσεις κατολισθήσεων	16
3.3 Παραδείγματα κατολισθήσεων σε υλικά όμοια της περιοχής εφαρμογής....	20
3.3.1 Παράδειγμα κατολισθήσεων σε περιβάλλον φλύσχη.....	20
4. ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ.....	23
4.1 Τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά φλύσχη	23
4.2 Τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά οφιολιθικού συμπλέγματος.....	27
5. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ LIDAR.....	30
5.1 Γενικά.....	30
5.2 Τύποι δεκτών (Sensors) LiDAR.....	30
5.2.1 Time of flight sensor.....	31
5.2.2 Phase offset sensor.....	31
5.3 Δεδομένα συστημάτων LiDAR.....	32
5.3.1 Point data (XYZ)	32
5.3.2 Point data (XYZI).....	32
5.3.3 Point data (XYZRGB).....	32
5.4 Η χρήση του LiDAR στις κατολισθήσεις	32
5.4.1 Ανίχνευση και χαρακτηρισμός κατολισθήσεων	33
5.4.2 Αξιολόγηση της πιθανότητας και χαρτογράφηση ευαισθησίας	33
5.4.3 Μοντελοποίηση κατολισθήσεων	33
5.5 Παράδειγμα μελέτης κατολισθήσεων με τη μέθοδο LiDAR	34
6. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ UAV.....	38



6.1	Γενικά.....	38
6.2	Οργανόγραμμα εργασιών και λήψη δεδομένων μέσω UAV	39
6.3	Επεξεργασία φωτογραμμετρικών δεδομένων	40
6.4	Η χρήση των UAVs στην μελέτη των κατολισθήσεων.....	40
7.	ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	41
7.1	Γενικά.....	41
7.2	Συμπεράσματα γεωλογικής παρατήρησης στην ύπαιθρο	41
7.3	Αποτελέσματα χρήσης του UAV στην περιοχή μελέτης.....	46
7.4	Συσχέτιση των δεδομένων του UAV με την γεωλογική παρατήρηση στην ύπαιθρο.....	50
7.5	Μητρώα κατολισθήσεων.....	54
7.6	Παρατηρήσεις και περιγραφή των κατολισθήσεων	65
7.6.1	Κατολίσθηση Ls_Per1	65
7.6.2	Κατολίσθηση Ls_Per2	67
7.6.3	Κατολίσθηση Ls_Per3	67
7.6.4	Κατολίσθηση Ls_Per4	67
7.6.5	Κατολίσθηση Ls_Per5 και Ls_Per6.....	68
7.6.6	Κατολίσθηση Ls_Per7	70
7.6.7	Κατολισθήσεις Ls_Per8, Ls_Per9 και Ls_Per10.....	72
8.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ – ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ	73
8.1	Ανάλυση ευστάθειας της Ls_Per7	73
9.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	77
10.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	78



Οι κατολισθήσεις συγκαταλέγονται στις φυσικές καταστροφές, μαζί με άλλα φυσικά φαινόμενα όπως είναι οι ηφαιστειακές εκρήξεις, οι σεισμοί και οι πλημμύρες. Δυστυχώς πολλές φορές επιφέρουν σοβαρό κοινωνικοοικονομικό αντίκτυπο όπως την απώλεια υλικών αγαθών και περιουσιών και την δυσχέρεια της καθημερινότητας με την απώλεια υπηρεσιών όπως η ύδρευση, ο ηλεκτρισμός και η κυκλοφορία στα οδικά δίκτυα έστω και για μικρά χρονικά διαστήματα και ακόμη χειρότερα με την απώλεια ανθρώπινων ζώων. Οι κατολισθήσεις όμως σε αντίθεση με τις υπόλοιπες φυσικές καταστροφές είναι ένα φαινόμενο πιο προβλέψιμο, ελέγξιμο και αντιμετωπίσιμο με μόνη προϋπόθεση την σωστή μελέτη εκ των προτέρων των πιο επιδεκτικών σε κατολισθήσεις περιοχών και την άμεση δραστηριοποίηση για αντιστήριξή τους σε περίπτωση με σκοπό να προληφθούν οι πιθανές επερχόμενες δραστηριοποιήσεις τους.

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιείται την αποτύπωση κατολισθήσεων με την χρήση UAV και LiDAR, τεχνικογεωλογική αξιολόγηση και ανάλυση ευστάθειας σε περιβάλλον διατμημένου φλύσχη στο Περιβόλι Γρεβενών.

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του Τμήματος Γεωλογίας, του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης κατά το ακαδημαϊκό έτος 2016-2017.



ABSTRACT

Soil landslides include natural disasters, along with other natural phenomena such as volcanic eruptions, earthquakes and floods. Unfortunately, they often have a serious socio-economic impact such as the loss of material goods and property and the difficulty of everyday life with the loss of services such as water, electricity and traffic on roads even for short periods of time and even worse with the loss of human lives. However, landslides as opposed to other natural disasters are a more predictable, controllable and manageable phenomenon, with the sole precondition for proper pre-study of the most susceptible to landslide areas and immediate action to support them in case it is to prevent possible upcoming their activities.

This diploma thesis deals with the plotting of landslides with the use of UAV and LiDAR, technical geological evaluation and stability analysis in an environment of sheared flysch in Perivoli, Grevena in Northern Greece.

This diploma thesis was developed within the undergraduate program of the Department of Geology, Aristotle University of Thessaloniki in the academic year 2016-2017.

1. Εισαγωγή

Η περιοχή μελέτης γεωγραφικά βρίσκεται στο Περιβόλι Γρεβενών. Πρόκειται για ένα ορεινό χωρίο 45χλμ δυτικά της πόλης των Γρεβενών, στο όριο μεταξύ των γεωγραφικών διαμερισμάτων Μακεδονίας και Ηπείρου της Βορείου Ελλάδος.



Εικόνα 1.1 χάρτης της Ελλάδας με σημειωμένα τα γεωγραφικά σύνορα καθώς και την περιοχή μελέτης, Περιβόλι Γρεβενών. (Google Earth)

Η μελέτη περιλαμβάνει μια περιοχή που βρίσκεται πάνω στην επαρχιακή οδό Γρεβενών-Βοβούσας, στην οποία εμφανίζεται ένα πλήθος κατολισθήσεων, που περιλαμβάνει τόσο μικρές επιφανειακές ολισθήσεις αλλά και μεγαλύτερες, βαρύνουσας σημασίας ολισθήσεις.



Εικόνα 1.2 Η περιοχή μελέτης όπως αυτή φαίνεται στο Google Earth.

2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 Γενικά

Από γεωτεκτονικής άποψης η περιοχή μελέτης ανήκει στις Εξωτερικές Ελληνίδες και συγκεκριμένα στην ζώνη Ωλονού-Πίνδου. Η ζώνη αυτή ξεκινάει από τα ελληνοβουλγαρικά σύνορα, εκτείνεται σε όλη την οροσειρά της Πίνδου και καταλήγει στην Πελοπόννησο στο κεντρικό της τμήμα και μέχρι τις ακτές σχεδόν του Κυπαρισσιακού κόλπου. Τμήματα της ζώνης αυτής εμφανίζονται και στην Κρήτη και στην Ρόδο ακολουθώντας την κάμψη του Δυναροταυρικού τόξου, Α-Δ.

Η ζώνη της Πίνδου διαιρέθηκε από τον Aubouin (1959) σε τρεις υποζώνες:

- Υπερπινδική υποζώνη, που περιλαμβάνει τις ενότητες του Κόζιακα και των Θυμιανών
- Αξονική υποζώνη
- Εξωτερική Πίνδος

2.2 Λιθοστρωματογραφία της περιοχής

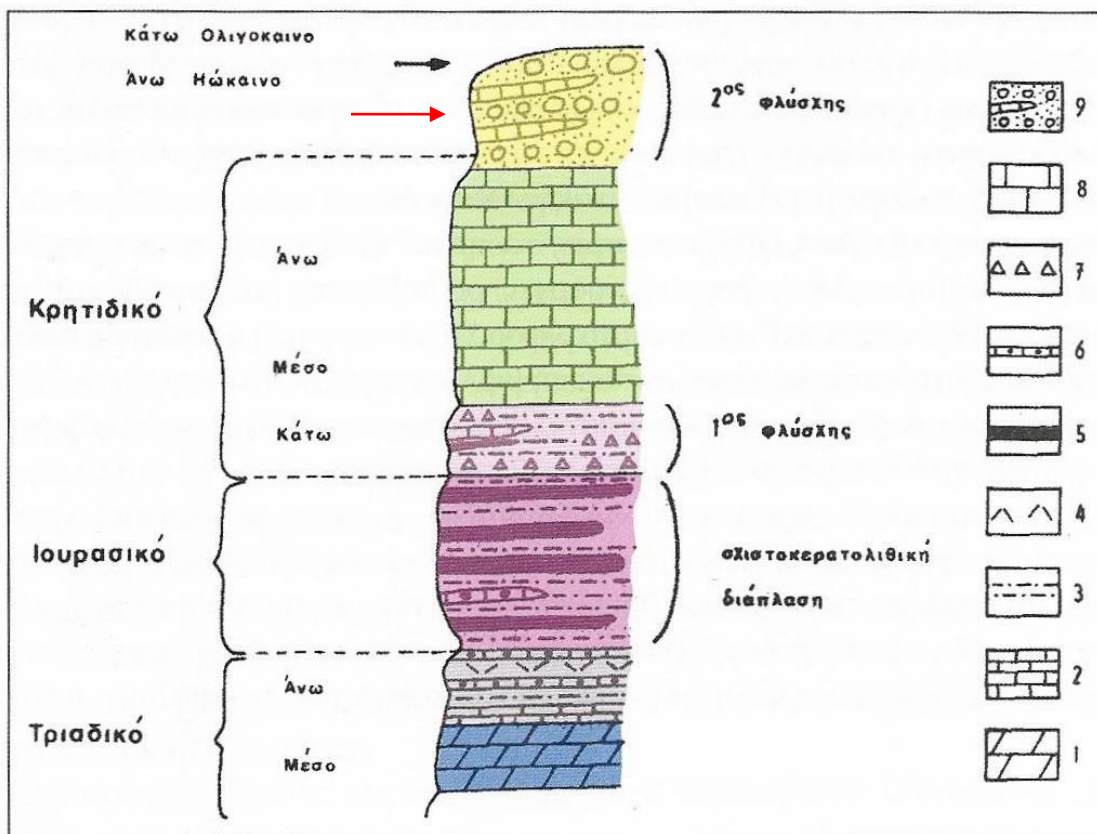
Τα πρώτα αλπικά ιζήματα στη ζώνη της Πίνδου είναι ηλικίας Μ-Α Τριαδικού. Αποτελούνται από κλαστικά ιζήματα, ψαμμίτες, μάργες, πυριτόλιθους, ασβεστόλιθους, παρεμβολές κερατόλιθων καθώς και ηφαιστειοϊζηματογενή υλικά με ανδεσίτες, τόφρους και κατά τόπους βασάλτες. Στα ασβεστολιθικά ιζήματα έχουν εντοπισθεί απολιθώματα *Halobia* sp. και κωνόδοντα.

Κατά το Ιουρασικό υπήρξε συνεχής ιζηματογένεση που δημιούργησε την σχιστοκερατολιθική διάπλαση πάχους 150-200μ. Πρόκειται για ιζήματα βαθιάς θάλασσας, αργίλους, ψαμμίτες, ραδιολαριτικούς κερατόλιθους, ιάσπιδες και πελαγικούς πυριτικούς ασβεστόλιθους. Μαζί με την σχιστοκερατολιθική διάπλαση εμφανίζονται κατά τόπους και οφειολιθικές μάζες.

Στο ανώτερο τμήμα της αυτή η διάπλαση αποτελείται από ρυθμικές εναλλαγές πηλιτών, μαργών, ψαμμιτών, ραδιολαρίτες και ασβεστόλιθους πελαγικούς και λατυποπαγείς. Η σειρά αυτή ονομάζεται «πρώτος φλύσχης Πίνδου».

Στο Άνω Κρητιδικό συνεχίζεται η ιζηματογένεση, συνολικού πάχους 500μ, με πελαγικούς ασβεστόλιθους με ενστρώσεις πυριτικές και ασβεστιτικές, τουρβιδίτες και μάργες.

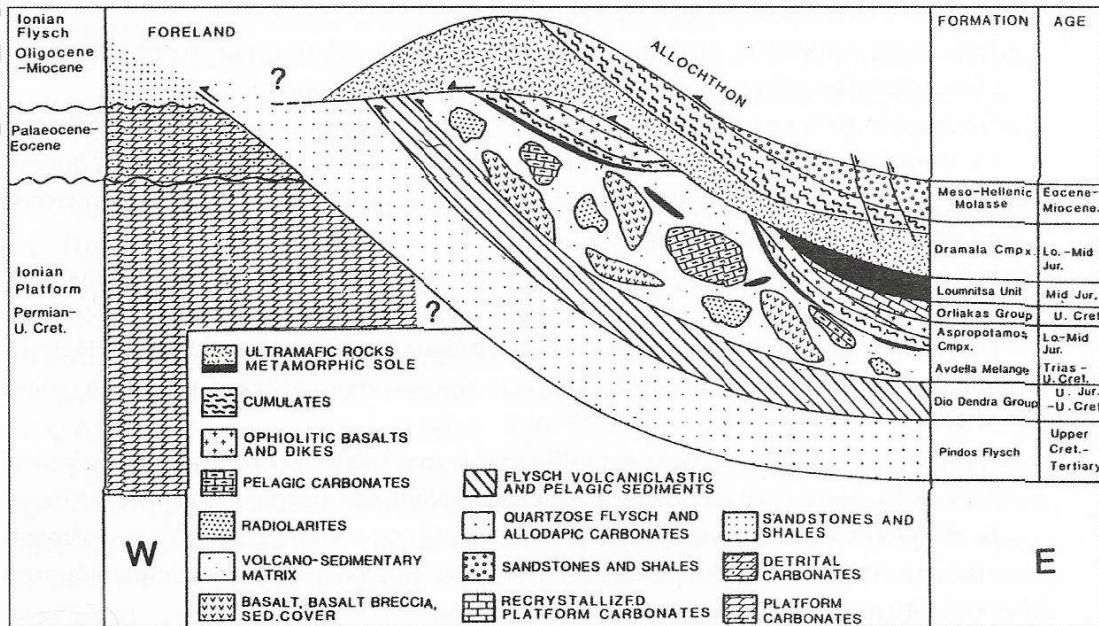
Τέλος ο «δεύτερος φλύσχης Πίνδου» άρχισε να αποτίθεται στο τέλος του Κρητιδικού (Μαιστρίχτιο - Δάνιο) και συνεχίστηκε μέχρι το Ηώκαινο. Αποτελείται κυρίως από αργιλοψαμμιτικά ιζήματα με ολισθόλιθους της ίδιας σύστασης. Κατά θέσεις, όπου ο φλύσχης έχει χαώδη δομή, αναφέρεται ως «άγριος φλύσχης».



Εικόνα 2.1 Λιθοστρωματογραφική στήλη της Ζώνης Ωλονού - Πίνδου. 1: Δολομίτες, 2: Πλακώδεις ασβεστόλιθοι, 3: Αργιλοσαμμίτες, 4: Ηφαιστειοϊζηματογενή υλικά, 5: Κερατόλιθοι, 6: Ασβεστόλιθοι με πυριτικές ενστρώσεις, 7: Άνω Κρητιδικοί ασβεστόλιθοι, 8: Τριτογενής φλύσχος (Δημόπουλος 2010). Με κόκκινο βέλος προσδιορίζονται τα υλικά της περιοχής μελέτης.

Με το τέλος της ιζηματογένεσης, στην περιοχή του Κόζιακα και στην Ήπειρο, βρίσκονται τεκτονικά τοποθετημένες πάνω στον Τριτογενή φλύσχη δύο οφειολιθικές μάζες, με πιθανή προέλευση από την Υποπελαγονική ζώνη. Είναι πιθανόν Ιουρασικής ηλικίας με υπερβασική κυρίως σύσταση.

Το mélange της Αβδέλας, το οποίο επίσης συναντάται στην περιοχή, περιλαμβάνει ιζήματα βαθιάς θάλασσας, πελαγικούς ασβεστόλιθους, κερατόλιθους καθώς και βασάλτες και ελαφρά μεταμορφωμένα μπλοκ, μέγιστου πάχους 1000 μ. Τα μπλοκ αυτά προέρχονται από την ανώτερη ενότητα της Λουμνίτσας η οποία αποτελεί την αμφιβολιτική σόλα της επώθησης, HP/LT βαθμού μεταμόρφωσης, με τους μαρμαρυγικούς σχιστόλιθους, μάρμαρα, χαλαζίτες, αμφιβολίτες και μεταβασίτες.



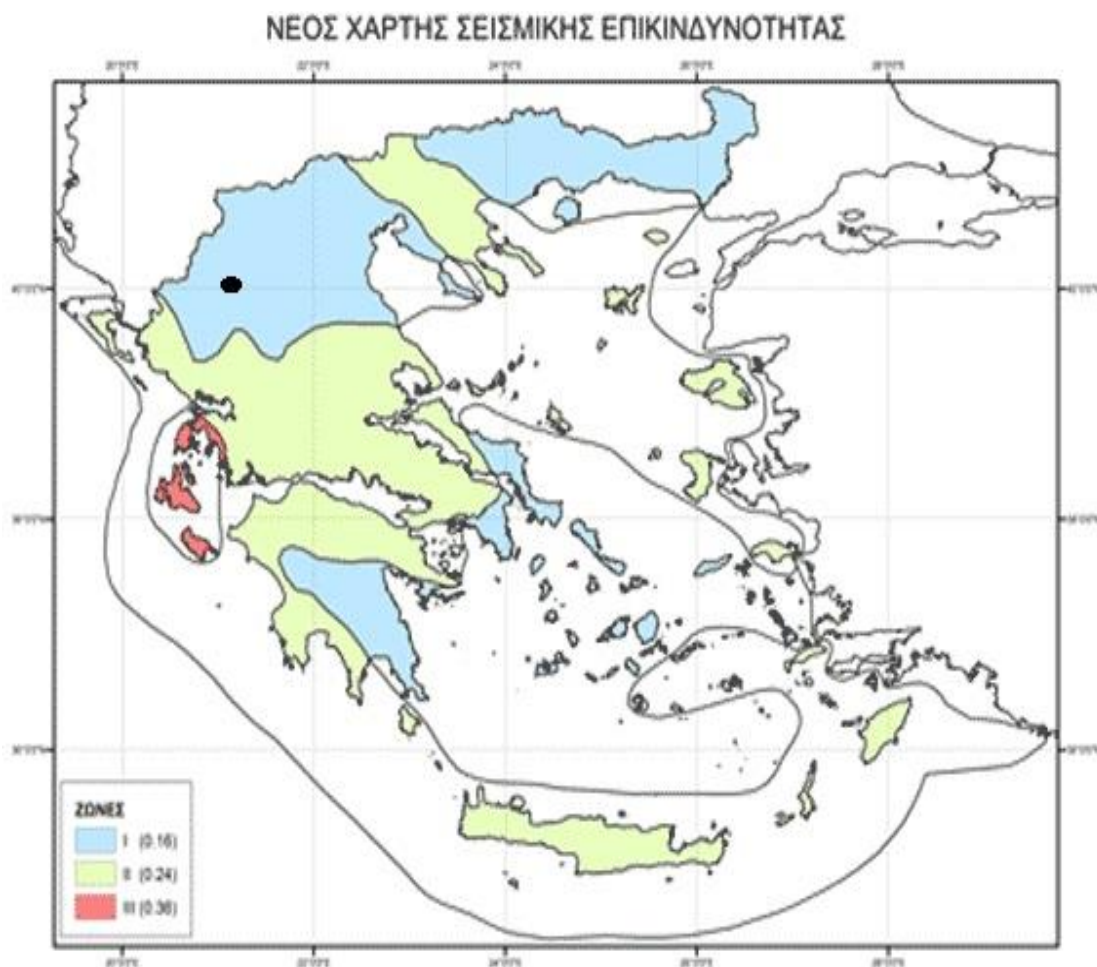
Εικόνα 2.2 Σκαριφηματική απεικόνιση της τοποθέτησης της οφειολιθικής μάζας της Πίνδου στον Τριτογενή φλύσχη και την σύνθεση των οφειολίθων και των συνοδών ιζημάτων. (Jones & Robertson 1991)



Εικόνα 2.3 Τοπική εικόνα του φλύσχη της περιοχής μελέτης.

2.3 Σεισμική επικινδυνότητα της περιοχής μελέτης

Ο ελληνικός χώρος υποδιαιρείται σε τρεις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας έπειτα από τις τελευταίες τροποποιήσεις που έγιναν το 2003. Οι ζώνες αυτές φαίνονται στον Χάρτη 1.1 όπου και με μαύρο εντοπίζεται η περιοχή μελέτης. Η πρώτη ζώνη, στην οποία υπάγεται η περιοχή μελέτης, έχει τιμή ενεργής επιτάχυνσης σχεδιασμού 0,16g. Η δεύτερη ζώνη έχει τιμή 0,24g και τέλος η τρίτη ζώνη έχει τιμή επιτάχυνσης σχεδιασμού 0,36g. Συνεπώς η περιοχή μελέτης βρίσκεται στην ζώνη με την μικρότερη τιμή ενεργής επιτάχυνσης σχεδιασμού.

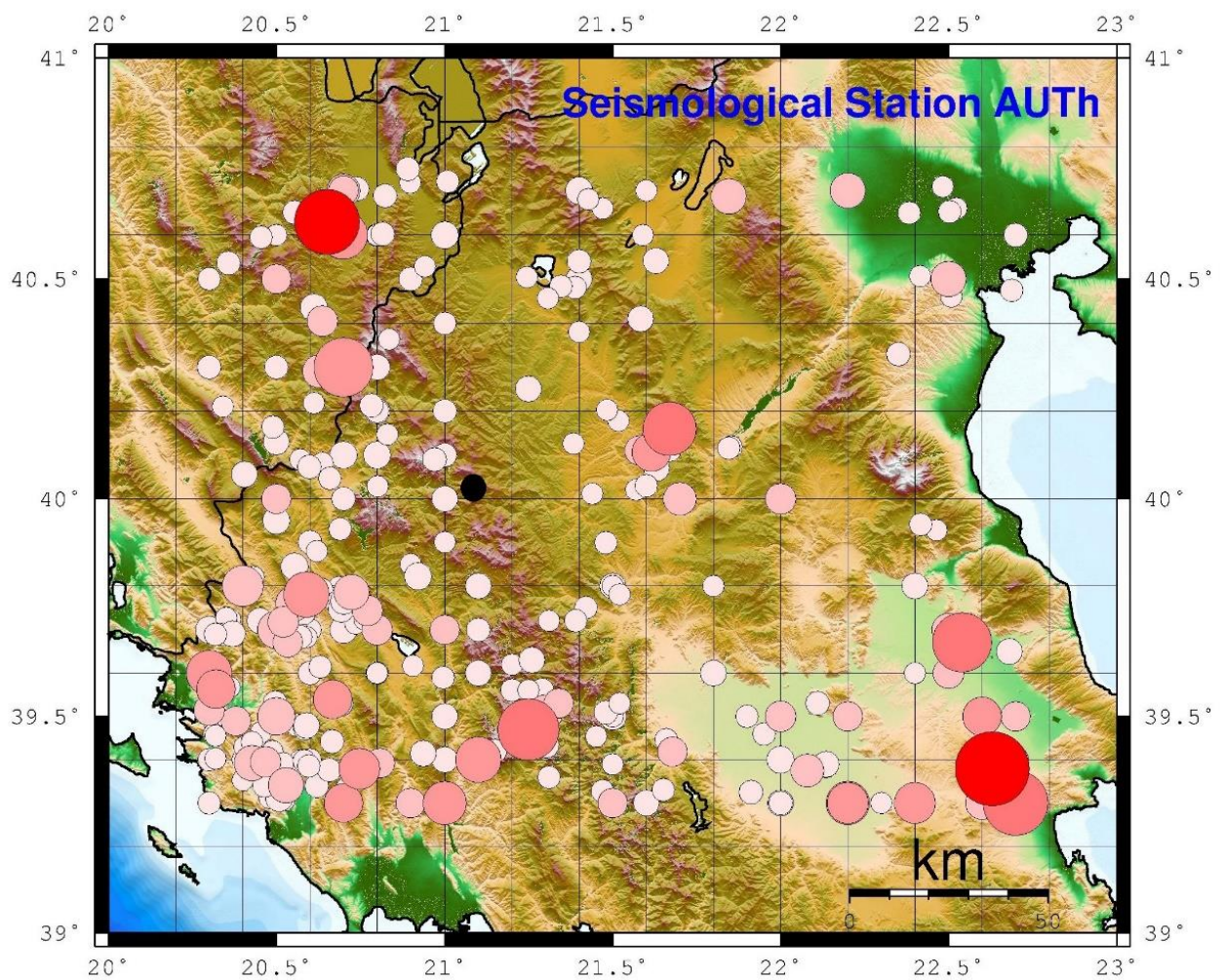
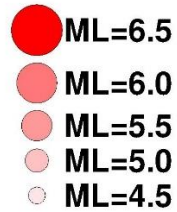


Χάρτης 2.1 Χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας (2003) Με τη μαύρη κουκίδα εντοπίζεται η περιοχή μελέτης www.oasp.gr

Στον Χάρτη 1.2 που δίνεται στη συνέχεια απεικονίζονται τα επίκεντρα ενδεικτικών σεισμών από το 1900 έως και το 2016 με $M \geq 4,5$. Με τη μαύρη κουκίδα εντοπίζεται η περιοχή μελέτης.

Ο μεγαλύτερος σεισμός που έχει καταγραφεί στην περιοχή σε αυτό το χρονικό διάστημα ήταν στο Βελεστίνο το 1957 με $M=6,8$.

**GREVENA region seismicity
for period
1900-2016**

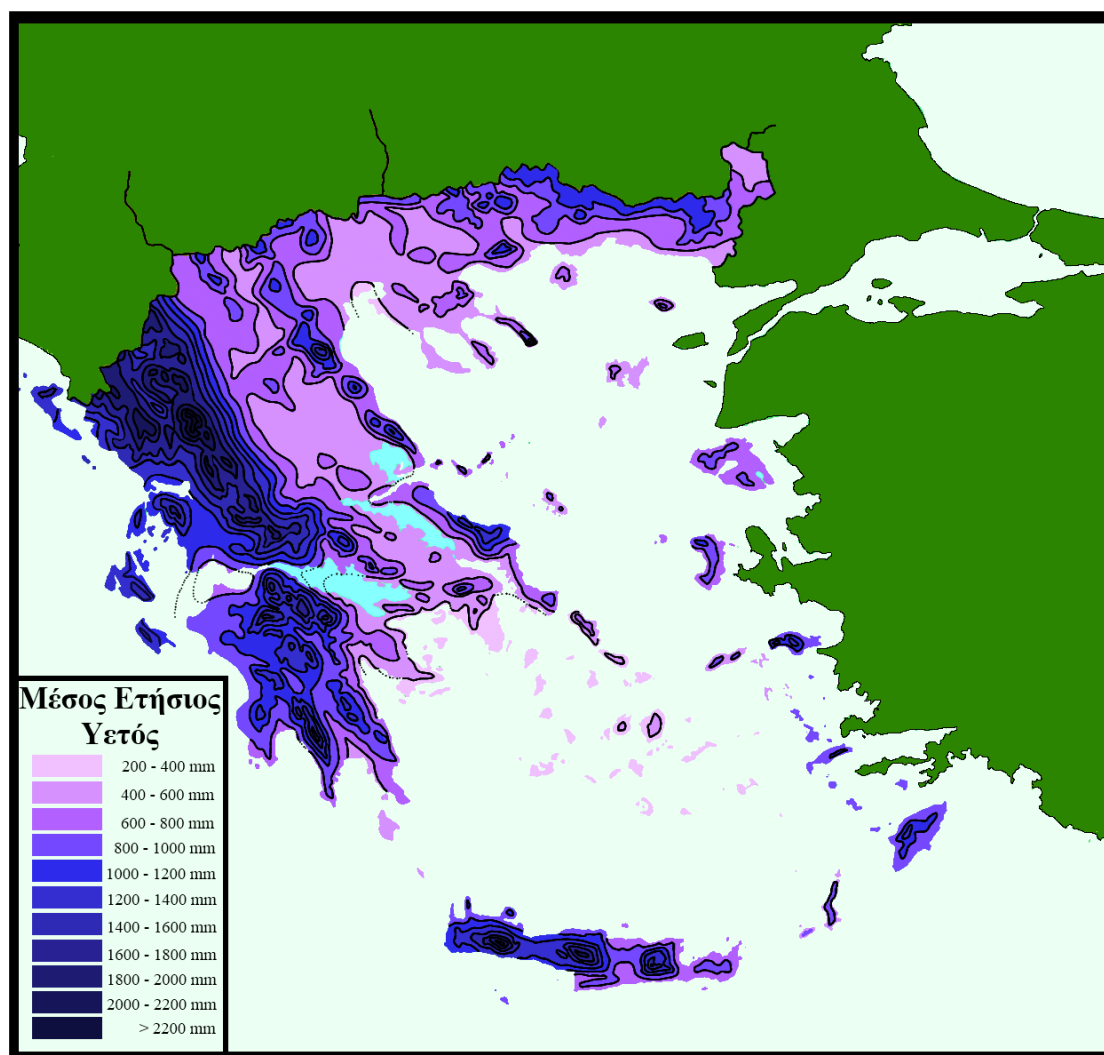


Χάρτης 2.2 Επίκεντρα σεισμών με $M \geq 4,5$ κατά το διάστημα 1900-2016 Με τη μαύρη κουκίδα εντοπίζεται η περιοχή μελέτης. (Permanent Regional Seismological Network operated by the Aristotle University of Thessaloniki, Papazachos, C., 2010)

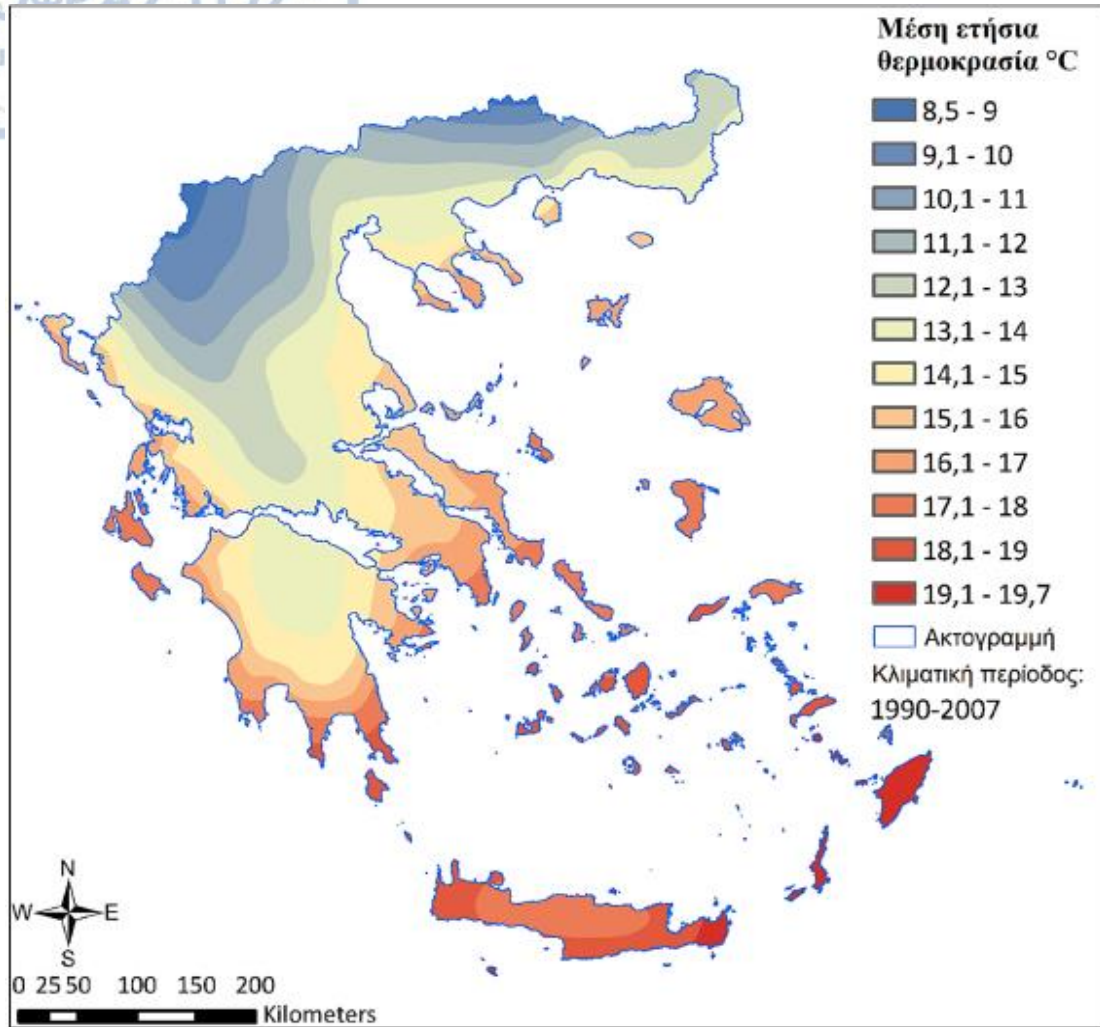
2.4 Μικροκλίμα της περιοχής μελέτης

Η περιοχή μελέτης όπως αναφέρθηκε ανήκει στον νομό Γρεβενών. Περικλεισμένος όπως είναι Δυτικά, Νότια και Ανατολικά από βουνά, με μεγάλα υψόμετρα που κυμαίνονται από 1300m-2180m, στο κέντρο της ηπειρωτικής Ελλάδας, ο νομός Γρεβενών έχει κλίμα ηπειρωτικό με μεγάλες θερμομετρικές διαφορές μεταξύ χειμώνα και καλοκαιριού. Θεωρείται από τις ψυχρότερες περιοχές της Ελλάδας. Οι βροχοπτώσεις είναι πολύ υψηλές στη βόρεια Πίνδο (1.800mm) είναι λιγότερες στη λοιπή ορεινή ζώνη (1.400mm) και στις χαμηλότερες περιοχές (600-800mm).

Παρακάτω δίνεται ένας βροχομετρικός χάρτης κι ένας θερμοκρασιακός χάρτης της Ελλάδας.



Χάρτης 2.3 Βροχομετρικός Χάρτης της Ελλάδας που απεικονίζει τον μέσο ετήσιο νετό σε mm. www.meteoclub.gr



Χάρτης 2.4 Θερμοκρασιακός Χάρτης της Ελλάδας που απεικονίζει τη μέση ετήσια θερμοκρασία σε °C. www.meteoclub.gr

3 ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ

3.1 Γενικά

Οι κατολισθήσεις είναι φαινόμενα τα οποία με την δράση τους επηρεάζουν το ανάγλυφο της επιφάνειας της γης είτε με μεγάλα ραγδαία επεισόδια είτε με άλλα μικρότερης έντασης αλλά μεγαλύτερης διάρκειας. Η εκδήλωσή τους επηρεάζεται κυρίως από εξωγενείς παράγοντες οι οποίοι διαβρώνουν τα πετρώματα και μειώνουν τις μηχανικές αντοχές τους διαβρώνοντας και αποσαθρώνοντάς τα. Τέτοιους παράγοντες αποτελούν το επιφανειακό και υπόγειο νερό και ο αέρας. Ακόμη στην πρόκληση κατολισθήσεων μπορεί να οδηγήσει η δράση σεισμών οι οποίοι διαταράσσουν την ισορροπία μιας μάζας εδάφους ή βράχου.

3.2 Ορισμοί και συστήματα ταξινόμησης των κατολισθήσεων

3.2.1 Ορισμοί κατολισθήσεων

Η πρώτη χρήση του όρου «κατολίσθηση» εμφανίστηκε το 1838 (Gruden 2003) και έκτοτε έχει καθιερωθεί από την επιστημονική κοινότητα. Έχει δοθεί πληθώρα ορισμών από διάφορους ερευνητές για το φαινόμενο των κατολισθήσεων. Ορισμένοι από αυτούς παρατίθενται παρακάτω.

Ο Sharpe (1938) ορίζει ως κατολίσθηση μια αντιληπτή προς τα κάτω ολίσθηση ή πτώση μιας σχετικά στεγνής μάζας εδάφους ή πετρώματος ή συνδυασμό και των δυο.

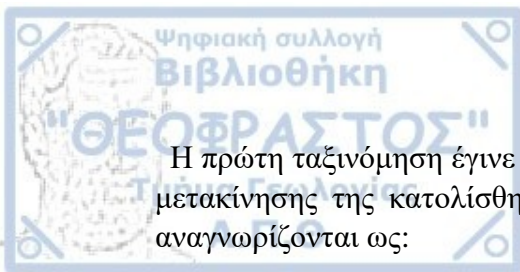
Ο Terzaghi (1950) όρισε ως κατολίσθηση μία γρήγορη κίνηση μάζας πετρώματος, εναπομένοντος εδάφους ή ιζήματος ενός πρανούς, της οποίας το κέντρο μετακινείται προς τα κάτω και προς τα έξω.

Ο Varnes (1958) ορίζει ως κατολίσθηση μία προς τα κάτω και προς τα πλάγια κίνηση ενός πρανούς και του υλικού του, το οποίο είναι ή βράχος ή έδαφος ή ο συνδυασμός αυτών.

3.2.2 Ταξινομήσεις κατολισθήσεων

Όπως με τους ορισμούς έτσι και με την ταξινόμηση των κατολισθήσεων έχουν ασχοληθεί διάφοροι ερευνητές. Η δυσκολία στην ταξινόμησή τους έγκειται στην πολυπλοκότητα των διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα και στον συνδυασμό των παραγόντων που επιδρούν κατά περίπτωση. Αυτοί οι παράγοντες είναι το γεωλογικό υπόβαθρο, η μορφολογία της περιοχής, η γεωμετρία του πρανούς, ο τύπος της μετακίνησης και το αίτιο αυτής. Οι διάφορες ταξινομήσεις δίνουν έμφαση σε κάποιον ή κάποιους από τους παράγοντες που αναφέρθηκαν. Όπως είναι φυσικό οι πληρέστερες ταξινομήσεις είναι αυτές που περιλαμβάνουν τους περισσότερους παράγοντες.

Παρακάτω αναφέρονται ενδεικτικά ορισμένα συστήματα ταξινόμησης.



Η πρώτη ταξινόμηση έγινε από τον Dana το 1862 και ήταν βασισμένη στον τύπο της μετακίνησης της κατολίθησης. Περιείχε τρεις κύριες κατηγορίες οι οποίες πλέον αναγνωρίζονται ως:

- Ροές συνθριμμάτων
- Εδαφικές εξαπλώσεις και
- Ολισθήσεις βράχων

Ο Erskine (1973) ταξινόμησε τις κατολισθήσεις με βάση την ενεργότητά τους σε:

- Σταθεροποιημένες κατολισθήσεις
- Πρόσφατα ενεργές
- Κατολισθήσεις που έδρασαν πρόσφατα έπειτα από μια περίοδο σταθεροποίησης και
- Ενεργές κατολισθήσεις

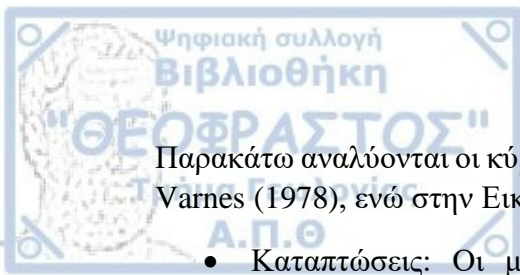
Τα πιο αναγνωρισμένα συστήματα ταξινόμησης είναι του Sharpe (1938) και του Varnes (1978) τα οποία και τα δύο βασίζονται στον τύπο και την ταχύτητα της μετακίνησης, τον τύπο υλικού και την περιεχόμενη υγρασία.

3.2.2.1 Σύστημα ταξινόμησης κατολισθήσεων κατά Varnes (1978)

Ο Varnes το 1978 ταξινόμησε τις κατολισθήσεις με βάση τον τύπο της μετακίνησης και έπειτα διαιρέθηκαν με βάση τον τύπο του υλικού του οποίου κατολίθησε. Έπειτα από ορισμένες τροποποιήσεις το σύστημα πήρε την τελική του μορφή που παρατίθεται στον Πίνακα 2.1 και έκτοτε αποτελεί το πιο διαδεδομένο σύστημα ταξινόμησης με ευρεία αναγνώριση και χρήση.


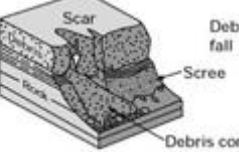
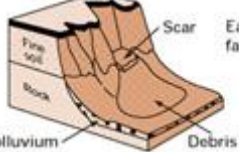
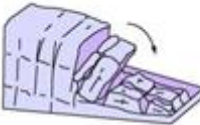
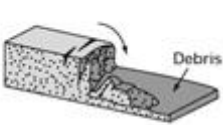

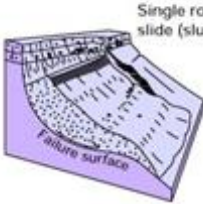
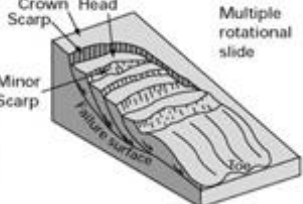
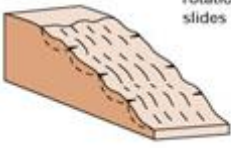
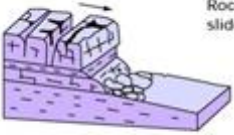
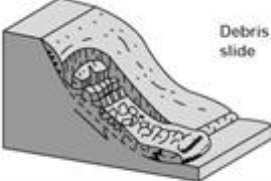
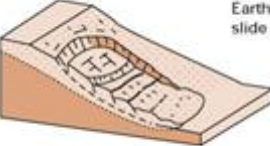
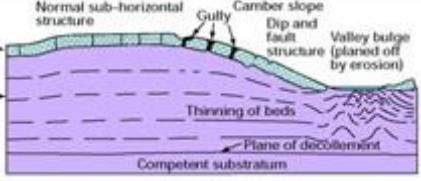

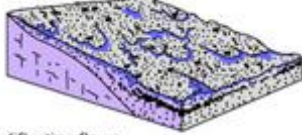



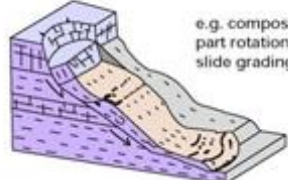
Τύπος μετακίνησης	Τύπος υλικού		
	Υπόβαθρο	Έδαφος	
		Χονδρόκοκκα	Λεπτόκοκκα
Καταπτώσεις	Καταπτώσεις βράχων	Καταπτώσεις κορημάτων	Καταπτώσεις γαιών
Ανατροπές	Ανατροπές βράχων	Ανατροπές κορημάτων	Ανατροπές γαιών
Ολισθήσεις	Περιστροφικές	Ολίσθηση βράχων	Ολίσθηση γαιών
	Μεταθετικές	Ολίσθηση βράχων	Ολίσθηση γαιών
Πλευρικές εξαπλώσεις	Βράχων	Κορημάτων	Γαιών
Ροές	Ροή βράχων	Ροή κορημάτων	Ροή γαιών
Σύνθετες	Συνδυασμός δύο ή περισσότερων κύριων τύπων μετακίνησης.		

Πίνακας 3.1 Ταξινόμηση των κατολισθήσεων κατά Varnes 1978



Παρακάτω αναλύονται οι κύριοι τύποι ολισθήσεων όπως αυτοί ταξινομήθηκαν από τον Varnes (1978), ενώ στην Εικόνα 2.1 δίνεται η σχηματική απεικόνιση αυτών:

- **Καταπτώσεις:** Οι μάζες αποσπώνται από απότομες κλίσεις κατά μήκος επιφανειών με μικρή ή και καθόλου διατμητική μετακίνηση και κατέρχονται κυρίως μέσω του αέρα με ελεύθερη πτώση, αναπήδηση ή κύλιση.
- **Ανατροπές:** Οι μάζες κινούνται προς τα εμπρός γύρω από ένα σημείο περιστροφής.
- **Περιστροφικές ολισθήσεις:** Οι μάζες ολισθαίνουν προς τα έξω και προς τα κάτω πάνω σε μία ή περισσότερες επιφάνειες αστοχίας, κοίλες προς τα πάνω, οι οποίες προσδίδουν μία προς τα πίσω κλίση στην ολισθαίνουσα μάζα, η οποία βυθίζεται προς τα πίσω και ανυψώνεται στο πόδι της κατολίσθησης.
- **Μεταθετικές ολισθήσεις:** Κινήσεις που λαμβάνουν χώρα κατά μήκος επίπεδων επιφανειών αστοχίας παράλληλες ή υποπαράλληλες στην κλίση του πρανούς.
- **Πλευρικές εξαπλώσεις:** Περιλαμβάνουν την θραύση και την πλευρική εξάπλωση συμπαγούς βράχου ή εδάφους εξαιτίας της πλαστικής ροής ή ρευστοποίησης του υποκείμενου υλικού.
- **Ροές:** Αργές έως ταχείες κινήσεις κορεσμένων ή και ξηρών υλικών τα οποία προωθούνται ρέοντας σαν παχύρευστο υγρό, συνήθως μετά από μια αρχική κίνηση ολίσθησης. Ορισμένες ροές μπορεί να οριοθετούνται από βασικές και οριακές επιφάνειες διάρρηξης αλλά η κυρίαρχη κίνηση του κατολισθέντος υλικού είναι από ροή.
- **Σύνθετες:** Μια σύνθετη ολίσθηση μιας μάζας αποτελείται από έναν κυρίαρχο τύπο ολίσθησης σε συνδυασμό με έναν ή περισσότερους από τους υπόλοιπους κύριους τύπους ολισθήσεων.

Material		ROCK	DEBRIS	EARTH
Movement type				
FALLS		 Rock fall	 Debris fall Scree Debris cone	 Earth fall Fine soil Scar Colluvium Debris cone
		 Rock topple	 Debris topple Debris cone	 Earth topple Cracks Debris cone
SLIDES	Rotational	 Single rotational slide (slump) Failure surface	 Multiple rotational slide Crown Scarp Head Minor Scarp Failure surface	 Successive rotational slides
	Translational (Planar)	 Rock slide	 Debris slide	 Earth slide
SPREADS				 Earth spread e.g. cambering and valley bulging
FLOWS	 Solifluction flows (Periglacial debris flows)		 Debris flow	 Earth flow (mud flow)
COMPLEX	 e.g. Slump-earthflow with rockfall debris		 e.g. composite, non-circular part rotational/part translational slide grading to earthflow at toe	

Εικόνα 3.1 Σχηματική απεικόνιση του συστήματος ταξινόμησης κατολισθήσεων κατά Varnes (1978) www.bgs.ac.uk

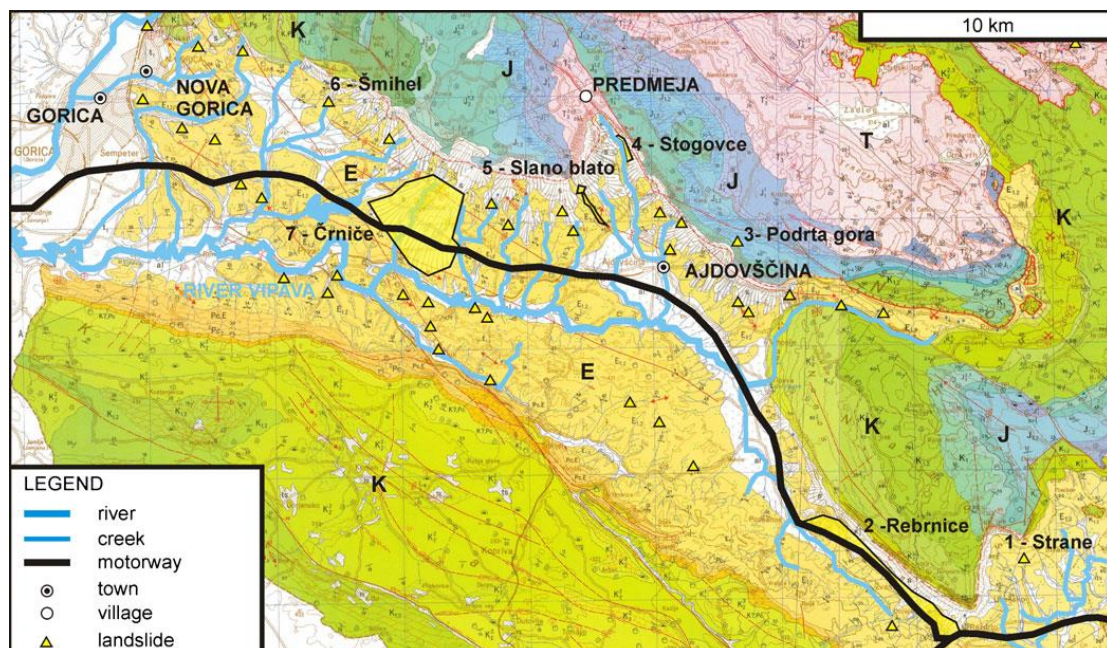
3.3 Παραδείγματα κατολισθήσεων σε υλικά όμοια της περιοχής εφαρμογής

3.3.1 Παράδειγμα κατολισθήσεων σε περιβάλλον φλύσχη

Ο σχηματισμός του φλύσχη εμφανίζει πολυπλοκότητα στην μορφή και την σύστασή του, συνεπώς και στον τρόπο με τον οποίο αστοχεί και κατολισθαίνει. Ως γνωστόν αποτελείται από εναλλαγές ιλύόλιθου και ψαμμίτη ενώ παράλληλα βρίσκεται έντονα καταπονημένος από τεκτονικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια του σχηματισμού του. Εξαιτίας της έντονης αυτής τεκτονικής καταπόνησης διαβρώνεται και αποσαθρώνεται ευκολότερα από εξωγενείς παράγοντες με αποτέλεσμα να ταπεινώνεται ακόμα περισσότερο η αντοχή του.

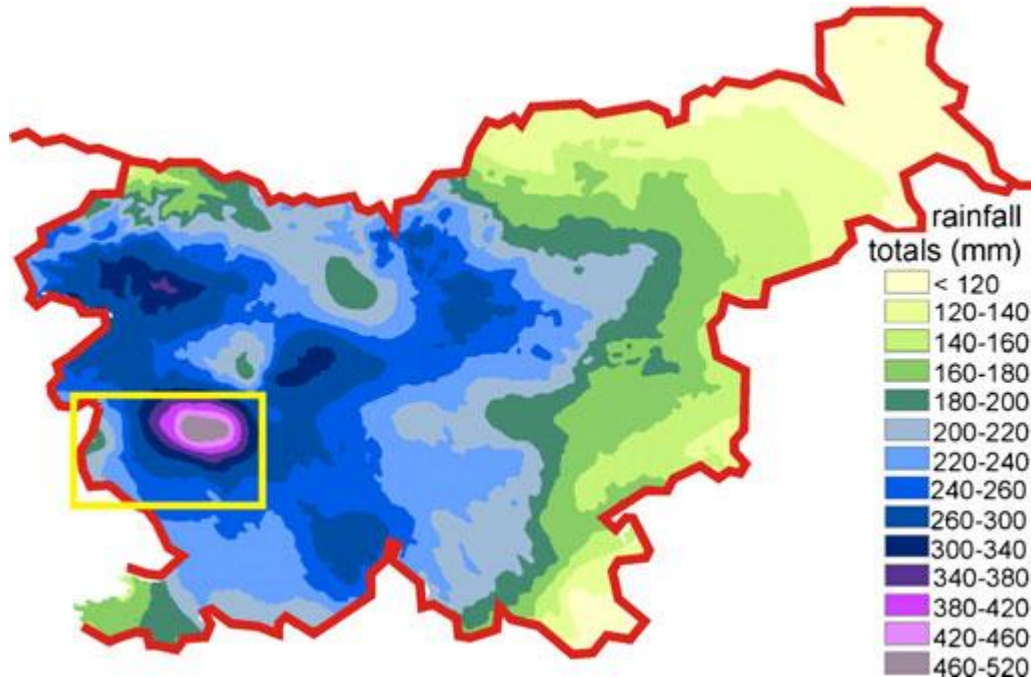
Παράδειγμα κατολισθήσεων σε περιβάλλον φλύσχη αποτελεί η κατολίπηση Stogovce στην ΝΔ Σλοβενία κοντά στην πόλη Ajdovscina (Petkonšek et al. 2011), πρόκειται για κατολίπηση τύπου ροής κορημάτων. Η περιοχή όπως φαίνεται και στον παρακάτω χάρτη βρίθκει από κατολισθήσεις, με χαρακτηριστικές επίσης τις Slano Blato και Stoze.

Από γεωλογικής άποψης η περιοχή ανήκει στις εξωτερικές Δυναρίδες, στα όρια της Αδριατικής μικροπλάκας. Συγκεκριμένα η κατολίπηση Stogovce βρίσκεται στο μέτωπο της επώθησης του Ηωκαινικού φλύσχη πάνω στα Μεσοζωικά ανθρακικά πετρώματα, κυρίως ασβεστόλιθους και δολομίτες.



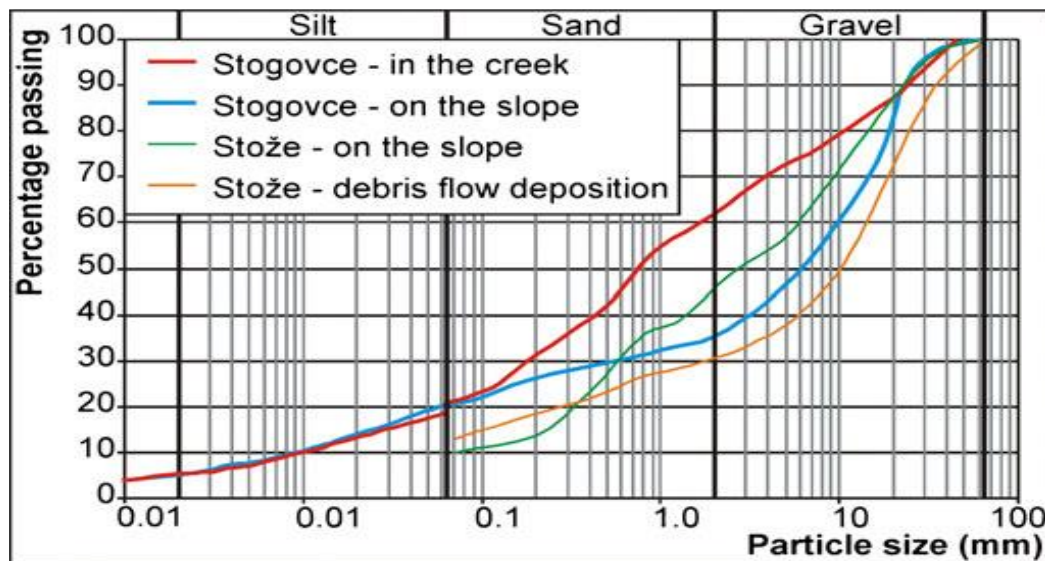
Εικόνα 3.2 Γεωλογικός χάρτης της Σλοβενίας φύλλο Gorica όπου αριθμούνται διάφορες κατολισθήσεις. Τ Τριαδικά, κ Κρητιδικά, J Ιουρασικά ανθρακικά πετρώματα, E Ηωκαινικός Φλύσχη.

Το γεγονός συνέβη έπειτα από έντονη κακοκαιρία συμπεριλαμβανομένων και βροχοπτώσεων που διήρκεσαν από τις 16 Σεπτεμβρίου έως τις 20 του 2010. Το ύψος βροχής κυμαινόταν μεταξύ 300-520mm, ενώ το μέσο ετήσιο ύψος βροχής της περιοχής κυμαίνεται σε 1800-2000mm. Παρακάτω δίνεται ένας χάρτης ύψους βροχής για την περιοχή κατά το διάστημα αυτό.



Εικόνα 3.3 Χάρτης του ύψους της συνολικής βροχόπτωσης κατά το διάστημα 16-20 Σεπτεμβρίου 2010. (Petkovšek et al. 2011)

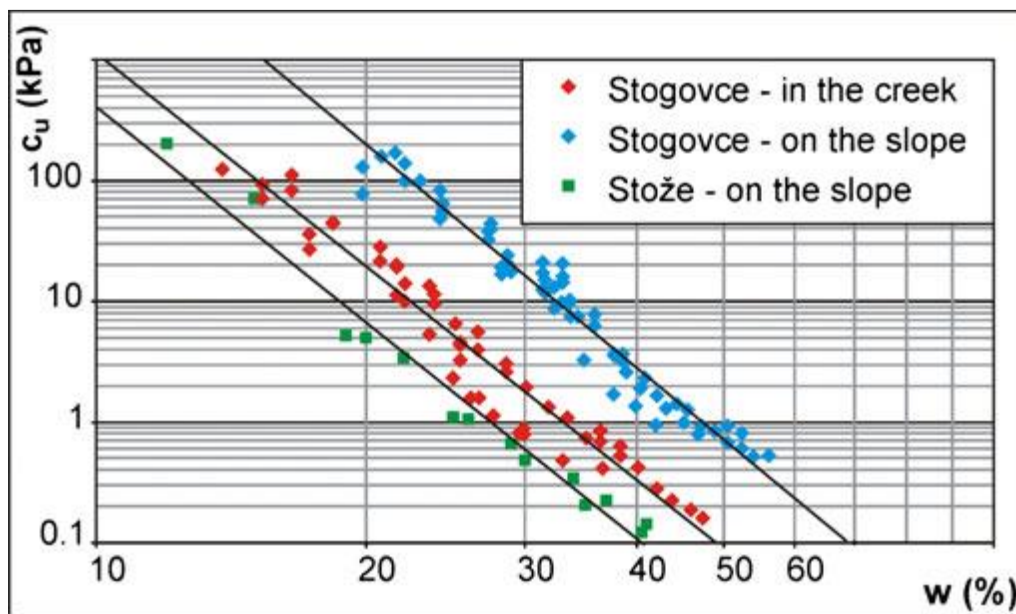
Σε δείγματα που πάρθηκαν από την κατολίσθηση Stogovce και Stože έγιναν εργαστηριακές δοκιμές τα αποτελέσματα των οποίων παρατίθενται στους ακόλουθους πίνακες.



Εικόνα 3.4 Σύγκριση της κοκκομετρίας των υλικών των κατολισθήσεων Stogovce και Stože. (Petkovšek et al. 2011)

Παράμετροι	Stogovce, slope	Stogovce, creek	Stoze, slope	Stoze, deposit
Φυσική υγρασία $w_o(\%)$	13.7-14.5 28.4-29.2(1)	8.42-10.6 13.5-15.7(1)	6-13	10-11
Όριο υδαρότητας $w_L(\%)$	39-42	26-31	21-24	31-33
Δείκτης πλαστικότητας $IP(\%)$	19-21	11-16	6-12	14-16
Enslin-Neff απορροφητικότητα $w_A(\%)$	67-70	41-48		
Διατμητική αντοχή c (KPa)	0	0	12	
j (°)	34	37	34	

Πίνακας 3.2 Αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών για τις κατολισθήσεις Stogovce και Stoze. (1) Μόνο λεπτόκοκκα κλάσματα (<2mm). (Petkovšek et al. 2011)



Εικόνα 3.5 Σύγκριση της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής των λεπτόκοκκων σε συνάρτηση με την περιεχόμενη υγρασία για τις κατολισθήσεις Stogovce και Stoze. (Petkovšek et al. 2011)

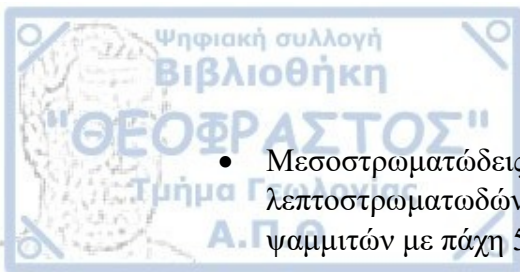
4.1 Τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά φλύσχη

Ο φλύσχος αποτελεί το τελευταίο ίζημα το οποίο σχηματίζεται κατά την διαδικασία της ορογένεσης, αμέσως μετά την απόθεσή του και την παράλληλη χέρσευση της περιοχής λαμβάνει χώρα η πτύχωση και η ορογένεση της περιοχής. Εξαιτίας αυτής της διαδικασίας πρόκειται για έναν σχηματισμό ο οποίος εμφανίζεται έντονα πτυχωμένος και διαρρηγμένος.

Αποτελείται από εναλλαγές πηλιτικών και ψαμμιτικών υλικών με αναλογίες που κυμαίνονται ανάλογα με την τροφοδοσία που είχαν τα τουρβιδιτικά ρεύματα κατά την περίοδο της απόθεσής τους. Τα πηλιτικά υλικά μπορεί να είναι ιλυόλιθοι, αργιλόλιθοι, μάργες και αργιλικόι σχιστόλιθοι, ενώ μπορεί να παρεμβάλλονται και ασβεστιτικά ή κροκαλοπαγή στρώματα.

Ανάλογα με τις αναλογίες σε πηλιτικά και ψαμμιτικά υλικά οι λιθότυποι του φλύσχη όπως αυτοί χωρίζονται από τον Β. Μαρίνο (2007) παρατίθενται ακολούθως:

- Ιλυόλιθοι: Σχεδόν στο 90% με σποραδικές ενστρώσεις ψαμμιτικών ή ασβεστιτικών υλικών. Στρώματα πάχους 5-30cm.
Σε περιοχές έντονης λεπίωσης οι ιλυόλιθοι εμφανίζονται έντονα καταπονημένοι και πολλές φορές αναμειγμένοι με τα υποκείμενα ή υπερκείμενα μέλη εξαιτίας της πλαστικότητάς τους. Η κύρια ασυνέχεια που έχουν είναι η στρώση τους καθώς όλες οι άλλες ασυνέχειες φθίνουν λόγω της πλαστικότητας. Σε υγιείς καταστάσεις η στρωσιγένειά τους μπορεί να μην είναι ορατή, όμως σε επιφανειακές καταστάσεις αυτή εκτονώνεται, χαλαρώνει και εμφανίζει αποχωρισμό.
- Ιλυόλιθοι με ενστρώσεις ψαμμιτών: 60-80% ιλυολιθικό υλικό σε στρώματα πάχους λίγων εκατοστών ενώ οι ψαμμιτικές ενστρώσεις κυμαίνονται μεταξύ 5-15cm.
- Εναλλαγές ιλυολίθων και ψαμμιτών: Σε ισομερείς αναλογίες με πάχη στρωμάτων 5-50cm. Σκληρά ψαμμιτικά μέλη με ασβεστιτικό υλικό συγκόλλησης ή και στρώματα κροκαλοπαγών.
Στον τύπο αυτό διακρίνεται διαφορετικότητα μεταξύ της αντοχής των μελών. Η στρώση είναι πολύ καλά διαμορφωμένη και διατμημένη συνήθως. Ανάλογα με την ένταση της καταπόνησης εμφανίζονται διαφορετικού τύπου πτυχές καθώς και διαφορετική συμπεριφορά των μελών. Οι ψαμμίτες σαν πιο ψαθυρά υλικά εμφανίζουν διατμήσεις ενώ οι ιλυόλιθοι έχουν μία πιο πλαστική συμπεριφορά δημιουργώντας έτσι πτυχώσεις και ολισθήσεις.



- Μεσοστρωματώδεις έως παχυστρωματώδεις ψαμμίτες με ενστρώσεις λεπτοστρωματωδών ιλυολίθων: 50-80% ψαμμιτικού υλικού σε μορφή πάγκων ψαμμιτών με πάχη 5-50cm.
- Παχυστρωματώδεις ψαμμίτες με αραιές λεπτές ενστρώσεις ιλυολίθων: Παχυστρωματώδεις έως και άστρωτοι ψαμμίτες με συμμετοχή του ιλυολιθικού μέλους σε ποσοστό 10-20% σε πολύ λεπτά στρώματα, υμένες της τάξης των λίγων mm έως και 20cm.
Οι ψαμμίτες ως σκληρά συμπαγή πετρώματα δεν ευνοούν την δημιουργία πτυχών, μόνο πολύ ανοιχτών με μεγάλη ακτίνα. Το ευαίσθητο σημείο αυτού του λιθότυπου είναι στα σημεία εναλλαγών όπου οι πάγκοι του ψαμμίτη μπορούν να γλιστρήσουν εύκολα πάνω στις λεπτές ενστρώσεις των ιλυολίθων καθώς ταπεινώνεται η γωνία τριβής. Αντίθετα η γωνία τριβής των διακλάσεων που δημιουργούνται στους ψαμμίτες είναι μεγαλύτερη από αυτή της στρώσης καθώς είναι πιο τραχείες, πιθανόν να γεφυρώνονται σε σημεία άρρηκτου βράχου και όταν είναι πληρωμένες αυτό το υλικό αποτελεί προϊόν αποσάθρωσης των ψαμμιτών συνεπώς είναι κυρίως άμμοι που επίσης είναι στιφροί και λιγότερο ολισθηροί από τους ιλυόλιθους.
- Κροκαλοπαγείς-μικροκροκαλοπαγείς σχηματισμοί: Άστρωτοι σχηματισμοί που αποτελούνται από κροκάλες της τάξης των 10cm έως και το κλάσμα της χονδρόκοκκης άμμου. Ανάλογα με την φύση του συγκολλητικού υλικού μπορούν να χαρακτηριστούν από χαλαροί σχηματισμοί έως και πολύ σκληροί. Οι ασυνέχειες σ' αυτόν τον λιθότυπο είναι περιορισμένες και συχνά τέμνονται μεταξύ τους. Αναπτύσσονται σε φακούς και μοιάζουν να βρίσκονται τοποθετημένα τεκτονικά στον υπόλοιπο σχηματισμό του φλύσχη λόγω της ακανόνιστης στρωματογραφικής επαφής τους.



Τύπος I. Αδιατάρακτος μεσοστρωματώδης έως παχυστρωματώδης ψαμμίτης με σποραδικές λεπτές ενστρώσεις ιλιούθου



Τύπος II. Αδιατάρακτος ιλιούθος με σποραδικές λεπτές ενστρώσεις ψαμμίτη



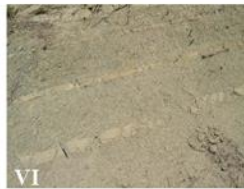
Τύπος III. Μέτρια διαταραγμένος ψαμμίτης με ενστρώσεις ιλιούθου



Τύπος IV. Μέτρια διαταραγμένη βραχώμαζα αποτελούμενη από εναλλαγές ψαμμίτη-ιλιούθου σε ίσες αναλογίες



Τύπος V. Μέτρια διαταραγμένη βραχώμαζα αποτελούμενη από ιλιούθου με ενστρώσεις ψαμμίτη



Τύπος VI. Μέτρια διαταραγμένος ιλιούθος με αραιές λεπτές ενστρώσεις ψαμμίτη



Τύπος VII. Έντονα διαταραγμένη – πτυχωμένη βραχώμαζα η οποία διατηρεί τη δομή της και αποτελείται από εναλλαγές ψαμμίτη – ιλιούθου σε ίσες αναλογίες



Τύπος VIII. Έντονα διαταραγμένη – πτυχωμένη βραχώμαζα η οποία διατηρεί τη δομή της και δεν έχει παραμορφωθεί – διατηρεί σε μεγάλο βαθμό και αποτελείται κυρίως από ιλιούθου με ενστρώσεις ψαμμίτη



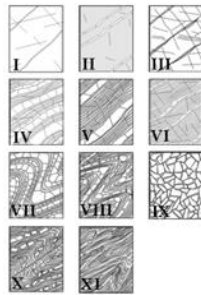
Τύπος IX. Αποδιοργανωμένη – Κατακερματισμένη βραχώμαζα



Τύπος X. Τεκτονικά παραμορφωμένος, έντονα πτυχωμένος, ρηγματωμένος ιλιούθος ή αργιλικός σχιστόλιθος με κερματισμένα και παραμορφωμένα ψαμμικά τεμάχια τα οποία διαμορφώνουν σχεδόν χαστική δομή



Τύπος XI. Τεκτονικώς έντονα διατηρημένος ιλιούθος ή αργιλικός σχιστόλιθος σε χαστική δομή με θύλακες αργίλου



Πίνακας 4.1 Συγκεντρωτικός πίνακας με τους λιθότυπους στους οποίους διακρίνεται ο φλύσχη (B. Μαρίνος, 2007).

Παρακάτω παρατίθεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας του δείκτη τιμών GSI για τους διάφορους λιθότυπους του φλύσχη σε συνάρτηση με την ποιότητα των ασυνεχειών του.

ΔΕΙΚΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ (GSI) ΣΕ ΕΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΕΣ ΟΠΩΣ Ο ΦΛΥΣΧΗΣ		ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ (κυρίως επίπεδα στρώσης)	ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τραχείες, υγείες, μη αποσθραβωμένες επιφάνειες	ΚΑΛΗ Τραχείες, ελαφρά αποσθραβωμένες και οξείδωμένες επιφάνειες	ΜΕΤΡΙΑ Λείες, μετρίως αποσθραβωμένες και εξολοιωμένες επιφάνειες	ΠΤΩΧΗ Πολύ λείες, κατά περίπτωση ολισθηρές επιφάνειες με συμπαγή επιφλοιώματα ή υλικό πλήρωσης με γωνιόδη θραύσματα	ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ Πολύ ολισθηρές επιφάνειες ή πολύ αποσθραβωμένες με μαλακό αργιλικό υλικό πλήρωσης ή επιφλοιώσης	
ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΣΗ								ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ →
	ΤΥΠΟΣ I. Αδιατάρακτος, μεσοστρωματώδης έως παχυστρωματώδης φαμμίτης με σποραδικούς πολύ λεπτούς υμένες ιλυολίθου. Σε αβθείς σήραγγες ή πρηνή αν ο μηχανισμός αστάθειας λόγω έλλειψης πλευρικού παρεμποδισμού (χαλαρή δομή) έχει κινηματικό χαρακτήρα που ελέγχεται από τα επίπεδα στρώσης τότε δεν εφαρμόζεται ο δείκτης GSI		ΤΥΠΟΣ II. Αδιατάρακτος συμπαγής ιλυόλιθος (δεν διακρίνονται τα επίπεδα στρώσεων) με σποραδικές λεπτές ενστρώσεις φαμμιτών	80	I	II	N/A	N/A
	ΤΥΠΟΣ III. Μέτρια διαταραγμένος φαμμίτης με λεπτές ενστρώσεις ιλυολίθου		ΤΥΠΟΣ IV. Μέτρια διαταραγμένη βραχώμαζα που αποτελείται από εναλλαγές φαμμίτη και ιλυόλιθου σε ίσες περίπου αναλογίες	60	III	IV	V	VI
	ΤΥΠΟΣ V. Μέτρια διαταραγμένος ιλυόλιθος με ενστρώσεις φαμμιτών		ΤΥΠΟΣ VI. Μέτρια διαταραγμένος ιλυόλιθος με αραίες ενστρώσεις φαμμιτών	50				N/A
	ΤΥΠΟΣ VII. Έντονα διαταραγμένη - πτυχωμένη βραχώμαζα, η οποία διατηρεί τη δομή της και αποτελείται από εναλλαγές φαμμίτη και ιλυόλιθου σε ίσες περίπου αναλογίες		ΤΥΠΟΣ VIII. Έντονα διαταραγμένη-πτυχωμένη βραχώμαζα, η οποία διατηρεί τη δομή της και δεν έχει παραμορφωθεί-διατηρεί σε μεγάλο βαθμό και αποτελείται από ιλυόλιθο ή και αργιλικό σχιστόλιθο με ενστρώσεις φαμμίτη	N/A	40	VII	VIII	
	ΤΥΠΟΣ IX. Αποδιοργανωμένη βραχώμαζα που απαντάται συνήθως σε μεγάλες ζώνες ρηγιότων ή/και έντονης αποσθάρωσης. Στον τύπο αυτό απαντώνται κυρίως φαθυρά γεωυλικά με διαταραγμένο ιλυολιθικό υλικό ανάμεσα		ΤΥΠΟΣ X. Τεκτονικά παραμορφωμένος, έντονα πτυχωμένος, διατηρημένος ιλυόλιθος ή αργιλικός σχιστόλιθος με κερματισμένα και παραμορφωμένα φαμμιτικά τεμάχια που διαμορφώνουν σχεδόν χασοπή δομή. Οι στρώσεις του φαμμίτη παραμένουν παράλληλες με αυτές του ιλυόλιθου	N/A	30	IX	X	
	ΤΥΠΟΣ XI. Τεκτονικώς ισχυρά διατηρημένος ιλυόλιθος ή αργιλικός σχιστόλιθος σε χασοπή δομή με θύλακες αργίλου. Λεπτά στρώματα φαμμίτη έχουν μετατραπεί σε κερματισμένα πολύ μικρά βραχώδη τεμάχια. Οριακά η συμπεριφορά των γεωυλικών μπορεί να προσομοιωθεί με εδαφικά			N/A	N/A		XI	10

N/A Σημειώνει γεωλογικός αδύνατος συνδυασμός. Αλλού, εκτός των σκιασμένων περιοχών, περιπτώσεις όχι αδύνατες αλλά πολύ απίθανο να υπάρχουν
→ Φορά τεκτονικής διαταραχής αντίστοιχης λιθολογίας

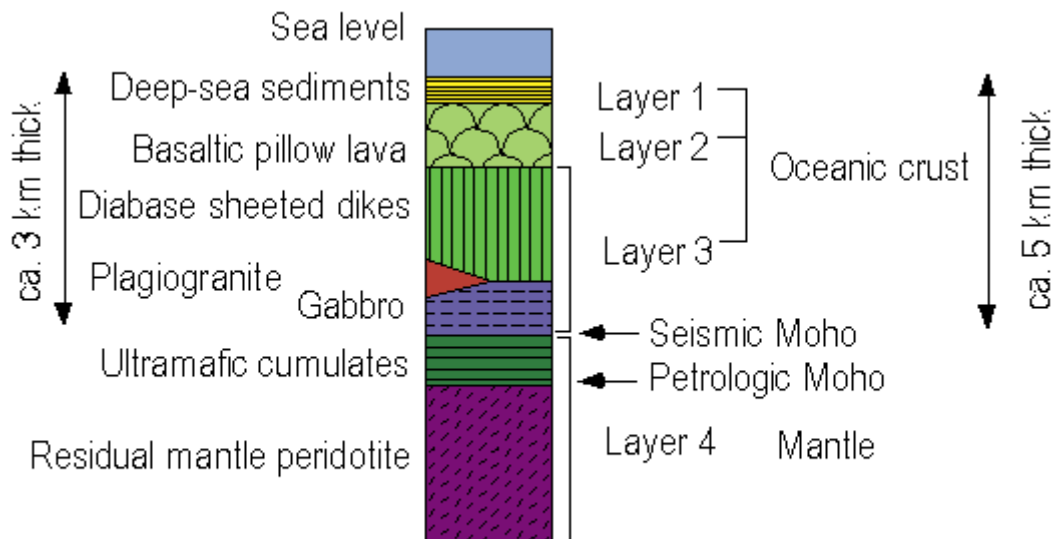
Πίνακας 4.2 Δείκτης γεωλογικής αντοχής (GSI) σε ετερογενείς βραχομάζες, όπως ο φλύσχης (B. Μαρίνος, 2007).

4.2 Τεχνικογεωλογικά συμπλέγματα

χαρακτηριστικά

οφιολιθικού

Τα οφιολιθικά συμπλέγματα προκύπτουν από πολύπλοκες γεωλογικές διεργασίες και αποτελούνται από διαφορετικούς πετρολογικούς τύπους και συνεπώς διαφορετικές ιδιότητες όσο αφορά την τεκτονική καταπόνηση και την έκταση της σερπεντινίωσης. Παρακάτω παρατίθεται ένα σκαρίφημα της δομής της οφειολιθικής ακολουθίας.



Εικόνα 4.1 Σχηματική απεικόνιση μιας τυπικής οφειολιθικής ακολουθίας και της σεισμικής και πετρολογικής ασυνέχειας Mohorovic.

Οι οφειόλιθοι χωρίζονται και αυτοί σε επιμέρους λιθότυπους βραχομάζας με βάση τα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά τους (Β. Μαρίνος, 2007). Επομένως διακρίνονται σε:

- Τύπος I Μη σερπεντινωμένος οφειόλιθος (περιδοτίτης-γάββρος). Πρόκειται για εξαιρετικά συμπαγή βραχομάζα, με ελάχιστες ασυνέχειες ακόμα και στην επιφάνεια. Οι τιμές του δείκτη GSI είναι πολύ υψηλές >65.
- Τύπος II Σερπεντινωμένος οφειόλιθος- ελαφρά αποσαθρωμένος γάββρος. Πρόκειται για βραχομάζα που εμφανίζει αρκετές διακλάσεις ή είναι κερματισμένη. Οι ασυνέχειες συχνά εμφανίζονται λείες και ολισθηρές εξαιτίας της σερπεντινίωσης. Στην περίπτωση αυτή οι τιμές του δείκτη GSI μπορούν να πέσουν στο 35.
- Τύπος III Σερπεντινωμένος περιδοτίτης
Όταν η σερπεντινίωση οφείλεται σε αποσάθρωση και επηρεάζει το σύνολο της βραχομάζας τότε εκτός από την μείωση της αντοχής παρατηρείται και έντονος κερματισμός του πετρώματος. Από την άλλη όταν πρόκειται για αυτομεταμορφισμό ή λόγω έντονων τεκτονικών κινήσεων παρατηρείται έντονη σχιστότητα και η τιμή του GSI μειώνεται στο 30.

- Τύπος IV Φυλλοποιημένος σερπεντινίτης
Πρόκειται για φυλλοποιημένο πέτρωμα το οποίο θρυμματίζεται σε τεμάχια μεγέθους από λίγα εκατοστά μέχρι και ελάχιστα χιλιοστά. Οι τιμές του GSI σ' αυτή την περίπτωση είναι πλέον πολύ χαμηλές <20.
- Τύπος V Οφιολιθικό σύμπλεγμα με σχιστοκερατόλιθους
Η βραχομάζα στο σύνολό της έχει μια σχιστοποιημένη δομή εξαιτίας των σχιστοκερατόλιθων και των ηφαιστειακών πετρωμάτων. Παρεμβάλλονται τεμάχια προερχόμενα από το οφιολιθικό σύμπλεγμα να πλέουν μέσα στη μάζα αυτή. Αντίστοιχα με το ποσοστό της σχιστοποιημένης μάζας σε σχέση με τα τεμάχια των οφιολίθων οι τιμές του GSI μπορεί να κυμαίνονται από <20 έως και 40 όταν υπερτερούν τα μπλοκ των οφιολίθων.
- Γάββροι
Πρόκειται για συμπαγή πετρώματα επομένως η συμπεριφορά τους έγκειται στο βαθμό ρωγμάτωσής τους. Οι επιφάνειες των ασυνεχειών τους έχουν καλή ποιότητα συγκριτικά με των περιδοτιτών καθώς εμφανίζουν λιγότερες αλλοιώσεις. Παρόλα αυτά η αποσάθρωση επηρεάζει τα πετρώματα αυτά και παράγεται αργιλικό υλικό το οποίο όταν εισχωρεί μεταξύ των ασυνεχειών τις κάνει πιο λείες.
- Μαξιλαροειδείς λάβες
Οι pillow lavas όπως είναι γνωστές εμφανίζουν ένα σφαιρικό αποχωρισμό. Συνήθως εύθρυπτο ή διατμημένο υλικό περικλείει πιο ισχυρά τμήματα της βραχομάζας με αποτέλεσμα να απομειώνεται η αντοχή στο σύνολό της και οι τιμές του GSI να κυμαίνονται από 25-50.
- Τεκτονικά μίγματα
Πρόκειται για οφιολιθικά πετρώματα ατάκτως αναμειγμένα με άλλα πετρώματα τα οποία βρίσκονταν στην περιοχή κατά την τοποθέτηση των οφιολίθων πάνω στο ηπειρωτικό τέμαχος με την ταυτόχρονη υποβύθιση της ωκεάνιας λιθόσφαιρας. Βρίσκονται στο μέτωπο ή στη βάση της επώθησης. Εξαιτίας αυτής της τεκτονικής καταπόνησης είναι δυνατόν να συναντηθούν εδαφοποιημένα μέλη ή και μέλη ιζηματογενών πετρωμάτων με πολύ καλές αντοχές. Η μετάβαση όμως λόγω της ανάμειξης είναι πάντα απότομη και απρόβλεπτη συνεπώς και ο δείκτης GSI για το σύνολο της βραχομάζας δεν ξεπερνά συχνά το 15-20.

Η αντοχή του άρρηκτου βράχου και της βραχομάζας στο σύνολό της περιλαμβάνει ένα μεγάλο φάσμα τιμών. Παρακάτω παρατίθεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας του δείκτη τιμών GSI για τους διάφορους λιθότυπους των οφιολίθων σε συνάρτηση με την ποιότητα των ασυνεχειών τους (E. Hoek et al, 2005).

ΔΕΙΚΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ (GSI) ΣΕ ΟΦΙΟΛΙΘΟΥΣ (E. Hoek, Π. Μαρίνος και Β. Μαρίνος, 2005)		ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ	ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τραχιές, υγείες, μη αποσπασθρομένες επιφάνειες	ΚΑΛΗ Τραχιές, ελαφρά αποσπασθρομένες και οξειδωμένες επιφάνειες	ΜΕΤΡΙΑ Λείες, μετρίως αποσπασθρομένες και εξαλλοιωμένες επιφάνειες	ΠΤΩΧΗ Πολύ λείες, κατά περίπτωση ολισθηρές επιφάνειες με συμπαγή επιφλοιώματα ή υλικό πλήρωσης με γωνιώδη θραύσματα	ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ Πολύ ολισθηρές επιφάνειες ή πολύ αποσπασθρομένες με μαλακό αργιλικό υλικό πλήρωσης ή επιφλοιώσεως
ΔΟΜΗ							
	ΑΡΡΗΚΤΗ Άρρηκτα βραχώδη τεμάχια ή άστρωτος βράχος με λίγες ασυνέχειες σε μεγάλη απόσταση	ΜΕΙΟΥΜΕΝΟ ΑΛΛΗΛΟΚΛΕΙΔΩΜΑ ΤΩΝ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΤΕΜΑΧΙΩΝ	90	I		N/A	N/A
	ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ/ ΑΔΙΑΤΑΡΑΚΤΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ Αδιατάρακτη βραχώμαζα με πολύ καλό αλληλοκλειδώμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από τρεις ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών		80		II		
	ΠΟΛΥ ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ Μερικώς διαταραγμένη βραχώμαζα με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια (blocks) που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχειών		70				
	ΔΙΑΤΑΡΑΓΜΕΝΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ/ΠΤΥΧΩΜΕΝΗ Πτυχωμένη με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών. Εμμονή στρώσης ή σχιστότητας		60				
	ΑΠΟΔΙΟΡΓΑΝΩΜΕΝΗ Ισχυρά κερματισμένη βραχώμαζα με πτωχό αλληλοκλειδώμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιώδων και αποστραγγυλωμένων τεμαχίων		50				
	ΦΥΛΛΩΔΗΣ/ ΔΙΑΤΜΗΜΕΝΗ Φυλλώδης ή σχιστοποιημένη και τεκτονικώς διατημένη ασθενής βραχώμαζα. Η φύλλωση επικρατεί έναντι οποιαδήποτε άλλης οικογένειας ασυνεχειών εμποδίζοντας την δημιουργία γωνιώδων τεμαχίων (η κλίμακα σε αυτό το εικονίδιο δεν συγκρίνεται με αυτή των άλλων εικονιδίων)		40				
		30					
		20					
		10					
		N/A	N/A				

I Υγιής συμπαγής περιδοτότητας με ασυνέχειες σε αραιά διαστήματα. Οι συνθήκες των ασυνεχειών επηρεάζονται ελάχιστα από τη σερπεντινίωση

II Καλής έως μετρίως ποιότητας περιδοτότητας ή συμπαγής σερπεντινίτης με ασυνέχειες που μπορεί να επηρεασθεί σημαντικά από την εξαλλοίωση

III Σχιστοποιημένος σερπεντινίτης. Η σχιστότητα μπορεί να είναι λιγότερο ή περισσότερο έντονη και τα επίπεδα της εξαλλοιωμένα

IV Πτωχής έως πολύ πτωχής ποιότητας διατηρημένος σερπεντινίτης. Τα τεμάχια αποτελούνται από ασθενή φυλλώδη υλικά

➔ Αύξηση της παρουσίας σερπεντινιτών ή άλλων ασθενών υλικών (π.χ. τάλκη) στις διακλάσεις ή στη σχιστότητα. Η σερπεντινίωση προς αυτή τη διεύθυνση μειώνει και τις ιδιότητες του άρρηκτου τεμάχους

Προσοχή: Οι ασιασμένες περιοχές δηλώνουν το εύρος του δείκτη GSI που είναι πιο πιθανό να ισχύει σε αυτά τα είδη βραχομαζών. Ίσως όμως να μην είναι οι ενδεδειγμένες για περιπτώσεις κάποιας συγκεκριμένης περιοχής

Πίνακας 4.3 Δείκτης γεωλογικής αντοχής (GSI) σε οφιόλιθους. (E. Hoek et al, 2005)

5 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ LIDAR

5.1 Γενικά

Το LiDAR αποτελεί ακρωνύμιο του «Light Detection And Ranging». Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί την ανάκλαση του φωτός από ένα στόχο έτσι ώστε να προσδιορίσει την τοποθεσία του στο τρισδιάστατο σύστημα. Ενώ στην πραγματικότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιαδήποτε πηγή φωτός στην συγκεκριμένη μέθοδο χρησιμοποιούνται ακτίνες laser εξαιτίας της μεγάλης εμβέλειας τους.

Τα δεδομένα που συλλέγονται με την μέθοδο LiDAR κυμαίνονται από 2.500-1.000.000 σημεία ανά δευτερόλεπτο. Δύναται να αποτυπώσουν αντικείμενα τα οποία απέχουν απόσταση από 70-1500μ., κάτι το οποίο εξαρτάται και από την ισχύ του laser που χρησιμοποιείται.

Χωρίζονται σε τρεις τύπους συστημάτων:

- Επίγεια (TLS)
- Εναέρια (ALS)
- Βαθυμετρικά

Τα συστήματα LiDAR αποτελούνται από τρία κυρίως μέρη:

- LiDAR σαρωτής - δέκτης (Sensor)
- Global Positioning System (GPS)
- Inertial Navigation System (INS).

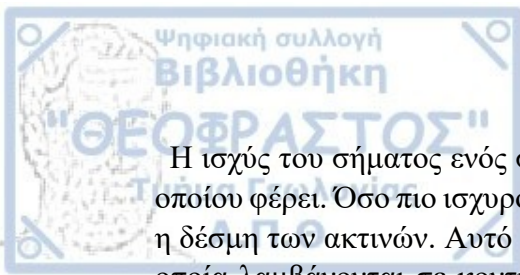
Ο στατικός τύπος LiDAR τοποθετείται πάνω σ' ένα τρίποδο και η λήψη των δεδομένων γίνεται από μία σταθερή θέση. Τα στατικά αυτά συστήματα μπορούν να αποτελούνται μόνο από το scanner ή/και να είναι εξοπλισμένα και με GPS, ανάλογα με τις απαιτήσεις του λογισμικού που θα χρησιμοποιηθεί.

Οι κινητοί τύποι LiDAR μπορούν να είναι τοποθετημένοι σε κάποιο όχημα στο έδαφος, σε σκάφος ή ακόμα και σε ελικόπτερο, αεροπλάνο ή εξιδεικευμένο drone. Τα συστήματα αυτά αποτελούνται και από τα τρία μέρη του συστήματος. Τα δεδομένα τα οποία συλλέγονται είναι πιο ακριβή, καθώς λόγω της χρήσης του GPS και του INS, γίνεται αυτόματη γεωαναφορά των δεδομένων που συλλέγονται.

5.2 Τύποι δεκτών (Sensors) LiDAR

Οι ιδιότητες οι οποίες επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα και την ακρίβεια του δέκτη είναι:

- Η απόκλιση των ακτινών που στέλνονται για να σαρώσουν την περιοχή
- Η μέγιστη εμβέλεια την οποία μπορεί να καλύψει ο σαρωτής και
- Το ποσοστό συλλογής δεδομένων.



Η ισχύς του σήματος ενός συστήματος LiDAR εξαρτάται από την ισχύ του laser του οποίου φέρει. Όσο πιο ισχυρό είναι το σήμα του laser τόσο πιο μακριά μπορεί να φτάσει η δέσμη των ακτινών. Αυτό όμως αποτελεί πρόβλημα όταν πρόκειται για δεδομένα τα οποία λαμβάνονται σε κοντινές αποστάσεις καθώς χάνετε η ευκρίνειά του. Συνεπώς τόσο ισχυρά laser χρησιμοποιούνται κυρίως σε εναέριες λήψεις και όχι σε επίγειες.

Οι τύποι των δεκτών χωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με την τεχνολογία laser την οποία φέρουν. Ο πρώτος τύπος καλείται “Time of flight sensor (TOF)” ενώ ο δεύτερος “Phase offset sensor”.

5.2.1 Time of flight sensor

Οι δέκτες αυτού του τύπου χρησιμοποιούν την ταχύτητα του φωτός και τον χρόνο που παρήλθε από την εκπομπή της ακτίνας μέχρι και την επιστροφή της ώστε να υπολογίσουν την απόσταση του αντικειμένου αναφοράς.

Μπορούν να συλλέξουν δεδομένα που βρίσκονται σε απόσταση μέχρι και 1500μ, ενώ η τάξη της σάρωσης είναι μεταξύ 2.500-200.000 σημεία ανά δευτερόλεπτο.

5.2.2 Phase offset sensor

Από την άλλη, οι δέκτες τύπου “Phase offset” χρησιμοποιούν laser τα οποία είναι συγχρονισμένα σε μία γνωστή συχνότητα η οποία παράγει δέσμες ακτινών με ημιτονοειδείς κυματομορφές. Κατά αυτό τον τρόπο όταν ανακλώνται οι ακτίνες στο αντικείμενο αναφοράς αλλάζουν φάση. Η διαφορά φάσης υπολογίζεται από τον τύπο

$$\Delta\varphi = 2\pi f_{rf} \Delta t$$

Όπου:

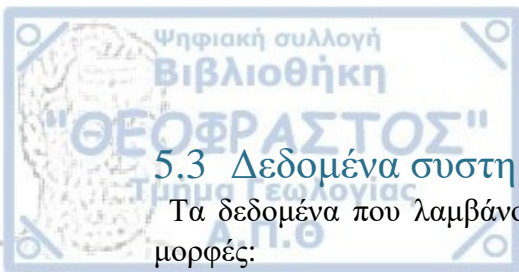
- f_{rf} : η συχνότητα εκπομπής
- Δt : η διαφορά του χρόνου από την στιγμή εκπομπής μέχρι τη στιγμή που επέστρεψε η ακτίνα
-

Αφού υπολογιστεί η διαφορά φάσης η απόσταση του αντικειμένου από τον δέκτη υπολογίζεται από τον τύπο

$$D = \frac{1}{2} c \frac{\Delta\varphi}{2\pi f_{rf}}$$

Όπου:

- c : η ταχύτητα του φωτός



5.3 Δεδομένα συστημάτων LiDAR

Τα δεδομένα που λαμβάνονται από ένα σύστημα LiDAR μπορεί να έχει τις εξής μορφές:

- Point data (XYZ)
- Point data συνυπολογισμένη και η ένταση της ακτίνας κατά την επιστροφή (XYZI)
- Point data συνυπολογισμένη και μία χρωματική εκτίμηση (XYZRGB)

5.3.1 Point data (XYZ)

Ο συγκεκριμένος τύπος δεδομένων θεωρείται ο πιο βασικός. Υπολογίζεται η απόσταση των αντικειμένων και τοποθετούνται σ' ένα τρισσορθογώνιο σύστημα αξόνων όπου αρχή των αξόνων, δηλαδή το σημείο (0,0,0), θεωρείται η θέση του LiDAR. Είναι όμως δύσκολη η αναγνώριση των πληροφοριών για το ανθρώπινο μάτι με αυτό τον τύπο δεδομένων.

5.3.2 Point data (XYZI)

Σε αυτό τον τύπο δεδομένων όπως αναφέρθηκε συνυπολογίζεται και η ένταση της ακτίνας του laser κατά την επιστροφή της μετά την ανάκλαση. Ανάλογα λοιπόν με την ανακλαστική ικανότητα των υλικών πάνω στα οποία προσπίπτουν οι ακτίνες laser, έχουμε υψηλή ή χαμηλή ένταση στην ακτίνα που επιστρέφει και καταγράφεται στον δέκτη. Αυτομάτως με τον τρόπο αυτό στην εικόνα που παράγεται δίνεται η αίσθηση του βάθους. Η προοπτική αυτή που δημιουργείται καθιστά τα δεδομένα πιο διακριτά στο ανθρώπινο μάτι.

5.3.3 Point data (XYZRGB)

Τέλος με την χρήση ψηφιακής μηχανής η οποία μπορεί να αποτελεί τμήμα του LiDAR ή να είναι ακόμα και εξωτερική μπορεί να εισαχθεί στην εικόνα ψευδοχρωματισμός ο οποίος αντιστοιχεί στα χρώματα κόκκινο πράσινο και μπλε (RGB). Το αποτέλεσμα το οποίο προκύπτει είναι γνωστό ως "pixel mapping" και με τον τρόπο αυτό γίνεται πιο ευδιάκριτη και αναγνωρίσιμη η εικόνα που παράγεται.

5.4 Η χρήση του LiDAR στις κατολισθήσεις

Η μέθοδος LiDAR έχει γνωρίσει τεράστια απήχηση σε ένα μεγάλο εύρος επιστημών και χρήσεων που σχετίζονται και αντλούν δεδομένα από την τηλεπισκόπηση και την χρήση laser καθώς και των εικόνων που προκύπτουν, είτε σε μορφή 3D είτε σε μορφή HRDEM.



Στην περίπτωση των κατολισθητικών φαινομένων η μέθοδος LiDAR είναι ικανή να δώσει απαντήσεις σε τέσσερις τύπους ερευνών:

- Ανίχνευση και χαρακτηρισμός κατολισθήσεων
- Αξιολόγηση της πιθανότητας και χαρτογράφηση ευαισθησίας
- Μοντελοποίηση και
- Παρακολούθηση

5.4.1 Ανίχνευση και χαρακτηρισμός κατολισθήσεων

Σε αυτόν τον τύπο έρευνας η χρήση του LiDAR δίνει πληροφορίες για τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής καθώς και για δομές χαρακτηριστικές των κατολισθήσεων, όπως ρωγμές, κατολισθέντα υλικά και το πόδι της κατολίσθησης. Η ύπαρξη φυτοκάλυψης δυσχεραίνει την εικόνα που λαμβάνεται όμως δεν παύει να δίνει έμπιστα αποτελέσματα όσο αφορά τα όρια των κατολισθήσεων. Δεν μπορεί δυστυχώς η μέθοδος αυτή να αντικαταστήσει την εργασία στην ύπαιθρο αποτελούν όμως ένα πολύ ισχυρό εργαλείο εάν συνδυαστούν.

Όσο αφορά την ανίχνευση των κατολισθήσεων, αυτή γίνεται πιο εύκολα με την χρήση ALS καθώς μπορεί να καλυφθεί μεγαλύτερη έκταση κατά την πτήση απ' ότι με την TLS. Ενώ η χρήση TLS είναι πιο αποτελεσματική στον χαρακτηρισμό των κατολισθήσεων, στον υπολογισμό όγκων και στην σκιαγράφηση των ορίων της κατολίσθησης.

5.4.2 Αξιολόγηση της πιθανότητας και χαρτογράφηση ευαισθησίας

Για τον συγκεκριμένο τύπο ερευνών μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα επιφέρουν οι εναέριες λήψεις (ALS). Με αυτές επιτυγχάνεται μια λεπτομερής οριοθέτηση και χαρτογράφηση των κατολισθητικών φαινομένων. Αντίθετα οι επίγειες λήψεις (TLS) κρίνονται αποτελεσματικές μόνο σε περιπτώσεις όπου η θέση είναι συγκεκριμένη και δεν καλύπτει μεγάλη έκταση, ώστε να επιτευχθεί μια εξαιρετικά λεπτομερής ανάλυση.

5.4.3 Μοντελοποίηση κατολισθήσεων

Είναι ευρέως διαδεδομένη πλέον η χρήση συστημάτων LiDAR για την μοντελοποίηση της μετατόπισης που λαμβάνει χώρα σε μία κατολίσθηση με την χρήση είτε TLS, είτε ALS. Για τον προσδιορισμό αυτής είναι αναγκαίες δύο εικόνες HRDEM που έχουν ληφθεί σε διαφορετικές περιόδους ώστε να μπορεί να γίνει σύγκριση των αναλύσεών τους. Η σύγκριση αυτή γίνεται είτε μεταξύ των διανυσμάτων κίνησης που έχουν τοποθετηθεί σε δύο σημεία ή σε δύο μάζες, είτε μεταξύ της απόστασης αντίστοιχα δύο σημείων ή μαζών. Η διαφορά αυτή που προκύπτει μεταξύ των δύο λήψεων επιτρέπει τον υπολογισμό του όγκου που έχει μετατοπιστεί.

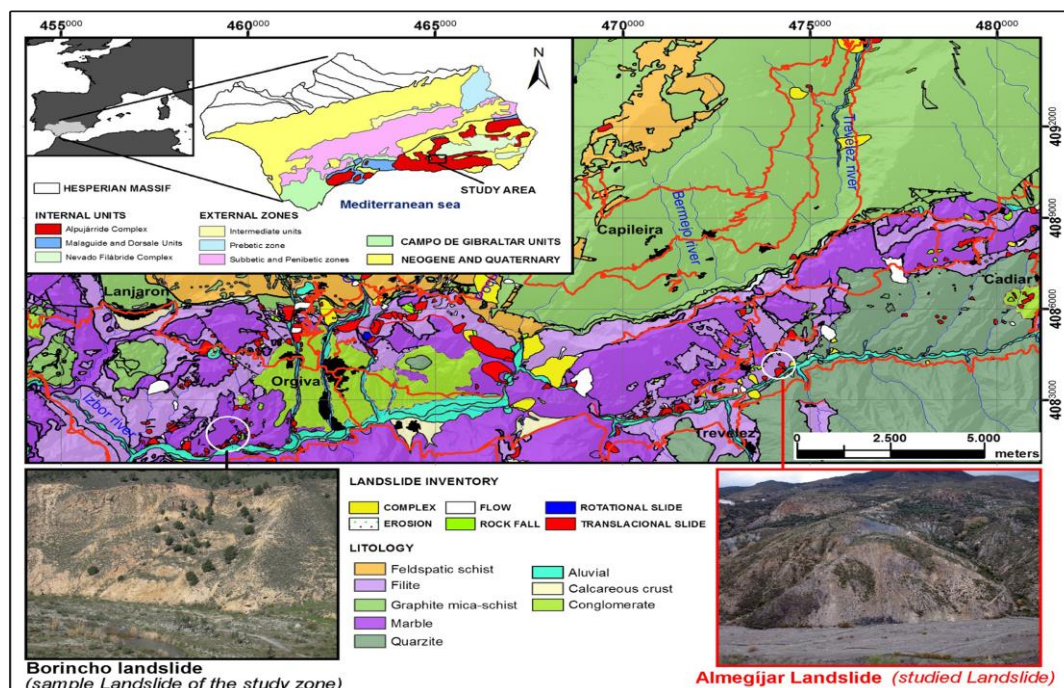
Πρέπει να ληφθεί όμως υπόψη ότι υπάρχουν κι άλλοι παράγοντες που διαφέρουν από την μια εποχή στην άλλη, οι οποίοι μπορεί να επηρεάσουν τα αποτελέσματα αυτών των λήψεων. Τέτοιοι παράγοντες μπορεί να είναι η φυτοκάλυψη, η τραχύτητα της επιφάνειας του εδάφους, ακόμα και η ποιότητα της λήψης καθώς και η πυκνότητα των σημείων που χτυπάει ανά δευτερόλεπτο.

5.5 Παράδειγμα μελέτης κατολισθήσεων με τη μέθοδο LiDAR

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη παράγραφο η χρήση της μεθόδου LiDAR αναγνωρίζει ευρεία χρήση και στις περιπτώσεις των κατολισθήσεων, τόσο για την οριοθέτησή τους και τον προσδιορισμό της ενεργότητάς τους όσο και για τον ποσοτικό υπολογισμό παραμέτρων τους όπως είναι ο όγκος των κατολισθέντων υλικών και η ταχύτητα μετακίνησης της.

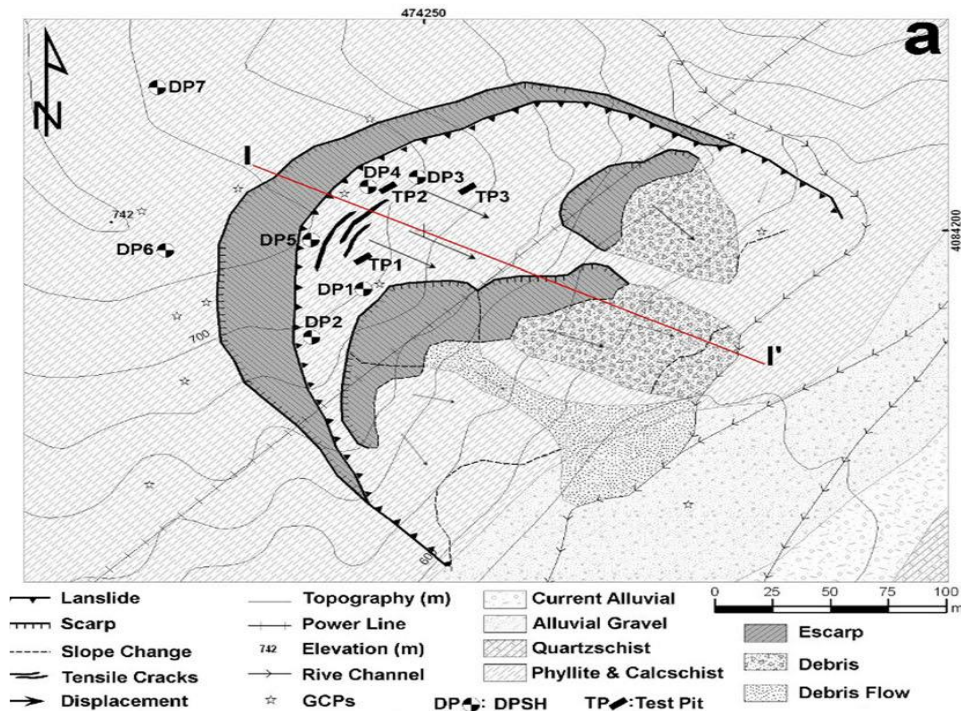
Ένα τέτοιο παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου σε κατολισθητικό φαινόμενο είναι στην περιοχή Sierra Nevada, στην Granada της Νότιας Ισπανίας. Η μελέτη επικεντρώθηκε στην ενεργότητα της κατολίσθησης και πως αυτή συμπεριφέρεται σε συνάρτηση με τον χρόνο.

Από γεωλογική σκοπιά η περιοχή βρίσκεται στο σύμπλεγμα Alpujarride, όπως φαίνεται και στον χάρτη. Το μεταμορφικό αυτό σύμπλεγμα αποτελείται από κάτω προς τα πάνω από σχιστόλιθους, χαλαζίτες, φυλλίτες, ασβεστιτικής σύστασης σχιστόλιθους και μάρμαρα. Ενώ πάνω σε αυτά επικάθονται νεογενή και τεταρτογενή ιζήματα τα οποία περιλαμβάνουν αργίλους, κροκαλοπαγή, πλημμυρικά υλικά και υλικά κατολισθήσεων.

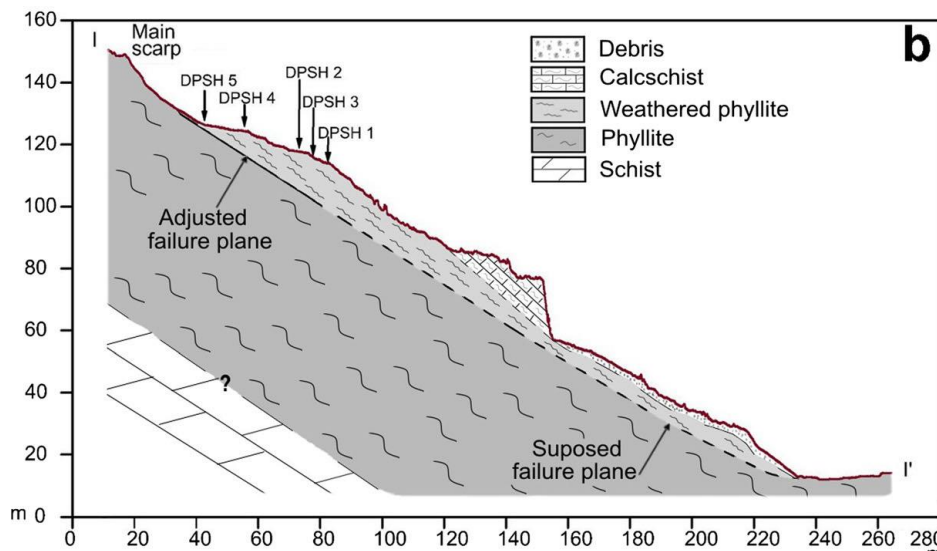


Εικόνα 5.1 Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης. (J. A. Palanzuela et al. 2016)

Η κατολίσθηση που μελετήθηκε είναι η Almegijar, γι' αυτήν παρακάτω δίνεται μια σχηματική απεικόνιση της γεωμορφολογίας στην περιοχή της κατολίσθησης καθώς και μία γεωλογική τομή, η I-I'.



Εικόνα 5.2 Σκαριφηματική γεωμορφολογική απεικόνιση της κατολίσθησης. (J. A. Palanzuela et al. 2016)

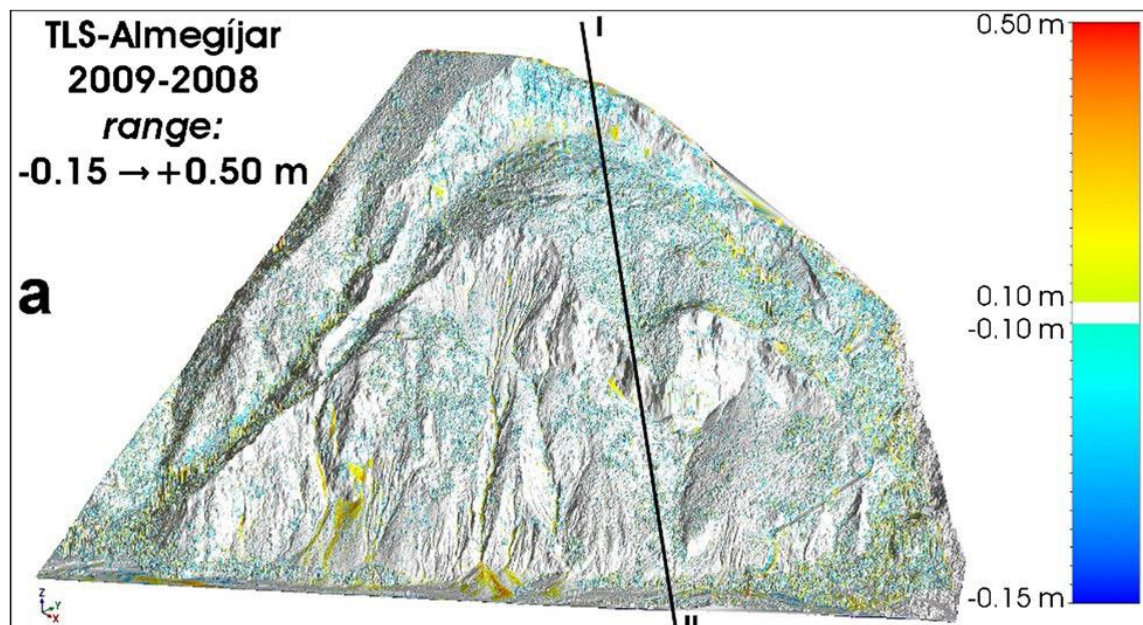


Εικόνα 5.3 Γεωλογική τομή της κατολίσθησης. (J. A. Palanzuela et al. 2016)

Πρώτο και βασικό βήμα της μεθόδου αυτής είναι ο σωστός υπολογισμός της θέσης από την οποία θα σαρωθεί η περιοχή ενδιαφέροντος και η κατάλληλη τοποθέτηση των στόχων και των συσκευών.

Έπειτα από το βήμα αυτό ακολουθεί η επεξεργασία των δεδομένων που έχουν ληφθεί. Αυτή περιλαμβάνει την αναγωγή των point cloud με την εφαρμογή φίλτρων τα οποία μειώνουν την διασπορά. Στη συνέχεια γίνεται γεωαναφορά του εκάστοτε point cloud σε ένα παγκόσμιο σύστημα συντεταγμένων, συγχωνεύονται τα διάφορα point cloud της ίδιας περιοχής σάρωσης, ρυθμίζονται οι διάφοροι σταθμοί, φιλτράρονται τα μη αποδεκτά δεδομένα όπως η φυτοκάλυψη. Τέλος λαμβάνει χώρα το στάδιο του τριγωνισμού όπου υπεισέρχεται ένα μαθηματικό μοντέλο αναφοράς το οποίο συγκρίνει τα χρονικά δεδομένα.

Το τελικό στάδιο περιλαμβάνει την ανάλυση των πληροφοριών που έχουν ληφθεί, συγκρίνοντας τα μοντέλα που δημιουργήθηκαν. Τελικός σκοπός είναι να συγκριθούν οι επιφάνειες των διαφορετικών σαρώσεων και να εντοπιστούν διαφορικές μετατοπίσεις. Αυτό επιτυγχάνεται υπολογίζοντας τα διανύσματα ελάχιστης απόστασης μεταξύ των παλαιότερων και των μεταγενέστερων πακέτων δεδομένων point cloud. Καλύτερα τελικά αποτελέσματα λαμβάνονται όταν υπάρχουν διαδοχικά πολλές σαρώσεις της ίδιας περιοχής και η παραμόρφωση είναι άκαμπτη. Υπολογίζονται οι παραμορφώσεις είτε θετικές είτε αρνητικές και εξάγονται τα αποτελέσματα επισημασμένα με τον αντίστοιχο χρωματικό δείκτη πάνω στην εικόνα σάρωσης όπως φαίνεται παρακάτω. Όπου με κίτρινους έως κόκκινους τόνους εμφανίζονται οι θετικές τιμές όπου λαμβάνει χώρα τοποθέτηση υλικού ενώ με μπλε τόνους οι αρνητικές τιμές όπου λαμβάνει χώρα διάβρωση ή υποχώρηση υλικού.



Εικόνα 5.4 Μετατοπίσεις στην κατολίσθηση Almegijar κατά την χρονική περίοδο 2008-2009. (J. A. Palanzuela et al. 2016)

TLS-Almegíjar

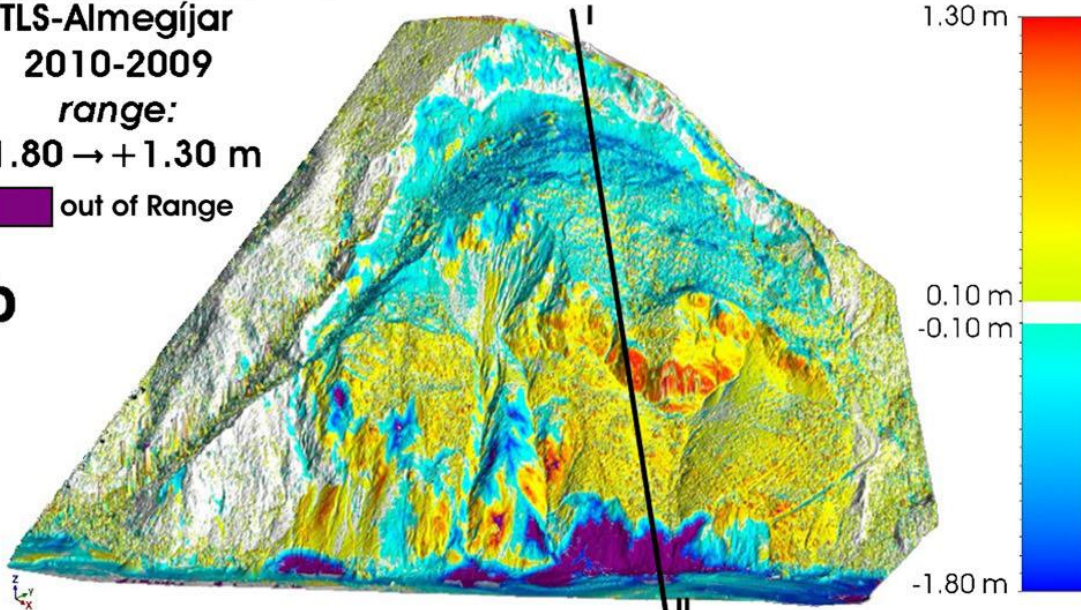
2010-2009

range:

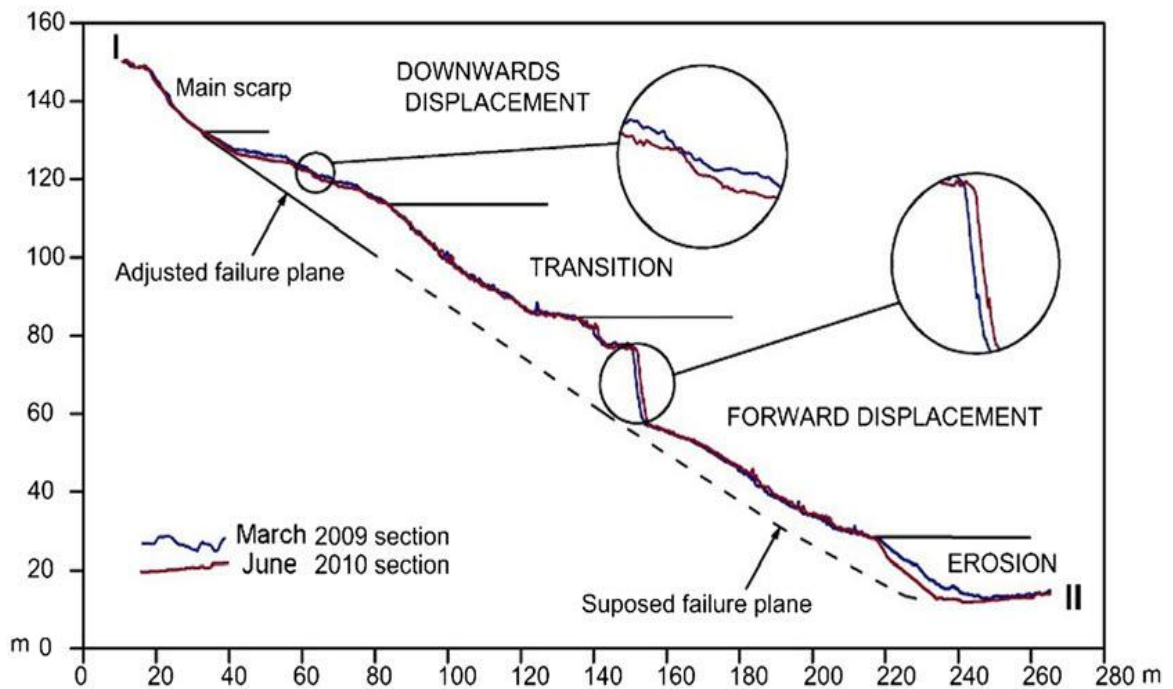
-1.80 → +1.30 m

■ out of Range

b



Εικόνα 5.5 Μετατοπίσεις στην κατολίσθηση Almegíjar κατά την χρονική περίοδο 2009-2010. (J. A. Palanzuela et al. 2016)



Εικόνα 5.6 Τοπογραφική τομή που παρουσιάζει τις αλλαγές στην επιφάνεια της κατολίσθησης την περίοδο μεταξύ Μάρτιος 2009 και Ιούνιος 2010. (J. A. Palanzuela et al. 2016)

6 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ UAV

6.1 Γενικά

Ο όρος UAV αποτελεί ακρωνύμιο του “Unmanned Aerial Vehicles”. Τα UAVs ή αλλιώς γνωστά ως drones, χαίρουν πλέον μιας ευρείας αναγνώρισης και χρήσης όχι αποκλειστικά για επιστημονικούς και ερευνητικούς σκοπούς αλλά και στην καθημερινότητά των ανθρώπων. Πρόκειται ουσιαστικά για μία πλατφόρμα η οποία φέρει φωτογραφική μηχανή, κάμερα ή και θερμική κάμερα καθώς και σύστημα GPS και είναι σε θέση να εκτελέσει μία πτήση, αυτόνομα, ημιαυτόνομα ή πιλοτάροντάς την κάποιος χειριστής με σκοπό να ληφθούν οι απαιτούμενες εικόνες σε κάθε περίπτωση.

Οι πλατφόρμες αυτές χωρίζονται σε τρείς κατηγορίες:

- Open source and Low cost UAV systems (OM-class)
- Micro & Mini UAV systems (M-class)
- Large payload UAV systems (L-class)

Η χρήση των UAVs επιτρέπει την πρόσβαση περιοχών με υψηλό ρίσκο ή ακόμα και μη προσβάσιμων περιοχών. Πρόκειται για μία σχετικά οικονομική και εύκολη στον χειρισμό και την μεταφορά μέθοδο. Μπορούν να εξαχθούν πολύ γρήγορα αποτελέσματα για την περιοχή μελέτης και να λαμβάνονται περιοδικά συχνά και πολλά δεδομένα με σκοπό την μεταξύ τους σύγκριση.

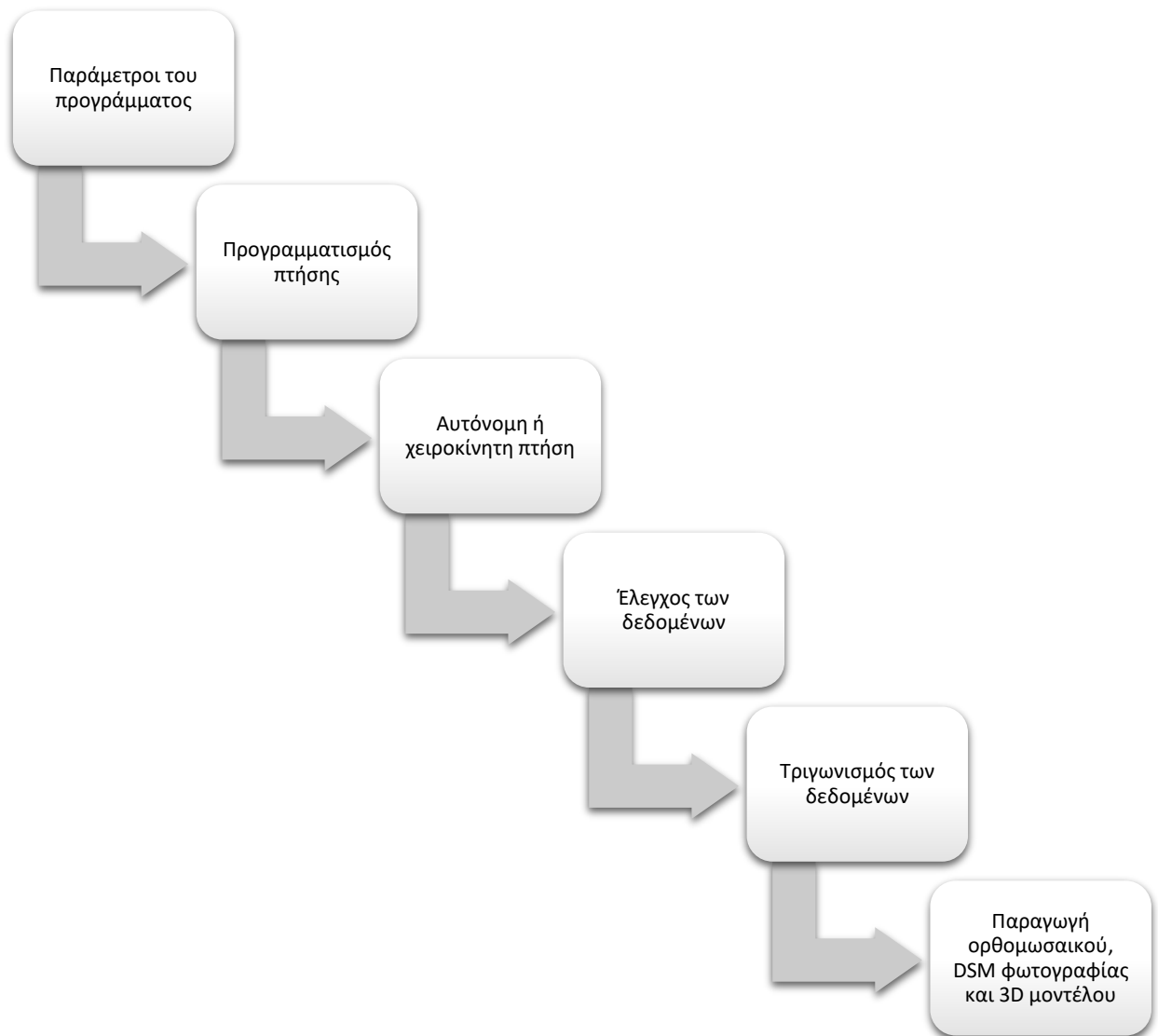
Η χρήση ωστόσο των UAVs όπως συμβαίνει σε όλες τις περιπτώσεις εμφανίζει και μειονεκτήματα όσο και πλεονεκτήματα. Έτσι λοιπόν πρέπει να αναφερθεί ότι η μέθοδος αυτή είναι ευαίσθητη στις καιρικές συνθήκες, τόσο για την λειτουργία της όσο και για την ποιότητα των αποτελεσμάτων που εξάγονται. Ακόμη περιορίζει τον χρόνο χρήσης της, εξαιτίας της αυτονομίας της μπαταρίας. Τέλος υπάρχουν κανονισμοί λειτουργίας αυτής καθώς έγκεινται περιορισμοί από την νομοθεσία της κάθε χώρας.



Εικόνα 6.1 *Dji-Phantom 4* (www.dji.com)

6.2 Οργανόγραμμα εργασιών και λήψη δεδομένων μέσω UAV

Όλα τα βήματα επεξεργασίας της ροής εργασίας κατηγοριοποιούνται σε ενότητες, οι οποίες συνδέουν τα βήματα μεταξύ τους. Ένα βασικό οργανόγραμμα εργασιών μαζί με τις ενδιάμεσες ενέργειες που συνδέουν τα βήματα μεταξύ τους παρουσιάζεται παρακάτω.



Εικόνα 6.2 Ροή εργασιών για την επεξεργασία δεδομένων UAV που δείχνουν τις κύριες διεργασίες.

Η πτήση που θα καθοριστεί από το πλάνο πτήσης έχει ως βάση σημεία που έχουν οριστεί ωρύτερα τα οποία μπορεί να σχηματίζουν έναν κάναβο, έναν διπλό κάναβο, ένα οποιασδήποτε μορφής πολύγωνο, ή μία κυκλική τροχιά. Αν όμως έχει επιλεγεί η χειροκίνητη μη αυτόνομη λειτουργία του drone τότε ο χειριστής με το χειριστήριο του drone το καθοδηγεί κατά βούληση καθ' όλη τη διάρκεια της πτήσης.

6.3 Επεξεργασία φωτογραμμετρικών δεδομένων

Η επεξεργασία των δεδομένων που λαμβάνονται έπειτα από την εκάστοτε πτήση ενός UAV πραγματοποιείται με διάφορα πακέτα λογισμικών. Τέτοια πακέτα είναι το LPS, το ORIMA, το ISDM και το Pix4D, που χρησιμοποιήθηκε και στην παρούσα εργασία.

Η μόνη υποχρέωση του χρήστη στο στάδιο αυτό της επεξεργασίας είναι να εισάγει τα δεδομένα που έχει λάβει στο εκάστοτε πακέτο λογισμικού. Έπειτα η διαδικασία που ακολουθείται είναι αυτόνομη και έχει ως εξής, αρχικά πραγματοποιείται η γεωαναφορά των εικόνων που έχουν ληφθεί με βάση τις συντεταγμένες που έχουν ληφθεί για κάθε εικόνα από το GPS που βρίσκεται εγκατεστημένο στο UAV. Στη συνέχεια πάντα με βάση τα γεωαναφερμένα δεδομένα, εντοπίζονται περιοχές αλληλοεπικάλυψης και με αυτόν τον τρόπο το λογισμικό αρχίζει να χτίζει την καινούργια συνολική εικόνα.

Τα προϊόντα που λαμβάνονται τελικά από το λογισμικό είναι μία ορθοφωτογραφία ή ορθομωσαϊκό όπως αλλιώς αναφέρεται, μία εικόνα DSM, το τελικό 3D μοντέλο και μία συνολική αναφορά η οποία περιλαμβάνει τόσο τις λεπτομέρειες της πτήσης όσο και της επεξεργασίας των δεδομένων από το λογισμικό.



Εικόνα 6.3 Ροή εργασιών στο λογισμικό Pix4D mapper. (www.pix4d.com)

6.4 Η χρήση των UAVs στην μελέτη των κατολισθήσεων

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η χρήση των UAVs χαίρει ευρείας αναγνώρισης τόσο στην καθημερινή ζωή όσο και σε επαγγελματικό, επιστημονικό και ερευνητικό επίπεδο. Η χρήση τους έχει εξελιχθεί εξίσου και στην μελέτη των κατολισθήσεων. Είναι όπως αναφέρθηκε μία μέθοδος οικονομική και εύκολη στην χρήση και την μεταφορά, το οποίο αποτελεί και το κυριότερο πλεονέκτημα όταν πρόκειται για εργασίες υπαίθρου, όπου οι συνθήκες δεν είναι οι ιδανικότερες και οι περιοχές δύσκολα ή/και μη προσβάσιμες.

Με την χρήση των UAVs σε περιοχές με κατολισθήσεις μπορούν να χαρτογραφηθούν τα όρια αυτών χάρη στη διακριτική ικανότητα του ορθομωσαϊκού και να παρακολουθείται σε τακτά χρονικά διαστήματα η περιοχή με σκοπό την παρατήρηση της ενεργότητάς ή μη της κατολίσθησης. Στην περίπτωση που πρόκειται για ενεργή κατολίσθηση μπορεί να γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων της κάθε λήψης και να υπολογιστεί ο ρυθμός μετακίνησής της.

7.1 Γενικά

Γεωλογικά η περιοχή μελέτης βρίσκεται μέσα στο mélange της Αβδέλλας. Πρόκειται συνεπώς για έναν χαοτικό σχηματισμό που αποτελείται από φλυσχικά και πελαγικά ιζήματα και οφιόλιθους όλα μαζί ατάκτως αναμειγμένα. Λίγο ανατολικότερα εντοπίζεται και η επαφή του τεκτονικού αυτού μείγματος με τους οφιόλιθους της περιοχής.

Με δεδομένο τις γενικότερες γεωλογικές συνθήκες της περιοχής και έπειτα από εκτεταμένες παρατηρήσεις στην ύπαιθρο εξήχθησαν ορισμένα συμπεράσματα τόσο για την γεωλογία και την τεχνικογεωλογική θεώρηση της περιοχής όσο και για τον τρόπο με τον οποίο συμπεριφέρονται αυτά τα πετρώματα στις συνθήκες που βρίσκονται σήμερα.

Εκτός όμως από την γεωλογική παρατήρηση επιτόπου στην ύπαιθρο, η περιοχή αποτυπώθηκε με την χρήση της μεθόδου UAV.

7.2 Συμπεράσματα γεωλογικής παρατήρησης στην ύπαιθρο

Ο φλύσχος που απαντάται στην περιοχή παρουσιάζεται τεκτονικά παραμορφωμένος, έντονα ρηγματωμένος και πτυχωμένος. Αποτελείται από ιλυόλιθο με ορισμένα ψαμμιτικά τεμάχια τα οποία επίσης απαντώνται παραμορφωμένα και ρηγματωμένα και στο σύνολο δημιουργείται μία σχεδόν χαοτική δομή. Συνεπώς ο τύπος αυτός χαρακτηρίζεται ως τύπος φλύσχη X στον πίνακα λιθότυπων του φλύσχη (Μαρίνος, Β., 2007).

Η δομή αυτού το φλύσχη σε συνδυασμό με την ποιότητα των ασυνεχειών που εμφανίζονται από λείες έως ολισθηρές και τελικώς χαρακτηρίζονται ως πτωχής ποιότητας, υποβαθμίζουν την ποιότητα και την αντοχή της βραχομάζας και της δίνουν μία τιμή GSI από τον πίνακα του φλύσχη της τάξης του 10-25 (Εικ.7.1) (Πιν.7.1).

Στην περιοχή παρατηρήθηκαν διάφορα μορφολογικά χαρακτηριστικά τα οποία αποτελούν δείκτες κατολισθημένων περιοχών καθώς και ενεργότητας αυτών. Τέτοια χαρακτηριστικά είναι διάφορες διαρρήξεις άλλες μικρότερες και όχι τόσο εμφανείς και άλλες μεγαλύτερες αρκετά σημαντικές στην επιφάνεια του εδάφους. Επίσης παρατηρείται μια γενική ανωμαλία στην μορφολογία με εξάρσεις και βυθίσματα τα οποία δεν δικαιολογούνται υπό συνθήκες σταθερότητας και έλλειψης ολισθήσεων. Ακόμη παρατηρούνται κατά τόπους έντονες κάμψεις στον κορμό των δέντρων στοιχείο το οποίο επίσης προϋποθέτει για την ύπαρξη κατολισθήσεων (Εικ.7.2, 7.3, 7.4, 7.5).

Έπειτα από αυτή την γενική παρατήρηση πιο στοχευμένα πλέον παρατηρήθηκαν οι περιοχές σε τμήματα και προέκυψαν συμπεράσματα για την ύπαρξη τουλάχιστον 10 κατολισθήσεων στην περιοχή μελέτης. Από αυτές κάποιες εμφανίζουν μικρή έκταση και όχι ιδιαίτερα σημαντική ενεργότητα ενώ άλλες καταλαμβάνουν μεγαλύτερη έκταση και εμφανίζουν ιδιαίτερα έντονα σημάδια ενεργότητας. Με την γεωλογική παρατήρηση στην ύπαιθρο μπόρεσαν να προσδιοριστούν αρχικά οι κατολισθήσεις καθώς και σε ένα αρχικό επίπεδο τα όρια τους δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στην οριοθέτηση κυρίως του φρυδιού και του πόδα της εκάστοτε κατολίστησης και λιγότερο των πλευρικών ορίων.



Εικόνα 7.1 Τυπική εικόνα του φλύσχη τύπου X που συναντάται στην περιοχή.

ΔΕΙΚΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ (GSI) ΣΕ ΕΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΕΣ ΟΠΩΣ Ο ΦΛΥΣΧΗΣ		ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ (κυρίως επίπεδα στρώσης)	ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΙΩΝ										
Ετερογενείς βραχώμαζες εννοούνται εδώ αυτές που εναλλάσσονται στρώματα σαφώς διαφορετικών λιθολογικών τύπων με σημαντικές διαφορές στα χαρακτηριστικά αντοχής τους. Για τον φλύσχη αυτές οι εναλλαγές αναφέρονται κυρίως σε ψαμμίτες και ιλυόλιθους. Σε ορισμένες περιπτώσεις εμφανίζονται και αργιλικό σχιστόλιθοι. Βασίζόμενοι στην περιγραφή της λιθολογικής σύστασης, της δομής και της ποιότητας των ασυνεχειών (κυρίως της στρώσης) της βραχώμαζας επιλέξετε το κατάλληλο πεδίο του πίνακα. Η επιλογή της δομής πρέπει να καθορίζεται με βάση την τεκτονική διαταραχή (αδιατάρακτη, μέτρια διαταραγμένη, πολύ πτυχωμένη - διαταραγμένη, αποδιοργανωμένη, διατηρημένη), την αναλογία ψαμμιτών και ιλυολιθών και την εκπεφρασμένη εσωτερική στρωμάτωσή τους. Στους τύπους IV και V όταν το πάχος των τραpezιών του ψαμμίτη είναι μεγάλο (~50 cm) προτείνεται η αύξηση της τιμής GSI κατά 5 μονάδες. Από τον τύπο IV και στους επόμενους τύπους τα επίπεδα στρώσης διακρίνονται μέσα στη μάζα του ιλυόλιθου. Επιλέξτε τη θέση στο πεδίο που περιγράφει τις συνθήκες και εκτιμήστε τη μέση τιμή του GSI από τις καμπύλες. Το να επιλέξετε ένα εύρος τιμών π.χ. από 33 έως 37 είναι πιο ρεαλιστικό από το να δηλώσετε ότι το GSI =35. Ο καθορισμός της δομής καθώς και της ποιότητας των ασυνεχειών μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ δύο γεωγονικών πεδίων προς κάθε κατεύθυνση. Τονίζεται ιδιαίτερα ότι το κριτήριο Hoek - Brown δεν εφαρμόζεται σε αστάθειες που ελέγχονται από συγκεκριμένες ασυνέχειες όταν οι ασθενείς επίπεδες επιφάνειες (όπως διατηρημένα επίπεδα στρώσης) έχουν δυσμενή προσανατολισμό σε σχέση με την εκσκαφή. Τότε αυτές καθορίζουν την συμπεριφορά της βραχώμαζας. Η αντοχή ορισμένων βραχωμαζών μειώνεται από τη παρουσία του υπόγειου νερού και αυτό μπορεί να ληφθεί υπόψη με μικρή μετακίνηση προς τα δεξιά στις στήλες της μέτριας, πτωχής και πολύ πτωχής κατάστασης ασυνεχειών. Η πίεση του νερού δεν μεταβάλλει την τιμή του GSI και λαμβάνεται υπόψη με την ανάλυση ενεργών τάσεων στους υπολογισμούς.			ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τραχείες, υγείες, μη αποσφραγισμένες επιφάνειες	ΚΑΛΗ Τραχείες, ελαφρά αποσφραγισμένες και οξειδωμένες επιφάνειες	ΜΕΤΡΙΑ Λείες, μετρίως αποσφραγισμένες και εξαλλοιωμένες επιφάνειες	ΠΤΩΧΗ Πολύ λείες, κατά περίπτωση ολισθηρές επιφάνειες με συμπαγή επιφλοιώματα ή υλικό πλήρωσης με γωνιακά θραύσματα	ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ Πολύ ολισθηρές επιφάνειες ή πολύ αποσφραγισμένες με μαλακό αργιλικό υλικό πλήρωσης ή επιφλοιώσης						
ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΣΗ													
	ΤΥΠΟΣ I. Αδιατάρακτος, μεσοστρωματώδης έως παχυστρωματώδης ψαμμίτης με σποραδικούς πολύ λεπτούς υμένες ιλυόλιθου. Σε ασθαιές σήραγγες ή πρηνή αν ο μηχανισμός αστάθειας λόγω έλλειψης πλευρικού παρεμποδισμού (χαλαρή δομή) έχει κινηματικό χαρακτήρα που ελέγχεται από τα επίπεδα στρώσης τότε δεν εφαρμόζεται ο δείκτης GSI		ΤΥΠΟΣ II. Αδιατάρακτος συμπαγής ιλυόλιθος (δεν διακρίνονται τα επίπεδα στρώσεων) με σποραδικές λεπτές ενστρώσεις ψαμμιτών				80	I	II	N/A	N/A		
	ΤΥΠΟΣ III. Μέτρια διαταραγμένος ψαμμίτης με λεπτές ενστρώσεις ιλυόλιθων		ΤΥΠΟΣ IV. Μέτρια διαταραγμένη βραχώμαζα που αποτελείται από εναλλαγές ψαμμίτη και ιλυόλιθου σε ίσες περίπου αναλογίες		ΤΥΠΟΣ V. Μέτρια διαταραγμένος ιλυόλιθος με ενστρώσεις ψαμμιτών		ΤΥΠΟΣ VI. Μέτρια διαταραγμένος ιλυόλιθος με αραιές ενστρώσεις ψαμμιτών	60	III	IV	V	VI	N/A
	ΤΥΠΟΣ VII. Έντονα διαταραγμένη - πτυχωμένη βραχώμαζα, η οποία διατηρεί τη δομή της και αποτελείται από εναλλαγές ψαμμίτη και ιλυόλιθου σε ίσες περίπου αναλογίες		ΤΥΠΟΣ VIII. Έντονα διαταραγμένη-πτυχωμένη βραχώμαζα, η οποία διατηρεί τη δομή της και δεν έχει παραμορφωθεί-διατηρεί σε μεγάλο βαθμό και αποτελείται από ιλυόλιθο ή και αργιλικό σχιστόλιθο με ενστρώσεις ψαμμίτη				N/A	N/A	40	VII	VIII		
	ΤΥΠΟΣ IX. Αποδιοργανωμένη βραχώμαζα που απαντάται συνήθως σε μεγάλες ζώνες ρηγιωτών ή/και έντονης αποσάθρωσης. Στον τύπο αυτό απαντώνται κυρίως ψαθυρά γεωυλικά με διαταραγμένο ιλυολιθικό υλικό ανάμεσα		ΤΥΠΟΣ X. Τεκτονικά παραμορφωμένος, έντονα πτυχωμένος, διατηρημένος ιλυόλιθος ή αργιλικός σχιστόλιθος με κερματισμένα και παραμορφωμένα ψαμμιτικά τεμάχια που διαμορφώνουν σχεδόν χασοπή δομή. Οι στρώσεις του ψαμμίτη παραμένουν παράλληλες με αυτές του ιλυόλιθου				N/A	N/A	30	IX	X		
	ΤΥΠΟΣ XI. Τεκτονικώς ισχυρά διατηρημένος ιλυόλιθος ή αργιλικός σχιστόλιθος σε χασοπή δομή με θύλακες αργίλου. Λεπτά στρώματα ψαμμίτη έχουν μετατραπεί σε κερματισμένα πολύ μικρά βραχώδη τεμάχια. Ορισικά η συμπεριφορά των γεωυλικών μπορεί να προσομοιωθεί με εδαφικά							N/A	N/A			10	XI
N/A		Σημειώνει γεωλογικός αδύνατος συνδυασμός. Αλλού, εκτός των σκιασμένων περιοχών, περιπτώσεις όχι αδύνατες αλλά πολύ απίθανο να υπάρχουν											
→		Φορά τεκτονικής διαταραχής αντίστοιχης λιθολογίας											

Πίνακας 7.1 Στην σημασμένη με κόκκινο περιοχή προσδιορίζεται η τιμή GSI του τύπου φλύσχη που απαντάται στην περιοχή μελέτης, 10-25.



Εικόνα 7.2 Ταπείνωση του αναγλύφου και πλευρικά εξάρσεις, έπειτα από έντονη βροχόπτωση λειτουργεί ως λίμνη κατακράτησης νερών, σημάδι ύπαρξης κατολίθησης.



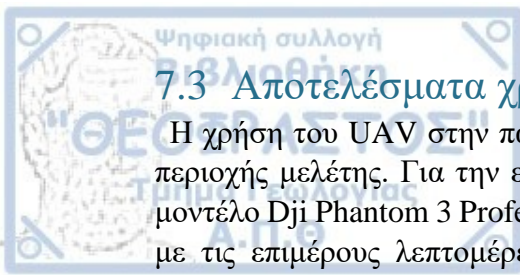
Εικόνα 7.3 Εξάρσεις του αναγλύφου, σημάδι ύπαρξης κατολίθησης.



Εικόνα 7.4 Επιφανειακή διάρρηξη, σημάδι ύπαρξης και ενεργότητας κατολίσθησης.



Εικόνα 7.5 Κάμψη του κορμού των δέντρων, σημάδι ύπαρξης κατολίσθησης.

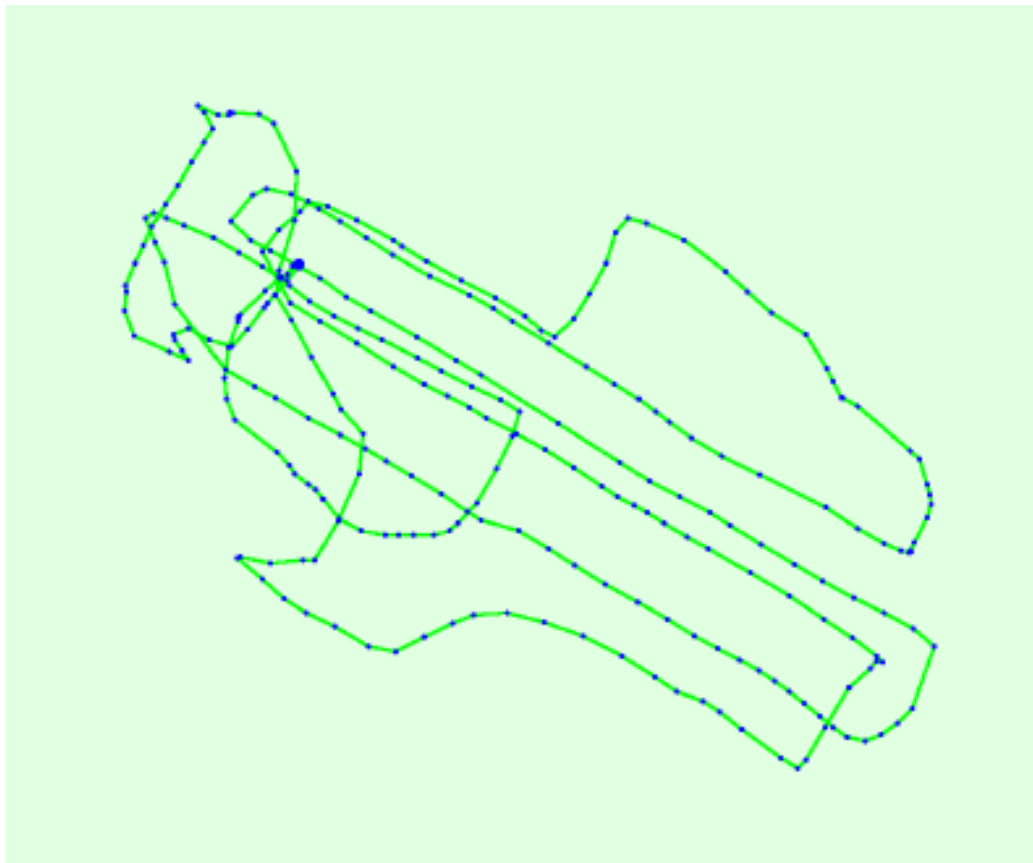


7.3 Αποτελέσματα χρήσης του UAV στην περιοχή μελέτης

Η χρήση του UAV στην παρούσα μελέτη έχει σκοπό την καλύτερη αποτύπωση της περιοχής μελέτης. Για την εκπόνηση της μελέτης αυτής χρησιμοποιήθηκε ένα UAV μοντέλο Dji Phantom 3 Professional. Παρακάτω παρουσιάζεται ένας πίνακας (Πιν.7.2) με τις επιμέρους λεπτομέρειες της πτήσης που πραγματοποιήθηκε πάνω από την περιοχή μελέτης καθώς και των αποτελεσμάτων που εξήχθησαν.

Ημερομηνία λήψης	16-12-2016
Διακριτική ικανότητα	3,15cm
Έκταση που καλύφθηκε	0.1278 km ²
Εικόνες	284 από τις οποίες χρησιμοποιήθηκαν 275
	Μέσος όρος 22876 σημείων ανά εικόνα
	Γεωαναφερμένες 284
	Βαθμονομημένες 275

Πίνακας 7.2 Λεπτομέρειες της πτήσης που πραγματοποιήθηκε.

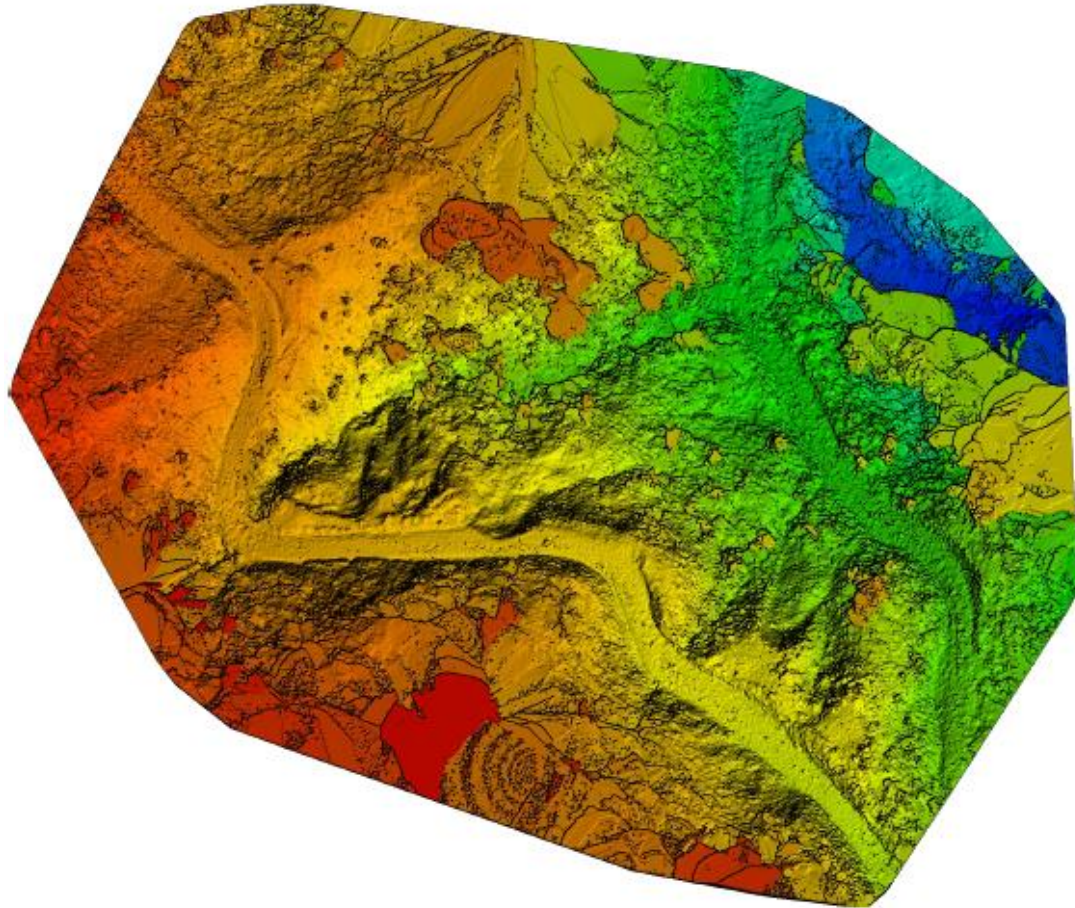


Εικόνα 7.6 Κάτοψη πτήσης. Με τις μπλε κουκίδες παρουσιάζονται τα σημεία στα οποία ελήφθησαν εικόνες ενώ η πράσινη συνεχής γραμμή, ξεκινώντας από την μεγάλη μπλε κουκίδα, ακολουθεί χρονικά την σειρά των εικόνων.

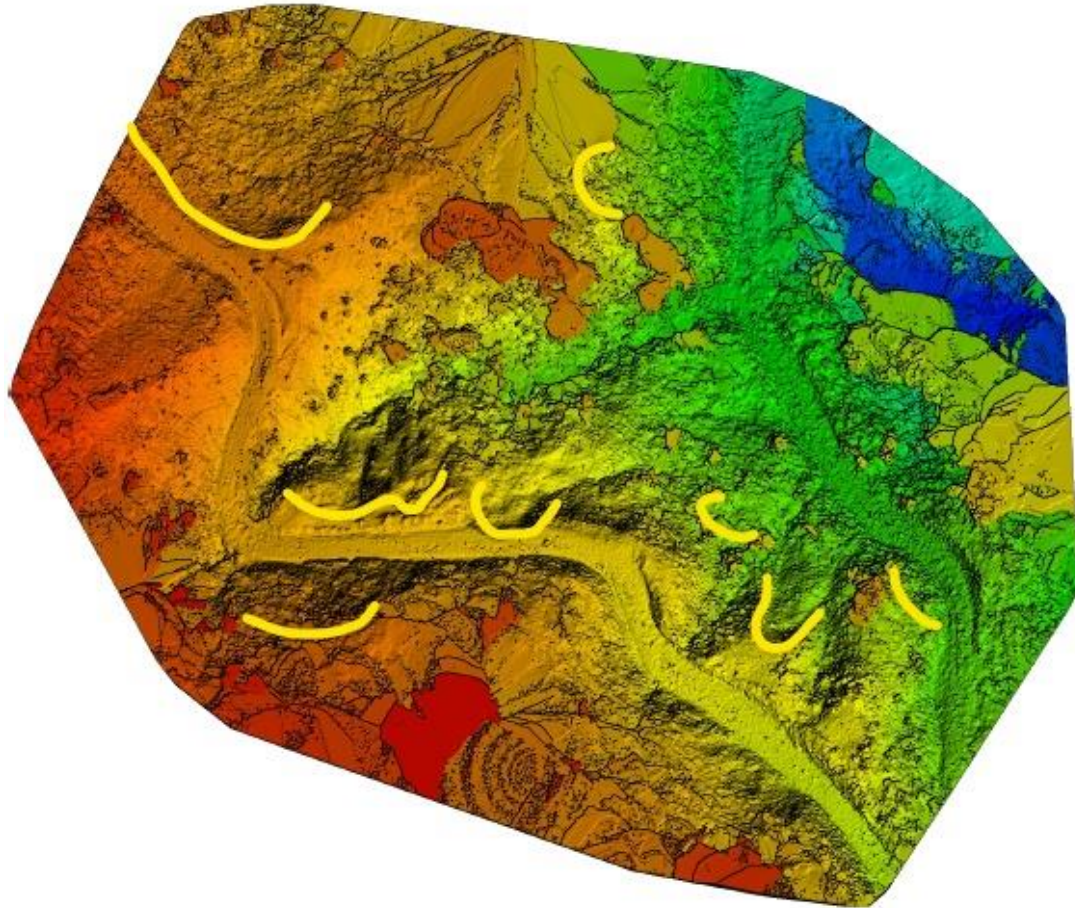
Από την επεξεργασία των εικόνων μέσω του λογισμικού Pix4D mapper εξήχθησαν δύο εικόνες η μια είναι το λεγόμενο ορθομωσαϊκό (Εικ.7.7) και αποτελεί την σύνθεση όλων των εικόνων δίνοντας μια συνολική εικόνα της περιοχής που καλύφθηκε και το DSM (Εικ.7.8) το οποίο μας δίνει την μορφολογία της περιοχής αποτυπώνοντας το υψόμετρο. Τέλος παράγεται κι ένα 3D μοντέλο της περιοχής.



Εικόνα 7.7 Ορθομωσαϊκό της περιοχής μελέτης.



Εικόνα 7.8 DSM της περιοχής μελέτης. Με πιο θερμά χρώματα εμφανίζονται τα μεγαλύτερα υψόμετρα, ενώ με πιο ψυχρές αποχρώσεις τα χαμηλότερα υψόμετρα

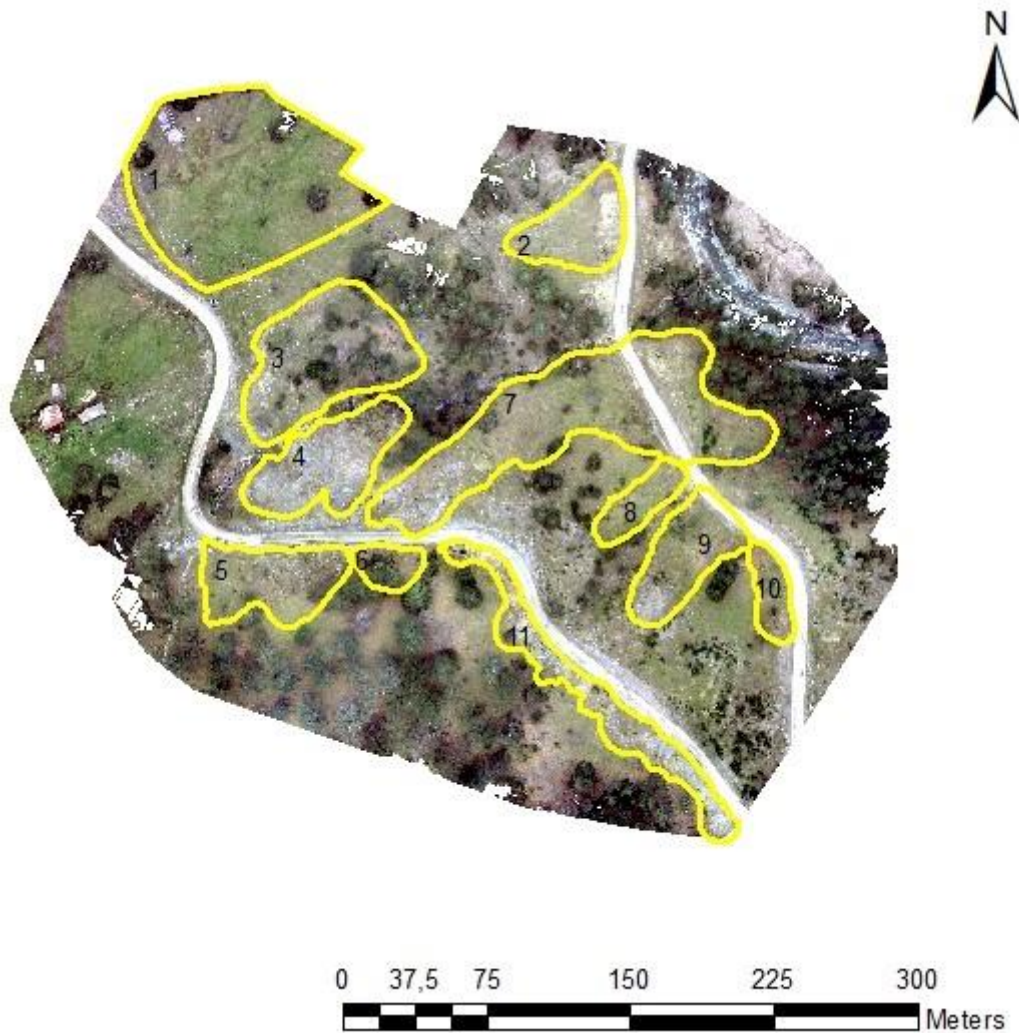


Εικόνα 7.9 DSM της περιοχής μελέτης. Με πιο θερμά χρώματα εμφανίζονται τα μεγαλύτερα υψόμετρα, ενώ με πιο ψυχρές αποχρώσεις τα χαμηλότερα υψόμετρα. Με κίτρινο παρουσιάζονται τα φρύδια των ενεργών κατολισθήσεων.

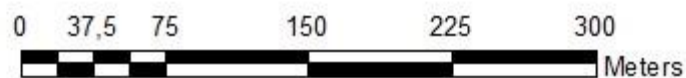
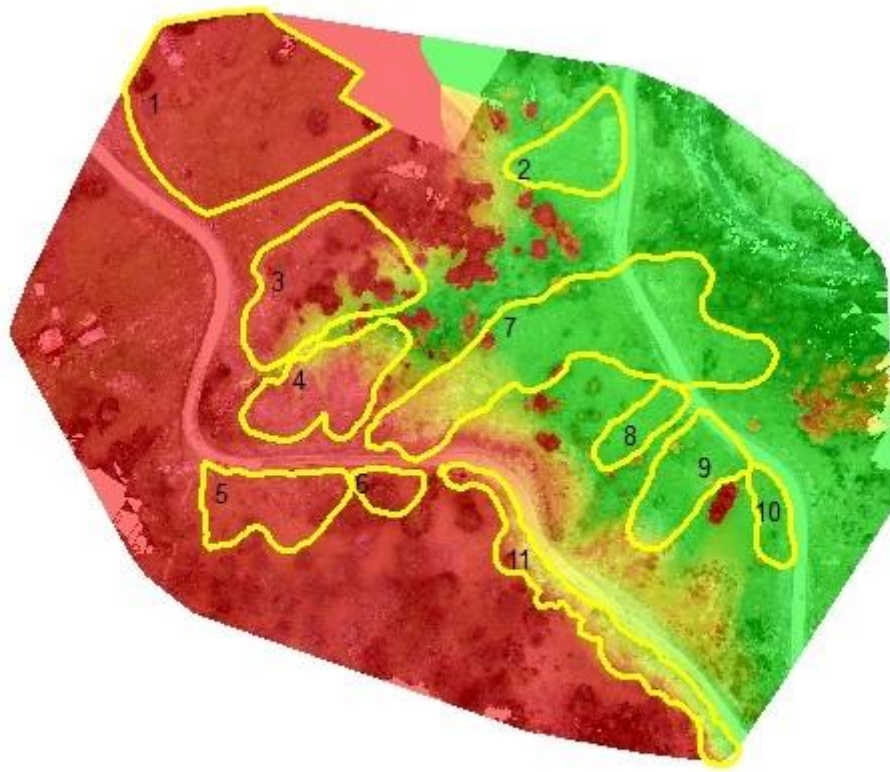
7.4 Συσχέτιση των δεδομένων του UAV με την γεωλογική παρατήρηση στην ύπαιθρο

Οι εικόνες που εξήχθησαν από το UAV σε συνδυασμό με τις γεωλογικές παρατηρήσεις που έγιναν επιτόπου στην ύπαιθρο, οδήγησαν σε ορισμένα συμπεράσματα τόσο για την γενική εικόνα της περιοχής μελέτης και το μοντέλο που εξηγεί τις ολισθήσεις, όσο και λεπτομερέστερες πληροφορίες για την εκάστοτε κατολίσθηση.

Η επεξεργασία των δεδομένων αυτών και των παρατηρήσεων οδήγησε στην χαρτογράφηση και οριοθέτηση των κατολισθήσεων και μετέπειτα στον ποσοτικό υπολογισμό των γεωμετρικών χαρακτηριστικών τους (Εικ.7.10, 7.11).



Εικόνα 7.10 Η οριοθέτηση και χαρτογράφηση των κατολισθήσεων όπως αυτές προέκυψαν από την παρούσα μελέτη. Με κίτρινο προσδιορίζονται τα όρια της εκάστοτε κατολίσθησης.



Εικόνα 7.11 Η περιοχή μελέτης με τις χαρτογραφημένες και οριοθετημένες κατολισθήσεις, υπερκαλυμμένη με την εικόνα του DSM.

Γενικά στην περιοχή παρατηρούνται ορισμένες σταθερές ράχεις και εκατέρωθεν αυτών η ύπαρξη κατολισθήσεων. Η γεωλογική παρατήρηση έδειξε ότι στις σταθερές περιοχές το πέτρωμα εμφανίζεται να έχει υψηλότερη αντοχή και ποιότητα καθώς εκλείπει ο τύπος X του φλύσχη και συναντώνται καλύτεροι ποιοτικά τύποι φλύσχη ή ακόμα και ασβεστολιθικοί πάγκοι. Οι ράχεις αυτές έχουν συνήθως ένα πλάτος της τάξης των 5-10m ενώ οι ασβεστολιθικοί πάγκοι όπου εμφανίστηκαν είχαν μια παρακατακόρυφη διάταξη σε σχέση με την στρώση τους και ένα πλάτος εμφάνισης της τάξης των 2-4m (Εικ.7.12,7.13,7.14,7.16).



Εικόνα 7.12 Σταθερή ράχη. Εκατέρωθεν αυτής εμφανίζονται κατολισθήσεις. Συγκεκριμένα στα αριστερά της η Ls_Per1 και στα δεξιά η Ls_Per3.



Εικόνα 7.13 Οι παρακατακόρυφα διατεταγμένοι ασβεστολιθικοί πάγκοι, εντοπίζονται σε σταθερή ράχη. Δεξιά αυτών εντοπίζεται η κατολίσθηση Ls_Per2 ενώ αριστερά υπάρχει ρέμα.



Εικόνα 7.14 Κατακόρυφη διάταξη των στρωμάτων του ασβεστόλιθου όπως αυτοί εντοπίστηκαν μέσα σε ρέμα.

Αντίστοιχα οι περιοχές που κατολισθαίνουν αποτελούνται κυρίως από τον τύπο φλύσχη X, όπως προαναφέρθηκε (Εικ.7.15). Επικρατεί μία χαοτική δομή και το υλικό χαρακτηρίζεται από χαμηλές μηχανικές ιδιότητες. Ως αποτέλεσμα αυτού τείνει να δίνει περιστροφικές ολισθήσεις με τις κλίσεις των ολισθήσεων να κυμαίνονται από 7-30°, ενώ αντίστοιχα τα βάθη των ολισθήσεων εκτιμώνται από πολύ επιφανειακά, πιθανόν 1-3m έως όμως και πιο βαθιά.




Εικόνα 7.15 Τυπική εικόνα του φλύσχη τύπου X που επικρατεί στην περιοχή.



Εικόνα 7.16 Η οριοθέτηση και χαρτογράφηση των κατολισθήσεων όπως αυτές προέκυψαν από την παρούσα μελέτη. Με κίτρινο προσδιορίζονται τα όρια της εκάστοτε κατολίσθησης. Με μπλε κουκίδες σημειώνονται οι εμφανίσεις του ασβεστόλιθου, ενώ με διακεκομμένη γραμμή η σταθερή ράχη που δημιουργείται.


7.5 Μητρώα κατολισθήσεων


Στην παράγραφο αυτή δίνονται συγκεντρωτικοί πίνακες οι οποίοι παρουσιάζουν τα στοιχεία της εκάστοτε κατολίσθησης. Τα στοιχεία που παρατίθενται πραγματεύονται κυρίως την γεωμετρία των κατολισθήσεων, τα μορφολογικά τους χαρακτηριστικά, την ενεργότητα αυτών, τα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά του πετρώματος καθώς και την φύση και την γεωμετρία των κατολισθέντων υλικών.


A/A	Ls_Per1				
Γενικά	Τοποθεσία	Περιβόλι Γρεβενών			
	Χρήση Γης	Δασική έκταση			
	Ανθρώπινη δραστηριότητα	Απόρριψη τεχνητών επιχώσεων στο φρύδι			
	Ενεργότητα κατολίσθησης	Ενεργή Μάιος 2017 (διαρρήξεις στο φρύδι)			
Γεωλογία	Γεωλογική ενότητα	Ζώνη Ωλονού-Πίνδου	Γεωμετρία κατολίσθησης	Μήκος/Πλάτος/Βάθος	120m/105m
	Λιθολογία	Φλύσχης-Ιλυόλιθος		Εμβαδόν κατολίσθησης	9478,54m ²
				Υψομετρική διαφορά (Φρυδιού και πόδα)	14m
				Κλίση επιφάνειας κατολίσθησης	7°
	Δομή	Ισχυρά διατμημένος, χαοτική δομή	Αποσάθρωση	Εδαφοποιημένη δομή επιφανειακά	
Υδρογεωλογία	Επιφανειακό νερό	Μόνο το μετεωρικό	Γεωτεχνικές παράμετροι	Τύπος βραχομάζας	Τύπος XI στον πίνακα GSI του φλύσχης. Οριακά έδαφος
	Πηγές	Εκτός της κατολίσθησης στο ύψος του φρυδιού		Ασυνέχειες	Πολύ λείες-ολισθηρές, όπου εμφανίζονται επιφάνειες.
				GSI	10-15
Υπόγειο νερό	Μικρό ποσοστό κατείσδυσης που ασκεί πιέσεις πόρων στο εσωτερικό και οδηγεί στις διαρρήξεις. Υδροφόρος ορίζοντας ψηλά.	Περατότητα	Πρακτικά αδιαπέρατα πετρώματα		
Κατολισθέντα υλικά	Προέλευση	Φλύσχης & τεμάχη ασβεστολιθικά	Πάχος κατολισθέντων		
	Τύπος υλικών	Ιλύς με τεμάχη 30cm-1.5m	Έκταση	9478,54m ² (Σε όλη την έκταση της κατολίσθησης)	
	Ποσοστό matrix/block	80-20%	Μήκος εξάπλωσης	120m (Σε όλο το μήκος της κατολίσθησης)	


A/A		Ls_Per2			
Γενικά	Τοποθεσία	Περιβάλλον Γρεβενών			
	Χρήση Γης	Δασική έκταση			
	Ανθρώπινη δραστηριότητα	Διαπλάτυση δρόμου			
	Ενεργότητα κατολίσθησης	Ενεργή (επιηρεάζει τον δρόμο στα κατάντη)			
Γεωλογία	Γεωλογική ενότητα	Ζώνη Ωλονού-Πίνδου	Γεωμετρία κατολίσθησης	Μήκος/Πλάτος/Βάθος	64m/37m
				Εμβαδόν κατολίσθησης	1974,65m ²
	Λιθολογία	Φλύσχης-Ιλυόλιθος με ενστρώσεις ψαμμιτών		Υψομετρική διαφορά (Φρυδιού και πόδα)	27m
				Κλίση επιφάνειας κατολίσθησης	23°
	Δομή	Τεκτονικά παραμορφωμένος, σχεδόν χαοτική δομή		Αποσάθρωση	Εδαφοποιημένη δομή επιφανειακά λόγω της αποσάθρωσης
Υδρογεωλογία	Επιφανειακό νερό	Στα Ανατολικά υπάρχει ρέμα	Γεωτεχνικές παράμετροι	Τύπος βραχομάζας	Τύπος Χ στον πίνακα GSI του φλύσχης
	Πηγές	Εκτός της κατολίσθησης		Ασυνέχειες	Λείες μέτρια αποσαθρωμένες
				GSI	20-30
	Υπόγειο νερό	Μικρό ποσοστό κατείσδυσης που ασκεί πιέσεις πόρων στο εσωτερικό και οδηγεί στις διαρρήξεις. Υδροφόρος ορίζοντας ψηλά.	Περατότητα	Πρακτικά αδιαπέρατα πετρώματα	
Κατολισθέντα υλικά	Προέλευση	Φλύσχης και τεμάχη ασβεστολιθικά	Πάχος κατολισθέντων		
	Τύπος υλικών	Ιλύς, με χάλικες και τεμάχη ασβεστολιθικά <35cm	Έκταση	1974,65m ² (Σε όλη την έκταση της κατολίσθησης)	
	Ποσοστό matrix/block	80-20%	Μήκος εξάπλωσης	37m (Σε όλο το μήκος της κατολίσθησης)	


A/A	Ls_Per3				
Γενικά	Τοποθεσία	Περιβάλλον Γρεβενών			
	Χρήση Γης	Δασική έκταση			
	Ανθρώπινη δραστηριότητα	Απόρριψη τεχνητών επιχώσεων στο φρύδι			
	Ενεργότητα κατολίσθησης	Πιθανώς ενεργή			
Γεωλογία	Γεωλογική ενότητα	Ζώνη Ωλονού-Πίνδου	Γεωμετρία κατολίσθησης	Μήκος/Πλάτος/Βάθος	53m/96m
	Λιθολογία	Φλύσχης-Ιλυόλιθος		Εμβαδόν κατολίσθησης	4677,93m ²
				Υψομετρική διαφορά (Φρυδιού και πόδα)	24m
	Κλίση επιφάνειας κατολίσθησης	24°			
Δομή	Τεκτονικά παραμορφωμένους, σχεδόν χασοτική δομή			Αποσάθρωση	Εδαφοποιημένη δομή επιφανειακά
Υδρογεωλογία	Επιφανειακό νερό	Στο πόδι υπάρχει ρέμα	Γεωτεχνικές παράμετροι	Τύπος βραχομάζας	
	Πηγές	Εκτός της κατολίσθησης (στο ύψος του φρυδιού)		Ασυνέχειες	
	GSI				
Υπόγειο νερό	Μικρό ποσοστό κατείδυσης που ασκεί πιέσεις πόρων στο εσωτερικό και οδηγεί στις διαρρήξεις. Υδροφόρος ορίζοντας ψηλά.			Περατότητα	Πρακτικά αδιαπέρατα πετρώματα
Κατολισθέντα υλικά	Προέλευση	Τεχνητές επιχώσεις, Φλύσχης και τεμάχη ασβεστολιθικά	Πάχος κατολισθέντων		
	Τύπος υλικών	Ιλύς, με χάλικες και τεμάχη ασβεστολιθικά <60cm	Έκταση	4677,93m ² (Σε όλη την έκταση της κατολίσθησης)	
	Ποσοστό matrix/block	80-20%	Μήκος εξάπλωσης	53m (Σε όλο το μήκος της κατολίσθησης)	


A/A		Ls_Per4			
Γενικά	Τοποθεσία	Περιβάλλον Γρεβενών			
	Χρήση Γης	Δασική έκταση			
	Ανθρώπινη δραστηριότητα	Απόρριψη τεχνητών επιχώσεων στο φρύδι			
	Ενεργότητα κατολίσθησης	Ενεργή (διαρρήξεις σε όλη τη μάζα της)			
Γεωλογία	Γεωλογική ενότητα	Ζώνη Ωλονού-Πίνδου	Γεωμετρία κατολίσθησης	Μήκος/Πλάτος/Βάθος	87m/37m/
	Λιθολογία	Φλύσχης-Ιλυόλιθος με ενστρώσεις ψαμμιτών		Εμβαδόν κατολίσθησης	2960,703229
	Δομή	Τεκτονικά παραμορφωμένους, σχεδόν χασοτική δομή		Υψομετρική διαφορά (Φρυδιού και πόδα)	22m
				Κλίση επιφάνειας κατολίσθησης	14°
Υδρογεωλογία	Επιφανειακό νερό	Στο πόδι υπάρχει ρέμα	Γεωτεχνικές παράμετροι	Τύπος βραχομάζας	Τύπος Χ στον πίνακα GSI του φλύσχης
	Πηγές	Εκτός της κατολίσθησης (στο ύψος του φρυδιού)		Ασυνέχειες	Λείες μέτρια αποσαθρωμένες
				GSI	25-30
	Υπόγειο νερό	Μικρό ποσοστό κατείδυσης που ασκεί πιέσεις πόρων στο εσωτερικό και οδηγεί στις διαρρήξεις. Υδροφόρος ορίζοντας ψηλά.	Περατότητα	Πρακτικά αδιαπέρατα πετρώματα	
Κατολισθέντα υλικά	Προέλευση	Τεχνητές επιχώσεις, Φλύσχης	Πάχος κατολισθέντων		
	Τύπος υλικών	Τεχνητές επιχώσεις, ιλύς, με χάλικες και τεμάχια <50cm ψαμμιτικά και ασβεστολιθικά	Έκταση	2960,70m ² (Σε όλη την έκταση της κατολίσθησης)	
	Ποσοστό matrix/block	70-30%	Μήκος εξάπλωσης	87m (Σε όλο το μήκος της κατολίσθησης)	

A/A	Ls_Per5				
Γενικά	Τοποθεσία	Περιβάλλον Γρεβενών			
	Χρήση Γης	Δασική έκταση			
	Ανθρώπινη δραστηριότητα	Διαπλάτυνση δρόμου			
	Ενεργότητα κατολίθησης	Ενεργή Φθινόπωρο 2016 (διαρρήξεις στο κατώτερο τμήμα της)			
Γεωλογία	Γεωλογική ενότητα	Ζώνη Ωλονού-Πίνδου	Γεωμετρία κατολίθησης	Μήκος/Πλάτος/Βάθος	42m/80m
				Εμβαδόν κατολίθησης	2546,12m ²
	Λιθολογία	Φλύσχης-Ιλυόλιθος με ενστρώσεις ψαμμιτών		Υψομετρική διαφορά (Φρυδιού και πόδα)	16m
				Κλίση επιφάνειας κατολίθησης	21°
	Δομή	Τεκτονικά παραμορφωμένος, σχεδόν χαοτική δομή	Αποσάθρωση	Εδαφοποιημένη δομή επιφανειακά	
Υδρογεωλογία	Επιφανειακό νερό	Στα Δυτικά υπάρχει ρέμα	Γεωτεχνικές παράμετροι	Τύπος βραχομάζας	Τύπος Χ στον πίνακα GSI του φλύσχης
	Πηγές	Εκτός της κατολίθησης		Ασυνέχειες	Λείες μέτρια αποσαθρωμένες
				GSI	10-25
	Υπόγειο νερό	Μικρό ποσοστό κατείδυνσης που ασκεί πιέσεις πόρων στο εσωτερικό και οδηγεί στις διαρρήξεις. Υδροφόρος ορίζοντας ψηλά.	Περατότητα	Πρακτικά αδιαπέρατα πετρώματα	
Κατολισθέντα υλικά	Προέλευση	Φλύσχης	Πάχος κατολισθέντων		
	Τύπος υλικών	Ιλύς με τεμάχια ψαμμιτικά <30cm	Έκταση	2546,12m ² (Σε όλη την έκταση της κατολίθησης)	
	Ποσοστό matrix/block	70-30%	Μήκος εξάπλωσης	42m (Σε όλο το μήκος της κατολίθησης)	

A/A	Ls_Per6				
Γενικά	Τοποθεσία	Περιβάλλον Γρεβενών			
	Χρήση Γης	Δασική έκταση			
	Ανθρώπινη δραστηριότητα	Διαπλάτυνση δρόμου			
	Ενεργότητα κατολίσθησης	Ενεργή Φθινόπωρο 2016 (διαρρήξεις στο φρύδι)			
Γεωλογία	Γεωλογική ενότητα	Ζώνη Ωλονού-Πίνδου	Γεωμετρία κατολίσθησης	Μήκος/Πλάτος/Βάθος	24m/35m/
				Εμβαδόν κατολίσθησης	681,5m ²
	Λιθολογία	Φλύσχης-Ιλυόλιθος με ενστρώσεις ψαμμιτών		Υψομετρική διαφορά (Φρυδιού και πόδα)	14m
				Κλίση επιφάνειας κατολίσθησης	30°
	Δομή	Τεκτονικά παραμορφωμένος, σχεδόν χαστική δομή	Αποσάθρωση	Εδαφοποιημένη δομή επιφανειακά λόγω της αποσάθρωσης	
Υδρογεωλογία	Επιφανειακό νερό	Μόνο το μετεωρικό	Γεωτεχνικές παράμετροι	Τύπος βραχομάζας	Τύπος Χ στον πίνακα GSI του φλύσχης
	Πηγές	Εκτός της κατολίσθησης		Ασυνέχειες	Λείες μέτρια αποσαθρωμένες
				GSI	10-25
	Υπόγειο νερό	Μικρό ποσοστό κατείσδυσης που ασκεί πιέσεις πόρων στο εσωτερικό και οδηγεί στις διαρρήξεις. Υδροφόρος ορίζοντας ψηλά.	Περατότητα	Πρακτικά αδιαπέρατα πετρώματα	
Κατολισθέντα υλικά	Προέλευση	Φλύσχης	Πάχος κατολισθέντων		
	Τύπος υλικών	Ιλύς με ψαμμιτικά τεμάχια <30cm	Έκταση	681,5m ² (Σε όλη την έκταση της κατολίσθησης)	
	Ποσοστό matrix/block	70-30%	Μήκος εξάπλωσης	24m (Σε όλο το μήκος της κατολίσθησης)	

A/A		Ls_Per7			
Γενικά	Τοποθεσία	Περιβόλι Γρεβενών			
	Χρήση Γης	Δασική περιοχή			
	Ανθρώπινη δραστηριότητα	Απόρριψη τεχνητών επιχώσεων στο φρύδι			
	Ενεργότητα κατολίσθησης	Ενεργή Συνεχείς εκδηλώσεις (διαρρήξεις, επηρεάζεται και ο δρόμος στα κατάντη)			
Γεωλογία	Γεωλογική ενότητα	Ζώνη Ωλονού-Πίνδου	Γεωμετρία κατολίσθησης	Μήκος/Πλάτος/Βάθος	225m/45m
	Λιθολογία	Φλύσχης-Ιλυόλιθος με ενστρώσεις ψαμμιτών		Εμβαδόν κατολίσθησης	8822,61m ²
				Υψομετρική διαφορά (Φρυδιού και πόδα)	46m
				Κλίση επιφάνειας κατολίσθησης	12°
Δομή	Τεκτονικά παραμορφωμένος, σχεδόν χασοτική δομή	Αποσάθρωση	Εδαφοποιημένη δομή επιφανειακά		
Υδρογεωλογία	Επιφανειακό νερό	Μόνο το μετεωρικό	Γεωτεχνικές παράμετροι	Τύπος βραχομάζας	Τύπος Χ στον πίνακα GSI του φλύσχης
	Πηγές	Εκτός της κατολίσθησης		Ασυνέχειες	Λείες μέτρια αποσαθρωμένες
	Υπόγειο νερό	Μικρό ποσοστό κατείσδυσης που ασκεί πιέσεις πόρων στο εσωτερικό και οδηγεί στις διαρρήξεις. Υδροφόρος ορίζοντας ψηλά.		Περατότητα	Πρακτικά αδιαπέρατα πετρώματα
Κατολισθέντα υλικά	Προέλευση	Φλύσχης, Επιχώσεις	Πάχος κατολισθέντων		
	Τύπος υλικών	Επιχώσεις, ιλύς, με χάλικες και τεμάχια <50cm ψαμμιτικά	Έκταση	Πιθανή εξάπλωση στα κατάντη και εκτός των ορίων της κατολίσθησης	
	Ποσοστό matrix/block	70-30%	Μήκος εξάπλωσης	Πιθανή εξάπλωση στα κατάντη και εκτός των ορίων της κατολίσθησης	

A/A	Ls_Per8				
Γενικά	Τοποθεσία	Περιβάλλον Γρεβενών			
	Χρήση Γης	Δασική περιοχή			
	Ανθρώπινη δραστηριότητα	Απόρριψη τεχνητών επιχώσεων στο φρύδι			
	Ενεργότητα κατολίσθησης	Ενεργή Συνεχείς εκδηλώσεις (διαρρήξεις)			
Γεωλογία	Γεωλογική ενότητα	Ζώνη Ωλονού-Πίνδου	Γεωμετρία κατολίσθησης	Μήκος/Πλάτος/Βάθος	58m/18m
	Λιθολογία	Φλύσχης-Ιλυόλιθος με ενστρώσεις ψαμμιτών		Εμβαδόν κατολίσθησης	988,47m ²
				Υψομετρική διαφορά (Φρυδιού και πόδα)	15m
				Κλίση επιφάνειας κατολίσθησης	15°
Δομή	Τεκτονικά παραμορφωμένος, σχεδόν χαοτική δομή	Αποσάθρωση	Εδαφοποιημένη δομή επιφανειακά		
Υδρογεωλογία	Επιφανειακό νερό	Μόνο το μετεωρικό	Γεωτεχνικές παράμετροι	Τύπος βραχομάζας	
	Πηγές	Εκτός της κατολίσθησης		Ασουνέχειες	
				GSI	
Υπόγειο νερό	Μικρό ποσοστό κατείσδυσης που ασκεί πιέσεις πόρων στο εσωτερικό και οδηγεί στις διαρρήξεις. Υδροφόρος ορίζοντας ψηλά.		Περατότητα	Πρακτικά αδιαπέρατα πετρώματα	
Κατολισθέντα υλικά	Προέλευση	Τεχνητές επιχώσεις-Φλύσχης	Πάχος κατολισθέντων		
	Τύπος υλικών	Τεχνητές επιχώσεις, ιλύς, με χάλικες και τεμάχια ψαμμιτικά και ασβεστολιθικά <30cm	Έκταση	988,47m ² (Σε όλη την έκταση της κατολίσθησης)	
	Ποσοστό matrix/block	80-20%	Μήκος εξάπλωσης	58m (Σε όλο το μήκος της κατολίσθησης)	

A/A	Ls_Per9				
Γενικά	Τοποθεσία	Περιβάλλον Γρεβενών			
	Χρήση Γης	Δασική περιοχή			
	Ανθρώπινη δραστηριότητα	Απόρριψη τεχνητών επιχώσεων στο φρύδι			
	Ενεργότητα κατολίσθησης	Ενεργή Συνεχείς εκδηλώσεις (διαρρήξεις)			
Γεωλογία	Γεωλογική ενότητα	Ζώνη Ωλονού-Πίνδου	Γεωμετρία κατολίσθησης	Μήκος/Πλάτος/Βάθος	77m/36m
	Λιθολογία	Φλύσχης-Ιλυόλιθος με ενστρώσεις ψαμμιτών		Εμβαδόν κατολίσθησης	2276,18m ²
				Υψομετρική διαφορά (Φρυδιού και πόδα)	22m
				Κλίση επιφάνειας κατολίσθησης	16°
Δομή	Τεκτονικά παραμορφωμένος, σχεδόν χαοτική δομή	Αποσάθρωση	Εδαφοποιημένη δομή επιφανειακά		
Υδρογεωλογία	Επιφανειακό νερό	Μόνο το μετεωρικό	Γεωτεχνικές παράμετροι	Τύπος βραχομάζας	
	Πηγές	Εκτός της κατολίσθησης		Ασουνέχειες	
				GSI	
Υπόγειο νερό	Μικρό ποσοστό κατείσδυσης που ασκεί πιέσεις πόρων στο εσωτερικό και οδηγεί στις διαρρήξεις. Υδροφόρος ορίζοντας ψηλά.		Περατότητα	Πρακτικά αδιαπέρατα πετρώματα	
Κατολισθέντα υλικά	Προέλευση	Τεχνητές επιχώσεις-Φλύσχης	Πάχος κατολισθέντων		
	Τύπος υλικών	Τεχνητές επιχώσεις, ιλύς, με χάλικες και τεμάχια <30cm ψαμμιτικά και ασβεστολιθικά	Έκταση	2276,18m ² (Σε όλη την έκταση της κατολίσθησης)	
	Ποσοστό matrix/block	80-20%	Μήκος εξάπλωσης	77m (Σε όλο το μήκος της κατολίσθησης)	

A/A	Ls_Per10				
Γενικά	Τοποθεσία	Περιβόλι Γρεβενών			
	Χρήση Γης	Δασική έκταση			
	Ανθρώπινη δραστηριότητα	Διαπλάτυνση δρόμου			
	Ενεργότητα κατολίσθησης	Ενεργή (συνεχείς διαρρήξεις σε όλο το σώμα της)			
Γεωλογία	Γεωλογική ενότητα	Ζώνη Ωλονού-Πίνδου	Γεωμετρία κατολίσθησης	Μήκος/Πλάτος/Βάθος	18m/55m
	Λιθολογία	Φλύσχης-Ιλυόλιθος με ενστρώσεις ψαμμιτών		Εμβαδόν κατολίσθησης	845,36m ²
				Υψομετρική διαφορά (Φρυδιού και πόδα)	9m
				Κλίση επιφάνειας κατολίσθησης	27°
	Δομή	Τεκτονικά παραμορφωμένος, σχεδόν χαστική δομή	Αποσάθρωση	Εδαφοποιημένη δομή επιφανειακά λόγω της αποσάθρωσης	
Υδρογεωλογία	Επιφανειακό νερό	Μόνο το μετεωρικό	Γεωτεχνικές παράμετροι	Τύπος βραχομάζας	
	Πηγές	Εκτός της κατολίσθησης		Ασυνέχειες	
				GSI	
	Υπόγειο νερό	Μικρό ποσοστό κατείσδυσης που ασκεί πιέσεις πόρων στο εσωτερικό και οδηγεί στις διαρρήξεις. Υδροφόρος ορίζοντας ψηλά.	Περατότητα	Πρακτικά αδιαπέρατα πετρώματα	
Κατολισθέντα υλικά	Προέλευση	Φλύσχης	Πάχος κατολισθέντων		
	Τύπος υλικών	Ιλύς με ψαμμιτικά τεμάχια <30cm	Έκταση	845,36m ² (Σε όλη την έκταση της κατολίσθησης)	
	Ποσοστό matrix/block	80-20%	Μήκος εξάπλωσης	18m(Σε όλο το μήκος της κατολίσθησης)	

7.6.1 Κατολίσθηση Ls_Per1

Πρόκειται για μία κατολίσθηση με πολύ μικρή κλίση της τάξης των 7° η οποία όμως παρουσιάζει έντονη ενεργότητα που γίνεται εμφανής με συνεχείς διαρρήξεις στο φρύδι και στο σώμα της κατολίσθησης. Η ήπια μορφολογία που παρατηρείται στα ανάντη του δρόμου προϋποθέτει για την ύπαρξη παλαιότερης κατολίσθησης σε εκείνο το σημείο, τμήμα της οποίας πιθανώς να είναι η Ls_Per1. Αν ισχύει αυτή η σκέψη τότε πρέπει να τονιστεί πως μόνο το κατώτερο τμήμα συνεχίζει να είναι ενεργό.

Στην κατολίσθηση αυτή εμφανίζονται έντονες εξάρσεις και ταπεινώσεις του αναγλύφου (Εικ.7.17), πρόσφατες διαρρήξεις στο φρύδι (Εικ.7.18,7.19), λίμνες συγκράτησης των νερών καθώς και οι λεγόμενες back tilt δομές που είναι χαρακτηριστικές των περιστροφικών ολισθήσεων.



Εικόνα 7.17 Εξάρσεις του αναγλύφου στην Ls_Per1.



Εικόνα 7.18 Διάρρηξη στο φρύδι της κατολίσθησης Ls_Per1 όπως αποτυπώθηκε τον Μάιο 2017.



Εικόνα 7.19 Η ίδια διάρρηξη όπως αποτυπώθηκε τον Σεπτέμβριο 2017. Έντονο σημάδι ενεργότητας της κατολίσθησης.

7.6.2 Κατολίσθηση Ls_Per2

Πρόκειται για μία κατολίσθηση με έντονη κλίση συγκριτικά με τις υπόλοιπες. Στα ανατολικά της υπάρχει ρέμα το οποίο όμως δεν την επηρεάζει καθώς στο μεταξύ παρεμβάλλεται μία σταθερή ράχη με παρακατακόρυφους πάγκους ασβεστολίθων. Η κατολίσθηση είναι ενεργή και επηρεάζει τον δρόμο που βρίσκεται στα κατάντη. Παρατηρούνται συνεχώς βυθίσματα στον δρόμο τα οποία κατά καιρούς διορθώνονται με νέες στρώσεις ασφάλτου.

7.6.3 Κατολίσθηση Ls_Per3

Πρόκειται για μια κατολίσθηση η οποία διχάζει όσο αφορά τα όριά της αλλά και την ενεργότητα. Παρατηρούνται μικρές διαρρήξεις στην επιφάνεια και κάμψεις στους κορμούς των δέντρων αλλά όχι έντονα φαινόμενα τα οποία να υποδηλώνουν σίγουρα την ύπαρξη αυτής. Στη βάση της υπάρχει ρέμα το οποίο διαβρώνει διαρκώς, η κλίση είναι 30° άρα μπορεί να εξηγηθεί η ύπαρξη των στοιχείων που αναφέρθηκαν. Από την άλλη η εικόνα του UAV έδειξε μια γενική κάτοψη αυτής της περιοχής της οποίας η μορφολογία σε μεγάλη κλίμακα προσομοιάζει κατολίσθηση. Τελικώς οι παρατηρήσεις αυτές οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι ίσως να πρόκειται για μία πολύ επιφανειακή ολίσθηση η οποία όμως δεν έχει επηρεάσει έντονα την μορφολογία.

7.6.4 Κατολίσθηση Ls_Per4

Πρόκειται για μία κατολίσθηση της οποίας το φρύδι βρίσκεται μέσα στις τεχνητές επιχώσεις που έχουν τοποθετηθεί στην άκρη του δρόμου συνεπώς η αστοχία περιλαμβάνει και αυτά τα υλικά. Στον πόδα της κατολίσθησης υπάρχει ρέμα το οποίο διαβρώνει διαρκώς και ιδιαίτερα την χειμερινή περίοδο που έχει μεγάλη ορμή το νερό (Εικ.7.20). Φαίνεται παρόλα αυτά ότι η κατολίσθηση αυτή έχει επηρεάσει την κοίτη του ρέματος και την έχει εκτρέψει.



Εικόνα 7.20 Πόδι της κατολίσθησης Ls_Per4.

7.6.5 Κατολίσθηση Ls_Per5 και Ls_Per6

Οι κατολισθήσεις αυτές αν και έχουν χαρτογραφηθεί και οριοθετηθεί ξεχωριστά θα αναλυθούν μαζί. Αυτό συμβαίνει γιατί σε αυτήν την περίπτωση υπάρχουν σοβαρότατες ενδείξεις ότι πρόκειται για δραστηριοποιήσεις τμημάτων μιας μεγαλύτερης κατολίσθησης της οποίας το φρύδι βρίσκεται ψηλότερα από το όριο που έχει τοποθετηθεί. Ανάντη συνεπώς αυτών των κατολισθήσεων εντοπίζονται μικρές επιφανειακές διαρρήξεις, εξάρσεις του αναγλύφου (Εικ.7.21), έλλειψη βλάστησης όπως δέντρα σε μία ζώνη και παρουσία σε αυτήν φτέρων που είναι δείκτης υψηλής συσσώρευσης επιφανειακού νερού άρα και λιμνών συγκράτησης (Εικ.7.22).



Εικόνα 7.21 Εξάρσεις αναγλύφου ανάντη των Ls_Per5 και Ls_Per6



Εικόνα 7.22 Έλλειψη βλάστησης και παρουσία φτερών.



Εικόνα 7.23 Εξαιρετικά έντονες διαρρήξεις στο κατώτερο τμήμα. Νέο φρύδι-συγκεκριμένα της Ls_Per6

7.6.6 Κατολίσθηση Ls_Per7

Πρόκειται για μία μεγάλης έκτασης επιμήκη κατολίσθηση η οποία βρίσκεται ακριβώς στα κατάντη των κατολισθήσεων Ls_Per5 και Ls_Per6. Είναι ενεργή και εμφανίζει έντονη ανωμαλία στο ανάγλυφο (Εικ.7.24). Το φρύδι της βρίσκεται μέσα στις τεχνητές επιχώσεις που έχουν τοποθετηθεί στην άκρη του δρόμου συνεπώς η αστοχία περιλαμβάνει και αυτά τα υλικά και φαίνεται να επηρεάζει το σώμα του δρόμου καθώς ένα τμήμα του έχει υποχωρήσει (Εικ.7.26). Παρατηρείται ότι επηρεάζει και τον δρόμο στα κατάντη συνεπώς η ολίσθηση συμβαίνει κάτω από αυτόν και κινείται κι αυτός μαζί με την υπόλοιπη κατολίσθηση (Εικ.7.25). Η κίνηση αυτής της κατολίσθησης είναι πολύ πιθανό να επηρεάζει και τις κατολισθήσεις Ls_Per5 και Ls_Per6. Αυτό συμβαίνει καθώς με την κίνηση της κατολίσθησης Ls_Per7 αφαιρείται υλικό από τα κατάντη των άλλων δύο κατολισθήσεων το οποίο λειτουργεί σαν αντίβαρο και διαταράσσεται τελικώς και η ισορροπία αυτών.



Εικόνα 7.24 Η κατολίσθηση Ls_Per7 αποτυπωμένη από τα ανάντη. Παρατηρούνται οι εξάρσεις του αναγλύφου.



Εικόνα 7.25 Η κατολίσθηση Ls_Per7 αποτυπωμένη από τα κατάντη. Παρατηρούνται οι εξάρσεις του αναγλύφου και η επιρροή της στο σώμα του δρόμου.



Εικόνα 7.26 Το φρύδι της ολίσθησης έχει επηρεάσει και τον δρόμο στα ανάντη, έχει φύγει τμήμα του.

7.6.7 Κατολισθήσεις Ls_Per8, Ls_Per9 και Ls_Per10

Οι κατολισθήσεις αυτές αν και δεν έχουν σαφή συσχέτιση μεταξύ τους θα αναλυθούν μαζί γιατί εμφανίζουν ομοιότητα τόσο στον τρόπο δράσης τους όσο και στην χωρική τοποθέτησή τους. Πρόκειται για τρεις κατολισθήσεις οι οποίες βρίσκονται διατεταγμένες παράλληλα μεταξύ τους. Διαχωρίζονται από πολύ στενές περιοχές οι οποίες είναι σταθερές ή δείχνουν να είναι σταθερές. Η διαφορά τους έγκειται στο ότι η κατολίσθηση Ls_Per9 δημιουργεί ένα απότομο φρύδι το οποίο επηρεάζει και τις τεχνητές αποθέσεις στα ανάντη ενώ οι άλλες δύο είναι πιο ήπιες. Παρατηρούνται και σε αυτές διαρρήξεις στο σώμα τους και εξάρσεις στο ανάγλυφο καθώς και απουσία βλάστησης. Φαίνεται όλες να επηρεάζουν τον δρόμο που βρίσκεται στα κατόντη (Εικ.7.27).



Εικόνα 7.27 Η κατολίσθηση Ls_Per8. Παρατηρούνται εξάρσεις στο ανάγλυφο και στο κατώτερο μέρος της φωτογραφίας παρατηρείται αναθόλωση και διάρρηξη του δρόμου εξαιτίας της δράσης αυτής.

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλυθούν οι παράμετροι της κατολίσθησης Ls_Per7, και οι τεχνικογεωλογικές και μορφολογικές συνθήκες που οδήγησαν στην ολίσθηση αυτή και θα γίνει. Για την ανάλυση της κατολίσθησης αυτής χρησιμοποιήθηκαν εφαρμογές του λογισμικού της Rocscience Corp. και συγκεκριμένα τα προγράμματα Slide και RocLab.

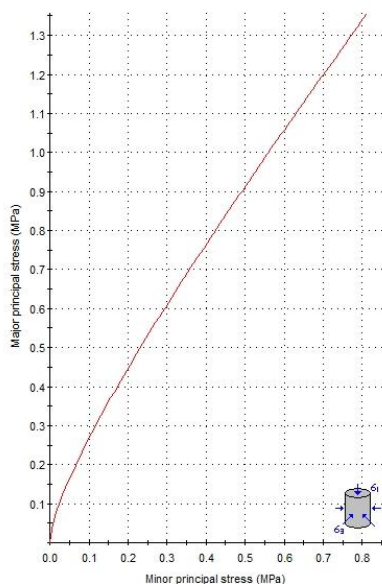
8.1 Ανάλυση ευστάθειας της Ls_Per7

Αρχικά στο πρόγραμμα RocLab εισήχθησαν οι παράμετροι του υλικού όπως αυτοί προέκυψαν από την επιτόπου αναγνώριση του υλικού. Σημειώνεται ότι οι τιμές της μονοαξονικής αντοχής σ_{ci} και η σταθερά m_i εκτιμήθηκαν τόσο χαμηλές λόγω της πολύ πτωχής αντοχής του ιλυολιθικού φλύσχη μετά την έντονη διάτμηση που έχει δεχτεί στο παρελθόν. Οι τιμές αυτές έχουν εκτιμηθεί από ανάλογα υλικά μέσα από ανάστροφες αναλύσεις (Marinos et al., 2006, Tsatsanifos et al. 2000).

Οι τιμές που δόθηκαν μαζί με τις τιμές συνοχής c και γωνίας τριβής ϕ που προέκυψαν από την ανάλυση μέσω του RocLab δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

σ_{ci}	2MPa
m_i	5
GSI	15
Φαινόμενο βάρος	0,025MN/m ³
Ru	0.2
c	0.048MPa
Φ	12°

Πίνακας 8.1 Δείχνει τις τιμές των παραμέτρων που δόθηκαν στο υλικό για να γίνει η ανάλυσή του με το πρόγραμμα Slide της RocScience.



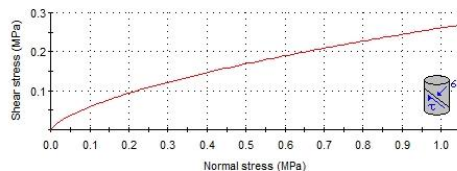
Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification
 intact uniaxial compressive strength = 2 MPa
 GSI = 15 mi = 5 Disturbance factor = 0

Hoek-Brown Criterion
 mb = 0.240 s = 0.0001 a = 0.561

Mohr-Coulomb Fit
 cohesion = 0.048 MPa friction angle = 12.65 deg

Rock Mass Parameters
 tensile strength = -0.001 MPa
 uniaxial compressive strength = 0.010 MPa
 global strength = 0.091 MPa
 modulus of deformation = 188.59 MPa



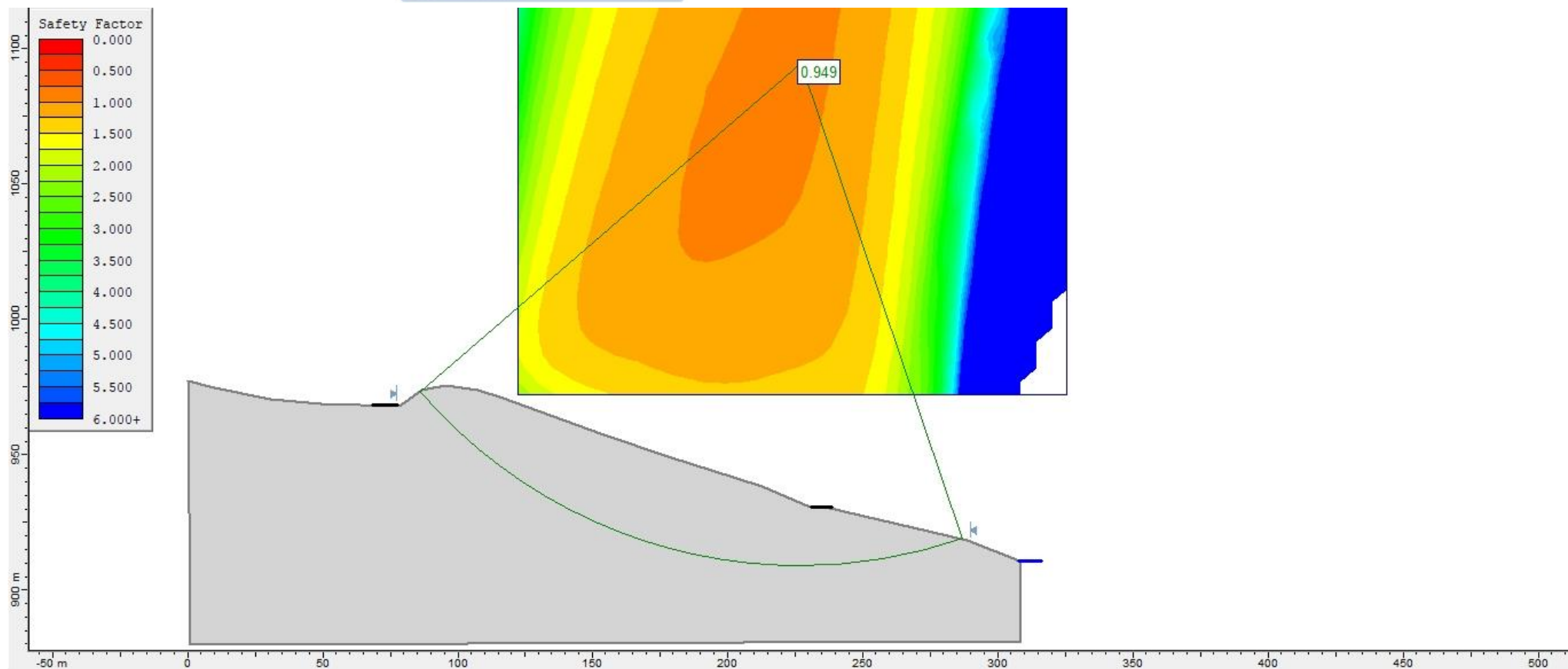
Εικόνα 8.1 Τα διαγράμματα όπως προέκυψαν από την ανάλυση του RocLab.

Έπειτα μέσα στο πρόγραμμα Slide για να προσομοιωθούν όλες οι συνθήκες που οδήγησαν στην αστοχία έπρεπε να προσδιοριστεί και η αρχική μορφολογία του πρανούς. Με ευρύτερη παρατήρηση των γειτονικών πρανών υπολογίστηκε ότι οι κλίσεις στις μη κατολισθέντες περιοχές κυμαίνονται μεταξύ 20-22°. Συνεπώς εξήχθησε το λογικό συμπέρασμα πως αντίστοιχη μορφολογία θα ακολουθούσε και το υπό μελέτη πρανές. Με την παραδοχή αυτή δημιουργήθηκε μία δυνητική μορφολογία πριν την ολίσθηση με αυτές τις κλίσεις διατηρώντας ως σταθερά σημεία το σώμα του δρόμου που βρίσκεται τόσο στα ανάντη όσο και στα κατόντη της κατολίσθησης.

Η ανάλυση του μοντέλου με τις δοσμένες παραμέτρους και τις κλίσεις δημιούργησε το παρακάτω μοντέλο με συντελεστή ασφαλείας 0,949.

Για συντελεστή ασφαλείας 0.949, που είναι και το μικρότερο βάθος ολίσθησης που δίνεται, το κέντρο του κύκλου στον κάρναβο που δημιουργήθηκε βρίσκεται σε συντεταγμένες της μορφής χ και ψ , αντίστοιχα (226.791, 1099.428) και με ακτίνα 190.735. Το βάθος της ολίσθησης που δίνει αυτός ο κύκλος είναι της τάξης των 20m.

Παρατηρείται ότι τα αποτελέσματα που εξήχθησαν και ο κύκλος ολίσθησης που προέκυψε (Εικ.8.2) προσομοιάζουν πολύ καλά το μοντέλο της κατολίσθησης και τα όριά της όπως έχουν χαρτογραφηθεί στην ύπαιθρο σε συνδυασμό με τα δεδομένα που πάρθηκαν από το UAV (Εικ.8.3,8.4). Ο κύκλος ολίσθησης που προέκυψε περνάει πολύ κοντά από το φρύδι της κατολίσθησης και το πόδι της, τα πραγματικά όρια των οποίων στο μοντέλο που δημιουργήθηκε επισημαίνονται με γαλάζια βέλη.



Εικόνα 8.2 Ανάλυση ευστάθειας με το πρόγραμμα Slide (Rocscience Corp) στην κατολίσθηση Ls_Per7. Με το πράσινο τόξο εμφανίζεται ο κύκλος ολίσθησης με τον μικρότερο συντελεστή ασφαλείας. Με τις μαύρες γραμμές εμφανίζονται οι δρόμοι ανάντη και κατόντη της κατολίσθησης ενώ με την μπλε γραμμή εμφανίζεται το ποτάμι στα κατόντη



Εικόνα 8.3 Το φρύδι της κατολίσθησης όπως αυτό φαίνεται στην ύπαιθρο.



Εικόνα 8.4 Το πόδι της κατολίσθησης όπως αυτό εμφανίζεται στην ύπαιθρο. Προεκτείνεται και στα κατάντη του δρόμου



Ψηφιακή συλλογή
βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

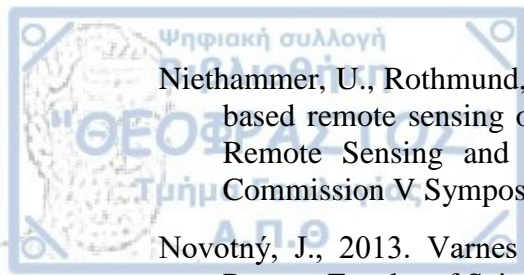
Συμπεραίνοντας η περιοχή μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας βρίσκεται γεωλογικά μέσα στο mélange της Αβδέλλας πολύ κοντά στην επαφή του με τους οφιόλιθους. Η φύση των υλικών, που είναι χαοτική καθώς πρόκειται για μείγμα, καθώς και η μορφολογία της περιοχής οδηγούν σε ολισθήσεις περιστροφικού χαρακτήρα με την γεωμετρία αυτών των ολισθήσεων να παρουσιάζει διακυμάνσεις. Παρατηρούνται σταθερές ράχεις οι οποίες αποτελούνται από παρακατακόρυφες πλάκες ασβεστολίθων ενώ εκατέρωθεν αυτών εμφανίζονται οι ολισθήσεις σε έναν τύπο φλύσχη X όπως χαρακτηρίστηκε .

Η μελέτη των ολισθήσεων αυτών περιλάμβανε τόσο γεωλογική παρατήρηση υπαίθρου όσο και τη χρήση της μεθόδου UAV για την αποτύπωση της περιοχής. Από το UAV προέκυψαν τρία προϊόντα, ένα ορθομοσαϊκό, μια εικόνα DSM κι ένα τρισδιάστατο μοντέλο της περιοχής. Πάνω σε αυτά τα δεδομένα προστέθηκε η γεωλογική πληροφορία και κατέληξε στην δημιουργία ενός χάρτη που περιλαμβάνει όλες τις κατολισθήσεις της περιοχής μελέτης οριοθετημένες και χαρτογραφημένες σε αυτόν. Στην συνέχεια δημιουργήθηκε ένα μητρώο το οποίο περιλαμβάνει το σύνολο των πληροφοριών που συλλέχθηκε για την εκάστοτε κατολίσθηση.

Τέλος με την χρήση του Slide και το RocLab της Rocscience Corp. προσομοιώθηκε μια straight forward ανάλυση της κατολίσθησης με κωδικό Ls_Per7 με σκοπό την εύρεση των τεχνικογεωλογικών και μορφολογικών συνθηκών που οδήγησαν σε αυτή την ολίσθηση.



- Ζιούρκας, Κ., 1989. Κατολισθητικά φαινόμενα στον ελληνικό χώρο. Τεχνικογεωλογική θεώρηση - στατιστική ανάλυση. Διδακτορική διατριβή που υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Πατρών ΠΑΤΡΑ 1989.
- Μουντράκης, Δ., 2010. Γεωλογία και Γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ: UNIVERSITY STUDIO PRESS.
- Μαρίνος, Β., 2007. Γεωτεχνική ταξινόμηση και τεχνικογεωλογική συμπεριφορά ασθενών και συνθετών γεωολικών κατά τη διάνοιξη σηράγγων. Διδακτορική διατριβή που υποβλήθηκε στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Σχολή Πολιτικών Μηχανικών 2007.
- Břežný, M., Pánek, T., 2017. Deep-seated landslides affecting monoclinial flysch morphostructure: Evaluation of LiDAR-derived topography of the highest range of the Czech Carpathians. *Geomorphology* 285 (2017) 44–57
- Christaras B., Zouros N., Makedon Th., Dimitriou An., 1997. Common mechanism of landslide creation along the under construction Egnatia highway, in Pindos mountain range (W. Greece). *Proc. 30th Int'l. Geol. Congr.*, Vol. 23, pp. 423-43
- 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
- Corominas, J., Van Westen, C., Frattini, P., Cascini, L., Malet, J.-P., Fotopoulou, S., Catani, F., Van Den Eeckhaut, M., Mavrouli, O., Agliardi, F., Pitilakis, K., Winter, G. M., Pastor, M., Ferlisi, S., Tofani, V., Herva's, J., Smith, T. J., 2014. Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. *Bull Eng Geol Environ* (2014) 73:209–263
- Eisenbeiß, H., 2009. UAV Photogrammetry. A dissertation submitted to ETH ZURICH or the degree of Doctor of Sciences 2009.
- Fernandez, P., Whitworth, M., 2016. A new technique for the detection of large scale landslides in glacio-lacustrine deposits using image correlation based upon aerial imagery: A case study from the French Alps. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 52 (2016) 1–11
- Ghikas, C., Dilek, Y., Rassios, E. A., 2010. Structure and tectonics of subophiolitic melanges in the western Hellenides (Greece): implications for ophiolite emplacement tectonics. *International Geology Review* Vol. 52, Nos. 4–6, April–June 2010, 423–453
- Gili, A. J., Corominas, J., Rius, J., 2000. Using Global Positioning System techniques in landslide monitoring. *Engineering Geology* 55 (2000) 167–192
- Hungr, O., Leroueil, S. & Picarelli, L., 2014. The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, 11(2), pp.167–194.
- Lin, Z., 2008. UAV for mapping—low altitude photogrammetric survey. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVII. Part B1. Beijing 2008
- Marinos V., Fortsakis P., Prountzopoulos G. (2006) «Estimation of rock mass properties of heavily sheared flysch using data from tunnelling construction». *Proceedings of the 10th International congress of IAEG in Nottingham*, paper number 314, in CD.



- Niethammer, U., Rothmund, S., James M. R., Travelletti, J., Joswig, M., 2010. UAV-based remote sensing of landslides. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVIII, Part 5 Commission V Symposium, Newcastle upon Tyne, UK. 2010
- Novotný, J., 2013. *Varnes Landslide Classification (1978)*. Charles University in Prague, Faculty of Science, Czech Republic, (November), p.25
- Papazachos, B.C., Comninakis, P.E., Scordilis, E.M., Karakaisis, G.F. and C.B. Papazachos (2010). A catalogue of earthquakes in the Mediterranean and surrounding area for the period 1901 - 2010, Publ. Geophys. Laboratory, University of Thessaloniki.
- Permanent Regional Seismological Network operated by the Aristotle University of Thessaloniki, doi:10.7914/SN/HT
- Petkovšek, A. et al., 2011. The Stogovce landslide in SW Slovenia triggered during the September 2010 extreme rainfall event. *Landslides*, 8(4), pp.499–506.
- Pinyol, M. N., Alonso, E. E., Corominas, J., Moya, J., 2012. Canelles landslide: modelling rapid drawdown and fast potential sliding. *Landslides* (2012) 9:33-51
- Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M., Sarazzi, D., 2011. Uav Photogrammetry For Mapping And 3d Modeling– Current Status And Future Perspectives – . *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 38(1/C22), ISPRS ICWG I/V UAV-g (unmanned aerial vehicle in geomatics) conference, Zurich, Switzerland. 2011
- Remondino, F., El-Hakim, S., 2006. Image-Based 3d Modelling: A Review. *The Photogrammetric Record* 21(115): 269–291 (September 2006)
- Road, W.M., 1991. *Mediterranean Neotethys.*, 87, pp.289–343.
- Robertson, H. F. A., Clift, D. P., Degnan, J. P., Jones, J., 1991. Palaeogeographic and palaeotectonic evolution of the Eastern Mediterranean Neotethys. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 87 (1991): 289-343
- Ross, V. J., Zirnerman, J., 1996. Comparison of evolution and tectonic significance of the Pindos and Vourinos ophiolite suites, northern Greece. *Tectonophysics* 256 (1996) 1 - 15
- Tsatsanifos, C.P., Mantziaras, P.M. & Georgiou, D. 2000. Squeezing rock response to NATM tunneling: A case study. In: *Proceedings of the International Symposium on Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground*. Japan. KUSAKABE, FUJITA & MIYAZAKI (eds). A.A. Balkema, Rotterdam, 167-172.
- USGS, 2004. *Landslide Types and Processes*. Highway Research Board Special Report, (July), pp.1–4.
- 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* 69 (2014) 22–32