



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΦΩΤΙΟΣ Δ. ΠΑΡΑΣΚΕΥΟΠΟΥΛΟΣ-ΤΣΙΑΚΙΡΗΣ

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΩΝ ΜΑΡΓΑΪΚΩΝ
ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΤΩΝ ΑΝΟΙΧΤΩΝ
ΕΚΣΚΑΦΩΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΛΙΓΝΙΤΗ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ UAV
ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ-ΚΟΖΑΝΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2019





ΦΩΤΙΟΣ Δ. ΠΑΡΑΣΚΕΥΟΠΟΥΛΟΣ-ΤΣΙΑΚΙΡΗΣ
Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5279

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΩΝ ΜΑΡΓΑΪΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΓΙΑ
ΤΗΝ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΤΩΝ ΑΝΟΙΧΤΩΝ ΕΚΣΚΑΦΩΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ
ΛΙΓΝΙΤΗ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ UAV ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ-ΚΟΖΑΝΗΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Γεωλογίας,
Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας

Επιβλέπων

Μαρίνος Βασίλειος, Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.

© Φώτιος Δ. Παρασκευόπουλος-Τσιακίρης, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας
Γεωλογίας, 2019



Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΩΝ ΜΑΡΓΑΪΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΓΙΑ
ΤΗΝ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΤΩΝ ΑΝΟΙΧΤΩΝ ΕΚΣΚΑΦΩΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ
ΛΙΓΝΙΤΗ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ UAV ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ-ΚΟΖΑΝΗΣ –
Διπλωματική Εργασία

© Fotios D. Paraskevoopoulos-Tsiakiris, School of Geology, Dept. of Geology, 2019
All rights reserved.

ENGINEERING GEOLOGICAL EVALUATION ON SLOPE STABILITY OF
MARLY DEPOSITS IN OPEN PIT MINES WITH THE USE OF UAV IN THE
AREA OF PTOLEMAIDA-KOZANI BASIN– *Bachelor Thesis*

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

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



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τα κατολισθητικά φαινόμενα που διαδραματίζονται στη Γη οφείλονται κυρίως στη δράση της βαρύτητας. Αποτελούν μία από τις σπουδαιότερες φυσικές καταστροφές και συχνά προκαλούν αρνητικές συνέπειες τόσο με απώλειες ζωών όσο περιουσιών. Ειδικότερα για τα τεχνικά έργα οι κατολισθήσεις ελέγχουν με τη δράση τους σε πολλές περιπτώσεις την “διαβίωση” ή όχι μιας κατασκευής. Συνεπώς η κατανόηση των μηχανισμών που τις προκαλούν είναι κάτι παραπάνω από επιβεβλημένη. Με τα συνεχή προς τα εμπρός άλματα της τεχνολογίας, ειδικότερα της ψηφιακής από το 2000 και μετά, ανακαλύπτονται συνεχώς νέοι μέθοδοι ανάλυσης και ερμηνείας φυσικών φαινομένων. Μία από αυτές τις μεθόδους, που ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια βρίσκει σημαντική απήχηση στον επιστημονικό κλάδο είναι η αξιολόγηση κατολισθητικών φαινομένων με τη χρήση της τηλεπισκόπησης. Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιείται για τον έλεγχο επί της ευστάθειας ορυχείων ανοιχτής εκσκαφής σε περιβάλλον λιγνίτη-μάργας μία τέτοια μέθοδος, αυτή της χρήσης του UAV. Με την εφαρμογή της εν λόγω πλατφόρμας και της επακόλουθης φωτογραμμετρικής επεξεργασίας παράγονται δεδομένα και αρχεία μεγάλης χωρικής και χρονικής ανάλυσης που σε συνδυασμό με την τεχνικογεωλογική γνώση μπορούν να διαδραματίσουν ένα σπουδαίο ρόλο στον προσδιορισμό των συνθηκών ευστάθειας άμεσα και οικονομικά.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή τεχνικής γεωλογίας κ. Μαρίνο Βασίλειο που πίστεψε στις δυνατότητες μου και μου πρόσφερε την ευκαρία να ασχοληθώ με έναν επιστημονικό κλάδο που εν τέλει λάτρεψα.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτωρα του τμήματος Γεωλογίας κ. Καραντανέλλη Ευστράτιο για την βοήθεια του τόσο στην εκπόνηση της παρακάτω εργασίας με την πτήση του UAV και την επεξεργασία των δεδομένων όσο και για την συνεχή

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους πολύ κοντινούς μου ανθρώπους που με στήριξαν εμπράκτως όλο αυτόν τον τελευταίο δύσκολο χρόνο με αρκετές προσωπικές θυσίες.



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα εξαρτάται κυρίως στην καύση λιγνίτη, συνεπώς η εκμετάλλευση των γηγενών κοιτασμάτων, τα περισσότερα από τα οποία προέρχονται από την Βορειοδυτική Ελλάδα, έχει μεγάλη σημασία. Ο λιγνίτης προέρχεται κυρίως από ορυχεία ανοιχτού ορύγματος, όπου μαργαϊκοί σχηματισμοί υπέρκεινται συνήθως των συγκεντρώσεων. Ωστόσο, κατολισθητικά φαινόμενα συχνά διαδραματίζονται, εξαιτίας των φτωχών γεωτεχνικών χαρακτηριστικών των μαργών (c και ϕ), της μοναδικής γεωμετρίας των ορυχείων (υψηλά προσωρινά πρανή σε απότομες γωνίες), συνδυαστικά με την υδατική πίεση πόρων, ιδιαίτερα με το πέρας έντονων βροχοπτώσεων. Τέτοια τυπικά παραδείγματα αστοχιών αποτελούν οι περιπτώσεις των ορυχείων της Μαυροράχης στην Πτολεμαΐδα το 2011 (Kavvadas et al., 2013) και της Λάβας στην Κοζάνη το 2007 (Prountzopoulos et al., 2010). Η παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιεί ένα Μη Επανδρωμένο Αεροσκάφος (ΜΕΑ) και τις δυνατότητες του, σκοπεύοντας στην ανίχνευση, τη χαρτογράφηση και τελικά, μέσω κατάλληλης τεχνικογεωλογικής αξιολόγησης να συνεισφέρει στην αναγνώριση των θεμελιωδών αρχών (τύπος αστοχίας, μηχανισμός αστοχίας, ογκομέτρηση κ.α.) που διέπουν τέτοιου είδους αστοχίες.

ABSTRACT

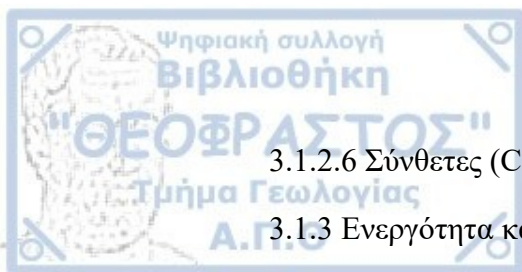
Energy production in Greece greatly depends on lignite combustion, therefore, exploitation of the indigenous deposits, most of whom originate from Northwestern Greece, is of great importance. Lignite mainly comes from open pit mines, where marly lacustrine sediments are usually found overlaying the accumulations. However, landslide phenomena often occur, due to marl's poor geotechnical parameters (c and ϕ), mine's unique geometry (high temporary slopes in steep angles), combined with pore water pressure especially after heavy rainfalls. Such typical cases constitute the Mavroraxi open pit, Ptolemais in 2011 (Kavvadas et al., 2013) and Lava open pit, Kozani in 2007 (Prountzopoulos et al., 2010). The current bachelor thesis uses an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and its capabilities to detect, map and ultimately, through proper engineering geological process contribute to the detection of the basic principles (type of failure, triggering mechanism, volume etc.) governing these kinds of failures.



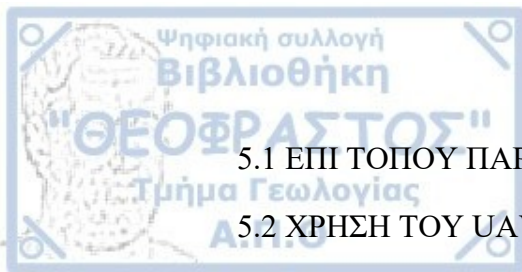


Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	5
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	13
2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΑ	13
2.1.1 Γεωλογία Ελλαδικού Χώρου	13
2.1.2 Γεωλογία ευρύτερης περιοχής μελέτης	15
2.1.3 Γεωλογία λεκάνης ΦΠΣ.....	17
2.1.4 Γεωλογία περιοχής ορύγματος Σερβίων	21
2.1.5 Γεωλογία περιοχής ορύγματος Αμυνταίου	22
2.2 ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ-ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ.....	24
2.2.1. Υδρολογία ευρύτερης περιοχής	24
2.2.2 Υδρογεωλογία ευρύτερης περιοχής.....	25
2.3 ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ.....	27
2.3.1 Σεισμικότητα Ελλαδικού χώρου	27
2.3.2. Σεισμικότητα περιοχής μελέτης.....	28
3. ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ ΚΑΙ UAV	31
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΠΕΡΙ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ	31
3.1.1 Κατηγοριοποίηση κατολισθήσεων	31
3.1.2 Τύποι κατολισθήσεων	36
3.1.2.1 Καταπτώσεις (Falls).....	36
3.1.2.2 Ανατροπές (Topples)	36
3.1.2.3 Ολισθήσεις (slides)	37
3.1.2.4 Εξάπλωση (Spread).....	41
3.1.2.5 Ροή (Flow)	41



3.1.2.6	Σύνθετες (Complex).....	42
3.1.3	Ενεργότητα κατολισθήσεων	42
3.1.4	Διαδικασίες κατολισθήσεων	43
3.1.4.1	Παράγοντες που συμβάλλουν στην αύξηση των διατμητικών τάσεων	43
3.1.4.2	Παράγοντες που συνεισφέρουν στην χαμηλή αντοχή	43
3.1.4.3	Παράγοντες που μειώνουν την διατμητική αντοχή	44
3.2	UAV	44
3.2.1	Εισαγωγή	44
3.2.1.2	UAV και κατολισθήσεις	44
4.	ΕΞΟΡΥΞΗ, ΟΡΥΚΤΟΙ ΑΝΘΡΑΚΕΣ, ΜΑΡΓΑΪΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΑΣΤΟΧΙΕΣ.....	48
4.1	ΕΞΟΡΥΞΗ	48
4.1.1	Διαφοροποίηση εξόρυξης	48
4.1.2	Εξόρυξη στην Ελλάδα	50
4.2.2	Οργάνωση εξόρυξης και σχεδιασμός ορυχείου open-pit.....	51
4.2	ΟΡΥΚΤΟΙ ΑΝΘΡΑΚΕΣ.....	52
4.2.1	Λιγνίτης της Ελλάδος (brown coal)	52
4.3	ΜΑΡΓΑ.....	55
4.3.1	ΜΑΡΓΑ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ	56
4.3.1.1.	Φυσικά χαρακτηριστικά Ελληνικών μαργαϊκών σχηματισμών	57
4.3.1.2.	Μηχανικά χαρακτηριστικά των Ελληνικών μαργαϊκών σχηματισμών	63
4.4	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΜΑΡΓΑΣ-ΛΙΓΝΙΤΗ ΣΕ ΟΡΥΧΕΙΑ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΟΡΥΣΜΑΤΟΣ (OPEN-PIT)	67
5.	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	73



5.1 ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ	73
5.2 ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ UAV	74
6. ΑΝΑΛΥΣΗ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	82
6.1. ΟΡΥΧΕΙΟ ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ	82
6.2 ΟΡΥΧΕΙΟ ΣΕΡΒΙΩΝ	92
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	116
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	119



1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο της παρούσης διπλωματικής εργασίας αποτελεί η τεχνικογεωλογική αξιολόγηση των κατολισθητικών φαινομένων που διαδραματίζονται σε ορυχεία ανοιχτών εκσκαφών σε περιβάλλον λιγνίτη-μάργας. Ο απώτερος σκοπός της έρευνας είναι η αποτύπωση, η αξιολόγηση και εν τέλη η αναγνώριση των συνθηκών ευστάθειας που διέπουν αυτές τις ιδιαίτερες κατασκευές. Τα ορυχεία ανοιχτών εκσκαφών ή αλλιώς ανοιχτού ορύγματος χαρακτηρίζονται από μια μοναδική γεωμετρία που περιλαμβάνει υψηλά προσωρινά πρηνή με μεγάλες και απότομες γωνίες κλίσης. Το παραπάνω καθεστώς σε συνδυασμό με τα χαμηλά τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά των μαργαϊκών σχηματισμών που υπέρκεινται των λιγνιτικών κοιτασμάτων προκαλούν συχνά την εμφάνιση κατολισθήσεων. Συνεπώς κρίνεται επιτακτική η ανάγκη ελέγχου των αστοχιών αυτών αφού η απρόσκοπτη λειτουργία των διαδικασιών εξόρυξης, συνιστά ένα ζήτημα ζωτικής σημασίας για χώρες των οποίων η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται κυρίως από την καύση λιγνίτη, σε αυτές συγκαταλέγεται και η Ελλάδα.

1.2. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την επίτευξη του παραπάνω στόχου αφορούσε στην χρησιμοποίηση μιας πλατφόρμας UAV ή αλλιώς ενός Μη Επανδρωμένου Αεροσκάφους που έφερε στην άτρακτο του φωτογραφική μηχανή υψηλής ανάλυσης. Η προκαθορισμένη, σύμφωνα με τις ανάγκες της έρευνας πτήση του UAV, είχε ως αποτέλεσμα την απόκτηση φωτογραφιών πολύ υψηλής ανάλυσης. Εν συνεχεία με την εφαρμογή φωτογραμμετρικών μεθόδων σε αυτές με κατάλληλο πρόγραμμα επεξεργασίας, παράχθηκαν τελικά λεπτομερέστατα μοντέλα (νέφη σημείων, ψηφιακά μοντέλα επιφανείας, μωσαϊκά) που απεικονίζουν στο έπακρο το σύνολο των κατολισθητικών φαινομένων και την γεωμετρία των πρηνών που αστοχούν. Στο επόμενο στάδιο της μελέτης, με τη χρήση των παραπάνω μοντέλων συντελέστηκε ακριβής ψηφιακή χαρτογράφηση σε ένα περιβάλλον ΣΓΠ (Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών) οπότε και δημιουργήθηκαν χάρτες και διάφοροι τοπογραφικοί παράμετροι των ορυχείων που περιλαμβάνουν όλο το πλήθος των αστοχιών. Τα τελικά παράγωγα σε συνάρτηση με την αρχική επί τόπου τεχνικογεωλογική αξιολόγηση της λιθολογίας, των γεωμετρικών στοιχείων των



σχηματισμών και άλλων γεωλογικών παραγόντων οδήγησαν στην εξαγωγή συμπερασμάτων για την ευστάθεια των πρανών και κατ' επέκταση των ορυχείων.

1.3 Στην μελέτη αυτή πραγματεύεται η ευστάθεια δύο ορυχείων ανοιχτής εκσκαφής λιγνίτη. Το πρώτο βρίσκεται κοντά στο χωριό Αμύνταιο του νομού Φλώρινας, ενώ το δεύτερο εντοπίζεται πλησίον του χωριού Προσήλιο, στα Σέρβια Κοζάνης. Γεωλογικά οι περιοχές υπάγονται στην μεγαλύτερη και περισσότερο αξιοποιήσιμη λιγνιτοφόρα λεκάνη της χώρας, αυτή της Πτολεμαΐδας-Κοζάνης. Τα ορυχεία αντιμετωπίζουν προβλήματα ευστάθειας που οφείλονται κυρίως στη χαρακτηριστική τους γεωμετρία με τα υψηλά και απότομα πρανή σε συνάρτηση με την ύπαρξη μαργαϊκών σχηματισμών χαμηλών τεχνικογεωλογικών παραμέτρων. Ως αποτέλεσμα, η εμφάνιση κατολισθητικών φαινομένων με την επακόλουθη διακοπή των εργασιών είναι συχνή.

1.4 Με την αξιοποίηση της πλατφόρμας UAV συνδυαστικά με την επί τόπου παρακολούθηση, προσδωκάται να εξαχθούν ορθά, ασφαλή, οικονομικά και γρήγορα συμπεράσματα σχετικά με τις συνθήκες ευστάθειας των πρανών. Δηλαδή κύριο ζητούμενο της μεθόδου είναι να προταθούν σε μικρό χρονικό διάστημα, μέτρα πρόληψης ή ανακούφισης των κατολισθητικών φαινομένων που συντελούνται σε ανοιχτά ορύγματα.

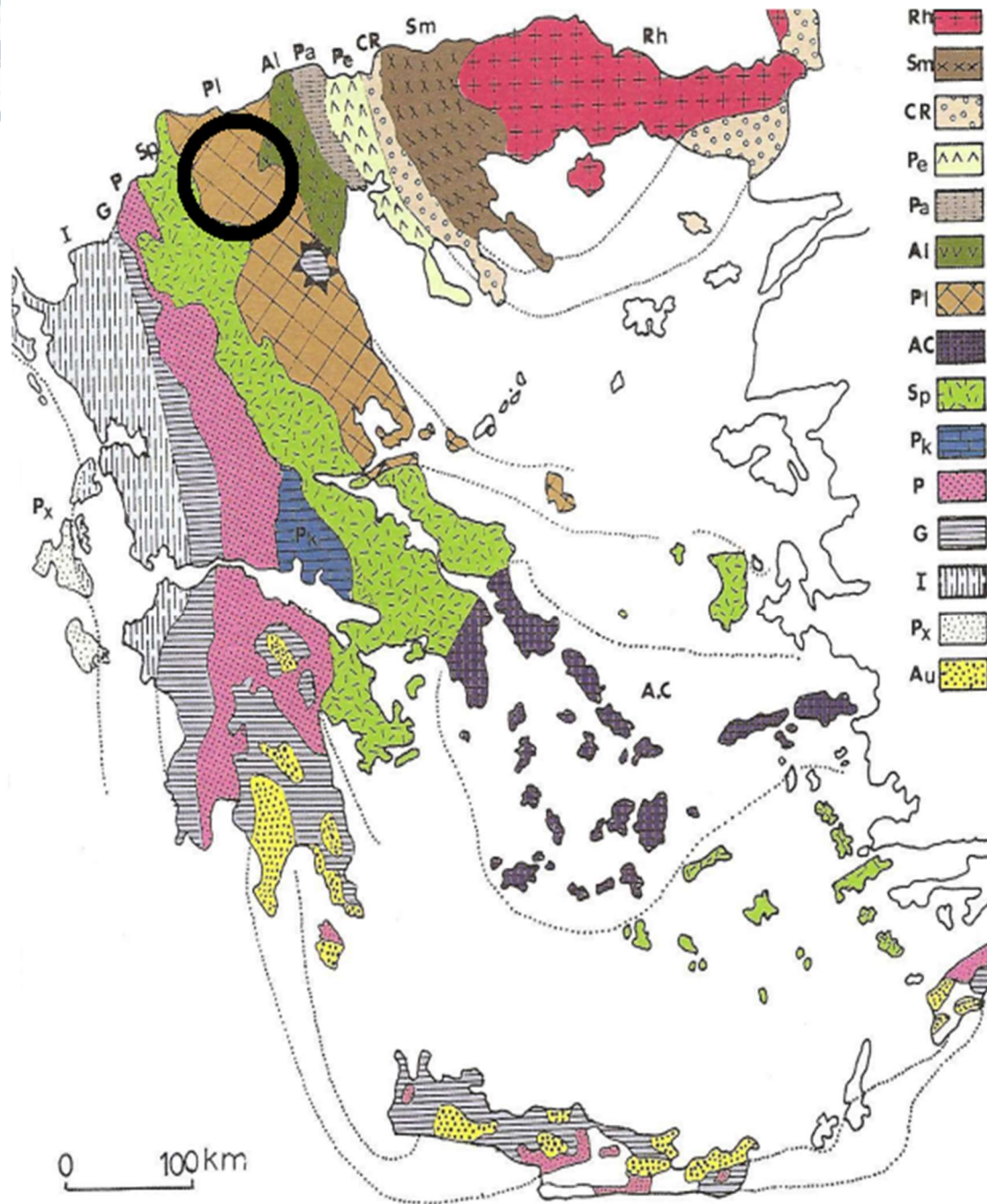
2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΑ

2.1.1 Γεωλογία Ελλαδικού Χώρου

Η Ελλάδα γεωλογικά διαιρείται σε γεωτεκτονικές ζώνες, στο σύνολο τους δώδεκα. Από Ανατολή προς Δύση συναντώνται, η μάζα της Ροδόπης, η Σερβομακεδονική μάζα, η Περιοδοπική ζώνη, η ζώνη Αξιού (υποδιαιρείται στις υποζώνες Παιονίας, Πάικου, και Αλμωπίας). Ακολουθούν οι ζώνες Πελαγονική, Αττικοκυκλαδική, Υποπελαγονική, Παρνασσού-Γκιώνας, Ωλονού-Πίνδου. Τέλος έπονται αυτές του Γαβρόβου-Τρίπολης, η Αδριατικοϊόνιος και η ζώνη Παξών. Πρέπει να τονιστεί ότι ξεχωριστά αναφέρονται ως διακριτές γεωτεκτονικές μονάδες αυτές των πλακωδών ασβεστολίθων-Ταλέα όρη (Plattekalk) -η οποία κατά πάσα πιθανότητα ανήκει σε αυτήν της Αδριατικοϊόνιου- και η ζώνη Βοιωτίας - πιθανότατα τμήμα της Υποπελαγονικής ζώνης-. Τέλος εντοπίζεται στην Κρήτη και στην Πελοπόννησο η ενότητα των φυλλιτών-χαλαζιτών χωρίς ωστόσο να έχει πλήρως διαλευκανθεί η γεωτεκτονική της τοποθέτηση ή η περίπτωση να ανήκει σε κάποια υπάρχουσα (Σχήμα 2.1) (Μουντράκης, 2010).

Οι παραπάνω ζώνες ομαδοποιούνται στις Εσωτερικές, τις Εξωτερικές Ελληνίδες και σε αυτές της Ελληνικής ενδοχώρας. Ο διαχωρισμός αυτός οφείλεται στο γεγονός ότι οι Εσωτερικές υπέστησαν τη δράση μιας πρώιμης ορογένεσης, ηλικίας Άνω Ιουρασικού-Κάτω Κρητιδικού η οποία δεν επηρέασε τις αντίστοιχες των Εξωτερικών. Στις πρώτες κατατάσσονται κατά σειρά από Ανατολάς προς Δυσμάς η Περιοδοπική, Αξιού, Πελαγονική, Αττικοκυκλαδική και Υποπελαγονική. Στις εξωτερικές συγκαταλέγονται οι ζώνες Παρνασσού-Γκιώνας, Ωλονού-Πίνδου, Γαβρόβου-Τρίπολης, Αδριατικοϊόνιος και αυτή των Παξών. Τέλος Σερβομακεδονική μάζα και Περιοδοπική ζώνη αποτελούν την Ελληνική ενδοχώρα (Μουντράκης, 2010).



Σχήμα 2.1. Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων ζωνών. Rh: μάζα Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιοδοπική ζώνη, (Pe: Υποζώνη Παιονίας, Pa: Υποζώνη Πάικου, Al: Υποζώνη Αλμωπίας)=ζώνη Αξιού, Pl: Πελαγονική ζώνη, Ac: Αττικό-Κυκλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Pk: ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας, P: ζώνη Πίνδου, G: ζώνη Γαβρόβου-Τριπόλεως, I: Ιόνιος ζώνη, Px: ζώνη Παξών ή Προαπουλία, Au: Ενότητα «Πλακώδεις ασβεστόλιθοι-Ταλέα όρη» πιθανόν της Ιονίου ζώνης. Με το μαύρο κύκλο προσδιορίζεται η περιοχή μελέτης (Μουντράκης, 2010).

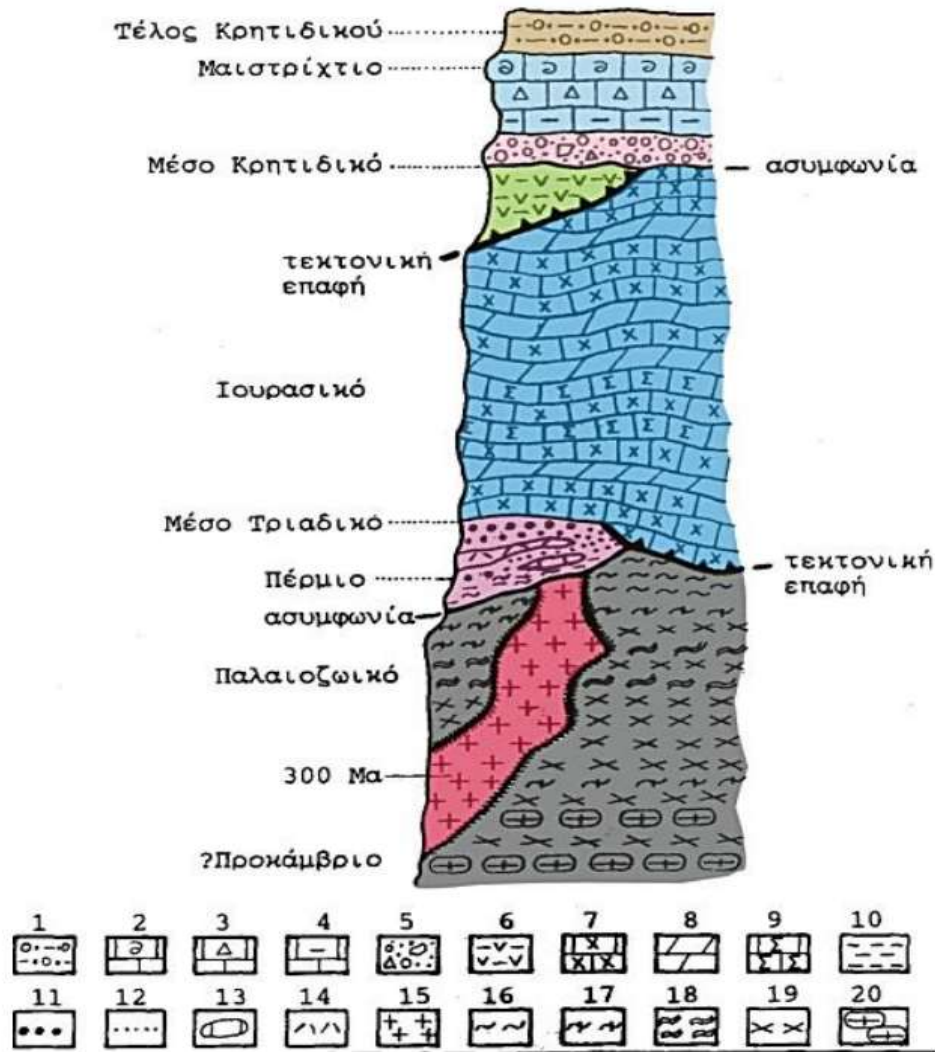
2.1.2 Γεωλογία ευρύτερης περιοχής μελέτης

Γεωτεκτονικά η περιοχή μελέτης εντάσσεται στις Εσωτερικές Ελληνίδες και συγκεκριμένα στην ζώνη της Πελαγονικής. Η ζώνη αυτή θεωρείται ότι αποτελούσε τμήμα της Κιμμερικής ηπείρου που αποσπάστηκε από την Gondwana εκατέρωθεν του οποίου δημιουργήθηκαν δύο ωκεάνιες περιοχές της Τηθύος. Από τις παραπάνω αυτές περιοχές προήλθαν επωθούμενοι οι οφειόλιθοι (Μουντράκης, 1983).

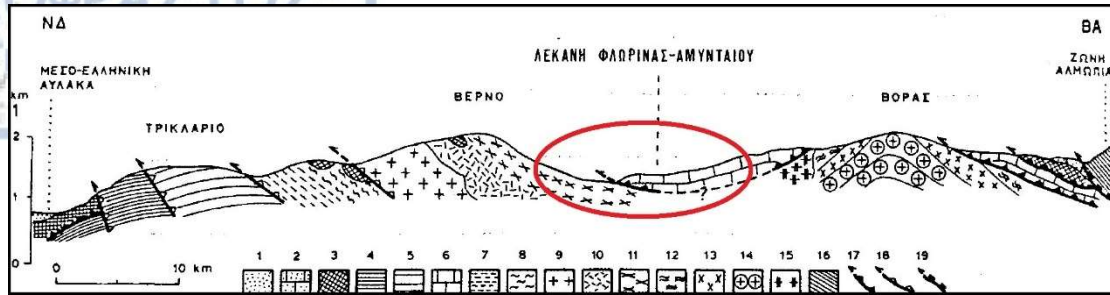
Η ζώνη εκτείνεται με διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ σε μεγάλη έκταση, από την πρώην Γιουγκοσλαβία προς τους ορεινούς όγκους του Βόρα (Καϊμακτσαλάν 2524m), του Βέρνου (Βίτσι 2128m), του Βερμίου, των Πιερίων, του Ολύμπου, του Πηλίου και της Βόρειας Εύβοιας. Εν συνεχεία καμπτώμενη απαντάται στις Σποράδες και περιλαμβάνει τις νήσους Σκιάθο, Σκόπελο και Σύρο (Μουντράκης, 1983).

Όσον αφορά τη λιθοστρωματογραφία της ζώνης αυτής, από κάτω προς τα πάνω βρίσκονται: το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο Προκάμβριας ηλικίας, οι γνευσιωμένοι γρανίτες ηλικίας 300 Ma, τα ημιμεταμορφωμένα πετρώματα του Περμίου και του Τριαδικού. Έπονται τα δύο καλύμματα ανθρακικής φύσεως Τριαδικού-Ιουρασικού, οι οφειόλιθοι του Μέσου Κρητιδικού και τέλος τα επικλυσιγενή ιζήματα ηλικίας Ανώτερου Κρητιδικού (Σχήμα 2.2) (Μουντράκης, 2010).

Τέλος η Πελαγονική ζώνη χαρακτηρίζεται ως ένα πολυμεταμορφωμένο και πολυπαραμορφωμένο τυπικό τμήμα ηπειρωτικού φλοιού λόγω των αλληπάλληλων δράσεων (μεταμορφώσεις και παραμορφώσεις αντίστοιχα) που έχει υποστεί κατά το πέρασ της γεωλογικής ιστορίας. Αποτέλεσμα της τεκτονικής αυτής διεργασίας κατά το τέλος του Μειοκαίνου (έκταση κατά ΒΑ-ΝΔ) αποτελεί και η δημιουργία της λεκάνης FPS (στην διεθνή βιβλιογραφία ορίζεται ως Florina-Ptolemais-Servia basin), δηλαδή της ενδοορεινής λεκάνης της Φλώρινας-Πτολεμαΐδας-Σερβίων με τα γνωστά συνοδά λιγνιτικά κοιτάσματα που περιέχει (Σχήμα 2.3) (Μουντράκης, 2010).



Σχήμα 2.2. Συνοπτική λιθοστρωματογραφική-τεκτονική στήλη της Πελαγονικής ζώνης. (1-5): Επικλυσιγενή ιζήματα Μέσου-Άνω Κρητιδικού. 1: Φλύσχης Άνω Μαιστριχτίου-Κάτω Παλαιοκαίνου. 2: ασβεστόλιθος Μαιστριχτίου, 3: μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθοι, 4: μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, 5: κροκαλο-λατυποπαγή της βάσης, 6: οφειόλιθοι και συνοδά πελαγικά ιζήματα, (7-9): πετρώματα των δύο ανθρακικών καλυμμάτων Τριαδικού-Ιουρασικού, 7: κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι και μάρμαρα, 8: δολομίτες, 9: σιπολίνες, (10-14): πετρώματα της μετακλαστικής σειράς Περμίου-Κάτω Τριαδικού, 10: μετα-πελίτες, φυλλίτες, 11: χαλαζιακά μετά-κροκαλοπαγή, 12: μετά-ψαμίτες, μετά-αρκόζες, 13: φακοί ασβεστόλιθων, 14: μετά-ρυόλιθοι, μετά-τόφφοι, 15: γενεσιωμένοι γρανίτες Άνω Λιθανθρακοφόρου, (16-20): πετρώματα του κρυσταλλοσχιστώδους υποβάθρου Παλαιοζωικής ή και προ-Κάμβριας ηλικίας, 16: σχιστόλιθοι (χλωριτικοί, μαρμαρυγικοί, αμφιβολιτικοί, επιδοτιτικοί), 17: διμαρμαρυγικοί-γρινατούχοι σχιστόλιθοι, 18: αμφιβολίτες, 19: γενέσιοι, 20: οφθαλμογενέσιοι. (Μουντράκης, 2010).



Σχήμα 2.3. Απλοποιημένη-σηματική γεωλογική τομή της Βόρειας Πελαγονικής ζώνης στην οποία γίνεται εμφανής η γεωλογική τοποθέτηση ενός τμήματος της λεκάνης ΦΠΣ. Με τη κόκκινη έλλειψη προσδιορίζεται η περιοχή μελέτης (Μουντράκης 1983).

2.1.3 Γεωλογία λεκάνης ΦΠΣ

Η λεκάνη Φλώρινας-Πτολεμαΐδας-Σερβίων αποτελεί την πιο σημαντική γεωλογική λεκάνη της Ελληνικής χώρας λόγω της πλούσιας παρουσίας των νεογενών-τεταρτογενών λιγνιτικών κοιτασμάτων που χαρακτηρίζονται από ρυθμικές εναλλαγές λιμναίων, ποταμολιμναίων και ποτάμιων ιζημάτων. (Μουντράκης, 2010, Steenbrink, et al., 2006). Αποτελεί μια τυπική επιμήκης ενδοορεινή λεκάνη που εκτείνεται σε απόσταση μεγαλύτερη των 250Km, από το χωριό Βίτολα της σημερινής ΠΓΔΜ στο Βορρά έως και την περιοχή των Σερβίων στο Νότιο-Ανατολικό τμήμα του νομού Κοζάνης. Χαρακτηρίζεται από ένα μέσο πλάτος περί τα 15Km με γενική διεύθυνση έκτασης ΒΒΔ-ΝΝΑ. Γεωμορφολογικά είναι τοποθετημένη παράλληλα στον ορογραφικό-ορογενετικό άξονα των Ελληνίδων ζωνών (Μουντράκης, 2010, Iordanidis & Georgakopoulos, 2003, Kanvadas et al., 2003, Iordanidis, 2002).

Συγκεκριμένα, η λεκάνη ΦΠΣ (FPS) πρόκειται για τμήμα μιας μεγάλης τεκτονικής τάφρου. Η δημιουργία της χρονολογείται στα τέλη του Τεταρτογενούς, κατά την διάρκεια των συνορογενετικών διεργασιών της νέο-αλπικής πτύχωσης. Η πτύχωση αυτή προκάλεσε εκτεταμένα σπασίματα διεύθυνσης ΒΒΔ-ΝΝΑ και μια σειρά από καταπτώσεις όμοιες με αυτές των τάφρων. Κατά το Πλειόκαινο υπήρξαν οι ιδανικές συνθήκες για την πλήρωση των τεκτονικά δημιουργούμενων ελών και λιμνών με διάφορα φερτά υλικά. Συνεχόμενες κινήσεις προκάλεσαν την βύθιση των παραπάνω περιοχών (συνεπώς την δημιουργία των λεκανών) ενώ συγχρόνως εμπλουτίζονταν με τεράστιες ποσότητες φυτικών (κυρίως) και ζωικών οργανισμών που σήμερα εντοπίζονται ως λιγνιτικά κοιτάσματα λόγω του φαινομένου της εξανθράκωσης, καθώς και άλλων συνοδών ιζημάτων. (Mountrakis, 2010).

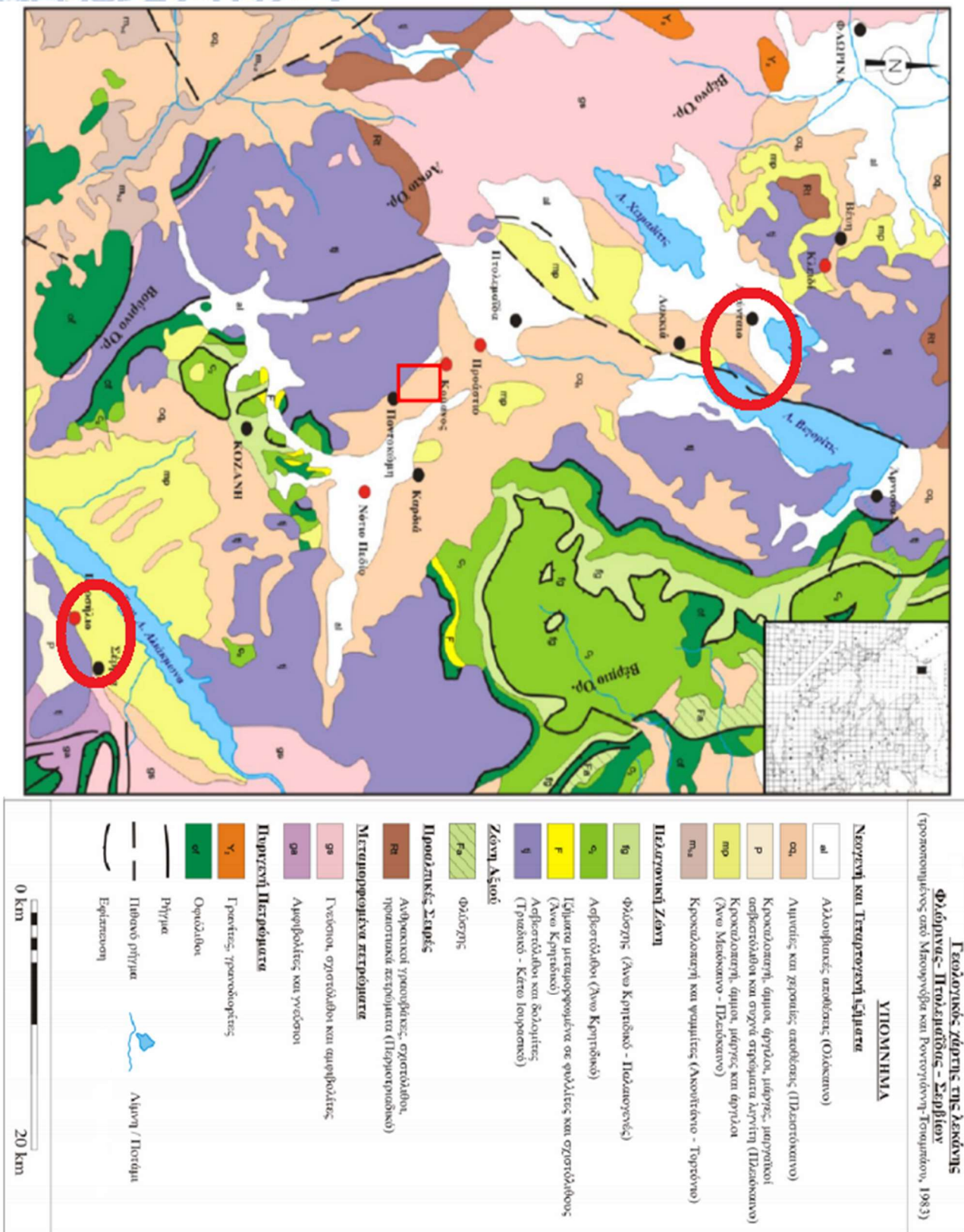
Σημαντικό στοιχείο αναφοράς αποτελεί η στρωματογραφία της λεκάνης. Αυτή αποτελείται από το παλαιότερο προς το νεότερο από:

- Παλαιοζωικά μεταμορφωμένα πετρώματα (υπόβαθρο)
- Μεσοζωικά ανθρακικά καλύμματα και οφειόλιθοι
- Νεογενείς αποθέσεις με άργιλο, μάργες, αμμώδεις μάργες, άμμους και λιμναίες μάργες με εναλλαγές λιγνιτικών στρώσεων
- Τεταρτογενή εδαφικά ή ποτάμια κροκαλοπαγή με αποθέσεις αλλουβιακών ριπιδίων (Σχήμα 2.4) (Pavlidis et al., 1986).

Αξίζει να σημειωθεί ότι η ανθρακογένεση δεν υπήρξε συνεχής αλλά διακοπτόμενη. Κύριο ρόλο σε αυτό το φαινόμενο διαδραμάτισαν οι απότομες κατακόρυφες μετατοπίσεις που οδήγησαν στην επακόλουθη δημιουργία των μαργών και άλλων στείρων ιζημάτων υπερκείμενα στην εμφάνιση της λιγνιτοφόρας ακολουθίας.

Σχετικά με την προέλευση των κοιτασμάτων, χαρακτηρίζονται ως αυτόχθονα (Francis, 1961), διότι τα υπολείμματα των φυτικών οργανισμών δεν φέρονται να έχουν μεταναστεύσει από διαφορετική αλλά προήλθαν από την επί τόπου βλάστηση. Το φαινόμενο αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα λιγνιτοφόρα στρώματα να παρουσιάζουν ομοιογένεια, ομοιομορφία και ουσιαστικά να χαίρουν έλλειψης εξωτερικών ανόργανων στοιχείων όπως λεπτή λάσπη ή πηλός.

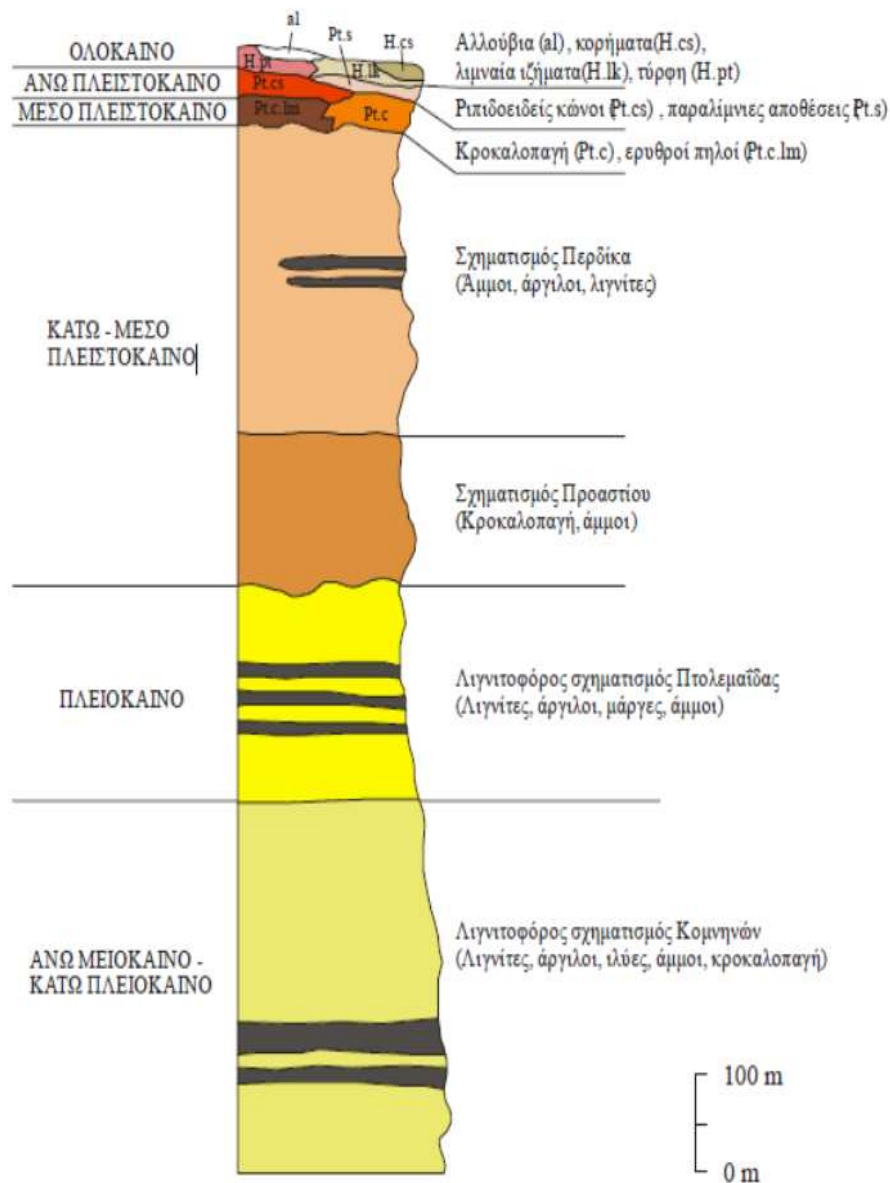
Σε αντιδιαστολή βέβαια με τα παραπάνω ευρήματα, περιστασιακά εντοπίζονται κάποιοι φακοειδείς και πηλώδεις εμφανίσεις καθώς και οστά μικρών θηλαστικών που χαρακτηρίζονται ως αλλόχθονα (Francis, 1961). Πιστεύεται δηλαδή ότι σε ορισμένες χρονικές στιγμές υπολείμματα φυτικών και ζωικών οργανισμών εισήλθαν στην λεκάνη από κοντινά δάση εξαιτίας πλημμυρών ή έντονων βροχοκαταπτώσεων, πράγμα που πιστοποιείται και από την τωρινή ύπαρξη λασποκαταπτώσεων όπως γίνονται εμφανείς από τις κανονικές επιφάνειες ολίσθησης των εκτεθειμένων επιφανειών εξόρυξης.



Σχήμα 2.4. Γεωλογικός χάρτης της λεκάνης Φλώρινας-Πτολεμαΐδας-Σερβίων. Με τις κόκκινες ελλείψεις προσδιορίζονται οι δύο περιοχές μελέτης (Γολιδοπούλου, 2014).

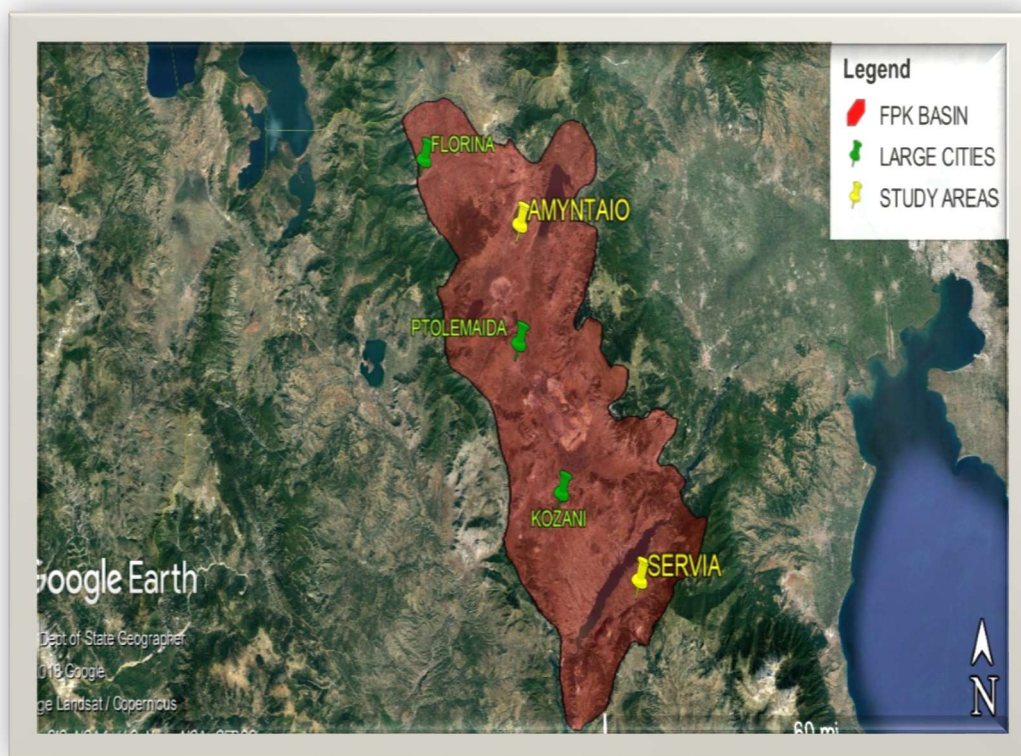
Περιγραφικά, η λιγνιτοφόρα ακολουθία αποτελείται από:

1. Την ανώτερη λιγνιτική ομάδα που αποτελείται περίπου από δέκα στρώματα λιγνίτη με πάχος περίπου 10cm-2m ενσωματωμένα σε λεπτές άγονες ποτάμιες αποθέσεις πηλού και μάργας
2. Το εσωτερικό πακέτο στείρου πηλού και μαργαϊκών αποθέσεων
3. Την κατώτερη λιγνιτοφόρα ομάδα με χαρακτηριστικά παρόμοια της ομάδας 1 (Σχήμα 2.5) (Κανναδάς et., al 1994).



Σχήμα 2.5. Απλοποιημένη στρωματογραφική στήλη λεκάνης ΦΠΣ (Κουκουζάς, 1997).

Τελικά κατά το Πλειστόκαινο με τη δράση μιας εφελκυστικής τεκτονικής η λεκάνη ΦΠΣ διαχωρίζεται σε τρεις επιμέρους, αυτές της Φλώρινας, της Πτολεμαΐδας και των Σερβίων. Οι λεκάνες ανέρχονται περί τα 300m-700m πάνω από το επίπεδο της θάλασσας με ένα μέσο πάχος ιζημάτων που ξεπερνάει τα 600m (Σχήμα 2.6) (Pavlidis & Mountrakis, 1987).



Σχήμα 2.6. Χαρτογραφημένη περιοχή μελέτης. Διακρίνονται με πράσινο χρώμα οι τρεις μεγάλες πόλεις κατά μήκος της τεκτονικής αυτής λεκάνης. Με κίτρινο χρώμα αναφέρονται οι περιοχές μελέτης, ενώ γίνεται εμφανής ο διαχωρισμός της περιοχής σε υπολεκάνες (Google Earth).

2.1.4 Γεωλογία περιοχής ορύγματος Σερβίων

Με βάση τις διερευνητικές κοιτασματολογικές γεωτρήσεις που διεξήχθησαν το έτος 2011 για τη μελέτη «Γεωτεχνική έρευνα και εδαφομηχανική μελέτη ασφαλούς και οικονομικής θεμελίωσης του έργου: Παράκαμψη Ε.Ο. Προσηλίου-Τρανοβάλτου για λογαριασμό της ΜΕ.ΤΕ. Α.Ε. (Τσιρέκας Αθανάσιος, Δεκέμβριος 2007), εντοπίστηκαν με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια οι γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής του ορύγματος, το μέσος πάχος τους και η έκτασής τους εις βάθος. Όπως παρατίθενται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 2.1) (Γολιδοπούλου, 2014).

Πίνακας 2.1. Περιγραφή των γεωλογικών σχηματισμών, του βάθους εμφάνισης και του πάχους τους στο ορυχείο Προσήλιου Ν. Κοζάνης, (τροποποιημένο από Γολιδοπούλου, 2014).

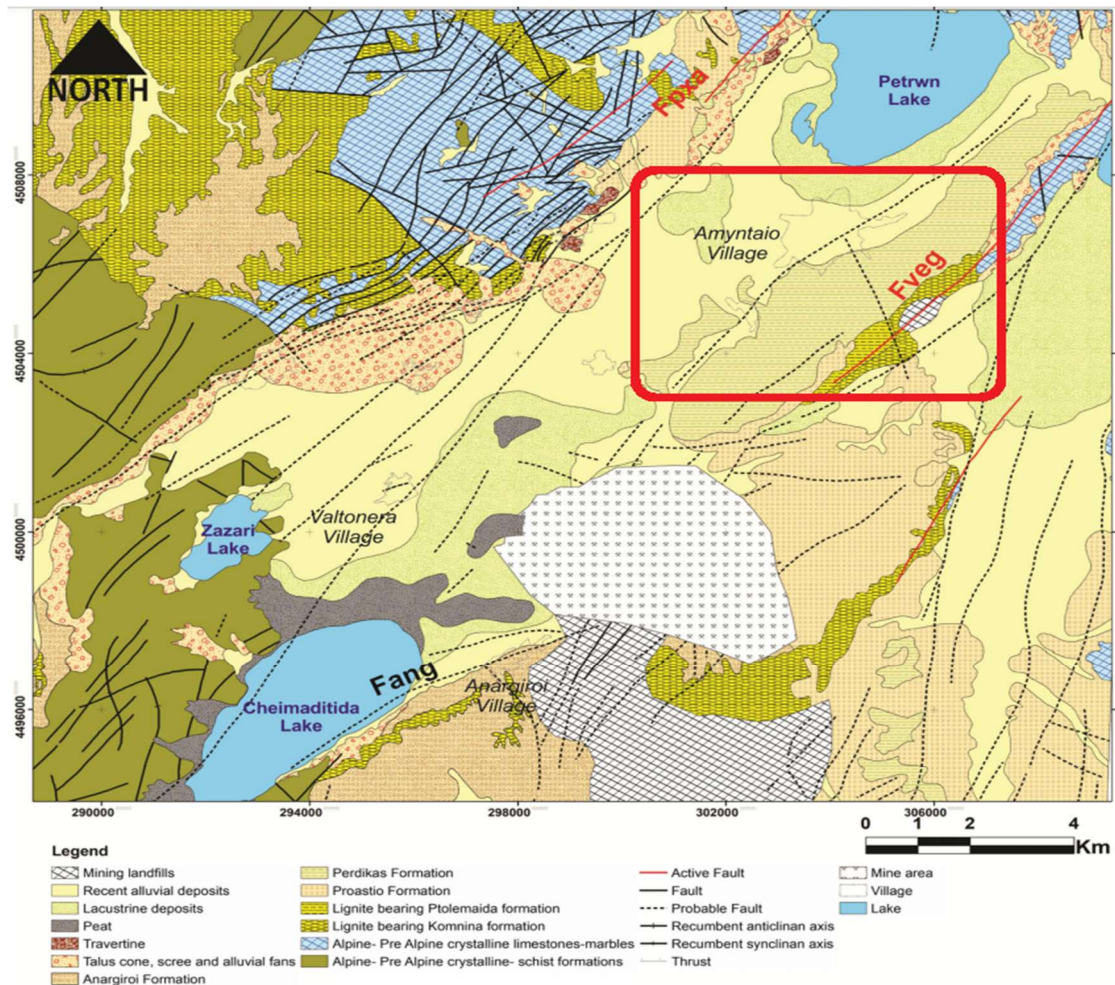
ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ	Αργίλοι, χαλίκια, λατόπες ασβεστολιθών	0-6m	Από λίγα έως 15-20m
ΝΕΟΓΕΝΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ	Καφεκίτρινες- καστανές αμμώδεις μάργες και ιλυώδεις μάργες	6-17m	11m
	Γκριζοπράσινες- γκριζες συνεκτικές ιλυώδεις μάργες	6 -25m	
	Λιγνίτης	30-70m	2-5.5m(συνολικά 100)
	Λεπτά στρώματα ανθρακομιγούς μάργας και κιτρινωπής υλιώδους μάργας με απολιθώματα	Μεταβατικά στρώματα	2-3m
ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΣΤΟ ΣΩΜΑ ΤΩΝ ΜΑΡΓΑΛΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ			
ΣΥΜΠΑΓΕΙΣ ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΙ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	ΥΠΟΒΑΘΡΟ		

2.1.5 Γεωλογία περιοχής ορύγματος Αμυνταίου

Στην περιοχή του ορυχείου του Αμυνταίου συναντάται παρόμοια λιθολογία με αυτή του Προσηλίου. Στρωματογραφικά και υπερκείμενα του Αλπικού-Προαλπικού υποβάθρου, από το παλαιότερο προς το νεότερο βρίσκονται:

- Νεογενή: Ο κατώτερος λιγνιτοφόρος σχηματισμός της Πέρδικας αποτελούμενος από αργίλους, αμμώδεις στρώσεις με εναλλαγές από αμμοχάλικες και στρώσεις ξυλίτη.
 - Ο ανώτερος λιγνιτοφόρος σχηματισμός της Πτολεμαΐδας που αποτελείται κυρίως από γκρι με γκρι έως πράσινες ιλυώδεις και αργιλόδεις μάργες. Περιέχει επίσης λιγνιτικά κοιτάσματα
- Τεταρτογενή: Ο σχηματισμός Προαστίου με ηλικία κάτω-μέσου Πλειστοκαίνου αποτελούμενος από εναλλαγές αμμοδών χαλικιών, κόκκινες αργίλους, ιλυώδεις-αργιλόδεις άμμους.

- Ο σχηματισμός Πέρδικας κάτω-μέσου Πλειστοκαίνου με ποτάμια και λιμναίες αποθέσεις. Ειδικά υπάρχουν αμμώδεις άργιλοι, αργιλώδεις άμμοι και άμμοι με στρώματα μάργας.
- Ο σχηματισμός Αναργύρων μέσης-άνω Πλειστοκαινικής ηλικίας με εναλλαγές αμμωδών χαλικιών με κόκκινες και ιλυώδεις αργίλους.
- Σχετικά πρόσφατες αποθέσεις αποτελούμενες από λιμναία υλικά, κώνους ριπιδίων, κακά ταξινομημένο χονδρόκοκκο υλικό καθώς και ελουβιακά και αλλουβιακά ριπίδια (Σχήμα 2.7) (Tzampoglou & Loupasakis, 2019, Koukouzas et al., 1979).

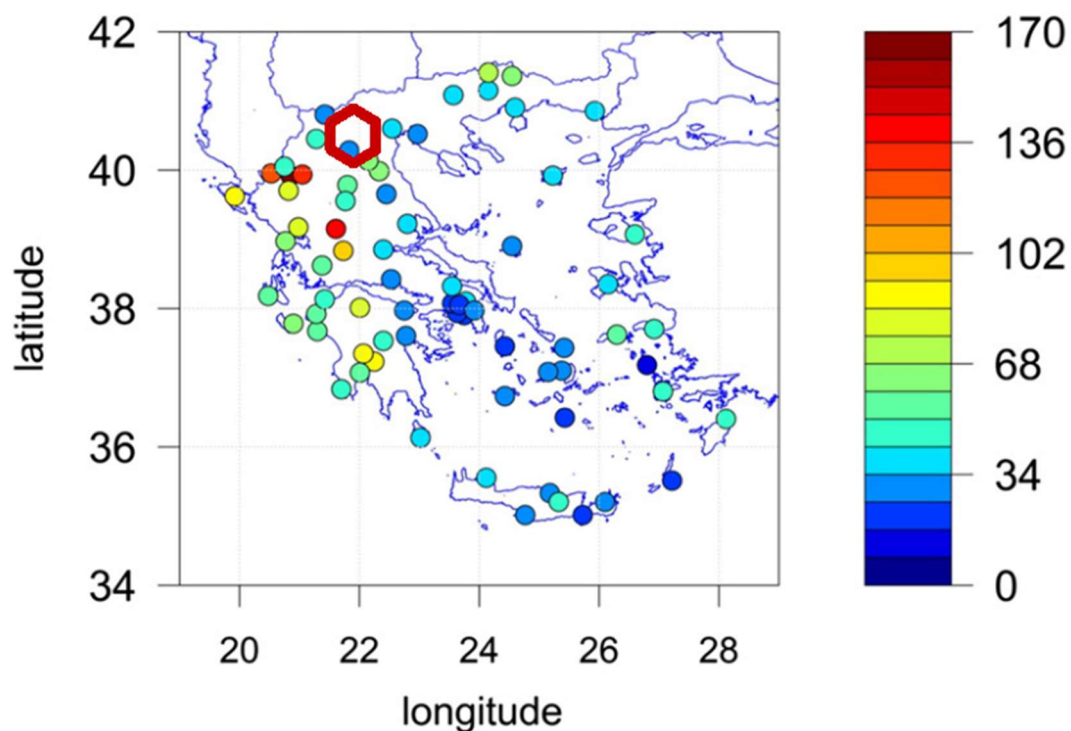


Σχήμα 2.7. Ενοποιημένος γεωλογικός χάρτης της λεκάνης του Αμυνταίου (Φλώρινα) επεξεργασμένος από το γεωλογικό χάρτη της Ελλάδος. Με το κόκκινο ορθογώνιο σημειώνεται η περιοχή μελέτης. (Tzampoglou & Loupasakis, 2019).

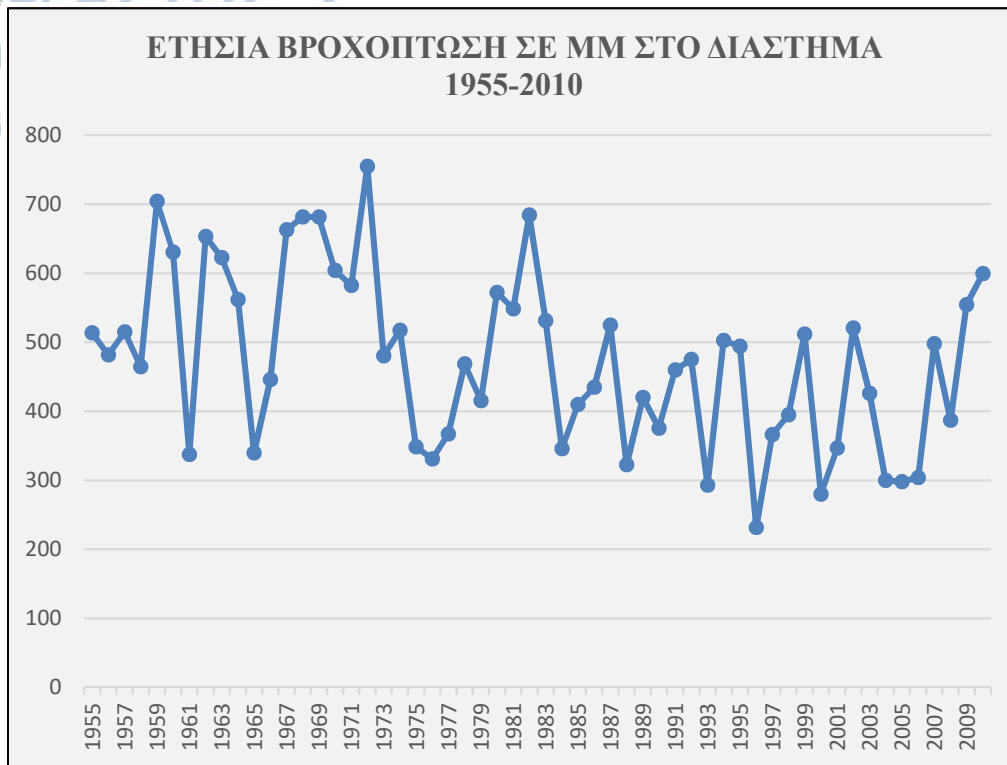
2.2 ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ-ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

2.2.1. Υδρολογία ευρύτερης περιοχής

Σύμφωνα με την ΕΜΥ (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία) η περιοχή της Ελλάδος χαρακτηρίζεται υδρολογικά από έναν ενδιάμεσο τύπο κλίματος μεταξύ του μεσογειακού και του ηπειρωτικού. Το ενδιάμεσο κλίμα είναι υγρό, με μέση θερμοκρασία και κατανέμει τις βροχοπτώσεις σχεδόν ομοιόμορφα καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Η περιοχή της λεκάνης ΦΠΣ, σύμφωνα με τον βροχομετρικό χάρτη της Ελλάδος (Σχήμα 2.8) εντάσσεται σε περιοχή μικρών έως μέσων κατακρημνίσεων. Παρακάτω παρατίθεται και ένα διάγραμμα (Σχήμα 2.9) με τις ετήσιες βροχοπτώσεις που παρατηρήθηκαν στην περιοχή κατά το χρονικό διάστημα 1955-2010.(Πατρικάκη, 2009).



Σχήμα 2.8. Μέση μηνιαία βροχόπτωση στην Ελλάδα, βασισμένο σε βροχομετρικές μετρήσεις κατά την περίοδο 1998-2008. Η χρωματική μπάρα αναφέρεται σε χιλιοστά βροχής (mm). Με το κόκκινο πολύγωνο προσδιορίζεται η περιοχή μελέτης. (Nastos et al., 2016).



Σχήμα 2.9. Διάγραμμα που απεικονίζει την διακύμανση του ετήσιου ύψους βροχόπτωσης σε mm στην λεκάνη ΦΠΣ κατά το χρονικό διάστημα 1955-2010. Προέρχονται από τον μόνιμο βροχομετρικό σταθμό που βρίσκεται εγκατεστημένος στην πόλη της Κοζάνης (Τα δεδομένα προέρχονται από την EMY).

2.2.2 Υδρογεωλογία ευρύτερης περιοχής

Όσον αφορά τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά των πετρωμάτων που συναντώνται στην περιοχή ελέγχονται κυρίως με δύο παραμέτρους, το πορώδες και την περατότητα. Η περατότητα υπολογίζεται συναρτήσει του πορώδους, όσο μεγαλύτερο είναι αυτό τόσο αυξάνει η περατότητα ενός σχηματισμού. Το πορώδες αποτελεί ένα μέτρο των διακένων ενός σχηματισμού προς τον συνολικό όγκο αυτού. Διαχωρίζεται σε πρωτογενές και δευτερογενές ανάλογα με χρονική δημιουργία των διακένων. Στο πρωτογενές τα διάκενα είναι αποτέλεσμα του σχηματισμού ενός πετρώματος (οφείλεται στην κοκκομετρία, το σχήμα και τη διάταξη του κόκκων), ενώ στο δευτερογενές τα διάκενα δημιουργούνται μετέπειτα από τον σχηματισμό του πετρώματος (τεκτονισμός, αποσάθρωση, διάλυση κ.α.) (Πατρικάκη, 2009).

Επομένως και με βάση τη στρωματογραφία για τους Τριαδικούς-Ιουρασικούς ασβεστόλιθους, οι οποίοι είναι έντονα τεκτονισμένοι και καρστικοποιημένοι εμφανίζουν μεγάλο πορώδες (δευτερογενές), συνεπώς και μεγάλη περατότητα. Τέλος

για το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο (σχιστόλιθοι, αμφιβολίτες, γνεύσιοι) αναγνωρίζεται η έλλειψη πρωτογενούς πορώδους, ωστόσο το δευτερογενές πορώδες διαδραματίζει σπουδαίο ρόλο στην υδροφορία, συνεπώς και εκεί ελέγχεται η μεγάλη περατότητα του (Πατρικάκη, 2009).

Έχει διαπιστωθεί σύμφωνα με τους Tzamproglou & Loupasaki, 2018, η ύπαρξη μόνιμων υδροφόρων οριζόντων κυρίως ακόρεστων που καταλαμβάνουν κυρίως τις Τεταρτογενείς αποθέσεις, ενώ οι βαθύτερες Νεογενείς αποθέσεις είναι γενικά αδιαπέρατες. Το μέγιστο πάχος των υδροφόρων αυτών φτάνει μέχρι και τα 120-130m στο κέντρο της λεκάνης φθίνοντας προς τα εξωτερικό της.

Κλείνοντας και σε ότι έχει να κάνει με τις πηγές παρουσιάζονται ως χαμηλής εκπλήρωσης στους σχηματισμούς που έχει διαπιστωθεί ότι είναι αρκετά υδρόφιλοι, συνεπώς το νερό δεν εκφορτίζεται με τον βέλτιστο ρυθμό και δημιουργούνται προβλήματα ευστάθειας (Steiakakis et al., 2010, Kanvadas et al., 1994).

2.2.2.1 Υδρογεωλογία εγγύς περιοχής ορυχείου Σερβίων

Σε αντίθεση με παραπάνω τεκμηρίωση στην κοντινή περιοχή του φράγματος δεν έχει διαπιστωθεί η ύπαρξη ενός μόνιμου υδροφόρου ορίζοντα τουλάχιστον στα βάθη εκσκαφής. Αυτό που έχει όμως παρατηρηθεί είναι η παρουσία επικρεμάμενων υδροφόρων οριζόντων στους υδροφόρους σχηματισμούς Πλειοκαινικής-Πλειστοκαινικής και Τεταρτογενούς ηλικίας. Συνεπώς σημαντικές ποσότητες νερού διεισδύουν στην διεπαφή ανάμεσα στην ανώτερη λιγνιτική ομάδα και τις υπερκείμενες νεογενείς αποθέσεις συνήθως μεταξύ των αμμοδών και λασπωδών στρώσεων καθώς και στις ζώνες διατάραξης των ρηγμάτων και τυχόν άλλων ασυνεχειών (Kanvadas et al., 1994).

2.2.2.2 Υδρογεωλογία εγγύς περιοχής ορυχείου Αμυνταίου

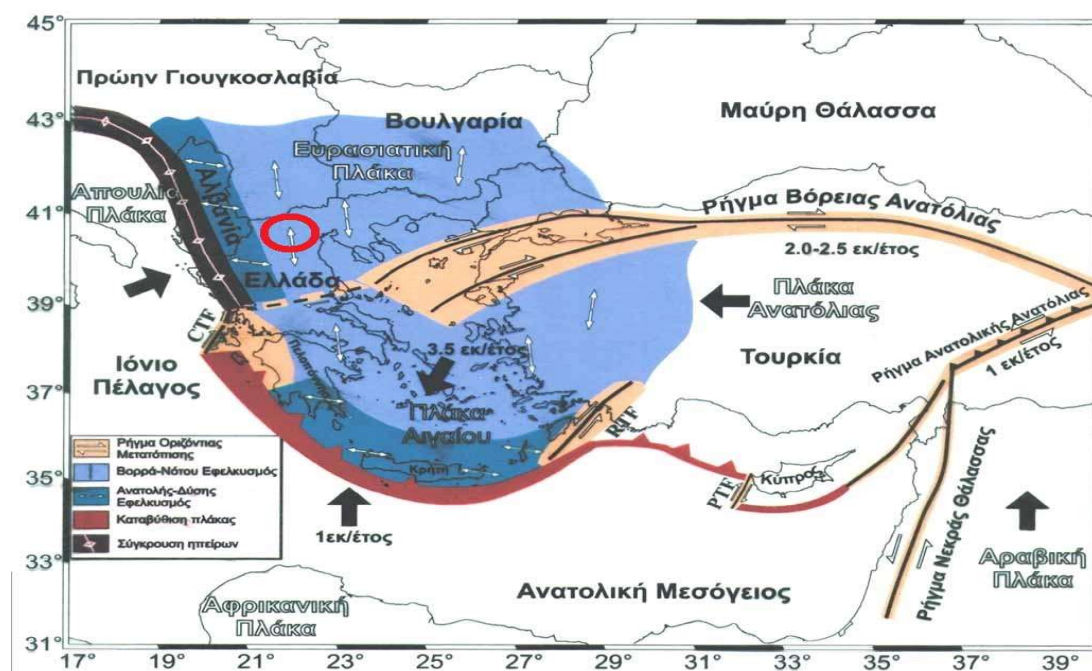
Όσον αφορά την περιοχή του Αμυνταίου τα τελευταία χρόνια καθώς η εξορυκτική δραστηριότητα στην περιοχή πραγματοποιείται ανελλιπώς, σε συνδυασμό με την ανάγκη των κατοίκων για συνεχόμενη ύδρευση και κυρίως άρδευση οδήγησαν στη

δημιουργία ενός αρκετά μεγάλου κώνου πτώσης στάθμης με συνέπεια την ταπείνωση του υδροφόρου ορίζοντα (Tzampoglou & Loupasakis, 2018).

2.3 ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ

2.3.1 Σεισμικότητα Ελλαδικού χώρου

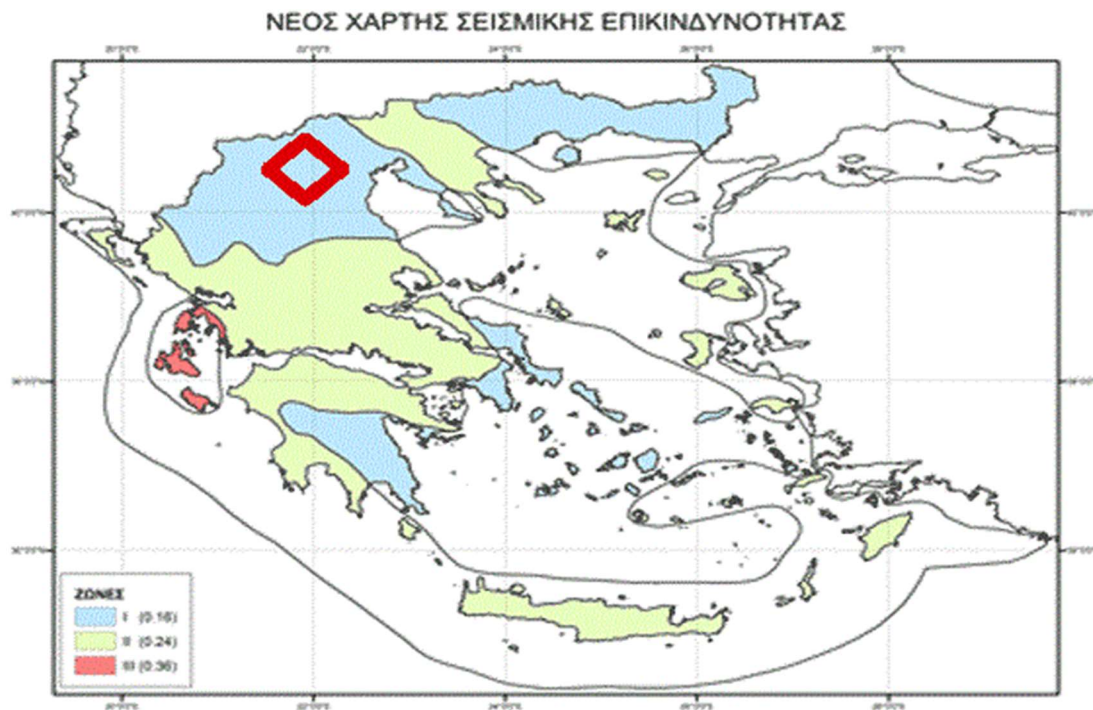
Η ευρύτερη περιοχή της Ελλάδος αποτελεί τμήμα της ζώνης σύγκρουσης (κατάδυσης) μεταξύ της Ευρασιατικής και της βυθιζόμενης Αφρικανικής λιθοσφαιρικής πλάκας με ταχύτητα περίπου 1cm/year. Στο σημείο αυτό συμβάλουν με την κίνηση και την δυναμική τους και άλλες μεγαλύτερες ή μικρότερες πλάκες και διάφορα ρήγματα μετασχηματισμού (Σχήμα 2.10). Χαρακτηρίζεται ως μία από τις πιο άμεσα επεκτεινόμενες περιοχές έκτασης παγκοσμίως. Ισχυροί σεισμοί (κυρίως επιφανειακοί) συντελούνται τόσο στην επαφή τους (ζώνη Benjiof) όσο και στις ενδολιθοσφαιρικές (interplane) περιοχές τους. Στην Ελληνική ενδοχώρα σεισμικές ακολουθίες οφείλονται κυρίως στην από Βορά προς Νότο κρυσταλλική επέκταση και σχετίζονται με κανονικά ρήγματα γενικής διεύθυνσης Ανατολής-Δύσης (Parathanasiou et al., 1998, Drakatos et al., 1998).



Σχήμα 2.10. Χάρτης της Ανατολικής Μεσογείου που δείχνει την ενεργό γεωδυναμική κατάσταση, τις κινήσεις των μικρό-πλακών στην περιοχή και τη διαμόρφωση του Ελληνικού Αιγαίου και του Κυπριακού Τόξου. Με τον κόκκινο κύκλο σημειώνεται η περιοχή μελέτης (Παπαζάχος, 2001).

2.3.2. Σεισμικότητα περιοχής μελέτης

Η δυτική Μακεδονία στην οποία υπάγεται γεωγραφικά η λιγνιτοφόρα λεκάνη ΦΠΣ χαρακτηρίζεται γενικά από χαμηλή σεισμικότητα, υπάγεται δηλαδή στην κατηγορία ένα (I) της Ελληνικής επικράτειας όπως προκύπτει και από τον παρακάτω χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας του Ελληνικού χώρου (Σχήμα 2.11).



Σχήμα 2.11. Κατηγοριοποίηση του Ελλαδικού χώρου σε ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας. Το I συμβολίζει περιοχές χαμηλού κινδύνου με τιμές σεισμικής επιτάχυνσης $a=0.16g$ (low-seismic risk), μέχρι και το III όπου απαντώνται αυτές με τον μεγαλύτερο σεισμικό κίνδυνο με τιμές $a=0.36g$ (highest-seismic risk). Στον κόκκινο ρόμβο σημειώνεται η περιοχή μελέτης (ΕΑΚ, 2004).

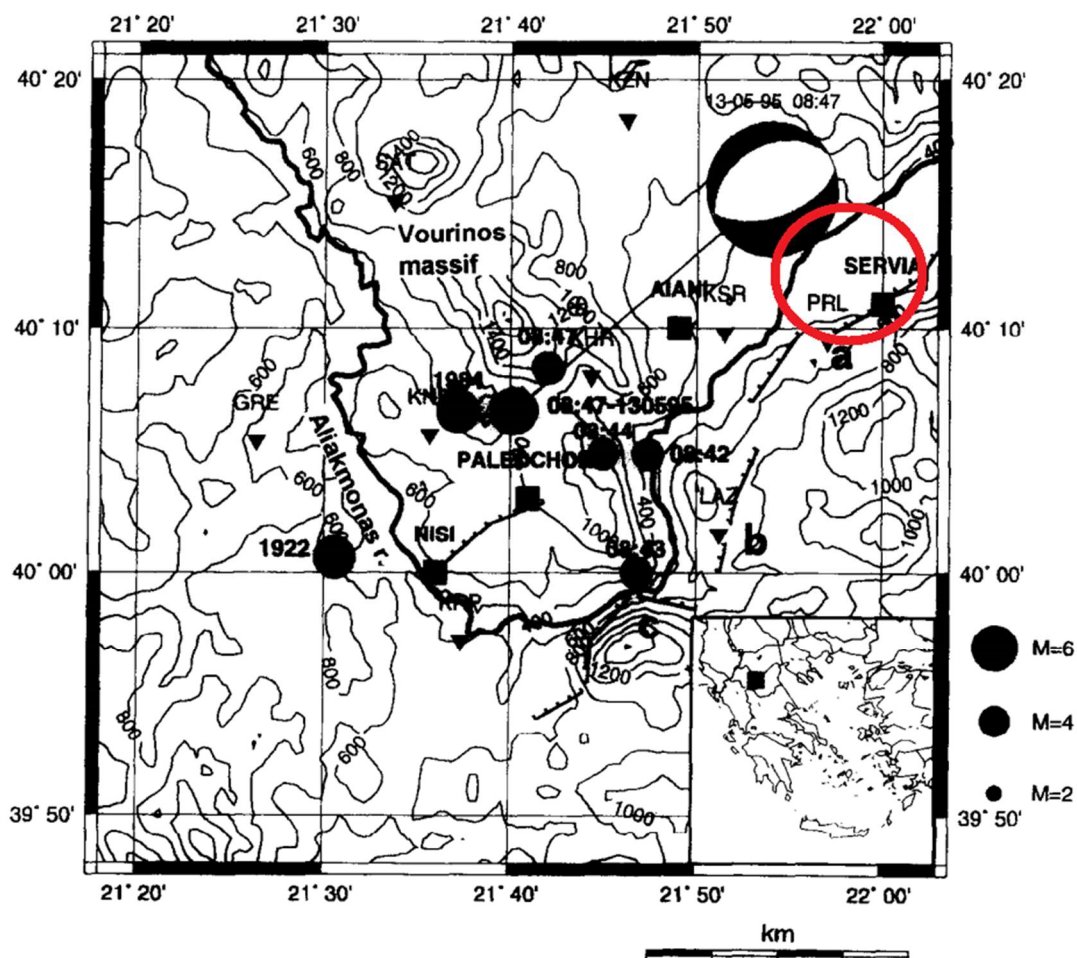
Καθίσταται λοιπόν δεδομένο ότι ισχυροί σεισμοί της τάξης μεγέθους $M>6,0$ δύσκολα μπορούν να δημιουργηθούν. Κάτι τέτοιο όμως γρήγορα ανατράπηκε με τον γνωστό σεισμό μεγέθους $M=6.6$ στις 13 Μαΐου του 1995 με επίκεντρο περίπου 40Km Βόρεια της πόλης της Κοζάνης. Εκτελέστηκε σε συνέπεια αυτού ενδελεχής έρευνα που κατέδειξε την ύπαρξη και άλλων τέτοιων μεγάλων αλλά και μικρότερων, συνάμα ισχυρών σεισμών στην περιοχή (Σχήμα 11). Μόνο στον 20^ο αιώνα ανακαλύφθηκαν τρεις σεισμοί μεγέθους μεγαλύτερου του $M=6$. Το κύριο γνώρισμα όλων των παραπάνω σεισμών αποτέλεσε η εγγύτητα των επικέντρων τους σε αυτό του σεισμού του 1995 με άμεση τελικά συσχέτιση τους με έναν κλάδο του ρήγματος των Σερβίων

(Σχήμα 2.12). Τελικά οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι περισσότεροι από αυτούς τους σεισμούς συντελούνται στο σεισμογόνο στρώμα και χαρακτηρίζονται ως επιφανειακοί (Parathanasiou et al., 1998). Παρακάτω παρατίθεται ένας πλήρης κατάλογος με όλους τους σεισμούς που εκδηλώθηκαν στην περιοχή μεγέθους άνω των $M_L > 4.0$ βαθμών.

Πίνακας 2.2. Σεισμοί μεγέθους: $M_w > 4.0$ που συντελέστηκαν στην εγγύς περιοχή του Κοζάνης με ακτίνα επίδρασης ίση με $R=30\text{Km}$, σε βάθος 50ετίας (1969-2018) Γεωδυναμικό Ινστιτούτο (<http://www.gein.noa.gr/el/>).

Χρόνος Γένεσης (GMT)	Επίκεντρο	Γεωγρ.Πλάτος (°B)	Γεωγρ.Μήκος (°A)	Βάθος (χμ)	Μέγεθος
1995/05/13 08:47:17	17.1 χμ Ν της Κοζάνης	40.18	21.71	39	6.1
1995/05/17 04:14:26	23.3 χμ Α των Γρεβενών	40.07	21.69	5	5.1
1995/05/15 04:13:57	22.6 χμ Α των Γρεβενών	40.06	21.68	5	5.0
1995/07/17 23:18:16	17.6 χμ ΑΒΑ των Γρεβενών	40.14	21.61	7	4.9
2007/07/17 18:23:20	18.5 χμ ΑΒΑ των Γρεβενών	40.16	21.61	22	4.9
1995/05/19 06:48:50	17.4 χμ Α των Γρεβενών	40.10	21.62	5	4.8
2013/07/02 10:45:21	26.3 χμ ΝΝΑ της Κοζάνης	40.12	21.85	22	4.7
1995/05/16 23:57:28	24.1 χμ Α των Γρεβενών	40.09	21.70	5	4.6
2013/07/03 13:28:23	25.1 χμ ΝΝΑ της Κοζάνης	40.14	21.87	20	4.6
1995/05/13 18:06:01	16.0 χμ Ν της Κοζάνης	40.19	21.73	11	4.5
1995/05/14 02:47:00	16.9 χμ ΑΒΑ των Γρεβενών	40.12	21.61	5	4.5
1995/07/19 18:23:15	24.8 χμ Ν της Κοζάνης	40.11	21.71	7	4.5
1995/06/19 03:54:00	32.8 χμ ΝΝΑ της Κοζάνης	40.07	21.89	5	4.4
1995/05/14 09:45:42	20.7 χμ Ν της Κοζάνης	40.15	21.76	5	4.3
1995/05/14 21:31:13	24.2 χμ Α των Γρεβενών	40.06	21.70	5	4.3
1995/05/16 23:00:41	19.1 χμ ΑΝΑ των Γρεβενών	40.03	21.63	5	4.3
1995/06/11 18:51:48	23.9 χμ ΑΝΑ των Γρεβενών	39.99	21.67	5	4.3
1995/07/18 07:42:55	19.2 χμ ΑΒΑ των Γρεβενών	40.14	21.63	5	4.3
1997/08/22 03:17:48	21.9 χμ Ν της Κοζάνης	40.14	21.67	12	4.3
1995/05/13 09:47:45	16.3 χμ ΝΝΑ της Κοζάνης	40.21	21.82	39	4.2
1995/05/13 10:33:06	16.1 χμ Ν της Κοζάνης	40.19	21.74	5	4.2
1995/05/13 11:43:32	16.6 χμ ΝΝΔ της Κοζάνης	40.19	21.66	24	4.2
1995/05/14 14:46:57	23.9 χμ Ν της Κοζάνης	40.12	21.75	5	4.2
1995/05/16 04:37:29	18.2 χμ Α των Γρεβενών	40.08	21.63	7	4.2
1995/06/06 04:35:59	19.0 χμ ΝΝΔ της Κοζάνης	40.17	21.65	5	4.2
1995/08/20 19:21:25	11.5 χμ ΑΝΑ της Κοζάνης	40.29	21.84	10	4.2
1995/05/13 10:58:35	22.6 χμ Ν της Κοζάνης	40.13	21.73	5	4.1
1995/05/13 23:56:26	19.0 χμ ΝΝΔ της Κοζάνης	40.17	21.65	5	4.1
1995/05/14 01:03:00	17.8 χμ ΑΒΑ των Γρεβενών	40.12	21.62	10	4.1
1995/05/14 03:09:39	25.9 χμ Α των Γρεβενών	40.10	21.72	15	4.1
1995/05/15 01:20:17	16.7 χμ Α των Γρεβενών	40.11	21.61	16	4.1
1995/05/18 06:22:55	16.9 χμ ΑΝΑ των Γρεβενών	40.05	21.61	5	4.1
1995/05/20 21:06:26	20.4 χμ ΑΝΑ των Γρεβενών	40.04	21.65	6	4.1
1995/05/23 20:09:54	17.5 χμ ΑΝΑ των Γρεβενών	40.03	21.61	5	4.1
1995/05/30 12:06:43	21.8 χμ Α των Γρεβενών	40.11	21.67	5	4.1
1995/07/28 22:43:31	13.0 χμ ΝΝΔ της Κοζάνης	40.22	21.68	7	4.1
1997/02/13 20:10:22	13.8 χμ ΝΔ της Κοζάνης	40.24	21.61	12	4.1
1995/05/13 08:43:18	30.9 χμ ΑΝΑ των Γρεβενών	40.02	21.77	5	4.0
1995/05/13 19:00:55	45.9 χμ ΒΔ της Λάρισσας	39.95	22.07	38	4.0
1995/05/16 17:57:51	18.4 χμ Α των Γρεβενών	40.11	21.63	5	4.0
1995/05/17 03:54:54	21.7 χμ Α των Γρεβενών	40.06	21.67	5	4.0
1995/05/17 04:48:35	19.9 χμ Α των Γρεβενών	40.09	21.65	5	4.0
1995/05/22 20:21:35	18.1 χμ ΑΒΑ των Γρεβενών	40.13	21.62	5	4.0
1995/06/19 04:41:33	19.4 χμ Ν της Κοζάνης	40.16	21.74	5	4.0
1995/06/19 15:00:22	33.1 χμ ΝΝΑ της Κοζάνης	40.06	21.87	8	4.0
1995/07/18 03:09:08	17.3 χμ ΑΒΑ των Γρεβενών	40.15	21.60	7	4.0
1995/07/18 05:05:34	21.3 χμ ΑΒΑ των Γρεβενών	40.13	21.66	5	4.0
1995/07/18 20:19:10	22.8 χμ Ν της Κοζάνης	40.13	21.68	6	4.0
1998/06/20 11:40:25	25.0 χμ Α των Γρεβενών	40.09	21.71	5	4.0
2007/07/19 04:25:26	22.2 χμ ΑΒΑ των Γρεβενών	40.13	21.67	18	4.0
2007/09/01 17:19:54	18.4 χμ ΑΒΑ των Γρεβενών	40.14	21.62	18	4.0
2014/02/26 01:42:50	13.2 χμ ΝΝΔ της Κοζάνης	40.23	21.64	25	4.0

Το ρήγμα των Σερβίων: Αποτελεί το Βορειότερο τμήμα της ζώνης κανονικών ρηγματίων της περιοχής μελέτης μας με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ (Σχήμα 12) (Parathanasiou et al., 1998, Pavlidis et al., 1995, Hatzfeld et al., 1995, Meyer et al., 1996). Πρόκειται ουσιαστικά για το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό από άποψη τεκτονικής και σεισμικότητας της περιοχής με κλίση ΒΔ60°. Στο μπροστινό μέρος του ρήγματος παρουσιάζεται ένας απότομος γκρεμός ύψους 10-20m, (Parathanasiou et al., 1998). Το παραπάνω διακριτό χαρακτηριστικό παρατηρείται σε αρκετά ενεργά ρήγματα στον Ελληνικό χώρο και θεωρείται αποτέλεσμα της Ολοκαινικής τεκτονικής δράσης (Armijo et al., 1992).



Σχήμα 2.12. Σεισμοτεκτονικός χάρτης της περιοχής Κοζάνης-Γρεβενών. Παρουσιάζεται η ζώνη ρηγματώσης των Σερβίων. Τα γράμματα a, b, c, αντιστοιχούν στα τρία τεμάχια της ρηγματώσης (Parathanasiou et al., 1998).

3. ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ ΚΑΙ UAV

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΠΕΡΙ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

Σύμφωνα με τον Cruden (1991) με τον όρο κατολίσθηση εννοείται η κίνηση μιας βραχώδους μάζας ή κορημάτων ή γαιών προς τα κατόντη ενός πρανούς. Ο όρος αυτός όπως παρατηρείται εμπεριέχει και άλλες μορφές μετακινήσεων όπως είναι οι ροές γης ή οι εξαιρετικά αργές κινήσεις βραχωδών και εδαφικών υλικών που οφείλονται σε φαινόμενα ερπυσμού. Πρέπει βέβαια να διευκρινιστεί ότι οι καθιζήσεις, και οι μετακινήσεις που οφείλονται σε χιονοστιβάδες ή παγετώνες δεν λαμβάνονται υπ' όψιν (Varnes, 1978).

3.1.1 Κατηγοριοποίηση κατολισθήσεων

Η επί μέρους ταξινόμηση πάντα κατά Varnes (1978) επιτυγχάνεται προσδιορίζοντας κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά γνωρίσματα που χρησιμοποιούνται ως τυπικά κριτήρια για την αναγνώριση του εκάστοτε μηχανισμού. Τα κριτήρια αυτά είναι:

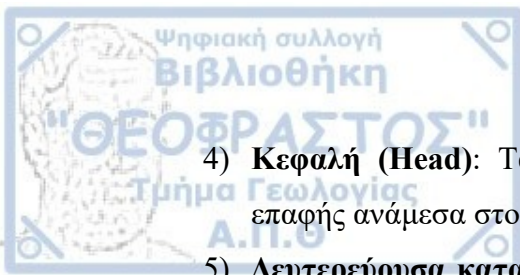
- Ο τύπος της μετακίνησης
- Το είδος του υλικού
- Ταχύτητα μετακίνησης
- Γεωμετρία περιοχής αστοχίας
- Ηλικία τελικής κατάθεσης των μετακινούμενων υλικών
- Αίτια αστοχίας
- Βαθμός διαταραχής της μετατοπιστέας μάζας
- Η σχετικότητα ή μη των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της ολίσθησης σε σχέση με την γεωλογική δομή της περιοχής
- Βαθμός ανάπτυξης του φαινομένου
- Γεωγραφική θέση
- Κατάσταση της δραστηριότητας του φαινομένου.

Γενικά, τα κυριότερα κριτήρια που χρησιμοποιούνται στην κατηγοριοποίηση μιας κατολίσθησης είναι: κυρίως ο τύπος της κίνησης της καθώς επίσης (σε μικρότερο βέβαια βαθμό) ο τύπος του υλικού. Σύμφωνα με τον τύπο της κίνησης διακρίνονται

πέντε (5) ομάδες: καταπτώσεις (falls), ανατροπές (toppling), ολισθήσεις (slides), εξαπλώσεις (spreads) και ροές (flows) (Varnes, 1978). Συμπληρωματικά με τις παραπάνω εντοπίζεται και μια έκτη ψευδοκατηγορία, αυτή των σύνθετων κινήσεων (complex landslides). Όμως, δεν αποτελεί αυτή καθ' αυτή ξεχωριστή κατηγορία, με την έννοια ότι για να δημιουργεί μια σύνθετη τελικά δομή σε κάποιο αρχικό στάδιο αποτελούσε τυπικό παράδειγμα μιας εκ των πέντε. Σε ότι έχει να κάνει με τον τύπο του υλικού, αυτό διακρίνεται σε βραχώδες και εδαφικό. Λέγοντας βραχώδες νοείται μια σκληρή ή συνεκτική μάζα που συναντώταν άθικτη στο φυσικό της περιβάλλον πριν την έναρξη της κίνησης. Τέλος εδαφικό αποτελεί ένα υλικό όπου χαρακτηρίζεται από ένα σύνολο στερεών στοιχείων αποτελούμενα κυρίως από ορυκτά ή βραχώδη μικροτεμάχια τα οποία είτε μεταφέρθηκαν στην περιοχή, είτε αποτελούν αυτόχθονα προϊόντα διάβρωσης. Συχνά διάφορα υγρά και αέρια καταλαμβάνουν ένα τμήμα του εδάφους καθώς πληρώνουν τα κενά του πορώδους και συμπεριφέρονται ως ένα με την υπόλοιπη εδαφική μάζα προαναφερθέντων. Επιπλέον, το εδαφικό υλικό διαχωρίζεται σε γαίες (earth) και σε κορήματα (debris) ανάλογα με τη διάμετρο των κόκκων του. Τα μεν γαιώδη έχοντας περισσότερο από 80% περιεκτικότητα σε κόκκους με διάμετρο μικρότερη από 2mm, τα δε κορήματα έχοντας περιεκτικότητα 20 έως 80% σε κόκκους διαμέτρου μεγαλύτερης από 2mm. Η εν λόγω κατηγοριοποίηση μπορεί να περιέχει αρκετές αβεβαιότητες όμως δύναται να χρησιμοποιηθεί για μια γρήγορη, ακόμα και μακροσκοπική παρατήρηση (Cruden & Varnes, 1996).

Προτού αναλυθούν διεξοδικά οι διάφοροι τύποι μιας κατολίσθησης είναι σημαντικό να γίνει ιδιαίτερη μνεία στα παρατηρήσιμα τμήματα της. Έχει εγκαθιδρυθεί δηλαδή μια διεθνής ονοματολογία για τα επιμέρους μέρη μιας κατολίσθησης από την IAEG (International Assembly of Engineering Geology), (IAEG Commission on Landslides, 1990) (Cruden et al., 1996). Αυτά είναι:

- 1) **Στέψη (Crown):** Το πρακτικά αδιατάρακτο υλικό πλησίον στην υψηλότερη θέση της κύριας κατακρήμνισης
- 2) **Κύρια κατακρήμνιση (Main scarp):** Μια απότομη επιφάνεια του αδιατάρακτου εδάφους στα ανώτερα τμήματα της κατολίσθησης που οφείλεται στην κίνηση της ολισθαίνουσας μάζας.
- 3) **Κορυφή (Top):** Το υψηλότερο σημείο ανάμεσα στην ολισθαίνουσα μάζα και την κύρια κατακρήμνιση



- 4) **Κεφαλή (Head):** Τα ανώτερα σημεία της κατολίσθησης κατά μήκος της επαφής ανάμεσα στο ολισθαίνον υλικό και την κύρια κατακρήμνιση
- 5) **Δευτερεύουσα κατακρήμνιση (Minor Scarp):** Μια απότομη επιφάνεια στο ολισθαίνον υλικό παραγόμενη από διαφορικές κινήσεις μέσα στο ίδιο το υλικό αυτό
- 6) **Κύριο σώμα (Main body):** Το τμήμα του ολισθαίνοντος υλικού της κατολίσθησης που υπέρκειται της επιφάνειας ολίσθησης ανάμεσα της κύριας κατακρήμνισης και της απόληξης της επιφάνειας ολίσθησης
- 7) **Ποδάρι (Foot):** Το κίνηθεν τμήμα της κατολίσθησης πέρα από την επιφάνεια ολίσθησης το οποίο υπέρκειται της αρχικής εδαφικής επιφάνειας
- 8) **Άκρο (Tip):** Το σημείο εκείνο της απόληξης το οποίο αποτελεί και το πιο απομακρυσμένο από την κορυφή της κατολίσθησης
- 9) **Απόληξη (Toe):** Το κατώτερο και συνήθως κυρτό μέρος της ολισθαίνουσας μάζας. Είναι το πλέον απομακρυσμένο από την κύρια κατακρήμνιση
- 10) **Επιφάνεια ολίσθησης (Surface of rupture):** Η επιφάνεια που σχηματίζει το κατώτερο όριο της ολισθαίνουσας μάζας κάτω από την αρχική εδαφική επιφάνεια.
- 11) **Απόληξη της επιφάνειας ολίσθησης (Toe of surface of rupture):** Η τομή (συνήθως θαμμένη) ανάμεσα στο χαμηλότερο τμήμα της επιφάνειας ολίσθησης μιας κατολίσθησης και της αρχικής εδαφικής επιφάνειας
- 12) **Επιφάνεια διαχωρισμού (Surface of separation):** Το τμήμα της αρχικής εδαφικής επιφάνειας που πλέον υπόκειται του ποδαριού της κατολίσθησης
- 13) **Ολισθαίνουσα μάζα (Displaced material):** Ολισθαίνον υλικό του πρσανούς από την κίνηση της κατολίσθησης. Σχηματίζει τόσο την μάζα απομείωσης όσο και συσσώρευση
- 14) **Ζώνη απομείωσης (Zone of depletion):** Η περιοχή της κατολίσθησης στην οποία το ολισθαίνον υλικό υπόκειται της αρχικής εδαφικής επιφάνειας
- 15) **Ζώνη συσσώρευσης (Zone of accumulation):** Η περιοχή της κατολίσθησης στην οποία το ολισθαίνον υλικό υπέρκειται της αρχικής εδαφικής επιφάνειας
- 16) **Απομείωση (Depletion):** Ο όγκος που οριοθετείται από την κύρια κατακρήμνιση, την απομειούμενη μάζα και της αρχική εδαφική επιφάνεια

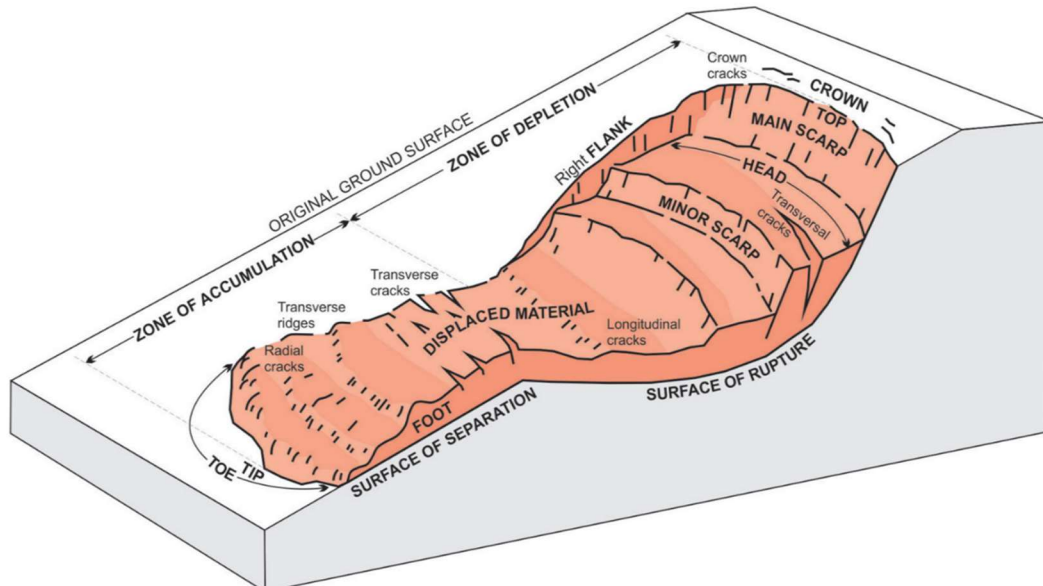
17) **Απομειούμενη μάζα (Depleted mass):** Ο όγκος του ολισθαίνοντος υλικού που υπέρκειται της επιφάνειας ολίσθησης αλλά υπόκειται της αρχικής εδαφικής επιφάνειας

18) **Συσσώρευση (Accumulation):** Ο όγκος της ολισθαίνουσας μάζας που υπέρκειται της αρχικής εδαφικής επιφάνειας

19) **Πλευρά (Flank):** Το μη ολισθαίνον υλικό πλησίον των πλευρών της επιφάνειας ολίσθησης

20) **Αρχική εδαφική επιφάνεια (Original ground surface):** Η επιφάνεια του πρανούς που προϋπήρχε της κατολίσθησης (Σχήμα 3.1, Σχήμα 3.2.α).

Θα πρέπει να τονιστεί ότι μπορεί η παραπάνω ονοματολογία εκ πρώτης άποψης να ανταποκρίνεται σε περιστροφικού τύπου κατολισθήσεις, όμως πλέον χρησιμοποιείται διεθνώς για όλο το πλήθος των διαφορετικών τύπων κατολίσθησης.

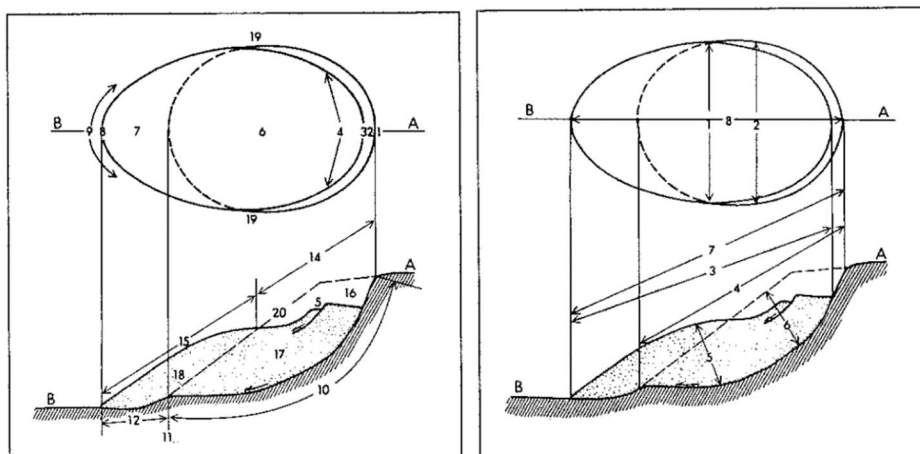


Σχήμα 3.1. Σχηματική αναπαράσταση μιας ιδεατής κατολίσθησης όπου περιγράφονται τα προηγούμενα 20 στοιχεία (Arbanas, 2015).

Συνεχίζοντας στην ίδια λογική η παραπάνω επιτροπή οδηγήθηκε στην δημιουργία ενός μνημονίου όσον αφορά των χαρακτηρισμό των διαστάσεων των κατολισθήσεων. Έτσι εντοπίζονται οκτώ (8) στο σύνολο τους διαφορετικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά σε μια ιδεατή κατολίσθηση:

1) **Πλάτος ολισθαίνουσας μάζας (Width of displaced mass), W_d :** Το μέγιστο πλάτος της ολισθαίνουσας μάζας κάθετα στο μήκος της

- 2) **Πλάτος επιφάνειας ολίσθησης (Width of surface rupture), W_r** : Το μέγιστο πλάτος ανάμεσα στα πλευρά της κατολίσθησης κάθετα στο μήκος της επιφάνειας ολίσθησης
- 3) **Μήκος ολισθαίνουσας μάζας (Length of displaced mass), L_d** : Η ελάχιστη απόσταση από το άκρο μέχρι και την κορυφή
- 4) **Μήκος επιφάνειας ολίσθησης (Length of surface of rupture), L_r** : Η μικρότερη απόσταση από την απόληξη της επιφάνειας ολίσθησης μέχρι και την στέψη
- 5) **Βάθος ολισθαίνουσας μάζας (Depth of displaced mass), D_d** : Το μέγιστο βάθος της ολισθαίνουσας μάζας υπολογισμένο κάθετα στο επίπεδο που ορίζεται από τα D_d και L_d
- 6) **Βάθος επιφάνειας ολίσθησης (Depth of surface of rupture), D_r** : Το μέγιστο βάθος της επιφάνειας ολίσθησης υποκείμενο της αρχικής εδαφικής επιφάνειας υπολογισμένο κάθετα στο επίπεδο που στοιχειοθετούν τα W_r και L_r
- 7) **Ολικό μήκος (Total length), L** : Η ελάχιστη απόσταση από το άκρο μέχρι και την στέψη
- 8) **Μήκος κεντρικής γραμμής (Length of center line), L_c** : Η απόσταση από την στέψη μέχρι το άκρο της κατολίσθησης κατά μήκος των σημείων της αρχικής εδαφικής επιφάνειας που ισαπέχουν από τα πλευρικά όρια της επιφάνειας ολίσθησης και του ολισθαίνοντος υλικού (Σχήμα 3.2.β).

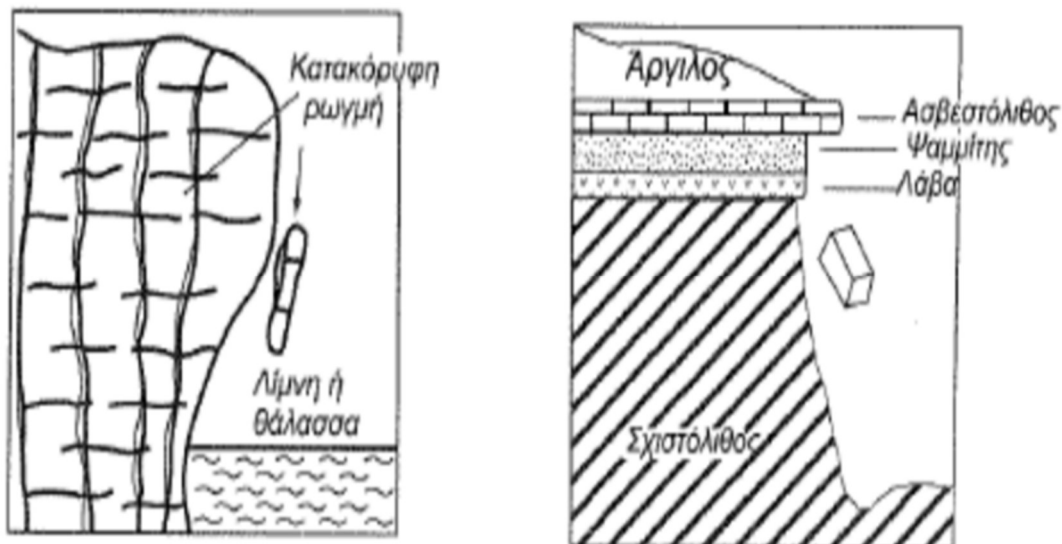


Σχήμα 3.2. Σχηματική αναπαράσταση σε κάτοψη και τομή των βασικών χαρακτηριστικών (Σχήμα 3.2.α) και διαστάσεων (Σχήμα 3.2.β) των κατολισθήσεων (IAEG Commission on Landslides 1990).

3.1.2 Τύποι κατολισθήσεων

3.1.2.1 Καταπτώσεις (Falls)

Η κατάπτωση συντελείται με την αποκόλληση εδαφικού ή βραχώδους υλικού από μια απότομο πρηνές κατά μήκος μιας επιφάνειας με ελάχιστη ή και καθόλου διατμητική μετατόπιση. Το υλικό ακολούθως, κατέρχεται κυρίως μέσω του αέρα είτε πέφτοντας, είτε αναπηδώντας είτε κυλώντας. Η κίνηση ποικίλει από ραγδαία έως και εξαιρετικά ραγδαία (Σχήμα 3.3). Σε περίπτωση όπου η ολισθαίνουσα μάζα έχει προηγουμένως υποσκαφτεί, μικρές ολισθήσεις/ανατροπές (που χωρίζουν το ολισθαίνον υλικό από την αδιατάραχτη μάζα) θα προηγούνται του κύριου μηχανισμού. Η υποσκαφή τυπικά διαδραματίζεται σε συνεκτικά ή σε βραχώδη εδάφη στην απόληξη ενός λόφου που έχει υποστεί κυματική δράση ή βρίσκεται σε ένα διαβρωσιγενές ποτάμιο περιβάλλον (Cruden & Varnes, 1996).

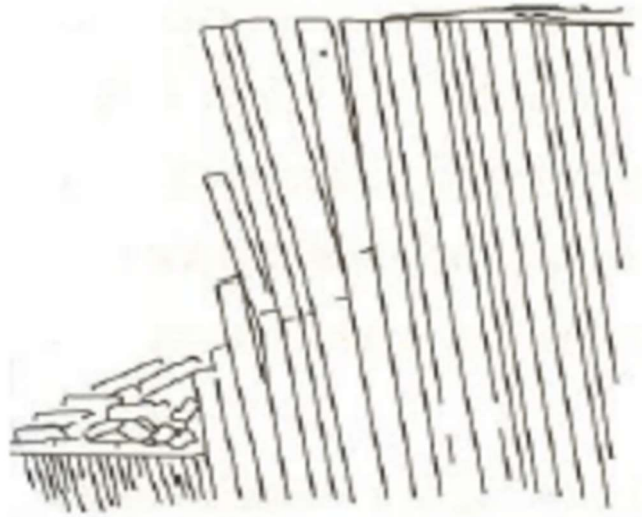


Σχήμα 3.3. Κατάπτωση βραχώδους υλικού που οφείλεται είτε σε διαφορετική διάβρωση από το κύμα είτε σε διαφορετική αποσάθρωση (https://www.dropbox.com/s/k8mxamjcupnqf94/6o%20Mathima_Texniki%20Geologia%20Katolisthiseis_Edafikes%20olisthiseis_2016-17.pdf?dl=0).

3.1.2.2 Ανατροπές (Topples)

Ανατροπή ονομάζεται η προς τα έξω εμπρόσθια περιστροφική κίνηση εδαφικών ή βραχωδών υλικών ενός πρηνούς. Η κίνηση αυτή συντελείται γύρω από έναν άξονα περιστροφής που εντοπίζεται υποκείμενος του κέντρου βαρύτητας της ολισθαίνουσας

μάζας. Κάποιες φορές οφείλεται στην βαρυτική δύναμη που ασκείται από το υλικό άνωθεν του πρανούς, ενώ άλλες στη δράση του νερού και του πάγου μέσα από τις διαρρήξεις της μάζας του (Σχήμα 3.4). Η ανατροπή ανάλογα με τη γεωμετρία της κινούμενης μάζας, τη γεωμετρία της επιφάνειας διαχωρισμού, τον προσανατολισμό και την έκταση των κινηματικά ενεργών ασυνεχειών, δύναται να οδηγήσει σε φαινόμενα καταπτώσεων ή/και ολίσθησης (Cruden & Varnes, 1996).



Σχήμα 3.4. Σχηματική αναπαράσταση φαινομένου ανατροπής (https://www.dropbox.com/s/k8mxamjcunpqf94/6o%20Mathima_Texniki%20Geologia%20Katolisthiseis_Edafikes%20olisthiseis_2016-17.pdf?dl=0).

3.1.2.3 Ολίσθησεις (slides)

Η ολίσθηση αποτελεί μια προς τα κατάντη κίνηση σε ένα πρανές που κυρίαρχα λαμβάνει χώρα σε επιφάνειες ολίσθησης ή σε σχετικά λεπτές ζώνες ακραίας διατμητικής τάσης. Αρχικά η κίνηση δεν είναι ταυτόχρονη σε όλη την έκταση της επιφάνειας ολίσθησης, δηλαδή ο όγκος του κατολισθαίνοντος υλικού αυξάνει από μια περιοχή τοπικής αστοχίας και στη συνέχεια εξαπλώνεται στο σύνολο της. Συχνά τα πρώτα σημάδια της εδαφικής κίνησης αποτελούν διάφορα σπασίματα στην αρχική εδαφική επιφάνεια, που αργότερα θα δημιουργηθεί η κύρια κατακρήμνιση. Η ολισθαίνουσα μάζα μπορεί να επεκταθεί και πέραν της απολήξεως, καλύπτοντας την αρχική εδαφική επιφάνεια του πρανούς. Πλέον η επιφάνεια αυτή χαρακτηρίζεται ως επιφάνεια διαχωρισμού (Cruden & Varnes, 1996).

Παρακάτω γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στα διαφορετικές περιπτώσεις (μοντέλα) ολίσθησης καθώς αποτελούν και το ζήτημα που διαπραγματεύεται η παρούσα διπλωματική εργασία. Δηλαδή οι αστοχίες που συντελούνται κατά κόρον σε ανοιχτά ορύγματα (open-pi) εξόρυξης λιγνίτη είναι φύσεως ολίσθησης.

Ο Varnes (1978) για λόγους ανάλυσης ευστάθειας και ελέγχου των φαινομένων ολίσθησης έδωσε έμφαση στο διαχωρισμό των ισότροπων (περιστροφικών) και των ανισότροπων (επίπεδων, σφηνοειδών) ολισθήσεων.

Περιστροφικές ολισθήσεις (rotational slides): Στην διεθνή βιβλιογραφία βρίσκονται και με τον χαρακτηρισμό **ισότροπες**. Είναι αυτές που κινούνται κατά μήκος μια κοίλης ή κυρτής επιφάνειας ολίσθησης. Εάν η επιφάνεια αυτή είναι κυκλική η κυκλοειδής σε διατομή, η κινηματική επιτάσσει την ολισθαίνουσα μάζα να κινηθεί ανάμεσα την επιφάνειας αυτής με μικρή εσωτερική παραμόρφωση. Η κεφαλή της ολισθαίνουσας μάζας μπορεί να κινηθεί σχεδόν κατακόρυφα προς τα κατάντη, σε αντίθεση με την από πάνω επιφάνεια της που κάμπτεται προς τα πίσω, δηλαδή προς την κύρια κατακρήμνιση. Σε περίπτωση που η κύρια κατακρήμνιση εκτείνεται για μια αξιοσημείωτη απόσταση κατά μήκος του πρηνούς και κάθετα στη διεύθυνση κίνησης τότε, η επιφάνεια ολίσθησης μπορεί να θεωρηθεί σχεδόν κυκλική. Ο άξονας της επιφάνειας αυτής είναι παράλληλος με τον άξονα περιστροφής της ολίσθησης. Στα εδαφικά υλικά οι περιστροφικές ολισθήσεις παρουσιάζουν συνήθως μια μεταβολή ανάμεσα στο βάθος (D_r) και το μήκος (L_r) της ολισθαίνουσας επιφάνειας, όπου $D_r/L_r=0.15-0.33$.

Επειδή οι περιστροφικές ολισθήσεις συντελούνται σχεδόν πάντα σε ομογενή ή σε φερόμενα ω ομογενή υλικά, συνεπάγεται και ότι η συχνότητα εμφάνισης τους σε αυτά είναι μεγαλύτερη από τις υπόλοιπες μορφές. Βέβαια τα φυσικά υλικά είναι σπάνια ομοιόμορφα, συνεπώς οι κινήσεις στα πρηνή πραγματοποιούνται σε ανομοιογένειες και ασυνέχειες. Οι παραπάνω επιφάνειες μπορεί να προκαλέσουν κινήσεις που είναι αδύνατο να αναλυθούν ως περιστροφικές αστοχίες, οπότε πλέον επεισέρχονται και άλλες μορφές ανάλυσης, αυτές των ανισότροπων ολισθήσεων (Σχήμα 3.5.A).

Ανισότροπες ολισθήσεις (translational slides): Στις ανισότροπες ολισθήσεις η μάζα μετατοπίζεται κατά μήκος ενός επιπέδου ή μιας κυματοειδούς επιφάνειας ολίσθησης, αποσπώμενη από την αρχική εδαφική επιφάνεια. Τέτοιου είδους ολισθήσεις είναι συνήθως ρηχότερες των περιστροφικών, συνεπώς ο λόγος D_r/L_r για

τα εδάφη γίνεται πλέον μικρότερος από 0,1mm ($D_r/LR \leq 0.1$). Οι επιφάνειες ολίσθησης σε αυτό τον τύπο έχουν συχνά την μορφή από ένα ευρύ αυλακοειδές σχήμα.

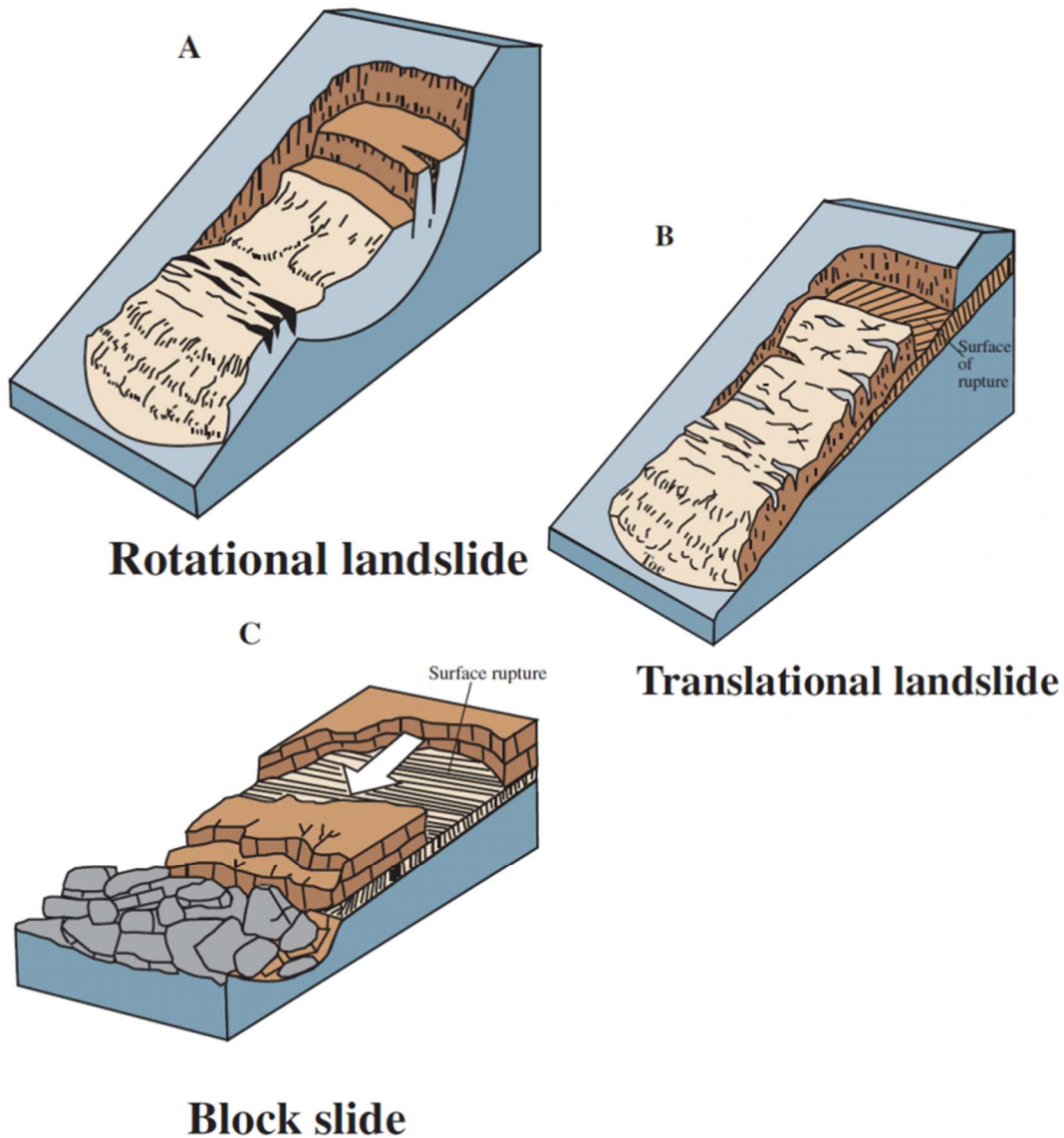
Μια ακόμα σημαντική διαφοροποίηση με τις περιστροφικές ολισθήσεις αποτελεί το γεγονός ότι οι μεν πρώτες σε περίπτωση που ελέγχονται από επιφάνεια ολίσθησης με ικανή κλίση συνεχίζουν την κίνηση τους αδιάκοπτα. Σε αντιδιαστολή, στις περιστροφικές ολισθήσεις υπάρχει γενικώς η τάση επαναφοράς της ολισθαίνουσας μάζας σε μια κατάσταση ισορροπίας. Έχει δειχθεί δηλαδή ότι σε ένα μεταγενέστερο στάδιο μια ολίσθησης και αφού η ολισθαίνουσα μάζα έχει υποστεί διαφορικό διαχωρισμό στην ίδια της τη μάζα, σε συνάρτηση με την αύξηση της ταχύτητας κίνησης και του όγκου του περιεχόμενου σε αυτήν νερό δύναται να αρχίσει να ρέει, να μετασχηματιστεί δηλαδή σε μια ροή κορημάτων (Σχήμα 3.5.B)

Οι ανισότροπες ολισθήσεις συχνά οφείλονται σε γεωλογικές ασυνέχειες, όπως, ρήγματα, διακλάσεις, επιφάνειες στρώσης ή κάποια διεπαφή ανάμεσα στο βραχώδες υπόβαθρο και στα υπερκείμενα εδαφικά στρώματα. Ανισότροπες ολισθήσεις βραχωδών υλικών που οφείλονται σε μία (1) επιφάνεια ασυνέχειας καλούνται **ολισθήσεις τεμαχών (block slides)** ή **επίπεδες ολισθήσεις (planar slides)**. Εφόσον η επιφάνεια ολίσθησης ακολουθεί μια ασυνέχεια που είναι παράλληλη στο πρηνές, τότε η απόληξη της ολισθαίνουσας μάζας μπορεί να σχηματίσει μια σφήνα (wedge) που υπερβαίνει το μη μετατοπιστέο υλικό, έτσι δημιουργούνται πτυχώσεις ακόμα και μετά το πέρας της απόληξης της επιφάνειας ολίσθησης. Ως αποτέλεσμα, **σύνθετες βραχοολισθήσεις-βραχοκαταπτώσεις (rock-slides, rock topples)** δημιουργούνται (Σχήμα 3.5.C).

Ακόμη, είναι πιθανόν η επιφάνεια ολίσθησης να δημιουργηθεί από δύο (2) ασυνέχειες που προκαλούν στην περιεχόμενη μάζα να μετατοπιστεί προς τα κατόντη, με φορά κίνηση κατά τη γραμμή της τομής των δύο αυτών ασυνεχειών. Δημιουργείται δηλαδή έτσι μια **σφηνοειδής ολίσθηση (Wedge slide)**. Παρόμοια σχηματισμένες και μετατοπισμένες μάζες μπορεί να οριοθετούνται από μια ασυνέχεια που σχηματίζει την κύρια κατακρήμνιση της ολίσθησης και μια άλλη που σχηματίζει την επιφάνεια ολίσθησης. Η τάση της κίνησης σε αυτή την περίπτωση εξαρτάται από τον προσανατολισμό των ελεύθερων επιφανειών συναρτήσεως των ασυνεχειών.

Επιπλέον εντοπίζονται κάποιες ανισότροπες **κλιμακωτές ολισθήσεις (Stepped slides)** σε περίπτωση δύο (2) ή και περισσότερων ζευγαριών ασυνεχειών. Τέλος θα

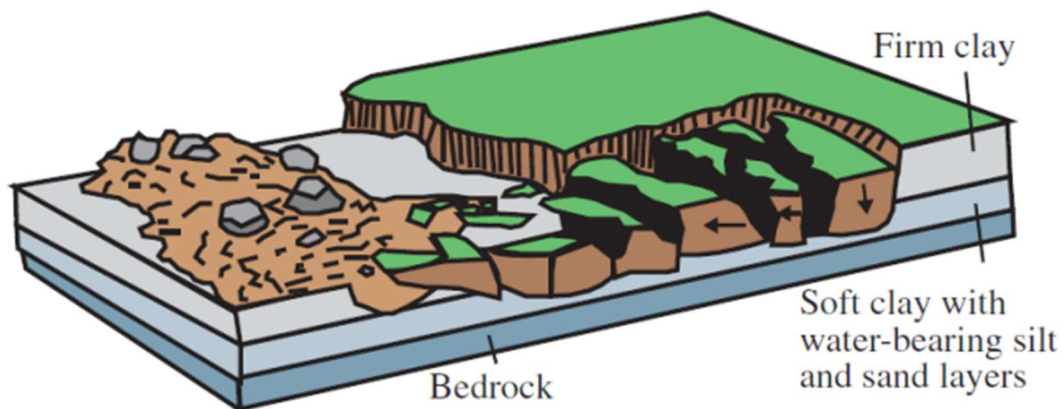
πρέπει να σημειωθεί ότι ορίζεται άλλη μια κατηγορία ολισθήσεων που καλείται ως **σύνθετη (Compound)**. Αποτελεί ένα υβρίδιο ανάμεσα σε μια περιστροφική και σε μια ανισότροπη ολίσθηση. Συνήθως η ύπαρξη της δείχνει την παρουσία ενός ασθενούς στρώματος ή το όριο ανάμεσα στο διαβρωμένο και το υγιές υλικό (Cruden & Varnes, 1996).



Σχήμα 3.5. Σχηματική αναπαράσταση των διάφορων μοντέλων ολισθήσεων. A: περιστροφική-ισότροπη ολίσθηση, B: Ανισότροπη ολίσθηση, C: Ολισθήσεις τεμαχών (<http://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/>).

3.1.2.4 Εξάπλωση (Spread)

Ως εξάπλωση ορίζεται η επέκταση ενός συνεκτικού εδάφους ή μιας βραχώμαζας λόγω διάτμησης σε συνδυασμό με μια γενική ταπείνωση της διατμημένης μάζας του παραπάνω συνεκτικού υλικού σε περιοχές με χαλαρότερο υποκείμενο υλικό. Η επιφάνεια διάτμησης δεν αποτελεί επιφάνεια ακραίας τάσης. Μπορεί να οφείλονται σε φαινόμενα ρευστοποίησης ή σε ροές υλικών. Εξαπλώσεις τοπικά αποτελούμενες από βραχώδες υλικό, εκτείνονται χωρίς να δημιουργούν μια εμφανώς αναγνωρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης. Διακρίνονται σε σχέση με κινήσεις σε συνεκτικά εδάφη που υπέρκεινται ρευστοποιημένα υλικά ή υλικά που ρέουν πλαστικά. Τα συνεκτικά υλικά μπορεί και αυτά με τη σειρά τους να καθιζάνουν, μετατραπούν, περιστραφούν, αποσυντεθούν ή να ρευστοποιηθούν και να ρέουν (Σχήμα 3.6). Είναι προφανές ότι οι κινήσεις αυτές είναι αρκετά σύνθετες, είναι επίσης αρκετά παρατηρήσιμα επαρκείς σε συγκεκριμένα υλικά και γεωλογικές καταστάσεις που αξίζει η εξάπλωση να θεωρείται ως ξεχωριστή κατηγορία κίνησης (Cruden & Varnes, 1996).

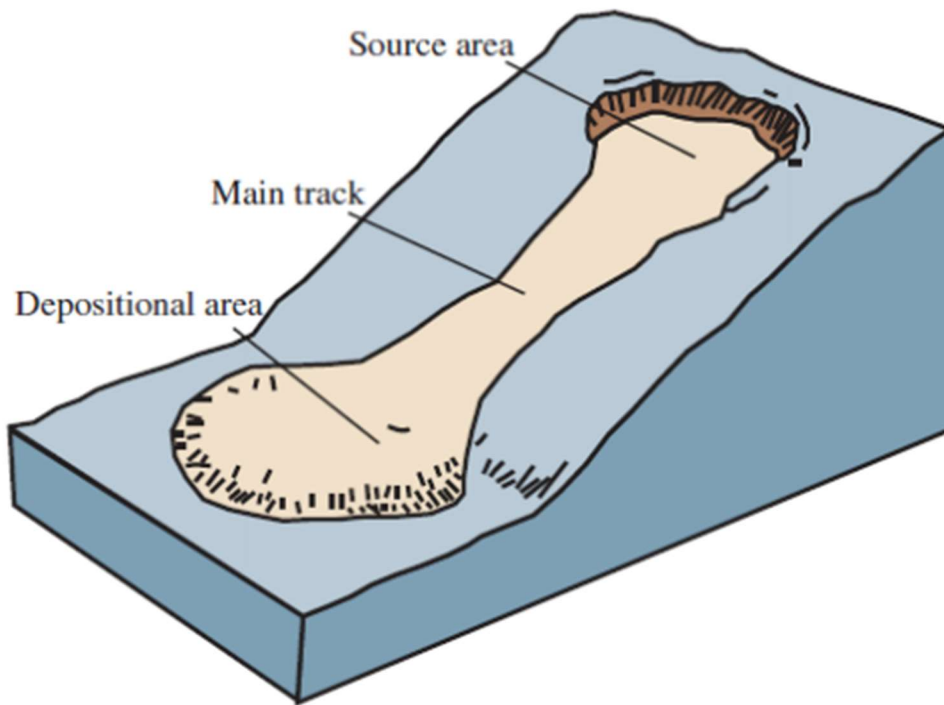


Σχήμα 3.6. Σχηματική αναπαράσταση του φαινομένου της εξάπλωσης (<http://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/>).

3.1.2.5 Ροή (Flow)

Ροή ονομάζεται μια συνεχόμενη χωρικά κίνηση στην οποία οι επιφάνειες διάτμησης διατηρούνται για μικρό χρονικό διάστημα έως καθόλου και είναι κοντινά κατανομημένες η μια σε σχέση με την άλλη. Επίσης η κατανομή της ταχύτητας στην ολισθαίνουσα μάζα αντιστοιχεί σε αυτήν ενός ιξώδους υγρού. Το κατώτερο όριο της

πιθανολογείται ότι αποτελεί μια επιφάνεια κατά μήκος της οποίας πραγματοποιούνται σημαντικές διαφορικές κινήσεις ή μια πυκνή ζώνη κατανομής των διατμητικών τάσεων. Συνεπώς παρουσιάζεται μια διαβάθμιση από τις ολισθήσεις, στις ροές ανάλογα με την περιεχόμενη ποσότητα νερού, την κινητικότητα και την εξέλιξη της κίνησης (Σχήμα 3.7) (Cruden & Varnes, 1996).



Σχήμα 3.7. Σχηματική αναπαράσταση του φαινομένου της ροής (εδώ παρουσιάζεται μια ειδική περίπτωση ροής (<http://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/>)).

3.1.2.6 Σύνθετες (Complex)

Ο συνδυασμός δύο (2) ή περισσότερων προαναφερθέντων τύπων αποτελεί την έκτη ψευδοκατηγορία (Varnes, 1978). Σε αντιδιαστολή και σύμφωνα με νεότερες αντιλήψεις μια κατολίσθηση χαρακτηρίζεται ως σύνθετη όταν οι διάφορες κινήσεις συντελούνται με μια ακολουθία (Cruden & Varnes, 1996).

3.1.3 Ενεργότητα κατολισθήσεων

Οι όροι που σχετίζονται με την ηλικία και την ενεργότητα των κατολισθήσεων αποσαφηνίζονται κυρίως από τον Varnes (1979). Με γνώμονα την κατάταξη αυτή, κάποια ορισμοί που σχετίζονται με την ακολουθία και την επαναληψιμότητα των φαινομένων που διαδραματίζονται σε μία κατολίσθηση έχουν πλέον ομαδοποιηθεί σε τρεις (3) κατηγορίες:

1. **Κατάσταση Ενεργότητας (State of Activity):** Σχετίζεται με τη χρονική περιγραφή της κίνησης
2. **Κατανομή ενεργότητας (Distribution of Activity):** Σχετίζεται με την περιγραφή της διεύθυνσης της κίνησης
3. **Τύπος ενεργότητας (Style of Activity):** Σχετίζεται με την περιγραφή των διαφορετικών επιμέρους κινήσεων που συνεισφέρουν στην κατολίσθηση.

Έτσι σύμφωνα με τα παραπάνω προκύπτουν διαφορετικοί χαρακτηρισμοί για κάθε αστοχία (Πίνακας 3.1). Γίνεται εμφανές ότι η μία αστοχία μπορεί ταυτόχρονα να περιγραφεί και από τις τρεις κατηγορίες (Cruden & Varnes, 1996).

Πίνακας 3.1. Διαφορετικοί χαρακτηρισμοί κατολισθήσεων ανάλογα με την ενεργότητα τους (Cruden & Varnes, 1996).

ΕΝΕΡΓΟΤΗΤΑ		
ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	ΚΑΤΑΝΟΜΗ	ΤΥΠΟΣ
ΕΝΕΡΓΕΣ	ΠΡΟΩΘΟΥΜΕΝΕΣ	ΣΥΝΘΕΤΕΣ
ΕΠΑΝΕΡΓΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ	ΑΝΑΔΡΟΜΕΣ	ΠΟΛΛΑΠΛΕΣ
ΑΝΑΣΤΕΛΟΥΣΕΣ	ΠΕΠΛΑΤΥΣΜΕΝΕΣ	ΔΙΑΔΟΧΙΚΕΣ
ΑΝΕΝΕΡΓΕΣ	ΜΕΓΕΘΥΝΟΜΕΝΕΣ	ΜΟΝΕΣ
ΑΔΡΑΝΕΙΣ	ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΕΣ	
ΜΗ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΙΜΕΣ	ΕΛΑΤΤΩΜΕΝΕΣ	
ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ	ΚΙΝΟΥΜΕΝΕΣ	
ΑΠΟΛΙΘΩΜΕΝΕΣ		

3.1.4 Διαδικασίες κατολισθήσεων

Οι διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στις κατολισθήσεις αποτελούν στο σύνολο τους μια σειρά από γεγονότα που έχουν σχέση αίτιου-αιτιατού (Varnes, 1978). Οι τρεις (3) παρακάτω μεγάλες ομάδες ακολουθούν της διάκριση του Varnes σχετικά με τους παράγοντες που οδηγούν στην εμφάνιση κατολισθήσεων (Cruden & Varnes, 1996).

3.1.4.1 Παράγοντες που συμβάλλουν στην αύξηση των διατμητικών τάσεων

Μπορεί να υπάρξει αύξηση των διατμητικών τάσεων μέσω:

- διαδικασιών που οδηγούν στην αφαίρεση της πλευρικής υποστήριξης
- επιφόρτισης
- παροδικές τάσεις προερχόμενες από εκρήξεις ή σεισμούς
- και από την ανύψωση ή κλίση της εδαφικής επιφάνειας

3.1.4.2 Παράγοντες που συνεισφέρουν στην χαμηλή αντοχή

Η χαμηλή αντοχή των γεωδλικών που συνιστούν μια κατολίσθηση μπορεί να είναι αποτέλεσμα:

- έμφυτων μηχανικά χαρακτηριστικά
- τις παρουσίες ασυνεχειών μέσα στη δομή τους

3.1.4.3 Παράγοντες που μειώνουν την διατμητική αντοχή

Η μείωση της διατμητικής αντοχής μπορεί να οφείλεται σε:

- αποσάθρωση και άλλες φυσικοχημικές διαδικασίες
- διάβρωση
- παρουσία νερού
- υψηλή θερμοκρασία
- χαμηλή θερμοκρασία
- παρουσία υψηλής υγρασίας

3.2 UAV

3.2.1 Εισαγωγή

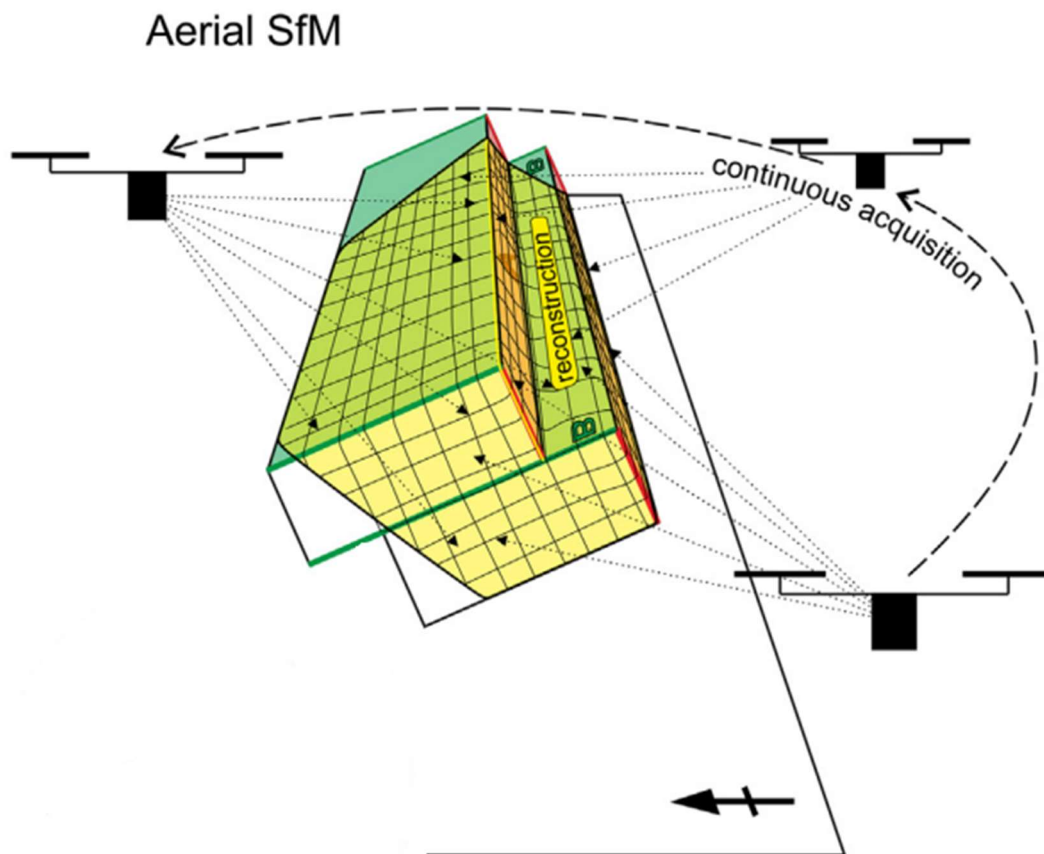
UAV (Unmanned Aerial Vehicles) σε Ελληνική μετάφραση ΜΕΑ (Μη Επανδρωμένα Αεροσκάφη) ονομάζονται κάθε είδους ιπτάμενα οχήματα που δεν περιλαμβάνουν χειριστή στην άτρακτο τους και πραγματοποιούν πτήσεις είτε αυτόνομα, είτε μέσω απομακρυσμένου τηλεχειρισμού. Ιστορικά η χρήση τους εντοπίζεται σε στρατιωτικούς σκοπούς. Όμως, τα τελευταία χρόνια η εφαρμογή τους παρουσιάζει τις πλέον συναρπαστικές και γρήγορες μεθόδους τηλεπισκόπησης (Turner et al., 2015).

Θα πρέπει να διευκρινιστεί ότι στη τηλεπισκόπηση χρησιμοποιείται ένα μικρό σε μέγεθος UAV που δύναται να φέρει πάνω του μια πληθώρα διαφορετικών αισθητήρων όπως είναι για παράδειγμα μια μικρή φωτογραφική μηχανή. Με αυτή την εξαιρετικά χρήσιμη λειτουργία, σε συνάρτηση με την δυνατότητα χαμηλής και κατά παραγγελίας πτήση δημιουργούνται τελικώς εικόνες πολύ υψηλής χωροχρονικής ανάλυσης (20-50cm/pixel). Εδώ έγκειται και το γεγονός ότι η χρησιμοποίησή τους για μεθόδους τηλεπισκόπησης αποτελεί την πλέον ευέλικτη και οικονομικά προσοδοφόρα μέθοδο τηλεπισκόπησης συγκριτικά με άλλες λ.χ. LTS, LiDAR (Lucier et al., 2013).

3.2.1.2 UAV και κατολισθήσεις

Οι αισθητήρες που φέρονται από τα UAV αποτελούν ιδανικά εργαλεία για τη χαρτογράφηση και την παρακολούθηση των δυναμικών χαρακτηριστικών της γήινης επιφάνειας (Lucier et al., 2014). Ευρεία εφαρμογή τους εντοπίζεται και στην έρευνα επί των κατολισθήσεων επειδή προσφέρουν μια βολική πλατφόρμα τηλεπισκόπησης. Έχει αποδειχτεί εμπράκτως η δυνατότητα αποτύπωσης και αξιολόγησης σημαντικών

κατολισθητικών δεδομένων ακόμα και σε δύσβατες περιοχές (Niethammer et al, 2012, Turner et al., 2015, Lucier et al., 2013). Επίσης η χρήση τους, όπως και στην παρούσα εργασία εντοπίζεται και σε ορυχεία ανοιχτού ορύγματος (Chen et al., 2015, Vanneschi et al., 2017). Επιπροσθέτως οι παραγόμενες παρατηρήσεις από ένα ΜΕΑ γεφυρώνουν το κενό ανάμεσα στην παραδοσιακή έρευνα πεδίου και στην τηλεπισκόπηση μεγάλου ύψους δηλ. δορυφορικές εικόνες (Lucier et al., 2013) ενώ δίνουν την δυνατότητα πολύπλευρης και συνολικής της αποτύπωσης των κατολισθητικών φαινομένων (Σχήμα 3.8). Όλα τα παραπάνω επιτυγχάνονται μέσω ειδικών προγραμμάτων φωτογραμμετρίας (Cawood et al., 2017). Ως φωτογραμμετρία ορίζεται μία τεχνική προσδιορισμού των διαστάσεων αντικειμένων με την αξιοποίηση φωτογραφιών (<https://www.asprs.org/asprs-organization/about-asprs.html>).



Σχήμα 3.8. Σχηματική αναπαράσταση της συνεχούς και ολόπλευρης αποτύπωσης του συνόλου ενός κατολισθητικού φαινομένου (Cawood et al., 2017).

Τελικό αποτέλεσμα της χρήσης του UAV μέσω τέτοιων προγραμμάτων είναι η δημιουργία ενός υψηλής ακρίβειας τρισδιάστατου νέφους σημείων (3-D point cloud)



που με κατάλληλη επεξεργασία (SfM-Structure from Motion) μπορεί να οδηγήσει στην αυτοματοποιημένη παραγωγή ενός κατάλληλα γεωαναφερμένου Ψηφιακού Υψομετρικού Μοντέλου DEM (Digital Elevation Model), είτε σε μορφή DSM (Digital Surface Model-Ψηφιακού Μοντέλου Επιφανείας) είτε σε μορφή DTM (Digital Terrain Model-Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους). Το τελικό στάδιο της διαδικασίας έχει ως προϊόν ένα ορθομωσαϊκό (orthomosaic) που αποτελεί την αποτύπωση του συνόλου των εικόνων γεωμετρικά ανορθωμένων και γεωγραφικά προσδιορισμένων σε κλίμακα χρωμάτων RGB (Red, Green, Blue-Κόκκινο, Πράσινο, Μπλε). Τα παραπάνω εργαλεία με την μετέπειτα επεξεργασία τους σε κάποιο περιβάλλον GIS (Geographic Information System-Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών) και την ταυτόχρονη αξιολόγηση τους από την επί τόπου παρατήρηση χρησιμοποιούνται για την έρευνα επί των κατολισθήσεων, όπως πραγματεύεται και η παρούσα εργασία.

Επεξεργασία SfM (Structure from Motion): Κρίνεται επιτακτική η ανάγκη μιας μικρής αναφοράς στην κυριότερη επεξεργασία που συντελείται ούτως ώστε να δημιουργηθούν αυτά τα πολύπλοκα δεδομένα (point cloud, DSM, DTM, orthomosaic). Το μικρό φωτογραφικό αποτύπωμα της κάθε εικόνας ξεχωριστά επιτάσσει την δημιουργία αυτοματοποιημένων τεχνικών για την ένωση, γεωμετρική ανόρθωση, και ψηφιοποίηση τους σε ένα αντικείμενο ούτως ώστε να μπορούν να καλύπτονται μεγάλες γεωγραφικά περιοχές.

Μια τέτοια τεχνική αποτελεί και η SfM. Σε ένα πρώτο στάδιο οι διαφορετικές φωτογραφίες της περιοχής μελέτης επεξεργάζονται για τη δημιουργία 3-διάστατων νεφών σημείων σε έναν τυχαίο χώρο μέσω της εύρεσης σχέσεων αλληλοεπικάλυψης που τυχόν διαθέτουν. Δηλαδή χαρακτηριστικά αντικείμενα που εμφανίζονται στις φωτογραφίες μπορούν πλέον να αναγνωριστούν, να περιγραφτούν και να αλληλεπικαλυφτούν μεταξύ τους αυτόματα μέσω της διαδικασίας SIFT (Scale Invariant Feature Transformation).

Ακολούθως οι φωτογραφίες αυτές μετασχηματίζονται με διαδικασίες τριγωνισμού σε ένα πραγματικό σύστημα συντεταγμένων οδηγώντας στην δημιουργία 3-διάστατων νεφών σημείων. Ο μετασχηματισμός συντελείται μέσω:

- άμεσης γεωαναφοράς με μια διαδικασία που ονομάζεται BBA (Bundle Block Adjustment). Η BBA λαμβάνει χώρα στα αλληλεπικαλυμμένα μεταξύ τους



σημεία για την αναγνώριση της 3-διάστατης θέσης και του προσανατολισμού της φωτογραφικής μηχανής και της θέσης X,Y,Z του κάθε σημείου

- μέσω γεωαναφοράς με τη χρήση GSPs (Ground Control Points), ελληνιστή εδαφικών σημείων ελέγχου.

Με την πάροδο της διαδικασίας περισσότερες εικόνες ενώνονται μεταξύ τους για να σχηματίσουν την περιοχή μελέτης. Τελικά δημιουργείται ένα γεωαναφερμένο πλέον αρχείο DEM που στη συνέχεια θα δώσει το ορθομοσαϊκό (Turner et al., 2015, Lucier et al., 2013).

4. ΕΞΟΡΥΞΗ, ΟΡΥΚΤΟΙ ΑΝΘΡΑΚΕΣ, ΜΑΡΓΑΪΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΑΣΤΟΧΙΕΣ

4.1 ΕΞΟΡΥΞΗ

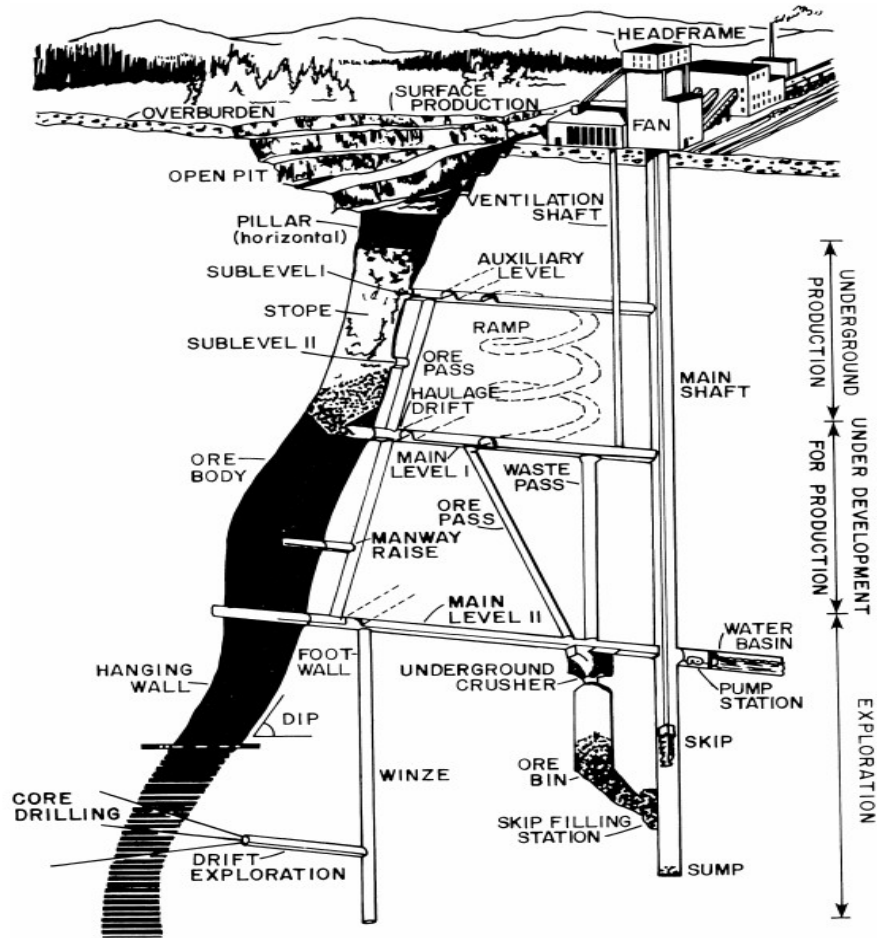
Κατά τον Daeman (2003) η μηχανική εξόρυξη (mining) αποτελεί την εφαρμογή των μηχανικών επιστημών και αρχών με στόχο την εξόρυξη ορυκτών πόρων από το φυσικό τους περιβάλλον. Για να καταστεί η παραπάνω διαδικασία εφικτή και ταυτόχρονα προσοδοφόρα κρίνεται επιτακτική η ανάγκη της ενσωμάτωσης διαφορετικών πεδίων έρευνας, από την γεωλογία και τους υποτομείς της μέχρι τα μηχανικά συστήματα, την ηλεκτρική μηχανική (συμπεριλαμβανομένων διεργασιών έρευνας, μακρινού ελέγχου και αυτοματισμού).

Γίνεται κοινώς αποδεκτό ότι ο όρος mining αναφέρεται στην εξόρυξη στερεών ορυκτών πόρων αφού παραδοσιακά χρησιμοποιούνταν για την εξόρυξη ορυκτών από τον γήινο φλοιό και μόνο. Αποτελεί μια ποικίλη βιομηχανία με διαφορετικά κάθε φορά χαρακτηριστικά γνωρίσματα ανάλογα με τον τύπο και το προϊόν της εξόρυξης.

Στην Ελλάδα - όπου παρουσιάζεται μια πολύ μεγάλη αφθονία κοιτασμάτων- η εξόρυξη ορυκτών πόρων διαδραματίζει ένα σπουδαίο ρόλο στο γίνεσθαι της χώρας, τόσο από οικονομική όσο και κοινωνική άποψη καθώς το μεγαλύτερο ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας οφείλεται στην εξόρυξη και μετέπειτα καύση - αξιοποίηση δηλαδή της θερμικής ενέργειας - λιγνιτικών κοιτασμάτων από την Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ).

4.1.1 Διαφοροποίηση εξόρυξης

Η πρώτη και πιο εμφανής διαφοροποίηση της εξόρυξης είναι αυτή ανάμεσα στην επιφανειακή (surface mining) και την υπόγεια εξόρυξη (subsurface mining). Στην πρώτη κατηγορία η οποία αποτελεί και αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας η εξόρυξη των ορυκτών συντελείται σε περιβάλλον ελεύθερου αέρα συχνά έπεται της αφαίρεσης του στείρου υπερκείμενου τεμάχους. Εν αντιθέσει, στην υπόγεια εκμετάλλευση η εξόρυξη συντελείται κάτω από το στείρο υπερκείμενο τεμάχους με προηγούμενο δίοδο υπόγεια (διάτρηση) μέσα στον εκμεταλλεύσιμο σχηματισμό (Σχήμα 4.1) (Daeman, 2003).



Σχήμα 4.1. Επιφανειακή (open-pit) και υπόγεια μέθοδος εξόρυξης. Διακρίνονται διάφορες μέθοδοι και διαδικασίες εξόρυξης (Daeman, 2003).

Μία δεύτερη σημαντική διάκριση στον τρόπο εξόρυξης αφορά την φύση του ορυκτού πόρου που εκσκάπτεται είτε αυτό είναι σκληρό, είτε μαλακό· δόκιμα μεταλλικό ή μη μεταλλικό ορυκτό (Daeman, 2003). Στα τελευταία συγκαταλέγονται μαζί με άλλα και τα λιγνιτικά κοιτάσματα που αφορούν την λεκάνη ΦΠΣ και τα ορυχεία Προσήλιου και Αμυνταίου συγκεκριμένα.

Η επιλογή του κατάλληλου τύπου εξόρυξης αποτελεί το πρωταρχικό ερώτημα που απαιτεί λύση. Η επιστήμη της γεωλογίας διαδραματίζει τον σπουδαιότερο ρόλο στην παρούσα φάση. Ο γεωλόγος είναι εκείνος που θα αναγνωρίσει τον τύπο του κοιτάσματος, την χαρακτηριστική του θέση (βάθος, εκμεταλλεύσιμη ποσότητα) τον βαθμό εκμεταλλευσιμότητας του, και τελικά την μέθοδο προσχώρησης που θα ακολουθηθεί.

Συνεπώς για κοιτάσματα λιγνίτη με μεγάλο πάχος ($\text{thickness} > 10\text{m}$) σε μικρό σχετικά βάθος (περί τα 55m υπερκείμενο) η επιλεγόμενη μέθοδος εξόρυξης είναι η επιφανειακή. Τουναντίον για περιπτώσεις κοιτασμάτων υπό μορφή φλεβών ή ευρισκόμενα σε μεγαλύτερο βάθος η επιλογή της υπόγειας εκμετάλλευσης αποτελεί μονόδρομο. Δύναται, για βάθη υπερκείμενου μεταξύ των 55m - 100m , όπως και στην περίπτωση του λιγνιτωρυχείου στο Προσήλιο οι δύο παραπάνω μέθοδοι να συνδυάζονται με πρώτη χρονικά να έρχεται αυτή της επιφανειακής εξόρυξης με κάποιο τρόπο (εδώ open-pit) και στην συνέχεια να έπεται αυτή της υπόγειας (Balasubramian, 2016).

Η επιφανειακή εξόρυξη λιγνίτη παρέχει μια σημαντική συνεισφορά στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε έναν αριθμό χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η Γερμανία, Πολωνία, Τσέχικη Δημοκρατία, Βουλγαρία, Ρουμανία και Ελλάδα παράγουν περίπου το 96% του συνολικού λιγνίτη στην ΕΕ, στο σύνολο τους περί τα 430MT (Bednarczyk, 2017).

4.1.2 Εξόρυξη στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα όπως αναγράφεται παραπάνω η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας οφείλεται κυρίως στην εξόρυξη και εκμετάλλευση των λιγνιτικών κοιτασμάτων από τη ΔΕΗ. Τα αποθέματα της χώρας ξεπερνούν τους 6.7 δισεκατομμύρια τόνους, τα 4.2 εξ' αυτών κρίνονται οικονομικά εκμεταλλεύσιμα (Roumpros, 2003).

Όπως έχει ήδη αναφερθεί προηγούμενος, είναι γνωστό ότι τα Ελληνικά λιγνιτικά κοιτάσματα αναπτύσσονται σε πολυάριθμες οριζόντιες ραφές κλιμακούμενου πάχους, ευρισκόμενα ανάμεσα σε στείρα στρώματα διάφορων πετρολογικών και πετρογραφικών περιεχομένων σε μικρό σχετικά βάθος ($d < 55\text{m}$). Υπερκείμενα αυτών των σχηματισμών εντοπίζεται περισσότερο μη αξιοποιήσιμο υλικό. Συνεπώς η εκσκαφή αποσκοπεί αρχικά στην αφαίρεση των τελευταίων αυτών υλικών και μετέπειτα στην εξόρυξη του λιγνίτη, με τη χρήση ως επί το πλείστον επιφανειακών μεθόδων εξόρυξης (Roumpros, 2003).

Η αποτελεσματικότητα της εξόρυξης επιτυγχάνεται με τη χρήση της terrace mining method (TMM). Η μέθοδος αυτή συνδυάζει τη χρήση κοπτικών εκσκαφέων, ταινιομεταφορέων και διασκορπιστών. Έτσι το σύστημα διαιρείται σε τρία κύρια στάδια: εκσκαφή, μεταφορά και απόρριψη (MTS). Το λιγνιτωρυχείο υποδιαιρείται σε κομμάτια, γνωστά και ως αναβαθμίδες το πάχος των οποίων ποικίλει από 10m έως και

30m ανάλογα με τον διαθέσιμο εξοπλισμό και χώρο. Τα στείρα εκσκαφόμενα προϊόντα μεταφέρονται σε προεπιλεγμένες περιοχές απόρριψης (χωματερές) ενώ ο λιγνίτης διακινείται σε πεδία αποθήκευσης κοντά στα εργοστάσια ενέργειας για την μετέπειτα αξιοποίηση του (Roumpros, 2003).

4.2.2 Οργάνωση εξόρυξης και σχεδιασμός ορυχείου open-pit

Στην Ελλάδα προτού αποφασιστεί η έναρξη λειτουργίας ενός ορυχείου (open-pit) προηγείται μια ενδελεχής έρευνα για το σύνολο του λιγνιτικού πεδίου στην οποία περιγράφονται με σαφήνεια και ακρίβεια τα ακόλουθα δεδομένα:

- Βέλτιστα όρια ορύγματος
- Στρατηγικό σχέδιο ανάπτυξης του ορυχείου συγκρίνοντας εναλλακτικές επιλογές ανάλογα με τα κριτήρια λήψης αποφάσεων
- Γεωμετρικά δεδομένα όσον αφορά τις διαστάσεις των αναβαθμίδων εκσκαφής και απόρριψης σύμφωνα με τον διαθέσιμο εξοπλισμό
- Ποιοτικά και ποσοτικά δεδομένα του αναβαθμού και της μάζας του κοιτάσματος
- Μηχανικές δυνατότητες και παραμετρική χρησιμοποίηση του εξοπλισμού
- Σχεδιασμός χρονοδιαγράμματος
- Οργανωτική δομή του έργου
- Ανάλυση επένδυσης εξόρυξης
- Περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Οι επιχειρήσεις που ασχολούνται με την εξόρυξη λιγνίτη απαιτούν τόσο την ανάπτυξη διεπιστημονικών όσο και μακροπρόθεσμων έργων. Τα αρχικά σχέδια συνήθως διαφοροποιούνται, λόγω της δυναμικής φύσης της ίδιας της εκμετάλλευσης, τις αβεβαιότητες που δημιουργούνται σχετιζόμενες με την αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας, τα χαρακτηριστικά των αποθέσεων, περιβαλλοντικούς περιορισμούς και την κοινωνική δομή της ευρύτερης περιοχής αξιοποίησης. Εν κατακλείδι τα κύρια μελήματα ενός τέτοιου βραχύ/μακρύ πρόθεσμου ορυχείου είναι:

- Τελειοποίηση του χρονοδιαγράμματος εξόρυξης του λιγνίτη
- Εξασφάλιση ασφαλών συνθηκών εργασίας για το προσωπικό εκμετάλλευσης και τον εξοπλισμό
- Μεγιστοποίηση της χρήσης του εξοπλισμού και συνάμα ελαχιστοποίηση του ιδεατού χρόνου εργασιών

- Ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής (Roumpros, 2003).

4.2 ΟΡΥΚΤΟΙ ΑΝΘΡΑΚΕΣ

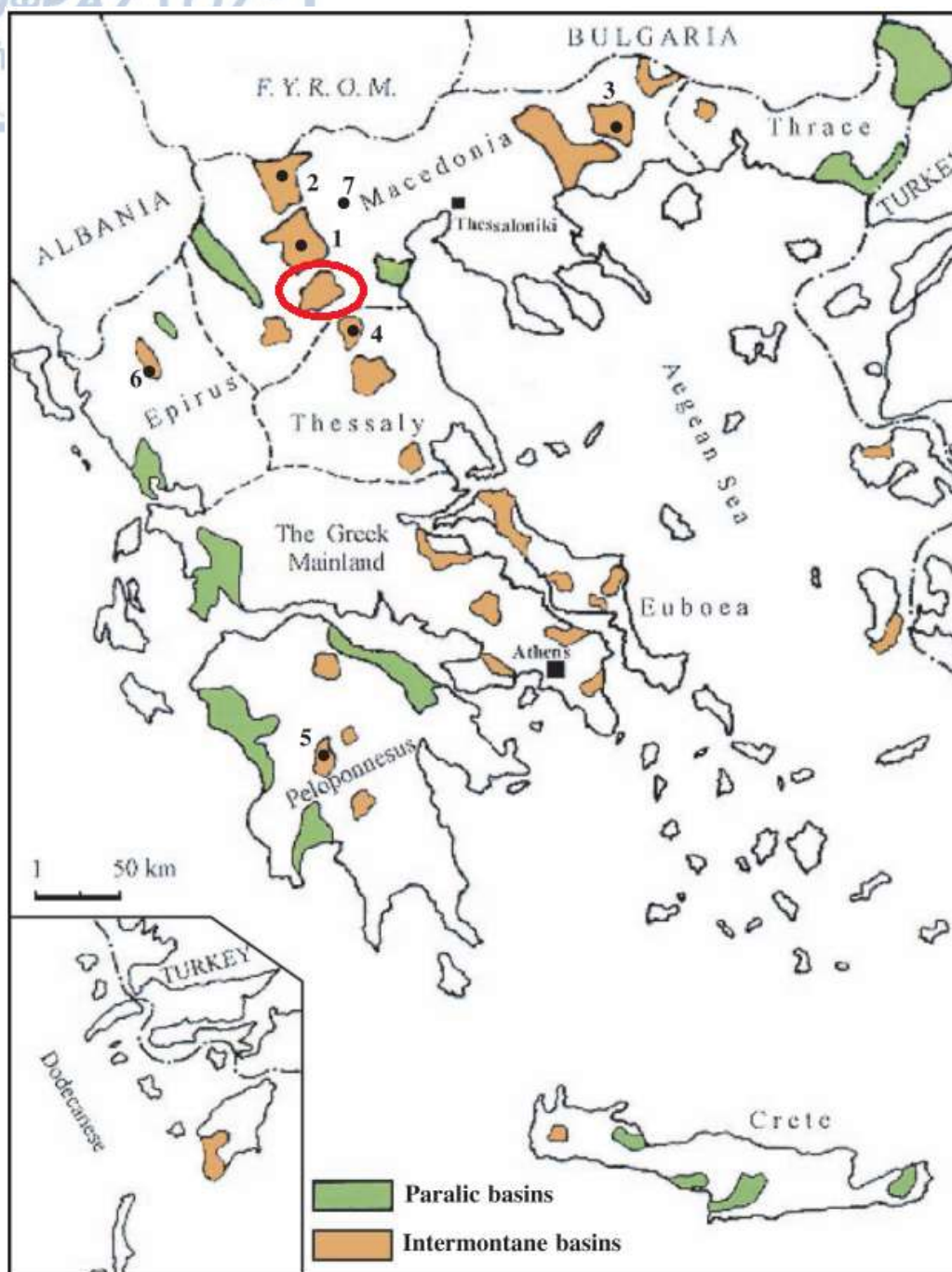
Ως ορυκτοί άνθρακες καλούνται τα ιζηματογενή προϊόντα αλλοίωσης φυτικών λειψάνων (φυτοκλάστες) που απαντώνται ενδοστρωματωμένα μέσα σε άλλα ιζήματα. Τα φυτικά αυτά λείψανα μετατρέπονται σε ορυκτούς άνθρακες με τη διαδικασία της εξανθράκωσης. Στην εξανθράκωση απομακρύνονται τα στοιχεία O, H, N με την επίδραση της πίεσης (P) και της θερμοκρασίας (T), σε συνάρτηση πάντα με την πάροδο του γεωλογικού χρόνου (t). Η κατηγοριοποίηση τους ορίζεται ανάλογα με το βαθμό εξανθράκωσης που έχουν υποστεί. Έτσι διακρίνονται οι εξής τύποι:

- Τύρφη: Περιέχει περί τα 30-60% άνθρακα. Διατήρηση του ξυλώδη ιστού των φυτών
- Λιγνίτης: Περιέχει περί τα 60-75% άνθρακα. Είναι περισσότερο συμπαγής σε σχέση με την τύρφη
- Λιθάνθρακας: Περιέχει περί τα 75-85% άνθρακα. Παλαιότερος και περισσότερο συμπαγής από το λιγνίτη
- Ανθρακίτης: Περιέχει περί τα 85-95% άνθρακα. Προϊόν πολύ υψηλής εξανθράκωσης

(https://dskostopoulos.weebly.com/uploads/6/7/4/2/6742913/0._intro-1.pdf).

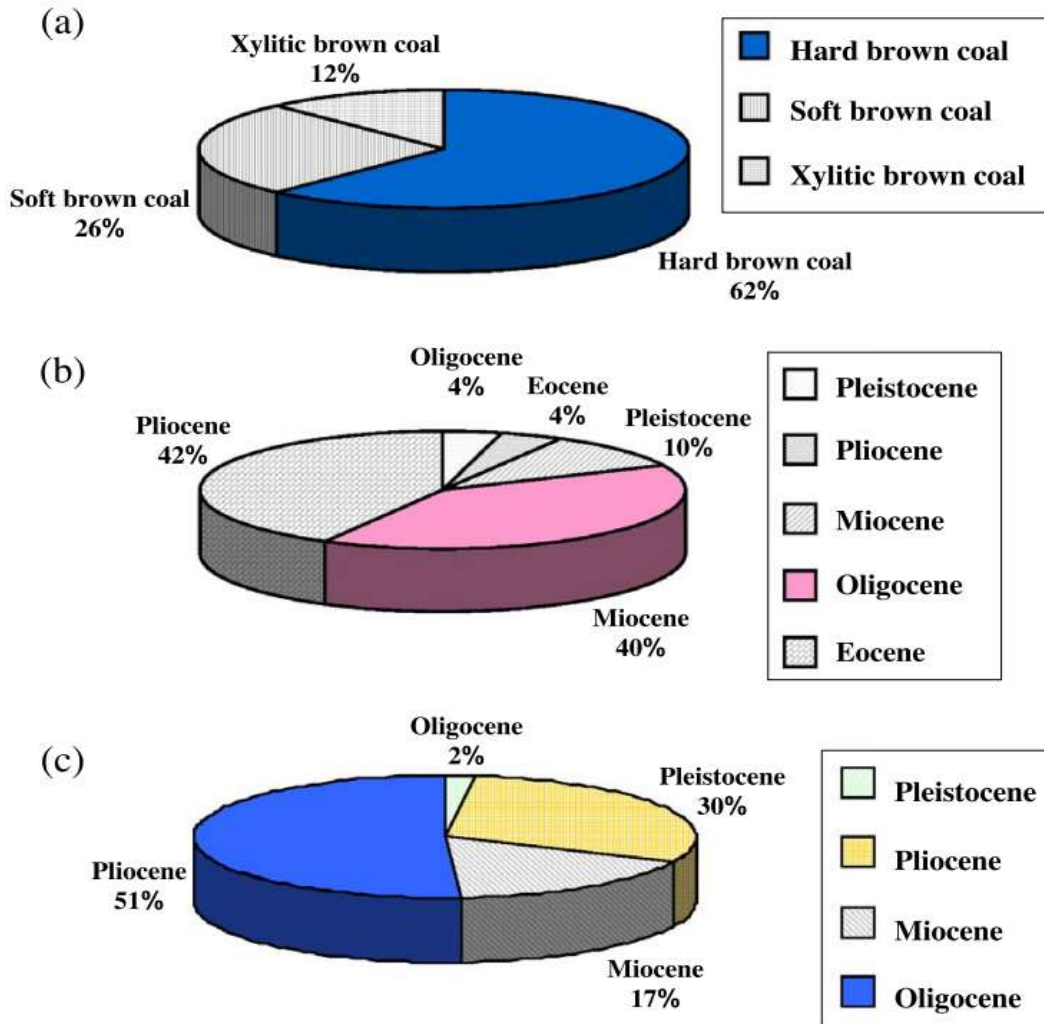
4.2.1 Λιγνίτης της Ελλάδος (brown coal)

Στην Ελλάδα αποθέσεις λιγνίτη βρίσκονται στο σύνολο τους σε 68 λεκάνες διάφορων μεγεθών, με τις σημαντικότερες να αναφέρονται στον επόμενο χάρτη (Σχήμα 4.2) (Papanicolaou et al., 2004).



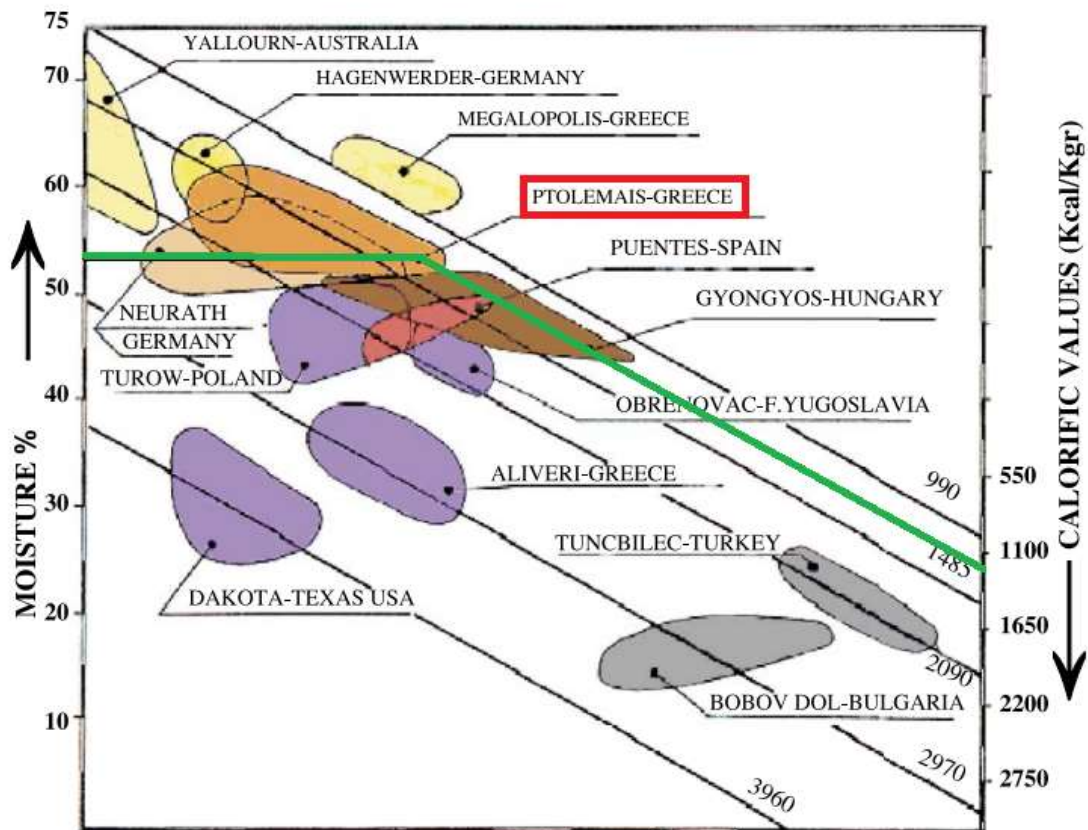
Σχήμα 4.2. Λιγνιτοφόρες λεκάνες της Ελλάδος. Γίνεται αναφορά στις μεγαλύτερες από αυτές. Με την κόκκινη έλλειψη προσδιορίζεται η περιοχή μελέτης (Paranicolaou et al., 2004).

Ο λιγνίτης της Ελλάδος διαφοροποιείται από τόπο σε τόπο, καθώς κατά αποθέσεις, δεν αποτελεί ίδιο «υλικό» αλλά αλλάζει σύμφωνα με: (α) τα αποθέματα των διάφορων μορφών με τις οποίες συναντάται, (β) την ηλικία σχηματισμού των λεκανών μέσα στις οποίες δημιουργείται και (γ) τα αποθέματα κατά το πέρας του γεωλογικού χρόνου (Σχήμα 4.3) (Paranicolaou et al, 2004).



Σχήμα 4.3. Διαφοροποίηση του Ελληνικού λιγνίτη με βάση: (α) τα αποθέματα των διάφορων μορφών με τις οποίες συναντάται, (β) την ηλικία σχηματισμού των λεκανών μέσα στις οποίες δημιουργείται και (γ) τα αποθέματα κατά το πέρας του γεωλογικού χρόνου (Koukouzas, 1998).

Τέλος αξίζει να αναφερθεί ότι ο «Ελληνικός» λιγνίτης δεν χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα υψηλή θερμιδική αξία σε σχέση με κοιτάσματα άλλων χωρών. Για την ευρύτερη περιοχή μελέτης έχει δειχθεί ότι έχει τιμή μεταξύ 1400-2300kcal/kg που στη διεθνή βιβλιογραφία ορίζεται ως μεσαίας τάξης (mid-range) σε ότι έχει να κάνει με την θερμιδική απόδοση του (Σχήμα 4.4). Το γεγονός που οφείλεται στις σχετικά υψηλές περιεκτικότητες σε αδρανή υλικά σε ποσοστά από 7% έως και 50% σε συγκεκριμένες εμφανίσεις. Παρ' όλα αυτά, ο λιγνίτης αυτός προσφέρει μια πολύ ανταγωνιστική και συνάμα οικονομικά προσοδοφόρα παραγωγή ενέργειας από την αξιοποίηση του (Papanicolaou, 2011).



Σχήμα 4.4. Συσχέτιση μεταξύ της περιεχόμενης υγρασίας και της θερμιδικής αξίας ανάμεσα σε γνωστά λιγνιτοφόρα κοιτάσματα παγκοσμίως. Αναφέρεται και αυτό της λεκάνης ΦΠΣ με κόκκινο χρώμα (Kavouridis et al., 1991).

4.3 ΜΑΡΓΑ

Ο Pettijohn (1975) περιέγραψε αρχικά ως μάργα τις πρασινωπές γλαυκοφανιτικές άμμους ενώ στη συνέχεια επεκτάθηκε και περιέλαβε όλες τις ανθρακικές γαίες που μπορούν να θραυτούν οι οποίες έχουν αποτεθεί με την μορφή ιζημάτων σε πρόσφατες λίμνες. Σε αντίθεση ο Barth et al., (1939) αναφέρεται με τον όρο μάργες στα μείγματα ασβεστιτικού και κλαστικού αργιλικού υλικού. Το ασβεστιτικό υλικό πρόκειται είτε για οργανικής προελεύσεως υλικό είτε για βιοχημικό ίζημα (Tsiampaos, 1988).

Σύμφωνα με τον Tsiampao (1988) οι μάργες διακρίνονται σε λιμναία και σε θαλάσσια ιζήματα, ενώ έχει δειχτεί ότι συνδέονται και με τη δημιουργία άλλων πετρωμάτων (αργιλικόι σχιστόλιθοι, ιλύόλιθοι και ασβεστόλιθοι).

Οι λιμναίες μάργες αποτελούν ιζήματα που δημιουργούνται από την εναπόθεση του ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3) που βρίσκεται στον σκελετικό ιστό των οργανισμών

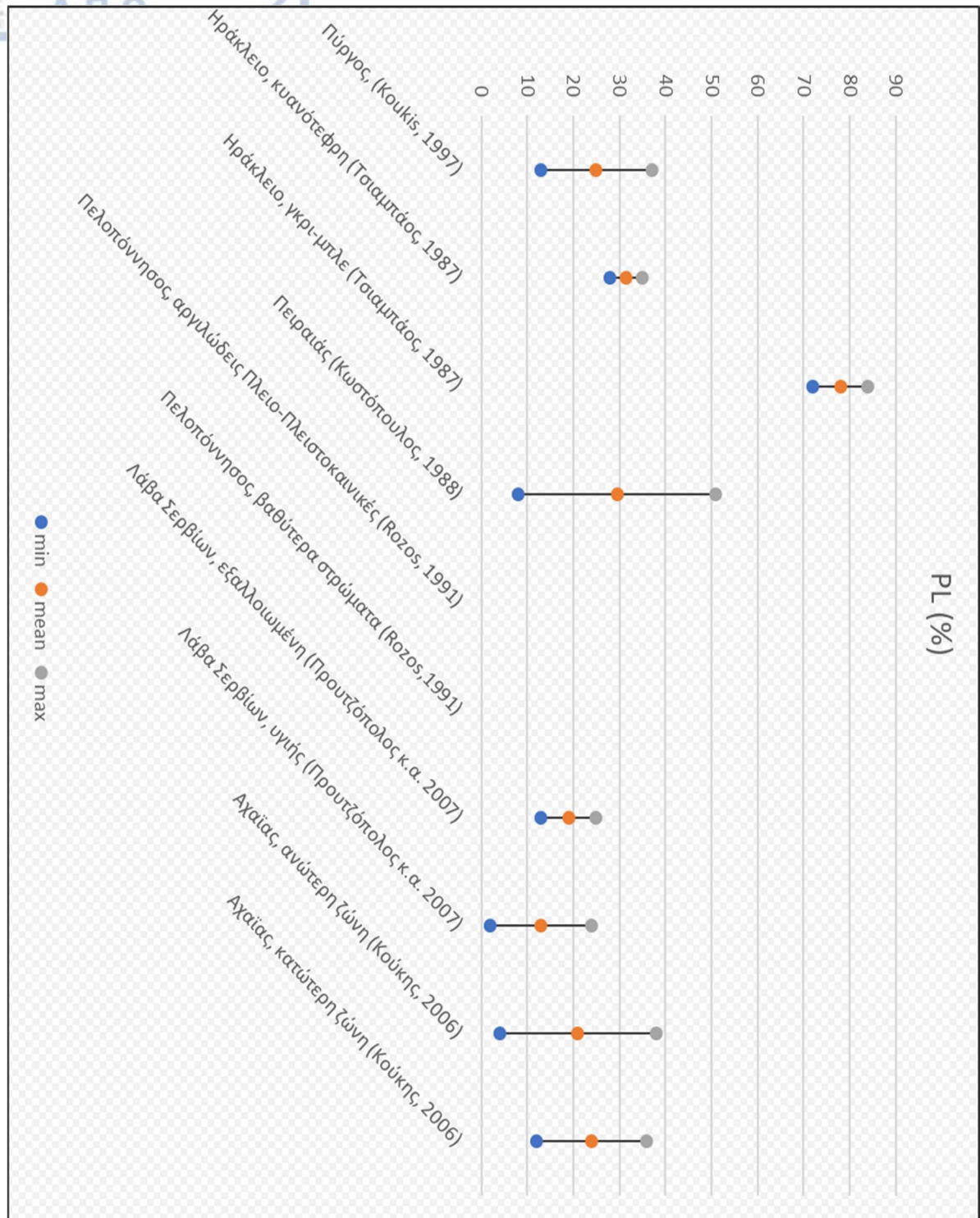
και ιδίως των ασβεστοφυκών. Σε συμφωνία με τα παραπάνω έρχεται και ο σχηματισμός των θαλάσσιων μαργών (ιζήματα δηλαδή χημικής προέλευσης), με παραφωνία να αποτελεί η δυνατότητα σχηματισμού τους ως ασβεστιτικές οργανογενείς αποθέσεις που οφείλονται κυρίως σε κοκκόλιθους. Τόσο στη μία όσο και στην άλλη κατηγορία διακρίνεται εύκολα ένα πλήθος από μικρό ή/και απολιθωμάτων (Tsiampaos, 1988).

Σε ότι έχει να κάνει με τα φυσικά τους χαρακτηριστικά οι μαργαϊκοί σχηματισμοί εμφανίζονται λιγότερο συμπαγείς και πλαστικοί έναντι των ασβεστόλιθων και των αργίλων αντίστοιχα, ενώ χαρακτηρίζονται ως εύθρυπτες, ψαθυρές σε ξηρή κατάσταση με αυτό να μεταβάλλεται όταν μεταπίπτουν σε υγρή και να περιγράφονται ως πλαστικές. Εμφανίζονται ως γεώδεις σχηματισμοί ή καλά συγκολλημένα πετρώματα. Χαρακτηριστικό τους γνώρισμα αποτελεί ο κογχώδης θραυσμός ενώ το χρώμα τους ποικίλει (από ανοιχτές αποχρώσεις του λευκού έως τεφρό και τεφροπράσινο). Τέλος πρέπει οπωσδήποτε να τονιστεί η δυνατότητα ανάβλυσης τους σε επαφή με HCL (υδροχλωρικό οξύ) περιεκτικότητας 10% που αποτελεί άλλωστε και έναν γρήγορο τρόπο προσδιορισμού τους (Tsiampaos, 1988).

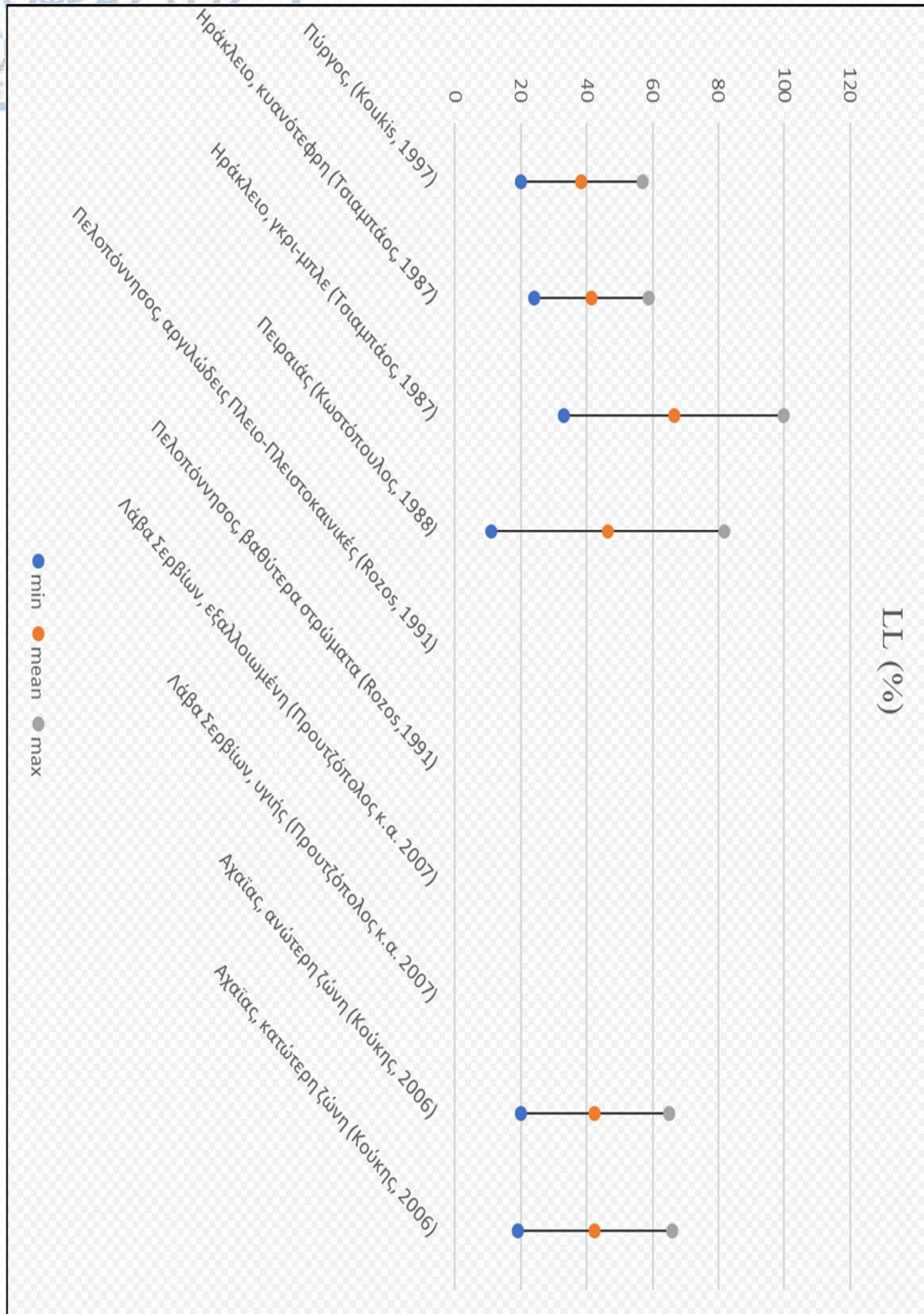
4.3.1 ΜΑΡΓΑ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ

Στον Ελληνικό χώρο συναντώνται τόσο θαλάσσιοι όσο και λιμναίοι μαργαϊκοί σχηματισμοί που χρονικά τοποθετούνται στο Μειόκαινο-Πλειόκαινο. Περιέχουν ένα πλήθος απολιθωμάτων, ενώ ως προς τη συνεκτικότητα τους ταξινομούνται από μαλακά εδάφη έως και βράχοι χαμηλής αντοχής. Χαρακτηριστικό και πολύ σημαντικό τους γνώρισμα αποτελεί η συνύπαρξη τους με λιγνιτικά κοιτάσματα ως επάλληλες ενστρώσεις σε διάφορες περιοχές ανά την χώρα (Tsiampaos. 1988). Ένα μεγάλο πλήθος μελετητών κατά το παρελθόν κατέδειξαν τα φυσικά (PL, LL, PI, Clay, Silt, Sand) και τα μηχανικά (C, φ, U.C.S., φ') χαρακτηριστικά των μαργαϊκών σχηματισμών του Ελληνικού χώρου όπως αυτά παρουσιάζονται στη συνέχεια συγκεντρωτικά σε διαγράμματα ελάχιστης, μέσης, και μέγιστης τιμής (Διαγράμματα 1-6 για τα φυσικά μαργαϊκά χαρακτηριστικά) και (Διαγράμματα 7-10 για τα μηχανικά μαργαϊκά χαρακτηριστικά).

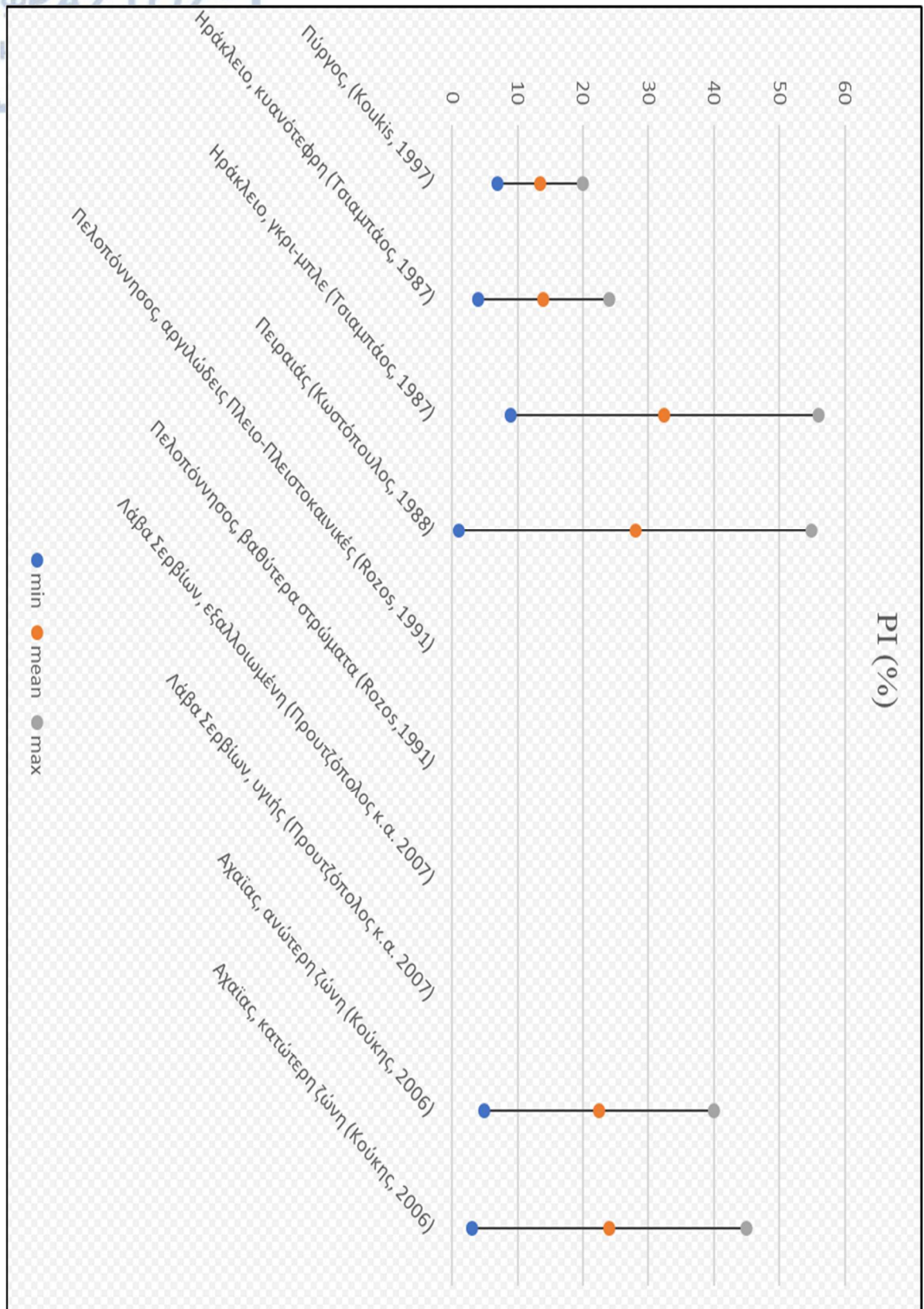
4.3.1.1. Φυσικά χαρακτηριστικά Ελληνικών μαργαϊκών σχηματισμών



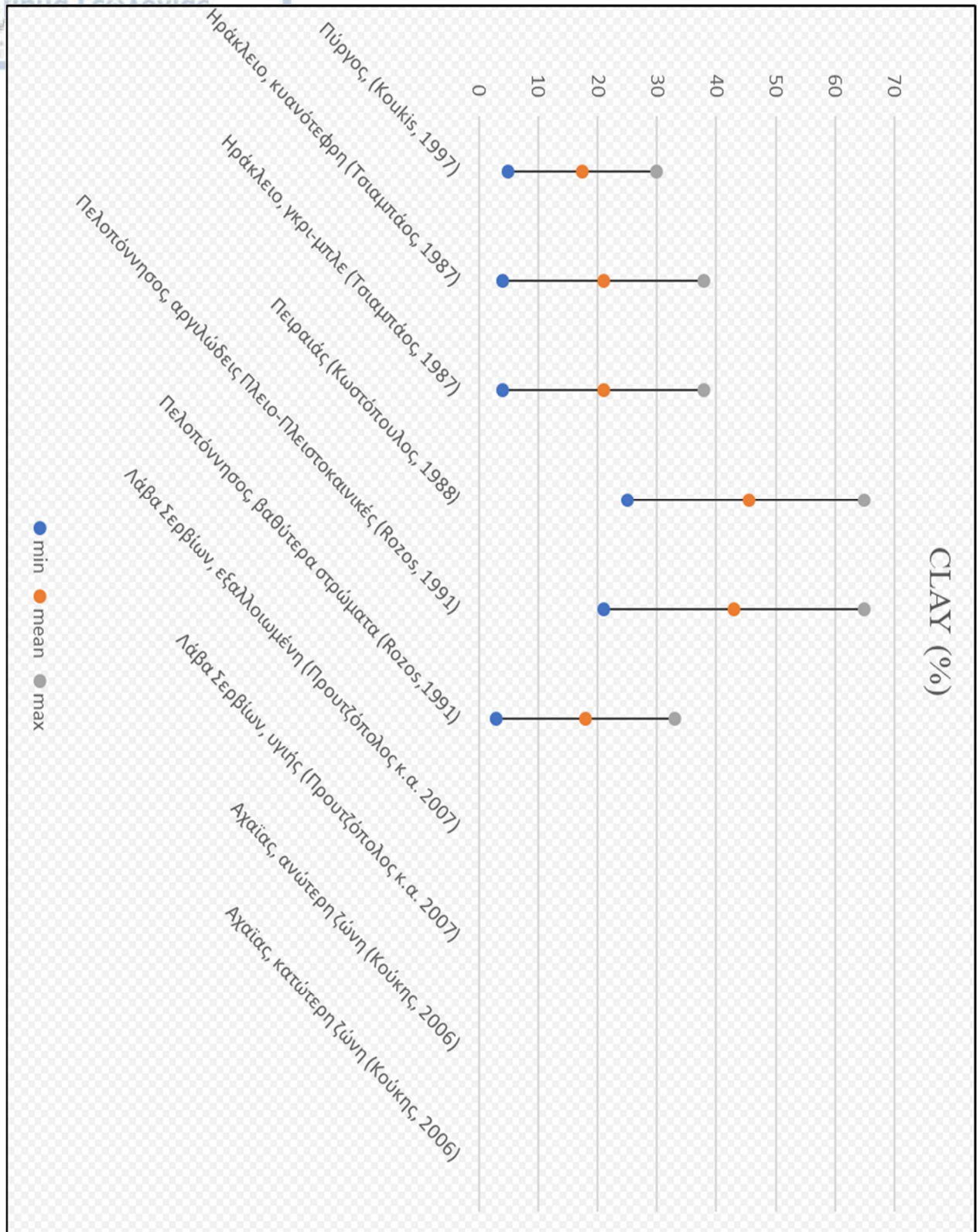
Διάγραμμα 1. Διάγραμμα που αποτυπώνει το Όριο Πλαστικότητας (PL) των Ελληνικών μαργαϊκών σχηματισμών.



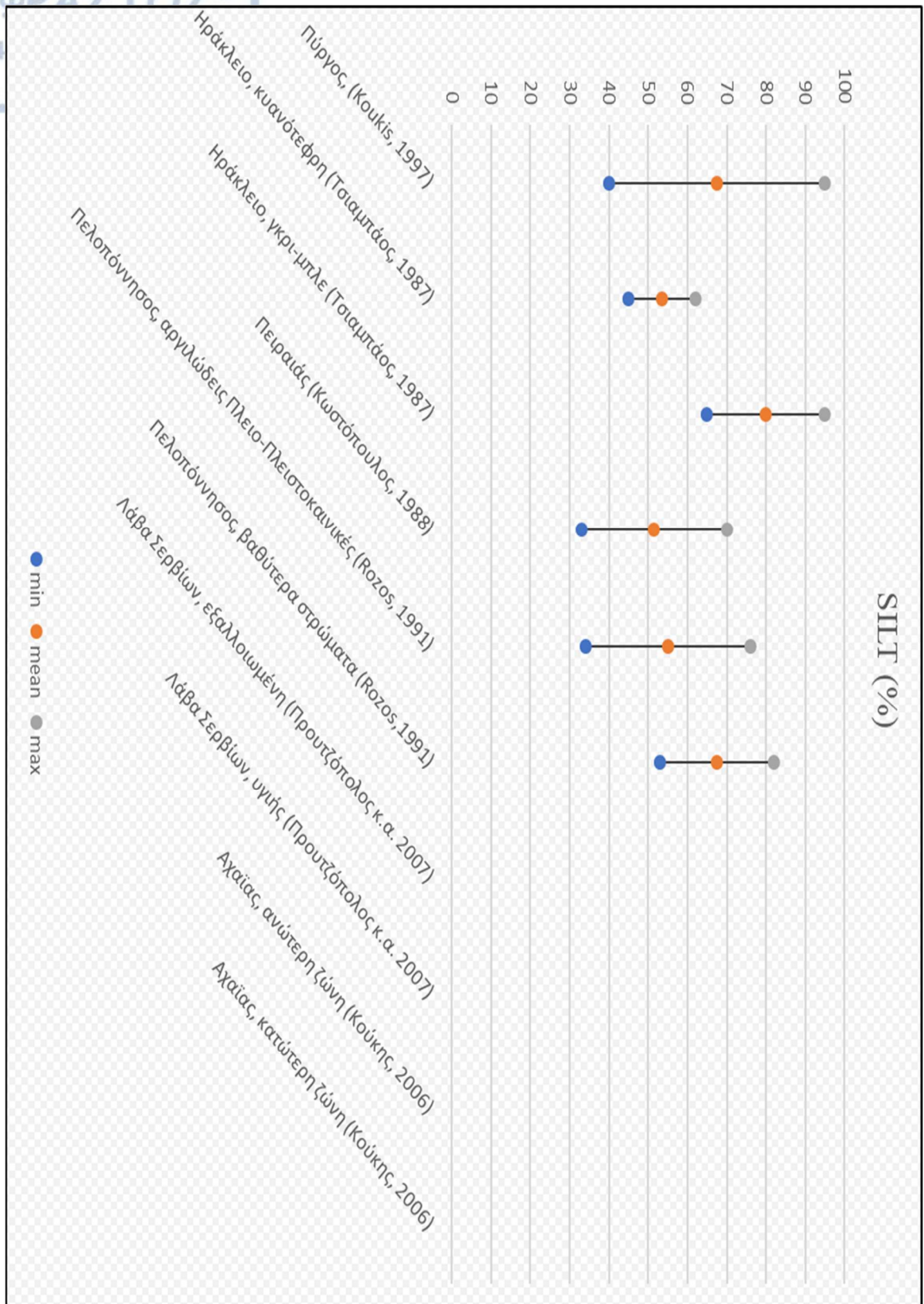
Διάγραμμα 2. Διάγραμμα που αποτυπώνει το Όριο Υδαρότητας (LL) των Ελληνικών μαργαϊκών σχηματισμών.



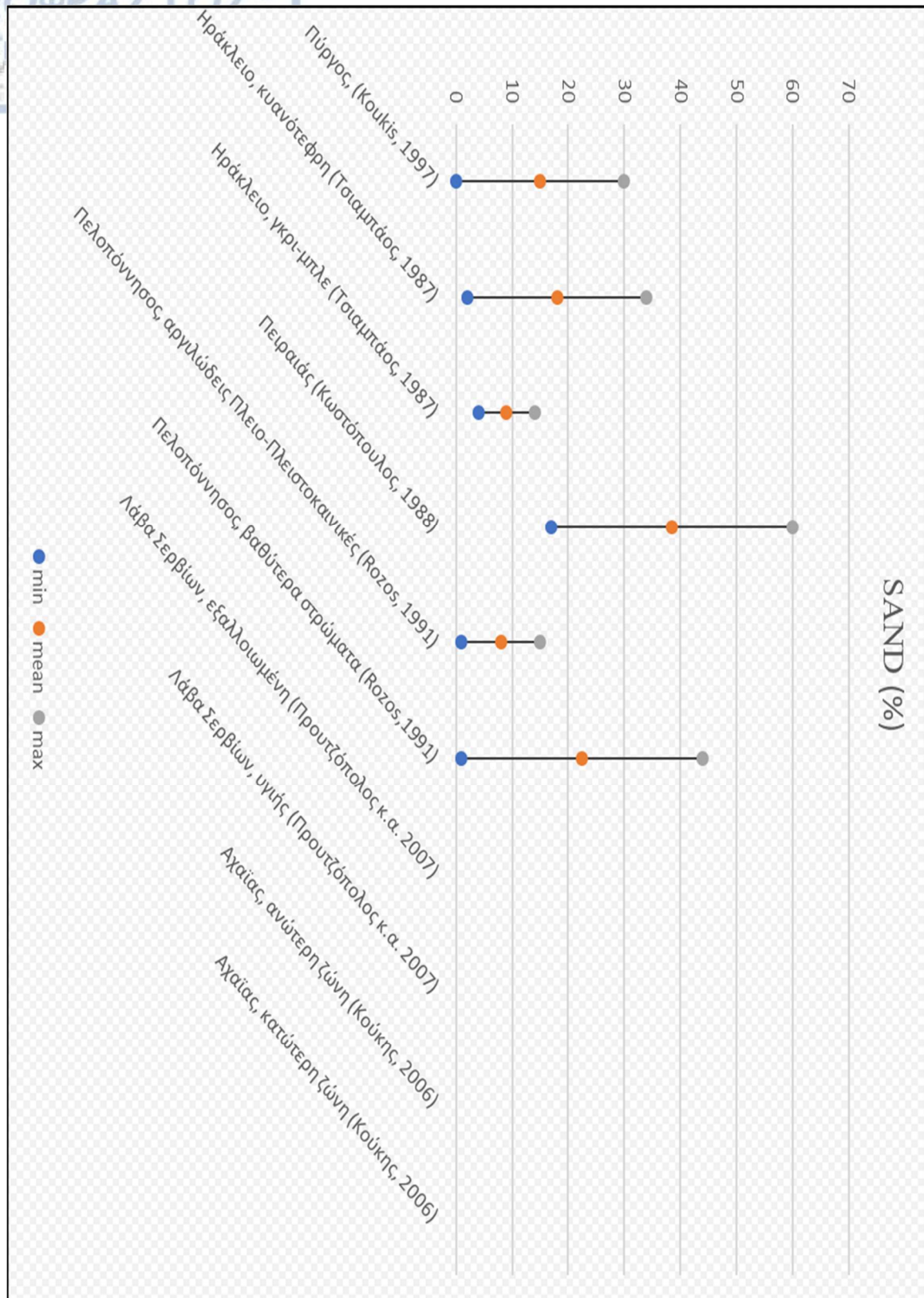
Διάγραμμα 3. Διάγραμμα που αποτυπώνει το Δείκτη Πλαστικότητα (PI) των Ελληνικών μαργαϊκών σχηματισμών.



Διάγραμμα 4. Διάγραμμα που αποτυπώνει το ποσοστό επί τοις εκατό σε περιεκτικότητα Αργίλου (CLAY) των Ελληνικών μαργαϊκών σχηματισμών.

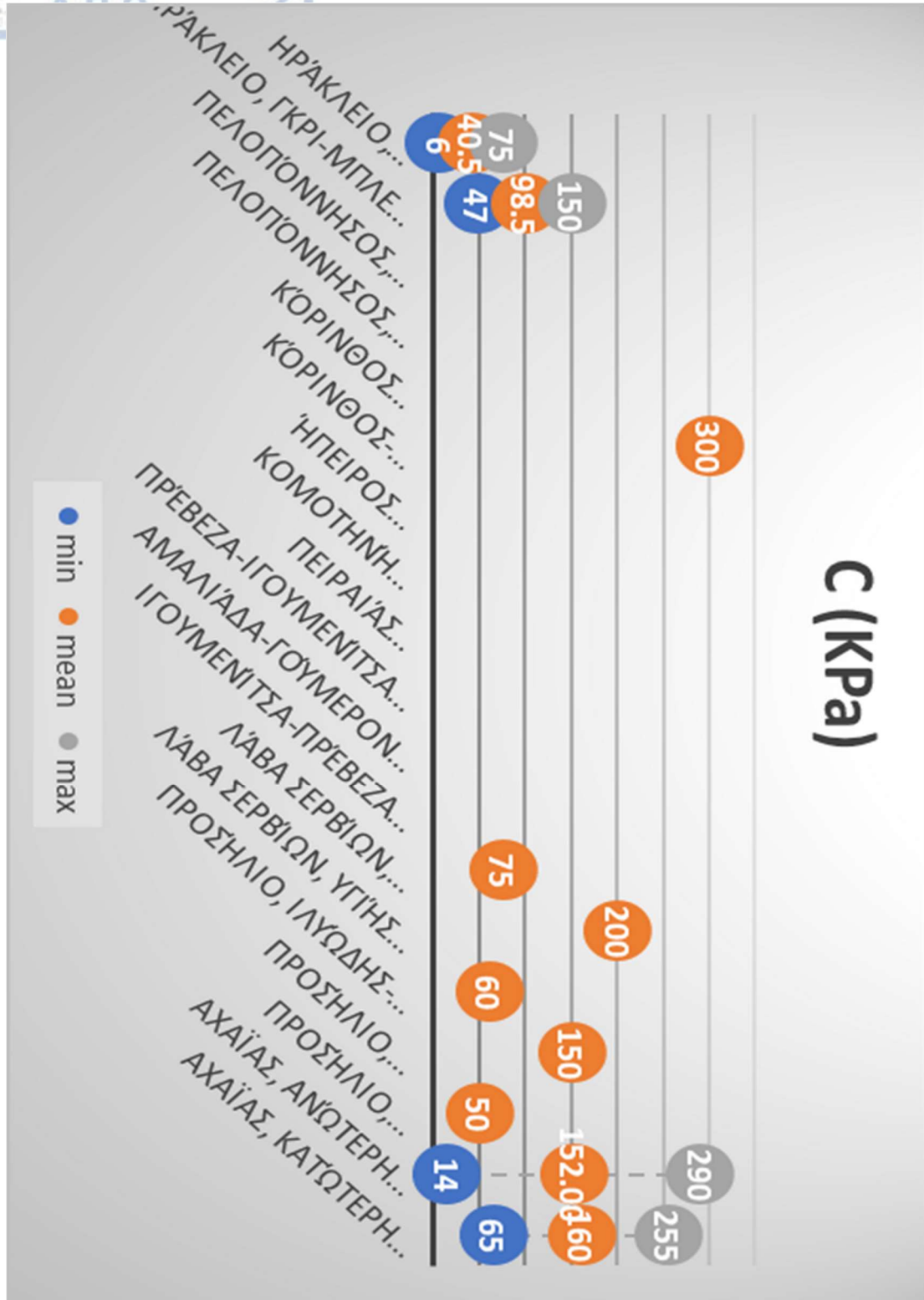


Διάγραμμα 5. Διάγραμμα που αποτυπώνει το ποσοστό επί τοις εκατό σε περιεκτικότητα Ιλός (SILT) των Ελληνικών μαργαϊκών σχηματισμών.

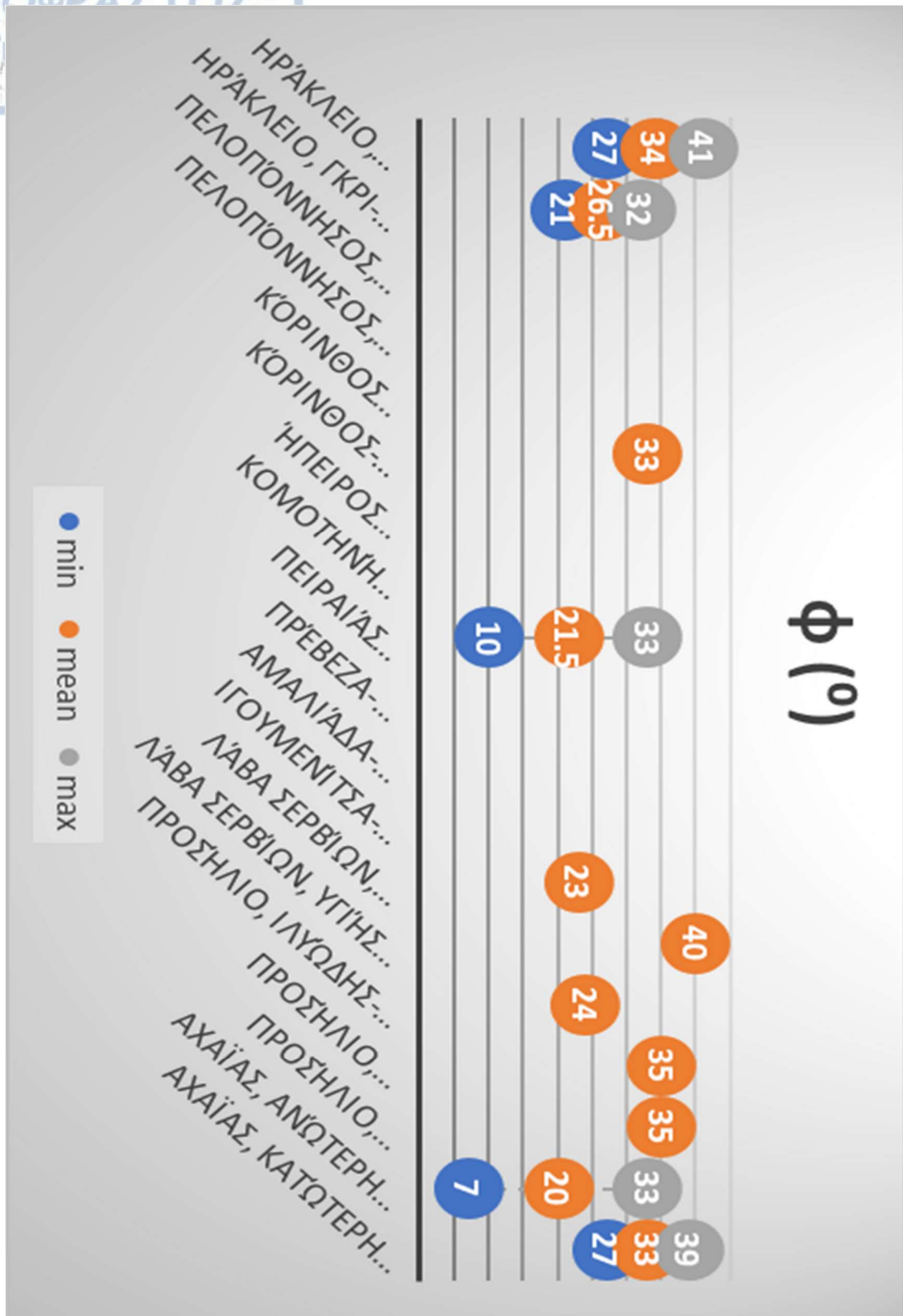


Διάγραμμα 6. Διάγραμμα που αποτυπώνει το ποσοστό επί τοις εκατό σε περιεκτικότητα Άμμου (SAND) των Ελληνικών μαργαϊκών σχηματισμών.

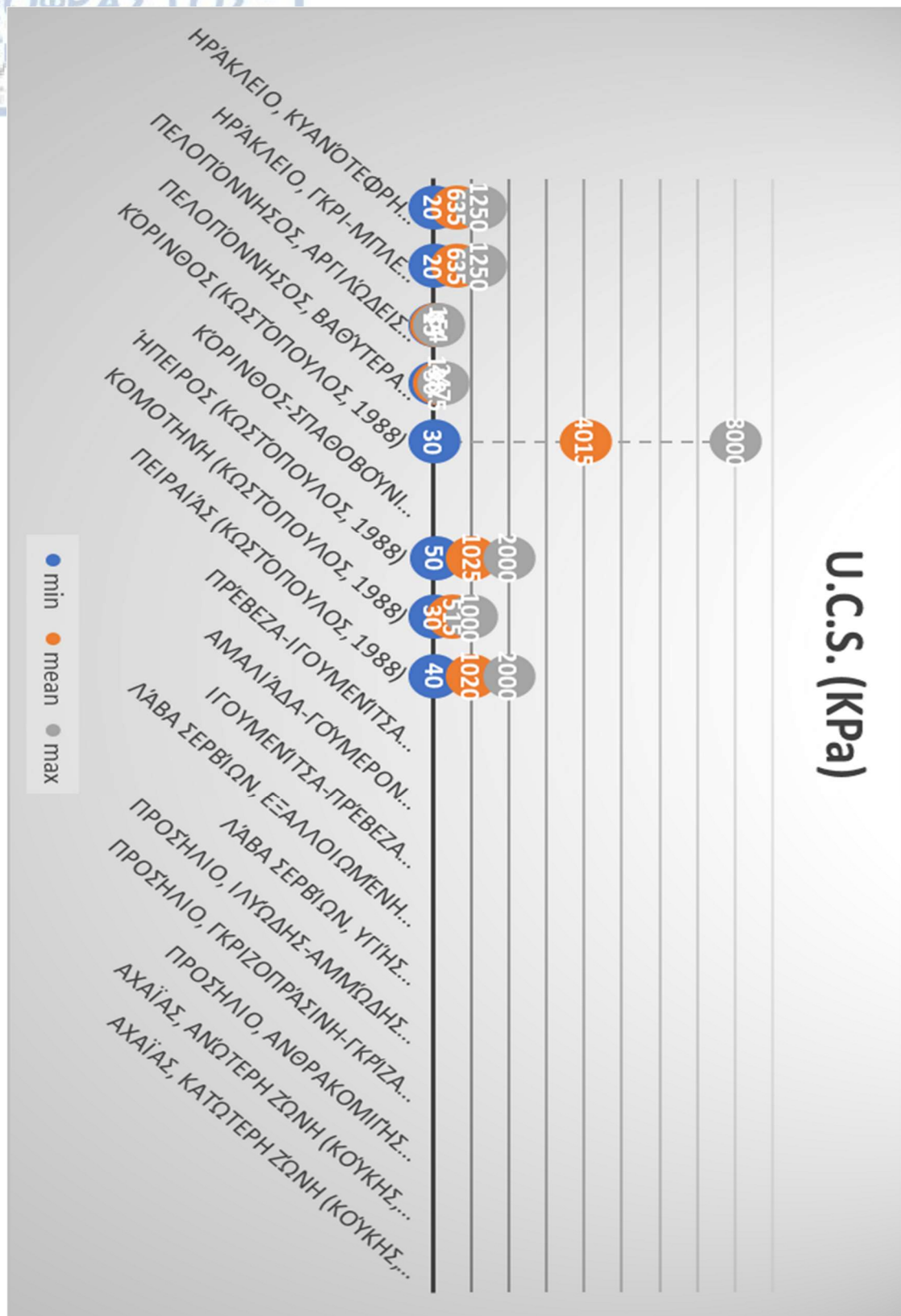
4.3.1.2. Μηχανικά χαρακτηριστικά των Ελληνικών μαργαϊκών σχηματισμών



Διάγραμμα 7. Διάγραμμα που αποτυπώνει την τιμή της συνοχής (C) σε KPa των Ελληνικών μαργαϊκών σχηματισμών.



Διάγραμμα 8. Διάγραμμα που αποτυπώνει την τιμή της εσωτερικής γωνίας τριβής (ϕ) σε ($^{\circ}$) των Ελληνικών μαργαϊκών σχηματισμών.



Διάγραμμα 9. Διάγραμμα που αποτυπώνει την τιμή της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής (U.C.S.) σε KPa των Ελληνικών μαργαϊκών σχηματισμών.

4.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΜΑΡΓΑΣ- ΛΙΓΝΙΤΗ ΣΕ ΟΡΥΧΕΙΑ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΟΡΥΣΜΑΤΟΣ (OPEN-PIT)

Ορυχείο Μαυροπηγής, Πτολεμαΐδα (Kanvadas et al., 2013)

Το συγκεκριμένο ορυχείο ανήκει στην ΔΕΗ και βρίσκεται σε λειτουργία από το 2003. Μέχρι τώρα τα πρανή έχουν φτάσει σε ύψος άνω των 100-120m και η εκμετάλλευση συνεχίζεται με γοργούς ρυθμούς καθώς η λειτουργία του καθίσταται πολύ σημαντική για την εύρυθμη εξυπηρέτηση των ενεργειακών αναγκών της χώρας (Σχήμα 4.5).

Γεωλογικά το ορυχείο πρόσκειται στην ιζηματογενή λεκάνη ΦΠΣ, στην υπολεκάνη της Πτολεμαΐδας. Λιθολογικά εντοπίζονται μάργες, λιγνίτες, άργιλοι και άμμοι ηλικίας Μειοκάνιου-Πλειστοκαίνου.

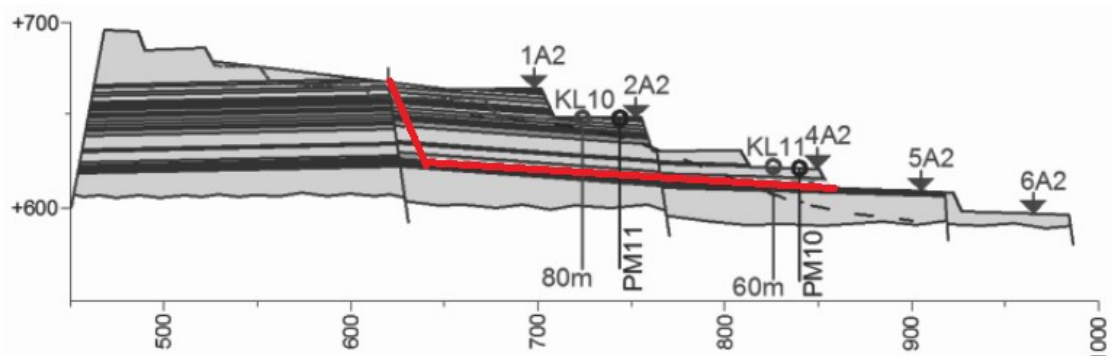


Σχήμα 4.5. Νοτιοανατολικά πρανή του λιγνιτορυχείο Μαυροπηγής. Γίνεται εμφανές το μεγάλο ύψος των πρανών (Kanvadas et al., 2013).

Από το 2011 και μετά παρατηρήθηκαν εμμένουσες οριζόντιες μετατοπίσεις με ένα μέσο ρυθμό μεταβολής της τάξης των 10-20mm/day φθάνοντας μάλιστα και σε τιμές ανάμεσα στα 40-50mm/day σε ορισμένες περιπτώσεις όταν η βροχόπτωση αυξανόταν σημαντικά. Μέχρι σήμερα τα πρανή αυτά έχουν μετατοπιστεί περισσότερο από τρία (3)m. Η μετατοπιστέα μάζα τους υπολογίζεται περίπου ίση με 6Mm³.

Μέσω της διαδικασίας back-analysis βρέθηκε ότι τα Νοτιοανατολικά πρανή κινούνται πάνω σε μία οριζόντια επιφάνεια χαμηλής αντοχής ανάμεσα στην μάργα και

τον πηλό (επιφάνεια ολίσθησης) με παραμένουσα γωνία τριβής ίση με $\varphi=7^\circ$ (Σχήμα 4.6). Η αστοχία αυτή διαδραματίζονταν όταν οι βροχοπτώσεις αυξάνονταν και πληρώνονταν τα κενά των σχηματισμών, αυξάνονταν δηλαδή η πίεση των πόρων (u).



Σχήμα 4.6. Απλοποιημένη γεωλογική τομή του ολισθαίνοντος πρανούς. Με την κόκκινη γραμμή παρατηρείται η επιφάνεια αστοχίας (Kavvas et al., 2013).

Τελικά και όσον αφορά την κανονικότητα του ορυχείου, οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα πως η λειτουργία του μπορεί να συνεχιστεί. Προϋπόθεση αποτελεί η συνεχής παρακολούθηση των μετακινήσεων και η ταυτόχρονη χρήση θεραπευτικών μέτρων. Τα μέτρα που προτάθηκαν αφορούσαν κυρίως την ανασκαφή των ανώτερων αναβαθμών για την ελάφρυνση του βάρους και συνεπώς την μείωση των τάσεων που ασκούνται στην επιφάνεια αδυναμίας (ολίσθησης).

Ορυχείο Λάβας Σερβίων, Κοζάνη (Προυτζόπουλος κ.α., 2010)

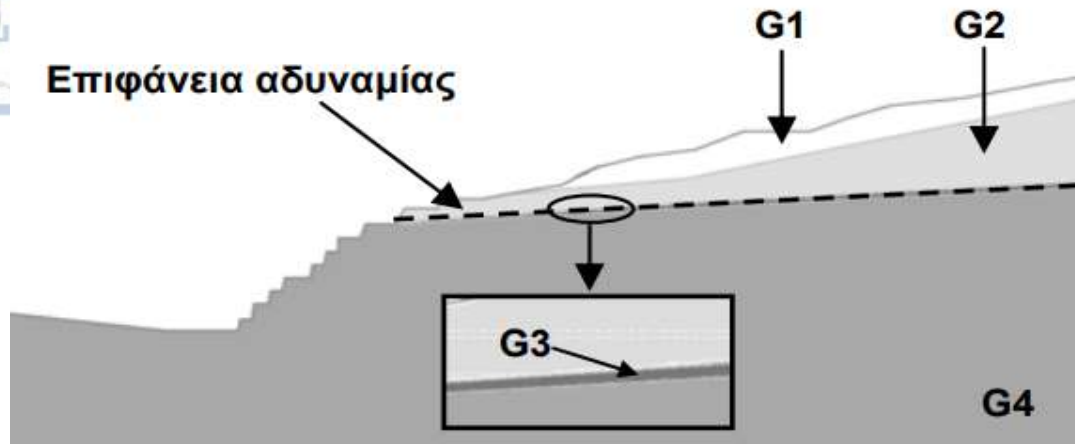
Το λιγνιτορυχείο της Λάβας απαντάται στο Ανατολικό τμήμα της ομώνυμης λεκάνης Λάβας (υπολεκάνη της ΦΠΣ) περί τα 4km Νότια των Σερβίων. Ανήκει στην εταιρία ΛΑΒΑ Α.Ε (Σχήμα 4.7).

Γεωλογικά στην περιοχή του ορυχείου εντοπίζονται λιγνιτοφόρα κοιτάσματα (λιγνίτης και ξυλίτης) σε εναλλαγές από ενστρώσεις άγονων εδαφών, μαργών με σύσταση από αργίλου έως ιλύος, ηλικίας Πλειο-Πλειστοκαινικής. Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της περιοχής αυτής είναι η ύπαρξη διαφορετικών στρωμάτων μαργών, με το ανώτερο στρώμα να αποτελείται από εξαλλοιωμένες μάργες (λόγω μηχανικής κυρίως αποσάθρωσης) και το κατώτερο από υγιείς μάργες. Η περιοχή καλύπτεται τελικά από χαλαρά ιζήματα του Τεταρτογενούς



Σχήμα 4.7. Γενική άποψη ορυχείου και περιοχής κατολίσθησης (Προυτζόπολος κ.α., 2010).

Το Νοέμβριο του 2007 σημειώθηκε ένα σημαντικό καλαισθητικό φαινόμενο σε ένα από τα πρανή του ορυχείου. Η κατολίσθηση συντελέστηκε μέσα στο προαναφερθέντα ενιαίο στρώμα των μαργών, όπως αποδείχθηκε δεν έγκειται μόνο σε ένα μηχανισμό ολίσθησης αλλά ελέγχεται από περισσότερους που αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους. Ειδικά η κατώτερη επιφάνεια αδυναμίας που αποτελεί και την κύρια επιφάνεια ολίσθησης, διέρχεται μέσα από το σώμα των τεταρτογενών και της μάργας φαίνεται ότι αποτελεί συνδυασμό αρκετών μικρότερων επιφανειών ολίσθησης εντός αυτού, ανεξαρτήτως της μικρής κλίσης του ανάγλυφου (περί τις 14°). Οι μετακινήσεις στις δευτερεύουσες επιφάνειες αυξάνουν περαιτέρω τις εφελκυστικές τάσεις μειώνοντας τα μηχανικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών και δημιουργούν διόδους στα επιφανειακά ύδατα αυξάνοντας ταυτόχρονα την πίεση των πόρων ανάμεσα τους (Σχήμα 4.8).



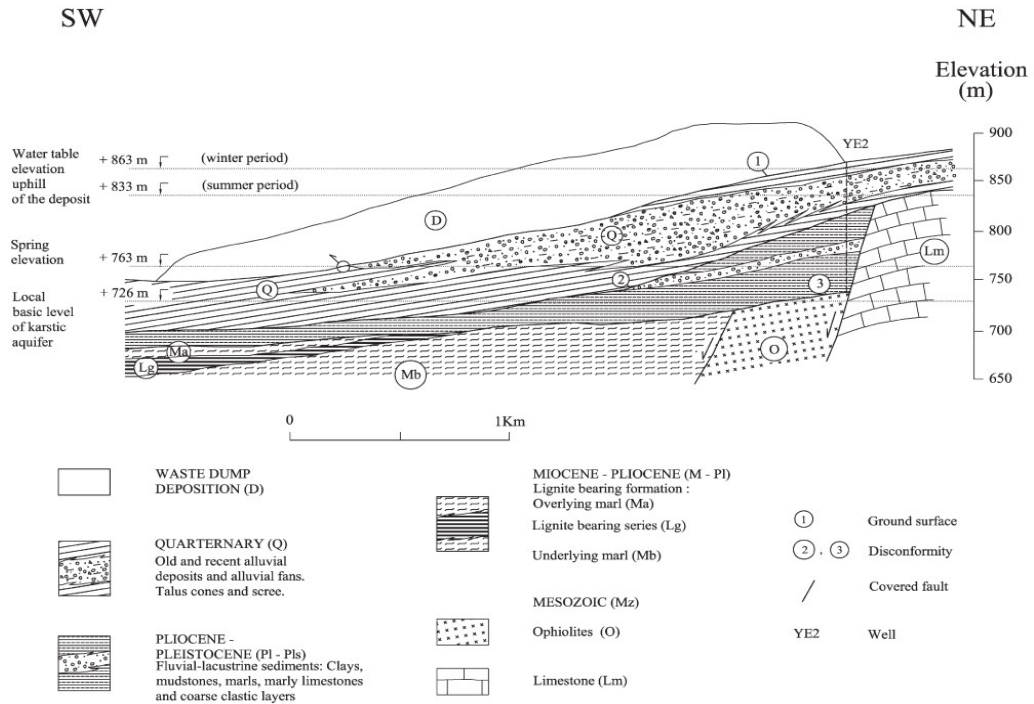
Σχήμα 4.8. Απλοποιημένη τομή όπου παρουσιάζεται η επιφάνεια αστοχίας. Ως G1 θεωρούνται οι Τεταρτογενείς αποθέσεις, G2 η εξαλλοιωμένη μάργα που συμμετέχει στην ολίσθηση, G3 η παραοριζόντια επιφάνεια της ολίσθησης και G4 η υγιής μάργα που δεν ολισθαίνει (Προυτζόπουλος κ.α., 2010).

Με βάση την ανάλυση του φαινομένου, όσο έχει να κάνει με την συνέχιση της απρόσκοπτης λειτουργίας του ορυχείου κρίθηκε αναγκαία η μείωση της γενικής κλίσης (άρα και των επιμέρους αναβαθμών) του διαμορφούμενου πρανούς με νέα γωνία κλίσης περίπου ίση με $\varphi \leq 10^\circ$.

Ορυχείο Νότιος Τομέας, Πτολεμαΐδα (Steiakakis et al., 2009)

Στο συγκεκριμένο ορυχείο που χρησιμοποιείται από την ΔΕΗ η αστοχία δεν έπληξε το χώρο εκμετάλλευσης του ορυχείου αυτόν καθ' αυτόν αλλά την εξωτερική του πλευρά. Ειδικότερα την περιοχή απόρριψης (χωματερή) εκεί που εναποθέτονται τα στείρα υλικά που έχουν εξορυχθεί. Η χωματερή αυτή ξεπερνούσε σε ύψος τα 110m με μέση κλίση πρανούς περί το 10% ήτοι περίπου ίση με γωνία κλίσης $\varphi=6^\circ$.

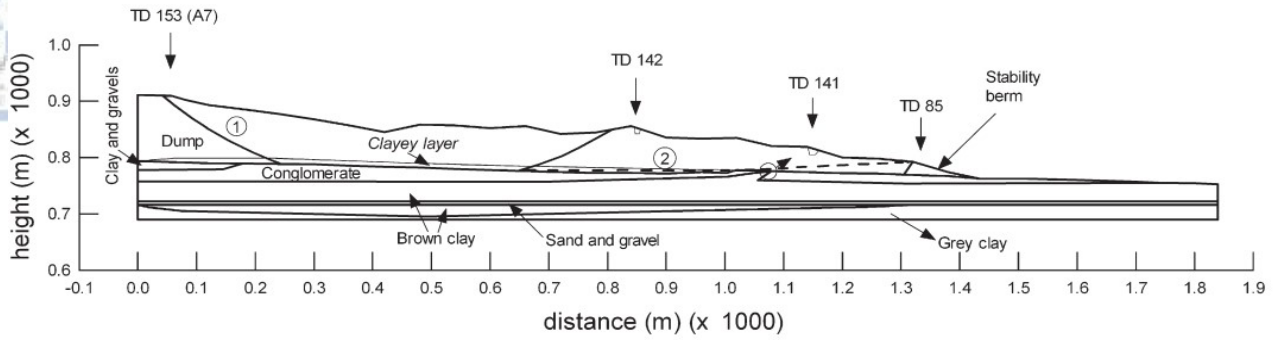
Γεωλογικά το ορυχείο απαντάται στην λιγνιτοφόρα λεκάνη ΦΠΣ, στην υπολεκάνη της Πτολεμαΐδας. Στην κοντινή περιοχή του ορυχείου τα υπερκείμενα στρώματα των λιγνιτών αποτελούνται από άργιλο, μάργες, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και άλλους παρεμφερούς σύστασης σχηματισμούς. Ενώ στο υπόβαθρο εντοπίζονται οι ασβεστόλιθοι Μεσοζωικής ηλικίας (πτυχωμένοι σε αντικλινικές και συγκλινικές δομές) (Σχήμα 4.9).



Σχήμα 4.9. Σχηματική γεωλογική τομή της αστοχίας (Steiakakis et al., 2009).

Η αστοχία έλαβε χώρα στις 30 Απριλίου 2004 ξεκινώντας από τα εσωτερικά μέρη της χωματερής, συνοδευόμενη από μία ροή γεωυλικών προς το εξωτερικό του ορίου της προς τα ΝΔ. Η κατολίσθηση ήταν τόσο μεγάλη που στα αρχικά στάδια το πάχος της κινούμενης μάζας ποίκιλε ανάμεσα στα 30 με 90 m με ταχύτητα ανάμεσα στα 40-50m/day, ενώ η μεταξύ ποδιού-φρυδιού υπερέιχε τα 1100m με μέσο πλάτος στο πόδι τα 550m. Μετά την απαραίτητη κατασκευή κατασταλτικών έργων η ταχύτητα της μειώθηκε δραστικά στα 10m/day έως ότου σταμάτησε δύο μήνες μετά.

Μετά από ενδελεχή έρευνα που σημειώθηκε για λογαριασμό της ΔΕΗ οι μελετητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο συνδυασμός του αργιλώδους τύπου υπερκείμενου και η υψηλή πίεση του νερού (από το φράξιμο της πηγής που συναντήθηκε μέσα στην χωματερή) δυσχεραίνουν την ευστάθεια των υπερκείμενων καθιστώντας τα επίφοβα σε αστοχία λόγω και των πολύ χαμηλών μηχανικών ιδιοτήτων της αργίλου (Σχήμα 4.10).



Σχήμα 4.10. Τομή του πρανούς όπου αναπαρίστανται οι κρίσιμες επιφάνειες αστοχίας, (1) αρχική και (2) ακόλουθη επιφάνεια (Steiakakis et al., 2009).

5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την μελέτη των κατολισθητικών φαινομένων που διαδραματίζονται στο χώρο των ορυχείων χωρίζεται σε δύο (2) βασικά στάδια:

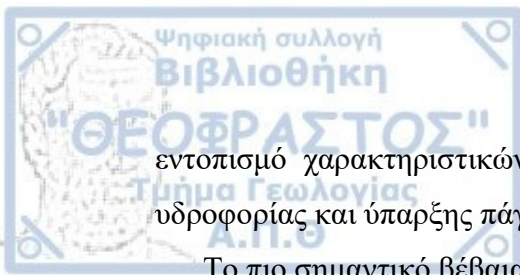
1. Το μεν πρώτο αφορά την επί τόπου, ιδίως όμμασι ποιοτική αξιολόγηση και λήψη μετρήσεων των τεχνικογεωλογικών και γεωτεχνικών παραμέτρων που ευθύνονται για την γένεση των κατολισθήσεων
2. Ενώ το δεύτερο πραγματεύεται τη χρήση του UAV μέσω της φωτογραμμετρίας για την δημιουργία κατάλληλων εργαλείων ανάλυσης των ποσοτικών χαρακτηριστικών των κατολισθήσεων.

Τα παραπάνω συντελέστηκαν και για τα δυο ορυχεία που μελετά αυτή η εργασία

5.1 ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

Στις 9/12/2018 και στις 12/03/2019 και αφού είχαν προηγηθεί ενδεδεγμένες μελέτες γραφείου για τις πιθανές τεχνικογεωλογικές συνθήκες, διενεργήθηκαν εξονυχιστικές επιτόπιες έρευνες στο χώρο του ορυχείου του Προσηλίου, Κοζάνης και σε αυτού της Φλώρινας αντίστοιχα. Ο στόχος τους, πέρα από το προφανές που έχει να κάνει με την διεξαγωγή των πτήσεων του UAV ήταν η αναγνώριση και η αξιολόγηση των βασικών τεχνικογεωλογικών, γεωτεχνικών και γεωμετρικών παραγόντων που είναι υπεύθυνοι για τον έλεγχο των κατολισθητικών φαινομένων. Επίσης η απευθείας παρατήρηση του μεγέθους και γενικώς η ποιοτική αξιολόγηση των φαινομένων κρίθηκε επιτακτική για το επόμενο στάδιο που αφορούσε την ερμηνεία των αποτελεσμάτων που θα παράχθηκαν από το UAV.

Συνεπώς κατά τη διάρκεια της επί τόπου παρατήρησης ελήφθησαν αρχικά μετρήσεις που αφορούσαν τα γεωλογικά χαρακτηριστικά. Όπως είναι το υλικό των στρωμάτων, το πάχος τους, η γεωλογική τους τοποθέτηση, οι επαφές μεταξύ τους, ύπαρξη ρηγμάτων και άλλων ζωνών χαμηλής διατμητικής αντοχής. Όσον αφορά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά έγινε μια πρώτη εκτίμηση των διαστάσεων των ορυχείων στο σύνολο τους αλλά και σε κάθε πρηνές ξεχωριστά, αναγνωρίστηκε και μετρήθηκε με χρήση πυξίδας Schmidt η διεύθυνση κλίσης και η γωνία κλίσης κάθε πιθανής επιφάνειας ασυνέχειας δηλαδή στην προκειμένη περίπτωση η στρώση της μάργας, τα κανονικά ρήγματα και κάποιες διακλάσεις. Τέλος έγιναν προσπάθειες για τον



εντοπισμό χαρακτηριστικών ρωγμών εφελκυσμού καθώς και εύρεση κατάστασης υδροφορίας και ύπαρξης πάγου στο εσωτερικό των στρωμάτων

Το πιο σημαντικό βέβαια αποτέλεσε η πρώτη επαφή με τις κατολισθήσεις και τους μηχανισμούς που τις ελέγχουν, κατέστη δηλαδή δυνατή μια πρώτη ερμηνεία των φαινομένων (τύπος, μέγεθος, παράγοντες) μέσα από την μακροσκοπική παρακολούθηση.

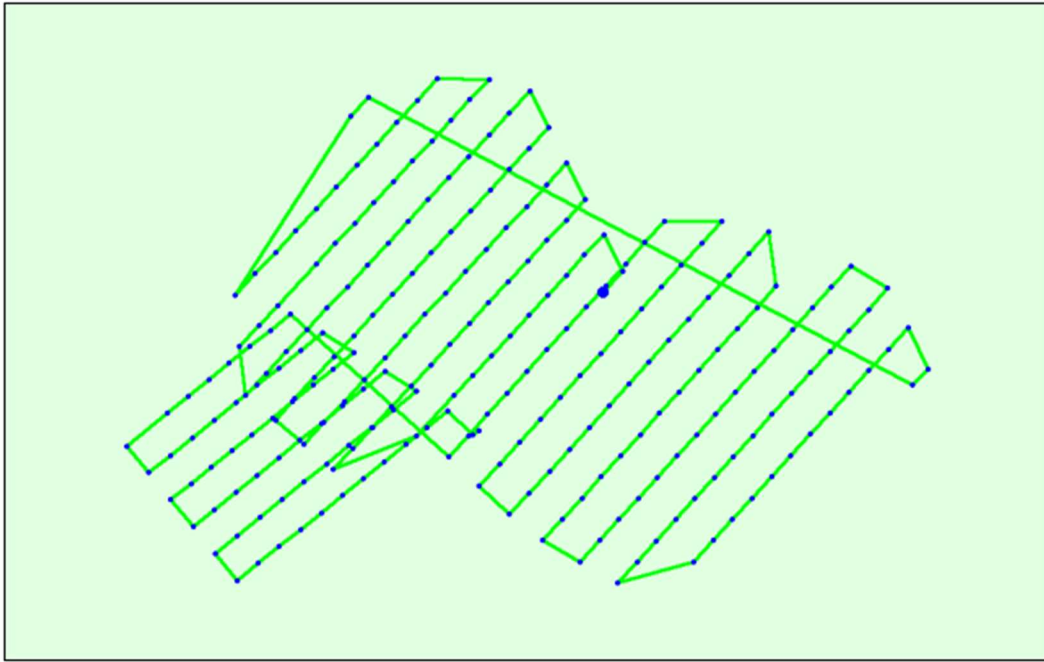
5.2 ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ UAV

Πρόκειται για το ΜΕΑ με εμπορική ονομασία DJI Phantom 4 Pro V2.0 και φέρει στην άτρακτο του φωτογραφική μηχανή ανάλυσης 20MP. Ο παραπάνω εξοπλισμός ανήκει στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας.

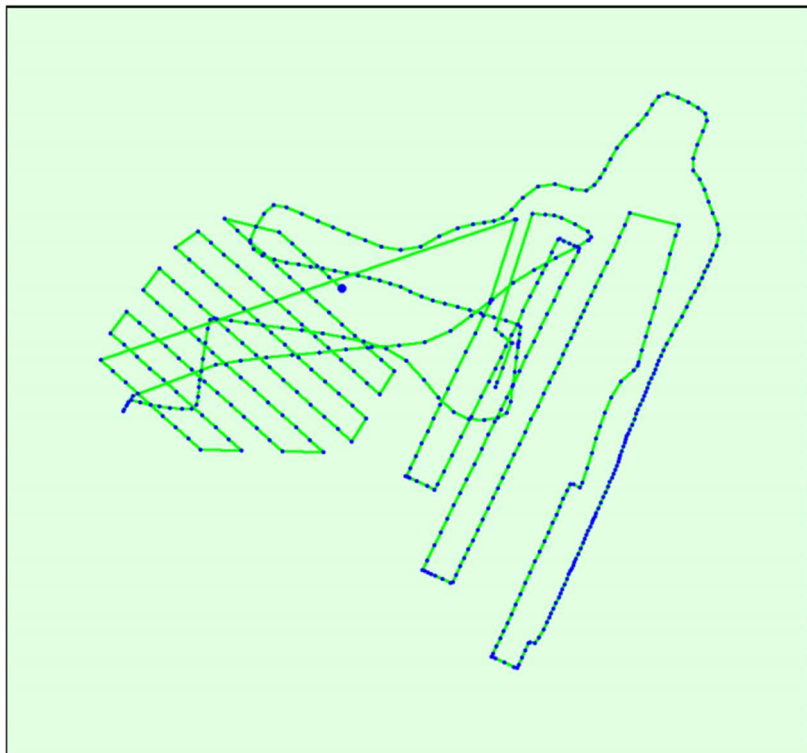
Πτήση: Παράλληλα με την επί τόπου παρακολούθηση που διαδραματιζόταν στην περιοχή των ορυχείων τέθηκε σε λειτουργία πτήσης το UAV. Είναι σημαντικό να ξεκαθαριστεί πως η χρήση του προϋποθέτει μια διαδικασία πρόδρομη της πτήσης. Αρχικά χρειάζεται η κατάρτιση σχεδίου πτήσεως για την πορεία που θα ακολουθήσει, το ύψος της πτήσης και το πλήθος των φωτογραφιών που θα απαθανατίσει (σε κάποιες χώρες χρειάζεται η επίσημη δήλωση του σχεδίου πτήσεως και στην εκάστοτε υπηρεσία πολιτικής αεροπορίας). Ακόμα, αν και ακούγεται απλό σε καμία περίπτωση δεν θα πρέπει να παραλείπεται ο έλεγχος ύπαρξης όλου του αναγκαίου εξοπλισμού (φορτισμένες μπαταρίες, καλώδια επικοινωνίας κ.α.). Τέλος η όλη διαδικασία εξαρτάται σημαντικά από τις καιρικές συνθήκες, δυνατοί άνεμοι και βροχοπτώσεις δυσχεραίνουν την ομαλή διεξαγωγή της πτήσης και αλλοιώνουν τα αποτελέσματα.

Για το ορυχείο στο **Αμύνταιο** η περιοχή που καλύφτηκε από το UAV ήταν ίση με 0.328km και οι φωτογραφίες που πάρθηκαν ήταν στο σύνολο τους διακόσιες πενήντα δύο (252) (Σχήμα 5.1)

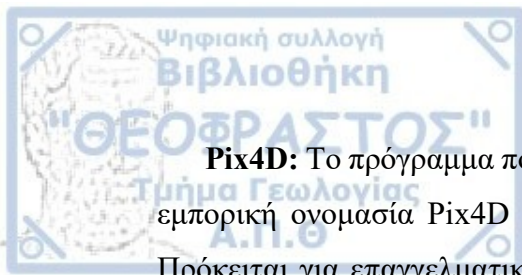
Για το ορυχείο στα **Σέρβια** η περιοχή που καλύφτηκε από το UAV ήταν ίση με 0.583km² και οι συνολικές φωτογραφίες που τραβήχτηκαν ήταν πεντακόσιες τριάντα τέσσερεις (534) (Σχήμα 5.2)



Σχήμα 5.1. Σχέδιο πτήσης στο ορυχείο του Αμυνταίου που περιλαμβάνει τις θέσεις των 252 φωτογραφιών. Η πράσινη γραμμή καθορίζει την πορεία που ακολουθήθηκε με αφετηρία την μεγάλη μπλε τελεία. (Pix4D)



Σχήμα 5.2. Σχέδιο πτήσης στο ορυχείο των Σερβίων που περιλαμβάνει τις θέσεις των 534 φωτογραφιών. Η πράσινη γραμμή καθορίζει την πορεία που ακολουθήθηκε με αφετηρία την μεγάλη μπλε τελεία. (Pix4D)

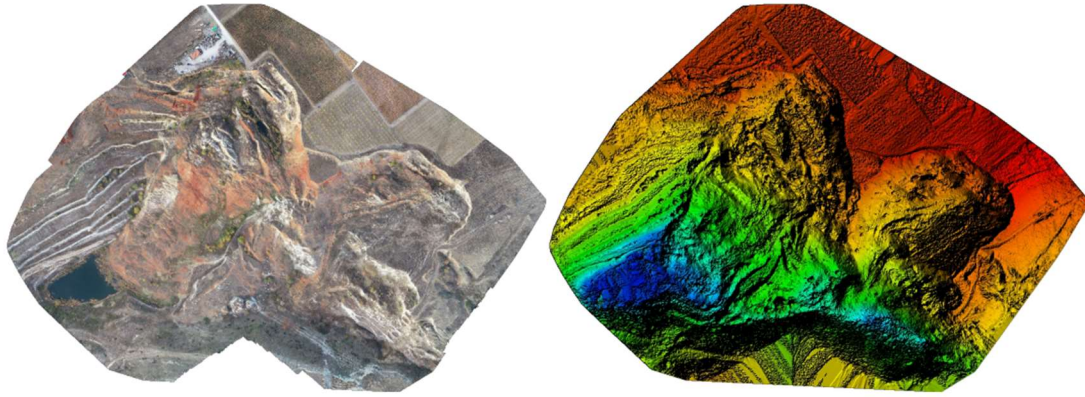


Pix4D: Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την φωτογραμμετρία ακούει στην εμπορική ονομασία Pix4D και παράγεται από την ομώνυμη εταιρία (Pix4D S.A.).

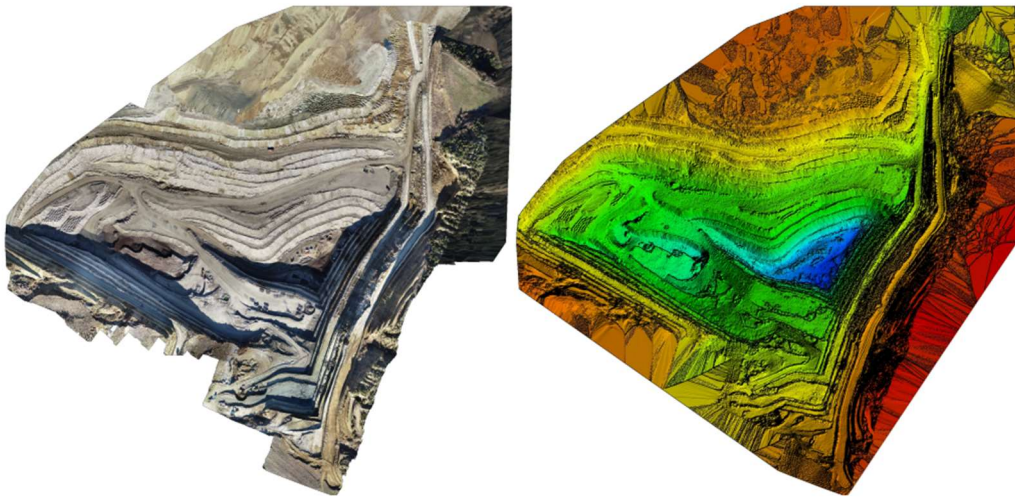
Πρόκειται για επαγγελματικής χρήσης φωτογραμμετρικό πρόγραμμα και συνεπώς η διανομή του γίνεται μόνο μέσω πληρωμής ή κάνοντας χρήση της δυνατότητας δωρεάν αξιοποίησης του για μία περίοδο δεκαπέντε συν δέκα (15+10) ημερών. Το +10 ενεργοποιείται από τον χρήστη ανεξαρτήτως χρονικού προσδιορισμού μέσω της λειτουργίας ελεύθερης δοκιμής (free-trial). Στην παρούσα εργασία όλες οι αναλύσεις διενεργήθηκαν μέσω της ελεύθερης δοκιμής και χρησιμοποιώντας την πλατφόρμα σύννεφου (cloud) της εφαρμογής στο διαδίκτυο που ονομάζεται Pix4D Mapper για ταχύτερη επεξεργασία και καλύτερα αποτελέσματα.

Συνεπώς, την επομένη των επιτόπιων ερευνών μεταφορτώθηκαν στο cloud της εφαρμογής το σύνολο των φωτογραφιών και διενεργήθηκε αυτόματα η διαδικασία της φωτογραμμετρίας όπως έχει περιγραφεί στο Κεφάλαιο 3.2.1.2. Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι η διαδικασία της SfM (Structure for Motion) συντελέστηκε με τον πρώτο τρόπο (βλέπε 3.2.1.2 Structure for Motion). Δηλαδή όλες οι φωτογραφίες που πάρθηκαν από το UAV αυτομάτως γεωαναφέρονταν την στιγμή της λήψης τους και δεν υπήρχαν GCPs. Ο απευθείας αυτός γεωγραφικός προσδιορισμός βασίστηκε στο παγκόσμιο γεωγραφικό σύστημα WGS 1984 και συγκεκριμένα στην παγκόσμια μερκατορική προβολή UTM 34N και για τις δύο περιοχές. Νέφη σημείων και μετέπειτα γεωαναφερόμενα DSMs δημιουργήθηκαν από την λόγω διεργασία. Τα αρχεία που δημιουργήθηκαν έχουν τελικά μια πολύ μεγάλη ανάλυση (Ground Sampling Distance) σε κάθε εικονίδιο (pixel), με το ορυχείο στο Αμύνταιο να έχει 4.48cm/pixel και αυτό των Σερβίων 3.44cm/pixel. Οι τιμές αυτές είναι τόσο μεγάλες που για το σκοπό της παρούσας εργασίας κρίνονται υπεραρκετές διότι με ένα τέτοιο επίπεδο πληροφορίας μπορούν να διακριθούν το σύνολο όλων των κατολισθητικών παραγόντων.

Σε ένα επόμενο στάδιο εντοπίζεται πλέον και η δημιουργία του ορθομασαϊκού σε κλίμακα RGB (Σχήμα 5.3 και 5.4 για τα 2 ορυχεία).



Σχήμα 5.3. Απεικονίζεται η παραγωγή του ορθομασαϊκού (αριστερά) και του αραιού σε αυτήν την φάση DSM (δεξιά του ορυχείου του Αμώνταιου (Pix4D).

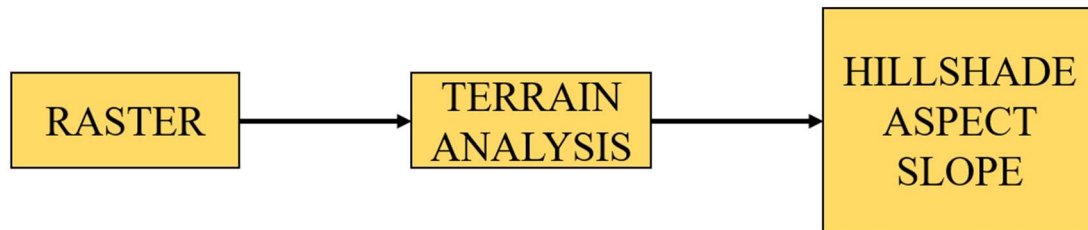


Σχήμα 5.4. Απεικονίζεται η παραγωγή του ορθομασαϊκού (αριστερά) και του αραιού σε αυτήν την φάση DSM (δεξιά) του ορυχείου των Σερβίων (Pix4D).

Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS): Η χρήση ενός γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών προσφέρει εξαιρετικές δυνατότητες για τη διαχείριση και ανάλυση χωρικών δεδομένων. Υπάρχει η επιλογή αποτύπωσης με τον πλέον λεπτομερέστατο τρόπο το σύνολο των κατολισθητικών πληροφοριών που παρέχονται από τα παραπάνω αρχεία. Ιδιαίτερα όταν η ανάλυση είναι τέτοια που επιτρέπει την εμφάνιση ακόμα και μικρότερων σε μέγεθος στοιχείων τότε η εφαρμογή μιας πλατφόρμας GIS στην έρευνα επί των κατολισθήσεων κρίνεται επιτακτική.

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα QGIS (quantum GIS). Αποτελεί ένα δωρεάν γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών ανοιχτού κώδικα (open source) (<https://www.pix4d.com/>).

Η διαδικασία ξεκίνησε με την φόρτωση των παραγόμενων αρχείων από το Pix4D δηλαδή των DSMs και των μωσαϊκών στο περιβάλλον GIS. Μέσω των τοπογραφικών δυνατοτήτων που προσφέρει δημιουργήθηκαν οι τοπογραφικοί παράμετροι που έχουν ήδη αναφέρει, δηλαδή το Hillshade (Σκιασμένο Ανάγλυφο), το Aspect (Προσανατολισμός Κλιτύων) και το Slope (Κλίσεις). Ο τρόπος δημιουργίας τους περιγράφεται στο παρακάτω διάγραμμα ροής (σχήμα 5.5).



Σχήμα 5.5. Διάγραμμα ροής που περιγράφει την διαδικασία δημιουργίας των τοπογραφικών παραμέτρων.

Με την ολοκλήρωση και της δημιουργίας των τοπογραφικών παραμέτρων ξεκινάει η λεπτομερέστατη χειροκίνητη ψηφιοποίηση των παρατηρήσιμων κατολισθήσεων. Αυτή συντελείται είτε με φόντο το μωσαϊκό που παρέχει ακριβέστερη χρωματική και οπτική πληροφορία, είτε με φόντο το Hillshade που παρέχει 3-διάστατη απεικόνιση της περιοχής μελέτης σε ασπρόμαυρο συνήθως χρώμα. Η διαδικασία αυτή έλαβε χώρα και για τα δύο ορυχεία.

Με την παρέλευση της οριστικής ψηφιοποίηση είχαν αναγνωριστεί πλέον στο σύνολο τους δύο (2) μεγάλες κατολισθήσεις για το ορυχείο του Αμυνταίου και εκατόσαράντα επτά (147) για το ορυχείο της Κοζάνης. Με την ικανότητα που προσδίδει η μέθοδος της φωτογραμμετρίας στα αρχεία που χρησιμοποιούνται από το GIS, κατέστη δυνατή αμέσως μετά την εξακρίβωση των ορίων της κάθε κατολίσθησης και η αναγνώριση χαρακτηριστικών μορφών που μπορούν εμπράκτως να συνεισφέρουν στο χαρακτηρισμό του τύπου της κάθε αστοχίας. Το τελευταίο αποτελεί και το μεγάλο ζητούμενο για την έγκαιρη πρόληψη τους.

Εν συνέχεια πάνω πλέον στις αναγνωρισμένες κατολισθήσεις μεταμορφώθηκαν τα αρχεία Aspect και Slope (ψαλιδίστηκαν δηλαδή με βάση τις ψηφιοποιημένες κατολισθήσεις με ένα εργαλείο του QGIS ονομάζεται Clipper). Ως γνωστόν οι τοπογραφικοί παράμετροι Aspect και Slope παρέχουν πληροφορίες για τις διευθύνσεις κλίσεων και γωνίες κλίσεων αντίστοιχα. Οπότε με γνώμονα αυτή την ιδιότητα και με



την εφαρμογή κατάλληλης κλίμακας είναι δυνατή η αναγνώριση αυτών των πολύ σημαντικών για την ευστάθεια των κατολισθήσεων δεδομένων. Οι κλίμακες που χρησιμοποιήθηκαν έχουν καλά διακριτά όρια μεταξύ τους και συμβάλλουν στην εύκολη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων τους (Σχήμα 5.6).

ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ (°)	ΚΛΙΣΗ (°)
0 (Επίπεδη Επιφάνεια)	0-2
B (0-22.5)	>2-5
BA (22.5-67.5)	.5-15
A (67.5-112.5)	>15-35
NA (112.5-157.5)	>35-55
N (157.5-202.5)	>55
NΔ (202.5-247.5)	
Δ (247.5-292.5)	
BΔ (292.5-337.5)	
B (337.5-360)	

Σχήμα 5.6. Κλίμακα που χρησιμοποιήθηκε για την ταξινόμηση των χαρακτηριστικών των κατολισθήσεων. Ο Προσανατολισμός αναφέρεται στο Aspect και η Κλίση στο Slope.

Ογκομέτρηση: Ως ογκομέτρηση ορίζεται ο υπολογισμός του όγκου ενός αντικειμένου. Ο όγκος ισούται με το γινόμενο των τριών διαστάσεων του αντικείμενου. Έστω ότι ένα αντικείμενο A με μήκος X, πλάτος Y και ύψος Z. Ο όγκος του V θα ισούται με $V=X*Y*Z$ (I).

Με μια παρόμοια αλλά περισσότερο πολύπλοκη λογική υπολογίζεται και ο όγκος των κατολισθήσεων μέσω του προγράμματος Pix4D. Το πρόγραμμα δέχεται ως αρχείο το DSM. Με την αναζήτηση όγκου από έναν χρήστη το πρόγραμμα δημιουργεί το βασικό επίπεδο λαμβάνοντας υπόψιν το υψόμετρο κάθε σημείου, ένα δίκτυο κελιών σχηματίζεται με βάση την ανάλυση του DSM. Σύμφωνα με τον τύπο (I) τα X και Y είναι ίσα με την ανάλυση του κάθε σημείου στο δίκτυο ενώ το Z είναι η διαφορά του υψόμετρου της 3-διάστατης επιφάνειας που αντιστοιχεί στο κέντρο του κελιού από το



υψόμετρο της βασικής επιφάνειας του ιδίου κελιού, δηλαδή η (I) γίνεται : $V = GSD * GSD * (ZT - ZB)$.

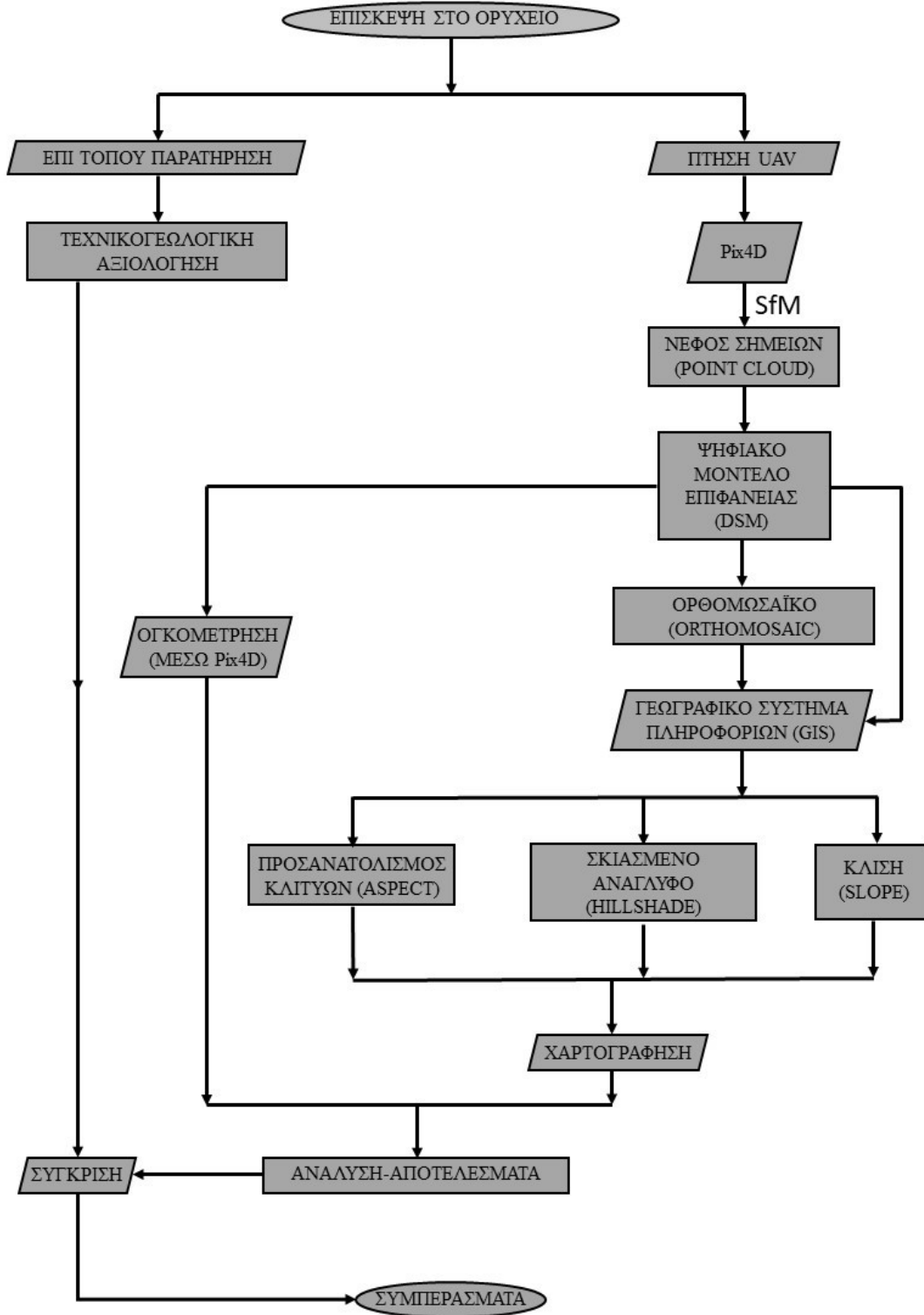
Το πρόγραμμα Pix4D μπορεί να υπολογίσει τον όγκο του τμήματος του αντικειμένου που λείπει μέσω του εργαλείου cut volume. Εκεί θα είναι $V_c = V_{c1} + V_{c2} + \dots + V_{cn}$, όπου τα $V_{c1} \dots n$ είναι οι όγκοι των τμημάτων του αντικειμένου που λείπει σε ένα κελί.

Η τελευταία αυτή ιδιότητα είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στην έρευνα επί των κατολισθήσεων διότι μπορεί να προσδιοριστεί με καλή ακρίβεια ο όγκος του κατολισθαίνοντος υλικού.

Ανάλυση-Αποτελέσματα: Με την ολοκλήρωση όλων των παραπάνω σταδίων και την εξακρίβωση των βασικών χαρακτηριστικών που προέκυψαν από τα διαφορετικά εργαλεία γίνεται η ανάλυση των αποτελεσμάτων, η ομαδοποίηση τους και ερμηνεία τους

Σύγκριση: Τελευταίο και πολύ σημαντικό στάδιο στη συγκεκριμένη μεθοδολογία αποτελεί ο ποιοτικός έλεγχος των αποτελεσμάτων. Τα διάφορα στοιχεία που προέκυψαν από την ψηφιακή επεξεργασία σε σχέση με την επί τόπου παρατήρηση που είχε διενεργηθεί στην αρχή συγκρίνονται μεταξύ τους και αν εμφανίζουν κάποια πολύ καλή ομοιότητα μπορούν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικά.

Παρατηρείται δηλαδή ότι η χρήση του UAV για την έρευνα επί των κατολισθήσεων αποτελεί μια αμφίδρομη διαδικασία που χρειάζεται συνεχή έλεγχο (Σχήμα 5.7).



Σχήμα 5.7. Διάγραμμα ροής των διαφορετικών σταδίων στη χρήση UAV για την έρευνα επί των κατολισθήσεων.

6. ΑΝΑΛΥΣΗ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Με την ολοκλήρωση της παραπάνω μεθοδολογίας εξήχθησαν πολύ χρήσιμα δεδομένα σχετικά με τους μηχανισμούς που ευθύνονται στην εκδήλωση των κατολισθητικών φαινομένων.

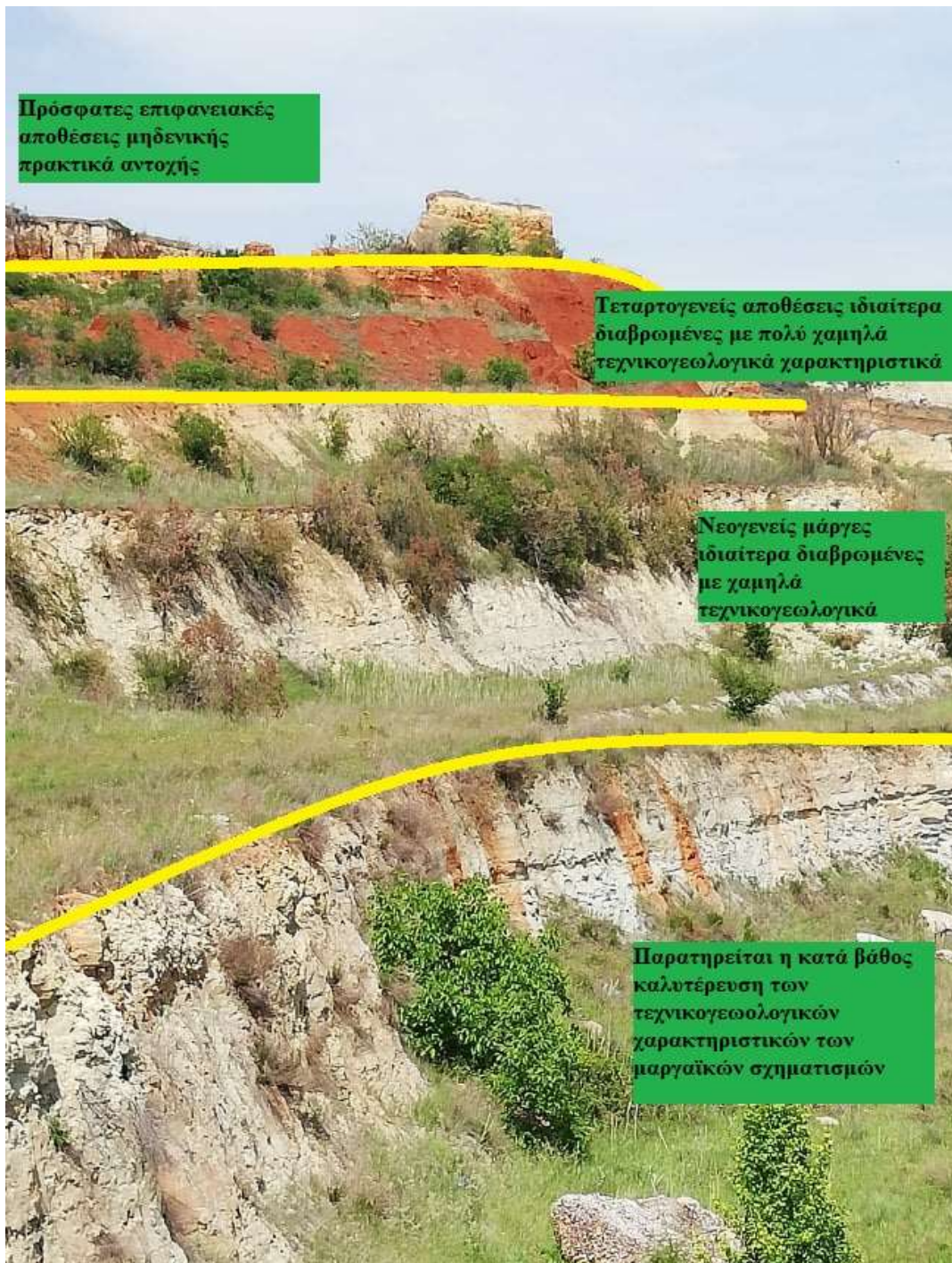
Από την **επί τόπου έρευνα** αναγνωρίστηκαν όλες οι σημαντικές δομές που υπήρχαν στα ορυχεία και έγινε μια πρώτη ποιοτική ερμηνεία των πιθανών τύπων των κατολισθήσεων. Ενώ στη συνέχεια με τη συνένωση των στοιχείων που προήλθαν από το UAV κατανοήθηκαν πλήρως τα κατολισθητικά φαινόμενα.

6.1. ΟΡΥΧΕΙΟ ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ

Από την **επί τόπου** παρατήρηση βρέθηκαν

- Ότι υπάρχει έντονη κατακόρυφη τεχνικογεωλογική διαφοροποίηση του εδαφικού υλικού (Φωτογραφία 6.1)
- Ότι τα ανώτερα υψομετρικά στρώματα που αποτελούνται από χαλαρά ιζήματα και μάργες (Τεταρτογενούς και Νεογενούς αντίστοιχα) είναι έντονα διαβρωμένα (Φωτογραφία 6.2).
- Η ύπαρξη διάσπαρτων δεκάδων μικρών και μεγάλων εφελκυστικών ρωγμών ιδιαίτερα στα ανώτερα στρώματα (Φωτογραφία 6.3).
- Το έντονο καθεστώς υγρασίας που σε συνδυασμό με την αδιαπερατότητα των σχηματισμών αυξάνει την πίεση πόρων βοηθώντας την ολίσθηση
- Η επιλεκτική ευστάθεια των πρανών με τις κατολισθήσεις να συντελούνται μόνο στο πρανές με παράταξη ΒΒΔ-ΝΝΑ και βύθιση προς τα ΝΝΔ
- Η ύπαρξη δύο (2) στον αριθμό σχετικά μεγάλων (για τέτοια κλίμακα έργου) κατολισθήσεων
- Κάποια πολύ χαρακτηριστικά γνωρίσματα όπως είναι το φρύδι, το κυρίως σώμα και το πόδι που δημιουργούνται κατά την διάδοση της οδηγούν εύκολα σε μια πρώτη αρκετά ασφαλή ερμηνεία του τύπου ολίσθησης (Φωτογραφίες 6.4 και 6.5)
- Ο ευνοϊκός προσανατολισμός ορισμένων πρανών για ολίσθηση σε αντίθεση άλλα (Φωτογραφία 6.6)

- Τέλος η πιθανότητα ένωσης των κατολισθήσεων 1 και 2 σε μια καινούργια μεγάλη που θα περιλαμβάνει το σύνολο τους και το χώρο ανάμεσα τους (Φωτογραφία 6.7)



Φωτογραφία 6.1. Παρουσιάζεται η τεχνικογεωλογική κατακόρυφη διαφοροποίηση των σχηματισμών στο ορυχείο του Αμυνταίου.



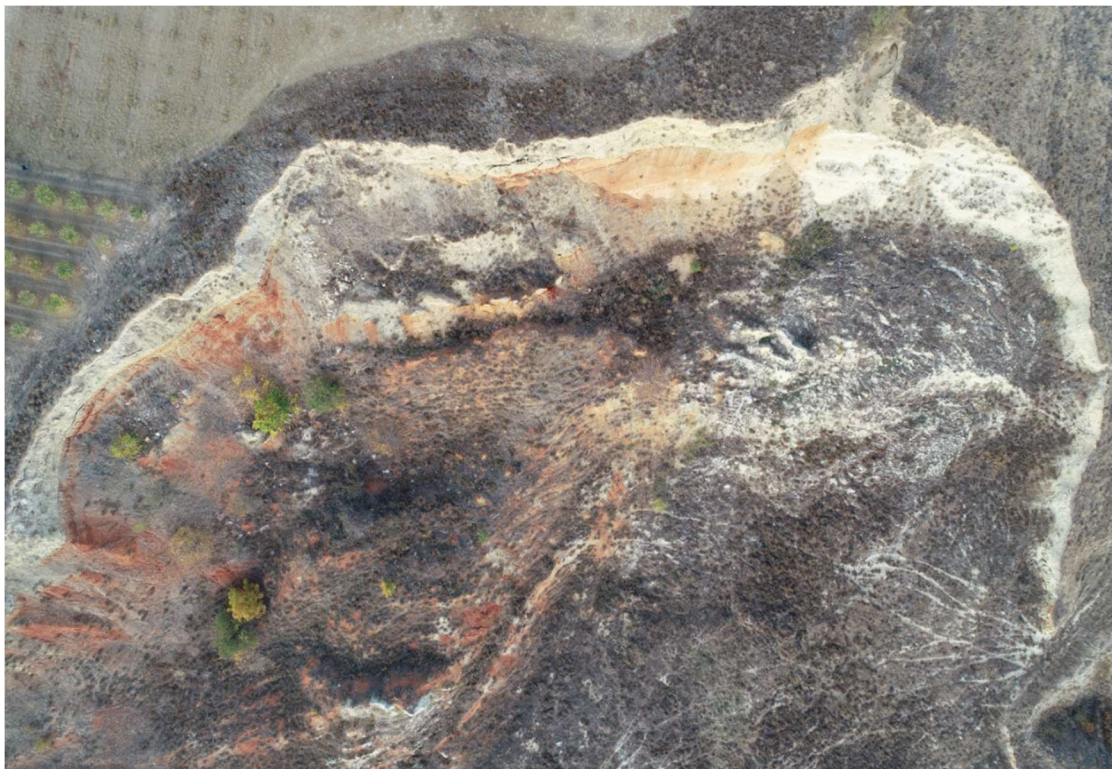
Φωτογραφία 6.2. Εξαιρετικά διαβρωμένη μάργα.



Φωτογραφία 6.3. Χαρακτηριστική ρωγμή εφελκυσμού



Φωτογραφία 6.4. Χαρακτηριστικό γνώρισμα (φρύδι) περιστροφικής ολίσθησης. Αναφέρεται στην αριστερή κατολίσθηση όπως κοιτάει κανείς από τα κατάντη.



Φωτογραφία 6.5. Χαρακτηριστικό γνώρισμα (φρύδι) περιστροφικής ολίσθησης. Αναφέρεται στην δεξιά κατολίσθηση όπως κοιτάει κανείς από τα κατάντη.



Φωτογραφία 6.6. Προσανατολισμός πρανούς λιγότερο ευνοϊκός στην ολίσθηση

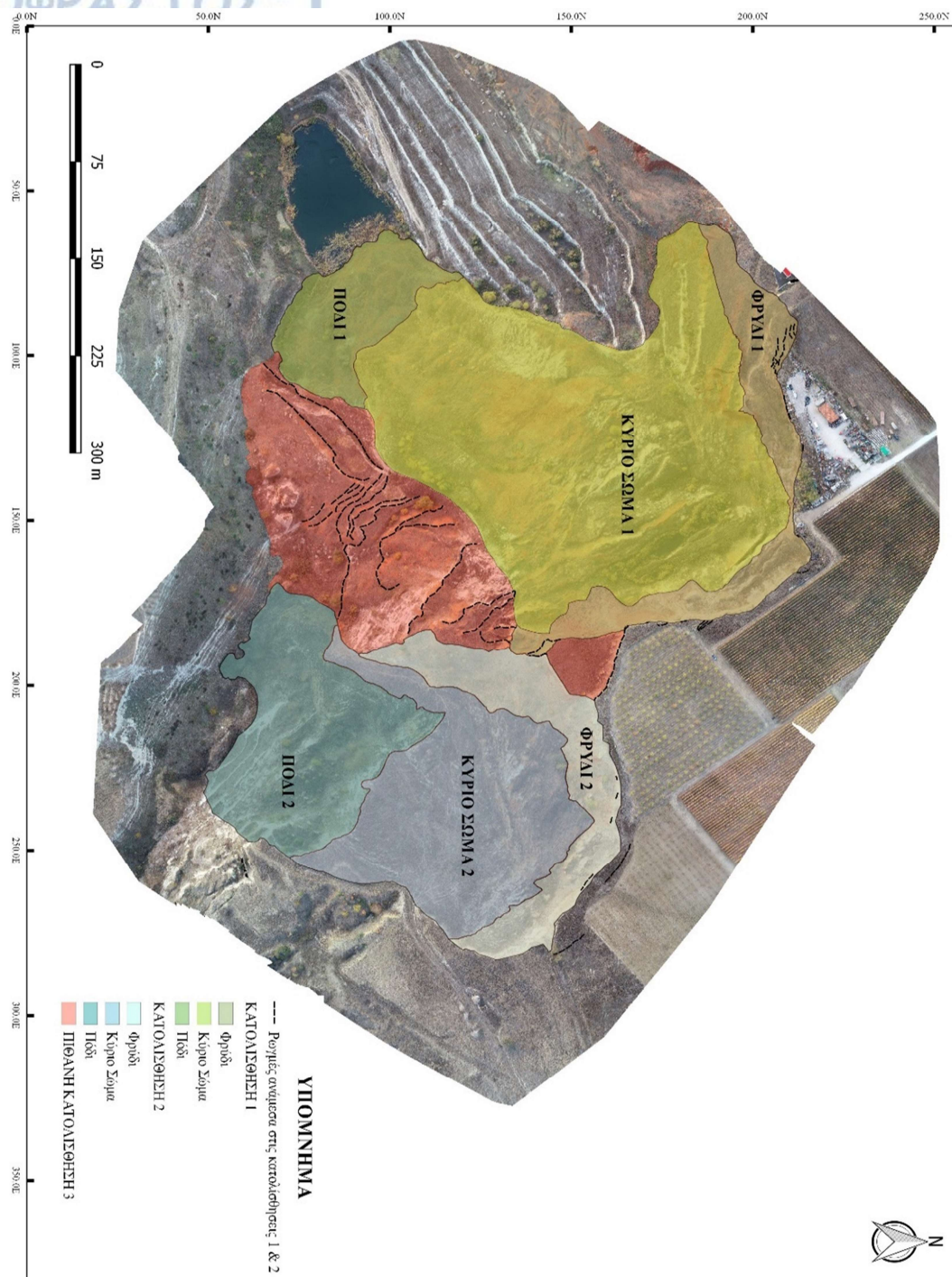


Φωτογραφία 6.7. Η ένωση των δύο κατολισθήσεων έχει υποχωρήσει πιθανός οδηγώντας σε μια τρίτη μεγάλη.

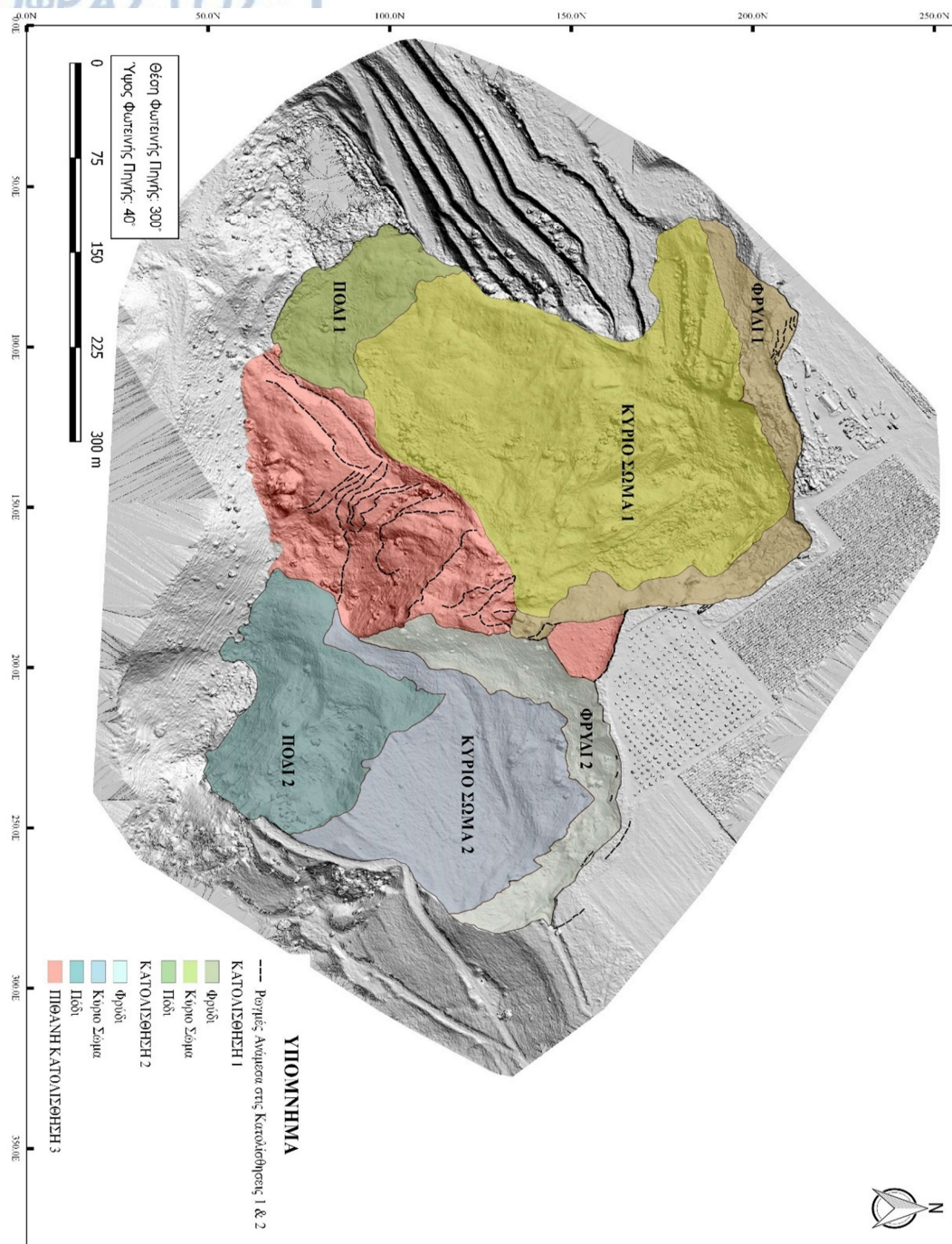
Με την αποκωδικοποίηση των δεδομένων από τη χρήση του UAV και την επακριβή χαρτογράφηση των κατολισθήσεων σε περιβάλλον GIS προέκυψαν τα ακόλουθα:

- Επαληθεύτηκε η εκτίμηση για την ύπαρξη 2 κατολισθήσεων
- Επαληθεύτηκε η εκτίμηση για τον μηχανισμό ολίσθησης τους.

Είναι αυτός της περιστροφικής ολίσθησης και παρουσιάζονται με ακρίβεια τα διαφορετικά τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά του για κάθε ολίσθηση (Χάρτες 6.1 & 6.2)



Χάρτης 6.1. Τεχνικογεωλογικός χάρτης του ορυχείου στο Αμύνταιο βασισμένος στο ορθομοσαϊκό που αποτυπώνει δύο (2) περιστροφικού τύπου αστοχίες με προσδιορισμένα τα βασικά τους στοιχεία. Οι αστοχίες διαδραματίζονται σε μαργαϊκούς σχηματισμούς. Το κόκκινο χρώμα αντικατοπτρίζει μία πιθανή νέα μεγάλη κατολίθηση από την συνένωση των δύο μικρότερων. Παρατηρούνται επίσης αρκετές ρωγμές εφελκυσμού που συνηγορούν σε αυτό το σενάριο.



ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΩΝ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΣΚΙΑΣΜΕΝΟΥ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ

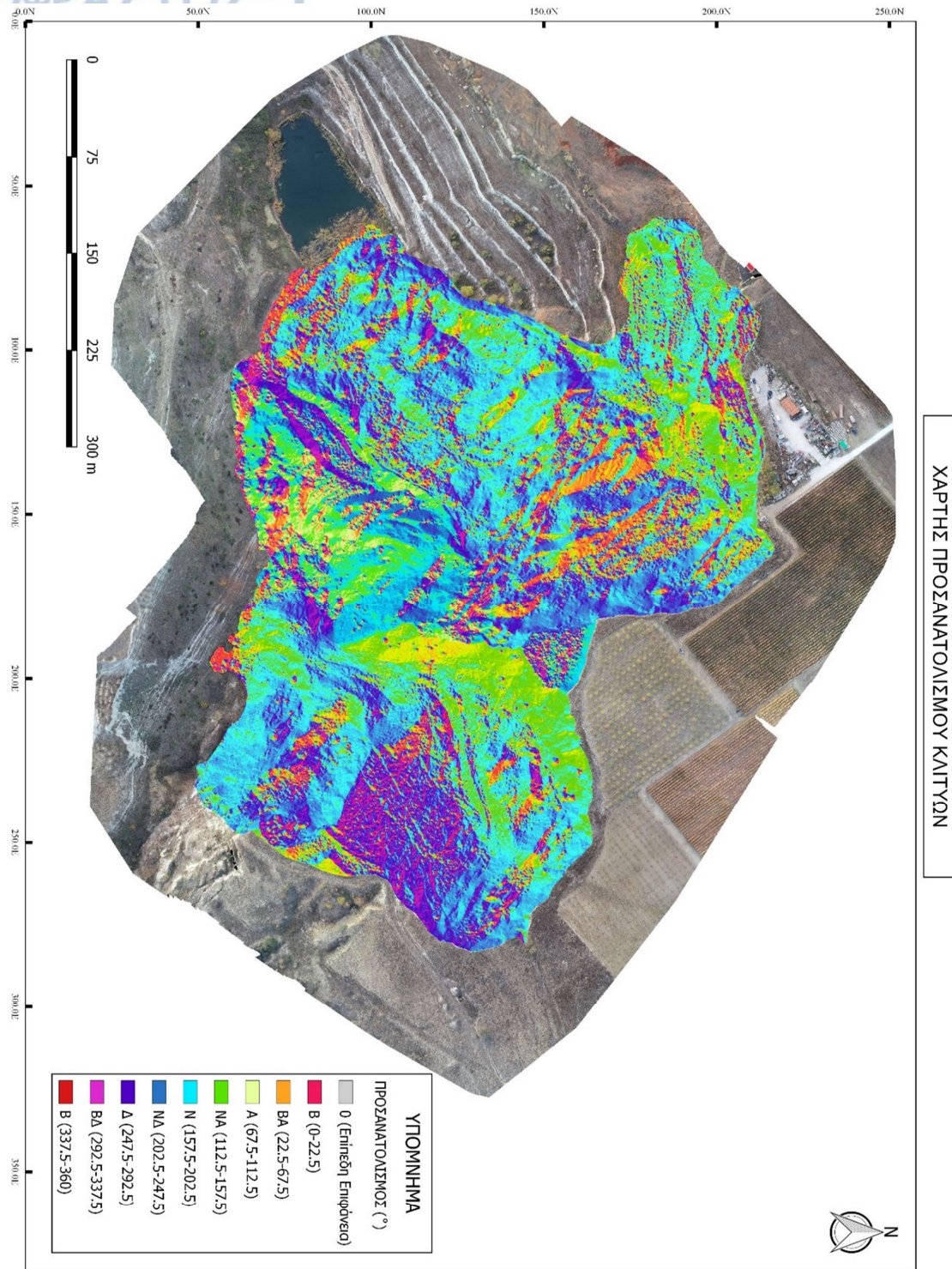
Χάρτης 6.2. Χάρτης του ορυχείου στο Αμύνταιο βασισμένος στη τοπογραφική παράμετρο του σκιασμένου αναγλύφου που αποτυπώνει δύο (2) περιστροφικού τύπου αστοχίες με προσδιορισμένα τα βασικά τους στοιχεία. Οι αστοχίες διαδραματίζονται σε μαργαϊκούς σχηματισμούς. Το κόκκινο χρώμα αντικατοπτρίζει μία πιθανή νέα μεγάλη κατολίση από την συνένωση των δύο μικρότερων. Παρατηρούνται επίσης αρκετές ρωγμές εφελκυσμού που συνηγορούν σε αυτό το σενάριο.

Τέλος υπολογίστηκε με βάση την ερμηνεία των τοπογραφικών παραμέτρων Aspect (Χάρτης 6.3) και Slope (Χάρτης 6.4) ότι για να ολισθήσουν τα πρανή θα πρέπει οι διευθύνσεις κλίσεων και οι γωνίες κλίσεων τους (Πίνακα 6.1) να είναι:

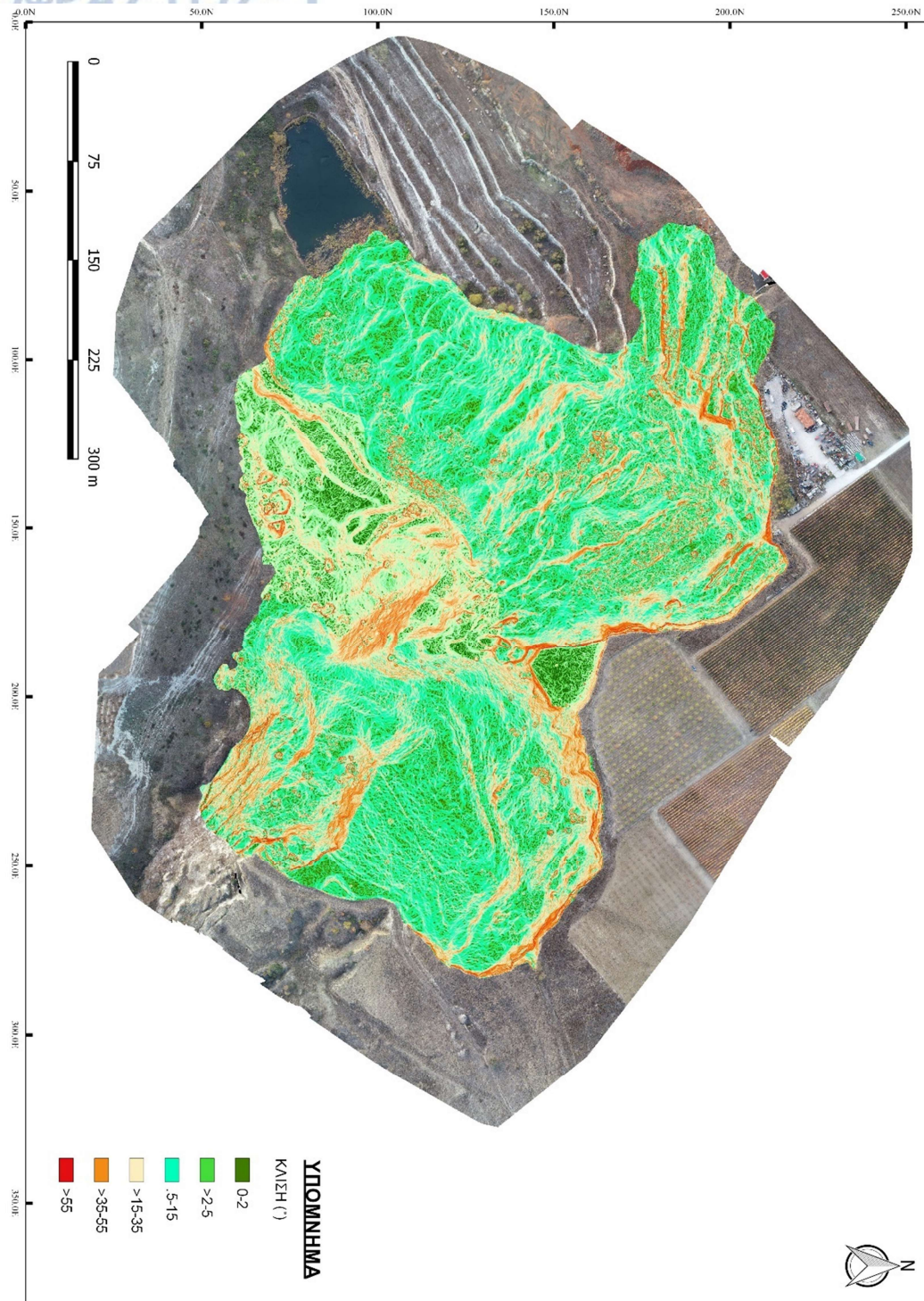
Για περιστροφική ολίσθηση πρέπει: Διεύθυνση Κλίσης Πρανούς $\approx 203^\circ$ (NNΔ) και Γωνία Κλίσης Πρανούς $\varphi > 55^\circ$

Πίνακας 6.1. Περιλαμβάνει τις δύο κατολισθήσεις που απαντώνται στο ορυχείο του Αμώνταιου με τις τιμές των τοπογραφικών τους παραμέτρων. Όσον αφορά τον προσανατολισμό τους, φαίνεται ότι επιρρεπή στην ολίσθηση είναι τα πρανή με διεύθυνση κλίσης περίπου ίση με 203° NNΔ. Ακόμη οι κατολισθήσεις 1 & 2, δηλαδή τα πρανή στα οποία αυτές έγκεινται έχουν πλέον πολύ μικρές γωνίες κλίσεις διότι έχουν ήδη ολισθήσει, βρίσκονται σε μια παραμένουσα κατάσταση. Όμως η γωνία κλίσης της πιθανής τρίτης αστοχίας όπως φαίνεται στο χάρτη 6.4 αντιπροσωπεύει την αρχική κλίση.

ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗ	ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΚΛΙΤΥΩΝ	ΓΩΝΙΑ ΚΛΙΣΗΣ
1	203° NNΔ	$5-15^\circ$
2	203° NNΔ	$5-15^\circ$
ΕΝΔΕΧΟΜΕΝΗ 3	ΠΕΡΙΠΟΥ ΙΔΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ	$<55^\circ$



Χάρτης 6.3. Χάρτης που ανταποκρίνεται στην τοπογραφική παράμετρο του Προσανατολισμού Κλιτύων στο ορυχείο του Αμνταίου. Γίνεται εμφανές από την κατανομή της χρωματικής κλίμακας ότι υπάρχει μια ροπή των κατολισθήσεων προς τα ΝΔ και Δ (202.5-292.5°).



Χάρτης 6.4. Χάρτης που ανταποκρίνεται στην τοπογραφική παράμετρο των Κλίσεων στο ορυχείο του Αμυνταίου. Γίνεται εμφανές από την κατανομή της χρωματικής κλίμακας ότι οι γωνίες κλίσεις των δύο κατολισθήσεων έχουν σχετικά μικρές τιμές (2-15°) σε αντίθεση με τον ενδιάμεσο τους χώρο, δηλαδή την περιοχή της ενδεχόμενης μεγάλης κατολίσθησης όπου παρουσιάζονται αυξημένες τιμές (>35°) και συνεπώς μεγαλύτερη επιδεκτικότητα σε ολίσθηση.

6.2 ΟΡΥΧΕΙΟ ΣΕΡΒΙΩΝ

Από την **επί τόπου** παρατήρηση προέκυψαν τα παρακάτω:

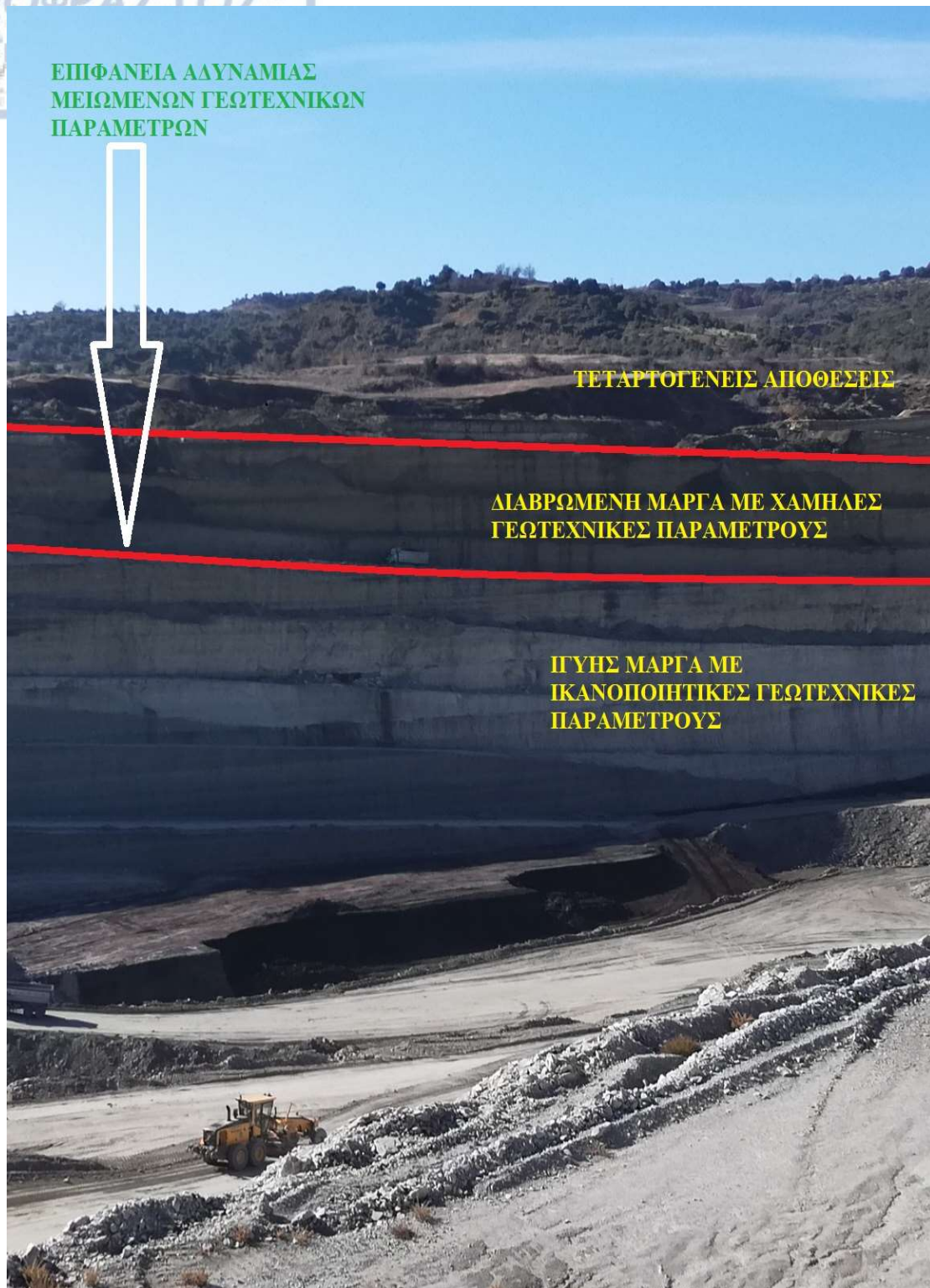
Διαπιστώθηκε η γεωμετρία του ορύγματος. Τρία διαφορετικά πρηνή με ελάχιστο ύψος το καθένα από αυτά ίσο με 80m. Τα πρηνή διαχωρίζονταν με αναβαθμίδες μέσου ύψους 10m (Φωτογραφία 6.8).

- Μετρήθηκαν τα γεωμετρικά στοιχεία της μάργας (διεύθυνση κλίσης/γωνίας κλίσης) μέσω πυξίδας Schmidt, με τιμή στις $010^{\circ}/38^{\circ}$ αντίστοιχα
- Και εδώ όπως και στο Αμύνταιο παρατηρήθηκε έντονη κατακόρυφη τεχνικογεωλογική διαφοροποίηση του εδαφικού υλικού (Φωτογραφία 6.9).
- Και εδώ όπως και στο Αμύνταιο παρατηρήθηκε ότι τα ανώτερα υψομετρικά στρώματα που αποτελούνται από χαλαρά ιζήματα και μάργες (Τεταρτογενούς και Νεογενούς αντίστοιχα) είναι έντονα διαβρωμένα (Φωτογραφία 6.10).
- Προσδιορίστηκε η επιφάνεια αδυναμίας ανάμεσα στην υγιή και στην αποσαθρωμένη μάργα. Η επιφάνεια αυτή αποτελεί συνήθως το όριο εμφάνισης περιστροφικών κατολισθήσεων (Φωτογραφία 6.9)
- Διαπιστώθηκε το έντονο καθεστώς υγρασίας που σε συνδυασμό με την αδιαπερατότητα των σχηματισμών αυξάνει την πίεση πόρων βοηθώντας την ολίσθηση (Φωτογραφία 6.11)
- Διαπιστώθηκε η ύπαρξη πάγου. Ο πάγος επηρεάζει καταλυτικά τις κατολισθήσεις με την άσκηση πίεσης στα τοιχώματα των στρωμάτων και την επακόλουθη διάνοιξη τους με το λιώσιμο του (Φωτογραφία 6.11)
- Εντοπίστηκαν και μετρήθηκαν 2 τεκτονικές δομές που αποτελούν κανονικά ρήγματα. Το πρώτο από αυτά ($120^{\circ}/60^{\circ}$) που δεν παρουσιάζεται σε κάποιον επακόλουθο χάρτη αφορούσε την επαφή του υποκείμενου ασβεστόλιθου με τον μαργαϊκό σχηματισμό και δεν επηρεάζει τεχνικογεωλογικά την κατασκευή. Το δεύτερο ρήγμα που βρίσκεται στο Πρανές 1 έχει γεωμετρικά στοιχεία $047^{\circ}/60^{\circ}$ και διαδραματίζει ενεργό ρόλο στις κατολισθήσεις δημιουργώντας σφήνες (Φωτογραφία 6.12).
- Εντοπίστηκαν διαφορετικού τύπου κατολισθήσεις. Δηλαδή βρέθηκαν τόσο περιστροφικές όσο και σφηνοειδείς ολισθήσεις, με τις πρώτες να διαδραματίζονται στα ψηλότερα τμήματα του ορυχείου-διαβρωμένα

στρώματα-ενώ τις δεύτερες να λαμβάνουν χώρα σε βαθύτερες περιοχές -υγής μάργα- (Φωτογραφίες 6.13 και 6.14).



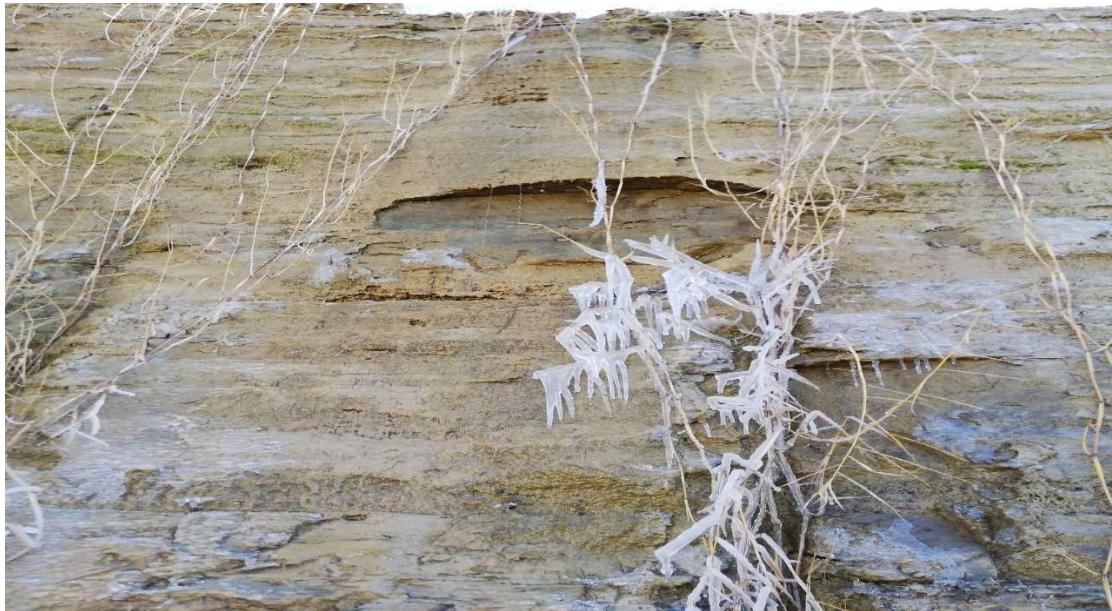
Φωτογραφία 6.8. Απεικονίζεται το μεγάλο ύψους του πρανούς στο σύνολο του και η κάθε αναβαθμίδα με μέσο ύψος περί τα 10m έκαστη.



Φωτογραφία 6.9. Τεχνικογεωλογική απαθανάτιση των διαφορετικών γεωλογικών μονάδων στο ορυχείο, άποψη Πρανούς 3.



Φωτογραφία 6.10. Εξαιρετικά διαβρωμένη μάργα. Διακρίνεται επίσης η στρώση της.



Φωτογραφία 6.11. Ύπαρξη υγρασίας και παγοποίηση του νερού μέσα και περιμετρικά των στρώσεων της μάργας.



Φωτογραφία 6.12. Απεικονίζεται το κανονικό ρήγμα που διατρέχει με μεγάλη γωνία κλίσης τον υποκείμενο λιγνίτη και την υγιή μάργα. Τα στοιχεία του είναι: $047^{\circ}/60^{\circ}$ και εντοπίζεται στο πρανές 1.

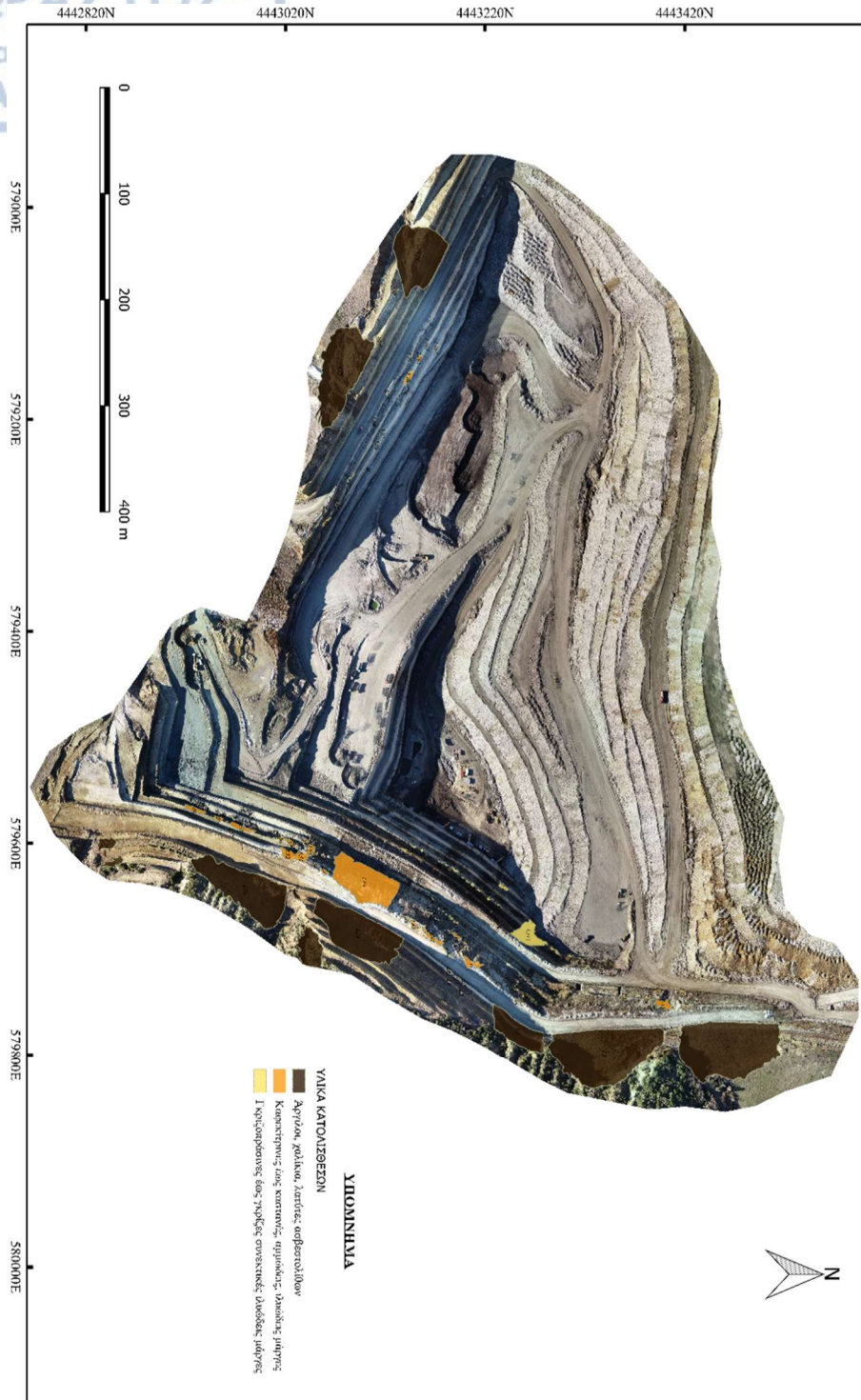


Φωτογραφία 6.13. Τυπική περίπτωση περιστροφικής ολίσθησης όπως αυτή συντελείται στα ανώτερα επίπεδα του ορυχείου.

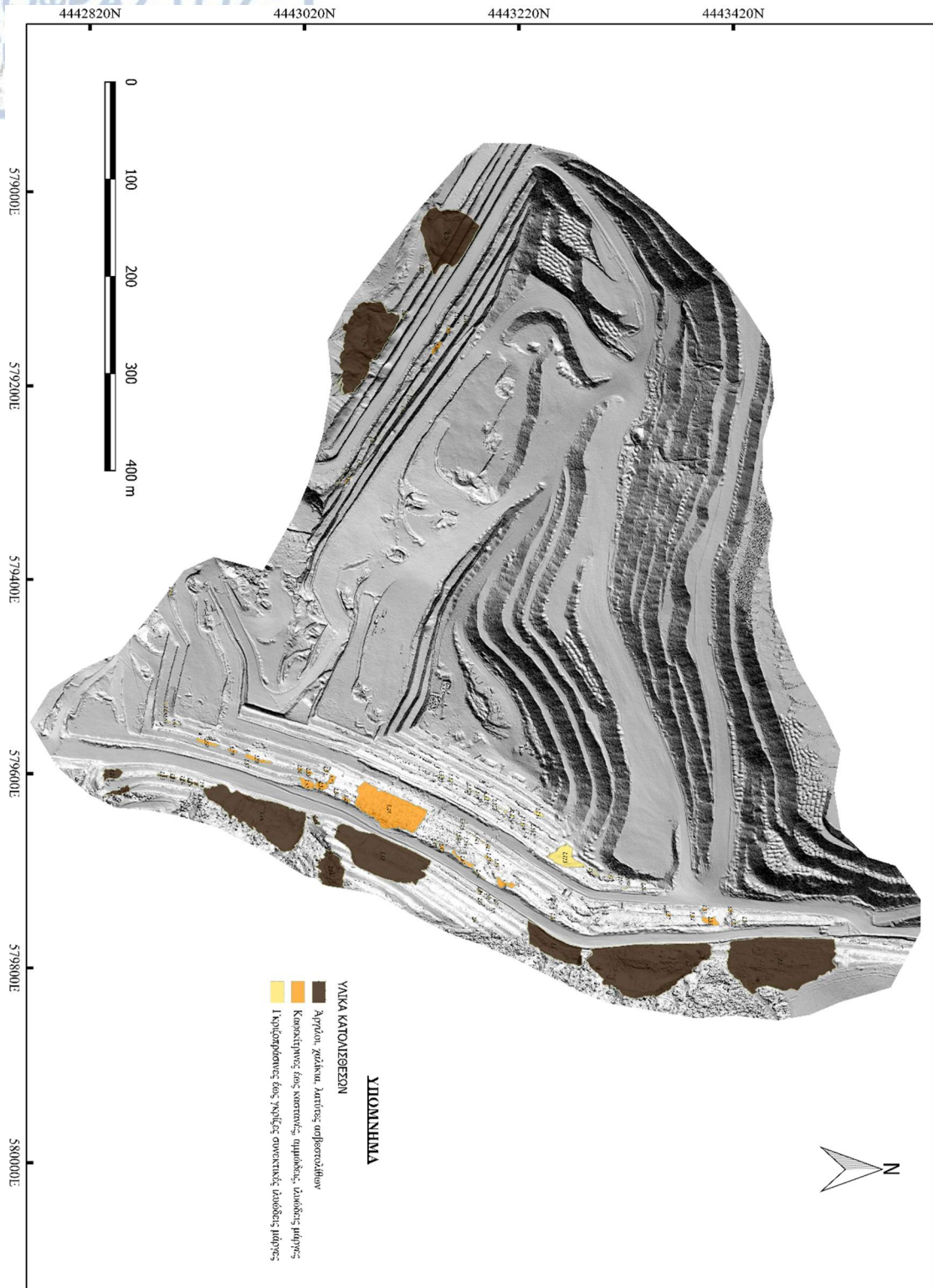


Φωτογραφία 6.14. Τυπική περίπτωση μικροσφήνας όπως αυτή συντελείται στα μεσαία επίπεδα του ορυχείου, συνήθως οφείλεται σε τομή διακλάσεων με την στρώση και πιθανή παρουσία κάποιου ρήγματος.

Με την αποκωδικοποίηση των δεδομένων που προήλθαν από τη χρήση του UAV και μέσω μιας επακριβούς χειροκίνητης χαρτογράφησης στο περιβάλλον GIS δημιουργήθηκαν δύο μοντέλα που αποτυπώνουν 147 διαφορετικές αστοχίες (Χάρτες 6.5 και 6.6). Από αυτές οι 109 ορίζονται ως περιστροφικού τύπου ενώ οι υπόλοιπες 38 ως σφηνοειδείς ολισθήσεις

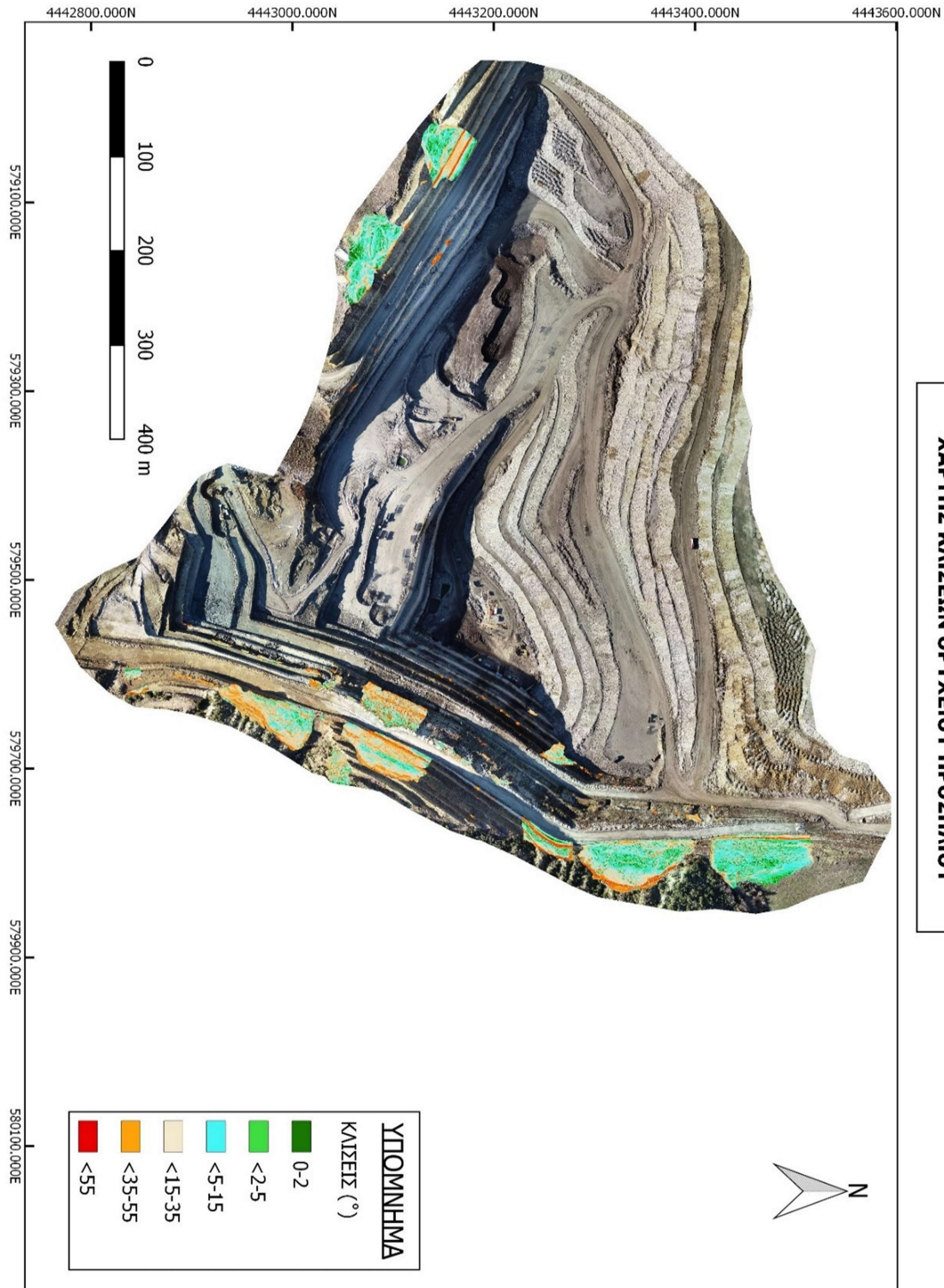


Χάρτης 6.5. Χάρτης του ορυχείου Σερβίων βασισμένος στο ορθομοσαϊκό που απεικονίζει τις 147 διαφορετικές κατολισθήσεις που έχουν εντοπιστεί και τις κατηγοριοποιεί ανάλογα με το υλικό στο οποίο λαμβάνουν χώρα.



ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΟΡΥΧΕΙΟΥ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΟΡΥΓΜΑΤΟΣ ΛΙΠΝΙΤΗ, ΣΕΡΒΙΑ ΚΟΖΑΝΗΣ

Χάρτης 6.6. Χάρτης του ορυχείου Σερβίων βασισμένος στη τοπογραφική παράμετρο του σκιασμένου αναγλύφου που απεικονίζει τις 147 διαφορετικές κατολισθήσεις που έχουν εντοπιστεί και τις κατηγοριοποιεί ανάλογα με το υλικό στο οποίο λαμβάνουν χώρα.

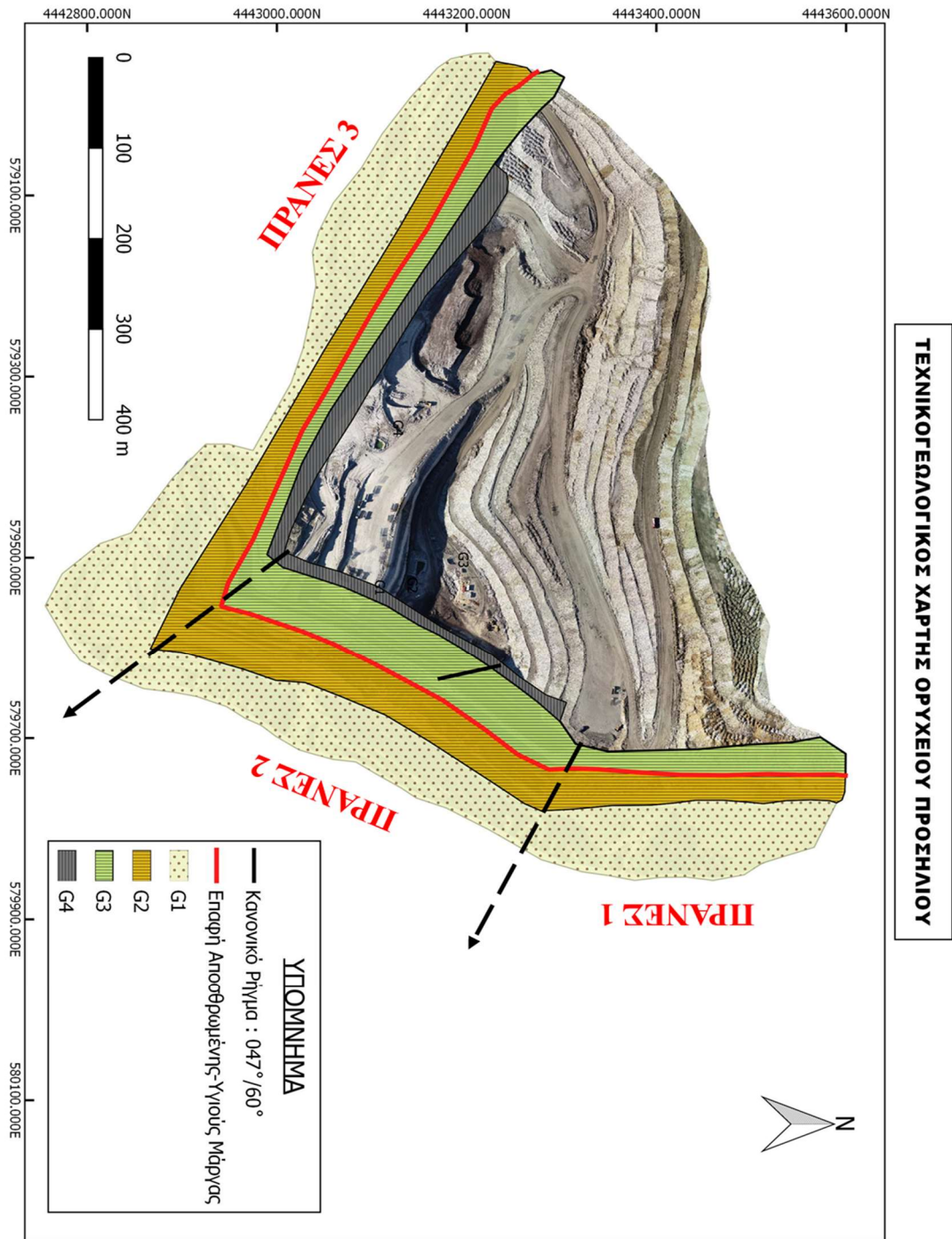


Χάρτης 6.9. Χάρτης που ανταποκρίνεται στην τοπογραφική παράμετρο των Κλίσεων στο ορυχείο των Σερβίων. Γίνεται εμφανές από την κατανομή της χρωματικής κλίμακας ότι οι γωνίες κλίσεις των κατολισθήσεων στο πρανές με παράταξη Β-Ν είναι σχετικά μικρές ($< 5^\circ$), στο πρανές με παράταξη ΒΑ-ΝΔ κυμαίνονται ανάμεσα σε μεσαίες έως μεγάλες (15-55 $^\circ$), ενώ στο πρανές με παράταξη ΒΔ-ΝΑ χαρακτηρίζονται ως μέσες (15-35 $^\circ$).

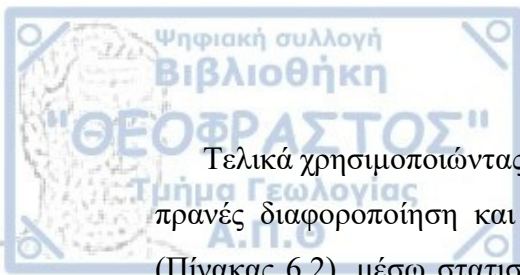
Μέσω της αξιολόγησης των διαφορετικών κατολισθήσεων σε σχέση με το πρηνές στο οποίο βρίσκονται, στα στρώματα στα οποία διαδραματίζονται και από την ήδη υπάρχουσα γεωτεχνική αξιολόγηση των σχηματισμών του ορυχείου (Πίνακας 6.2) (Μαρίνος, 2012), τα τρία διαφορετικά πρηνή κατηγοριοποιήθηκαν εκ νέου καθ' ύψος με βάση το γεωτεχνικό μέλος (Χάρτης 6.7).

Πίνακας 6.2. Ο πίνακας παρουσιάζει την γεωτεχνική αξιολόγηση των σχηματισμών του ορυχείου στα Σέρβια (Μαρίνος, 2012).

<u>ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ</u>	<u>ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ</u>	<u>C (MPa)</u>	<u>Φ (°)</u>	<u>γ (KN/m³)</u>
G1	Μαλακή καφέ ιλυώδης άργιλος με χάλικες (τεταρτογενή)	10	30	19
G2	Εναλλαγές καφεκίτρινης συνεκτικής ιλυώδους και αμμώδους μάργας (αποσαθρωμένη ζώνη)	20	24	60
G3	Γκριζοπράσινη έως γκρίζα συνεκτική μάργα (μη αποσαθρωμένη ζώνη)	20	35	150
G4	Λιγνίτης και ανθρακομιγής μάργα	20	50	35
O	Ασθενής επιφάνεια ανάμεσα στην υγρή και την αποσαθρωμένη μάργα	5	5	18
F	Επιφάνειες ρηγμάτων	5	5	18



Χάρτης 6.7. Απλοποιημένος τεχνικογεωλογικός χάρτης του ορυχείου των Σερβίων. Διακρίνονται τα 3 διαφορετικά πρηνή σύμφωνα με τα οποία έχει γίνει ο διαχωρισμός και οι 4 διαφορετικές τεχνικογεωλογικές ομάδες και η αποσθρωμένη ζώνη ανάμεσα στα G2 και G3 όπως έχουν κατηγοριοποιηθεί από τον Μαρίνο (2012). Τέλος σημειώνεται η θέση ενός κανονικού ρήματος ενδεικτικά για την τεκτονική κατάσταση των στρωμάτων.



Τελικά χρησιμοποιώντας την παραπάνω θεώρηση, δηλαδή την κατά ύψος και κατά πρηνές διαφοροποίηση και λαμβάνοντας στοιχεία από τον συγκεντρωτικό πίνακα (Πίνακας 6.2), μέσω στατιστικής ανάλυσης προέκυψαν τα ακόλουθα αποτελέσματα για την ευστάθεια των πρηνών.

Για το ΠΡΑΝΕΣ 1 δηλαδή αυτό με παράταξη B-N:

Για την ενότητα G1:

- Για διεύθυνση κλίσης πρηνούς ΝΔ και γωνία κλίσης $\varphi > 20^\circ$ = Περιστροφική ολίσθηση

Για την ενότητα G2:

- Για διεύθυνση κλίσης πρηνούς Δ και γωνία κλίσης $\varphi > 20^\circ$ = Περιστροφική ολίσθηση
- Για ομάδα ασυνεχειών με διεύθυνση κλίσης ΝΔ και γωνία κλίσης $\varphi > 40^\circ$ = Σφηνοειδής ολίσθηση

Για την ενότητα G3:

- Για διεύθυνση κλίσης πρηνούς Δ και γωνία κλίσης $\varphi > 40^\circ$ = Περιστροφική Ολίσθηση
- Για ομάδα ασυνεχειών με διεύθυνση κλίσης ΒΑ και ΝΔ και γωνία κλίσης $\varphi > 60$ συναρτήσσει της μάργας ($010^\circ/40^\circ$) = Σφηνοειδής ολίσθηση

Για το ΠΡΑΝΕΣ 2 δηλαδή αυτό με παράταξη BBA-NNΔ έχουμε:

Για την ενότητα G1:

- Για διεύθυνση κλίσης πρανούς ΒΔ και $\varphi > 20^\circ$ = Περιστροφική ολίσθηση
- Για διεύθυνση κλίσης πρανούς Δ και γωνία κλίσης $\varphi_p > 20^\circ$ = Περιστροφική Ολίσθηση
- Για διεύθυνση κλίσης πρανούς ΝΔ και γωνία κλίσης $\varphi_p > 40^\circ$ = Περιστροφική Ολίσθηση

Για την ενότητα G2:

- Για διεύθυνση κλίσης πρανούς ΒΔ και $\varphi > 20^\circ$ = Περιστροφική ολίσθηση
- Για διεύθυνση κλίσης πρανούς Δ και γωνία κλίσης $\varphi_p > 20^\circ$ = Περιστροφική Ολίσθηση
- Για ομάδα ασυνεχειών με διεύθυνση κλίσης ΒΑ και ΝΔ και γωνία κλίσης $\varphi_a > 60^\circ$ συναρτήσει της μάργας ($010^\circ/40^\circ$) = Σφηνοειδής ολίσθηση

Για την ενότητα G3:

- Για διεύθυνση κλίσης πρανούς ΒΔ και $\varphi > 20^\circ$ = Περιστροφική ολίσθηση
- Για διεύθυνση κλίσης πρανούς Δ και γωνία κλίσης $\varphi_p > 20^\circ$ = Περιστροφική Ολίσθηση
- Για ομάδα ασυνεχειών με διεύθυνση κλίσης ΒΑ και ΝΔ και γωνία κλίσης $\varphi_a > 60^\circ$ συναρτήσει της μάργας ($010^\circ/40^\circ$) = Σφηνοειδής ολίσθηση

Για το ΠΡΑΝΕΣ 3 δηλαδή αυτό με παράταξη ΔΒΔ-ΑΝΑ έχουμε:

Για την ενότητα G1:

- Για διεύθυνση κλίσης πρανούς ΒΑ και $\phi > 20^\circ$ = Περιστροφική ολίσθηση

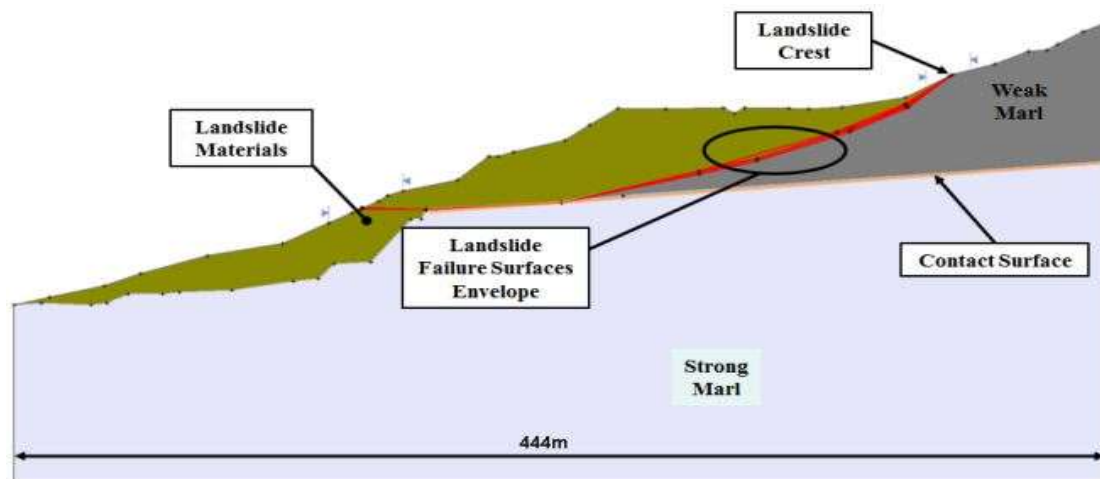
Για την ενότητα G2:

- Για διεύθυνση κλίσης πρανούς ΒΑ και $\phi > 20^\circ$ = Περιστροφική ολίσθηση
- Για ομάδα ασυνεχειών με διεύθυνση κλίσης ΒΑ και ΒΔ και γωνία κλίσης $\phi > 60$ συναρτήσει της μάργας (010°/40°) = Σφηνοειδής ολίσθηση
- Για ομάδα ασυνεχειών με διεύθυνση κλίσης ΒΑ και ΝΔ και γωνία κλίσης $\phi > 40$ συναρτήσει της μάργας (010°/40°) = Σφηνοειδής ολίσθηση

Για την ενότητα G3:

- Για διεύθυνση κλίσης πρανούς ΒΑ και $\phi > 40^\circ$ = Περιστροφική ολίσθηση
- Για διεύθυνση κλίσης πρανούς Δ και γωνία κλίσης $\phi > 20^\circ$ = Περιστροφική Ολίσθηση
- Για ομάδα ασυνεχειών με διεύθυνση κλίσης ΒΑ και ΒΔ και γωνία κλίσης $\phi > 40^\circ$ συναρτήσει της μάργας (010°/40°) = Σφηνοειδή ολίσθηση

Τέλος παρατίθεται και ένας προτεινόμενος μηχανισμός αστοχίας για το πρανές 1 του ορυχείου από προηγούμενη μελέτη (Σχήμα 6.1) (Prountzopoulos et al., 2014).



Σχήμα 6.1. Ανάλυση μηχανισμού περιστροφικής ολίσθησης στο ορυχείο του Προσηλίου (Prountzopoulos et al., 2014).

Όσον αφορά την διαδικασία της ογκομέτρησης, έδειξε ότι οι ολισθήσεις κυμαίνονται από $0.28\text{m}^3 \pm 30.00\%$ για τις μικρές κυρίως σφηνοειδείς ολισθήσεις του Προσηλίου μέχρι και $531.71\text{m}^3 \pm 0.74\%$ για το ορυχείο στο Αμύνταιο.

Πίνακας 6.3. Περιλαμβάνει το σύνολο των 147 αναγνωρισμένων κατολισθήσεων στο ορυχείο των Σερβίων πλήρως προσδιορισμένες. Συγκεκριμένα αναφέρονται με τη σειρά προβολής τους: α) το όνομα τους, β) το γεωϊλικό που τους αντιστοιχεί, γ) το γεωτεχνικό μέλος που υπάγονται, δ) η γεωτεχνική τους ενότητα, ε) η συνοχή C (MPa) που παρουσιάζουν, στ) η γωνία τριβής φ (°), ζ) το φαινόμενο βάρος γ (KN/m³), η) ο τύπος της ολίσθησης, θ) ο προσανατολισμός τους (°) και ι) η γωνία κλίσης τους (°). Το α) προέρχεται από την ονομασία που τους δόθηκε κατά τη χαρτογράφηση, τα β), γ), δ), ε), στ) και ζ) προέρχονται από τον Μαρίνο (2012), τέλος τα η) θ), ι) από την ερμηνεία των τοπογραφικών παραμέτρων: Προσανατολισμού Κλιτύων και Γωνιών αντίστοιχα. Η χρωματική διαφοροποίηση αντιστοιχεί σε διαφορετικές γεωτεχνικές ενότητες.

Ο Ν Ο Μ Α	ΓΕΩΥΛΙΚΟ	ΓΕΩΤΕ ΧΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ	C (M Pa)	Φ (°)	γ (K N/ m ³)	ΤΥΠ ΟΣ	ΠΡΟΣΑ ΝΑΤΟΔΙ ΣΜΟΣ (°)	ΓΩΝΙ Α ΚΛΙΣ ΗΣ (°)
L1	Άργιλοι, χαλίκια, λατούπες ασβεστόλιθων	G1	Μαλακή καφέ ιλυώδης άργιλος με χάλικες (τεταρτογενή)	10	30	19	Περιτροφική	ΝΔ (202,5-247,5)	20-40
L2	Άργιλοι, χαλίκια, λατούπες ασβεστόλιθων	G1	Μαλακή καφέ ιλυώδης άργιλος με χάλικες (τεταρτογενή)	10	30	19	Περιτροφική	ΝΔ (202,5-247,5)	20-40
L3	Άργιλοι, χαλίκια, λατούπες ασβεστόλιθων	G1	Μαλακή καφέ ιλυώδης άργιλος με χάλικες (τεταρτογενή)	10	30	19	Περιτροφική	ΒΔ (292,5-337,5)	20-40
L4	Άργιλοι, χαλίκια, λατούπες ασβεστόλιθων	G1	Μαλακή καφέ ιλυώδης άργιλος με χάλικες (τεταρτογενή)	10	30	19	Περιτροφική	ΒΔ (292,5-337,5)	40-60
L5	Άργιλοι, χαλίκια, λατούπες ασβεστόλιθων	G1	Μαλακή καφέ ιλυώδης άργιλος με χάλικες (τεταρτογενή)	10	30	19	Περιτροφική	ΒΔ (292,5-337,5)	40-60
L6	Άργιλοι, χαλίκια, λατούπες ασβεστόλιθων	G1	Μαλακή καφέ ιλυώδης άργιλος με χάλικες (τεταρτογενή)	10	30	19	Περιτροφική	ΒΔ (292,5-337,5)	40-60
L7	Άργιλοι, χαλίκια, λατούπες ασβεστόλιθων	G1	Μαλακή καφέ ιλυώδης άργιλος με χάλικες (τεταρτογενή)	10	30	19	Περιτροφική	ΒΔ (292,5-337,5)	40-60
L8	Άργιλοι, χαλίκια, λατούπες ασβεστόλιθων	G1	Μαλακή καφέ ιλυώδης άργιλος με χάλικες (τεταρτογενή)	10	30	19	Περιτροφική	ΒΔ (292,5-337,5)	40-60
L9	Άργιλοι, χαλίκια, λατούπες ασβεστόλιθων	G1	Μαλακή καφέ ιλυώδης άργιλος με χάλικες (τεταρτογενή)	10	30	19	Περιτροφική	ΒΔ (292,5-337,5)	40-60
L10	Άργιλοι, χαλίκια, λατούπες ασβεστόλιθων	G1	Μαλακή καφέ ιλυώδης άργιλος με χάλικες (τεταρτογενή)	10	30	19	Περιτροφική	ΒΔ (292,5-337,5)	40-60
L11	Άργιλοι, χαλίκια, λατούπες ασβεστόλιθων	G1	Μαλακή καφέ ιλυώδης άργιλος με χάλικες (τεταρτογενή)	10	30	19	Περιτροφική	ΒΔ (292,5-337,5)	40-60
L12	Άργιλοι, χαλίκια, λατούπες ασβεστόλιθων	G1	Μαλακή καφέ ιλυώδης άργιλος με χάλικες (τεταρτογενή)	10	30	19	Περιτροφική	ΒΔ (292,5-337,5)	40-60
L13	Άργιλοι, χαλίκια, λατούπες ασβεστόλιθων	G1	Μαλακή καφέ ιλυώδης άργιλος με χάλικες (τεταρτογενή)	10	30	19	Περιτροφική	ΒΔ (292,5-337,5)	20-40
L14	Άργιλοι, χαλίκια, λατούπες ασβεστόλιθων	G1	Μαλακή καφέ ιλυώδης άργιλος με χάλικες (τεταρτογενή)	10	30	19	Περιτροφική	Δ (247,5-292,5)	20-40
L15	Άργιλοι, χαλίκια, λατούπες ασβεστόλιθων	G1	Μαλακή καφέ ιλυώδης άργιλος με χάλικες (τεταρτογενή)	10	30	19	Περιτροφική	Δ (247,5-292,5)	20-40

<u>L1</u> 6	Άργιλοι, χαλίκια, λατύπες ασβεστόλιθων	G1	Μαλακή καφέ ιλύοδης άργιλος με χάλικες (τεταρτογενή)	10	3 0	19	Περι στρο φική	BA (292,5- 337,5)	20-40
<u>L1</u> 7	Άργιλοι, χαλίκια, λατύπες ασβεστόλιθων	G1	Μαλακή καφέ ιλύοδης άργιλος με χάλικες (τεταρτογενή)	10	3 0	19	Περι στρο φική	Δ (247,5- 292,5)	40-60
<u>L1</u> 8	Άργιλοι, χαλίκια, λατύπες ασβεστόλιθων	G1	Μαλακή καφέ ιλύοδης άργιλος με χάλικες (τεταρτογενή)	10	3 0	19	Περι στρο φική	Δ (247,5- 292,5)	40-60
<u>L1</u> 2	Άργιλοι, χαλίκια, λατύπες ασβεστόλιθων	G1	Μαλακή καφέ ιλύοδης άργιλος με χάλικες (τεταρτογενή)	10	3 0	19	Περι στρο φική	Δ (247,5- 292,5)	40-60
<u>L2</u> 0	Άργιλοι, χαλίκια, λατύπες ασβεστόλιθων	G1	Μαλακή καφέ ιλύοδης άργιλος με χάλικες (τεταρτογενή)	10	3 0	19	Περι στρο φική	Δ (247,5- 292,5)	40-60
<u>L2</u> 1	Άργιλοι, χαλίκια, λατύπες ασβεστόλιθων	G1	Μαλακή καφέ ιλύοδης άργιλος με χάλικες (τεταρτογενή)	10	3 0	19	Περι στρο φική	Δ (247,5- 292,5)	40-60
<u>L2</u> 2	Άργιλοι, χαλίκια, λατύπες ασβεστόλιθων	G1	Μαλακή καφέ ιλύοδης άργιλος με χάλικες (τεταρτογενή)	10	3 0	19	Περι στρο φική	Δ (247,5- 292,5)	40-60
<u>L2</u> 3	Άργιλοι, χαλίκια, λατύπες ασβεστόλιθων	G1	Μαλακή καφέ ιλύοδης άργιλος με χάλικες (τεταρτογενή)	10	3 0	19	Περι στρο φική	NA (202,5- 247,5)	40-60
<u>L2</u> 4	Άργιλοι, χαλίκια, λατύπες ασβεστόλιθων	G1	Μαλακή καφέ ιλύοδης άργιλος με χάλικες (τεταρτογενή)	10	3 0	19	Περι στρο φική	NA (202,5- 247,5)	20-40
<u>L2</u> 5	Καφεκίτρινες έως καστανές, αμμώδεις, ιλύοδεις μάργες	G2	Εναλλαγές καφεκίτρινης συνεκτικής ιλύοδους μάργας (αποσαθρωμένη ζώνη)	20	2 4	60	Περι στρο φική	BA (22,5- 67,5)	20-40
<u>L2</u> 6	Άργιλοι, χαλίκια, λατύπες ασβεστόλιθων	G1	Μαλακή καφέ ιλύοδης άργιλος με χάλικες (τεταρτογενή)	10	3 0	19	Περι στρο φική	BA (22,5- 67,5)	20-40
<u>L2</u> 7	Άργιλοι, χαλίκια, λατύπες ασβεστόλιθων	G1	Μαλακή καφέ ιλύοδης άργιλος με χάλικες (τεταρτογενή)	10	3 0	19	Περι στρο φική	BA (22,5- 67,5)	60-75
<u>L2</u> 8	Άργιλοι, χαλίκια, λατύπες ασβεστόλιθων	G1	Μαλακή καφέ ιλύοδης άργιλος με χάλικες (τεταρτογενή)	10	3 0	19	Περι στρο φική	BA (22,5- 67,5)	40-60
<u>L2</u> 9	Άργιλοι, χαλίκια, λατύπες ασβεστόλιθων	G1	Μαλακή καφέ ιλύοδης άργιλος με χάλικες (τεταρτογενή)	10	3 0	19	Περι στρο φική	BA (22,5- 67,5)	20-40
<u>L3</u> 0	Καφεκίτρινες έως καστανές, αμμώδεις, ιλύοδεις μάργες	G2	Εναλλαγές καφεκίτρινης, συνεκτικής, ιλύοδους μάργας (αποσαθρωμένη ζώνη)	20	2 4	60	Περι στρο φική	Δ (247,5- 292,5)	20-40
<u>L3</u> 1	Καφεκίτρινες έως καστανές, αμμώδεις, ιλύοδεις μάργες	G2	Εναλλαγές καφεκίτρινης, συνεκτικής, ιλύοδους μάργας (αποσαθρωμένη ζώνη)	20	2 4	60	Περι στρο φική	Δ (247,5- 292,5)	20-40
<u>L3</u> 2	Καφεκίτρινες έως καστανές, αμμώδεις, ιλύοδεις μάργες	G2	Εναλλαγές καφεκίτρινης, συνεκτικής, ιλύοδους μάργας (αποσαθρωμένη ζώνη)	20	2 4	60	Περι στρο φική	Δ (247,5- 292,5)	20-40
<u>L3</u> 3	Καφεκίτρινες έως καστανές, αμμώδεις, ιλύοδεις μάργες	G2	Εναλλαγές καφεκίτρινης, συνεκτικής, ιλύοδους μάργας (αποσαθρωμένη ζώνη)	20	2 4	60	Περι στρο φική	Δ (247,5- 292,5)	40-60
<u>L3</u> 4	Καφεκίτρινες έως καστανές, αμμώδεις, ιλύοδεις μάργες	G2	Εναλλαγές καφεκίτρινης, συνεκτικής, ιλύοδους μάργας (αποσαθρωμένη ζώνη)	20	2 4	60	Σφη νοει δής	Δ (247,5- 292,5)	40-60
<u>L3</u> 5	Καφεκίτρινες έως καστανές, αμμώδεις, ιλύοδεις μάργες	G2	Εναλλαγές καφεκίτρινης, συνεκτικής, ιλύοδους μάργας (αποσαθρωμένη ζώνη)	20	2 4	60	Σφη νοει δής	Δ (247,5- 292,5)	40-60
<u>L3</u> 6	Καφεκίτρινες έως καστανές,	G2	Εναλλαγές καφεκίτρινης, συνεκτικής, ιλύοδους	20	2 4	60	Σφη νοει δής	Δ (247,5- 292,5)	40-60

<u>L8</u> 8	Καφεκίτρινες έως καστανές, αμμώδεις, ιλυώδεις μάργες	G2	Εναλλαγές καφεκίτρινης, συνεκτικής, ιλυώδους μάργας (αποσαθρωμένη ζώνη)	20	2	4	60	Περι στρο φική	BA (22,5-67,5)	40-60
<u>L8</u> 9	Καφεκίτρινες έως καστανές, αμμώδεις, ιλυώδεις μάργες	G2	Εναλλαγές καφεκίτρινης, συνεκτικής, ιλυώδους μάργας (αποσαθρωμένη ζώνη)	20	2	4	60	Σφη νοει δής	BA (22,5-67,5)	40-60
<u>L9</u> 0	Καφεκίτρινες έως καστανές, αμμώδεις, ιλυώδεις μάργες	G2	Εναλλαγές καφεκίτρινης, συνεκτικής, ιλυώδους μάργας (αποσαθρωμένη ζώνη)	20	2	4	60	Περι στρο φική	BA (22,5-67,5)	40-60
<u>L9</u> 1	Καφεκίτρινες έως καστανές, αμμώδεις, ιλυώδεις μάργες	G2	Εναλλαγές καφεκίτρινης, συνεκτικής, ιλυώδους μάργας (αποσαθρωμένη ζώνη)	20	2	4	60	Περι στρο φική	BA (22,5-67,5)	40-60
<u>L9</u> 2	Καφεκίτρινες έως καστανές, αμμώδεις, ιλυώδεις μάργες	G2	Εναλλαγές καφεκίτρινης, συνεκτικής, ιλυώδους μάργας (αποσαθρωμένη ζώνη)	20	2	4	60	Περι στρο φική	BA (22,5-67,5)	40-60
<u>L9</u> 3	Καφεκίτρινες έως καστανές, αμμώδεις, ιλυώδεις μάργες	G2	Εναλλαγές καφεκίτρινης, συνεκτικής, ιλυώδους μάργας (αποσαθρωμένη ζώνη)	20	2	4	60	Σφη νοει δής	BA (22,5-67,5)	40-60
<u>L9</u> 4	Καφεκίτρινες έως καστανές, αμμώδεις, ιλυώδεις μάργες	G2	Εναλλαγές καφεκίτρινης, συνεκτικής, ιλυώδους μάργας (αποσαθρωμένη ζώνη)	20	2	4	60	Περι στρο φική	BA (22,5-67,5)	40-60
<u>L9</u> 5	Καφεκίτρινες έως καστανές, αμμώδεις, ιλυώδεις μάργες	G2	Εναλλαγές καφεκίτρινης, συνεκτικής, ιλυώδους μάργας (αποσαθρωμένη ζώνη)	20	2	4	60	Σφη νοει δής	BA (22,5-67,5)	40-60
<u>L9</u> 6	Καφεκίτρινες έως καστανές, αμμώδεις, ιλυώδεις μάργες	G2	Εναλλαγές καφεκίτρινης, συνεκτικής, ιλυώδους μάργας (αποσαθρωμένη ζώνη)	20	2	4	60	Σφη νοει δής	BA (22,5-67,5)	60-75
<u>L9</u> 7	Καφεκίτρινες έως καστανές, αμμώδεις, ιλυώδεις μάργες	G2	Εναλλαγές καφεκίτρινης, συνεκτικής, ιλυώδους μάργας (αποσαθρωμένη ζώνη)	20	2	4	60	Σφη νοει δής	BA (22,5-67,5)	60-75
<u>L9</u> 8	Καφεκίτρινες έως καστανές, αμμώδεις, ιλυώδεις μάργες	G2	Εναλλαγές καφεκίτρινης, συνεκτικής, ιλυώδους μάργας (αποσαθρωμένη ζώνη)	20	2	4	60	Περι στρο φική	BA (22,5-67,5)	40-60
<u>L9</u> 9	Καφεκίτρινες έως καστανές, αμμώδεις, ιλυώδεις μάργες	G2	Εναλλαγές καφεκίτρινης, συνεκτικής, ιλυώδους μάργας (αποσαθρωμένη ζώνη)	20	2	4	60	Περι στρο φική	BA (22,5-67,5)	40-60
<u>L1</u> 00	Καφεκίτρινες έως καστανές, αμμώδεις, ιλυώδεις μάργες	G2	Εναλλαγές καφεκίτρινης, συνεκτικής, ιλυώδους μάργας (αποσαθρωμένη ζώνη)	20	2	4	60	Περι στρο φική	BA (22,5-67,5)	40-60
<u>L1</u> 01	Καφεκίτρινες έως καστανές, αμμώδεις, ιλυώδεις μάργες	G2	Εναλλαγές καφεκίτρινης, συνεκτικής, ιλυώδους μάργας (αποσαθρωμένη ζώνη)	20	2	4	60	Περι στρο φική	BA (22,5-67,5)	40-60
<u>L1</u> 02	Καφεκίτρινες έως καστανές, αμμώδεις, ιλυώδεις μάργες	G2	Εναλλαγές καφεκίτρινης, συνεκτικής, ιλυώδους μάργας (αποσαθρωμένη ζώνη)	20	2	4	60	Σφη νοει δής	BA (22,5-67,5)	60-75
<u>L1</u> 03	Καφεκίτρινες έως καστανές, αμμώδεις, ιλυώδεις μάργες	G2	Εναλλαγές καφεκίτρινης, συνεκτικής, ιλυώδους μάργας (αποσαθρωμένη ζώνη)	20	2	4	60	Σφη νοει δής	BA (22,5-67,5)	40-60
<u>L1</u> 04	Γκριζοπράσινες έως γκριζές συνεκτικές ιλυώδεις μάργες	G3	Γκριζοπράσινη έως γκριζα συνεκτική μάργα (μη αποσαθρωμένη ζώνη)	20	3	5	150	Σφη νοει δής	Δ (247,5-292,5)	40-60

<u>L1</u> 22	Γκριζοπράσινες έως γκριζες συνεκτικές ιλύοδεις μάργες	G3	Γκριζοπράσινη έως γκριζα συνεκτική μάργα (μη αποσαθρωμένη ζώνη)	20	3 5	150	Περι στρο φική	ΒΔ (292,5- 337,5)	40-60
<u>L1</u> 23	Γκριζοπράσινες έως γκριζες συνεκτικές ιλύοδεις μάργες	G3	Γκριζοπράσινη έως γκριζα συνεκτική μάργα (μη αποσαθρωμένη ζώνη)	20	3 5	150	Περι στρο φική	ΒΔ (292,5- 337,5)	40-60
<u>L1</u> 24	Γκριζοπράσινες έως γκριζες συνεκτικές ιλύοδεις μάργες	G3	Γκριζοπράσινη έως γκριζα συνεκτική μάργα (μη αποσαθρωμένη ζώνη)	20	3 5	150	Περι στρο φική	ΒΔ (292,5- 337,5)	40-60
<u>L1</u> 25	Γκριζοπράσινες έως γκριζες συνεκτικές ιλύοδεις μάργες	G3	Γκριζοπράσινη έως γκριζα συνεκτική μάργα (μη αποσαθρωμένη ζώνη)	20	3 5	150	Περι στρο φική	ΒΔ (292,5- 337,5)	40-60
<u>L1</u> 26	Γκριζοπράσινες έως γκριζες συνεκτικές ιλύοδεις μάργες	G3	Γκριζοπράσινη έως γκριζα συνεκτική μάργα (μη αποσαθρωμένη ζώνη)	20	3 5	150	Περι στρο φική	ΒΔ (292,5- 337,5)	40-60
<u>L1</u> 27	Γκριζοπράσινες έως γκριζες συνεκτικές ιλύοδεις μάργες	G3	Γκριζοπράσινη έως γκριζα συνεκτική μάργα (μη αποσαθρωμένη ζώνη)	20	3 5	150	Περι στρο φική	ΒΔ (292,5- 337,5)	40-60
<u>L1</u> 28	Γκριζοπράσινες έως γκριζες συνεκτικές ιλύοδεις μάργες	G3	Γκριζοπράσινη έως γκριζα συνεκτική μάργα (μη αποσαθρωμένη ζώνη)	20	3 5	150	Περι στρο φική	ΒΔ (292,5- 337,5)	40-60
<u>L1</u> 29	Γκριζοπράσινες έως γκριζες συνεκτικές ιλύοδεις μάργες	G3	Γκριζοπράσινη έως γκριζα συνεκτική μάργα (μη αποσαθρωμένη ζώνη)	20	3 5	150	Περι στρο φική	ΒΔ (292,5- 337,5)	40-60
<u>L1</u> 30	Γκριζοπράσινες έως γκριζες συνεκτικές ιλύοδεις μάργες	G3	Γκριζοπράσινη έως γκριζα συνεκτική μάργα (μη αποσαθρωμένη ζώνη)	20	3 5	150	Σφη νοει δής	ΒΔ (292,5- 337,5)	40-60
<u>L1</u> 31	Γκριζοπράσινες έως γκριζες συνεκτικές ιλύοδεις μάργες	G3	Γκριζοπράσινη έως γκριζα συνεκτική μάργα (μη αποσαθρωμένη ζώνη)	20	3 5	150	Περι στρο φική	ΒΔ (292,5- 337,5)	40-60
<u>L1</u> 32	Γκριζοπράσινες έως γκριζες συνεκτικές ιλύοδεις μάργες	G3	Γκριζοπράσινη έως γκριζα συνεκτική μάργα (μη αποσαθρωμένη ζώνη)	20	3 5	150	Σφη νοει δής	ΒΔ (292,5- 337,5)	40-60
<u>L1</u> 33	Γκριζοπράσινες έως γκριζες συνεκτικές ιλύοδεις μάργες	G3	Γκριζοπράσινη έως γκριζα συνεκτική μάργα (μη αποσαθρωμένη ζώνη)	20	3 5	150	Σφη νοει δής	ΒΔ (292,5- 337,5)	40-60
<u>L1</u> 34	Γκριζοπράσινες έως γκριζες συνεκτικές ιλύοδεις μάργες	G3	Γκριζοπράσινη έως γκριζα συνεκτική μάργα (μη αποσαθρωμένη ζώνη)	20	3 5	150	Περι στρο φική	ΒΔ (292,5- 337,5)	40-60
<u>L1</u> 35	Καφεκίτρινες έως καστανές, αμμώδεις, ιλύοδεις μάργες	G2	Εναλλαγές καφεκίτρινης, συνεκτικής, ιλύοδους μάργας (αποσαθρωμένη ζώνη)	20	2 4	60	Περι στρο φική	Δ (247,5- 292,5)	40-60
<u>L1</u> 36	Καφεκίτρινες έως καστανές, αμμώδεις, ιλύοδεις μάργες	G2	Εναλλαγές καφεκίτρινης, συνεκτικής, ιλύοδους μάργας (αποσαθρωμένη ζώνη)	20	2 4	60	Περι στρο φική	ΒΔ (292,5- 337,5)	20-40
<u>L1</u> 37	Καφεκίτρινες έως καστανές, αμμώδεις, ιλύοδεις μάργες	G2	Εναλλαγές καφεκίτρινης, συνεκτικής, ιλύοδους μάργας (αποσαθρωμένη ζώνη)	20	2 4	60	Περι στρο φική	ΒΔ (292,5- 337,5)	20-40
<u>L1</u> 38	Καφεκίτρινες έως καστανές, αμμώδεις, ιλύοδεις μάργες	G2	Εναλλαγές καφεκίτρινης, συνεκτικής, ιλύοδους μάργας (αποσαθρωμένη ζώνη)	20	2 4	60	Περι στρο φική	ΒΔ (292,5- 337,5)	20-40

<u>L1</u> 39	Καφεκίτρινες έως καστανές, αμμώδεις, ιλυώδεις μάργες	G2	Εναλλαγές καφεκίτρινης, συνεκτικής, ιλυώδους μάργας (αποσαθρωμένη ζώνη)	20	2 4	60	Περι στρο φική	ΒΔ (292,5- 337,5)	20-40
<u>L1</u> 40	Καφεκίτρινες έως καστανές, αμμώδεις, ιλυώδεις μάργες	G2	Εναλλαγές καφεκίτρινης, συνεκτικής, ιλυώδους μάργας (αποσαθρωμένη ζώνη)	20	2 4	60	Περι στρο φική	Δ (247,5- 292,5)	20-40
<u>L1</u> 41	Καφεκίτρινες έως καστανές, αμμώδεις, ιλυώδεις μάργες	G2	Εναλλαγές καφεκίτρινης, συνεκτικής, ιλυώδους μάργας (αποσαθρωμένη ζώνη)	20	2 4	60	Περι στρο φική	ΒΔ (292,5- 337,5)	40-60
<u>L1</u> 42	Καφεκίτρινες έως καστανές, αμμώδεις, ιλυώδεις μάργες	G2	Εναλλαγές καφεκίτρινης, συνεκτικής, ιλυώδους μάργας (αποσαθρωμένη ζώνη)	20	2 4	60	Περι στρο φική	ΒΔ (292,5- 337,5)	40-60
<u>L1</u> 43	Καφεκίτρινες έως καστανές, αμμώδεις, ιλυώδεις μάργες	G2	Εναλλαγές καφεκίτρινης, συνεκτικής, ιλυώδους μάργας (αποσαθρωμένη ζώνη)	20	2 4	60	Περι στρο φική	ΒΔ (292,5- 337,5)	40-60
<u>L1</u> 44	Καφεκίτρινες έως καστανές, αμμώδεις, ιλυώδεις μάργες	G2	Εναλλαγές καφεκίτρινης, συνεκτικής, ιλυώδους μάργας (αποσαθρωμένη ζώνη)	20	2 4	60	Περι στρο φική	ΒΔ (292,5- 337,5)	40-60
<u>L1</u> 45	Καφεκίτρινες έως καστανές, αμμώδεις, ιλυώδεις μάργες	G2	Εναλλαγές καφεκίτρινης, συνεκτικής, ιλυώδους μάργας (αποσαθρωμένη ζώνη)	20	2 4	60	Περι στρο φική	ΒΔ (292,5- 337,5)	40-60
<u>L1</u> 46	Καφεκίτρινες έως καστανές, αμμώδεις, ιλυώδεις μάργες	G2	Εναλλαγές καφεκίτρινης, συνεκτικής, ιλυώδους μάργας (αποσαθρωμένη ζώνη)	20	2 4	60	Περι στρο φική	ΒΔ (292,5- 337,5)	20-40
<u>L1</u> 47	Καφεκίτρινες έως καστανές, αμμώδεις, ιλυώδεις μάργες	G2	Εναλλαγές καφεκίτρινης, συνεκτικής, ιλυώδους μάργας (αποσαθρωμένη ζώνη)	20	2 4	60	Σφη νοει δής	ΒΔ (292,5- 337,5)	2-20

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Ο σκοπός της παρούσας διατριβής είναι να υποδείξει μια αποτελεσματική και συνάμα χαμηλού κόστους μεθοδολογία ανίχνευσης, παρακολούθησης και εκτίμησης κατολισθητικών φαινομένων. Αυτό το χαρακτηριστικό βρίσκεται σε απόλυτη ανάγκη όσον αφορά τα ορυχεία ανοιχτού ορύγματος, όπου η καθημερινή εικοσιτετράωρη επιτήρηση είναι απαραίτητη, λόγω της υψηλής επιδεκτικότητας των μαργαϊκών σχηματισμών σε αστοχία. Η χρήση του UAV και της φωτογραμμετρίας, καλύπτει πλήρως όλα τα παραπάνω κριτήρια και όταν συνδυάζεται με κατάλληλη γεωλογική και τεχνικογεωλογική γνώση, μπορεί πράγματι να προσφέρει αξιοσημείωτα αποτελέσματα.

Για την συγκεκριμένη εργασία με την εκμετάλλευση του UAV και της δυνατότητας του να απαθανάτισει το σύνολο της έκτασης των δύο αυτών μεγάλων ανοιχτών ορυγμάτων και ταυτόχρονα να προσεγγίσει σημεία δύσβατα για έναν άνθρωπο, δόθηκε η δυνατότητα της αξιολόγησης των κατολισθητικών φαινομένων από μια διαφορετική οπτική γωνία. Συγκεκριμένα κατέστη εφικτό να αναγνωριστούν:

- Η μοναδική γεωμετρία τέτοιων ιδιαίτερων κατασκευών
- Οι κατολισθήσεις στο πλήρες μέγεθος τους
- Οι επιφάνειες αδυναμίας ανάμεσα στην αποσαθρωμένη και στην υγιή μάργα που αποτελούν σημαντικό γεωμετρικό στοιχείο για τις περιστροφικές ολισθήσεις
- Οι πιθανές ζώνες ασυνεχειών που ευθύνονται σε ένα μεγάλο ποσοστό για σφηνοειδούς τύπου ολισθήσεις
- Οι κρυμμένες εφελκυστικές ρωγμές που αποτελούν έναν σημαντικό ρυθμιστικό παράγοντα στην ευστάθεια των πρανών λόγω της πίεσης πόρων που αναπτύσσεται στο εσωτερικό τους και ωθεί σε ολίσθηση
- Οι πιθανοί μελλοντικοί κίνδυνοι για επανεργοποίηση κατολισθήσεων
- Καθώς και δίνεται πλέον η δυνατότητα εντοπισμού αλλαγών στην κινηματική των κατολισθήσεων μέσω μελλοντικής σύγκρισης καινούργιων αρχείων

Σε ότι έχει να κάνει πλέον με την περιοχή της έρευνας παρατηρείται γενικά η μεγάλη επιδεκτικότητα σε ολίσθηση στα ανώτερα στρώματα των ορυχείων, δηλαδή

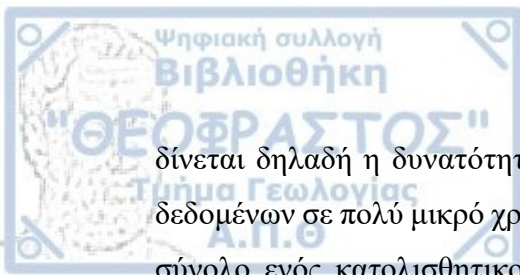
στις Τεταρτογενείς αποθέσεις και στις υποκείμενες διαβρωμένες μάργες του Νεογενούς. Παρατηρούνται ωστόσο και φαινόμενα αστοχιών σε βαθύτερα επίπεδα με την διαφορά ότι η έκτασή τους είναι σημαντικά μικρότερη σε σχέση με ανώτερα επίπεδα. Μπορεί δηλαδή να εξαχθεί ένα γενικό συμπέρασμα ότι οι περισσότερες σημαντικές ολισθήσεις διαδραματίζονται μέχρι και την επιφάνεια ασυνέχειας μεταξύ των διαβρωμένων και των υγιών μαργών.

Ως κύριος μηχανισμός αστοχίας για τα ορυχεία της λεκάνης ΦΠΣ ορίζεται αυτός της περιστροφικής ολίσθησης διότι αποτελεί τον κατεξοχήν πολυπληθέστερο μηχανισμό που απαντάται στα ορυχεία (και οι 2 κατολισθήσεις στο Αμύνταιο ενώ οι 109 από τις 147, ήτοι ένα ποσοστό περίπου 75% του συνόλου των κατολισθήσεων στο Προσήλιο) καθώς και αυτόν με το μεγαλύτερο αντίκτυπο στη δομική ακεραιότητα και στη εύρυθμη συνέχιση των εργασιών λόγω της μεγάλης έκτασης του φαινομένου. Οι ολισθήσεις τύπου σφήνας διαδραματίζονται συνήθως σε βαθύτερα στρώματα όπου η τεχνικογεωλογική κατάσταση των μαργών είναι καλύτερη. Παρουσιάζεται δηλαδή μια σχετική συνοχή και μεγαλύτερη γωνία τριβής οπότε πλέον οι ολισθήσεις ελέγχονται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των δομών, δηλαδή των ρηγμάτων, των διακλάσεων και της στρώσης των σχηματισμών.

Ακόμη, παρατηρείται ότι τα ανώτερα στρώματα ολισθαίνουν ακόμα και για μικρές γωνίες κλίσεις των πρανών, πράγμα που υποδουλώνει την πολύ κακή τεχνικογεωλογική τους κατάσταση (πολύ χαμηλές τιμές C και φ). Στο φαινόμενο αυτό συνδράμει σε ένα πολύ σημαντικό βαθμό και η χαρακτηριστική γεωμετρία των ίδιων των πρανών. Ως γνωστόν το ύψος και η γωνία εκσκαφής των πρανών ελέγχουν σε μεγάλο βαθμό τις αστοχίες, συνεπώς όσο ψηλότερο είναι ένα πρανές και όσο μεγαλύτερη γωνία κλίσης έχει, τόσο πιθανότερο είναι να δημιουργηθεί ολίσθηση.

Συμπερασματικά για την όσο το δυνατόν μείωση τέτοιων φαινομένων η μόνη εφικτή πρόταση που προκρίνεται είναι αυτή της αλλαγής της γωνίας κλίσης των πρανών, δηλαδή της μείωσης της. Η μείωση αυτή είτε θα πρέπει να γίνει απευθείας στο σύνολο του πρανούς, είτε τμηματικά με τη δημιουργία πυκνότερου κανάβου αναβαθμίδων.

Ολοκληρώνοντας την παρούσα εργασία θεωρείται απαραίτητο να επισημανθεί ότι, έχοντας κάποιος την επιλογή χρήσης μια πλατφόρμας UAV κερδίζει ένα συγκριτικό πλεονέκτημα έναντι άλλων παραδοσιακών μεθόδων. Μέσω της χρήσης ενός UAV του



δίνεται δηλαδή η δυνατότητα απόκτησης και επεξεργασίας ενός τεράστιου πλήθους δεδομένων σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα με πολύ μεγάλη ακρίβεια που καλύπτει το σύνολο ενός κατολισθητικού φαινομένου. Εδώ έγκειται και η βασική διαφορά σε σχέση με παλαιότερες μεθόδους ειδικότερα όταν η ανάγκη λήψης αποφάσεων κρίνεται επιτακτική και άμεση για να αποτραπεί ή έστω να περιοριστεί μια ενδεχόμενη αστοχία. Βέβαια η παραδοχή αυτή ευσταθεί εάν και εφόσον υπάρχει το κατάλληλο υπόβαθρο γεωλογικής γνώσης. Μόνο τότε μπορεί η τεχνολογία να λειτουργήσει θετικά, αλλά πάντα συνεπικουρικά.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

A.G. Anagnostopoulos, N. Kalteziotis, G.K. Tsiambaos, M. Kavvadas, Geotechnical properties of the Corinth Canal Marls, *Geotechnical and Geological Engineering* 9 (1991) 1–26.

Arbanas M., Snježana & Arbanas, Z. (2015). Landslides: A Guide to Researching Landslide Phenomena and Processes. 10.4018/978-1-4666-7336-6.

Armijo, R., Lyon-Caen, H., Papanastassiou D., (1992). East-west extension and Holocene normal-fault scarps in the Hellenic arc. *Geology*, 20(6), 491–494. doi:10.1130/0091-7613

Balasubramanian, A. (2016). Coal Mining Methods. 10.13140/RG.2.2.19117.08162

Barth, T. F. W., Correns, C. W., & Eskola, P. (Eds.). (1939). Die Entstehung der Gesteine. doi:10.1007/978-3-642-86244-1

Bednarczyk, Z. (2017). Slope Stability Analysis for the Design of a New Lignite Open-Pit Mine. *Procedia Engineering*, 191, 51–58. doi:10.1016/j.proeng.2017.05.153

Cawood, A. J., Bond, C. E., Howell, J. A., Butler, R. W. H., & Totake, Y. (2017). LiDAR, UAV or compass-clinometer? Accuracy, coverage and the effects on structural models. *Journal of Structural Geology*, 98, 67–82. doi:10.1016/j.jsg.2017.04.004

Chen, J., Li, K., Chang, K.-J., Sofia, G., & Tarolli, P. (2015). Open-pit mining geomorphic feature characterisation. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 42, 76–86. doi:10.1016/j.jag.2015.05.001

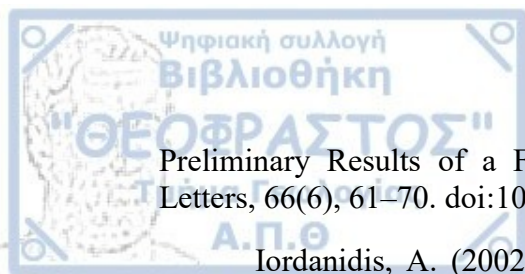
Cruden, D (1996). Cruden, D.M., Varnes, D.J., 1996, Landslide Types and Processes, Transportation Research Board, U.S. National Academy of Sciences, Special Report, 247: 36-75. Special Report - National Research Council, Transportation Research Board. 247. 36-57

Daemen, J. J. K. (2003). Mining Engineering. *Encyclopedia of Physical Science and Technology*, 65–96. doi:10.1016/b0-12-227410-5/00871-1

Drakatos, G., Papanastassiou, D., Papadopoulos, G., Skafida, H., & Stavrakakis, G. (1998). Relationship between the 13 May 1995 Kozani–Grevena (NW Greece) earthquake and the Polyphyto artificial lake. *Engineering Geology*, 51(1), 65–74. doi:10.1016/s0013-7952(98)00041-6

Francis, W. (1955). Coal, Its Formation and Composition. *Soil Science*, 79(3), 226. doi:10.1097/00010694-195503000-00012

Hatzfeld, D., Nord, J., Paul, A., Guiguet, R., Briole, P., Ruegg, J.-C., ... Veis, G. (1995). The Kozani-Grevena (Greece) Earthquake of May 13, 1995, Ms = 6.6.



Preliminary Results of a Field Multidisciplinary Survey. *Seismological Research Letters*, 66(6), 61–70. doi:10.1785/gssrl.66.6.61

Iordanidis, A. (2002). Geochemical aspects of Amynteon lignites, Northern Greece. *Fuel*, 81(13), 1723–1732. doi:10.1016/s0016-2361(02)00071-6

Iordanidis, A., & Georgakopoulos, A. (2003). Pliocene lignites from Apofysis mine, Amynteo basin, Northwestern Greece: petrographical characteristics and depositional environment. *International Journal of Coal Geology*, 54(1-2), 57–68. doi:10.1016/s0166-5162(03)00019-3

Kavvadas, M., Papadopoulos, B., & Kalteziotis, N. (1994). Geotechnical properties of the Ptolemais lignite. *Geotechnical and Geological Engineering*, 12(2), 87–112. doi:10.1007/bf00429768

Koukouzas, C., Kotis, T., Ploumidis, M., Metaxas, A., 1979. Coal exploration of Anargiri Amynteon area. *Mineral Deposit Research*. Institute of Geology and Mineral Exploration, Athens

Koukouzas, C., Foscolos, A. E., & Kotis, T. (1997). Research and Exploration of Coal in Greece: A View to the Future. *Energy Sources*, 19(4), 335–347. doi:10.1080/00908319708908854

Lucieer, A., Jong, S. M. de, & Turner, D. (2013). Mapping landslide displacements using Structure from Motion (SfM) and image correlation of multi-temporal UAV photography. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 38(1), 97–116. doi:10.1177/0309133313515293

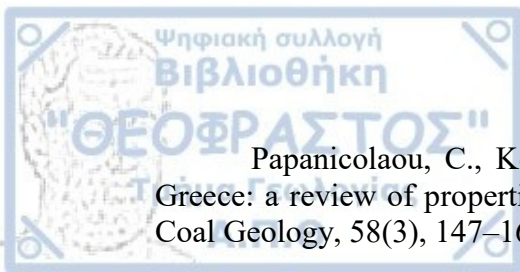
Marinos, V. (2016). A Large Scale Landslide in a Coal Mine in Marly Formations: Evaluation, Analysis and Rehabilitation. *International Journal of Geoengineering Case Histories*. 4. 29-45. 10.4417/IJGCH-04-01-03.

Meyer, B., Armijo, R., Massonnet, D., de Chabalier, J. B., Delacourt, C., Ruegg, J. C., ... Papanastassiou, D. (1996). The 1995 Grevena (northern Greece) Earthquake: Fault model constrained with tectonic observations and SAR interferometry. *Geophysical Research Letters*, 23(19), 2677–2680. doi:10.1029/96gl02389

Nastos, P. T., Kapsomenakis, J., & Philandras, K. M. (2016). Evaluation of the TRMM 3B43 gridded precipitation estimates over Greece. *Atmospheric Research*, 169, 497–514. doi:10.1016/j.atmosres.2015.08.008

Niethammer, U., James, M. R., Rothmund, S., Travelletti, J., & Joswig, M. (2012). UAV-based remote sensing of the Super-Sauze landslide: Evaluation and results. *Engineering Geology*, 128, 2–11. doi:10.1016/j.enggeo.2011.03.012

Papanastassiou, D., Drakatos, G., Voulgaris, N., & Stavrakakis, G. (1998). The May 13, 1995, Kozani-Grevena (NW Greece) earthquake: Source study and its tectonic implications. *Journal of Geodynamics*, 26(2-4), 233–244. doi:10.1016/s0264-3707(97)00068-9



Papanicolaou, C., Kotis, T., Foscolos, A., & Goodarzi, F. (2004). Coals of Greece: a review of properties, uses and future perspectives. *International Journal of Coal Geology*, 58(3), 147–169. doi:10.1016/j.coal.2003.10.006

Papazachos, B. C., Karakostas, B. G., Kiratzi, A. A., Papadimitriou, E. E., & Papazachos, C. B. (1998). A model for the 1995 Kozani-Grevena seismic sequence. *Journal of Geodynamics*, 26(2-4), 217–231. doi:10.1016/s0264-3707(97)00050-1

Pavlidis, S. B., & Mountrakis, D. M. (1987). Extensional tectonics of northwestern Macedonia, Greece, since the late Miocene. *Journal of Structural Geology*, 9(4), 385–392. doi:10.1016/0191-8141(87)90115-5

Pavlidis, S. B., Zouros, N. C., Chatzipetros, A. A., Kostopoulos, D. S., & Mountrakis, D. M. (1995). The 13 May 1995 western Macedonia, Greece (Kozani Grevena) earthquake; preliminary results. *Terra Nova*, 7(5), 544–549. doi:10.1111/j.1365-3121.1995.tb00556.x

Pettijohn, F. (1975) *Sedimentary Rocks*, Harper and Row publishers, London.

Prountzopoulos, G., Fortsakis, P., Seferoglou, K., Chrysochoidis, F., Vassilopoulou, I., & Perleros, V. (2014). Assessment of Failure Mechanism and Rehabilitation of a Landslide Within Marly Formations in NW Greece: From the Site Investigation to the Geotechnical Design. *Geotechnical and Geological Engineering*, 32(6), 1485–1502. doi:10.1007/s10706-014-9729-8

Roumpou, C., & Spanidis, F. (2003). A project management approach to open-pit lignite mine planning and exploitation [Open-pit project management]. *World Coal* (April Issue).

Stiakakis, E., Kavouridis, K., & Monopolis, D. (2009). Large scale failure of the external waste dump at the “South Field” lignite mine, Northern Greece. *Engineering Geology*, 104(3-4), 269–279. doi:10.1016/j.enggeo.2008.11.008

Stiakakis, E., & Agioutantis, Z. (2010). A kinetic behavior model at a surface lignite mine, based on geotechnical investigation. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 18(5), 558–573. doi:10.1016/j.simpat.2009.12.011

Tsiambaos, G. (1988). *Engineering Geological characteristics of Iraklion marls*, PhD Thesis (in Greek), University of Patras, Greece.

Tsiambaos, G. (1991). Correlation of mineralogy and index properties with residual strength of Iraklion marls, *Engineering Geology* 30, 357-369., Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam.

Tzampoglou, P., & Loupasakis, C. (2018). Evaluating geological and geotechnical data for the study of land subsidence phenomena at the perimeter of the Amyntaio coalmine, Greece. *International Journal of Mining Science and Technology*, 28(4), 601–612. doi:10.1016/j.ijmst.2017.11.002

Tzampoglou, P., & Loupasakis, C. (2019). Numerical simulation of the factors causing land subsidence due to overexploitation of the aquifer in the Amyntaio open coal mine, Greece. *HydroResearch*, 1, 8–24. doi:10.1016/j.hydres.2019.04.002

Turner, D., Lucieer, A., & de Jong, S. (2015). Time Series Analysis of Landslide Dynamics Using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV). *Remote Sensing*, 7(2), 1736–1757. doi:10.3390/rs70201736

Valkaniotis, S., Ganas, A., & Papathanassiou, G. (2017). Rapid Mapping of the Amyntaio-Anargyroi landslide (Western Macedonia, Greece) using combined remote sensing techniques. Paper presented at the Oral Presentation. Safe Athens 2017, Athens.

Vanneschi, C., Eyre, M., Francioni, M., & Coggan, J. (2017). The Use of Remote Sensing Techniques for Monitoring and Characterization of Slope Instability. *Procedia Engineering*, 191, 150–157. doi:10.1016/j.proeng.2017.05.166

Varnes, D.J. (1978) Slope Movement Types and Processes. In: Schuster, R.L. and Krizek, R.J., Eds., *Landslides, Analysis and Control*, Transportation Research Board, Special Report No. 176, National Academy of Sciences, 11-33.

Ελληνική βιβλιογραφία

Γολιδοπούλου Μ. (2014). Έρευνα επί της τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς μαργαϊκών σχηματισμών σε περιβάλλον μεγάλων επιφανειακών εκσκαφών. Το παράδειγμα του οικισμού Μαυροπηγής στην Πτολεμαΐδα. Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης. Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.

Κούκης Χ. Γ. & Σαμπατακάκης Σ. Ν. (2007). *Γεωλογία Τεχνικών Έργων*. Αθήνα: Εκδόσεις Παπασωτηρίου.

Κούκης Α., & Σαμπατακάκης, Ν. (2010), Διερεύνηση της Μηχανικής Συμπεριφοράς των Μαργαϊκών Σχηματισμών Αχαΐας με βάση Εργαστηριακές και Επιτόπου δοκιμές, 6ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής & Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, ΤΕΕ, Βόλος.

Μαρίνος, Π., (2012), έκθεση επί της ευστάθειας των πρανών κατά την εκμετάλλευση στο λιγνιτωρυχείο Προσηλίου Ν. Κοζάνης της εταιρείας ΜΕ.Τ.Ε. Α.Ε.

Μουντράκης Δ., 1983. Η γεωλογική δομή της Βόρειας Πελαγονικής Ζώνης και η γεωτεκτονική εξέλιξη των Εσωτερικών Ελληνίδων. Πραγματεία για Υψηγασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Μουντράκης Μ. Δ. (2010). *Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας*. Θεσσαλονίκη: University Studio Press.

Παπαζάχος Β. & Παπαζάχου Κ. (2003). *Οι σεισμοί της Ελλάδας*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.

Προυτζόπουλος, Γ., κ.ά., (2010), Ανάλυση κατολισθητικών φαινομένων πρανούς λιγνιτωρυχείου σε μαργαϊκούς σχηματισμούς με εξαιρετικά χαμηλή αντοχή,



6ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής & Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, ΤΕΕ, Βόλος.

Διαδικτυακές πηγές

<http://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/>

https://dskostopoulos.weebly.com/uploads/6/7/4/2/6742913/0_intro-1.pdf

<https://www.asprs.org/>

<http://www.gein.noa.gr/el/>

<https://www.qgis.org/en/site/>

<https://www.pix4d.com/>

https://www.dropbox.com/s/k8mxamjcunpqf94/6ο%20Mathima_Texniki%20Geologia%20Katolisthiseis_Edafikes%20olisthiseis_2016-17.pdf?dl=0