



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

**«Ανάλυση διαρρήξεων σε ταμειυτήρες ανθρακικών πετρωμάτων της
Δυτικής Ελλάδας με την χρήση δεδομένων πεδίου υψηλής ανάλυσης»**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κούτρα Ευγενία

Επιβλέπων: Ιωάννης Βακαλάς, Επίκουρος καθηγητής

Αθήνα, Ιούλιος 2023



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

**«Ανάλυση διαρρήξεων σε ταμιευτήρες ανθρακικών πετρωμάτων της
Δυτικής Ελλάδας με την χρήση δεδομένων πεδίου υψηλής ανάλυσης»**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κούτρα Ευγενία

Επιβλέπων: Ιωάννης Βακαλάς, Επίκουρος καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις .../07/2023

Βακαλάς Ιωάννης, Επίκουρος, Καθηγητής ΕΜΠ

Αποστολόπουλος Γεώργιος, Καθηγητής ΕΜΠ

Γαγάνης Βασίλειος, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2023

Copyright © Κούτρα Ευγενία, 2023

Με επιφύλαξη κάθε δικαιώματος. All rights reserved.

Πρόλογος

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάλυση διαρρήξεων σε ανθρακικούς ταμιευτήρες της δυτικής Ελλάδας. Η συλλογή δεδομένων υψηλής ανάλυσης επιτεύχθηκε με τη χρήση μεθόδων φωτογραμμετρίας και με λογισμικά επεξεργασίας και ανάλυσης διακλάσεων. Αναλύεται η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη δημιουργία ενός γεωμοντέλου ανθρακικού ταμιευτήρα με τη χρήση μεθοδολογίας ανάλυσης διακλάσεων P_{10} και P_{21} . Γενικά, αποδεικνύεται ότι τα γεωλογικά δεδομένα πεδίου μπορούν να αποτελέσουν μια πρώτη προσέγγιση για τον χαρακτηρισμό των ταμιευτήρων και δίνουν σημαντικές πληροφορίες για τη συμπεριφορά τους αναφορικά με το πορώδες και την διαπερατότητα.

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να εκφράσω θερμές ευχαριστίες στον Επίκουρο καθηγητή του Ε.Μ.Π. κ. Ιωάννη Βακαλά, του τομέα γεωλογικών επιστημών της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών, για την ανάθεση και επίβλεψη της εργασίας, για την πολύτιμη βοήθειά του κατά τη διάρκεια της συγγραφής της αλλά και για την άψογη συνεργασία μας.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, στον Καθηγητή κ. Γεώργιο Αποστολόπουλο και Επίκουρο Καθηγητή κ. Βασίλειο Γαγάνη, για τα εφόδια που μου προσέφεραν καθόλη τη διάρκεια της φοίτησής μου στο τμήμα των Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών του Ε.Μ.Π.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την ηθική υποστήριξη που μου παρείχε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας αλλά και συνολικά καθόλη τη διάρκεια των προπτυχιακών μου σπουδών.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την ανάλυση διακλάσεων ανθρακικών ταμιευτήρων της Δυτικής Ελλάδας. Οι ανθρακικοί ταμιευτήρες έχουν κεντρίσει το ενδιαφέρον της πετρελαϊκής βιομηχανίας καθώς σε αυτούς εμπεριέχονται σημαντικά αποθέματα υδρογονανθράκων σε παγκόσμιο επίπεδο.

Μία πρώτη προσέγγιση για τον χαρακτηρισμό των ανθρακικών ταμιευτήρων είναι εκείνη της ανάλυσης του δικτύου των διακλάσεών τους, λαμβάνοντας γεωλογικά δεδομένα πεδίου. Με την κλασική μέθοδο ανάλυσης επεξεργάζονται τα δεδομένα σε μία πρώτη φάση με σκοπό να ληφθούν πυκνότητες διακλάσεων κατά μήκος ενός πρηνούς και οι μεταξύ τους αποστάσεις. Η ανάλυση διακλάσεων P_{10} , στηριζόμενη στο λογισμικό DigiFract, λαμβάνει τα δεδομένα πεδίου ως στοιχεία εισόδου και ως αποτέλεσμα της ψηφιοποίησης των διακλάσεων των πρηνών, εξάγει στατιστικά στοιχεία, όπως την πυκνότητα (m^{-1}) των διακλάσεων, το μέσο όρο της απόστασης (m) μεταξύ δύο διαδοχικών διακλάσεων αλλά και το μέσο όρο του μήκους (m) μίας διάκλασης. Η ανάλυση διακλάσεων P_{21} , στηριζόμενη στο λογισμικό ArcGIS λαμβάνει τις ψηφιοποιημένες διακλάσεις ως δεδομένα εισόδου και εξάγει πυκνότητες διακλάσεων ανά τετραγωνικό μέτρο πρηνούς και ιστογράμματα. Αξίζει να σημειωθεί ότι είναι απαραίτητη η γεωαναφορά των δεδομένων φωτογραμμετρίας που έχουν ληφθεί μαζί με τα δεδομένα πεδίου για τη σωστή τοποθέτηση των πρηνών στα περιβάλλοντα των λογισμικών.

Με βάση την ανάλυση, εξάγονται συμπεράσματα για τη φύση του δικτύου των διακλάσεων για ορίζοντες ασβεστολίθου Ηωκαίνου και ασβεστολίθου Σενωνίου της Ιόνιας Ζώνης στη Δυτική Ελλάδα. Αποδεικνύεται η ομοιογένεια του λεπτοστρωματώδους Ηωκαινικού ασβεστολίθου και η ετερογένεια του παχυστρωματώδους ασβεστολίθου Σενωνίου. Τέλος, τοποθετούνται στην ταξινόμηση κατά (Nelson, 2001) για διακλασμένους ταμιευτήρες. Η εξαγωγή των παραμέτρων P_{10} και P_{21} με την χρήση περαιτέρω επεξεργασίας μπορεί να συνεισφέρει στην αριθμητική εκτίμηση της διαπερατότητας του ταμιευτήρα. Η τιμή αυτή μπορεί να εισαχθεί ως δεδομένο εισόδου στα δυναμικά μοντέλα προσομοίωσης ταμιευτήρων υδρογονανθράκων.

Abstract

The present thesis deals with the fracture analysis of carbonate reservoirs in Western Greece. Carbonate reservoirs have attracted the interest of the oil industry as they contain significant hydrocarbon reserves globally.

A first approach for the characterization of carbonate reservoirs is that of analysing their fractured network by capturing geological field data. The classical analysis method processes the data in a primary step to obtain fracture densities along an outcrop and the distance between them. The P_{10} fractures analysis, based on the DigiFract software, uses field data as input and as a result of the digitisation of the outcrop fractures, extracts statistics such as the density (m^{-1}) of fractures, the average distance (m) between two consecutive fractures and the average length (m) of a fracture. The P_{21} fractures analysis, based on ArcGIS software, uses the digitized fractures as input data and exports fracture density per square meter of outcrop length and histograms. It is worth noting that it is necessary to georeference the photogrammetry data obtained together with the field data for the correct positioning of the slopes in the software environments.

Based on the analysis, conclusions are drawn on the nature of the fault network for Eocene and Senonian limestone of the Ionian Zone in Western Greece. The homogeneity of the Eocene fine-layered limestone and the heterogeneity of the thick-layered Senonian limestone are verified. Finally, they are characterized according to Nelson's (2001) classification for fractured reservoirs. The extraction of P_{10} and P_{21} parameters using further processing can contribute to the numerical estimation of reservoir permeability. This value can be entered as input data in dynamic hydrocarbon reservoir simulation models.

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή.....	1
1.1	Σκοπός.....	1
1.2	Μεθοδολογία.....	2
1.2.1	Λήψη δεδομένων πεδίου – Κλασική Μέθοδος.....	2
1.2.2	Ανάλυση Δικτύου Διακλάσεων.....	4
1.2.3	Λογισμικά.....	5
1.2.4	Επεξεργασία δεδομένων.....	8
2	Θεωρητικό υπόβαθρο.....	9
2.1	Ορισμός διακλάσεων.....	9
2.2	Ορισμός ταμιευτήρα.....	9
2.3	Διερρηγμένοι ταμιευτήρες (fractured reservoirs).....	10
2.4	Ορισμός ανθρακικού ταμιευτήρα.....	10
2.5	Ταξινόμηση κατά Nelson (2001) για διερρηγμένους ταμιευτήρες.....	11
3	Γεωλογικό Υπόβαθρο.....	13
3.1	Γενικά.....	13
3.2	Περιοχή ενδιαφέροντος.....	17
4	Διαδικασία Λήψης και Επεξεργασίας Δεδομένων Πεδίου.....	22
4.1	Φωτογραμμετρία μέσω Agisoft Metashape Professional.....	22
4.1.1	Εισαγωγή των αεροφωτογραφιών στο λογισμικό.....	22
4.1.2	Ευθυγράμμιση φωτογραφιών (photo alignment).....	23
4.1.3	Δημιουργία νέφους σημείων (dense cloud).....	24
4.1.4	Δημιουργία Tiled Model.....	24
4.1.5	Δημιουργία Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (DEM).....	26
4.1.6	Δημιουργία Ορθομωσαϊκού (Orthomosaic).....	27
4.1.7	Τελικά προϊόντα φωτογραμμετρίας.....	28
4.2	Γεωαναφορά μέσω του λογισμικού QGIS.....	32
4.2.1	Εξαγωγή αρχείου εικόνας του μετώπου.....	32
4.2.2	Εξαγωγή αρχείου εικόνας της βάσης του χάρτη.....	33
4.2.3	Εισαγωγή χάρτη-βάσης.....	33
4.2.4	Μετασχηματισμός συντεταγμένων.....	35
4.2.5	Γεωαναφορά των πρηνών ενδιαφέροντος.....	37
4.2.6	Αποτέλεσμα γεωαναφοράς.....	38
4.3	Ψηφιοποίηση διακλάσεων στο λογισμικό DigiFract.....	40
4.3.1	Εισαγωγή χάρτη αναφοράς.....	40
4.3.2	Μέτρηση μήκους φωτογραφίας τομής (baseline length).....	42

4.3.3	Εισαγωγή πρηνούς (outcrop)	43
4.3.4	Γεωαναφορά πρηνούς (Image referencing).....	45
4.3.5	Ψηφιοποίηση διακλάσεων.....	48
4.3.6	Ανάλυση P_{10} των διακλάσεων.....	51
4.3.7	Αποτελέσματα ανάλυσης P_{10} με τη χρήση του Λογισμικού DigiFract.....	53
4.3.8	Αποτελέσματα πυκνότητας διακλάσεων κλασικής μεθόδου.....	61
4.4	Ανάλυση διακλάσεων P_{21}	63
4.4.1	Εισαγωγή δεδομένων	63
4.4.2	Αποκοπή διακλάσεων (clip).....	64
4.4.3	Μέτρηση πυκνότητας διακλάσεων.....	66
4.4.4	Extract by mask	67
4.4.5	Αποτέλεσμα ανάλυσης διακλάσεων P_{21}	68
5	Συμπεράσματα.....	77
6	Βιβλιογραφία	79
7	Παράρτημα (Δεδομένα πεδίου).....	81

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1-1: Η ευρύτερη περιοχή της πόλης Ιωαννίνων από δορυφόρο της Google.....	2
Εικόνα 1-2: Η περιοχή ενδιαφέροντος της Μαζιάς από δορυφόρο της Google.....	2
Εικόνα 1-3: Η ευρύτερη περιοχή Δυτικά της πόλης των Ιωαννίνων από δορυφόρο της Google	3
Εικόνα 1-4: Η περιοχή ενδιαφέροντος των Αναργύρων από δορυφόρο της Google.....	3
Εικόνα 1-5: Το περιβάλλον εργασίας του λογισμικού QGIS	5
Εικόνα 1-6: Το περιβάλλον εργασίας του λογισμικού Agisoft Metashape.....	5
Εικόνα 1-7: Το περιβάλλον ψηφιδωτής διαμέρισης του λογισμικού DigiFract.....	6
Εικόνα 1-8: Το περιβάλλον ψηφιοποίησης διακλάσεων του λογισμικού DigiFract.....	7
Εικόνα 1-9: Το περιβάλλον εργασίας του λογισμικού ArcGIS	7
Εικόνα 2-1: Σχηματική απεικόνιση της ταξινόμησης κατά Nelson (2001).....	12
Εικόνα 3-1:Χάρτης των γεωτεκτονικών ζωνών της Ελλάδας (τροποποιημένος από Μπορνόβα & Ροντογιάννη 1983)	13
Εικόνα 3-2: Η επί μέρους διάκριση της Ιόνιας ζώνης και η επωθημένη ζώνη της Πίνδου (Κατά γαλλικό ινστιτούτο πετρελαίου και I.G.E.Y. με τροποποιήσεις από (Aubouin, Desprairies, & Terry, 1977)).....	14
Εικόνα 3-3: Στρωματογραφική στήλη της Ιονίου Ζώνης (Vakalas, et al., 2023).....	16
Εικόνα 3-4: Νουμμουλίτης όπως βρέθηκε στην περιοχή ενδιαφέροντος της Μαζιάς πάνω σε ασβεστόλιθο Ηωκαίνου, σε μεγέθυνση.....	17
Εικόνα 3-5: Δεύτερο δείγμα Νουμμουλίτη στην ίδια περιοχή, σε μεγέθυνση	17
Εικόνα 3-6: Κερατολιθικοί φακοί όπως βρέθηκαν στο λατομείο της Μαζιάς	18
Εικόνα 3-7: Φλύσχης Δυτικής Ελλάδας έντονα πτυχωμένος	18
Εικόνα 3-8: Διαγεννητικός στυλόλιθος.....	19
Εικόνα 3-9: Λιθογραφικός ασβεστόλιθος.....	19
Εικόνα 3-10: Ασβεστόλιθος Ηωκαίνου	20
Εικόνα 3-11: Ασβεστόλιθος Σενωνίου	20
Εικόνα 3-12: Διακλάσεις δευτερογενώς πληρωμένες με ασβεστίτη	21
Εικόνα 4-1 Το drone DJI Phantom 4 Pro μαζί με τηλεχειριστήριο όπως χρησιμοποιήθηκε στο πεδίο.....	22
Εικόνα 4-2: Το drone κατά τη διάρκεια πτήσης για λήψη αεροφωτογραφιών στο λατομείο της Μαζιάς.....	22
Εικόνα 4-3: Εισαγωγή στοιχείων εισόδου μέσω εργαλειοθήκης.....	23
Εικόνα 4-4: Ευθυγράμμιση.....	23

Εικόνα 4-5: Αναπαράσταση του νέφους σημείων και των εντολών που ακολουθήθηκαν για τη δημιουργία του	24
Εικόνα 4-6: Αναπαράσταση του tiled model και των εντολών που ακολουθήθηκαν για τη δημιουργία του.....	25
Εικόνα 4-7: Αναπαράσταση 3D model (μικρότερης ανάλυσης μοντέλο).....	25
Εικόνα 4-8: Αναπαράσταση tiled model (υψηλότερης ανάλυσης μοντέλο)	25
Εικόνα 4-9: Αναδύομενο μενού για την δημιουργία DEM	26
Εικόνα 4-10: Αναπαράσταση του DEM και των εντολών που ακολουθήθηκαν για τη δημιουργία του	26
Εικόνα 4-11: Αναπαράσταση του orthomosaic και των εντολών που ακολουθήθηκαν για τη δημιουργία του	27
Εικόνα 4-12: Απεικονίζεται σε μεγέθυνση η υψηλή ανάλυση στην οποία λαμβάνεται το ορθομοσαϊκό χάρη στη χρήση δεδομένων εισαγωγής από το μοντέλο DEM.....	27
Εικόνα 4-13: Το tiled model για την αναπαράσταση των διακλάσεων του μετώπου scanline 1.1	28
Εικόνα 4-14: Το tiled model για την αναπαράσταση των διακλάσεων του μετώπου scanline 1.2	28
Εικόνα 4-15: Το tiled model για την αναπαράσταση των διακλάσεων του μετώπου scanline 1.3	28
Εικόνα 4-16: Το tiled model για την αναπαράσταση της κάτοψης του λατομείου της Μαζιάς	29
Εικόνα 4-17: Το orthomosaic για την γεωαναφορά της κάτοψης του λατομείου της Μαζιάς	29
Εικόνα 4-18: Το tiled model για την αναπαράσταση των διακλάσεων του μετώπου scanline 2.1	30
Εικόνα 4-19: Το tiled model για την αναπαράσταση των διακλάσεων του μετώπου scanline 2.2	30
Εικόνα 4-20: Το tiled model για την αναπαράσταση των διακλάσεων του μετώπου scanline 2.3	30
Εικόνα 4-21 Το tiled model για την αναπαράσταση της κάτοψης του σημείου ενδιαφέροντος των Αναργύρων	31
Εικόνα 4-22 Το orthomosaic για την γεωαναφορά της κάτοψης του σημείου ενδιαφέροντος των Αναργύρων	31
Εικόνα 4-23: Διαδικασία εξαγωγής αρχείου εικόνας μετώπου.....	33

Εικόνα 4-24: Η εντολή open data source manager από την εργαλειοθήκη	34
Εικόνα 4-25: Επιλογή αρχείου πηγής από το αναδύμενο μενού για εισαγωγή εικονιστικού αρχείου.....	34
Εικόνα 4-26: Ο γεωαναφερμένος χάρτης στο περιβάλλον του λογισμικού QGIS.....	34
Εικόνα 4-27: Αναπαράσταση εντολών για μετασχηματισμό συντεταγμένων από την εργαλειοθήκη	35
Εικόνα 4-28: Αναδύμενο μενού μετασχηματισμού συντεταγμένων	36
Εικόνα 4-29: Διαδικασία εξαγωγής του επιπέδου με μετασχηματισμένες συντεταγμένες	36
Εικόνα 4-30: Αναδύμενο μενού αποθήκευσης του γεωαναφερμένου επιπέδου.....	37
Εικόνα 4-31: Οι θέσεις των πρανών στο λατομείο Μαζιάς.....	38
Εικόνα 4-32: Τα αντίστοιχα μέτωπα γεωαναφερμένα στο χώρο του λατομείου.....	38
Εικόνα 4-33: Οι θέσεις των πρανών στο λατομείο των Αναργύρων	39
Εικόνα 4-34: Τα αντίστοιχα μέτωπα γεωαναφερμένα στο χώρο	39
Εικόνα 4-35: Αναδύμενο παράθυρο αποθήκευσης του αρχείου εργασίας.....	40
Εικόνα 4-36: Αναδύμενο μενού του data import assistant.....	40
Εικόνα 4-37: Ορισμός του path backdrop raster map.....	41
Εικόνα 4-38: Αναδύμενο μενού του data import assistant.....	41
Εικόνα 4-39: Ολοκλήρωση εισαγωγής raster map.....	41
Εικόνα 4-40: Το raster map ως βάση για την εισαγωγή των πρανών προς ψηφιοποίηση στο περιβάλλον του λογισμικού Digifract.....	42
Εικόνα 4-41: Μέτρηση του μήκους του πρανούς μέσω του λογισμικού Agisoft Metashape Professional.....	42
Εικόνα 4-42: Αναπαράσταση των βημάτων για εισαγωγή outcrop.....	43
Εικόνα 4-43: Εισαγωγή μήκους πρανούς και κλίσης στο αναδύμενο μενού.....	44
Εικόνα 4-44: Εισαγωγή διεύθυνσης κλίσης και κλίσης στρώματος	44
Εικόνα 4-45: Ο χάρτης στο περιβάλλον του λογισμικού μαζί με το ορισμένο πλέον outcrop.....	45
Εικόνα 4-46: Αναδύμενο παράθυρο προς επιλογή image referencing	45
Εικόνα 4-47: Το μέτωπο του πρανούς πάνω στο οποίο θα επεξεργαστούν οι διακλάσεις.	46
Εικόνα 4-48: Ορισμός του baseline και αναπαράσταση του σημείου έναρξης με βελάκι	46
Εικόνα 4-49: Αναπαράσταση του σημείου λήξης του baseline	47

Εικόνα 4-50: Επιλογή του linear scaling και εισαγωγή του μήκους πρανούς.....	47
Εικόνα 4-51: Η τελική ψηφιακή επιφάνεια του πρανούς.....	48
Εικόνα 4-52: Επιλογή εντολής capture fracture.....	49
Εικόνα 4-53: Το αρχικό στάδιο της χάραξης της διάκλασης.....	49
Εικόνα 4-54: Χάραξη της ασυνέχειας.....	49
Εικόνα 4-55: Τελική μορφή της πρώτης ασυνέχειας και αναδυόμενο μενού που προκύπτει.....	50
Εικόνα 4-56: Ενδεικτικά ο λανθασμένος σχεδιασμός διάκλασης προς αποφυγή.....	50
Εικόνα 4-57: Τελική μορφή της πρώτης ασυνέχειας στο μέτωπο του πρανούς.....	50
Εικόνα 4-58: Το πλαίσιο για το πρανές scanline 1.3.....	51
Εικόνα 4-59: Ο άξονας (trackline) πάνω στο πλαίσιο.....	52
Εικόνα 4-60: Η εντολή που επιλέγεται για το scanline analysis.....	52
Εικόνα 4-61: Το αναδυόμενο μενού του scanline analysis.....	52
Εικόνα 4-62: Ψηφιοποιημένες διακλάσεις του scanline 1.3.....	54
Εικόνα 4-63: Τα στατιστικά των διακλάσεων για το scanline 1.3.....	54
Εικόνα 4-64: Ψηφιοποιημένες διακλάσεις του scanline 1.3 (πλαίσιο παχυστρωματώδους εμφάνισης).....	55
Εικόνα 4-65: Τα στατιστικά των διακλάσεων για το scanline 1.3 (πλαίσιο παχυστρωματώδους εμφάνισης).....	55
Εικόνα 4-66: Ψηφιοποιημένες διακλάσεις του scanline 1.1.....	56
Εικόνα 4-67: Τα στατιστικά των διακλάσεων για το scanline 1.1.....	56
Εικόνα 4-68: Ψηφιοποιημένες διακλάσεις του scanline 1.2.....	57
Εικόνα 4-69: Τα στατιστικά των διακλάσεων για το scanline 1.2.....	57
Εικόνα 4-70: Ψηφιοποιημένες διακλάσεις του scanline 2.1.....	58
Εικόνα 4-71: Τα στατιστικά των διακλάσεων για το scanline 2.1.....	58
Εικόνα 4-72: Ψηφιοποιημένες διακλάσεις του scanline 2.2.....	59
Εικόνα 4-73: Τα στατιστικά των διακλάσεων για το scanline 2.2.....	59
Εικόνα 4-74: Ψηφιοποιημένες διακλάσεις του scanline 2.3.....	60
Εικόνα 4-75: Τα στατιστικά των διακλάσεων για το scanline 2.3.....	60
Εικόνα 4-76: Η εντολή εισαγωγής δεδομένων στην εργαλειοθήκη.....	63
Εικόνα 4-77: Αναδυόμενο μενού της εισαγωγής δεδομένων για την επιλογή της εικόνας πρόσοψης.....	63
Εικόνα 4-78: Τα αρχεία των διακλάσεων και του πλαισίου από το αναδυόμενο μενού.....	64

Εικόνα 4-79: Τα δεδομένα που έχουν εισαχθεί στο περιβάλλον του ArcGIS.....	64
Εικόνα 4-80: Επιλογή της εντολής clip από την εργαλειοθήκη.....	65
Εικόνα 4-81: Επιλογή των χαρακτηριστικών στα οποία θα εφαρμοστεί η εντολή clip	65
Εικόνα 4-82: Το πρηνές όπου παρουσιάζονται μόνο οι διακλάσεις εντός του πλασίου	65
Εικόνα 4-83: Η εντολή της πυκνότητας γραμμικού στοιχείου.....	66
Εικόνα 4-84: Το αναδύομενο μενού της εντολής line density.....	66
Εικόνα 4-85: Αναπαράσταση του τελικού αποτελέσματος της εντολής line density ..	67
Εικόνα 4-86: Η εντολή extract by mask στην αναζήτηση.....	67
Εικόνα 4-87: Το αναδύομενο μενού της εντολής extract by mask.....	68
Εικόνα 4-88: Αναπαράσταση του αποτελέσματος της εντολής extract by mask	68
Εικόνα 4-89: Ψηφιακή απεικόνιση της πυκνότητας των διακλάσεων του scanline 1.1	69
Εικόνα 4-90: Ψηφιακή απεικόνιση της πυκνότητας των διακλάσεων του scanline 1.2	70
Εικόνα 4-91: Ψηφιακή απεικόνιση της πυκνότητας των διακλάσεων του scanline 1.3	71
Εικόνα 4-92: Ψηφιακή απεικόνιση της πυκνότητας των διακλάσεων του scanline 1.3 (παχυστρωματώδης εμφάνιση).....	72
Εικόνα 4-93: Ψηφιακή απεικόνιση της πυκνότητας των διακλάσεων του scanline 2.1	73
Εικόνα 4-94: Ψηφιακή απεικόνιση της πυκνότητας των διακλάσεων του scanline 2.2	74
Εικόνα 4-95: Ψηφιακή απεικόνιση της πυκνότητας των διακλάσεων του scanline 2.3	75

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1-1: Το σύστημα P_{ij} πυκνότητας διακλάσεων.....	4
Πίνακας 4-1: Αποτέλεσμα ανάλυσης διακλάσεων P_{10}	61
Πίνακας 4-2: Αποτελέσματα κλασικής μεθόδου στο λατομείο της Μαζιάς.....	62
Πίνακας 4-3: Αποτελέσματα κλασικής μεθόδου στο λατομείο των Αναργύρων	62
Πίνακας 4-4: Αποτέλεσμα ανάλυσης διακλάσεων P_{21}	76

Λίστα Ιστογραμμάτων

Figure 4-1: Ιστόγραμμα για scanline 1.1	69
Figure 4-2: Ιστόγραμμα για scanline 1.2	70
Figure 4-3: Ιστόγραμμα για scanline 1.3	71
Figure 4-4: Ιστόγραμμα για scanline 1.3 (παχυστρωματώδης εμφάνιση).....	72
Figure 4-5: Ιστόγραμμα για scanline 2.1	73
Figure 4-6: Ιστόγραμμα για scanline 2.2	74
Figure 4-7: Ιστόγραμμα για scanline 2.3	75

1 Εισαγωγή

1.1 Σκοπός

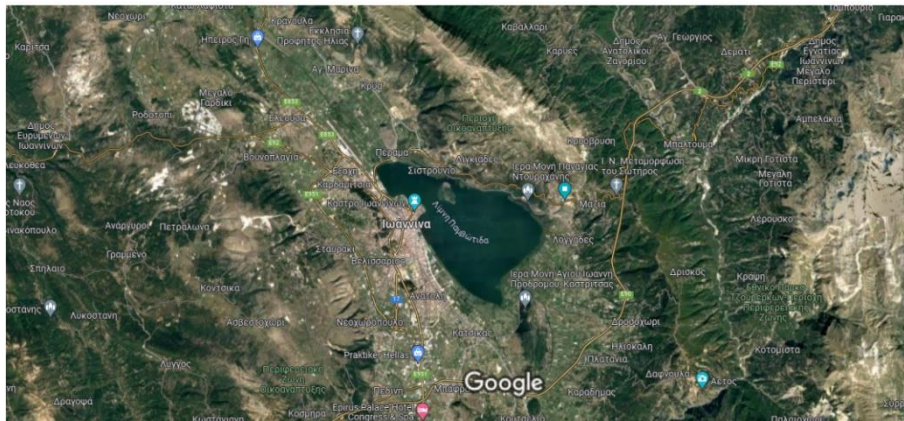
Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάλυση διαρρήξεων σε ανθρακικούς ταμιευτήρες της δυτικής Ελλάδας και πιο συγκεκριμένα σε φυσικά διαρρηγμένους ασβεστόλιθους. Η καίρια σημασία των ανθρακικών ταμιευτήρων συνίσταται στο γεγονός ότι περιλαμβάνουν περίπου τα μισά αποθέματα υδρογονανθράκων παγκοσμίως (Ahr, 2008) και χρησιμοποιούνται για την παραγωγή γεωθερμίας χάρη στα υπόγεια νερά που συγκεντρώνονται στους πόρους αυτών. Οι ανθρακικοί ταμιευτήρες παρουσιάζουν ανομοιογένεια καθώς το μέγεθος, το σχήμα και η προέλευση των πόρων τους ποικίλουν. Αυτό κάνει πιο δύσκολη την μελέτη τους σε σχέση με ιζηματογενείς ταμιευτήρες (ψαμμίτες), καθώς δεν υπάρχει συγκεκριμένο μοντέλο συσχέτισης του πορώδους με την διαπερατότητα.

Η μελέτη φυσικά διερρηγμένων ταμιευτήρων αποτελεί σημαντικό κομμάτι της πετρελαϊκής βιομηχανίας, καθώς οι διακλάσεις επηρεάζουν την συμπεριφορά των ταμιευτήρων κατά τη διάρκεια του σταδίου της εξόρυξης των υδρογονανθράκων. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του ταμιευτήρα, το δίκτυο των διακλάσεων μπορεί να ενισχύσει ή ακόμα και να παρεμποδίσει τη ροή των ρευστών μέσα από τη μάζα του ταμιευτήρα. Οι διακλάσεις μετατρέπουν έναν ταμιευτήρα χαμηλής διαπερατότητας σε δυνητικά εκμεταλλεύσιμο στόχο, καθώς ενισχύουν το ενεργό πορώδες του ταμιευτήρα στον οποίο εμπεριέχονται Υ/Α βελτιώνοντας τον ρυθμό παραγωγής για δεδομένη πτώση πίεσης (Nelson, 2001) (Wanjing Luo, 2017). Πέρα από την αύξηση της παραγωγικότητας, ένα δίκτυο διακλάσεων μπορεί ακόμα και να την εμποδίσει, λειτουργώντας ως φράγμα στη ροή (Bourbiaux, et al., 2016) (Spence, et al., 2014).

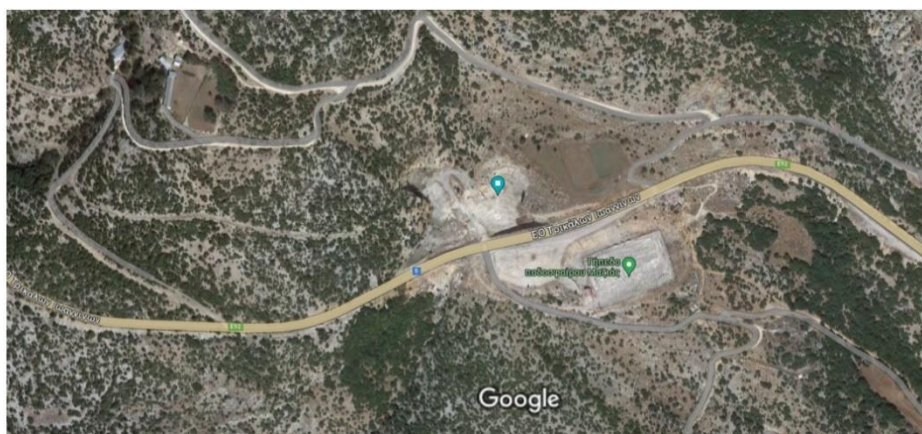
1.2 Μεθοδολογία

1.2.1 Λήψη δεδομένων πεδίου – Κλασική Μέθοδος

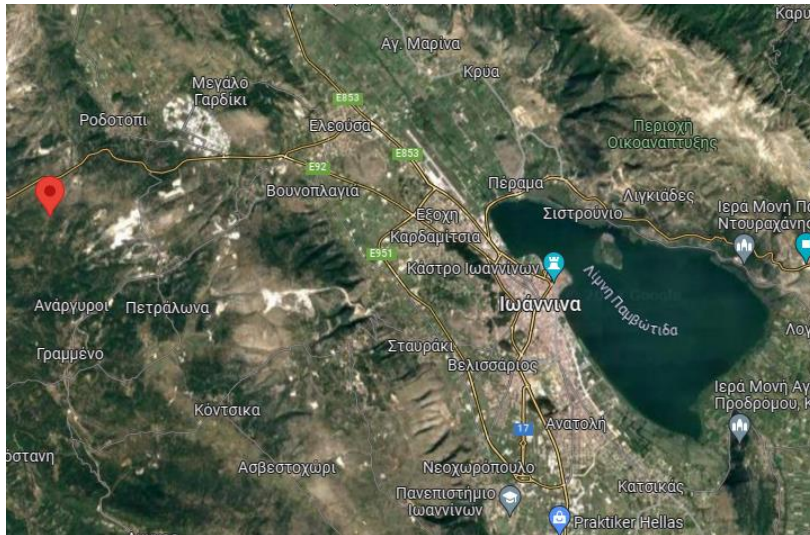
Τα δεδομένα της πειραματικής διαδικασίας λήφθηκαν από δύο εγκαταλελειμμένα λατομεία αδρανών στην περιοχή του νομού Ιωαννίνων, στη Δυτική Ελλάδα. Η πρώτη περιοχή ενδιαφέροντος βρίσκεται στην περιοχή της Μαζιάς (Εικόνα 1-2) και λήφθηκαν δεδομένα διακλάσεων από τρία πρανή, το scanline 1.1 με προσανατολισμό Βορειοδυτικό, το scanline 1.2 Βορειοανατολικό και το scanline 1.3 Βόρειο. Η δεύτερη περιοχή ενδιαφέροντος (Εικόνα 1-4) βρίσκεται 2 χλμ Βόρεια του χωριού Αναργύρων και 12 χλμ Δυτικά από την πόλη των Ιωαννίνων και λήφθηκαν δεδομένα διακλάσεων από τρία πρανή, το scanline 2.1 με προσανατολισμό Βόρειο, το scanline 2.2 Ανατολικό και το scanline 2.3 Δυτικό.



Εικόνα 1-1: Η ευρύτερη περιοχή της πόλης Ιωαννίνων από δορυφόρο της Google



Εικόνα 1-2: Η περιοχή ενδιαφέροντος της Μαζιάς από δορυφόρο της Google



Εικόνα 1-3: Η ευρύτερη περιοχή Δυτικά της πόλης των Ιωαννίνων από δορυφόρο της Google



Εικόνα 1-4: Η περιοχή ενδιαφέροντος των Αναργύρων από δορυφόρο της Google

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε κάθε πρηνές έχουν σχέση με τις διακλάσεις. Σημειώνονται η μετρούμενη απόσταση από την αρχή του πρηνούς σε οριζόντια διεύθυνση, η μεταξύ απόσταση dx μεταξύ δύο γειτονικών διακλάσεων, η κλίση και διεύθυνση κλίσης κάθε διάκλασης και τέλος αν είναι ανοιχτή ή κλειστή. Στην περίπτωση που είναι ανοιχτή, λαμβάνεται το πλάτος του ανοίγματός της σε mm και σε περίπτωση που είναι κλειστή τι πληρωμένο υλικό συναντάται (εδώ υπάρχει μόνο ασβεστίτης). Τα δεδομένα παρουσιάζονται αναλυτικά στο **Παράρτημα (Δεδομένα πεδίου)**.

Επιπροσθέτως, λήφθηκαν αεροφωτογραφίες μέσω drone για την ψηφιακή απεικόνιση των πρानών αλλά και για τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων.

1.2.2 Ανάλυση Δικτύου Διακλάσεων

Για το χαρακτηρισμό και τη μελέτη ενός δικτύου διακλάσεων βασιζόμαστε σε ένα σύστημα μέτρησης της πυκνότητας διακλάσεων ανάλογα με την κλίμακα και τις διαστάσεις στο χώρο τις οποίες ενδιαφερόμαστε να αναπτύξουμε (Dershowitz & Herda, 1992). Οι παράμετροι P_{ij} παρουσιάζονται στον Πίνακα 1-1 (Rogers, Bewick, Brzovic, & Gaudreau, 2017) συγκεντρωτικά. Η παρούσα εργασία πραγματεύεται τις αναλύσεις P_{10} και P_{21} .

		Dimension of measurement				
		0	1	2	3	
Dimension of sample	1D	P_{10} (m ⁻¹) No of fractures per unit length of borehole	P_{11} Length of fractures per unit length			Linear measures (BHs, scanline)
	2D	P_{20} No of fractures per unit area	P_{21} (m ⁻¹) Length of fractures per unit area	P_{22} Area of fractures per area		Areal measures (maps, drift walls, bench faces, etc.)
	3D	P_{30} No of fractures per unit volume		P_{32} (m ⁻¹) Area of fractures per unit volume	P_{33} Volume of fractures per unit volume	
Term		Density		Intensity	Porosity	

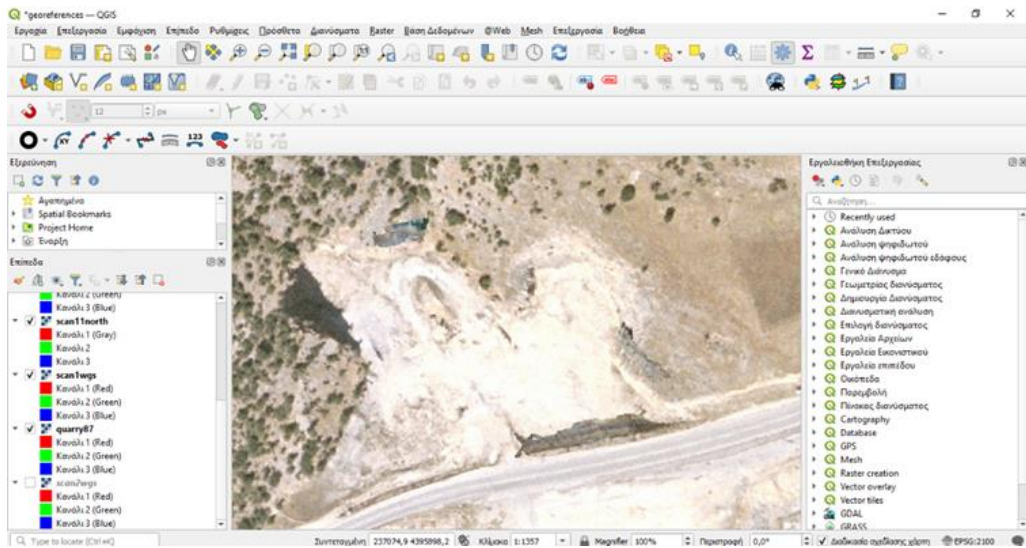
Πίνακας 1-1: Το σύστημα P_{ij} πυκνότητας διακλάσεων

Η ανάλυση P_{10} (=n/m) αναφέρεται στον αριθμό των διακλάσεων ανά μήκος πρानού. Η ανάλυση γίνεται σε μία διάσταση και στηρίζεται στα δεδομένα που έχουν ληφθεί στο πεδίο **Παράρτημα (Δεδομένα πεδίου)**. Η ανάλυση P_{21} (=m/m²) αναφέρεται στο συγκεντρωτικό μήκος διακλάσεων ανά επιφάνεια και στηριζόμενη στα αποτελέσματα της P_{10} , ανάγει την ανάλυση μέσω κατάλληλου λογισμικού στις δύο διαστάσεις.

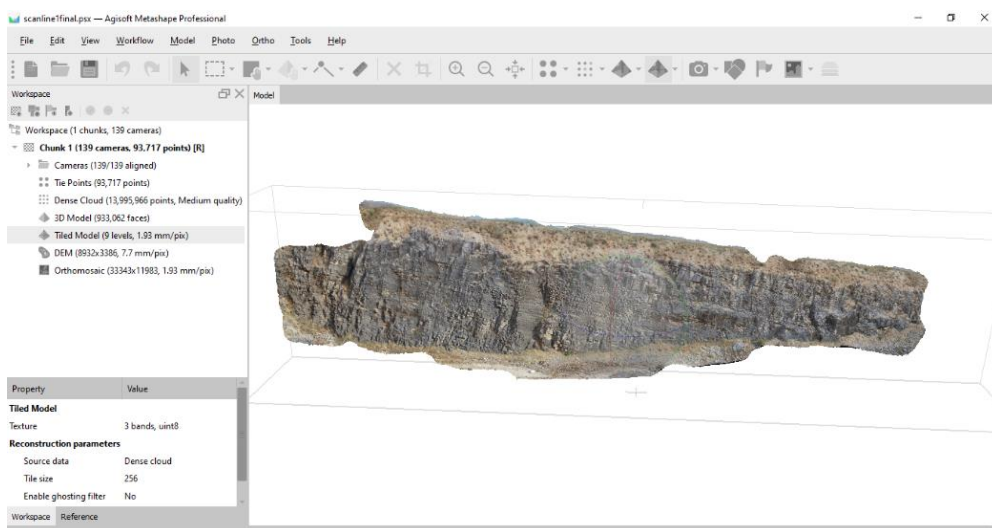
1.2.3 Λογισμικά

Για την επεξεργασία των δεδομένων υψηλής ανάλυσης που λήφθηκαν χρησιμοποιήθηκαν τα εξής λογισμικά:

- QGIS, δωρεάν και ανοιχτού τύπου εφαρμογή για χρήση σε υπολογιστή που επεξεργάζεται συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών και υποστηρίζει την ανάλυση γεωχωρικών δεδομένων. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε για την γεωαναφορά των επιφανειών των πρανών του ασβεστόλιθου για μετέπειτα επεξεργασία των διακλάσεων. (Εικόνα 1-5)

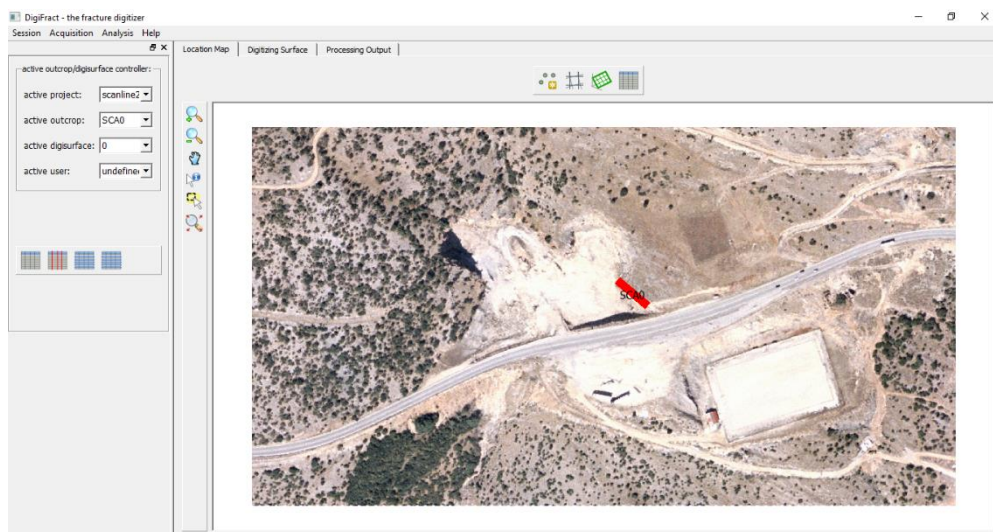


Εικόνα 1-5: Το περιβάλλον εργασίας του λογισμικού QGIS

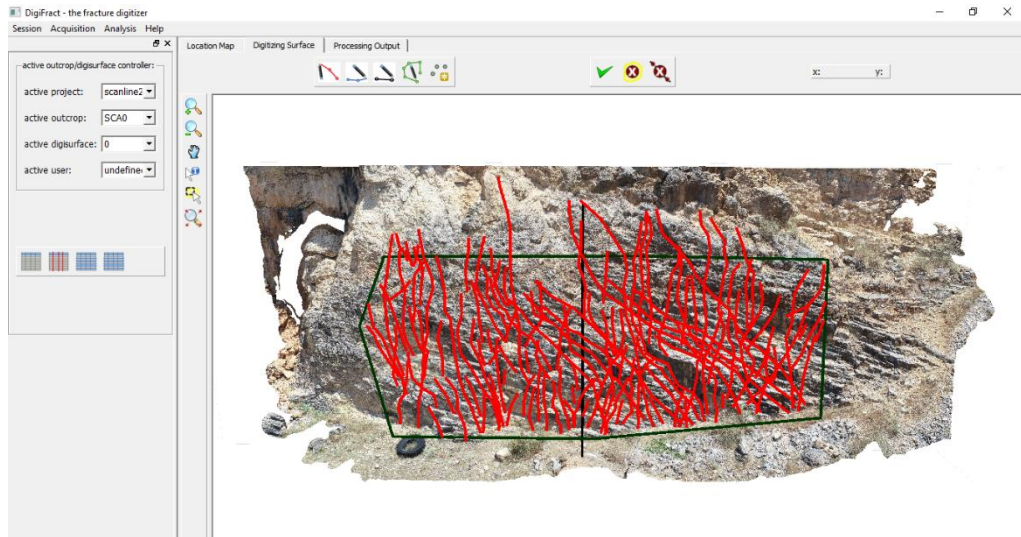


Εικόνα 1-6: Το περιβάλλον εργασίας του λογισμικού Agisoft Metashape

- Agisoft Metashape Professional (one-month free trial edition), λογισμικό φωτογραμμετρίας δηλαδή δημιουργίας τρισδιάστατου μοντέλου κάποιου αντικειμένου ή επιφάνειας μέσω της χρήσης φωτογραφιών υψηλής συνήθως ανάλυσης. (Εικόνα 1-6)
- Χάρη στο λογισμικό DigiFract λαμβάνει κανείς δεδομένα διακλάσεων από πρανή με αρκετά αποδοτικό και ολοκληρωμένο τρόπο σε σχέση με άλλες αντίστοιχες μεθόδους. Εστιάζει στη συστηματική συλλογή χωρικών δεδομένων σε ψηφιακή μορφή, δηλαδή γεωμετριών και χαρακτηριστικών πρανών και αντλεί χωρικές πληροφορίες μέσω μεταγενέστερων αναλύσεων εντός του λογισμικού. Το λογισμικό αναπτύχθηκε στη λογική των συστημάτων γεωλογικής πληροφορίας έτσι ώστε να εκμεταλλευθεί τα δεδομένα ψηφιδωτής διαμέρισης και τα διανυσματικά δεδομένα συμπεριλαμβανομένου τη γεωαναφορά φωτογραφιών πρανών (Εικόνα 1-7) και εργαλεία ψηφιοποίησης και καταχώρησης πληροφοριών μέσω σχεδίασης (Εικόνα 1-8). Βασική διαφορά του DigiFract, σε σχέση με το περιβάλλον GIS, είναι το γεγονός ότι συλλέγει χαρακτηριστικά σε μια επιφάνεια προσανατολισμένη στο χώρο. Αυτή η επιφάνεια επικαλύπτεται με μια φωτογραφία πρανούς και χρησιμεύει ως πλαίσιο αναφοράς για την ψηφιοποίηση γεωλογικών χαρακτηριστικών. Μέσω του λογισμικού λαμβάνονται πληροφορίες σχετικά με την πυκνότητα των διακλάσεων, το μήκος και τη μεταξύ τους απόσταση. (Hardebol & Bertotti, 2012)

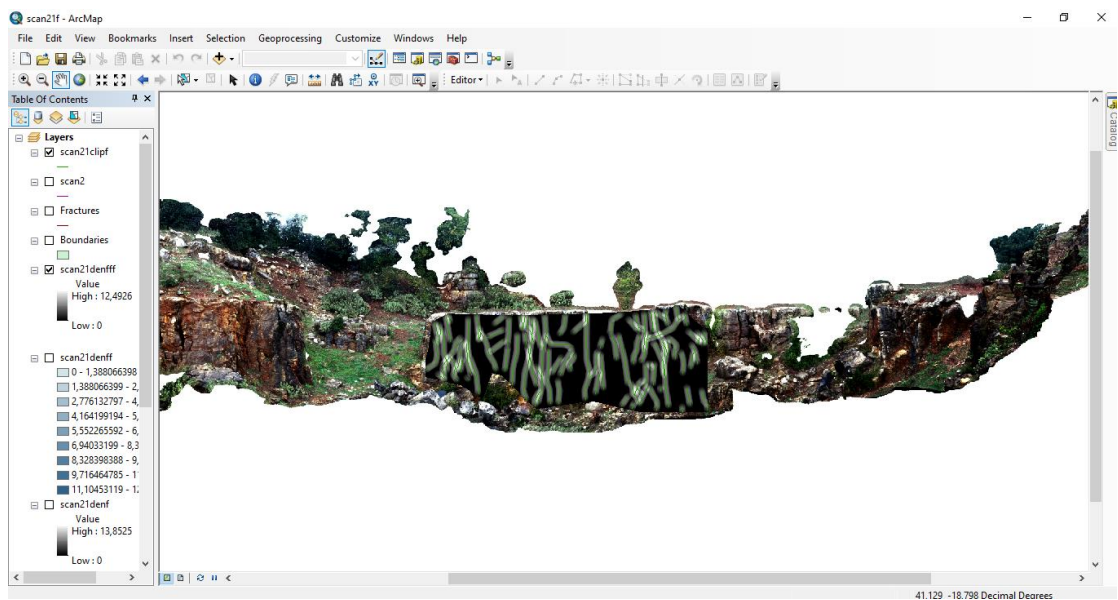


Εικόνα 1-7: Το περιβάλλον ψηφιδωτής διαμέρισης του λογισμικού DigiFract



Εικόνα 1-8: Το περιβάλλον ψηφιοποίησης διακλάσεων του λογισμικού DigiFract

- ArcGIS (ArcMap), λογισμικό επεξεργασίας γεωχωρικών δεδομένων. Χρησιμοποιήθηκε με σκοπό την αποτύπωση των διακλάσεων των πρανών σε σχέση με την επιφάνεια, δηλαδή για την πυκνότητά τους. (Εικόνα 1-9)



Εικόνα 1-9: Το περιβάλλον εργασίας του λογισμικού ArcGIS

1.2.4 Επεξεργασία δεδομένων

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε η φωτογραμμετρική ανάλυση μέσω του Agisoft Metashape με τελικό προϊόν ένα tiled model και ένα ορθομοσαϊκό για κάθε πρηνές και κάτοψη των περιοχών ενδιαφέροντος. Έπειτα, μέσω του λογισμικού QGIS, πραγματοποιήθηκε γεωαναφορά όλων των τελικών προϊόντων που δημιουργήθηκαν στο προηγούμενο βήμα για την σωστή τοποθέτηση και αναπαράστασή τους στο χώρο του DigiFract, στο οποίο εν συνεχεία, λαμβάνει χώρα η ψηφιοποίηση των διακλάσεων.

Με την ολοκλήρωση της ψηφιοποίησης για κάθε πρηνές μπορεί πλέον να πραγματοποιηθεί η ανάλυση διακλάσεων P₁₀.

Η ολοκλήρωση της επεξεργασίας επιτυγχάνεται με τον υπολογισμό της πυκνότητας διακλάσεων μέσω του ArcMap, η οποία αποτελεί την ανάλυση διακλάσεων P₂₁.

Επιπροσθέτως, παρατίθενται και υπολογισμοί των δεδομένων πεδίου σε υπολογιστικά φύλλα (κλασική μέθοδος) για λόγο σύγκρισης των αποτελεσμάτων μεταξύ των μεθόδων.

2 Θεωρητικό υπόβαθρο

2.1 Ορισμός διακλάσεων

Ως διακλάσεις ορίζονται οι φυσικά προερχόμενες μακροσκοπικές επίπεδες ασυνέχειες βραχόμαζας λόγω παραμόρφωσης ή φυσικής διαγένεσης (Ahr, 2008). Σχηματίζονται συνήθως ως αποτέλεσμα ψαθυρής και ελαστικής παραμόρφωσης υπό διαφορικό καθεστώς τάσεων (Ahr, 2008). Συνεπώς προέρχονται από διαστολή ή επιμήκυνση της βραχόμαζας κάθετα στο επίπεδο της ασυνέχειας (Ροντογιάννη, 2018). Οι επιφανειακές εμφανίσεις βραχόμαζας ασβεστόλιθου χαρακτηρίζονται από ψαθυρή παραμόρφωση λόγω των χαμηλών επιφανειακών θερμοκρασιών και των περιορισμένων πιέσεων (Ahr, 2008). Σε υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις κυριαρχεί όλκιμη συμπεριφορά με αποτέλεσμα να προκαλείται κάμψη της βραχόμαζας αντί για ρωγματισμό της, κάτι το οποίο συναντάται κυρίως σε μορφή ζωνών της παραμορφωμένης βραχόμαζας και όχι ως διακριτές κατανομές όπως στην περίπτωση των διακλάσεων (Ahr, 2008).

2.2 Ορισμός ταμιευτήρα

Ως ταμιευτήρας στη μηχανική πετρελαίων ορίζεται μια βραχόμαζα που χαρακτηρίζεται από πορώδες και διαπερατότητα και εμπεριέχει στη μάζα της ποσότητα υδρογονάνθρακα που χρήζει εμπορικής εκμετάλλευσης. Το πορώδες και η διαπερατότητα κάθε ταμιευτήρα μπορούν να οφείλονται σε παράγοντες όπως διαγένεση, απόθεση και ρωγματισμό, διακριτά αλλά και σε συνδυασμό μεταξύ τους. Οι ταμιευτήρες είναι τρισδιάστατα σώματα που αποτελούνται από το μητρικό πέτρωμα (rock matrix) και ένα δίκτυο διασταυρούμενων πόρων (interconnected pores) (Ahr, 2008). Για την ολοκληρωμένη μελέτη ενός ταμιευτήρα είναι απαραίτητο να είναι γνωστή η τρισδιάστατη γεωμετρία του δικτύου των πόρων.

2.3 Διερρηγμένοι ταμιευτήρες (fractured reservoirs)

Κατά (Nelson, 2001) διερρηγμένοι ταμιευτήρες (fractured reservoirs) είναι “ταμιευτήρες στους οποίους φυσικά σχηματισμένες διακλάσεις έχουν, ή πρόκειται να έχουν, σημαντική επίδραση στη ροή ρευστού είτε με τη μορφή αύξησης της διαπερατότητας του ταμιευτήρα, είτε με την αύξηση της ανισοτροπίας της διαπερατότητας.”

Το δίκτυο των διακλάσεων σε έναν ταμιευτήρα είναι το αποτέλεσμα της γεωλογικής ιστορίας που έχει διανύσει υπό την έννοια των τάσεων που έχουν εφαρμοσθεί στη βραχώμαζα αλλά και των ιδιοτήτων της. Ως ιδιότητες της βραχώμαζας αναφέρονται οι λιθολογικές, πετροφυσικές και ιζηματολογικές αρχικές φάσεις του μητρικού πετρώματος, ο χρόνος λιθοποίησης και ο χρόνος του διαγενετικού αποτυπώματος. Πάνω σε αυτές τις ιδιότητες δρουν ως εξωτερικός παράγοντας οι διάφορες τάσεις κατά τη διάρκεια του γεωλογικού χρόνου οι οποίες προέρχονται από: τοπικά τεκτονικά καθεστώτα, αποτέλεσμα των τεκτονικών τάσεων όπως ρήγματα και πτυχώσεις, ενταφιασμό, αποφόρτιση λόγω αποσάθρωσης και θερμικές τάσεις πχ ψύξη λόγω αποσάθρωσης.

Η μελέτη ενός ταμιευτήρα γίνεται σε διάφορες κλίμακες (μικροσκοπική και μακροσκοπική). Η πρώτη περιλαμβάνει την επεξεργασία των διακλάσεων που παρατηρούνται μέσω λήψης δεδομένων από γεωτρήσεις (well logs) και μεθόδων φωτογραμμετρίας (image log data). Στην παρούσα εργασία η μελέτη του ταμιευτήρα γίνεται σε μεσοσκοπική κλίμακα. Λόγου χάρι αναφέρεται ότι η μακροσκοπική κλίμακα περιλαμβάνει τις γεωφυσικές μεθόδους σεισμικών κυμάτων.

2.4 Ορισμός ανθρακικού ταμιευτήρα

Τα ανθρακικά (CO_2) πετρώματα προκύπτουν από τη φύση σε μορφή βιοκλαστικών ιζημάτων, από τους ασβεστιτικούς σκελετούς μικροοργανισμών. Τα θραύσματα των μικροοργανισμών αυτών που ζούσαν στον πυθμένα ρηχού θαλάσσιου περιβάλλοντος, δέχονται συγκόλληση (cementation) χάρι στο ανθρακικό άλας που κατακρημνίζεται από το νερό (Darling, 2005). Ανθρακικοί ταμιευτήρες μπορούν να είναι τριών τύπων

ανάλογα με το περιβάλλον δημιουργίας τους: ρηχής θαλάσσης, βαθέων υδάτων και υφάλων.

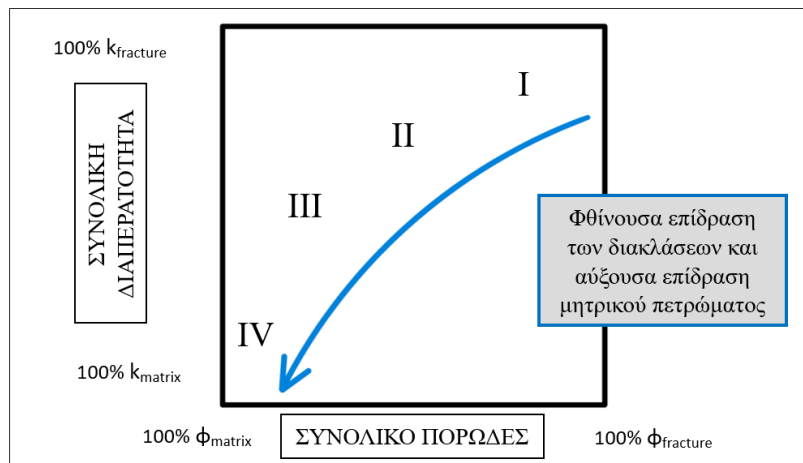
Η σημασία των ανθρακικών ταμιευτήρων επίκειται στο γεγονός ότι περιλαμβάνουν περίπου τα μισά αποθέματα υδρογονανθράκων παγκοσμίως (Ahr, 2008). Το ενδιαφέρον των ανθρακικών ταμιευτήρων επεκτείνεται και σε εφαρμογές γεωθερμίας χάρη στα υπόγεια νερά που συγκεντρώνονται στους πόρους αυτών. Οι ανθρακικοί ταμιευτήρες παρουσιάζουν ανομοιογένεια καθώς το μέγεθος, το σχήμα και η προέλευση των πόρων τους ποικίλουν. Αυτό κάνει πιο δύσκολη την μελέτη τους σε σχέση με ιζηματογενείς ταμιευτήρες (ψαμμίτες), καθώς δεν υπάρχει συγκεκριμένο μοντέλο συσχέτισης του πορώδους με την διαπερατότητα. Χρειάζεται συνεπώς κάποιος να διατρέξει σε μοντέλα ταξινόμησης.

2.5 Ταξινόμηση κατά Nelson (2001) για διερρηγμένους ταμιευτήρες

Ο Nelson δημιούργησε μια ταξινόμηση για τους φυσικά διερρηγμένους ταμιευτήρες με βάση την κατανομή των διακλάσεων σε σχέση με το μητρικό πέτρωμα.

- Τύπος I: το σύστημα των διακλάσεων έντονης πυκνότητας αντιπροσωπεύει την συνολική αποθηκευτική ικανότητα και ικανότητα ροής του ταμιευτήρα. Οι διακλάσεις ουσιαστικά παρέχουν εξολοκλήρου το πορώδες και τη διαπερατότητα του ταμιευτήρα. Συναντάται σπάνια σε ταμιευτήρες πυθμένα (basement reservoir) και ηφαιστειακής προέλευσης βραχώμαζα.
- Τύπος II: η ικανότητα ροής προσδιορίζεται από το σύστημα των διακλάσεων ενώ η αποθηκευτική ικανότητα συσχετίζεται το μητρικό πέτρωμα. Τυπικά παραδείγματα αποτελούν ανθρακικοί ταμιευτήρες επηρεασμένοι από μικροπορώδες ή διαγενετικό αποτύπωμα με αποτέλεσμα την άμβλυση της διαπερατότητας όπως στρώματα ασβεστολίθου.
- Τύπος III: η ικανότητα ροής ενισχύεται από το σύστημα των διακλάσεων ενώ η αποθηκευτική ικανότητα συσχετίζεται με το μητρικό πέτρωμα (Egya, 2018). Αναφέρεται σε ταμιευτήρες που έχουν ήδη δυνατότητα παραγωγής και τυπικά παραδείγματα είναι ψαμμίτες ή ανθρακικά όπως στο Kirkuk field (Ιραν) και το Dukhan (Κατάρ) (Ahr, 2008).

- Τύπος IV: οι διακλάσεις δεν παρέχουν επιπρόσθετη διαπερατότητα ή πορώδες αλλά απεναντίας μπορούν να δημιουργήσουν εμπόδια στη ροή του ρευστού. Η ικανότητα ροής και αποθήκευσης εξαρτώνται πλήρως από το μητρικό πέτρωμα.

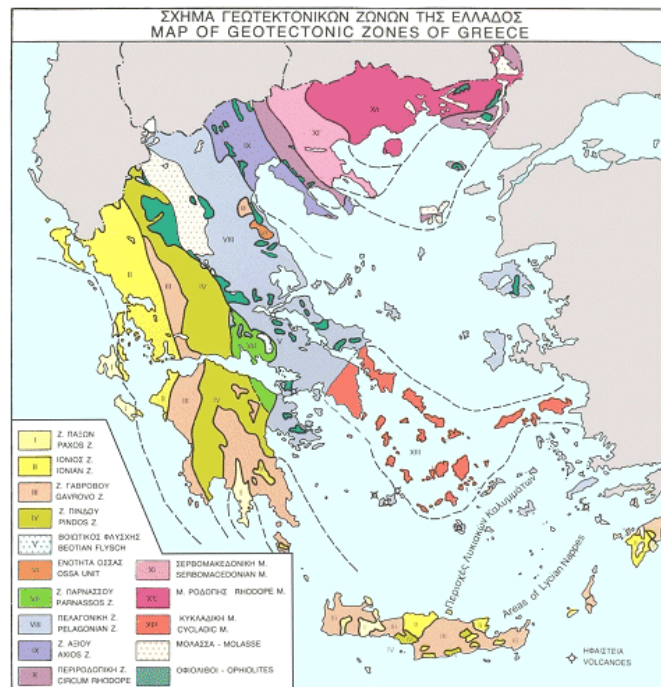


Εικόνα 2-1: Σχηματική απεικόνιση της ταξινόμησης κατά Nelson (2001)

3 Γεωλογικό Υπόβαθρο

3.1 Γενικά

Στον Ελλαδικό χώρο παρατηρούνται γεωλογικές ζώνες με τα ίδια χαρακτηριστικά, ως προς τον παλαιογραφικό χώρο στον οποίο δημιουργήθηκαν τα πετρώματα από τα οποία αυτές συνίστανται. Αυτοί οι γεωλογικοί σχηματισμοί που διατρέχουν κατά μήκος τον κορμό της χώρας και είναι σχεδόν παράλληλοι μεταξύ τους, παρουσιάζουν μια ζωνώδη κατανομή με ΒΒΔ -ΝΝΑ κατεύθυνση, καμπυλώνονται Νότια και τελικά κλείνουν στην Ανατολική Μεσόγειο με τοξοειδές σχήμα (Ροντογιάννη, 2018). Οι ζώνες αυτές που κατά μήκος τους υπάρχουν τα ίδια πετρώματα ονομάζονται γεωτεκτονικές ζώνες (Εικόνα 3-1) και είναι περιοχές με παρόμοια γεωλογική δομή και ορογενετική εξέλιξη (Ροντογιάννη, 2018). Μάλιστα, κάθε μία από αυτές έχουν ορισμένη στρωματογραφική διαδοχή, ιδιαίτερους λιθολογικούς χαρακτήρες και ιδιαίτερη τεκτονική συμπεριφορά (Ροντογιάννη, 2018).

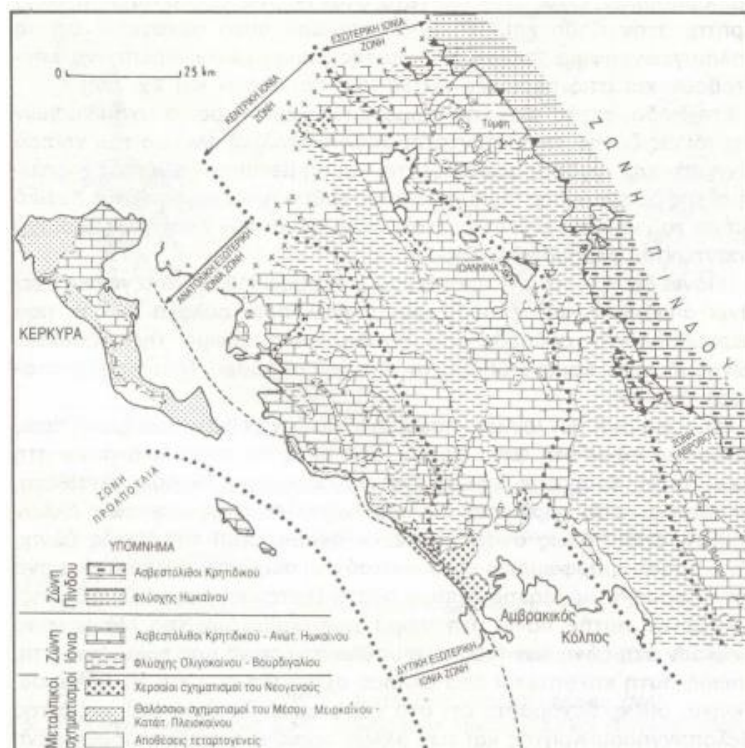


Εικόνα 3-1:Χάρτης των γεωτεκτονικών ζωνών της Ελλάδας (τροποποιημένος από Μπορνόβα & Ροντογιάννη 1983)

Οι περιοχές ενδιαφέροντος, από τις οποίες ελήφθησαν δεδομένα, ανήκουν στην Ιόνιο ή Αδριατικοϊόνιο ζώνη, η οποία αποτελεί μέρος των Εξωτερικών Ελληνίδων και βρίσκεται στην Δυτική Ελλάδα. Οι γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδας αναλυτικότερα,

από τα Ανατολικά προς τα Δυτικά είναι οι εξής: Η μάζα Ροδόπης, η Σερβομακεδονική μάζα, η Περιοδοπική ζώνη, η ζώνη Αξιού, η Πελαγονική Ζώνη, η Αττικοκυκλαδική μάζα, η Υποπελαγονική ζώνη (ή ζώνη Ανατολικής Ελλάδας ή μη μεταμορφωμένη Πελαγονική ζώνη), η ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας, η ζώνη Ωλονού-Πίνδου, η ζώνη Γαβρόβου-Τριπόλεως, η Ιόνιος ή Αδριατικοϊόνιος ζώνη και η ζώνη Παξών ή Προαπούλια (Ροντογιάννη, 2018).

Η Ιόνιος ή Αδριατικοϊόνιος ζώνη εκτείνεται από τα σύνορα με την Αλβανία προς τα Νότια, δηλαδή προς την Δυτική Ηπειρωτική Ελλάδα (Ηπειρος και Ακαρνανία), τα Επτάνησα, τη ΒΔ Πελοπόννησο και κατά τόπους την Κρήτη (Κατσικάτσος, 1992). Στην Ιόνιο ζώνη περιλαμβάνεται και μια σειρά κρυσταλλικών ασβεστολίθων γνωστή ως Σειρά Πλακωδών Ασβεστολίθων (ή πελαγικοί ασβεστόλιθοι) ή Plattenkalk, που απαντούν σε μεγάλη έκταση στην Πελοπόννησο και στην Κρήτη και θεωρούνται η ως προς το Νότο μεταμορφωμένη συνέχεια της (Ροντογιάννη, 2018).



Εικόνα 3-2: Η επί μέρους διάκριση της Ιόνιας ζώνης και η επωθημένη ζώνη της Πίνδου (Κατά γαλλικό ινστιτούτο πετρελαίου και Ι.Γ.Ε.Υ. με τροποποιήσεις από (Aubouin, Desprairies, & Terry, 1977))

Σύμφωνα με τον (Aubouin, 1959) η Ιόνια ζώνη αποτελούσε μια υποθαλάσσια αύλακα που παρεμβαλλόταν ανάμεσα στο υποθαλάσσιο ύβωμα της Απούλιας ζώνης προς τα

δυτικά και στο ύψωμα της ζώνης Γαβρόβου-Τριπόλεως προς τα ανατολικά (Κατσιακάτσος, 1992).

Η περιοχή έχει κεντρίσει το ενδιαφέρον για πετρελαϊκή έρευνα εδώ και πολλά χρόνια. Παρόλα αυτά υπάρχει ακόμα αρκετή ασάφεια στη βαθύτερη δομή του φλοιού και οι εξωτερικές Ελληνίδες (στις οποίες ανήκει η Ιόνιος) θεωρούνται ως μια περιοχή που αποτελείται είτε από λεπτούς είτε από πιθανή συνύπαρξη λεπτών και μεγάλου πάχους σχηματισμών της Μεσοζωικής και Καινοζωικής περιόδου πάνω από εβαπορίτες τριαδικής ηλικίας και Πέρμιας ηλικίας σχηματισμούς (Vakalás, et al., 2023)

Αναλυτικότερα, η Ιόνιος ζώνη αποτελείται από ιζηματογενή πετρώματα. Με βάση τη στρωματογραφική στήλη (Εικόνα 3-3), στην Ιόνιο ζώνη, οι παλαιότεροι σχηματισμοί που συναντώνται είναι οι εβαπορίτες τριαδικής ηλικίας, οι οποίοι σύμφωνα με γεωτρήσεις που έλαβαν χώρα για την ανεύρεση πετρελαίου στην περιοχή της Ηπείρου έχουν μεγάλο πάχος, μεγαλύτερο των 3000μ (Κατσιακάτσος, 1992). Εν συνεχεία, ακολουθούν σχηματισμοί του ανώτερου Τριαδικού, που βρίσκονται πάνω στους εβαπορίτες και ονομάστηκαν από τον C. Renz Ασβεστόλιθοι Φουσταπήδημα. Ακολουθούν άστρωτοι δολομίτες και νηριτικοί ασβεστόλιθοι Ανώτερου Τριαδικού έως Κατώτερου Λιασίου με πάχος που υπερβαίνει τα 1000 μέτρα (Κατσιακάτσος, 1992). Έπειτα, συναντώνται ασβεστόλιθοι Σινίων του Μέσου Λιάσιου και αποτελούν μεταβατικά ιζήματα ρηχής προς βαθιάς θαλάσσης (Κατσιακάτσος, 1992). Στο ανώτερο Λιάσιο (Τοάρσιο) υπάρχουν ερυθροϊώδεις κονδυλώδεις ασβεστόλιθοι με αμμωνίτες (ammonitico rosso) μικρού πάχους και στο Δογγέριο κατώτεροι πυριτικοί σχιστόλιθοι με Posidonia μικρού πάχους (Κατσιακάτσος, 1992). Οι ασβεστόλιθοι Βίγλας υπέρκεινται των σχηματισμών του Δογγερίου και είναι λεπτοπλακώδεις πελαγικοί ασβεστόλιθοι με πάχος έως τα 700 μέτρα ηλικίας Ανώτερου Ιουρασικού έως Κατώτερου Σενωνίου (Κατσιακάτσος, 1992). Στα ανώτερα μέλη του σχηματισμού υπάρχουν πυριτόλιθοι, ασβεστόλιθοι, μάργες και αργιλικοί σχιστόλιθοι ηλικίας Ανώτερου Αλβίου έως Τουρωνίου. Επιπροσθέτως, ακολουθούν στρώσεις ασβεστολίθων Σενωνίου, Παλαιοκαίνου και Ηωκαίνου. Τελικά, εμφανίζεται η απόθεση του φλύσχη Ολιγοκαίνου, ο οποίος κατά θέσεις μπορεί να φτάσει και τα 2500 μέτρα (Ροντογιάννη, 2018). Αξίζει να σημειωθεί το γεγονός ότι οι σχηματισμοί της Ιονίου ζώνης εμφανίζονται έντονα πτυχωμένοι, σχηματίζοντας μεγάλα σύγκλινα και αντίκλινα.

SYSTEM	SERIES	STAGE	LITHOLOGY	THICKNESS	TECTONIC STAGE	
TERTIARY PALEOGENE-NEOGENE	QUATERNARY	VERSILIAN	DELTAIC	>2000M	POST-RIFT	
		CATALAVRIAN				
		PLACENZIAN				
	TERTIARY PALEOGENE-NEOGENE	MIOCENE	ZANCLEAN	MOLASSE		>1400M
			MESSINIAN			
			TORTONIAN			
			SERRAVALLIAN			
			LANGHIAN			
			BURDIGALIAN			
			AQUITANIAN			
		CHATTIAN				
		PALEOCENE	RUPELIAN	FLYSCH		300-700M
			PRIABONIAN	TRANSITIONAL MARI		
			BARTONIAN	EOCENE Limestones		
			LUTETIAN			
			YPRESIAN			
			THANETIAN			
SELANDIAN						
DANIAN						
CRETACEOUS	UPPER	MAASTRICHTIAN	SENQNIAN Limestones	200-700M		
		CAMPANIAN				
		SANTONIAN				
		CONIACIAN				
		TURONIAN				
		CENOMANIAN				
		ALBIAN				
	LOWER	APTIAN	VIGLA Limestones	200-700M		
		BARREMIAN				
		HAUTERIVIAN				
		VALANGINIAN				
		BERRIASIAN				
		TITHONIAN			POSIDONIA BEDS	20-200M
		KIMMERIDGIAN				
		OXFORDIAN				
		CALLOVIAN				
		BATHONIAN				
MIDDLE	BAJOCIAN	20-150M				
	AALENIAN					
	TOARCIAN					
	PLIENSCHACHIAN					
JURASSIC	LOWER	SINEMURIAN	PANTOKRATOR Limestones	>1000M		
		HETTANGIAN				
		FOUSTAPIDIMA Limestones			50-150M	
TRIASSIC	LATE	RHAETIAN	FOUSTAPIDIMA Limestones	50-150M		
		NORIAN				
		CARNIAN				
	MIDDLE	LADINIAN	EVAPORITES	>1500M		
		ANISIAN				
EARLY	SCYTHIAN	EVAPORITES	>1500M	PRERIFT		

Εικόνα 3-3: Στρωματογραφική στήλη της Ιονίου Ζώνης (Vakalas, et al., 2023)

Αξίζει να αναφερθεί ότι στο όριο της Ιονίου ζώνης προς τα δυτικά, παρατηρούνται διεισδυτικοί εβαπορίτες που αντιπροσωπεύουν το χαμηλότερο επίπεδο αποκόλλησης των επωθήσεων των Εξωτερικών Ελληνίδων (Karakitsios, 2013) Οι εβαπορίτες αυτοί εμφανίζονται με την μορφή διάπυρων είτε ως ορίζοντες επί των οποίων ευνοείται η κίνηση επωθητικών ρηγμάτων. Η παραμόρφωση συστολής ήταν τόσο έντονη που επισκίασε τις κινήσεις των αλάτων (halokinesis) που προέκυψαν κατά τη διάρκεια της Μεσοζωικής εποχής (Vakalas, et al., 2023)

3.2 Περιοχή ενδιαφέροντος

Αναφορικά με την πρώτη περιοχή ενδιαφέροντος, στο λατομείο της Μαζιάς, τα δεδομένα λαμβάνονται σε ασβεστόλιθο Ηωκαίνου, κάτι το οποίο υποστηρίζεται από την ύπαρξη απολιθωμάτων Νουμμουλιτών (Nummulite) ίδιας ηλικίας οι οποίοι συναντώνται σε πελαγικούς σχηματισμούς Ηωκαίνου και Μειοκαίνου (Εικόνες 3-4 και 3-5).



Εικόνα 3-4: Νουμμουλίτης όπως βρέθηκε στην περιοχή ενδιαφέροντος της Μαζιάς πάνω σε ασβεστόλιθο Ηωκαίνου, σε μεγέθυνση



Εικόνα 3-5: Δεύτερο δείγμα Νουμμουλίτη στην ίδια περιοχή, σε μεγέθυνση

Ανά θέσεις, στην πρώτη περιοχή ενδιαφέροντος, παρατηρούνται στον ασβεστόλιθο του Ηωκαίνου, κερατολιθικοί φακοί ή ενστρώσεις (chert nodules)(Εικόνα 3-6). Οι εμφανίσεις αυτές είναι αποτέλεσμα διαγενετικών διεργασιών που προέκυψαν στην περιοχή κατά την διάρκεια των οποίων το πυρίτιο που έχει δημιουργηθεί από κελύφη μικροοργανισμών αντικαθιστά το ανθρακικό ασβέστιο. (Chert Nodule, 2023)



Εικόνα 3-6: Κερατολιθικοί φακοί όπως βρέθηκαν στο λατομείο της Μαζιάς

Ενδεικτικά παρουσιάζεται επιφανειακή εμφάνιση φλύσχη σε περιοχή κοντα στην πόλη των Ιωαννίνων με έντονο γεωλογικό ενδιαφέρον. Ο φλύσχος της Ιονίου ζώνης παρουσιάζει έντονες πτυχώσεις με μεγάλες ακτίνες καμπυλότητας και μεγάλα σύγκλινα (Εικόνα 3-7).



Εικόνα 3-7: Φλύσχος Δυτικής Ελλάδας έντονα πτυχωμένος

Άλλες χαρακτηριστικές δομές που συναντήθηκαν κατά τη διάρκεια λήψης δεδομένων ήταν: ο λιθογραφικός ασβεστόλιθος (Εικόνα 3-9), ο οποίος είναι ενδεικτικός του πρωτογενούς πορώδους του σχηματισμού και ο διαγεννητικός στυλόλιθος (Εικόνα 3-8), ο οποίος εκτείνεται παράλληλα στο επίπεδο της στρώσης.



Εικόνα 3-8: Διαγεννητικός στυλόλιθος



Εικόνα 3-9: Λιθογραφικός ασβεστόλιθος

Στην πρώτη περιοχή ενδιαφέροντος παρατηρείται λεπτοπλακώδης ασβεστόλιθος Ηωκαίνου (Εικόνα 3-10), ενώ στη δεύτερη ασβεστολιθος Σενωνίου (Εικόνα 3-11) ο οποίος δεν είναι έντονα καταπονημένος. Και στις δύο περιπτώσεις εμφανίζονται διακλάσεις ανοιχτού και κλειστού τύπου, με τις τελευταίες να εμφανίζονται με πολύ μικρότερη συχνότητα και να είναι δευτερογενώς πληρωμένες με ασβεστίτη (άνοιγμα $\leq 1\text{mm}$).



Εικόνα 3-10: Ασβεστόλιθος Ηωκαίνου



Εικόνα 3-11: Ασβεστόλιθος Σενωνίου



Εικόνα 3-12: Διακλάσεις δευτερογενώς πληρωμένες με ασβεσίτη

4 Διαδικασία Λήψης και Επεξεργασίας Δεδομένων Πεδίου

4.1 Φωτογραμμετρία μέσω Agisoft Metashape Professional

Οι αεροφωτογραφίες που λήφθηκαν τόσο για την επιφάνεια του πρανούς (scanline) όσο και για την κάτοψη της περιοχής (topview) αποτελούν τα δεδομένα εισόδου και πάρθηκαν με τη χρήση drone DJI Phantom 4 Pro (Εικόνες 4-1 και 4-2). Η αλληλοεπικάλυψη (side and front overlap) των αεροφωτογραφιών με σχέδιο πτήσης ήταν περίπου 65-75% στις κατόψεις και στις χειροκίνητες κατ' εκτίμηση. Παρακάτω θα μελετηθεί η διαδικασία δημιουργίας ενός τρισδιάστατου μοντέλου, της επιφάνειας scanline 1.1, στο ΒΔ πρανές εγκαταλελειμμένου λατομείου αδρανών κοντά στην περιοχή της Μαζιάς. Για τα υπόλοιπα μοντέλα χρησιμοποιήθηκε όμοια διαδικασία.



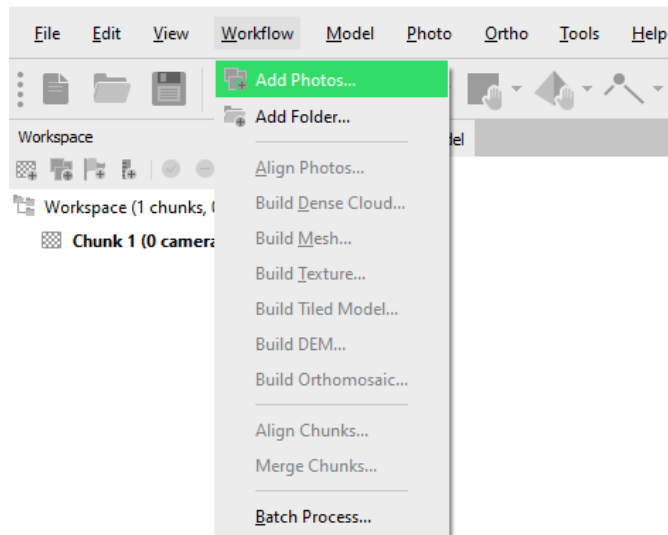
Εικόνα 4-1 Το drone DJI Phantom 4 Pro μαζί με τηλεχειριστήριο όπως χρησιμοποιήθηκε στο πεδίο



Εικόνα 4-2: Το drone κατά τη διάρκεια πτήσης για λήψη αεροφωτογραφιών στο λατομείο της Μαζιάς

4.1.1 Εισαγωγή των αεροφωτογραφιών στο λογισμικό

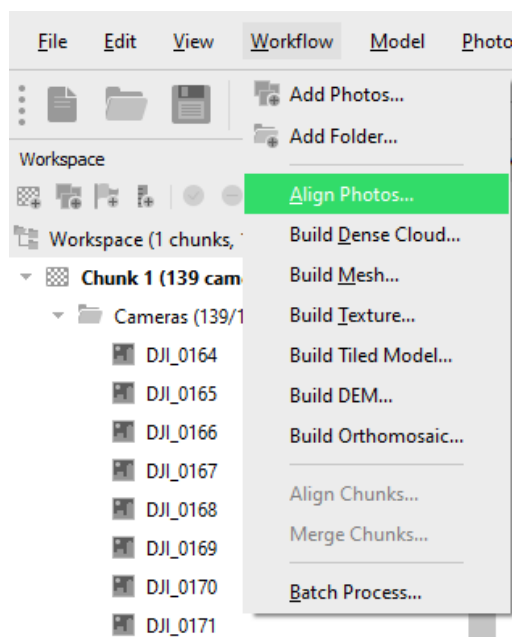
Επιλέγεται “workflow” μέσω της εργαλειοθήκης και έπειτα στο αναδυόμενο μενού επιλογή του “add photos” ή “add folder”, ανάλογα με την τοποθεσία των φωτογραφιών στον υπολογιστή (Εικόνα 4-3).



Εικόνα 4-3: Εισαγωγή στοιχείων εισόδου μέσω εργαλειοθήκης

4.1.2 Ευθυγράμμιση φωτογραφιών (photo alignment)

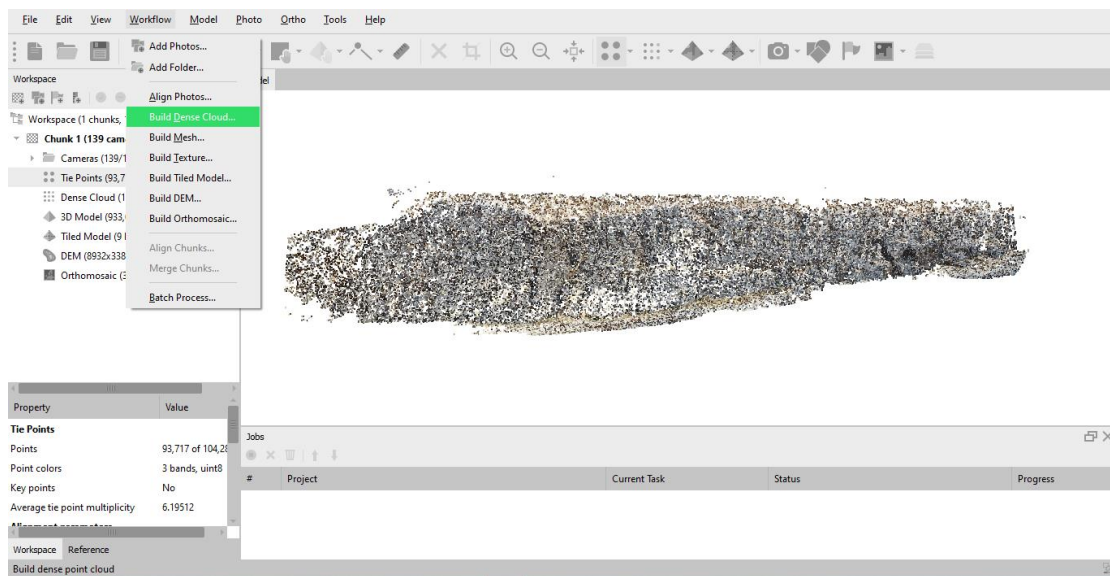
Μετά την εισαγωγή των φωτογραφιών, στο χώρο εργασιών (workspace) εμφανίζεται ο αριθμός αυτών στο πρώτο chunk ως cameras. Σε αυτή την περίπτωση τα δεδομένα εισόδου είναι 139. Από την εργαλειοθήκη, επιλέγεται “workflow” και έπειτα “align photos” (Εικόνα 4-4). Με βάση την υπολογιστική ισχύ του υπολογιστή επιλέγεται στο αναδυόμενο παράθυρο η ποιότητα σε μία κλίμακα από χαμηλό σε πολύ υψηλό. Εδώ, επιλέχθηκε υψηλή ποιότητα.



Εικόνα 4-4: Ευθυγράμμιση

4.1.3 Δημιουργία νέφους σημείων (dense cloud)

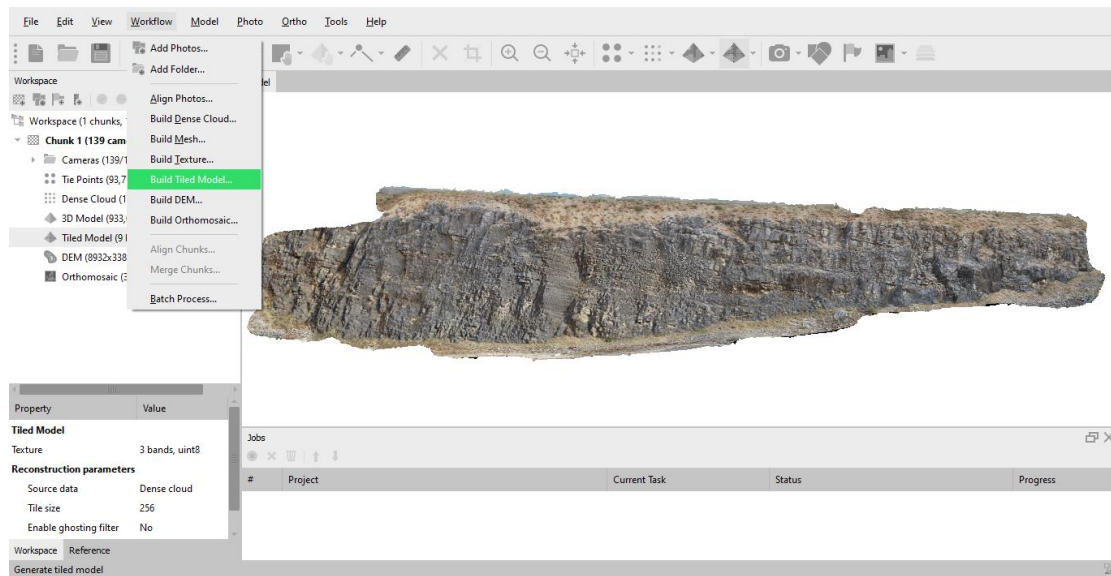
Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας ευθυγράμμισης των φωτογραφιών, εμφανίζεται το επίπεδο “tie points”, δηλαδή τα σημεία διασύνδεσης από τα οποία θα προκύψει το αρχικό επίπεδο, πάνω στο οποίο θα υπάρξει περαιτέρω επεξεργασία. Εδώ βρέθηκαν 93,717 σημεία διασύνδεσης μεταξύ γειτονικών φωτογραφιών. Εν συνεχεία, επιλέγεται “workflow” και έπειτα “build dense cloud” (Εικόνα 4-5). Με αυτό το βήμα, το λογισμικό θα πυκνώσει τα tie points μέσω του συσχετισμού των δεδομένων εισόδου. Ομοίως επιλέγεται υψηλή ποιότητα ανάλυσης. Το τελικό αποτέλεσμα είναι ένα νέφος σημείων που δίνει μια αίσθηση τρισδιάστατης αποτύπωσης του χώρου ενδιαφέροντος



Εικόνα 4-5: Αναπαράσταση του νέφους σημείων και των εντολών που ακολουθήθηκαν για τη δημιουργία του

4.1.4 Δημιουργία Tiled Model

Από το “workflow” επιλέγεται “build tiled model” (Εικόνα 4-6). Με την εντολή αυτή, το λογισμικό λαμβάνει τις πληροφορίες του dense cloud και δημιουργεί ένα μοντέλο τρισδιάστατο πολύ υψηλής ανάλυσης (Εικόνα 4-8), περισσότερο από ότι ένα 3D model (Εικόνα 4-7) που έχει δημιουργηθεί από πλέγμα (mesh) και πρόσδοση υφής (texture) σε αυτό. Έτσι μειώνονται τα επίπεδα εξόδου (output) από δύο σε ένα και μάλιστα πολύ καλύτερης ανάλυσης.



Εικόνα 4-6: Αναπαράσταση του tiled model και των εντολών που ακολουθήθηκαν για τη δημιουργία του



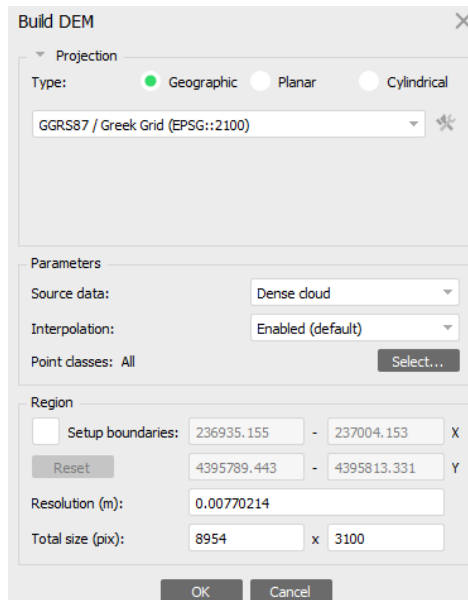
Εικόνα 4-7: Αναπαράσταση 3D model (μικρότερης ανάλυσης μοντέλο)



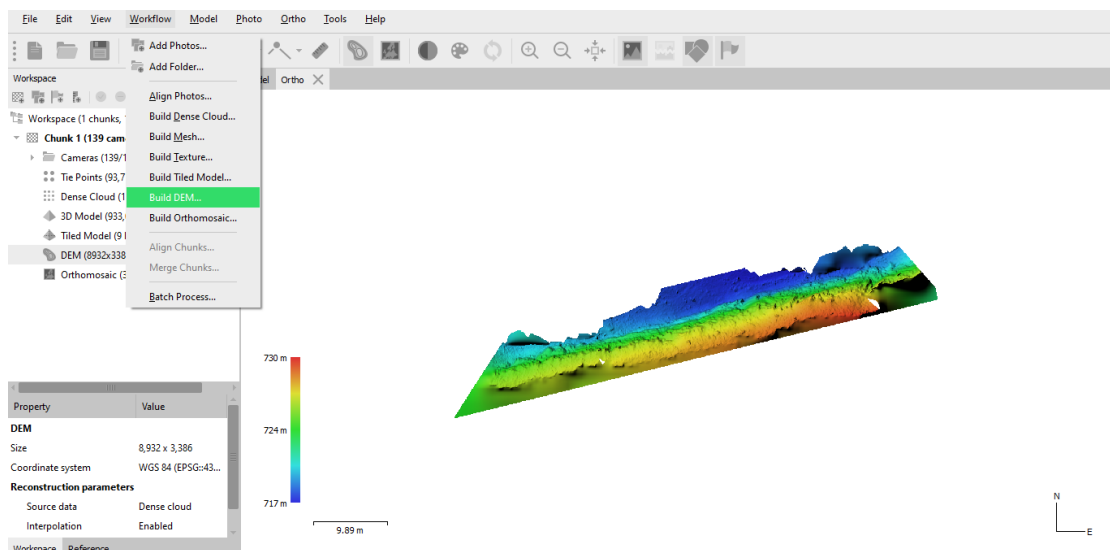
Εικόνα 4-8: Αναπαράσταση tiled model (υψηλότερης ανάλυσης μοντέλο)

4.1.5 Δημιουργία Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (DEM)

Από το “workflow” επιλέγεται “build DEM” (Εικόνα 4-10). Από το αναδυόμενο μενού (Εικόνα 4-9), επιλέγεται το επιθυμητό προβολικό σύστημα (εδώ το Greek Grid 2100) και η πηγή δεδομένων (source data) ως το dense cloud. Το παραγόμενο μοντέλο λόγω υψηλής ανάλυσης, περιέχει και ίχνη της βλάστησης. Ουσιαστικά το ψηφιακό μοντέλο εδάφους αναπαριστά το ανάγλυφο του εδάφους μέσω της χρήσης σημείων γνωστής οριζοντιογραφικής θέσης και υψομέτρου.



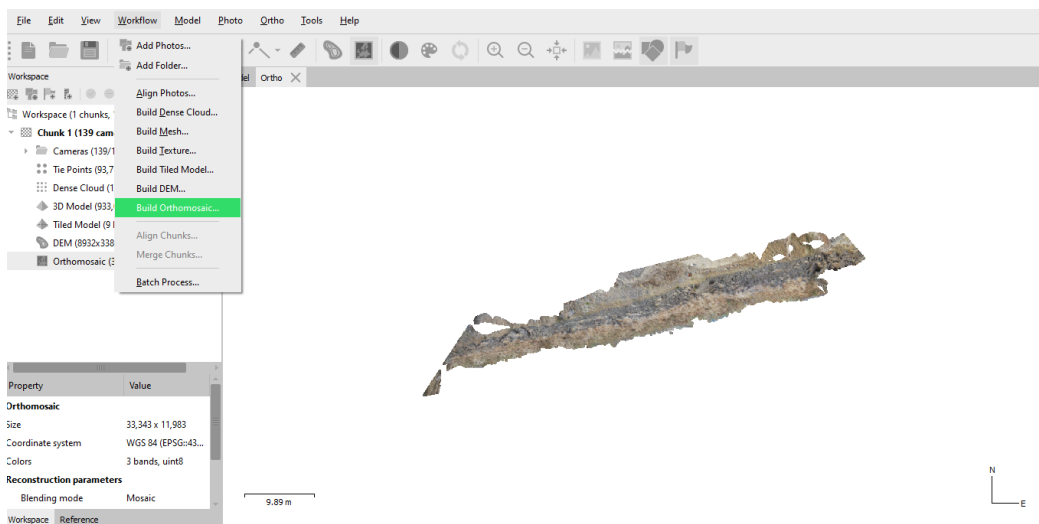
Εικόνα 4-9: Αναδυόμενο μενού για την δημιουργία DEM



Εικόνα 4-10: Αναπαράσταση του DEM και των εντολών που ακολουθήθηκαν για τη δημιουργία του

4.1.6 Δημιουργία Ορθομωσαϊκού (Orthomosaic)

Από την εργαλειοθήκη “workflow” επιλέγεται “build orthomosaic” (Εικόνα 4-11). Στο αναδυόμενο παράθυρο ελέγχου επιλέγεται το προβολικό σύστημα και λαμβάνονται δεδομένα εισόδου για την παραγωγή του ορθομωσαϊκού από το επίπεδο του DEM. Το επίπεδο είναι ουσιαστικά μια γεωαναφερμένη φωτογραφία υψηλής ανάλυσης (1.93mm/pixel) της περιοχής ενδιαφέροντος σε κάτοψη που προέκυψε εξολοκλήρου από τις αεροφωτογραφίες (Εικόνα 4-12). Παρόλα αυτά, σε επόμενο στάδιο, θα εξαχθεί από το λογισμικό Agisoft για περαιτέρω γεωαναφορά για λόγους επαλήθευσης και για αποφυγή σφαλμάτων σε ένα κρίσιμο στάδιο.



Εικόνα 4-11: Αναπαράσταση του orthomosaic και των εντολών που ακολουθήθηκαν για τη δημιουργία του



Εικόνα 4-12: Απεικονίζεται σε μεγέθυνση η υψηλή ανάλυση στην οποία λαμβάνεται το ορθομωσαϊκό χάρη στη χρήση δεδομένων εισαγωγής από το μοντέλο DEM

4.1.7 Τελικά προϊόντα φωτογραμμετρίας

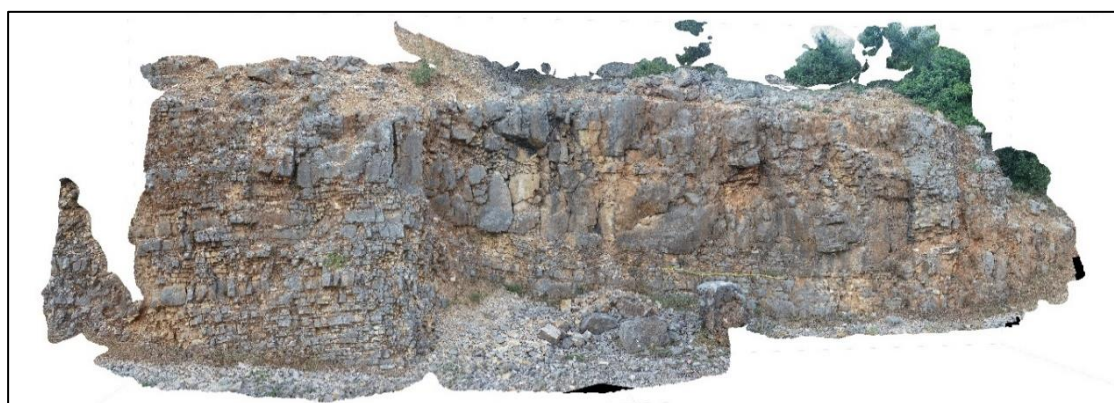
Τελικά, λαμβάνονται για κάθε μία από τις δύο περιοχές ενδιαφέροντος, ένα tiled model και ένα orthomosaic για κάθε πρηνές του οποίου οι διακλάσεις θα επεξεργαστούν σε επόμενα στάδια. Αναλυτικά, παρατίθενται τα αποτελέσματα της φωτογραμμετρίας μέσω του λογισμικού Agisoft Metashape Professional. Σημειώνεται ότι παρουσιάζονται μόνο τα ορθομωσαϊκά των κατόψεων, καθώς για τα σχεδόν κατακόρυφα πρηνή δεν έχει νόημα.



Εικόνα 4-13: Το tiled model για την αναπαράσταση των διακλάσεων του μετώπου scanline 1.1



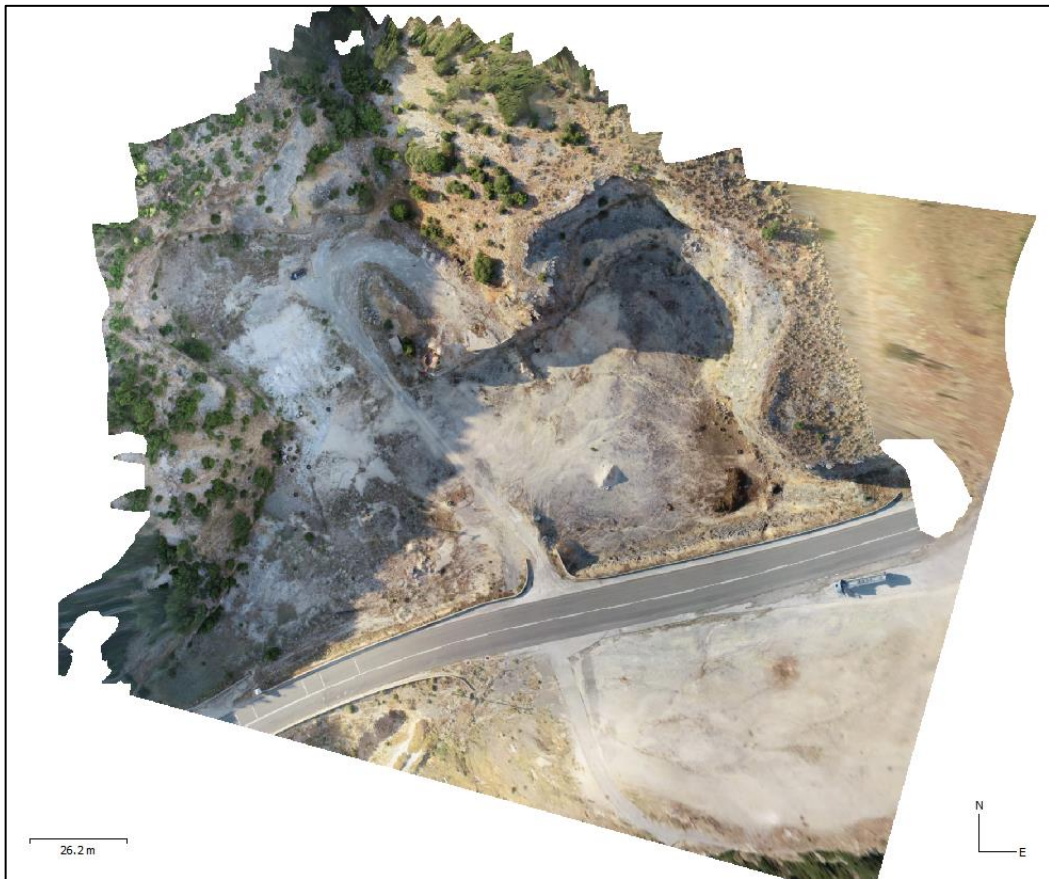
Εικόνα 4-14: Το tiled model για την αναπαράσταση των διακλάσεων του μετώπου scanline 1.2



Εικόνα 4-15: Το tiled model για την αναπαράσταση των διακλάσεων του μετώπου scanline 1.3



Εικόνα 4-16: Το tiled model για την αναπαράσταση της κάτοψης του λατομείου της Μαζιάς



Εικόνα 4-17: Το orthomosaic για την γεωαναφορά της κάτοψης του λατομείου της Μαζιάς



Εικόνα 4-18: Το tiled model για την αναπαράσταση των διακλάσεων του μετώπου scanline 2.1



Εικόνα 4-19: Το tiled model για την αναπαράσταση των διακλάσεων του μετώπου scanline 2.2



Εικόνα 4-20: Το tiled model για την αναπαράσταση των διακλάσεων του μετώπου scanline 2.3



Εικόνα 4-21 Το tiled model για την αναπαράσταση της κάτοψης του σημείου ενδιαφέροντος των Αναργύρων



Εικόνα 4-22 Το orthomosaic για την γεωαναφορά της κάτοψης του σημείου ενδιαφέροντος των Αναργύρων

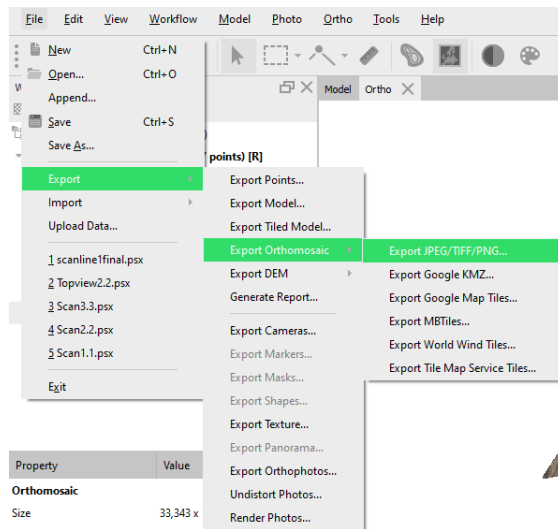
4.2 Γεωαναφορά μέσω του λογισμικού QGIS

Για την επεξήγηση της διαδικασίας χρησιμοποιείται ως φυσική συνέχεια η μεθοδολογία όπως περιγράφηκε για το scanline 1.1. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για τα υπόλοιπα 5 πρηνή.

Το ορθομωσαϊκό είναι ήδη σωστά προσανατολισμένο στο χώρο, αλλά χρειάζεται να τοποθετηθεί σε ένα εικονιστικό αρχείο, τον χάρτη της περιοχής. Αυτό γίνεται μέσω γεωαναφοράς, χρησιμοποιώντας το λογισμικό QGIS. Με βάση τους (Sommer & Wade, 2006) γεωαναφορά ορίζεται ως η “ευθυγράμμιση γεωγραφικών δεδομένων σε ένα γνωστό σύστημα συντεταγμένων ώστε να μπορούν να προβληθούν, να αναζητηθούν και να αναλυθούν με άλλα γεωγραφικά δεδομένα”. Ως αποτέλεσμα ενός γεωαναφερμένου χάρτη ή αεροφωτογραφιών είναι η δυνατότητα κάθε σημείο αυτών να προσδιοριστεί με ελάχιστη απόκλιση πάνω στην επιφάνεια της Γης, χάρη στο κοινό σύστημα συντεταγμένων. Ουσιαστικά, η πληροφορία των εσωτερικών συντεταγμένων είναι αποθηκευμένη σε αρχείο εικόνας της μορφής GEOTIFF.

4.2.1 Εξαγωγή αρχείου εικόνας του μετώπου

Αρχικά, από το Agisoft γίνεται εξαγωγή του ορθομωσαϊκού σε μορφή TIF. Από την εργαλειοθήκη επιλέγεται στα “files” το “export”, έπειτα “export orthomosaic” και τελικά “export JPEG/TIFF/PNG” (Εικόνα 4-23). Στο αναδύομενο παράθυρο επιλέγονται οι επιθυμητές συντεταγμένες (εδώ το GREEK GRID) και επιλέγεται export στο επιθυμητό αρχείο. Έτσι λαμβάνεται το ορθομωσαϊκό σε εικονιστικό αρχείο μορφής GEOTIFF.



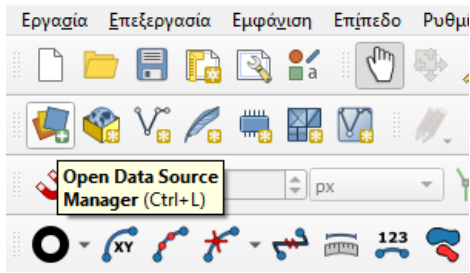
Εικόνα 4-23: Διαδικασία εξαγωγής αρχείου εικόνας μετώπου

4.2.2 Εξαγωγή αρχείου εικόνας της βάσης του χάρτη

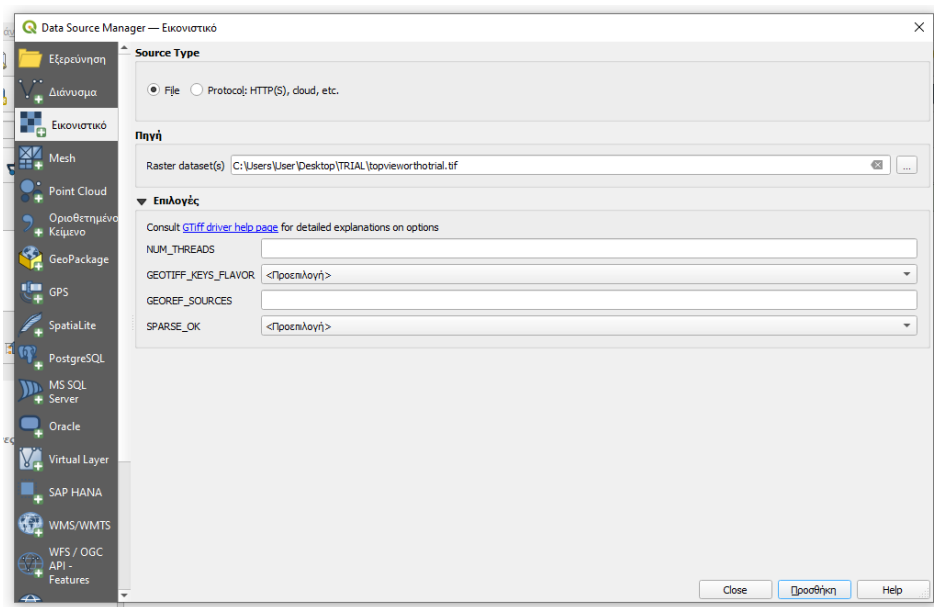
Για την αναπαράσταση των γεωαναφερμένων μετώπων του λατομείου της Μαζιάς, ως βάση λαμβάνεται από το Ελληνικό Κτηματολόγιο χάρτης της περιοχής των μετρήσεων σε κλίμακα 1:2500. Χρησιμοποιείται το WMS (Web Map Service), το οποίο δίνει τη δυνατότητα να ανταλλάσσεται χωρική πληροφορία σε μορφή εικόνων. Ακολουθείται ίδια διαδικασία με το προηγούμενο βήμα για να ληφθεί ορθομωσαϊκό σε εικονιστικό αρχείο μορφής GEOTIFF.

4.2.3 Εισαγωγή χάρτη-βάσης

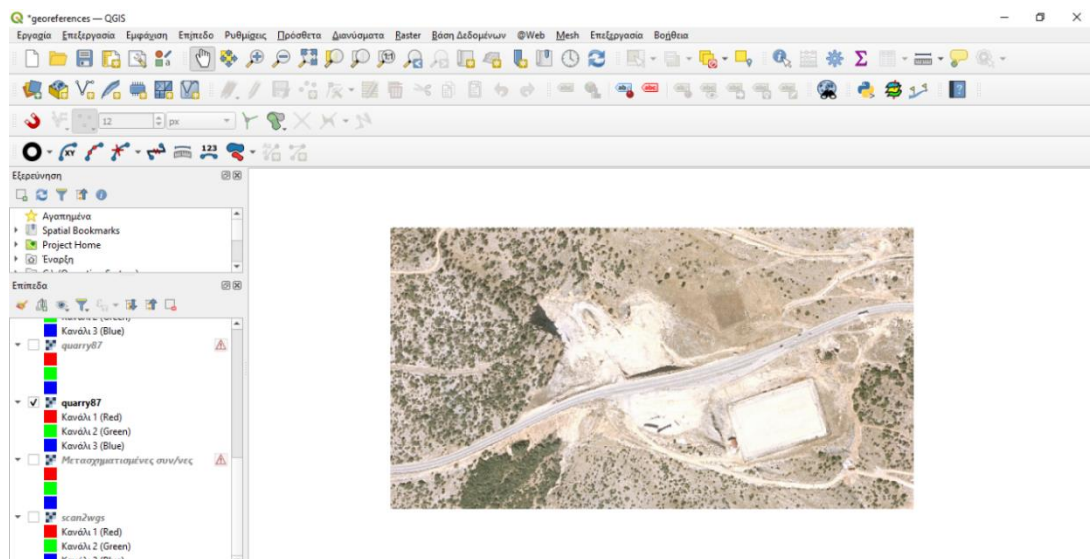
Μετά την εξαγωγή του χάρτη της περιοχής ο οποίος θα λειτουργήσει ως η βάση στην οποία θα γεωαναφερθούν τα μέτωπα, γίνεται εκκίνηση του λογισμικού QGIS. Επιλέγοντας νέο project ανοίγει νέο αρχείο εργασίας. Από την εργαλειοθήκη επιλέγεται “open data source manager” (Εικόνα 4-24) και από το αναδυόμενο παράθυρο (Εικόνα 4-25), στην κατηγορία “εικονιστικό” (raster) επιλέγεται το αρχείο-πηγή από τον φάκελο στον οποίο αποθηκεύτηκε το εικονιστικό του προηγούμενου βήματος.



Εικόνα 4-24: Η εντολή open data source manager από την εργαλειοθήκη



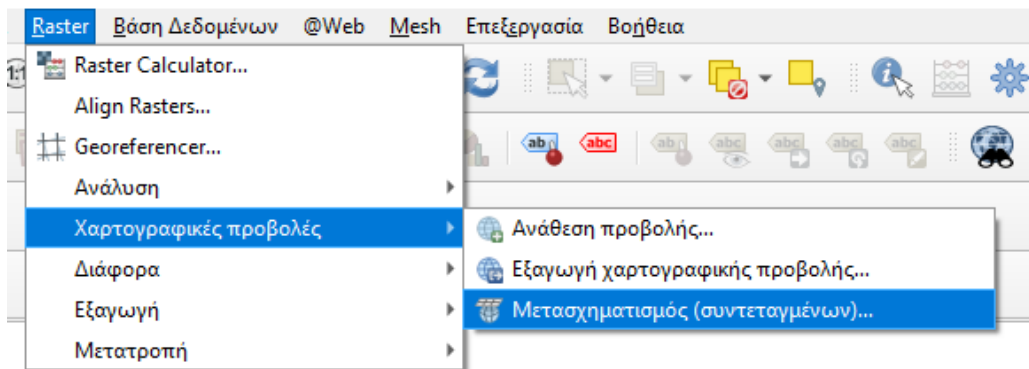
Εικόνα 4-25: Επιλογή αρχείου πηγής από το αναδυόμενο μενού για εισαγωγή εικονιστικού αρχείου



Εικόνα 4-26: Ο γεωαναφερμένος χάρτης στο περιβάλλον του λογισμικού QGIS

4.2.4 Μετασχηματισμός συντεταγμένων

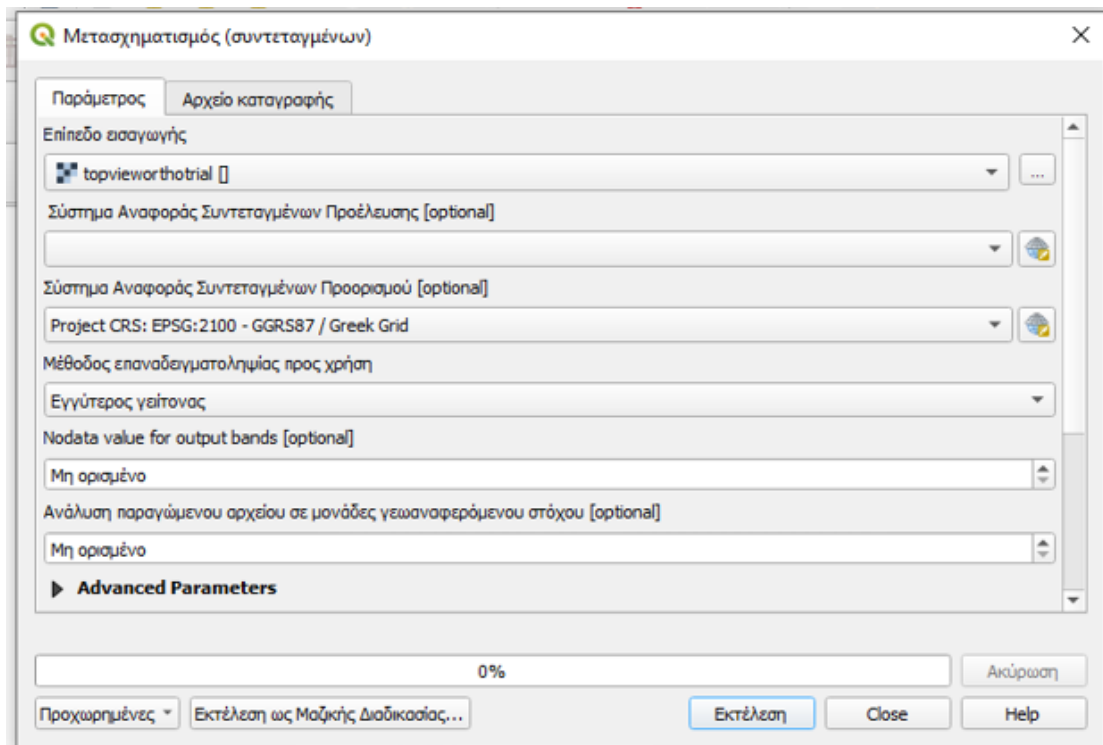
Το εικονιστικό αρχείο βρίσκεται σε διαφορετικό σύστημα συντεταγμένων από ότι το επιθυμητό. Για να μετασχηματιστούν οι συντεταγμένες στο ελληνικό σύστημα αναφοράς GREEK GRID: EPSG 2100 ώστε να συμπέσει ο χάρτης σωστά πάνω στην πραγματική κάτοψη του λατομείου επιλέγεται από την εργαλειοθήκη το “raster”, έπειτα το “χαρτογραφικές προβολές” και τελικά “μετασχηματισμός (συντεταγμένων)” (Εικόνα 4-27).



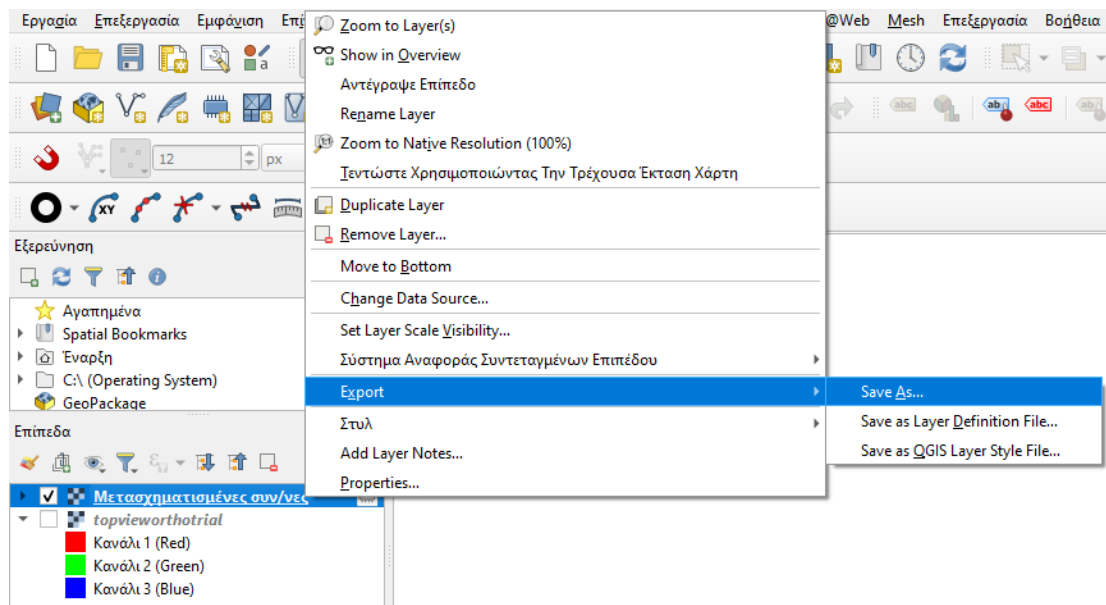
Εικόνα 4-27: Αναπαράσταση εντολών για μετασχηματισμό συντεταγμένων από την εργαλειοθήκη

Στο αναδυόμενο παράθυρο επιλέγεται ως επίπεδο εισαγωγής το εικονιστικό αρχείο και ως σύστημα αναφοράς συντεταγμένων προορισμού το Greek Grid (Εικόνα 4-28). Επιλέγεται εκτέλεση και έτσι εμφανίζεται ένα προσωρινό επίπεδο μετασχηματισμένων συντεταγμένων.

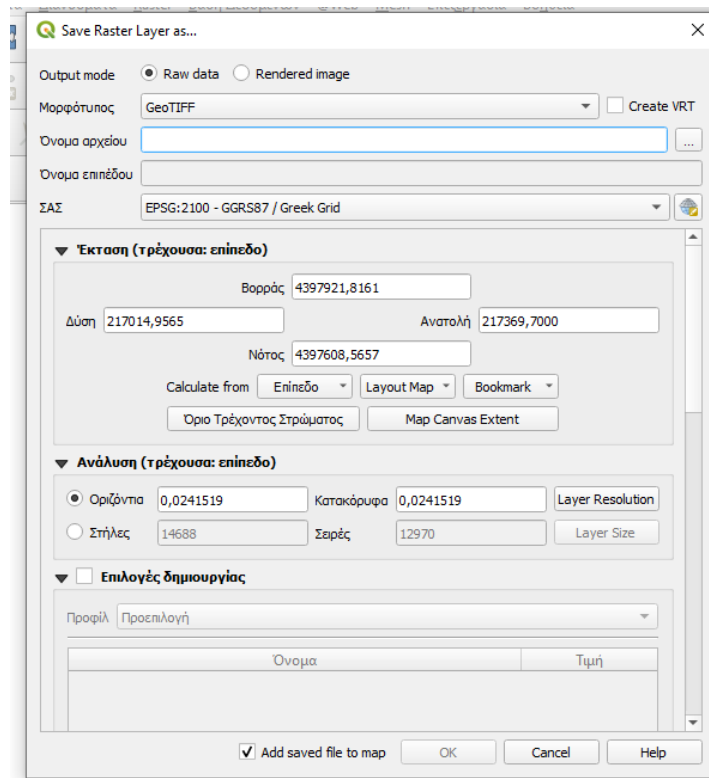
Σε αυτό το επίπεδο με “δεξί κλικ” εμφανίζεται ένα παράθυρο, στο οποίο επιλέγεται “export” και μετά “save as” (Εικόνα 4-29). Επιλέγεται το όνομα του αρχείου και ο προορισμός αποθήκευσής του, ενώ φαίνεται και το σύστημα συντεταγμένων που ορίστηκε (Εικόνα 4-30).



Εικόνα 4-28: Αναδυόμενο μενού μετασχηματισμού συντεταγμένων



Εικόνα 4-29: Διαδικασία εξαγωγής του επιπέδου με μετασχηματισμένες συντεταγμένες



Εικόνα 4-30: Αναδυόμενο μενού αποθήκευσης του γεωαναφερμένου επιπέδου

Έτσι ολοκληρώνεται η διαδικασία, έχοντας ένα επίπεδο γεωαναφερμένο, σε μορφή GEOTIFF στο ελληνικό προβολικό σύστημα, πάνω στο οποίο θα τοποθετηθούν τα ορθομωσαϊκά των πρανών με τις διακλάσεις. Αναφορικά με την ακρίβεια της γεωαναφοράς, εμπεριέχει ένα σφάλμα της τάξης των 3μ (ακρίβεια GPS drone).

4.2.5 Γεωαναφορά των πρανών ενδιαφέροντος

Με ακριβώς την ίδια διαδικασία, γεωαναφέρονται τα ορθομωσαϊκά για κάθε πρανές της περιοχής της Μαζιάς και των Αναργύρων.

4.2.6 Αποτέλεσμα γεωαναφοράς

Αν η διαδικασία έχει ακολουθηθεί σωστά, θα φαίνονται όλα τα εικονιστικά αρχεία πάνω στο χάρτη-βάση. Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα της γεωαναφοράς και στις δυο περιοχές όπου πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις



Εικόνα 4-31: Οι θέσεις των πρανών στο λατομείο Μαζιάς



Εικόνα 4-32: Τα αντίστοιχα μέτωπα γεωαναφερόμενα στο χώρο του λατομείου



Εικόνα 4-33: Οι θέσεις των πρανών στο λατομείο των Αναργύρων

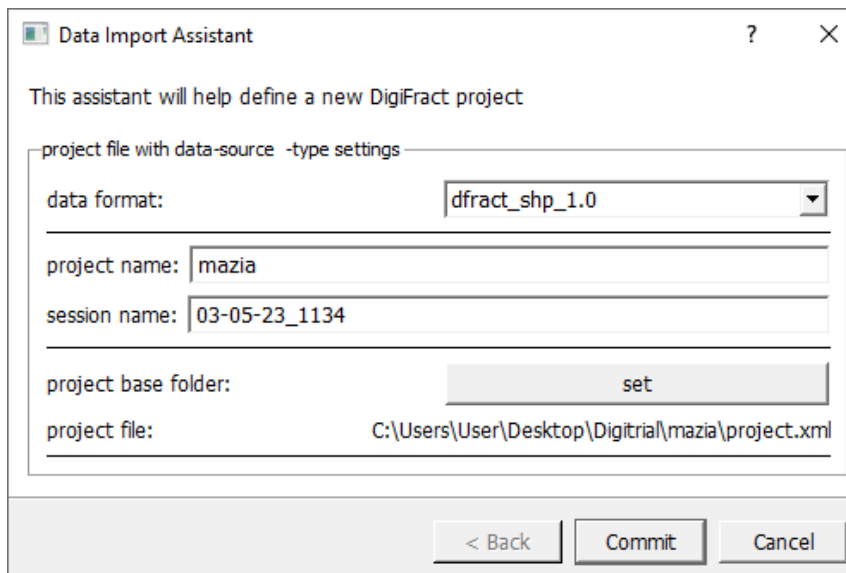


Εικόνα 4-34: Τα αντίστοιχα μέτωπα γεωαναφερμένα στο χώρο

4.3 Ψηφιοποίηση διακλάσεων στο λογισμικό DigiFract

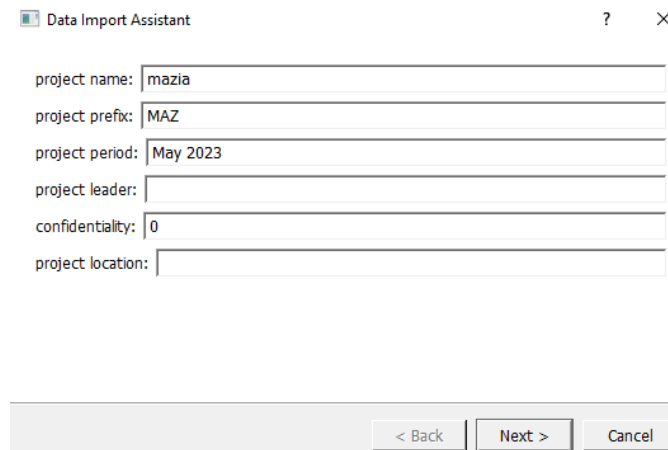
4.3.1 Εισαγωγή χάρτη αναφοράς

Γίνεται εκκίνηση του λογισμικού DigiFract και επιλέγεται από την εργαλειοθήκη “start new project”. Ορίζεται στο αναδυόμενο παράθυρο το όνομα του project και επιλέγεται ο base folder στον οποίο θα αποθηκεύεται η εργασία και τυχόν αλλαγές που προκύπτουν πάνω σε αυτή. Ολοκλήρωση με “commit” (Εικόνα 4-35).

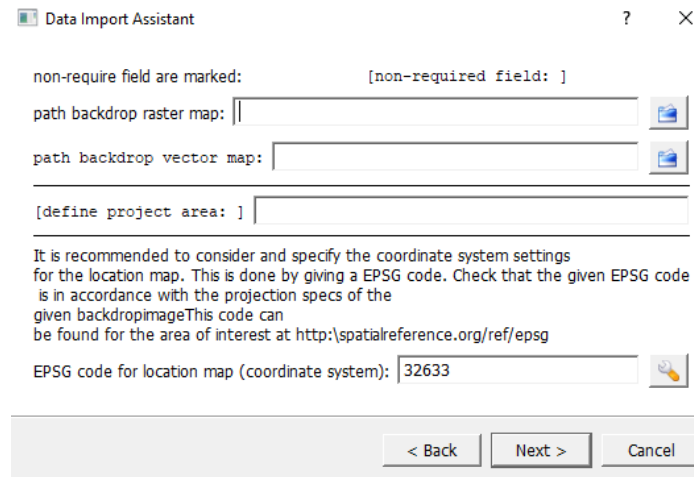


Εικόνα 4-35: Αναδυόμενο παράθυρο αποθήκευσης του αρχείου εργασίας

Συνεχίζοντας με το αναδυόμενο μενού του “data import assistant”, επιλέγεται “next” (Εικόνα 4-36) και μετά ως “path backdrop raster map” ορίζεται το γεωαναφερμένο ορθομωσαϊκό σε μορφή Geotiff (Εικόνα 4-37). Αυτό αποθηκεύεται αυτόματα σε έναν φάκελο εσωτερικό του project που ονομάζεται rectBackdrops.

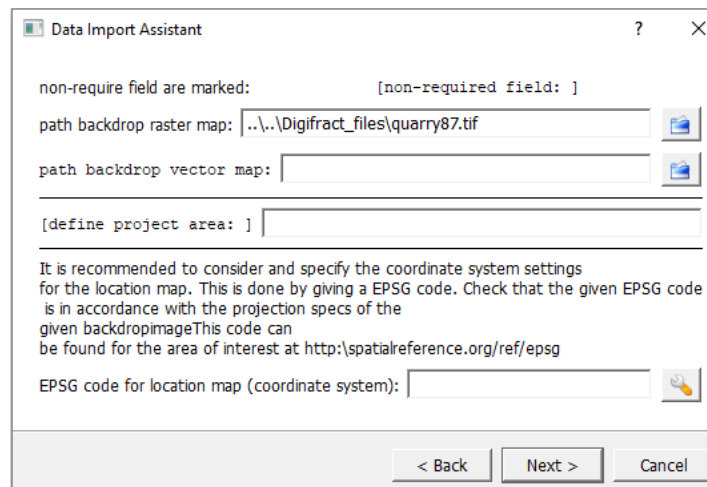


Εικόνα 4-36: Αναδυόμενο μενού του data import assistant

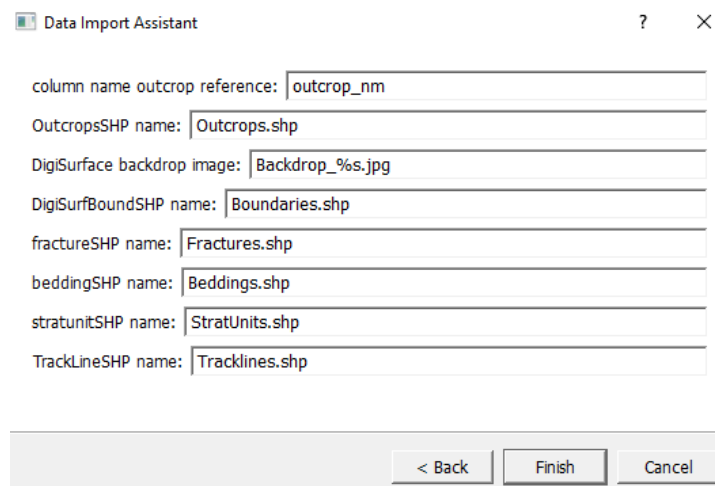


Εικόνα 4-37: Ορισμός του path backdrop raster map

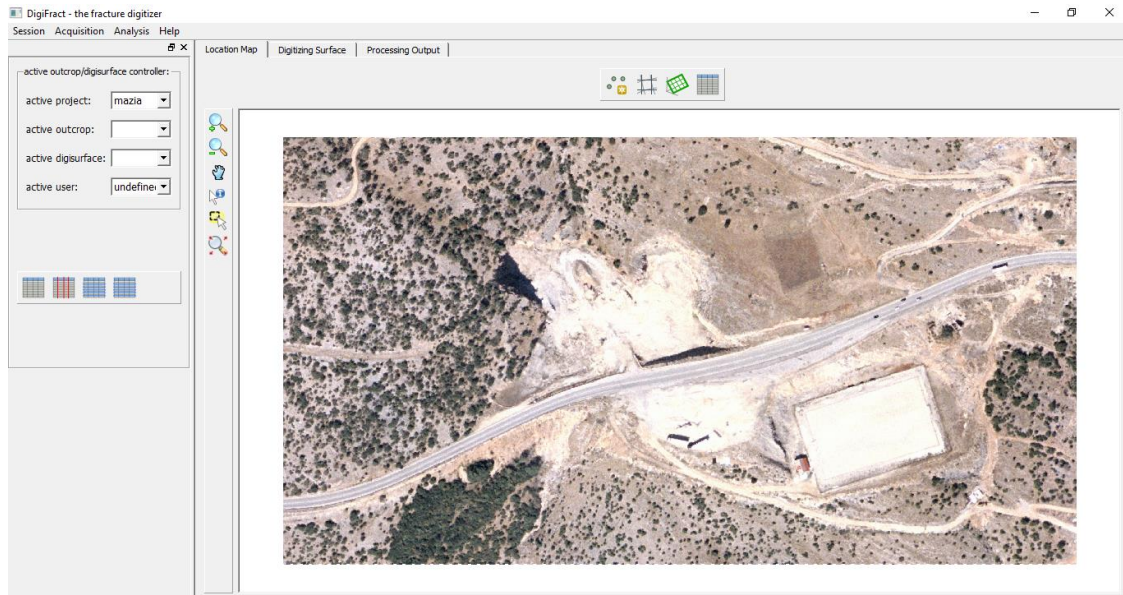
Μετά την εισαγωγή του raster map επιλέγεται “next” και εν τέλει ολοκληρώνεται η διαδικασία πατώντας “finish” (Εικόνες 4-38 και 4-39).



Εικόνα 4-38: Αναδύομενο μενού του data import assistant



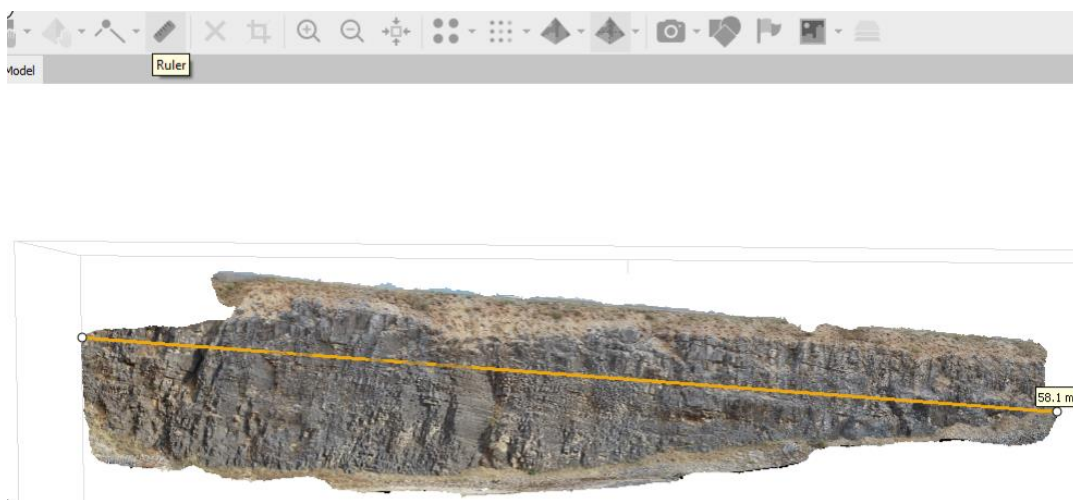
Εικόνα 4-39: Ολοκλήρωση εισαγωγής raster map



Εικόνα 4-40: Το raster map ως βάση για την εισαγωγή των πρανών προς ψηφιοποίηση στο περιβάλλον του λογισμικού DigiFract

4.3.2 Μέτρηση μήκους φωτογραφίας τομής (baseline length)

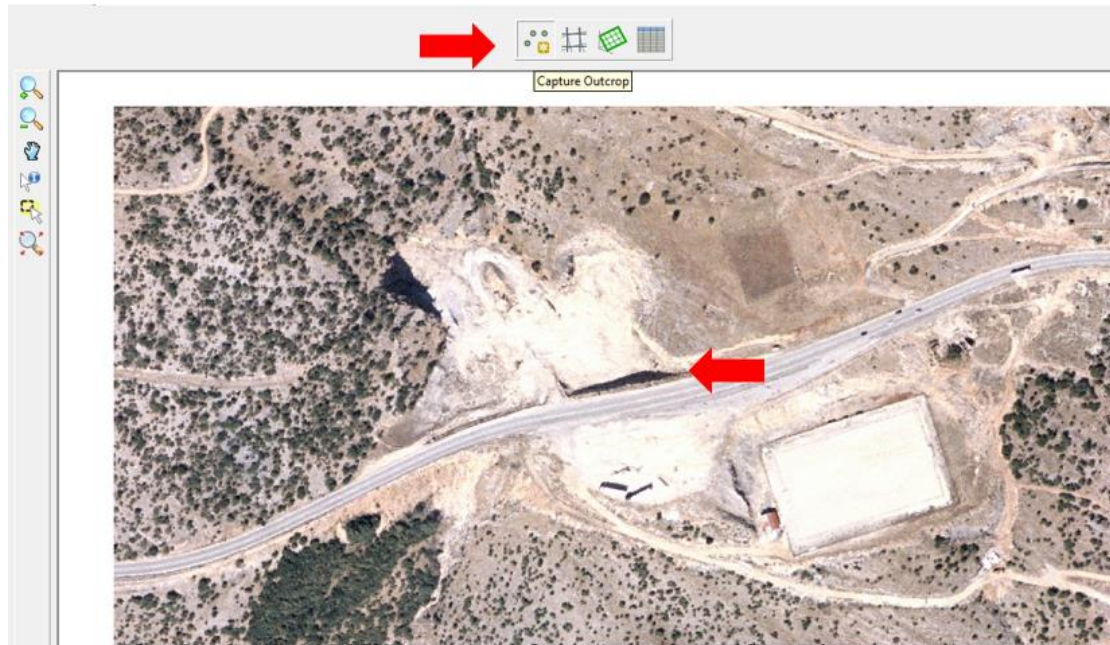
Για διευκόλυνση της διαδικασίας του επόμενου βήματος γίνεται εκκίνηση του λογισμικού Agisoft Metashape Professional και στο tiled model, επιλέγεται από την εργαλειοθήκη ο χάρακας (ruler) για μέτρηση του μήκους του πρώτου πρανούς (Εικόνα 4-41). Εδώ θα συνεχίσει η διαδικασία με το scanline 1.1. Το μήκος υπολογίζεται ίσο με 58.1 μέτρα.



Εικόνα 4-41: Μέτρηση του μήκους του πρανούς μέσω του λογισμικού Agisoft Metashape Professional

4.3.3 Εισαγωγή πρानούς (outcrop)

Για να ξεκινήσει η ψηφιοποίηση των διακλάσεων πρέπει να εισαχθεί το μέτωπο στο οποίο έγιναν οι μετρήσεις. Από την εργαλειοθήκη επιλέγεται “capture outcrop” και έπειτα με τον κέρσορα γίνεται κλικ στην αρχή του πρानούς όπως απεικονίζεται στην κάτοψη του raster map (Εικόνα 4-42).



Εικόνα 4-42: Αναπαράσταση των βημάτων για εισαγωγή outcrop

Στο αναδύμενο μενού (Εικόνα 4-43) συμπληρώνεται ως μήκος πρानούς (baseline length) το 58.1, από το προηγούμενο βήμα και κλίση (outcrop baseline strike) 258 μετά από δοκιμές για να συμπέσει με τον προσανατολισμό του πρανούς, όπως φαίνεται και στο αρχείο ψηφιδωτής διαμέρισης (raster) του λατομείου. Στο επόμενο παράθυρο συμπληρώνεται για τον προσανατολισμό του στρώματος (bedding orientation), ως διεύθυνση κλίσης (direction) 198 και κλίση (dip angle) 16 τον μέσο όρο των μετρήσεων των στρωμάτων που πραγματοποιήθηκαν σε τυχαίες θέσεις (Εικόνα 4-44). Οι ίδιοι αριθμοί θα τοποθετηθούν και στα επόμενα δύο πρανή. Ολοκλήρωση με επιλογή του “finish”.

Add new outcrop wizard ? X

outcrop administration

new outcrop id:

project name:

outcrop name:

acquisition by: acquisition date:

outcrop position and orientation

basepoint X: basepoint Y:

baseline length: outcrop baseline strike:

Εικόνα 4-43: Εισαγωγή μήκους πρανούς και κλίσης στο αναδυόμενο μενού

Add new outcrop wizard ? X

Title

Subtitle

bedding orientation direction dip-angle

--/--

map_code

sediment. description:

tectonic description:

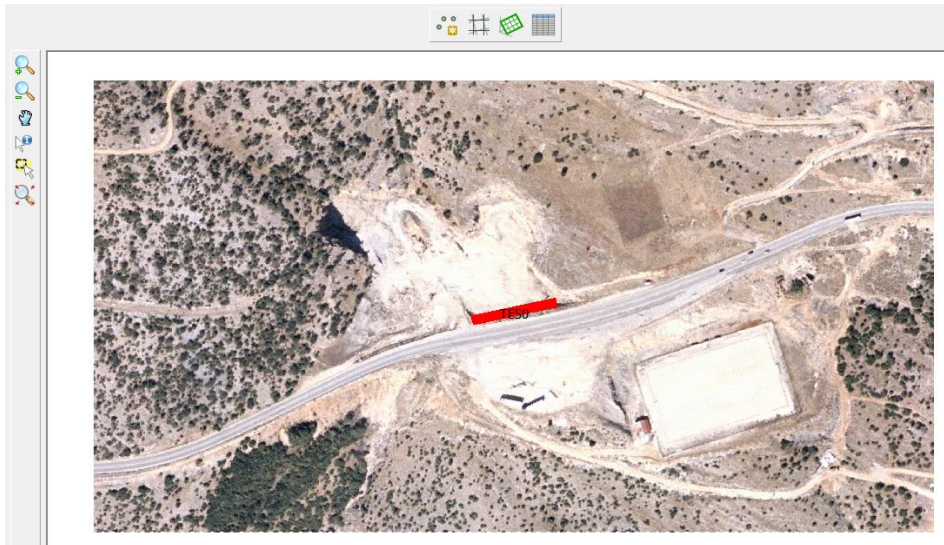
location description:

orientation description:

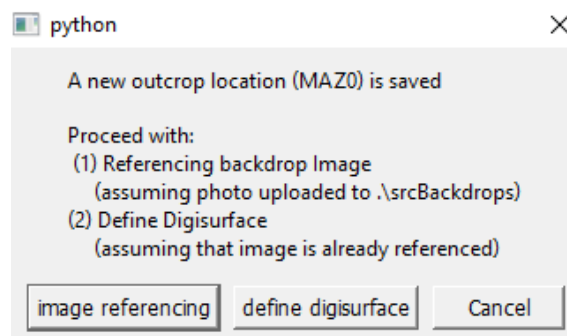
Εικόνα 4-44: Εισαγωγή διεύθυνσης κλίσης και κλίσης στρώματος

4.3.4 Γεωαναφορά πρηνούς (Image referencing)

Μόλις ολοκληρωθεί η εισαγωγή του outcrop και εμφανίζεται στο χάρτη, αυτόματα εμφανίζεται ένα παράθυρο. Επιλέγεται “image referencing” (Εικόνα 4-46).

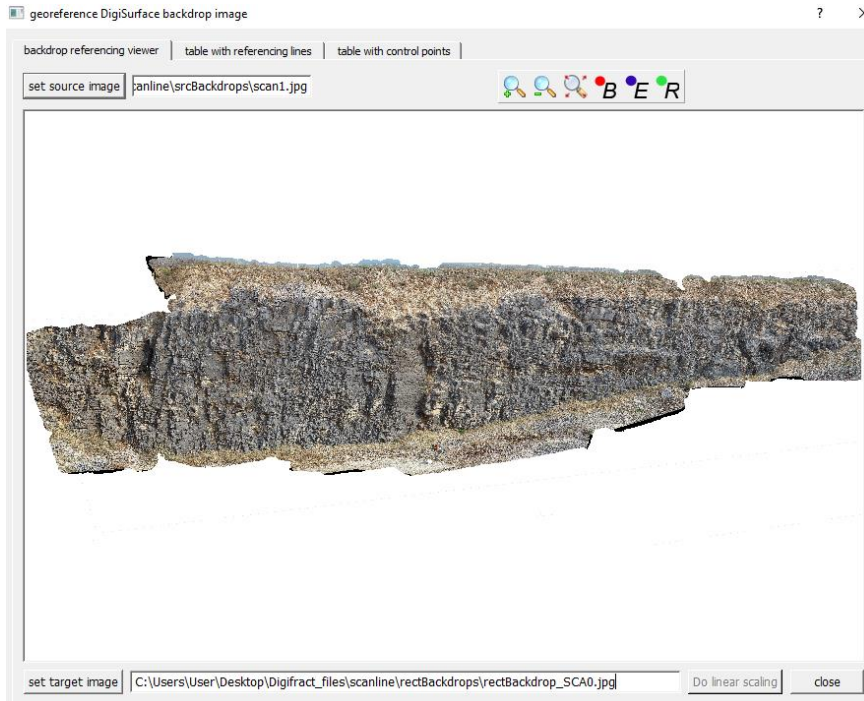


Εικόνα 4-45: Ο χάρτης στο περιβάλλον του λογισμικού μαζί με το ορισμένο πλέον outcrop



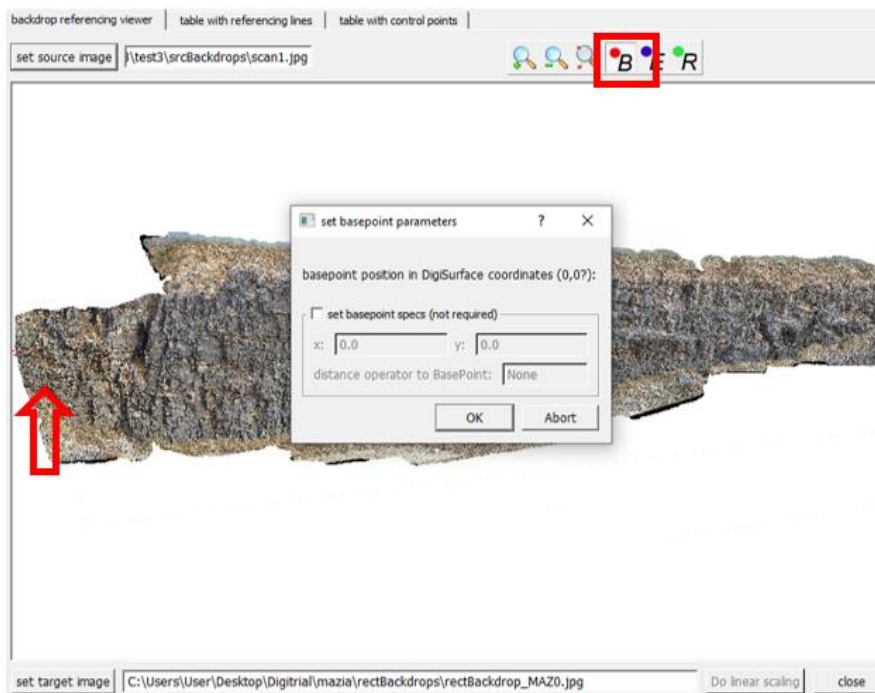
Εικόνα 4-46: Αναδυόμενο παράθυρο προς επιλογή image referencing

Έπειτα, στο παράθυρο που εμφανίζεται επιλέγεται “set source image” και προστίθεται το captured view του tiled model για το scanline 1.1 που έχει δημιουργηθεί από προηγούμενο βήμα (Εικόνα 4-47). Έτσι εμφανίζεται το μέτωπο του πρηνούς πάνω στο οποίο θα επεξεργαστούν οι διακλάσεις



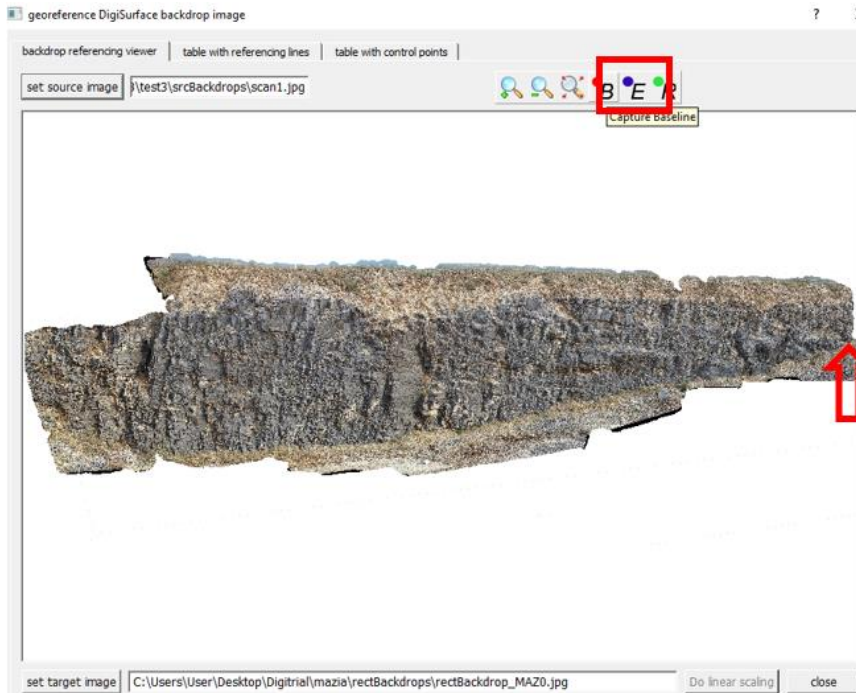
Εικόνα 4-47: Το μέτωπο του πρανούς πάνω στο οποίο θα επεξεργαστούν οι διακλάσεις.

Στην εργαλειοθήκη επιλέγεται αρχικά το “capture baseline” B, και με τον κέρσορα τοποθετείται σημείο τέρμα αριστερά στην αρχή του πρανούς. Στο αναδυόμενο παράθυρο που προκύπτει συνεχίζεται η διαδικασία με “ok” (Εικόνα 4-48).

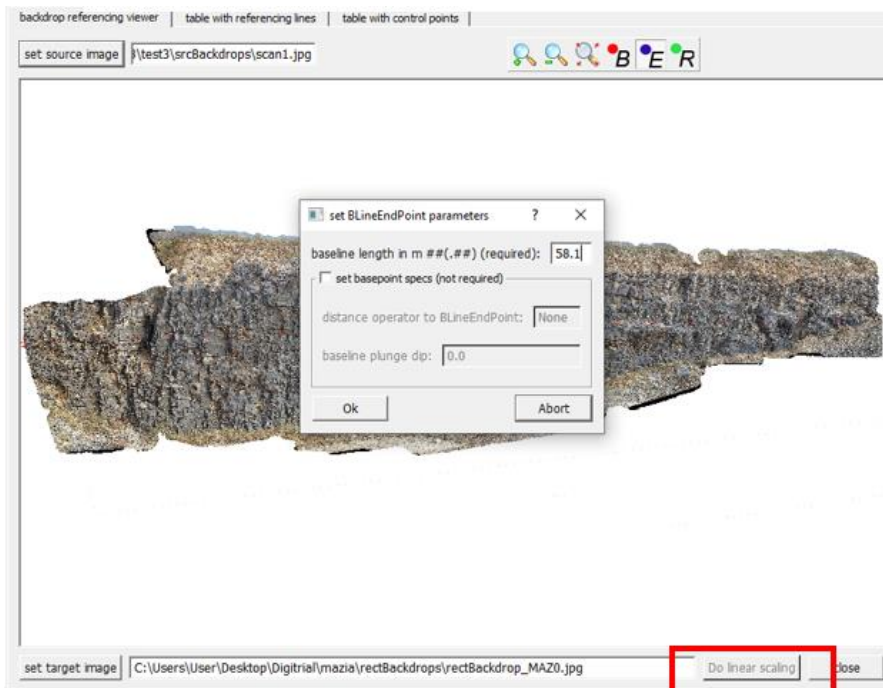


Εικόνα 4-48: Ορισμός του baseline και αναπαράσταση του σημείου έναρξης με βελάκι

Εν συνεχεία, επιλέγεται το E “capture baseline” και με τον κέρσορα τέρμα δεξιά το τέλος του πρηνούς και πληκτρολογείται το baseline length που έχει ήδη προσδιοριστεί, δηλαδή το 58.1 μέτρα (Εικόνα 4-49). Ολοκλήρωση με “OK”, επιλογή “do linear scaling” και “define digisurface” στο αναδυόμενο μενού (Εικόνα 4-50).

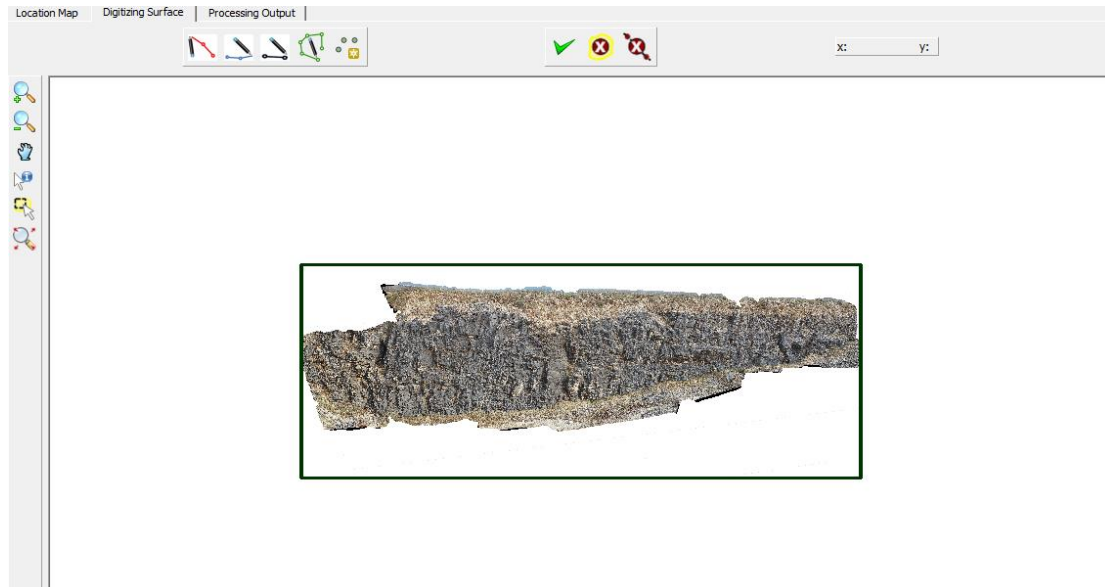


Εικόνα 4-49: Αναπαράσταση του σημείου λήξης του baseline



Εικόνα 4-50: Επιλογή του linear scaling και εισαγωγή του μήκους πρηνούς

Τελικά, εισάγεται η ψηφιακή επιφάνεια πάνω στην οποία θα βασιστεί η επεξεργασία των διακλάσεων (Εικόνα 4-51).



Εικόνα 4-51: Η τελική ψηφιακή επιφάνεια του πρηνούς

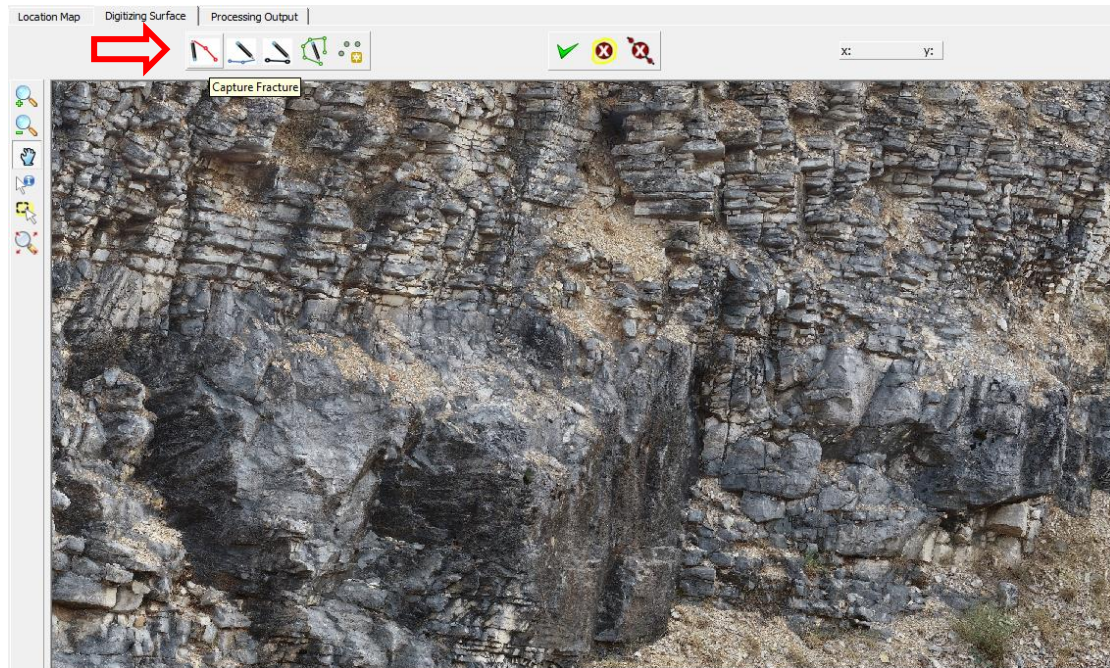
4.3.5 Ψηφιοποίηση διακλάσεων

Στο χώρο εργασίας του digitizing surface φαίνεται καθαρά, σε ποιότητα υψηλής ανάλυσης το tiled model που έχει δημιουργηθεί από τις αεροφωτογραφίες. Μάλιστα, φαίνεται το δίκτυο των διακλάσεων προς ψηφιοποίηση του ασβεστολίθου.

Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής:

Εντοπίζεται μια τυχαία ασυνέχεια. Για την ψηφιοποίησή της επιλέγεται από την εργαλειοθήκη το “capture fracture” (Εικόνα 4-52). Με τον κέρσορα γίνεται αριστερό κλικ στην αρχή της ασυνέχειας, στο κατώτερο σημείο και συνεχίζει να ακολουθεί την πορεία της ασυνέχειας, με διεύθυνση από κάτω προς τα πάνω, πατώντας αριστερό κλικ με σκοπό να ακολουθείται η πορεία της με επιτυχία (Εικόνες 4-53 και 4-54). Μόλις εντοπιστεί το πέρας της ασυνέχειας, με δεξί κλικ τελειώνει ο σχεδιασμός και εμφανίζεται αναδυόμενο μενού. Επιλέγεται “next” και μετά “finish” (Εικόνα 4-55). Έτσι, έχει ληφθεί η πρώτη από τις πολλές διακλάσεις του μετώπου (Εικόνα 4-57). Ομοίως, ακολουθείται η ίδια εντολή για όλες τις υπόλοιπες διακλάσεις του μετώπου.

Σημαντικός ο προσεκτικός σχεδιασμός του μετώπου έτσι ώστε να μην αντιστοιχούν δύο σημεία του άξονα χ σε μία διάκλαση καθώς δεν θα είναι δυνατό το scanline analysis σε επόμενο στάδιο (Εικόνα 4-56).



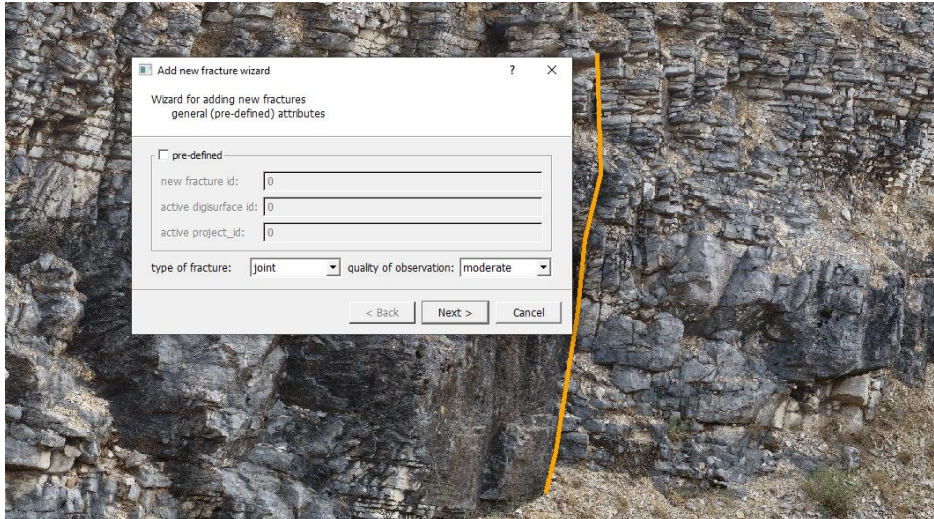
Εικόνα 4-52: Επιλογή εντολής capture fracture



Εικόνα 4-53: Το αρχικό στάδιο της χάραξης της διάκλασης



Εικόνα 4-54: Χάραξη της ασυνέχειας



Εικόνα 4-55: Τελική μορφή της πρώτης ασυνέχειας και αναδύμενο μενού που προκύπτει



Εικόνα 4-56: Ενδεικτικά ο λανθασμένος σχεδιασμός διάκλασης προς αποφυγή

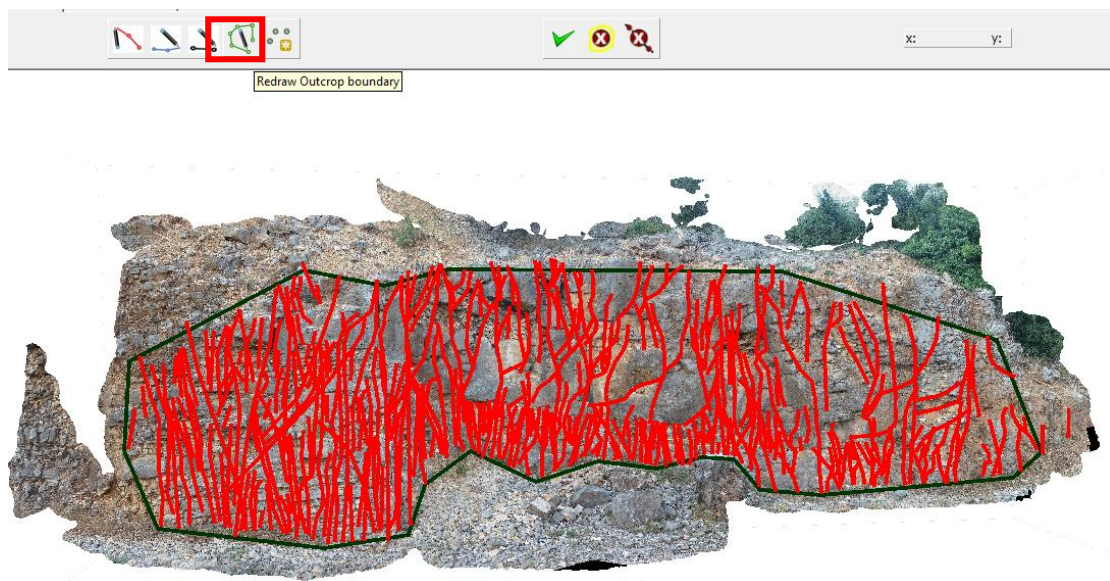


Εικόνα 4-57: Τελική μορφή της πρώτης ασυνέχειας στο μέτωπο του πρανούς

4.3.6 Ανάλυση P₁₀ των διακλάσεων

Με την ολοκλήρωση της ψηφιοποίησης των διακλάσεων των πρανών μπορεί πλέον να ξεκινήσει η ανάλυση P₁₀ της έκτασης των διακλάσεων (fracture intensity).

Αρχικά μέσω της εργαλειοθήκης του λογισμικού Digifract στο επίπεδο εργασίας του digitizing surface επιλέγεται “redraw outcrop boundary” για το σχεδιασμό πλαισίου μέσα στο οποίο θα πραγματοποιηθεί η ανάλυση (Εικόνα 4-58). Με τον κέρσορα σχεδιάζεται προσεκτικά το πλαίσιο όσο πιο κοντά στις ψηφιοποιημένες διακλάσεις είναι δυνατό ώστε να ληφθεί αντιπροσωπευτικό δείγμα. Το scanline 1.1 αντικαθίσταται από το scanline 1.3 καθώς σε αυτό παρατηρούνται ενδιαφέροντες δομές που θα αναλυθούν στη συνέχεια.



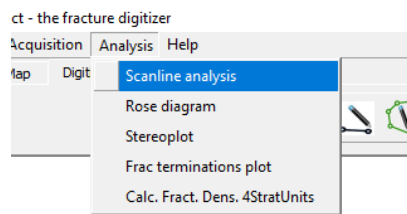
Εικόνα 4-58: Το πλαίσιο για το πρανές scanline 1.3

Έπειτα επιλέγεται η εντολή “capture trackline” από την εργαλειοθήκη, ώστε να τοποθετηθεί ο άξονας με βάση τον οποίο θα γίνει η ανάλυση (Εικόνα 4-59). Σχεδιάζεται με τον κέρσορα από κάτω προς τα πάνω και ενεργοποιείται με αριστερό κλικ, ενώ ολοκληρώνεται με δεξί. Ο άξονας είναι μία ευθεία γραμμή περίπου στην μέση του πλαισίου και μαύρου χρώματος.



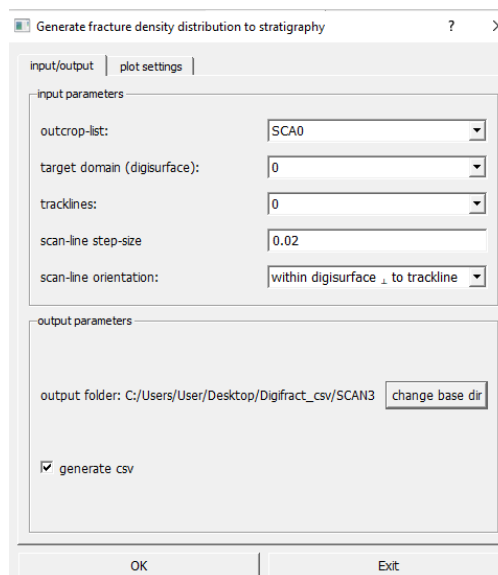
Εικόνα 4-59: Ο άξονας (trackline) πάνω στο πλαίσιο

Η ανάλυση πραγματοποιείται επιλέγοντας από την εργαλειοθήκη “analysis” και μετά “scanline analysis” (Εικόνα 4-60).



Εικόνα 4-60: Η εντολή που επιλέγεται για το scanline analysis

Στο αναδυόμενο παράθυρο ορίζεται βήμα 0.02 και επιλέγεται ο φάκελος στον οποίο θα αποθηκευτεί csv αρχείο της ανάλυσης για χρήση σε επόμενο στάδιο (Εικόνα 4-61).



Εικόνα 4-61: Το αναδυόμενο μενού του scanline analysis

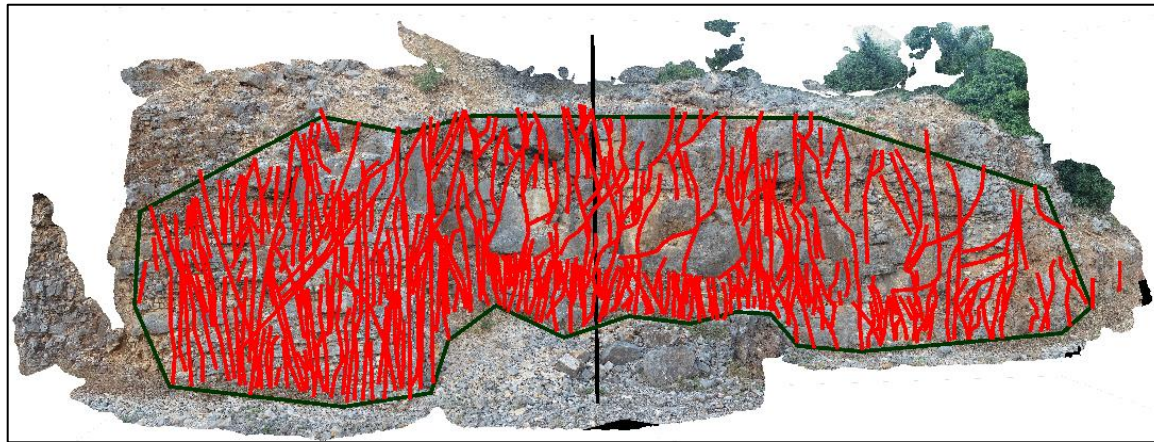
4.3.7 Αποτελέσματα ανάλυσης P_{10} με τη χρήση του Λογισμικού DigiFract

Με την ολοκλήρωση της εντολής εμφανίζονται στο περιβάλλον του “processing output” στατιστικά στοιχεία που αφορούν την πυκνότητα των διακλάσεων κατά μήκος του πρηνούς και τις μεταξύ τους αποστάσεις. Ουσιαστικά το scanline είναι μια γραμμή σάρωσης η οποία έχει τοποθετηθεί παράλληλα στην επιφάνεια του πρηνούς και με καθορισμένο βήμα από το χρήστη (εδώ έχει επιλεγθεί 0.02 για όλα τα πρηνή) εντοπίζει τις θέσεις διασταύρωσης των διακλάσεων σε σχέση με τη στρωματογραφική διαδοχή (Hardebol & Bertotti, 2012).

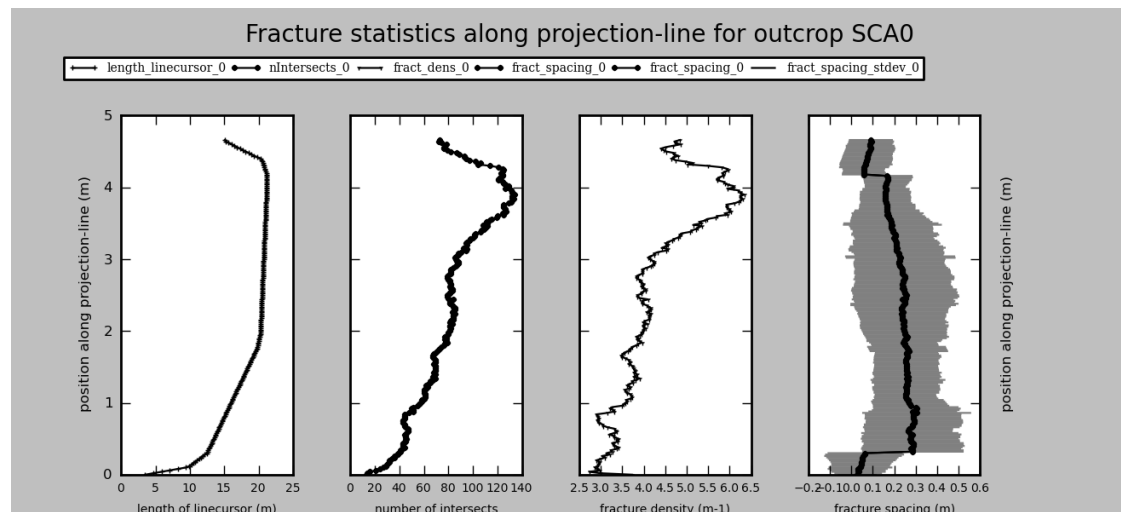
Η πυκνότητα των διακλάσεων, η οποία είναι και το ζητούμενο σε αυτό το στάδιο ορίζεται από τον αριθμό των διακλάσεων διαιρεμένο με το πλάτος της γραμμής σάρωσης όπως έχει καθοριστεί από το πλαίσιο (outcrop boundary) (Hardebol & Bertotti, 2012). Προφανώς, η διαδικασία αυτή είναι ένας τρόπος υπολογισμού της ανάλυσης P_{10} καθώς τα δεδομένα έχουν ληφθεί σε έναν μονοδιάστατο χώρο (κατά μήκος της γραμμής σάρωσης). Τα δεδομένα αυτά αναφέρονται σε κάποια χαρακτηριστικά, ταξινομημένα σε κατηγορίες. Εδώ τα χαρακτηριστικά είναι ο αριθμός των διακλάσεων.

Στα στατιστικά των διακλάσεων της ανάλυσης παρουσιάζονται τέσσερα διαγράμματα με άξονα x : length of linecursor (m), τον αριθμό των διασταυρώσεων, την πυκνότητα των διακλάσεων (m^{-1}) που αποτελεί την ανάλυση P_{10} και τις αποστάσεις μεταξύ των διακλάσεων (m). Όλα αυτά ως προς έναν άξονα y , την θέση κατά μήκος της γραμμής σάρωσης.

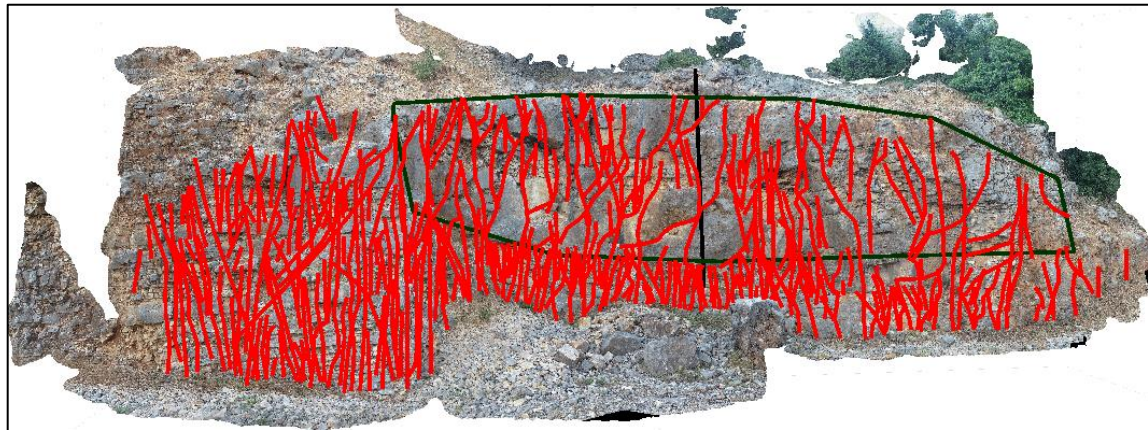
Στη συνέχεια παρατίθενται τα συστήματα διακλάσεων που έχουν ψηφιοποιηθεί με τις αντίστοιχες αναλύσεις.



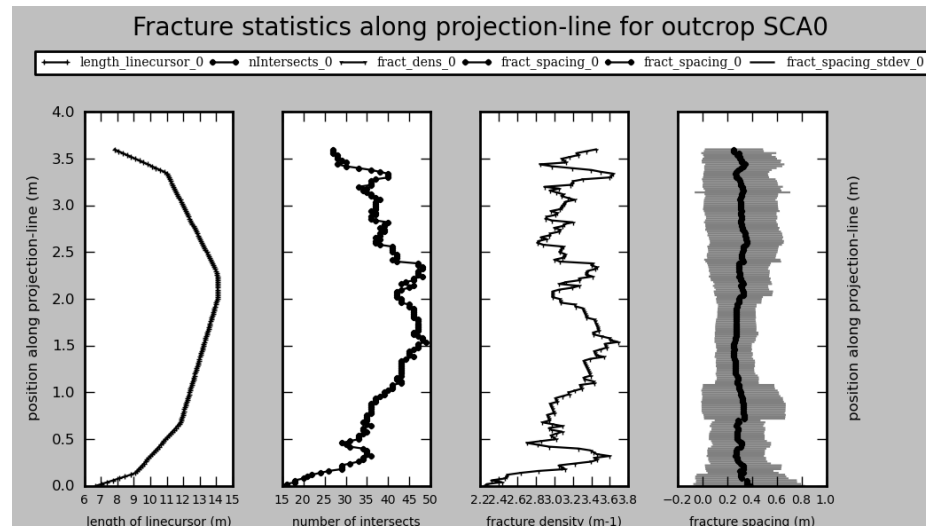
Εικόνα 4-62: Ψηφιοποιημένες διακλάσεις του scanline 1.3



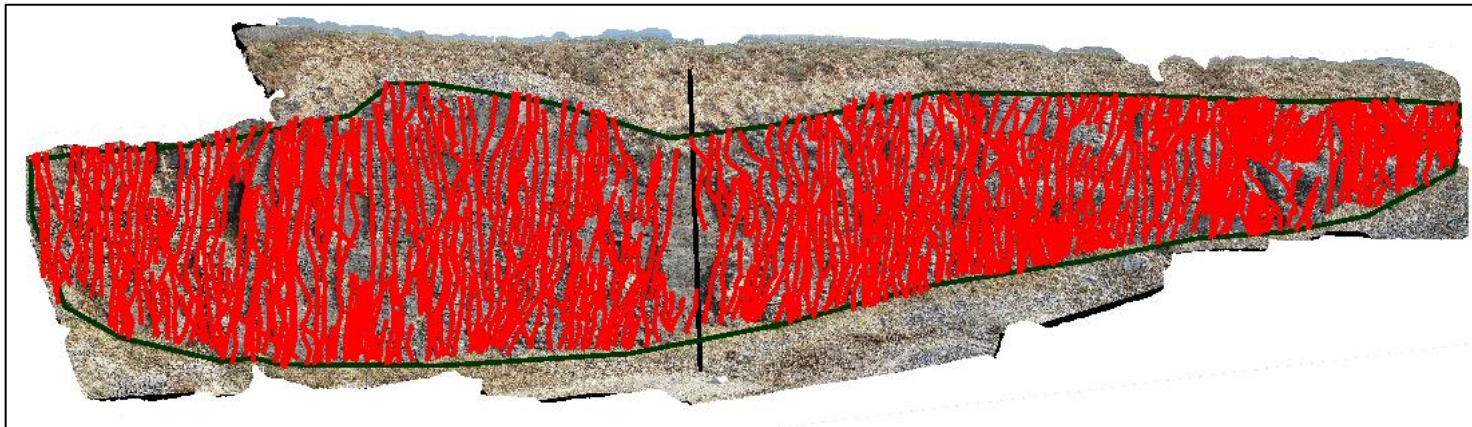
Εικόνα 4-63: Τα στατιστικά των διακλάσεων για το scanline 1.3



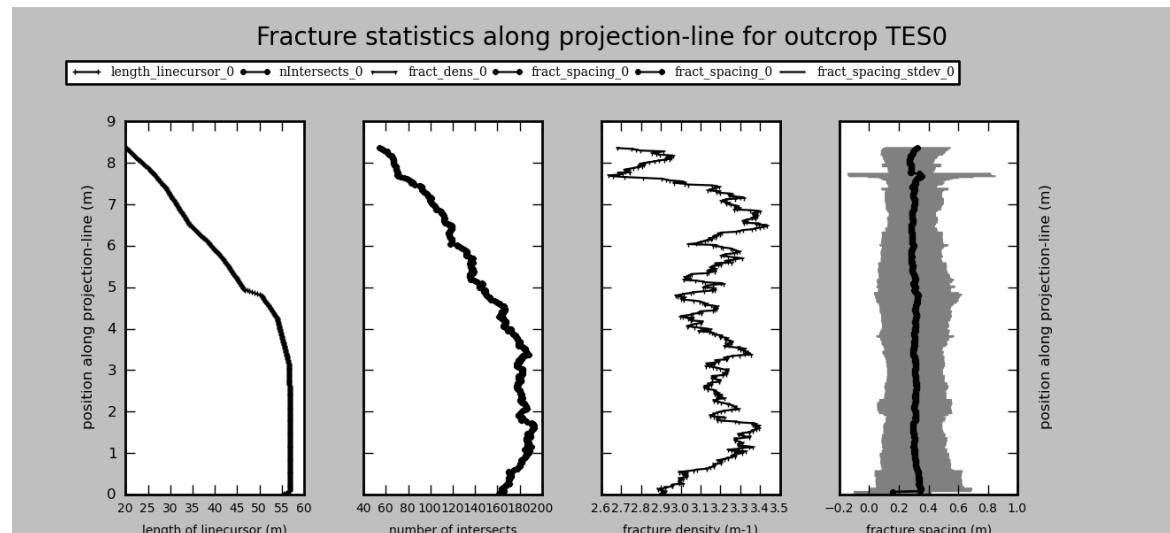
Εικόνα 4-64: Ψηφιοποιημένες διακλάσεις του scanline 1.3 (πλαίσιο παχυστρωματώδους εμφάνισης)



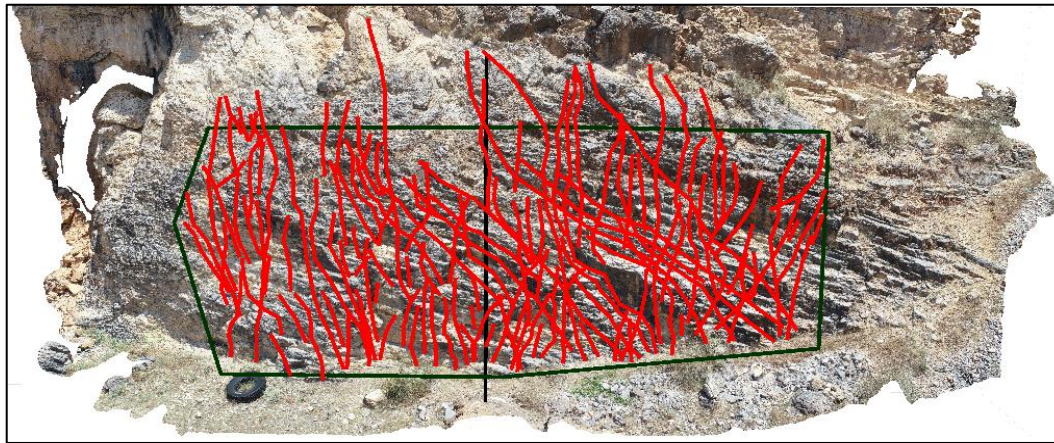
Εικόνα 4-65: Τα στατιστικά των διακλάσεων για το scanline 1.3 (πλαίσιο παχυστρωματώδους εμφάνισης)



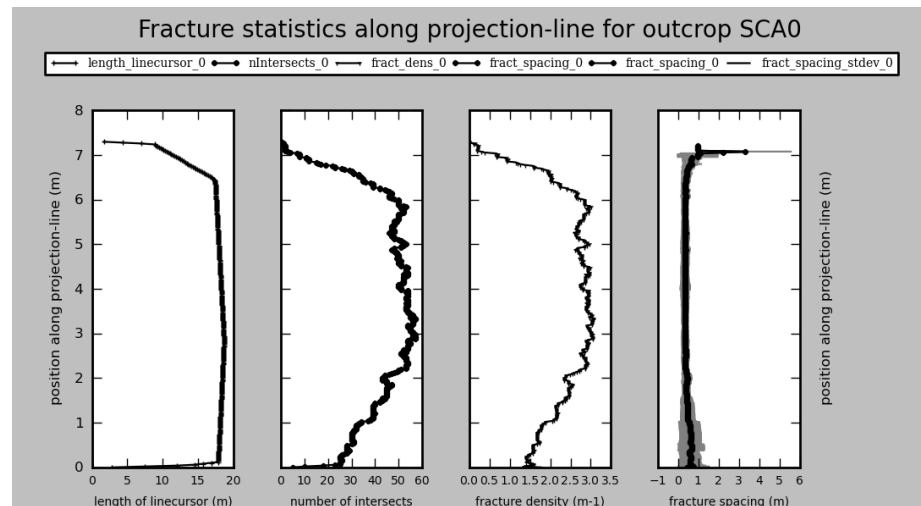
Εικόνα 4-66: Ψηφιοποιημένες διακλάσεις του scanline 1.1



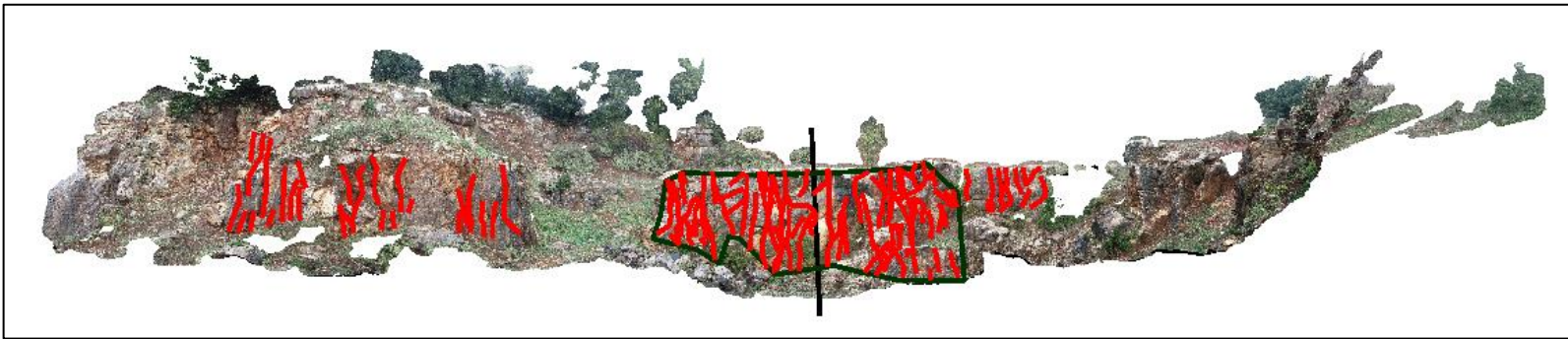
Εικόνα 4-67: Τα στατιστικά των διακλάσεων για το scanline 1.1



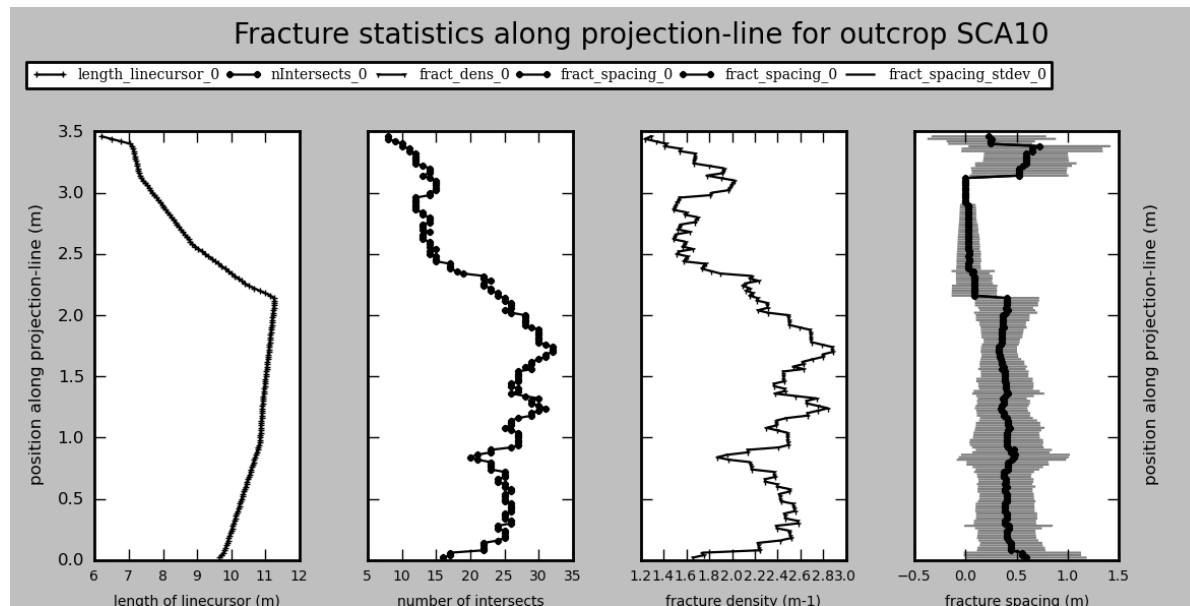
Εικόνα 4-68: Ψηφιοποιημένες διακλάσεις του scanline 1.2



Εικόνα 4-69: Τα στατιστικά των διακλάσεων για το scanline 1.2



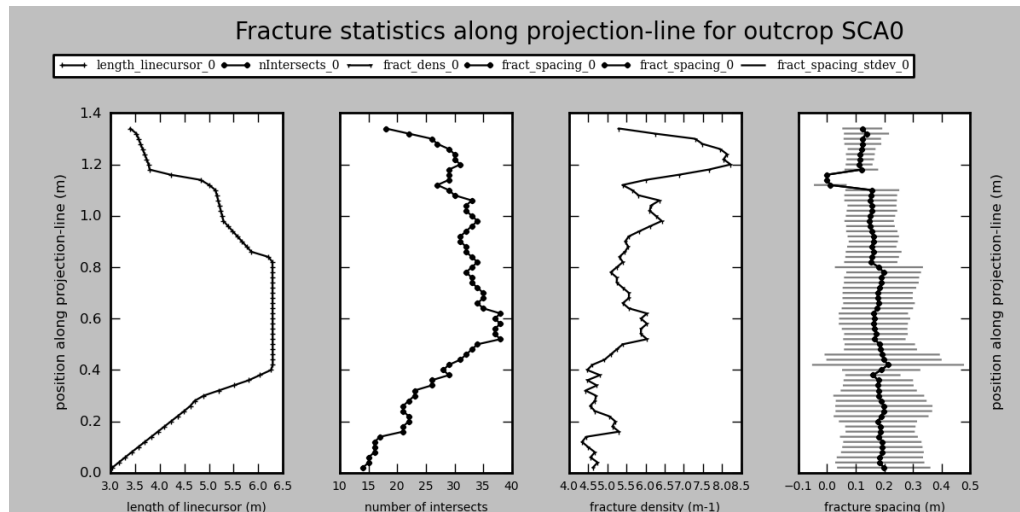
Εικόνα 4-70: Ψηφιοποιημένες διακλάσεις του scanline 2.1



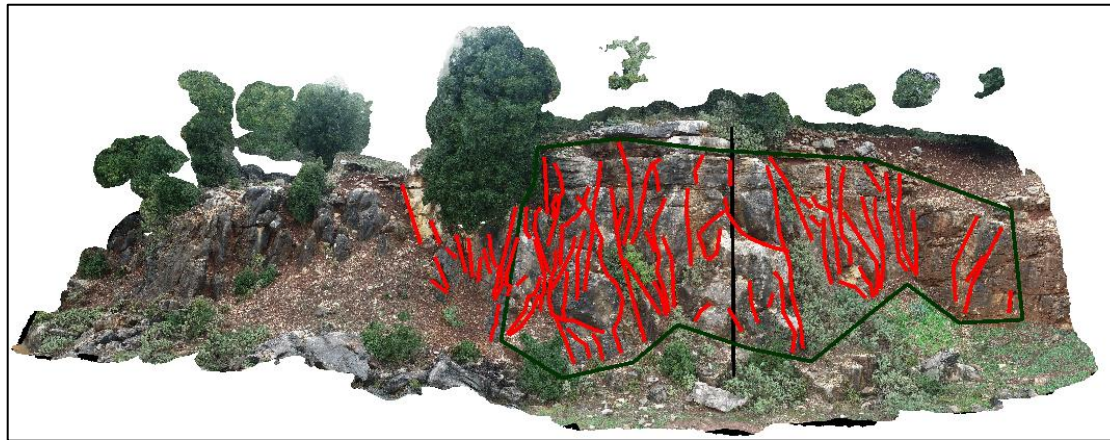
Εικόνα 4-71: Τα στατιστικά των διακλάσεων για το scanline 2.1



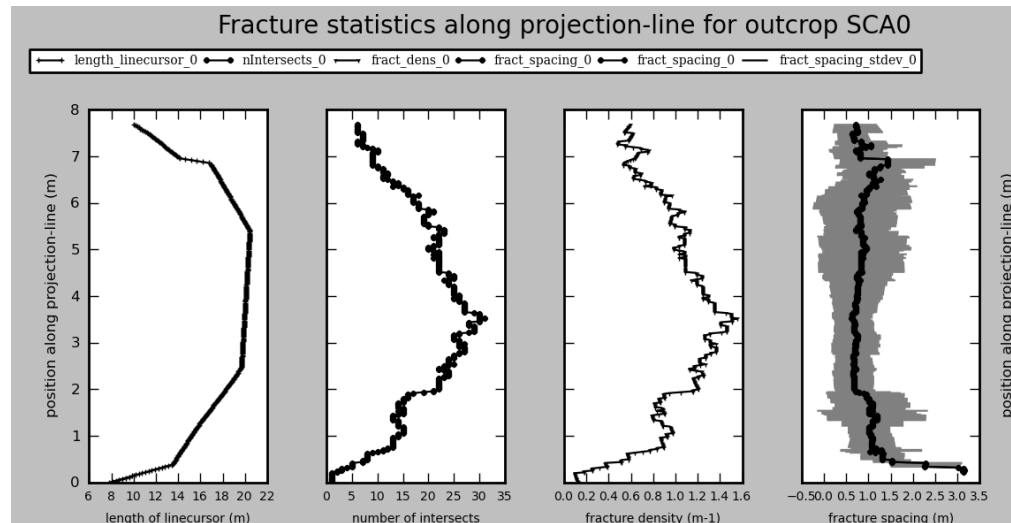
Εικόνα 4-72: Ψηφιοποιημένες διακλάσεις του scanline 2.2



Εικόνα 4-73: Τα στατιστικά των διακλάσεων για το scanline 2.2



Εικόνα 4-74: Ψηφιοποιημένες διακλάσεις του scanline 2.3



Εικόνα 4-75: Τα στατιστικά των διακλάσεων για το scanline 2.3

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης διακλάσεων P_{10} παρατίθενται σε μορφή πινάκων ανά περιοχή και πρανές (Πίνακας 4-1). Αναφέρονται στην πυκνότητα (m^{-1}) των διακλάσεων, στον μέσο όρο της απόστασης (m) μεταξύ δύο διαδοχικών διακλάσεων αλλά και στο μέσο όρο του μήκους (m) μίας διάκλασης.

Περιοχή	Σχηματισμός	Πυκνότητα διακλάσεων	Μέσο μήκος	Μέση απόσταση
Μαζιά				
scanline1.1	Ηώκαινο	3,15152183	5,365904975	0,303970589
scanline1.2	Ηώκαινο	2,378093557	4,238904815	0,431242155
scanline1.3	Ηώκαινο	3,158402878	2,542752031	0,299273633
Μέσος όρος		2,896006088	4,049187274	0,344828792
Ανάργυροι				
scanline2.1	Σενώνιο	2,16847961	1,608870772	0,30524942
scanline2.2	Σενώνιο	5,60419423	0,692005122	0,160862251
scanline2.3	Σενώνιο	0,954232925	3,214803796	0,927343231
Μέσος όρος		2,908968922	1,838559897	0,464484967

Πίνακας 4-1: Αποτέλεσμα ανάλυσης διακλάσεων P_{10}

4.3.8 Αποτελέσματα πυκνότητας διακλάσεων κλασικής μεθόδου

Τα αποτελέσματα της κλασικής ανάλυσης με τα δεδομένα που λήφθηκαν στο πεδίο παρατίθενται σε μορφή πινάκων ανά περιοχή και πρανές (Πίνακες 4-2 και 4-3). Αναφέρονται στην μέση απόσταση των διακλάσεων καταμήκος του ορίζοντα μέτρησης (m), στην μέση πυκνότητα των διακλάσεων (m^{-1}), στο μέσο άνοιγμά τους (mm) αλλά και το ποσοστό των ανοιχτών και κλειστών διακλάσεων.

Είναι αναμενόμενο οι τιμές των πυκνοτήτων της κλασικής μεθόδου να αποκλίνουν από εκείνες της ανάλυσης P_{10} , μάλιστα είναι και αρκετά μεγαλύτερες, εξαιτίας της ακρίβειας των μετρήσεων στο πεδίο. Με την ψηφιοποίηση είναι φυσικό επόμενο να παραλείπονται κάποιες διακλάσεις λόγω ευκρίνειας. Παρόλα αυτά, τα αποτελέσματα ακολουθούν τη λογική της ανάλυσης P_{10} , όπως θα αναφερθεί και στα συμπεράσματα.

scanline 1.1		
Μέση απόσταση διακλάσεων	0,07	m
Διακλάσεις/m	16,10973	m ⁽⁻¹⁾
Ανοιχτές διακλάσεις	290	91%
Κλειστές διακλάσεις	29	9%
Μέσο άνοιγμα διακλάσεων	3,903974	mm
scanline 1.2		
Μέση απόσταση διακλάσεων	0,075	m
Διακλάσεις/m	17,88342	m ⁽⁻¹⁾
Ανοιχτές διακλάσεις	229	73%
Κλειστές διακλάσεις	85	27%
Μέσο άνοιγμα διακλάσεων	3,040146	mm
scanline 1.3		
Μέση απόσταση διακλάσεων	0,07	m
Διακλάσεις/m	20	m ⁽⁻¹⁾
Ανοιχτές διακλάσεις	59	88%
Κλειστές διακλάσεις	8	12%
Μέσο άνοιγμα διακλάσεων	2,776316	mm

Πίνακας 4-2: Αποτελέσματα κλασικής μεθόδου στο λατομείο της Μαζιάς

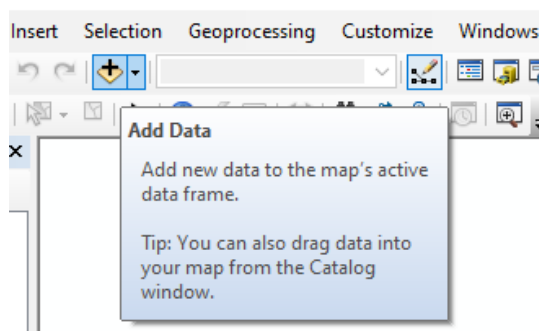
scanline 2.1		
Μέση απόσταση διακλάσεων	0,370833333	m
Διακλάσεις/m	2,921348315	m ⁽⁻¹⁾
Ανοιχτές διακλάσεις	13	100%
Κλειστές διακλάσεις	0	0
Μέσο άνοιγμα διακλάσεων	4,4	mm
scanline 2.2		
Μέση απόσταση διακλάσεων	0,173684211	m
Διακλάσεις/m	6,060606061	m ⁽⁻¹⁾
Ανοιχτές διακλάσεις	40	100%
Κλειστές διακλάσεις	0	0
Μέσο άνοιγμα διακλάσεων	2,94	mm

Πίνακας 4-3: Αποτελέσματα κλασικής μεθόδου στο λατομείο των Αναργύρων

4.4 Ανάλυση διακλάσεων P₂₁

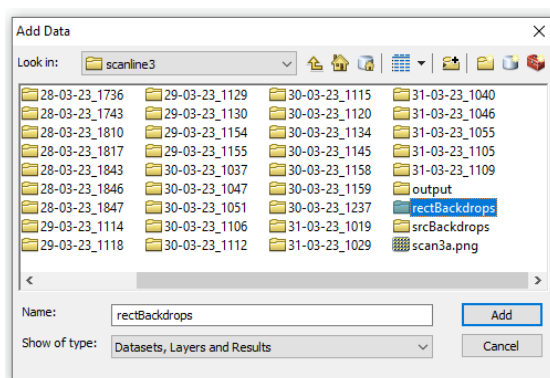
4.4.1 Εισαγωγή δεδομένων

Αρχικά γίνεται εκκίνηση του λογισμικού ArcGIS σε περιβάλλον νέου project. Από την εργαλειοθήκη επιλέγεται εισαγωγή νέων δεδομένων “add data” και μέσω του αναδυόμενου μενού, από τα αρχεία του υπολογιστή, εντοπίζονται εκείνα που έχουν δημιουργηθεί για τις εργασίες του λογισμικού DigiFract (Εικόνα 4-76). Εδώ συνεχίζεται η ανάλυση του πρηνούς scanline 1.3.

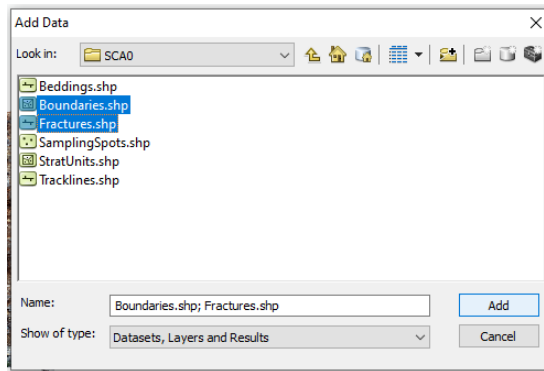


Εικόνα 4-76: Η εντολή εισαγωγής δεδομένων στην εργαλειοθήκη

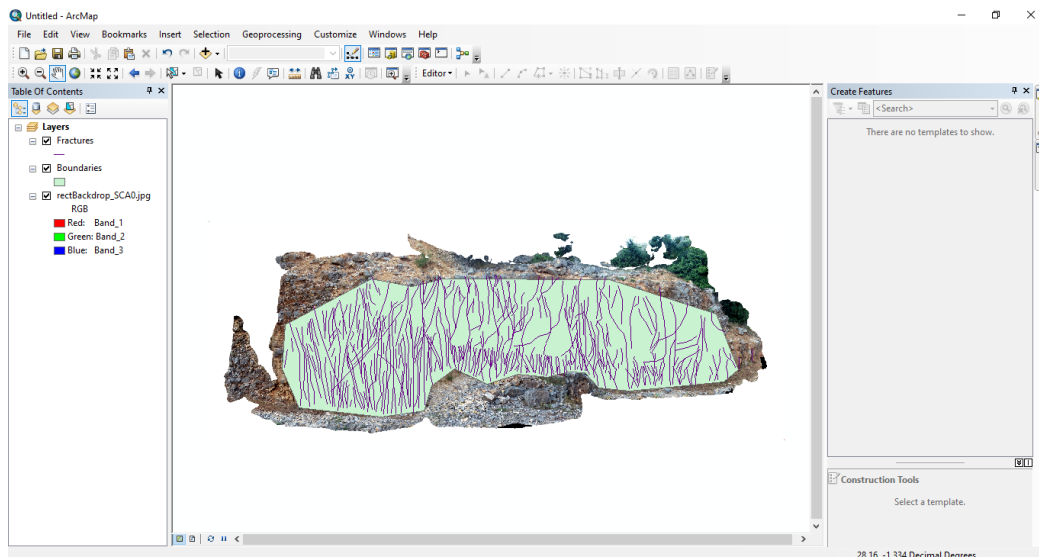
Από τα αρχεία rectBackdrop στο φάκελο με τις επεξεργασίες του DigiFract του συγκεκριμένου πρηνούς, επιλέγεται το αρχείο μορφής jpeg της πρόσοψής του, πάνω στο οποίο είχαν ψηφιοποιηθεί οι διακλάσεις (Εικόνα 4-77). Έπειτα, πάλι μέσω της εισαγωγής δεδομένων, φέρονται στο περιβάλλον του ArcGIS, μέσω του πιο πρόσφατα αποθηκευμένου project στο DigiFract, τα shapefiles των ψηφιοποιημένων διακλάσεων και του πλαισίου με βάση το οποίο έγινε η προηγούμενη ανάλυση P₁₀ (Εικόνα 4-78). Έτσι έχουν εισαχθεί όλα τα δεδομένα που χρειάζονται για την εύρεση της πυκνότητας των διακλάσεων (Εικόνα 4-79).



Εικόνα 4-77: Αναδυόμενο μενού της εισαγωγής δεδομένων για την επιλογή της εικόνας πρόσοψης



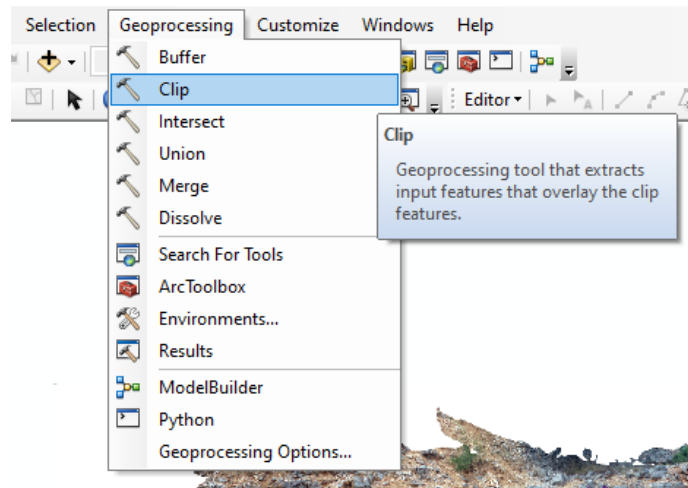
Εικόνα 4-78: Τα αρχεία των διακλάσεων και του πλαισίου από το αναδυόμενο μενού



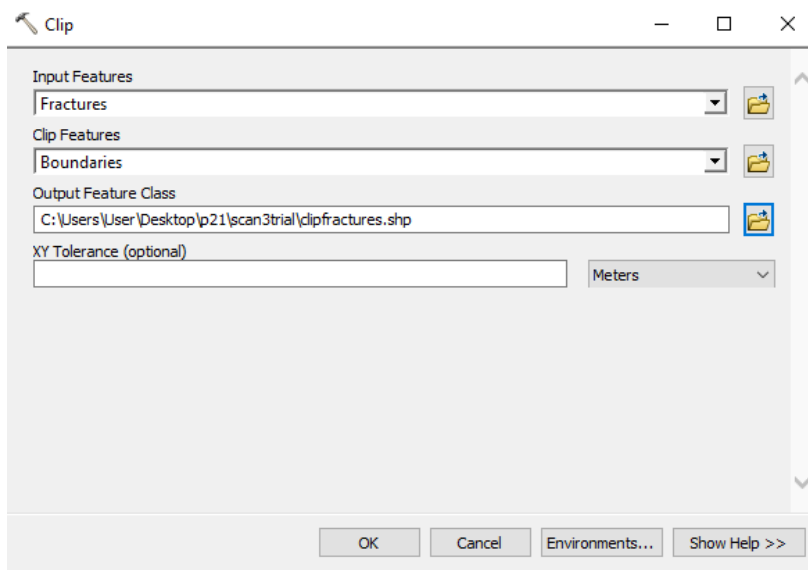
Εικόνα 4-79: Τα δεδομένα που έχουν εισαχθεί στο περιβάλλον του ArcGIS

4.4.2 Αποκοπή διακλάσεων (clip)

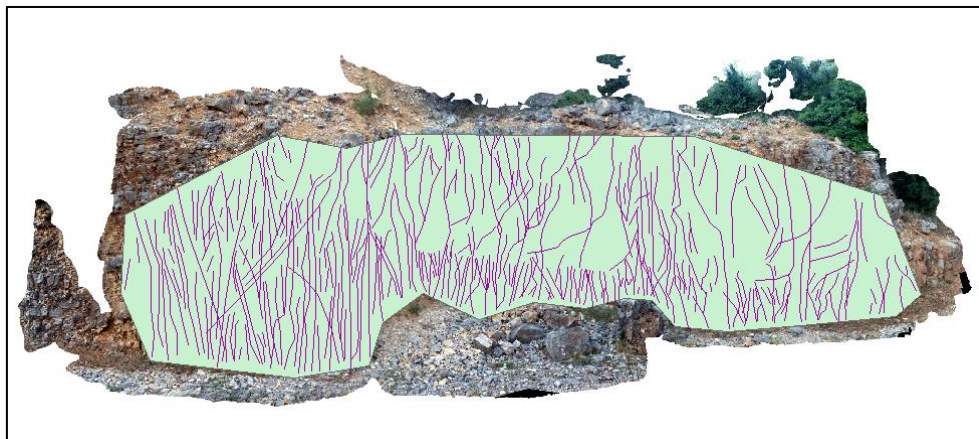
Στη συνέχεια, πρέπει να γίνει επιλογή των διακλάσεων οι οποίες βρίσκονται εκτός του ορισμένου πλαισίου. Από την κατηγορία της γεωεπεξεργασίας (geoprocessing) της εργαλειοθήκης, επιλέγεται το εργαλείο clip (Εικόνα 4-80) θέτοντας ως αρχείο εισόδου τις ψηφιοποιημένες διακλάσεις (input features) και αρχείο επιλογής πλαισίου (clip features) το πλαίσιο στο οποίο επιθυμούμε να γίνει η ανάλυση (Εικόνα 4-81). Επιλέγεται και η τοποθεσία αποθήκευσης του τελικού αρχείου. Ολοκλήρωση της διαδικασίας με επιλογή “OK” από το τελευταίο παράθυρο.



Εικόνα 4-80: Επιλογή της εντολής clip από την εργαλειοθήκη



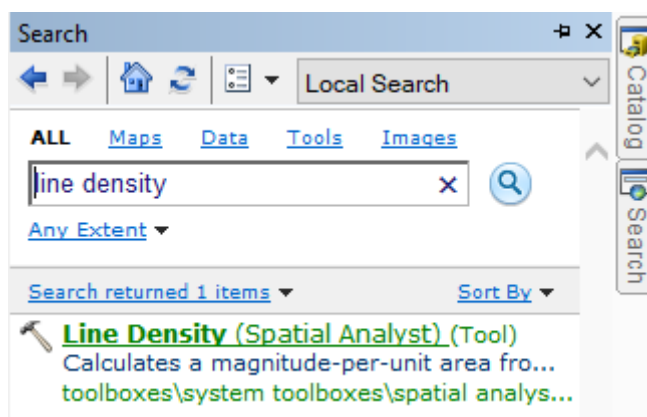
Εικόνα 4-81: Επιλογή των χαρακτηριστικών στα οποία θα εφαρμοστεί η εντολή clip



Εικόνα 4-82: Το πρανές όπου παρουσιάζονται μόνο οι διακλάσεις εντός του πλασίου

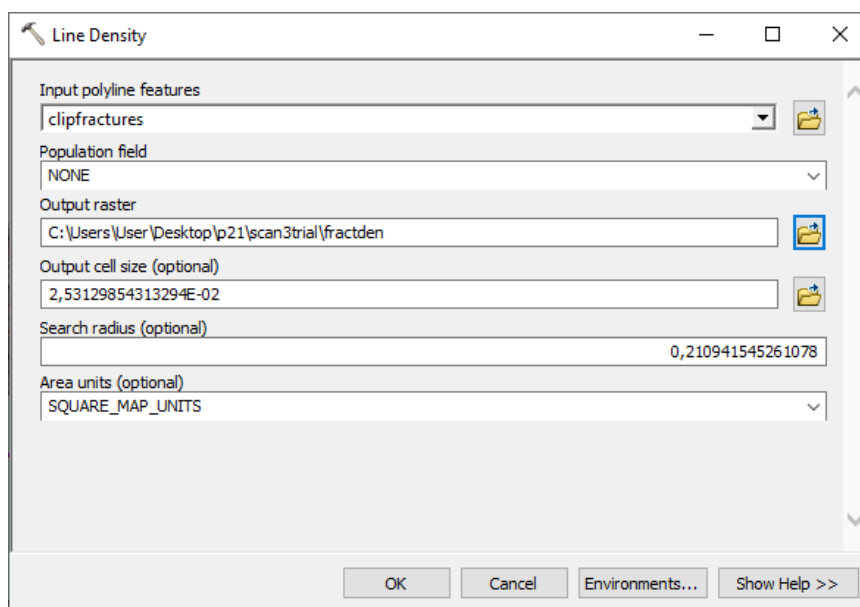
4.4.3 Μέτρηση πυκνότητας διακλάσεων

Από τα tabs τέρμα δεξιά στο περιβάλλον εργασίας επιλέγεται η αναζήτηση (“search”) και πληκτρολογείται η εντολή της πυκνότητας γραμμικού στοιχείου (“line density”) (Εικόνα 4-83). Ουσιαστικά, το λογισμικό υπολογίζει μια περιοχή ανά μονάδα εμβαδού χάρη σε γραμμικά χαρακτηριστικά που εμπίπτουν σε μια καθορισμένη ακτίνα γύρω από κάθε κελί. Ως ακτίνα επιλέγεται αυτή που καθορίζεται αυτόματα από το λογισμικό, καθώς είναι η άριστη (optimal) με βάση τα χαρακτηριστικά της κάθε περίπτωσης.

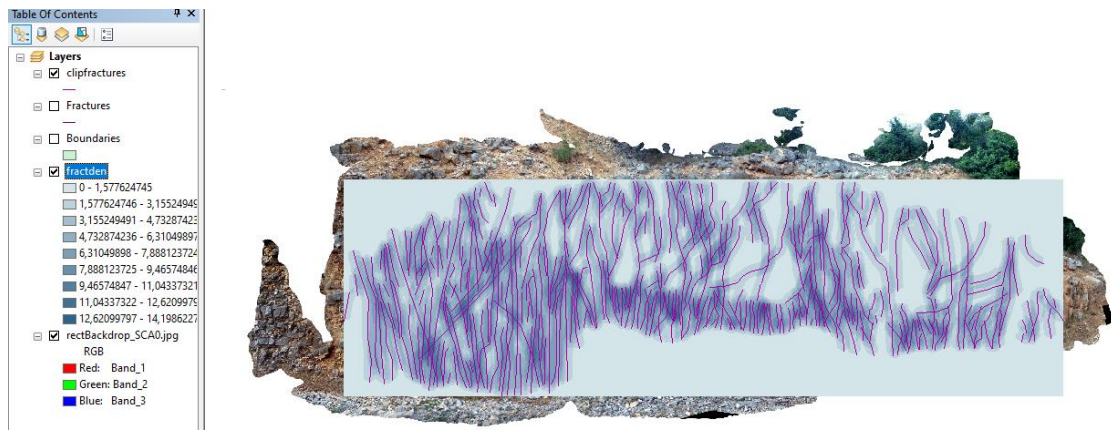


Εικόνα 4-83: Η εντολή της πυκνότητας γραμμικού στοιχείου

Στο αναδυόμενο παράθυρο της εντολής επιλέγεται ως “input polyline features” οι διακλάσεις που έχουν απομείνει εντός του πλαισίου και ως “area units” το “square map units”. Ολοκλήρωση με επιλογή “OK” (Εικόνα 4-84).



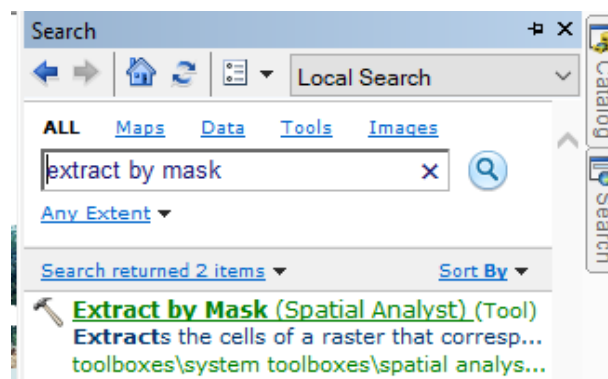
Εικόνα 4-84: Το αναδυόμενο μενού της εντολής line density



Εικόνα 4-85: Αναπαράσταση του τελικού αποτελέσματος της εντολής line density

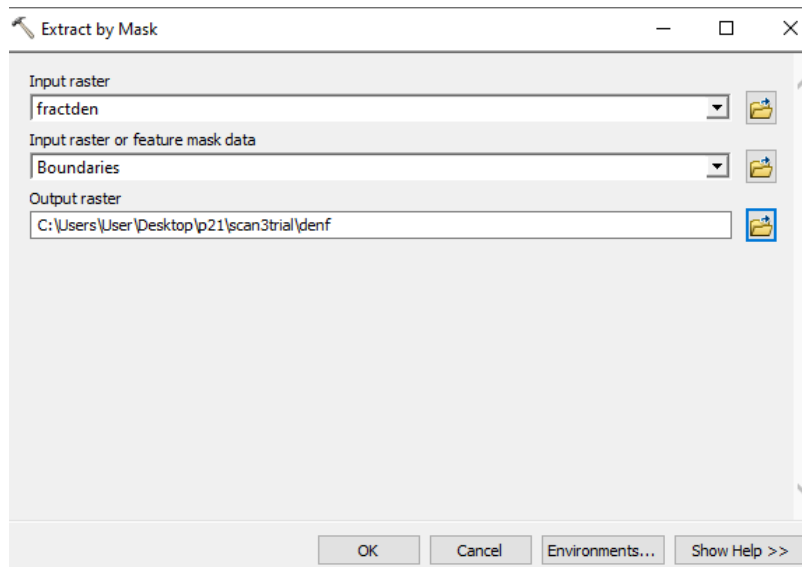
4.4.4 Extract by mask

Τέλος, από το παράθυρο της αναζήτησης πληκτρολογείται η εντολή “extract by mask” (Εικόνα 4-86), η οποία εξάγει τα κελιά ενός raster που αντιστοιχούν στις περιοχές που ορίζονται από ένα mask, εδώ ως μάσκα λειτουργεί το πλαίσιο, καθώς ως αποτελέσματα θέλουμε να ληφθούν ιστογράμματα περιορισμένα μόνο στην περιοχή που αυτό ορίζει.

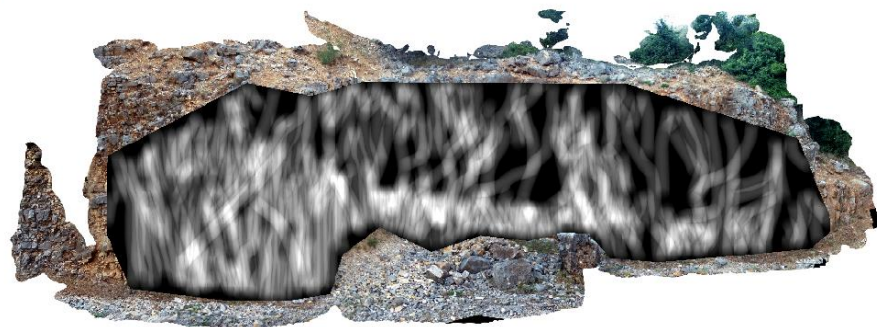
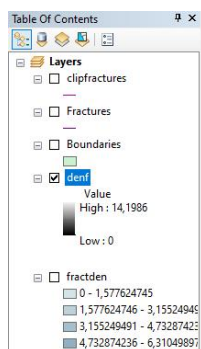


Εικόνα 4-86: Η εντολή extract by mask στην αναζήτηση

Στο αναδυόμενο παράθυρο της εντολής ως input raster ορίζεται το επίπεδο που δημιουργήθηκε στο προηγούμενο βήμα της πυκνότητας του γραμμικού στοιχείου των διακλάσεων και ως feature mask data το πλαίσιο (Εικόνα 4-87). Η ενέργεια ολοκληρώνεται με “OK”.



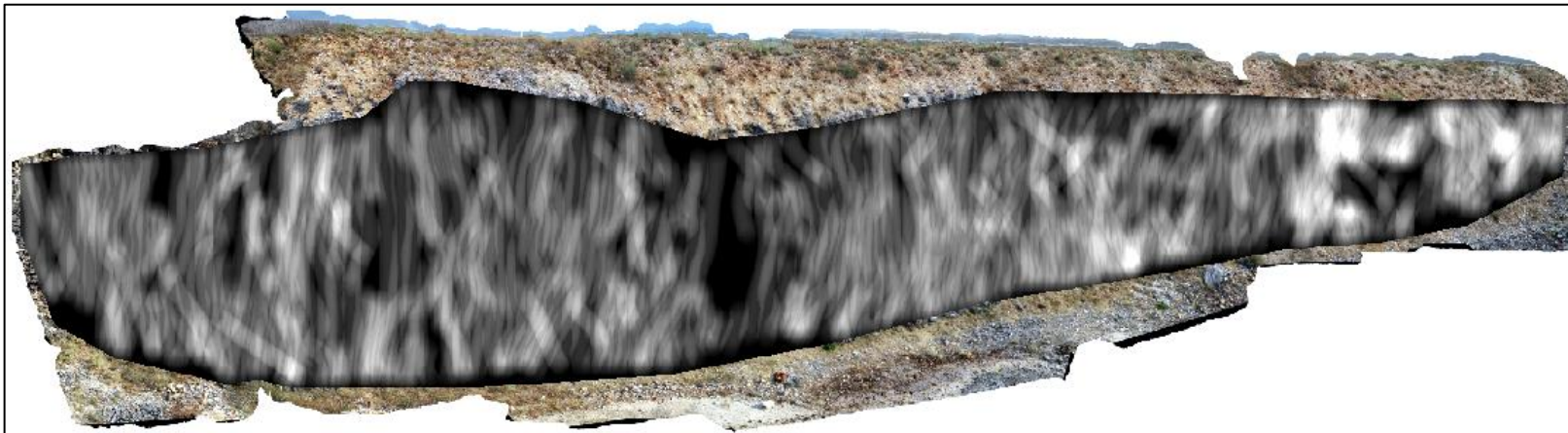
Εικόνα 4-87: Το αναδυόμενο μενού της εντολής *extract by mask*



Εικόνα 4-88: Αναπαράσταση του αποτελέσματος της εντολής *extract by mask*

4.4.5 Αποτέλεσμα ανάλυσης διακλάσεων P_{21}

Αποτέλεσμα της επεξεργασίας θα είναι ένα ιστόγραμμα για κάθε πρηνές, το οποίο ουσιαστικά είναι μια κατανομή συχνότητας όπου τα δεδομένα είναι ομαδοποιημένα σε κλάσεις. Δίνουν τη μέγιστη και ελάχιστη τιμή της πυκνότητας (m/m^2) καθώς και το μέσο όρο αυτών.



Εικόνα 4-89: Ψηφιακή απεικόνιση της πυκνότητας των διακλάσεων του scanline 1.1

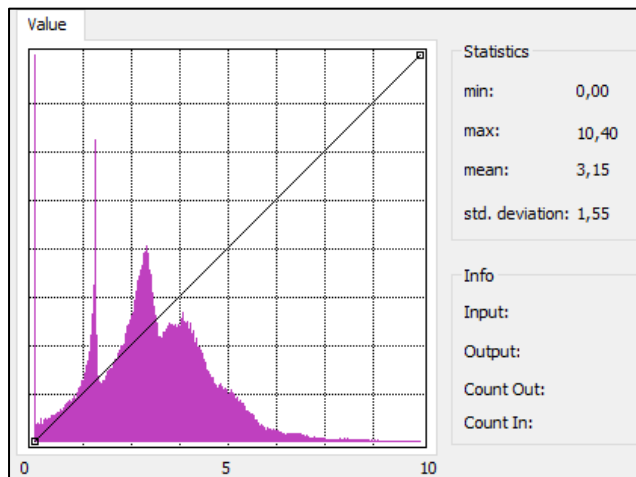
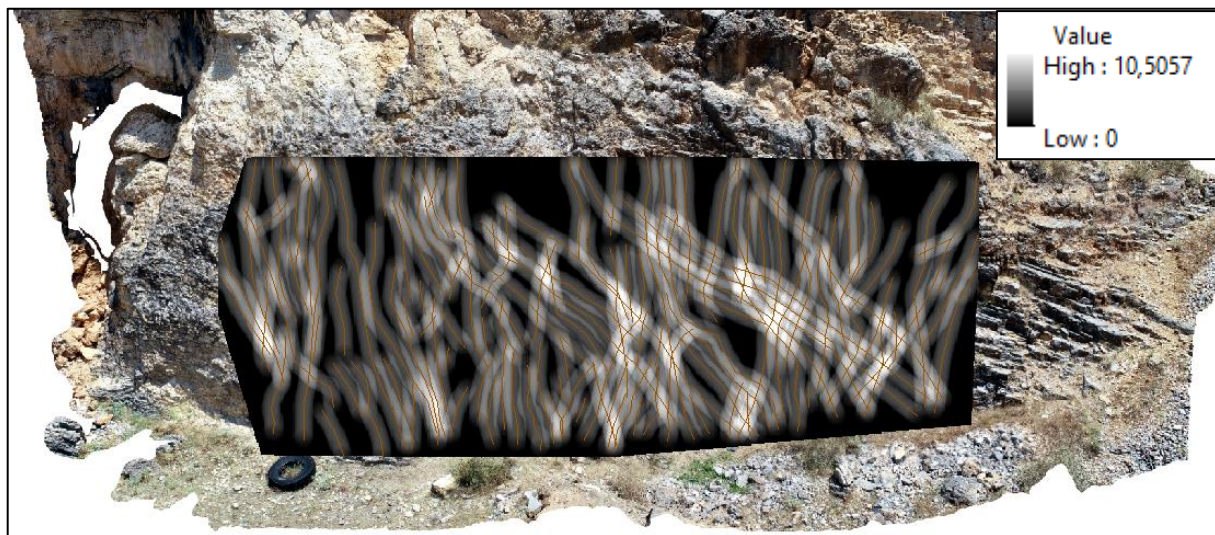


Figure 4-1: Ιστόγραμμα για scanline 1.1

Για το scanline 1.1 συμπεραίνεται ότι η πυκνότητα των διακλάσεων (m/m^2) είναι κατά μέσο όρο ίση με 3.15 διακλάσεις ανά τετραγωνικό μέτρο.

Μέγιστη τιμή πυκνότητας είναι 10.4 διακλάσεις ανά τετραγωνικό μέτρο.



Εικόνα 4-90: Ψηφιακή απεικόνιση της πυκνότητας των διακλάσεων του scanline 1.2

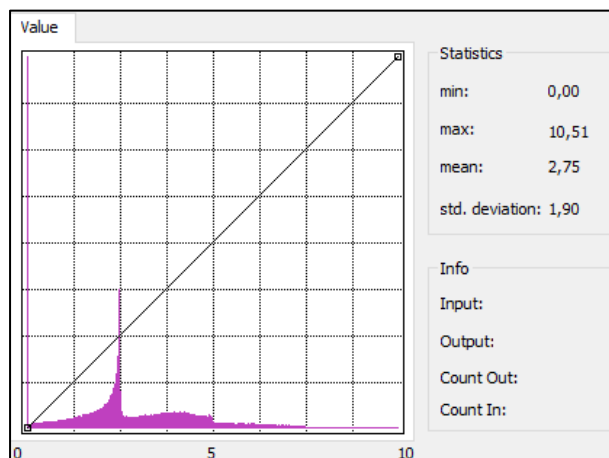
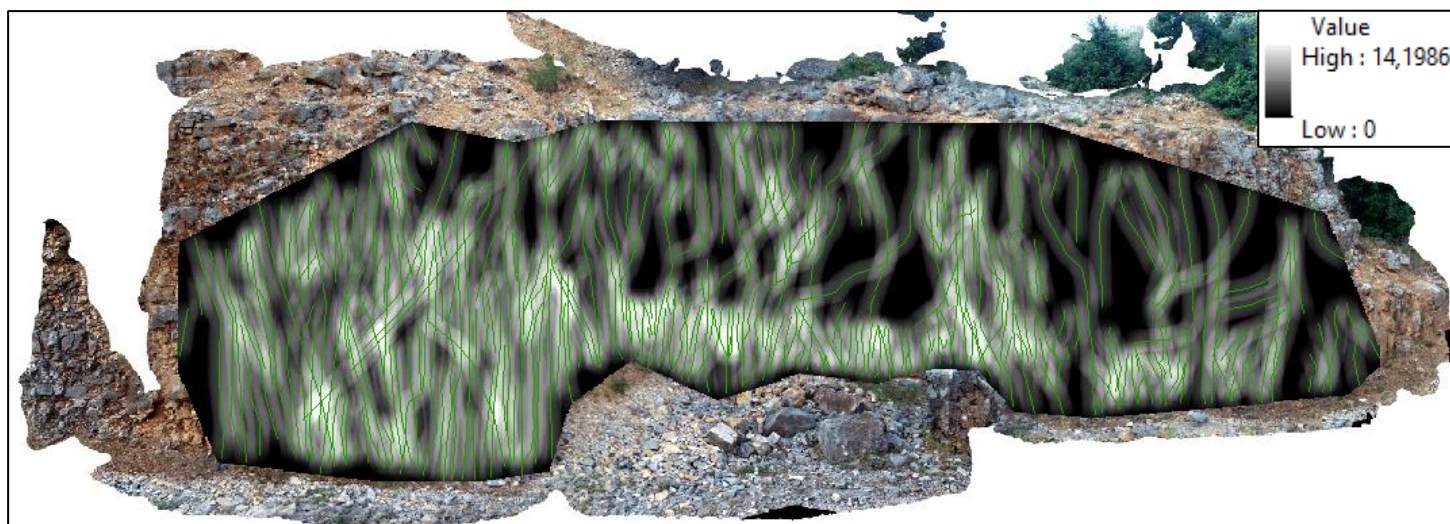


Figure 4-2: Ιστόγραμμα για scanline 1.2

Για το scanline 1.2 συμπεραίνεται ότι η πυκνότητα των διακλάσεων (m/m^2) είναι κατά μέσο όρο ίση με 2.75 διακλάσεις ανά τετραγωνικό μέτρο.

Μέγιστη τιμή πυκνότητας είναι 10.51 διακλάσεις ανά τετραγωνικό μέτρο.



Εικόνα 4-91: Ψηφιακή απεικόνιση της πυκνότητας των διακλάσεων του scanline 1.3

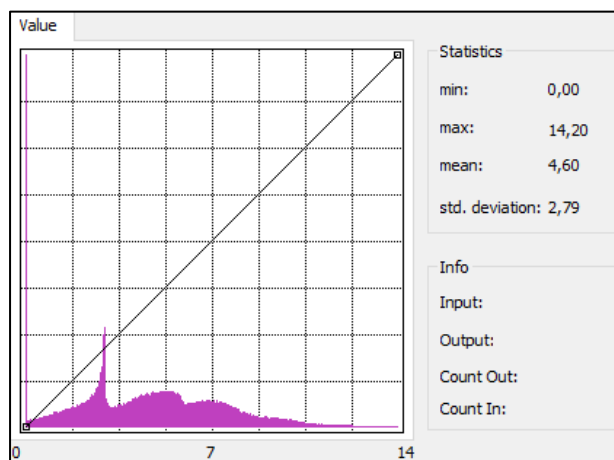


Figure 4-3: Ιστόγραμμα για scanline 1.3

Για το scanline 1.3 συμπεραίνεται ότι η πυκνότητα των διακλάσεων (m/m^2) είναι κατά μέσο όρο ίση με 4.6 διακλάσεις ανά τετραγωνικό μέτρο.

Μέγιστη τιμή πυκνότητας είναι 14.2 διακλάσεις ανά τετραγωνικό μέτρο.



Εικόνα 4-92: Ψηφιακή απεικόνιση της πυκνότητας των διακλάσεων του scanline 1.3 (παχυστρωματώδης εμφάνιση)

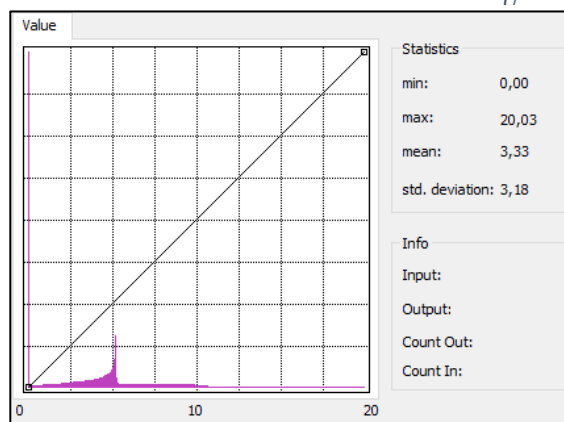


Figure 4-4: Ιστόγραμμα για scanline 1.3 (παχυστρωματώδης εμφάνιση)

Για το scanline 1.3 (παχυστρωματώδης εμφάνιση) συμπεραίνεται ότι η πυκνότητα των διακλάσεων (m/m^2) είναι κατά μέσο όρο ίση με 3.33 διακλάσεις ανά τετραγωνικό μέτρο.

Μέγιστη τιμή πυκνότητας είναι 20.03 διακλάσεις ανά τετραγωνικό μέτρο.



Εικόνα 4-93: Ψηφιακή απεικόνιση της πυκνότητας των διακλάσεων του scanline 2.1

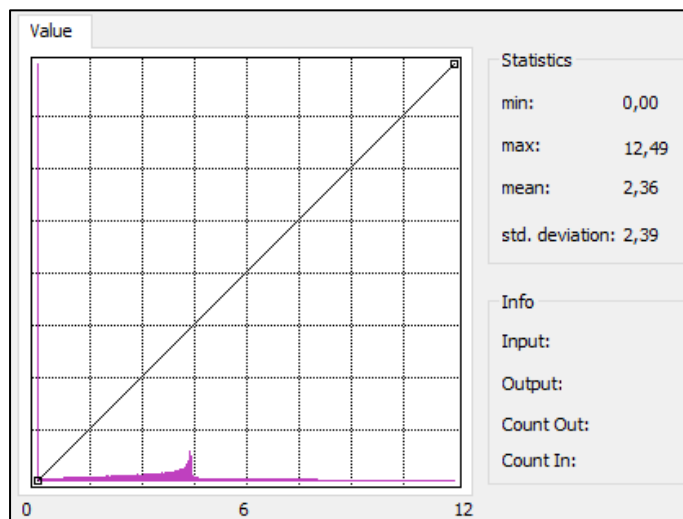


Figure 4-5: Ιστόγραμμα για scanline 2.1

Για το scanline 2.1 συμπεραίνεται ότι η πυκνότητα των διακλάσεων (m/m^2) είναι κατά μέσο όρο ίση με 3.36 διακλάσεις ανά τετραγωνικό μέτρο.

Μέγιστη τιμή πυκνότητας είναι 12.49 διακλάσεις ανά τετραγωνικό μέτρο.



Εικόνα 4-94: Ψηφιακή απεικόνιση της πυκνότητας των διακλάσεων του scanline 2.2

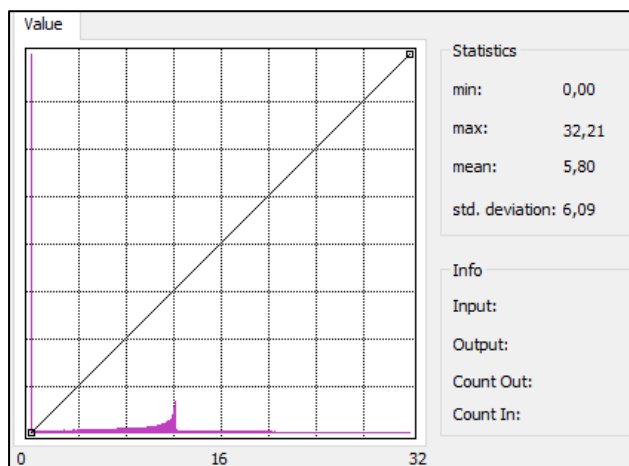
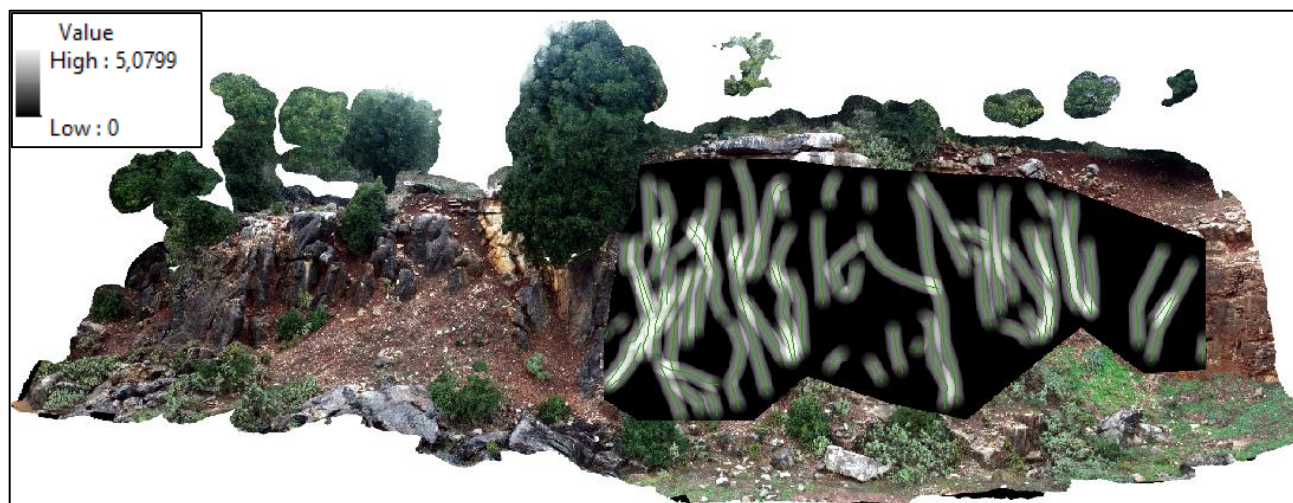


Figure 4-6: Ιστόγραμμα για scanline 2.2

Για το scanline 2.2 συμπεραίνεται ότι η πυκνότητα των διακλάσεων (m/m^2) είναι κατά μέσο όρο ίση με 5.8 διακλάσεις ανά τετραγωνικό μέτρο.

Μέγιστη τιμή πυκνότητας είναι 32.21 διακλάσεις ανά τετραγωνικό μέτρο.



Εικόνα 4-95: Ψηφιακή απεικόνιση της πυκνότητας των διακλάσεων του scanline 2.3

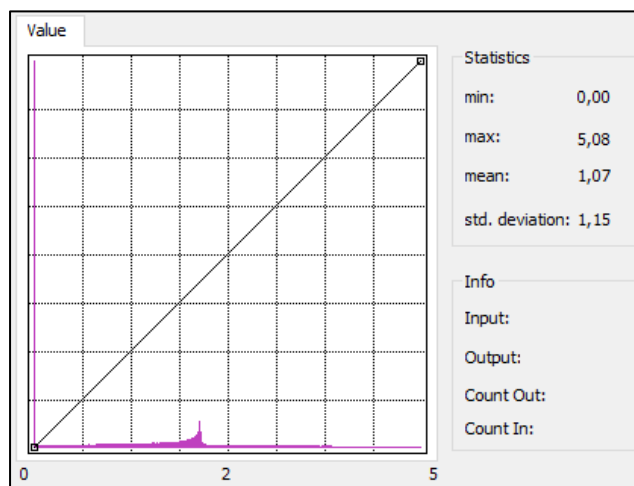


Figure 4-7: Ιστόγραμμα για scanline 2.3

Για το scanline 2.3 συμπεραίνεται ότι η πυκνότητα των διακλάσεων (m/m^2) είναι κατά μέσο όρο ίση με 1.07 διακλάσεις ανά τετραγωνικό μέτρο.

Μέγιστη τιμή πυκνότητας είναι 5.08 διακλάσεις ανά τετραγωνικό μέτρο.

Παρατίθεται συγκεντρωτικός πίνακας με τα αποτελέσματα της ανάλυσης P₂₁ (Πίνακας 4-4). Παρουσιάζονται η μέση πυκνότητα (m⁻¹) και η μέγιστη τιμή πυκνότητας (m⁻¹) για κάθε πρανές, στον δισδιάστατο χώρο.

Πρανές	Μέση πυκνότητα m ⁻¹	Μέγιστη τιμή m ⁻¹
Μαζιά		
scanline 1.1	3,15	10,4
scanline 1.2	2,75	10,51
scanline 1.3	4,6	14,2
scanline 1.3 παχυστρωματώδης ορίζοντας	3,33	20,03
Ανάργυροι		
scanline 2.1	3,36	12,49
scanline 2.2	5,8	32,21
scanline 2.3	1,07	5,08

Πίνακας 4-4: Αποτέλεσμα ανάλυσης διακλάσεων P₂₁

5 Συμπεράσματα

- Από την ανάλυση P_{10} με το λογισμικό DigiFract παρατηρείται ότι ο ασβεστόλιθος Ηωκαίνου του λατομείου της Μαζιάς είναι ομογενής αναφορικά με την πυκνότητα και κατά κύριο λόγο λεπτοπλακώδης. Εμφανίζει μεγάλες πυκνότητες διακλάσεων και μικρές αποστάσεις μεταξύ διαδοχικών διακλάσεων, οι οποίες κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα και στα τρία πρηνή.
- Ο ασβεστόλιθος Σενωνίου, αντίθετα, εμφανίζει ετερογένειες ως προς τα χαρακτηριστικά που μελετήθηκαν. Διακρίνονται παχυστρωματώδεις και λεπτοστρωματώδεις ορίζοντες, ιδιαίτερα στο scanline 2.2, όπου παρατηρείται μεγάλη απόκλιση σε σχέση με τα άλλα δύο πρηνή. Γενικά, ο ασβεστόλιθος Σενωνίου χαρακτηρίζεται από μικρότερες πυκνότητες διακλάσεων, καθώς είναι πιο αραιές και συνεπώς με μεγαλύτερη μέση απόσταση μεταξύ τους. Η ετερογένεια του σχηματισμού πιστοποιείται από το πρηνές scanline 2.2, καθώς σε αυτή τη θέση φαίνεται να υπάρχει πυκνότητα διακλάσεων μεγαλύτερη του Ηωκαίνου.
- Τα αποτελέσματα επαληθεύονται και από τα στατιστικά του λογισμικού
- Όμοια αποτελέσματα λαμβάνονται από την κλασική προσέγγιση η οποία επαληθεύει ουσιαστικά και την ανάλυση P_{10} του DigiFract. Ο ασβεστόλιθος Ηωκαίνου παρουσιάζει υψηλές τιμές πυκνοτήτων διακλάσεων (16-20 διακλάσεις ανά μέτρο) και μία μέση απόσταση διακλάσεων περίπου 0.07 mm και για τα τρία πρηνή. Είναι ένας ομοιογενής και λεπτοστρωματώδης ορίζοντας.
- Ο ασβεστόλιθος Σενωνίου όπως παρατηρείται από το scanline 2.1 έχει αρκετά μικρότερη πυκνότητα διακλάσεων και μεγαλύτερες αποστάσεις μεταξύ διαδοχικών διακλάσεων, ενώ αυτό αλλάζει στο scanline 2.2, κάτι το οποίο επαληθεύεται και από την προηγούμενη ανάλυση. Ο ασβεστόλιθος Σενωνίου αν και είναι κυρίως παχυστρωματώδης με μικρές πυκνότητες διακλάσεων, παρουσιάζει ετερογένειες με λεπτοστρωματώδεις ορίζοντες, γι' αυτό και υφίσταται προσοχή κατά το χαρακτηρισμό του.
- Ο υπολογισμός της παραμέτρου P_{21} αποδεικνύει τη συνοχή των αποτελεσμάτων της ανάλυσης P_{10} . Οι τιμές των πυκνοτήτων των διακλάσεων έρχονται σε πλήρη αντιστοιχία με τις προηγούμενες αναλύσεις. Τα δεδομένα από τα ιστογράμματα δίνουν ομοιογένεια στα πρηνή του Ηωκαινικού ασβεστολίθου με μία μέση

πυκνότητα που κυμαίνεται από 2.75 έως 4.6 διακλάσεις ανά τετραγωνικό μέτρο. Το Σενώνιο παρουσιάζει έντονη ετερογένεια για άλλη μία φορά με μεγάλη πυκνότητα διακλάσεων στο scanline 2.2 και πολύ μικρή πυκνότητα στο scanline 2.3, λόγω της εναλλαγής οριζόντων.

- Σύμφωνα με την ταξινόμηση κατά (Nelson, 2001) για διερρηγμένους ταμιευτήρες ο ασβεστόλιθος Ηωκαίνου μπορεί να θεωρηθεί τύπου I λόγω της έντονης πυκνότητας των διακλάσεων του. Ο ασβεστόλιθος Σενωνίου είναι τύπου II καθώς είναι κρυσταλλικός, παχυστροματώδης και με καλύτερο πρωτογενές πορώδες.

6 Βιβλιογραφία

- Ahr, W. M. (2008). *Geology of Carbonate Reservoirs*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Aubouin, J. (1959). Contribution a l' etude geologique de la Grece septentrionale; les confins de l' Epire et de la Thessalie. Athenes: These, sciences, Univ. Paris et Ann. geol. Pays hellen.
- Aubouin, J., Desprairies, A., & Terry, J. (1977). Le geosynclinal d' Epire - Akarnanie, la nappe du Pinde - Olonos et la nappe ophiolithique. *Reunion extraordinaire de la Societe geologique de France en Grece*. Paris.
- Bourbiaux, B., Fournou, A., Nguyen, Q.-L., Norrant, F., Robin, M., Rosenberg, E., & Argillier, J.-F. (2016, Ιούνιος 15). *OnePetro*. Retrieved from Experimental and Numerical Assessment of Chemical Enhanced Oil Recovery in Oil-Wet Naturally Fractured Reservoirs: <https://onepetro.org/SJ/article-abstract/21/03/0706/207270/Experimental-and-Numerical-Assessment-of-Chemical?redirectedFrom=fulltext>
- Chert Nodule*. (2023). Ανάκτηση από Geology is the way: <https://geologyistheway.com/sedimentary/chert-nodule/>
- Darling, T. (2005). *Well Logging and Formation Evaluation*. Gulf Professional Publishing.
- Dershowitz, W., & Herda, H. (1992). Interpretation of fracture spacing and intensity. *Proceedings of the 33rd U.S. Rock Mechanics Symposium*. Balkema, Rotterdam: R Tillerson & W Wawersik.
- Egya, D. O. (2018). *Characterisation of naturally fractured reservoirs using geological well testing*. Heriot-Watt University.
- Hardebol, N., & Bertotti, G. (2012, Νοέμβριος 8). DigiFract: A software and data model implementation for flexible acquisition and processing of fracture data from outcrops. *Computers & Geosciences*.
- Karakitsios, V. (2013, September). Western Greece and Ionian Sea petroleum systems. *APPG BULLETIN*.

- Nelson, R. A. (2001). *Geologic Analysis of Naturally Fractured Reservoirs*. Houston: Gulf Professional Publishing.
- Rogers, S., Bewick, R., Brzovic, A., & Gaudreau, D. (2017). Integrating photogrammetry and discrete fracture network . *Eighth International Conference on Deep and High Stress Mining*. Australian Centre for Geomechanics, Perth: J Wesseloo.
- Sommer, S., & Wade, T. (2006). *An illustrated dictionary of geographic information systems*. Redlands: Esri Press.
- Spence, G. H., Couples, G. D., Bevan, T. G., Aguilera, R., Cosgrove, J. W., & Jean-Marc Daniel, a. J. (2014, Ιούλιος 9). Advances in the study of naturally fractured hydrocarbon reservoirs: a broad integrated interdisciplinary applied topic. *Geological Society, London, Special Publications*, p. 22. Retrieved from <https://www.lyellcollection.org/doi/10.1144/sp374.19>
- Vakalas, I., Kokkalas, S., Konstantopoulos, P., Tzimeas, C., Kampolis, I., Tsiglifi, H., . . . Pita-Gutierrez, J. (2023, June 12). Implications of Salt Diapirism in Syn-Depositional Architecture of a Carbonate Margin-to-Edge Transition: An Example from Platania Syncline, Ionian Zone, NW Greece. *MDPI*.
- Wanjing Luo, P. L. (2017, Απρίλιος 16). *Effects of discrete dynamic-conductivity fractures on the transient pressure of a vertical well in a closed rectangular reservoir*. Retrieved from Scientific Reports: <https://www.nature.com/articles/s41598-017-15785-9>
- Κατσικάτσος, Γ. Χ. (1992). *Γεωλογία της Ελλάδας*. Αθήνα: Οργανισμός Εκδόσεων Διδακτικών Βιβλίων.
- Ροντογιάννη, Θ. (2018). *Γεωλογία, Θεμελιώδεις Έννοιες για Μηχανικούς*. Θεσσαλονίκη: Τζιόλα.

7 Παράρτημα (Δεδομένα πεδίου)

No	x (cm)	dx	dip	dipAzimuth	open/close	fill material	aperture (mm)
							scanline 1.1
0	0		72	108	open		1
1	9	9	64	56	open		7
2	36	27	70	19	open		< 1
3	44	8	63	44	open		2,5
4	49	5	74	74	open		< 1
5	55	6	67	27	open		< 1
6	58	3	69	53	open		1,5
7	62	4	71	65	open		< 1
8	67	5	72	58	open		2
9	70	3	67	57	open		2
10	83	13	78	52	open		*
11	107	24	71	49	open		*
12	113	6	63	84	open		< 1
13	116	3	71	63	close		< 1
14	120	4	53	65	open		< 1
15	122	2	65	78	open		1
16	124	2	72	77	open		1
17	127	3	72	71	open		*
18	134	7	44	50	open		*
19	134	0	68	285	open		< 1
20	137	3	76	76	open		< 1
21	142	5	64	37	open		< 1
22	152	10	74	62	close	calcite	< 1
23	156	4	73	66	open		< 1
24	166	10	61	49	open		< 1
25	171	5	85	300	open		< 1
26	186	15	68	41	open		< 1
27	187	1	83	310	open		< 1
28	197	10	72	63	open		1
29	204	7	87	303	open		< 1
30	204	0	67	56	close		< 1
31	221	17	63	73	open		< 1
32	221	0	66	308	open		< 1
33	230	9	77	76	open		< 1
34	234	4	84	306	open		< 1
35	240	6	70	324	open		1
36	252	12	69	64	open		< 1
37	259	7	58	81	open		< 1
38	261	2	69	76	open		< 1
39	264	3	69	86	open		< 1
40	270	6	85	126	open		< 1
41	275	5	79	246	open		< 1
42	276	1	68	325	open		1
43	278	2	83	77	open		< 1
44	288	10	83	72	open		2
45	296	8	73	90	open		3
46	300	4	65	47	open		1
47	310	10	73	287	open		x
48	316	6	73	268	open		< 1
49	318	2	86	277	open		< 1
50	325	7	86	85	open		< 1

51	335	10	74	86	open	< 1	
52	340	5	70	307	open	x	
53	341	1	80	117	open		1
54	349	8	85	253	open		4
55	351	2	83	221	open		4
56	355	4	57	290	open	x	
57	359	4	61	21	open		3
58	365	6	76	102	open	< 1	
59	368	3	89	48	open	< 1	
60	377	9	75	107	open		7
61	379	2	50	44	open		1
62	386	7	84	247	open	< 1	
63	396	10	69	319	open	< 1	
64	408	12	85	235	open	< 1	
65	410	2	62	47	open	< 1	
66	414	4	85	96	open	< 1	
67	431	17	59	70	open		1
68	443	12	74	263	open	x	
69	447	4	72	46	open		1,5
70	452	5	83	67	open		1
71	466	14	84	122	open		2
72	468	2	67	31	open	< 1	
73	468	0	77	107	open	< 1	
74	472	4	80	97	open		1
75	476	4	62	78	open	< 1	
76	479	3	86	313	open	< 1	
77	480	1	77	53	open	x	
78	484	4	41	305	open	x	
79	495	11	57	288	open		1
80	497	2	72	25	open		3
81	510	13	84	307	open	x	
82	513	3	79	83	open		4
83	524	11	82	327	open	x	
84	529	5	75	23	open		1
85	537	8	61	38	open	x	
86	542	5	66	124	open	< 1	
87	545	3	53	76	open	x	
88	597	52	88	252	close		
89	600	3	70	63	open		1
90	602	2	70	89	open		6,5
91	609	7	72	71	open		4
92	615	6	74	62	open	< 1	
93	624	9	59	55	open		1
94	633	9	80	223	open		1
95	633	0	65	77	open	< 1	
96	636	3	78	96	open		1
97	637	1	78	102	open		1
98	637	0	58	13	open	x	
99	641	4	87	235	open		1
100	650	9	75	81	open		40
101	667	17	75	61	open		20
102	674	7	68	33	open	x	

103	680	6	67	67	open		x	
104	680	0	77	326	open			25
105	689	9	74	77	open		< 1	
106	0		70	54	open			10
107	8	8	77	247	open			2,5
108	11	3	78	85	open		< 1	
109	20	9	79	51	open			1
110	32	12	77	70	open		< 1	
111	36	4	77	304	open		x	
112	50	14	66	78	open		< 1	
113	52	2	86	91	close	calcite	< 1	
114	63	11	63	33	open		< 1	
115	66	3	77	112	open		< 1	
116	76	10	74	79	open			5
117	89	13	74	80	open		< 1	
118	97	8	74	77	open			3
119	106	9	67	1	open		x	
120	106	0	79	321	open			30
121	117	11	79	91	open		x	
122	125	8	74	57	open			20
123	130	5	57	235	close	calcite	< 1	
124	133	3	54	241	close	calcite	< 1	
125	140	7	54	234	open			8
126	145	5	71	22	open		x	
127	145	0	89	106	open		x	
128	168	23	70	32	open			4
129	171	3	70	295	open			1
130	176	5	80	85	open			3
131	188	12	75	43	open			3
132	190	2	59	263	open			4
133	209	19	68	22	open			1
134	209	0	79	301	open			3
135	211	2	68	43	open			2
136	216	5	73	43	open		< 1	
137	230	14	73	275	open		< 1	
138	230	0	70	299	open		x	
139	232	2	78	43	open			1
140	247	15	63	12	open			1
141	247	0	75	309	open		< 1	
142	247	0	74	48	open		< 1	
143	248	1	88	287	open		< 1	
144	254	6	67	31	open		x	
145	260	6	87	72	open		< 1	
146	263	3	76	112	open			1
147	263	0	88	129	open		x	
148	269	6	73	52	close		< 1	
149	273	4	76	47	open			5
150	280	7	74	56	open			4
151	287	7	68	53	close		< 1	
152	290	3	72	59	open			3
153	293	3	70	47	open			2
154	294	1	84	278	open			2

155	299	5	54	44	open		1
156	304	5	69	67	open		3
157	304	0	81	307	open	x	
158	317	13	69	59	open	< 1	
159	326	9	86	60	open		30
160	337	11	80	310	open	< 1	
161	346	9	89	96	open	< 1	
162	346	0	62	84	open	x	
163	357	11	79	240	open	< 1	
164	358	1	89	280	open		5
165	370	12	78	321	close	< 1	
166	371	1	76	320	open	< 1	
167	383	12	85	92	open		2,5
168	404	21	88	288	open		3
169	419	15	89	271	open		3
170	422	3	87	98	close	< 1	
171	428	6	77	281	open		2
172	450	22	72	33	open		10
173	452	2	80	282	close	< 1	
174	462	10	68	62	open		2
175	478	16	89	93	open		4
176	483	5	81	107	open		1
177	486	3	83	86	open		2
178	496	10	78	60	close	< 1	
179	498	2	83	98	close	< 1	
180	499	1	73	98	open		5
181	499	0	64	358	open		1
182	503	4	83	285	open	< 1	
183	523	20	69	47	open		2
184	523	0	87	276	open		1
185	528	5	75	58	open		4
186	529	1	83	91	open		2
187	535	6	76	58	open		1
188	536	1	72	62	open		2
189	540	4	70	103	open		3
190	550	10	64	42	open	x	
191	550	0	88	88	open	< 1	
192	570	20	65	51	open		7
193	571	1	77	48	open	< 1	
194	572	1	73	52	open	< 1	
195	573	1	77	91	open	< 1	
196	573	0	89	116	open	< 1	
197	593	20	73	54	open		2
198	593	0	77	320	open		1
199	609	16	79	110	open		1
200	611	2	75	53	open		2
201	615	4	75	43	open		3
202	620	5	81	72	open		1
203	620	0	65	313	-	x	
204	635	15	69	48	close	< 1	
205	636	1	75	68	close	< 1	
206	640	4	79	78	open		2
207	643	3	77	35	open		1
208	649	6	69	9	open	x	

209	649	0	71	292	open		1
210	655	6	78	56	open		1
211	665	10	73	69	close	< 1	
212	673	8	86	97	open		1
213	673	0	85	114	open		2
214	675	2	85	286	open		3
215	680	5	63	14	open		1
216	19		79	76	open		2
217	26	7	70	60	open		2
218	38	12	69	82	open		2
219	38	0	83	247	open		1
220	50	12	89	114	open		23
221	61	11	65	46	open	x	
222	65	4	84	77	open	< 1	
223	65	0	84	299	open	x	
224	69	4	86	80	open		70
225	72	3	76	331	open		15
226	90	18	79	96	open		1
227	100	10	85	96	open		1
228	102	2	74	60	open	< 1	
229	104	2	81	317	open	< 1	
230	119	15	77	82	open		2
231	129	10	72	74	open		2
232	134	5	78	48	open		1
233	136	2	80	70	close	< 1	
234	140	4	79	74	close	< 1	
235	141	1	83	287	open	< 1	
236	153	12	77	39	open	< 1	
237	154	1	80	56	open		1
238	154	0	83	311	open	x	
239	161	7	81	88	close	< 1	
240	169	8	72	39	close	< 1	
241	169	0	79	51	open	< 1	
242	176	7	78	11	(open)	x	
243	177	1	89	106	open	x	
244	177	0	89	106	close	< 1	
245	178	1	88	292	close	< 1	
246	183	5	89	89	open	< 1	
247	192	9	71	41	open	< 1	
248	192	0	88	273	open		2
249	208	16	76	42	open	< 1	
250	213	5	77	49	close	< 1	
251	217	4	84	99	open	x	
252	224	7	67	38	open	< 1	
253	224	0	90	313	open	< 1	
254	226	2	84	99	open	< 1	
255	232	6	83	83	close	< 1	
256	234	2	90	98	open	< 1	
257	242	8	68	37	open	< 1	
258	266	24	41	41	open		5
259	272	6	72	39	close	< 1	
260	272	0	82	304	open		1
261	277	5	67	42	open		4

262	297	20	76	70	open		1
263	306	9	76	61	open		1
264	311	5	58	58	open		2
265	320	9	72	29	open	< 1	
266	320	0	79	321	open	< 1	
267	330	10	72	56	open		2
268	332	2	74	74	open		2
269	340	8	81	306	open	< 1	
270	344	4	83	69	open		2
271	345	1	80	59	open		2
272	354	9	71	53	open	< 1	
273	363	9	87	86	open		2
274	370	7	79	54	open		3
275	373	3	83	42	open		3
276	379	6	77	83	open		1
277	386	7	81	76	open		1
278	396	10	71	65	open		2
279	396	0	85	108	open		1
280	412	16	88	94	open		1
281	421	9	70	66	open		1
282	431	10	69	58	open		1
283	437	6	71	63	open	< 1	
284	442	5	70	59	open	< 1	
285	446	4	78	242	open	< 1	
286	446	0	74	86	open	< 1	
287	452	6	72	52	close	< 1	
288	460	8	54	54	open		2,5
289	463	3	80	85	close	< 1	
290	465	2	68	61	open	< 1	
291	472	7	73	71	open		1
292	477	5	61	69	open		2
293	477	0	90	297	-	x	
294	488	11	25	25	open		1
295	488	0	90	286	-	x	
296	490	2	90	90	open		1
297	493	3	82	98	open		1
298	506	13	43	43	open		1
299	514	8	89	105	open		1
300	521	7	60	44	open		1
301	536	15	70	302	open	x	
302	540	4	79	77	open		1
303	544	4	80	72	close	< 1	
304	550	6	83	67	open		5
305	558	8	76	55	open		3
306	567	9	71	89	open	< 1	
307	575	8	69	60	open	< 1	
308	585	10	70	93	open		1
309	590	5	90	271	-	x	
310	595	5	65	11	open		1
311	596	1	73	33	open	< 1	
312	597	1	90	218	open	< 1	
313	599	2	60	64	open	< 1	
314	603	4	72	97	open	< 1	
315	606	3	80	77	open	< 1	
316	610	4	42	52	open	< 1	
317	614	4	80	269	open		1
318	616	2	61	96	open		1
319	619	3	64	301	open	x	
320	625	6	68	46	open	< 1	
321	631	6	67	26	open	< 1	
322	631	0	78	321	open	< 1	
323	636	5	84	70	open	< 1	

No	x (cm)	dx	dip	dipAzimuth	open/close	fill material	apperture (mm)
							scanline 1.2
0	0		85	166	open		40
1	0		88	261	open		2
2	7	7	89	280	open		< 1
3	8	1	89	130	open		< 1
4	15	7	81	280	open		1
5	20	5	89	85	open		1
6	25	5	72	72	open		< 1
7	29	4	89	55	open		1
8	30	1	86	125	open		< 1
9	31	1	90	134	open		< 1
10	34	3	86	136	close	calcite	< 1
11	42	8	89	265	open		4
12	42	0	89	7	open		x
13	46	4	79	66	open		1
14	53	7	87	280	open		< 1
15	55	2	84	291	open		2
16	61	6	90	251	open		< 1
17	67	6	84	93	open		< 1
18	71	4	87	307	open		< 1
19	74	3	90	327	open		< 1
20	86	12	87	120	open		< 1
21	90	4	90	91	open		< 1
22	92	2	90	163	open		x
23	92	0	72	72	open		< 1
24	103	11	20	20	open		< 1
25	103	0	90	101	open		< 1
26	106	3	89	274	open		< 1
27	110	4	90	114	open		< 1
28	113	3	89	297	open		< 1
29	116	3	84	284	open		2
30	123	7	88	288	open		< 1
31	126	3	90	151	open		1
32	130	4	75	176	open		x
33	138	8	83	114	open		< 1
34	142	4	83	201	open		x
35	142	0	79	288	open		< 1
36	145	3	82	305	open		1
37	145	0	86	91	open		1
38	148	3	79	85	open		< 1
39	157	9	90	171	open		< 1
40	161	4	90	289	open		< 1
41	167	6	84	113	open		x
42	167	0	71	25	open		2
43	186	19	90	291	open		< 1
44	187	1	80	328	open		< 1
45	188	1	65	28	close		< 1
46	190	2	33	33	close		1
47	204	14	80	354	open		1
48	208	4	83	359	open		< 1
49	209	1	71	350	open		< 1
50	210	1	90	169	open		< 1

51	221	11	89	113	open		x	
52	228	7	88	292	open		x	
53	242	14	76	5	open			3
54	243	1	85	300	open		< 1	
55	250	7	82	304	open			2
56	272	22	89	23	open			2,5
57	290	18	61	324	open			1
58	294	4	83	155	close		< 1	
59	306	12	90	334	close		< 1	
60	318	12	90	197	open			3
61	322	4	90	356	open		< 1	
62	325	3	71	338	open			2
63	333	8	63	322	open			1
64	338	5	79	342	open		< 1	
65	347	9	86	155	open			2
66	352	5	87	35	open			1,5
67	369	17	81	352	open		< 1	
68	373	4	90	342	open		< 1	
69	377	4	84	298	close		< 1	
70	378	1	84	298	close		< 1	
71	380	2	90	106	open		< 1	
72	385	5	84	274	open		x	
73	390	5	74	342	open			1
74	399	9	88	101	(open)		x	
75	399	0	76	75	open			2
76	408	9	90	106	open			1
77	413	5	78	344	open			1
78	418	5	90	341	open		< 1	
79	420	2	82	347	open			1
80	429	9	67	343	open			2
81	430	1	87	336	open			2
82	0		79	325	open			25
83	18	18	66	333	open			4,5
84	23	5	84	332	open			1
85	67	44	62	156	open			1
86	81	14	89	329	open			4
87	84	3	89	155	close	calcite	< 1	
88	90	6	77	147	close	calcite	< 1	
89	100	10	89	335	close	calcite	< 1	
90	112	12	75	350	open			20
91	113	1	80	333	close	calcite	< 1	
92	116	3	84	338	close	calcite	< 1	
93	128	12	86	346	open			15
94	140	12	73	131	close	calcite	< 1	
95	149	9	83	130	open			2
96	155	6	65	340	open			4
97	166	11	81	78	close	calcite	< 1	
98	174	8	83	333	open			15
99	181	7	87	81	close	calcite	< 1	
100	185	4	87	69	close	calcite	< 1	
101	194	9	85	1	close	calcite	< 1	
102	202	8	89	76	close	calcite	< 1	

103	205	3	87	3	close	calcite	< 1	
104	216	11	77	346	open			2
105	224	8	87	299	open		x	
106	234	10	67	310	open			1
107	238	4	82	305	open		x	
108	240	2	81	279	open		< 1	
109	244	4	88	327	close	calcite	< 1	
110	248	4	88	328	open			12
111	251	3	87	128	open		< 1	
112	255	4	87	313	open			1
113	267	12	71	353	open		x	
114	273	6	84	69	open		x	
115	276	3	88	73	close	calcite	< 1	
116	283	7	88	47	close	calcite	< 1	
117	283	0	78	317	open			4
118	292	9	82	328	close	calcite	< 1	
119	305	13	86	103	close	calcite	< 1	
120	310	5	87	254	open		< 1	
121	310	0	85	245	open		x	
122	320	10	89	337	open			2
123	326	6	85	251	open		< 1	
124	328	2	88	253	open		< 1	
125	329	1	89	346	close	calcite	< 1	
126	336	7	86	176	open		x	
127	343	7	89	289	open		< 1	
128	350	7	88	65	open		x	
129	354	4	88	275	open			2
130	358	4	82	285	close	calcite	< 1	
131	361	3	87	278	close	calcite	< 1	
132	362	1	86	278	close	calcite	< 1	
133	363	1	86	342	open			1
134	368	5	89	140	open			2
135	373	5	83	127	close	calcite	< 1	
136	374	1	89	324	close	calcite	< 1	
137	377	3	89	150	close	calcite	< 1	
138	379	2	89	157	open		< 1	
139	386	7	89	163	open		< 1	
140	389	3	88	338	open			3
141	407	18	86	321	close	calcite	< 1	
142	409	2	84	311	open		< 1	
143	410	1	87	332	close	calcite	< 1	
144	413	3	70	307	open		< 1	
145	414	1	70	323	open		< 1	
146	417	3	84	139	close	calcite	< 1	
147	419	2	79	319	open		< 1	
148	419	0	82	183	open		x	
149	425	6	85	153	open		< 1	
150	431	6	84	341	open			1
151	433	2	89	141	open			1
152	441	8	82	168	-		x	
153	451	10	89	7	open		x	
154	459	8	79	319	open		< 1	
155	463	4	87	140	close	calcite		1
156	469	6	86	321	close	calcite	< 1	

157	471	2	76	321	close	calcite	< 1	
158	477	6	77	328	close	calcite	< 1	
159	480	3	85	322	close	calcite		2
160	484	4	83	332	close	calcite		1
161	490	6	79	351	close	calcite	< 1	
162	494	4	83	328	close	calcite	< 1	
163	497	3	65	333	close	calcite		1
164	502	5	77	340	close	calcite	< 1	
165	509	7	85	289	open		x	
166	509	0	87	37	open			1
167	511	2	70	324	open		< 1	
168	515	4	76	317	open		< 1	
169	519	4	65	341	open			3
170	534	15	86	66	open		< 1	
171	538	4	74	321	close	calcite	< 1	
172	542	4	57	160	open		x	
173	542	0	82	352	close	calcite	< 1	
174	546	4	84	159	-		x	
175	551	5	88	87	open			1
176	551	0	88	330	open		x	
177	554	3	89	5	open			2
178	558	4	88	311	open		< 1	
179	562	4	82	19	open		x	
180	570	8	88	65	open			4
181	576	6	90	65	close	calcite	< 1	
182	577	1	88	116	close	calcite	< 1	
183	581	4	87	60	close	calcite	< 1	
184	582	1	84	65	close	calcite	< 1	
185	586	4	87	52	open		< 1	
186	589	3	88	146	open		< 1	
187	595	6	87	99	open		x	
188	599	4	81	302	open			2
189	600	1	76	327	close	calcite		3
190	604	4	78	289	open		< 1	
191	606	2	88	19	open		x	
192	609	3	75	331	close	calcite		2
193	612	3	83	283	open		< 1	
194	621	9	88	283	open			2
195	628	7	84	87	open			2
196	636	8	84	48	open		x	
197	636	0	89	153	open			1
198	640	4	87	162	open			1
199	648	8	89	278	open		< 1	
200	651	3	89	7	close	calcite		1
201	661	10	86	11	open			1
202	667	6	88	259	open		x	
203	667	0	87	349	open		x	
204	670	3	89	302	close	calcite	< 1	
205	672	2	78	329	open			3
206	684	12	89	315	open		x	
207	689	5	87	334	open			4
208	692	3	83	340	close	calcite	< 1	
209	696	4	84	330	open			1
210	699	3	77	338	open		< 1	

211	699	0	89	76	open		x	
212	705	6	82	21	open			2
213	4		85	320	open			1
214	7	3	81	321	open			2
215	11	4	78	298	open			2
216	13	2	87	70	open			1
217	16	3	85	354	close	calcite	< 1	
218	18	2	87	347	close	calcite		1
219	22	4	88	181	open		x	
220	25	3	87	162	open		< 1	
221	29	4	89	326	close	calcite		2
222	31	2	89	339	open			3
223	34	3	89	139	close	calcite	< 1	
224	41	7	85	337	close	calcite	< 1	
225	51	10	88	348	close	calcite	< 1	
226	59	8	88	245	close	calcite	< 1	
227	65	6	85	313	open			2
228	72	7	79	135	open			8
229	75	3	89	156	open			1
230	78	3	74	297	open			35
231	88	10	55	313	open			1
232	96	8	89	129	open			1
233	99	3	89	318	open			1
234	102	3	89	318	close	calcite	< 1	
235	112	10	88	136	open			1
236	116	4	45	328	open			2
237	120	4	85	134	open			1
238	124	4	80	142	open			1
239	131	7	85	153	open		< 1	
240	134	3	82	318	open		< 1	
241	142	8	79	316	open			2
242	148	6	89	312	close	calcite	< 1	
243	154	6	85	340	open			2
244	160	6	81	74	open		x	
245	168	8	87	331	open			2
246	173	5	89	344	close	calcite	< 1	
247	182	9	89	181	open		x	
248	190	8	86	56	open			2
249	193	3	86	180	close	calcite	< 1	
250	199	6	85	65	open		< 1	
251	199	0	88	153	open			2,5
252	206	7	89	134	open			2
253	210	4	88	316	open			3
254	216	6	85	333	open			3
255	221	5	79	324	open			3,5
256	227	6	86	337	open			1
257	234	7	89	96	open			10
258	237	3	89	184	open		x	
259	243	6	79	267	open			3
260	250	7	83	268	open			1
261	256	6	89	332	open		x	
262	264	8	84	318	open			2
263	265	1	86	312	close	calcite	< 1	
264	269	4	89	127	open			1

265	277	8	86	140	open			1
266	291	14	81	319	close	calcite	< 1	
267	296	5	77	321	close	calcite	< 1	
268	301	5	81	273	close	calcite	< 1	
269	302	1	85	320	open			3
270	312	10	76	317	open			2
271	319	7	80	321	close	calcite	< 1	
272	326	7	89	83	open			1
273	334	8	82	151	open			1
274	346	12	79	302	close	calcite	< 1	
275	357	11	89	288	close	calcite	< 1	
276	369	12	87	71	close	calcite	< 1	
277	380	11	77	308	open			1
278	382	2	76	321	close	calcite	< 1	
279	389	7	87	71	close	calcite	< 1	
280	390	1	83	154	open			2
281	398	8	77	138	close	calcite	< 1	
282	402	4	31	288	close	calcite	< 1	
283	410	8	84	155	open			1
284	421	11	84	277	open			1
285	423	2	86	329	open		x	
286	435	12	85	334	open			1
287	442	7	78	317	open			2
288	442	0	87	37	close	calcite	< 1	
289	445	3	80	176	close	calcite	< 1	
290	459	14	80	280	close	calcite	< 1	
291	464	5	79	149	open			3
292	470	6	81	290	open			5
293	471	1	89	153	open			4
294	478	7	79	306	open		x	
295	481	3	75	317	close	calcite	< 1	
296	483	2	75	314	close	calcite		2
297	483	0	88	162	open			1
298	496	13	89	157	open			1
299	500	4	86	161	open		x	
300	505	5	89	349	open			3
301	515	10	80	145	open			1
302	515	0	85	48	close	calcite		1
303	522	7	87	249	open		x	
304	530	8	83	333	open			2
305	543	13	72	304	open			5
306	550	7	82	354	open		x	
307	559	9	88	331	open			3
308	574	15	79	178	open			2
309	577	3	71	355	open			1
310	595	18	53	357	open			1
311	598	3	81	334	open			2
312	604	6	75	313	open		x	
313	612	8	83	342	close	calcite	< 1	
314	618	6	80	169	open		< 1	
315	624	6	54	346	open			2
316	632	8	88	2	open			2

No	x (cm)	dx	dip	dipAzimuth	open/close	fill material	apperture (mm)
							scanline 1.3
0	0		89	245	open		1
1	6	6	88	32	open		x
2	10	4	89	62	open		3
3	16	6	89	62	open		3
4	16	0	89	141	open		3
5	23	7	89	43	close	calcite	< 1
6	30	7	86	221	open		x
7	33	3	84	257	open		1
8	37	4	88	255	open		1
9	39	2	88	46	open		2
10	43	4	81	138	open		x
11	46	3	82	102	close	calcite	< 1
12	48	2	81	147	open		x
13	55	7	89	100	open		x
14	57	2	78	246	open		3
15	60	3	81	93	open		2,5
16	71	11	73	10	open		30
17	82	11	76	230	close	calcite	< 1
18	87	5	82	224	close	calcite	< 1
19	96	9	87	59	open		4
20	100	4	84	245	open		3
21	106	6	77	207	open		2
22	112	6	74	237	open		1
23	117	5	89	58	close	calcite	< 1
24	121	4	85	226	open		1
25	124	3	86	242	open		1
26	127	3	88	247	open		1
27	144	17	88	245	open		3
28	150	6	88	86	open		2
29	153	3	82	67	close	calcite	< 1
30	153	0	86	120	open		2
31	157	4	87	255	open		3
32	157	0	73	150	open		1
33	165	8	87	233	open		3
34	170	5	84	159	close	calcite	< 1
35	175	5	88	260	open		2
36	183	8	83	105	open		1
37	187	4	85	341	close	calcite	< 1
38	191	4	84	254	open		< 1
39	195	4	89	86	open		2
40	197	2	86	287	open		3
41	205	8	89	20	open		x
42	210	5	87	66	open		1
43	214	4	89	252	open		< 1
44	216	2	88	67	open		< 1
45	220	4	79	250	open		< 1
46	229	9	85	239	open		1
47	237	8	89	70	open		1
48	239	2	84	135	open		< 1
49	241	2	88	69	open		1
50	250	9	81	237	open		< 1

51	252	2	89	339	open		x
52	258	6	84	268	open		3
53	260	2	88	281	open		3
54	262	2	83	293	open		2
55	271	9	76	207	open		x
56	273	2	89	259	open		1
57	278	5	80	95	open		x
58	285	7	86	265	open		1
59	293	8	87	261	open		3
60	302	9	87	261	open		4
61	302	0	86	317	open		< 1
62	310	8	87	234	open		x
63	310	0	82	166	open		x
64	319	9	82	81	open		< 1
65	322	3	87	87	open		< 1
66	330	8	89	234	open		< 1

No	x(cm)	dx(cm)	dip	dip Azimuth	open/close	fill material	apperture(mm)
							scanline 2.1
1	0		44	40	open		5
2	46	46	62	53	open		3
3	58	12	85	56	open		1
4	65	7	60	65	open		10
5	125	60	79	71	open		1,5
6	186	61	76	62	open		x
7	209	23	83	245	open		<1
8	251	42	71	78	open		2,5
9	295	44	82	70	open		5
10	359	64	46	67	open		<1
11	380	21	81	75	open		8
12	400	20	84	243	open		5
13	445	45	85	248	open		3

No	x(cm)	dx(cm)	dip	dip Azimuth	open/close	fill material	apperture(mm)
							scanline 2.2
1	0		84	164	open		<1
2	4	4	79	186	open		10
3	90	86	72	184	open		9
4	97	7	88	336	open		3
5	100	3	87	337	open		2
6	122	22	88	168	open		10
7	122	0	72	131	open		x
8	179	57	79	171	open		2
9	190	11	82	167	open		1
10	215	25	81	170	open		<1
11	233	18	82	173	open		<1
12	240	7	77	173	open		2
13	245	5	81	161	open		2,5
14	0		86	150	open		<1
15	48	48	67	146	open		<1
16	60	12	73	156	open		<1
17	60	0	87	154	open		<1
18	70	10	78	143	open		3
19	78	8	77	165	open		3
20	93	15	78	171	open		1
21	100	7	51	312	open		<1
22	123	23	88	161	open		2
23	175	52	76	340	open		2
24	197	22	75	336	open		2
25	208	11	88	345	open		1
26	216	8	79	335	open		2
27	241	25	83	152	open		2
28	256	15	11	325	open		<1
29	270	14	71	160	open		3,5
30	280	10	43	339	open		<1
31	286	6	80	166	open		2
32	300	14	89	349	open		<1
33	305	5	76	163	open		1
34	317	12	72	153	open		<1
35	330	13	71	160	open		<1
36	344	14	83	148	open		1
37	366	22	88	132	open		x
38	377	11	89	334	open		2
39	380	3	77	160	open		1
40	415	35	86	151	open		3,5