



Πολυτεχνείο Κρήτης
Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων

Διπλωματική Εργασία

**«Σχεδιασμός Επιφανειακής Εκμετάλλευσης Ούμπρας και
Ανάκτησης Στείρων στον Μαθιάτη της Κύπρου»**



Παπακωνσταντίνου Μ. Αλέξανδρος

Εξεταστική Επιτροπή:

Ξηρουδάκης Γεώργιος, Επικ. Καθηγητής (επιβλέπων)

Κωνσταντίνος Κομνίτσας, Καθηγητής

Σαράτσης Γεώργιος, ΕΔΙΠ.

Χανιά

Οκτώβριος, 2022

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής εργασίας και δεν προσβάλλει κάθε μορφής πνευματικά δικαιώματα τρίτων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον. Επίσης, σημειώνεται ότι η παρούσα εργασία υποβάλλεται σε αξιολόγηση και οι απόψεις που περιέχονται σε αυτήν αφορούν τον συγγραφέα και δεν εκφράζουν την εξεταστική τριμελή επιτροπή.

Πρόλογος

Ολοκληρώνοντας την παρούσα διπλωματική εργασία, αισθάνομαι ικανοποίηση και συγκίνηση, αφού ένας μεγάλος στόχος επετεύχθη. Φυσικά, η ολοκλήρωση της εργασίας δεν θα ήταν εφικτή εάν δεν είχα την βοήθεια και την στήριξη ορισμένων ανθρώπων που ήταν κοντά μου καθ' όλη τη διάρκεια της.

Πρώτα από όλους, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής μου εργασίας, Επίκουρο Καθηγητή Ξηρουδάκη Γεώργιο και τον Δρ. Σαράτση Γεώργιο για την πολύτιμη καθοδήγηση, εμπιστοσύνη, υπομονή και εκτίμηση που μου έδειξαν.

Τις ευχαριστίες μου εκφράζω και στον Καθηγητή Κομνίτσα Κωνσταντίνο που δέχτηκε να είναι μέλος της εξεταστικής επιτροπής.

Οπωσδήποτε, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Γεώργιο Νικήτα, Γεωλόγο της εταιρείας New Cyprus Copper P.A. Ltd καθώς και τον Δ/ντη της εταιρείας κ. Andrew Daniels για την παροχή διαφόρων πληροφοριών και την βοήθεια που μου παρείχαν.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στην κοπέλα μου Ναταλία και στους φίλους Κυριάκο Στυλιανάκη και Αλεξάνδρα Γκούτζου των οποίων η αμέριστη βοήθεια και στήριξη έπαιξαν καταλυτικό ρόλο για την ολοκλήρωση της εργασίας.

Τέλος, ευχαριστώ και αφιερώνω την εργασία αυτή στην οικογένεια μου που με στηρίζει τόσα χρόνια, τους φίλους μου Ηλία και Μιχάλη και ιδιαίτερα στην Μάνα και τον Πατέρα μου που με βοηθούσαν σε όποια δυσκολία αντιμετώπιζα αυτά τα 5 χρόνια.

Εφκαλάμεν Πόνημα Μανά...

Περίληψη

Το νησί της Κύπρου ανέκαθεν, φημιζόταν για τα πλούσια κοιτάσματα που απέφεραν στο νησί μεγάλες ποσότητες μεταλλικού χαλκού και άλλων πολλών πολύτιμων μετάλλων, όπως χρυσού και αργύρου.

Η άγνοια, όμως, των αρχαίων προγόνων μας, η απληστία των πολλών κατακτητών που πέρασαν από το νησί και σε αρκετές περιπτώσεις η αδιαφορία των Κυπρίων αποτέλεσαν τους κυριότερους παράγοντες για την πρόχειρη εκμετάλλευση πολλών περιοχών με ηφαιστειογενή συμπαγή μεταλλοφορία θειούχων ορυκτών.

Αποτέλεσμα των παλαιών εκμεταλλεύσεων είναι:

- i. Η ατελής απόληψη των πολύτιμων μετάλλων, αφήνοντας σημαντικά ποσοστά μεταλλεύματος στους σωρούς των στείρων,
- ii. Η εγκατάλειψη των στείρων χωρίς επαρκή σχεδιασμό για την αποτροπή επικείμενης ρύπανσης του περιβάλλοντος.

Η εγκατάλειψη των στείρων αυτών έγινε αρκετά χρόνια πριν και στην πορεία παρατηρήθηκε μέσα από γεωχημικές μελέτες διαφόρων ερευνητών ότι οι περιοχές στις οποίες βρίσκονται οι αποθέσεις προκάλεσαν όντως περιβαλλοντικές βλάβες με εντονότερο το φαινόμενο της όξινης απορροής και ρύπανσης του υδροφόρου ορίζοντά τους.

Η όξινη απορροή προέρχεται κυρίως από την επαφή των τεράστιων σωρών στείρου υλικού, που κατακλύζουν τις περιοχές αυτές, με το νερό και το οξυγόνο και την επακόλουθη οξείδωση των θειούχων ορυκτών που περιλαμβάνουν. Οι σωροί αυτοί παρά το παραπάνω πρόβλημα που δημιουργούν, περιέχουν ακόμη πολύτιμα μέταλλα και ίσως και σπάνιες γαίες. Για τον λόγο αυτό αποτελούν ακόμα και σήμερα πόλο έλξης διαφόρων εταιρειών που εξετάζουν την περαιτέρω επεξεργασία τους με σκοπό την δημιουργία κέρδους για τις ίδιες και την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος της Κύπρου.

Μια εταιρεία που ασχολείται με όλες τις παραπάνω δραστηριότητες είναι η New Cyprus Copper P.A. Ltd, η οποία εκτελεί αρκετές έρευνες σε εγκαταλελειμμένα μεταλλεία της Κύπρου μεταξύ των οποίων και αυτό του Βόρειου Μεταλλείου του Μαθιάτη στο οποίο έγινε μια αναγνωριστική πρώτη έρευνα, της οποίας τα δεδομένα παραχωρήθηκαν για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας. Σκοπός ήταν η εκτενέστερη ανάλυσή τους, η εύρεση και ογκομέτρηση

των σχηματισμών της περιοχής, καθώς και για η δημιουργία ενός πρώτου μοντέλου εκμετάλλευσης με προοπτική αποκατάστασης του χώρου.

Αξιοποιώντας τις δυνατότητες του προγράμματος Civil 3D της Autodesk έγινε η ψηφιοποίηση ενός μοντέλου της περιοχής και η τρισδιάστατη απεικόνιση των σωρών των στείρων από την προϋπάρχουσα εκμετάλλευση θειούχων ορυκτών, καθώς και ο εντοπισμός και τρισδιάστατη απεικόνιση ενός κοιτάσματος Ούμπρας που παρατηρήθηκε στην περιοχή. Με βάση το κοίτασμα αυτό σχεδιάστηκε το πρώτο μοντέλο ανάκτησης των αποθέσεων των στείρων αλλά και περαιτέρω εκμετάλλευσης της περιοχής με απώτερο σκοπό την τελική αποκατάσταση και έγινε μια πρώτη αλλά και σύντομη οικονομοτεχνική ανάλυση.

Οι υπολογισμοί, τα σχέδια και ορισμένες εισηγήσεις έγιναν στην εργασία αυτή με την ελπίδα του μεταγενέστερου προβληματισμού των αρμόδιων φορέων και με βάση αυτήν, την έναρξη επιπλέον ερευνών στα εγκαταλελειμμένα μεταλλεία της Κύπρου.

Abstract

The island of Cyprus has always, since ancient times been famous for the rich deposits that gifted to the island large amounts of metallic copper and other many precious metals, such as gold and silver with the subsequent development of technology.

The unawareness of our ancient ancestors, the greediness of the many conquerors who occupied the island through the ages and the superficiality that expresses the mentality of Cypriots were the main factors for the exploitation of many areas with volcanic solid ore deposits of sulphide minerals, the extraction of the precious metals they contained and finally, their careless abandonment without any guilt for the impending contamination of the environment.

The abandonment of these mines happened several years ago and in the course of time, it was observed by many researchers, through geochemical studies, that the regions around the mines suffered from various environmental problems. The largest damage was caused by a phenomenon called Acid Mine Drainage, which led to the contamination of aquifer in these areas.

Acid mine drainage is generated when the huge waste piles that overwhelm these areas come in contact with water and air. Due to the inferior expertise possessed by those who exploited these deposits, the piles are still quite enriched in precious metals and probably even rare earth elements, despite the problems that they cause. For this reason, until today, these regions are very attractive to many companies, which examine the removal and further processing of the piles with a purpose of achieving a profit on both their interest and the natural environment of Cyprus.

An example of a company with these aims is New Cyprus Copper P.A. Ltd, which carries out several surveys in abandoned mines in Cyprus including that of the Northern Mathiatis Mine. A first exploratory study took place at the latter, the data of which was provided for the preparation of the present work.

The provision of the data was accomplished after an agreement with New Cyprus Copper P.A. Ltd to further analyze the data, by studying the above ground of surface and underground

formations of the mine area through their digitization. Furthermore, an exploitation model was proposed with perspective of restoring the mining area of Mathiatis.

The processing of the data produced an innovative, digitized model of the area and a 3D structure of the waste heaps formed from the previous sulphide mineral exploitation activities. In addition, the analysis of the data resulted in the discovery and the construction of a 3D model of an Umber deposit. This model constituted the base for designing the first model of further exploitation with the aim of restoring the mine. For that purpose, a brief economic analysis was for the interests of the holder of the research license of the Mathiatis Mine.

The calculation, designs, definitions, and recommendations of this thesis were made from the perspective of enhancing the research regarding the abandoned mines of Cyprus, help to the completion of other mining activities around the island and prove that not only our ancient ancestors had great and unique achievements in Metallurgy and Mineral Resources Engineering.

Πίνακας Περιεχομένων

Πρόλογος.....	II
Περίληψη	III
Abstract.....	V
Κατάλογος Πινάκων	IX
Κατάλογος Εικόνων	X
1. Εισαγωγή	2
2. Περιδιάβαση στην περιοχή – Γεωλογία της Κύπρου και Ιστορικά στοιχεία	8
2.1. Γεωλογική επισκόπηση	8
2.1.1. Ηφαιστειογενή Συμπαγή Θειούχα Κοιτάσματα (VMS)	12
2.1.2. Όξινη απορροή μεταλλείων	14
2.1.3. Εμφανίσεις Ούμπρας & Ωχρας.....	16
2.2. Ιστορική Αναδρομή στην Κυπριακή Μεταλλευτική Δραστηριότητα.....	18
2.3. Βόρειο Μεταλλείο Μαθιάτη	21
2.3.1. Γεωλογική Περιγραφή	22
2.3.2. Μεταλλευτική Ιστορία και Δραστηριότητες.....	27
2.3.3. Παρούσα ερευνητική άδεια και σύγχρονες παρατηρήσεις	28
2.3.4. Παροχή Δεδομένων	31
3. Επεξεργασία δεδομένων και Τρισδιάστατη Μοντελοποίηση	34
3.1. Πρόγραμμα Σχεδιασμού.....	34
3.2. Επεξεργασία Δεδομένων για Μοντελοποίηση της Περιοχής Μελέτης	35
3.2.1. Κατασκευή του τοπογραφικού ανάγλυφου της περιοχής και τρισδιάστατη απεικόνιση του.....	35
3.2.2. Εισαγωγή Γεωτρήσεων	40
3.2.3. Οριοθέτηση σωρών στείρου υλικού και τρισδιάστατη απεικόνισή τους	42

3.2.4. Μοντελοποίηση Κοιτάσματος Ούμπρας και τρισδιάστατη απεικόνιση του	46
4. Πρόταση - Σχεδιασμός Υπαίθριας εκμετάλλευσης και Οικονομική Ανάλυση	50
4.1. Υπαίθριες Εκμεταλλεύσεις	51
4.2. Υπολογισμός - Παράθεση Απαραίτητων Χαρακτηριστικών Κοιτάσματος.....	52
4.2.1. Συντελεστής Ασφαλείας με MRMR	55
4.3. Σχεδιασμός Υπαίθριας Εκμετάλλευσης	57
4.3.1. Υπολογισμός Αποθεμάτων και Παραγωγής	61
4.4. Κατάλληλος και Απαραίτητος Μηχανολογικός Εξοπλισμός.....	64
4.4.1. Φορτωτές και Φορτηγά.....	64
4.4.2. Βοηθητικός Εξοπλισμός	69
4.5. Κοστολόγηση Εξοπλισμού – Εργατικό Δυναμικό & Μισθοδοσία -Προϋπολογισμός Έργου	73
5. Συμπεράσματα και Προτάσεις.....	79
5.1. Προοπτική εξέλιξης ερευνών και Πρόταση αποκατάστασης μεταλλείου	79
5.2. Συμπεράσματα	81
Βιβλιογραφία	83
Παράρτημα Α	86
Παράρτημα Β	89

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1:Αναλύσεις με ατομικό φασματοφωτόμετρο για τον προσδιορισμό Cu, Zn, Ni, Co των δειγμάτων Ωχρας* και Ούμπρας**, *** υπό την επίβλεψη του τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης Κύπρου το 1970 (Constantinou, 1972).	26
Πίνακας 4.1:Γεωμηχανικές ιδιότητες σχιστολιθικού σχηματισμού Πέρα Πεδίου (Maulana, 2020; Lempp, 2010).	53
Πίνακας 4.2:Οριζόμενα γεωμετρικά χαρακτηριστικά σχεδιασμού εκμετάλλευσης.....	55
Πίνακας 4.3:Ογκομέτρηση ανά επίπεδο εκμετάλλευσης.....	62
Πίνακας 4.4:Υπολογιζόμενες τιμές παραγωγής σε κυβικά μέτρα και μετρικούς τόνους.....	64
Πίνακας 4.5:Γενικές θεωρήσεις απόδοσης εργοταξίου και μηχανών.....	65
Πίνακας 4.6:Απαραίτητα χαρακτηριστικά ερπυστριοφόρου – καδοφόρου εκσκαφέα R9350 G6 της εταιρείας Liebherr.....	65
Πίνακας 4.7:Παραγωγικά χαρακτηριστικά εξοπλισμού φόρτωσης.....	66
Πίνακας 4.8:Απαραίτητα χαρακτηριστικά λαστιχοφόρων φορηγών τύπου Dumper CAT775D της εταιρείας Caterpillar.....	67
Πίνακας 4.9 :Γενικές θεωρήσεις για το δρομολόγιο που θα ακολουθείται από τα φορηγά.....	67
Πίνακας 4.10:Παραγωγικά Χαρακτηριστικά Εξοπλισμού Μεταφοράς (Για τα 2 φορηγά).....	69
Πίνακας 4.11:Χαρακτηριστικά εκσκαφέα Center Pivot 450 της εταιρείας Caterpillar.....	70
Πίνακας 4.12:Χαρακτηριστικά φορηγού MAN TGM 4x4 AK MKG HLK.....	71
Πίνακας 4.13:Χαρακτηριστικά διπλοκάμπινων αυτοκινήτων HILUX Invisible της εταιρείας TOYOTA.....	71
Πίνακας 4.14:Λοιπός εξοπλισμός και χαρακτηριστικά κοστολόγησης.....	72
Πίνακας 4.15:Κόστος κτήσης μηχανολογικού εξοπλισμού.....	73
Πίνακας 4.16:Κόστος αναλωσίμων ανά έτος μέχρι το τέλος της εκμετάλλευσης.....	74
Πίνακας 4.17:Ανθρώπινο δυναμικό και μισθοδοσία για μία βάρδια.....	75
Πίνακας Α.1:Γεωλογική περιγραφή γεωτρήσεων ανά 2 μέτρα.....	87
Πίνακας Α.2:Μέσος όρος και μέγιστη περιεκτικότητα σημαντικότερων χημικών στοιχείων από χημική ανάλυση που έγινε στα δείγματα των γεωτρήσεων.	88

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1: Κάτοψη Βόρειου μεταλλείου Μαθιάτη με επισυναπτόμενες τις περιοχές ενδιαφέροντος.....	4
Εικόνα 2.1:Γεωλογικός Χάρτης της Κύπρου. (ΤΓΕΚ).....	9
Εικόνα 2.2:Σχηματική απεικόνιση των συντελεστών γένεσης μεικτών θειούχων μεταλλευμάτων. (Gibson, 2005).....	13
Εικόνα 2.3:Μεταλλεία μεικτών θειούχων μεταλλευμάτων στην Κύπρο όλα συγκεντρωμένα γύρω από την περιοχή του Τροόδους. (ΤΓΕΚ).....	14
Εικόνα 2.4:Σχηματισμοί ως αποτέλεσμα της Όξινης Απορροής δυτικά της εγκαταλελειμμένης εκμετάλλευσης στο βόρειο μεταλλείο του Μαθιάτη.	15
Εικόνα 2.5:Επιφανειακή εμφάνιση σχηματισμού Πέρα Πεδίου στην Κύπρο και εστίαση(κάτω αριστερά) στην συνύπαρξη Ούμπρας και Ωχρας εντός του σχηματισμού.	17
Εικόνα 2.6:Εναλλασσόμενα στρώματα καφέ ώχρας, ούμπρας και πυριτιωμένων ασβεστούχων τόφων.....	18
Εικόνα 2.7:Το νησί της Κύπρου επί αρχαιοτάτων χρόνων με τα υποδεικνύόμενα μεταλλευτικά κέντρα της τότε περιόδου. (Constantinou, 2005)	19
Εικόνα 2.8:α)Μέρος από σωρούς στείρων υλικών που προήλθε από την ζώνη χαμηλής περιεκτικότητας της εκμετάλλευσης. β) Μέρος χαλαρών σωρών από στείρο υλικό πλούσιο σε θειούχα πετρώματα.	21
Εικόνα 2.9:Βόρειο Μεταλλείο Μαθιάτη από διαφορετική οπτική γωνία, από τις οποίες φαίνεται η προϋπάρχουσα εκμετάλλευση μεικτών θειούχων ορυκτών και οι σωροί στείρου υλικού.....	22
Εικόνα 2.10:Μαξιλαροειδείς λάβες ανώτερου ορίζοντα ολιβινικής- βασαλτικής σύστασης, α)Σχηματισμοί τροφοδοσίας και στο βάθος το χωρίο Αγία Βαρβάρα. β) Εξορυγμένος ογκόλιθος αποσαθρωμένης λάβας. γ) Κομμάτι λάβας ανώτερου ορίζοντα πληρωμένο με ζεολιθικό υλικό δ) Χαρακτηριστικό πρυνές περιοχής αποτελούμενο από μαξιλαροειδείς λάβες ανώτερου ορίζοντα.	23
Εικόνα 2.11:α) Γενική άποψη της περιοχής από το Νότο πριν την διάνοιξη του μεταλλείου του Μαθιάτη. β) Η ανοιχτή εκσκαφή του Μαθιάτη. γ) Κοντινή φωτογραφία του πρώτου μετώπου εκμετάλλευσης. δ) Φαιό μετάλλευμα από τα πρώτα ορύγματα του Μαθιάτη. (Δεκ. 1935, Φωτογραφικό Αρχείο ΕΜΕ).....	23

Εικόνα 2. 12: Γεωλογικό σκίτσο που περιγράφει την περιοχή του Βόρειου Μεταλλείου του Μαθιάτη. (Constantinou, 1972)	25
Εικόνα 2.13:α,β)Ερευνητικό Γεωτρητικό πρόγραμμα εντός των στείρων των μεικτών θειούχων ορυκτών γ) Ζώνωση εξορυχθέντος υλικού που αναδεικνύει την αλληλουχία του σχηματισμού Πέρα Πεδίου δ) Διαχωρισμός δειγμάτων ανά 2 μέτρα από γεωτρήσεις και προετοιμασία τους για χημικές αναλύσεις.....	30
Εικόνα 3.1:Χάρτης σε μορφή αρχείου AutoCAD.dwg με ισοδιάσταση 1m.	35
Εικόνα 3.2:Εισαγωγή και επεξεργασία δεδομένων στο λογισμικό Cloud Compare.	36
Εικόνα 3.3:Σφάλματα και αστοχίες που παρατηρήθηκαν στο αρχικό μοντέλο.	37
Εικόνα 3.4:Συνένωση Αεροφωτογραφιών και Γεωαναφορά τους στις πραγματικές συντεταγμένες WGS84	38
Εικόνα 3.5:Χειρωνακτικός προσδιορισμός ισοϋψών με ισοδιάσταση 2 μέτρων.	39
Εικόνα 3.6:Δημιουργία επιφάνειας από ισοϋψείς.....	39
Εικόνα 3.7:Δημιουργία στερεού από επιφάνεια και εισαγωγή αεροφωτογραφίας στην επιφάνεια του.	40
Εικόνα 3.8:Τρισδιάστατη απεικόνιση και αρίθμηση γεωτρήσεων στις ορισμένες τους συντεταγμένες εντός του στερεού της περιοχής.	41
Εικόνα 3.9:Τρισδιάστατη απεικόνιση γεωτρήσεων εντός του στερεού της περιοχής από πλησιέστερη όψη.	42
Εικόνα 3.10:Διάγραμμα ροής με την διαδικασία που ακολουθήθηκε για την τρισδιάστατη απεικόνιση των σωρών στείρων.	43
Εικόνα 3.11:Όρια σωρών στείρων, υψομετρικά αναφερόμενα στην επιφάνεια της περιοχής.	44
Εικόνα 3.12:Τρισδιάστατες επιφάνειες σωρών στείρων.	44
Εικόνα 3.13:Δεύτερη προσπάθεια τρισδιάστατης απεικόνισης με παρατήρηση από α)πάνω και β) κάτω.....	45
Εικόνα 3.14:Τελική τρισδιάστατη απεικόνιση σωρών στείρων με παρατήρηση από α)πάνω και β) κάτω.....	46
Εικόνα 3.15:Τρισδιάστατα στερεά σωρών στείρου υλικού και κοιτάσματος ούμπρας εντός του στερεού της περιοχής.....	47

Εικόνα 3.16:Τρισδιάστατη απεικόνιση κοιτάσματος ούμπρας με παρατήρηση από α)πάνω και β) κάτω.....	48
Εικόνα 4.1:Γεωμετρικά και Σχεδιαστικά χαρακτηριστικά πρανούς Υπαίθριας εκμετάλλευσης. (Hustrulid, 2013).....	52
Εικόνα 4.2:Υπολογισμός γεωμετρικών χαρακτηριστικών βαθμίδας με βάση τον μηχανολογικό εξοπλισμό που χρησιμοποιείται.....	54
Εικόνα 4.3:Διάγραμμα σχεδίασης πρανών με βάση τον δείκτη MRMR. (Haines, 1991).....	57
Εικόνα 4.4:Ανοικτού τύπου εκμετάλλευση με εμφανές το ανεκμετάλλευτο υλικό (καφέ χρώμα).....	58
Εικόνα 4.5:Κλειστού τύπου εκμετάλλευση με εμφανή το ανεκμετάλλευτο υλικό (καφέ χρώμα).	59
Εικόνα 4.6:Συνολικό, τελικό μοντέλο εκμετάλλευσης με εμφανή το ανεκμετάλλευτο υλικό (καφέ χρώμα).	59
Εικόνα 4.7:Πύργος μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος και εξέλιξη εκμετάλλευσης γύρω από αυτόν με ελάχιστη ακτίνα 25 μέτρων.	60
Εικόνα 4.8:Τομή κατά τον άξονα ZX που απεικονίζει την ανοιχτή εκμετάλλευση του μοντέλου εκμετάλλευσης, με ανάλυση των γεωμετρικών της χαρακτηριστικών.	60
Εικόνα 4.9:Τομή κατά τον άξονα ZY που απεικονίζει την κλειστή εκμετάλλευση του μοντέλου εκμετάλλευσης, με ανάλυση των γεωμετρικών της χαρακτηριστικών.	61

Κεφάλαιο 1^ο :
Εισαγωγή

1. Εισαγωγή

Στο Βόρειο-Ανατολικό άκρο της Μεσογείου εκτείνεται ένα νησί με το όνομα Κύπρος που αποτελεί γεωλογικά μια αυτοτελή γεωτεκτονική μονάδα, η οποία σχετίζεται έμμεσα με την προέκταση του Δυναροταυρικού τόξου και συγκεκριμένα με το νοτιότερο ιζηματογενές τμήμα του.

Η δημιουργία του νησιού ήταν αποτέλεσμα μιας σειράς πολύπλοκων και μοναδικών γεωλογικών διαδικασιών κατά την Άνω Κρητιδική Περίοδο (90 Ma), στο βυθό της Τηθύος θάλασσας, που την εποχή εκείνη κάλυπτε το γεωγραφικό χώρο από τα Πυρηναία μέσω των Άλπεων, της Πίνδου μέχρι και τα Ιμαλία. Οι πολύπλοκες αυτές διεργασίες δημιούργησαν ένα νησί με μεγάλη γεωτεκτονική αξία και αρκετούς γεωλογικούς θησαυρούς τόσο για τους κατοίκους του όσο και για την παγκόσμια επιστημονική και μεταλλευτική κοινότητα.

Η μεγαλύτερη παρακαταθήκη της φύσης στο νησί της Κύπρου είναι τα συμπαγή κοιτάσματα μεικτών θειούχων ορυκτών. Λόγω της γεωτεκτονικής εξέλιξης και της θέσης γένεσης του νησιού εμφανίζονται στην επικράτεια του τα τελειότερα παραδείγματα συμπαγούς μεταλλοφορίας που προέρχονται από ηφαιστειογενή δράση σε θαλάσσιο περιβάλλον και είναι γνωστά ως κοιτάσματα τύπου Κύπρου.

Σύμφωνα με την Υπηρεσία μεταλλείων της Κυπριακής Δημοκρατίας στην ελεύθερη επικράτεια της Κύπρου σε μια έκταση 142 τετραγωνικών χιλιομέτρων, σήμερα βρίσκονται ενεργεία 61 ερευνητικές άδειες (και άλλες 15 υπό εξέταση) για την εύρεση μεταλλευμάτων χαλκού, χρυσού, αργύρου και άλλων ευγενών μετάλλων και γενικά μεικτών θειούχων μεταλλευμάτων.

Οι πλείστες των ερευνητικών αυτών αδειών βρίσκονται σε πρώην εκμεταλλευόμενες περιοχές οι οποίες λόγω διαφόρων προβλημάτων που ανέκυψαν είχαν εγκαταλειφθεί αρκετά χρόνια πριν. Η εγκατάλειψη τους επήλθε μετά από ορισμένα προβλήματα που παρουσιάστηκαν, όπως ήταν η μείωση της περιεκτικότητας σε πολύτιμα μέταλλα με την εξέλιξη της εκμετάλλευσης. Η έλλειψη ικανών τεχνολογικών μέσων επεξεργασίας του υλικού αυτού, παρακίνησε τις εταιρείες που τα εκμεταλλεύονταν να κρίνουν την εκμετάλλευση ασύμφορη και να εγκαταλείψουν τις αδειοδοτήσεις αυτές.

Σε αρκετές από τις περιοχές αυτές, μέσα από την διαδικασία δημιουργίας των κοιτασμάτων αυτών, συνυπάρχουν με τις μεταλλοφορίες μεικτών θειούχων ορυκτών αρκετοί ακόμα γεωλογικοί θησαυροί. Σύμφωνα με έκθεση γεωλόγων του Τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης Κύπρου ([Ζήσιμος, και συν., 2015](#)), ένας εξ' αυτών είναι οι εμφανίσεις των σχιστολιθικών πετρωμάτων Ωχρας και Ούμπρας που συγκατατάσσονται στον σχηματισμό Πέρα Πεδίου. Ως πετρώματα χαρακτηρίζονται από μέτριες μηχανικές ιδιότητες, απλή ορυκτολογική σύσταση, μοναδικό χρώμα και αρκετές χρήσεις στην οικοδομική βιομηχανία. Ένα χαρακτηριστικό ακόμη των σχηματισμών αυτών είναι ο δευτερογενής εμπλουτισμός τους μέσα από την αλληλεπίδρασή τους με τα μεταλλοφόρα κοιτάσματα με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν αρκετά ενδιαφέρουσες περιεκτικότητες σε πολύτιμα μέταλλα.

Όπως αναφέρεται σε μια πολύ αξιόλογη μεταπτυχιακή εργασία του Ευάγγελου Σ. Γαλανόπουλου ([Galanopoulos, 2012](#)), σε άρθρο του ιδίου ([Galanopoulos, et al., 2018](#)) καθώς και σε άρθρο του Μαρίνου Στυλιανού και των συνεργατών του ([Stylianou, et al., 2014](#)) η εγκατάλειψη των μεταλλείων μεικτών θειούχων χωρίς την κατάλληλη αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος προκάλεσε με την παρέλευση του χρόνου αρκετά περιβαλλοντικά προβλήματα. Στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιώντας την παραπάνω βιβλιογραφία, γίνεται αναφορά στο μεγαλύτερο και πιο ανησυχητικό πρόβλημα είναι το φαινόμενο της όξινης απορροής. Η όξινη απορροή προκαλεί μόλυνση της ατμόσφαιρας και του υδάτινου περιβάλλοντος της περιοχής περιφερειακά της εκμετάλλευσης όπως αποτυπώνεται σε άρθρο του Χαραλαμπίδη ([Charalambides, 2002](#)) για περιοχή της Κύπρου. Τα προβλήματα που προκαλούν οι εγκαταλελειμμένες περιοχές εκμετάλλευσης παροτρύνουν έστω και καθυστερημένα τις Κυπριακές αρχές να ενδιαφερθούν για την μελλοντική αποκατάσταση τους και την φυσική επαναφορά ή για την περαιτέρω αξιοποίηση τους.

Τα εγκαταλελειμμένα μεταλλεία και οι σωροί στείρου υλικού που τα πλαισιώνουν, οι αξιόλογες γεωλογικές δομές που τα περιβάλλουν καθώς ακόμα και το πρόβλημα της όξινης απορροής, συντελούν στην δημιουργία μιας εικόνας περιοχών που κατέχουν όλα τα χαρακτηριστικά για περαιτέρω εκμετάλλευση. Αποτελούν πόλο έλξης διαφόρων εταιρειών που εξετάζουν την απλή απομάκρυνση των στείρων και την περαιτέρω επεξεργασία τους με σκοπό την δημιουργία κέρδους για τις ίδιες και για το φυσικό περιβάλλον της Κύπρου.

Η ιδέα υλοποίησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας επήλθε μέσα από έρευνες της εταιρείας New Cyprus Copper P.A. Ltd για έλεγχο περιεκτικότητας σε μέταλλα σε εγκαταλελειμμένους σωρούς στείρου υλικού από εκμετάλλευση θειούχων ορυκτών. Σε μια εγκαταλελειμμένη μεταλλευτική περιοχή της Κύπρου, συγκεκριμένα στο Βόρειο μεταλλείο του Μαθιάτη (Εικόνα 1.1) παρατηρήθηκε ότι συνδυάζονται όλα τα προαναφερόμενα χαρακτηριστικά και επιπλέον οι σωροί στείρου υλικού της προϋπάρχουσας εκμετάλλευσης χαρακτηρίζονται από αρκετά υψηλές τιμές περιεκτικότητας σε πολύτιμα μέταλλα.



Εικόνα 1.1: Κάτοψη Βόρειου μεταλλείου Μαθιάτη με επισυναπτόμενες τις περιοχές ενδιαφέροντος.

Λαμβάνοντας υπόψιν τα διάφορα κίνητρα και τα συνδυαζόμενα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από την πιθανή περεταίρω εκμετάλλευση στο βόρειο μεταλλείο του Μαθιάτη και κάνοντας χρήση της τεχνολογικής δυναμικότητας που χαρακτηρίζει την εποχή μας και προσδίδει ευκολία διαχείρισης δεδομένων, μέσα στο εύρος της εργασίας αυτής παρουσιάζεται η πρώτη προσπάθεια ψηφιοποίησης της περιοχής του μεταλλείου αυτού, γίνεται εισήγηση ενός σχεδίου εκμετάλλευσης και πρόταση αποκατάστασης της περιοχής.

Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα Civil 3D της Autodesk και δεδομένα του ερευνητικού προγράμματος που επιτέλεσε η προαναφερθείσα εταιρεία στο μεταλλείο του Μαθιάτη έγιναν οι ακόλουθες ενέργειες, που αναλύονται εκτενέστερα στην παρούσα εργασία.

Αρχικά χρησιμοποιώντας αεροφωτογραφίες και τοπογραφικούς χάρτες της περιοχής κατασκευάστηκε τρισδιάστατος τοπογραφικός χάρτης ισοδιάστασης δύο μέτρων, οι ισοϋψείς του δηλαδή είχαν απόσταση 2 μέτρα η μία από την άλλη. Χρησιμοποιώντας τον χάρτη αυτό δημιουργήθηκε μία τρισδιάστατη ανάγλυφη επιφάνεια της περιοχής και ένα τρισδιάστατο στερεό μοντέλο ενιαίας δομής.

Στην συνέχεια χρησιμοποιώντας δεδομένα από το γεωτρητικό πρόγραμμα, μετά από διάφορες προσπάθειες πήραν τρισδιάστατη μορφή οι σωροί του στείρου υλικού που απλώνονται στην περιοχή. Χρησιμοποιώντας την ίδια συλλογή δεδομένων κατασκευάστηκε η τρισδιάστατη απεικόνιση κοιτάσματος ούμπρας, η οποία όπως αναφέρεται στην ανάλυσή της χρήζει βελτιώσεων, διότι κατασκευάστηκε με χρήση περιορισμένων δεδομένων.

Με την τρισδιάστατη κατασκευή των δύο αυτών σχηματισμών επιτεύχθηκε μερικώς η ψηφιακή ανάλυση της περιοχής του μεταλλείου και του υπεδάφους της, καθώς και η δημιουργία δεδομένων για περαιτέρω ανάλυση με σκοπό την πρόταση και σχεδιασμό ενός μοντέλου εκμετάλλευσης της περιοχής.

Με γνώμονα τις μηχανικές ιδιότητες της ούμπρας που παρατέθηκαν μέσα από τα έργα των Maulana (2020) και Lempp (2010) για παρόμοιων χαρακτηριστικών σχιστολιθικά πετρώματα βρέθηκαν οι γεωμετρικές παράμετροι που θα χρησιμοποιούνταν και σχεδιάστηκε το μοντέλο εκμετάλλευσης λαμβάνοντας το πλείστο του μεταλλεύματος και αφήνοντας τον εναπομείναν εκμεταλλεύσιμο χώρο πρόσφορο για μια επικείμενη αποκατάσταση.

Ογκομετρώντας το μέταλλευμα που λήφθηκε και το στείρο που απομακρύνθηκε με τον προτεινόμενο σχεδιασμό, υπολογίζεται ο χρόνος ζωής του μεταλλείου, λαμβάνοντας υπόψιν διάφορες μεταλλευτικές παραμέτρους, προτείνεται ο κατάλληλος εξοπλισμός - οχήματα και το προσωπικό που θα χρειαστεί για την λειτουργία του μεταλλείου. Γίνεται γενικότερα μία οικονομική ανάλυση για την εξαγωγή συμπεράσματος εάν η πρόταση εκμετάλλευσης είναι συμφέρουσα ή όχι. Τέλος γίνονται ορισμένες προτάσεις για βελτίωση του σχεδιασμού, ανάπτυξη της έρευνας καθώς και μία προσωπική πρόταση για αποκατάσταση του χώρου.

Ο σχεδιασμός της εκμετάλλευσης και η πρόχειρη οικονομική ανάλυση όπως πραγματοποιήθηκαν στο εύρος της εργασίας αυτής έγιναν με απώτερο στόχο την συμφέρουσα εξόρυξη των ενδιαφέρον σχηματισμών και την τελική διαμόρφωση του περιβάλλοντος χώρου για μελλοντική αξιοποίηση ή περιβαλλοντική αποκατάσταση, παρακινώντας έτσι την Κυπριακή Μεταλλευτική κοινότητα να εκκινήσει τις προσπάθειες για λύση των προβλημάτων που μαστίζουν το περιβάλλον της χώρας.

Κεφάλαιο 2^ο :
Περιδιάβαση στην περιοχή – Γεωλογία της Κύπρου
και Ιστορικά στοιχεία

2. Περιδιάβαση στην περιοχή – Γεωλογία της Κύπρου και Ιστορικά στοιχεία

2.1. Γεωλογική επισκόπηση

Η Κύπρος είναι ένα νησί Μεσογείου το οποίο χαρακτηρίζεται από γεωλογική και γεωτεκτονική αυτοτέλεια. Η γένεσή της αποτελεί θέμα για την συγγραφή ολόκληρων ερευνητικών κειμένων, καθώς πρόκειται για μια σειρά μοναδικών και σύνθετων γεωλογικών διεργασιών.

Κατά το Τριαδικό (90Ma) επήλθε μια διάρρηξη στο ηπειρωτικό περιθώριο της ηπειρηπείρου Γκοντβάνα, με την επακόλουθη δημιουργία μιας ωκεάνιας λεκάνης, ενώ πριν από 75 Ma, ακολούθησε η δημιουργία μιας μεσοωκεάνιας ράχης με ταυτόχρονες κινήσεις τριών τεκτονικών πλακών, της Ευρασιατικής, της Αφρικανικής και της Αραβικής υπήρξαν οι καταλληλότερες συνθήκες για την δημιουργία του νησιού.

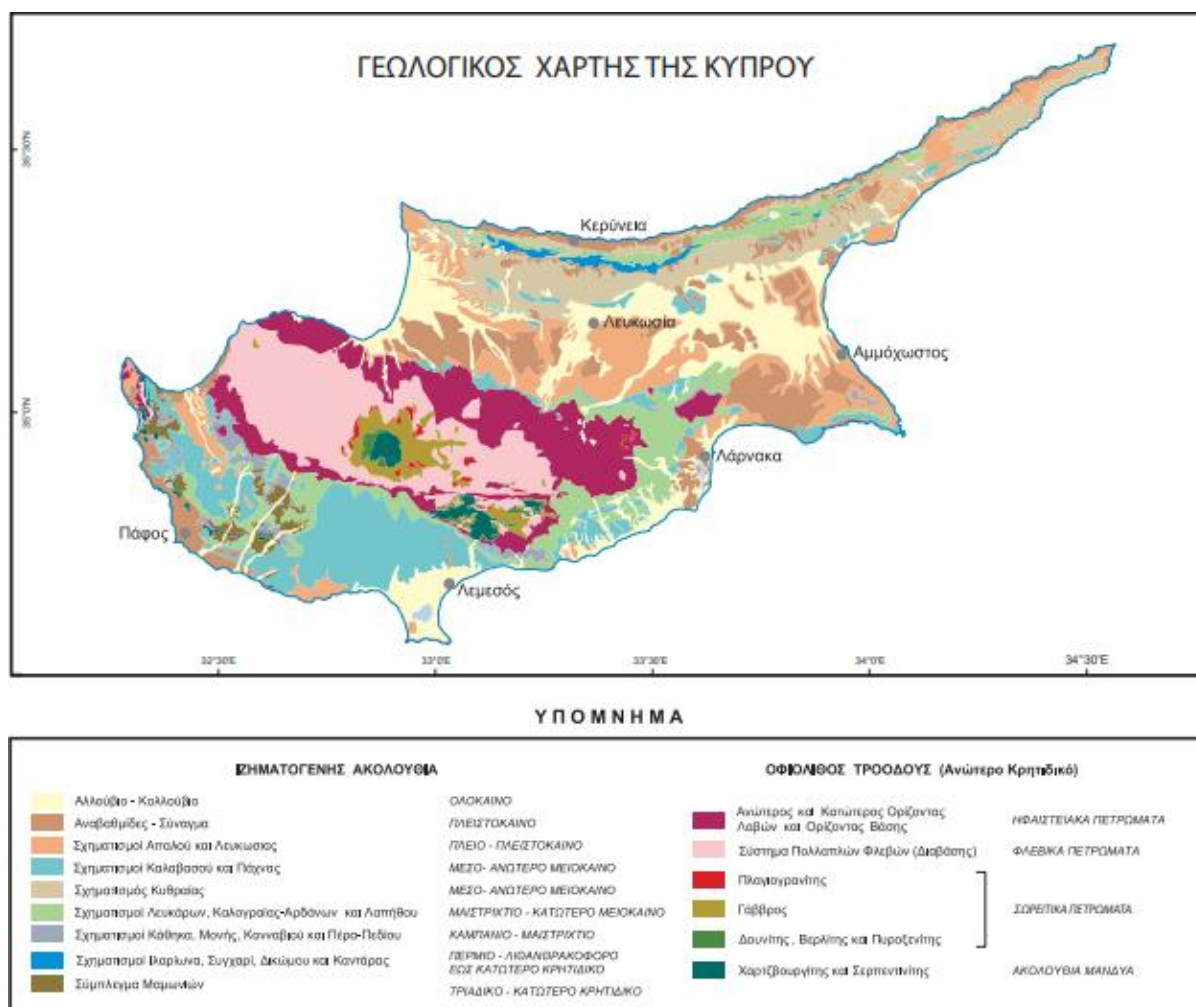
Οι ποικίλες γεωτεκτονικές εξελίξεις στην περιοχή και οι διάφορες γεωλογικές διεργασίες απασχόλησαν κατά καιρούς εκατοντάδες γεωεπιστήμονες. Μερικοί εξ' αυτών ήταν οι [Robertson, \(1986\)](#), [Baroz, \(1980\)](#), [Constantinou, \(2005\)](#) και [Pantazis, \(1971\)](#) τους οποίους οι μελέτες και τα ερευνητικά πορίσματα καθοδήγησαν με το πέρασμα των χρόνων στην παραδοχή ύπαρξης τεσσάρων κύριων ζωνών που χαρακτηρίζουν γεωλογικά την Μεγαλόνησο καθώς και στον περαιτέρω διαχωρισμό των ζωνών αυτών σε διάφορες περιοχές ανάλογα με τα διαφορετικά χαρακτηριστικά τους.

Οι ζώνες αυτές είναι σύμφωνα με το Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης της Κύπρου οι εξής ([Εικόνα 2.1](#)):

Ζώνη Πενταδακτύλου - Κυρήνειας

Στο βορειότερο τμήμα του νησιού απλώνεται η οροσειρά του Πενταδακτύλου, ο οποίος ανήκει στην ομώνυμη ζώνη ή αλλιώς την ζώνη Κυρήνειας. Η ζώνη αυτή παρουσιάζει ομοιότητες στην γεωλογία με την περιοχή της Αντάλιας (Νότια Παράλια της Μικράς Ασίας) γι' αυτό ενδέχεται να ανήκει στο τεκτονοστρωματογραφικό πεδίο των Ταυρίδων οροσειρών ([Baroz, 1980](#)). Συνιστά ένα Παλαιοζωικό-Μεσοζωικό παθητικό περιθώριο, που εξελίσσεται κατά το Άνω Κρητιδικό και Τριτογενές μέσω έντονων και πολύπλοκων τεκτονικών διεργασιών ([Robertson,](#)

1986). Αποτελείται κυρίως από Αλπικά ιζήματα που η εναπόθεση τους αρχίζει από το Πέρμιο και φτάνει μέχρι το μέσο Μειόκαινο.



Εικόνα 2.1: Γεωλογικός Χάρτης της Κύπρου. (ΤΓΕΚ)

Συγκεκριμένα ξεκινώντας από τα παλαιότερα προς τα νεότερα παρατηρούνται μαζώδεις ασβεστόλιθοι του Περμίου που καλύπτονται από λεπτοστρωματώδεις ανακρυσταλλωμένους δολομιτικούς ασβεστόλιθους Τριαδικού-Ιουρασικού. Ακολουθούν πελαγικοί ασβεστόλιθοι ηλικίας Μαιστριχτίου και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, μάργες, κερατόλιθοι ηλικίας Παλαιόκαινου μέσα στους οποίους παρεμβάλλονται βασικές προσκεφαλοειδή λάβες (pillow lavas) και αλκαλικοί ρυόλιθοι. Ασύμφωνα πάνω τους απλώνεται φλύσχης ηλικίας Ηωκαίνου που είναι σε τεκτονική επαφή με φλύσχη ηλικίας Μέσου – Άνω Μειοκαίνου (Baroz, 1980).

Ζώνη Μαμωνίων

Νοτιοδυτικά του νησιού λόγω ισχυρής τεκτονικής παραμόρφωσης που προκάλεσε τεκτονικά οφειολιθικά μείγματα και κλείσιμο της ωκεάνιας λεκάνης κατά το Άνω Κρητιδικό συναντάται η ζώνη των Μαμωνίων.

Αποτελείται από μια σειρά ιζηματογενών, εκρηξιγενών και μεταμορφωμένων πετρωμάτων, ηλικίας 230 μέχρι 75 εκατομμυρίων χρόνων. Τα πετρώματα αυτά, που θεωρούνται αλλόχθονα σε σχέση με τα υπερκείμενα αυτόχθονα ανθρακικά πετρώματα και τα οφιολιθικά πετρώματα του Τροόδους, επωθήθηκαν κατά το Μαιστρίχτιο πάνω και δίπλα στον οφιόλιθο Τροόδους (Εικόνα 2.1) (Bailey, 2000).

Η ζώνη αυτή αποτελείται από ωκεάνια ιζήματα (κερατόλιθους, αργιλοπυριτικά, πελαγικούς ασβεστόλιθους) ηλικίας Τριαδικού έως Κρητιδικού, αναμεμιγμένα με οφειολιθικά πετρώματα (γάββρους, διαβάσες, Pillow lavas και σερμπεντινίτες) και μεταμορφωμένα πετρώματα πιθανώς προερχόμενα από το ηπειρωτικό περιθώριο της Γκοντβάνα (αμφιβολίτες, χαλαζίτες, μάρμαρα, σιπολίνες).

Ζώνη των αυτόχθονων ιζηματογενών πετρωμάτων

Εντός της ζώνης Πενταδακτύλου και περιβάλλουσα της ζώνης Τροόδους, που εν συνεχεία αναλύεται λεπτομερώς, απλώνεται μια πολύ εύφορη πεδιάδα με ιζηματογενή πετρώματα που προήλθαν από την αποσάθρωση πετρωμάτων των δύο ζωνών και την απόθεσή τους στον χώρο κατά τις περιόδους Άνω Κρητιδικού έως το Τεταρτογενές.

Η ζώνη αυτή καλείται ζώνη αυτόχθονων ιζηματογενών πετρωμάτων (Εικόνα 2.1) και αποτελείται από κάτω προς τα πάνω με ραδιολαρίτες, ιλυόλιθους, ηφαιστειοκλαστικά, μαγγανιούχους πηλίτες και μπεντονιτικούς αργίλους ηλικίας Καμπανίου – Άνω Κρητιδικού. Ακολουθούν ασβεστιτικά, πελαγικά, πυριτικά, μαργαϊκά ιζήματα ηλικίας Παλαιογενούς που καλύπτονται από υφαλογενείς ασβεστόλιθους, μάργες, ασβεστόμαργες καθώς και κοραλλιογενείς ασβεστολίθους ηλικίας Μειοκαίνου. Μετέπειτα αποθέσεις έδωσαν γένεση σε μάργες, κροκαλοπαγή, βιογενείς ασβεστόλιθους και ασβεσταρενίτες ηλικίας Πλειόκαινου – Τεταρτογενούς. (Pantazis, 1971)

Ζώνη Τροόδους

Στο κέντρο της Κύπρου βρίσκεται η σημαντικότερη για το νησί γεωλογική ζώνη και μια από τις σημαντικότερες πλήρεις οφιολιθικές ακολουθίες στον κόσμο με τυπικά πετρώματα ωκεάνιου φλοιού και μανδύα, η ζώνη του Τροόδους (Εικόνα 2.1), η οποία θα εξεταστεί λεπτομερέστερα σε ορισμένα σημεία καθώς η περιοχή μελέτης για την οποία συντάσσεται η παρούσα εργασία βρίσκεται εντός της ζώνης αυτής.

Όπως εισαγωγικά περιεγράφηκε παραπάνω η πρώτη γεωλογική εξέλιξη για την δημιουργία του νησιού εκτιμάται ότι έγινε, όταν κατά το Τριαδικό, πάνω στο ηπειρωτικό περιθώριο της Γκοντβάνα επήλθε μια ηπειρωτική διάρρηξη που είχε σαν αποτέλεσμα μια ταφρογένεση - ωκαιανογένεση του νότιου κλάδου της Νεοτηθύος και την δημιουργία μιας τυπικής μεσοωκεάνιας ράχης ωκεάνιου πυθμένα και φλοιού, μέρος του οποίου αποκόπηκε και αποτέλεσε στη συνέχεια τον οφιόλιθο του Τροόδους (Pantazis, 1971).

Ως οφιολιθικό σύμπλεγμα αναγνωρίζεται το σύνολο πετρωμάτων που προέρχεται από τον ωκεάνιο φλοιό και τον ανώτερο μανδύα το οποίο αναδύθηκε από την θάλασσα και πλαισιώθηκε τεκτονικά σε πετρώματα του γήινου φλοιού. Στην οροσειρά του Τροόδους λοιπόν εμφανίζεται ολόκληρη, η τυπική διαστρωμάτωση ενός οφιολιθικού συμπλέγματος με μια μοναδική, φαινομενική τοπογραφική αναστροφή. Τα πετρώματα δηλαδή του κατώτερου ορίζοντα ενός οφιολίθου εμφανίζονται στην κορυφή του, ενώ τα στρωματογραφικά ανώτερα στις παρυφές του. Φαινόμενο που καθιστά την οροσειρά πολύ ενδιαφέρουσα προς παρατήρηση για πολλούς ερευνητές ανά την υφήλιο.

Ξεκινώντας κάποιος μια περιδιάβαση από την κορυφή του Τροόδους κινούμενος προς τους πρόποδες συναντά πλουτώνια υπερβασικά πετρώματα (χαρτσβουργίτες, δουνίτες, βερλίτες, πυροξενίτες) τα οποία είναι εν μέρη σερπεντινιωμένα και στην συνέχεια πλουτώνια βασικά και όξινα πετρώματα (γάββρους, πλαγιογρανίτες). Ενδιάμεσα θα παρατηρήσει ένα σύμπλεγμα βασικών φλεβών (dykes) διαβασικών – βασαλτικών πετρωμάτων, τυπικών της υποθαλάσσιας ηφαιστεϊότητας (Sheeted dykes complex) και τελικά θα καταλήξει στις παρυφές της οροσειράς που χαρακτηρίζονται από το βασαλτικής – ανδεσιτικής σύστασης ηφαιστειακό τμήμα του οφιολιθικού συμπλέγματος (Constantinou, 1972).

Το ηφαιστειακό κομμάτι του οφιολιθικού συμπλέγματος του Τροόδους χωρίζεται σε δύο τμήματα, τις μαξιλαροειδείς λάβες ανώτερου ορίζοντα (Upper Pillow Lavas) και λάβες κατώτερου ορίζοντα (Lower Pillow Lavas) (Cameron, 1985). Η σπουδαιότητα του όρους Τροόδους για την Κύπρο εναπόκειται κατά ένα μεγάλο βαθμό στους θησαυρούς που κρύβει το ηφαιστειογενές τμήμα του οφιολίθου, καθώς οι λάβες αυτές συνοδεύονται κατά τόπους από ηφαιστειογενή κοιτάσματα συμπαγών θειούχων, σχηματισμός που αναλύεται εκτενέστερα παρακάτω.

2.1.1. Ηφαιστειογενή Συμπαγή Θειούχα Κοιτάσματα (VMS)

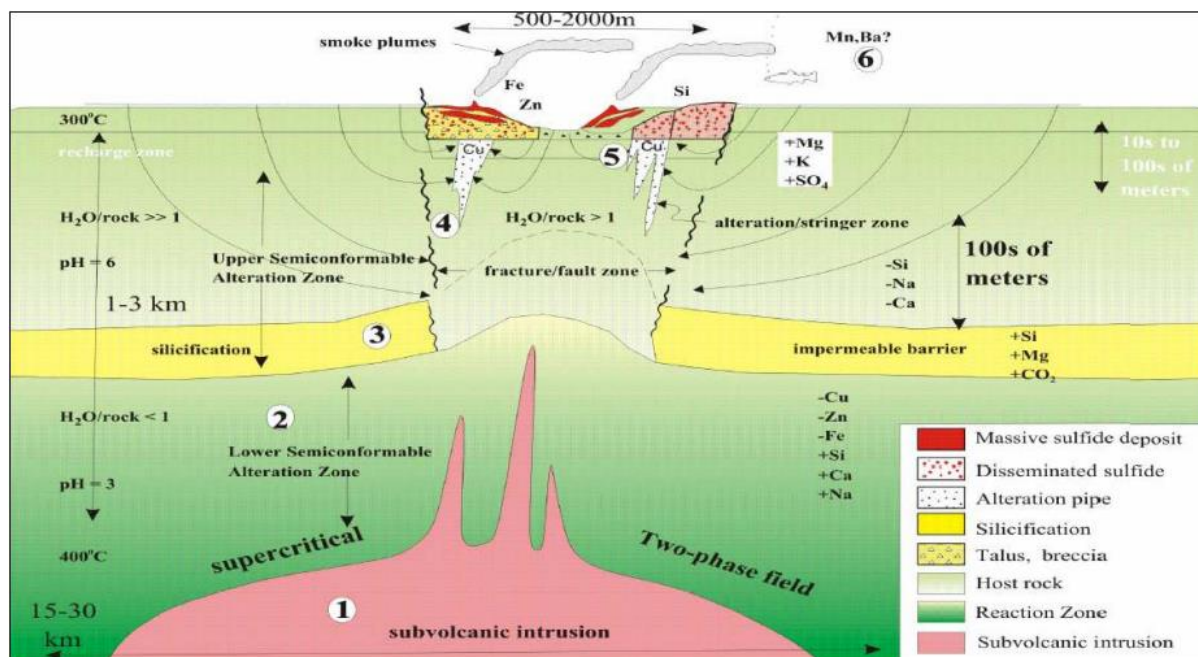
Την οφιολιθική μάζα του Τροόδους κάνει ξεχωριστή όπως προαναφέρθηκε η σημαντική μεταλλοφορία συμπαγών θειούχων κοιτασμάτων που την συνοδεύει. Η ορολογία ηφαιστειογενή συμπαγή θειούχα αναφέρεται εδώ και 85 χρόνια (Hutchinson, 1970) και ορίζεται ως η δημιουργία κοιτασμάτων με μεικτά θειούχα ορυκτά συσχετιζόμενα με υποθαλάσσιες ηφαιστειακές διεργασίες (Randolph, 2012).

Η σημασία των κοιτασμάτων αυτών είναι αρκετά μεγάλη για την Κύπρο και τον κόσμο γενικότερα και αυτό εναπόκειται στο ότι περιέχουν πέραν του 40 % θειούχα ορυκτά, όπως σιδηροπυρίτη (FeS_2), χαλκοπυρίτη (CuFeS_2), βορνίτη (Cu_3FeS_4), σφαλερίτη (ZnS), χαλκοσίνη (Cu_2S), γαληνίτη (PbS) και άλλα. Τα ορυκτά αυτά ποικίλουν εντός των κοιτασμάτων συμπαγών θειούχων προσδίδοντάς τους υψηλές περιεκτικότητες σε στοιχεία όπως ο χαλκός, ο ψευδάργυρος, ο μόλυβδος, ο χρυσός και ο άργυρος (Randolph, 2012).

Η γένεσή τους συνδέεται άμεσα με την κυκλοφορία θερμών διαλυμάτων (υδροθερμικά διαλύματα) πλουσίων σε μέταλλα μέσα στα πετρώματα του ωκεάνιου φλοιού (Εικόνα 2.2). Τα μέταλλα που περιέχουν τα θερμά αυτά διαλύματα όπως ο σίδηρος, ο χαλκός, ο ψευδάργυρος, το θείο και άλλα πολλά, πιστεύεται ότι έχουν εκπλυθεί (*leached*) από τα υποκείμενα πετρώματα, κυρίως από το σύστημα πολλαπλών φλεβών από θερμό θαλάσσιο νερό το οποίο κυκλοφορεί μεταξύ των πετρωμάτων αυτών κατά μήκος ρωγμών και διακλάσεων. Ως πηγή ενέργειας για την υπερθέρμανση του νερού θεωρούνται οι ανερχόμενοι θύλακες μάγματος κατά μήκος των αξόνων διεύρυνσης του πυθμένα των θαλασσών.

Λόγω της υδροθερμικής δραστηριότητας (Εικόνα 2.2) τα μέταλλα που προαναφέρθηκαν και ιδιαίτερα ο χαλκός απαντώνται επίσης, υπό την μορφή οξειδίων όπως κυπρίτη (Cu_2O) και τενορίτη (CuO) και σπανιότερα υπό μορφή θειικών ενώσεων όπως χαλκανθίτη ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)

και βροχαντίτη ($\text{Cu}_4\text{SO}_4 [\text{OH}]_6$) και τέλος υπό μορφή ανθρακικών ενώσεων, μαλαχίτη ($\text{CuCO}_3\text{Cu} [\text{O H}]_2$) και αζουρίτη ($2\text{CuCO}_3\text{Cu} [\text{OH}]_2$) (Gibson, 2005).



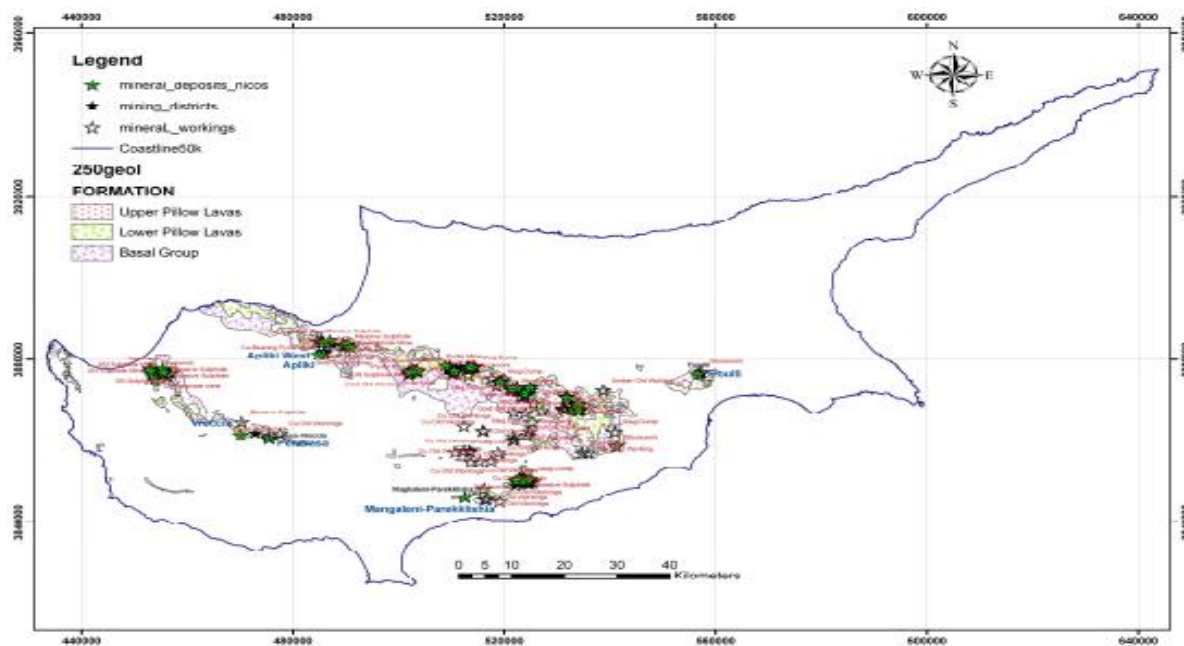
Εικόνα 2.2: Σχηματική απεικόνιση των συντελεστών γένεσης μεικτών θειούχων μεταλλευμάτων. (Gibson, 2005)

Τα κοιτάσματα συμπαγούς θειούχου μεταλλοφορίας είναι τόσο ιδιόμορφα, με αποτέλεσμα να αποδίδεται η μοναδικότητά τους, χαρακτηρίζοντας πανομοιότυπα κοιτάσματα ανά το παγκόσμιο ως κοιτάσματα τύπου Κύπρου (*Cyprus type deposits*). Στην Κύπρο βρίσκονται συγκεντρωμένα σε πέντε κύριες μεταλλευτικές περιοχές (Εικόνα 2.3) γνωστές ως:

- Σκουριώτισσα – Μαυροβούνι
- Μιτσερό – Αγροκηπιά
- Καμπιά – Καπέδες
- Καλαβασός – Λίμνη
- Σία – Μαθιάτης

και σε αυτά διακρίνεται η ακόλουθη στρωματογραφία από πάνω προς τα κάτω:

- Ζώνη Οξείδωσης - Σιδηρούν Κάλυμμα (Gossan)
- Ζώνη Συμπαγούς Μεταλλεύματος (Massive Ore)
- Ενδιάμεση Ζώνη
- Ζώνη χαμηλής περιεκτικότητας (Stockwork)



Εικόνα 2.3: Μεταλλεία μεικτών θειούχων μεταλλευμάτων στην Κύπρο όλα συγκεντρωμένα γύρω από την περιοχή του Τρόδου. (ΤΓΕΚ)

Μέσω της ζώνωσης αυτής είναι δυνατόν να γίνει η εύρεση του κοιτάσματος, η εξόρυξη των περιοχών με υψηλή περιεκτικότητα και η σηματοδότηση της εξόφλησης ενός κοιτάσματος.

Τα χαρακτηριστικά αυτά των θειούχων συμπαγών κοιτασμάτων συνετέλεσαν στην ανάγκη για αναζήτησή τους από αρχαιοτάτων χρόνων και κατέστησαν το νησί πόλο έλξης μεταλλευτικών εταιρειών με βλέψη τις επικερδείς εξορύξεις. Κυρίως αυτά αποτελούν έναν από τους καθοριστικότερους παράγοντες στην ιστορική, πολιτιστική και κοινωνικοοικονομική εξέλιξη του τόπου τόσο κατά την αρχαιότητα όσο και κατά τους νεότερους χρόνους.

2.1.2. Όξινη απορροή μεταλλείων

Παρά την οικονομικά αξιόλογη δομή που παρουσιάζουν τα κοιτάσματα συμπαγών μεικτών θειούχων και τα θετικά τους χαρακτηριστικά ως προς τις περιεκτικότητες τους σε πολύτιμα μέταλλα, η εξόρυξη τους είναι ένα πολύ ευαίσθητο ζήτημα, καθώς μπορεί να αποφέρει πολλές ζημιογόνες επιπτώσεις, τόσο άμεσα στην περιοχή στην οποία γίνεται, όσο και στον περιβάλλον αυτής χώρα.

Η ύπαρξη των ορυκτών που προαναφέρθηκαν, όπως ο σιδηροπυρίτης και ο χαλκοπυρίτης καθιστά την εξόρυξη των κοιτασμάτων αυτών ένα έργο το οποίο χρειάζεται επιμέλεια στην επεξεργασία του μεταλλεύματος και την απόθεση του στείρου υλικού.

Περιοχές εκμετάλλευσης και μονάδες εμπλουτισμού οι οποίες παραμένουν ανενεργές για πολλά χρόνια μετά το πέρας της εξόρυξης με παρατημένους σωρούς υπερκείμενων και στείρων καθώς και απόβλητα από διεργασίες εμπλουτισμού είναι η αφορμή για την έναρξη ενός φαινομένου το οποίο καλείται όξινη απορροή μεταλλείων (Εικόνα 2.4).



Εικόνα 2.4: Σχηματισμοί ως αποτέλεσμα της Όξινης Απορροής δυτικά της εγκαταλελειμμένης εκμετάλλευσης στο βόρειο μεταλλείο του Μαθιάτη.

Πρόκειται για ένα αρκετά σύνθετο φαινόμενο με τους δύο κύριους παράγοντες που συμβάλουν στην δημιουργία του να είναι τα στερεά θειούχα ορυκτά μεταλλείων θειούχων μεταλλευμάτων και το νερό, σε συνδυασμό με ατμοσφαιρικούς ή βιολογικούς παράγοντες (βακτήρια). Με την επαφή των δύο, προκαλείται οξείδωση του σιδηροπυρίτη κυρίως, αλλά και των υπολοίπων θειούχων ορυκτών από το οξυγόνο και το νερό, με αποτέλεσμα την απορροή υδάτων με πολύ όξινο pH εντός του υδροφόρου ορίζοντα και την μόλυνση της περιοχής (Gray, 1996).

Σύμφωνα με κατάθεση του τμήματος γεωλογικής επισκόπησης της Κύπρου, παλαιότερα όταν δίνονταν οι αδειοδοτήσεις για την έναρξη μιας εκμετάλλευσης, δεν λαμβάνονταν υπόψιν τέτοια περιβαλλοντικά επακόλουθα και δεν διασφαλιζόταν η επαρκής αποκατάσταση της περιοχής εκμετάλλευσης. Το αποτέλεσμα είναι μέχρι και σήμερα να υπάρχουν 27 εγκαταλελειμμένα μεταλλεία υπαίθριων εκμεταλλεύσεων από όπου απορρέουν όξινα νερά στους υπόγειους υδροφορείς του νησιού και οι επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον να είναι αρκετά σοβαρές.

2.1.3. Εμφανίσεις Ούμπρας & Ώχρας

Ακόμη, ένα αξιοσημείωτο χαρακτηριστικό της Κυπριακής Γεωλογίας που πρόκειται να παρουσιαστεί στην παρούσα εργασία είναι οι εμφανίσεις Ούμπρας και Ώχρας. Κατά την γεωτεκτονική εξέλιξη του νησιού μετά την δημιουργία του οφιολίθου του Τροόδους υπολογίζεται πως υπήρξε μια γεωτεκτονική ηρεμία για περίπου 60 με 65 εκατομμύρια χρόνια όπου αποτέθηκε μια σειρά ιζημάτων που συμπλήρωσαν υπερκείμενα την οφιολιθική ακολουθία και ανυψώθηκε προοδευτικά η περιοχή σηματοδοτώντας χρονικά την ολοκλήρωση της ηφαιστειότητας και την δημιουργία της μάζας του Τροόδους.

Η βάση της ιζηματογενούς ακολουθίας η οποία περιβάλλει την οφιολιθική ακολουθία του Τροόδους πληρείται από τον σχηματισμό Πέρα Πεδί ο οποίος περιλαμβάνει σχιστόλιθους και λασπολίθους, χαρακτηριστικού καφέ χρώματος, πλούσιους σε σίδηρο και μαγγάνιο. Τα πετρώματα αυτά καλούνται Ούμπρες και Ώχρες και στις πλείστες των περιπτώσεων παρεμβάλλονται άθικτων ή αποσαθρωμένων λαβών του ανώτερου ορίζοντα (Εικόνα 2.5) (Constantinou, 1972).

Λεπτομερή χαρτογραφήσεις των θειούχων μεταλλοφοριών του νησιού κλίμακας 1:5000, κατασκευής και ιδιοκτησίας του Τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης Κύπρου, έχουν δείξει ότι στρώματα ώχρας υπέρκεινται των μεταλλοφοριών. Άνωθεν αυτών βασαλτικής σύστασης προσκεφαλοειδείς λάβες κατώτερου και ανώτερου ορίζοντα καλύπτονται με στρώσεις ούμπρας γεγονός που υποδεικνύει τα αλληπάλλληλα φαινόμενα μετά-ηφαιστειακής ιζηματογένεσης που χαρακτηρίζουν τον σχηματισμό.

Οι ώχρες θεωρείται πως είναι τα πρώτα ιζήματα που αποτέθηκαν σε οξειδωτικές συνθήκες κατά την διάρκεια ή μετέπειτα του σχηματισμού των υποκείμενων σουλφιδίων και οι ούμπρες μετά τις εκροές λαβών. Δεν συναντώνται σε κανένα άλλο ιζηματογενή σχηματισμό της στρωματογραφίας της Κύπρου και παρόλο που οι ώχρες χρονολογούνται πιο πριν από τις ούμπρες η γενική παραδοχή για τα δύο αυτά πετρώματα είναι ότι πρόκειται για ταινιωτούς σχηματισμούς καφέ χρώματος πλούσιους σε σίδηρο και μαγγάνιο χαρακτηριζόμενους ως ιζήματα σχηματισμού Πέρα Πεδίου.



Εικόνα 2.5: Επιφανειακή εμφάνιση σχηματισμού Πέρα Πεδίου στην Κύπρο και εστίαση (κάτω αριστερά) στην συνύπαρξη Ούμπρας και Ωχρας εντός του σχηματισμού.

Οι ώχρες στρωματογραφικά συναντώνται όπως προαναφέρθηκε, αμέσως πάνω από τα θειούχα κοιτάσματα και βρίσκονται ουσιαστικά περιορισμένες στα όρια της μεταλλοφορίας. Πρόκειται για πετρώματα με χαμηλή περιεκτικότητα σε μαγγάνιο σε σχέση με τις ούμπρες και πολύ υψηλές περιεκτικότητες σε σίδηρο, στα οποία συναντώνται σε διάφορες αναλογίες πυριτόλιθοι και ασβεστόλιθοι.

Τα δύο πετρώματα αποτελούν εξαιρετικές φυσικές χρωστικές ουσίες που χρησιμοποιούνται από την αρχαιότητα μέχρι και σήμερα για τη παραγωγή χρωμάτων και μπογιών στην Κύπρο και στο εξωτερικό διότι ως χρώματα δεν αλλοιώνονται με την πάροδο του χρόνου. Χρησιμοποιούνται επίσης σε μικρότερες ποσότητες στην παραδοσιακή αγγειοπλαστική αλλά και στη βιομηχανία κεραμικών. Τα τελευταία χρόνια, λόγω του υψηλού ποσοστού οξειδίων και υδροξειδίων του σιδήρου που περιέχουν χρησιμοποιούνται και στην τσιμεντοβιομηχανία για τη ρύθμιση της απαιτούμενης περιεκτικότητας σιδήρου στο τσιμέντο.

Σε όλη την περιφέρεια του Τροόδους εμφανίζονται κατά τόπους απομονωμένες περιοχές Ούμπρας με έκταση πέραν των 150 τετραγωνικών μέτρων που επικαλύπτουν τα υποκείμενα ηφαιστειακά πετρώματα με πάχος 10 έως 25 μέτρα (Εικόνα 2.5 & 2.6). Ο σχηματισμός αυτός συνδέεται άμεσα με κόκκινο ίασπη και ραδιολαριτικούς πυριτόλιθους και δεν έχουν κάποια καθορισμένη δομή. Οι ούμπρες έχουν ένα σκούρο σοκολατί χρώμα και χημικά, αναλόγως της περιοχής από όπου επηρεάστηκαν, αποτελούνται από οξείδια σιδήρου, πυριτίου, αλουμινίου μα ιδιαίτερα περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις μαγγανίου.



Εικόνα 2.6: Εναλλασσόμενα στρώματα καφέ ώχρας, ούμπρας και πυριτωμένων ασβεστούχων τόφων.

Τα δύο αυτά πετρώματα έχουν αρκετές διαφορές ως προς τον τρόπο και χρόνο απόθεσής τους, ως προς την περιεκτικότητά τους σε διάφορα οξείδια και στοιχεία παρόλα αυτά επιδεικνύουν ένα κοινό σημαντικό ενδιαφέρον όσον αφορά την αλληλεπίδρασή τους με τα συμπαγή θειούχα κοιτάσματα. Από την αλληλεπίδραση τους με τις μεταλλοφορίες συμπαγών θειούχων ορυκτών ανέπτυξαν μέσω διαφόρων διεργασιών χαρακτηριστικές περιεκτικότητες σε πολύτιμα μέταλλα που τα καθιστούν και αυτά ενδιαφέροντα ως προς την εξόρυξή τους.

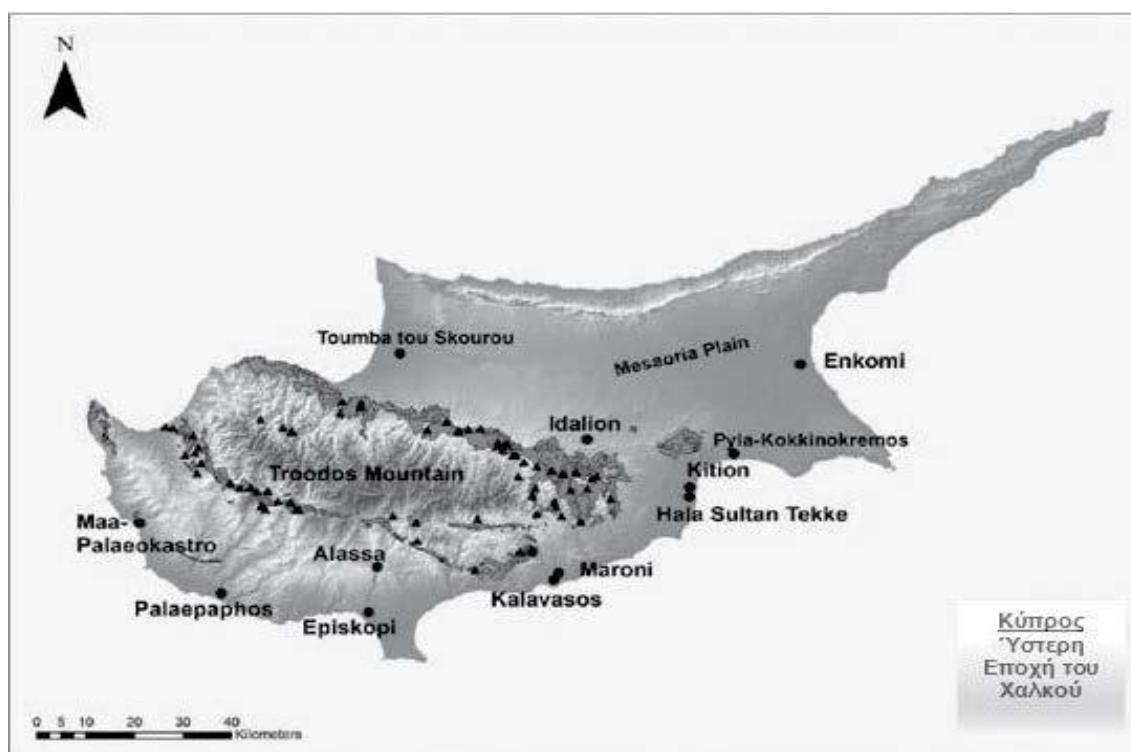
Λόγω της σπανιότητας των εμφανίσεων αυτών και λόγω των μικρών σε έκταση κοιτασμάτων τους το Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης θεωρεί αναγκαίο να τα διαφυλάξει έτσι ώστε οι καλής ποιότητας εμφανίσεις να εξορυχθούν ως άριστης ποιότητας χρωστική ουσία και να γίνει η απόληψη των πολύτιμων μετάλλων που περιέχουν στην καταλληλότερη οικονομικά περίοδο.

2.2. Ιστορική Αναδρομή στην Κυπριακή Μεταλλευτική Δραστηριότητα

Η γεωλογική ομορφιά της Κύπρου και η μοναδική δομή που χαρακτηρίζει το οφιολιθικό σύμπλεγμα του Τροόδους δεν είναι μια σύγχρονη παρατήρηση. Ο φυσικός πλούτος της Κύπρου αξιοποιήθηκε από τους κατοίκους της με κάθε δυνατό τρόπο, κατατάσσοντας το νησί ανάμεσα στους σημαντικότερους πολιτισμούς της Ευρώπης και της Ανατολής χαρακτηριζόμενο από οικονομική ανεξαρτησία και ευημερία. Ίσως να μη υπάρχει άλλο μέρος στη γη όπου η γεωλογία αποτελεί τον καθοριστικότερο παράγοντα όχι μόνο στη διαμόρφωση του φυσικού του περιβάλλοντος, αλλά μέσα από τον πλούτο του και την συσχέτιση των

ανθρώπων του με την γεωλογία, και στην ιστορική, πολιτιστική και κοινωνικοοικονομική του εξέλιξη τόσο κατά την αρχαιότητα όσο και κατά τους νεότερους χρόνους.

Ο χαλκός υπήρξε από αρχαιοτάτων χρόνων ο κυριότερος φυσικός πλούτος της Κύπρου, εξού και το όνομα του νησιού από την λατινικής προέλευσης λέξη *Cyprius* (Χαλκός(*Cyprus*)). Από το 4000 π.Χ. περίπου, οι Κύπριοι Μεταλλουργοί πρωτοπορούσαν στις διάφορες μεταλλευτικές διεργασίες και ανέπτυσαν τεχνικές παρατήρησης, εξόρυξης και επεξεργασίας που τους κατατάξαν στην λίστα με τους σπουδαιότερους μεταλλουργούς όλων των εποχών. Αποδείξεις γι' αυτό υπάρχουν σε ναυάγια που βρέθηκαν στην Μεσόγειο Θάλασσα που έφεραν φορτίο εκατοντάδων ταλάντων χαλκού από την Κύπρο καθώς και σε κάθε σχεδόν γωνιά του νησιού όπου μπορεί κανείς να δει αρχαίες γαλαρίες, φούρνους και πολλές αποθέσεις σκωριών (*slugs*). Τα πλείστα των μεικτών θειούχων κοιτασμάτων που έτυχαν εκμετάλλευσης σε νεότερους χρόνους είχαν ήδη βρεθεί από τους αρχαίους κάτοικους του νησιού, αν και η μεταλλευτική δραστηριότητα τότε επικεντρωνόταν κυρίως στην απόληψη χαλκού. (Εικόνα 2.7)



Εικόνα 2.7: Το νησί της Κύπρου επί αρχαιοτάτων χρόνων με τα υποδεικνυόμενα μεταλλευτικά κέντρα της τότε περιόδου. (Constantinou, 2005)

Τα μεταλλεία χαλκού ή χαλκούχων σιδηροπυριτών ήσαν έως και πριν μισό περίπου αιώνα τα σημαντικότερα μεταλλεία της Κύπρου τόσο από οικονομικής όσο και από μεταλλευτικής

απόψεως και αποτελούσαν την σπονδυλική στήλη της μεταλλευτικής βιομηχανίας του νησιού, με την ολική ποσότητα μεταλλικού χαλκού που έχει παραχθεί στην Κύπρο από την εκμετάλλευση των θειούχων αυτών κοιτασμάτων της να υπερβαίνει το ένα εκατομμύριο τόνους

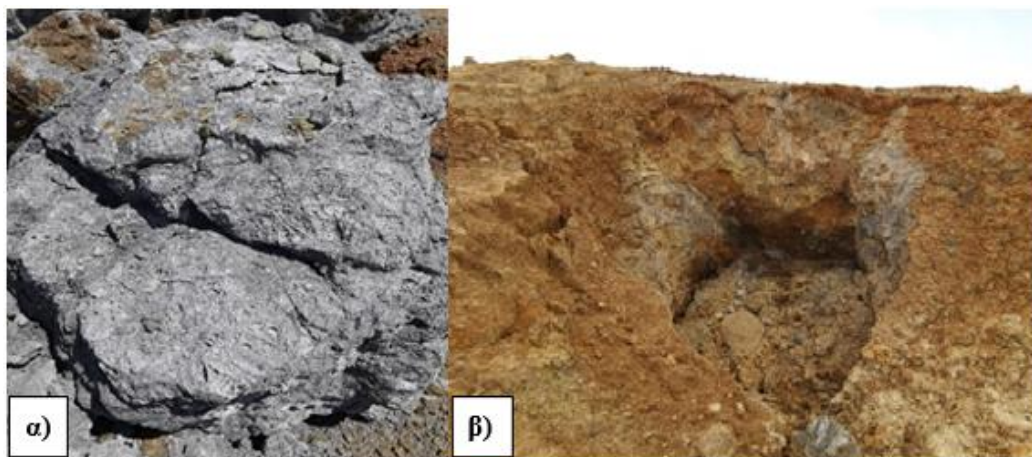
Η μεταλλευτικές αυτές δραστηριότητες δεν ήταν χαρακτηριστικό μονάχα των αρχαίων προγόνων μας, οι οποίοι φρόντισαν να μεταλαμπαδεύσουν σε γενεές, γενεών τις γνώσεις τους, φτάνοντας στην σύγχρονη ιστορία με τους υπό αγγλική κατοχή κατοίκους της Κύπρου να εκμεταλλεύονται προς όφελος των Άγγλων τον ορυκτό πλούτο του νησιού.

Σε μεταλλευτικές περιοχές που αναφέρονται σε προηγούμενη υποενότητα, οι οποίες είχαν έκταση μεταξύ 2 και 10 km², οι μέθοδοι που εφαρμόζονταν κυρίως ήταν των οριζόντιων διαδοχικών πατωμάτων ή ορόφων με κατακρήμνιση της οροφής, ενώ από τις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις εφαρμόζονταν οι εκμεταλλεύσεις ανοικτού και κλειστού τύπου με ορθές βαθμίδες, λόγω κυρίως του τοπογραφικού ανάγλυφου των περιοχών. Η μέθοδος εμπλουτισμού που χρησιμοποιείτο ήταν η επίπλευση (flotation) και τα παραγόμενα προϊόντα ήταν συμπυκνώματα σιδηροπυρίτη, χαλκού-σιδηροπυρίτη (Cu ~2 %) και χαλκούχα συμπυκνώματα (Cu 17 – 22%) (Constantinou, 1972).

Οι μεταλλευτικές διεργασίες δυστυχώς όμως άρχισαν να παρατηρούν μια ύφεση λόγω της ανάγκης για αναζήτηση οικοδομικών υλικών για την κατασκευή σπιτιών και δρόμων το 1974, μετά την εισβολή του τουρκικού Αττίλα καθώς και λόγω της αντικατάστασης του σιδηροπυρίτη στη βιομηχανία παραγωγής θείου από στοιχειακό θείο. Έτσι όλα σχεδόν τα μεταλλεία έκλεισαν, και τα βλέμματα στράφηκαν στα βιομηχανικά ορυκτά του νησιού, αφήνοντας πολλά ανοικτού τύπου μεταλλεία, είτε στα μέσα της παραγωγής είτε στο τέλος της χωρίς όμως σχέδια για αποκατάσταση, με αποτέλεσμα να μολύνουν το περιβάλλον και τα ύδατα της κάθε περιοχής που γειτνιάζουν.

Άξιο αναφοράς είναι το γεγονός ότι λόγω της εκάστοτε τεχνογνωσίας πολλά από τα κοιτάσματα έμειναν ανεκμετάλλευτα, καθώς και σε όσα μεταλλεία γινόταν η εκμετάλλευση απορριπτόταν πολύ πλούσιο σε μετάλλευμα υλικό και χαρακτηριζόταν σαν στείρο. (Εικόνα 2.8β)

Επίσης, για ορισμένους αδιευκρίνιστους λόγους έγιναν ελάχιστες προσπάθειες που έγιναν για εκμετάλλευση εμφανίσεων ούμπρας και ώχρας στον Κυπριακό χώρο. Εάν συνεχιζόταν η έρευνα και συμβάδιζε η γνώση των Κυπρίων μεταλλωρύχων με την τεχνολογική ανάπτυξη σήμερα, θα υπήρχαν ήδη περιβαλλοντικά αποκαταστημένα μεταλλεία.



Εικόνα 2.8: α) Μέρος από σωρούς στείρων υλικών που προήλθε από την ζώνη χαμηλής περιεκτικότητας της εκμετάλλευσης. β) Μέρος χαλαρών σωρών από στείρο υλικό πλούσιο σε θειούχα πετρώματα.

Ο αριθμός των κοιτασμάτων συμπαγών θειούχων μεταλλευμάτων που έχουν εντοπισθεί μέχρι σήμερα ανέρχεται γύρω στα 30 και το μέγεθός τους κυμαίνεται από 50.000 μέχρι 17.000.000 τόνους θειούχου μεταλλεύματος. Σε αυτά συγκαταλέγεται και το προς παρατήρηση μεταλλείο στην παρούσα αναφορά. Αυτό του Βόρειου Μαθιάτη ή αλλιώς Μεταλλείο Κοκκινόαντών.

2.3.Βόρειο Μεταλλείο Μαθιάτη

Το χωριό Μαθιάτης είναι ένα μικρό χωριό 28 χιλιομέτρα νοτίως της Λευκωσίας, στους πρόποδες της οροσειράς του Τροόδους και είναι μία περιοχή με πλούσια ιστορία τόσο μεταλλευτικά όσο και αρχαιολογικά. Μεταλλευτικά η περιοχή είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με δύο μεταλλεία μεικτών θειούχων, το Νότιο μεταλλείο (Mathiatis South) και το Βόρειο μεταλλείο (North Mathiatis Mine) που σήμερα απλά επιβαρύνουν το περιβάλλον της περιοχής καθώς η εκμετάλλευση τους σταμάτησε και έχουν εγκαταλειφθεί. Τα δεδομένα και η επεξεργασία που πρόκειται να αναλυθεί εκτενέστερα σε επόμενη ενότητα αφορούν το Βόρειο μεταλλείο του Μαθιάτη.

Το Βόρειο μεταλλείο του Μαθιάτη κρύβει ακόμη αρκετούς θησαυρούς. Σύμφωνα όμως με πολλές εργασίες με περιβαλλοντικό περιεχόμενο όπως αυτήν του Ευάγγελου Σ. Γαλανόπουλου (Galanopoulos, 2012) που έχουν γίνει στην περιοχή το μεταλλείο χρίζει άμεσης

αποκατάστασης λόγω της έντονης όξινης απορροής που παράγεται από τους σωρούς στείρων που υπάρχουν στον χώρο του Μεταλλείου (Εικόνα 2.9).



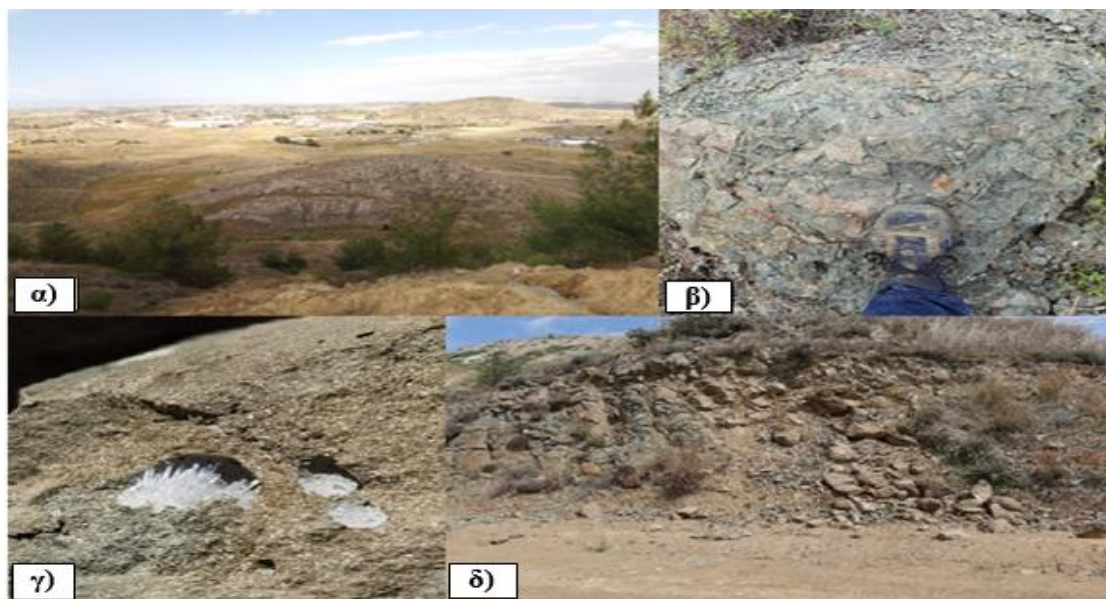
Εικόνα 2.9: Βόρειο Μεταλλείο Μαθιάτη από διαφορετική οπτική γωνία, από τις οποίες φαίνεται η προϋπάρχουσα εκμετάλλευση μεικτών θειούχων ορυκτών και οι σωροί στείρου υλικού.

2.3.1. Γεωλογική Περιγραφή

Η περιοχή στην οποία δεσπόζει το βόρειο μεταλλείο του Μαθιάτη χαρακτηρίζεται από μια λιτή γεωλογική δομή, κλασσική του ηφαιστειακού χώρου της οφιολιθικής ακολουθίας του Τρόοδους.

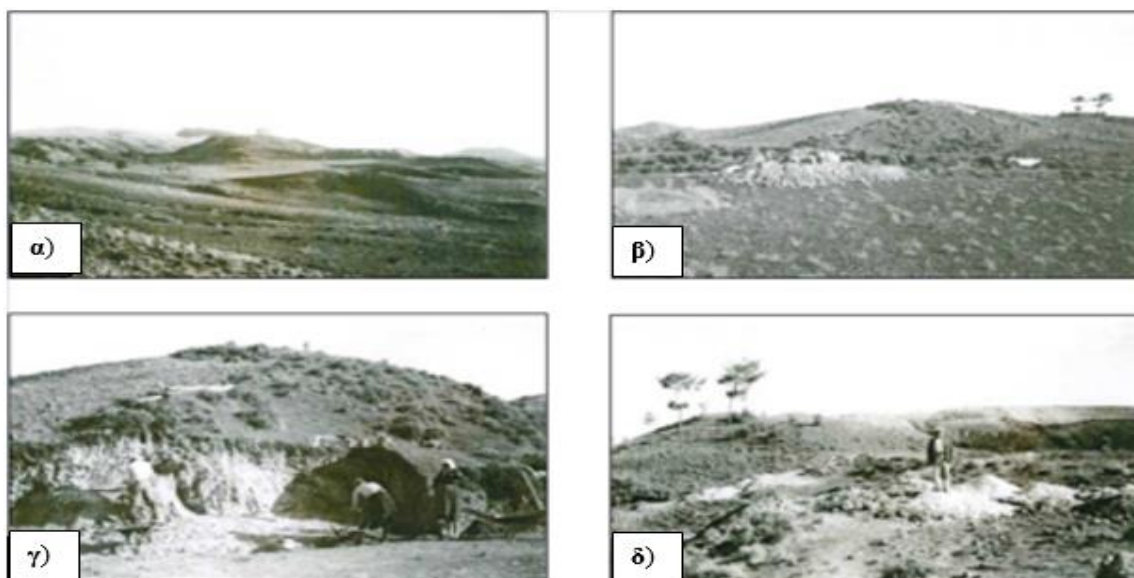
Στην περιοχή γενικότερα κυριαρχούν μη αποσαθρωμένες ολιβινικής– βασαλτικής σύστασης μαξιλαροειδείς λάβες του ανώτερου ορίζοντα, τυπικής μορφής και υφής (Εικόνα 2.10) (Upper Pillow Lavas). Ορυκτά που επικρατούν στην ορυκτολογική σύσταση των λαβών είναι τα πλαγιόκλαστα υπό μοντμοριλονιτική εξαλλοίωση και λιγότερο απαντούν ορισμένοι πυρόξενοι περιβαλλόμενοι από χλωρίτες. Χαρακτηριστικό των λαβών που συναντώνται στον Μαθιάτη είναι η πλήρωση των πόρων τους και η δημιουργία φλεβών εντός αυτών με πλούσιο ζεολιθικό υλικό (Εικόνα 2.10γ) (Constantinou, 1972).

Εντός του περιβάλλοντος χώρου που υπερκαλύπτεται από λάβες, μέσα από ρηγματώσεις, ανυψώσεις και επερχόμενες διαβρώσεις σε φακούς, πριν την εκμετάλλευση του κοιτάσματος, πρώτο εκτέθηκε το νοτιοανατολικό μέρος του κοιτάσματος. Σύμφωνα με τους Pantazis & Govett (1973) (Pantazis, 1973) η μεταλλοφορία οριοθετείται με τρία συνολικά ρήγματα, δύο υποπαράλληλα κανονικά στα ΒΑ και ΝΔ με διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ και κλίση προς τα δυτικά και ένα στα ΝΑ με διεύθυνση Β350° και κλίση προς τα Ανατολικά. Πριν την εκμετάλλευση επρόκειτο για ένα κοίτασμα συμπαγών θειούχων ορυκτών με φακοειδή σχήμα και την τυπική στρωματογραφία που αναφέρεται σε προηγούμενη υποενότητα.



Εικόνα 2.10: Μαξιλαροειδείς λάβες ανώτερου οριζοντα ολιβινικής- βασαλτικής σύστασης, α) Σχηματισμοί τροφοδοσίας και στο βάθος το χωριό Αγία Βαρβάρα. β) Εξορυγμένος ογκόλιθος αποσαθρωμένης λάβας. γ) Κομμάτι λάβας ανώτερου οριζοντα πληρωμένο με ζεολιθικό υλικό δ) Χαρακτηριστικό πρανές περιοχής αποτελούμενο από μαξιλαροειδείς λάβες ανώτερου οριζοντα.

Ανακαλύφθηκε σύμφωνα με ιστορικά στοιχεία της δεκαετίας του 1930, της C.M.C, της 1^{ης} εταιρείας που εξόρυξε επίσημα την περιοχή, από ένα ογκώδη σιδηρούν κάλυμμα που αποτελείτο κυρίως από ιαροσίτη, λιμωνίτη και σποραδικές εμφανίσεις σπογγώδους πυριτίας (Εικόνα 2.11α & β). Το σιδηρούν αυτό κάλυμμα παρατηρείται και σήμερα στα Βορειοανατολικά της εκμετάλλευσης.

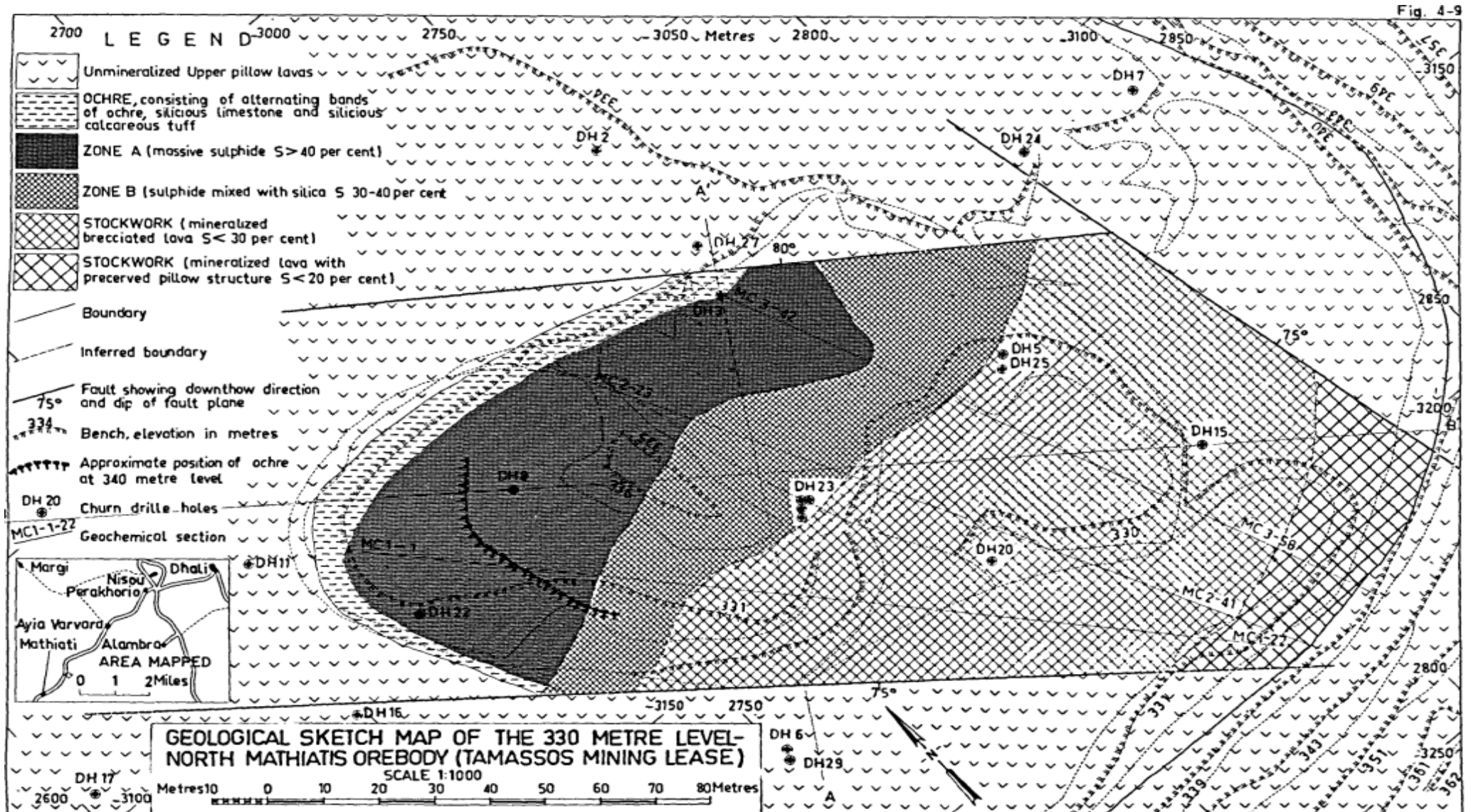


Εικόνα 2.11: α) Γενική άποψη της περιοχής από το Νότο πριν την διάνοιξη του μεταλλείου του Μαθιάτη. β) Η ανοιχτή εκσκαφή του Μαθιάτη. γ) Κοντινή φωτογραφία του πρώτου μετώπου εκμετάλλευσης. δ) Φαιό μετάλλευμα από τα πρώτα ορύγματα του Μαθιάτη. (Δεκ. 1935, Φωτογραφικό Αρχείο ΕΜΕ)

Ακολουθούσε η ζώνη Συμπαγούς Μεταλλεύματος (Massive Ore (Zone A)) (Εικόνα 2.12) όπου αποτελείτο από εύθρυπτο σακχαρώδη σιδηροπυρίτη με ενδιάμεσες εμφανίσεις συμπαγών όγκων από θειούχα ορυκτά πάχους από 1 – 5 m. Κάτω από την ζώνη παρατηρήθηκε μια μετάβαση σε κροκαλοπαγοειδή σιδηροπυρίτη (Constantinou, 2005). Το κυρίαρχο ορυκτό στην ζώνη συμπαγούς μεταλλεύματος αλλά και γενικότερα σε όλη τη μεταλλοφορία είναι ο σιδηροπυρίτης, με δεύτερο τον μαρκασίτη καθώς και τον χαλκοπυρίτη που παρατηρείται έντονα στην ζώνη αυτή. (Constantinou, 1972)

Η ενδιάμεση ζώνη (Zone B) (Εικόνα 2.12) εκτείνεται της πρώτης ζώνης με ένα πάχος 10-30 μέτρα και αποτελείται από συμπαγή θειούχα ορυκτά μέτριας περιεκτικότητας, αναμειγμένο με άσπρη πυριτία και φλεβίδια κόκκινου ιάσπη (Constantinou, 1972). Απότομη και με διακριτά όρια (Εικόνα 2.12) είναι η εναλλαγή της ενδιάμεσης ζώνης με την ζώνη χαμηλής περιεκτικότητας (Stockwork) (Εικόνα 2.8β) που χαρακτηρίζεται από εμπλουτισμένες, με χαμηλής περιεκτικότητας θειούχα ορυκτά, υδροθερμικά εξαλλοιωμένες και αποσαθρωμένες λάβες οι οποίες είναι υπό μορφή breccia. Οι γεωλογικές αυτές παρατηρήσεις για το κοίτασμα έγιναν από διάφορους γεωεπιστήμονες πριν και κατά την διάρκεια της εκμετάλλευσης, καθώς και με το πέρασ της αφού είναι εμφανής ακόμη και σήμερα εντός του σκάμματος του υπαίθριου μεταλλείου του Μαθιάτη.

Όπως αναφέρεται από τον Constantinou το 1972, βορειοδυτικά της εκμετάλλευσης όπου συναντώνται λάβες του ανώτερου ορίζοντα, υπέρκειται λεπτόκοκκη συμπαγής ούμπρα χρώματος σκούρου καφέ, του σχηματισμού Πέρα Πεδίου η οποία δημιουργεί μια πρόσχωση έως και 10 μέτρα. Σύγχρονες όμως παρατηρήσεις, που έγιναν στην προσπάθεια ποιοτικού χαρακτηρισμού της ούμπρας στην Κύπρο από το τμήμα γεωλογικής επισκόπησης, προσθέτουν στην αναφορά αυτή πως εκτός από το βορειοδυτικό αυτό σημείο, η ούμπρα σχηματίζει προσχώσεις σε όλη την έκταση της περιοχής, καθώς μέχρι πρόσφατα υπήρξε και μια μικρή αδειοδότηση στην περιοχή για εξόρυξή της. Βορειοδυτικά επίσης του κοιτάσματος ενδιάμεσα στο κοίτασμα και τις υπερκείμενες λάβες παρεμβάλλεται ένα ιζηματογενές στρώμα πάχους 3 με 8 μέτρα (Εικόνα 2.12) το οποίο αποτελείται από εναλλασσόμενα στρώματα καφέ ώχρας (Εικόνα 2.6), πυριτιωμένου ασβεστόλιθου και πυριτιωμένων ασβεστούχων τόφφων (Constantinou, 1972). Τα στρώματα αυτά αλληλοεπιδρούν άμεσα με το κοίτασμα και σύγχρονες παρατηρήσεις υποδεικνύουν ότι αλληλοεπιδρούν επίσης και με την ούμπρα γι' αυτό κατατάσσονται και αυτά στον σχηματισμό Πέρα Πεδίου.



Εικόνα 2. 12: Γεωλογικό σκίτσο που περιγράφει την περιοχή του Βόρειου Μεταλλείου του Μαθιάτη. (Constantinou, 1972)

Δείγματα του σχηματισμού Πέρα Πεδίου πάρθηκαν από διάφορους τόπους στην περιοχή και αναλύθηκαν με ατομικό φασματοφωτόμετρο από το τμήμα γεωλογικής επισκόπησης Κύπρου κατά την δεκαετία του 70' με σκοπό την απόδοση περιεκτικότητας του σχηματισμού σε χαλκό, ψευδάργυρο, νικέλιο και κοβάλτιο. Τα αποτελέσματα παραδίνονται στον παρακάτω πίνακα και υποδεικνύουν αρκετά υψηλές τιμές σε πολύτιμα μέταλλα καθώς ορισμένες διαφορές στις περιεκτικότητες των μετάλλων μεταξύ της ώχρας και της ούμπρας.

Όπως παρατηρήθηκε λοιπόν ήδη από την δεκαετία του 1970 τα εναλλασσόμενα στρώματα ώχρας και ούμπρας περιέχουν ένα αρκετά υψηλό ποσοστό σε πολύτιμα μέταλλα, γεγονός που επιβεβαιώνει την επαφή των σχηματισμών με την μεταλλοφορία και την υδροθερμική επίδρασή τους από αυτήν. Ακόμα, παρατηρείται ότι η ούμπρα είναι αρκετά πιο εμπλουτισμένη σε χαλκό, νικέλιο και κοβάλτιο από την ώχρα που φαίνεται να είναι πιο εμπλουτισμένη σε ψευδάργυρο.

Πίνακας 2.1: Αναλύσεις με ατομικό φασματοφωτόμετρο για τον προσδιορισμό Cu, Zn, Ni, Co των δειγμάτων Ωχρας* και Ούμπρας**, *** υπό την επίβλεψη του τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης Κύπρου το 1970 (Constantinou, 1972).

Σχηματισμός	Ωχρα					Ούμπρα						
α/α	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cu(ppm)	520	216	50	400	800	1220	1000	400	840	760	720	720
Zn(ppm)	1320	860	2160	280	800	300	380	860	400	360	400	220
Ni(ppm)	39	19	30	22	51	200	245	240	210	250	240	200
Co(ppm)	17	15	12	12	30	128	137	133	111	125	96	129
* Δείγματα που πάρθηκαν από το υψόμετρο των 330m												
** Δείγματα που πάρθηκαν από το υψόμετρο των 340m , Συντεταγμένες B2538m E2988m												
*** Δείγματα που πάρθηκαν έξω από την εκμετάλλευση , Συντεταγμένες B2538m E2988m												

Αυτό οφείλεται στον χημισμό του κάθε πετρώματος και στην ικανότητα πρόσληψης ορισμένων στοιχείων καλύτερα από άλλα. Παρόλα αυτά λόγω του ότι τα δύο πετρώματα είναι αλληλένδετα εντός του υπεδάφους της περιοχής και συντελούν στην δημιουργία ενός κοινού

σχηματισμού, καθιστούν τον συνολικό σχηματισμό αυτό, λόγω της περιεκτικότητας τους στα μέταλλα αυτά, ενδιαφέρον προς διερεύνηση και ίσως προς εκμετάλλευση.

2.3.2. Μεταλλευτική Ιστορία και Δραστηριότητες

Άλλο ένα χαρακτηριστικό που παρατηρείται στην περιοχή είναι ορισμένοι σωροί μεταλλικής σκωρίας που αποδεικνύουν την δράση των Κυπρίων επί αρχαιοτάτων χρόνων στην περιοχή καθώς και τεράστιοι σωροί ανεκμετάλλευτου υλικού (Εικόνα 2.9), που θεωρείται στείρο, και μαρτυρούν ότι η σύγχρονη εκμετάλλευση διακόπηκε απότομα πριν πολλά χρόνια.

Δεν υπάρχει κάποιο ιστορικό στοιχείο για την έναρξη ή τον χρόνο εκμετάλλευσης της περιοχής παρά μόνο οι σκωρίες και ορισμένες γαλαρίες. Τα πρώτα δεδομένα και ιστορικά στοιχεία για την εκμετάλλευση της περιοχής του Μαθιάτη χρονολογούνται στην δεκαετία του 30 όταν αμερικάνικη εταιρεία Cyprus Mines Corporation (CMC), αρχίζει πρώτα με μία σειρά ερευνητικών προγραμμάτων στην περιοχή του σημερινού μεταλλείου και στη συνέχεια προχωρά στην επιφανειακή εκμετάλλευση με μία μικρή εκσκαφή, στο σιδηρούν κάλυμμα για απόληψη χρυσού και αργύρου, πάνω από τη σημερινή θέση του μεταλλείου (Εικόνα 2.11).

Η συνολική παραγωγή χρυσού που προήλθε από την ενέργεια αυτή στο μεταλλείο του Μαθιάτη υπολογίζεται στις 11.280 ουγκιές (350 κιλά). Οι εργασίες της CMC δεν επεκτάθηκαν περαιτέρω. Γεωλογικές μελέτες και γεωφυσικές διασκοπήσεις στην περιοχή είχαν εκπονηθεί πριν το ξέσπασμα του δεύτερου Παγκοσμίου Πολέμου και μετά μέχρι την δεκαετία του 70' οι οποίες είχαν αποτυπώσει πλήρως ένα θειούχο κοιτάσμα 3.000.000 περίπου τόνων σιδηροπυρίτη που περιείχε ένα ποσοστό 33% σε θείο και 0.24% σε χαλκό (Constantinou, 1972).

Το μέγεθος και η ποιότητα του μεταλλεύματος, όπως επίσης και η απόσταση του από μια μονάδα επεξεργασίας και εμπλουτισμού, κατέστησε την εμφάνιση οικονομικά ασύμφορη και η CMC παραχώρησε την άδεια στην Ελληνική Μεταλλευτική Εταιρεία (EME). Η ανάληψη της μεταλλευτικής άδειας πραγματοποιήθηκε το 1965 από την EME. Οι εργασίες της εκμεταλλεύτριας εταιρείας συνέχισαν τη μικρή εκσκαφή της CMC και τελείωσαν με τη δημιουργία ενός κλειστού υπαίθριου μεταλλείου διαμέτρου περίπου 350 μέτρων και βάθους 85 μέτρων με τη μέθοδο ορθών διαδοχικών βαθμίδων. Συνολικά έγινε εξόρυξη περίπου 2.000.000 τόνων μεταλλεύματος σιδηροπυρίτη, ενώ παρήχθησαν και 7 εκατομμύρια περίπου τόνοι στείρα σύμφωνα με αρχειοθετημένες αναφορές της εταιρείας (Kassianidou, 2018).

Η εκμετάλλευση έληξε τον Απρίλιο του 1990 όπου η ΕΜΕ δεν προχώρησε σε ανανέωση της άδειας και σε συνεννόηση με την Υπηρεσία Μεταλλείων της Κύπρου επιτέλεσε μία πρόχειρη σειρά ενεργειών προς αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος όπως κατεδάφιση υφιστάμενων κτιρίων και μερική δεντροφύτευση καθώς και σε περίφραξη του χώρου για την ασφάλεια των κατοίκων.

Όσον αφορά τις εμφανίσεις του σχηματισμού Πέρα Πεδίου αξιοθαύμαστο καθώς και αξιοπερίεργο είναι ότι παρόλες τις ενδείξεις (Πίνακας 2.1), ήδη από την δεκαετία του 70', τις υψηλές περιεκτικότητες σε πολύτιμα μέταλλα καθώς και της ευκολίας εκμετάλλευσης που χαρακτηρίζει τους σχηματισμούς αυτούς ακόμη δεν έχει γίνει καμία προσπάθεια εκμετάλλευσης τους, απόληψης των πολύτιμων μετάλλων και τελικώς αποκατάστασης του χώρου του μεταλλείου, παρά μόνο πρόσφατα, που έχει δοθεί μια μικρή άδεια εκμετάλλευσης της Ούμπρας για την χρήση της στην τσιμεντοβιομηχανία.

2.3.3. Παρούσα ερευνητική άδεια και σύγχρονες παρατηρήσεις

Όπως αναφέρθηκε αρκετές φορές σε προηγούμενες ενότητες της εργασίας αυτής, μείζονος σημασίας ζήτημα, για την Κυπριακή Δημοκρατία, στον τομέα των μεταλλευτικών διεργασιών είναι η αποκατάσταση των εγκαταλελειμμένων μεταλλείων και η διαφύλαξη του φυσικού περιβάλλοντος σε περιοχές όπου προϋπήρχε μεταλλευτική δραστηριότητα. Πρόσφατα λοιπόν μέσα από πρωτοβουλία του τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης Κύπρου και με συγκατάθεση της Περιβαλλοντικής Αρχής έγινε πρόταση Σχεδίου Δράσης Εγκαταλελειμμένων μεταλλείων στην οποία συγκαταλέγεται και το Βόρειο Μεταλλείο του Μαθιάτη ανάμεσα σε άλλα 25 εγκαταλελειμμένα μεταλλεία. Το σχέδιο αποσκοπεί στην προσπάθεια επαναλειτουργίας ορισμένων αδρανών εγκαταλελειμμένων μεταλλείων, στην αξιοποίηση εξορυκτικών αποβλήτων προηγούμενων εκμεταλλεύσεων και τελικώς στην ολοκληρωτική αποκατάσταση των χώρων εξόρυξης.

Λαμβάνοντας υπόψιν λοιπόν το σχέδιο δράσης αυτό και έχοντας τους δικούς της σκοπούς, η τωρινή κάτοχος της ερευνητικής άδειας στον Μαθιάτη επικεντρώθηκε στην έρευνα και την ανάπτυξη μεθόδων για την ανάκτηση πολυτίμων μετάλλων μέσα από το πλούσιο σε μέταλλευμα στείρο υλικό που αφέθηκε στην περιοχή αυτή ανεκμετάλλευτο, λόγω της μειωμένης τεχνογνωσίας. Τα οφέλη που αποδίδονται μέσα από μια τέτοια εκμετάλλευση είναι αμφοτερόπλευρα, καθώς κερδίζει η ίδια λόγω του χαμηλού κόστους επιφανειακής εκμετάλλευσης των χαλαρών υλικών και ταυτόχρονα προσδίδει οφέλη στην κοινότητα

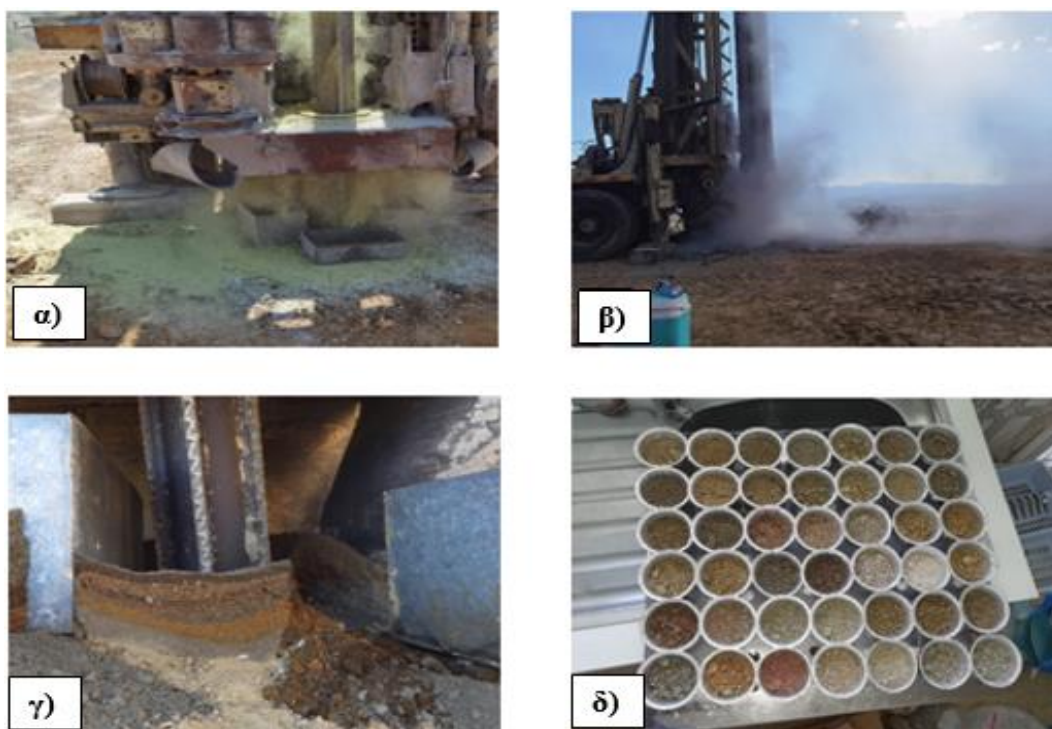
δημιουργώντας θέσεις εργασίας και ένα πρόσφορο περιβάλλον, έτοιμο για αποκατάσταση και διαφύλαξη της χλωρίδας και πανίδας του τόπου.

Όσον αφορά λοιπόν την σημερινή κάτοχο της άδειας του Βόρειου Μεταλλείου του Μαθιάτη πρόκειται για την New Cyprus Copper P.A. Ltd μια εταιρεία έρευνας και εξόρυξης ορυκτού πλούτου. Έχει αναπτύξει ένα ισχυρό χαρτοφυλάκιο στην περιοχή της Κύπρου αφού διαθέτει στη κατοχή της 16 ερευνητικές άδειες που επικεντρώνονται σε μεταλλευτικά ιστορικές τοποθεσίες του νησιού καθώς και σε εξεταζόμενες περιοχές των οποίων η γεωλογία υποδεικνύει πιθανές θέσεις μεταλλοφορίας. Οι τέσσερις μεγαλύτερες και σημαντικότερες άδειες που έχει στην κατοχή της είναι αυτές των Τρούλλων, Καλαβασού, Μάλας και Βόρειου Μαθιάτη.

Η εταιρεία κατά την ενασχόληση της στην Κύπρο αναζητά περιοχές που παρουσιάζουν οικονομικό ενδιαφέρον, μέσω έρευνας και γεωλογικής επισκόπησης στα εγκαταλελειμμένα μεταλλεία του νησιού. Εξερευνώντας τις πιθανές θέσεις μεταλλοφορίας σε επιφανειακά μεταλλεία καθώς και την περιεκτικότητα σε χαλκό, χρυσό και σπάνιες γαίες στα ξεχασμένα και πλούσια στείρα των μεταλλείων, ταυτόχρονα αναζητά και νέες θέσεις μεταλλοφορίας σε όλο το νησί μέσα από επιφανειακές ενδείξεις και ερευνητικές γεωτρήσεις. Επικεντρωμένη λοιπόν στο στείρο υλικό που περιβάλλει το μεταλλείο του Μαθιάτη και με γνώμονα της τα παραπάνω οφέλη που μπορεί να αποκομίσει από την εκμετάλλευση των στείρων, το προσωπικό της New Cyprus Copper P.A. Ltd εκτέλεσε μια πολύπλευρη και λεπτομερή γεωλογική έρευνα που είχε επίκεντρο 39 ερευνητικές γεωτρήσεις στους σωρούς των στείρων (Εικόνα 2.14) και σε πιθανούς τόπους ενδιαφέροντος στην περιοχή.

Στο γενικότερο της φάσμα η γεωλογική έρευνα απαρτιζόταν από επιφανειακές γεωλογικές περιγραφές και γεωλογικές χαρτογραφήσεις, αεροφωτογράφιση με drone, επιφανειακές χημικές αναλύσεις με την μέθοδο της φασματομετρίας (XRF) καθώς και χημικές αναλύσεις των ανά 2 μέτρων δειγμάτων των γεωτρήσεων (Εικόνα 2.14δ) και εξαγωγής χαρτών γεωχημικών ανωμαλιών από αυτές.

Οι 39 ερευνητικές γεωτρήσεις έγιναν με σκοπό την απόδοση των γεωμετρικών και συστατικών χαρακτηριστικών των σωρών των στείρων. Παρά τα εμφανή γεωμετρικά όρια των σωρών, μέσα από πρωτοβουλία του ανώτερου γεωλόγου της εταιρείας, οι γεωτρήσεις έγιναν σε μεγαλύτερα βάθη για την ενδεχόμενη εύρεση δευτερογενούς μεταλλοφορίας σχετιζόμενης με την κύρια μεταλλοφορία μεικτών θειούχων.



Εικόνα 2.13: α,β) Ερευνητικό Γεωτρητικό πρόγραμμα εντός των στείρων των μεικτών θειούχων ορυκτών γ) Ζώνωση εξορυχθέντος υλικού που αναδεικνύει την αλληλουχία του σχηματισμού Πέρα Πεδίου δ) Διαχωρισμός δειγμάτων ανά 2 μέτρα από γεωτρήσεις και προετοιμασία τους για χημικές αναλύσεις.

Οι ανακαλύψεις και οι παρατηρήσεις που απόφερε το γεωτρητικό πρόγραμμα ήταν πέραν του αναμενόμενου αποτελέσματος καθώς αντί της εύρεσης δευτερογενούς ζώνης μεταλλοφορίας, σε 17 εκ των 39 γεωτρήσεων βρέθηκε ο σχηματισμός Πέρα Πεδίου με πάχη μεταξύ 3 με 45 μέτρων. Μέσα από τα αποτελέσματα αυτά έγιναν αρκετές συγκρίσεις που αφορούν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών, που εκτιμήθηκαν έως τώρα μέσω επιφανειακής γεωλογικής επισκόπησης, καθώς και τον χημισμό των σχηματισμών που εξετάστηκε με επιφανειακά δείγματα σε παλαιότερες έρευνες.

Παρατηρώντας τους πίνακες που δίνονται στο [Παράρτημα Α](#) που υποδεικνύονται τα πάχη των σχηματισμών των στείρων και του σχηματισμού Πέρα Πεδίου καθώς και οι υψηλότερες και σημαντικότερες τιμές σε πολύτιμα μέταλλα, διαπιστώνεται ότι πρόκειται για μια αρκετά ενδιαφέρουσα ανακάλυψη. Το βάθος και οι θέσεις στις οποίες βρίσκεται ο σχηματισμός και το βάθος στο οποίο εκτείνεται επιβεβαιώνουν σε πρώτο στάδιο τις επιφανειακές ενδείξεις του σχηματισμού, και σε συνδυασμό με αυτές συντελούν στην υποψία για την πιθανή εύρεση ενός από τα μεγαλύτερα κοιτάσματα του σχηματισμού που έχουν βρεθεί στο νησί. Μια ακόμη ενδιαφέρουσα παρατήρηση που γίνεται, είναι ότι στο σύνολο των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων εμφανίζονται αρκετά μεγάλες τιμές σε πολύτιμα μέταλλα σε όλο το μήκος των

γεωτρήσεων, τόσο στα δείγματα που αφορούν τα ξεχασμένα στείρα της προϋπάρχουσας εκμετάλλευσης, όσο και στον σχηματισμό Πέρα Πεδίου.

Συγκρίνοντας τις τιμές που δίνονται στον Πίνακα 2.1 με τις τιμές του Πίνακα Α.2 στο Παράρτημα Α πρώτιστα γίνεται η εξακρίβωση ότι οι επιφανειακές εμφανίσεις συνδέονται άμεσα με τις υπεδάφειες ευρέσεις καθώς παρουσιάζουν περίπου τις ίδιες διακυμάνσεις σε περιεκτικότητα χαλκού, ψευδαργύρου, νικελίου και κοβαλτίου. Μέσα από την σύγκριση των δύο ερευνών η μία γίνεται διαπιστευτήριο της άλλης και οι δύο μαζί επιβεβαιώνουν την ύπαρξη ενός αρκετά ενδιαφέρον σχηματισμού εμπλουτισμένου με αρκετά υψηλές περιεκτικότητες στα βασικά πολύτιμα μέταλλα. Οι αναλύσεις που δίνονται στον Πίνακα Α.2 στο Παράρτημα Α προέχονται από χημική ανάλυση που περιέγραφε όλα σχεδόν τα χημικά στοιχεία και από αυτά επιλέχθηκαν τα σημαντικότερα και με το μεγαλύτερο οικονομικό ενδιαφέρον στην σημερινή παγκόσμια αγορά. Περισσότερο το ενδιαφέρον κίνησαν οι περιεκτικότητες του βαρίου, του στροντίου και του σκανδίου οι οποίες έχουν τιμές διπλάσιες και μεγαλύτερες από το κατώφλι περιεκτικότητας στο οποίο προτείνεται εκμετάλλευση, καθώς και οι τιμές τους στην παγκόσμια αγορά είναι αρκετά ψηλές αυτή την περίοδο.

2.3.4. Παροχή Δεδομένων

Αντιλαμβανόμενη την σημαντικότητα των παραπάνω ανιχνεύσεων αλλά παράλληλα επιζητώντας την επιστημονική κατάρτιση και επαγγελματική ανέλιξη νέων επιστημόνων σε συνεργασία με το Πολυτεχνείο Κρήτης, η New Cyprus Copper P.A. Ltd κάνοντας ταυτόχρονα την δική της έρευνα παραχώρησε ένα αρκετά μεγάλο αρχείο δεδομένων της, από την έρευνα στο μεταλλείο του Μαθιάτη, για την επεξεργασία τους και την εξαγωγή επιστημονικών πορισμάτων μέσα από αυτό.

Τα δεδομένα αυτά αφορούσαν:

Υπολογιστικά και Δεδομένα Προγραμμάτων

- I. Αεροφωτογραφίες Περιοχής
- II. Τοπογραφικούς Χάρτες σε μορφή αρχείου .pdf
- III. Εναέρια σάρωση από μη επανδρωμένο μέσο (Drone) και ανάλυση της περιοχής σε σημεία, σε μορφή αρχείου .las

- IV. Τελική ανάλυση περιοχής από τοπογραφική εταιρεία σε χάρτες με ισοϋψείς ανά 1m σε μορφή αρχείου. Dwg

Αναλύσεις από Γεωτρήσεις

- I. Φωτογραφίες από το πεδίο
- II. Συντεταγμένες Γεωτρήσεων και Γεωλογική περιγραφή 39 γεωτρήσεων ανά 2m
- III. Αναλύσεις με XRF και εύρεση της περιεχόμενης υγρασίας των δειγμάτων από τις γεωτρήσεις
- IV. Επιφανειακές αναλύσεις με XRF
- V. Χημικές αναλύσεις Γεωτρήσεων και Χάρτες Γεωχημικών ανωμαλιών

Κεφάλαιο 3^ο :
Επεξεργασία δεδομένων και Τρισδιάστατη
Μοντελοποίηση

3. Επεξεργασία δεδομένων και Τρισδιάστατη Μοντελοποίηση

Εστιάζοντας στα αποτελέσματα που εξήχθησαν μέσα από το γεωτρητικό πρόγραμμα και λαμβάνοντας υπόψη τις γενικότερες παρατηρήσεις που έγιναν στην υπό μελέτη περιοχή οι βλέψεις για επέκταση της ήδη υπάρχουσας εκμετάλλευσης μειώνονται βαθμιαία και το ενδιαφέρον στρέφεται στην μελέτη της εμφάνισης της ούμπρας και της επακόλουθης εκμετάλλευσης της.

Μέσα από την παρούσα εργασία, γίνεται η μελέτη του σχηματισμού του Πέρα Πεδίου. Η ανάγκη για μοντελοποίηση του σχηματισμού αυξάνεται καθώς η επικείμενη αξία εκμετάλλευσής του γίνεται μεγαλύτερη λόγω του πρόσφορου τοπογραφικού ανάγλυφου και των ευνοϊκών συνθηκών που επικρατούν, καθώς μπορεί να γίνει συνεκμετάλλευσή του παράλληλα με την απόληψη των σωρών του στείρου υλικού που υπέρκεινται του σχηματισμού.

Με την σημερινή τεχνογνωσία και την δυνατότητα τρισδιάστατης οριοθέτησης ενός γεωλογικού σχηματισμού γίνεται απλούστερη η εύρεση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του και η περαιτέρω ανάλυση του. Ολοκληρώνοντας την μοντελοποίηση και εξάγοντας μια πρόταση σχεδίου εκμετάλλευσης, είναι πιο εύκολο για μια εταιρεία να αναγνωρίσει εάν πρόκειται και πόσο άμεσα μπορεί να προχωρήσει σε εκμετάλλευση του κοιτάσματος.

3.1. Πρόγραμμα Σχεδιασμού

Για την υλοποίηση των όσων προαναφέρθηκαν χρειάστηκε να χρησιμοποιηθεί ένα σχεδιαστικό πρόγραμμα το οποίο θα ήταν συμβατό με τα διαθέσιμα δεδομένα, εύκολο στην χρήση του και με δυνατότητες οι οποίες θα αποδίδαν τα επιθυμητά αποτελέσματα.

Για την επεξεργασία των δεδομένων επιλέχθηκε το AutoCAD Civil 3D της εταιρείας Autodesk το οποίο είναι ένα λογισμικό σχεδιασμού και ανάλυσης δεδομένων που προωθεί την επίλυση προβλημάτων σχεδιασμού υπαίθριων εκμεταλλεύσεων.

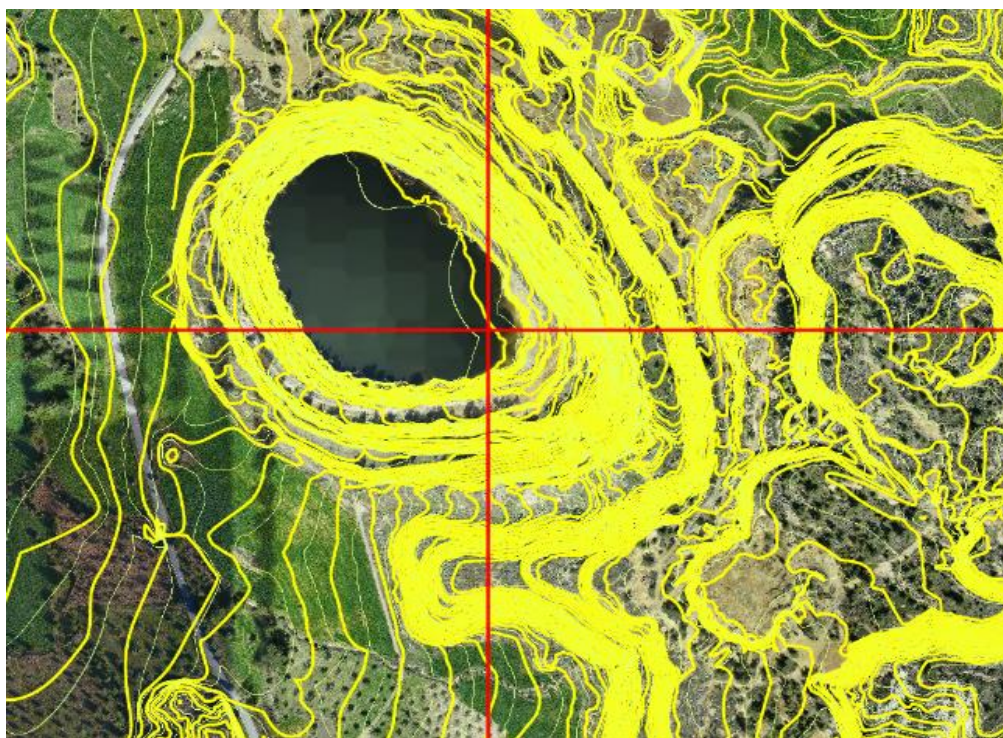
Το λογισμικό περιέχει πολλά προσαρτημένα εργαλεία κατάλληλα για την επίτευξη σχεδιασμού αρκετών διαφορετικού χαρακτήρα έργων και επιτρέπει σε επιστήμονες διαφόρων τομέων να περιεργαστούν τα σχέδια τους, φτάνοντας με σχετική ευκολία στο προσδοκώμενο αποτέλεσμα.

3.2.Επεξεργασία Δεδομένων για Μοντελοποίηση της Περιοχής Μελέτης

Για την τρισδιάστατη μοντελοποίηση της περιοχής στην οποία εκτείνεται το Βόρειο Μεταλλείο του Μαθιάτη, των όγκων του στείρου υλικού και της εμφάνισης του σχηματισμού Πέρα Πεδίου έγινε χρήση αεροφωτογραφιών, νέφους σημείων μέσω εναέριας σάρωσης και των τοπογραφικών χαρτών του μεταλλείου. Για την καταχώρηση των γεωτρήσεων στο λογισμικό χρησιμοποιήθηκαν τα αρχεία που περιείχαν τις συντεταγμένες και την γεωλογική περιγραφή των 39 γεωτρήσεων και μέσα από ορισμένες δοκιμές προέκυψαν τα επιθυμητά αποτελέσματα με την διαδικασία που περιγράφεται στις παρακάτω υποενότητες.

3.2.1. Κατασκευή του τοπογραφικού ανάγλυφου της περιοχής και τρισδιάστατη απεικόνιση του.

Αρχικά εισάγοντας άμεσα στο λογισμικό το αρχείο με την τελική ανάλυση της περιοχής που δημιουργήθηκε για την New Cyprus Copper P.A. Ltd από τοπογραφική εταιρεία σε χάρτες με ισοΰψεις ανά 1m σε μορφή AutoCAD. Dwg (Εικόνα 3.1) για ενδεικτικούς σκοπούς, παρατηρήθηκε ότι η μνήμη που καταλάμβανε ήταν αρκετά μεγάλη καθιστώντας την επεξεργασία του αρκετά πολύπλοκη και σε ορισμένα σημεία απαγορευτική για δημιουργία επιφάνειας (πολύ πυκνές ισοΰψεις).

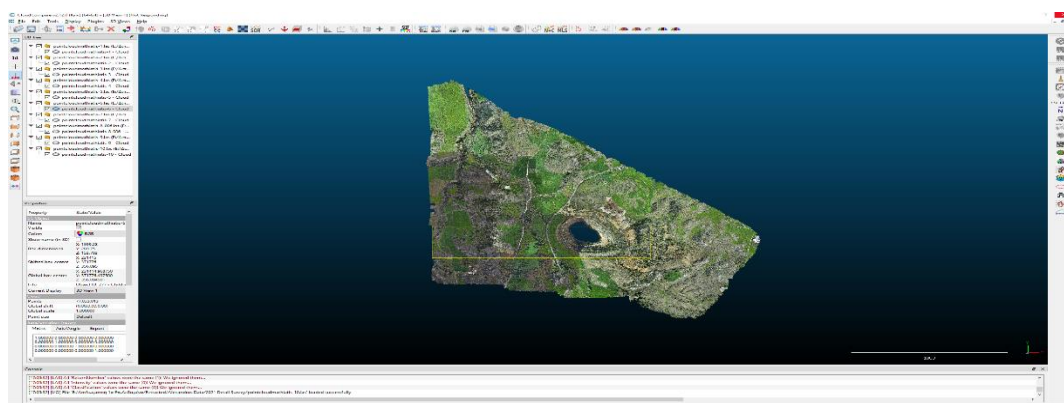


Εικόνα 3.1:Χάρτης σε μορφή αρχείου AutoCAD.dwg με ισοδιάσταση 1m.

Μέσα από έρευνα, κατανοήθηκε ο τρόπος δημιουργίας χαρτών τέτοιας μορφής από σύγχρονα μη επανδρωμένα εναέρια μέσα (Drones). Οι χάρτες αυτοί δημιουργούνται από εναέρια σάρωση της περιοχής και ανάλυση (απεικόνιση) της σε εκατομμύρια σημεία. Έχοντας ως δεδομένα και τα σημεία αυτά (.las) προτάθηκαν 2 τρόποι επίλυσης του προβλήματος.

- Είτε να βρεθεί ένας τρόπος εισαγωγής των σημείων και μείωσης του αριθμού τους και κατ' επέκταση του όγκου δεδομένων και της δημιουργίας κατευθείαν της τοπογραφικής επιφάνειας σε συμβατό αρχείο που να εισάγεται στο Civil 3D.
- Είτε να γίνει επανεισαγωγή των χαρτών της περιοχής στο Civil 3D και ο επανασχεδιασμός των ισοϋψών με ισοδιάσταση τα 2m και μέσα από αυτές να γίνει η δημιουργία μίας επιφάνειας.

Η μεθοδολογία που επιλέχθηκε αρχικά ήταν η πρώτη, καθώς μέσα από αυτήν θα υπήρχε καλύτερος έλεγχος στην διαμόρφωση του χώρου και θα χρειαζόταν λιγότερος κόπος για την επεξεργασία των αρχικών δεδομένων. Μέσα από πολλή αναζήτηση βρέθηκε ότι υπάρχουν κατάλληλα προγράμματα όπως τα Rhino 3D, SolidWorks, Catia v4 και CloudCompare που μπορούν να παραλάβουν αρχεία μορφής .las και να εξάγουν αρχεία συμβατά για το Civil 3D. Καταληκτικά χρησιμοποιήθηκε το παλιό αλλά εύχρηστο λογισμικό Cloud Compare, το οποίο είχε αρκετές δυνατότητες και ήταν πολύ αποδοτικό. Αρχικά εισήχθησαν τα αρχεία μορφής .las και έγινε προσπάθεια να δημιουργηθεί ένα ενιαίο point cloud. Στην συνέχεια έγινε προσπάθεια να μειωθούν τα σημεία, να αφαιρεθούν τα δέντρα της περιοχής, να προσδοθούν στο μοντέλο ισοϋψείς και να δημιουργηθεί μία ανάγλυφη επιφάνεια (Εικόνα 3.2).

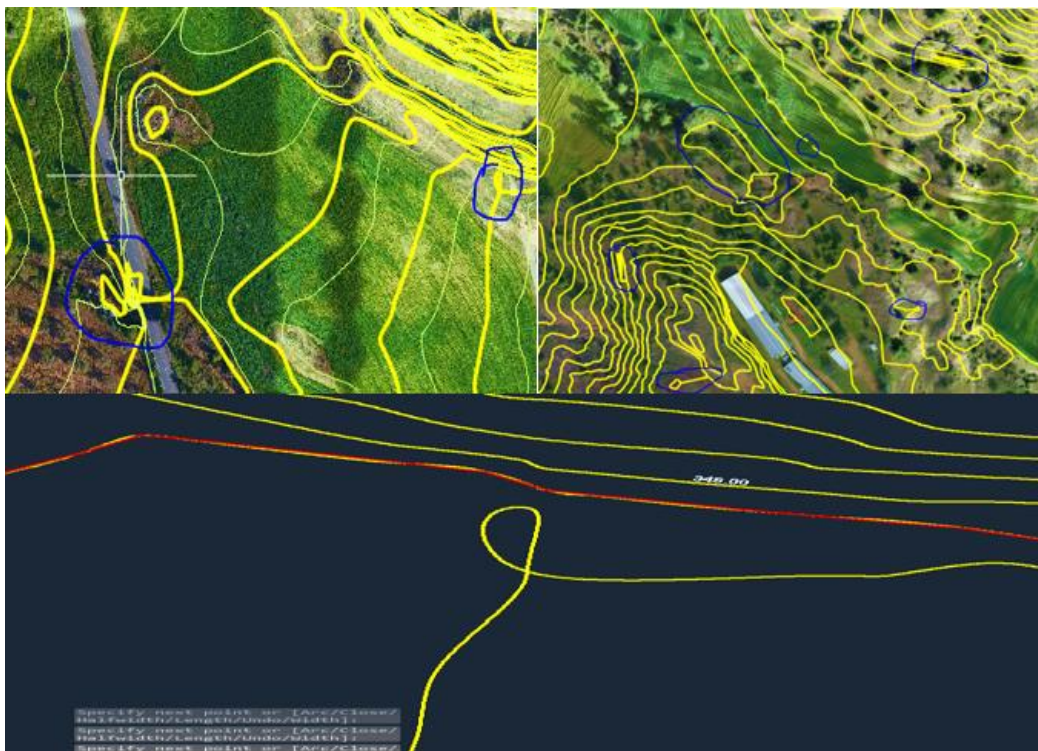


Εικόνα 3.2: Εισαγωγή και επεξεργασία δεδομένων στο λογισμικό Cloud Compare.

Δυστυχώς, όμως κατά την εργασία στο λογισμικό υπήρξαν αρκετά τεχνικά προβλήματα με τον εξοπλισμό που χρησιμοποιούταν και αποδείχτηκε ότι η μέθοδος αυτή χρειαζόταν ένα πολύ καλύτερο εξοπλισμό, καθώς άρχισε να γίνεται πολύ χρονοβόρα. Με τον σωστό όμως

εξοπλισμό προτείνεται στα πλαίσια της αναφοράς αυτής ως κατάλληλο εργαλείο για την ανάλυση αεροφωτογραφιών και γενικά επεξεργασία δεδομένων σε παρόμοιας φιλοσοφίας έργα. Για περαιτέρω ερευνητικούς σκοπούς αναφέρεται πως για την τελική επίτευξη του επιζητούμενου, η δημιουργημένη επιφάνεια χρειάζεται να εξαχθεί σε μορφή .mesh και με την εισαγωγή της στο λογισμικό AutoCAD Recap να μετατραπεί σε συμβατή μορφή για την χρήση της στο Civil 3D.

Έτσι για την επίλυση του αρχικού προβλήματος τελικώς προτιμήθηκε η δεύτερη μεθοδολογία, η οποία παρά την δυσκολία επίτευξης της λόγω μεγάλου φόρτου εργασίας που απαιτείται είναι πιο εφικτή και παρέχει πλεονεκτήματα ελέγχου πιθανών λαθών και καθορισμού του όγκου δεδομένων (Εικόνα 3.3) που καταλαμβάνει το δημιουργούμενο αρχείο.



Εικόνα 3.3: Σφάλματα και αστοχίες που παρατηρήθηκαν στο αρχικό μοντέλο.

Εισάγοντας τους τοπογραφικούς χάρτες ως εικόνες στο λογισμικό και συνενώνοντάς τους δημιουργήθηκε η δυσδιάστατη απεικόνιση της περιοχής χαρακτηριζόμενη από κύριες ισοϋψείς των 2m και δευτερεύουσες του 1m.

Για την δημιουργία μιας πιο κοντινής στην πραγματικότητα εικόνας της περιοχής, την ορθότερη εισαγωγή δεδομένων μέσω των πραγματικών συντεταγμένων τους και την αποτελεσματικότερη επεξεργασία τους έγινε η γεωαναφορά της ενιαίας εικόνας στο λογισμικό

(Εικόνα 3.4). Το εργαλείο της γεωαναφοράς μιας εικόνας δεν υπάρχει στην δωρεάν έκδοση του λογισμικού, έτσι η γεωαναφορά έγινε, βρίσκοντας στην εικόνα, τρία σταθερές θέσης σημεία με γνωστές συντεταγμένες.



Εικόνα 3.4:Συνένωση Αεροφωτογραφιών και Γεωαναφορά τους στις πραγματικές συντεταγμένες WGS84

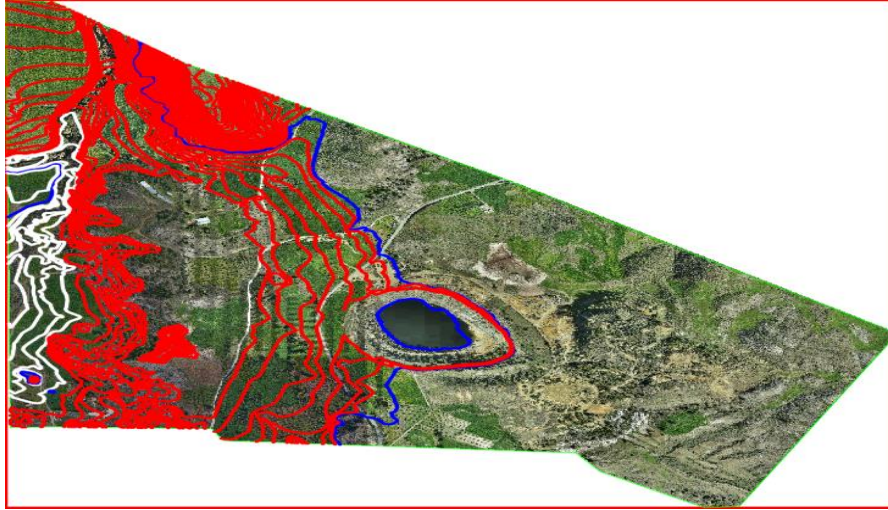
Επιλέχθηκαν 2 πύργοι μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος με τις συντεταγμένες τους να δίνονται από την Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου και μία αιωνόβια ελιά που οι συντεταγμένες του κέντρου της επιβεβαιώθηκαν μέσα από δορυφορικό έλεγχο στο Google Earth από το έτος 1985 έως το 2022 και καταγράφηκαν (Πίνακας 3.1).

Πίνακας 3.1:Συντεταγμένες σταθερών σημείων Γεωαναφοράς σχεδίου

Σημεία Γεωαναφοράς	Γεωγρ. Πλάτος	Γεωγρ. Μήκος
Πύργος Μεταφοράς Ηλ. Ρεύματος ΑΗΚ (1)	3870976,1	531610,7
Πύργος Μεταφοράς Ηλ. Ρεύματος ΑΗΚ (2)	3870687,3	531809,1
Κέντρο Αιωνόβιας Ελιάς	3870815,3	531302,8

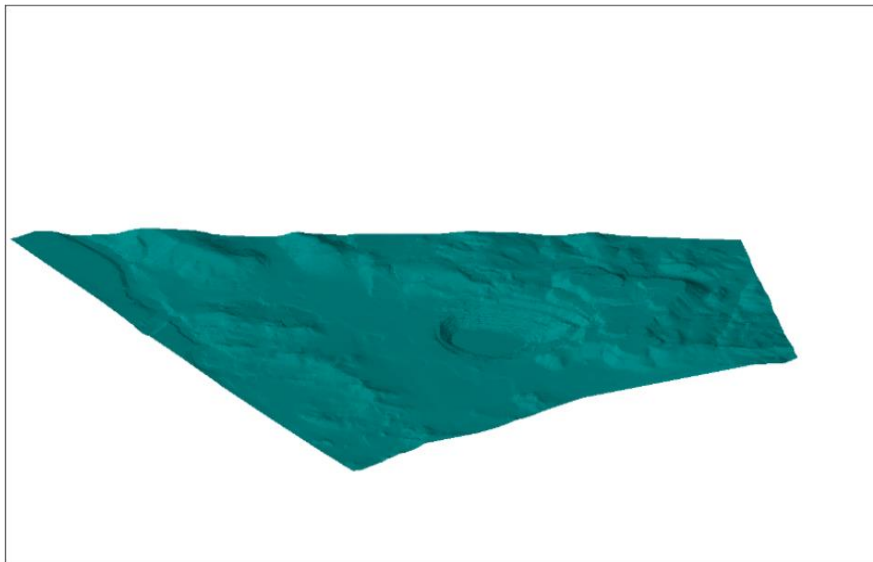
Παίρνοντας ένα από τα τρία σημεία, του ορίστηκαν οι πραγματικές του συντεταγμένες σε WGS84 στο λογισμικό και επιβεβαιώνοντας ότι οι συντεταγμένες των άλλων δύο σημείων συνάδουν με τις πραγματικές, έγινε η γεωαναφορά του μοντέλου με απόκλιση $\pm 0.1\text{m}$.

Στην συνέχεια χρησιμοποιώντας τις υφιστάμενες ισοϋψείς του δυσδιάστατου μοντέλου και την αναγραφή του υψομέτρου τους εκκίνησε η επεξεργασία των νέων ισοϋψών ελέγχοντας για πιθανά λάθη στις υφιστάμενες, με τις δευτερεύουσες να σχεδιάζονται ανά δύο μέτρα και τις κύριες ισοϋψείς να ορίζονται ανά 10m (Εικόνα 3.5).



Εικόνα 3.5: Χειρωνακτικός προσδιορισμός ισοϋψών με ισοδιάσταση 2 μέτρων.

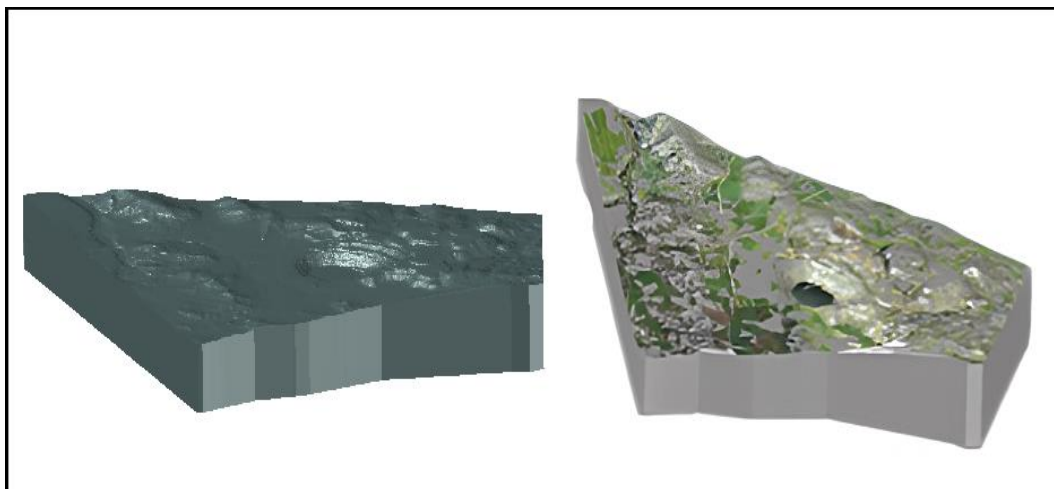
Αφού ορίστηκε το αντίστοιχο ύψος για την κάθε ισοϋψή δημιουργήθηκε η επιφάνεια της περιοχής αφού ορίστηκε στο πρόγραμμα ότι θα κατασκευαστεί μια νέα επιφάνεια χρησιμοποιώντας τις ισοϋψείς που κατασκευάστηκαν (Εικόνα 3.6).



Εικόνα 3.6: Δημιουργία επιφάνειας από ισοϋψείς.

Μετά την δημιουργία της επιφάνειας ακολούθησε η σύντομη διαδικασία δημιουργίας τρισδιάστατου στερεού από αυτήν. Επιλέγοντας την επιφάνεια, καταγράφηκαν τα χαρακτηριστικά δημιουργίας ενός στερεού που χαρακτηρίζει το τοπογραφικό ανάγλυφο της

περιοχής που θα είχε βάση το απόλυτο υψόμετρο 0m από το επίπεδο της θάλασσας και κορυφή την δημιουργούμενη επιφάνεια. (Εικόνα 3.7).



Εικόνα 3.7: Δημιουργία στερεού από επιφάνεια και εισαγωγή αεροφωτογραφίας στην επιφάνεια του.

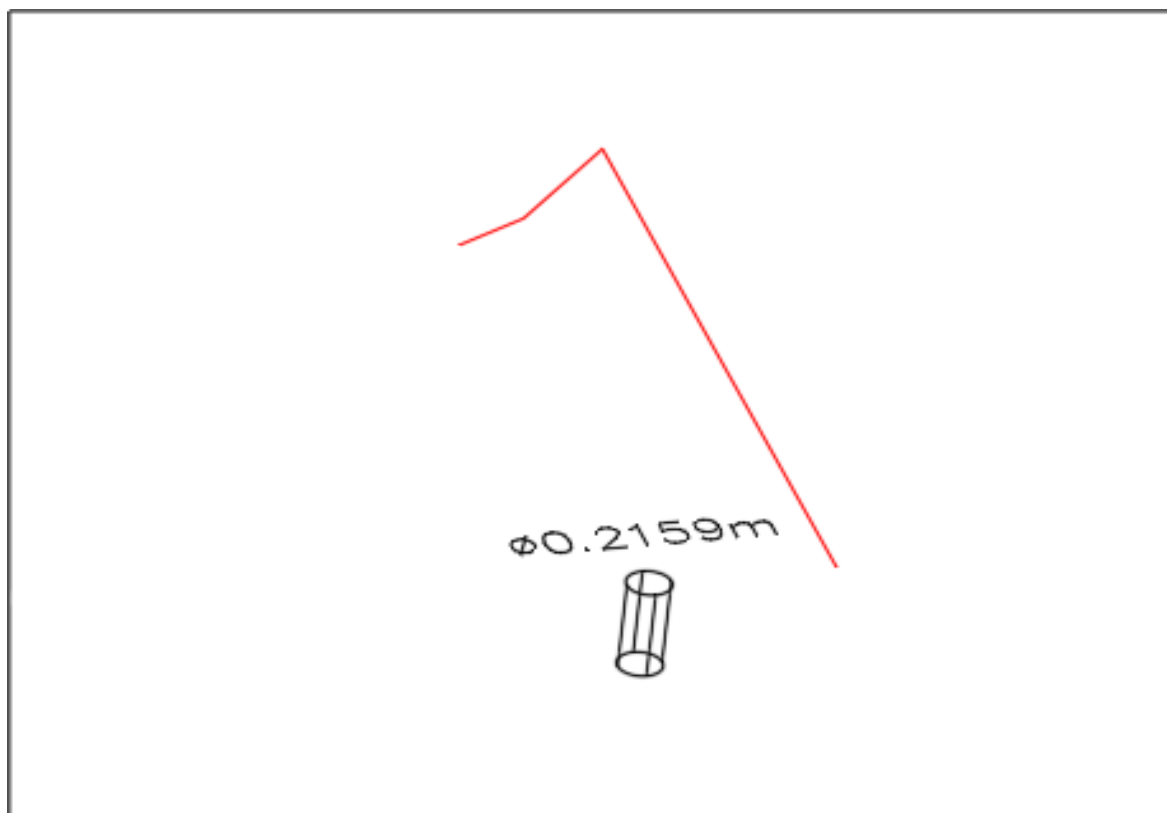
Τέλος για αποκλειστικά διακοσμητικούς λόγους χρησιμοποιώντας την αεροφωτογραφία της περιοχής και προσαρμόζοντας την πάνω στην επιφάνεια δόθηκε ένα πιο ρεαλιστικό αίσθημα της παρούσας μορφής του τοπίου (Εικόνα 3.7).

3.2.2. Εισαγωγή Γεωτρήσεων

Επικοινωνώντας με το αρμόδιο τμήμα της εταιρείας που ήταν υπεύθυνο για το γεωτρητικό πρόγραμμα καθώς και τον γεωτρυπανιστή του έργου επαληθεύτηκε η ακρίβεια των απεσταλθέντων στοιχείων και έτσι χρησιμοποιήθηκαν οι συντεταγμένες των γεωτρήσεων και η γεωλογική περιγραφή τους ανά 2m.

Οι συντεταγμένες των γεωτρήσεων λήφθηκαν μέσω GPS και συγκεκριμένα μέσω του μοντέλου Garmin GPSMAP 64. Έγιναν 2 μετρήσεις για το γεωγραφικό πλάτος, γεωγραφικό μήκος και υψόμετρο της κάθε γεώτρησης και λήφθηκε ο μέσος όρος τους ελαχιστοποιώντας την απόκλιση από την πραγματική τιμή στο $\pm 1m$, τιμή που σύμφωνα με τις προδιαγραφές του χρησιμοποιούμενου μοντέλου είναι επιτρεπτή και επίσης δεν επηρεάζει σε απαγορευτικό βαθμό τους παρακάτω σχεδιασμούς και υπολογισμούς. Ακόμα, σημειώθηκε πως η γεωτρητική κεφαλή που χρησιμοποιήθηκε ήταν διαμέτρου 8.5in που αντιστοιχεί και στην διάμετρο του κολάρου των γεωτρήσεων.

Τα κολάρα των γεωτρήσεων αναπαραστάθηκαν με κύκλους διαμέτρου 21,59cm (8.5in) (Εικόνα 3.8). Οι κύκλοι δημιουργήθηκαν με βάση το κέντρο τους, που οριζόταν κάθε φορά στις συντεταγμένες της κάθε γεώτρησης.

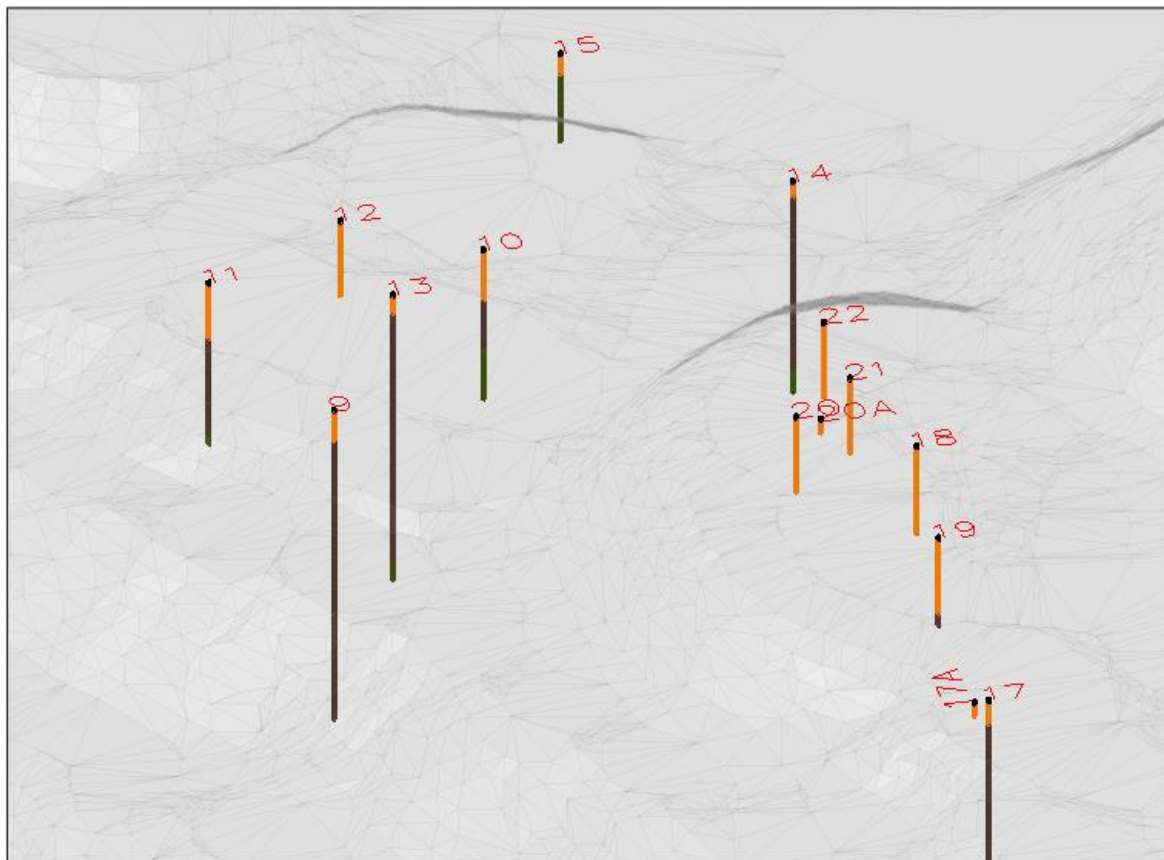


Εικόνα 3.8: Τρισδιάστατη απεικόνιση και αρίθμηση γεωτρήσεων στις ορισμένες τους συντεταγμένες εντός του στερεού της περιοχής.

Αφού αριθμήθηκαν οι γεωτρήσεις, χρησιμοποιήθηκε η γεωλογική τους περιγραφή για τον διαχωρισμό των σχηματισμών που εμφανίζονταν μέσα σε αυτές. Σε όλες τις γεωτρήσεις βρέθηκαν 3 κύριοι σχηματισμοί με ορισμένες διαφορές στο χρώμα και την ορυκτολογική τους σύσταση. Αυτοί ήταν τα στείρα της προϋπάρχουσας εκμετάλλευσης (Tailings), ο σχηματισμός Πέρα Πεδίου (Umber) και ο ανώτερος ορίζοντας προσκεφαλοειδών λαβών (UPL). Στους 3 αυτούς σχηματισμούς συγκαταλέγονταν και αρκετά άλλα πετρώματα και ορυκτά καθώς και παρεμφερή γεωλογικοί σχηματισμοί όπως υποδεικνύεται στον Πίνακα Α.1 στο Παράρτημα Α.

Αντιγράφοντας τους υφιστάμενους κύκλους που υποδείκνυαν τις θέσεις των γεωτρήσεων και μεταβάλλοντάς τους το βάθος τους σύμφωνα με τις γεωλογικές παρατηρήσεις, ορίστηκαν η αρχή και το τέλος του κάθε σχηματισμού εντός της κάθε γεώτρησης. Κάνοντας χρήση ορισμένων εντολών από τον αρχικό κύκλο έως το τελικό του κάθε σχηματισμού και δημιουργώντας ένα νέο Layer με σχετικό υποδεικτικό χρώμα για τον κάθε σχηματισμό, οι

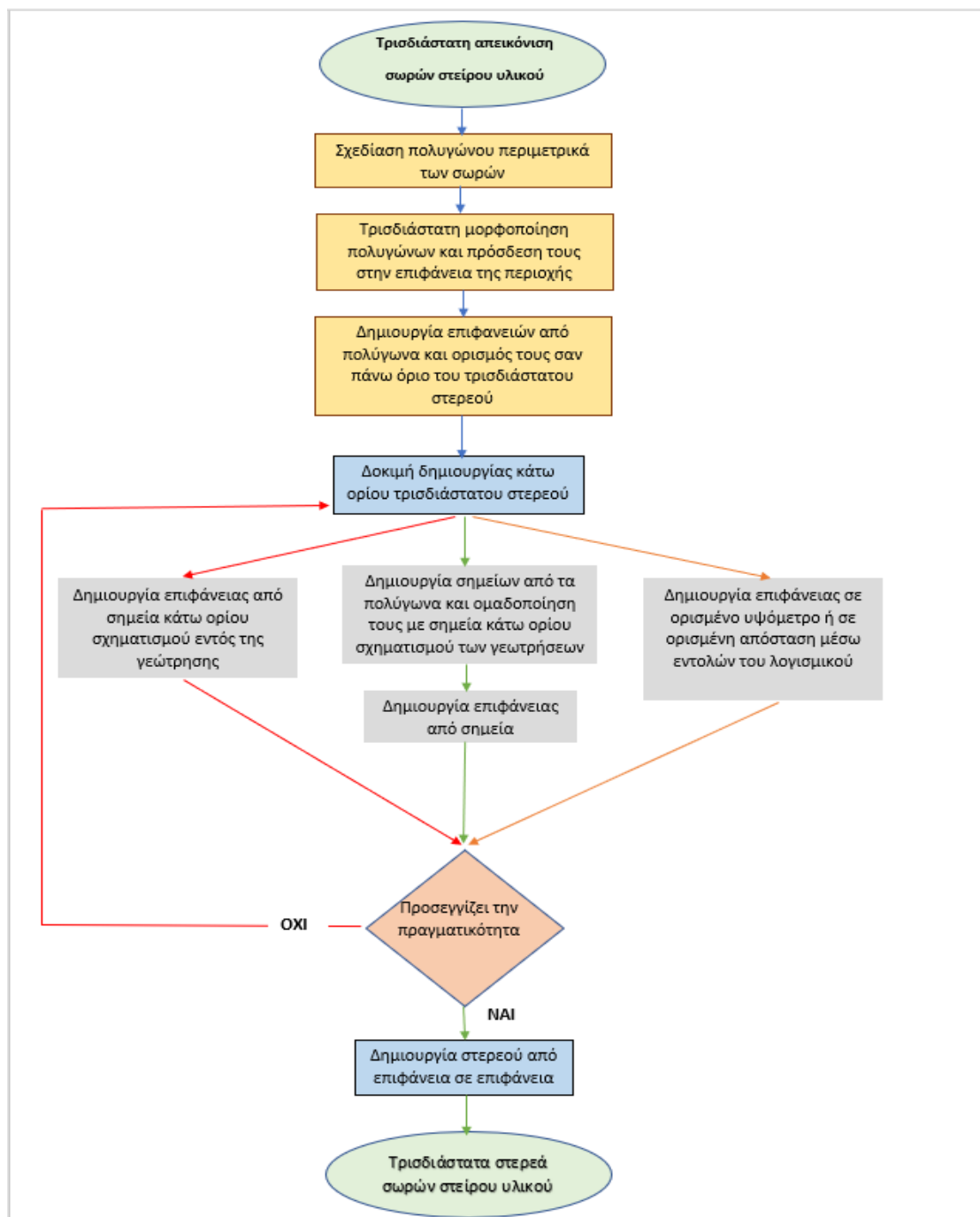
γεωτρήσεις πήραν την τελική τρισδιάστατή τους μορφή, αντικατοπτρίζοντας την πραγματικότητα (Εικόνα 3.8 & 3.9).



Εικόνα 3.9: Τρισδιάστατη απεικόνιση γεωτρήσεων εντός του στερεού της περιοχής από πλησιέστερη όψη.

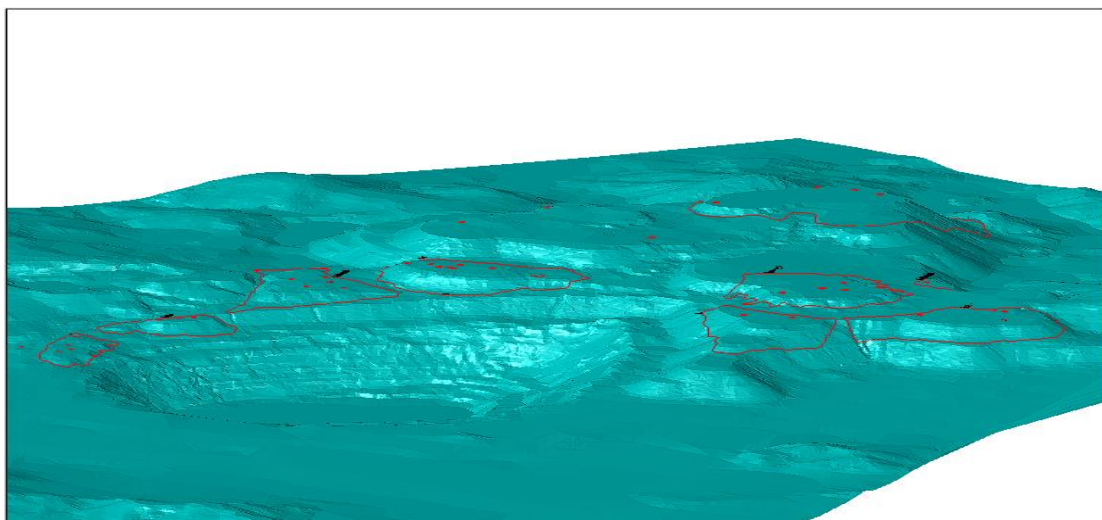
3.2.3. Οριοθέτηση σωρών στείρου υλικού και τρισδιάστατη απεικόνισή τους

Η γεωτρητική έρευνα στους σωρούς των στείρων όπως είναι λογικό έγινε στο πάνω μέρος των σωρών όπου το ανάγλυφο ήταν επίπεδο με αποτέλεσμα να μην καλύπτεται ο συνολικός όγκος των σωρών (λοφώδες ανάγλυφο) και να προκύπτουν δυσκολίες ως προς την τρισδιάστατη απεικόνιση και οριοθέτηση τους. Λόγω της πολυπλοκότητας αυτής δοκιμάστηκαν διάφοροι τρόποι και εφαρμόστηκαν αρκετές ιδέες μέχρι να παρθεί απόφαση για την εφαρμογή της λύσης που θα έδινε το καλύτερο επιθυμητό αποτέλεσμα, όπως δίνεται και στο διάγραμμα της Εικόνας 3.10.



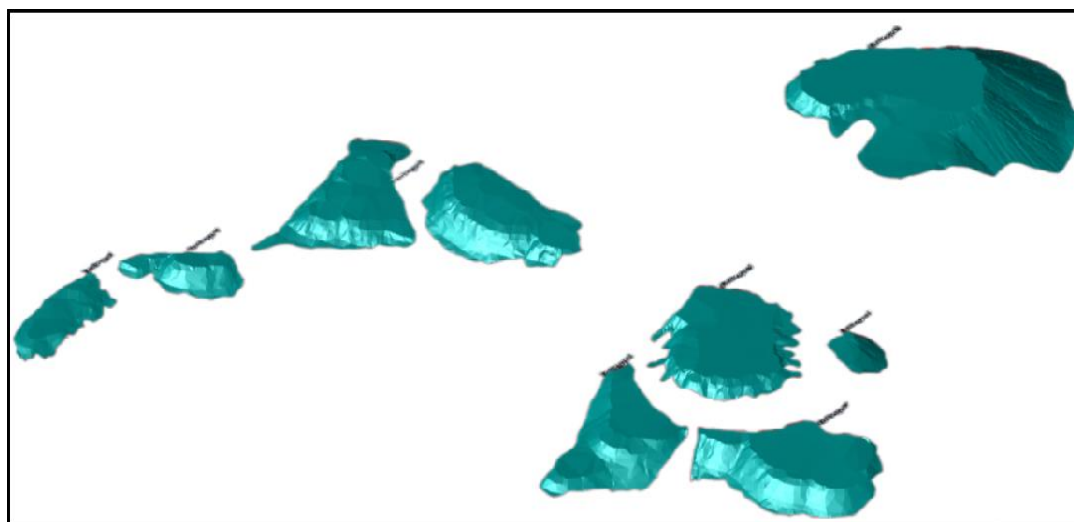
Εικόνα 3.10: Διάγραμμα ροής με την διαδικασία που ακολουθήθηκε για την τρισδιάστατη απεικόνιση των σωρών στείρων.

Αρχικά σχεδιάζοντας απλά πολύγωνα γύρω από τα στείρα, ακολουθώντας τις ορατές υψομετρικές διαφορές στην αεροφωτογραφία, ορίστηκαν με πολύ καλή προσέγγιση τα όρια που καταλάμβαναν οι σωροί σε δυσδιάστατο επίπεδο και στην συνέχεια απαριθμήθηκαν σε 9 περιοχές στείρου υλικού. Στην συνέχεια έγινε υψομετρική διόρθωση των ορίων αυτών βάσει του τοπογραφικού ανάγλυφου (Εικόνα 3.11).



Εικόνα 3.11: Όρια σωρών στείρων, υψομετρικά αναφερόμενα στην επιφάνεια της περιοχής.

Με την ίδια διαδικασία που αναφέρεται σε προηγούμενη υποενότητα για δημιουργία επιφάνειας αλλά με επιπρόσθετο βήμα την πρόσθεση ορίων για τον κάθε σωρό μέσω των πολυγώνων, δημιουργήθηκαν 9 τρισδιάστατες επιφάνειες (Εικόνα 3.12). Οι επιφάνειες αυτές ήταν πολύ κοντά στην πραγματικότητα και αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθούν σε όλους τους τρόπους προσέγγισης του επιθυμητού αποτελέσματος ως άνω επίπεδα του τρισδιάστατου στερεού που επρόκειτο να δημιουργηθεί.

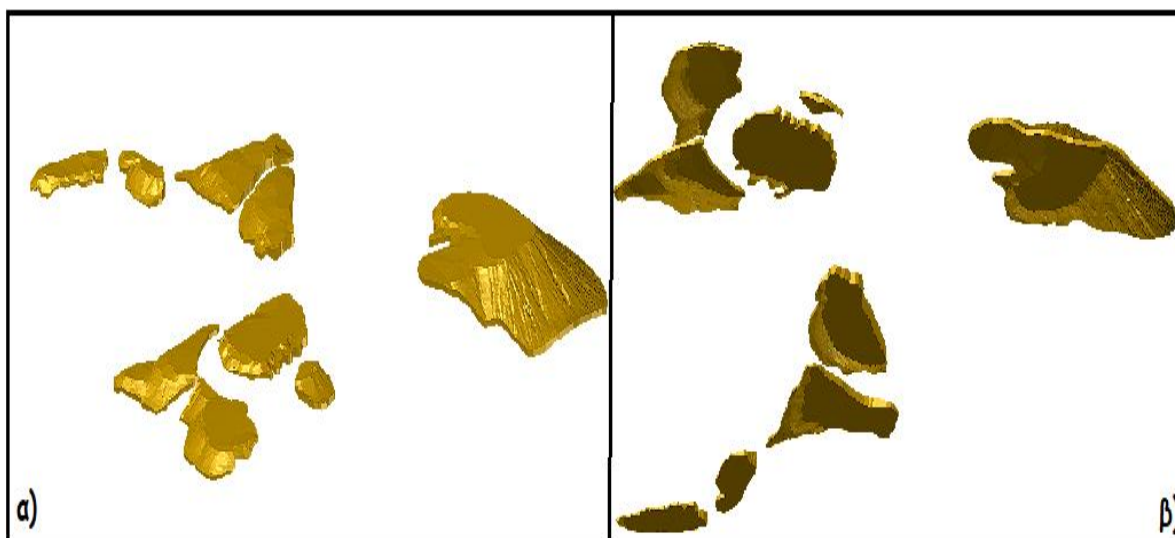


Εικόνα 3.12: Τρισδιάστατες επιφάνειες σωρών στείρων.

Η πρώτη προσπάθεια που εφαρμόστηκε ήταν η δημιουργία τρισδιάστατων στερεών, χρησιμοποιώντας για κάτω επίπεδο επιφάνειες που δημιουργήθηκαν από τα σημεία των κάτω ορίων που έφτανε ο σχηματισμός των στείρων εντός των γεωτρήσεων.

Επιλέγοντας την επιφάνεια που θα όριζε το πάνω επίπεδο δημιουργήθηκε στερεό επεκτεινόμενο στην κάτω επιφάνεια αναμένοντας ότι θα δημιουργούταν το επιζητούμενο. Το αποτέλεσμα δεν ήταν το επιθυμητό καθώς οι δύο επιφάνειες αποτελούνταν από διαφορετικό αριθμό σημείων με αποτέλεσμα το λογισμικό να αδυνατεί να τις συνδέσει για την δημιουργία ενός στερεού.

Η δεύτερη προσπάθεια έγινε με την ίδια μεθοδολογία δημιουργίας του στερεού του τοπογραφικού ανάγλυφου που περιγράφεται στην υποενότητα 3.2.1. Μέσω των επιφανειών των σωρών δημιουργήθηκαν 2 στερεά, ένα σε συγκεκριμένο υψόμετρο και ένα άλλο σε συγκεκριμένο βάθος, χρησιμοποιώντας και στις δύο περιπτώσεις τον μέσον όρο του βάθους που έφτανε ο σχηματισμός των στείρων στις γεωτρήσεις που ανήκαν στον κάθε σωρό. Τα δύο δημιουργούμενα στερεά συνενώθηκαν δημιουργώντας ένα ενιαίο (Εικόνα 3.13). Η τελική εικόνα της προσπάθειας αυτής ήταν αρκετά κοντά στο ζητούμενο αλλά και πάλι τα τρισδιάστατα στερεά που δημιουργήθηκαν είχαν ένα αφύσικο σχήμα με μικρή πιθανότητα να αντικατοπτρίζουν την πραγματικότητα.

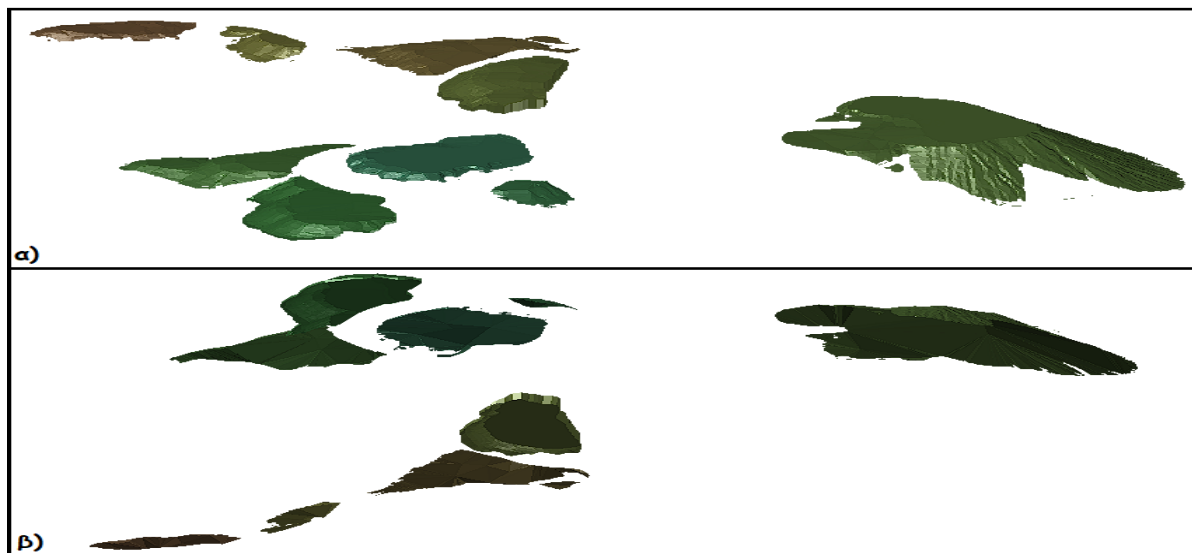


Εικόνα 3.13: Δεύτερη προσπάθεια τρισδιάστατης απεικόνισης με παρατήρηση από α) πάνω και β) κάτω.

Τελικά η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την τρισδιάστατη απεικόνιση των σωρών των στείρων ήταν μια πιο αποτελεσματική παραλλαγή της πρώτης προσπάθειας. Η πρώτη προσπάθεια απορρίφθηκε λόγω της έλλειψης σημείων που θα χαρακτήριζαν μία κάτω επιφάνεια των σωρών.

Λύση σε αυτό δόθηκε δημιουργώντας σημεία από τις γραμμές των πολυγώνων που οριοθετούσαν τους σωρούς και ομαδοποιώντας τα με αυτά των γεωτρήσεων. Έχοντας πλέον

αρκετά σημεία για την κατασκευή της κάτω επιφάνειας δημιουργήθηκαν έτσι 2 επιφάνειες, μία πάνω και μία κάτω με πολύ πιο προσεγγιστική μορφή στην πραγματικότητα. Χρησιμοποιώντας λοιπόν τις κατάλληλες εντολές δημιουργίας στερεών από μία επιφάνεια σε μία άλλη κατασκευάστηκαν τα στερεά των σωρών των στείρων με μια πάρα πολύ καλή προσέγγιση στην φυσική πραγματικότητα (Εικόνα 3.14).



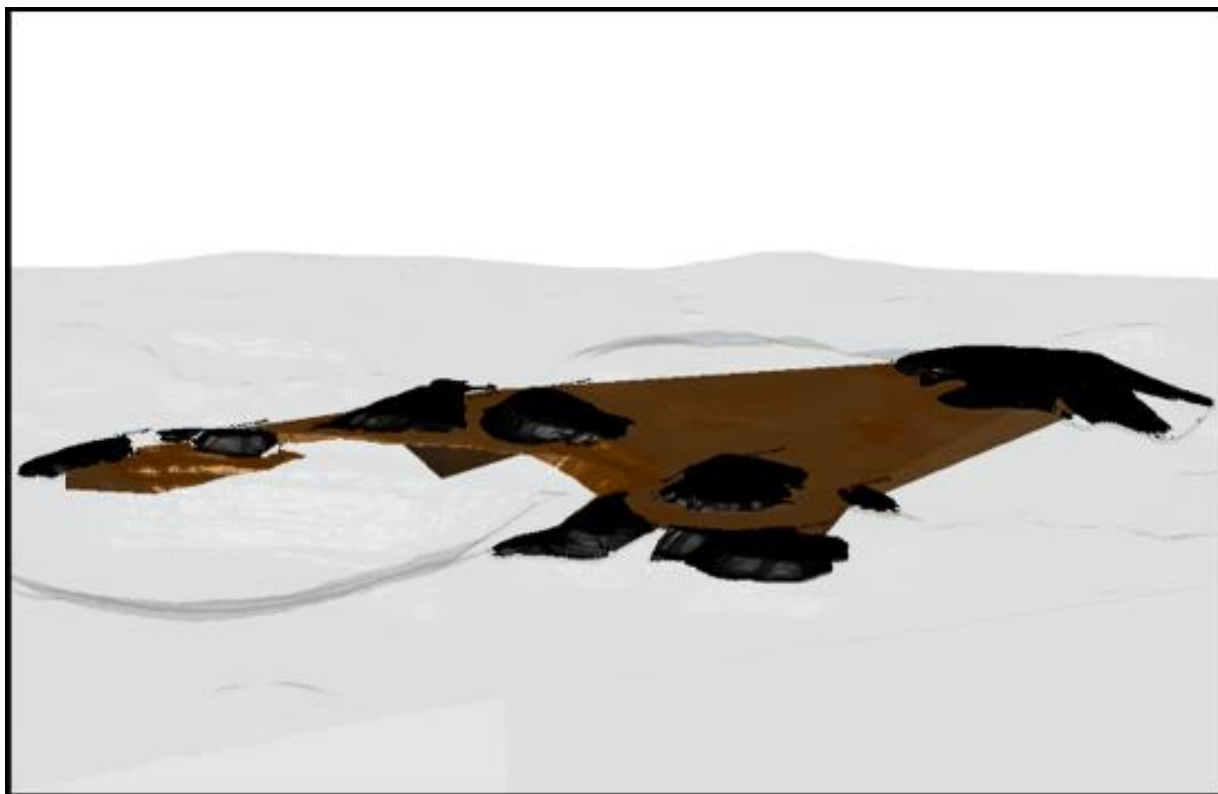
Εικόνα 3.14: Τελική τρισδιάστατη απεικόνιση σωρών στείρων με παρατήρηση από α) πάνω και β) κάτω.

3.2.4. Μοντελοποίηση Κοιτάσματος Ούμπρας και τρισδιάστατη απεικόνιση του

Όπως προαναφέρθηκε στην υποενότητα 2.3.3 εμφάνιση του σχηματισμού Πέρα Πεδίου υπήρξε μόνο σε 17, εκ των 39 γεωτρήσεων. Παρά την σημαντικότητα των ευρημάτων που ανακαλύφθηκαν οι αποστάσεις των γεωτρήσεων είναι αρκετά μεγάλες, εισάγοντας με τον τρόπο αυτό μεγάλη αβεβαιότητα στις εκτιμήσεις.

Λύση στο πρόβλημα αυτό δόθηκε από επιφανειακές περιγραφές του γεωλόγου του ερευνητικού προγράμματος και ανατρέχοντας σε παλαιότερες αναφορές που υποδεικνύουν την ύπαρξη ούμπρας στον χώρο όπως αυτή του [Constantinou \(1972\)](#), όπου γίνεται αναφορά σε ύπαρξη προσχώσεων ούμπρας σε όλη την περιοχή. Καθώς επίσης και της τελικής έκθεσης και αξιολόγησης ούμπρας του Τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης (Απριλίου 2015) όπου αναφέρονται υπάρξεις αρκετά μικρής έκτασης εμφανίσεων στην ευρύτερη περιοχή και πολλές μικρές ενδείξεις και επιφανειακές υποδείξεις, ύπαρξης ούμπρας εντός της έκτασης του μεταλλείου. Εντάσσοντας τις αναφορές αυτές στο γεωλογικό μοντέλο που κατασκευάστηκε ήταν πλέον εφικτή η κατασκευή ενός κανάβου με αποστάσεις 50m μεταξύ των ευρημάτων και

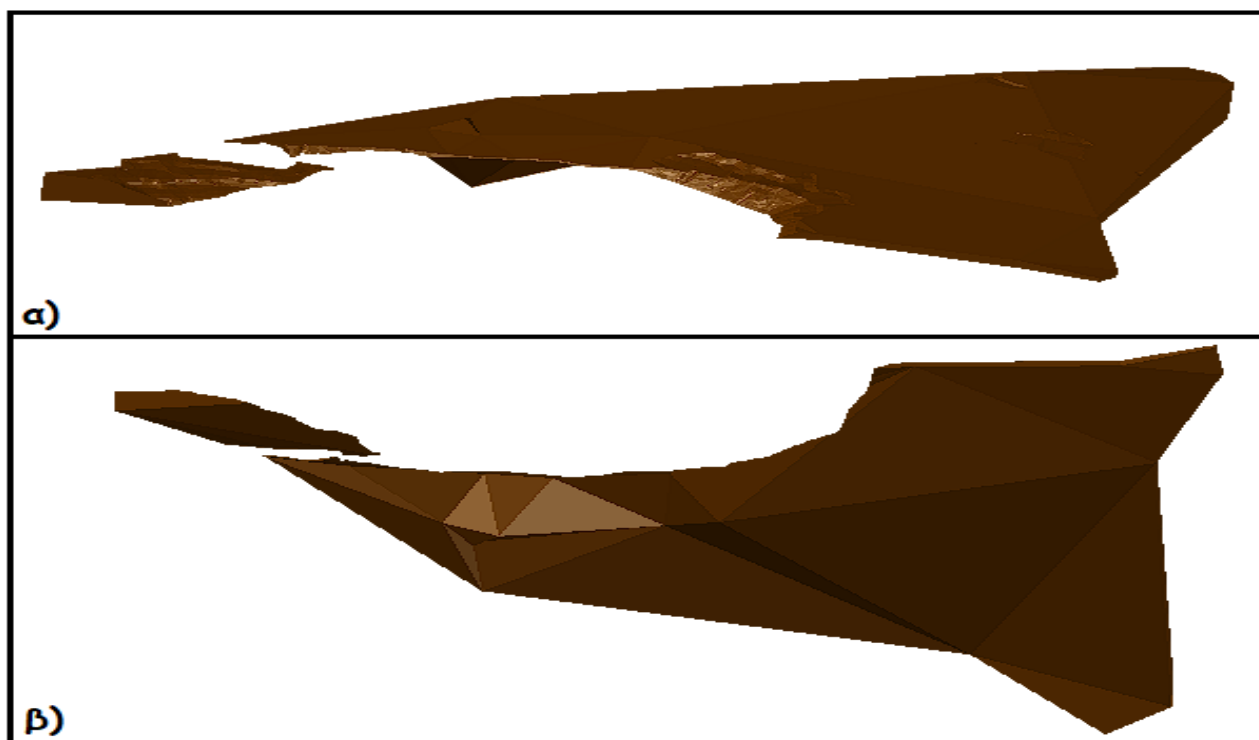
η δημιουργία ενός πρώτου μοντέλου του ερευνώμενου κοιτάσματος της ούμπρας βορειοανατολικά της εκμετάλλευσης (Εικόνα 3.15).



Εικόνα 3.15: Τρισδιάστατα στερεά σωρών στείρου υλικού και κοιτάσματος ούμπρας εντός του στερεού της περιοχής.

Η διαδικασία τρισδιάστατης απεικόνισης του κοιτάσματος εκκίνησε απομονώνοντας τις συντεταγμένες των γεωτρήσεων που περιείχαν ούμπρα σε ένα φύλλο excel, προσθέτοντας σε αυτές τις συντεταγμένες των επιπλέον επιφανειακών εμφανίσεων. Στην συνέχεια δημιουργήθηκαν δύο νέα αρχεία excel, με το ένα αρχείο να περιέχει τα άνω όρια εύρεσης του σχηματισμού και το άλλο τα κάτω όρια. Για τις επιφανειακές εμφανίσεις το βάθος που ορίστηκε ήταν μεταξύ μισού και τριών μέτρων από την επιφάνεια. Τα αρχεία εισήχθησαν στο Civil 3D και έτσι δημιουργήθηκαν η άνω και κάτω επιφάνεια οριοθέτησης του κοιτάσματος.

Επιλέγοντας την μία εκ των δύο επιφανειών και επεκτείνοντας την προς την άλλη κατασκευάστηκε μία τρισδιάστατη απεικόνιση κοιτάσματος ούμπρας, η οποία έχει ξεκάθαρα ερευνητικό χαρακτήρα για την χρήση της σε υπολογισμούς και χρήζει βελτιώσεων (Εικόνα 3.15 & 3.16).



Εικόνα 3.16: Τρισδιάστατη απεικόνιση κοιτάσματος ούμπρας με παρατήρηση από α) πάνω και β) κάτω.

Κεφάλαιο 4^ο :

Πρόταση - Σχεδιασμός Υπαίθριας εκμετάλλευσης και Οικονομική Ανάλυση

4. Πρόταση - Σχεδιασμός Υπαίθριας εκμετάλλευσης και Οικονομική Ανάλυση

Ολοκληρώνοντας την δημιουργία του στερεού της περιοχής και των σχηματισμών που την απαρτίζουν μπορεί να γίνει μία πρόταση εκμετάλλευσης του κοιτάσματος της Ούμπρας και συνεπακόλουθης άρσης του στείρου υλικού.

Ο σχεδιασμός μιας εκμετάλλευσης στηρίζεται σε τρεις κύριες προϋποθέσεις, την οικονομικότητα, την περιβαλλοντική προστασία και την ασφάλεια. Η εκμετάλλευση οποιουδήποτε μεταλλεύματος ή ορυκτού αποτελεί μια οικονομική δραστηριότητα, η οποία θα πρέπει να έχει, όπως είναι λογικό, θετικά οικονομικά αποτελέσματα. Ταυτόχρονα, κατά το σχεδιασμό της εκμετάλλευσης θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις και να προτείνονται μέτρα για την αποφυγή και την αντιμετώπισή τους.

Η εκ των υστέρων αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων αποδεικνύεται στις περισσότερες περιπτώσεις ανέφικτη, ιδιαίτερα κατά τη φάση της αποκατάστασης και ακόμα χειρότερα εάν και εφόσον προϋπήρχαν επιπλέον περιβαλλοντικές επιπτώσεις καθώς το κόστος καθίσταται απαγορευτικό. Η πραγματοποίηση των εργασιών με ασφάλεια συντελεί το τρίτο προαπαιτούμενο κατά τη φάση του σχεδιασμού της εκμετάλλευσης.

Ο σχεδιασμός μιας εκμετάλλευσης εξαρτάται από παραμέτρους όπως:

- ◆ Τα όρια της εκμετάλλευσης.
- ◆ Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κοιτάσματος και της εκσκαφής.
- ◆ Τα απολήψιμα αποθέματα.
- ◆ Η διάρκεια των φάσεων και η χρονική εξέλιξη της εκμετάλλευσης.
- ◆ Η θέση και ο τρόπος απόθεσης των στείρων υλικών.
- ◆ Η αποκατάσταση του χώρου μετά το πέρας της εκμετάλλευσης.

Τα πλείστα των παραπάνω παραμέτρων έχουν αποδοθεί στις παραπάνω ενότητες και τα υπόλοιπα θα υπολογιστούν στην συνέχεια. Όπως παρατηρήθηκε και σχεδιάστηκε, οι μάζες που θα εξορυχθούν είναι επιφανειακές και έτσι συμπεραίνεται ότι η κατάλληλη μεθοδολογία εξόρυξης είναι η επιφανειακή εκμετάλλευση.

4.1. Υπαίθριες Εκμεταλλεύσεις

Οι Υπαίθριες εκμεταλλεύσεις διαχωρίζονται σε ανοικτού και κλειστού τύπου. Οι ανοικτού τύπου υπαίθριες εκμεταλλεύσεις εφαρμόζονται σε λοφώδεις περιοχές με ορεινό ανάγλυφο ενώ οι κλειστού τύπου σε επίπεδο τοπογραφικό ανάγλυφο είτε με οριζόντια προχώρηση είτε εις βάθος.

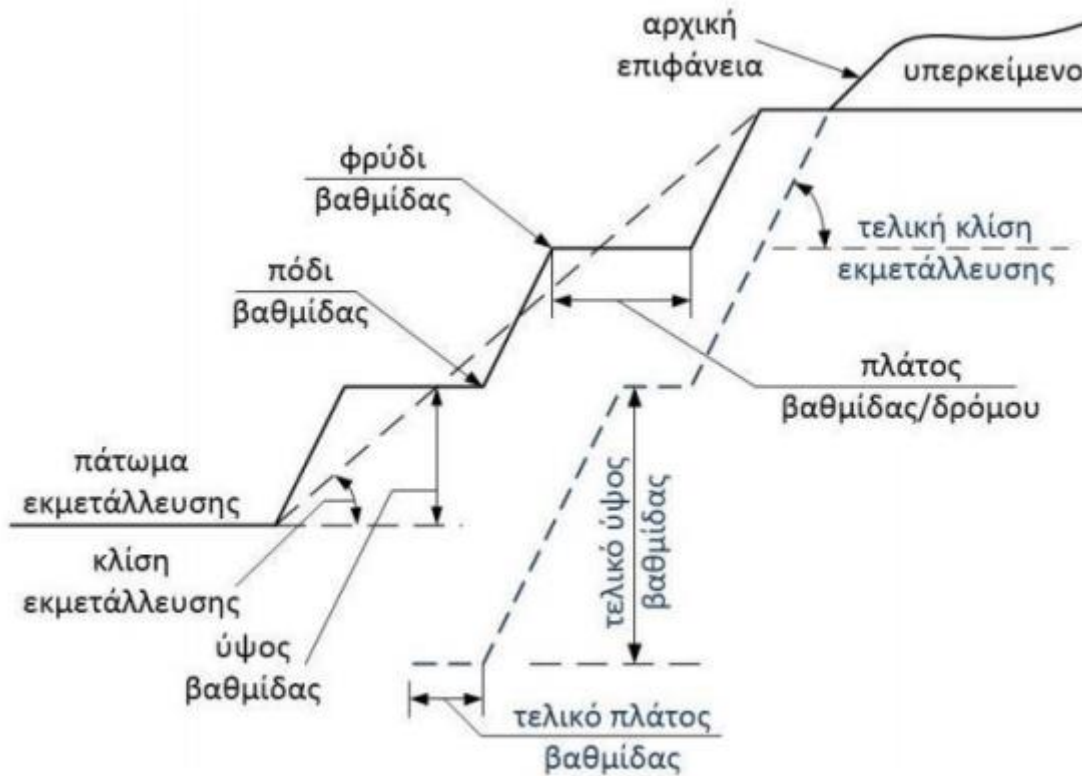
Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν ορισμοί μερικών βασικών εννοιών που σχετίζονται με τον σχεδιασμό των υπαίθριων εκμεταλλεύσεων.

Παραδείγματος χάριν **αποκάλυψη** καλείται η διαδικασία απομάκρυνσης των στείρων πετρωμάτων για την εμφάνιση των μεταλλευτικών αποθεμάτων (χρήσιμου υλικού) και μέσω της διαδικασίας αυτής ορίζεται η **σχέση αποκάλυψης** ως ο αριθμός των μονάδων όγκου ή βάρους αγόνων που πρέπει να εξορυχθούν για να αποκαλυφθεί μία μονάδα χρήσιμου προϊόντος και δίνεται από την εξής σχέση

$$\text{Σχέση αποκάλυψης} = \frac{\text{Όγκος άγονων (m}^3\text{)}}{\text{Όγκος χρήσιμου συστατικού(m}^3\text{)}} \quad (1)$$

Όσον αφορά τα γεωμετρικά και σχεδιαστικά χαρακτηριστικά που αφορούν τις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις μερικά από αυτά ορίζονται παρακάτω. Η ανάπτυξη και η προχώρηση μιας υπαίθριας εκμετάλλευσης γίνεται με διάφορους τρόπους. Ο επικρατέστερος, ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί και στην παρούσα αναφορά είναι μέσω ορθών ή κεκλιμένων βαθμίδων.

Βαθμίδες στα λατομεία ανοικτής εκμετάλλευσης, αποτελούν ένα ενιαίο χώρο λειτουργίας, πάνω από τον οποίο γίνεται η εξόρυξη και απομάκρυνση του υλικού από το παρακείμενο μέτωπο βαθμίδας ή πρανούς. Κατά τον σχεδιασμό μιας βαθμίδας σε ένα λατομείο σημαντικό ρόλο επιτελούν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της, **το πλάτος, το ύψος, το φρύδι και το πόδι της (Εικόνα 4.1)**, τα οποία εξαρτώνται από το μέγεθος του εξοπλισμού που θα χρησιμοποιηθεί, την επιλεξιμότητα και τις μηχανικές ιδιότητες του υλικού καθώς και τους κανόνες ασφαλείας κάθε χώρας.



Εικόνα 4.1: Γεωμετρικά και Σχεδιαστικά χαρακτηριστικά πρανούς Υπαίθριας εκμετάλλευσης. (Hustrulid, 2013)

Μεταξύ του μετώπου της βαθμίδας και του οριζοντίου επιπέδου σχηματίζεται μια γωνία που καλείται **κλίση πρανούς** ενώ από την γωνία που σχηματίζει μια νοητή γραμμή από το πόδι της κατώτερης βαθμίδας μέχρι το φρύδι της ανώτερης με το οριζόντιο επίπεδο ορίζεται η **κλίση εκμετάλλευσης** κατά την διάρκεια της εξόρυξης και η τελική γωνία εκμετάλλευσης, όταν η εκμετάλλευση φτάσει στο τελικό της στάδιο. Η μέγιστη γωνία και γενικότερα τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά μιας εκμετάλλευσης καθορίζονται με βάση τους μεταλλευτικούς κανονισμούς της κάθε χώρας και βάση τα γεωμηχανικά χαρακτηριστικά του πετρώματος και τον συντελεστή ασφάλειας των πρανών.

4.2. Υπολογισμός - Παράθεση Απαραίτητων Χαρακτηριστικών Κοιτάσματος

Για τον σχεδιασμό της εκμετάλλευσης λοιπόν στην ενότητα αυτή παρατίθενται και ορίζονται τα απαραίτητα χαρακτηριστικά για την υλοποίησή του. Μελετώντας τον περί Ρύθμισης Μεταλλείων και Λατομείων Νόμο της Κυπριακής Δημοκρατίας αναγνωρίζεται ότι οι κανονισμοί ασφαλείας και θέσπισης ορίων για μια εκμετάλλευση εναπόκεινται στην κρίση του αρμόδιου υπαλλήλου της Κυβέρνησης όπου επι τόπου κρίνει και τους θέτει. Για τον λόγο αυτό στην παρούσα εργασία για ερευνητικούς σκοπούς σαν κανόνες ασφαλείας θα θεωρηθούν οι

κανόνες της κοντινότερης σε φιλοσοφία θέσπισης νόμων, σε παρόμοια θέματα, χώρας στην Κύπρο, της Ελλάδας μελετώντας τον Κανονισμό Μεταλλευτικών και Λατομικών Εργασιών.

Αρχικά, όσον αφορά τα όρια της εκμετάλλευσης δεν τίθεται κάποιος περιορισμός διότι η εκμετάλλευση του ανευρισκόμενου όγκου Ούμπρας βρίσκεται εξολοκλήρου στην μεταλλευτική περιοχή του Μαθιάτη και πρόκειται να σχεδιαστεί η καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση για την ολοκληρωτική άρση του υλικού.

Η εκμετάλλευση του υλικού θα γίνει όπως αναφέρθηκε σε μέτωπα μορφής υπαίθριας βαθμίδας.

Οι βαθμίδες σύμφωνα με τον ΚΜΛΕ έχουν συνήθως ύψος μεταξύ 5 και 15m (όριο) και το πλάτος 6m το ελάχιστο κατά την εξόφληση του κοιτάσματος ανάλογα με τις γεωμηχανικές ιδιότητες του πετρώματος και του μηχανολογικού εξοπλισμού που χρησιμοποιείται.

Η κλίση των βαθμίδων απαγορεύεται να ξεπερνά τις 90° για την ελαχιστοποίηση του κινδύνου αστοχίας του πρανούς και για συνεκτικά και υγιή πετρώματα, δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 70°. Ένας ακόμη κανονισμός που αναφέρεται είναι ότι η κλίση των δρόμων – ραμπών που χρησιμοποιούνται για την κίνηση των οχημάτων στο μεταλλείο δεν πρέπει να υπερβαίνει την κλίση του 12%.

Όσον αφορά τον υπερκείμενο σχηματισμό, πρόκειται στις πλείστες των περιπτώσεων για στείρα τα οποία βρίσκονται σε χαλαρή απόθεση και για αποσαθρωμένες λάβες του ανώτερου ορίζοντα των οποίων οι μηχανικές ιδιότητες είναι αρκετά κοντινές με τον προς εξόρυξη σχηματισμό.

Έτσι για τον σχεδιασμό της εκμετάλλευσης γίνονται οι εξής θεωρήσεις και παρατίθενται μόνο οι γεωμηχανικές ιδιότητες του σχηματισμού Πέρα Πεδίου που έχουν άμεσο ενδιαφέρον για τους παρακάτω υπολογισμούς.

Πίνακας 4.1: Γεωμηχανικές ιδιότητες σχιστολιθικού σχηματισμού Πέρα Πεδίου (Maulana, 2020; Lempp, 2010).

Μηχανικές Ιδιότητες	Λεπτόκοκκη Σχιστολιθική Ούμπρα
Γωνία εσωτερικής τριβής, ϕ (°)	15 – 25
Πυκνότητα, ρ [t/m^3]	2,7 – 2,8

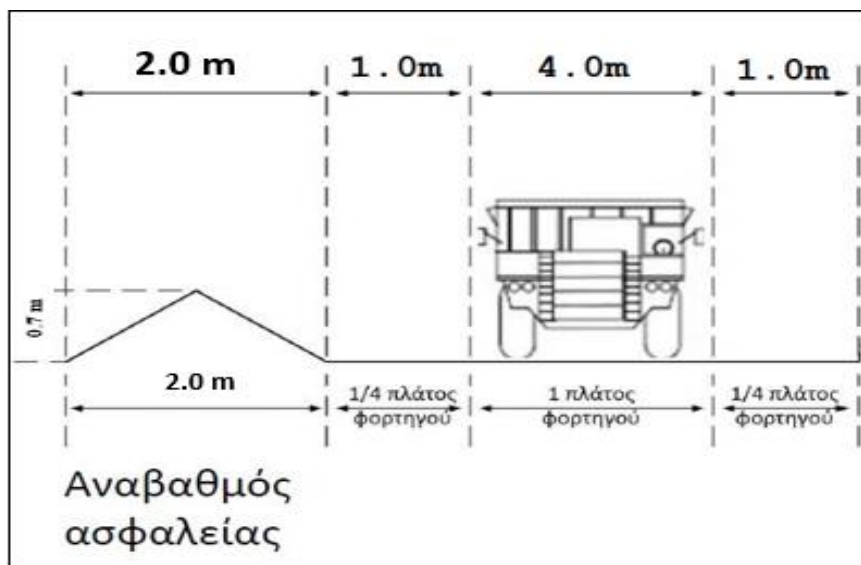
Συνοχή, c [MPa]	35 - 40
-----------------	---------

Λαμβάνοντας υπόψιν τις παραπάνω θεωρήσεις που ορίζονται στον [Πίνακα 4.1](#) και ορισμένα χαρακτηριστικά του μηχανολογικού εξοπλισμού που θα χρησιμοποιηθεί υπολογίστηκαν οι διαστάσεις των σχεδιαστικών παραμέτρων της υπαίθριας εκμετάλλευσης στην τελική της μορφή θεωρώντας την ίδια γεωμετρία για την Ούμπρα και τα υπερκείμενα της και παρατίθενται στον [Πίνακα 4.2](#).

Για την επιλογή του πλάτους των βαθμίδων στο τελικό στάδιο εκμετάλλευσης λαμβάνεται υπόψιν το πλάτος του μεγαλύτερου οχήματος που θα κινείται εντός αυτών. Γίνεται πρόταση χρήσης του φορτηγού της εταιρείας Caterpillar και συγκεκριμένα του μοντέλου 775D.

Το πλάτος του φορτηγού καταγράφεται ίσο με 3.97m ([Construction Equipment Guide](#)) και έτσι χρησιμοποιείται το πλάτος των 4m. Επίσης, σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά του φορτηγού ορίζεται και ο απαραίτητος αναβαθμός ασφαλείας ίσος με 0.7m ύψος και 2m πλάτος ([Εικόνα 4.2](#)). Ακόμη, αφήνεται εκατέρωθεν του προτεινόμενου φορτηγού ένα κενό ασφαλείας ίσο με το $\frac{1}{4}$ του πλάτους του, το οποίο είναι 1 m κενό σε κάθε πλευρά του έτσι οι βαθμίδες στην τελική τους μορφή και οι δρόμοι μονής λωρίδας ([Εικόνα 4.2](#)) θα πρέπει να έχουν:

$$\text{Διάσταση πλάτους βαθμίδων \& δρόμων} = 8m$$



Εικόνα 4.2: Υπολογισμός γεωμετρικών χαρακτηριστικών βαθμίδας με βάση τον μηχανολογικό εξοπλισμό που χρησιμοποιείται.

Επισημαίνεται πως στην παρούσα πρόταση σχεδιασμού οι δρόμοι εντός τους μεταλλείου θα είναι όλοι μονής λωρίδας και πως για λόγους ευελιξίας και άνεσης οι κύριοι δρόμοι ορίζονται

στο πλάτος των 10m. Όσον αφορά το ύψος των βαθμίδων ορίζεται μεταξύ του ορίου που ορίζει ο ΚΜΛΕ στα 8m για την επίτευξη ενός συμμετρικού σχεδιασμού αφού το πλάτος των βαθμίδων ορίστηκε επίσης στα 8m.

Τέλος μέσα από έρευνα και συλλογή πληροφοριών από τους κατόχους της άδειας της ήδη προϋπάρχουσας εκμετάλλευσης ούμπρας στην περιοχή και από διάφορους σχεδιασμούς εκμετάλλευσης σε σχιστολιθικά πετρώματα με παρόμοια χαρακτηριστικά ορίζεται και η κλίση μετώπου βαθμίδας στις 80 μοίρες, τιμή η οποία υπερβαίνει το όριο των 70° που καθορίζει ο Κανονισμός Μεταλλευτικών και Λατομικών Εργασιών αλλά συμβιβάζεται με το απαγορευτικό όριο των 90°.

Πίνακας 4.2: Οριζόμενα γεωμετρικά χαρακτηριστικά σχεδιασμού εκμετάλλευσης

Γεωμετρικά χαρακτηριστικά	
Πλάτος βαθμίδας(m)	8
Ύψος Βαθμίδας(m)	8
Κλίση μετώπου βαθμίδας(°)	< 80
Κλίση Εκμετάλλευσης(°)	< 50
Πλάτος ραμπών & κύριων δρόμων(m)	8 & 10
Κλίση ραμπών και κύριων δρόμων(%)	9-12

4.2.1. Συντελεστής Ασφαλείας με MRMR

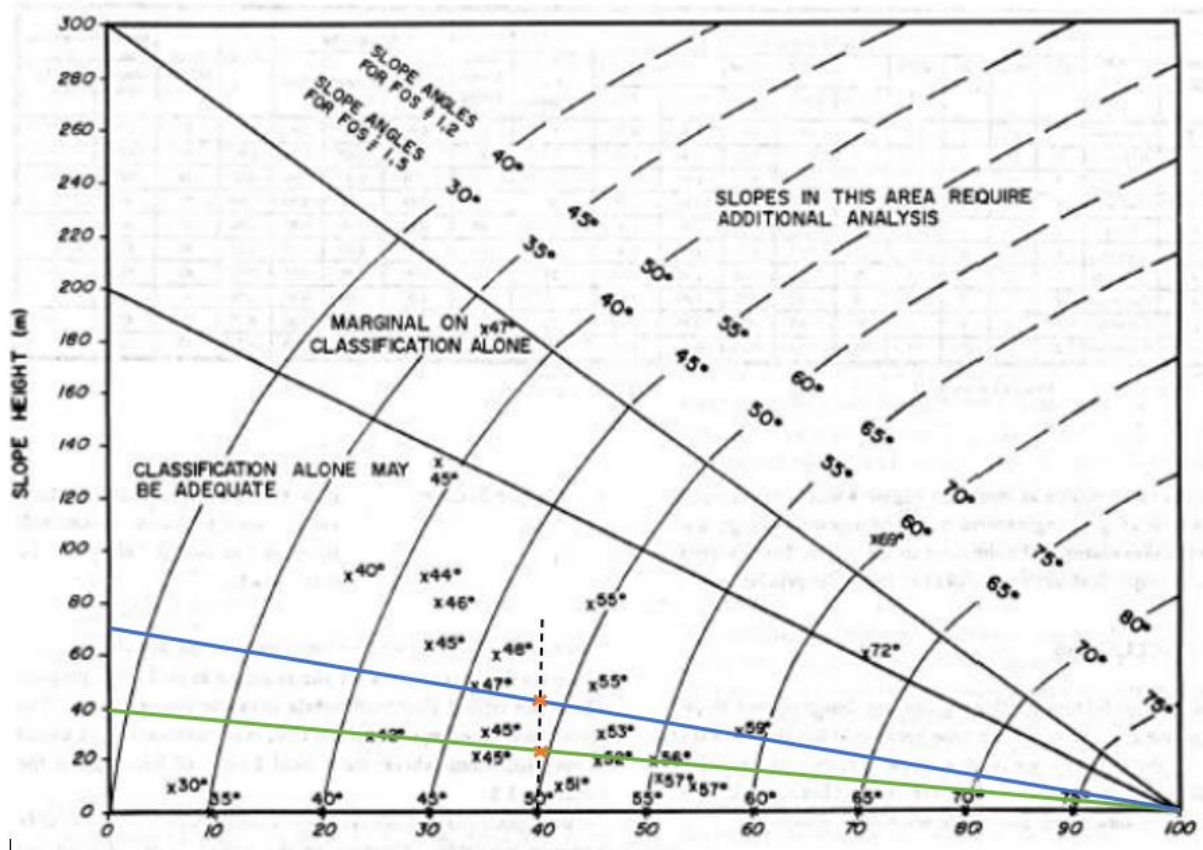
Απαραίτητο εργαλείο για τον έλεγχο ευστάθειας των πρηνών και του κατά πόσον οι τιμές που επιλέχθηκαν για τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της εκμετάλλευσης είναι ασφαλή, είναι η τιμή του συντελεστή ασφαλείας. Για την εύρεση του πραγματικού συντελεστή ασφαλείας χρειάζεται να γίνουν ορισμένες επί τόπου μετρήσεις και να εξαχθούν παρατηρήσεις και αποτελέσματα για την ύπαρξη επισφαλών συνθηκών στον υπό μελέτη σχηματισμό. Υπάρχουν όμως και άλλοι τρόποι υπολογισμού του συντελεστή ασφαλείας. Ένας από αυτούς είναι μέσα από τα συστήματα ταξινόμησης βραχομάζας και συγκεκριμένα χρησιμοποιώντας το σύστημα Mining Rock Mass Rating που βασίζεται στο σύστημα Rock Mass Rating το οποίο αναπτύχθηκε από τον (Bieniawski, 1989).

Όσον αφορά το σύστημα RMR πρόκειται για ένα συνδυασμό των σημαντικότερων γεωλογικών παραμέτρων μιας βραχομάζας και την παρουσίαση τους μέσα από έναν αριθμό που κυμαίνεται από 0-100 και χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για τον ποιοτικό χαρακτηρισμό ενός πετρώματος.

Το σύστημα MRMR είναι τροποποίηση του συστήματος RMR για εφαρμογή σε υπόγειες και σε υπαίθριες κυρίως εκμεταλλεύσεις. Είναι στην ουσία ο δείκτης RMR πολλαπλασιασμένος με έναν παράγοντα που εκφράζει την επίδραση του τρόπου εξόρυξης του πετρώματος και την επιπλέον φθορά που επιβάλλει στη βραχομάζα (Laubscher, 2001). Οι κύριοι στόχοι του συστήματος MRMR είναι η ταξινόμηση της βραχομάζας σε περιοχές με βάση την συμπεριφορά της και ο ορισμός παραμέτρων σχεδιασμού της εξόρυξης.

Θεωρώντας πως οι μηχανικές ιδιότητες του υπό παρατήρηση σχηματισμού συνάδουν με αυτές των σχιστολιθικών πετρωμάτων ορίζεται το MRMR ίσο με περίπου 40 μονάδες. Ο συντελεστής ασφαλείας του πρανούς μπορεί να υπολογιστεί από το παρακάτω εμπειρικό διάγραμμα (Εικόνα 4.3) (Haines, 1991)

Χρησιμοποιώντας το διάγραμμα λοιπόν, διαπιστώνεται ότι για σχιστολιθικό πέτρωμα ($MRMR \approx 40$), για πρανές με συνολικό ύψος 40 – 70m που αντικατοπτρίζει το σύνολο των πιθανών τιμών ύψους που θα έχει η εκμετάλλευση, η τελική γωνία της εκμετάλλευσης πρέπει να είναι μικρότερη από 50° ώστε ο συντελεστής ασφαλείας να είναι μεγαλύτερος από 1,5. Για μικρότερα ύψη εκμετάλλευσης το όριο της γωνίας αυτής αυξάνεται, έτσι θέτοντας τις 50° σαν όριο γωνίας εκμετάλλευσης προκύπτει ότι όσο και αν μικραίνει το ύψος εκμετάλλευσης ο συντελεστής ασφαλείας πρόκειται να αυξάνεται συνεχώς, προσδίδοντας έτσι μια δεδομένη σιγουριά για την ασφάλεια του πρανούς.



Εικόνα 4.3: Διάγραμμα σχεδίασης πρανών με βάση τον δείκτη MRMR. (Haines, 1991)

4.3. Σχεδιασμός Υπαίθριας Εκμετάλλευσης

Ο σχεδιασμός της εκμετάλλευσης στο πρόγραμμα Civil 3D έγινε με βάση ορισμένες πρακτικές θεωρήσεις που εφαρμόστηκαν κατά την υλοποίηση του.

Όπως προαναφέρθηκε έγινε με σκοπό την απόληψη ολόκληρου του σχηματισμού Πέρα Πεδίου και με την καλύτερη δυνατή παράλληλη απόληψη των υπερκείμενων σωρών των στειρών θειούχου μεταλλεύματος. Οι δύο σχηματισμοί, παρά την διαφορετική επεξεργασία που πρόκειται να υποστούν για την τελική διάθεσή τους στην αγορά, λόγω της χαλαρής απόθεσης των σωρών του στείρου υλικού στον χώρο και την εύκολη απόληψή τους, αποτέλεσαν μαζί ουσιαστικά τα μεταλλευτικά αποθέματα. Στο αρχικό στάδιο του σχεδιασμού ογκομετρήθηκαν οι δύο σχηματισμοί για την εύρεση των γεωλογικών αποθεμάτων.

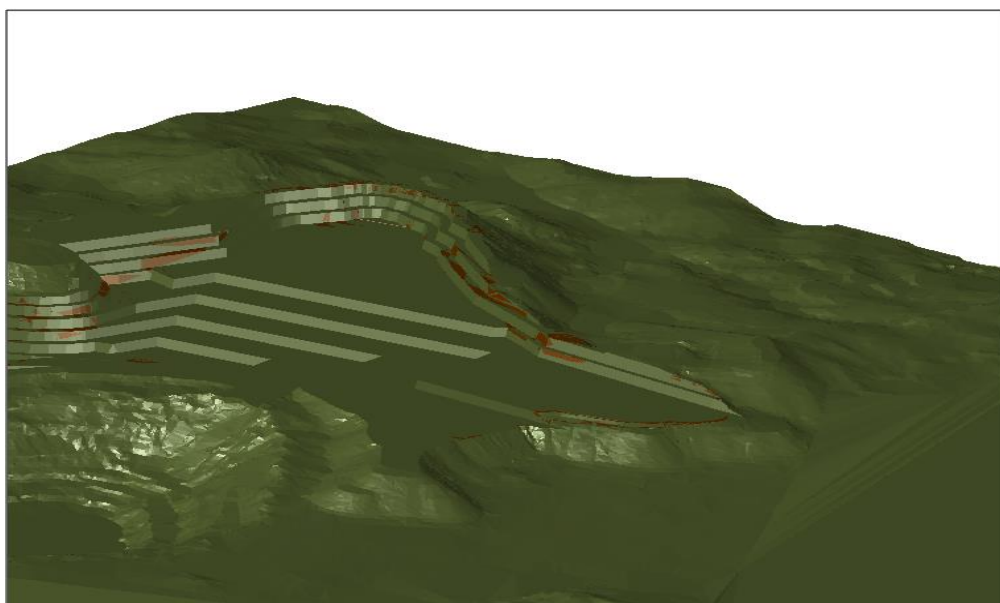
Όγκος Στειρών Εκμετάλλευσης θειούχων + Όγκος Σχηματισμού Πέρα πεδίου

$$= \text{Γεωλογικά Αποθέματα} \quad (2)$$

$$2.500.000 \text{ m}^3$$

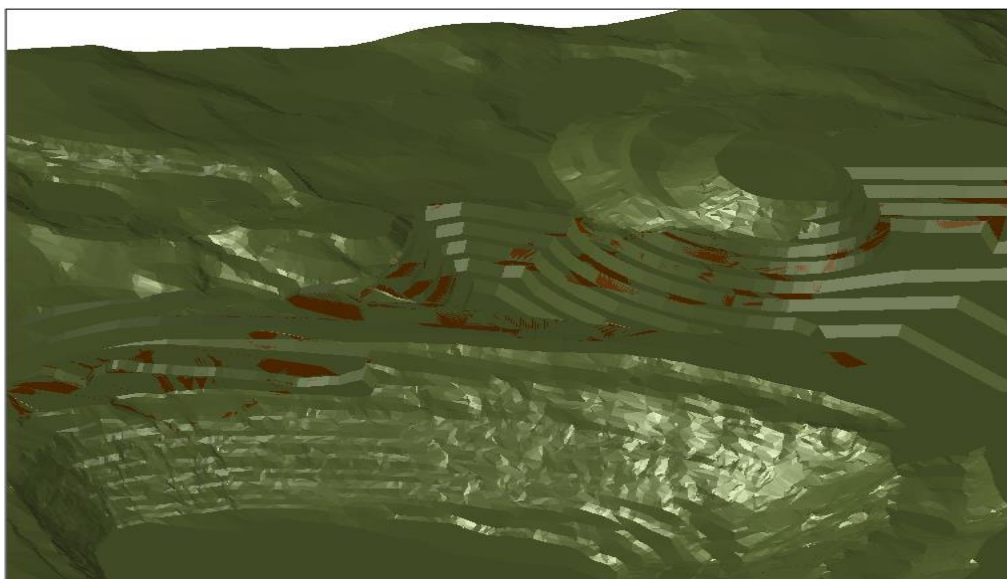
Τα γεωλογικά αποθέματα υπόκεινται ταυτοχρόνως επιπέδου και λοφώδους ανάγλυφου ανατολικά της προϋπάρχουσας εκμετάλλευσης έτσι ο σχεδιασμός έγινε κάπως αυθαίρετα χωρίς να ακολουθεί κάποιο ορισμένο μοντέλο. Σχεδιάστηκε λοιπόν μια συνδυαστική υπαίθρια εκμετάλλευση ανοικτού τύπου στο λοφώδες ανάγλυφο και κλειστού τύπου σε σημείο όπου δημιουργόταν επίπεδο τοπογραφικό ανάγλυφο.

Αρχικά έγινε ο σχεδιασμός μίας ανοικτού τύπου εκμετάλλευσης από το μεγαλύτερο υψόμετρο κάτω από το οποίο υπήρχαν αποθέματα προς απόληψη και προχωρούσε, με βάση τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που αποδόθηκαν στον Πίνακα 4.2, έως ότου φτάσει στο κατώτερο επίπεδο του σχηματισμού (Εικόνα 4.4). Ακόμα, κατά τον σχεδιασμό έγινε προσπάθεια το τέλος των ορίων κάθε φάσης εκμετάλλευσης να καταλήγει σε μια ομαλή επαφή με την προϋπάρχουσα εγκαταλελειμμένη εκμετάλλευση δημιουργώντας ένα ομαλό τελικό ανάγλυφο στην περιοχή με ιδανικές προϋποθέσεις για αποκατάσταση.



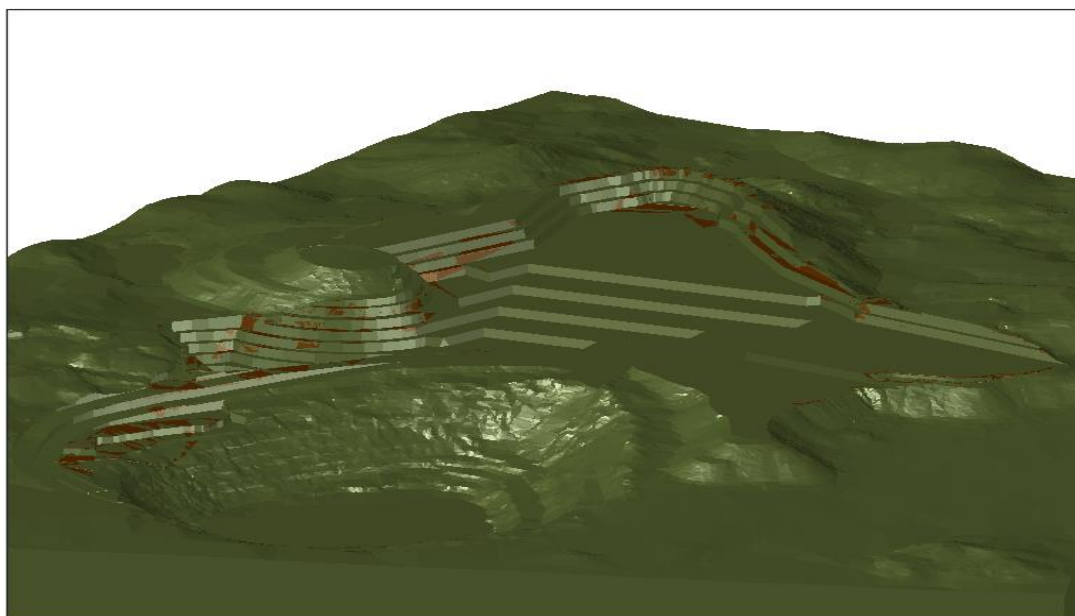
Εικόνα 4.4: Ανοικτού τύπου εκμετάλλευση με εμφανές το ανεκμετάλλευτο υλικό (καφέ χρώμα).

Τελειώνοντας τον σχεδιασμό της ανοικτής εκμετάλλευσης στο τρισδιάστατο μοντέλο απέμεινε επίπεδο τοπογραφικό ανάγλυφο κάτω από το οποίο βρισκόταν ένας αρκετά μεγάλος όγκος μεταλλεύματος. Με βάση ορισμένους περιβάλλοντες όγκους να οριοθετούν τον διαθέσιμο χώρο για προχώρηση της εκμετάλλευσης σχεδιάστηκε μία μικρή υπαίθρια εκμετάλλευση κλειστού τύπου (Εικόνα 4.5) ολοκληρώνοντας έτσι τον σχεδιασμό του πρώτου προτεινόμενου, ερευνητικού μοντέλου εκμετάλλευσης της περιοχής λαμβάνοντας το πλείστο από το χρήσιμο υλικό (Εικόνα 4.6) και αφήνοντας την περιοχή σε μια ιδανικότερη φάση για αποκατάστασή.

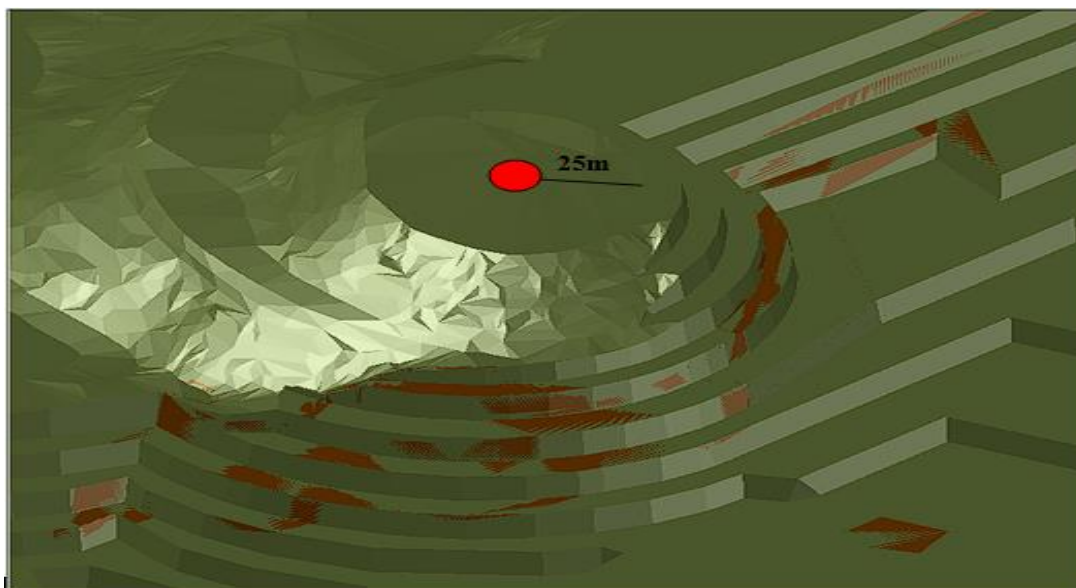


Εικόνα 4.5: Κλειστού τύπου εκμετάλλευση με εμφανή το ανεκμετάλλευτο υλικό (καφέ χρώμα).

Επιπλέον ο σχεδιασμός της εκμετάλλευσης επηρεάστηκε από την ύπαρξη πύργων μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος που υπάρχουν στην περιοχή. Μετά από επικοινωνία με την Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου έγινε σαφές πως η ασφαλέστερη απόσταση εργασιών γύρω από τους πύργους αυτούς ήταν τα 20-30m. Έτσι κατά τον σχεδιασμό της εκμετάλλευσης δημιουργήθηκε μια περίμετρος ασφαλείας ακτίνας 25m, γύρω από αυτούς όπου κρινόταν αναγκαίο (Εικόνα 4.7).



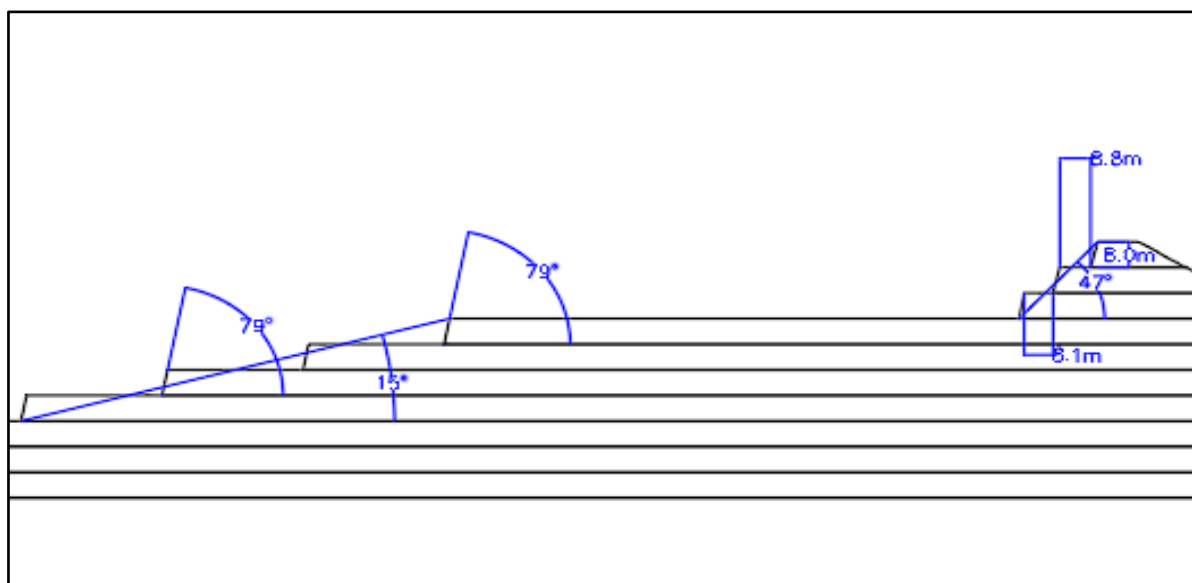
Εικόνα 4.6: Συνολικό, τελικό μοντέλο εκμετάλλευσης με εμφανή το ανεκμετάλλευτο υλικό (καφέ χρώμα).



Εικόνα 4.7: Πύργος μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος και εξέλιξη εκμετάλλευσης γύρω από αυτόν με ελάχιστη ακτίνα 25 μέτρων.

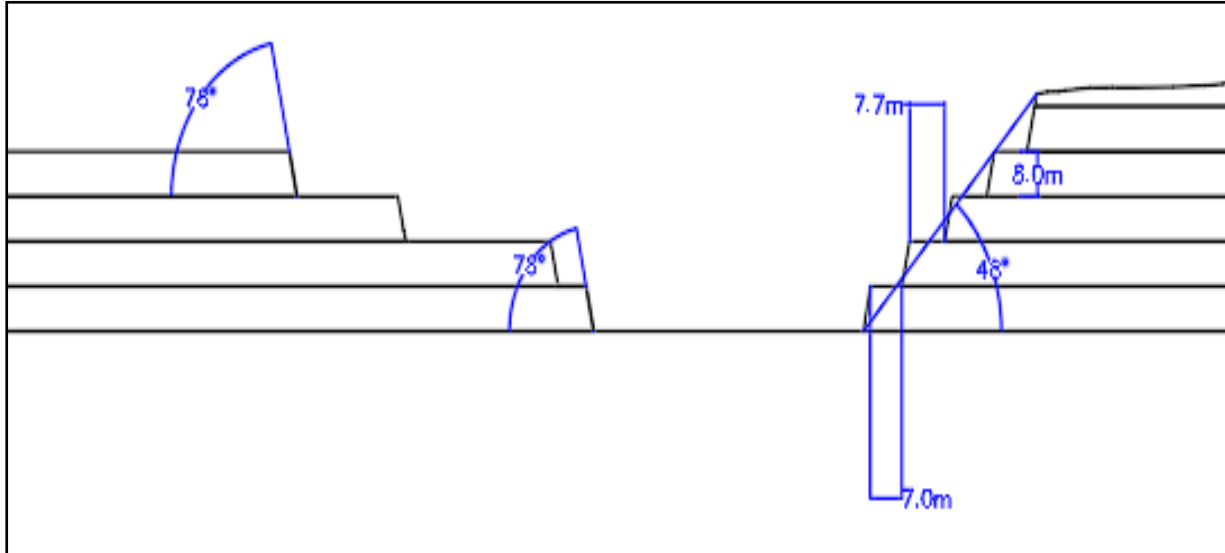
Μετά την ολοκλήρωση του σχεδιασμού, έγιναν στο τελικό μοντέλο ορισμένες τομές (Εικόνα 4.8 & 4.9) για τον έλεγχο και την έγκριση των άνωθεν (Πίνακας 4.2) ορισμένων γεωμετρικών χαρακτηριστικών του σχεδιασμού εκμετάλλευσης.

Όπως αναγνωρίζεται στις εικόνες των τομών το πλάτος και το ύψος των βαθμίδων έχει σχεδιαστεί στα 8m παρά τις μικρές αποκλίσεις που παρατηρούνται στην διαστασιολόγηση τους, οι οποίες δημιουργήθηκαν λόγω του προσανατολισμού της περιοχής και των αξόνων στους οποίους έγιναν οι τομές.



Εικόνα 4.8: Τομή κατά τον άξονα ZX που απεικονίζει την ανοιχτή εκμετάλλευση του μοντέλου εκμετάλλευσης, με ανάλυση των γεωμετρικών της χαρακτηριστικών.

Η τελική γωνία της εκμετάλλευσης που καταγράφεται μετά τον σχεδιασμό παρατηρείται εντός του εύρους γωνιών των $15^{\circ} - 48^{\circ}$, αναλόγως του αριθμού των βαθμίδων σε κάθε περίπτωση και του προσανατολισμού της περιοχής με τους άξονες, (Εικόνες 4.8 & 4.9) και σύμφωνα με το διάγραμμα της Εικόνας 4.3 βρίσκεται εντός της ασφαλούς περιοχής των 50 μοιρών.



Εικόνα 4.9: Τομή κατά τον άξονα ZY που απεικονίζει την κλειστή εκμετάλλευση του μοντέλου εκμετάλλευσης, με ανάλυση των γεωμετρικών της χαρακτηριστικών.

4.3.1. Υπολογισμός Αποθεμάτων και Παραγωγής

Προτείνοντας και χρησιμοποιώντας τελικώς το σχεδιαστικό αυτό μοντέλο πρόκειται να γίνει η εύρεση και ανάλυση των χαρακτηριστικών του και με βάση τα χαρακτηριστικά αυτά να γίνουν διάφορες προτάσεις για την ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου μοντέλου εκμετάλλευσης.

Το δάπεδο της τελευταίας βαθμίδας βρισκόταν σε υψόμετρο 344m και το υψόμετρο του ψηλότερου απολήψιμου σημείου ήταν στα 436m. Έτσι, έγινε ο διαχωρισμός του μοντέλου ανά οκτώ μέτρα όπως αναφέρθηκε και ογκομετρήθηκαν στο κάθε επίπεδο σε κυβικά μέτρα ο απολήψιμος όγκος ούμπρας, ο απολήψιμος όγκος των στείρων της προϋπάρχουσας εκμετάλλευσης και ο όγκος του παραγόμενου στείρου από την εκμετάλλευση αυτή όπως φαίνονται στον Πίνακα 4.3.

Αυτό έγινε για την διευκόλυνση των υπολογισμών των απολήψιμων όγκων και των όγκων των στείρων που θα παράγονταν με τον σχεδιασμό αυτό.

Πίνακας 4.3: Ογκομέτρηση ανά επίπεδο εκμετάλλευσης

Επίπεδα Εκμετάλλευσης	Απολήψιμος όγκος Ούμπρας (m ³)	Απολήψιμος όγκος Σωρών «Στείρων» Θειούχων (m ³)	Παραγόμενο Στείο εκμετάλλευσης (m ³)
- 344	-	-	-
344-352	6.019	1.061	48.599
352-360	19.145	8.358	35.243
360-368	40.395	5.889	26.789
368-376	89.386	1.574	59.336
376-384	171.932	11.047	101.792
384-392	228.766	35.398	162.109
392-400	353.615	59.614	146.628
400-408	354.393	49.900	253.358
408-416	262.114	40.002	190.086
416-424	162.306	1.669	160.846
424-432	43.819	56.101	108.379
432 +	-	19.241	-
Σύνολο	1.731.891	289.854	1.293.164
Μετ. Αποθέματα	2.021.744		

Αθροίζοντας τον όγκο των επιπέδων υπολογίστηκαν οι συνολικοί όγκοι του κάθε σχηματισμού και προσθέτοντάς τους ο συνολικός όγκος μεταλλευτικών αποθεμάτων ίσος με **2.000.000 m³** περίπου. Αθροίζοντας επίσης τους όγκους του κάθε επιπέδου για το παραγόμενο στείο, υπολογίστηκε ο συνολικός όγκος αγόνων που παράγεται για την άρση των αποθεμάτων ίσος με περίπου **1.300.000 m³** (Πίνακας 4.3). Προσθέτοντας τους δύο υπολογιζόμενους όγκους εξάγεται ο συνολικός απολήψιμος όγκος, προσεγγιστικά, ίσος με **3.320.000 m³**.

Οι πρώτοι υπολογισμοί που γίνονται μέσα από αυτά τα δεδομένα είναι ο υπολογισμός της σχέσης αποκάλυψης και στην συνέχεια ο λόγος απόληψης του κοιτάσματος, πόσο δηλαδή υλικό εξορύχθηκε με το συγκεκριμένο μοντέλο που σχεδιάστηκε από το διαθέσιμο υλικό που υπολογίστηκε αρχικά.

$$\text{Σχέση αποκάλυψης (SR)} = \frac{1.293.164 \text{ (m}^3\text{)}}{2.021.744 \text{ (m}^3\text{)}} = 0,640 \quad (3)$$

$$\text{Λόγος Απόληψης (A)} = \frac{2.021.744 \text{ m}^3}{2.465.700 \text{ m}^3} * 100 = 82\% \quad (4)$$

Τα πρώτα αποτελέσματα ήταν αρκετά ενθαρρυντικά καθώς η σχέση αποκάλυψης μέσα από την χαμηλή της τιμή δίνει μια πρώτη ένδειξη για τον καλό σχεδιασμό που έγινε αφού υποδεικνύει ότι ο όγκος των αγόνων που χρειάζεται να απομακρυνθεί για την άρση του προς ενδιαφέρον υλικού είναι λιγότερος από τον όγκο του μεταλλεύματος που θα αποληφθεί. Ακόμα, ο λόγος απόληψης δίνει ένα αρκετά μεγάλο ποσοστό εξορυχθέντος χρήσιμου υλικού με βάση το διαθέσιμο προς εξόρυξη. Τα αποτελέσματα αυτά συνδυάζουν αρκετά πλεονεκτήματα καθώς επισημαίνουν πώς κατά την εκμετάλλευση το στείρο υλικό που εξάγεται είναι λίγο και εύκολα διαχειρίσιμο. Καθώς και ότι το εναπομένει υλικό μετά την εκμετάλλευση είναι της τάξης του 18% των υπαρχόντων γεωλογικών αποθεμάτων, ποσοστό που δεν απαιτεί την περαιτέρω εκμετάλλευση και αφήνει ένα πρόσφορο περιβάλλον για τον σχεδιασμό μιας οργανωμένης αποκατάστασης.

Για την περαιτέρω μελέτη και πρόταση κατάλληλου εξοπλισμού, εξόρυξης - μεταφοράς καθώς και για την τελική οικονομική ανάλυση που πρόκειται να γίνει σε επόμενη ενότητα χρειάζεται να γίνουν ορισμένες θεωρήσεις και παραδοχές μέσω των άνωθεν χαρακτηριστικών που ογκομετρήθηκαν.

Αρχικά, θεωρείται πως ο αναμενόμενος ετήσιος ρυθμός παραγωγής θα είναι της τάξης των 400.000 m³/year και ότι για ένα τέτοιο έργο θα υπάρχει ένα σενάριο εργασιακού πλαισίου 290 ημέρων τον χρόνο, αφαιρώντας τις Κυριακές ενός έτους (4*12=48 ημέρες) και επιπλέον 27 μέρες που προνοούνται οι αργίες και οι αναγκαστικές άδειες.

Μέσω των θεωρήσεων αυτών υπολογίζεται ο αναμενόμενος χρόνος εξόφλησης του κοιτάσματος

$$T = \frac{\text{Συνολικός Απολήψιμος Όγκος}(m^3)}{\text{Ετήσια παραγωγή}(\frac{m^3}{\text{year}})} = \frac{3.314.908 m^3}{400.000 \frac{m^3}{\text{year}}} \approx 8 \text{ years} \quad (5)$$

και η ημερήσια παραγωγή που αναμένεται να επιτευχθεί.

$$\text{Ημερήσια παραγωγή} = \frac{400.000 \frac{m^3}{\text{year}}}{290 \frac{d}{\text{year}}} = 1.379 \frac{m^3}{d} \quad (6)$$

Στην συνέχεια θεωρώντας τον συντελεστή απόδοσης του εργοταξίου ίσο με $n_e = 0,9$ προκύπτουν τα κυβικά που μπορούν να παραχθούν την ημέρα με βάση την εργατικότητα των υπαλλήλων.

$$Q_{\text{συμπαγή}} = \frac{1.379 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{0,9} = 1.532 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \quad (7)$$

Επίσης, το εξορυγμένο υλικό είτε λόγω ασυνεχειών είτε λόγω αστοχιών της εσωτερικής του δομής, μετά την εξόρυξή του αναμένεται να χάσει την συμπαγή του μορφή. Επομένως θα πρέπει να μετατραπεί το συμπαγές υλικό σε χαλαρά εξορυγμένο υλικό. Ως συντελεστής επιπλήσματος θεωρείται $\epsilon=1,3$ και ο παραγόμενος όγκος χαλαρών ανά ημέρα βρίσκεται ίσος με **1.992 m³/d**.

Θεωρώντας ως εργάσιμες ώρες βάρδιας στο λατομείο τις 8 ώρες ανά βάρδια και επιλέγοντας 2 βάρδιες ανά εργάσιμη ημέρα προκύπτει πως ένα εργάσιμο έτος έχει 580 βάρδιες και βρίσκεται η παραγωγή ανά βάρδια ίση με **996 m³/day** και η απαιτούμενη ωριαία παραγωγή χαλαρών ίση με **124,5 m³/h**. Τέλος θεωρώντας μια κοινή πυκνότητα των δύο υλικών του εξορυχθέντος μεταλλεύματος $\rho=2,96 \text{ t/m}^3$ παρατίθενται στον [Πίνακα 4.4](#) οι υπολογιζόμενες τιμές σε μετρικούς τόνους και κυβικά μέτρα.

Πίνακας 4.4: Υπολογιζόμενες τιμές παραγωγής σε κυβικά μέτρα και μετρικούς τόνους

Γεωλογικά Αποθέματα	3.074.324 m ³	9.100.000 t
Ετήσια παραγωγή	400.000 m ³ /year	1.184.000 t/year
Ημερήσια Παραγωγή	1.379 m ³ /d	4.082 t/d
Ημερήσια παραγωγή Συμπαγών	1.532 m ³ /d	4.536 t/d
Ημερήσια Παραγωγή Χαλαρών	1.992 m ³ /d	4.536 t/d
Παραγωγή ανά βάρδια	996 m ³ /shift	2.268 t/shift
Ωριαία Παραγωγή	124 m ³ /h	283 t/h

4.4. Κατάλληλος και Απαραίτητος Μηχανολογικός Εξοπλισμός

4.4.1. Φορτωτές και Φορτηγά

Λόγω των χαμηλών τιμών μηχανικών ιδιοτήτων που φέρουν οι προς εξόρυξη σχηματισμοί γίνεται πρόταση, η εκμετάλλευση να γίνει μόνο με την χρήση μηχανικών μέσων, χωρίς την χρήση εκρηκτικών. Ο κυριότερος και απαιτούμενος τύπος των μηχανημάτων που προτείνεται να ενεργούν στο λατομείο είναι καδοφόροι εκσκαφείς για την εξόρυξη του υλικού και φορτηγά

αυτοκίνητα τύπου dumper για την εκφόρτωση του υλικού από τον χώρο εκμετάλλευσης και την μεταφορά του σε χώρους για μεταγενέστερες διαδικασίες μέχρι την διάθεσή του στην αγορά.

Για την εξόρυξη του υλικού μέσα από έρευνα για την απόδοση και χρήση τέτοιου τύπου μηχανημάτων σε παρόμοιου χαρακτήρα έργα προτείνεται η αγορά και χρήση του ερπυστριοφόρου – καδοφόρου εκσκαφέα R9350 G6 της εταιρείας Liebherr.

Για την μεταφορά του υλικού από τα μέτωπα εξόρυξης προς τους χώρους επεξεργασίας θα χρειαστούν Dumpers μικρής χωρητικότητας, λόγω του μεγέθους της εκμετάλλευσης. Έτσι προτείνεται η αγορά και χρήση των φορτηγών τύπου Dumper CAT775D της εταιρείας Caterpillar.

Για να υπολογιστεί ο αριθμός των οχημάτων που χρειάζονται για την ημερήσια παραγωγή χρειάζεται να γίνουν ορισμένοι υπολογισμοί. Οι υπολογισμοί έγιναν χρησιμοποιώντας τις σχέσεις που δίνονται στο Παράρτημα Β και λαμβάνοντας υπόψιν τις θεωρήσεις του [Πίνακα 4.5](#) και [Πίνακα 4.6](#).

Πίνακας 4.5: Γενικές θεωρήσεις απόδοσης εργοταξίου και μηχανών

Απόδοση εργοταξίου	0,9
Απόδοση μηχανήματος	0,85
Απόδοση κινητήρα μηχανημάτων	0,8
Συντελεστής επιπλήσματος	1,3

Πίνακας 4.6: Απαραίτητα χαρακτηριστικά ερπυστριοφόρου – καδοφόρου εκσκαφέα R9350 G6 της εταιρείας Liebherr

	Ωφέλιμο φορτίο κάδου	$M_{\phi} = 13,1 \text{ t}$
	Όγκος κάδου	$V_{\phi} = 7,3 \text{ m}^3$
Συντελεστής πλήρωσης		$\Phi_{\phi} = 1 \text{ έως } 1,05$
Χρόνος κύκλου φόρτωσης		$t_{\phi} = 2 \text{ min}$

Ισχύς	757 HP
Κατανάλωση	0,2 L/HP/h
Κόστος κτήσης	420.000 €
Επιτόκιο Αγοράς	4%

Αρχικά υπολογίστηκε η **Απαιτούμενη Ωριαία Παραγωγή** = $86,6 \text{ m}^3/\text{h}$ συμπαγούς υλικού και η **Απαιτούμενη Ωριαία Παραγωγή Χαλαρών** = $124,5 \text{ m}^3/\text{h}$. Στην συνέχεια ελέγχεται αν το φορτίο του μέγιστου όγκου χαλαρών που χωράει στον κουβά υπερβαίνει το ωφέλιμο φορτίο του κουβά, υπολογίζοντας τον **όγκο χαλαρών σε πλήρη φόρτωση** = $7,7 \text{ m}^3$ και από αυτόν το **φορτίο σε πλήρη φόρτιση** = $17,5 \text{ t}$. Συγκρίνοντάς το με το ωφέλιμο φορτίο κουβά του εξοπλισμού που επιλέχθηκε παρατηρείται ότι ο κουβάς του φορτωτή δεν μπορεί να σηκώσει τον όγκο που εξορύχθηκε.

Για τον λόγο αυτό ο υπολογισμός της παραγωγής γίνεται με βάση το ωφέλιμο φορτίου του κουβά, $M_\phi = 13,1 \text{ t}$. Υπολογίζεται μέσω αυτού ο **όγκος χαλαρών σε πλήρη φόρτωση** = $5,8 \text{ m}^3$ και παρατηρείται ότι ο όγκος των χαλαρών που προκύπτει από την μετατροπή των $13,1 \text{ t}$ υλικού σε κυβικά μέτρα (που χωράει κατά μέγιστο ο κουβάς) είναι μικρότερος από τον όγκο του κουβά (10 m^3) κατά **ποσοστό πλήρωσης 79 %**. Τέλος βρίσκεται η **πραγματική ωριαία παραγωγή** ίση με $147,2 \text{ m}^3/\text{h}$ και συγκρίνεται με την απαιτούμενη για να βρεθεί ο **αριθμός των φορτωτών ίσος με 0,85**.

Έτσι συμπεραίνεται ότι για την εκμετάλλευση αυτή θα χρειαστεί 1 φορτωτής, του οποίου τα λειτουργικά χαρακτηριστικά συνυπολογιζόμενου του χρόνου των 8h (480 min) και 2 βαρδιών (960 λεπτά) που θα λειτουργεί φαίνονται στον Πίνακα 4.7.

Πίνακας 4.7: Παραγωγικά χαρακτηριστικά εξοπλισμού φόρτωσης

Μέγιστος ημερήσιος χρόνος εργασίας	16 h
Συντελεστής χρήσης ανά ώρα CU (με βάση το 8ωρο)	0,95
Συνολικός Χρόνος εργασίας	4.400 h/year
Ωριαία κατανάλωση	151 L/h

Ημερήσια Κατανάλωση	2.420 L/d
Συνολική Κατανάλωση ανά έτος	702.500 L/year
Συνολικό Κόστος Καυσίμων ανά έτος (1.6€/L)	1.125.000 €/year
Κόστος λιπαντικών μηχανημάτων ανά έτος	281.000 €/year
Κόστος συντήρησης μηχανημάτων ανά έτος	90.000 €/year
Απόσβεση μηχανήματος (7 yrs)	70.000 €/year

Με παρόμοια επεξεργασία των δεδομένων που παρατίθενται στους Πίνακες 4.8 και 4.9 υπολογίζονται και τα φορτηγά που χρειάζονται για την μεταφορά του υλικού.

Πίνακας 4.8: Απαραίτητα χαρακτηριστικά λαστιχοφόρων φορτηγών τύπου Dumper CAT775D της εταιρείας Caterpillar

	Όγκος καρότσας	$V_a = 31,4 \text{ m}^3$
	Μέγιστο ωφέλιμο φορτίο	$B_o = 63,3 \text{ t}$
	Απόβαρο	$B_a = 43,3 \text{ t}$
	Ονομαστική ισχύς	$N_a = 700 \text{ HP}$
	Συντελεστής πλήρωσης	$\Phi_a = 1 \text{ (μέγ.)}$
	Σταθεροί χρόνοι ελιγμών (χωρίς την φόρτωση)	$t_{\text{σταθ}} = 1,5 \text{ min}$
	Κατανάλωση	0,2 L/HP/h
	Κόστος κτήσης	300.000 €
	Επιτόκιο Αγοράς	4%

Πίνακας 4.9 : Γενικές θεωρήσεις για το δρομολόγιο που θα ακολουθείται από τα φορτηγά

Μήκος δρομολογίου	$L = 1.200 \text{ m}$
Αντίσταση κύλισης	$W_r = 50 \text{ kp/Mp}$

Μέση κλίση δρομολογίου	$S = 10\%$
Αντίσταση κλίσης	$W_s = 100 \text{ kp/Mp}$
Συντελεστής ταχύτητας φορτωμένο	$n_{al} = 0,85$
Συντελεστής ταχύτητας άδειο	$n_{ae} = 1$
Όριο ταχύτητας	$v_R = 20 \text{ km/h}$

Ξεκινώντας τους υπολογισμούς με τον υπολογισμό του αριθμού φορτώσεων με βάση τον όγκο της καρότσας του φορτηγού βρίσκονται **5,4 φορτώσεις, αριθμός ο οποίος στρογγυλοποιείται στις 5**. Στην συνέχεια υπολογίζεται η **μάζα χαλαρών στο φορτηγό στους 65,7 t** και συγκρίνεται με το **μέγιστο ωφέλιμο φορτίο που είναι 63,3 t**. Η μάζα χαλαρών που θα φορτωθεί στο φορτηγό υπερβαίνει την μάζα που μπορεί το φορτηγό να μεταφέρει.

Για τον λόγο αυτό ο υπολογισμός των φορτώσεων θα γίνει με βάση το ωφέλιμο φορτίο της καρότσας. Ο **αριθμός των φορτώσεων υπολογίζεται στις 4,8 φορτώσεις και μειώνονται στις 4**. Με βάση τον νέο αριθμό φορτώσεων στο αυτοκίνητο υπολογίζεται ο **όγκος χαλαρών που μπορεί να φορτωθεί ίσος με 23 m³** και η **μάζα χαλαρών = 53 t**.

Προχωρώντας στον υπολογισμό του αριθμού των φορτηγών που θα χρειαστούν, χρειάζεται να υπολογιστεί ο συνολικός χρόνος κίνησης, η μέγιστη και ελάχιστη ταχύτητα κίνησης και η ωριαία παραγωγή του αυτοκινήτου. Αρχικά υπολογίζεται η **μέγιστη ταχύτητα κίνησης φορτηγού = 23,3 km/h, η ταχύτητα κίνησης φορτωμένου φορτηγού = 8,9 km/h** και συγκρίνεται η μέγιστη ταχύτητα κίνησης φορτηγού με το όριο ταχύτητας (v_R).

Η μέγιστη ταχύτητα κίνησης του φορτηγού υπερβαίνει το όριο των 20km/h, έτσι η μέγιστη ταχύτητα τίθεται ίση με **20 km/h**. Στην συνέχεια υπολογίζεται ο **συνολικός χρόνος δρομολογίου=0,36 h**, προσθέτοντας τον **χρόνο μετακίνησης του φορτωμένου φορτηγού=0,14 h**, τον **χρόνο μετακίνησης άδειου φορτηγού= 0,06 h** τον **χρόνο σταθερών ελιγμών= 0,03 h** και τον **χρόνο φόρτωσης= 0,14h**.

Τέλος βρίσκεται η **ωριαία παραγωγή φορτηγού = 63 m³/h** και ο **αριθμός αυτοκινήτων που χρειάζονται για την μεταφορά=1,9**. Έτσι συμπεραίνεται ότι για την εκμετάλλευση αυτή θα χρειαστούν 2 φορτηγά, των οποίων τα παραγωγικά χαρακτηριστικά φαίνονται στον [Πίνακα 4.10](#).

Πίνακας 4.10: Παραγωγικά Χαρακτηριστικά Εξοπλισμού Μεταφοράς (Για τα 2 φορτηγά)

Μέγιστος ημερήσιος χρόνος εργασίας	16 h
Συντελεστής χρήσης ανά ώρα CU (με βάση το 8ωρο)	0,95
Συνολικός Χρόνος εργασίας	8.820 h/year
Ωριαία κατανάλωση	280 L/h
Ημερήσια Κατανάλωση	4.480 L/d
Συνολική Κατανάλωση ανά έτος	1.300.000 L/year
Συνολικό Κόστος Καυσίμων ανά έτος(1.6€/lt)	2.080.000 €/year
Κόστος λιπαντικών μηχανημάτων ανά έτος	520.000 €/year
Κόστος συντήρησης μηχανημάτων ανά έτος	167.000 €/year
Απόσβεση μηχανήματος (7 yrs)	50.000 €/year

4.4.2. Βοηθητικός Εξοπλισμός


Εκτός του βασικού εξοπλισμού γίνονται ορισμένες προνοήσεις και μέσα από έρευνα για τις τιμές και την καταλληλότητα προτείνεται ο επιπλέον βοηθητικός εξής εξοπλισμός:

- Ένας κοινός εκσκαφέας με πισινό πτύο που θα χρησιμοποιηθεί στα αρχικά στάδια διάνοιξης δρόμων και ραμπών καθώς και σε διάφορες παράλληλες βοηθητικές εργασίες κατά την πορεία του έργου.
- Φορτηγό όχημα με γερανό ώστε να μεταφέρονται τα διάφορα ανταλλακτικά εξαρτήματα και γενικότερα ο εξοπλισμός με δυνατότητα μεταφοράς του προσωπικού στον χώρο εργασίας του.
- 2 διπλοκάμπινα αυτοκίνητα για την επιτήρηση του έργου από τους μηχανικούς και τις διάφορες μετακινήσεις του προσωπικού.
- Εξοπλισμός ασφαλείας και επικοινωνίας προσωπικού.
- Εξοπλισμός ελέγχου υγιεινής και ασφάλειας.

Των οποίων τα χαρακτηριστικά παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.


Ο εκσκαφέας που προτείνεται είναι ο Center Pivot 450 της εταιρείας Caterpillar (Πίνακας 4.11) απλά για λόγους εξέλιξης της έρευνας, καθώς μπορεί να γίνει η αγορά οποιουδήποτε μοντέλου ακόμα και μεταχειρισμένου για το συγκεκριμένο είδος εξοπλισμού.

Πίνακας 4.11:Χαρακτηριστικά εκσκαφέα Center Pivot 450 της εταιρείας Caterpillar

	Ισχύς	131 HP
	Κατανάλωση	0,2 L/HP/h
Κόστος κτήσης		80.000 €
Επιτόκιο Αγοράς		4%
Μέγιστος ημερήσιος χρόνος εργασίας		3 h
Συνολικός Χρόνος εργασίας		870 h/year
Ωριαία κατανάλωση		26,2 L/h
Ημερήσια Κατανάλωση		78,6 L/d
Συνολική Κατανάλωση ανά έτος		23.000 L/year
Συνολικό Κόστος Καυσίμων ανά έτος(1.6€/L)		36.500 €/year
Κόστος λιπαντικών μηχανημάτων ανά έτος		9.200 €/year
Κόστος συντήρησης μηχανημάτων ανά έτος		3.000 €/year
Απόσβεση μηχανήματος (7 years)		13.500 €/year


Το φορτηγό που επιλέγεται να προταθεί για την μεταφορά του εξοπλισμού και του προσωπικού είναι το MAN TGM 4x4 AK MKG HLK το οποίο παρουσιάζει τα παρακάτω χαρακτηριστικά

Πίνακας 4.12: Χαρακτηριστικά φορτηγού MAN TGM 4x4 AK MKG HLK

	Ισχύς	260 HP
	Κατανάλωση	0,2 L/HP/h
Κόστος κτήσης		60.000 €
Επιτόκιο Αγοράς		4%
Μέγιστος ημερήσιος χρόνος εργασίας		1 h
Συνολικός Χρόνος εργασίας		290 h/year
Ωριαία κατανάλωση		52 L/h
Ημερήσια Κατανάλωση		52 L/d
Συνολική Κατανάλωση ανά έτος		15.000 L/year
Συνολικό Κόστος Καυσίμων ανά έτος(1.6€/lt)		24.000 €/year
Κόστος λιπαντικών μηχανημάτων ανά έτος		6.000 €/year
Κόστος συντήρησης μηχανημάτων ανά έτος		2.000 €/year
Απόσβεση μηχανήματος (7 years)		10.000 €/year

Για την επιτήρηση του έργου από τους μηχανικούς και τις διάφορες μετακινήσεις του προσωπικού προτείνεται η αγορά 2 διπλοκάμπινων αυτοκινήτων HILUX Invisible της εταιρείας TOYOTA απλά για λόγους εκπόνησης της μελέτης.

Πίνακας 4.13: Χαρακτηριστικά διπλοκάμπινων αυτοκινήτων HILUX Invisible της εταιρείας TOYOTA

	Ισχύς	150 HP
	Κατανάλωση	0,2 L/HP/h

Κόστος κτήσης	40.000 €
Επιτόκιο Αγοράς	4%
Μέγιστος ημερήσιος χρόνος εργασίας	8 h
Συνολικός Χρόνος εργασίας	2.320 h/year
Ωριαία κατανάλωση	60 L/h
Ημερήσια Κατανάλωση	480 L/day
Συνολική Κατανάλωση ανά έτος	140.000 L/year
Συνολικό Κόστος Καυσίμων ανά έτος(1.6€/lt)	223.000 €/year
Απόσβεση μηχανήματος (7 years)	6.700 €/year

Τέλος όσον αφορά τον λοιπό εξοπλισμό που προτείνεται αναφέρονται στον [Πίνακα 4.14](#) ορισμένες ενδεικτικές τιμές.

Πίνακας 4.14: Λοιπός εξοπλισμός και χαρακτηριστικά κοστολόγησης

<u>Ασφάλεια- Επικοινωνία</u>	
Κόστος κτήσης Κράνους	15 €
Κόστος κτήσης Γιλέκου Ασφαλείας	10 €
Κόστος κτήσης Ενδυμασίας Ασφαλείας	115 €
Κόστος κτήσης Μάσκας Οξυγόνου	10 €
Κόστος κτήσης Ασυρμάτου	50 €
Σύνολο ανά εργαζόμενο	200 €
<u>Εξοπλισμός ελέγχου υγιεινής και ασφάλειας</u>	

Κόστος εξοπλισμού ελέγχου χημικών ρύπων	10τεμ. * 60€
Κόστος εξοπλισμού ελέγχου κραδασμών	2συσκ. * 100 €
Κόστος εξοπλισμού ελέγχου θορύβου	2συσκ. * 62,5 €
Κόστος εξοπλισμού ελέγχου θερμικής καταπόνησης	575 €
Συνολικό Κόστος εξοπλισμού ελέγχου	1500 €

4.5. Κοστολόγηση Εξοπλισμού – Εργατικό Δυναμικό & Μισθοδοσία - Προϋπολογισμός Έργου

Μετά τους υπολογισμούς και την εύρεση του απαιτούμενου εξοπλισμού, των οχημάτων που θα χρειαστούν για την διεκπεραίωση του έργου και των υλικών που απαιτούνται για τις διάφορες διαδικασίες της εκμετάλλευσης, χρειάστηκε να υπολογιστεί το κόστος τους για την υπόδειξη του προϋπολογισμού του έργου και την εύρεση του μοναδιαίου κέρδους. Μέσα από έρευνα στο διαδίκτυο και προσπάθεια επικοινωνίας με τις εταιρείες στις οποίες ανήκουν τα μοντέλα που προτάθηκε να αγοραστούν, υπολογίστηκαν τα έξοδα για το υλικό δυναμικό του εργοταξίου. Οι τελικές τιμές που αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα είναι ενδεικτικές και καταγράφηκαν με ακρίβεια $\pm 10.000,00$ € καθώς για την γνωστοποίηση της ακριβούς τιμής του εξοπλισμού απαιτείτο να γίνει προσφορά αγοράς στις εταιρείες που ανήκουν τα μοντέλα του βαρέως τύπου εξοπλισμού.

Πίνακας 4.15:Κόστος κτήσης μηχανολογικού εξοπλισμού

Διαδικασία	Οχήματα- Εξοπλισμός	Κόστος Κτήσης (€)	Συνολικό Κόστος (€)
Φόρτωση& Μεταφ.	1 ^{ος} Φορτωτής	420.000	
	1 ^ο Φορηγό	300.000	
	2 ^ο Φορηγό	300.000	1.020.000

Γενικός Βοηθ. Εξοπλ.	Εκσκαφέας	80.000	
	Βοηθητικό Φορτηγό	60.000	
	Διπλοκάμπινα Αυτοκίνητα	80.000	
	Ασφάλεια & Επικ.	2.600	
	Υγιεινή & Ασφάλ.	1.500	224.000
Συνολικό Κόστος Κτήσης Μηχανολογικού Εξοπλισμού			1.244.000 €

Πίνακας 4.16: Κόστος αναλωσίμων ανά έτος μέχρι το τέλος της εκμετάλλευσης

Διαδικασία	Οχήματα-Εξοπλισμός	Κόστος Καυσίμων	Κόστος Αναλωσίμων (€/y)	Συνολικό Κόστος ανά έτος (€/y)
Φόρτωση & Μεταφ.	1 ^{ος} Φορτωτής	1.124.000	371.000	
	1 ^ο Φορτηγό	1.040.000	343.000	
	2 ^ο Φορτηγό	1.040.000	343.000	4.260.000
Γενικός Βοηθ. Εξοπλ.	Εκσκαφέας	36.500	12.000	
	Βοηθητ. Φορτηγό	24.000	7.962	
	Διπλοκάμπινα Αυτοκίνητα	223.000		304.000
Κόστος Αναλωσίμων Μηχανολογικού Εξοπλισμού ανά έτος				4.564.000
Συνολικό Κόστος Αναλωσίμων Μηχανολογικού Εξοπλισμού				35.100.000 €

Λόγω πιθανής ανάγκης για περαιτέρω έξοδα για την αγορά εξοπλισμού, τα συνολικά έξοδα μέχρι το τέλος του έργου που συνυπολογίζονται από τους Πίνακες 4.15 και 4.16 για το υλικό δυναμικό, ενώ ανέρχονται στα 35.100.000 € στρογγυλοποιούνται στα **35,5 εκατομμύρια ευρώ**.

Παρατηρώντας τον εξοπλισμό και τις διάφορες εργασίες που απαιτείται να γίνουν κατά την εκμετάλλευση καθώς και τις παρεμφερείς εργασίες που είναι αναγκαίες για την σωστή λειτουργία ενός εργοταξίου τέτοιας φύσης και μεγέθους προτάθηκε η σύσταση του ανθρώπινου εργατικού δυναμικού για μία βάρδια στον Πίνακα 4.16.

Πίνακας 4.17: Ανθρώπινο δυναμικό και μισθοδοσία για μία βάρδια

Τομέας	Προσωπικό		Μισθός (€/month)	Συνολική Μισθοδοσία (€/year)
Εργοδότηση	1 Μηχανικός Ορυκτών Πόρων		4.000	52.000
Εποπτεία	1 Μηχανικός Ορ. Πόρων (Υπεύθυνος εκμετάλλευσης)		3.500	45.500
Μηχανολογικά	2 Μηχανικοί βαρέου τύπου οχημάτων		1.500	39.000
Ηλεκτρολογικά	1 Ηλεκτρολόγος Μηχανικός		1.400	18.200
Υγείας και ασφάλειας	1 Νοσοκόμος και Υπεύθυνος ασφάλειας		1.300	16.900
Γενικές Εργασίες και Αρμοδιότητες	3 Εργάτες για παρεμφερή εργασίες		1.200	15.600
	Οχήματα			
Φόρτωση & Μεταφ.	Φορτωτής	2 Χειριστές φορτωτή και εκσκαφέα	2.100	54.600
Φόρτωση & Μεταφ.	Φορτηγό	2 Οδηγούς φορτηγών	2.100	54.600

ΣΥΝΟΛΟ	13		296.400
Συνολικό Κόστος Μισθοδοσιών			2.300.000 €

Οι εργασίες που καλείται να κάνει ο κάθε ένας από τους προτεινόμενους εργαζομένους και οι ευθύνες που έχουν είναι πολλές και χρήζουν ανάλυσης. Θα μπορούσαν ορισμένες θέσεις εργασίας να μισθοδοτούνται με βάση το έργο που παράγουν, είτε να πληρώνονται με την μέρα. Προτιμήθηκε όμως μέσα από υπολογισμούς που έγιναν να δοθεί σε όλους ένας προτεινόμενος μισθός τον μήνα, για 13 μήνες τον χρόνο και 107 μήνες στο σύνολο ζωής του έργου, ανάλογα της θέσης και της σημαντικότητας της εργασίας που επιτελούν.

Το συνολικό ποσό που βρίσκεται για την μισθοδοσία του ανθρώπινου δυναμικού για όλο τον χρόνο ζωής του μεταλλείου, διπλασιάζοντας το τελικό ποσό που αναγράφεται στον [Πίνακα 4.16](#) για δύο βάρδιες ανέρχεται στα 4.600.000 € και στρογγυλοποιείται για τυχόν παραλήψεις στα 4,6 εκατομμύρια ευρώ.

Έτσι αφού υπολογίστηκαν και προτάθηκαν τα έξοδα για τον εξοπλισμό και το προσωπικό προσθέτοντας τα, βρίσκονται τα συνολικά έξοδα για την εκμετάλλευση. Συνυπολογίζοντάς τα και διαιρώντας με τα μεταλλευτικά αποθέματα υπολογίζεται το μοναδιαίο κόστος εκμετάλλευσης όπως φαίνεται στους παρακάτω υπολογισμούς.

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα γίνεται η παραδοχή, ορισμού του όγκου των σωρών του στείρου υλικού εντός των μεταλλευτικών αποθεμάτων για σκοπούς συντομίας της έρευνας, παρά την διαφορετική επεξεργασία και τελική απόληψη σε πολύτιμα μέταλλα που μπορεί να περιέχουν.

$$\begin{aligned} &\text{Συνολικό κόστος εξοπλισμού} + \text{Συνολικό κόστος μισθοδοσιών} \\ &= \text{Συνολικό κόστος Εκμετάλλευσης} \end{aligned}$$

$$35.500.000 \text{ €} + 4.600.000 \text{ €} = 40.100.000 \text{ €}$$

$$\text{Μοναδιαίο Κόστος Εκμετάλλευσης} = \frac{\text{Κόστος Εκμετάλλευσης}}{\text{Μεταλλευτικά Αποθέματα}}$$

$$\text{Μοναδιαίο Κόστος Εκμετάλλευσης} = \frac{40.100.000\text{€}}{1.890.000 \text{ m}^3} = 21,2 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} = 7,2 \frac{\text{€}}{\text{t}}$$

Κάνοντας μια έρευνα στο διαδίκτυο σε διάφορες εταιρείες αγοράς και πώλησης παρόμοιων υλικών με την Ούμπρα και την Ώχρα και επικοινωνώντας με τον κάτοχο της μικρής άδειας εξόρυξης Ούμπρας στον Μαθιάτη εξάχθηκε μια μέση τιμή του υλικού.

Αγνοώντας την υψηλότερη τιμή πώλησης που θα μπορούσε να τεθεί στα μεταλλευτικά αποθέματα λόγω περιεκτικότητας τους σε πολύτιμα μέταλλα, καθώς σε αυτά όπως προαναφέρθηκε εντάχθηκαν και τα στείρα της προηγούμενης εκμετάλλευσης ορίστηκε μια τιμή πώλησης του υλικού σαν απλή χρωστική ουσία στα **15 €/t**. Πολλαπλασιάζοντας με τον όγκο των μεταλλευτικών αποθεμάτων την τιμή αυτή βρέθηκε το ποσό των **83.900.000 €**.

Αφαιρώντας από την τιμή αυτή το μέγιστο ποσό εξόδων, υπολογίστηκε πρόχειρα το **ελάχιστο πιθανό κέρδος**, με την ελάχιστη τιμή πώλησης του προϊόντος, μέσω επίτευξης του άνωθεν σχεδιασμού στα **43.800.000 €**.

Κεφάλαιο 5^ο :
Συμπεράσματα και Προτάσεις

5. Συμπεράσματα και Προτάσεις

5.1. Προοπτική εξέλιξης ερευνών και Πρόταση αποκατάστασης μεταλλείου

Κατά την ανάγνωση της παρούσας εργασίας, αρκετές είναι οι ελλείψεις και οι θεωρήσεις που γίνονται για την κάλυψη τους. Οι θεωρήσεις έγιναν εντός γνωστών πλαισίων με σκοπό την ανάλυση του έργου αυτού για την δημιουργία κινήτρων για περαιτέρω έρευνες που μπορούν να γίνουν.

Όσον αφορά το πρόβλημα της όξινης απορροής που μαστίζει την περιοχή, θα μπορούσε να συσταθεί ομάδα έμπειρων Μηχανικών Ορυκτών Πόρων και Χημικών Μηχανικών να μελετήσει εμπεριστατωμένα την περιοχή και να συντάξει μια οργανωμένη περιβαλλοντική μελέτη για το μεταλλείο. Η μελέτη αυτή θα μπορούσε να έχει ως βάση την απειλή του οικοσυστήματος της περιοχής λόγω του μεταλλείου και ως στόχο να αποδείξει την ανάγκη αποκατάστασης χώρων με παρόμοια χαρακτηριστικά στο νησί προτρέποντας τις αρχές να αδειοδοτήσουν εκμεταλλεύσεις παρόμοιου χαρακτήρα με αυτήν που αναλύεται στο εύρος των παραπάνω ενοτήτων.

Γεωμηχανικά θα μπορούσε να γίνει μια πιο τεκμηριωμένη έρευνα για τον καλύτερο έλεγχο των μηχανικών ιδιοτήτων των σχηματισμών που εκφράζουν την περιοχή. Θα ήταν επίσης συνετό να συνεχιστεί γενικότερα η γεωτρητική έρευνα εξοπλίζοντας έτσι το γενικό πλάνο με πιο αξιόπιστα εργαλεία για την εξέλιξη της ψηφιοποίησης των σχηματισμών και τον ορθότερο σχεδιασμό της εκμετάλλευσης αυτών.

Ακόμα, μέσα από τις χημικές αναλύσεις των δειγμάτων των γεωτρήσεων θα ήταν δυνατό να γίνει η καλύτερη οργάνωσή τους και να υποδειχθούν οι περιεκτικότητες των μεταλλικών στοιχείων και ίσως των σπάνιων γαιών που πιθανώς να περιέχονται σε τιμές πέραν του ορίου εύρεσης τους.

Με μια πιο οργανωμένη έρευνα στην χημική περιεκτικότητα των στοιχείων θα δοθεί η δυνατότητα μελέτης των σχηματισμών για προσδιορισμό της τιμής επεξεργασίας τους και με γνωστές τις τιμές πώλησης των απολήψιμων μετάλλων να οδηγήσει σε καλύτερες συνθήκες πώλησης του υλικού καθιστώντας την εκμετάλλευσή του ακόμα πιο συμφέρουσα και αναγκαία.

Χρησιμοποιώντας τις παραπάνω εισηγήσεις η παρούσα ερευνητική εργασία θα αποκτούσε έναν πιο ολοκληρωμένο χαρακτήρα και μεγαλύτερη βαρύτητα. Θα μπορούσαν τα παραπάνω

στοιχεία να προστεθούν στο ψηφιακό μοντέλο του μεταλλείου στο Civil 3D τελειοποιώντας τον σχεδιασμό και εξελίσσοντας τον στο πιο σύγχρονο και πιο ολοκληρωμένο μοντέλο άμεσης παρατήρησης των χαρακτηριστικών του Βορείου Μεταλλείου του Μαθιάτη.

Όσον αφορά την αποκατάσταση του χώρου με την απόφαση περαιτέρω εκμετάλλευσης του σχηματισμού Πέρα Πεδίου και την απομάκρυνση των στειρών από την περίμετρο του εγκαταλελειμμένου μεταλλείου πολλά είναι τα πλεονεκτήματα που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν προς όφελος της εισήγησης ενός πλάνου αποκατάστασης. Ένα από τα πλεονεκτήματα το οποίο αναφέρεται εν συντομία και χρίζει μελέτης, είναι ο βασικού pH χαρακτήρας των μαξιλαροειδών λαβών του ανώτερου ορίζοντα που ορίζονται σαν στείρα στην επικείμενη εκμετάλλευση του σχηματισμού Πέρα Πεδίου. Θεωρείται σαν πλεονέκτημα της εκμετάλλευσης καθώς πρόχειρα εισηγείται πως μπορούν να γίνουν η λύση στο πρόβλημα της όξινης απορροής. Εάν γίνει ανάλυση τους και καταγραφεί το βασικό τους pH θα ήταν δυνατόν κατά την πορεία της εκμετάλλευσης να αναμιγνύονται, μετά από τον διαχωρισμό τους από τις Ούμπρες, ίσως με ασβεστολιθικό υλικό και να αποτίθενται κατευθείαν εντός του σκάμματος της προϋπαρχουσας εκμετάλλευσης σε μια προσπάθεια εξουδετέρωσης του όξινου pH που το χαρακτηρίζει.

Προς όφελος ακόμη, της αποζητούμενης αποκατάστασης του μεταλλείου είναι ο τρόπος σχεδιασμού της εκμετάλλευσης που αναφέρθηκε στις παραπάνω ενότητες καθώς στην τελική του μορφή δημιουργεί μια αρκετά μεγάλη έκταση επίπεδης επιφάνειας καθιστώντας τον χώρο κατάλληλο είτε για φυσική επαναδιαμόρφωση είτε ακόμη και για ανοικοδόμηση κάποιου έργου στην περιοχή.

Λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω και το γεγονός τού ότι το μεταλλείου του Μαθιάτη βρίσκεται εντός των ορίων του κρατικού Γεωπάρκου του Τροόδους γίνεται μια αρχική εισήγηση, σαν προσωπική ιδέα, για την καινοτόμα διαμόρφωση του χώρου. Την ανέγερση ενός θεματικού πάρκου με θέμα την Γεωλογία και ειδικότερα την Γεωλογία της Κύπρου το οποίο θα αποτελέσει πόλος έλξης διαφόρων ηλικιών και θα προσδώσει στην περιοχή και γενικότερα στην χώρα αρκετά πλεονεκτήματα και κέρδη καθώς και μια πρωτοποριακή ανάδειξη της συσχέτισης των Γεωεπιστημών με το νησί της Κύπρου.

5.2. Συμπεράσματα

Ο μεταλλευτικός πλούτος της Κύπρου αποτέλεσε κατά τους αιώνες ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του νησιού, παρέχοντας σημαντικά εφόδια για την οικονομική και κοινωνικοπολιτική εξέλιξη του τόπου. Τα πλεονεκτήματα όμως με το πέρασ των χρόνων, μέσα από διάφορες καταστάσεις που επηρέασαν τις μεταλλευτικές δραστηριότητες, μεταβλήθηκαν σε αρκετά έντονα μειονεκτήματα που επηρεάζουν και ρυπαίνουν το φυσικό περιβάλλον του νησιού.

Η όξινη απορροή που προκαλείται από τα εγκαταλελειμμένα μεταλλεία στην επικράτεια της Κύπρου, ξεκίνησε έστω και καθυστερημένα να προβληματίζει τις αρμόδιες αρχές και να αποτελεί πρώτο θέμα συζήτησης. Δράττοντας την ευκαιρία, στην παρούσα διπλωματική εργασία επισημαίνεται η σημαντικότητα του προβλήματος αυτού και η ανάγκη για ένα πλάνο έναρξης διαδικασιών που τελικά θα οδηγήσουν στο πολυπόθητο αποτέλεσμα. Γίνεται αντιληπτό πως η γεωλογία της Κύπρου κρύβει ακόμα αρκετούς θησαυρούς και πως οι θησαυροί αυτοί μπορούν ίσως να συντελέσουν στην δημιουργία πρόσφορων συνθηκών για την επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος αποκατάστασης των μεταλλείων του νησιού και παράλληλα να αποφέρουν κέρδος σε ενδιαφερόμενες εταιρείες.

Μέσα από τα σύγχρονα μέσα παρατήρησης και επεξεργασίας δεδομένων μίας γεωλογικής έρευνας αποδεικνύεται η ευκολία ψηφιοποίησης τους και η δημιουργία χρήσιμων μοντέλων για άμεση παρατήρηση των επί τόπου χαρακτηριστικών μιας περιοχής. Χρησιμοποιώντας τα σύγχρονα αυτά εργαλεία ψηφιοποίησης των δεδομένων κατανοείται επίσης η σημαντικότητα ύπαρξης τέτοιων μοντέλων για την επισκόπηση της περιοχής καθώς και για τον σχεδιασμό ενός πλάνου εκμετάλλευσης.

Έχοντας στην κατοχή της ένα τέτοιο ψηφιοποιημένο μοντέλο, μια εταιρεία μπορεί να προχωρήσει σε περαιτέρω έρευνες για την εξέλιξη του μοντέλου καθώς και να παρατηρήσει άμεσα εάν ο σχεδιασμός εκμετάλλευσης που μπορεί να σχεδιαστεί και να προταθεί για μια περιοχή είναι συμφέρον και αποδοτικός.

Συμπερασματικά, η συγγραφή της εργασίας αυτής έγινε για την πρώτη δημιουργία ενός ψηφιακού γεωλογικού μοντέλου του βόρειου μεταλλείου του Μαθιάτη, την πρώτη πρόταση σχεδιασμού μίας εκμετάλλευσης που μπορεί να γίνει στον χώρο και ουσιαστικά την πρώτη πρόταση επίλυσης ενός προβλήματος που μαστίζει το περιβάλλον της Κύπρου.

Όλα αυτά έγιναν με σκοπό την ανάδειξη της απαραίτητης ύπαρξης τέτοιων μοντέλων παρατήρησης καθώς και της ευκολίας χρήσης τέτοιων εργαλείων ανάλυσής τους, με τελικό αποζητούμενο και ελπίδα την αναγνώριση των πλεονεκτημάτων που προσδίδονται και την απόδοση κινήτρων για την έναρξη ενεργειών προς όφελος του περιβάλλοντος, των κοινοτήτων και γενικά όλης της νήσου Κύπρου.

Βιβλιογραφία

Bailey W. R., Holdsworth, R. E., Swarbrick, R. E. Kinematic history of a reactivated oceanic suture: the Mamonia Complex Suture Zone, SW Cyprus: [Journal] // Journal of the Geological Society. - 2000. - pp. 157, 1107-1126.

Baroz F. Volcanism and continent-island arc collision in the Pentadaktylos range, Cyprus [Journal] // Proc Internat Symp. - 1980. - pp. 73–75.

Bieniawski Z. T. A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering [Book]. - [s.l.] : John Wiley & Sons, 1989.

Cameron W. E. Petrology and origin of primitive lavas from the Troodos ophiolite, Cyprus [Journal] // Contributions to Mineralogy and Petrology. - 1985. - pp. 89, pages239–255.

Charalambides A., Petrides, G., Pashalidis, I. Rainwater characteristics over an old sulphide mine refuse in Sha, Cyprus [Article] // Atmospheric Enviroment. - Nicosia : Pergamon, 2002. - 2003. - 1921-1926 : Vol. 37.

Constantinou G. THE GEOLOGY AND GENESIS OF THE SULPHIDE ORES OF CYPRUS [Report]. - London : Mining Geology Division Royal School of Mines Imperial College of Soience and Technology, 1972.

Constantinou G., Govett, G. J. S. Genesis of sulphide deposits, ochre and umber of Cyprus [Journal] // Inst. Mining Metallurgy. - 2005. - pp. 81, 34-46.

Construction Equipment Guide <https://www.constructionequipmentguide.com/charts/off-highway-trucks/caterpillar/775d/30558724> [Online]. - Construction Equipment Guide.

Galanopoulos E. Weathering processes of massive sulfide Cu-FeS₂ mineralization and mining waste of the abandoned Mathiatis mine, Cyprus, and environmental impacts: neutralization tests of acid mine drainage [Report]. - Athens : National and Kapodistrian University of Athens, 2012.

Galanopoulos E., Skarpelis N. and Argyraki A. Supergene Alteration, Environmental Impact and Laboratory Scale Acid Water Treatment of Cyprus-Type Ore Deposits: Case Study

of Mathiatis and Sha Abandoned Mines. [Article] // Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis. - 2018. - Vol. 19.

Gibson H. L. Franklin, J. M., Gibson, H. L., Jonasson, I. R., Galley, A. G. Volcanogenic massive sulfide deposits [Article] // Economic geology 100th anniversary Volume. - 2005.

Gray N. F. Field assessment of acid mine drainage contamination in surface and ground water. [Journal] // Environmental Geology. - 1996. - pp. 27, 358-361.

Haines A., P. Terbrugge, G. Carrieri Preliminary Estimation of Rock Slope Stability Using Rock Mass Classification Systems [Journal] // International Congress on Rock Mechanics. - 1991. - pp. P887–892.

Hustrulid W. & Kuchta, M. Open Pit Mine Planning & Design. 2nd Edition ed. s.l. [Book]. - [s.l.] : Taylor & Francis Group., 2013.

Hutchinson R.W. and Searle D.L. Stratabound pyrite deposits in Cyprus and Relations to Other Sulfide Ores [Journal] // Symposium on stratabound sulfide ore deposits. - 1970.

Kassianidou V. Ancient copper mining, oxhide ingots and a hoard—new data on Mathiatis from the State Archives of Cyprus [Article] // Bronze Age Metallurgy in the Mediterranean Islands. A. Giumlia-Mair and F. Lo Schiavo (eds), - [s.l.] : Editions Mergoïl, 2018.

Laubscher D.H. & Jakubec, J. The MRMR Rock Mass Classification for Jointed Rock Masses [Journal] // Underground Mining Methods: Engineering Fundamentals and International Case Histories. - 2001. - pp. 455-463.

Lempp C., Witthaus, M. Borehole Instabilities Due to Pore Fluid Pressure Fluctuations in Shales [Report]. - [s.l.] : European Association of Geoscientists & Engineers, 2010.

Maulana A. DISPLACEMENT ANALYSIS OF SHEET PILE WITH TIE BEAM ON BREAKWATER CONSTRUCTION BY USING PLAXIS [Report]. - [s.l.] : Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia, 2020.

Pantazis T. An outline of the geology and geomorphology of Cyprus. [Journal] // Bulletin of the Cyprus Geographical Association. - 1971. - p. 20p.

Pantazis T. M., Govett, G. J. S. Interpretation of a detailed rock geochemical survey around Mathiati Mine, Cyprus [Journal] // Journal of Geochemical Exploration. - 1973. - pp. 2,25-36..

Randolph A. Theory of Particulate Processes: Analysis and Techniques of Continuous Crystallization [Book]. - [s.l.] : Elsevier Science, 2012, 2012.

Robertson A. , Woodcock, N. The role of the Kyrenia Range Lineament, Cyprus, in the geological evolution of the eastern Mediterranean area [Journal] // Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Mathematical and Physical Sciences. - 1986. - pp. A317, 141-177.

Stylianou M. [et al.] Environmental Impacts of Abandoned Sulphide Mines—the Example of Mathiatis Mine in Cyprus. [Article] // Proceedings of the SYMBIOSIS International Conference. - Athens : [s.n.], 2014.

Ζήσιμος Α., Χατζηγεωργίου Γ. και Χριστοφόρου Γ. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ ΦΑΙΟΧΩΜΑΤΟΣ (ΟΥΜΠΡΑΣ) ΣΤΗΝ ΚΥΠΡΟ [Εκθεση]. - Nicosia : Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης Κύπρου, 2015.

Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης Κύπρου [Ηλεκτρονικό]. - http://www.moa.gov.cy/moa/gsd/gsd.nsf/dmlIndex_gr/dmlIndex_gr?opendocument.

Παράρτημα Α

Παράρτημα Α

Στην ενότητα αυτή παρατίθενται πίνακες οι οποίοι καταγράφουν διάφορες πληροφορίες που εξήχθησαν από το γεωτρητικό πρόγραμμα.

Πίνακας Α.1: Γεωλογική περιγραφή γεωτρήσεων ανά 2 μέτρα

Borehole Number	From	To	Descriptions	Formation
NMathiatisMineTailBH11 (0.00 - 6.00m)	0.00	2.00	0.00 - 2.00m Brown Umber, Leached light grey lava	Tailings
	2.00	6.00	2.00 - 6.00m Grey Olivine Basalt (UPL Insitu)	UPL
NMathiatisMineTailBH12 (0.00 - 12.00m)	0.00	6.00	0.00 - 6.00m Leached lava containing pyrite in yellow	Tailings
	6.00	12.00	6.00 - 12.00m Grey olivine basalt (UPL Insitu)	UPL
NMathiatisMineTailBH13 (0.00 - 30.00m)	0.00	6.00	0.00 - 6.00m Leached lava containing pyrite in yellow	Tailings
	6.00	26.40	6.00 - 26.40m Brown umber	Perapedi
	26.40	30.00	26.40 - 30.00m Grey olivine basalt (UPL Insitu)	UPL
NMathiatisMineTailBH14 (0.00 - 10.00m)	0.00	8.00	0.00 - 8.00m Leached lava containing pyrite in yellow	Tailings
	8.00	10.00	8.00 - 10.00m Grey Olivine basalt (UPL Insitu)	UPL
NMathiatisMineTailBH15 (0.00 - 12.00m)	0.00	6.00	0.00 - 6.00m Leached lava containing pyrite in yellow	Tailings
	6.00	12.00	6.00 - 12.00m Intact & slightly weathered UPL in place	UPL
NMathiatisMineTailBH16 (0.00 - 18.00m)	0.00	14.20	0.00 - 14.20m Serpentine boulders containing chry	Tailings
	14.20	18.00	14.20 - 18.00m Intact grey microlithic pillow lavas (UPL)	UPL
NMathiatisMineTailBH17 (0.00 - 4.00m)	0.00	4.00	0.00 - 4.00m Leached lava containing pyrite in yellow	Tailings
NMathiatisMineTailBH18 (0.00 - 6.00m)	0.00	6.00	0.00 - 6.00m Leached lava containing pyrite in yellow	Tailings
NMathiatisMineTailBH19 (0.00 - 50.00m)	0.00	4.70	0.00 - 4.70m Leached lava containing pyrite in yellow	Tailings
	4.70	50.00	4.70 - 50.00m Brown umber in places containing lim	Perapedi
NMathiatisMineTailBH110 (0.00 - 24.00m)	0.00	7.80	0.00 - 7.80m Leached lava containing pyrite in yellow	Tailings
	7.80	15.40	7.80 - 15.40m Brown Umber,	Perapedi
	15.40	24.00	15.40 - 24.00m Grey microlithic slightly vesicular cak	UPL
NMathiatisMineTailBH111 (0.00 - 26.00m)	0.00	8.80	0.00 - 8.80m Grey leached lava containing pyrite in y	Tailings
	8.80	24.20	8.80 - 24.20m Brown umber	Perapedi
	24.20	26.00	24.20 - 26.00m Grey microlithic basalt (UPL Insitu)	UPL
NMathiatisMineTailBH112 (0.00 - 12.00m)	0.00	12.00	0.00 - 12.00m Leached lava containing pyrite in yellow	Tailings
NMathiatisMineTailBH113 (0.00 - 46.00m)	0.00	2.70	0.00 - 2.70m Leached lava containing pyrite in yellow	Tailings
	2.70	43.00	2.70 - 43.00m Brown umber, Light grey leached and	Perapedi
	43.00	46.00	43.00 - 46.00m Grey microlithic pillow lavas (UPL)	UPL
NMathiatisMineTailBH114 (0.00 - 34.00m)	0.00	2.20	0.00 - 2.20m Weathered Fe3+ rich lava boulders (UPL)	Tailings
	2.20	30.00	2.20 - 30.00m Brown umber in places containing lava	Perapedi
	30.00	34.00	30.00 - 34.00m Grey microlithic lava (UPL) with imp	UPL
NMathiatisMineTailBH115 (0.00 - 14.00m)	0.00	3.10	0.00 - 3.10m Leached lava containing pyrite in yellow	Tailings
	3.10	14.00	3.10 - 14.00m Grey, intact pillow lava, Pillow lava wi	UPL
NMathiatisMineTailBH116 (0.00 - 16.00m)	0.00	16.00	0.00 - 16.00m Grey light green slightly weathered pi	UPL
NMathiatisMineTailBH117 (0.00 - 36.00m)	0.00	3.50	0.00 - 3.50m Light grey leached lava, Light grey leac	Tailings
	3.50	33.00	3.50 - 33.00m Dark brown & brown umber, Grey lava	Perapedi
	33.00	36.00	33.00 - 36.00m Grey lava UPL (Insitu)	UPL
NMathiatisMineTailBH118 (0.00 - 14.00m)	0.00	14.00	0.00 - 14.00m Yellow sulfur, Light grey leached quar	Tailings
NMathiatisMineTailBH119 (0.00 - 14.00m)	0.00	12.00	0.00 - 12.00m Yellow limonite and red hematite, Lig	Tailings
	12.00	14.00	12.00 - 14.00m Brown umber (stop drilling on purpo	Perapedi
NMathiatisMineTailBH120 (0.00 - 12.00m)	0.00	12.00	0.00 - 12.00m Yellow limonite, red hematite and light	Tailings
NMathiatisMineTailBH121 (0.00 - 12.00m)	0.00	12.00	0.00 - 1.25m Yellow limonite, red hematite and light	Tailings
NMathiatisMineTailBH122 (0.00 - 12.00m)	0.00	12.00	0.00 - 12.00m Yellow limonite, red hematite and light	Tailings
NMathiatisMineTailBH123 (0.00 - 8.00m)	0.00	0.20	0.00 - 0.20m Yellow limonite, red hematite and light	Tailings
	0.20	8.00	0.20 - 8.00m Grey microlithic lava (from 4.00 - 8.00m	UPL
NMathiatisMineTailBH124 (0.00 - 8.00m)	0.00	0.50	0.00 - 0.50m Yellow limonite (tailings)	Tailings
	0.50	8.00	0.50 - 8.00m Grey-greenish slightly weathered micro	UPL
NMathiatisMineTailBH125 (0.00 - 40.00m)	0.00	6.80	0.00 - 6.80m Leached lava containing pyrite and qu	Tailings
	6.80	35.60	6.80 - 35.60m Brown umber (16.90 - 17.10m grey la	Perapedi
	35.60	40.00	35.60 - 40.00m Grey pillow lava, Grey brownish pillo	UPL
NMathiatisMineTailBH126 (0.00 - 16.00m)	0.00	4.60	0.00 - 4.60m Yellow limonite and red hematite, Light	Tailings
	4.60	16.00	4.60 - 16.00m Dark brown umber containing light gre	Perapedi
NMathiatisMineTailBH127 (0.00 - 40.00m)	0.00	3.20	0.00 - 3.20m Yellow limonite, Red hematite with a li	Tailings
	3.20	34.40	3.20 - 34.40m Dark brown umber (5.50 - 5.90m, 7.60	Perapedi
	34.40	40.00	34.40 - 40.00m Grey UPL (Insitu)	UPL
NMathiatisMineTailBH128 (0.00 - 16.00m)	0.00	3.00	0.00 - 3.00m Yellow limonite rich wastes, Grey pillow	Tailings
	3.00	5.50	3.00 - 5.50m, Brown umber	Perapedi
	5.50	16.00	5.50 - 16.00m Grey pillow lava, Yellow limonite and	UPL
NMathiatisMineTailBH129 (0.00 - 8.00m)	0.00	4.30	0.00 - 4.30m Yellow limonite, brown-red hematite and	Tailings
	4.30	8.00	4.30 - 8.00m Grey to dark grey microlithic olivine ba	UPL
NMathiatisMineTailBH130 (0.00 - 20.00m)	0.00	1.80	0.00 - 1.80m Yellow limonite, yellow limonite, red hem	Tailings
	1.80	7.00	1.80 - 7.00m, Brown and dark brown umber, Grey la	Perapedi
	7.00	20.00	7.00 - 20.00m, Grey lava with Fe3+ red stains, Oxid	UPL
NMathiatisMineTailBH131 (0.00 - 14.00m)	0.00	0.20	0.00 - 0.20m Yellow limonite, red hematite and yellow	Tailings
	0.20	3.30	0.20 - 3.30m Brown umber	Perapedi
	3.30	14.00	3.30 - 14.00m, Grey-brown weathered pillow lava and	UPL
NMathiatisMineTailBH132 (0.00 - 12.00m)	0.00	3.00	0.00 - 3.00m Yellow limonite, Brown hematite, Red h	Tailings
	3.00	7.00	3.00 - 7.00m Brown umber, Dark brown umber	Perapedi
	7.00	12.00	7.00 - 12.00m Grey microlithic pillow lava UPL fractu	UPL
NMathiatisMineTailBH133 (0.00 - 14.00m)	0.00	4.80	0.00 - 4.80m Yellow limonite, a little red hematite an	Tailings
	4.80	10.70	4.80 - 10.70m Brown and red-brown umber (at 7.55	Perapedi
	10.70	14.00	10.70 - 14.00m, Grey microlithic in places vesicular	UPL
NMathiatisMineTailBH134 (0.00 - 22.00m)	0.00	5.80	0.00 - 5.80m Yellow limonite, red hematite and grey	Tailings
	5.80	22.00	5.80 - 22.00m Grey pillow lava UPL, Grey pillow lava	UPL
NMathiatisMineTailBH135 (0.00 - 8.00m)	0.00	5.80	0.00 - 5.80m Mostly Yellow limonite, Grey pillow lava	Tailings
	5.80	8.00	5.80 - 8.00m Grey pillow lava UPL (Insitu)	UPL
NMathiatisMineTailBH136 (0.00 - 11.00m)	0.00	7.00	0.00 - 7.00m Mostly Yellow limonite, less red hemat	Tailings
	7.00	11.00	7.00 - 11.00m, Grey pillow lava UPL (from 10 to 11m	UPL
NMathiatisMineTailBH137 (0.00 - 16.00m)	0.00	8.90	0.00 - 8.90m, Yellow limonite, Yellow limonite, red h	Tailings
	8.90	12.15	8.90 - 12.15m Grey pillow lava with dark brown umb	UPL
	12.15	16.00	12.15 - 16.00m White chalky limestone layers with c	Lefkara
NMathiatisMineTailBH138 (0.00 - 12.00m)	0.00	10.00	0.00 - 10.00m Mostly yellow limonite, less red hemat	Tailings
	10.00	12.00	10.00 - 12.00m Grey pillow lava (Insitu)	UPL
NMathiatisMineTailBH139 (0.00 - 12.00m)	0.00	4.10	0.00 - 4.10m Yellow limonite, grey leached lava pebb	Tailings
	4.10	12.00	4.10 - 12.00m, Dark brown umber (5.30 - 5.80m grey	Perapedi

Παράρτημα Α

Πίνακας Α.2: Μέσος όρος και μέγιστη περιεκτικότητα σημαντικότερων χημικών στοιχείων από χημική ανάλυση που έγινε στα δείγματα των γεωτρήσεων.

	Au ppm(Mεγ.)	Au ppm(M.O)	Ag ppm(Mεγ.)	Ag ppm(M.O)	Cu ppm(Mεγ.)	Cu ppm(M.O)	Zn ppm(Mεγ.)	Zn ppm(M.O)	Co ppm(Mεγ.)	Co ppm(M.O)	Ba ppm(Mεγ.)	Ba ppm(M.O)	Sc ppm(Mεγ.)	Sc ppm(M.O)	Sr ppm(Mεγ.)	Sr ppm(M.O)
NMathMineTailBH1	0.52	0.27	3.00	2.85	953.00	837.67	1870.00	1580.00	64.00	49.67	70.00	33.33	28.00	6.50	105.00	74.00
NMathMineTailBH2	0.03	0.02	0.00	0.00	696.00	350.67	2180.00	549.60	49.00	43.67	20.00	20.00	35.00	3.00	209.00	133.33
NMathMineTailBH3	0.45	0.21	2.10	1.24	1950.00	926.13	4220.00	2273.80	58.00	42.38	40.00	20.00	23.00	18.00	94.00	44.50
NMathMineTailBH4	0.05	0.02	0.00	0.00	1180.00	519.33	1110.00	435.60	52.00	43.67	160.00	66.67	33.00	0.00	139.00	100.33
NMathMineTailBH5	0.02	0.02	0.00	0.00	345.00	188.00	630.00	218.80	48.00	39.67	180.00	76.67	33.00	0.00	164.00	109.67
NMathMineTailBH6	0.41	0.35	2.10	1.86	3220.00	1863.00	3860.00	2044.33	158.00	81.56	30.00	13.75	16.00	10.67	39.00	13.78
NMathMineTailBH7	0.47	0.25	1.40	1.40	867.00	588.50	1380.00	1380.00	51.00	48.50	100.00	65.00	21.00	21.00	84.00	79.50
NMathMineTailBH8	0.02	0.02	0.00	0.00	310.00	214.00	887.00	1.00	51.00	40.50	30.00	25.00	36.00	3.00	87.00	81.00
NMathMineTailBH9	0.57	0.24	2.50	1.43	720.00	309.13	469.00	250.47	52.00	36.20	160.00	89.33	34.00	26.00	155.00	101.80
NMathMineTailBH10	0.96	0.28	3.10	1.74	1240.00	376.10	2160.00	404.40	125.00	43.90	160.00	94.00	34.00	27.00	137.00	107.10
NMathMineTailBH11	0.66	0.29	2.80	1.24	5870.00	2072.15	4220.00	1488.15	121.00	60.54	120.00	41.43	31.00	15.23	100.00	25.77
NMathMineTailBH12	0.94	0.63	3.50	2.28	396.00	283.60	326.00	245.60	48.00	43.20	120.00	104.00	32.00	25.00	154.00	131.60
NMathMineTailBH13	0.76	0.34	3.10	1.96	1150.00	364.00	1630.00	371.45	86.00	41.00	130.00	85.45	33.00	25.27	122.00	100.82
NMathMineTailBH14	0.00	0.00	0.00	0.00	334.00	212.27	106.00	91.41	43.00	36.80	200.00	70.00	36.00	33.76	833.00	239.07
NMathMineTailBH15	0.00	0.00	0.00	0.00	609.00	332.83	3150.00	1408.86	58.00	45.50	50.00	40.00	33.00	30.43	268.00	169.83
NMathMineTailBH16	3.28	1.23	6.70	4.07	1250.00	681.60	751.00	476.60	103.00	50.20	60.00	34.00	25.00	9.20	97.00	53.80
NMathMineTailBH17	0.85	0.22	3.60	1.78	1430.00	638.20	3860.00	1386.00	62.00	37.73	110.00	44.55	35.00	20.80	150.00	59.13
NMathMineTailBH18	0.47	0.34	2.40	1.63	1480.00	1057.57	5060.00	3214.71	100.00	56.14	0.00	0.00	13.00	9.71	8.00	5.00
NMathMineTailBH19	0.60	0.43	2.50	2.00	1450.00	1088.14	4660.00	2554.43	59.00	38.57	10.00	10.00	15.00	10.00	13.00	9.14
NMathMineTailBH20	0.42	0.25	1.80	1.27	2570.00	1358.43	3630.00	2581.43	58.00	51.71	10.00	10.00	20.00	14.29	10.00	7.57
NMathMineTailBH21	0.47	0.23	2.20	1.90	2680.00	1356.20	4680.00	2260.60	55.00	46.20	90.00	47.50	38.00	21.40	85.00	38.20
NMathMineTailBH22	0.09	0.05	0.00	0.00	511.00	287.67	322.00	220.80	43.00	41.67	90.00	80.00	36.00	33.40	88.00	75.00
NMathMineTailBH23	0.09	0.05	0.00	0.00	543.00	324.67	176.00	168.33	47.00	45.00	80.00	66.67	35.00	33.00	71.00	65.00
NMathMineTailBH24	0.34	0.13	1.40	1.40	802.00	373.75	742.00	345.25	41.00	37.25	40.00	35.00	35.00	30.75	105.00	71.00
NMathMineTailBH25	0.69	0.09	2.20	1.00	626.00	258.45	728.00	326.00	49.00	39.60	70.00	41.00	37.00	31.85	81.00	69.50
NMathMineTailBH26	0.14	0.04	0.00	0.00	356.00	204.75	583.00	230.88	46.00	39.75	70.00	45.00	35.00	32.38	97.00	76.38
NMathMineTailBH27	0.46	0.08	1.90	1.20	796.00	281.84	1270.00	372.21	53.00	39.84	70.00	37.37	36.00	32.89	116.00	71.89
NMathMineTailBH28	0.19	0.09	0.90	0.70	716.00	362.50	504.00	337.63	58.00	36.88	130.00	52.50	33.00	30.00	78.00	59.63
NMathMineTailBH29	0.12	0.06	0.00	0.00	573.00	384.50	470.00	375.50	38.00	36.50	60.00	52.50	33.00	30.50	79.00	66.25
NMathMineTailBH30	0.13	0.05	0.00	0.00	744.00	351.50	1170.00	338.80	44.00	35.60	90.00	57.00	36.00	31.40	102.00	83.90
NMathMineTailBH31	0.06	0.03	0.00	0.00	221.00	187.00	260.00	181.50	39.00	36.50	70.00	62.50	36.00	34.00	112.00	96.00
NMathMineTailBH32	0.08	0.03	0.60	0.60	417.00	272.14	411.00	212.86	55.00	43.00	160.00	60.00	35.00	30.29	123.00	94.71
NMathMineTailBH33	0.22	0.06	0.90	0.90	1100.00	399.29	1750.00	646.57	50.00	39.71	60.00	44.29	36.00	31.14	123.00	79.00
NMathMineTailBH34	0.11	0.04	0.70	0.70	910.00	475.82	1180.00	458.36	85.00	43.18	90.00	54.55	35.00	31.64	126.00	86.45
NMathMineTailBH35	0.05	0.02	0.00	0.00	495.00	342.25	457.00	248.50	50.00	37.75	160.00	102.50	32.00	27.75	105.00	91.00
NMathMineTailBH36	0.45	0.20	1.70	1.17	451.00	308.40	943.00	560.20	40.00	33.40	80.00	42.00	30.00	26.20	110.00	59.40
NMathMineTailBH37	0.65	0.17	2.10	1.23	1080.00	413.71	1540.00	776.57	48.00	38.71	1420.00	276.67	32.00	22.86	396.00	98.43
NMathMineTailBH38	0.50	0.16	1.60	1.20	710.00	433.17	1310.00	845.17	54.00	42.67	60.00	38.33	33.00	30.00	69.00	51.83
NMathMineTailBH39	0.46	0.31	2.00	1.66	2160.00	1443.00	4510.00	2636.67	80.00	52.50	90.00	44.00	31.00	21.33	65.00	36.00

Παράρτημα Β

Στην ενότητα αυτή παρατίθενται *ορισμένες εξισώσεις* οι οποίες χρησιμοποιούνται στο 4^ο κεφάλαιο για τους διαφόρους υπολογισμούς

Για τους Φορτωτές

$$\text{Απαιτούμενη Ωριαία Παραγωγή} \left(Q \left[\frac{m^3}{h} \right] \right) = \frac{M}{n_{\text{εργ}}} \quad (8)$$

$$\text{Απαιτούμενη Ωριαία Παραγωγή Χαλαρών} \left(Q_{\chi} \left[\frac{m^3}{h} \right] \right) = Q * \varepsilon \quad (9)$$

$$\text{Όγκος χαλαρών σε πλήρη φόρτωση} (V_{\chi\varphi} [m^3]) = V_{\varphi} * \Phi_{\varphi} \quad (10)$$

$$\text{Φορτίο σε πλήρη φόρτωση} (M_{\varphi} [tn]) = V_{\chi\varphi} * \frac{\gamma}{\varepsilon} \quad (11)$$

$$\text{Όγκος χαλαρών σε πλήρη φόρτωση} (V_{\chi\varphi} [m^3]) = M_{\varphi} * \frac{\gamma}{\varepsilon} \quad (12)$$

$$\text{Ποσοστό πλήρωσης κουβά} (\Pi) = \frac{\text{Όγκος χαλαρών σε πλήρη φόρτωση}}{\text{Όγκος κουβά}} \quad (13)$$

$$\text{Πραγματική ωριαία παραγωγή} \left(Q_{\varphi} \left[\frac{m^3}{h} \right] \right) = n_{\mu\eta\chi} * \frac{V_{\chi\varphi}}{\frac{t_{\varphi}}{60}} \quad (14)$$

$$\text{Αριθμός φορτωτών} (Z_{\varphi}) = \frac{Q_{\chi}}{Q_{\varphi}} \quad (15)$$

Για τα Φορτηγά

$$\text{Αριθμός φορτώσεων} (\xi) = \frac{V_{\alpha}}{V_{\chi\varphi}} \quad (16)$$

$$\text{Μάζα χαλαρών στο αυτοκίνητο} (B) = \alpha\rho. \text{φορτώσεων} * \text{φορτίο κουβά} \quad (17)$$

$$\text{Όγκος χαλαρών στο αυτοκίνητο} (V_{\chi\alpha}) = \xi * V_{\chi\varphi} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \text{Μάζα χαλαρών στο αυτοκίνητο}(B_{\chi\alpha}) \\ = \alpha\rho. \text{φορτώσεων} * \text{μεγιστο ωφέλιμο φορτίο} \end{aligned} \quad (19)$$

$$\text{Μέγιστη ταχύτητα κίνησης αυτοκ/του}(V_{\max}\left(\frac{km}{h}\right)) = \frac{270 * n_{\kappa\iota\nu.} * N_a}{B_0 * (w_r + w_s)} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \text{Ταχύτητα κίνησης φορτωμένου αυτοκ/του}(V_{\max}\left(\frac{km}{h}\right)) \\ = \frac{270 * n_{\kappa\iota\nu.} * N_a}{(B_0 + B_{\chi\alpha}) * (w_r + w_s)} \end{aligned} \quad (21)$$

$$\text{Ταχύτητα κίνησης άδειου αυτοκ/του}(V_{\max}\left(\frac{km}{h}\right)) = \frac{270 * n_{\kappa\iota\nu.} * N_a}{B_0 * (w_r + w_s)} \quad (22)$$

$$\text{Χρόνος μετακιν. φορτωμένου αυτ.}(t_{\varphi\alpha}(h)) = \frac{L}{v_{\varphi\alpha}} \quad (23)$$

$$\text{Χρόνος μετακιν. άδειου αυτ.}(t_{a\alpha}(h)) = \frac{L}{v_{a\alpha}} \quad (24)$$

$$\text{Χρόνος φόρτωσης}(t_{\varphi\varphi}(h)) = t_{\varphi} * \xi \quad (25)$$

$$\text{Χρόνος σταθερών ελιγμών}(t_{\sigma\tau\alpha\theta.}(h)) = \frac{1,5}{60} \quad (26)$$

$$\text{Συνολικός χρόνος δρομολογίου}(t_{o\lambda.}(h)) = t_{\varphi\varphi} + t_{a\alpha} + t_{\varphi\alpha} + t_{\sigma\tau\alpha\theta.} \quad (27)$$

$$\text{Ωριαία παραγωγή αυτοκινήτου}\left(Q_{\alpha}\left[\frac{m^3}{h}\right]\right) = \frac{V_{\chi\alpha}}{t_{o\lambda.}} \quad (28)$$

$$\text{Αρ. Αυτοκινήτων}(Z_{\alpha}) = \frac{Q_{\chi}}{Q_{\alpha}} \quad (29)$$

Κατανάλωση Εξοπλισμού- Αναλώσιμα

Κοστος καυσίμων μηχανήματος

$$= N(\text{Αρ. Μηχανημ.}) * \left(\frac{L}{\frac{HP}{\omega\rho\alpha}}\right) * \frac{\omega\rho\epsilon\varsigma}{\eta\mu\acute{\epsilon}\rho\alpha} * \frac{\eta\mu\acute{\epsilon}\rho\epsilon\varsigma}{\acute{\epsilon}\tau\omicron\varsigma} * \frac{\epsilon}{L} \quad (30)$$

$$\text{Κοστος λιπαντικών μηχανήματος} = 0,25 * \text{Κοστος καυσίμων μηχανήματος} \quad (31)$$

$$\begin{aligned} &\text{Κοστος συντήρησης μηχανήματος} \\ &= 0,08 * \text{Κοστος καυσίμων μηχανήματος} \end{aligned} \quad (32)$$

$$\text{Απόσβεση Μηχανήματος } D \left(\frac{\text{€}}{\text{year}} \right) = C * \frac{(1 + \text{επιτόκιο})^{\text{έτη απόσβ.}} * \text{επιτόκιο}}{(1 + \text{επιτόκιο})^{\text{έτη απόσβ.}} - 1} \quad (33)$$