



Πολυτεχνείο Κρήτης  
Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων

Διπλωματική εργασία  
Σχεδιασμός τρισδιάστατου κοιτασματολογικού μοντέλου και επέκταση υπαίθριας  
εκμετάλλευσης σε λατομείο στην Β. Ελλάδα

Μπαχά Μαρία

Εξεταστική επιτροπή:

Καθηγητής Γ. Εξαδάκτυλος (επιβλέπων)

Καθηγητής Μ. Γαλετάκης

Δρ. Γ. Σαράτσης



## Πρόλογος

Η διπλωματική αυτή εργασία εκπονήθηκε σύμφωνα με το Πρόγραμμα Προπτυχιακών Σπουδών του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης. Το θέμα της παρούσας εργασίας έχει τίτλο: «Σχεδιασμός τρισδιάστατου κοιτασματολογικού μοντέλου και επέκταση υπαίθριας εκμετάλλευσης σε λατομείο στην Β. Ελλάδα». Η τρισδιάστατη μοντελοποίηση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του σχεδιαστικού προγράμματος Civil 3D 2016 metric™.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Γ. Εξαδάκτυλο για την επιλογή του θέματος της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Επίσης, ευχαριστώ τον Καθηγητή κ. Μ. Γαλετάκη για την καθοδήγηση του ως μέλος της εξεταστικής επιτροπής. Τέλος, ευχαριστώ θερμά τον Δρ. Γ. Σαράτση για τη βοήθεια και την καθοδήγηση που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής εργασίας.





## Περίληψη

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι ο σχεδιασμός τρισδιάστατου κοιτασματολογικού μοντέλου για την επέκταση της υπαίθριας εκμετάλλευσης. Η διπλωματική εργασία χωρίζεται σε τρία μέρη. Στο πρώτο μέρος γίνεται αναφορά στη γεωλογία και στη γεωτεκτονική εξέλιξη της περιοχής μελέτης. Το δεύτερο μέρος αναφέρεται στο θεωρητικό υπόβαθρο των υπαίθριων εκμεταλλεύσεων, στις διαφορετικές μεθόδους που υπάρχουν, αλλά και στην τεχνική ορολογία που συνδέεται με αυτές. Επίσης γίνεται λόγος για τις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις μαρμάρου, καθώς και τα στάδια που πραγματοποιούνται για την εξόρυξη, τη φόρτωση και τη μεταφορά του. Στο τρίτο τμήμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας αναλύεται λεπτομερώς η σχεδιαστική διαδικασία δημιουργίας του κοιτασματολογικού μοντέλου από προ υπάρχουσες τομές. Εν συνεχεία, παρουσιάζεται η πραγματοποίηση εκ νέου σχεδιασμού για την επέκταση της εκμετάλλευσης. Επιπρόσθετα, έγινε ο προσδιορισμός άγνωστου κοιτασματολογικά τμήματος του λατομικού χώρου με την βοήθεια γεωτρήσεων που έχουν πραγματοποιηθεί στο λατομικό χώρο. Τέλος στο παράρτημα δίνονται διαφορετικές απεικονίσεις των σταδίων που έλαβαν χώρα μέχρι τη δημιουργία του τελικού τρισδιάστατου κοιτασματολογικού μοντέλου.

## Πίνακας περιεχομένων

Πρόλογος .....	3
Περίληψη .....	5
Πίνακας εικόνων .....	7
1 Εισαγωγή .....	13
2 Γεωλογία και Γεωτεκτονική εξέλιξη της περιοχής μελέτης.....	16
2.1 Λιθοστρωματογραφία .....	16
2.2 Τεκτοορογενετική εξέλιξη .....	21
3 Υπαίθριες εκμεταλλεύσεις .....	22
3.1 Μέθοδος υπαίθριας εκμετάλλευσης σε κορυφή βουνού.....	26
3.2 Μέθοδος υπαίθριας εκμετάλλευσης σε λοφώδες ανάγλυφο .....	26
3.3 Μέθοδος επιφανειακής εκμετάλλευσης με κλειστές βαθμίδες και μεγάλης κλίσης τοιχώματα .....	27
3.4 Μέθοδος επιφανειακής εκμετάλλευσης με ανοιχτές βαθμίδες .....	28
3.5 Υπαίθριες εκμεταλλεύσεις μαρμάρων .....	30
3.5.1 Παράγοντες καθορισμού οικονομικής αξίας μαρμάρων .....	30
3.5.2 Μέθοδος εκμετάλλευσης λατομείων μαρμάρου .....	30
4 Σχεδιασμός του λατομείου .....	33
4.1 Εισαγωγή.....	33
4.2 Ψηφιοποίηση γεωλογικών τομών και χάρτη.....	36
4.3 Δημιουργία στερεού ανάγλυφου λατομικής περιοχής .....	42
4.4 Δημιουργία τρισδιάστατου κοιτασματολογικού μοντέλου (στερεού) του αναγλύφου λατομικής περιοχής .....	48
4.5 Αναγνώριση απροσδιόριστων σχηματισμών τμήματος του λατομείου .....	60
4.6 Σχεδιασμός επέκτασης της υπαίθριας εκμετάλλευσης .....	67
4.7 Γεωλογικές τομές του βορειότερου τμήματος του λατομείου .....	76
5 Συμπεράσματα - Προτάσεις .....	79

6 Βιβλιογραφία .....	81
Παράρτημα (1) Τρισδιάστατες απεικονίσεις .....	82

## Πίνακας εικόνων

Εικόνα 1 Άποψη του Λατομείου.....	13
Εικόνα 2 Γεωτεκτονικές ζώνες της Ελληνικής ενδοχώρας. Με έντονο ροζ χρώμα αντιπροσωπεύεται η γεωτεκτονική ζώνη της μάζας της Ροδόπης. (Μουντράκης, 2010) .....	16
Εικόνα 3 Τεκτονικό σκαρίφημα της Μάζας της Ροδόπης, με δύο ενότητες (Μουντράκης, 2010). 1: Μεταλλικά ιζήματα, 2: ενότητα Παγγαίου, 3: ενότητα Σιδηρονέρου, 4: σχηματισμοί Περιοδοπικής ζώνης, 5: γραμμή επώθησης.....	17
Εικόνα 4 Λιθοστρωματογραφική στήλη Φαλακρού όρους (Βουγιούκας Δ. και Χατζηπαναγής Ι., 2009). .....	19
Εικόνα 5 Λιθοστρωματογραφική στήλη του Γρανίτη Δράμας.....	20
Εικόνα 6 Πρανές και επιμέρους χαρακτηριστικά εκμετάλλευσης. ....	22
Εικόνα 7 Κύρια χαρακτηριστικά βαθμίδας.....	23
Εικόνα 8 Τελική περίμετρος εκμετάλλευσης και κλίσεις πρανών ( <a href="https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/METAL108/Enotita_2.pdf">https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/METAL108/Enotita_2.pdf</a> ). ....	24
Εικόνα 9 Δορυφορική εικόνα λατομείου μαρμάρου Carrara στην κορυφή όρους (Apuan Alps, Mount Altissimo) με κατακόρυφα τοιχώματα μεγάλου ύψους.....	26
Εικόνα 10 Δορυφορική εικόνα λατομείου granite σε λοφώδες ανάγλυφο (Vermont, USA) .....	27
Εικόνα 11 Υπαίθρια εκμετάλλευσης με κατακόρυφα τοιχώματα μορφής φρέατος (ή βαθιάς τάφρου) σε αρχικά επίπεδο τοπογραφικό ανάγλυφο (Πορτογαλία). ....	28
Εικόνα 12 Εκμετάλλευση με ανοιχτές βαθμίδες. Λατομείο μαρμάρου που βρίσκεται στη περιοχή Carrara της Ιταλίας. ....	29
Εικόνα 13 Έργα διάνοιξης οδικού δικτύου ανάλογα με την τοπογραφία (Εξαδάκτυλος, 2007). ....	31
Εικόνα 14 Τύποι βαθμίδων. (Εξαδάκτυλος, 2007). .....	33
Εικόνα 15 Γεωλογικός και κοιτασματολογικός χάρτης λατομικών χώρων περιοχής. ....	34
Εικόνα 16 Γεωλογικές-κοιτασματολογικές τομές (Α - Α', Β - Β', Γ - Γ', Δ - Δ', Ε - Ε', ΣΤ - ΣΤ'). .....	35

Εικόνα 17 Υπόμνημα του χάρτη της εικόνας 15 και των τομών της εικόνας 16. ....	36
Εικόνα 18 Ψηφιοποιημένος χάρτης. ....	37
Εικόνα 19 Γεωλογική τομή κατά τη διεύθυνση Α-Α.....	38
Εικόνα 20 Γεωλογική τομή κατά τη διεύθυνση Β-Β.....	38
Εικόνα 21 Γεωλογική τομή κατά τη διεύθυνση Γ-Γ.....	39
Εικόνα 22 Γεωλογική τομή κατά τη διεύθυνση Δ-Δ.....	39
Εικόνα 23 Γεωλογική τομή κατά τη διεύθυνση Ε-Ε.....	40
Εικόνα 24 Γεωλογική τομή κατά τη διεύθυνση ΣΤ-ΣΤ.....	40
Εικόνα 25 Κάτοψη χάρτη και διάταξη τομών.....	41
Εικόνα 26 Ψηφιοποιημένες τομές στον χάρτη.....	42
Εικόνα 27 Κλειστές γραμμές που αναπαριστούν τις τομές ασβεστιτικών μαρμάρων του δυτικού τμήματος του λατομείου.....	43
Εικόνα 28 Δημιουργία σώματος ασβεστιτικού μαρμάρου της λατομικής περιοχής.....	43
Εικόνα 29 Τελική μορφή του γεωλογικού-κοιτασματολογικού μοντέλου σε κάτοψη.....	44
Εικόνα 30 Τρισδιάστατο μοντέλου όπου σαν πρόσοψη είναι η τομή ΣΤ-ΣΤ.....	44
Εικόνα 31 Τομές από Α-Α έως ΣΤ-ΣΤ και διαμήκης.....	45
Εικόνα 32 Τομή εγκάρσια.....	45
Εικόνα 33 Όρια λατομείου.....	46
Εικόνα 34 Ταύτιση τρισδιάστατου μοντέλου με οδηγό τα όρια του λατομείου.....	46
Εικόνα 35 Αρχικό κοιτασματολογικό γεωλογικό μοντέλο τοποθετημένο στην πραγματική του διεύθυνση.....	47
Εικόνα 36 Τοπογραφική επιφάνεια της περιοχής εκμετάλλευσης.....	48
Εικόνα 37 Μοντέλο και τοπογραφικός χάρτης.....	49
Εικόνα 38 Δημιουργία στερεού από την τοπογραφική επιφάνεια.....	49
Εικόνα 39 Δημιουργία στερεού από την επιφάνεια.....	50
Εικόνα 40 Στερεό ανάγλυφο και γεωλογικό μοντέλο.....	51
Εικόνα 41 Στερεό ανάγλυφο και γεωλογικό μοντέλο.....	51
Εικόνα 42 Κάτοψη γεωλογικού-κοιτασματολογικού μοντέλου όπως διαμορφώθηκε από τον τοπογραφικό χάρτη.....	52
Εικόνα 43 Γεωλογικό κοιτασματολογικό μοντέλο.....	52
Εικόνα 44 Πίσω όψη του γεωλογικού μοντέλου.....	53
Εικόνα 45 Θέσεις τομών κοιτασματολογικού μοντέλου.....	53
Εικόνα 46 Τομές μοντέλου σε κάτοψη.....	54

Εικόνα 47 Διαμήκης τομές από πάνω προς τα κάτω Α-Α',Β-Β',Γ-Γ',Δ-Δ',Ε-Ε',ΣΤ-ΣΤ αντίστοιχα. ....	54
Εικόνα 48 Εγκάρσια τομή.....	55
Εικόνα 49 Τρισδιάστατο γεωλογικό-κοιτασματολογικό μοντέλο επεξεργασμένο με βάση του τοπογραφικού .....	55
Εικόνα 50 Τρισδιάστατο γεωλογικό-κοιτασματολογικό μοντέλο επεξεργασμένο βάσει του τοπογραφικού. ....	56
Εικόνα 51 Τρισδιάστατο γεωλογικό-κοιτασματολογικό μοντέλο επεξεργασμένο βάσει του τοπογραφικού του . ....	56
Εικόνα 52 Θέσεις που πραγματοποιήθηκαν οι τομές στο κοιτασματολογικό μοντέλο. ....	57
Εικόνα 53 Τομές τρισδιάστατου κοιτασματολογικού μοντέλου βάσει του τοπογραφικού σχεδίου του . ....	57
Εικόνα 54 Εγκάρσια και διαμήκεις τομές μοντέλου που δημιουργήθηκε με το τοπογραφικό.....	58
Εικόνα 55 Εγκάρσια τομή.....	58
Εικόνα 56 Γεωλογική τομή και επιμέρους διαστάσεις. ....	58
Εικόνα 57 Διαστάσεις τομής Ε-Ε'. ....	59
Εικόνα 58 Γεωλογική τομή διαμήκους με τις αντίστοιχες διαστάσεις. ....	59
Εικόνα 59 Διαστάσεις της εγκάρσιας γεωλογικής τομής. ....	59
Εικόνα 60 Κάτοψη και επιμέρους στοιχεία που αποτελούν τις γεωτρήσεις τα οποία παρουσιάζονται με διαφορετικά χρώματα. ....	60
Εικόνα 61 Γεωτρήσεις μέσα στο σώμα του απροσδιόριστου σχηματισμού.....	61
Εικόνα 62 Χρωματική κλίμακα στοιχείων που συντελούν τις γεωτρήσεις. ....	62
Εικόνα 63 Πρώτη τομή που χρησιμοποιήθηκε στην επέκταση του μοντέλου. ....	63
Εικόνα 64 Τομή απροσδιόριστου στερεού. ....	64
Εικόνα 65 Τομή που χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία του απροσδιόριστου μοντέλου του λατομείου. ....	64
Εικόνα 66 Στερεό μοντέλο που δημιουργήθηκε από τον τοπογραφικό χάρτη και τμήμα του λατομείου που μέχρι πρότινος ήταν απροσδιόριστο. ....	65
Εικόνα 67 Θέσεις που πραγματοποιήθηκαν οι γεωλογικές τομές. ....	65
Εικόνα 68 Τομή νέου τμήματος στερεού (α-α'). ....	66
Εικόνα 69 Τομή νέου τμήματος στερεού (β-β'). ....	66
Εικόνα 70 Τομή νέου τμήματος στερεού (ε-ε'). ....	66

Εικόνα 71 Κάτοψη λατομείου κατά το τελικό στάδιο σχεδιασμού. ....	67
Εικόνα 72 Σχεδιασμός συνέχισης της εκμετάλλευσης. ....	68
Εικόνα 73 Δημιουργία επιφάνειας από την επιφάνεια . ....	69
Εικόνα 74 Στερεό ανάγλυφο λατομείου. ....	70
Εικόνα 75 Κάτοψη τελικής μορφής εκμετάλλευσης (1). ....	70
Εικόνα 76 Τελική μορφή εκμετάλλευσης (2). ....	71
Εικόνα 77 Θέση τομών στο κοιτασματολογικό μοντέλο. ....	72
Εικόνα 78 Τομές στερεού. ....	73
Εικόνα 79 Διαστάσεις γεωλογικής εγκάρσιας τομής. ....	73
Εικόνα 80 Διαστάσεις γεωλογικής διαμήκης τομής. ....	73
Εικόνα 81 Διαστάσεις γεωλογικής τομής ΣΤ- ΣΤ'. ....	74
Εικόνα 82 Διαστάσεις γεωλογικής τομής Ε-Ε' ....	74
Εικόνα 83 Θέσεις κάθετων τομών στις βαθμίδες σε σχέση με το τρισδιάστατο κοιτασματολογικό μοντέλο. ....	74
Εικόνα 84 Πρώτη κάθετη τομή ολοκληρωμένου κοιτασματολογικού μοντέλου και διαστάσεις των αντίστοιχων βαθμίδων. ....	75
Εικόνα 85 Δεύτερη κάθετη τομή ολοκληρωμένου κοιτασματολογικού μοντέλου και οι διαστάσεις των βαθμίδων. ....	75
Εικόνα 86 Τελική μορφή τρισδιάστατου μοντέλου και τμήμα που έχει πλέον προσδιοριστεί. ....	76
Εικόνα 87 Θέσεις τομών στην επιφάνεια του μοντέλου. ....	77
Εικόνα 88 Βορειότερη τομή τμήματος στερεού ( $\alpha - \alpha'$ ). ....	77
Εικόνα 89 Τομή τμήματος στερεού ( $\beta - \beta'$ ). ....	78
Εικόνα 90 Τομή τμήματος στερεού (ΣΤ - ΣΤ'). ....	78
Εικόνα 91 Πλάγια όψη τομών στο χάρτη. ....	83
Εικόνα 92 Πρόσοψη, πρώτο στάδιο δημιουργίας γεωλογικού-κοιτασματολογικού μοντέλου. ....	83
Εικόνα 93 Ενδιάμεσο στάδιο κατασκευής τρισδιάστατου μοντέλου. ....	84
Εικόνα 94 Πλάγια όψη ενδιάμεσου σταδίου στερεού. ....	84
Εικόνα 95 Μοντέλο και τοπογραφικός χάρτης της περιοχής. ....	85
Εικόνα 96 Σημεία του τοπογραφικού που πραγματοποιήθηκαν οι γεωτρήσεις. ....	85
Εικόνα 97 Πλάγια όψη γεωτρήσεων. ....	86
Εικόνα 98 Θέσεις γεωτρήσεων σε σχέση με το τρισδιάστατο μοντέλο. ....	86
Εικόνα 99 Θέσεις γεωτρήσεων που έχουν πραγματοποιηθεί στον λατομικό χώρο. ...	87

Εικόνα 100 Ενδιάμεσες τομές που σχεδιάστηκαν με βάση τις γεωτρήσεις ( $\Sigma T - \Sigma T'$ ).	87
Εικόνα 101 Ενδιάμεσες τομές που σχεδιάστηκαν με βάση τις γεωτρήσεις ( $\delta - \delta'$ ). ...	88
Εικόνα 102 Ενδιάμεσες τομές που σχεδιάστηκαν με βάση τις γεωτρήσεις ( $\varepsilon - \varepsilon'$ )....	88
Εικόνα 103 Κοιτασματολογικό μοντέλο και η επέκταση του βόρειου τμήματος του λατομείου. ....	89
Εικόνα 104 Κοιτασματολογικό μοντέλο . ....	89
Εικόνα 105 Κοιτασματολογικό μοντέλο. ....	90
Εικόνα 106 Τομή ( $\gamma - \gamma'$ ) του τμήματος που πραγματοποιήθηκε η επέκταση του μοντέλου. ....	90
Εικόνα 107 Τομή ( $\delta - \delta'$ ) του τμήματος που πραγματοποιήθηκε η επέκταση του μοντέλου. ....	91
Εικόνα 108 Τομή ( $\Sigma T - \Sigma T'$ ) του τμήματος που πραγματοποιήθηκε η επέκταση του μοντέλου. ....	91
Εικόνα 109 Πλάτος βαθμίδων. ....	92
Εικόνα 110 Τρισδιάστατη απεικόνιση μοντέλου (1). ....	92
Εικόνα 111 Τρισδιάστατη απεικόνιση μοντέλου (2). ....	93
Εικόνα 112 Τρισδιάστατη απεικόνιση μοντέλου (3). ....	93
Εικόνα 113 Τομές λατομικού χώρου κάθετες στις βαθμίδες και του προσδιορισμένου κοιτασματολογικά τμήματος του λατομείου. ....	94
Εικόνα 114 Τελικό κοιτασματολογικό μοντέλου λατομικού χώρου όπως επεκτάθηκε με τη χρήση γεωτρήσεων. ....	95
Εικόνα 115 Τρισδιάστατη απεικόνιση τελικού κοιτασματολογικού μοντέλου (1). ....	95
Εικόνα 116 Τρισδιάστατη απεικόνιση τελικού κοιτασματολογικού μοντέλου (2). ....	96
Εικόνα 117 Τρισδιάστατη απεικόνιση τελικού κοιτασματολογικού μοντέλου (3). ....	96
Εικόνα 118 Ενδιάμεσες τομές ( $\gamma - \gamma'$ ).....	97
Εικόνα 119 Ενδιάμεσες τομές ( $\varepsilon - \varepsilon'$ ).....	97





## 1 Εισαγωγή

Το λατομείο μαρμάρου πάνω στο οποίο έχει βασιστεί αυτή η διπλωματική βρίσκεται στην περιοχή της Δράμας στην ευρύτερη περιοχή του Φαλακρού όρους σε υψόμετρο 900 - 1000 m (Εικόνα 1).



*Εικόνα 1 Άποψη του Λατομείου.*

Τα μάρμαρα που εντοπίζονται στην περιοχή έχουν χαρακτηριστικά γκρι- καφέ νερά με την μορφή αραιών ταινιών, η κύρια μάζα των οποίων είναι λευκή και εξορύσσεται σε λατομεία της περιοχής. Οι χρωματικές διαφορές μεταξύ των εμπορικών τύπων οφείλονται στην ύπαρξη οξειδίων και άλλων ορυκτών που προσδίδουν τις αντίστοιχες αποχρώσεις στην κύρια μάζα τους ή στις ταινίες που εμφανίζονται.

Κατά την Αμερικάνικη Επιτροπή Δοκιμών Υλικών ως μάρμαρα χαρακτηρίζονται τα ανθρακικά πετρώματα που αποτελούνται από ασβεστίτη ή δολομίτη ή από συνδυασμό των δύο, δηλαδή ιζηματογενή ανθρακικά πετρώματα (Εξαδάκτυλος, 2007). Όσον αφορά την εμπορική ονομασία, μάρμαρα μπορούν να χαρακτηριστούν μια σειρά πετρωμάτων τα οποία επιδέχονται κοπή και λείανση.

Η ελληνική εξορυκτική βιομηχανία κατέχει την πρώτη θέση σε ποσοστό επί του συνόλου της αξίας των εξαγωγών συγκριτικά με άλλες ευρωπαϊκές χώρες. Σύμφωνα με των Σύνδεσμο Μεταλλευτικών Επιχειρήσεων για το έτος 2017, τις υψηλότερες

επιδόσεις κατέγραψαν τα μάρμαρα. Ένα ποσοστό 3-4% της συνολικής μεταλλευτικής δραστηριότητας της χώρας καλύπτει η βιομηχανία μαρμάρου (Μενεγάκη, 2010). Ποσοστό που αντιστοιχεί περίπου στο ένα τέταρτο της επί τοις εκατό παραγωγής εξάγεται καθιστώντας την εξόρυξη του μαρμάρου σαν έναν από τους ισχυρότερους κλάδους της ελληνικής οικονομίας (Μενεγάκη, 2010). Ο κύριος λόγος είναι η συνολική αξία παραγωγής και εξαγωγής τους. Τα βασικά χαρακτηριστικά των κοιτασμάτων αυτών είναι πρώτον το μέγεθος των αποθεμάτων που υπάρχουν στον ελλαδικό χώρο και κατά δεύτερον η μεγάλη αύξηση και εξέλιξη του κλάδου τις τελευταίες δεκαετίες. Ο βαθμός απόληψης και η ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων επηρεάζονται κατά κύριο λόγο από τον τεκτονισμό του κοιτάσματος, τις δυνατότητες αξιοποίησης των στείρων υλικών και τη δημιουργία παραπροϊόντων του μαρμάρου.

Πέρα από τα πιο φημισμένα λευκά μάρμαρα του Διονύσου και της Πεντέλης, μεγάλη παραγωγή λευκών - ημίλευκων μαρμάρων πραγματοποιείται στην Ανατολική Μακεδονία στη μαρμαροφόρο ζώνη Δράμας - Καβάλας - Θάσου. Στους ορεινούς όγκους της Ανατολικής Μακεδονίας, εντοπίζεται το μεγαλύτερο πλήθος αποθεμάτων της κατηγορίας των λευκών και ημίλευκων μαρμάρων, στα οποία υπάγονται τα λευκά χιονόλευκα της Θάσου και τα υψηλής ποιότητας μάρμαρα του Φαλακρού όρους τα οποία εξάγονται στην διεθνή αγορά (Κίνα, ΗΠΑ και αλλού). Η Ανατολική Μακεδονία παράγει ανά έτος ογκομάρμαρα που ξεπερνούν τα 250.000 m<sup>3</sup> (Παπατρέχας, 2011). Μεγάλο τμήμα της ελληνικής μαρμαροβιομηχανίας όπως προαναφέρθηκε αποτελεί ο μαρμαρικός πλούτος της Ανατολικής Μακεδονίας. Αποτελείται από την παρουσία δολομιτικών μαρμάρων του Φαλακρού όρους στο Νομό Δράμας και των δολομιτικών μαρμάρων της Νήσου Θάσου στο Νομό Καβάλας.

Κατά κύριο λόγο οι εξορύξεις μαρμάρων πραγματοποιούνται με υπαίθρια εκμετάλλευση, στην οποία γίνεται η απόσπασή τους με τη χρήση ειδικού εξοπλισμού (διάτρηση – συρματοκοπή ή αλυσοπρίονα σε συνδυασμό με συρματοκοπή). Τα μάρμαρα της Ανατολικής Μακεδονίας καλύπτουν επιφάνεια 1800 km<sup>2</sup> και διακρίνονται σε ασβεστιτικά, δολομιτικά και σιπολινικά. Τα ασβεστιτικά - δολομιτικά μάρμαρα της περιοχής της Δράμας καλύπτουν έκταση 600 km<sup>2</sup>, από τα οποία σε ποσοστό μικρότερο από 7% είναι της κατηγορίας των δολομιτικών μαρμάρων (Χατζηπαναγής & Βουγιούκας, 2004, Χατζηπαναγής κ.ά, 2006).

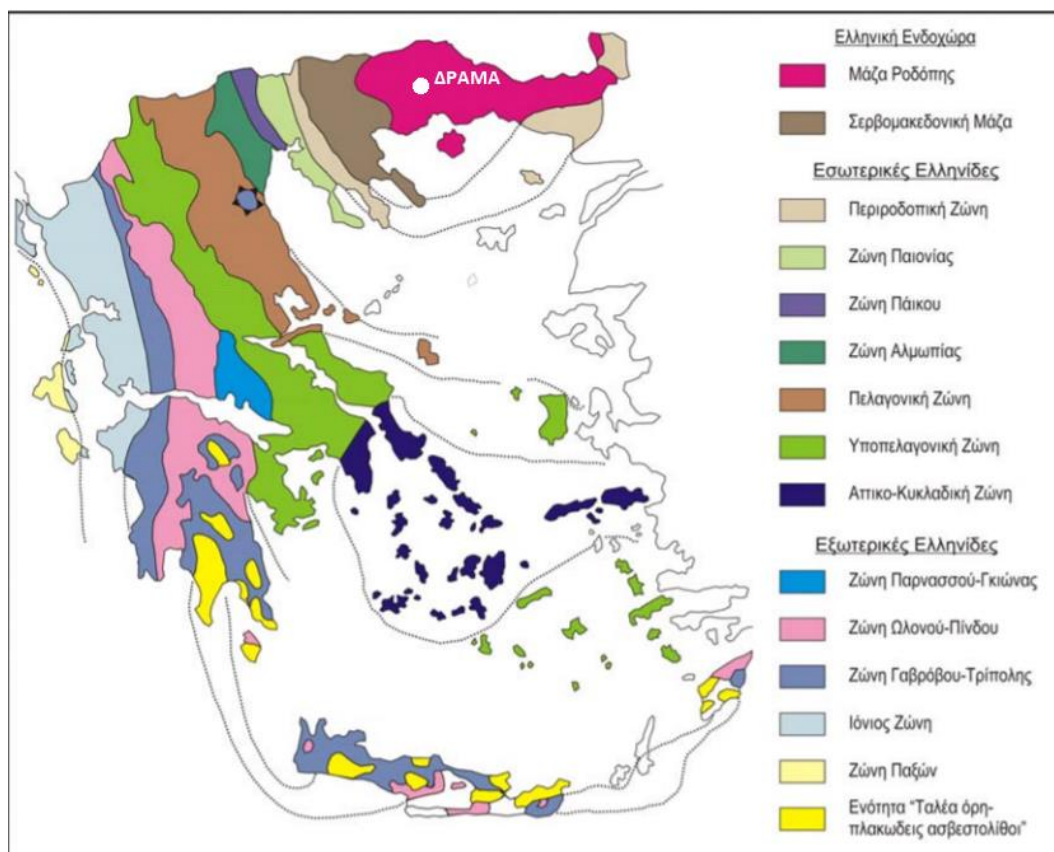
Η περιοχή της Ανατολικής Μακεδονίας αποτελείται από πέντε λατομικά κέντρα όπου παράγονται 15 εμπορικοί τύποι μαρμάρου. Οι πιο γνωστοί εμπορικοί τύποι και εκείνοι που παρουσιάζουν ενδιαφέρον παρατίθενται παρακάτω:

- Λευκό έως χιονόλευκο δολομιτικό μάρμαρο, που αποτελείται κατά 95-98% από δολομίτη, ενώ το υπόλοιπο από ασβεστίτη. Ο δολομίτης σχηματίζει υποϊδιόμορφους κρυστάλλους, μεγέθους 0,06mm έως 0,15mm, δίνοντας στο πέτρωμα ισοκοκκώδη γρανοβλαστικό ιστό και συμπαγή υφή. Το πέτρωμα, γενικά, δεν παρουσιάζει ιδιαίτερη τεκτονική καταπόνηση, κυρίως για το γεγονός ότι έχει ομοιογένεια, χωρίς ξένες προσμίξεις.
- Στην κατηγορία έγχρωμα ταινιωτά δολομιτικά μάρμαρα ανήκει το Venus. Πρόκειται για λευκό δολομιτικό πέτρωμα μέσα στο οποίο παρεμβάλλονται λεπτότατες ταινίες κυρίως σκούρου χρώματος, οι οποίες αποτελούνται από ασβεστιτικό υλικό, δίνοντας στο πέτρωμα ριγωτή όψη.

## 2 Γεωλογία και Γεωτεκτονική εξέλιξη της περιοχής μελέτης

### 2.1 Λιθοστρωματογραφία

Η περιοχή που βρίσκεται το λατομείο πάνω στο οποίο γίνεται η μελέτη βρίσκεται στην Βόρεια Ελλάδα και πιο συγκεκριμένα στην περιοχή της Δράμας. Η περιοχή του λατομικού χώρου ανήκει στην γεωτεκτονική Μάζα της Ροδόπης (Χάρτης γεωτεκτονικών ζωνών Εικόνα 2). Τμήματα της γεωτεκτονικής ζώνης της Ροδόπης αποτελούν ο ορεινός όγκος της Ροδόπης στη Θράκη, η Νότια Βουλγαρία, η Ανατολική Μακεδονία με δυτικό όριο τη γραμμή του Στρυμόνα ποταμού, καθώς και η Θάσος. Η μάζα της Ροδόπης βρίσκεται μεταξύ του Δυναρικού και του Αλπιδικού κλάδου δηλαδή μεταξύ των οροσειρών των Δυναρίδων και των Καρπαθό - Βαλκανίδων.

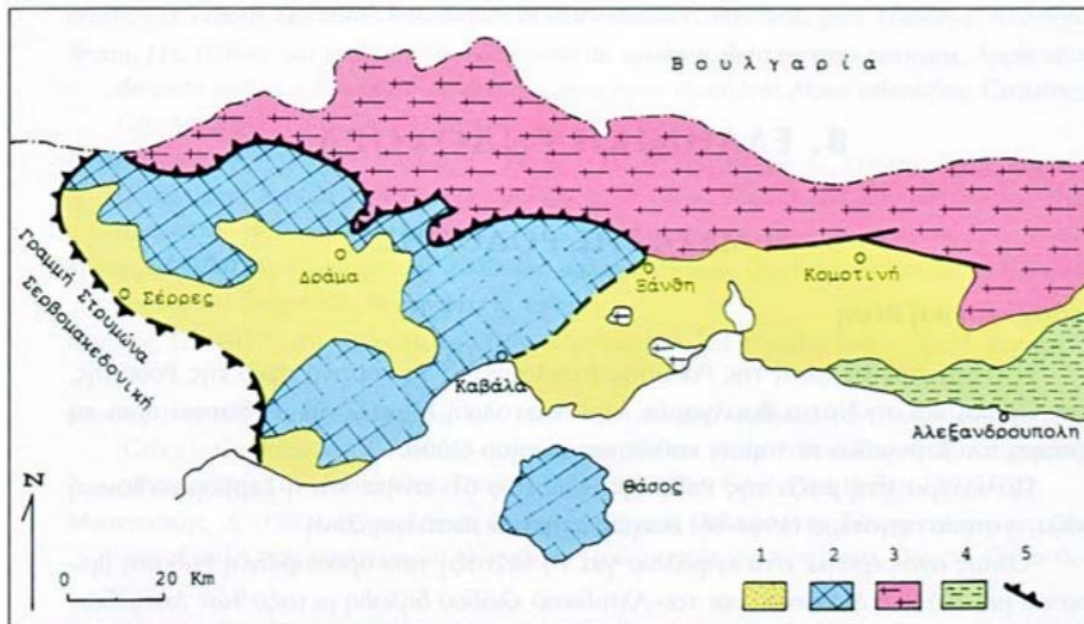


Εικόνα 2 Γεωτεκτονικές ζώνες της Ελληνικής ενδοχώρας. Με έντονο ροζ χρώμα αντιπροσωπεύεται η γεωτεκτονική ζώνης της μάζας της Ροδόπης. (Μουντράκης, 2010)

Όσον αφορά την λιθοστρωματογραφία η μάζα αποτελείται από κρυσταλλοσχιστώδη και πυριγενή πετρώματα. Σύμφωνα με τον Oswald (1938) το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της Ροδόπης διαιρείται σε τέσσερις ορίζοντες, που από τις βαθύτερες προς τις ανώτερες είναι οι εξής:

1. Σειρά Ε των γνευσίων βάσης.
2. Σειρά F των μαρμάρων.
3. Σειρά G των μαρμαρυγιακών σχιστολίθων.
4. Σειρά Η των σχιστολίθων και μαρμάρων.

Οι Παπανικολάου και Παναγόπουλος (1981) διαχώρισαν τη τεκτονική ζώνη της Ροδόπης σε δυο ενότητες (Εικόνα 3):

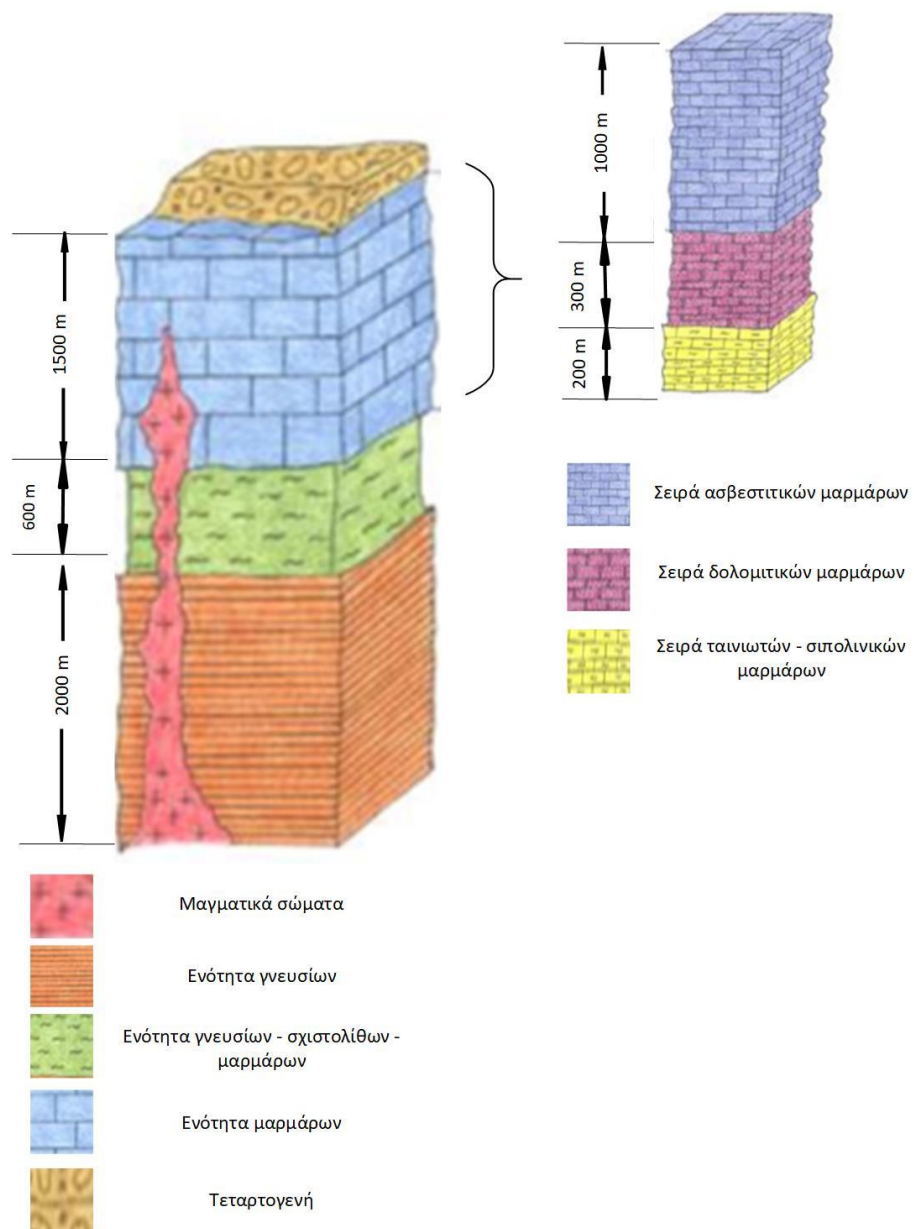


Εικόνα 3 Τεκτονικό σκαρίφημα της Μάζας της Ροδόπης, με δύο ενότητες (Μουντράκης, 2010). 1: Μεταλικά ιζήματα, 2: ενότητα Παγγαίου, 3: ενότητα Σιδηρονέρου, 4: σχηματισμοί Περιροδοπικής ζώνης, 5: γραμμή επώθησης.

1. Την ανώτερη τεκτονική ενότητα Σιδηρονέρου στο Βόρειο τμήμα κατά μήκος των συνόρων μεταξύ Βουλγαρίας και Ελλάδας. Η ενότητα του Σιδηρονέρου συγκροτείται από αμφιβολίτες, ορθογνευσίους, μαρμαρυγιακούς σχιστολίθους, λεπτές ενστρώσεις μαρμάρων και μιγματίτες.
2. Την κατώτερη τεκτονική ενότητα του Παγγαίου στην οποία υπάγονται η δυτική και η νοτιοδυτική Ροδόπη. Η τεκτονική ενότητα του Παγγαίου περιλαμβάνει έναν κατώτερο ορίζοντα ορθογνευσίων σχιστολίθων και αμφιβολιτών, ένα μεσαίο ορίζοντα μαρμάρων μεγάλου πάχους και τέλος έναν ανώτερο ορίζοντα με εναλλαγές σχιστολίθων και μαρμάρων.

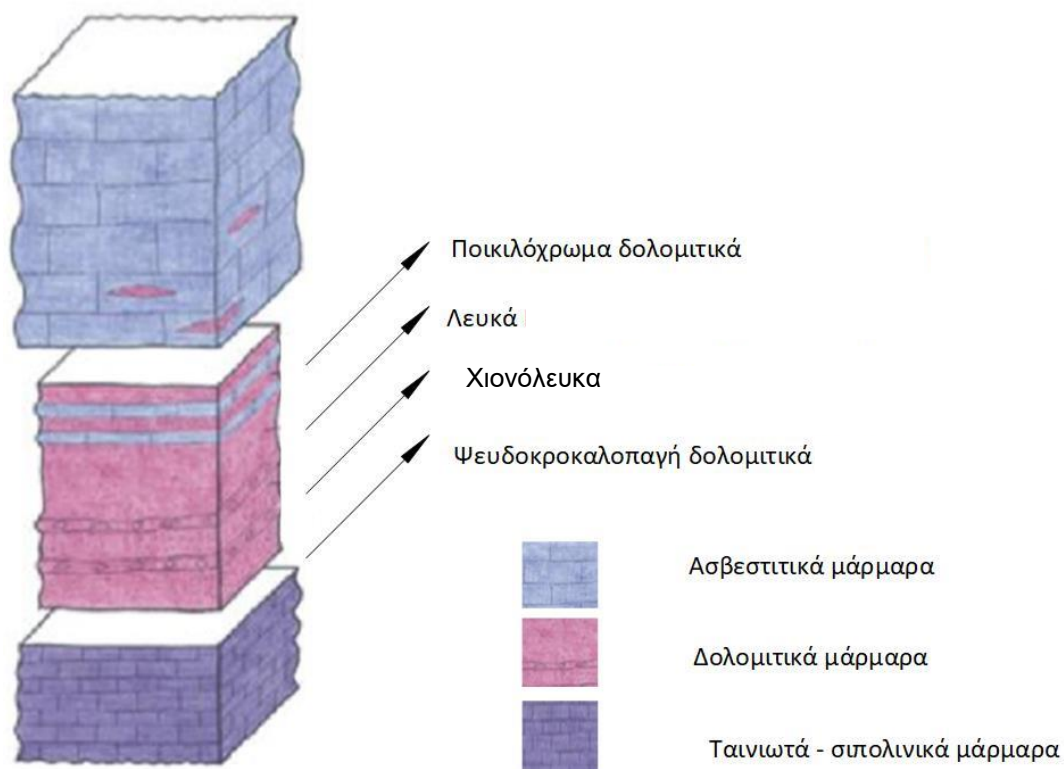
Η ανώτερη τεκτονική ενότητα Σιδηρονέρου διαιρέθηκε από αρκετούς ερευνητές σε μικρότερες ενότητες με βάση πετρολογικά και μεταμορφικά κριτήρια Μποςκος (1998), Μποςκος - Κρόχε (2000, 2002).

Το όρος Φαλακρό εντάσσεται στην τεκτονική ενότητα του Παγγαίου και δομείται από μεταμορφωμένα πετρώματα, σχιστολιθικής φάσης, στα οποία πραγματοποιήθηκε διείσδυση όξινων μαγματικών σωμάτων στη μάζα των κύριων πετρωμάτων. Η λιθοστρωματογραφική στήλη που απεικονίζει την περιοχή του όρους δίνεται παρακάτω (Εικόνα 4). Αρχικά εμφανίζονται τα τεταρτογενή πετρώματα. Εν συνεχεία ακολουθεί η ενότητα των μαρμάρων με πάχος της τάξης των 1500 m. Η ενότητα αυτή συγκροτείται από μια σειρά ασβεστιτικών μαρμάρων που καταλαμβάνουν πάχος 1000 m, μια σειρά δολομιτικών μαρμάρων πάχους 300 m και τέλος μια σειρά ταινιωτών - σιπολινικών μαρμάρων με συνολικό πάχος που φτάνει 200 m. Έπειτα ακολουθεί η σειρά γνευσίων - σχιστολίθων - μαρμάρων πάχους 600 m περίπου. Μεγαλύτερη σε πάχος ενότητα αποτελεί αυτή των γνευσίων με διάσταση 2000 m. Ύπαρξη μαγματικών σωμάτων εμφανίζεται στο σώμα της λιθοστρωματογραφικής στήλης.



Εικόνα 4 Λιθοστρωματογραφική στήλη Φαλακρού όρους (Βουγιούκας Δ. και Χατζηπαναγής Ι., 2009).





Εικόνα 5 Λιθοστρωματογραφική στήλη του Γρανίτη Δράμας.

Στην λιθοστρωματογραφική στήλη που αντιπροσωπεύει τον υπό μελέτη λατομικό χώρο (Εικόνα 5) που απεικονίζεται παραπάνω διακρίνεται η θέση των ποιοτικών και εμπορικών τύπων μαρμάρου που εμφανίζονται στην περιοχή. Ξεκινώντας με φορά από πάνω προς τα κάτω εντοπίζονται πρώτα τα ασβεστιτικά μάρμαρα. Η σειρά ασβεστιτικών μαρμάρων Φαλακρού καλύπτει έκταση  $500 \text{ km}^2$  ενώ το μέγιστο πάχος τους φτάνει τα  $1000 \text{ m}$ , το φαινόμενο πάχος λόγω των πολυπτυχώσεων και επιπτεύσεων είναι πολλαπλάσιο. Τα μάρμαρα αυτής της ενότητας είναι χονδροπλακώδη αδρόκοκκα ασβεστιτικά μάρμαρα. Το χρώμα τους διαφέρει ως αναλογία του ποσοστού του γραφίτη που περιέχεται σε αυτά, με αποτέλεσμα να κυμαίνεται από γκριζόλευκο ως τεφροφαίο.

Έπειτα ακολουθούν τα δολομιτικά μάρμαρα. Η σειρά των δολομιτικών μαρμάρων από πάνω προς τα κάτω αποτελείται από ποικιλόχρωμα δολομιτικά (Galaxy, Venus) εν συνεχεία λευκά Γρανίτη (Ωμέγα, Ωρίων, Κύκνος, Κάλλιστο, Φοίνικας) έπειτα ακολουθούν τα λευκά δολομιτικά τύπου άριστο και τέλος τα ψευδοκροκαλοπαγή δολομιτικά (Αμβροσία). Η έκταση αυτής της ενότητας είναι περιορισμένη σε σχέση με τις άλλες που όλες μαζί συγκροτούν την σειρά των δολομιτικών μαρμάρων. Παρά το γεγονός ύπαρξης έντονης τεκτονικής παραμόρφωσης και των ιζηματογενών δομών, έχουν καθορισμένη λιθοστρωματογραφία. Κατά κύριο λόγο η



λιθοστρωματογραφική στήλη παραμένει με σταθερή στρωματογραφική θέση και βαθμιαία μετάβαση όσον αφορά τη χημική και ορυκτολογική σύσταση, στην οποία παρατηρούνται εναλλαγές σκουρόχρωμου ασβεστιτικού και λευκού δολομιτικού υλικού τόσο προς τους κατώτερους όσο και τους ανώτερους ορίζοντες μαρμάρου.

Μετά τα δολομιτικά μάρμαρα ακολουθούν τα ταινιωτά – σιπολινικά μάρμαρα. Πρόκειται για λεπτοπλακώδη ασβεστιτικά μάρμαρα που αποτελούνται στο μεγαλύτερο ποσοστό από ασβεστίτη και μικρότερες ποσότητες χαλαζία, δολομίτη και γραφίτη. Το μέγιστο πάχος τους φτάνει τα 200 m ενώ η έκταση που καλύπτουν είναι 100 km<sup>2</sup>. Κοιτασματολογικό ενδιαφέρον παρουσιάζεται στους ανώτερους ορίζοντες όπου εμφανίζονται κατά θέσεις μικρά σώματα αμιγούς δολομιτικού μαρμάρου με μέγιστες διαστάσεις 100 m επί 40 m και βρίσκονται σε κανονική στρωματογραφική θέση ή αποτελούν τεκτονικές διεισδύσεις.

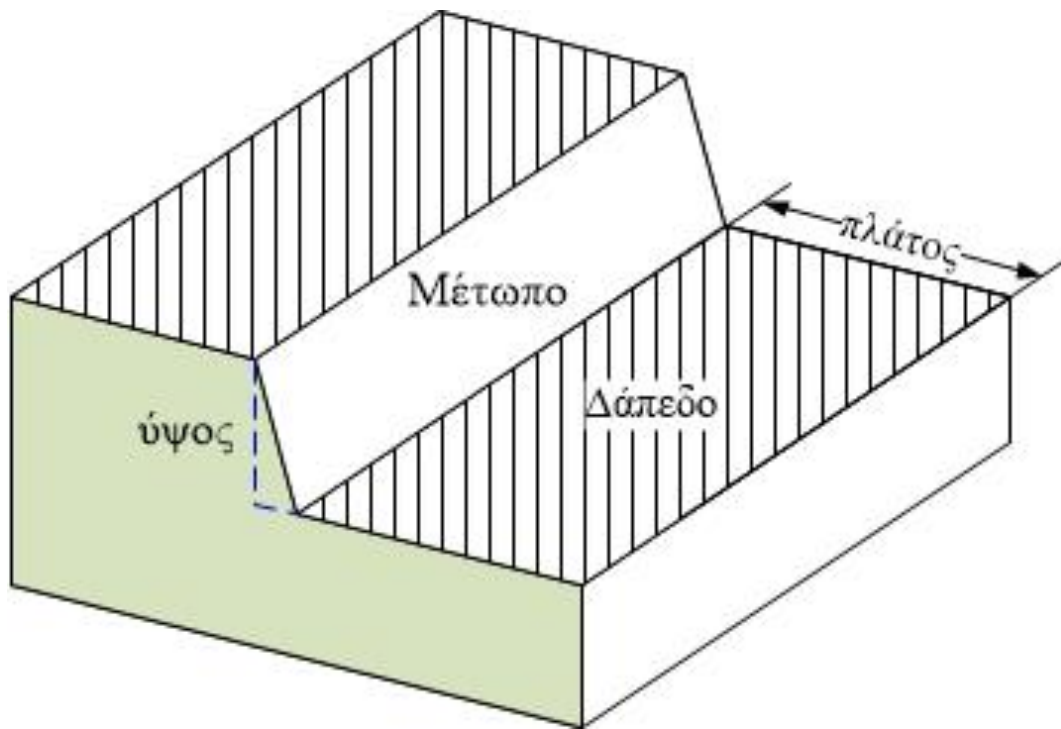
## 2.2 Τεκτοορογενετική εξέλιξη

Η ηπειρωτική σύγκρουση μεταξύ δύο πλακών της Ευρασίας και της Απούλιας οδήγησε σε συμπίεση και οριστική διαμόρφωση του Ελληνικού ορογενούς. Σύμπλεγμα τεκτονικών καλυμμάτων που συμμετείχε στην διαμόρφωση του, αποτελεί η γεωτεκτονική ζώνη της μάζας της Ροδόπης (Μουντράκης, 2010). Ως αποτέλεσμα του εφελκυσμού του Νεότερου Τριτογενούς επήλθε η κατάπτωση των τεκτονικών λεπιών και καλυμμάτων (που είχαν σχηματιστεί προηγουμένως με τη συμπίεση) με μικρής γωνίας κλίσης ρήγματα αποκόλλησης και εκταφή των βαθύτερων μεταμορφικών οριζόντων (Kilias & Mountrakis 1990, 1995, Dinter & Royden 1993, Brun & Sokoutis 2007). Όλα αυτά συντελούν στην ονομασία της ζώνης σαν κρυσταλλοσχιστώδη μάζα της Ροδόπης.

Η ενότητα του Παγγαίου αποτελείται κυρίως από μάρμαρα καθώς περιβάλλεται από τα βορειοανατολικά από τα τεκτονικά καλύμματα του Σιδηρονέρου που είναι βαθύτεροι μεταμορφικοί ορίζοντες και από τα Δυτικά από τους επίσης βαθύτερους ορίζοντες της Σερβομακεδονικής μάζας, συγκροτεί ένα τυπικό μεταμορφικό πυρήνα, η εκταφή του οποίου συντελέστηκε το Μειόκαινο με την εφελκυστική κατάρρευση των τεκτονικών καλυμμάτων και ταυτόχρονη διείσδυση γρανιτικών μαγμάτων που έδωσαν τους γρανίτες της Βροντού, του Συμβόλου, του Παγγαίου κ.ά.

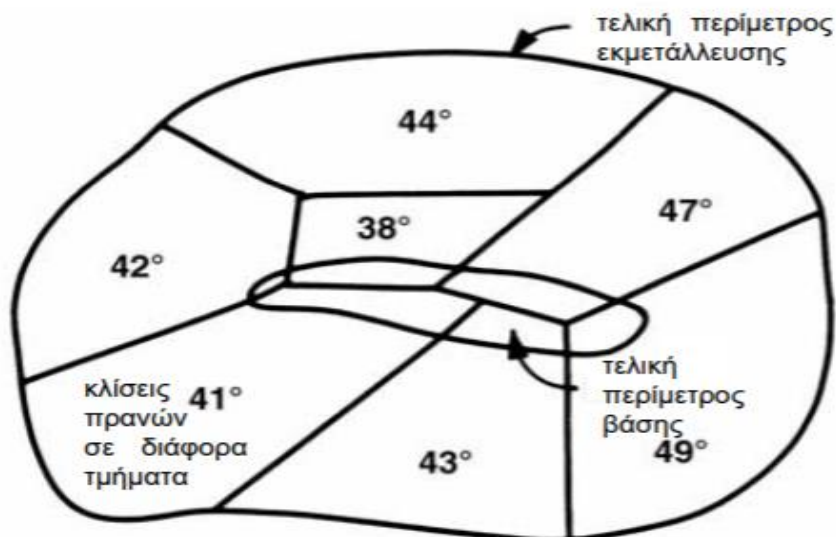


- Βαθμίδα (Εικόνα 7) αποτελεί την πιο συνηθισμένη μορφή του μετώπου παραγωγής. Μια βαθμίδα αποτελείται από δύο ελεύθερες επιφάνειες μια κεκλιμένη και μια με κατακόρυφη διεύθυνση. Το δάπεδο εργασίας που ταυτίζεται με το υψόμετρο είναι χαρακτηριστικό της κάθε βαθμίδας. Οι οριζόντιες βαθμίδες παρουσιάζουν σταθερό υψόμετρο ενώ στις κεκλιμένες το υψόμετρο είναι μεταβαλλόμενο.



Εικόνα 7 Κύρια χαρακτηριστικά βαθμίδας.

- Τελική περίμετρος εκμετάλλευσης (Εικόνα 8) είναι η μεγαλύτερη διάσταση, στην επιφάνεια του εδάφους της εκμετάλλευσης, κατά την οριζόντια διεύθυνση.



Εικόνα 8 Τελική περίμετρος εκμετάλλευσης και κλίσεις πρανών  
([https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/METAL108/Enotita\\_2.pdf](https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/METAL108/Enotita_2.pdf)).

- Εσωτερική και εξωτερική απόθεση, εκεί αποτίθενται τα στείρα υλικά. Όταν η απόθεση πραγματοποιείται εντός της περιμέτρου εκμετάλλευσης ονομάζεται εσωτερική ενώ σε αντίθετη περίπτωση ονομάζεται εξωτερική.

Οι υπαίθριες εκμεταλλεύσεις παρουσιάζουν θετικά αλλά και αρνητικά στοιχεία σε σχέση με τις υπόγειες εκμεταλλεύσεις. Πλεονέκτημα τους αποτελεί ο υψηλός συντελεστής απόληψης αλλά και το χαμηλότερο κόστος εξόρυξης. Επιπρόσθετα η δυνατότητα αποκοπής όγκου μεγάλων διαστάσεων τεμαχίων κατάλληλων για ειδικές χρήσεις αποτελεί προτέρημα των υπαίθριων εκμεταλλεύσεων. Η ευελιξία στην παραγωγή αλλά και οι υπό προϋποθέσεις δυνατότητα εκλεκτικής εκμετάλλευσης αποτελούν μερικά από τα θετικά χαρακτηριστικά των υπαίθριων εκμεταλλεύσεων. Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα μεταξύ των επιφανειακών και των υπόγειων εκμεταλλεύσεων δεν οδηγούν σε σαφή επιλογή μεταξύ των δύο. Συνεπώς όταν μια υπαίθρια εκμετάλλευση θεωρηθεί οικονομικά ακατάλληλη οδηγούμαστε στην επιλογή της υπόγειας εκμετάλλευσης.

Η εφαρμοζόμενη μέθοδος επιλέγεται λαμβάνοντας υπόψιν πολυάριθμους παράγοντες μερικοί από τους οποίους αναφέρονται παρακάτω:

- Η τοπογραφία επιδρά στην σχέση αποκάλυψης και στη γεωμετρία εκμετάλλευσης.
- Η γεωγραφία του κοιτάσματος είναι ένας βασικός παράγοντας που επηρεάζει το κόστος μεταφοράς και καθορίζει τα έργα υποδομής όπως παραδείγματός

χάρη η δημιουργία οδικού δικτύου για την εύκολη πρόσβαση στην περιοχή εκμετάλλευσης.

- Η τεκτονική έχει άμεση επίδραση στην αντοχή, τις μηχανικές ιδιότητες και στην ευστάθεια του πρανούς της εκμετάλλευσης. Στην περίπτωση των μαρμάρων η τεκτονική καθορίζει το μέγεθος των παραγόμενων ογκοτεμαχίων.
- Οι μηχανικές ιδιότητες του κοιτάσματος αλλά και των περιβαλλόντων πετρωμάτων καθορίζει την μέγιστη επιτρεπόμενη κλίση των πρανών, την καταλληλότερη μέθοδο εξόρυξης και το κόστος διάτρησης (διατρήματα, εκρηκτικές ύλες).
- Η γεωμετρία του κοιτάσματος επηρεάζει τη μέθοδο που θα επιλεγεί για την εξόρυξη και κατ' επέκταση την οικονομικότητα της εκμετάλλευσης. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά ενός κοιτάσματος είναι:
  1. Το βάθος στο οποίο συναντάται το κοίτασμα.
  2. Η κλίση του.
  3. Το σχήμα και η μορφή του κοιτάσματος.
  4. Το τελικό βάθος του κοιτάσματος.
- Ο όγκος των απολήψιμων αποθεμάτων καθορίζεται από τον συνδυασμό της γεωμετρίας και των ποιοτικών χαρακτηριστικών του.
- Η αποληψιμότητα, τα αποθέματα και η εμπορική αξία του πετρώματος.
- Η σχέση αποκάλυψης η οποία είναι το κλάσμα με αριθμητή τον όγκο των αγόνων σε κυβικά μέτρα προς τον όγκο των χρήσιμων συστατικών σε τόνους ή κυβικά μέτρα.
- Τέλος οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις να είναι μειωμένες (πχ να μην υπάρξει αλλοίωση του φυσικού τοπίου και διατάραξη της χλωρίδας, πανίδας της περιοχής). Αποτελεί αναγκαία συνθήκη η δημιουργία πλάνου αποκατάστασης της περιοχής με το πέρας της εξόρυξης.

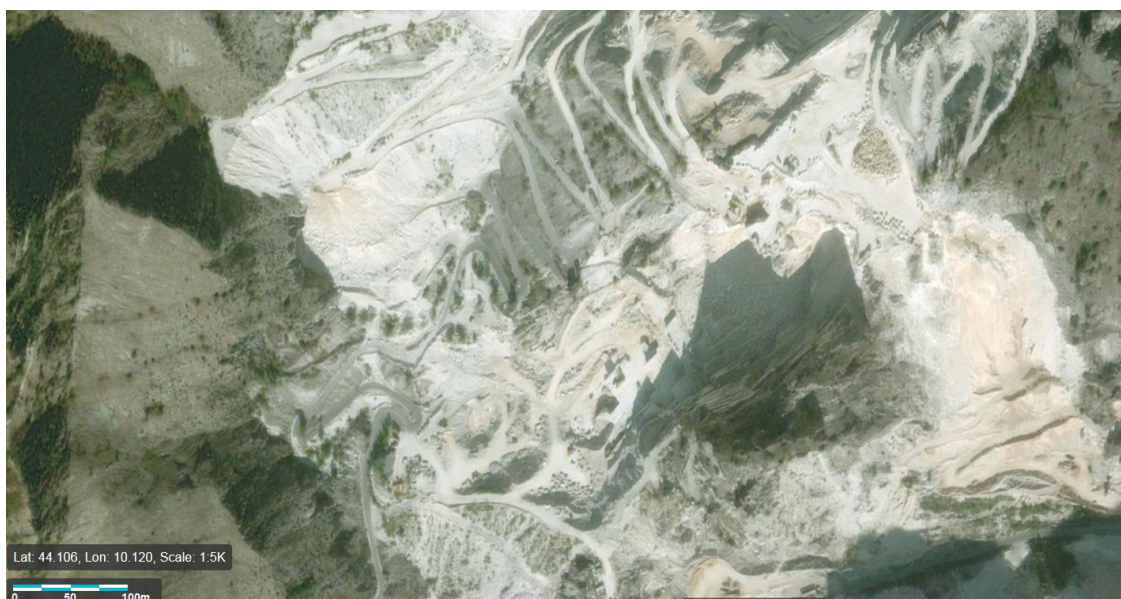
Οι υπαίθριες εκμεταλλεύσεις υλοποιούνται σε διάφορα στάδια. Η οριοθέτηση του προς εκμετάλλευση τμήματος αλλά και η θέση εκκίνησης από την οποία θα πραγματοποιηθεί η έναρξη της εξόρυξης αποτελεί το πρωταρχικό στάδιο ενός τέτοιου είδους εκμετάλλευσης. Μετέπειτα έρχεται η σειρά της απομάκρυνσης του πετρώματος με χρήση συρματοκοπής, με αποτέλεσμα τη δημιουργία πάγκων μεγάλων διαστάσεων. Κατά συνέπεια το επόμενο βήμα είναι η δημιουργία

μικρότερου μεγέθους ογκοτεμαχίων ή πλακών διαστάσεων που τα καθιστούν εμπορεύσιμα προϊόντα. Η διαδικασία κοπής πραγματοποιείται σε ειδικούς χώρους. Οι χώροι αυτοί βρίσκονται εντός του λατομείου ή σε παρακείμενους χώρους.

Η επιλογή των διαφορετικών τύπων υπαίθριων εκμεταλλεύσεων εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τα χαρακτηριστικά και τη γεωμετρία του προς εκμετάλλευση κοιτάσματος. Με αυτό τον τρόπο έχουν καθιερωθεί οι τέσσερις βασικοί τύποι εκμεταλλεύσεων.

### 3.1 Μέθοδος υπαίθριας εκμετάλλευσης σε κορυφή βουνού

Κοιτάσματα που εκμεταλλεύονται με την υπαίθρια μέθοδο και βρίσκονται σε κορυφές βουνών παίρνουν την μορφή ανοικτής εκμετάλλευσης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το λατομείο μαρμάρου Carrara που βρίσκεται στην κορυφή όρους και αποτελείται από κατακόρυφα τοιχώματα μεγάλου ύψους (Εικόνα 9). Σε αυτές τις περιπτώσεις καθίσταται δύσκολη η απόρριψη στείρων και δημιουργούνται κατάλληλοι χώροι απόθεσης.



*Εικόνα 9 Δορυφορική εικόνα λατομείου μαρμάρου Carrara στην κορυφή όρους (Apuan Alps, Mount Altissimo) με κατακόρυφα τοιχώματα μεγάλου ύψους.*

### 3.2 Μέθοδος υπαίθριας εκμετάλλευσης σε λοφώδες ανάγλυφο

Σε οριζόντιο – παραοριζόντιο κοίτασμα μαρμάρου που εμφανίζεται σε πλαγιά λόφου εκμεταλλεύεται με την υπαίθρια αυτή μέθοδο (Εικόνα 10).



Οι σκληροί σχηματισμοί αντιμετωπίζονται με την κατά θέσεις τοποθέτηση εκρηκτικών υλών για την περεταίρω χαλάρωση τους, ενώ εκσκάπτονται και διακινούνται με τον ανάλογο ειδικό εξοπλισμό (shovels, dumpers).

Οι βαθμίδες αναπτύσσονται πάνω στην πλαγιά και προχωράνε σε βάθος όσο επιτρέπει η μέγιστη σχέση αποκάλυψης. Τέλος η απόθεση των στείων γίνεται στον κενό χώρο του λατομείου που έχει ήδη εξοφληθεί



*Εικόνα 10 Δορυφορική εικόνα λατομείου granite σε λοφώδες ανάγλυφο (Vermont, USA)*

### 3.3 Μέθοδος επιφανειακής εκμετάλλευσης με κλειστές βαθμίδες και μεγάλης κλίσης τοιχώματα

Κοιτάσματα ακανόνιστου σχήματος ή κοιτάσματα έντονων κεκλιμένων στρωσιγενών κοιτασμάτων αποτελούν αυτά στα οποία χρησιμοποιείται η μέθοδος κλειστών βαθμίδων. Όταν η επιφάνεια είναι επίπεδη, το εμβαδόν της επιφάνειας της

παραχώρησης μικρό και το κοίτασμα συμπαγές τότε η μορφή του λατομείου παίρνει μορφή κλειστής εκμετάλλευσης με τοιχώματα μεγάλης κλίσης (Εικόνα 11).

Το σχήμα της εκμετάλλευσης πολλές φορές διαφέρει από αυτό της χοάνης αφού προσαρμόζεται στις γεωμετρικές ιδιαιτερότητες και τις ποιοτικές διακυμάνσεις του προς εκμετάλλευση κοιτάσματος. Όταν τα πετρώματα είναι σκληρά χρησιμοποιούνται για την χαλάρωση τους εκρηκτικές ύλες ενώ αν είναι σχετικά μαλακά η εξόρυξη γίνεται με μηχανικά μέσα.



*Εικόνα 11 Υπαίθρια εκμετάλλευσης με κατακόρυφα τοιχώματα μορφής φρέατος (ή βαθιάς τάφρου) σε αρχικά επίπεδο τοπογραφικό ανάγλυφο (Πορτογαλία).*

### 3.4 Μέθοδος επιφανειακής εκμετάλλευσης με ανοιχτές βαθμίδες

Η υπαίθρια εκμετάλλευση με τη μορφή ανοιχτών βαθμίδων είναι μέθοδος κατ' εξοχήν χρησιμοποιούμενη στην Ελλάδα για μάρμαρα και αδρανή υλικά. Το τελικό σχήμα του λατομείου προσαρμόζεται ανάλογα με τις γεωμετρικές ιδιότητες του κοιτάσματος. Συγκεκριμένα στα λατομεία εκμετάλλευσης μαρμάρου η απομάκρυνση των όγκων μαρμάρου πραγματοποιείται με ειδικά μηχανήματα εξόρυξης και κυρίως με τη χρήση των συρματοκοπών, οι σκληροί σχηματισμοί μεταλλευμάτων και



αδρανών υλικών εξορύσσονται με εκρηκτικές ύλες. Τέτοιου είδους λατομεία μαρμάρου όπου γίνεται χρήση της μεθόδου των ανοιχτών βαθμίδων εντοπίζονται στην περιοχή Carrara της Ιταλίας (Εικόνα 12).



*Εικόνα 12 Εκμετάλλευση με ανοιχτές βαθμίδες. Λατομείο μαρμάρου που βρίσκεται στη περιοχή Carrara της Ιταλίας.*

### 3.5 Υπαίθριες εκμεταλλεύσεις μαρμάρων

#### 3.5.1 Παράγοντες καθορισμού οικονομικής αξίας μαρμάρων

Οι μάζες των ανθρακικών αλάτων του ασβεστίου (ασβεστόλιθοι) ή του ασβεστίου μαγνησίου (δολομίτες) όπως αναφέρεται στην επιστήμη των πετρωμάτων ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες τα μη κρυσταλλικά και τα κρυσταλλικά πετρώματα. Τα μάρμαρα ανήκουν στην κατηγορία κρυσταλλικά πετρώματα και συγκεκριμένα είναι είτε κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι ή κρυσταλλικοί δολομίτες.

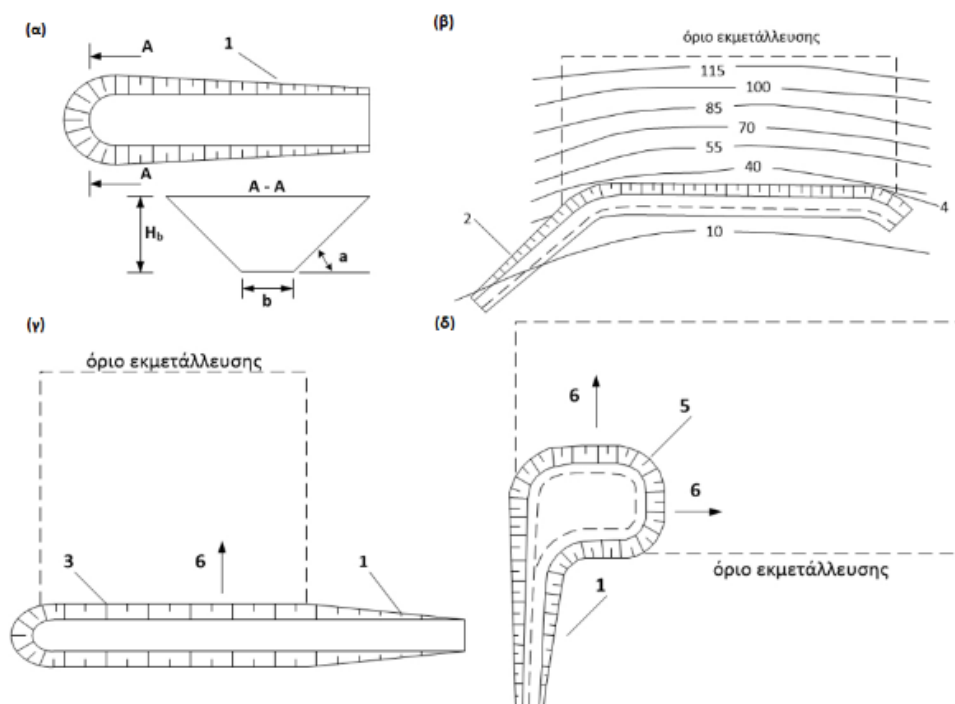
Πριν την έναρξη της εξόρυξης ενός μαρμαροφόρου κοιτάσματος διεξάγεται έρευνα για να καθοριστεί η οικονομική αξία του συγκεκριμένου μαρμάρου και η ζήτηση που έχει στην αγορά. Η εμπορική τους αξία αποτελεί ένα από τα βασικότερα χαρακτηριστικά για την εξόρυξη τους και επηρεάζεται από την χρωματική και αισθητική τους εμφάνιση. Η φυσική ιδιότητα που διαμορφώνει σε μεγάλο βαθμό την εμπορική τους αξία είναι το χρώμα τους που είναι ανάλογο των συστατικών τους. Οι διαφορετικές αποχρώσεις είναι αποτέλεσμα προσμίξεων οξειδίων, που όταν κατανέμονται ομοιόμορφα δημιουργούν πετρώματα ομοιόμορφου χρώματος συνεπώς υψηλής αξίας ενώ σε αντίθετη περίπτωση μειώνουν αισθητά την οικονομική τους αξία. Ένα άλλο χαρακτηριστικό που επηρεάζει την τιμή τους αποτελεί το μέγεθος των κρυστάλλων και ο ιστός τους. Η απουσία φλεβιδίων, η διάταξη και το χρώμα τους επενεργεί στον καθορισμό της οικονομικής τους αξίας. Η παρουσία εγκλεισμάτων ή άλλων αλλοιώσεων, κενών πόρων και συνοδευτικών ορυκτών επηρεάζει την εμπορική τους αξία. Επίσης η ύπαρξη μικρορωγμών, οι φυσικές, οι χημικές και οι μηχανικές ιδιότητες τους αποτελούν άλλους παράγοντες καθορισμού της αξίας του κοιτάσματος. Τέλος η δυνατότητα εξόρυξης όγκων μαρμάρου ικανοποιητικών διαστάσεων αυξάνει την οικονομική τους αξία.

#### 3.5.2 Μέθοδος εκμετάλλευσης λατομείων μαρμάρου

Τα μαρμαροφόρα κοιτάσματα εκμεταλλεύονται κατεξοχήν με επιφανειακές υπαίθριες εκμεταλλεύσεις. Στα λατομεία μαρμάρου η πιο συνήθης μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι αυτή των ορθών βαθμίδων. Σε αυτή τη μέθοδο η απόσπαση των όγκων μαρμάρου πραγματοποιείται στην πρόσοψη της βαθμίδας. Πρωτίστως σε κάθε νέα βαθμίδα σημαντικό ρόλο έχει η εύκολη προσπέλαση όλου του μηχανολογικού εξοπλισμού (εξόρυξης, φόρτωσης, μεταφοράς), η δημιουργία του αρχικού μετώπου εξόρυξης αλλά και δαπέδου εργασίας. Μετέπειτα έρχεται η σειρά της απόσπασης του μαρμάρου από τη φυσική του θέση με χρήση συρματοκοπής, με αποτέλεσμα στην

αρχική φάση τη δημιουργία πάγκων μεγάλων διαστάσεων (συνήθως 10x10x6 m, μήκος x πλάτος x ύψος. Μετά εκτελείται η κοπή κολώνων (διαστάσεων συνήθως 3x3x6 m, μήκος x πλάτος x ύψος) με περαιτέρω κοπή με συρματοκοπή των πάγκων. Στην συνέχεια οι κολώνες ανατρέπονται στο δάπεδο της βαθμίδας αφού πρώτα λαμβάνονται μέτρα ώστε κατά την ανατροπή να μην γίνει θραύση του πετρώματος λόγω κρούσης. Για την αποφυγή της θραύσης των ογκομαρμάρων το δάπεδο της βαθμίδας ανατροπής επιστρώνεται με χώμα ( ικανού πάχους πχ 1 m). Κατά συνέπεια το επόμενο βήμα είναι η δημιουργία μικρότερου μεγέθους ογκομαρμάρων από τις κολώνες διαστάσεων που τα καθιστούν εμπορεύσιμα προϊόντα. Η διαδικασία κοπής πραγματοποιείται σε ειδικά διαμορφωμένες πλατείες πλησίον των βαθμίδων όπου διενεργείται η εξόρυξη.

Τα διαμορφωμένα ογκομάρα μαρμάρου μεταφέρονται με φορτηγά αυτοκίνητα. Για να γίνει εφικτή η μεταφορά τους σε ανώτερες βαθμίδες διανοίγονται κατάλληλοι δρόμοι δημιουργώντας το οδικό δίκτυο του λατομείου.



Εικόνα 13 Έργα διάνοιξης οδικού δικτύου ανάλογα με την τοπογραφία Εικόνα 13.

Ο ρόλος του οδικού δικτύου είναι η εύκολη πρόσβαση και επικοινωνία διαφόρων θέσεων που συνδέουν τα διαφορετικά υψόμετρα και έχουν γνωστή κλίση. Όσον αφορά τα έργα διάνοιξης, τα σχήματα των διατομών τους είναι τραπεζοειδή ή τριγωνικά και ονομάζονται μόνιμες ή μισές τάφροι (Εικόνα 13α,β). Διαμορφώνεται

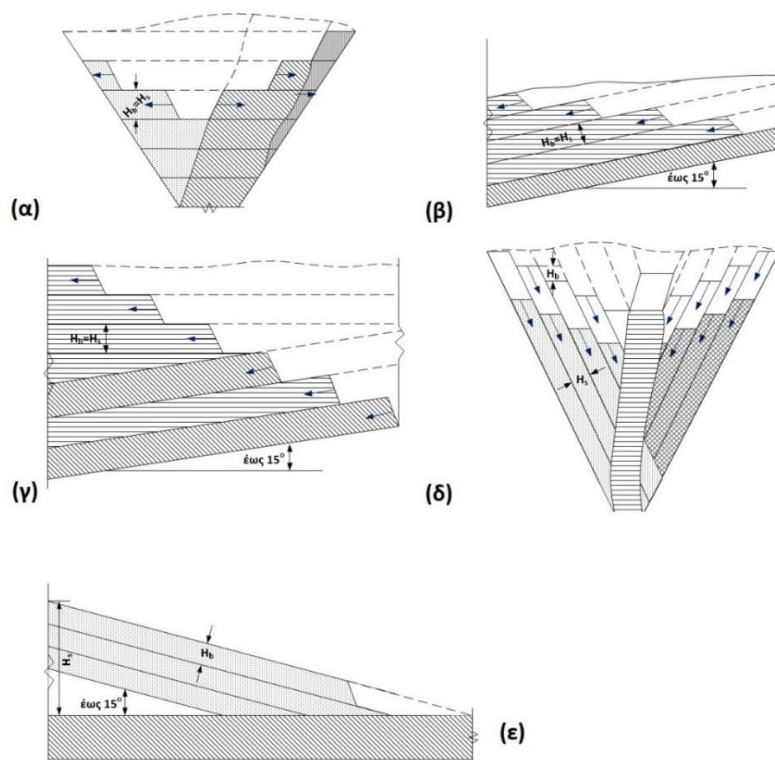
το αρχικό μέτωπο εξόρυξης στην ήδη ανήχθησα βαθμίδα, ως αποτέλεσμα τα έργα ανάπτυξης διακόπτονται. Στην συνέχεια ακολουθεί το στάδιο της εξόρυξης που φτάνει μέχρι τα όρια του κοιτάσματος (Εικόνα 13γ,δ) (Εξαδάκτυλος, 2007).

Ανάλογα με την κλίση του κοιτάσματος εφαρμόζονται και οι αντίστοιχες διαδικασίες. Στα στρωματοειδούς κοιτάσματα μαρμάρου με μικρή κλίση στις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις αρχικά απομακρύνεται μέρος του υπερκείμενου στείρου πετρώματος, ως αποτέλεσμα τα όρια της εκμετάλλευσης θα ακολουθήσουν την οριζόντια διάσταση του κοιτάσματος ενδιαφέροντος (Εξαδάκτυλος, 2007). Το τελικό βάθος της εξόρυξης είναι αλληλένδετο με το βάθος που βρίσκεται το κοίτασμα.

Στην περίπτωση μέτριας ή μεγάλης κλίσης πέρα από την επιφανειακή αποκάλυψη απομακρύνεται επίσης τμήμα της οροφής και της στρώσης ώστε να γίνει δυνατή η προσπέλαση των βαθμίδων. Επίσης επιτυγχάνεται η εξασφάλιση εκ των προτέρων της ευστάθειας των πρανών με το πέρας της εξόφλησης. Το τμήμα της στρώσης του στείρου πετρώματος εξορύσσεται μόνο στην περίπτωση της μεγάλης κλίσης ενώ το ίδιο δεν συμβαίνει στα κοιτάσματα μέτριας κλίσης.

Στα κοιτάσματα οριζόντιας εξάπλωσης η απόθεση λαμβάνει χώρα σε θέσεις παλιών εξορύξεων ενώ στα μέτριας και μεγάλης κλίσης πραγματοποιείται μακριά από το μέτωπο (Εξαδάκτυλος, 2007).

Σε μια υπαίθρια εκμετάλλευση η γεωμετρία στο χώρο του λατομείου προσδιορίζεται από χαρακτηριστικά όπως είναι οι διαστάσεις στην επιφάνεια κυρίως οι οριζόντιες διαστάσεις και το βάθος του. Η εξόρυξη του μαρμάρου και του στείρου υλικού γίνεται σε φέτες από πάνω προς τα κάτω, έχουν συνήθως οριζόντια διάταξη (Εικόνα 14α). Στην περίπτωση στρωματοειδών κοιτασμάτων μέτριας (Εικόνα 14β,γ) και μεγάλης κλίσης (Εικόνα 14δ) οι εξορυσσόμενες φέτες ακολουθούν την αντίστοιχη κλίση των κοιτασμάτων. Αν το πάχος των υπερκείμενων είναι αρκετά μεγάλο τότε χρειάζεται να γίνει αποκάλυψη του κοιτάσματος με την χρήση κεκλιμένων βαθμίδων (Εικόνα 14ε).



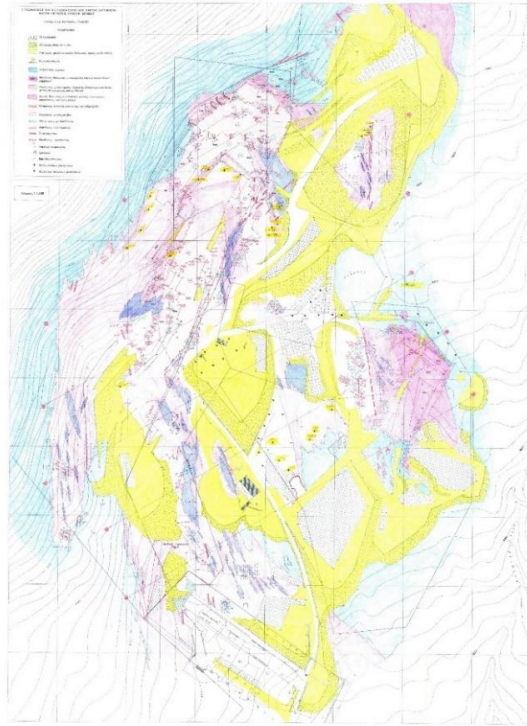
Εικόνα 14 Τύποι βαθμίδων. (Εξαδάκτυλος, 2007).

## 4 Σχεδιασμός του λατομείου

### 4.1 Εισαγωγή

Για τον σχεδιασμό του λατομείου άλλα και τη δημιουργία του κοιτασματολογικού μοντέλου χρησιμοποιούνται ήδη υπάρχοντες γεωλογικοί χάρτες της περιοχής πάνω στους οποίους θα βασιστεί και θα επεκταθεί η εκμετάλλευση. Ένα τέτοιο είδος χάρτη αποτελεί και ο παρακάτω (Εικόνα 15). Ο χάρτης αυτός δημιουργήθηκε από συνδυασμό γεωλογικού και κοιτασματολογικού χάρτη των χώρων της περιοχής του λατομείου. Σε αυτόν τον χάρτη απεικονίζεται το πλήθος των πετρωμάτων που απαρτίζουν την συγκεκριμένη περιοχή. Επιπρόσθετα διακρίνονται οι θέσεις και οι ζώνες των ρηγμάτων, καθώς επίσης το είδος, τα δίκτυα και οι θέσεις των διακλάσεων που δημιουργούν. Επιπλέον γίνονται γνωστά τα σημεία που εντοπίζονται οι επωθήσεις - εφιππεύσεις καθώς και οι διακλάσεις κατά παράταξη. Οι υφιστάμενες βαθμίδες, οι θέσεις των γεωτρήσεων αλλά και των ορυγμάτων παρουσιάζονται με ανάλογη σήμανση καθ' όλη την έκταση ενός τέτοιου χάρτη. Μια άλλη πληροφορία που αντλείται είναι η θέση των επιμέρους τομών στο χώρο. Η κλίμακα του χάρτη δίνει τη δυνατότητα μετατροπής διαστάσεων που μετρούνται πάνω στο χάρτη σε πραγματικές διαστάσεις στην επιφάνεια της γης, στην συγκεκριμένη περίπτωση η κλίμακα είναι 1:1000.



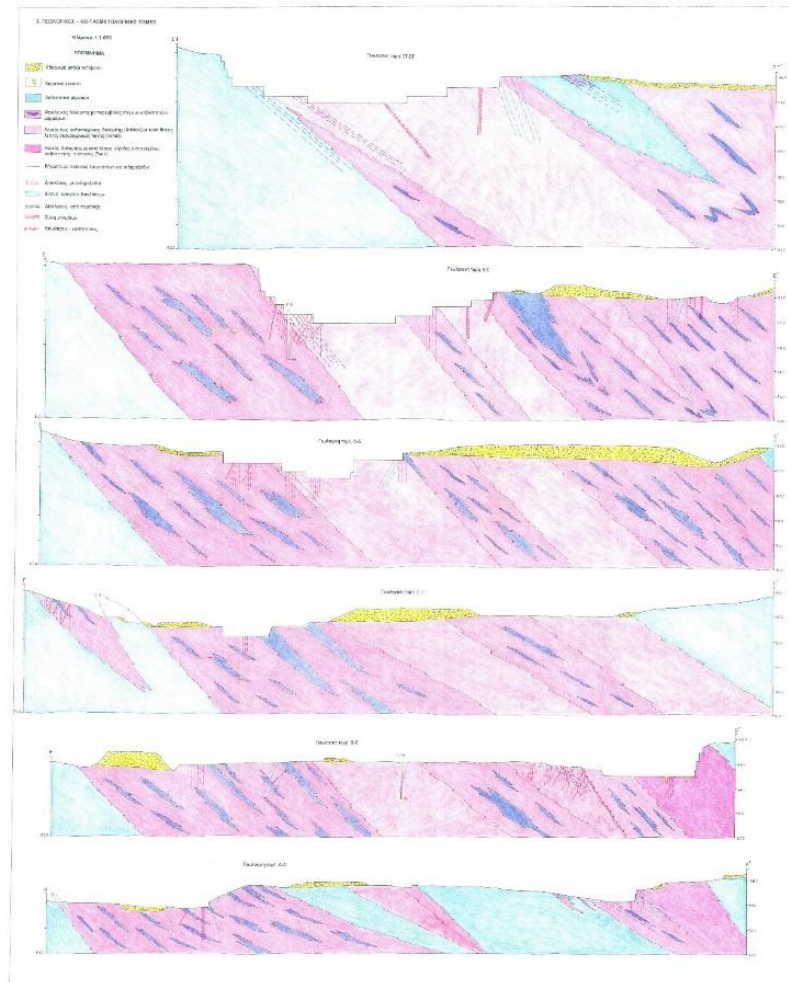


*Εικόνα 15 Γεωλογικός και κοιτασματολογικός χάρτης λατομικών χώρων περιοχής.*

Στην εικόνα που παρατίθεται παρακάτω παρουσιάζονται οι τομές του λατομείου (Εικόνα 16). Με σειρά από το Βορρά προς το Νότο συναντώνται οι τομές ΣΤ - 'ΣΤ, Ε - 'Ε, Δ - 'Δ, Γ - 'Γ, Β - 'Β, Α - 'Α αντίστοιχα. Οι γεωλογικές αυτές τομές έχουν την ίδια κλίμακα με αυτή του χάρτη, δηλαδή 1:1000.

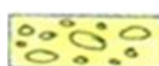
Η χρωματική διαβάθμιση του χάρτη και των τομών χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση των διαφόρων γεωλογικών - κοιτασματολογικών σχηματισμών που συναντώνται στην περιοχή ενδιαφέροντος και παρουσιάζονται στο υπόμνημα (Εικόνα 17). Το υπόμνημα είναι κοινό τόσο για το χάρτη όσο και για τις τρισδιάστατες και δισδιάστατες τομές. Το γαλάζιο χρώμα απεικονίζει τα ασβεστιτικά μάρμαρα, το μώβ χρώμα με τις μπλέ κηλίδες αναπαριστά το φαιόλευκο δολομίτη με παρεμβολές ασβεστιτικών μαρμάρων. Με ροζ χρώμα είναι οι περιοχές λευκού έως γαλακτόχρωμου δολομίτη, με κατά θέσεις λεπτές σκουρόχρωμες ταινίες ενώ με την πιο σκούρη απόχρωση ροζ έχουμε λευκό δολομίτη με κατά θέσεις νησίδες ασβεστιτικής σύστασης. Στην επιφάνεια του λατομείου και των τομών εντοπίζονται αποθέσεις αδρομερών στειρών και καρστικά έγκοιλα που συμβολίζονται με χαρακτηριστικό κίτρινο χρώμα στο υπόμνημα.

Με διαφορετικούς συμβολισμούς παριστάνονται τα ρήγματα τεκτονικών λατυποπαγών και σιδηροξειδία, οι διακλάσεις με σιδηροξειδία και τα αντίστοιχα δίκτυα τους, οι ζώνες ρηγμάτων και τέλος οι επωθήσεις - εφιππεύσεις.



Εικόνα 16 Γεωλογικές-κοιτασματολογικές τομές (Α - Α, Β - Β, Γ - Γ, Δ - Δ, Ε - Ε, ΣΤ - ΣΤ).

## Υπόμνημα



Αδρομερή μπάζα λατομείου



Καρστικά έγκοιλα



Ασβεστιτικά μάρμαρα



Φαιόλευκος δολομίτης με παρεμβολές πάγκων μαρμάρων



Λευκός έως γαλακτόχρωμος δολομίτης με κατά θέσεις λεπτές σκουρόχρωμες ταινίες



Λευκός δολομίτης με κατά θέσεις νησίδες ή συννεφάκια ασβεστιτικής σύστασης



Ρήγματα με τεκτονικά λατυποπαγή και σιδηροξείδια



Διακλάσεις με σιδηροξείδια



Δίκτυο ανοιχτών διακλάσεων



Διακλάσεις κατά παράταξη



Ζώνη ρηγμάτων



Επωθήσεις - επιπτεύσεις

*Εικόνα 17 Υπόμνημα του χάρτη της Εικόνα 15 και των τομών της Εικόνα 16.*

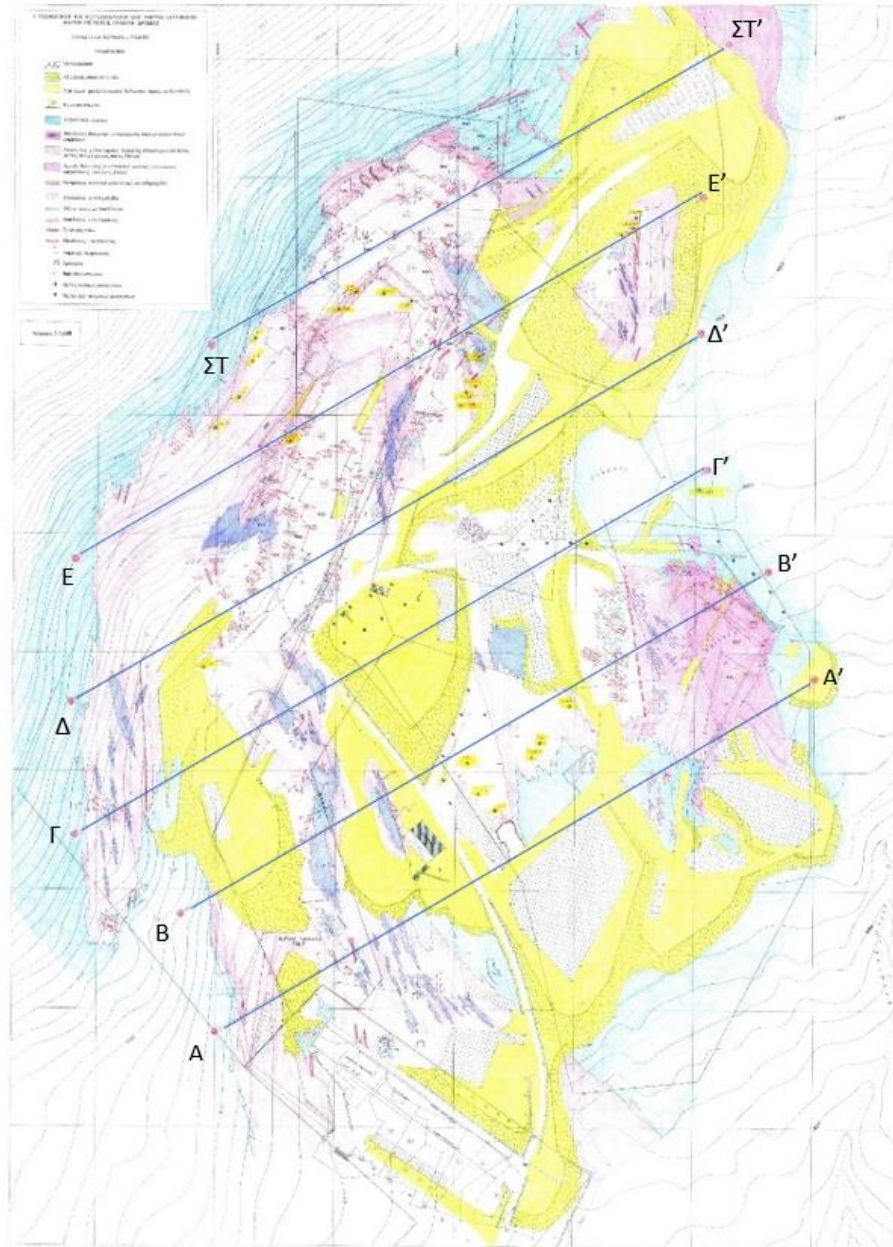
## 4.2 Ψηφιοποίηση γεωλογικών τομών και χάρτη

Οι ηλεκτρονικές εικόνες των τομών εισήχθησαν στο περιβάλλον του προγράμματος σχεδίασης. Αρχικά για να γίνει σωστά η επεξεργασία των τομών, θα πρέπει να γίνει διόρθωση της κλίμακας ώστε να ταυτιστεί με αυτή του προγράμματος. Μετά το πέρας της διαδικασίας διόρθωσης κάθε τομή θα έχει κλίμακα 1:1. Η ίδια διαδικασία θα πραγματοποιηθεί και για το χάρτη, με αποτέλεσμα τομές και χάρτης να έχουν κοινή

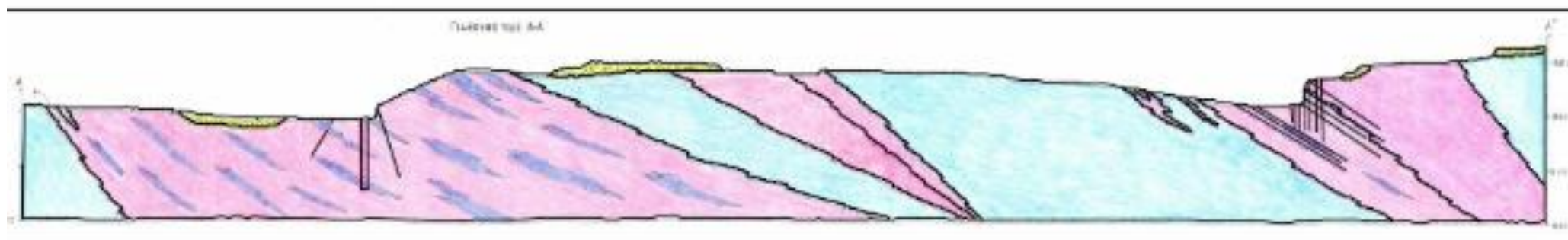


κλίμακα 1:1 (Εικόνα 18). Σε κάθε τομή ψηφιοποιήθηκαν όλοι οι γεωλογικοί σχηματισμοί από τους οποίους αποτελείται η κάθε επιμέρους τομή (Εικόνα 19-24).

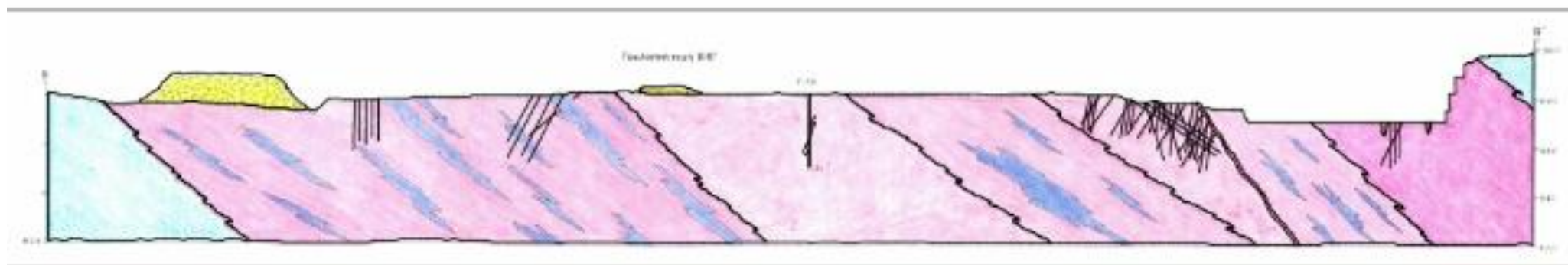
Με το πέρας της παραπάνω διαδικασίας, οι τομές θα τοποθετηθούν στις αντίστοιχες θέσεις του χάρτη. Στην Εικόνα 25 όπου φαίνεται η κάτοψη του χάρτη, διακρίνονται οι θέσεις και οι διευθύνσεις των τομών στο χώρο.



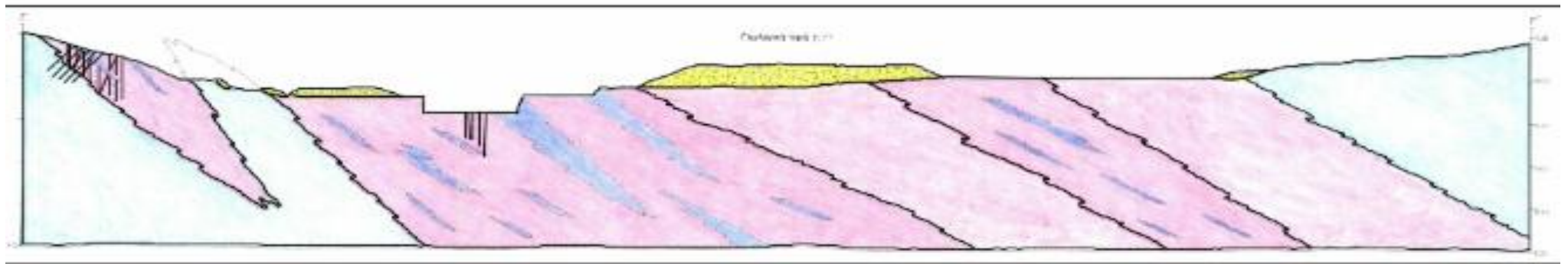
Εικόνα 18 Ψηφιοποιημένος χάρτης.



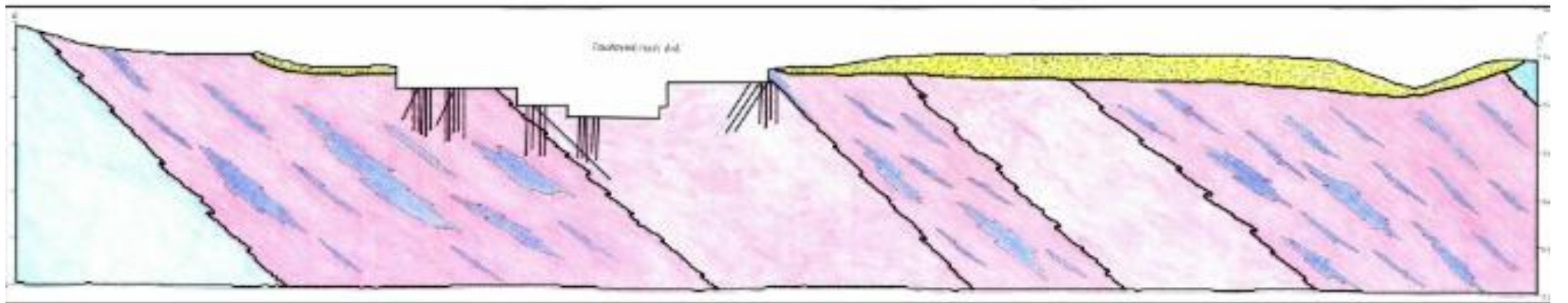
Εικόνα 19 Γεωλογική τομή κατά τη διεύθυνση Α-Α.



Εικόνα 20 Γεωλογική τομή κατά τη διεύθυνση Β-Β'.

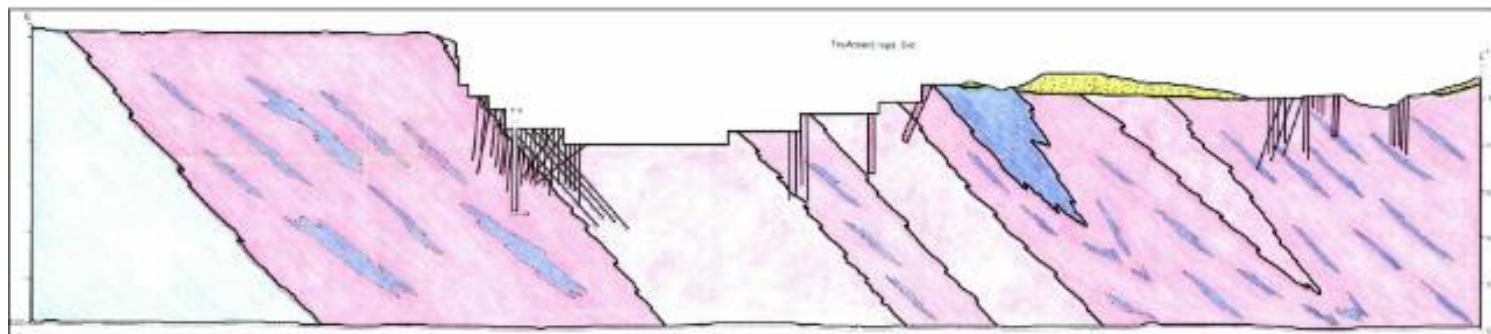


Εικόνα 21 Γεωλογική τομή κατά τη διεύθυνση Γ-Τ.

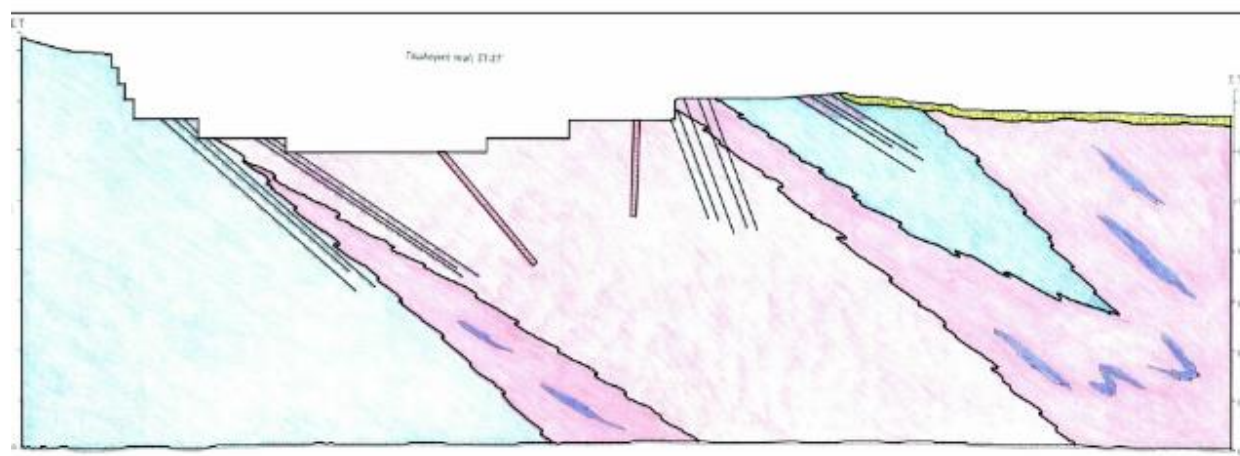


Εικόνα 22 Γεωλογική τομή κατά τη διεύθυνση Δ-Δ'.

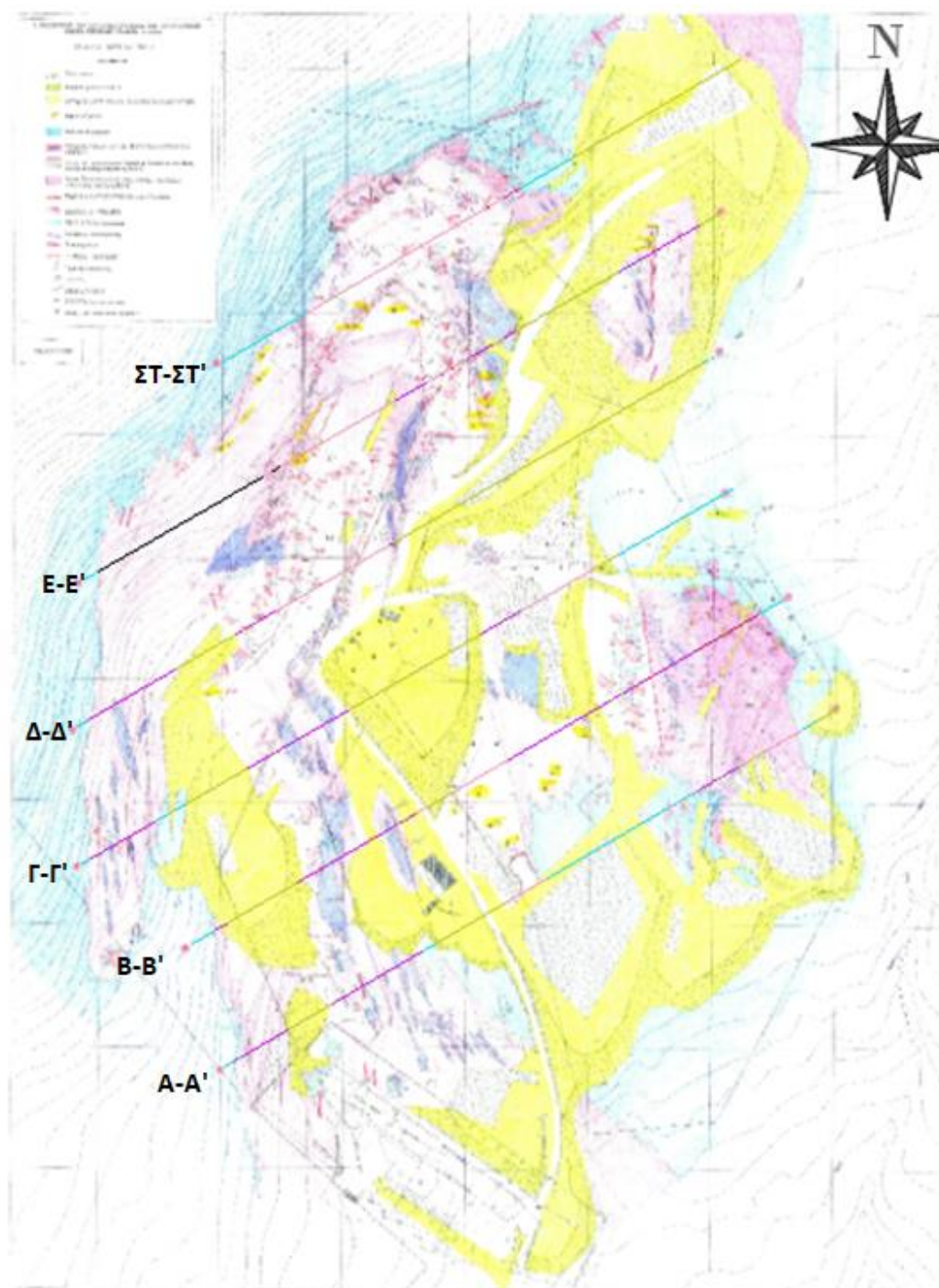




Εικόνα 23 Γεωλογική τομή κατά τη διεύθυνση E-E.



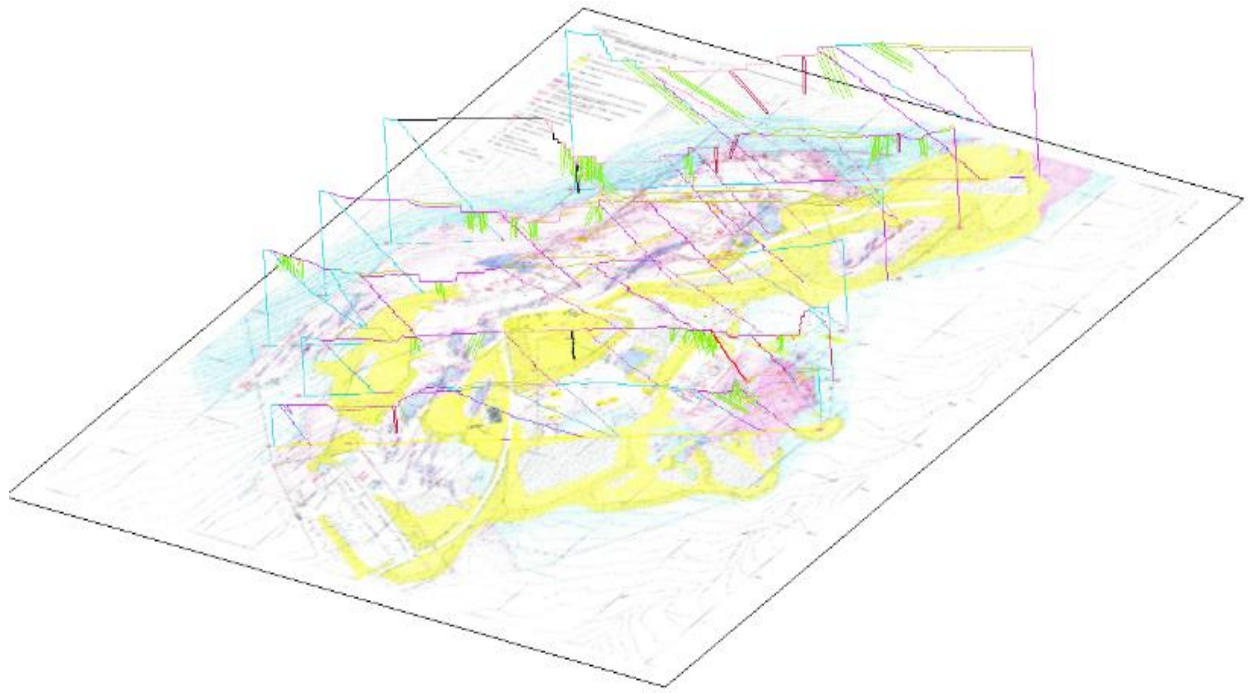
Εικόνα 24 Γεωλογική τομή κατά τη διεύθυνση ΣΤ-ΣΤ.



Εικόνα 25 Κάτοψη χάρτη και διάταξη τομών.

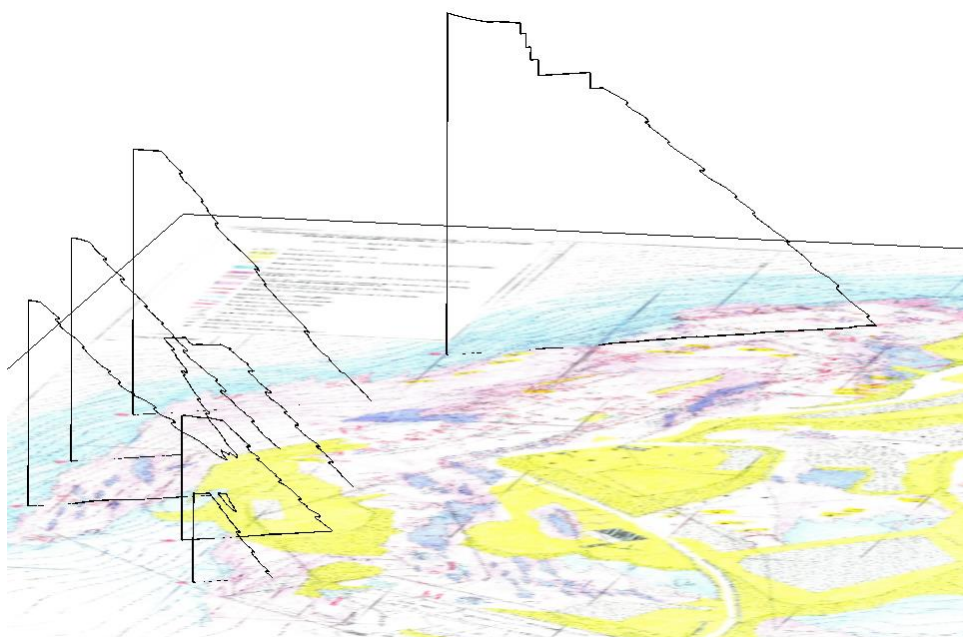
### 4.3 Δημιουργία στερεού ανάγλυφου λατομικής περιοχής

Οι ψηφιοποιημένες τομές όπως αυτές παρουσιάζονται στην Εικόνα 26 απαλλαγμένες πλέον από τις εικόνες των τομών και χρησιμοποιώντας τους σχηματισμούς που αποτυπώθηκαν αποτελεί το πρώτο βήμα ώστε να δημιουργηθεί το τρισδιάστατο κοιτασματολογικό μοντέλο. Κάθε κλειστή γραμμή αντιπροσωπεύει την τομή ενός διαφορετικού γεωλογικού σχηματισμού στην αντίστοιχη θέση του στο χώρο (Εικόνα 27). Η «τρειςδιάστατη» ένωση των γραμμών αυτών μεταξύ τους οδηγεί στη δημιουργία και αναπαράσταση του εκάστοτε σχηματισμού ((Εικόνα 28) σώμα ασβεστιτικών μαρμάρων για παράδειγμα). Με την ολοκλήρωση αυτής της διαδικασίας θα έχει κατασκευαστεί το αρχικό κοιτασματολογικό μοντέλο (Εικόνα 29).

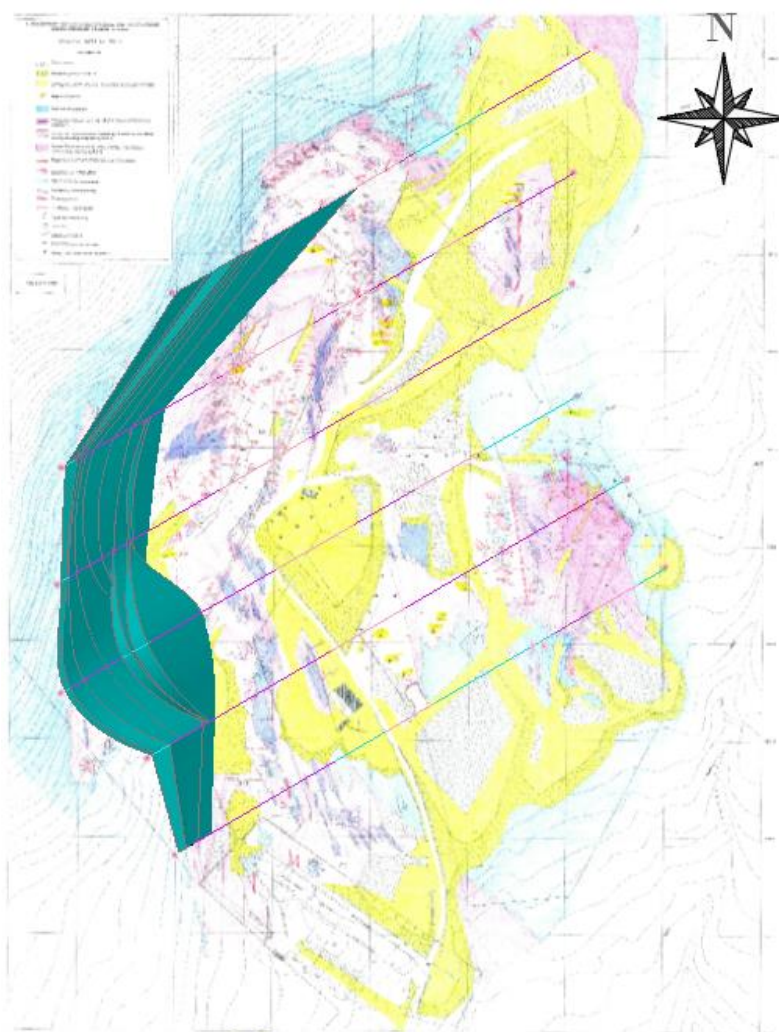


Εικόνα 26 Ψηφιοποιημένες τομές στον χάρτη.

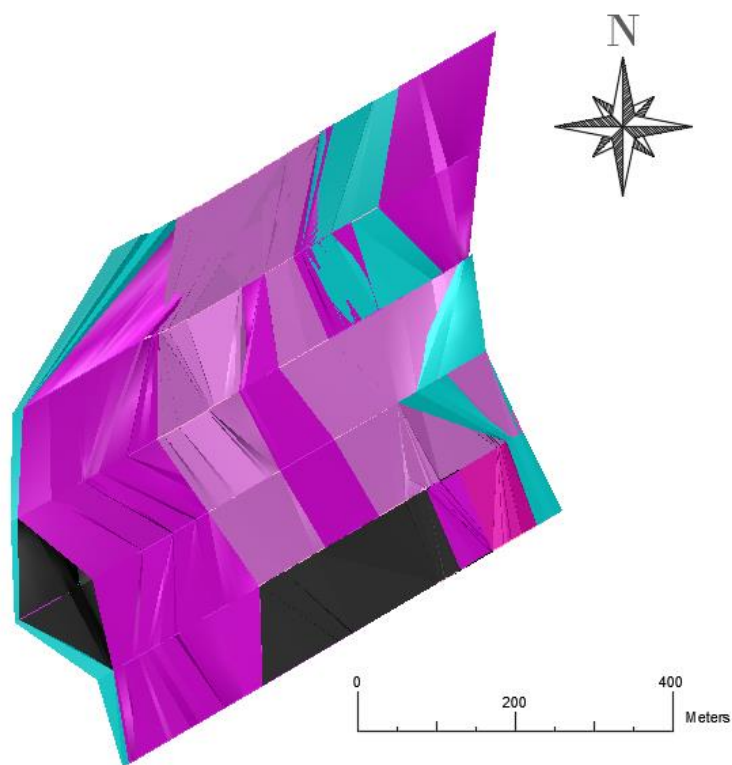




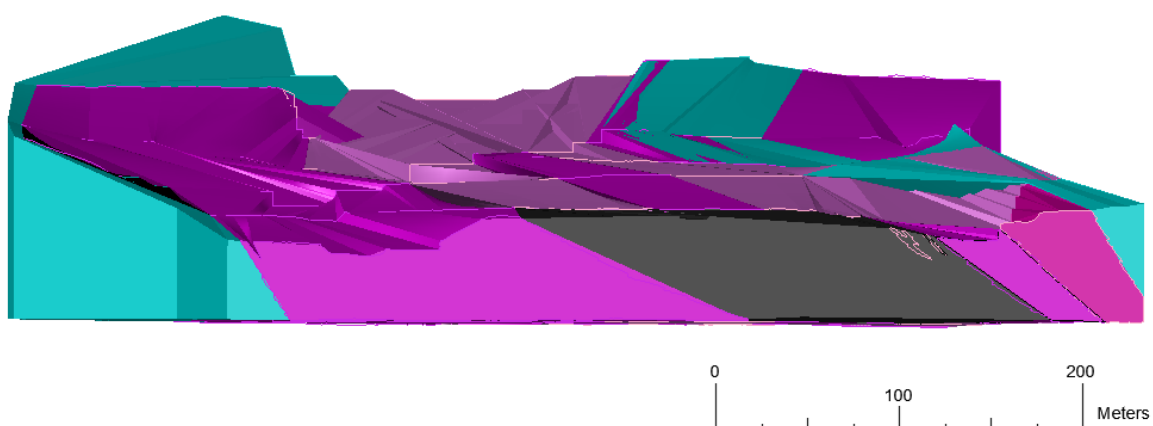
Εικόνα 27 Κλειστές γραμμές που αναπαριστούν τις τομές ασβεστιτικών μαρμάρων του δυτικού τμήματος του λατομείου.



Εικόνα 28 Δημιουργία σώματος ασβεστιτικού μαρμάρου της λατομικής περιοχής.



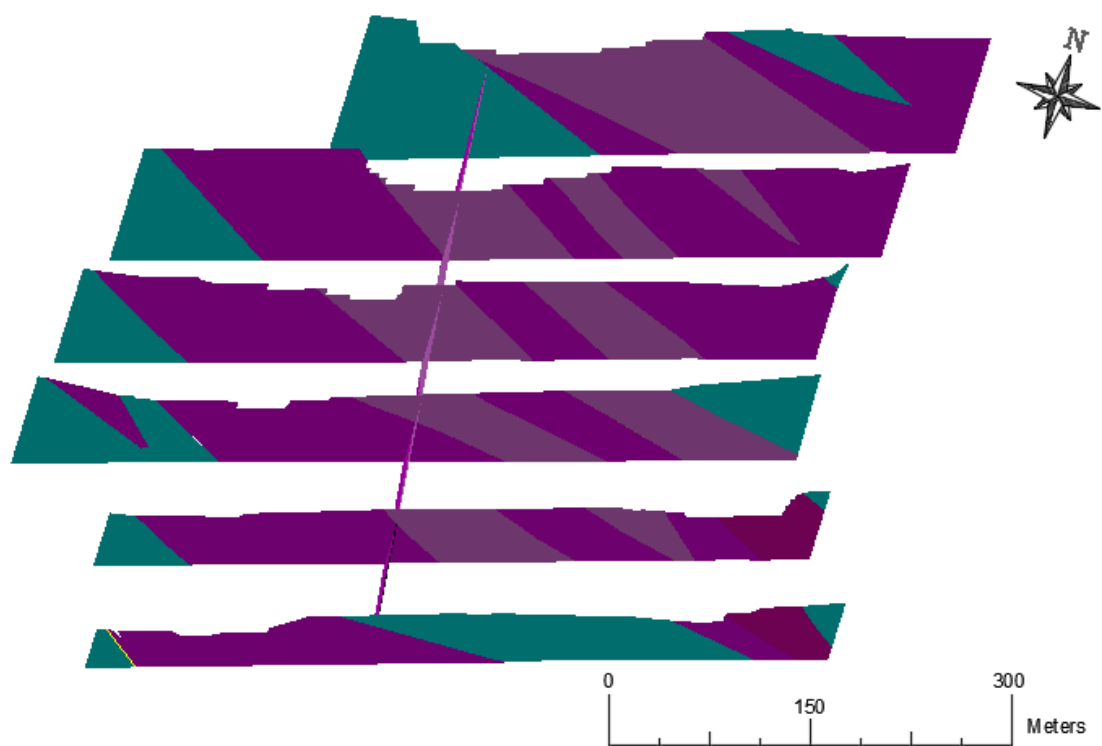
Εικόνα 29 Τελική μορφή του γεωλογικού-κοιτασματολογικού μοντέλου σε κάτοψη.



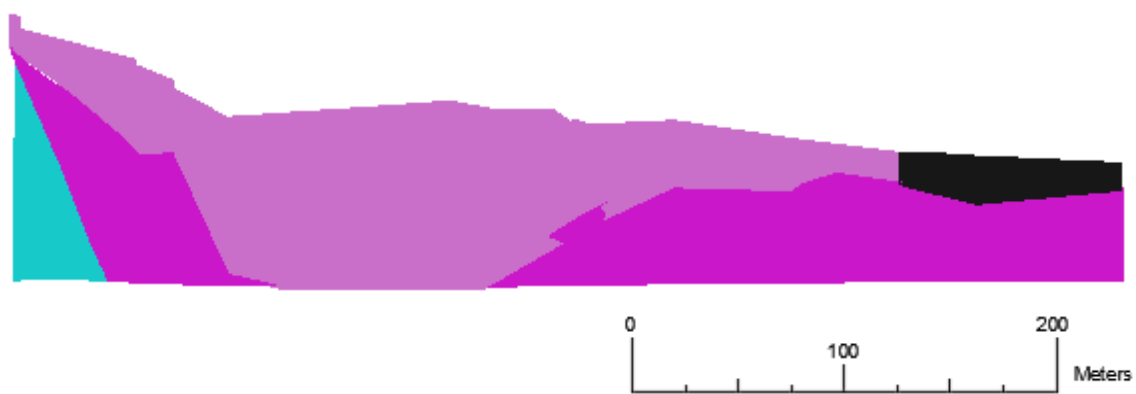
Εικόνα 30 Τρισδιάστατο μοντέλου όπου σαν πρόσοψη είναι η τομή ΣΤ-ΣΤ.

Μέσω της σύγκρισης των αρχικών τομών, με τις τομές που δημιουργήθηκαν από το στερεό στα αντίστοιχα σημεία μπορεί να διαπιστωθεί από τις εικόνες (Εικόνα 31, Εικόνα 19-24) ότι οι αντίστοιχες τομές παρουσιάζουν τα ίδια στοιχεία με τις αρχικές. Τα λατομικά όρια (Εικόνα 33) ταυτίζονται με αυτά του χάρτη ώστε να βρίσκονται στην ακριβή θέση και διεύθυνση (Εικόνα 34-35).

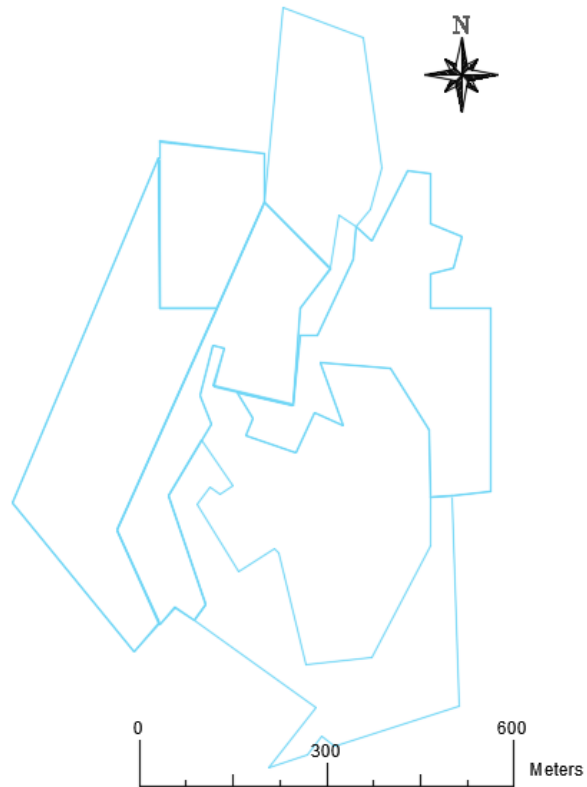




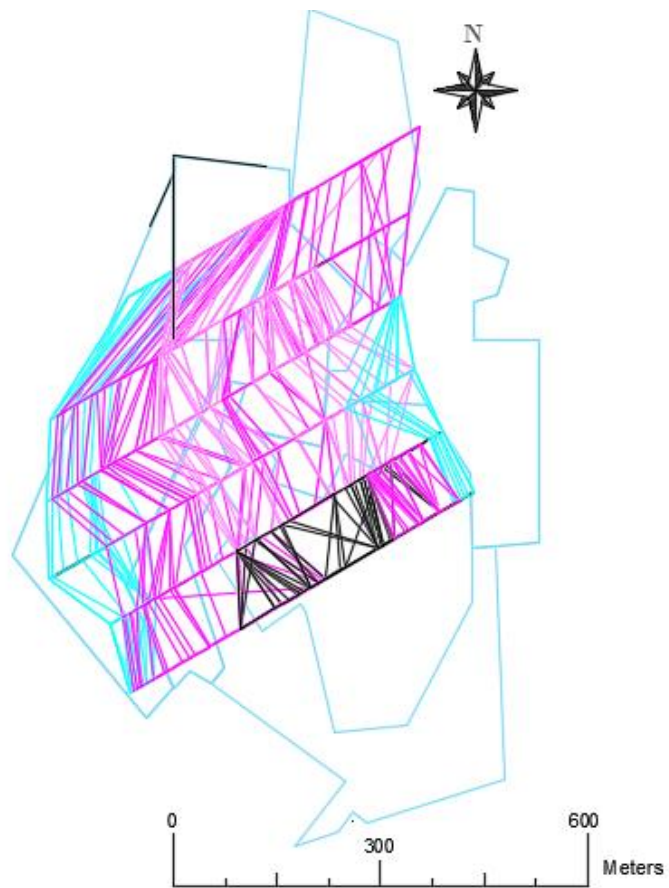
Εικόνα 31 Τομές από Α-Α έως ΣΤ-ΣΤ και διαμήκης.



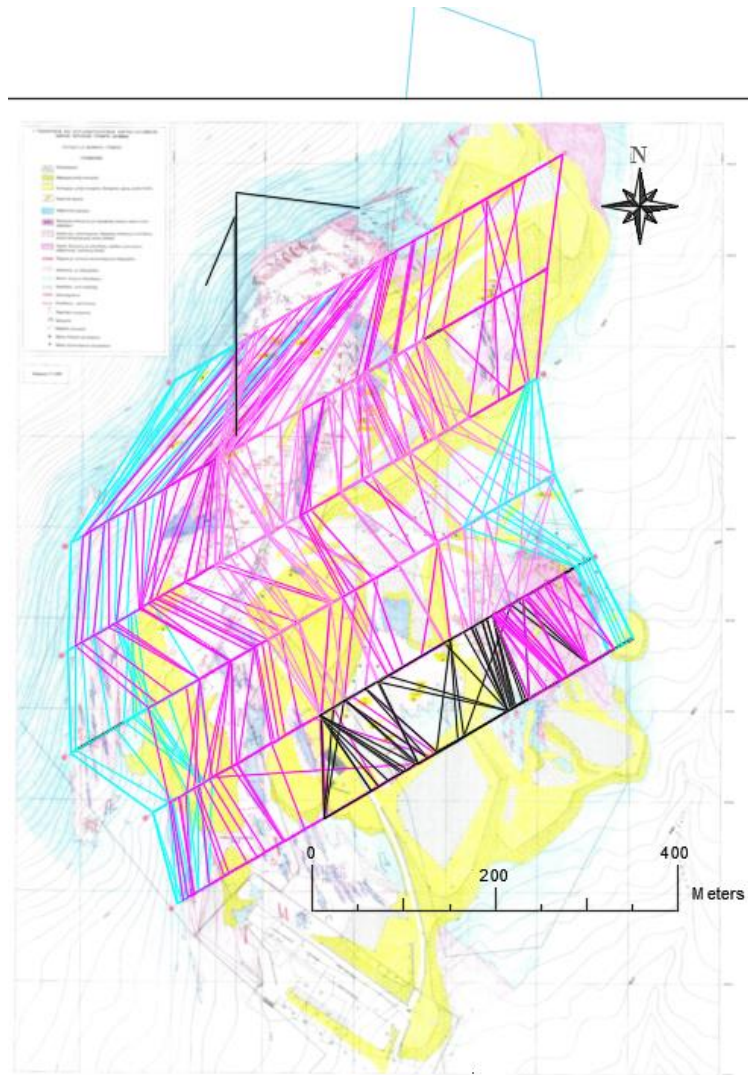
Εικόνα 32 Τομή εγκάρσια.



Εικόνα 33 Όρια λατομείου.



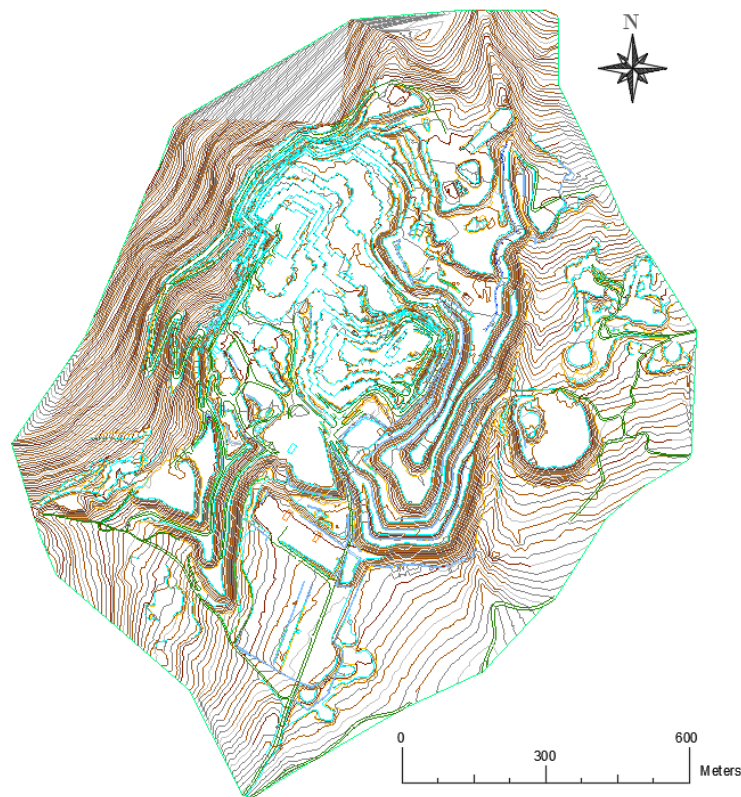
Εικόνα 34 Ταύτιση τρισδιάστατου μοντέλου με οδηγό τα όρια του λατομείου.



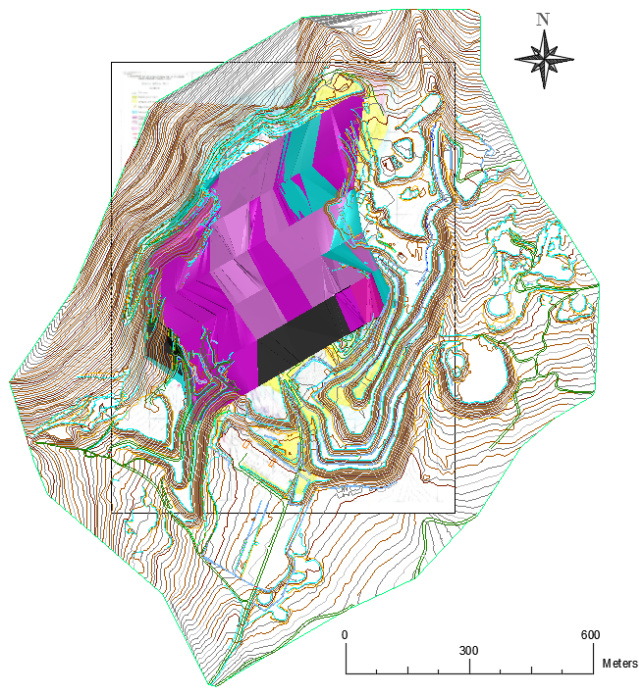
Εικόνα 35 Αρχικό κοιτασματολογικό γεωλογικό μοντέλο τοποθετημένο στην πραγματική του διεύθυνση.

#### 4.4 Δημιουργία τρισδιάστατου κοιτασματολογικού μοντέλου (στερεού) του αναγλύφου λατομικής περιοχής

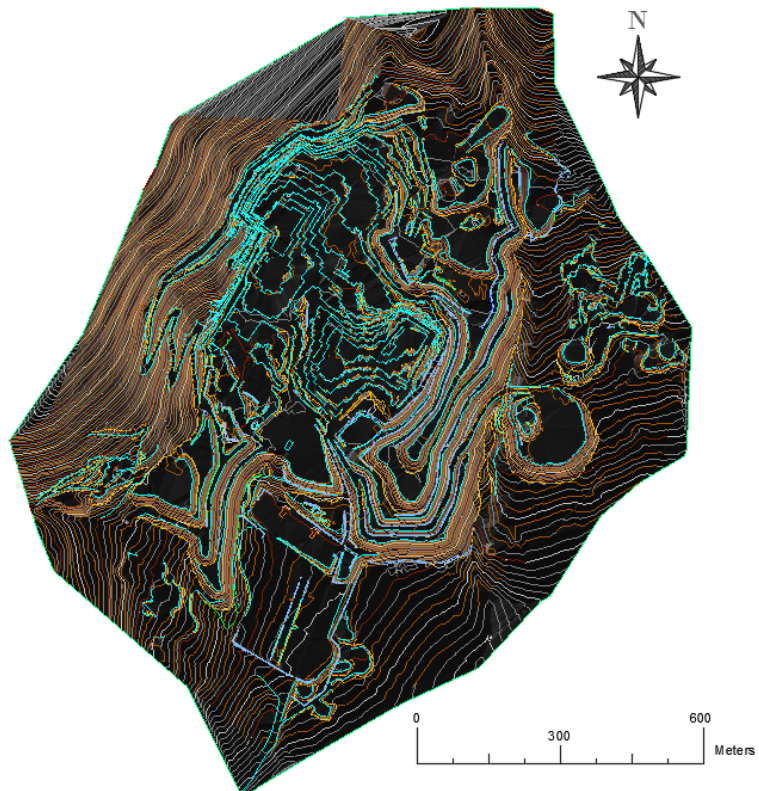
Το τοπογραφικό σχέδιο (Εικόνα 36) αποτελεί την απεικόνιση του ανάγλυφου της λατομικής περιοχής την χρονική περίοδο του Σεπτεμβρίου του έτους 2018. Ο μεγάλος όγκος δεδομένων που παρείχε το τοπογραφικό σχέδιο λόγω της υψηλής του ανάλυσης, δημιούργησε προβλήματα κατά την διαδικασία του σχεδιασμού. Αρχικά το τοπογραφικό μέσω του σχεδιαστικού προγράμματος μετατράπηκε στην αντίστοιχη επιφάνεια (Εικόνα 37) που με τη σειρά της μετασχηματίστηκε στο στερεό (Εικόνα 38-39).



Εικόνα 36 Τοπογραφική επιφάνεια της περιοχής εκμετάλλευσης.

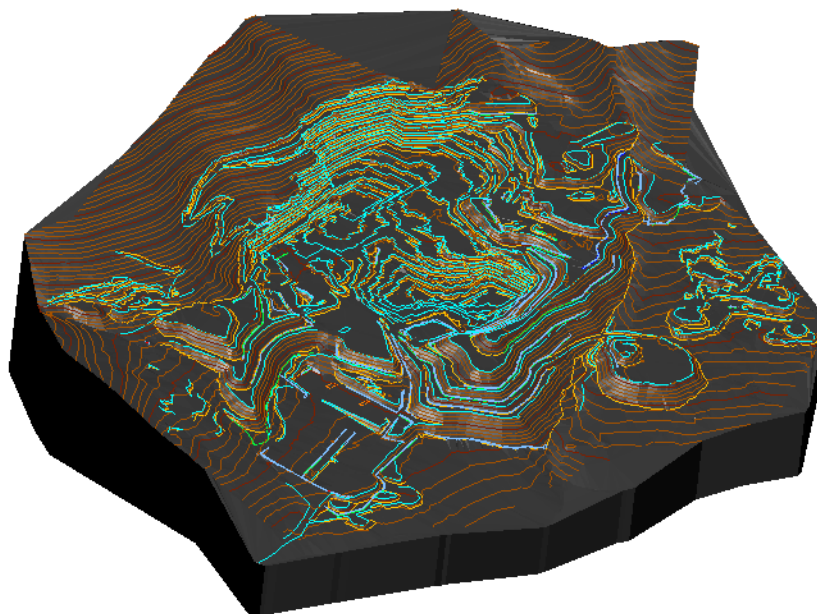


Εικόνα 37 Μοντέλο και τοπογραφικός χάρτης.



Εικόνα 38 Δημιουργία στερεού από την τοπογραφική επιφάνεια..



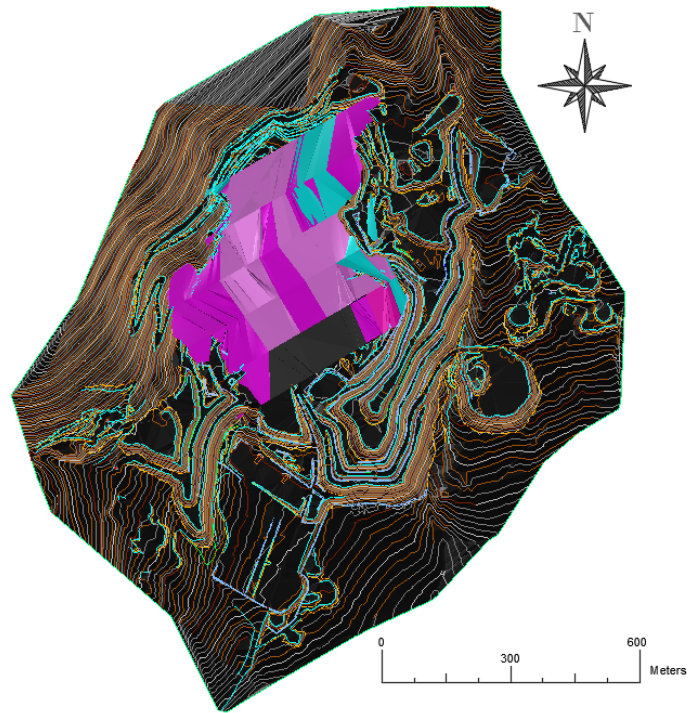


*Εικόνα 39 Δημιουργία στερεού από την επιφάνεια.*

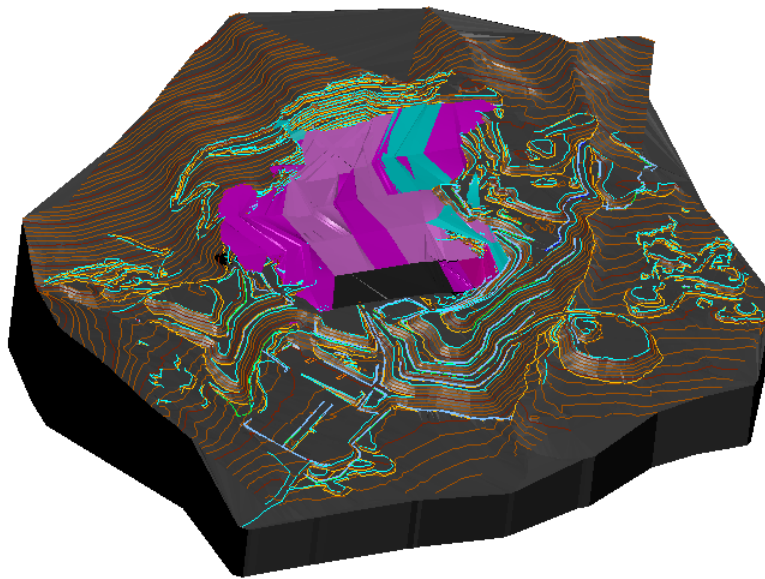
Το στερεό ανάγλυφο που δημιουργήθηκε από το τοπογραφικό σχέδιο εισάγεται στο ηλεκτρονικό αρχείο του τρισδιάστατου κοιτασματολογικού μοντέλου (Εικόνα 40-41). Έπειτα ακολουθεί η δημιουργία του κοιτασματολογικού μοντέλου που απεικονίζει το λατομικό χώρο για τη χρονική περίοδο αποτύπωσης του τοπογραφικού χάρτη. Σαν αποτέλεσμα της προηγούμενης διαδικασίας κατασκευάστηκε το κοιτασματολογικό μοντέλο που παρουσιάζεται στις Εικόνα 42-44.

Ο συνολικός όγκος του μοντέλου είναι  $20.270.000 \text{ m}^3$  μέχρι το υψόμετρο της κατώτερης πλατείας των 820 m. Ο φαιόλευκος δολομίτης με παρεμβολές ασβεστιτικών μαρμάρων καταλαμβάνει όγκο  $9.880.000 \text{ m}^3$  ενώ ο όγκος του λευκού έως γαλακτόχρωμου δολομίτη, με κατά θέσεις λεπτές σκουρόχρωμες ταινίες  $4.990.000 \text{ m}^3$ . Όλοι οι όγκοι που υπολογίστηκαν αναφέρονται στο ίδιο μέγιστο βάθος (820 m) αυτό συμβαίνει γιατί δεν υπάρχουν δεδομένα στις τομές για μεγαλύτερα βάθη. Τμήματα του κοιτασματολογικού μοντέλου στα οποία υπάρχει αβεβαιότητα σύστασης, εξαιτίας της έλλειψης αρχικών τομών στην περιοχή είναι όγκου  $860.000 \text{ m}^3$ .

Εν συνεχεία πραγματοποιήθηκαν οι έξι διαμήκεις τομές (Εικόνα 47) και μια εγκάρσια τομή (Εικόνα 48). Η διεύθυνση των τομών παρουσιάζεται στην Εικόνα 45.

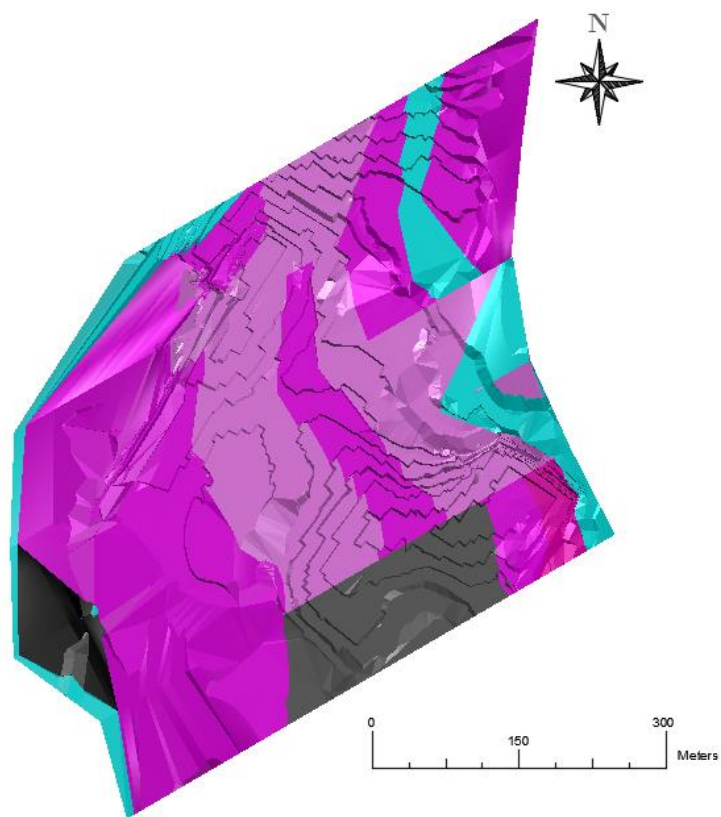


Εικόνα 40 Στερεό ανάγλυφο και γεωλογικό μοντέλο.

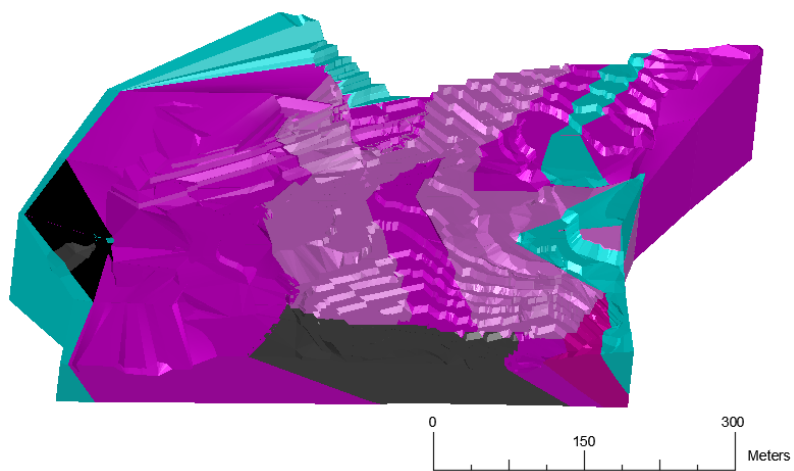


Εικόνα 41 Στερεό ανάγλυφο και γεωλογικό μοντέλο.

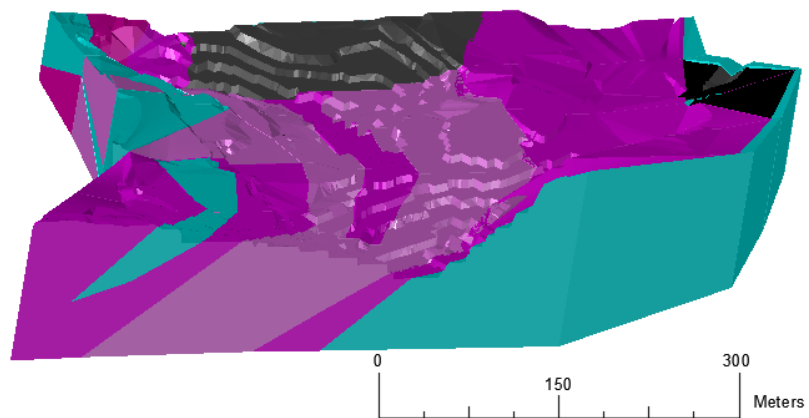




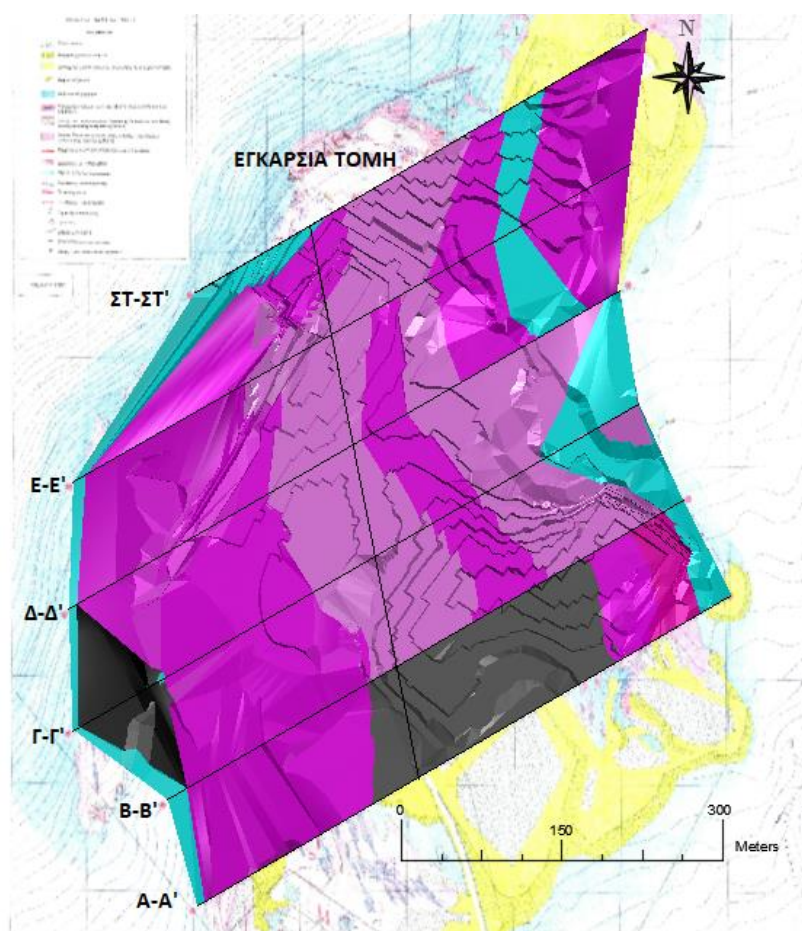
Εικόνα 42 Κάτοψη γεωλογικού-κοιτασματολογικού μοντέλου όπως διαμορφώθηκε από τον τοπογραφικό χάρτη.



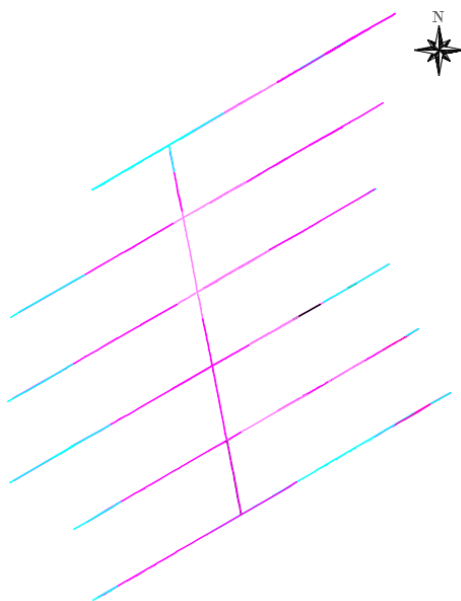
Εικόνα 43 Γεωλογικό κοιτασματολογικό μοντέλο.



Εικόνα 44 Πίσω όψη του γεωλογικού μοντέλου.



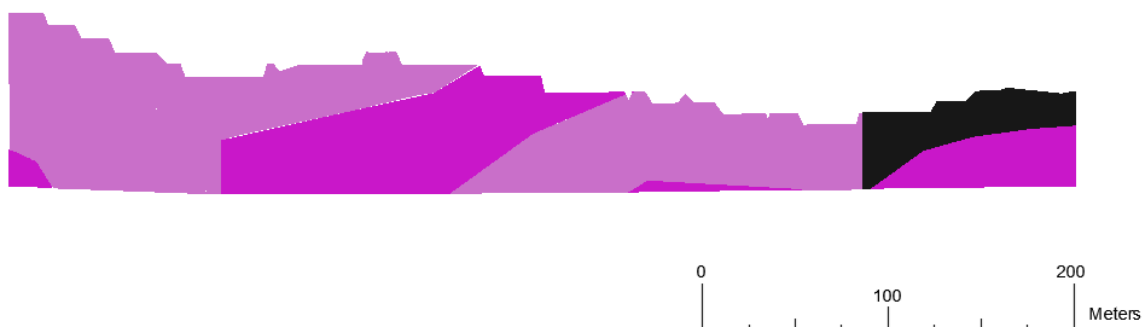
Εικόνα 45 Θέσεις τομών κοιτασματολογικού μοντέλου.



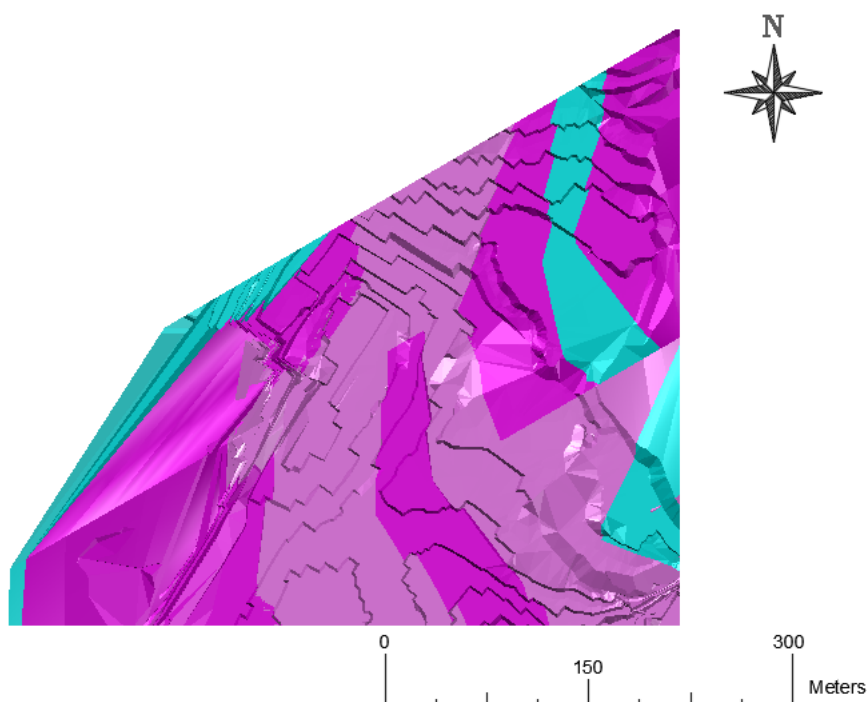
Εικόνα 46 Τομές μοντέλου σε κάτοψη.



Εικόνα 47 Διαμήκης τομές από πάνω προς τα κάτω A-A, B-B, Γ-Γ, Δ-Δ, Ε-Ε, ΣΤ-ΣΤ αντίστοιχα.

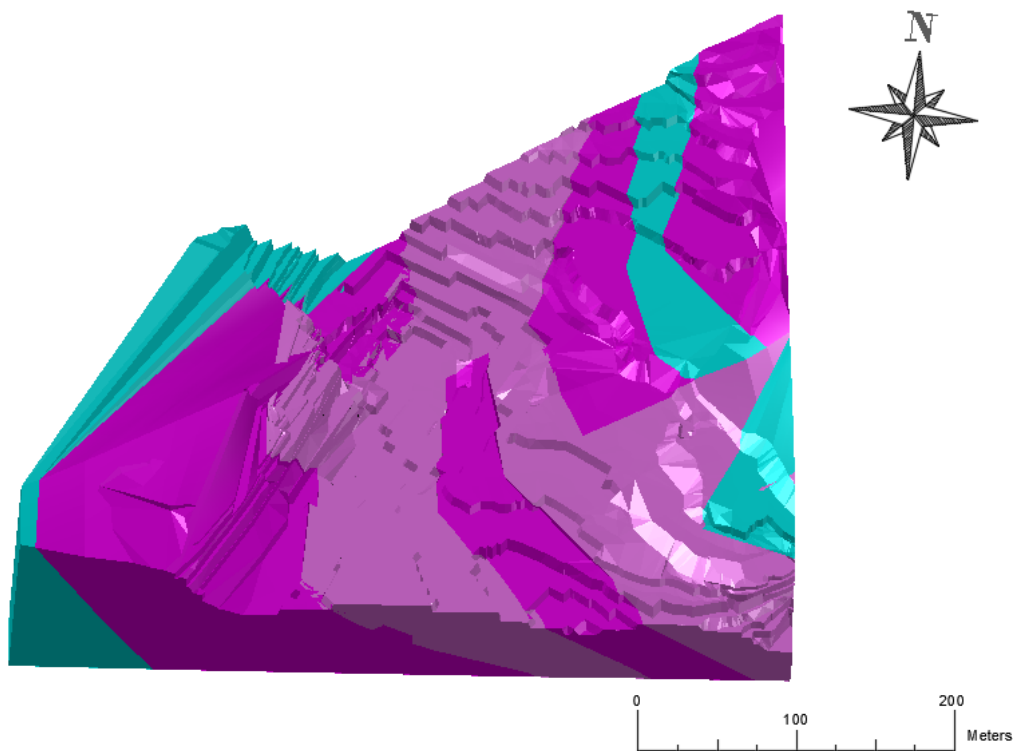


Εικόνα 48 Εγκάρσια τομή.

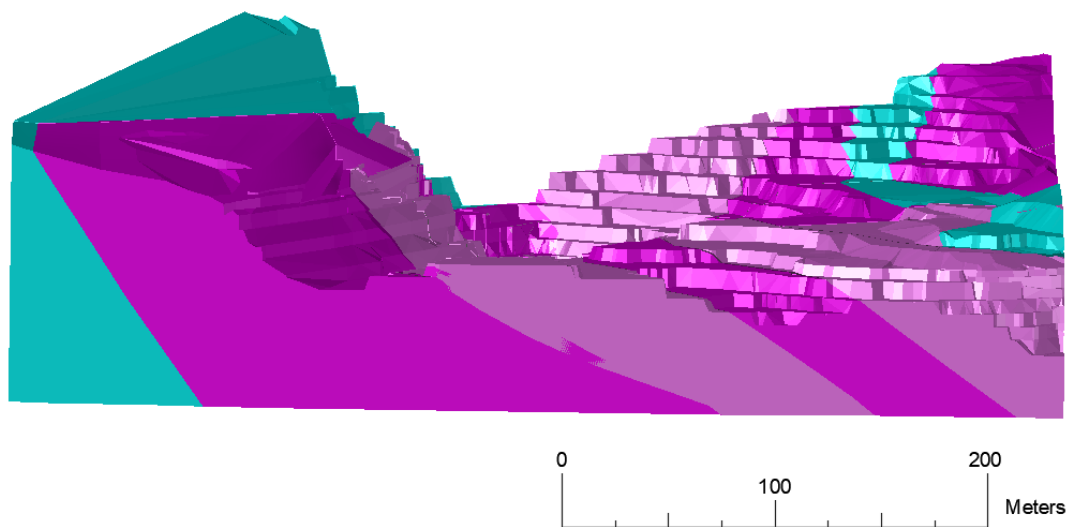


Εικόνα 49 Τρισδιάστατο γεωλογικό-κοιτασματολογικό μοντέλο επεξεργασμένο με βάση του τοπογραφικού .

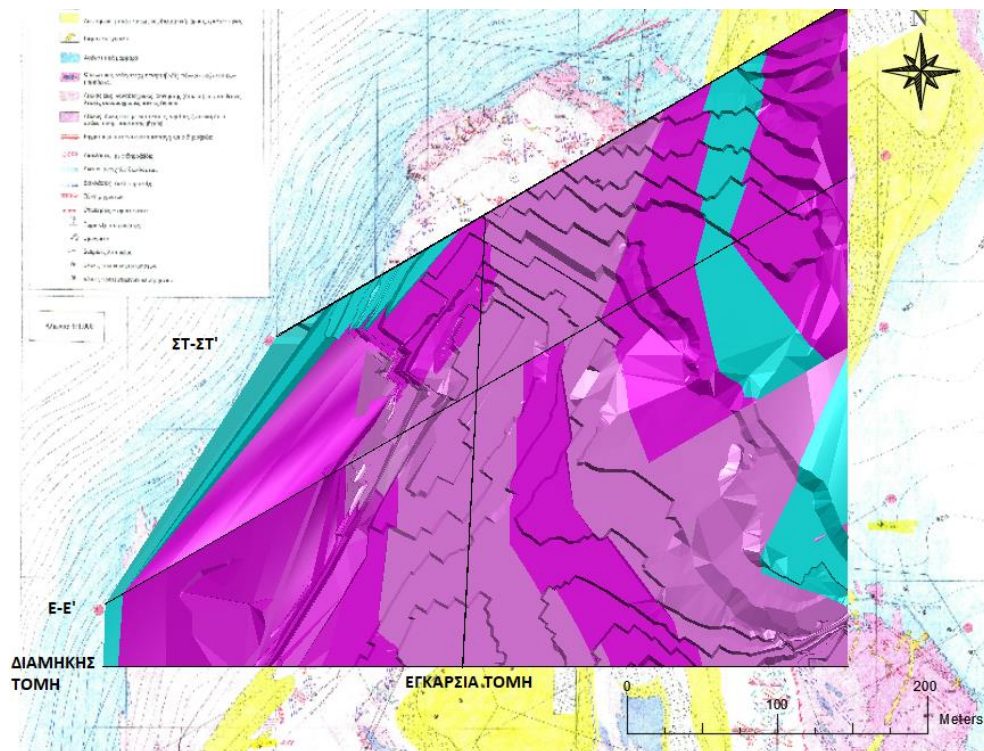
Το βορειοδυτικό τμήμα του λατομείου που απεικονίζεται παραπάνω (Εικόνα 49), αποτελεί το τμήμα που θα γίνει η συνέχιση της εκμετάλλευσης. Κατασκευάστηκε ο κατάλληλος κানাβος (527 m επί 441 m) και έτσι απομονώθηκε το τμήμα ενδιαφέροντος από το αρχικό κοιτασματολογικό μοντέλο. Οι διευθύνσεις των τομών στην επιφάνεια του μοντέλου απεικονίζονται στην Εικόνα 52. Οι αντίστοιχες τομές παρατίθενται παρακάτω (Εικόνα 53-59). Η τάξη του μεγέθους του όγκου του στερεού εντός του κανάβου είναι ίση με  $11.570.000 \text{ m}^3$  για υψόμετρο πλατείας εκμετάλλευσης των 820 m. Ο όγκος των αποθεμάτων του λευκού έως γαλακτόχρωμου δολομίτη, με κατά θέσεις λεπτές σκουρόχρωμες ταινίες είναι  $4.000.000 \text{ m}^3$  ενώ τα αποθέματα του φαιόλευκου δολομίτη με παρεμβολές ασβεστιτικών μαρμάρων καταλαμβάνουν όγκο  $5.414.000 \text{ m}^3$ .



Εικόνα 50 Τρισδιάστατο γεωλογικό-κοιτασματολογικό μοντέλο επεξεργασμένο βάσει του τοπογραφικού.



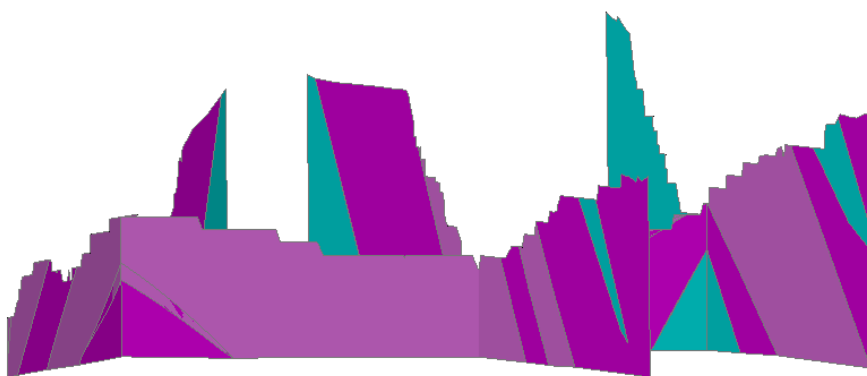
Εικόνα 51 Τρισδιάστατο γεωλογικό-κοιτασματολογικό μοντέλο επεξεργασμένο βάσει του τοπογραφικού του .



Εικόνα 52 Θέσεις που πραγματοποιήθηκαν οι τομές στο κοιτασματολογικό μοντέλο.



Εικόνα 53 Τομές τρισδιάστατου κοιτασματολογικού μοντέλου βάσει του τοπογραφικού σχεδίου του .

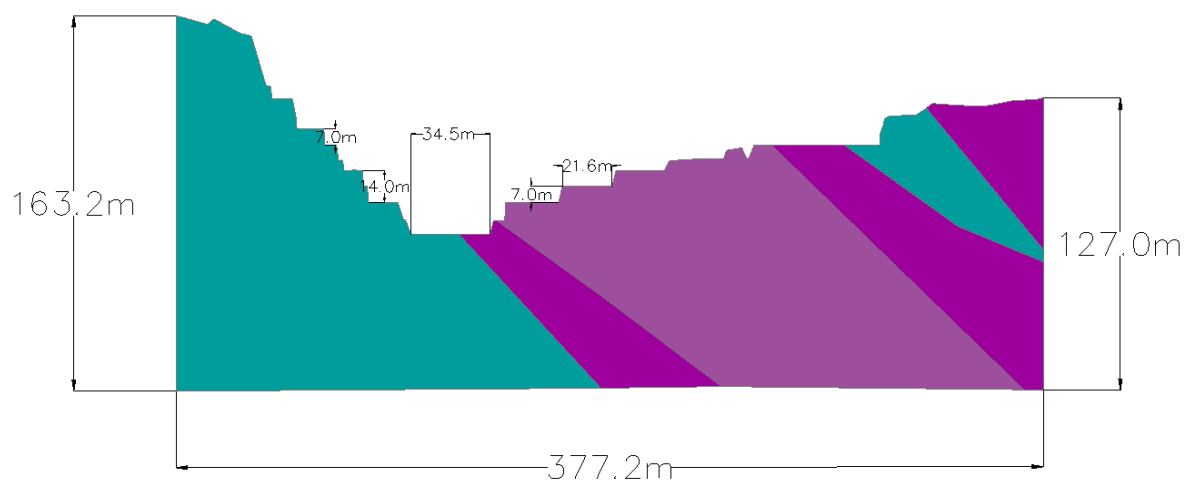


Εικόνα 54 Εγκάρσια και διαμήκεις τομές μοντέλου που δημιουργήθηκε με το τοπογραφικό.



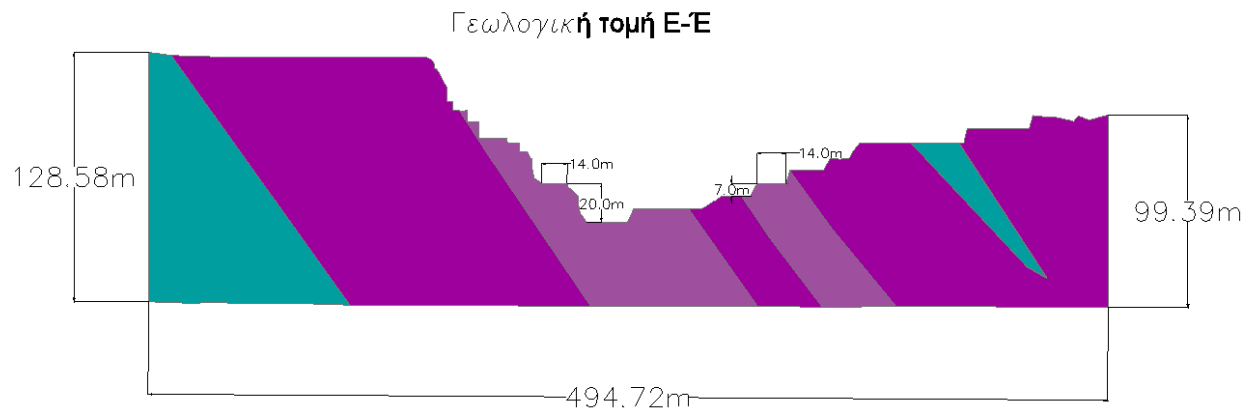
Εικόνα 55 Εγκάρσια τομή.

### Γεωλογική τομή ΣΤ-ΣΤ

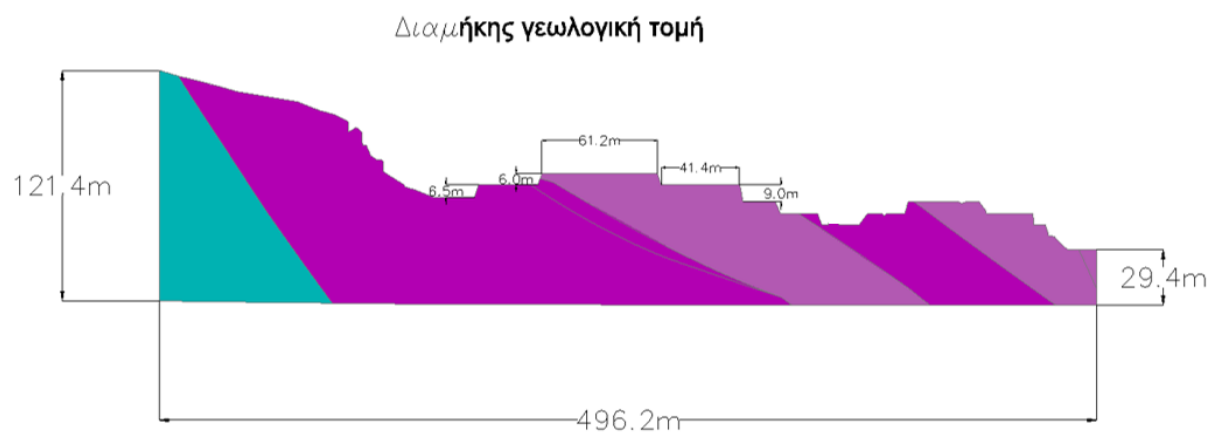


Εικόνα 56 Γεωλογική τομή και επιμέρους διαστάσεις.

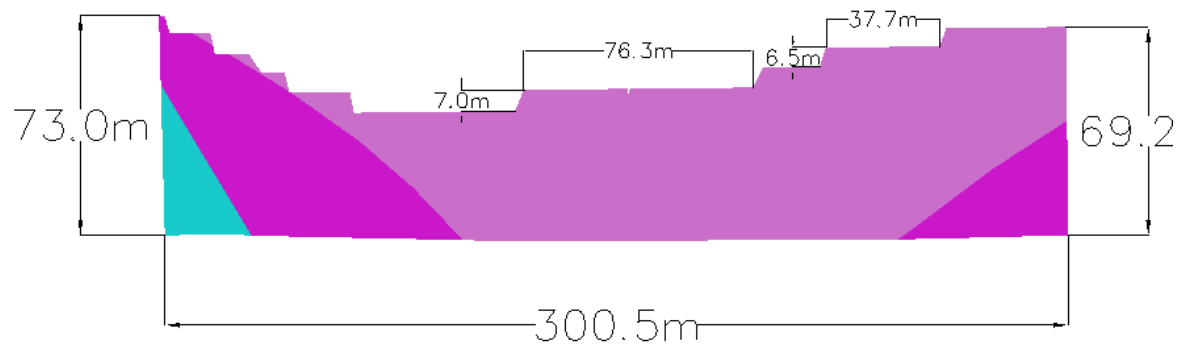




*Εικόνα 57 Διαστάσεις τομής E-E.*

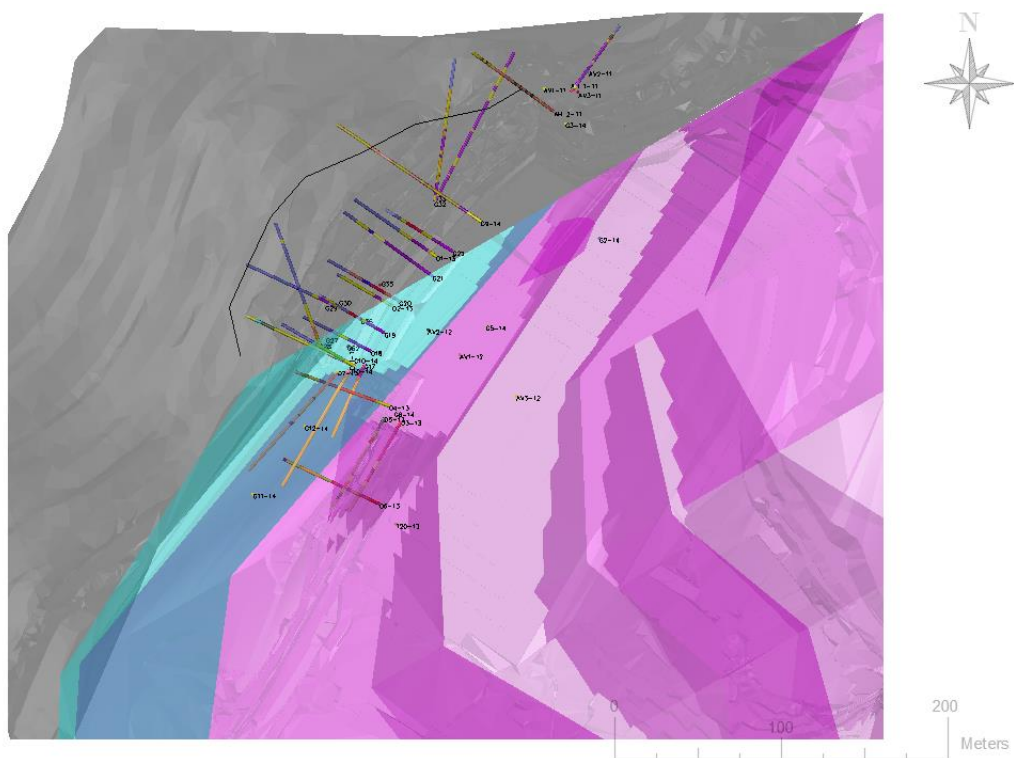


*Εικόνα 58 Γεωλογική τομή διαμήκους με τις αντίστοιχες διαστάσεις.*


















*Εικόνα 59 Διαστάσεις της εγκάρσιας γεωλογικής τομής.*





Εικόνα 61 Γεωτρήσεις μέσα στο σώμα του απροσδιόριστου σχηματισμού.

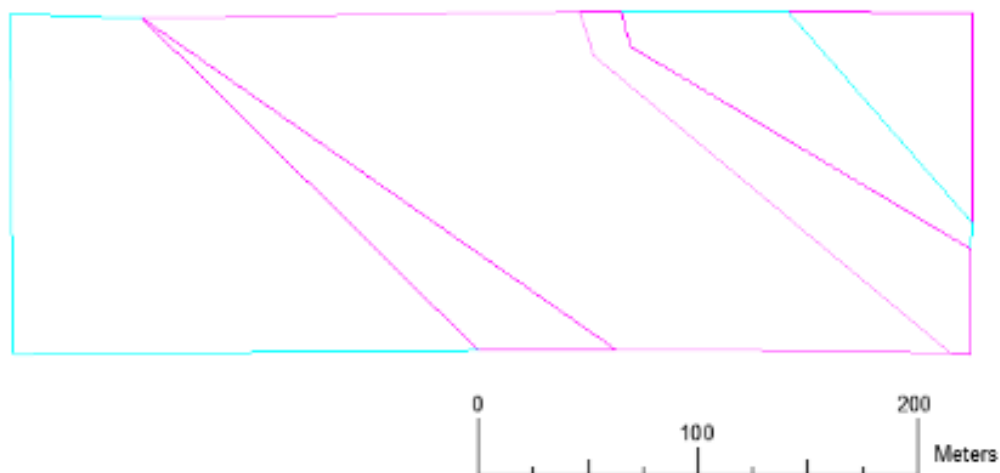
## Υπόμνημα

	Γκρι ασβεστίτικο μάρμαρο
	Γκρι ασβεστίτικο μάρμαρο
	Καρστ
	Λατυποπαγή
	Λατυποπαγής δολομίτης
	Οξειδωμένος δολομίτης 60%
	Οξειδωμένος δολομίτης
	Φλεβώδης δολομίτης
	Δολομίτης 0%
	Δολομίτης 50%
	Δολομίτης 60%
	Δολομίτης 70%
	Δολομίτης 80%
	Δολομίτης 90%
	Δολομίτης 100%

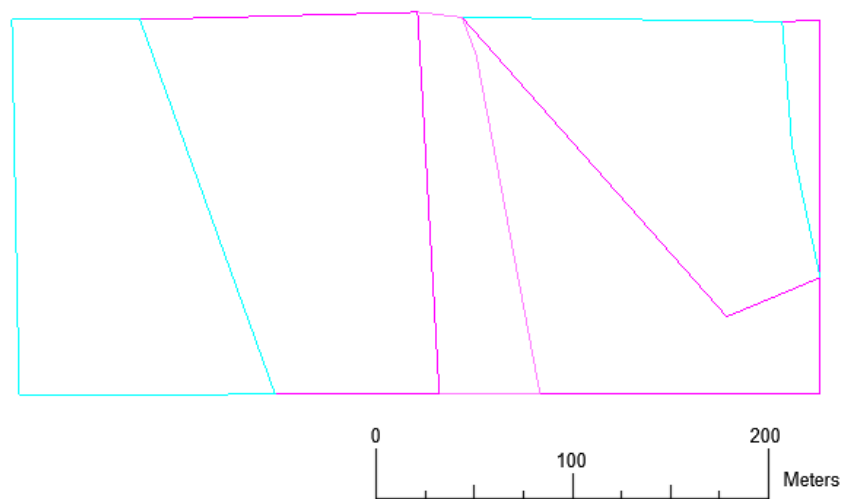
Εικόνα 62 Χρωματική κλίμακα στοιχείων που συντελούν τις γεωτρήσεις.

Εν συνεχεία λαμβάνοντας υπόψιν το χάρτη της περιοχής (Εικόνα 15), τις τομές (Εικόνα 16 **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**) και τα στοιχεία που αντλούνται από τις γεωτρήσεις δημιουργήθηκαν τομές (Εικόνα 63, Εικόνα 64, Εικόνα 65) ώστε να γίνει δυνατή η δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου για το απροσδιόριστο τμήμα του λατομείου. Το στερεό που δημιουργήθηκε παρουσιάζεται στην Εικόνα 66 αφού έχει προηγηθεί η αφαίρεση του στερεού που είχε παραχθεί από το τοπογραφικό σχέδιο της περιοχής.

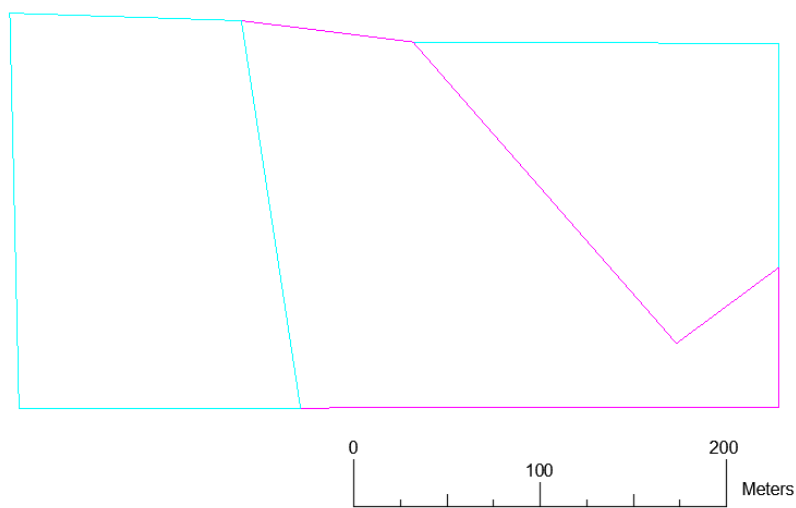
Σε αυτό το στάδιο για το απροσδιόριστο τμήμα της εκμετάλλευσης και βάθος μέχρι 820 m υπολογίζεται ο όγκος του φαιόλευκου πετρώματος με παρεμβολές πάγκων μαρμάρου τάξης μεγέθους  $1.027.000 \text{ m}^3$  ενώ ο λευκός έως γαλακτόχρωμος δολομίτης με κατά θέσεις λεπτές σκουρόχρωμες ταινίες καταλαμβάνει όγκο  $1.340.000 \text{ m}^3$ . Τομές του στερεού παρουσιάζονται στην συνέχεια (Εικόνα 68, Εικόνα 69, Εικόνα 70), ενώ οι ακριβείς θέσεις τους απεικονίζονται στην **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**7.



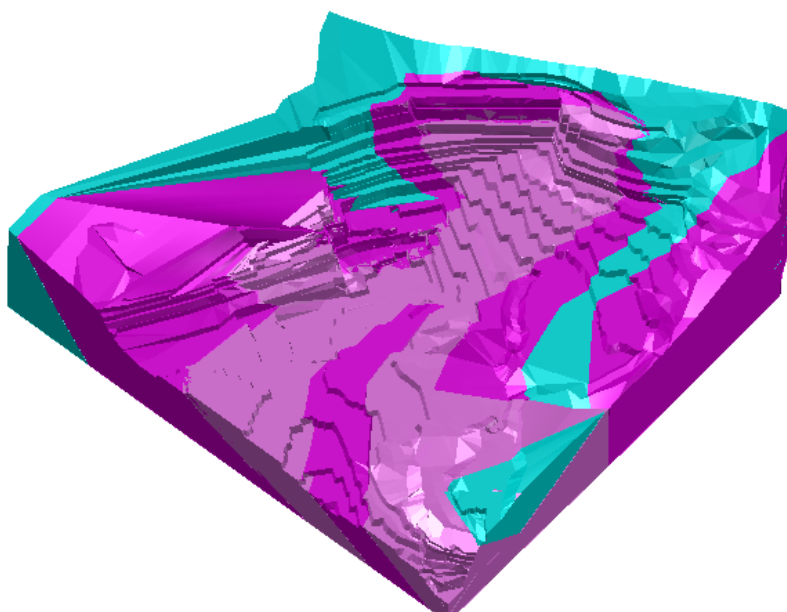
Εικόνα 63 Πρώτη τομή που χρησιμοποιήθηκε στην επέκταση του μοντέλου.



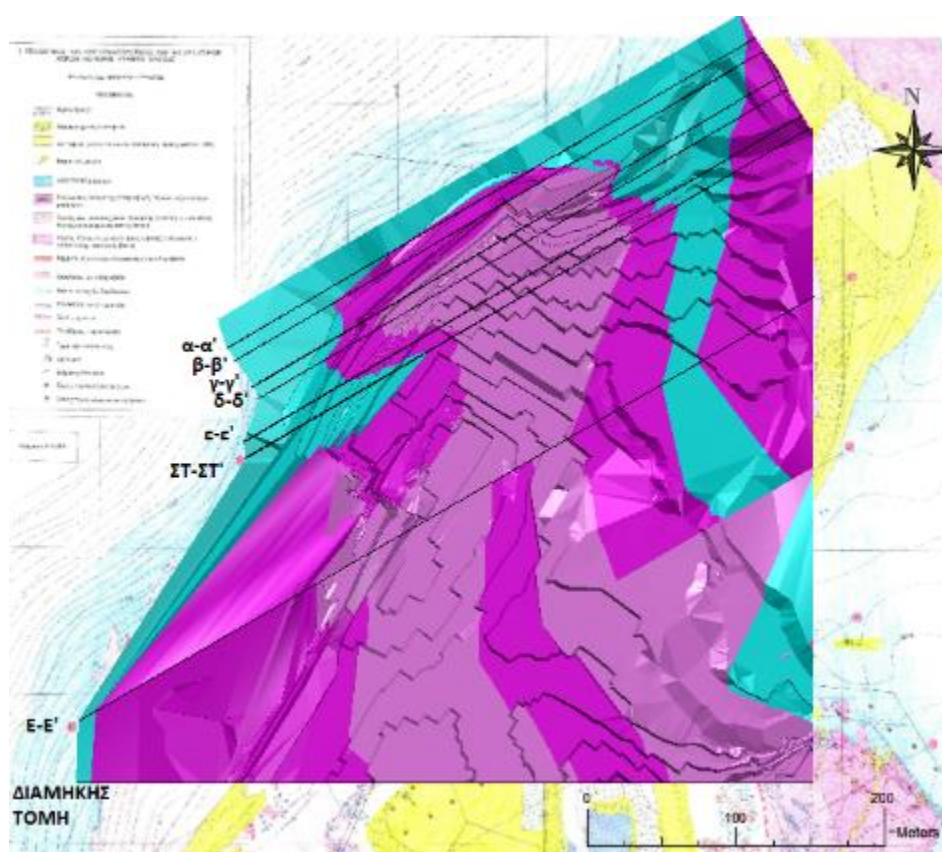
Εικόνα 64 Τομή απροσδιόριστου στερεού.



Εικόνα 65 Τομή που χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία του απροσδιόριστου μοντέλου του λατομείου.

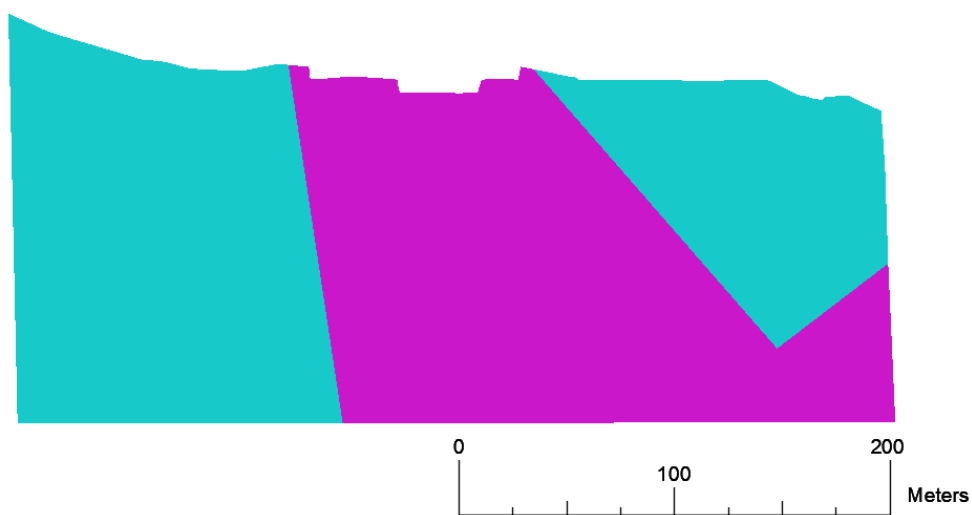


Εικόνα 66 Στερεό μοντέλο που δημιουργήθηκε από τον τοπογραφικό χάρτη και τμήμα του λατομείου που μέχρι πρότινος ήταν απροσδιόριστο.

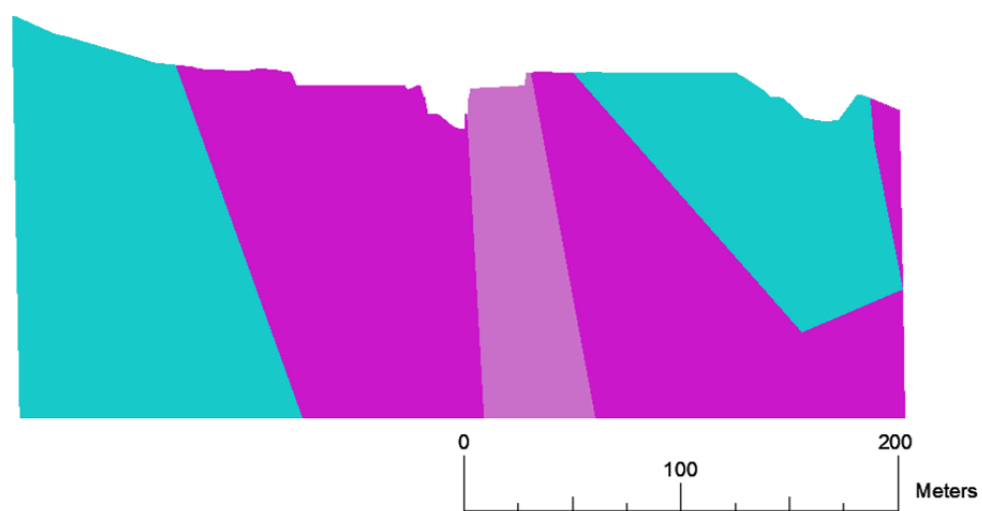


Εικόνα 67 Θέσεις που πραγματοποιήθηκαν οι γεωλογικές τομές.

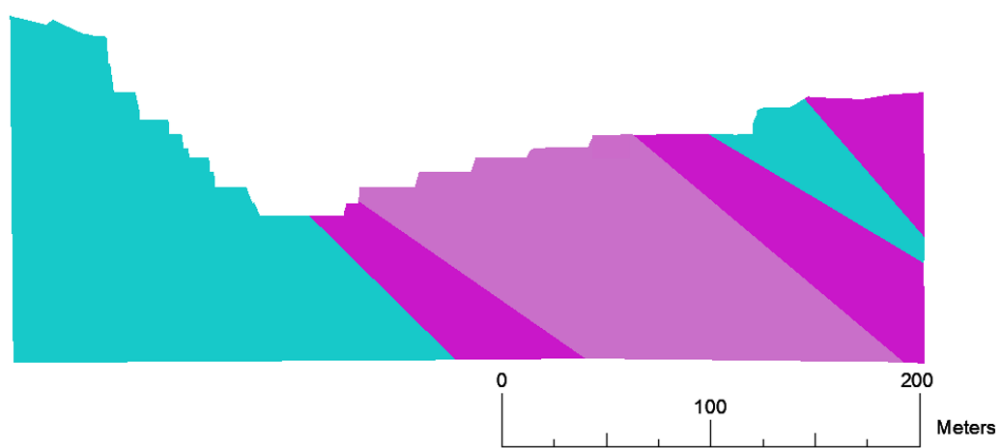




Εικόνα 68 Τομή νέου τμήματος στερεού (α-α').

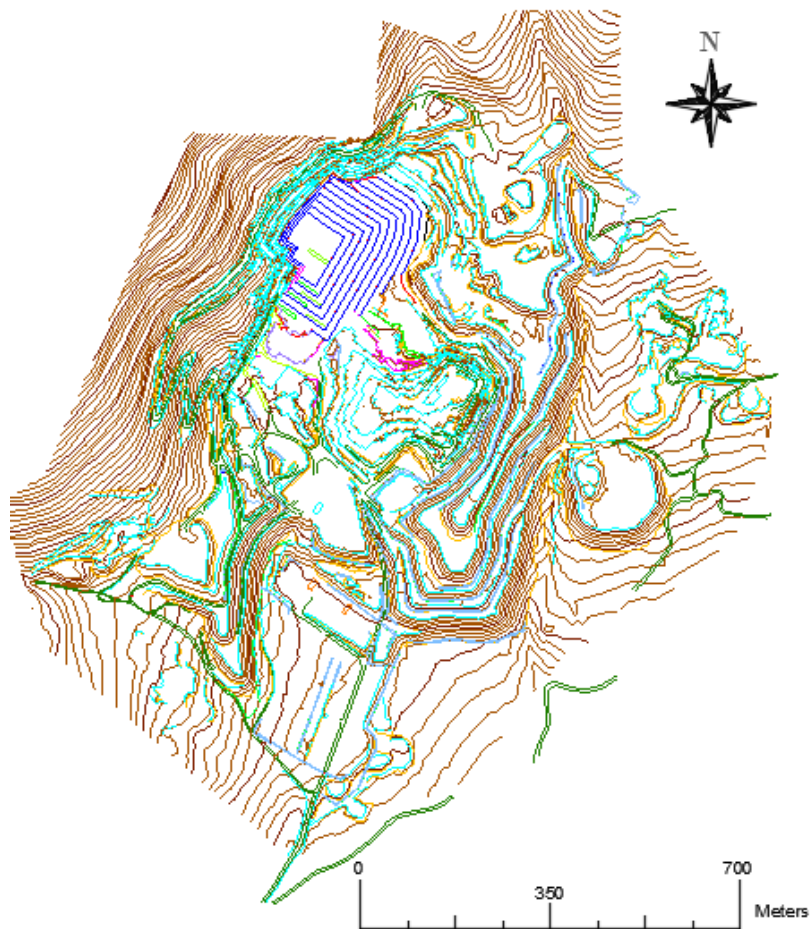


Εικόνα 69 Τομή νέου τμήματος στερεού (β-β').



Εικόνα 70 Τομή νέου τμήματος στερεού (ε-ε').

#### 4.6 Σχεδιασμός επέκτασης της υπαίθριας εκμετάλλευσης



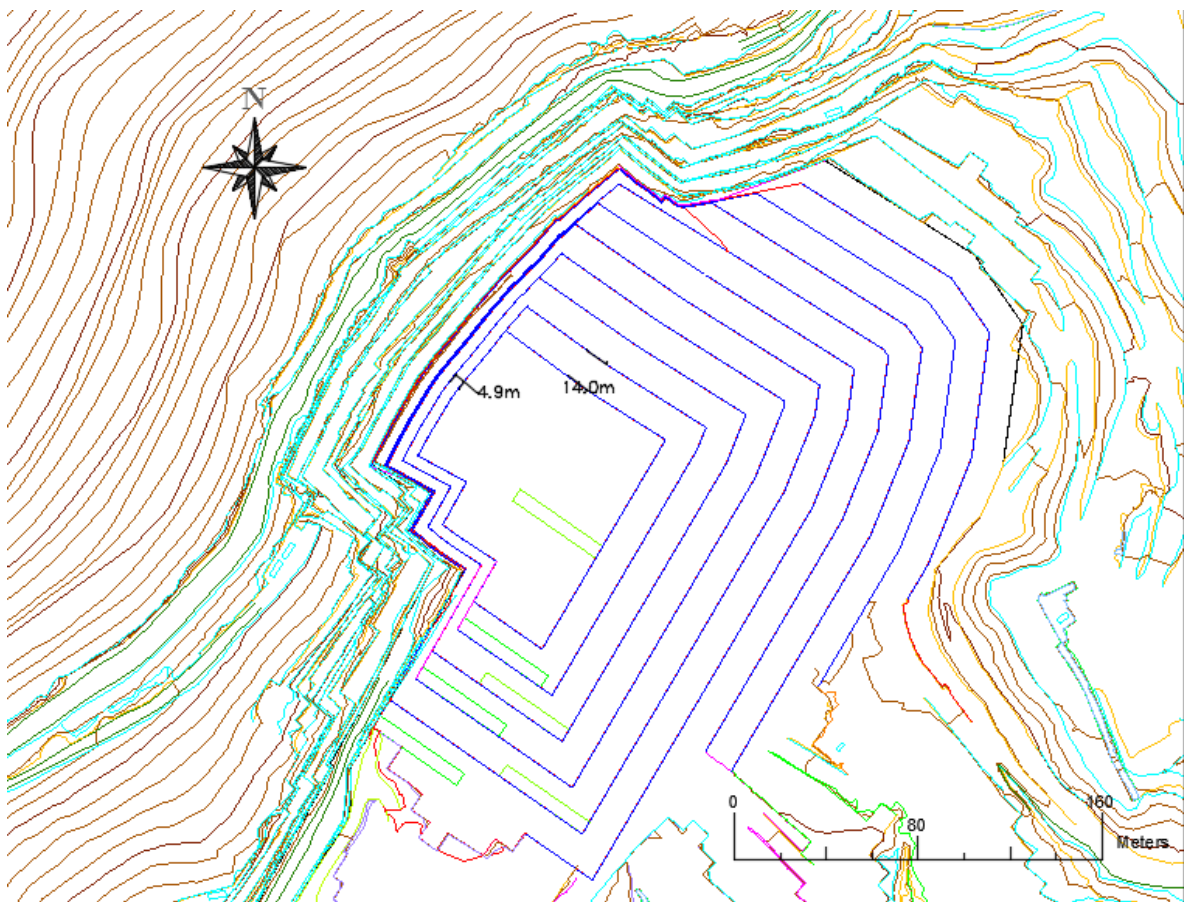
Εικόνα 71 Κάτοψη λατομείου κατά το τελικό στάδιο σχεδιασμού.

Η κάτοψη του τοπογραφικού της Εικόνα 71 παρουσιάζει το τελικό στάδιο της εκμετάλλευσης όπως αυτό σχεδιάστηκε. Η ετήσια παραγωγή του λατομείου καθορίζεται σε  $300.000 \text{ m}^3$  ανά έτος. Λαμβάνοντας υπόψη τα υπολογισθέντα αποθέματα (αποθέματα του τμήματος ενδιαφέροντος του λατομείου και του τμήματος βορειότερα της τομής ΣΤ - ΣΤ') ο χρόνος που θα χρειαστεί ώστε να υλοποιηθεί ο σχεδιασμός του λατομείου θα ανέλθει σε  $2.153.000 \text{ m}^3 / 300.000 \text{ m}^3$  ανά χρόνο που ισούται με 8 περίπου επιπλέον χρόνια από την τρέχουσα χρονική στιγμή. Τα παραπάνω δεδομένα αφορούν το σχεδιασμένο μοντέλο και μέχρι το κατώτερο υψόμετρο εκμετάλλευσης των 820 m.

Όπως διαπιστώνεται από την Εικόνα 72 Εικόνα 71 στο βορειοανατολικό τμήμα οι διαστάσεις των βαθμίδων λαμβάνουν διαφορετικές τιμές από ότι οι βαθμίδες του βορειοδυτικού τμήματος του λατομείου κατά τη συνέχιση της εκμετάλλευσης. Οι

βαθμίδες που απαρτίζουν το βορειοανατολικό τμήμα της εκμετάλλευσης έχουν πλάτος περίπου 14 m ενώ το ύψος είναι της τάξης των 7 m.

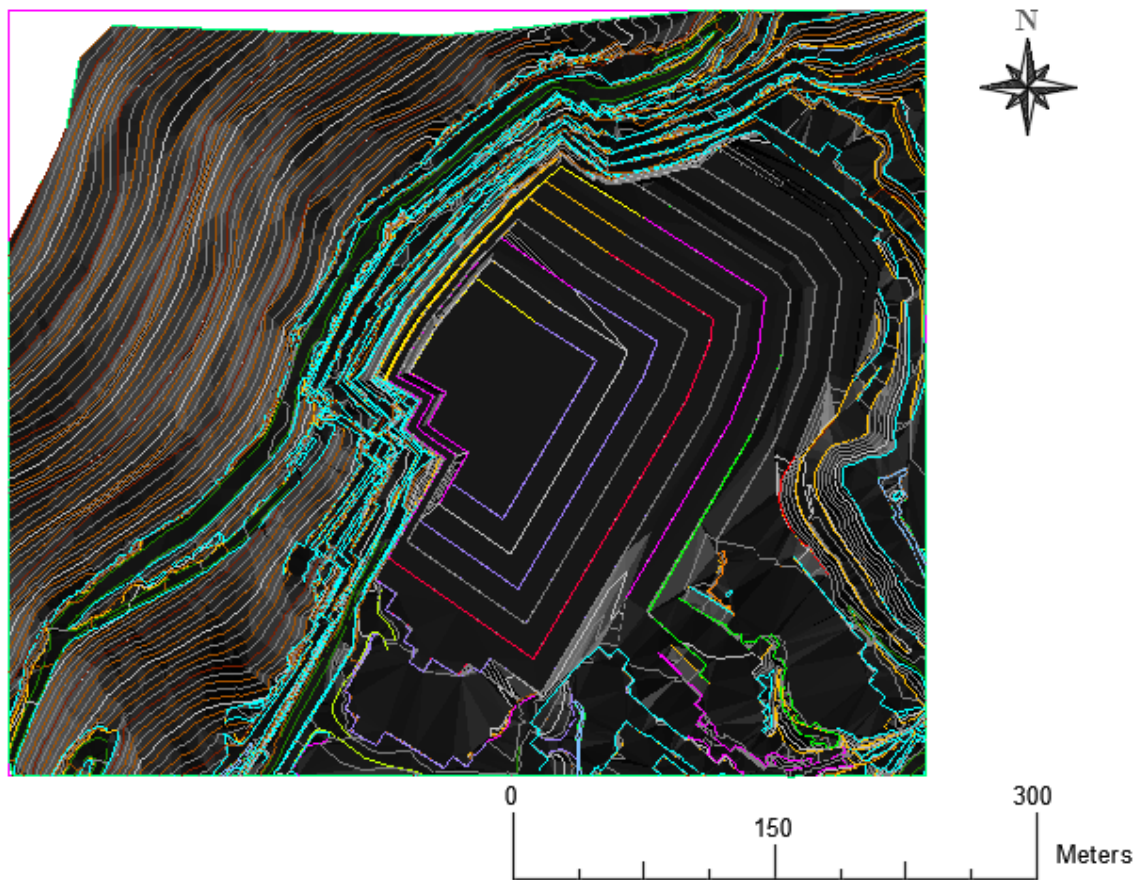
Στο βορειοδυτικό τμήμα πραγματοποιήθηκε άλλη διαδικασία αφού δεν ήταν εφικτή η χρήση βαθμίδων ίδιων διαστάσεων με το βορειοανατολικό τμήμα. Η λύση στο πρόβλημα ήταν η εξόφληση των βαθμίδων σε ομάδες των τριών μέχρι το υψόμετρο 854 m. Από το προαναφερθέν υψόμετρο των 854 m οι διαστάσεις των βαθμίδων παρουσιάζουν πολλαπλάσιο ύψος (14 m) σε σχέση με το βορειοανατολικό τμήμα και με πλάτος βαθμίδας 5 m. Το τελικό βάθος που φτάνει η εκμετάλλευση είναι εκείνο των 826 m και το καθιστά τελικό δάπεδο εργασίας.



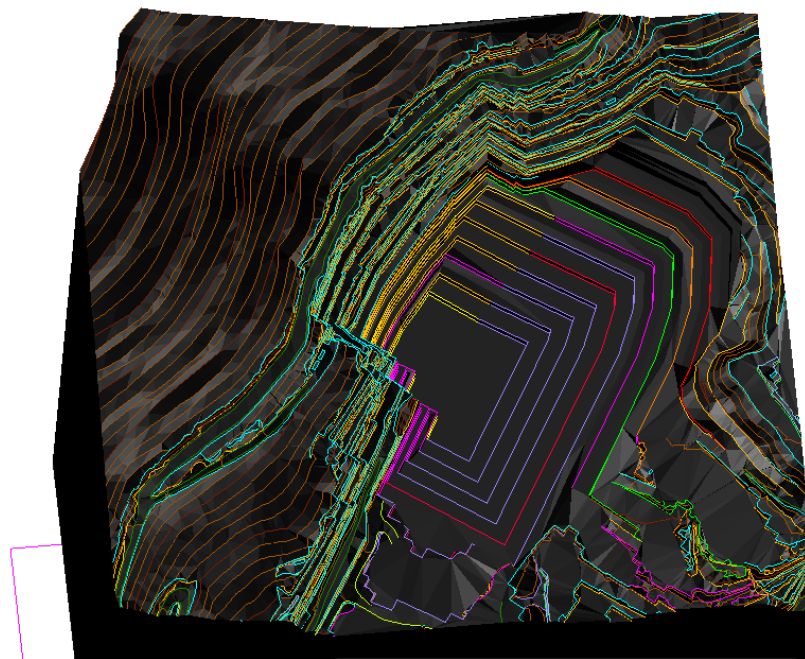
Εικόνα 72 Σχεδιασμός συνέχισης της εκμετάλλευσης.

Η επιφάνεια που δημιουργήθηκε από το τροποποιημένο τοπογραφικό εν συνεχεία θα μετατραπεί στο αντίστοιχο στερεό (Εικόνα 73-74). Το τρισδιάστατο μοντέλο που δημιουργήθηκε προηγουμένως συνδυάζεται με το στερεό που δημιουργήθηκε από το τροποποιημένο τοπογραφικό σχέδιο. Μετέπειτα αφαιρέθηκε από το κοιτασματολογικό μοντέλο το τροποποιημένο τοπογραφικό. Ο όγκος που αφαιρέθηκε αντιστοιχεί σε εκείνον που έχει εξορυχθεί σύμφωνα με τον σχεδιασμό της εκμετάλλευσης, ως

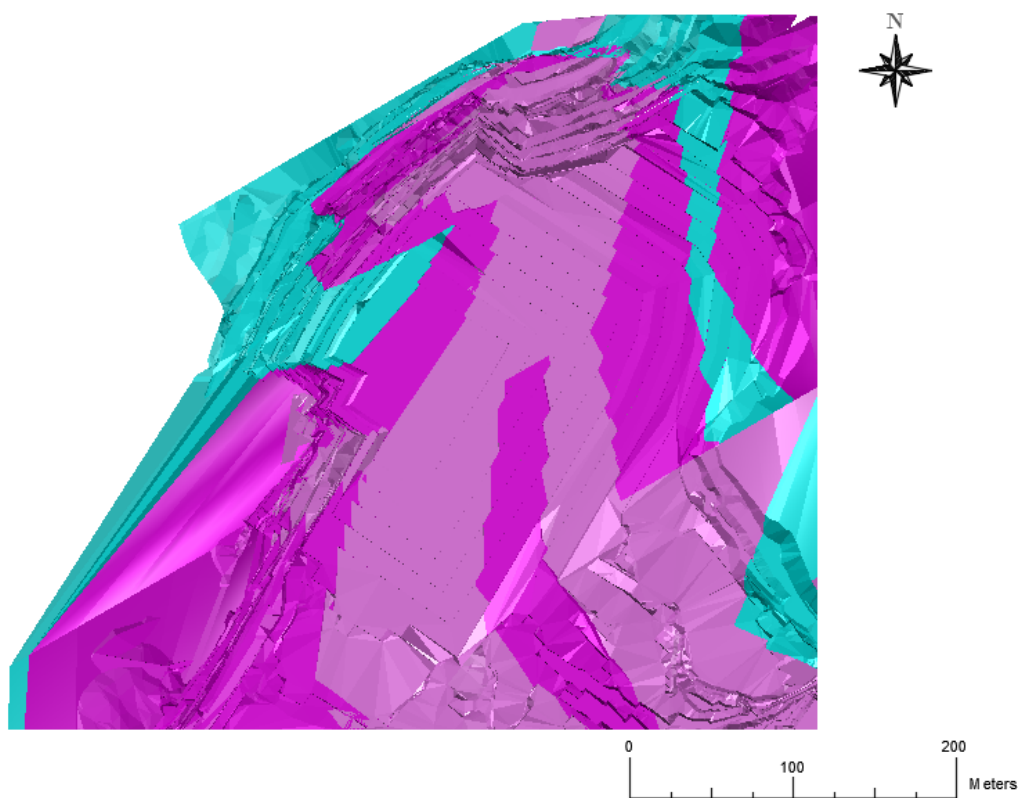
αποτέλεσμα έχει κατασκευαστεί το κοιτασματολογικό μοντέλο του τμήματος ενδιαφέροντος του λατομείου στη Δράμα (Εικόνα 75-76).



Εικόνα 73 Δημιουργία επιφάνειας από την επιφάνεια .

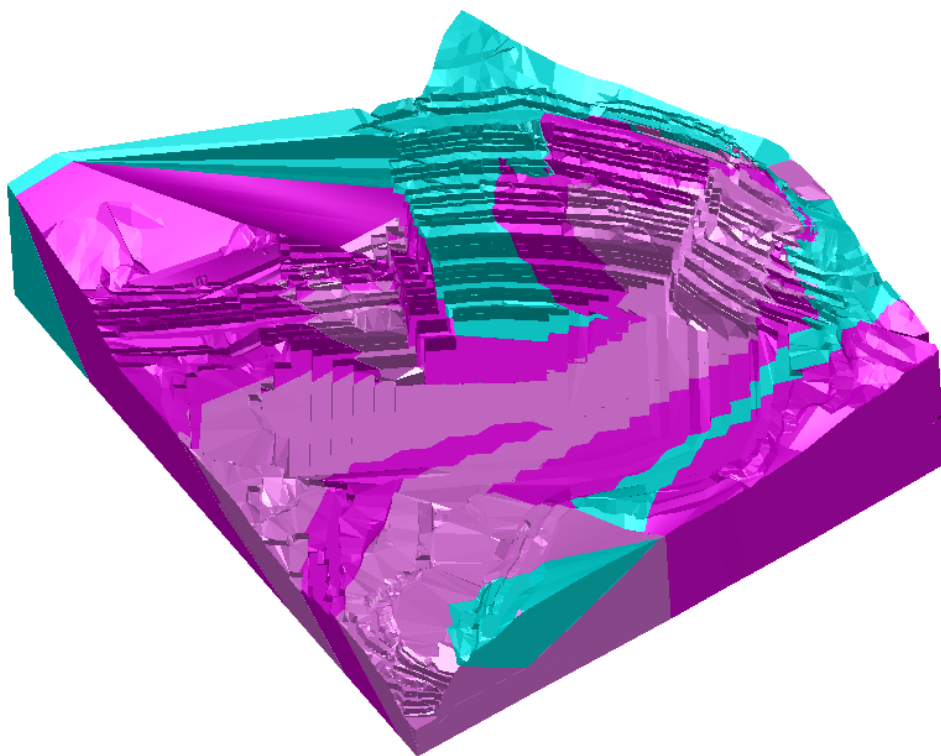


Εικόνα 74 Στερεό ανάγλυφο λατομείου.



Εικόνα 75 Κάτοψη τελικής μορφής εκμετάλλευσης (1).



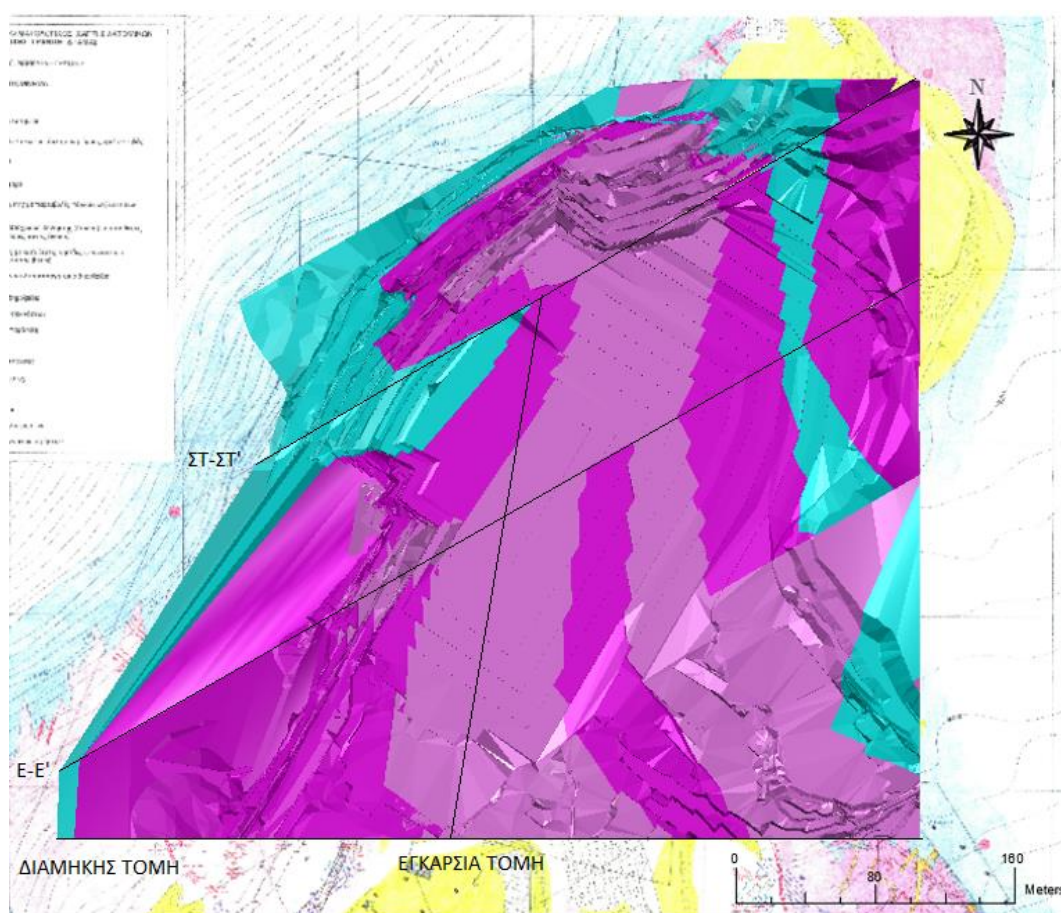


*Εικόνα 76 Τελική μορφή εκμετάλλευσης (2).*

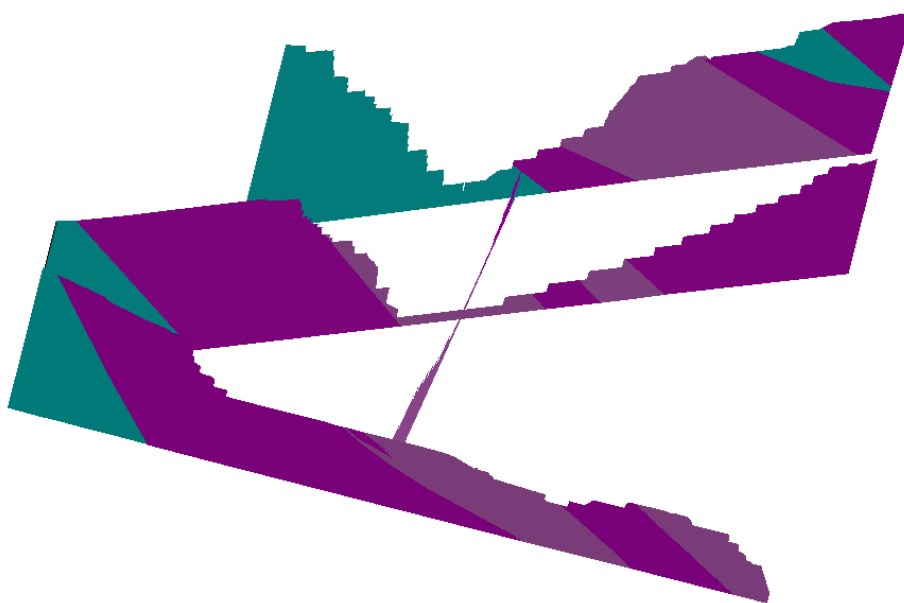


Με το πέρας της διαδικασίας ο όγκος είναι της τάξης των  $9.460.000 \text{ m}^3$  με βάθος τα 820 m. Όλοι οι όγκοι αναφέρονται στο ίδιο βάθος των 820 m. Ο όγκος των σχηματισμών ενδιαφέροντος είναι  $2.845.000 \text{ m}^3$  όσον αφορά το λευκό έως γαλακτόχρωμο δολομίτη με κατά θέσεις λεπτές σκουρόχρωμες ταινίες ενώ ο φαιόλευκος δολομίτης με παρεμβολές ασβεστιτικών μαρμάρων καταλαμβάνει  $4.990.000 \text{ m}^3$ . Ο όγκος που έχει εξορυχθεί από το προηγούμενο στάδιο είναι  $2.150.000 \text{ m}^3$ .

Οι τομές του τελικού κοιτασματολογικού μοντέλου φαίνονται στην Εικόνα 78, ενώ οι θέσεις τους φαίνονται στην Εικόνα 77. Οι διαστάσεις κάθε τομής απεικονίζονται αντίστοιχα για την κάθε μια στις Εικόνα 79-82. Οι θέσεις των ορθών τομών παρουσιάζονται στην Εικόνα 83. Οι ορθές αυτές τομές σχεδιάστηκαν για τη ακριβή απεικόνιση των διαστάσεων των βαθμίδων στο ανατολικό και το δυτικό τμήμα. Πραγματοποιήθηκαν τομές κάθετες προς τις βαθμίδες παρουσιάζοντας έτσι τις ορθές διαστάσεις τους (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**4-85).

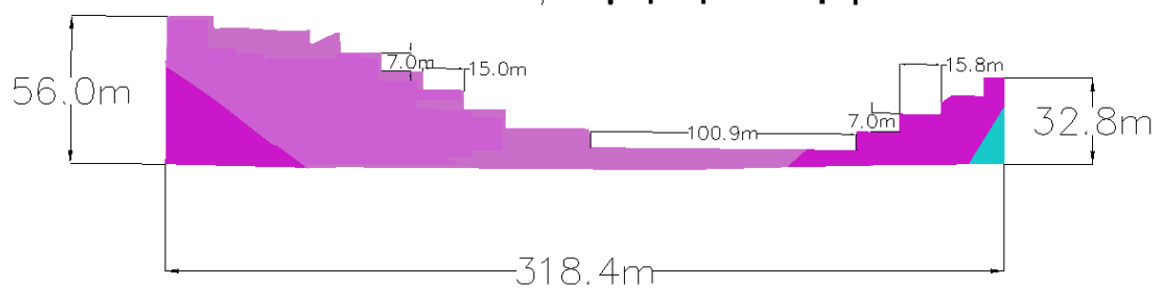


Εικόνα 77 Θέση τομών στο κοιτασματολογικό μοντέλο.



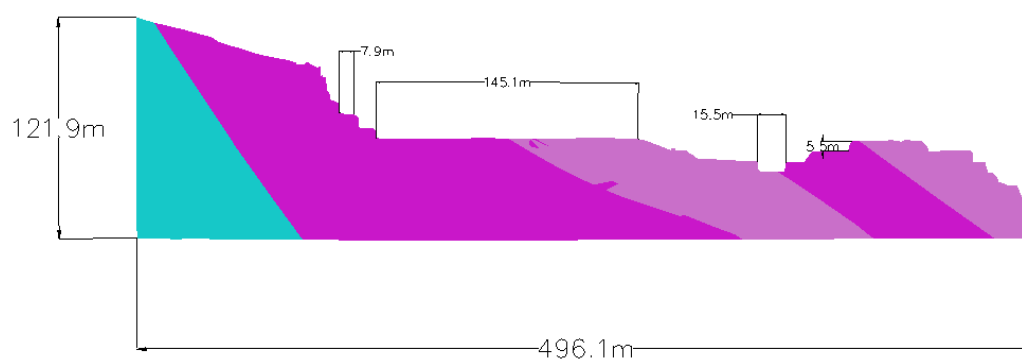
Εικόνα 78 Τομές στερεού.

### Γεωλογική εγκάρσια τομή

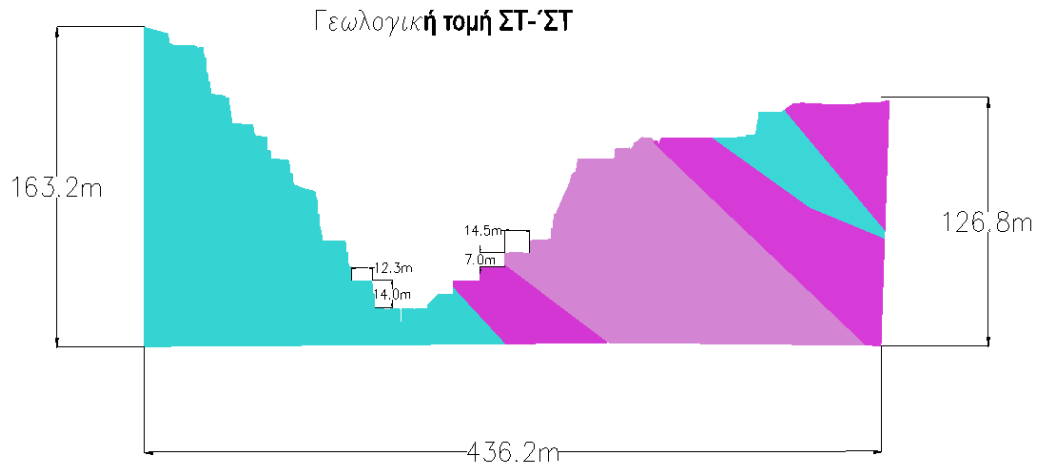


Εικόνα 79 Διαστάσεις γεωλογικής εγκάρσιας τομής

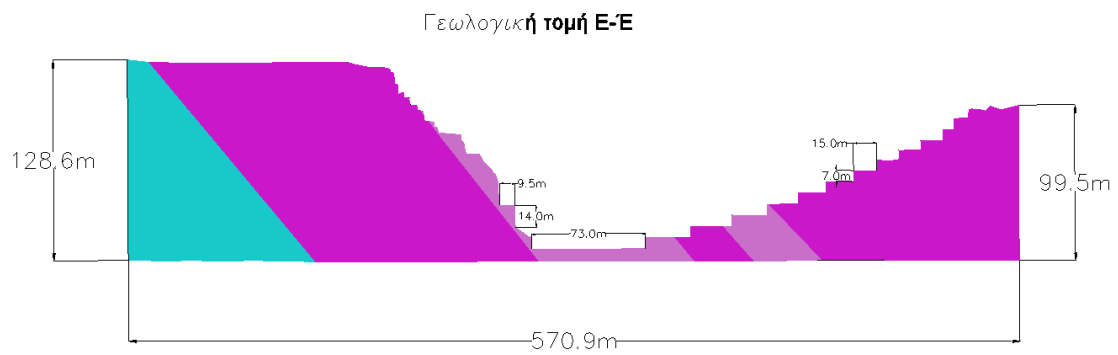
### Γεωλογική διαμήκης τομή



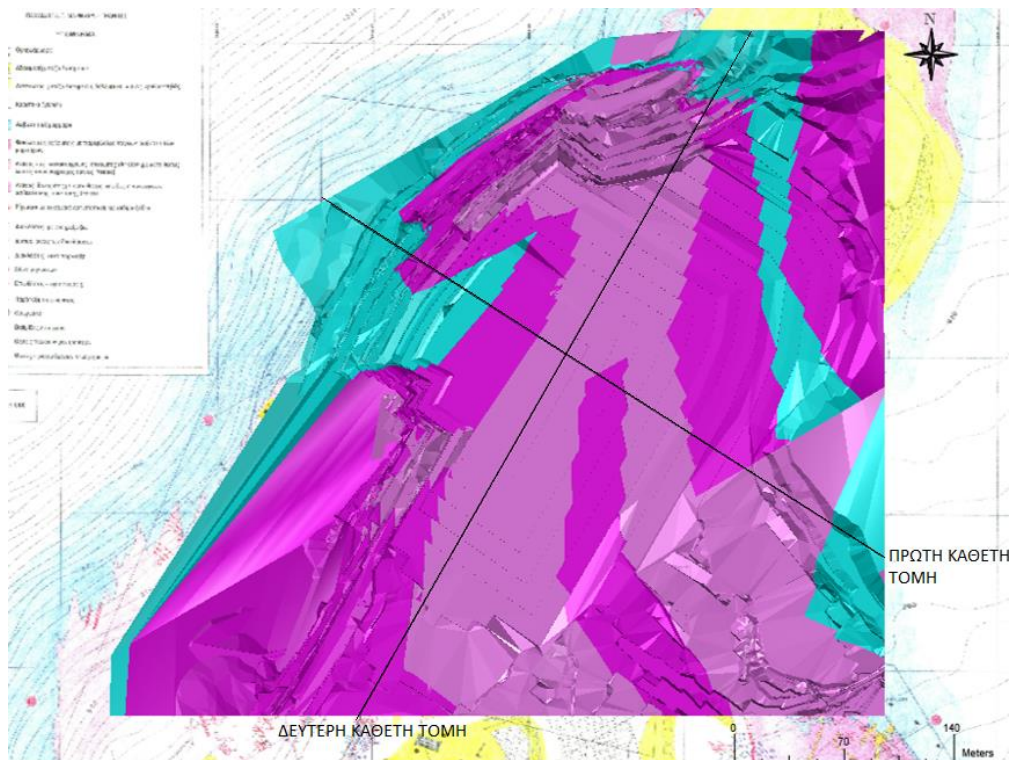
Εικόνα 80 Διαστάσεις γεωλογικής διαμήκης τομής.



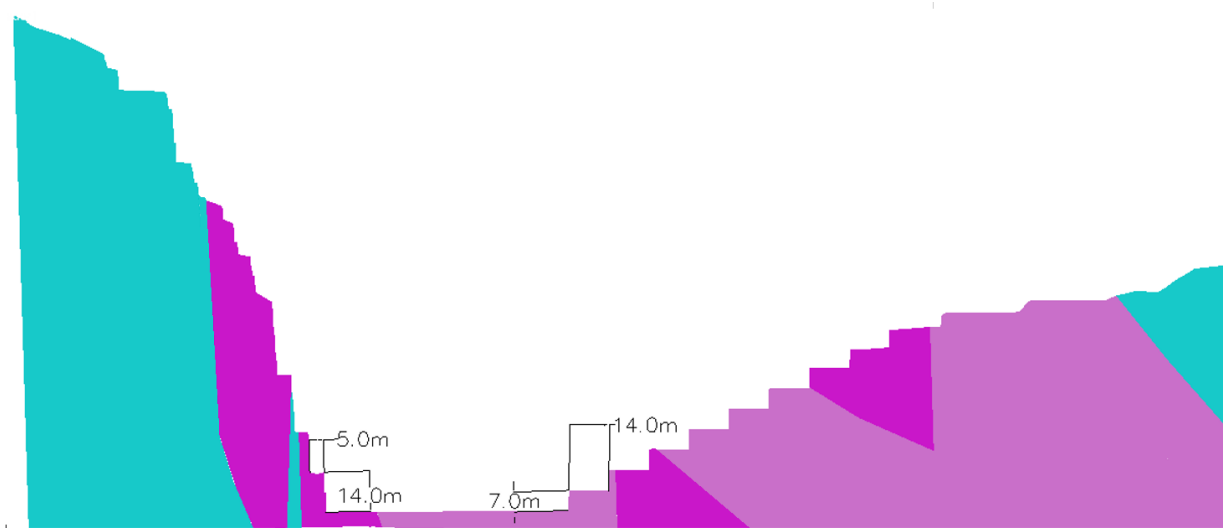
*Εικόνα 81 Διαστάσεις γεωλογικής τομής ΣΤ-ΣΤ.*



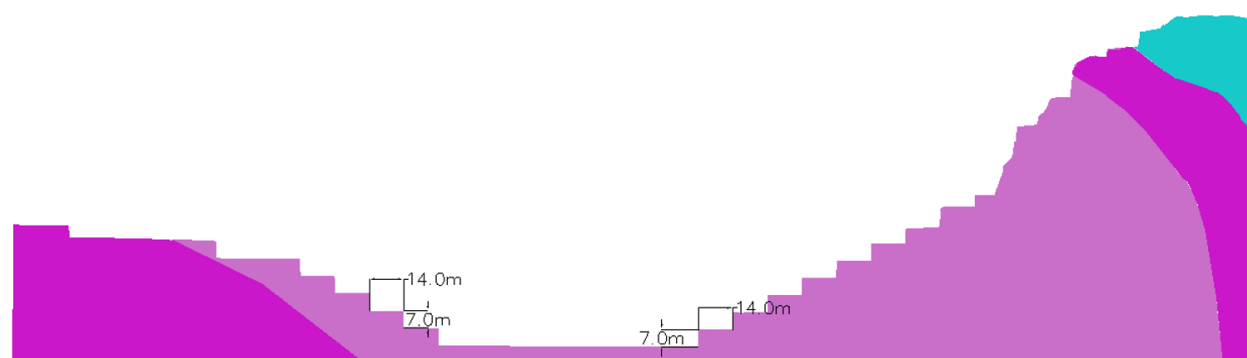
*Εικόνα 82 Διαστάσεις γεωλογικής τομής Ε-Ε*



*Εικόνα 83 Θέσεις κάθετων τομών στις βαθμίδες σε σχέση με το τρισδιάστατο κοιτασματολογικό μοντέλο.*



Εικόνα 84 Πρώτη κάθετη τομή ολοκληρωμένου κοιτασματολογικού μοντέλου και διαστάσεις των αντίστοιχων βαθμίδων.



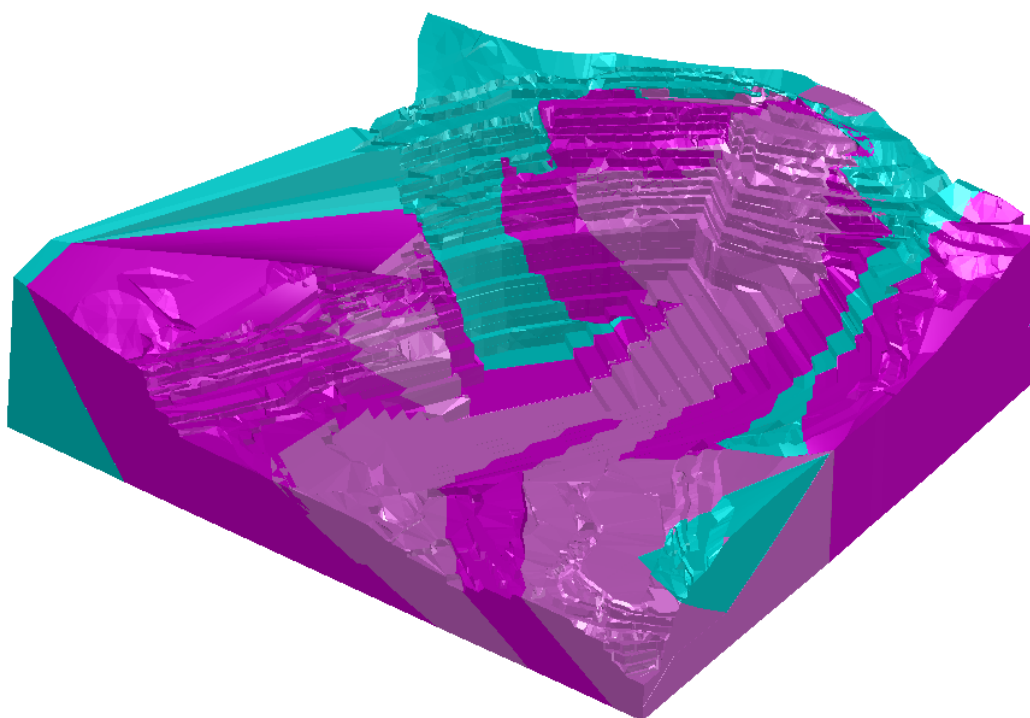
Εικόνα 85 Δεύτερη κάθετη τομή ολοκληρωμένου κοιτασματολογικού μοντέλου και οι διαστάσεις των βαθμίδων.

#### 4.7 Γεωλογικές τομές του βορειότερου τμήματος του λατομείου

Η τελική μορφή του λατομικού χώρου παρουσιάζεται στην Εικόνα 86. Δημιουργήθηκε από το τοπογραφικό μοντέλο στο οποίο έχει γίνει η επέκταση της εκμετάλλευσης και το προσδιορισμένο πλέον τμήμα του λατομείου που δημιουργήθηκε στο κεφάλαιο 4.5.

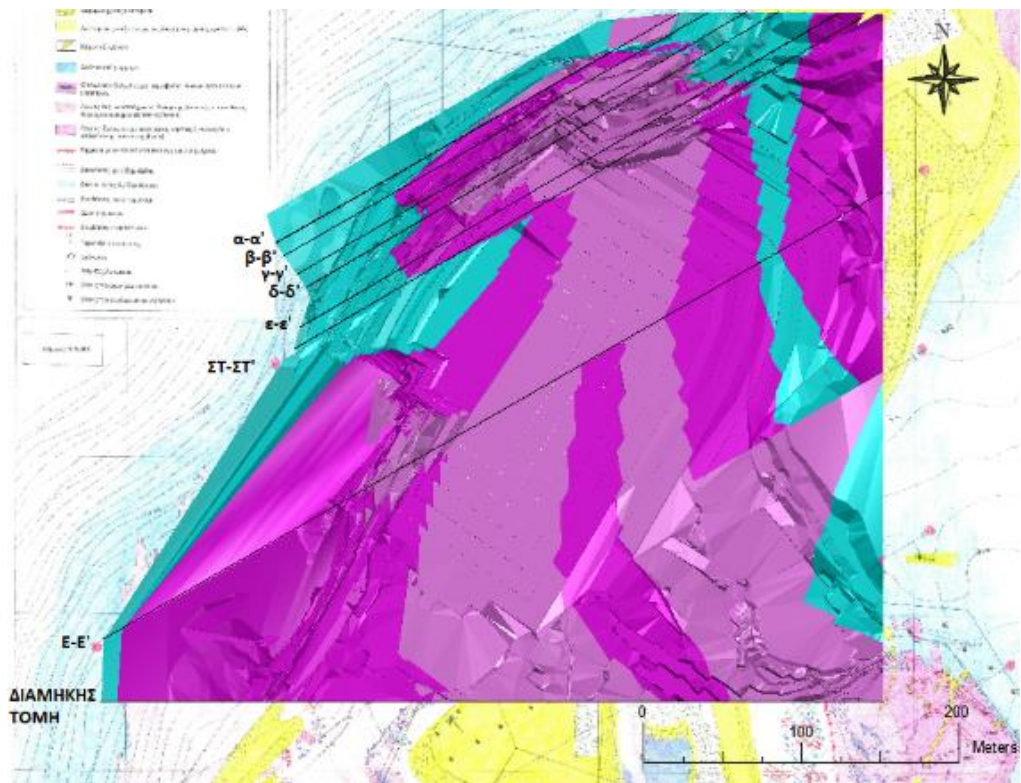
Οι τομές του τελικού κοιτασματολογικού μοντέλου πραγματοποιήθηκαν στις θέσεις που φαίνονται στην Εικόνα 87. Οι τομές παρατίθενται στη συνέχεια (Εικόνα 88, Εικόνα 89, Εικόνα 90). Η Εικόνα 88 αποτελεί τη βορειότερη τομή του μέχρι πρότινος απροσδιόριστου τμήματος, από αυτή την τομή και ακολουθώντας την βόρεια διεύθυνση το πέτρωμα αποτελείται από ασβεστιτικό μάρμαρο.

Οι όγκοι του φαιόλευκου με παρεμβολές πάγκων μαρμάρων και λευκού έως γαλακτόχρωμου δολομίτη με κατά θέσεις λεπτές σκουρόχρωμες ταινίες στο τελικό στάδιο της εκμετάλλευσης καταλαμβάνουν όγκους  $973.000 \text{ m}^3$ ,  $863.000 \text{ m}^3$  αντίστοιχα και στο τελικό υψόμετρο σχεδιασμού των 820 m.

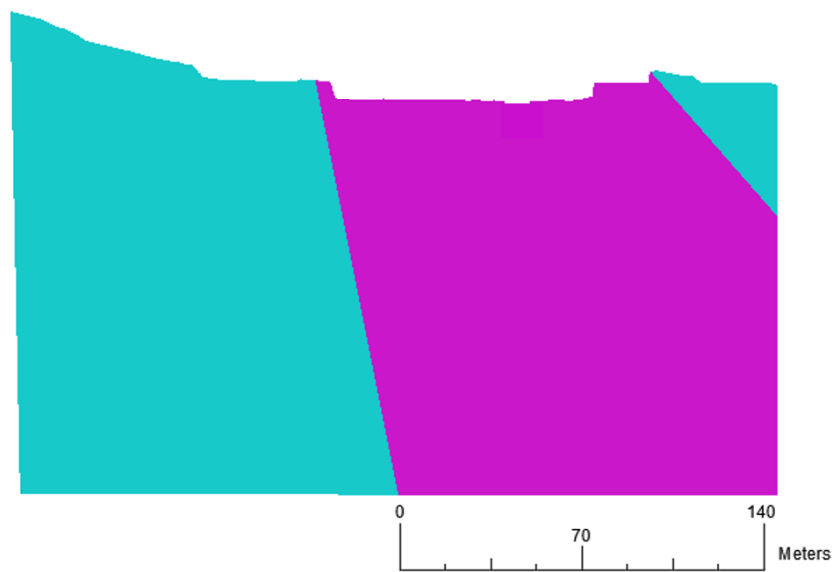


Εικόνα 86 Τελική μορφή τρισδιάστατου μοντέλου και τμήμα που έχει πλέον προσδιοριστεί.



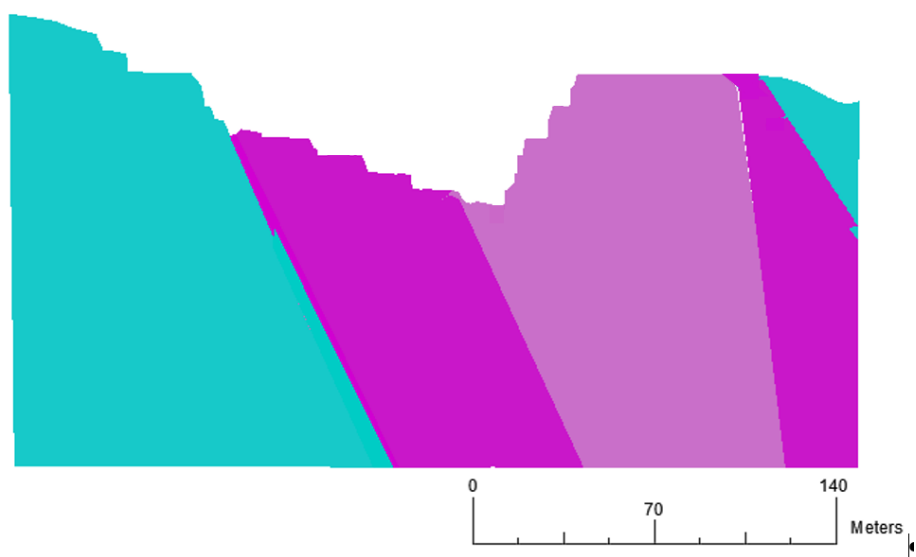


Εικόνα 87 Θέσεις τομών στην επιφάνεια του μοντέλου.

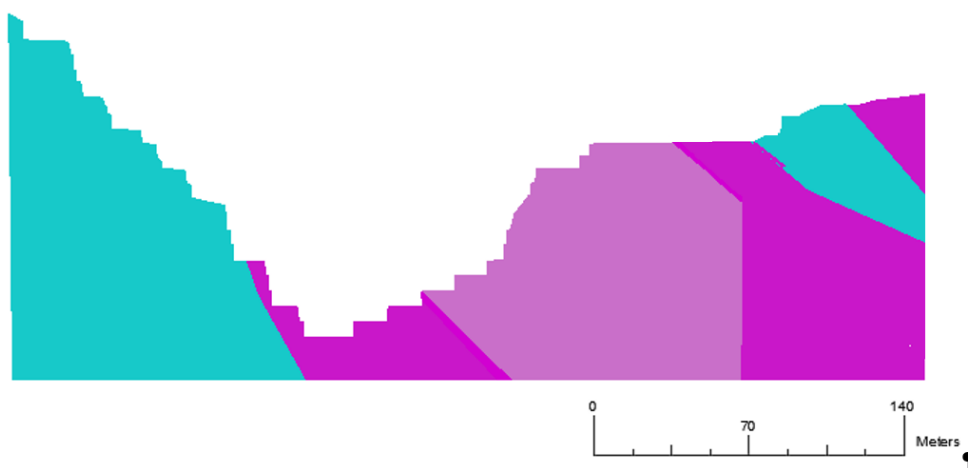


Εικόνα 88 Βορειότερη τομή τμήματος στερεού (α - α').





Εικόνα 89 Τομή τμήματος στερεού ( $\beta - \beta'$ ).



Εικόνα 90 Τομή τμήματος στερεού ( $\Sigma T - \Sigma T'$ ).

## 5 Συμπεράσματα - Προτάσεις

Στόχος αυτής της εργασίας αποτελεί η δημιουργία τρισδιάστατου κοιτασματολογικού μοντέλου από γεωλογικές τομές της περιοχής του λατομείου. Μελετώντας τις αρχικές τομές και συνδέοντας, τους όμοιους σχηματισμούς δημιουργήθηκε το κοιτασματολογικό μοντέλο. Στη συνέχεια έγινε ο προσδιορισμός γεωλογικών σχηματισμών σε τμήμα του λατομείου που δεν είχαν πραγματοποιηθεί τομές. Με την βοήθεια των δεδομένων που αντλήθηκαν από τις γεωτρήσεις που υπήρχαν στο λατομικό χώρο κατασκευάστηκαν γεωλογικές τομές με αποτέλεσμα τη δημιουργία του υπολειπόμενου μοντέλου. Προσδιορίζοντας έτσι το συνολικό χώρο του λατομείου είχαμε την δυνατότητα να επιλέξουμε τα κατάλληλα χαρακτηριστικά που θα χρησιμοποιηθούν κατά τον σχεδιασμό. Τέλος πραγματοποιήθηκε σχεδιασμός για την επέκταση της υπαίθριας εκμετάλλευσης και υπολογίστηκαν τα γεωλογικά και μεταλλευτικά αποθέματα μέχρι το υψόμετρο των 820 m. Τα συμπεράσματα καθώς και οι προτάσεις για την περαιτέρω εξέλιξη της διπλωματικής εργασίας δίνονται παρακάτω.

### Συμπεράσματα:

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία συνοψίζονται στα εξής:

- Η υψηλή ανάλυση των τοπογραφικών σχεδίων δημιουργεί προβλήματα στην διαδικασία σχεδιασμού λόγω του υψηλού όγκου δεδομένων που χρειάζεται να επεξεργαστούν. Η λύση στο πρόβλημα ήταν η διαδικασία του σχεδιασμού να πραγματοποιηθεί κατά τμήματα.
- Η διαδικασία προσδιορισμού του άγνωστου κοιτασματολογικού τμήματος του λατομείου μπορεί να πραγματοποιηθεί από τα δεδομένα των γεωτρήσεων και την μελέτη του γεωλογικού υπόβαθρου της περιοχής. Ως αποτέλεσμα ήταν η δημιουργία του κοιτασματολογικού μοντέλου της περιοχής.
- Οι περιοχές στις οποίες δεν υπάρχει μεγάλος όγκος δεδομένων τείνουν να έχουν μεγαλύτερη αβεβαιότητα στην κοιτασματολογική εκτίμηση κατά την δημιουργία του μοντέλου. Ως αποτέλεσμα αυξάνεται η πιθανότητα σφάλματος της περιοχής.

### Προτάσεις:

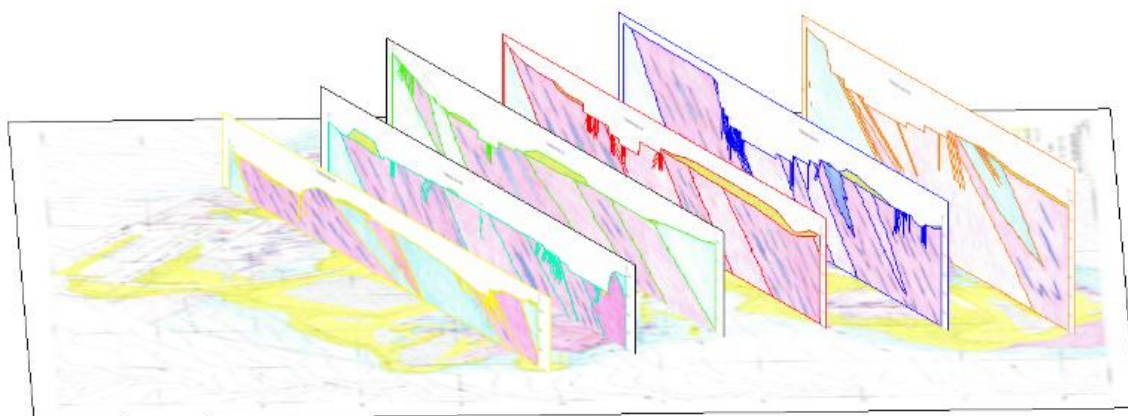
Οι προτάσεις που θα οδηγούσαν στην περαιτέρω εξέλιξη της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι οι εξής:

- Υπολογισμός μηχανολογικού εξοπλισμού και μοναδιαίου κόστους της εξόρυξης.
- Σχεδιασμός της συνέχισης της εκμετάλλευσης με την μέθοδο της υπόγειας εκμετάλλευσης.
- Δημιουργία του αρχικού κοιτασματολογικού μοντέλου με τη χρήση των γεωτρήσεων και σύγκριση του με το μοντέλο που δημιουργήθηκε από τις αρχικές τομές.
- Δημιουργία κοιτασματολογικού μοντέλου για βάθη μεγαλύτερα των 820 m μέσω των δεδομένων που λαμβάνουμε από τις γεωτρήσεις.
- Έλεγχος αν η επέκταση της υπαίθριας εκμετάλλευσης είναι εφικτή σε βάθος μεγαλύτερο των 826 m.

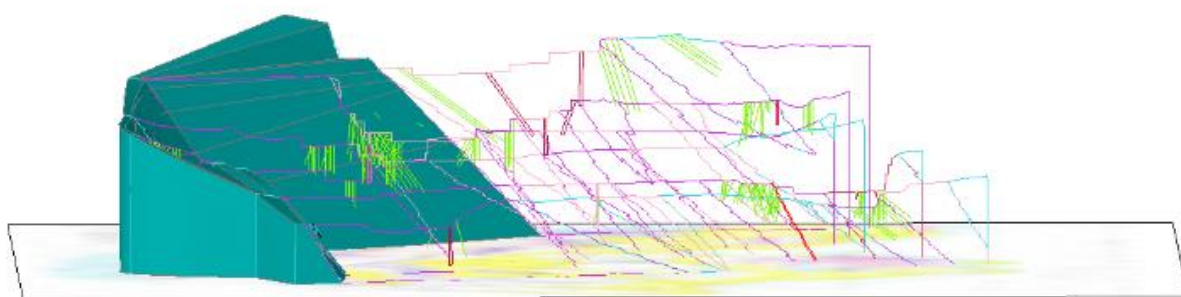
## 6 Βιβλιογραφία

- Δηλγεράκη, Ζ. (2014). Μελέτη πετρογραφικών και φυσικοχημικών ιδιοτήτων μαρμαροφόρων κοιτασμάτων απο τις περιοχές των νομών Δράμας και Σερρών. Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Εξαδάκτυλος, Γ. (2007). Σχεδιασμός γεωτεχνικών & λατομικών έργων. Πολυτεχνείο Κρήτης.
- Λαμπρινίδης, Λ. Ε. (2018). Λειτουργική ανάλυση υδραυλικού εκσκαφέα με χωματουργικό αυτοκίνητο σε υπαίθριες εκμεταλλεύσεις. Πολυτεχνείο Κρήτης.
- Μενεγάκη, Μ. (2010). Σχεδιασμός υπαίθριων εκμεταλλεύσεων. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Μουντράκης, Δ. Μ. (2010). *Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας*.
- Παπατρέχας, Χ. (2011). Συσχέτιση φυσικοχημικών ιδιοτήτων με το κοκκομετρικό μέγεθος και την ορυκτολογική σύσταση των ανθρακικών πετρωμάτων της Ανατολικής Μακεδονίας. ΑΠΘ Τμήμα Γεωλογίας.
- Σεραφειμίδης, Γ. (2014). Μελέτη υπογειοποίησης τμήματος υπαίθριας εκμετάλλευσης μαρμάρου για την αύξηση της αποληψιμότητας υγείων ογκομαρμάρων. Πολυτεχνείο Κρήτης.
- Χατζηπαναγής Κ. Ιωάννης. (1991). Η γεωλογική δομή της ευρύτερης περιοχής του όρους Φαλακρού. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

## Παράρτημα (1) Τρισδιάστατες απεικονίσεις

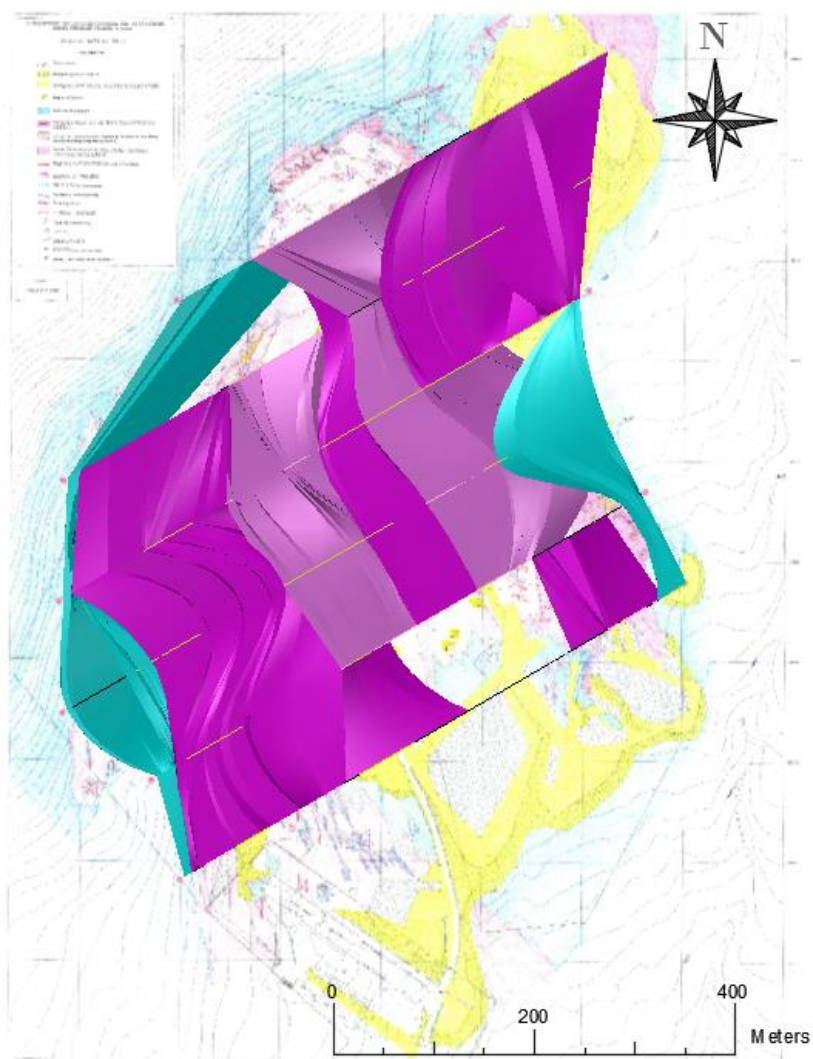


*Εικόνα 91 Πλάγια όψη τομών στο χάρτη.*

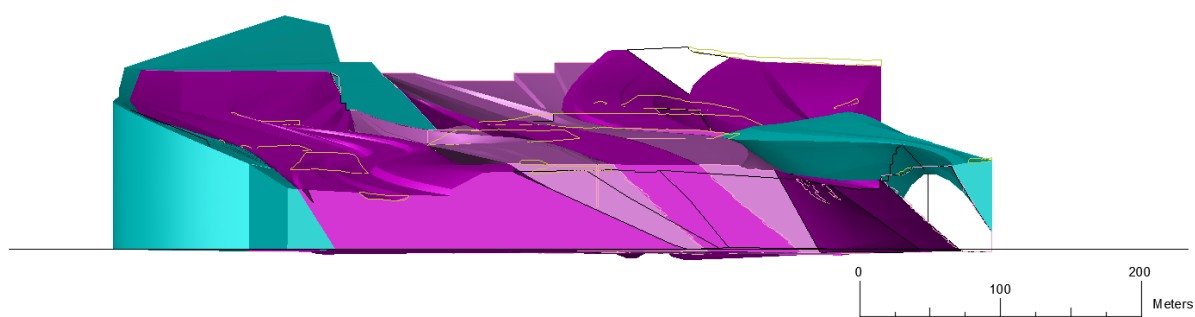


*Εικόνα 92 Πρόσωση, πρώτο στάδιο δημιουργίας γεωλογικού-κοιτασματολογικού μοντέλου.*

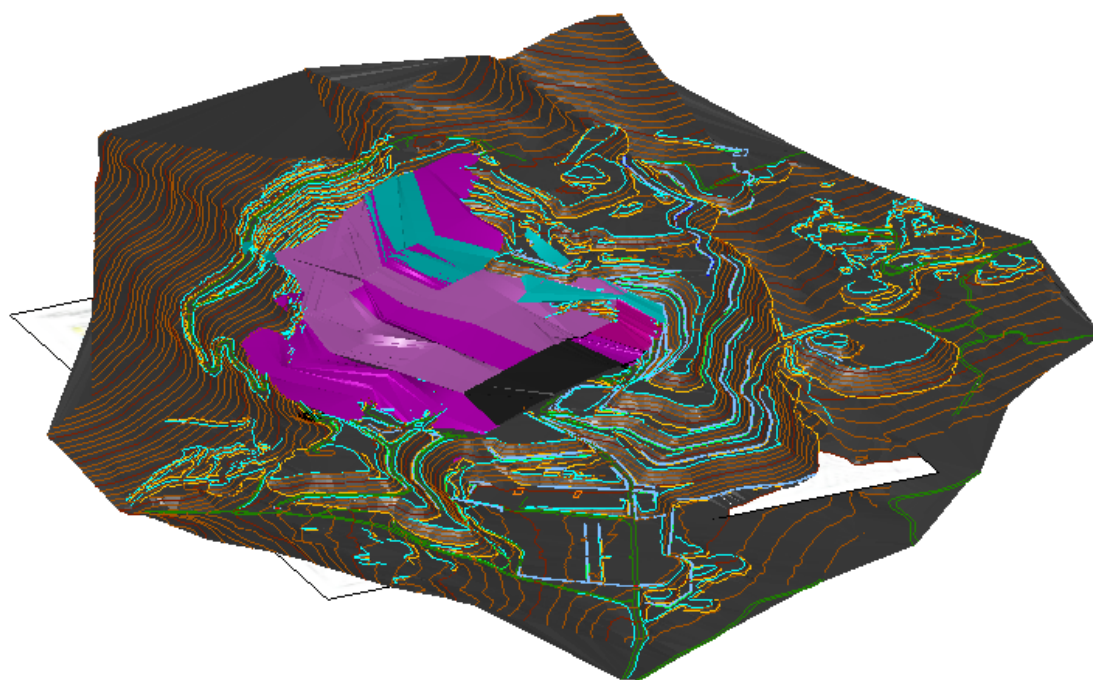




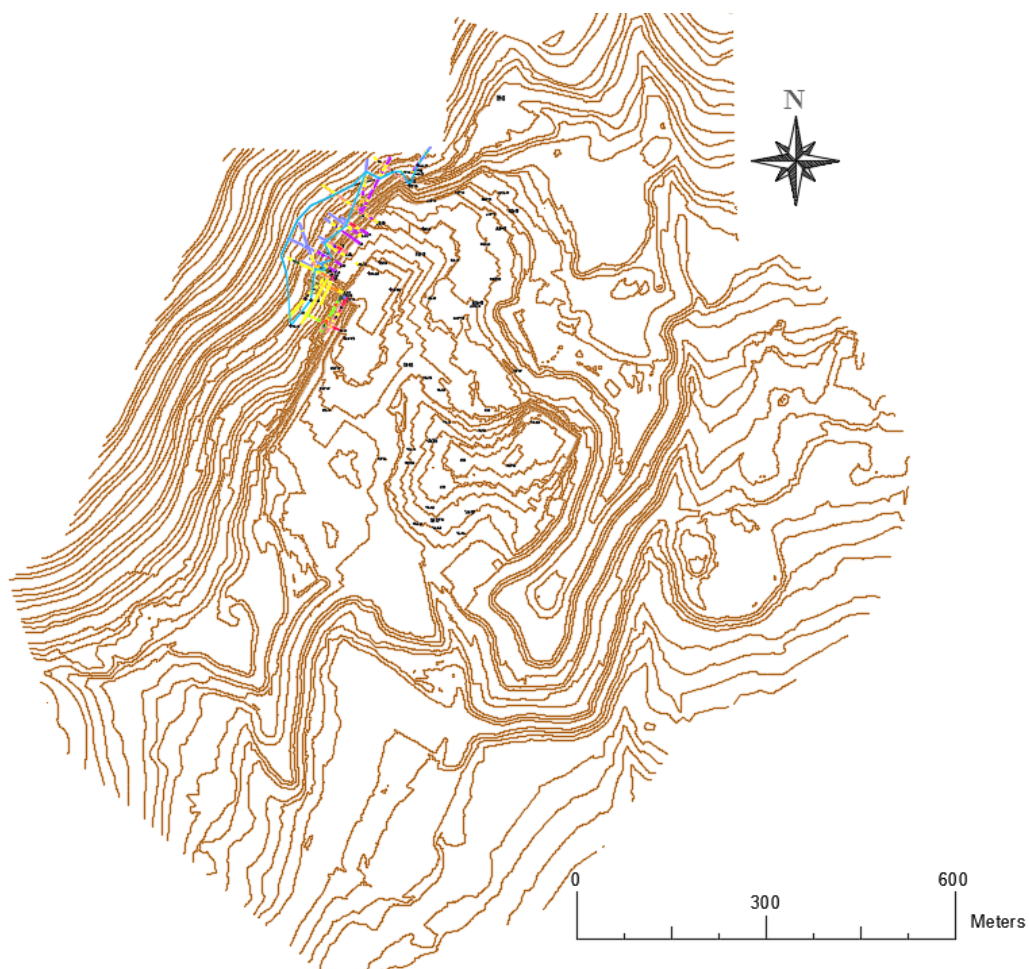
Εικόνα 93 Ενδιάμεσο στάδιο κατασκευής τρισδιάστατου μοντέλου.



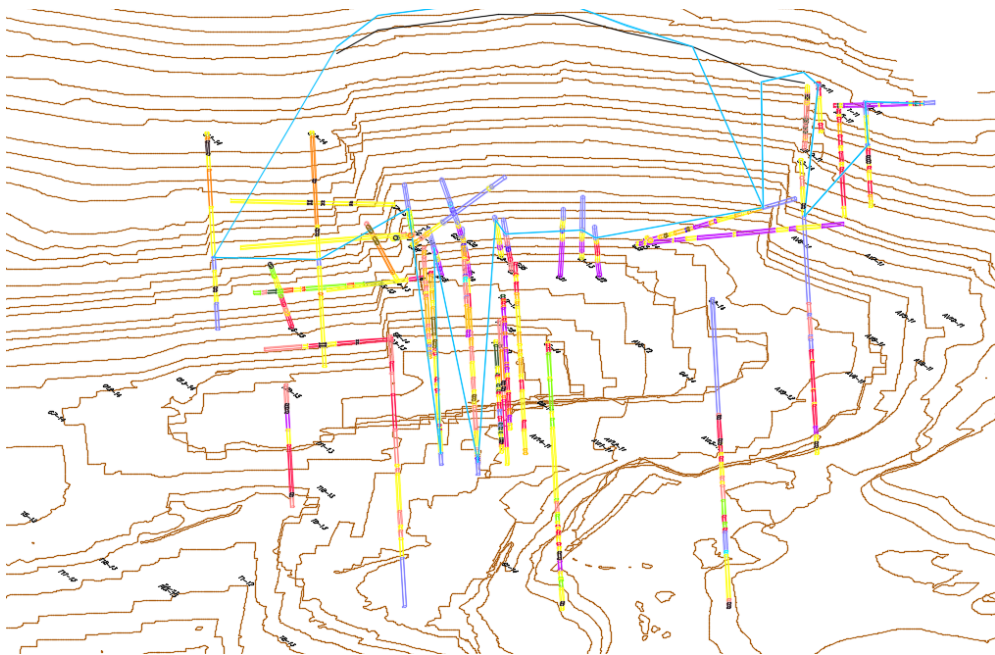
Εικόνα 94 Πλάγια όψη ενδιάμεσου σταδίου στερεού.



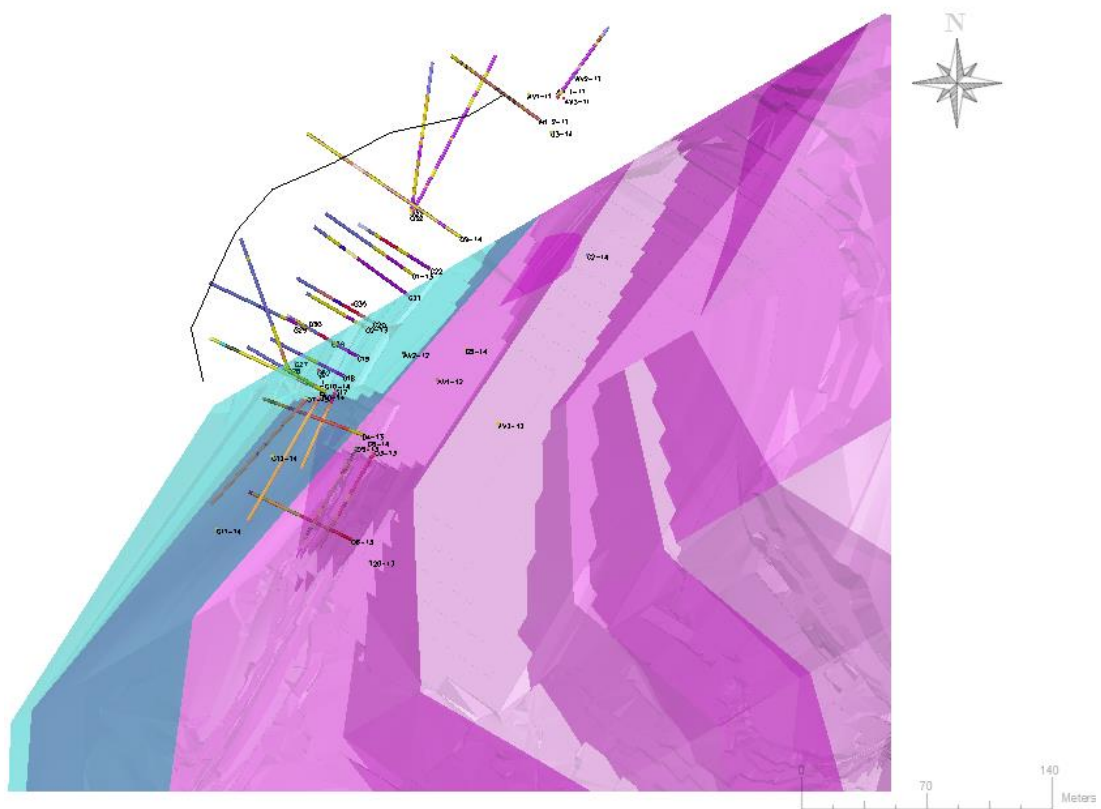
Εικόνα 95 Μοντέλο και τοπογραφικός χάρτης της περιοχής.



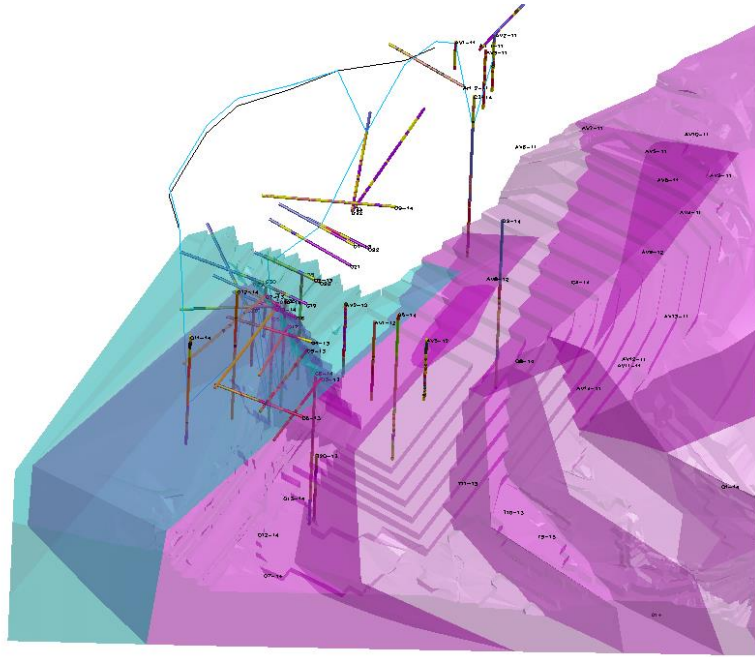
Εικόνα 96 Σημεία του τοπογραφικού που πραγματοποιήθηκαν οι γεωτρήσεις.



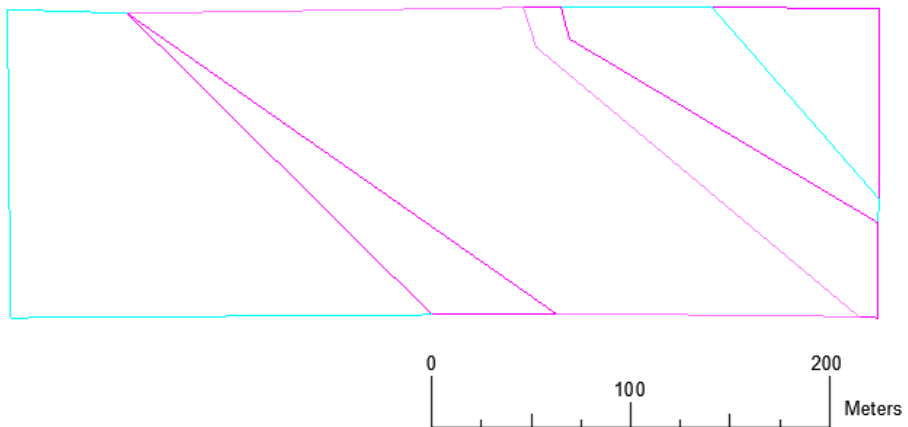
Εικόνα 97 Πλάγια όψη γεωτρήσεων.



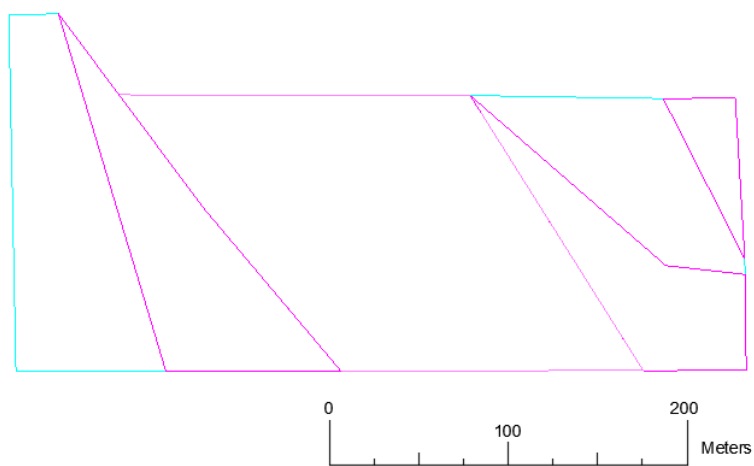
Εικόνα 98 Θέσεις γεωτρήσεων σε σχέση με το τρισδιάστατο μοντέλο.



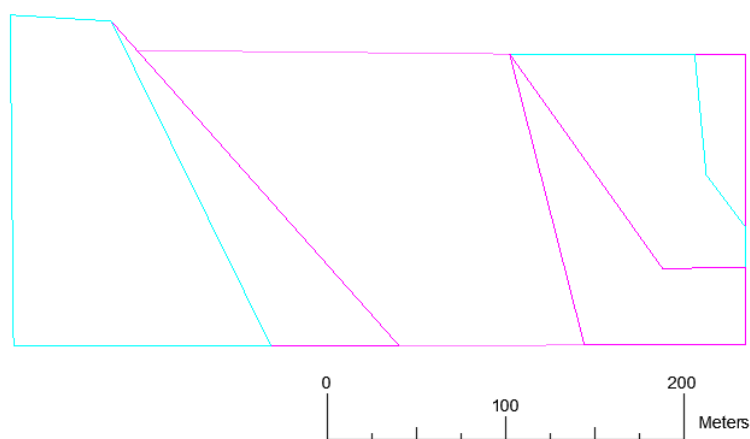
Εικόνα 99 Θέσεις γεωτρήσεων που έχουν πραγματοποιηθεί στον λατομικό χώρο.



Εικόνα 100 Ενδιάμεσες τομές που σχεδιάστηκαν με βάση τις γεωτρήσεις (ΣΤ – ΣΤ').

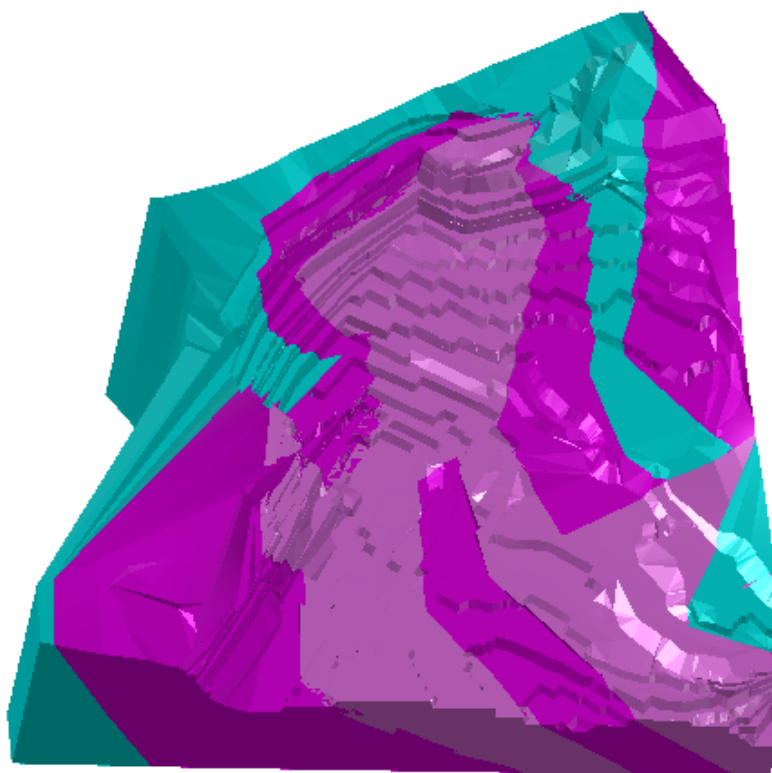


Εικόνα 101 Ενδιάμεσες τομές που σχεδιάστηκαν με βάση τις γεωτρήσεις (δ - δ').

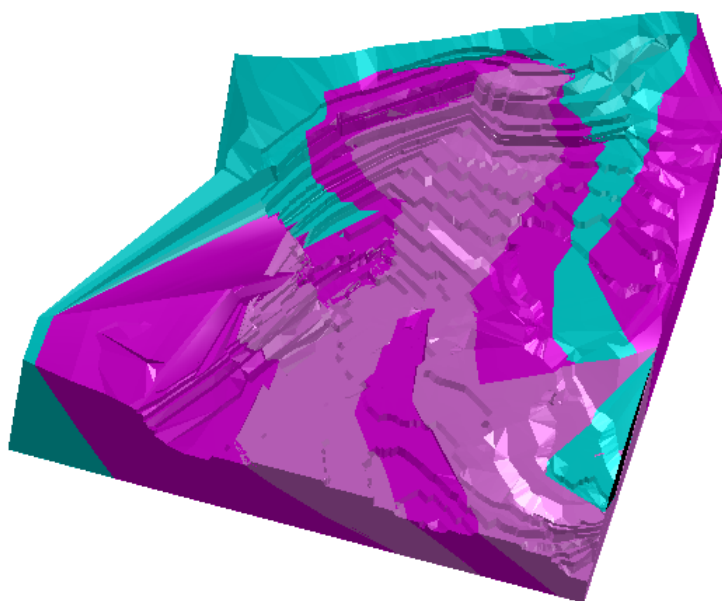


Εικόνα 102 Ενδιάμεσες τομές που σχεδιάστηκαν με βάση τις γεωτρήσεις (ε - ε').



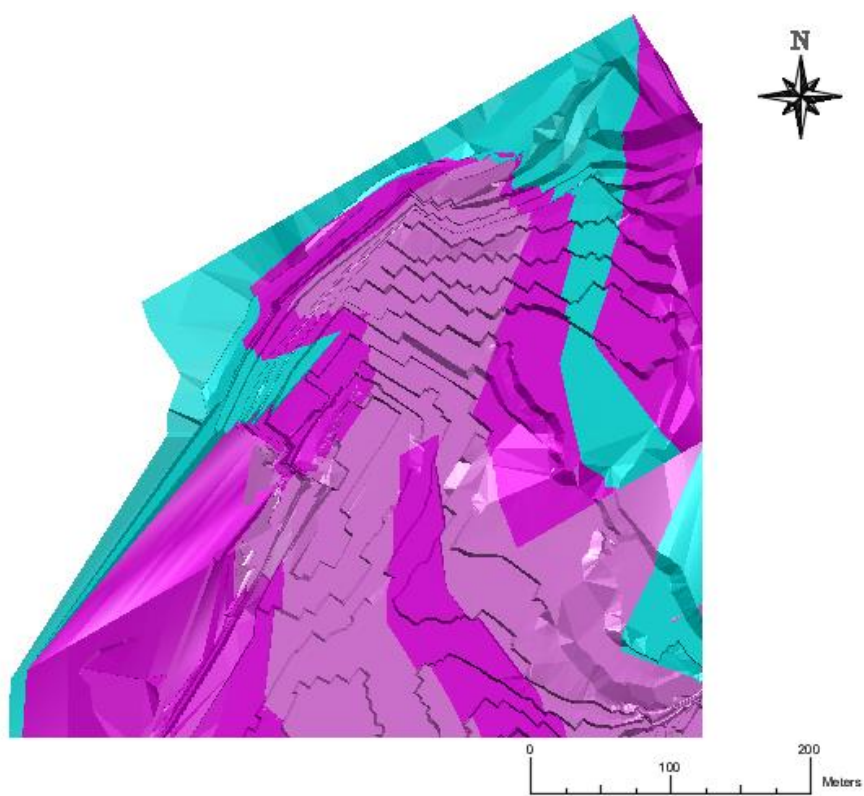


*Εικόνα 103 Κοιτασματολογικό μοντέλο και η επέκταση του βόρειου τμήματος του λατομείου.*

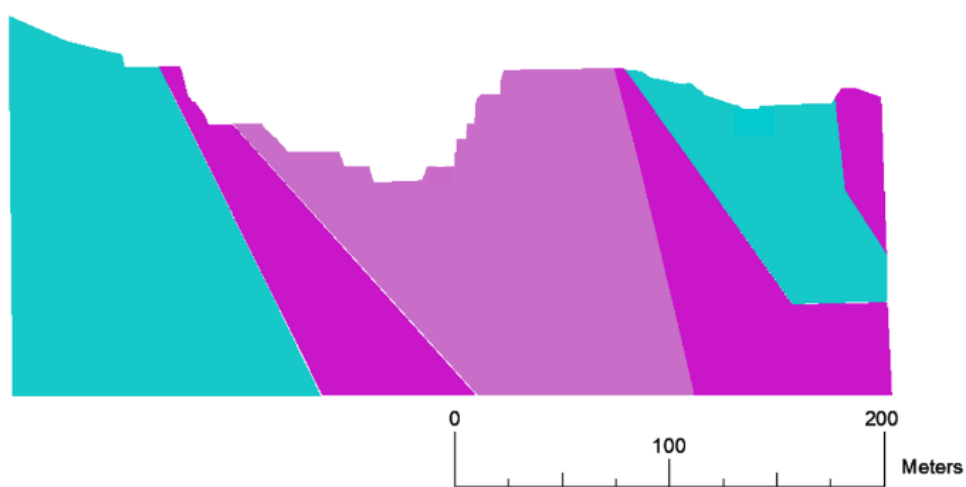


*Εικόνα 104 Κοιτασματολογικό μοντέλο .*

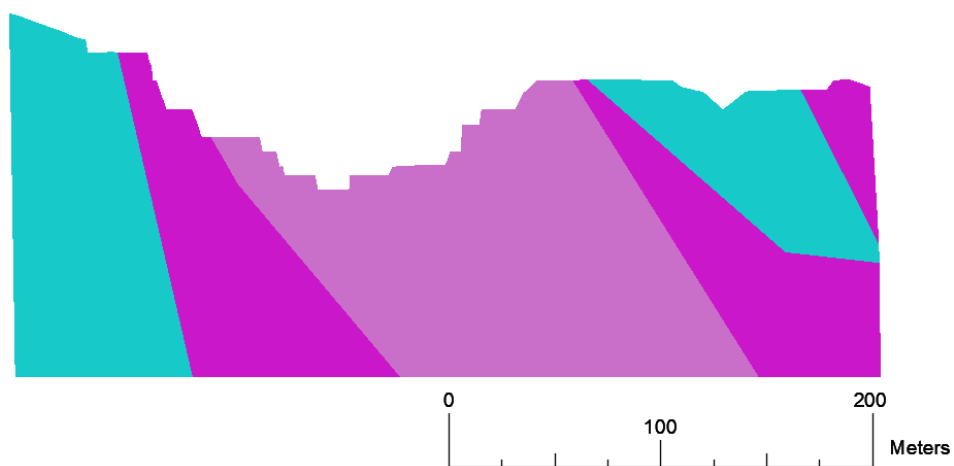




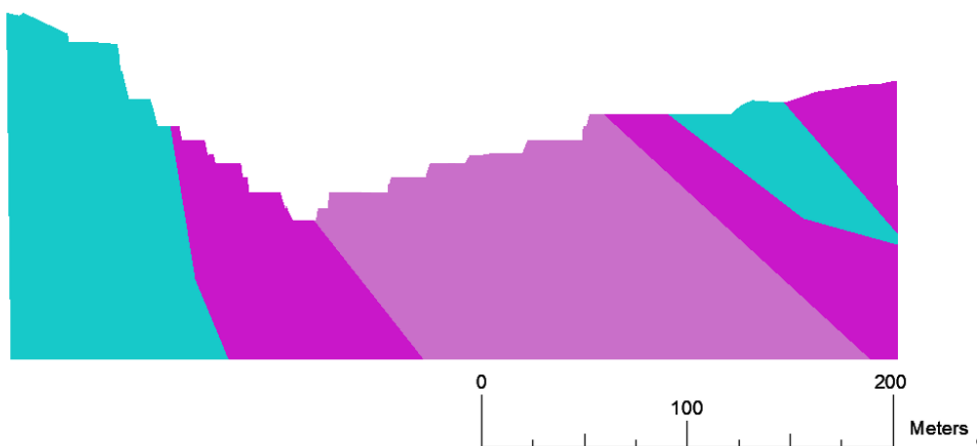
*Εικόνα 105 Κοιτασματολογικό μοντέλο.*



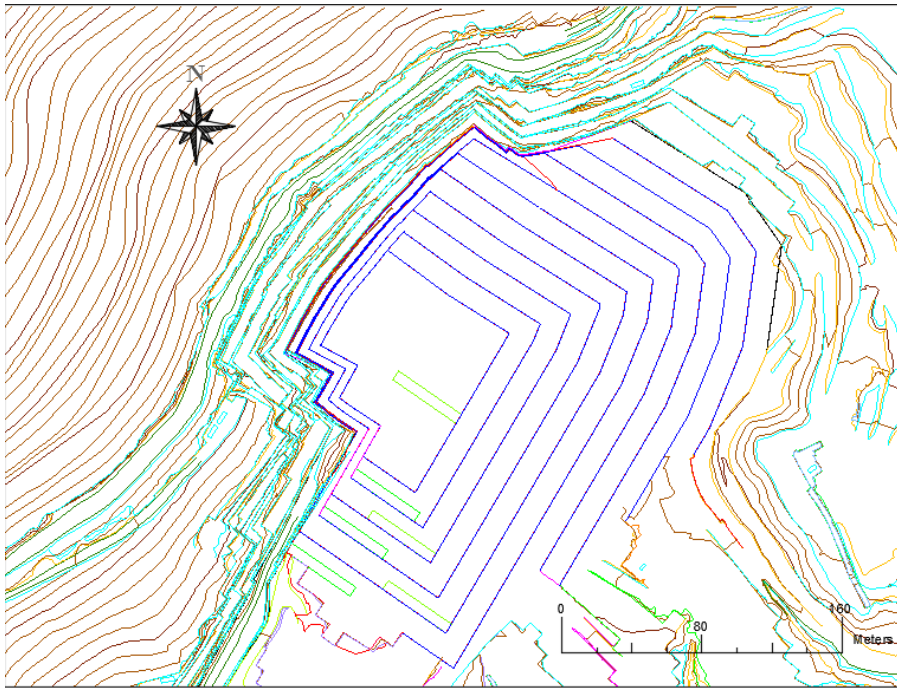
*Εικόνα 106 Τομή (γ-γ') του τμήματος που πραγματοποιήθηκε η επέκταση του μοντέλου.*



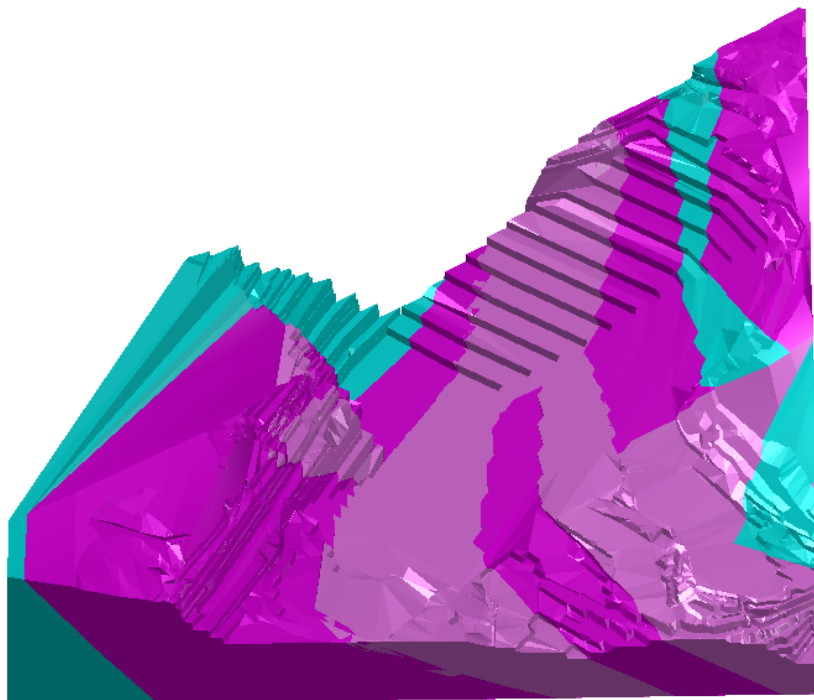
*Εικόνα 107 Τομή (δ-δ') του τμήματος που πραγματοποιήθηκε η επέκταση του μοντέλου.*



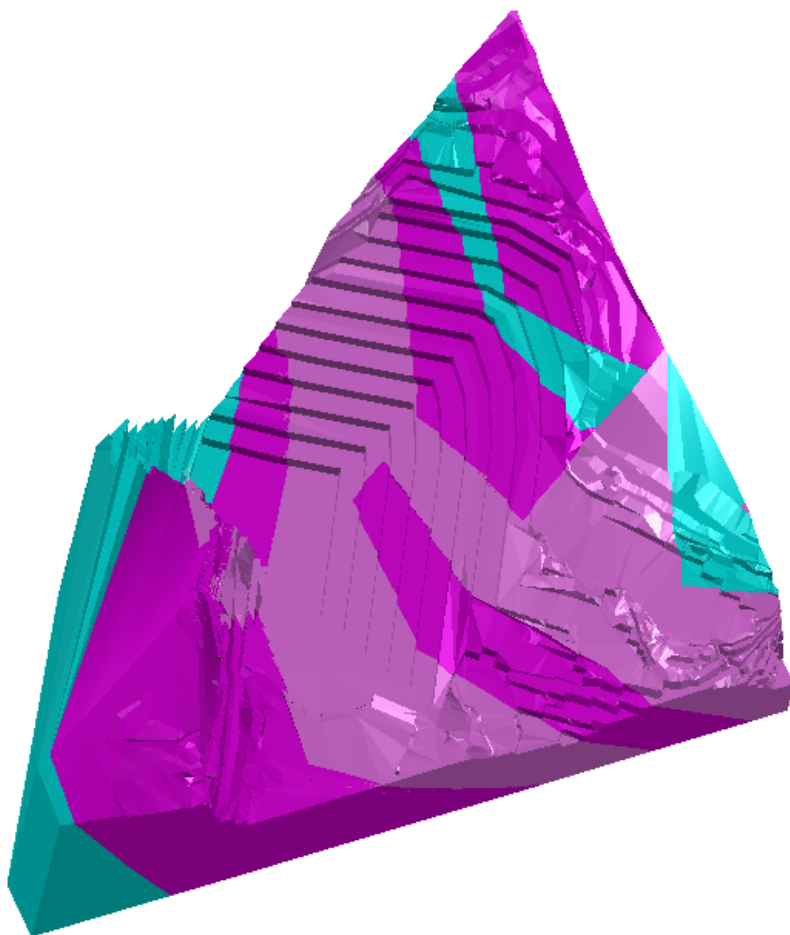
*Εικόνα 108 Τομή (ΣΤ-ΣΤ') του τμήματος που πραγματοποιήθηκε η επέκταση του μοντέλου.*



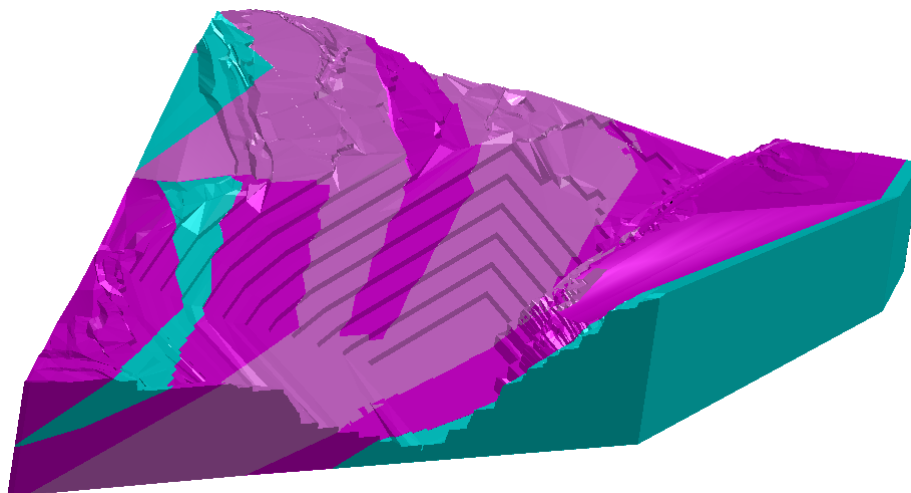
*Εικόνα 109 Πλάτος βαθμίδων.*



*Εικόνα 110 Τρισδιάστατη απεικόνιση μοντέλου (1).*



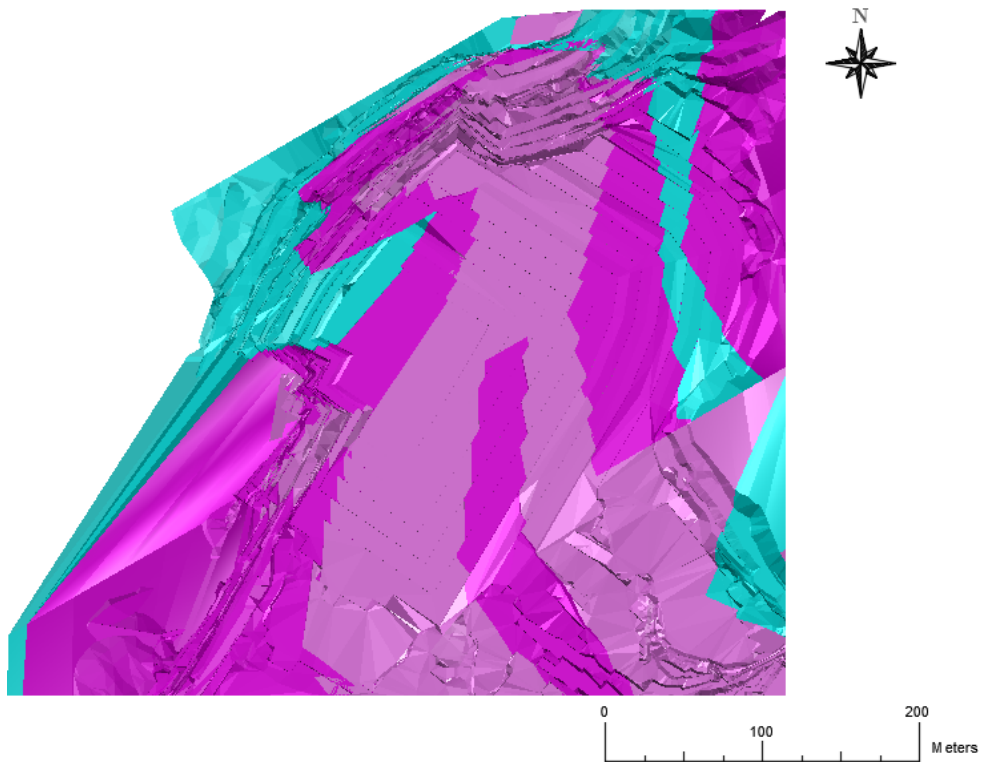
*Εικόνα 111 Τρισδιάστατη απεικόνιση μοντέλου (2).*



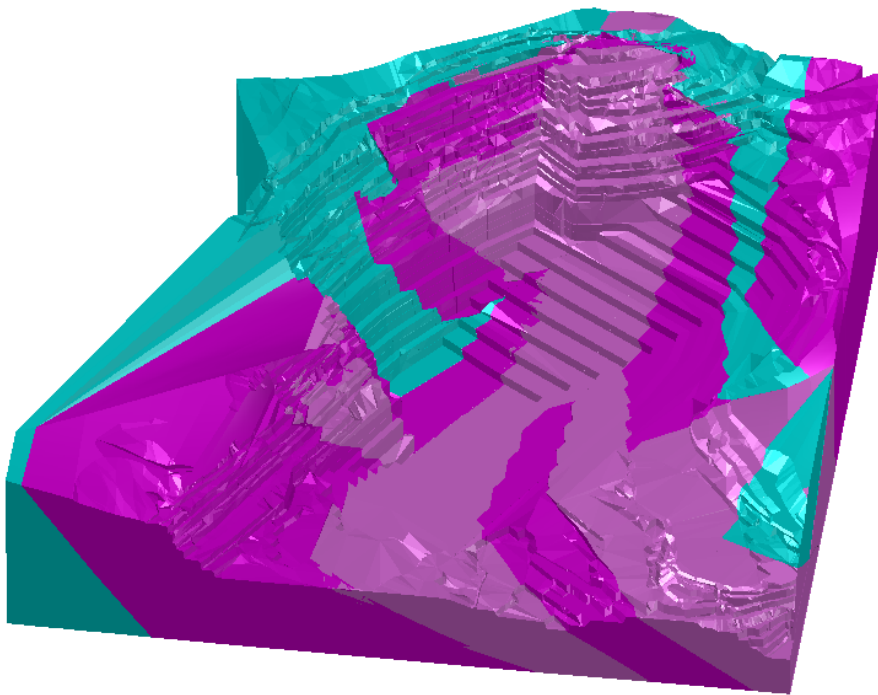
*Εικόνα 112 Τρισδιάστατη απεικόνιση μοντέλου (3).*



*Εικόνα 113 Τομές λατομικού χώρου κάθετες στις βαθμίδες και του προσδιορισμένου κοιτασματολογικά τμήματος του λατομείου.*

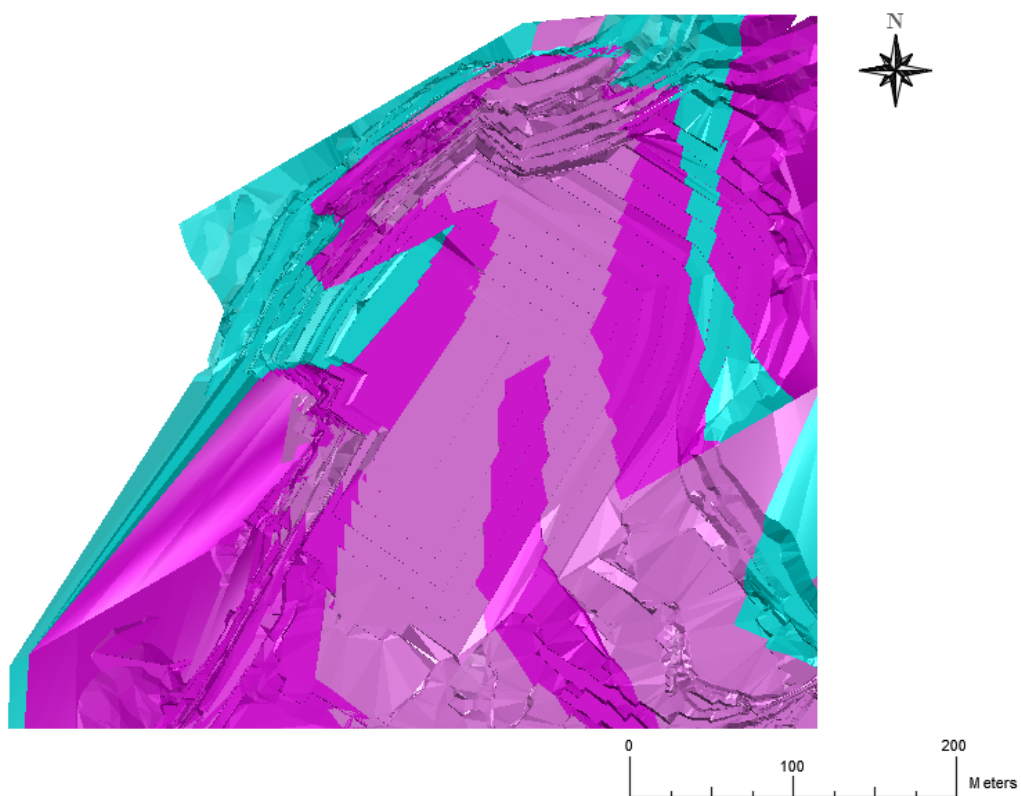


Εικόνα 114 Τελικό κοιτασματολογικό μοντέλου λατομικού χώρου όπως επεκτάθηκε με τη χρήση γεωτρήσεων.

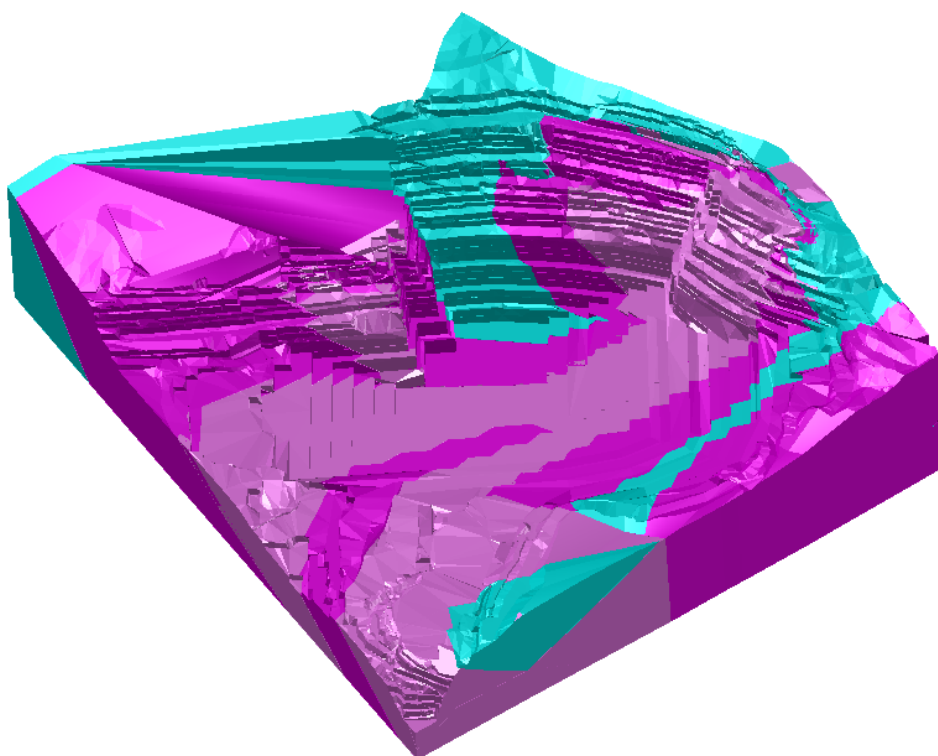


Εικόνα 115 Τρισδιάστατη απεικόνιση τελικού κοιτασματολογικού μοντέλου (1).

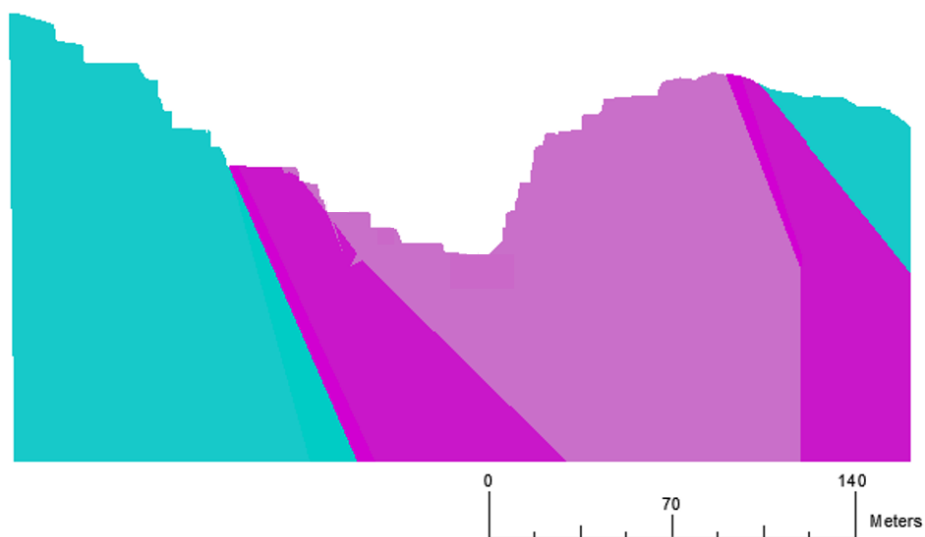




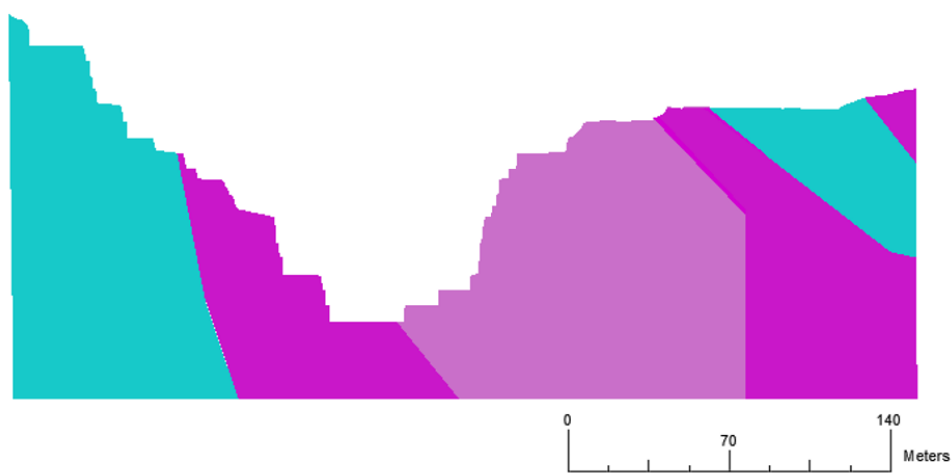
Εικόνα 116 Τρισδιάστατη απεικόνιση τελικού κοιτασματολογικού μοντέλου (2).



Εικόνα 117 Τρισδιάστατη απεικόνιση τελικού κοιτασματολογικού μοντέλου (3).



Εικόνα 118 Ενδιάμεσες τομές ( $\gamma - \gamma'$ ).



Εικόνα 119 Ενδιάμεσες τομές ( $\epsilon - \epsilon'$ ).