

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ



**«Σχεδιασμός υπαίθριας εκμετάλλευσης και οδών προσπέλασης κοιτάσματος
ασβεστολίθου»**

Διπλωματική εργασία

Βαρδάκης Μαρίνος Σπυρίδων

Εξεταστική Επιτροπή:

Καθηγητής Γ. Εξαδάκτυλος (επιβλέπων)

Καθηγητής Μ. Γαλετάκης

Δρ. Γ. Σαράτσης

Χανιά, 2020

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για μη κερδοσκοπικό σκοπό, εκπαιδευτικού ή ερευνητικού χαρακτήρα, με την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για άλλη χρήση θα πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Πρόλογος

Η εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας έγινε στα πλαίσια του Προγράμματος Προπτυχιακών Σπουδών του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης σε συνεργασία με την εταιρεία INTERMPIETON ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ Α.Ε. του ομίλου TITAN.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή Γ. Εξαδάκτυλο για τις συμβουλές και τις διορθώσεις του καθώς και για την άριστη συνεργασία που είχαμε.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Μ. Γαλετάκη για την συμμετοχή του στην εξεταστική επιτροπή και για τις διορθώσεις του.

Επιπλέον, ευχαριστώ τον κύριο Γ. Σαράτση για τις πολύτιμες συμβουλές του και την σημαντική βοήθεια και καθοδήγηση που μου παρείχε καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την εταιρεία INTERMPIETON ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ Α.Ε. και ιδιαίτερα τον υπεύθυνο μηχανικό του λατομείου, στο Λατζιμά Ρεθύμνου, κύριο Πιταροκοίλη Ιωσήφ για την άριστη συνεργασία που είχαμε, τις σημαντικές πληροφορίες που μου παρείχε και για την άμεση ανταπόκρισή του σε κάθε μου κάλεσμα.

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο σχεδιασμός μιας υπαίθριας εκμετάλλευσης, σε ένα λατομείο αδρανών υλικών (κοίτασμα ασβεστόλιθου), με τη βοήθεια του σχεδιαστικού προγράμματος Autodesk AutoCAD Civil 3D 2018 και ο υπολογισμός-σχεδίαση του πιο οικονομικού δρόμου προσπέλασης για το κοίτασμα αυτό, μελετώντας τρεις διαφορετικές κλίσεις δρόμου (5%, 8% και 10%).

Αρχικά εισήχθησαν στο πρόγραμμα Autodesk AutoCAD Civil 3D 2018 τοπογραφικά δεδομένα από την περιοχή του λατομείου (το οποίο βρίσκεται την περιοχή «Λατζιμά» του Ν. Ρεθύμνου στην Κρήτη) και δημιουργήθηκε ένα πρώτο τοπογραφικό μοντέλο αντιπροσωπευτικό της σημερινής εικόνας του λατομείου. Στη συνέχεια σχεδιάστηκε η επέκταση της εκμετάλλευσης έως το απόλυτο υψόμετρο των 25m (διαφορά 60 μέτρων περίπου από το σημερινό κατώτερο υψόμετρο της εκμετάλλευσης). Τέλος επιλέχθηκε και σχεδιάστηκε η οικονομικότερη κύρια οδός προσπέλασης των βαθμίδων του λατομείου, έπειτα από την σύγκριση που έγινε, η οποία υπολογίστηκε με βάση διάφορων παραμέτρων όπως είναι η κλίση, η κατανάλωση του καυσίμου και η φθορά των ελαστικών των μηχανημάτων.

Περιεχόμενα

Πρόλογος	3
Περίληψη	4
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	8
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
1.1 Τοποθεσία λατομείου	10
1.2 Ζώνη Γαβρόβου-Τριπόλεως.....	11
1.3 Ασβεστόλιθος.....	13
1.3.1 Αδρανή υλικά	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Λατομείο και υπαίθρια εκμετάλλευση	16
2.1 Υπαίθρια εκμετάλλευση.....	16
2.2 Βασικές έννοιες	18
2.3 Τρόπος εξόρυξης.....	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Σχεδιασμός επέκτασης εκμετάλλευσης	21
3.1 Εισαγωγή δεδομένων στο Civil 3D.....	21
3.2 Διαδικασία επέκτασης εκμετάλλευσης	24
3.2.1 Παραγωγική φάση.....	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Σχεδιασμός οδών προσπέλασης	32
4.1 Διαφορετικά είδη οδών	32
4.1.1 Οδός σταθερής κατεύθυνσης σε πρηνές εντός λατομείου:	32
4.1.2 Οδός σταθερής κατεύθυνσης σε πρηνές εκτός του λατομείου	35
4.1.3 Οδός με αναστροφή κατεύθυνσης (στροφή 180°)	36
4.1.4 Τοποθεσία και γεωμετρικά χαρακτηριστικά οδών προσπέλασης.....	38

4.2	Ανάχωμα (berm).....	41
4.3	Σχεδιασμός οδών προσπέλασης κλίσης 8% και 10% τελικής φάσης	43
4.4	Σχεδιασμός οδών προσπέλασης κλίσης 8% και 10% παραγωγικής φάσης.....	47
4.5	Όγκος υλικού που θα εκμεταλλευτεί και απαιτούμενος χρόνος συνολικής εκμετάλλευσης	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Υπολογισμός κατανάλωσης καυσίμου και φθοράς ελαστικών		53
5.1	Ταχύτητα φορτηγών και απαιτούμενος χρόνος δρομολογίου.....	54
5.2	Κατανάλωση καυσίμου	61
5.2.1	Κατανάλωση καυσίμου (1)	61
(Η τιμή του κόστους καυσίμου όπως αυτή αναγράφεται στους πίνακες 9 και 10 είναι στρογγυλοποιημένη)		64
5.2.2	Κατανάλωση καυσίμου (2)	65
(Η τιμή του κόστους καυσίμου όπως αυτή αναγράφεται στους πίνακες 12 και 13 είναι στρογγυλοποιημένη)		67
5.3	Φθορά ελαστικών	70
5.4	Επιλογή κλίσης δρόμου.....	73
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Συμπεράσματα – Προτάσεις.....		76

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.	Τοποθεσία λατομείου στο χάρτη (google maps).....	10
Εικόνα 2.	Γεωλογικός χάρτης Ελλάδος (orykta.gr).....	11
Εικόνα 3.	Στρωματογραφική στήλη των τεκτονικών ενοτήτων της κεντρικής Κρήτης (κατά Δάβη κ.α. 1985) (Μανούτσογλου, 2008).....	12
Εικόνα 4.	Γεωμετρικά στοιχεία βαθμίδας (Εξαδάκτυλος & Σαράτσης)	17
Εικόνα 5.	Γεωμετρικά στοιχεία πρανούς (Εξαδάκτυλος & Σαράτσης).....	18
Εικόνα 6.	Μηχάνημα όρυξης διατρημάτων επιφανειακής εκμετάλλευσης (equipifieds.com) ...	20

Εικόνα 7. Τοπογραφικός χάρτης λατομείου	21
Εικόνα 8. Υπόμνημα τοπογραφικού χάρτη	22
Εικόνα 9. Φρύδια και πόδια λατομείου (πορτοκαλί και μαύρο χρώμα αντίστοιχα) (κάτοψη λατομείου).....	23
Εικόνα 10. Τρισδιάστατη απεικόνιση της περιοχής του λατομείου.	24
Εικόνα 11. Εξόφληση βαθμίδων ενδιάμεσης φάσης	26
Εικόνα 12. Διαστάσεις γεωμετρικών στοιχείων τομής 1-1, όπως αυτή ορίζεται στην εικόνα 12	27
Εικόνα 13. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά βαθμίδας για δημιουργία κλίσης 60°	27
Εικόνα 14. Κάτοψη τελικής φάσης.....	28
Εικόνα 15. Διαστάσεις πλατείας τελικής φάσης.....	28
Εικόνα 16. Επιφάνεια τελικής φάσης.	29
Εικόνα 17. Κάτοψη παραγωγικής φάσης.....	30
Εικόνα 18. Επιφάνεια παραγωγικής φάσης	31
Εικόνα 19. Τέσσερις βαθμίδες λατομείου με πόδια (διακεκομμένες γραμμές) και φρύδια (συνεχόμενες γραμμές) (Hustrulid, Kuchta, & Martin, 2013).....	32
Εικόνα 20. Οδός σταθερής κατεύθυνσης σε πρανές εντός λατομείου (Hustrulid, Kuchta, & Martin, 2013)	34
Εικόνα 21. Οδός σταθερής κατεύθυνσης σε πρανές εκτός λατομείου (Hustrulid, Kuchta, & Martin, 2013)	36
Εικόνα 22. Οδός με αναστροφή κατεύθυνσης (στροφή 180 μοιρών) (Hustrulid, Kuchta, & Martin, 2013)	38
Εικόνα 23. Ήδη υπάρχον δρόμος (διαδρομή A-B) και κεντρικό ίχνος δρόμου που θα δημιουργηθεί (διαδρομή A-Γ)	39
Εικόνα 24. πλάτος δρόμου μιας η πολλαπλών λωρίδων (Kaufman & Ault, 1977).....	40
Εικόνα 25. Διατομή οδού προσπέλασης με πλευρικό ανάχωμα.....	41
Εικόνα 26. Συνήθεις τομές αναχώματος (Thoeni, Servin, Sloan, & Giacomini, 2018)	42
Εικόνα 27. Κάτοψη περιοχής με δρόμο κλίσης 8% (τελική φάση).....	44
Εικόνα 28. Τομή 1-1 όπως αυτή ορίζεται στην κάτοψη της εικόνας 28 (οι διαστάσεις έχουν μια μικρή απόκλιση από την πραγματικότητα επειδή δεν ήταν εύκολο να βρεθεί σημείο όπου η τομή θα ήταν ακριβώς κάθετη).....	44
Εικόνα 29. Τομή 2-2 όπως αυτή ορίζεται στην κάτοψη της εικόνας 28	45

Εικόνα 30. Κάτοψη περιοχής με δρόμο κλίσης 10% (τελική φάση).....	45
Εικόνα 31. Τομή 1-1 όπως αυτή ορίζεται στην κάτοψη της εικόνας 31 (κάποιες διαστάσεις έχουν μια μικρή απόκλιση από την πραγματικότητα επειδή δεν ήταν εύκολο να βρεθεί σημείο όπου η τομή θα ήταν ακριβώς κάθετη).....	46
Εικόνα 32. Τομή 2-2 όπως αυτή ορίζεται στην κάτοψη της εικόνας 31.	46
Εικόνα 33. Κάτοψη περιοχής με δρόμο κλίσης 8% (παραγωγική φάση).....	47
Εικόνα 34. Τομή 1-1 όπως αυτή ορίζεται στην κάτοψη της εικόνας 34.	48
Εικόνα 35. Τομή 2-2 όπως αυτή ορίζεται στην κάτοψη της εικόνας 34.	48
Εικόνα 36. Κάτοψη περιοχής με δρόμο κλίσης 10% (παραγωγική φάση).....	49
Εικόνα 37. Τομή 1-1 όπως αυτή ορίζεται στην κάτοψη της εικόνας 37.	49
Εικόνα 38. Τομή 2-2 όπως αυτή ορίζεται στην κάτοψη της εικόνας 37.	50
Εικόνα 39. Τρισδιάστατη απεικόνιση παραγωγικής φάσης με την παρουσία μηχανημάτων, αναχώματος και μερικής αποκατάστασης της περιοχής.	50
Εικόνα 40. Εκτιμώμενη διάρκεια ζωής ελαστικού βαρέως τύπου χωματουργικού αυτοκινήτου (Caterpillar, Estimating owning & operating costs)	71

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Διαστάσεις ασφαλούς αναχώματος	42
Πίνακας 2. Στοιχεία για υπολογισμό ταχύτητας φορτηγών και χρόνου δρομολογίου (δρόμος κλίσης 5%).....	56
Πίνακας 3. Στοιχεία για υπολογισμό ταχύτητας φορτηγών και χρόνου δρομολογίου (δρόμος κλίσης 8%).....	57
Πίνακας 4. Στοιχεία για υπολογισμό ταχύτητας φορτηγών και χρόνου δρομολογίου (δρόμος κλίσης 10%).....	58
Πίνακας 5. Πιθανές ταχύτητες φορτηγών ανάλογα την κλίση του δρόμου.....	59
Πίνακας 6. Συνολικοί χρόνοι δρομολογίου.....	60
Πίνακας 7. Ωριαία κατανάλωση καυσίμου αντίστοιχων μοντέλων φορτηγών (εγχειρίδιο κατασκευαστή).....	61
Πίνακας 8. Τιμές συντελεστών επιβάρυνσης κινητήρα.....	62

Πίνακας 9. Κόστος κατανάλωσης καυσίμου (1) για μοντέλο φορτηγού 769B.....	63
Πίνακας 10. Κόστος κατανάλωσης καυσίμου (1) για μοντέλο φορτηγού 773B.....	64
Πίνακας 11. Κόστος καυσίμων για 8 χρόνια λειτουργίας (κατανάλωση καυσίμου (1)).....	65
Πίνακας 12. Κόστος κατανάλωσης καυσίμου (2) για μοντέλο φορτηγού 769B.....	66
Πίνακας 13. Κόστος κατανάλωσης καυσίμου (2) για μοντέλο φορτηγού 773B.....	67
Πίνακας 14. Κόστος καυσίμων για 8 χρόνια λειτουργίας (κατανάλωση καυσίμου (2)).....	68
Πίνακας 15. Εκτιμώμενες ημέρες ζωής ελαστικών.....	72
Πίνακας 16. Έξοδα ελαστικών για τα 8 χρόνια λειτουργίας του λατομείου.....	73
Πίνακας 17. Συνολικά έξοδα για λειτουργία 8 χρόνων.....	74

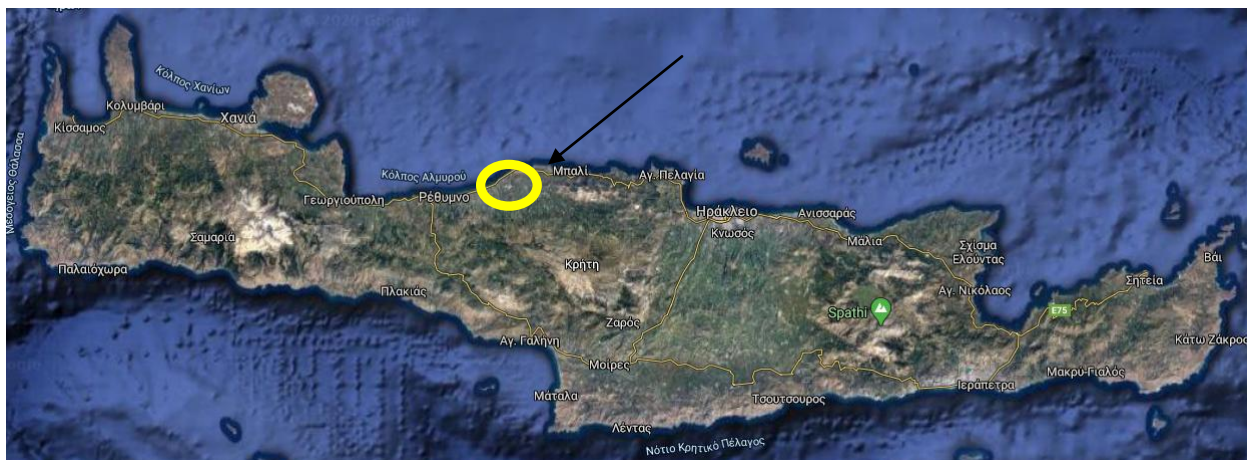
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1. Παράγοντες επιρροής εξόδων φορτηγών.....	54
Διάγραμμα 2. Συνολικό κόστος καυσίμων για 8 χρόνια, του μηχανήματος 769B.....	68
Διάγραμμα 3. Συνολικό κόστος καυσίμων για 8 χρόνια, του μηχανήματος 773B.....	69
Διάγραμμα 4. Διάγραμμα συνολικών εξόδων ελαστικών συναρτήσει της κλίσης του δρόμου...	73
Διάγραμμα 5. Συνολικά έξοδα για λειτουργία 8 χρόνων (769B).....	74
Διάγραμμα 6. Συνολικά έξοδα για λειτουργία 8 χρόνων (773B).....	75

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

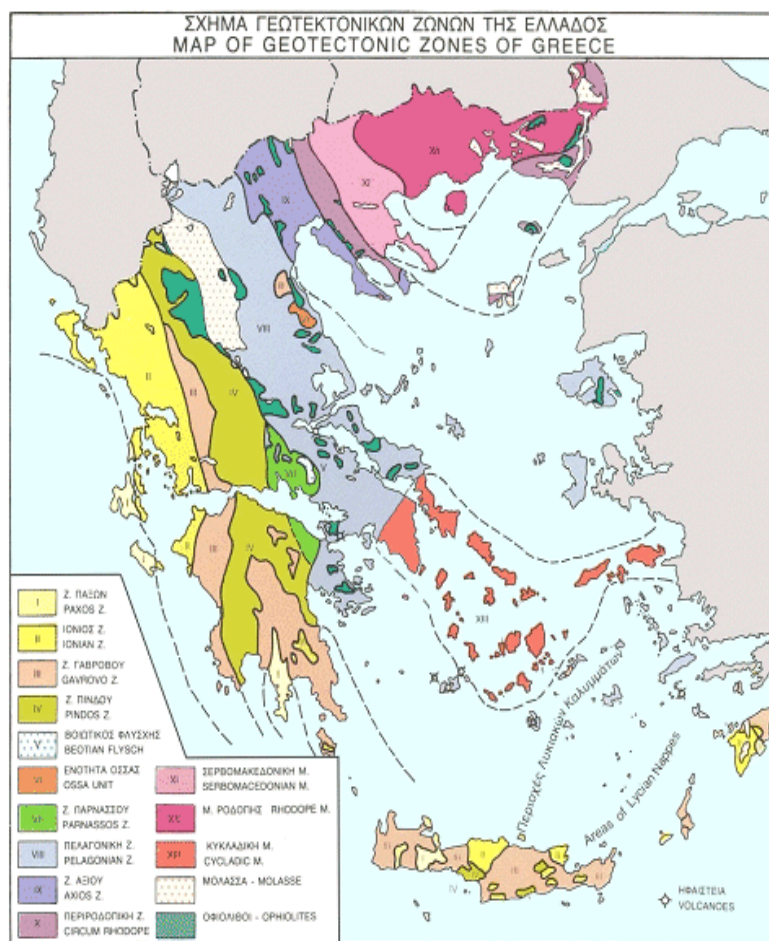
1.1 Τοποθεσία λατομείου

Η διπλωματική αυτή εργασία έχει βασιστεί στο λατομείο αδρανών υλικών το οποίο βρίσκεται στο νομό Ρεθύμνης της νήσου Κρήτης στην περιοχή του «Λατζιμά» (εικόνα 1).



Εικόνα 1. Τοποθεσία λατομείου στο χάρτη (google maps)

Το λατομείο βρίσκεται σε υψόμετρο 80-175m και παράγει πρώτες ύλες όπως άμμο, χαλίκι, γαρμπίλι και σκύρα οι οποίες χρησιμεύουν στην κατασκευή διαφόρων έργων όπως για παράδειγμα κατοικίες, σχολεία, νοσοκομεία αλλά και σε έργα υποδομής όπως δρόμοι, γεφύρια, στάδια κ.α.. Σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη της Ελλάδος η περιοχή του λατομείου βρίσκεται εντός των ορίων της Ζώνης Γαβρόβου-Τριπόλεως (εικόνα 2).



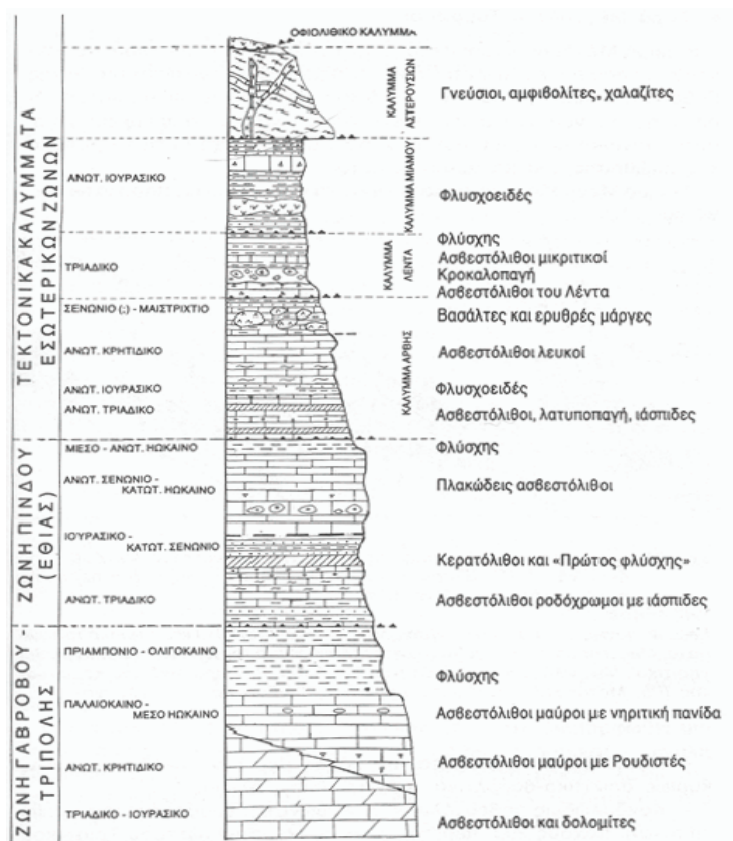
Εικόνα 2. Γεωλογικός χάρτης Ελλάδος (orykta.gr)

1.2 Ζώνη Γαβρόβου-Τριπόλεως

Η ζώνη Γαβρόβου-Τριπόλεως εμφανίζεται στη δυτική ηπειρωτική Ελλάδα, στην Πελοπόννησο, την Κρήτη και τα Δωδεκάνησα (Αστυπάλαια, Κάρπαθος, Ρόδος). Στις περιοχές της δυτικής ηπειρωτικής Ελλάδας και της δυτικής Πελοποννήσου έχει χαρακτηριστικά υποζώνης του Γαβρόβου και περιέχει νηρητική ανθρακική ακολουθία, ηλικίας από το Ανώτερο Ιουρασικό έως και το Ανώτερο Ήώκαινο, με μεγάλο σχετικά πάχος. Στις υπόλοιπες περιοχές της Πελοποννήσου και στην Κρήτη χαρακτηρίζεται ως υποζώνη Τριπόλεως. Τα μεγαλύτερα σε ηλικία πετρώματα είναι αυτά στα «Στρώματα του Τυρού», τα οποία περιέχουν ένα ηφαιστειοϊζηματογενές σύνολο σε μορφή φακών και ενδιαστρώσεις ασβεστόλιθων ηλικίας Ανωτέρου Παλαιozoϊκού – Τριαδικού. Κατά την ζώνη Γαβρόβου-Τριπόλεως η ανθρακική ιζηματογένεση αρχίζει στο

Ανώτερο Τριαδικό και τελειώνει στο Μέσο - Ανώτερο Ηώκαινο. Το σύνολο των ανθρακικών σχηματισμών δημιουργήθηκε με μία νηρητική ιζηματογένεση χαρακτηριζόμενη από πολύ μικρό βάθος. Τοπικά κατά το Μέσο Ηώκαινο υπάρχουν παρουσίες βωξιτών, γεγονός που αποκαλύπτει μία ανάδυση. Η ανάδυση αυτή, σε ορισμένες περιοχές, εμφανίζεται μέχρι και το Ολιγόκαινο στο οποίο ο φλύσχος «σκεπάζει» ασύμφωνα το ανθρακικό υπόβαθρο, ενώ σε άλλες περιοχές η νηρητική ιζηματογένεση μεταπίπτει σε πελαγική με απόθεση πηλινών, οι οποίοι εξελίσσονται σε φλύσχη.

Από τεκτονική άποψη αποτελεί μία έντονα πτυχωμένη ζώνη. Οι πτυχές στο ανθρακικό μέρος της σειράς εμφανίζονται με μεγάλη ακτίνα καμπυλότητας, αφού είναι νηρητικά ιζήματα. Η εναλλαγή των στρωμάτων της ζώνης Γαβρόβου-Τριπόλεως φαίνεται και στην εικόνα 3 (Μανούτσογλου, 2008).



Εικόνα 3. Στρωματογραφική στήλη των τεκτονικών ενότητων της κεντρικής Κρήτης (κατά Λάβη κ.α. 1985) (Μανούτσογλου, 2008)

1.3 Ασβεστόλιθος

Ο κύριος γεωλογικός σχηματισμός της περιοχής του λατομείου είναι ο ασβεστόλιθος. Ο ασβεστόλιθος είναι ιζηματογενές πέτρωμα, του οποίου το βασικό συστατικό είναι ο ασβεστίτης (CaCO_3). Συχνά περιέχει απολιθώματα και η μεταμόρφωσή του έχει ως αποτέλεσμα μία πιο έντονη κρυσταλλική μορφή στο πέτρωμα σχηματίζοντας το μάρμαρο. Ο ασβεστόλιθος μπορεί να περιέχει, επίσης, πυριτικές προσμίξεις όπως διάφορες μορφές του χαλαζία, άργιλο και άμμο. Ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού του χαρακτηρίζεται σε «χημικό ίζημα» ή «οργανογενής». Ως «χημικό ίζημα» χαρακτηρίζεται όταν ο ασβεστίτης, ως αδιάλυτος στο νερό, καταβυθίζεται και αποτίθεται μαζί με άλλα συστατικά του περιβάλλοντος με την διαδικασία της διαγένεσης (μετατροπή ασύνδετων ιζημάτων σε ένα πέτρωμα με τη βοήθεια φυσικοχημικών και μηχανικών φαινομένων).

Ως «οργανογενής» χαρακτηρίζεται όταν σκελετοί ή κελύφη υδρόβιων οργανισμών καταβυθίζονται και συγκολλούνται με την διαδικασία της διαγένεσης. (el.wikipedia.org)

1.3.1 Αδρανή υλικά

Τα αδρανή υλικά δημιουργούνται από τη θραύση κυρίως ασβεστολιθικών πετρωμάτων ή από περαιτέρω θραύση υλικών φυσικών αποθέσεων ποταμών, χειμάρρων και θαλάσσης (μίγμα ασβεστολιθικών, χαλαζιακών και γρανιτικών πετρωμάτων).

Ως αδρανή υλικά ονομάζονται το σύνολο των διαβαθμισμένων κατά μέγεθος τεμαχίων υλικών ορυκτής ή βιομηχανικής προέλευσης και υλικών ανόργανης σύστασης, που χρησιμοποιούνται μαζί με κάποιο συγκολλητικό μέσο (π.χ. τσιμέντο) για την παραγωγή πιο «περίπλοκων» υλικών (π.χ. σκυροδέματα, ασφαλτικά μίγματα και σκυρωτά οδοστρώματα, ενώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως έχει (π.χ. ως έρμα σιδηροδρομικών γραμμών). Τα αδρανή υλικά πήραν το όνομά τους χάρη στην ιδιότητά τους να μην αντιδρούν χημικά με τις διάφορες συγκολλητικές ουσίες που συχνά τους προστίθενται.

Ανάλογα με το μέγεθός τους κατατάσσονται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες:

- Άμμος (0-4 mm)
- Ρυζάκι (4-8 mm)
- Γαρμπίλι (8-16 mm)
- Χαλίκι (16-31,5 mm)

Ανάλογα με την προέλευσή τους διακρίνονται σε:

- **Φυσικής προέλευσης:** θραυστά πετρώματα, αποθέσεις, λάβα, λατομικά προϊόντα κ.α.
- **Τεχνητά ή βιομηχανικά:** Έχουν δημιουργηθεί από βιομηχανική δραστηριότητα, από χημική ή θερμική επεξεργασία πρώτων υλών ορυκτής ή άλλης προέλευσης, όπως π.χ. τέφρες, σκωρίες, περλίτης και βερμικουλίτης.
- **Ανακυκλώμενα:** Έχουν προκύψει από την επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση δομικών υλικών από υφιστάμενες κατασκευές, όπως π.χ. υλικά κατεδαφίσεων σκυροδέματος, τοιχοποιίας και ασφαλικών έργων.

Ο κύριος όγκος των αδρανών υλικών έχει εφαρμογή:

- **Στην παρασκευή του σκυροδέματος,** όπου τα αδρανή υλικά που χρησιμοποιούνται πρέπει να έχουν την κατάλληλη αντοχή, πρόσφυση και χημική ανεκτικότητα ως προς το τσιμέντο (προϊόντα θραύσης ασβεστολιθικών πετρωμάτων, γρανίτη, μαγνητίτη, βαρύτη και βιομηχανικών παραπροϊόντων).
- **Στην παρασκευή άλλων δομικών υλών,** όπως είναι οι τσιμεντόλιθοι ή άλλα μορφοποιημένα προϊόντα από σκυρόδεμα
- **Στην οδοποιία,** όπου τα αδρανή υλικά αποτελούν το 90% του απαραίτητου υλικού που χρησιμοποιείται και τα οποία τοποθετούνται σε διάφορες ασφαλικές στρώσεις. Ξεκινώντας από τα κατώτερα στρώματα μέχρι και τα ανώτερα μπορούμε να τοποθετήσουμε: 1) στο επίχωμα: πετρώδη (ή γαιώδη) (γρανίτες, βασάλτες, μάρμαρα κ.α.) για να επιτευχθεί η κατάλληλη συμπίκνωση του υπεδάφους που θα φέρει τα ανώτερα ασφατικά στρώματα, 2) στην εξυγιαντική στρώση: εδαφικό υλικό με τσιμέντο ή υδράσβεστο, 3) στην υπόβαση: αδρανή χαμηλότερης ποιότητας λόγω μικρότερων φορτίων, τα οποία πρέπει να προσφέρουν προστασία βάσης από αργιλικά και να γίνεται αποστράγγιση νερού (μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάθε φυσικό κοκκώδες μη θραυσμένο ή μερικώς που πληρεί τις προδιαγραφές), 4) στη βάση: ασύνδετα θραυσμένα αδρανή υλικά τα οποία είναι κατάλληλα για αποστράγγιση του νερού, για αντοχή στον παγετό και για αντοχή σε υψηλές επαναλαμβανόμενες καταπονήσεις, 5) στην στραγγιστική στρώση: υλικό με διαβαθμισμένη κοκκομετρία για στράγγιση των υδάτων και 6) στην

αντιολισθηρή στρώση: ασφατικό σκυρόδεμα, το οποίο αποτελείται από ασφαλτόμιγμα και διαβαθμισμένα σκληρά αδρανή (π.χ. γρανίτες ή άλλα μεταμορφωμένα).

- **Στην σιδηροδρομική**, όπου χρησιμοποιούνται πολύ χονδρόκοκκα (50-65 mm) αδρανή στο υποσύστημα της επιδομής. Η επιδομή είναι πάνω από ένα στρώμα σκύρων (γνωστό ως έρμα (ballast)), το οποίο έχει αντοχή σε θραύση και κρούση, δεν αποσθρώνεται από τους κύκλους ψύξης απόψυξης (χαμηλό επιφανειακό πορώδες) και δεν επηρεάζεται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Καταλληλότερα υλικά είναι τα μεταμορφωμένα πετρώματα, όπως είναι οι χαλαζίτες, τα μικροκρυσταλλικά εκρηξιγενή και τα γρανιτικά πετρώματα.
- **Σε άλλες βιομηχανικές εφαρμογές**, όπως για παράδειγμα στην παρασκευή υδρασβέστου $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$, στη μεταλλουργία ως συλλίπασμα, στην υαλουργία, στην γεωργία, στις ζωοτροφές, στη φαρμακοβιομηχανία κ.α.

Οι εγκαταστάσεις παραγωγής αδρανών υλικών βρίσκονται είτε μέσα στο λατομείο είτε πολύ κοντά σε αυτό και είναι σταθερά ή μετακινούμενα ανάλογα με την τοποθεσία τους. Συχνά είναι αναγκαίο να απομακρυνθούν από το υλικό τυχόν επιφανειακές σκόνες με τη χρήση νερού, με αποτέλεσμα να είναι αναγκαία η εξασφάλιση τροφοδοσίας νερού στο λατομείο. (el.wikipedia.org), (orykta.gr)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Λατομείο και υπαίθρια εκμετάλλευση

Λατομείο αποκαλείται μία εκσκαφή ή σύστημα εκσκαφών που πραγματοποιείται με σκοπό τη λήψη λατομικών ορυκτών ή προϊόντα αυτών. Από νομική άποψη λατομείο καλείται ο χώρος στον οποίο εξορύσσονται τα λατομικά ορυκτά και έχουν χορηγηθεί και βρίσκονται σε ισχύ οι εγκρίσεις διενέργειας ερευνητικών εργασιών που αφορούν λατομικά ορυκτά ή οι άδειες εκμετάλλευσης λατομικών ορυκτών.

Δημόσια λατομεία είναι λατομικοί χώροι επί δημοσίων εκτάσεων ενώ ιδιωτικά ή δημοτικά οι λατομικοί χώροι επί ιδιωτικών ή δημοτικών εκτάσεων αντίστοιχα.

Στην Ελλάδα τα λατομεία αδρανών οριοθετούνται σε ειδικές περιοχές εκμετάλλευσης, τις λατομικές περιοχές. Λατομικές περιοχές καλούνται οι εκτάσεις εντός των οποίων χωροθετούνται ένας ή περισσότεροι λατομικοί χώροι εκμετάλλευσης και οι οποίες κρίνονται κατάλληλες για την ποιότητα των πετρωμάτων και για τις επιπτώσεις που θα έχει η εκμετάλλευση στο φυσικό περιβάλλον. Το περιβαλλοντικό αποτύπωμα ενός λατομείου σχετίζεται με τον αποτελεσματικό σχεδιασμό, την ασφαλή λειτουργία, την διαχείριση των εξορυκτικών αποβλήτων και την περαιτέρω αποκατάστασή του.

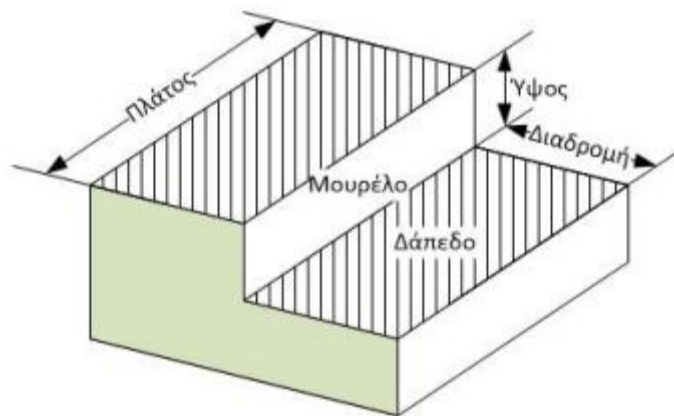
Η λειτουργία των λατομείων στην Ελλάδα πρέπει να συμμορφώνεται σύμφωνα με τον Κανονισμό Μεταλλευτικών και Λατομικών Εργασιών (ΚΜΛΕ). (orykta.gr)

2.1 Υπαίθρια εκμετάλλευση

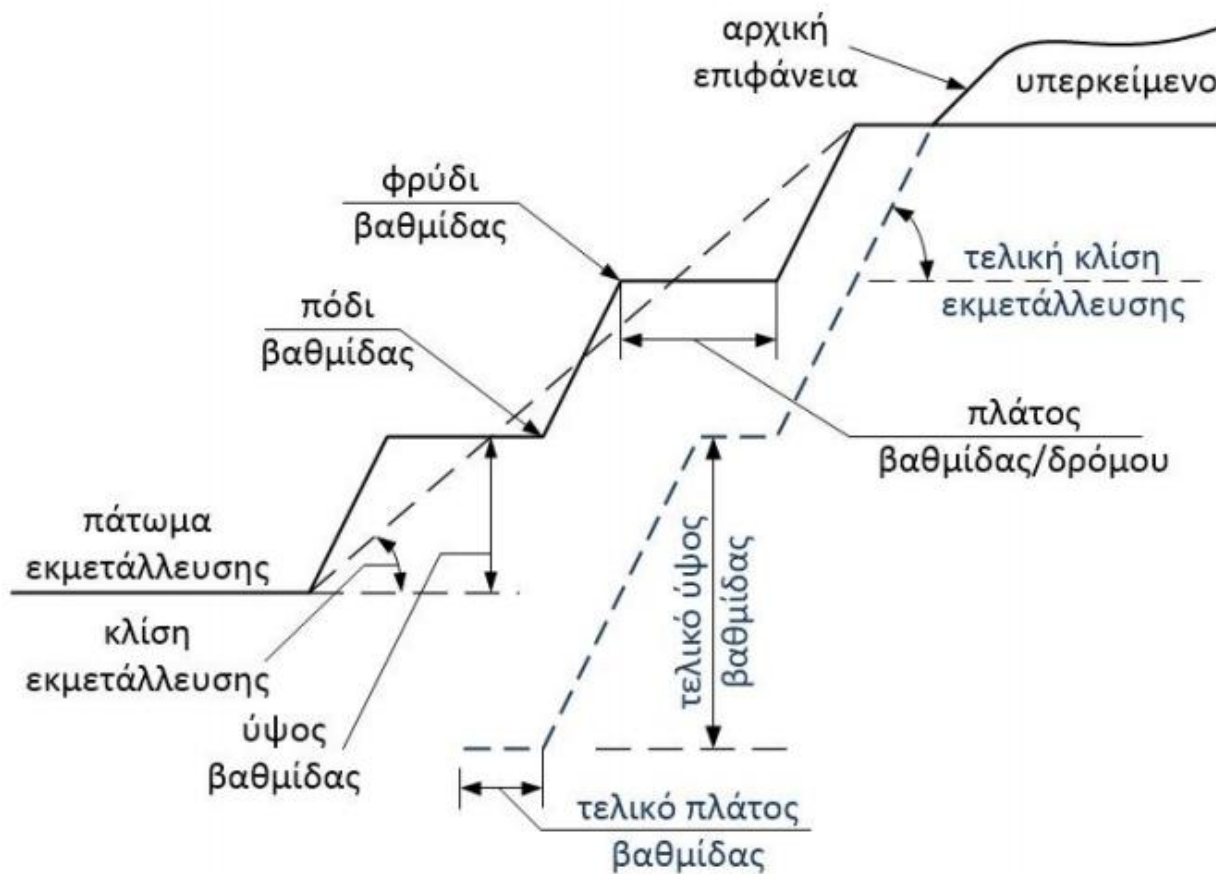
Υπαίθρια εκμετάλλευση αποκαλείται οποιαδήποτε εκμετάλλευση στερεών πρώτων υλών, η οποία γίνεται επιφανειακά και επιφέρει οικονομικό όφελος. Οι επιφανειακές εκμεταλλεύσεις μπορούν να διακριθούν σε τρεις βασικούς τύπους:

- Εκμετάλλευση με **κλειστές βαθμίδες** (χοανοειδής μορφή με κύρια εφαρμογή σε μεταλλικά κοιτάσματα).
- Εκμετάλλευση με **ανοιχτές βαθμίδες** (με κύρια εφαρμογή σε αδρανή υλικά και μάρμαρα).
- Εκμετάλλευση με βαθμίδες για κοιτάσματα με **μεγάλη οριζόντια εξάπλωση** (terrace mining), με κύρια εφαρμογή σε λιγνιτικά κοιτάσματα.

Η επιλογή του τύπου εκμετάλλευσης και η μορφή του λατομείου εξαρτώνται από τις εκάστοτε γεωμορφολογικές συνθήκες και τα χαρακτηριστικά του κοιτάσματος. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της εκμετάλλευσης (εικόνα 4 και 5) όπως είναι το ύψος των μετώπων, το πλάτος και η κλίση της κάθε βαθμίδας, η κλίση και η τελική μέγιστη επιτρεπόμενη κλίση του πρανούς κ.α., καθορίζονται και πρέπει να γίνονται (για λόγους ασφαλείας) με βάση τους Κανονισμούς Λατομικών Εργασιών. Ο Ελληνικός Κανονισμός Μεταλλευτικών και Λατομικών Εργασιών (ΚΜΛΕ) ρυθμίζει τα θέματα της ασφάλειας των επιφανειακών εκσκαφών στα άρθρα 82-88. Η μέθοδος της επιφανειακής εκμετάλλευσης με ανοιχτές βαθμίδες είναι η μέθοδος με την περισσότερη απήχηση για την εκμετάλλευση κοιτασμάτων μαρμάρου και αδρανών υλικών στην χώρα μας. (orykta.gr), (Κανονισμός Μεταλλευτικών και Λατομικών Εργασιών)



Εικόνα 4. Γεωμετρικά στοιχεία βαθμίδας (Εξαδάκτυλος & Σαράτσης)



Εικόνα 5. Γεωμετρικά στοιχεία πρανούς (Εξαδάκτυλος & Σαράτης)

2.2 Βασικές έννοιες

Για την διευκόλυνση της κατανόησης διάφορων γεωμετρικών στοιχείων, ενεργειών και συμπερασμάτων για τα λατομεία, υπάρχουν κάποιες βασικές έννοιες οι οποίες χρησιμοποιούνται ευρέως σε σχετικά βιβλία, μελέτες, έρευνες και από μηχανικούς και είναι κοινές για όλους. Τέτοιες έννοιες είναι:

- **Άγονα και υπερκείμενα:** Άγονα χαρακτηρίζονται τα πετρώματα χωρίς οικονομική αξία που περιβάλλουν το κοιτάσμα ή χαμηλής ποιότητας τμήματα του κοιτάσματος των οποίων η επεξεργασία μετά την εξόρυξη είναι ασύμφορη. Υπερκείμενα χαρακτηρίζονται τα άγονα που υπέρκεινται του κοιτάσματος και πρέπει να απομακρυνθούν πρώτα αυτά για να πραγματοποιηθεί η εκμετάλλευση.

- **Σχέση αποκάλυψης:** Ορίζεται ως ο αριθμός των μονάδων όγκου ή βάρους αγόνων που πρέπει να εξορυχτούν για να αποκαλυφθεί μία μονάδα χρήσιμου προϊόντος και δίνεται από τη σχέση:

$$\text{σχέση αποκάλυψης} = \frac{\text{όγκος αγόνων (m}^3\text{)}}{\text{όγκος χρήσιμου συστατικού (m}^3\text{)}}$$

- **Κλίση πρανούς:** Η γωνία ενός πρανούς με το οριζόντιο επίπεδο (εικόνα 6).
- **Γωνία κατολίσθησης:** Η κλίση του πρανούς στην οποία ξεκινά η κατολίσθηση.
- **Γωνία φυσικού πρανούς:** Η μέγιστη κλίση υπό την οποία χαλαρό ή θραυσμένο υλικό βρίσκεται σε ισορροπία.
- **Βαθμίδα:** Η μορφή ενός μετώπου παραγωγής. Αποτελείται μία οριζόντια επιφάνεια και μία κατακόρυφη ή κεκλιμένη με μεγάλη κλίση. Η κάθε βαθμίδα αποτελεί μονάδα παραγωγής και έχει δικά της γεωμετρικά χαρακτηριστικά (την κλίση, το πλάτος, το ύψος, το φρύδι και το πόδι) όπως φαίνεται και στην εικόνα 6 (Εξαδάκτυλος & Σαράτσης). Το μήκος και η κατεύθυνση προς την οποία αναπτύσσεται η βαθμίδα εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κοιτάσματος και τη μορφολογία της περιοχής. Διακρίνονται σε ανοικτές (αναπτύσσονται σε εκμεταλλεύσεις σε πλαγιά λόφου) και κλειστές (αναπτύσσονται σε βάθος σχηματίζοντας μια χοανοειδή εκσκαφή).
- **Κλίση πρανούς εκμετάλλευσης:** Η κλίση που έχουν τα πρανή της εκμετάλλευσης προς το οριζόντιο επίπεδο οποιαδήποτε στιγμή κατά τη διάρκεια της εκμετάλλευσης όπως φαίνεται στην εικόνα 6. (orykta.gr), (Εξαδάκτυλος & Σαράτσης)

2.3 Τρόπος εξόρυξης

Οι επιφανειακές εκμεταλλεύσεις σε σχετικά μαλακά πετρώματα, όπως είναι ο λιγνίτης, γίνεται με συνδυασμό καδοφόρων εκσκαφών και ταινιοδρόμων, με εκσκαφείς τύπου dragline, μηχανικά πτύα και φορτηγά οχήματα.

Σε σκληρά πετρώματα, οι εκμεταλλεύσεις, γίνονται με την βοήθεια εκρηκτικών υλών. Σε βαθμίδες ορύσσονται διατρήματα, με την βοήθεια ειδικών μηχανημάτων (διατρητικά)(εικόνα 6), στα οποία τοποθετείται εκρηκτική ύλη. Η τεχνολογία των εκρηκτικών υλών έχει αναπτυχθεί σε τέτοιο βαθμό ώστε σε συνδυασμό με τις προσπάθειες της μεταλλευτικής βιομηχανίας, των

κατασκευαστών καθώς και της πολιτείας, έχει βελτιωθεί σημαντικά το επίπεδο ασφάλειας στους εξορυκτικούς χώρους, τουλάχιστον όσο αφορά τη χρήση τους. Η αποθήκευση, η μεταφορά και η χρήση των εκρηκτικών υλών θα πρέπει να πραγματοποιείται σύμφωνα με τον ΚΜΛΕ για λόγους ασφαλείας των εργαζομένων. Μετά την ανατίναξη το θρυμματισμένο μέταλλευμα φορτώνεται, με τη βοήθεια φορτωτών, σε φορτηγά που μεταφέρουν το μέταλλευμα σε μία χοάνη (η οποία βρίσκεται εντός ή εκτός του λατομικού χώρου), από την οποία το μέταλλευμα ξεκινάει την περαιτέρω επεξεργασία (θραύση, λειοτρίβηση, εμπλουτισμό) μέχρι να δημιουργηθεί το προσδοκώμενο υλικό. Τα άγονα μεταφέρονται σε σωρούς απορριμμάτων. Η επιλογή του μηχανικού εξοπλισμού εξαρτάται κυρίως από την σκληρότητα των πετρωμάτων και του κοιτάσματος και από τον επιθυμητό ρυθμό παραγωγής. (orykta.gr), (Εξαδάκτυλος & Σαράτσης)



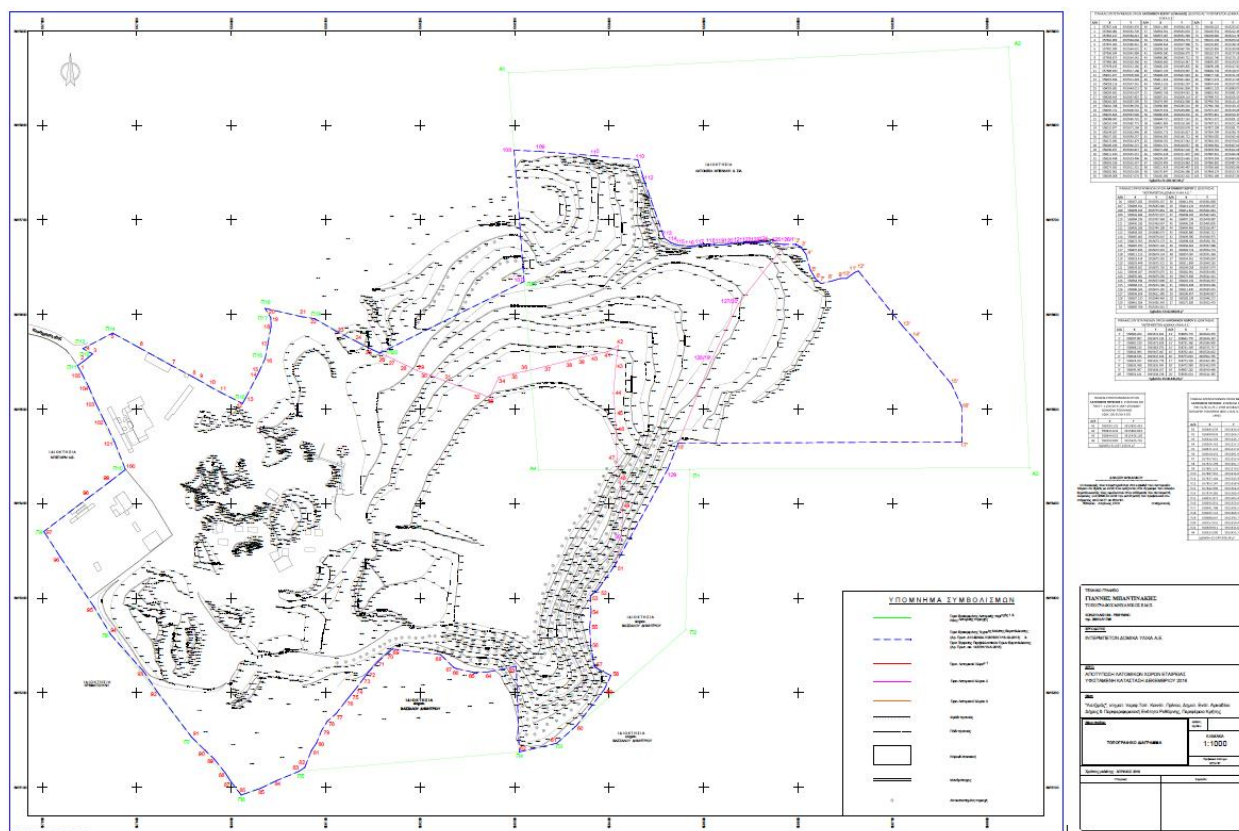
Εικόνα 6. Μηχάνημα όρυξης διατρημάτων επιφανειακής εκμετάλλευσης (equipifieds.com)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Σχεδιασμός επέκτασης εκμετάλλευσης

Η διαδικασία του σχεδιασμού της επέκτασης της υπάρχουσας εκμετάλλευσης στο λατομείο έγινε με την βοήθεια του σχεδιαστικού προγράμματος Civil 3D 2018 metric και χωρίστηκε σε δυο μέρη. Στο πρώτο μέρος εισήχθησαν όλα τα δεδομένα στο πρόγραμμα ενώ στο δεύτερο έγιναν οι ουσιαστικές διαδικασίες για την επέκταση.

3.1 Εισαγωγή δεδομένων στο Civil 3D

Τα δεδομένα που δόθηκαν από τον χώρο του λατομείου ήταν ένας τοπογραφικός χάρτης της περιοχής, ο οποίος ήταν σε μορφή pdf και δισδιάστατος (εικόνα 7).













Εικόνα 7. Τοπογραφικός χάρτης λατομείου

Ο τοπογραφικός αυτός χάρτης περιέχει πληροφορίες (Υπόμνημα χάρτη - εικόνα 8) για τα όρια του λατομικού χάρτη, στα οποία υπάρχει η δικαιοδοσία για εκμετάλλευση (μπλε γραμμή), για τα

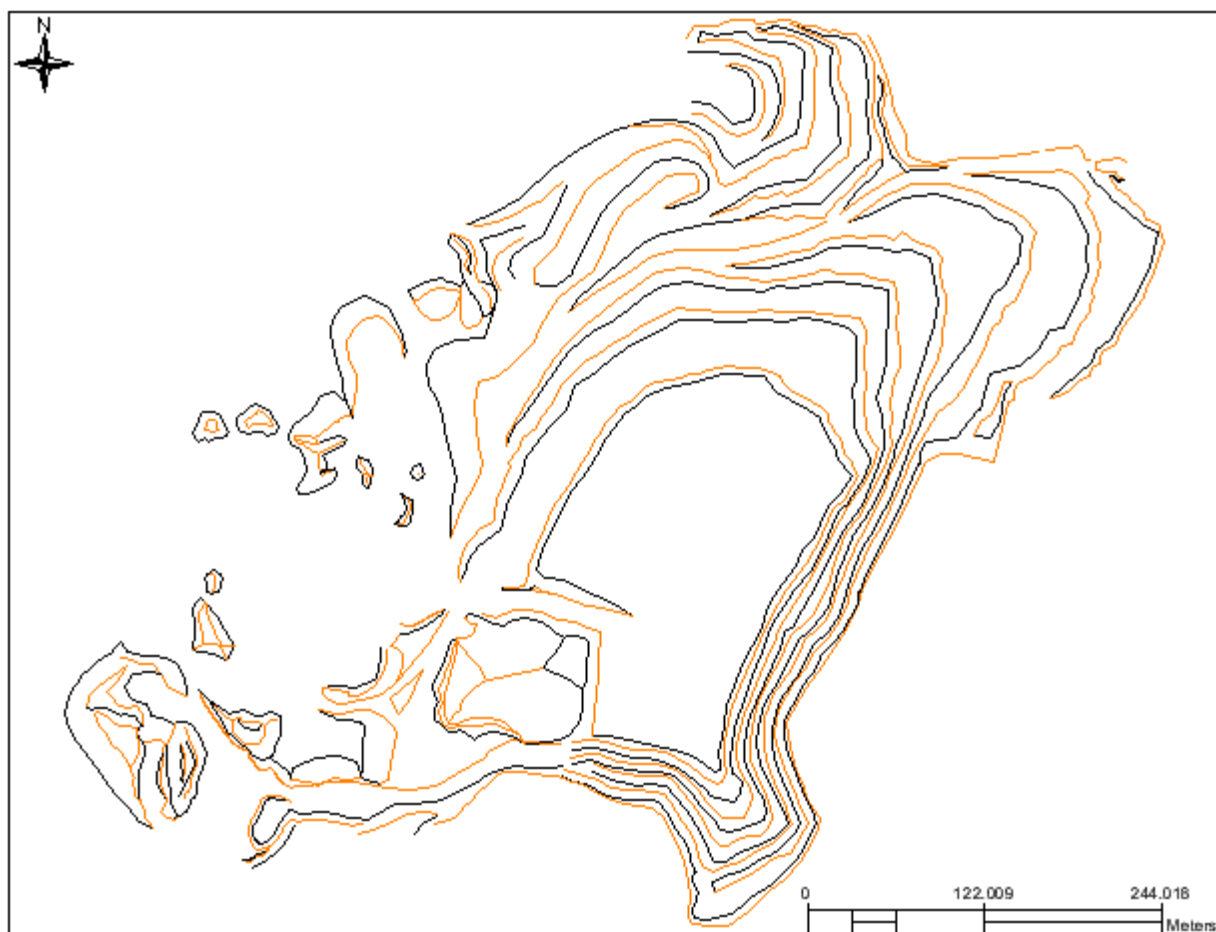
φρύδια και τα πόδια των πρανών, για τα κτήρια-κατασκευές που βρίσκονται στο λατομείο, για τους μαντρότοιχους, για την αποκατεστημένη περιοχή και για τις ακριβείς συντεταγμένες της περιοχής.

ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΩΝ

	Όριο Εγκεκριμένης Λατομικής περιοχής 1 & Νέας Λατομικής περιοχής
	Όριο Εγκεκριμένης Τεχνικής Μελέτης Εκμετάλλευσης (Αρ. Πρωτ. Δ10-Β/Φ24.7/2878/517/15-02-2013) & Όριο Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων Εκμετάλλευσης (Αρ. Πρωτ. οικ. 148791/15-5-2015)
	Όριο Λατομικού Χώρου 1
	Όριο Λατομικού Χώρου 2
	Όριο Λατομικού Χώρου 3
	Φρύδι πρανού
	Πόδι πρανού
	Κτίριο/Κατασκευή
	Μανδρότοιχος
	Αποκατεστημένη περιοχή

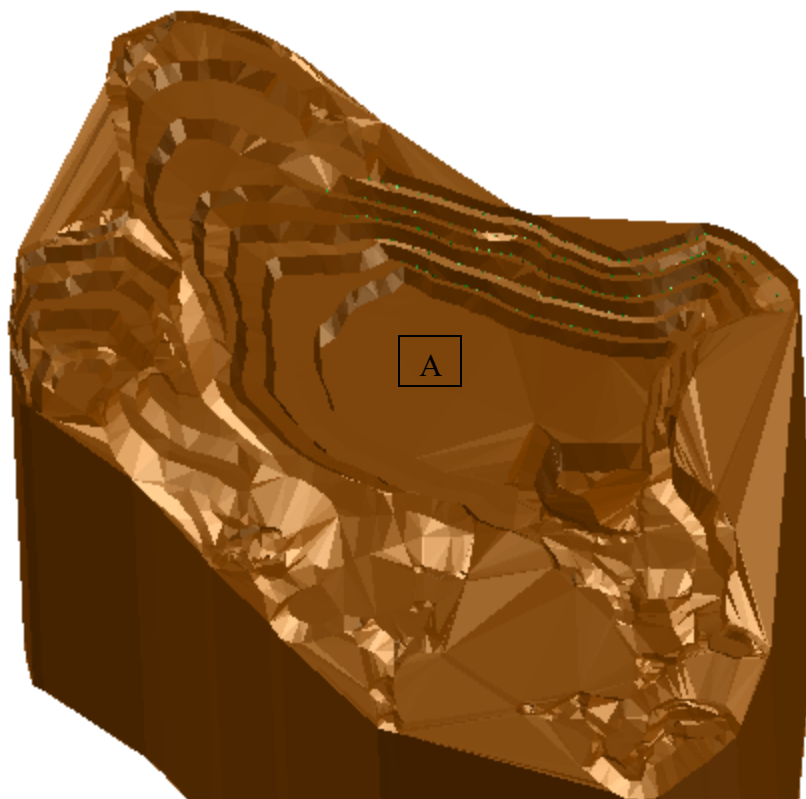
Εικόνα 8. Υπόμνημα τοπογραφικού χάρτη

Αρχικά ο τοπογραφικός χάρτης εισήχθηκε στο Autodesk AutoCAD Civil 3D 2018 στις πραγματικές συντεταγμένες και για διευκόλυνση της συνέχειας της διαδικασίας καταχωρήθηκε κάθε διαφορετική ομάδα στοιχείων του χάρτη σε διαφορετικό «στρώμα» (layer) και δόθηκαν διαφορετικά χρώματα στα πόδια (μαύρο) και στα φρύδια του λατομείου (πορτοκαλί) (εικόνα 9).



Εικόνα 9. Φρύδια και πόδια λατομείου (πορτοκαλί και μαύρο χρώμα αντίστοιχα) (κάτοψη λατομείου)

Στη συνέχεια δόθηκαν τα αντίστοιχα υψόμετρα σε κάθε γραμμή (πόδι ή φρύδι). Κατά μήκος των περισσότερων γραμμών υπήρχε σχετικά το ίδιο υψόμετρο (δόθηκε για υψόμετρο μια μέση τιμή), όμως υπήρχαν και άλλες οι οποίες είχαν μεγάλη απόκλιση. Στη θέση αυτών χρησιμοποιήθηκαν άλλες γραμμές με διαφορετικό υψόμετρο σε κάθε σημείο τους, για να υπάρξει μια αντικειμενική τρισδιάστατη αναπαράσταση της υπάρχουσας περιοχής. Τέλος από τις γραμμές δημιουργήθηκε η αντίστοιχη επιφάνεια και το στερεό της περιοχής (εικόνα 10).



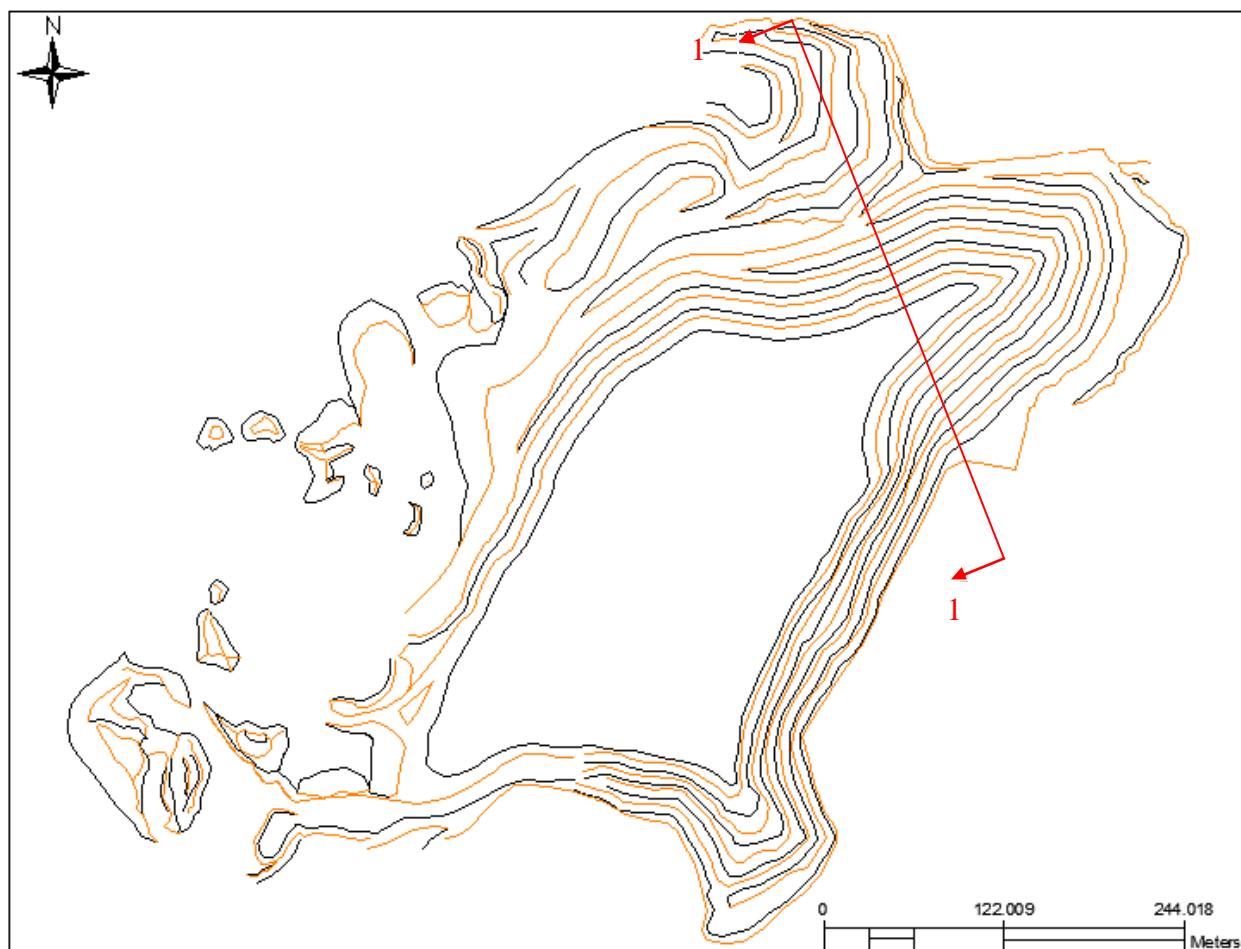
Εικόνα 10. Τρισδιάστατη απεικόνιση της περιοχής του λατομείου.

3.2 Διαδικασία επέκτασης εκμετάλλευσης

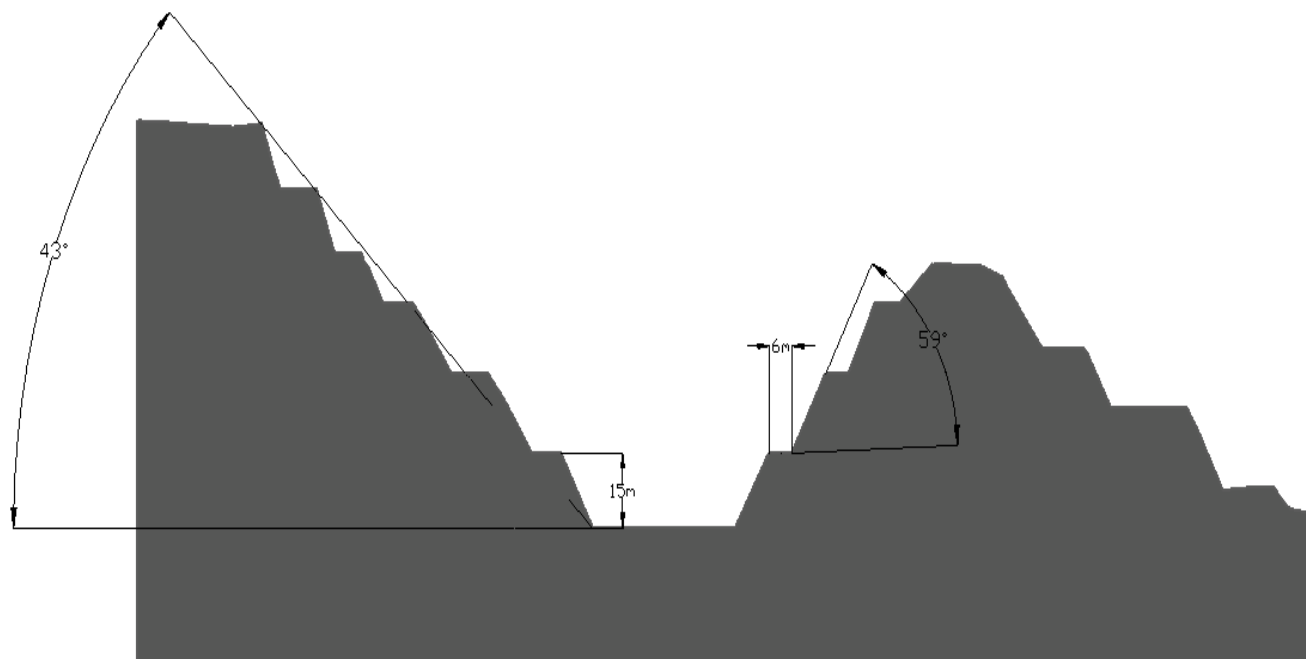
Η κεντρική πλατεία του λατομείου (σημείο Α εικόνας 10) έχει υψόμετρο +92 m από την θάλασσα και η εκμετάλλευση θα πρέπει να φτάσει στα +25 m από τη θάλασσα. Η επέκταση της εκμετάλλευσης σχεδιάστηκε μόνο στην περιοχή όπου έχουν ξεκινήσει ήδη οι εργασίες εξόρυξης και όχι σε όλο το εύρος του λατομικού χώρου, αφού υπήρχαν τοπογραφικά δεδομένα μόνο για εκείνη την περιοχή. Το πρώτο βήμα, για να σχεδιαστεί η εν λόγω επέκταση, ήταν να εξοφληθούν οι υπάρχουσες βαθμίδες, για να μεγαλώσει η έκταση της κεντρικής πλατείας του λατομείου και για να γίνει εκμετάλλευση όσο το δυνατόν περισσότερου υλικού, στις οποίες πραγματοποιούνται έργα (ενδιάμεσες βαθμίδες), μέχρι το επιτρεπτό σημείο που ορίζει ο ΚΜΛΕ.

Σύμφωνα με το άρθρο 83 του ΚΜΛΕ: «κάθε εκσκαφή, για την ασφαλή και ορθολογική εκτέλεση της εργασίας, πρέπει να υποδιαιρείται σε **βαθμίδες ύψους**, το πολύ, 15 m. Η **γωνία πρανούς της εκμετάλλευσης** για συνεκτικά και υγιή πετρώματα, δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 60°. Κατ' εξαίρεση, η γωνία αυτή μπορεί να αυξάνεται μέχρι τις 70°, εφόσον εφαρμόζονται ειδικά μέτρα ή μέθοδοι (π.χ. πρότμηση απαλή εξόρυξη κ.λ.π.). Ο καθορισμός του **πλάτους βαθμίδας** γίνεται με βάση το κριτήριο της ασφαλούς και ορθολογικής λειτουργίας του μηχανικού εξοπλισμού που απασχολείται. Στις ενδιάμεσες φάσεις εργασίας, το πιο πάνω πλάτος δεν μπορεί να είναι μικρότερο, για την περίπτωση της απασχόλησης τροχοφόρων μηχανημάτων, από 12 m, ενώ στις υπόλοιπες περιπτώσεις, από 6 m.»

Λαμβάνοντας υπόψη τον βαθμό τεκτονισμού του ασβεστολίθου και όσα ορίζει ο ΚΜΛΕ, οι βαθμίδες που δημιουργήθηκαν μετά την εξόφλησή τους (εικόνα 11 και 12) έχουν ύψος 15m, πλάτος 6m (επιλέχθηκε το ελάχιστο πλάτος για όλες τις βαθμίδες αφού δεν θα κινούνται οχήματα σε αυτές και θα γίνει δεντροφύτευση για περιβαλλοντική αποκατάσταση της περιοχής) και γωνία 60°.

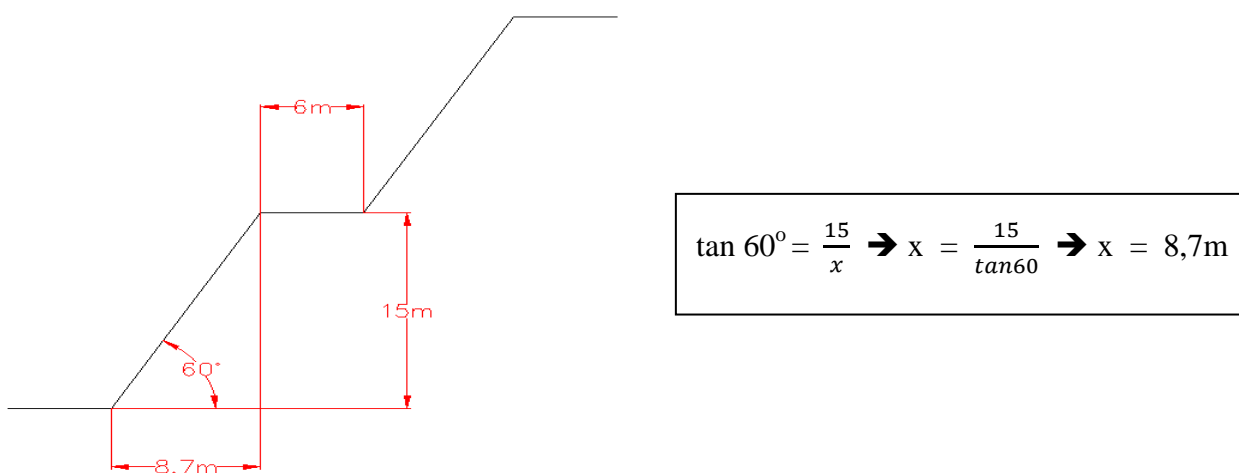


Εικόνα 11. Εξόφληση βαθμίδων ενδιάμεσης φάσης



Εικόνα 12. Διαστάσεις γεωμετρικών στοιχείων τομής 1-1, όπως αυτή ορίζεται στην εικόνα 12

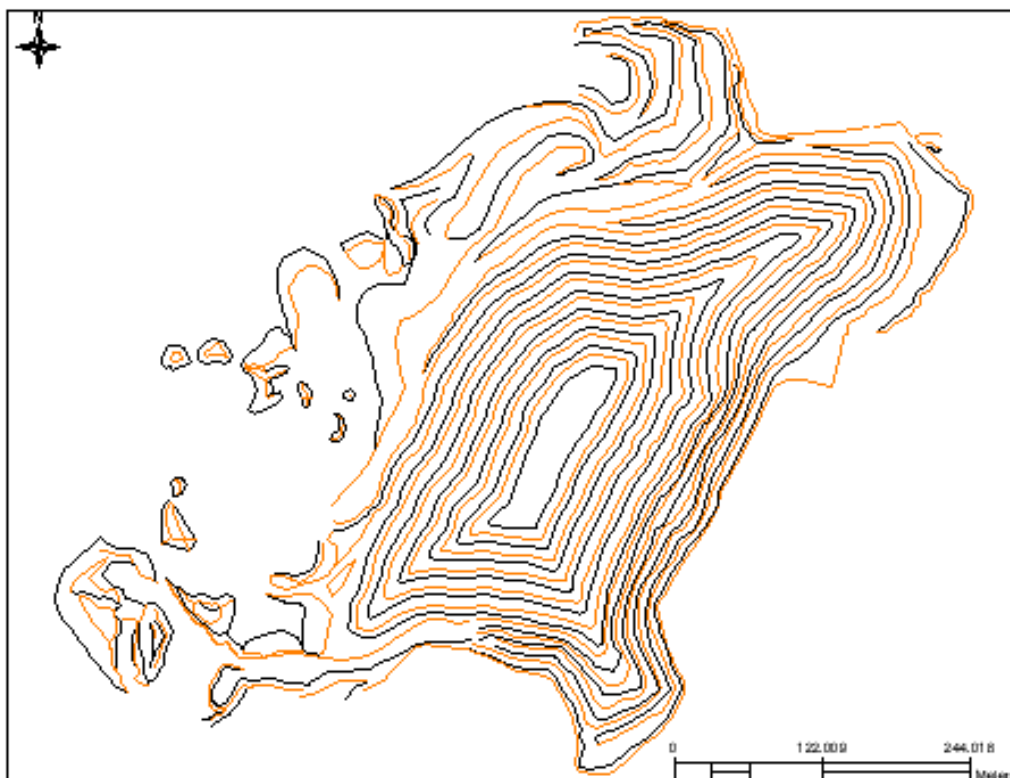
Η οριζόντια απόσταση ανάμεσα σε ένα φρύδι και πόδι θα πρέπει να είναι 8,7 m για να δημιουργηθεί κλίση βαθμίδας ίση με 60° (εικόνα 13).



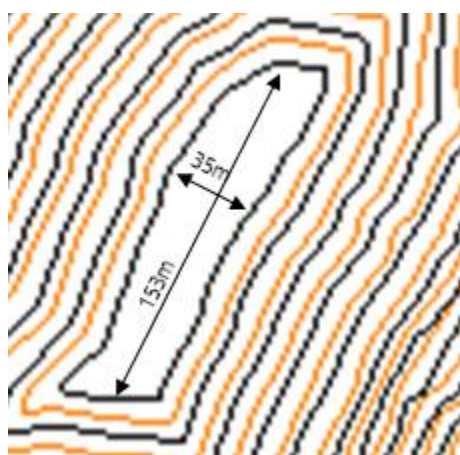
Εικόνα 13. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά βαθμίδας για δημιουργία κλίσης 60°

Έτσι αφήνοντας απόσταση 8,7m από ένα φρύδι βρίσκεται η σωστή θέση του ποδιού που ακολουθεί. Αντίστοιχα, αφήνοντας απόσταση 6m από ένα πόδι βρίσκεται η σωστή θέση του φρυδιού που ακολουθεί. Στη συνέχεια δόθηκαν σε κάθε πόδι και φρύδι τα αντίστοιχα ύψη.

Επαναλαμβάνοντας αυτή την διαδικασία δημιουργήθηκε η τελική πλατεία του λατομείου στο απόλυτο υψόμετρο των +25m το εμβαδό της οποίας είναι 5.355 m^2 (εικόνα 14 και 15).

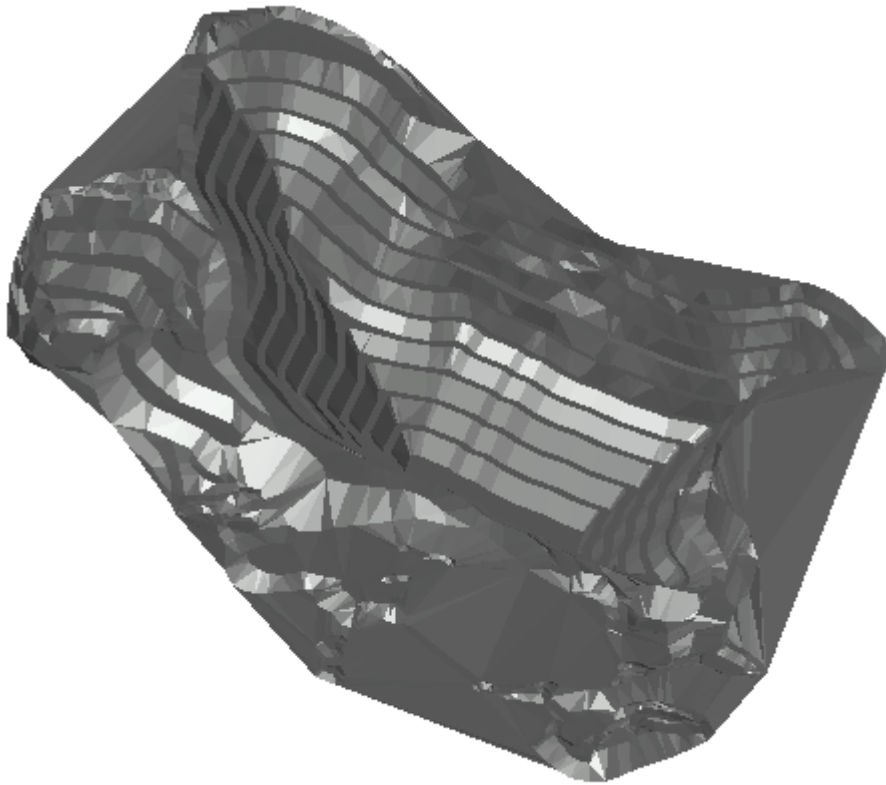


Εικόνα 14. Κάτοψη τελικής φάσης



Εικόνα 15. Διαστάσεις πλατείας τελικής φάσης

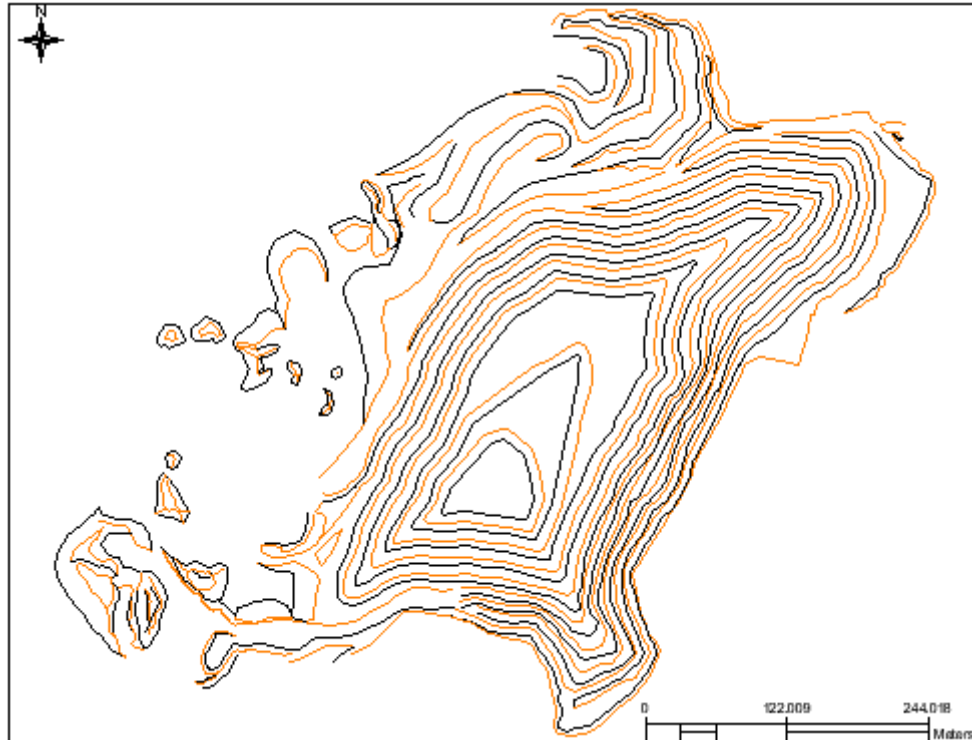
Στη συνέχεια από την τελική φάση κατασκευάστηκε στο Civil η αντίστοιχη επιφάνεια (εικόνα 16) με την βοήθεια της οποίας κατασκευάστηκε και το αντίστοιχο στερεό της περιοχής.



Εικόνα 16. Επιφάνεια τελικής φάσης.

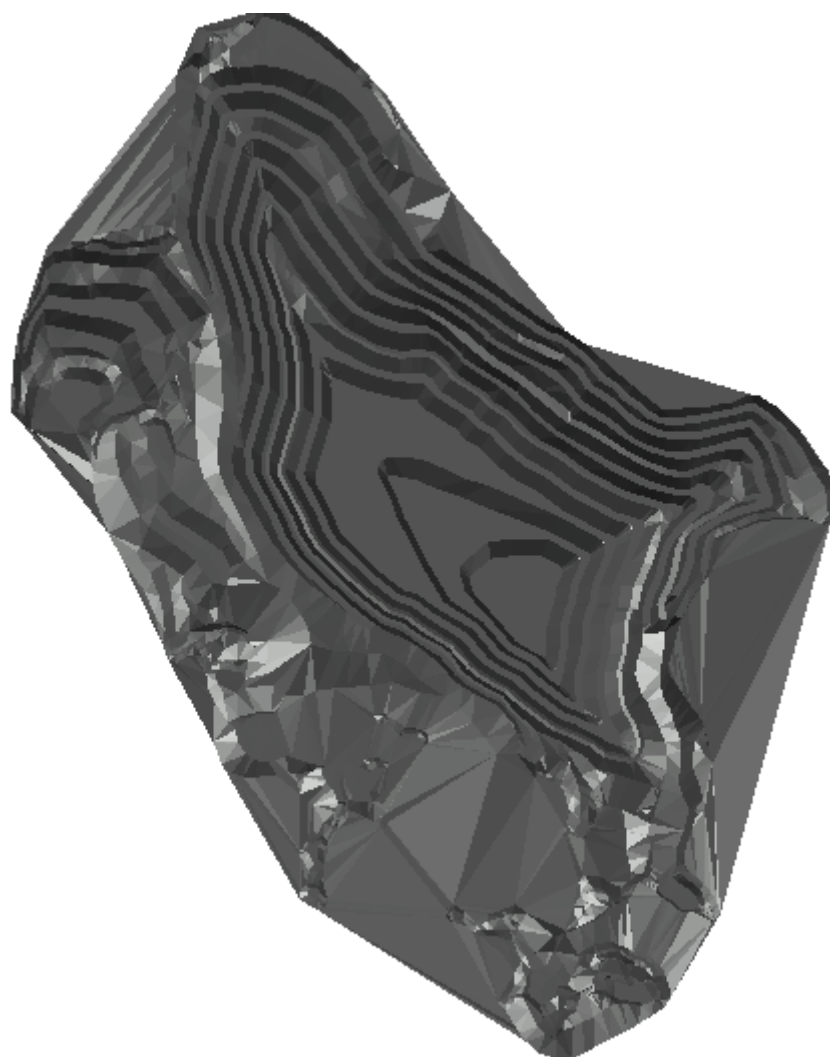
3.2.1 Παραγωγική φάση

Η τελική φάση, όπως σχεδιάστηκε, αντιπροσωπεύει μια εικόνα για το πώς θα είναι η μορφή του λατομείου μετά το πέρας της εκμετάλλευσης της περιοχής (δεν περιέχει ακόμα τους δρόμους προσπέλασης αλλά βοηθάει στη συνέχεια για τον σωστό σχεδιασμό αυτών). Στην πράξη, όμως, για να σχηματιστεί αυτή η τελική φάση υπάρχουν πολλές ενδιάμεσες φάσεις από τις οποίες περνά το λατομείο, μια εκ των οποίων θα μπορούσε να είναι αυτή της εικόνας 17 και 18.



Εικόνα 17. Κάτοψη παραγωγικής φάσης.

Κατά την παραγωγική φάση υπάρχουν βαθμίδες που δεν έχουν εξοφληθεί. Οι βαθμίδες αυτές έχουν μεγαλύτερο εμβαδό από τις εξοφλημένες για λόγους ασφαλείας και διευκόλυνσης των εργασιών που εκτελούνται. Στη συγκεκριμένη περίπτωση έχει αφεθεί μια απόσταση 40 m κατά μέσο όρο (αντί για 6m) για να μπορούν όλα τα μηχανήματα να κάνουν με σχετική άνεση τις εργασίες τους και να υπάρχει και μεγαλύτερη ασφάλεια και για αυτά (για την μετακίνησή τους) αλλά και για τους εργαζόμενους που βρίσκονται εκεί.



Εικόνα 18. Επιφάνεια παραγωγικής φάσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Σχεδιασμός οδών προσπέλασης

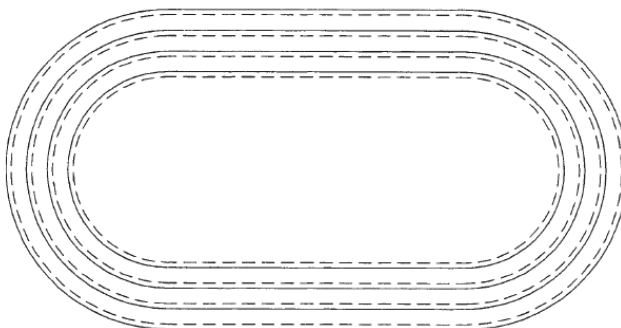
Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλυθεί η διαδικασία που ακολουθήθηκε για να κατασκευαστούν οι δρόμοι προσπέλασης του λατομείου. Κατασκευάστηκαν συνολικά δυο ειδών δρόμοι οι οποίοι διαφέρουν ως προς την κλίση τους. Ο ένας έχει κλίση 8% και ο δεύτερος 10%. Σκοπός της διπλωματικής είναι να σχεδιαστεί ο δρόμος ο οποίος θα έχει το μεγαλύτερο οικονομικό όφελος στο λατομείο και γι αυτό εξετάστηκε η περίπτωση δρόμου 10% κλίσης (μέγιστη κλίση δρόμου σε λατομείο) και ένας μικρότερης κλίσης (8%). Υπήρχε, ακόμα, η πρόθεση για τον σχεδιασμό ενός δρόμου ακόμα μικρότερης κλίσης (5%) αλλά ο σχεδιασμός του δεν ήταν εφικτός μέσα σε αυτά τα όρια του λατομείου, αφού όσο μειώνεται η κλίση του δρόμου αυξάνεται το μήκος του, γι αυτό το λόγο αναλύθηκε μόνο θεωρητικά η περίπτωση του.

4.1 Διαφορετικά είδη οδών

Οι οδοί προσπέλασης για να δημιουργηθούν σωστά και να βοηθούν στο μέγιστο στη λειτουργία του λατομείου θα πρέπει να σχεδιάζονται-δημιουργούνται σύμφωνα με τον ΚΜΛΕ, την τοποθεσία και τις ανάγκες του λατομείου. Η τελική τους μορφή επηρεάζεται από τις γεωμορφολογικές ιδιαιτερότητες της κάθε περιοχής και σχεδιάζεται συνήθως με 3 τεχνικές οι οποίες χρησιμοποιούνται είτε καθεμία ξεχωριστά ή ένας συνδυασμός αυτών. Οι 3 τεχνικές είναι:

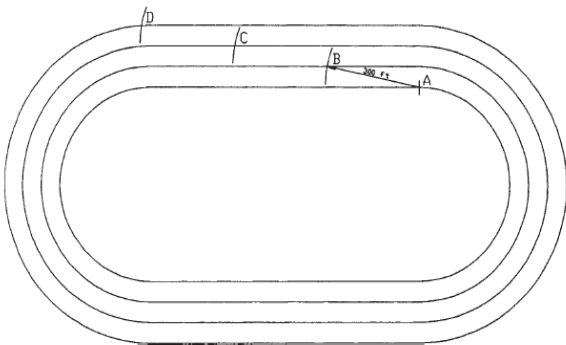
- Οδός σταθερής κατεύθυνσης σε πρანές εντός λατομείου
- Οδός σταθερής κατεύθυνσης σε πρανές εκτός λατομείου
- Οδός με αναστροφή κατεύθυνσης (στροφή 180°)

4.1.1 Οδός σταθερής κατεύθυνσης σε πρανές εντός λατομείου:

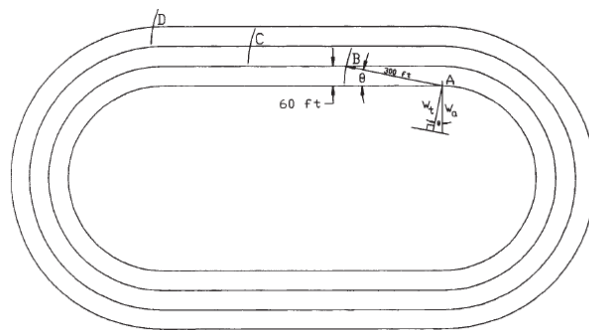


Εικόνα 19. Τέσσερις βαθμίδες λατομείου με πόδια (διακεκομμένες γραμμές) και φρύδια (συνεχόμενες γραμμές) (Hustrulid, Kuchta, & Martin, 2013)

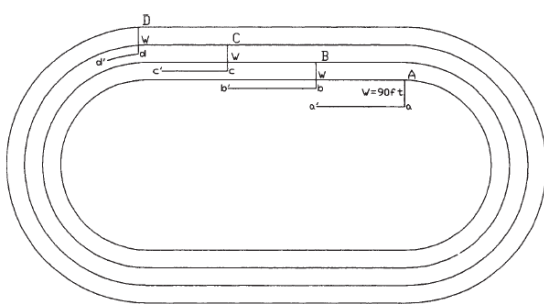
Για την κατασκευή μιας οδού προσπέλασης σταθερής κατεύθυνσης σε ένα από τα πρανή εντός του λατομείου (εικόνα 20) αρχικά επιλέγεται από το βάθος του λατομείου το σημείο (σημείο A εικόνας 20 (α)) που θα ξεκινάει ο δρόμος.



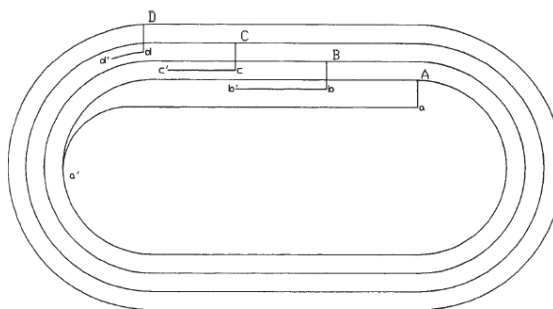
(α)



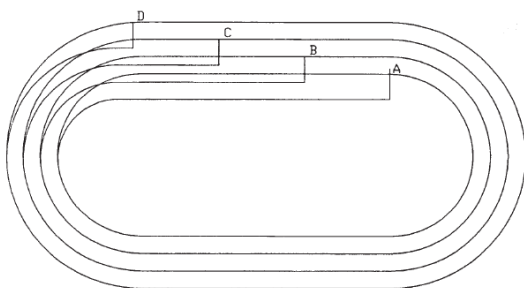
(β)



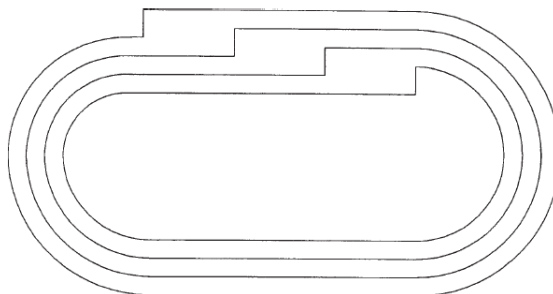
(γ)



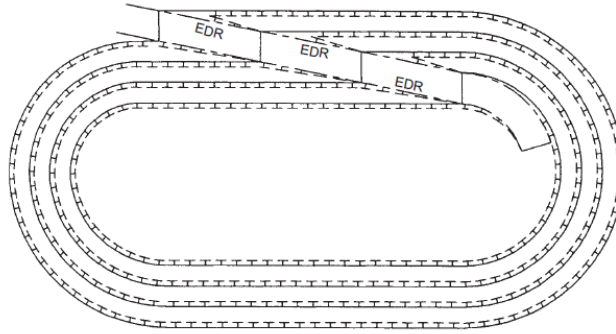
(δ)



(ε)



(στ)



(ζ)

Εικόνα 20. Οδός σταθερής κατεύθυνσης σε πρανές εντός λατομείου (Hustrulid, Kuchta, & Martin, 2013)

Το σημείο Α βρίσκεται πάνω στο κατώτερο φρύδι και ενώνεται με το αμέσως επόμενο ανώτερο φρύδι. Η απόστασή τους (ευθεία γραμμή) υπολογίζεται από τον τύπο:

$$D = \frac{100 \cdot H}{G (\%)} \quad [4.1.1.1]$$

Όπου: H = ύψος βαθμίδας

G(%) = κλίση δρόμου

Με τον ίδιο τρόπο βρίσκονται όλα τα σημεία μέχρι το ανώτερο φρύδι. Η απόσταση αυτή δεν αντιστοιχεί και στην πραγματική απόσταση, επειδή στο πεδίο θα υπάρχει και η κλίση. Στη συνέχεια υπολογίζεται η γωνία «θ» (εικόνα 20 (β)) ανάμεσα στο W_t (πραγματικό πάχος της ράμπας που θα δημιουργηθεί – κάθετο στη γραμμή Α-Β) και στο W_a (το πάχος της ράμπας που θέλουμε να δημιουργηθεί – κάθετο στο φρύδι).

$$\theta = \sin^{-1} * \frac{(\text{απόσταση δυο διαδοχικών φρυδιών})}{(\text{απόσταση Α-Β})} \quad [4.1.1.2]$$

Το επόμενο βήμα είναι να υπολογιστεί και η απόσταση W_a :

$$W_a = \frac{W_t}{\cos \theta} \quad [4.1.1.3]$$

Για πρακτικούς λόγους και επειδή η διαφορά μεταξύ του W_a και W_t είναι μικρή είναι αποδεκτό ότι:

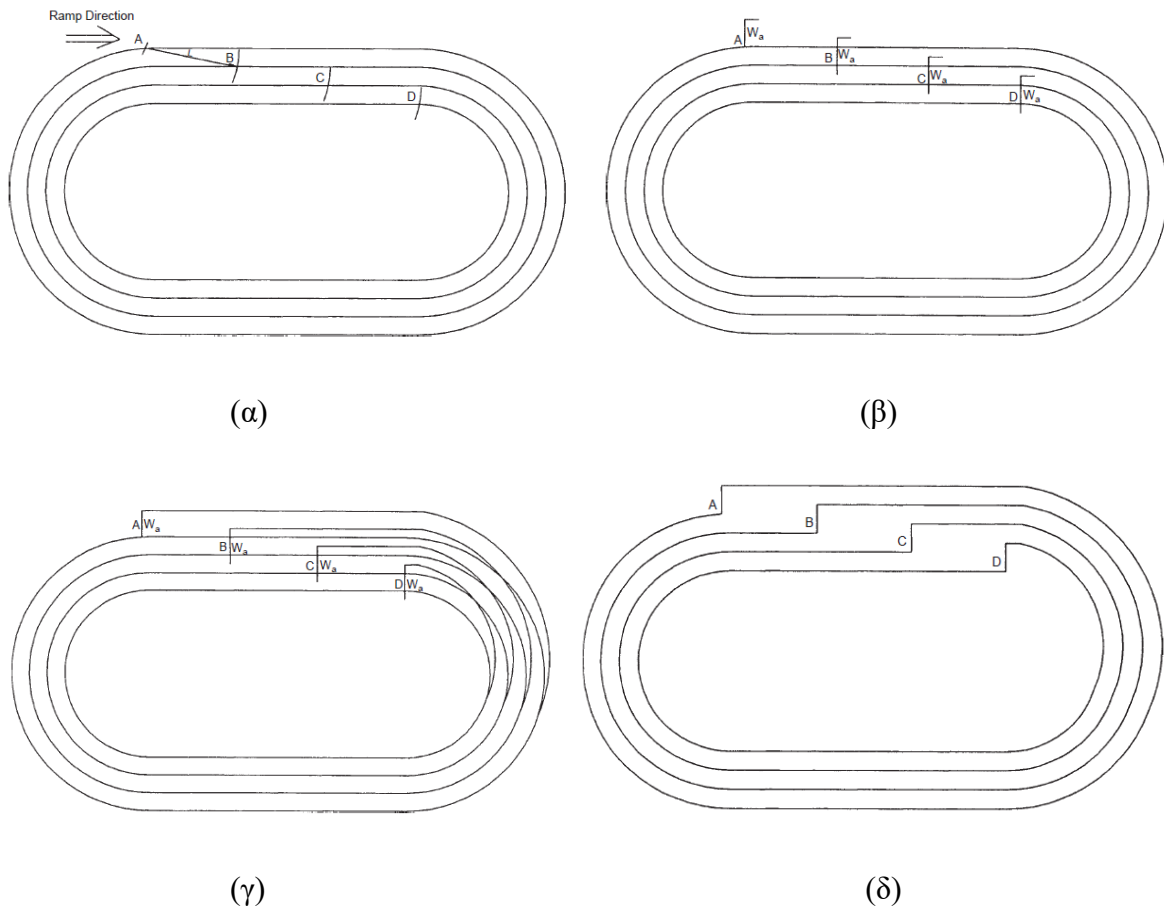
$$W_a \approx W_t = W$$

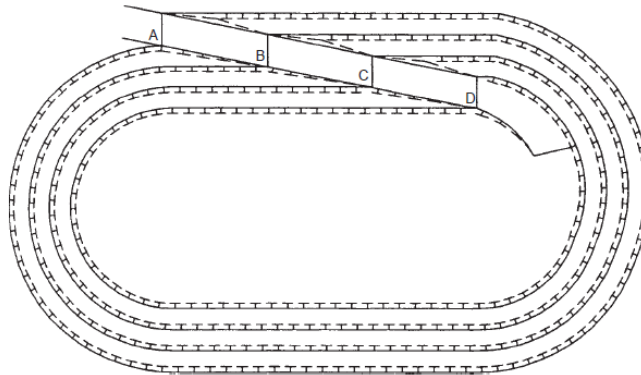
[4.1.1.4]

Εν συνεχεία, από κάθε σημείο που έχει καθοριστεί σε κάθε φρύδι αντίστοιχα φέρεται μια κάθετη γραμμή πάχους W (εικόνα 20 (γ)), στο σημείο που τελειώνει η κάθε γραμμή ενώνεται με το αντίστοιχο φρύδι (εικόνες 20 (δ) και (ε)) και για να ξανά σχηματιστεί η εικόνα του λατομείου με τον δρόμο εντός του σβήνονται οι ενδιάμεσες γραμμές (εικόνα 20 (στ)). Η ίδια διαδικασία των φρυδιών ακολουθείται και για τα αντίστοιχα πόδια και έτσι δημιουργείται τελικά η ζητούμενη ράμπα (εικόνα 20 (ζ)).

4.1.2 Οδός σταθερής κατεύθυνσης σε πρανές εκτός του λατομείου

Για τον σχεδιασμό μιας κεντρικής οδού σταθερής κατεύθυνσης εκτός του λατομείου ακολουθείται ακριβώς η ίδια διαδικασία με αυτή της ράμπας εντός του λατομείου με μοναδική διαφορά ότι το πάχος W της ράμπας σχεδιάζεται προς τα έξω και έπειτα ενώνεται εξωτερικά με αντίστοιχα φρύδια του λατομείου (εικόνες 21 (β) και (γ)).





(ε)

Εικόνα 21. Οδός σταθερής κατεύθυνσης σε πρηνές εκτός λατομείου (Hustrulid, Kuchta, & Martin, 2013)

4.1.3 Οδός με αναστροφή κατεύθυνσης (στροφή 180°)

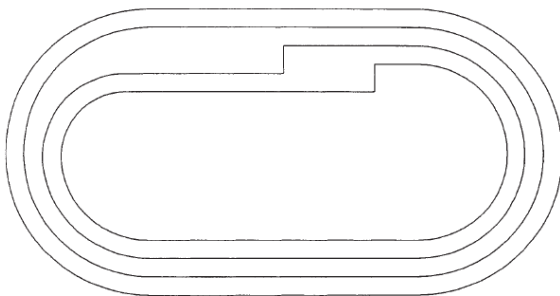
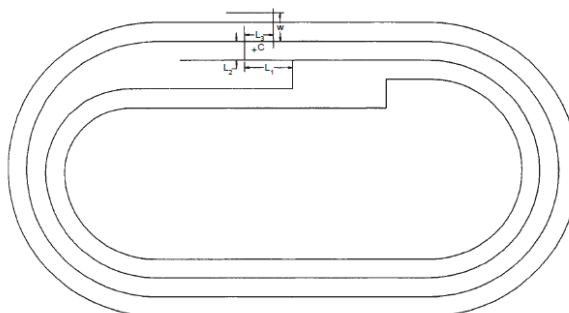
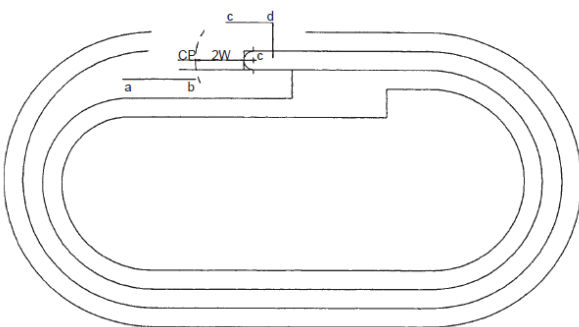
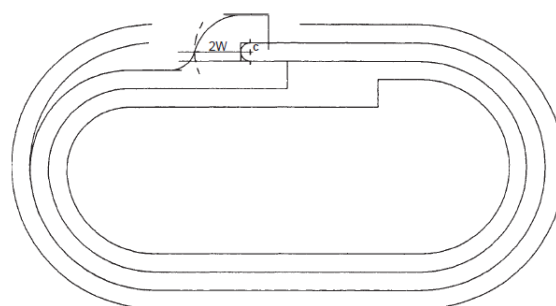
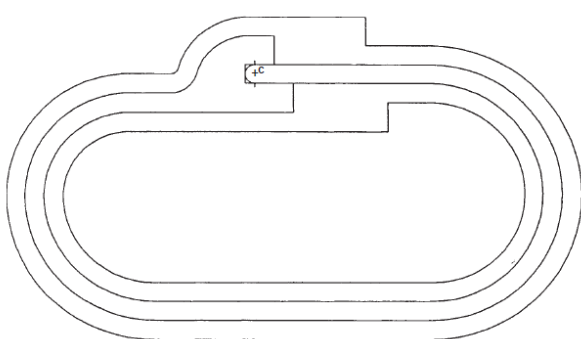
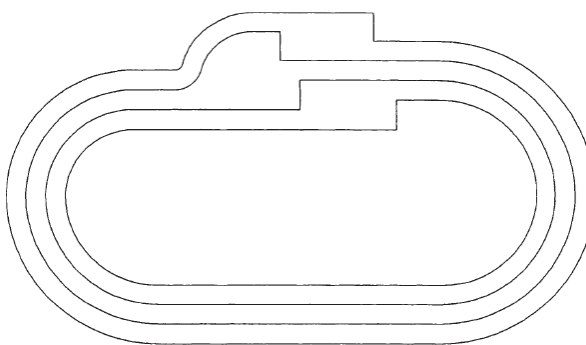
Οι απλές οδοί σταθερής κατεύθυνσης χρησιμοποιούνται σε κοιτάσματα μεγάλης έκτασης και μικρού βάθους. Σε κοιτάσματα μικρής έκτασης και κάποιου βάθους διανοίγονται οδοί με αναστροφή κατεύθυνσης. Η διαδικασία για τον σχεδιασμό της ξεκινάει αφού πρώτα οριστεί ένα κεντρικό σημείο C (ξεκινώντας από κάτω προς τα πάνω) γύρω από το οποίο θα γίνει η στροφή (εικόνα 22 (β)). Στην διαδικασία αυτή εμπλέκονται και τρεις αποστάσεις L1, L2, L3. Η απόσταση L2 ισούται με την απόσταση ανάμεσα σε δυο διαδοχικά φρύδια ενώ οι αποστάσεις L1 και L2 θα πρέπει να επιλέγονται έτσι ώστε να ικανοποιούν τη σχέση:

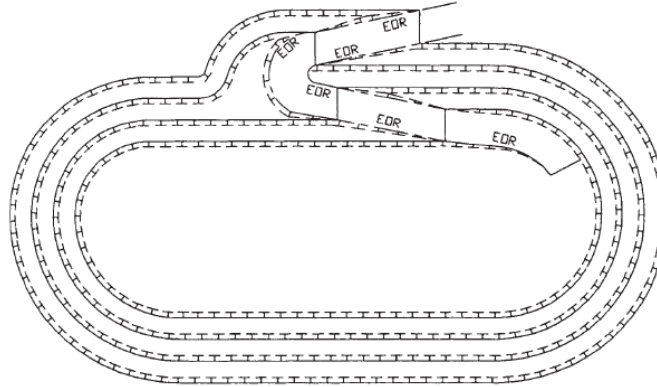
$$L_1 + L_3 = R - L_2 \quad [4.1.3.1]$$

Όπου: R= η απόσταση D (από εξίσωση 4.1.1.1)

$$C = L_2/2$$

Στη συνέχεια με κέντρο το σημείο C και ακτίνα ίση με το διπλάσιο πάχος του δρόμου (2W) σχεδιάζεται ένα νοητό τόξο το οποίο δείχνει το ίχνος του εξωτερικού ορίου του δρόμου (εικόνα 22 (γ)). Τέλος ενώνοντας το όριο του δρόμου με τα αντίστοιχα φρύδια (εικόνες 22 (δ), (ε) και (στ)) δημιουργείται η απαιτούμενη στροφή (εικόνα 22 (ζ)).


$$(\alpha)$$

$$(\beta)$$

$$(\gamma)$$
 (δ) 
$$(\mathfrak{E})$$
 $(\sigma\tau)$



(ζ)

Εικόνα 22. Οδός με αναστροφή κατεύθυνσης (στροφή 180 μοιρών) (Hustrulid, Kuchta, & Martin, 2013)

4.1.4 Τοποθεσία και γεωμετρικά χαρακτηριστικά οδών προσπέλασης

Στα πλαίσια του συγκεκριμένου λατομείου επιλέχθηκε να σχεδιαστεί ο δρόμος εντός του λατομείου τελειώνοντας με μια ράμπα η οποία συνδέει το ψηλότερο φρύδι με την τελική πλατεία του λατομείου. Η διαφορά με την διαδικασία που αναλύεται στην παράγραφο 4.1.1 είναι ότι ο δρόμος σχεδιάστηκε να ξεκινάει από το σημείο που βρίσκεται ο σπαστήρας και να καταλήγει στο πιο βαθύ σημείο του λατομείου (επιλέχθηκε πρώτα σημείο στο ανώτερο φρύδι και στο τέλος στο κατώτερο) για να πραγματοποιούν τα φορτηγά (dumper) όσο το δυνατόν μικρότερη διαδρομή από τα σημεία φόρτωσης μέχρι τα σημεία που εναποτίθεται το υλικό (σπαστήρας). Ακολουθώντας την υπόλοιπη διαδικασία ως έχει, για πάχος δρόμου ίσο με 12 m και για ύψος βαθμίδας 15m, υπολογίστηκε η οριζόντια απόσταση (D) που διανύει ένα χωματουργικό αυτοκίνητο για διαφορετική κλίση δρόμου κάθε φορά:

Για κλίση δρόμου 5%:

$$D = \frac{100 \cdot H}{G (\%)} = \frac{100 \cdot 15m}{5} = 300m \quad [4.1.4.1]$$

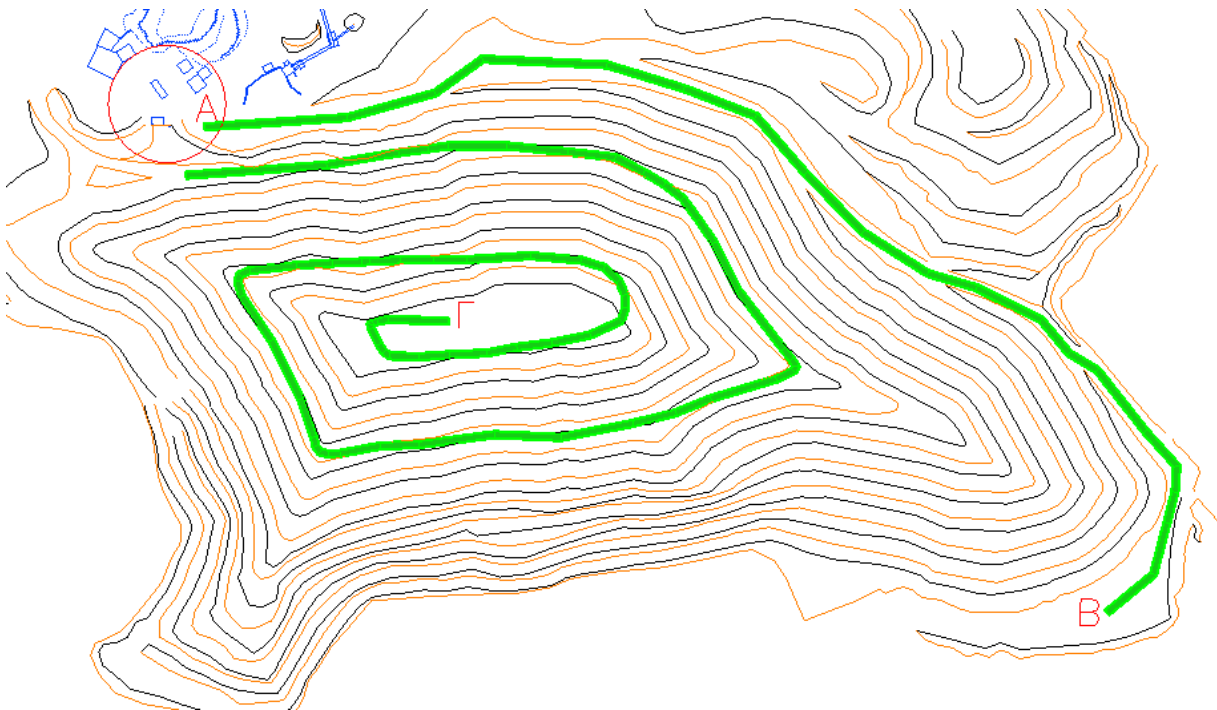
Για κλίση δρόμου 8%:

$$D = \frac{100 \cdot H}{G (\%)} = \frac{100 \cdot 15m}{8} = 187,5m \quad [4.1.4.2]$$

Για κλίση δρόμου 10%:

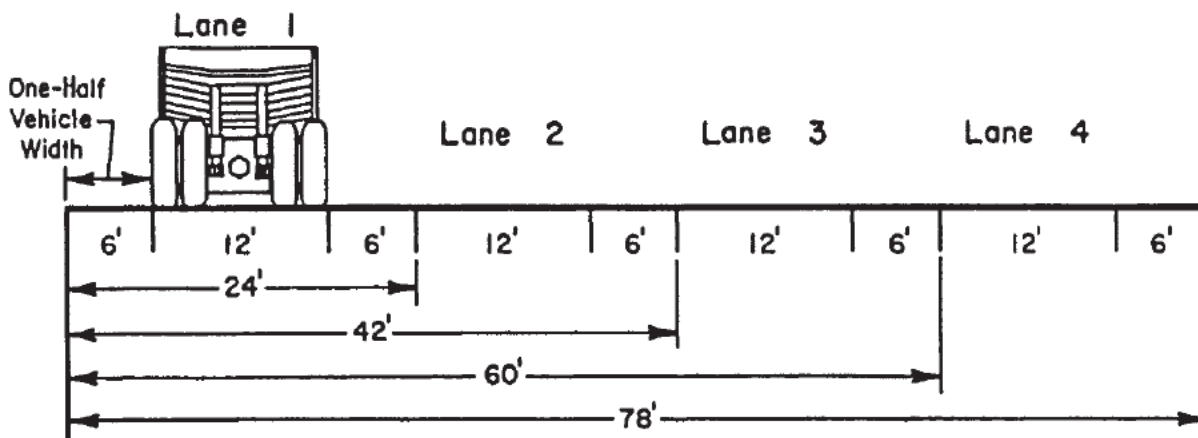
$$D = \frac{100 \cdot H}{G (\%)} = \frac{100 \cdot 15\text{m}}{10} = 150\text{m} \quad [4.1.4.3]$$

Στην εικόνα 23 παρατηρείται μια διαδρομή Α-Β (πρώτη πράσινη γραμμή) κατά την οποία έχει δημιουργηθεί ήδη ένας πρώτος δρόμος, ο οποίος συνδέει το σημείο όπου βρίσκεται ο σπαστήρας (σημείο Α) με την υψηλότερη βαθμίδα του λατομείου. Επίσης παρατηρείται και μια δεύτερη πράσινη γραμμή (Α-Γ) η οποία αντιπροσωπεύει το κεντρικό ίχνος του δρόμου που θα σχεδιαστεί.

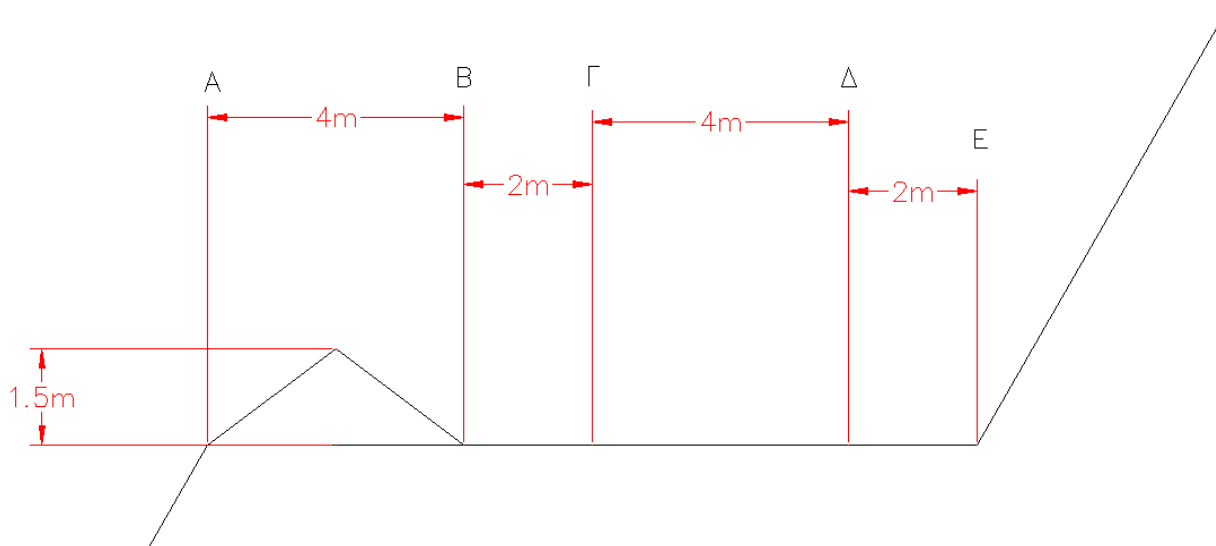


Εικόνα 23. Ήδη υπάρχον δρόμος (διαδρομή Α-Β) και κεντρικό ίχνος δρόμου που θα δημιουργηθεί (διαδρομή Α-Γ)

Το πλάτος δρόμου 12 μέτρων αντιστοιχεί σε δρόμο μονής κυκλοφορίας στο συγκεκριμένο λατομείο. Δεν επιλέχθηκε μεγαλύτερος δρόμος (διπλής κυκλοφορίας και άνω) επειδή όσο προχωρούσε η εκμετάλλευση προς το τελικό βάθος θα ήταν αβέβαιο αν θα υπήρχε ο κατάλληλος χώρος για τη δημιουργία της κεντρικής πλατείας η ακόμα και της τελευταίας βαθμίδας, εφόσον η κατασκευή ενός δρόμου έχει την τάση να κάνει τις βαθμίδες να συγκλίνουν προς τα μέσα (εικόνα 20). Έτσι, γνωρίζοντας ότι το λατομείο διαθέτει φορτηγά (dumper – cat 773) με πλάτος 4m και συνυπολογίζοντας το πλάτος του αναχώματος (berm) (4m), που θα κατασκευαστεί στην άκρη του δρόμου για λόγους ασφαλείας και το πλάτος που θα πρέπει να υπάρχει δεξιά και αριστερά του φορτηγού ($\frac{1}{2}$ του πλάτους του φορτηγού), τότε το τελικό πλάτος του δρόμου υπολογίζεται στα 12m. Στην εικόνα 24 φαίνονται οι διαστάσεις (σε ίντσες) δρόμων ανάλογα με το πλήθος των λωρίδων κυκλοφορίας. Στην εικόνα 25 φαίνεται το πλάτος του δρόμου που σχεδιάστηκε και πιο συγκεκριμένα το μήκος A-B αντιστοιχεί στο πλάτος του αναχώματος, το B-Γ και Δ-E αντιστοιχεί στο διάστημα που έχει υπολογιστεί να υπάρχει δεξιά και αριστερά του οχήματος που κινείται και το μήκος Γ-Δ αντιστοιχεί στο πάχος του οχήματος που κινείται.



Εικόνα 24. πλάτος δρόμου μιας η πολλαπλών λωρίδων (Kaufman & Ault, 1977)

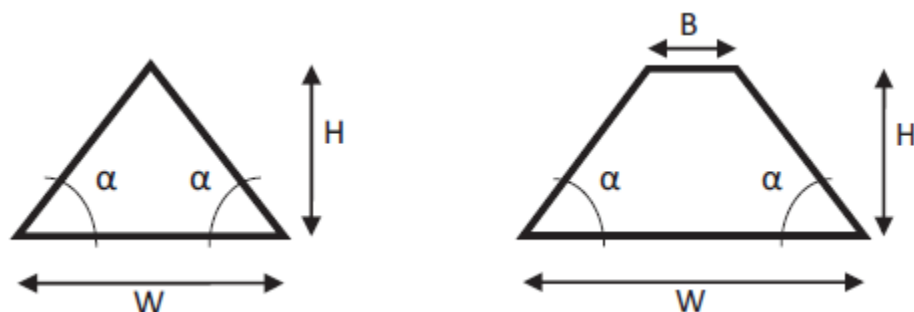


Εικόνα 25. Διατομή οδού προσπέλασης με πλευρικό ανάχωμα.

4.2 Ανάχωμα (berm)

Κύριος σκοπός ενός λατομείου είναι να παράγει ικανοποιητική ποσότητα χρήσιμου υλικού κατά τα έτη λειτουργίας του. Κατά την παραγωγή όμως αυτού του χρήσιμου υλικού παράγεται και μεγάλη ποσότητα στείρου, η οποία πολλές φορές είναι και δύσκολη στην διαχείρισή της. Σε κάθε λατομείο γίνεται προσπάθεια να βρεθεί η βέλτιστη διαχείριση των στείρων υλικών έτσι ώστε να μην γίνονται εμπόδιο στην εξέλιξη της εκμετάλλευσης και μετά το πέρας των εργασιών αυτών μπορεί να διατεθεί ένα μεγάλο μέρος των στείρων για την διαδικασία της αποκατάστασης της περιοχής. Πριν το πέρας της εκμετάλλευσης, ένας λειτουργικός τρόπος διαχείρισης των στείρων είναι η τοποθέτησή τους στις άκρες των δρόμων ή σε σημεία φόρτωσης του υλικού μετά από μια ανατίναξη. Στην πρώτη περίπτωση δημιουργείται ένα είδος αναχώματος κατά μήκος του εξωτερικού ορίου των δρόμων το οποίο είναι ικανό (με τις σωστές αναλογίες) να προειδοποιεί τους οδηγούς για το τέλος των ορίων του δρόμου ή ακόμα και να αποτρέψει την έξοδο οχημάτων από τα όρια του δρόμου, κατά την διάρκεια της μετακίνησής τους. Στην δεύτερη περίπτωση τοποθετείται στέιρο στα σημεία όπου γίνεται η φόρτωση του χρήσιμου υλικού, τα οποία βρίσκονται συνήθως κοντά σε πόδι μιας βαθμίδας όπου υπάρχει πιθανότητα πτώσης υλικού από μεγάλο ύψος (σε εκείνα τα σημεία γίνεται ανατίναξη για την εκμετάλλευση). Έτσι οι τσάπες μπορούν να ανέβουν στο τοποθετημένο στέιρο υλικό και να μην υπάρχει ο κίνδυνος να τις καλύψει μια πιθανή κατολίσθηση της περιοχής, αφού βρίσκονται ανυψωμένες.

Το ανάχωμα για να μπορέσει να είναι λειτουργικό και να καταφέρει να κρατήσει το όχημα εντός των ορίων του δρόμου θα πρέπει να έχει τις απαραίτητες διαστάσεις. Η τομή του αναχώματος είναι συνήθως σε σχήμα τριγωνικό ή τραπέζιο (εικόνα 26) (Thoeni, Servin, Sloan, & Giacomini, 2018).



Εικόνα 26. Συνήθεις τομές αναχώματος (Thoeni, Servin, Sloan, & Giacomini, 2018)

Το ύψος θα πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσο με την ακτίνα του τροχού του μεγαλύτερου-βαρύτερου μηχανήματος που χρησιμοποιεί το δρόμο. Για το πάχος δεν υπάρχουν συγκεκριμένες διαστάσεις, όμως, μετά από διάφορα πειράματα πεδίου προκύπτουν τα συμπεράσματα του πίνακα 1.

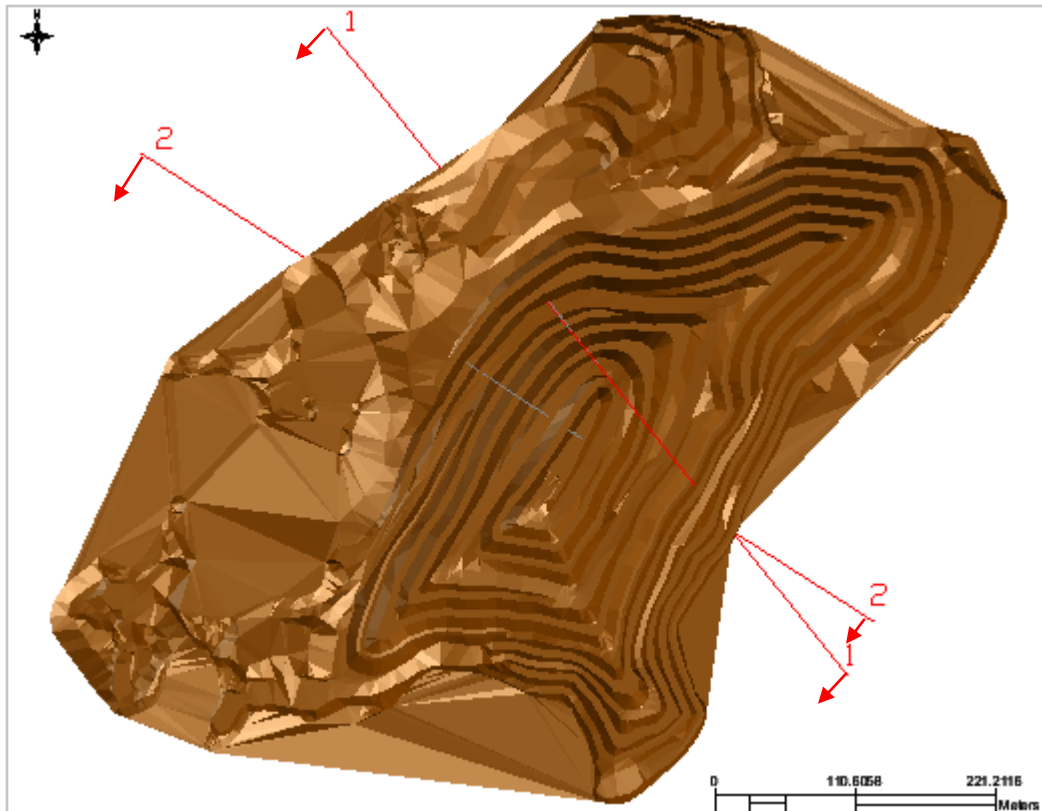
ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ	ΓΩΝΙΑ α ($^{\circ}$)	ΠΑΝΩ ΠΑΧΟΣ, B (m)	ΥΨΟΣ ΑΝΑΧΩΜΑΤΟΣ, H (m)	ΠΑΧΟΣ ΒΑΣΗΣ, W (m)
ΤΡΙΓΩΝΟ	40	-	2	4,8
			3	7,2
			4	9,5
ΤΡΑΠΕΖΙΟ 1	40	1	2	5,8
			3	8,2
			4	10,5
ΤΡΑΠΕΖΙΟ 2	40	2	2	6,8
			3	9,2
			4	11,5

Πίνακας 1. Διαστάσεις ασφαλούς αναχώματος (Thoeni, Servin, Sloan, & Giacomini, 2018)

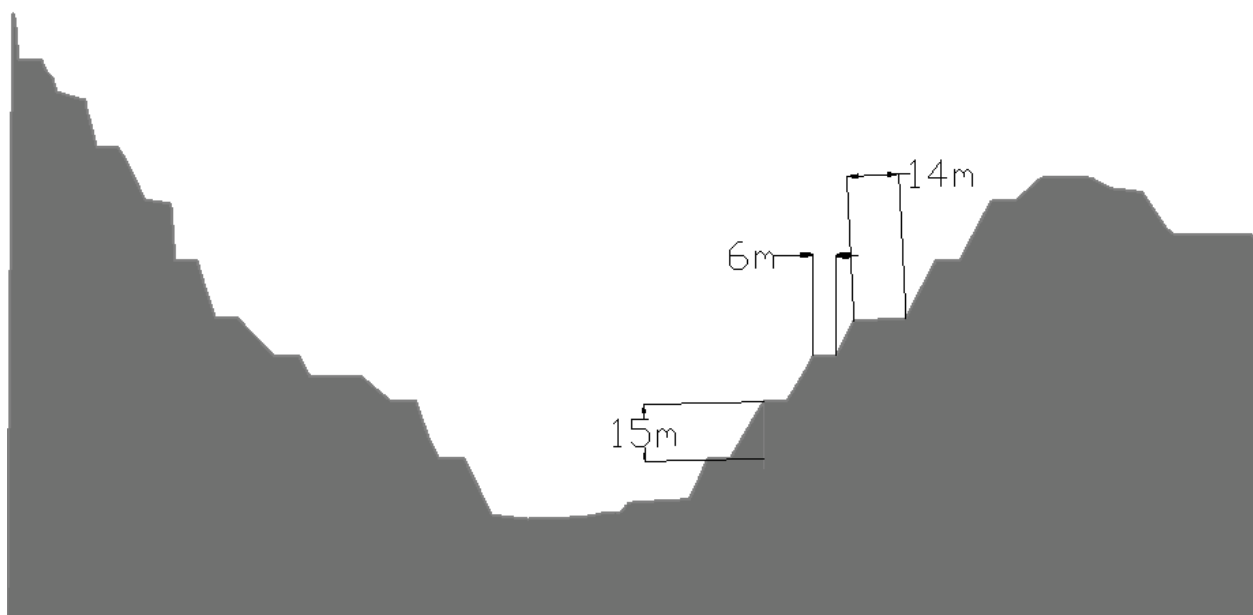
Στο λατομείο, στα πλαίσια του οποίου εκπονείται η παρούσα διπλωματική, το μεγαλύτερο όχημα είναι ένα φορτηγό CAT 773B του οποίου η διάμετρος του τροχού είναι 81,18 in δηλαδή περίπου 2m (ακτίνα = 1m). Με αυτό το κριτήριο κατασκευάστηκε ανάχωμα ύψους 1,5m και βάσης 4m, το οποίο έχει ύψος περίπου όσο αυτό της ακτίνας του τροχού και σχηματίζεται γωνία 37° στην διατομή του (εικόνα 26).

4.3 Σχεδιασμός οδών προσπέλασης κλίσης 8% και 10% τελικής φάσης

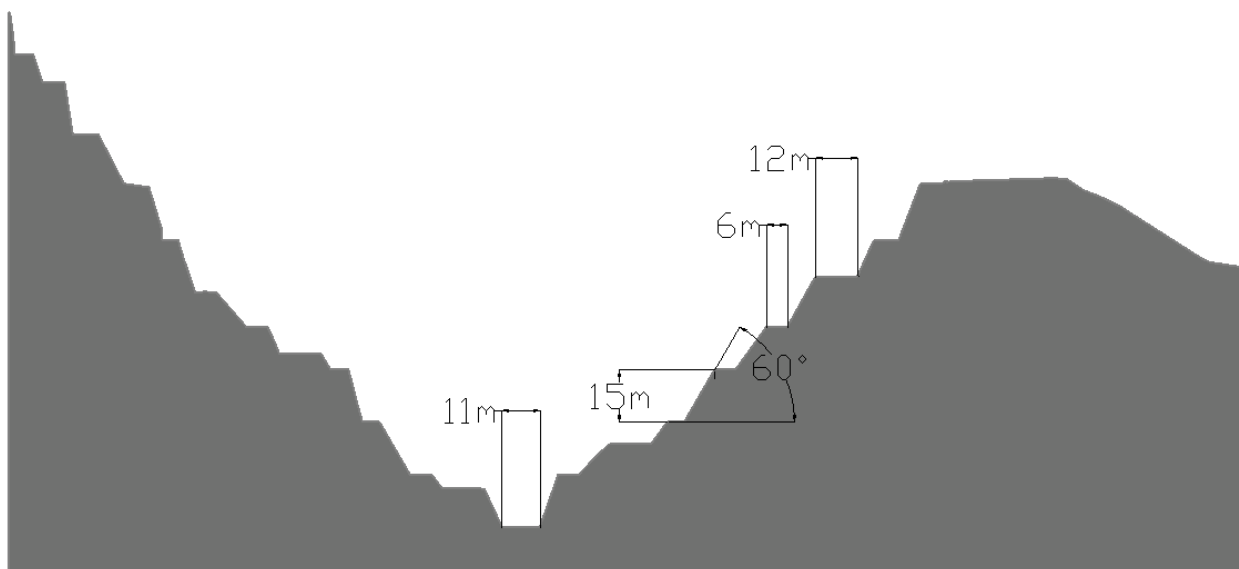
Με βάση όλα τα παραπάνω κριτήρια προσδιορίστηκε το πάχος, το σχήμα και η θέση του δρόμου και με γνώμονα τη χάραξη του κεντρικού ίχνους του δρόμου (εικόνα 23) ξεκίνησε η διαδικασία ολοκλήρωσής του. Για να έχει ο δρόμος κλίση 8% ή 10% αρχικά βρέθηκαν τα αντίστοιχα σημεία πάνω σε κάθε φρύδι όπως περιγράφεται στην παράγραφο 4.1.1 και έπειτα σχεδιάστηκε ο δρόμος με πάχος 12m με την βοήθεια του κεντρικού ίχνους. Στη συνέχεια οι τρεις γραμμές που ορίζαν τα όρια του δρόμου (μέση και δυο άκρες) μετατράπηκαν σε τρισδιάστατες για να υπάρξει η δυνατότητα να δοθεί σε κάθε μια από αυτές το σωστό υψόμετρο. Τέλος ενώθηκαν καταλλήλως τα φρύδια και τα πόδια του λατομείου (ακολουθώντας τη μεθοδολογία που προτείνεται στην παράγραφο 4.1.1) και δημιουργήθηκε η τελική εικόνα του λατομείου με τον δρόμο. Οι δυο κατόψεις της περιοχής με διαφορετικό δρόμο κλίσης κάθε φορά φαίνονται στις εικόνες 27 και 30 και οι τομές που ορίζονται σε κάθε μια από αυτές παρουσιάζονται στις εικόνες 28, 29 και 31, 32 αντίστοιχα.



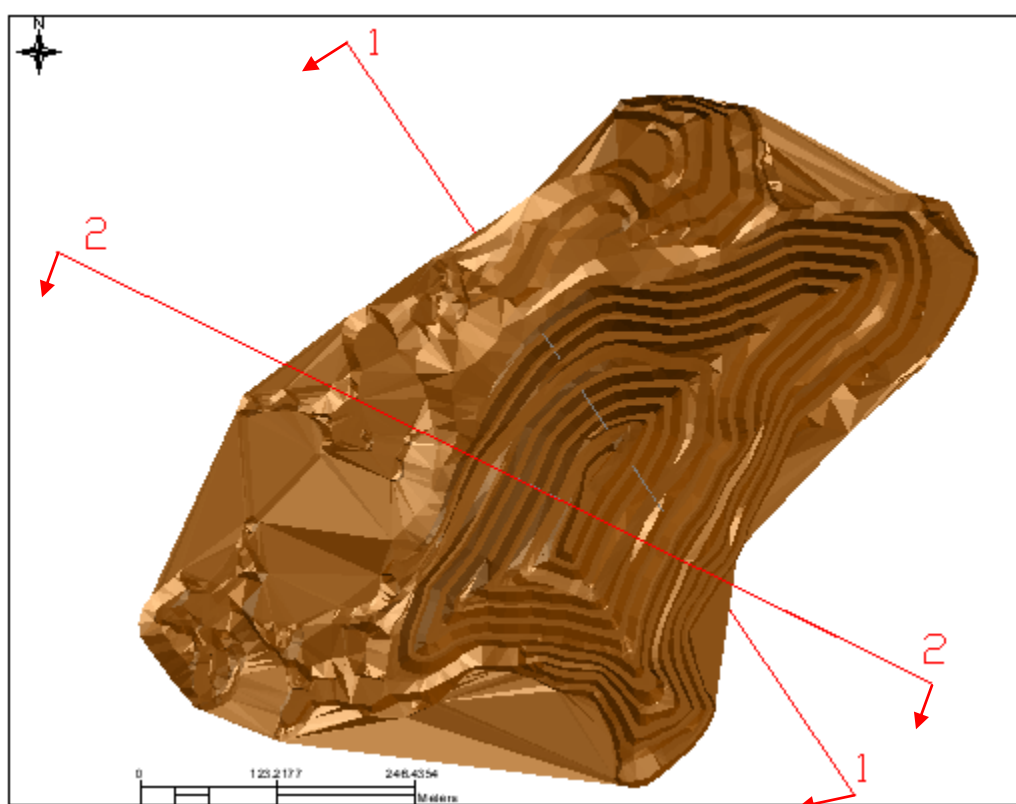
Εικόνα 27. Κάτοψη περιοχής με δρόμο κλίσης 8% (τελική φάση)



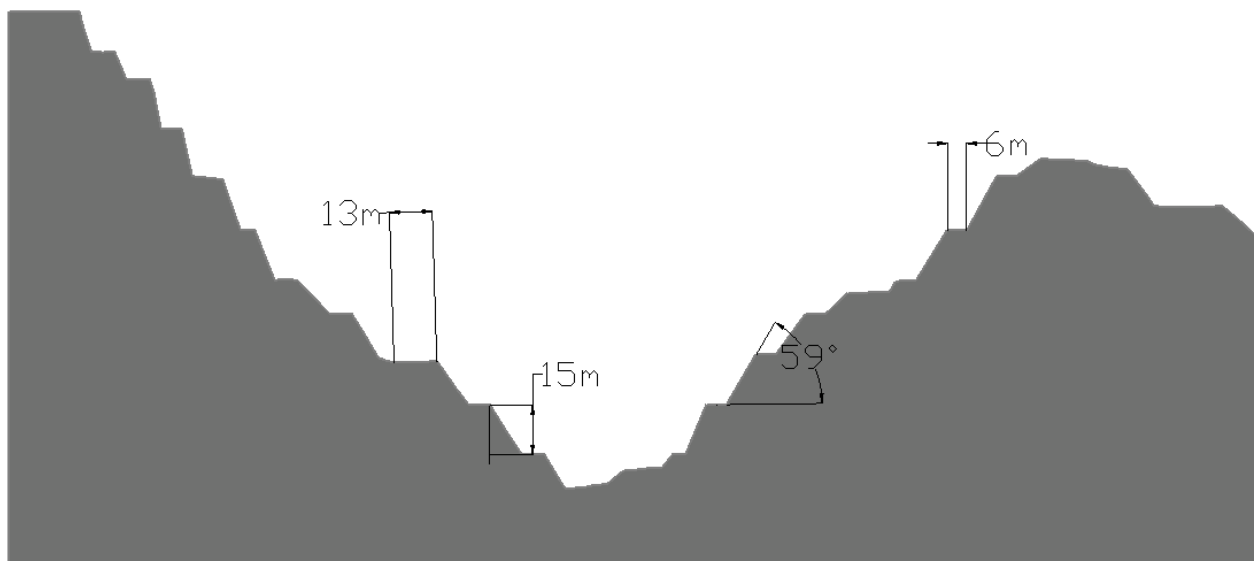
Εικόνα 28. Τομή 1-1 όπως αυτή ορίζεται στην κάτοψη της εικόνας 28 (οι διαστάσεις έχουν μια μικρή απόκλιση από την πραγματικότητα επειδή δεν ήταν εύκολο να βρεθεί σημείο όπου η τομή θα ήταν ακριβώς κάθετη)



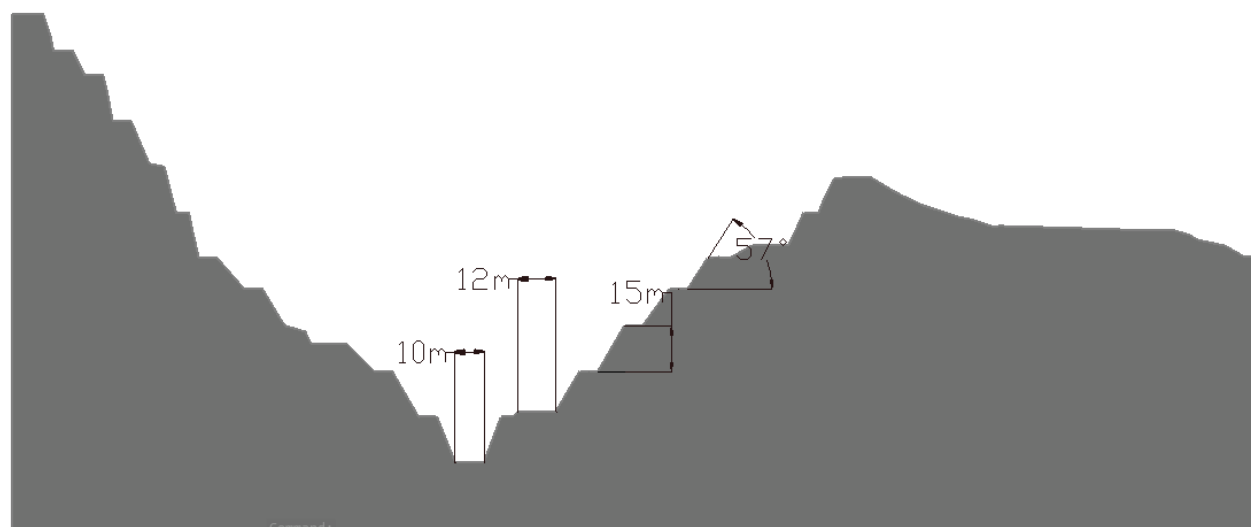
Εικόνα 29. Τομή 2-2 όπως αυτή ορίζεται στην κάτοψη της εικόνας 28



Εικόνα 30. Κάτοψη περιοχής με δρόμο κλίσης 10% (τελική φάση)



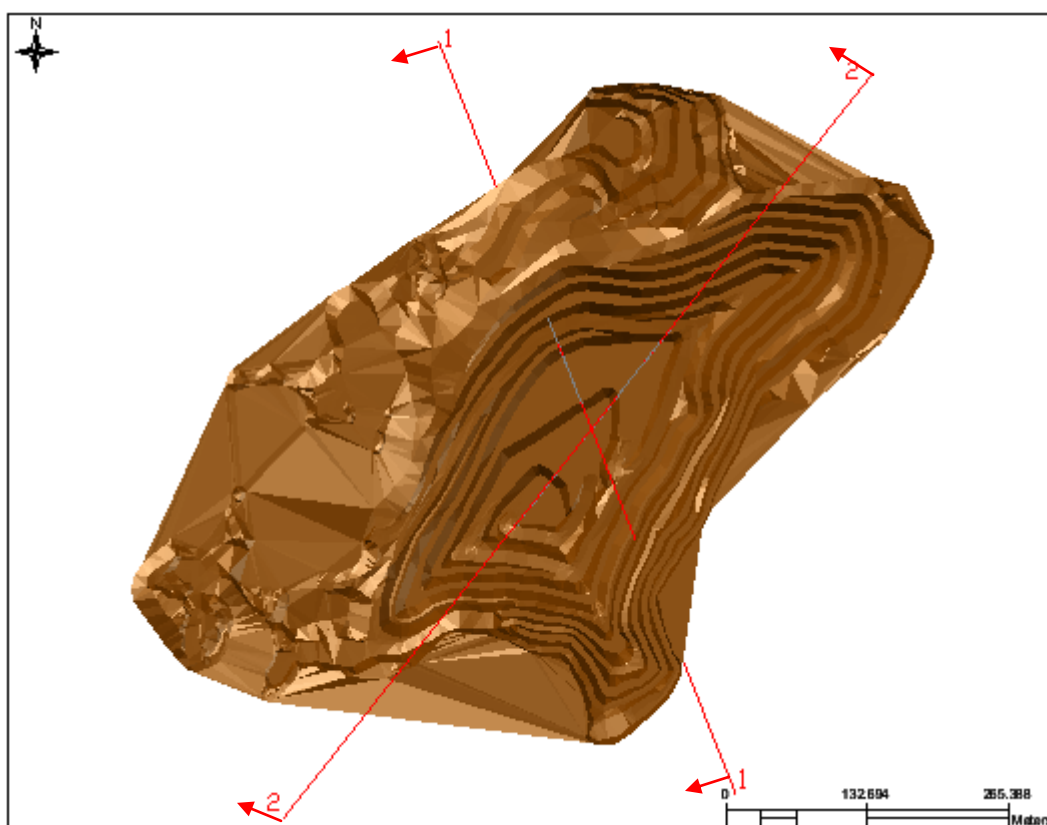
Εικόνα 31. Τομή 1-1 όπως αυτή ορίζεται στην κάτοψη της εικόνας 31 (κάποιες διαστάσεις έχουν μια μικρή απόκλιση από την πραγματικότητα επειδή δεν ήταν εύκολο να βρεθεί σημείο όπου η τομή θα ήταν ακριβώς κάθετη)



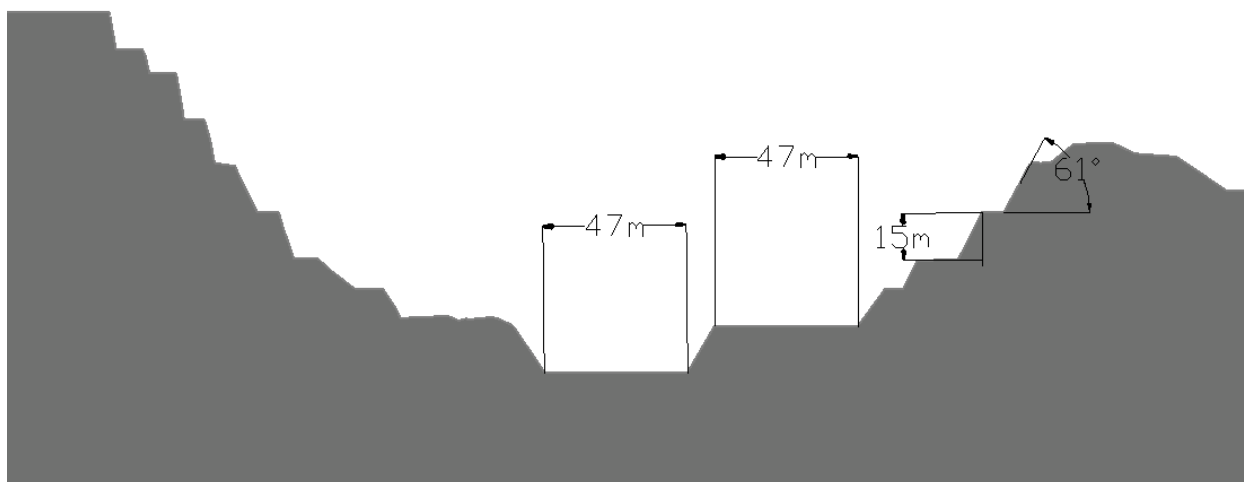
Εικόνα 32. Τομή 2-2 όπως αυτή ορίζεται στην κάτοψη της εικόνας 31.

4.4 Σχεδιασμός οδών προσπέλασης κλίσης 8% και 10% παραγωγικής φάσης

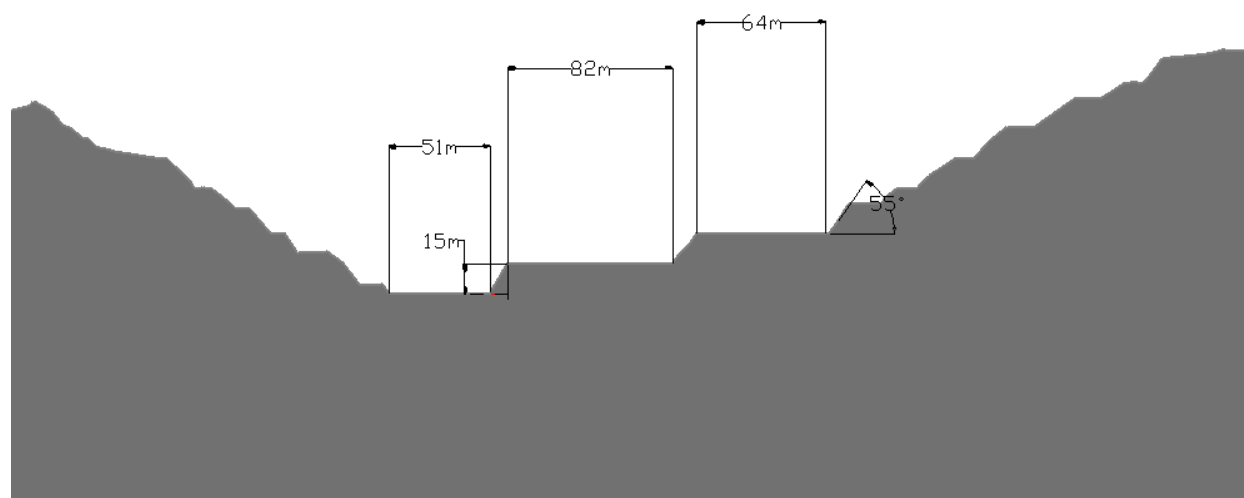
Οι παραγωγικές φάσεις, οι οποίες σχεδιάστηκαν στο πρόγραμμα Civil 3D 2018, αντιπροσωπεύουν μια κατάσταση στην οποία θα βρεθεί το λατομείο πριν λάβει την τελική του μορφή, όπως αυτή σχεδιάστηκε στην προηγούμενη ενότητα. Και στις δυο περιπτώσεις (με δρόμο κλίσης 8% και με 10%) δεν έχει γίνει η αποκάλυψη μέχρι και της τελευταίας βαθμίδας. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον σχεδιασμό τους είναι ίδια και στις δυο περιπτώσεις. Αρχικά διαγράφηκε η τελευταία βαθμίδα και οι δυο προηγούμενες σχεδιάστηκαν σε παραγωγική φάση αφήνοντας σε κάθε μία μεγάλο πάχος στο δρόμο της, κάνοντας το φρύδι της βαθμίδας να απέχει 40m περίπου (σε κάποια σημεία και παραπάνω) από το προηγούμενο. Τέλος δημιουργήθηκαν μικρές ράμπες στα σημεία που ενώνεται ο δρόμος με μια παραγωγική βαθμίδα για να υπάρχει πρόσβαση σε αυτές από τα μηχανήματα. Οι δυο κατόψεις της περιοχής με διαφορετικό δρόμο κλίσης κάθε φορά φαίνονται στις εικόνες 33 και 36 και οι τομές που ορίζονται σε κάθε μια από αυτές παρουσιάζονται στις εικόνες 34, 35 και 37, 38 αντίστοιχα.



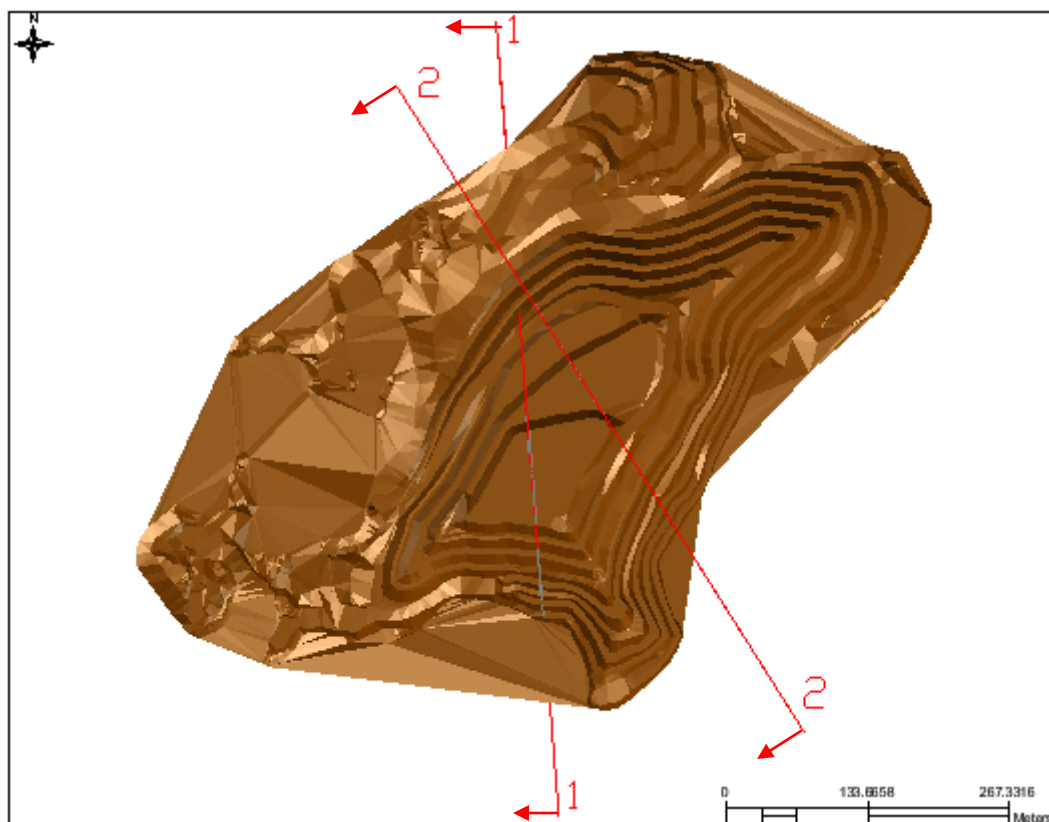
Εικόνα 33. Κάτοψη περιοχής με δρόμο κλίσης 8% (παραγωγική φάση)



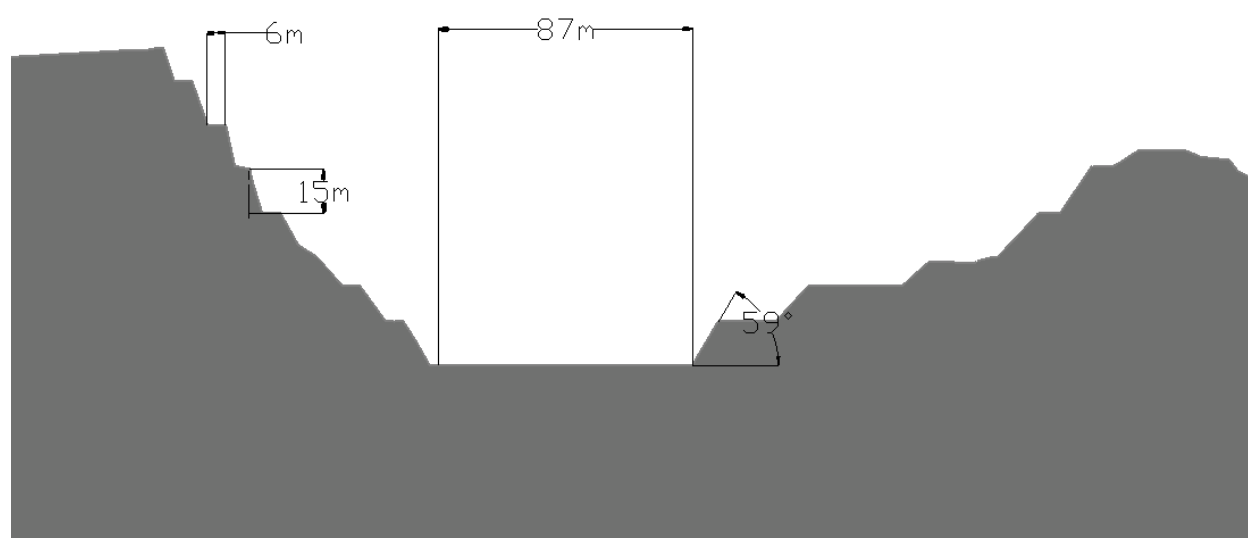
Εικόνα 34. Τομή 1-1 όπως αυτή ορίζεται στην κάτοψη της εικόνας 34.



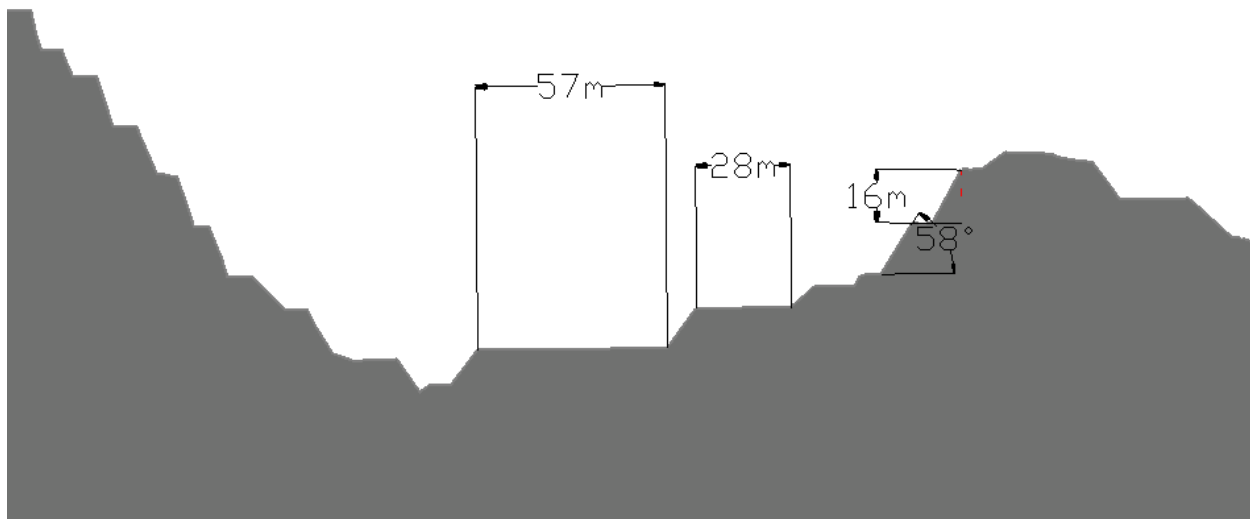
Εικόνα 35. Τομή 2-2 όπως αυτή ορίζεται στην κάτοψη της εικόνας 34.



Εικόνα 36. Κάτοψη περιοχής με δρόμο κλίσης 10% (παραγωγική φάση)

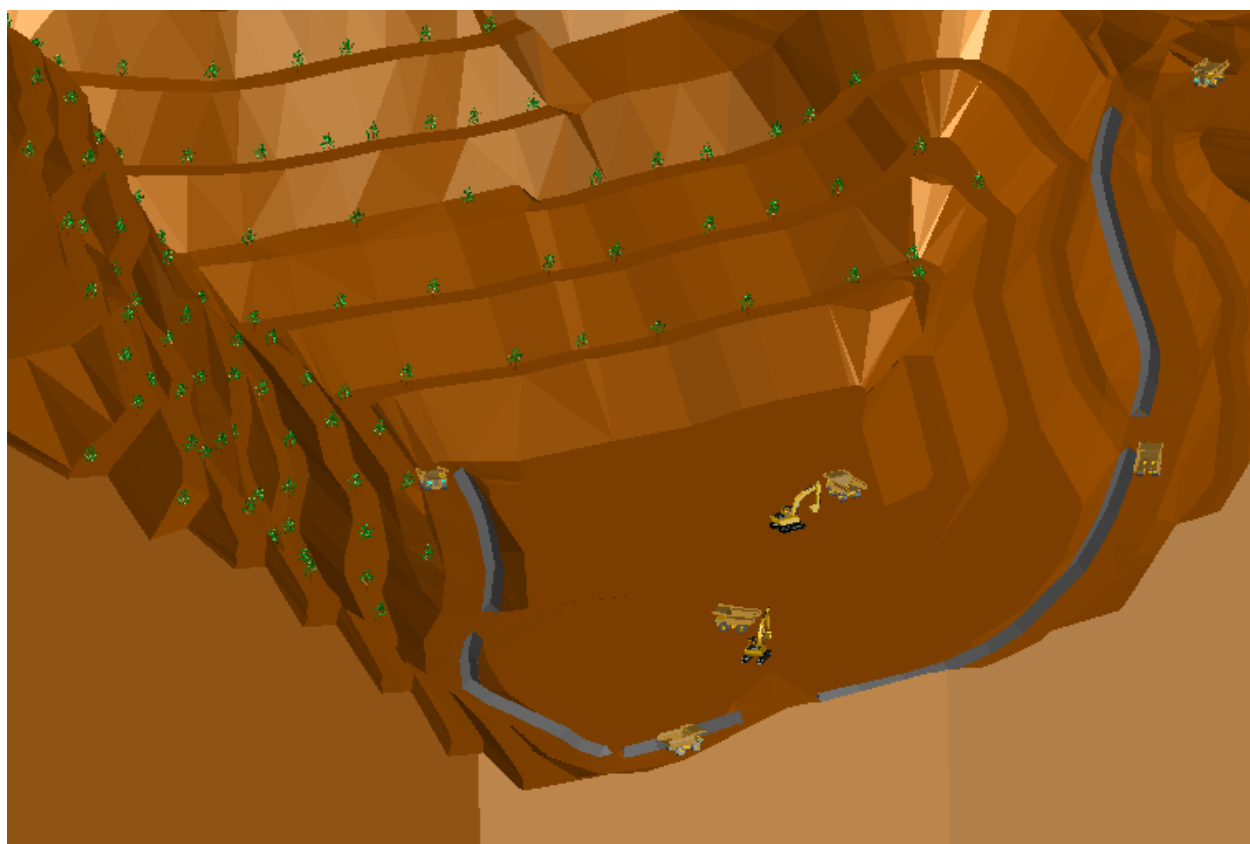


Εικόνα 37. Τομή 1-1 όπως αυτή ορίζεται στην κάτοψη της εικόνας 37.



Εικόνα 38. Τομή 2-2 όπως αυτή ορίζεται στην κάτοψη της εικόνας 37.

Στην εικόνα 39 παρουσιάζεται μια ενδιάμεση εικόνα του λατομείου κατά την διάρκεια εργασιών



Εικόνα 39. Τρισδιάστατη απεικόνιση παραγωγικής φάσης με την παρουσία μηχανημάτων, αναχώματος και μερικής αποκατάστασης της περιοχής.

4.5 Όγκος υλικού που θα εκμεταλλευτεί και απαιτούμενος χρόνος συνολικής εκμετάλλευσης

Με την βοήθεια του προγράμματος Autodesk AutoCAD Civil 3D 2018 υπολογίστηκαν οι όγκοι των στερεών και πιο συγκεκριμένα ο όγκος του στερεού της τωρινής φάσης και των παραγωγικών και τελικών φάσεων με δρόμο κλίσης 8% και 10%. Ο όγκος κάθε φάσης, όπως αυτός παρατίθεται παρακάτω, αντιπροσωπεύει τον όγκο που περικλείεται μεταξύ του τοπογραφικού ανάγλυφου της εκάστοτε φάσης και στο απόλυτο υψόμετρο -150 m το οποίο ορίστηκε σταθερό σε όλες τις περιπτώσεις.

- Όγκος τωρινής φάσης: **75.547.381 m³**
- Όγκος παραγωγικής φάσης με δρόμο κλίσης 8%: **73.785.410 m³**
- Όγκος τελικής φάσης με δρόμο κλίσης 8%: **73.549.384 m³**
- Όγκος παραγωγικής φάσης με δρόμο κλίσης 10%: **73.785.410 m³**
- Όγκος τελικής φάσης με δρόμο κλίσης 10%: **73.549.385 m³**

Στη συνέχεια οι υπολογισμοί για τον απαιτούμενο χρόνο των εργασιών της εκμετάλλευσης έγιναν ως εξής:

Υπολογισμοί για 8%

$$\text{Όγκος τωρινής φάσης}-\text{όγκος τελικής φάσης}= 75.547.381 - 73.549.385 = 1.997.996 \text{ m}^3$$

$$\rightarrow 1.997.996 \text{ m}^3 / 259.259,3 \text{ m}^3/\text{year} (\text{ετήσια παραγωγή})=7,7 \text{ χρόνια } \underline{\underline{(8 \text{ χρόνια})}}$$

$$\text{Όγκος τωρινής φάσης}-\text{όγκος παραγωγικής φάσης}= 75.547.381 - 73.785.410 = 1.761.970 \text{ m}^3$$

$$\rightarrow 1.761.970 \text{ m}^3 / 259.259,3 \text{ m}^3/\text{year} (\text{ετήσια παραγωγή})=6,79 \text{ (7 χρόνια)}$$

$$\text{Όγκος παραγωγικής φάσης}-\text{όγκος τελικής φάσης}= 73.785.410 - 73.549.385 = 236.025 \text{ m}^3$$

$$\rightarrow 236.025 \text{ m}^3 / 259.259,3 \text{ m}^3/\text{year} (\text{ετήσια παραγωγή})=0,9 \text{ (1 χρόνο)}$$

Υπολογισμοί για 10%

$$\text{Όγκος τωρινής φάσης}-\text{όγκος τελικής φάσης}= 75.547.381 - 73.638.226 = 1.909.155 \text{ m}^3$$

$$\rightarrow 1.909.155 \text{ m}^3 / 259.259,3 \text{ m}^3/\text{year} (\text{ετήσια παραγωγή})=7,36 \text{ χρόνια } \underline{\underline{(8 \text{ χρόνια})}}$$

$$\text{Όγκος τωρινής φάσης}-\text{όγκος παραγωγικής φάσης}= 75.547.381 - 73.946.484 = 1.600.897 \text{ m}^3$$

→ $1.600.897 \text{ m}^3 / 259.259,3 \text{ m}^3 / \text{year}$ (ετήσια παραγωγή) = 6,17 (7 χρόνια)

Όγκος παραγωγικής φάσης-όγκος τελικής φάσης = $73.946.484 - 73.638.226 = 308.258 \text{ m}^3$

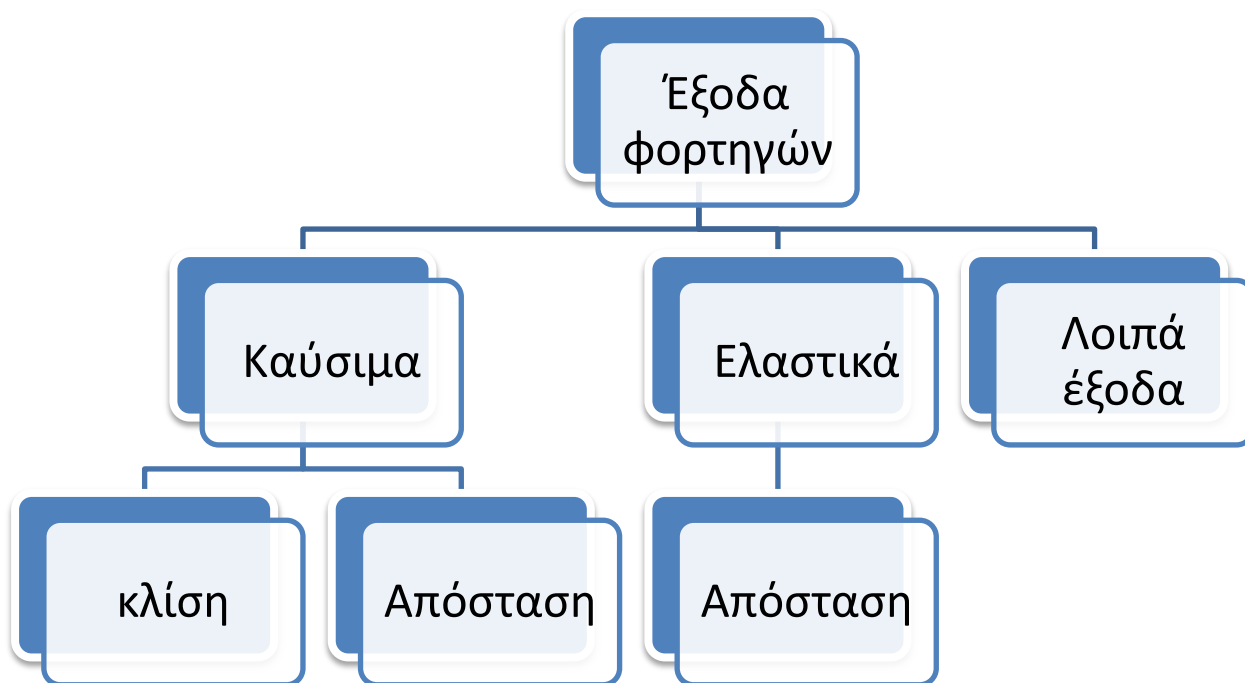
→ $308.258 \text{ m}^3 / 259.259,3 \text{ m}^3 / \text{year}$ (ετήσια παραγωγή) = 1,18 (1 χρόνο)

Από τους παραπάνω υπολογισμούς βγαίνει το συμπέρασμα ότι χρειάζονται 8 χρόνια για να σχηματιστεί η τελική μορφή του λατομείου και με τις δυο περιπτώσεις διαφορετικής κλίσης δρόμου. Θεωρείται ότι τον ίδιο χρόνο χρειάζεται και στην περίπτωση που ο δρόμος έχει κλίση 5%. Η θεώρηση αυτή έγινε για να μπορέσουν να γίνουν οι απαραίτητοι υπολογισμοί στο επόμενο κεφάλαιο και επειδή θα υπάρχει μικρή σχετικά απόκλιση από την τιμή του δρόμου κλίσης 8%.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Υπολογισμός κατανάλωσης καυσίμου και φθοράς ελαστικών

Μετά την ολοκλήρωση του σχεδιαστικού τμήματος όσον αφορά τις οδούς προσπέλασης του λατομείου, είναι απαραίτητο να επιλεγεί και ο δρόμος με το μεγαλύτερο οικονομικό όφελος για το λατομείο. Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει προσπάθεια να προσεγγιστούν τα έξοδα του λατομείου τα οποία επηρεάζονται από την κλίση των δρόμων που σχεδιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Τα στοιχεία που επηρεάζονται κυρίως από δρόμους διαφορετικής κλίσης είναι αυτά των μηχανημάτων που τους χρησιμοποιούν. Ένα μηχανήμα, όπως τα φορτηγά του λατομείου, χρειάζεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα να ελεγχθεί για τυχόν φθορές στα εξαρτήματά του. Αυτές οι φθορές δεν είναι εύκολο να προβλεφθούν στα πλαίσια της διπλωματικής, αφού επηρεάζονται και από τον τρόπο οδήγησης και μεταχείρισής τους από τον κάθε οδηγό και από το μοντέλο του μηχανήματος. Ακόμα και ο κατασκευαστής του μηχανήματος δίνει κάποια γενικά στοιχεία για τα όρια των αντοχών των εξαρτημάτων αλλά ακόμα και αυτά διαφέρουν από την κάθε χρήση που θα τους ασκηθεί. Για τους παραπάνω λόγους, επιλέχθηκαν να υπολογιστούν μόνο η κατανάλωση καυσίμου και η φθορά των ελαστικών από τα οποία θα προκύψουν κάποια άμεσα έξοδα που επιβαρύνουν το λατομείο. Επίσης αυτά τα δυο στοιχεία επηρεάζονται περισσότερο από την κλίση και την απόσταση των διαφορετικών ειδών δρόμου που σχεδιάστηκαν.

Με βάση, λοιπόν, την κατανάλωση καυσίμου και την φθορά των ελαστικών δημιουργείται το εξής ερώτημα: πιο οικονομικός θα είναι ο δρόμος με την μεγαλύτερη κλίση και την μικρότερη απόσταση ή ο δρόμος με την μικρότερη κλίση και μεγαλύτερη απόσταση (διάγραμμα 1);



Διάγραμμα 1. Παράγοντες επιρροής εξόδων φορτηγών

5.1 Ταχύτητα φορτηγών και απαιτούμενος χρόνος δρομολογίου

Αρχικά έγιναν υπολογισμοί για να προσδιοριστεί μια αντιπροσωπευτική ταχύτητα και ο χρόνος δρομολογίου, για τα δυο είδη φορτηγών, εάν αυτά είναι φορτωμένα ή άδεια και για διαφορετική κλίση δρόμου.

Η **ετήσια παραγωγή** του λατομείου είναι περίπου 700.000 t. Διαιρώντας την ποσότητα της παραγωγής με το ειδικό βάρος του πετρώματος (ασβεστόλιθος), το οποίο είναι 2,7 t/m³, υπολογίζεται η απαιτούμενη ποσότητα συμπαγούς υλικού σε bm³ που πρέπει να παραχθεί στη διάρκεια ενός έτους.

$$\frac{\text{Ετήσια παραγωγή (t)}}{\text{ειδικό βάρος ασβεστόλιθου}} = \frac{700.000 \text{ t/χρόνο}}{2,7 \text{ t/m}^3} = 259.259,3 \text{ bm}^3/\text{χρόνο} \quad [5.1.1]$$

Στη συνέχεια, διαιρώντας το προηγούμενο αποτέλεσμα με τις ετήσιες εργάσιμες ημέρες (θεωρήθηκε ότι το λατομείο βρίσκεται σε λειτουργία 300 ημέρες το χρόνο), υπολογίζεται η **ημερήσια παραγωγή**.

$$\frac{\text{Ετήσια παραγωγή (m}^3\text{)}}{\text{εργάσιμες ημέρες}} = \frac{259.259,3 \text{ m}^3/\text{χρόνο}}{300 \text{ ημέρες/χρόνο}} = 864,2 \text{ bm}^3/\text{ημέρα} \quad [5.1.2]$$

Δηλαδή 865 bm³/ημέρα.

Για τον υπολογισμό της **επιθυμητής ωριαίας παραγωγής** διαιρείται η ημερήσια παράγωγή με το καθημερινό ωράριο εργασίας του λατομείου (θεωρήθηκε ότι το λατομείο λειτουργεί 8 ώρες ανά ημέρα).

$$\frac{\text{Ημερήσια παραγωγή}}{\text{Ωρες λειτουργίας}} = \frac{865 \text{ m}^3/\text{ημέρα}}{8 \text{ ώρες/ημέρα}} = 108 \text{ bm}^3/\text{ώρα} \quad [5.1.3]$$

Η **απαιτούμενη ωριαία παραγωγή** του λατομείου υπολογίζεται σε συνάρτηση της απόδοσης του εργοταξίου ($n_{\text{εργ}}=0,9$) και του συντελεστή επιπλήσματος ασβεστολίθου (1,6).

$$\frac{\text{Επιθυμητή ωριαία παραγωγή}}{\text{Συντελεστής απόδοσης εργοταξίου}} = \frac{108 \frac{\text{m}^3}{\text{ώρα}}}{0,9} * 1,6 = 192 \text{ m}^3/\text{ώρα} \quad [5.1.4]$$

Για την πραγματοποίηση της παραπάνω απαιτούμενης ωριαίας παραγωγής το κάθε χωματουργικό αυτοκίνητο χρειάζεται 5 περίπου φορτώσεις για να γεμίσει πλήρως, αποτέλεσμα το οποίο υπολογίστηκε στο λατομείο με βάση τα μηχανήματα και την λειτουργία τους. Ο όγκος του κιβωτίου του φορτηγού έχει χωρητικότητα 16 m³. Διαιρώντας την απαιτούμενη ωριαία παραγωγή με τον όγκο του κιβωτίου του χωματουργικού αυτοκινήτου και στη συνέχεια πολλαπλασιάζοντας με 8 (ώρες λειτουργίας ανά ημέρα), υπολογίζονται τα απαιτούμενα ημερήσια δρομολόγια [5.1.5]. Τέλος διαιρώντας το αποτέλεσμα της [5.1.5] με τον αριθμό των φορτηγών που είναι σε λειτουργία την βάρδια υπολογίζονται τα δρομολόγια για το ένα χωματουργικό αυτοκίνητο.

$$\left(\frac{192 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{ώρα}} \right)}{16 (\text{m}^3)} \right) * 8 (\text{ώρες}) = 96 (\text{δρομολόγια/ημέρα}) \quad [5.1.5]$$

→ $96/3 = 32$ **δρομολόγια το κάθε χωματουργικό αυτοκίνητο στην βάρδια**

Η εκμετάλλευση και κατ' επέκταση η φόρτωση του υλικού γίνεται σε δυο βαθμίδες. Στο λατομείο δουλεύουν σε κάθε βάρδια 2 τσάπες Caterpillar τύπου 350 L και 3 φορτηγά Caterpillar τύπου 769B και 773B (συνολικά υπάρχουν 5 φορτηγά και 2 τσάπες).

Εν συνεχεία, για διαφορετική τιμή της κλίσης του δρόμου συγκεντρώθηκαν κατάλληλα στοιχεία για τον υπολογισμό της αντιπροσωπευτικής ταχύτητας και του χρόνου δρομολογίου, για τα δυο είδη φορτηγών, εάν αυτά είναι φορτωμένα ή άδεια και για διαφορετική κλίση δρόμου (πίνακες 2-4).

Κλίση Δρόμου 5%				
		Τιμή	Τιμή	Μονάδες
<i>Συμβολισμός</i>		769B	773B	
B_φ	Βάρος φορτωμένο	59,3	83,2	t
B_α	Βάρος άδειο	27,6	37,8	t
t_{σταθ}	Σταθεροί χρόνοι ελιγμών	5	5	min
N_α	Ονομαστική ισχύς	415	600	HP
L	Μήκος δρομολογίου	1805	1805	m
W_r	Αντίσταση κύλισης	50	50	kp/t
W_s	Αντίσταση κλίσης	50	50	kp/t
n_{αl}	Συντελεστής ταχύτητας φορτωμένο	0,75	0,75	
n_{αε}	Συντελεστής ταχύτητας άδειο	1	1	
α_{κιν}	Απόδοση κινητήρα	0,8	0,8	

Πίνακας 2. Στοιχεία για υπολογισμό ταχύτητας φορτηγών και χρόνου δρομολογίου (δρόμος κλίσης 5%)

Το μήκος δρομολογίου του δρόμου με κλίση 5% υπολογίστηκε θεωρητικά με την βοήθεια της εξίσωσης [4.1.4.1] αφού η σχεδιάσή του δεν ήταν δυνατή στα συγκεκριμένα όρια του λατομείου (το λατομείο διαθέτει άδεια εκμετάλλευσης σε μια ευρύτερη περιοχή από αυτήν που μελετήθηκε στην παρούσα διπλωματική), του οποίου δόθηκαν τοπογραφικά δεδομένα. Παρ' όλα αυτά έγινε μελέτη και για αυτή την κλίση σε περίπτωση που συνεχιστεί η εκμετάλλευση και ο δρόμος κλίσης 5% είναι δυνατόν να δημιουργηθεί. Για τις δυο άλλες περιπτώσεις κλίσης δρόμου (8% και 10%) υπολογίστηκε με την βοήθεια του προγράμματος Civil 3D metric 2018.

Κλίση Δρόμου 8%

		Τιμή	Τιμή	Μονάδες
<i>Συμβολισμός</i>		769B	773B	
B_φ	Βάρος φορτωμένο	59,3	83,2	t
B_α	Βάρος άδειο	27,6	37,8	t
t_{σταθ}	Σταθεροί χρόνοι ελιγμών	5	5	min
N_α	Ονομαστική ισχύς	415	600	HP
L	Μήκος δρομολογίου	1165	1165	m
W_r	Αντίσταση κύλισης	50	50	kp/t
W_s	Αντίσταση κλίσης	80	80	kp/t
n_{αλ}	Συντελεστής ταχύτητας φορτωμένο	0,75	0,75	
n_{αε}	Συντελεστής ταχύτητας άδειο	1	1	
n_{κιν}	Απόδοση κινητήρα	0,8	0,8	

Πίνακας 3. Στοιχεία για υπολογισμό ταχύτητας φορτηγών και χρόνου δρομολογίου (δρόμος κλίσης 8%)

Κλίση Δρόμου 10%

		Τιμή	Τιμή	Μονάδες
Συμβολισμός		769B	773B	
B_{φ}	Βάρος φορτωμένο	59,3	83,2	t
B_{α}	Βάρος άδειο	27,6	37,8	t
$t_{σταθ}$	Σταθεροί χρόνοι ελιγμών	5	5	min
N_{α}	Ονομαστική ισχύς	415	600	HP
L	Μήκος δρομολογίου	915	915	m
W_r	Αντίσταση κύλισης	50	50	kp/t
W_s	Αντίσταση κλίσης	100	100	kp/t
n_{al}	Συντελεστής ταχύτητας φορτωμένο	0,75	0,75	
n_{ae}	Συντελεστής ταχύτητας άδειο	1	1	
$n_{κιν}$	Απόδοση κινητήρα	0,8	0,8	

Πίνακας 4. Στοιχεία για υπολογισμό ταχύτητας φορτηγών και χρόνου δρομολογίου (δρόμος κλίσης 10%)

Ταχύτητα φορτηγών:

- Μέγιστη ταχύτητα κίνησης αυτοκινήτου:

$$V_{\max} = \frac{270 \cdot n_{\kappa\iota\nu} \cdot N_{\alpha} \text{ (HP)}}{B_{\alpha} \text{ (t)} \cdot (W_r + W_s) \left(\frac{\text{kp}}{\text{t}}\right)} \text{ (km/hr)} \quad [5.1.6]$$

- Ταχύτητα κίνησης φορτωμένου αυτοκινήτου:

$$V_{\varphi\alpha} = n_{al} * \frac{270 \cdot n_{\kappa\iota\nu} \cdot N_{\alpha} \text{ (HP)}}{B_{\varphi} \text{ (t)} \cdot (W_r + W_s) \left(\frac{\text{kp}}{\text{t}}\right)} \text{ (km/hr)} \quad [5.1.7]$$

- Ταχύτητα κίνησης άδειου αυτοκινήτου:

$$V_{\alpha\alpha} = \frac{270 \cdot n_{\kappa\iota\nu} \cdot N_{\alpha} \text{ (HP)}}{B_{\alpha} \text{ (t)} \cdot (W_r + W_s) \left(\frac{\text{kp}}{\text{t}}\right)} \text{ (km/hr)} \quad [5.1.8]$$

Λύνοντας τις εξισώσεις [5.1.6] – [5.1.8] για τα δύο διαφορετικά είδη φορτηγών αλλά και για τα τις τρεις περιπτώσεις κλίσης δρόμου προκύπτουν τα αποτελέσματα του πίνακα 5.

	Κλίση 5%		Κλίση 8%		Κλίση 10%	
Μοντέλο	769B	773B	769B	773B	769B	773B
Μέγιστη ταχύτητα κίνησης αυτοκινήτου (V_{max})(km/hr)	32	34	25	26	22	23
Ταχύτητα κίνησης φορτωμένου αυτοκινήτου($V_{φα}$)(km/hr)	11	12	9	9	8	8
Ταχύτητα κίνησης άδειου αυτοκινήτου ($V_{αα}$)(km/hr)	32	34	25	26	22	23

Πίνακας 5. Πιθανές ταχύτητες φορτηγών ανάλογα την κλίση του δρόμου.

Απαιτούμενος χρόνος δρομολογίου:

- Χρόνος μετακίνησης φορτωμένου αυτοκινήτου:

$$t_{φα} = \frac{L \text{ (km)}}{V_{φα} \left(\frac{\text{km}}{\text{hr}}\right)} \text{ (hr)} \quad [5.1.9]$$

- Χρόνος μετακίνησης άδειου αυτοκινήτου:

$$t_{αα} = \frac{L \text{ (km)}}{V_{αα} \left(\frac{\text{km}}{\text{hr}}\right)} \text{ (hr)} \quad [5.1.10]$$

- Χρόνος φόρτωσης:

Ο χρόνος που απαιτείται για τη φόρτωση ενός φορτηγού, έπειτα από παρατηρήσεις στο πεδίο, είναι περίπου 5 λεπτά (συμπεριλαμβανομένου και τυχόν χρόνου αναμονής).

$$t_{φ} = \frac{5}{60} = 0,08 \text{ (hr)} \quad [5.1.11]$$

- **Χρόνος σταθερών ελιγμών:**

Ο χρόνος σταθερών ελιγμών υπολογίζεται ίδιος με αυτόν της φόρτωσης, περίπου 5 λεπτά.

$$t_{\text{σταθ}} = \frac{5}{60} = 0,08 \text{ (hr)} \quad [5.1.12]$$

- **Συνολικός χρόνος δρομολογίου:**

$$t_{\text{ολ}} = t_{\text{φα}} + t_{\text{αα}} + t_{\text{φ}} + t_{\text{σταθ}} \quad [5.1.13]$$

Στον πίνακα 6 παρατίθενται τα αποτελέσματα των εξισώσεων [5.1.9] – [5.1.13] για κάθε είδος φορτηγού και κλίσης δρόμου.

	Κλίση 5%		Κλίση 8%		Κλίση 10%	
Μοντέλο	769B	773B	769B	773B	769B	773B
Χρόνος μετακίνησης φορτωμένου αυτοκινήτου (hr)	0,16	0,15	0,13	0,13	0,12	0,12
Χρόνος μετακίνησης άδειου αυτοκινήτου (hr)	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04
Χρόνος φόρτωσης (hr)	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Χρόνος σταθερών ελιγμών (hr)	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Συνολικός χρόνος δρομολογίου (hr)	0,38	0,37	0,35	0,34	0,33	0,32
Συνολικός χρόνος δρομολογίου (min)	23	22	21	20	20	19

Πίνακας 6. Συνολικοί χρόνοι δρομολογίου

5.2 Κατανάλωση καυσίμου

Η πιο ακριβής μέθοδος, για να προσδιοριστεί η κατανάλωση καυσίμου ενός φορτηγού (dumper) λατομείου, είναι η συλλογή ιστορικών δεδομένων από την περιοχή δραστηριοποίησής του. Επειδή, όμως, αυτή η μέθοδος δεν είναι πάντα εύκολο να πραγματοποιηθεί, υπάρχουν οι κατάλληλες πληροφορίες και εξισώσεις (από τον κατασκευαστή ή από αντίστοιχα δημοσιευμένα παραδείγματα) οι οποίες μπορούν να υπολογίσουν (με σχετική απόκλιση) την ζητούμενη κατανάλωση (προσαρμοζόμενη στα δεδομένα κάθε λατομείου).

5.2.1 Κατανάλωση καυσίμου (1)

Η εταιρία κατασκευής των φορτηγών (Caterpillar) παρέχει στους πελάτες της μια εξίσωση υπολογισμού της κατανάλωσης η οποία βασίζεται σε πίνακες (τους οποίους πάλι τους παρέχει) οι οποίοι δίνουν πληροφορίες για την ωριαία κατανάλωση του καυσίμου (L/hr) ανάλογα το μοντέλο και τον συντελεστή επιβάρυνσης του κινητήρα (engine load factor) (πίνακας 7).

ΜΟΝΤΕΛΟ	ΧΑΜΗΛΗ (lt)	ΜΕΣΑΙΑ (lt)	ΥΨΗΛΗ (lt)
769D	20,8-30,3	30,3-40	40-68
771D	22,7-32,2	32,2-41,6	41,6-55
773D	24,5-36	36-53	53-68
775D	30,3-41,6	41,6-56,8	56,8-73,8
776D	53-73,8	73,8-96,5	96,5-117,3
777D	36-53	53-73,8	73,8-96,5
784B/785B	53-79,5	79,5-109,8	100,8-145,7
789B	68,1-102,2	102,2-141,9	141,9-185,5
793C	-	-	-

Πίνακας 7. Ωριαία κατανάλωση καυσίμου αντίστοιχων μοντέλων φορτηγών (εγχειρίδιο κατασκευαστή)

Ο συντελεστής επιβάρυνσης (Low-Medium-High) ορίζεται από τον κατασκευαστή ως εξής:

- **Χαμηλός (Low):** 20%-30%
- **Μέτριος (Medium):** 30%-40%
- **Υψηλός (High):** 40%-50%

Ο συντελεστής αυξάνεται από την αντίσταση κύλισης, το μικτό βάρος του φορτηγού (υπερφόρτωση), και από ανηφορικούς δρόμους, ενώ μειώνεται όσο βρίσκεται ο κινητήρας στο ρελαντί (προσωρινή στάση, φόρτωση κ.α.) και σε κατηφορικούς δρόμους.

Με βάση τα παραπάνω η τιμή του ωριαίου κόστους καυσίμου δίνεται από τον τύπο:

$$\text{Ωριαίο κόστος καυσίμου} = \text{Ωριαία κατανάλωση} * \text{Τιμή πετρελαίου της περιοχής}$$

[5.2.1.1]

Όπου: τιμή πετρελαίου = 1,342 €/λτ (ropek.gr)

Επίσης θεωρήθηκε ότι τα δρομολόγια που θα κάνουν τα φορτηγά θα είναι από το σπαστήρα προς τις βαθμίδες (κατηφόρα – άδειο) και το αντίστροφο (ανηφόρα – φορτωμένο).

Οι τιμές της ωριαίας κατανάλωσης (ανάλογα με τον συντελεστή επιβάρυνσης) για κάθε μηχανήμα αναλύθηκε όπως φαίνεται στον πίνακα 8.

	769B			773B		
	Ελάχιστη τιμή	Μεσαία τιμή	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Μεσαία τιμή	Μέγιστη τιμή
LOW:	20,8	25,55	30,3	24,5	30,25	36
MEDIUM:	30,3	35,15	40	36	44,5	53
HIGH:	40	54	68	53	60,5	68

Πίνακας 8. Τιμές συντελεστών επιβάρυνσης κινητήρα

(Δεν ήταν εύκολο να βρεθούν οι αντίστοιχες τιμές για τα μοντέλα 769B και 773B επειδή ήταν σχετικά παλαιότερης χρονολογίας έτσι χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές των μοντέλων 769D και 773D τα οποία, σύμφωνα με τον κατασκευαστή, είναι παρόμοια με τα εξεταζόμενα μοντέλα)

Ο κατασκευαστής δίνει ένα όριο μέσα στο οποίο εκτιμάται η ωριαία κατανάλωση καυσίμου σε συνάρτηση με το επίπεδο του συντελεστή επιβάρυνσης (π.χ. για το μηχανήμα 769: Low: 20,8-30,3 λτ/ώρα). Έτσι όταν υπολογίζεται η κατανάλωση για ανηφόρα και φορτωμένο χωματουργικό αυτοκίνητο, στην εξίσωση [5.2.1] χρησιμοποιούνται οι τιμές του συντελεστή «HIGH» και πιο συγκεκριμένα για δρόμο κλίσης 5% η ελάχιστη τιμή του, για δρόμο κλίσης 8%

η μεσαία τιμή του και για δρόμο κλίσης 10% η μέγιστη τιμή του. Αντίστοιχα για κατηφορικό δρόμο και άδριο χωματουργικό αυτοκίνητο χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές του συντελεστή «LOW».

Τα αποτελέσματα των παραπάνω πράξεων και για τα δυο είδη φορτηγών φαίνονται συγκεντρωτικά στους πίνακες 9 και 10.

ΜΟΝΤΕΛΟ ΦΟΡΤΗΓΟΥ: 769B				
ΑΝΗΦΟΡΑ-ΦΟΡΤΩΜΕΝΟ				
ΚΛΙΣΗ (%)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΙΝΗΣΗΣ (km/hr)	ΩΡΙΑΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ(€/hr)	ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ (€/km)
5	1.805	11	54	5
8	1.165	9	72	8
10	915	8	91	12
ΚΑΤΗΦΟΡΑ-ΑΔΕΙΟ				
ΚΛΙΣΗ (%)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΙΝΗΣΗΣ (km/hr)	ΩΡΙΑΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ(€/hr)	ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ (€/km)
5	1.805	32	28	1
8	1.165	25	34	1
10	915	22	41	2

Πίνακας 9. Κόστος κατανάλωσης καυσίμου (1) για μοντέλο φορτηγού 769B

ΜΟΝΤΕΛΟ ΦΟΡΤΗΓΟΥ: 773B				
ΑΝΗΦΟΡΑ-ΦΟΡΤΩΜΕΝΟ				
ΚΛΙΣΗ (%)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΙΝΗΣΗΣ (km/hr)	ΩΡΙΑΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ(€/hr)	ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ (€/km)
5	1805	12	71	6
8	1165	9	81	9
10	915	8	91	12
ΚΑΤΗΦΟΡΑ-ΑΔΕΙΟ				
ΚΛΙΣΗ (%)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΙΝΗΣΗΣ (km/hr)	ΩΡΙΑΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ(€/hr)	ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ (€/km)
5	1805	34	33	1
8	1165	26	41	2
10	915	23	48	2

Πίνακας 10. Κόστος κατανάλωσης καυσίμου (1) για μοντέλο φορτηγού 773B

(Η τιμή του κόστους καυσίμου όπως αυτή αναγράφεται στους πίνακες 9 και 10 είναι στρογγυλοποιημένη)

$$\text{Όπου: Κόστος καυσίμου (€/km)} = \frac{\text{Ωριαίο κόστος καυσίμου } \left(\frac{\text{€}}{\text{hr}}\right)}{\text{Ταχύτητα κίνησης } \left(\frac{\text{km}}{\text{hr}}\right)}$$

Τα συνολικά έξοδα της κατανάλωσης (1) για λειτουργία 8 χρόνων του λατομείου (απαιτούμενος χρόνος για την δημιουργία της τελικής φάσης) υπολογίστηκαν με την βοήθεια της εξίσωσης:

$$\bullet \text{ Συνολικά έξοδα κατανάλωσης καυσίμου = Ωριαίο κόστος καυσίμου (€/hr) * } \\ \text{Συνολικός χρόνος δρομολογίου * Αριθμός ημερησίων δρομολογίων (32) * Ημέρες} \\ \text{λειτουργίας του λατομείου σε έναν χρόνο (300) * χρόνια λειτουργίας του λατομείου} \\ \text{(8)} \quad [5.2.1.2]$$

Η εξίσωση [5.2.1.2] χρησιμοποιείται για τα δύο διαφορετικά είδη φορτηγού, για τις δυο περιπτώσεις «ανηφόρας-φορτωμένο» και «κατηφόρα-άδειο» και για κάθε κλίση δρόμου

ξεχωριστά. Τα αποτελέσματα της εξίσωσης για κάθε περίπτωση ξεχωριστά δίνονται στον πίνακα 11.

769B			
ΚΛΙΣΗ (%)	Ανηφόρα-Φορτωμένο	Κατηφόρα-Άδειο	Σύνολο (€)
5	1.572.582	817.743	2.390.325
8	1.930.597	913.458	2.844.055
10	2.312.698	1.030.511	3.343.209
773B			
ΚΛΙΣΗ (%)	Ανηφόρα-Φορτωμένο	Κατηφόρα-Άδειο	Σύνολο (€)
5	2.041.953	943.922	2.985.875
8	2.123.026	1.061.513	3.184.539
10	2.271.999	1.202.823	3.474.821

Πίνακας 11. Κόστος καυσίμων για 8 χρόνια λειτουργίας (κατανάλωση καυσίμου (1))

(Caterpillar, Estimating owning & operating costs)

5.2.2 Κατανάλωση καυσίμου (2)

Μια δεύτερη εξίσωση, σύμφωνα με τους Runge (1998) και Filas (2002), που μπορεί να υπολογίσει την ωριαία κατανάλωση καυσίμου (FC) είναι:

$$FC = P * 0.3 * LF \quad [5.2.2.1]$$

Όπου: P = ισχύς κινητήρα (KW)

LF = συντελεστής επιβάρυνσης κινητήρα

Σε αυτή την περίπτωση, πάλι, δίνεται το εύρος τιμών του συντελεστή επιβάρυνσης κινητήρα και αυτό είναι: 0,25 – 0,75. Στην περίπτωση «Ανηφόρα-Φορτωμένο» οι τιμές του συντελεστή θα είναι οι μεγαλύτερες, αφού υπάρχει μεγάλη επιβάρυνση στον κινητήρα, δηλαδή θα είναι 0,65-0,70-0,75 για κλίση δρόμου 5%, 8% και 10% αντίστοιχα. Στην περίπτωση «Κατηφόρα-Άδειο» οι τιμές θα είναι οι μικρότερες, αφού υπάρχει μικρή επιβάρυνση στον κινητήρα, δηλαδή θα είναι 0,25-0,30-0,35 για κλίση δρόμου 5%, 8% και 10% αντίστοιχα.

Πολλαπλασιάζοντας την εξίσωση [5.2.2.1] με την τιμή του πετρελαίου υπολογίζεται το ωριαίο κόστος καυσίμου.

Τα αποτελέσματα των παραπάνω πράξεων και για τα δυο είδη φορτηγών φαίνονται συγκεντρωτικά στους πίνακες 12 και 13.

ΜΟΝΤΕΛΟ ΦΟΡΤΗΓΟΥ: 769B				
ΑΝΗΦΟΡΑ-ΦΟΡΤΩΜΕΝΟ				
ΚΛΙΣΗ (%)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΙΝΗΣΗΣ (km/hr)	ΩΡΙΑΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ(€/hr)	ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ (€/km)
5	1.805	11	81	7
8	1.165	9	87	10
10	915	8	93	12
ΚΑΤΗΦΟΡΑ-ΑΔΕΙΟ				
ΚΛΙΣΗ (%)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΙΝΗΣΗΣ (km/hr)	ΩΡΙΑΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ(€/hr)	ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ (€/km)
5	1.805	32	31	1
8	1.165	25	37	1
10	915	22	44	2

Πίνακας 12. Κόστος κατανάλωσης καυσίμου (2) για μοντέλο φορτηγού 769B

ΜΟΝΤΕΛΟ ΦΟΡΤΗΓΟΥ: 773B				
ΑΝΗΦΟΡΑ-ΦΟΡΤΩΜΕΝΟ				
ΚΛΙΣΗ (%)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΙΝΗΣΗΣ (km/hr)	ΩΡΙΑΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ(€/hr)	ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ (€/km)
5	1.805	12	117	10
8	1.165	9	126	14
10	915	8	135	17
ΚΑΤΗΦΟΡΑ-ΑΔΕΙΟ				
ΚΛΙΣΗ (%)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΙΝΗΣΗΣ (km/hr)	ΩΡΙΑΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ(€/hr)	ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ (€/km)
5	1.805	34	45	1
8	1.165	26	54	2
10	915	23	63	3

Πίνακας 13. Κόστος κατανάλωσης καυσίμου (2) για μοντέλο φορτηγού 773B

(Η τιμή του κόστους καυσίμου όπως αυτή αναγράφεται στους πίνακες 12 και 13 είναι στρογγυλοποιημένη)

$$\text{Όπου: Κόστος καυσίμου (€/km)} = \frac{\text{Ωριαίο κόστος καυσίμου } (\frac{\text{€}}{\text{hr}})}{\text{Ταχύτητα κίνησης } (\frac{\text{km}}{\text{hr}})}$$

Τα συνολικά έξοδα της κατανάλωσης (2) για λειτουργία 8 χρόνων του λατομείου (απαιτούμενος χρόνος για την δημιουργία της τελικής φάσης) υπολογίστηκαν με την βοήθεια της εξίσωσης [5.2.1.2] της προηγούμενης παραγράφου.

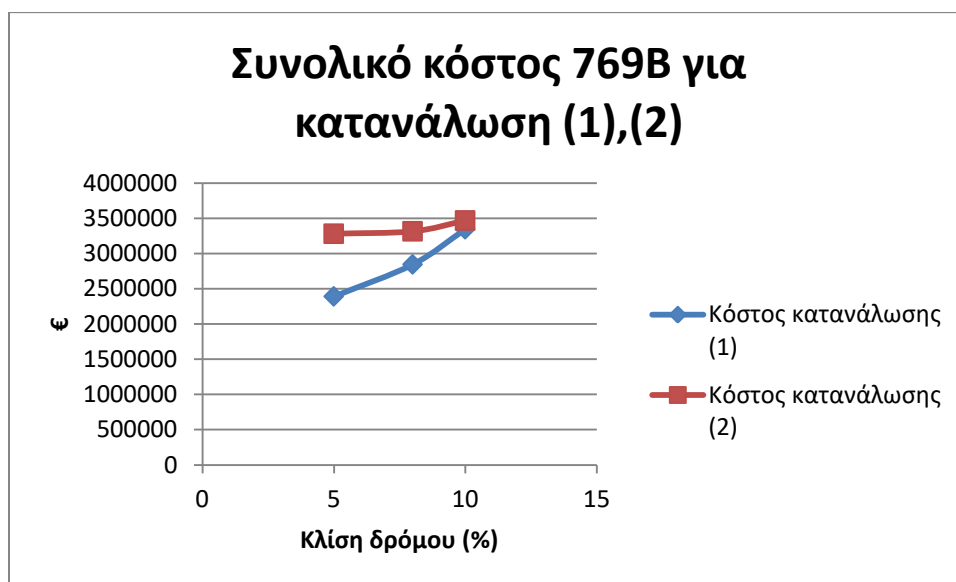
Η εξίσωση χρησιμοποιήθηκε για τα δύο διαφορετικά είδη φορτηγού, για τις δυο περιπτώσεις «ανηφόρας-φορτωμένο» και «κατηφόρα-άδειο» και για κάθε κλίση δρόμου ξεχωριστά. Τα αποτελέσματα της εξίσωσης για κάθε περίπτωση ξεχωριστά δίνονται στον πίνακα 14.

769B			
ΚΛΙΣΗ (%)	Ανηφόρα-Φορτωμένο	Κατηφόρα-Άδειο	Σύνολο (€)
5	2.368.898	911.115	3.280.013
8	2.319.934	994.257	3.314.191
10	2.364.564	1.103.463	3.468.027

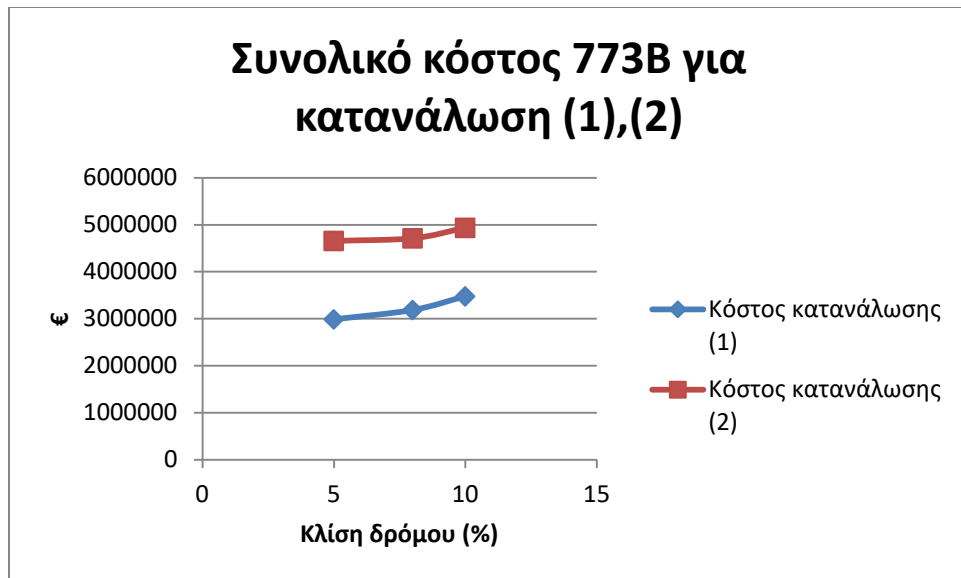
773B			
ΚΛΙΣΗ (%)	Ανηφόρα-Φορτωμένο	Κατηφόρα-Άδειο	Σύνολο (€)
5	3.361.999	1.293.077	4.655.076
8	3.297.709	1.413.304	4.711.013
10	3.364.145	1.569.934	4.934.079

Πίνακας 14. Κόστος καυσίμων για 8 χρόνια λειτουργίας (κατανάλωση καυσίμου (2))

(Kecojevic & Komljenovic, 2010)



Διάγραμμα 2. Συνολικό κόστος καυσίμων για 8 χρόνια, του μηχανήματος 769B



Διάγραμμα 3. Συνολικό κόστος καυσίμων για 8 χρόνια, του μηχανήματος 773B

Από τα διαγράμματα 2 και 3 συμπεραίνεται ότι όσο αυξάνεται η κλίση του δρόμου αυξάνεται και η κατανάλωση του καυσίμου.

Τα πραγματικά έξοδα μπορεί να διαφέρουν από τα θεωρητικά, τα οποία μόλις υπολογίστηκαν, αφού στο λατομείο και στην καθημερινότητά του υπάρχουν πολλοί παράγοντες ακόμα που μπορούν να τα επηρεάσουν. Για παράδειγμα, κατανάλωση υπάρχει και στο διάστημα που ο κινητήρας του αυτοκινήτου βρίσκεται στο ρελαντί (π.χ. διάστημα φόρτωσης) και ακόμα μεγαλύτερη κατανάλωση υπάρχει όταν το χωματουργικό αυτοκίνητο κάνει συχνές στάσεις στο δρομολόγιό του και προσπαθεί κάθε φορά να ξανά ξεκινήσει. Τέτοιοι παράγοντες αυξάνουν την κατανάλωση και το κόστος και στις τρεις διαφορετικές περιπτώσεις κλίσης δρόμου οπότε το γενικό αποτέλεσμα που βγαίνει από τα διαγράμματα 2 και 3 παραμένει ίδιο.

5.3 Φθορά ελαστικών

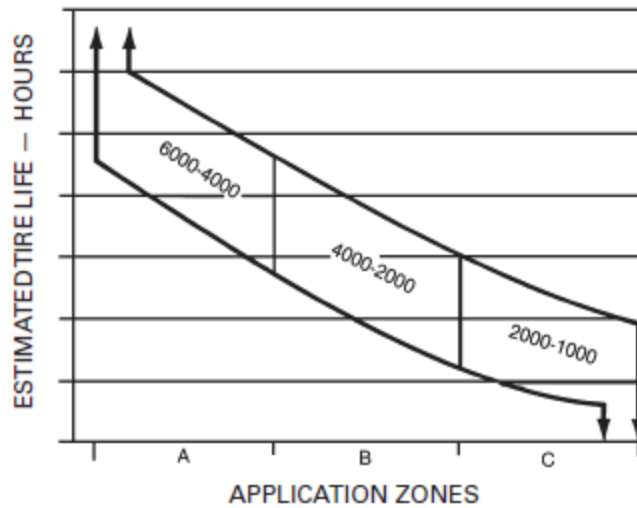
Τα έξοδα που οφείλονται στην αντικατάσταση των ελαστικών είναι ένα σημαντικό ποσοστό από τα συνολικά έξοδα ενός μηχανήματος. Πολλοί απρόβλεπτοι παράγοντες κάνουν τον υπολογισμό τους, συχνά, πολύ δύσκολο. Αποκλίσεις μπορεί να υπάρχουν ανάμεσα και στις διαφορετικές εταιρίες κατασκευή ελαστικών. Η διάρκεια ζωής ενός ελαστικού μπορεί να διαφέρει από ένα άλλο διαφορετικής κατασκευαστικής εταιρίας (κάτω υπό τις ίδιες συνθήκες). Όπως στην περίπτωση της κατανάλωσης καυσίμου, έτσι και για την φθορά των ελαστικών η καλύτερη μέθοδος πρόβλεψής τους είναι οι παρατηρήσεις σε πραγματικό χώρο κατά την διάρκεια της λειτουργίας των μηχανημάτων. Παρ' όλα αυτά η εταιρία των μηχανημάτων δίνει μια μέση λύση για την διάρκεια ζωής των ελαστικών, μέσα από αποτελέσματα δικών της ερευνών, τα οποία σχετίζονται με την κατάσταση της περιοχής χρήσης τους και την μεταχείρισή τους.

Δίνονται τρεις ζώνες (A, B και C) κατά τις οποίες:

- **Zone A:** Τα ελαστικά φθείρονται στο πέλμα λόγω της τριβής.
- **Zone B:** Ορισμένα ελαστικά φθείρονται κανονικά, ενώ άλλα αποτυγχάνουν πρόωρα λόγω κοψίματος, κρούσεων και μη επισκευασμένων βαθουλωμάτων (τρύπες) του δρόμου
- **Zone C:** Τα ελαστικά φθείρονται λόγω μη επισκευασμένων ζημιών, συνήθως από κοψίματα, κρούσεις ή συνεχή υπερφόρτωση.

Για το λατομείο που μελετάται, επιλέγεται η ζώνη C λόγω της συχνής εμφάνισης πετρωμάτων στον δρόμο, τα οποία είναι ικανά να προκαλέσουν ζημιά στα ελαστικά με τις αιχμηρές τους ακμές οι οποίες δημιουργούνται κατά κύριο λόγο με τις εκρήξεις που πραγματοποιούνται. Συνεπώς οι εκτιμώμενες ώρες ζωής των ελαστικών είναι περίπου 1500 ώρες (ο μέσος όρος των ωρών που ορίζει ο κατασκευαστής για την ζώνη C) (εικόνα 40).

MINING & OFF-HIGHWAY TRUCKS



Εικόνα 40. Εκτιμώμενη διάρκεια ζωής ελαστικού βαρέως τύπου χωματουργικού αυτοκινήτου (Caterpillar, Estimating owning & operating costs)

Γνωρίζοντας τον αριθμό των δρομολογίων που κάνουν τα φορτηγά την ημέρα (32 δρομολόγια) και τον χρόνο που χρειάζεται για να ολοκληρωθεί ένα δρομολόγιο για κάθε πιθανή κλίση του δρόμου, υπάρχει η δυνατότητα να υπολογιστούν οι ημερήσιες ώρες μετακινήσεων των φορτηγών. Ο υπολογισμός γίνεται ως εξής:

$$\text{Ημερήσιες ώρες μετακινήσεων} = \frac{\text{Χρόνος δρομολογίου (min)} \cdot \text{Ημερήσιος αριθμός δρομολογίων}}{60}$$

[5.3.1]

Η παραπάνω εξίσωση λύνεται τρεις φορές αντίστοιχα για κάθε διαφορετική κλίση δρόμου. Στη συνέχεια διαιρώντας τις αναμενόμενες ώρες ζωής του ελαστικού (1500) με τις ώρες μετακινήσεων ανά ημέρα, υπολογίζονται οι αντίστοιχες πιθανές ημέρες ζωής των ελαστικών.

$$\text{Ημέρες ζωής ελαστικών} = \frac{\text{Αναμενόμενες ώρες ζωής ελαστικού}}{\text{Ωρες μετακινήσεων ανά ημέρα}}$$

[5.3.2]

Τα αποτελέσματα των εξισώσεων [5.3.1] και [5.3.2] φαίνονται στον πίνακα 15.

Αναμενόμενες ώρες ζωής ελαστικού: 1500 ώρες			
Απαιτούμενα δρομολόγια φορτηγών ανά ημέρα: 32 δρομολόγια			
Κλίση δρόμου (%)	Χρόνος δρομολογίου (min)	Ημερήσιες ώρες μετακινήσεων φορτηγών	Ημέρες ζωής ελαστικού
5	22	12	125
8	20	11	138
10	19	10	145

Πίνακας 15. Εκτιμώμενες ημέρες ζωής ελαστικών

Η τιμή του ελαστικού διαφέρει ανάλογα με την εταιρία κατασκευής της. Μια ενδιάμεση τιμή ελαστικού κατάλληλου μεγέθους για τα φορτηγά του λατομείου είναι 4500€ (otrusa.com). Το κάθε χωματουργικό αυτοκίνητο χρειάζεται 6 ελαστικά. Άρα η τιμή των ελαστικών 5 φορτηγών είναι:

Τιμή ελαστικών για 5 φορτηγά = 4500 (τιμή ενός ελαστικού) * 6 (ελαστικά ενός φορτηγού) * 5 (αριθμός φορτηγών) = 135000 €

Τα συνολικά έξοδα των ελαστικών για τα 8 χρόνια λειτουργίας του λατομείου υπολογίστηκαν ως εξής:

Έξοδα ελαστικών για 8 χρόνια =

$$= \left(\frac{\text{Ημέρες λειτουργίας λατομείου ανά χρόνο} (300) * \text{χρόνια λειτουργίας λατομείου} (8)}{\text{Ημέρες ζωής ελαστικού}} \right) * \text{Τιμή ελαστικών για 5}$$

φορτηγά (135000)

[5.3.3]

Η παραπάνω εξίσωση λύνεται για κάθε μία από τις 3 κλίσεις που μελετώνται και τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 16.

Έξοδα ελαστικών για 8 χρόνια	
Κλίση Δρόμου (%)	Έξοδα (€)
5	2.583.806
8	2.353.368
10	2.240.728

Πίνακας 16. Έξοδα ελαστικών για τα 8 χρόνια λειτουργίας του λατομείου



Διάγραμμα 4. Διάγραμμα συνολικών εξόδων ελαστικών συναρτήσει της κλίσης του δρόμου

Από το διάγραμμα 4 παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται η κλίση του δρόμου τόσο μειώνονται τα έξοδα των ελαστικών.

Οι υπολογισμοί των ελαστικών έγιναν για το ένα είδος φορτηγού (773B) αφού οι διαφορετικοί παράγοντες που επηρεάζουν το αποτέλεσμα είναι το κόστος του ελαστικού λόγω διαφοράς μεγέθους (παρόμοια ελαστικά με μικρή απόκλιση στην τιμή) και ο χρόνος δρομολογίου (min) ο οποίος δεν έχει και πάλι μεγάλη απόκλιση.

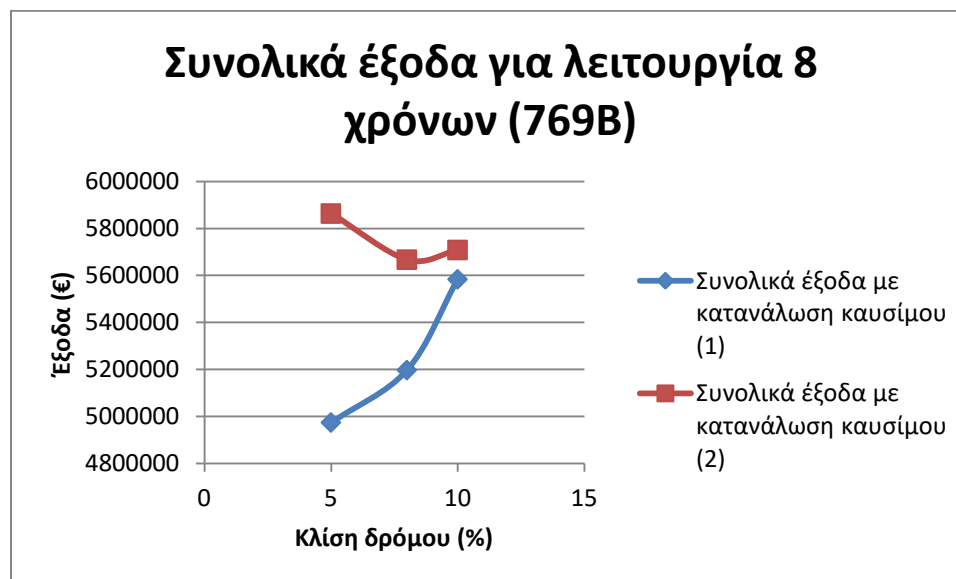
5.4 Επιλογή κλίσης δρόμου

Στις παραγράφους 5.2.1 και 5.2.2 υπολογίστηκαν ξεχωριστά τα συνολικά έξοδα της κατανάλωσης καυσίμου, για διάρκεια λειτουργίας του λατομείου οχτώ χρόνων, με δυο

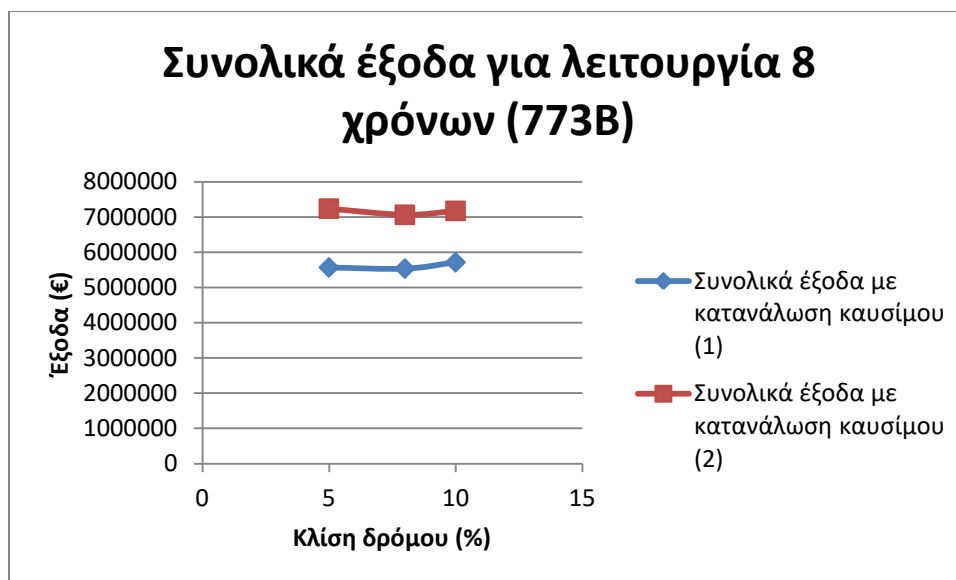
διαφορετικούς τρόπους – εξισώσεις οι οποίες απέδειξαν αμφότερες ότι με την αύξηση της κλίσης του δρόμου αυξάνονται και τα έξοδα καυσίμων. Στην παράγραφο 5.3 του ίδιου κεφαλαίου υπολογίστηκαν και τα συνολικά έξοδα που προκύπτουν από την φθορά των ελαστικών, για διάρκεια λειτουργίας του λατομείου οχτώ χρόνων, και αποδείχθηκε ότι με την αύξηση της κλίσης του δρόμου τα έξοδα μειώνονται. Προσθέτοντας, λοιπόν, τα συνολικά έξοδα για κάθε περίπτωση κατανάλωσης καυσίμου με τα συνολικά έξοδα των ελαστικών (για κάθε περίπτωση κλίσης δρόμου και μοντέλο μηχανήματος αντίστοιχα) υπολογίστηκαν τα συνολικά έξοδα που επιβαρύνουν το λατομείο, σχετικά με την λειτουργία των φορτηγών.

MONTEAO: 769B			MONTEAO: 773B	
Κλίση δρόμου (%)	Κατανάλωση(1)+ φθορά ελαστικών (€)	Κατανάλωση(2)+ φθορά ελαστικών (€)	Κατανάλωση(1)+ φθορά ελαστικών (€)	Κατανάλωση(2)+ φθορά ελαστικών (€)
5	4.974.131	5.863.819	5.569.681	7.238.882
8	5.197.424	5.667.560	5.537.908	7.064.381
10	5.583.937	5.708.755	5.715.549	7.174.807

Πίνακας 17. Συνολικά έξοδα για λειτουργία 8 χρόνων



Διάγραμμα 5. Συνολικά έξοδα για λειτουργία 8 χρόνων (769B)



Διάγραμμα 6. Συνολικά έξοδα για λειτουργία 8 χρόνων (773B)

Στον πίνακα 17 και στα διαγράμματα 5 και 6 παρατηρείται ότι η κλίση δρόμου που επιφέρει τα λιγότερα έξοδα είναι η κλίση 8%, εκτός στην περίπτωση του φορτηγού 769B κατά την κατανάλωση (1) όπου η πιο οικονομική κλίση δρόμου είναι αυτή των 5%. Παρ' όλα αυτά θα επιλεγθεί ο δρόμος κλίσης 8% αφού έχει πιο οικονομικά αποτελέσματα στις περισσότερες περιπτώσεις. (Caterpillar, Estimating owning & operating costs)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Συμπεράσματα – Προτάσεις

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε ο σχεδιασμός για την συνέχιση της εκμετάλλευσης του λατομείου, σε περιοχή αυτού όπου οι διαδικασίες έχουν ήδη ξεκινήσει, με την βοήθεια του σχεδιαστικού προγράμματος Autodesk AutoCAD Civil 3D 2018. Έπειτα από τον απαραίτητο αυτό σχεδιασμό κύριος σκοπός ήταν να επιλεγθεί ο πιο οικονομικός δρόμος προσπέλασης (μέσα από 3 διαφορετικές κλίσεις δρόμου 5%, 8% και 10%) λαμβάνοντας υπόψη κυρίως την κατανάλωση καυσίμου και την φθορά των ελαστικών. Αποδείχθηκε ότι ο δρόμος με κλίση 8% είναι ο οικονομικότερος. Οπότε στο λατομείο θα πρέπει να δημιουργηθεί ο δρόμος κλίσης 8%, όπως αυτός παρουσιάζεται στις εικόνες 28-30 και 34-36 των παραγράφων 4.3 και 4.4 αντίστοιχα. Με αυτή την επιλογή τα φορτηγά θα καταφέρνουν να μεταφέρουν αποτελεσματικά και οικονομικά το υλικό από το σημείο φόρτωσης μέχρι το σημείο που βρίσκεται ο σπαστήρας, για να συνεχιστεί η περεταίρω επεξεργασία του.

Τα όρια του λατομείου στα οποία έγινε ο σχεδιασμός για τις οδούς προσπέλασης και οι υπολογισμοί για τον πιο οικονομικό δρόμο, ήταν αδύνατο να σχεδιαστεί δρόμος κλίσης 5% σε τόσο μικρή περιοχή και να καταλήξει η εκμετάλλευση στο ζητούμενο βάθος (+25m). Παρ' όλα αυτά έγιναν θεωρητικοί υπολογισμοί για τον συγκεκριμένο δρόμο κλίσης, διότι στον συνολικό λατομικό χώρο δικαιοδοσίας της εταιρείας ο δρόμος θα αλλάξει σχήμα και πιθανόν να μην είναι η κλίση 8% η πιο οικονομική σε όλα τα σημεία του χώρου. Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να εξετασθούν εκ νέου τα δεδομένα και να υπολογιστούν ξανά τα συσχετιζόμενα οικονομικά (ελαστικά - κατανάλωση) και γεωγραφικά στοιχεία της περιοχής για να βγουν σωστά συμπεράσματα. Επίσης, στην περίπτωση σχεδιασμού του δρόμου μέσα σε ολόκληρη την λατομική περιοχή, θα μπορεί να σχεδιασθεί δρόμος που να μην είναι συνεχόμενος από την αρχή μέχρι το τέλος αλλά να δημιουργηθούν ράμπες κατάλληλης κλίσης σε κατάλληλα σημεία του λατομείου ώστε να υπάρχει μια σχετική ευελιξία στο σχεδιασμό αλλά και στον τρόπο εργασίας των μηχανημάτων. Η κλίση μεγέθους 60 μοιρών που προσδιορίστηκε να έχουν τα πρανή του λατομείου κατά την τελική τους φάση μπορεί να θεωρηθεί και ως συντηρητική, εφόσον υπάρχει η δυνατότητα μεγαλύτερης κλίσης αν το επιτρέπει ο τρόπος εξόρυξης και ο τεκτονισμός. Λόγω του ανισότροπου τεκτονισμού στην περιοχή του λατομείου προτείνεται η εκπόνηση μίας γεωτεκτονικής ανάλυσης ευστάθειας πρανούς και στα σημεία όπου αυτή το επιτρέπει η κλίση του μετώπου να αυξηθεί μέχρι 75°-80°, έτσι ώστε να εκμεταλλευτεί και περισσότερο υλικό.

Βιβλιογραφία

Ιστοσελίδες

- <https://www.cadblocksfree.com/en/tree-3d-03.html>
- <http://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/CM20161108-49070-21972>
- <https://www.ritchiespecs.com/model/caterpillar-773-rock-truck>
- www.orykta.gr.
- <https://grabcad.com/library/3d-cat-793f>
- <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CF%83%CE%B2%CE%B5%CF%83%CF%84%CF%8C%CE%BB%CE%B9%CE%B8%CE%BF%CF%82>
- https://grabcad.com/library/cat-excavator/details?folder_id=230819
- <https://www.ritchiespecs.com/model/caterpillar-350-l-hydraulic-excavator>
- <http://speceps.com/tires/mining-11994/caterpillar.html>
- <https://www.otrusa.com/product/24-00r35-2-michelin-xdt-e4-b-tl/>
- <https://www.popek.gr/index.php/el/times-kafsimon/home>
- www.scribd.com/document/352204699/Economic-Evaluation-of-Optimum-bench-height-in-quarries-pdf

Διεθνής Βιβλιογραφία

- Baek, J., & Choi, Y. (2017, July). *A new method for haul road design in open-pit mines to support efficient truck haulage operations*. Ανάκτηση από researchgate.net: https://www.researchgate.net/publication/318648295_A_New_Method_for_Haul_Road_Design_in_Open-Pit_Mines_to_Support_Efficient_Truck_Haulage_Operations

- Caterpillar. (n.d.). *Estimating owning & operating costs*. Ανάκτηση από www.holtcat.com:
<https://www.holtcat.com/Documents/PDFs/2012PerformanceHandbook/Owning%20&%20Operating%20Costs%20-%20Sec%2020.pdf>
- Caterpillar. (n.d.). *Specification sheet of 769B truck*. Ανάκτηση από ccmodels.com:
https://ccmodels.com/wp-content/uploads/2015/05/769B_Spec_Sheet.pdf
- Franzese, O. (2011, October). *Effect of weight and roadway grade on the fuel economy of class-8 freight trucks*. Ανάκτηση από info.ornl.gov:
<https://info.ornl.gov/sites/publications/files/Pub33386.pdf>
- Hustrulid, W., Kuchta, M., & Martin, R. (2013). *Open pit mine planning & design* (Τόμ. 3).
- Kaufman, W. W., & Ault, J. C. (1977). *Design of surface mine haulage roads - A manual*. Ανάκτηση από upload.wikimedia.org:
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fd/CDC_Road_manual_1977.pdf
- Kecojevic, V., & Komljenovic, D. (2010, December). *Haul truck fuel consumption and CO2 emmision under various engine load conditions*. Ανάκτηση από www.researchgate.net:
https://www.researchgate.net/publication/261214668_Haul_truck_fuel_consumption_and_CO2_emmision_under_various_engine_load_conditions
- Kubler, K. A. (2015, October). *Optimisation of off-highway truck fuel consumption through mine haul road design*. Ανάκτηση από eprints.usq.edu.au:
https://eprints.usq.edu.au/29266/1/Kubler_K_Baker.pdf
- Masid-Tehrani, M., Dahmardeh, M., & Ebrahiminejad, S. (2020, february). *Combined fuel consumption and emission optimization model for heavy construction equipment*. Ανάκτηση από www.researchgate.net:
https://www.researchgate.net/publication/337244094_Combined_fuel_consumption_and_emission_optimization_model_for_heavy_construction_equipment

- Rodovalho, E., Lima, H. m., & Tomi, G. (2016, February). *New approach for reduction of diesel consumption by comparing different mining haulage configurations*. Ανάκτηση από [repositorio.ufop.br: https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/6751/1/ARTIGO_NewApproachReduction.pdf](https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/6751/1/ARTIGO_NewApproachReduction.pdf)
- Thoeni, K., Servin, M., Sloan, S. W., & Giacomini, A. (2018). *Designing waste rock barriers by advanced numerical modelling*. Ανάκτηση από [sciencedirect.com: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674775518303895](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674775518303895)

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Αγιουτάντης, Ζ. Γ., & Μερτίκας, Σ. Π. (2003). *Ένας πρακτικός οδηγός για τη συγγραφή τεχνικών κειμένων*. Χανιά.
- Εξαδάκτυλος, Γ., & Σαράτσης, Γ. (n.d.). " Σχεδιασμός υπαιθρίων εκμεταλλεύσεων". *Εκτίμηση αποθεμάτων & σχεδιασμός (αρχιτεκτονική) (1)* . Χανιά.
- Κανονισμός Μεταλλευτικών και Λατομικών Εργασιών. (n.d.).
- Μανούτσογλου, Ε. (2008, Απρίλιος). Σημειώσεις μαθήματος. *Εισαγωγή στην γεωλογία Ελλάδος* . Χανιά.