



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ –ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΤΗΤΑ
ΤΗΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΣΙΔΗΡΟΝΙΚΕΛΙΟΥΧΟΥ
ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΟΥΛΙΩΤΗΣ ΒΑΣΙΛΗΣ

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Μενεγάκη Μαρία, Καθηγήτρια ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2021



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ –ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΤΗΤΑ
ΤΗΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΣΙΔΗΡΟΝΙΚΕΛΙΟΥΧΟΥ
ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΣΟΥΛΙΩΤΗΣ ΒΑΣΙΛΗΣ

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Μενεγάκη Μαρία, Καθηγήτρια ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις .../07/2021

Μενεγάκη Μαρία, Επίκουρη Καθηγήτρια ΕΜΠ

Μπενάρδος Ανδρέας, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

Δαμίγος Δημήτριος, Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2021

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία διερευνά την επίδραση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών στο σχεδιασμό μιας εκμετάλλευσης ενός σιδηρονικελιούχου κοιτάσματος. Για το σκοπό αυτό, πραγματοποιήθηκε σχεδιασμός βασισμένος σε πραγματικά δεδομένα από ένα μεταλλείο στην περιοχή Ρεκαβέτσι που εκμεταλλεύεται από την εταιρεία Γ.Μ.Μ.Α.Ε. ΛΑΡΚΟ στο νομό Ευβοίας. Το προαναφερθέν αυτό κοίτασμα έχει αναπτυχθεί με συγκεκριμένες γεωμετρικές παραμέτρους από τις οποίες προκύπτουν και οι περιεκτικότητες που διαθέτει σε χρήσιμο συστατικό. Στόχος της εργασίας αυτής είναι να εξεταστούν διαφορετικά μοντέλα σχεδιασμού της εκμετάλλευσης με την τροποποίηση κυρίως των γεωμετρικών χαρακτηριστικών ώστε να εξετασθούν οι μεταβολές που προκύπτουν στην οικονομικότητα της εκμετάλλευσης

Ο σχεδιασμοί της εκμετάλλευσης του κοιτάσματος έγιναν με τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή μέσω του μεταλλευτικού προγράμματος Surpac όπου και συνολικά δημιουργήθηκαν 6 εναλλακτικά σχέδια.

Πέρα από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των σχεδιασμών όμως, εξετάστηκαν και 5 διαφορετικές τιμές οριακής περιεκτικότητας, μιας μεταβλητής με ιδιαίτερη βαρύτητα στον καθορισμό της οικονομικότητας της εκμετάλλευσης.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ξεκινώντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω βαθύτατα την κα. Μενεγάκη Μαρία, Επίκουρη καθηγήτρια στη Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών του Ε.Μ.Π., για την προσήλωση και συμβολή της καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας αυτής. Παρείχε όλες τις απαραίτητες γνώσεις και μέσα προκειμένου να ολοκληρωθεί.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την εταιρεία Γ.Μ.Μ.Α.Ε. ΛΑΡΚΟ και συγκεκριμένα τα γραφεία της στην Εύβοια, η οποία παρέθεσε απλόχερα απαραίτητα στοιχεία και πληροφορίες που χρειάστηκαν για την μοντελοποίηση του κοιτάσματος. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί και η ανιδιοτελής διάθεση υλικού από τον γεωλόγο της ΛΑΡΚΟ Σπύρο Παππά και τον μηχανικό της Στεφόπουλο Βαγγέλη, υλικό απαραίτητο για την εκπόνηση της συγκεκριμένης εργασίας.

Σουλιώτης Βασίλης,

Ιούλιος 2021

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση της επίδρασης των γεωμετρικών χαρακτηριστικών σε συνδυασμό με την οριακή περιεκτικότητα στην οικονομικότητα της εκμετάλλευσης ενός σιδηρονικελιούχου κοιτάσματος. Η εκμετάλλευση αυτή αφορά συγκεκριμένο μεταλλείο στην περιοχή Ρεκαβέτσι της κεντρικής Εύβοιας που ανήκει στην εταιρεία Γ.Μ.Μ.Α.Ε.ΛΑΡΚΟ, αλλά τα αποτελέσματα βασίζονται σε πιο θεωρητικά πρότυπα.

Προκειμένου να μπορέσουν να εξετασθούν οι παραπάνω παράμετροι, δημιουργήθηκαν 30 εναλλακτικοί σχεδιασμοί με τη χρήση του μεταλλευτικού λογισμικού SURPAC. Για ελάχιστες οριακές περιεκτικότητες από 0.5 σε νικέλιο (Ni) έως και 0.9 με βήμα 0.1, σχεδιάστηκαν από 6 εκμεταλλεύσεις με διαφορετικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά όσον αφορά το ύψος, το πλάτος και την κλίση των βαθμίδων.

Από τη σύγκριση των διαφορετικών αυτών σχεδιασμών, δημιουργήθηκαν πίνακες κερδοφορίας και ρυθμών μεταβολής της καθώς επίσης εντοπίστηκαν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του βέλτιστου σχεδιασμού αλλά και η οριακή του περιεκτικότητα.

Τέλος, προέκυψαν συμπεράσματα σχετικά με το πώς επηρεάζεται ο ιδανικός σχεδιασμός, ποια γεωμετρικά χαρακτηριστικά θεωρούνται ακατάλληλα και ποια οριακή περιεκτικότητα φέρνει τα καλύτερα οικονομικά αποτελέσματα.

ABSTRACT

The purpose of this diploma thesis is to investigate the effect of geometric features as well as the cut off grade in the economy of the exploitation of a ferronickel deposit. This exploitation concerns a specific mine in the area of Rekavetsi of central Evia, owned by the LARCO G.M.M.S.A. company, thus, the results are based on more theoretical models.

In order to be able to examine the above parameters, 30 alternative designs were created using the mining software SURPAC. For minimum cut off grade values from 0.5 nickel (Ni) to 0.9 with a step of 0.1, 6 exploits with different geometric characteristics were designed in terms of height, width and slope of the benches.

From the comparison of these different designs, profitability boards and their change rates were created as well as the geometric characteristics of the optimal design and its cut off grade were identified.

Finally, conclusions were drawn on how the optimal design is affected, which geometric features are considered inappropriate and cut off grade ends up to the best economic results.

Contents

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	3
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ABSTRACT	6
Κεφάλαιο 1: Νικέλιο.....	11
1.1. Τι είναι το Νικέλιο	11
1.2. Χρήσεις Νικελίου.....	11
1.3. Κοιτάσματα Νικελίου	13
1.4. Ελληνική και Παγκόσμια Βιομηχανία Νικελίου	13
1.5. Διαχρονική Αξία του Νικελίου.....	16
Κεφάλαιο 2: Σχεδιασμός Υπαίθριων Εκμεταλλεύσεων	17
2.1. Γενικά στοιχεία για τον σχεδιασμό	17
2.2. Μέθοδοι Επιφανειακών Εκμεταλλεύσεων	18
2.3. Γεωμετρικά στοιχεία σχεδιασμού.....	19
Κεφάλαιο 3: Οριακή περιεκτικότητα	20
3.1. Εισαγωγή – ορισμός Οριακής Περιεκτικότητας.....	20
3.2. Παράγοντες που καθορίζει η Οριακή Περιεκτικότητα	20
3.3. Επιπτώσεις λανθασμένης επιλογής Οριακής Περιεκτικότητας	21
3.4. Κριτήρια καθορισμού της Οριακής Περιεκτικότητας.....	23
3.5. Παράγοντες που επηρεάζουν την Οριακή Περιεκτικότητα	23
3.6. Υπολογισμός Οριακής Περιεκτικότητας.....	24
Κεφάλαιο 4: Σχεδιασμός Υπαίθριας Εκμετάλλευσης με τη χρήση του προγράμματος SURPAC	26
4.1 Τι είναι το SURPAC	26
4.2. Δημιουργία Βάσης Δεδομένων και Block Model	26
4.3. Δημιουργία κώνων εκμετάλλευσης	31
4.4. Δημιουργία βαθμίδων.....	33
4.5. Τελικός σχεδιασμός εκμετάλλευσης.....	36
Κεφάλαιο 5 ^ο : Χαρακτηριστικά εναλλακτικών σχεδιασμών	42
5.1. 1 ^ο ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ (10m, 6m, 75°)	42
5.1.1. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.5	43

5.1.2. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.6	43
5.1.3. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.7	44
5.1.4. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.8	44
5.1.5. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.9	45
5.2. 2 ^ο ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ (12m, 6m, 75°)	46
5.2.1. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.5	47
5.2.2. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.6	47
5.2.3. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.7	48
5.2.4. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.8	48
5.2.5. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.9	49
5.3. 3 ^ο ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ (15m, 6m, 75°)	50
5.3.1. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.5	51
5.3.2. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.6	51
5.3.3. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.7	52
5.3.4. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.8	52
5.3.5. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.9	53
5.4. 4 ^ο ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ (10m, 6m, 70°)	54
5.4.1. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.5	55
5.4.2. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.6	55
5.4.3. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.7	56
5.4.4. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.8	56
5.4.5. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.9	57
5.5. 5 ^ο ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ (12m, 6m, 70°)	58
5.5.1. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.5	59
5.5.2. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.6	59
5.5.3. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.7	60
5.5.4. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.8	60
5.5.5. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.9	61
5.6. 6 ^ο ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ (15m, 6m, 70°)	62
5.6.1. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.5	63
5.6.2. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.6	63
5.6.3. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.7	64

5.6.4. Περιεκτικότητα $Ni \geq 0.8$	64
5.6.5. Περιεκτικότητα $Ni \geq 0.9$	65
5.7. Ογκομετρήσεις Εκσκαφών	66
5.7.1. Ογκομετρήσεις Χρήσιμου Συστατικού	66
5.7.2. Ογκομετρήσεις συνολικών εκσκαφών	67
5.7.3. Υπολογισμός Αγόνων	67
5.7.4. Υπολογισμός Σχέσης Εκμετάλλευσης.....	68
Κεφάλαιο 6°: Σύγκριση των εναλλακτικών σχεδιασμών ως προς την οικονομικότητα της εκμετάλλευσης 69	
6.1. Ανάλυση κερδών σχεδιασμών	70
6.2. Ρυθμοί μεταβολής κερδοφορίας σχεδιασμών	71
6.2.1. Με βάση την οριακή περιεκτικότητα.....	71
6.2.2. Με βάση τον βέλτιστο σχεδιασμό $12m,6m,75^\circ$	76
Κεφάλαιο 7°: Συμπεράσματα	78
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	81
Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία	81

Εικόνα 1: Χάρτης χωρών με τη μεγαλύτερη εξορυκτική δραστηριότητα νικελίου σε ποσοστά	15
Εικόνα 2: <i>Conical Pit Mining</i>	18
Εικόνα 3: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά βαθμίδας.....	19
Εικόνα 4: Γεωτρήσεις	27
Εικόνα 5: Το <i>Block Model</i> του κοιτάσματος	28
Εικόνα 6: Απεικόνιση των <i>blocks</i> βάση της περιεκτικότητάς τους σε νικέλιο	30
Εικόνα 7: Βάση του κώνου εκμετάλλευσης.....	31
Εικόνα 8: Δημιουργία βαθμίδων ακολουθώντας τον κώνο	35
Εικόνα 9: Ολοκλήρωση δημιουργίας βαθμίδων (0.5 περιεκτικότητα, 10m, 6m, 70°).....	35
Εικόνα 10: Ολοκλήρωση δημιουργίας βαθμίδων (0.7 περιεκτικότητα, 15m, 6m, 75°).....	36
Εικόνα 11: <i>DTM</i> βαθμίδων και <i>DTM</i> αρχικού ανάγλυφου	36
Εικόνα 12: Τελικό σχέδιο <i>DTMs</i>	37
Εικόνα 13: Το όριο που δημιουργήθηκε	37
Εικόνα 14: Βαθμίδες και όριο.....	38
Εικόνα 15: Τελική όψη βαθμίδων σε κάτοψη και πλάγια όψη.....	39
Εικόνα 16: Αρχικό ανάγλυφο με όριο.....	40
Εικόνα 17: Ενιαίος τελικός σχεδιασμός σε κάτοψη και πλάγια όψη	41
Εικόνα 18: Τελικές βαθμίδες με <i>Block Model</i> σε $Ni \geq 0.5$	42
Εικόνα 19: Τελικές βαθμίδες με <i>Block Model</i> σε $Ni \geq 0.5$	46
Εικόνα 20: Τελικές βαθμίδες με <i>Block Model</i> σε $Ni \geq 0.5$	50
Εικόνα 21: Τελικές βαθμίδες με <i>Block Model</i> σε $Ni \geq 0.5$	54
Εικόνα 22: Τελικές βαθμίδες με <i>Block Model</i> σε $Ni \geq 0.5$	58
Εικόνα 23: Τελικές βαθμίδες με <i>Block Model</i> σε $Ni \geq 0.5$	62
Πίνακας 1 Οι 8 μεγαλύτερες χώρες σε παραγωγή νικελίου (μετρικοί τόνοι) 2020	15
Πίνακας 2: Χρωματισμός και περιεκτικότητες.....	30
Πίνακας 3: Ογκομετρήσεις <i>Block Model</i> σε όλες τις περιπτώσεις	66
Πίνακας 4: Ογκομετρήσεις μεταξύ επιφανειών σε όλες τις περιπτώσεις	67
Πίνακας 5: Ογκοί αγόνων	68
Πίνακας 6: Τιμές Σχέσης Εκμετάλλευσης.....	68
Πίνακας 7: Ενδεικτικές τιμές κόστους που χρησιμοποιήθηκαν.....	69
Πίνακας 8 : Σχέσεις Εκμετάλλευσης για βέλτιστο σχεδιασμό.....	76
Πίνακας 9: Όγκοι Νικελίου για συγκεκριμένες περιεκτικότητες.....	77
Διάγραμμα 1 Αρχικές Χρήσεις Νικελίου	12
Διάγραμμα 2 Τελικές Χρήσεις Νικελίου	12
Διάγραμμα 3: Η αξία του νικελίου την εικοσαετία 2001-2021 (\$/tn), (<i>tradingeconomics.com</i>)	16
Διάγραμμα 4: Ο.Π. για διαφορετικό κόστος εκμετάλλευσης και τιμή πώλησης μεταλλεύματος, Μενεγάκη 2010	24
Διάγραμμα 5: Ρυθμός μεταβολής κερδοφορίας.....	72
Διάγραμμα 6: Μεταβολή κερδοφορίας ως προς 10m,6m,70°	73

Κεφάλαιο 1: Νικέλιο

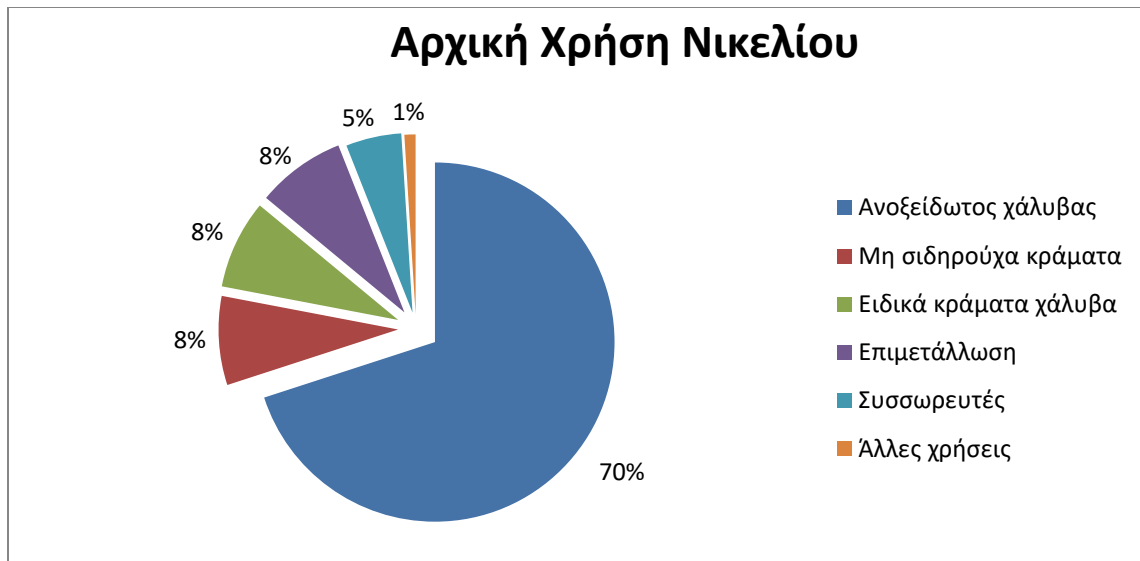
1.1. Τι είναι το Νικέλιο

Το νικέλιο (nickel) πρόκειται για ένα στοιχείο το οποίο συναντάται σε πολλές χώρες παγκοσμίως καθώς αποτελεί το 5^ο πιο κοινό στοιχείο στον πλανήτη. Συναντάται κυρίως στη δομή θειούχων, οξειδίων και αλάτων ανόργανων ουσιών. Η σημασία του ως εμπορικό προϊόν είναι αρκετά υψηλή, διαδραματίζοντας σημαντικό ρόλο στην παγκόσμια βιομηχανική ανάπτυξη καθώς διαθέτει αρκετούς καθοριστικούς παράγοντες. Τέτοιοι παράγοντες είναι η αντοχή, η αντίσταση στη διάβρωση, η ελαστικότητα, η καλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα, τα μαγνητικά χαρακτηριστικά και οι καταλυτικές ιδιότητές του. Με βάση αυτούς, το νικέλιο καθίσταται εξαιρετικά πολύτιμο αγαθό και παραμερίζει σχεδόν όλα τα υπόλοιπα βιομηχανικά μέταλλα.

1.2. Χρήσεις Νικελίου

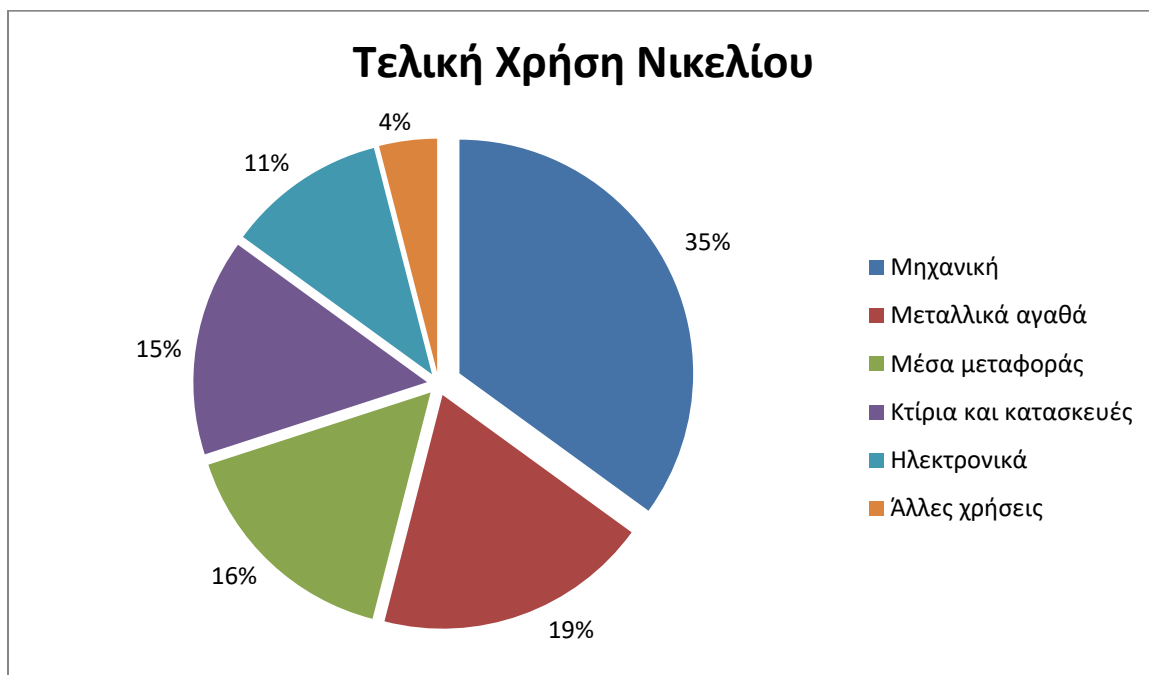
Καθώς το νικέλιο αποτελεί το 5^ο πιο κοινό στοιχείο στον πλανήτη, είναι προφανές ότι οι χρήσεις του δεν μπορούν να εκλείπουν από την καθημερινή ζωή των ανθρώπων. Άλλοτε σε μικρό κι άλλοτε σε μεγαλύτερο βαθμό, το νικέλιο εμπεριέχεται σε αντικείμενα και υλικά αγαθά που χρησιμοποιούμε συνεχώς όπως είναι τα αυτοκίνητα, ηλεκτρονικές συσκευές και εργαλεία.

Η χρήσεις του νικελίου μπορούν να χωριστούν σε «Αρχική Χρήση» και «Τελική Χρήση». Ως «Αρχική Χρήση» αναφερόμαστε στην μετατροπή των προϊόντων σε ενδιάμεσα προϊόντα, τα οποία σχηματίζουν τα θεμέλια για αυτά της «Τελικής Χρήσης» καθώς υπόκεινται σε διάφορες διεργασίες προτού είναι έτοιμα να χρησιμοποιηθούν. Σε αυτήν την κατηγορία το νικέλιο χρησιμοποιείται κυρίως στην παραγωγή ανοξειδωτού χάλυβα μέσω του κράματος του σιδηρονικελίου (70%) οπότε η χρήση του στην κατασκευή κτιρίων είναι ευρεία καθώς τους παρέχει σκληρότητα αντοχή και ανθεκτικότητα. Επιπρόσθετα, χρησιμοποιείται στην παραγωγή μη σιδηρούχων κραμάτων(8%), ειδικών κραμάτων χάλυβα(8%), στην επιμετάλλωση (8%), στους συσσωρευτές(5%) και σε άλλες χρήσεις (1%).



Διάγραμμα 1 Αρχικές Χρήσεις Νικελίου

Όσον αφορά την «Τελική Χρήση», εξαιτίας της εξαιρετικών φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων του, το νικέλιο χρησιμοποιείται σε τελικούς τομείς όπως είναι η μηχανική, μεταλλικά υλικά αγαθά, μέσα μεταφοράς, κατασκευή κτιρίων και άλλα. Τα ποσοστά των προαναφερθέντων χρήσεων παρουσιάζονται στο ακόλουθο διάγραμμα. (nickelinstitute.org)



Διάγραμμα 2 Τελικές Χρήσεις Νικελίου

1.3. Κοιτάσματα Νικελίου

Τα μεταλλεύματα νικελίου με βάση τον τρόπο γένεσης ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες:

1. Θειούχα
2. Λατεριτικά
3. Ιζηματογενή

Τα θειούχα κοιτάσματα είναι συνήθως πολυμεταλλικά και συνδέονται με μεταλλεύματα χαλκού και πλατινοειδών (PGE). Η ιδιαιτερότητα αυτή τους δίνει μια ιδιαίτερα μεγάλη μεταλλευτική αξία.

Στα λατεριτικά κοιτάσματα, εάν το μέταλλευμα δεν επεξεργάζεται σε σιδηρονικέλιο, ανακτάται επίσης κοβάλτιο σαν παραπροϊόν. Με τη ραγδαία ανάπτυξη του νικελίου “Pig Iron” στην Κίνα, λατεριτικά κοιτάσματα με χαμηλή περιεκτικότητα σε νικέλιο απέκτησαν μεγάλη σημασία τόσο για τη μεταλλευτική, όσο και για τη μεταλλουργική βιομηχανία.

Τα ιζηματογενή κοιτάσματα νικελίου διαφέρουν γενετικά από τα κοιτάσματα των άλλων δύο τύπων. Δημιουργήθηκαν από προϊόντα αποσάθρωσης και μεταφοράς του λατεριτικού υλικού. Δεν υπάρχει όμως καμία ποιοτική διαφορά στη χημική σύσταση μεταξύ ιζηματογενών και λατεριτικών κοιτασμάτων νικελίου. (Αποστολίκας, 2009).

1.4. Ελληνική και Παγκόσμια Βιομηχανία Νικελίου

Στην Ελλάδα η βασική γεωλογική έρευνα και οι μελέτες διεξάγονται κυρίως από το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ) το οποίο παρέχει γενικές πληροφορίες σχετικά με τη γεωλογική δομή της χώρας, το μέγεθος, την τοποθεσία και την ποιότητα των διαφόρων μεταλλείων της Ελλάδας και κατά δεύτερο λόγο από άλλους φορείς.

Στην Ελλάδα βρίσκονται φτωχά σιδηρονικελιούχα μεταλλεύματα με μέση περιεκτικότητα σε νικέλιο 0,87% σε αντίθεση με άλλες χώρες του κόσμου. Σύμφωνα με έρευνες και μελέτες που έχουν διεξαχθεί, οι ορυκτοί πόροι λατεριτικών σιδηρονικελιούχων κοιτασμάτων που υπάρχουν στη χώρα μας υπερβαίνουν τους 240

εκατομμύρια τόνους και είναι εξαπλωμένοι κυρίως σε τρεις μεγάλες περιοχές, στους νομούς:

1. Εύβοιας
2. Βοιωτίας
3. Καστοριάς

Επίσης, εμφανίζονται μικρότερα κοιτάσματα νικελίου στους νομούς Πέλλης, Ημαθίας, Αττικής αλλά και σε λίγα νησιά του Αιγαίου.

Η εκμετάλλευση του νικελίου στην Ελλάδα γίνεται σχεδόν αμιγώς με επιφανειακές μεθόδους εκμετάλλευσης ενώ σε πολύ μικρό ποσοστό της τάξης του 2% γίνεται με υπόγειες μεθόδους. Ο μοναδικός φορέας αξιοποίησης των σιδηρονικελιούχων μεταλλευμάτων της Ελλάδας και ο μοναδικός παραγωγός σιδηρονικελίου στην Ευρώπη, είναι η εταιρία «ΓΜΜΑΕ ΛΑΡΚΟ»

Όσον αφορά το παγκόσμιο επίπεδο, οι πόροι νικελίου υπολογίζονται σήμερα σε περίπου 300 εκατομμύρια τόνους. Η Αυστραλία, η Ινδονησία, η Νότια Αφρική, η Ρωσία και ο Καναδάς αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το 50% των παγκόσμιων πόρων. Παρά το γεγονός ότι η εξόρυξη νικελίου έχει αυξηθεί σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες, γνωστά αποθέματα και πόροι νικελίου έχουν επίσης αυξηθεί σταθερά. Διάφορες παράμετροι παίζουν ρόλο σε αυτήν την εξέλιξη, όπως η καλύτερη τεχνογνωσία και οι αυξημένες δραστηριότητες εξερεύνησης σε απομακρυσμένες περιοχές που στο παρελθόν έμεναν ανεκμετάλλευτες. Οι βελτιωμένες τεχνολογίες εξόρυξης, τήξης και διύλισης, καθώς και οι αυξημένες δυνατότητες, επιτρέπουν επίσης την επεξεργασία μεταλλεύματος νικελίου χαμηλότερης ποιότητας.



Εικόνα 1: Χάρτης χωρών με τη μεγαλύτερη εξορυκτική δραστηριότητα νικελίου σε ποσοστά

Υπάρχουν, επίσης, σημαντικές αποθέσεις νικελίου στη θάλασσα. Σύμφωνα με πρόσφατες εκτιμήσεις, υπάρχουν πάνω από 290 εκατομμύρια τόνοι νικελίου που περιέχονται σε τέτοιες καταθέσεις. Η ανάπτυξη τεχνολογιών εξόρυξης βαθέων υδάτων αναμένεται να διευκολύνει την πρόσβαση σε αυτούς τους πόρους στο μέλλον. (*nickelinstitute.org*)

Για το 2020, πρωτοπόρος στην παραγωγή νικελίου ήταν η Ινδονησία με ετήσια παραγωγή να εκτιμάται στους 800 χιλιάδες τόνους ενώ αμέσως μετά με μεγάλη όμως διαφορά από την πρώτη βρίσκονται οι Φιλιππίνες με 420 χιλιάδες τόνους. Έπειτα, η Ρωσία και η Νέα Καληδονία ακολούθησαν με 270 και 220 χιλιάδες τόνους αντίστοιχα ενώ την πέμπτη θέση μοιράστηκαν η Αυστραλία και ο Καναδάς με 180 χιλιάδες τόνους ετήσια παραγωγή.

1. Indonesia. Mine **production:** 800,000 MT. ...
2. Philippines. Mine **production:** 420,000 MT. ...
3. Russia. Mine **production:** 270,000 MT. ...
4. New Caledonia. Mine **production:** 220,000 MT. ...
5. Australia. Mine **production:** 180,000 MT. ...
6. Canada. Mine **production:** 180,000 MT. ...
7. China. Mine **production:** 110,000 MT. ...
8. Brazil. Mine **production:** 67,000 MT.

Πίνακας 1 Οι 8 μεγαλύτερες χώρες σε παραγωγή νικελίου (μετρικοί τόνοι) 2020

1.5. Διαχρονική Αξία του Νικελίου

Σύμφωνα με το παρακάτω διάγραμμα, παρουσιάζεται η εξέλιξη της αξίας του νικελίου την τελευταία 20ετία. Πιο συγκεκριμένα, στις αρχές του 21^{ου} αιώνα, η αξία του νικελίου κυμαινόταν περί τις 10.000 δολάρια τον τόνο ενώ ύστερα από μια 2ετία έπεσε σχεδόν στο μισό (5.000\$/tn). Από εκεί και πέρα γνώρισε σταδιακή άνοδο με αποκορύφωμα την διετία 2006-2007 που εκτινάχθηκε στα 50.000 \$/tn. Η απότομη αυτή άνοδος δεν κράτησε για πολύ και γρήγορα έπεσε στα προηγούμενα επίπεδα. Την τελευταία τετραετία η τιμή του νικελίου ήταν αρκετά χαμηλή πέφτοντας και κάτω από τις 10.000 δολάρια τον τόνο, όμως από τις αρχές του 2021 έχει ξεπεράσει τις 16.000\$/tn.



Διάγραμμα 3: Η αξία του νικελίου την εικοσαετία 2001-2021 (\$/tn), (tradingeconomics.com)

Κεφάλαιο 2: Σχεδιασμός Υπαίθριων Εκμεταλλεύσεων

2.1. Γενικά στοιχεία για τον σχεδιασμό

Όσον αφορά τον σχεδιασμό μιας εκμετάλλευσης, είτε αυτή είναι επιφανειακή είτε υπόγεια, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τρεις (3) πολύ βασικές παράμετροι. Οι παράμετροι αυτοί είναι η **οικονομικότητα**, η **ασφάλεια** καθώς και η **περιβαλλοντική προστασία**.

Συγκεκριμένα, η εκμετάλλευση οποιουδήποτε μεταλλεύματος έχει κεντρικό γνώμονα τις οικονομικές απολαβές που θα επιφέρει στην εταιρεία που το διαχειρίζεται ώστε να μπορέσει να συνεχίσει τη λειτουργία της καθιστώντας την έτσι μια συν τοις άλλοις οικονομική δραστηριότητα.

Επίσης, η ασφάλεια τόσο του ανθρώπινου δυναμικού αλλά και των μηχανημάτων διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην ομαλή σχεδίαση μιας εκμετάλλευσης.

Τέλος, κατά τον προαναφερθέν σχεδιασμό, είναι πολύ σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη οι πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις που μπορεί να επιφέρει παράλληλα με πιθανούς τρόπους αντιμετώπισης τους όσο ακόμα βρίσκεται σε πρώιμο στάδιο.

Ένας σχεδιασμός μιας εκμετάλλευσης όταν πραγματοποιείται στοχεύει στον προσδιορισμό των ακόλουθων χαρακτηριστικών:

- Των ορίων της εκμετάλλευσης
- Των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της εκσκαφής
- Των απολήψιμων αποθεμάτων
- Της διάρκειας, των φάσεων και της χρονικής εξέλιξης της εκμετάλλευσης
- Της περιοχής και του τρόπου απόθεσης των στείρων υλικών
- Της αποκατάστασης - αξιοποίησης του χώρου μετά το πέρας της εκμετάλλευσης

2.2. Μέθοδοι Επιφανειακών Εκμεταλλεύσεων

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα ασχοληθούμε με την επιφανειακή εκμετάλλευση με κλειστές βαθμίδες, για την οποία δίνονται περισσότερα στοιχεία στη συνέχεια.

Επιφανειακή εκμετάλλευση με κλειστές βαθμίδες (Conical pit)

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για την εκμετάλλευση κοιτασμάτων που δεν έχουν καθορισμένο σχήμα καθώς και έντονα κεκλιμένων στρωσιγενών κοιτασμάτων. Προφανώς καθοριστικό ρόλο για την επιλογή της μεθόδου αποτελεί η τοπογραφία της περιοχής. Η εξόρυξη γίνεται συνήθως με μηχανικά μέσα όταν πρόκειται για μαλακά πετρώματα, ενώ σε περιπτώσεις που αυτά είναι πιο σκληρά χρησιμοποιούνται εκρηκτικές ύλες. Οι εξορύξεις νικελίου πραγματοποιούνται κατά κύριο λόγο με τη χρήση αυτής της μεθόδου.



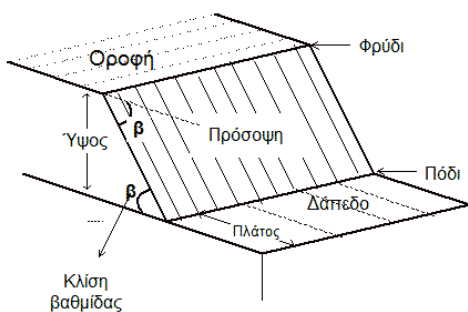
Εικόνα 2: *Conical Pit Mining*

2.3. Γεωμετρικά στοιχεία σχεδιασμού

Κατά το σχεδιασμό μια υπαίθριας εκμετάλλευσης λαμβάνονται υπόψη και τα γεωμετρικά στοιχεία των επιφανειών με βάση τα οποία προχωράει ένα έργο. Τέτοια είναι:

- **Κλίση πρανούς:** Η γωνία ενός πρανούς με το οριζόντιο επίπεδο.
- **Γωνία κατολίσθησης.** Η κλίση του πρανούς, φυσικού ή τεχνητού, στην οποία ξεκινά η κατολίσθηση
- **Γωνία φυσικού πρανούς.** Η μέγιστη κλίση υπό την οποία σωρός χαλαρού ή θραυσμένου υλικού βρίσκεται σε ισορροπία.
- **Βαθμίδα.** Είναι η συνήθης μορφή ενός μετώπου παραγωγής. Αποτελείται από δύο ελεύθερες επιφάνειες: μία οριζόντια και μία κατακόρυφη ή κεκλιμένη με μεγάλη κλίση.
- **Κλίση πρανούς εκμετάλλευσης.** Η κλίση που έχουν τα πρανή της εκμετάλλευσης προς το οριζόντιο επίπεδο οποιαδήποτε στιγμή κατά τη διάρκεια της εκμετάλλευσης.
- **Τελική περίμετρος εκμετάλλευσης.** Η μέγιστη οριζόντια ανάπτυξη της εκμετάλλευσης στην επιφάνεια του εδάφους.
- **Τελική περίμετρος βάσης.** Η μέγιστη οριζόντια ανάπτυξη στο βαθύτερο σημείο της εκμετάλλευσης.

Οι βαθμίδες σε μία εκμετάλλευση αποτελούν μονάδα παραγωγής και χαρακτηρίζονται με βάση την κλίση, το πλάτος, το ύψος, το φρύδι και το πόδι όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Τα μήκη και πλάτη των βαθμίδων μπορούν να μεταβληθούν κατά την προχώρηση μιας εκμετάλλευσης ανάλογα με την γεωμετρία του κοιτάσματος.



Το μήκος και η κατεύθυνση προς την οποία αναπτύσσεται η βαθμίδα εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κοιτάσματος, τη μορφολογία της περιοχής και το βάθος.

Εικόνα 3: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά βαθμίδας

Κεφάλαιο 3: Οριακή περιεκτικότητα

3.1. Εισαγωγή – ορισμός Οριακής Περιεκτικότητας

Η Οριακή Περιεκτικότητα εκμεταλλεύσεως (Ο.Π.) ή στα αγγλικά ευρέως γνωστή ως “cut-off grade”. εκφράζει την περιεκτικότητα ανά τόνο μεταλλεύματος στην οποία εξισώνονται τα κόστη εκμετάλλευσης, επεξεργασίας και διάθεσης του τελικού προϊόντος με τα έσοδα από την πώληση αυτού. Είναι δηλαδή η ελάχιστη περιεκτικότητα του μεταλλεύματος πάνω από την οποία η εκμετάλλευση κρίνεται οικονομικά συμφέρουσα.

Η Οριακή Περιεκτικότητα είναι ίσως η πιο σημαντική παράμετρος που πρέπει να καθοριστεί σε μια εκμετάλλευση προκειμένου να εκτιμηθεί η οικονομικότητά της.

Το υλικό χαρακτηρίζεται ως άγονο όταν η περιεκτικότητά σε χρήσιμο συστατικό είναι μικρότερη από την οριακή περιεκτικότητα, ενώ ως μετάλλευμα όταν είναι μεγαλύτερη.

Τέλος, η Οριακή Περιεκτικότητα εκφράζεται σαν περιεκτικότητα σε μέταλλο επί τοις 100 (%).

3.2. Παράγοντες που καθορίζει η Οριακή Περιεκτικότητα

Σε μια εκμετάλλευση, κάθε βασικός σχεδιασμός και οικονομική μέτρηση που πραγματοποιείται, καθορίζεται από την σωστή επιλογή του βαθμού οριακής περιεκτικότητας.

Αρχικά, ο κατάλληλος καθορισμός της Ο.Π. μπορεί να καθορίσει τις ακόλουθες φυσικές παραμέτρους του μεταλλείου:

- Το μέγεθος του κοιτάσματος σε τόνους
- Τη μέση περιεκτικότητα (g/t, % μέταλλα κ.λπ.) του κοιτάσματος σε μετάλλευμα
- Την ποσότητα των μετάλλων που περιέχονται στο κοίτασμα ή είναι πιθανό να παραχθούν από αυτό.

Εφόσον λοιπόν καθοριστούν αυτές οι τρεις παράμετροι, μπορεί να καθοριστεί κάθε άλλος βασικός οικονομικός παράγοντας που επηρεάζει την εκμετάλλευση όπως:

- Ο ρυθμός παραγωγής (τόνοι/ημέρα ή τόνοι/έτος)
- Η διάρκεια ζωής του μεταλλείου (μήνες, έτη)
- Μοναδιαίο, ετήσιο και συνολικό κόστος (\$/τόνο, \$/έτος)
- Μοναδιαία, ετήσια και συνολικά έσοδα (\$/τόνο, \$/έτος)
- Μοναδιαίο, ετήσιο και συνολικό κέρδος (\$/τόνο, \$/έτος)
- Καθαρή παρούσα αξία (ΚΠΑ)
- Εσωτερικός συντελεστής απόδοσης

3.3. Επιπτώσεις λανθασμένης επιλογής Οριακής Περιεκτικότητας

Γενικά, υπάρχουν δύο περιπτώσεις στις οποίες μπορεί να επιλεγθεί ακατάλληλη Οριακή Περιεκτικότητα. Είτε αυτή να είναι αρκετά χαμηλή, είτε από την άλλη μεριά να είναι αρκετά υψηλή. Και οι δύο περιπτώσεις έχουν τις ακόλουθες συνέπειες.

1) Η Ο.Π. να είναι χαμηλή.

Στην περίπτωση αυτή, δύναται να υπερεκτιμάται η ποσότητα των μετάλλων που περιέχονται ή είναι πιθανό να παραχθούν από το κοίτασμα και έτσι ο αναμενόμενος ρυθμός παραγωγής του μεταλλείου ορίζεται πιθανότατα πολύ υψηλός. Επιπλέον, οι εγκαταστάσεις, οι μονάδες επεξεργασίας και οι λοιπές υποδομές της εκμεταλλευτικής δραστηριότητας σχεδιάζονται με υψηλότερα πρότυπα από τα ιδανικά. Στη συνέχεια, το εκτιμώμενο αρχικό και συνεχές κόστος κεφαλαίου καθίσταται υπερεκτιμημένο ενώ το λειτουργικό κόστος ορίζεται πολύ χαμηλό, κάτι το οποίο μπορεί να επιφέρει σοβαρά οικονομικά προβλήματα.

Έτσι, μόλις αρχίσει η διαδικασία της παραγωγής, τα έσοδα θα είναι ασθενέστερα από τα αναμενόμενα, και το κόστος δεν θα μπορεί να καλυφθεί. Συμπερασματικά, η επιχείρηση εκμετάλλευσης θα χάνει χρήματα και η μοναδική εναλλακτική λύση βελτιστοποίησης θα είναι η αύξηση του βαθμού Οριακής Περιεκτικότητας χωρίς όμως να είναι σίγουρο ότι θα υπάρχουν αρκετά αποθέματα χρήσιμου μεταλλεύματος στην αυξημένη περιεκτικότητα. Ως αποτέλεσμα, ίσως να μην μπορεί να υποστηριχθεί η μακρά

διάρκεια ζωής του μεταλλείου κάτι το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε πρόωρο κλείσιμο του μεταλλείου. (*Understanding Cut Off Grade 1, Brian Buss*)

2) Η Ο.Π. να είναι υψηλή.

Σε αυτήν την περίπτωση, παρατηρείται το αντίστροφο φαινόμενο από αυτό που μόλις αναπτύχθηκε. Συγκεκριμένα, αν η Οριακή Περιεκτικότητα επιλεγεί υψηλότερη από την ιδανική, υποεκτιμάται το μέγεθος του κοιτάσματος και αναμένεται η μέση περιεκτικότητα του χρήσιμου συστατικού να είναι υψηλότερη από την πραγματική. Οι εγκαταστάσεις, οι μονάδες επεξεργασίας και οι σχετικές υποδομές θα είναι σχεδιασμένες με χαμηλότερα πρότυπα παραγωγής κάτι το οποίο θα δημιουργήσει εμπόδια στην αύξηση της παραγωγής σε μακροπρόθεσμο στάδιο.

Σε αυτό το σενάριο, μόλις αρχίσει η παραγωγή, θα είναι προφανές ότι θα μπορούσε να εξορυχτεί πολύ περισσότερος όγκος με κέρδος, μειώνοντας τον βαθμό της οριακής περιεκτικότητας. Επιπλέον, έχοντας εσφαλμένη γενικότερη εικόνα του ρυθμού εκμετάλλευσης και σχεδιασμού του μεταλλείου, θα είναι δύσκολο να αυξηθεί ο ρυθμός παραγωγής, οπότε το μέταλλο που διατίθεται προς πώληση θα μειωθεί.

Από την άλλη πλευρά βέβαια, η συνολική διάρκεια ζωής της εκμετάλλευσης θα παραταθεί και ίσως με τις κατάλληλες μελέτες και σαφώς επιπλέον οικονομική επιβάρυνση να επέλθει αναβάθμιση των εγκαταστάσεων έτσι ώστε να συνεχιστεί η εκμετάλλευση. (*Understanding Cut Off Grade 1, Brian Buss*)

Συμπέρασμα:

Καθίσταται λοιπόν αναγκαία και εξαιρετικά σημαντική η σωστή και μελετημένη επιλογή του κατάλληλου βαθμού Οριακής Περιεκτικότητας προκειμένου να αξιοποιηθεί στο μέγιστο το εκάστοτε μεταλλείο ή ορυχείο.

Η λανθασμένη επιλογή της, είτε χαμηλή είτε υψηλή, όχι μόνο θα μειώσει το κέρδος της εκμετάλλευσης σε σημαντικό βαθμό, αλλά μπορεί να έχει και καταστροφικές συνέπειες στο χρόνο ζωής ενός έργου.

3.4. Κριτήρια καθορισμού της Οριακής Περιεκτικότητας

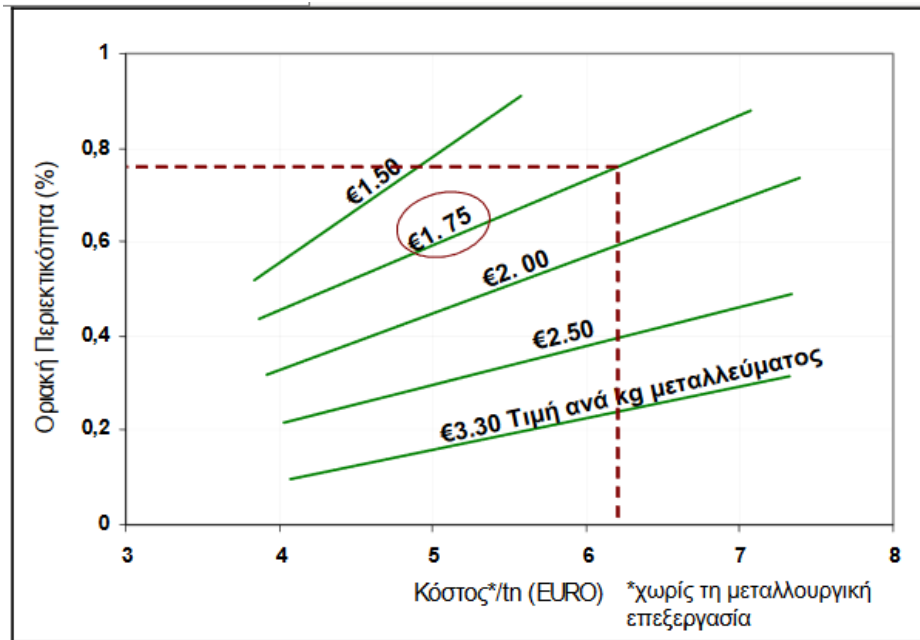
Κατά κύριο λόγο, όταν μιλάμε για τα κριτήρια που καθορίζουν την Οριακή Περιεκτικότητα ενός μεταλλείου αναφερόμαστε σε οικονομικά κριτήρια. Παρ' όλα αυτά, δεν χρησιμοποιείται πάντα το ίδιο οικονομικό κριτήριο με αποτέλεσμα να προκύπτουν διαφορετικές τιμές της Ο.Π. οι οποίες δύναται να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Τα κυριότερα οικονομικά κριτήρια καθορισμού της είναι τα ακόλουθα:

1. Μεγιστοποίηση των συνολικών κερδών της εκμετάλλευσης
2. Εξασφάλιση μια ελάχιστης απόδοσης επί του κεφαλαίου ανά τόνο που εξορύσσεται.
3. Μεγιστοποίηση της παρούσας αξίας των ταμειακών ροών της εκμετάλλευσης.
4. Ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής του μετάλλου.
5. Μεγιστοποίηση της απόληψης του μετάλλου από το κοίτασμα με σύγχρονη εξασφάλιση μιας ελάχιστης επιθυμητής απόδοσης επί του κεφαλαίου.

3.5. Παράγοντες που επηρεάζουν την Οριακή Περιεκτικότητα

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η τιμή της οριακής περιεκτικότητας δεν αποτελεί μια συγκεκριμένη οριστική απάντηση αλλά αποτελεί στην πραγματικότητα μια στρατηγική μεταβλητή που επηρεάζει άμεσα τον σχεδιασμό της εκμετάλλευσης.

Κατά κύριο λόγο, είναι προφανές ότι καθοριστικό παράγοντα για τον προσδιορισμό της οριακής περιεκτικότητας αποτελεί η τιμή πώλησης του επιθυμητού μεταλλεύματος την εκάστοτε χρονική στιγμή. Για παράδειγμα, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, διαπιστώνει εύκολα κανείς ότι η τιμή του μεταλλεύματος μπορεί να αλλάξει κατά μερικές χιλιάδες δολάρια μέσα σε λίγους μόνο μήνες οπότε αλλάζει και η ζήτηση διαφορετικών οριακών περιεκτικότητων. Επομένως, κατά τον αρχικό σχεδιασμό μιας εκμετάλλευσης θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη πολλαπλά σενάρια διαφορετικών περιεκτικότητων για διαφορετικές τιμές πώλησης. (Μενεγάκη, 2010)



Διάγραμμα 4: Ο.Π. για διαφορετικό κόστος εκμετάλλευσης και τιμή πώλησης μεταλλεύματος, (Μενεγάκη, 2010)

Επιπλέον, κατά τη διάρκεια ζωής μια εκμετάλλευσης έως ότου να ολοκληρωθεί το έργο, είναι σύνηθες να μεταβάλλεται το κόστος ανάλογα με την απόσταση, τον όγκο των αγόνων που πρέπει να απομακρυνθούν για τη φανέρωση του χρήσιμου μεταλλεύματος) κ.α.

Τέλος, η οριακή περιεκτικότητα εξαρτάται και από έναν ακόμα παράγοντα, αν δηλαδή το τμήμα του κοιτάσματος που εξετάζεται θα εγκαταλειφτεί στη θέση του αν θεωρηθεί ‘στείρο’ ή αν θα πρέπει ούτως ή άλλως να εξορυχτεί προκειμένου να εξορυχτεί και το υποκείμενο μέρος του κοιτάσματος.

3.6. Υπολογισμός Οριακής Περιεκτικότητας

Ο πιο απλοϊκός τρόπος για τον προσδιορισμό της Οριακής Περιεκτικότητας είναι μέσω του υπολογισμού ‘Break-Even’. Αυτή η μέθοδος είναι εύκολη στη χρήση και δεν απαιτεί σύνθετες και πολλαπλές πληροφορίες. Προτιμάται σε πολλές εκμεταλλεύσεις σε παγκόσμιο επίπεδο και στις πρώιμες φάσεις ανάπτυξης ενός έργου παρουσιάζεται πιο αποτελεσματική. Παρ’ όλα αυτά, δεν είναι ιδανικό να χρησιμοποιηθεί μακροπρόθεσμα, καθώς δεν λαμβάνει υπόψη την παραγωγική ικανότητα ή του μεταλλείου ή τις πιθανές

μεταβολές του κόστους του μεταλλεύματος. Ο υπολογισμός λοιπόν της Οριακής Περιεκτικότητας βασίζεται στον παρακάτω τύπο:

$$\text{Ο.Π.} = \frac{c + Mo - Mw}{R(s - r)}$$

Όπου: c = κόστος επεξεργασίας μεταλλεύματος

Mo = κόστος εξόρυξης μεταλλεύματος

Mw = κόστος εξόρυξης αποβλήτων

R = ο ολικός βαθμός ανάκτησης του περιεχομένου μετάλλου

s = τιμή πώλησης του μετάλλου ανά Kg

r = έξοδα διύλισης

Κεφάλαιο 4: Σχεδιασμός Υπαίθριας Εκμετάλλευσης με τη χρήση του προγράμματος SURPAC

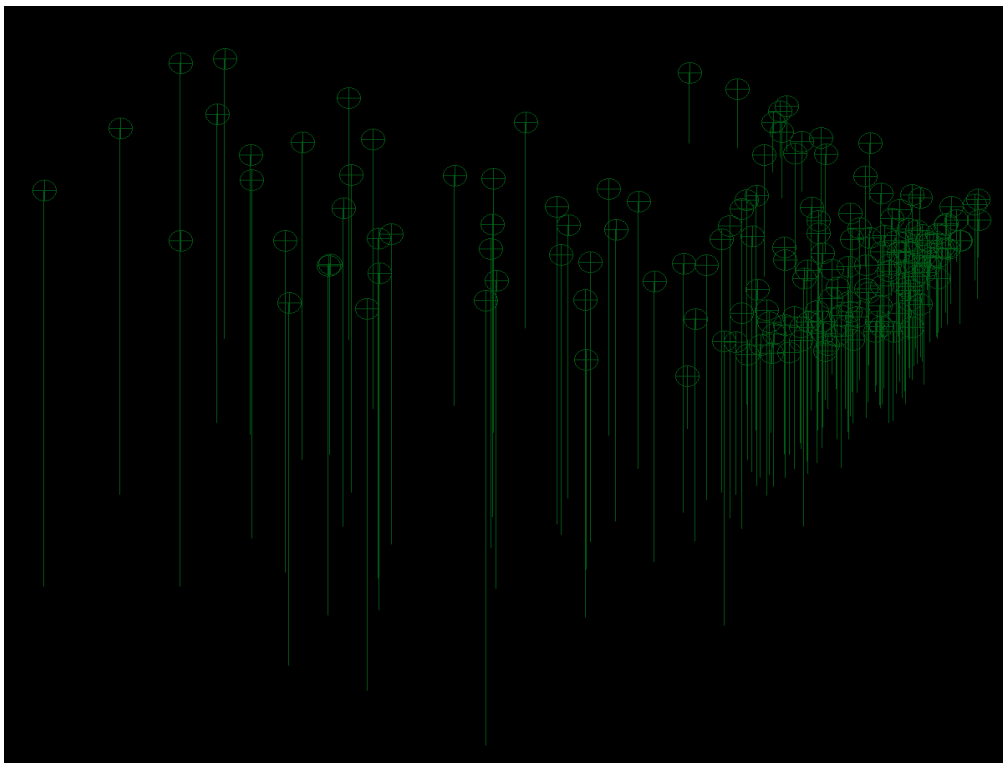
4.1 Τι είναι το SURPAC

Το μεταλλευτικό λογισμικό Gemcom Surpac είναι το πιο δημοφιλές λογισμικό γεωλογίας και σχεδιασμού ορυχείων στον κόσμο ένα ολοκληρωμένο πακέτο με εξειδίκευση στον σχεδιασμό τόσο των υπόγειων όσο και των υπαίθριων εκμεταλλεύσεων. Παρέχει στον μηχανικό τα απαραίτητα εργαλεία ώστε να μπορεί να σχεδιάσει, να παρακολουθεί τις μεταλλευτικές δραστηριότητες και να τροποποιεί το σχεδιασμό και τις παραμέτρους της εκάστοτε εκμετάλλευσης ώστε να προσαρμόζεται στις μεταβαλλόμενες συνθήκες της πραγματικότητας. Το Surpac καλύπτει όλες τις απαιτήσεις των γεωλόγων, των επιθεωρητών και των μηχανικών εξόρυξης στον τομέα των πόρων και είναι αρκετά ευέλικτο ώστε να είναι κατάλληλο για κάθε μέθοδο εμπορευμάτων, μεταλλευμάτων και εξόρυξης. Η ευκολία της χρήσης του προγράμματος εξασφαλίζει τη βέλτιστη κατανόηση των δεδομένων ακόμη και για χρήστες που κατέχουν τις βασικές γνώσεις της μεταλλευτικής και της γεωλογίας.

4.2. Δημιουργία Βάσης Δεδομένων και Block Model

Από τις πρώτες κιόλας εργασίες για τον σχεδιασμό μιας εκμετάλλευσης με τη χρήση του SURPAC είναι η δημιουργία μιας βάσης δεδομένων μέσα στο πρόγραμμα καθώς επίσης και το κατάλληλο block model του κοιτάσματος.

Το πρώτο στάδιο, η δημιουργία δηλαδή της βάσης δεδομένων, γίνεται με τη βοήθεια των πραγματοποιημένων κατάλληλων γεωτρήσεων που στη συγκεκριμένη περίπτωση έχουν παρασχεθεί από την εταιρεία Γ.Μ.Μ.Α.Ε. ΛΑΡΚΟ σε μορφή Excel. Οι κύριες πληροφορίες που εισάγονται είναι οι συντεταγμένες των γεωτρήσεων στην επιφάνεια, η περιεκτικότητα του χρήσιμου συστατικού στα διάφορα βάθη της κάθε γεώτρησης καθώς και το συνολικό μήκος αυτής.



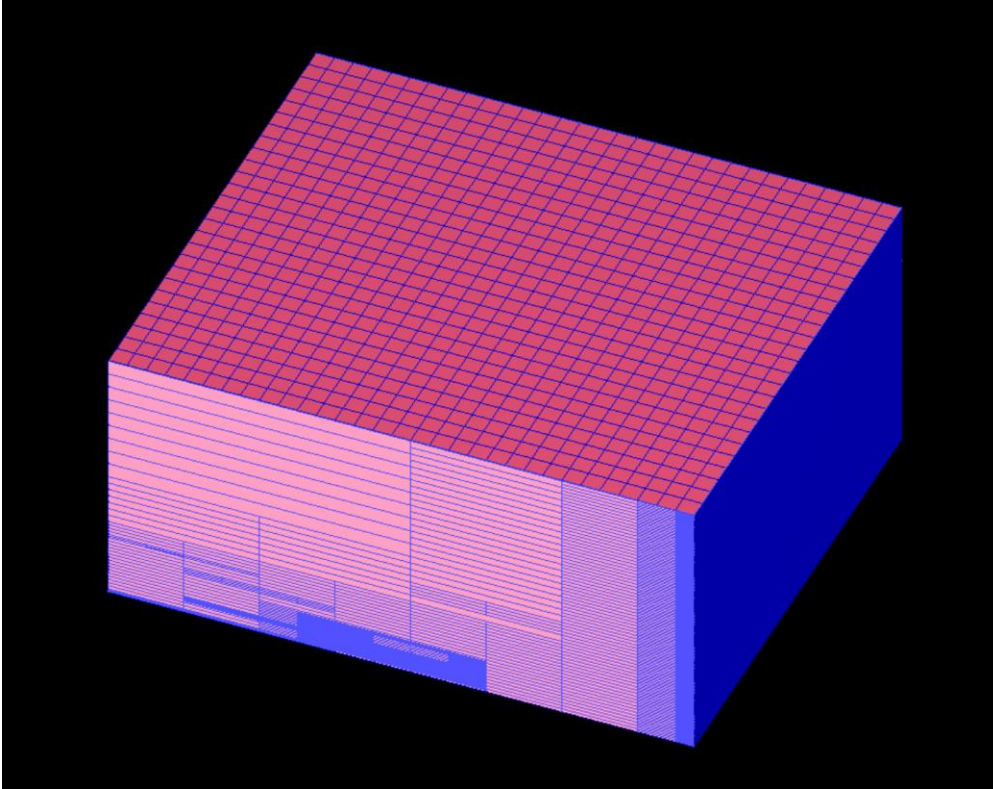
Εικόνα 4: Γεωτρήσεις

Το δεύτερο στάδιο, η δημιουργία του block model γίνεται με χρήση του module block model. Δημιουργείται δηλαδή ένα μοντέλο που προσαρμόζεται στις πραγματικές συνθήκες με την επιβολή τοπογραφικών και κοιτασματολογικών περιορισμών.

Η μεθοδολογία περιλαμβάνει την κατάτμηση του κοιτάσματος σε blocks και στη συνέχεια την εκτίμηση της περιεκτικότητας του κάθε block. Οι διαστάσεις των blocks καθορίζονται από την πυκνότητα της δειγματοληψίας, τη μέθοδο εκμετάλλευσης, μηχανικό εξοπλισμό κ.ά.

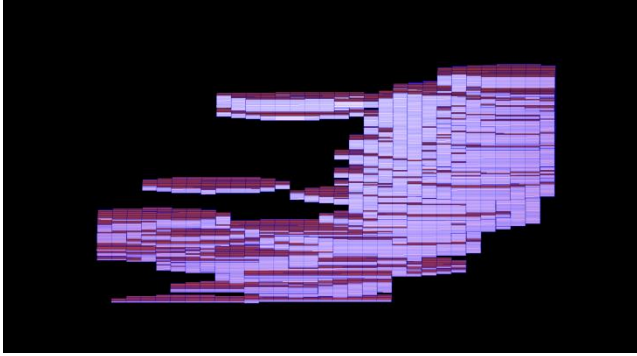
Για τη χωρική παρεμβολή της πληροφορίας της περιεκτικότητας από τα δείγματα των γεωτρήσεων και την εκτίμηση της περιεκτικότητας του κάθε block, χρησιμοποιούνται συνήθως, οι μέθοδοι των αντιστρόφων αποστάσεων και η γεωστατιστική. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, μετρώντας τις αποστάσεις μεταξύ των γεωτρήσεων διαπιστώθηκε ότι οι πιο κοντινές έχουν απόσταση περίπου 2 μέτρων ενώ μακρινές γειτονικές γεωτρήσεις ξεπερνούν τα 100 μέτρα. Έτσι, δημιουργήθηκαν blocks επιφανειών 20 μέτρων με $z=1$ m (20x20x1). Η επιλογή χρήσης μεγαλύτερου z δεν είναι επιθυμητή γιατί με αυτόν τον τρόπο μειώνουμε την ακρίβεια των δεδομένων. Τέλος,

από το block model του κοιτάσματος μπορούν να προκύψουν πληροφορίες σχετικά με τον συνολικό όγκο και τη μάζα του κοιτάσματος, τις ποσότητες των στείρων υλικών κ.λπ

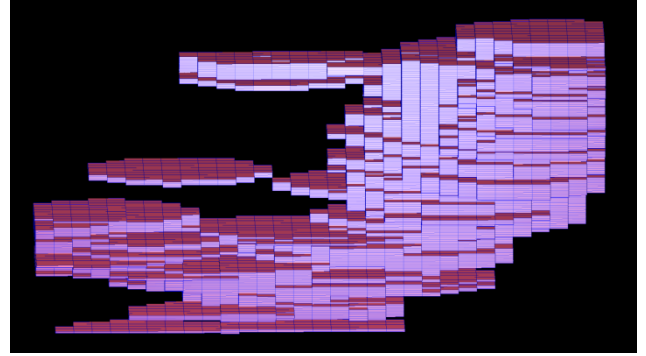


Εικόνα 5: Το Block Model του κοιτάσματος

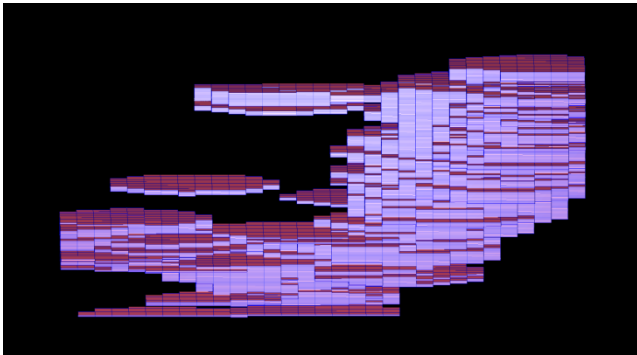
Στη συνέχεια, επιλέχθηκαν πολλαπλοί περιορισμοί της περιεκτικότητας του νικελίου ώστε να διαμορφωθούν blocks με διαφορετικές ελάχιστες περιεκτικότητες. Συνολικά επιλέχθηκαν 5 διαφορετικές περιεκτικότητες ξεκινώντας από 0.5 και ανεβαίνοντας κατά 0.1 μέχρι και το 0.9 (0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9). Έτσι, προκύπτουν τα ακόλουθα blocks.



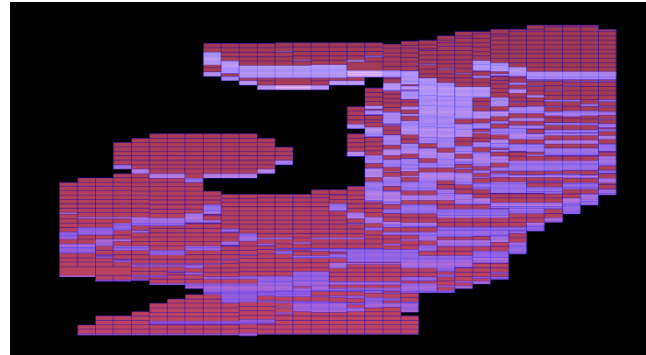
$Ni \geq 0.5$



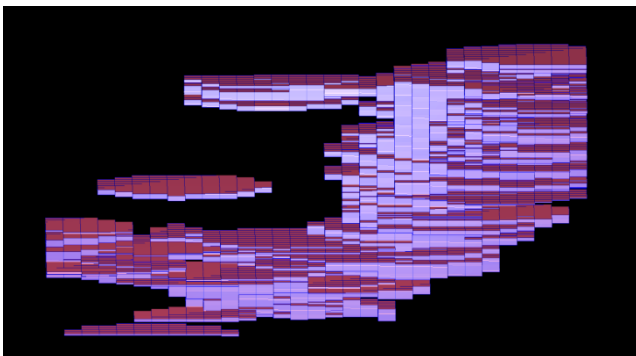
$Ni \geq 0.6$



$Ni \geq 0.7$



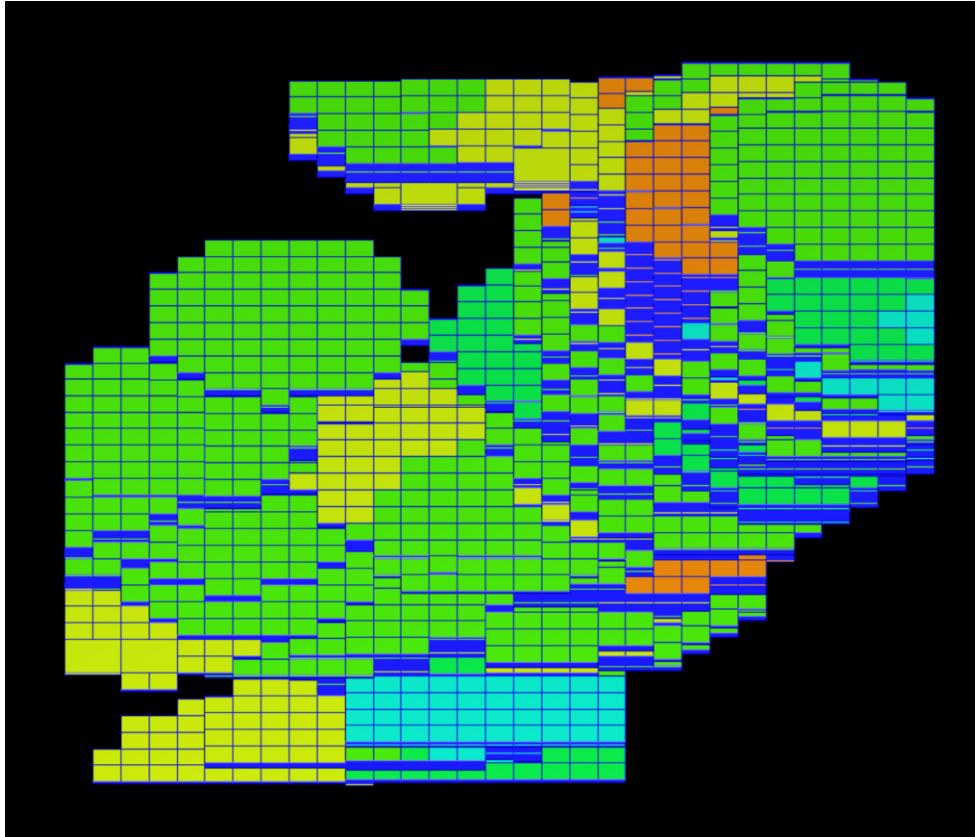
$Ni \geq 0.8$



$Ni \geq 0.9$

Φαινομενικά, παρατηρείται ότι όλες οι περιπτώσεις μοιάζουν μεταξύ τους με μια μικρή αραίωση των blocks όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα.

Επιπλέον, έγινε ο χρωματισμός του κάθε block ανάλογα με την περιεκτικότητά του σε Νικέλιο και προέκυψε η εξής απεικόνιση με ελάχιστη περιεκτικότητα 0.5.



Εικόνα 6: Απεικόνιση των blocks βάση της περιεκτικότητάς τους σε νικέλιο

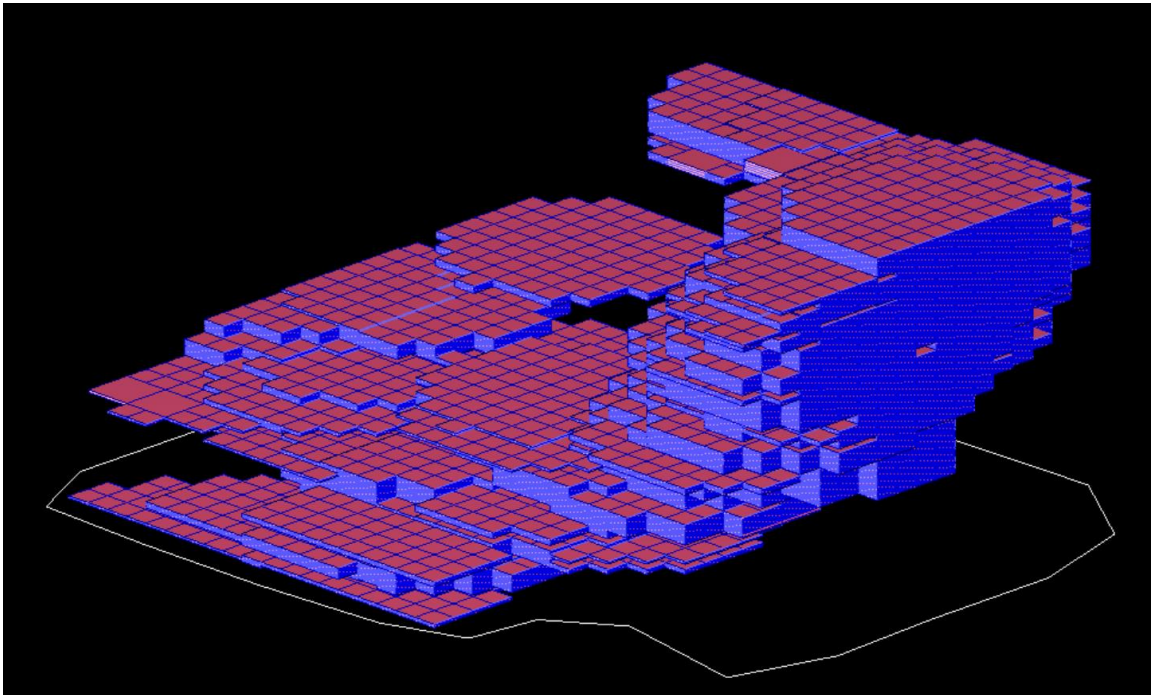
	Colour	Attribute values
1	blue	-99.00 -> 0.20
2	r=0.00 g=0.57 b=1.00	0.20 -> 0.40
3	r=0.00 g=1.00 b=0.86	0.40 -> 0.60
4	r=0.00 g=1.00 b=0.29	0.60 -> 0.80
5	r=0.29 g=1.00 b=0.00	0.80 -> 1.00
6	r=0.86 g=1.00 b=0.00	1.00 -> 1.20
7	r=1.00 g=0.57 b=0.00	1.20 -> 1.40
8	red	1.40 -> 1.60

Πίνακας 2: Χρωματισμός και περιεκτικότητες

4.3. Δημιουργία κώνων εκμετάλλευσης

Επόμενο στάδιο του σχεδιασμού, ήταν η δημιουργία των πυθμένων και κατ' επέκταση των κώνων εκσκαφής. Έχοντας ορίσει τους περιορισμούς των περιεκτικότητων στο block model, σχηματίστηκε ένα όριο (segment) περιμετρικά των blocks.

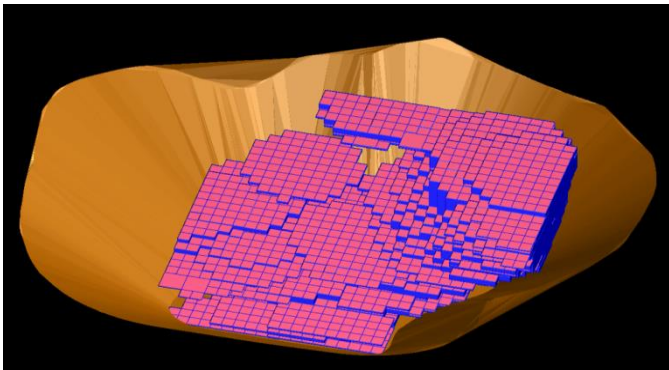
Έτσι, σχηματίστηκε ένα όριο το οποίο με μεταφέρθηκε στο κατάλληλο υψόμετρο αφετηρίας ώστε να συμπίπτει με το κατώτατο υψόμετρο των blocks και να αποτελεί την αρχή του κώνου. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε με τον ίδιο τρόπο σε όλες τις ελάχιστες περιεκτικότητες που εξετάστηκαν.



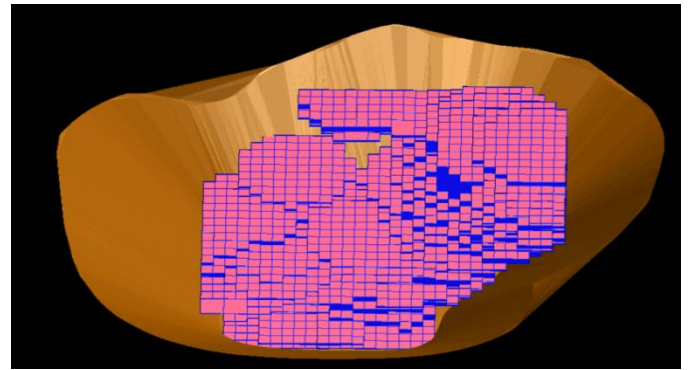
Εικόνα 7: Βάση του κώνου εκμετάλλευσης

Στη συνέχεια, φορτώθηκε στο πρόγραμμα το αρχικό ανάγλυφο του μεταλλείου και χρησιμοποιήθηκε ώστε να δημιουργηθεί άλλο ένα segment με τη μορφολογία του ανάγλυφου το οποίο θα υποδηλώνει κιόλας την κορυφή του κώνου εκμετάλλευσης.

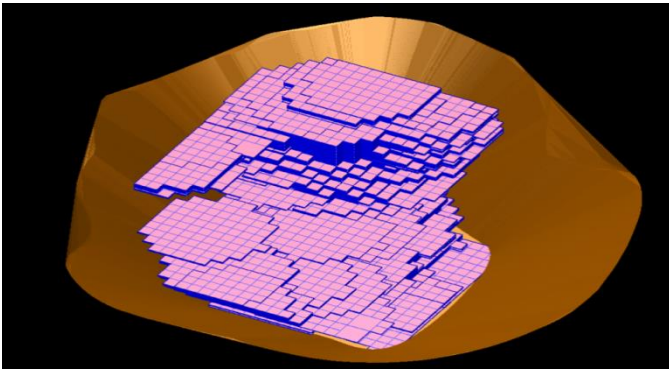
Έπειτα, σχηματίστηκε ο κώνος με γωνία 50° ο οποίος όμως περιείχε πολύ μεγάλο αριθμό αγόνων. Έτσι, έγιναν πολλές μικρομετατροπές και δοκιμές του πυθμένα ώστε να προκύψει κώνος που να περιέχει μεν όλα τα ζητούμενα blocks, αλλά και όσο το δυνατόν λιγότερα άγωνα γίνεται προκειμένου να είναι οικονομικά συμφέρον. Παρακάτω, παραθέτονται όλοι οι κώνοι υπό διαφορετικές οπτικές γωνίες.



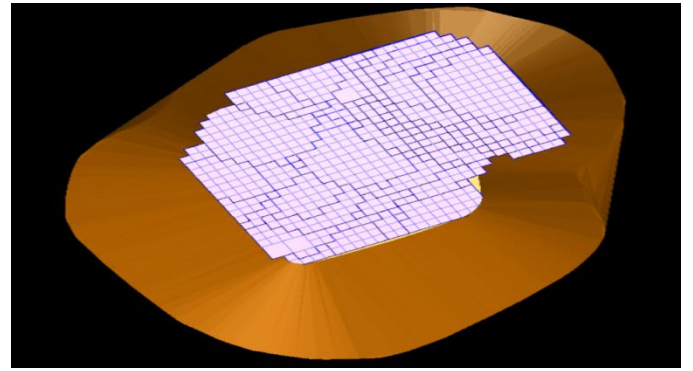
$Ni \geq 0.5$



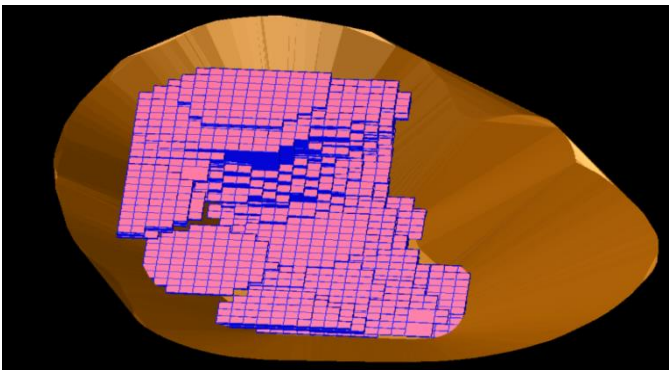
$Ni \geq 0.6$



$Ni \geq 0.7$



$Ni \geq 0.8$



$Ni \geq 0.9$

4.4. Δημιουργία βαθμίδων

Στο συγκεκριμένο στάδιο, εφόσον κιόλας είχαν δημιουργηθεί όλοι οι κώνοι, χρειάστηκε να σχεδιάσουμε τις βαθμίδες από τον πυθμένα προς την επιφάνεια. Αρχικά εντοπίστηκε το κατώτερο και το ανώτερο ύψος των ζητούμενων blocks που σε όλες τις περιπτώσεις ήταν $z_{\min}=277\text{m}$ και $z_{\max}=627\text{m}$ όπου $z_{\max} - z_{\min} = 350\text{m}$.

Έπειτα, προκειμένου να πάρουμε διαφορετικές περιπτώσεις γεωμετρικών χαρακτηριστικών, εφαρμόστηκε ο τύπος της γωνίας πρανούς ο οποίος δεν θα έπρεπε να ξεπερνάει τις 52° , την επιτρεπόμενη κλίση δηλαδή για τα γεωμηχανικά χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου κοιτάσματος σύμφωνα με τα στοιχεία που δόθηκαν.

$$\tan\varphi = \frac{v \times H}{(v-1) \times t + \frac{v \times H}{\tan\beta}}$$

Όπου φ = γωνία πρανούς

v = αριθμός βαθμίδων

H = ύψος βαθμίδας

t = πλάτος βαθμίδας

β = γωνία βαθμίδας

Έτσι, ύστερα από ορισμένες δοκιμές προέκυψαν τρεις (6) διαφορετικές περιπτώσεις σχεδιασμού όσον αφορά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά.

1. $H = 10m$

$t = 6m$

$\beta = 75^\circ$

4. $H = 10m$

$t = 6m$

$\beta = 70^\circ$

2. $H = 12m$

$t = 6m$

$\beta = 75^\circ$

5. $H = 12m$

$t = 6m$

$\beta = 70^\circ$

3. $H = 15m$

$t = 6m$

$\beta = 75^\circ$

6. $H = 15m$

$t = 6m$

$\beta = 70^\circ$

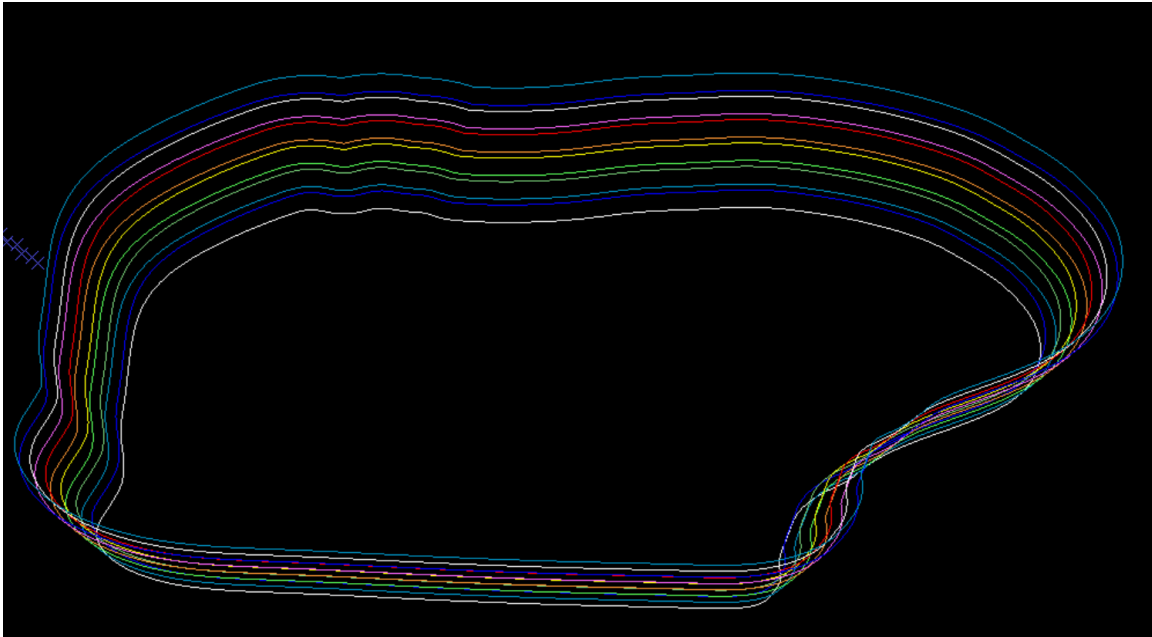
Δημιουργήθηκαν 6 σχεδιασμοί για κάθε οριακή περιεκτικότητα άρα 30 σχεδιασμοί στο σύνολο.

Σημειώνεται ότι 2 από τους παραπάνω σχεδιασμούς, αυτοί με ύψος βαθμίδας 15m, ξεπερνούν το όριο των 52°.

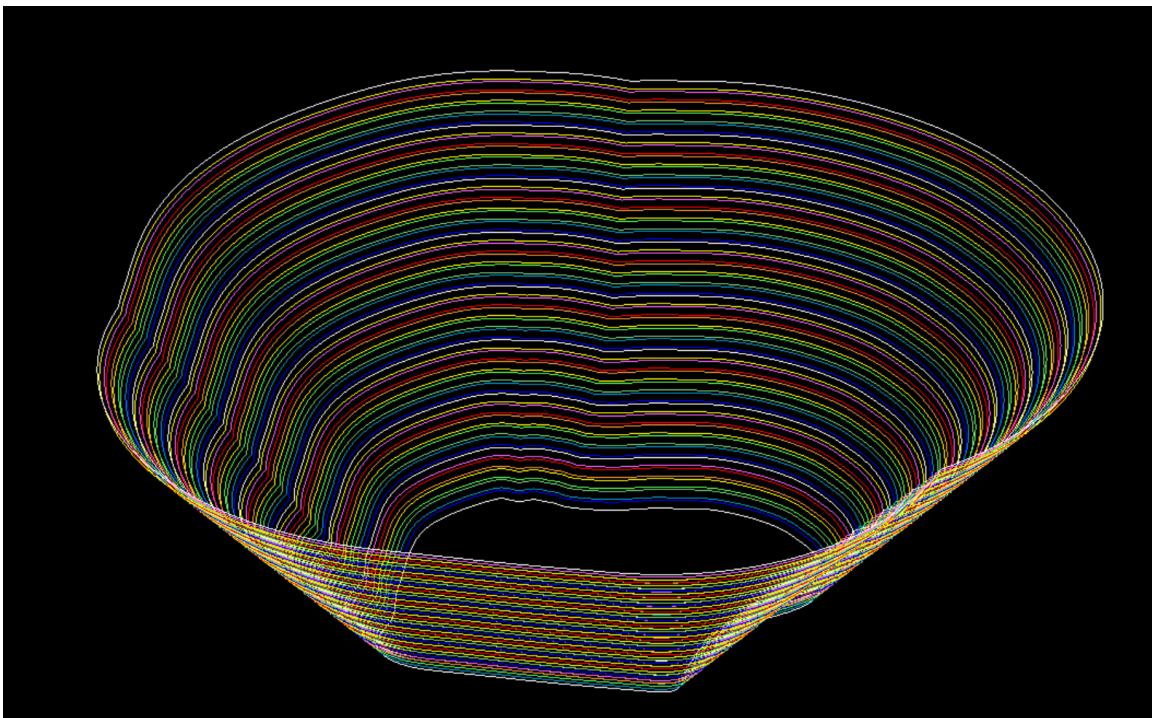
Γενικότερα, στις εκμεταλλεύσεις συνηθίζεται η αντίστροφη διαδικασία δημιουργίας βαθμίδων από αυτήν που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της εργασίας. Ξεκινάει η δημιουργία δηλαδή, αφότου έχει βρεθεί το υψηλότερο σημείο της εκσκαφής και οι βαθμίδες εκτείνονται προς τον πυθμένα. Έχοντας όμως εμείς δημιουργήσει τους κώνους εξ αρχής, αναπτύσσουμε τις βαθμίδες από τον πυθμένα προς το ανάγλυφο με τη διαδικασία που θα αναλυθεί παρακάτω.

Ξεκινώντας λοιπόν από το segment που είχε δημιουργηθεί προηγουμένως και δηλώνει το κατώτερο όριο σχεδιασμού, και έχοντας «φορτώσει» στο λογισμικό την επιθυμητή γωνία βαθμίδας καθώς επίσης το ύψος και πλάτος της, ακολουθείται

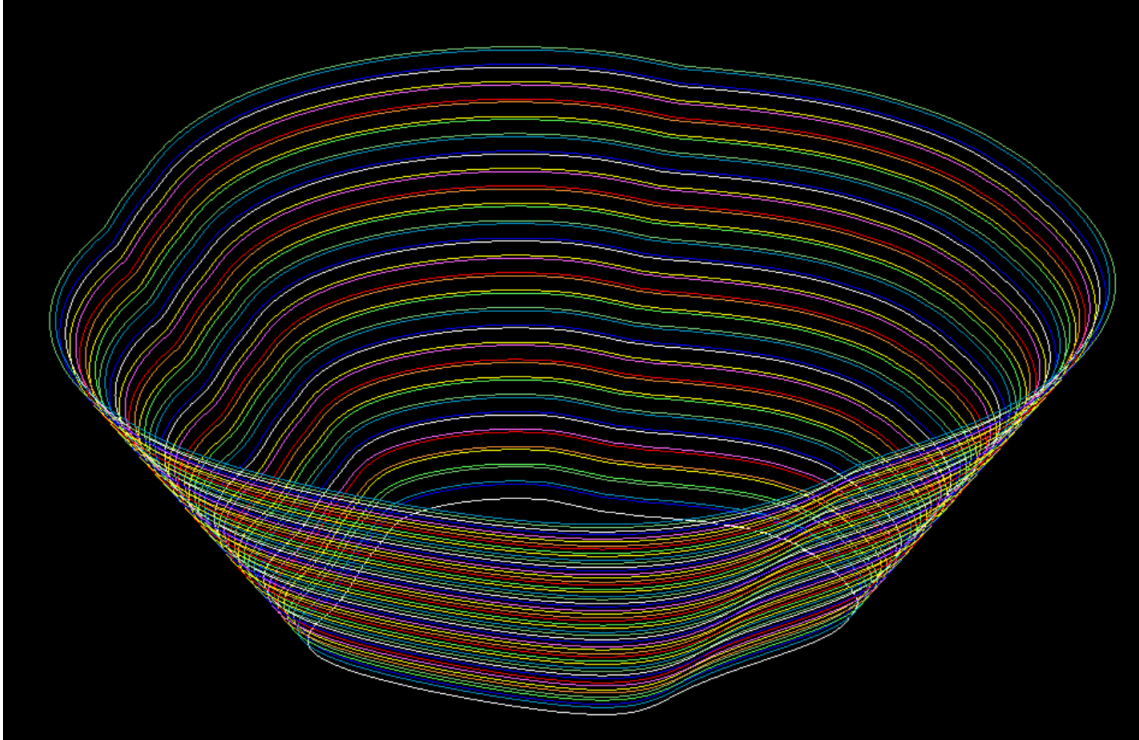
επαναλαμβανόμενα μια συγκεκριμένη ακολουθία. Έτσι ξεκινάνε να δημιουργούνται οι βαθμίδες με φορά προς τα πάνω.



Εικόνα 8: Δημιουργία βαθμίδων ακολουθώντας τον κώνο



Εικόνα 9: Ολοκλήρωση δημιουργίας βαθμίδων (0.5 περιεκτικότητα, 10m, 6m, 70°)

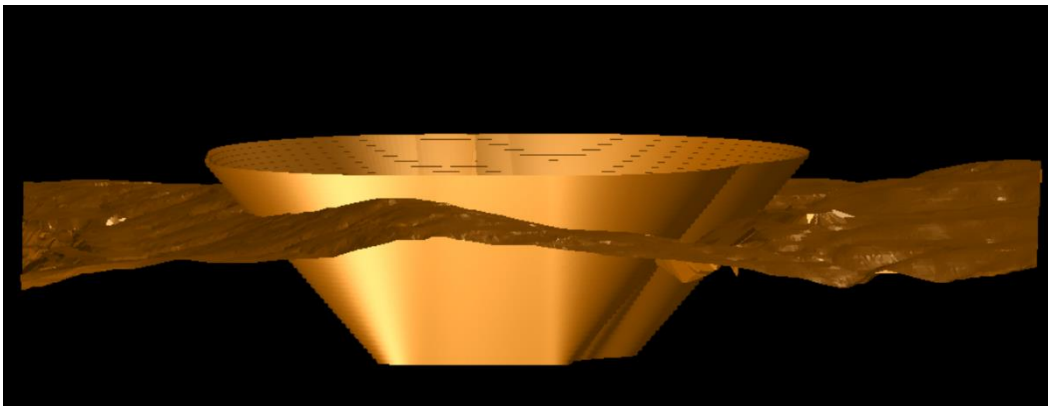


Εικόνα 10: Ολοκλήρωση δημιουργίας βαθμίδων (0.7 περιεκτικότητα, 15m, 6m, 75°)

4.5. Τελικός σχεδιασμός εκμετάλλευσης

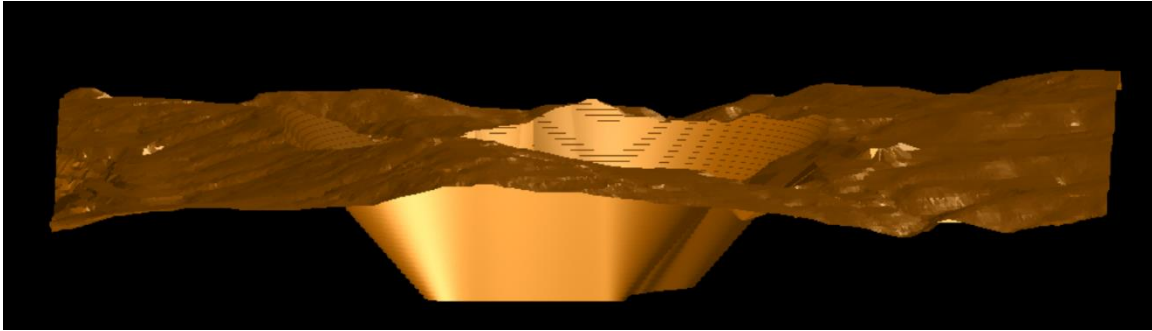
Τελικό στάδιο των σχεδιασμών, υπήρξε η δημιουργία των τελικών τοπογραφικών σχεδίων, η επεξεργασία των βαθμίδων στην τελική τους μορφή καθώς επίσης και η ένωσή τους με το αρχικό ανάγλυφο.

Αρχικά, χρησιμοποιώντας τα αρχείο DTM σε κάθε περίπτωση των βαθμίδων μαζί με το αρχικό ανάγλυφο (DTM) δημιουργήθηκε το σχέδιο της εκμετάλλευσης σε μορφή DTM.



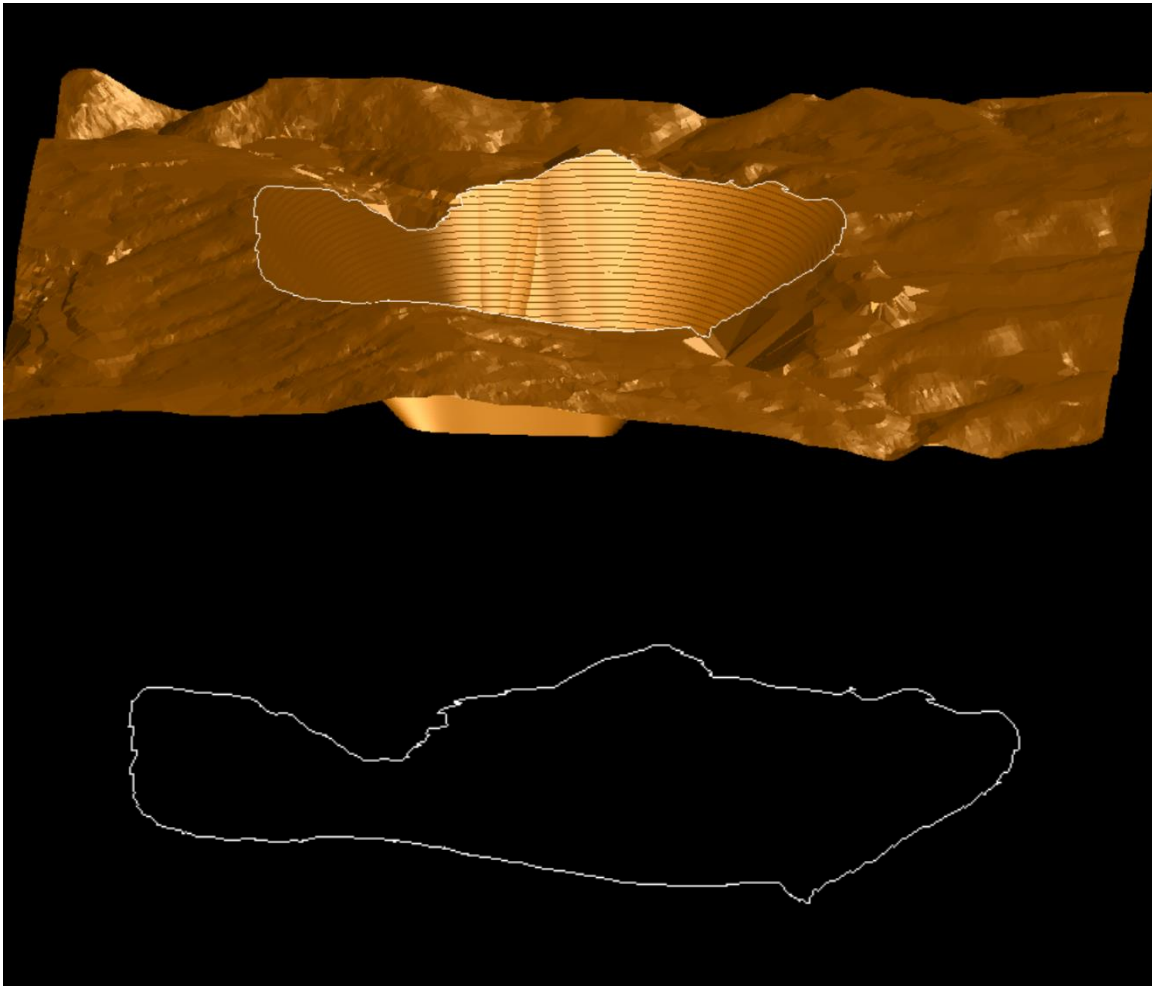
Εικόνα 11: DTM βαθμίδων και DTM αρχικού ανάγλυφου

Ύστερα, με συγκεκριμένη εντολή του λογισμικού έρχεται ο κώνος και κόβεται στα όρια του αρχικού ανάγλυφου οπότε προκύπτει το τελικό σχέδιο.



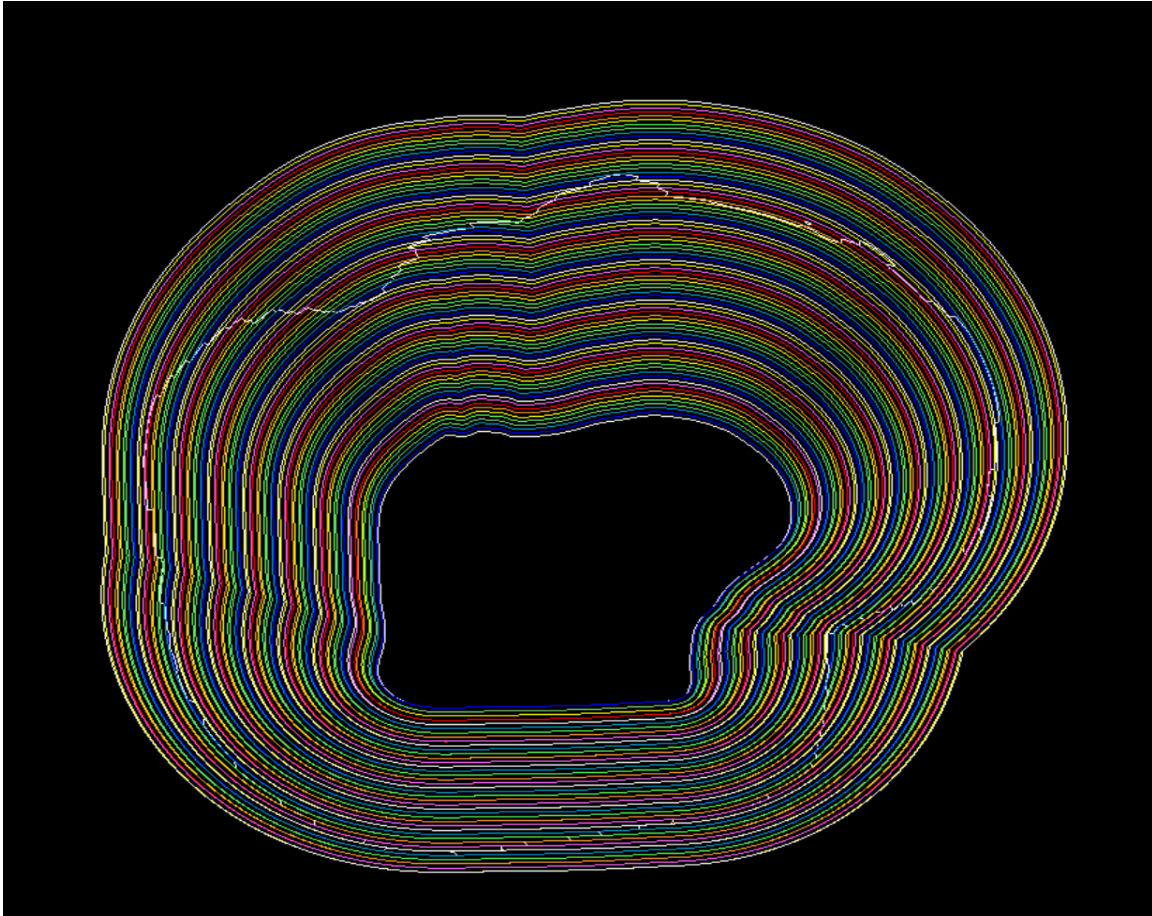
Εικόνα 12: Τελικό σχέδιο DTMs

Έπειτα, χρειάζεται να δημιουργηθεί το όριο μεταξύ των DTMs των βαθμίδων και του αρχικού ανάγλυφου, την περιμετρική γραμμή δηλαδή στην οποία κόβονται οι επιφάνειες μεταξύ τους, που το οποίο θα χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια για την τροποποίηση και επεξεργασία των βαθμίδων.



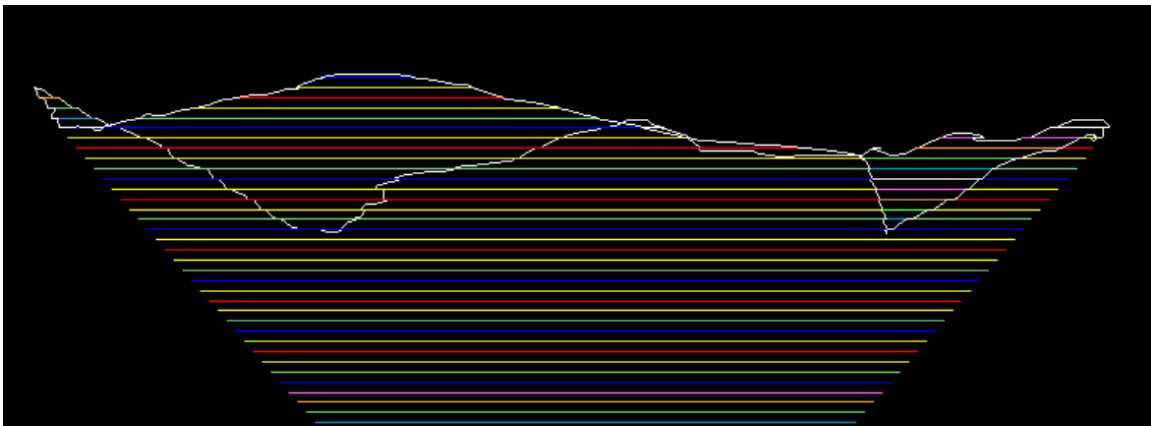
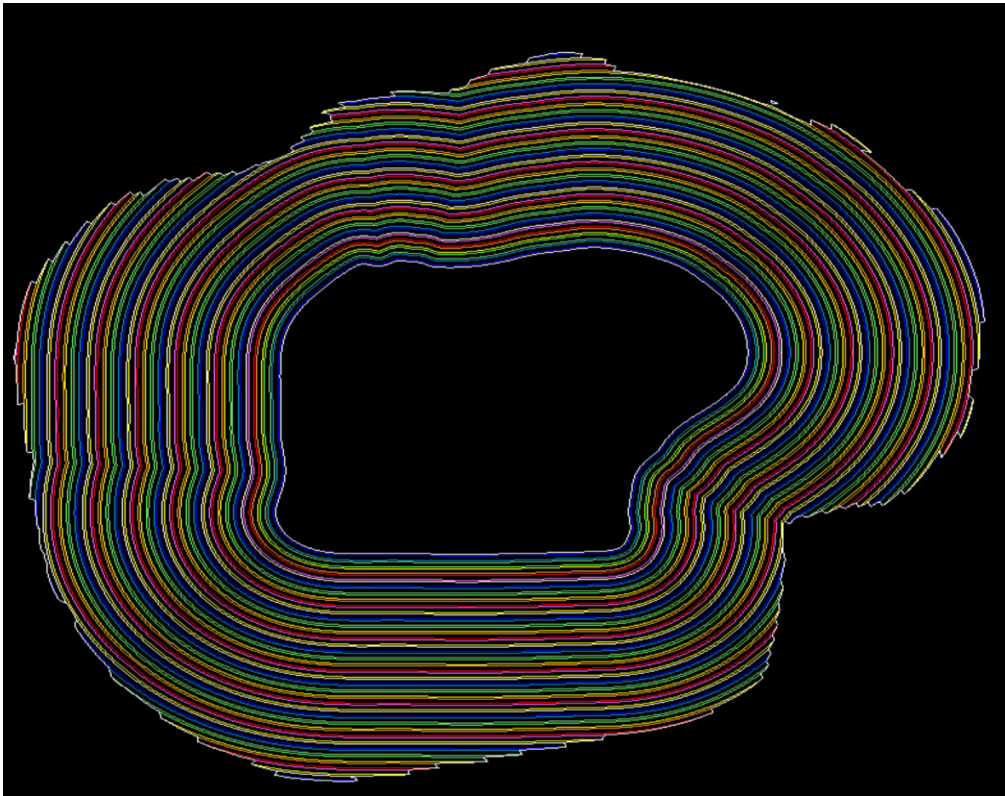
Εικόνα 13: Το όριο που δημιουργήθηκε

Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκε αυτό το όριο μαζί με το string file των βαθμίδων σε κάθε περίπτωση προκειμένου να προκύψει η τελική εμφάνιση των βαθμίδων.



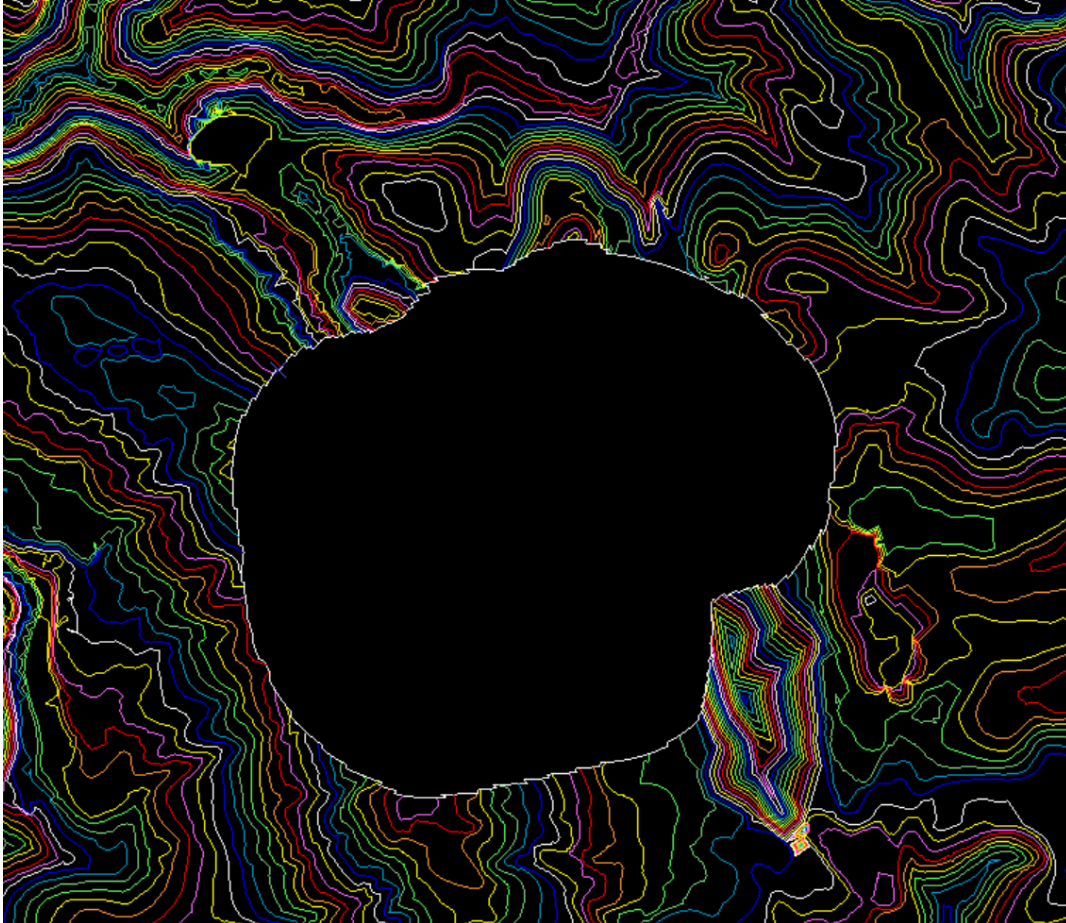
Εικόνα 14: Βαθμίδες και όριο

Έχοντας ενεργά και τα δύο αυτά layers, αποκόπτονται τα κομμάτια των βαθμίδων εξωτερικά του ορίου ώστε να προκύψει η τελική τους μορφή.



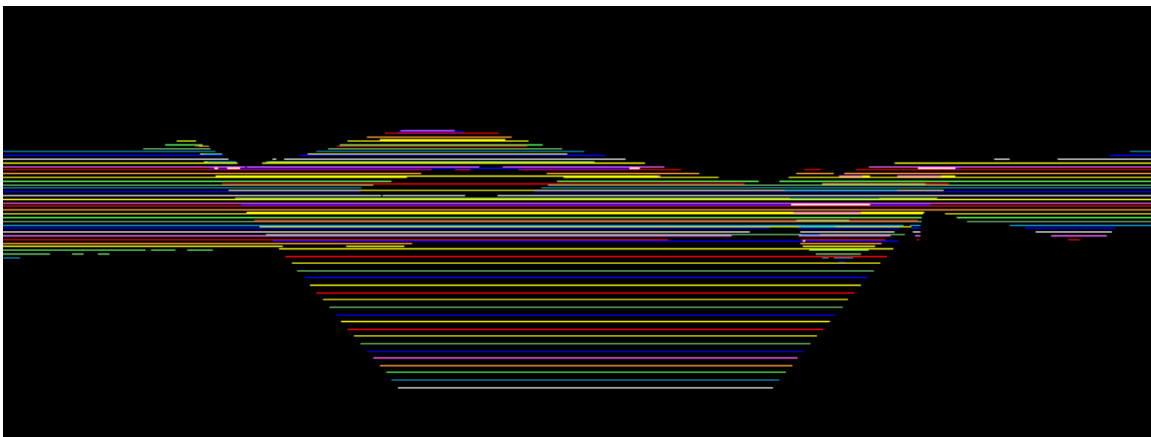
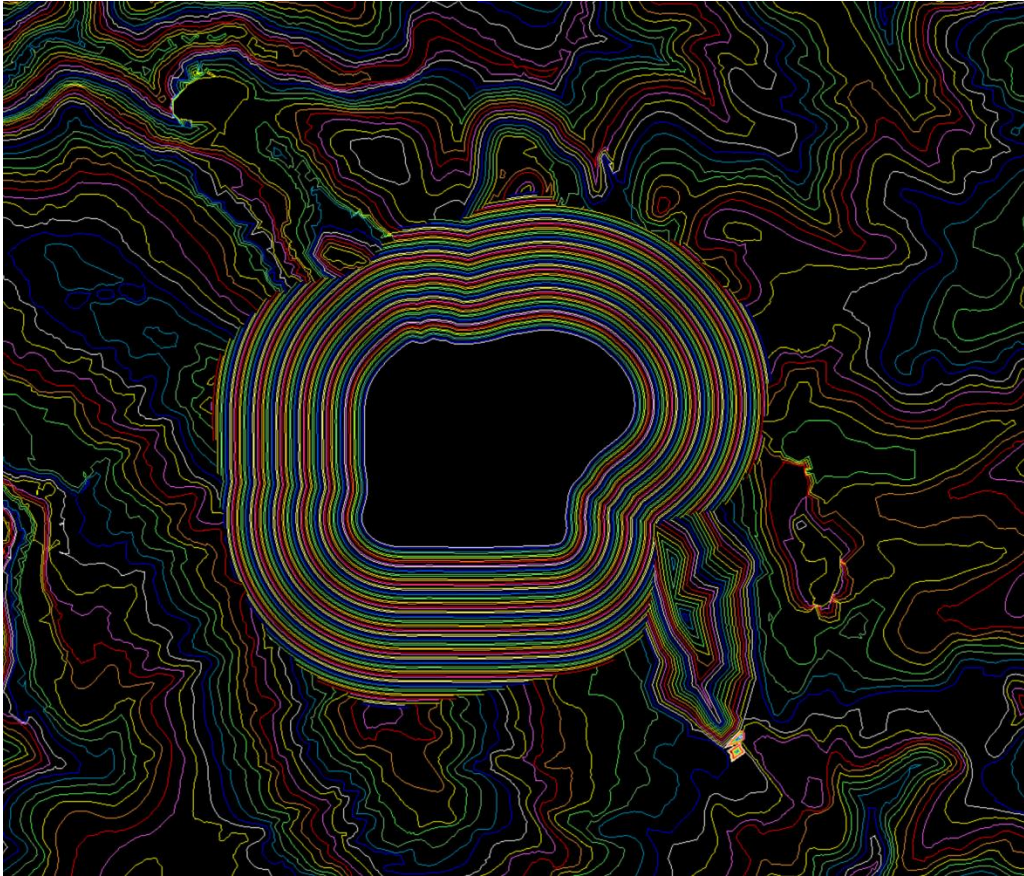
Εικόνα 15: Τελική όψη βαθμίδων σε κάτοψη και πλάγια όψη

Ακόμη, χρησιμοποιώντας το όριο και το αρχικό ανάγλυφο, ακολουθείται η προηγούμενη διαδικασία προκειμένου να κοπούν τα εσωτερικά σημεία του αρχικού ανάγλυφου.



Εικόνα 16: Αρχικό ανάγλυφο με όριο

Τέλος, εισάγονται στο τελευταίο βήμα οι τελικές βαθμίδες και προκύπτει ο ενιαίος σχεδιασμός στην κάθε περίπτωση που είναι και ο ζητούμενος.



Εικόνα 17: *Ενιαίος τελικός σχεδιασμός σε κάτοψη και πλάγια όψη*

Σε κάθε βήμα επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία για όλες τις περιπτώσεις και όλες τις ελάχιστες περιεκτικότητες. Οι παραπάνω φωτογραφίες είναι της πρώτης περίπτωσης σχεδιασμού βαθμίδων με ελάχιστη περιεκτικότητα $N_i \geq 0.5$

Κεφάλαιο 5^ο: Χαρακτηριστικά εναλλακτικών σχεδιασμών

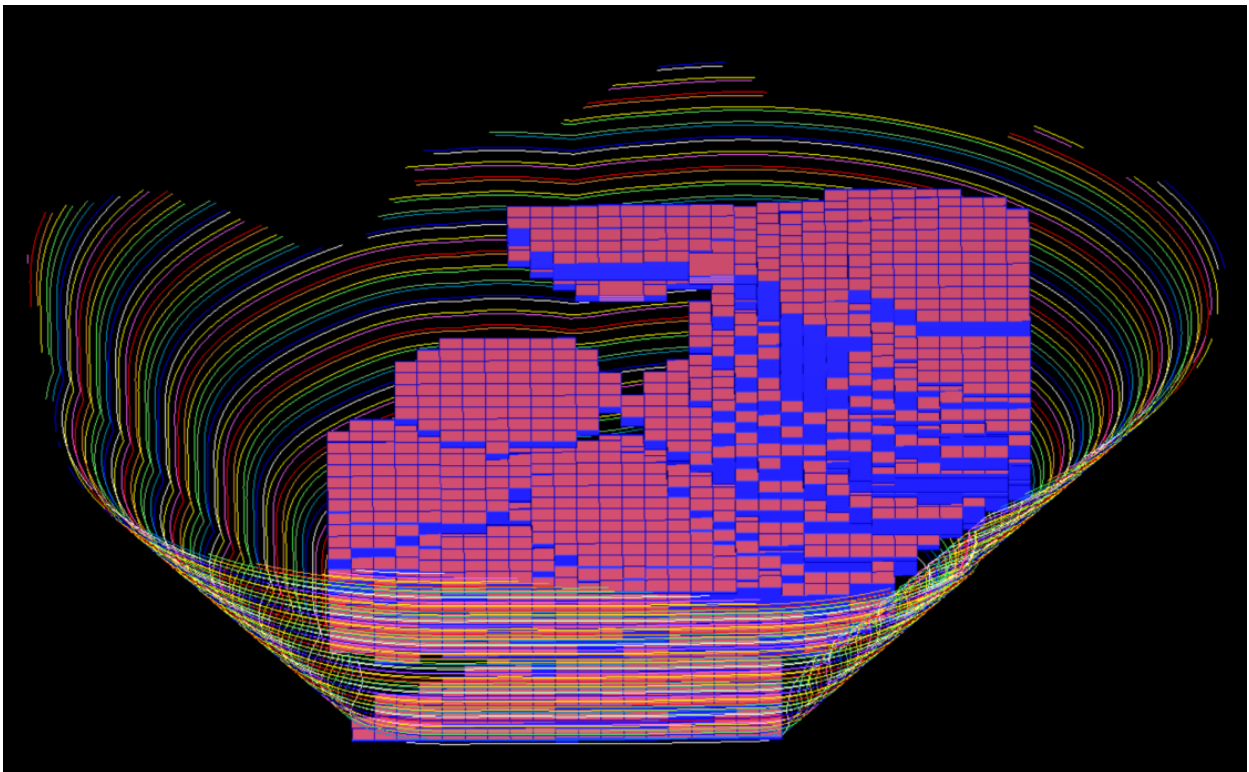
Όπως προαναφέρθηκε, δημιουργήθηκαν 5 σχεδιασμοί για κάθε μία από τις 6 διαφορετικές περιπτώσεις εναλλαγής των γεωμετρικών χαρακτηριστικών. Έτσι, συνολικά σχεδιάστηκαν και εξετάστηκαν 30 διαφορετικοί σχεδιασμοί. Παρακάτω, παρουσιάζεται το τελικό σχέδιο κάθε περίπτωσης (σε οριακή περιεκτικότητα 0.5) καθώς επίσης και αναπαράσταση μελέτης κατώτατων και ανώτατων γωνιών εκμετάλλευσης.

5.1. 1^{ος} ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ (10m, 6m, 75^ο)

Ύψος βαθμίδας: 10m

Πλάτος βαθμίδας: 6m

Γωνία βαθμίδας: 75^ο



Εικόνα 18: Τελικές βαθμίδες με Block Model σε $N_i \geq 0.5$

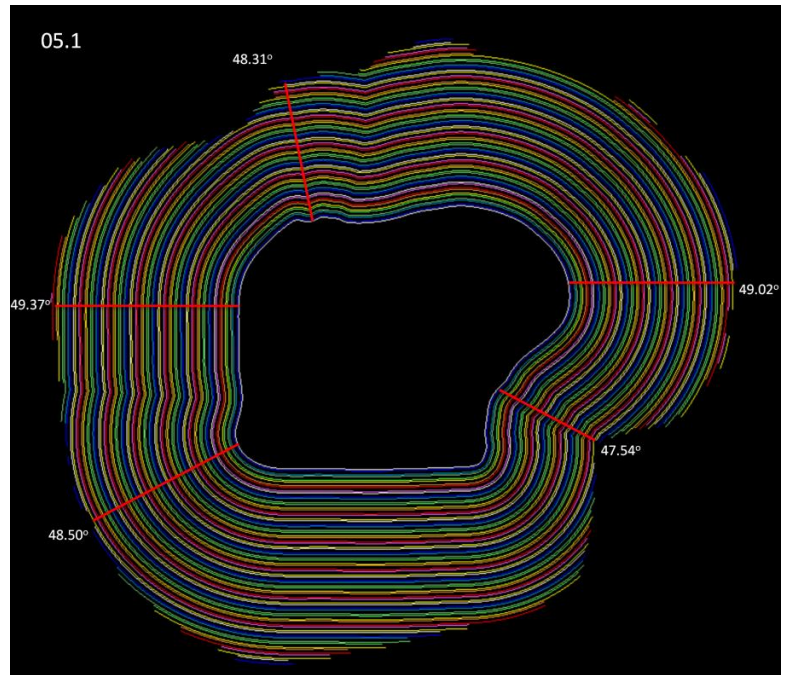
5.1.1. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.5

Συνολικός όγκος εκσκαφών:
120.053.071 m³

Όγκος αγόνων:
102.863.883 m³

Όγκος χρήσιμου κοιτάσματος:
17.189.188 m³

Σχέση εκμετάλλευσης:
1,81 m³/tn



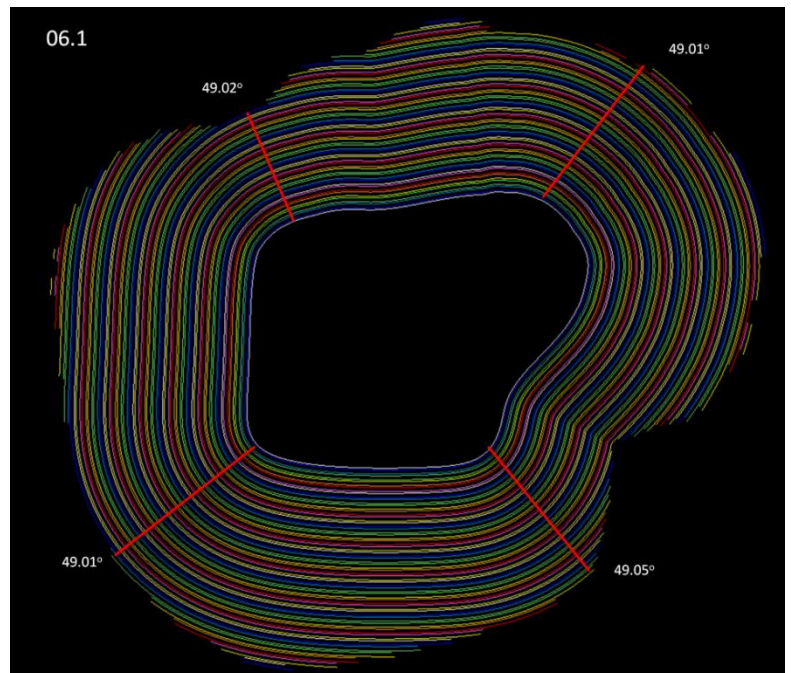
5.1.2. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.6

Συνολικός όγκος εκσκαφών:
115.975.037 m³

Όγκος αγόνων:
99.388.349 m³

Όγκος χρήσιμου κοιτάσματος:
16.586.688 m³

Σχέση εκμετάλλευσης:
2 m³/tn



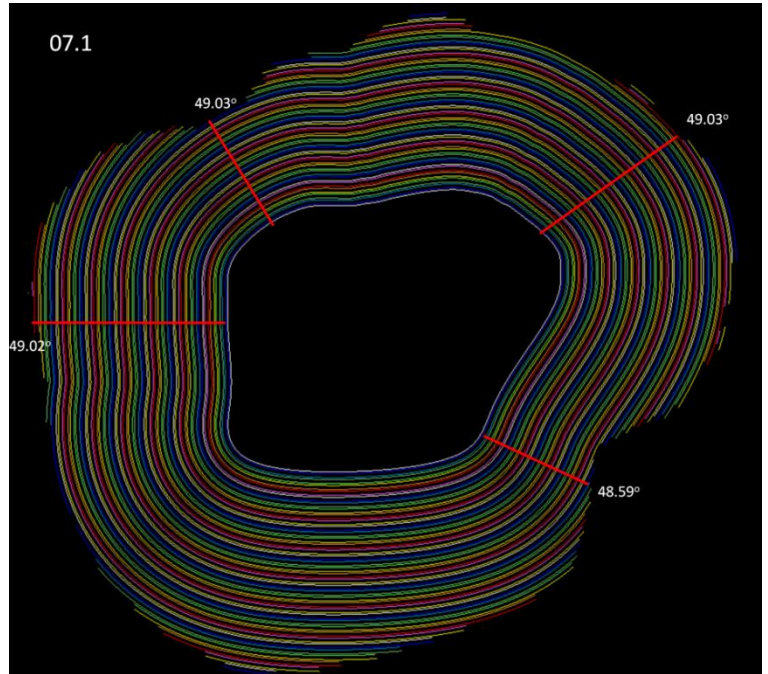
5.1.3. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.7

Συνολικός όγκος εκσκαφών:
117.028.897 m³

Όγκος αγόνων:
101.609.859 m³

Όγκος χρήσιμου κοιτάσματος:
15.419.038 m³

Σχέση εκμετάλλευσης:
1,82 m³/tn



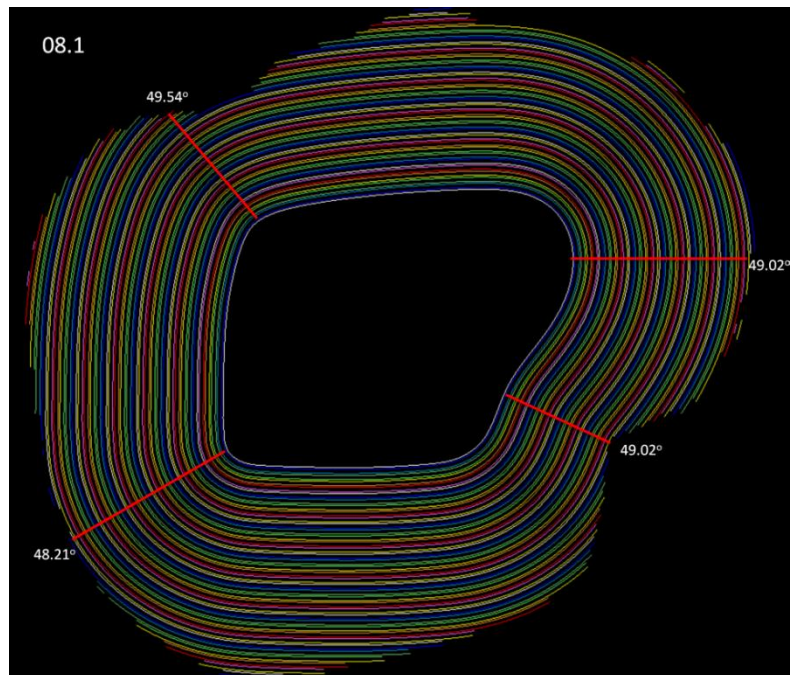
5.1.4. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.8

Συνολικός όγκος εκσκαφών:
117.621.237 m³

Όγκος αγόνων:
103.981.212 m³

Όγκος χρήσιμου κοιτάσματος:
13.640.025 m³

Σχέση εκμετάλλευσης:
2,31 m³/tn



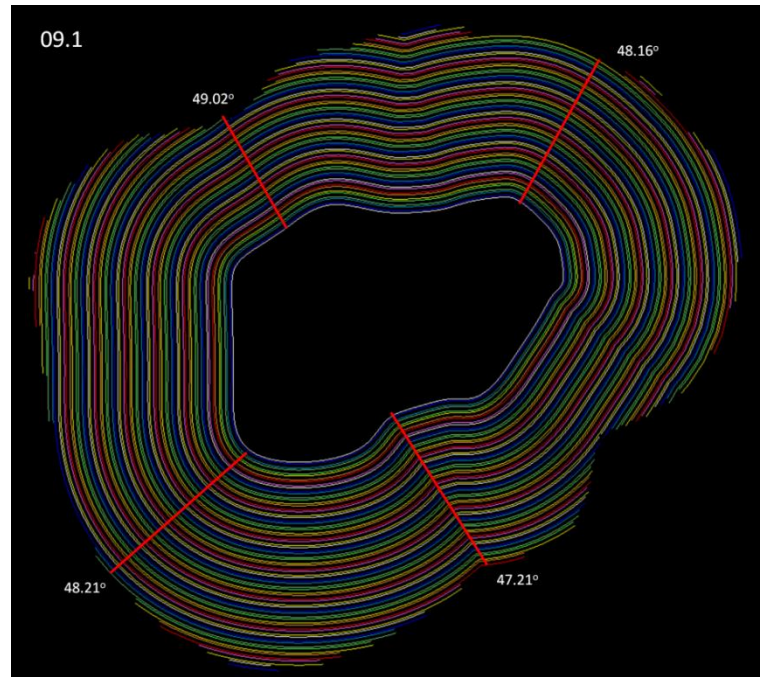
5.1.5. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.9

Συνολικός όγκος εκσκαφών:
105.788.521 m³

Όγκος αγόνων:
95.686.783 m³

Όγκος χρήσιμου κοιτάσματος:
10.101.738 m³

Σχέση εκμετάλλευσης:
2,87 m³/tn

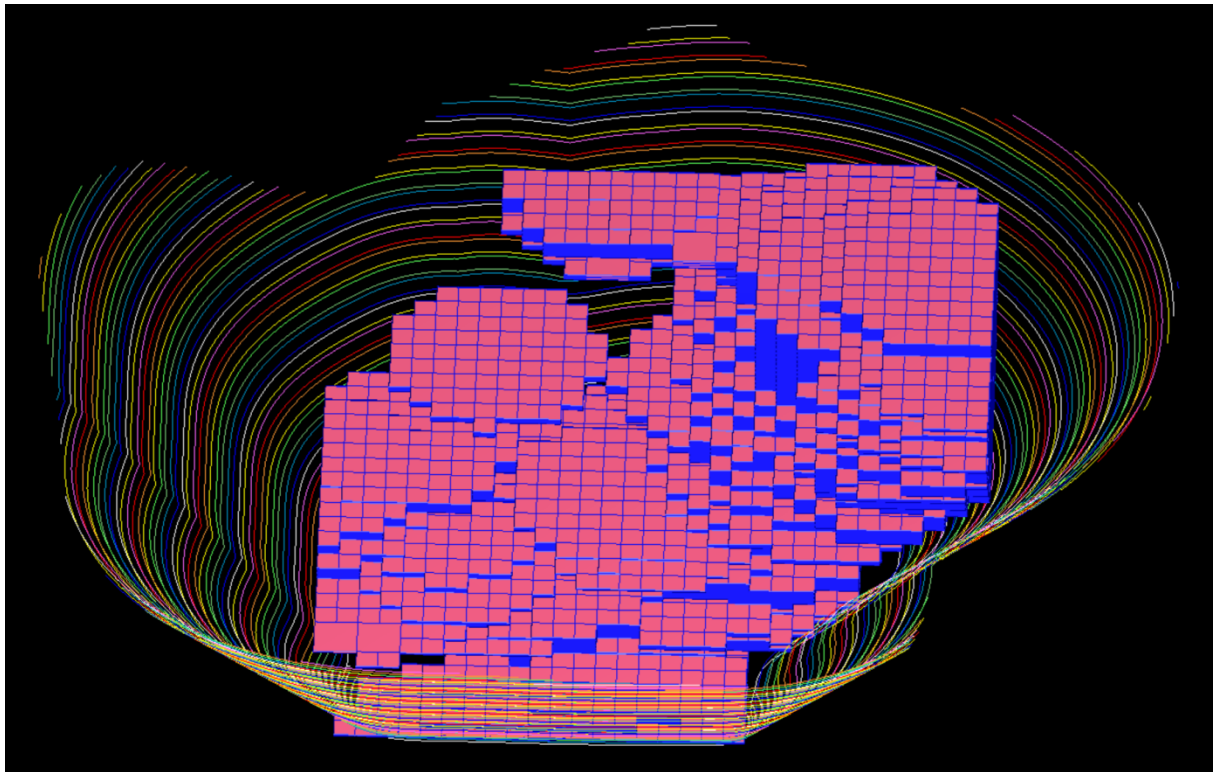


5.2. 2^{ΟΣ} ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ (12m, 6m, 75°)

Ύψος βαθμίδας: 12m

Πλάτος βαθμίδας: 6m

Γωνία βαθμίδας: 75°



Εικόνα 19: Τελικές βαθμίδες με *Block Model* σε $Ni \geq 0.5$

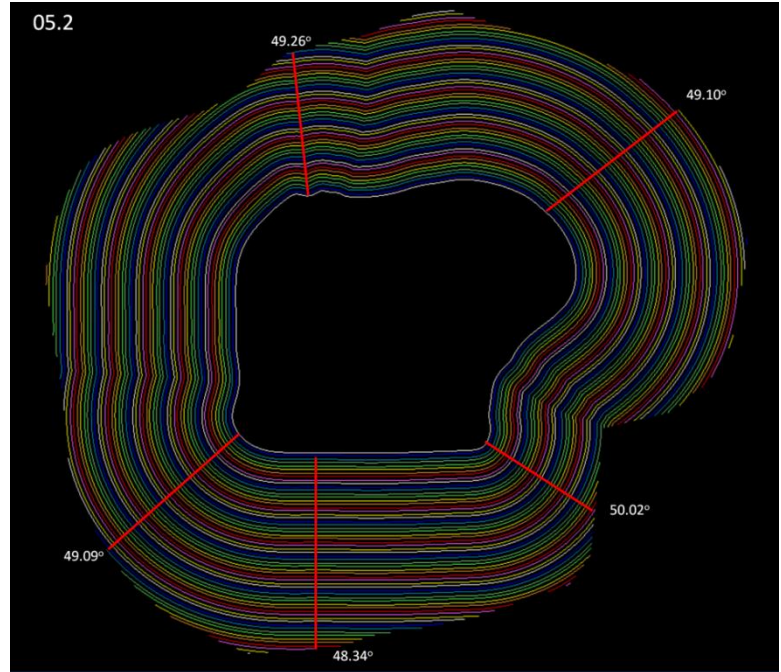
5.2.1. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.5

Συνολικός όγκος εκσκαφών:
109.179.746 m³

Όγκος αγόνων:
92.044.033 m³

Όγκος χρήσιμου κοιτάσματος:
17.135.713 m³

Σχέση εκμετάλλευσης:
1,63 m³/tn



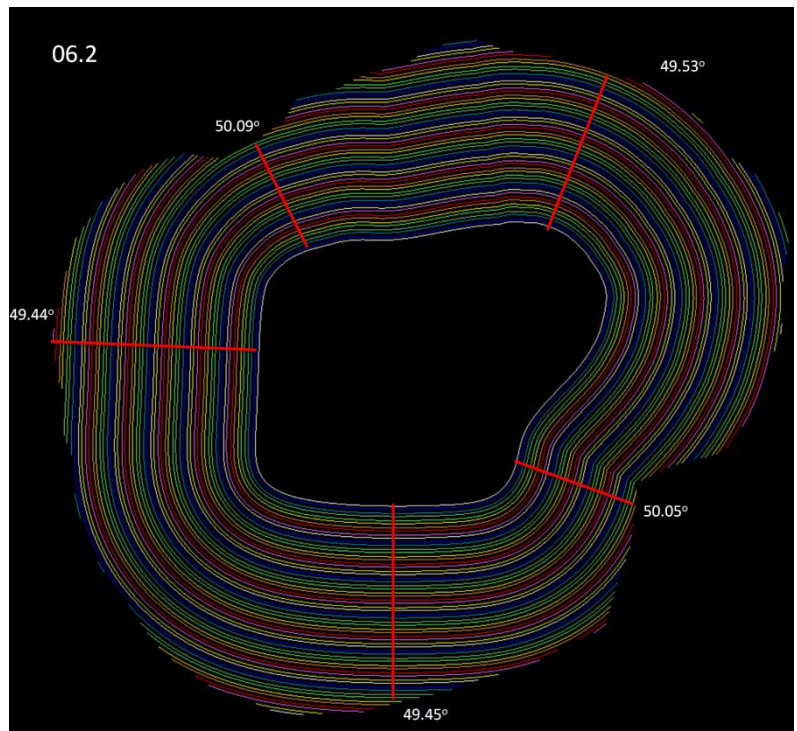
5.2.2. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.6

Συνολικός όγκος εκσκαφών:
105.249.761 m³

Όγκος αγόνων:
88.687.436 m³

Όγκος χρήσιμου κοιτάσματος:
16.562.325 m³

Σχέση εκμετάλλευσης:
1,79 m³/tn



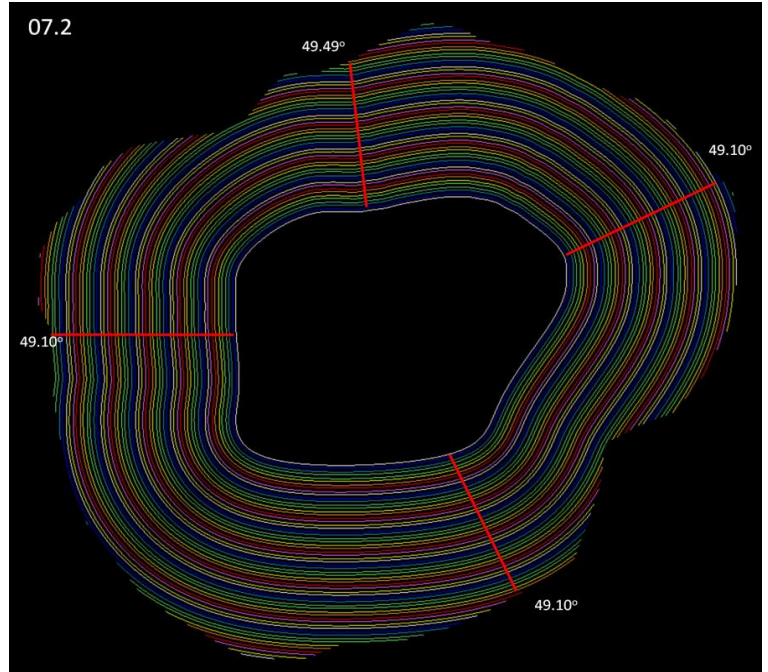
5.2.3. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.7

Συνολικός όγκος εκσκαφών:
106.230.926 m³

Όγκος αγόνων:
90.865.676 m³

Όγκος χρήσιμου κοιτάσματος:
15.365.250 m³

Σχέση εκμετάλλευσης:
1,62 m³/tn



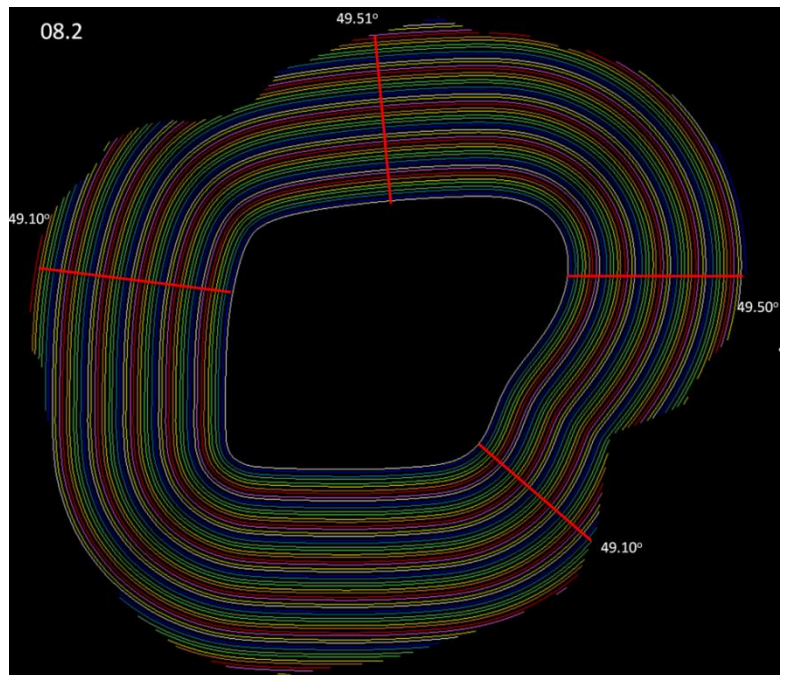
5.2.4. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.8

Συνολικός όγκος εκσκαφών:
106.903.044 m³

Όγκος αγόνων:
93.289.744 m³

Όγκος χρήσιμου κοιτάσματος:
13.613.300 m³

Σχέση εκμετάλλευσης:
2,31 m³/tn



5.2.5. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.9

Συνολικός όγκος εκσκαφών:

95.354.024 m³

Όγκος αγόνων:

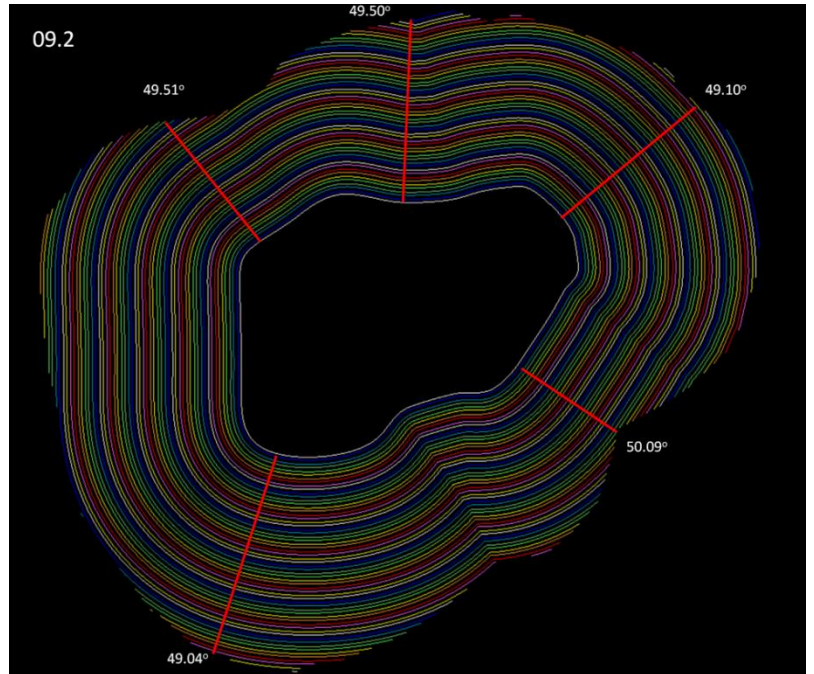
85.304.124 m³

Όγκος χρήσιμου κοιτάσματος:

10.049.900 m³

Σχέση εκμετάλλευσης:

2,57 m³/tn

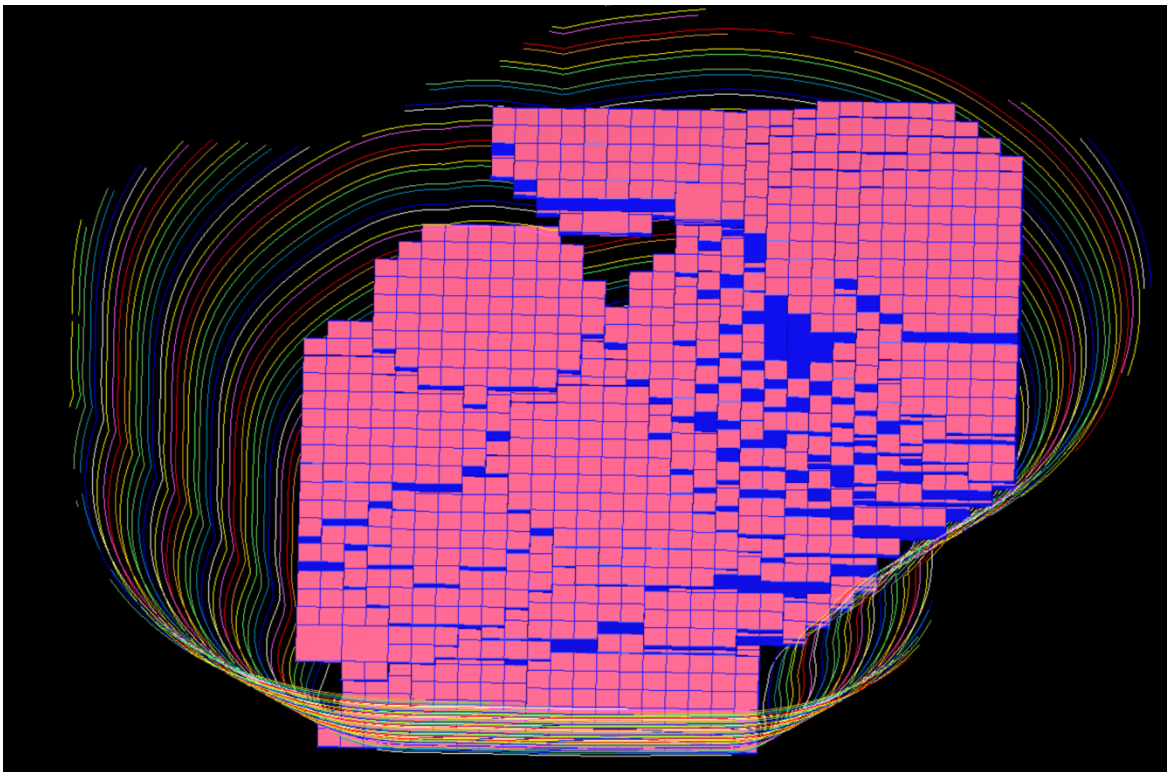


5.3. 3^{ΟΣ} ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ (15m, 6m, 75°)

Ύψος βαθμίδας: 15m

Πλάτος βαθμίδας: 6m

Γωνία βαθμίδας: 75°



Εικόνα 20: Τελικές βαθμίδες με Block Model σε $Ni \geq 0.5$

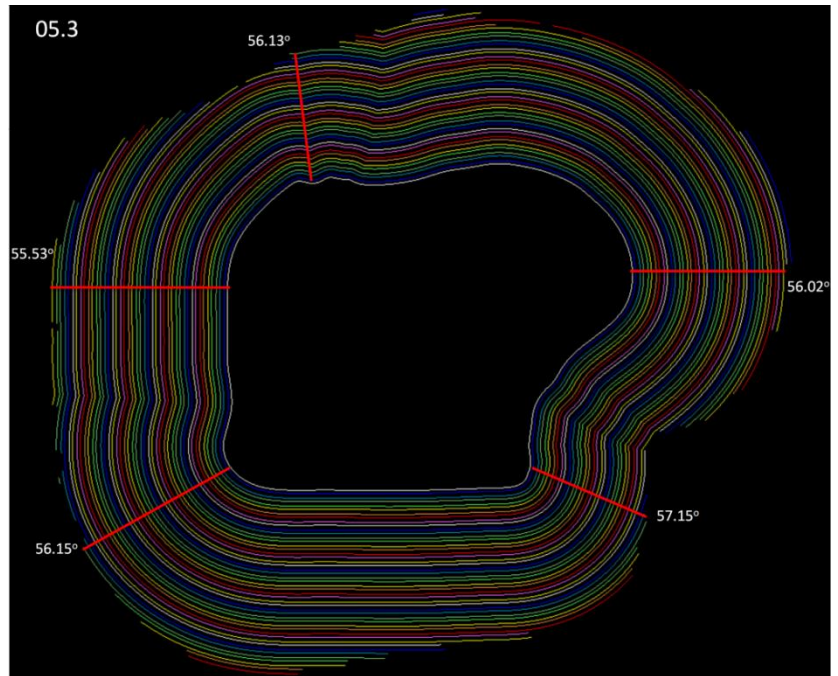
5.3.1. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.5

Συνολικός όγκος εκσκαφών:
98.705.203 m³

Όγκος αγόνων:
81.809.328 m³

Όγκος χρήσιμου κοιτάσματος:
16.895.875 m³

Σχέση εκμετάλλευσης:
1,47 m³/tn



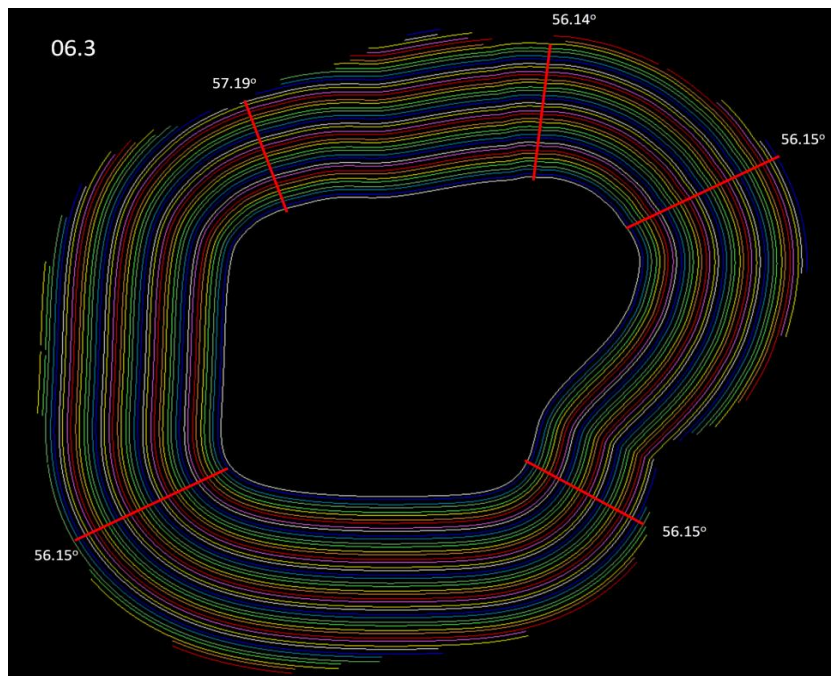
5.3.2. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.6

Συνολικός όγκος εκσκαφών:
94.922.436 m³

Όγκος αγόνων:
78.515.511 m³

Όγκος χρήσιμου κοιτάσματος:
16.406.925 m³

Σχέση εκμετάλλευσης:
1,62 m³/tn



5.3.3. Περιεκτικότητα Ni ≥ 0.7

Συνολικός όγκος εκσκαφών:

95.957.633 m³

Όγκος αγόνων:

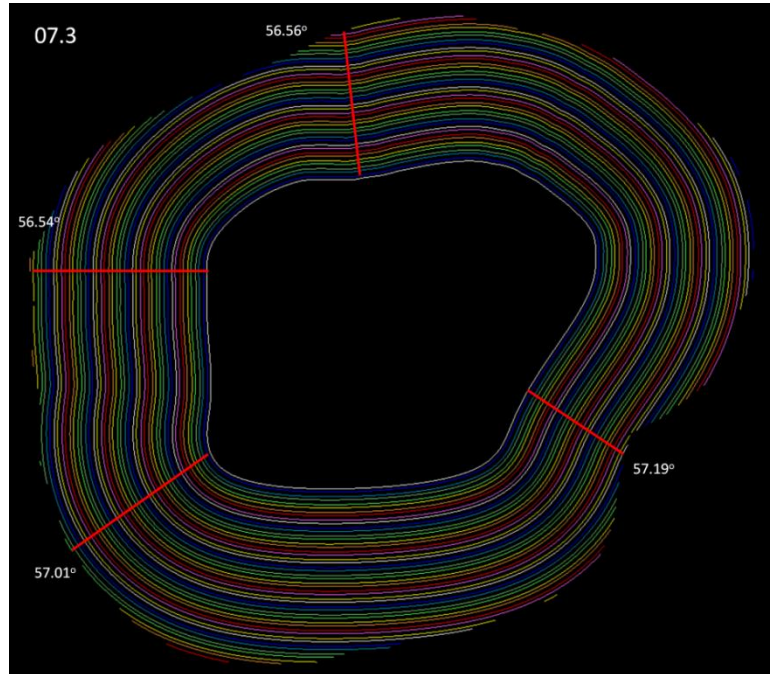
80.820.345 m³

Όγκος χρήσιμου κοιτάσματος:

15.137.288 m³

Σχέση εκμετάλλευσης:

1,45 m³/tn



5.3.4. Περιεκτικότητα Ni ≥ 0.8

Συνολικός όγκος εκσκαφών:

96.592.203 m³

Όγκος αγόνων:

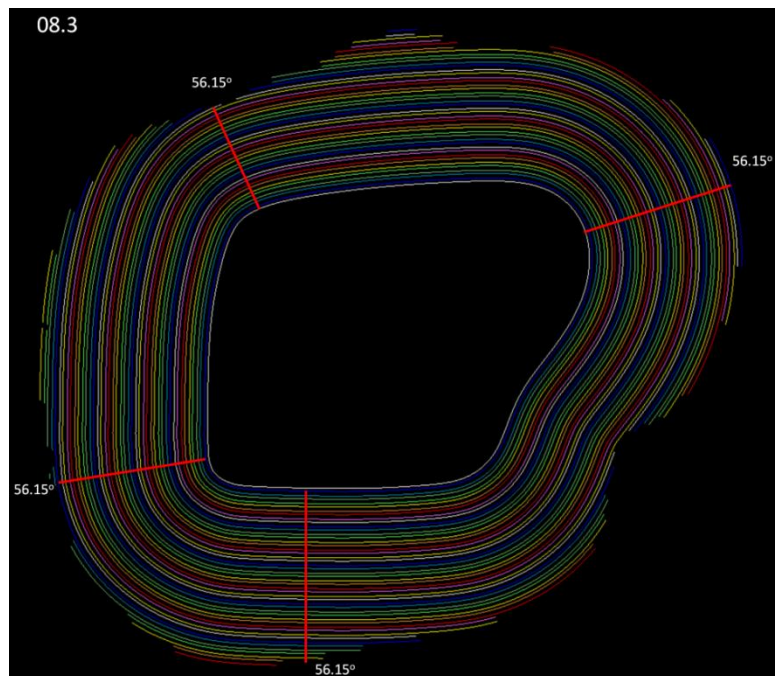
83.129.740 m³

Όγκος χρήσιμου κοιτάσματος:

13.462.463 m³

Σχέση εκμετάλλευσης:

1,87 m³/tn



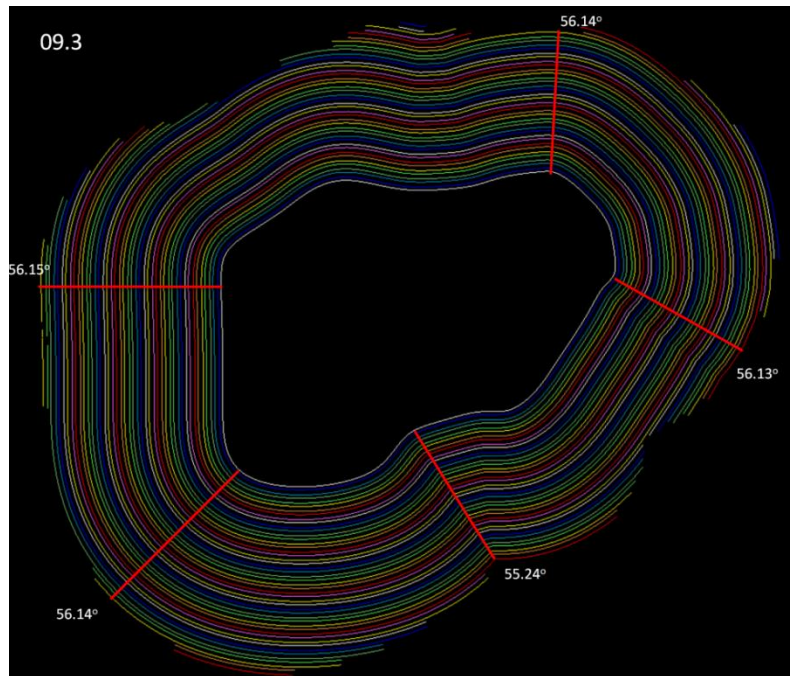
5.3.5. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.9

Συνολικός όγκος εκσκαφών:
85.302.529 m³

Όγκος αγόνων:
75.457.466 m³

Όγκος χρήσιμου κοιτάσματος:
9.845.063 m³

Σχέση εκμετάλλευσης:
2,32 m³/tn

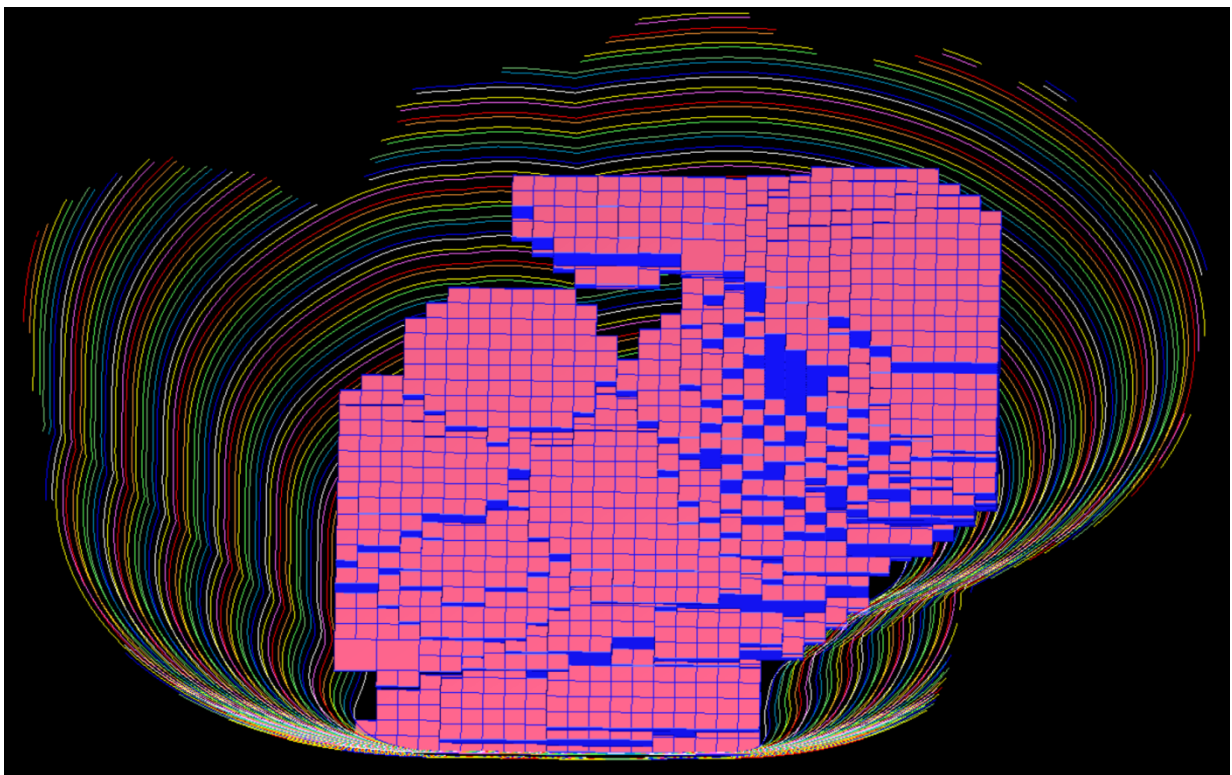


5.4. 4^{ος} ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ (10m, 6m, 70°)

Ύψος βαθμίδας: 10m

Πλάτος βαθμίδας: 6m

Γωνία βαθμίδας: 70°



Εικόνα 21: Τελικές βαθμίδες με *Block Model* σε $N_i \geq 0.5$

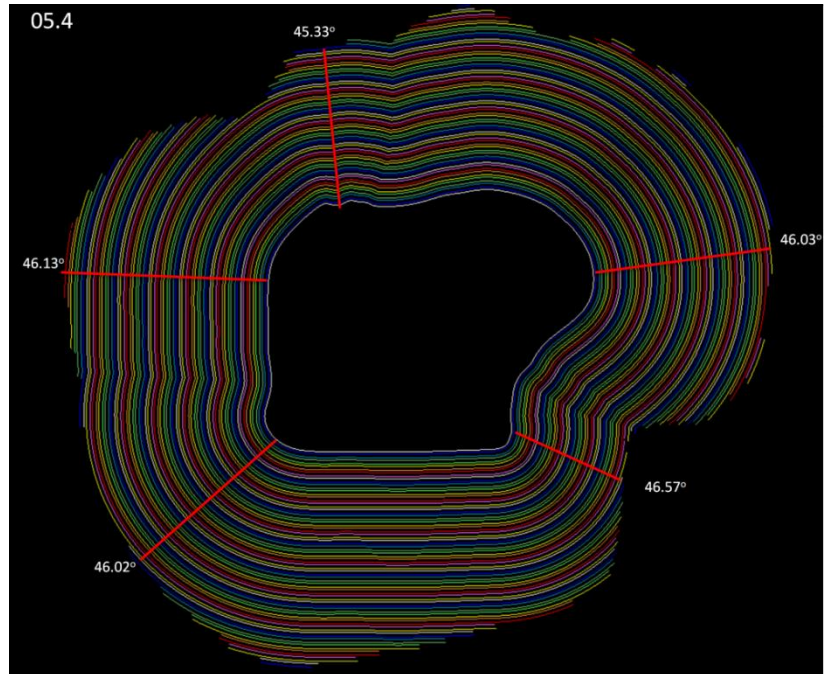
5.4.1. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.5

Συνολικός όγκος εκσκαφών:
130.949.964 m³

Όγκος αγόνων:
113.756.901 m³

Όγκος χρήσιμου κοιτάσματος:
17.193.063 m³

Σχέση εκμετάλλευσης:
2 m³/tn



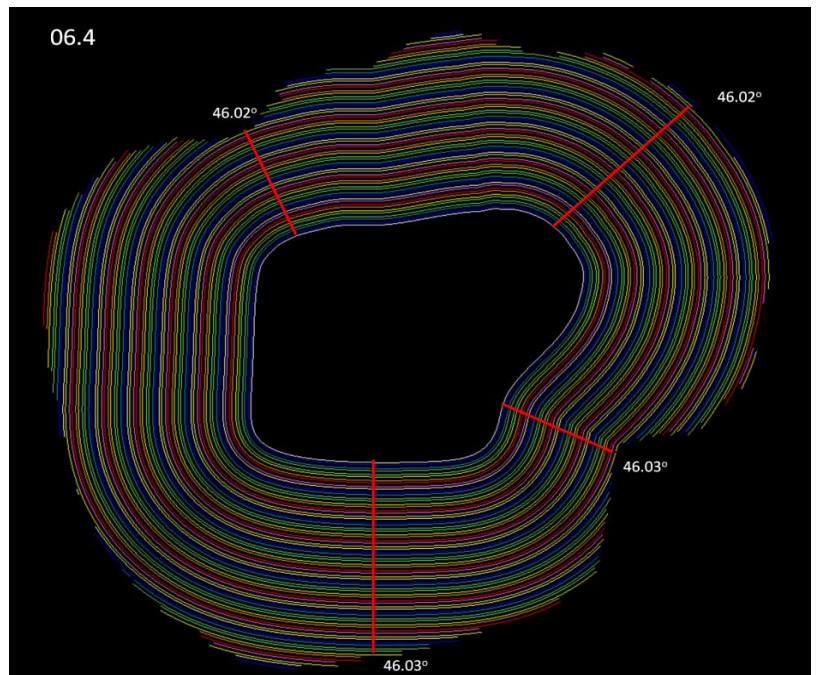
5.4.2. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.6

Συνολικός όγκος εκσκαφών:
126.728.931 m³

Όγκος αγόνων:
110.138.381 m³

Όγκος χρήσιμου κοιτάσματος:
16.590.550 m³

Σχέση εκμετάλλευσης:
2,21 m³/tn



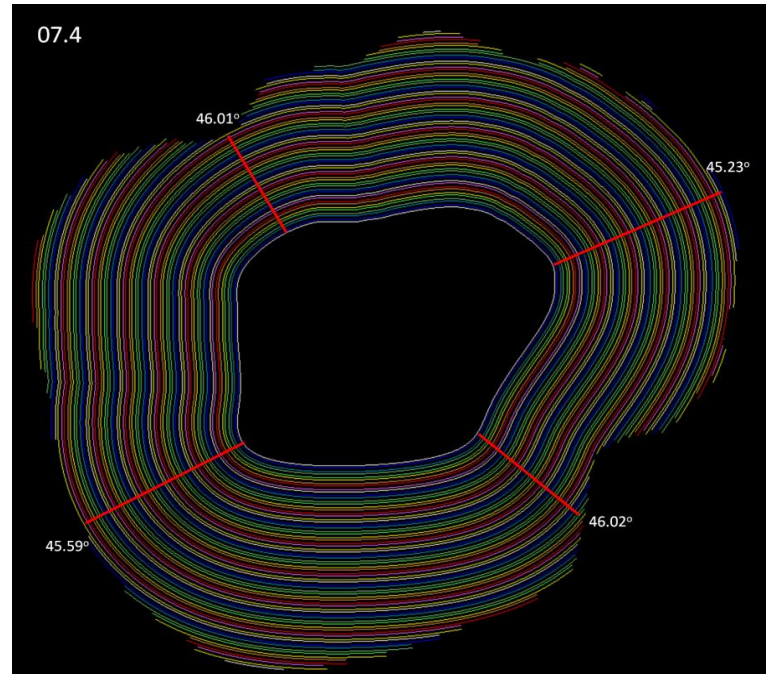
5.4.3. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.7

Συνολικός όγκος εκσκαφών:
127.726.324 m³

Όγκος αγόνων:
112.304.661 m³

Όγκος χρήσιμου κοιτάσματος:
15.421.663 m³

Σχέση εκμετάλλευσης:
2,01 m³/tn



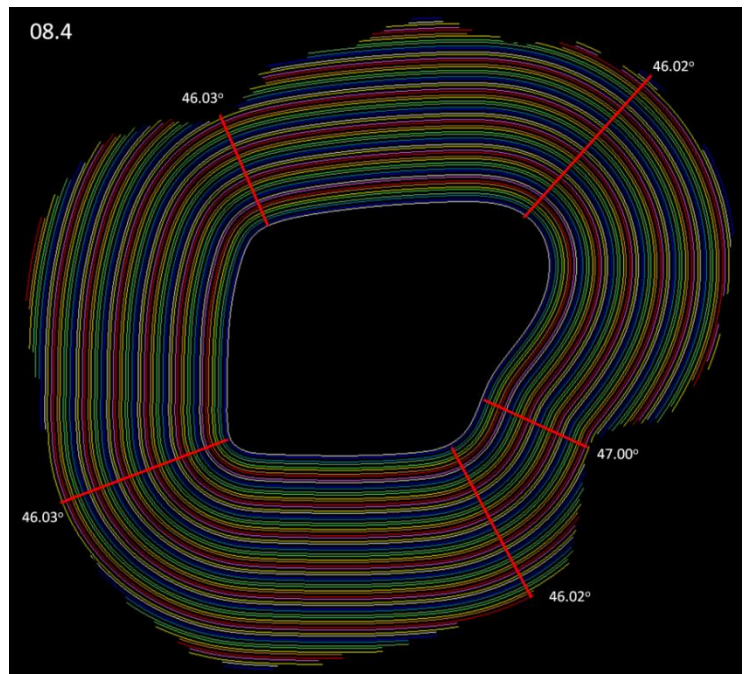
5.4.4. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.8

Συνολικός όγκος εκσκαφών:
128.365.372 m³

Όγκος αγόνων:
114.722.934 m³

Όγκος χρήσιμου κοιτάσματος:
13.642.438 m³

Σχέση εκμετάλλευσης:
2,55 m³/tn



5.4.5. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.9

Συνολικός όγκος εκσκαφών:

116.237.264 m³

Όγκος αγόνων:

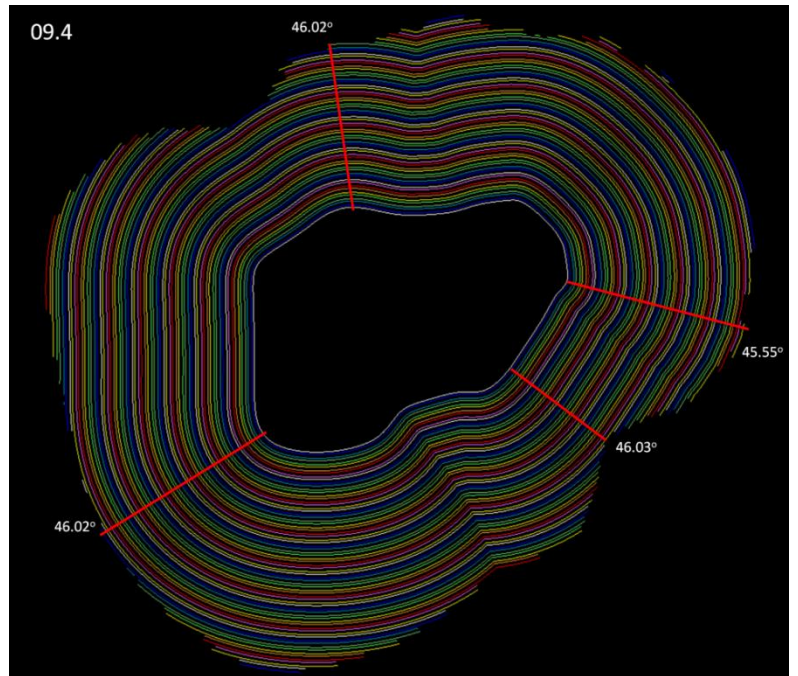
106.130.676 m³

Όγκος χρήσιμου κοιτάσματος:

10.106.588 m³

Σχέση εκμετάλλευσης:

3,18 m³/tn

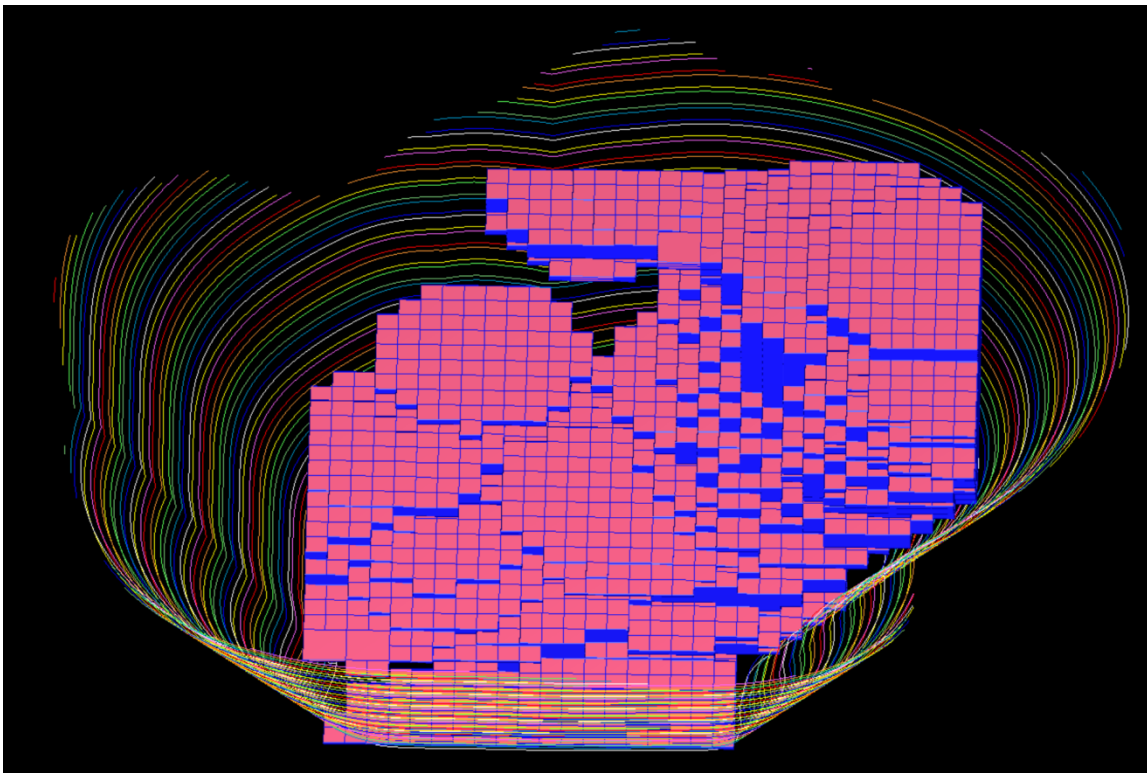


5.5. 5^{ος} ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ (12m, 6m, 70°)

Ύψος βαθμίδας: 12m

Πλάτος βαθμίδας: 6m

Γωνία βαθμίδας: 70°



Εικόνα 22: Τελικές βαθμίδες με *Block Model* σε $Ni \geq 0.5$

5.5.1. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.5

Συνολικός όγκος εκσκαφών:

119.620.519 m³

Όγκος αγόνων:

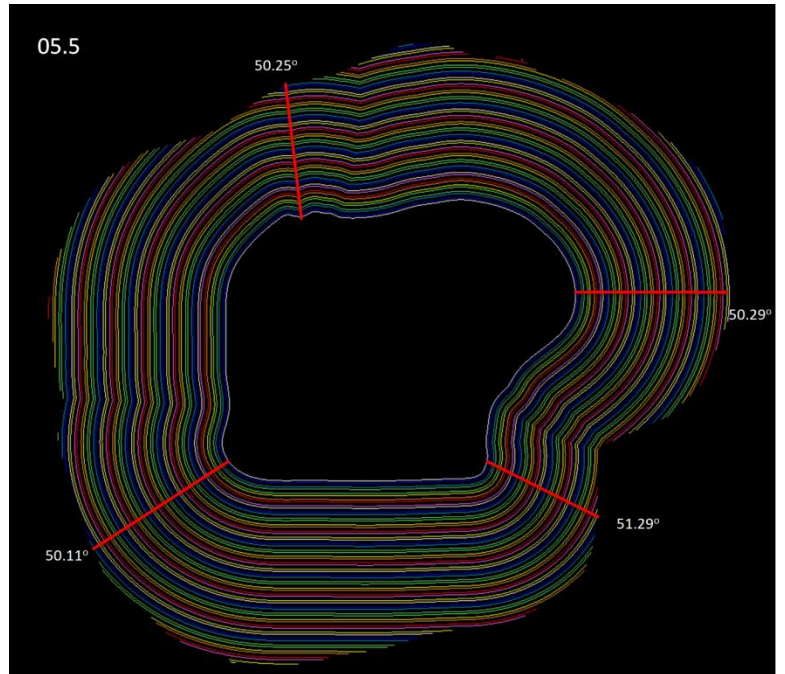
102.431.544 m³

Όγκος χρήσιμου κοιτάσματος:

17.188.975 m³

Σχέση εκμετάλλευσης:

1,81 m³/tn



5.5.2. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.6

Συνολικός όγκος εκσκαφών:

115.540.702 m³

Όγκος αγόνων:

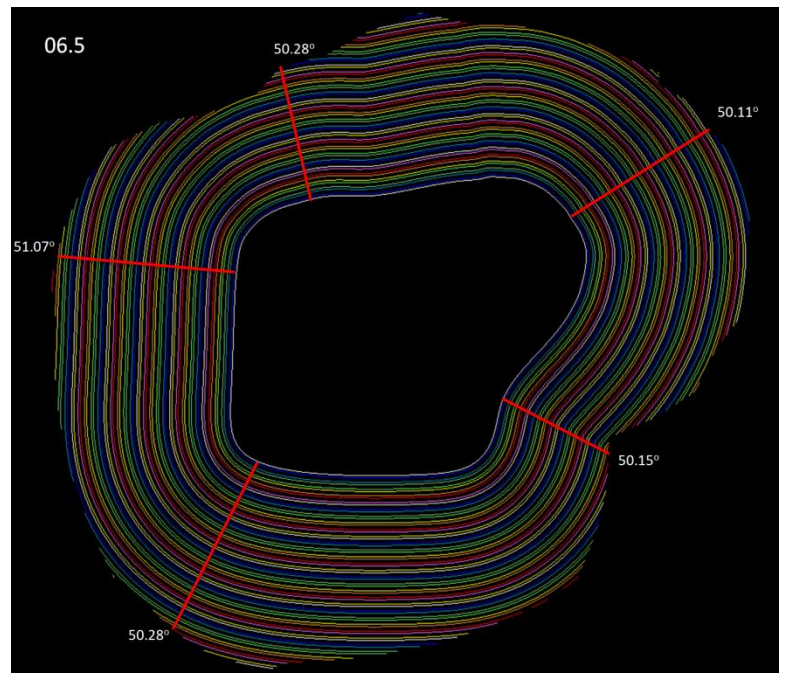
98.953.489 m³

Όγκος χρήσιμου κοιτάσματος:

16.587.213 m³

Σχέση εκμετάλλευσης:

1,99 m³/tn



5.5.3. Περιεκτικότητα Ni ≥ 0.7

Συνολικός όγκος εκσκαφών:

116.480.257 m³

Όγκος αγόνων:

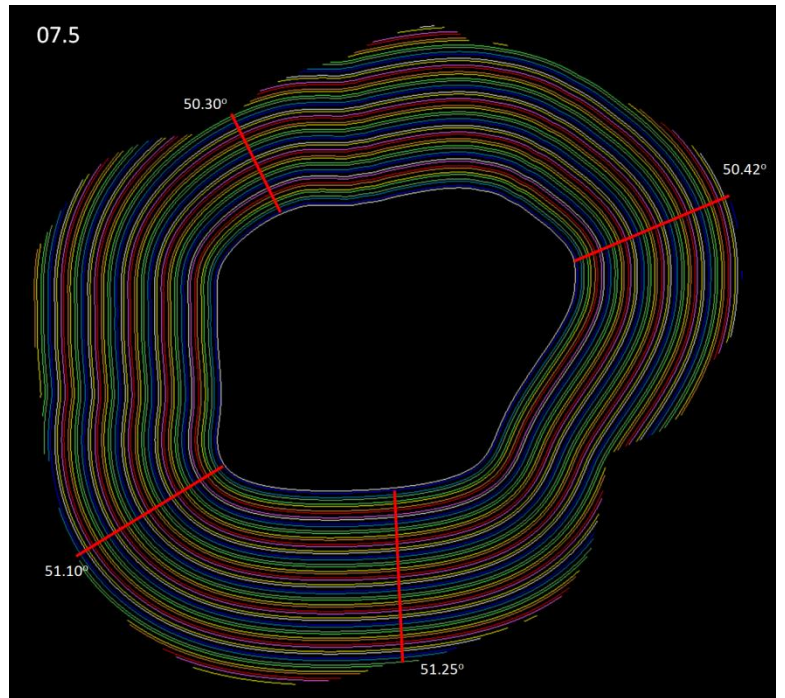
101.061.444 m³

Όγκος χρήσιμου κοιτάσματος:

15.418.813 m³

Σχέση εκμετάλλευσης:

1,81 m³/tn



5.5.4. Περιεκτικότητα Ni ≥ 0.8

Συνολικός όγκος εκσκαφών:

117.186.464 m³

Όγκος αγόνων:

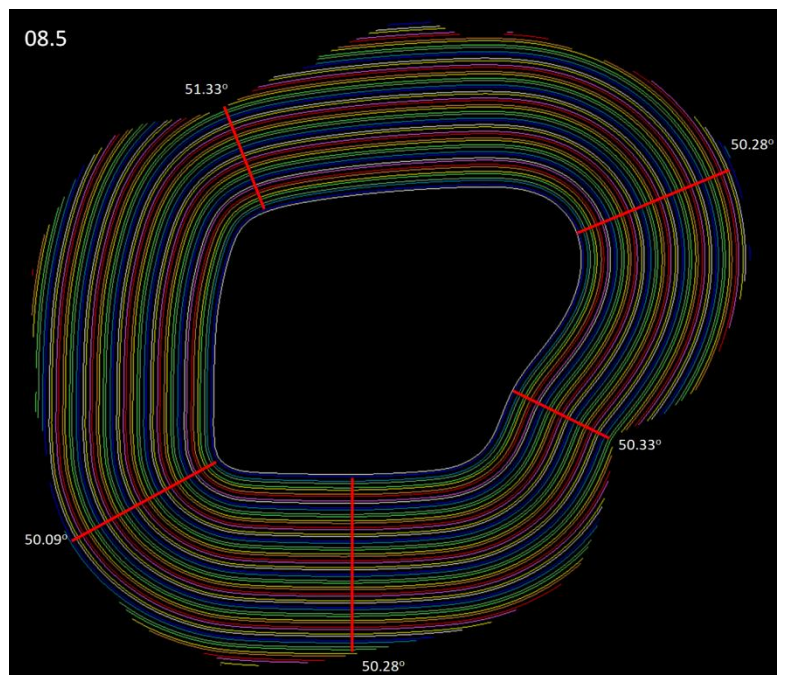
103.546.376 m³

Όγκος χρήσιμου κοιτάσματος:

13.640.088 m³

Σχέση εκμετάλλευσης:

2,3 m³/tn



5.5.5. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.9

Συνολικός όγκος εκσκαφών:

105.366.720 m³

Όγκος αγόνων:

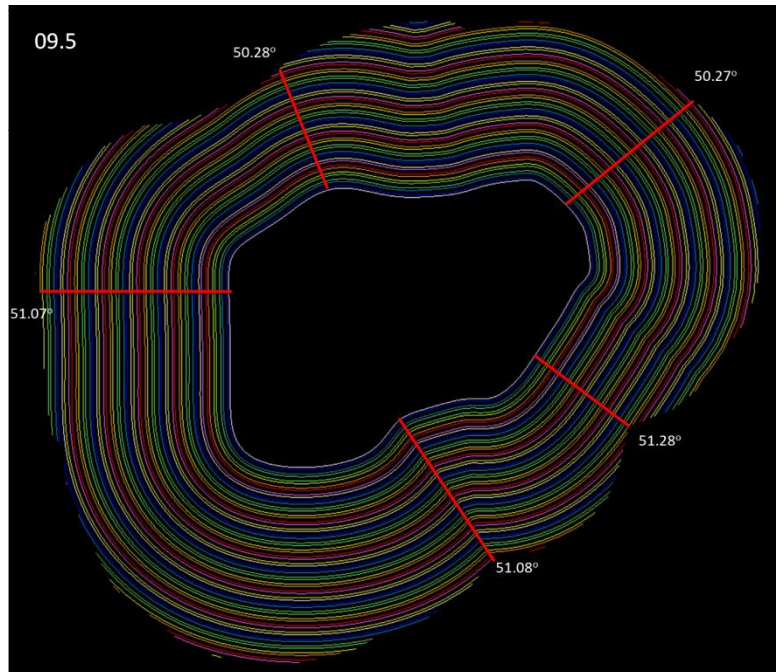
95.265.657 m³

Όγκος χρήσιμου κοιτάσματος:

10.101.063 m³

Σχέση εκμετάλλευσης:

2,86 m³/tn

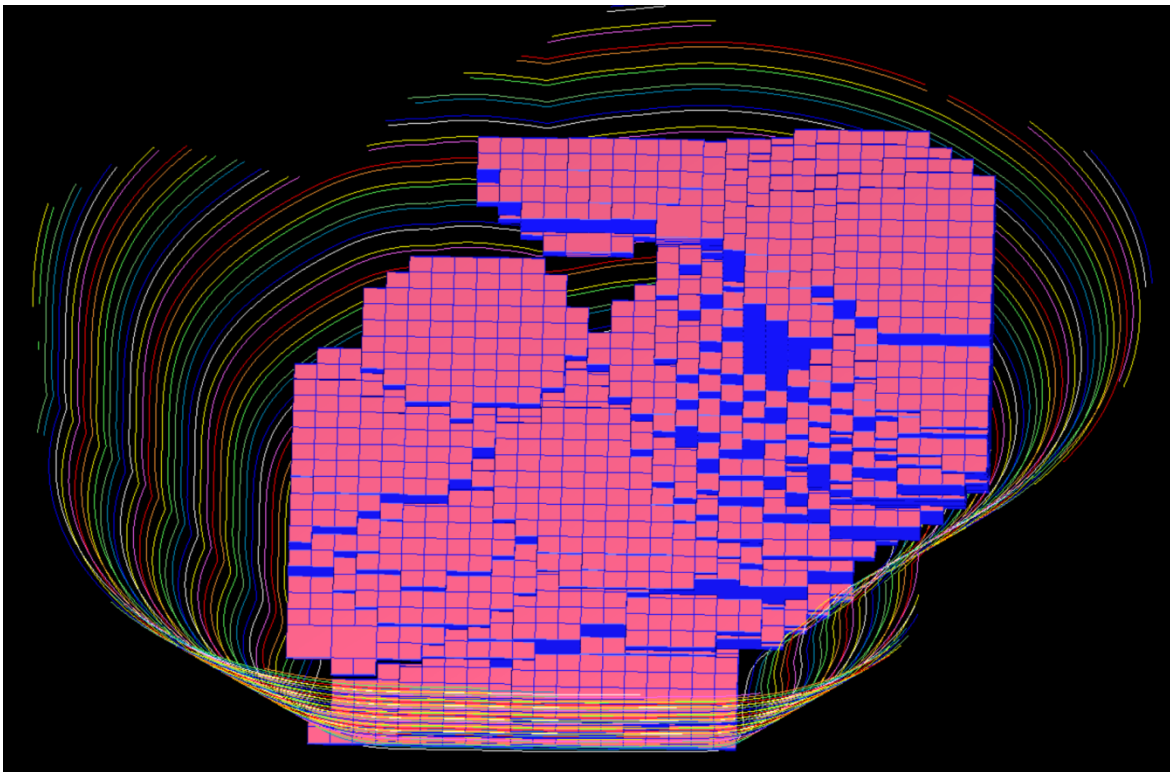


5.6. 6^{ος} ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ (15m, 6m, 70°)

Ύψος βαθμίδας: 15m

Πλάτος βαθμίδας: 6m

Γωνία βαθμίδας: 70°



Εικόνα 23: Τελικές βαθμίδες με Block Model σε $N_i \geq 0.5$

5.6.1. Περιεκτικότητα Ni ≥ 0.5

Συνολικός όγκος εκσκαφών:
108.757.825 m³

Όγκος αγόνων:
91.627.812 m³

Όγκος χρήσιμου κοιτάσματος:
17.130.013 m³

Σχέση εκμετάλλευσης:
1,62 m³/tn



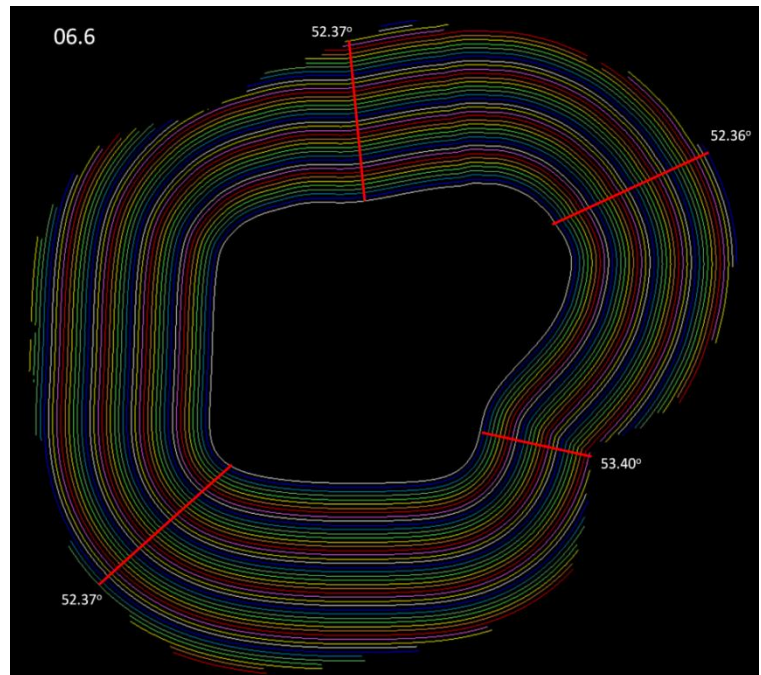
5.6.2. Περιεκτικότητα Ni ≥ 0.6

Συνολικός όγκος εκσκαφών:
104.834.825 m³

Όγκος αγόνων:
88.275.675 m³

Όγκος χρήσιμου κοιτάσματος:
16.559.150 m³

Σχέση εκμετάλλευσης:
1,79 m³/tn



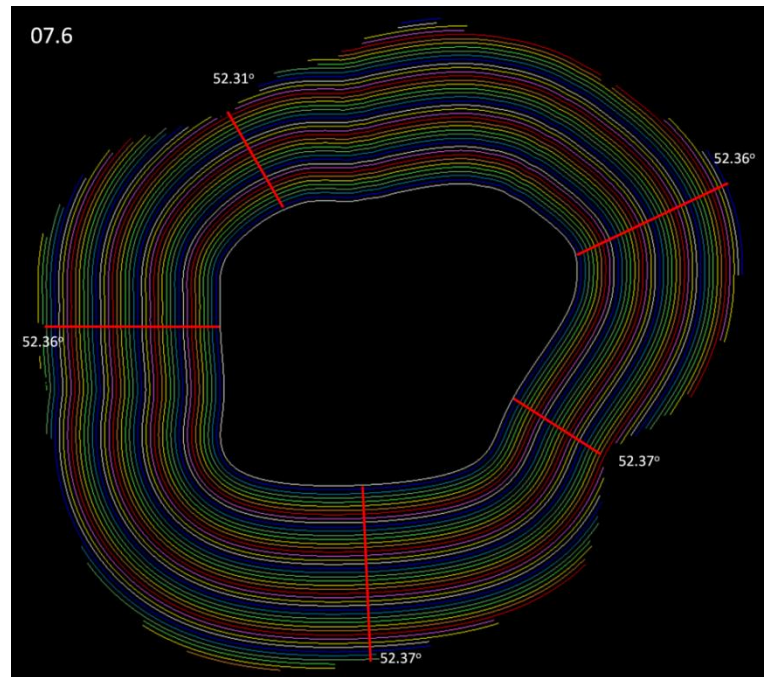
5.6.3. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.7

Συνολικός όγκος εκσκαφών:
105.932.474 m³

Όγκος αγόνων:
90.572.099 m³

Όγκος χρήσιμου κοιτάσματος:
15.360.375 m³

Σχέση εκμετάλλευσης:
1,62 m³/tn



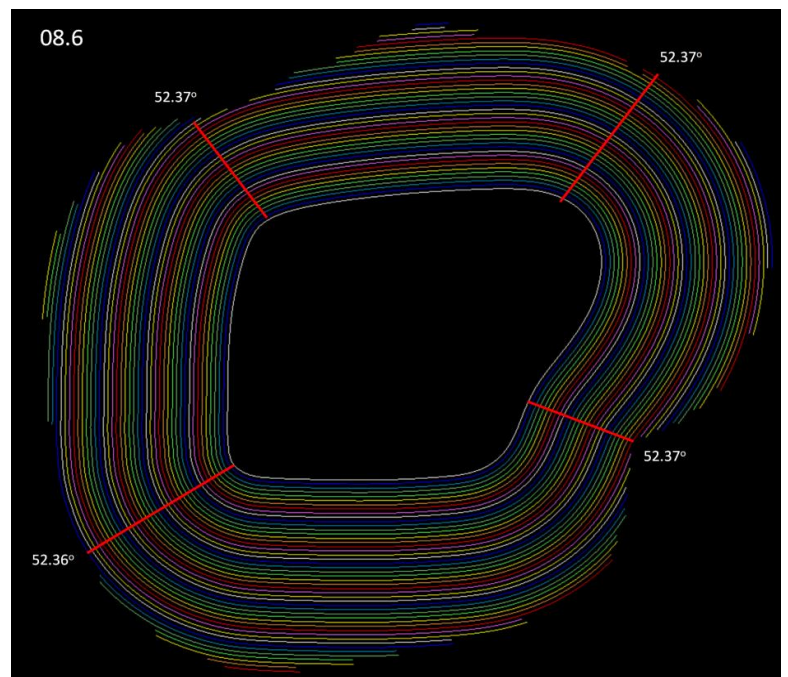
5.6.4. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.8

Συνολικός όγκος εκσκαφών:
106.486.806 m³

Όγκος αγόνων:
92.876.418 m³

Όγκος χρήσιμου κοιτάσματος:
13.610.388 m³

Σχέση εκμετάλλευσης:
2,07 m³/tn



5.6.5. Περιεκτικότητα Ni \geq 0.9

Συνολικός όγκος εκσκαφών:

94.950.053 m³

Όγκος αγόνων:

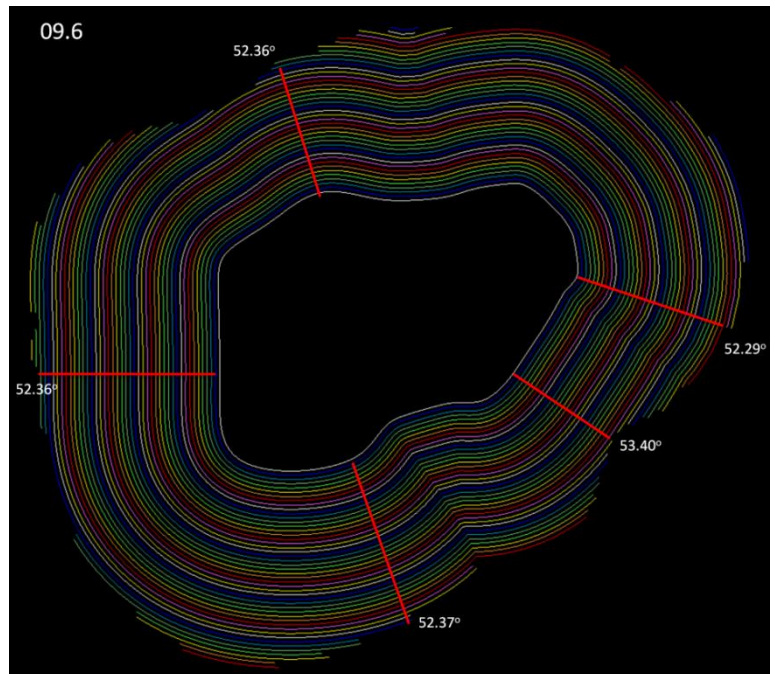
83.684.053 m³

Όγκος χρήσιμου κοιτάσματος:

11.266.000 m³

Σχέση εκμετάλλευσης:

2,25 m³/tn



5.7. Ογκομετρήσεις Εκσκαφών

Ύστερα από τον σχεδιασμό όλων των εκσκαφών όπως αυτοί αναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, έρχεται η σειρά του υπολογισμού του όγκου τους μέσα από το λογισμικό. Από αυτή τη διαδικασία παίρνουμε χρήσιμες πληροφορίες που αφορούν τις ποσότητες των αγόνων, των χρήσιμων συστατικών κάθε περίπτωσης καθώς επίσης και διάφορες άλλες τιμές (π.χ. Σχέση Αποκάλυψης) που προκύπτουν από αυτές.

5.7.1. Ογκομετρήσεις Χρήσιμου Συστατικού

Το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει τις ογκομετρήσεις των Block Models προκειμένου να προσδιοριστεί ο όγκος του χρήσιμου συστατικού που εμπεριέχεται στα blocks και πληροί τις προϋποθέσεις της ελάχιστης περιεκτικότητας κάθε περίπτωσης.

Έτσι, από τα reports του Surpac, προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα σε m³:

Πίνακας 3: Ογκομετρήσεις Block Model σε όλες τις περιπτώσεις

	Ni≥0.5	Ni≥0.6	Ni≥0.7	Ni≥0.8	Ni≥0.9
	Όγκος χρήσιμου	Όγκος χρήσιμου	Όγκος χρήσιμου	Όγκος χρήσιμου	Όγκος χρήσιμου
10m,6m,75°	17,189,188.00	16,586,688.00	15,419,038.00	13,640,025.00	10,101,738.00
12m,6m,75°	17,135,713.00	16,562,325.00	15,365,250.00	13,613,300.00	10,049,900.00
15m,6m,75°	16,895,875.00	16,406,925.00	15,137,288.00	13,462,463.00	9,845,063.00
10m,6m,70°	17,193,063.00	16,590,550.00	15,421,663.00	13,642,438.00	10,106,588.00
12m,6m,70°	17,188,975.00	16,587,213.00	15,418,813.00	13,640,088.00	10,101,063.00
15m,6m,70°	17,130,013.00	16,559,150.00	15,360,375.00	13,610,388.00	11,266,000.00

5.7.2. Ογκομετρήσεις συνολικών εκσκαφών

Προκειμένου να υπολογιστεί ο συνολικός όγκος εκσκαφών, που περιέχει δηλαδή και τα άγωνα αλλά και το χρήσιμο συστατικό, ακολουθείται η διαδικασία ογκομέτρησης μεταξύ 2 επιφανειών. Αυτές οι 2 επιφάνειες είναι το αρχικό ανάγλυφο της εκμετάλλευσης σε μορφή DTM καθώς επίσης και το τελικό σχέδιο που δημιουργήθηκε στο κομμάτι του σχεδιασμού.

Έτσι, προκύπτει ο συνολικός όγκος των εξορυσσόμενων υλικών:

Πίνακας 4: Ογκομετρήσεις μεταξύ επιφανειών σε όλες τις περιπτώσεις

	Ni≥0.5	Ni≥0.6	Ni≥0.7	Ni≥0.8	Ni≥0.9
	Συνολικός όγκος	Συνολικός όγκος	Συνολικός όγκος	Συνολικός όγκος	Συνολικός όγκος
10m,6m,75°	120,053,071.00	115,975,037.00	117,028,897.00	117,621,237.00	105,788,521.00
12m,6m,75°	109,179,746.00	105,249,761.00	106,230,926.00	106,903,044.00	95,354,024.00
15m,6m,75°	98,705,203.00	94,922,436.00	95,957,633.00	96,592,203.00	85,302,529.00
10m,6m,70°	130,949,964.00	126,728,931.00	127,726,324.00	128,365,372.00	116,237,264.00
12m,6m,70°	119,620,519.00	115,540,702.00	116,480,257.00	117,186,464.00	105,366,720.00
15m,6m,70°	108,757,825.00	104,834,825.00	105,932,474.00	106,486,806.00	94,950,053.00

5.7.3. Υπολογισμός Αγόνων

Σε αυτό το στάδιο, υπολογίζονται οι όγκοι των αγόνων σε κάθε περίπτωση εκμετάλλευσης. Εφόσον έχουν υπολογιστεί από προηγούμενες ενέργειες τόσο οι όγκοι των χρήσιμων συστατικών όσο και αυτοί της συνολικής εκσκαφής, με μία αφαίρεση του πρώτου από το δεύτερο υπολογίζονται οι όγκοι των αγόνων της εκμετάλλευσης.

$$\text{Όγκος αγόνων} = \text{Συνολικός όγκος εκσκαφών} - \text{Όγκος χρήσιμων συστατικών}$$

Επομένως, προκύπτουν οι ακόλουθες τιμές:

Πίνακας 5: Όγκοι αγόνων

	Ni≥0.5	Ni≥0.6	Ni≥0.7	Ni≥0.8	Ni≥0.9
	Όγκος αγόνων	Όγκος αγόνων	Όγκος αγόνων	Όγκος αγόνων	Όγκος αγόνων
10m,6m,75°	102,863,883.00	99,388,349.00	101,609,859.00	103,981,212.00	95,686,783.00
12m,6m,75°	92,044,033.00	88,687,436.00	90,865,676.00	93,289,744.00	85,304,124.00
15m,6m,75°	81,809,328.00	78,515,511.00	80,820,345.00	83,129,740.00	75,457,466.00
10m,6m,70°	113,756,901.00	110,138,381.00	112,304,661.00	114,722,934.00	106,130,676.00
12m,6m,70°	102,431,544.00	98,953,489.00	101,061,444.00	103,546,376.00	95,265,657.00
15m,6m,70°	91,627,812.00	88,275,675.00	90,572,099.00	92,876,418.00	83,684,053.00

5.7.4. Υπολογισμός Σχέσης Εκμετάλλευσης

Ως σχέση εκμετάλλευσης (Σ.Ε.) ορίζεται ο αριθμός των μονάδων όγκου ή βάρους αγόνων που πρέπει να απομακρυνθούν για να αποκαλυφθεί μία μονάδα χρήσιμου προϊόντος και δίνεται από τη σχέση:

$$\Sigma. E. = \frac{\text{Άγωνα (m}^3\text{)}}{\text{Χρήσιμο συστατικό (tn ή m}^3\text{)}}$$

Από την παραπάνω σχέση λοιπόν προκύπτουν οι Σ.Α. σε m³/tn.

Πίνακας 6: Τιμές Σχέσεων Εκμετάλλευσης

	Ni≥0.5	Ni≥0.6	Ni≥0.7	Ni≥0.8	Ni≥0.9
	Σ.Ε.	Σ.Ε.	Σ.Ε.	Σ.Ε.	Σ.Ε.
10m,6m,75°	1.81	2.00	1.82	2.31	2.87
12m,6m,75°	1.63	1.79	1.62	2.08	2.57
15m,6m,75°	1.47	1.62	1.45	1.87	2.32
10m,6m,70°	2.00	2.21	2.01	2.55	3.18
12m,6m,70°	1.81	1.99	1.81	2.30	2.86
15m,6m,70°	1.62	1.79	1.62	2.07	2.25

Σε όλες τις περιπτώσεις, για ίδιες τιμές ύψους - πλάτους βαθμίδας και μεταβάλλοντας μόνο την κλίση της, παρατηρείται βελτίωση της Σχέσης Εκμετάλλευσης καθώς αυτή μειώνεται.

Εξαίρεση αποτελούν οι σχεδιασμοί με ύψος βαθμίδας 15m και περιεκτικότητα Ni≥0.9. Αυτή όμως είναι μια ειδική περίπτωση καθώς βρίσκεται πολύ κοντά στη μέση περιεκτικότητα του κοιτάσματος.

Κεφάλαιο 6^ο: Σύγκριση των εναλλακτικών σχεδιασμών ως προς την οικονομικότητα της εκμετάλλευσης

Εν συνεχεία, σε αυτό το κεφάλαιο πραγματοποιούνται εκτιμήσεις κόστους, εσόδων και κερδών για όλους τους εναλλακτικούς σχεδιασμούς που δημιουργήθηκαν.

Για τους παραπάνω υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκαν τόσο τα δεδομένα που προήλθαν από τη χρήση του λογισμικού SURPAC και αφορούν τους όγκους εκσκαφών αλλά και λοιπές βιβλιογραφικές τιμές.

Πίνακας 7: Ενδεικτικές τιμές κόστους που χρησιμοποιήθηκαν

Κόστος αποκάλυψης (€/m³)	2.20
Κόστος εξόρυξης (€/ton)	1.10
Κόστος επεξεργασίας μεταλλεύματος - Εμπλουτισμός (€/tn)	3.00
Μεταλλουργική επεξεργασία (€/tn)	5500.00
B.A.	82,5%
E.B. ΑΓΟΝΩΝ	2.75
E.B. ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΟΣ	3.30

Συγκεκριμένα, οι τιμές για το κόστος αποκάλυψης, εξόρυξης και επεξεργασίας μεταλλεύματος προήλθαν από τιμές που χρησιμοποιούνται ευρέως στην αγορά.

Όσον αφορά τον βαθμό ανάκτησης του νικελίου στο εργοστάσιο της ΛΑΡΚΟ δίνεται από τον τύπο:

$$\frac{\text{Βάρος περιεχόμενου νικελίου στο μίγμα του τροφοδοτηθέντος φυσικού λατερίτη}}{\text{Βάρος περιεχόμενου νικελίου στο τελικό προς πώληση σιδηρονικέλιο}} * 100 ,$$

ο οποίος παρουσιάζει διακυμάνσεις από χρόνο σε χρόνο αλλά ο μ.ο. των τελευταίων 20 χρόνων είναι η τιμή 82.5%.

Τέλος, ως ενδεικτική τιμή για το κόστος μεταλλουργικής επεξεργασίας λήφθηκε η τιμή των 5500 €/tn.

6.1. Ανάλυση κερδών σχεδιασμών

Με τη χρήση λοιπόν των προαναφερθέντων τιμών κόστους υπολογίστηκαν τα συνολικά κέρδη και των 30 διαφορετικών σχεδιασμών καταλήγοντας στα εξής αποτελέσματα:

Για οριακή περιεκτικότητα Ni ≥ 0.5 :

Τιμή Ni	10m,6m,70°	10m,6m,75°	12m,6m,70°	12m,6m,75°	15m,6m,70°	15m,6m,75°
7,500.00	378,381,973.33	402,204,927.43	403,148,285.10	424,053,337.53	424,760,608.93	437,800,251.90
11,000.00	1,885,603,244.70	1,909,086,498.86	1,910,011,183.99	1,926,247,049.82	1,926,454,633.57	1,918,968,685.84
15,000.00	3,608,141,840.54	3,631,236,866.20	3,632,140,211.29	3,643,039,863.86	3,642,676,376.01	3,611,732,610.34
18,000.00	4,900,045,787.42	4,922,849,641.71	4,923,736,981.76	4,930,634,474.40	4,929,842,682.85	4,881,305,553.71

Για οριακή περιεκτικότητα Ni ≥ 0.6 :

Τιμή Ni	10m,6m,70°	10m,6m,75°	12m,6m,70°	12m,6m,75°	15m,6m,70°	15m,6m,75°
7,500.00	333,601,622.74	357,031,348.01	358,229,389.09	378,643,271.05	379,105,582.08	392,159,546.06
11,000.00	1,714,923,833.06	1,738,118,436.43	1,739,296,324.20	1,754,912,554.86	1,754,938,210.92	1,748,010,216.55
15,000.00	3,293,577,787.72	3,316,503,680.34	3,317,658,535.76	3,327,791,736.36	3,327,318,358.17	3,297,553,839.95
18,000.00	4,477,568,253.72	4,500,292,613.27	4,501,430,194.43	4,507,451,122.49	4,506,603,468.61	4,459,711,557.51

Για οριακή περιεκτικότητα Ni ≥ 0.7 :

Τιμή Ni	10m,6m,70°	10m,6m,75°	12m,6m,70°	12m,6m,75°	15m,6m,70°	15m,6m,75°
7,500.00	400,446,649.90	423,947,098.70	424,924,130.25	446,545,235.95	447,328,104.30	462,902,964.15
11,000.00	1,918,083,801.70	1,941,230,970.18	1,942,256,026.63	1,961,600,477.65	1,962,092,909.70	1,963,742,835.45
15,000.00	3,652,526,260.90	3,675,269,680.46	3,676,349,622.51	3,693,092,182.45	3,693,252,687.30	3,678,988,402.65
18,000.00	4,953,358,105.30	4,975,798,713.16	4,976,919,819.41	4,991,710,961.05	4,991,622,520.50	4,965,422,578.05

Για οριακή περιεκτικότητα Ni ≥ 0.8:

Τιμή Ni	10m,6m,70°	10m,6m,75°	12m,6m,70°	12m,6m,75°	15m,6m,70°	15m,6m,75°
7,500.00	291,001,493.18	314,537,169.38	315,496,317.93	336,993,915.50	337,787,244.83	353,337,935.75
11,000.00	1,564,956,227.88	1,588,266,573.92	1,589,231,605.52	1,608,227,692.78	1,608,749,094.45	1,610,486,290.00
15,000.00	3,020,904,496.12	3,043,957,321.97	3,044,929,077.06	3,061,066,295.38	3,061,276,922.58	3,047,227,266.29
18,000.00	4,112,865,697.30	4,135,725,383.01	4,136,702,180.71	4,150,695,247.33	4,150,672,793.69	4,124,782,998.50

Για οριακή περιεκτικότητα Ni ≥ 0.9:

Τιμή Ni	10m,6m,70°	10m,6m,75°	12m,6m,70°	12m,6m,75°	15m,6m,70°	15m,6m,75°
7,500.00	196,583,205.26	219,353,385.38	220,251,138.97	239,989,346.85	295,302,814.40	252,935,463.17
11,000.00	1,188,505,654.43	1,210,799,825.85	1,211,631,330.80	1,226,348,088.49	1,401,017,058.65	1,219,190,247.00
15,000.00	2,322,131,310.63	2,343,881,472.09	2,344,637,264.32	2,353,615,221.79	2,664,690,480.65	2,323,481,428.52
18,000.00	3,172,350,552.77	3,193,692,706.78	3,194,391,714.46	3,199,065,571.76	3,612,445,547.15	3,151,699,814.66

6.2. Ρυθμοί μεταβολής κερδοφορίας σχεδιασμών

6.2.1. Με βάση την οριακή περιεκτικότητα

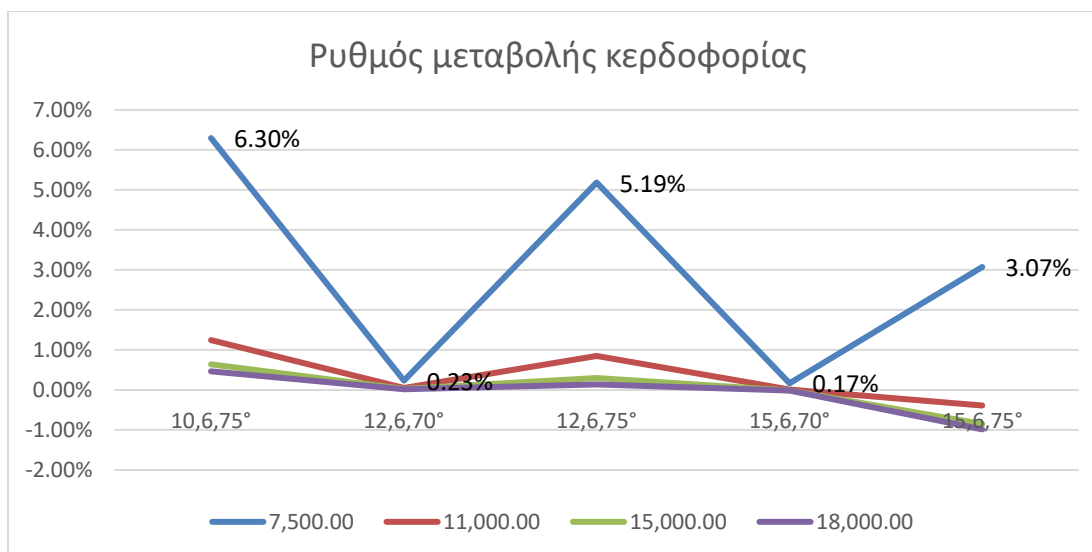
Έχοντας υπολογίσει τα κέρδη των διαφορετικών σχεδιασμών, υπολογίστηκαν τόσο οι ρυθμοί μεταβολής τους όσο και η μεταβολή της κερδοφορίας συγκριτικά με τον πρώτο σχεδιασμό: **10m,6m,70°** για τις διάφορες τιμές του νικελίου.

Τα διαγράμματα που προκύπτουν είναι πανομοιότυπα σε όλες τις περιπτώσεις διαφορετικών οριακών περιεκτικότητας.

Για οριακή περιεκτικότητα Ni ≥ 0.5:

- Ρυθμός μεταβολής κερδοφορίας

Τιμή Ni	10m,6m,75°	12m,6m,70°	12m,6m,75°	15m,6m,70°	15m,6m,75°
7,500.00	6.30%	0.23%	5.19%	0.17%	3.07%
11,000.00	1.25%	0.05%	0.85%	0.01%	-0.39%
15,000.00	0.64%	0.02%	0.30%	-0.01%	-0.85%
18,000.00	0.47%	0.02%	0.14%	-0.02%	-0.98%



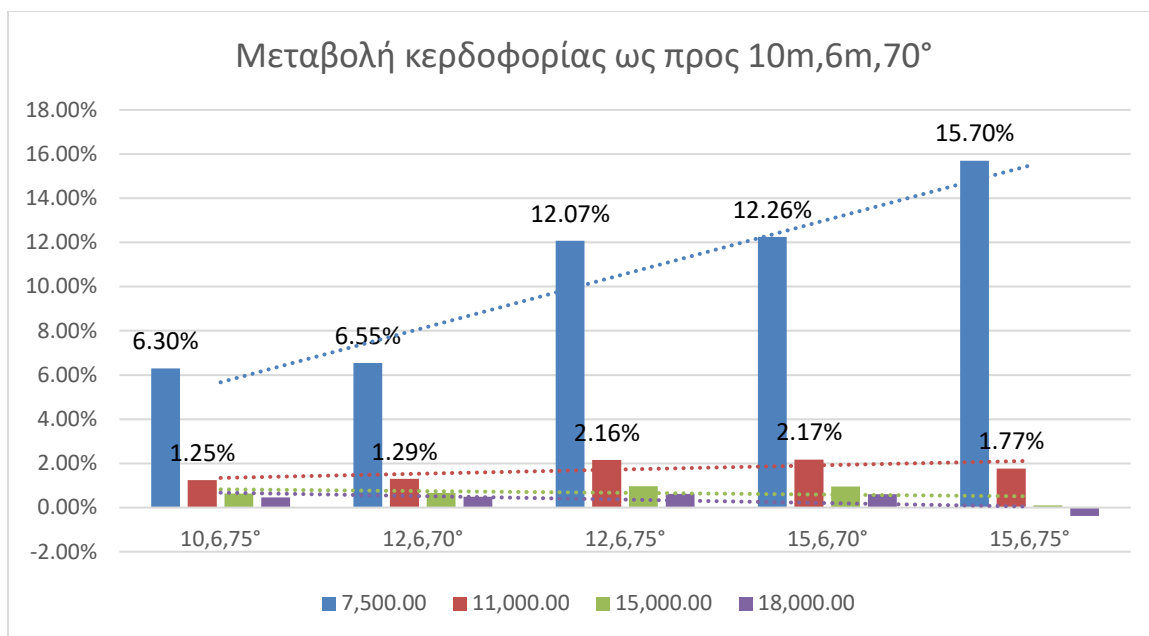
Διάγραμμα 5: Ρυθμός μεταβολής κερδοφορίας

Παρατηρείται από το παραπάνω διάγραμμα, ότι αυξάνοντας την κλίση της βαθμίδας, βελτιώνεται η κερδοφορία στην ελάχιστη τιμή πώλησης. Η βελτίωση αυτή είναι μεγαλύτερη στα χαμηλότερα ύψη βαθμίδας.

Έτσι, συμπερασματικά προκύπτει ότι όσο μικρότερο είναι το ύψος της βαθμίδας, τόσο μεγαλύτερη είναι η σημασία της κλίσης της ως προς την κερδοφορία της εκμετάλλευσης.

- Μεταβολή κερδοφορίας ως προς **10m,6m,70°**

Τιμή Ni	10m,6m,75°	12m,6m,70°	12m,6m,75°	15m,6m,70°	15m,6m,75°
7,500.00	6.30%	6.55%	12.07%	12.26%	15.70%
11,000.00	1.25%	1.29%	2.16%	2.17%	1.77%
15,000.00	0.64%	0.67%	0.97%	0.96%	0.10%
18,000.00	0.47%	0.48%	0.62%	0.61%	-0.38%



Διάγραμμα 6: Μεταβολή κερδοφορίας ως προς 10m,6m,70°

Η αύξηση του ύψους και της κλίσης της βαθμίδας, δεν σημαίνει απαραίτητα και την βελτίωση της οικονομικότητας. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά δηλαδή, συνδέονται άμεσα και με την τιμή πώλησης του μεταλλεύματος. Όταν οι τιμές πώλησης είναι χαμηλές, αυξάνοντας το ύψος και την κλίση της βαθμίδας παρατηρείται και βελτιστοποίηση της κερδοφορίας, γεγονός λογικό καθώς και οι σχέσεις εκμετάλλευσης είναι μειωμένες. Από την άλλη μεριά, όσο αυξάνεται η τιμή πώλησης του μεταλλεύματος, και επειδή η διαφορά των σχέσεων εκμετάλλευσης δεν είναι πολύ μεγάλη, παρατηρείται υπερκάλυψη του κόστους αποκάλυψης των αγόνων με αποτέλεσμα να κρίνεται βέλτιστος ο σχεδιασμός **12m,6m,75°**.

Αντίστοιχα, παρουσιάζονται οι μεταβολές κερδοφορίας και των υπόλοιπων περιεκτικότητων.

Για οριακή περιεκτικότητα Ni ≥ 0.6 :

- Ρυθμός μεταβολής κερδοφορίας

Τιμή Ni	10m,6m,75°	12m,6m,70°	12m,6m,75°	15m,6m,70°	15m,6m,75°
7,500.00	7.02%	0.34%	5.70%	0.12%	3.44%
11,000.00	1.35%	0.07%	0.90%	0.00%	-0.39%
15,000.00	0.70%	0.03%	0.31%	-0.01%	-0.89%
18,000.00	0.51%	0.03%	0.13%	-0.02%	-1.04%

- Μεταβολή κερδοφορίας ως προς 10m,6m,70°

Τιμή Ni	10m,6m,75°	12m,6m,70°	12m,6m,75°	15m,6m,70°	15m,6m,75°
7,500.00	7.02%	7.38%	13.50%	13.64%	17.55%
11,000.00	1.35%	1.42%	2.33%	2.33%	1.93%
15,000.00	0.70%	0.73%	1.04%	1.02%	0.12%
18,000.00	0.51%	0.53%	0.67%	0.65%	-0.40%

Για οριακή περιεκτικότητα Ni ≥ 0.7 :

- Ρυθμός μεταβολής κερδοφορίας

Τιμή Ni	10m,6m,75°	12m,6m,70°	12m,6m,75°	15m,6m,70°	15m,6m,75°
7,500.00	5.87%	0.23%	5.09%	0.18%	3.48%
11,000.00	1.21%	0.05%	1.00%	0.03%	0.08%
15,000.00	0.62%	0.03%	0.46%	0.00%	-0.39%
18,000.00	0.45%	0.02%	0.30%	0.00%	-0.52%

- Μεταβολή κερδοφορίας ως προς 10m,6m,70°

Τιμή Ni	10m,6m,75°	12m,6m,70°	12m,6m,75°	15m,6m,70°	15m,6m,75°
7,500.00	5.87%	6.11%	11.51%	11.71%	15.60%
11,000.00	1.21%	1.26%	2.27%	2.29%	2.38%
15,000.00	0.62%	0.65%	1.11%	1.12%	0.72%
18,000.00	0.45%	0.48%	0.77%	0.77%	0.24%

Για οριακή περιεκτικότητα Ni ≥ 0.8:

- Ρυθμός μεταβολής κερδοφορίας

Τιμή Ni	10m,6m,75°	12m,6m,70°	12m,6m,75°	15m,6m,70°	15m,6m,75°
7,500.00	8.09%	0.30%	6.81%	0.24%	4.60%
11,000.00	1.49%	0.06%	1.20%	0.03%	0.11%
15,000.00	0.76%	0.03%	0.53%	0.01%	-0.46%
18,000.00	0.56%	0.02%	0.34%	0.00%	-0.62%

- Μεταβολή κερδοφορίας ως προς 10m,6m,70°

Τιμή Ni	10m,6m,75°	12m,6m,70°	12m,6m,75°	15m,6m,70°	15m,6m,75°
7,500.00	8.09%	8.42%	15.80%	16.08%	21.42%
11,000.00	1.49%	1.55%	2.77%	2.80%	2.91%
15,000.00	0.76%	0.80%	1.33%	1.34%	0.87%
18,000.00	0.56%	0.58%	0.92%	0.92%	0.29%

Για οριακή περιεκτικότητα Ni ≥ 0.9:

- Ρυθμός μεταβολής κερδοφορίας

Τιμή Ni	10m,6m,75°	12m,6m,70°	12m,6m,75°	15m,6m,70°	15m,6m,75°
7,500.00	11.58%	0.41%	8.96%	23.05%	-14.35%
11,000.00	1.88%	0.07%	1.21%	14.24%	-12.98%
15,000.00	0.94%	0.03%	0.38%	13.22%	-12.80%
18,000.00	0.67%	0.02%	0.15%	12.92%	-12.75%

- Μεταβολή κερδοφορίας ως προς 10m,6m,70°

Τιμή Ni	10m,6m,75°	12m,6m,70°	12m,6m,75°	15m,6m,70°	15m,6m,75°
7,500.00	11.58%	12.04%	22.08%	50.22%	28.67%
11,000.00	1.88%	1.95%	3.18%	17.88%	2.58%
15,000.00	0.94%	0.97%	1.36%	14.75%	0.06%
18,000.00	0.67%	0.69%	0.84%	13.87%	-0.65%

6.2.2. Με βάση τον βέλτιστο σχεδιασμό 12m,6m,75°

Ο συγκεκριμένος σχεδιασμός κρίθηκε βέλτιστος καθώς δίνει τα καλύτερα οικονομικά αποτελέσματα με βάση την επιτρεπόμενη κλίση πρανούς. Προκύπτουν τα εξής κέρδη:

	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
7,500.00	424,053,337.53	378,643,271.05	446,545,235.95	336,993,915.50	239,989,346.85
11,000.00	1,926,247,049.82	1,754,912,554.86	1,961,600,477.65	1,608,227,692.78	1,226,348,088.49
15,000.00	3,643,039,863.86	3,327,791,736.36	3,693,092,182.45	3,061,066,295.38	2,353,615,221.79
18,000.00	4,930,634,474.40	4,507,451,122.49	4,991,710,961.05	4,150,695,247.33	3,199,065,571.76

Είναι εμφανές ότι η μεγαλύτερη κερδοφορία παρουσιάζεται στις ελάχιστες οριακές περιεκτικότητες 0.5 και 0.7 με την δεύτερη να υπερισχύει για λίγο της πρώτης.

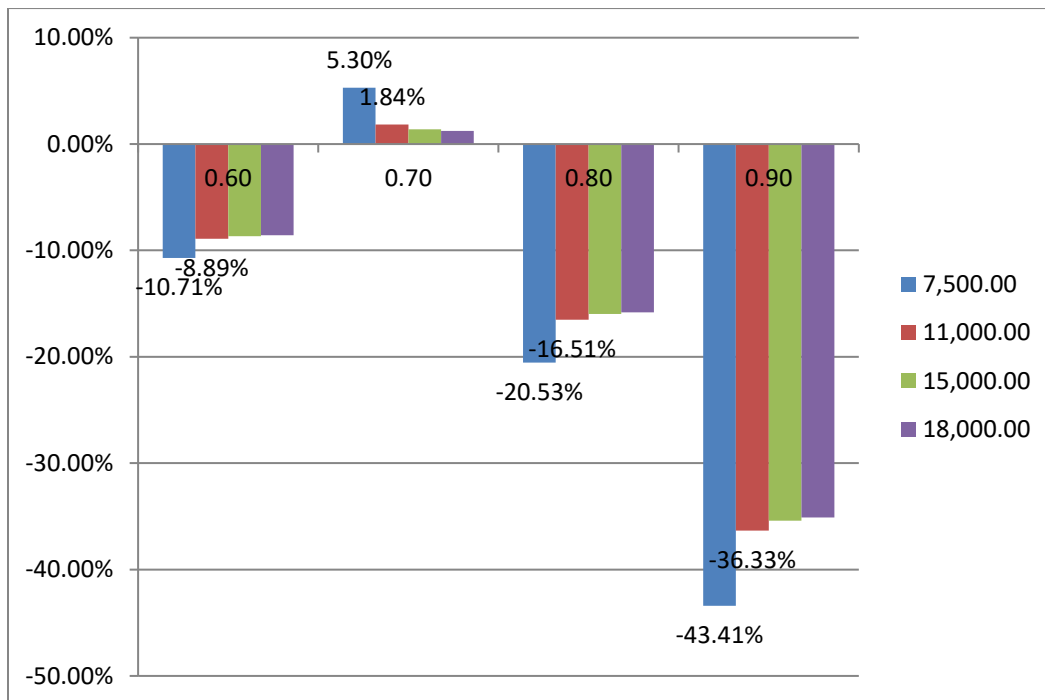
Πίνακας 8 : Σχέσεις Εκμετάλλευσης για βέλτιστο σχεδιασμό

	Ni≥0.5	Ni≥0.6	Ni≥0.7	Ni≥0.8	Ni≥0.9
	Σ.Ε.	Σ.Ε.	Σ.Ε.	Σ.Ε.	Σ.Ε.
12m,6m,75°	1.63	1.79	1.62	2.08	2.57

- Μεταβολή κερδοφορίας ως προς περιεκτικότητα 0.5

	0.60	0.70	0.80	0.90
7,500.00	-10.71%	5.30%	-20.53%	-43.41%
11,000.00	-8.89%	1.84%	-16.51%	-36.33%
15,000.00	-8.65%	1.37%	-15.97%	-35.39%
18,000.00	-8.58%	1.24%	-15.82%	-35.12%

Μεταβολή Κερδοφορίας ως προς 0.5



- **Σύγκριση μεταξύ περιεκτικότητας 0.5 και 0.7**

Για την ελάχιστη τιμή νικελίου στα 7.500\$ παρατηρείται μια αύξηση της κερδοφορίας της τάξεως του 5.30% στην περιεκτικότητα 0.7 έναντι της 0.5, ενώ αυτή φθίνει όσο αυξάνεται η τιμή πώλησης του μεταλλεύματος.

Με την αύξηση λοιπόν τιμής πώλησης, η κερδοφορία του κοιτάσματος στην περιεκτικότητα 0.7 είναι ελαφρώς καλύτερη από αυτήν της 0.5 παρόλο που έχουν σχεδόν πανομοιότυπες σχέσεις εκμετάλλευσης. Αυτό είναι λογικό καθώς το κοιτάσμα στην πρώτη περίπτωση είναι αρκετά πιο πλούσιο. Τίθεται όμως το ερώτημα αν και κατά πόσο είναι ορθολογική αυτού του είδους η εκμετάλλευση δεδομένου ότι δε λαμβάνεται υπόψιν ένα μεγάλο μέρος του κοιτάσματος.

Πίνακας 9: Όγκοι Νικελίου για συγκεκριμένες περιεκτικότητες

Ni	Όγκος (m ³)	Ποσοστό επί του συνόλου (%)
0.5 -> 0.6	589,800.00	3.44
0.6 -> 0.7	1,155,975.00	6.75
0.7 -> 0.8	1,764,888.00	10.30
0.8 -> 1.5	13,625,052.00	79.51
Συνολικός όγκος	17,135,715.00	100

Φαίνεται ότι ο όγκος που παραμερίζεται αν επιλεγθεί η ποσότητα 0.7, ισούται περίπου με το 10% του συνολικού όγκου κοιτάσματος, μια ποσότητα διόλου αμελητέα. Έτσι, με το ενδεχόμενο ότι μπορεί να αυξηθεί η τιμή πώλησης του μεταλλεύματος, κρίνεται προτιμητέα η οριακή περιεκτικότητα 0.5, γεγονός που αυξάνει και τη διάρκεια ζωής της εκμετάλλευσης.

Κεφάλαιο 7^ο: Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η διερεύνηση της επίδρασης των γεωμετρικών χαρακτηριστικών καθώς επίσης και της οριακής περιεκτικότητας στην οικονομικότητα της εκμετάλλευσης ενός σιδηρονικελιούχου κοιτάσματος. Με τη χρήση του λογισμικού SURPAC δημιουργήθηκαν 30 διαφορετικοί σχεδιασμοί εκμετάλλευσης και συγκρίθηκαν ως προς την οικονομικότητα τους για διαφορετικές τιμές νικελίου στην αγορά. Ως κατώτατη τιμή λήφθηκε τα 7.500€ ενώ ως μέγιστη η τιμή 18.000€.

Παρόλο που οι σχεδιασμοί βασίστηκαν σε πραγματικά δεδομένα που δόθηκαν από την εταιρεία ΛΑΡΚΟ, ακολουθήθηκε ανάλυση σε πιο θεωρητικό επίπεδο.

Έχοντας λοιπόν παρουσιάσει στα προηγούμενα κεφάλαια τις διαδικασίες που ακολουθήθηκαν καθώς επίσης και τις κερδοφορίες των διαφορετικών σχεδιασμών, μπορούμε να καταλήξουμε στα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Ο βέλτιστος σχεδιασμός ως προς την οικονομικότητα προφανώς επηρεάζεται από την αλλαγή της οριακής περιεκτικότητας (cut-off grade) αλλά όχι στον βαθμό που ήταν αναμενόμενο. Σε κάθε περίπτωση τα βασικά στοιχεία που μεταβάλλουν την οικονομικότητα του σχεδιασμού είναι το ύψος κατά κύριο λόγο και έπειτα η κλίση της βαθμίδας
- Αυξάνοντας την κλίση της βαθμίδας για σταθερά μήκη ύψους και πλάτους, βελτιώνεται η κερδοφορία στην ελάχιστη τιμή πώλησης με τη σημαντικότερη βελτίωση να παρατηρείται στα χαμηλότερα ύψη. Έτσι, όσο μικρότερο είναι το ύψος της βαθμίδας, τόσο μεγαλύτερη είναι η σημασία της κλίσης της ως προς την κερδοφορία της εκμετάλλευσης.

- Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά φαίνεται να συνδέονται και με την τιμή πώλησης του μεταλλεύματος. Σε χαμηλές τιμές πώλησης, αυξάνοντας το ύψος και την κλίση της βαθμίδας παρατηρείται και βελτιστοποίηση της κερδοφορίας. Αντιθέτως, όσο αυξάνεται η τιμή πώλησης του μεταλλεύματος, και επειδή η διαφορά των σχέσεων εκμετάλλευσης δεν είναι πολύ μεγάλη, παρατηρείται υπερκάλυψη του κόστους αποκάλυψης των αγόνων με αποτέλεσμα οι σχεδιασμοί με τα υψηλότερα ύψη βαθμίδας να μην είναι οι πιο συμφέροντες.
- Παρατηρούμε λοιπόν ότι οι σχεδιασμοί με τα μεγαλύτερα κέρδη είναι αυτοί με 15 μέτρα ύψος βαθμίδας. Όπως όμως φαίνεται στο 6^ο κεφάλαιο, από πλευράς κλίσης πρανούς οι σχεδιασμοί **15m,6m,70°** και **15m,6m,75°** δουλεύουν στο όριο και ίσως να το ξεπερνούν. Επομένως δημιουργούνται ζητήματα ευστάθειας τα οποία απαιτούν πρόσθετα μέτρα ασφαλείας, μια διαδικασία που ενδεχομένως να επιφέρει επιπλέον κόστος. Στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας δεν αναλύθηκαν ακριβή κόστη που να αφορούν αυτά τα μέτρα στήριξης, όμως εξετάστηκε σε γενικές γραμμές αν αξίζει να προβεί κανείς στη δημιουργία τους,

Από τους ρυθμούς μεταβολής της κερδοφορίας παρατηρείται ότι για όλες τις οριακές περιεκτικότητες, η μεταβολή από τον σχεδιασμό **12m,6m,75°** στον **15m,6m,70°** κυμαίνεται σε επίπεδα μικρότερα του **0.2%**, κάτι το οποίο καθιστά ασύμφορη τη διαδικασία δημιουργίας επιπλέον μέτρων ασφαλείας. Προκύπτει το συμπέρασμα λοιπόν ότι ο βέλτιστος σχεδιασμός εντός των ορίων ασφαλείας του μεταλλείου είναι ο σχεδιασμός **12m,6m,75°**.

Εξάλλου, το συγκεκριμένο συμπέρασμα φαίνεται και από τις σχέσεις εκμετάλλευσης. Όσο μικρότερη είναι η σχέση εκμετάλλευσης ενός σχεδιασμού, δηλαδή όσο μικρότερος είναι ο όγκος αγόνων που πρέπει να αφαιρεθεί ανά τόνο χρησίμου συστατικού, τόσο καλύτερα οικονομικά αποτελέσματα θα επιφέρει.

Παρατηρούμε όμως ότι από τον σχεδιασμό **12m,6m,75°** στον **15m,6m,70°** ή σχέση εκμετάλλευσης παραμένει σχεδόν η ίδια.

- Έχοντας λοιπόν ως βέλτιστο σχεδιασμό τον **12m,6m,75°**, παρουσιάζεται η μεγαλύτερη κερδοφορία στην οριακή περιεκτικότητα $Ni \geq 0.7$.

Στον συγκεκριμένο σχεδιασμό για οριακή περιεκτικότητα 0.7, έχουμε την μικρότερη σχέση εκμετάλλευσης με τιμή **1.62** m³/tn ενώ για οριακή περιεκτικότητα 0.5 έχουμε σχέση εκμετάλλευσης **1.63** m³/tn , μια διαφορά σχεδόν αμελητέα. Σε χαμηλές τιμές πώλησης του Νικελίου, η Ο.Π. 0.7 επιφέρει πιο κερδοφόρα αποτελέσματα καθώς το μετάλλευμα είναι πιο πλούσιο. Όμως, παραμερίζονται 1,745,775m³ χρήσιμου συστατικού με περιεκτικότητα 0.5-0.7 τα οποία αποτελούν το 10% του συνολικού μεταλλεύματος. Έτσι, με το ενδεχόμενο ότι μπορεί να αυξηθεί η τιμή πώλησης του μεταλλεύματος, κρίνεται προτιμητέα η οριακή περιεκτικότητα 0.5, γεγονός που αυξάνει και τη διάρκεια ζωής της εκμετάλλευσης.

- Σε κάθε περίπτωση, φαίνεται από τις αναλύσεις ότι η πιο κρίσιμη παράμετρος εκτός από την επιλογή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών και της οριακής περιεκτικότητας, είναι τελικά η τιμή πώλησης του μεταλλεύματος. Η τιμή αυτή είναι προφανώς ένα δυναμικό μέγεθος και γι' αυτόν το λόγο θα πρέπει να εξετάζεται περεταίρω και να πραγματοποιούνται προβλέψεις ώστε να γίνονται όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικές εκτιμήσεις των μεταβολών της σε βάθος χρόνου. Έτσι θα μπορεί να επιλεγθεί ο πιο βέλτιστος σχεδιασμός την κάθε χρονική στιγμή και να αποφευχθούν σημαντικά προβλήματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Σημειώσεις του Μαθήματος «Σχεδιασμού Υπαιθρίων Εκμεταλλεύσεων» (Μενεγάκη Μαρία, Αθήνα 2010)
- Κοιτασματολογία Νικελίου, Καστοριά, Εκδόσεις Εφύρα (Αποστολίκας, Α., 2010)
- Μέθοδοι Υπαιθρίων Εκμεταλλεύσεων (Πανεπιστημιακές Σημειώσεις) (Νικολ. Τερεζοπούλου, Αθήνα 2003)
- Διπλωματική εργασία Χάσου – Μπουλούζου (2021)
- Optimal cut-off grade determination based on variable capacities in open-pit mining (J. S. Afr. Inst. Min. Metall. vol.112 n.12 Johannesburg Jan. 2012)

Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

- <https://nickelinstitute.org>
- <https://www.sme.org>
- <https://tradingeconomics.com>
- <https://www.linkedin.com/pulse/understanding-cut-off-grade>
- <https://minewiki.engineering.queensu.ca>
- <https://www.researchgate.net>
- <https://www.3ds.com>
- <https://www.sciencedirect.com/>