



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ - ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

Διπλωματική Εργασία

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΣΙΔΗΡΟΚΕΛΙΟΥΧΟΥ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΣ



Επιβλέπουσα: Μαρία Μενεγάκη, Αναπ. Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

ΜΠΟΥΛΟΥΖΟΥ ΕΥΓΕΝΙΑ

ΧΑΣΟΣ ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ

ΑΘΗΝΑ 2021



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

**ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ
ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΣΙΔΗΡΟΝΙΚΕΛΙΟΥΧΟΥ
ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΧΑΣΟΣ ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ

ΜΠΟΥΛΟΥΖΟΥ ΕΥΓΕΝΙΑ

Επιβλέπουσα: Μαρία Μενεγάκη, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις 18/3/2021

Μενεγάκη Μαρία, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια

Μπενάρδος Ανδρέας, Αναπληρωτής Καθηγητής

Ζεργώλης Ιωάννης, Επίκουρος Καθηγητής

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία με θέμα «Βελτιστοποίηση παραμέτρων εκμετάλλευσης σιδηρονικελιούχου κοιτάσματος» εκπονήθηκε το ακαδημαϊκό έτος 2020-2021. Η συγκεκριμένη εργασία αφορά στη διερεύνηση των παραμέτρων που επιδρούν στην οικονομικότητα της εκμετάλλευσης σιδηρονικελιούχου κοιτάσματος. Όπως είναι γνωστό, στην οικονομικότητα μίας εκμετάλλευσης επιδρούν πολλές και διαφορετικές παράμετροι, με τις πιο κρίσιμες να είναι η οριακή περιεκτικότητα σε συνδυασμό με την τιμή πώλησης του τελικού προϊόντος για δεδομένα κόστη εξόρυξης και επεξεργασίας. Όταν το κοιτάσμα από θέση σε θέση παρουσιάζει προσμίξεις που μπορεί να μεταβάλλουν το κόστος επεξεργασίας, τότε ο προσδιορισμός του βέλτιστου σχεδίου εκμετάλλευσης με βάση το κριτήριο της οικονομικότητας γίνεται περισσότερο πολύπλοκος. Το σιδηρονικελιούχο κοιτάσμα που εξετάζεται περιέχει σημαντικές ποσότητες SiO_2 που σε συνδυασμό με τον Fe μπορεί να μεταβάλλει στο κόστος της μεταλλουργικής επεξεργασίας, χωρίς να είναι γνωστός ο βαθμός στον οποίο επιδρά. Προκειμένου να διερευνηθεί αυτός ο βαθμός επίδρασης διαμορφώθηκαν τέσσερα εναλλακτικά σχέδια εκμετάλλευσης και εξετάσθηκε η οικονομικότητά τους σε σχέση με το βαθμό επίδρασης του κόστους της επιπλέον μεταλλουργικής επεξεργασίας που απαιτείται στα τμήματα του κοιτάσματος που εμφανίζουν προσμίξεις.

Η δομή της εργασίας είναι η ακόλουθη: στα τρία πρώτα κεφάλαια δίνονται γενικά στοιχεία για το Νικέλιο, την εταιρεία που πραγματοποιεί τις εκμεταλλεύσεις Νικελίου στην Ελλάδα και τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής εκμετάλλευσης. Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται συνοπτικά ο τρόπος της μεταλλουργικής επεξεργασίας του μεταλλεύματος. Στο πέμπτο κεφάλαιο αναφέρονται οι οικονομικές παράμετροι που επιδρούν στο σχεδιασμό της εκμετάλλευσης. Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα εναλλακτικά σχέδια που διαμορφώθηκαν.

Πιο συγκεκριμένα, αφού εισήχθησαν τα δεδομένα των διαθέσιμων γεωτρήσεων στο μεταλλευτικό πρόγραμμα SURPAC και διαμορφώθηκε το μοντέλο του κοιτάσματος, διαμορφώθηκαν τέσσερις σχεδιασμοί υπαίθριας εκμετάλλευσης του κοιτάσματος. Στον πρώτο σχεδιασμό που έλαβε χώρα, κοιτάσμα της εκμετάλλευσης αποτελεί το

μετάλλευμα με περιεκτικότητα σε Νικέλιο μεγαλύτερη ή ίση της τιμής 0.5. Για το δεύτερο σχεδιασμό της εκμετάλλευσης λήφθηκε υπ' όψιν και η διαφορά μεταξύ Σιδήρου-Διοξειδίου του πυριτίου (Fe-SiO_2). Τα blocks με τιμές Fe-SiO_2 εκτός ορίου της επιτρεπτής διαφοράς, δηλαδή με τιμές μικρότερες του 0 και μεγαλύτερες του 4, σε αυτήν την περίπτωση θεωρήθηκαν άγωνα, οπότε και το μοντέλο του κοιτάσματος διαμορφώθηκε αναλόγως. Η λογική του τρίτου σχεδιασμού έγινε με σκοπό την επίτευξη καλύτερης οικονομικότητας σε σύγκριση με το δεύτερο σχεδιασμό, μειώνοντας το μεγάλο όγκο αγόνων και επομένως στη σχέση εκμετάλλευσης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση εξετάστηκε η πιθανότητα πραγματοποίησης υπαίθριας εκμετάλλευσης σε συνδυασμό με υπόγεια. Όπως και στο δεύτερο σχεδιασμό, τα blocks με τιμές εκτός των επιτρεπτών ορίων της διαφοράς Fe-SiO_2 θεωρήθηκαν άγωνα. Στον τέταρτο σχεδιασμό, ομοίως με τον πρώτο, κοιτάσμα της εκμετάλλευσης αποτελεί το μετάλλευμα με περιεκτικότητα σε Νικέλιο μεγαλύτερη ή ίση της τιμής 0.5. Ο τέταρτος σχεδιασμός (όπως και ο τρίτος) αφορά σε μικτή εκμετάλλευση, δηλαδή συνδυασμό υπαίθριας και υπόγειας εκμετάλλευσης. Στη συνέχεια εκτιμήθηκαν τα κόστη, τα έσοδα, η μεταβολή και ο ρυθμός μεταβολής κερδοφορίας κάθε σχεδίου σε σχέση με την αύξηση του κόστους μεταλλουργικής επεξεργασίας για περιεκτικότητα Νικελίου 0,93% (μέση περιεκτικότητα) και 0,50% (οριακή περιεκτικότητα).

Στο έβδομο κεφάλαιο πραγματοποιείται η σύγκριση των εναλλακτικών σχεδίων της εκμετάλλευσης. Τέλος, στο όγδοο κεφάλαιο δίνονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη συγκεκριμένη εργασία.

Copyright © Μπουλούζου Ευγενία, Χάσος Διονύσιος, 2021

Με επιφύλαξη κάθε δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή και διανομή της παρούσας εργασίας, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η άντληση στοιχείων, η αποθήκευση και διανομή αυτών για σκοπό εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσεως.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα θέλαμε να εκφράσουμε την απεριόριστη ευγνωμοσύνη μας στην Αναπληρώτρια Καθηγήτρια της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών Ε.Μ.Π, Μαρία Μενεγάκη αφ' ενός για τη ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος κι αφ' ετέρου για την συνεχή υποστήριξη, τη διάθεση, τη βοήθεια και την καθοδήγησή της ανά πάσα στιγμή σε μια περίοδο πολυ δύσκολη για όλους μας λόγω της πανδημίας. Οι συμβουλές, οι υποδείξεις και οι γνώσεις της έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στην τελική έκβαση της εργασίας μας. Την ευχαριστούμε πολύ για όλη την προσπάθεια που κατέβαλε προκειμένου να έχουμε το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα, δείχνοντας κατανόηση, υπομονή αλλά και εμπιστοσύνη προς το πρόσωπό μας.

Η υπολοίηση της διπλωματικής μας εργασίας δεν θα ήταν εφικτή χωρίς τη συμβολή και την άψογη συνεργασία με τον Υποψήφιο Διδάκτορα ΜΜΜ και Chief Geologist της ΛΑΡΚΟ Σπύρο Παππά, ο οποίος μας παρείχε τα απαραίτητα στοιχεία για τη διεξαγωγή της.

Θα θέλαμε επίσης να ευχαριστήσουμε τον Θανάση Μαυρίκο (Ε.Δι.Π.) για την καθοδήγηση στο τεχνικό μέρος της εργασίας μας.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ επίσης, οφείλουμε στον Άρη Φούφα που αφιέρωσε χρόνο και χάρισε τις δεξιότητές του, τόσο για το εξώφυλλο της διπλωματικής μας εργασίας όσο και για τη διαμόρφωση του κειμένου και το φίλο Παναγιώτη Γροντά για τη καθοριστική συμβολή του στο μεταφρασμένο κείμενο.

Τις θερμές μας ευχαριστίες στον Αναπληρωτή Καθηγητή της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών Ε.Μ.Π Ανδρέα Μπενάρδο και στον Επίκουρο Καθηγητή της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών Ε.Μ.Π Ιωάννη Ζευγώλη που πλαισίωσαν την τριμελή επιτροπή μας και αφιέρωσαν χρόνο στη μελέτη και την εξέταση της εν λόγω διπλωματικής εργασίας.

Επίσης θέλουμε να ευχαριστήσουμε μέσα από την καρδιά μας τους γονείς μας Μιράντα και Βαγγέλη, Αγγελική και Νίκο και τα αδέρφια μας Έρρικα και Βασιλική για την απεριόριστη υποστήριξή τους, ηθική, υλική και ψυχολογική σε κάθε στάδιο της ζωής μας. Μπορεί πολλές φορές να ήταν δύσκολα αλλά τελικά χωρίς την αγάπη τους, την

υποστήριξή τους, τον σεβασμό τους και την στήριξη ακόμα και σε επιλογές που δεν τους βρίσκανε απόλυτα σύμφωνους, δε θα ήμαστε αυτοί που είμαστε τώρα και δε θα τα είχαμε καταφέρει με αυτόν τον τρόπο.

Τέλος, στο τέλος αυτού του υπέροχου κύκλου δε μπορούμε να μην αναφερθούμε στον Αριστερό Χώρο Μεταλλειολόγων Μεταλλουργών, παλαιότερους και νεότερους, που ανησυχήσαμε, προβληματιστήκαμε, ονειρευτήκαμε, παλέψαμε μαζί, ήμαστε ο ένας δίπλα στον άλλον κάθε στιγμή και ξεπεράσαμε αμέτρητα εμπόδια συλλογικά όπως και συλλογικά επιλέξαμε να περπατήσουμε αυτόν τον δύσκολο δρόμο, κόντρα σ' αυτούς που λένε ότι τίποτα δεν αλλάζει. Αυτοί οι άνθρωποι αποτέλεσαν και αποτελούν βασικό στήριγμα και έμπνευση. Μαζί χαιρόμασταν, αγωνιούσαμε και στηρίζαμε ο ένας τον άλλον σε κάθε βήμα κι έτσι θα συνεχίσουμε να κάνουμε.

Ένα ιδιαίτερο ευχαριστώ στο έτος μας, Αναστασία, Δήμητρα, Ελένη Λ., Βάσια, Γιώργο, Μάριο, Μίνωα, Εύα και Ελένη Β., όπως και στη Γεωργία και το Χριστόφορο που μας ανέχτηκαν, μας στήριξαν και μας αγάπησαν. Τους ευχαριστούμε για όλες τις υπέροχες ή και δύσκολες αλλά σίγουρα μοναδικές στιγμές και εμπειρίες όλα αυτά τα χρόνια. Από μεριάς μας θα θέλαμε να τους ευχηθούμε καλή σταδιοδρομία και μια υπόσχεση ότι θα είμαστε δίπλα τους και την επόμενη μέρα!

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγινε με σκοπό τη διερεύνηση των παραμέτρων που επιδρούν στην εκμετάλλευση σιδηρονικελιούχου κοιτάσματος, στο οποίο περιέχεται SiO_2 . Πιο συγκεκριμένα, όταν η διαφορά περιεκτικότητας μεταξύ Σιδήρου (Fe) και Διοξειδίου του Πυριτίου (SiO_2), την οποία αναφέρουμε ως Fe- SiO_2 , είναι μικρότερη του 0 και μεγαλύτερη του 4, σε ένα κοιτάσμα μπορεί να αυξηθεί σημαντικά το κόστος της μεταλλουργικής επεξεργασίας. Το γεγονός αυτό όπως είναι λογικό επιδρά στην οικονομικότητα της εκμετάλλευσης.

Για τη διερεύνηση του βαθμού επίδρασης των συγκεκριμένων παραμέτρων στην οικονομικότητα της εκμετάλλευσης επιλέχθηκε ένα πραγματικό κοιτάσμα με τέτοια χαρακτηριστικά στην περιοχή Ρεκαβέτσι, στην κεντρική Εύβοια που ανήκει στην Γ.Μ.Μ.Α.Ε. ΛΑΡΚΟ.

Διαμορφώθηκαν εναλλακτικά σενάρια σχεδιασμού της εκμετάλλευσης με τη χρήση του μεταλλευτικού προγράμματος SURPAC και με βάση υποθετικά σενάρια για το ποσοστό αύξησης του κόστους της μεταλλουργικής επεξεργασίας του τμήματος του κοιτάσματος, στο οποίο η διαφορά Fe- SiO_2 εμφανίζει τις τιμές που προαναφέρθηκαν, εξετάστηκε η βέλτιστη λύση για το σχεδιασμό της εκμετάλλευσης με βάση το κριτήριο της οικονομικότητας. Τα εναλλακτικά σχέδια αφορούν και σε συνδυασμό υπαίθριας με υπόγεια εκμετάλλευση.

Από τη σύγκριση της οικονομικότητας των εναλλακτικών σχεδίων γίνεται φανερό, πως η επιλογή της βέλτιστης λύσης προκύπτει ως αποτέλεσμα συνδυασμού των παραμέτρων της μέσης περιεκτικότητας (για δεδομένη οριακή περιεκτικότητα) του κοιτάσματος με το επιπλέον κόστος της μεταλλουργικής επεξεργασίας και την εκάστοτε τιμή πώλησης του του τελικού προϊόντος.

Στην συγκεκριμένη εργασία προκύπτει τελικά ότι ο συνδυασμός υπαίθριας και υπόγεια εκμετάλλευσης για το σύνολο του κοιτάσματος, αποτελεί τη βέλτιστη λύση εφόσον η τιμή πώλησης του του τελικού προϊόντος είναι πάνω από 11.000 €/tn.

ABSTRACT

The main aim of this diploma thesis is the study of the parameters that affect the exploitation of the ferronickel deposit, which contains SiO_2 . In particular, when the concentration difference between Iron (Fe) and Silicon Dioxide (SiO_2), denoted as Fe- SiO_2 , is either smaller than 0 or greater than 4, an increased metallurgical processing cost is incurred. This fact therefore affects the economic viability of the exploitation.

In order to study the degree of impact of the above parameters on the economic viability of the exploitation, a real deposit with the aforementioned profile was selected, located at the Rekavetsi area in Central Evia (Greece) which belongs to Larco GMMSA.

Four distinct alternative open-pit excavation designs were derived using the mining software SURPAC. Based on hypothetical scenarios about the growth rate of the metallurgical processing cost of the part of the deposit, where the concentration difference Fe- SiO_2 fluctuates in the aforementioned range, the optimal solution was examined under the criterion of the economic viability. The alternative designs also contain combinations of open-pit and underground exploitations.

By comparing the feasibility of the alternative designs, it becomes apparent that the optimal solution is derived as a combination of the parameters of the average ore concentration (for a certain cut-off grade) of the deposit with the cost of metallurgical processing, and the provided selling price of the final product. The current thesis concludes that the combination of open-pit and underground exploitation for the whole deposit comprises the optimal solution, given that the selling price of the final product exceeds 11.000 €/tn.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<i>Λίστα Εικόνων</i>	
<i>Λίστα Διαγραμμάτων</i>	
<i>Λίστα Πινάκων</i>	
Κεφάλαιο 1. Νικέλιο	- 1 -
1.1 Ιδιότητες Νικελίου	- 1 -
1.2 Χρήσεις Νικελίου	- 2 -
1.3 Κοιτάσματα Νικελίου	- 4 -
1.3.1 Νικελιούχα Κοιτάσματα Παγκοσμίως.....	- 5 -
1.3.2 Νικέλιο στον Ελλαδικό χώρο	- 7 -
1.4 Τιμή Νικελίου	- 7 -
Κεφάλαιο 2. Η εκμετάλλευση Νικελίου στην Ελλάδα	- 9 -
2.1 Η Εταιρεία Γ.Μ.Μ.Α.Ε. ΛΑΡΚΟ.....	- 9 -
2.2 Εγκαταστάσεις της Εταιρείας.....	- 9 -
2.3 Ετήσια παραγωγή και διάθεση σιδηρονικελίου	- 12 -
2.4 Μέθοδος εκμετάλλευσης που χρησιμοποιείται από την εταιρεία ..	- 14 -
Κεφάλαιο 3. Γεωλογία, Κοιτασματολογία και Ορυκτολογία Κ. & Β.Εύβοιας	- 15 -
3.1 Στρωματογραφία.....	- 15 -
3.2 Υπολειμματικά κοιτάσματα	- 18 -
3.3 Αποσάθρωση - Υδρόλυση.....	- 21 -
3.4 Λατεριτικοί φλοιοί αποσάθρωσης.....	- 22 -
3.5 Νικελιούχοι Λατερίτες.....	- 24 -
Κεφάλαιο 4. Μεταλλουργία Νικελίου	- 26 -
4.1 Επεξεργασία θειούχων μεταλλευμάτων νικελίου	- 26 -
4.2 Επεξεργασία οξειδωμένων μεταλλευμάτων νικελίου	- 27 -
4.3. Η παραγωγική διαδικασία με τη μέθοδο της ΛΑΡΚΟ	- 28 -

Κεφάλαιο 5. Βασικές κατηγορίες παραμέτρων σχεδιασμού υπαίθριων εκμεταλλεύσεων.....	- 32 -
Κεφάλαιο 6. Σχεδιασμός Υπαίθριας Εκμετάλλευσης Στην Τοποθεσία Ρεκαβέτσι.....	- 35 -
6.1. Γεωτρήσεις και βάση δεδομένων	- 37 -
6.2 Προσδιορισμός τιμών κατά μήκος των γεωτρήσεων	- 38 -
6.3 Block Model	- 39 -
6.3.1 Γενικές πληροφορίες	- 39 -
6.3.2 Κατασκευή Block Model.....	- 39 -
6.3.3. Εισαγωγή παραμέτρων στο Block Model	- 41 -
6.4 Προσδιορισμός ορίου εκσκαφής	- 44 -
6.5 Εναλλακτικά σχέδια εκμετάλλευσης.....	- 45 -
6.5.1 Πρώτος Εναλλακτικός Σχεδιασμός	- 45 -
6.5.2 Δεύτερος Εναλλακτικός Σχεδιασμός.....	- 48 -
6.5.3 Τρίτος Εναλλακτικός Σχεδιασμός	- 52 -
6.5.4 Τέταρτος Εναλλακτικός Σχεδιασμός	- 56 -
Κεφάλαιο 7. Σύγκριση εναλλακτικών σχεδιασμών ως προς την οικονομικότητα της εκμετάλλευσης	- 61 -
7.1 Πρώτος Εναλλακτικός Σχεδιασμός	- 63 -
7.2 Δεύτερος Εναλλακτικός Σχεδιασμός.....	- 74 -
7.3 Σύγκριση Δεύτερου Σχεδιασμού – Πρώτου Σχεδιασμού.....	- 83 -
7.4 Τρίτος Εναλλακτικός Σχεδιασμός	- 86 -
7.5 Σύγκριση Τρίτου Σχεδιασμού – Δεύτερου Σχεδιασμού.....	- 96 -
7.6 Τέταρτος Εναλλακτικός Σχεδιασμός.....	- 99 -
7.7 Σύγκριση Τέταρτου Σχεδιασμού – Πρώτου Σχεδιασμού	- 108 -
Κεφάλαιο 8. Συμπεράσματα	- 111 -
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	- 114 -

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1: Όψη νικελιούχου μεταλλεύματος.....	- 1 -
Εικόνα 2: Μεταλλείο Αγ.Ιωάννη.....	- 10 -
Εικόνα 3: Οι μεταλλουργικές εγκαταστάσεις στη Λάρυμνα.....	- 11 -
Εικόνα 4: Στρωματογραφική στήλη της Πελαγονικής της Κεντρικής και Βόρειας Εύβοιας (Κατσικάτσος, 1986).....	- 17 -
Εικόνα 5: Σχηματική τομή του νικελιούχου κοιτάσματος στη Λοκρίδα της Εύβοιας(Αλμπαντάκης, 1974).....	- 19 -
Εικόνα 6: Σχηματική τομή του αλλόχθονου (καρστικού) κοιτάσματος νικελίου στον Άγιο Ιωάννη, Λάρυμνα Φθιώτιδας (Αλμπαντάκης, 1974).....	- 20 -
Εικόνα 7: Ανάπτυξη λατεριτικού μανδύα αποσάθρωσης από εξαλλοίωση υπερβασικού πετρώματος (Τριανταφυλλίδης, 2019).	- 23 -
Εικόνα 8: Τυπικό πέτρωμα σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος (Λατερίτης)	- 25 -
Εικόνα 9: Οι γεωτρήσεις στο αρχικό ψηφιακό ανάγλυφο της περιοχής.....	- 37 -
Εικόνα 10: Οι γεωτρήσεις στο αρχικό ψηφιακό ανάγλυφο της περιοχής σε πλάγια όψη.	- 38 -
Εικόνα 11: Το Block Model του κοιτάσματος.....	- 40 -
Εικόνα 12: Το Block Model και το αρχικό ψηφιακό ανάγλυφο στο Ρεκαβέτσι	- 41 -
Εικόνα 14: Block model με $Ni \geq 0.5$	- 42 -
Εικόνα 15: Απεικόνιση του μοντέλου του κοιτάσματος με βάση την περιεκτικότητα.....	- 43 -
Εικόνα 16: Block Model και αρχικό ψηφιακό ανάγλυφο	- 43 -
Εικόνα 17: Όρια εναλλακτικών σχεδίων εκμετάλλευσης.....	- 44 -
Εικόνα 18: Ο πρώτος εναλλακτικός σχεδιασμός σε κάτοψη.....	- 46 -
Εικόνα 19: Ψευδοτριδιάστατη απεικόνιση του πρώτου εναλλακτικού σχεδιασμού.....	- 47 -
Εικόνα 20: Ψηφιακό μοντέλου εδάφους τους πρώτου εναλλακτικού σχεδιασμού.....	- 47 -
Εικόνα 21: Κάτοψη δεύτερου εναλλακτικού σχεδιασμού.....	- 49 -
Εικόνα 22: Ψευδοτριδιάστατη απεικόνιση του δεύτερου εναλλακτικού σχεδιασμού.	- 50 -
Εικόνα 23: Ο δεύτερος σχεδιασμός της εκμετάλλευσης από πλάγια όψη.	- 51 -
Εικόνα 24: Ψηφιακό μοντέλου εδάφους τους δεύτερου εναλλακτικού σχεδιασμού.....	- 51 -
Εικόνα 25: Κάτοψη δεύτερου εναλλακτικού σχεδιασμού.....	- 53 -
Εικόνα 26: Ψευδοτριδιάστατη απεικόνιση του τρίτου εναλλακτικού σχεδιασμού.	- 54 -
Εικόνα 27: Ο τρίτος σχεδιασμός της εκμετάλλευσης από πλάγια όψη. Διαφαίνονται τα blocks που περιλαμβάνει η σκάφη αλλά και τα blocks υπό της σκάφης, που θα εκμεταλλευτούν υπογείως.....	- 55 -
Εικόνα 28: Ψηφιακό μοντέλου εδάφους του τρίτου εναλλακτικού σχεδιασμού.....	- 55 -
Εικόνα 29: Κάτοψη τέταρτου εναλλακτικού σχεδιασμού.	- 57 -
Εικόνα 30: Ψευδοτριδιάστατη απεικόνιση του τέταρτου εναλλακτικού σχεδιασμού.....	- 58 -

Εικόνα 31: Ο τέταρτος σχεδιασμός της εκμετάλλευσης από πλάγια όψη. Διαφαίνονται τα blocks που περιλαμβάνει η σκάφη αλλά και τα blocks υπό της σκάφης, που θα εκμεταλλευτούν υπογείως.....	- 59 -
Εικόνα 32: Ψηφιακό μοντέλου εδάφους τους τέταρτου εναλλακτικού σχεδιασμού.....	- 59 -

Λίστα Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Χρήσεις Νικελίου (%)	- 3 -
Διάγραμμα 2: Τελικές χρήσεις Νικελίου (%)	- 4 -
Διάγραμμα 3: Τιμή Νικελίου σε €/tn τα τελευταία πέντε χρόνια	- 8 -
Διάγραμμα 4: Διάγραμμα Ροής της Παραγωγικής Διαδικασίας της ΛΑΡΚΟ (Ζευγώλης, 2000)	- 29 -
Διάγραμμα 5: Μεταβολή κερδοφορίας σχεδίου A σε σχέση με την αύξηση του κόστους μεταλλουργικής επεξεργασίας, περιεκτικότητα Ni=0,93%	- 68 -
Διάγραμμα 6: Ρυθμός μεταβολής κερδοφορίας σχεδίου A σε σχέση με την αύξηση του κόστους μεταλλουργικής επεξεργασίας, περιεκτικότητα Ni=0,93%	- 70 -
Διάγραμμα 7: Μεταβολή κερδοφορίας σχεδίου A σε σχέση με την αύξηση του κόστους μεταλλουργικής επεξεργασίας, περιεκτικότητα Ni=0,50%	- 72 -
Διάγραμμα 8: Ρυθμός μεταβολής κερδοφορίας σχεδίου A σε σχέση με την αύξηση του κόστους, περιεκτικότητα Ni=0,50%	- 73 -
Διάγραμμα 9: : Μεταβολή κερδοφορίας σχεδίου B σε σχέση με την αύξηση του κόστους , για περιεκτικότητα Ni=0,93%	- 79 -
Διάγραμμα 10: Ρυθμός μεταβολής κερδοφορίας σχεδίου B σε σχέση με την αύξηση του κόστους , περιεκτικότητα Ni=0,93%.....	- 80 -
Διάγραμμα 11: Μεταβολή κερδοφορίας σχεδίου B σε σχέση με την αύξηση του κόστους , για περιεκτικότητα Ni=0,50%	- 81 -
Διάγραμμα 12: : Ρυθμός μεταβολής κερδοφορίας σχεδίου B σε σχέση με την αύξηση του κόστους, περιεκτικότητα Ni=0,50%	- 82 -
Διάγραμμα 13: : Μεταβολή κερδοφορίας εναλλακτικού σχεδίου B σε σχέση με το A για περιεκτικότητα Ni=0,93%	- 84 -
Διάγραμμα 14: Μεταβολή κερδοφορίας εναλλακτικού σχεδίου B σε σχέση με το A για περιεκτικότητα Ni=0,50%	- 85 -
Διάγραμμα 15: Μεταβολή κερδοφορίας σχεδίου Γ σε σχέση με την αύξηση του κόστους, περιεκτικότητα Ni=0,93%	- 92 -
Διάγραμμα 16: Ρυθμός μεταβολής κερδοφορίας σχεδίου Γ σε σχέση με την αύξηση του κόστους, περιεκτικότητα Ni=0,93%	- 93 -

Διάγραμμα 17: Μεταβολή κερδοφορίας σχεδίου Γ σε σχέση με την αύξηση του κόστους, περιεκτικότητα Ni=0,50%	- 94 -
Διάγραμμα 18: Ρυθμός μεταβολής κερδοφορίας σχεδίου Γ σε σχέση με την αύξηση του κόστους, περιεκτικότητα Ni=0,50%	- 95 -
Διάγραμμα 19: Μεταβολή κερδοφορίας εναλλακτικού σχεδίου Γ σε σχέση με το Β για περιεκτικότητα Ni=0,93%	- 97 -
Διάγραμμα 20: Μεταβολή κερδοφορίας εναλλακτικού σχεδίου Γ σε σχέση με το Β για περιεκτικότητα Ni=0,50%	- 98 -
Διάγραμμα 21: Μεταβολή κερδοφορίας σχεδίου Δ σε σχέση με την αύξηση του κόστους, περιεκτικότητα Ni=0,93%	- 104 -
Διάγραμμα 22: Ρυθμός μεταβολής κερδοφορίας σχεδίου Δ σε σχέση με την αύξηση του κόστους, περιεκτικότητα Ni=0,93%	- 105 -
Διάγραμμα 23: Μεταβολή κερδοφορίας σχεδίου Δ σε σχέση με την αύξηση του κόστους μεταλλουργικής επεξεργασίας για διάφορες τιμές πώλησης Νικελίου με περιεκτικότητα Ni=0,50%	- 106 -
Διάγραμμα 24: Ρυθμός μεταβολής κερδοφορίας σχεδίου Δ σε σχέση με την αύξηση του κόστους, για Ni=0,50%.....	- 107 -
Διάγραμμα 25: Μεταβολή κερδοφορίας εναλλακτικού σχεδίου Δ σε σχέση με το Α για περιεκτικότητα Ni=0,93%	- 109 -
Διάγραμμα 26: Μεταβολή κερδοφορίας εναλλακτικού σχεδίου Δ σε σχέση με το Α για περιεκτικότητα Ni=0,50%	- 110 -

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1: Νικελιούχα κοιτάσματα παγκοσμίως	- 6 -
Πίνακας 2: Ενδεικτικές τιμές κόστους που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση	- 62 -
Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά Α' σχεδιασμού	- 63 -
Πίνακας 4: Προβληματικές ποσότητες Fe-SiO ₂ στον Α' σχεδιασμό.....	- 63 -
Πίνακας 5: Επιπλέον κόστος Μεταλλουργικής επεξεργασίας (α).....	- 64 -
Πίνακας 6: Συνολικό κόστος εκμετάλλευσης για διαφορετικό ποσοστό επιβάρυνσης της επιπλέον μεταλλουργικής επεξεργασίας (α),	- 65 -
Πίνακας 7: Έσοδα για διαφορετικές τιμές πώλησης τελικού προϊόντος για μέση περιεκτικότητα Νικελίου του κοιτάσματος (0,93%) (α).....	- 66 -
Πίνακας 8: Κέρδη για μέση περιεκτικότητα κοιτάσματος σε Νικέλιο 0,93% για διαφορετικές τιμές πώλησης τελικού προϊόντος και για διαφορετικά ποσοστά επιβάρυνσης της μεταλλουργικής επεξεργασίας (α).....	- 66 -

Πίνακας 9: Κέρδη για μέση περιεκτικότητα κοιτάσματος σε Νικέλιο 0,50% για διαφορετικές τιμές πώλησης τελικού προϊόντος και για διαφορετικά ποσοστά επιβάρυνσης της μεταλλουργικής επεξεργασίας (α).....	- 67 -
Πίνακας 10: Χαρακτηριστικά Β' σχεδιασμού.....	- 74 -
Πίνακας 11: Προβληματικές ποσότητες Fe-SiO ₂ στον Β' σχεδιασμό,	- 74 -
Πίνακας 12: Επιπλέον κόστος Μεταλλουργικής επεξεργασίας (β),	- 75 -
Πίνακας 13: Συνολικό κόστος εκμετάλλευσης κάθε διαφορετικό ποσοστό επιβάρυνσης της επιπλέον μεταλλουργικής επεξεργασίας (β),	- 76 -
Πίνακας 14: Έσοδα για διαφορετικές τιμές πώλησης τελικού προϊόντος για μέση περιεκτικότητα Νικελίου του κοιτάσματος (0,93%) (β).....	- 76 -
Πίνακας 15: Κέρδη για μέση περιεκτικότητα κοιτάσματος σε Νικέλιο 0,93% για διαφορετικές τιμές πώλησης τελικού προϊόντος και για διαφορετικά ποσοστά επιβάρυνσης της επιπλέον μεταλλουργικής επεξεργασίας (β)	- 77 -
Πίνακας 16: Κέρδη για μέση περιεκτικότητα κοιτάσματος σε Νικέλιο 0,50% για διαφορετικές τιμές πώλησης τελικού προϊόντος και για διαφορετικά ποσοστά επιβάρυνσης της επιπλέον μεταλλουργικής επεξεργασίας (β)	- 78 -
Πίνακας 17: Χαρακτηριστικά Γ' σχεδιασμού.....	- 86 -
Πίνακας 18: Προβληματικές ποσότητες Fe-SiO ₂ στον Γ' σχεδιασμό,.....	- 87 -
Πίνακας 19: Επιπλέον κόστος Μεταλλουργικής επεξεργασίας (γ),	- 88 -
Πίνακας 20: Συνολικό κόστος εκμετάλλευσης για κάθε διαφορετικό ποσοστό (γ),	- 89 -
Πίνακας 21: Έσοδα για διαφορετικές τιμές πώλησης τελικού προϊόντος για μέση περιεκτικότητα Νικελίου του κοιτάσματος (0,93%) (γ)	- 89 -
Πίνακας 22: Κέρδη για μέση περιεκτικότητα κοιτάσματος σε Νικέλιο 0,93% για διαφορετικές τιμές πώλησης τελικού προϊόντος και για διαφορετικά ποσοστά επιβάρυνσης της επιπλέον μεταλλουργικής επεξεργασίας (γ).....	- 90 -
Πίνακας 23: Κέρδη για μέση περιεκτικότητα κοιτάσματος σε Νικέλιο 0,50% για διαφορετικές τιμές πώλησης τελικού προϊόντος και για διαφορετικά ποσοστά επιβάρυνσης της επιπλέον μεταλλουργικής επεξεργασίας (γ).....	- 91 -
Πίνακας 24: Χαρακτηριστικά Δ' σχεδιασμού.....	- 99 -
Πίνακας 25: Προβληματικές ποσότητες Fe-SiO ₂ στον Δ' σχεδιασμό,	- 99 -
Πίνακας 26: Επιπλέον κόστος Μεταλλουργικής επεξεργασίας (δ),.....	- 101 -
Πίνακας 27: Συνολικό κόστος εκμετάλλευσης για κάθε διαφορετικό ποσοστό (δ),.....	- 101 -
Πίνακας 28: Έσοδα για διαφορετικές τιμές πώλησης τελικού προϊόντος για μέση περιεκτικότητα Νικελίου του κοιτάσματος (0,93%) (δ).....	- 102 -
Πίνακας 29: Κέρδη για μέση περιεκτικότητα κοιτάσματος σε Νικέλιο 0,93% για διαφορετικές τιμές πώλησης τελικού προϊόντος και για διαφορετικά ποσοστά επιβάρυνσης της επιπλέον μεταλλουργικής επεξεργασίας(δ).....	- 103 -
Πίνακας 30: Κέρδη για μέση περιεκτικότητα κοιτάσματος σε Νικέλιο 0,50% για διαφορετικές τιμές πώλησης τελικού προϊόντος και για διαφορετικά ποσοστά επιβάρυνσης της επιπλέον μεταλλουργικής επεξεργασίας (δ).....	- 103 -

Κεφάλαιο 1. Νικέλιο

1.1 Ιδιότητες Νικελίου

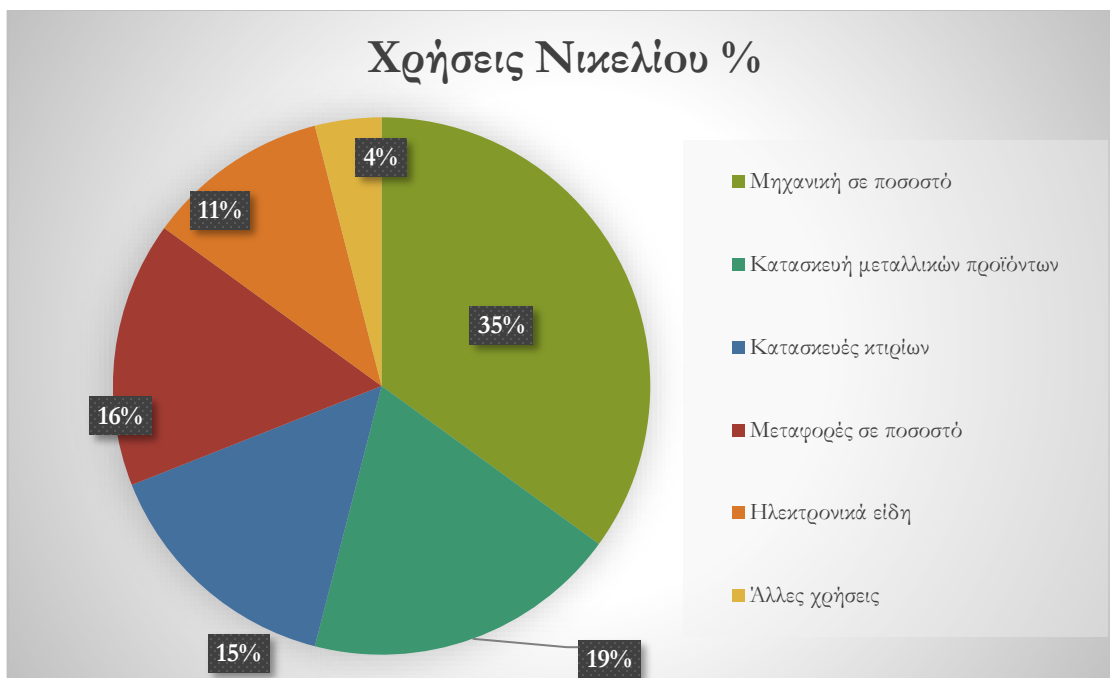
Το νικέλιο (**nickel**) είναι ένα από τα πιο γνωστά στοιχεία καθώς αποτελεί το 5^ο πιο κοινό στοιχείο πάνω στη Γη. Συναντάται κυρίως στη δομή θειούχων, οξειδίων και αλάτων ανόργανων ουσιών. Έχει σημαντικές φυσικές ιδιότητες όπως είναι η μαγνητική συμπεριφορά του, η ελαστικότητά του, η καλή θερμική κι ηλεκτρική αγωγιμότητά του και οι καταλυτικές ιδιότητες που διαθέτει. Η φυσική ιδιότητά που καθορίζει όμως και τις περισσότερες εφαρμογές του, είναι η αντοχή, η σκληρότητα και η αντίσταση στην οξείδωση και τη διάβρωση σε υψηλές θερμοκρασίες. Όλα αυτά καθιστούν το νικέλιο εξαιρετικά σημαντικό εμπορικό προϊόν, κατέχοντας σπουδαίο ρόλο στην παγκόσμια βιομηχανική ανάπτυξη παραμερίζοντας σχεδόν όλα τα υπόλοιπα βιομηχανικά μέταλλα.



Εικόνα 1: Όψη νικελιούχου μεταλλεύματος

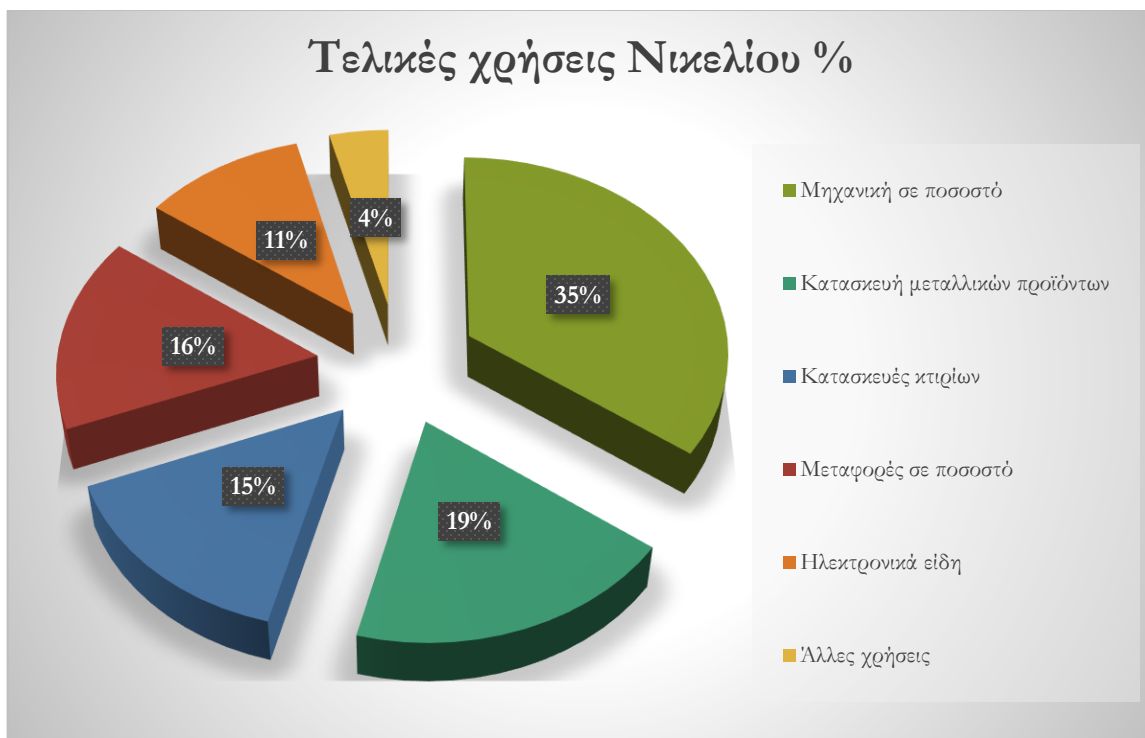
1.2 Χρήσεις Νικελίου

Τα υλικά που περιέχουν νικέλιο πλέον παίζουν σημαντικό ρόλο στη ζωή μας. Καθημερινά ερχόμαστε σε επαφή με τέτοια αντικείμενα όπως τα αυτοκίνητα, διάφορα εργαλεία και ηλεκτρονικές συσκευές. Παλαιότερα, από την μεταλλουργική κατεργασία του νικελίου παράγονταν κυρίως νομίσματα. Σήμερα, το μεγαλύτερο ποσοστό της παραγωγής νικελίου καταλήγει κάθε χρόνο σε κράματα, εκ των οποίων πάνω από τα δύο τρίτα **υπεισέρχονται** σε ανοξείδωτο χάλυβα ώστε να προσδώσουν μεγαλύτερη σκληρότητα κι ανθεκτικότητα. Συνεπώς, χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό στην κατασκευή κτιρίων λόγω του οπλισμού που περιέχουν, στις μεταφορές, στον εξοπλισμό παραγωγής τροφίμων, στον ιατρικό εξοπλισμό, στην κατασκευή στρατιωτικών όπλων και αρμάτων, στην αεροδιαστημική καθώς και σε πολλές ακόμα κατηγορίες. Οι χρήσεις του νικελίου χωρίζονται σε αρχικές και τελικές. Ως «αρχική» ορίζεται η μετατροπή των προϊόντων του νικελίου σε ενδιάμεσα προϊόντα, τα οποία αποτελούν τη βάση για αυτά της «τελικής χρήσης». Το νικέλιο, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, χρησιμοποιείται κυρίως στην παραγωγή ανοξείδωτου χάλυβα σε ποσοστό περίπου 67 % μέσω του κράματος σιδηρονικελίου. Χρησιμοποιείται επίσης στην παραγωγή μη σιδηρούχων κραμάτων σε ποσοστό 13 % και άλλου είδους κραμάτων χάλυβα σε ποσοστά 8%. Τέλος, χρησιμοποιείται στην επιμετάλλωση σε ποσοστό 7%, στις μπαταρίες περίπου 4% και σε άλλες χρήσεις 1%. (Nickel Institute)



Διάγραμμα 1: Χρήσεις Νικελίου (%)

Όσον αφορά τις τελικές χρήσεις, το νικέλιο χρησιμοποιείται και συμβάλλει σε μια πληθώρα εφαρμογών και τομείς όπως οι τηλεπικοινωνίες, η παραγωγή πετρελαίου, η καθαρή κι αξιόπιστη παραγωγή ενέργειας, η υγιεινή κατεργασία τροφίμων, η κατασκευή αξιόπιστου ιατρικού εξοπλισμού, η εφαρμοσμένη μηχανική, οι ασφαλείς μεταφορές, οι ηλεκτρικές κι ηλεκτρονικές συσκευές, τα κτίρια και οι κατασκευές, τα μεταλλικά αντικείμενα κτλ. Συμπερασματικά, οι τελικές χρήσεις του νικελίου ποσοστιαία χωρίζονται στους παρακάτω κλάδους με τον εξής τρόπο: μηχανική σε ποσοστό 35%, κατασκευή μεταλλικών προϊόντων γενικότερα σε ποσοστό 19%, κατασκευές κτιρίων σε ποσοστό 15%, μεταφορές σε ποσοστό 16%, ηλεκτρονικά είδη σε ποσοστό 11% και άλλες χρήσεις σε ποσοστό 4%.(Nickel Institute)



Διάγραμμα 2: Τελικές χρήσεις Νικελίου (%)

1.3 Κοιτάσματα Νικελίου

Τα κοιτάσματα μεταλλευμάτων γενικότερα, σε σύγκριση με την κανονική δομή του γήινου φλοιού και τη χημική του σύσταση, απεικονίζουν μια σημαντική συγκέντρωση των αντίστοιχων μετάλλων. Η συγκέντρωση αυτή οφείλεται στην επίδραση διαφόρων γεωλογικών και γεωχημικών συμβάντων, όπως ενδογενείς διαδικασίες (μαγματισμός, μεταμόρφωση, τεκτονισμός) ή εξωγενείς (κύκλος αποσάθρωσης, μεταφοράς, απόθεσης υλικών).

Τα μεταλλεύματα νικελίου ανάλογα με τον τρόπο γένεσής τους ταξινομούνται στις τρεις παρακάτω κατηγορίες:

1. Θειούχα
2. Λατεριτικά
3. Ιζηματογενή

Τα ιζηματογενή κοιτάσματα νικελίου διαφέρουν γενετικά από τα κοιτάσματα των άλλων δύο τύπων. Δημιουργήθηκαν από προϊόντα αποσάθρωσης και μεταφοράς του λατεριτικού υλικού. Είναι σημαντικό να τονιστεί βέβαια ότι δεν υπάρχει καμία ποιοτική διαφορά στη χημική σύσταση μεταξύ ιζηματογενών και λατεριτικών κοιτασμάτων νικελίου.

1.3.1 Νικελιούχα Κοιτάσματα Παγκοσμίως

Το νικέλιο αποτελεί ένα από τα πιο γνωστά μέταλλα, το οποίο εμφανίζεται σε αρκετές χώρες του κόσμου. Μεταλλεύματα που περιέχουν νικέλιο εξορύσσονται σήμερα σε περισσότερες από 25 χώρες παγκοσμίως. Ακόμη, υπάρχουν πολλά διαφορετικά μεταλλεύματα, τα οποία απαιτούν μια μεγάλη ποικιλία σε τεχνικές για την εξόρυξή τους αλλά και τη εξαγωγή του νικελίου. Μερικές από τις πιο γνωστές χώρες που παράγουν νικέλιο είναι η Αυστραλία, η Ινδονήσια, οι Φιλιππίνες, η Βραζιλία, η Ρωσία, ο Καναδάς και η Κίνα. Πιο αναλυτικά, τα υψηλότερα αποθέματα νικελίου στον κόσμο περίπου 21 εκατομμύρια τόνους συναντώνται στην Ινδονησία καθώς είναι και η χώρα που κατέχει και την πρώτη θέση στην παραγωγή η οποία ανέρχεται στους 560 χιλιάδες τόνους (το 2018). Στη δεύτερη θέση με τα υψηλότερα αποθέματα βρίσκεται η **Αυστραλία** με 19 εκατομμύρια τόνους, αλλά αποτελεί την 5η κατά σειρά μεγαλύτερη παραγωγό με 170 χιλιάδες τόνους (το 2018). Έπειτα, ακολουθεί η **Βραζιλία** με αποθέματα 11 εκατομμύρια τόνους αλλά ετήσια παραγωγή μόλις 80 χιλιάδες τόνους (το 2018). Στη συνέχεια βρίσκεται η **Ρωσία** με αποθέματα 7,6 εκατομμύρια τόνους και ετήσια παραγωγή 210 χιλιάδες τόνους (το 2018). Την πρώτη πεντάδα συμπληρώνει η **Κούβα** με αποθέματα 5,5 εκατομμύρια τόνους και ετήσια παραγωγή 53 χιλιάδες τόνους (το 2018). (USGS)

Άλλη μία σημαντική χώρα είναι η Νέα Καληδονία η οποία παρήγαγε 210 χιλιάδες τόνους (το 2018), χωρίς όμως να γνωρίζουμε τα ακριβή αποθέματά της. Λέγεται επίσης ότι τα λατεριτικά κοιτάσματα της περιοχής είναι τα πιο πλούσια σε νικέλιο συγκριτικά με τα γνωστά κοιτάσματα του πλανήτη. (USGS)

Πίνακας 1: Νικελιούχα κοιτάσματα παγκοσμίως.

<u>Χώρα</u>	<u>Αποθέματα (tn)</u>	<u>Ετήσια παραγωγή 2018 (tn)</u>
<u>Αυστραλία</u>	<u>19.000.000</u>	<u>170.000</u>
<u>Βραζιλία</u>	<u>11.000.000</u>	<u>80.000</u>
<u>Ρωσία</u>	<u>7.600.000</u>	<u>210.000</u>
<u>Κούβα</u>	<u>5.500.000</u>	<u>53.000</u>

Τα αναγνωρισμένα κοιτάσματα που βρίσκονται σε χερσαίο έδαφος σε ολόκληρο τον κόσμο, με μέση περιεκτικότητα 1% και πάνω, περιέχουν περισσότερο από 130 εκατομμύρια τόνους νικέλιο. Περίπου το 60% από αυτά αφορά σε λατεριτικά κοιτάσματα ενώ το υπόλοιπο 40% σε θειούχα κοιτάσματα.

Διακρίνουμε ότι υπάρχει μια ισορροπία όσον αφορά στη παγκόσμια παραγωγή νικελίου, καθώς σε άλλες χώρες υπάρχει αύξηση με τα χρόνια και σε άλλες μείωση. Αυξητική τάση στην παραγωγή τα τελευταία χρόνια υπάρχει σε μερικές χώρες με πρώτη την Ινδονησία σε ποσοστιαία άνοδο, η οποία παρήγαγε περίπου 560 χιλιάδες τόνους το 2018 από 150 χιλιάδες τόνους που παρήγαγε το 2015. Αντίθετα, υπάρχουν και κάποιες χώρες οι οποίες τα τελευταία χρόνια έχουν μειώσει την παραγωγή τους όπως οι Φιλιππίνες, οι οποίες από 550 χιλιάδες τόνους το 2015 παρήγαγαν 380 χιλιάδες τόνους το 2018 κρατώντας βέβαια το μεγαλύτερο μερίδιο της παγκόσμιας παραγωγής. Οι παράγοντες που καθορίζουν την πτωτική πορεία της παραγωγής είναι οι δυσμενείς καιρικές συνθήκες, οι χαμηλές τιμές στην διεθνή αγορά και η αναστολή κάποιων εξορυκτικών εργασιών, εξαιτίας της μη τήρησης των περιβαλλοντικών όρων.

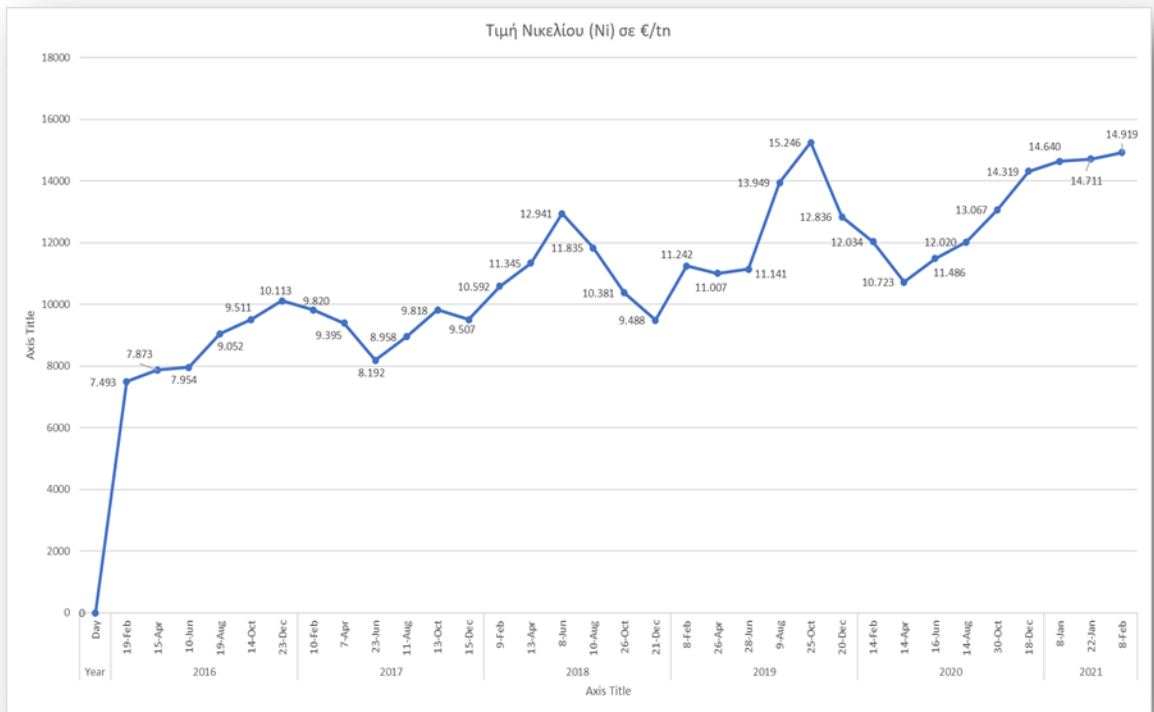
1.3.2 Νικέλιο στον Ελλαδικό χώρο

Στον ελλαδικό χώρο απαντώνται λατεριτικά κοιτάσματα τα οποία χαρακτηρίζονται ως σιδηρονικελιούχα. Τα κοιτάσματα αυτά θεωρούνται «φτωχά» σιδηρονικελιούχα μεταλλεύματα με μέση περιεκτικότητα σε νικέλιο γύρω στο 1%. Στη χώρα μας, υπάρχουν περισσότερες από 110 εμφανίσεις νικελιούχου σιδηρομεταλλεύματος με περιεκτικότητα σε νικέλιο που κυμαίνεται από 0,4% έως 1,5% και σε σίδηρο από 20% έως 79%. Όσον αφορά στη χημική σύσταση, το σιδηρονικέλιο αποτελείται κυρίως από νικέλιο, σίδηρο, πυρίτιο, αργίλιο, χρώμιο και μαγνήσιο. Σε μικροποσότητες απαντώνται μαγγάνιο, ασβέστιο, θείο, κοβάλτιο, αρσενικό κ.ά.

Τα υπό εκμετάλλευση κοιτάσματα βρίσκονται στην κεντρική και βόρεια **Εύβοια**, στην **Βοιωτία** και στην περιοχή της **Καστοριάς**. Μικρότερα κοιτάσματα κι εμφανίσεις εντοπίζονται στην Έδεσσα, στην Αττική, στα Γρεβενά, στο Βέρμιο, στην Κοζάνη, στη Σκύρο και στη Μυτιλήνη. Η ηλικία σχηματισμού όλων των κοιτασμάτων, συνδέεται άμεσα με τη γεωδυναμική εξέλιξη του τόξου του Αιγαίου.

1.4 Τιμή Νικελίου

Γενικότερα, η τιμή του νικελίου στις αρχές του 21^{ου} αιώνα κυμαινόταν περίπου στα 7.000 €/τόνο. Στη συνέχεια υπήρξε μια άνοδος της τιμής στα 12.378 €/τόνο, παρουσιάζοντας βέβαια διακυμάνσεις. Ωστόσο τη διετία 2006 - 2007, υπήρξε έκρηξη της τιμής του νικελίου παγκοσμίως, η οποία έφτασε και πέρασε τα 41.260 €/τόνο, αλλά γρήγορα σταμάτησε κι ακολούθησε μείωση μέχρι να φτάσει και πάλι στα προηγούμενα επίπεδα. Την τελευταία δεκαετία παρατηρείται μια σταδιακή μείωση στην τιμή του νικελίου. Η τιμή βρίσκεται σήμερα περίπου στα 14.919 € (8 Φεβρουαρίου του 2021) από 12.020 € ανά τόνο (14 Αυγούστου του 2020) 12.034 € πριν από ένα χρόνο (14 Φεβρουαρίου 2020). Αξίζει να σημειωθεί ότι η μέγιστη τιμή ανά τόνο μέσα στην τελευταία πενταετία καταγράφηκε στις 25 Οκτωβρίου του 2019 στα 15.246 €.



Πηγή: <http://www.mining.com>

Διάγραμμα 3: Τιμή Νικελίου σε €/tn τα τελευταία πέντε χρόνια

Κεφάλαιο 2. Η εκμετάλλευση Νικελίου στην Ελλάδα

2.1 Η Εταιρεία Γ.Μ.Μ.Α.Ε. ΛΑΡΚΟ

Η εκμετάλλευση Νικελίου στην Ελλάδα πραγματοποιείται από τη Γενική Μεταλλευτική και Μεταλλουργική Εταιρεία ΛΑΡΚΟ. Η Γ.Μ.Μ.Α.Ε. ΛΑΡΚΟ έκτος από τον μεγαλύτερο παραγωγό σιδηρονικελίου στην Ευρώπη αποτελεί και έναν από τους πέντε μεγαλύτερους παραγωγούς παγκοσμίως. Η ΛΑΡΚΟ ερευνά, εξορύσσει, παράγει και εμπορεύεται το προϊόν της σε όλο τον κόσμο.

Η Εταιρεία έχει καταφέρει να κερδίσει την εμπιστοσύνη της διεθνούς αγοράς, σε όρους παράδοσης και ποιότητας σιδηρονικελίου σε συνδυασμό με τη μακρόχρονη λειτουργία της και τον υψηλό βαθμό εξειδίκευσης του προσωπικού της.

Η ΛΑΡΚΟ έχει μακρά παράδοση στην καινοτομία. Είναι η πρώτη, σε όλο τον κόσμο, εταιρεία που εισήγαγε στην διεθνή αγορά το κοκκοποιημένο σιδηρονικέλιο το 1976. Οι λοιποί ανταγωνιστές της ακολούθησαν δύο χρόνια αργότερα και σήμερα το 70 - 80% του παγκόσμια παραγόμενου σιδηρονικελίου είναι σε κοκκοποιημένη μορφή.

Όλοι οι παραγωγοί ανοξείδωτου χάλυβα, όπως οι: Thyssen-Krupp, Outokumpu OY & AB, Acerinox, Glencore, Avesrapolarit χρησιμοποιούν στα εργοστάσιά τους κοκκοποιημένο σιδηρονικέλιο της ΛΑΡΚΟ.

2.2 Εγκαταστάσεις της Εταιρείας

Η ΛΑΡΚΟ διαθέτει πέντε Μεταλλεία επιφανειακής εκμετάλλευσης στην περιοχή της Εύβοιας. Τα Μεταλλεία διαθέτουν σύγχρονο χωματοουργικό εξοπλισμό επιφανειακών εκμεταλλεύσεων, δύο εγκαταστάσεις θραύσης και κοσκίνισης των μεταλλευμάτων, μονάδα εμπλουτισμού και εγκαταστάσεις ομογενοποίησης και φόρτωσης πλοίων.

Για την μεταφορά του μεταλλεύματος από το Τριβείο στις εγκαταστάσεις εμπλουτισμού και ομογενοποίησης, υπάρχει ενιαίο σύστημα μεταφορικής ταινίας, μήκους 7,5 χλμ, το οποίο αξιοποιεί την υψομετρική διαφορά για την παραγωγή

ηλεκτρικής ενέργειας. Η ετήσια παραγωγή ανέρχεται σε 1.2 -1.5 εκατομμύρια τόνους. Η μέση περιεκτικότητα σε νικέλιο είναι 1% - 1.03%.

Τα **Μεταλλεία Αγίου Ιωάννη** βρίσκονται στο Νέο Κόκκινο του Νομού Βοιωτίας, 7 χιλιόμετρα από το Μεταλλουργικό Εργοστάσιο της Λάρυμνας. Είναι τα παλαιότερα Μεταλλεία της Εταιρίας και λειτουργούν με μία υπόγεια και τρεις επιφανειακές εκμεταλλεύσεις. Μια τέταρτη επιφανειακή εκμετάλλευση δημιουργήθηκε ως επέκταση σε υπάρχουσες επιφανειακές εκμεταλλεύσεις. Το πρώτο υπόγειο μεταλλείο στην περιοχή άρχισε να λειτουργεί στις αρχές του προηγούμενου αιώνα. Τα Μεταλλεία είναι εξοπλισμένα με σύγχρονο υπόγειο και επιφανειακό εξοπλισμό και πρόσθετες μονάδες διατηρητικών μηχανημάτων. Επιπλέον, υπάρχουν δύο εγκαταστάσεις θραύσης-κοσκίνισης καθώς και μονάδα εμπλουτισμού και μονάδαομογενοποίησης του μεταλλεύματος. Η ετήσια παραγωγή μετά το μαγνητικό διαχωρισμό ανέρχεται σε 700.000 τόνους μεταλλεύματος περιεκτικότητας σε νικέλιο, 1,05-1,1%.



Εικόνα 2: *Μεταλλείο Αγ.Ιωάννη*

Τα **Μεταλλεία Καστοριάς**, βρίσκονται κοντά στα Αλβανικά σύνορα και ιδρύθηκαν τη δεκαετία του 1990. Τα μεταλλεία είναι επιφανειακά και λειτουργούν με εργολαβικά συνεργεία εξόρυξης και αποκάλυψης. Υπάρχουν τρεις περιοχές με αποθέματα στην Καστοριά, εκ των οποίων δύο μόνο εκμεταλλεύονται σε μόνιμη βάση. Εξαιτίας του

υψομέτρου, το Μεταλλείο Κούκος μπορεί να εκμεταλλευτεί μόνο κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Τα Μεταλλεία Καστοριάς διαθέτουν εγκαταστάσεις θραύσης - κοσκίνισης και εμπλουτισμού του μεταλλεύματος. Η ετήσια παραγωγή τους ανέρχεται περίπου σε 300.000 τόνους μεταλλεύματος υψηλής περιεκτικότητας σε νικέλιο.

Τέλος το **Λιγνιτωρυχείο Σερβίων**, βρίσκεται στα Σέρβια του νομού Κοζάνης. Η κάλυψη των αναγκών του Μεταλλουργικού Εργοστασίου στη Λάρυμνα οδήγησε τη ΛΑΡΚΟ στην ανάπτυξη έντονων μεταλλευτικών δραστηριοτήτων στην περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας, με σκοπό την αναζήτηση κατάλληλων στερεών καυσίμων. Η εκμετάλλευση του ορυχείου είναι επιφανειακή. Ο λιγνίτης θραύεται και κοσκινίζεται στο κατάλληλο μέγεθος. Η ετήσια παραγωγή του κυμαίνεται περίπου στους 250.000-300.000 τόνους λιγνίτη, ανάλογα με τις ανάγκες της Εταιρίας.

Οι **Μεταλλουργικές εγκαταστάσεις** βρίσκονται στη **Λάρυμνα** στο Νομό Φθιώτιδας, 130 χλμ περίπου, Β / ΒΑ της Αθήνας. Στο Μεταλλουργικό Εργοστάσιο γίνεται πυρομεταλλουργική επεξεργασία των Ελληνικών σιδηρονικελιούχων μεταλλευμάτων (λατεριτών) με στόχο την παραγωγή σιδηρονικελίου (FeNi), περιεκτικότητας 18-24% σε νικέλιο που αποτελεί πρώτη ύλη για τις βιομηχανίες παραγωγής ανοξειδωτων χαλύβων στον Ευρωπαϊκό χώρο.



Εικόνα 3: Οι μεταλλουργικές εγκαταστάσεις στη Λάρυμνα

Η συνολική ετήσια ποσότητα μεταλλεύματος που επεξεργάζεται το Εργοστάσιο της Λάρυμνας ανέρχεται στους 2.500.000 τόνους περίπου. Η ετήσια παραγωγή σε Νικέλιο (Ni) ανέρχεται σε 18000 - 20000 τόνους και καλύπτει το 6% περίπου της ζήτησης της Ευρωπαϊκής Αγοράς σε νικέλιο.

2.3 Ετήσια παραγωγή και διάθεση σιδηρονικελίου

Η ετήσια παραγωγή των μεταλλείων της «ΛΑΡΚΟ» κατά την τελευταία δεκαετία κυμαίνεται από 2,0 έως 2,5 εκατ. t τριμμένου και ομογενοποιημένου μεταλλεύματος και το ετήσιο πρόγραμμα παραγωγής της για την επόμενη πενταετία είναι της τάξης των 2,5 εκατ. t. Το σύνολο της παραγωγής αυτής διατίθεται για την τροφοδοσία του μεταλλουργικού εργοστασίου παραγωγής σιδηρονικελίου, στη Λάρυμνα Φθιώτιδας με μέση ποιότητα 1,01% Ni. Η μονάδα αυτή είναι μία εκ των 57 εγκαταστάσεων μεταλλουργίας νικελίου παγκοσμίως και μία εκ των 22 που επεξεργάζονται λατερίτες. (<http://www.larco.gr>)

Η ετήσια παραγωγή μεταλλεύματος στα μεταλλεία της ΛΑΡΚΟ έφτασε τους 2,5 εκατομμύρια τόνους (για το 2018), ενώ η συνολική παραγωγή της εταιρείας από την αρχή της λειτουργίας της ανέρχεται σε 94 εκατομμύρια τόνους. Αντίστοιχα, η παραγωγή νικελίου στο εργοστάσιο της Λάρυμνας κυμαίνεται στα επίπεδα των 15.500 – 16.000 τόνων ετησίως (για το 2018) κι εξαρτάται από τη ζήτηση και την τιμή πώλησης του προϊόντος. Συνολικά από την έναρξη λειτουργίας του έχουν παραχθεί 740.000 τόνοι νικελίου αξίας περίπου 12 δισεκατομμυρίων €.

Ο καθαρά εξαγωγικός χαρακτήρας της δραστηριότητας της εταιρίας αποφέρει τα τελευταία χρόνια καθαρή ετήσια συναλλαγματική εισροή πολλών εκατομμυρίων ευρώ, ανάλογα με το ύψος της παραγωγής της εταιρίας σε νικέλιο, την τιμή του νικελίου στη διεθνή αγορά καθώς και την ισοτιμία €: U.S. dollars. Η εισροή αυτή αποτελεί το 1,6-12,2% των Ελληνικών εξαγωγών και το 0,12-3,1% του Ακαθάριστου Εθνικού Προϊόντος οι πωλήσεις νικελίου, εξαγωγές και Α.Ε.Π. μεταβάλλονται κάθε έτος).

Τομείς δραστηριοποίησης της εταιρείας

Κεντρική διοίκηση με έδρα την Αθήνα για τον συντονισμό των ενεργειών όλης της επιχείρησης (περιλαμβάνει διοικητικές υπηρεσίες, νομικό τμήμα, τμήμα πωλήσεων και εξαγωγών). Διεύθυνση μεταλλείων και λιγνιτωρυχείων που συντονίζει τα μεταλλεία Αγίου Ιωάννη, Καστοριάς και Εύβοιας καθώς και το λιγνιτωρυχείο Κοζάνης. Διεύθυνση μεταλλουργίας η οποία συντονίζει και ελέγχει το μεταλλουργικό συγκρότημα της Λάρυμνας.

Εργασίες που λαμβάνουν χώρα στην εταιρεία

Γεωλογικές, ορυκτολογικές και κοιτασματολογικές μελέτες κατά τις οποίες εντοπίζεται το κοίτασμα και ερευνώνται τα ποιοτικά και ποσοτικά του χαρακτηριστικά. Εργασίες εκμετάλλευσης κατά τις οποίες εκλέγεται η κατάλληλη μέθοδος εκμετάλλευσης, καθορίζονται τα έργα προσπελάσεως και υποδομής, το χρονοδιάγραμμα εξέλιξης εργασιών, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και λαμβάνει χώρα η εξόρυξη και η αποκατάσταση του περιβάλλοντος. Σημαντικό τμήμα του σταδίου αυτού αποτελεί το μείζονος σημασίας θέμα της διακίνησης των στείρων υλικών καθώς και του μεταλλεύματος. Μηχανική επεξεργασία (θραύση - ομογενοποίηση). Το στάδιο αυτό περιλαμβάνει τη θραύση και την ομογενοποίηση του μεταλλεύματος στις εγκαταστάσεις Βύρας και Πολιτικών.

Εμπλουτισμός: Η μέθοδος εμπλουτισμού η οποία εφαρμόζεται είναι ο διαχωρισμός μεταλλεύματος από στείρα με τη χρήση της μεθόδου των βαρέων διαμέσων. Φόρτωση επί πλοίου - θαλάσσια μεταφορά στις εγκαταστάσεις μεταλλουργικής επεξεργασίας στη Λάρυμνα, στο νομό Φθιώτιδας, 130 χιλιόμετρα βορειοανατολικά της Αθήνας.

2.4 Μέθοδος εκμετάλλευσης που χρησιμοποιείται από την εταιρεία

Η κύρια μέθοδος εκμετάλλευσης της εταιρείας είναι η επιφανειακή και συνδυάζει ανοιχτή και κλειστή εκσκαφή. Το ύψος των βαθμίδων κυμαίνεται μεταξύ 12-15 m, με το πλάτος να εξαρτάται από το αν είναι σε λειτουργία ή είναι κοντά στο όριο της εκσκαφής. Η αποκάλυψη γίνεται με τη χρήση εκρηκτικών ενώ η κοπή του μεταλλεύματος γίνεται με υδραυλική τσάπα ή προωθητή γαιών. Η όρυξη των διατρημάτων γίνεται με ειδικά ντιζελοκίνητα διατρητικά φορεία. Τα διατρήματα ορύσσονται με κλίση 70-75° με μήκη 13-17m. Η διάμετρος τους είναι 4-6,5 ίντσες , ενώ η διεύθυνσή τους παράλληλη με του μετώπου της βαθμίδας. Στη συνέχεια, ακολουθεί η γόμωση (δηλαδή το γέμισμα των διατρημάτων με εκρηκτικά και με τα μέσα πυροδότησής τους), για την οποία χρησιμοποιείται η εκρηκτική ύλη ANFO παράλληλα με τη χρήση αμμωνίτιδας. Η πυροδότηση των διατρημάτων και συνεπώς η ανατίναξη και απόσπαση του μεταλλεύματος γίνεται με καψύλλια (ηλεκτρικά ή μη), τα οποία ανάβουν με ειδικό δυναμοεκρηκτήρα από απόσταση. Μετά την ανατίναξη γίνεται η φόρτωση του εξορυγμένου υλικού με τη χρήση ελαστιχοφόρων φορτωτών σε ειδικά χωματουργικά φορτηγά, τα οποία και μεταφέρουν το υλικό είτε προς απόρριψη αν είναι στείρο ή προς περαιτέρω επεξεργασία αν πρόκειται για μέταλλευμα. Το εξορυγμένο μέταλλευμα μεταφέρεται σε τριβεία για να υποστεί την κατάλληλη επεξεργασία σε όρους θραύσης και εμπλουτισμού. Το εμπλουτισμένο μέταλλευμα οδηγείται στον αποθέτη και από αυτόν στην πλατεία ομογενοποίησης. Το ομογενοποιημένο μέταλλευμα φορτώνεται και μεταφέρεται στο εργοστάσιο, όπου ζυγίζεται και τροφοδοτείται στις περιστροφικές καμίνους για περαιτέρω επεξεργασία. Σε περιορισμένη κλίμακα (2%) εφαρμόζεται η υπόγεια εκμετάλλευση και γίνεται με τη μέθοδο της κατακρήμνισης της οροφής. Η προσπέλαση στο κοίτασμα γίνεται με οριζόντιες ασβεστολιθικές στοές και ελικοειδείς ράμπες. Οι κύριες φάσεις είναι η διάτρηση, η γόμωση των διατρημάτων με εκρηκτικά και η πυροδότησή τους, η συλλογή του παραγόμενου μεταλλεύματος και η υποστήριξη των στοών. Το παραγόμενο μέταλλευμα μεταφέρεται στην επιφάνεια μέσω ηλεκτρικού σιδηρόδρομου.

Κεφάλαιο 3. Γεωλογία, Κοιτασματολογία και Ορυκτολογία Κ. & Β.Εύβοιας

Η Κεντρική Εύβοια ανήκει σε ένα χώρο όπου διακρίνεται για το πλήθος των παλαιοτεκτονισμένων ενοτήτων, οι οποίες έχουν ομογενοποιηθεί από την Ανωκρητιδική επίκλυση. Στην κεντρική Εύβοια απαντούν η “Υποπελαγονική” ενότητα, η οποία περιορίζεται στο Τριαδικό - Ιουρασικό (έως το Κάτω Κρητιδικό), ενώ για τη μεταγενέστερη περίοδο εντάσσεται στην ενότητα της Ανατολικής Ελλάδας, όπως και η Πελαγονική.

Βασικό χαρακτηριστικό της ζώνης αυτής είναι η συνύπαρξη της σχιστοκερατολιθικής μετ’ οφιολίθων διάπλασης και της άνω κρητιδικής επίκλυσης, γνώρισμα δε της τεκτονικής, αποτελεί η έντονη λεπίωση με τοπικές επωθήσεις.

Η Υποπελαγονική ζώνη στον Ελλαδικό χώρο έχει ένα παλαιοζωϊκό κρυσταλλικό υπόβαθρο. Εμφανίζεται στις περιοχές της Βόρειας Εύβοιας και Στροπώνων - Μετοχίου της Κεντρικής Εύβοιας και η ηλικία των σχηματισμών του είναι προμεσολιθανθρακοφόρα. Στη Βόρεια Εύβοια το υπόβαθρο φθάνει τα 800 m. και είναι κυρίως βιοτιτικοί και διμαρμαρυγικοί γνεύσιοι και γνευσιοσχιστόλιθοι, που κατά θέσεις μεταπίπτουν σε μιγματίτες. Σε αντίθεση με τη Βόρεια Εύβοια, όπου απουσιάζουν παντελώς τα ανθρακικά πετρώματα, στην Κεντρική Εύβοια απαντώνται ενστρώσεις λευκών μαρμάρων. (Προβηγίας, Γαλλία).

3.1 Στρωματογραφία

Στην στρωματογραφία της περιοχής της Βόρειας και Κεντρικής Εύβοιας από πάνω μέχρι κάτω συναντώνται οι εξής σχηματισμοί:

- **Τεταρτογενείς αποθέσεις**, οι οποίες διακρίνονται σε αλλουβιακές αποθέσεις, παλαιούς και νέους κώνους κορημάτων, υλικά χειμαρρωδών αναβαθμίδων και από διάφορους παράκτιους σχηματισμούς.

- **Νεογενή Ιζήματα**. Οι Νεογενείς αποθέσεις της Εύβοιας διακρίνονται σε τρεις ιζηματογενείς λεκάνες. Τη λεκάνη Αλιβερίου-Κύμης, τη λεκάνη Πάλιουρα-Γίδες και τη λεκάνη Λίμνης-Ιστιαίας. Και οι τρεις λεκάνες παρουσιάζουν παρόμοια λιθολογία με μια κατώτερη ακολουθία λιμναίων ιζημάτων συχνά με λιγνιτικές ενδιαστρώσεις και μια ανώτερη ακολουθία από ποτάμια ιζήματα. Τα νεογενή αυτά ιζήματα εγκλείουν συχνά κοιτάσματα λιγνίτη.

- **Φλύσχη**. Ο Φλύσχη αποτελείται κατά κύριο λόγο από ψαμμίτες, αργλικούς σχιστόλιθους και σπανιότερα από κροκαλοπαγή. Στα κατώτερα στρώματα του Φλύσχη, τοπικά συναντώνται μπλοκ νηριτικών και ημιπελαγικών ασβεστολίθων.

- **Ανωκρητιδικοί επικλυσιογενείς ασβεστόλιθοι** . Η απόθεση τους άρχισε στο Κενομάνιο και συνεχίστηκε μέχρι και το Μαιστρίχτιο. Στη βάση αυτών των ασβεστολίθων απαντώνται συχνά μεγάλα κοιτάσματα σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος.

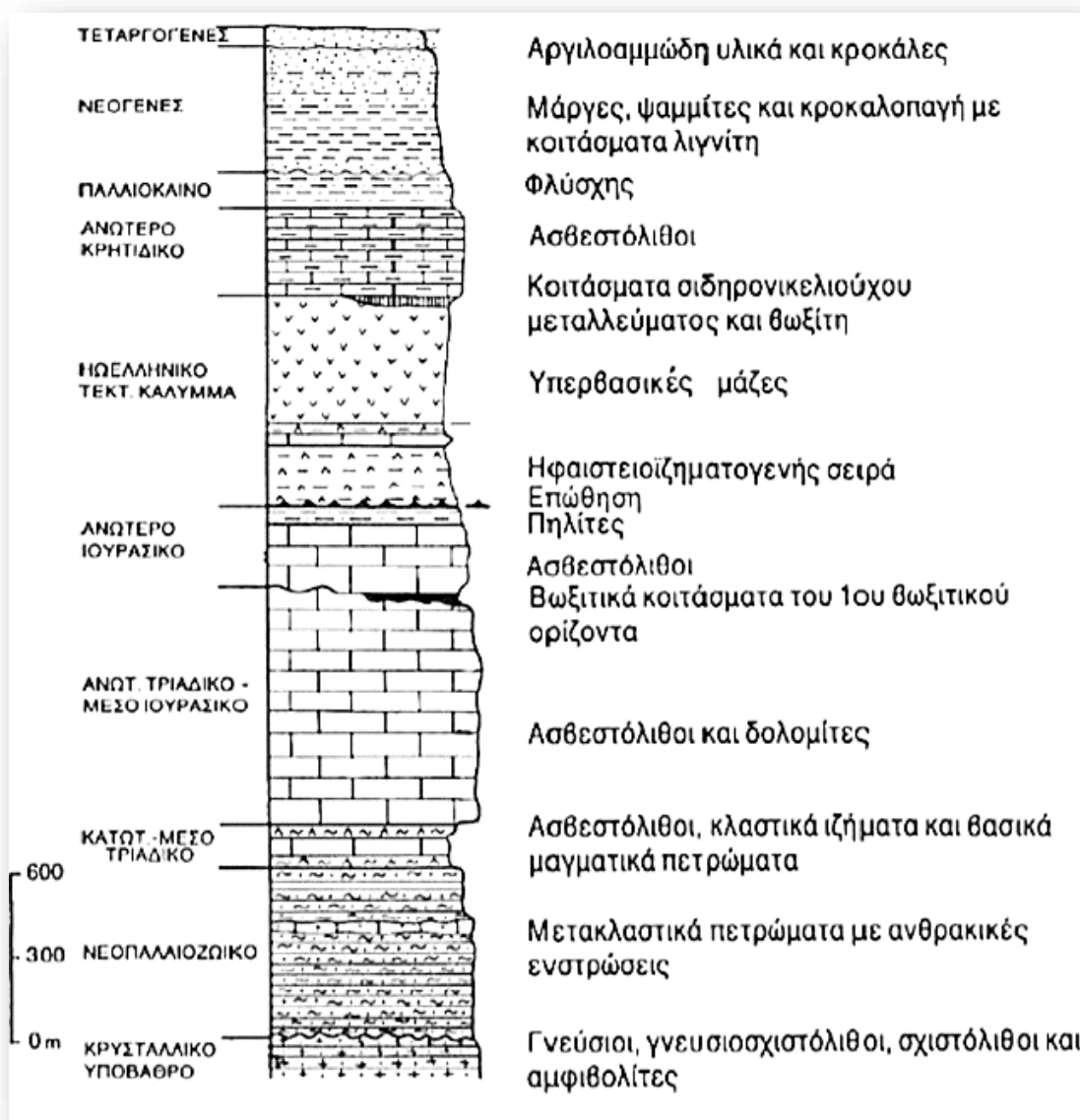
- **Τεκτονικό κάλυμμα**. Το τεκτονικό αυτό μείγμα αποτελείται από σερπεντινίτες στη κύρια μάζα κι ένα μπλοκ όπως κερατόλιθοι, αμφιβολίτες, ψαμμίτες κι ασβεστόλιθοι το οποίο είναι όμοιο και με άλλες περιοχές της Ελλάδας.

- **Άνω Τριαδικά – άνω Ιουρασικά κυρίως νηριτικού τύπου ανθρακικά ιζήματα** (ασβεστόλιθοι και δολομίτες) μεγάλου πάχους, που διακόπτονται κατά ορισμένες περιόδους από τις γνωστές σαν σχιστοψαμμιτοκερατολιθικές διαπλάσεις. Αυτές οι διαπλάσεις αποτελούνται από πηλίτες, μάργες, ψαμμίτες, κερατόλιθους, ραδιολαρίτες, ασβεστόλιθους και οφιολιθικά τεμάχια στα ανώτερα μέρη τους, κατά το πλείστον σερπεντινωμένα.

- **Ασβεστόλιθοι, κλαστικά ιζήματα και βασικά μαγματικά πετρώματα** του κατώτερου – μέσου Τριαδικού.

- **Νεοπαλαιοζωικής ηλικίας σχηματισμοί** (μέσω-άνω Λιθανθρακοφόρου) με σχιστοψαμμίτες, σερικιτικούς σχιστόλιθους και κλαστικά πετρώματα με πολλές ανθρακικές ενστρώσεις του Περμιού.

- **Το κρυσταλλικό υπόβαθρο ηλικίας προ-μέσο-Λιθανθρακοφόρου**, που αποτελείται κυρίως από βιοτικούς και διμαρμαρυγικούς γενεύσιους και γενουσιοσχιστόλιθους, που κατά θέσεις μεταπίπτουν σε μειγματίτες. (Κατσικάτσος, 1992)



Εικόνα 4: Στρωματογραφική στήλη της Πελαγονικής της Κεντρικής και Βόρειας Εύβοιας (Κατσικάτσος, 1986)

3.2 Υπολειμματικά κοιτάσματα

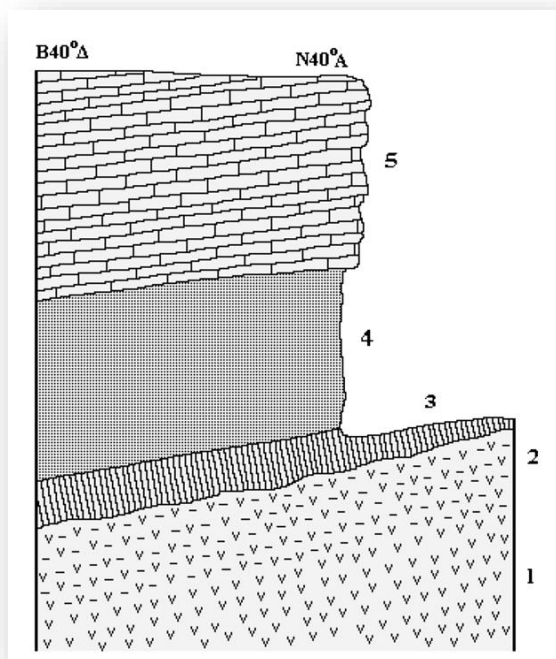
Υπολειμματικές συγκεντρώσεις ονομάζονται οι συγκεντρώσεις συστατικών οικονομικής σημασίας, οι οποίες προκύπτουν όταν κατά την αποσάθρωση (εξαλλοίωση) προσβάλλονται μόνο συγκεκριμένα ορυκτολογικά συστατικά (πχ θειούχα ορυκτά). Στα **υπολειμματικά** κοιτάσματα επηρεάζεται το σύνολο του πετρώματος και παρατηρείται εμπλουτισμός σε ορισμένα χρήσιμα συστατικά κυρίως λόγω μείωσης του όγκου του πετρώματος. Οι **νικελιούχοι λατερίτες**, οι **λατεριτικοί βωξίτες** και τα **αλλόχθονα κοιτάσματα** που προκύπτουν από τη μεταφορά του υλικού τους (**καρστικοί σιδηρονικελιούχα** και **καρστικοί βωξίτες**), αποτελούν τους πλέον σημαντικότερους τύπους **υπολειμματικών κοιτασμάτων**. (Τριανταφυλλίδης, 2019)

Υπολειμματικά κοιτάσματα Νικελίου στην Ελλάδα

Τα κυριότερα υπολειμματικά κοιτάσματα Νικελίου στην Ελλάδα υπάγονται σε δύο κατηγορίες:

- **Αυτόχθονα**, δηλαδή διατηρούνται στις θέσεις σχηματισμού. Πρόκειται για τυπικούς νικελιούχους λατερίτες κι εντοπίζονται στην Κεντρική Εύβοια, στη Λοκρίδα (Εύβοια) και στην Ιεροπηγή Καστοριάς.

- **Παρααυτόχθονα** ή **αλλόχθονα**, τα οποία είτε έχουν μεταφερθεί σε μικρή απόσταση και βρίσκονται πάνω σε υπερβασικά πετρώματα με τα οποία όμως δεν έχουν γενετική σχέση, είτε υπέρκεινται ανθρακικών πετρωμάτων. Το κοιτάσμα του Αγίου Ιωάννη στη Βοιωτία αποτελεί τυπική περίπτωση αλλόχθονου κοιτάσματος καρστικού νικελίου.



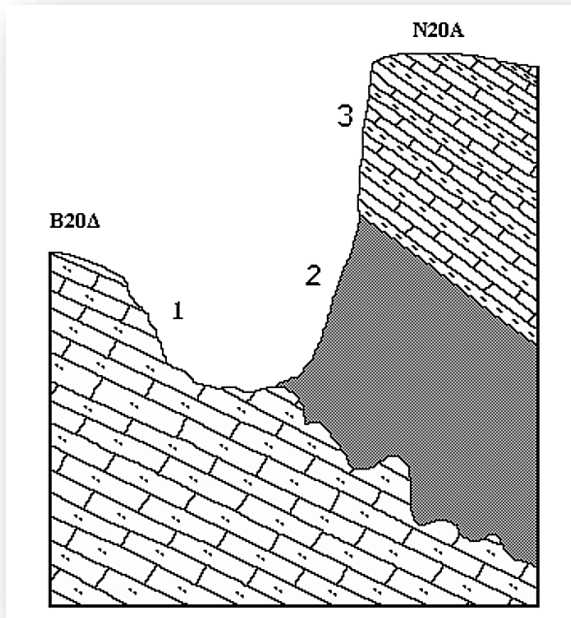
Εικόνα 5: Σχηματική τομή του νικελιούχου κοιτάσματος στη Λοκρίδα της Εύβοιας (Αλμπαντάκης, 1974).

1. Σερπεντινίτης
2. Εξαλλοιωμένος σερπεντινίτης με αυξημένη περιεκτικότητα σε νικέλιο (1,0%)
3. Κεραμόχροοι πυριτόλιθοι
4. Νικελιούχο σιδηρομετάλλευμα με πυσόλιθους
5. Παχυστρωματώδεις ανωκρητιδικοί ασβεστόλιθοι

Λοκρίδα, Εύβοια: Το σιδηρονικελιούχο κοιτάσμα της Λοκρίδας είναι τυπικό αυτόχθονο κοιτάσμα νικελιούχου λατερίτη, με τον ορίζοντα του εξαλλοιωμένου σερπεντινίτη να εμφανίζει εμπλουτισμό σε Νί που φτάνει το 1%. Το μέταλλευμα αποτελείται από αιματίτη, λειμωνίτη (γκαιτίτης, λεπιδοκροκίτης), χλωρίτη, χαλαζία, μικρότερες συγκεντρώσεις χρωμίτη, μαγνητίτη και ίχνη μαλαχίτη, μαρκασίτη. Ο χλωρίτης είναι η κύρια ορυκτολογική φάση του Νί, με το περιεχόμενο του κοιτάσματος σε Νί να αυξάνεται από το δάπεδο προς το ανώτερο τμήμα του μεταλλεύματος.

Άγιος Ιωάννης, Βοιωτία: Πρόκειται για τυπικό αλλόχθονο κοιτάσμα από μεταφορά. Το λατεριτικό υλικό έχει μεταφερθεί κι αποτεθεί σε καρστικά έγκοιλα ωολιθικών ασβεστολίθων του Ιουρασικού. Το μέταλλευμα έχει καλυφθεί από ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους με ενδιαστρώσεις μαργών. Εμφανίζει πυσολιθικό ιστό κι έχει μήκος περίπου 4 km και πάχος περίπου 8 m. Το μέταλλευμα χαρακτηρίζεται από την ακόλουθη ορυκτολογία: αιματίτης, γκαιτίτης, χαλαζίας, χρωμίτης, ασβεστίτης, χλωρίτης, ιλλίτης, τάλκης και μαρκασίτης, με τον χλωρίτη να αποτελεί τον κυριότερο φορέα Νί. Όσον αφορά τα χημικά χαρακτηριστικά, το μέταλλευμα παρουσιάζει υψηλές

περιεκτικότητες σε Fe, Mg, Al, Cr και Si, με το ποσοστό του Ni να βρίσκεται στο όριο εκμεταλλευσιμότητας (<1%).



1. Ωολιθικοί ασβεστόλιθοι
Ιουρασικού
2. Συμπαγές νικελιούχο
σιδηρομετάλλευμα με πisolίθους
3. Κενομάνιοι ασβεστόλιθοι και
μάργες σε εναλλαγή.

Εικόνα 6: Σχηματική τομή του αλλόχθονου (καρστικού) κοιτάσματος νικελίου στον Άγιο Ιωάννη, Λάρυμνα Φθιώτιδας (Αλμπαντάκης,

Ιεροπηγή, Καστοριά: Πρόκειται για αυτόχθονο κοίτασμα νικελιούχου λατερίτη, το οποίο χαρακτηρίζεται από υψηλές περιεκτικότητες σε Fe και χαμηλές σε Al και Si. Η περιεκτικότητα του μεταλλεύματος σε Ni κυμαίνεται μεταξύ 0,6% και 1,4% περίπου, με τις συγκεντρώσεις του Ni να παρουσιάζουν σχετική αύξηση από την επιφάνεια προς κατώτερους ορίζοντες. Το μετάλλευμα καλύπτεται από τεταρτογενείς (πλειοκαινικές και νεότερες) αποθέσεις της Μεσοελληνικής Αύλακας, συνεπώς η ηλικία του τοποθετείται στο Τριτογενές ή και παλιότερα. Το μετάλλευμα αποτελείται από οξειδία- υδροξειδία Fe, χαλαζία, σερπεντίνη, χρωμίτη, ασβεστίτη, τάλκη, αιματίτη και χλωρίτη.

3.3 Αποσάθρωση - Υδρόλυση

Ο σημαντικότερος παράγοντας που επιδρά για το σχηματισμό υπολειμματικών συγκεντρώσεων είναι η **αποσάθρωση**. Η **αποσάθρωση** διακρίνεται σε χημική (εξαλλοίωση), όπου παρατηρείται μεταβολή της χημικής σύστασης, είτε με προσθήκη είτε με απομάκρυνση χημικών συστατικών και σε μηχανική (διάβρωση), όπου δεν μεταβάλλεται ο χημισμός, αλλά ο ιστός του πετρώματος κυρίως μέσω δράσης του αέρα και του νερού. Ορισμένοι από τους σημαντικούς παράγοντες που επιδρούν στις διαδικασίες αποσάθρωσης είναι:

- Κλιματολογικές συνθήκες (ύψος βροχής, θερμοκρασία)
- Μηχανική Κατάσταση (παρουσία ρωγμών και σπασιμάτων)
- Ανάγλυφο
- Ορυκτολογία και ιστός
- Παρουσία μικροοργανισμών και φυτοκάλυψη

Η υδατική φάση είναι το σημαντικότερο συστατικό που συμμετέχει στις διαδικασίες αποσάθρωσης, κυρίως μέσω της μεταφοράς χημικών συστατικών της ατμόσφαιρας (πχ CO₂) τα οποία προσβάλλουν τα ορυκτά των πετρωμάτων. Οι αντιδράσεις αυτές ονομάζονται αντιδράσεις υδρόλυσης και έχουν σαν αποτέλεσμα τη μεταβολή της σύστασης του ορυκτού και του προκύπτοντος διαλύματος.

Γενικότερα οι αντιδράσεις υδρόλυσης προκαλούν:

- Απομάκρυνση ευδιάλυτων συστατικών από το πέτρωμα, όπως αλκάλια (πχ K)
- Μείωση του όγκου του πετρώματος λόγω διαλυτοποίησης
- Εμπλουτισμό σε στοιχεία δυσδιάλυτα στο επιφανειακό περιβάλλον (πχ Al, Fe, Ni, Co) (Τριανταφυλλίδης, 2019)

3.4 Λατεριτικοί φλοιοί αποσάθρωσης

Οι αντιδράσεις υδρόλυσης δεν πραγματοποιούνται άμεσα αλλά σταδιακά, με την ταχύτητά τους να εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό και από τη σύσταση της πρωτογενούς φάσης που επηρεάζεται. Το τελικό αποτέλεσμα είναι η ανάπτυξη ενός του μανδύα πάνω από το μητρικό πέτρωμα ο οποίος ονομάζεται «Λατερίτης» και η διαδικασία «Λατεριτική αποσάθρωση». Ανεξάρτητα από το είδος και τη σύσταση του μητρικού πετρώματος, ένας λατεριτικός φλοιός αποσάθρωσης αποτελείται από τα ακόλουθα τμήματα από κάτω προς τα πάνω:

- Ορίζοντας σαπρολίτη.

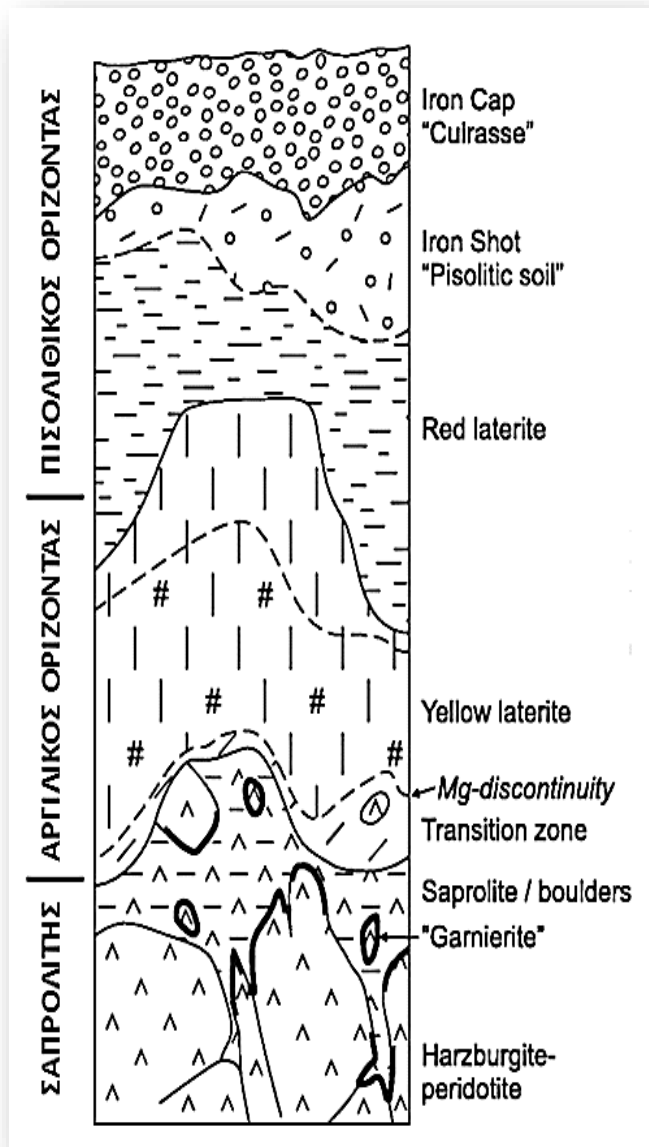
Αναπτύσσεται σταδιακά αντικαθιστώντας το μητρικό πέτρωμα, παρόλα αυτά διατηρούνται ακόμα ιστολογικά και ορυκτολογικά χαρακτηριστικά του μητρικού πετρώματος. Διαθέτει σπασίματα και ρωγμές στα οποία αποτίθενται νέες ορυκτολογικές φάσεις λόγω των αντιδράσεων υδρόλυσης. Τα ευδιάλυτα χημικά συστατικά όπως αλκάλια, οι αλκαλικές γαίες απομακρύνονται από το πέτρωμα και τα λιγότερο διαλυτά όπως Al, Fe δημιουργούν στις ρωγμές δευτερογενείς φάσεις. Από κάτω προς τα πάνω παρατηρείται αύξηση πορώδους, αύξηση συμμετοχής προϊόντων αποσάθρωσης και μείωση της συνεκτικότητας του πετρώματος.

- Αργιλικός ορίζοντας.

Αποτελείται κυρίως από αργιλικά ορυκτά και ο ιστός του μητρικού πετρώματος διατηρείται κατά θέσεις. Παρατηρούνται οξειδία κι υδροξείδια δυσδιάλυτων στοιχείων (όπως Fe και Al) τα οποία δημιουργούν κονδύλους ή κηλίδες.

- Πισολιθικός ορίζοντας ή ορίζοντας κροκαλοπαγούς.

Αναπτύσσεται πάνω από τον αργιλικό ορίζοντα. Ο ιστός του μητρικού πετρώματος έχει εξαφανιστεί τελείως κι επικρατούν κυρίως οξειδία κι υδροξείδια Fe και Al τα οποία δημιουργούν ωσειδή, πισοειδή και πελοειδή σωματίδια. (Τριανταφυλλίδης, 2019)



Εικόνα 7: Ανάπτυξη λατεριτικού μανδύα αποσάθρωσης από εξαλλοίωση υπερβασικού πετρώματος (Τριανταφυλλίδης, 2019).

Από τέτοια λατεριτικά εδάφη σχηματίστηκαν στον ελλαδικό χώρο τα περίφημα κοιτάσματα των βωξιτών στη ζώνη Παρνασσού – Γκιώνας και τα σιδηρονικελιούχα κοιτάσματα στην κεντρική Ελλάδα (Λάρυμνα, Κεντρική Εύβοια).

Διακρίνονται τα τμήματα:

- **Ορίζοντας σαπρολίτη,** στον οποίο εκτός των δευτερογενών φάσεων που αποτίθενται, διακρίνονται ακόμη στοιχεία του μητρικού πετρώματος .
- **Αργιλικός ορίζοντας,** στον οποίο επικρατούν κυρίως δευτερογενή αργιλικά ορυκτά και οξείδια υδροξείδια δυσδιάλυτων στοιχείων (π.χ. Al, Fe).
- **Πισολιθικός ορίζοντας,** στον οποίο επικρατούν οξείδια και υδροξείδια Fe και Al και από τον οποίο έχουν εξαφανιστεί τα χαρακτηριστικά του μητρικού πετρώματος.

3.5 Νικελιούχοι Λατερίτες

Τα πετρώματα υπερβασικής σύστασης όπως δουνίτες, χαρτζβουργίτες, περιδοτίτες αποτελούνται κυρίως από ολιβίνη, κλινοπυρόξενο, ορθοπυρόξενο και πλαγιόκλαστο. Στα υγιή υπερβασικά πετρώματα το νικέλιο κυμαίνεται σε συγκεντρώσεις μεταξύ 0,15% και 0,25% υποκαθιστώντας κυρίως το Mg στο πλέγμα του ολιβίνης. Οι διαδικασίες αποσάθρωσης προκαλούν απελευθέρωση του νικελίου, το οποίο αποτίθεται εκ νέου στο κατώτερο τμήμα του λατερίτη δηλαδή στον ορίζοντα του σαπρολίτη και λιγότερο στον αργιλικό και πηλολιθικό ορίζοντα. Το νικέλιο ενδομείται στο πλέγμα ένυδρων πυριτικών φάσεων όπως νικελιούχος χλωρίτης, νικελιούχος σερπεντίνης, νικελιούχος μοντμοριλλονίτης αλλά και στο πλέγμα οξειδίων και υδροξειδίων του Fe (γκαιίτης, αιματίτης). Το σύνολο των ένυδρων πυριτικών φάσεων που περιέχουν Ni έχει χαρακτηριστικό ανοικτό γαλαζοπράσινο χρώμα και είναι γνωστό 37 με το όνομα γαρνιερίτης.

Σε λατεριτικούς φλοιούς αποσάθρωσης που προκύπτουν από την εξαλλοίωση υπερβασικών πετρωμάτων παρατηρείται:

- Εμπλουτισμός σε Ni στον ορίζοντα του σαπρολίτη που μπορεί να φτάσει και το 3% και στον αργιλικό σε ποσοστό μεγαλύτερο του 1%.

- Ο ανώτερος πηλολιθικός ορίζοντας εμπλουτίζεται σε Fe (μέχρι 60%). Ανάλογα με την καθαρότητα του υλικού, ο ανώτερος πηλολιθικός ορίζοντας μπορεί να αποτελέσει πηγή σιδηρομεταλλεύματος.



Εικόνα 8: Τυπικό πέτρωμα σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος (Λατερίτης)

Κεφάλαιο 4. Μεταλλουργία Νικελίου

Η παραγωγή του νικελίου βασίζεται στην κατεργασία δύο τύπων μεταλλευμάτων. Τα θειούχα μεταλλεύματα εμπλουτίζονται προς σχηματισμό συμπυκνώματος νικελίου (7-10% νικελίου περίπου) πριν υποστούν μεταλλουργική κατεργασία. Αντιθέτως, τα οξειδωμένα μεταλλεύματα δέχονται πολύ περιορισμένο εμπλουτισμό με φυσικές μεθόδους (τριβή, κοσκίνιση, μαγνητικό διαχωρισμό, βάρεια διάμεσα), με αποτέλεσμα να είναι αναγκαία η μεταλλουργική κατεργασία του συνόλου τους (με 1-3%, περίπου, νικελίου) προς παραγωγή νικελίου.

Οι παραπάνω διαφορές των μεταλλευμάτων σε συνδυασμό με άλλες, όπως η γεωγραφική θέση, ο τρόπος εκμετάλλευσης (υπόγεια ή επιφανειακή), η σχέση αποκάλυψης, η χημική και ορυκτολογική σύσταση του μεταλλεύματος, η μεταλλουργική απόδοση, η διαχείριση των παραπροϊόντων της μεταλλουργικής κατεργασίας, κ.τ.λ., αποτελούν σημαντικούς παράγοντες καθορισμού της οικονομικότητας της μονάδας. Έτσι για την επεξεργασία των νικελιούχων μεταλλευμάτων χρησιμοποιείται μεγάλη ποικιλία πυρομεταλλουργικών και υδρομεταλλουργικών μεθόδων.

4.1 Επεξεργασία θειούχων μεταλλευμάτων νικελίου

Τρεις κύριες μέθοδοι χρησιμοποιούνται για την **επεξεργασία των θειούχων μεταλλευμάτων** του νικελίου:

1. **Η Μέθοδος Inco**, όπου το συμπύκνωμα μετά από οξειδωτική φρύξη τήκεται σε ηλεκτρικές καμίνους.
2. **Η Μέθοδος Outokumpu**, όπου το συμπύκνωμα μετά από ξήρανση τήκεται σε καμίνους flash.
3. **Η Μέθοδος Sherritt**, όπου το συμπύκνωμα εκχυλίζεται και ανάγεται προς καταβύθιση νικελίου και κοβαλτίου.

Εάν το μετάλλευμα περιέχει σημαντική ποσότητα Cu, τότε η παραγωγή matte με τη χρήση μεταλλάκτη είναι απαραίτητη. Ο διαχωρισμός Ni και Cu της matte πραγματοποιείται είτε με αργή ψύξη της matte ή με φρύξη και εκχύλιση με H₂SO₄.

Για την υδρομεταλλουργική κατεργασία της matte χρησιμοποιούνται δύο μέθοδοι:

1. **Η μέθοδος Amax**
2. **Η μέθοδος Sherritt**

Κατά τη μέθοδο **Amax**, η matte εκχυλίζεται με τη χρήση θειικού οξέος που προέρχεται από το κύκλωμα εκχύλισης του Cu. Μεταλλικό Ni καταβυθίζεται από το υδατικό διάλυμα με χρήση αερίου H₂ και άνοδο της θερμοκρασίας.

Με τη μέθοδο **Sherrit** γίνεται εκχύλιση με αμμωνία ακολουθούμενη από βρασμό με H₂SO₄ για την απομάκρυνση του Cu. Στη συνέχεια το νικέλιο ανάγεται σε αυτόκλειστα υπό πίεση όπου παράγονται σκόνη και μπρικέττες νικελίου. Η εταιρία Sherrit είναι πρωτοπόρος στην κατεργασία θειούχων συμπυκνωμάτων με εκχύλιση.

4.2 Επεξεργασία οξειδωμένων μεταλλευμάτων νικελίου

Για τη επεξεργασία των λατεριτικών μεταλλευμάτων χρησιμοποιούνται τέσσερις κύριες μέθοδοι:

1. **Τήξη προς παραγωγή matte.** Αποτελεί την πρώτη βιομηχανική εφαρμογή πυρομεταλλουργικής επεξεργασίας οξειδωμένων μεταλλευμάτων του Ni.

2. **Απ' ευθείας τήξη του μεταλλεύματος για παραγωγή σιδηρονικελίου.** Στην κατηγορία αυτή υπάγεται και η μέθοδος της LAPKO.

3. **Αναγωγική φρύξη και εκχύλιση** με αμμωνία προς παραγωγή οξειδίου του νικελίου.

4. Εκχύλιση με θειικό οξύ σε αυτόκλειστα υπό πίεση προς παραγωγή μπρικεττών και σκόνης νικελίου (μέθοδος Pressure Acid Leaching, PAL).

4.3. Η παραγωγική διαδικασία με τη μέθοδο της ΛΑΡΚΟ

Η παραγωγική διαδικασία με τη μέθοδο της ΛΑΡΚΟ πραγματοποιείται σε τέσσερις κύριες φάσεις οι οποίες θα αναφερθούν περιληπτικά παρακάτω.

Η μέθοδος ΛΑΡΚΟ αποτελεί παραλλαγή της μεθόδου Μούσουλου για την παραγωγή Fe-Ni (LM Process)(5) η οποία τροποποιήθηκε και βελτιώθηκε από έλληνες τεχνικούς καθ' όλη τη διάρκεια της υπερτριακονταετούς λειτουργίας του εργοστασίου.

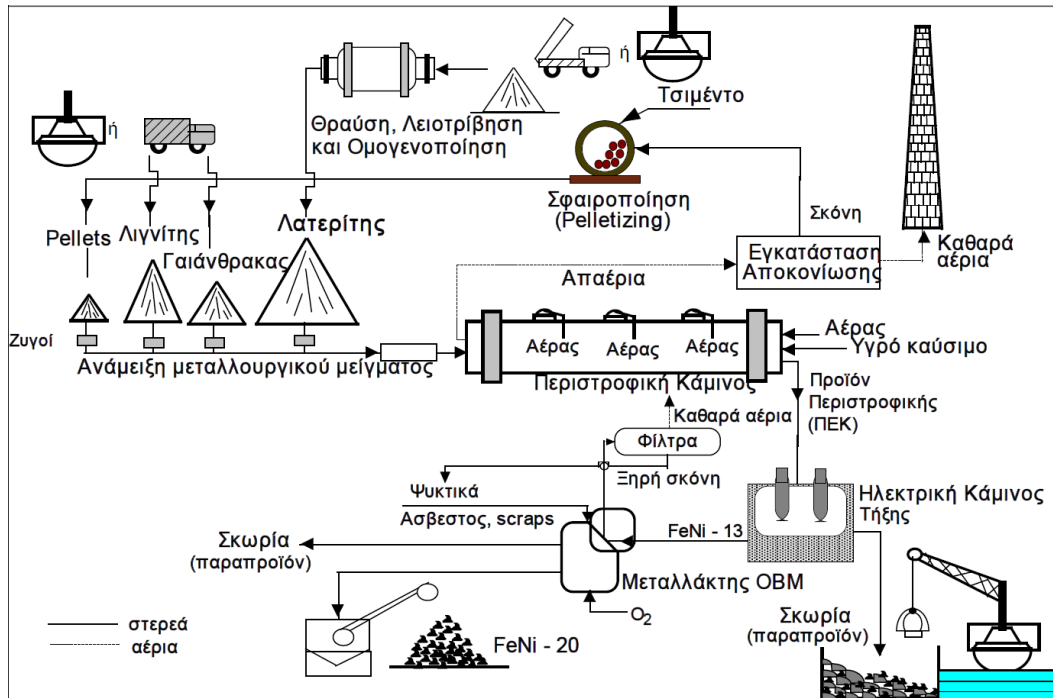
1. Ανάμειξη των μεταλλευμάτων σε συγκεκριμένη αναλογία με στερεά καύσιμα και συσσωματωμένη σκόνη από τα απαέρια των περιστροφικών καμίνων για την διαμόρφωση κατάλληλου μεταλλουργικού μείγματος.

2. Ξήρανση, προθέρμανση μέχρι τους 900°C και ελεγχόμενη αναγωγή των οξειδίων σιδήρου και νικελίου σε περιστροφικές κάμινους (Π/Κ).

3. Αναγωγική τήξη του προϊόντος των περιστροφικών καμίνων σε ηλεκτρικές κάμινους (Η/Κ) εμβαπτισμένου τόξου για παραγωγή χαμηλής περιεκτικότητας πρωτογενούς σιδηρονικελίου (~15% Ni).

4. Εμπλουτισμός σε νικέλιο και εξευγενισμός του παραχθέντος σιδηρονικελίου σε μεταλλάκτες τύπου O.B.M. και κοκκοποίηση του τελικού προϊόντος περιεκτικότητας 20-30 % Ni.

Το παραγόμενο προϊόν έχει πολύ χαμηλή περιεκτικότητα C, S, και P και υψηλή περιεκτικότητα Fe, ώστε να θεωρείται άριστης ποιότητας. Οι ιδιότητες αυτές αποτελούν σημαντικούς παράγοντες κατά την παραγωγή ωστενιτικού ανοξειδωτού χάλυβα όπου χρησιμοποιείται στο σύνολό του από τις αντίστοιχες βιομηχανίες ανοξειδωτού χάλυβα της Ε.Ε.



Διάγραμμα 4: Διάγραμμα Ροής της Παραγωγικής Διαδικασίας της ΛΑΡΚΟ (Ζεργώλης, 2000)

Στην πρώτη φάση, πραγματοποιείται η διακίνηση των πρώτων υλών και η ανάμιξη προκειμένου να προετοιμαστεί το μεταλλουργικό μίγμα. Το λειοτριβημένο σε διαστάσεις -25mm μέταλλευμα και τα στερεά καύσιμα που απαιτούνται, δηλαδή ο γαϊάνθρακας και οι λιγνίτες, παραλαμβάνονται είτε οδικώς είτε δια θαλάσσης και αποθηκεύονται στις πλατείες πρώτων υλών. Από εκεί διακινούνται μέσω ταινιοδρόμων εξοπλισμένων με δοσομετρικούς ζυγούς προς τη δεύτερη φάση επεξεργασίας εντός των Περιστροφικών Καμίνων. Το μέταλλευμα, όπως προαναφέρθηκε, προέρχεται από τα Μεταλλεία Καστοριάς, Αγίου Ιωάννη και Ευβοίας.

Ανάλογα με την **προέλευση** έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά:

- i.** Το μέταλλευμα της Εύβοιας έχει υψηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο και οξείδιο του πυριτίου.
- ii.** Το μέταλλευμα της Καστοριάς έχει υψηλή περιεκτικότητα σε οξείδιο του πυριτίου αλλά μικρή σε οξείδιο του σιδήρου.
- iii.** Το μέταλλευμα του Αγίου Ιωάννη έχει υψηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο αλλά μικρή σε οξείδιο του πυριτίου.

Η **τυπική σύσταση** του μεταλλουργικού μίγματος είναι η εξής: **15%** μέταλλευμα από την **Καστοριά**, **30%** μέταλλευμα από τον **Αγ. Ιωάννη** και **55%** μέταλλευμα από την **Εύβοια**. Τα στερεά καύσιμα, (γαιάνθρακας – λιγνίτες) συναντώνται περίπου στα 200 - 230 kg/tn. φυσικού μεταλλεύματος. Η παραπάνω αναλογία των μεταλλευμάτων προκύπτει κυρίως από τον όγκο των εκμεταλλεύσιμων αποθεμάτων, την περιεκτικότητα των κοιτασμάτων σε νικέλιο, την δυνατότητα και δυναμικότητα των εκμεταλλεύσεων και την εν γένει χημική και ορυκτολογική σύνθεση. Η χρήση ποικιλίας καυσίμων αποσκοπεί στη καλύτερη αξιοποίηση των συστατικών τους για την προθέρμανση και την προαναγωγή του μεταλλεύματος στις Περιστροφικές Καμίνους (ΠΕΚ).

Δεύτερη φάση είναι εκείνη στην οποία γίνεται η επεξεργασία εντός των περιστροφικών καμίνων. Διεξάγεται προθέρμανση και περιαγωγή του μεταλλεύματος σε περιστροφικές καμίνους. Η δυνατότητα παραγωγής φρύγματος είναι περίπου 2,5 εκατ. t ανά έτος, ενώ το μείγμα στην είσοδο της καμίνου εισέρχεται σε θερμοκρασία 400 °C και εξέρχεται στους 800 °C. Το υλικό το οποίο εξέρχεται από τα περιστροφικά, με γερανούς, τοποθετείται στα καμίνια. Σ' ένα επόμενο στάδιο, πραγματοποιείται αναγωγική τήξη σε Ηλεκτρικές Καμίνους (Η/Κ). Το προϊόν των περιστροφικών καμίνων, ΠΕΚ, τροφοδοτείται εντός πέντε Ηλεκτροκαμίνων εμβαπτισμένου τόξου. Η θερμοκρασία που αναπτύσσεται, με τη βοήθεια της ηλεκτρικής ενέργειας, για την τήξη και τον διαχωρισμό των συστατικών του ΠΕΚ είναι της τάξης των 1600 °C. Ταυτόχρονα με την τήξη προωθείται και στην **τρίτη φάση** πλέον η αναγωγή των οξειδίων του σιδήρου και του νικελίου προς μεταλλικό νικέλιο και σίδηρο. Η παραγόμενη ως παραπροϊόν σκουριά

Ηλεκτροκαμίνων αποτελεί το 85% περίπου της τροφοδοσίας και προκύπτει από αναγωγικές διεργασίες, όπως ήδη προαναφέρθηκε, κατά την έξοδό της από τις Η/Κ κοκκοποιείται με ισχυρό ρεύμα θαλασσινού νερού και απορρίπτεται ή πωλείται στις τιμεντοβιομηχανίες και τις μονάδες παραγωγής αμμοβολής. Υπάρχουν σημαντικές ποσότητες για διάθεση στην αγορά και για το σκοπό αυτό καταβάλλονται διαρκείς προσπάθειες. Επισημαίνεται ότι η σκουριά είναι προϊόν τήξης και διαχωρισμού λόγω διαφοράς ειδικού βάρους των φυσικών συστατικών του μεταλλεύματος και συνεπώς εντελώς αδρανής. Συνεχείς και συστηματικές μελέτες και έρευνες τόσο από το Ε.Μ.Π. Αθηνών όσο και από το Ε.ΚΘ.Ε. (Εθνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών) καταδεικνύουν την αδρανή συμπεριφορά της σκουριάς προς το περιβάλλον.

Κατά το τελευταίο στάδιο πραγματοποιείται ο Εμπλουτισμός - Εξευγενισμός σε Μεταλλάκτες (Μ/Τ) ΟΒΜ. Το προϊόν των Η/Κ (FeNi) με κατάλληλους κάδους χωρητικότητας 50 τόνων και γερανογέφυρα ανυψωτικής ικανότητας 100 τόνων τροφοδοτείται σε μεταλλάκτες τύπου ΟΒΜ, όπου με εμφύσηση οξυγόνου και προπανίου από τον πυθμένα οξειδώνεται μία ποσότητα σιδήρου και επιτυγχάνεται έτσι ο εμπλουτισμός του σιδηρονικελίου στην επιθυμητή τελική περιεκτικότητα σε Νί (συνήθως 18-23% Ni).

Κατά την επεξεργασία οι θερμοκρασίες είναι της τάξης των 1600 - 1700 °C. Με την ολοκλήρωση της παραπάνω διαδικασίας το τελικό τήγμα κοκκοποιείται σε διαστάσεις +3 έως 40 mm και αποτελεί το εμπορεύσιμο τελικό προϊόν. Αυτό συγκεντρώνεται σε σωρούς ανάλογα με την περιεκτικότητα σε Νί και από το λιμάνι της Λάρυμνας προωθείται στην αγορά

Η παραγόμενη κατά τον εμπλουτισμό σκουριά αποτελεί παραπροϊόν, που αποθηκεύεται προσωρινά και αφού λειοτριβηθεί σε διαστάσεις -5mm. πωλείται στο σύνολο, σαν βαρύ και αδρανές υλικό για την παραγωγή ειδικού τύπου μπετόν για επικάλυψη αγωγών πετρελαίου ή άλλων παρόμοιων έργων στην Ευρώπη την Βόρειο Αφρική και την Μέση Ανατολή.

Κεφάλαιο 5. Βασικές κατηγορίες παραμέτρων σχεδιασμού υπαίθριων εκμεταλλεύσεων

Οι παράμετροι που επιδρούν στο σχεδιασμό μιας εκμετάλλευσης μπορούν να διακριθούν γενικότερα στις ακόλουθες κατηγορίες:

1. Φυσικές παράμετροι
2. Οικονομικές παράμετροι
3. Περιβαλλοντικές παράμετροι
4. Τεχνολογικές παράμετροι

Στην παρούσα διπλωματική εργασία ασχολούμαστε κυρίως με τις οικονομικές παραμέτρους, καθώς τα χαρακτηριστικά των κοιτασμάτων εξετάζονται είναι γνωστά και στη βάση αυτών των χαρακτηριστικών διαμορφώθηκαν και τα εναλλακτικά σχέδια εκμετάλλευσης.

i. Οικονομική ή οριακή ή μέγιστη σχέση εκμετάλλευσης

Η οικονομική σχέση εκμετάλλευσης προσδιορίζει το «νεκρό σημείο» της δραστηριότητας, δηλαδή το σημείο εκείνο, όπου το κόστος της επιφανειακής εκμετάλλευσης ισούται με το έσοδο της επιχείρησης, στο σημείο οποίο η επιχείρηση καλύπτει τα έξοδά της δίχως να επιφέρεται κέρδος αλλά ούτε ζημία. Στην περίπτωση επιλογής μεταξύ επιφανειακής και υπόγειας εκμετάλλευσης η οικονομική σχέση εκμετάλλευσης αναφέρεται στη στιγμιαία εκείνη σχέση όπου το κόστος της επιφανειακής εξισώνεται με το κόστος της υπόγειας εκμετάλλευσης.

Η οικονομική σχέση αποκάλυψης προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$RE = \frac{A - B}{C}$$

όπου,

A: Έσοδα / τον χρήσιμο συστατικό

B: Κόστος εξόρυξης και επεξεργασίας / τον χρήσιμο συστατικό

C: Κόστος αποκάλυψης / τον αγόνων

Σε πολλές περιπτώσεις η οικονομική σχέση εκμετάλλευσης αναφέρεται στο ελάχιστο αποδεκτό κέρδος για την επιχείρηση αντί για το νεκρό σημείο, οπότε η προηγούμενη σχέση διαμορφώνεται ως εξής:

$$RE = \frac{A - (B + D)}{C}$$

Όπου D: Ελάχιστο κέρδος/τον χρήσιμο συστατικού

ii. Οριακή περιεκτικότητα

Η οριακή περιεκτικότητα (cut-off grade) ορίζεται ως η ελάχιστη περιεκτικότητα του κοιτάσματος σε χρήσιμο συστατικό, για την οποία η εκμετάλλευση του κοιτάσματος είναι οικονομικά συμφέρουσα υπό δεδομένες συνθήκες (κόστος εκμετάλλευσης και επεξεργασίας, τιμή πώλησης του υλικού). Εκφράζει συνεπώς την περιεκτικότητα ανά τόνο μεταλλεύματος στην οποία εξισώνονται τα κόστη εκμετάλλευσης, επεξεργασίας και διάθεσης του τελικού προϊόντος με τα έσοδα από την πώληση αυτού. Όταν η περιεκτικότητα σε χρήσιμο συστατικό είναι μικρότερη από την οριακή περιεκτικότητα τότε το υλικό χαρακτηρίζεται ως άγονο, ενώ όταν αυτή είναι μεγαλύτερη, το υλικό χαρακτηρίζεται ως μετάλλευμα.

Κεφάλαιο 6. Σχεδιασμός Υπαίθριας Εκμετάλλευσης Στην Τοποθεσία Ρεκαβέτσι

Η μοντελοποίηση ενός κοιτάσματος, η εκτίμηση των αποθεμάτων ενός μεταλλείου και ο τελικός σχεδιασμός μίας υπαίθριας ή υπόγειας εκμετάλλευσης είναι ένα σημαντικό κομμάτι της δουλειάς του μηχανικού, του οποίου η αναγκαιότητα αποτέλεσε αντικείμενο προβληματισμού και οδήγησε στη δημιουργία διάφορων σχεδιαστικών προγραμμάτων, με σκοπό την αυτοματοποίηση και τη βέλτιστη προσέγγιση αυτών των εργασιών. Η βιομηχανία υπολογιστών μιμούμενη τις αρχές των κλασικών μεθόδων και προσθέτοντας μία σειρά από μαθηματικές τεχνικές δημιούργησε και έως σήμερα εξελίσσει μεταλλευτικά λογισμικά, προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν τα σφάλματα και να αυτοματοποιηθούν όλες οι διαδικασίες σχεδιασμού των υπαίθριων και των υπόγειων. Η χρήση προγραμμάτων CAD (από τα αρχικά των λέξεων Computer Aided Design) στο σχεδιασμό υπαίθριων εξορυκτικών έργων παρέχει ένα πλήθος δυνατοτήτων στο μηχανικό, όπως ταχύτητα, δυνατότητα δημιουργίας και αξιολόγησης εναλλακτικών σχεδίων εκμετάλλευσης, ακρίβεια στις μετρήσεις εμβαδών, όγκων, κ.ά., αλλαγές κλιμάκων σχεδίασης, απεικόνιση σε τρεις διαστάσεις, δυνατότητα παρακολούθησης της εξέλιξης των εργασιών με τη βοήθεια τοπογραφικών δεδομένων σε ψηφιακή μορφή, κ.λπ. Στη διπλωματική αυτή χρησιμοποιήθηκε το μεταλλευτικό πρόγραμμα SURPAC. Στη συνέχεια περιγράφεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε, καθώς και τα αποτελέσματα που προέκυψαν.

Η περιοχή στην οποία βρίσκεται το μεταλλείο ονομάζεται Ρεκαβέτσι και βρίσκεται στην κεντρική και βόρεια Εύβοια. Ο σχεδιασμός της εκμετάλλευσης πραγματοποιήθηκε βάσει της περιεκτικότητας σε νικέλιο (Ni) και της διαφοράς των περιεκτικότητων μεταξύ Σιδήρου - Διοξειδίου του πυριτίου (Fe-SiO₂). Το μεταλλείο βρίσκεται δίπλα σε άλλα υπάρχοντα μεταλλεία στην ευρύτερη περιοχή μεταξύ Πολιτικών και Ψαχνών και συγκεκριμένα πιο βόρεια από το χωριό Σταυρός.

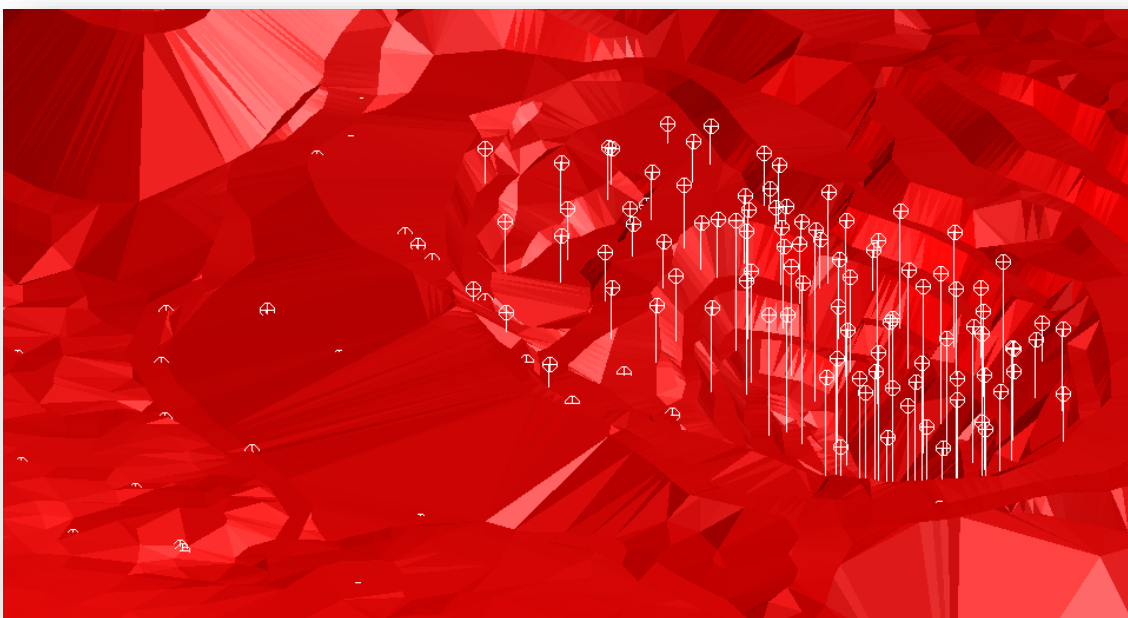
Σύμφωνα με πληροφορίες που μας δόθηκαν από την εταιρία (ΛΑΡΚΟ ΓΜΜ. Α.Ε), η **διαφορά μεταξύ Σιδήρου και Διοξειδίου του πυριτίου (Fe-SiO₂)** επηρεάζει την οικονομικότητα της εκμετάλλευσης προσδίδοντας **επιπλέον κόστος**, καθώς όταν εκείνη είναι **μεγαλύτερη του 4 και μικρότερη του 0**, οδηγεί σε **αυξημένη κατανάλωση** στα αναλώσιμα που χρησιμοποιούνται κατά την μεταλλουργική επεξεργασία, πιο συγκεκριμένα στις **πάστες των ηλεκτροδίων**. Στηριζόμενοι σε αυτήν την παραδοχή, προχωρήσαμε σε 4 σχεδιασμούς με σκοπό την βελτιστοποίηση της οικονομικότητας της εκμετάλλευσης, παρατηρώντας τον **τρόπο** που την επηρεάζει η **διαφορά Fe-SiO₂**.

Οι **τέσσερις** αυτοί σχεδιασμοί είναι κατά σειρά οι εξής:

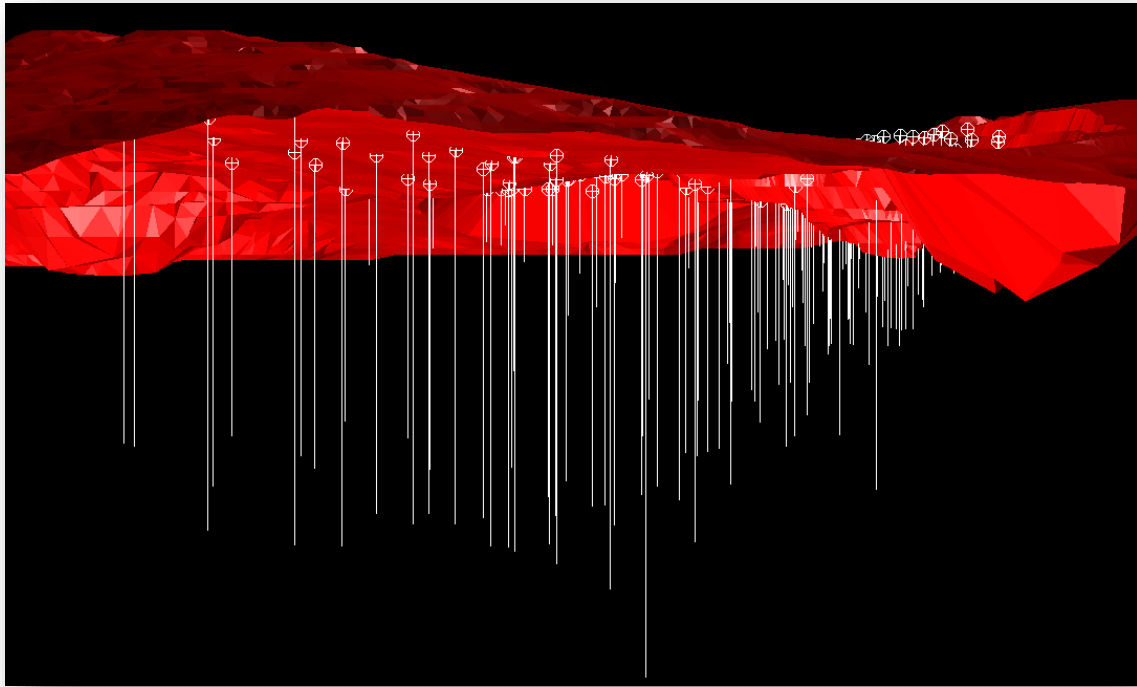
- Ένας σχεδιασμός υπαίθριας εκμετάλλευσης,
- Ένας εναλλακτικός σχεδιασμός υπαίθριας εκμετάλλευσης,
- Δύο εναλλακτικοί σχεδιασμοί συνδυασμένης υπαίθριας και υπόγειας εκμετάλλευσης.

6.1. Γεωτρήσεις και βάση δεδομένων

Αρχική και απαραίτητη προϋπόθεση για την μοντελοποίηση του κοιτάσματος και την εκτίμηση των αποθεμάτων του, είναι η κατασκευή μιας βάσης δεδομένων (database) μέσα στο πρόγραμμα. Έπειτα από κατάλληλη επεξεργασία τα δεδομένα των ερευνητικών γεωτρήσεων (drillholes) που δόθηκαν από την εταιρεία ΛΑΡΚΟ για τη συγκεκριμένη περιοχή, εισήχθησαν στο πρόγραμμα μέσα στη βάση δεδομένων. Η βάση δεδομένων που κατασκευάστηκε περιλαμβάνει τα δεδομένα των γεωτρήσεων, τις συντεταγμένες των γεωτρήσεων, την περιεκτικότητα του χρήσιμου συστατικού (νικέλιο) στα διάφορα βάρη της γεώτρησης αλλά και των στοιχεία που αποτελούν τις υπό εξέταση παραμέτρους της εκμετάλλευσης, δηλαδή τη διαφορά μεταξύ Σιδήρου και Διοξειδίου του πυριτίου (Fe-SiO₂). Εκτός από τις ερευνητικές γεωτρήσεις από την εταιρεία παραχωρήθηκε και το ψηφιακό αρχείο του αρχικού αναγλύφου της περιοχής.



Εικόνα 9: Οι γεωτρήσεις στο αρχικό ψηφιακό ανάγλυφο της περιοχής



Εικόνα 10: Οι γεωτρήσεις στο αρχικό ψηφιακό ανάγλυφο της περιοχής σε πλάγια όψη.

6.2 Προσδιορισμός τιμών κατά μήκος των γεωτρήσεων

Στο επόμενο στάδιο από την κατασκευή της βάσης δεδομένων δίνεται εντολή στο πρόγραμμα να προσδιορίσει τιμές ενδιαφέροντος κατά μήκος των γεωτρήσεων. Οι τιμές δίνονται βάσει των σημειακών δεδομένων της δειγματοληψίας στα διάφορα βάθη κάθε γεώτρησης. Για το σκοπό αυτό διαιρείται η γεώτρηση σε ισοδιαστήματα κάθε ένα από τα οποία λαμβάνει μία συγκεκριμένη τιμή. Έπειτα από αρκετές δοκιμές των παραμέτρων κατασκευής, για την δημιουργία των διαστημάτων (composite length) στη γεώτρηση δόθηκε τιμή 0,5 m, με ποσοστό ταύτισης με την πραγματική τιμή της δειγματοληψίας 95%.

6.3 Block Model

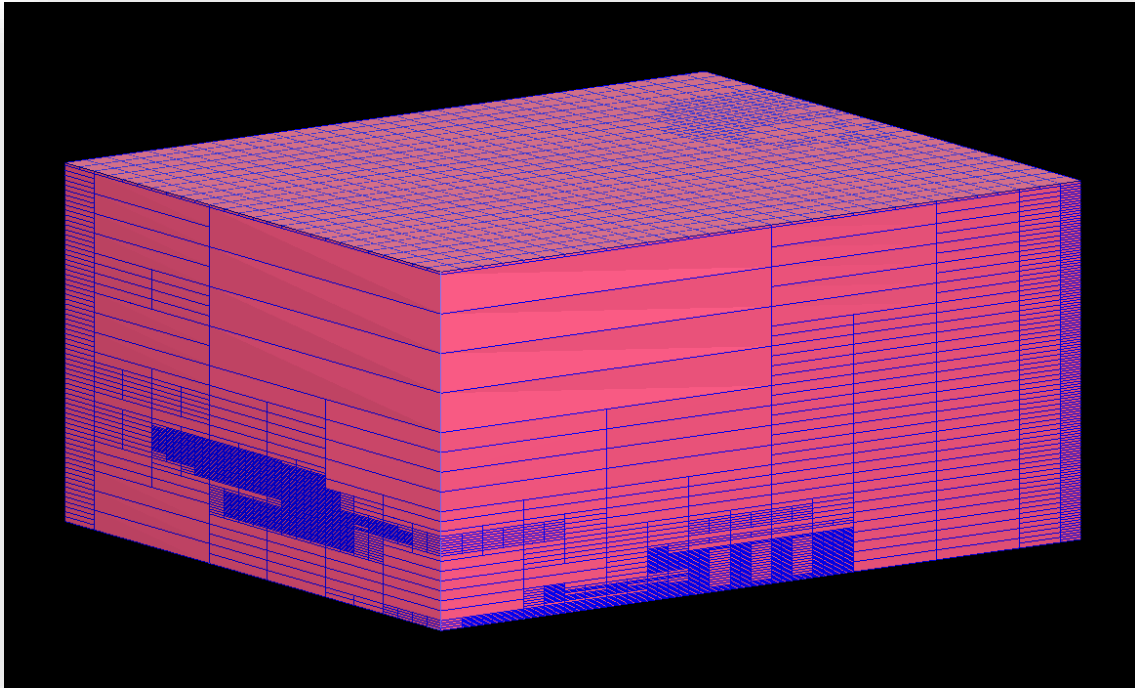
6.3.1 Γενικές πληροφορίες

Το επόμενο στάδιο είναι η δημιουργία του **Block Model** του κοιτάσματος. Το μοντέλο που δημιουργείται προσαρμόζεται στις πραγματικές συνθήκες με την επιβολή τοπογραφικών περιορισμών (π.χ. επιφάνεια του εδάφους) και κοιτασματολογικών. Η μεθοδολογία περιλαμβάνει την κατάτμηση του κοιτάσματος σε blocks και στη συνέχεια την εκτίμηση της περιεκτικότητας σε κάθε block. Για τη χωρική παρεμβολή της πληροφορίας της περιεκτικότητας του κάθε block χρησιμοποιήθηκε, η μέθοδος των αντιστρόφων αποστάσεων (inverse-distance-weighting). Αυτή η μέθοδος βασίζεται στη λογική πως ο βαθμός επιρροής των γεωτρήσεων σε κάθε σημείο είναι αντιστρόφως ανάλογος της απόστασης των γεωτρήσεων, δηλαδή μικρή απόσταση σημαίνει μεγάλος βαθμός επιρροής. Τελικά, από το block model του κοιτάσματος μπορούν να προκύψουν πληροφορίες σχετικά με το συνολικό όγκο και τη μάζα του κοιτάσματος, τις ποσότητες των στείων υλικών κ.λπ. (Μενεγάκη, 2010)

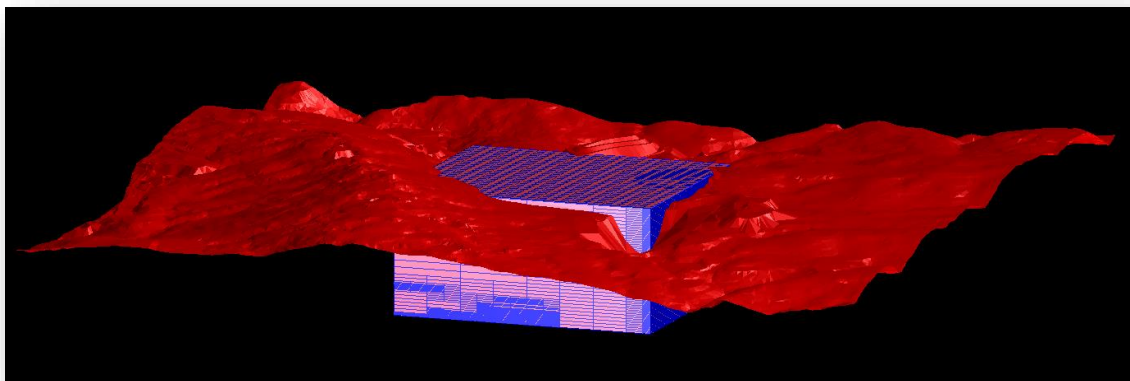
6.3.2 Κατασκευή Block Model

Η βάση δεδομένων που δημιουργήθηκε στο πρώτο στάδιο δίνει τα απαραίτητα στοιχεία για τη δημιουργία του block model. Αρχικά περιέχει το αρχείο με συντεταγμένες της περιοχής που εισάγονται αυτόματα από αυτή και δημιουργούν το όριο του μοντέλου με βάση τις γεωτρήσεις που έχουν δοθεί προς εξέταση. Ακολούθως ορίστηκε το μέγεθος των blocks που θα δημιουργηθούν. Το μέγεθος των blocks εξαρτάται από την απόσταση των γεωτρήσεων και την πυκνότητα της δειγματοληψίας κατά μήκος της γεώτρησης. Επιπλέον, επιλέχθηκε η δυνατότητα δημιουργίας μικρότερων blocks μέσα στα αρχικά, επιτρέποντας στο μοντέλο να δώσει περισσότερες από μία τιμές στο αρχικό block, εφόσον αυτό κριθεί απαραίτητο σε περιοχές με πυκνό κάναβο γεωτρήσεων. Αυτό έδωσε τη δυνατότητα για καλύτερη διαχείριση της πληροφορίας και αύξηση της ακρίβειας των υπολογισμών. Κατά τη διάρκεια αυτού του σταδίου, δημιουργήθηκαν μοντέλα με διαφορετικές παραμέτρους, έτσι ώστε να επιλεγεί εν τέλει το

ιδανικότερο. Οι ιδανικές διαστάσεις του κάθε block ορίστηκαν σε $10 \times 10 \times 1$ (x,y,z) ενώ οι διαστάσεις των μικρότερων blocks (**sub-blocks**) σε $5 \times 5 \times 0.5$ (x,y,z).



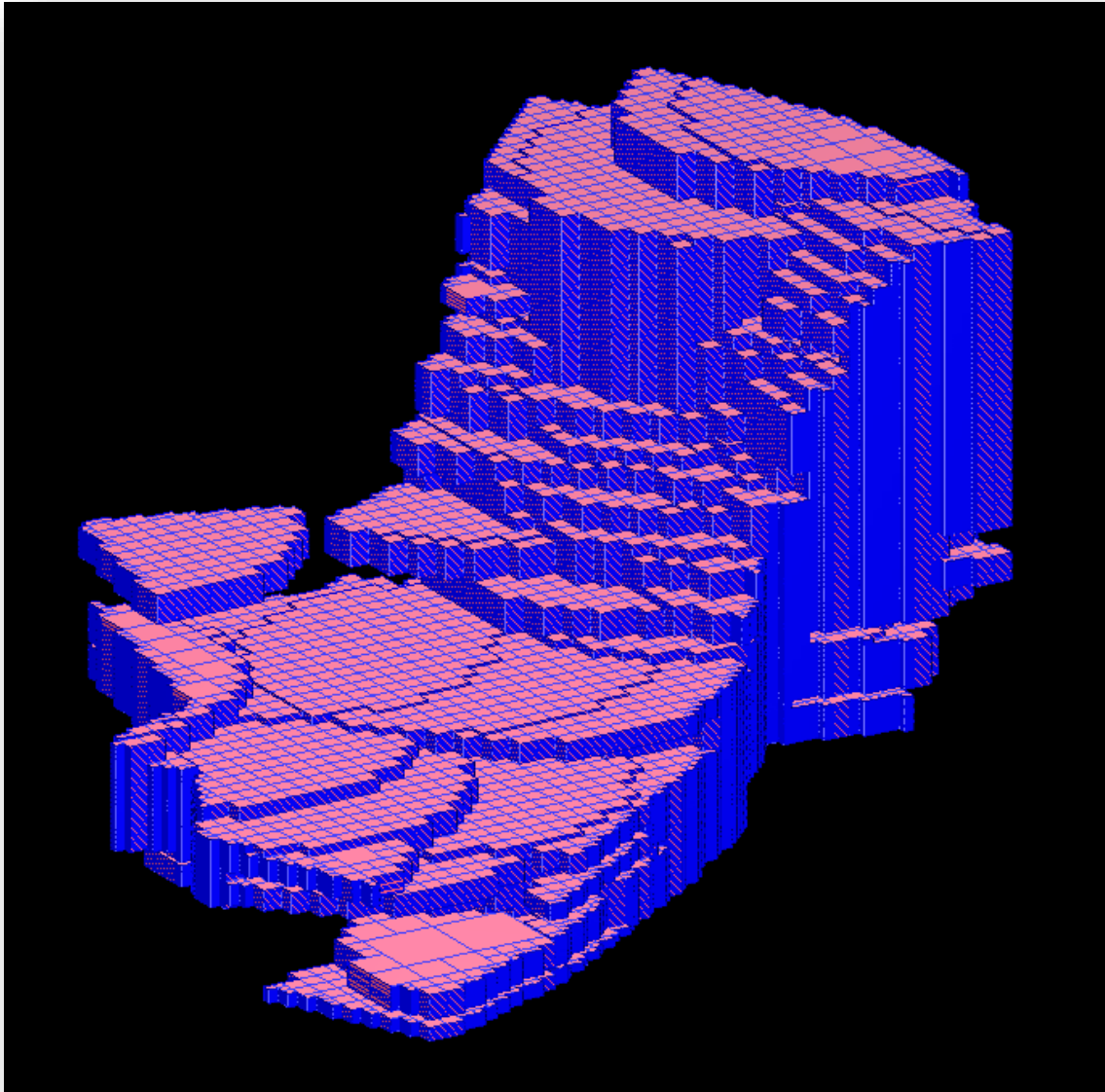
Εικόνα 11: *To Block Model του κοιτάσματος*



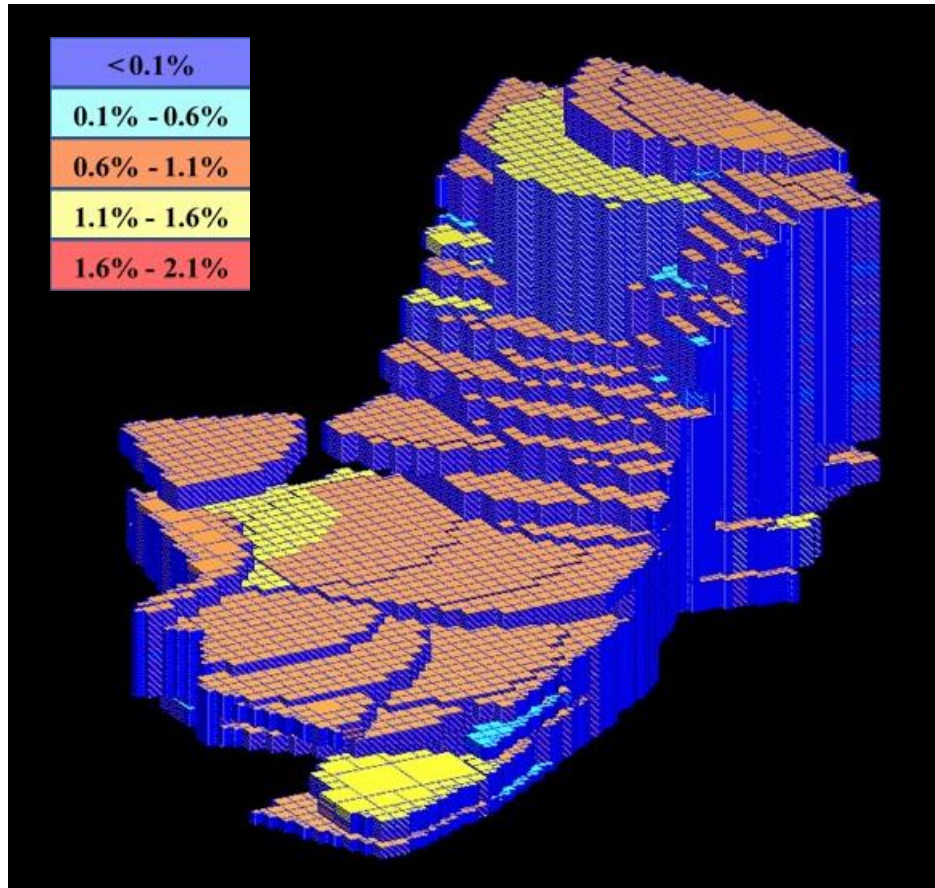
Εικόνα 12: Το Block Model και το αρχικό ψηφιακό ανάγλυφο στο Ρεκαβέτσι

6.3.3. Εισαγωγή παραμέτρων στο Block Model

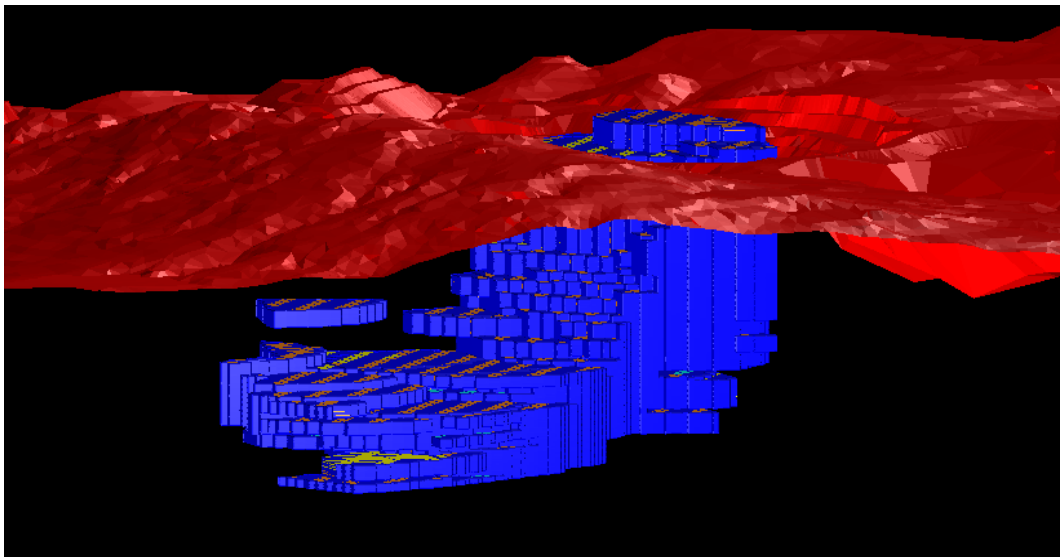
Έπειτα, έγινε ορισμός των παραμέτρων για τα στοιχεία **Νικελίου (Ni)** και της **διαφοράς Σιδήρου - Διοξειδίου του πυριτίου (Fe-SiO₂)** με σκοπό να γίνει η εισαγωγή τους στο μοντέλο. Ακολούθησε η επιλογή της μεθόδου δημιουργίας του μοντέλου (**inverse-distance**). Στη συνέχεια, ορίστηκαν οι παράμετροι αναζήτησης των δεδομένων γειτονικών γεωτρήσεων με βάση τις οποίες τα blocks που δημιουργήθηκαν πήραν τιμές. Οι παράμετροι αυτές δεν ήταν σταθερές συνεπώς έπρεπε να επιτευχθεί μια σειρά από δοκιμές ώστε να βρεθεί ο βέλτιστος συνδυασμός παραμέτρων. Τελικά με την ολοκλήρωση της διαδικασίας το μοντέλο πήρε τιμές για κάθε block ξεχωριστά. Στο σημείο αυτό, το block model δεν είχε γεωγραφικούς περιορισμούς και συνεπώς καμία πληροφορία σχετικά με τη μορφολογία του εδάφους και τα πραγματικά όρια του κοιτάσματος. Τα όρια του κοιτάσματος καθορίστηκαν με βάση την οριακή περιεκτικότητα (**cut-off grade**), δηλαδή την ελάχιστη απαιτούμενη περιεκτικότητα σε νικέλιο για να είναι μία μονάδα όγκου του κοιτάσματος οικονομικώς εκμεταλλεύσιμη. Αυτή η ελάχιστη περιεκτικότητα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Σύμφωνα με μελέτες της ΛΑΡΚΟ, η οριακή περιεκτικότητα του κοιτάσματος είναι 0,5%. Εγινε προσαρμογή του block model πάνω στο αρχικό τοπογραφικό ανάγλυφο που είχε δοθεί από την εταιρεία.



Εικόνα 13: *Block model με $N_i \geq 0.5$*



Εικόνα 14: Απεικόνιση του μοντέλου του κοιτάσματος με βάση την περιεκτικότητα.



Εικόνα 15: Block Model και αρχικό ψηφιακό ανάγλυφο

6.4 Προσδιορισμός ορίου εκσκαφής

Η οριοθέτηση της συνολικής εκσκαφής είναι μία άκρως σημαντική διαδικασία για το σχεδιασμό μίας υπαίθριας εκμετάλλευσης καθώς, καθορίζει τα όρια στην επιφάνεια και προσδιορίζει τη σχέση εκμετάλλευσης. Κατά τη δημιουργία του κώνου εκσκαφής επιδιώκεται να συμπεριληφθεί όλο το κοίτασμα μέσα σε αυτόν. Έτσι ξεκινώντας από τον πυθμένα του κοιτάσματος, και με στόχο να συμπεριληφθεί όλο το κοίτασμα εντός των ορίων της εκσκαφής, διαμορφώθηκε το όριο στην επιφάνεια, λαμβάνοντας υπόψη την επιτρεπόμενη κλίση πρανούς.



Εικόνα 16: Όρια εναλλακτικών σχεδίων εκμετάλλευσης

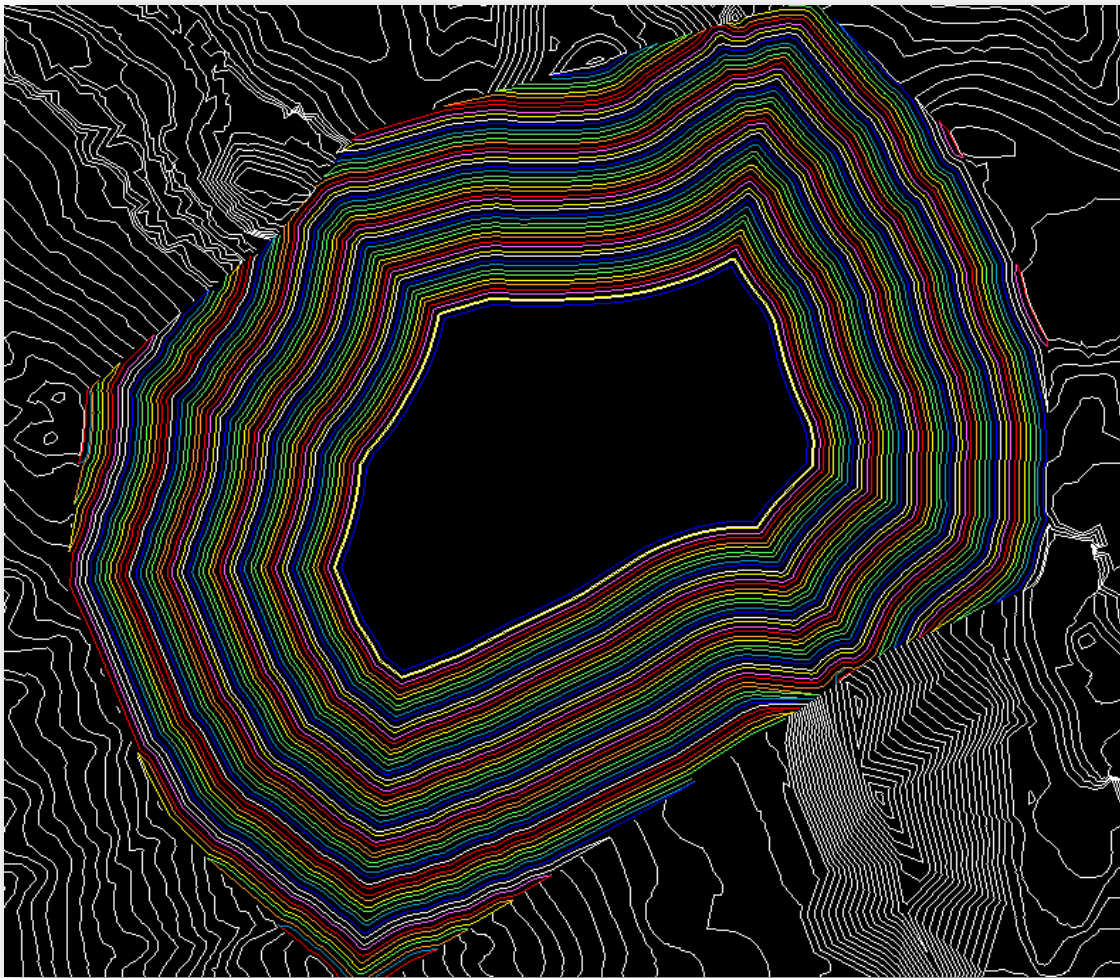
6.5 Εναλλακτικά σχέδια εκμετάλλευσης

6.5.1 Πρώτος Εναλλακτικός Σχεδιασμός

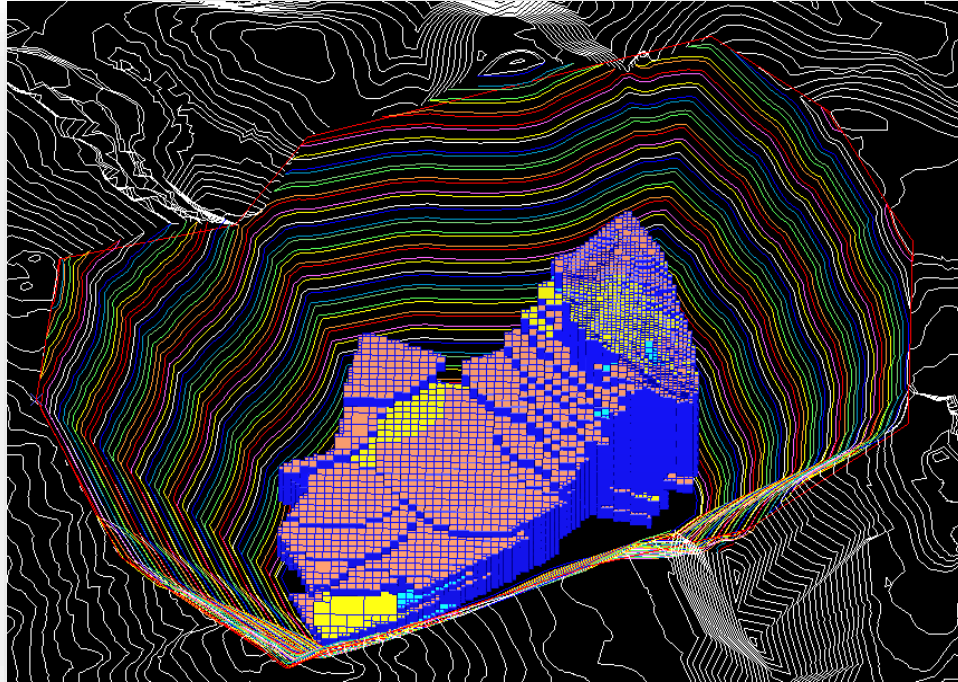
Στον πρώτο σχεδιασμό που έλαβε χώρα, **κοίτασμα** της εκμετάλλευσης αποτελεί το μέταλλευμα με **περιεκτικότητα σε Νικέλιο μεγαλύτερη ή ίση του 0.5%**.

Περιγραφή διαδικασίας:

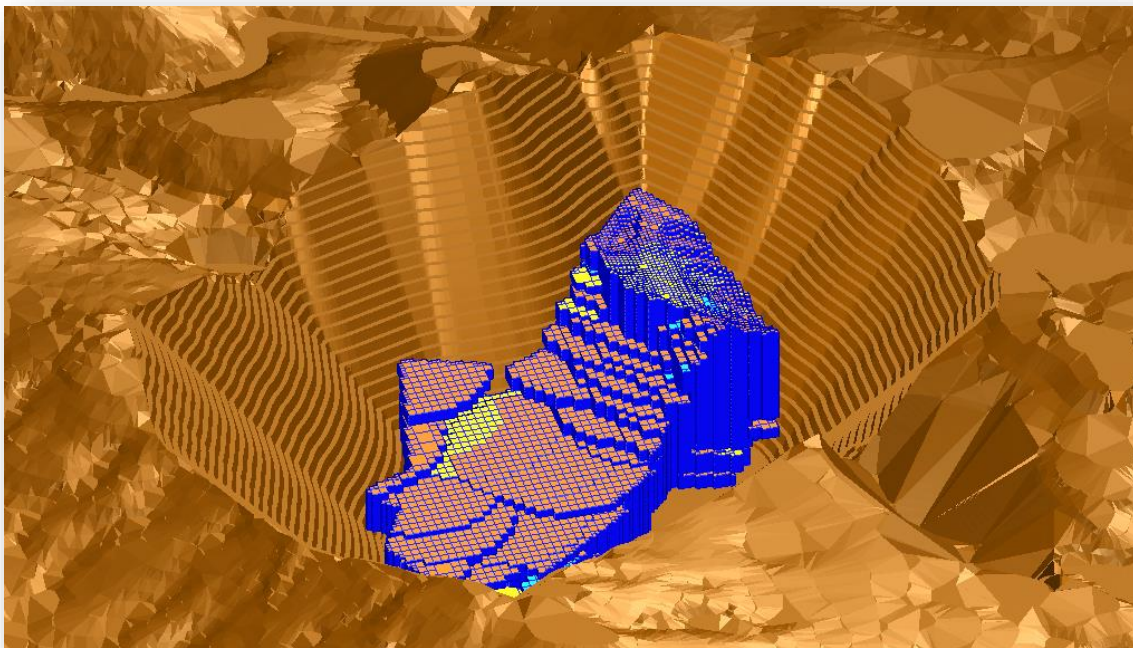
Η εκμετάλλευση ξεκινάει από το όριο εκμετάλλευσης στο υψόμετρο των 618 m κατεβαίνοντας με βαθμίδες προς τα κάτω και ολοκληρώνεται με τον πυθμένα στα 278m. Το **πλάτος των βαθμίδων** ορίστηκε στα **6 m** και η **κλίση** τους στις **70°**, ενώ η μέγιστη επιτρεπόμενη **κλίση του πρανούς** στις **50°**. Σχεδιάστηκαν 28 βαθμίδες **ύψους 12 m** και 1 βαθμίδα ύψους 4 m στο υψόμετρο των 282 m. Η μέγιστη κλίση του πρανούς της εκμετάλλευσης υπολογίστηκε στις **48°** στο βορειοανατολικό τομέα του μεταλλείου. Οι συγκεκριμένες **παράμετροι σχεδιασμού** θα χρησιμοποιηθούν και στους υπόλοιπους (εναλλακτικούς) σχεδιασμούς.



Εικόνα 17: *Ο πρώτος εναλλακτικός σχεδιασμός σε κάτοψη.*



Εικόνα 18: Ψευδοτριδιάστατη απεικόνιση του πρώτου εναλλακτικού σχεδιασμού.



Εικόνα 19: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους τους πρώτου εναλλακτικού σχεδιασμού.

Από την διαδικασία ογκομέτρησης εξάγονται τα εξής:

Α' ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ

Συνολικός όγκος εκσκαφών: 113.862.554 m³

Όγκος αγόνων: 102.093.154 m³

Όγκος κοιτάσματος: 11.769.400 m³

Όγκος μετ/τος εντός επιτρεπτής διαφοράς Fe-SiO₂ (0,4) : 2.223.399 m³

Όγκος μετ/τος εκτός της επιτρεπτής διαφοράς Fe-SiO₂ : 9.546.000 m³

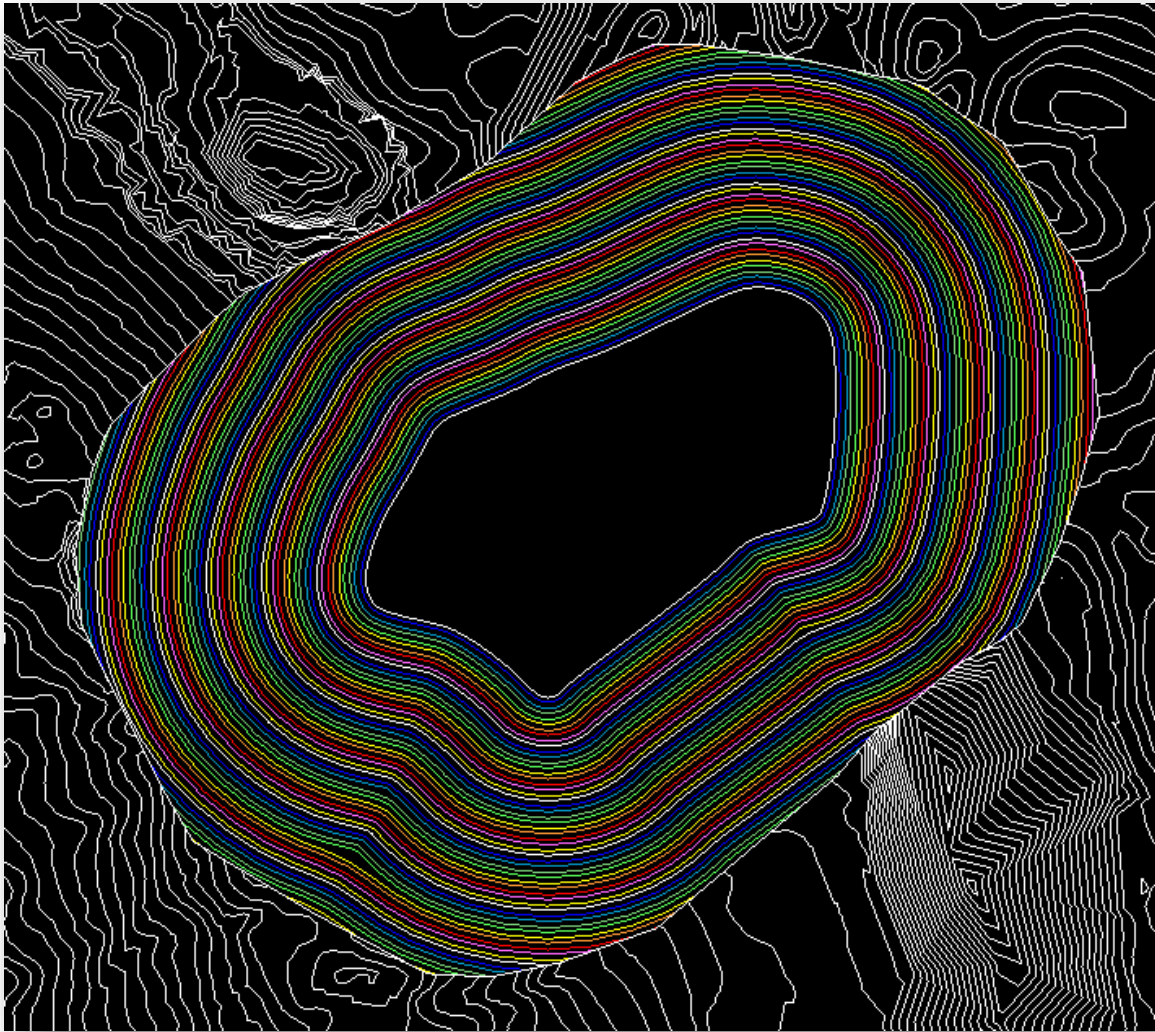
6.5.2 Δεύτερος Εναλλακτικός Σχεδιασμός

Για το δεύτερο σχεδιασμό της εκμετάλλευσης λήφθηκε υπ'όψιν και η διαφορά μεταξύ Σιδήρου-Διοξειδίου του πυριτίου (Fe-SiO₂). Τα blocks με τιμές Fe-SiO₂ εκτός ορίου της επιτρεπτής διαφοράς, δηλαδή με τιμές μικρότερες του 0 και μεγαλύτερες του 4, θεωρήθηκαν «άγωνα», οπότε και το Block model διαμορφώθηκε αναλόγως. Με αυτόν τον περιορισμό, τα «άγωνα» blocks περιφερειακά του μοντέλου αφαιρούνται και επομένως περιορίζονται τα όρια της εκμετάλλευσης. Επομένως, **κοίτασμα** σε αυτόν το σχεδιασμό θεωρήθηκαν τα Blocks με $Ni \geq 0.5$ στα οποία η διαφορά **Fe-SiO₂** κυμαίνεται μεταξύ **0** και **4** ($0 \leq \text{Fe-SiO}_2 \leq 4$).

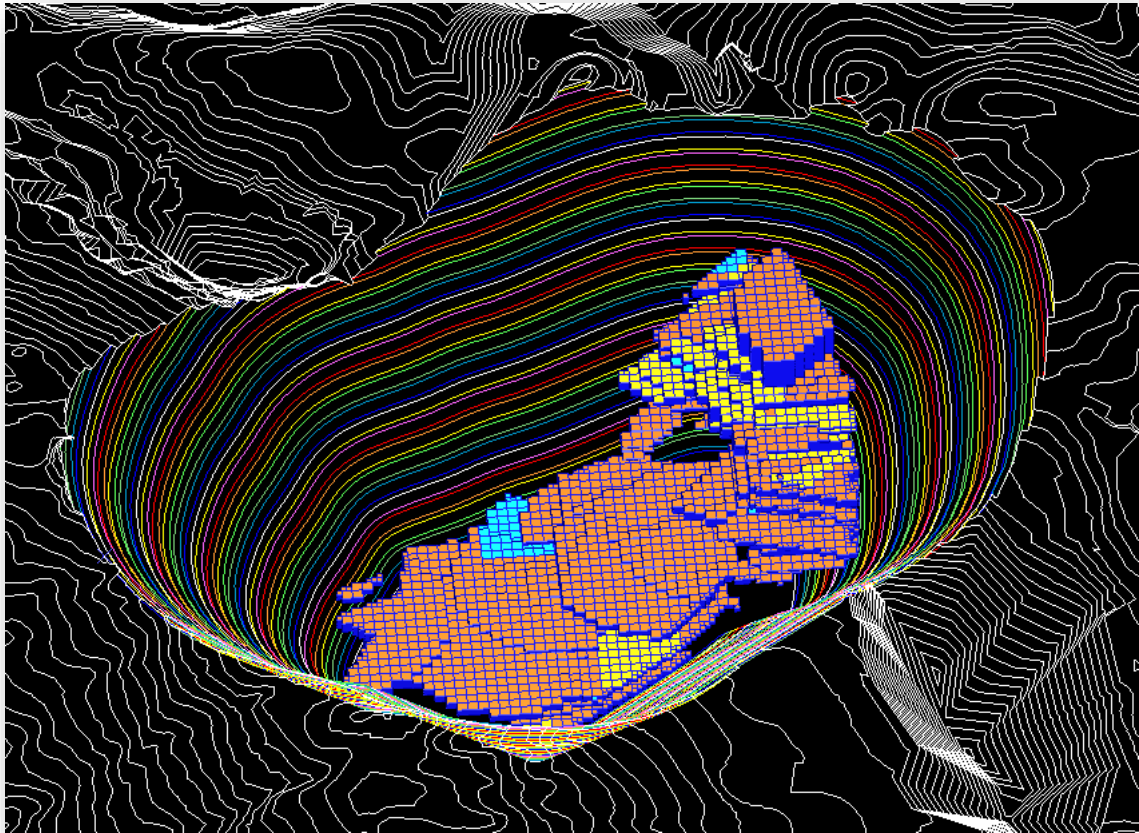
Περιγραφή διαδικασίας:

Στην περίπτωση αυτή η εκμετάλλευση ξεκίνησε από το ύψος των 630 m. Ακολούθησε ο σχεδιασμός βαθμίδων ύψους **12 m** προς τα κάτω έως το υψόμετρο των 294 m. Το **πλάτος των βαθμίδων** ορίστηκε στα **6 m** και η **κλίση** τους στις **70°**, με σκοπό την επίτευξη μέγιστης **κλίσης του πρανούς** στις **50°**. Η μέγιστη κλίση του πρανούς της εκμετάλλευσης υπολογίστηκε στις **49,3°** στο βορειοανατολικό τμήμα του σχεδιασμού. Οι

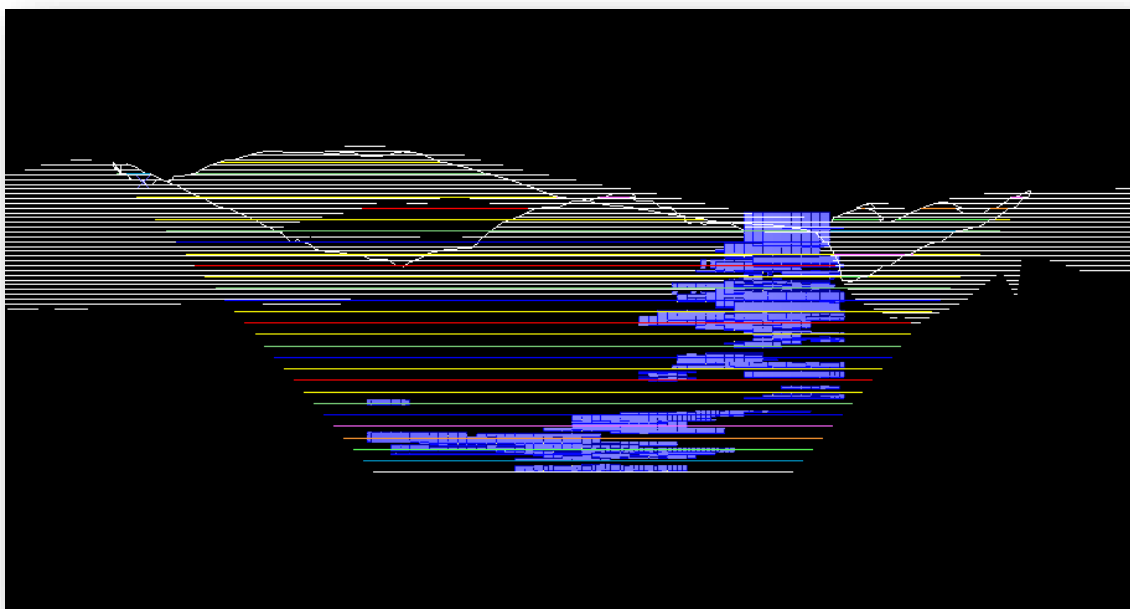
παράμετροι σχεδιασμού (ύψος βαθμίδας, πλάτος βαθμίδας, κλίση βαθμίδας, κλίση πρανούς) παραμένουν ίδιες σε όλους τους σχεδιασμούς.



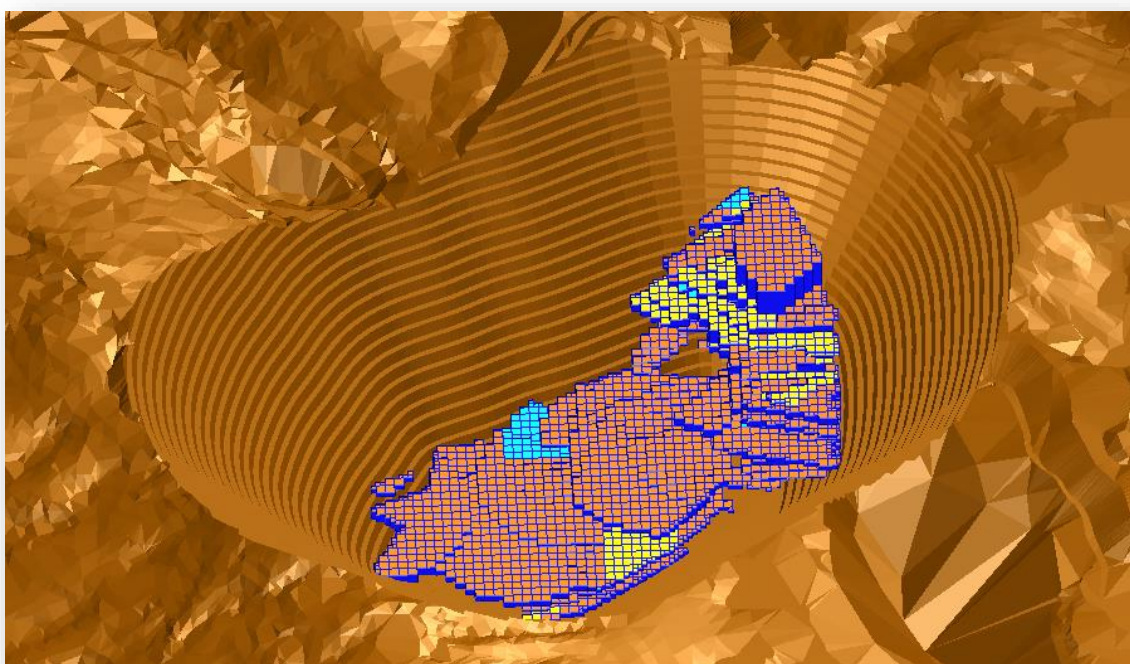
Εικόνα 20: Κάτοψη δεύτερου εναλλακτικού σχεδιασμού.



Εικόνα 21: Ψευδοτριδιάστατη απεικόνιση του δεύτερου εναλλακτικού σχεδιασμού.



Εικόνα 22: Ο δεύτερος σχεδιασμός της εκμετάλλευσης από πλάγια όψη.



Εικόνα 23: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους τους δεύτερου εναλλακτικού σχεδιασμού.

Από τη διαδικασία ογκομέτρησης εξάγονται τα εξής:

B' ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ

Συνολικός όγκος εκσκαφών: 77.410.300 m³

Όγκος αγόνων: 66.236.250 m³

Όγκος κοιτάσματος: 11.174.050 m³

Όγκος μετ/τος εντός επιτρεπτής διαφοράς Fe-SiO₂ (0,4) : 2.223.399 m³

Όγκος μετ/τος εκτός της επιτρεπτής διαφοράς Fe-SiO₂ : 8.950.651 m³

6.5.3 Τρίτος Εναλλακτικός Σχεδιασμός

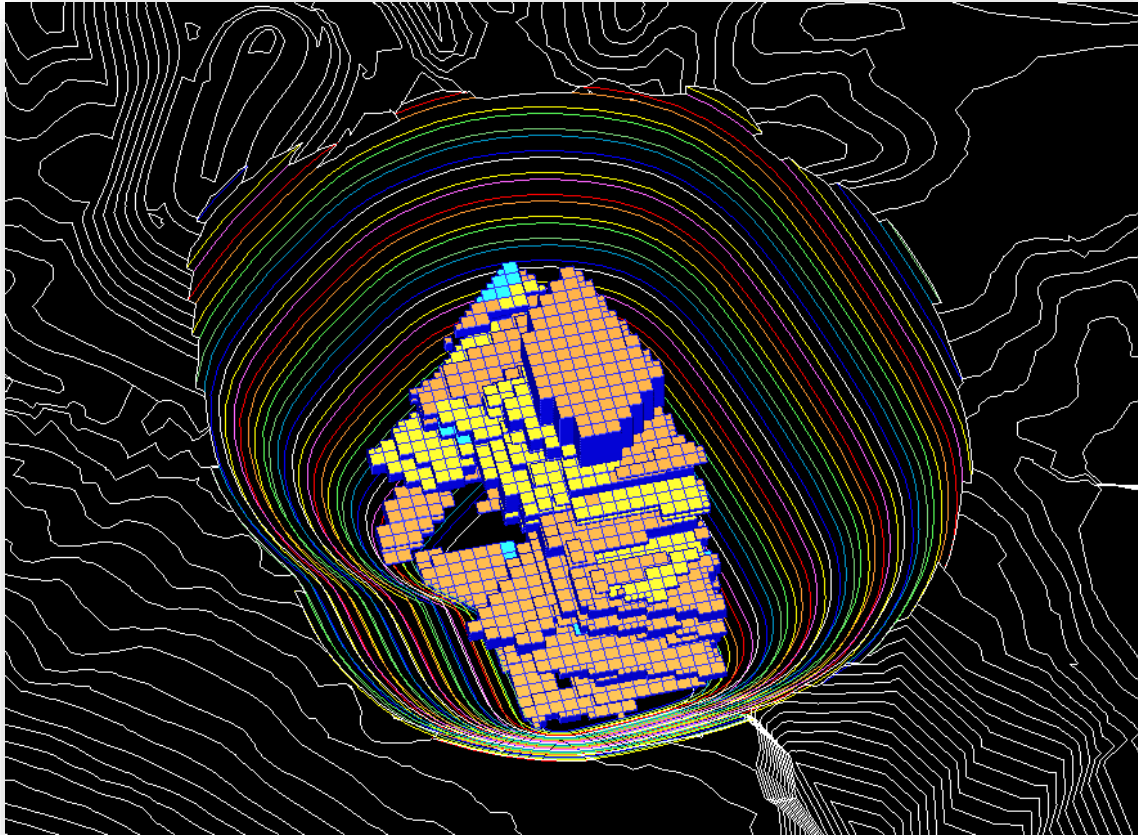
Ο τρίτος εναλλακτικός σχεδιασμός έγινε με σκοπό την επίτευξη καλύτερης οικονομικότητας σε σύγκριση με το δεύτερο σχεδιασμό και πιο συγκεκριμένα, την αποφυγή του μεγάλου όγκου αγόνων που προκύπτουν από αυτόν. Όπως και στο δεύτερο σχεδιασμό, τα blocks με τιμές εκτός των επιτρεπτών ορίων της διαφοράς Fe-SiO₂ θεωρήθηκαν άγωνα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση προχωρήσαμε σε μικτή εκμετάλλευση δηλαδή σε συνδυασμό Υπαίθριας και Υπόγειας εκμετάλλευσης.

Περιγραφή διαδικασίας:

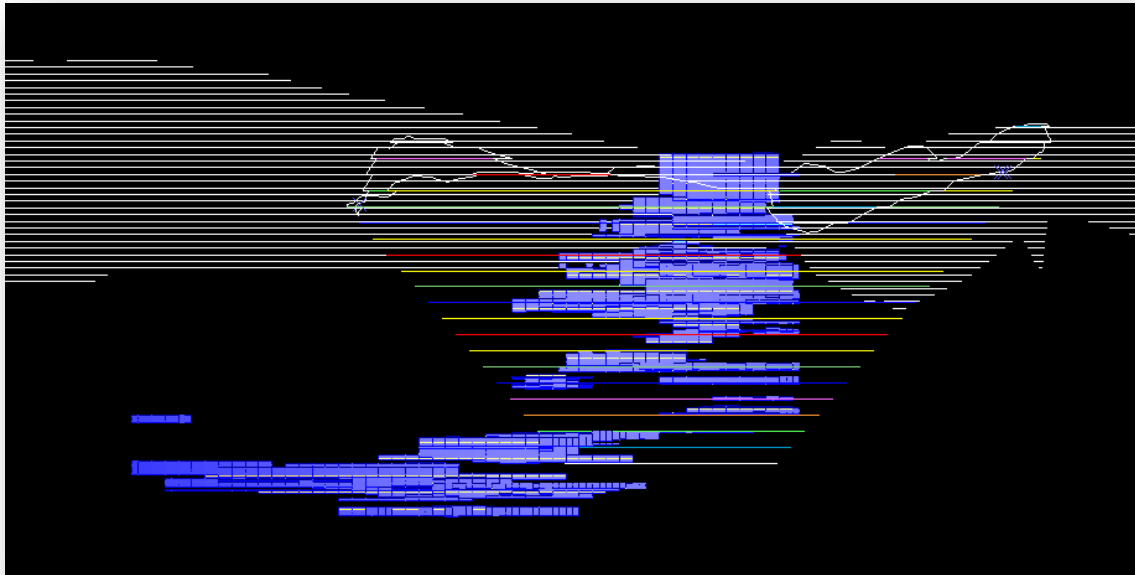
Όσον αφορά την υπαίθρια εκμετάλλευση, ο σχεδιασμός ξεκίνησε από το υψόμετρο των 588 m. Σχεδιάστηκαν βαθμίδες προς τα κάτω, με τις προαναφερθείσες δεδομένες παραμέτρους, μέχρι το υψόμετρο των 334 m. Τέλος, τα blocks υπό του υψομέτρου του πυθμένα (334 m) εκμεταλλεύονται με υπόγεια εκμετάλλευση. Η μέγιστη κλίση του πρηνούς της εκμετάλλευσης υπολογίστηκε στις **48,5°** στο βορειοδυτικό τομέα του μεταλλείου.



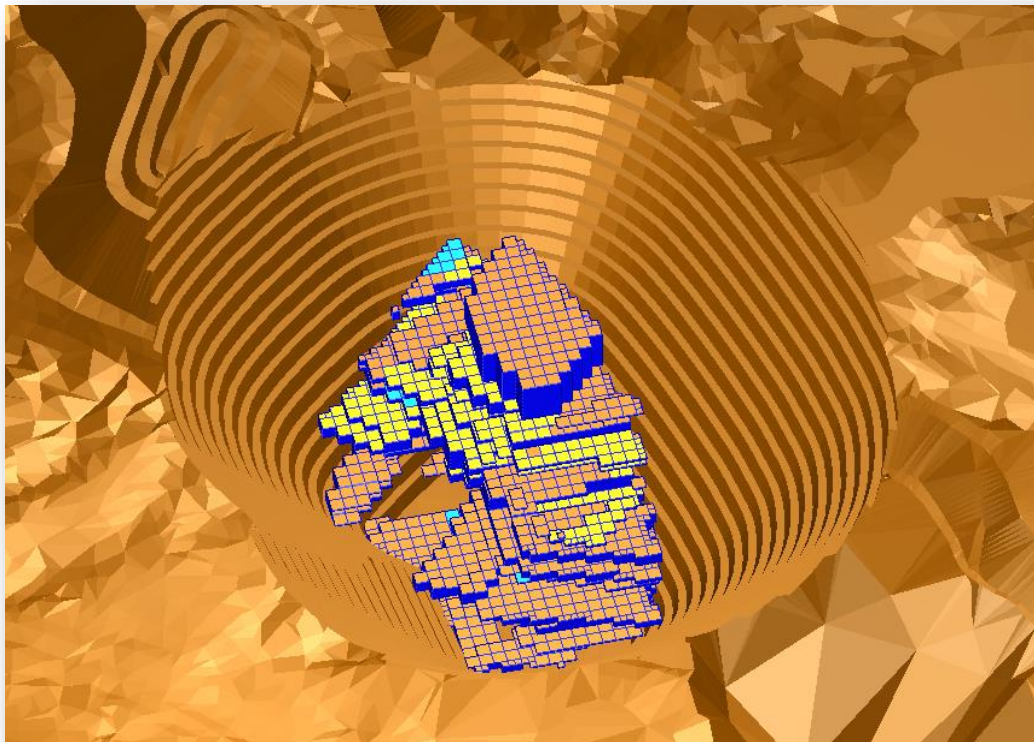
Εικόνα 24: Κάτοψη δεύτερου εναλλακτικού σχεδιασμού.



Εικόνα 25: Ψευδοτριδιάστατη απεικόνιση του τρίτου εναλλακτικού σχεδιασμού.



Εικόνα 26: Ο τρίτος σχεδιασμός της εκμετάλλευσης από πλάγια όψη. Διαφαίνονται τα blocks που περιλαμβάνει η σκάφη αλλά και τα blocks υπό της σκάφης, που θα εκμεταλλευτούν υπογείως.



Εικόνα 27: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους του τρίτου εναλλακτικού σχεδιασμού.

Από την διαδικασία ογκομέτρησης εξάγονται τα εξής:

Γ' ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ

Υπαίθρια εκμετάλλευση:

Συνολικός όγκος εκσκαφών: 22.241.711 m³

Όγκος αγόνων: 16.482.786 m³

Όγκος κοιτάσματος: 5.758.925 m³

Όγκος μετ/τος εντός επιτρεπτής διαφοράς Fe-SiO₂ (0,4) : 1.096.225 m³

Όγκος μετ/τος εκτός της επιτρεπτής διαφοράς Fe-SiO₂ : 4.662.700 m³

Υπόγεια εκμετάλλευση:

Όγκος κοιτάσματος: 4.243.625 m³

Όγκος μετ/τος εντός επιτρεπτής διαφοράς Fe-SiO₂ (0,4) : 812.975 m³

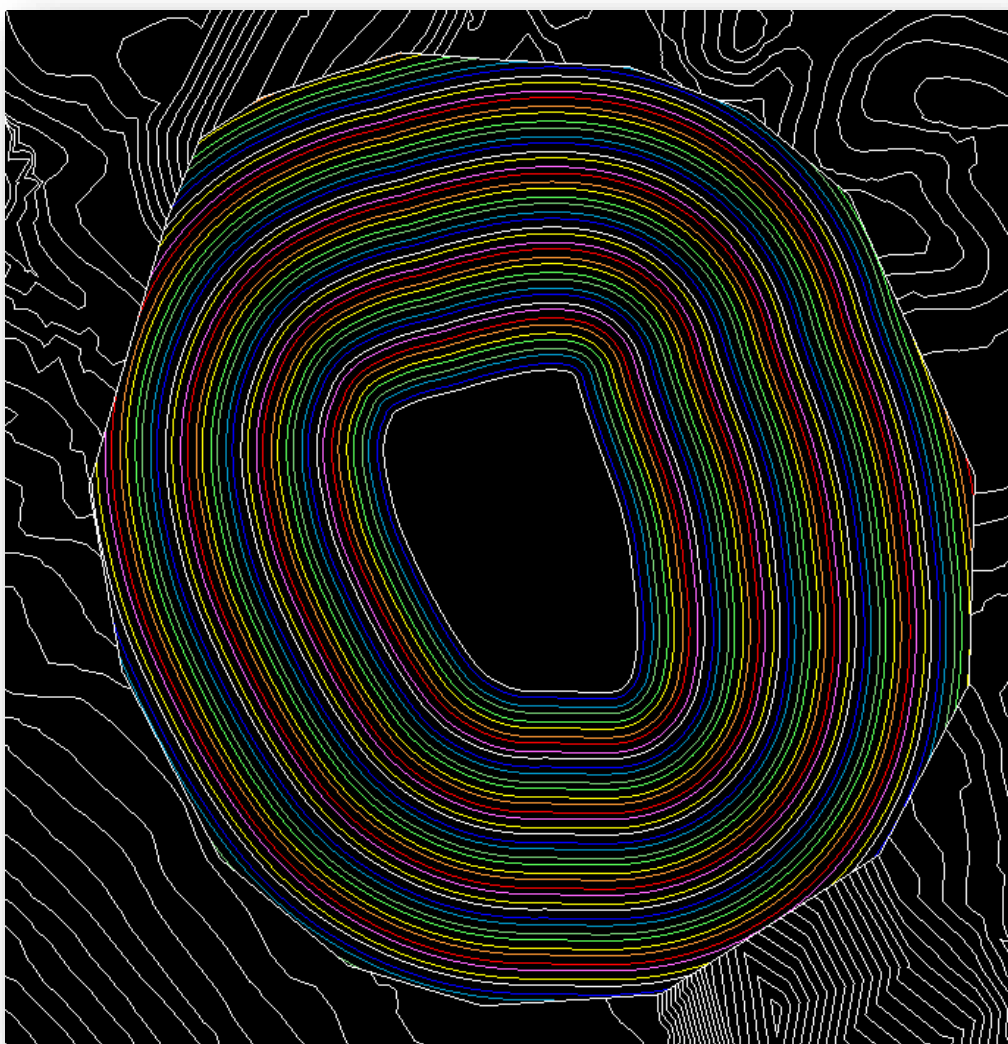
Όγκος μετ/τος εκτός της επιτρεπτής διαφοράς Fe-SiO₂ : 3.430.650 m³

6.5.4 Τέταρτος Εναλλακτικός Σχεδιασμός

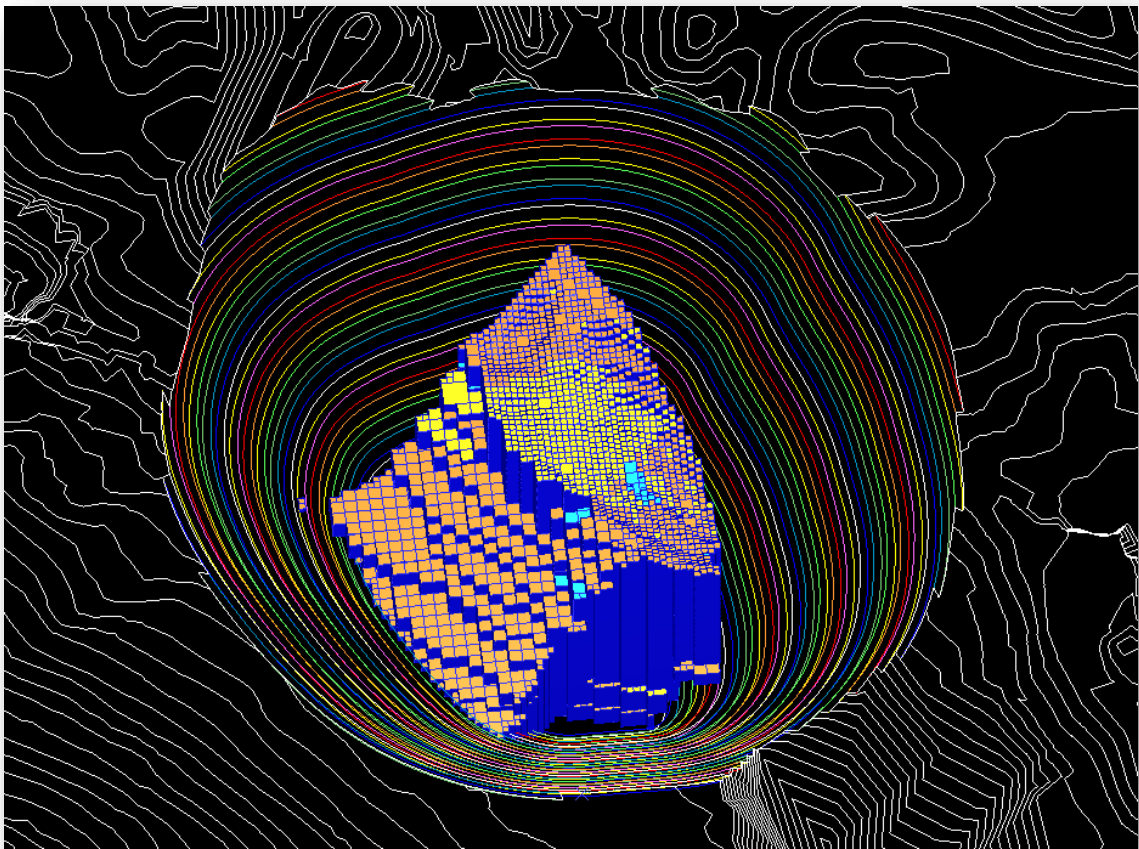
Στον τέταρτο σχεδιασμό, ομοίως με τον πρώτο, **κοίτασμα** της εκμετάλλευσης αποτελεί το μέταλλευμα με **περιεκτικότητα σε Νικέλιο μεγαλύτερη ή ίση του 0,5%**.

Περιγραφή διαδικασίας:

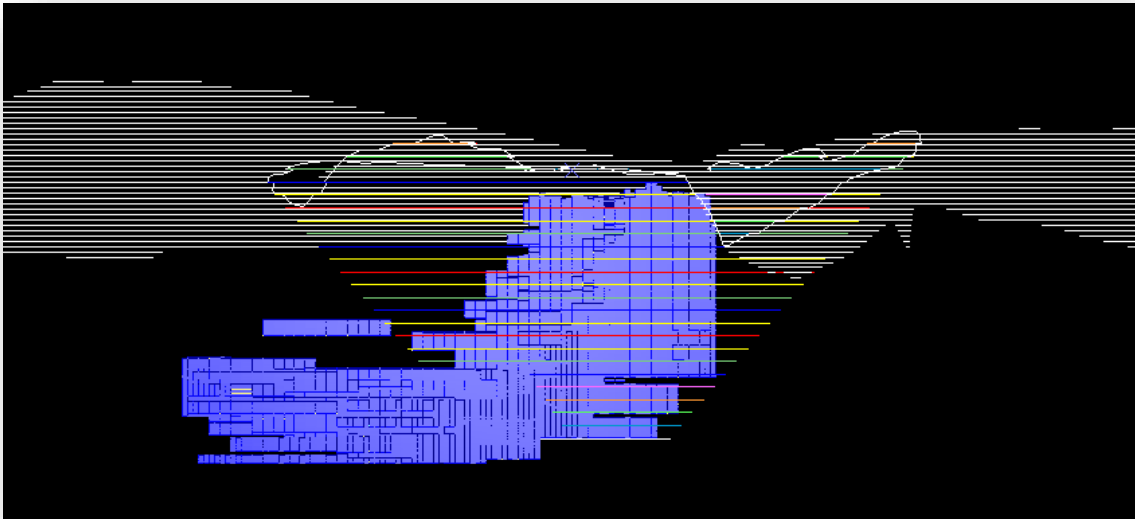
Όσον αφορά στην υπαίθρια εκμετάλλευση, ο σχεδιασμός ξεκίνησε από το υψόμετρο των 588 m. Σχεδιάστηκαν βαθμίδες προς τα κάτω, με τις προαναφερθείσες δεδομένες παραμέτρους, μέχρι το υψόμετρο των 300 m. Η μέγιστη κλίση του πρανούς της εκμετάλλευσης υπολογίστηκε στις $49,6^\circ$ στο βορειοανατολικό τομέα του μεταλλείου.. Τέλος, τα blocks κάτω από το υψόμετρο του πυθμένα (300 m) εκμεταλλεύονται με υπόγεια εκμετάλλευση.



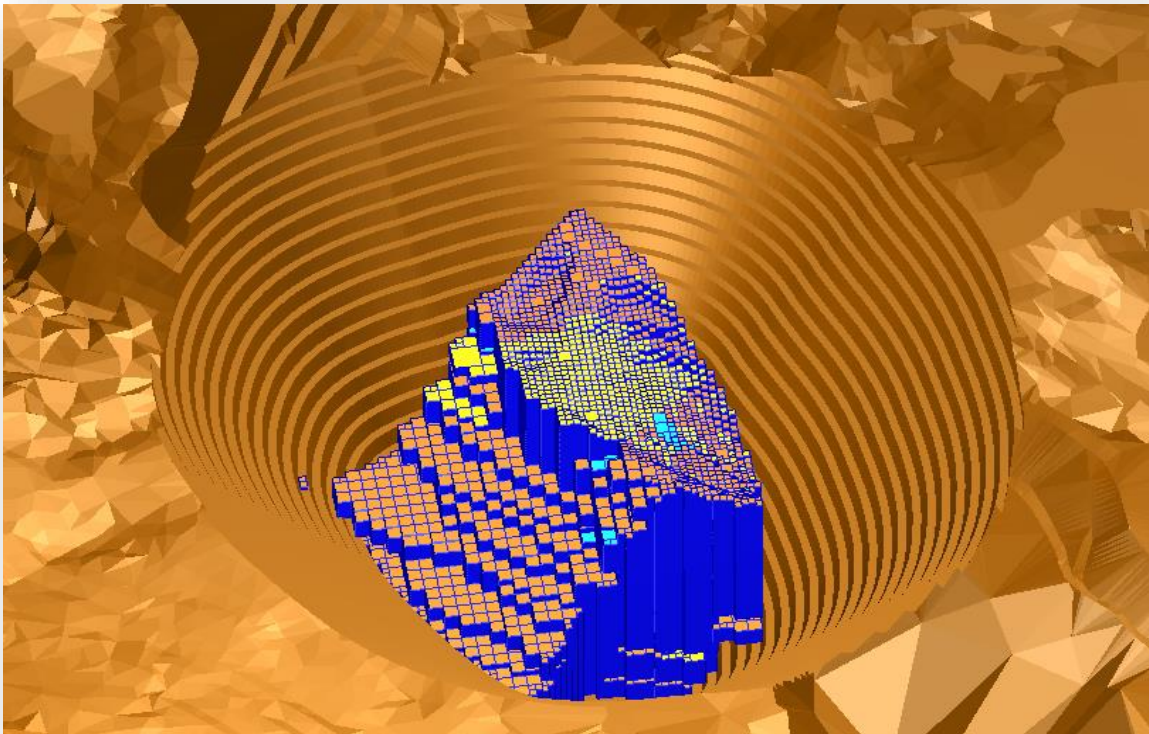
Εικόνα 28: Κάτοψη τέταρτου εναλλακτικού σχεδιασμού.



Εικόνα 29: Ψευδοτριδιάστατη απεικόνιση του τέταρτου εναλλακτικού σχεδιασμού.



Εικόνα 30: Ο τέταρτος σχεδιασμός της εκμετάλλευσης από πλάγια όψη. Διαφαίνονται τα blocks που περιλαμβάνει η σκάφη αλλά και τα blocks υπό της σκάφης, που θα εκμεταλλευτούν υπογείως.



Εικόνα 31: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους τους τέταρτου εναλλακτικού σχεδιασμού.

Από την διαδικασία ογκομέτρησης εξάγονται τα εξής:

Δ' ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ

Υπαίθρια εκμετάλλευση:

Συνολικός όγκος εκσκαφών: 33.029.908 m³

Όγκος αγόνων: 25.944.708 m³

Όγκος κοιτάσματος: 7.085.200 m³

Όγκος μετ/τος εντός επιτρεπτής διαφοράς Fe-SiO₂ (0,4) : 1.345.625 m³

Όγκος μετ/τος εκτός της επιτρεπτής διαφοράς Fe-SiO₂ : 5.739.575 m³

Υπόγεια εκμετάλλευση:

Όγκος κοιτάσματος: 4.029.625 m³

Όγκος μετ/τος εντός επιτρεπτής διαφοράς Fe-SiO₂ (0,4) : 768.550 m³

Όγκος μετ/τος εκτός της επιτρεπτής διαφοράς Fe-SiO₂ : 3.261.075 m³

Κεφάλαιο 7. Σύγκριση εναλλακτικών σχεδιασμών ως προς την οικονομικότητα της εκμετάλλευσης

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο πραγματοποιούνται αρχικά εκτιμήσεις κόστους, εσόδων αλλά και κερδών σε όλους τους σχεδιασμούς. Ακολουθεί η σύγκρισή τους ως προς την οικονομικότητα της εκμετάλλευσης και ο συσχετισμός ορισμένων παραμέτρων.

Στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιήσαμε κάποιες βιβλιογραφικές τιμές κόστους, με στόχο τη διερεύνηση της επίδρασης της χημικής σύστασης του κοιτάσματος στην διαμόρφωση της οικονομικότητας της εκμετάλλευσης.

- Τις τιμές για το κόστος εκμετάλλευσης και εξόρυξης τις λάβαμε από τιμές που χρησιμοποιούνται στην αγορά. Αποτελούν λοιπόν εργολαβικές τιμές.

- Οι τιμές για τα κόστη υπόγειας εκμετάλλευσης προκύπτουν από σχετικές διπλωματικές εργασίες (Δεληβέρης, 2012; Καστάνη, 2016; Σαντοριναίου, 2017) στις οποίες αναφέρεται το κόστος εκμετάλλευσης με τις μεθόδους θαλάμων και στύλων και κατακρήμνισης της οροφής με διαδοχικούς υποορόφους. Στην πρώτη το κόστος υπολογίζεται σε 17 €/tn περίπου (παραγωγή 430.000 tn), ενώ στη δεύτερη το κόστος εκμετάλλευσης σε 10 €/tn περίπου (παραγωγή 200.000 tn). Τα παραπάνω ποσά προσαυξάνονται ώστε να ληφθούν υπ' όψιν το εργολάβικο όφελος, τα πιθανά κόστη για την αντιμετώπιση απρόβλεπτων καταστάσεων όπως π.χ. για την αντιμετώπιση αυξημένων αναγκών υποστήριξης, καθώς οι γεωτεχνικές συνθήκες είναι δυσμενέστερες σε σχέση με τις βωξιτικές εκμεταλλεύσεις. Προκύπτει έτσι κόστος εκμετάλλευσης ίσο με **22 €/tn** στην περίπτωση εκμετάλλευσης με τη μέθοδο θαλάμων και στύλων και **15 €/tn** με κατακρήμνιση οροφής με διαδοχικούς υποορόφους.

- Το κόστος της μεταλλουργικής επεξεργασίας εκτιμήθηκε βιβλιογραφικά με βάση τις σχετικές τιμές για τα λατεριτικά κοιτάσματα νικελίου.

- Ο βαθμός ανάκτησης του νικελίου στο πυρομεταλλουργικό εργοστάσιο της ΛΑΡΚΟ ορίζεται ως εξής:

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

Ο λόγος αυτός έχει διακυμάνσεις από έτος σε έτος αλλά ο μέσος όρος των τελευταίων 20 ετών είναι περίπου 82,5%.

- Ως ενδεικτική τιμή για το κόστος μεταλλουργικής επεξεργασίας λήφθηκε η τιμή 5.500 €/tn.

- Επειδή δε γνωρίζουμε ακριβώς σε τι ποσοστό επηρεάζει το συνολικό κόστος η Μεταλλουργική επεξεργασία, προχωρήσαμε σε ανάλυση ευαισθησίας του κόστους αυτού σε εύρος 5%-20%.

Πίνακας 2: Ενδεικτικές τιμές κόστους που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση.

Κόστος αποκάλυψης (€/m³)	2,2
Κόστος εξόρυξης (€/tn)	1,1
Κόστος επεξεργασίας μεταλλεύματος - Εμπλουτισμός (€/tn)	3
Μεταλλουργική επεξεργασία (€/tn)	5.500
Κόστος υπόγειας / Θάλαμοι & Στόλοι(€/tn)	22
Κόστος υπόγειας / Κατακρήμιση οροφής (€/tn)	15
B.A. (82,5)	0,825
E.B. ΑΓΟΝΩΝ	2,75
E.B. ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΟΣ	3,3

7.1 Πρώτος Εναλλακτικός Σχεδιασμός

Στον πρώτο εναλλακτικό σχεδιασμό που έλαβε χώρα, **κοίτασμα** της εκμετάλλευσης αποτελεί το μέταλλευμα με **περιεκτικότητα σε Νικέλιο μεγαλύτερη ή ίση του 0.5%**. Υπολογίστηκαν οι όγκοι της εκσκαφής και του κοιτάσματος καθώς και οι περιοχές που εμφανίζονται τιμές του **Fe-SiO₂** μεγαλύτερες του 4 ή μικρότερες του 0, τις οποίες αναφέρουμε κι ως προβληματικές διότι αυξάνουν το κόστος της μεταλλουργικής επεξεργασίας.

Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά Α' σχεδιασμού.

Όγκος εκσκαφών	113.862.554
Όγκος κοιτάσματος	11.769.400
Όγκος αγόνων	102.093.154
Τόνοι αγόνων	280.756.173,5
Τόνοι κοιτάσματος	38.839.020
Τόνοι χρήσιμου συστατικού	32.042.191,5

Πίνακας 4: Προβληματικές ποσότητες Fe-SiO₂ στον Α' σχεδιασμό.

Ποσότητες Fe-SiO₂ προς επεξεργασία (m³)	9.546.000
Ποσότητες Fe-SiO₂ προς επεξεργασία (tn)	31.501.800

Η σχέση εκμετάλλευσης του πρώτου σχεδιασμού υπολογίστηκε ως εξής:

$$\text{Σχέση εκμετάλλευσης} = \frac{\text{Άγονα (m}^3\text{)}}{\text{Χρήσιμο συστατικό (tn)}} = \frac{102.093.154 \text{ (m}^3\text{)}}{38.839.020 \text{ (tn)}} = 2,63 \text{ m}^3/\text{tn}$$

Ή αλλιώς,

$$\text{Σχέση εκμετάλλευσης} = \frac{\text{Άγονα (tn)}}{\text{Χρήσιμο συστατικό (tn)}} = \frac{280.756.173 \text{ (tn)}}{38.839.020 \text{ (tn)}} = 7,23 \text{ tn/tn}$$

ΕΞΟΔΑ

Κόστος αποκάλυψης = 224.604.938,8 €

Κόστος εξόρυξης = 42.722.922 €

Κόστος επεξεργασίας μεταλλεύματος = 116.517.060 €

Κόστος Μεταλλουργικής επεξεργασίας = 1.638.958.095,23 €

Στη συνέχεια, υπολογίστηκε η επιβάρυνση του τελικού κόστους από το **επιπλέον κόστος της επεξεργασίας του μεταλλεύματος με Fe-SiO₂**.

Πίνακας 5: *Επιπλέον κόστος Μεταλλουργικής επεξεργασίας (α).*

Ποσοστό επιβάρυνσης	Επιπλέον κόστος
5%	66.466.829,14 €
10%	132.933.658,3 €
15%	199.400.487,4 €
20%	265.867.316,6 €

Το συνολικό κόστος ανάλογα το ποσοστό που το επηρεάζει το επιπλέον μεταλλουργικό κόστος υπολογίζεται ως εξής:

Συνολικό κόστος = Κόστος αποκάλυψης + Κόστος εξόρυξης + Κόστος επεξεργασίας μεταλλεύματος + Κόστος Μεταλλουργικής επεξεργασίας + Επιπλέον κόστος επεξεργασίας

Πίνακας 6: Συνολικό κόστος εκμετάλλευσης για διαφορετικό ποσοστό επιβάρυνσης της επιπλέον μεταλλουργικής επεξεργασίας (α),

Ποσοστό επιβάρυνσης	Συνολικό κόστος
0%	2.022.803.016,03 €
5%	2.089.269.845,16 €
10%	2.155.736.674,30 €
15%	2.222.203.503,44 €
20%	2.288.670.332,58 €

ΕΣΟΔΑ

Στη συνέχεια υπολογίστηκαν τα έσοδα της εκμετάλλευσης για διαφορετικές τιμές πώλησης του τελικού προϊόντος. Λαμβάνουμε την τιμή πώλησης νικελίου 8.800 € ως οριακή τιμή πώλησης.

Πίνακας 7: Έσοδα για διαφορετικές τιμές πώλησης τελικού προϊόντος για μέση περιεκτικότητα Νικελίου του κοιτάσματος (0,93%) (α)

Τιμή πώλησης τελικού προϊόντος (€)	Έσοδα (€)
8.800	2.622.332.952,36
11.000	3.277.916.190,45
13.000	3.873.900.952,35
15.000	4.469.885.714,25

ΚΕΡΔΗ

Υπολογίστηκαν τα κέρδη της εκμετάλλευσης για κάθε διαφορετική τιμή πώλησης του τελικού προϊόντος σε δύο περιπτώσεις. Στην πρώτη περίπτωση υπολογίστηκαν με περιεκτικότητα σε νικέλιο 0,93% (μέση περιεκτικότητα νικελίου που υπολογίστηκε στο κοιτάσμα) ενώ στη δεύτερη περίπτωση με την οριακή περιεκτικότητα (0,50%), Ακολουθούν οι πίνακες με τα αποτελέσματα που προκύπτουν.

Πρώτη περίπτωση (Ni = 0,93%)

Πίνακας 8: Κέρδη για μέση περιεκτικότητα κοιτάσματος σε Νικέλιο 0,93% για διαφορετικές τιμές πώλησης τελικού προϊόντος και για διαφορετικά ποσοστά επιβάρυνσης της μεταλλουργικής επεξεργασίας (α)

	8.800 €	11.000 €	13.000 €	15.000 €
0%	599.529.936,3 €	1.255.113.174,4 €	1.851.097.936,3 €	2.447.082.698,2 €
5%	533.063.107,2 €	1.188.646.345,3 €	1.784.631.107,2 €	2.380.615.869,1 €
10%	466.596.278,1 €	1.122.179.516,2 €	1.718.164.278,1 €	2.314.149.040 €
15%	400.129.448,9 €	1.055.712.687 €	1.651.697.448,9 €	2.247.682.210,8 €
20%	333.662.619,8 €	989.245.857,9 €	1.585.230.619,8 €	2.181.215.381,7 €

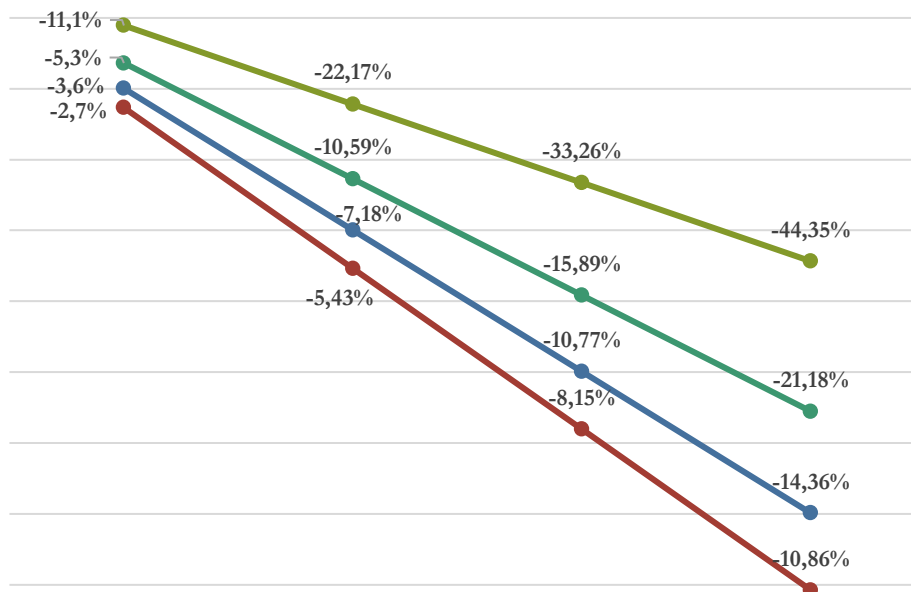
Δεύτερη περίπτωση (Ni = 0,50%)

Πίνακας 9: Κέρδη για μέση περιεκτικότητα κοιτάσματος σε Νικέλιο 0,50% για διαφορετικές τιμές πώλησης τελικού προϊόντος και για διαφορετικά ποσοστά επιβάρυνσης της μεταλλουργικής επεξεργασίας (α)

	8.800 €	11.000 €	13.000 €	15.000 €
0%	144.851.238,95 €	497.315.345,45 €	817.737.260,45 €	1.138.159.175,45 €
5%	109.116.384,58 €	461.580.491,08 €	782.002.406,08 €	1.102.424.321,08 €
10%	73.381.530,20 €	425.845.636,70 €	746.267.551,70 €	1.066.689.466,70 €
15%	37.646.675,83 €	390.110.782,33 €	710.532.697,33 €	1.030.954.612,33 €
20%	1.911.821,45 €	354.375.927,95 €	674.797.842,95 €	995.219.757,95 €

Στο διάγραμμα 5 παρουσιάζεται η μεταβολή κερδοφορίας του σχεδίου Α σε σχέση με την αύξηση του κόστους μεταλλουργικής επεξεργασίας για διαφορετικές τιμές πώλησης του τελικού προϊόντος,

Μεταβολή κερδοφορίας σχεδίου Α σε σχέση με την αύξηση του κόστους μεταλλουργικής επεξεργασίας για διάφορες τιμές πώλησης Νικελίου με περιεκτικότητα Ni=0,93%



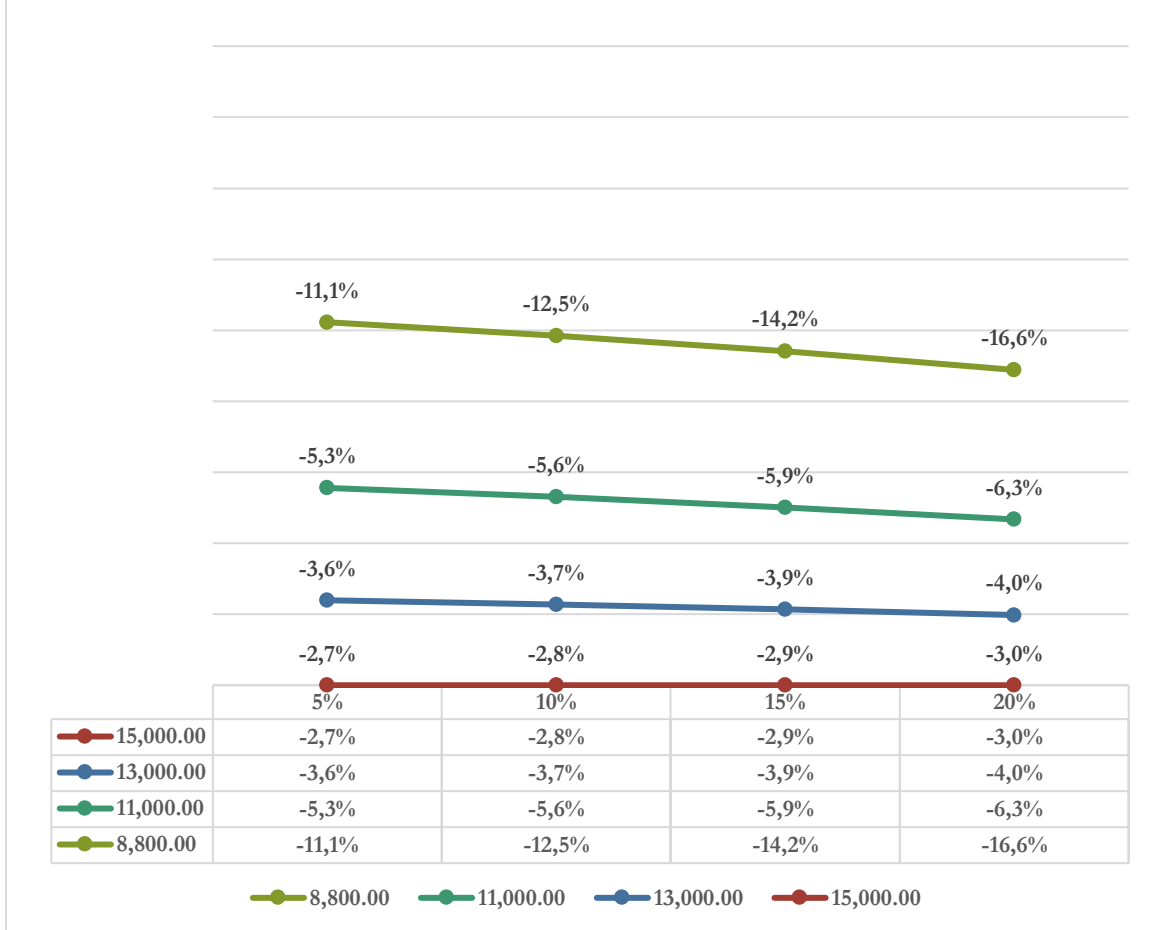
	5%	10%	15%	20%
15,000.00	-2,7%	-5,43%	-8,15%	-10,86%
13,000.00	-3,6%	-7,18%	-10,77%	-14,36%
11,000.00	-5,3%	-10,59%	-15,89%	-21,18%
8,800.00	-11,1%	-22,17%	-33,26%	-44,35%

8,800.00 11,000.00 13,000.00 15,000.00

Διάγραμμα 5: Μεταβολή κερδοφορίας σχεδίου Α σε σχέση με την αύξηση του κόστους μεταλλουργικής επεξεργασίας, περιεκτικότητα Ni=0,93%.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η επίδραση του κόστους της μεταλλουργικής επεξεργασίας στην οικονομικότητα της εκμετάλλευσης εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από την τιμή πώλησης του μεταλλεύματος. Όταν η τιμή πώλησης του μεταλλεύματος είναι κοντά στην οριακή τιμή (8.800 €), η αύξηση του κόστους της μεταλλουργικής επεξεργασίας κατά 20% μπορεί να μας οδηγήσει σε μείωση της κερδοφορίας κατά 44% περίπου. Αύξηση της τιμής πώλησης κατά 20 % (11.000 €), τιμή που είναι πολύ κοντά στη μέση τιμή πώλησης της τελευταίας τετραετίας, τα πράγματα βελτιώνονται πολύ σημαντικά. Η επίδραση του κόστους της μεταλλουργικής επεξεργασίας του «προβληματικού» μεταλλεύματος (με συμμετοχή 20% στο τελικό κόστος) στην οικονομικότητα της εκμετάλλευσης μειώνεται κατά 47,8% (από το 44% πέφτει στο 21% περίπου). Επομένως όσο υψηλότερη είναι η τιμή πώλησης του τελικού προϊόντος τόσο λιγότερο επιδρά το επιπλέον κόστος της μεταλλουργικής επεξεργασίας στην οικονομικότητα της εκμετάλλευσης, όπως ήταν αναμενόμενο. Το γεγονός αυτό αποτυπώνεται ακόμη καλύτερα στο διάγραμμα 8, όπου δίνεται ο ρυθμός μεταβολής της κερδοφορίας σε σχέση με την αύξηση του κόστους μεταλλουργικής επεξεργασίας για διαφορετικές τιμές πώλησης του τελικού προϊόντος.

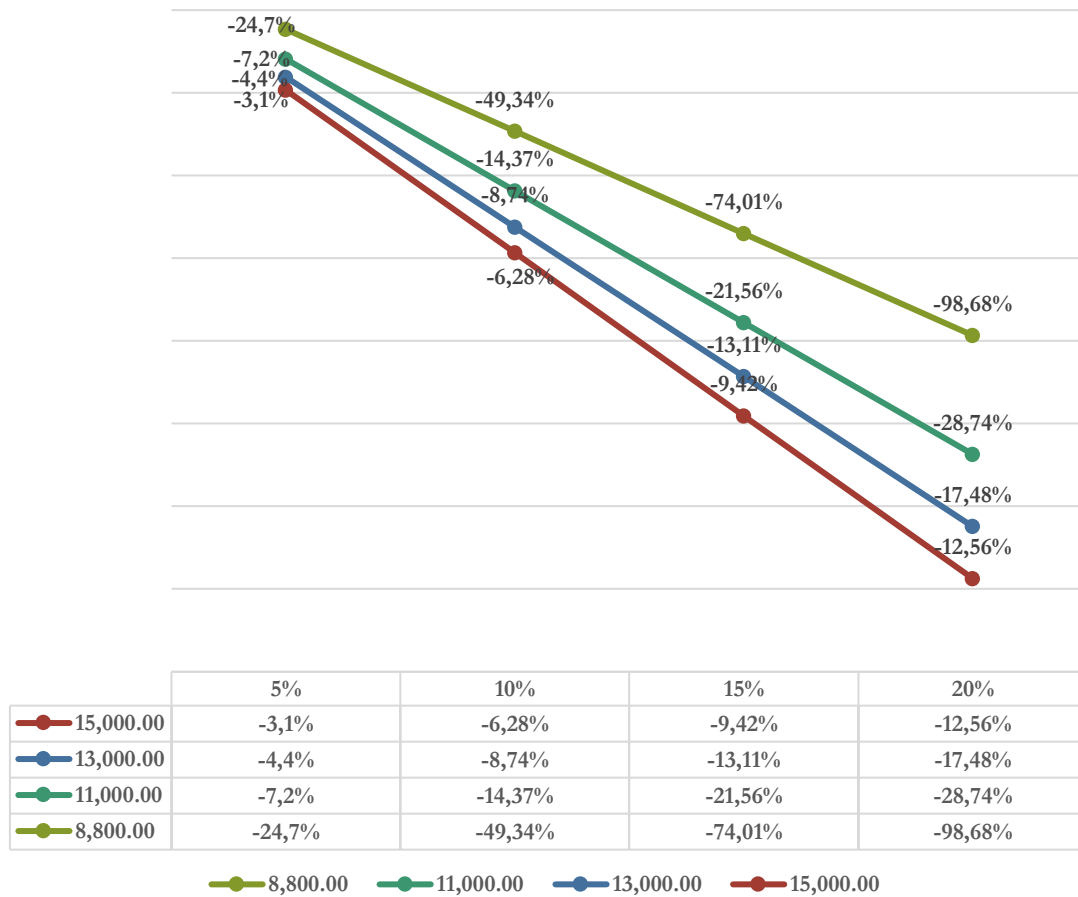
Ρυθμός μεταβολής κερδοφορίας σχεδίου Α σε σχέση με την αύξηση του κόστους μεταλλουργικής επεξεργασίας με περιεκτικότητα Ni=0,93%



Διάγραμμα 6: Ρυθμός μεταβολής κερδοφορίας σχεδίου Α σε σχέση με την αύξηση του κόστους μεταλλουργικής επεξεργασίας, περιεκτικότητα Ni=0,93%.

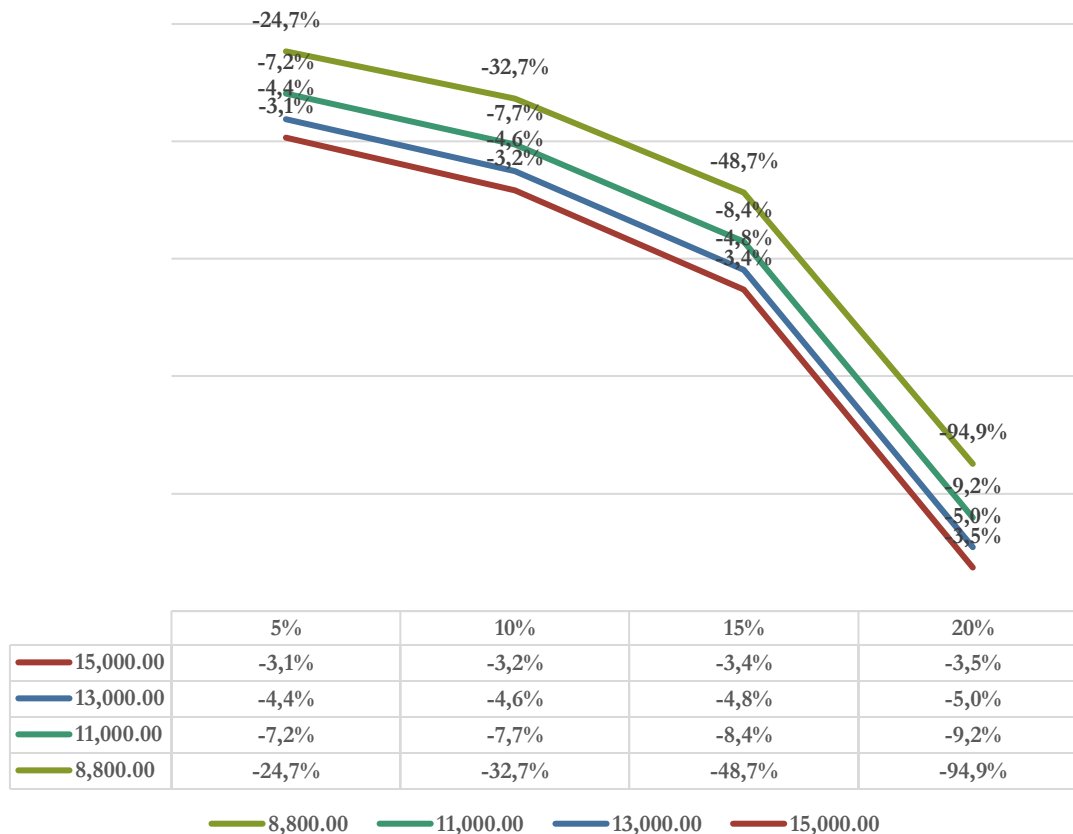
Προφανώς καθοριστικό παράγοντα σε όλα τα παραπάνω αποτελεί η περιεκτικότητα του κοιτάσματος. Στο διάγραμμα 7 παρουσιάζεται η μεταβολή κερδοφορίας του σχεδίου Α σε σχέση με την αύξηση του κόστους μεταλλουργικής επεξεργασίας για διαφορετικές τιμές πώλησης του τελικού προϊόντος και περιεκτικότητα μεταλλεύματος 0,5%. Και σε αυτήν την περίπτωση όσο υψηλότερη είναι η τιμή πώλησης του τελικού προϊόντος τόσο λιγότερο επιδρά το επιπλέον κόστος της μεταλλουργικής επεξεργασίας στην οικονομικότητα της εκμετάλλευσης, όπως ήταν αναμενόμενο. Για χαμηλή όμως τιμή πώλησης του τελικού προϊόντος, επειδή ως περιεκτικότητα του κοιτάσματος θεωρήθηκε η οριακή περιεκτικότητα, η εκμετάλλευση καθίσταται ουσιαστικά ασύμφορη. Επιπλέον η επίδραση του κόστους της μεταλλουργικής επεξεργασίας, όταν κινούμαστε κοντά στην οριακή περιεκτικότητα είναι πιο σημαντική. Μάλιστα όταν η συμμετοχή του επιπλέον κόστους της μεταλλουργικής επεξεργασίας ξεπερνάει το 15% και η τιμή πώλησης του τελικού προϊόντος είναι χαμηλή, παρατηρείται δραματική μείωση της κερδοφορίας (Διάγραμμα 8). Μάλιστα για αύξηση του επιπλέον κόστους μεταλλουργικής επεξεργασίας κατά 20% η εκμετάλλευση καθίσταται ασύμφορη.

Μεταβολή κερδοφορίας σχεδίου Α σε σχέση με την αύξηση του κόστους μεταλλουργικής επεξεργασίας για διάφορες τιμές πώλησης Νικελίου με περιεκτικότητα Ni=0,50%



Διάγραμμα 7: Μεταβολή κερδοφορίας σχεδίου Α σε σχέση με την αύξηση του κόστους μεταλλουργικής επεξεργασίας, περιεκτικότητα Ni=0,50%.

Ρυθμός μεταβολής κερδοφορίας σχεδίου Α σε σχέση με την αύξηση του κόστους μεταλλουργικής επεξεργασίας με περιεκτικότητα Ni=0,50%



Διάγραμμα 8: Ρυθμός μεταβολής κερδοφορίας σχεδίου Α σε σχέση με την αύξηση του κόστους, περιεκτικότητα Ni=0,50%.

Τέλος ακόμα και μικρή αύξηση του επιπλέον κόστους της μεταλλουργικής επεξεργασίας (5%) μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την οικονομικότητα της εκμετάλλευσης ανάλογα με την περιεκτικότητα του κοιτάσματος, ειδικά για χαμηλή τιμή πώλησης του τελικού προϊόντος. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρούμε ότι για περιεκτικότητα 0,93% και τιμή πώλησης 8.800 €, το ποσοστό μεταβολής της κερδοφορίας είναι -11,1% ενώ για περιεκτικότητα 0,5% το ποσοστό μεταβολής της κερδοφορίας είναι περίπου -25%.

7.2 Δεύτερος Εναλλακτικός Σχεδιασμός

Κοίτασμα σε αυτόν το σχεδιασμό θεωρήθηκαν τα Blocks με $Ni \geq 0.5$ στα οποία η διαφορά $Fe-SiO_2$ κυμαίνεται μεταξύ **0** και **4** ($0 \leq Fe-SiO_2 \leq 4$). Σε αυτήν την περίπτωση, έχει αφαιρεθεί ένα κομμάτι του κοιτάσματος στο όριο της εκμετάλλευσης με σκοπό την μείωση του όγκου του υλικού που επιφέρει μεγαλύτερο κόστος στην επεξεργασία, ώστε να εξετασθεί η περίπτωση βελτίωσης της οικονομικότητας της εκμετάλλευσης.

Πίνακας 10: Χαρακτηριστικά Β' σχεδιασμού.

Όγκος εκσκαφών (m ³)	77.410.300
Όγκος κοιτάσματος (m ³)	11.174.050
Όγκος αγόνων (m ³)	66.236.250
Τόνοι αγόνων	182.149.687,5
Τόνοι κοιτάσματος	36.874.365
Τόνοι χρησιμου συστατικού	30.421.351,13

Πίνακας 11: Προβληματικές ποσότητες $Fe-SiO_2$ στον Β' σχεδιασμό,

Ποσότητες $Fe-SiO_2$ προς επεξεργασία (m ³)	8.950.651
Ποσότητες $Fe-SiO_2$ προς επεξεργασία (tn)	29.537.148,3

Η σχέση εκμετάλλευσης του δεύτερου σχεδιασμού υπολογίστηκε ως εξής:

$$\text{Σχέση εκμετάλλευσης} = \frac{\text{Άγωνα (m}^3\text{)}}{\text{Χρήσιμο συστατικό (tn)}} = \frac{66.236.250 \text{ (m}^3\text{)}}{30.421.351,13 \text{ (tn)}} = \mathbf{1,80 \text{ m}^3/\text{tn}}$$

Η αλλιώς,

$$\text{Σχέση εκμετάλλευσης} = \frac{\text{Άγονα (tn)}}{\text{Χρήσιμο συστατικό (tn)}} = \frac{182.149.687,5 \text{ (tn)}}{30.421.351,13 \text{ (tn)}} = \mathbf{4,94 \text{ tn/tn}}$$

ΕΞΟΔΑ

Κόστος αποκάλυψης = 145.719.750 €

Κόστος εξόρυξης = 40.561.801,5 €

Κόστος επεξεργασίας μεταλλεύματος = 110.623.095 €

Κόστος Μεταλλουργικής επεξεργασίας = 1.556.052.110,04 €

Στη συνέχεια, υπολογίστηκε η επιβάρυνση του τελικού κόστους από το **επιπλέον κόστος της επεξεργασίας του μεταλλεύματος με Fe-SiO₂**,

Πίνακας 12: Επιπλέον κόστος Μεταλλουργικής επεξεργασίας (β),

Ποσοστό επιβάρυνσης	Επιπλέον κόστος
5%	62.321.536,84 €
10%	124.643.073,68 €
15%	186.964.610,52 €
20%	249.286.147,36 €

Το συνολικό κόστος ανάλογα το ποσοστό που το επηρεάζει το επιπλέον μεταλλουργικό κόστος υπολογίζεται ως εξής:

Συνολικό κόστος = Κόστος αποκάλυψης + Κόστος εξόρυξης + Κόστος επεξεργασίας μεταλλεύματος + Κόστος Μεταλλουργικής επεξεργασίας + Επιπλέον κόστος επεξεργασίας

Πίνακας 13: Συνολικό κόστος εκμετάλλευσης κάθε διαφορετικό ποσοστό επιβάρυνσης της επιπλέον μεταλλουργικής επεξεργασίας (β),

Ποσοστό επιβάρυνσης	Συνολικό κόστος
0%	1.852.956.756,54 €
5%	1.915.278.293,38 €
10%	1.977.599.830,23 €
15%	2.039.921.367,07 €
20%	2.102.242.903,91 €

ΕΣΟΔΑ

Στη συνέχεια υπολογίστηκαν τα έσοδα της εκμετάλλευσης για διαφορετικές τιμές πώλησης του τελικού προϊόντος, Λαμβάνουμε την τιμή πώλησης νικελίου 8.800 € ως οριακή τιμή πώλησης,

Πίνακας 14: Έσοδα για διαφορετικές τιμές πώλησης τελικού προϊόντος για μέση περιεκτικότητα Νικελίου του κοιτάσματος (0,93%) (β)

Τιμή πώλησης τελικού προϊόντος (€)	Έσοδα (€)
8.800	2.489.683.376,07
11.000	3.112.104.220,09
13.000	3.677.941.351,01
15.000	4.243.778.481,94

ΚΕΡΔΗ

Υπολογίστηκαν τα κέρδη της εκμετάλλευσης για κάθε διαφορετική τιμή πώλησης του τελικού προϊόντος σε δύο περιπτώσεις, Στην πρώτη περίπτωση υπολογίστηκαν με περιεκτικότητα σε νικέλιο 0,93% (μέση περιεκτικότητα νικελίου που υπολογίστηκε στο κοιτάσμα) ενώ στη δεύτερη περίπτωση με την οριακή περιεκτικότητα (0,50%) ως μέση περιεκτικότητα του κοιτάσματος. Ακολουθούν οι πίνακες με τα αποτελέσματα που προκύπτουν.

Πρώτη περίπτωση (Ni = 0,93%)

Πίνακας 15: Κέρδη για μέση περιεκτικότητα κοιτάσματος σε Νικέλιο 0,93% για διαφορετικές τιμές πώλησης τελικού προϊόντος και για διαφορετικά ποσοστά επιβάρυνσης της επιπλέον μεταλλουργικής επεξεργασίας (β)

	8.800 €	11.000 €	13.000 €	15.000 €
0%	636.726.619,53 €	1.259.147.464 €	1.824.984.594 €	2.390.821.725 €
5%	574.405.082,7 €	1.196.825.927 €	1.762.663.058 €	2.328.500.189 €
10%	512.083.545,8 €	1.134.504.390 €	1.700.341.521 €	2.266.178.652 €
15%	449.762.009 €	1.072.182.853 €	1.638.019.984 €	2.203.857.115 €
20%	387.440.472,2 €	1.009.861.316 €	1.575.698.447 €	2.141.535.578 €

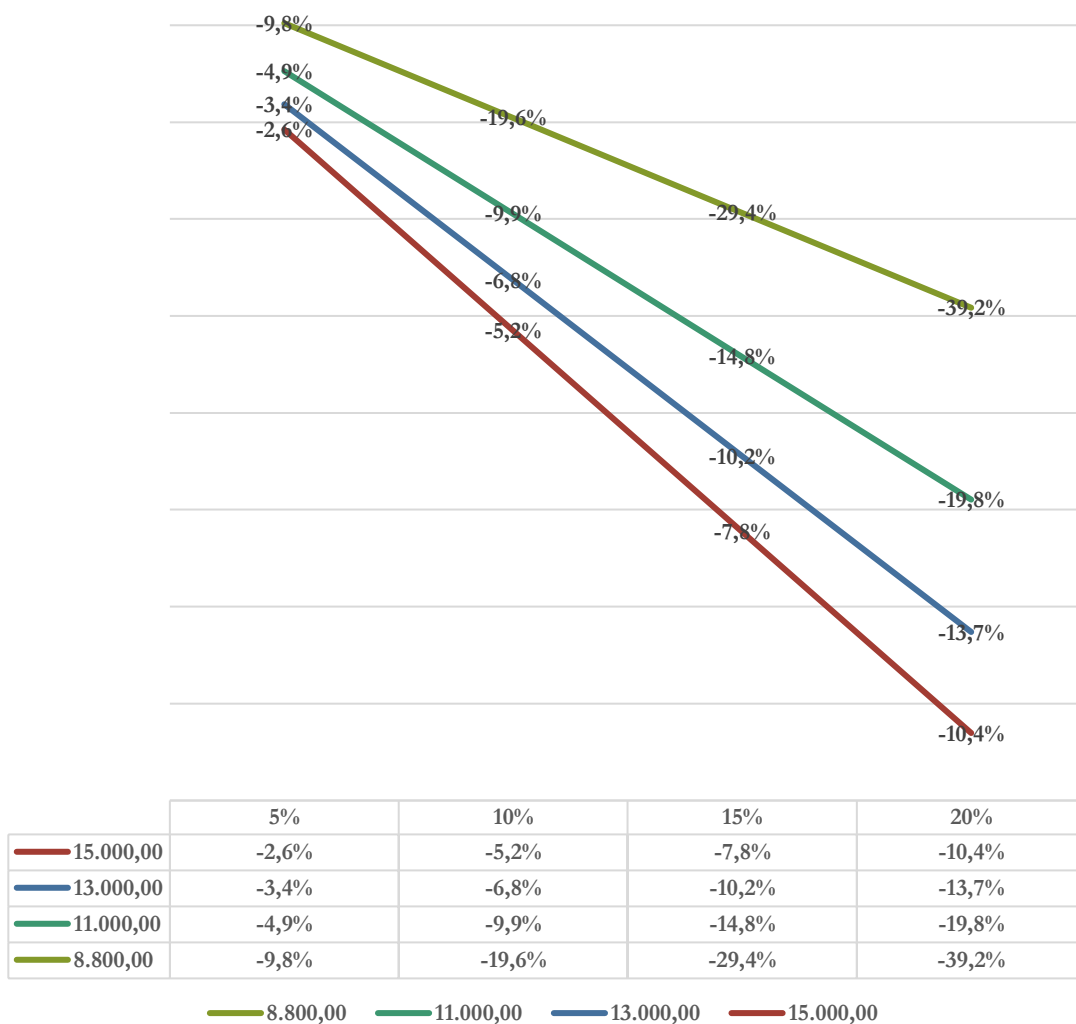
Δεύτερη περίπτωση (Ni = 0,50%)

Πίνακας 16: Κέρδη για μέση περιεκτικότητα κοιτάσματος σε Νικέλιο 0,50% για διαφορετικές τιμές πώλησης τελικού προϊόντος και για διαφορετικά ποσοστά επιβάρυνσης της επιπλέον μεταλλουργικής επεξεργασίας (β)

	8.800€	11.000€	13.000€	15.000€
0%	205.047.647,06€	539.682.509,44€	843.896.020,69€	1.148.109.531,94€
5%	171.541.444,46€	506.176.306,83€	810.389.818,08€	1.114.603.329,33€
10%	138.035.241,86€	472.670.104,23€	776.883.615,48€	1.081.097.126,73€
15%	104.529.039,25€	439.163.901,63€	743.377.412,88€	1.047.590.924,13€
20%	71.022.836,65€	405.657.699,03€	709.871.210,28€	1.014.084.721,53€

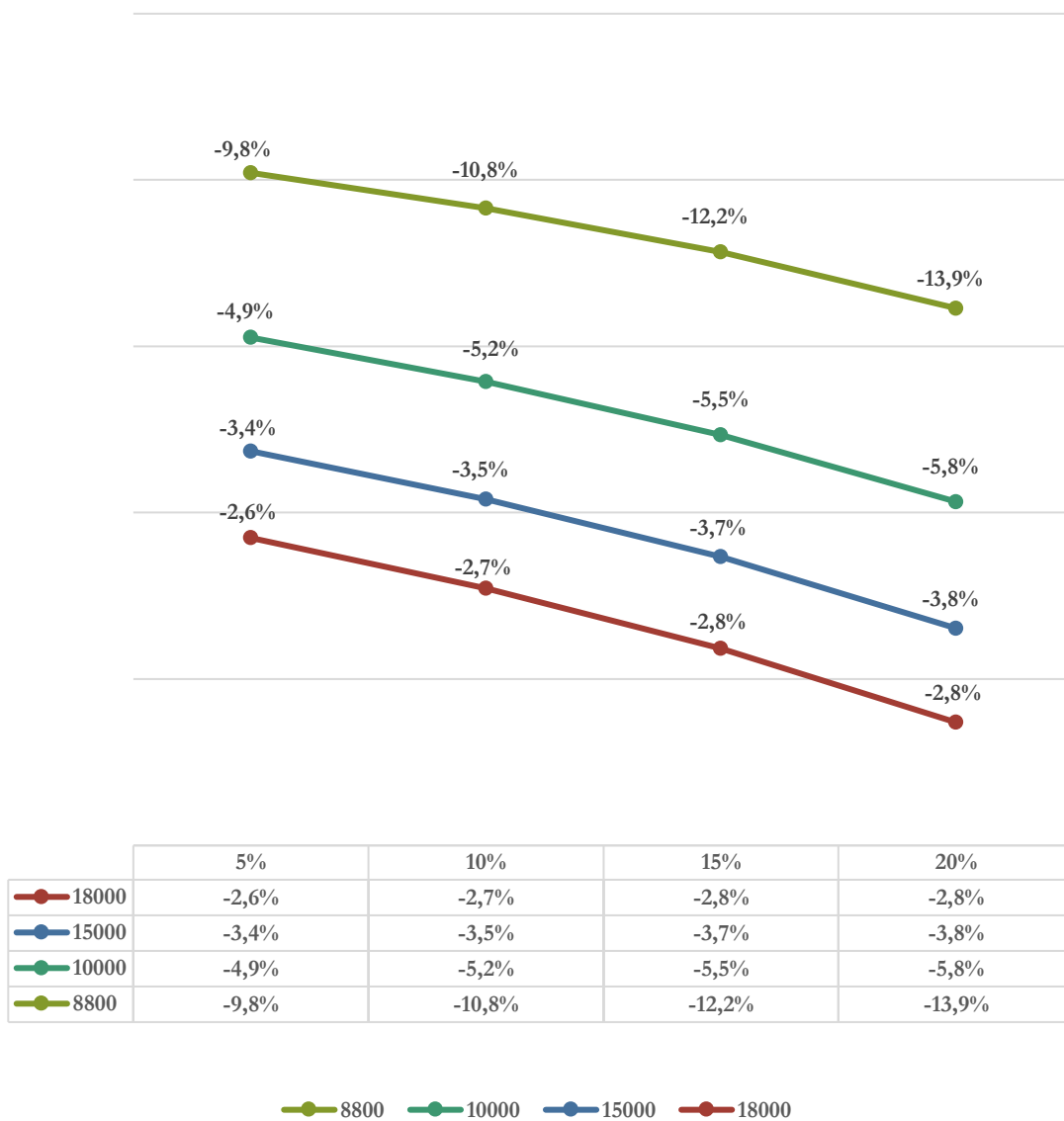
Η μεταβολή κερδοφορίας του σχεδίου Β συμπεριφέρεται με τον ίδιο τρόπο που συμπεριφέρεται η μεταβολή κερδοφορίας του σχεδίου Α, όπως φαίνεται στα παρακάτω διαγράμματα. Δείχνει λοιπόν, ότι σε όλες τις περιπτώσεις, όσο αυξάνεται το κόστος της μεταλλουργικής επεξεργασίας μειώνεται η κερδοφορία της εκμετάλλευσης, αν και τα οικονομικά μεγέθη είναι βελτιωμένα σε σχέση με το σχέδιο Α, ακόμη και για μέση περιεκτικότητα 0,5%. Μάλιστα, με εξαίρεση την περίπτωση της χαμηλής τιμής πώλησης του τελικού προϊόντος (8.800 €) ο ρυθμός μεταβολής παραμένει σχετικά σταθερός σε κάθε επιπλέον αύξηση του ποσοστού της μεταλλουργικής επεξεργασίας κατά 5%.

Μεταβολή κερδοφορίας σχεδίου Β σε σχέση με την αύξηση του κόστους μεταλλουργικής επεξεργασίας για διάφορες τιμές πώλησης Νικελίου με περιεκτικότητα Ni=0,93%



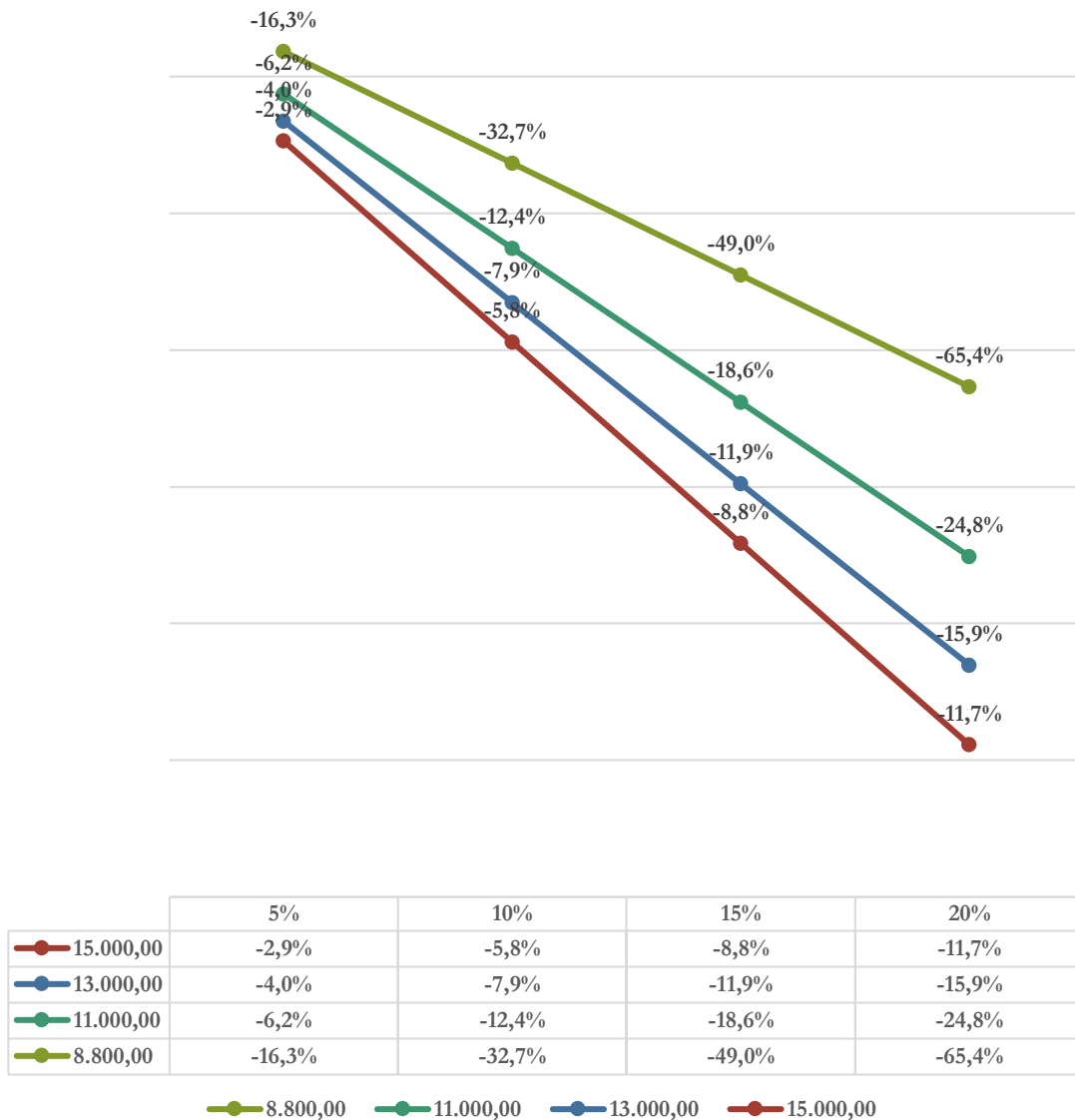
Διάγραμμα 9: : Μεταβολή κερδοφορίας σχεδίου Β σε σχέση με την αύξηση του κόστους , για περιεκτικότητα Ni=0,93% .

**Ρυθμός μεταβολής
κερδοφορίας σχεδίου Β σε σχέση με την αύξηση του
κόστους μεταλλουργικής επεξεργασίας για διάφορες τιμές
πώλησης Νικελίου με περιεκτικότητα Ni=0,93%**



Διάγραμμα 10: Ρυθμός μεταβολής κερδοφορίας σχεδίου Β σε σχέση με την αύξηση του κόστους , περιεκτικότητα Ni=0,93%

Μεταβολή κερδοφορίας σχεδίου Β σε σχέση με την αύξηση του κόστους μεταλλουργικής επεξεργασίας για διάφορες τιμές πώλησης Νικελίου με περιεκτικότητα Ni=0,50%



Διάγραμμα 11: Μεταβολή κερδοφορίας σχεδίου Β σε σχέση με την αύξηση του κόστους , για περιεκτικότητα Ni=0,50% .

Ρυθμός μεταβολής κερδοφορίας σχεδίου Β σε σχέση με την αύξηση του κόστους μεταλλουργικής επεξεργασίας για διάφορες τιμές πώλησης Νικελίου με περιεκτικότητα $Ni=0,50\%$



Διάγραμμα 12: : Ρυθμός μεταβολής κερδοφορίας σχεδίου Β σε σχέση με την αύξηση του κόστους, περιεκτικότητα $Ni=0,50\%$.

7.3 Σύγκριση Δεύτερου Σχεδιασμού – Πρώτου Σχεδιασμού

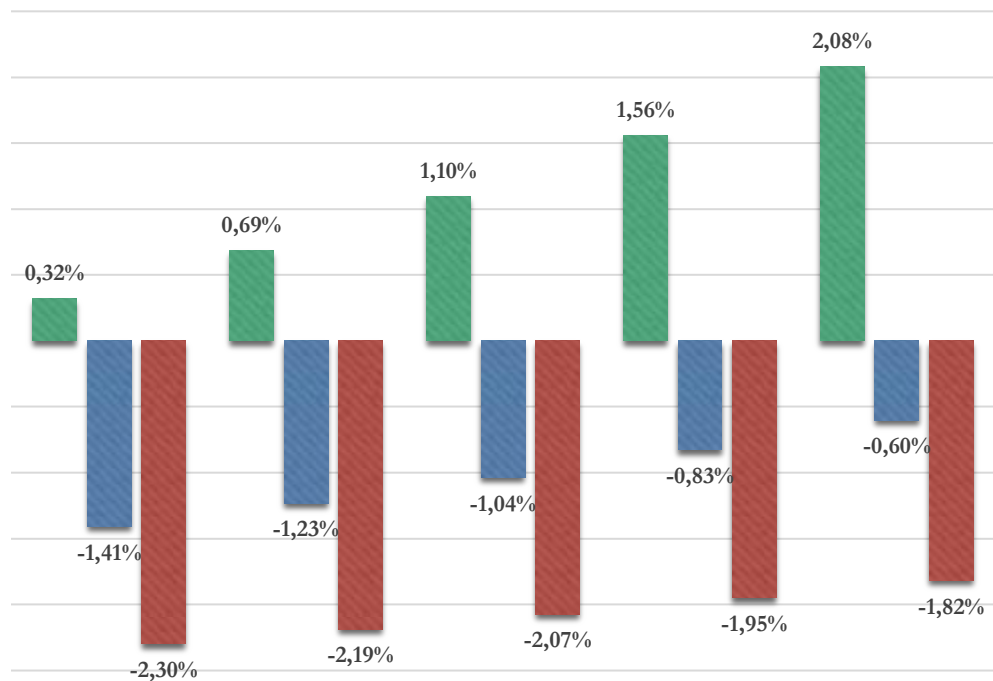
Στην σύγκριση της κερδοφορίας μεταξύ των δύο σχεδίων δεν λαμβάνουμε υπ' όψιν την τιμή πώλησης 8.800 € διότι είναι πολύ κοντά στην οριακή τιμή του πρώτου σχεδιασμού στον οποίο προσδίδει ένα στοιχειώδες κέρδος. Ξεκινάμε λοιπόν από την τιμή πώλησης 11.000 €.

Στο διάγραμμα της μεταβολής κερδοφορίας του δεύτερου σχεδίου σε σχέση με το πρώτο, για μέση περιεκτικότητα 0,93% παρατηρούμε ότι ο δεύτερος σχεδιασμός, παρουσιάζει καλύτερα οικονομικά αποτελέσματα σε σχέση με τον πρώτο για χαμηλή τιμή πώλησης του τελικού προϊόντος. Η βελτιωμένη σχέση εκμετάλλευσης του δεύτερου σχεδιασμού, αφήνει μεγαλύτερα περιθώρια κέρδους για χαμηλή τιμή πώλησης. Όμως, για υψηλότερες τιμές πώλησης, το σχέδιο Β εμφανίζεται χειρότερο, καθώς έχει αγνοηθεί ένα μέρος του κοιτάσματος, το κόστος επεξεργασίας του οποίου υπερκαλύπτεται από τις υψηλότερες τιμές πώλησης. Επομένως η πρόβλεψη των τιμών πώλησης του τελικού προϊόντος σε συνδυασμό με τη διάρκεια ζωής της εκμετάλλευσης μπορεί να αποτελέσει κρίσιμο παράγοντα στην επιλογή του βέλτιστου σχεδίου.

Στην περίπτωση, όμως, που η μέση περιεκτικότητα του κοιτάσματος κινείται πολύ κοντά στην οριακή περιεκτικότητα (0,5%), ο δεύτερος σχεδιασμός παρουσιάζει καλύτερα οικονομικά αποτελέσματα ανεξάρτητα από την τιμή πώλησης του τελικού προϊόντος. Φαίνεται λοιπόν ότι σε αυτή την περίπτωση λόγω της χαμηλής περιεκτικότητας του κοιτάσματος η οικονομικότητα της εκμετάλλευσης, καθορίζεται κυρίως από τη σχέση εκμετάλλευσης.

Στη βάση των παραπάνω θα μπορούσαμε να πούμε ότι εκτός από την οριακή περιεκτικότητα η μέση περιεκτικότητα του κοιτάσματος αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την οικονομικότητα της εκμετάλλευσης.

Μεταβολή κερδοφορίας εναλλακτικού σχεδίου Β σε
σχέση με το Α για
 $Ni=0,93\%$



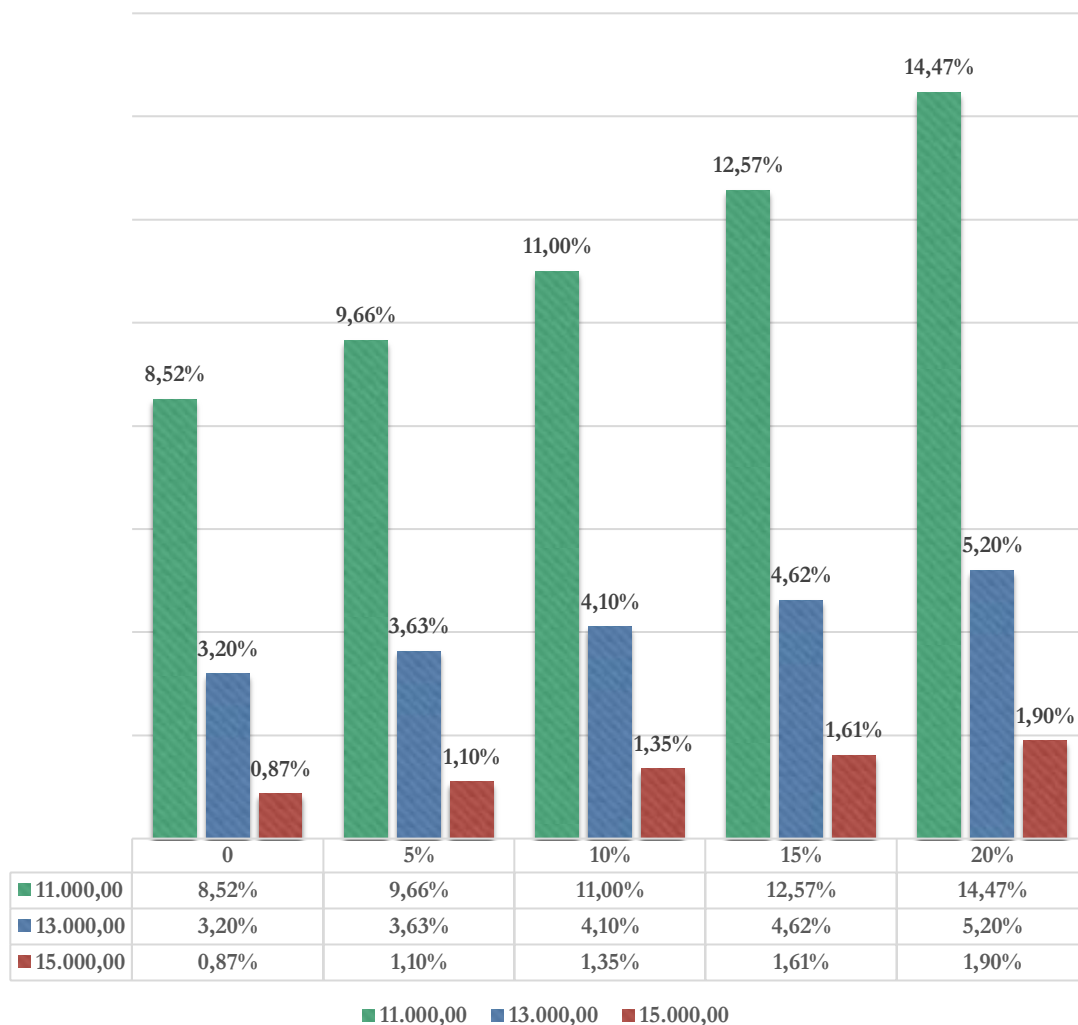
	0	5%	10%	15%	20%
■ 11.000	0,32%	0,69%	1,10%	1,56%	2,08%
■ 13.000	-1,41%	-1,23%	-1,04%	-0,83%	-0,60%
■ 15.000	-2,30%	-2,19%	-2,07%	-1,95%	-1,82%

Ποσοστό επιβάρυνσης από τη μεταλλουργική επεξεργασία

■ 11.000 ■ 13.000 ■ 15.000

Διάγραμμα 13: : Μεταβολή κερδοφορίας εναλλακτικού σχεδίου Β σε σχέση με το Α για περιεκτικότητα $Ni=0,93\%$.

Μεταβολή κερδοφορίας εναλλακτικού σχεδίου Β σε σχέση με το Α με περιεκτικότητα Ni=0,50%



Διάγραμμα 14: Μεταβολή κερδοφορίας εναλλακτικού σχεδίου Β σε σχέση με το Α για περιεκτικότητα Ni=0,50% .

7.4 Τρίτος Εναλλακτικός Σχεδιασμός

Στον Τρίτο σχεδιασμό, **κοίτασμα** θεωρήθηκαν τα Blocks με $Ni \geq 0,5$ στα οποία η διαφορά **Fe-SiO₂** κυμαίνεται μεταξύ **0** και **4** ($0 \leq \text{Fe-SiO}_2 \leq 4$). Σε αυτήν την περίπτωση, έχει αφαιρεθεί ένα κομμάτι του κοιτάσματος με σκοπό την μείωση του όγκου που επιφέρει μεγαλύτερο κόστος στην επεξεργασία, ώστε να εξετασθεί η περίπτωση βελτίωσης οικονομικότητας της εκμετάλλευσης. Ο σχεδιασμός αυτός, αποτελεί παραλλαγή του δεύτερου σχεδιασμού, όπου εξετάζεται η περίπτωσημικής εκμετάλλευσης δηλαδή συνδυασμού Υπαίθριας και Υπόγειας εκμετάλλευσης. Οι επιλογές που υπάρχουν για την εκτίμηση του κόστους της υπόγειας είναι η μέθοδος μεκατακρήμιση της οροφής με διαδοχικούς υποορόφους και η μέθοδος θαλάμων και στύλων. Το κόστος της καθεμιάς είναι 15 €/tn και 22 €/tn αντίστοιχα. Χρησιμοποιήσαμε τη μέθοδο με το μικρότερο κόστος για να δούμε καταρχήν αν υπάρχει η δυνατότητα μιας συνδυασμένης λύσης για την εκμετάλλευση. Επομένως χρησιμοποιήσαμε τη μέθοδο με κατακρήμιση οροφής με διαδοχικούς υποορόφους με κόστος **15 €/tn**.

Πίνακας 17: Χαρακτηριστικά Γ' σχεδιασμού.

	Υπαίθρια εκμετάλλευση	Υπόγεια εκμετάλλευση
Όγκος εκσκαφών (m³)	22.241.711	
Όγκος κοιτάσματος (m³)	5.758.925	4.243.625
Όγκος αγόνων (m³)	16.482.786	
Τόνοι αγόνων	45.327.661,5	
Τόνοι κοιτάσματος	19.004.452,5	14.003.962,5
Τόνοι χρήσιμου συστατικού	15.678.673,31	14.003.962,5

Πίνακας 18: Προβληματικές ποσότητες Fe-SiO₂ στον Γ' σχεδιασμό,

Ποσότητες Fe-SiO ₂ προς επεξεργασία (m ³)	8.093.350
Ποσότητες Fe-SiO ₂ προς επεξεργασία (tn)	26.708.055

Η σχέση εκμετάλλευσης του τρίτου σχεδιασμού υπολογίστηκε ως εξής:

$$\text{Σχέση εκμετάλλευσης} = \frac{\text{Άγονα (m}^3\text{)}}{\text{Χρήσιμο συστατικό (tn)}} = \frac{16.482.786 \text{ (m}^3\text{)}}{15.678.673,31 \text{ (tn)}} = \mathbf{0,87\text{m}^3/\text{tn}}$$

Ή αλλιώς,

$$\text{Σχέση εκμετάλλευσης} = \frac{\text{Άγονα (tn)}}{\text{Χρήσιμο συστατικό (tn)}} = \frac{45.327.661,5 \text{ (tn)}}{30.421.351,13 \text{ (tn)}} = \mathbf{2,39 \text{ tn/tn}}$$

ΕΞΟΔΑ

Κόστος αποκάλυψης = 36.262.129,2 €

Κόστος εξόρυξης = 20.904.897,75 €

Κόστος υπόγειας / Κατακρήμνιση οροφής = 210.059.437,5 €

Κόστος επεξεργασίας μεταλλεύματος = 99.025.245 €

Κόστος Μεταλλουργικής επεξεργασίας = 1.518.266.821,81 €

Στη συνέχεια, υπολογίστηκε η επιβάρυνση του τελικού κόστους από το **επιπλέον κόστος της επεξεργασίας του μεταλλεύματος με Fe-SiO₂**,

Πίνακας 19: *Επιπλέον κόστος Μεταλλουργικής επεξεργασίας (γ),*

Ποσοστό επιβάρυνσης	Επιπλέον κόστος
5%	61.419.246,76 €
10%	122.838.493,51 €
15%	184.257.740,27 €
20%	245.676.987,02€

Το συνολικό κόστος ανάλογα το ποσοστό που το επηρεάζει το επιπλέον μεταλλουργικό κόστος υπολογίζεται ως εξής:

Συνολικό κόστος = Κόστος αποκάλυψης + Κόστος εξόρυξης + Κόστος επεξεργασίας μεταλλεύματος + Κόστος υπόγειας / Κατακρήμιση οροφής + Κόστος Μεταλλουργικής επεξεργασίας + Επιπλέον κόστος επεξεργασίας

Πίνακας 20: Συνολικό κόστος εκμετάλλευσης για κάθε διαφορετικό ποσοστό (γ),

Ποσοστό επιβάρυνσης	Συνολικό κόστος
0%	1.884.518.531,26 €
5%	1.945.937.778,02 €
10%	2.007.357.024,77 €
15%	2.068.776.271,53 €
20%	2.130.195.518,28 €

ΕΣΟΔΑ

Στη συνέχεια υπολογίστηκαν τα έσοδα της εκμετάλλευσης για διαφορετικές τιμές πώλησης του τελικού προϊόντος, Λαμβάνουμε την τιμή πώλησης νικελίου 8.800 € ως οριακή τιμή πώλησης,

Πίνακας 21: Έσοδα για διαφορετικές τιμές πώλησης τελικού προϊόντος για μέση περιεκτικότητα Νικελίου του κοιτάσματος (0,93%) (γ)

Τιμή πώλησης τελικού προϊόντος (€)	Έσοδα (€)
8.800	2.429.226.914,9
11.000	3.036.533.643,62
13.000	3.588.630.669,73
15.000	4.140.727.695,84

ΚΕΡΔΗ

Υπολογίστηκαν τα κέρδη της εκμετάλλευσης για κάθε διαφορετική τιμή πώλησης του τελικού προϊόντος σε δύο περιπτώσεις, Στην πρώτη περίπτωση υπολογίστηκαν με περιεκτικότητα σε νικέλιο 0,93% (μέση περιεκτικότητα νικελίου που υπολογίστηκε στο κοίτασμα) ενώ στη δεύτερη περίπτωση με την οριακή περιεκτικότητα (0,50%), Ακολουθούν οι πίνακες με τα αποτελέσματα που προκύπτουν,

Πρώτη περίπτωση (Ni = 0,93%)

Πίνακας 22: Κέρδη για μέση περιεκτικότητα κοιτάσματος σε Νικέλιο 0,93% για διαφορετικές τιμές πώλησης τελικού προϊόντος και για διαφορετικά ποσοστά επιβάρυνσης της επιπλέον μεταλλουργικής επεξεργασίας (γ)

	8.800 €	11.000 €	13.000 €	15.000 €
0%	544.708.383,64 €	1.152.015.112,36 €	1.704.112.138,47 €	2.256.209.164,58 €
5%	483.289.136,88 €	1.090.595.865,60 €	1.642.692.891,72 €	2.194.789.917,83 €
10%	421.869.890,12 €	1.029.176.618,85 €	1.581.273.644,96 €	2.133.370.671,07 €
15%	360.450.643,37 €	967.757.372,09 €	1.519.854.398,21 €	2.071.951.424,32 €
20%	299.031.396,61 €	906.338.125,34 €	1.458.435.151,45 €	2.010.532.177,56 €

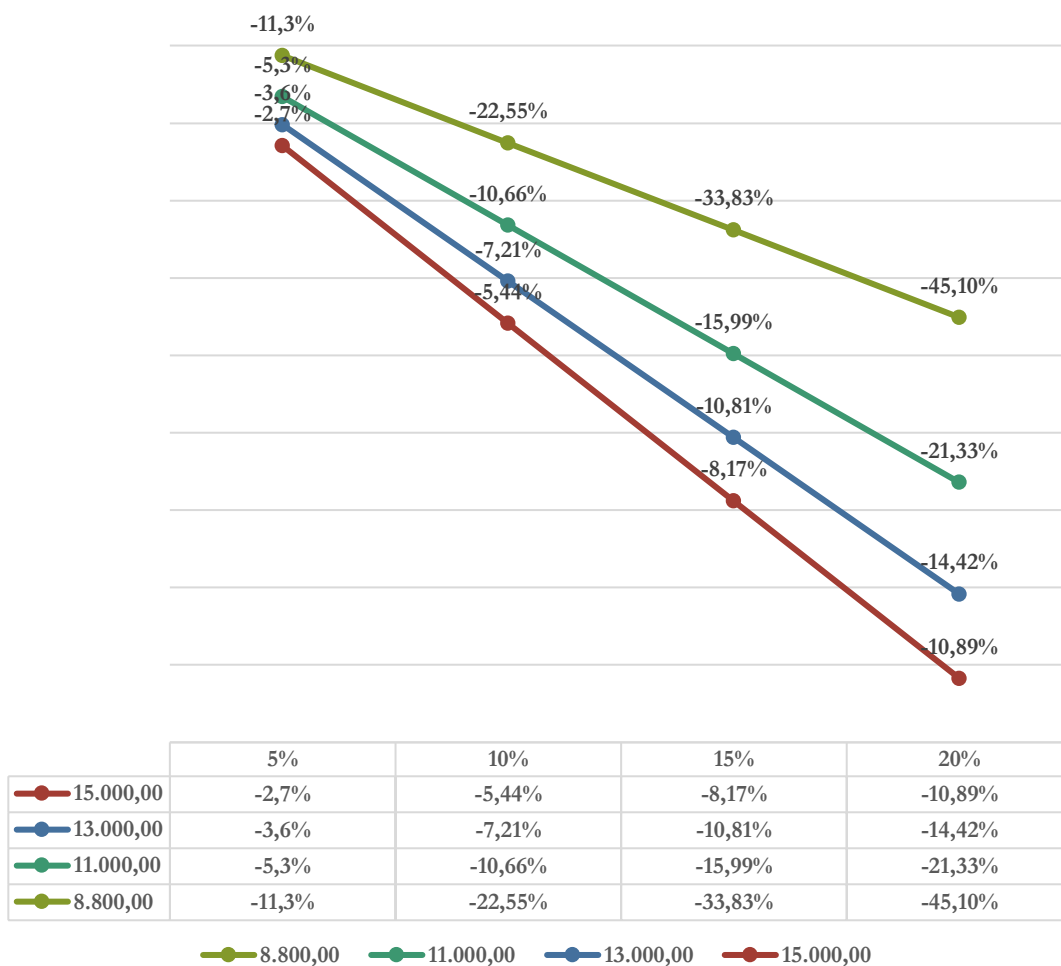
Δεύτερη περίπτωση (Ni = 0,50%)

Πίνακας 23: Κέρδη για μέση περιεκτικότητα κοιτάσματος σε Νικέλιο 0,50% για διαφορετικές τιμές πώλησης τελικού προϊόντος και για διαφορετικά ποσοστά επιβάρυνσης της επιπλέον μεταλλουργικής επεξεργασίας (γ)

	8.800 €	11.000 €	13.000 €	15.000 €
0%	123.511.781,46 €	450.020.775,39 €	746.847.133,52 €	1.043.673.491,64 €
5%	90.490.681,05 €	416.999.674,99 €	713.826.033,11 €	1.010.652.391,24 €
10%	57.469.580,64 €	383.978.574,58 €	680.804.932,71 €	977.631.290,83 €
15%	24.448.480,24 €	350.957.474,18 €	647.783.832,30 €	944.610.190,43 €
20%	-8.572.620,17 €	317.936.373,77 €	614.762.731,89 €	911.589.090,02 €

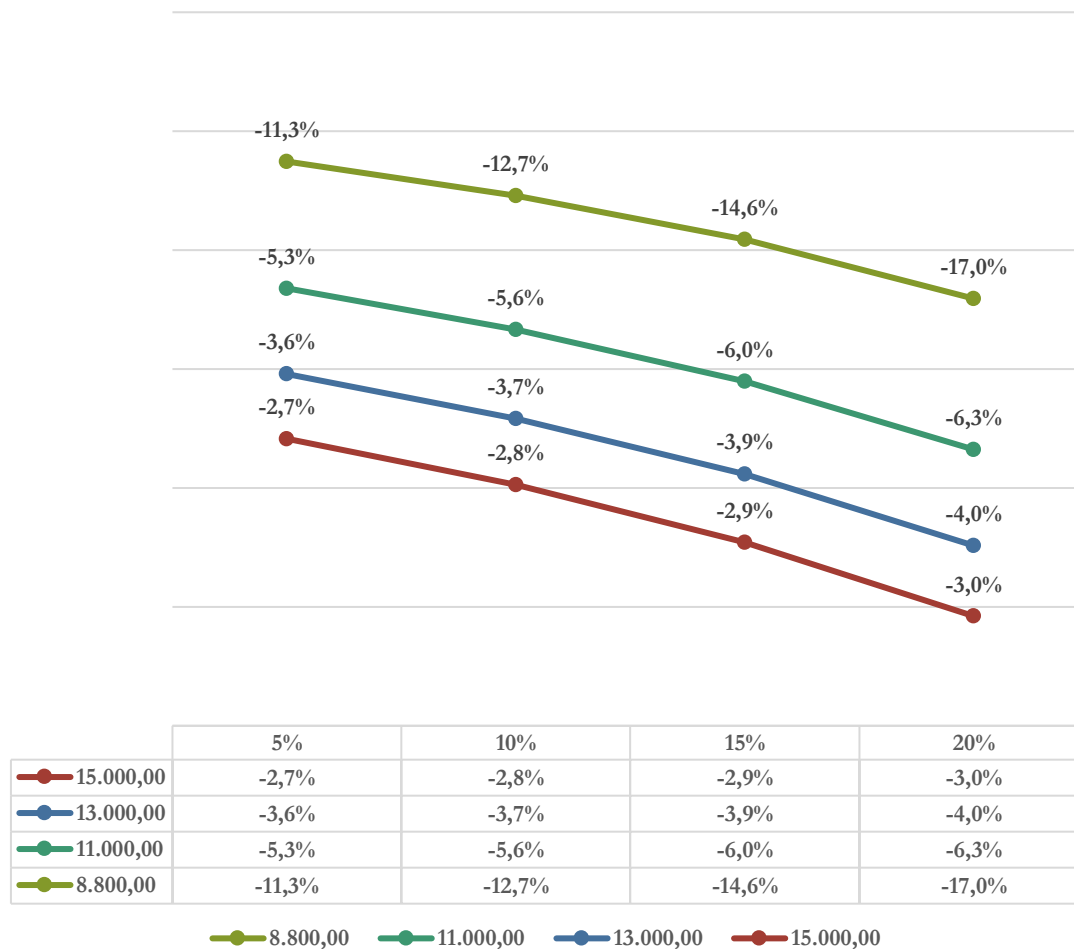
Στα διαγράμματα που ακολουθούν φαίνεται πως ο τρίτος εναλλακτικός σχεδιασμός είναι μη βιώσιμος όταν το ποσοστό επιβάρυνσης από τη μεταλλουργική επεξεργασία είναι υψηλό (20%), η μέση περιεκτικότητα του κοιτάσματος κινείται πολύ κοντά στην οριακή περιεκτικότητα (0,5%) και η τιμή πώλησης του τελικού προϊόντος είναι χαμηλή (8.800 €).

Μεταβολή κερδοφορίας σχεδίου Γ σε σχέση με την αύξηση του κόστους μεταλλουργικής επεξεργασίας για διάφορες τιμές πώλησης Νικελίου με περιεκτικότητα Ni=0,93%



Διάγραμμα 15: Μεταβολή κερδοφορίας σχεδίου Γ σε σχέση με την αύξηση του κόστους, περιεκτικότητα Ni=0,93% .

**Ρυθμός μεταβολής
κερδοφορίας σχεδίου Γ σε σχέση με την αύξηση του
κόστους μεταλλουργικής επεξεργασίας για διάφορες τιμές
πώλησης Νικελίου με περιεκτικότητα Ni=0,93%**



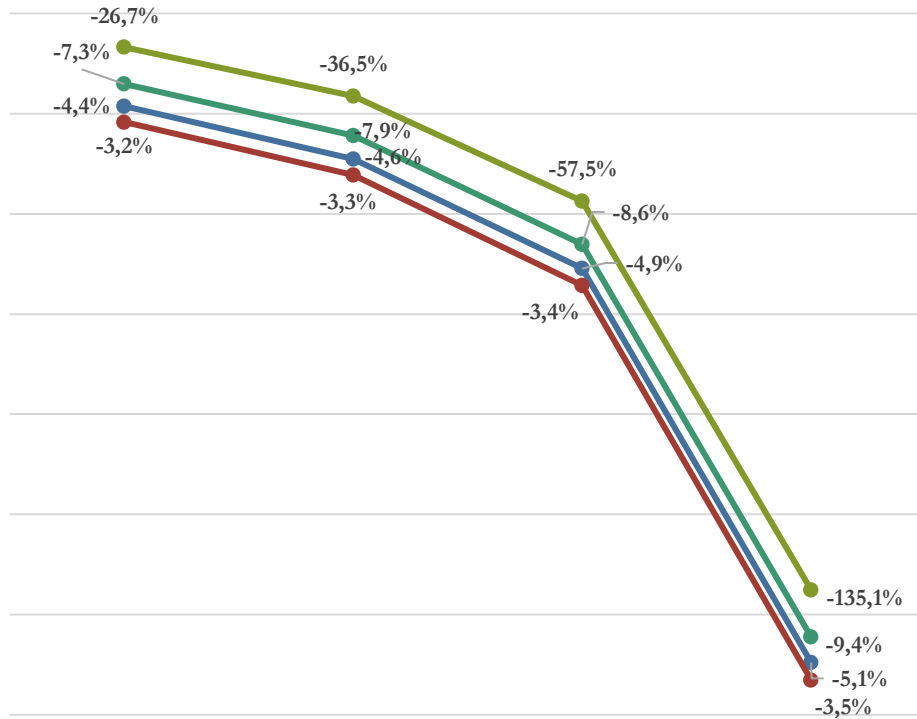
Διάγραμμα 16: Ρυθμός μεταβολής κερδοφορίας σχεδίου Γ σε σχέση με την αύξηση του κόστους, περιεκτικότητα Ni=0,93%

Μεταβολή κερδοφορίας σχεδίου Γ σε σχέση με την αύξηση του κόστους μεταλλουργικής επεξεργασίας για διάφορες τιμές πώλησης Νικελίου με περιεκτικότητα Ni=0,50%



Διάγραμμα 17: Μεταβολή κερδοφορίας σχεδίου Γ σε σχέση με την αύξηση του κόστους, περιεκτικότητα Ni=0,50% .

**Ρυθμός μεταβολής
κερδοφορίας σχεδίου Γ σε σχέση με την αύξηση του
κόστους μεταλλουργικής επεξεργασίας για διάφορες τιμές
πώλησης Νικελίου με περιεκτικότητα Ni=0,50%**



	5%	10%	15%	20%
● 15.000,00	-3,2%	-3,3%	-3,4%	-3,5%
● 13.000,00	-4,4%	-4,6%	-4,9%	-5,1%
● 11.000,00	-7,3%	-7,9%	-8,6%	-9,4%
● 8.800,00	-26,7%	-36,5%	-57,5%	-135,1%

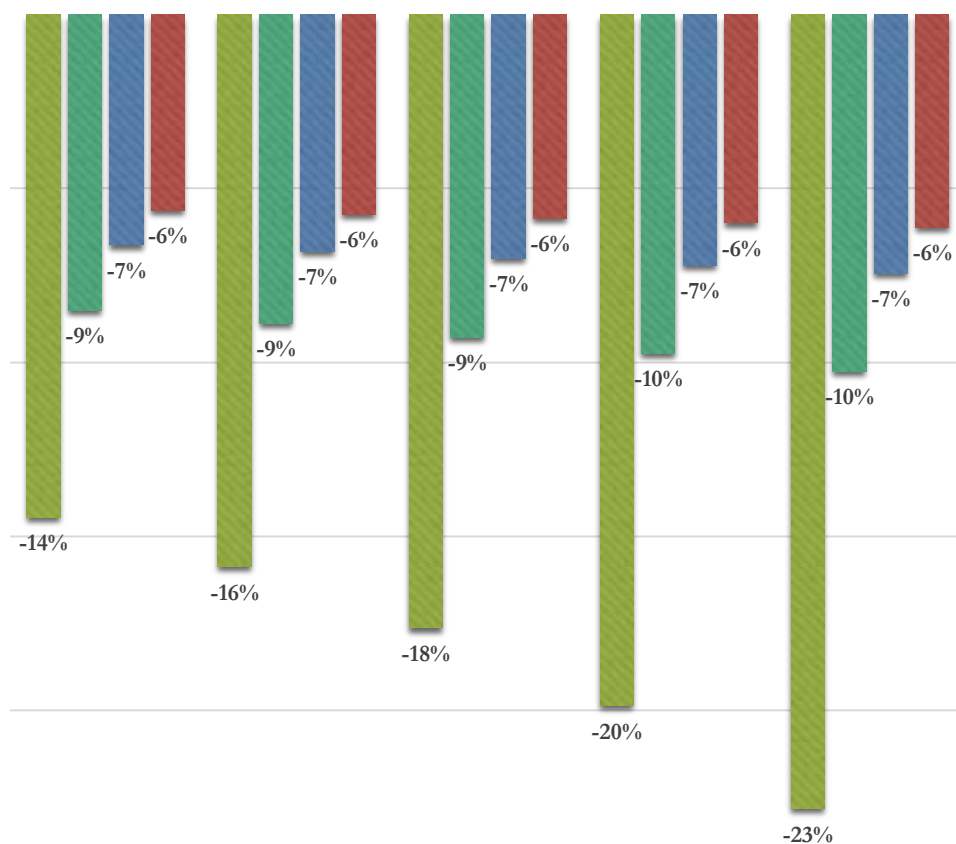
● 8.800,00 ● 11.000,00 ● 13.000,00 ● 15.000,00

Διάγραμμα 18: Ρυθμός μεταβολής κερδοφορίας σχεδίου Γ σε σχέση με την αύξηση του κόστους, περιεκτικότητα Ni=0,50% .

7.5 Σύγκριση Τρίτου Σχεδιασμού – Δεύτερου Σχεδιασμού

Από τη σύγκριση της κερδοφορίας του εναλλακτικού σχεδίου Γ σε σχέση με το εναλλακτικό σχέδιο Β, γίνεται φανερό ότι ο συνδυασμός υπαίθριας και υπόγειας εκμετάλλευσης στο «περιορισμένο» κοιτάσμα είναι σε όλες τις περιπτώσεις χειρότερος από τον δεύτερο εναλλακτικό σχεδιασμό. Αξίζει όμως να σημειωθεί ότι, με εξαίρεση την περίπτωση της χαμηλής τιμής πώλησης του τελικού προϊόντος (8.800 €) το ποσοστό της μεταβολής της κερδοφορίας παραμένει σχετικά σταθερό ανεξάρτητα από το ποσοστό επιβάρυνσης της μεταλλουργικής επεξεργασίας. Είναι προφανές ότι το ποσοστό μεταβολής μειώνεται όσο ανεβαίνει η τιμή πώλησης του τελικού προϊόντος και όσο υψηλότερη είναι η μέση περιεκτικότητα του κοιτάσματος. Επομένως για μέση περιεκτικότητα κοιτάσματος αρκετά υψηλότερη από την οριακή, και για σχετικά υψηλές τιμές πώλησης, ο σχεδιασμός αυτός θα μπορούσε να αποτελέσει εναλλακτική λύση στην περίπτωση που άλλοι παράγοντες επιβάλλουν τον περιορισμό της υπαίθριας εκμετάλλευσης, όπως ο περιορισμός των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Μεταβολή κερδοφορίας εναλλακτικού σχεδίου Γ σε σχέση με το Β για περιεκτικότητα Ni=0,93%

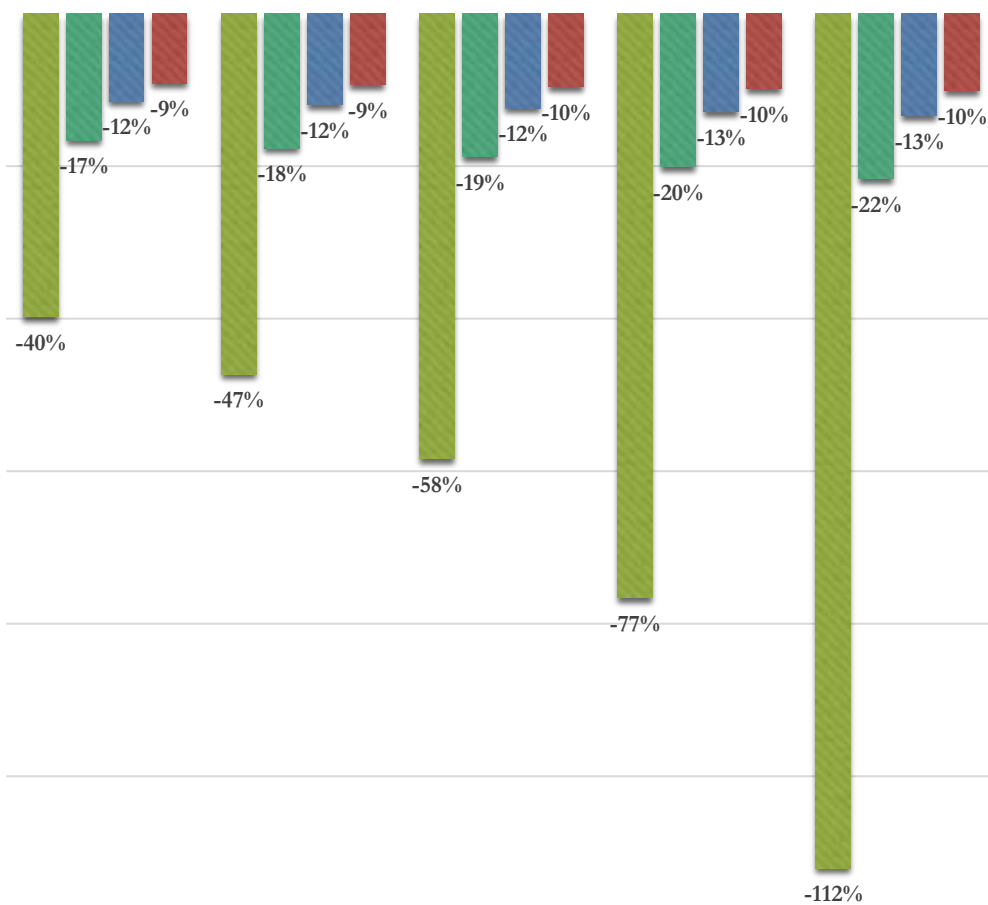


	0	5%	10%	15%	20%
8.800,00	-14%	-16%	-18%	-20%	-23%
11.000,00	-9%	-9%	-9%	-10%	-10%
13.000,00	-7%	-7%	-7%	-7%	-7%
15.000,00	-6%	-6%	-6%	-6%	-6%

■ 8.800,00 ■ 11.000,00 ■ 13.000,00 ■ 15.000,00

Διάγραμμα 19: Μεταβολή κερδοφορίας εναλλακτικού σχεδίου Γ σε σχέση με το Β για περιεκτικότητα Ni=0,93% .

Μεταβολή κερδοφορίας εναλλακτικού σχεδίου Γ σε σχέση με το Β για περιεκτικότητα Ni=0,50%



	0	5%	10%	15%	20%
8800	-40%	-47%	-58%	-77%	-112%
10000	-17%	-18%	-19%	-20%	-22%
15000	-12%	-12%	-12%	-13%	-13%
18000	-9%	-9%	-10%	-10%	-10%

■ 8800 ■ 10000 ■ 15000 ■ 18000

Διάγραμμα 20: Μεταβολή κερδοφορίας εναλλακτικού σχεδίου Γ σε σχέση με το Β για περιεκτικότητα Ni=0,50% .

7.6 Τέταρτος Εναλλακτικός Σχεδιασμός

Στον τέταρτο σχεδιασμό, ομοίως με τον πρώτο, **κοίτασμα** της εκμετάλλευσης αποτελεί το μέταλλευμα με **περιεκτικότητα σε Νικέλιο μεγαλύτερη ή ίση της τιμής 0,5** . Η συγκεκριμένη περίπτωση λοιπόν αποτελεί άλλη μια περίπτωση συνδυασμού Υπαίθριας και Υπόγειας εκμετάλλευσης. Όπως και στον τρίτο σχεδιασμό χρησιμοποιήσαμε τη μέθοδο με το μικρότερο κόστος για να δούμε καταρχήν αν υπάρχει η δυνατότητα μιας συνδυασμένης λύσης για την εκμετάλλευση. Επομένως χρησιμοποιήσαμε τη μέθοδο με κατακρήμνιση οροφής με διαδοχικούς υποορόφους με κόστος **15 €/tn**.

Πίνακας 24: Χαρακτηριστικά Δ' σχεδιασμού.

	Υπαίθρια εκμετάλλευση	Υπόγεια εκμετάλλευση
Όγκος εκσκαφών (m ³)	33.029.908	-
Όγκος κοιτάσματος (m ³)	7.085.200	4.029.625
Όγκος αγόνων (m ³)	25.944.708	-
Τόνοι αγόνων	71.347.947	-
Τόνοι κοιτάσματος	23.381.160	13.297.762,5
Τόνοι χρήσιμου συστατικού	19.289.457	13.297.762,5

Πίνακας 25: Προβληματικές ποσότητες Fe-SiO₂ στον Δ' σχεδιασμό,

Ποσότητες Fe-SiO ₂ προς επεξεργασία (m ³)	9.000.650
Ποσότητες Fe-SiO ₂ προς επεξεργασία (tn)	29.702.145

Η σχέση εκμετάλλευσης του πρώτου σχεδιασμού υπολογίστηκε ως εξής:

$$\text{Σχέση εκμετάλλευσης} = \frac{\text{Άγονα (m}^3\text{)}}{\text{Χρήσιμο συστατικό (tn)}} = \frac{25.944.708 \text{ (m}^3\text{)}}{19.289.457 \text{ (tn)}} = \mathbf{0,71 \text{ m}^3\text{/tn}}$$

Ή αλλιώς,

$$\text{Σχέση εκμετάλλευσης} = \frac{\text{Άγονα (tn)}}{\text{Χρήσιμο συστατικό (tn)}} = \frac{45.327.661,5 \text{ (tn)}}{19.289.457 \text{ (tn)}} = \mathbf{1,95\text{tn/tn}}$$

ΕΞΟΔΑ

Κόστος αποκάλυψης = 57.078.357,6 €

Κόστος εξόρυξης = 25.719.276 €

Κόστος υπόγειας / Κατακρήμνιση οροφής = 199.466.437,5 €

Κόστος επεξεργασίας μεταλλεύματος = 110.036.767,5 €

Κόστος Μεταλλουργικής επεξεργασίας = 1.666.836.277,43 €

Στη συνέχεια, υπολογίστηκε η επιβάρυνση του τελικού κόστους από το **επιπλέον κόστος της επεξεργασίας του μεταλλεύματος με Fe-SiO₂**.

Πίνακας 26: Επιπλέον κόστος Μεταλλουργικής επεξεργασίας (δ),

Ποσοστό επιβάρυνσης	Επιπλέον κόστος
5%	67.486.134,67 €
10%	134.972.269,34 €
15%	202.458.404,01 €
20%	269.944.538,68 €

Το συνολικό κόστος ανάλογα το ποσοστό που το επηρεάζει το επιπλέον μεταλλουργικό κόστος υπολογίζεται ως εξής:

Συνολικό κόστος = Κόστος αποκάλυψης + Κόστος εξόρυξης + Κόστος επεξεργασίας μεταλλεύματος + Κόστος υπόγειας (Κατακρήμνιση οροφής) + Κόστος Μεταλλουργικής επεξεργασίας + Επιπλέον κόστος επεξεργασίας

Πίνακας 27: Συνολικό κόστος εκμετάλλευσης για κάθε διαφορετικό ποσοστό (δ),

Ποσοστό επιβάρυνσης	Συνολικό κόστος
0%	2.059.137.116,03 €
5%	2.126.623.250,69 €
10%	2.194.109.385,36 €
15%	2.272.188.520,03 €
20%	2.339.674.654,70 €

ΕΣΟΔΑ

Στη συνέχεια υπολογίστηκαν τα έσοδα της εκμετάλλευσης για διαφορετικές τιμές πώλησης του τελικού προϊόντος, Λαμβάνουμε την τιμή πώλησης νικελίου 8.800 € ως οριακή τιμή πώλησης,

Πίνακας 28: Έσοδα για διαφορετικές τιμές πώλησης τελικού προϊόντος για μέση περιεκτικότητα Νικελίου του κοιτάσματος (0,93%) (δ)

Τιμή πώλησης τελικού προϊόντος (€)	Έσοδα (€)
8.800	2.666.938.043,88
11.000	3.333.672.554,85
13.000	3.939.794.837,55
15.000	4.545.917.120,25

ΚΕΡΔΗ

Υπολογίστηκαν τα κέρδη της εκμετάλλευσης για κάθε διαφορετική τιμή πώλησης του τελικού προϊόντος σε δύο περιπτώσεις, Στην πρώτη περίπτωση υπολογίστηκαν με περιεκτικότητα σε νικέλιο 0,93% (μέση περιεκτικότητα νικελίου στο κοίτασμα) ενώ στη δεύτερη περίπτωση με την οριακή περιεκτικότητα (0,50%). Ακολουθούν οι πίνακες με τα αποτελέσματα που προκύπτουν.

Πρώτη περίπτωση (Ni = 0,93%)

Πίνακας 29: Κέρδη για μέση περιεκτικότητα κοιτάσματος σε Νικέλιο 0,93% για διαφορετικές τιμές πώλησης τελικού προϊόντος και για διαφορετικά ποσοστά επιβάρυνσης της επιπλέον μεταλλουργικής επεξεργασίας(δ)

	8.800 €	11.000 €	13.000 €	15.000 €
0%	607.800.927,86 €	1.274.535.438,83 €	1.880.657.721,53 €	2.486.780.004,23 €
5%	540.314.793,19 €	1.207.049.304,16 €	1.813.171.586,86 €	2.419.293.869,56 €
10%	472.828.658,52 €	1.139.563.169,49 €	1.745.685.452,19 €	2.351.807.734,89 €
15%	394.749.523,85 €	1.061.484.034,82 €	1.667.606.317,52 €	2.273.728.600,22 €
20%	327.263.389,18 €	993.997.900,15 €	1.600.120.182,85 €	2.206.242.465,55 €

Δεύτερη περίπτωση (Ni = 0,50%)

Πίνακας 30: Κέρδη για μέση περιεκτικότητα κοιτάσματος σε Νικέλιο 0,50% για διαφορετικές τιμές πώλησης τελικού προϊόντος και για διαφορετικά ποσοστά επιβάρυνσης της επιπλέον μεταλλουργικής επεξεργασίας (δ)

	8.800 €	11.000 €	13.000 €	15.000 €
0%	145.388.283,15 €	503.847.697,65 €	829.719.892,65 €	1.155.592.087,65 €
5%	109.105.415,05 €	467.564.829,55 €	793.437.024,55 €	1.119.309.219,55 €
10%	72.822.546,95 €	431.281.961,45 €	757.154.156,45 €	1.083.026.351,45 €
15%	25.946.678,85 €	384.406.093,35 €	710.278.288,35 €	1.036.150.483,35 €
20%	-10.336.189,26 €	348.123.225,24 €	673.995.420,24 €	999.867.615,24 €

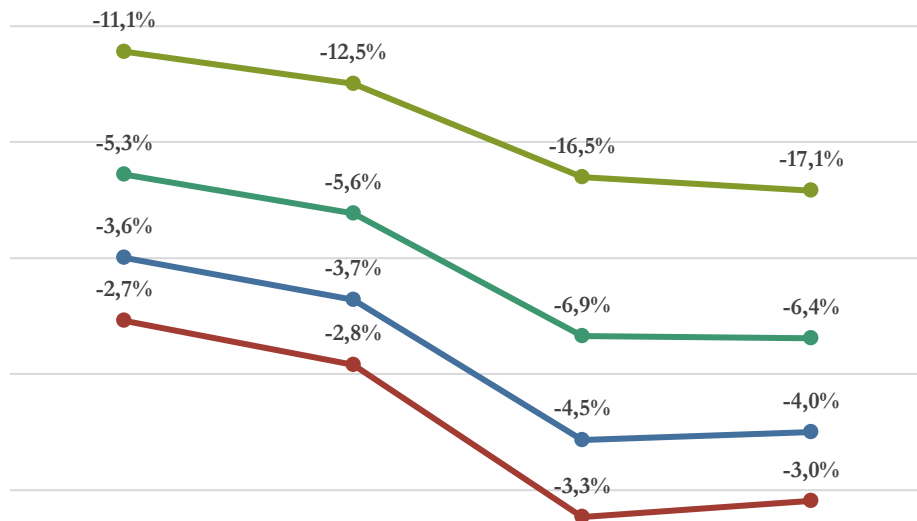
Στα διαγράμματα που ακολουθούν φαίνεται πως ο τέταρτος εναλλακτικός σχεδιασμός είναι μη βιώσιμος όταν το ποσοστό επιβάρυνσης από τη μεταλλουργική επεξεργασία είναι υψηλό (20%), η μέση περιεκτικότητα του κοιτάσματος κινείται πολύ κοντά στην οριακή περιεκτικότητα (0,5%) και η τιμή πώλησης του τελικού προϊόντος είναι χαμηλή (8.800 €).

Μεταβολή κερδοφορίας σχεδίου Δ σε σχέση με την αύξηση του κόστους μεταλλουργικής επεξεργασίας για διάφορες τιμές πώλησης Νικελίου με περιεκτικότητα Ni=0,93%



Διάγραμμα 21: Μεταβολή κερδοφορίας σχεδίου Δ σε σχέση με την αύξηση του κόστους, περιεκτικότητα Ni=0,93%

**Ρυθμός μεταβολής
κερδοφορίας σχεδίου Δ σε σχέση με την αύξηση του
κόστους μεταλλουργικής επεξεργασίας για διάφορες τιμές
πώλησης Νικελίου με περιεκτικότητα Ni=0,93%**

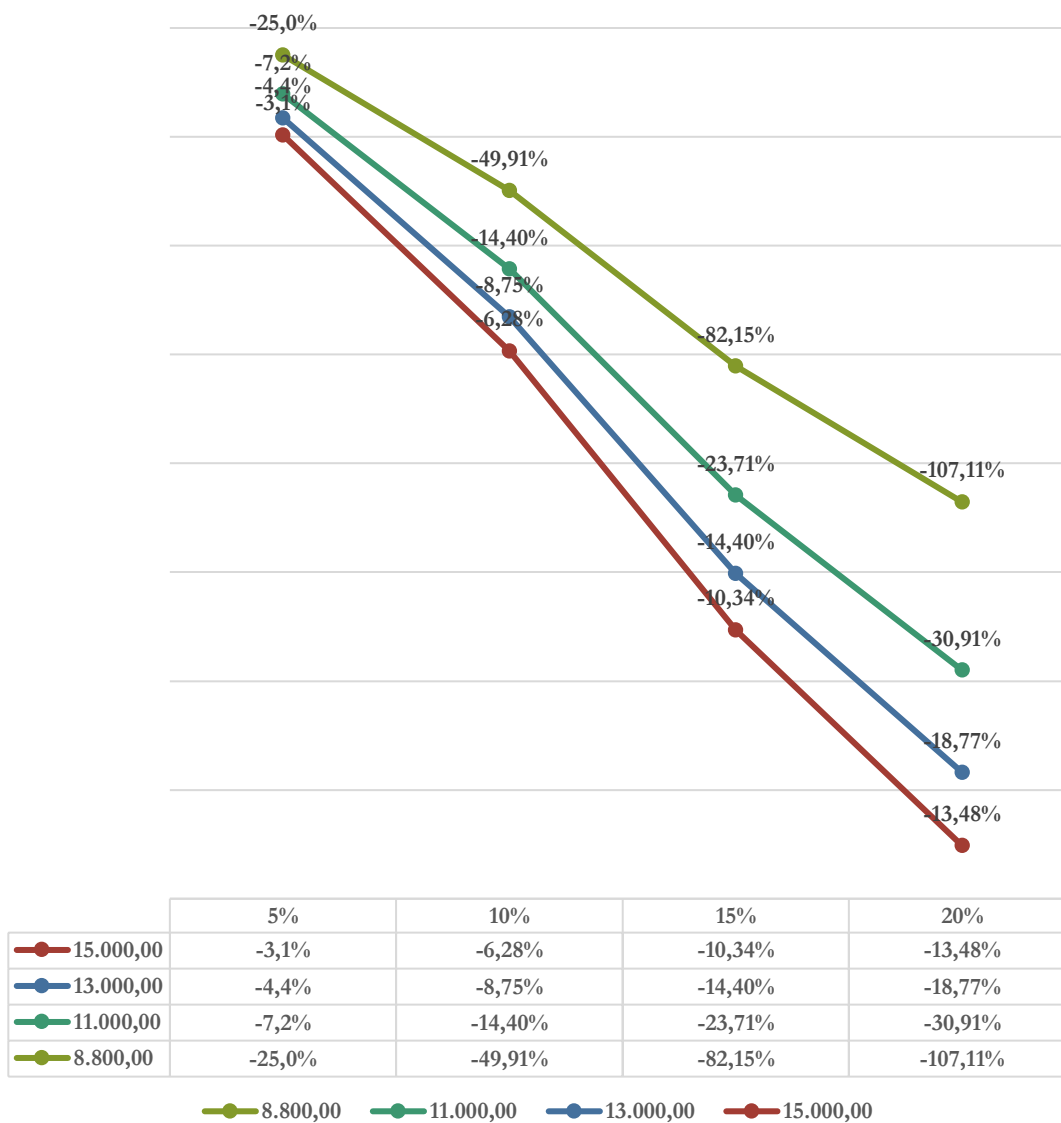


	5%	10%	15%	20%
15.000,00	-2,7%	-2,8%	-3,3%	-3,0%
13.000,00	-3,6%	-3,7%	-4,5%	-4,0%
11.000,00	-5,3%	-5,6%	-6,9%	-6,4%
8.800,00	-11,1%	-12,5%	-16,5%	-17,1%

● 8.800,00
 ● 11.000,00
 ● 13.000,00
 ● 15.000,00

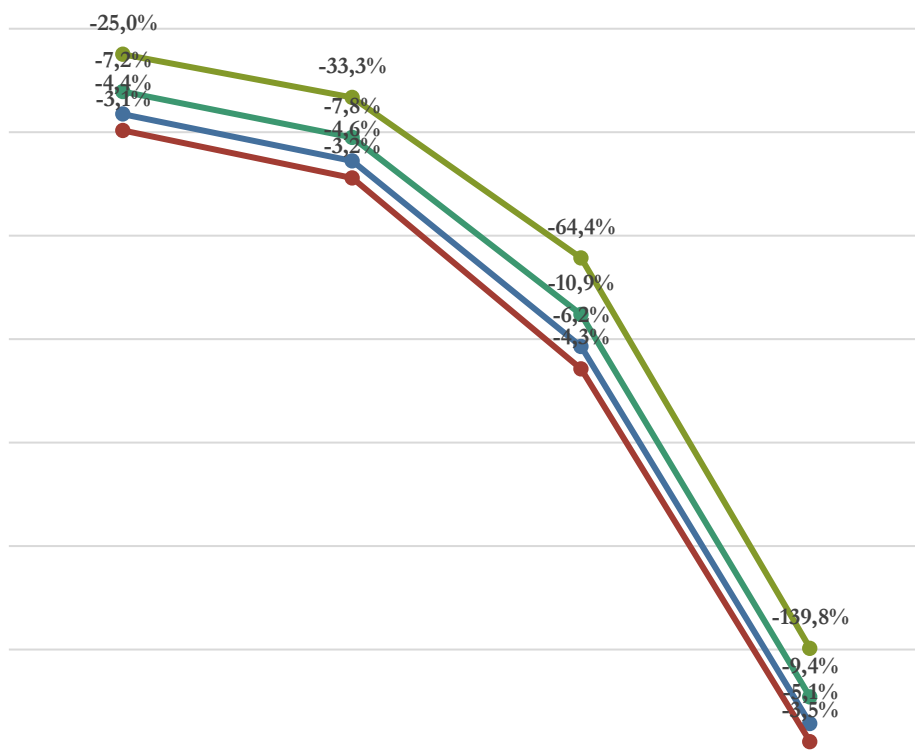
Διάγραμμα 22: Ρυθμός μεταβολής κερδοφορίας σχεδίου Δ σε σχέση με την αύξηση του κόστους, περιεκτικότητα Ni=0,93% .

Μεταβολή κερδοφορίας σχεδίου Δ σε σχέση με την αύξηση του κόστους μεταλλουργικής επεξεργασίας για διάφορες τιμές πώλησης Νικελίου με περιεκτικότητα Ni=0,50%



Διάγραμμα 23: Μεταβολή κερδοφορίας σχεδίου Δ σε σχέση με την αύξηση του κόστους μεταλλουργικής επεξεργασίας για διάφορες τιμές πώλησης Νικελίου με περιεκτικότητα Ni=0,50% .

**Ρυθμός μεταβολής
κερδοφορίας σχεδίου Δ σε σχέση με την αύξηση του
κόστους μεταλλουργικής επεξεργασίας για διάφορες τιμές
πώλησης Νικελίου με περιεκτικότητα Ni=0,50%**



	5%	10%	15%	20%
15.000,00	-3,1%	-3,2%	-4,3%	-3,5%
13.000,00	-4,4%	-4,6%	-6,2%	-5,1%
11.000,00	-7,2%	-7,8%	-10,9%	-9,4%
8.800,00	-25,0%	-33,3%	-64,4%	-139,8%

● 8.800,00
 ● 11.000,00
 ● 13.000,00
 ● 15.000,00

Διάγραμμα 24: Ρυθμός μεταβολής κερδοφορίας σχεδίου Δ σε σχέση με την αύξηση του κόστους, για Ni=0,50%

7.7 Σύγκριση Τέταρτου Σχεδιασμού – Πρώτου Σχεδιασμού

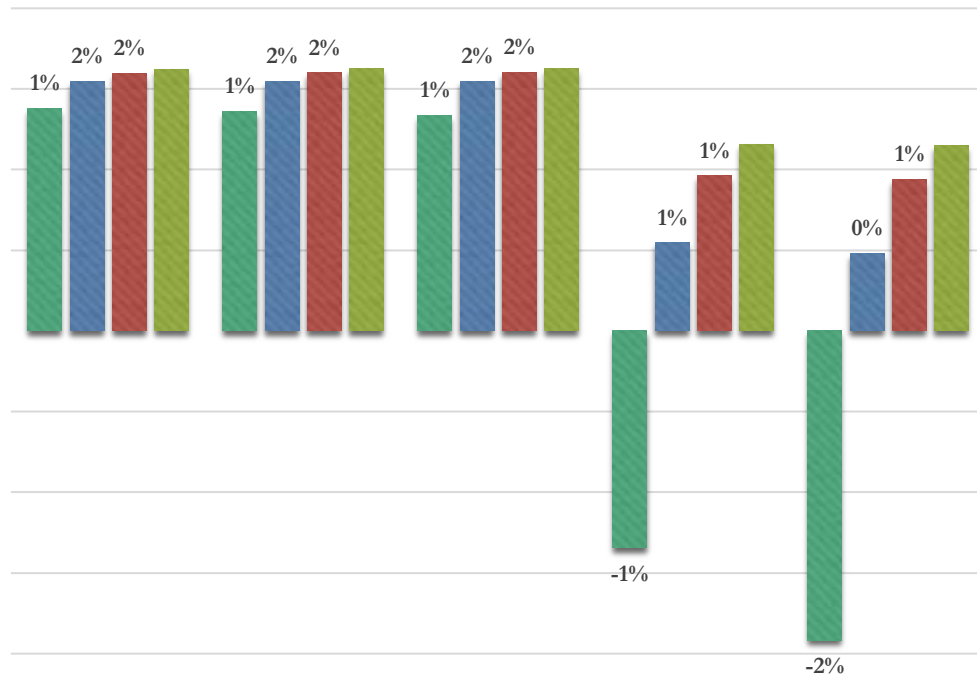
Από το Διάγραμμα 26 εξαιρέθηκε την τιμή πώλησης τελικού προϊόντος των 8.800 €/tn, για λόγους καλύτερης παρουσίασης του Διαγράμματος. Η μεταβολή για την εν λόγω τιμή πώλησης είναι 0% για ποσοστό επιβάρυνσης από τη μεταλλουργική επεξεργασία 5% και αρνητική σε όλες τις άλλες περιπτώσεις. Μάλιστα για ποσοστό επιβάρυνσης από τη μεταλλουργική επεξεργασία 20% η μεταβολή είναι τόσο μεγάλη που δεν έχει νόημα η διερεύνησή του.

Ο τέταρτος εναλλακτικός σχεδιασμός παράγει καλύτερα οικονομικά αποτελέσματα από τον πρώτο, ανεξάρτητα από το ποσοστό επιβάρυνσης του επιπλέον μεταλλουργικού κόστους, με εξαίρεση την περίπτωση μέσης περιεκτικότητας του κοιτάσματος πολύ κοντά στην οριακή, και τιμή πώλησης τελικού προϊόντος 8.800-11.000 €. Στην τελευταία περίπτωση, εάν η επιβάρυνση του κόστους μεταλλουργικής επεξεργασίας είναι μεγαλύτερη από 15%, η εναλλακτική αυτή λύση καθίσταται χειρότερη από τη πρώτη εναλλακτική λύση.

Σε γενικές γραμμές το τέταρτο εναλλακτικό σχέδιο φαίνεται να δίνει τα καλύτερα οικονομικά αποτελέσματα για μέση περιεκτικότητα κοιτάσματος 0,93% και τιμές πώλησης του τελικού προϊόντος μεγαλύτερες από τη μέση τιμή πώλησης της τελευταίας τετραετίας (11.000 €). Με απλά λόγια ο συνδυασμός υπαίθριας και υπόγειας εκμετάλλευσης, με τη μέθοδο κατακρήμνισης οροφής, φαίνεται να είναι η καλύτερη λύση για οποιοδήποτε κόστος μεταλλουργικής επεξεργασίας, υπό την προϋπόθεση ότι η τιμή πώλησης του τελικού προϊόντος είναι πάνω από τις 11.000 €. Επιπλέον η λύση αυτή συντείνει στην ορθολογική εκμετάλλευση του κοιτάσματος, καθώς παίρνουμε όλο το κοίτασμα.

Στα διαγράμματα που ακολουθούν φαίνεται πως ο τέταρτος εναλλακτικός σχεδιασμός είναι μη βιώσιμος όταν το ποσοστό επιβάρυνσης από τη μεταλλουργική επεξεργασία είναι υψηλό (20%), η μέση περιεκτικότητα του κοιτάσματος κινείται πολύ κοντά στην οριακή περιεκτικότητα (0,5%) και η τιμή πώλησης του τελικού προϊόντος είναι χαμηλή (8.800 €).

Μεταβολή κερδοφορίας εναλλακτικού σχεδίου Δ σε σχέση με το Α για περιεκτικότητα Ni=0,93%



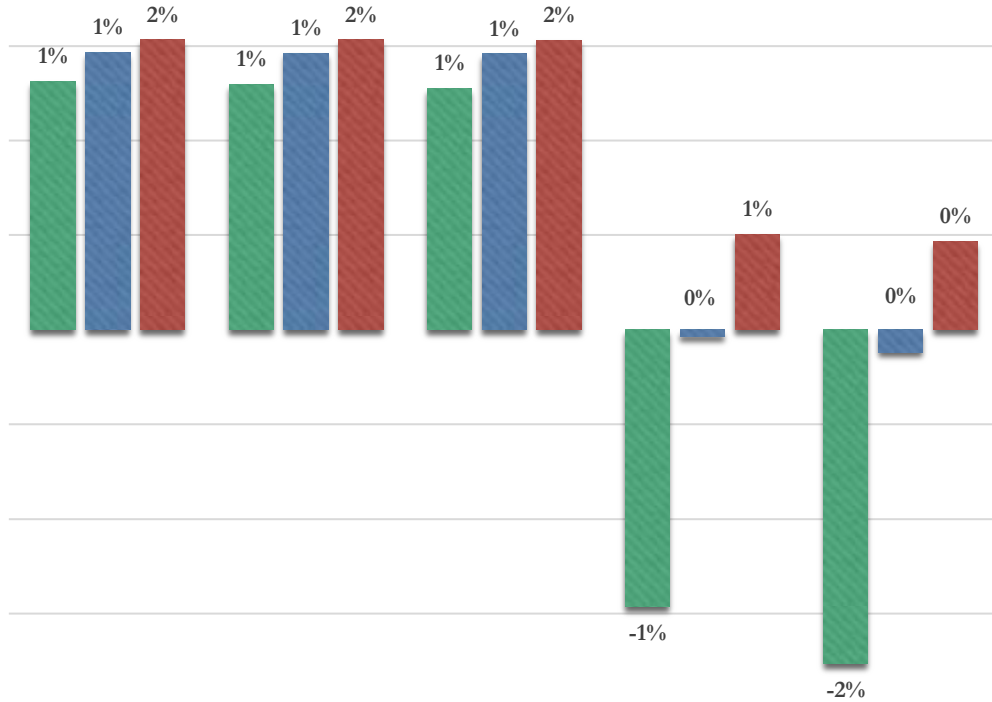
	0	5%	10%	15%	20%
■ 8.800	1%	1%	1%	-1%	-2%
■ 11.000	2%	2%	2%	1%	0%
■ 13.000	2%	2%	2%	1%	1%
■ 15.000	2%	2%	2%	1%	1%

Ποσοστό επιβάρυνσης από τη μεταλλουργική επεξεργασία

■ 8.800 ■ 11.000 ■ 13.000 ■ 15.000

Διάγραμμα 25: Μεταβολή κερδοφορίας εναλλακτικού σχεδίου Δ σε σχέση με το Α για περιεκτικότητα Ni=0,93% .

Μεταβολή κερδοφορίας εναλλακτικού σχεδίου Δ σε σχέση με το Α για περιεκτικότητα Ni=0,50%



	0	5%	10%	15%	20%
■ 11.000,00	1%	1%	1%	-1%	-2%
■ 13.000,00	1%	1%	1%	0%	0%
■ 15.000,00	2%	2%	2%	1%	0%

Ποσοστό επιβάρυνσης από τη μεταλλουργική επεξεργασία

■ 11.000,00 ■ 13.000,00 ■ 15.000,00

Διάγραμμα 26: Μεταβολή κερδοφορίας εναλλακτικού σχεδίου Δ σε σχέση με το Α για περιεκτικότητα Ni=0,50% .

Κεφάλαιο 8. Συμπεράσματα

Ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας ήταν να εξετάσουμε τον τρόπο με τον οποίο το κόστος της μεταλλουργικής επεξεργασίας επηρεάζει την οικονομικότητα της εκμετάλλευσης σιδηρονικελιούχου κοιτάσματος γνωρίζοντας ότι η διαφορά Fe-SiO₂ λόγω της αυξημένης κατανάλωσης της πάστας ηλεκτροδίων αυξάνει το κόστος της μεταλλουργικής επεξεργασίας. Με δεδομένο ότι δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία για το βαθμό επίδρασης του κόστους της επιπλέον μεταλλουργικής επεξεργασίας πραγματοποιήθηκαν εκτιμήσεις σε θεωρητικό επίπεδο για να δούμε πώς συνδέονται αυτές οι παράμετροι μεταξύ τους. Στα εναλλακτικά σχέδια που διαμορφώθηκαν εξετάστηκε η πιθανότητα εξαίρεσης των τμημάτων του κοιτάσματος στα οποία εμφανίζονται οι παραπάνω προσμίξεις. Από την ανάλυση προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Σε καμία περίπτωση δε μπορεί να εξαιρεθεί το κοίτασμα που έχει υψηλή περιεκτικότητα στη διαφορά **Fe-SiO₂** παρά το γεγονός ότι το κόστος επεξεργασίας μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την οικονομικότητα της εκμετάλλευσης. Προφανώς αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το μεγαλύτερο μέρος του κοιτάσματος εμφανίζει προσμίξεις.

- Όσο υψηλότερη είναι η τιμή πώλησης του τελικού προϊόντος τόσο λιγότερο επιδρά το επιπλέον κόστος της μεταλλουργικής επεξεργασίας στην οικονομικότητα της εκμετάλλευσης. Σε οριακές όμως συνθήκες περιεκτικότητας και τιμής πώλησης, ένα υψηλό ποσοστό επιβάρυνσης του κόστους της επιπλέον μεταλλουργικής επεξεργασίας μπορεί να καταστήσει την εκμετάλλευση μη συμφέρουσα. Επομένως, **η επίδραση του κόστους της μεταλλουργικής επεξεργασίας στην οικονομικότητα της εκμετάλλευσης εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από την τιμή πώλησης του μεταλλεύματος.**

- Για μέση περιεκτικότητα του κοιτάσματος 0,93%, ο δεύτερος εναλλακτικός σχεδιασμός υπαίθριας εκμετάλλευσης, στον οποίο έχει εξαιρεθεί το κοίτασμα που περιέχει προσμίξεις στα όρια της εκμετάλλευσης, παρουσιάζει

καλύτερα οικονομικά αποτελέσματα για χαμηλή τιμή πώλησης του τελικού προϊόντος, σε σχέση με τον πρώτο εναλλακτικό σχεδιασμό της υπαίθριας εκμετάλλευσης. Η βελτιωμένη σχέση εκμετάλλευσης του δεύτερου σχεδιασμού, αφήνει μεγαλύτερα περιθώρια κέρδους για χαμηλή τιμή πώλησης. Οι υψηλότερες τιμές πώλησης, υπερκαλύπτουν το επιπλέον κόστος επεξεργασίας και επιτρέπουν και την εκμετάλλευση του κοιτάσματος που έχει εξαιρεθεί. **Επομένως η πρόβλεψη των τιμών πώλησης του τελικού προϊόντος σε συνδυασμό με τη διάρκεια ζωής της εκμετάλλευσης μπορεί να αποτελέσει κρίσιμο παράγοντα στην επιλογή του βέλτιστου σχεδίου.**

- Στην περίπτωση, όμως, που η μέση περιεκτικότητα του κοιτάσματος κινείται πολύ κοντά στην οριακή περιεκτικότητα (0,5%), ο δεύτερος σχεδιασμός παρουσιάζει καλύτερα οικονομικά αποτελέσματα ανεξάρτητα από την τιμή πώλησης του τελικού προϊόντος. Φαίνεται λοιπόν ότι **σε αυτή την περίπτωση λόγω της χαμηλής περιεκτικότητας του κοιτάσματος η οικονομικότητα της εκμετάλλευσης, καθορίζεται κυρίως από τη σχέση εκμετάλλευσης.**

- Στη βάση των παραπάνω θα μπορούσαμε να πούμε ότι εκτός από την οριακή περιεκτικότητα **η μέση περιεκτικότητα του κοιτάσματος αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την οικονομικότητα της εκμετάλλευσης.**

Όσον αφορά το συνδυασμό υπαίθριας και υπόγειας εκμετάλλευσης:

- Ο τρίτος εναλλακτικός σχεδιασμός είναι μη βιώσιμος όταν το ποσοστό επιβάρυνσης από τη μεταλλουργική επεξεργασία είναι υψηλό (20%), η μέση περιεκτικότητα του κοιτάσματος κινείται πολύ κοντά στην οριακή περιεκτικότητα (0,5%) και η τιμή πώλησης του τελικού προϊόντος είναι χαμηλή (8.800 €).

Από τη σύγκριση της οικονομικότητας του εναλλακτικού σχεδίου Γ σε σχέση με το εναλλακτικό σχέδιο Β, γίνεται φανερό ότι ο συνδυασμός υπαίθριας και υπόγειας εκμετάλλευσης στο «περιορισμένο» κοιτάσμα είναι σε όλες τις περιπτώσεις χειρότερος από τον δεύτερο εναλλακτικό σχεδιασμό. Για μέση,

όμως, περιεκτικότητα κοιτάσματος αρκετά υψηλότερη από την οριακή, και για σχετικά υψηλές τιμές πώλησης, ο σχεδιασμός αυτός θα μπορούσε να αποτελέσει εναλλακτική λύση στην περίπτωση που άλλοι παράγοντες επιβάλλουν τον περιορισμό της υπαίθριας εκμετάλλευσης, όπως ο περιορισμός των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

- Ο τέταρτος εναλλακτικός σχεδιασμός είναι μη βιώσιμος όταν το ποσοστό επιβάρυνσης από τη μεταλλουργική επεξεργασία είναι υψηλό (20%), η μέση περιεκτικότητα του κοιτάσματος κινείται πολύ κοντά στην οριακή περιεκτικότητα (0,5%) και η τιμή πώλησης του τελικού προϊόντος είναι χαμηλή (8.800 €).

Σε σύγκριση με τον πρώτο, ο τέταρτος εναλλακτικός σχεδιασμός παράγει καλύτερα οικονομικά αποτελέσματα, ανεξάρτητα από το ποσοστό επιβάρυνσης του επιπλέον μεταλλουργικού κόστους, με εξαίρεση την περίπτωση μέσης περιεκτικότητας του κοιτάσματος πολύ κοντά στην οριακή, και τιμή πώλησης τελικού προϊόντος 8.800-11.000 €. Στην τελευταία περίπτωση, εάν η επιβάρυνση του κόστους μεταλλουργικής επεξεργασίας είναι μεγαλύτερη από 15%, η εναλλακτική αυτή λύση καθίσταται χειρότερη από τη πρώτη εναλλακτική λύση.

Σε γενικές γραμμές το τέταρτο εναλλακτικό σχέδιο φαίνεται να δίνει τα καλύτερα οικονομικά αποτελέσματα για μέση περιεκτικότητα κοιτάσματος 0,93% και τιμές πώλησης του τελικού προϊόντος μεγαλύτερες από τη μέση τιμή πώλησης της τελευταίας τετραετίας (11.000 €). Με απλά λόγια ο **συνδυασμός υπαίθριας και υπόγειας εκμετάλλευσης**, με τη μέθοδο κατακρήμνισης οροφής, **φαίνεται να είναι η καλύτερη λύση για οποιοδήποτε κόστος μεταλλουργικής επεξεργασίας, υπό την προϋπόθεση ότι η τιμή πώλησης του τελικού προϊόντος είναι πάνω από τις 11.000 €**. Επιπλέον η λύση αυτή συντείνει στην ορθολογική εκμετάλλευση του κοιτάσματος, καθώς παίρνουμε όλο το κοίτασμα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Τριανταφυλλίδης, Στ. (2019) Κοιτασματολογία, Αθήνα: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.
- ΤΑ ΝΙΚΕΛΙΟΥΧΑ ΣΙΔΗΡΟΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΑ ΛΟΚΡΙΔΟΣ ΚΑΙ ΕΥΒΟΙΑΣ (Αλμπαντάκης 1974)
- Αποστολίκας, Α. (2010) Κοιτασματολογία Νικελίου, Καστοριά, Εκδόσεις Εφύρα.
- Σημειώσεις Σχεδιασμού Υπαιθρίων Εκμεταλλεύσεων (Μενεγάκη Μ.)
- Διπλωματική Εργασία Σαουσόπουλου-Κονιαλίδη (2019)
- Διπλωματική Εργασία Μπακράτση (2019)
- Διπλωματική Εργασία Σαντοριναίου (2017)
- Η ΔΙΕΘΝΗΣ ΕΙΚΟΝΑ ΤΟΥ ΝΙΚΕΛΙΟΥ ΚΑΙ Η ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΣΙΔΗΡΟΝΙΚΕΛΙΟΥ ΣΕ ΑΥΤΗ (2000) ΖΕΥΓΩΛΗΣ, Μ.Ν. Καθηγητής, Πρόεδρος Τμήματος Μηχ. Μεταλλείων-Μεταλλουργών ΕΜΠ, ΚΟΝΤΟΣ, Ι.Α. Διπλ. Μηχ. Μεταλλείων Μεταλλουργός ΕΜΠ, MSc, ΓΜΜ ΑΕ ΛΑΡΚΟ
- Extractive Metallurgy of Nickel, Cobalt and Platinum Group Metals, Crundwell F. ,Moats M. , Ramachandran V. , Robinson T. , Davenport W. (2011)
- Elias, M. (2002) Nickel laterite deposits-geological overview, resources and exploitation Centre for Ore Deposit Research, University of Tasmania, vol. special Publication 4, pp. 205-220.
- Ζευγώλης, Ε. (2014) Μεταλλουργία Σιδήρου, Θεωρία και Τεχνολογία, Αθήνα, Εκδοτικός Όμιλος ΙΩΝ.

Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

- (energia.gr)
- (<https://gr.investing.com/commodities/nickel-historical-data>)
- (<http://www.mining.com>)
- (<http://www.larco.gr/el.index.php>)
- (<https://www.world-mining-data.info>)
- (<https://nickelinstitute.org/>)
- (<https://www.usgs.gov/>)