



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΩΝ

Διερεύνηση λειτουργίας και βελτιστοποίηση κυκλώματος θραύσης μεταλλεύματος ΛΑΡΚΟ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Παπακωνσταντίνου Ρεβέκκα

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Τσακαλάκης

Αθήνα, Οκτώβριος 2018

Αφιερώνεται στους γονείς μου, στα αδέρφια μου
και στα ανίψια μου...



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΩΝ

Διερεύνηση λειτουργίας και βελτιστοποίηση κυκλώματος θραύσης μεταλλεύματος ΛΑΡΚΟ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Παπακωνσταντίνου Ρεβέκκα

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Τσακαλάκης

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

Κωνσταντίνος Τσακαλάκης, Καθηγητής (Υπογραφή)

Γεώργιος Αναστασάκης, Καθηγητής (Υπογραφή)

Ανθimos Ξενίδης, Καθηγητής (Υπογραφή)

Αθήνα, Οκτώβριος 2018

Copyright © Ρεβέκκα Παπακωνσταντίνου, 2018
Με επιφύλαξη κάθε δικαιώματος. All rights reserved.

Πίνακας περιεχομένων

| | |
|---|----|
| Πρόλογος | 9 |
| Ευχαριστίες | 9 |
| Περίληψη | 9 |
| Abstract | 10 |
| Θεωρητικό μέρος | 11 |
| 1. Γενικά στοιχεία για το νικέλιο | 11 |
| 1.1 Προέλευση νικελίου | 13 |
| 1.2 Χρήσεις..... | 14 |
| 1.3 Τιμή νικελίου | 16 |
| 1.4 Ελληνική και Παγκόσμια βιομηχανία | 18 |
| 1.5 Παραγωγή ανοξείδωτου χάλυβα στην Ελλάδα..... | 19 |
| 2. Λατεριτικά μεταλλεύματα | 21 |
| 2.1 Γένεση λατεριτικών κοιτασμάτων..... | 21 |
| 2.2 Ορυκτολογική σύσταση λατεριτών | 23 |
| 2.3 Ελληνικά νικελιούχα λατεριτικά μεταλλεύματα | 24 |
| 3. Περιγραφή της μεταλλευτικής και της μεταλλουργικής δραστηριότητας της ΛΑΡΚΟ..... | 25 |
| 3.1 Μεταλλευτική δραστηριότητα..... | 26 |
| 3.2 Μεταλλουργική δραστηριότητα | 31 |
| 3.2.1 Μέθοδοι εξαγωγής του νικελίου..... | 31 |
| 3.2.2 Παραγωγή σιδηρονικελίου στην Ελλάδα | 32 |
| 3.2.3 Παραγωγή νικελιούχων προϊόντων με πυρο- και υδρο- μεταλλουργικές διεργασίες..... | 32 |
| 3.2.4 Τμήματα εργοστασίου | 36 |
| 4. Μηχανική προπαρασκευή του Fe-Ni μετ/τος | 47 |
| 4.1 Θραυστήρας σιαγόνων (JAW CRUSHER) | 50 |
| 4.2 Κωνικός θραυστήρας (CONE CRUSHER)..... | 53 |
| Πειραματικό μέρος | 55 |
| 5. Σχεδιασμός κυκλώματος θραύσης-ταξινόμησης τροφοδοσίας σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος 61 | |
| 5.1 Επιλογή θραυστήρων..... | 61 |
| 5.2 Προσδιορισμός επιφάνειας κοσκίνων – Εναλλακτικές περιπτώσεις..... | 66 |
| 5.3 Προσαρμογή στην πραγματική δυναμικότητα κυκλώματος (θραύσης- κοσκίνισης)..... | 73 |
| 5.4 Συμπεράσματα..... | 74 |
| Βιβλιογραφία | 75 |

Πρόλογος

Η διπλωματική αυτή εργασία αφορά τη διαμόρφωση του κυκλώματος μηχανικής προπαρασκευής (Θραύση-Ταξινόμηση) μεταλλεύματος λατερίτη (Αγ.Ιωάννη Βοιωτίας) που αποτελεί την τροφοδοσία των περιστροφικών καμίνων της βιομηχανίας ΛΑΡΚΟ. Το κύκλωμα αυτό είναι βασικό στοιχείο της ορθολογικής επεξεργασίας του μεταλλεύματος για την παραγωγή του σιδηροκράματος FeNi. Το ερέθισμα ενασχόλησης με το συγκεκριμένο πρόβλημα προέκυψε κατά την Πρακτική Άσκηση II το καλοκαίρι του 2016 που έγινε στις εγκαταστάσεις Αγ.Ιωάννη Βοιωτίας (ΛΑΡΚΟ) και επειδή η καταγωγή μου είναι από εκεί έπαιξε ιδιαίτερο ρόλο στην εκπόνηση της διπλωματικής μου στη συγκεκριμένη βιομηχανία.

Ευχαριστίες

Με το πέρας της διπλωματικής μου θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή ΕΜΠ κ. Τσακαλάκη Κωνσταντίνο για την καθοδήγηση, τις πολύτιμες γνώσεις που μου πρόσφερε και τις πάντα εύστοχες παρατηρήσεις και διορθώσεις που μου έκανε. Επίσης, οφείλω να ευχαριστήσω το μέλος ΕΤΕΠ του Εργαστηρίου Εμπλουτισμού Μετ/των ΕΜΠ Δρ. Μηχ. Μεταλλείων-Μεταλλουργό κ. Σαμμά Ηλία για τη βοήθειά του στο σχεδιασμό των κυκλωμάτων θραύσης-ταξινόμησης. Ευχαριστίες εκφράζω και στους φίλους μου, τους γονείς μου και τα αδέρφια μου για την υποστήριξη, τη βοήθεια και την αγάπη που μου προσφέρουν όλα αυτά τα χρόνια.

Περίληψη

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας ασχολήθηκα με την μηχανική προπαρασκευή (Θραύση-Ταξινόμηση) του μεταλλεύματος της ΛΑΡΚΟ, που είναι το στάδιο προετοιμασίας του υλικού πριν την εισαγωγή του στις περιστροφικές καμίνους. Συγκεκριμένα, δείγμα λατερίτη 25kg, που στάλθηκε από τον Αγ. Ιωάννη Βοιωτίας εξετάστηκε στο Εργαστήριο Εμπλουτισμού Μεταλλευμάτων. Σε αυτό διενεργήθηκε πρωτογενής θραύση σε θραυστήρα σιαγόνων και στη συνέχεια το προϊόν υποβλήθηκε σε μηχανική κοσκίνιση (ταξινόμηση του προϊόντος σε κόσκινα μικρότερα από 20mm) και προσδιορίστηκε το ποσοστό υγρασίας του. Από το διάγραμμα κοκκομετρικής ανάλυσης Gates-Gaudin-Schuhmann διαπιστώνεται ότι το μέταλλευμα είναι εύθρυπτο αλλά, λόγω του σημαντικού ποσοστού υγρασίας που περιέχει, χρειάζεται προσοχή κατά την προετοιμασία για να αποκτήσει κατάλληλη κοκκομετρία για την τροφοδοσία στις περιστροφικές καμίνους. Από την άλλη στο «τριβείο» του Αγ. Ιωάννη το μέγιστο μέγεθος του λατερίτη που εισάγεται στο σιλό του τριβείου είναι περίπου 30cm. Χρησιμοποιώντας διαγράμματα και πίνακες της Metso Minerals για θραυστήρες σιαγόνων και κωνικούς, καθώς έχοντας γνωστά δεδομένα του λατερίτη της ΛΑΡΚΟ υπολογίστηκαν για διάφορα ανοίγματα πλέγματος κοσκίνου (συγκεκριμένα 10mm, 15mm, 20mm) οι δυναμικότητες των διαφόρων θραυστήρων και οι αντίστοιχες επιφάνειες

κοσκίνισης για τροφοδοσία 100t/h. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν μπορούν εύκολα να αναχθούν στις απαιτήσεις δυναμικότητας του κυκλώματος θραύσης-ταξινόμησης, λαμβάνοντας υπόψη την τρέχουσα παραγωγική δυναμικότητα σε Fe-Ni (t/year) του μεταλλουργικού εργοστασίου.

Abstract

The present diploma thesis deals with the mechanical preparation (crushing-sizing procedure) of the lateritic nickel ore (LARCO), which is necessary for the preparation of the ore prior to its feeding to the rotary kilns. Specifically, a sample of 25kg ore from Agios Ioannis mine, was delivered to the Laboratory of Mineral Processing. The whole sample was mechanically processed at the Laboratory. Initially, the sample was subjected to primary (jaw crusher) and secondary crushing (cone crushing). Afterwards, the product of the crushing procedure, was sized to various size fractions finer than 20mm, which is the upper size of the kiln feed. From the Gates-Gaudin-Schuhmann (G-G-S) graph produced from the size analysis procedure, it was found that the ore is relatively soft but, due to its considerable moisture content, specific care must be paid during its mechanical preparation to obtain the appropriate particle size distribution for feeding the rotary kilns. On the other hand, knowing that the maximum size of lateritic ore fed to the crushing plant is about 30cm, a suitable crushing/sizing flowsheet was studied and designed in order to produce the appropriate size analysis of the kiln feed from the above mentioned ore. Using Metso Minerals diagrams and tables for jaw and cone crushers, as well as the LARCO lateritic ore size analysis data (ore extracted and target product), the capacities of the various crushers and their respective sieving surfaces were calculated for various mesh openings (10mm, 15mm, 20mm) for a capacity of 100t/h. The results obtained from the above procedure can be easily extrapolated to the actual capacity requirements of the crushing/sizing circuit, taking into account the annual production capacity (t/year) of the metallurgical plant in ferronickel (Fe-Ni) alloy.

Θεωρητικό μέρος

1. Γενικά στοιχεία για το νικέλιο

Το νικέλιο αποτελεί το 5^ο πιο κοινό στοιχείο στη Γη. Το στοιχείο αυτό συναντάται κυρίως στη δομή θειούχων, οξειδίων και αλάτων ανόργανων ουσιών. Το νικέλιο διαδραματίζει σπουδαίο ρόλο στην παγκόσμια βιομηχανική ανάπτυξη και ιδιαίτερα στη βιομηχανία ανοξείδωτου χάλυβα. (LARCO)

Το χημικό στοιχείο Νικέλιο Ni έχει ατομικό αριθμό 28, ατομικό βάρος 58.71, σημείο τήξης 1455° C και σημείο ζέσεως 2913° C και στη φύση εμφανίζεται μόνο ως δισθενές, πυκνότητα 8.9 gr/cm³ (στους 20° C) και δομή ατόμου που αποτελείται από μίγμα 5 σταθερών ισότοπων:

58 (67.8%), 60 (26.2%), 61 (1.2%), 62 (3.7%), 64 (1.2%)

Έχει αριθμό πρωτονίων/ηλεκτρονίων 28 και νετρονίων 31, το κρυσταλλικό σύστημα είναι κυβικό, η ηλεκτροαρνητικότητα (κλίμακα Pauling) 1.91. Μέση σύσταση σε πετρώματα: υπερμαφικά 1200 ppm, όξινα 8 ppm, έδαφος 40 ppm. (Μανουσάκη-Ορφανουδάκη, 2005)

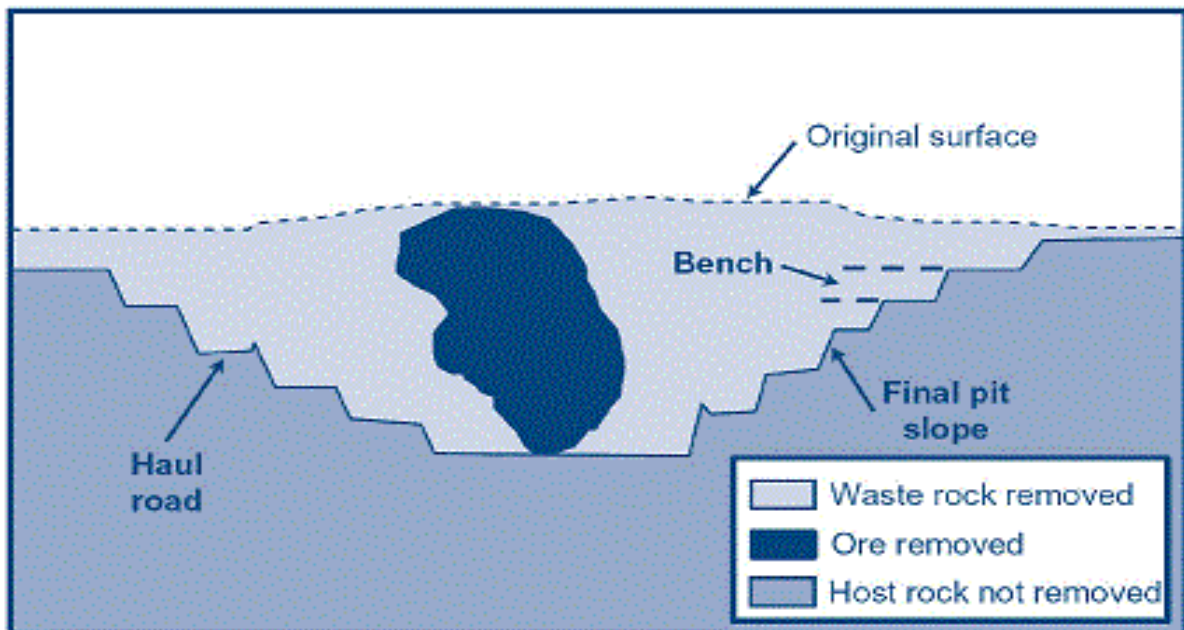
Σημαντικές φυσικές ιδιότητες είναι η μαγνητική συμπεριφορά και η αντοχή του σε μεγάλες πιέσεις. Είναι αργυρόλευκο, ελατό και όλκιμο και σε θερμοκρασίες δωματίου έχει ιδιότητες όμοιες με αυτές του χάλυβα. Το νικέλιο δεν οξειδώνεται στον αέρα και σε άλλα αναγωγικά μέσα και είναι καλός καταλύτης. Στη φύση δεν βρίσκεται σε αυτοφυή μορφή. Είναι όμως γνωστά μεταλλικά ορυκτά του Ni-Fe σε μετεωρίτες (οκταεδρίτες). (Νικέλιο - Γενικά)

Η οριακή περιεκτικότητα εκμεταλλευσιμότητας του νικελίου είναι 0.5-0.8%. Πολλές φορές στην εκμετάλλευση ανομοιογενών κοιτασμάτων και ειδικά εκείνων που παρουσιάζουν κατανομή περιεκτικότητας που αρχίζει από πολύ χαμηλές τιμές παρουσιάζεται η ανάγκη να καθορισθεί μια κατώτατη περιεκτικότητα σε μέταλλο ή άλλο χρήσιμο συστατικό κάτω από την οποία το μεταλλοφόρο ή άλλο πέτρωμα από το οποίο αποτελείται το κοίτασμα θεωρείται μη εκμεταλλεύσιμο. Την κατώτατη αυτή περιεκτικότητα ονομάζουμε οριακή περιεκτικότητα εκμετάλλευσης (cutoff grade). Η οριακή περιεκτικότητα εκμεταλλεύσεως (ΟΠ) αποτελεί δηλαδή το όριο μεταξύ μεταλλεύματος και στείρου. Όσα τμήματα του κοιτάσματος έχουν περιεκτικότητα μεγαλύτερη από την ΟΠ θεωρούνται μετάλλευμα και εξορύσσονται για να μεταφερθούν στο εργοστάσιο εμπλουτισμού ενώ όσα έχουν χαμηλότερη περιεκτικότητα από την ΟΠ απορρίπτονται στο σωρό των στείρων.

Η ΟΠ μπορεί να καθορισθεί με βάση ορισμένα καθαρώς οικονομικά κριτήρια ή και με βάση κάποια τεχνικά χαρακτηριστικά. Τεχνικό κριτήριο μπορεί να ισχύσει π.χ. όταν για να θεωρηθεί ένα μέταλλευμα εμπορεύσιμο πρέπει η περιεκτικότητά του σε ένα χρήσιμο συστατικό (π.χ. μέταλλο) να υπερβαίνει κάποιο κατώτατο όριο ή αντίστροφα η περιεκτικότητά του σε ένα βλαπτικό συστατικό να μην υπερβαίνει ένα ανώτατο όριο. Στην περίπτωση που η μέση περιεκτικότητα ενός κοιτάσματος είναι χαμηλότερη (ή αν πρόκειται για βλαπτικό συστατικό, υψηλότερη) από τα όρια αυτά, υπάρχει πολλές φορές η δυνατότητα να διαχωρίζονται τα

φτωχότερα τμήματα του κοιτάσματος, με βάση μια οριακή περιεκτικότητα και να εξορύσσονται εκλεκτικά σαν μετάλλευμα μόνο τα πλουσιότερα. Η ΟΠ που χρησιμοποιείται στην περίπτωση αυτή είναι εκείνη με την οποία εξασφαλίζεται μια μέση περιεκτικότητα μεταλλεύματος που είναι μέσα στα όρια εμπορευσιμότητας. Το κριτήριο καθορισμού της ΟΠ λέμε ότι είναι τότε τεχνικό δηλαδή η εξασφάλιση των τεχνικών προδιαγραφών που ισχύουν για ένα εμπορεύσιμο προϊόν. Κατά κανόνα όμως τα κριτήρια καθορισμού της ΟΠ είναι οικονομικά, δηλαδή αποβλέπουν στη βελτίωση του οικονομικού αποτελέσματος της εκμετάλλευσης. Επειδή όμως υπάρχουν διάφοροι τρόποι για να μετρηθεί το οικονομικό αποτέλεσμα, μπορεί για το ίδιο κοιτάσμα να έχουμε διάφορες τιμές της ΟΠ, ανάλογα με τον τρόπο που μετρούμε το οικονομικό αποτέλεσμα της εκμετάλλευσης. Οι διάφορες αυτές τιμές μπορεί, υπό ορισμένες συνθήκες να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Η διαφορά αυτή στην τιμή της ΟΠ έχει επίπτωση στη μέση περιεκτικότητα και τα αποθέματα μεταλλεύματος καθώς και στη συνολική ποσότητα μετάλλου που θα αποληφθεί από το κοιτάσμα. Τα κυριότερα από τα κριτήρια καθορισμού της ΟΠ είναι τα εξής:

- Μεγιστοποίηση των συνολικών καθαρών εσόδων της εκμετάλλευσης
- Μεγιστοποίηση της παρούσας αξίας των καθαρών εσόδων (ή ταμιακών ροών) της εκμετάλλευσης.
- Μεγιστοποίηση της εσωτερικής αποδόσεως επί του κεφαλαίου.
- Ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής του μετάλλου. (Αποστολίδη, 1989, σ. 39)



Εικόνα 1: Διάκριση μεταλλεύματος και στείρου με οριακή περιεκτικότητα
(http://minewiki.engineering.queensu.ca/mediawiki/index.php/Cut-off_grade_estimation)

Χημικά, το νικέλιο εμφανίζει μεγάλη συγγένεια με το σίδηρο, το κοβάλτιο, αλλά και το χαλκό, και για το λόγο αυτό συνυπάρχουν σε πολλούς τύπους κοιτασμάτων και μπορούν να αντικαθιστούν το ένα το άλλο σε πολύ μεγάλο βαθμό. Μία βασική του ιδιότητα είναι η

ικανότητά του να αντιδρά άμεσα με το μονοξείδιο του άνθρακα, ώστε να σχηματίζει ένα σύνθετο καρβονύλιο, που είναι ιδιαίτερα πτητικό σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Σε ορισμένο θερμοκρασιακό εύρος είναι ανθεκτικό στη διάβρωση στον αέρα, στο θαλασσινό νερό και στα μη οξειδωτικά οξέα. Μία άλλη σημαντική ιδιότητα του νικελίου είναι η ανθεκτικότητά του όσον αφορά στη διάβρωση από τα αλκάλια. (Γκουτζιούπα, 2015)

Το νικέλιο ανακαλύφθηκε το 1751 από τον Σουηδό Cronstedt και παρήχθη από τον Berman το 1775, κατά την κατεργασία σουηδικών μεταλλευμάτων κοβαλτίου. Η λεπτομερής όμως μελέτη των ιδιοτήτων του έγινε πολύ αργότερα από τον Richter.

Πρωτοπόροι στη μεταλλουργία του νικελίου υπήρξαν ο Jules Garnier για τις πυρομεταλλουργικές μεθόδους και ο Victor Hybinette για τις υδρομεταλλουργικές. Ο Ludwig Mond επινόησε τη μέθοδο της εξαγωγής με καρβονυλίωση (nickel carbonyl process ή Mond process). (Ζευγώλης Ε. Ν., Μεταλλουργία σιδήρου (θεωρία και τεχνολογία), 2014)

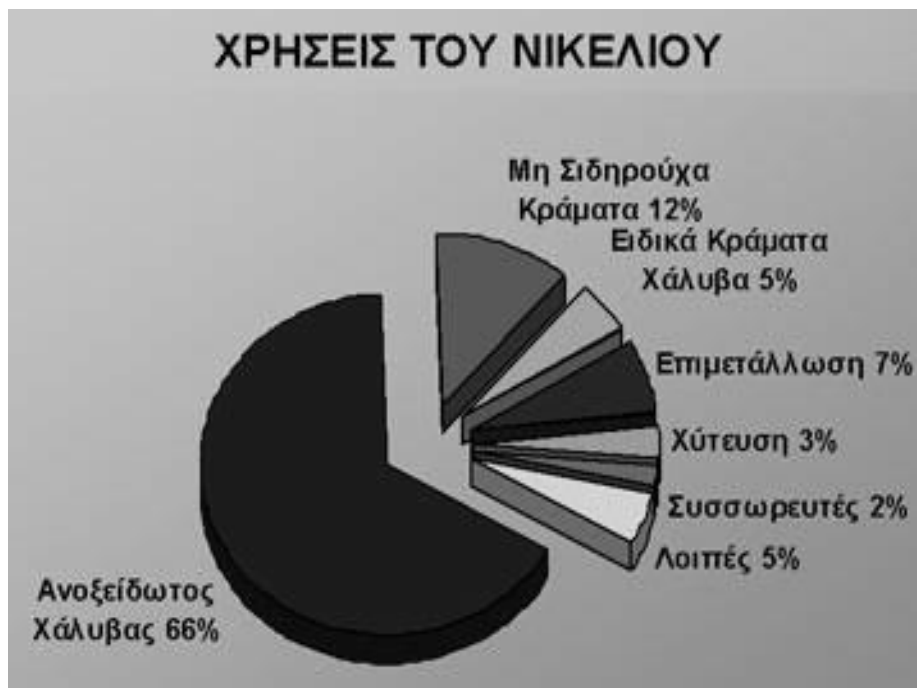
1.1 Προέλευση νικελίου

Υπάρχουν δύο τύποι κοιτασμάτων από τα οποία προέρχεται το νικέλιο:

- Από θειούχα μεταλλεύματα, τα οποία συνεισφέρουν το 40% στην παγκόσμια παραγωγή. Η σύσταση των θειούχων κοιτασμάτων αποτελείται από πυροτίνη (Fe_{1-x}S), πεντλανδίτη (FeNi_9S_8), χαλκοπυρίτη (CuFeS_2) και μαγνητίτη (Fe_3O_2), με τον πεντλανδίτη να είναι το κύριο ορυκτό του νικελίου. Οι κυριότερες χώρες παραγωγής νικελίου από θειούχα κοιτάσματα είναι : Καναδάς, Αυστραλία, Ρωσία, Ν. Αφρική, Κίνα, Η.Π.Α.
- Από τους λατερίτες, οι οποίοι συνεισφέρουν κατά 60% στη παγκόσμια παραγωγή νικελίου. Οι τρεις τύποι λατερίτη του νικελίου είναι οι εξής: λειμωνιτικός, ενδιάμεσος και σαπρολιθικός (γαρνιεριτικός). Οι σαπρολιθικοί λατερίτες είναι πλούσιοι σε οξείδια μαγνησίου και πυριτίου και φτωχοί σε σίδηρο, με ποσοστά νικελίου που κυμαίνονται από 1-5% σε 3-5%. Οι λειμωνιτικοί είναι πλούσιοι σε οξείδια σιδήρου και ένα μικρό ποσοστό νικελίου που κυμαίνεται σε ποσοστό 1-2%. Οι σημαντικότερες χώρες παραγωγής νικελίου είναι: Ρωσία, Αλβανία, Ελλάδα, Αυστραλία, Ινδονησία, Νέα Καληδονία, Κούβα. (Παπαϊωάννου, 2015)

1.2 Χρήσεις

Η πιο παλιά γνωστή χρήση του νικελίου ήταν για την παραγωγή νομισμάτων. Σήμερα είναι γνωστές πάνω από 300.000 χρήσεις του μετάλλου. Το νικέλιο χρησιμοποιείται κυρίως στην παραγωγή ανοξειδωτου χάλυβα μέσω του κράματος του σιδηρονικελίου (66%). Ωστόσο, χρησιμοποιείται επίσης στην παραγωγή μη σιδηρούχων κραμάτων (12%), ειδικών κραμάτων χάλυβα(5%), στην επιμετάλλωση (7%), στη χύτευση των μετάλλων (3%) και στους συσσωρευτές (2%). (LARCO)



Εικόνα 2: Χρήσεις του νικελίου
(LARCO)

Οι ανοξειδωτοι χάλυβες χωρίζονται στους ωστενιτικούς και στους φερριτικούς. Στους πρώτους που καταλαμβάνουν τα 2/3 της συνολικής παραγωγής ανοξειδωτου χάλυβα, οι σειρές που παρουσιάζουν πολύ υψηλή αντοχή στη διάβρωση και μηχανική αντοχή είναι οι 200 και 300, όπου περιέχουν νικέλιο 1-6% και 8-14% αντίστοιχα. Μια νέα κατηγορία ανοξειδωτων χαλύβων είναι οι υπερωστενιτικοί που περιέχουν υψηλότερες περιεκτικότητες νικελίου και έχουν ειδικές χρήσεις. Λόγω των υψηλών προδιαγραφών χρησιμοποιούνται στους τομείς της υγιεινής όπως των τροφίμων, στην ποτοποιία και την ιατρική, όπως επίσης και στην κατασκευή οικιακών κατασκευών.

Οι φερριτικοί ανοξειδωτοι χάλυβες ανήκουν στη σειρά 400, είναι χάλυβες με κύρια φάση το φερρίτη (α -Fe) και περιέχουν 10.5-27% χρώμιο αλλά ελάχιστο ή καθόλου νικέλιο. (Παπαϊωάννου, 2015)

Το μεταλλικό νικέλιο και τα κράματά του, και κυρίως το σιδηρονικέλιο, χρησιμοποιούνται ευρέως στην κατασκευή και διαμόρφωση εργαλείων, σε χημικούς εξοπλισμούς, οικιακές εφαρμογές, νοσοκομειακό εξοπλισμό, επεξεργασία τροφίμων, αρχιτεκτονικά πάνελ, κρυγονικές χρήσεις, εξαρτήματα αυτοκινήτων και κινητήρων, επιμεταλλώσεις, ηλεκτροδιαμορφώσεις, κατασκευή νομισμάτων, καταλυτών, μπαταριών, μαγνητών, ράβδων συγκολλήσεων και σε πολλές ακόμα εφαρμογές.

Κράματα του Ni με Cu χρησιμοποιούνται σε νομίσματα, στη βιομηχανία υδραυλικών, σε ναυτιλιακό εξοπλισμό, σε πετροχημικό εξοπλισμό, σε εναλλάκτες θερμότητας, συμπυκνωτές, αντλίες, κ.ά.

Επίσης, τα ιδιαίτερα ανθεκτικά σε υψηλές θερμοκρασίες κράματα του Ni με Cr, χρησιμοποιούνται σε θερμαντικά στοιχεία, φούρνους, τμήματα κινητήρων jet κ.ά.

Το νικέλιο έχει πάρα πολλές βιομηχανικές εφαρμογές, όχι μόνο σε μεταλλική μορφή. Τα οξείδια και υδροξείδια του νικελίου χρησιμοποιούνται στη παρασκευή κραμάτων, καταλυτών και ειδικών κεραμικών. Τα σουλφίδια Ni χρησιμοποιούνται ως καταλύτες. Τα άλατα του νικελίου έχουν επίσης καταλυτικές εφαρμογές, χρησιμοποιούνται στις βαφές και τα μεταλλικά φινιρίσματα, ως καταλύτες και ηλεκτρολύτες. (Καλημέρη, 2015)

Τα μεταλλουργικά προϊόντα του νικελίου από θειούχα μεταλλεύματα είναι το Ni και το NiO και Fe-Ni. Τα προϊόντα αυτά διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: (Ζευγώλης Ε. Ν., Μεταλλουργία σιδήρου (θεωρία και τεχνολογία), 2014)

Κατηγορία I: Προϊόντα με Ni 99% ή περισσότερο

- Κάθοδοι νικελίου (99.96 Ni)
- Pellets Ni. Παράγονται κυρίως κατά τη μέθοδο της καρβονυλίωσης.
- Σκόνη νικελίου. Παράγεται κατά τη μέθοδο της αμμωνιακής εκχύλισης (Sherritt-Gordon process).
- Μπρικέττες νικελίου
- Ροδέλες

Κατηγορία II: Προϊόντα με Ni λιγότερο από 99%

- Σιδηρονικέλιο: 20-29% Ni
- Οξειδίο του νικελίου-sinter: 75-90% Ni

1.3 Τιμή νικελίου

Στην παγκόσμια αύξηση της ζήτησης του νικελίου τα τελευταία χρόνια συνέβαλε αποφασιστικά η Κίνα, η οποία προβλέπεται να συνεχίσει να αποτελεί σημαντική πηγή κατανάλωσης, αλλά και άλλες αναπτυσσόμενες οικονομίες, όπως η Ινδία, η Ρωσία και η Βραζιλία, όπου, λόγω της αυξημένης εκβιομηχάνισης των τελευταίων ετών, σημειώθηκε αύξηση στη ζήτηση για ανοξείδωτο χάλυβα και κράματα νικελίου.

Οι μακροοικονομικές συνθήκες που θα επικρατήσουν στην Κίνα τα επόμενα χρόνια θα επηρεάσουν σημαντικά τις τιμές και την αγορά του νικελίου σε παγκόσμιο επίπεδο. Σύμφωνα με προβλέψεις, η ζήτηση για ανοξείδωτο χάλυβα, και επομένως για νικέλιο, πρόκειται να αυξηθεί μεσοπρόθεσμα στις αναπτυσσόμενες οικονομίες των χωρών της Ασίας. Μάλιστα, λόγω της διαφαινόμενης ανάγκης για βελτίωση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων, αναμένεται να υπάρξει αυξητική τάση της χρήσης εξευγενισμένου νικελίου (αντί για το χαμηλότερης ποιότητας χυτοσίδηρο νικελίου).

Σύμφωνα με το INSG, η απόφαση της κινέζικης κυβέρνησης να κατευθύνει την οικονομία της χώρας περισσότερο με γνώμονα την αειφορία και όχι μόνο την ανάπτυξη, όπως συνέβαινε μέχρι τώρα, εφαρμόζοντας μεθόδους που βασίζονται στην εγχώρια κατανάλωση και σε μηχανισμούς ελέγχου τιμών αλλά και η προοπτική υψηλότερων επιτοκίων στις Η.Π.Α., έχουν αντίκτυπο στην παγκόσμια οικονομία.

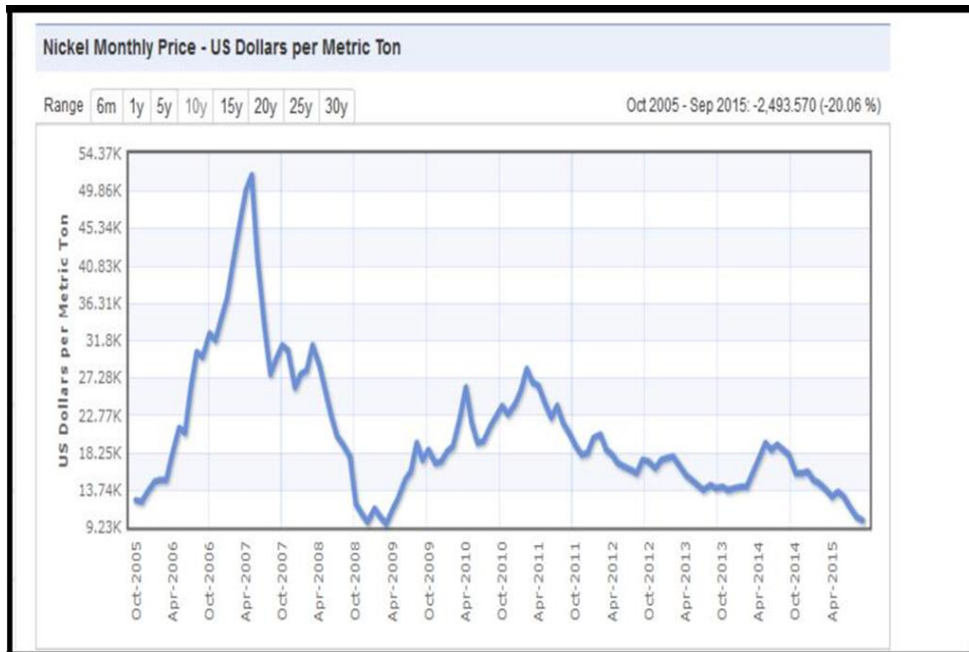
Η παγκόσμια παραγωγή πρωτογενούς νικελίου ήταν 1.994 εκατομμύρια τόνους το 2014, και μειώθηκε σε 1.954 Mt το 2015.

Η παγκόσμια κατανάλωση πρωτογενούς νικελίου ήταν 1.863 εκατομμύρια τόνους το 2014 και αυξήθηκε σε 1,905 εκατομμύρια τόνους το 2015.

Σύμφωνα με το capital.gr «...το νικέλιο έχει χάσει σχεδόν το 50% της αξίας του, μετά την άνοδο του σε υψηλά δύο ετών τον Μάιο 2013 όταν η Ινδονησία – μέχρι τότε η μεγαλύτερη εξαγωγέας νικελίου στον κόσμο – απαγόρευσε όλες τις εξαγωγές ακατέργαστων μετάλλων. Η απαγόρευση αναμενόταν να οδηγήσει σε έλλειψη προσφοράς στην κινεζική οικονομία, η οποία αποτελεί τον πρώτο στην κατηγορία καταναλωτή νικελίου στον κόσμο, αλλά προς το παρόν οι επενδυτές που ποντάρουν σε άνοδο δείχνουν να χάνουν την υπομονή τους, λόγω και των τεράστιων διαθέσιμων αποθεμάτων. “Πιστεύω πως ορισμένοι παίκτες της αγοράς θεωρούν ότι η Ινδονησία θα άρει ή θα χαλαρώσει την απαγόρευση των εξαγωγών μεταλλευμάτων. Εάν συμβεί αυτό οι προσδοκίες γύρω από το ράλι της τιμής του νικελίου θα καταρρεύσουν”, δήλωσε το στέλεχος της BNP Paribas Stephen Briggs.

Η τιμή του νικελίου έχει παρουσιάσει σημαντικές διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια των τελευταίων 40 ετών. Η τιμή του νικελίου σημείωσε αύξηση 12% κατά τη διάρκεια του 2014 (USGS, Mineral Commodity Summaries 2015). Το Μάιο του 2014 η ονομαστική αξία του νικελίου σημείωσε άνοδο (φτάνοντας στα 19.434 \$/ τόνο) στο LME μετά από κάμψη που είχε ξεκινήσει στα μέσα του 2013. Μέχρι τον Οκτώβριο του 2014, όμως, σημειώθηκε νέα πτώση

(σε 15.765 \$/ τόνο) η οποία συνοδεύτηκε από αύξηση των αποθεμάτων νικελίου του LME στο επίπεδα-ρεκόρ των 385.000 τόνων. (Καλημέρη, 2015)



Διάγραμμα 1: Τιμή νικελίου ανά μήνα (2005-2015) (\$/t), Index Mundi
<http://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=nickel>



Διάγραμμα 2: Τιμή νικελίου ανά έτος (1989-2019)
<http://www.infomine.com/investment/metal-prices/nickel/all/>

1.4 Ελληνική και Παγκόσμια βιομηχανία

Το νικέλιο είναι ένα από τα σημαντικότερα μεταλλουργικά προϊόντα της Ελλάδας. Η βασική γεωλογική έρευνα και μελέτες διεξάγεται κυρίως από το ΓΓΜΕ (Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών) το οποίο παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη γεωλογική δομή της χώρας, το μέγεθος, την τοποθεσία και την ποιότητα των διαφόρων κοιτασμάτων της Ελλάδας και κατά δεύτερο λόγο από άλλους φορείς.

Την εξ ολοκλήρου εκμετάλλευση των νικελιούχων κοιτασμάτων στον Ελλαδικό χώρο έχει αναλάβει η ΛΑΡΚΟ Γ.Μ.Μ.Α.Ε, από τις μεγαλύτερες μεταλλουργικές βιομηχανίες της χώρας και από τις μεγαλύτερες του είδους στην Ευρώπη, παραμένει ο μοναδικός παραγωγός νικελίου στην ΕΕ από εγχώρια μεταλλεύματα. Η ΛΑΡΚΟ διεξάγει εκτεταμένη και λεπτομερή έρευνα η οποία περιλαμβάνει γεωλογική αναγνώριση, χαρτογράφηση και ερευνητικές γεωτρήσεις δειγματοληψίας χρησιμοποιώντας σύγχρονη τεχνολογία. Η μελέτη και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της γεωλογικής έρευνας γίνεται με τα πλέον σύγχρονα και πιστοποιημένα προγράμματα ηλεκτρονικών υπολογιστών και έτσι υπολογίζεται ο όγκος και η ποιότητα των αποθεματικών και αποθεμάτων των νικελιούχων μεταλλευμάτων.

Με βάση τα δεδομένα που υπάρχουν, τα λατεριτικά σιδηρονικελιούχα κοιτάσματα στη χώρα υπερβαίνουν τους 240 εκατομμύρια τόνους και βρίσκονται κυρίως σε περιοχές των νομών (LARCO):

- Εύβοιας
- Βοιωτίας
- Καστοριάς

Τα εκμεταλλεύσιμα με την πυρομεταλλουργική μέθοδο αποθέματα λατερίτη ανέρχονται σε 36 εκατ.τ. Η δυναμικότητα τροφοδοσίας του εργοστασίου είναι 1,2 έως 1,5 εκατ.τ λατερίτη ετησίως και η μεταλλουργική του απόδοση, δηλαδή (ανάκτηση Ni) είναι 82% περίπου. Η δυναμικότητα παραγωγής σιδηρονικελιούχου κράματος (Fe-Ni) ανέρχεται σε 20.000t Ni ετησίως, περιεχομένου στο σιδηρονικέλιο. Το σύνολο του προϊόντος εξάγεται σε χώρες παραγωγούς ανοξείδωτου χάλυβα. (Ζαφειράτος, 2010)

Όσον αφορά την παγκόσμια βιομηχανία νικελίου οι κυριότεροι παραγωγοί νικελίου είναι οι εξής: Ηνωμένες Πολιτείες, Αυστραλία, Κούβα, Δομινικανή Δημοκρατία, Ινδονήσια, Νέα Καληδονία, Μαδαγασκάρη, Φιλιππίνες, Ρωσία, Νότιος Αφρική και άλλες χώρες. Αξίζει να σημειωθεί ότι μονάδες εμπλουτισμού νικελίου με αρκετά μεγάλη δυναμικότητα υπάρχουν στη Νορβηγία, Φινλανδία, Γαλλία, Ιαπωνία και Μεγάλη Βρετανία. (Κατζαγιαννάκης, 2013)

Η παγκόσμια παραγωγή νικελίου και τα αποθέματα (2015-2016) δίνονται στον Πίνακα 1:

Πίνακας 1: Παραγωγή νικελίου τα έτη 2015-2016 (κυριοτέρων χωρών παραγωγών)
(U.S. Geological Survey)

| | Mine production | | Reserves ⁶ |
|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| | 2015 | 2016 ^e | |
| United States | 27,200 | 25,000 | 160,000 |
| Australia | 222,000 | 206,000 | 719,000,000 |
| Brazil | 160,000 | 142,000 | 10,000,000 |
| Canada | 235,000 | 255,000 | 2,900,000 |
| China | 92,900 | 90,000 | 2,500,000 |
| Colombia | 40,400 | 36,800 | 1,100,000 |
| Cuba | 56,400 | 56,000 | 5,500,000 |
| Guatemala | 52,400 | 58,600 | 1,800,000 |
| Indonesia | 130,000 | 168,500 | 4,500,000 |
| Madagascar | 45,500 | 48,000 | 1,600,000 |
| New Caledonia | 186,000 | 205,000 | 6,700,000 |
| Philippines | 554,000 | 500,000 | 4,800,000 |
| Russia | 269,000 | 256,000 | 7,600,000 |
| South Africa | 56,700 | 50,000 | 3,700,000 |
| Other countries | 157,000 | | 150,000 |
| <u>World total (rounded)</u> | <u>2,280,000</u> | <u>2,250,000</u> | <u>78,000,000</u> |

Το 60% της παγκόσμιας παραγωγής προέρχεται από κοιτάσματα λατεριτών, ενώ το 40% από κοιτάσματα θειούχων μεταλλευμάτων. Εκτεταμένοι πόροι νικελίου υπάρχουν επίσης στους ωλίθους των βυθών ωκεανών, όπου το νικέλιο βρίσκεται μαζί με μαγγάνιο. Οι ωλίθοι είναι συγκεντρωμένοι σε ορισμένες περιοχές του θαλάσσιου βυθού, ειδικότερα στην ονομαζόμενη ζώνη του Ειρηνικού Ν.Α, της Χαβάης, καθώς και στον Β. Ατλαντικό. (U.S. Geological Survey)

1.5 Παραγωγή ανοξειδωτού χάλυβα στην Ελλάδα

Τα πλεονεκτήματα της ίδρυσης μονάδας παραγωγής ανοξειδωτού χάλυβα στην Ελλάδα και συγκεκριμένα στη Λάρυμνα, έχουν εντοπιστεί και αναπτυχθεί λεπτομερώς κατά την τελευταία εικοσαετία.

Τα πλεονεκτήματα αυτά συνοψίζονται (με οικονομικά και τεχνικά στοιχεία 1988) στο χαμηλότερο κόστος παραγωγής κατά 9%, περίπου, έναντι του συμβατικού. Αυτό οφείλεται στα εξής:

- Αξιοποίηση της ενέργειας του ρευστού Fe-Ni.
- Αξιοποίηση μεγαλύτερης ποσότητας Fe, με την παραγωγή FeNi-10 αντί FeNi-20 και περιορισμός του απαιτούμενου παλαιοσίδηρου (scrap Fe).

- Αποφυγή του 4^{ου} σταδίου κατεργασίας του FeNi-13 στους μεταλλάκτες OBM με απευθείας τροφοδοσία στην εγκατάσταση παραγωγής ανοξείδωτου χάλυβα του FeNi-10 των Η/Κ.

Τα μειονεκτήματα μιας αμιγώς ελληνικής μονάδας παραγωγής ανοξείδωτου χάλυβα έχουν επίσης αναπτυχθεί και συνοψίζονται στα εξής:

- Υψηλό κόστος επένδυσης (220 εκ USD με τιμές 1988 για μονάδα 100.000 τόνων/έτος).
- Μικρό μέγεθος της ελληνικής μονάδας σε σύγκριση με εκείνο από συνένωση των ήδη μεγάλων εταιριών του εξωτερικού, οι οποίες μάλιστα επικεντρώνουν τη δραστηριότητά τους μόνο στον ανοξείδωτο χάλυβα, ενώ μέχρι πρότινος ήταν παραγωγοί κοινού και ανοξείδωτου χάλυβα.
- Διακοπή λειτουργίας των ΕΛΣΙ (από το 1991).
- Ανάγκη μεταφοράς των πλινθωμάτων (slabs) ανοξείδωτου χάλυβα στο εξωτερικό για θερμή έλαση και επιστροφή τους στην Ελλάδα για ψυχρή. Το μειονέκτημα αυτό αναμένεται να αντιμετωπιστεί επιτυχώς κατά τα αμέσως προσεχή έτη με την ανάπτυξη τεχνολογίας η οποία θα καταργεί την ανάγκη θερμής έλασης.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι θα μπορούσαν παραγωγοί ανοξείδωτου χάλυβα να συμμετάσχουν με τη ΛΑΡΚΟ στην ίδρυση μονάδας ανοξείδωτου χάλυβα η οποία θα επωφεληθεί από τα πλεονεκτήματα του ρευστού Fe-Ni της ΛΑΡΚΟ. (Ζευγώλης, 1996)

2. Λατεριτικά μεταλλεύματα

Τα λατεριτικά μεταλλεύματα αποτελούν για περισσότερο από έναν αιώνα βασική ορυκτή πρώτη ύλη για την εξαγωγή του νικελίου, ξεκινώντας από την εξόρυξη και εκμετάλλευση στα τέλη του 19ου αιώνα των λατεριτικών κοιτασμάτων της Νέας Καληδονίας προς εξαγωγή του λεγόμενου λευκού μετάλλου. Ο όρος λατερίτης χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά από τον Άγγλο F.H. Buchanan, όταν σε μια περιοδεία στην επαρχία Kerala της Ινδίας παρατήρησε εμφανίσεις ενός γαιώδους πετρώματος με χρώμα κοκκινωπό – κεραμιδί και ονόμασε το πέτρωμα αυτό λατερίτη, από την λατινική λέξη later που σημαίνει κεραμίδι.

Ένας μεγάλος αριθμός από ορισμούς έχει δοθεί για τα λατεριτικά μεταλλεύματα από τους διάφορους ερευνητές, οι οποίοι έχουν ως κοινό χαρακτηριστικό το γεγονός ότι αναφέρονται στις γεωλογικές συνθήκες σχηματισμού καθώς και την ορυκτολογική σύσταση του μεταλλεύματος. Ένας από αυτούς είναι και ο ακόλουθος: Λατερίτης είναι το προϊόν της επιτόπου χημικής αποσάθρωσης πυριτικών πετρωμάτων, η οποία γίνεται σε θερμά και υγρά κλίματα με την ενέργεια του διεισδύοντος ύδατος, οπότε και προκύπτουν αποθέματα πλούσια σε οξειδία σιδήρου και αλουμινίου. (Ζωγραφίδης, 2010)

2.1 Γένεση λατεριτικών κοιτασμάτων

Τα λατεριτικά κοιτάσματα προέρχονται από αποσάθρωση και διάλυση αργιλοπυριτικών ορυκτών (ιδίως αστρίων, αλλά και πυροξένων εφόσον περιέχουν Al) εκρηξιγενών πετρωμάτων βασικής και εν μέρει όξινης σύστασης - αλλά όχι υπερβασικών γιατί τα τελευταία δεν περιέχουν αστρίους – και μεταμορφωμένων παραγώγων αυτών λόγω επίδρασης ατμοσφαιρικών παραγόντων.

Οι λατερίτες σχηματίζονται σε τροπικά ή υποτροπικά κλίματα με εναλλαγές ξηρών και υγρών περιόδων. Σε κλίματα υγρά (τροπικά ή υποτροπικά) παρατηρείται διαλυτοποίηση και καταστροφή του μητρικού πετρώματος, ενώ οι εναλλαγές ξηρών και υγρών περιόδων προκαλούν καθίζηση των υλικών που παρέμειναν ως προϊόντα διαλυτοποίησης του πετρώματος.

Τα διαλυμένα και αποσαθρωμένα υλικά μεταφέρθηκαν με τη βοήθεια του νερού, καταλήγοντας σε ωκεανούς. Το δε υπόλειμμα συνεχώς εμπλουτιζόταν σε μη διαλυόμενα υλικά. Με τον τρόπο αυτό λάμβανε χώρα συνεχής εμπλουτισμός in situ σε ορυκτά μεγάλου ειδικού βάρους με σκοπό τη δημιουργία αυτόχθονων κοιτασμάτων. Η ένταση της λατεριτίωσης εδώ εξαρτάται από τη φύση του αρχικού πετρώματος και τις συνθήκες περιβάλλοντος.

Σε περίπτωση που η μεταλλογένεση αυτού του τύπου διακοπεί από τυχόν καταβύθιση στεριάς, είτε τα αυτόχθονα κοιτάσματα θα καλυφθούν από νεότερα ιζήματα, τα οποία θα αποτελέσουν την οροφή των αυτόχθονων λατεριτικών κοιτασμάτων, είτε θα προκληθεί μεταφορά και

απόθεσή τους εκ νέου, μακριά από το μητρικό πέτρωμα, και στη συνέχεια θα καλυφθούν από νεότερα ιζήματα, με σκοπό τη δημιουργία ετερόχθονων κοιτασμάτων. (Μαρτίνη, 2004)

Οι λατερίτες είναι πετρώματα που σχηματίζονται από χημική αποσάθρωση βασικών, υπερβασικών ή και όξινων πετρωμάτων σε τροπικό ή υποτροπικό περιβάλλον.

Κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες:

- Νικελιούχα λατεριτικά κοιτάσματα
- Σιδηρολατεριτικά κοιτάσματα
- Βωξίτες

Τα νικελιούχα λατεριτικά κοιτάσματα σχετίζονται με τη χημική αποσάθρωση υπερβασικών πετρωμάτων (δουνίτες, περιδοτίτες, και των μεταμορφωμένων αναλόγων τους, τους σερπεντίνες) σε συνθήκες θερμού και υγρού κλίματος, με την επενέργεια κυρίως του διεισδύοντος ύδατος, οπότε προκύπτουν αποθέματα πλούσια σε οξείδια του σιδήρου και του αλουμινίου. Η περιεκτικότητά τους σε Ni κυμαίνεται από 0,8-3,0%. Ταξινομούνται σε πυριτικό υλικό (γαρνιεριτικό μέταλλευμα, σερπεντινικό μέταλλευμα) και υλικό οξειδίων (λειμωνιτικό μέταλλευμα, νικελιούχο σιδηρομέταλλευμα).

Οι αντιδράσεις που πραγματοποιούνται κατά τη λατεριτική αποσάθρωση εξαρτώνται, κατά κύριο λόγο, από το pH του περιβάλλοντος, το οξειδοαναγωγικό δυναμικό, και το ιοντικό δυναμικό. Οι κυριότεροι παράγοντες που ρυθμίζουν την ένταση της αποσάθρωσης είναι το είδος του πετρώματος, η θερμοκρασία, οι βροχοπτώσεις και η γεωμορφολογία. Οι συνθήκες αυτές σε συνδυασμό με τις μεταβολές του pH και του δυναμικού συντελούν στην απομάκρυνση υδατοδιαλυτών στοιχείων (όπως το κάλιο, το νάτριο και το μαγνήσιο) και στην παραμονή των μη διαλυτών στοιχείων (όπως σίδηρος και αλουμίνιο). Έτσι δημιουργείται επί τόπου ένα εμπλούτισμα οξειδίων σιδήρου και αλουμινίου (λατερίτες), πλούσιο είτε σε σίδηρο, όπου καλείται λατεριτικό σιδηρομέταλλευμα, είτε σε αλουμίνιο όπου είναι οι βωξίτες. (Μπατσούλη, 2015)

2.2 Ορυκτολογική σύσταση λατεριτών

Μια από τις μεθόδους κατάταξης των λατεριτικών κοιτασμάτων με βάση τα κύρια ορυκτά του νικελίου είναι:

Τύπος Α: Πυριτικά κοιτάσματα του νικελίου, με κύριες ορυκτολογικές φάσεις νικελιομαγνησιούχα πυριτικά ορυκτά (π.χ. γαρνιερίτη – $[(Ni,Mg)_6Si_4O_{10}(OH)_8]$), τα οποία κατά κύριο λόγο απαντούν σε μεγάλο βάθος στη σαπρολιθική ζώνη.

Τύπος Β: Πυριτικά κοιτάσματα του νικελίου, με κύριες ορυκτολογικές φάσεις σμεκτιτικού τύπου αργιλικά ορυκτά, τα οποία κατά κύριο λόγο απαντούν στα επάνω τμήματα της σαπρολιθικής ζώνης.

Τύπος Γ: Οξειδωμένα κοιτάσματα, με κύριες ορυκτολογικές φάσεις υδροξείδια του σιδήρου (π.χ. γκαιίτης - α – $FeOOH$), τα οποία σχηματίζουν ένα στρώμα στο όριο μεταξύ λειμωνιτικού και σαπρολιθικού ορίζοντα.

Τα περισσότερα λατεριτικά κοιτάσματα περιλαμβάνουν τόσο πυριτικά όσο και οξειδωμένα μεταλλεύματα σε κυμαινόμενες αναλογίες. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι το περιεχόμενο νικέλιο στις πυριτιούχες ορυκτολογικές φάσεις των λατεριτικών κοιτασμάτων Τύπου Α και Β ποικίλλει, με αποτέλεσμα σε μεμονωμένα ορυκτά να υπερβαίνει το 20% στα κοιτάσματα τύπου Α. Στα λατεριτικά κοιτάσματα τύπου Β, μία τυπική σύσταση νικελίου είναι 1-1,5%, με το νικέλιο να ενδομείται ανάμεσα στα δομικά επίπεδα ή εντός του οκταεδρικού επιπέδου των διαφόρων νικελιούχων ορυκτών, αντικαθιστώντας στο κρυσταλλικό πλέγμα τον τρισθενή σίδηρο.

Σύμφωνα με μια άλλη κατάταξη, κατά τη διαδικασία της λατεριτικής αποσάθρωσης, σχηματίζονται οι δύο ακόλουθοι τύποι λατεριτικών μεταλλευμάτων:

Οι λατερίτες γαρνιεριτικού τύπου: οι οποίοι σχηματίζονται στο δάπεδο του λατεριτικού κοιτάσματος και μάλιστα στη ζώνη επαφής αυτού με το υγιές πέτρωμα, εκεί που συμβαίνει και η εξουδετέρωση του μεταλλοφόρου όξινου διαλύματος. Αποτέλεσμα αυτής της εξουδετέρωσης είναι η εκλεκτική κατακρήμνιση του νικελίου (Ni) μαζί με ποσοστό μαγνησίου (Mg), ενώ ένα μέρος παραμένει διαλυμένο και απομακρύνεται. Τα μεταλλεύματα του τύπου αυτού είναι σχετικά πλούσια σε νικέλιο, οξείδιο του μαγνησίου και οξείδιο του πυριτίου και φτωχά σε σίδηρο.

Οι λατερίτες λειμωνιτικού τύπου: οι οποίοι σχηματίζονται στην οροφή του λατεριτικού κοιτάσματος, όπου ο σίδηρος (Fe) και το μαγγάνιο (Mn) οξειδώνονται γρήγορα και κατακρημνίζονται επί τόπου ως υδροξείδια συμπαρασύροντας ταυτόχρονα το περισσότερο κοβάλτιο και μέρος του νικελίου. Τα μεταλλεύματα αυτά έχουν ως κύριο συστατικό τον γκαιίτη, είναι πλούσιο σε σίδηρο (Fe), και σχετικά φτωχά σε νικέλιο (Ni), σε οξείδιο του μαγνησίου (MgO) και σε διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2). (Ζωγραφίδης, 2010)

2.3 Ελληνικά νικελιούχα λατεριτικά μεταλλεύματα

Οι σιδηρονικελιούχοι λατερίτες στον Ελληνικό χώρο σχηματίστηκαν κατά κύριο λόγο από τη λατεριτική αποσάθρωση πετρωμάτων περιδοτιτικού τύπου, τα προϊόντα της οποίας μεταφέρθηκαν στη θάλασσα όπου και αποτέθηκαν, δίδοντας κατ' αυτό τον τρόπο αλλόχθονα λατεριτικά κοιτάσματα. Επί τόπου (in situ) επιφανειακές εμφανίσεις παρουσιάζονται μόνο στην περιοχή της Καστοριάς, πάνω από σερπεντινωμένους χαρτσβουργίτες. (Μπόσκος Ε., 2000)

Οι Ελληνικοί λατερίτες βρίσκονται κατά κύριο λόγο στη Ζώνη Ανατολικής Ελλάδας (Εύβοια και Λοκρίδα) καθώς και στην Καστοριά (Β. Ελλάδα).

3. Περιγραφή της μεταλλευτικής και της μεταλλουργικής δραστηριότητας της ΛΑΡΚΟ

Η ΛΑΡΚΟ είναι μια από τις μεγαλύτερες παραγωγούς σιδηρονικελίου στον κόσμο. Ιδρύθηκε από τον οραματιστή και πρωτοπόρο επιχειρηματία Πρόδρομο Αθανασιάδη Μποδοσάκη το 1963. Καθημερινά είναι στην πρώτη γραμμή της εκμετάλλευσης, εξόρυξης, κατεργασίας και εμπορικής διάθεσης του σιδηρονικελίου. Οι μεγαλύτεροι παραγωγοί ανοξείδωτου χάλυβα στον κόσμο εμπιστεύονται το προϊόν της το οποίο θεωρείται μοναδικό λόγω της παντελούς απουσίας άνθρακα.

Η ΛΑΡΚΟ Α.Ε. κατατάσσεται σήμερα μεταξύ των πέντε κορυφαίων παραγωγών σιδηρονικελίου της διεθνούς αγοράς και εξάγει το σύνολο της παραγωγής της, έχοντας επιτύχει σημαντικές παραγωγικές καινοτομίες (όπως η εισαγωγή, για πρώτη φορά το 1976, του κοκκοποιημένου σιδηρονικελίου στη διεθνή αγορά). Η παραγωγική μονάδα της ΛΑΡΚΟ στην Λάρυμνα είναι από τις μεγαλύτερες στον κόσμο. Η Εταιρεία εκμεταλλεύεται τα Μεταλλεία Ευβοίας, Αγίου Ιωάννη στη Βοιωτία, Ιεροπηγής Καστοριάς καθώς και τα ορυχεία λιγνίτη στα Σέρβια Κοζάνης.



Εικόνα 3: Μεταλλουργικό Εργοστάσιο Λάρυμνας LARCO

3.1 Μεταλλευτική δραστηριότητα

Η ΛΑΡΚΟ διαθέτει πέντε Μεταλλεία επιφανειακής εκμετάλλευσης στην περιοχή της **Εύβοιας**. Τα Μεταλλεία διαθέτουν σύγχρονο χωματουργικό 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 του μεταλλουργικού εργοστασίου σε νικέλιο είναι 1%-1.03%. (LARCO)

Το μέταλλευμα αποτελείται κυρίως από σίδηρο, πυρίτιο, αργίλιο, χρώμιο, μαγνήσιο και νικέλιο. Υπάρχουν μικροποσότητες μαγγανίου, ασβεστίου, θείου, χαλκού, κοβαλτίου και αρσενικού. Η περιεκτικότητα του νικελίου και του χρωμίου αυξάνεται από το δάπεδο προς την οροφή του κοιτάσματος. (Κλ.Μιχαηλίδης)

Πίνακας 2: Χημική σύσταση μετ/τος Εύβοιας

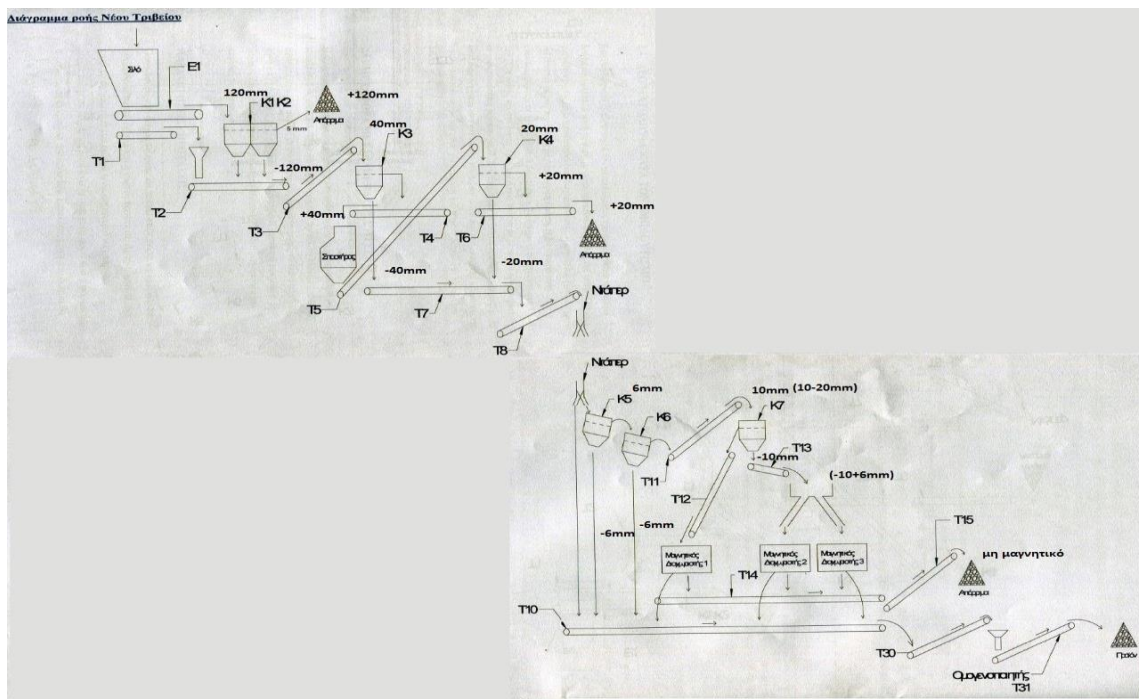
| Ni | Co | Fe | SiO ₂ | MgO | CaO | Mn | As | Al ₂ O ₃ | Cr ₂ O ₃ | S | H ₂ O |
|----|-------|-----|------------------|-----|-----|------|-------|--------------------------------|--------------------------------|------|------------------|
| 1% | 0,06% | 33% | 31% | 4% | 1% | 0,4% | 0,01% | 5% | 4% | 0,2% | 10% |

Τα **μεταλλεία του Αγίου Ιωάννη** βρίσκονται στο Νέο Κόκκινο του Νομού Βοιωτίας, 7km από το μεταλλουργικό εργοστάσιο της Λάρυμνας. Τα Μεταλλεία διαθέτουν σύγχρονο χωματουργικό εξοπλισμό επιφανειακών εκμεταλλεύσεων, εγκαταστάσεις θραύσης και κοσκίνισης των μεταλλευμάτων, μονάδα εμπλουτισμού και εγκαταστάσεις ομογενοποίησης και φόρτωσης του μεταλλεύματος. Από τις εκμεταλλεύσεις του Αγίου Ιωάννη προέρχεται το 20% περίπου του μεταλλεύματος που καταναλίσκεται στο εργοστάσιο της Λάρυμνας. Αυτή τη στιγμή λειτουργούν τέσσερις επιφανειακές εκμεταλλεύσεις και η ετήσια παραγωγή τους φτάνει τους 500.000 τόνους. Η παραγωγική διαδικασία του Αγίου Ιωάννη χωρίζεται σε 2 τμήματα:

- Τις επιφανειακές εξορύξεις, στις οποίες πραγματοποιείται η εξόρυξη των μεταλλευμάτων.
- Το τριβείο, στο οποίο λαμβάνει χώρα η προετοιμασία (μηχανική προπαρασκευή) και ο εμπλουτισμός του μεταλλεύματος. (Παπακωνσταντίνου, 2017)



Εικόνα 4: Τριβείο Αγ. Ιωάννης (Βοιωτία)
(Παπακωνσταντίνου, 2017)



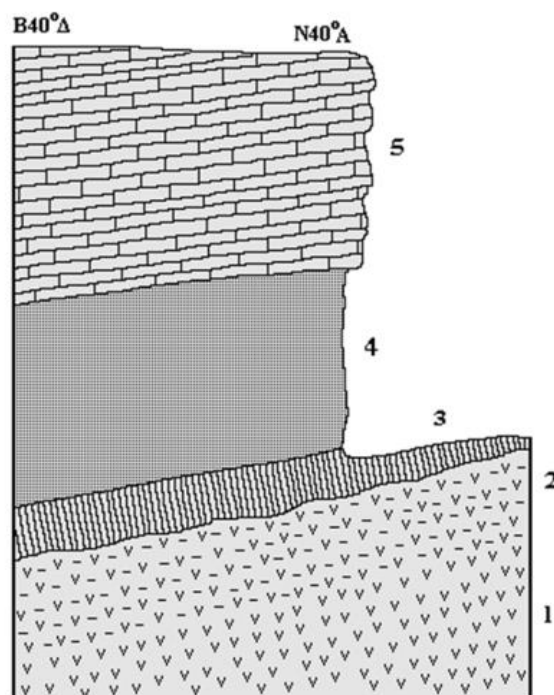
Διάγραμμα 3: Διάγραμμα ροής τριβείου Αγ. Ιωάννη
(Παπακωνσταντίνου, 2017)

Το μέταλλευμα του Αγ. Ιωάννη έχει υψηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο και σε διοξείδιο του πυριτίου, ποσοστό νικελίου στο όριο εκμεταλλευσιμότητας, έχει υψηλά ποσοστά MgO , Al_2O_3 και Cr_2O_3 και χαμηλά ποσοστά Co , S και Mn .

Πίνακας 3: Χημική σύσταση μετ/τος Αγ.Ιωάννη

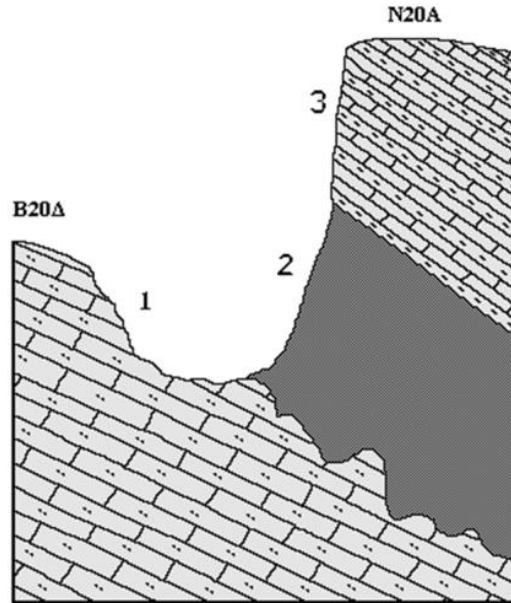
| Ni | Co | Fe | SiO ₂ | MgO | CaO | Mn | As | Al ₂ O ₃ | Cr ₂ O ₃ | S | H ₂ O |
|--------|-----------|-----------|------------------|----------|----------|----------|------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------|------------------|
| 1 % | 0,06 % | 32,5 % | 33% | 2,8 % | 1,1 % | 0,4 % | 0,002 % | 6% | 3% | 0,02 % | 4,5 % |

Το πιο αντιπροσωπευτικό αυτόχθονο κοίτασμα είναι το κοίτασμα της Τσούκας Λοκρίδας.



Εικόνα 5: Κοίτασμα Τσούκας Λοκρίδας

- 1) Σερπεντινίτης
- 2) Εξαλλοιωμένος σερπεντινίτης με αυξημένη περιεκτικότητα σε νικέλιο (1,0%)
- 3) Κεραμόχρωι πυριτόλιθοι
- 4) Στρωσιγενές συνεκτικό νικελιούχο σιδηρομετάλλευμα με ευμεγέθεις πηκτολίθους
- 5) Παχυστρωματώδεις κεραμόχρωι ασβεστόλιθοι Άνω Κρητιδικού



Εικόνα 6: Κοίτασμα Αγ.Ιωάννη Λάρυμνας

- 1) Ωολιθικοί ασβεστόλιθοι Ιουρασικού
- 2) Συμπαγές νικελιούχο σιδηρομετάλλευμα με πισολίθους, οι οποίοι αυξάνουν σε μέγεθος προς την οροφή του κοιτάσματος
- 3) Κενομάνιοι ασβεστόλιθοι και μάργες σε εναλλαγή. (Κλ.Μιχαηλίδης)

Τα **Μεταλλεία Καστοριάς**, βρίσκονται κοντά στα Αλβανικά σύνορα και ιδρύθηκαν τη δεκαετία του 1990. Τα μεταλλεία είναι επιφανειακά και λειτουργούν με εργολαβικά συνεργεία αποκάλυψης και εξόρυξης.

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. (LARCO)

Το κοιτάσμα της Καστοριάς έχει σχετικά υψηλές περιεκτικότητες σε νικέλιο και σίδηρο. Έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε αργίλιο και πυρίτιο. Επειδή το μαγνήσιο βρίσκεται σε χαμηλό ποσοστό, αντίστοιχα ο σερπεντίνης, ο χλωρίτης και ο σπινέλιος βρίσκονται στα ίδια χαμηλά ποσοστά μέσα στο κοιτάσμα. (Κλ.Μιχαηλίδης)

Πίνακας 4: Χημική σύσταση μετ/τος Καστοριάς

| Ni | Co | Fe | SiO ₂ | MgO | CaO | Mn ₃ O ₄ | Al ₂ O ₃ | Cr ₂ O ₃ | S | H ₂ O |
|-----------|-----------|-----------|------------------|-----------|----------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------|------------------|
| 1,38 % | 0,06 % | 20,1 % | 31,3 % | 14,8 % | 4,5 % | 0,5% | 1,8% | 1,4% | 0,02 % | 12,1 % |

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 αναγκαίων στη μεταλλουργική κατεργασία. 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. (LARCO)

Το 50% του λατερίτη τροφοδοσίας προέρχεται από την Εύβοια ,το 30% από την περιοχή της Λοκρίδας και το υπόλοιπο 20% από την Καστοριά.



Εικόνα 7: Μεταλλεία νικελιούχων λατεριτών και λιγνιτωρυχείο της εταιρείας ΛΑΡΚΟ

3.2 Μεταλλουργική δραστηριότητα

3.2.1 Μέθοδοι εξαγωγής του νικελίου

Η ανάκτηση του νικελίου από τους λατερίτες είναι δύσκολη λόγω της πολύπλοκης ορυκτολογικής τους σύστασης και της περιορισμένης δυνατότητας εφαρμογής γνωστών τεχνολογιών. Η ποικιλία των μεταλλευμάτων (επομένως και της χημικής τους σύστασης) και η έλλειψη ενός συγκεκριμένου νικελιούχου ορυκτού που να μπορεί να ανακτηθεί με συμβατικές φυσικές ή φυσικοχημικές μεθόδους εμπλουτισμού, αντιπροσωπεύουν τις κύριες αιτίες της σχετικά περιορισμένης εκμετάλλευσης των λατεριτών. Κάποιες άλλες δυσκολίες βρίσκονται στο ότι μέσα στο μετάλλευμα υπάρχουν και άλλα μέταλλα όπως ο σίδηρος, το κοβάλτιο, το χρώμιο τα οποία δεν μπορούν να εξαχθούν οικονομικά. Η πολυμορφία των μεταλλευμάτων οδήγησε στην ανάπτυξη μιας ποικιλίας μεθόδων εξαγωγής νικελίου, μερικές από τις οποίες βρίσκονται σε εμπορική λειτουργία και είναι Πυρομεταλλουργικές, Υδρομεταλλουργικές, ή συνδυασμοί Πυρομεταλλουργίας και Υδρομεταλλουργίας. Κάθε μία από τις μεθόδους εξαγωγής του νικελίου εφαρμόζεται και σε διαφορετικό τύπο λατερίτη. (Τζουβελέκης, 1981)

Πίνακας 5: Χημική ανάλυση ελληνικού σιδηρονικελίου
(Ζευγώλης Ε. Ν., Μεταλλουργία σιδήρου (θεωρία και τεχνολογία), 2014)

| Συστατικό | Ανάλυση |
|-----------|-------------|
| Ni | 18-30 |
| Co | 4,5% του Ni |
| As | 0,140 max |
| P | 0,020 max |
| S | 0,070 max |
| Cu | 0,10 |
| Mn | Ίχνη |
| Si | Ίχνη |
| Cr | Ίχνη |
| C | Ίχνη |

3.2.2 Παραγωγή σιδηρονικελίου στην Ελλάδα

Οι μεταλλουργικές εγκαταστάσεις της ΛΑΡΚΟ Α.Ε είναι χωροθετημένες στο ΝΑ σκέλος του ορμού της Λάρυμνας και είναι σε άμεση επικοινωνία με το μέτωπο της θάλασσας σε όλο το μήκος της. Οι εγκαταστάσεις ξεκίνησαν το 1966 και σταδιακά επεκτάθηκαν μέχρι τη σημερινή τους έκταση. Στο εργοστάσιο αυτό πραγματοποιείται η επεξεργασία με καθαρά πυρομεταλλουργικές μεθόδους φτωχών και οξειδωμένων σιδηρονικελιούχων μεταλλευμάτων λατεριτικής σύστασης γενικού τύπου $(\text{Fe},\text{Ni})\text{O}(\text{OH})_n \cdot \text{H}_2\text{O}$ για την παραγωγή σιδηρονικελίου. Όπως ήδη έχει αναφερθεί, τα μεταλλεύματα αυτά εξορύσσονται από τρεις περιοχές της Ελλάδος, οι οποίες είναι η Κεντρική Εύβοια, ο Άγιος Ιωάννης Βοιωτίας και η Καστοριά. (Ταμπούρης, 2011)

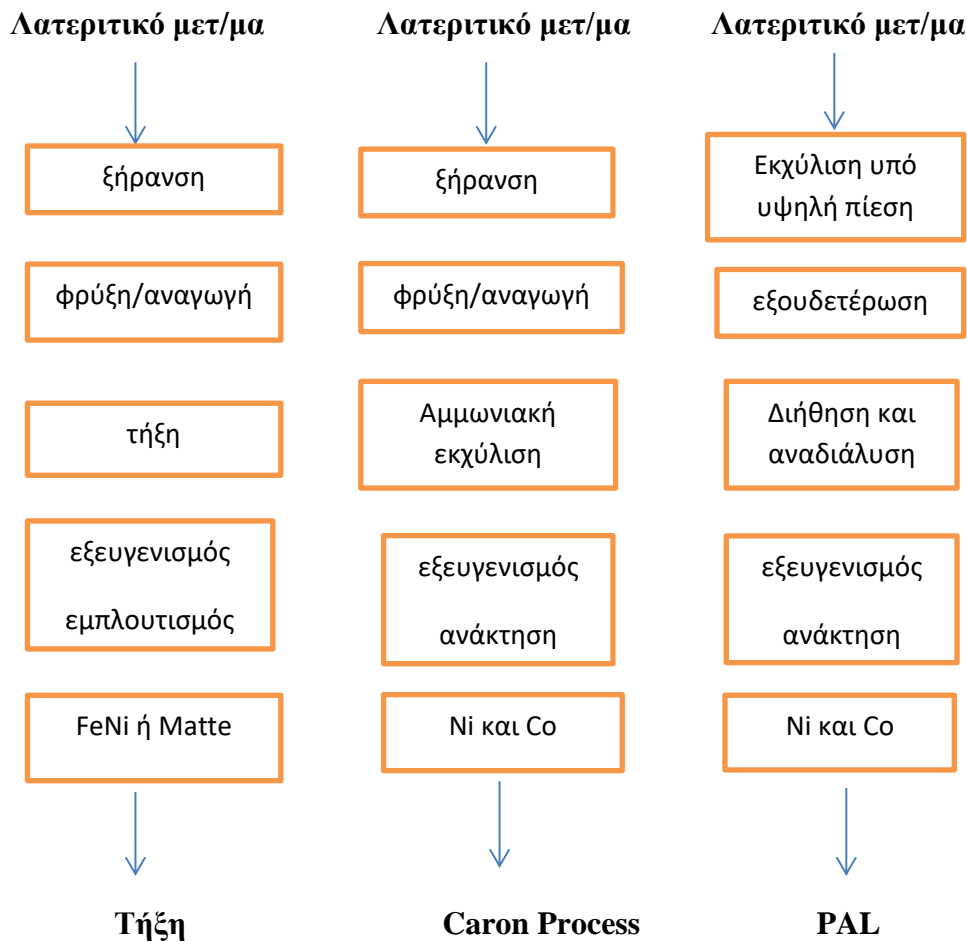
Το σιδηρονικέλιο, είναι η βασική πρώτη ύλη για την παραγωγή ανοξειδωτού χάλυβα. Κατά την πυρομεταλλουργική διαδικασία το μέταλλευμα αφού προαναχθεί σε περιστροφικές κάμινους, τροφοδοτείται σε ηλεκτρικές κάμινους βυθισμένου τόξου από τις οποίες παράγεται, ύστερα από αναγωγική τήξη, σιδηρονικέλιο με 15% περίπου νικέλιο. Το τήγμα εμπλουτίζεται σε μεταλλάκτες OBM και το τελικό προϊόν είναι σιδηρονικέλιο περιεκτικότητας 25% σε νικέλιο υπό μορφή κόκκων.

Η ΛΑΡΚΟ παράγει προϊόν που αντιστοιχεί στο 2-3% της παραγωγής νικελίου στο δυτικό κόσμο ή στο 6-7% της κατανάλωσης πρωτογενούς νικελίου της Ευρωπαϊκής χαλυβουργίας ανοξειδωτού χάλυβα. (Ζευγώλης, 1996)

3.2.3 Παραγωγή νικελιούχων προϊόντων με πυρο- και υδρο-μεταλλουργικές διεργασίες

Οι γενικές μέθοδοι κατεργασίας λατεριτικών μεταλλευμάτων προς εξαγωγή νικελιούχων προϊόντων είναι δύο (Díaz et. al, 1988, Dor et. al, 1979):

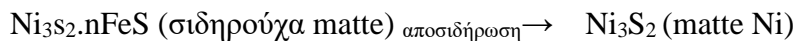
- Πυρομεταλλουργικές μέθοδοι:
 - i. Τήξη προς παραγωγή matte
 - ii. Τήξη προς παραγωγή σιδηρονικελίου
- Υδρομεταλλουργικές μέθοδοι:
 - i. Αναγωγική φρύξη και εκχύλιση με αμμωνία προς παραγωγή οξειδίου του νικελίου (Caron Process)
 - ii. Εκχύλιση με θειικό οξύ σε αυτόκλειστα υπό πίεση προς παραγωγή μπρικεττών και σκόνης νικελίου (Pressure Acid Leaching). (Ζωγραφίδης, 2010)



Διάγραμμα 4: Διαγράμματα ροής των βιομηχανικών μεθόδων κατεργασίας των λατεριτικών μεταλλευμάτων
(Ζωγραφίδης, 2010)

Η μέθοδος παραγωγής matte από λατερίτες προηγήθηκε της παραγωγής του σιδηρονικελίου, επειδή ήταν ήδη γνωστές οι μέθοδοι επεξεργασίας της matte από τη μεταλλουργία του χαλκού. Όμως, η παραγωγή matte από τους λατερίτες δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί αν δεν προηγείται η αναγωγή των οξειδίων του νικελίου και σιδήρου προς μεταλλικό νικέλιο και σίδηρο, αντίστοιχα. Μετά την αναγωγή, ακολουθεί η προσθήκη θείου προς σχηματισμό σιδηρούχας matte νικελίου ($\text{Ni}_3\text{S}_2 \cdot n\text{FeS}$). Και τούτο διότι τα οξείδια του Fe και Ni είναι θερμοδυναμικά σταθερότερα από τα αντίστοιχα σουλφίδια. Επομένως, το θείο δεν μπορεί να αντικαταστήσει το οξυγόνο στα οξείδια, οπότε για την παραγωγή matte νικελίου, απαιτείται πρώτα αναγωγή του μεταλλεύματος προς μεταλλικό σίδηρο και νικέλιο και μετά προσθήκη θείου, για να σχηματιστεί σιδηρούχα matte νικελίου ($\text{Ni}_3\text{S}_2 \cdot n\text{FeS}$).

Ακολουθεί αποσιδήρωση της σιδηρούχας matte προς matte Ni:



Μετά ακολουθεί οξειδωτική φρύξη της matte Ni προς οξείδιο του Ni (NiO): $2\text{Ni}_3\text{S}_2 + 7\text{O}_2 \rightarrow 6\text{NiO} + 4\text{SO}_2$

και τέλος αναγωγική φρύξη του NiO προς παραγωγή μεταλλικού νικελίου (Ni⁰): $\text{NiO} + \text{CO} \rightarrow \text{Ni}^0 + \text{CO}_2$ (Ζευγώλης Ε. , 2013)

Η δεύτερη πυρομεταλλουργική εφαρμοζόμενη μέθοδος εξαγωγής του κράματος σιδηρονικελίου FeNi από τα σιδηρονικελιούχα μεταλλεύματα λατεριτικής σύστασης είναι γνωστή ως μέθοδος SL (Smelting Ni - LARCO) και αποτελεί εξέλιξη της μεθόδου LM προσαρμοσμένη στις ειδικές συνθήκες για την επίτευξη καλύτερων αποτελεσμάτων. Τα βασικά στάδια της επεξεργασίας των μεταλλευμάτων είναι τα ακόλουθα:

- **Ανάμειξη** των μεταλλευμάτων σε συγκεκριμένη αναλογία με στερεά καύσιμα και συσσωματωμένη σκόνη από τα απαέρια των περιστροφικών καμίνων για τη διαμόρφωση κατάλληλου μεταλλουργικού μίγματος.
- **Προαναγωγή σε περιστροφικές καμίνους Π/Κ (rotary kilns), η οποία περιλαμβάνει:** Ξήρανση – Πλήρη αναγωγή του NiO σε Ni – Μερική αναγωγή των οξειδίων του σιδήρου μέχρι τους 900°C.
- **Αναγωγή σε ηλεκτρικές καμίνους Η/Κ βυθιζόμενου τόξου (submerged arc furnaces), η οποία περιλαμβάνει:** Τήξη του φορτίου – Ολοκλήρωση της αναγωγής των οξειδίων σιδήρου - Διαχωρισμός ρευστών φάσεων (σκουριάς – μέταλλου).
- **Εμφύσηση Οξυγόνου σε Μεταλλάκτες τύπου OBM και Χύτευση του Μετάλλου, που περιλαμβάνει:** Καθαρισμό του κράματος Fe-Ni από προσμίξεις (S, P) και εμπλουτισμός του προς αναγωγή κράματος σε Ni με τελική περιεκτικότητα 18 – 25% - Στερεοποίηση του ρευστού σιδηρονικελίου υπό τη μορφή κόκκων με ψύξη με τη χρήση θαλασσινού νερού.

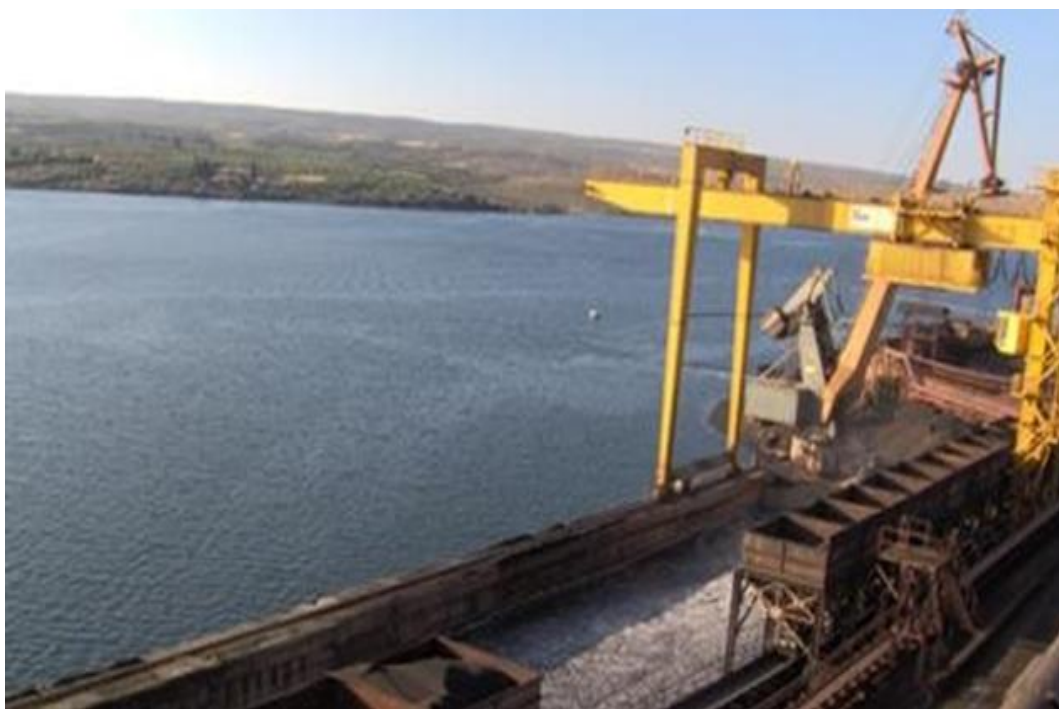
3.2.4 Τμήματα εργοστασίου

Για την εύρυθμη και ομαλή λειτουργία της μεταλλουργικής μονάδας, το εργοστάσιο από πλευράς τομέων ευθύνης της παραγωγικής διαδικασίας αποτελείται από 4 επί μέρους τμήματα τα οποία είναι το Π0, το Π1, το Π2 και το Π3.

ΤΜΗΜΑ Π0: Τμήμα διακίνησης και τροφοδοσίας πρώτων υλών.

Στις αρμοδιότητες του τμήματος αυτού ανήκει η διακίνηση, η αποθήκευση και η τροφοδοσία του μεταλλεύματος και των στερεών καυσίμων στα σιλό της ανάμιξης για την τροφοδοσία των περιστροφικών καμίνων, η διακίνηση της σκουριάς των Η/Κ και της σκουριάς των μεταλλακτών καθώς και των χιτώνων των Π/Κ. Τέλος, στις αρμοδιότητες του τμήματος ανήκει και η διακίνηση και φόρτωση του τελικού προϊόντος. (Ταμπούρης, 2011)

Το τμήμα Π0 αποτελείται από το λιμάνι όπου εκτελείται η εκφόρτωση και φόρτωση των προϊόντων του εργοστασίου, από την πλατεία Α' υλών όπου γίνεται η πρωτογενής αποθήκευση των μεταλλευμάτων (ΜΕΙ,ΜΕΕ,ΜΕΚ) καθώς και των στερεών καυσίμων. Επίσης αυτό το τμήμα περιέχει το δίκτυο ταινιόδρομων ρυθμιζόμενης ταχύτητας οι οποίοι συνδέονται με ηλεκτρονικούς ταινιοζυγούς αυτόματης ζύγισης καθώς και πλήρως αυτοματοποιημένο σύστημα ελέγχου του δικτύου μέσω κεντρικού πίνακα για άμεση ρύθμιση των τροφοδοτούμενων ποσοτήτων. (Ψαρρά, 2014)



Εικόνα 8: Εκφόρτωση πρώτων υλών στο λιμάνι της Λάρυμνας



Εικόνα 9 : Πλατεία Α' υλών

Διακίνηση, αποθήκευση και τροφοδοσία του μεταλλεύματος και των στερεών καυσίμων.

Μία βασική αρμοδιότητα του τμήματος είναι η τροφοδοσία των σιλό της ανάμιξης με πρώτες ύλες. Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή είναι τα μεταλλεύματα, τα στερεά καύσιμα, το μαζούτ και κάποια υποπροϊόντα ανακύκλωσης.

Πίνακας 6: Πρώτες ύλες για παραγωγή FeNi και ημερήσια κατανάλωσή τους
(Ταμπούρης, 2011)

| ΕΙΔΟΣ ΠΡΩΤΗΣ ΥΛΗΣ | ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΠΡΩΤΗΣ ΥΛΗΣ | ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (t/d) |
|--------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑ | Ευβοίας | 3500 |
| | Καστοριάς | 1250 |
| | Αγ. Ιωάννη | 1750 |
| ΚΑΥΣΙΜΑ | Λιγνίτης | 100 |
| | Γαιάνθρακας | 700 |
| ΑΛΛΑ ΠΡΟΙΟΝΤΑ | Προϊόν θραυστήρα | 175 |
| | Pellets | 700 |

Ανάλογα με την προέλευσή του το μέταλλευμα έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά:

- Το μέταλλευμα της Εύβοιας έχει υψηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο και οξείδιο του πυριτίου
- Το μέταλλευμα της Καστοριάς έχει υψηλή περιεκτικότητα σε οξείδιο του πυριτίου αλλά μικρή σε οξείδιο του σιδήρου.
- Το μέταλλευμα του Αγίου Ιωάννη έχει υψηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο αλλά μικρή σε οξείδιο του πυριτίου. (LARCO)

Διακίνηση της σκουριάς των Η/Κ και των μεταλλακτών και των χιτώνων Π/Κ.

Επίσης, το τμήμα διακίνησης ασχολείται με τη μεταφορά και φόρτωση της σκουριάς των Η/Κ, της σκουριάς των μεταλλακτών και των χιτώνων των Π/Κ.

Διακίνηση σκουριάς Ηλεκτρικών Καμίνων

Η σκουριά των ηλεκτρικών καμίνων, καθώς εξέρχεται ρευστή από τις Η/Κ ψύχεται και κοκκοποιείται ταυτόχρονα κατά την επαφή της με θαλασσινό νερό. Η στερεή πλέον σκουριά των Η/Κ οδηγείται σε δεξαμενή απόθεσης από όπου πραγματοποιείται η συλλογή από γερανό τύπου αρπάγης και η τροφοδοσία της σε σιλό αποθήκευσης. Στην συνέχεια, πραγματοποιείται μαγνητικός διαχωρισμός αυτής και ακολουθεί η διάθεση της, είτε προς πώληση σε εργοστάσια ως υλικό αμμοβολής και σε τσιμεντοβιομηχανίες ως αδρανές υλικό, είτε προς ελεγχόμενη διάθεση.

Διακίνηση σκουριάς Μεταλλακτών

Η σκουριά που παράγεται κατά την επεξεργασία του σιδηρονικελίου στο στάδιο της χαλυβουργίας κατά την εμφύσηση με O_2 εντός των μεταλλακτών τύπου OBM, ονομάζεται σκουριά μεταλλακτών. Μετά από την ψύξη, τη θραύση της σκουριάς σε κατάλληλη προς πώληση κοκκομετρία και το διαχωρισμό του μαγνητικού συμπυκνώματος το οποίο τοποθετείται στο χώρο της απόθεσης των scraps της χαλυβουργίας, το τμήμα Π0 είναι υπεύθυνο για τη διακίνηση και φόρτωση της σκουριάς αυτής. Η σκουριά αυτή πωλείται ως υλικό κατασκευής υποθαλάσσιων αγωγών λόγω του μεγάλου ειδικού της βάρους.

Διακίνηση χιτώνων περιστροφικών καμίνων

Οι χιτώνες είναι πλούσια σε νικέλιο συσσωματώματα που δημιουργούνται στη ζώνη των υψηλών θερμοκρασιών που εμφανίζονται στην έξοδο των Π/Κ. Τα συσσωματώματα αυτά διαχωρίζονται στην έξοδο της Π/Κ με κόσκινο και συγκεντρώνονται σε σωρούς που δημιουργούνται παραπλεύρως της εξόδου της Π/Κ. Οι σωροί αυτοί μεταφέρονται κατά διαστήματα με τη χρήση φορτηγών οχημάτων στην πλατεία Α΄ Υλών, απ' όπου τροφοδοτούνται στον θραυστήρα για την ανακύκλωση του υλικού στις περιστροφικές καμίνους.

Το μίγμα σφαιριδίων λατερίτη και στερεών καυσίμων (μεταλλουργικό μίγμα), οδηγείται με κλειστές μεταφορικές ταινίες στα Silos των πύργων τροφοδοσίας και τροφοδοτείται σε 4

περιστροφικές καμίνοους. Όπως φαίνεται παρακάτω, ο λατερίτης και τα καύσιμα περιέχουν λεπτόκοκκο υλικό. Σ' αυτό προστίθεται και εκείνο που παράγεται με την ανάδευση και τις χημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν μέσα στις περιστροφικές καμίνοους.

Πίνακας 7: Κοκκομετρική ανάλυση πρώτων υλών (Ζευγώλης Μ., 2003)

| Λατερίτης | | Γαϊάνθρακας | | Λιγνίτης Πτολεμαΐδας | | Σφαιρίδια | |
|----------------------|----------|----------------------|-----------|----------------------|----------|----------------------|----------|
| Άνοιγμα Κοσκίνου(mm) | Βάρος(%) | Άνοιγμα Κοσκίνου(mm) | Βάρος (%) | Άνοιγμα Κοσκίνου(mm) | Βάρος(%) | Άνοιγμα Κοσκίνου(mm) | Βάρος(%) |
| 13,33 | 9 | 26,67 | 1,2 | 3,33 | 1,15 | 13,33 | 31,6 |
| 6,68 | 17,9 | 18,85 | 2,8 | 1,65 | 17 | 6,68 | 59,9 |
| 3,33 | 17,5 | 9,42 | 19,7 | 0,83 | 28,6 | 3,33 | 6,2 |
| 1,65 | 19,8 | 4,7 | 20 | 0,42 | 23 | -3,33 | 2,2 |
| 0,83 | 18,9 | 2,36 | 15,8 | 0,15 | 17,2 | | |
| -0,83 | 16,5 | 1,17 | 14,4 | -0,15 | 12,7 | | |
| | | 0,6 | 11,9 | | | | |
| | | -0,6 | 14,2 | | | | |

ΤΜΗΜΑ Π1: Περιστροφικές κάμινοι

Το τμήμα Π1 αποτελεί ένα από τα βασικότερα τμήματα του εργοστασίου, στο οποίο πραγματοποιείται η ξήρανση και η προθέρμανση του μεταλλουργικού μίγματος καθώς και η μερική αναγωγή των οξειδίων Ni και Fe εντός περιστροφικών καμίνων (Π/Κ). Στο εργοστάσιο σήμερα λειτουργούν 4 περιστροφικές κάμινοι Π/Κ, και έχουν τις ακόλουθες ονομασίες Π/Κ 1, Π/Κ 2, Π/Κ 3 και Π/Κ 4. Οι κάμινοι αυτές έχουν διαταχθεί από τη θάλασσα προς το βουνό με την ακόλουθη σειρά 4, 1, 2, 3, ενώ η αντίστοιχη μέγιστη δυναμικότητα τροφοδοσίας τους είναι 180, 140, 100 και 95 τόνους την ώρα. Το προϊόν εξαγωγής των περιστροφικών καμίνων αποτελεί την τροφοδοσία των ηλεκτροκαμίνων και αναφέρεται ως ΠΕΚ (Προϊόν Εξαγωγής Καμίνου).

Η προ-επεξεργασία των μεταλλευμάτων στις Π/Κ έχει ως στόχο τα ακόλουθα:

- Την επίτευξη ικανοποιητικού βαθμού αναγωγής, (ως βαθμός αναγωγής ορίζεται ο λόγος της συγκέντρωσης του δισθενούς σιδήρου (FeO) του ΠΕΚ προς τον ολικό σίδηρο του μίγματος).
- Το ποσοστό του άνθρακα που περιέχεται στο ΠΕΚ να κυμαίνεται από 2 έως 3% ώστε να ολοκληρωθεί η αναγωγή του λατερίτη στις Η/Κ.

Άλλες αρμοδιότητες του τμήματος αυτού είναι το στάδιο της ανάμιξης των μεταλλευμάτων, των στερεών καυσίμων και των άλλων παραπροϊόντων (Pellets και Προϊόν Σπαστήρα) για την παρασκευή του μεταλλουργικού μίγματος, η τροφοδοσία του μεταλλουργικού μίγματος στις περιστροφικούς καμίνοους και η εξαγωγή του προϊόντος των περιστροφικών καμίνων, το οποίο αποτελεί την τροφοδοσία των Η/Κ, και τη διαχείριση της σκόνης των καπναερίων (περιλαμβανομένων και των εγκαταστάσεων παραγωγής Pellets). (Ταμπούρης, 2011)

Υπάρχουν 2 εγκαταστάσεις ανάμιξης με ξεχωριστά συστήματα ταινιόδρομων η κάθε μια, που οδηγούν τα συστατικά του μεταλλουργικού μίγματος από τα σιλό τους, στα σιλό μίγματος που

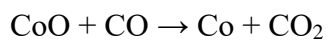
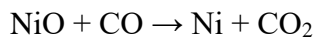
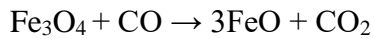
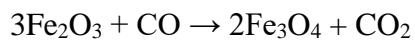
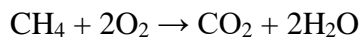
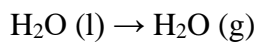
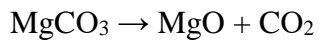
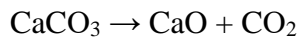
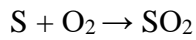
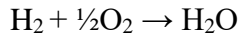
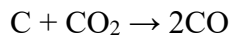
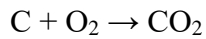
βρίσκονται στους πύργους τροφοδοσίας των Π/Κ. Τα δύο συστήματα αυτά είναι η “ Παλαιά Ανάμιξη” και η “Νέα Ανάμιξη”. Η παλαιά ανάμιξη τροφοδοτεί τις Π/Κ2 και Π/Κ3 ενώ οι Π/Κ1 και Π/Κ4 τροφοδοτούνται από την νέα ανάμιξη.



Εικόνα 10: Σιλό ανάμιξης πρώτων υλών

Μετά την τροφοδοσία του μεταλλουργικού μίγματος παρατηρείται κύλιση του φορτίου προς την έξοδο της καμίνου, η οποία οφείλεται στην κλίση και την περιστροφή της καμίνου. Κατά τη μεταφορά του μεταλλουργικού μίγματος, εντός των περιστροφικών καμίνων, πραγματοποιείται διαδοχικά ξήρανση και προθέρμανση, καθώς και μερική αναγωγή των οξειδίων του σιδήρου. Η ξήρανση του υλικού επιτυγχάνεται γρήγορα και σε μικρή απόσταση από το σημείο εισαγωγής του μεταλλουργικού μίγματος, καθώς η θερμοκρασία του φορτίου παραμένει σταθερή στους 400°C περίπου. Στην συνέχεια παρατηρείται σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας με αποτέλεσμα την προθέρμανση του υλικού και την έναυση των στερεών καυσίμων. Μετά την έναρξη της έναυσης των καυσίμων αρχίζει το στάδιο της μερικής αναγωγής των οξειδίων του σιδήρου, καθώς παρατηρείται μια εντονότερη άνοδος της θερμοκρασίας της καμίνου η οποία φθάνει τους 850-900°C στο στόμιο εξαγωγής του υλικού από τις Π/Κ

Οι κυριότερες αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα εντός των Π/Κ είναι οι ακόλουθες:



Εικόνα 11: Περιστροφικές κάμινοι του εργοστασίου ΛΑΡΚΟ

Για την καύση των στερεών καυσίμων είναι απαραίτητη η παρουσία αέρα. Ο απαραίτητος αέρας διοχετεύεται στις περιστροφικές καμίνους τόσο από το στόμιο εξαγωγής όσο και από μια σειρά πλευρικών ανεμιστήρων κατά μήκος του σώματος της. Η ποσότητα του αέρα που τροφοδοτείται εντός της Π/Κ ρυθμίζεται με τη βοήθεια κλαπέτων, ούτως ώστε η

περιεκτικότητα σε O_2 των εξερχόμενων καπναερίων να είναι μικρότερη από κάποια όρια και το θερμοκρασιακό διάγραμμα κατά μήκος των Π/Κ να είναι το επιθυμητό. Εκτός από την ποσότητα παρατηρείται και ρύθμιση της ροής των καπναερίων μέσω κεντρικού κλαπέτου, η οποία ως στόχο έχει τον έλεγχο της μεταβίβασης της θερμότητας από τη ζώνη των υψηλών θερμοκρασιών προς τις άλλες περιοχές των Π/Κ, ανάλογα με το επιθυμητό θερμοκρασιακό διάγραμμα. Η θερμοκρασία εξαγωγής του τελικού προϊόντος της καμίνου (ΠΕΚ) ρυθμίζεται από τη θερμότητα που προσφέρεται κατά την έξοδο από τον καυστήρα μαζούτ που είναι τοποθετημένος στο στόμιο εξαγωγής των Π/Κ. Η θερμότητα που προσφέρεται με τη χρήση αυτού του καυστήρα, σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας των Π/Κ, αποτελεί 10 - 12% της συνολικά απαιτούμενης. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η θερμοκρασία του ΠΕΚ στην έξοδο των περιστροφικών καμίνων δεν πρέπει να υπερβαίνει τους $900^{\circ}C$, ούτως ώστε να αποφεύγεται ο σχηματισμός χιτώνων, που αποτελούν βασικό πρόβλημα καθώς δυσχεραίνουν τη λειτουργία της καμίνου.

Όσον αφορά τη θερμοκρασία των καπναερίων που εξέρχονται από το σώμα της Π/Κ 4 και συγκεντρώνονται στον κονιοθάλαμο, παρατηρείται ότι περιορίζεται στο εύρος των $420 - 450^{\circ}C$ λόγω του ακόλουθου περιορισμού. Η θερμοκρασία των καπναερίων στην οροφή των Η/Φ δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από $450^{\circ}C$ διότι υπάρχει κίνδυνος πυρκαγιάς στα ηλεκτρόφιλτρα κατά την παραγωγή υπέρθερμων αερίων.

Γενικά όμως και για τις άλλες Π/Κ, υπέρθερμα καπναέρια σημαίνουν σπατάλη ενέργειας και μικρότερο βαθμό αναγωγής. Κίνδυνος πυρκαγιάς στα ηλεκτρόφιλτρα της Π/Κ 4 δημιουργείται και από τοπικά αυξημένες συγκεντρώσεις του άνθρακα.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ανάγωγή του μεταλλουργικού μίγματος εντός της περιστροφικής καμίνου είναι ο χρόνος παραμονής του μεταλλουργικού μίγματος, η κοκκομετρία του μεταλλεύματος και το είδος των στερεών καυσίμων.

Ο μεγάλος όγκος των καπναερίων που παράγονται στις Π/Κ αποτελεί το σημαντικότερο πρόβλημα της όλης παραγωγικής διαδικασίας. Λόγω του μεγάλου όγκου των πρώτων υλών που διακινούνται ημερησίως είναι προφανές ότι ο όγκος των λεπτομερών σωματιδίων που παρασύρεται με τα καπναέρια είναι, επίσης, πολύ μεγάλος.

Η σκόνη προέρχεται κυρίως από το μεγάλο ποσοστό λεπτόκοκκου υλικού που περιέχουν ο λατερίτης και τα στερεά καύσιμα, καθώς, επίσης, και από την ανάμιξη των υλικών και τις χημικές αντιδράσεις εντός της Π/Κ. Το μεγαλύτερο μέρος της σκόνης παρασύρεται με τα καπναέρια που κινούνται σε αντιρροή με το φορτίο. Το τελικό βάρος της σκόνης ανέρχεται στα $25-50 \text{ gr/Nm}^3$ ή στους $17-34 \text{ t/h}$ όταν τα αέρια που απομακρύνονται και από τις 4 Π/Κ είναι περίπου $680000 \text{ Nm}^3/\text{h}$. Τα μεγαλύτερα τεμάχια της σκόνης που παρασύρεται κατακρατούνται στον κονιοθάλαμο, ενώ το μεγαλύτερο μέρος της σκόνης διαφεύγει μαζί με τα καπναέρια. Η κράτηση της σκόνης επιτυγχάνεται με την εφαρμογή ξηρής και υγρής αποκονίωσης στους Π/Κ 1, 2 και 3 και ξηρής αποκονίωση στον Π/Κ 4.

Τα καπναέρια, αφού περάσουν από τις εγκαταστάσεις αποκονίωσης, οδηγούνται στην κεντρική καμινάδα του εργοστασίου με ύψος 156m όπου επιτυγχάνεται η ψύξη και η περαιτέρω αραίωση των εκπομπών τους.

ΤΜΗΜΑ Π2: Ηλεκτρικές κάμινοι τόξου

Στο τμήμα Π2 πραγματοποιείται η δεύτερη και βασικότερη διεργασία για την εξαγωγή του σιδηρονικελίου από τον λατερίτη. Η τελική περιεκτικότητα σε Ni του εξαγόμενου σιδηρονικελίου από το τμήμα αυτό κυμαίνεται από 10 έως 15%. Η διεργασία του τμήματος πραγματοποιείται εντός ηλεκτρικών καμίνων (H/K).

Στις εγκαταστάσεις των ηλεκτρικών καμίνων πραγματοποιείται η αναγωγική τήξη του προϊόντος εξαγωγής των περιστροφικών καμίνων με παραγωγή κράματος σιδηρονικελίου σε ρευστή μορφή. Η μέθοδος που ακολουθείται στη ΛΑΡΚΟ ονομάζεται Μέθοδος S-L (δηλ. Smelting Ni-LARCO). Η βασική αρχή της λειτουργίας των H/K είναι ότι με την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας επιτυγχάνεται η ολοκλήρωση της αναγωγής των οξειδίων του σιδήρου και του νικελίου, καθώς και η άνοδος της θερμοκρασίας που οδηγεί σε τήξη του φορτίου γύρω στους 1450°C και το διαχωρισμό σε δύο ρευστές φάσεις, οι οποίες είναι η μεταλλική κραματική φάση του σιδηρονικελίου (μέταλλο) που είναι το κύριο προϊόν του ΣΕΛ και η σκουριά που απορρίπτεται.

Οι φάσεις που υπάρχουν ανά πάσα στιγμή εντός των H/K είναι α) το τροφοδοτούμενο ΠΕΚ (στερεά φάση), β) το ρευστό μέταλλο (FeNi) και γ) η ρευστή φάση της σκουριάς. Καθώς η θερμοκρασία εντός του H/K αυξάνεται και μέχρι τους 1150°C, που αποτελεί το σημείο τήξης του ΠΕΚ, παρατηρείται και κατακρήμνιση των κόκκων του Ni και του Fe στο λουτρό, λόγω της διαφοράς ειδικού βάρους μεταξύ μετάλλων και των οξειδίων του. Η ολοκλήρωση της αναγωγής των οξειδίων του Fe οφείλεται κυρίως στο C_{fix} (τα στερεά καύσιμα διακρίνονται ανάλογα με την ευκολία έναυσής τους, σε ενεργά και σε λιγότερο ενεργά). Τα πρώτα ανάβουν και ελευθερώνουν την περιεχόμενη θερμική ενέργεια σε χαμηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με τα δεύτερα, στα οποία η έναυση γίνεται σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Τα ενεργά καύσιμα που είναι γεωλογικά νεότερα, είναι φτωχά σε μόνιμο άνθρακα C_{fix} λόγω του χαμηλού βαθμού ενανθράκωσης τους, και πλούσια σε πτητικά που παρέμεινε, χωρίς να αντιδράσει εντός των Π/Κ, στο ΠΕΚ καθώς και στον άνθρακα που προέρχεται από τα ηλεκτρόδια και εκλύεται υπό την μορφή CO. Τα προϊόντα των H/K είναι το κράμα FeNi που αντιστοιχεί σε 12-15% του ΠΕΚ, η σκουριά 75-80% του ΠΕΚ και τα καπναέρια που αποτελούνται από CO, CO₂, O₂, N₂ και αντιστοιχούν στο 8-10% του ΠΕΚ.



Εικόνα 12: Ηλεκτρικές κάμνοι του εργοστασίου ΛΑΡΚΟ

**Πίνακας 8: Ανάλυση του μετάλλου και της σκουριάς των Η/Κ
(Ταμπούρης, 2011)**

| Στοιχείο / Φάση | Περιεκτικότητα στο Μέταλλο | Περιεκτικότητα στη Σκουριά |
|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Ni+Co (%) | 10 - 15 % | 0,14 |
| Fe (%) | 85 – 90 | 33,70 |
| S (%) | 0,350 | 0,170 |
| P (%) | 0,040 | |
| C (%) | 0,010 | 0,30 |
| FeO (%) | | 41,10 |
| Fe ₂ O ₃ (%) | | 2,60 |
| SiO ₂ (%) | | 33,70 |
| CaO (%) | | 3,30 |
| MgO (%) | | 3,40 |
| Al ₂ O ₃ (%) | | 9,30 |
| Cr ₂ O ₃ (%) | | 4,30 |

ΤΜΗΜΑ Π3: Μεταλλάκτες OBM

Στο τμήμα Π3 του μεταλλουργικού εργοστασίου της ΛΑΡΚΟ πραγματοποιείται ο εμπλουτισμός του κράματος FeNi, το οποίο εξάγεται από τις ηλεκτρικές καμίνους με την εμφύσηση O₂. Η περιεκτικότητα του τελικού προϊόντος σε Ni ποικίλει και καθορίζεται από την παραγγελία που κάθε φορά έχει δοθεί. Η συνήθης περιεκτικότητα του σιδηροκράματος σε Ni είναι 20%. Με τον εμπλουτισμό αυτό επιτυγχάνεται η απομάκρυνση επιβλαβών και ανεπιθύμητων προσμίξεων, όπως: S, P και As από το σιδηρονικέλιο σε τιμές όσο το δυνατό χαμηλότερες. Επίσης ως εμπορεύσιμο προϊόν χρησιμοποιείται και η σκουριά του μεταλλάκτη με περιεκτικότητα σε FeO+Fe₂O₃ που κυμαίνεται από 80-85%. Τέλος, το τελικό προϊόν FeNi δίδεται προς πώληση στη μορφή κοκκοποιημένου υλικού με κοκκομετρία -40+3 mm.

Οι βασικότεροι παράγοντες που επιδρούν στη διεργασία που πραγματοποιείται στο τμήμα Π3 είναι οι ακόλουθοι:

- α. η περιεκτικότητα σε Ni+Co του τελικού προϊόντος και
- β. το τελικό προϊόν να έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο, η οποία να είναι μικρότερη από 0,11-0,12%.

Στους μεταλλάκτες τύπου OBM, που χρησιμοποιούνται στο ΣΕΛ, ο εμπλουτισμός του σιδηρονικελίου σε Ni πραγματοποιείται με εμφύσηση οξυγόνου από τον πυθμένα με τη χρήση 5 ακροφυσίων που σχηματίζουν σχήμα W. Η εμφύσηση του προπανίου έχει ως στόχο την προστασία των ακροφυσίων. Η εμφύσηση αέρα και αζώτου στοχεύει στην ψύξη και στον καθαρισμό τόσο των ακροφυσίων όσο και του μεταλλάκτη. Η εμφύσηση των ανωτέρω αερίων πραγματοποιείται σύμφωνα με ειδικό πρόγραμμα, το οποίο επαναλαμβάνεται ανάλογα με τους κύκλους εμφύσησης O₂, ώστε το λουτρό να αποκτήσει την επιθυμητή περιεκτικότητα σε Ni.

Ο εμπλουτισμός του FeNi σε Ni με εμφύσηση O₂ βασίζεται στην υψηλότερη χημική συγγένεια που παρουσιάζει ο Fe με το O₂ σε σχέση με το Ni. Η εμφύσηση έχει ως αποτέλεσμα το μεγαλύτερο μέρος του μεταλλικού Fe να οξειδώνεται προς FeO ή Fe₂O₃, όμως παράλληλα μέρος του Ni οξειδώνεται προς NiO.



Εικόνα 13: Μεταλλάκτης OBM του εργοστασίου ΛΑΡΚΟ

Άλλες βοηθητικές εγκαταστάσεις στο τμήμα αυτό είναι οι κάδοι μεταφοράς μετάλλου και σκωρίας, τα βαγόνια μεταφοράς των κάδων, οι καυστήρες προπανίου για την προθέρμανση των κάδων, η δεξαμενή για την απόχυση της σκωρίας των μεταλλακτών, τα οχήματα Hyster (περονοφόρα) για τις σέσουλες του τελικού προϊόντος από την κοκκοποίηση.

Για την αξιοποίηση της σκουριάς των Μ/Τ έγιναν πολλές προσπάθειες, αρχικά χωρίς επιτυχία. Πράγματι, κατά τα πρώτα 7-8 έτη λειτουργίας του εργοστασίου, η σκουριά των Μ/Τ αποτελούσε στερεό απόβλητο από το οποίο γινόταν χειροδιαλογή του scrap Fe-Ni, ενώ η σκουριά έμενε αναξιοποίητη. Ένεκα της υψηλής περιεκτικότητας σε Fe($\approx 65\%$), η σκουριά δοκιμάστηκε αρχικά ως σιδηρομετάλλευμα, χωρίς επιτυχία. Κατά τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιείται στην παρασκευή σκυροδέματος υψηλού ειδικού βάρους, για επικάλυψη σωληνώσεων και στην υποθαλάσσια στήριξη των αγωγών μεταφοράς υγρών καυσίμων.

4. Μηχανική προπαρασκευή του Fe-Ni μετ/τος

Το υλικό όπως εξορύσσεται δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως έχει για τροφοδοσία στην παραγωγική διαδικασία της μεταλλουργικής επεξεργασίας και πρέπει να υποστεί μηχανική προπαρασκευή (θραύση-ταξινόμηση) ώστε να έρθει σε κατάλληλο μέγεθος για τροφοδοσία στην περιστροφική κάμινο.

Πίνακας 9: Πρώτες ύλες για παραγωγή FeNi και ημερήσια κατανάλωσή τους

| ΕΙΔΟΣ ΠΡΩΤΗΣ ΥΛΗΣ | ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΠΡΩΤΗΣ ΥΛΗΣ | ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (t/d) |
|-------------------|-----------------------|---------------------------|
| ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑ | Ευβοίας | 3500 |
| | Καστοριάς | 1250 |
| | Αγ. Ιωάννη | 1750 |
| ΚΑΥΣΙΜΑ | Λιγνίτης | 100 |
| | Γαϊάνθρακας | 700 |
| ΑΛΛΑ ΠΡΟΙΟΝΤΑ | Προϊόν θραυστήρα | 175 |
| | Pellets | 700 |

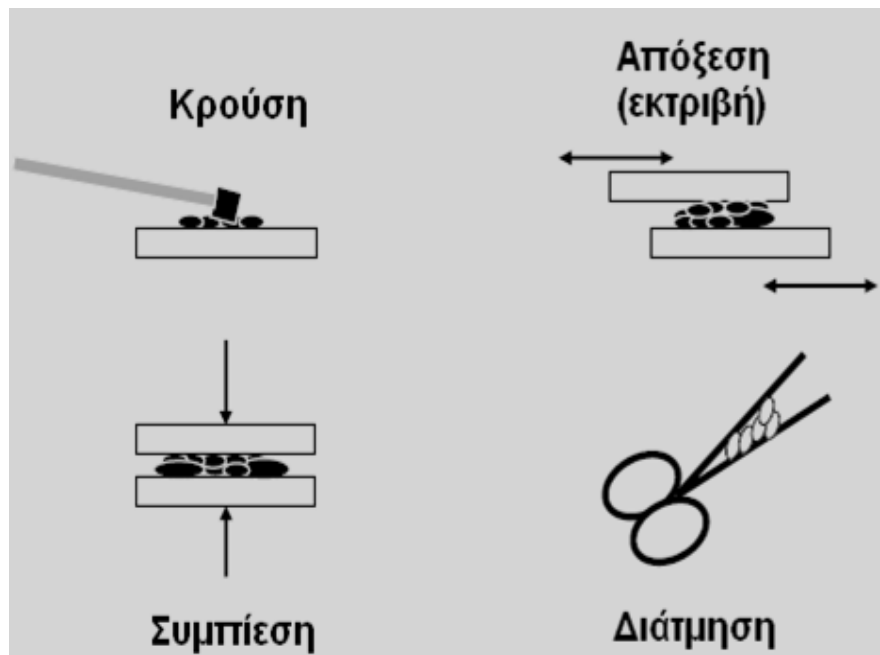
Τα χαρακτηριστικά επίσης του υλικού (μέγεθος τεμαχίων τροφοδοσίας, σκληρότητα υλικού, ποσοστό υγρασίας και στόχος μεγέθους προϊόντων καθορίζουν τόσο το είδος της μηχανής θραύσης (τύπος κύριας δύναμης θραύσης) όσο και τη διαδικασία για να επιτευχθεί το επιζητούμενο αποτέλεσμα.

Πίνακας 10: Στάδια-φάσεις κατάτμησης και μηχανές κατάτμησης

| ΣΤΑΔΙΑ | ΦΑΣΕΙΣ | ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΕΜΑΧΙΩΝ, mm | | ΛΟΓΟΣ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ, R (reduction ratio) | ΤΥΠΟΣ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ |
|-------------|--------------|----------------------|----------|---------------------------------------|---|
| | | ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ | ΠΡΟΪΟΝ | | |
| Θραύση | Πρωτογενής | 1200-200 | 300-60 | 3-5 | Θραυστήρας σιαγόνων, Γυροσκοπικός, Κρουστικός* Κωνικός* θραυστήρας, Κρουστικός*, Σφαιρόμυλος* Κρουστικός*, Σφαιρόμυλος*, Θραυστήρας Κυλίνδρων |
| | Δευτερογενής | 250-90 | 80-25 | 4-6* | |
| | Τριτογενής | 100-30 | 30-8 | ≤ 20* | |
| Λειοτριβήση | Χονδρομερής | ≤ 25 (≤ 300)** | 1-0.5 | ≤ 25 | Ραβδόμυλος, Αυτογενής λειοτριβέας** Σφαιρόμυλος, Αυτογενής λειοτριβέας** Σφαιρόμυλος, Μυλος περιφερομένων τροχών |
| | Λεπτομερής | ≤ 15 (≤ 300)** | 0.5-0.07 | ≤ 200 | |
| | Άλεση | ≤ 10 | ≤ 0.04 | ≤ 250 | |

Η κατάτμηση οποιουδήποτε υλικού επιτυγχάνεται με την εφαρμογή μια δύναμης ή συνδυασμού δυνάμεων επί των τεμαχίων. Οι δυνάμεις κατάτμησης είναι:

- a. Θλίψη (συμπίεση)
- b. Κρούση
- c. Τριβή
- d. Διάτμηση



Εικόνα 14: Δυνάμεις για την ελάττωση μεγέθους μεταλλευμάτων, βιομηχανικών ορυκτών και πετρωμάτων

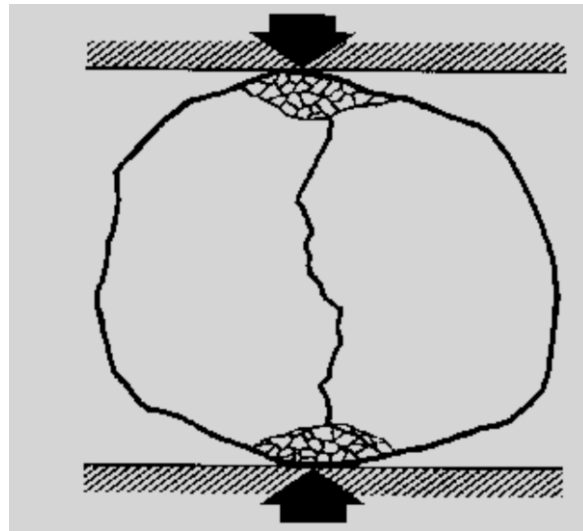
Η θλίψη αποτελεί την συνηθέστερη μορφή δύναμης για την θραύση κομματιών. Επιτυγχάνεται με την συμπίεση των τεμαχίων μεταξύ δύο σκληρών επιφανειών. Οι κυριότερες μηχανές κατάτμησης με συμπίεση είναι οι θραυστήρες σιαγόνων, οι γυροσκοπικοί θραυστήρες, οι κωνικοί ή με κυλίνδρους.

Η κρούση αποτελεί την απλούστερη μορφή θραύσης. Η απότομη πρόσκρουση του κομματιού το οποίο πέφτει πάνω σε σιδερένια επιφάνεια και η διάσπασή του συνθέτουν την πλήρη εικόνα θραύσης από κρούση. Ανάλογα αποτελέσματα παίρνουμε και με την εκσφενδόνιση κομματιών και την πρόσκρουση αυτών πάνω σε σιδερένιες επιφάνειες. Οι μηχανές κατάτμησης με κρούση είναι οι περιστροφικοί θραυστήρες, εν μέρει οι σφαιρόμυλοι-ραβδόμυλοι και ο αυτογενείς λειοτριβείς.

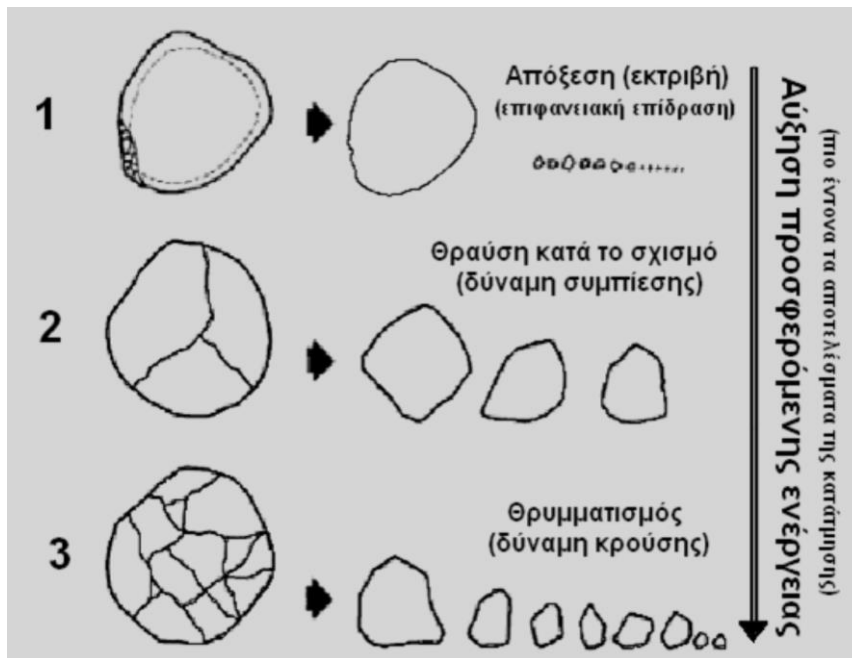
Η τριβή θεωρείται δύναμη θραύσεως και δημιουργείται όταν το υλικό τρίβεται με την επιφάνεια θραύσεως ή τα κομμάτια τρίβονται μεταξύ τους. Τα κυριότερα μηχανήματα θραύσεως είναι ο σφυρόμυλος, αλλά τριβή συναντάμε και στους σφαιρόμυλους-ραβδόμυλους και σε άλλες παρόμοιες μηχανές. Η δύναμη της τριβής απαιτεί υψηλή κατανάλωση ενέργειας και προκαλεί μεγάλες φθορές.

Η διάτμηση ως δύναμη κατάτμησης έχει περιορισμένη επίδραση. Συναντάται κυρίως στους σφυρόμυλους (σε συνδυασμό με τριβή και κρούση) και στους θραυστήρες κυλίνδρων με οδόντες.

Είναι γεγονός ότι κατά την διάρκεια της θραύσης εντός της μηχανής είναι δυνατόν να εξασκηθούν όλες οι παραπάνω δυνάμεις, ανεξαρτήτως του τύπου του μηχανήματος. Ο τύπος του μηχανήματος προκαθορίζει την κύρια δύναμη θραύσης αλλά δεν εμποδίζει ή περιορίζει την εξάσκηση των άλλων. Είναι πιθανόν η αυξημένη επίδραση μιας δύναμης η οποία δεν ήταν αναμενόμενη να επιφέρει δυσανάλογη κατανάλωση ενέργειας ή φθορά του μηχανήματος (Αντωνίου Ζ. Φραγκίσκου, 1979) .



Εικόνα 15: Συμπεριφορά ψαθυρού υλικού κατά την συμπίεση



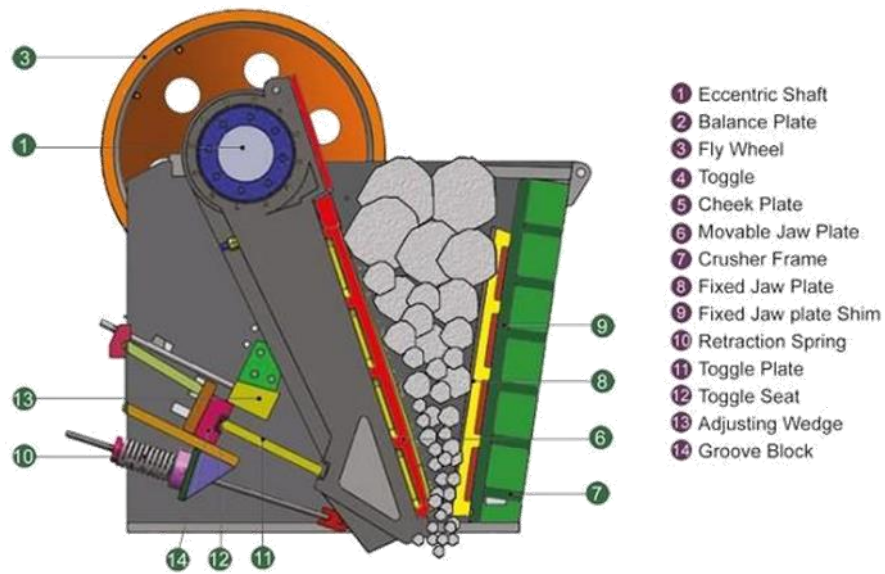
Εικόνα 16: Κύριες δυνάμεις κατά την ελάττωση μεγέθους σε θραυστήρες
(Τσακαλάκης, 2015)

4.1 Θραυστήρας σιαγόνων (JAW CRUSHER)

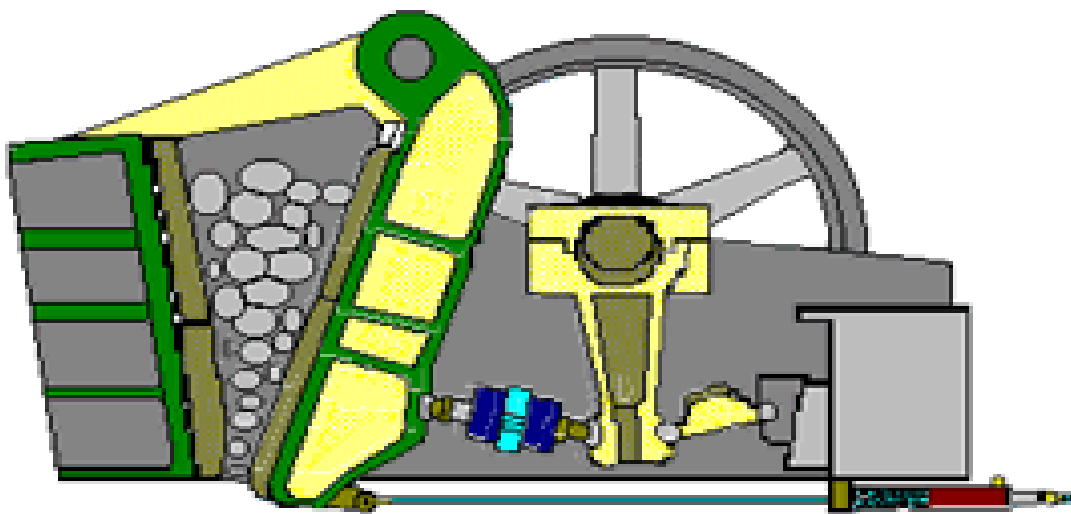
Ένας θραυστήρας με σιαγόνες χρησιμοποιεί θλιπτική δύναμη για την θραύση των τεμαχίων. Αυτή η μηχανική πίεση επιτυγχάνεται με τις δύο σιαγόνες του σπαστήρα, του οποίου η μία είναι σταθερή ενώ η άλλη κινείται. Ένας σπαστήρας με σιαγόνες αποτελείται από δύο σιαγόνες υπό γωνία. Η μία διατηρείται σταθερή και ονομάζεται σταθερή σιαγόνα ενώ η άλλη, που ονομάζεται ταλαντευόμενη σιαγόνα, κινείται μπρος-πίσω με έναν μηχανισμό cam ή pitman, λειτουργώντας σαν ένας «καρυοθραύστης». Το κενό μεταξύ των δύο σιαγόνων ονομάζεται θάλαμος συντριβής/σύνθλιψης. Η κίνηση της ταλαντευόμενης σιαγόνας μπορεί να είναι αρκετά μικρή, καθώς η πλήρης σύνθλιψη δεν επιτυγχάνεται με μία μόνο κίνηση. Η αδράνεια που απαιτείται για να συνθλίψει το υλικό παρέχεται από το σταθμισμένο σφόνδυλο/στρόφαλο ο οποίος κινεί έναν άξονα δημιουργώντας μία έκκεντρη κίνηση που προκαλεί το κλείσιμο του κενού.

Οι θραυστήρες με σιαγόνες είναι βαριά μηχανήματα και γι' αυτό πρέπει να κατασκευάζονται από στιβαρά και ανθεκτικά υλικά. Το εξωτερικό πλαίσιο είναι συνήθως φτιαγμένο από χυτοσίδηρο ή χάλυβα (ατσάλι). Οι σιαγόνες συνήθως κατασκευάζονται από χυτοχάλυβα. Εφοδιάζονται με αναπληρώσιμους δίσκους/περιβλήματα φτιαγμένους από μαγγανιούχο χάλυβα ή από χυτοσίδηρο Ni-hard. Οι σιαγόνες συνήθως κατασκευάζονται σε τμήματα για να διευκολύνουν τη διαδικασία της μεταφοράς αν πρόκειται να μεταφερθούν υπόγεια για την εκτέλεση εργασιών. Οι θραυστήρες σιαγόνων που θα χρησιμοποιηθούν κατηγοριοποιούνται με βάση τη θέση περιστροφής της ταλαντευόμενης σιαγόνας (Εικόνες 17 και 18). (Ζέρβας, 2016) και τα φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά (σκληρότητα, αποξυστικότητα) ιδιότητες που

επηρεάζουν το προϊόν θραύσης, τη φθορά των θραυστικών επιφανειών (σιαγόνες) και τις ενεργειακές καταναλώσεις του μηχανήματος.



Εικόνα 17: Θραυστήρας σιαγόνων απλής ενέργειας



Εικόνα 18: Θραυστήρας σιαγόνων διπλής ενέργειας

Πίνακας 11: Τεχνικά χαρακτηριστικά θραυστήρων σιαγόνων

(Αντωνίου Ζ. Φραγκίσκου, 1979)

| Θραυστήρες SVEDALA ARBRA | | | | | | |
|--------------------------|-------------|---------------|---------------|-------------|-------------|-------------------------------|
| Τύπος Θραυστήρα | R9075-160 | R105100-200 | R120100-210 | R150120-250 | R210170-300 | Παρατηρήσεις |
| Μήκος ανοίγματος τροφ. | 900 | 1050 | 1200 | 1500 | 2100 | Για την θραύση |
| Πλάτος ««««»»»» | 650 700 750 | 950 1000 1000 | 950 1000 1000 | 1200 | 1600 1700 | Μεγάλων |
| Θέση ανοίγματος εξόδου | 100 150 200 | 125 175 225 | 125 175 250 | 150-130 | 260-400 | Κομματιών επιφανειακών εκμετα |
| Ισχύς | 100-150 | 150 –180 | 150-180 | 180-220 | 270-350 | Εκμετα- λευ- σεων |
| Στροφές κινητήρα | 980 | 980 | 980 | 980 | 980 | |
| Στροφές έκκεντρου | 200 | 200 | 200 | 150 | 150 | Για σκληρά |
| Συνολικό βάρος Kg | 25000 | 36000 | 46000 | 88000 | 178000 | Και ημί- σκληρα |

| Ανοιγμα εξόδου προϊόντος mm | Τόνοι ανά ώρα | | | | | Πετρώματα. |
|-----------------------------|---------------|---------|---------|---------|-----------|---------------------------|
| | | | | | | |
| 100 | 100-150 | | | | | Λόγος |
| 125 | 130-190 | 180-270 | 210-310 | | | Θραύσης |
| 150 | 150-230 | 220-320 | 250-370 | 350-520 | | 5:1 |
| 175 | 200-260 | 250-360 | 280-420 | 380-570 | | Συνήσταιται |
| 200 | 220-300 | 280-410 | 325-500 | 430-630 | | 4:1 ή 3:1 |
| 250 | | | 380-850 | 500-740 | | Μέγιστο μέγεθος κομματιών |
| 300 | | | | 580-850 | 800-1200 | Τροφοδος. |
| 350 | | | | | 900-1350 | 2/3 πλάτου θραυστήρα |
| 400 | | | | | 1050-1500 | |

4.2 Κωνικός θραυστήρας (CONE CRUSHER)

Με τη ραγδαία ανάπτυξη της μεταλλευτικής τεχνολογίας και των μεθόδων επεξεργασίας των ορυκτών πρώτων υλών υπήρξε ραγδαία εξέλιξη και στις μηχανές και την τεχνολογία ελάττωσης μεγέθους των εξορυσσόμενων μεταλλευμάτων και πετρωμάτων, γεγονός που οδήγησε και στην εξέλιξη ενός τύπου θραυστήρων, όπως οι κωνικοί, που χρησιμοποιούν τη θλίψη ως δύναμη ελάττωσης μεγέθους. Αναπτύχθηκαν λοιπόν την τελευταία πενηκονταετία κωνικοί θραυστήρες με την ίδια βασική αρχή, αλλά με εξελιγμένους τρόπους ρύθμισης της λειτουργίας τους που πετυχαίνουν τον αυστηρό έλεγχο των προϊόντων. Ο κωνικός θραυστήρας έχει παρόμοια λειτουργία με έναν γυροσκοπικό θραυστήρα με μικρότερη όμως κλίση του κώνου θραύσης και μεγαλύτερη παράλληλη ζώνη μεταξύ των ζωνών σύνθλιψης, σχεδιασμός που εξασφαλίζει μεγαλύτερη ελεύθερη επιφάνεια μεταξύ των μέσων θραύσης. Ένας κωνικός θραυστήρας συνθλίβει τα τεμάχια του πετρώματος πιέζοντάς τα μεταξύ του «έκκεντρα» περιστρεφόμενου σφόνδουλου και του ανεστραμμένου εξωτερικού κώνου (μανδύας θραυστήρα), οι οποίοι είναι κατασκευασμένοι από ανθεκτικό σε φθορά μαγγανιούχο χάλυβα. Καθώς τα τεμάχια του πετρώματος εισέρχονται στην κορυφή του κωνικού θραυστήρα, «σφηνώνουν» και πιέζονται μεταξύ των επιφανειών θραύσης και υπόκεινται σε ελάττωση μεγέθους. Τα μεγάλα κομμάτια του πετρώματος, αφού υποστούν μία αρχική θραύση, μετακινούνται λόγω βαρύτητας σε χαμηλότερη θέση (καθώς το μέγεθός τους μικραίνει) για να υποστούν επαναλαμβανόμενη θραύση. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι τα κομμάτια που προκύπτουν γίνουν αρκετά μικρά ώστε να περάσουν μέσα από το στενό άνοιγμα αποκένωσης στο κάτω μέρος του θραυστήρα.

ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ (AUBEMA)

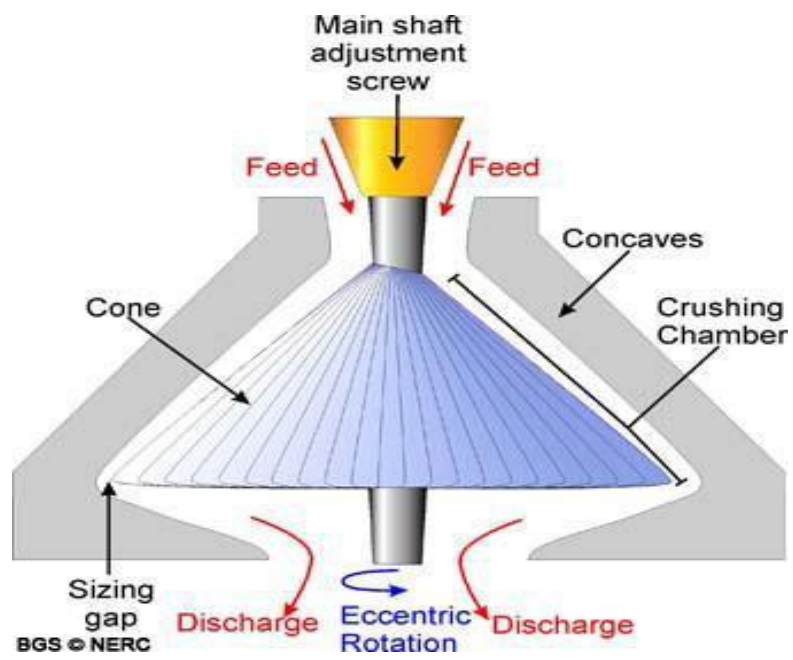
Οι κωνικοί θραυστήρες είναι κατάλληλοι για θραύση υλικών μέσης έως μεγάλης σκληρότητας (πετρώματα, χαλίκια, διάφορα είδη μεταλλεύματος, πυρίμαχα, σκωρίες και άλλα σκληρά υλικά) με τα παρακάτω χαρακτηριστικά τροφοδοσίας και προϊόντων.

- Μέγεθος τροφοδοσίας: έως 350 mm
- Τελικό μέγεθος κόκκων: από 4 έως 52 mm ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του υλικού τροφοδοσίας και το μέγεθός του
- Δυναμικότητα: έως 200 m³ /h
- Λόγος κατάτμησης: έως 1:6
- Απαιτούμενη ισχύς: έως 250 kW

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ (AUBEMA)

- Μεγάλη δυναμικότητα
- Μεγάλος λόγος κατάτμησης (reduction ratio) κατά τη δευτερογενή θραύση
- Τελικό προϊόν με μεγάλο ποσοστό κυβικών τεμαχίων (κόκκων)
- Μικρή ανάγκη συντήρησης
- Μικρή ευαισθησία σε βλάβες και μικρός χρόνος διακοπής λειτουργίας
- Γρήγορη αντικατάσταση των φθειρόμενων μερών και αντικατάστασής τους
- Μεγάλη διάρκεια ζωής

- Χαμηλό κόστος λειτουργίας



Εικόνα 19: Κωνικός θραυστήρας

Πειραματικό μέρος

Για τον έλεγχο της συμπεριφοράς του λατεριτικού μεταλλεύματος κατά την ελάττωση μεγέθους παρελήφθη δείγμα μάζας περίπου 25 kg από τη ΛΑΡΚΟ (Αγ. Ιωάννη), το οποίο υποβλήθηκε σε πρωτογενή θραύση στον θραυστήρα σιαγόνων (Εικόνα 20) του Εργαστηρίου Εμπλουτισμού Μεταλλευμάτων με κλειστό άνοιγμα αποκένωσης CSS = 15 mm.



Εικόνα 20: Θραυστήρας σιαγόνων Εργαστηρίου Εμπλουτισμού Μετ/των Ε.Μ. Πολυτεχνείου.

Το προϊόν του θραυστήρα (Εικόνα 21), υποβλήθηκε κατόπιν σε ταξινόμηση στη διάταξη μηχανικής κοσκίνισης του Εργαστηρίου (Εικόνα 22) και προσδιορίστηκε η κοκκομετρική ανάλυση που δίνεται στον Πίνακα 12.



Εικόνα 21: Λατεριτικό μετάλλευμα-Προϊόν πρωτογενούς θραύσης.



Εικόνα 22: . Διάταξη μηχανικής κοσκίνισης (Ro-tap) Εργαστηρίου Εμπλουτισμού Μετ/των Ε.Μ.Π.



Εικόνα 23: Κοκκομετρική ταξινόμηση του δείγματος της ΛΑΡΚΟ

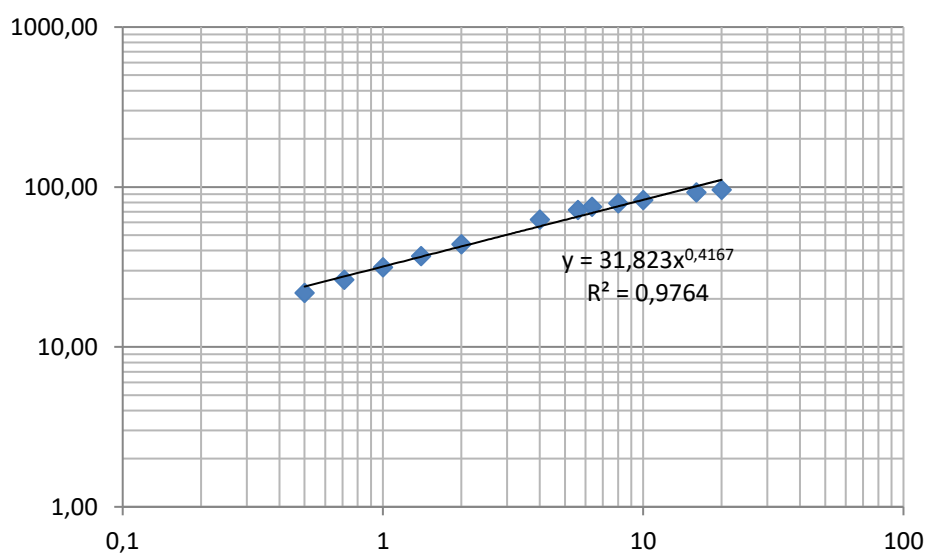
Πίνακας 12: Κοκκομετρική ανάλυση λατεριτικού μετ/τος ΛΑΡΚΟ μετά από πρωτογενή θραύση σε εργαστηριακό θραυστήρα σιαγόνων

| Κοκκομετρικό κλάσμα (mm) | Μέγεθος (βροχίδα) κοσκίνου x (mm) | Βάρος (g) | Βάρος (%) | Αθροιστικό παραμένον βάρος R (%) |
|---------------------------------|--|------------------|------------------|---|
| +20 | +20 | 152.6 | 3.9 | 3.9 |
| -20+16 | +16 | 140 | 3.5 | 7.4 |
| -16+10 | +10 | 376.5 | 9.6 | 17.12 |
| -10+8 | +8 | 143.4 | 3.6 | 20.79 |
| -8+6.6 | +6.6 | 146.05 | 3.7 | 24.53 |
| -6.6+5.6 | +5.6 | 141.9 | 3.6 | 28.16 |
| -5.6+4 | +4 | 355.69 | 9.1 | 37.27 |
| -4+2 | +2 | 732.89 | 18.7 | 56.03 |
| -2+1.4 | +1.4 | 270.3 | 6.9 | 62.95 |
| -1.4+1 | +1 | 217,5 | 5.5 | 68.5 |
| -1+0.71 | +0.71 | 201.3 | 5.1 | 73.6 |
| -0.71+0.5 | +0.5 | 178 | 4.5 | 78.22 |
| -0.5 | -0.5 | 850.6 | 21.7 | 100 |
| | Σύνολο | 3906.73 | | |

| Κοκκομετρικό κλάσμα (mm) | Διερχόμενο από κόσκινο (%) | Αθροιστικό διερχόμενο από κόσκινο (100-R) (%) |
|--------------------------|----------------------------|---|
| +20 | | |
| -20+16 | -20 | 96.1 |
| -16+10 | -16 | 92.5 |
| -10+8 | -10 | 82.8 |
| -8+6.6 | -8 | 79.2 |
| -6.6+5.6 | -6.6 | 75.4 |
| -5.6+4 | -5.6 | 71.8 |
| -4+2 | -4 | 62.7 |
| -2+1.4 | -2 | 43.9 |
| -1.4+1 | -1.4 | 37 |
| -1+0.71 | -1 | 31.4 |
| -0.71+0.5 | -0.71 | 26.4 |
| -0.5 | -0.5 | 21.7 |

Η κοκκομετρική ανάλυση του Πίνακα 12 δίνεται σε διάγραμμα G-G-S. Η Εικόνα 24 δίνει την κατανομή Gates-Gaudin-Schuhmann (G-G-S) του προϊόντος πρωτογενούς θραύσης από την οποία διαπιστώνεται ότι ο συντελεστής ομοιομορφίας είναι $m = 0.4167$, ενώ ο συντελεστής μεγέθους k της κατανομής με κατάλληλη αναμόρφωση της εξίσωσης είναι $k = 15.61$ mm. (εξίσωση 1)

$$P = 31.823 \cdot x^{0.4167} = 100 \cdot \left(\frac{x}{15.61}\right)^{0.4167} \quad (1)$$



Διάγραμμα 6: Κατανομή Gates-Gaudin-Schuhmann (G-G-S) του προϊόντος πρωτογενούς θραύσης

Από τις παραμέτρους της κατανομής G-G-S προκύπτει ότι το μέταλλευμα είναι σχετικά εύθρυπτο, αλλά λόγω του σημαντικού ποσοστού υγρασίας που περιέχει χρειάζεται προσοχή κατά την προετοιμασία για να αποκτήσει κατάλληλη κοκκομετρία για την τροφοδοσία στις περιστροφικές καμίνους.

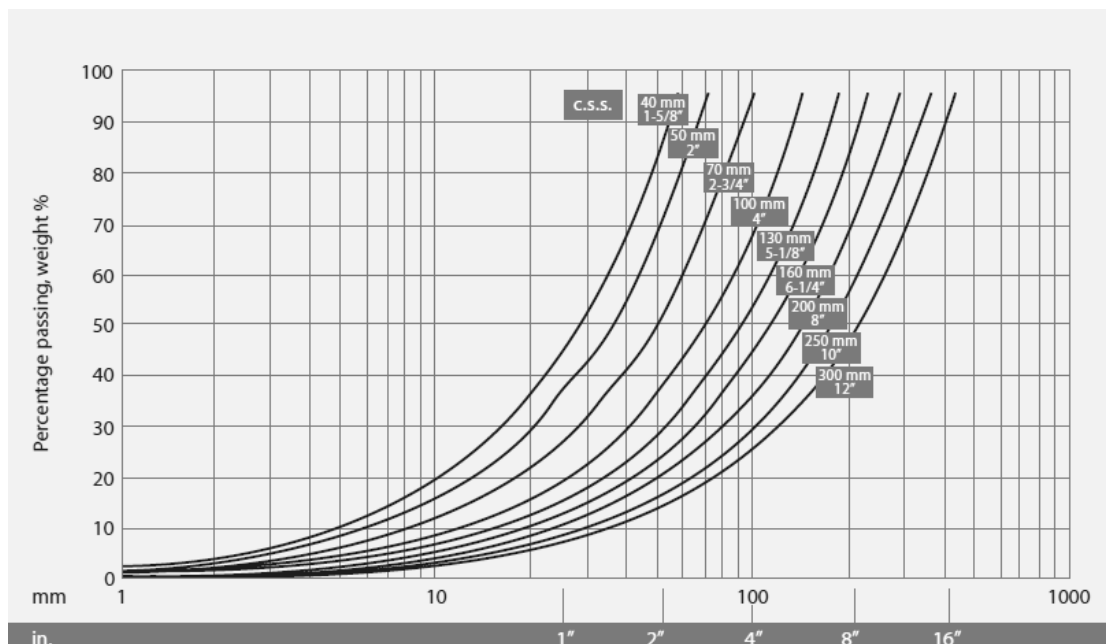
5. Σχεδιασμός κυκλώματος θραύσης-ταξινόμησης τροφοδοσίας σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος

5.1 Επιλογή θραυστήρων

Η τροφοδοσία του θραυστήρα σιαγόνων στο τριβείο του Αγ.Ιωάννη έχει μέγιστο μέγεθος λατερίτη περίπου -30 cm (300mm), Εικόνα 4. Ο λόγος κατάτμησης των θραυστήρων σιαγόνων κυμαίνεται από 3-5, έστω 4.

$$300/4 = 75\text{mm}$$

Η κοκκομετρική ανάλυση του προϊόντος του θραυστήρα σιαγόνων, ως συνάρτηση του κλειστού ανοίγματος αποκένωσης, η οποία προτείνεται από τη Metso Minerals δίνεται στο Διάγραμμα 7.



Διάγραμμα 7: Ενδεικτική διαβάθμιση προϊόντος θραυστήρων σιαγόνων
(Nordberg C Series Jaw Crushers - Metso Minerals, 2007)

Το προϊόν για C.S.S (close side setting) = 70 mm δίνεται με βάση το διάγραμμα 7 στον Πίνακα 13.

Πίνακας 13: Αθροιστικού διερχομένου (%) και μεγέθους (mm)

| Αθροιστικό Διερχόμενο % | Μέγεθος mm |
|-------------------------|------------|
| 95 | 100 |
| 90 | 92 |
| 87 | 90 |
| 80 | 80 |
| 70 | 70 |
| 60 | 60 |
| 50 | 50 |
| 40 | 38 |
| 30 | 27 |
| 20 | 17 |
| 10 | 8 |

Αν το 80% όπως δείχνει η κοκκομετρική ανάλυση είναι μικρότερο του 80mm, τότε με δευτερογενή θραύση σε κωνικό θραυστήρα και για λόγο κατάτμησης = 4, το προϊόν θα είναι 80% μικρότερο του 20 mm.

Πίνακας 14: Κοκκομετρική διαβάθμιση προϊόντων κωνικού θραυστήρα ως συνάρτηση του ανοίγματος αποκένωσης
(Cone Crushers-HP Series Cone Crushers, 2013)

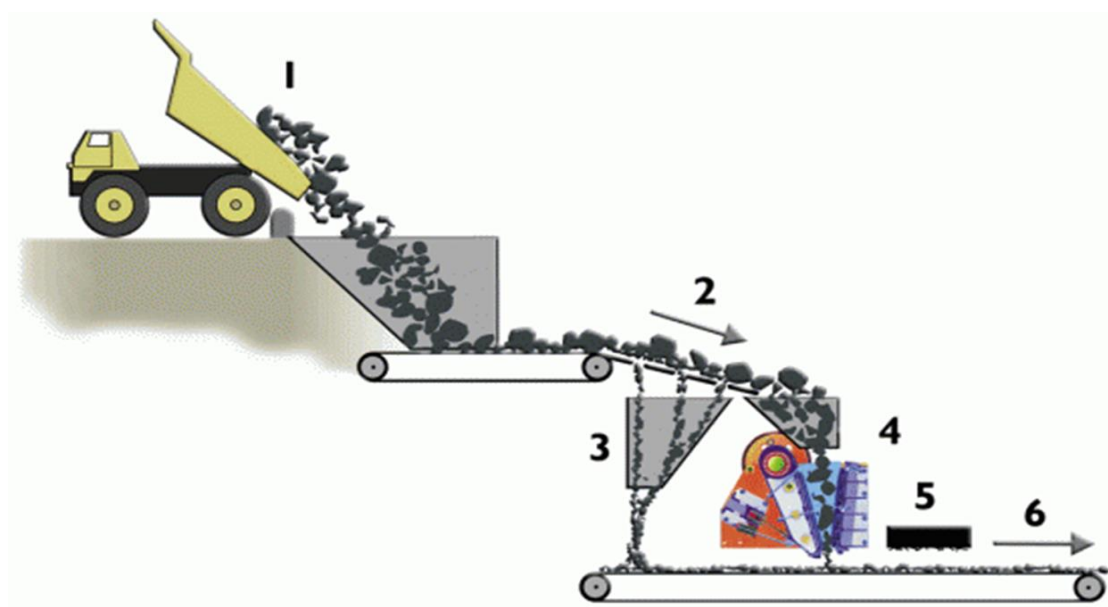
| | 6 (1/4") | 8 (5/16") | 10 (3/8") | 13 (1/2") | 16 (5/8") | 19 (3/4") | 22 (7/8") | 25 (1") | 28 (1-1/8") | 32 (1-1/4") | 38 (1-1/2") | 45 (1-3/4") | 51 (2") |
|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------|
| 100 (4") | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 75 (3") | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 98 |
| 63 (2-1/2") | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 99 | 95 | 90 |
| 51 (2") | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 99 | 98 | 92 | 82 | 68 |
| 38 (1-1/2") | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 98 | 95 | 90 | 76 | 62 | 50 |
| 32 (1-1/4") | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 95 | 90 | 79 | 69 | 52 | 42 | 36 |
| 25 (1") | 100 | 100 | 100 | 100 | 98 | 94 | 85 | 74 | 60 | 49 | 40 | 33 | 28 |
| 22 (7/8") | 100 | 100 | 100 | 100 | 95 | 88 | 76 | 63 | 51 | 42 | 34 | 28 | 25 |
| 19 (3/4") | 100 | 100 | 100 | 98 | 92 | 82 | 68 | 57 | 46 | 37 | 30 | 26 | 22 |
| 16 (5/8") | 100 | 100 | 99 | 92 | 80 | 69 | 55 | 46 | 36 | 29 | 24 | 20 | 18 |
| 13 (1/2") | 100 | 99 | 92 | 78 | 66 | 55 | 43 | 36 | 28 | 22 | 18 | 16 | 14 |
| 10 (3/8") | 100 | 93 | 81 | 66 | 55 | 45 | 34 | 30 | 23 | 18 | 15 | 13 | 11 |
| 8 (5/16") | 94 | 82 | 69 | 55 | 45 | 37 | 28 | 24 | 19 | 15 | 13 | 11 | 10 |
| 6 (1/4") | 82 | 67 | 55 | 43 | 36 | 29 | 22 | 19 | 16 | 12 | 9 | 8 | 7 |
| 4 (#5) | 65 | 49 | 40 | 32 | 26 | 21 | 16 | 14 | 11 | 9 | 7 | 6 | 5 |
| 2 (#8) | 40 | 28 | 23 | 17 | 13 | 11 | 8 | 7 | 6 | 4 | 3.5 | 3 | 2.5 |

Η κοκκομετρική ανάλυση του προϊόντος κωνικού θραυστήρα για C.S.S. 19 mm δίνεται στον Πίνακα 15 ο οποίος προκύπτει από τον προτεινόμενο Πίνακα 14 (Metso Minerals).

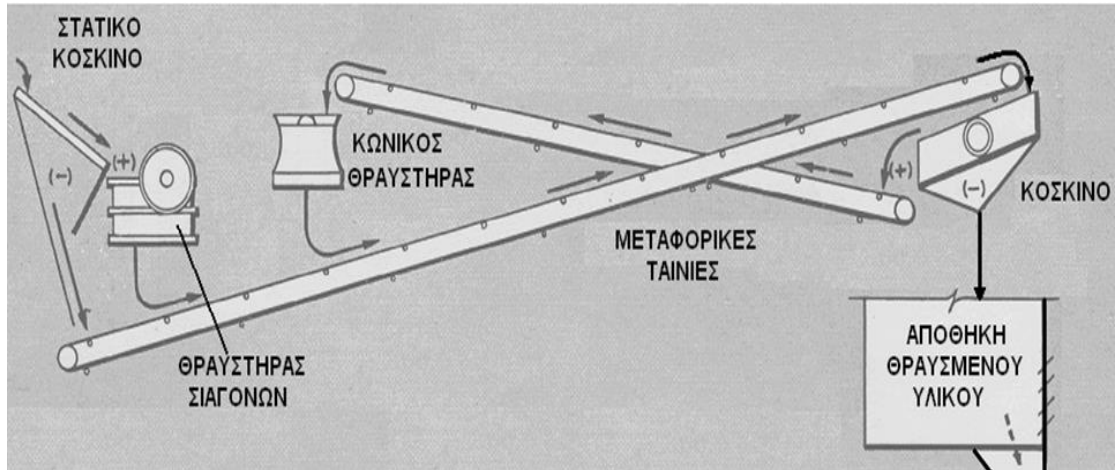
Πίνακας 15: Αθροιστικό διερχόμενο (%) προϊόντος κωνικού θραυστήρα ως συνάρτηση του μεγέθους ανοίγματος (mm)

| Μέγεθος ανοίγματος κοσκίνου mm | Αθροιστικό διερχόμενο % |
|--------------------------------|-------------------------|
| 32 | 100 |
| 25 | 94 |
| 22 | 88 |
| 19 | 82 |
| 16 | 69 |
| 13 | 35 |
| 10 | 45 |
| 8 | 37 |
| 6 | 29 |
| 4 | 21 |
| 2 | 11 |

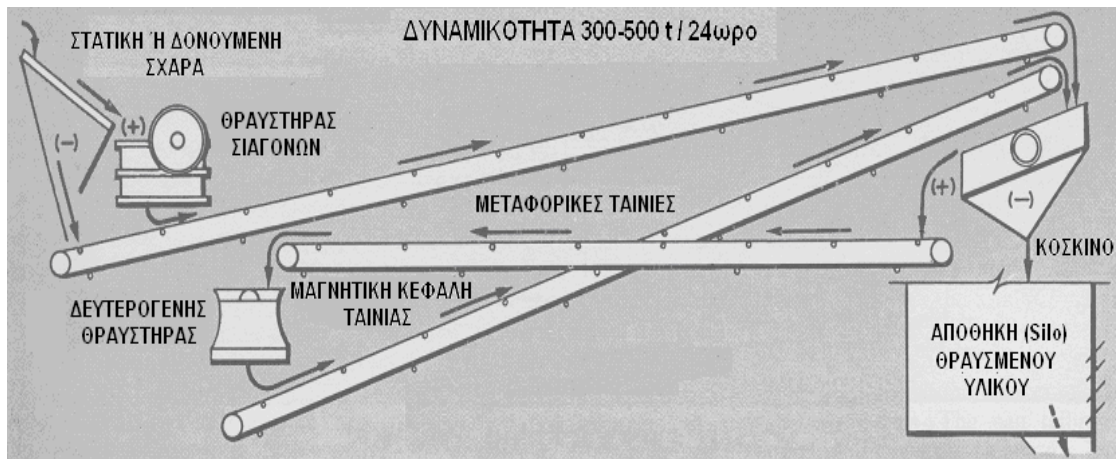
Στις Εικόνες 24, 25 και 26 δίνονται ενδεικτικά διαγράμματα ροής μηχανικής προπαρασκευής (θραύση-ταξινόμηση) μεταλλευμάτων και πετρωμάτων τα οποία προορίζονται για περαιτέρω επεξεργασία (εμπλουτισμός ή απευθείας μεταλλουργική κατεργασία) και απαιτούν κατάλληλη προετοιμασία με θραύση-κοσκίνιση για να αποκτήσουν το κατάλληλο μέγεθος τεμαχίων.



Εικόνα 24: Απλό κύκλωμα θραύσης



Εικόνα 25: Κύκλωμα θραύσης- κοσκίνισης (ανοιχτό και κλειστό έμμεσο) (DENVER)

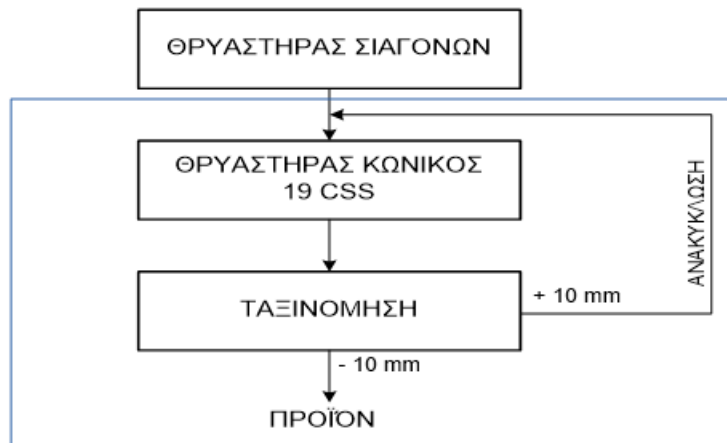


Εικόνα 26: Κύκλωμα θραύσης- κοσκίνισης (ανοιχτό και κλειστό έμμεσο) (DENVER)

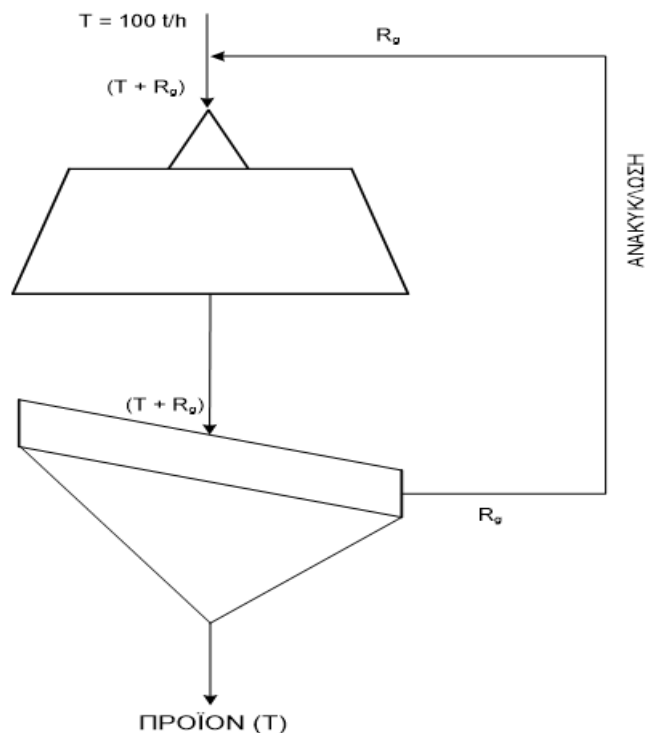
Πίνακας 16: Δεδομένα κοκκομετρικής ανάλυσης σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος Αγ. Ιωάννη

| Μέγεθος κοσκίνου mm | Βάρος % κλάσματος (ΜΕΙ) | Αθροιστικό διερχόμενο % |
|---------------------|-------------------------|-------------------------|
| +20 | 12.95% | |
| -20+10 | 16.80% | 87.05% |
| -10+5 | 15.44% | 70.25% |
| -5+2.5 | 15.90% | 54.81% |
| -2.5+1 | 18.13% | 38.91% |
| -1 | 20.77% | 20.77% |
| ΣΥΝΟΛΟ | 100 | |

Επειδή η τροφοδοσία των ΠΚ πρέπει να είναι περίπου 70.25% με μεγέθη τεμαχίων -10mm και το προϊόν (-10mm) από τη δευτερογενή θραύση (κωνικός θραυστήρας) είναι 45%, είναι προφανές ότι το κλάσμα +10mm που είναι το 55% κ.β πρέπει να υποστεί ξανά θραύση. Από την παραπάνω διαπίστωση προκύπτει ότι το κοκκομετρικό κλάσμα +10mm πρέπει να επιστρέψει στον κωνικό θραυστήρα για παραπέρα θραύση. Αυτό θα γίνει με την παρεμβολή κοσκίνου πλέγματος 10mm με διαμόρφωση πλέον άμεσου κλειστού κυκλώματος θραύσης (Διαγράμματα 8 και 9).



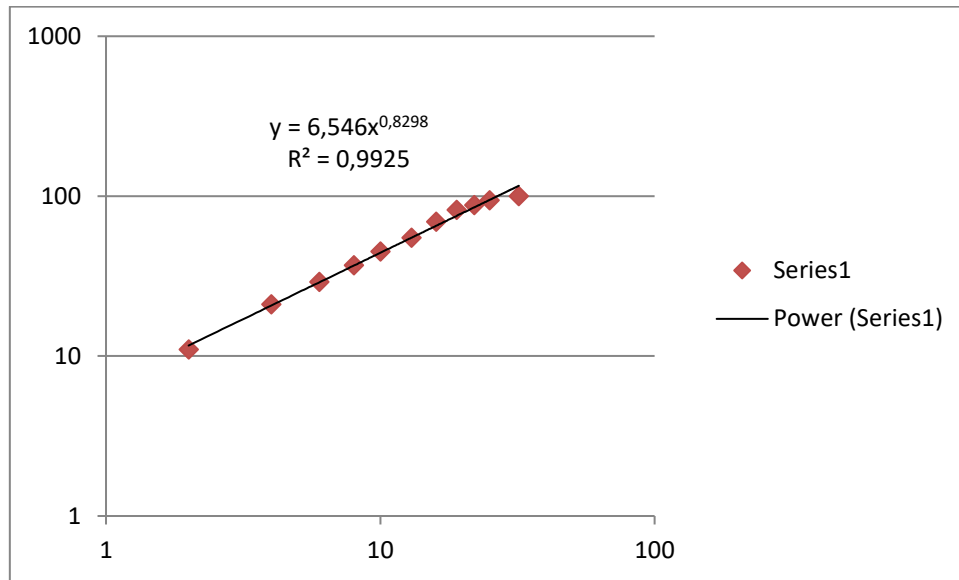
Διάγραμμα 8: Ανοιχτό + Άμεσο κλειστό κύκλωμα θραύσης



Διάγραμμα 9: Άμεσο κλειστό κύκλωμα θραύσης

5.2 Προσδιορισμός επιφάνειας κοσκίνων – Εναλλακτικές περιπτώσεις

Η κοκκομετρική ανάλυση του προϊόντος κωνικού θραυστήρα προσεγγίζεται ικανοποιητικά από την εξίσωση που καταγράφεται στο Διάγραμμα 9, η οποία μπορεί να μετατραπεί σε εξίσωση (Gates-Gaudin-Schuhmann), εξίσωση (2).



Διάγραμμα 10: Κοκκομετρική ανάλυση Gates-Gaudin-Schuhmann για τον κωνικό θραυστήρα

$$P = 6.546 \cdot x^{0.8298} = 100 \cdot \left(\frac{x}{26.7}\right)^{0.8298} \quad (2)$$

Με βάση την εξίσωση $y=6.546x^{0.8298}$ ή από την εξίσωση (2) υπολογίζονται ότι:

$$P(10) = 44.24$$

$$P(15) = 61.92$$

$$P(20) = 78.62$$

Παρακάτω, και για διάφορα ανοίγματα πλέγματος κοσκίνου 10, 15 και 20 mm, αντιστοίχως υπολογίζονται οι αναγκαίες επιφάνειες κοσκίνισης σε m² οι οποίες αναφέρονται σε παροχή 100 t/h. Από την παραπάνω χαρακτηριστική παροχή τροφοδοσίας (100 t/h), είναι εύκολο με αναγωγή να προσδιοριστούν οι αντίστοιχες επιφάνειες κοσκίνων για ανοίγματα 10, 15 και 20 mm, όταν η συνολική τροφοδοσία του κυκλώματος είναι διαφορετική από 100 t/h και εξαρτάται από τις ανάγκες του εργοστασίου.

1^η περίπτωση: Κόσκινο 10mm

$$E = T / (T + R_g) * u$$

$$\text{Απόδοση κοσκίνισης } E = 0.88$$

$$\text{Υπομέγεθος } u = 44.24\%$$



$$\Rightarrow 100 / (100 + R_{g10}) * 0.4424 = 0.88 \Rightarrow R_{g10} = 100 / (0.88 * 0.4424) - 100$$

$$\Rightarrow R_{g10} = 156.86 \text{ t/h}$$

Τροφοδοσία κωνικού θραυστήρα και τροφοδοσία κοσκίνου:

$$T + R_{g10} = 100 + 156.86 = 256.86 \text{ t/h}$$

2^η περίπτωση: Κόσκινο 15 mm

$$E = T / (T + R_g) * u$$

$$\text{Απόδοση κοσκίνισης } E = 0.88$$

$$\text{Υπομέγεθος } u = 61.92$$



$$\Rightarrow 100 / (100 + R_{g15}) * 0.6192 = 0.88 \Rightarrow R_{g15} = 100 / (0.88 * 0.6192) - 100$$

$$\Rightarrow R_{g15} = 83.52 \text{ t/h}$$

Τροφοδοσία κωνικού θραυστήρα και τροφοδοσία κοσκίνου:

$$T + R_{g15} = 100 + 83.52 = 183.52 \text{ t/h}$$

3^η περίπτωση: Κόσκινο 20 mm

$$E = T / (T + R_g) * u$$

$$\text{Απόδοση κοσκίνισης } E = 0.88$$

$$\text{Υπομέγεθος } u = 78.62\%$$



$$\Rightarrow 100 / (100 + R_{g20}) * 0.7862 = 0.88 \Rightarrow R_{g20} = 100 / (0.88 * 0.7862) - 100$$

$$\Rightarrow R_{g20} = 44.54 \text{ t/h}$$

Τροφοδοσία κωνικού θραυστήρα και τροφοδοσία κοσκίνου:

$$T + R_{g20} = 100 + 44.54 = 144.54 \text{ t/h}$$

Υπολογισμοί επιφάνειας κοσκίνων

Ο προσδιορισμός της αναγκαίας επιφάνειας των κοσκίνων γίνεται με τη βοήθεια της κλασσικής διαδικασίας με τους διάφορους παράγοντες που την επηρεάζουν π.χ. βασική δυναμικότητα, ποσοστό % υπερμεγέθους τροφοδοσίας, ποσοστό % υπομεγέθους μισού ανοίγματος της τροφοδοσίας, φαινόμενη πυκνότητα υλικού, % υγρασία, αριθμός πλεγμάτων κοσκίνου, σχήμα ανοίγματος βροχίδας, επιδιωκόμενη απόδοση κοσκίνισης κλπ. Η διαδικασία φαίνεται παρακάτω και δίνει τα αποτελέσματα:

1^η περίπτωση για 10mm

(-10mm στη τροφοδοσία κοσκίνου = προϊόν κωνικού θραυστήρα $P(10) = 0.4424$ ή 44.24%)

Προσδιορισμός παραμέτρων:

Βασική δυναμικότητα A

$$Y = -0.058 * 10^2 + 3.3564 * 10 + 4.4034$$

$$Y = 32 \text{ t/m}^2 * \text{h}$$

Παράγοντας B

Αφού - 10mm 44.24%, το +10mm είναι 55.76%

$$Y = -0.0088x + 1.2254$$

$$Y = -0.0088 * 55.76 + 1.2254$$

$$Y = 0.73$$

Παράγοντας C

$$P(5) = 24.88$$

$$Y = 1.5215 * 0.2488^2 + 0.8061 * 0.2488 + 0.4045$$

$$Y = 0.69$$

Παράγοντας D

$D = 1$ (1ο κατάστρωμα)

Παράγοντας F

Φαινόμενο ειδικό βάρος υλικού 1.8 t/m^3

$$F = 0.625 * \text{φαινόμενο ειδικό βάρος} = 0.625 * 1.8 = 1.125$$

Παράγοντας Η

Σχήμα ανοίγματος (βροχίδα) πλέγματος : τετραγωνική άρα $H=1$

Παράγοντας J

Επιδιωκόμενη απόδοση κοσκίνισης $E=88\%$, $J= 1.25$

Παράγοντας M (ποσοστό % υγρασίας της τροφοδοσίας)

Μετά από ξήρανση του δείγματος λατερίτη της Λάρκο (4346g) έχουμε 4000g ξηρό υλικό.

Το ποσοστό % της υγρασίας υπολογίζεται ως:

$$4000g + \text{υγρασία} = 4346g$$

$$\text{Υγρασία} = 346g$$

$$346/4346 * 100 = \text{υγρασία \%}$$

$$\text{Υγρασία} = 7.96\%, \text{ οπότε ο παράγοντας } M = 0.80$$

$$\text{Επιφάνεια Κοσκίνου } (S_{10mm}) = (T-O) / A * B * C * D * F * H * J * M$$

$$S_{10mm} = (256.86 * 0.4424) / 32 * 0.73 * 0.69 * 1 * 1.125 * 1 * 1.25 * 0.80$$

$$S_{10mm} = \mathbf{6.26 \text{ m}^2}$$

L: μήκος, W: πλάτος

$$L * W = 6.26 \text{ m}^2$$

Όμως συνήθως $L/W = 2.5:1$ οπότε $L = 2.5W$

$$2.5W * W = 6.26 \text{ m}^2$$

$$W = 1.58 \text{ m} \text{ και } L = 3.95 \text{ m}$$

2η περίπτωση για 15mm

(-15mm στη τροφοδοσία κοσκίνου = προϊόν κωνικού θραυστήρα $P(15) = 0.6192$ ή 61.92%)

Προσδιορισμός παραμέτρων:

Βασική δυναμικότητα A

$$Y = -0.058 * 15^2 + 3.3564 * 15 + 4.4034$$

$$Y = 41 \text{ t/m}^2 * h$$

Παράγοντας B

Αφού -15mm 61.92%, το +15mm είναι 38.08%

$$Y = -0.0088x + 1.2254$$

$$Y = -0.0088 * 38.08 + 1.2254$$

$$Y = 0.89$$

Παράγοντας C

$$P(7.5) = 34.84$$

$$Y = 1.5215 * 0.3484^2 + 0.8061 * 0.3484 + 0.4045$$

$$Y = 0.87$$

Παράγοντας D

$$D = 1 \text{ (1ο κατάστρωμα)}$$

Παράγοντας F

Φαινόμενο ειδικό βάρος υλικού 1.8 t/m^3

$$F = 0.625 * \text{φαινόμενο ειδικό βάρος} = 0.625 * 1.8 = 1.125$$

Παράγοντας H

Σχήμα ανοίγματος (βροχίδα) πλέγματος : τετραγωνική άρα $H = 1$

Παράγοντας J

Επιδιωκόμενη απόδοση κοσκίνισης $E = 88\%$, $J = 1.25$

Παράγοντας M (ποσοστό % υγρασίας της τροφοδοσίας)

Υγρασία = 7.96%, οπότε ο παράγοντας $M = 0.80$ (όπως 1^η περίπτωση)

$$\text{Επιφάνεια Κοσκίνου (S}_{15\text{mm})} = (T - O) / A * B * C * D * F * H * J * M$$

$$S_{15mm} = (183.52 * 0.6192) / 41 * 0.89 * 0.87 * 1 * 1.25 * 1 * 1.25 * 0.80$$

$$S_{15mm} = 3.18 \text{ m}^2$$

L: μήκος, W: πλάτος

$$L * W = 3.18 \text{ m}^2$$

Όμως συνήθως $L/W = 2.5:1$ οπότε $L = 2.5W$

$$2.5W * W = 3.18 \text{ m}$$

$$W = 1.12 \text{ m και } L = 2.8 \text{ m}$$

3^η περίπτωση για 20mm

(-20mm στη τροφοδοσία κοσκίνου = προϊόν κωνικού θραυστήρα $P(20) = 0.7862$ ή 78.62%)

Προσδιορισμός παραμέτρων:

Βασική δυναμικότητα A

$$Y = -0.058 * 20^2 + 3.3564 * 20 + 4.4034$$

$$Y = 48 \text{ t/m}^2 * h$$

Παράγοντας B

Αφού -20mm 78.62%, το +20mm είναι 21.38%

$$Y = -0.0088x + 1.2254$$

$$Y = -0.0088 * 21.38 + 1.2254$$

$$Y = 1$$

Παράγοντας C

$$P(10) = 44.23$$

$$Y = 1.5215 * 0.4423^2 + 0.8061 * 0.4423 + 0.4045$$

$$Y = 1$$

Παράγοντας D

$$D = 1 \text{ (1ο κατάστρωμα)}$$

Παράγοντας F

Φαινόμενο ειδικό βάρος υλικού 1.8 t/m^3

$$F = 0.625 * \text{φαινόμενο ειδικό βάρος} = 0.625 * 1.8 = 1.125$$

Παράγοντας H

Σχήμα ανοίγματος (βροχίδα) πλέγματος : τετραγωνική άρα $H=1$

Παράγοντας J

Επιδιωκόμενη απόδοση κοσκίνισης $E=88\%$, $J= 1.25$

Παράγοντας M

$M=0.80$ (όπως 1^η περίπτωση)

$$\text{Επιφάνεια Κοσκίνου (S}_{20\text{mm}}) = (T-O) / A * B * C * D * F * H * J * M$$

$$S_{20\text{mm}} = (144.54 * 0.7862) / 48 * 1 * 1 * 1 * 1.125 * 1 * 1.25 * 0.80$$

$$S_{20\text{mm}} = \mathbf{2.1 \text{ m}^2}$$

$$L * W = 2.1 \text{ m}^2$$

Συνήθως $L/W=2.5:1$ οπότε $L=2.5W$

$$2.5W * W = 2.1 \text{ m}^2$$

$$W = 0.91 \text{ m}$$

$$L = 2.27 \text{ m}$$

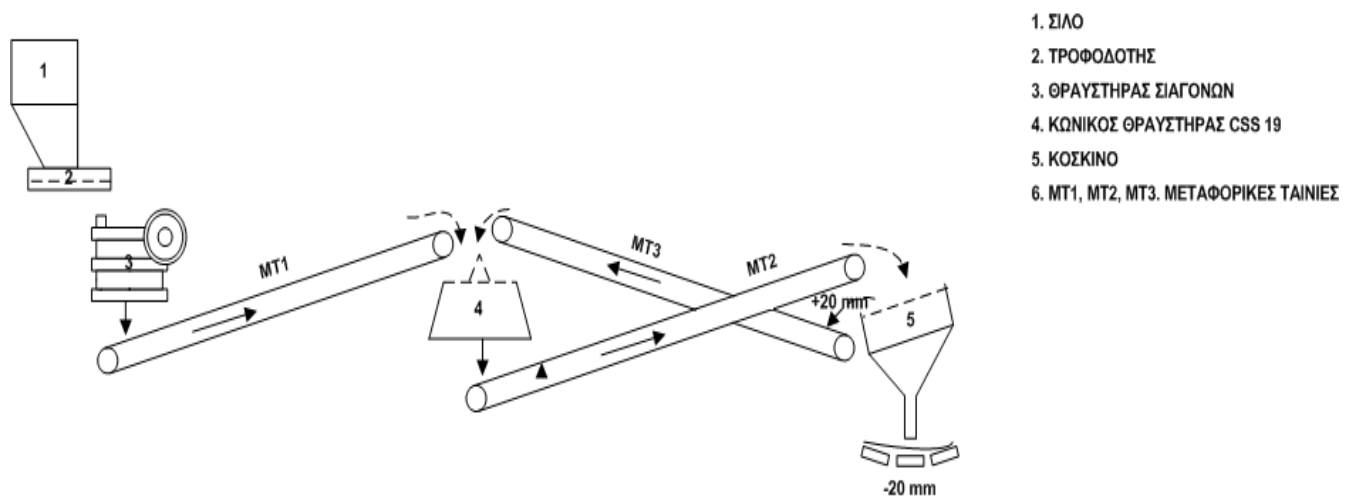
5.3 Προσαρμογή στην πραγματική δυναμικότητα κυκλώματος (θραύσης- κοσκίνισης)

Έστω 100 t/h με 7 ώρες/βάρδια και 3 βάρδιες. Οπότε $100\text{t/h} * 7 * 3 = 2.100\text{ t/ημέρα}$.

$2.100\text{ t/ημέρα} * 350\text{ ημέρες/χρόνο} = 735.000\text{ t/χρόνο}$ με μέση περιεκτικότητα σε Νικέλιο 1%.

Όμως επειδή η πραγματική ποσότητα της τροφοδοσίας του μεταλλουργικού εργοστασίου της ΛΑΡΚΟ είναι περίπου $(2.100-2.200) \times 10^3\text{ t/χρόνο}$, δηλαδή περίπου τριπλάσια από την παραπάνω που αναφέρεται σε παροχή 100 t/h (για λειτουργία κυκλώματος θραύσης σε 3 βάρδιες με διάρκεια βάρδιας 7h), τότε όπως είναι φυσικό πρέπει να προσαρμοστούν κατάλληλα και τα μεγέθη των μηχανών μηχανικής προπαρασκευής. Οπότε, από τα παραπάνω προκύπτει ότι τα μηχανήματα θραύσης-ταξινόμησης στη συγκεκριμένη περίπτωση πρέπει να έχουν περίπου τριπλάσια δυναμικότητα δηλαδή 300 t/h νέα τροφοδοσία (για τρεις βάρδιες).

Αν βεβαίως επιλεγεί η περίπτωση μιας ή δύο βάρδιες λειτουργίας του κυκλώματος θραύσης-ταξινόμησης, τότε αναγκαστικά θα πρέπει να γίνει προσαρμογή δηλαδή αύξηση της δυναμικότητας των παραπάνω μηχανημάτων θραύσης-ταξινόμησης και τριπλασιασμός ή διπλασιασμός της ποσότητας που θα πρέπει να επεξεργαστεί το κύκλωμα. Αυτή η δυναμικότητα διαμορφώνεται σε 900 ή 600 t/h περίπου, αντιστοίχως. Στο Διάγραμμα 11 δίνεται ένα τέτοιο διάγραμμα ροής θραύσης-ταξινόμησης.



Διάγραμμα 11: Τελικό διάγραμμα ροής (Θραύσης-Ταξινόμησης)

Σημείωση: Με τροφοδοσία 2.200.000 t/χρόνο μεταλλεύματος μέσης περιεκτικότητας 0.95% Ni, η περιεχόμενη ποσότητα Ni στην τροφοδοσία είναι: $2.200.000 \times 0.95\% = 20.900\text{ t Ni}$.

Όμως, με ανάκτηση σε Ni απ' όλη τη διαδικασία παραγωγής 83%, η ποσότητα Ni που περιέχεται στο FeNi είναι: $20.900 \times 83\% = 17.347\text{ t Ni}$ περίπου, οπότε το τελικό εμπορεύσιμο προϊόν είναι περίπου 85.000 t FeNi (για Ni στο FeNi $\approx 20\%$)

5.4 Συμπεράσματα

Δείγμα λατερίτη, που στάλθηκε από τον Αγ. Ιωάννη Βοιωτίας, εξετάστηκε στο Εργαστήριο Εμπλουτισμού Μεταλλευμάτων. Σε αυτό προσδιορίστηκε το ποσοστό % υγρασίας και διενεργήθηκε πρωτογενής θραύση σε θραυστήρα σιαγόνων. Στη συνέχεια, το προϊόν υποβλήθηκε σε μηχανική κοσκίνιση (ταξινόμηση του προϊόντος σε κόσκινα μικρότερα από 20mm). Από το διάγραμμα κοκκομετρικής ανάλυσης Gates-Gaudin-Schuhmann διαπιστώνεται ότι το μέταλλευμα είναι σχετικά εύθρυπτο αλλά, λόγω του σημαντικού ποσοστού υγρασίας που περιέχει, χρειάζεται προσοχή κατά την προετοιμασία για να αποκτήσει την κατάλληλη κοκκομετρική ανάλυση για τροφοδοσία στις περιστροφικές καμίνους. Από την άλλη, με δεδομένο ότι στο «τριβείο» του Αγ. Ιωάννη το μέγιστο μέγεθος του λατερίτη που εισάγεται στο σιλό του τριβείου είναι περίπου 30cm και γνωρίζοντας ότι η τροφοδοσία των περιστροφικών καμίνων πρέπει να είναι <20 mm, χρησιμοποιώντας διαγράμματα και πίνακες για θραυστήρες σιαγόνων και κωνικούς της Metso Minerals, υπολογίστηκαν για διάφορα ανοίγματα πλέγματος κοσκίνου (συγκεκριμένα 10mm, 15mm, 20mm) οι δυναμικότητες των διαφόρων θραυστήρων και οι αντίστοιχες επιφάνειες κοσκίνισης για τροφοδοσία 100t/h. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν μπορούν εύκολα να αναχθούν στις απαιτήσεις δυναμικότητας των μηχανημάτων του κυκλώματος θραύσης-ταξινόμησης, λαμβάνοντας υπόψη την τρέχουσα παραγωγική δυναμικότητα σε Fe-Ni (t/year) του μεταλλουργικού εργοστασίου.

Βιβλιογραφία

- (n.d.). http://minewiki.engineering.queensu.ca/mediawiki/index.php/Cut-off_grade_estimation.
- (2007). Nordberg C Series Jaw Crushers - Metso Minerals. Metso Minerals.
- (2013). Cone Crushers-HP Series Cone Crushers. Metso Expect results.
- AUBEMA, C. C. (n.d.). <http://www.tlt.as/Undersider/documents/ConeCrusher.pdf>.
- DENVER, E. C. (n.d.). Modern Mineral Processing Flowsheets. Denver Colorado 80217, U.S.A.: Appendix to first edition.
- http://minewiki.engineering.queensu.ca/mediawiki/index.php/Cut-off_grade_estimation.
(n.d.).
- LARCO. (n.d.). Νικέλιο. <http://www.larco.gr/el.nickel.php>.
- U.S. Geological Survey, M. C. (n.d.). NICKEL.
<https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/nickel/mcs-2017-nicke.pdf>.
- Αντωνίου Ζ. Φραγκίσκου, Σ. Δ. (1979). Εισαγωγή εις τον εμπλουτισμό των μεταλλευμάτων και βιομηχανικών ορυκτών. Αθήνα: Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος (Β΄ Έκδοση).
- Αποστολίδη, Ν. (1989). Μεταλλευτική Εκτιμητική. Αθήνα: Ε.Μ.Π.
- Αρβανιτάκη, Χ. Α. (2015). Ανάκτηση Νί από φτωχό λατεριτικό μετάλλευμα με τη μέθοδο της εκχύλισης. Χανιά: Τμήμα Ορυκτών Πόρων.
- Γκουτζιούπα, Κ. (2015). Αξιολόγηση ποιοτικών χαρακτηριστικών και διερεύνηση εμπλουτισιμότητας του νικελιούχου σιδηρομεταλλεύματος του κοιτάσματος Αγίου Αθανασίου (Καστοριά). Χανιά: Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης.
- Ζαφειράτος, Ι. (2010). Ο τομέας σιδηρονικελιούχου λατερίτη-νικελίου. Τζεφέρης Πέτρος.
- Ζέρβας, Σ. (2016). Διάταξη θραυστήρα μαρμάρου και ζύγισης προϊόντων. Σέρρες: Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κεντρικής Μακεδονίας.
- Ζευγώλης, Μ. (2003). Τεχνολογία Προστασίας Περιβάλλοντος στη Βιομηχανία. Αθήνα: ΕΜΠ.
- Ζευγώλης, Ε. (2013). Η ελληνική βιομηχανία νικελίου και η διεθνής της θέση.
- Ζευγώλης, Ε. Ν. (1996). Η ΓΜΜ ΑΕ ΛΑΡΚΟ. Ανάπτυξη και Προοπτικές.
- Ζευγώλης, Ε. Ν. (2014). Μεταλλουργία σιδήρου (θεωρία και τεχνολογία). Όμιλος ΙΩΝ.

- Ζωγραφίδης, Χ. Χ. (2010). Επίδραση της φυσικοχημικής συμπεριφοράς νικελιούχων λατεριτών στην ενεργειακή βελτιστοποίηση της πυρομεταλλουργικής τους κατεργασίας. Αθήνα: Ε.Μ.Π.
- Καλημέρη, Ζ. (2015). Τελική Έρευνα Αγοράς - Νικέλιο. Αθήνα.
- Κατσαγιαννάκης, Ν. (2013). Ορυκτολογική-Πετρογραφική μελέτη και δυνατότητες εμπλουτισμού του νικελιούχου λατεριτικού σιδηρομεταλλεύματος του κοιτάσματος Nome (Αλβανία). Χανιά: Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης.
- Κλ. Μιχαηλίδης. (n.d.). Ελληνικά Κοιτάσματα Fe-Ni-ούχων λατεριτών.
- Μανουσάκη-Ορφανουδάκη, Α. (2005). Κοιτασματολογία. Αθήνα: Ε.Μ.Π.
- Μαρτίνη, Σ. Ν. (2004). Έρευνα αποδέσμευσης και εμπλουτισμού νικελιούχου λατερίτη Ευβοίας. Χανιά: Τμήμα Μηχανικών Ορυκτων Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης.
- Μπατσούλη, Σ. (2015). Προσομοίωση - Τεχνικοοικονομική ανάλυση της επίδρασης του μίγματος καυσίμων στη λειτουργία της περιστροφικής και ηλεκτρικής καμίνου τόξου παραγωγής σιδηρονικελίου. Αθήνα: Ε.Μ.Π.
- Μπόσκος Ε., Ο. Α. (2000). Κατανομή του νικελίου στις ορυκτολογικές φάσεις Fe-Ni-ούχων λατεριτών του Ελλαδικού χώρου. Αθήνα: 3ο Συνέδριο ορυκτού πλούτου Τ.Ε.Ε.
- (n.d.). Νικέλιο - Γενικά. http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo645y/pdf_theory/ni.pdf.
- Παπαϊωάννου, Δ. (2015). Αναγωγική φρύξη λατεριτικών μεταλλευμάτων με στερεά καύσιμα. Αθήνα: Ε.Μ.Π.
- Παπακωνσταντίνου, Ρ. (2017). Σχέδιο ανατίναξης και οι διαδικασίες επεξεργασίας στο τριβείο (Μεταλλεία ΛΑΡΚΟ Αγ.Ιωάννη). Αθήνα: Πρακτική Άσκηση (ΕΜΠ).
- Ταμπούρης, Σ. (2011). Περιλιπτική περιγραφή της παραγωγικής διαδικασίας του εργοστασίου της ΛΑΡΚΟ στη Λάρυμνα.
- Τζουβελέκης, Κ. Ε. (1981). Κατεργασία των νικελιούχων λατεριτών και η θέση του νικελίου στην παγκόσμια αγορά. Αθήνα: Τεχνικά Χρονικά.
- Τσακαλάκης, Κ. (2015). Αρχές-Θραυστήρες-Νόμοι κατάτμησης. ΕΜΠ.
- Ψαρρά, Α. (2014). Μελέτη συστήματος αποκονίωσης στα πλαίσια της μείωσης των εκπεμπόμενων αερίων ρύπων στην Λάρκο. Χανιά: Τμήμα μηχανικών παραγωγής και διοίκησης .