

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών

Διαχείριση & Προστασία Περιβάλλοντος

Μεταπτυχιακή Διατριβή



**Αειφόρος Ανάπτυξη του Μεταλλευτικού Πεδίου της
Βορειοανατολικής Χαλκιδικής**

Ιωάννης Μπαμπούνης

Επιβλέπων Καθηγητής

Σίσσυ Ευθυμιάδου

Μάιος 2018

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών

Διαχείριση & Προστασία Περιβάλλοντος

Μεταπτυχιακή Διατριβή

**Αειφόρος Ανάπτυξη του Μεταλλευτικού Πεδίου της
Βορειοανατολικής Χαλκιδικής**

Ιωάννης Μπαμπούνης

**Επιβλέπων Καθηγητής
Σίσσυ Ευθυμιάδου**

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για απόκτηση μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών στο τμήμα Διαχείρισης και Προστασίας Περιβάλλοντος από τη Σχολή Θετικών & Εφαρμοσμένων Επιστημών του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου.

Μάιος 2018

Περίληψη

Η διατριβή αποδεικνύει με τη βοήθεια της μεθόδου της πολυκριτηριακής ανάλυσης πως με τη χρήση των Βέλτιστων Διαθέσιμων Τεχνικών μπορεί να επιτευχθεί βιώσιμη εξόρυξη. Τα 3 βασικά κριτήρια που εξετάζονται είναι το περιβαλλοντικό, το κοινωνικό-οικονομικό και το τεχνολογικό. Η ανάλυση μας έδειξε πως η τεχνολογία της Ακαριαίας Τήξης, της Υδροθερμικής Καταβύθισης και της Στερεής Απόθεσης αποτελούν τις Βέλτιστες Τεχνολογίες για την αιεφόρα ανάπτυξη του μεταλλοφόρου πεδίου της βορειοανατολικής Χαλκιδικής. Η τεχνολογία της Ακαριαίας Τήξης εξαιτίας της υψηλής παραγωγικής απόδοσης, της οικονομικής λειτουργίας και της περιβαλλοντικής καθαρότητας αποτελεί την πιο αξιόπιστη τεχνολογία επεξεργασίας συμπτυκνωμάτων χαλκού – χρυσού. Η υδροθερμική καταβύθιση αποτελεί την καθαρότερη τεχνολογία παγκοσμίως για την διαχείριση του αρσενικού από συμπτυκνώματα πυριτών υψηλής συγκέντρωσης. Η αποδοτικότητά, ο μικρός όγκος των αποβλήτων καθώς και η σταθερότητα (μη διαλυτότητα) του σκοροδιτή στο περιβάλλον σε μακροχρόνια βάση αποτελούν βασικά πλεονεκτήματα της τεχνολογίας έναντι των υπολοίπων τεχνολογιών. Η στερεή απόρριψη των αποβλήτων αποτελεί την αιεφόρο τεχνολογία για την απόθεση των αποβλήτων της μονάδας Μεταλλουργίας και Εμπλουτισμού του μεταλλείου. Ο λόγος που επιτυγχάνεται αυτό είναι ο περιορισμός του όγκου των αποβλήτων και η ανάγκη για μικρότερη εγκατάσταση απόθεσης τελμάτων, καθώς επίσης και η μείωση του κινδύνου ατυχήματος σε περίπτωση σεισμού εξαιτίας των μικρότερων υδραυλικών πιέσεων του φράγματος. Η εκμετάλλευση του μεταλλευτικού πεδίου με τις συγκεκριμένες τεχνολογίες αποτελεί εχέγγυο αιεφόρου ανάπτυξης για την παραγωγή μετάλλου της περιοχής μελέτης.

Summary

The thesis demonstrates with the help of the multicriteria analysis method that with the use of Best Available Techniques, sustainable mining can be achieved. The three main criteria examined are environmental, socio-economic and technological. Our analysis has shown that the technology of Flash Smelting, Hydrothermal precipitation and Solid Deposition are the Best Technologies for the Sustainable Development of the Northeastern Halkidiki Metallurgical Field. The technology of Flash Smelting due to its high productive efficiency, economic performance and environmental cleanliness is the most reliable copper-gold condensate treatment technology. Hydrothermal precipitation is the world's cleanest technology for the management of arsenic from highly concentrated silica concentrates. Efficiency, low volume of waste as well as stability (non-solubility) of scorodite in the environment over the long term are key advantages of technology over other technologies. Solid waste disposal is the sustainable technology for the disposal of waste from the Metallurgy and Mining Enrichment Unit. The reason for this is the reduction of the volume of waste and the need for a smaller deposition of fumes, as well as the reduction of the risk of an accident in the event of an earthquake due to the lower hydraulic pressures of the dam. Exploiting the mining field with these technologies is a guarantee of sustainable development for the production of metal in the study area.

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ θερμά την καθηγήτριά μου κ Σίσσυ Ευθυμιάδου.

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	1
1.1	Υφιστάμενη κατάσταση	1
1.2	Επιπτώσεις εξόρυξης.....	3
1.2.1	Περιβαλλοντικές επιπτώσεις.....	3
1.2.3	Κοινωνικό - οικονομικές επιπτώσεις.....	5
1.3	Καθορισμός Αειφόρου Ανάπτυξης.....	6
1.4	Στόχοι Βιώσιμης Εξόρυξης.....	6
1.5	Κεντρικές Έννοιες.....	7
2	Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	10
2.1	Εισαγωγή.....	10
2.2	Ιστορική Αναδρομή.....	11
2.3	Θεωρητικό Πλαίσιο.....	13
2.3.1	Πλαίσια βιώσιμης Εξόρυξης.....	13
2.3.2	Διαχείριση Περιβάλλοντος.....	15
2.3.3	Βασικά Βήματα στη Διασφάλιση της Βιώσιμης Ανάπτυξης των Ορυκτών Αποθεμάτων.....	16
2.4	Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	16
2.4.1	Μέθοδος- Σχεδιασμός Εξόρυξης.....	16
2.4.2	Παρουσίαση Διαθέσιμων Τεχνολογιών.....	18
2.4.2.1	Τεχνολογίες Μεταλλουργίας.....	18
2.4.2.1.1	Flash Smelting (Ακαριαία Τήξη).....	18
2.4.2.1.2	Μέθοδος Υδατικής Οξειδωσης υπό Πίεση.....	20
2.4.2.2	Τεχνολογίες Σταθεροποίησης Αρσενικού.....	21
2.4.2.2.1	Υδροθερμική Καταβύθιση.....	22
2.4.2.2.2	Καταβύθιση με Ασβέστη.....	23
2.4.2.2.3	Σταθερότητα Αρσενικωδών και Αρσενικικών Ενώσεων.....	24
2.4.2.2.4	Σταθεροποίηση As με στοιχειομετρική περίσσεια Fe.....	25
2.4.2.2.5	Τεχνικές Στερεοποίησης Σταθεροποίησης.....	26
2.4.2.3	Τεχνολογίες Απόθεσης Αποβλήτων Εμπλουτισμού.....	26
2.4.2.3.1	Στερεά Απόθεση Αφυγραμένου Τέλματος.....	27
2.4.2.3.2	Υγρή Απόθεση.....	28
2.4.2.3.3	Ημίξερη Απόθεση.....	28
2.4.3	Αποκατάσταση Περιβάλλοντος.....	29
2.5	Διεθνής Πραγματικότητα.....	30
2.5.1	Ευρωπαϊκή Ένωση.....	30
2.5.2	Ευρωπαϊκή Νομοθεσία.....	31
2.5.3	Αυστραλία.....	33
2.6	Βιώσιμη Εξόρυξη.....	34
2.7	Κριτική Ανάλυση της βιβλιογραφίας.....	35
3	Μεθοδολογία	38
3.1	Σκοπός- Στόχοι	38
3.2	Σχεδιασμός της Μεθοδολογίας.....	39
3.3	Κριτήρια.....	40
3.4	Περιγραφή Κριτηρίων.....	40
3.5	Βαρύτητα Κριτηρίων.....	42
3.6	Παρουσίαση Πολυκριτηριακής Ανάλυσης.....	44
3.6.1	Πολυκριτηριακή Τεχνολογιών Μεταλλουργίας.....	44
3.6.2	Πολυκριτηριακή Τεχνολογιών Σταθεροποίησης Αρσενικού.....	48
3.6.3	Πολυκριτηριακή Μεθόδων Απόθεσης Αποβλήτων.....	54

4	Αποτελέσματα.....	58
4.1	Αποτελέσματα Πολυκριτηριακής Ανάλυσης Τεχνολογιών Μεταλλουργίας.....	58
4.2	Αποτελέσματα Πολυκριτηριακής Ανάλυσης Τεχνολογιών Σταθεροποίησης Αρσενικού.....	59
4.3	Αποτελέσματα Πολυκριτηριακής Ανάλυσης Μεθόδων Απόθεσης.....	60
5	Επίλογος.....	62
5.1	Συζήτηση των Αποτελεσμάτων.....	62
5.1.1	Συζήτηση για την Ακαριαία Τήξη.....	62
5.1.2	Συζήτηση για την Υδροθερμική Καταβύθιση.....	64
5.1.3	Συζήτηση για τη Στερεή Απόθεση.....	65
5.2	Περιορισμοί της Μεθοδολογίας.....	66
5.3	Συμπεράσματα.....	67
5.4	Προτάσεις.....	68
Βιβλιογραφία		

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Στην Ελλάδα το γεωλογικό δυναμικό ορυκτών πόρων είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικό. Οι στόχοι της εξορυκτικής βιομηχανίας για μη ενεργειακά μεταλλικά ορυκτά και ιδιαίτερα για ψευδάργυρο, μόλυβδο, χαλκό και χρυσό γίνονται ολοένα και σημαντικότεροι (M Arvanitidis 1998: 217).

1.1 Υφιστάμενη Κατάσταση

Στην περιφέρεια κεντρικής Μακεδονίας, στη βορειοανατολική Χαλκιδική και σε απόσταση 100 km από τη Θεσσαλονίκη λειτουργούν τα πρώην Μεταλλεία Κασσάνδρας τα οποία παράγουν ακόμη και σήμερα σφαλερίτη και γαληνίτη (A Argyraki 2014: 678). Η ανάπτυξη της εξορυκτικής δραστηριότητας στις μέρες μας περιλαμβάνει 3 υποέργα τα οποία είτε βρίσκονται σε λειτουργία είτε βρίσκονται σε σχεδιασμό και εν αναμονή αδειοδότησης τεχνικών μελετών και αποτελούν τη ραχοκοκαλιά της εκμετάλλευσης του μεταλλευτικού πεδίου.

Σύμφωνα με την έγκριση της ΜΠΕ της εταιρείας Ελληνικός Χρυσός από το Ελληνικό Δημόσιο πρόκειται για μία ενιαία και αδιαίρετη επένδυση, με επεμβάσεις ανάπτυξης υφιστάμενων και νέων μεταλλευτικών εγκαταστάσεων αλλά και επεμβάσεις εκτεταμένης αποκατάστασης, σε τρεις διαφορετικές περιοχές των Δήμων Σταγείρων – Ακάνθου και Παναγιάς (EIA Hellas Gold, 2006: 1.1-2). Το προτεινόμενο έργο περιλαμβάνει τα εξής υποέργα:

1. Υποέργο Ολυμπιάδας

Οι Μεταλλευτικές Εγκαταστάσεις Ολυμπιάδος (ΜΕΟ) αποτελούνται από το εκσυγχρονισμένο πλέον ορυχείο και από το ανακαινισμένο εργοστάσιο εμπλουτισμού (EIA Hellas Gold, 2006: 1.1-4). Το απόθεμα της Ολυμπιάδας αποτελείται από ένα πολυμεταλλικό ορυκτό σώμα (Pb, Zn, Ag, Au). Η δομή του μεταλλεύματος στην Ολυμπιάδα χωρίζεται στις δυτικές και ανατολικές αποθέσεις. Η δυτική απόθεση είναι η μεγαλύτερη με πλάτος 250m, μήκος 1200 και πάχος από 5 ως 15m. Η ανατολική βρίσκεται περίπου 150m ανατολικά της δυτικής και έχει μέσο πλάτος 75m και μέσο πάχος 7m (M Arvanitidis 2015: 301).

2. Υποέργο Σκουριών

Οι Μεταλλευτικές Εγκαταστάσεις Σκουριών (ΜΕΣκ) θα αποτελούνται από το υπόγειο ορυχείο, το ανοιχτό όρυγμα (open-pit), το νέο εργοστάσιο εμπλουτισμού και οι εγκαταστάσεις απόθεσης των αποβλήτων του εμπλουτισμού (ΜΠΕ Ελληνικός χρυσός, 2011). Το υπόεργο των Σκουριών είναι τμήμα της πορφυριτικής ζώνης χαλκού (Σερβομακεδονική ζώνη) που εκτείνεται μέσω των Σκοπίων στην Σερβία και την Ρουμανία. Το τμήμα αποτελείται από ένα σωληνοειδές, μεταλλοποιημένο, υποβοληνικό σώμα με επιφάνειες 180m N-S και 200m E-W και κατακόρυφη έκταση 700m (Μ Arvanitidis 2015: 304). Τα αποθέματα μετάλλων του υποέργου υπολογίζονται σε 206 Mt με ποσοστό 0,54% Cu και 0,80ppm Au (G. Kioussis, 2005: 991/).

3. Υπόεργο Στρατωνίου

Οι Μεταλλευτικές Εγκαταστάσεις Στρατωνίου (ΜΕΣ) αποτελούνται από το υφιστάμενο υπόγειο ορυχείο των Μαύρων Πετρών και το εργοστάσιο εμπλουτισμού (ΕΙΑ Hellas Gold, 2006: 1.1-6). Το υπόεργο των Μαύρων Πετρών βρίσκεται σε φθίνουσα πορεία και αν δεν χρηματοδοτηθεί έρευνα για την περαιτέρω ανάπτυξη του ορυχείου σε λίγα χρόνια θα σταματήσει την λειτουργία του. Στο συγκριμένο υπόεργο τα μέταλλα που εξορύσσονται είναι Pb, Zn και Ag και υπολογίζονται στον 1Mt (Μ Arvanitidis 2015: 303).

Στη περιοχή του Μάντεμ Λάκκου πλησίον του ορυχείου των Μαύρων Πετρών θα δημιουργηθούν οι Νέες Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Μεταλλεύματος οι οποίες θα περιλαμβάνουν εργοστάσιο εμπλουτισμού, μονάδα παραγωγής θειικού οξέος, μεταλλουργία καθώς και εγκαταστάσεις απόθεσης εξορυκτικών αποβλήτων (ΕΙΑ Hellas Gold, 2006: 1.1-2).

Το ερώτημα αν μπορεί να καταστεί βιώσιμη η ανάπτυξη της εξορυκτικής δραστηριότητας στη βορειοανατολική Χαλκιδική και γενικότερα αν είναι δυνατή η αειφόρος ανάπτυξη ορυκτών αποτελεί το μείζον ερώτημα. Ίσως είναι οξύμωρη η έννοια της αειφορίας στην εκμετάλλευση μη ανανεώσιμων ορυκτών με τις «τρύπες στο έδαφος» και τις τεράστιες ποσότητες αποβλήτων. Η τάση είναι να κοιτάζουμε μια άκρως μακριά περίοδο. Αυτή όμως η προσέγγιση δεν είναι απαραίτητα κατάλληλη, δεδομένου ότι είναι αδύνατο να προβλεφθούν με ακρίβεια οι μελλοντικές επιπτώσεις (P Sorensen 2012: 23). Φαίνεται πάντως ότι παγκοσμίως υπάρχει υψηλού επιπέδου συμφωνία πως η βιωσιμότητα είναι «καλό πράγμα». Η επιτροπή Brundland δημιούργησε τον πιο καθολικά αποδεκτό ορισμό της βιώσιμης ανάπτυξης πριν από τη σύνοδο κορυφής του Ρίο: «Βιώσιμη ανάπτυξη είναι η ανάπτυξη που ικανοποιεί τις ανάγκες του παρόντος χωρίς να διακυβεύεται η ικανότητα των μελλοντικών γενεών να καλύψουν τις δικές τους». Αυτό το μεγάλο ιδεώδες δημιούργησε μεγάλο ενθουσιασμό στις αρχές της δεκαετίας του 1990, δεν έχει όμως οδηγήσει ως τώρα σε αλλαγές σε σημαντικούς τομείς όπως η κλιματική αλλαγή και η βιοποικιλότητα (N Weatherstone, 2013: B15). Τα ορυχεία, τα μέταλλα, η μεταλλουργία είναι σημαντικά για την οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη καθώς είναι απαραίτητα για το σύγχρονο τρόπο ζωής. Οι ηγέτες στην παγκόσμια επιχειρηματική κοινότητα των μεταλλείων έχουν αποδώσει μια νέα στρατηγική σημασία στον όρο αειφορία. Η κοινωνική και περιβαλλοντική ευθύνη αποτελούν χαρακτηριστικά της οργάνωσης και μελέτης των επενδυτικών τους σχεδίων (S Chattopadhyay, 2017: 2).

1.2 Επιπτώσεις Εξόρυξης

Είναι ευρέως αποδεκτό ότι η εξόρυξη είναι μια δραστηριότητα, η οποία, από τη φύση της, επηρεάζει το φυσικό και το ανθρώπινο περιβάλλον με πολλούς τρόπους. Το πρόβλημα (ερώτημα) της εξόρυξης και μεταλλουργίας χρυσού – χαλκού στην βορειοανατολική Χαλκιδική έχει να κάνει με τις επιπτώσεις που θα μπορούσαν να προκληθούν στον τομέα του περιβάλλοντος, της κοινωνίας και της οικονομίας.

1.2.1 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Η ρύπανση των επιφανειακών και των υπογείων υδάτων από την αποστράγγιση ορυκτών ορυχείων, η μόλυνση του εδάφους, η εισβολή στο τοπίο, οι εκπομπές σκόνης, η διάβρωση και η καθίζηση κ.λπ. είναι μερικά από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά ζητήματα που συνδέονται με την εξόρυξη. Επομένως, δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι, υπό το πρίσμα της αυξανόμενης δημόσιας ανησυχίας για την προστασία, τη διατήρηση και την αποκατάσταση του περιβάλλοντος, οι τοπικές κοινότητες είναι δύσπιστες και, σε πολλές περιπτώσεις, ακόμη και εχθρικές (D Damigos, D Kalimprakos, 2006: 204).

Μια περίπτωση μελέτης αποτελεί το μεταλλείο χρυσού Εσσακανέ στην Μπουρκίνα Φάσο. Οι αιτίες ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι οι μεταφορές και οι μεταλλευτικές δραστηριότητες. Η μεταφορά των εργαζομένων με λεωφορεία μέσω χωματόδρομων της περιοχής από το εκάστοτε χωριό στο εργοτάξιο και οι επιμέρους μεταφορές τους στον εργοταξιακό χώρο οδηγεί στον σχηματισμό υπερβολικής σκόνης. Το ίδιο και σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό συμβαίνει με τις εργασίες διάτρησης, ανατίναξης, θραύσης, λείανσης, φόρτωσης και μεταφοράς ορυκτών (M Porgo, O Gokuyay 2016: 645). Μάλιστα το 80-90% των εκπομπών των σωματιδίων (PM10) από όλες τις επιφανειακές εξορυκτικές εργασίες που δημιουργούνται σε ένα ανοιχτό ορυχείο προκαλούνται από τα φορτηγά οχήματα (WR Reed 2006: 66).

Οι επιπτώσεις της εξόρυξης στο περιβάλλον μπορούν να υποδιαιρεθούν ανάλογα με το στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας και το είδος εξόρυξης (P L Younger, C Wolkersdorfer 2004: S2).

1. επιπτώσεις εξορυκτικών δραστηριοτήτων
2. επιπτώσεις επεξεργασίας ορυκτών και διάθεσης αποβλήτων
3. επιπτώσεις από την αποξήρανση του ορυχείου (υπόγειου)
4. επιπτώσεις των ανενεργών ορυχείων (ανάκτηση στάθμης υπόγειων νερών και διαρροή στο περιβάλλον, δημιουργία «λίμνης» σε χώρο επιφανειακής εξόρυξης)

Σε μετρήσεις που έγιναν σε πηγές νερού πλησίον του ορυχείου Εσσακανέ έδειξαν πως οι συγκεντρώσεις κυανίου και υδραργύρου βρίσκονταν εντός των ορίων WHO.

Ωστόσο, η συγκέντρωση του αρσενικού (κωδικοποιημένο BN) βρίσκεται άνω του αντίστοιχου ορίου (M Porgo, O Gokyay 2016: 647). Η χρήση μεγάλης ποσότητας οξέων κατά την μεταλλουργική διαδικασία δημιουργεί χαμηλό PH με αποτέλεσμα την απελευθέρωση ιχνοστοιχείων όπως είναι αυτά του αρσενικού (M Porgo, O Gokyay 2016: 647). Μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο επιφανειακό υδατικό σύστημα της Γκάνας (δίκτυο ποταμών Γκάνας και Μπουρκίνα Φάσο) έδειξαν πως το 43% των δειγμάτων ήταν άνω των επιτρεπτών ορίων WHO (M Porgo, O Gokyay 2016: 648). Στον πλησίον του ορυχείου Εσσακανέ ποταμό Pra εμφανίστηκαν τιμές συγκέντρωσης ελεύθερου CN⁻ 11,9 φορές μεγαλύτερη από την τιμή όριο της WHO. Η υψηλή περιεκτικότητα σε αρσενικό στην περιοχή Μπούνια (πλησίον του ορυχείου) οφείλεται κυρίως στη μη χρήση γεωμεμβράνης πολυαιθυλενίου (HDPE) στις λίμνες τελμάτων του ορυχείου (M Porgo, O Gokyay 2016: 648). Οι υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων και το χαμηλό PH προκαλούν τοξικότητα σε διάφορους υδρόβιους οργανισμούς, βιοσυσσώρευση των οργανισμών αυτών, βιοαποδόμηση της τροφικής αλυσίδας και τέλος έμμεσες επιπτώσεις στους ζώντες οργανισμούς (P L Younger, C Wolkersdorfer 2004: S6). Η κατανόηση των επιπτώσεων της εξόρυξης στα υδρόβια οικοσυστήματα αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την επίτευξη και διατήρηση της καλής οικολογικής κατάστασης κατά τη λήψη υδάτινων πόρων, δηλαδή για τη συμμόρφωση με την οδηγία-πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα ύδατα (P L Younger, C Wolkersdorfer 2004: S5).

Η επιφανειακή εξόρυξη που επιχειρείται στο Εσσακανέ έχει ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση του φυσικού τοπίου και της τοπογραφίας του εδάφους (M Porgo, O Gokyay 2016: 648). Η εκκαθάριση του εδάφους για δημιουργία υποδομών εξόρυξης προκαλεί διαταραχή του εδάφους, απώλεια της in situ δομής και τροποποίηση των φυσικών χημικών ιδιοτήτων του εδάφους (M Porgo, O Gokyay 2016: 649). Στη Γκάνα μια από τις πιο σημαντικές περιοχές εξόρυξης στο κόσμο παρουσιάζεται μείωση της γεωργικής γης. Οι συγκρούσεις για τη χρήση γης καθίστανται όλο και πιο εμφανείς. Στη δυτική Γκάνα τα αποτελέσματα της επιφανειακής εξόρυξης έδειξαν απώλεια 45% των γεωργικών εκτάσεων και αποδάσωση 58%. Ο γεωργικός κόσμος εξαιτίας της εξόρυξης αναγκάζεται καλύψει τα χαμένα εδάφη του και μπαίνει στη διαδικασία καταπάτησης του δάσους με αποτέλεσμα το σημαντικό περιβαλλοντικό κόστος (V Schueler, T Kuemmerle, H Schroder 2011: 528).

Στο ορυχείο Εσσακανέ οι επιπτώσεις υγείας στους εργαζομένους και στους κατοίκους της ευρύτερης περιοχής είναι ιδιαίτερα σημαντικές. Άμεσα ή έμμεσα η εξόρυξη είναι πηγή ορισμένων ασθενειών. Η πιο συχνά εμφανιζόμενη ασθένεια (47,45%) είναι η ελονοσία εξαιτίας των στάσιμων νερών της περιοχής (φράγματα, λακκούβες) και της ανάπτυξης πληθυσμών κουνουπιών. Μετά την ελονοσία οι αναπνευστικές λοιμώξεις (ARI) είναι οι συνηθέστερες μεταξύ των ασθενειών. Ο συνηθέστερος τύπος ARI είναι η πυριτίαση. Η πυριτίαση είναι ένας τύπος πνευμονοκονίας, ο οποίος σχετίζεται ιδιαίτερα με την έκθεση σε σκόνη στα ορυχεία χρυσού. Πρόκειται για μια ανίατη επαγγελματική πνευμονοπάθεια που προκαλείται από παρατεταμένη ή εντατική εισπνοή μικροσκοπικών αναπνεύσιμων σωματιδίων σκόνης κρυσταλλικού πυριτίου (M Porgo, O

Gokya 2016: 648). Στην περίπτωση μελέτης της ζώνης χρυσού Μιγκόρι στην Κένυα και κυρίως στο ορυχείο Αρτισάν παρατηρήθηκε πως οι ιθύνοντες δεν συμμορφώνονται με τους κανόνες που διέπουν τις εξορυκτικές εργασίες και την περιβαλλοντική διαχείριση. Οι εργαζόμενοι αγνοούν τις επιπτώσεις έκθεσης στα βαρέα μέταλλα κατά την εξόρυξη και την επεξεργασία των ορυκτών (J S Ogoła, W V Mitullah, M A Omulo 2001:145). Υπό ορισμένες συνθήκες, τα βαρέα μέταλλα που απελευθερώνονται από την εξόρυξη μπορούν να ενεργοποιηθούν, να μεταναστεύσουν και να συσσωρευθούν σε διάφορα μέσα που μπορεί να επηρεάσουν άμεσα ή έμμεσα τα φυτά, τα ζώα και κυρίως την υγεία των ανθρώπων (X Zhang, L Yang, Y Li, H Li, W Wang, B Ye 2011: 2262. Τα συμπτώματα από τη δηλητηρίαση βαρέων μετάλλων είναι οι αισθητηριακές διαταραχές, η υποτροπή, ο τρόμος, η ουλίτιδα, η μεταλλική γεύση, η νευρασθαιμία και η τύφλωση (J S Ogoła, W V Mitullah, M A Omulo 2001:145). Οι κύριες ανησυχίες για την ανθρώπινη υγεία από την εξόρυξη προκαλούνται από τη χρήση χημικών ουσιών για την εκχύλιση πολύτιμων μετάλλων από το ακατέργαστο μέταλλευμα. Στην περίπτωση του Εκουαδόρ η εξορυκτική εκμετάλλευση παράγει 5 με 6 εκατομμύρια τόνους χρυσού. Ο υδράργυρος που απελευθερώνεται στον ποταμό Puyago μπορεί να μετατραπεί σε μεθυλδράργυρο οποίος είναι πολύ πιο τοξικός από τον ανόργανο και έντονα βιομαγνητισμένος για τις τροφικές αλυσίδες. Επίσης το κυάνιο που χρησιμοποιείται κατά την εκχύλιση καθώς κι ο μόλυβδος που απελευθερώνονται στο ποτάμι είναι επίσης τοξικά (O Betancourt, R Barriga, J Remy, D Guimarães, E Cueva, S Betancourt 2011: 120). Μια σειρά από εξετάσεις που διενεργήθηκαν στον τοπικό πληθυσμό είχαν σκοπό την μέτρηση βιοδεικτών (μαλλιά, ούρα) κυρίως για τον υδράργυρο και το μόλυβδο. Τα αποτελέσματα έδειξαν υψηλό τοξικό επίπεδο αυτών των δυο μετάλλων που συνδέονται με τις κακές επιδόσεις των νευροσυμπεριφορικών δοκιμών που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των κινητικών, αισθητηριακών και γνωστικών λειτουργιών (O Betancourt, R Barriga, J Remy, D Guimarães, E Cueva, S Betancourt 2011: 124).

1.2.2 Κοινωνικό - οικονομικές επιπτώσεις

Στην εξορυκτική βιομηχανία κάποιες μεμονωμένες επιχειρήσεις μπορούν να έχουν τεράστιες κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις σε τοπικό επίπεδο, καθώς και σημαντικές οικονομικές επιπτώσεις στις εθνικές οικονομίες που λειτουργούν (A Dane 2009: 398). Ένα ορυχείο κατά την λειτουργία του παίζει σημαντικό οικονομικό (φορολογικά έσοδα) και κοινωνικό (κοινωνικές υπηρεσίες) ρόλο. Το κλείσιμο ενός ορυχείου εγείρει ανησυχίες σχετικά με την τοπική ανεργία και τη συνέχιση των κοινωνικών υπηρεσιών. Κάθε στάδιο της εξόρυξης συνδέεται με οικονομικό - κοινωνικές επιπτώσεις (P Mallikarjun Rao, K Pathak 2007: 555). Οι κοινωνικές επιπτώσεις της εξόρυξης δεν είναι πάντα θετικές ή αρνητικές. Είναι αλληλένδετες, αλληλεξαρτώμενες, σωρευτικές και συνεργιστικές (S Petrova 2014: 163). Κατά τη διάρκεια της ενεργής ζωής του, ένα ορυχείο παρέχει άμεση ή έμμεση απασχόληση στην τοπική κοινωνία. Καθώς και μεταφορικές, ιατρικές, εκπαιδευτικές εγκαταστάσεις και παροχές ευημερίας (P Mallikarjun Rao, K Pathak 2007: 555). Το πέρας μιας εξορυκτικής εκμετάλλευσης μπορεί

να προκαλέσει απότομη πτώση του βιοτικού επιπέδου, ανεργία, απώλεια κοινοτικών εγκαταστάσεων όπως χώροι αναψυχής και μια σειράς ανεπίσημων υπηρεσιών όπως υπηρεσίες συντήρησης σπιτιών και υπηρεσίες αντιμετώπισης έκτακτων αναγκών που παρέχονται από τις διοικήσεις των ορυχείων (P Mallikarjun Rao, K Pathak 2007: 556). Στο βόρειο Καναδά, τα ορυχεία Polaris και Nanisivik στην περιοχή Nunavut δεν προωθούσαν τη βιώσιμη ανάπτυξη και τα βραχυπρόθεσμα οφέλη εξανεμίστηκαν με το κλείσιμο τους. Ωστόσο και κατά τη διάρκεια λειτουργίας τους οι αρνητικές επιπτώσεις ήταν σημαντικές και υπερκάλυπταν την αύξηση του εισοδήματος. Οι αρνητικές επιπτώσεις περιλαμβάνουν την αυξημένη κατανάλωση αλκοόλ και την περιορισμένη κατάρτιση που δεν οδήγησε σε κάποια πιστοποίηση η οποία θα μεταφερθεί σε άλλες θέσεις εργασίας εκτός ορυχείων (L-M Bowes – Lyon, J P Richards, T M McGee 2009: 372).

1.3 Καθορισμός Αειφόρου Ανάπτυξης

Η αειφόρος ανάπτυξη μιας εξορυκτικής δραστηριότητας έχει πολυδιάστατη σημασία (R G Eggert 2001: 3). Η αειφόρος ανάπτυξη εξορυκτικών δραστηριοτήτων δεν είναι μια σταθερή κατάσταση αρμονίας και ισορροπίας αλλά μια μεταβαλλόμενη διαδικασία κατά την οποία η εκμετάλλευση των φυσικών πόρων, η κατεύθυνση των επενδύσεων, ο προσανατολισμός της τεχνολογικής ανάπτυξης και οι θεσμικές αλλαγές συμβιβάζονται με το μέλλον ως υφιστάμενες ανάγκες (P Sorensen 2012: 21). Η σημασία της συγκεκριμένης διατριβής έγκυται στο να παρουσιαστούν τεχνικές και μέθοδοι που θα υποστηρίζουν και θα αποδεικνύουν την αειφορία της εξόρυξης και της μεταλλουργίας του κοιτάσματος στη βορειοανατολική Χαλκιδική. Η επιχείρηση Hellas Gold πρέπει να εγγυηθεί για τη βιώσιμη ανάπτυξη. Ωστόσο η επίτευξη υψηλού επιπέδου αειφορίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις συνδυασμένες προσπάθειες των κυβερνητικών φορέων, των διεθνών οργανισμών και των ίδιων φορέων εκμετάλλευσης (G Hilson 2002, 52). Η αναγκαιότητα για σωστή περιβαλλοντική διαχείριση και η βελτίωση της ποιότητας ζωής αποτελούν την αφορμή της εκπόνησης της διατριβής.

1.4 Στόχοι Βιώσιμης Εξόρυξης

Η εξόρυξη είναι μια σύνθετη και εντατική διαδικασία που προκαλεί εγγενώς περιβαλλοντικές και κοινωνικές μεταβολές. Οι διαταραχές που συνδέονται με τη μεταλλεία επηρεάζουν το φυσικό περιβάλλον (απώλεια οικοτόπων, μόλυνση υπόγειων και επιφανειακών υδάτων) και τις τοπικές κοινωνίες (πολιτισμικές επιπτώσεις, εκτόπιση πόρων) (Y Ghorbani, S H Kuan 2016: 138). Στην βορειοανατολική Χαλκιδική η εξόρυξη του μεταλλοφόρου κοιτάσματος αποτελεί το στοίχημα και συγχρόνως την απόδειξη ότι η βιωσιμότητα μιας τέτοιας εκμετάλλευσης μπορεί να καταστεί δυνατή. Ο σωστός σχεδιασμός ορυχείων όπως η περίπτωση των πρώην Μεταλλείων Κασσάνδρας αποτελεί το θεμέλιο λίθο της αξίας μιας επιχείρησης εξόρυξης. Ο σχεδιασμός των ορυχείων απαιτεί την πλήρη κατανόηση του σώματος του μεταλλεύματος, των αυστηρών προτύπων και διαδικασιών, της εύρωστης και χρήσιμης πληροφορίας τεχνολογίας και την επιλογή ειδικευμένων ατόμων που θα υλοποιήσουν το έργο (R Henderson & C Turek, 2013). Οι

στόχοι που πρέπει να επιτευχθούν κατά το σχεδιασμό, την υλοποίηση και το πέρας της εκμετάλλευσης πρέπει να στηρίζουν την αειφορία. Γενικότερα οι μεταλλευτικές βιομηχανίες πρέπει να θέτουν στόχους σε ορισμένους τομείς και να δουλεύουν ώστε να επιτευχθούν. Οι τομείς αυτοί είναι (Lock R Pochrel & Brajesh Dubey, 2012):

1. η ασφάλεια του έμφυχου δυναμικού
2. η οικονομική ανάπτυξη
3. η εφαρμογή τεχνικών προστασίας και διατήρησης του περιβάλλοντος από την εξερεύνηση του κοιτάσματος μέχρι και την πλήρη αποκατάσταση του ορυχείου
4. η κοινωνική ανάπτυξη (κοινωνική ασφάλεια, πολιτική)
5. η ελαχιστοποίηση ενεργειακής κατανάλωσης για την εξόρυξη και την μεταποίηση του μετάλλου (αύξηση της αποδοτικότητας)

Σκοπός της διατριβής είναι να αποδειχθεί πως η βιώσιμη ανάπτυξη και η εξόρυξη είναι συμβατές. Σε ορισμένες χώρες όπως Νότια Αφρική, Αυστραλία, Καναδάς και Χιλή, η εξόρυξη οδήγησε στη δημιουργία οικονομικής δραστηριότητας, στη βελτίωση της χρηματοπιστωτικής και κοινωνικής υποδομής, στην ανάπτυξη ειδικευμένου δυναμικού και στη δημιουργία βιώσιμου πλούτου. Οι επιχειρήσεις μεταλλείων αναμένεται να τηρήσουν τις αρχές εταιρικής κοινωνικής ευθύνης να αναγνωρίσουν ότι είναι υπόλογες σε όλους τους ενδιαφερόμενους συμπεριλαμβανομένων των εργαζομένων και των τοπικών κοινωνιών (Y Ghorbani & S H Kuan, 2016).

1.5 Κεντρικές Έννοιες

Η έννοια της **βιώσιμης εξόρυξης** είναι μια έννοια οξύμωρη για μια εγγενώς μη βιώσιμη δραστηριότητα. Εντούτοις σε μια εποχή αυξανόμενης αναγνώρισης περιβαλλοντικών ζημιών και σε συνδυασμό με την αύξηση κοινωνικής συνείδησης από τις εξορυκτικές εταιρείες οι οποίες λειτουργούν πλέον με γνώμονα τη μείωση του λειτουργικού κινδύνου και της κοινωνικής αποδοχής που τις επιτρέπει να εξορύσσουν το φυσικό πόρο της περιοχής. Η δημιουργία ποικιλίας στρατηγικών εξόρυξης έχει στόχο την έννοια της αειφορίας της διαδικασίας (C D McCullough, M A Lund 2016: 220).

Η χρήση **βέλτιστων διαθέσιμων τεχνικών (BAT)** για την εξόρυξη και επεξεργασία του μεταλλεύματος είναι στρατηγικής σημασίας προαπαιτούμενο για τη βιωσιμότητα μιας επένδυσης. Η οδηγία 96/61/EK για την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης (IPPC) και καθορίζει ένα πλαίσιο που απαιτεί από τα κράτη μέλη να εκδίδουν άδειες λειτουργίας που περιέχουν όρους που βασίζονται στις Βέλτιστες Διαθέσιμες Τεχνικές (BAT). Απαιτεί από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των κρατών μελών και των ενδιαφερόμενων βιομηχανιών με τις βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές. Το Ευρωπαϊκό Γραφείο IPPC (EIPPCB), το οποίο βρίσκεται στο Ινστιτούτο Προοπτικών Τεχνολογικών Μελετών (IPTS), διοργανώνει ανταλλαγή πληροφοριών και παράγει έγγραφα αναφοράς BAT (BREF) τα οποία τα κράτη

μέλη οφείλουν να λαμβάνουν υπόψιν κατά την έγκριση ΜΠΕ και την έκδοση αδειών (D Hitchens, F Farrell, J Lindblom, U Triebswetter 2002: 5).

Οι συμβατικές μέθοδοι για την εκχύλιση χαλκού από σουλφιδικά ορυκτά χρησιμοποιώντας πυρομεταλλουργία έχουν χρησιμοποιηθεί εδώ και δεκαετίες για την ανάκτηση περίπου του 75% του πρωτογενούς χαλκού. Το αρσενικό στο χαλκό μπορεί να δημιουργήσει στο τελικό προϊόν ρωγματώσεις και να μειώσει την ηλεκτρική του αγωγιμότητα. Η μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση αρσενικού στο χαλκό ορίζεται σε 1ppm. Ένας κύριος στόχος της πυρομεταλλουργίας είναι η αποφυγή εκπομπής του είτε στην αέρια είτε στην υδατική του φάση. Αυτό αντιμετωπίζεται με την απομάκρυνση του αρσενικού και με τη μετατροπή του σε μια αναλώσιμη περιβαλλοντικά αποδεκτή ένωση (P R Taylor, T A R Putra 2016: 197).

Η μέθοδος *Ακαριαίας Τήξης (Flash Smelting)* της Outotec αποτελεί από τις πιο αποτελεσματικές μεθόδους πυρομεταλλουργίας. Οι τεχνολογικά σύγχρονοι φούρνοι έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν αυτοματοποιημένα και να παρέχουν σταθερή θερμοκρασία, προϊόντα σταθερής σύνθεσης με γρήγορο ρυθμό και ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας. Οι φούρνοι Outotec λειτουργούν με υψηλή έκρηξη οξυγόνου και με μικρή κατανάλωση καυσίμου υδρογονοανθράκων. Το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας για θέρμανση και τήξη προέρχεται από την οξειδωση Fe και S. Η διαδικασία αυτή παράγει ισχυρό αέριο SO₂ το οποίο μπορεί να δεσμευθεί ως θειικό οξύ. Η ευρεία υιοθέτηση της μεθόδου Flash Smelting οφείλεται στην αποτελεσματική δέσμευση SO₂, στον ταχύ ρυθμό παραγωγής και στις μικρές ενεργειακές της ανάγκες και στην μικρή παραγωγή στερεών αποβλήτων (M E Schlesinger 2011: 107).

Η *διαχείριση των εξορυκτικών αποβλήτων* για να είναι αποτελεσματική πρέπει να αποτελεί ένα βασικό συστατικό ενός συνολικού πλαισίου αειφορίας των ορυχείων. Το περιβαλλοντικό αποτύπωμα που κληρονομεί το οικοσύστημα από την εξορυκτική διαδικασία αποτελείται από φαραωνικές εγκαταστάσεις αποβλήτων οι οποίες αποτελούν αιτίες όξινης απορροής και αποστράγγισης βαρέων μετάλλων. Μια μεγάλη ποικιλία παραγόντων και περιστάσεων ορίζουν ένα υλικό ως απόβλητο ή μέταλλευμα. Τρεις είναι οι κρίσιμες πτυχές που το καθορίζουν, ο χρόνος, η εξορυκτική στρατηγική και το οικονομικό πλαίσιο. Η λεπτή γραμμή που διαχωρίζει τα απόβλητα από τα μεταλλεύματα απαιτεί μια ιεραρχία στη διαχείριση τους και τα θεωρεί ως δυνητικούς μελλοντικούς πόρους. Η ιεραρχία αυτή αποτελείται από τέσσερα βασικά επίπεδα: μείωση, επανεπεξεργασία, ανακύκλωση και διάθεση (E Lebre, G D Corder, A Golen 2016: 34).

Η επιφανειακή εξόρυξη αποτελεί παγκόσμιο φαινόμενο. Όταν οι διαταραχές χερσαίων εκτάσεων που προκαλούνται από την εξόρυξη αντιμετωπίζονται, χρησιμοποιούνται οι όροι: *αποκατάσταση, αναμόρφωση, εξυγίανση και ανάκτηση*. Οι ρυθμιστικές αρχές, η βιομηχανία, οι περιβαντολόγοι, η τοπική κοινωνία και το ευρύτερο κοινό επωφελούνται από μια ακριβή ορολογία που βασίζεται σε συμφωνηθέντες τελικούς στόχους. Ο όρος εξυγίανση κυμαίνεται από την αποφυγή έκθεσης σε ρύπους μέχρι την πλήρη επαναφορά στην αρχική μορφή του περιβάλλοντος (αποκατάσταση). Αν και θεωρητικά η αποκατάσταση είναι ο τελικός στόχος είναι ανέφικτη εξαιτίας της

αλλαγής της υδρολογίας, του κατακερματισμού των οικοτόπων, της μόλυνσης, της κλιματικής αλλαγής, του απαγορευτικού κόστους και άλλων περιβαλλοντικών και κοινωνικών συνθηκών. Σύμφωνα με τους άλλους δυο όρους, η ανάκτηση, αποσκοπεί στην επαναλειτουργία των βασικών υπηρεσιών και των βιογεωχημικών λειτουργιών εντός του οικοσυστήματος και η αναμόρφωση, συνεπάγεται την αναστροφή του τοπίου, η οποία ίσως αποτελεί την καλύτερη προσέγγιση για την αντιμετώπιση της εξορυκτικής κληρονομιάς (A T Lima, K Mitchell, D N O'Connell 2016: 227).

Κεφάλαιο 2

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλυθούν όλα τα ερευνητικά πεδία που θα ασχοληθεί η διατριβή.

2.1 Εισαγωγή

Στην εργασία αυτή εξετάζεται η βιώσιμη εξόρυξη-μεταλλουργία χαλκού, χρυσού στη βορειοανατολική Χαλκιδική και οι βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την επίτευξή της. Η βιωσιμότητα αναλύεται σε πέντε τομείς το περιβάλλον, την κοινωνία, την οικονομία, την ασφάλεια και την αποδοτικότητα (P Stothard, D Laurence 2014: 201-202).

1. *Περιβάλλον αριστεία:* Η υιοθέτηση των κορυφαίων πρακτικών περιβαλλοντικής διαχείρισης αποτελεί εξαιρετική επιχειρηματική λογική. Εάν δεν ληφθούν μέτρα κατά το σχεδιασμό και τα στάδια λειτουργίας των περιβαλλοντικών αξιών, μπορεί να προκύψουν μακροπρόθεσμες περιβαλλοντικές οχλήσεις.
2. *Κοινωνική αποδοχή:* Η εξόρυξη πολλές φορές μπορεί να προκαλέσει αντιδράσεις και αντιπαραθέσεις τόσο στις τοπικές κοινωνίες αλλά και σε εθνικό επίπεδο. Αυτές οι καταστάσεις προκαλούν τη μη αποτελεσματική διαχείριση της λειτουργία των ορυχείων. Τα ορυχεία διατηρούν την κοινωνική τους αποδοχή μέσω διαφόρων πρωτοβουλιών, όπως η απασχόληση των ντόπιων και η συνεχής κατάρτιση και εκπαίδευση σε τομείς που θα βοηθήσουν την τοπική κοινωνία να αναπτυχθεί μετά το πέρας της εξορυκτικής δραστηριότητας.
3. *Οικονομία:* Τα ορυχεία πρέπει να είναι οικονομικά βιώσιμα. Ο στόχος της εκάστοτε εταιρείας είναι να παράγει όσο το δυνατόν περισσότερο κέρδη. Αυτό μεγιστοποιεί τα οφέλη για όλους τους ενδιαφερόμενους που εξαρτώνται από το ορυχείο.
4. *Ασφάλεια:* Το πιο σημαντικό είναι η ασφάλεια των ορυχείων. Η χρήση τεχνικών διαχείρισης κινδύνου έχει υιοθετηθεί παγκοσμίως από την Αυστραλιανή εξορυκτική βιομηχανία και έχει προκύψει σημαντική μείωση των τραυματισμών.
5. *Αποδοτικότητα:* Τα ορυχεία πρέπει να είναι αποτελεσματικά με τον τρόπο διαχείρισης και εξόρυξης ενός πόρου. Τα μέταλλα «υψηλής ταξινόμησης» αποτελούν μια μη βιώσιμη πρακτική εξόρυξης. Σε υψηλές τιμές βασικών προϊόντων εξορύσσονται χαμηλότερες ποιότητες για να επεκταθεί η ζωή των ορυχείων. Υπάρχει συνήθως μια ευκαιρία για την εξόρυξη μιας κατάθεσης και είναι σημαντικό να γίνει σωστά. Το πεδίο της αποδοτικότητας σπάνια εξετάζεται στη βιβλιογραφία για την εξόρυξη και την αιεφόρο ανάπτυξη.

2.2 Ιστορική Αναδρομή

Τα μεταλλικά ορυκτά από τις απαρχές του ανθρώπινου είδους έπαιξαν σπουδαίο ρόλο στην ανάπτυξη των κοινωνιών. Έχουν υπάρξει η σπονδυλική στήλη της αστικοποίησης και της βιομηχανικής ευημερίας. Η ανακάλυψη του χρυσού πριν 7000 χρόνια μαζί με τα αδελφά μέταλλα από την ομάδα IB του περιοδικού πίνακα μπορεί να θεωρηθεί ότι έθεσε τα θεμέλια της μεταλλουργίας ως επιστήμη και τεχνολογία (M Grimwade 2013: 371). Η μεταλλευτική βιομηχανία υπήρξε για αιώνες, ακόμη και για χιλιετίες, πηγή μεγάλου οικονομικού πλούτου αλλά και κοινωνικού και περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος. Η μεγάλη επιτάχυνση της οικονομικής ανάπτυξης μετά το Β Παγκόσμιο πόλεμο σήμαινε ότι η ζήτηση για ορυκτούς πόρους αυξανόταν εκθετικά. Αυτή η αύξηση παραγωγής σήμαινε ότι τα ορυχεία γίνονταν ολοένα και μεγαλύτερα και οι κοινωνικές και περιβαλλοντικές συνέπειες οδηγούσαν σε όλο και μεγαλύτερες συγκρούσεις. Σαν παραδείγματα μπορούμε να αναφέρουμε τις δύο μεγαλύτερες εταιρείες εξόρυξης παγκοσμίως την BHP και την Rio Tinto και το Ok Tedi το 1984 και Bougainville Copper το 1989 αντίστοιχα, όπου υπήρξε τρομερή άσκηση πίεσης στη βιομηχανία εξόρυξης για την βελτίωση των κοινωνικών και περιβαλλοντικών επιδόσεων της (M Tost, M Hitch, V Chandurkar, P Moser, S Feiel 2018:969).

Με βάση αυτές τις ανησυχίες, οι διευθύνοντες σύμβουλοι των μεγαλύτερων μεταλλευτικών εταιρειών συναντήθηκαν το 1998 στο Παγκόσμιο Οικονομικό Φόρουμ στο Νταβός και αποφάσισαν ότι χρειάζεται μια νέα προσέγγιση για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων. Η πρωτοβουλία Global Mining Initiative (GMI) ξεκίνησε για να καθορίσει ποια θα είναι η βιώσιμη ανάπτυξη (SD) και πως θα συμβάλει στον κλάδο. Μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις που αντιμετωπίζει σήμερα ο κόσμος είναι η ενσωμάτωση της οικονομικής δραστηριότητας με την περιβαλλοντική ακεραιότητα, τις κοινωνικές ανησυχίες και τα αποτελεσματικά στοιχεία διακυβέρνησης. Ο στόχος αυτής της ένταξης μπορεί να θεωρηθεί ως «βιώσιμη ανάπτυξη». Στο πλαίσιο του τομέα των ορυκτών στόχος είναι η μεγιστοποίηση της συμβολής στην ευημερία της σημερινής γενιάς κατά τρόπο τέτοιο όπου θα διασφαλίζεται η δίκαιη κατανομή του κόστους και των οφελών της, χωρίς να μειώνεται το δυναμικό των μελλοντικών γενεών να καλύψουν τις δικές τους ανάγκες. Ο καθορισμός μακροπρόθεσμων και βραχυπρόθεσμων στόχων αποτελεί μια ολοκληρωμένη προσέγγιση της αειφόρου ανάπτυξης των ορυχείων (IIED 2002: 7).

Η συζήτηση για την εξόρυξη και την αειφόρο ανάπτυξη άρχισε λίγα χρόνια αργότερα με τη Δήλωση του Ρίο του 1992 για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη που εγκρίθηκε στη Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη. Η δήλωση του Ρίο ενσωμάτωσε για πρώτη φορά την περιβαλλοντική διάσταση στην οικονομική ανάπτυξη και ζήτησε την ισότητα εντός και μεταξύ των γενεών και την αειφόρο χρήση των φυσικών πόρων. Η συμμετοχή του κοινού, η πρόσβαση σε πληροφορίες, οι περιβαλλοντικές αξιολογήσεις και η ενισχυμένη συνεργασία προσδιορίστηκαν ως βασικές διαδικασίες για την επίτευξη αυτών των στόχων. Δέκα χρόνια αργότερα, η Παγκόσμια Διάσκεψη Κορυφής για την Αειφόρο Ανάπτυξη του 2002 που πραγματοποιήθηκε στο Γιοχάνεσμπουργκ ενίσχυσε την ανάγκη εξισορρόπησης της προστασίας του περιβάλλοντος και της οικονομικής ανάπτυξης και υπογράμμισε την κοινωνική διάσταση της ανάπτυξης. Η εξόρυξη έλαβε ξεχωριστό τμήμα στη σύνοδο

κορυφής σχετικά με τη βιωσιμότητα. Μια βασική σύσταση του Σχεδίου Εφαρμογής του Γιοχάνεσμπουργκ ήταν να προχωρήσει πέρα από την αιφόρο εκμετάλλευση της εξόρυξης και να εξετάσει την ευρύτερη συμβολή του κλάδου στην αιφόρο ανάπτυξη. Η Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη του 2012 (Ρίο + 20) επικεντρώθηκε στην ενίσχυση των πολιτικών και της θεσμικής στήριξης για την αιφόρο ανάπτυξη. Καλεί για την εκπόνηση των Στόχων Αειφόρου Ανάπτυξης (SDGs) και την παρακολούθηση των Αναπτυξιακών Στόχων της Χιλιετίας, ως μέρος μιας νέας ατζέντας για την ανάπτυξη μετά το 2015. Μια έκθεση για το αποτέλεσμα του Ρίο +20, υπογραμμίζει τη σημασία των ορθών πολιτικών, δηλώνοντας ότι, όταν διαχειρίζονται σωστά οι δραστηριότητες εξόρυξης μπορούν να μεγιστοποιήσουν τις κοινωνικές και οικονομικές ευνοϊκές επιπτώσεις και να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά οι αρνητικές περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις. Δόθηκε προτεραιότητα στη θέσπιση διασφαλίσεων για την εξάλειψη των περιβαλλοντικών και κοινωνικών επιπτώσεων, καθώς και για τη διατήρηση της βιοποικιλότητας και των οικοσυστημάτων πέραν του κλεισίματος των ορυχείων. Επίσης, κάλεσε τις κυβερνήσεις και τις επιχειρήσεις να προωθήσουν τη διαφάνεια και τη λογοδοσία και τους μηχανισμούς υποστήριξης για την πρόληψη των παράνομων χρηματοοικονομικών ροών από τις εξορυκτικές δραστηριότητες (P De Sa: 2018).

Τόσο στα αναπτυγμένα όσο και στα αναπτυσσόμενα κράτη η εξορυκτική βιομηχανία αντιμετωπίζει τις προκλήσεις της ικανοποίησης των απαιτήσεων της βιώσιμης ανάπτυξης. Η έννοια της βιώσιμης εξόρυξης στηρίζεται στον ορισμό της βιώσιμης ανάπτυξης του Brundtland 1 για την προώθηση των παραγόντων των βιομηχανιών ως πράκτορες της «βέλτιστης πρακτικής» στο τομέα της οικονομίας, της κοινωνίας και του περιβάλλοντος. Γιγάντιες εξορυκτικές εταιρίες όπως η Rio Tinto, η Barrick Gold και η Anglo American υπογραμμίζουν τις στρατηγικές εταιρικής κοινωνικής ευθύνης με μια αφήγηση «βιωσιμότητας» και αιφόρου ανάπτυξης. Για παράδειγμα, η BHP Billiton το 2015 ανέφερε: «Η αιφορία είναι βασική προϋπόθεση για τη στρατηγική μας, διασφαλίζοντας την ενσωμάτωση των παραγόντων υγείας, ασφάλειας, περιβάλλοντος, κοινωνίας και οικονομίας στη λήψη αποφάσεων». Η Rio Tinto το 2015 ισχυρίζεται ότι: «Επειδή αναγνωρίζουμε ότι έχουμε ευθύνη απέναντι σε όλους τους ενδιαφερόμενους και στην κοινωνία γενικότερα, η δέσμευσή μας στην αιφόρο ανάπτυξη ενσωματώνεται σε ό, τι κάνουμε». Προωθώντας ενεργά τις αντιλήψεις για τη «βιώσιμη εξόρυξη», οι εταιρίες παρουσιάζονται ως εποικοδομητικοί συντελεστές στην ανάπτυξη, καλλιεργώντας θετικές σχέσεις με τις κυβερνήσεις και μετριάζοντας τον ανταγωνισμό με την τοπική κοινωνία μέσω προγραμμάτων ανάπτυξης για την κατοίκους της ευρύτερης περιοχής. Η ενεργοποίηση της «βιώσιμης εξόρυξης» σε τοπικό επίπεδο συνεπάγεται, τη λήψη κοινωνικοοικονομικών (εκπαίδευσης, υγείας, κατάρτισης) και περιβαλλοντικών (προωθώντας την αποδοτική χρήση των φυσικών πόρων και αποτρέποντας την υποβάθμιση της γης) μέτρων ώστε να διευρυνθούν οι δυνατότητες διαβίωσης των ατόμων που πλήττονται από τη βιομηχανία (E Gilberthorpe, D Agol, T Gegg 2016: 1517).

2.3 Θεωρητικό Πλαίσιο

Σε αυτή την ενότητα θα αναπτυχθεί το θεωρητικό κομμάτι με το οποίο θα ασχοληθεί η διατριβή.

2.3.1 Πλαίσια Βιώσιμης Εξόρυξης

Η μεταλλευτική βιομηχανία μετακινεί γη περισσότερο από οποιαδήποτε άλλη ανθρώπινη δραστηριότητα. Ωστόσο οι επιχειρήσεις εξόρυξης υποστηρίζουν την πρακτική της αειφόρου εξόρυξης. Η έννοια της αειφορίας δεν έχει εξαλείψει την αρχική της έννοια που αναφερόταν στο περιβάλλον και στην προστασία του. Οι εταιρείες εξόρυξης χρησιμοποιούν τον όρο βιωσιμότητα για να αναφερθούν σε εταιρικά κέρδη και οικονομική ανάπτυξη που θα ξεπεράσουν τη ζωή ενός μεταλλευτικού έργου (S Kirsh 2009: 87).

Το πλαίσιο ώστε η μεταλλεία και η μεταλλουργεία να λειτουργεί με κατεύθυνση την αειφόρα παραγωγή μετάλλου (χρυσού, χαλκού κ.α.) με το μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα και με ενίσχυση των κοινωνικών, οικονομικών δεικτών περιλαμβάνει την εξέταση των ακόλουθων σημείων τα οποία αποτελούν το παρόν και το μέλλον της βιομηχανίας εξόρυξης (N Weatherstone 2013: 21-22).

1. Σκεφτείτε την πιθανή επιχείρηση εξόρυξης από την πρώτη μέρα – όχι μόνο γεωλογικώς αλλά και από την άποψη της τοποθεσίας, του αντικτύπου, της πολυπλοκότητας και της «κανονικότητας».
2. Προσδιορίστε τα πιθανά ενδεχόμενα που μπορούν να τερματίσουν την επένδυση, πριν φτάσει το έργο σε κάποιο κρίσιμο στάδιο του έργου και αποκλείστε τα όσο το δυνατόν συντομότερα.
3. Δημιουργείστε απαιτήσεις σε όλους τους ενδιαφερόμενους κατά τη διαδικασία εκτίμησης των αποθεματικών και κατά την εξέταση πιθανών κοινωνικών, οικονομικών, περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε όλα τα στάδια.
4. Το έργο περιλαμβάνει κάποια καινούρια ή μη αποδεδειγμένη τεχνολογία; Εάν ναι θα πρέπει να αναλυθούν σωστά οι κίνδυνοι και οι ευκαιρίες που παρουσιάζονται αναλυτικά.
5. Χρήση βέλτιστων πρακτικών, όπου ως βέλτιστες θεωρείστε αυτές που συμμορφώνονται και αποτελούν ευκαιρίες για τη θέσπιση υψηλότερων προτύπων.
6. Εξετάστε τους κινδύνους και τα οφέλη κάθε πιθανής εναλλακτικής λύσης: ποια επιλογή ανταποκρίνεται στις ανάγκες της εταιρείας για μια επαρκή απόδοση και της κοινωνίας όσον αφορά τη βιωσιμότητα.
7. Να λάβετε αμερόληπτες συμβουλές για να διασφαλίσετε ότι θα βρεθούν οι βέλτιστες λύσεις και ότι η διαδικασία λήψης αποφάσεων είναι διαφανής και δικαιολογημένη.

8. Να αναλυθεί η σημαντικότητα του έργου για το παρόν και το μέλλον της επιχείρησης και αν αυτό είναι πιθανό να αποτρέψει την αντικειμενική αξιολόγηση.

Πολλά από τα παραπάνω που αναφέρθηκαν αυξάνουν το επενδυτικό και λειτουργικό κόστος των εταιρειών εξόρυξης. Η εξέλιξη με την πάροδο των δεκαετιών των εταιρειών εξόρυξης τις οδηγεί στο να λειτουργούν με σκοπό την αειφορία της εκμετάλλευσης του ορυκτού πλούτου, διεξάγοντας περισσότερη έρευνα, παρέχοντας περισσότερα οφέλη στην κοινωνία, συνεργαζόμενες με τους ενδιαφερόμενους και αυξάνοντας τον έλεγχο της επένδυσης από τρίτους.

Οι αρχές και τα πλαίσια αειφόρου ανάπτυξης έχουν αποτελέσει τον καταλύτη για την επίτευξη αποδοτικότερης βιομηχανίας. Η υιοθέτηση των δέκα κατευθυντηρίων αρχών αποτελούν το θεμέλιο λίθο του Πλαισίου Αειφόρου Ανάπτυξης του ICMM (International Council on Mining and Metals). Αυτές οι δέκα αρχές αναφέρονται (Glen Corder 2017: 257).

1. Εφαρμογή και τήρηση δεοντολογικών επιχειρηματικών πρακτικών και ηχητικών συστημάτων εταιρικής διακυβέρνησης.
2. Ενσωμάτωση σκέψεων της αειφόρου ανάπτυξης στο πλαίσιο της διαδικασίας λήψης αποφάσεων.
3. Υποστήριξη των θεμελιωδών ανθρώπινων δικαιωμάτων και σεβασμός στην πολιτιστική κληρονομιά, τα έθιμα και τις αξίες των εργαζομένων και σε όλους όσους επηρεάζονται από τις δραστηριότητες.
4. Εφαρμογή στρατηγικών διαχείρισης κινδύνου βασισμένων σε έγκυρα επιστημονικά δεδομένα.
5. Συνεχή βελτίωση στον τομέα της υγείας και της ασφάλειας.
6. Συνεχή βελτίωση των περιβαλλοντικών επιδόσεων.
7. Συμβολή στη διατήρηση της βιοποικιλότητας και στις ολοκληρωμένες προσεγγίσεις για τον προγραμματισμό της χρήσης γης.
8. Ο σχεδιασμός του έργου να περιλαμβάνει τη χρήση, την επαναχρησιμοποίηση, την ανακύκλωση και τη διάθεση των προϊόντων.
9. Συμβολή στην κοινωνική, οικονομική και θεσμική ανάπτυξη της κοινωνίας στην οποία δραστηριοποιείται η εκάστοτε εταιρεία.
10. Εφαρμογή αποτελεσματικής και διαφανούς δέσμευσης, επικοινωνίας με τους ενδιαφερόμενους.

2.3.2 Διαχείριση Περιβάλλοντος

Η περιβαλλοντική προστασία μιας περιοχής στην οποία αναπτύσσεται ένα εξορυκτικό έργο χρήζει μεγάλης προσοχής και επιβάλλεται να εφαρμοσθούν όλα εκείνα τα εργαλεία πρόληψης και ελέγχου ώστε να αποφευχθούν μη αναστρέψιμες συνέπειες. Αυτά τα μέτρα περιγράφονται αναλυτικά στη Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων του έργου (M Mazalto 2009: 297):

1. Ετήσια Έκθεση σχετικά με τις δραστηριότητες του κατόχου του τίτλου δικαιωμάτων εξόρυξης- εκμετάλλευσης.
2. Ανεξάρτητος Περιβαλλοντικός Έλεγχος κάθε 2 χρόνια με οικονομική επιβάρυνση του κατόχου.
3. Έλεγχοι από την Επιθεώρηση Περιβάλλοντος.
4. Παρακολούθηση των εγκαταστάσεων του έργου, δειγματοληψία και ανάλυση σε ορισμένο χρονικό διάστημα από την Επιθεώρηση Περιβάλλοντος ή από οποιοδήποτε άλλον ελεγκτικό μηχανισμό.
5. Ο κάτοχος του τίτλου απαλλάσσεται από όλες τις περιβαλλοντικές υποχρεώσεις προς το κράτος όταν ικανοποιήσει τις απαιτήσεις για το κλείσιμο του ορυχείου μέσω ενός Περιβαλλοντικού Ελέγχου Κλεισίματος.

Η περιβαλλοντική διαχείριση αποτελεί κεντρική αξία για τις εταιρείες εξόρυξης. Όλες οι δράσεις τις εταιρείας πρέπει να είναι ορατές και αξιόπιστες για τους εργαζομένους, την τοπική κοινωνία και για όλους τους ενδιαφερόμενους φορείς. Κάποιοι χρησιμοποιούν ως εργολάβους μη-κυβερνητικούς οργανισμούς για να ελέγχουν τη συμμόρφωση των επιχειρήσεων τόσο με τους κανονισμούς όσο και με τις δηλωμένες πολιτικές της εταιρείας. Η ελαχιστοποίηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων και κινδύνων αποτελεί το σημείο εκκίνησης της αειφόρου εξόρυξης. Απαιτείται περαιτέρω επέκταση προκειμένου να βελτιωθούν οι λειτουργίες και να αντιμετωπιστούν τα μακροπρόθεσμα ζητήματα που κληρονομούνται, πέραν εκείνων που απαιτούνται από τους κανονισμούς. Μια προσέγγιση βασισμένη στον κίνδυνο, όπως το Διεθνές Πρότυπο ISO 14001, διασφαλίζει ότι οι περιβαλλοντικοί κίνδυνοι αξιολογούνται και ελέγχονται και βελτιώνονται συνεχώς οι επιδόσεις της επιχείρησης (R Batterham 2014: 8).

Τα ορυχεία θεωρούνται από τη φύση τους «επιβλαβή για το περιβάλλον». Το κόψιμο δένδρων για τη κατασκευή μιας δεξαμενής απόθεσης τελμάτων, η εκσκαφή κατά διάφορα στάδια της εξόρυξης και η απομάκρυνση της βλάστησης αποτελεί για το δημόσιο μάτι ως περιβαλλοντική καταστροφή. Στην εξορυκτική βιομηχανία μπορεί να υπάρξει ένα win-win αποτέλεσμα στη συζήτηση για τη βιωσιμότητα, όταν «η βιομηχανία παράγει και το περιβάλλον προστατεύεται». Η αειφόρα εξόρυξη δεν είναι μια μονοδιάστατη διαδικασία στην οποία το περιβάλλον και η όχληση του αποτελούν τη μοναδική διάσταση ελέγχου και διαχείρισης (G Hilson, A J Basu 2009: 323).

2.3.3 Βασικά βήματα στη διασφάλιση της βιώσιμης ανάπτυξης των ορυκτών αποθεμάτων

Η μεταλλευτική βιομηχανία, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, είχε μια διαφορούμενη σχέση με την αειφόρο ανάπτυξη. Το ερώτημα που τίθεται επί του παρόντος δεν είναι αν πρέπει να γίνει η εξόρυξη, είναι πώς πρέπει να πραγματοποιηθεί, πότε, από ποιον και για ποιον δικαιούχο και με ποιο κόστος; Αυτά είναι εν γένει δυσάρεστα ερωτήματα για τη μεταλλευτική βιομηχανία, τα οποία προκλήθηκαν από την έννοια της βιώσιμης ανάπτυξης. Για την πλειοψηφία του κόσμου, η βιώσιμη ανάπτυξη συνδέεται με

τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Αυτοί οι άνθρωποι αδυνατούν να συλλάβουν πως τα ορυχεία, τα οποία εξαντλούν έναν μη ανανεώσιμο πόρο, μπορούν να διαδραματίσουν ένα ρόλο στη βιώσιμη ανάπτυξη. Οποιαδήποτε δραστηριότητα εξόρυξης, από την έρευνα έως την εξόρυξη και την επεξεργασία θα έχει σίγουρα κάποια επίδραση στο φυσικό ή κοινωνικό περιβάλλον. Η εξορυκτική βιομηχανία πρέπει να αναλάβει τη μέγιστη «περιβαλλοντική ευθύνη» κατά την εξόρυξη και την επεξεργασία μέσα από 4 συγκεκριμένα βήματα (M Deb, S C Sarkar 2017:481-482):

1. Η εξόρυξη, η επεξεργασία και η μεταφορά του μεταλλεύματος να γίνεται με τις βέλτιστες διαθέσιμες τεχνολογίες με αποτέλεσμα τη μικρότερη περιβαλλοντική επιβάρυνση.
2. Επιστροφή της περιοχής εξόρυξης όσο το δυνατόν πιο κοντά στην μορφή προ-εξόρυξης.
3. Πρόβλεψη για διαφορετική χρήση της περιοχής όπου υπήρχε εξορυκτική δραστηριότητα.
4. Ανάπτυξη εναλλακτικών μέσων διαβίωσης για τους μεταλλωρύχους όταν πάψει η δραστηριότητα.

2.4 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Στην ενότητα αυτή θα αναπτυχθούν τα υφιστάμενα ευρήματα με τα οποία θα ασχοληθεί η διατριβή.

2.4.1 Μέθοδος – Σχεδιασμός Εξόρυξης

Η επιστήμη της μεταλλείας και της μεταλλουργίας ασχολείται με τον τρόπο εξόρυξης, επεξεργασίας και απόθεσης των μεταλλευμάτων. Η συγκεκριμένη διατριβή θα ασχοληθεί με όλο το εύρος της επιστήμης της μεταλλείας από τον αιεφόρο σχεδιασμό, τη βέλτιστη μέθοδο εξόρυξης, τη βιώσιμη τεχνολογία επεξεργασίας, την απόθεση των αποβλήτων και την τεχνολογία της αποκατάστασης.

Η κατάρτιση ενός ετήσιου, σχεδίου εξόρυξης και πλάνου παραγωγής, θα οδηγήσει την εξορυκτική επιχείρηση στην υψηλότερη Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΕ). Η προστασία του περιβάλλοντος και η αποκατάσταση του αποτελούν τα βασικά ζητήματα στα σχέδια των εξορυκτικών δραστηριοτήτων. Το πλάνο του ορυχείου αποτελείται από σχέδια μακροπρόθεσμα, μεσοπρόθεσμα και βραχυπρόθεσμα (R Mahdi, O Morteza 2014: 197). Τα σχέδια αυτά αποτελούνται από διαφορετικών τύπου δεδομένα τα οποία μπορούν και επηρεάζουν το σχεδιασμό της εξορυκτικής δραστηριότητας. Η βάση δεδομένων απαρτίζεται από τις σύγχρονες απαιτήσεις του εξορυκτικού και ορυκτολογικού σχεδιασμού (R Mahdi, O Morteza 2014: 198).

Πίνακας 2.1:Βάση δεδομένων από τα οποία επηρεάζεται ο σχεδιασμός των ορυχείων (R Mahdi, O Morteza 2014: 198).

περιβαλλοντικά	γεωλογικά
οικονομικά	υποδομές
κοινωνικά	κανονισμοί
γεωτεχνικά	υδρολογικά

Το μακροπρόθεσμο σχέδιο είναι εκείνο που απαρτίζεται για ολόκληρη τη ζωή του ορυχείου περίπου 25 χρόνια λειτουργίας για μεγάλες αποθέσεις. Το βραχυπρόθεσμο σχέδιο απαρτίζεται με βάση το μακροπρόθεσμο και είναι διάρκειας 1 ως 5 έτη. Η αξιοπιστία του μακροπρόθεσμου σχεδίου είναι χαμηλή εξαιτίας της αβεβαιότητας των δεδομένων. Η ακριβώς αντίθετη ερμηνεία ισχύει για την αξιοπιστία και την ακρίβεια των βραχυπρόθεσμων σχεδίων. Οποιαδήποτε αλλαγή των βραχυπρόθεσμων επηρεάζει την κατάρτιση των μακροπρόθεσμων και των επόμενων βραχυπρόθεσμων. Κάθε επιχείρηση εξόρυξης έχει δικούς της ορισμούς και πρότυπα για την προετοιμασία σχεδίου για την εκμετάλλευση ορυχείου (R Mahdi, O Morteza 2014: 199).

Η επιλογή μεθόδου εξόρυξης του ορυκτού αποθέματος αποτελεί βασική απόφαση για την αιφύορα ανάπτυξη του ορυχείου. Πρέπει να λαμβάνει υπόψιν πολλούς παράγοντες οι οποίοι αλλάζουν με το χρόνο. Για παράδειγμα αρχικά ένα μεγάλο απόθεμα χαλκού μπορεί να εξορύσσετε επιφανειακά (open-pit) και έπειτα υπόγεια. Ο θεμελιώδης κανόνας της εξόρυξης είναι να επιλεγθεί μια μέθοδος που να συνδυάζει τα ιδιόμορφα χαρακτηριστικά της προς εκμετάλλευση απόθεσης με το χαμηλότερο κόστος επένδυσης σε συνδυασμό με το μέγιστο κέρδος (M B Revuelta 2017: 314). Ο χρυσός ως επι το πλείστων συναντάται ως παραπροϊόν του πυρίτη. Ο σχεδιασμός των ορυχείων τύπου καταθέσεων διασκορπισμένων φλεβών είναι δύσκολος καθώς και μετέπειτα η παραγωγική διαδικασία. Συνήθως η εξόρυξη ξεκινάει επιφανειακά κι όσο προχωράει βαθύτερα το κόστος αυξάνεται και η μετάβαση σε υπόγεια εξόρυξη είναι αναγκαία και πρέπει να γίνεται με σωστό προγραμματισμό. Η σωστή μετάβαση σε υπόγεια εξόρυξη επιτυγχάνεται με σταδιακή μείωση της επιφανειακής λίγο πριν το σημείο όπου θεωρείται το τελικό βάθος του open pit και αυξάνοντας την παραγωγή από τις ήδη υπάρχουσες υπόγειες στοές. Η μετάβαση από την επιφανειακή εξόρυξη στην υπόγεια ενός μεγάλου αποθέματος χρυσού είναι εφικτή όταν η τιμή του χρυσού σε σχέση με το κόστος ανά ουγκιά είναι μόλις μεγαλύτερη από 2, με περιεκτικότητα μεταξύ 4 και 9g/t, με λόγο «απογύμνωσης» 15m³/t και ο δείκτης της Καθαρής Παρούσας Αξίας (ΚΠΑ) να είναι θετικός (S Orok, C Musingwini 2013: 407). Αυτή η ταυτόχρονη διαδικασία είναι αναγκαία ώστε να μην υπάρχουν σημαντικές καθυστερήσεις, διατηρώντας σε υψηλά επίπεδα τη ροή της παραγωγής. Επίσης εξετάζεται και η διατήρηση του προσωπικού στα ίδια επίπεδα σε σχέση με τη ελαχιστοποίηση της απασχόλησης εφαρμόζοντας άλλες μεθόδους (S A Hassan, H Schunnesson, J Greberg, A Gustafson).

2.4.2 Παρουσίαση Διαθέσιμων Τεχνολογιών

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιαστούν τεχνολογίες Μεταλλουργίας, Σταθεροποίησης Αρσενικού και μέθοδοι Διάθεσης Αποβλήτων.

2.4.2.1 Τεχνολογίες Μεταλλουργίας

Η αειφορία είναι ένας κοινός παγκόσμιος στόχος που σήμερα περιλαμβάνει όλους τους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας. Εφαρμόζεται στην τεχνολογία και στη βιομηχανία και συνεπάγεται οικονομικά και κοινωνικά σωστές δράσεις, οι οποίες είναι περιβαλλοντικά ορθές και βιώσιμες μακροπρόθεσμα. Από τεχνολογική άποψη, η χρήση της ενέργειας, οι μορφές και οι πηγές της έχουν κεντρικό ρόλο. Η παγκόσμια ενεργειακή ανάγκη υπολογίστηκε σε 13,5 Btoe (δισεκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου) το 2013 (IEA 2015).

2.4.2.1.1 Flash smelting (Ακαριαία Τήξη)

Η αειφορία μιας τεχνολογίας επεξεργασίας μετάλλου εξαρτάται από την παραγωγή άμεσων μετάλλων και από την εξωτερική κατανάλωση καυσίμων. Άλλοι ζωτικοί δείκτες είναι ο βαθμός ανάκτησης του θείου και το αποτύπωμα του άνθρακα (P Hanniala, T Makinen, M Kyto 1991: 191).

Ο ευρύς προβληματισμός για τις τεχνολογίες Ακαριαίας τήξης και γενικότερα της πυρομεταλλουργίας είναι οι μεγάλες εκπομπές του διοξειδίου του θείου. Στην Ακαριαία Τήξη της Outotec η δημιουργία Μονάδας Παραγωγής Θεϊκού Οξέος βασίζεται στις Βέλτιστες Διαθέσιμες Τεχνικές και αποτελείται από κάποια βασικά στάδια. Το στάδιο καθαρισμού της αέριας φάσης που περιέχει το διοξείδιο του θείου (SO₂) κατά το οποίο στάδιο διοχετεύεται αέρας ή εμπλουτισμένος με οξυγόνο αέρας στη μάττα χαλκού με σκοπό τη ψύξη και να παραχθεί χαλκός με μορφή φυσαλίδας (blister). Ουσιαστικά όλο το θείο από τα συμπυκνώματα τελειώνει ως SO₂. Ένα συμπύκνωμα CuFeS₂ παράγει σχεδόν ένα τόνο θείου (2 τόνους SO₂) ανά τόνο εκχυλισμένου χαλκού. Για να αποφευχθεί η ατμοσφαιρική ρύπανση, τα αέρια αυτά επεξεργάζονται για να ληφθεί το θειικό οξύ, ως ελαιώδες διάλυμα ή υγρό SO₂. Η ανάπτυξη διαδικασιών ανάκτησης χαλκού κυριαρχείται από δύο στόχους. Ο πρώτος είναι να εξοικονομηθεί ενέργεια, κάνοντας τη μέγιστη χρήση της θερμότητας αντίδρασης που αποκτάται από τις διαδικασίες και ο δεύτερος είναι η ανάγκη να μειωθεί ο όγκος του αερίου και να αυξηθεί η συγκέντρωση του SO₂ στα μεταλλουργικά αέρια με τη χρήση του εμπλουτισμού με οξυγόνο για τη βελτίωση των περιβαλλοντικών ελέγχων. Κατά τη διάρκεια του καθαρισμού του αερίου ακολουθείται μια διαδικασία κατά την οποία ψύχεται το αέριο, η σκόνη και το περιεχόμενο SO₃ εξαλείφονται με πλύσιμο, ψύξη και ηλεκτροστατικό καθαρισμό. Μετά από αυτό, τα

καθαρά αέρια SO₂ μετατρέπονται σε θειικό οξύ μέσω της διαδικασίας επαφής (BATs Reference Document on the Production of Sulphuric acid 1999).

Οι εκπομπές των αερίων θερμοκηπίου στη χύτευση χαλκού, όπως οι εκπομπές CO₂, CO, N₂O, NO_x, CH₄ και των μη μεταλλικών πτητικών οργανικών ενώσεων (NMVOC), σχετίζονται κυρίως με την αξιοποίηση των ορυκτών καυσίμων στη διαδικασία τήξης. Εξάλλου η ανάπτυξη της τεχνολογίας Flash Smelting κατά τις πρώτες μέρες δεν αποσκοπούσε στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από την τήξη, αλλά ο κύριος στόχος ήταν να μειωθεί η χρήση εξωτερικής ενέργειας. Οι άμεσες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από τη χύτευση του χαλκού παράγονται με χρήση εξωτερικής ενέργειας, δηλαδή καυσίμων όπως φυσικό αέριο, πετρέλαιο, άνθρακας, κωκ κ.λπ. Έχει αποδειχθεί ότι ακόμη και σε σχετικά χαμηλές παραγωγικές ικανότητες, η διαδικασία χύτευσης με φλόγα είναι σε θέση να παράγει αποτελεσματικά χαλκό με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και με χαμηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (I V Kojó, H Storch 2006: 235).

Η διαδικασία Outotec Flash Smelting βασίζεται στη χρήση της εσωτερικής ενέργειας του υλικού τροφοδοσίας για τη διεξαγωγή της διαδικασίας τήξης. Το λεπτό αλεσμένο σουλφιδικό συμπύκνωμα χαλκού αναμειγνύεται με αέρα που έχει διογκωθεί με οξυγόνο για να σχηματίσει ένα αιώρημα ταχέως αντιδρώντων σωματιδίων και αερίου στον άξονα αντίδρασης του Outotec Flash Smelting Furnace (FSF). Οι ενώσεις σουλφιδίου στην τροφοδοσία αναφλέγονται, οξειδώνουν και απελευθερώνουν θερμότητα, ενεργώντας ως καύσιμο για τη διαδικασία. Επομένως, δεν απαιτείται εξωτερική ενέργεια. Η μη χρήση εξωτερικής ενέργειας στη παραγωγική διαδικασία του χαλκού τη καθιστά μια φθηνή τεχνολογία ως προς τη λειτουργία της και ταυτόχρονα περιβαλλοντικά ορθή (A Vartiainen, T Ahokainen 2018: 90).

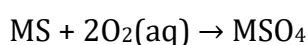
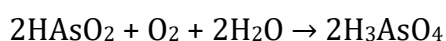
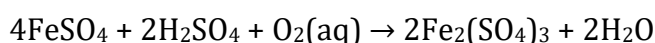
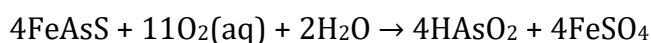
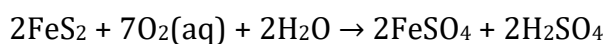
Οι φούρνοι της Outotec λειτουργούν με αυτόματο έλεγχο για να παρέχουν σταθερή θερμοκρασία, προϊόντα σταθερής σύνθεσης με γρήγορο ρυθμό και με ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας. Οι συνθέσεις μάττας και σκωρίας ελέγχονται ρυθμίζοντας την αναλογία του εισερχόμενου O₂ ως προς την αναλογία του συμπυκνώματος τροφοδοσίας και το λόγο της τήξης ως προς το εισερχόμενο συμπύκνωμα. Οι θερμοκρασίες των προϊόντων ελέγχονται ρυθμίζοντας την αναλογία N₂ / O₂ της πίεσης εισόδου και της ταχύτητας καύσης υδρογονανθράκων.

Συμπερασματικά το Flash Smelting πέρα από τις νέες προοπτικές που προσφέρει στην παραγωγή μετάλλων, στα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας συγκαταλέγονται η αξιόπιστη και λειτουργική παραγωγική διαδικασία, το ανεκτό ύψος επένδυσης και το χαμηλό κόστος λειτουργίας, η δυνατότητα της κατεργασίας διαφορετικών τύπων πρώτων υλών και εύκολης μεταβολής ρυθμών τροφοδοσίας, οι υψηλές ανακτήσεις των περιεχομένων μεταλλικών αξιών, ο συμπαγής σχεδιασμός των επί μέρους μονάδων που εξασφαλίζει τις μικρότερες εκπομπές ρύπων στον χώρο του εργοστασίου το οποίο σε συνδυασμό με την ελαχιστοποίηση των αποβλήτων διασφαλίζει την πλήρη ικανοποίηση των αυστηρότερων περιβαλλοντικών κανονισμών με αποτέλεσμα να αποτελεί την «καθαρότερη» σήμερα πυρομεταλλουργική μέθοδο. Η χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση, το ασφαλές και υγιεινό περιβάλλον εργασίας και όλα

τα παραπάνω πλεονεκτήματα έχουν οδηγήσει την τεχνολογία της ακαριαίας τήξης στην παγκόσμια ηγετική θέση της παραγωγής πρωτογενούς χαλκού και θεωρείται η Best Available Technique (BAT) για την παραγωγή πρωτογενούς χαλκού και νικελίου (ΜΠΕ).

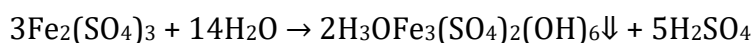
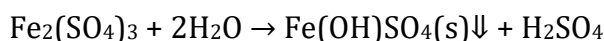
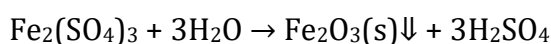
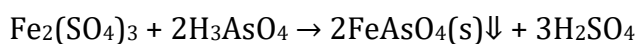
2.4.2.1.2 Μέθοδος της Υδατικής Οξειδωσης υπό Πίεση (Μέθοδος Sherrit Gordon)

Η οξείδωση του συμπυκνώματος επιτυγχάνεται σε υψηλή θερμοκρασία και πίεση (200°C, 35 Atm), με την εμφύσηση καθαρού οξυγόνου στα αυτόκλειστα. Ο οξειδωμένος πολφός οδηγείται στο στάδιο της κατ' αντιρροή έκπλυσης. Η υπερροή των πυκνωτών οδηγείται στο στάδιο της εξουδετέρωσης όπου με την προσθήκη διαλύματος πολφού ασβεστολίθου και ασβέστη επιτυγχάνεται καταβύθιση των περιεχομένων μεταλλοκατιόντων και των περιεχομένων θειικών ανιόντων με την μορφή της γύψου. Η υπορροή των πυκνωτών οδηγείται στο στάδιο της κύνωσης και ακολούθως αφού ο πολφός διέλθει από το στάδιο της καταστροφής των κυανιόντων οδηγείται στην εγκατάσταση απόθεσης. Τα παραγόμενα στερεά απόβλητα της εν λόγω μεθόδου είναι τα οξειδωμένα στερεά του σταδίου της κύνωσης και η ιλύς εξουδετέρωσης των οξίνων διαλυμάτων. Συνθήκες: Πολφός, T = 180 – 210 °C, P = 1800 – 2200 kPa, πολύ όξινο περιβάλλον, ατμόσφαιρα O₂ και t = 1-3 h. Κύριες αντιδράσεις οξείδωσης (διάσπασης του πλέγματος των πυριτών) στο αυτόκλειστο.



Όπου M = Pb, Zn, Cu, Ni, Co,...

Αντιδράσεις καταβύθισης στο αυτόκλειστο



Εδώ, σχηματίζονται αρσενικός σίδηρος, αιματίτης, βασικά θειικά άλατα και τζαροσίτες. Το όξινο διάλυμα πριν απορριφθεί εξουδετερώνεται με ασβέστη ή ασβεστόλιθο και σχηματίζεται CaSO_4 και FeAsO_4 .

Τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι η παρουσία μη τοξικών στερεών αποβλήτων και η απουσία υγρών και αέριων αποβλήτων. Στα μειονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθόδου περιλαμβάνονται η μη ανάκτηση των S και As, αποβάλλονται ως στερεά απόβλητα (CaSO_4 , FeAsO_4), ο μεγάλος χώρος (δημιουργία μεγάλου φράγματος) απόθεσης, ένεκα μεγάλης ποσότητας στερεών αποβλήτων της παραγωγικής διαδικασίας. Παρουσία όξινων διαλυμάτων. Ο μεγάλος χώρος απόθεσης λόγω της μεγάλης ποσότητας αποβλήτων σημαίνει μεγάλο επενδυτικό κόστος και τα όξινα απόβλητα σηματοδοτούν μεγαλύτερο κίνδυνο μόλυνσης σε περίπτωση ατυχήματος ή και λόγω απορροής του φράγματος (κοινωνικό κόστος) (E N Ζευγώλης 2003: 8,9).

2.4.2.2 Τεχνολογίες Σταθεροποίησης Αρσενικού

Το αρσενικό είναι στοιχείο που απαντάται στο στερεό φλοιό της γης με μέση περιεκτικότητα περίπου 5ppm. Στη φύση υπάρχουν πάνω από 300 αρσενικούχες ενώσεις ή ορυκτά που περιέχουν στη δομή τους αρσενικό. Μερικά από τα πλέον γνωστά ορυκτά που περιέχουν αρσενικό (αρσеноπυρίτης, εναργίτης) εντοπίζονται σχεδόν σε όλα τα μεταλλεύματα και συμπυκνώματα βασικών μετάλλων. Η παρουσία του αρσενικού στα παραγωγικά κυκλώματα των μεταλλουργιών έχει σαν συνέπεια την αύξηση του κόστους παραγωγής, την μείωση στις ανακτήσεις των προς εξαγωγή μετάλλων, την επιδείνωση στην ποιότητα των παραγόμενων μετάλλων, την δημιουργία περιβαλλοντικών προβλημάτων που σχετίζονται με την επικινδυνότητα και τον τρόπο απόθεσης των αρσενικούχων αποβλήτων (N L Piret and A E Melin 1989: 735). Στον πίνακα 2.2 αναφέρονται οι βασικότερες διεργασίες απομάκρυνσης αρσενικού από τα απόβλητα. Στις πυρομεταλλουργικές μεθόδους κατεργασίας το περιεχόμενο στην τροφοδοσία αρσενικό οξειδώνεται και μετατρέπεται τελικά σε στερεό As_2O_3 που συλλέγεται στα συστήματα καθαρισμού των παραγομένων καπναερίων είτε στα ηλεκτροστατικά φίλτρα είτε στο τμήμα του υγρού καθαρισμού (N L Piret 1999: 16).

Πίνακας 2.2: Περίληψη των διεργασιών απομάκρυνσης αρσενικού (P A Riveros, J E Dutrizac, P Spenser 2013: 413)

Καταβύθιση	Αρσενικό Ασβέστιο, Ορυκτά τύπου αρσενικών, Σιδηρούχα αρσενικά
-------------------	--

Προσρόφηση	Φερρουδρίτες, Υδροξείδιο Αργυλίου, Αλουμίνα, Ενεργός Άνθρακας, Άλλα προσροφητικά
Ιοντοεναλλαγή/ Αντίστροφης Όσμωσης	Ιοντοεναλλαγή, Υγρό εναλλαγής Ιόντων, Αντίστροφη Όσμωση
Στερεοποίησης- σταθεροποίησης	Τσιμεντοποίηση Σιδήρου

2.4.2.2.1 Σταθεροποίηση Αρσενικού (υδροθερμική καταβύθιση) κατά τη Μεταλλουργία

Σταθεροποίηση αρσενικού (υδροθερμική καταβύθιση) κατά τη μεταλλουργία. Η υδροθερμική καταβύθιση περιλαμβάνει την κατεργασία των αρσενικούχων θειικών διαλυμάτων με θειικό σίδηρο σε αυτόκλειστο υπό συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας (150-180°C) και πίεσης και με μοριακό λόγο $Fe(III)/As(V) > 1$. Σκοροδίτης μπορεί να παραχθεί και σε ελαφρά υψηλές θερμοκρασίες (90-95°C) υπό ατμοσφαιρική πίεση με τη μέθοδο σταδιακού ελέγχου του pH· εξουδετέρωσης (S Singhanian, Q Wang, D Filirrou, G P Demopoulos 2005: 328). Η μέθοδος αυτή συνίσταται από (α) κατεργασία του αρσενικούχου διαλύματος με H_2O_2 σε ελαφρά υψηλή θερμοκρασία για την οξειδωση του $As(III)$ σε $As(V)$, (β) καταβύθιση του αρσενικού υπό μορφή σκοροδίτη σε ατμοσφαιρικές συνθήκες πίεσης και ελαφρά υψηλής θερμοκρασίας, με προσθήκη $Fe(III)$ υπό μορφή θειικού σιδήρου ($Fe_2(SO_4)_3$) σε μοριακή αναλογία $Fe(III)/As(V) = 1/1$, με σταδιακό έλεγχο του pH (με χρήση υδράσβεστο) και με προσθήκη κρυστάλλων σκοροδίτη για πυρήνωση (γ) δεύτερο στάδιο τελικού καθαρισμού του διαλύματος που προκύπτει από την υπολειπόμενη ποσότητα αρσενικού (η οποία είναι πλέον πολύ μικρότερη της αρχικής) με προσθήκη περίσσειας θειικού σιδήρου ώστε να διασφαλίζεται μοριακός λόγος $Fe(III)/As(V) > 4$ και παράλληλο έλεγχο του pH με υδράσβεστο, από όπου το στερεό που καταβυθίζεται (δ) επανακυκλοφορεί στο στάδιο καταβύθισης του σκοροδίτη για επανακρυστάλλωση. Η μέθοδος αυτή είναι η πλέον κατάλληλη για την κατεργασία διαλυμάτων τα οποία είναι πλούσια σε αρσενικό και σχετικά φτωχά σε σίδηρο καθότι πέραν των λειτουργικών πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει ο σκοροδίτης έχει και το πρόσθετο πλεονέκτημα ότι ο σίδηρος που απαιτείται είναι σε στοιχειομετρική αναλογία με το περιεχόμενο αρσενικό ($Fe/As = 1 \text{ mole/mole}$) με αποτέλεσμα να μειώνονται ακόμα περισσότερο ο όγκος των παραγόμενων στερεών αποβλήτων αλλά και οι ανάγκες σε πρώτες ύλες (π.χ. σε θειικό σίδηρο) (D Filirrou, G P Demopoulos 1997: 53). Η παραγωγή σκοροδίτη έχει προταθεί και για την αδρανοποίηση σκόνης As_2O_3 . Στη μέθοδο αυτή εφαρμόζεται κατεργασία της σκόνης As_2O_3 , με διάλυμα HNO_3 και scrap σιδήρου σε θερμοκρασίες 130-160°C. Στις συνθήκες αυτές επιτυγχάνεται οξείδωση του $As(III)$ σε $As(V)$ και του μεταλλικού σιδήρου σε $Fe(III)$ με τη δράση κυρίως του HNO_3 και καταβυθίζεται σκοροδίτης (P A Riveros, J E Dutrizac, P Spenser 2013: 412). Κατά την απόθεση του κρυσταλλικού σκοροδίτη, πρέπει να προβλεφθούν ελεγχόμενες συνθήκες. Στις εγκαταστάσεις απόθεσης πρέπει να αποφευχθεί η ανάμιξη του σκοροδίτη με

αλκαλικά υλικά ή η δημιουργία αναγωγικών συνθηκών που μπορούν να ευνοήσουν τη χημική ή μικροβιακή αναγωγή του As(V) στην ευδιάλυτη μορφή του τρισθενούς αρσενικού (P A Riveros, J E Dutrizac, P Spenser 2013: 410).

Στη μεταλλουργική βιομηχανία οι ενώσεις που περιέχουν Fe(III) και As(V) θεωρούνται σήμερα οι καταλληλότερες μορφές διάθεσης αρσενικού, είτε ως φτωχός κρυσταλλικός φεριδρίτης που αποκτάται σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες, είτε ως κρυσταλλικά αρσενικά άλατα σιδήρου όπως ο σκορδίτης ο οποίος λαμβάνεται σε υψηλότερες θερμοκρασίες (P A Riveros, J E Dutrizac, P Spenser 2013: 413). Δεν υπάρχουν σαφείς πειραματικές ενδείξεις για την διάθεση του αρσενικού που να ευνοούν τα ιζήματα χαμηλής θερμοκρασίας ως προς τα ιζήματα υψηλής θερμοκρασίας ή και αντίστροφα. Σε σύγκριση με την καταβύθιση άμορφων ιζημάτων Fe-As, η καταβύθιση κρυσταλλικού σκοροδίτη παρουσιάζει πληθώρα λειτουργικών πλεονεκτημάτων καθώς ο παραγόμενος όγκος στερεών αποβλήτων είναι πολύ μικρότερος, με πολύ καλύτερα χαρακτηριστικά καθίζησης, αφυδάτωσης (P A Riveros, J E Dutrizac, P Spenser 2013: 414). Τα πλεονεκτήματα της υδροθερμικής καταβύθισης για την απομάκρυνση του αρσενικού από τα βιομηχανικά λύματα (A J Monhemius, P M Swash 1999: 31).

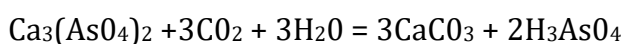
1. Η απλότητα.
2. Μικρός όγκος στερεών υπολειμμάτων αρσενικού.
3. Καλά χαρακτηριστικά καθιζήσεως και διήθησης στα ιζήματα.
4. Κρυσταλλικά υλικά με μικρές επιφάνειες.
5. Παραγωγή υψηλής ποιότητας υπολείμματος αρσενικού.
6. Παραγόμενα στερεά χαμηλής διαλυτότητας.
7. Δυνατότητα κατεργασίας πολλών διαφορετικών αρσενικών υλικών.

2.4.2.2 Καταβύθιση με Ασβέστη

Η καταβύθιση με ασβέστη είναι η πλέον διαδεδομένη μέθοδος, παρά τις ανησυχίες που έχουν εκφραστεί για τη μακροπρόθεσμη σταθερότητα του προκύπτοντος ιζήματος (A Valenzuela 2000: 130). Η εξουδετέρωση ενός As (V) με ασβέστη οδηγεί στο σχηματισμό μιας σειράς ενώσεων αρσενικού ασβεστίου, των οποίων οι συνθέσεις δεν έχουν πλήρως τεκμηριωθεί. Κάποιες μελέτες προσδιόρισαν διάφορες αδιάλυτες ενώσεις όπως $\text{Ca}_4(\text{OH})_2(\text{AsO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ca}_5(\text{AsO}_4)_3\text{OH}$ και $\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 3^{2/3}\text{H}_2\text{O}$ (J V Bothe, P W Brown 1999: 206). Οι τύποι $\text{Ca}(\text{AsO}_2)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$ και $\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$ χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τα ιζήματα που προέρχονται από διαλύματα που περιέχουν As (III) και As (V), αντίστοιχα (Y N Zhu, X H Zhang, Q L Xie, D Q Wang, G W Cheng 2005: 222). Οι ενώσεις που είναι πιθανότερο να καταβυθίζονται στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι οι $\text{CaHAsO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ca}_5\text{H}_2(\text{AsO}_4)_4$ ή $\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2$ (P M Swash, A J Monhemius 1995: 22). Σε υψηλότερες θερμοκρασίες, οι Swash και Monhemius πέτυχαν την σύνθεση μιας σειράς ενώσεων αρσενικού ασβεστίου, η δομή των οποίων εξαρτάται από το pH και το λόγο Ca:As. Σε χαμηλές θερμοκρασίες (<100 ° C) και σε pH (<7), το ιζήμα των στερεών αποτελείται μερικώς ενυδατωμένες ενώσεις του τύπου CaHAsO_4 . Οι ενώσεις αυτές έχουν κρυσταλλική δομή, αλλά δεν γνωρίζονται από τη βάση δεδομένων XRD ωστόσο τα φάσματα IR τους συμπίπτουν με εκείνες των φυσικών ορυκτών

haidingerite και pharmacolite. Σε pH 8 και για την θερμοκρασιακή περιοχή 20 - 75 ° C, το ίζημα των στερεών είχε διαφορετικό λόγο Ca:As και η σύσταση του ήταν συγκρίσιμη με του ορυκτού guerinite, $\text{Ca}_5\text{H}_2(\text{AsO}_4)_4 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$. Σε θερμοκρασίες άνω των 100° C, τα στερεά περιείχαν λίγο νερό ενυδάτωσης και η κυρίαρχη ένωση ήταν παρόμοια με το ορυκτό weilite, CaHAsO_4 . Στους 225 ° C, τα στερεά που καταβυθίζονται έχουν διακριτά ξεχωριστά φάσματα IR και DTA-TG, γεγονός που υποδηλώνει ότι κυρίαρχη μορφή είναι η $\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2$ (P M Swash, A J Monhemius 1995: 21).

Στα μέσα της δεκαετίας του 1980 ξεκίνησαν συζητήσεις στην διεθνή επιστημονική κοινότητα σχετικές με την μακροχρόνια σταθερότητα των καταβυθιζόμενων αρσενικών ενώσεων του ασβεστίου. Πολλοί επιστήμονες υποστήριζαν ότι οι ενώσεις αρσενικού ασβεστίου αποσυντίθενται αργά σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό CO_2 για το σχηματισμό ανθρακικού ασβεστίου και διαλυτό αρσενικό οξύ όπως φαίνεται στην εξίσωση (A M Nazari, R Radzinski, A Ghahreman 2016: 267):



Επιπρόσθετα διαπίστωθηκε επίσης ότι όλες οι ενώσεις του αρσενικού ασβέστιου έδωσαν σχετικά υψηλές διαλυτότητες αρσενικού, όταν υποβάλλονται σε δοκιμές TCLP του EPA. Οι συγκεντρώσεις αρσενικού ήταν της τάξεως του 900 -4.400 mg / L, που είναι τουλάχιστον δύο τάξεις μεγέθους υψηλότερες από τις τιμές που παρατηρούνται κατά την εκτέλεση αντίστοιχων δοκιμών TCLP σε ενώσεις αρσενικού σιδήρου (P M Swash, A J Monhemius 1995: 23).

2.4.2.2.3 Σταθερότητα Αρσενικωδών και Αρσενικικών Ενώσεων

Με βάση τα διαθέσιμα θερμοδυναμικά στοιχεία οι ενώσεις του τρισθενούς αρσενικού έχουν πολύ υψηλότερη διαλυτότητα σε σύγκριση με τις αντίστοιχες ενώσεις πενταθενούς αρσενικού. Συνεπώς, θα πρέπει να προηγηθεί η οξειδωση του As(III) σε As(V), έτσι ώστε στη συνέχεια το As(V) να μπορεί να καταβυθιστεί στη μορφή κάποιας δυσδιάλυτης αρσενικής ένωσης. Μελέτες έδειξαν ότι το CO_2 της ατμόσφαιρας επηρεάζει σημαντικά τη διαλυτότητα πολλών αρσενικών ενώσεων, όπως π.χ. των Ca, Mg, Sr, Mn, προκαλώντας τη διάσπαση των αρσενικών ενώσεων και την καταβύθιση των σταθερότερων ανθρακικών ενώσεων σύμφωνα με την αντίδραση 1, με συνέπεια την αποδέσμευση του As στα ουδέτερα και ελαφρώς αλκαλικά pH:



Ωστόσο, το CO_2 της ατμόσφαιρας δεν προβλέπεται να έχει αρνητική επίπτωση στη σταθερότητα των ενώσεων Fe(III)-As(V), δεδομένου ότι δεν υπάρχουν γνωστές ενώσεις Fe(III)- CO_3 . Σ' αυτή την περίπτωση οι κρίσιμες παράμετροι είναι (α) ο άμορφος ή κρυσταλλικός χαρακτήρας των ενώσεων Fe(III)-As(V) και (β) η στοιχειομετρική αναλογία Fe(III)/As(V) (A Valenzuela 2000: 16). Σε ότι αφορά τον άμορφο αρσενικό σίδηρο η ένωση αυτή είναι σχετικά σταθερή μόνον σε πολύ όξινα pH, με ελάχιστη

διαλυτότητα της τάξης των 75mg/L σε pH 2.2, ενώ σε μεγαλύτερα pH ευνοείται η καταβύθιση του $\text{Fe}(\text{OH})_3$ και αρχίζει η επαναδιαλυτοποίηση του As. Σε μεταγενέστερες μελέτες έδειξαν ότι ο κρυσταλλικός σκοροδίτης, $\text{FeAsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, έχει πολύ χαμηλότερη διαλυτότητα. Ενώ η ελάχιστη διαλυτότητα του As για τον άμορφο αρσενικό σίδηρο κυμαίνεται από 10 μέχρι 75mg/L, για τον κρυσταλλικό σκοροδίτη αντιστοιχεί σε 0.05-0.1mg/L περίπου. Είναι πάντως φανερό ότι και στην περίπτωση του κρυσταλλικού σκοροδίτη η ελάχιστη διαλυτότητα παρατηρείται σε σχετικώς όξινο pH (~4.0), ενώ στα ουδέτερα και αλκαλικά pH παρατηρείται επαναδιαλυτοποίηση του As (E Krause, V A Ettel 1988: 312).

2.4.2.2.4 Σταθεροποίηση του As με στοιχειομετρική περίσσεια Fe (ατμοσφαιρικές συνθήκες)

Η καταβύθιση του As(V) με στοιχειομετρική περίσσεια Fe(III) οδηγεί στην παραγωγή σταθερών στερεών προϊόντων. Με λόγο μοριακό λόγο $\text{Fe}/\text{As} > 4$ mole/mole παράγονται στερεά με διαλυτότητα As μικρότερη των 5 mg/L σε μία σχετικά ευρεία περιοχή pH από 3 μέχρι 6.5. Η περιοχή σταθερότητας διευρύνεται προς τα ουδέτερα και αλκαλικά pH αυξάνοντας τον λόγο Fe/As . Η παρουσία άλλων κατιόντων, όπως Zn, Cd, Pb, Ca και Mg κατά την καταβύθιση του As με τον Fe, διαπιστώθηκε ότι συμβάλλει σημαντικά στη διεύρυνση της σταθερότητας των στερεών προς την αλκαλική περιοχή. Η μακροπρόθεσμη σταθερότητα των άμορφων στερεών που προκύπτουν κατά την καταβύθιση του As με Fe σε ατμοσφαιρικές συνθήκες, δεν είναι βέβαιη. Είναι γενικώς αποδεκτό ότι πρόκειται για άμορφα υδροξείδια του σιδήρου, δηλαδή σωματίδια φερρουδρίτη, στην επιφάνεια των οποίων το As συγκρατείται με μηχανισμούς προσρόφησης (E Krause, V A Ettel 1988: 320). Μακροπρόθεσμα ο άμορφος φερρουδρίτης θα μετατραπεί στα σταθερότερα κρυσταλλικά οξείδια, π.χ. γκαιτίτη, με συνέπεια την αποδέσμευση του As. Έχει βέβαια παρατηρηθεί ότι η ίδια η προσρόφηση του As παρεμποδίζει και καθυστερεί την κρυστάλλωση του άμορφου φερρουδρίτη. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα στερεά αρσενικούχου φερρουδρίτη να παραμένουν ιδιαίτερα σταθερά μετά την πάροδο πολλών χρόνων (D Paktunc, K Bruggeman 2010: 678).

2.4.2.2.5 Τεχνικές Στερεοποίησης-Σταθεροποίησης

Τεχνικές στερεοποίησης-σταθεροποίησης αρσενικούχων αποβλήτων με χρήση τσιμέντου, butimen και άλλων υλικών έχουν μελετηθεί με διάφορες παραλλαγές. Στερεοποίηση με τσιμέντο και butimen δοκιμάστηκε σαν εναλλακτική λύση για τη διάθεση του As_2O_3 , που είχε παραχθεί, από τη φρύξη μεταλλευμάτων αρσενοπυρίτη στις εγκαταστάσεις της Giant Mine στον Καναδά (N Thompson, P Spencer, P Green 2002: 4). Αναφέρεται ότι με το τσιμέντο επιτεύχθηκε σταθεροποίηση μόνο όταν το απόβλητο

βρίσκεται σε πολύ μικρή αναλογία (5%), ενώ με χρήση butimen η αναλογία της σκόνης As_2O_3 μπορεί να φθάσει μέχρι και το 40%.

Σταθεροποίηση As_2O_3 με τσιμέντο δοκιμάστηκε επίσης σε λάσπη που παράγεται κατά τον καθαρισμό του αερίου CO_2 στην τεχνολογία VETROCOKE. Διαπιστώθηκε ότι πριν από τη στερεοποίηση με το τσιμέντο πρέπει να γίνει προκατεργασία της λάσπης με ασβέστη CaO και τρισθενή σίδηρο, $Fe_2(SO_4)_3$, για να επιτευχθεί ικανοποιητική μείωση της διαλυτότητας. Με βάση τη μέθοδο που αναπτύχθηκε για τη σταθεροποίηση 1 kg λάσπης (~20% As_2O_3) χρησιμοποιούνται πρόσθετα συνολικού βάρους περίπου 11 κιλών, υπάρχει δηλαδή υπερδεκαπλασιασμός της τελικής μάζας των προς απόθεση αποβλήτων (P Palfy, E Vircikova, L Molnar 1999: 57).

Πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές σταθεροποίησης, που στηρίζονται στη χρήση υλικών άγνωστης σύνθεσης, όπως η Αυστραλέζικη Εταιρεία Dolomatrix (σταθεροποίηση αρσενικούχων αποβλήτων με τελική αύξηση της μάζας των αποβλήτων κατά 25%). Σε σχέση με την περιβαλλοντική καταλληλότητα των τεχνικών σταθεροποίησης με τσιμέντο και ότι ενδεχομένως το CO_2 της ατμόσφαιρας μπορεί μακροπρόθεσμα να καταναλώσει την προστατευτική αλκαλικότητα του υλικού, η δημιουργία στερεής μήτρας με μικρό πορώδες δυσχεραίνει τη διείσδυση του CO_2 και τις σχετικές αρνητικές επιπτώσεις.

2.4.2.3 Τεχνολογίες Απόθεσης Αποβλήτων Εμπλουτισμού και Μεταλλουργίας

Η διάθεση των αποβλήτων είναι μια πολύ σημαντική εξορυκτική δραστηριότητα στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν τεχνολογίες διάθεσης αποβλήτων.

2.4.2.3.1 Στερεά Απόθεση Αφυγρασμένου Τέλματος

Στη μέθοδο της στερεάς απόθεσης ο πολφός πριν την απόθεση του στην ειδικά διαμορφωμένη εγκατάσταση οδηγείται σε πυκνωτή και στη συνέχεια σε φιλτρόπρεσσα, όπου επιτυγχάνεται περαιτέρω μείωση της υγρασίας στο 15-20% κ.β. (N K Shammass, L K Wang 2007:547). Η μέθοδος παρουσιάζει τα ίδια πλεονεκτήματα με τη μέθοδο της ημίξηρης απόθεσης, αλλά σε μεγαλύτερο βαθμό, αφού το προς απόθεση τέλμα έχει μεγαλύτερη συνεκτικότητα. Επιπλέον μπορεί να αποτεθεί καθ' ύψος, ξεπερνώντας υψομετρικά το επίπεδο στέψης των αναχωμάτων, μειώνοντας ακόμη περισσότερο την απαιτούμενη επιφάνεια απόθεσης. Επιπλέον περιορίζει τις συνολικές απαιτήσεις του Έργου σε νερό, μέσω της ανακύκλωσης του μετά το στάδιο της πύκνωσης και διήθησης στο κύκλωμα κατεργασίας του εργοστασίου και των μειωμένων απωλειών

εξάτμισης. Επίσης είναι εφικτή η σταδιακή περιβαλλοντική αποκατάσταση του χώρου απόθεσης ταυτόχρονα με τη λειτουργία του, καθώς και η αυτοματοποίηση των λειτουργιών με χρήση μεταφορικών ταινιών. Ως μειονεκτήματα της μεθόδου μπορούν να αναφερθούν το υψηλότερο λειτουργικό κόστος λόγω της αυξημένης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και η δυνητική εκπομπή σκόνης κατά την ξηροθερμική περίοδο. Η μέθοδος αναπτύχθηκε με την εξέλιξη της τεχνολογίας των φιλτροπρεσών τα τελευταία χρόνια (N K Shammam, L K Wang 2007:546).

Η τεχνολογία απόθεσης των αποβλήτων εμπλουτισμού και μεταλλουργίας που παράγονται κατά την διαδικασία επεξεργασίας των εξορυσσόμενων ορυκτών ανήκει στον γενικότερο σχεδιασμό ενός ορυχείου και ειδικότερα σε αυτόν των φραγμάτων απόθεσης. Πολλές μέθοδοι απόρριψης υπάρχουν και κάποιες από αυτές χρησιμοποιούνται για χρόνια. Η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι μια μέθοδος η οποία παρουσιάζει κάποια σημαντικά οικονομικά, κοινωνικά και περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα τα οποία αναφέρονται παρακάτω (A Bascetin, S Juylu, D Adiguzel, O Ozdemir 2017: 151):

1. Μείωση του επενδυτικού κόστους (μικρότερα φράγματα).
2. Αυξημένη ασφάλεια.
3. Μείωση της δημόσια αρνητικής άποψης.
4. Μικρότερος χώρος απόθεσης.
5. Προστασία των υδάτινων πόρων (εξοικονόμηση νερού).
6. Μείωση της ρύπανσης του εδάφους και των υπόγειων υδάτων.
7. Μείωση της υποχρέωσης των ορυχείων για ασφάλιστρα (μειωμένες πιθανότητες ατυχήματος στα φράγματα απόρριψης).
8. Το παραγόμενο απόβλητο (πάστα) μπορεί να απορριφθεί μαζί με τα εξορυκτικά απόβλητα (επιπλέον οικονομικά οφέλη).
9. Πολύ μικρή ποσότητα στραγγισμάτων με αποτέλεσμα την υποδιαστασιολόγηση των δομών συγκράτησης του νερού.
10. Οι εγκαταστάσεις ανάκτησης πρέπει να είναι καλύτερες από αυτές των συμβατικών μεθόδων.
11. Μη διαχωρισμός των σωματιδίων στη μεταφορά με σωλήνα και εκφόρτωση στο χώρο απόθεσης.

Δεδομένου πως η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι πιο προηγμένη από τις συμβατικές μεθόδους απαιτούνται τεχνολογικές γνώσεις και υποδομές. Γι'αυτό θεωρείται μια δαπανηρή τεχνολογία η οποία μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένο κόστος εγκατάστασης και συντήρησης (φιλτροπρεσες).

2.4.2.3.2 Υγρή Απόθεση (sub-aqueous deposition)

Σύμφωνα με την μέθοδο η στερεά φάση του τέλματος παραμένει διαρκώς σε ημίρρευση έως ρευστή κατάσταση στον πυθμένα της λίμνης, όπου καλύπτεται πάντοτε από σημαντικό στρώμα νερού. Από τον τρόπο εφαρμογής και λειτουργίας της μεθόδου παρουσιάζονται τα ακόλουθα μειονεκτήματα (F Real, A Franco 1990: 215):

1. Απαίτηση γενικά μεγάλης επιφάνειας λίμνης για επίτευξη επαρκούς διαύγασης της υδατικής φάσης του τέλματος που επανακυκλώνεται στο παραγωγικό κύκλωμα.
2. Άσκηση σημαντικών υδραυλικών πιέσεων στο φράγμα της λίμνης από το περιεχόμενο νερό και τον μη επαρκώς συμπυκνωμένο πολφό στον πυθμένα της λίμνης.
3. Κίνδυνος σημαντικής καταπόνησης φράγματος σε περίπτωση σεισμού, εάν ενεργοποιηθεί ο πολφός του πυθμένα λόγω θιξοτροπικής συμπεριφοράς του.
4. Απαίτηση εφαρμογής ειδικών μέτρων για στεγανοποίηση του πυθμένα λόγω της ρευστής έως ημίρρευστης κατάστασης των αποτιθέμενων στερεών.
5. Χαμηλό φαινόμενο ε.β. των αποτιθέμενων στερεών και, συνεπώς, περιορισμένη αξιοποίηση του διαθέσιμου χώρου απόθεσης.
6. Αυξημένο κόστος κατασκευής για την αντιμετώπιση των παραπάνω μειονεκτημάτων.

2.4.2.3.3 Ημίξηρη Απόθεση (sub-aerial deposition)

Κατά την ημίξηρη απόθεση, πραγματοποιείται απόχυση του πολφού, κατά ζώνες, κατά μήκος του φράγματος ή και (μέρους) της περιμέτρου της λίμνης, μέσω κατάλληλης διάταξης, υπό συνθήκες στρωτής ροής στην ελαφρώς κεκλιμένη επιφάνεια απόθεσης, που θα διαμορφωθεί κατά το πρώτο στάδιο λειτουργίας του έργου. Με την απόχυση του πολφού κατά ζώνες το εκάστοτε αποτιθέμενο στρώμα των στερεών του τέλματος υφίσταται αρχικά φυσική αποστράγγιση και στην συνέχεια φυσική ξήρανση (ανάλογα με τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες), με αποτέλεσμα την συσσωμάτωση και αυτοσυμπίεση του υλικού λόγω των αρνητικών πιέσεων που δημιουργούνται (τριχοειδές φαινόμενο). Αποτέλεσμα των συνθηκών που επικρατούν κατά την ημίξηρη απόρριψη είναι (P C Lighthall 2007: 7):

1. Κοκκομετρική διαβάθμιση των αποτιθέμενων στερεών τέλματος, λόγω ταχύτερης καθίζησης αδρομερών σε σχέση με τα λεπτομερή κλάσματα.
2. Σχηματισμός κατά μήκος του φράγματος, ζώνης από αδρομερές υλικό που συμπεριφέρεται ως φυσική ζώνη αποστράγγισης, που σε συνέργεια με τη διάταξη αποστράγγισης του φράγματος αποφορτίζει το τελευταίο υδραυλικά.
3. Απόθεση λεπτομερούς κλάσματος τέλματος στην ανάντη περιοχή λίμνης απόθεσης, όπου λόγω χαμηλής διαπερατότητας συνεργεί στην στεγανοποίηση του πυθμένα της.
4. Μεγιστοποίηση ε.β. και συνεκτικότητας αποτιθέμενων στερεών και κατά συνέπεια του βαθμού αξιοποίησης του διατιθέμενου χώρου απόθεσης.
5. Ελαχιστοποίηση υδραυλικών πιέσεων στο φράγμα λόγω αποτελεσματικής αποστράγγισης και φύσης αποτιθέμενων στερεών.
6. Μικρότερη καταπόνηση του φράγματος σε περίπτωση σεισμού (R B Knight, J P Haile 1993: 639).

Στα μειονεκτήματα της μεθόδου η αυξημένη κατανάλωση νερού λόγω εξάτμισης.

2.4.3 Αποκατάσταση Περιβάλλοντος

Όλα τα ορυχεία έχουν πεπερασμένο χρόνο ζωής, μόλις τελειώσουν τα διαθέσιμα αποθέματα σταματάει η εξόρυξη και το μεταλλείο πρέπει να επανέλθει στην παραγωγική φυσική κατάσταση. Επομένως το τελικό βήμα στη ζωή ενός μεταλλείου είναι η αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει την ανασυγκρότηση των χώρων απόθεσης και την επαναφορά των χαρακτηριστικών νερού και γης στην κατάσταση πριν την λειτουργία του μεταλλείου. Το σχέδιο κλείσιματος και αποκατάστασης ενός ορυχείου είναι μέρος του σχεδιασμού του και της περιβαλλοντικής μελέτης (ΜΠΕ) και ισχύουν πριν από τη λειτουργία του (R Stevens 2010:322). Οι οικονομικές απαιτήσεις του σχεδίου αποκατάστασης αποτελεί ευθύνη της εταιρείας εξόρυξης. Οι εταιρείες καλούνται να παρέχουν χρηματοοικονομική εγγύηση με τη μορφή καταθέσεων ή ομολόγων σε κυβερνήσεις και τοπικές κοινότητες με στόχο την κάλυψη των αναγκών τερματισμού του ορυχείου. Υπάρχουν πολλές εφαρμογές όπου η γη αποκαθίσταται μόλις βγει από την άμεση χρήση, αντί να περιμένει μέχρι το κλείσιμο του ορυχείου (R Batterham 2014: 8).

Οι κύριοι στόχοι της αποκατάστασης ενός ορυχείου περιλαμβάνουν (F W Smith, B Underwood 2013:205)

1. Τη μείωση των φυσικών κινδύνων, όπου υπάρχουν open pit, περιοχές καθίζησης, λίμνες τελμάτων και περιοχές με δυνητικά ανεξέλεγκτες εκπομπές μεθανίου.
2. Την ελαχιστοποίηση των κινδύνων για την ανθρώπινη υγεία, όπως η ανεξέλεγκτες εκπομπές αερίων επιφάνειας, η άμεση έκθεση σε μολυσμένα ύδατα και η μόλυνση από γεωργικά προϊόντα που καλλιεργούνται σε αποκαταστημένη γη.
3. Επεξεργασία ή απομόνωση μολυσμένης γης, η οποία απαιτεί συνήθως αξιολόγηση πιθανής ή υπαρκτής μόλυνσης.
4. Ελαχιστοποίηση μόλυνσης των υπόγειων ή επιφανειακών υδάτων, η οποία συχνά απαιτεί την αποκατάσταση των λιμνών τελμάτων, τη διερεύνηση ενδεχόμενης μόλυνσης των υπόγειων υδάτων, την παρακολούθηση της ποιότητας των υπόγειων και επιφανειακών υδάτων και προσδιορισμός των χρήσεων των εν λόγω πόρων κατάντη της τοποθεσίας του ορυχείου.
5. Τη σταθεροποίηση των χαρακτηριστικών του ορυχείου και την ελαχιστοποίηση της δυνητικής διάβρωσης, τη μείωση της δυνατότητας εξάπλωσης της μολυσμένης σκόνης και της ρύπανσης των επιφανειακών υδάτων και τη δυνατότητα δημιουργίας παραγωγικών χρήσεων γης.

2.5 Διεθνής Πραγματικότητα

Οι διάφορες χώρες έχουν διάφορα καταστατικά και κανονισμούς που να διέπουν τις εξορυκτικές δραστηριότητες. Ωστόσο υπάρχει ένα κοινό παρανομαστή στις περισσότερες από αυτές όπως η απαίτηση της άδειας εξόρυξης πριν την έναρξη των

εργασιών, κατευθυντήριες γραμμές για την ελαχιστοποίηση του αποτυπώματος στη βιοποικιλότητα και το περιβάλλον, συμπεριλαμβανομένης της διαχείρισης των αποβλήτων με τη βέλτιστη τεχνολογία, καθώς και ειδικών αμοιβών για τη μη συμμόρφωση με τους κανόνες. Τέτοιες χώρες είναι οι ΗΠΑ, η Ευρωπαϊκή Ένωση, η Αυστραλία και η Νέα Ζηλανδία. Τα κυριότερα σημεία που περιέχονται στα καταστατικά δεν αποτελούν αποκλειστικές διατάξεις των αντίστοιχων νόμων ή κανονισμών. Παρόλο που ορισμένοι όροι που χρησιμοποιούνται στις ακόλουθες παραγράφους είναι αποκλειστικοί και εξαρτώμενοι, είναι διαθέσιμοι στο κοινό και δεν επανακαθορίζονται (L Pokhrel, B Dubey 2012:2369).

2.5.1 Ευρωπαϊκή Ένωση

Η πολιτική των διαφόρων χωρών της Ευρώπης για τα ορυκτά παρουσιάζεται παρακάτω με τέσσερα ορυκτά-πολιτικά κριτήρια (G Tiess 2011: 187-188).

1. Εθνική στρατηγική για τις πρώτες ύλες: Η εθνική στρατηγική για τις πρώτες ύλες καθορίζει τους στόχους μιας εθνικής πολιτικής στα ορυκτά, η οποία στη συνέχεια θα εφαρμοστεί με σχέδια δράσης. Μια στρατηγική θα πρέπει να καλύπτει όλες (αν είναι δυνατόν) τις σχετικές κατηγορίες ορυκτών που σχετίζονται με την οικονομία της χώρας, ανεξάρτητα αν τα ορυκτά εισάγονται ή εξάγονται στη χώρα.
2. Εθνική πολιτική σχεδιασμού των ορυκτών: Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τη διασφάλιση των συμφερόντων της (εγχώριας) προσφοράς μακροπρόθεσμα. Η πολιτική σχεδιασμού ορυκτών θεωρείται ως μέρος μιας εθνικής πολιτικής για τα ορυκτά. Η εξασφάλιση της προμήθειας ορυκτών περιλαμβάνει μέτρα που εξασφαλίζουν τη διαρκή πρόσβαση στην οικονομική παραγωγή και αξιοποίηση κοιτασμάτων ορυκτών και αποτρέπουν τις απαιτήσεις τρίτων που αντιτίθενται σε αυτόν τον στόχο. Πρέπει να γίνει διάκριση ότι, αφενός, η προστασία των πρώτων υλών πραγματοποιείται σε εθνικό επίπεδο (ή τουλάχιστον σε περιφερειακό επίπεδο) ως μέσο σχεδιασμού στο πλαίσιο της πολιτικής σχεδιασμού μεταλλευμάτων (αν καθοριστούν κατάλληλα μέτρα). Αφετέρου, η προστασία των πρώτων υλών σε ιδιωτικοοικονομικό επίπεδο πραγματοποιείται με την απόκτηση δικαιωμάτων εξερεύνησης και εκμετάλλευσης (τα λεγόμενα μεταλλευτικά δικαιώματα).
3. Δικαιώματα μεταλλευμάτων / διαδικασίες χορήγησης αδειών: Οι διαδικασίες για την απόκτηση ορυκτών δικαιωμάτων έχουν ιδιαίτερη σημασία. Η εξόρυξη-χρήση των ορυκτών αποθεμάτων προϋποθέτει τη σταθερότητα και τη διαφάνεια των μεταλλευτικών δικαιωμάτων (τόσο για την εξερεύνηση όσο και για την παραγωγή) για τον επιχειρηματία. Αυτό παρέχει στον επιχειρηματία μακροπρόθεσμη πρόσβαση σε πρώτες ύλες. Η ασφάλεια των επενδύσεων είναι ιδιαίτερα σημαντική για το θέμα των πρώτων υλών με υψηλή ένταση κεφαλαίου. Η αρχή της αποτελεσματικότητας της διαδικασίας είναι επίσης σημαντική. Οι ανεπαρκείς διαδικασίες σημαίνουν ότι το κόστος, η πολυπλοκότητα και το μήκος των διαδικασιών παρεμποδίζουν ουσιαστικά την ανταγωνιστική ικανότητα του επιχειρηματία.

4. Επενδυτική πολιτική: Η παροχή βέλτιστων επενδυτικών συνθηκών στους εγχώριους και ξένους επενδυτές (από το κράτος) σημαίνει επίσης να εστιάσουμε στην πολιτική ενεργών ορυκτών.

Οι ανακοινώσεις της Ευρωπαϊκής Επιτροπής δεν έχουν νομική εμβέλεια στα κράτη μέλη, αλλά περιέχουν κοινοτικές πολιτικές και σχέδια δράσης. Η ανακοίνωση της Επιτροπής «Πρώθηση της αειφόρου ανάπτυξης στην μη-ενεργειακή εξορυκτική βιομηχανία της ΕΕ» ήταν το πρώτο έγγραφο για την αντιμετώπιση του προβλήματος της βιώσιμης εξόρυξης. Παρά το περιορισμένο πεδίο εφαρμογής της, έδωσε μια πολύπλοκη ανασκόπηση της μεταλλευτικής βιομηχανίας με σημαντικά συμπεράσματα. Μερικά από αυτά αναφέρουν πως η εξόρυξη αυξάνεται ολοένα και περισσότερο από άλλες ανταγωνιστικές χρήσεις γης, όπως η αστική ανάπτυξη, η γεωργία, η διατήρηση της φύσης. Επίσης, ορίζεται η ισορροπημένη εξέταση των οικονομικών, περιβαλλοντικών και κοινωνικών πτυχών για τη διασφάλιση της βιώσιμης ανάπτυξης της βιομηχανίας και ότι είναι απαραίτητη μια συνεκτική κοινοτική πολιτική.

2.5.2 Ευρωπαϊκή Νομοθεσία

Η απόφαση 74/326 / ΕΟΚ του Συμβουλίου σχετικά με την επέκταση των αρμοδιοτήτων της Επιτροπής Ασφάλειας και Υγείας στα Ορυχεία σε όλες τις βιομηχανίες εξόρυξης ορυκτών παρέχει τον ορισμό αυτό: «βιομηχανίες εξόρυξης ορυκτών: δραστηριότητες έρευνας και εξόρυξης με τη στενή έννοια του όρου καθώς και για την προετοιμασία των υλικών προς πώληση (θραύση, διαλογή, πλύσιμο), όχι η επεξεργασία αυτών των εξορυσσόμενων υλικών». Άλλες διατάξεις της οδηγίας 92/104 / ΕΟΚ σχετικά με τις ελάχιστες απαιτήσεις για τη βελτίωση της προστασίας της ασφάλειας και της υγείας των εργαζομένων στις βιομηχανίες επιφανειακής και υπόγειας εξόρυξης». Οι βιομηχανίες που ασκούν την εξόρυξη επιφανειακής ή υπόγειας υπό την αυστηρή έννοια και η προετοιμασία των εξορυσσόμενων υλικών προς πώληση, εξαιρουμένων των δραστηριοτήτων επεξεργασίας των εκχυλισθέντων υλικών, εξαιρουμένων των βιομηχανιών εξόρυξης ορυκτών, μέσω διάτρησης που ορίζονται στο άρθρο 2. Η οδηγία 92/91 / ΕΟΚ του Συμβουλίου σχετικά με τις ελάχιστες προδιαγραφές για τη βελτίωση της ασφάλειας και της προστασίας των εργαζομένων στις βιομηχανίες εξόρυξης ορυκτών μέσω διάτρησης έχει σχεδιαστεί για τη βιομηχανία εξόρυξης υδρογονανθράκων «οι βιομηχανίες εξόρυξης ορυκτών με διάτρηση που ασκούν: την εξόρυξη υπό τη στενή έννοια του όρου, τουλάχιστον διάσπαση με διάτρηση ή / και αναζήτηση με σκοπό την εκχύλιση ή / και προετοιμασία των προς εξαγωγή υλικών εκχύλισης, εξαιρουμένων των δραστηριοτήτων επεξεργασίας των εκχυλισθέντων υλικών. Οι λόγοι για τους οποίους αποκλείεται η επεξεργασία ορυκτών από την αλυσίδα παραγωγής είναι ασαφής, αλλά η επί τόπου πρωτογενής επεξεργασία θεωρείται παραδοσιακά ως μέρος της μεταλλευτικής βιομηχανίας (T Hamor 2004: 253-254).

Η πρότερη νομοθεσία για τις εξορυκτικές δραστηριότητες περιοριζόταν (T Hamor 2004: 254):

1. Στην ασφάλεια των ορυχείων και την υγεία κατά την εργασία (π.χ. οδηγία 83/477/ΕΟΚ του Συμβουλίου για την προστασία των εργαζομένων από τους κινδύνους που οφείλονται στην έκθεση στον αμίαντο κατά την εργασία).
2. Οι κανονισμοί και τα πολιτικά ψηφίσματα υποστήριξης της βιομηχανίας (π.χ. απόφαση του Συμβουλίου της 28ης Ιουλίου 1989 για την ανάπτυξη της κοινοτικής βιομηχανίας μεταλλείων)
3. Οι εμπορικές ρυθμίσεις (π.χ. απόφαση της Ανωτάτης Αρχής ΕΚΑΧ αριθ. 4-53 για τη δημοσίευση των τιμοκαταλόγων και των όρων πώλησης που εφαρμόζουν οι επιχειρήσεις στις βιομηχανίες άνθρακα και σιδηρομεταλλεύματος).

Η οδηγία 85/337/ΕΟΚ του Συμβουλίου για την εκτίμηση των επιπτώσεων ορισμένων σχεδίων δημοσίων και ιδιωτικών έργων στο περιβάλλον (όπως τροποποιήθηκε με την οδηγία 97/11/ΕΚ) απαιτεί εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των οικονομικών δραστηριοτήτων που ενδέχεται να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον (T Hamor 2004: 255).

Η οδηγία 96/61/ΕΚ του Συμβουλίου σχετικά με την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης (οδηγία IPPC) παρέχει το πλαίσιο για την αδειοδότηση και τις εκπομπές βιομηχανικών εγκαταστάσεων. Οι εγκαταστάσεις που καλύπτονται από το παράρτημα Ι απαιτούνται για την έκδοση άδειας λειτουργίας που περιέχει εκπομπές περιορισμένες από τις ισοδύναμες παραμέτρους βάσει της χρήσης των βέλτιστων διαθέσιμων τεχνικών (ΒΔΤ). Επιπλέον, οι άδειες πρέπει να παρέχουν διατάξεις για άλλες συνθήκες εκτός από τις συνήθειες. Το επίκεντρο της οδηγίας είναι η πρόληψη και όχι η μείωση του «end of the pipe», επομένως γίνεται διάκριση μεταξύ καινούριων ή ουσιαστικά αλλαγμένων υφιστάμενων εγκαταστάσεων (T Hamor 2004: 258).

Η ανακοίνωση της επιτροπής «Πρώθηση της αειφόρου ανάπτυξης στη μη ενεργειακή εξορυκτική βιομηχανία της ΕΕ» [COM (2000) 265] ήταν το πρώτο έγγραφο για την αντιμετώπιση του προβλήματος της αειφόρου εξόρυξης. Παρά το περιορισμένο πεδίο εφαρμογής της, έδωσε μια πολύπλοκη ανασκόπηση της μεταλλευτικής βιομηχανίας όπως (T Hamor 2004: 255):

1. Η εξόρυξη αυξάνεται ολοένα και περισσότερο από άλλες ανταγωνιστικές χρήσεις γης, όπως η αστική ανάπτυξη, η γεωργία, η διατήρηση της φύσης.
2. Απαιτείται ισορροπημένη εξέταση των οικονομικών, περιβαλλοντικών και κοινωνικών πτυχών για τη διασφάλιση της βιώσιμης ανάπτυξης της βιομηχανίας.
3. Είναι απαραίτητη μια συνεκτική κοινοτική πολιτική

2.5.3 Αυστραλία

Η Αυστραλία είναι μια χώρα πλούσια σε ορυκτές πηγές και φιλοξενεί μεγάλο αριθμό ορυκτών επιχειρήσεων σε περιοχές με σκληρά και μαλακά πετρώματα. Στις ανατολικές περιοχές υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση ανθρακωρυχείων και στη Δυτική Αυστραλία λειτουργούν πολλά ορυχεία χρυσού, νικελίου και σιδηρομεταλλεύματος (A J Basu, E Y Baafi 2007: 79). Η μεταλλευτική βιομηχανία έχει μακρά παράδοση στην

Αυστραλία, αλλά το ζήτημα της "βιωσιμότητας" της εξακολουθεί να παραμένει ένα ενοχλητικό και δύσκολο θέμα. Τις τελευταίες δεκαετίες, σημειώθηκε σημαντική βελτίωση στη διαχείριση του περιβάλλοντος κατά τη λειτουργία καθώς και καλύτερες προσπάθειες αποκατάστασης μετά το πέρας της. Ωστόσο, ο κλάδος συνεχίζει να επεκτείνεται σημαντικά καθώς η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση οδηγεί στην ανάγκη για μεγαλύτερο εφοδιασμό πρώτων υλών. Με την πάροδο του χρόνου, αυτό οδήγησε τη βιομηχανία εξόρυξης προς μεταλλεύματα χαμηλότερης ποιότητας και επιφανειακής εξόρυξης σε όλο και μεγαλύτερη κλίμακα, με επακόλουθες αυξήσεις στα στερεά απόβλητα που παράγονται (G M Mudd 2015: 1). Παρά την μεγαλύτερη ενημέρωση, τις βελτιωμένες πρακτικές και τους πιο αυστηρούς περιβαλλοντικούς κανονισμούς, η ένταση των πόρων των οικονομικών δραστηριοτήτων της Δυτικής Αυστραλίας και η εξαγωγή πρωτογενών υλικών παραμένουν αναπόφευκτα συνδεδεμένες με την υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Στην πραγματικότητα, η κλίμακα της άνευ προηγουμένου επέκτασης του τομέα εξόρυξης στη ΔΑ και οι συναφείς άμεσες και έμμεσες περιβαλλοντικές αλλαγές αποτελούν βασικές προκλήσεις για τη βιωσιμότητα του τομέα (M Brueckner, A Durey, R Mayes, C Pforr 2014:114).

Οι εταιρείες ορυκτών στην Αυστραλία θέτουν σε λειτουργία τη βιώσιμη ανάπτυξη στους χώρους τους. Οι περιβαλλοντικές και κοινωνικές βελτιώσεις στις επιχειρήσεις μπορούν να αποδώσουν οικονομικά οφέλη και δεν θα υποστούν σημαντικό οικονομικό κόστος στις τοπικές κοινότητες στις οποίες λειτουργούν. Η τοπική κοινωνία πρέπει βεβαίως να παρέχει τα μέσα με τα οποία μια επιχείρηση μεταποίησης μεταλλευμάτων μπορεί να αξιοποιήσει πλήρως τις δυνατότητές της συμβάλλοντας στην οικονομική και κοινωνική ευημερία μιας περιοχής. Οι βελτιώσεις στις πρακτικές διαχείρισης των αποβλήτων και η πρόληψη των αποβλήτων μπορούν να οδηγήσουν σε μείωση του κόστους και συχνά αύξηση των εσόδων. Οι βελτιώσεις της ενεργειακής απόδοσης και η διαχείριση των υδάτων είναι αναγκαίες από οποιαδήποτε επιχείρηση εξόρυξης που θα σχεδιάσει να παραμείνει βιώσιμη στο μέλλον, ιδίως στην Αυστραλία. Σε επίπεδο επιχειρήσεων, πρέπει να υπάρξει σαφής δέσμευση από τα ανώτερα διοικητικά στελέχη για αλλαγή σε πιο βιώσιμες επιχειρήσεις εξόρυξης ή επεξεργασίας ορυκτών (T F Guerin 2007: 11).

2.6 Ελλάδα Βιώσιμη Εξόρυξη

Σήμερα υπάρχουν περισσότερες από 600 μεγάλες και μικρής κλίμακας επιχειρήσεις εξόρυξης στην Ελλάδα που συνεισφέρουν περίπου το 1,7% του Ακαθάριστου Εθνικού Προϊόντος (K Evangelinos, M Oku 2006: 263). Ο ελληνικός τομέας ορυχείων και ορυκτών απασχολεί τουλάχιστον 23.000 άτομα (περιβαλλοντική έκθεση της GMMI, 2007). Το σημαντικότερο μεταλλικό εμπόρευμα στην Ελλάδα είναι το βωξίτη και η GMMI θεωρείται επίσης ηγέτης της Ευρωπαϊκής Ένωσης στην παραγωγή μαγνησίου, νικελίου και περλίτη (πάνω από το 80% της συνολικής παραγωγής της ΕΕ).

Ωστόσο, στην Ελλάδα, η μεταλλευτική βιομηχανία κατηγορείται για σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Με την εξέταση των 14 σημαντικότερων αντιπροσωπευτικών κοιτασμάτων άνθρακα της Ελλάδας (π.χ. στη Θράκη, την Ανατολική Ελλάδα και την κεντρική Ελλάδα), βρέθηκαν σημαντικές ποσότητες αλκαλίων στο έδαφος, σε ποτάμια και λίμνες (C Papanicolaou, T Kotis, A Foscolos, F Goodarzi 2004: 147). Μια εξορυκτική επιχείρηση εξόρυξης ζεόλιθου στην Αλεξανδρούπολη οδήγησε σε σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οι οποίες προκάλεσαν μια σειρά μέτρων περιβαλλοντικής διαχείρισης, συμπεριλαμβανομένης της επεξεργασίας καυσαερίων που χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση του εναπομένου υδραργύρου και διοξινών στη λάσπη των μονάδων αποτέφρωσης, η επεξεργασία λυμάτων με φίλτρα ενεργού άνθρακα και η προστασία του εδάφους με τη χρήση στρωμάτων κάτω από μεγάλες βιομηχανικές περιοχές (N Arvanitidis 1998: 217).

Για να ξεπεραστούν αυτά τα προβλήματα, τόσο η ελληνική κυβέρνηση θεσπίζοντας υποχρεωτικά μέτρα όσο και η μεταλλευτική βιομηχανία εφαρμόζοντας εθελοντικά μέτρα, ανέλαβαν ενεργό ρόλο για την προστασία του περιβάλλοντος. Έχουν θεσπιστεί βασικοί κανονισμοί για την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των δραστηριοτήτων των ορυχείων όπως οι Κανονισμοί 1180/1981 (Διακανονισμός Χώρου και Περιβάλλοντος), 1360/1983 (Πρώθηση Διατάξεων Επενδύσεων και Άδειων) και 1650/1986 (Προστασία του Περιβάλλοντος). Για να συμμορφωθούν με αυτούς τους κανονισμούς, οι εξορυκτικές εταιρείες έχουν εκπονήσει συγκεκριμένες εκθέσεις περιβαλλοντικών επιπτώσεων για να καταγράψουν την παρούσα περιβαλλοντική κατάσταση και τις μελλοντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται με τις λειτουργίες τους (I E Nikolaou, K I Evangelinos 2010: 227).

Ορισμένες εταιρείες έχουν υιοθετήσει οικειοθελώς πρακτικές περιβαλλοντικής διαχείρισης για τη διατήρηση του περιβάλλοντος όπως συστήματα περιβαλλοντικής διαχείρισης (π.χ. ISO 14001), εναλλακτικές χρήσεις χώρων λειτουργίας, συστήματα ελέγχου σκόνης, συστήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης και ζώνες πυρασφάλειας. Για παράδειγμα, η Αλουμίνιον της Ελλάδος SA έχει υιοθετήσει οικειοθελώς ISO 14001, εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (GHG) και διαχείριση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ομοίως, η μεταλλευτική εταιρεία Biogyps Kvelis Co. έχει εφαρμόσει περιβαλλοντικές πρακτικές όπως η αποκατάσταση χώρων, η ανακύκλωση υλικών και η διαχείριση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε εθελοντική βάση. Επιπλέον, η S & B Βιομηχανικά Ορυκτά Α.Ε. έχει εφαρμόσει εθελοντικά μέτρα για την αποκατάσταση χώρων, τη διαχείριση της σκόνης και τη διαχείριση του νερού, της ενέργειας και των στερεών αποβλήτων (I E Nikolaou, K I Evangelinos 2010: 227).

2.7 Κριτική Ανάλυση Βιβλιογραφίας

Οι εξορυκτικές εταιρείες κατά τον σχεδιασμό μιας επένδυσης με στόχο την αιεφόρα εκμετάλλευση του ορυκτού πλούτου λαμβάνουν υπόψιν τους δεδομένα που

αφορούν διαφόρους επιστημονικούς τομείς. Τα οικονομικά δεδομένα που λαμβάνονται για το σχεδιασμό ενός μεταλλείου αφορούν το κόστος λειτουργίας και συντήρησης, το κόστος της επένδυσης σε σχέση με την κερδοφορία, οι ενεργειακές ανάγκες και ο χρόνος ζωής του έργου. Όλα αυτά τα στοιχεία οδηγούν σε μια τεχνοοικονομική μελέτη με στέρεες βάσεις και με εξασφαλισμένη χρηματοδότηση. Τα κοινωνικά κριτήρια αφορούν στις άμεσες θέσεις εργασίας της επένδυσης καθώς και τις έμμεσες που προκύπτουν από τις ανάγκες ενός μεγάλου εξορυκτικού έργου, στη τοπική κοινωνία καθώς και η εξειδίκευση των εργατών. Η κοινωνική αποδοχή ή οι κοινωνικές αντιθέσεις είναι στοιχεία που μαζί με τις εκτιμώμενες επιπτώσεις τις λειτουργίας οδηγούν στα κοινωνικά οφέλη του έργου.

Τα περιβαλλοντικά δεδομένα που λαμβάνονται υπόψιν στο σχεδιασμό ενός εξορυκτικού έργου έχουν σκοπό την εξευρεση λύσεων για όλων των ειδών τα προβλήματα που μπορούν να προβλεφθούν. Οι εκπομπές CO₂, SO₂, NO_x καθώς και εκπομπές σωματιδίων αποτελούν τα στοιχεία εκείνα τα οποία λαμβάνονται υπόψιν ώστε να αποφευχθεί η ατμοσφαιρική ρύπανση. Η ηχορύπανση από τα μηχανήματα και τις εκρήξεις στην επιφανειακή εξόρυξη αποτελούν επίσης σημαντικά στοιχεία. Η δέσμευση γης και το κόψιμο δέντρων συντελούν στη αισθητική υποβάθμιση. Η κατανάλωση νερού αποτελεί στοιχείο βασικό που αφορά τον υδροφόρο ορίζοντα της περιοχής. Τα περιβαλλοντικά στοιχεία μπορούν να βοηθήσουν στην επιλογή των βέλτιστων τεχνολογιών ώστε το περιβαλλοντικό αποτύπωμα να είναι το μικρότερο δυνατόν. Η επιλογή των τεχνολογιών που εφαρμόζονται σε ένα ορυχείο ή σε ένα εργοστάσιο εμπλουτισμού ή σε μια μεταλλουργία είναι συνάρτηση των κοινωνικών- οικονομικών, των ορυκτολογικών (γεωλογικών), γεωτεχνικών, περιβαλλοντικών δεδομένων, των κανονισμών και των υποδομών που υπάρχουν στη περιοχή που εφαρμόζονται.

Η αιφύρορς μέθοδος της μεταλλουργίας ενός εξορυσόμενου ορυκτού όπως αναφέρθηκε παραπάνω εξαρτάται απο συγκεκριμένα δεδομένα. Στην περίπτωση του μεταλλευτικού πεδίου που εξετάζει η διατριβή, σημαντική θεωρείται η εξουδετέρωση του αρσενικού και η μέθοδος με την οποία επιτυγχάνεται, διότι ο αρσενοπυρίτης που εξορύσσεται στο ορυχείο της Ολυμπιάδας περιέχει υψηλή συγκέντρωση αρσενικού. Η μέθοδος της υδροθερμικής καταβύθισης έχει όλα εκείνα τα στοιχεία που τη θεωρούν Βέλτιστη Διαθέσιμη Τεχνολογία και τα στερεά απόβλητα (σκορδίτης) που παράγονται είναι μικρού όγκου και μη τοξικά. Μικρός όγκος αποβλήτων σημαίνει και μικρότερη ανάγκη χώρου απόθεσης δηλαδή μικρότερου μεγέθους φράγματα.

Τα πετρώματα μετά την εξόρυξή τους οδηγούνται στο εργοστάσιο εμπλουτισμού για τη διαδικασία της επίπλευσης. Το παραγόμενο απόβλητο της διαδικασίας αυτής κατά ένα μεγάλο ποσοστό είναι υγρό και λιγότερο στερεό. Η μέθοδος paste disposal διαχειρίζεται με το βέλτιστο τρόπο αυτού του είδους απόβλητα και με πολλά περιβαλλοντικά προτερήματα. Η μικρότερη ανάγκη χώρου απόθεσης και η δυνατότητα απόθεσης στον ίδιο ταμιευτήρα απόθεσης με τα απόβλητα εξόρυξης καθώς και η μείωση κινδύνου ατυχήματος (μειωμένα ασφάλιστρα) αποτελούν εξισορροπιστικό οικονομικό στοιχείο, στην αυξημένου κόστους (εγκατάσταση και συντήρηση) τεχνολογίας διαχείρισης των αποβλήτων εμπλουτισμού.

Με το πέρας της λειτουργίας ή και κατά τη διάρκεια της λειτουργίας ενός μεταλλείου η εταιρεία είναι υποχρεωμένη να αποκαθιστά και επιστρέφει τις χρησιμοποιημένες εκτάσεις όσο το δυνατόν πιο κοντά στην πρόταιρη κατάστασή της. Η χρηματοδότηση της αποκατάστασης του εδάφους αποτελεί τμήμα της συνολικής χρηματοδότησης του έργου και συμπεριλαμβάνεται στο συνολικό σχεδιασμό της επένδυσης. Η αποκατάσταση των φραγμάτων αποβλήτων, η μείωση του κινδύνου μόλυνσης του υδατικού συστήματος της περιοχής, η μείωση του κινδύνου της ανθρώπινης υγείας είναι κάποια από τα απτά αποτελέσματα μιας σωστής αποκατάστασης εδάφους στο οποίο έχει λάβει χώρα μια εξορυκτική δραστηριότητα. Η διαδικασία της αποκατάστασης εκτός του ότι παρατείνει το χρόνο λειτουργίας ενός μεταλλείου και αυξάνει τον αριθμό των εργαζομένων, αποτελεί βασικό γρανάζι της βιώσιμης εξόρυξης. Η αειφόρα μεταλλεία για να επιτευχθεί εκτός από τις σωστές τεχνολογίες που πρέπει να εφαρμόσει μια βιομηχανία και τη σωστή ελεγχτική διαδικασία που πρέπει να εφαρμόσει το κράτος στη βιομηχανία κατά τη διάρκεια της λειτουργίας πρέπει να συνδιαστεί με μια επιτυχημένη αποκατάσταση γης. Η χρήση γης της συγκεκριμένης περιοχής πρέπει να επιστρέψει στην τοπική κοινωνία είτε για αλλαγή χρήσης (αγροτοτεμάχια, τουρισμός) είτε για με τη μορφή κάποιου πάρκου αναψυχής.

Η αειφόρα εξόρυξη ενός μεταλλευτικού πεδίου διέπεται από κάποιους κανονισμούς που βασίζονται σε αποφάσεις κρατών ή ομάδων κρατων. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει ίσως το πιο αυστηρό πλαίσιο που πρέπει να ακολουθείται απο μια εξορυκτική εταιρεία. Τα 4 βασικά κριτήρια του πλαισίου είναι: η εθνική στρατηγική για τις πρώτες ύλες, ο εθνικός ορυκτικός σχεδιασμός, τα μεταλλευτικά δικαιώματα και το επενδυτικό περιβάλλον της κάθε Ευρωπαϊκής χώρας. Υπάρχουν μια σειρά από Ευρωπαϊκές Οδηγίες και Κανόνες οι οποίες εδώ και πολλά χρόνια υποχρεούνται τα κράτη μέλη να εφαρμόζουν. Ωστόσο το κάθε κράτος με τις ιδιαιτερότητές του και σύμφωνα με το στρατηγικό σχεδιασμό του, αν υπάρχει, προσπαθεί να εφαρμόσει το Ευρωπαϊκό πλαίσιο βιώσιμης εξόρυξης. Η Αυστραλία και οι χώρες τις Βορείου Αμερικής έχουν επίσης αυστηρά πρότυπα βιωσιμότητας ενός μεταλλείου. Η Ελλάδα αποτελεί σημαντικό εξαγωγέα μετάλλου στην ΕΕ. Η παραγωγή βωξίτη είναι η μεγαλύτερη στην ΕΕ καθώς επίσης εξορύσει σημαντικές ποσότητες μαγνησίου, νικελίου και περλίτη. Η Ελλάδα έχει κατηγορηθεί για σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις κυρίως στην εξόρυξη λιγνίτη αλλά και σε άλλες περιπτώσεις μεταλλοφόρων κοιτασμάτων. Για την αντιμετώπιση τέτοιων καταστάσεων η Ελλάδα έχει θεσπίσει νόμους και κανόνες και έχει εντάξει στην νομοθεσία της πολλά από τα στοιχεία του Ευρωπαϊκού πλαισίου ανάπτυξης των μεταλλείων. Πλέον στην Ελλάδα για την εξόρυξη οποιασδήποτε πρώτης ύλης πρέπει να συνταχθεί ΜΠΕ (Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων) και να πάρει έγκριση από το αρμόδιο υπουργείο. Οι εταιρείες εξόρυξης και επεξεργασίας μετάλλου πρέπει να λειτουργούν μέσα σε αυτούς τους κανόνες και να παράγουν με τις μικρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Η διατριβή αυτή προσπαθεί να παρουσιάσει την επίτευξη της βιώσιμης εξόρυξης με σωστό σχεδιασμό βασισμένο σε πλαίσια αειφορίας. Ο σχεδιασμός μιας εξορυκτικής δραστηριότητας, η εφαρμογή της δραστηριότητας σύμφωνα με την εκπονημένη Περιβαλλοντική Μελέτη Επιπτώσεων, η διαδικασία τερματισμού της

εξόρυξης και ο έλεγχος από τις αρμόδιες υπηρεσίες και στις τρεις φάσεις λειτουργίας ενός μεταλλείου αποτελεί γνώμονα μιας περιβαλλοντικά σωστής εκμετάλλευσης ορυκτού πλούτου. Πολιτεία και κοινή γνώμη αναγνωρίζουν πλέον τον εξορυκτικό κλάδο ως στρατηγικό πλεονέκτημα και οδηγό ανάπτυξης και ανταγωνιστικότητας της οικονομίας, μεγάλο ποσοστό Ελλήνων πιστεύουν ότι η αξιοποίηση των ορυκτών πόρων είναι κλειδί για την οικονομική ανάπτυξη, αλλά δεν υπάρχει γι' αυτό η απαραίτητη πολιτική βούληση. Οι τοπικές κοινωνίες όμως δεν είναι παντού επαρκώς ενημερωμένες και δυσπιστούν ακόμα στην υπεύθυνη λειτουργία των εξορυκτικών επιχειρήσεων και τον αποτελεσματικό έλεγχο τους από τους αρμόδιους φορείς όσον αφορά στην τήρηση των περιβαλλοντικών όρων. Για την εξορυκτική βιομηχανία η ορθολογική διαχείριση του περιβάλλοντος πέρα από σοβαρή κανονιστική υποχρέωση αποτελεί πεδίο καινοτομίας και υπεύθυνης λειτουργίας και επιτυγχάνεται με την ενσωμάτωση στο σχεδιασμό και στην υλοποίηση των εξορυκτικών έργων την προστασία του περιβάλλοντος και την αποκατάσταση του τοπίου σε συνεργασία με τις εποπτεύουσες αρχές για τη συνεχή βελτίωση των εφαρμοζόμενων πρακτικών.

Κεφάλαιο 3

Μεθοδολογία

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθεί η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την διεκπεραίωση της διατριβής.

3.1 Σκοπός – Στόχοι

Σκοπός της διατριβής είναι η παρουσίαση των Βέλτιστων Τεχνολογικών Μεθόδων όπου μια εξορυκτική εταιρεία εφαρμόζει και επιτυγχάνει τη βιώσιμη εξόρυξη του ορυκτού πλούτου ως προς τους πυλώνες της αειφορίας, το περιβάλλον, την κοινωνία, την οικονομία και την τεχνολογία.

Η μεθοδολογία της διατριβής θα παρουσιάσει αποτελέσματα που θα αποτελούν απτά στοιχεία αιεφορικής εξόρυξης. Η έννοια της συνεχούς βελτίωσης και η αλλαγή κατεύθυνσης από το «λιγότερο κακό» στο «πιο καλό» ονομάζεται *upcycle*. Οι συμβατικές οικολογικά αποδοτικές προσεγγίσεις αποσκοπούν στη μείωση ή την ελαχιστοποίηση των ζημιών με στόχο τη συρρίκνωση του αρνητικού αποτυπώματος. Αυτό είναι όπου πολλές επιχειρήσεις εστιάζουν τις προσπάθειές τους σήμερα. Το κάνουν αυτό επειδή γίνονται πιο αποτελεσματικές δημιουργώντας θετικά αποτελέσματα στην «κατώτατη γραμμή». Ωστόσο, ακόμα καλύτερα αποτελέσματα μπορούν να επιτευχθούν με την υπέρβαση της αποτελεσματικότητας και με έμφαση στην παραγωγή βιώσιμης αξίας μέσω της καινοτομίας όπου και δημιουργείται ένα «θετικό αποτύπωμα» (J E Kogel 2015: 32). Η κοινή πρακτική εξόρυξης μέχρι πολύ πρόσφατα θα μπορούσε να συνοψιστεί σε λίγα βήματα από την απόκτηση άδειας, από την εκσκαφή του μεταλλεύματος, από την πώληση του μετάλλου και μόλις εξαντληθεί το κοίτασμα, έρχεται η απαρχή μιας καινούριας εξόρυξης κάπου αλλού. Δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι η εξόρυξη ανήκει στις ανθρώπινες δραστηριότητες με ευρύτερες περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις (R K Jain, R Z C Cui, K Domen 2015: 322).

Η διατριβή θα παρουσιάσει τα αποτελέσματα της εταιρικής ευθύνης των μεταλλευτικών εταιρειών που αναπτύχθηκε για να μοιράσει τον πλούτο από την εξόρυξη με την κοινωνία και αυτό επιτεύχθηκε με επενδύσεις στην οικοδόμηση υποδομών για την περιοχή, όπως σχολεία και νοσοκομεία και την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων. Συνεπώς, το μέλλον της εξόρυξης εξαρτάται από την τήρηση καλών πρακτικών εξόρυξης των εταιρειών, προκειμένου να διατηρηθεί το περιβάλλον βιώσιμο και να αναλάβουν την κοινωνική ευθύνη για την ανάπτυξη της περιοχής και να συμβάλουν στην ποιότητα ζωής της κοινωνίας. Το μεταλλευτικό πεδίο είναι ένα τεράστιο πεδίο ανθρώπινης δραστηριότητας που ανταποκρίνεται στις κοινωνικές ανάγκες με τη βελτίωση της τεχνολογίας. Σήμερα με την πρόσθετη ευθύνη που έρχεται από τη γνώση, η υπεύθυνη διαχείριση των πόρων και η διατήρηση των υγιή οικοσυστημάτων μπορούν να στηρίξουν την ποιότητα ζωής στην ανθρώπινη κοινωνία, σήμερα και στο μέλλον. Τα έργα εξόρυξης πρέπει να συντονιστούν με όλους τους ενδιαφερόμενους και να επιτύχουν ικανοποιητική νομική και κοινωνική έγκριση για να είναι επιτυχή. Οι τοπικές κοινωνίες, ιδιαίτερα σε υποβαθμισμένες και φτωχές περιοχές, επιθυμούν να μοιραστούν τον πλούτο της εξόρυξης και να αποκτήσουν από την εξόρυξη ένα θετικό αποτέλεσμα στη ζωή τους (F P Carvalho 2017: 73-74).

3.2 Σχεδιασμός της Μεθοδολογίας

Η μεθοδολογία της διατριβής αποτελείται από 3 πολυκριτηριακές αναλύσεις με κοινά κριτήρια και υπο-κριτήρια για κάθε τεχνολογία. Κάθε πολυκριτηριακή θα συγκρίνει και θα παρουσιάσει την βέλτιστη τεχνολογία για κάθε προς εξέταση δραστηριότητα του εξορυκτικού κλάδου ώστε να μπορεί να επιτευχθεί η αιεφορία του μεταλλοφόρου πεδίου της βορειο-ανατολικής Χαλκιδικής. Τα βάρη του κάθε υπο-

κριτηρίου παίρνουν τις τιμές από 0-1 και η βαθμολογία των υπο-κριτηρίων από 0-5. Το άθροισμα των γινομένων βάρους X βαθμολογίας κάθε υπο-κριτηρίου εκπορεύει το αποτέλεσμα της πολυκριτηριακής για κάθε κριτήριο. Η πρώτη πολυκριτηριακή ανάλυση αφορά τη μέθοδο της μεταλλουργίας των συμπυκνωμάτων και συγκεκριμένα τις τεχνολογίες:

1. Ακαριαίας Τήξης (Flash Smelting).
2. Μέθοδος της Υδατικής Οξειδωσης υπό Πίεση (Μέθοδος Sherrit Gordon).

Η δεύτερη πολυκριτηριακή ανάλυση συγκρίνει τις 5 τεχνολογίες εξουδετέρωσης αρσενικού των αποβλήτων της μεταλλουργίας:

1. Σταθεροποίηση αρσενικού (υδροθερμική καταβύθιση)
2. Καταβύθιση με Ασβέστη.
3. Σταθερότητα Αρσενικωδών και Αρσενικικών Ενώσεων.
4. Σταθεροποίηση του As με στοιχειομετρική περίσσεια Fe (ατμοσφαιρικές συνθήκες).
5. Τεχνικές Στερεοποίησης-Σταθεροποίησης.

Η τρίτη πολυκριτηριακή περιλαμβάνει τις τεχνολογίες απόθεσης των τελμάτων (αποβλήτων) της διαδικασίας του εμπλουτισμού και της μεταλλουργίας:

1. Στερεά απόθεση αφυγρασμένου τέλματος (paste disposal).
2. Υγρή απόθεση (sub-aqueous deposition).
3. Ημίξηρη απόθεση (sub-aerial deposition).

3.3 Κριτήρια

Η Πολυκριτηριακή Λήψη Αποφάσεων (Multi-criteria Decision Making) ή Πολυκριτηριακή Ανάλυση Αποφάσεων (Multi-criteria Decision Analyses) είναι ένας ευρύς όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει κάθε απόφαση που επηρεάζεται από πολλαπλά και συγκρουόμενα κριτήρια. Τα κριτήρια μπορεί να έχουν τη μορφή ιδιοτήτων ή στόχων, όπου οι ιδιότητες μπορεί να είναι χαρακτηριστικά, ποιότητες ή μετρήσεις απόδοσης, ενώ οι στόχοι είναι μετρήσεις που αντανακλούν τις επιθυμίες των ληπτών αποφάσεων. Οπότε μία μέθοδος πολλαπλών ιδιοτήτων μπορεί να υποδείξει την βέλτιστη εναλλακτική ανάλογα με τις γνωστές ιδιότητες των εναλλακτικών λύσεων (J A Scott, W Ho, P K Dey 2012: 147).

Η μέθοδος της αναλυτικής ιεράρχησης (Analytic Hierarchy Process - AHP), είναι ένα από τα πιο ευρέως εφαρμοσμένα εργαλεία ανάλυσης πολλαπλών κριτηρίων. Η AHP, αποτελεί μια εκ των πλέον διαδεδομένων τεχνικών πολυκριτηριακής ανάλυσης η οποία αναπτύχθηκε από τον Thomas Saaty την περίοδο 1971 με 1975 (R W Saaty 1987: 161). Έκτοτε, εφαρμόζεται για την επίλυση προβλημάτων σε διάφορους τομείς, με σκοπό την επιλογή βέλτιστης λύσης, την αξιολόγηση εναλλακτικών λύσεων, την ανάλυση κόστους - οφέλους, τη διαμόρφωση στρατηγικών πολιτικής, το σχεδιασμό και την

ανάπτυξη, τη διατύπωση προβλέψεων, την κατανομή πόρων κλπ (O S Vaidya, S Kumar, 2004: 2). Επιπρόσθετα, η μέθοδος AHP, έχει αναγνωριστεί από τη διεθνή επιστημονική κοινότητα ως ένα σταθερό και ευέλικτο εργαλείο πολυκριτηριακής ανάλυσης, το οποίο μπορεί να εφαρμοστεί επιτυχώς για την επίλυση πολύπλοκων προβλημάτων λήψης απόφασης (M Bottero, E Comino, V Riggio, 2011: 1212).

3.4 Περιγραφή Κριτηρίων

Στο πίνακα 3.1 γίνεται περιγραφή των κριτηρίων και των υπο-κριτηρίων τα οποία θα χρησιμοποιηθούν στη πολυκριτηριακή μελέτη ώστε να επιλέξουμε την βιωσιμότερη τεχνολογία για τη παραγωγή μετάλλου, την καταλληλότερη τεχνολογία για τη διαχείριση του αρσενικού του συμπυκνώματος του ορυχείου της Ολυμπιάδας και τη βιωσιμότερη τεχνολογία απόθεσης των αποβλήτων των εργοστασίων εμπλουτισμού των Σκουριών και της Ολυμπιάδας.

Τα κριτήρια αναφέρονται στις γενικές πτυχές που θεωρούνται σχετικές για την επίτευξη του στόχου. Στόχος θεωρείται η επιλογή της καταλληλότερης τεχνολογίας. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, συνίστανται σε κοινωνικές, οικονομικές, τεχνολογικές και περιβαλλοντικές πτυχές. Το κριτήριο των οικονομικών πτυχών αντιπροσωπεύει το κόστος υλοποίησης και διαχείρισης των τεχνολογιών, το κριτήριο των τεχνολογικών πτυχών περιγράφει όλες τις σημαντικότερες τεχνικές παραμέτρους των διαφόρων τεχνολογιών, με αναφορά σε ποιοτικά και ποσοτικά δεδομένα και σε δείκτες απόδοσης, το κριτήριο των περιβαλλοντικών πτυχών σχετίζεται με την περιβαλλοντική συμβατότητα της τεχνολογίας με τη γύρω περιοχή. Προκειμένου να δοθούν περισσότερες πληροφορίες στα γενικά κριτήρια, μπορούν να προσδιοριστούν περαιτέρω λεπτομερείς όψεις και να αντιπροσωπεύουν τα συγκεκριμένα κριτήρια.

Όσον αφορά τις τεχνολογικές πτυχές, η ανάλυση έλαβε υπόψη τα ακόλουθα υπο-κριτήρια την πολυπλοκότητα του συστήματος που αντιπροσωπεύει την πολυπλοκότητα της υλοποίησης του έργου λαμβάνοντας υπόψη τον απαιτούμενο εξοπλισμό, τις διοικητικές άδειες και τα έργα. Οι δραστηριότητες διαχείρισης αφορούν τις ενέργειες που απαιτούνται για τη διαχείριση των εγκαταστάσεων από εξειδικευμένα πρόσωπα, στις δραστηριότητες συντήρησης και στον έλεγχο της παραγωγικής διαδικασίας (M Bottero, E Comino, V Riggio, 2011: 1214).

Όσον αφορά τις οικονομικές πτυχές, τα υπό-κριτήρια που εξετάστηκαν είναι οι επενδυτικές δαπάνες (όχι η δημόσια χρηματοδότηση που αναφέρεται στη δυνατότητα της δημόσιας αρχής να υποστηρίξει μέρος της αρχικής επένδυσης) που αφορούν τα έξοδα που απαιτούνται για την κατασκευή της τεχνολογίας και το κόστος λειτουργίας που σχετίζεται με τη διαχείριση της τεχνολογίας. Οι βελτιώσεις λαμβάνουν υπόψη τη δυνατότητα περαιτέρω ανάπτυξης των τεχνολογιών με ταυτόχρονη μείωση του επενδυτικού και του κόστους λειτουργίας. Οι παρεμβάσεις στην τεχνολογική ανάπτυξη

μπορεί να σχετίζονται, για παράδειγμα, με βελτιώσεις στην αποδοτικότητα της ενεργειακής κατανάλωσης της τεχνολογίας ή με τη μείωση των περιβαλλοντικών παρεμβολών. Η εξοικονόμηση ενέργειας αφορά τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης μέρους της ενέργειας στη διαδικασία μειώνοντας έτσι το συνολικό ενεργειακό κόστος (P J Gonzalez, Q A Virgen, S O Benitez, S C Sotelo 2014: 5784).

Όσον αφορά το κριτήριο των περιβαλλοντικών πτυχών, τα υπό-κριτήρια αναφέρονται στα ακόλουθα στοιχεία, στη χρήση φυσικών πόρων που εκφράζει την κατανάλωση φυσικών πόρων (κυρίως νερού και ενέργειας) που καθορίζεται από τις διαφορετικές τεχνολογίες. Ο θόρυβος αναφέρεται στην παραγωγή μη επιθυμητού ήχου στην γύρω περιοχή, η οποία προκαλείται από τις διαφορετικές μεθόδους επεξεργασίας. Η οπτική επίδραση είναι η διαταραχή που προκαλείται από το αποτέλεσμα της κάθε τεχνολογίας στο τοπίο. Ο αντίκτυπος της οσμής αντιστοιχεί σε κακές οσμές που μπορούν να παραχθούν από τις διάφορες τεχνολογίες. Στις περιβαλλοντικές πτυχές αναφέρονται και η εδαφική μόλυνση και η μόλυνση του νερού από την παραγωγική διαδικασία και τη χρήση τοξικών αντιδραστηρίων (P V Matos, E Cardadeivo, J A Silva, C F Muylar 2017: 5). Μια σημαντική περιβαλλοντική πτυχή είναι η ατμοσφαιρική ρύπανση από τις εκπομπές αερίων συμπεριλαμβανομένων των αερίων του θερμοκηπίου (CO₂, SO_x, CH₄, NO_x) (L Shen, K Maduli, A Barve 2013: 16).

Όσον αφορά τα υπο-κριτήρια των κοινωνικών πτυχών μπορούν να εξεταστούν από μια μικρο-και μακρο-προοπτική, όπου τα πρώτα αφορούν τους εργαζόμενους και τα τελευταία αφορούν την κοινωνία γενικότερα. Η κοινωνική αποδοχή αποτελεί ένα υπο-κριτήριο το οποίο αποτελεί εφαλτήριο της βιωσιμότητας μιας τεχνολογίας και κατά επέκταση ολόκληρης της εξορυκτικής δραστηριότητας. Εκτός από τους μισθούς και τα ανταποδοτικά οφέλη, ένα από τα υπο-κριτήρια που είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τη βιομηχανία ορυχείων και ορυκτών είναι η επαγγελματική υγεία και ασφάλεια των εργαζομένων. (A Azaragic 2003: 645).

Πίνακας 3.1: Κριτήρια αξιολόγησης

	Περιβαλλοντικά κριτήρια	Κοινωνικο - Οικονομικά κριτήρια	Τεχνικά κριτήρια
Κριτήριο 1	Εκπομπές CO ₂	Κόστος επένδυσης	Πολυπλοκότητα
Κριτήριο 2	Εκπομπές SO ₂	Κόστος λειτουργίας	Συντήρηση
Κριτήριο 3	Αισθητική υποβάθμιση	Κόστος ενέργειας (καυσίμων, ρεύματος)	Έλεγχος- Παρακολούθηση
Κριτήριο 4	Χρήση τοξικών αντιδραστηρίων	Ασφάλεια κοινωνική	Αποδοτικότητα στο χρόνο
Κριτήριο 5	Στερεά Απόβλητα / Απόβλητα As	Κόστος συντήρησης	Απαιτούμενος εξοπλισμός
Κριτήριο 6	Χρήση φυσικών πόρων κατά τη λειτουργία	Ασφάλεια εργαζομένων	Δυσλειτουργίες

3.5 Βαρύτητα Κριτηρίων

Στον πίνακα 3.2 αναφέρονται τα βάρη των 6 υπο-κριτηρίων των 3 βασικών πυλώνων της πολυκριτηριακής ανάλυσης των τεχνολογιών της Μεταλλουργίας, των τεχνολογιών Απομάκρυνσης Αρσενικού και αυτών της Απόθεσης Αποβλήτων.

Τα βάρη των υπο-κριτηρίων τοποθετήθηκαν με σκοπό να αναδείξουν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των τεχνολογιών και με στόχο την επιλογή της βέλτιστης τεχνολογίας.

Οι βιώσιμες μεταλλουργικές διεργασίες περιλαμβάνουν νέες θεωρίες και τεχνικές που αφορούν τη βελτιστοποίηση των υφιστάμενων διαδικασιών για βελτιωμένη ενεργειακή απόδοση, αυξημένα περιβαλλοντικά οφέλη και αυξημένη αξιοποίηση πόρων, αποβλήτων, υποπροϊόντων. Η παραδοσιακή διαδικασία παραγωγής σιδήρου υποφέρει από τεράστια κατανάλωση ενέργειας, σοβαρή περιβαλλοντική ρύπανση, τεράστιες όγκους αποβλήτων και υψηλές εκπομπές CO₂. Σε αντίθεση με την παραδοσιακή μέθοδο, νέες μέθοδοι παρουσιάζονται με δυνατότητες όπως η σημαντική μείωση της κατανάλωσης ενέργειας (καυσίμων, ρεύματος, νερού), του όγκου των αποβλήτων και των εκπομπών CO₂ (Z Peng, D Gregurek, C Wenzl, 2015: 1931). Για τον λόγο αυτό οι τιμές των βαρών των υπο-κριτηρίων είναι υψηλές, εκπομπές CO₂ (τιμή= 0.9), εκπομπές SO₂ (τιμή=0.9), κατανάλωση φυσικών πόρων (τιμή =0.9), στερεά απόβλητα (τιμή = 0.95). Η βελτιωμένη ενεργειακή απόδοση μιας τεχνολογίας αποτελεί δείκτη αειφορίας και τα βάρη των οικονομικών υπο-κριτηρίων όπως, επενδυτικό κόστος (τιμή = 0.79), κόστος λειτουργίας (τιμή=0.82), κόστος καταναλισκώμενης ενέργειας (τιμή=0.83), κόστος συντήρησης (τιμή=0.8) αποτελούν σημαντικό κομμάτι της αειφόρου λειτουργίας τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται κατά τη παραγωγική διαδικασία. Κάθε παραγωγός μετάλλων στοχεύει σε μια οικονομική και ασφαλή παραγωγική διαδικασία - ως εκ τούτου, υπάρχει ένα οικονομικό κίνητρο για εξοικονόμηση ενέργειας και χρήση φθηνών πηγών ενέργειας. Η εξοικονόμηση ενέργειας συνδέεται πάντοτε με τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας, η οποία με τη σειρά της απαιτεί ένα συνδυασμό άριστης γνώσης διαδικασιών και σκέψης "έξω από το κουτί" για την εφαρμογή νέων ιδεών και προσεγγίσεων (D Gregurek, Z Peng, C Wenzl 2015: 1064).

Πίνακας 3.2 Βάρη υπο-κριτηρίων πολυκριτηριακής ανάλυσης τεχνολογιών Μεταλλουργίας

	Περιβαλλοντικό κριτήριο	Βάρη	Κοινωνικο - Οικονομικά κριτήριο	Βάρη	Τεχνολογικό κριτήριο	Βάρη
--	-------------------------	------	---------------------------------	------	----------------------	------

Υπο-κριτήρια 1	Εκπομπές CO ₂	0.8	Κόστος επένδυσης	0.78	Πολυπλοκότητα	0.85
Υπο-κριτήρια 2	Εκπομπές SO ₂	0.9	Κόστος λειτουργίας	0.82	Συντήρηση	0.85
Υπο-κριτήρια 3	Αισθητική υποβάθμιση/ Ακουστική όχληση	0.79	Κόστος ενέργειας (καυσίμων, ρεύματος)	0.83	Έλεγχος- Παρακολούθηση	0.85
Υπο-κριτήρια 4	Χρήση τοξικών ή μη αντιδραστηρίων	0.95	Κόστος συντήρησης	0.8	Απόδοση	0.85
Υπο-κριτήρια 5	Στερεά Απόβλητα/ Απόβλητα As	0.8	Ασφάλεια κοινωνική	0.9	Απαιτούμενος εξοπλισμός	0.85
Υπο-κριτήρια 6	Χρήση φυσικών πόρων κατά τη λειτουργία	0.9	Κοινωνική Αποδοχή	0.95	Δυσλειτουργίες	0.85

Η ασφαλής λειτουργία μιας τεχνολογίας τόσο για το περιβάλλον αλλά και για την κοινωνία (τιμή= 0.9) αποτελεί σημαντικότερο σημάδι αειφορίας. Η βιώσιμότητα μιας τεχνολογίας αποτελεί εχέγγυο για την κοινωνική αποδοχή και το βάρος του αντίστοιχου υπο-κριτηρίου είναι υψηλό (τιμή=0.95) και μάλιστα το υψηλότερο από τα βάρη των υπολοίπων υπο-κριτηρίων του κοινωνικό-οικονομικού κριτηρίου. Το τεχνολογικό κριτήριο είναι αυτό που ωθεί μια μέθοδο στην βιωσιμότητα μέσω του ελέγχου των διαδικασιών, της απόδοσης, της μη πολυπλοκότητας, με τις μικρότερες δυσλειτουργίες, την απλή συντήρηση και με τον απαιτούμενο εξοπλισμό. Ο εξοπλισμός της κάθε τεχνολογίας επηρεάζει το βάρος του υπο-κριτηρίου της αισθητικής υποβάθμισης (τιμή=0.79) λόγω του πολεοδομικού και κτιριακού σχεδιασμού (χώρος που καταλαμβάνεται). Η σημαντικότητα των υπο-κριτηρίων για την αειφορία μιας τεχνολογίας και για την περαιτέρω βελτίωσή της θεωρείται ίσης βαρύτητας (τιμή = 0.85). Η υψηλή τιμή βαρύτητας (0.95) του υποκριτηρίου τοξικών ή μη χημικών αντιδραστηρίων βρίσκεται στη στήλη του περιβαλλοντικού κριτηρίου διότι αν και αποτελεί δείγμα τεχνολογικής βελτίωσης συνάμα αποτελεί και απόδειξη καθαρής περιβαλλοντικής τεχνολογίας. Η κοινωνική άδεια λειτουργίας έχει γίνει αναπόσπαστο κομμάτι του λόγου γύρω από την κοινωνική ευθύνη για την εξόρυξη σε παγκόσμιο επίπεδο. Η δέσμευση μεταξύ εταιρειών και τοπικής κοινωνίας για διάλογο αποτελεί βάση για την κοινωνική αποδοχή της μεταλλευτικής επένδυσης ή των τεχνολογιών που διαμορφώνουν την βιώσιμη ανάπτυξη του μεταλλείου αν βασίζεται στη δίκαιη διαδικασία και την εμπιστοσύνη (L Meccer-Mapstone, W Rifkin, W R Louis, K Moffat 2018: 671). Το υπο-κριτήριο της κοινωνικής αποδοχής με τιμή 0.95 αποτελεί το υπο-κριτήριο με τη μέγιστη βαρύτητα για τον κοινωνικό πυλώνα της πολυκριτηριακής.

3.6 Παρουσίαση Πολυκριτηριακής Ανάλυσης

Η παρουσίαση των πολυκριτηριακών αναλύσεων των τεχνολογιών ακολουθεί στις παρακάτω υποενότητες.

3.6.1 Πολυκριτηριακή Τεχνολογιών Μεταλλουργίας

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η πολυκριτηριακή ανάλυση των 2 εναλλακτικών τεχνολογιών μεταλλουργίας ως προς τα 3 κριτήρια αειφορίας. Στον πίνακα 3.3 γίνεται αξιολόγηση των τεχνολογιών ως προς το κριτήριο του περιβάλλοντος.

Η ευρεία υιοθέτηση της μεθόδου Ακαριαίας Τήξης από την εξορυκτική βιομηχανία οφείλεται στην αποτελεσματική δέσμευση SO₂, στον ταχύ ρυθμό παραγωγής, στις μικρές ενεργειακές της ανάγκες και στην μικρή παραγωγή στερεών αποβλήτων (M E Schlesinger 2011: 107). Οι φούρνοι της τεχνολογίας λειτουργούν με υψηλή έκρηξη οξυγόνου και πολύ λίγα καύσιμα υδρογονανθράκων χωρίς τη χρήση τοξικών αντιδραστηρίων. Το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας για θέρμανση και τήξη προέρχεται από οξείδωση Fe και S. Αυτή η λειτουργία παρέχει επίσης ισχυρό αέριο SO₂ το οποίο μπορεί να δεσμευθεί ως θειικό οξύ (W G Daveport, M king, M Schlesinger, A K Biswas 2002: 88). Τα υπο-κριτήρια των εκπομπών SO₂, των στερεών αποβλήτων, της μη χρήσης τοξικών αποβλήτων και της χρήσης φυσικών πόρων έχουν υψηλή βαθμολογία. Το 5 στα υπό-κριτήρια των εκπομπών SO₂ και της μη χρήσης τοξικών αντιδραστηρίων αποτελεί ένδειξη περιβαλλοντικής καθαρότητας της μεθόδου.

Πίνακας 3.3: Πολυκριτηριακή ανάλυση Περιβαλλοντικού κριτηρίου

	Περιβαλλοντικό κριτήριο	Βάρη	Ακαριαία τήξη Βαθμολογία	Υδατική Οξείδωση υπό Πίεση Βαθμολογία
Υπο-κριτήρια 1	Εκπομπές CO ₂	0.8	4	3
Υπο-κριτήρια 2	Εκπομπές SO ₂	0.9	5	2
Υπο-κριτήρια 3	Αισθητική υποβάθμιση /Ακουστική όχληση	0.79	4	3
Υπο-κριτήρια 4	Χρήση τοξικών ή μη αντιδραστηρίων	0.95	5	4
	Στερεά Απόβλητα/	0.95	4	1

Υπο-κριτήρια 5	Απόβλητα As			
Υπο-κριτήρια 6	Χρήση φυσικών πόρων κατά τη λειτουργία	0.9	4	3
SUM			23,01	14,02

Η μικρή παραγωγή αποβλήτων σημαίνει μειωμένη μεταφορά (με φορτηγά) στην εγκατάσταση απόθεσης τελμάτων και ενισχύει την μειωμένη περιβαλλοντική όχληση. Αναλυτικότερα, η ελάχιστη χρήση υδρογονοανθράκων στην συγκεκριμένη τεχνολογία καθώς και η μικρή παραγωγή στερεών αποβλήτων αποτελούν εχέγγυο για μικρότερη ατμοσφαιρική ρύπανση (εκπομπές CO₂), ακουστική όχληση και αισθητική υποβάθμιση. Το 4 στα συγκεκριμένα υπο-κριτήρια αποτελούν επίσης ένδειξη περιβαλλοντικής αρτιότητας της μεθόδου. Η τεχνολογία της Υδατικής Οξειδωσης ως υδρομεταλλουργία χρησιμοποιεί τοξικά αντιδραστήρια κατά την παραγωγική διαδικασία, έχει αυξημένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, υψηλή παραγωγή στερεών αποβλήτων με συνέπεια την αυξημένη μεταφορά αποβλήτων στις εγκαταστάσεις διάθεσης αποβλήτων, την ακουστική όχληση και την αισθητική υποβάθμιση εξού και η συγκεκριμένη βαθμολογία στον πίνακα 3.3 (Ε Ν Ζευγώλης 2003: 8,9).

Από τεχνικοοικονομικής απόψεως, το απαιτούμενο ύψος επένδυσης, και το λειτουργικό κόστος της μεθόδου της Ακαριαίας τήξης είναι αρκετά υψηλότερο από την εναλλακτική μέθοδο της Υδατικής Οξειδωσης υπό πίεση. Η εν λόγω τεχνολογία όμως αξιοποιεί τη δυνατότητα πολυμεταλλικής χρήσης και συμβάλλει στην περαιτέρω καθετοποίηση της παραγωγής, με την επί τόπου παραγωγή ενός ακόμη τελικού προϊόντος του καθαρού χαλκού εκτός του χρυσού, αυξάνοντας την προστιθέμενη αξία. Στο πίνακα 3.4 η πολυκριτηριακή ανάλυση μας παραθέτει στοιχεία για τη σύγκριση των 2 τεχνολογιών ως προς το κοινωνικό-οικονομικό κριτήριο.

Πίνακας 3.4: Πολυκριτηριακή ανάλυση Κοινωνικο-οικονομικού κριτηρίου

	Κοινωνικο - Οικονομικά κριτήριο	Βάρη	Ακαριαία τήξη Βαθμολογία	Υδατική Οξειδωση υπό Πίεση Βαθμολογία
Υπο-κριτήρια 1	Κόστος επένδυσης	0.78	3	5
Υπο-κριτήρια 2	Κόστος λειτουργίας	0.82	3	4
Υπο-κριτήρια 3	Κόστος ενέργειας (καυσίμων, ρεύματος)	0.83	5	3

Υπο-κριτήρια 4	Κόστος συντήρησης	0.8	4	3
Υπο-κριτήρια 5	Ασφάλεια κοινωνική	0.9	4	4
Υπο-κριτήρια 6	Κοινωνική Αποδοχή	0.95	5	3
SUM			20,05	18,52

Στον πίνακα 3.4 αναλύεται το κοινωνικό- οικονομικό κριτήριο στα αντίστοιχα υπο-κριτήρια του. Το επενδυτικό κόστος είναι αρκετα μεγάλο όπως και το λειτουργικό κόστος για την τεχνολογία της Ακαριαίας τήξης για αυτό η βαθμολογία των αντίστοιχων υπο-κριτηρίων είναι σχετικά μικρή (3). Η μη χρήση υδρογονανθράκων σηματοδοτεί μικρό ενεργειακό κόστος κατά τη παραγωγική διαδικασία και η βαθμολογία του υπο-κριτηρίου είναι 5. Η προστιθέμενη αξία από την καθετοποίηση της διαδικασίας (ταυτόχρονη παραγωγή χρυσού- χαλκού) προσφέρει μεγαλύτερη απόδοση στη παραγωγική διαδικασία και το κόστος συντήρησης είναι σχετικά μικρό στην Ακαριαία Τήξη (I V Kojo, H Storch 2006: 235). Η βαθμολογία του υπο-κριτηρίου συντήρησης είναι 4. Η βαθμολογία της κοινωνική αποδοχής (5) και της κοινωνικής ασφάλειας (4) είναι αποτέλεσμα της μειωμένης ακουστικής όχλησης, των μειωμένων απόβλητων, της περιβαλλοντικής καθαρότητας καθώς και της μη χρήσης τοξικών αντιδραστηρίων.

Η τεχνολογία της Υδατικής οξείδωσης λαμβάνει υψηλή βαθμολογία στα υπο-κριτήρια του επενδυτικού κόστους 5 και του λειτουργικού κόστους 4 εξαιτίας του μειωμένου κόστους της τεχνολογίας. Το ενεργειακό κόστος είναι υψηλό (βαθμολογία 3) και η κοινωνική αποδοχή (βαθμολογία 3) μικρή εξαιτίας του μεγάλου όγκου αποβλήτων και της χρήσης τοξικών αντιδραστηρίων. (E N Ζευγώλης 2003: 9).

Πίνακας 3.5: Πολυκριτηριακή ανάλυση Τεχνολογικού κριτηρίου

	Τεχνολογικό κριτήριο	Βάρη	Ακαριαία τήξη Βαθμολογία	Υδατική Οξείδωση υπό Πίεση Βαθμολογία
Υπο-κριτήρια 1	Πολυπλοκότητα	0.85	4	3
Υπο-κριτήρια 2	Συντήρηση	0.85	4	4
Υπο-κριτήρια 3	Έλεγχος- Παρακολούθηση	0.85	4	3
Υπο-κριτήρια 4	Απόδοση	0.85	5	2
Υπο-κριτήρια 5	Απαιτούμενος εξοπλισμός	0.85	4	4

Υπο-κριτήρια 6	Δυσλειτουργίες	0.85	4	3
SUM			21,25	16,15

Στον πίνακα 3.5 παραθέτονται οι βαθμολογίες της μέθοδου της Ακαριαίας Τήξης και Υδατικής Οξειδωσης ως προς το τεχνολογικό κριτήριο. Τα υπο-κριτήρια του ελέγχου- παρακολουθήσεως, δεισλειτουργιών και απόδοσης και τα υπο-κριτήρια του εξοπλισμού και της συντήρησης έχουν την ίδια βαθμολογία (4). Η Ακαριαία Τήξη πέρα από τις νέες προοπτικές που προσφέρει στην παραγωγή μετάλλων, στα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας συγκαταλέγονται η αξιόπιστη και λειτουργική παραγωγική διαδικασία και τα μηχανήματα (απαιτούμενος εξοπλισμός) με σχετικά εύκολη συντήρηση. Η επίτευξη της αξιοπιστίας έγκειται στο σύστημα διάγνωσης σφαλμάτων. Το πιο σημαντικό μέρος ενός συστήματος διάγνωσης σφαλμάτων βασισμένου σε κανόνες είναι οι κανόνες που εφαρμόζονται. Με τους κανόνες να λειτουργούν καλά, υπάρχει ένα αποτελεσματικό σύστημα υψηλής απόδοσης το οποίο προλαβαίνει τις δυσλειτουργίες του ιδίου (S L Jamsa-Jounela, M Vermasvuori, S Haavisto, P Enden 2001: 70). Η τεχνολογία της Ακαριαίας τήξης λειτουργεί με αυτόματο έλεγχο για να παρέχει σταθερή θερμοκρασία, προϊόντα σταθερής σύνθεσης με γρήγορο ρυθμό και ελάχιστη κατανάλωση και αυξημένη απόδοση (W G Daveport, M king, M Schlesinger, A K Biswas 2002: 88). Η βαθμολογία του υπο- κριτηρίου απόδοση τεχνολογίας είναι 5.

Η τεχνολογία της Υδατικής Οξειδωσης εξαιτίας της περιορισμένης δυνατότητας για την παραγωγή ενός μόνο μετάλλου (χρυσού) στην συγκεκριμένη μεταλλουργία παρουσιάζει περιορισμένη αποδοτικότητα στην παραγωγική διαδικασία (βαθμολογία 2). Η συγκεκριμένη μέθοδος μεταλλουργίας εφαρμόζεται πολλές δεκαετίες. Οι διαδικασίες παραγωγής όπως ο έλεγχος της διαδικασίας (3), η πολυπλοκότητα (3) και οι δυσλειτουργίες (3) καθώς και ο απαιτούμενος εξοπλισμός (4) χαρακτηρίζονται από τη στασιμότητα και της μειωμένης δυνατότητας για μελλοντική περιβαλλοντική ανάπτυξη (E N Ζευγώλης 2003: 9).

3.6.2 Πολυκριτηριακή Τεχνολογιών Σταθεροποίησης Αρσενικού

Η πολυκριτηριακή ανάλυση για τις τεχνολογίες σταθεροποίησης Αρσενικού έγινε εξετάζοντας την αιεφορία των εναλλακτικών τεχνολογιών ως προς τα 3 κριτήρια. Στο πίνακα 3.6 αναλύεται το κριτήριο περιβάλλοντος για τις 5 τεχνολογίες.

Πίνακας 3.6: Πολυκριτηριακή ανάλυση Περιβαλλοντικού κριτηρίου

	Περιβαλλοντικό κριτήριο	Βάρη	Υδροθερμική καταβύθιση	Καταβύθιση με ασβέστη	Σταθερότητα Αρσενικών ενώσεων	Σταθεροποίηση με στοιχειομετρική περίσσεια	Τεχνικές στερεοποίησης
Υ/ 1	Εκπομπές CO ₂	0.8	5	3	4	4	3
Υ/ 2	Εκπομπές SO ₂	0.9	5	3	4	4	3
Υ/ 3	Αισθητική υποβάθμιση /Ακουστική όχληση	0.79	5	3	3	4	3
Υ/ 4	Χρήση τοξικών ή μη αντιδραστηρίων	0.95	5	3	3	4	3
Υ/ 5	Στερεά Απόβλητα/ Απόβλητα (As)	0.95	5	4	3	4	3
Υ/ 6	Χρήση φυσικών πόρων	0.9	4	4	4	4	4
SUM			25,55	17,72	18,47	21,16	15,87

Η μέθοδος της υδροθερμικής καταβύθισης παράγει τον σκοροδίτη (κρυσταλικός αρσενικός σίδηρος). Ο σκοροδίτης αποτελεί συμπαγή υλικό, χαμηλής διαλυτότητας. Σε σύγκριση με άλλες ενώσεις του αρσενικού, θεωρείται ότι υφίστανται την μικρότερη δυνατή φυσική ή χημική αλλαγή, διαφοροποίηση. Η χαμηλή διαλυτότητα του συνεπάγεται ότι τα στερεά απόβλητα όπου υπάρχει είναι σταθερά και μάλιστα σε μακροχρόνια βάση. Εξού και η υδροθερμική καταβύθιση έχει την υψηλή βαθμολογία στο υπο-κριτήριο των στερεών αποβλήτων (5) λόγω της χαμηλής διαλυτότητας και του μικρού όγκου στερεών αποβλήτων. Ο σκοροδίτης (παράγωγο της υδροθερμικής καταβύθισης) είναι το ορυκτό με την μικρότερη διαλυτότητα, απαντάται στη φύση και η καλή κρυσταλλική του δομή εγγυάται την μακροχρόνια σταθερότητα του, χωρίς να υφίστανται οι κίνδυνοι της αλλαγής ορυκτολογικής δομής, λόγω γήρανσης, όπως μπορεί να συμβεί στις άμορφες ενώσεις του αρσενικού φερρουδρίτη και γιατί η ποσότητα της παραγόμενης ποσότητας λάσπης προς απόθεση είναι σημαντικά μικρότερη από άλλες τεχνολογίες. Η περιορισμένη χρήση τοξικών ή μη αντιδραστηρίων (5) καθώς και η ελάχιστη ενεργειακή κατανάλωση (φυσικών πόρων (4)) αυξάνει την περιβαλλοντική ικανότητα της μεθόδου (D Pactunc, J Dutrizac, V Gerstman 2008: 2649). Η βαθμολογία των αέριων εκπομπών CO₂ (5) , SO₂ (5) είναι πολύ μικρή λόγω του μικρού όγκου των αποβλήτων, το ίδιο ισχύει και για το υπο-κριτήριο της αισθητικής υποβάθμισης (5).

Η μέθοδος της σταθεροποίησης αρσενικού με στοιχειομετρική περίσσεια παράγει τον αρσενικούχο φερρουδρίτη (άμορφα υδροξείδια του σιδήρου στην επιφάνεια

των οποίων το As συγκρατείται με μηχανισμούς προσρόφησης). Ο φερρουδρίτης έχει αρκετά μειονεκτήματα για τη μακροπρόθεσμη σταθερότητα. Η απομάκρυνση του νερού τον οδηγεί σε μια ασταθή ένωση (R M Couture, G Cobeli, A Tessier 2007: 1253). Η επανακρυστάλλωση του γκαιτίτη και η πιθανότητα βιοχημικής αναγωγής του As(V) σε As (III) και του Fe(III) σε Fe(II) αποτελεί σημαντικό μειονέκτημα (C Jing, S Liu, X Meng 2007: 188) ενώ η εκ της δημιουργίας του μη συμπαγής φύση του σημαίνει μεγάλου όγκου απόβλητα εξού και η χαμηλή βαθμολογία στο αντίστοιχο υποκριτήριο (4). Η παραγωγή μεγάλου όγκου στερεών αποβλήτων κατά τη παραγωγική διαδικασία σηματοδοτεί αυξημένες εκπομπές αερίων CO₂ (4) , SO₂ (4), εξαιτίας της αυξημένης μεταφοράς αποβλήτων στα φράγματα απόθεσης αποβλήτων καθώς. Η αισθητική υποβάθμιση (4) είναι μετρίως σημαντική εξαιτίας της αυξημένου μεγέθους εγκατάσταση απόθεσης.

Η μέθοδος της καταβύθισης με ασβέστη παράγει το αρσενικό ασβέστιο. Η υψηλή διαλυτότητα της ένωσης αυτής δημιουργεί μεγάλες ποσότητες αποβλήτων καθώς επίσης οι ενώσεις Ca-As(V) μετατρέπονται σε CaCO₃ απελευθερώνοντας αρσενικό (επίδραση του CO₂ της ατμόσφαιρας). Οι ενώσεις Ca-As(V) σταθεροποιούνται με περίσσεια υδρασβέστου (Ca(OH)₂). Με το χρόνο, η υδράσβεστος μετατρέπεται σε CaCO₃-το οποίο οδηγεί σε μείωση του pH και αυξημένη διαλυτότητα των αρσενικών ενώσεων του ασβεστίου (αποδέσμευση του As) (Morales A, Cruells M, Roca A, Berg R 2010: 148). Η μικρή απόδοση της μεθόδου για τη σταθεροποίηση του As και ο μεγάλος όγκος αποβλήτων, τα απόβλητα χαρακτηρίζονται ως επικίνδυνα απόβλητα εξαιτίας της περιεκτικότητας σε As (Lei J, Peng B, Liang J, Min X, Chai Y, Ke Y 2018: 123) συνδράμει στην αύξηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και της ακουστικής όχλησης με αυξημένες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και άλλων αερίων καθώς και η χρήση μεγάλης ποσότητας ασβέστη ως αντιδραστήριο (3) για την μετατροπή των αρσενικών ενώσεων σε αρσενικό ασβέστιο οδηγούν σε μικρότερη βαθμολογία των αντίστοιχων υποκριτηρίων. Η βαθμολογία των υπο-κριτηρίων είναι της αισθητικής υποβάθμισης /ακουστικής όχλησης 3, του υπο-κριτηρίου στερεών αποβλήτων 4, των αέριων εκπομπών CO₂ (3) , SO₂ (3) και του υπο-κριτηρίου φυσικών πόρων 4 λόγω της αυξημένης χρήσης καυσίμων για τη μεταφορά μεγάλου όγκου αποβλήτων.

Η περιβαλλοντική καταλληλότητα των τεχνικών σταθεροποίησης με τσιμέντο και το ενδεχόμενο το CO₂ της ατμόσφαιρας να μπορεί μακροπρόθεσμα να καταναλώσει την προστατευτική αλκαλικότητα του υλικού, η δημιουργία στερεής μήτρας με μικρό πορώδες δυσχεραίνει τη διείσδυση του CO₂ με τις σχετικές αρνητικές επιπτώσεις της άυξης του pH και της αύξησης της διαλυτότητας (Kundu S, Pal A, Mandal M, Ghosh S, Panigrani S, Pal T 2004: 191- 192). Η αυξημένη παραγωγή αποβλήτων της διαδικασίας παραγωγής αποτελεί μειονέκτημα της μεθόδου απομάκρυνσης του αρσενικού με χρήση τσιμέντου (P Palfy, E Vircikova, L Molnar 1999: 57). Τα αυξημένα απόβλητα με βαθμολογία υπο-κριτηρίου 3 παρασύρουν την βαθμολογία των υπο-κριτηρίων εκπομπές CO₂ (3) , SO₂ (3), χρήση αντιδραστηρίων (τσιμέντου) 3, χρήση φυσικών πόρων 4 και αισθητική υποβάθμιση 3.

Οι αρσενικούχες σκουριές που παράγονται με στερεοποίηση σε υψηλές θερμοκρασίες με χρήση κεραμικού τύπου υλικών (έως 10% αρσενικό) έχουν πολύ μικρή

διαλυτότητα. Αν και τα αρσενικά άλατα σιδήρου με χαμηλότερες αναλογίες Fe / As μπορεί να φαίνονται πιο ελκυστικά λόγω της μικρότερης ζήτησης Fe στα διαλύματα επεξεργασίας για καθίζηση και μειωμένους όγκους ιλύος για απόρριψη, είναι ιδιαίτερα διαλυτά (Harris G B, Krause E 1993: 1222). Η παρασκευή τους απαιτεί πολύ εξειδικευμένη τεχνολογία. Υπάρχει πιθανότητα επανακρυστάλλωσης- απουαλοποίησης που μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της διαλυτότητας (Robins R G, 1987: 842). Η αύξηση της διαλυτότητας μπορεί να προέλθει και από την ενανθράκωση όλων των ενώσεων του αρσενικού σιδήρου (Robins R G, 1988: 245). Τα υπο-κριτήρια των εκπομπών αερίων CO₂ (4), SO₂ (4) λόγω της επίδρασης τους με τα μετρίως σε μέγεθος όγκου παραγόμενων αποβλήτων (υπο-κριτήριο των στερεών αποβλήτων 3) έχουν σχετικά χαμηλή βαθμολογία. Επίσης εξαιτίας των αυξημένων αποβλήτων το υπο-κριτήριο της αισθητικής υποβάθμισης έχει βαθμολογία 3 και η χρήση αντιδραστηρίων 4.

Στον πίνακα 3.7 παρατηρείται πως η συμβατική μέθοδος της υδροθερμικής καταβύθισης του αρσενικού σε υψηλή θερμοκρασία και πίεση, είναι σημαντικά πιο ακριβή από άποψη κόστους λειτουργίας και επένδυσης για αυτό και η βαθμολογία στα υπο-κριτήρια λειτουργικό κόστος είναι 3 και κόστος λειτουργίας επίσης 3. Ο σκοροδίτης, παράγωγο της υδροθερμικής καταβύθισης, είναι το ορυκτό με την μικρότερη διαλυτότητα και τη μικρότερη ποσότητα της παραγόμενης λάσπης προς απόθεση (Filippou D, Demopoulos G P, 1997: 53).

Το κόστος συντήρησης με βαθμολογία 4 όπως και το ενεργειακό κόστος 4 και γενικότερα όλα τα καθάρα οικονομικά υπο-κριτήρια της υδροθερμικής καταβύθισης δεν έχουν ιδιαίτερα χαμηλή βαθμολογία διότι συνυπολογίζεται η συνεισφορά στο γενικό επενδυτικό κόστος μιας εξορυκτικής δραστηριότητας προσφέρει σημαντικές μειωμένες δαπάνες για τη διαχείριση των αποβλήτων και την κατασκευή φραγμάτων απόθεσης. Για τον ίδιο λόγο η κοινωνική αποδοχή έχει βαθμολογία 5.

Πίνακας 3.7: Πολυκριτηριακή ανάλυση Κοινωνικό-Οικονομικού κριτηρίου

	Κοινωνικό - Οικονομικό κριτήριο	Βάρη	Υδροθερμική καταβύθιση	Καταβύθιση με ασβέστη	Σταθερότητα Αρσενικωδών Ενώσεων	Σταθεροποίηση με στοιχειομετρική περίσσεια	Τεχνικές στερεοποίησης σταθεροποίησης
Υ/1	Κόστος επένδυσης	0.78	3	4	4	4	4
Υ/2	Κόστος λειτουργίας	0.82	3	3	3	4	3
Υ/3	Κόστος ενέργειας	0.83	4	3	4	3	3

Υ/ 4	Κόστος συντήρηση	0.8	4	3	4	3	3
Υ/ 5	Ασφάλεια κοινωνική	0.9	4	3	3	4	4
Υ/ 6	Κοινωνική Αποδοχή	0.95	5	4	4	4	4
SUM			19,67	16,19	18,6	18,69	17,87

Η ασφάλεια της μεθόδου με βαθμολογία 4 έγγυται στη μικρή πόσοτητα παραγωγής αποβλήτων και στην ανάγκη για μικρότερου μεγέθους εγκαταστάσεων διάθεσης αποβλήτων.

Η καταβύθιση με ασβέστη αποτελεί χαμηλού επενδυτικού (4) και λειτουργικού (3) κόστους τεχνολογία. Επίσης αρκετά χαμηλό είναι το ενεργειακό (3) και το κόστος συντήρησης (3) (A M Nazari, R Radzinski, A Ghahreman 2016: 274). Τα υποκριτήρια της κοινωνικής αποδοχής (4) και της ασφάλειας (3) έχουν τη βαθμολογία εξαιτίας του όγκου των αποβλήτων και της διαλυτότητας των αποβλήτων.

Η σταθεροποίηση με στοιχειομετρική περίσσεια είναι μια μέθοδος που χρήζει ανάγκης μεγάλου κεφαλαίου και αυξημένου λειτουργικού κόστους. Το ενεργειακό κόστος, καθώς και το κόστος συντήρησης είναι αυξημένο (A M Nazari, R Radzinski, A Ghahreman 2016: 274). Τα αντίστοιχα υποκριτήρια έχουν βαθμολογία επενδυτικό κόστος 4, κόστος λειτουργίας 4, ενεργειακό κόστος 3 και κόστος συντήρησης 3. Η κοινωνική αποδοχή (4) και η κοινωνική ασφάλεια (4) έγγυται στο μέγεθος του φράγματος και στη σταθερότητά του. Η συγκεκριμένη τεχνολογία παράγει μεγάλης ποσότητας απόβλητα τα οποία παρουσιάζουν αυξημένη διαλυτότητα κατά τη μακροχρόνια απόθεση.

Η σταθερότητα με τη χρήση αρσενικών και αρσενικωδών ενώσεων είναι μια τεχνολογία επίσης μεγάλου επενδυτικού (4) και λειτουργικού κόστους (3) εξαιτίας του Fe(III). Το ενεργειακό κόστος (4) και το κόστος συντήρησης (4) είναι επίσης μεγάλο. Το λειτουργικό κόστος θα ήταν μικρό στην περίπτωση που θα υπήρχαν μεγάλης ποσότητας και χαμηλού κόστους απόβλητα μίγματος σιδήρου (Lee Y, Um H I, Yoon J 2003: 5755).

Η σταθεροποίηση με τσιμέντο όπως και η καταβύθιση με ασβέστη αποτελεί χαμηλού επενδυτικού (4) και λειτουργικού (3) κόστους τεχνολογία. Επίσης αρκετά χαμηλό είναι το ενεργειακό (3) και το κόστος συντήρησης (3) (S Kundu, A K Gupta 2008: 434). Τα υποκριτήρια της κοινωνικής αποδοχής (4) και της ασφάλειας (4) έχουν την παρακάτω βαθμολογία εξαιτίας του μεγάλου όγκου των αποβλήτων και της μετρίως ικανοποιητικής διαλυτότητας των αποβλήτων.

Πίνακας 3.8: Πολυκριτηριακή ανάλυση Τεχνολογικού κριτηρίου

	Τεχνολογικό κριτήριο	Βάρη	Υδροθερμική καταβύθιση	Καταβύθιση με ασβέστη	Σταθερότητα Αρσενικών Ενώσεων	Σταθεροποίηση με στοιχειομετρική περίσσεια	Τεχνικές στερεοποίησης σταθεροποίησης
Υ/1	Πολυπλοκότητα	0.85	4	3	4	4	4
Υ/2	Συντήρηση	0.85	4	4	4	4	4
Υ/3	Έλεγχος-Παρακολούθηση	0.85	4	3	4	4	3
Υ/4	Απόδοση	0.85	5	2	4	4	4
Υ/5	Απαιτούμενος εξοπλισμός	0.85	4	4	4	4	3
Υ/6	Δυσλειτουργίες	0.85	4	3	4	4	3
SUM			17,85	16,15	17	17	14,45

Η τεχνολογία της υδροθερμικής καταβύθισης είναι μια τεχνολογία η οποία θεωρείται ΒΔΤ (Βέλτιστες Διαθέσιμες Τεχνικές) και η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλές μονάδες καθαρισμού νερών (Rosengrat, Frango 1990: 100). Στον πίνακα 3.8 η πολυκριτηριακή ανάλυση παρουσιάζει τα τεχνολογικά υπο-κριτήρια και τις βαθμολογίες τους.

Η εξέλιξη της τεχνολογίας σχηματισμού σκοροδίτη σε πίεση περιβάλλοντος και σε θερμοκρασίες κάτω του σημείου ζέσεως μειώνουν τη κατανάλωση ενέργειας. Ο σχηματισμός του σκοροδίτη γίνεται είτε με τη διαδικασία του υπερκορεσμού είτε με την υψηλή αναλογία As/Fe. Αυτή η τεχνολογική εξέλιξη της υδροθερμικής καταβύθισης με τον απαιτούμενο εξοπλισμό (4), την αυξημένη αποδοτικότητα (5) με μικρό όγκο αποβλήτων μπορεί να επιτευχθεί με ενδελεχή έλεγχο της διαδικασίας (4) η οποία χρήζει μικρής πολυπλοκότητας (4) και εύκολης συντήρησης (4). Οι δυσλειτουργίες (4) της μεθόδου θεωρούνται μη σημαντικές. Η αποδοτικότητα και η αποτελεσματικότητα είναι ανεξάρτητα από το μέγεθος της διεργασίας και μπορούν συνεπώς να χρησιμοποιηθούν για την αντιμετώπιση τόσο μικρών όσο και μεγάλων ποσοτήτων αποβλήτων που περιέχουν αρσενικό (L Benze, G P Demopoulos 2007: 11).

Η τεχνολογία της σταθεροποίησης με στοιχειομετρική περίσσεια αποτελεί τεχνολογίας μέτριας αποδοτικότητας (4) ως προς τον παραγόμενο όγκο του αποβλήτου και της διαλυτότητας του As σε βάθος χρόνου. Τα ιδιαίτερα μεταβλητά δεδομένα διαλυτότητας και τα αμφιλεγόμενα ζητήματα σταθερότητας έχουν προέλθει, εν μέρει, από την πολυπλοκότητα των ενώσεων που δεν επιλύθηκαν επαρκώς με τις

χρησιμοποιούμενες τεχνικές χαρακτηρισμού και ίσως από την παρουσία πολλαπλών ενώσεων στο εξεταζόμενο υλικό. Η πολυπλοκότητα (4), ο απαιτούμενος εξοπλισμός (4), οι ελάχιστες δυσλειτουργίες (4), η εύκολη συντήρηση (4) και ο έλεγχος της διαδικασίας (4) είναι στοιχεία της συγκεκριμένης τεχνολογίας όπως και της τεχνολογίας σταθεροποίησης με χρήση αρσενικωδών και αρσενικικών ενώσεων. Η βαθμολογία της εταιρικής τεχνολογίας είναι η ίδια με αυτή της στοιχειομετρικής περίπτωσης. Αν και η τεχνολογία των αρσενικωδών θεωρείται μεγαλύτερου λειτουργικού κόστους, η συντήρηση και ο έλεγχος της μεθόδου είναι ικανοποιητικές χωρίς ιδιαίτερες δυσλειτουργίες (P M Swash, A J Monhemius 1995: 26).

Η μέθοδος καταβύθισης με ασβέστη είναι μια αρκετά διαδεδομένη απλή τεχνολογία στερεοποίησης του αρσενικού. Η μέθοδος αυτή είναι μικρής αποδοτικότητας (2) εξαιτίας της μεγάλης διαλυτότητας που εμφανίζουν τα απόβλητα με την πάροδο του χρόνου. Η πολυπλοκότητα (3) εμφανίζεται στη διαδικασία κατά τη διάρκεια χρήσης του ασβεστίου σαν αντιδραστήριο για την σταθεροποίηση του αρσενικού. Όπως και οι δυσλειτουργίες (3) της εμφανίζονται εξαιτίας της μετατροπής του αρσενικού ασβεστίου σε CaCO_3 με απελευθέρωση αρσενικού (επίδραση ατμοσφαιρικού CO_2). Ο εξοπλισμός (4) είναι σχετικά απλός με απλή συντήρηση (4) και ο έλεγχος (3) του παραγόμενου υλικού ως προς τη διαλυτότητά του και τον όγκο των αποβλήτων είναι μέτρια ικανοποιητικός (P M Swash, A J Monhemius 1995: 150).

Η μέθοδος σταθεροποίησης με τσιμέντο είναι μια αρκετά τεχνολογία στερεοποίησης του αρσενικού με κοινά χαρακτηριστικά με την μέθοδο της καταβύθισης με ασβέστη. Η μέθοδος αυτή είναι αποδοτικότητας (4) λόγω των ενώσεων ασβεστίου που είναι σε πλήρη επίδραση με το CO_2 και μπορεί να μειώσει την ρυθμιστική δράση και να οδηγήσει σε μειωμένη καταβύθιση pH και αρσενικού. Η πολυπλοκότητα (4) εμφανίζεται στη διαδικασία κατά τη διάρκεια χρήσης του τσιμέντου ή μίγματος τσιμέντου σαν αντιδραστήριο για την σταθεροποίηση του αρσενικού. Οι δυσλειτουργίες (3) της εμφανίζονται εξαιτίας του αρσενικού που μπορεί να δεσμεύεται χημικά ως φάσεις αρσενικού ασβεστίου που είναι ιδιαίτερα διαλυτές. Ο εξοπλισμός (3) είναι σχετικά απλός με απλή συντήρηση (4) και ο έλεγχος (3) του παραγόμενου υλικού ως προς τη διαλυτότητά του και τον όγκο των αποβλήτων είναι μέτρια ικανοποιητικός (P M Swash, A J Monhemius 1995: 147).

3.6.3 Πολυκριτηριακή Μεθόδων Απόθεσης Αποβλήτων

Η πολυκριτηριακή ανάλυση για τις μεθόδους απόθεσης αποβλήτων έγινε εξετάζοντας την αιεφορία των εναλλακτικών μεθόδων ως προς τα 3 κριτήρια.

Πίνακας 3.9: Πολυκριτηριακή ανάλυση του Περιβαλλοντικού κριτηρίου

	Περιβαλλοντικό κριτήριο	Βάρη	Στερεή Απόθεση	Ημι-ξηρη Απόθεση	Υγρή Απόθεση
Υπο-κριτήρια 1	Εκπομπές CO ₂	0.8	4	4	4
Υπο-κριτήρια 2	Εκπομπές SO ₂	0.9	4	4	4
Υπο-κριτήρια 3	Αισθητική υποβάθμιση	0.79	5	4	2
Υπο-κριτήρια 4	Χρήση τοξικών ή μη αντιδραστηρίων	0.95	5	5	5
Υπο-κριτήρια 5	Στερεά Απόβλητα/ Απόβλητα (As)	0.95	5	4	0
Υπο-κριτήρια 6	Χρήση φυσικών πόρων κατά τη λειτουργία	0.9	4	4	5
SUM			24,65	19,31	17,53

Στον πίνακα 3.9 παρουσιάζονται οι βαθμολογίες των μεθόδων απόθεσης των αποβλήτων. Η υγρή απόθεση έχει ως αποτέλεσμα τη στρωμάτωση του υλικού στη λεκάνη. Προκειμένου να είναι εφικτή η επανακυκλοφορία της υδατικής στοιβάδας, απαιτείται επαρκής διαύγασή του, η οποία όμως καθιστά αναγκαία την κατάληψη μεγάλης επιφάνειας με ανάλογες επιπτώσεις στη μορφολογία της περιοχής απόθεσης. Η μέθοδος απαιτεί, επίσης, μεγάλη χωρητικότητα της εγκατάστασης απόθεσης λόγω του χαμηλού φαινομένου ειδικού βάρους των αποτιθέμενων στερεών. Με βάση τα παραπάνω εκτιμάται πως η εφαρμογή της άνω τεχνολογίας αναμένεται να προκαλέσει πολύ σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στο περιβαλλοντικό πυλώνα αειφορίας. Τα υπο-κριτήρια της αισθητικής υποβάθμισης και των στερεών αποβλήτων έχουν βαθμολογία 2 και 0 (F Real, A Franco 1990: 215). Στην απόθεση υπό μορφή πάστας ο όγκος προς απόθεση είναι ο μικρότερος σε σχέση με τις δύο προηγούμενες τεχνολογίες γεγονός που μειώνει την απαίτηση σε κατάληψη γης από την εγκατάσταση απόθεσης ή μεγιστοποιεί τις δυνατότητες αξιοποίησής του. Επιπλέον, το αποτιθέμενο υλικό αναμένεται να έχει γεωτεχνικά χαρακτηριστικά που εξασφαλίζουν τη σταθερότητα, ενώ η μείωση της περιεχόμενης υγρασίας συνεπάγεται μείωση έως εξάλειψη των στραγγισμάτων από το αποτιθέμενο υλικό και άρα την ανάγκη για έργα διαχείρισής τους. Τα υπο-κριτήρια της αισθητικής υποβάθμισης και των στερεών αποβλήτων είναι 5 και 5 αντίστοιχα. Οι αέριες εκπομπές θεωρούνται μηδαμινές και στις 3 εναλλακτικές μεθόδους εξού και η ίδια τιμή στη βαθμολογία των υπο-κριτηρίων εκπομπές CO₂ και SO₂. Σε καμία από τις μεθόδους δεν γίνεται χρήση αντιδραστηρίων, επίσης έχουν την ίδια τιμή στη βαθμολογία (A Bascetin, S Juylu, D Adiguzel, O Ozdemir 2017: 151). Η βαθμολογία της ημίξηρης απόθεσης

βασίζεται στο γεγονός πως η συγκεκριμένη τεχνολογία έχει παρόμοια περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα με την ξερή απόθεση (P C Lighthall 2007: 7). Η βαθμολογία των στερεών αποβλήτων είναι 4 και της αισθητικής υποβάθμισης 4, της χρήσης αντιδραστηρίων 5, της χρήσης φυσικών πόρων 4 και των εκπομπών αερίων 4 και 4 για το CO₂ και SO₂.

Στον πίνακα 3.10 παρατηρούμε πως το επενδυτικό κόστος (4,4), το λειτουργικό κόστος (4,4), το ενεργειακό κόστος (3,3) και το κόστος συντήρησης αποτελούν τις βαθμολογίες για τις τεχνολογίες ημί-ξηρης απόθεσης και απόθεσης υπό μορφή πάστας. Η ξερή απόθεση μειώνει το συνολικό επενδυτικό κόστος εξαιτίας της ανάγκης κατασκευής μικρότερης εγκατάστασης διάθεσης αποβλήτων (A Bascetin, S Juylu, D Adiguzel, O Ozdemir 2017: 151). Τα περιβαλλοντικά οφέλη και ο μειωμένος όγκος αποβλήτων καταστατούν τις άλλες δύο τεχνολογίες κοινωνικά αρεστές. Η βαθμολογία της ξερής απόθεσης 5 και ημίξηρης 4. Ειδικότερα στην υπό μορφής πάστας απόθεση μπορεί να εφαρμοστεί και η παράλληλη αποκατάσταση της εγκατάστασης εξαιτίας της στερεής μορφής των τελμάτων. Το υπο-κριτήριο της ασφάλειας είναι 5 στη στερεή μορφή απόθεσης εξαιτίας του μικρότερου κινδύνου ατυχήματος σε περίπτωση σεισμού λόγω της σταθερότητας που προσφέρει στην εγκατάσταση απόθεσης και των πολύ μικρών υδραυλικών πιέσεων που ασκεί στα τοιχώματα της και 4 (R B Knight, J P Haile 1993: 639).

Στον πίνακα 3.11 παρουσιάζεται η πολυκριτηριακή ανάλυση του τεχνολογικού υπο-κριτηρίου. Η απόδοση (5) και η αποτελεσματικότητα της τεχνολογίας υπο μορφή πάστας αποτελεί σημαντικό υπο-κριτήριο της ανάλυσης. Η μέθοδος της απόθεσης υπο μορφής πάστας αναπτύχθηκε με την εξέλιξη της τεχνολογίας των φιλτροπρεσών τα τελευταία χρόνια (N K Shammas, L K Wang 2007:546). Η απόδοση έχει σχέση με τα περιβαλλοντικά και κοινωνικά κυρίως οφέλη που εμφανίζει η ξερή απόθεση. Η βαθμολογία των υπο-κριτηρίων του ελέγχου (5), της του απαιτούμενου εξοπλισμού (5) έχουν υψηλή βαθμολογία για τη μέθοδο απόρριψης υπό μορφή πάστας. Η χρήση σύγχρονου εξοπλισμού για τη αφύγρανση του τέλματος, ο αυτοματοποιημένος έλεγχος της διαδικασίας δίνουν τη δυνατότητα για αυξημένη απόδοση χωρίς ιδιαίτερες δυσλειτουργίες (N K Shammas, L K Wang 2007:563). Η ιδιαίτερη πολυπλοκότητα (3) του συστήματος και η δύσκολη συντήρηση (3) είναι ο λόγος για την χαμηλή βαθμολογία των αντίστοιχων υπο-κριτηρίων.

Πίνακας 3.10: Πολυκριτηριακή ανάλυση του κοινωνικό-οικονομικού κριτηρίου

	Κοινωνικό - Οικονομικά κριτήριο	Βάρη	Στερεή Απόθεση	Ημι-ξηρη Απόθεση	Υγρή Απόθεση
Υπο-κριτήρια 1	Κόστος επένδυσης	0.78	4	4	5
Υπο-κριτήρια 2	Κόστος λειτουργίας	0.82	4	4	4

Υπο-κριτήρια 3	Κόστος ενέργειας	0.83	3	3	4
Υπο-κριτήρια 4	Κόστος συντήρησης	0.8	3	3	4
Υπο-κριτήρια 5	Ασφάλεια κοινωνίας	0.9	5	4	3
Υπο-κριτήρια 6	Κοινωνική Αποδοχή	0.95	5	4	0
SUM			20,54	18,69	16,4

Οι μέθοδοι της υγρής και της ημί-ξηρης απόθεσης δεν έχουν κάποιον ιδιαίτερο βιομηχανικό εξοπλισμό και τα απόβλητα δεν υπόκεινται σε κάποια ιδιαίτερη επεξεργασία και η αποθεσή τους στα φράγματα γίνεται σε ημίρευστη και ρευστή κατάσταση. Στην ημί-ξηρη απόθεση η βαθμολογία του υπο-κριτηρίου της απόδοσης είναι 1 και στη υγρή απόθεση 0 και αντίστοιχα οι βαθμολογίες της πολυπλοκότητας είναι 4 και 5, της συντήρησης 4 και 5, του ελέγχου 4 και 4, του εξοπλισμού 2 και 1 και τέλος των δυσλειτουργιών 3 και 3. Η τεχνολογία της υγρής απόθεσης στερείται ιδιαίτερου εξοπλισμού και κάποιας εξειδικευμένης συντήρησης. Η δυσλειτουργία της μεθόδου έγκειται στην αδυναμία που παρουσιάζει λόγω των έντονων υδραυλικών πιέσεων στο χώρο απόθεσης του τέλματος. Η απόδοση της τεχνολογίας θεωρείται μηδενική εξαιτίας του υγρού και όχι του στερεού ή ημίρευστου αποβλήτου που αποθηκεύει στα φράγματα τελμάτων (F Real, A Franco 1990: 215). Η ημί-ξηρη απόθεση αποτελεί μια ενδοιάμεση κατάσταση με μετρίως ισχυρές υδραυλικές πιέσεις στο φράγμα τελμάτων και η πολυπλοκότητα και το κόστος συντήρησης είναι ικανοποιητικό. Η απόδοση της τεχνολογίας (1) είναι μικρή εξαιτίας του ρευστού του τέλματος και της χρονικής περιόδου για το στράγγισμα των τελμάτων. Ο μειωμένος αλλά όχι αρκετά, κίνδυνος για ατύχημα από σεισμό αποτελεί σημαντικό αποτέλεσμα των δυσλειτουργιών της μεθόδου. Δυσλειτουργιών που σχετίζονται από την εξάρτιση των καιρκών φαινομένων από τη βροχή για την αφύγρανση του τέλματος απόθεσης (P C Lighthall 2007: 7).

Πίνακας 3.11: Πολυκριτηριακή ανάλυση Τεχνολογικού κριτηρίου

	Τεχνολογικό κριτήριο	Βάρη	Στερεή Απόθεση	Ημι-ξηρη Απόθεση	Υγρή Απόθεση
Υπο-κριτήρια 1	Πολυπλοκότητα	0.85	3	4	5
Υπο-κριτήρια 2	Συντήρηση	0.85	3	4	5
		0.85	5	4	4

Υπο-κριτήρια 3	Έλεγχος-Παρακολούθησ η				
Υπο-κριτήρια 4	Απόδοση	0.85	5	1	0
Υπο-κριτήρια 5	Απαιτούμενος εξοπλισμός	0.85	5	2	1
Υπο-κριτήρια 6	Δυσλειτουργίες	0.85	4	3	3
SUM			20,95	17	15,3

Κεφάλαιο 4 Αποτελέσματα

Στο κεφάλαιο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα των πολυκριτηριακών αναλύσεων.

4.1 Αποτελέσματα πολυκριτηριακής ανάλυσης Τεχνολογιών Μεταλλουργίας

Οι τεχνολογίες Ακαριαίας Τήξης και Υδατικής Οξειδωσης υπό Πίεση αναλύθηκαν ως προς τα 3 κριτήρια της αειφορίας, το περιβαλλοντικό, το κοινωνικό-οικονομικό και το τεχνολογικό. Η Ακαριαία Τήξη υπερτερεί και στα 3 κριτήρια αειφορίας.

Η μέθοδος της Ακαριαίας τήξης αποτελεί την καθαρότερη περιβαλλοντικά τεχνολογία για την εκμετάλλευση των πυριτών του ορυχείου της Ολυμπιάδας. Αυτή η τεχνολογία υπερτερεί σημαντικά της Υδατικής Οξειδωσης υπό Πίεση και στα 6 υπο-κριτήρια. Η συνολική βαθμολογία της Ακαριαίας Τήξης για το περιβαλλοντικό κριτήριο είναι 23,01 έναντι 14,02 της Υδατικής Οξειδωσης υπό Πίεση.

Το αποτέλεσμα της πολυκριτηριακής ανάλυσης του κοινωνικό-οικονομικού κριτηρίου προκρίνει την τεχνολογία της Ακαριαίας τήξης με βαθμολογία 20,05 έναντι της Υδατικής Οξειδωσης υπό Πίεση με τιμή 18,52. Η επικρατέστερη τεχνολογία έχει την υψηλότερη βαθμολογία στα υπο-κριτήρια της κοινωνικής αποδοχής, του ενεργειακού κόστους και του κόστους συντήρησης. Η τεχνολογία της Υδατικής Οξειδωσης υπό Πίεση έχει υψηλότερη βαθμολογία στα υπο-κριτήρια του λειτουργικού και επενδυτικού κόστους.

Το αποτέλεσμα της πολυκριτηριακής ανάλυσης του τεχνολογικού κριτηρίου προκρίνει την τεχνολογία της Ακαριαίας τήξης με βαθμολογία 21,25 έναντι 16,15 της Υδατικής Οξειδωσης υπό Πίεση. Στα υπο-κριτήρια της απόδοσης, του ελέγχου-παρακολουθήσεως, των δυσλειτουργιών και της πολυπλοκότητας η μέθοδος της Ακαριαίας Τήξης έχει υψηλότερη βαθμολογία από εκείνη της Υδατικής Οξειδωσης υπό Πίεση και ισοβαθμία στα υπο-κριτήρια της συντήρησης και του εξοπλισμού.

4.2 Αποτελέσματα Πολυκριτηριακής Ανάλυσης Τεχνολογιών Σταθεροποίησης Αρσενικού

Οι τεχνολογίες Υδροθερμικής καταβύθισης, Καταβύθισης με ασβέστη, Σταθερότητας με χρήση αρσενικωδών και αρσενικών ενώσεων, Σταθεροποίησης με στοιχειομετρική περίσσεια και οι Τεχνικές στερεοποίησης σταθεροποίησης αναλύθηκαν ως προς τα 3 κριτήρια της αιεφορίας, το περιβαλλοντικό, το κοινωνικό-οικονομικό και το τεχνολογικό.

Η πολυκριτηριακή ανάλυση του περιβαλλοντικού κριτηρίου αναδुकνύει την τεχνολογία της υδροθερμικής καταβύθισης με βαθμολογία 25,55 έναντι 17,72 της καταβύθισης με ασβέστη, 18,47 της σταθερότητας με χρήση αρσενικωδών και αρσενικών ενώσεων, 21,16 της σταθεροποίησης με στοιχειομετρική περίσσεια και 15,87 των τεχνικών στερεοποίησης σταθεροποίησης (με τσιμέντο). Η μέθοδος της υδροθερμικής καταβύθισης έχει την υψηλότερη βαθμολογία στα υπο-κριτήρια εκπομπές αερίων CO₂, SO₂, στη χρήση αντιδραστηρίων τοξικών ή μη, στο υπο-κριτήριο στερεά απόβλητα και σε αυτό της αισθητικής υποβάθμισης. Η μέθοδος της σταθεροποίησης με στοιχειομετρική περίσσεια έχει την δεύτερη υψηλότερη βαθμολογία. Τα υπο-κριτήρια των στερεών αποβλήτων, της χρήσης αντιδραστηρίων και της αισθητικής υποβάθμισης είναι έχουν υψηλότερη τιμή από τα αντίστοιχα της μεθόδου σταθερότητας με χρήση

αρσενικωδών και αρσενικών ενώσεων και της καταβύθισης με ασβέστη. Η τεχνολογία της στερεοποίησης σταθεροποίησης έχει τη μικρότερη βαθμολογία και υστερεί κυρίως στα υπο-κριτήρια με μεγάλη βαρύτητα όπως των στερεών αποβλήτων, της χρήσης τοξικών ή μη αντιδραστηρίων και της αισθητικής υποβάθμισης.

Η πολυκριτηριακή ανάλυση του κοινωνικό-οικονομικού κριτηρίου αναδुकνύει την τεχνολογία της υδροθερμικής καταβύθισης με βαθμολογία 19,67 έναντι 16,19 της καταβύθισης με ασβέστη, 18,6 της σταθερότητας με χρήση αρσενικωδών και αρσενικών ενώσεων, 18,69 της σταθεροποίησης με στοιχειομετρική περίσσεια και 17,87 των τεχνικών στερεοποίησης σταθεροποίησης (με τσιμέντο). Η μέθοδος της υδροθερμικής καταβύθισης έχει την υψηλότερη βαθμολογία στο υποκριτήριο της κοινωνικής αποδοχής και τη χαμηλότερη στο επενδυτικό και λειτουργικό κόστος. Η καταβύθιση με ασβέστη έχει πολύ χαμηλή βαθμολογία στα περισσότερα υποκριτήρια και σε κάποια με σημαντική βαρύτητα όπως το ενεργειακό κόστος και η ασφάλεια. Οι υπολοίπες 3 τεχνολογίες για το υποκριτήριο του επενδυτικού κόστους έχουν την ίδια βαθμολογία, στο υποκριτήριο του λειτουργικού κόστους υπερτερεί βαθμολογικά η τεχνολογία της στοιχειομετρικής περίσσειας. Στα υποκριτήρια του ενεργειακού κόστους και του κόστους συντήρησης υψηλότερη βαθμολογία έχει η τεχνολογία σταθερότητας με χρήση αρσενικωδών και αρσενικών ενώσεων η οποία βαθμολογία είναι ίδια με αυτή της υδροθερμικής καταβύθισης. Στο υποκριτήριο της κοινωνικής αποδοχής όλες οι τεχνολογίες ισοβαθούν μετά την υδροθερμική καταβύθιση. Τέλος για το υποκριτήριο της ασφαλείας ισοβαθούν στην υψηλότερη βαθμολογία οι τεχνολογίες της υδροθερμικής καταβύθισης, της σταθερότητας με στοιχειομετρική περίσσεια και των τεχνικών στερεοποίησης σταθεροποίησης, ενώ στη χαμηλότερη βαθμολογία ισοβαθούν οι τεχνολογίες της καταβύθισης με ασβέστη και της σταθερότητας με τη χρήση αρσενικωδών και αρσενικών ενώσεων.

Η πολυκριτηριακή ανάλυση του τεχνολογικού κριτηρίου αναδुकνύει την τεχνολογία της υδροθερμικής καταβύθισης με βαθμολογία 17,85 έναντι 16,15 της καταβύθισης με ασβέστη, 17 της σταθερότητας με χρήση αρσενικωδών και αρσενικών ενώσεων, 17 της σταθεροποίησης με στοιχειομετρική περίσσεια και 14,45 των τεχνικών στερεοποίησης σταθεροποίησης (με τσιμέντο). Στο υποκριτήριο της πολυπλοκότητας χαμηλότερη βαθμολογία έχει η τεχνολογία της καταβύθισης με ασβέστη ενώ οι υπόλοιπες τεχνολογίες ισοβαθούν. Ισοβαμία υπάρχει και στο υποκριτήριο της συντήρησης. Στο υποκριτήριο του ελέγχου-παρακολουθήσεως ισοβαθούν στην υψηλότερη βαθμολογία οι τεχνολογίες υδροθερμικής καταβύθισης, της σταθερότητας με χρήση αρσενικωδών και αρσενικών ενώσεων και αυτή της στοιχειομετρικής περίσσειας. Στη χαμηλότερη βαθμολογία ισοβαθούν οι 2 εναπομείναντες τεχνολογίες. Στο υποκριτήριο της απόδοσης υψηλότερη βαθμολογία έχει η τεχνολογία της υδροθερμικής καταβύθισης και χαμηλότερη η καταβύθιση με ασβέστη. Οι άλλες 3 τεχνολογίες ισοβαθούν ανάμεσα στη χαμηλότερη και υψηλότερη βαθμολογία. Στο υποκριτήριο απαιτούμενος εξοπλισμός χαμηλότερη βαθμολογία έχει η τεχνολογία των τεχνικών στερεοποίησης σταθεροποίησης (με τσιμέντο) και οι υπόλοιπες ισοβαθούν με υψηλότερη βαθμολογία. Τέλος στο υποκριτήριο των δυσλειτουργιών οι τεχνολογίες υδροθερμικής καταβύθισης, της σταθερότητας με χρήση

αρσενικωδών και αρσενικών ενώσεων και αυτή της στοιχειομετρικής περίσσειας ισοβαθμούν έχοντας την υψηλότερη βαθμολογία και οι δύο εναπομείναντες ισοβαθμούν έχοντας τη χαμηλότερη βαθμολογία.

4.3 Αποτελέσματα Πολυκριτηριακής Ανάλυσης Μεθόδων Απόθεσης Αποβλήτων

Οι τεχνολογίες στερεής απόθεσης, ημίξερης απόθεσης και υγρής απόθεσης αναλύθηκαν ως προς τα 3 κριτήρια της αειφορίας, το περιβαλλοντικό, το κοινωνικό-οικονομικό και το τεχνολογικό.

Η πολυκριτηριακή ανάλυση του περιβαλλοντικού κριτηρίου αναδुकνύει την τεχνολογία της στερεής απόθεσης με βαθμολογία 24,65 έναντι 19,31 της ημίξερης απόθεσης και 17,53 της υγρής απόθεσης. Στα υπο-κριτήρια εκπομπών αερίων CO₂, SO₂ όλες οι τεχνολογίες ισοβαθμούν με υψηλή βαθμολογία. Στο υπο-κριτήριο της αισθητικής υποβάθμισης την υψηλότερη βαθμολογία έχει η τεχνολογία της στερεής απόθεσης, την μεσαία η μέθοδος ημίξερης απόθεσης και τη μικρότερη η τεχνολογία της υγρής απόθεσης. Στο υπο-κριτήριο της χρήσης τοξικών ή μη αντιδραστηριών και η 3 τεχνολογίες ισοβαθμούν με την υψηλότερη βαθμολογία. Στο υπο-κριτήριο των στερεών αποβλήτων την υψηλότερη βαθμολογία έχει η τεχνολογία της στερεής απόθεσης, ελάχιστα μικρότερη βαθμολογία έχει η τεχνολογία της ημίξερης απόθεσης και μηδενική βαθμολογία η τεχνολογία της υγρής απόθεσης. Στο υπο-κριτήριο των φυσικών πόρων την υψηλότερη βαθμολογία έχει η τεχνολογία της υγρής απόθεσης με τις άλλες 2 τεχνολογίες να ακολουθούν με ελάχιστη διαφορά στη βαθμολογία.

Η πολυκριτηριακή ανάλυση του κοινωνικο-οικονομικού κριτηρίου αναδुकνύει την τεχνολογία της στερεής απόθεσης με βαθμολογία 20,54 έναντι 18,69 της ημίξερης απόθεσης και 16,4 της υγρής απόθεσης. Στο υπο-κριτήριο του επενδυτικού κόστους την μεγαλύτερη βαθμολογία τη λαμβάνει η τεχνολογία της υγρής απόθεσης ενώ οι άλλες δύο ισοβαθμούν. Το υπο-κριτήριο του λειτουργικού κόστους είναι ισοβαθμεί και στις 3 τεχνολογίες. Το υπο-κριτήριο του ενεργειακού κόστους και του κόστους συντήρησης είναι το ίδιο για τις τεχνολογίες στερεής και ημίξερης απόθεσης και μάλιστα πιο χαμηλό από το αντίστοιχο της υγρής απόθεσης. Στο υπο-κριτήριο της ασφάλειας η τεχνολογία της στερεής απόθεσης έχει την υψηλότερη βαθμολογία ακολουθεί η τεχνολογία της ημίξερης και τελευταία τη τεχνολογία της υγρής απόθεσης. Στο υπο-κριτήριο της κοινωνικής αποδοχής την υψηλότερη βαθμολογία συγκεντρώνει η τεχνολογία της στερεής απόθεσης και τη χαμηλότερη (μηδενική) η τεχνολογία της υγρής απόθεσης.

Η πολυκριτηριακή ανάλυση του τεχνολογικού κριτηρίου αναδुकνύει την τεχνολογία της στερεής απόθεσης με βαθμολογία 21,27 έναντι 18,69 της ημίξερης απόθεσης και 16,4 της υγρής απόθεσης. Στο υπο-κριτήριο της πολυπλοκότητας και της

συντήρησης τη μεγαλύτερη βαθμολογία λαμβάνει η τεχνολογία της υγρής απόθεσης ενώ οι άλλες δύο ακολουθούν με μικρή διαφορά και με χαμηλότερη τη βαθμολογία της στερεής απόθεσης. Στο υπο-κριτήριο ελέγχου-παρακολουθήσεως την υψηλότερη βαθμολογία έχει η τεχνολογία της στερεής απόθεσης με τις άλλες 2 να ισοβαθούν χαμηλότερα. Στο υπο-κριτήριο της απόδοσης την υψηλότερη βαθμολογία έχει η τεχνολογία της στερεής απόθεσης και πολύ χαμηλά στη βαθμολόγηση βρίσκεται η τεχνολογία της ημίξερης απόθεσης, ενώ η βαθμολογία της υγρής απόθεσης είναι μηδενική. Το υπο-κριτήριο του απαιτούμενου εξοπλισμού την υψηλότερη βαθμολογία λαμβάνει η τεχνολογία της στερεής απόθεσης και χαμηλότερη της υγρής απόθεσης. Στο υπο-κριτήριο των δυσλειτουργιών τη χαμηλότερη βαθμολογία έχουν οι τεχνολογίες της ημίξερης και υγρής απόθεσης ισοβαθμώντας και την υψηλότερη της στερεής απόθεσης.

Κεφάλαιο 5

Επίλογος

Τα συμπεράσματα της διατριβής καθώς και οι περιορισμοί της διατριβής θα συζητηθούν σε αυτό το κεφάλαιο.

5.1 Συζήτηση των Αποτελεσμάτων

Στην ενότητα αυτή θα επισημάνουμε όλα εκείνα τα πλεονεκτήματα που κατέστησαν τις τεχνολογίες της Ακαριαίας Τήξης, της υδροθερμικής καταβύθισης και της στερεής απόθεσης ως τις πιο ενδεδειγμένες για την αειφόρα ανάπτυξη του μεταλλευτικού πεδίου της βορειο-ανατολικής Χαλκιδικής.

5.1.1 Συζήτηση για την Ακαριαία Τήξη

Η διατριβή με την πολυκριτηριακή ανάλυση απέδειξε πως η τεχνολογία της Ακαριαίας Τήξης αποτελεί την πιο περιβαλλοντικά ορθή μέθοδο για την μεταλλουργία των συμπυκνωμάτων της Ολυμπιάδος. Η αειφορία της τεχνολογίας επιτυγχάνεται ως προς τους 4 πυλώνες της αειφορίας το περιβάλλον, την οικονομία, την κοινωνία και την τεχνολογία.

Πρόκειται για μία τεχνολογία η οποία αναπτύχθηκε από την Φιλανδική εταιρεία Outokumpu με εκτεταμένη βιομηχανική εφαρμογή 70 και πλέον χρόνων. Σήμερα, με την εν λόγω τεχνολογία παράγεται πάνω από το 50% της παγκόσμιας πρωτογενούς παραγωγής χαλκού και το 30% της παγκόσμιας παραγωγής νικελίου σε συνδυασμό με υψηλά ποσοστά παραγωγής «δευτερογενών» μεταλλικών προϊόντων που περιέχονται στα συμπυκνώματα τροφοδοσίας, ενώ συνεχώς βελτιώνεται και ανοίγει νέους ορίζοντες για την κατεργασία πιο σύνθετων υλικών. Θεωρείται από τεχνολογικής πλευράς η «state-of-the-art» μέθοδος, ενώ από περιβαλλοντικής σκοπιάς η «καθαρότερη πυρομεταλλουργική μέθοδος» που υπερκαλύπτει τις περιβαλλοντικές απαιτήσεις του σήμερα και μπορεί να ανταποκριθεί και στις προκλήσεις του αύριο. Η τροφοδοσία μονάδων ακαριαίας τήξης έχει σαν βάση συμπυκνώματα χαλκού, στα οποία συνυπάρχουν πυρίτες είτε εγγενώς είτε προσθετικά, δεδομένου ότι αξιοποιείται η ιδιότητα του «συλλέκτη» της παραγόμενης matte χαλκού και για άλλα μέταλλα σε χαμηλότερη περιεκτικότητα. Η ποιοτική και ποσοτική αναλογία των συμπυκνωμάτων δεν παρουσίασε στην μέχρι σήμερα ευρεία εφαρμογή προβλήματα λειτουργικότητας πουθενά στον κόσμο, αντίθετα καθιέρωσε την ευελιξία σαν ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα της ακαριαίας τήξης.

Πέρα από τις νέες προοπτικές που προσφέρει στην παραγωγή μετάλλων, στα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας συγκαταλέγονται η αξιόπιστη και λειτουργική παραγωγική διαδικασία και μηχανήματα, το ανεκτό ύψος επένδυσης και το χαμηλό κόστος λειτουργίας, η δυνατότητα της κατεργασίας διαφορετικών τύπων πρώτων υλών και εύκολης μεταβολής ρυθμών τροφοδοσίας, οι υψηλές ανακτήσεις των περιεχομένων μεταλλικών αξιών, ο συμπαγής σχεδιασμός των επί μέρους μονάδων που εξασφαλίζει τις μικρότερες εκπομπές ρύπων στον χώρο του εργοστασίου το οποίο σε συνδυασμό με την ελαχιστοποίηση των αποβλήτων διασφαλίζει την πλήρη ικανοποίηση των αυστηρότερων περιβαλλοντικών κανονισμών με αποτέλεσμα να αποτελεί την «καθαρότερη» σήμερα πυρομεταλλουργική μέθοδο, η χαμηλή της ενεργειακή κατανάλωση, και τέλος το ασφαλές και υγιεινό περιβάλλον εργασίας. Τα παραπάνω πλεονεκτήματα έχουν οδηγήσει την τεχνολογία της ακαριαίας τήξης στην παγκόσμια ηγετική θέση της παραγωγής πρωτογενούς χαλκού και θεωρείται η Best Available Technique (BAT) για την παραγωγή πρωτογενούς χαλκού και νικελίου (IPPC 2001: 234).

Η τεχνολογική δυνατότητα της μεθόδου ακαριαίας τήξης να ανακτήσει όχι μόνο χρυσό, αλλά και άλλα χρήσιμα μέταλλα που συναντώνται στο συμπύκνωμα (άργυρος, χαλκός) αποτελεί σημαντική διαφοροποίηση από την εναλλακτική τεχνολογία της Υδατικής Οξειδωσης υπό Πίεση. Η εναλλακτική μέθοδος αν και μπορεί να επιτύχει υψηλά ποσοστά ανάκτησης (90%) χρυσού δεν μπορεί να εκμεταλλευτεί τα έταιρα

μέταλλα με αποτέλεσμα την αύξηση των στερεών αποβλήτων. Η μέθοδος της Ακαριαίας Τήξης εξαιτίας της υψηλής απόδοσης στην πολυμεταλλουργική παραγωγική διαδικασία έχει ως σημαντικό προταίρημα την ελαχιστοποίηση των στερεών αποβλήτων. Η μικρότερη παραγωγή στερεών αποβλήτων συναιπάγεται πως θα απαιτηθεί μικρότερη κατάληψη εδάφους για την απόθεση των στερεών αποβλήτων. Οι αέριες εκπομπές όπως και οι εκπομπές θορύβου θα είναι μειωμένες λόγω των μειωμένων δρομολογίων για τη μεταφορά των στερεών αποβλήτων στις εγκαταστάσεις απόθεσης. Όσον αφορά τις αέριες εκπομπές που προκύπτουν από την τεχνολογία της ακαριαίας τήξης, βρίσκονται εντός των θεσμοθετημένων ορίων και δεν προκύπτει καμία επίπτωση στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον. Η μέθοδος της ακαριαίας τήξης δεν χρησιμοποιεί τοξικά ή μη αντιδραστήρια, σε αντίθεση με τη μέθοδο της Υδατικής Οξειδωσης που χρησιμοποιεί ενώσεις του κυανίου. Αυτό σημαίνει ότι και τα στερεά απόβλητα θα είναι πιο περιβαλλοντικά σταθερά σε σχέση με αυτά της εναλλακτικής μεθόδου.

Εκτιμάται από τη πολυκριτηρική ανάλυση ότι η τεχνολογία κατεργασίας πυριτών Ολυμπιάδας σε καμία εκ των 2 εναλλακτικών τεχνολογιών δεν επηρεάζει γενικά το οικονομικό περιβάλλον της περιοχής μελέτης. Αξίζει, όμως, να καταγραφεί για την ακαριαία τήξη, η μεγαλύτερη καθετοποίηση με την παραγωγή χαλκού, η πλήρης ανάκτηση του αργύρου και η ευρύτερη δυνατότητα αξιοποίησης των πόρων της περιοχής μελέτης, στοιχεία που και την αξία εισροών αυξάνουν και την εντοπιότητα της προοπτικής εξυπηρετούν, σαν δευτερογενείς οικονομικές επιπτώσεις αποτελούν λόγους για ευρύτερη κοινωνική αποδοχή.

Η πιο γνωστή εφαρμογή της μεθόδου Ακαριαίας Τήξης της Outokumpu είναι η δημιουργία το 1959 ένος ολοκληρωμένου χυτηρίου νικελίου το Harjavalta. Ένα κίνητρο για την παραγωγή νικελίου της Outokumpu ήταν η ανακάλυψη του σώματος μετάλλων θειούχου νικελίου στο Kotalahti. Αν και άλλες πολλές επιλογές ήταν διαθέσιμες, ήταν φυσικό ότι και για το νικέλιο η μέθοδος της τήξης ήταν ιδανική, η ίδια που υιοθετήθηκε για την παραγωγή χαλκού στο Harjavalta το 1949. Αυτό που ισχύει σήμερα είναι πως το 90% της παγκόσμιας παραγωγικής νικελίου εξακολουθεί να βασίζεται σε πυρομεταλλουργικές διεργασίες και επίσης είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι από τις έξι μονάδες παραγωγής χυτοσιδήρου από νικέλιο βασίζονται σε τεχνολογίες Outokumpu που παράγουν πάνω από το 50% της παραγωγικής ικανότητας νικελίου (T Makinen, P Taskinen 2013: 88).

5.1.2 Συζήτηση για την Υδροθερμική Καταβύθιση

Η διατριβή με την πολυκριτηριακή ανάλυση απέδειξε πως η τεχνολογία της υδροθερμικής καταβύθισης αποτελεί την πιο περιβαλλοντικά ορθή μέθοδο για τη διαχείριση-σταθεροποίηση των αρσενικούχων αποβλήτων της μεταλλουργίας. Η αιεφορία της τεχνολογίας επιτυγχάνεται ως προς τους 4 πυλώνες της αιεφορίας το περιβάλλον, την οικονομία, την κοινωνία και την τεχνολογία.

Η καταβύθιση Fe-As σε υψηλές θερμοκρασίες έχει ως παράγωγο τον σκοροδίτη. Σημειώνεται ότι η Υπηρεσία Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (US, EPA) έχει χαρακτηρίσει την συγκαταβύθιση του As με ιόντα τρισθενούς Fe(III) ως τη βέλτιστη αποδεδειγμένη διαθέσιμη τεχνολογία (Best Available Demonstrated Technology, BADT) για την απομάκρυνση του αρσενικού As από υδατικά διαλύματα (L Twidwell 1999 : 1647) και ότι η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλές μονάδες καθαρισμού νερών. Από τη μέθοδο αυτή προκύπτει κρυσταλλικός αρσενικός σίδηρος (Σκοροδίτης ή κρυσταλλική φάση X) ο οποίος προσφέρει σημαντικά περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα. Πρόκειται για συμπαγή υλικό χαμηλής διαλυτότητας, η χαμηλή διαλυτότητα συνεπάγεται ότι τα στερεά θα είναι σταθερά σε μακροχρόνια βάση. Σε σύγκριση με άλλες ενώσεις θεωρείται ότι υφίσταται τη μικρότερη δυνατή φυσική ή χημική αλλαγή-διαφοροποίηση.

Η μέθοδος της καταβύθισης του αρσενικού σε υψηλή θερμοκρασία και πίεση, εάν και είναι σημαντικά πιο ακριβή από άποψη κόστους λειτουργίας και επένδυσης επιλέχτηκε γιατί ο παραγόμενος αρσενικός σίδηρος (σκοροδίτης) είναι το ορυκτό με την μικρότερη διαλυτότητα, απαντάται στη φύση και η καλή κρυσταλλική του δομή εγγυάται την μακροχρόνια σταθερότητα του, χωρίς να υφίστανται οι κίνδυνοι της αλλαγής ορυκτολογικής δομής, λόγω γήρανσης, όπως μπορεί να συμβεί στις άμορφες ενώσεις του αρσενικού φερρουδρίτη και γιατί η ποσότητα της παραγόμενης ποσότητας αποβλήτου προς απόθεση είναι σημαντικά μικρότερη. Η τεχνολογία της υδροθερμικής καταβύθισης αν και τεχνολογία με μεγάλο οικονομικό κόστος έχει ως αποτέλεσμα περιβαλλοντικά ορθό (σκοροδίτης), με ελαχιστοποίηση των αποβλήτων που συνεπάγεται μικρότερη εγκατάσταση αποθήκευσης αποβλήτων και ελαχιστοποίηση των αέριων εκπομπών εξαιτίας της μειωμένης της μεταφοράς αποβλήτων αποτελεί τις περισσότερες φορές αποδεκτή λύση από την τοπική κοινωνία. Αρκεί φυσικά ο κοινωνικός διάλογος να γίνει σε στέρεες βάσεις και σε κλίμα εμπιστοσύνης.

5.1.3 Συζήτηση για τη Στερεή Απόθεση

Η διατριβή με την πολυκριτηριακή ανάλυση απέδειξε πως η μέθοδος απόθεσης υπο μορφή παστας αποτελεί την πιο περιβαλλοντικά ορθή μέθοδο για την διαχείριση των αποβλήτων της μονάδας εμπλουτισμού του μεταλλείου και της μονάδος μεταλλουργίας. Η αειφορία της τεχνολογίας επιτυγχάνεται ως προς τους 4 πυλώνες της αειφορίας το περιβάλλον, την οικονομία, την κοινωνία και την τεχνολογία.

Στη μέθοδο της στερεάς απόθεσης ο πολφός πριν την απόθεση του στην ειδικά διαμορφωμένη εγκατάσταση οδηγείται σε πυκνωτή και στη συνέχεια σε φιλτρόπρεσσα, όπου επιτυγχάνεται περαιτέρω μείωση της υγρασίας στο 15-20% κ.β.. Η μέθοδος παρουσιάζει τα ίδια πλεονεκτήματα με τη μέθοδο της ημίξηρης απόθεσης, αλλά σε μεγαλύτερο βαθμό, αφού το προς απόθεση τέλμα έχει μεγαλύτερη συνεκτικότητα. Επιπλέον μπορεί να αποτεθεί καθ' ύψος, ξεπερνώντας υψομετρικά το επίπεδο στέψης των αναχωμάτων, μειώνοντας ακόμη περισσότερο την απαιτούμενη επιφάνεια

απόθεσης. Επιπλέον περιορίζει τις συνολικές απαιτήσεις του Έργου σε νερό, μέσω της ανακύκλωσης του μετά το στάδιο της πύκνωσης και διήθησης στο κύκλωμα κατεργασίας του εργοστασίου και των μειωμένων απωλειών εξάτμισης. Επίσης είναι εφικτή η σταδιακή περιβαλλοντική αποκατάσταση, τα βελτιωμένα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά και η σχεδόν ξηρή φάση του αποτιθέμενου υλικού διαμορφώνουν τις απαραίτητες συνθήκες για δυνατότητα άμεσης πρόσβασης επί της τελικής επιφάνειας των αποτιθέμενων υλικών με σκοπό την σταδιακή αποκατάσταση παράλληλα με την απόθεση καθώς και η αυτοματοποίηση των λειτουργιών με χρήση μεταφορικών ταινιών. Ως μειονεκτήματα της μεθόδου μπορούν να αναφερθούν το υψηλότερο λειτουργικό κόστος λόγω της αυξημένης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και η δυνητική εκπομπή σκόνης κατά την ξηροθερμική περίοδο. Λόγω της επικράτησης της στερεής φάσης στα αποτιθέμενα απόβλητα εμπλουτισμού, πιθανές εκπομπές σκόνης δύναται να υπάρξουν κατά την διάρκεια της λειτουργίας του έργου σε περίπτωση που ορισμένες από τις περιοχές της εγκατάστασης απόθεσης είναι εντελώς ξηρές οπότε ενδέχεται να λαμβάνει χώρα αιολική διάβρωση. Ωστόσο, λόγω της πρόβλεψης για σταδιακή αποκατάσταση των περιοχών της λεκάνης στις οποίες θα ολοκληρώνεται η απόθεση δεν θα υφίσταται η συγκεκριμένη πηγή εκπομπής σκόνης. Ως εκ τούτου, οι επιπτώσεις στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον κρίνονται μη σημαντικές. Αν μάλιστα συνυπολογίσουμε και τον μειωμένο κίνδυνο σε περίπτωση σεισμού η συγκεκριμένη τεχνολογία αποτελεί την πιο ασφαλή μέθοδο διάθεσης των αποβλήτων. Στον σχεδιασμό της εξορυκτικής δραστηριότητας της περιοχής μελέτης η εταιρεία που θα υπολογίσει το επενδυτικό κόστος του συνόλου του έργου θα αντιληφθεί πως ενεργειακό κόστος της στερεής απόθεσης είναι ελάχιστο μπροστά στο κατασκευαστικό κόστος μικρότερου φράγματος διάθεσης αποβλήτων. Όλα τα πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης τεχνολογίας αποτελούν αιτίες για ευρύτερη κοινωνική αποδοχή. Πάντα η χρήση γης από μια εξορυκτική εταιρεία αποτελούσε αφορμή για κοινωνικές αντιδράσεις. Όσο μικρότερη είναι η αισθητική υποβάθμιση τόσο ελαχιστοποιούνται οι αντιδράσεις.

5.2 Περιορισμοί της Μεθοδολογίας

Η εξέταση της αιφορίας μιας εξορυκτικής δραστηριότητας είναι μια υπόθεση περίπλοκη. Η μέθοδος των πολυκριτηριακών αναλύσεων είναι μια μέθοδος η οποία δεν δίνει μία οριστική επίλυση του ζητήματος της αιφόρου ανάπτυξης του μεταλλευτικού πεδίου της περιοχής μελέτης, απλώς προκρίνει κάποιες τεχνολογίες έναντι των εναλλακτικών τους. Στην ουσία δεν μας οδηγεί στη βέλτιστη λύση αλλά σε ένα συμβιβασμό μεταξύ αλληλοσυγκρουόμενων στόχων, μεθόδων, τεχνολογιών που σκοπό έχουν την αιφόρο ανάπτυξη της εξορυκτικής δραστηριότητας. Το μειονέκτημα της μεθοδολογίας αφορούν κυρίως τη βαρύτητα των υπο-κριτηρίων. Η βαρύτητα των υπο-κριτηρίων σε όλες τις πολυκριτηριακές προσδίδει έναν υποκειμενικό χαρακτήρα στο αποτέλεσμα της ανάλυσης.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε είχε να κάνει με τη σύγκριση 2 τεχνολογιών Μεταλλουργίας, αυτή της Ακαριαίας Τήξης και Υδατικής Οξειδωσης υπό Πίεση. Με 5 τεχνολογίες διαχείρισης του αρσενικού που υπάρχει στα απόβλητα της μεταλλουργίας, υδροθερμική καταβύθιση, καταβύθιση με ασβέστη, σταθεροποίηση με στοιχειομετρική περίσσεια σταθερότητα με τη χρήση αρσενικωδών και αρσενικών ενώσεων και τεχνικές στερεοποίησης σταθεροποίησης με τσιμέντο. Οι αναλύσεις σύγκριναν και πρόκριναν 1 τεχνολογία για κάθε εξορυκτική δραστηριότητα ξεχωριστά μη δίνοντας την ευκαιρία να εξεταστούν οι τεχνολογίες συνδυαστικά. Μπορεί το αποτέλεσμα να ήταν διαφορετικό, μπορεί και όχι.

5.3 Συμπεράσματα

Η μέθοδος της Ακαριαίας Τήξης από περιβαλλοντικής απόψεως παράγει την μικρότερη ποσότητα αποβλήτων και συνεπώς θα απαιτηθεί μικρότερη εγκατάσταση απόθεσης στη διάρκεια ζωής του Έργου. Επιπλέον, από τις 2 μεθόδους που εξετάστηκαν μόνο η μέθοδος της ακαριαίας τήξης δεν χρησιμοποιεί τοξικά αντιδραστήρια για την ανάκτηση των περιεχομένων μετάλλων.

Από τεχνικοοικονομικής απόψεως, το απαιτούμενο ύψος επένδυσης, και το λειτουργικό κόστος της μεθόδου της ακαριαίας τήξης είναι αρκετά υψηλότερο από την άλλη εναλλακτική μέθοδο. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι ο χρόνος που απαιτείται για την υλοποίηση του Έργου με την εν λόγω μέθοδο είναι αρκετά μεγαλύτερος από την άλλη εναλλακτική μέθοδο, ενώ η εν λόγω τεχνολογία αξιοποιεί τη δυνατότητα πολυμεταλλικής χρήσης και συμβάλλει στην περαιτέρω καθετοποίηση της παραγωγής, με την επί τόπου παραγωγή ενός ακόμα τελικού προϊόντος του καθαρού χαλκού, αυξάνοντας την προστιθέμενη αξία.

Η μικρότερη παραγωγή αποβλήτων σε συνδυασμό με τη μη χρησιμοποίηση τοξικών αντιδραστηρίων στην παραγωγική διαδικασία ανάκτησης των μετάλλων, την ανάκτηση πέρα του χρυσού και άλλων 2 καθαρών μετάλλων, του χαλκού και του αργύρου, αλλά και τις προοπτικές που διανοίγονται για την κατεργασία άλλων συμπυκνωμάτων για την παραγωγή αντίστοιχων τελικών προϊόντων οδήγησαν στην επιλογή της μεθόδου της ακαριαίας τήξης ως της βέλτιστης μεθόδου για την κατεργασία του συμπυκνώματος πυριτών Ολυμπιάδας.

Επισημαίνεται ότι στο πλαίσιο της τεχνολογικής αρτιότητας και αποδοτικότητας για την ανάκτηση του χρυσού και του αργύρου που περιέχεται στο συμπύκνωμα πυριτών Ολυμπιάδας επιλέχθηκε η μέθοδος της ακαριαίας τήξης λόγω της

μοναδικής δυνατότητας που προσφέρεται από την ταυτόχρονη παραγωγή συμπυκνώματος χαλκού από το κοίτασμα των Σκουριών.

Η μέθοδος της καταβύθισης του αρσενικού σε υψηλή θερμοκρασία και πίεση, εάν και είναι σημαντικά πιο ακριβή από άποψη κόστους λειτουργίας και επένδυσης. Ο παραγόμενος αρσενικός σίδηρος (σκοροδίτης) είναι το ορυκτό με την μικρότερη διαλυτότητα και η ποσότητα του παραγόμενου αποβλήτου είναι σημαντικά μικρότερη. Η τεχνολογική εξέλιξη και αρτιότητα της μεθόδου προσφέρουν στην κοινωνία την ασφάλεια και προοπτική μιας σωστής και βιώσιμης τεχνολογίας διαχείρισης των αποβλήτων της Μεταλλουργίας.

Η απόθεση στερεής μορφής παρουσιάζει περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα έναντι των υπόλοιπων εναλλακτικών τεχνολογιών, που σχετίζονται με την μειωμένη απαίτηση για την εγκατάσταση απόθεσης των αποβλήτων εμπλουτισμού, τη μειωμένη απαίτηση για διαχείριση των παραγόμενων στραγγισμάτων και τη δυνατότητα σταδιακής αποκατάστασης παράλληλα με την απόθεση. Η αισθητική όχληση και η ακουστική επιβάρυνση θεωρούνται ως μη σημαντικές. Η κοινωνική αποδοχή για μικρότερου μεγέθους φράγματα σε συνδυασμό με τον μειωμένο κίνδυνο ατυχήματος από σεισμό λόγω μειωμένων υδραυλικών πιέσεων στα τοιχώματα αποτελεί τεχνολογική εξέλιξη στον τρόπο διάθεσης των αποβλήτων.

5.4 Προτάσεις

Πολιτεία και κοινή γνώμη αναγνωρίζουν πλέον τον εξορυκτικό κλάδο ως στρατηγικό πλεονέκτημα και οδηγό ανάπτυξης και ανταγωνιστικότητας της οικονομίας. Η πλειοψηφία των Ελλήνων πιστεύει ότι η αξιοποίηση των ορυκτών πόρων είναι κλειδί για την οικονομική ανάπτυξη, αλλά δεν υπάρχει γι' αυτό η απαραίτητη πολιτική βούληση. Οι τοπικές κοινωνίες όμως δεν είναι παντού επαρκώς ενημερωμένες και δυσπιστούν ακόμα στην υπεύθυνη λειτουργία των εξορυκτικών επιχειρήσεων και τον αποτελεσματικό έλεγχο τους από τους αρμόδιους φορείς όσον αφορά στην τήρηση των περιβαλλοντικών όρων. Για την εξορυκτική βιομηχανία-και ειδικά για τα μέλη του Συνδέσμου Μεταλλευτικών Επιχειρήσεων-η ορθολογική διαχείριση του περιβάλλοντος πέρα από σοβαρή κανονιστική υποχρέωση αποτελεί πεδίο καινοτομίας και υπεύθυνης λειτουργίας. Τα μέλη υιοθετώντας από το 2006 «Κώδικα Βιώσιμης Ανάπτυξης», ενσωματώνουν στο σχεδιασμό και την υλοποίηση των εξορυκτικών έργων την προστασία του περιβάλλοντος και την αποκατάσταση του τοπίου και συνεργάζονται με τις εποπτεύουσες αρχές για τη συνεχή βελτίωση των εφαρμοζόμενων πρακτικών.

Η σωστή διαχείριση του περιβάλλοντος, το οποίο καθιστά ουσιαστικά προσωρινή οπτική μεταβολή την επίπτωση της εξόρυξης στο περιβάλλον, είναι η δημιουργία ευκαιριών επαναχρησιμοποίησης ή και εγκατάστασης νέων χρήσεων γης (μετα-μεταλλευτικές χρήσεις γης) σε περιοχές που έχει τελειώσει η εξορυκτική δραστηριότητα. Ήδη στη χώρα μας, εκατομμύρια δένδρα και θάμνοι πέχουν φυτευθεί

και έχουν αποκατασταθεί. Στόχος είναι να γίνουν πολλά έργα που αφορούν στην επαναδημιουργία καλλιεργήσιμων εκτάσεων, μετατροπή παλιών ορυχείων σε φωτοβολταϊκά πάρκα, καλλιέργεια αμπελώνων σε εκτάσεις εξοφλημένων ορυχείων, δημιουργία τεχνητών λιμνών και ανασύσταση υδροβιοτόπων και δημιουργία θεματικών μουσείων σχετικών με την εξόρυξη.

Ένα άλλο ζήτημα που επίσης απασχολεί είναι η δυνατότητα συνύπαρξης εξόρυξης και τουρισμού. Για πολλές περιοχές στον κόσμο οι γεωλογικές δομές αποτελούν την κοινή πηγή τόσο μοναδικών ορυκτών πόρων- ευκαιρία για ανάπτυξη εξορυκτικής δραστηριότητας, όσο και μοναδικών γεωμορφολογικών στοιχείων-ευκαιρία για τουριστική ανάπτυξη (π.χ. απολιθωμένο δάσος Λέσβου, περιπατητικά μονοπάτια Miloterranean στη Μήλο, Θειωρυχεία Μήλου, λατομεία μαρμάρου στην Καρράρα Ιταλίας, Μεταλλευτικό Μουσείο Μήλου). Η συνύπαρξη αυτών των δύο δραστηριοτήτων, με κανόνες και αμοιβαίο σεβασμό, αποτελεί σημαντική ευκαιρία ισόρροπης ανάπτυξης αυτών των τόπων με ελαχιστοποίηση της έκθεσης των οικονομιών τους σε κυκλικά φαινόμενα καθώς η εξόρυξη αποτελεί δραστηριότητα με συνεχή λειτουργία καθ' όλη την διάρκεια του χρόνου. Επιπλέον η εξορυκτική δραστηριότητα αποτελεί μία διαχρονική οικονομική λειτουργία του ανθρώπου και έχει δημιουργήσει θέσεις-μνημεία από την αρχαιότητα μέχρι τώρα τα οποία αποτελούν ή μπορούν να αποτελέσουν πόλους έλξης θεματικού τουρισμού. Ενδεικτικά παραδείγματα τα αρχαία μεταλλεία Λαυρίου, αλατωρυχεία στην Αυστρία και στην Πολωνία, το Συνεδριακό Κέντρο στη Μήλο σε παλιό εργοστάσιο κατεργασίας καολίνης.

Επομένως ο εξορυκτικός κλάδος αποτελεί ήδη σημαντικό μέρος της οικονομίας με σημαντική αναπτυξιακή δυναμική λόγω της έντονης εξωστρέφειας του, ακολουθώντας τις αρχές της βιώσιμης ανάπτυξης και συνυπάρχοντας αρμονικά και με άλλες χρήσεις γης ή οικονομικές δραστηριότητες όπως ο τουρισμός. Η αξιοποίηση των ορυκτών πόρων και η εξορυκτική βιομηχανία μπορεί να γίνει ατμομηχανή ενός νέου βιώσιμου παραγωγικού προτύπου της χώρας που θα φέρει περισσότερες εξαγωγές, νέες επενδύσεις και θα δημιουργήσει ή θα διατηρήσει θέσεις απασχόλησης υψηλής ποιότητας που είναι και το ζητούμενο από το κοινωνικό σύνολο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ariadni, Arguraki. (2014) Garden soil and house dust as exposure media for lead uptake in the mining village of Stratoni, Greece, Springerlink, 36/4, 677- 692.
2. Arvanitidis, N. (1998) Northern Greece's Industrial Minerals: Production and Environmental Technology Developments, ScienceDirect, 62/1- 3, 217-227.
3. Arvanitidis, N., Michael, C., Christidis, C., Perantonis, G., Bakalis, V. & Ballas, D. (2015) 3D- and 4D-Modelling of the Hellenic Belt, Greece, Springerlink, 299- 331.
4. Azapagic, A. (2003) Developing a Framework for Sustainable Development Indicators for the Mining and Minerals Industry, ScienceDirect, 12/6, 639- 662.
5. Bascetin, A., Tuylu, S., Adiguzel, D. & Ozdemir, O. (2017) Field Properties and Performance of Surface Paste Disposal, Springerlink, 145-176.
6. Basu, J. A. & Baafi, Y. E. (2007) Discrete Event Simulation of Mining Systems Current: Practice in Australia, Taylor & Francis Online, 13/2, 79-84.
7. Batterham, R. (2014) Lessons in Sustainability from the Mining Industry, Springerlink, 83, 8-15.
8. Becze, L. & Demopoulos, G. P. (2007) Hydrometallurgical Synthesis Characterization and Stability of Ca- Fe- AsO₄ Compounds, Scopous, 11- 17
9. Betancourt, O., Barriga, R., Guimaraes, D. R. J., Cueva, E. & Betancourt, E. (2011) Impacts on Environmental Health of Small- Scale Gold, Springerlink, 1/IIID, 119-130.
10. Bottero, M., Comino, E. & Riggio, V. (2011) Environmental Modeling Software Application of the Analytic Hierarchy Process and the Analytic Network Process for

- the Assesmen of Different Wastewater Treatment Systems, ScienceDirect, 26/10, 1211- 1224.
12. Bowes, L., Richards P. J. & McGee T. (2009) Socio- Economic Impacts of the Nanisivik and Polaris Mine, Nunavut, Canada, Springerlink, 371-396.
 13. Brueckner, M., Durey, A., Mayes, C. (2014) The Mining Boom and Western Australia Changing Landscape: Towards Sustainability or Bussines as Usual, Taylor & Francis Online, 22/2, 111- 124.
 14. Carvalho, P. F. (2017) Mining Industry and Sustainable Development Time for Change, Wiley Online Library, 6/2, 61- 77.
 15. Chattopadhyay, N. (2017) How Sustainability Helps Coal and other Mining Operation, Springerlink, 1-25.
 16. Corder, G. (2017) Mining and Sustainable Development, Springerlink, 253-269.
 17. Couture, M. R., Gobeli, G. & Tessier, A. (2007) Arsenic, Iron abd Sulfur Co- Diagenesis in Lake Sediments, ScienceDirect, 74/4, 1238- 1255.
 18. Damigos, D. & Kalampakos, D. (2006) The "Battle of Gold" under the Light of Green Economies: Case Study of Greece, 202-218.
 19. Dane, A. (2009) Assessing the Socio-Economic Impacts of Mining: Case Study of the Landau Colliery, South Africa, Springerlink, 397-436.
 20. Davenport, G. W., King, M., Schlesinger, M., Biswas, K. A. (2002) Chapter 5- Flash Smelting- Outokumpu Process, ScienceDirect, 73- 90.
 21. Deb, M. & Sarkar, C. S. (2017) Chapter 9 Sustainable Development of Mineral Resources, Springerlink, 473-488.
 22. Dove, P. M. & Rimstidt, D. J. (1985) Solubility and Stability of Scorodite $\text{FeAsO} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, Researchgate, 70/7, 838- 844
 23. Eggert, G. R. (2001) Mining and Economic Sustainability: National Economies, Local Communities, MMSD, 1-84.
 24. European Commission, Best Available Techiques Reference Document on the Production of Sulphuric Acid, 1- 58.
 25. Evangelinos, K. & Oku, M. (2005) Corporate Environmetal Management and Regulation of Mining Operations in the Cyclades, Greece, ScienceDirect, 14/3- 4, 262- 270.
 26. Filippou, D. & Demopoulos, P. G. (1997) Arsenic Immobilization by Controlled Scorodite Precipitation, Springerlink, 49/12, 52-55.

27. Ghorbani, Y & Kuan, H. S. (2016) A Review of Sustainable development in the Chilean Mining Sector: Past, Present and Future, Taylor & Francis Online, 137-165.
28. Gilberthorpe, E., Agol, D. & Gegg, T. (2016) Sustainable Mining Corporate Social Responsibility and Livelihood Chosen in Zambia, Taylor & Francis Online, 52/11, 1517-1532.
29. Gonzalez, P., Virgen, A. Q. Benitez, O. S. & Sotelo, C. S. (2014) Application of Analytic Hierarchy Process in a Waste Treatment Technology Assessment in Mexico, Springerlink, 186/9, 5777- 5795.
30. Gregurek, D., Peng, Z. & Mc key, J. P. (2015) Metallurgy: Energy and Environmental Issues, Springerlink, 67/5, 1064- 1065.
31. Grimwade, M. (2013) Metallurgy of Gold, Taylor & Francis Online, 17/4, 371-381.
32. Guerin, F. T. (2007) A Survey of Sustainable Development Initiatives in the Australian Mining and Minerals Industry, Taylor & Francis Online, 20/3- 4, 11- 44.
33. Hamor, T. (2004) Sustainable Mining in the European Union: The Legislative Aspect, Springerlink, 23/2, 252- 261.
34. Hanniala, P., Makinen, T. & Kyto, M. (1991) Flash Technology for Converting, Springerlink, 191- 203.
35. Harris, G. B. & Krause, E. (1993) The Disposal of Arsenic from Metallurgical Process: Its Status Regarding Ferric Arsenate, Springerlink, 1, 1221- 1237
36. Hassan, A. S., Schunnesson, H., Greberg, J. & Gustafson, A. (2013) Transition from Surface to Underground Mining in the Arctic Region: A Case Study from Svartliden Gold Mine, Sweden, Springerlink, 1397- 1408.
37. Hellas Gold, (2006) Environmental Impact Assessment, Σπύρος Παπααργυροπού, Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ, Μηχανικός Περιβάλλοντος, Dipl, MSc, MLitt., Διευθύνων Σύμβουλος της ENVECO A.E
38. Henderson, T. K. (2013) Mine Planning Best Practice at Kingross Gold, Taylor & Francis Online, 122/2, 86-93.
39. Hilson, G. & Basu, J. A. (2009) Devising Indicators of Sustainable Development for the Mining and Minerals Industry. An Analysis of Critical Background Issues, Springerlink, 10/4, 319-331.
40. Hilson, G. (2002) Promoting Sustainable Development in Ghanaian Small-Scale Gold Mining Operations, Springerlink, 22/1, 51-57.

41. Hitchens, D., Farrell, F., Lindblom, J. & Triebswetter, U. (2002) European Commission. The impact of Best Available Techniques (BAT) on the Competitiveness of European Industry, ResearchGate, 1-120.
42. IIED. (2002) Breaking New Ground: Mining, Minerals and Sustainable Development, 1-450.
43. IPPC, European Commission, (2001) Reference Document on BATs in the Non-Ferrous Metal, Scholar, 1-807.
44. Jain, K. R., Cui, C. Z. R. & Domen, K. (2015) Environmental Impact of Mining and Mineral Processing: Management, Monitoring, and Auditing Strategies, Scholar, 1-322.
45. James, V., Bathe, J., Brown, W. P. (1999) The Stabilities of Calcium Arsenates at 23+/-1°C, ScienceDirect, 69/2, 197-207.
46. Jing, C., Liu, S. & Meng, X. (2007) Arsenic Remobilization in Water Treatment Adsorbents under Reducing Conditions: Part I. Incubation Study, ScienceDirect, 389/1, 188-194.
47. Jounela, L. S., Vermasvuori, M., Haavisto, S. & Enden, P. (2001) Fault Diagnosis System for the Outokumpu Flash Smelting Process, ScienceDirect, 32/2, 65- 70.
48. Kioussis, G. (2005) Gold, Palladium and Platinum Recovery, as By-products, from the Skouries Porphyry Cu-Au Deposit, Chalkidiki Area, Northeastern Greece — Preliminary Results, Springerlink, 991- 994.
49. Kirch, S. (2009) Sustainable Mining, Springerlink, 34/1, 87-93.
50. Knight, B. R. & Haile, P. J. (1983) Sub- Aerial Tailings Deposition, Scholar, 627- 639.
51. Kogel, E. J. (2015) Sustainable Development and the Mineral Industry, Springerlink, 23- 34.
52. Kojo, V. I. & Storch, H. (2006) Copper Production with Outokumpu Flash Smelting: An Up Date, Researchgate, 8, 225- 238.
53. Krause, E. & Ettel, A. V. (1988) Solubilities and Stabilities of Ferric Arsenate Compound, ScienceDirect, 22/3, 311- 337.
54. Kundu, S. & Gupta, K. A. (2008) Immobilization and Leaching Characteristics of Arsenic from Cement and for Lime Solidified/ Stabilized Spent Adsorbent Containing Arsenic, Springerlink, 153/1 -2, 434- 443
55. Kundu, S., Paul, A., Mandal, M., Ghosh, S., Panigrahi, S. & Pal, T. (2004) Hardened Paste of Portland Cement- A New Low- Cost Adsorbent for the Removal of Arsenic from Water, Taylor & Francis Online, 39/1, 185- 202

56. Lebre, E., Corder D. G. & Golev, A. (2016) Sustainable Practices in the Management of Mining Waste: A Focus on the Mineral Resource, *ScienceDirect*, 107, 34-42.
57. Lee, Y., Um, H. I. & Yoon, J. (2003) Arsenic (III) Oxidation by Iron (VI) (Ferrate) and Subsequent Removal of Arsenic (V) by Iron (III) Coagulation, *Scholar*, 37/24, 5750-5756
58. Lei, J., Peng, B., Liang, Y., Min, B. X., Chai, Y. - L. & Ke, Y. (2018) Effects of Anions on Calcium Arsenate Crystalline Structure and Arsenic Stability, *Springerlink*, 177, 123-131
59. Lighthall, C. P. (2007) Innovative Tailings Disposal Methods in Canada, *Taylor & Francis Online*, 1/1, 7- 12.
60. Lima, A., Mitcell, K. & O Connell N. D. (2016) The Legacy of Surface Mining Remediation, Restoration, Reclamation, Rehabilitation, *Scholar*, 66, 227-233.
61. Mahdi, R. & Morteza, O. (2014) Determining the Most Effective Factor on Open- Pit Mine Plans and their Interactions, *Springerlink*, 197-207.
62. Makinen, T. & Taskinen, P. (2013) State of the Art Nickel Smelting: Direct Outokumpu Nickel Technology, *Springerlink*, 86- 94
63. Mapstone, L., Rifkin, W. Louis, R. W. & Moffat, K. (2018) Company- Community Dialogue Builds Relationships, Fairness and Trust Leading to Social Acceptance of Australian Mining Developments, *ScienceDirect*, 184, 671- 677.
64. Matos, V. P., Cardadeivo, E., Silva, A. J. & Muyllder F. C. (2017) The Use of Multicriteria Analysis in the Recovery of Abandoned Mines: A Study Inventor in Portugal, *ScienceDirect*, 53/2, 1- 11.
65. Mazalto, M. (2009) Chapter 15 Environmental Liability in the Mining Sector: Prospects for Sustainable Development in the Democratic Republic of the Congo, *Springerlink*, 289-317.
66. Mc Cullough, D. C. & Lund A. M. (2006) Opportunities for Sustainable Mining Pit Lakes in Australia, *Springerlink*, 25/4, 220-226.
67. Monhemius, J. A. & Swash, M. P. (1999) Removing and Stabilizing as from Copper Refining Circuits Hydrothermal Processing, *Springerlink*, 51/9, 30-33.
68. Morales, A., Cruels, Roca, A. & Berg, R. (2010) Treatment of Copper Flash Smelter Flue Dusts for Copper and Zinc Extraction and Arsenic Stabilization, 105/1-2, 148-154
69. Mudd, M. G. (2015) An Assessment of the Sustainability of the Mining Industry in Australia, *Taylor & Francis Online*, 5/1, 1-12.

70. Nazari, M. A., Radzinski, R. & Ghahreman, A. (2016) Review of Arsenic Metallurgy: Treatment of Arsenical Minerals and Immobilization of Arsenic, *ScienceDirect*, 174, 258- 281.
71. Nikolaou, E. I. & Evangelinos, K. I. (2010) A SWOT Analysis of Environmental Management Practices in Greek Mining and Minerals Industry, *ScienceDirect*, 35/3, 226-234.
72. Ogola, J., Mitullah, V. W. & Omulo, A. M. (2002) Impacts Gold Mining on the Environmental and Human Health Case Study in the Migori Gold Belt, Kenya, *Springerlink*, 24/2, 141-158.
73. Opoku, S. & Musingwini, C. (2013) Stochastic Modeling of the Open - Pit to Underground Transition Interface for Gold Mine, *Taylor & Francis Online*, 27/6, 407-424.
74. Paktunc, D. & Bruggeman, K. (2010) Solubility of Nanocrystalline Scorodite and Amorphous Ferric Arsenate: Implications for Stabilization of Arsenic in Mine Wastes, *ScienceDirect*, 22/3, 674- 683.
75. Padfy, P., Vircikova, E., Molnar, L. (1999) Processing of Arsenic Waste by Percipitation and Solidification, *ScienceDirect*, 19/1, 55- 59.
76. Paktunc, D., Dutrizac, J. & Gertsman, V. (2008) Synthesis and Phase Transformations Involving Scorodite, Ferric Arsenate and Arsenical Ferrihydrite Implications for Arsenic Mobility, *ScienceDirect*, 72/11, 2649- 2672.
77. Papanikolaou, C., Kotis, T., Foscolos, A. & Goodarzi, F. (2004) Coals of Greece: A Review of Properties, Uses and Future Perspectives, *ScienceDirect*, 58/3, 147- 169.
78. Peng, Z., Gregurek, D. & Wenzl, C. (2015) Sustainability in Metallurgy, *Springerlink*, 67/9, 1931- 1932.
79. Petrova, S. & Marinova, D. (2014) Social impacts of mining: Changes within the local social, *Taylor & Francis Online*, 22/2, 153-165.
80. Piret, L. N. & Melin E. A. (1989) An Engineering Approach to the Arsenic Problem in the Extraction of Non- Ferrous Metals, 735-814.
81. Piret, L. N. (1999) The Removal and Safe Disposal of Arsenic in Copper Processing, *Springerlink*, 51/9, 16-17.
82. Pokhrel, L. R. & Dubey, B. (2012) Global Scenarios of Metal Mining: Sustainability Environments, *Taylor & Francis Online*, 43/21, 2352-2388.
83. Porgo, M. & Gokyay, O. (2016) Environmental Impacts of Gold Mining in Essakane Site of Burkina Faso, *Taylor & Francis Online*, 23/3, 641-654.

84. Rao, M. P. & Pathak, K. (2007) Socio- Economic Impacts of Mine Closure: a Case Study Using Satelite Imagery, Taylor & Francis Online, 62/5, 555-570.
85. Real, F. & Franco, A. (1990) Lisboa 90 Tailings Disposal at Neves- Corvo Mine, Portugal, Springerlink, 9/1- 4, 1990.
86. Reed, W. & Westman, E. C. (2006) A Model for Predicting the Dispersion of Dust from a haul Truck, Taylor & Francis Online, 19/1, 66-74.
87. Revuelta, B. M. (2017) Mineral Resource Extraction, Springerlink, 311-421.
88. Riveros, A. P., Dutrizac, E.J. & Spencer, P. (2013) Arsenic Disposal Practices in the Metallurgical Industry, Taylor & Francis Online, 40/4, 395-420.
89. Robins, R. G. (1988) In Arsenic Metallurgy Fundamentals and Applications, Springerlink, 215- 247
90. Sa, D. P. (2018) Mining and Sustainable Development : Territorializing the Mining Industry, Springerlink, 8/16, 1-13.
91. Saaty, W. R. (1987) The Analytic Hierarchy Process- What and How it is Used, ScienceDirect, 9/3 -5, 161- 176.
92. Schlesinger, E. M. (2011) Extractive Metallurgy of Copper (Fifth Edition), Chapter 6 - Flash Smelting, Scholar, 89-110.
93. Schueler, V., Kuemmerle, T. & Schroder H. (2011) Impacts of Surface Gold Mining on Land Use System in Western Ghana, Springerlink, 40/5, 528-539.
94. Scott, A. T., Ho, W. & Dey, K. P. (2012) A Review of Multicriteria Decision- Making Methods for Bioenergy Systems, ScienceDirect, 42/1, 146- 156.
95. Shamma, K. N. & Wang, K. L. (2007) Pressure Filtration, Springerlink, 541- 581.
96. Shen, L., Muduli, K. K. & Barve, A. (2013) Developing a Sustainable Development Framework in the Context of Mining Industries: AHP Approach, ScienceDirect, 46/1, 15- 26.
97. Singhanian, S., Wang, Q., Filippou, D. & Demopoulos, P. G. (2005) Temperature and Seeding Effects on the Precipitation of Scorodite from Sulfate Solutions under Atmospheric Pressure, Springerlink Conditions, 36/3, 327-333.
98. Smith, W. F. & Underwood, B. (2013) Mining Closure: The Environmental Challenge, Taylor & Francis Online, 109/3, 202-209.
99. Sorensen, P. (2012) Sustainable Development in Mining Companies in South Africa, Taylor & Francis Online, 21-40.
100. Stevens, R. (2010) Mineral Exploration and Mining Essential, Scholar, 1-322.

101. Stothard, P. & Laurence, D. (2014) Application of Large - Screen Immersive Visualisation System to Demonstrate Sustainable Mining Practice Principles, Taylor & Francis Online, 123/4, 199- 206.
102. Swash, M. P. & Monhemius, J. A. (1995) Synthesis Characterisation and Solubility Testing of Solids in the Ca- Fe- AsO₄, Researchgate, 1/17- 28, 17-28.
103. Swash, M. P. & Monhemius, J. A. (1998) The Scorodite: A Technology For the Disposal Arsenic in the 21 Century, Scholar, 1- 35
104. Swash, M. P. & Monhemius, J. A. (1999) The Scorodite: A Technology For the Disposal Arsenic in the 21 Century, Scholar, 83, 141- 152
105. Taylor, R. T. & Putra, T. A. R. (2016) Pyrometallurgical Processing Technologies for Treating High Arsenic Copper Concentrates, Springerlink, 197-211.
106. Thomson, N., Spencer, P. & Green, P. (2002) Management of Arsenic Trioxide Bearing Dust at Giant Mine Yellowknife, Northwest Territories, Scholar, 1- 5.
107. Tiess, G. (2011) View of the Mineral Policies in Selected States of Europe, Springerlink, 181-412.
108. Tost, M., Hitch, M., Chhandurkar, V., Moser, P. & Feiel, S. (2018) The State of Environmental Sustainability Considerations in Mining, ScienceDirect, 182, 969-977.
109. Twidwell, L. (2018) Treatment of Arsenic - Bearing Minerals and Fixation of Recovered Arsenic Products, Researchgate, 1- 35
110. Twidwell, L., Mc Closkey, J., Miranda, P. & Gale, M. (1999) Technologies and Potential Technologies for Removing Arsenic from Process and Mine Wastewater, Researchgate, 1645- 1656.
111. Vaidya, S. O. & Kumar, S. (2004) The Analytic Hierarchy Process: An Overview of Applications, ScienceDirect, 169/1, 1- 29.
112. Valenzuela, A. (2000) Arsenic Management in the Metallurgical Industry, Scholar, 1- 195.
113. Vartiainen, A. & Anokainen, T. (2015) Outotecs Smelting Solutions In- Non Ferrous Metals, Wiley Online Library, 89- 97.
114. Weatherstone, N. (2013) The Pole of the Mineral Reserve Estimator in Promoting Sustainable Development in the Mining Industry, B14- B22
115. Younger, P. & Wolkersdorfer, C. (2004) Mine Water and Environment: Technical and Managerial Guidelines for Catchment Scale Management, Springerlink, 23/1, S2- S80.

116. Zevgolis, N. E. (2003) Extractive Metallurgy of Gold and its Environmental Impact. The International Experience, Researchgate, 1-16.
117. Zhang, X., Yang, L., Li, Y., Li, H., Wang, W. & Ye, B. (2011) Impacts of Lead/Zinc Mining and Smelting on the Environment and Human Health in China, Springerlink, 184/4, 2261-2273.
118. Zhao, Z., Wang, S. & Jia, Y. (2017) Effect of Sulfide on As(III) As(V) Sequestration by Ferrihydrite, ScienceDirect, 185, 321- 328.
119. Zhu, N. Y., Zhang, H. X., Xie, L. Q., Wang Q. D. & Cheng W. G. (2005) Solubility and Stability of Calcium Arsenates 25°C, Springerlink, 169/1- 4, 221- 238.

