



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

«Σύγχρονες τάσεις προσαρμογής του κλάδου της μεταλλευτικής στις απαιτήσεις της ενεργειακής και κλιματικής κρίσης»



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μήνα Κοντογιώργη

Επιβλέπων: Δημήτριος Καλιαμπάκος

Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Ιούλιος 2022



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

**«Σύγχρονες τάσεις προσαρμογής του κλάδου της μεταλλευτικής στις
απαιτήσεις της ενεργειακής και κλιματικής κρίσης»**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μήνα Κοντογιώργη

Επιβλέπων: Δημήτριος Καλιαμπάκος

Καθηγητής Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις 18/07/2022

Δημήτριος Καλιαμπάκος, Καθηγητής ΕΜΠ,

Μαρία Μενεγάκη, Καθηγήτρια ΕΜΠ,

Αθανάσιος Μαυρίκος, Ε.Δι.Π.,

Αθήνα, Ιούλιος 2022

Ευχαριστίες

Το παρόν τεύχος με τίτλο «Σύγχρονες τάσεις προσαρμογής του κλάδου της μεταλλευτικής στις απαιτήσεις της ενεργειακής και κλιματικής κρίσης» αποτελεί την Διπλωματική Εργασία, που εκπονήθηκε στο πλαίσιο ολοκλήρωσης του προπτυχιακού κύκλου σπουδών μου στην Σχολή Μεταλλείων – Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλλαν για την επιτυχή ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας. Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά των επιβλέποντα καθηγητή μου, κύριο Δημήτριο Καλιαμπάκο Καθηγητή ΕΜΠ, για την καθοδήγηση και την πολύτιμη και καθοριστική σημασίας βοήθεια, που μου παρείχε σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Δημήτριο Δαμίγο Καθηγητή ΕΜΠ, για την βοήθεια και το υλικό που μου διέθεσε για την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας. Τέλος, ευχαριστώ την οικογένεια μου, αλλά και τους φίλους μου για τη συνεχή υποστήριξη και συμπαράσταση τους, καθ' όλη τη διάρκεια σπουδών μου.

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια, το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής, αρχίζει να γίνεται αισθητό στους ανθρώπους. Ένας από τους κλάδους που καλείται να αντιμετωπίσει τις συνεχώς αυξανόμενες προκλήσεις που δημιουργεί η κλιματική αλλαγή, είναι και ο εξορυκτικός κλάδος.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η μελέτη της προσαρμογής του κλάδου της μεταλλευτικής στις απαιτήσεις της ενεργειακής και κλιματικής κρίσης μέσω χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και καινοτόμων τεχνολογιών.

Μετά την υπογραφή της Συμφωνίας του Παρισιού από περίπου 190 κράτη για τον περιορισμό της υπερθέρμανσης του πλανήτη πολύ κάτω από τους 2°C, ο εξορυκτικός τομέας είναι το κλειδί για την ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, καθώς η πράσινη τεχνολογία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από ορισμένα μέταλλα και ορυκτά. Η κλιματική αλλαγή συνιστά επίσης ευρύτερη απειλή για τον εξορυκτικό τομέα, καθώς πολλά μέταλλα με εξαιρετική σημασία στην παραγωγή τεχνολογίας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τείνουν να συγκεντρώνονται σε περιοχές ευάλωτες στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Από την άλλη πλευρά, όμως, ο τομέας εξόρυξης, είναι υπεύθυνος για το 4 έως 7% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) παγκοσμίως, και θα αντιμετωπίσει πιέσεις για μείωση των εκπομπών. Σε αυτή την εργασία, λοιπόν, γίνεται ανασκόπηση των εφαρμογών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε ορυχεία (Καναδάς, Αυστραλία και Χιλή κ.α.) τα οποία υιοθετούν πρακτικές που αξιοποιούν την ηλιακή και αιολική ενέργεια, αλλά μελετάται και περίπτωση στην οποία ορυχείο αντικαθιστά όλο τον εξοπλισμό του με ηλεκτρικό εξοπλισμό. Τέλος γίνεται αναφορά σε κάποιες πρόσθετες πρακτικές όπως τα φορτηγά υδρογόνου, η πράσινη αμμωνία, η αξιοποίηση της ενέργειας από εγκαταλελειμμένα ορυχεία και του μεθανίου ανθρακωρυχείων, αλλά και η ευφυής τεχνολογία εξόρυξης για ένα υπόγειο ορυχείο μετάλλων με βάση μη επανδρωμένο εξοπλισμό.

Abstract

In recent years, the problem of climate change has been exacerbated by human activity and the consequences are obvious in people's everyday lives. One of the sectors facing the ever-increasing challenges posed by climate change is the mining sector.

The aim of this thesis is to study the adaptation of the mining sector to the demands of the energy and climate crisis through the use of renewable energy sources and innovative technologies.

Following the signing of the Paris Agreement by 190 countries to limit global warming to well below 2°C, the mining sector is the key for the development of renewable energy, as green technology is heavily dependent on certain metals and minerals. Climate change also poses a broader threat to the mining sector, as many metals of great importance in the production of renewable energy technology tend to be concentrated in areas vulnerable to the effects of climate change. The mining sector, on the other hand, is responsible for 4 to 7% of global greenhouse gas (GHG) emissions, and will face pressure to reduce them. Therefore, this paper discusses renewable energy applications in mines (Canada, Australia and Chile, etc.) that adopt practices that harness solar and wind energy. It also examines a case study of a mine replaces all its equipment with electrical equipment. Finally, there is a reference to some additional practices such as hydrogen trucks, green ammonia, use of energy from abandoned mines and coal mine methane, as well as intelligent mining technology for an underground mine based on unmanned equipment.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	13
1.1 Βασικά στοιχεία για την παγκόσμια κλιματική αλλαγή.....	13
1.2 Τα αίτια της κλιματικής αλλαγής.....	14
1.2.1 Αέρια θερμοκηπίου	15
1.2.2 Αιτίες για την αύξηση των εκπομπών.....	16
1.3 Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής	17
1.3.1 Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στον πλανήτη.....	18
1.3.2 Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στον άνθρωπο	19
1.4 Αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.....	21
1.4.1 Η Συμφωνία του Παρισιού.....	21
1.4.2 Σχέδιο στόχος για το κλίμα 2030	23
1.5 Απογραφή GHG για χαμηλές εκπομπές	23
1.6 Κυκλική οικονομία.....	25
2. Η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στον εξορυκτικό κλάδο.....	27
2.1 Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στον εξορυκτικό κλάδο	27
2.1.1 Υδατική πίεση	28
2.1.2 Πλημμύρες.....	29
2.1.3 Άλλοι κλιματικοί παράγοντες.....	31
2.1.4 Μετατόπιση της ζήτησης για ορυκτά.....	31
2.2 Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στον Ελληνικό εξορυκτικό κλάδο	32
2.2.1 Εκτιμώμενες επιπτώσεις.....	33
2.2.2 Εκτίμηση της συνολικής οικονομικής ζημιάς.....	34
3. Ανταπόκριση της μεταλλευτικής βιομηχανίας στην κλιματική αλλαγή.....	36
3.1 Ορυχείο Borden της Goldcorp στον Καναδά.....	41
3.1.1 Ηλεκτρικό jumbo εξόρυξης Sandvik DD422iE	42
3.1.2 Γεωτρύπανο Sandvik DL422iE.....	44
3.1.3 Ηλεκτρικός φορτωτής Toro™ LH514BE	46
3.1.4 Φορητοί σταθμοί φόρτισης.....	47
3.2 Ορυχείο Raglan mine στον Καναδά.....	48
3.2.1 Πλεονεκτήματα για τον Καναδά	52
3.3 Ορυχεία χαλκού της Codelco στη Χιλή.....	53
3.3.1 Μέτρηση εκπομπών CO ₂	55
3.3.2 Στρατηγική για τους υδάτινους πόρους.....	57

3.3.3 Κυκλική οικονομία.....	58
3.3.4 Στοιχεία παραγωγής χαλκού.....	58
3.3.4.1 Παραγωγή καθόδων χαλκού.....	58
3.3.5 Υπολογισμός ζήτησης θερμότητας.....	59
3.3.6 Επιλογή ηλιακών συλλεκτών	60
3.3.7 Ηλιακός πόρος.....	60
3.3.8 Προσομοίωση θερμικού συστήματος.....	62
3.3.9 Οικονομικά μεγέθη.....	63
3.3.10 Επικύρωση μοντέλου	66
4. Επισκόπηση των πρακτικών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα ορυχεία της Αυστραλίας	67
4.1 Συμβολή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε δυναμικότητα και ηλεκτρική ενέργεια	68
4.2 Τα προγραμματισμένα συστήματα αντιμετωπίζουν ένα αβέβαιο μέλλον	68
4.3 Η υιοθέτηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας γίνεται κυρίως σε επί τόπου και εκτός δικτύων ορυχεία.....	70
4.3.1 Τα ηλιακά φωτοβολταϊκά φωτίζουν το μέλλον της εξορυκτικής βιομηχανίας	70
4.3.2 Τα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας δεν είναι αυτόνομα.....	71
4.4 Οι συμφωνίες αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας δίνουν τη δυνατότητα για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	72
4.5 Αποθήκευση ενέργειας με μπαταρίες.....	73
4.6 Παραδείγματα προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή από τον Αυστραλιανό εξορυκτικό κλάδο	74
4.6.1 Διυλιστήριο ψευδαργύρου της Sun Metals	74
4.6.2 Ορυχεία σιδηρομεταλλεύματός της Fortescue Metals Group.....	76
4.6.2.1 Φορτηγά μεταφοράς	79
4.6.2.2 Σιδηρόδρομος.....	80
4.6.2.3 Άλλος βαρύς εξοπλισμός εξόρυξης	80
4.6.3 Ανθρακωρυχεία της BHP στο Queensland της Αυστραλίας.....	80
5. Πρόσθετες πρακτικές για προσαρμογή του εξορυκτικού κλάδου στην κλιματική αλλαγή. 82	
5.1 Φορτηγά υδρογόνου	82
5.1.1 Κυψέλη καυσίμου XCIENT.....	82
5.1.2 Τα οφέλη αυτού του έργου για τη βιομηχανία εξόρυξης	84
5.2 Η πράσινη αμμωνία.....	86
5.2.1 Απανθρακοποίηση της παραγωγής αμμωνίας.....	86

5.2.2 Το μέλλον της πράσινη αμμωνίας.....	87
5.3 Εγκαταλελειμμένα ορυχεία.....	88
5.3.1 Seaham Garden Village	89
5.3.2 Επαρχιακό Δίκτυο Minewater Hebburn	91
5.4 Ευφυής τεχνολογία εξόρυξης για ένα υπόγειο ορυχείο μετάλλων με βάση μη επανδρωμένο εξοπλισμό.....	93
5.4.1 Ευφυής εξόρυξη.....	94
5.4.2 Μη επανδρωμένος εξοπλισμός.....	96
5.4.2.1 Έξυπνο Jumbo διάτρησης βράχου.....	96
5.4.2.2 Έξυπνο τρυπάνι DTH.....	98
5.4.2.3 Έξυπνο υπόγειο scraper.....	101
5.4.2.4 Έξυπνο υπόγειο φορτηγό εξόρυξης	102
5.4.2.5 Ευφύς υπόγειο όχημα φόρτισης.....	104
5.4.3 Βασικές πλατφόρμες συστημάτων	106
5.4.3.1 Πλατφόρμα εντοπισμού θέσης και πλοήγησης	106
5.4.3.2 Πλατφόρμα απόκτησης πληροφορίας και επικοινωνίας	107
5.4.3.3 Πλατφόρμα προγραμματισμού και ελέγχου	109
5.4.4 Παράδειγμα έξυπνου συστήματος εξόρυξης στην Κίνα	110
5.5 Μεθάνιο ανθρακωρυχείου (CMM).....	112
5.5.1 Χρήσεις του CMM.....	113
5.5.2 Διαφορά CBM και CMM	114
6. Συμπεράσματα.....	115
Βιβλιογραφία	118

Ευρετήριο Εικόνων:

Εικόνα 1: Απεικόνιση των παραγόντων που συντελούν στην άνοδο θερμοκρασίας της γήινης επιφάνειας κατά την περίοδο 1951-2010 (Μαυρομάτης, 2020).....	16
Εικόνα 2: Επισκόπηση των πεδίων και των εκπομπών του πρωτοκόλλου GHG	24
Εικόνα 3: Φράγματα νερού στο ορυχείο Drayton.....	29
Εικόνα 4: Ανοικοδόμηση δρόμου στη Ζάμπα	30
Εικόνα 5: Ηλεκτρικό jumbo εξόρυξης Sandvik DD422iE.....	44
Εικόνα 6: Γεωτρύπανο Sandvik DL422iE.....	45
Εικόνα 7: Ηλεκτρικός φορτωτής Toro™ LH514BE.....	47
Εικόνα 8: Φορητοί σταθμοί φόρτισης.....	48
Εικόνα 9: Εγκαταστάσεις αποθήκευσης ενέργειας της TUGLIQ (εγκατάσταση υδρογόνου, δοχείο μπαταρίας και σφόνδυλος).....	51
Εικόνα 10: Η ανεμογεννήτρια του ορυχείου Raglan mine στον Καναδά	51
Εικόνα 11: Ο θερμικός ηλιακός σταθμός Elvira Solar της Codelco (Energía Llaima Solar, n.d.).....	54
Εικόνα 12: Εκπομπές από χυτήρια (χιλιάδες ανά τόνο)	57
Εικόνα 13: Κατανάλωση ενέργειας (PJ).....	57
Εικόνα 14: Χάρτης ηλιακών πόρων με τα ορυχεία χαλκού που έχουν αξιολογηθεί στο έδαφος της Χιλής.....	60
Εικόνα 15: Το ηλιακό πάρκο της Sun Metals στην Αυστραλία (Trade and Investment Queensland, n.d.).....	76
Εικόνα 16: Το Chichester Solar Gas Hybrid	79
Εικόνα 17: Φορητό υδρογόνου της Hyundai.....	85
Εικόνα 18: Παραγωγή και χρήσεις της πράσινης αμμωνίας	88
Εικόνα 19: Η προτεινόμενη ανάπτυξη του Seaham Garden Village.....	90
Εικόνα 20: Αποκατάσταση του νερού των ορυχείων στο σύστημα επεξεργασίας νερού του ορυχείου Dawdon	90
Εικόνα 21: Η περιοχή των εργασιών του Hebburn Colliery όπως φαίνεται από το διαδικτυακό διαδραστικό πρόγραμμα προβολής της Coal Authority. Η είσοδος του ανθρακωρυχείου βρισκόταν ακριβώς νότια του B1297.....	92
Εικόνα 22: Πλατφόρμα τηλεχειρισμού στην επιφάνεια με επιτόπια σήματα ήχου και εικόνας	97
Εικόνα 23: Έξυπνο Jumbo γεωτρήσεων βράχου.....	98
Εικόνα 24: Η δομή ενός ανεξάρτητου συστήματος διεύθυνσης τεσσάρων τροχών.....	99
Εικόνα 25: Λειτουργία της έξυπνης μηχανής διάτρησης DTH.....	100
Εικόνα 26: Ένα έξυπνο υπόγειο scraper και η πλατφόρμα τηλεχειρισμού του στην επιφάνεια	102
Εικόνα 27: Κατανομή των αισθητήρων για μη επανδρωμένη οδήγηση	104
Εικόνα 28: Ένα έξυπνο φορητό υπόγειας εξόρυξης.....	104
Εικόνα 29: Ένα έξυπνο υπόγειο όχημα φόρτισης	106
Εικόνα 30: Πληροφορίες εντοπισμού θέσης που λαμβάνονται από το σύστημα λείζερ και το σύστημα UWB	107

Ευρετήριο Διαγραμμάτων:

Διάγραμμα 1: Παγκόσμια αλλαγή θερμοκρασίας από το 1850 έως το 2021, σε σύγκριση με την εκτιμώμενη μέση θερμοκρασία βάσης 1850-1900.....	18
Διάγραμμα 2: Διάγραμμα που δείχνει ότι τα συμβάντα που προκαλούν απώλεια γίνονται πιο συχνά.....	21
Διάγραμμα 3: Διάγραμμα κυκλικής οικονομίας	26
Διάγραμμα 4: Συνολικές εκπομπές CO ₂ της Codelco την τελευταία πενταετία.....	56
Διάγραμμα 5: Ένταση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ανά έτος.....	56
Διάγραμμα 6: Σχέδιο ενσωμάτωσης για τη διαδικασία EW.....	63
Διάγραμμα 7: Ευφύες διάγραμμα ροής ελέγχου υδραυλικής γεώτρησης	97
Διάγραμμα 8: Διάγραμμα ροής ελέγχου κατά της απόκλισης της ράβδου γεώτρησης.....	100
Διάγραμμα 9: Ο αλγόριθμος οδήγησης ενός μη επανδρωμένου scraper	102
Διάγραμμα 10: Σχεδιασμός ενός έξυπνου συστήματος φόρτισης οχημάτων.....	105
Διάγραμμα 11: Αρχιτεκτονική ενός υπόγειου ασύρματου συστήματος επικοινωνίας. AP: σημείο πρόσβασης	108
Διάγραμμα 12: Γρήγορη κινητή εναλλαγή υπόγειων τερματικών σταθμών ασύρματης επικοινωνίας	109
Διάγραμμα 13: Διάγραμμα της πλατφόρμας ευφυούς προγραμματισμού και ελέγχου	110
Διάγραμμα 14: Πλαίσιο δοκιμής ενός ευφυούς συστήματος εξόρυξης σε υπόγειο μεταλλευτικό ορυχείο.....	111

Ευρετήριο Πινάκων:

Πίνακας 1: Ετήσια παραγωγή καθόδων χαλκού, ετήσια ηλιακή ακτινοβολία και τοποθεσία εξόρυξης με τη διαδικασία EW στη Χιλή.....	58
Πίνακας 2: Ποσότητα των σταθμών ηλιακών πόρων, μέση μεροληψία και RMSE.....	61
Πίνακας 3: Οικονομικές παραδοχές	64
Πίνακας 4: Σύγκριση επικύρωσης μοντέλου για τον Pampa Elvira Solar.....	65
Πίνακας 5: Ορυχείο χαλκού, ηλιακό πεδίο και σειρές δεξαμενών αποθήκευσης.....	66

1. Εισαγωγή

1.1 Βασικά στοιχεία για την παγκόσμια κλιματική αλλαγή

Το κλίμα της Γης έχει αλλάξει με την πάροδο του χρόνου, με επτά κύκλους παγετώνων να προχωρούν και να υποχωρούν μόνο τα τελευταία 650.000 χρόνια. Το απότομο τέλος της τελευταίας εποχής των παγετώνων πριν από περίπου 11.000 χρόνια σηματοδότησε την αρχή του σύγχρονου κλίματος και του ανθρώπινου πολιτισμού. Οι περισσότερες από αυτές τις κλιματικές αλλαγές οφείλονται σε μικρές αλλαγές στην τροχιά της Γης που αλλάζουν την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται ο πλανήτης μας.

Η σημερινή τάση θέρμανσης είναι ιδιαίτερα σημαντική γιατί, όπως συγκλίνουν οι περισσότερες έρευνες, είναι το αποτέλεσμα της ανθρώπινης δραστηριότητας από τα μέσα του 20ού αιώνα και αναπτύσσεται με πρωτοφανή ρυθμό. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν προκαλέσει την υπερθέρμανση της ατμόσφαιρας, των ωκεανών και του πλανήτη, με εκτεταμένες και γρήγορες αλλαγές στην ατμόσφαιρα, τους ωκεανούς, την κρύσφαιρα και τη βιόσφαιρα.

Οι δορυφόροι σε τροχιά γύρω από τη Γη και άλλες τεχνολογικές εξελίξεις έχουν επιτρέψει στους επιστήμονες να συλλέξουν σημαντικές πληροφορίες για τον πλανήτη και το κλίμα σε παγκόσμια κλίμακα. Αυτό το σύνολο δεδομένων, που συλλέγονται επί πολλά χρόνια, αποκαλύπτει τα σημάδια ενός μεταβαλλόμενου κλίματος.

Οι πυρήνες πάγου που προέρχονται από τη Γροιλανδία, την Ανταρκτική και τους τροπικούς ορεινούς παγετώνες δείχνουν ότι το κλίμα της Γης συσχετίζεται με τις μεταβολές των επιπέδων των αερίων του θερμοκηπίου. Παλαιοκλιματικά στοιχεία μπορούν επίσης να βρεθούν σε δακτυλίους δέντρων, ωκεάνια ιζήματα, κοραλλιογενείς υφάλους και στρώματα ιζηματογενών πετρωμάτων. Αυτά τα παλαιοκλιματικά, στοιχεία αποκαλύπτουν ότι η σημερινή αύξηση της θερμοκρασίας συμβαίνει περίπου δέκα φορές ταχύτερα από το μέσο ρυθμό αύξησης της θερμοκρασίας κατά την αποκατάσταση της εποχής των παγετώνων. Το διοξείδιο του άνθρακα που προέρχεται από την ανθρώπινη δραστηριότητα αυξάνεται κατά 250 φορές ταχύτερα από ότι από φυσικές πηγές μετά την τελευταία εποχή των παγετώνων.

Η μέση επιφανειακή θερμοκρασία του πλανήτη έχει αυξηθεί περίπου κατά 1°C από τα τέλη του 19ου αιώνα, μια αλλαγή που οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στις αυξημένες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα και σε άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες. Το μεγαλύτερο μέρος της αύξησης της θερμοκρασίας σημειώθηκε τα τελευταία 40 χρόνια, με τα επτά πιο πρόσφατα έτη να είναι τα θερμότερα. Τα έτη 2016 και 2020 αποτελούν τα θερμότερα έτη που έχουν καταγραφεί ποτέ.

Η μάζα των παγετώνων της Γροιλανδίας και της Ανταρκτικής έχει μειωθεί. Τα δεδομένα από το πείραμα Gravity Recovery and Climate της NASA δείχνουν ότι η Γροιλανδία έχασε κατά μέσο όρο 279 δισεκατομμύρια τόνους πάγου ετησίως μεταξύ 1993 και 2019, ενώ η Ανταρκτική έχασε περίπου 148 δισεκατομμύρια τόνους πάγου ετησίως.

Η παγκόσμια στάθμη της θάλασσας αυξήθηκε περίπου 20 cm τον τελευταίο αιώνα. Ωστόσο, ο ρυθμός τις τελευταίες δύο δεκαετίες έχει γίνει σχεδόν διπλάσιος από αυτόν του προηγούμενου αιώνα και επιταχύνεται ελαφρώς κάθε χρόνο (NASA.gov, n.d.).

1.2 Τα αίτια της κλιματικής αλλαγής

Οι επιστήμονες αποδίδουν την τάση υπερθέρμανσης του πλανήτη που παρατηρείται από τα μέσα του 20ού αιώνα στην ανθρώπινη επέκταση του «φαινομένου του θερμοκηπίου» (NASA.gov, n.d.). Το φαινόμενο του θερμοκηπίου περιγράφει ένα παρόμοιο φαινόμενο, όπως συμβαίνει σε ένα θερμοκήπιο όπου το φως του ήλιου εισέρχεται και η θερμότητα διατηρείται, έτσι σε πλανητική κλίμακα, αλλά, αντί για το γυαλί του θερμοκηπίου, ορισμένα αέρια αυξάνουν ολοένα και περισσότερο τις παγκόσμιες θερμοκρασίες.

Η επιφάνεια της Γης απορροφά λίγο λιγότερο από τη μισή ενέργεια του ήλιου, ενώ η ατμόσφαιρα απορροφά το 23%, και το υπόλοιπο αντανακλάται πίσω στο διάστημα. Οι φυσικές διαδικασίες διασφαλίζουν ότι η ποσότητα της εισερχόμενης και εξερχόμενης ενέργειας είναι ίση, διατηρώντας τη θερμοκρασία του πλανήτη σταθερή. Ωστόσο, η ανθρώπινη δραστηριότητα έχει ως αποτέλεσμα την αυξημένη εκπομπή των λεγόμενων αερίων του θερμοκηπίου (GHG), τα οποία, σε αντίθεση με άλλα αέρια της ατμόσφαιρας, όπως το οξυγόνο και το άζωτο, παγιδεύονται στην ατμόσφαιρα, μη μπορώντας να διαφύγουν από τον πλανήτη. Επειδή

περισσότερη ενέργεια εισέρχεται παρά εξέρχεται στον πλανήτη, οι επιφανειακές θερμοκρασίες αυξάνονται μέχρι να επιτευχθεί μια νέα ισορροπία (Khoroshunova, 2022).

Οι άνθρωποι επηρεάζουν όλο και περισσότερο το κλίμα και τη θερμοκρασία της γης με την καύση ορυκτών καυσίμων, την κοπή δασών και την εκτροφή ζώων. Αυτό προσθέτει τεράστιες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου σε αυτά που ήδη υπάρχουν φυσικά στην ατμόσφαιρα, αυξάνοντας το φαινόμενο του θερμοκηπίου και την υπερθέρμανση του πλανήτη (Bucha, 1986).

1.2.1 Αέρια θερμοκηπίου

Ο κύριος μοχλός της κλιματικής αλλαγής είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ορισμένα αέρια στην ατμόσφαιρα της Γης λειτουργούν λίγο σαν το γυαλί σε ένα θερμοκήπιο, παγιδεύοντας τη θερμότητα του ήλιου και εμποδίζοντάς τον να διαρρέυσει πίσω στο διάστημα και να προκαλέσει υπερθέρμανση του πλανήτη.

Πολλά από αυτά τα αέρια του θερμοκηπίου εμφανίζονται φυσικά, αλλά η ανθρώπινη δραστηριότητα αυξάνει τις συγκεντρώσεις ορισμένων από αυτά στην ατμόσφαιρα, ιδίως:

- διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)
- μεθάνιο
- υποξείδιο του αζώτου
- φθοριούχα αέρια

Το CO₂ που παράγεται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες είναι ο μεγαλύτερος παράγοντας που συμβάλλει στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Μέχρι το 2020, η συγκέντρωσή του στην ατμόσφαιρα είχε αυξηθεί στο 48% πάνω από το προβιομηχανικό του επίπεδο (πριν από το 1750).

Αλλά αέρια του θερμοκηπίου εκπέμπονται από την ανθρώπινη δραστηριότητα σε μικρότερες ποσότητες. Το μεθάνιο είναι πιο ισχυρό αέριο θερμοκηπίου από το CO₂, αλλά έχει μικρότερη διάρκεια ζωής στην ατμόσφαιρα. Το υποξείδιο του αζώτου, όπως και το CO₂, είναι ένα αέριο θερμοκηπίου με μεγάλη διάρκεια ζωής που συσσωρεύεται στην ατμόσφαιρα για δεκαετίες έως αιώνες.

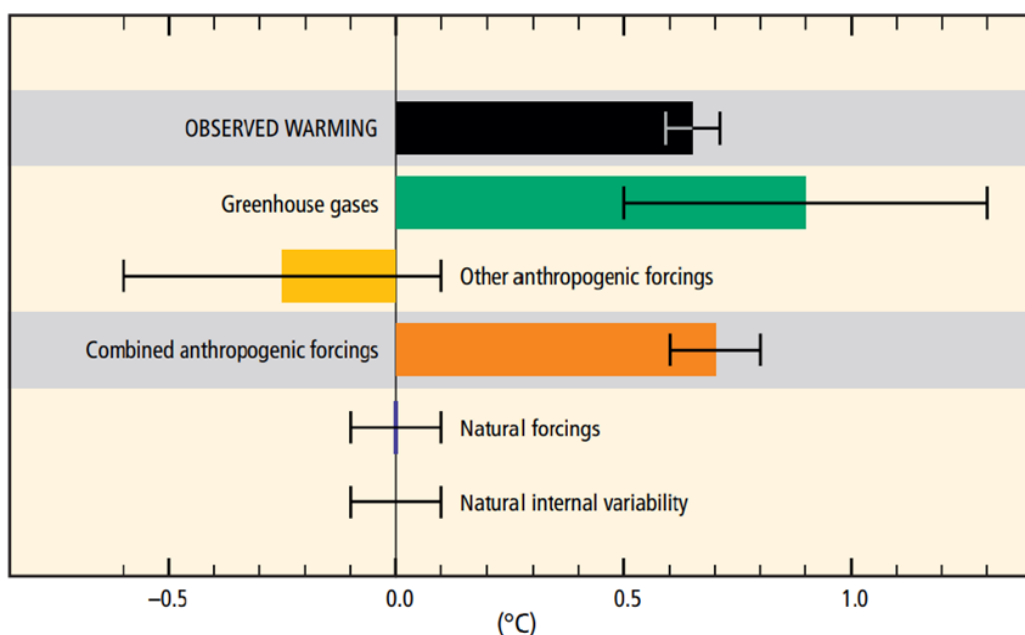
Συνεπώς φυσικά αίτια, όπως αλλαγές στην ηλιακή ακτινοβολία ή η ηφαιστειακή δραστηριότητα εκτιμάται ότι συνέβαλαν λιγότερο από συν ή πλην 0,1°C στη συνολική θέρμανση μεταξύ 1890 και 2010 (Bucha, 1986).

1.2.2 Αιτίες για την αύξηση των εκπομπών

Κάποιες από τις αιτίες που οδηγούν στην αύξηση των εκπομπών είναι αρχικά η καύση άνθρακα, πετρελαίου και αερίου όπου από αυτές τις διαδικασίες παράγεται διοξείδιο του άνθρακα και οξείδιο του αζώτου. Ακόμα η αποψίλωση των δασών είναι ένας άλλος σημαντικός παράγοντας, καθώς τα δέντρα απορροφούν CO₂ από την ατμόσφαιρα. Όταν κόβονται, αυτή η ευεργετική επίδραση χάνεται και ο άνθρακας που αποθηκεύεται στα δέντρα απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα, αυξάνοντας το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Επιπρόσθετα η αύξηση της κτηνοτροφίας προκαλεί αύξηση των εκπομπών, αφού οι αγελάδες και τα πρόβατα παράγουν μεγάλες ποσότητες μεθανίου όταν χωνεύουν την τροφή τους. Τα λιπάσματα που περιέχουν άζωτο παράγουν εκπομπές υποξειδίου του αζώτου.

Τέλος τα φθοριούχα αέρια εκπέμπονται μέσα από εξοπλισμό και προϊόντα που χρησιμοποιούν αυτά τα αέρια. Τέτοιες εκπομπές έχουν πολύ ισχυρό φαινόμενο θέρμανσης, έως και 23.000 φορές μεγαλύτερο από το CO₂ (Bucha, 1986).



Εικόνα 1: Απεικόνιση των παραγόντων που συντελούν στην άνοδο θερμοκρασίας της γήινης επιφάνειας κατά την περίοδο 1951-2010 (Μαυρομάτης, 2020)

1.3 Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής

Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής είναι πραγματικές και ήδη συμβαίνουν. Το μεταβαλλόμενο κλίμα επηρεάζει την ανάπτυξη των καλλιεργειών και την ανθρώπινη υγεία, ενώ μάλιστα πολλοί άνθρωποι μπορεί να χρειαστεί να εγκαταλείψουν τα σπίτια τους. Επίσης θέτει και ορισμένα είδη σε αυξημένο κίνδυνο εξαφάνισης.

Το επίπεδο της κλιματικής αλλαγής εξαρτάται από το πόσο γρήγορα περιορίζουμε τις εκπομπές επικίνδυνων αερίων του θερμοκηπίου. Ακόμη και αν σταματούσαμε όλες τις εκπομπές σήμερα, δεν θα ήταν εφικτό να αποτρέψουμε κάποιες αλλαγές. Ωστόσο, όσο πιο γρήγορα λάβουμε μέτρα για την μείωση των εκπομπών, τόσο μικρότερες θα είναι οι αλλαγές.

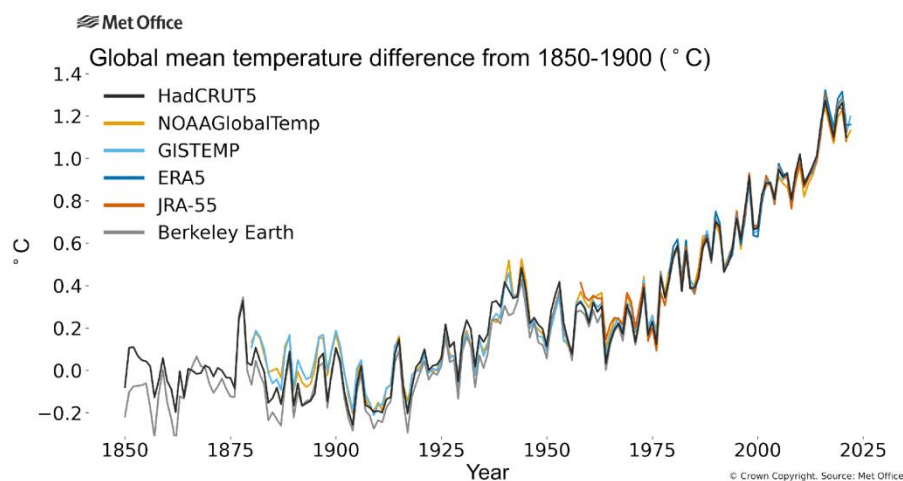
Ακόμα και οι μικρές αλλαγές μπορεί να έχουν σημαντικές συνέπειες, αφού το κλιματικό μας σύστημα είναι εξαιρετικά ισορροπημένο. Μερικές από τις επιπτώσεις αυτών των αλλαγών στο κλίμα περιλαμβάνουν:

- Κίνδυνος για την παροχή νερού
- Τοπικές πλημμύρες
- Πλημμύρες παράκτιων περιοχών
- Ζημιές στα θαλάσσια οικοσυστήματα
- Αποτυχία της αλιείας
- Απώλεια βιοποικιλότητας
- Αλλαγή εποχικότητας
- Επέκταση κατοικήσιμης περιοχής παρασίτων
- Αυξημένος κίνδυνος πυρκαγιών
- Ζημιές σε υποδομές
- Διατροφική ανασφάλεια

Σε μια πρόσφατη έκθεση, η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC) έδειξε τη διαφορά μεταξύ 1,5°C και 2°C της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Στην περίπτωση που δεν μειώσουμε γρήγορα τις εκπομπές, ο κόσμος είναι πιθανό να υπερβεί τους 2°C υπερθέρμανσης. Μάλιστα μέχρι το τέλος αυτού του αιώνα, η θέρμανση θα μπορούσε ενδεχομένως να φτάσει τους 4°C, ίσως και περισσότερο.

Η κλιματική αλλαγή θα αυξήσει τον κίνδυνο διαφορετικών προβλημάτων σε όλο τον κόσμο. Αν και οι ανεπτυγμένες χώρες παράγουν τις περισσότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, οι αναπτυσσόμενες χώρες αναμένεται να δουν τις περισσότερες από τις σοβαρές επιπτώσεις. Με λιγότερους πόρους προσαρμογής σε αυτές τις αλλαγές, ο αντίκτυπος στους ανθρώπους στις αναπτυσσόμενες χώρες αναμένεται να είναι υψηλότερος.

Οι μέσες παγκόσμιες θερμοκρασίες έχουν αυξηθεί κατά περισσότερο από 1°C από τη δεκαετία του 1850. Τα 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 και 2020 ήταν οι πιο θερμές χρονιές που έχουν καταγραφεί ποτέ. Σύμφωνα με τα στοιχεία καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι ο πλανήτης θερμαίνεται συνεχώς από την περίοδο της Βιομηχανικής Επανάστασης (Met Office, n.d.).



Διάγραμμα 1: Παγκόσμια αλλαγή θερμοκρασίας από το 1850 έως το 2021, σε σύγκριση με την εκτιμώμενη μέση θερμοκρασία βάσης 1850-1900

1.3.1 Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στον πλανήτη

Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής γίνονται αισθητές σε διάφορους τομείς. Αρχικά καθώς ο πλανήτης θερμαίνεται, οι καύσωνες γίνονται πιο πιθανοί. Τα τελευταία χρόνια, οι καύσωνες ήταν ο πιο θανατηφόρος παγκόσμιος κλιματικός κίνδυνος.

Επιπρόσθετα οι ωκεανοί απορροφούν το 90% της επιπλέον θερμότητας που παράγεται από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Ωστόσο, όταν το νερό θερμαίνεται, διαστέλλεται. Έτσι, όταν οι ωκεανοί θερμαίνονται, διαστέλλονται επίσης, προκαλώντας την άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Σημαντικές πρόσθετες ποσότητες ύδατος που ρέουν στους ωκεανούς προέρχονται από το λιώσιμο

στρωμάτων πάγου και των παγετώνων. Μεταξύ 1901 και 2018, η παγκόσμια μέση στάθμη της θάλασσας έχει αυξηθεί κατά περίπου 20 cm.

Ορισμένα μέρη του πλανήτη, όπως ο βόρειος και ο νότιος πόλος, θερμαίνονται πιο γρήγορα από άλλα μέρη. Στους πόλους, οι παγετώνες και τα στρώματα πάγου αντανακλούν την ενέργεια από τον ήλιο στο διάστημα. Έτσι, όταν υπάρχει λιγότερος πάγος, λιγότερη ενέργεια από τον ήλιο αντανακλάται μακριά. Στη συνέχεια, η περιοχή θερμαίνεται ακόμη πιο γρήγορα, προκαλώντας την τήξη ακόμη περισσότερων πάγων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι πάγοι στην Αρκτική να λιώνουν πιο γρήγορα. Η περιοχή πάγου της Αρκτικής στα τέλη του καλοκαιριού είναι αυτή τη στιγμή η μικρότερη των τελευταίων 1.000 ετών. Εάν δεν μειωθούν σύντομα οι εκπομπές, είναι πιθανή η ύπαρξη καλοκαιριών χωρίς πάγο στην Αρκτική μέχρι και τα μέσα αυτού του αιώνα.

Ακόμα όταν λιώνουν οι πάγοι και οι παγετώνες, το γλυκό νερό ρέει στη θάλασσα. Εκτός από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας, το γλυκό νερό μειώνει επίσης την αλατότητα του νερού, η οποία μπορεί να επιβραδύνει ή να αλλάξει τα ωκεάνια ρεύματα.

Οι ωκεανοί απορροφούν επίσης περίπου το 25% του διοξειδίου του άνθρακα που οι άνθρωποι απελευθερώνουν στον αέρα. Οι ωκεανοί γίνονται λιγότερο αλκαλικοί, μια διαδικασία που ονομάζεται «οξίνιση των ωκεανών». Η οξίνιση των ωκεανών δεν είναι επιθυμητή, καθώς μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις σε θαλάσσιους οργανισμούς, όπως τα κοράλλια και τα πλαγκτόν, που αποτελούν σημαντικό μέρος της τροφικής αλυσίδας (Met Office, n.d.).

1.3.2 Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στον άνθρωπο

Ήδη βιώνουμε τις επιπτώσεις ενός μεταβαλλόμενου κλίματος. Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας προκαλεί προβλήματα στους ανθρώπους σε όλο τον κόσμο. Σχεδόν 4 στους 10 ανθρώπους (39%) ζουν σε απόσταση 100 χιλιομέτρων από μια ακτή και κινδυνεύουν από πλημμύρες, εάν η στάθμη της θάλασσας συνεχίσει να ανεβαίνει. Αυτό σημαίνει ότι, 600 εκατομμύρια από αυτούς τους ανθρώπους ζουν σε μια «παράκτια ζώνη χαμηλού επιπέδου» και 200 εκατομμύρια σε μια παράκτια πλημμυρική πεδιάδα.

Ακόμη και αν μειώσουμε τις εκπομπές, η στάθμη της θάλασσας θα συνεχίσει να ανεβαίνει μέχρι το έτος 2100. Όμως, εάν μειώσουμε αρκετά τις εκπομπές,

μπορούμε να επιβραδύνουμε τον ρυθμό αύξησης. Πολλοί άνθρωποι θα πρέπει να εγκαταλείψουν τα σπίτια τους, αλλά ο αριθμός θα ποικίλλει ανάλογα με το πώς ενεργούμε, μειώνοντας τις παγκόσμιες εκπομπές και βελτιώνοντας την αντιπλημμυρική άμυνα.

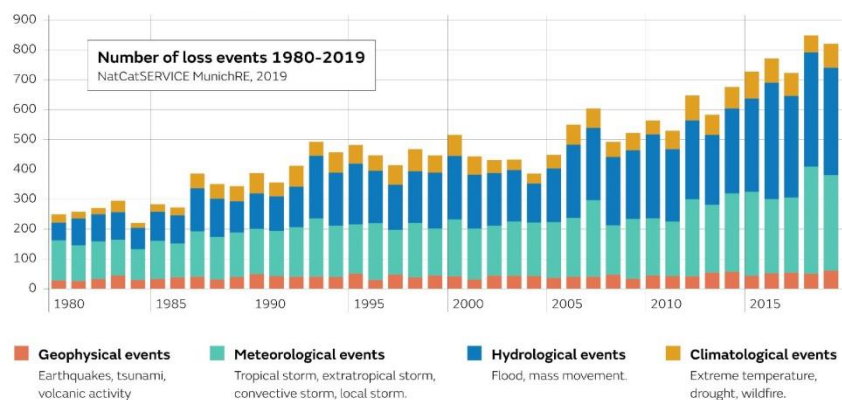
Πλημμύρες μπορεί επίσης να συμβούν όταν οι έντονες βροχοπτώσεις κατακλύζουν τα συστήματα αποχέτευσης. Σε αστικές περιοχές και πόλεις, το αποτέλεσμα είναι πιο σοβαρό επειδή το νερό δεν μπορεί να βυθιστεί απευθείας στο έδαφος. Οι πλημμύρες προκαλούν σοβαρές ζημιές στα κτίρια και τις μεταφορές, οι οποίες μπορεί να είναι πολύ δαπανηρές και δύσκολο να αποκατασταθούν.

Η κλιματική αλλαγή έχει πολλές επιπτώσεις και επηρεάζει τους ανθρώπους σε όλο τον κόσμο με διαφορετικούς τρόπους. Το επίπεδο των επιπτώσεων εξαρτάται από το κλίμα της περιοχής και τον πλούτο της χώρας. Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής ενισχύουν το άγχος, που σημαίνει ότι συχνά κάνουν τα υπάρχοντα προβλήματα πιο σοβαρά.

Ας δούμε για παράδειγμα τους καύσωνες. Αναμένεται ότι οι περισσότερες περιοχές θα αντιμετωπίσουν πιο έντονους καύσωνες. Σε χώρες που υπάρχουν ήδη καύσωνες, τα όρια του ανθρώπινου στρες, εξαιτίας της ζέστης, θα ξεπερνιούνται συχνότερα, κάτι που είναι επικίνδυνο.

Ως άλλο παράδειγμα, η αύξηση των πλημμύρων είναι ένας άλλος κίνδυνος. Οι χώρες που πλημμυρίζουν τακτικά, όπως το Μπαγκλαντές, αναμένεται να δουν ακόμη πιο τακτικές πλημμύρες, θέτοντας περισσότερες κοινότητες σε κίνδυνο.

Εάν το κλίμα συνεχίσει να αλλάζει, πολλά μέρη του κόσμου θα γίνουν αφιλόξενα για τους ανθρώπους και μπορεί να χρειαστεί να εγκαταλείψουν τα σπίτια τους. Το κλίμα είναι μόνο ένας από τους πολλούς παράγοντες που επηρεάζουν την ανθρώπινη μετανάστευση, αλλά θα διαδραματίσει αυξανόμενο ρόλο στο μέλλον (Met Office, n.d.).



Διάγραμμα 2: Διάγραμμα που δείχνει ότι τα συμβάντα που προκαλούν απώλεια γίνονται πιο συχνά

1.4 Αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής

Ο μετριασμός και η προσαρμογή είναι δύο συμπληρωματικές στρατηγικές για τη διαχείριση και την αντιμετώπιση των κινδύνων που προκύπτουν από τις δυσμενείς επιπτώσεις του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής. Ο μετριασμός ορίζεται ως η διαδικασία μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ή αύξησης της διατήρησής τους για τη μείωση της κλιματικής αλλαγής. Προσαρμογή σημαίνει οποιαδήποτε διαδικασία που έχει σχεδιαστεί για να μειώσει ή να αποτρέψει πιθανές μελλοντικές ζημιές από τρέχοντα ή αναμενόμενα κλίματα, συμπεριλαμβανομένης της εκμετάλλευσης δυνητικά ευεργετικών ευκαιριών (Μαυρομάτης, 2020).

1.4.1 Η Συμφωνία του Παρισιού

Η Συμφωνία του Παρισιού καθορίζει ένα παγκόσμιο πλαίσιο για την αποφυγή της επικίνδυνης κλιματικής αλλαγής περιορίζοντας την υπερθέρμανση του πλανήτη πολύ κάτω από τους 2°C και συνεχίζοντας τις προσπάθειες για τον περιορισμό της στους 1,5°C. Στοχεύει επίσης να ενισχύσει την ικανότητα των χωρών να αντιμετωπίζουν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και την υποστήριξη στις προσπάθειές τους.

Η Συμφωνία του Παρισιού είναι η πρώτη παγκόσμια, νομικά δεσμευτική συμφωνία για την κλιματική αλλαγή, που εγκρίθηκε στη διάσκεψη του Παρισιού για το κλίμα (COP21) τον Δεκέμβριο του 2015. Η ΕΕ και τα κράτη μέλη της συγκαταλέγονται μεταξύ των σχεδόν 190 μελών της Συμφωνίας του Παρισιού. Η

ΕΕ επικύρωσε επίσημα τη συμφωνία στις 5 Οκτωβρίου 2016, επιτρέποντας έτσι την έναρξη ισχύος της στις 4 Νοεμβρίου 2016. Η Συμφωνία του Παρισιού είναι μια γέφυρα μεταξύ των σημερινών πολιτικών και της κλιματικής ουδετερότητας πριν από το τέλος του αιώνα.

Οι κυβερνήσεις συμφώνησαν σε έναν μακροπρόθεσμο στόχο διατήρησης της αύξησης της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας πολύ κάτω από τους 2°C, πάνω από τα προβιομηχανικά επίπεδα, για να επιδιωχθεί ο περιορισμός της αύξησης στους 1,5°C. Αυτό θα μείωνε σημαντικά τους κινδύνους και τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, σχετικά με την ανάγκη να μειωθούν οι παγκόσμιες εκπομπές όσο το δυνατόν συντομότερα, αναγνωρίζοντας ότι αυτό θα διαρκέσει περισσότερο για τις αναπτυσσόμενες χώρες.

Ως συμβολή στους στόχους της συμφωνίας, οι χώρες έχουν υποβάλει ολοκληρωμένα εθνικά σχέδια δράσης για το κλίμα (εθνικά καθορισμένες συνεισφορές, NDCs). Αυτά δεν αρκούν ακόμη για την επίτευξη των συμφωνηθέντων στόχων θερμοκρασίας, αλλά η συμφωνία χαράζει το δρόμο για περαιτέρω.

Οι κυβερνήσεις συμφώνησαν:

- Να συνέρχονται κάθε 5 χρόνια για να αξιολογούν τη συλλογική πρόοδο προς τους μακροπρόθεσμους στόχους και να ενημερώνουν τα μέρη σχετικά με την ενημέρωση και την ενίσχυση των εθνικά καθορισμένων συνεισφορών τους,
- Να αναφέρουν ο ένας στον άλλον και στο κοινό για τον τρόπο με τον οποίο εφαρμόζουν τη δράση για το κλίμα,
- Να παρακολουθούν την πρόοδο ως προς τις δεσμεύσεις τους στο πλαίσιο της συμφωνίας μέσω ενός ισχυρού συστήματος διαφάνειας και λογοδοσίας.

Η ΕΕ και άλλες ανεπτυγμένες χώρες θα συνεχίσουν να υποστηρίζουν τη δράση για το κλίμα για τη μείωση των εκπομπών και την ενίσχυση της ανθεκτικότητας στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στις αναπτυσσόμενες χώρες. Άλλες χώρες ενθαρρύνονται να παρέχουν ή να συνεχίσουν να παρέχουν τέτοια υποστήριξη εθελοντικά. Οι ανεπτυγμένες χώρες σκοπεύουν να συνεχίσουν τον υπάρχοντα συλλογικό τους στόχο να κινητοποιήσουν 100 δις \$ ετησίως έως το 2020 και να το

παρατείνουν έως το 2025. Ένας νέος και υψηλότερος στόχος θα τεθεί για μετά από αυτήν την περίοδο (European Commission, n.d.).

1.4.2 Σχέδιο στόχος για το κλίμα 2030

Η πρόταση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 55% έως το 2030 θέτει την Ευρώπη σε μια υπεύθυνη πορεία να γίνει κλιματικά ουδέτερη έως το 2050. Με βάση μια συνολική εκτίμηση επιπτώσεων, η Επιτροπή πρότεινε να αυξηθεί η φιλοδοξία της ΕΕ για τη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου και να οριστεί αυτή η πιο φιλόδοξη πορεία για τα επόμενα 10 χρόνια. Η αξιολόγηση δείχνει πώς μπορούν να συνεισφέρουν όλοι οι τομείς της οικονομίας και της κοινωνίας, και καθορίζει τις ενέργειες πολιτικής που απαιτούνται για την επίτευξη αυτού του στόχου.

Με το σχέδιο στόχο για το κλίμα για το 2030, η επιτροπή προτείνει να αυξηθεί η φιλοδοξία της ΕΕ για μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου σε τουλάχιστον 55% κάτω από τα επίπεδα του 1990 έως το 2030. Πρόκειται για σημαντική αύξηση προς τα πάνω σε σύγκριση με τον προηγούμενο στόχο των τουλάχιστον 40%. Η αύξηση της φιλοδοξίας για το 2030 βοηθά τώρα να δοθεί βεβαιότητα στους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής και στους επενδυτές, έτσι ώστε οι αποφάσεις που λαμβάνονται τα επόμενα χρόνια να μην κλειδώνουν τα επίπεδα εκπομπών που δεν συνάδουν με τον στόχο της ΕΕ να είναι κλιματικά ουδέτερη έως το 2050 (European Commission, n.d.).

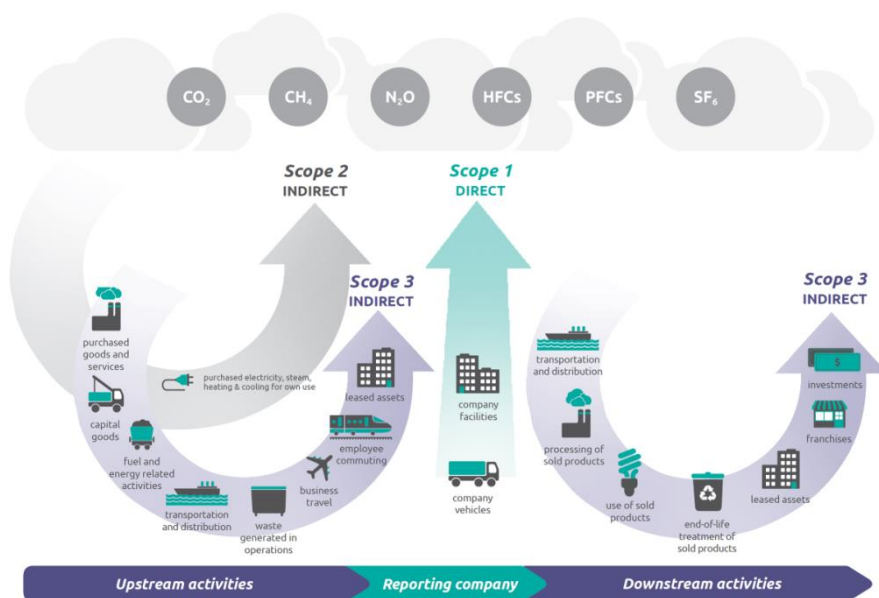
1.5 Απογραφή GHG για χαμηλές εκπομπές

Για τους περισσότερους χαμηλούς ρύπους, συμπεριλαμβανομένων οργανισμών που εδρεύουν σε γραφεία μικρών επιχειρήσεων και δημόσιων ιδρυμάτων, η πλειονότητα των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου προέρχεται από την ηλεκτρική ενέργεια και τα οχήματά. Για άλλους, ιδίως μικρούς κατασκευαστές, πρόσθετες εκπομπές θα προκύψουν από τη χρήση ψυκτικών ουσιών, απαερίων ή επιτόπια καύση. Το αποτύπωμα άνθρακα ενός οργανισμού έχει τρία στοιχεία για τους σκοπούς της ανάπτυξης απογραφής GHG (Epa and OAR, 2015):

- Άμεσες εκπομπές (γνωστές ως Πεδίο 1): από επιτόπια καύση και κινητές πηγές. Οι εκπομπές πεδίου 1 είναι άμεσες εκπομπές θερμοκηπίου (GHG) που προέρχονται από πηγές που ελέγχονται ή ανήκουν σε έναν οργανισμό

(π.χ. εκπομπές που σχετίζονται με την καύση καυσίμου σε λέβητες, φούρνους, σήματα).

- Έμμεσες εκπομπές (Πεδίο εφαρμογής 2): από αγορασμένη ηλεκτρική ενέργεια και ατμό. Οι εκπομπές πεδίου 2 είναι έμμεσες εκπομπές GHG που σχετίζονται με την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, ατμού, θερμότητας ή ψύξης. Παρόλο που οι εκπομπές πεδίου 2 συμβαίνουν φυσικά στην εγκατάσταση όπου παράγονται, καταχωρούνται στο απόθεμα GHG ενός οργανισμού επειδή είναι αποτέλεσμα της χρήσης ενέργειας του οργανισμού.
- Προαιρετικές εκπομπές (Πεδίο 3): Τα παραδείγματα περιλαμβάνουν μεταφορά προϊόντων, επαγγελματικά ταξίδια εργαζομένων και μετακινήσεις εργαζομένων. Οι εκπομπές του πεδίου 3 είναι το αποτέλεσμα δραστηριοτήτων από περιουσιακά στοιχεία που δεν ανήκουν ή δεν ελέγχονται από τον οργανισμό αναφοράς, αλλά που ο οργανισμός επηρεάζει έμμεσα στην αλυσίδα αξίας του. Οι εκπομπές του Πεδίου 3 περιλαμβάνουν όλες τις πηγές που δεν βρίσκονται εντός των ορίων του πεδίου εφαρμογής 1 και 2 ενός οργανισμού. Οι εκπομπές πεδίου 3 για έναν οργανισμό είναι οι εκπομπές πεδίου 1 και 2 ενός άλλου οργανισμού. Οι εκπομπές πεδίου 3, που αναφέρονται επίσης ως εκπομπές της αλυσίδας αξίας, αντιπροσωπεύουν συχνά την πλειοψηφία των συνολικών εκπομπών GHG ενός οργανισμού.



Εικόνα 2: Επισκόπηση των πεδίων και των εκπομπών του πρωτοκόλλου GHG

1.6 Κυκλική οικονομία

Η κυκλική οικονομία αποτελεί ένα μοντέλο παραγωγής και κατανάλωσης που περιλαμβάνει κοινή χρήση, μίσθωση, επαναχρησιμοποίηση, επισκευή, ανακαίνιση και ανακύκλωση υπαρχόντων υλικών και προϊόντων όπου είναι δυνατόν. Αυτό ουσιαστικά παρατείνει τον κύκλο ζωής του προϊόντος. Στην πράξη, αυτό σημαίνει ελαχιστοποίηση των απορριμμάτων. Όταν ένα προϊόν φτάσει στο τέλος της ζωής του, τα υλικά του διατηρούνται όσο το δυνατόν πιο οικονομικά. Αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν επανειλημμένα και αποτελεσματικά, δημιουργώντας περισσότερη αξία. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τα παραδοσιακά γραμμικά οικονομικά μοντέλα, τα οποία βασίζονται σε ένα μοντέλο take-make-consume-throw away. Το μοντέλο βασίζεται σε μεγάλο αριθμό φθηνών, εύκολα προσβάσιμων υλικών και πηγών ενέργειας. Μέρος του μοντέλου περιλαμβάνει επίσης τη προγραμματισμένη απαξίωση (planned obsolescence), δηλαδή όταν ένα προϊόν έχει σχεδιαστεί για να έχει περιορισμένη ωφέλιμη ζωή, ώστε να ενθαρρύνει τους καταναλωτές να το αγοράσουν ξανά. Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο ζήτησε μέτρα για την αντιμετώπιση αυτής της πρακτικής.

Η στροφή στην κυκλική οικονομία είναι απαραίτητη καθώς, ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξάνεται και μαζί του έρχεται και η ζήτηση για πρώτες ύλες. Ωστόσο, η προσφορά βασικών πρώτων υλών είναι περιορισμένη. Οι περιορισμένες προμήθειες σημαίνουν επίσης ότι ορισμένες χώρες της ΕΕ εξαρτώνται από άλλες για πρώτες ύλες. Επιπλέον, η εξόρυξη και η χρήση πρώτων υλών έχει σημαντικό αντίκτυπο στο περιβάλλον. Αυξάνει επίσης την κατανάλωση ενέργειας και τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Ωστόσο, η πιο συνετή χρήση των πρώτων υλών μπορεί να μειώσει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

Μέτρα όπως η πρόληψη της δημιουργίας αποβλήτων, ο οικολογικός σχεδιασμός και η επαναχρησιμοποίηση μπορούν να εξοικονομήσουν χρήματα από τις εταιρείες της ΕΕ, ενώ παράλληλα μειώνουν τις συνολικές ετήσιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Επί του παρόντος, η παραγωγή υλικών που χρησιμοποιούμε καθημερινά αντιπροσωπεύει το 45% των εκπομπών CO₂. Η μετάβαση σε μια πιο κυκλική οικονομία μπορεί να αποφέρει οφέλη όπως η μείωση των περιβαλλοντικών πιέσεων, η βελτίωση της ασφάλειας του εφοδιασμού πρώτων υλών, η βελτίωση της ανταγωνιστικότητας, η τόνωση της καινοτομίας, η τόνωση της οικονομικής ανάπτυξης (προσθήκη 0,5% του ΑΕΠ) και η δημιουργία

θέσεων εργασίας. (700.000 θέσεις εργασίας μόνο στην ΕΕ έως το 2030). Οι καταναλωτές θα έχουν επίσης πιο ανθεκτικά και καινοτόμα προϊόντα που θα βελτιώσουν την ποιότητα ζωής τους και θα εξοικονομήσουν χρήματα μακροπρόθεσμα.

Τον Μάρτιο του 2020, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρότεινε ένα σχέδιο δράσης για την κυκλική οικονομία με στόχο την προώθηση πιο βιώσιμου σχεδιασμού προϊόντων, τη μείωση των απορριμμάτων και την ενδυνάμωση των καταναλωτών. Έμφαση μάλιστα δίνεται σε βιομηχανίες, όπως η ηλεκτρονική, τα πλαστικά, τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα και οι κατασκευές.

Τον Φεβρουάριο του 2021, το Κοινοβούλιο ενέκρινε ψήφισμα για ένα νέο σχέδιο δράσης για την κυκλική οικονομία που ζητά πρόσθετα μέτρα για την επίτευξη μιας ουδέτερης από άνθρακα, περιβαλλοντικά βιώσιμης, μη τοξικής και πλήρως κυκλικής οικονομίας έως το 2050, συμπεριλαμβανομένων δεσμευτικών στόχων χρήσης και κατανάλωσης υλικών έως το 2030.

Τον Μάρτιο του 2022, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δημοσίευσε την πρώτη δέσμη μέτρων για την επιτάχυνση της μετάβασης σε μια κυκλική οικονομία, στο πλαίσιο του σχεδίου δράσης της για την κυκλική οικονομία. Οι προτάσεις περιλαμβάνουν την προώθηση βιώσιμων προϊόντων, την ενδυνάμωση των καταναλωτών για την πράσινη μετάβαση, την αναθεώρηση των κανονισμών για τα δομικά προϊόντα και την ανάπτυξη μιας στρατηγικής για τα βιώσιμα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα (Europa.eu, 2015).



Διάγραμμα 3: Διάγραμμα κυκλικής οικονομίας

2. Η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στον εξορυκτικό κλάδο

2.1 Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στον εξορυκτικό κλάδο

Οι εταιρίες εξόρυξης έχουν να αντιμετωπίσουν επείγουσες απειλές εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής. Οι προβλέψεις δείχνουν ότι οι κλιματικοί κίνδυνοι όπως οι έντονες βροχοπτώσεις, η ξηρασία και η ζέστη θα γίνουν πιο συχνές και έντονες, αυξάνοντας τις φυσικές προκλήσεις στις εξορυκτικές εργασίες. Οι εκτεταμένες προσπάθειες απεξάρτησης από τον άνθρακα σε όλους τους κλάδους θα μπορούσαν να δημιουργήσουν σημαντικές αλλαγές στη ζήτηση βασικών εμπορευμάτων για την εξορυκτική βιομηχανία.

Οι εταιρείες εξόρυξης πρέπει να προετοιμαστούν για τους κλιματικούς κινδύνους. Σήμερα, το 30 έως 50% της παραγωγής χαλκού, χρυσού, σιδηρομεταλλεύματος και ψευδαργύρου συγκεντρώνεται σε περιοχές όπου η πίεση του νερού είναι ήδη υψηλή. Η κλιματική αλλαγή αναμένεται να προκαλέσει συχνότερες ξηρασίες και πλημμύρες, μεταβάλλοντας τις προμήθειες νερού και διαταράσσοντας τις λειτουργίες. Ακόμη και σε περιοχές με χαμηλή υδατική καταπόνηση, ορισμένες διαδικασίες εξόρυξης υψηλής έντασης νερού μπορεί να τεθούν σε κίνδυνο.

Ένα άλλο ζήτημα για τις εταιρείες εξόρυξης είναι η μεταβολή της ζήτησης για ορυκτά. Η σημαντική ανάπτυξη τεχνολογιών χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, όπως οι ανεμογεννήτριες, τα ηλιακά φωτοβολταϊκά και τα ηλεκτρικά οχήματα, αναμένεται να ενισχύσει τη ζήτηση για τις πρώτες ύλες που απαιτούνται για τις τεχνολογίες αυτές. Καθώς συνεχίζεται ο παγκόσμιος εξηλεκτρισμός των βιομηχανιών, τα ηλεκτρικά οχήματα και οι μπαταρίες θα δημιουργήσουν αυξανόμενες αγορές για κοβάλτιο, λίθιο και νικέλιο. Η βαθιά απανθράκωση των βιομηχανικών μερών θα ευνοούσε επίσης το πράσινο υδρογόνο και τη βιομάζα έναντι του μεταλλουργικού άνθρακα.

Παρά τις μεταβαλλόμενες κλιματικές συνθήκες, υπάρχουν τρόποι να γίνουν τα ορυχεία πιο ανθεκτικά στις φυσικές συνέπειες. Παρακάτω παρέχεται μια εκτίμηση των επιπτώσεων της πίεσης του νερού και των πλημμυρών, καθώς και προτάσεις για τον τρόπο με τον οποίο οι φορείς εκμετάλλευσης θα πρέπει να διαχειρίζονται αυτούς τους κινδύνους (Henderson & Maksimainen, n.d.).

2.1.1 Υδατική πίεση

Η κλιματική αλλαγή αναμένεται να προκαλέσει συχνότερες ξηρασίες και πλημμύρες, μεταβάλλοντας την παροχή νερού στις περιοχές εξόρυξης και διαταράσσοντας τις εργασίες. Στη Χιλή, για παράδειγμα, το 80% της παραγωγής χαλκού βρίσκεται ήδη σε περιοχές με εξαιρετικά υψηλή πίεση νερού και ξηρές περιοχές, ενώ μέχρι το 2040 εκτιμάται ότι θα ανέλθει στο 100%. Στη Ρωσία, το 40% της παραγωγής σιδηρομεταλλεύματος της χώρας, που σήμερα βρίσκεται σε περιοχές υψηλής υδατικής πίεσης, είναι πιθανό να μετακινηθεί σε περιοχές ακραίας υδατικής πίεσης μέχρι το 2040.

Οι περιοχές εξόρυξης που δεν είναι συνηθισμένες στην υδατική πίεση προβλέπεται να γίνονται όλο και πιο ευάλωτες. Μέχρι το 2040, το 5% της τρέχουσας παραγωγής χρυσού πιθανότατα θα μετατοπιστεί από χαμηλή-μέτρια υδατική καταπόνηση σε μέτρια-υψηλή, το 7% της παραγωγής ψευδαργύρου θα μπορούσε να μετακινηθεί από μέτρια-υψηλή σε υψηλή υδατική καταπόνηση και το 6% της παραγωγής χαλκού θα μπορούσε να μετατοπιστεί από υψηλή σε εξαιρετικά υψηλή υδατική καταπόνηση. Ανάλογα με την ένταση του νερού, τέτοιες αλλαγές, αν και φαίνονται μικρές σε ποσοστιαία βάση, θα μπορούσαν να είναι κρίσιμες για τη λειτουργία ενός ορυχείου ή την άδεια λειτουργίας ενός ορυχείου.

Για να βελτιώσουν την ανθεκτικότητα, οι εταιρείες πρέπει να μειώσουν την χρήση του νερού στις εργασίες εξόρυξης. Πρέπει επίσης να προχωρήσουν σε πιο συστηματική ανακύκλωση του χρησιμοποιούμενου νερού και να μειώσουν την απώλεια νερού από την εξάτμιση, τις διαρροές και τα απόβλητα. Η Anglo American για παράδειγμα, έκανε συστηματικές προσπάθειες μείωσης των απωλειών νερού στο φράγμα ορυχείων Drayton στην Αυστραλία, για παράδειγμα (Henderson & Maksimainen, n.d.). Το Drayton διαθέτει κλειστό σύστημα ύδρευσης και δεν αντλεί νερό από επιφανειακές πηγές νερού (όπως ο ποταμός Hunter), ή αποφεύγεται η απόρριψη νερού στο περιβάλλον. Όλο το νερό των ορυχείων αποθηκεύεται σε εγκατεστημένα φράγματα. Νερό που χρησιμοποιήθηκε ιστορικά στη διαδικασία, π.χ. για το πλύσιμο του άνθρακα ή το πλύσιμο των οχημάτων, ανακυκλώνεται μέσω του συστήματος. Το νερό γενικά χάνεται μέσω εξάτμισης ή συμπαρασύροντας τα απόβλητα, τα απορρίμματα ή τον άνθρακα που αποστέλλεται από την περιοχή, και εμπλουτίζεται από την απορροή των

βροχοπτώσεων και την ελάχιστη αναχαίτιση των υπόγειων υδάτων. Δεν υπάρχουν καθαρές υδροσυλλογές που βρίσκονται στο χώρο και, επομένως, δεν απαιτούνται αποθήκες καθαρού νερού. Ψεκαστές νερού εξάτμισης χρησιμοποιούνται για την εξάτμιση της περίσσειας νερού των ορυχείων (AngloAmerican, 2017).



Εικόνα 3: Φράγματα νερού στο ορυχείο Drayton

Οι εταιρείες εξόρυξης μπορούν να αποτρέψουν την εξάτμιση βάζοντας καλύμματα σε μικρά και μεσαία φράγματα. Μακροπρόθεσμα, υπάρχει δυνατότητα εφαρμογής πιο αποτελεσματικών λύσεων, οι οποίες όμως απαιτούν μεγαλύτερα κεφάλαια. Οι νέες υποδομές νερού, όπως φράγματα και μονάδες αφαλάτωσης, είναι δαπανηρές αλλά μερικές φορές απαραίτητες (Henderson & Maksimainen, n.d.).

2.1.2 Πλημμύρες

Οι πλημμύρες από ακραίες βροχοπτώσεις μπορούν επίσης να προκαλέσουν λειτουργικές διαταραχές, συμπεριλαμβανομένου του κλεισίματος ορυχείων, ξεπλυμένων δρόμων και μη ασφαλούς στάθμης νερού στα φράγματα απορριμμάτων. Σε ένα ανοιχτό ανθρακωρυχείο, παρατηρούνται ετήσιες απώλειες παραγωγής 10% εξαιτίας των ακραίων βροχοπτώσεων. Οι πλημμύρες επηρεάζουν

ορισμένα προϊόντα περισσότερο από άλλα, ανάλογα με την τοποθεσία τους. Για παράδειγμα, το σιδηρομετάλλευμα και ο ψευδάργυρος είναι τα πιο εκτεθειμένα σε εξαιρετικά υψηλές πλημμύρες, στο 50% και το 40% του παγκόσμιου όγκου, αντίστοιχα.

Το πρόβλημα αναμένεται να επιδεινωθεί, ιδιαίτερα σε έξι περιοχές που ενδέχεται να παρουσιάσουν 50 έως 60% αύξηση των ακραίων βροχοπτώσεων αυτόν τον αιώνα όπως: βόρεια Αυστραλία, νότια Αμερική και Νότια Αφρική κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού στο νότιο ημισφαίριο και κεντρική και δυτική Αφρική, Ινδία, Νοτιοανατολική Ασία και Ινδονησία κατά τη διάρκεια του χειμώνα του νοτίου ημισφαιρίου.

Για να αντιμετωπιστούν οι ανησυχίες σχετικά με τις πλημμύρες, οι εταιρείες μπορούν να υιοθετήσουν αντιπλημμυρικά σχέδια ορυχείων που βελτιώνουν τις τεχνικές αποστράγγισης και άντλησης. Μπορούν να προσαρμόσουν δρόμους (όπως με τη χρήση σκληρού μετάλλου ή πέτρας με κρούστα για γρήγορη ξήρανση) ή να κατασκευάσουν δρόμους μεταφοράς με φύλλα, όπως έκανε η First Quantum Minerals στο ορυχείο χαλκού Sentinel της Ζάμπια (Henderson & Maksimainen, n.d.). Η εταιρεία χρησιμοποίησε τον δικό της εξοπλισμό για την ανοικοδόμηση ενός δρόμου που συνδέει τις εξορυκτικές της δραστηριότητες στη βορειοδυτική επαρχία της Ζάμπια. Η εταιρεία επέλεξε να συντηρήσει τον δρόμο Chingola-Solwezi, ο οποίος είχε υποβαθμιστεί σε τέτοια κατάσταση που η βορειοδυτική επαρχία κινδύνευε να αποκοπεί από την υπόλοιπη χώρα κατά την περίοδο των βροχών. Αυτό ήταν ένα σοβαρό ζήτημα για την εταιρεία εξόρυξης, καθώς η κακή κατάσταση του δρόμου απειλούσε να σταματήσει τις εξορυκτικές της δραστηριότητες στην περιοχή (Worldhighways.com, 2017).



Εικόνα 4: Ανοικοδόμηση δρόμου στη Ζάμπια

Μπορούν επίσης να χρησιμοποιήσουν μεθόδους μεταφοράς που δεν βασίζονται στη μεταφορά με φορτηγά (όπως με τη δημιουργία ενός πλήρους συστήματος σύνθλιψης και μεταφοράς εντός λάκκου) (Henderson & Maksimainen, n.d.).

2.1.3 Άλλοι κλιματικοί παράγοντες

Οι ακραίες καιρικές συνθήκες σε συνδυασμό με την άνοδο της στάθμης της θάλασσας μπορούν να βλάψουν τις υποδομές επεξεργασίας ή μεταφοράς που βρίσκονται κοντά στις ακτές.

Η υπερβολική ζέστη σε περιοχές που ήδη εμφανίζουν υψηλές θερμοκρασίες, ιδίως στην Αυστραλία, την Κίνα και μέρη της βόρειας και δυτικής Αφρικής, μπορεί να μειώσει την παραγωγικότητα των εργαζομένων και να αυξήσει το κόστος ψύξης. Μπορεί επίσης να θέσει σε κίνδυνο την υγεία των εργαζομένων (και μερικές φορές τη ζωή τους) (Henderson & Maksimainen, n.d.).

2.1.4 Μετατόπιση της ζήτησης για ορυκτά

Σημαντική ανάπτυξη τεχνολογιών χαμηλών εκπομπών άνθρακα θα σημειωθεί εάν οι βιομηχανίες δεσμευτούν να μειώσουν τις εκπομπές σύμφωνα με τους στόχους της Συμφωνίας του Παρισιού. Οι τεχνολογίες που υποστηρίζουν την απανθρακοποίηση περιλαμβάνουν ανεμογεννήτριες, ηλιακά φωτοβολταϊκά, ηλεκτρικά οχήματα, αποθήκευση ενέργειας, ανακύκλωση μετάλλων, κυψέλες καυσίμου υδρογόνου και δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα. Η εξορυκτική βιομηχανία θα είναι μέρος της λύσης για απαλλαγή από τον άνθρακα παρέχοντας τις πρώτες ύλες που απαιτούνται για αυτές τις τεχνολογίες.

Ο άνθρακας, που επί του παρόντος έχει περίπου το 50% της παγκόσμιας αγοράς εξόρυξης, θα ήταν το πιο προφανές θύμα τέτοιων αλλαγών. Η απαλλαγή από τον άνθρακα στον τομέα της ενέργειας θα σήμαινε μηδενισμό των καθαρών εκπομπών GHG, πράγμα που συνεπάγεται σχεδόν πλήρη μείωση της καύσης άνθρακα. Και εάν οι εταιρείες μετάλλων στραφούν στο υδρογόνο και τα βιοκαύσιμα ως πηγές ενέργειας, η ζήτηση για μεταλλουργικό άνθρακα θα εξασθενήσει.

Η ενεργειακά αποδοτικότερη επεξεργασία και η ευρεία ανακύκλωση θα ασκούσαν πίεση στις αγορές καθαρών μεταλλευμάτων. Σε ένα σενάριο 2°C, ο βωξίτης, ο χαλκός και το σιδηρομετάλλευμα θα δουν την ανάπτυξη από τις νέες τεχνολογίες απανθρακοποίησης να αντισταθμιστούν από τα αυξημένα ποσοστά ανακύκλωσης,

ως αποτέλεσμα της αυξανόμενης κυκλικής οικονομίας και της εστίασης στην παραγωγή μετάλλων από ανακύκλωση έναντι καθαρού μεταλλεύματος.

Στο άλλο άκρο του φάσματος, τα εξειδικευμένα ορυκτά θα μπορούσαν να γνωρίσουν δραματική ανάπτυξη. Καθώς ο παγκόσμιος εξηλεκτρισμός των βιομηχανιών συνεχίζεται, τα ηλεκτρικά οχήματα και οι μπαταρίες θα δημιουργήσουν αναπτυσσόμενες αγορές για το κοβάλτιο, το λίθιο και το νικέλιο. Οι αναδύομενες τεχνολογίες όπως οι κυψέλες καυσίμου υδρογόνου και η δέσμευση άνθρακα θα ενισχύσουν τη ζήτηση για πλατίνα, παλλάδιο και άλλα καταλυτικά υλικά (στερεά που επιτρέπουν την αποτελεσματική και οικονομικά αποδοτική διεξαγωγή της χημικής αντίδρασης), ενώ οι σπάνιες γαίες θα χρειαστούν για μαγνήτες ανεμογεννητριών.

Υπάρχει ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για μέταλλα χαμηλών εκπομπών άνθρακα από μεταγενέστερες διαδικασίες παραγωγής. Για παράδειγμα, ορισμένες αυτοκινητοβιομηχανίες που κατασκευάζουν προϊόντα χρησιμοποιώντας μια διαδικασία ουδέτερη από άνθρακα ζητούν από τους προμηθευτές να παραδώσουν εξαρτήματα ουδέτερα από άνθρακα, συχνά κατασκευασμένα με εξειδικευμένα μέταλλα. Ο τεχνολογικός κολοσσός Apple ανακοίνωσε την αγορά αλουμινίου χωρίς άνθρακα για τα προϊόντα του. Αν και τα μέταλλα δεν έχουν ακόμη τιμολογηθεί με βάση το αποτύπωμά τους σε CO₂, αυτή η μέρα μπορεί να έρθει (Henderson & Maksimainen, n.d.).

2.2 Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στον Ελληνικό εξορυκτικό κλάδο

Η χώρα διαθέτει σημαντικούς ορυκτούς πόρους και παρά τη μείωση της παραγωγής και του οικονομικού μεγέθους της βιομηχανίας τα τελευταία χρόνια, έχει καλές επιδόσεις καθώς είναι ο δεύτερος μεγαλύτερος παραγωγός λιγνίτη στην ΕΕ, ο πέμπτος μεγαλύτερος παραγωγός περλίτη στον κόσμο, ο μεγαλύτερος παραγωγός μπεντονίτη στην ΕΕ, ο δεύτερος μεγαλύτερος παραγωγός βωξίτη στον κόσμο, ο μεγαλύτερος παραγωγός βωξίτη στην ΕΕ και η πρώτη χώρα που εξάγει ελαφρόπετρα-μαγνήσιο στην ΕΕ. Αξίζει επίσης να αναφέρουμε ότι είναι ένας από τους κορυφαίους παραγωγούς μαρμάρου στον κόσμο, μαζί με μεγάλα κοιτάσματα χρυσού (και άλλα ορυκτά), καθώς διαθέτει και τεράστιο γεωθερμικό δυναμικό.

Η μεταλλευτική βιομηχανία θεωρείται εθνικής σημασίας γιατί βοηθά:

- Όσον αφορά το ισορροπημένο εμπορικό ισοζύγιο λόγω των ισχυρών εξαγωγικών χαρακτηριστικών (οι εξαγωγές αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το 65% των πωλήσεών της).
- Όσον αφορά την ενεργειακή ασφάλεια και την αυτονομία της χώρας (χαρακτηρίζεται από περισσότερο από το 50% της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από οικιακό λιγνίτη).
- Απασχόληση (περίπου 15.000 άμεσες θέσεις εργασίας σε βιομηχανικές εταιρείες και συνεργασίες με υπεργολάβους).
- Ανάπτυξη εθνικών υποδομών.

Μεταξύ άλλων, ο κλάδος αποτελεί μοχλό ανάπτυξης για πολλές άλλες δραστηριότητες, καθώς είναι διασυνδεδεμένος με άλλους οικονομικούς κλάδους από τον κατασκευαστικό τομέα έως τον τριτογενή κλάδο.

Η αξιολόγηση του αντίκτυπου της κλιματικής αλλαγής στη βιομηχανία εξόρυξης είναι ένα σύνθετο έργο με πολλές αβεβαιότητες, εξαιτίας (Δαμίγος, 2011):

1. Της αβεβαιότητας σχετικά με τα σενάρια της κλιματικής αλλαγής, καθώς ορισμένοι παράγοντες ενδέχεται να αλλάξουν με βραδύτερο ή ταχύτερο ρυθμό στο μέλλον.
2. Των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών κάθε εξόρυξης (π.χ. μηχανικά χαρακτηριστικά γεωλογικών σχηματισμών, υδρολογικά δίκτυα, περιβαλλοντική συμπεριφορά άγονων υλικών σε έργα εξόρυξης και εμπλουτισμού κ.λπ.), μπορούν να έχουν καθοριστικό αντίκτυπο στην επίδραση σε τοπικό αναλυτικό επίπεδο.
3. Τέλος, λαμβάνεται υπόψη η διαθεσιμότητα βασικών δεδομένων, η μακροζωία των εκμεταλλεύσεων και η σοβαρότητα της επίδρασης μεμονωμένων στοιχείων της κλιματικής αλλαγής στις συνολικές οικονομικές απώλειες,

2.2.1 Εκτιμώμενες επιπτώσεις

Οι επιπτώσεις της κλιματικής μεταβολής στην εξορυκτική βιομηχανία διακρίνονται σε άμεσες κι έμμεσες, οι οποίες επιγραμματικά παρουσιάζονται ως ακολούθως (Δαμίγος, 2011):

Άμεσες επιπτώσεις

- i. Καταστροφές υποδομών (π.χ. διάβρωση οδικού δικτύου, κατολισθήσεις πρανών εκμετάλλευσης και αποθέσεων, κ.λπ.) λόγω ακραίων καιρικών φαινομένων.
- ii. Δασικές πυρκαγιές λόγω χαμηλότερης υγρασίας και υψηλότερης θερμοκρασίας.
- iii. Μείωση διαθέσιμων υδατικών πόρων λόγω χαμηλότερων βροχοπτώσεων και αύξηση της εξάτμισης.
- iv. Αύξηση εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων λόγω χαμηλότερης υγρασίας και υψηλότερης θερμοκρασίας.
- v. Απώλεια ημερών εργασίας λόγω ακραίων θερμοκρασιών.

Για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων είναι απαραίτητη η ενίσχυση μέτρων και δράσεων προστασίας και αποκατάστασης του περιβάλλοντος, π.χ. συντήρηση των έργων αποκατάστασης λόγω διάβρωσης εδαφικού καλύμματος και αυξημένων αναγκών άρδευσης, αποφυγή υποβάθμισης υδατικών πόρων λόγω μειωμένης παροχής των υδατικών συστημάτων, περαιτέρω αύξηση των συντελεστών ασφάλειας κατά το σχεδιασμό φραγμάτων τελμάτων (π.χ. ως προς τη συχνότητα εμφάνισης πλημμυρικών φαινομένων) κ.λπ.

Έμμεσες επιπτώσεις λόγω ανάγκης μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου

- i. Αύξηση του κόστους ενέργειας λόγω ενσωμάτωσης του κόστους δικαιωμάτων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από το 2013 και τη μείωση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνίτη.
- ii. Μείωση της απασχόλησης λόγω μείωσης της παραγωγικής δραστηριότητας συγκεκριμένων τομέων εξαιτίας της ανάγκης μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου.
- iii. Αύξηση του λειτουργικού κόστους για συμβολή του κλάδου στη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου μέσω αντικατάστασης εξοπλισμού και άλλων μέτρων.

2.2.2 Εκτίμηση της συνολικής οικονομικής ζημιάς

Η συνολική οικονομική ζημία υπολογίζεται με βάση την παρούσα αξία του ετήσιου χρηματοοικονομικού κόστους για την περίοδο 2021-2050 και μετέπειτα

το ποσό εκφράζεται στην παρούσα αξία του 2010. Υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας τις ακόλουθες παραδοχές (Δαμίγος, 2011):

Άμεσες επιπτώσεις

- i. Καταστροφές υποδομών: ατύχημα παρούσας αξίας 15 εκατ. ευρώ. Αυτά τα κόστη βασίζονται στην υπόθεση ότι θα υπάρξουν σοβαρά ατυχήματα μέσα σε αυτήν την περίοδο, το κόστος των οποίων έχει προσδιοριστεί από σχετικά περιστατικά.
- ii. Δασικές πυρκαγιές: δεν λαμβάνονται υπόψη
- iii. Μείωση διαθέσιμων υδατικών πόρων: 6,8 εκατ. ευρώ ετησίως για την προμήθεια νερού σε υψηλότερες τιμές
- iv. Αυξημένες εκπομπές σωματιδίων: κόστος 3,6 εκατ. ευρώ ετησίως για την λήψη μέτρων περιορισμού της σκόνης.
- v. Απώλεια ημερών εργασίας λόγω ακραίων θερμοκρασιών: κόστος 1,8 εκατ. ετησίως, λόγω μειωμένης παραγωγής.
- vi. Ενίσχυση περιβαλλοντικών μέτρων και δράσεων: κόστος 4,7 εκατ. ευρώ ετησίως ώστε να λάβουν μέτρα σχετικά με την προστασία και την αποκατάσταση του περιβάλλοντος.

Έμμεσες επιπτώσεις

Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας: 27 εκατ. ευρώ ετησίως

Σημειώνεται ότι στον υπολογισμό δεν λαμβάνεται υπόψη η απώλεια εσόδων από τη μείωση της παραγωγής λιγνίτη για τους εξής λόγους:

- Σημαντική μείωση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνίτη, επιβάλλεται για περιβαλλοντικούς λόγους άσχετους με την αλλαγή του κλίματος
- Ετήσια μείωση στην εξόρυξη λιγνίτη, δεδομένου αποθέματος, διευρύνει την διάρκεια της εκμετάλλευσης. Έτσι, τα έσοδα από την εκμετάλλευση του κοιτάσματος δεν χάνονται, αλλά μετατοπίζονται χρονικά.

3. Ανταπόκριση της μεταλλευτικής βιομηχανίας στην κλιματική αλλαγή

Ο εξορυκτικός τομέας πάλευε πάντα με την εικόνα του ως «βρώμικη» βιομηχανία. Τα ορυχεία μπορεί να είναι επικίνδυνα για όσους εργάζονται σε αυτά, αλλά και για το περιβάλλον, μεταξύ άλλων μέσω των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Η εξόρυξη είναι το κλειδί για την ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, καθώς η πράσινη τεχνολογία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από ορισμένα μέταλλα και ορυκτά. Η ηλιακή ενέργεια, η οποία αναμένεται από τον Διεθνή Οργανισμό Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας να φτάσει τα 8.519 GW παγκόσμιας ισχύος έως το 2050, βασίζεται στην παροχή αλουμινίου, χαλκού και ορισμένων στοιχείων σπάνιων γαιών (συμπεριλαμβανομένου του ινδίου και του καδμίου) για την παραγωγή φωτοβολταϊκών πάνελ. Ομοίως, οι ανεμογεννήτριες κατασκευάζονται από χάλυβα και επομένως η κατασκευή τους εξαρτάται από την παραγωγή σιδήρου, αλλά και ορισμένα στοιχεία σπάνιων γαιών, όπως το νεοδύμιο, χρειάζονται για τους μαγνήτες που χρησιμοποιούνται στις γεννήτριες στροβίλων. Γενικότερα, ο χαλκός είναι απαραίτητος για όλες τις υποδομές παραγωγής ενέργειας, καθώς και για την τεχνολογία ηλεκτρικών οχημάτων (BEV). Ο κινητήριος σκοπός της στροφής προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που προκαλούνται από τον ρυπογόνο άνθρακα και άλλους παραγωγούς ορυκτών καυσίμων. Αυτό δεν μπορεί να είναι εις βάρος του ίδιου του περιβάλλοντος που προσπαθούμε να διατηρήσουμε και απαιτεί να γίνουν παράλληλα πιο βιώσιμες οι εργασίες εξόρυξης. Η κλιματική αλλαγή συνιστά επίσης ευρύτερη απειλή για τον εξορυκτικό τομέα. Τα μέταλλα που είναι πιθανό να δουν αύξηση της ζήτησης, λόγω της σημασίας τους στην παραγωγή τεχνολογίας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τείνουν να συγκεντρώνονται σε περιοχές ευάλωτες στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.

Το λιώσιμο των πολικών πάγων και η άνοδος της στάθμης της θάλασσας αποτελούν παρόμοια απειλή. Τον Ιούλιο του 2020, το Store Norske Spitsbergen Kulkompani αναγκάστηκε να κλείσει το ανθρακωρυχείο του στο Svalbard της Νορβηγίας λόγω πλημμύρας από την άνοδο της στάθμης του νερού. Το Svalbard είχε βιώσει υψηλές θερμοκρασίες ρεκόρ τις ημέρες που προηγήθηκαν της

διακοπής λειτουργίας, με αποτέλεσμα οι κοντινοί παγετώνες να παράγουν τέσσερις φορές περισσότερο νερό από ότι θα αναμενόταν κανονικά.

Οι εταιρείες εξόρυξης δεν έχουν αγνοήσει την ανάγκη να γίνουν πιο περιβαλλοντικά υπεύθυνες. Οι εξελίξεις στην τεχνολογία έχουν αυξήσει την αυτοματοποίηση, πράγμα που σημαίνει ότι οι εργαζόμενοι απαιτείται λιγότερο συχνά να εισέρχονται σε επικίνδυνα ορυχεία και να κινδυνεύουν να εκτεθούν σε επιβλαβείς ουσίες. Οι βελτιώσεις στον εξοπλισμό εξερεύνησης και γεώτρησης που χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό και την εξόρυξη ορυκτών έχουν δημιουργήσει ένα άνευ προηγουμένου επίπεδο ακρίβειας, μειώνοντας τον όγκο των περιττών ανασκαφών. Σε άλλα σημεία του εργοταξίου, η προσπάθεια μείωσης των εκπομπών άνθρακα έχει επηρεάσει τον εκσυγχρονισμό των στόλων οχημάτων ορυχείων μέσω υδρογόνου. Στη Χιλή, η Alta Ley συνεργάζεται με την Αυστριακή εταιρεία τεχνολογίας Alset για την παραγωγή ενός συστήματος «διπλού καυσίμου» που χρησιμοποιεί υδρογόνο και diesel για την τροφοδοσία των υπάρχοντων κινητήρων εσωτερικής καύσης. Το πρωτότυπο του φορτηγού είχε στόχο να ξεκινήσει την λειτουργία του έως το 2021 με μείγμα καυσίμου 70% υδρογόνου, το οποίο προβλέπει η Alset ότι θα μπορούσε να μειώσει τις εκπομπές άνθρακα κατά 2.260 τόνους ετησίως.

Δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι οι εταιρείες εξόρυξης κοιτάζουν τις ευκαιρίες που παρουσιάζουν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ως μία από μια σειρά λύσεων για να γίνουν μια πιο βιώσιμη βιομηχανία.

Αναγκαστικά, η εξόρυξη είναι μια ενεργοβόρα διαδικασία, ειδικά για στοιχεία που είναι πιο δύσκολο να εξαχθούν (και επομένως απαιτούν πρόσθετα μηχανήματα) ή που απαιτούν ηλεκτρική ενέργεια για τη βελτίωση (όπως η τήξη αλουμινίου). Ως εκ τούτου, οι εξορυκτικές δραστηριότητες πάντα χρειάζονταν μια συνεπή και αξιόπιστη πηγή ενέργειας για την κάλυψη των καθημερινών τους αναγκών. Η απομακρυσμένη τοποθεσία πολλών εργασιών εξόρυξης, σε συνδυασμό με την ανάγκη για σταθερό βασικό φορτίο, απαιτούσε ιστορικά γεννήτριες βαρέως μαζούτ (HFO) οι οποίες, ενώ είναι εξαιρετικά ρυπογόνες, είναι αξιόπιστες και επομένως μπορούν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις του ορυχείου. Σε αντίθεση με τη διαλείπουσα συχνότητα των περισσότερων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (εκτός υδροηλεκτρικής και γεωθερμίας), επειδή εάν ο ήλιος δεν λάμπει ή ο άνεμος δεν φυσήξει, δεν θα παραχθεί ενέργεια.

Έτσι, με τις εξελίξεις στην τεχνολογία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τη δέσμευση ορισμένων βασικών παραγόντων του κλάδου, ο κλάδος είναι έτοιμος για αλλαγή και υπάρχουν πολλά οφέλη για τις εταιρείες εξόρυξης που θα στραφούν στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Strockl, 2020):

- Μειωμένη εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα που είναι ευάλωτα στις παγκόσμιες διακυμάνσεις των τιμών.
- Μείωση των εκπομπών άνθρακα, ιδιαίτερα των εκπομπών του πεδίου 2 για ορυχεία που καταναλώνουν πολύ ηλεκτρική ενέργεια.
- Η ικανοποίηση των περιβαλλοντικών και κοινωνικών κριτηρίων που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της βιωσιμότητας και των πράσινων διαπιστευτηρίων ενός δεδομένου έργου, αυτό θα είναι προϋπόθεση για τους παραχωρητές καθώς και για τους επενδυτές και τους δανειστές.
- Βελτιωμένη δέσμευση επενδυτών. Η αυξανόμενη μετατόπιση του χρέους και των αγορών κεφαλαίων προς βιώσιμες και πράσινες επενδύσεις σημαίνει ότι η συμμόρφωση με τους δείκτες ESG και SDG θα είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση και τη βελτίωση της βάσης των επενδυτών μετοχικού κεφαλαίου ή/και των όρων με τους οποίους θα διατεθεί το χρέος.
- Σταθερότητα στην τιμή της ενέργειας. Η καθιέρωση συμβάσεων για τη διαφορά και άλλα μέσα αντιστάθμισης τιμών επέτρεψε στις εταιρείες να σταθεροποιήσουν το μακροπρόθεσμο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας βάσει μιας συμφωνημένης τιμής («strike price»). Επιπλέον, το κόστος παραγωγής μπαταριών προβλέπεται να μειωθεί στο μισό την επόμενη δεκαετία, καθιστώντας την αποθήκευση ενέργειας μεγάλης κλίμακας ικανή να τροφοδοτήσει τις λειτουργίες ενός ορυχείου ακόμη και χωρίς σταθερή παροχή.

Ο τομέας εξόρυξης, είναι υπεύθυνος για το 4 έως 7% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) παγκοσμίως, και θα αντιμετωπίσει επίσης πιέσεις από τις κυβερνήσεις, τους επενδυτές και την κοινωνία για μείωση των εκπομπών. Οι εκπομπές CO₂ από τον τομέα (αυτές που προκύπτουν από τις εργασίες εξόρυξης και την κατανάλωση ενέργειας, αντίστοιχα) ανέρχονται σε 1%, και οι εκπομπές φυγής μεθανίου από την εξόρυξη άνθρακα υπολογίζονται σε 3 έως 6%. Ένα

σημαντικό μερίδιο των παγκόσμιων εκπομπών 28% θα θεωρηθούν έμμεσες εκπομπές, συμπεριλαμβανομένης της καύσης άνθρακα.

Επιπλέον, οποιαδήποτε σοβαρή προσπάθεια υλοποίησης των στόχων της Συμφωνίας του Παρισιού για τον περιορισμό της υπερθέρμανσης του πλανήτη θα απαιτούσε συμμετοχή από ολόκληρη την αλυσίδα εξόρυξης. Απαιτούνται μεγάλες επενδύσεις κεφαλαίου για την πλήρη απαλλαγή των ορυχείων, αλλά ορισμένα μέτρα, όπως η υιοθέτηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η ηλεκτροδότηση και η λειτουργική απόδοση, είναι οικονομικά σήμερα για πολλά ορυχεία.

Η στροφή σε ανανεώσιμες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας είναι ολοένα και πιο εφικτή, ακόμη και σε περιβάλλοντα εκτός δικτύου, επειδή το κόστος των συστοιχιών μπαταριών προβλέπεται να μειωθεί στο μισό από το 2017 έως το 2030. Η CodeLco, για παράδειγμα, χρησιμοποιεί ηλιακή ενέργεια για ένα από τα ορυχεία χαλκού της στη Χιλή και η Fortescue Metals Group επενδύει σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στα ορυχεία σιδηρομεταλλεύματός της στην περιοχή Pilbara στην Αυστραλία. Η BHP, μια πολυεθνική εταιρεία εξόρυξης, υπέγραψε πρόσφατα συμβόλαια για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στα ορυχεία χαλκού Escondida και Spence. Για το μέσο ορυχείο στο δίκτυο, υπάρχουν συνήθως αρκετές ποσοστιαίες μονάδες βελτιώσεων της ενεργειακής απόδοσης για τη μείωση του λειτουργικού κόστους και των έμμεσων εκπομπών από την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται, όπως η μείωση του χρόνου αδράνειας του εξοπλισμού.

Μια άλλη οικονομικά βιώσιμη επιλογή απανθρακοποίησης είναι ο ηλεκτρισμός του εξοπλισμού εξόρυξης, όπως τα φορτηγά diesel και οι συσκευές που καταναλώνουν αέριο. Αυτήν τη στιγμή, μόνο το 0,5% του εξοπλισμού εξόρυξης είναι πλήρως ηλεκτρικό. Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις, τα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία έχουν 20% χαμηλότερο συνολικό κόστος σε σύγκριση με τα παραδοσιακά οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Η Goldcorp, για παράδειγμα, ξεκίνησε πρόσφατα την λειτουργία ενός πλήρους ηλεκτρικού ορυχείου στο Οντάριο του Καναδά.

Αρκετές μεγάλες εταιρείες εξόρυξης έχουν εγκαταστήσει τις δικές τους επιτροπές βιωσιμότητας, σηματοδοτώντας ότι η εξόρυξη εντάσσεται στο κύμα των εταιρικών αναφορών και δραστηριοτήτων βιωσιμότητας. Η καταμέτρηση των

εκπομπών και η κατανόηση των οδών απανθρακοποίησης είναι τα πρώτα βήματα προς τον καθορισμό στόχων και τη λήψη μέτρων.

Οι ενέργειες που έχουν γίνει μέχρι σήμερα από τη βιομηχανία εξόρυξης είναι πολύ μέτριες για να επιτευχθεί μια οδός θέρμανσης $1,5^{\circ}\text{C}$ και μπορεί να μην συμβαδίζουν με τις προσδοκίες της κοινωνίας και τις εταιρείες που ζητούν από τους προμηθευτές τους να απελευθερώσουν τις ανθρακούχες εκπομπές και από τις κοινότητες που υποστηρίζουν δράση σε περιβαλλοντικά ζητήματα. Οι εταιρείες εξόρυξης που ανησυχούν για τη μακροπρόθεσμη φήμη τους, την «άδεια λειτουργίας» ή τη συμβολή τους στις προσπάθειες απαλλαγής από τις ανθρακούχες εκπομπές ενδέχεται να αρχίσουν να εξετάζουν πιο επιθετικά σχέδια απαλλαγής από τις ανθρακούχες εκπομπές και ανθεκτικότητας.

Σύμφωνα με τη Συμφωνία του Παρισιού του 2015, 195 χώρες δεσμεύτηκαν να περιορίσουν την υπερθέρμανση του πλανήτη πολύ κάτω από τους $2,0^{\circ}\text{C}$ και ιδανικά όχι περισσότερο από $1,5^{\circ}\text{C}$ πάνω από τα προβιομηχανικά επίπεδα. Αυτός ο στόχος, εάν επιδιωχθεί, θα εκδηλωθεί με την απαλλαγή από τις ανθρακούχες εκπομπές σε όλες τις βιομηχανίες, δημιουργώντας σημαντικές αλλαγές στη ζήτηση εμπορευμάτων για τη βιομηχανία εξόρυξης και πιθανότατα με αποτέλεσμα τη μείωση των παγκόσμιων δεξαμενών εσόδων εξόρυξης.

Η εξορυκτική βιομηχανία μόλις άρχισε να θέτει στόχους μείωσης των εκπομπών. Οι τρέχοντες στόχοι που δημοσιεύονται από εταιρείες εξόρυξης κυμαίνονται από 0 έως 30 % έως το 2030, πολύ χαμηλότεροι από τους στόχους της Συμφωνίας του Παρισιού. Τα ορυχεία θεωρητικά μπορούν να απανθρακοποιηθούν πλήρως (εξαιρουμένου του διαφυγόντος μεθανίου) μέσω της λειτουργικής απόδοσης, της ηλεκτροδότησης και της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Απαιτούνται επενδύσεις κεφαλαίου για την επίτευξη του μεγαλύτερου μέρους του δυναμικού απαλλαγής από τον άνθρακα, αλλά ορισμένα μέτρα, όπως η υιοθέτηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η ηλεκτροδότηση και η λειτουργική απόδοση, είναι οικονομικά σήμερα για πολλά ορυχεία (Henderson & Maksimainen, n.d.).

3.1 Ορυχείο Borden της Goldcorp στον Καναδά

Η αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής ωθεί τη βιομηχανία χρυσού να τροποποιήσει τις τεχνολογίες παραγωγής ώστε να γίνουν περισσότερο περιβαλλοντικά βιώσιμες. Η μετάβαση προς τη βιωσιμότητα απαιτεί τη βιομηχανία εξόρυξης χρυσού να συνεκτιμήσει και να περιορίσει τις εξωτερικές οικονομίες της παραγωγής τους, συμπεριλαμβανομένων των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Οι μέσες παγκόσμιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από εξόρυξη χρυσού από το 1991 έως το 2006 ήταν 11.500 kg CO₂e/kg χρυσού. Ο μέσος όρος αυξήθηκε στα 13.900 kg CO₂e/kg χρυσού όταν η περίοδος παρατάθηκε δύο χρόνια, δηλαδή από το 1991 στο 2008. Το Παγκόσμιο Συμβούλιο Χρυσού (2019) εκτιμά ότι το συνολικό αποτύπωμα εκπομπών GHG για τη συνολική αγορά χρυσού σε 126,4 Mt CO₂-e ετησίως (Πεδίο 1: 45,5 Mt CO₂-e, Πεδίο 2: 54,9 Mt CO₂-e, Πεδίο 3: 26,0 Mt CO₂-e) αυτό ισοδυναμεί με ένταση εκπομπών GHG 28.700 kg CO₂-e/kg (Πεδίο 1 και 2) (Ulrich, Trench, and Hagemann, 2022).

Το ορυχείο χρυσού Borden (πρώην Borden Lake Project) βρίσκεται στο Chapleau του Οντάριο στον Καναδά. Το ορυχείο ανήκει εξ ολοκλήρου στην Goldcorp και είναι το πρώτο υπόγειο ορυχείο στη χώρα που αντικαθιστά όλο τον κινητό εξοπλισμό diesel με ηλεκτροκίνητα οχήματα μπαταρίας (BEV).

Το Borden αναπτύσσεται ως ανοικτή και υπόγεια εκμετάλλευση με την επέκταση των υφιστάμενων υπόγειων ερευνητικών εργασιών. Αναπτύχθηκαν επίσης υποδομές εξαερισμού και έξοδος κινδύνου. Διαθέτει αυτοματοποιημένες τεχνολογίες και διαδικασίες εξόρυξης για τη βελτιστοποίηση των εργασιών. Χρησιμοποιεί συστήματα υγείας και ασφάλειας τελευταίας τεχνολογίας για να διασφαλίζει την ασφάλεια του εργατικού δυναμικού και των γειτόνων της. Το μετάλλευμα εξορύσσεται από ένα στόλο BEV και μεταφέρεται στην επιφάνεια σε εγκαταστάσεις επιτόπιας διαχείρισης. Ο στόλος περιλαμβάνει το γεωτρήπανο ανάπτυξης Sandvik DD422iE™, σάκουσ Sandvik 14T LHD και φορτηγά Sandvik 40T, εκτός από φορτηγό βραχίονα, φορτηγό κασέτας και φορτωτή γαλακτώματος.

Η χρήση των BEV θα επιτρέψει στην Goldcorp να μειώσει 7.000 τόνους εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και το κόστος συντήρησης, καθώς και να

εξοικονομήσει την κατανάλωση δύο εκατομμυρίων λίτρων diesel και ενός εκατομμυρίου λίτρων προπανίου (Mining Technology, 2020).

Η επένδυση σε ηλεκτρικό εξοπλισμό στο Borden θα βελτιώσει τις επιδόσεις ασφάλειας και θα μειώσει ετησίως τις εκπομπές GHG κατά 70% (6.600 τόνοι CO₂e). Οι ηλεκτρικοί κινητήρες είναι τρεις φορές πιο αποδοτικοί από τους αντίστοιχους diesel και μειώνουν τις MWh κατά 33.000 ετησίως λόγω της τεράστιας μείωσης των απαιτήσεων αερισμού.

Σε μια περίοδο 10 ετών, αυτό αντιπροσωπεύει μείωση κατά 70.000 τόνους CO₂e και 330.000 MWh ηλεκτρικής ενέργειας. Με τη μείωση των εκπομπών έρχεται μια μείωση των αναγκών υπόγειου αερισμού, κάτι που θα οδηγήσει στο Borden να απαιτεί 50% λιγότερο αερισμό από ένα υπόγειο ορυχείο που χρησιμοποιεί diesel.

Το υπόγειο ορυχείο Borden θα λειτουργεί όλο το χρόνο σε συνεχή (24ωρη) βάση, με ρυθμό έως περίπου 4.000 τόνους μεταλλεύματος την ημέρα, όπως υπολογίζεται κατά μέσο όρο κατά τη διάρκεια του έτους (World Gold Council, n.d.).

Η Newmont συνεργάστηκε με την Sandvik Mining και τη MacLean Engineering για να αποκτήσει τα οχήματα με μπαταρία για να χρησιμοποιηθούν για σχεδόν όλες τις απαιτήσεις του ορυχείου. Η νέα τεχνολογία θα κυμαίνεται από εξοπλισμό γεώτρησης και ανατίναξης που λειτουργεί με μπαταρίες, μέχρι ηλεκτρικά μπουλόνια, οχήματα μεταφοράς προσωπικού και ένα φορτηγό μεταφοράς με μπαταρία 40 μετρικών τόνων. Αυτό θα εξαλείψει όλες τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που σχετίζονται με τη μετακίνηση μεταλλεύματος και απορριμμάτων, τα οποία συνεισφέρουν περίπου το 50% των συνολικών GHG στο εργοτάξιο ή 5.000 τόνους CO₂ ετησίως.

Μαζί με τη μείωση των εκπομπών έρχεται και η μείωση των αναγκών υπόγειου αερισμού. Ένα αποτελεσματικό, κατ' απαίτηση σύστημα εξαερισμού θα απαιτεί 50% λιγότερο αερισμό από ένα ισοδύναμο υπόγειο ορυχείο που κινείται με diesel (The Mining Association of Canada, 2021).

3.1.1 Ηλεκτρικό jumbo εξόρυξης Sandvik DD422iE

Το Sandvik DD422iE είναι ένα ηλεκτρικό jumbo εξόρυξης που έχει σχεδιαστεί για να μειώνει το κόστος παραγωγής με παράλληλη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκαλούνται από τη γεώτρηση και τη διάνοιξη σήραγγας. Τα κύρια πλεονεκτήματα αυτού του καινοτόμου ηλεκτρικού γεωτρήσανου

περιλαμβάνουν μηδενικές εκπομπές ρύπων και βελτιωμένη παραγωγικότητα. Μέσω των καλοσχεδιασμένων δομών και των αποδεδειγμένων εξαρτημάτων του γεωτρήπανου εξασφαλίζεται ένας αξιόπιστος χώρος εργασίας τόσο για τους χειριστές όσο και για τα συνεργεία συντήρησης.

Χρησιμοποιώντας την ενσωματωμένη μπαταρία, το Sandvik DD422iE παράγει μηδενικές εκπομπές ρύπων κατά την οδήγηση, συμβάλλοντας στην υγεία και την ασφάλεια των εργαζομένων στο υπόγειο. Η εξάλειψη των σωματιδίων diesel (DPM) και άλλων εκπομπών του κινητήρα μπορεί ακόμη και να συμβάλει στη μείωση του κόστους αερισμού του ορυχείου και στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας.

Η εξάλειψη του κινητήρα diesel δυνητικά μειώνει ακόμη και την ανάγκη για ακριβή υποδομή για τη μεταφορά καυσίμου diesel στο υπόγειο ορυχείο. Η ελευθερία από την εφοδιασμό καυσίμων παρέχει σημαντικές δυνατότητες εξοικονόμησης κόστους και βελτιώνει περαιτέρω την ασφάλεια των υπόγειων λειτουργιών.

Το σύστημα τροφοδοσίας αυτής της εξέδρας χρησιμοποιεί την υπάρχουσα ηλεκτρική υποδομή κατά τη διάρκεια της γεώτρησης για να επαναφορτίσει την μπαταρία και να φορτώσει την μπαταρία κατά τη διάρκεια της κατηφόρας, χάρη στο αναγεννητικό σύστημα πέδησης.

Αντλώντας εφεδρική ισχύ από τις μπαταρίες κατά τη διάρκεια φορτίων αιχμής κατά τη διάτρηση, το έξυπνο σύστημα διαχείρισης ισχύος του jumbo συμβάλλει στην κάλυψη των συνεχώς αυξανόμενων απαιτήσεων παραγωγικότητας παρά τις περιορισμένες υπόγειες δυνατότητες ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι τρόποι με τους οποίους το Sandvik DD422iE θα βελτιώσει τη λειτουργία εξόρυξης:

- Βοηθά στη μείωση των συνολικών σωματιδίων diesel (DPM), των οξειδίων του αζώτου (NOx) και των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στο ορυχείο, δημιουργώντας ένα βελτιωμένο υπόγειο περιβάλλον για τους εργαζόμενους.
- Φορτίζει τις μπαταρίες κατά τη διάρκεια του κανονικού κύκλου γεώτρησης.

- Καλύτερη απόδοση διάτρησης με το σύστημα αντιστάθμισης ενεργού ισχύος.

Η μείωση της χρήσης diesel στο ορυχείο μπορεί να διευκολύνει τις απαιτήσεις αερισμού, ενώ παράλληλα μειώνει τα σχετικά έξοδα εφοδιαστικής και συντήρησης diesel. Το Sandvik DD422iE βοηθά στη μείωση του λειτουργικού κόστους σε όλα τα επίπεδα.

Η επαναστατική τεχνολογία γραμμής μετάδοσης κίνησης Sandvik επιτρέπει στην μπαταρία να επαναφορτίζεται κατά τη διάρκεια του κύκλου γεώτρησης χρησιμοποιώντας την υπάρχουσα ηλεκτρική υποδομή του ορυχείου. Η μπαταρία θα επαναφορτιστεί ακόμη και καθώς το Sandvik DD422iE κατηφορίζει χρησιμοποιώντας ενέργεια που παράγεται από το σύστημα πέδησης. Έτσι, ακόμα κι αν υπάρχει διακοπή ρεύματος, το jumbo θα είναι όσο το δυνατόν πιο φορτισμένο

Η τεχνολογία μπαταρίας (χλωριούχο νάτριο-νικέλιο) που χρησιμοποιείται στο Sandvik DD422iE έχει μειωμένο κίνδυνο πυρκαγιάς και θεωρείται ασφαλέστερο σύστημα για χρήση υπόγειων ορυχείων. Αυτό το πακέτο μακράς διάρκειας θα τροφοδοτεί αποτελεσματικά το τρυπάνι καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του (Sandvik Mining and Rock Technology, n.d.).



Εικόνα 5: Ηλεκτρικό jumbo εξόρυξης Sandvik DD422iE

3.1.2 Γεωτρύπανο Sandvik DL422iE

Το Sandvik DL422iE είναι ένα πλήρως αυτοματοποιημένο τρυπάνι με μπαταρίες, σχεδιασμένο για υπόγεια μαζική εξόρυξη σε στροφές παραγωγής 4x4 m ή

μεγαλύτερες. Είναι ικανό να τρυπήσει κάθετους και κεκλιμένους ανεμιστήρες και μονές ή παράλληλες μακρότρυπες Ø89-127 mm έως και 54 m σε βάθος χρησιμοποιώντας ράβδους σωλήνων ST58 και ST68.

Το συγκεκριμένο γεωτρήπανο είναι εξοπλισμένο με ηλεκτρικό σύστημα μετάδοσης κίνησης, που περιλαμβάνει πακέτο μπαταριών και ηλεκτροκινητήρα, για μηδενικές εκπομπές ρύπων κατά την οδήγηση, ώστε να διασφαλίζεται ένα καλό περιβάλλον εργασίας για το προσωπικό στους υπόγειους χώρους.

Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει το γεωτρήπανο διακρίνονται ως εξής (Sandvik Mining and Rock Technology, n.d.):

- Ισχυρή μπαταρία: χωρίς εκπομπές diesel και μειωμένο θερμικό φορτίο υπόγεια.
- Πλήρως εξοπλισμένος τηλεσκοπικός φορτωτής ZR35, που προσφέρει ακριβή τοποθέτηση και σταθερότητα στη διάτρηση.
- Ισχυρό τρυπάνι βράχου HF1560ST, με έως και 10% αύξηση στο καθαρό ποσοστό διείσδυσης.
- Αυτοματοποιημένη διάτρηση μέσω αλλαγών βάρδιας, με έως και 20% υψηλότερη χρήση εξοπλισμού.
- Αυτοματοποιημένος χειρισμός ράβδων, που προσφέρει μικρότερους χρόνους κύκλου διάτρησης
- Έξυπνο σύστημα ελέγχου διάτρησης, με προσαρμοστική διάτρηση για βελτιωμένα αποτελέσματα



Εικόνα 6: Γεωτρήπανο Sandvik DL422iE

3.1.3 Ηλεκτρικός φορτωτής Toro™ LH514BE

Το Toro™ LH514BE είναι το επόμενο στάδιο ηλεκτρικών φορτωτών, και συγκεκριμένα είναι ένας ηλεκτρικός φορτωτής με υποβοήθηση μπαταρίας. Διατηρώντας την καλύτερη αναλογία ωφέλιμου φορτίου προς βάρος στην κατηγορία του, ο φορτωτής 14 τόνων έχει επιπρόσθετα την δυνατότητα να αποσυνδεθεί εύκολα από το δίκτυο ηλεκτροδότησης και να οδηγηθεί στη νέα του θέση. Το Toro™ LH514BE είναι το επόμενο βήμα για αξιοποίηση της δύναμης της ηλεκτροκίνησης, της τεχνολογίας μπαταρίας και του αυτοματισμού.

Το Toro™ LH514BE είναι ένας καλωδιακός ηλεκτρικός φορτωτής, ο οποίος είναι πλέον αναβαθμισμένος με τεχνολογία αιχμής μπαταρίας. Κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας, λειτουργεί σαν ένας παραδοσιακός φορτωτής που λειτουργεί με καλώδιο, ενώ επωφελείται επίσης από την ώθηση που προσφέρει η μπαταρία. Όταν ο φορτωτής πρέπει να μετακινηθεί σε άλλη θέση, το καλώδιο μπορεί να αποσυνδεθεί από το δίκτυο τροφοδοσίας και να χρησιμοποιήσει την ισχύ της μπαταρίας μόνο για να οδηγηθεί στη νέα του θέση ή στο χώρο συντήρησης.

Στα πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου φορτωτή περιλαμβάνεται η μη ανάγκη οχήματος για να ρυμουλκήσει τον φορτωτή σε διαφορετική περιοχή, δεν χρειάζεται να υπάρχουν σταθμοί ανεφοδιασμού ή επαναφόρτισης επειδή η μπαταρία φορτίζει κατά τη λειτουργία. Το Toro™ LH514BE χρησιμοποιεί χημεία φωσφορικού λιθίου-σιδήρου (LiFePO₄ ή LFP) που είναι μια κατάλληλη επιλογή για υπόγεια περιβάλλοντα εξόρυξης.

Στα βασικά χαρακτηριστικά του φορτωτή περιλαμβάνονται το έξυπνο σύστημα ελέγχου της Sandvik και μια οθόνη αφής 7 ιντσών, που παρέχει εύκολη πρόσβαση στα δεδομένα. Ως συνήθως στους μεγάλους φορτωτές της Sandvik, η επιλογή του ολοκληρωμένου συστήματος ζύγισης (IWS) μετρά τα δεδομένα ωφέλιμου φορτίου και καταγράφει τα αποτελέσματα στο My Sandvik Digital Services Knowledge Box™. Το Knowledge Box™ μεταφέρει τα δεδομένα στη διαδικτυακή πύλη My Sandvik για οπτικοποίηση της ασφάλειας, της παραγωγικότητας και της χρήσης του στόλου. Η λύση OptiMine® μπορεί επίσης να χρησιμοποιήσει μεταφερόμενα δεδομένα για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της διαδικασίας εξόρυξης.

Τα πλεονεκτήματα του φορτωτή παρουσιάζονται παρακάτω (Sandvik Mining and Rock Technology, n.d.):

- Πρωτοποριακή τεχνολογία ηλεκτρικού τρένου για εύκολη μετακίνηση ηλεκτρικού φορτωτή και ώθηση για κίνηση ράμπας.
- Λιγότερη θερμότητα, λιγότερο CO₂ και καμία στάση για ανεφοδιασμό.
- Χημεία λιθίου-φωσφορικού σιδήρου (LiFePO₄ ή LFP).
- Ομαλή λειτουργία και έλεγχος ταχύτητας.
- Ενσωματωμένη ευφυΐα.



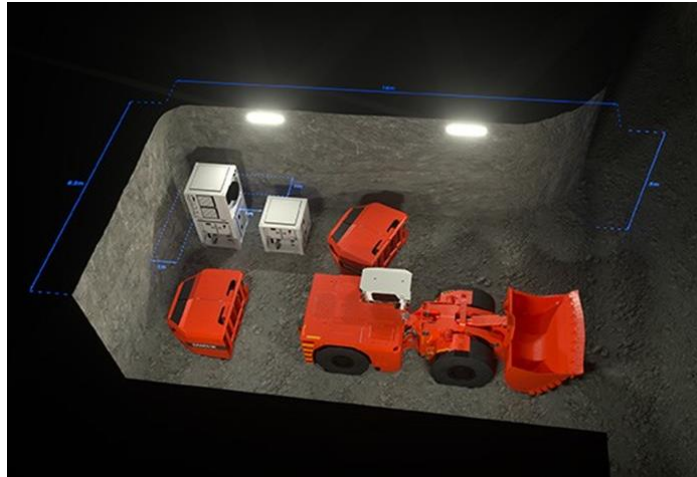
Εικόνα 7: Ηλεκτρικός φορτωτής Toro™ LH514BE

3.1.4 Φορητοί σταθμοί φόρτισης

Οι φορητοί σταθμοί φόρτισης για ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία της Sandvik προσφέρουν το ταχύτερο pit stop στην αγορά. Με AutoSwap και AutoConnect, χρειάζονται περίπου τρία λεπτά. Οι μονάδες φόρτισης και ψύξης έχουν το ίδιο μέγεθος, επιτρέποντας μια ποικιλία διαμορφώσεων για να ταιριάζουν σε κάθε μηχανήμα. Αυτό καθιστά επίσης εύκολη και ευέλικτη τη μετεγκατάσταση και τον χειρισμό.

Οι μπαταρίες Sandvik BEV επαναφορτίζονται από γρήγορους και ευέλικτους σταθμούς φόρτισης. Οι σταθμοί και οι μπαταρίες δεν απαιτούν την προσθήκη μεγάλης υποδομής και μετακινούνται εύκολα σε διαφορετικά σημεία του ορυχείου όταν χρειάζεται. Χρειάζονται μόνο σύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο του ορυχείου. Κάθε μονάδα διαθέτει τη δική της μονάδα ψύξης, η οποία χρησιμοποιεί ψυκτικό χαμηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας για αυξημένη ασφάλεια της μπαταρίας.

Η αλλαγή μπαταρίας διαρκεί μόνο τρία λεπτά. Όταν χρειάζεται, ο χειριστής απλώς πηγαίνει στο χώρο αντικατάστασης, αφήνει την μπαταρία που έχει εξαντληθεί, παίρνει μια πλήρη και συνεχίζει τη λειτουργία. Χάρη στο AutoSwap και το AutoConnect, δεν χρειάζεται ο χειριστής να εγκαταλείψει την καμπίνα (Sandvik Mining and Rock Technology, n.d.).



Εικόνα 8: Φορητοί σταθμοί φόρτισης

3.2 Ορυχείο Raglan mine στον Καναδά

Τα ορυχεία στον μακρινό βορρά χρειάζονται επίσης ρεύμα, και ορισμένα αρχίζουν να στρέφονται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για να βοηθήσουν στην τροφοδοσία τις ανάγκες τους. Το ορυχείο Raglan είναι μέλος της ομάδας Glencore, μία από τις μεγαλύτερες παγκόσμιες διαφοροποιημένες φυσικές εταιρείες πόρων. Στο βορειότερο όριο του Κεμπέκ του Καναδά, το Raglan είναι ένα από τα πλουσιότερα ορυχεία βασικών μετάλλων στον κόσμο. Η ιδιοκτησία του ορυχείου Raglan εκτείνεται σε 70 χιλιόμετρα από τα ανατολικά προς τα δυτικά και περιλαμβάνει μια σειρά κοιτασμάτων μεταλλευμάτων νικελίου και χαλκού υψηλής ποιότητας.

Το Raglan περιλαμβάνει τέσσερα υπόγεια ορυχεία, συγκεντρωτή, συγκρότημα καταλυμάτων και διοικητικά κτίρια. Διαθέτει όλες τις υποδομές ενός μικρού δήμου (πηγή παροχής γλυκού νερού, δεξαμενές καυσίμων, εργοστάσιο επεξεργασίας νερού, ένα εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας, κ.λπ.). Ένα δίκτυο από δρόμους που συνδέει την τοποθεσία εξόρυξης με το αεροδρόμιο Donaldson, καθώς και προς τις αποθήκες στο Decerption Bay και τις εγκαταστάσεις στο λιμάνι. Το μέταλλευμα που εξάγεται από τα ορυχεία συνθλίβεται και επεξεργάζεται επιτόπου για την παραγωγή ενός συμπυκνώματος νικελίου-χαλκού. Οι εγκαταστάσεις του ορυχείου Raglan για την υιοθέτηση μιας πορείας προς τη βιώσιμη ανάπτυξη δεν αποτελούνται από δίκτυα υδροηλεκτρικής ούτε φυσικού αερίου. Ως αποτέλεσμα, πρέπει να γίνει παραγωγή της δικής τους ηλεκτρικής ενέργειας από γεννήτριες diesel. Με σκοπό την μείωση των εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου (GHG) και την εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα, τα τελευταία λίγα

χρόνια, η εταιρεία προχώρησε σε διάφορους τρόπους σταδιακής εισαγωγής πράσινων ενεργειών. Το 2009, το όραμα που διατύπωσε η Raglan Mine για την αιολική ενέργεια άρχισε να υλοποιείται μέσω της ανεμομέτρησης, της μηχανικής και τις μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων, καθώς και μέσω πολυάριθμων συναντήσεων διαβούλευσης με τις κοινότητες υποδοχής και άλλα ενδιαφερόμενα μέρη. Η τετραετής διαδικασία αποκάλυψε εντυπωσιακά αποτελέσματα, και συγκεκριμένα η μέση ταχύτητα ανέμου στην περιοχή ξεπέρασε τις προσδοκίες (WWF Global Artic Programme, 2015).

Μερικά αιολικά έργα έχουν εγκατασταθεί τα τελευταία 30 χρόνια. Ωστόσο, απέτυχαν να λειτουργήσουν μετά από μερικά χρόνια (σε ορισμένες περιπτώσεις μήνες), κυρίως επειδή η τεχνολογία ήταν ακόμη υπό ανάπτυξη. Οι συνθήκες στο Βορρά μπορεί να είναι δύσκολες για τις περιστρεφόμενες μηχανές και η μεταβλητή φύση του ανέμου καθιστά δύσκολη την ενσωμάτωση με σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής diesel. Αυτές οι συνθήκες είχαν ως αποτέλεσμα υψηλό κόστος εγκατάστασης σε συνδυασμό με υψηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης και τελική εγκατάλειψη έργων. Ως εκ τούτου, μία από τις καλύτερες περιοχές αιολικών πόρων έχει σε μεγάλο βαθμό αφεθεί ανεκμετάλλευτη.

Το Πιλοτικό Πρόγραμμα Επίδειξης Έξυπνου Δικτύου Ανανεώσιμης Ηλεκτρικής Ενέργειας Glencore RAGLAN της TUGLIQ στοχεύει να θέσει ένα νέο ορόσημο στη συλλογή της αιολικής ενέργειας σε βιομηχανική κλίμακα, στον Βόρειο Καναδά. Στο έργο δόθηκαν \$7,8 εκατομμύρια από την ecoEΠ για να συνδυάσει τεχνολογίες αιχμής αποθήκευσης με ανεμογεννήτρια στην Αρκτική και να αποδείξει ότι ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να λειτουργήσει αξιόπιστα και να επιτύχει σημαντικές μειώσεις στην κατανάλωση diesel.

Στα πλαίσια του έργου αναπτύχθηκε μια τουρμπίνα ανεμογεννήτριας ENERCON E-82 E4, ονομαστικής ισχύος 3 MW στην Αρκτική. Για τον στρόβιλο κατασκευάστηκε ένα ατσάλινο θεμέλιο σαν αράχνη, προκειμένου να αμβλυνθούν πιθανά προβλήματα που σχετίζονται με το λιώσιμο των φακών πάγου, στο μόνιμο πάγο του Raglan, εάν η υπερθέρμανση του πλανήτη επιταχυνθεί κατά τη διάρκεια του 20ετούς κύκλου ζωής του στροβίλου. Το καινοτόμο θεμέλιο που τοποθετείται σε πασσάλους επεκτείνει τη δομική στήριξη πολύ κάτω από το ενεργό στρώμα μόνιμου παγετού και ανυψώνει το πόδι του στροβίλου ένα μέτρο πάνω από το έδαφος. Επιπλέον, η δομή που κυριαρχεί στον χάλυβα μειώνει την ποσότητα

σκυροδέματος που απαιτείται για τη θεμελίωση κατά 90%, ένα πρόσθετο όφελος επειδή οι χρόνοι σκλήρυνσης και οι θερμοκρασίες σκυροδέματος υψηλού φορτίου αποτελούν πρόβλημα στην Αρκτική, όπως και το υψηλό κόστος μεταφοράς αδρανών υλικών, όπως η άμμος και το τσιμέντο.

Στη συνέχεια, ο στρόβιλος συνδέθηκε με ένα καινοτόμο σύστημα αποθήκευσης διαμορφωμένο σε αρχιτεκτονική τριών επιπέδων. Τα τρία επίπεδα αποτελούνται από: έναν γρήγορο μεταβατικό σφόνδυλο 200 kW / 1,5 kWh KTSI GTR-200 για φιλτράρισμα μεγάλων διακυμάνσεων της αιολικής ισχύος μικρής διάρκειας, μπαταρία ιόντων λιθίου 200 kW/ 250 kWh ElectroVaya SuperPolymer 2.0™ για εκκίνηση γεννητριών diesel ή κυσέλων καυσίμου για εφεδρική μετάβαση και σύστημα HYDROGENICS 200 kW/ 1 MWh (HySTAT™ 60 Electrolyser 315 kW με κυσέλη καυσίμου HyPMTM XR 198 kW Proton Exchange Membrane (PEM)) για την ελαχιστοποίηση της απώλειας αιολικής ενέργειας σε μεγαλύτερες χρονικές περιόδους.

Οι εργασίες της μονάδας αποθήκευσης και του ηλεκτρικού δικτύου συλλογής ολοκληρώθηκαν τον Σεπτέμβριο του 2015 και η πλήρης έναρξη του έργου επιτεύχθηκε στις 17 Δεκεμβρίου 2015, με τις πρώτες 16 kWh ηλεκτρικής ενέργειας υδρογόνου να παράγονται εκείνη την ημέρα. Ένας ελεγκτής μικροδικτύων Hatch (HμGrid) παρακολουθεί τη ζήτηση για αιολική ενέργεια και τις διακυμάνσεις της προσφοράς και αποστέλλει οικονομικά τη φόρτιση και την εκφόρτιση των μονάδων αποθήκευσης ενέργειας, μέσω πολύπλοκων αλγορίθμων, για να παράγει μια ομαλή έξοδο ισχύος που επιτρέπει υψηλή διείσδυση αιολικής ενέργειας (50%). Τους πρώτους τρεις μήνες μετά την εκκίνηση, το σύστημα έδειξε με επιτυχία την αλληλεπίδραση πολλαπλών τεχνολογιών αποθήκευσης στην εξομάλυνση της ξαφνικής απώλειας αιολικής ενέργειας, προσαρμοζόμενη στις πτώσεις της αιολικής ενέργειας. Ο στρόβιλος πέτυχε επίσης 97,3% διαθεσιμότητα από την εγκατάστασή του το 2014, εκτοπίζοντας 3,4 εκατομμύρια λίτρα diesel και 9.110 τόνους αερίων θερμοκηπίου σε 18 μήνες (Natural Resources Canada, 2014).

Οι προδιαγραφές της ανεμογεννήτριας διακρίνονται ως εξής (WWF Global Arctic Programme, 2015):

- E82-E4 Ανεμογεννήτρια Epercon, 3MW, πιστοποιημένο για ψυχρά κλίματα,
- Θερμαινόμενες λεπίδες,
- Συνολικό ύψος (με λεπίδες): 120 m, ισοδύναμο με κτίριο 30 ορόφων,
- Προσαρμοσμένη βάση από δομή χάλυβα, διαμέτρου 15 m,
- Συνολικό βάρος (συμπεριλαμβάνεται η βάση): 1200 τόνους



Εικόνα 9: Εγκαταστάσεις αποθήκευσης ενέργειας της TUGLIQ (εγκατάσταση υδρογόνου, δοχείο μπαταρίας και σφόνδυλος)



Εικόνα 10: Η ανεμογεννήτρια του ορυχείου Raglan mine στον Καναδά

Τον Αύγουστο του 2018, το Raglan Mine συναρμολόγησε τη δεύτερη ανεμογεννήτριά του, 90 m ύψος, η νεότερη ανεμογεννήτρια του ορυχείου είναι

ένα ακόμη βήμα προς την υιοθέτηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο Raglan Mine και τη μείωση των επιπτώσεων των λειτουργιών τους στο περιβάλλον.

Λειτουργώντας ως ένα ισχυρό δίδυμο, μαζί οι δύο ανεμογεννήτριες στο ορυχείο Raglan προβλέπεται να παράγουν περίπου το 10% της συνολικής ενέργειας του ορυχείου, να εξοικονομήσουν περίπου 4,4 εκατομμύρια λίτρα καυσίμου diesel ετησίως και να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά περίπου 12.000 τόνους, με αποτέλεσμα να βγάλουν από το δρόμο 2.700 οχήματα.

Οι ανεμογεννήτριες που εγκαταστάθηκαν στο ορυχείο Raglan έχουν αποδείξει με επιτυχία ότι υπάρχει τρόπος καλλιέργειας και χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο Βορρά. Το ορυχείο Raglan βρίσκεται στην κορυφή ενός οροπεδίου ύψους 600 m στη χερσόνησο Ungava, επομένως βρίσκεται σε πολύ καλή τοποθεσία για να εκμεταλλευτεί τη δύναμη του ανέμου. Από το 2014, η πρώτη ανεμογεννήτρια του ορυχείου Raglan και οι σχετικές εγκαταστάσεις αποθήκευσης έχουν εξοικονομήσει 7,5 εκατομμύρια λίτρα diesel και μείωσαν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά 21 κιλτόνους.

Έτοιμοι να ανοίξουν το δρόμο για άλλα τέτοια έργα να υιοθετήσουν πιο πράσινες εναλλακτικές λύσεις ενέργειας, οι ανεμογεννήτριες του Raglan Mine είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε βαθιές, μετασχηματιστικές επιπτώσεις στον τρόπο παραγωγής και χρήσης ενέργειας σε όλο τον Βόρειο Καναδά. Μάλιστα αναγνωρίζοντας τις δυνατότητες του έργου, η Ένωση Μεταλλείων του Καναδά βράβευσε τη Glencore και το Raglan Mine με το TSM Environmental Excellence Award το 2016 (Glencore, n.d.).

3.2.1 Πλεονεκτήματα για τον Καναδά

Το έργο έχει μεταμορφώσει το ενεργειακό τοπίο στην Αρκτική. Λειτουργώντας ως ναυαρχίδα για μελλοντική ανάπτυξη βιομηχανικής κλίμακας αιολικής ενέργειας στην περιοχή, αποδεικνύει με επιτυχία ότι η συλλογή αιολικής ενέργειας μπορεί να βελτιώσει τη μακροπρόθεσμη οικονομική σταθερότητα και την ενεργειακή ασφάλεια και να μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των επιχειρήσεων και κοινοτήτων εξόρυξης του βόρειου Καναδά.

Το σύστημα αιολικής ενέργειας και αποθήκευσης θα παρακολουθείται για τουλάχιστον 5 χρόνια στο πλαίσιο του προγράμματος. Αναπτύχθηκε ένα πρωτόκολλο για την απομόνωση ενός τμήματος του μικροδικτύου Raglan 28 MW, έτσι ώστε το έργο να μπορεί να λειτουργήσει ως αυτόνομο υποσύστημα (ή υπο-μικροδίκτυο) του μεγαλύτερου μικροδικτύου. Επομένως, επίπεδα διείσδυσης έως και 50% θα δοκιμαστούν και θα λειτουργήσουν για εκτεταμένες περιόδους για την προσομοίωση μικρότερων απομακρυσμένων κοινοτικών μικροδικτύων (Natural Resources Canada, 2014).

3.3 Ορυχεία χαλκού της Codelco στη Χιλή

Η ερημική περιοχή του Μεγάλου Βορρά στη Χιλή έχει κανονική ετήσια μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία (DNI) από 9-10 KWh/m², με 360 καθαρές, ηλιόλουστες ημέρες κατά τη διάρκεια του έτους, οι καλύτερες συνθήκες για τη παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας από την ηλιακή ακτινοβολία.

Οι βόρειες περιοχές της Χιλής ηγούνται των επιχειρήσεων ηλιακής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω της υψηλότερης συγκέντρωσης έργων εξόρυξης και την αυξημένη χρήση της ενέργειας για τέτοιες δραστηριότητες. Επιπλέον, η γεωγραφική τους θέση προσφέρει τις καλύτερες κλιματικές συνθήκες (δηλαδή υψηλότερα επίπεδα ακτινοβολίας και 360 ηλιόλουστες ημέρες) για την εγκατάσταση και λειτουργία ηλιακής μονάδας παραγωγής ενέργειας.

Ένας από τους μεγαλύτερους θερμικούς ηλιακούς σταθμούς του τύπου του είναι ο Elvira Solar της Codelco, που άρχισε να λειτουργεί το 2013. Αναπτύχθηκε από την Energía LLaima & Sunmark και αποτελείται από 2620 επίπεδους συλλέκτες των 15 m² ο καθένας (συνολική επιφάνεια συλλέκτη 39.300 m²), παρέχοντας 54 GWh/έτος. Αυτή η μονάδα ηλιακής θερμότητας έχει σύστημα θερμικής αποθήκευσης, όπως η διαστρωματωμένη δεξαμενή 4000 m³ που επιτρέπει την παροχή της θερμότητας που απαιτείται για τις λειτουργίες των λύσεων θέρμανσης έως στους 50°C κατά τη διάρκεια των 24 ωρών της ημέρας. Ο Elvira Solar αντικαθιστά το 80% της κατανάλωσης μαζούτ που χρησιμοποιείται για τη θέρμανση του ηλεκτρολύτη στη διαδικασία ηλεκτροπαραγωγής του χαλκού. Μάλιστα, επτά εκατομμύρια δολάρια θα εξοικονομηθούν λόγω του χαμηλότερου κόστους ενέργειας στα δέκα έτη της σύμβασης (Grágeda et al, 2016).



Εικόνα 11: Ο θερμικός ηλιακός σταθμός Elvira Solar της Codelco (Energía Llaima Solar, n.d.)

Ο λόγος για τον οποίο οι εταιρείες εξόρυξης χαλκού αποφάσισαν να χρησιμοποιήσουν ηλιακή θερμότητα στη διεργασία EW/SX οφείλεται στα GHG της επεξεργασίας του εκπλύμενου μεταλλεύματος που ξεπέρασε κατά πολύ άλλες πηγές εκπομπών, όπως το στάδιο συγκέντρωσης και τα χυτήρια (Grágeda et al, 2016). Η τεχνολογία SX-EW περιλαμβάνει την έκπλυση (τη διαδικασία διάλυσης χρήσιμων συστατικών με διάλυμα) σε ατμοσφαιρικές συνθήκες των σωρών μεταλλεύματος χαλκού με τη βοήθεια αραιωμένου θειικού οξέος (KGHM, 2014).

Με την πρωτοβουλία αυτή, η Codelco προχωρά στην υλοποίηση της πολιτικής της για τη βιώσιμη ανάπτυξη, ενσωματώνοντας οικονομικά αποδοτικές μη συμβατικές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στις δραστηριότητές της, αυξάνοντας την αξιοπιστία των λειτουργιών της και μειώνοντας τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

Ο Pampa Elvira Solar θα παράγει 51.800 MWth ετησίως, τα οποία ο τομέας Gabriela Mistral θα χρησιμοποιεί για τη διαδικασία ηλεκτροσυγκόλλησης χαλκού, επιτρέποντας την αντικατάσταση του 85% του καυσίμου diesel που χρησιμοποιεί σήμερα στην εν λόγω διαδικασία. Επιπλέον, αυτό αντιπροσωπεύει σημαντική εξοικονόμηση κόστους και σημαντική μείωση των αερίων του θερμοκηπίου που ισοδυναμεί με 15 χιλιάδες τόνους CO₂ ετησίως.

Η μείωση της κατανάλωσης diesel θα αποφύγει την ετήσια κινητοποίηση 250 φορτηγών που μεταφέρουν το εν λόγω καύσιμο, με τη σειρά της, επιφέροντας θετικό αντίκτυπο μέσω της μικρότερης κυκλοφορίας και της μεγαλύτερης ασφάλειας στους αυτοκινητόδρομους (Codelco.com, n.d.).

Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιες γενικές πληροφορίες για το έργο:

- Τεχνολογία: Ηλιακό θερμικό σύστημα
- Τοποθεσία: Sierra Gorda, Antofagasta
- Τομέας: Εκμετάλλευση Μεταλλείων και Λατομείων
- Υπόθεμα: Εξόρυξη Χαλκού
- Έτος υλοποίησης: 2013 (εγκαίνια)

Τεχνικά χαρακτηριστικά του έργου:

- Είδος ιδιοκατανάλωσης: Θερμική ενέργεια
- Εφαρμογές: Αντικατάσταση κατανάλωσης diesel σε λέβητες θέρμανσης νερού
- Ισχύς: 3000 kWh
- Πάροχος: Llaima Energy – SunMark

Χρηματοδότηση τύπου ESCO:

- Χαρακτηριστικά της σύμβασης: Αγορά θερμότητας σε συμφωνημένη σταθερή τιμή, χαμηλότερη από το πετρέλαιο diesel
- Διάρκεια σύμβασης: 10 χρόνια

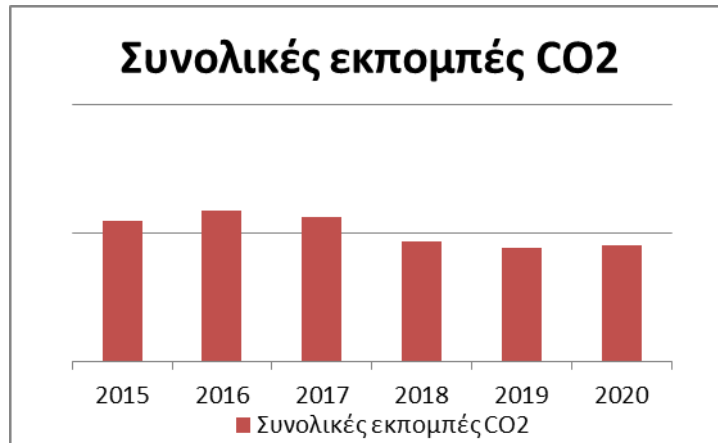
Ο Pampa Elvira Solar εγκαινιάστηκε το 2013 για την παροχή θερμικής ηλιακής ενέργειας στο τμήμα Gabriela Mistral της Codelco. Εκείνη την εποχή ήταν η μεγαλύτερη ηλιακή θερμική μονάδα στον κόσμο για παροχή θερμότητας, καταλαμβάνοντας 90.000 m² γης (σήμερα το Silkeborg στη Δανία κατέχει το ρεκόρ, είναι σχεδόν 2 φορές μεγαλύτερη σε έκταση).

Το έργο αναγνωρίστηκε στην έκδοση του Νοεμβρίου 2016 των Βραβείων Energy and Mines Renewables in Mining στο Τορόντο του Καναδά, με την κατηγορία Καλύτερης Χρήσης Ηλιακής Θερμικής Ενέργειας στην Εξόρυξη, για την αριστεία και την ηγετική του θέση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στη βιομηχανία εξόρυξης (Autogeneración.minenergia.cl, n.d.).

3.3.1 Μέτρηση εκπομπών CO₂

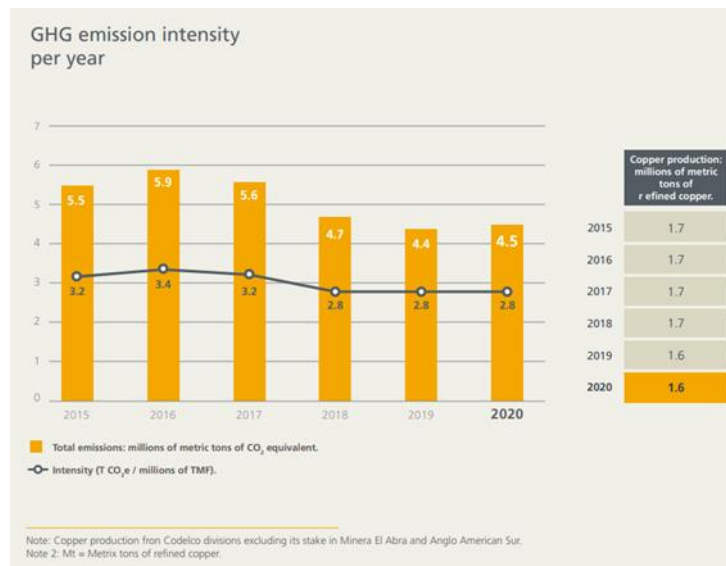
Στην Codelco υπολογίζουν τις άμεσες εκπομπές που προκαλούνται από καύσιμα στις δραστηριότητές τους, και έμμεσες εκπομπές από τα συστήματα παραγωγής ενέργειας που παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια στα τμήματά τους. Οι συνολικές παραγόμενες εκπομπές μειώθηκαν σταδιακά κατά τη διάρκεια των τελευταίων

χρόνων. Το 2020, οι εκπομπές αυξήθηκαν κατά 3% σε σχέση με το 2019, δηλαδή συνολικά 4.532.359 τόνοι CO₂.



Διάγραμμα 4: Συνολικές εκπομπές CO₂ της Codelco την τελευταία πενταετία

Μέχρι το 2030 σκοπεύουν να μειώσουν το αποτύπωμα άνθρακα, με τον περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 70% (Codelco, 2020).



Διάγραμμα 5: Ένταση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ανά έτος

Smelter Emissions
(thousands of tons)

Smelter	Type of Emission	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Annual Limit (*)
Chuquibambilla (Chuquibambilla Division)	SO ₂ (Sulfur Dioxide)	95.4	85.8	76.0	54.6	5.2	9.1	49.7
	As (Arsenic)	0.32	0.19	0.42	0.08	0.03	0.18	0.476
Potosillos (Salvador Division)	SO ₂ (Sulfur Dioxide)	67.60	60.20	49.30	28.00	6.80	3.5	24.4
	As (Arsenic)	0.580	0.560	0.560	0.470	0.050	0.051	0.157
Ventanas (Ventanas Division)	SO ₂ (Sulfur Dioxide)	14.14	13.86	10.56	10.01	9.46	10.42	10.56
	As (Arsenic)	0.050	0.050	0.039	0.026	0.026	0.028	0.048
Caletones (El Teniente Division)	SO ₂ (Sulfur Dioxide)	54.41	69.06	52.81	52.81	25.76	28.63	47.68
	As (Arsenic)	0.22	0.22	0.18	0.15	0.02	0.07	0.13

(*) Limits based on DS 28 of the Ministry of the Environment for SO₂ and As. For SO₂ emissions at Ventanas Division, the limit set by DS 105/2018 is stricter than DS 28.

Εικόνα 12: Εκπομπές από χυτήρια (χιλιάδες ανά τόνο)

ENERGY CONSUMPTION (PJ)
302-1, 302-3

	2017	2018	2019	2020
Direct consumption Petroleum and its derivatives, natural gas and coal	24.71	24.14	23.78	25.30
Indirect consumption Electricity from the Chilean Grid (excludes self-generation)	26.36	25.95	24.30	26.44
Renewable energy consumption	-	0.12	0.13	0.21
Total	51.41	50.21	48.21	51.95
Intensity of energy use (PJ/million Mt)	29.65	29.65	30.32	32.11

Note 1: At Codeco we are developing a method to quantify energy consumption outside the organization (Scope 3).
Note 2: Total production consumption does not include El Abra and Anglo American Sur operations, where Codeco has ownership interest.
Note 3: PJ/million Mt = petajoules/millions of metric tons of refined copper.

Εικόνα 13: Κατανάλωση ενέργειας (PJ)

3.3.2 Στρατηγική για τους υδάτινους πόρους

Μια θεμελιώδης αρχή της Codeco είναι η ενσωμάτωση νέων πηγών εφοδιασμού στις διαδικασίες εξόρυξης. Ως εκ τούτου, στόχος της είναι να εφαρμόσει ένα έργο που παράγει και διανέμει αφαλατωμένο νερό στις εγκαταστάσεις της Βόρειας Περιφέρειας. Το έργο αυτό θα συμβάλει επίσης στην επίτευξη της βιώσιμης ανάπτυξης, δηλαδή της δέσμευσης για τη μείωση του αποτυπώματος νερού έως το 2030. Η πρωτοβουλία αυτή απαιτεί την κατασκευή μονάδα αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με χρήση τεχνολογίας αντίστροφης όσμωσης με αρχική χωρητικότητα σχεδιασμού 840 l/s, και η δυνατότητα επέκτασης σε 1.956 l/s. Το έργο περιλαμβάνει θαλάσσια έργα, ένα σύστημα άντλησης νερού που θα καλύπτει περισσότερα από 160 χμ, αγωγό και υποδομή ενέργειας που απαιτείται για την άντληση του νερού πάνω από 3.000 μέτρα (Codeco, 2020).

3.3.3 Κυκλική οικονομία

Στόχος της εταιρίας είναι η ανακύκλωση του 65% των μη επικίνδυνων βιομηχανικών αποβλήτων μέχρι το 2030 και 100% των ελαστικών εξόρυξης. Ακόμα στοχεύει στην αύξηση της ανακύκλωσης των κύριων μη επικίνδυνων στερεών αποβλήτων, όπως χάλυβας, ξύλο, υλικά συσκευασίας, οργανικά απόβλητα και απορρίμματα, στις επιχειρήσεις και τα έργα της (Codeico, 2020).

3.3.4 Στοιχεία παραγωγής χαλκού

Τα στοιχεία παραγωγής χαλκού για κάθε εταιρεία στη Χιλή είναι διαθέσιμα ως δεδομένα ελεύθερης πρόσβασης που παρέχονται στην κυβέρνηση της Χιλής και δημοσιεύονται από την Cochilco. Τα δεδομένα αναλύθηκαν με τη λεπτομερή παραγωγική διαδικασία κάθε ορυχείου στη Χιλή, προκειμένου να εντοπιστεί η παραγωγή που λαμβάνεται από διεργασίες EW. Τα εν λόγω δεδομένα παραγωγής συνοψίζονται στον πίνακα 2 (Quiñones, 2020).

Πίνακας 1: Ετήσια παραγωγή καθόδων χαλκού, ετήσια ηλιακή ακτινοβολία και τοποθεσία εξόρυξης με τη διαδικασία EW στη Χιλή

Ορυχείο	Τοποθεσία	GHI (kWh/m ² /year)	DNI (kWh/m ² /year)	Παραγωγή (FMT Cu)	Ζήτηση θερμότητας (MWh)
Gabriela Mistral	23.45 S, 68.81 W	2,631	3,513	121,700	94,171

3.3.4.1 Παραγωγή καθόδων χαλκού

Η επεξεργασία του χαλκού είναι μια πολύπλοκη διαδικασία που περιλαμβάνει πολλά στάδια, καθώς ο κατασκευαστής επεξεργάζεται το μέταλλευμα από την ακατέργαστη, εξορυσσόμενη κατάσταση του σε καθαρή μορφή για χρήση σε πολλές βιομηχανίες. Ο χαλκός εξάγεται συνήθως από οξείδια και θειούχα μεταλλεύματα που περιέχουν μεταξύ 0,5 και 2,0% χαλκό.

Οι τεχνικές διύλισης που χρησιμοποιούν οι παραγωγοί χαλκού εξαρτώνται από τον τύπο του μεταλλεύματος, καθώς και από άλλους οικονομικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες. Επί του παρόντος, περίπου το 80% της παγκόσμιας παραγωγής χαλκού εξάγεται από πηγές θειούχου.

Ανεξάρτητα από τον τύπο του μεταλλεύματος, το εξορυσσόμενο μέταλλευμα χαλκού πρέπει πρώτα να συμπυκνωθεί για να αφαιρεθούν τα γκάζια ή τα ανεπιθύμητα υλικά που είναι ενσωματωμένα στο μέταλλευμα. Το πρώτο βήμα σε

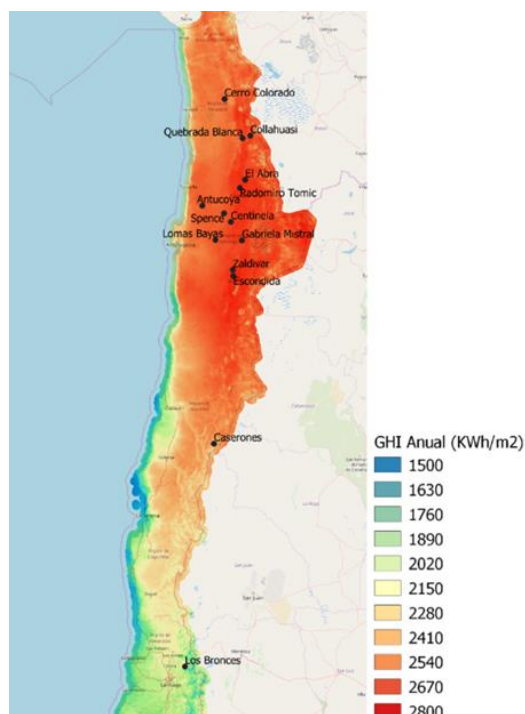
αυτή τη διαδικασία είναι η σύνθλιψη και η κονιοποίηση του μεταλλεύματος σε ένα μύλο με σφαιρίδια ή ράβδους.

Προκειμένου να παραχθούν κάθοδοι χαλκού ποιότητας στην αγορά, ο χαλκός με φυσαλίδες πρέπει πρώτα να χυτευθεί σε ανόδους και να υποστεί ηλεκτρολυτική επεξεργασία. Βυθισμένος σε μια δεξαμενή θεικού χαλκού και θεικού οξέος, μαζί με ένα καθαρό φύλλο εκκίνησης καθόδου χαλκού, γίνεται η άνοδος του χαλκού κυψέλης σε ένα γαλβανικό στοιχείο. Καθώς εισάγεται ρεύμα, τα ιόντα χαλκού αρχίζουν να μεταναστεύουν προς την κάθοδο, ή το φύλλο εκκίνησης, σχηματίζοντας 99,9-99,99% καθαρές καθόδους χαλκού.

Η ανάπτυξη του SX-EW επέτρεψε την εξόρυξη χαλκού σε περιοχές όπου το θεικό οξύ δεν είναι διαθέσιμο ή δεν μπορεί να παραχθεί από θείο στο σώμα του μεταλλεύματος χαλκού, καθώς και από παλιά θειούχα ορυκτά που έχουν οξειδωθεί από έκθεση στον αέρα ή βακτηριακή έκπλυση και άλλα απόβλητα υλικά που θα είχαν προηγουμένως απορριφθεί ανεπεξέργαστα (Bell, n.d.).

3.3.5 Υπολογισμός ζήτησης θερμότητας

Σύμφωνα με τις πληροφορίες της Cochilco από την ετήσια έκθεση των στατιστικών στοιχείων εξόρυξης χαλκού, η μέση ζήτηση ειδικής θερμότητας για την παραγωγή ενός μετρικού τόνου λεπτού χαλκού μέσω της διαδικασίας EW είναι 773,8 kWh (FMT Cu), η τιμή αυτή υπολογίζεται με βάση τις αναφερόμενες τιμές από τα έτη μεταξύ 2001 και 2015. Η βιομηχανία εξόρυξης χαλκού λειτουργεί συνήθως 24 ώρες το 24ωρο, επομένως η ζήτηση θεωρείται σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Στην εικόνα 14 παρουσιάζεται ο χάρτης ηλιακών πόρων με τα ορυχεία χαλκού που έχουν αξιολογηθεί στο έδαφος της Χιλής (Quiñones, 2020).



Εικόνα 14: Χάρτης ηλιακών πόρων με τα ορυχεία χαλκού που έχουν αξιολογηθεί στο έδαφος της Χιλής

3.3.6 Επιλογή ηλιακών συλλεκτών

Οι περισσότερες βιομηχανικές διεργασίες που απαιτούν θερμότητα λειτουργούν σε θερμοκρασίες μεταξύ 40 και 250°C. Στην περίπτωση της διαδικασίας EW, το ηλεκτρολυτικό διάλυμα νερού-οξέος-χαλκού πρέπει να διατηρείται σε θερμοκρασία μεταξύ 45 και 60°C. Η επιλογή ηλιακού συλλέκτη εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία λειτουργίας, τη χρήση, το κόστος, τις απαιτήσεις O&M (λειτουργία και συντήρηση) και άλλους παράγοντες όπως η χρήση γης (Quiñones, 2020).

3.3.7 Ηλιακός πόρος

Οι βάσεις δεδομένων ηλιακών πόρων και καιρικών συνθηκών για διεξαγωγή προσομοιώσεων ελήφθησαν από το διαδικτυακό εργαλείο Solar Energy Explorer. Αυτό το εργαλείο παρέχει ωριαίες πληροφορίες από ένα μοντέλο δορυφορικής εκτίμησης που έχει επεξεργαστεί μακροπρόθεσμα δεδομένα με τη χρονοσειρά να ξεκινά από το 2004, συμπεριλαμβανομένης της ηλιακής ακτινοβολίας (GHI, DNI και διάχυτης οριζόντιας ακτινοβολίας (DHI)) και των μετεωρολογικών συνθηκών της τοποθεσίας (θερμοκρασία και ταχύτητα ανέμου). Λαμβάνοντας υπόψη τέτοιες πληροφορίες, διαμορφώνεται το σύνολο δεδομένων έτους (TMY), το οποίο είναι ενσωματωμένο στο κατάστρωμα προσομοίωσης στο TRNSYS. Τα δεδομένα που παρέχονται από το εργαλείο web Solar Energy Explorer βασίζονται σε

δορυφορικές μετρήσεις, συνδυάζοντας το με μοντέλα που επεξεργάζονται την ηλιακή ακτινοβολία, η οποία τροποποιείται μέσω της ατμόσφαιρας, χτίζοντας ψηλά χρονικά και χωρικά πεδία προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Οι χρονικές σειρές είναι σε ωριαία μορφή και αυτές οι πληροφορίες επικυρώθηκαν χρησιμοποιώντας δεδομένα μέτρησης εδάφους από 131 ηλιομετρικούς σταθμούς που μετρούν το GHI (παγκόσμια οριζόντια ακτινοβολία) σε όλη την επικράτεια της Χιλής. Από αυτούς τους ηλιακούς σταθμούς, 67 αντιστοιχούν στο πρότυπο πρώτης κατηγορίας με καλύτερη ποιότητα δεδομένων και καλή κάλυψη εδάφους στο έδαφος της Χιλής.

Για την επικύρωση του GHI υπολογίστηκε η ημερήσια συνολική ακτινοβολία σε όλα τα δεδομένα, περιόδους, για όλους τους ηλιομετρικούς σταθμούς, και η τιμή αυτή συγκρίνεται με τα αποτελέσματα που προσομοιώνονται από το μοντέλο για την ίδια χρονοσειρά. Αυτή η ανάλυση χωρίζει το έδαφος της Χιλής σε 3 ζώνες: Βόρεια από το γεωγραφικό πλάτος 17° N έως 30° N, Κεντρικό από γεωγραφικό πλάτος 30° N έως 40° N και Νότια από γεωγραφικό πλάτος 40° N έως 56° N. Για κάθε ζώνη υπολογίστηκε η μέση μεροληψία και η μέση ρίζα της, τετραγωνικό σφάλμα (RMSE) μεταξύ των δεδομένων που μετρήθηκαν και του μοντέλου, με τα αποτελέσματα να φαίνονται παρακάτω.

Το ορυχείο Gabriela Mistral βρίσκεται στην Βόρεια Περιφέρεια, όπου το μοντέλο για το GHI που χρησιμοποιείται από τον εξερευνητή ηλιακής ενέργειας παρουσιάζει μέση μεροληψία μικρότερη από 5% για ακτινοβολία καθαρού ουρανού, αλλά για ακτινοβολία συννεφιασμένου ουρανού, το μοντέλο τείνει να υπερεκτιμά την ακτινοβολία. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται σε υποτίμηση της νεφελώσεως στην περιοχή. Αυτά τα σφάλματα δεν επηρεάζουν σημαντικά τα στατιστικά αποτελέσματα του μοντέλου λόγω της χαμηλής συχνότητας νεφών στη ζώνη, με αποτέλεσμα μια μέση μεροληψία κοντά στο μηδέν σε αυτή τη ζώνη (Quiñones, 2020).

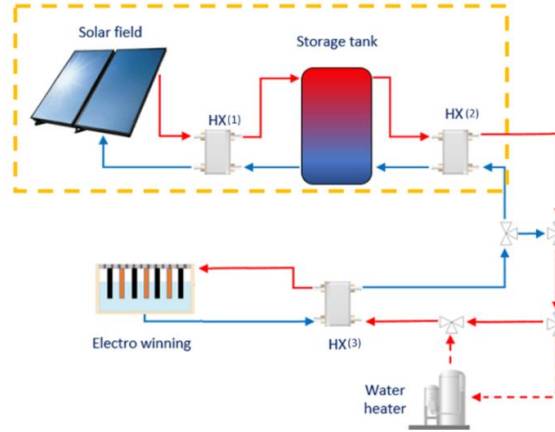
Πίνακας 2: Ποσότητα των σταθμών ηλιακών πόρων, μέση μεροληψία και RMSE

Περιοχή	Ποσότητα σταθμών ηλιακών πόρων	Μέση μεροληψία (%)	RMSE (%)
Βόρεια	24	-1,3	5,7

3.3.8 Προσομοίωση θερμικού συστήματος

Το σχήμα που εφαρμόστηκε για τη διαδικασία EW στο «Pampa Elvira Solar», διαμορφώθηκε σε ένα κατάστρωμα TRNSYS και προσομοιώθηκε σε ωριαία βάση, επιτρέποντας την αξιολόγηση της ετήσιας απόδοσής του. Το σχήμα απεικονίζεται στο διάγραμμα 6, όπου το ηλιακό σύστημα αποτελείται από έναν ηλιακό συλλέκτη πεδίου και μια αντλία μονής ταχύτητας, χρησιμοποιώντας μείγμα νερού και 33% w/w προπυλενογλυκόλη ως ρευστό εργασίας για συλλέκτες FPC και ETC με ειδική θερμική ικανότητα 3,824 kJ/kgK ή νερό ως υγρό εργασίας για το PTC (παραβολικός συλλέκτης) με ειδική θερμοχωρητικότητα 4,18 kJ/kgK. Το ηλιακό κύκλωμα μεταφέρει το ενεργειακό του κέρδος για τη θέρμανση του νερού σε στρωματοποιημένη δεξαμενή αποθήκευσης μέσω εναλλάκτη θερμότητας (HX(1)). Μετά το νερό από την κορυφή της δεξαμενής αποθήκευσης αντλείται στη θερμότητα της διεργασίας εναλλάκτη (HX(2)). Ένας συμβατικός θερμοσίφοντας ενσωματωμένος σε παράλληλη σειριακή διαμόρφωση που συμπληρώνει την απαιτούμενη ενέργεια, προκειμένου να διασφαλιστεί η θερμοκρασία που απαιτείται από τις διεργασίες. Ο θερμαντήρας αξιολογείται χρησιμοποιώντας ένα απλοποιημένο μοντέλο, το οποίο ελέγχεται από την απαιτούμενη θερμοκρασία διεργασίας και δεν λαμβάνει υπόψη τις διακυμάνσεις της απόδοσης λόγω της λειτουργίας μερικού φορτίου. Τέλος, το ζεστό νερό παρέχει ενέργεια στο νερό διεργασίας, μέσω της διαδικασίας του εναλλάκτη θερμότητας (HX(3)).

Το σύστημα ελέγχεται κυρίως μέσω της ενεργοποίησης των αντλιών κυκλοφορίας. Το κύκλωμα ηλιακού πεδίου ελέγχεται από ένα διαφορικό ελεγκτή θερμοκρασίας, ο οποίος ενεργοποιεί την αντλία κυκλοφορίας όταν η θερμοκρασία εξόδου του συλλέκτη είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία στο κάτω μέρος της δεξαμενής αποθήκευσης. Οι θερμοκρασίες στο πάνω μέρος της δεξαμενής και η έξοδος του συλλέκτη παρακολουθούνται κατά τη διάρκεια της λειτουργίας, τότε αυτές οι πληροφορίες θεωρείται ότι απενεργοποιούν την αντλία κυκλοφορίας όταν η θερμοκρασία της δεξαμενής υπερβαίνει τους 100°C. Επιπλέον, ο ελεγκτής έχει διαμορφωθεί λαμβάνοντας υπόψη δύο θερμοκρασίες νεκρής ζώνης (2 και 10°C, για νεκρή ζώνη χαμηλότερης και ανώτερης θερμοκρασίας, αντίστοιχα). Η μηνιαία παραγωγή ηλιακής θερμότητας, η κατανάλωση καυσίμου και οι ενεργειακές απαιτήσεις χρησιμοποιούνται για την πραγματοποίηση μιας οικονομικής αξιολόγησης (Quiñones, 2020).



Διάγραμμα 6: Σχέδιο ενσωμάτωσης για τη διαδικασία EW

3.3.9 Οικονομικά μεγέθη

Για να προσδιοριστεί η οικονομική βιωσιμότητα για κάθε διαμόρφωση/τεχνολογία, τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με βάση τους ακόλουθους οικονομικούς δείκτες: καθαρή παρούσα αξία (NPV), εσωτερικός ρυθμός απόδοσης (IRR), χρόνος απόσβεσης και το ισοσταθμισμένο κόστος θερμότητας (LCOH).

Το NPV ορίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$NPV = I - \sum_{j=1}^N \frac{F_j}{(1+IRR)^j}$$

όπου I αντιστοιχεί στο κόστος επένδυσης στην πρώτη περίοδο, το F_j είναι η καθαρή ετήσια ταμειακή εισροή-εκροή λαμβάνοντας υπόψη τον πληθωρισμό, j αντιπροσωπεύει την περίοδο και d αντιπροσωπεύει το προεξοφλητικό επιτόκιο. Το IRR αντιστοιχεί στην αξία του προεξοφλητικού επιτοκίου, που για την περίοδο αξιολόγησης για τα αποτελέσματα του έργου σε NPV είναι ίση με μηδέν. Ως εκ τούτου το IRR υπολογίζεται από την επόμενη εξίσωση:

$$0 = I - \sum_{j=1}^N \frac{F_j}{(1+IRR)^j}$$

Ο χρόνος απόσβεσης υπολογίζεται μετρώντας την τελευταία περίοδο με τις καθαρές ετήσιες ταμειακές εισροές-εκροές αρνητικές εκφρασμένες σε A, και προστίθενται σε αυτό η απόλυτη αξία των σωρευτικών καθαρών ταμειακών ροών στο τέλος αυτής της περιόδου σε B, διαιρούμενο με τις συνολικές ταμειακές εισροές κατά την ακόλουθη περίοδο εκφρασμένη σε C, όπως φαίνεται στην ακόλουθη εξίσωση:

$$\text{Χρόνος Απόσβεσης} = A + \frac{|B|}{|C|}$$

Το LCOH αξιολογήθηκε σύμφωνα με τον ορισμό που καθορίζεται από:

$$\text{LCOH} = \frac{\sum_{j=0}^N (I + C_{O\&M}) j \frac{(1+i)^j}{(1+d)^j}}{\sum_{j=0}^N Q_j \frac{(1+i)^j}{(1+d)^j}}$$

όπου I είναι το κόστος επένδυσης, $C_{O\&M}$ είναι το κόστος λειτουργίας και συντήρησης και Q_j είναι η θερμότητα που παράγεται κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, i είναι το ποσοστό πληθωρισμού και d είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο.

Πίνακας 3: Οικονομικές παραδοχές

Diesel (αφορολόγητο) (USD/MWh _{th})	53,88
Ηλεκτρική ισχύς (USD/MWh)	99
Επιτόκιο έκπτωσης	10%
Περίοδος αξιολόγησης (έτη)	20
Πληθωρισμός	2,24%
Εύρος κόστους FPC ελάχ. ~ μέγιστο (USD/m ²)	330-687
Εύρος κόστους ETC ελάχ. ~ μέγιστο (USD/m ²)	460-817
Εύρος κόστους PTC ελάχ. ~ μέγιστο (USD/m ²)	379-1263
Κόστος δεξαμενής αποθήκευσης (USD/m ³)	2000
Κόστος O&M	2% της επένδυσης

Πίνακας 4: Σύγκριση επικύρωσης μοντέλου για τον Pampa Elvira Solar

	Δημόσια δεδομένα	Μοντέλο TRNSYS	Διαφορά
Συλλέκτης	HT Heat Boost 35–10		
Επιφάνεια ηλιακού πεδίου (m ²)	39.300	39.300	-
Μέγεθος αποθήκευσης (m ³)	4.300	4.300	-
Ετήσια παραγωγή θερμότητας (MWh _{th})	54.000	52.568	3%
Ηλιακό Κλάσμα	55,83%	54,35%	3%
Εξοικονόμηση καυσίμου	80%	79%	1%
Εξοικονόμηση εκπομπών CO _{2e} (ton)	15.000	16.823	12%
Ετήσιο άθροισμα GHI (MWh)	97.500	101.832	4%

Οι προσομοιώσεις πραγματοποιήθηκαν λαμβάνοντας υπόψη τις FPC, ETC και PTC, όπου η κλίση των σταθερών συλλεκτών (FPC και ETC) θεωρείται ως ισοδύναμο με το γεωγραφικό πλάτος της τοποθεσίας. Ο πίνακας 3 συνοψίζει τις οικονομικές παραμέτρους που λήφθηκαν υπόψη για την οικονομική αξιολόγηση. Προκειμένου να αναπαρασταθεί μια ρεαλιστική κατάσταση για τη διαδικασία θέρμανσης σε μια εγκατάσταση εξόρυξης χαλκού, εξετάστηκε μια τιμή diesel 53,88 USD/MWh_{th} (αφορολόγητη), δεδομένου ότι την υψηλή κατανάλωση που συνεπάγονται οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας χαλκού τους επιτρέπουν να εισάγουν απευθείας καύσιμα. Η τιμή αυτή ορίζεται σύμφωνα με τη μέση ετήσια τιμή που αναφέρεται στο ENAP (2018), και λαμβάνοντας υπόψη και τις ιδιότητες

του πετρελαίου diesel που αναφέρονται στο AChEE (2018). Ο ρυθμός πληθωρισμού που λαμβάνεται υπόψη βασίζεται στην έκθεση του Inflation (2017).

Όσον αφορά το κόστος του συλλέκτη, οι τιμές βασίζονται σε δολάρια του 2016, προσαρμοσμένο λαμβάνοντας υπόψη τον πληθωρισμό. Η FPC κυμαίνεται από το ειδικό κόστος των συστημάτων μεγάλης κλίμακας στη Δανία (>50.000 m²), στο ειδικό κόστος του Pampa Elvira Solar, όπου το κόστος επένδυσης προσδιορίστηκε από τα δημόσια διαθέσιμα στοιχεία. Το κόστος του ETC εκτιμάται κατά 130 USD/m² ακριβότερο από το FPC, όπως παρατηρήθηκε σε διάφορες μελέτες για τις τιμές της αγοράς. Το κόστος του PTC βασίζεται στο εύρος που ανέφερε ο Διεθνής Οργανισμός Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (2015). Όλες οι συλλεκτικές τιμές και το κόστος της δεξαμενής αποθήκευσης λήφθηκε από την αναφορά των Sisó and Gavalda (2009) (Quiñones, 2020).

3.3.10 Επικύρωση μοντέλου

Το κατάστρωμα TRNSYS που αναπτύχθηκε επικυρώθηκε με τη χρήση δημόσιων δεδομένων από το ηλιοθερμικό εργοστάσιο, Pampa Elvira Solar. Ο πίνακας 5 δείχνει σύγκριση μεταξύ των δεδομένων και των αποτελεσμάτων που παρέχει το μοντέλο TRNSYS (Quiñones, 2020).

Πίνακας 5: Ορυχείο χαλκού, ηλιακό πεδίο και σειρές δεξαμενών αποθήκευσης

Τοποθεσία	Συλλέκτης	Εύρος περιοχής ηλιακού πεδίου (m ²)	Εύρος δεξαμενής θερμικής αποθήκευσης (m ³)
Gabriela Mistral	FPC	6.934-69.342	758-7.586
	ETC	6.935-69.335	758-7.586
	PTC	4.919-46.730	509-5.093

4. Επισκόπηση των πρακτικών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα ορυχεία της Αυστραλίας

Οι Αυστραλιανές εγκαταστάσεις ορυχείων που τροφοδοτούνται με ανανεώσιμη ηλεκτρική ενέργεια εξακολουθούν να αποτελούν μικρό κλάσμα των υφιστάμενων ορυχείων. Σύμφωνα με συγκριτικά στοιχεία, η Αυστραλία είναι η χώρα με τον μεγαλύτερο αριθμό έργων ΑΠΕ στην εξόρυξη παγκοσμίως, ακολουθούμενη από τη Χιλή και τη Νότια Αφρική.

Η ηγετική θέση της Αυστραλιανής εξορυκτικής βιομηχανίας στις ΑΠΕ δεν αποτελεί έκπληξη, δεδομένου ότι η Αυστραλία είναι η δεύτερη μεγαλύτερη εξορυκτική χώρα παγκοσμίως με βάση την αξία της παραγωγής ορυκτών, μετά την Κίνα. Ως εκ τούτου, η Αυστραλία έχει περισσότερες ευκαιρίες σχετικά με άλλα εξορυκτικά έθνη. Συγκεκριμένα κατέγραψε 349 λειτουργούντα ορυχεία το 2019, μαζί με 44 τοποθεσίες υπό ανάπτυξη. Οι εξορυκτικές δραστηριότητες είναι συγκεντρωμένες κυρίως στις Αυστραλιανές πολιτείες της Δυτικής Αυστραλίας, το Queensland και την Νέα Νότια Ουαλία. Η Δυτική Αυστραλία είναι η πολιτεία με τον μεγαλύτερο αριθμό ορυχείων, τόσο σε λειτουργία, αλλά και υποανάπτυξη, και το Queensland και η Νέα Νότια Ουαλία ακολουθούν με 82 και 60 επιχειρήσεις, και 4 και 5 περιοχές υπό ανάπτυξη, αντίστοιχα.

Η σύγκριση δείχνει ότι τα κράτη με τον υψηλότερο αριθμό ορυχείων παρουσιάζουν επίσης το μεγαλύτερο ποσοστό υιοθέτησης συστημάτων ΑΠΕ. Συγκεκριμένα, το 67% των Αυστραλιανών ορυχείων που τροφοδοτούνται με ηλεκτρική ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές ήταν στη Δυτική Αυστραλία, ακολουθούμενη από Queensland με το 15% του συνολικού αριθμού των έργων. Τα συστήματα ΑΠΕ πρέπει να είναι ειδικά σχεδιασμένα για να τροφοδοτούν τα ορυχεία καθ' όλη τη διάρκεια ζωής τους. Αυτό είναι ένα σημαντικό στοιχείο, διότι η μακροζωία και η απόδοση της επένδυσης των εκσυγχρονισμένων συστημάτων ΑΠΕ σε σύγκριση με την εναπομένουσα διάρκεια ζωής των λειτουργικών χώρων, έχει χαρακτηριστεί ως ένα από τα εμπόδια για την ευρεία υποκατάσταση της ενέργειας από diesel ή φυσικό αέριο με πιο πράσινες επιλογές ενέργειας. Η αντιστοίχιση της διάρκειας ζωής των ορυχείων με τη διάρκεια ζωής των τεχνολογιών ΑΠΕ μεγιστοποιεί, επομένως, το οικονομικό πλεονέκτημα αυτών των τεχνολογιών έναντι των γεννητριών diesel και φυσικού αερίου. Το πλεονέκτημα

αυτό οφείλεται στη φύση των τεχνολογιών ΑΠΕ να έχουν υψηλό κόστος επένδυσης (CAPEX), αλλά χαμηλό λειτουργικό κόστος (OPEX). Αντιθέτως, μια μονάδα diesel ή φυσικού αερίου έχει χαμηλότερο κόστος εγκατάστασης, αλλά υψηλότερο λειτουργικό κόστος. Επομένως, οι τεχνολογίες όπως η ηλιακή φωτοβολταϊκή και η αιολική ενέργεια έχουν ανταγωνιστικό ισοσταθμισμένο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (LCOE) σε σχέση με τις λύσεις diesel και φυσικού αερίου, μόνο όταν τα ορυχεία έχουν διάρκεια ζωής πάνω από ένα ορισμένο όριο. Αν και δεν υπάρχει αξιολόγηση του ορίου διάρκειας ζωής που υποστηρίζει την υιοθέτηση ΑΠΕ έναντι του diesel και του φυσικού αερίου, έχει υπολογιστεί ότι οι μεταλλωρύχοι έχουν την ευκαιρία να μειώσουν το ενεργειακό κόστος έως και 25% στις υφιστάμενες λειτουργικές επιχειρήσεις και 50% σε νέα ορυχεία μέσω τεχνολογιών ΑΠΕ. Επομένως, τα κράτη με αναδυόμενα ορυχεία είναι πιθανό να παρουσιάσουν αύξηση της υιοθέτησης συστημάτων ΑΠΕ (Strazzabosco, Gruenhagen, and Cox, 2022).

4.1 Συμβολή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε δυναμικότητα και ηλεκτρική ενέργεια

Συνολικά, εγκαταστάθηκαν 121 MW λειτουργικών συστημάτων ΑΠΕ επί τόπου, που περιλαμβάνουν έργα φωτοβολταϊκών και ανεμογεννητριών. Επιπλέον, υπήρχαν συστήματα αποθήκευσης 58,6 MW με μπαταρία σε συνδυασμό με τα υπάρχοντα συστήματα. Τα συστήματα ΑΠΕ που υιοθετούνται και σχεδιάζονται σήμερα στις περιοχές των ορυχείων ταξινομούνται ως μεγάλα συστήματα. Ωστόσο, υπήρχε μεγάλη διακύμανση στο μέγεθος μεταξύ αυτών των συστημάτων. Για παράδειγμα, για επιτόπιες εφαρμογές, η λειτουργική ή προγραμματισμένη ισχύς κυμαίνεται από 0,1 έως 60 MW. Το ευρύ φάσμα αντανάκλα την πρόκληση για την εξορυκτική βιομηχανία να τυποποιήσει αυτά τα συστήματα και την ανάγκη σχεδιασμού συστημάτων που προσαρμόζονται στις ειδικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε τοποθεσία (Strazzabosco, Gruenhagen, and Cox, 2022).

4.2 Τα προγραμματισμένα συστήματα αντιμετωπίζουν ένα αβέβαιο μέλλον

Από τα 27 έργα ΑΠΕ που εντοπίστηκαν, τα 15 ήταν λειτουργικά, τα 2 ήταν υπό κατασκευή, ενώ τα υπόλοιπα 10 έχουν μόλις ανακοινωθεί (προγραμματισμένα). Η διάκριση μεταξύ υφιστάμενων και προγραμματισμένων συστημάτων είναι

σημαντική, διότι τα έργα που ανακοινώνονται αντιμετωπίζουν πολυάριθμα εμπόδια πριν από την ανάθεσή τους και δεν πετυχαίνουν πάντα αυτή τη μετάβαση. Από τη βιβλιογραφία, έχει προκύψει ότι ορισμένα από τα εμπόδια για την ανάπτυξη των ΑΠΕ που προκύπτουν είναι η έλλειψη χρηματοδότησης, το γεγονός ότι οι διαμορφώσεις των ΑΠΕ θεωρούνται κάποιες φορές φιλόδοξες ή καινοτόμες και η αλλαγή στις συνθήκες αγοράς πόρων.

Ζητήματα έλλειψης χρηματοδότησης που εμποδίζουν την ανάπτυξη ενός αναγγελθέντος έργου συμβαίνουν, όταν οι εμπλεκόμενοι φορείς δεν έχουν εξασφαλίσει επαρκής χρηματοδότηση μέχρι την ανακοίνωση του έργου. Παρόμοια με τις ταμειακές ροές, φιλόδοξες και καινοτόμες διαμορφώσεις ΑΠΕ μπορεί επίσης να είναι δύσκολο να εφαρμοστούν. Η αγορά ΑΠΕ εξακολουθεί να αναδύεται στον τομέα της εξόρυξης και, ως εκ τούτου, στερείται τεκμηριωμένων γνώσεων σχετικά με την ανάπτυξη τεχνολογίας που σχετίζεται με τις εξορυκτικές δραστηριότητες. Για το λόγο αυτό, οι ΑΠΕ με φιλόδοξες και μοναδικές διαμορφώσεις πέρα από τις καθιερωμένες γνώσεις μπορεί να θεωρηθούν πολύ επικίνδυνες από τους δυνητικούς επενδυτές. Ένα παράδειγμα της αβεβαιότητας που περιβάλλει τις προγραμματισμένες ΑΠΕ που αποτελούν μέρος πιλοτικών μελετών νέων εφαρμογών από την εταιρεία εξόρυξης Element 25. Η εταιρεία αποσκοπεί στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και το κόστος της παραγωγής ηλεκτρολυτικού μετάλλου μαγγανίου (EMM) στο ορυχείο Butcherbird στη Δυτική Αυστραλία. Η παραγωγή EMM απαιτεί μια ενεργοβόρα διαδικασία, που ονομάζεται ηλεκτρολυτική αφαίρεση, η οποία περιλαμβάνει τη διέλευση ρεύματος μέσω ενός διαλύματος για την ανάκτηση μετάλλων όπως το μαγγάνιο. Η διαδικασία αυτή βασίζεται παραδοσιακά σε πηγές ενέργειας συνδεδεμένες στο δίκτυο που μπορούν να παρέχουν μια σταθερή ροή παραγωγής. Το 2019, η εταιρεία διεξήγαγε πιλοτικά δραστηριότητες για να προσδιοριστεί η βιωσιμότητα της χρήσης περίπου 60-90% ΑΠΕ, από ανεμογεννήτριες και φωτοβολταϊκά, για την παροχή των 100 MW που απαιτούνται για τη διεργασία ηλεκτροαπομόνωσης. Λόγω του μεγάλου μεγέθους των απαιτούμενων συστημάτων ΑΠΕ, δεν έχει ληφθεί ακόμη απόφαση για την τελική διαμόρφωση του συστήματος που θα υιοθετηθεί.

Τέλος, οι μεταβαλλόμενες συνθήκες της αγοράς και το επιχειρηματικό περιβάλλον στον τομέα της εξόρυξης, μπορούν επίσης να συμβάλουν στην αποτυχία των

προγραμματισμένων ΑΠΕ. Για παράδειγμα, η Copper Mines of Tasmania είχε ανακοινώσει ένα στόχο να επιτύχει μηδενικές εκπομπές κατά την επαναλειτουργία του ορυχείου χαλκού Mount Lyell με την εφαρμογή ηλεκτρικών οχημάτων και τη μετάβαση σε υδροηλεκτρική και γεωθερμική ενέργεια. Ωστόσο, η πιθανή επαναλειτουργία έχει υπονομευθεί από το κλείσιμο του χυτηρίου χαλκού από την μητρική εταιρεία Vedanta (Strazzabosco, Gruenhagen, and Cox, 2022).

4.3 Η υιοθέτηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας γίνεται κυρίως σε επί τόπου και εκτός δικτύων ορυχεία

Μέσω διάφορων αναλύσεων προκύπτει ότι η θέση των ορυχείων και η σύνδεση (ή έλλειψη) τους στο δίκτυο έχει σημαντικό αντίκτυπο στο υιοθέτηση συστημάτων ΑΠΕ. Από τα 27 συστήματα ΑΠΕ που αξιολογήθηκαν, τα 19 κατασκευάστηκαν επί τόπου σε ορυχεία εκτός δικτύου, 4 κατασκευάστηκαν επί τόπου συνδεδεμένα στο δίκτυο ορυχεία και τα υπόλοιπα 3 ήταν εκτός δικτύου, εγκιβωτισμένα ορυχεία. Ιστορικά, τα ορυχεία εκτός δικτύου βασίζονται στο diesel για την τροφοδοσία τους, όμως υπάρχει ραγδαία αύξηση της τιμής του diesel, επηρεάζοντας το συνολικό ενεργειακό κόστος και την οικονομική βιωσιμότητα της εξόρυξης ορυκτών πόρων. Εξάλλου, στις περισσότερες τοποθεσίες εκτός δικτύου, η μεταφορά diesel σε μια τοποθεσία μπορεί να διακοπεί εξαιτίας ακραίων καιρικών συνθηκών και τεχνικών προβλημάτων. Μείωση της κατανάλωσης diesel με την εγκατάσταση συστημάτων ΑΠΕ στο σημείο της κατανάλωσης έχει αποδειχθεί αποτελεσματική στη μείωση του σχετικού κόστους με την παραγωγή ενέργειας, την αύξηση της αξιοπιστίας του τροφοδοτικού και μείωση των εκπομπών άνθρακα. Τα ορυχεία που συνδέονται με το δίκτυο δεν εκτίθεται στα ίδια ζητήματα τροφοδοσίας και επομένως φαίνονται λιγότερο διατεθειμένοι να εξετάσουν εναλλακτικές πηγές ενέργειας (Strazzabosco, Gruenhagen, and Cox, 2022).

4.3.1 Τα ηλιακά φωτοβολταϊκά φωτίζουν το μέλλον της εξορυκτικής βιομηχανίας

Όσον αφορά τις τεχνολογικές προτιμήσεις, προτιμώνται κατά κύριο λόγο τα επιτόπια ηλιακά φωτοβολταϊκά για τις εργασίες εξόρυξης ενέργειας. Η υιοθέτηση των ηλιακών φωτοβολταϊκών ως κύρια πηγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας συμβαίνει σε χώρες με έντονες μεταλλευτικές δραστηριότητες και ιδανική ηλιακή ακτινοβολία, όπως οι ΗΠΑ, η Χίλη, το Περού, η Αυστραλία και η Νότια Αφρική.

Αρκετές μελέτες που επικεντρώνονται στην ενσωμάτωση ηλιακών φωτοβολταϊκών στην εξορυκτική βιομηχανία έχουν δείξει το χαμηλότερο εξισορροπημένο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας των ηλιακών φωτοβολταϊκών σε σύγκριση με το κόστος άλλων τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ως κύριο λόγο αυτής της τάσης. Σύμφωνα με μελέτες το εξισορροπημένο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας των ηλιακών φωτοβολταϊκών έργων είναι πιο ανταγωνιστικό σε σύγκριση με τις επιλογές ορυκτών καυσίμων και ανέμου, με βάση τη διάρκεια ζωής αυτών των έργων.

Επιτόπιες εφαρμογές ηλιακών φωτοβολταϊκών που εντοπίστηκαν σε εγκαταστάσεις ορυχείων της Αυστραλίας ήταν δύο τύπων: μόνιμες εγκαταστάσεις και επανατοποθετήσιμες. Μόνιμες εγκαταστάσεις βρίσκονταν στον χώρο χρήσης μέχρι το τέλος της διάρκειας ζωής τους ή μέχρι το τέλος της διάρκειας ζωής του ορυχείου. Ωστόσο, η μεγάλη διάρκεια ζωής των τεχνολογιών ΑΠΕ, και συγκεκριμένα των ηλιακών φωτοβολταϊκών, μπορεί να υπερβαίνει τη διάρκεια ζωής των ορυχείων, επηρεάζοντας την οικονομική τους βιωσιμότητα. Από την άλλη πλευρά, τα συστήματα που μπορούν να αναπτυχθούν εκ νέου έχουν σχεδιαστεί ως πηγή προσωρινής τροφοδοσίας και μπορούν να μεταφερθούν εύκολα στο τέλος της ζωής του ορυχείου. Αυτή η τεχνολογική καινοτομία έχει τη δυνατότητα να ξεπεράσει την ανάγκη να ταιριάζει η διάρκεια ζωής του ορυχείου με τη διάρκεια ζωής του συστήματος ΑΠΕ. Μέχρι σήμερα, εκ νέου αναπτυσσόμενα συστήματα έχουν υιοθετηθεί σε 3 τοποθεσίες και περιλαμβάνουν ηλιακά φωτοβολταϊκά σε υβριδική διαμόρφωση με γεννήτριες diesel.

Αν και δεν υπάρχει αμφιβολία ότι τα ηλιακά φωτοβολταϊκά διαδραματίζουν βασικό ρόλο στην υιοθέτηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στις εργασίες εξόρυξης, είναι δύσκολη η εξαγωγή παρόμοιων συμπερασμάτων για τις δυνατότητες των ανεμογεννητριών. Κατανόηση του πιθανού ρόλου του ανέμου για την εξόρυξη θα ήταν ιδιαίτερα σημαντική για περιοχές όπου τα ηλιακά φωτοβολταϊκά δεν αποτελούν επιλογή λόγω κλιματικών συνθηκών, όπως ο Καναδάς (Strazzabosco, Gruenhagen, and Cox, 2022).

4.3.2 Τα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας δεν είναι αυτόνομα

Μέχρι σήμερα, τα συστήματα ΑΠΕ δεν έχουν υιοθετηθεί ως αυτόνομες λύσεις, αλλά συμπληρώνουν επιλογές μη ανανεώσιμης ενέργειας. Η παραγωγή ενέργειας

από diesel ήταν η κύρια πηγή ενέργειας για τις απομακρυσμένες, μη συνδεδεμένες τοποθεσίες ορυχείων, που τροφοδοτούν 11 τοποθεσίες (42%). Σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής φυσικού αερίου βρέθηκαν σε 7 (27%) από τις τοποθεσίες ορυχείων που εξετάστηκαν. Ένα υβριδικό εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας με φυσικό αέριο και diesel υπήρχε μόνο σε μία τοποθεσία (4%). Ως εκ τούτου, τα περισσότερα από τα συστήματα ΑΠΕ έχουν εγκατασταθεί ή σχεδιαστεί με σκοπό την μείωση της κατανάλωσης diesel. Όπως προσδιορίζεται από αναφορές, η αντικατάσταση του diesel με πηγές ΑΠΕ καθοδηγείται από τέσσερις βασικούς παράγοντες. Πρώτον, οι τιμές του diesel είναι εξαιρετικά ασταθείς και εκτός του ελέγχου των περισσότερων εργασιών εξόρυξης, επηρεάζουν τη βιωσιμότητα εξόρυξης. Δεύτερον, τοποθεσίες ορυχείων εκτός δικτύου που βρίσκονται σε απομακρυσμένες περιοχές που βασίζονται στο diesel αντιμετωπίζουν αβεβαιότητα όσον αφορά την προσφορά λόγω των προκλήσεων για τη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων καυσίμου σε μεγάλες αποστάσεις. Επίσης, απαιτούνται σημαντικές επενδύσεις για την κατασκευή και τη συντήρηση επί τόπου δεξαμενής αποθήκευσης για την ασφάλεια του καυσίμου. Τρίτον, η κατανάλωση diesel συμβάλλει σημαντικά στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Στην Αυστραλία, ο εξορυκτικός τομέας παράγει περίπου 95 Mt CO₂-e απευθείας εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, που ισοδυναμούν με το 17,7% του συνολικού αποτυπώματος GHG της Αυστραλίας. Τέλος, οι ανησυχίες για την κλιματική αλλαγή μειώνουν την κοινωνική και πολιτική αποδοχή των ορυκτών καυσίμων και ως εκ τούτου η μείωση της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων θεωρείται απαραίτητη για την συνέχιση της λειτουργίας των ορυχείων (Strazzabosco, Gruenhagen, and Cox, 2022).

4.4 Οι συμφωνίες αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας δίνουν τη δυνατότητα για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Σε πολλές περιπτώσεις, οι εταιρείες εξόρυξης δεν είναι οι ιδιοκτήτες των συστημάτων ΑΠΕ. Πολλές εταιρείες εξόρυξης συνεργάζονται με εταιρείες ενέργειας, οι οποίες κατέχουν και λειτουργούν τα εργοστάσια και παρέχουν ενέργεια στις τοποθεσίες του ορυχείου, με μεσοπρόθεσμες έως μακροπρόθεσμες συμφωνίες αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Ο χρόνος αυτός των συμβάσεων κυμαίνεται μεταξύ 5 και 20 ετών.

Για τις μεταλλευτικές εταιρείες, οι συμφωνίες αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας καταργούν το εμπόδιο της διατήρησης του αρχικού κόστους των συστημάτων ΑΠΕ, ενώ για τους προγραμματιστές έργων ΑΠΕ παρέχουν οικονομική βεβαιότητα. Ενώ συνολικά αυτού του είδους οι συμβάσεις συνέβαλαν στην ανάπτυξη μιας αγοράς ΑΠΕ στη βιομηχανία εξόρυξης, η μακρά διαδικασία για την οριστικοποίηση των συμφωνιών αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας εξακολουθεί να αποτελεί εμπόδιο για μια ταχύτερη και ευρύτερη πρόσληψη ΑΠΕ. Το Business Renewable Centre Australia (BRC-A) εκτιμά ότι οι συμφωνίες αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να χρειαστούν έως και 2 χρόνια για να οριστικοποιηθούν, λόγω της πολυπλοκότητάς τους και των πολυάριθμων υπαρχουσών επιλογών, που είναι ανεπαρκώς κατανοητές και από τα δύο μέρη που συνάπτουν την παρούσα συμφωνία. Η διάρκεια αυτής της διαδικασίας μπορεί να επηρεάσει την επιτυχή ανάπτυξη των προγραμματισμένων έργων διότι, στο τέλος αυτής της περιόδου, οι αρχικές οικονομικές συνθήκες μπορεί να έχουν αλλάξει και να μην επαρκούν για την οριστικοποίηση του έργου (Strazzabosco, Gruenhagen, and Cox, 2022).

4.5 Αποθήκευση ενέργειας με μπαταρίες

Η αποθήκευση μπαταριών είναι ένα κρίσιμο στοιχείο των συστημάτων ΑΠΕ που βρίσκονται σε τοποθεσίες ορυχείων εκτός δικτύου. Οι μπαταρίες είναι απαραίτητες για την αποθήκευση της ενέργειας, εξαιτίας της διαλείπουσας φύσης των ηλιακών φωτοβολταϊκών και του ανέμου, και επίσης αυξάνουν την οικονομική βιωσιμότητα των ΑΠΕ. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τις εξορυκτικές δραστηριότητες, καθώς πολλές λειτουργούν 24 ώρες το 24ωρο και οι ενεργειακές ελλείψεις μπορεί να έχουν σοβαρές λειτουργικές συνέπειες. Ηλιακά φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτριες είναι μη προγραμματιζόμενες πηγές με διαλείπουσα και κυμαινόμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Όταν ενσωματωθούν σε υβριδική διαμόρφωση με παραδοσιακούς κινητήρες diesel και αερίου επηρεάζουν αρνητικά τη σταθερότητα και την ασφάλεια του δικτύου. Σε αυτή τη διαμόρφωση, οι μονάδες αποθήκευσης μπαταριών μπορούν να αυξήσουν την αξιοπιστία της τροφοδοσίας και να μειώσουν την ανάγκη για αντιστάθμιση των διακυμάνσεων του κινητήρα diesel και αερίου.

Ενώ τα οφέλη από τη σύζευξη υβριδικών ενεργειακών συστημάτων με την αποθήκευση ενέργειας με μπαταρίες είναι καλά κατανοητά, η αποθήκευση μπαταρίας δεν έχει λάβει μεγάλη προσοχή επειδή εξακολουθεί να θεωρείται δαπανηρή προσθήκη. Μόνο δύο από τα επτά (28%) επιτόπια συστήματα ΑΠΕ που έχουν εγκατασταθεί μεταξύ 2011 και 2019 είχαν συζευγμένη αποθήκευση μπαταρίας. Ωστόσο, το κόστος αποθήκευσης μπαταρίας σε κλίμακα χρησιμότητας μειώνεται σταδιακά, με περαιτέρω αναμενόμενες μειώσεις κόστους 10-52% έως το 2025 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2018. Μάλιστα παρατηρούνται και μειώσεις του κόστους κεφαλαίου για συστήματα ΑΠΕ που θα εγκατασταθούν το 2020 και για αυτό πέντε από τα έξι έργα που αναπτύχθηκαν το 2020 είχαν αποθήκευση μπαταρίας (83%). Επιβεβαιώνοντας αυτή την τάση, όλα τα επιτόπια έργα που έχουν προγραμματιστεί να αναπτυχθούν τα επόμενα χρόνια (από το 2021 και μετά) έχουν συμπεριλάβει στον σχεδιασμό τους αποθήκευση μπαταριών (Strazzabosco, Gruenhagen, and Cox, 2022).

4.6 Παραδείγματα προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή από τον Αυστραλιανό εξορυκτικό κλάδο

4.6.1 Διυλιστήριο ψευδαργύρου της Sun Metals

Η Αυστραλιανή θυγατρική της Korea Zinc, του μεγαλύτερου παραγωγού ψευδαργύρου στον κόσμο, η Sun Metals λειτουργεί ένα διυλιστήριο ψευδαργύρου που παράγει 230.000 τόνους ψευδάργυρου ετησίως και συνεισφέρει το 11% των συνολικών εσόδων της μητρικής εταιρείας κάθε χρόνο. Η εταιρεία εκμεταλλεύεται τώρα την άφθονη ηλιοφάνεια της Αυστραλίας και κατασκευάζει μια εγκατάσταση ανανεώσιμων πηγών υδρογόνου για να οδηγήσει το επόμενο κεφάλαιο της ανάπτυξης της. Οι τεράστιες ποσότητες ηλιακών και αιολικών πόρων της Αυστραλίας προσφέρουν μεγάλες ευκαιρίες για έργα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η Αυστραλία έχει μεγάλες δυνατότητες να γίνει παγκόσμιος κορυφαίος πάροχος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Η Korea Zinc, η οποία ιδρύθηκε το 1974, είναι μια εταιρεία τήξης μη σιδηρούχων μετάλλων. Η Korea Zinc είναι ο κορυφαίος παραγωγός ψευδαργύρου, μολύβδου, αργύρου και θειικού οξέος ηλεκτρονικής ποιότητας παγκοσμίως, με παγκόσμια έσοδα περίπου 5,7 δισεκατομμυρίων δολαρίων ΗΠΑ το 2019.

Το 2020, η Sun Metals ξεκίνησε μια επέκταση, 455 εκατομμυρίων δολαρίων Αυστραλίας, του διυλιστηρίου ψευδαργύρου. Η επέκταση περιλαμβάνει έργα αυτοματισμού διαδικασιών και ψηφιακού μετασχηματισμού που αναμένεται να επιταχύνουν τη βελτίωση των επιχειρήσεων. Η εταιρεία αναμένει ότι η ετήσια παραγωγή θα αυξηθεί σε 300.000 τόνους ετησίως όταν ολοκληρωθεί η επέκταση το 2021.

Η Sun Metals ξεκίνησε την επόμενη μεγάλη επένδυσή της το 2018, κατασκευάζοντας ένα ηλιακό πάρκο 124 MW, 201 εκατομμυρίων δολαρίων Αυστραλίας, δίπλα στο διυλιστήριο ψευδαργύρου. Ήταν το μεγαλύτερο βιομηχανικής κλίμακας ηλιακό έργο στην Αυστραλία εκείνη την εποχή. Το ηλιακό πάρκο παρέχει σήμερα το 22% της ενέργειας του διυλιστηρίου.

Το 2020, η Sun Metals έγινε το πρώτο μεγάλο διυλιστήριο στον κόσμο που εντάχθηκε στην πρωτοβουλία RE100, βάσει της οποίας οι μεγάλες επιχειρήσεις δεσμεύονται να χρησιμοποιούν μόνο ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η εταιρεία στοχεύει να προμηθεύεται το 100% της ηλεκτρικής ενέργειας του ενεργοβόρου διυλιστηρίου ψευδαργύρου από ανανεώσιμες πηγές έως το 2040, χρησιμοποιώντας συνδυασμό ηλιακής και αιολικής ενέργειας, καθώς και τεχνολογίες όπως μπαταρίες, βιοαέριο και υδρογόνο.

Η δέσμευση της Sun Metals για την πράσινη ενέργεια έχει επεκταθεί και στην τελευταία της επένδυση: το 2020, η εταιρεία ανακοίνωσε ότι κατασκευάζει μια εγκατάσταση ανανεώσιμων πηγών υδρογόνου παράλληλα με το διυλιστήριο ψευδαργύρου της.

Η κίνηση αυτή καθιστά τη Sun Metals το πρώτο μεγάλο διυλιστήριο στον κόσμο που εντάσσεται στο RE100. Είναι ο δεύτερος μεγαλύτερος μεμονωμένος καταναλωτής ηλεκτρικής ενέργειας στο Queensland, και το επόμενο έτος αναμένεται να χρησιμοποιήσει 1.100 GWh/έτος ηλεκτρική ενέργεια.

Η Sun Metals ήταν ο πρώτος σημαντικός χρήστης ενέργειας στην Αυστραλία που κατασκεύασε το δικό της ηλιακό πάρκο μεγάλης κλίμακας. Το 2018, το ηλιακό αγρόκτημα 200 εκατομμυρίων δολαρίων 125 MW κατασκευάστηκε για να μειώσει το κόστος και να υποστηρίξει την επέκταση του διυλιστηρίου ψευδαργύρου, νότια του Townsville. Από το 2021, αυτό το ηλιακό πάρκο αναμένεται να παράγει περισσότερα από 240 GWh/έτος.

Ως μέρος της μετάβασής της στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η Sun Metals εξετάζει επί του παρόντος την αγορά αιολικών στοιχείων στο Queensland. Αυτό

θα μπορούσε να προσφέρει ένα συνδυασμένο χαρτοφυλάκιο αιολικής και ηλιακής ενέργειας που θα έφερνε την επιχείρηση κοντά στο 90% της ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.

Η Sun Metals Corporation έχει μελλοντικά επενδυτικά σχέδια στο πράσινο υδρογόνο (υδρογόνο που παράγεται με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας). Ο οδικός της χάρτης προς αυτόν τον στόχο περιλαμβάνει την παραγωγή πράσινου υδρογόνου, τη χρήση αυτής της ενέργειας για την αντικατάσταση του diesel και, στη συνέχεια, την εξαγωγή ενέργειας με τη μορφή πράσινου υδρογόνου στην παγκόσμια αγορά. Για τη διευκόλυνση αυτού του οδικού χάρτη, η Sun Metals εξασφάλισε πρόσφατα επιχορήγηση 5 εκατομμυρίων δολαρίων από την κυβέρνηση του Queensland για την ανάπτυξη μιας από τις πρώτες εγκαταστάσεις παραγωγής ανανεώσιμων πηγών υδρογόνου στο βόρειο Queensland.

Παγκοσμίως, υπάρχουν πλέον 269 μέλη της RE100. Πάνω από 70 από αυτές τις διεθνείς εταιρείες έχουν δραστηριότητες στην Αυστραλία. Η συνδυασμένη παγκόσμια χρήση ενέργειας των μελών RE100 είναι 284 TWh/έτος.

Εάν τα μέλη του RE100 ήταν μια χώρα, όσον αφορά την ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας θα ήταν η 15η μεγαλύτερη χώρα στον κόσμο: αυτή είναι μπροστά από το Ιράν (273,3 TWh/έτος) και την Αυστραλία (247,7 TWh/έτος) αλλά κάτω από το Μεξικό (290,1 TWh/έτος) (Australian Trade and Investment Commission, 2020).



Εικόνα 15: Το ηλιακό πάρκο της Sun Metals στην Αυστραλία (Trade and Investment Queensland, n.d.)

4.6.2 Ορυχεία σιδηρομεταλλεύματός της Fortescue Metals Group

Η πορεία της εταιρείας προς την απαλλαγή από τις ανθρακούχες εκπομπές επικεντρώνεται στην αντιμετώπιση των μεγαλύτερων πηγών εκπομπών: σταθερής

ενέργειας και του στόλου εξόρυξης. Η εταιρεία ακολουθεί τα παρακάτω για την απαλλαγή από τις ανθρακούχες εκπομπές:

- Σημαντικές επενδύσεις στην παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές που υποστηρίζεται από την αποθήκευση μπαταριών, για την αντικατάσταση της υφιστάμενης σταθερής ισχύς με καύση diesel και εγκαταστάσεις παραγωγής με φυσικό αέριο.
- Δημιουργία συνδέσμων μετάδοσης μεταξύ των ορυχείων της επιχείρησης στο Pilbara για την ενσωμάτωση εγκαταστάσεων σταθερής ενέργειας και παροχή ενός ασφαλούς και αξιόπιστου δικτύου, στις οποίες η πρόσθετη παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές και αποθήκευση μπορούν να προστεθούν εγκαταστάσεις και ηλεκτρολύτες.
- Ανάπτυξη και δοκιμή ηλεκτρικών μπαταριών και πράσινων υδρογονοκίνητων φορητών μεταφοράς για την εξάλειψη της εξάρτησής από το καύσιμο diesel.
- Ανάπτυξη και δοκιμή υβριδικών μηχανών που λειτουργούν με πράσινη αμμωνία.
- Αντικατάσταση κινητήρων diesel σε άλλα βαρέα ορυχεία. Ο εξοπλισμός, όπως εκσκαφείς, θα αντικατασταθεί με ηλεκτρικούς κινητήρες και δοκιμαστικά με κυψέλες καυσίμου υδρογόνου ως πηγή ενέργειάς τους.

Η εταιρεία έχει συνάψει συμφωνία με την Alinta Energy για να λαμβάνουν ενέργεια από το έργο Chichester Solar Gas Hybrid. Μόλις τεθεί σε λειτουργία, το έργο θα παρέχει έως και το 100% της ημερήσιας σταθερής ενεργειακής απαίτησης στα εργοστάσιά Cloudbreak και Christmas Creek και θα εκτοπιστούν περίπου 100 εκατομμύρια λίτρα diesel ετησίως (Fmgl.com, 2021).

Η Alinta θα αναπτύξει μια υβριδική λύση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για να τροφοδοτήσει έναν αριθμό τοποθεσιών που περιλαμβάνονται στον κόμβο εξόρυξης του Chichester. Οι γραμμές μεταφοράς θα συνδέουν επίσης τα ορυχεία FMG με τον υπάρχοντα σταθμό Newman Power Station της Alinta με αέριο ισχύος 145 MW και το σύστημα αποθήκευσης μπαταριών 35 MW / 11 MWh .

Η Fortescue θα είναι ο κύριος παραγωγός του έργου, το οποίο θα συμβάλει στη μείωση της χρήσης diesel κατά περίπου 100 εκατομμύρια λίτρα ετησίως. Αυτό θα

επιτρέψει έως και το 100 τοις εκατό των ενεργειακών απαιτήσεων της ημέρας για τον κόμβο εξόρυξης του Chichester να τροφοδοτείται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ενώ οι υπόλοιπες απαιτήσεις ενέργειας θα εξισορροπούνται με την παραγωγή αερίου.

Το έργο στοχεύει να καταδείξει την αποτελεσματικότητα (τόσο τεχνικά όσο και εμπορικά) μιας μεγάλης κλίμακας λύσης υβριδικής παροχής ενέργειας που συνδυάζει ηλιακή ενέργεια, φυσικό αέριο και αποθήκευση. Θα δείξει επίσης πώς η διασύνδεση φορτίων και διαφορετικής παραγωγής και αποθήκευσης, συμπεριλαμβανομένης της ηλιακής ενέργειας, της αποθήκευσης μπαταριών και του αερίου, μπορεί να παρέχει ασφαλή και αξιόπιστη ηλεκτρική ενέργεια.

Μέσω αυτού του έργου θα δοθεί η ευκαιρία και σε άλλους μεταλλωρύχους, παραγωγούς και δίκτυα να ενημερωθούν σχετικά με τις τεχνικές προκλήσεις που σχετίζονται με τη χρήση τεχνολογιών πολλαπλής παραγωγής και την υψηλή διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την παροχή αξιόπιστης τροφοδοσίας για την υποστήριξη εργασιών εξόρυξης και εκτός δικτύου. Επιπρόσθετα περίπου 200 θέσεις εργασίας αναμένεται να δημιουργηθούν κατά τη διάρκεια της κατασκευής με εκτιμώμενο καθαρό δημόσιο όφελος 221 εκατομμυρίων δολαρίων Αυστραλίας, συμπεριλαμβανομένης της διαφοροποίησης της δυναμικότητας παραγωγής που αυξάνει την ασφάλεια του εφοδιασμού στην περιοχή (Pilbara Australian Renewable Energy Agency, 2019).

Το Chichester Solar Gas Hybrid θα προβλέπει την κατασκευή (Alintaenergy.com, n.d.):

- μιας νέας εγκατάστασης παραγωγής ηλιακών φωτοβολταϊκών (Φ/Β) ισχύος 60 MW στις δραστηριότητες σιδηρομεταλλεύματος Chichester Hub του ομίλου Fortescue Metals,
- μιας γραμμής μεταφοράς μήκους 60 χιλιομέτρων που θα συνδέει τις εξορυκτικές δραστηριότητες της Fortescue, Christmas Creek και Cloudbreak, στην Pilbara, με τον σταθμό ηλεκτροπαραγωγής με καύση φυσικού αερίου στο Newman και την εγκατάσταση μπαταρίας 35MW.



Εικόνα 16: Το Chichester Solar Gas Hybrid

4.6.2.1 Φορτηγά μεταφοράς

Τα φορτηγά μεταφοράς στα ορυχεία της Fortescue αντιπροσωπεύουν περίπου 537.000 τόνους εκπομπών CO_{2-e} στο οικονομικό έτος 21. Η απαλλαγή του στόλου των ορυχείων από τις ανθρακούχες εκπομπές είναι μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις που αντιμετωπίζει ο κλάδος της μεταλλευτικής. Ενώ τα ηλεκτρικά οχήματα είναι άμεσα διαθέσιμα για επιβάτες και εγχώρια αγορά, δεν υπάρχουν επί του παρόντος μεγάλης κλίμακας οικονομικά ή τεχνολογικά βιώσιμα οχήματα που είναι διαθέσιμα για τις μεταφορές στα ορυχεία.

Γίνεται διερεύνηση των κύριων εναλλακτικών λύσεων για το diesel, συμπεριλαμβανομένων των επιλογών ηλεκτρικών μπαταριών και κυψελών καυσίμου υδρογόνου, για να διασφαλιστεί η εκμετάλλευση των ευκαιριών που προσφέρουν και οι δύο τεχνολογίες.

Η Fortescue συνεργάζεται με την Williams Advanced Engineering (WAE) για να σχεδιάσει, να κατασκευάσει και να ενσωματώσει ένα σύστημα μπαταριών για την τροφοδότηση ενός ηλεκτρικού φορτηγού εξόρυξης. Η προσαρμοσμένη μπαταρία στο ηλεκτρικό σύστημα κίνησης θα έχει τη δυνατότητα να παράγει ενέργεια καθώς το φορτηγό ταξιδεύει προς τα κάτω.

Η WAE έχει αρχίσει να δοκιμάζει τα κύτταρα μιας μπαταρίας που θα τροφοδοτήσει ένα πρωτότυπο φορτηγό μεταφοράς 240 τόνων πριν τις δοκιμές επιδόσεων στις εξορυκτικές δραστηριότητες στην Pilbara. Το έργο περιλαμβάνει επίσης την ανάπτυξη ενός γρήγορου φορτιστή.

Επιπρόσθετα τώρα σε εξέλιξη βρίσκονται δοκιμές φορτηγών μεταφοράς με πράσινο υδρογόνο. Η εξάπλωση των φορτηγών μεταφοράς που κινούνται με εναλλακτικά καύσιμα αναμένεται να ξεκινήσει σε όλες τις δραστηριότητές της εταιρίας στο δεύτερο μισό της δεκαετίας (FmgI.com, 2021).

4.6.2.2 Σιδηρόδρομος

Οι εκπομπές από τη μεταφορά μεταλλεύματος από τα ορυχεία στο λιμάνι Port Hedland μέσω σιδηροδρόμου αντιπροσωπεύουν περίπου 214.000 τόνους εκπομπών CO_{2-e} στο οικονομικό έτος 21. Επιπρόσθετα, ξεκίνησαν δοκιμές σε ένα υβριδικό τρένο που χρησιμοποιεί πράσινη αμμωνία και αποθήκευση μπαταριών για να επωφεληθούν από ευκαιρίες για την παραγωγή ενέργειας (FmgI.com, 2021).

4.6.2.3 Άλλος βαρύς εξοπλισμός εξόρυξης

Άλλος βαρύς εξοπλισμός εξόρυξης, συμπεριλαμβανομένων των γεωτρήσεων και των εκσκαφών, αντιπροσωπεύει περίπου 746.000 τόνους εκπομπών CO_{2-e} στο οικονομικό έτος 21. Το 2021 ξεκίνησαν δοκιμές για την αντικατάσταση των κινητήρων diesel των βαρέων εξοπλισμών εξόρυξης με ηλεκτροκινητήρες που χρησιμοποιούν κυψέλες καυσίμου υδρογόνου ως την πηγή ενέργειάς τους. Μέχρι σήμερα, έχουν αρχίσει να δοκιμάζουν ένα γεωτρήσιμο πράσινο υδρογόνο, συμπεριλαμβανομένου του σημαντικού στοιχείου εξασφάλισης της δυνατότητας ανεφοδιασμού με καύσιμα μέσα στον λάκκο του ορυχείου (FmgI.com, 2021).

4.6.3 Ανθρακωρυχεία της BHP στο Queensland της Αυστραλίας

Ο παγκόσμιος κολοσσός εξόρυξης BHP υπέγραψε ένα πενταετές συμβόλαιο που θα προβλέπει να προμηθεύεται αιολική και ηλιακή ενέργεια για να παρέχει έως και το ήμισυ των αναγκών σε ενέργεια για τις εξορυκτικές του δραστηριότητες στο Queensland. Η συμφωνία του Queensland έχει συναφθεί για πέντε χρόνια, από την 1η Ιανουαρίου, με την πρόσφατα συσταθείσα κρατική εταιρεία κοινής ωφελείας CleanCo και η BHP ισχυρίζεται ότι θα υποστηρίξει την ανάπτυξη του μεγαλύτερου ηλιακού πάρκου της Αυστραλίας στο Western Downs (400MW), το οποίο πρόκειται να κατασκευαστεί από τη Neoen έως το 2022, και το νέο αιολικό πάρκο Karara, μέρος του τεράστιου αιολικού έργου MacIntyre, που πρόκειται να ξεκινήσει τη λειτουργία του το 2023.

Το Karara είναι μια εγκατάσταση που κατασκευάζεται από την CleanCo στο πλαίσιο του μεγαλύτερου αιολικού έργου Macintyre που ανήκει στην Acciona. Τόσο η Western Downs όσο και η MacIntyre έχουν υπογράψει μακροπρόθεσμες συμβάσεις συμβάσεων με την CleanCo, αποτελώντας το μεγαλύτερο μέρος των στοχευόμενων προσθηκών αιολικής και ηλιακής ενέργειας 1.000 MW έως το 2025.

Η BHP ισχυρίζεται ότι τα ανθρακωρυχεία της στο Queensland, που λειτουργούν σε επιχειρήσεις με τη Mitsubishi και τη Mitsui, έχουν μέσο φορτίο περίπου 150 MW. Η BHP υποστηρίζει ότι η «συμφωνία αγοράς ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα καλύψει το ήμισυ των αναγκών της σε ηλεκτρική ενέργεια στα ανθρακωρυχεία της στο Queensland, θα μειώσει τις εκπομπές Πεδίου 2 της εταιρείας στην Αυστραλία κατά 20% από τα επίπεδα του 2020 και θα εκτοπίσει περίπου 1,7 εκατομμύρια τόνους CO₂e- μεταξύ 2021 και το 2025, το οποίο ισχυρίζεται ότι ισοδυναμεί με τις ετήσιες εκπομπές περίπου 400.000 αυτοκινήτων με κινητήρα εσωτερικής καύσης.

Τα ανθρακωρυχεία της BHP στο Queensland εξάγουν μεταλλουργικό άνθρακα, ο οποίος χρησιμοποιείται στην παραγωγή χάλυβα και όχι στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με καύση άνθρακα. Για τα ανθρακωρυχεία του Queensland, η ισχύς θα ανατίθεται για τα δύο πρώτα χρόνια από το χαρτοφυλάκιο χαμηλών εκπομπών της CleanCo, το οποίο περιλαμβάνει στοιχεία ενεργητικής παραγωγής υδροηλεκτρικού και φυσικού αερίου. Από τα τέλη του 2022, τα νέα ηλιακά και αιολικά πάρκα αναμένεται να συνεισφέρουν σταδιακά έως και τις μισές ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια, ενώ το υπόλοιπο θα υποστηρίζεται από το χαρτοφυλάκιο χαμηλών εκπομπών της CleanCo.

Σε συνδυασμό με πιστοποιητικά παραγωγής μεγάλης κλίμακας, αυτό θα επιτρέψει στην BHP να μειώσει τις εκπομπές Πεδίου 2 από τις δραστηριότητές της στο Queensland κατά 50 τοις εκατό έως το 2025, με βάση τα επίπεδα του 2020. Η CleanCo έχει στόχο να υποστηρίξει 1.000 MW της νέας παραγωγής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έως το 2025 και έχει ήδη ανακοινώσει συμφωνίες μεγάλης κλίμακας για την Western Downs και το MacIntyre (Parkinson, 2020).

5. Πρόσθετες πρακτικές για προσαρμογή του εξορυκτικού κλάδου στην κλιματική αλλαγή

5.1 Φορτηγά υδρογόνου

Η ΕΕ ανακοίνωσε ότι θέλει τις εκπομπές CO₂ των φορτηγών να μειωθούν κατά ένα τρίτο έως το 2030 από τα επίπεδα του 2019, μια πρόκληση που ωθεί σε έντονη καινοτομία από τους παγκόσμιους κατασκευαστές βαρέων επαγγελματικών οχημάτων να προσπαθήσουν να αναπτύξουν νέα μοντέλα για τη προστασία του περιβάλλοντος.

Τώρα πιστεύεται ευρέως ότι τα ηλεκτρικά οχήματα (BEV) θα κυριαρχήσουν στη μελλοντική αγορά επιβατικών οχημάτων. Έχουν ήδη ένα σημαντικό μερίδιο αγοράς και οι αυτοκινητοβιομηχανίες το παλεύουν για πρόσβαση, αλλά η ηλεκτροδότηση της μπαταρίας είναι πιο περίπλοκη για τα βαρέα οχήματα. Μια μπαταρία ιόντων λιθίου για την τροφοδοσία ενός φορτηγού 44 τόνων θα ζύγιζε αρκετούς τόνους, μειώνοντας δραματικά τον διαθέσιμο χώρο για το φορτίο. Η υπάρχουσα τεχνολογία μπαταριών έχει επίσης περιορισμένη εμβέλεια και μεγάλο χρόνο φόρτισης, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει τα αποτελέσματα του μεταφορέα.

Οι κυψέλες καυσίμου υδρογόνου προσφέρουν ένα εναλλακτικό μέσο ηλεκτροδότησης. Σε αυτή την περίπτωση, η ηλεκτρική ενέργεια δεν προέρχεται από το δίκτυο αλλά παράγεται από υδρογόνο που είναι αποθηκευμένο στο όχημα που έρχεται σε επαφή με ένα ηλεκτροχημικό στοιχείο. Τα ηλεκτρικά οχήματα με κυψέλες καυσίμου (FCEV) παράγουν εκπομπές από την εξάτμιση που αποτελούνται μόνο από νερό, μπορούν να ανεφοδιαστούν τόσο γρήγορα όσο ένα συμβατικό αυτοκίνητο και προσφέρουν σοβαρή ισχύ στο δρόμο, με 1 κιλό υδρογόνου να αποδίδει την ίδια ισχύ με 1 γαλόνι diesel.

Ο όμιλος Hyundai κυκλοφόρησε το Xcient Hyundai Truck στη μαζική αγορά το 2020. Το φορτηγό μπορεί να διανύσει 250 μίλια με γεμάτο ρεζερβουάρ και χρειάζεται 8 έως 20 λεπτά για να γεμίσει (Energy Monitor, 2022).

5.1.1 Κυψέλη καυσίμου XCIENT

Η εταιρεία σχεδιάζει να στείλει συνολικά 50 κυψέλες καυσίμου XCIENT στην Ελβετία φέτος, με την παράδοση στους πελάτες του εμπορικού στόλου από τον

Σεπτέμβριο. Η Hyundai σχεδιάζει να κυκλοφορήσει συνολικά 1.600 φορτηγά κυψελών καυσίμου XCIENT έως το 2025, αντανακλώντας την περιβαλλοντική δέσμευση και την τεχνολογική ικανότητα της εταιρείας καθώς εργάζεται για τη μείωση των εκπομπών άνθρακα μέσω λύσεων μηδενικών εκπομπών.

Το XCIENT τροφοδοτείται από ένα σύστημα κυψελών καυσίμου υδρογόνου 190 kW με διπλές στοίβες κυψελών καυσίμου 95 kW. Επτά μεγάλες δεξαμενές υδρογόνου προσφέρουν συνδυασμένη χωρητικότητα αποθήκευσης περίπου 32,09 kg υδρογόνου. Η αυτονομία οδήγησης για το XCIENT Fuel Cell είναι περίπου 400 km με έναν μόνο ανεφοδιασμό. Αυτό αναπτύχθηκε για να βρεθεί μια βέλτιστη ισορροπία μεταξύ των ειδικών απαιτήσεων από τους πιθανούς πελάτες του εμπορικού στόλου και της υποδομής φόρτισης στην Ελβετία. Ο χρόνος ανεφοδιασμού για κάθε φορτηγό διαρκεί περίπου 8-20 λεπτά.

Η τεχνολογία κυψελών καυσίμου είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για την εμπορική ναυτιλία και την εφοδιαστική, λόγω των μεγάλων αποστάσεων και των σύντομων χρόνων ανεφοδιασμού. Το σύστημα κυψελών καυσίμου με διπλή τοποθέτηση παρέχει αρκετή ενέργεια για να οδηγήσει τα φορτηγά βαρέως τύπου πάνω και κάτω στο ορεινό έδαφος της περιοχής.

Το 2019, η Hyundai Motor Company ίδρυσε την Hyundai Hydrogen Mobility (HHM), μια κοινοπραξία με την Ελβετική εταιρεία H₂ Energy, η οποία θα μισθώσει τα φορτηγά σε εμπορικούς χειριστές φορτηγών σε βάση πληρωμής ανά χρήση, πράγμα που σημαίνει ότι δεν υπάρχει αρχική επένδυση για τους εμπορικούς πελάτες στόλου.

Η Hyundai επέλεξε την Ελβετία ως αφετηρία για το επιχειρηματικό της εγχείρημα για διάφορους λόγους. Ένας από τους λόγους είναι ο Ελβετικός φόρος κυκλοφορίας LSVA στα επαγγελματικά οχήματα, ο οποίος δεν ισχύει για φορτηγά με μηδενικές εκπομπές ρύπων. Αυτό σχεδόν εξισώνει το κόστος μεταφοράς ανά χιλιόμετρο του φορτηγού κυψελών καυσίμου σε σύγκριση με ένα κανονικό φορτηγό diesel.

Η επιχειρηματική υπόθεση της Hyundai περιλαμβάνει τη χρήση αμιγώς καθαρού υδρογόνου που παράγεται από υδροηλεκτρική ενέργεια. Για να μειωθούν πραγματικά οι εκπομπές άνθρακα, όλα τα φορτηγά πρέπει να λειτουργούν μόνο με πράσινο υδρογόνο. Η Ελβετία είναι η χώρα με ένα από τα υψηλότερα μερίδια

υδροηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως, και ως εκ τούτου μπορεί να προσφέρει επαρκή πράσινη ενέργεια για την παραγωγή υδρογόνου. Μόλις το έργο ξεκινήσει στην Ελβετία, η Hyundai σχεδιάζει να το επεκτείνει και σε άλλες Ευρωπαϊκές χώρες (Hyundai.news, n.d.).

Κύριες προδιαγραφές:

- Μοντέλο αντικειμένου: XCIENT
- Τύπος οχήματος κυψελών καυσίμου: Cargo (Chasis Cab)

Υπολογιζόμενη απόδοση:

- Εύρος κίνησης: Ακριβές εύρος που θα επιβεβαιωθεί αργότερα
- Μέγιστη ταχύτητα: 85 χλμ/ώρα

Σύστημα μετάδοσης κίνησης

- Στοίβα κυψελών καυσίμου: 190 kW (95 kW x 2 EA)
- Μπαταρία: 661 V / 73,2 kWh – από κινητήρα Akasol /μετατροπέα: 350 kW / 3.400 Nm
- Κιβώτιο ταχυτήτων Siemens: ATM S4500 – από Allison / 6 ταχύτητες όπισθεν και 1
- Αναλογία πίσω άξονα: 4.875

Δεξαμενή Υδρογόνου

- Πίεση πλήρωσης: 350 bar
- Χωρητικότητα: 32,09 kg H₂ (διαθέσιμη ποσότητα υδρογόνου σε SOF 100%)

5.1.2 Τα οφέλη αυτού του έργου για τη βιομηχανία εξόρυξης

Τα οφέλη από την αντικατάσταση του diesel με υδρογόνο είναι πολλά:

- Μείωση κόστους καυσίμων και εκπομπών ρύπων. Για ένα φορτηγό εξόρυξης 2.700 HP, μια αντικατάσταση υδρογόνου κατά 70%, θα αντιπροσώπευε μείωση εκπομπών περίπου 2.260 τόνων CO₂ ετησίως. Η ηλεκτροδότηση του καυσίμου εξαλείφει την απρόβλεπτη αστάθεια της τιμής του diesel και αναγκάζει τουλάχιστον το ποσοστό αντικατάστασης να έχει μια επίπεδη συμπεριφορά μιας κρίσιμης λειτουργικής μεταβλητής. Η μείωση του κόστους και των εκπομπών είναι ταχεία και σημαντική σε σύγκριση με τους παραδοσιακούς μηχανισμούς.

- Το υδρογόνο που παράγεται τοπικά για να αντικαταστήσει το diesel έχει το πλεονέκτημα της αποφυγής γεωπολιτικών κινδύνων ή/και μεταφορικών κινδύνων.
- Δεν είναι απαραίτητο για τη βιομηχανία εξόρυξης να αντικαταστήσει φορτηγά και άλλα μηχανήματα, καθώς θα χρησιμοποιηθούν kits διπλού καυσίμου για την ενημέρωση του αποθέματος των υφιστάμενων φορτηγών εξόρυξης.
- Η διαθεσιμότητα υδρογόνου στο ορυχείο θα δημιουργήσει νέες ευκαιρίες για μείωση του κόστους και βιώσιμη εξόρυξη, μέσω της χρήσης υδρογόνου για γεννήτριες, θερμικές διεργασίες και κυψέλες καυσίμου για μικρότερο εξοπλισμό και υπόγεια εξόρυξη.

Η χρήση διπλών καυσίμων σε συστήματα εσωτερικής καύσης είναι παλιά και γνωστή, αλλά με άλλα καύσιμα όπως το φυσικό αέριο. Η πρόκληση αυτού του έργου είναι η χρήση υδρογόνου για την εξόρυξη φορτηγών υψηλής χωρητικότητας και γενικά στην εξόρυξη, η οποία είναι αρχική.

Τα κύρια πλεονεκτήματα της διπλής τεχνολογίας είναι (Pérez, n.d.):

1. Η αξιοπιστία του συστήματος (για παράδειγμα, όταν αντιμετωπίζουμε αστοχία στο υδρογόνο).
2. Εφοδιαστική αλυσίδα, το σύστημα μπορεί να συνεχίσει να λειτουργεί με diesel.
3. Το χαμηλό του κόστος (χρήση υπαρχόντων κινητήρων και μη ανάγκη υψηλής καθαρότητας για τη λειτουργία του).
4. Η δυνατότητα κλιμάκωσης.
5. Η ικανότητά του να λειτουργεί με κινητήρες υψηλής ισχύος.



Εικόνα 17: Φορτηγό υδρογόνου της Hyundai

5.2 Η πράσινη αμμωνία

Η αμμωνία είναι ένα πικάντικο αέριο που χρησιμοποιείται ευρέως για την παραγωγή γεωργικών λιπασμάτων. Η παραγωγή πράσινης αμμωνίας είναι μία παραγωγική διαδικασία 100% ανανεώσιμη και πραγματοποιείται χωρίς παραγωγή άνθρακα.

Ένας τρόπος παραγωγής πράσινης αμμωνίας είναι η χρήση υδρογόνου από ηλεκτρόλυση νερού και αζώτου που διαχωρίζεται από τον αέρα. Στη συνέχεια τροφοδοτούνται στη διαδικασία Haber (επίσης γνωστή ως Haber-Bosch). Στη διαδικασία Haber, το υδρογόνο και το άζωτο αντιδρούν μαζί σε υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις για την παραγωγή αμμωνίας, NH_3 .

Ωστόσο, η διαδικασία παραγωγής αμμωνίας δεν είναι επί του παρόντος μια «πράσινη» διαδικασία. Συνήθως παρασκευάζεται από μεθάνιο, νερό και αέρα, χρησιμοποιώντας αναμόρφωση μεθανίου ατμού (SMR) (για την παραγωγή του υδρογόνου) και τη διαδικασία Haber. Περίπου το 90% του παραγόμενου διοξειδίου του άνθρακα προέρχεται από τη διαδικασία SMR. Αυτή η διαδικασία καταναλώνει πολλή ενέργεια και παράγει περίπου το 1,8% των παγκόσμιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (Royalsociety.org, n.d.).

5.2.1 Απανθρακοποίηση της παραγωγής αμμωνίας

Η μείωση της ποσότητας διοξειδίου του άνθρακα που παράγεται κατά τη διαδικασία παραγωγής αμμωνίας είναι κρίσιμη για την επίτευξη των καθαρών μηδενικών στόχων έως το 2050. Ο καλύτερος τρόπος για να μειωθούν οι εκπομπές άνθρακα κατά την παραγωγή αμμωνίας είναι η χρήση υδρογόνου χαμηλών εκπομπών άνθρακα.

Οι πιο πιθανές βραχυπρόθεσμες επιλογές για τη δημιουργία υδρογόνου χωρίς άνθρακα σε κλίμακα είναι το μπλε υδρογόνο και το πράσινο υδρογόνο:

Το *μπλε υδρογόνο* είναι το σημείο όπου οι εκπομπές άνθρακα από τη διαδικασία αναμόρφωσης μεθανίου ατμού (SMR) δεσμεύονται και αποθηκεύονται (CCS).

Το *πράσινο υδρογόνο* παράγεται χρησιμοποιώντας ηλεκτρόλυση νερού για την παραγωγή υδρογόνου και οξυγόνου, χρησιμοποιώντας βιώσιμη ηλεκτρική ενέργεια στη διαδικασία (Royalsociety.org, n.d.).

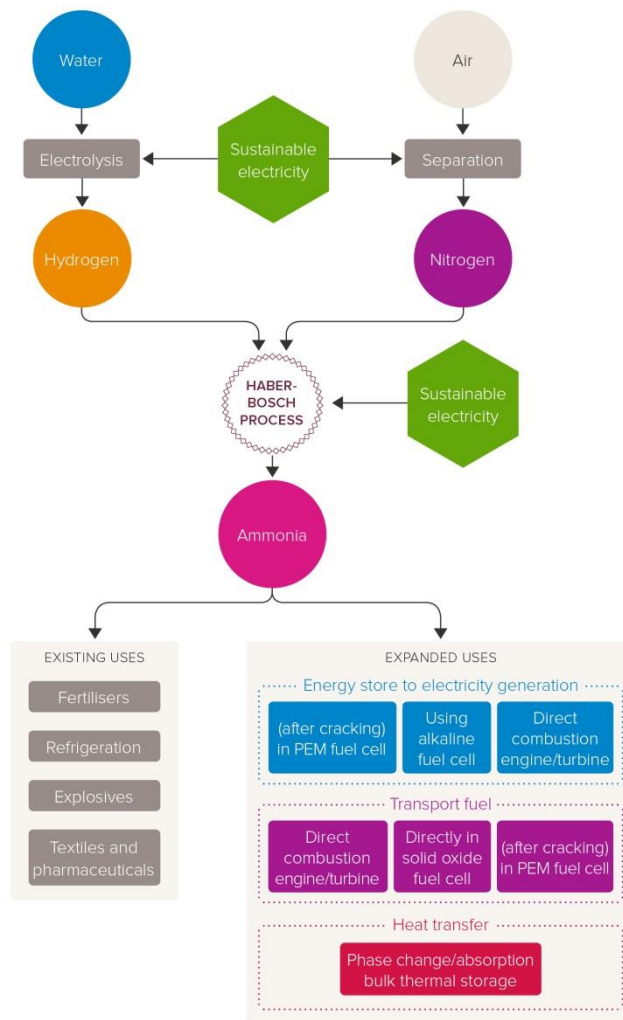
5.2.2 Το μέλλον της πράσινη αμμωνίας

Η παραγωγή πράσινης αμμωνίας θα μπορούσε να προσφέρει περαιτέρω επιλογές στη μετάβαση σε καθαρές μηδενικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Αυτά περιλαμβάνουν:

Αποθήκευση ενέργειας → η αμμωνία αποθηκεύεται εύκολα χύμα ως υγρό σε μέτριες πιέσεις (10-15 bar) ή στο ψυγείο στους -33°C. Αυτό την καθιστά ιδανικό μέσο αποθήκευσης χημικών για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Διατίθεται ένα υπάρχον δίκτυο διανομής, στο οποίο η αμμωνία αποθηκεύεται σε μεγάλες δεξαμενές ψύξης και μεταφέρεται σε όλο τον κόσμο με σωλήνες, οδικά βυτιοφόρα και πλοία.

Καύσιμο μηδενικού άνθρακα → η αμμωνία μπορεί να καεί σε έναν κινητήρα ή να χρησιμοποιηθεί σε μια κυψέλη καυσίμου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Όταν χρησιμοποιείται, τα μόνα υποπροϊόντα της αμμωνίας είναι το νερό και το άζωτο. Η ναυτιλιακή βιομηχανία είναι πιθανό να την υιοθετήσει νωρίς, αντικαθιστώντας τη χρήση μαζούτ σε κινητήρες πλοίων.

Φορέας υδρογόνου → υπάρχουν εφαρμογές όπου χρησιμοποιείται αέριο υδρογόνο (π.χ. σε κυψέλες καυσίμου PEM), ωστόσο το υδρογόνο είναι δύσκολο και ακριβό να αποθηκευτεί χύμα (χρειάζονται κρυογονικές δεξαμενές ή κύλινδροι υψηλής πίεσης). Η αμμωνία είναι ευκολότερη και φθηνότερη στην αποθήκευση και στη μεταφορά και μπορεί εύκολα να «σπάσει» και να καθαριστεί για να δώσει αέριο υδρογόνο όταν απαιτείται (Royalsociety.org, n.d.).



Εικόνα 18: Παραγωγή και χρήσεις της πράσινης αμμωνίας

5.3 Εγκαταλελειμμένα ορυχεία

Όταν εγκαταλείπονται τα υπόγεια ορυχεία, οι αντλίες που τα κράτησαν στεγνά συχνά απενεργοποιούνται και τα ορυχεία γεμίζουν με νερό. Αυτό το νερό θερμαίνεται με γεωλογικές διεργασίες και η θερμοκρασία παραμένει σταθερή όλο το χρόνο.

Η Coal Authority έχει υπολογίσει ότι το συνεχώς ανανεούμενο νερό σε αυτά τα ορυχεία θα μπορούσε ενδεχομένως να είναι ένας αρκετά μεγάλος πόρος για να καλύψει όλες τις απαιτήσεις θέρμανσης για τις περιοχές του ανθρακωρυχείου. Θα μπορούσε επίσης να χρησιμοποιηθεί ως θερμότητα και ενέργεια για την κηπουρική, την κατασκευή και άλλους σκοπούς.

Το νερό σε αυτά τα ορυχεία είναι μια χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα, βιώσιμη πηγή θερμότητας, η οποία υπό τις κατάλληλες συνθήκες μπορεί να

ανταγωνιστεί τις τιμές φυσικού αερίου δημόσιας προμήθειας και να προσφέρει εξοικονόμηση άνθρακα έως και 75% σε σύγκριση με τη θέρμανση με φυσικό αέριο.

Στην περίπτωση ενός δικτύου τηλεθέρμανσης, αυτή η ενέργεια μπορεί να μεταφερθεί σε ένα δίκτυο σωληνώσεων χρησιμοποιώντας έναν εναλλάκτη θερμότητας και στη συνέχεια να διανεμηθεί σε κοντινά σπίτια.

Αυτό το είδος τεχνολογίας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα μπορούσε να βοηθήσει στο να παρουσιαστούν οι περιοχές λιθάνθρακα ως πιο ελκυστικές για τους επενδυτές, κάτι που θα μπορούσε να δώσει ζωή σε ορισμένες περιοχές του Ηνωμένου Βασιλείου όπου είναι περισσότερο απαραίτητο.

Θα μπορούσε επίσης να προσφέρει σημαντική συμβολή χαμηλών εκπομπών άνθρακα στις μελλοντικές ανάγκες της Βρετανίας σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Πολλές τοπικές αρχές έχουν ήδη κηρύξει «κλιματική έκτακτη ανάγκη», με δεσμεύσεις να καταστούν ουδέτερες από τον άνθρακα τα επόμενα χρόνια.

Η θερμότητα αντιπροσωπεύει το ήμισυ των ενεργειακών απαιτήσεων του Ηνωμένου Βασιλείου, με τις περισσότερες να προέρχονται αυτήν τη στιγμή από αέριο. Ωστόσο, οι κυβερνητικοί στόχοι αναφέρουν ότι έως το 2025 δεν θα υπάρχουν συνδέσεις φυσικού αερίου σε νεόδμητες κατοικίες και επιχειρήσεις. Εναλλακτικές λύσεις έτοιμες για τεχνολογία, όπως η ενέργεια των ορυχείων, είναι βέβαιο ότι θα διαδραματίσουν τεράστιο ρόλο στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της Βρετανίας για τα επόμενα χρόνια (Coal Authority, 2020).

5.3.1 Seaham Garden Village

Σε συνεργασία με το Συμβούλιο της Κομητείας του Durham και την Coal Authority, η Tolent Construction αναπτύσσει ένα υποδειγματικό Garden Village στο Seaham, στην κομητεία Durham.

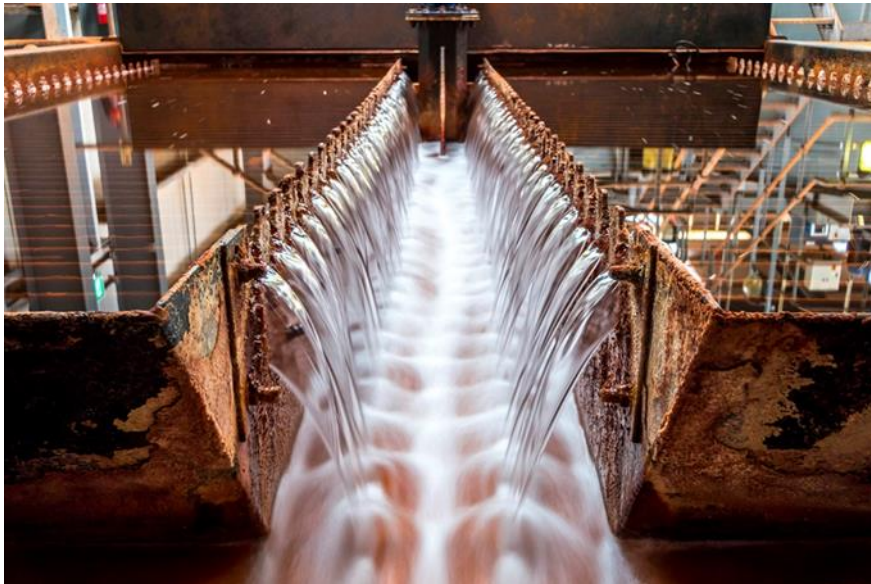
Αυτή η εξέλιξη έχει τη δυνατότητα να καταστήσει το Seaham Garden Village το πρώτο πρόγραμμα τηλεθέρμανσης ενέργειας από ορυχεία μεγάλης κλίμακας στο Ηνωμένο Βασίλειο.



Εικόνα 19: Η προτεινόμενη ανάπτυξη του Seaham Garden Village

Η ανάπτυξη του Seaham Garden Village θα αποτελείται από 750 οικονομικά προσιτά σπίτια, 750 ιδιωτικές κατοικίες, ένα σχολείο, καταστήματα και ιατρικά κέντρα και κέντρα καινοτομίας.

Πρόκειται να κατασκευαστεί αμέσως δίπλα στο πρόγραμμα επεξεργασίας νερού στο ορυχείο Dawdon της Coal Authority. Αυτό το πρόγραμμα προστατεύει τη ζωτικής σημασίας άντληση πόσιμου νερού από τον μαγνησιακό ασβεστόλιθο Durham και αντλεί έως και 150 λίτρα νερού ορυχείου ανά δευτερόλεπτο στην επιφάνεια για επεξεργασία.



Εικόνα 20: Αποκατάσταση του νερού των ορυχείων στο σύστημα επεξεργασίας νερού του ορυχείου Dawdon. Αυτό το νερό του ορυχείου θερμαίνεται με γεωθερμικές διεργασίες για να παρέχει συνεχή παροχή νερού στους 18 έως 20°C.

Με τις θερμοκρασίες του νερού του ορυχείου να μην επηρεάζονται από τις εποχιακές διακυμάνσεις, υπάρχει δυνητικά 6 MW βιώσιμης ενέργειας χαμηλού κόστους και χαμηλών εκπομπών άνθρακα διαθέσιμη για τοπική χρήση θέρμανσης χώρων από το πρόγραμμα επεξεργασίας Dawdon καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Το σχέδιο είναι επίσης ασυνήθιστο στο ότι δεν θα χρησιμοποιεί μεταλλικούς σωλήνες διανομής θερμότητας, λόγω των χαμηλότερων θερμοκρασιών.

Η μέθοδος παράδοσης είναι πολύ φθηνότερη από τα συστήματα τηλεθέρμανσης που χρησιμοποιούν υψηλότερες θερμοκρασίες, όπου οι μεταλλικές σωληνώσεις είναι απαραίτητες και έχουν μεγαλύτερες απώλειες θερμοκρασίας, καθιστώντας δίκτυα όπως το Seaham Garden Village πολύ πιο βιώσιμα από τα περισσότερα συστήματα τηλεθέρμανσης (Coal Authority, 2020).

5.3.2 Επαρχιακό Δίκτυο Minewater Hebburn

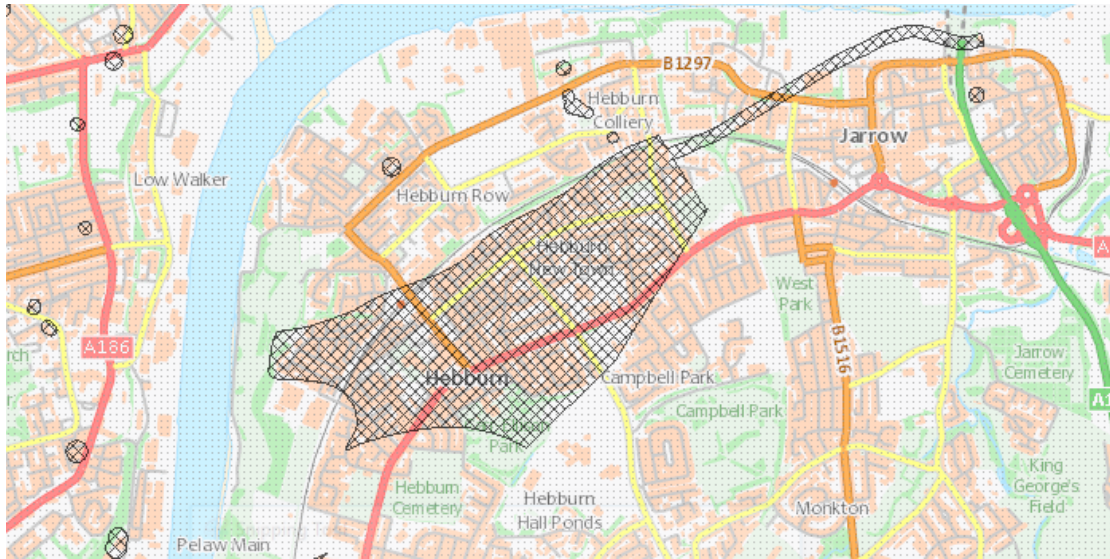
Η γεωθερμική ενέργεια, που προέρχεται από αχρηστεμένα και τώρα γεμάτα νερό ορυχεία στο πρώην Hebburn Colliery στη βορειοανατολική Αγγλία, θα χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση κτιρίων που ανήκουν στο δημοτικό συμβούλιο στην πόλη, συμπεριλαμβανομένου ενός οικοδομικού συγκροτήματος πύργων.

Αυτό το έργο καθοδηγήθηκε από την αρχή από την ισχυρή συνεργασία μεταξύ της Coal Authority, του Συμβουλίου του South Tyneside και του Πανεπιστημίου του Durham στο έργο «Hebburn Minewater District Network». Η πρωτοβουλία έχει λάβει προκαταρκτική έγκριση για χρηματοδότηση από το Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης ύψους 3,5 εκατομμυρίων λιρών.

Για την παραγωγή θερμότητας για τα κτίρια, το νερό εξάγεται με τη διάνοιξη γεωτρήσεων 300-400m σε ανθρακωρυχεία γεμάτα νερό υπόγεια, με πιλοτικές γεωτρήσεις να δημιουργούν επίσης βασικές πληροφορίες που θα τροφοδοτήσουν τον σχεδιασμό του κύριου σχεδίου. Οι γεωτρήσεις διανοίγονται μέχρι 400 m σε ορυχεία γεμάτα νερό

Στη συνέχεια, μια αντλία θερμότητας πηγής νερού εξάγει θερμότητα από το νερό του ορυχείου προτού ενισχυθεί σε υψηλότερη θερμοκρασία και διανεμηθεί στο δίκτυο θερμότητας.

Στο πλαίσιο του έργου, ένα ενεργειακό κέντρο και ένα αντλιοστάσιο πρόκειται σύντομα να τοποθετηθούν κοντά σε μια βιβλιοθήκη και μια αθλητική εγκατάσταση στο κέντρο της πόλης.



Εικόνα 21: Η περιοχή των εργασιών του Hebburn Colliery όπως φαίνεται από το διαδικτυακό διαδραστικό πρόγραμμα προβολής της Coal Authority. Η είσοδος του ανθρακωρυχείου βρίσκεται ακριβώς νότια του B1297

Αναμένεται να προσφέρει μείωση 319 τόνων εκπομπών άνθρακα ετησίως, γεγονός που θα το καταστήσει βασικό στοιχείο στην προσπάθειά για ουδέτερες εκπομπές άνθρακα έως το 2030. Το κρύο νερό θα επιστραφεί στις εργασίες του ορυχείου για αναθέρμανση και η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται τοπικά χρησιμοποιώντας ηλιακούς συλλέκτες και μια μονάδα συνδυασμένης θερμότητας και ισχύος θα χρησιμοποιηθεί για την τροφοδοσία του. Επιπρόσθετα θα συμβάλει στην ανταπόκριση των υποχρεώσεων της εταιρείας για την αναβάθμιση της ενεργειακής απόδοσης σπιτιών με φτωχά καύσιμα, καθώς θα χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση ενός από τα πολυώροφα οικιστικά συγκροτήματα της πόλης.

Η θερμότητα από τα εγκαταλελειμμένα ανθρακωρυχεία είναι μια καινοτόμος και πρακτική λύση σε μια από τις μεγάλες προκλήσεις που αντιμετωπίζει η οικονομία, την απαλλαγή από τις ανθρακούχες προμήθειες θερμότητας. Θα υπάρξουν και ευρύτερα οφέλη από αυτή τη βιώσιμη πηγή ενέργειας, καθώς θα προσελκύσει νέες επενδύσεις, θα δημιουργήσει θέσεις εργασίας και θα προσφέρει χαμηλότερους λογαριασμούς καυσίμων στα συστήματα τηλεθέρμανσης που θα κατασκευαστούν στα ανθρακωρυχεία (Coal Authority, 2020).

5.4 Ευφυής τεχνολογία εξόρυξης για ένα υπόγειο ορυχείο μετάλλων με βάση μη επανδρωμένο εξοπλισμό

Με την ταχεία οικονομική ανάπτυξη του κόσμου, η ζήτηση για ορυκτούς πόρους αυξάνεται. Έχει προβλεφθεί ότι το βάθος σε πάνω από το 33% των μεταλλωρυχείων στην Κίνα θα φτάσει ή θα υπερβεί τα 1000 m μέσα στην επόμενη δεκαετία, με αποτέλεσμα η βαθιά υπόγεια εξόρυξη να γίνει η τάση της εξόρυξης μετάλλων στην Κίνα. Για να ξεπεραστούν τα μειονεκτήματα των παραδοσιακών μεθόδων εξόρυξης, όπως η υπερβολική κατανάλωση πόρων, τα κακά περιβάλλοντα λειτουργίας, η χαμηλή απόδοση παραγωγής, οι υψηλοί κίνδυνοι ασφάλειας, το υψηλό κόστος παραγωγής και ρύπανσης, είναι απαραίτητο να αναπτυχθεί μια έξυπνη τεχνολογία εξόρυξης για υπόγεια ορυχεία μετάλλων που να παρέχει πλήρη ασφάλεια, προστασία του περιβάλλοντος και αποτελεσματικότητα. Κάποιες αναπτυγμένες χώρες έχουν κάνει πολύ δουλειά στον τομέα της ευφυής εξόρυξης για υπόγεια ορυχεία μετάλλων για πολλά χρόνια, και έτσι έχουν σημαντική εμπειρία στον τομέα αυτό. Στην αρχή του 21ου αιώνα, ο Καναδάς, η Φινλανδία, η Σουηδία και άλλες ανεπτυγμένες χώρες έκαναν σχέδια για έξυπνη και μη επανδρωμένη εξόρυξη. Το Stobie Mine, ένα υπόγειο ορυχείο που ανήκει στην International Nickel Company of Canada, αποτελεί ένα χαρακτηριστικό τέτοιο παράδειγμα αυτοματοποιημένου ορυχείου, όπου οι εργαζόμενοι μπορούν να χειριστούν τον εξοπλισμό απευθείας από το κεντρικό δωμάτιο ελέγχου στην επιφάνεια. Σύμφωνα με το μακροπρόθεσμο σχέδιο της Καναδικής κυβέρνησης για το 2050, ο Καναδάς σκοπεύει να μεταμορφώσει ένα από τα υπόγεια ορυχεία του στο βόρειο τμήμα της χώρας σε μη επανδρωμένο ορυχείο. Το σχέδιο αναφέρει ότι όλες οι συσκευές θα ελέγχονται από το Sudbury μέσω δορυφόρου προκειμένου να επιτευχθεί έξυπνη και μη επανδρωμένη εξόρυξη. Ένα άλλο έξυπνο πρόγραμμα εξόρυξης που καλύπτει 28 θέματα, συμπεριλαμβανομένου του ελέγχου της διαδικασίας εξόρυξης σε πραγματικό χρόνο, διαχείριση πόρων σε πραγματικό χρόνο, κατασκευή δικτύου πληροφοριών ορυχείων και εφαρμογή νέας τεχνολογίας και αυτόματου ελέγχου, διενεργήθηκε στη Φινλανδία. Η Σουηδία έχει αναπτύξει το Groundtechnik 2000 ένα στρατηγικό σχέδιο για την αυτοματοποίηση ορυχείων, και εταιρείες εξοπλισμού εξόρυξης, όπως η Atlas Copco αναπτύσσουν ενεργά μια σειρά εξοπλισμού για μη επανδρωμένα υπόγεια ορυχεία και σχετικά συστήματα ελέγχου που μπορούν να

χρησιμοποιηθούν για την εφαρμογή αυτού του στρατηγικού σχεδίου. Ένα από τα πιο διάσημα ινστιτούτα για τα μη επανδρωμένα οχήματα, η Επιστημονική Κοινοπολιτεία και Βιομηχανικός Οργανισμός Έρευνας της Αυστραλίας, καταβάλλει μεγάλες προσπάθειες για να επιτυγχάνουν την έξυπνη εξόρυξη υπόγειων ορυχείων, με ιδιαίτερη έμφαση στον μη επανδρωμένο έλεγχο διαφόρων τύπων εξοπλισμού.

Αν και αυτές οι ανεπτυγμένες χώρες έχουν ήδη επενδύσει σημαντικό ποσό χρόνου και χρήματος για τη μελέτη της ευφυούς εξόρυξης, μόνο μερικές σχετικές μελέτες έχουν διεξαχθεί στην Κίνα, ειδικά στον τομέα του ευφυούς εξοπλισμού και πλατφορμών. Προκειμένου να προωθήσει γρήγορα τις έξυπνες ικανότητές της στην εξόρυξη, η Κίνα υποστηρίζει πολλά έργα έξυπνης εξόρυξης, συμπεριλαμβανομένου του έργου βασικής τεχνολογίας και ανάπτυξης λογισμικού για την ψηφιακή εξόρυξη και της τοποθέτησης υψηλής ακρίβειας για τον υπόγειο μη επανδρωμένο εξοπλισμό εξόρυξης και το ευφύες μη επανδρωμένο Ερευνητικό πρόγραμμα *Scraper Model*. Ειδικότερα, κατά τη διάρκεια του 12ου Πενταετούς Προγράμματος δημιουργήθηκε ένα έργο με τίτλο «Ευφυής Τεχνολογία Εξόρυξης για Υπόγεια Μεταλλικά Ορυχεία», με σκοπό την προώθηση της έξυπνης τεχνολογίας εξόρυξης σε κάποιο βαθμό. Αυτό το άρθρο εισάγει πολλά ερευνητικά επιτεύγματα και τις εφαρμογές τους σε αυτό το έργο. Για παράδειγμα ο εξοπλισμός εξόρυξης χωρίς τροχιά, όπως *Jumbo* με γεωτρήσεις βράχου, *trypánia down-the-hole (DTH)*, υπόγεια scrapers, υπόγεια φορτηγά εξόρυξης και υπόγεια οχήματα φόρτισης αναπτύχθηκαν με χρήση ευφών τεχνολογιών. Έχουν εφαρμοστεί κατάλληλες τεχνικές επικοινωνίας, αισθητήρες, τεχνητή νοημοσύνη, εικονική πραγματικότητα, τεχνολογία πληροφοριών και τεχνολογία υπολογιστών για εξοπλισμό εξόρυξης και πλατφόρμες. Τα πειραματικά αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι ορισμένες από τις λειτουργίες του συστήματος είναι καινοτόμες και παρουσιάζουν καλή απόδοση (Li and Zhan, 2018).

5.4.1 Ευφυής εξόρυξη

Η εξόρυξη είναι μια από τις παλαιότερες βιομηχανίες στον κόσμο. Οι τεχνικές παραγωγής εξόρυξης πέρασαν από μια ταχεία αλλαγή από την τεχνητή παραγωγή, τη μηχανοποιημένη παραγωγή και την επιτόπια παραγωγή τηλεχειριστηρίου, στην έξυπνη και πλήρως αυτοματοποιημένη παραγωγή.

Για να προχωρήσει η μεταλλευτική βιομηχανία, έχουν αναπτυχθεί εργαλεία μηχανοποίησης, έχουν αυτοματοποιηθεί μεμονωμένα και ανεξάρτητα συστήματα και ολόκληρη η διαδικασία παραγωγής εξόρυξης έχει αυτοματοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό. Με την ενσωμάτωση της τεχνολογίας των πληροφοριών με την εκβιομηχάνιση της τεχνολογίας εξόρυξης, η ευφυής τεχνολογία εξόρυξης έχει αναπτυχθεί γρήγορα, με βάση τη μηχανοποιημένη και αυτοματοποιημένη εξόρυξη. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη σταδιακή αναβάθμιση των ευφών διαδικασιών στον εξοπλισμό εξόρυξης. Ο μη επανδρωμένος και κεντρικός εξοπλισμός εξόρυξης έχει μπει στο στάδιο της πρακτικής εφαρμογής, η οποία θα προωθήσει σημαντικά την αυτοματοποίηση και την τεχνολογία πληροφοριών που χρησιμοποιούνται στην εξόρυξη. Ολοκληρωμένη επικοινωνία, αισθητήρες, τεχνητή νοημοσύνη, εικονική πραγματικότητα, τεχνολογίες πληροφοριών, τεχνολογίες υπολογιστών, και μη επανδρωμένος εξοπλισμός ελέγχου συνδυάστηκαν προκειμένου να επιτύχουν ευφυείς τεχνολογίες εξόρυξης. Τέτοιες τεχνολογίες βασίζονται σε ακριβείς και αξιόπιστες αποφάσεις στη διαχείριση της διαδικασίας παραγωγής και της παρακολούθησης της παραγωγής σε πραγματικό χρόνο και επιτρέπουν τη διατήρηση της παραγωγής των ορυχείων στο βέλτιστο επίπεδο και οδηγούν σε βελτιωμένη απόδοση εξόρυξης και σε οικονομικά οφέλη. Με αυτόν τον τρόπο, μπορεί να επιτευχθεί μία πράσινη, ασφαλής και αποτελεσματική εξόρυξη.

Λαμβάνοντας ως παράδειγμα μια τυπική τεχνολογία εξόρυξης χωρίς ίχνη, η έξυπνη τεχνολογία εξόρυξης μπορεί να χωριστεί σε τρία επίπεδα, το επίπεδο ελέγχου, το επίπεδο μεταφοράς και το επίπεδο εκτέλεσης. Το εκτελεστικό στρώμα αποτελείται κυρίως από εξοπλισμό εξόρυξης χωρίς ίχνη, όπως Jumbo γεώτρησης βράχου, τρυπάνια DTH, υπόγεια scraper, υπόγεια φορητά εξόρυξης ή υπόγεια οχήματα φόρτισης. Το στρώμα μεταφοράς περιλαμβάνεται κυρίως από ένα σύστημα απόκτησης πληροφοριών, ένα σύστημα ασύρματης επικοινωνίας και ακριβής εντοπισμού θέσης και ένα έξυπνο σύστημα πλοήγησης. Το επίπεδο ελέγχου έχει σχεδιαστεί ως πλατφόρμα σε επίπεδο συστήματος, και είναι υπεύθυνο για τον έξυπνο προγραμματισμό της διαδικασίας εξόρυξης και ελέγχου. Αυτός είναι ο πυρήνας ολόκληρου του συστήματος, διότι μέσω αυτής της πλατφόρμας εφαρμόζονται όλες οι έξυπνες λειτουργίες και ιδέες ελέγχου που σχετίζονται με την εξόρυξη. Αρχικά, σχεδιάζεται ένα λογικό σχέδιο εξόρυξης

αναλύοντας τα αποθέματα των μεταλλευτικών πόρων και τις γεωλογικές συνθήκες σε συνδυασμό με το χρονοδιάγραμμα υπόγειας παραγωγής. Στη συνέχεια, αναπτύσσεται μια έξυπνη πλατφόρμα προγραμματισμού και ελέγχου. Οι οδηγίες ελέγχου για τον εξοπλισμό αποστέλλονται μέσω του στρώματος μεταφοράς σε ένα συγκεκριμένο τμήμα του εξοπλισμού προκειμένου να εκτελεστεί η εργασία εξόρυξης σε συγκεκριμένη θέση και ώρα. Στο πλαίσιο του επιπέδου εκτέλεσης, το επίπεδο ελέγχου συλλέγει τρέχουσες πληροφορίες για τη σήραγγα και βασικές πληροφορίες σχετικά με το όχημα σε πραγματικό χρόνο. Οι πληροφορίες αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της θέσης του εξοπλισμού ή του οχήματος, και προσαρμόζονται ανά πάσα στιγμή, έως ότου ολοκληρωθεί το στάδιο του σχεδίου εξόρυξης ολοκληρωθεί με επιτυχία (Li and Zhan, 2018).

5.4.2 Μη επανδρωμένος εξοπλισμός

Η έξυπνη τεχνολογία εξόρυξης χωρίς ίχνη βασίζεται στον έξυπνο μη επανδρωμένο εξοπλισμό στο εκτελεστικό στρώμα, όπως Jumbo γεωτρήσεων βράχου, τρυπάνια DTH, υπόγεια scrapers, υπόγεια φορητά εξόρυξης ή υπόγεια οχήματα φόρτισης. Οι λειτουργίες του ευφυούς και μη επανδρωμένου εξοπλισμού εξόρυξης διαφέρουν ανάλογα με τις διάφορες εργασίες που πρέπει να εκτελεί κάθε εξάρτημα (Li and Zhan, 2018).

5.4.2.1. Έξυπνο Jumbo διάτρησης βράχου

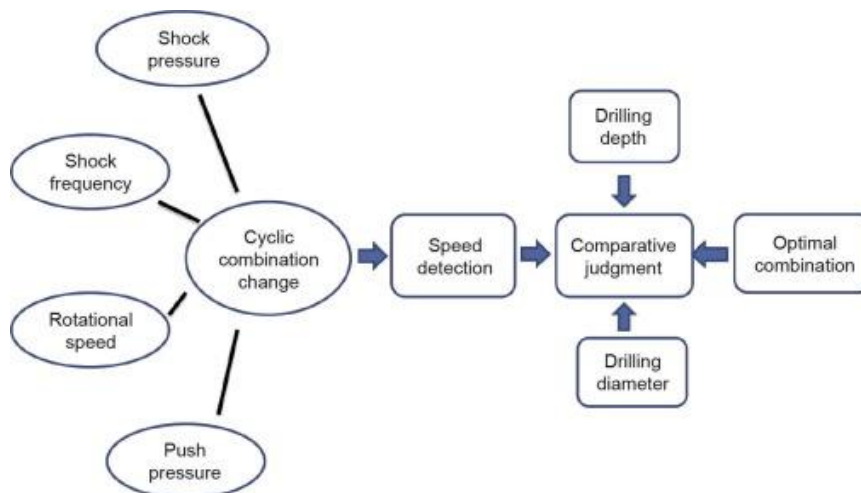
Η γεώτρηση βράχου είναι η βασική διαδικασία στην εξόρυξη και παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην παραγωγικότητα, το κόστος και την αποτελεσματικότητα. Οι διαφορετικές γεωλογικές συνθήκες απαιτούν διαφορετικές μεθόδους εξόρυξης και οι διαφορετικές μέθοδοι απαιτούν διαφορετικούς τύπους γεωτρήσεων βράχου. Ένα υδραυλικό Jumbo γεωτρήσεων βράχου χρειάζεται για διάτρηση οπών μεσαίου μήκους (δηλ. βάθος 20–30 m, διάμετρος 60–100 mm). Ένα έξυπνο και μη επανδρωμένο Jumbo γεωτρήσεων βράχου έχει σχεδιαστεί για να υποστηρίζει έξυπνη τεχνολογία εξόρυξης και αποτελεσματική πλήρης εργασία γεώτρησης. Η απομακρυσμένη λειτουργία και η οθόνη εικονικής πραγματικότητας είναι οι πρώτες βασικές τεχνολογίες που εφαρμόζονται στα μη επανδρωμένα υδραυλικά Jumbo γεωτρήσεων βράχου. Η εικόνα 22 δείχνει την αρχική μη επανδρωμένη πλατφόρμα ελέγχου για το Jumbo στην επιφάνεια. Το εικονικό πρωτότυπο σύστημα απεικόνισης, συμπεριλαμβανομένων των επιτόπιων σημάτων ήχου και

βίντεο, είναι καλά ενσωματωμένο για να αυξήσει την αίσθηση της βύθισης κατά την εκτέλεση της λειτουργίας τηλεχειρισμού.



Εικόνα 22: Πλατφόρμα τηλεχειρισμού στην επιφάνεια με επιτόπια σήματα ήχου και εικόνας

Επιπλέον, το Jumbo γεώτρησης βράχου ελέγχεται αυτόνομα και λειτουργεί στη σήραγγα υπό την καθοδήγηση ενός συστήματος εντοπισμού θέσης και πλοήγησης. Συντονίζοντας την τοποθέτηση συστήματος και το σύστημα ελέγχου υψομέτρου, το Jumbo μπορεί να επιτύχει αυτόνομη οδήγηση στην τοποθεσία από το επίπεδο αποστολής. Αυτό είναι ένα σημαντικό βήμα προς την επίτευξη συνεχούς λειτουργίας χωρίς παρεμβολές. Λαμβάνοντας υπόψη τις συντεταγμένες της θέσης διάτρησης-οπής στον τρισδιάστατο (3D) ψηφιακό χάρτη του ορυχείου, η αναγνώριση της κορυφής και του δαπέδου και η ακριβής τοποθέτηση του συστήματος γεωτρήσεων βράχου μπορεί να επιτευχθεί ανεξάρτητα. Αυτό παρέχει τη βάση για την μη επανδρωμένη λειτουργία. Το διάγραμμα ροής έξυπνου ελέγχου φαίνεται παρακάτω.



Διάγραμμα 7: Ευφύες διάγραμμα ροής ελέγχου υδραυλικής γεώτρησης

Οι παράμετροι γεώτρησης βράχου ρυθμίζονται ανεξάρτητα ανάλογα με τις συνθήκες του βράχου. Το έξυπνο Jumbo γεωτρήσεων βράχου είναι εξοπλισμένο με εξαρτήματα για έξυπνη αποτροπή μπλοκαρίσματος, απόκτηση χαρακτηριστικών βράχου και αντιστοίχιση συχνότητας, μια αυτόματη λειτουργία ράβδου και μία πλήρως αυτόματη τράπεζα σωλήνων διάτρησης. Οι παράμετροι εκτόξευσης οπών καθορίζονται ανεξάρτητα, σύμφωνα με το σύστημα προγραμματισμού δηλαδή χρησιμοποιούνται, προκειμένου να εξασφαλιστεί η συνεχής διάτρηση (Li and Zhan, 2018).



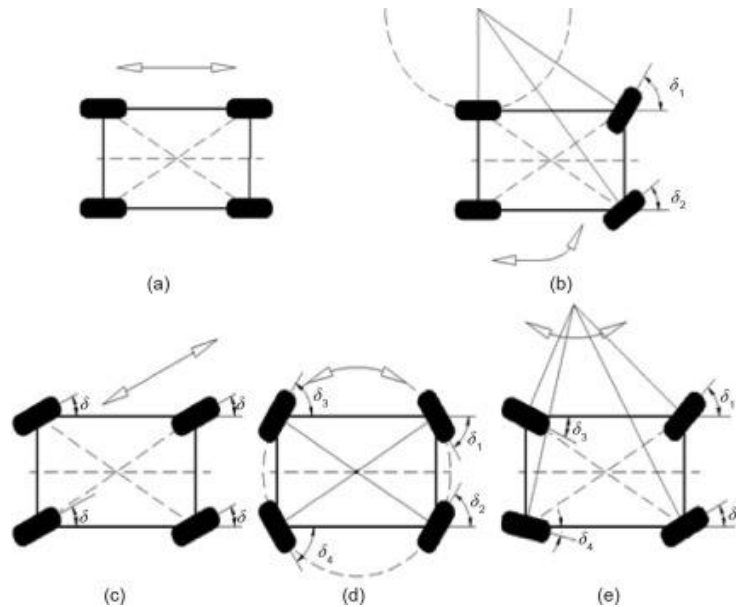
Εικόνα 23: Έξυπνο Jumbo γεωτρήσεων βράχου

5.4.2.2 Έξυπνο τρυπάνι DTH

Απαιτείται ένα τρυπάνι DTH όταν το Jumbo διάτρησης βράχου δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί, όπως σε ένα εξαιρετικά ψηλό τμήμα με βαθιά οπή μεγάλης γεώτρησης (δηλαδή, βάθος μεγαλύτερο από 30 m, διάμετρος /100–150 mm). Τα μειονεκτήματα του τρυπανιού DTH είναι η έλλειψη ασφάλειας, η δυσκολία στη λειτουργία σχεδιαστικών ζητημάτων, η ανεπαρκής αντιστοίχιση δομής και παραμέτρων και η διαρροή λαδιού. Τα υπάρχον τρυπάνι DTH έχει χαμηλό αυτοματισμό και είναι αναποτελεσματικό. Ως εκ τούτου, ένα έξυπνο μη επανδρωμένο τρυπάνι DTH σχεδιάστηκε για να υποστηρίξει την έξυπνη τεχνολογία εξόρυξης.

Τα πρώτα χαρακτηριστικά που εφαρμόστηκαν στο νέο τρυπάνι DTH ήταν η έξυπνη αυτόνομη οδήγηση και η λειτουργία τοποθέτησης οπών. Σαν ένα έξυπνο Jumbo με γεωτρήσεις βράχου, ένα έξυπνο DTH πρέπει να μπορεί να ανοίγει τρύπες σε προκαθορισμένη θέση σύμφωνα με τις απαιτήσεις του σχεδίου εξόρυξης. Απαιτείται λειτουργία αυτόνομης οδήγησης όταν ο εξοπλισμός βρίσκεται σε λειτουργία γεώτρησης. Η δομή ενός τετράτροχου ανεξάρτητου συστήματος διεύθυνσης φαίνεται στην εικόνα 24, αυτό το σύστημα αναπτύχθηκε

και εφαρμόστηκε στη νέα μηχανή γεώτρησης DTH για να εξασφαλιστεί ελεύθερη στροφή σε στενό χώρο. Η δομή ενός ανεξάρτητου συστήματος διεύθυνσης τεσσάρων τροχών περιλαμβάνεται από: (a) Ευθεία οδήγηση, (b) οδήγηση με τους μπροστινούς τροχούς, (c) λοξή οδήγηση, (d) κίνηση με στροφή σε σημείο, (e) κίνηση με τέσσερις τροχούς, όπου: δ : η γωνία των τεσσάρων τροχών, δ_1 και δ_2 : οι γωνίες των εμπρόσθιων τροχών, δ_3 και δ_4 : οι γωνίες των οπίσθιων τροχών.



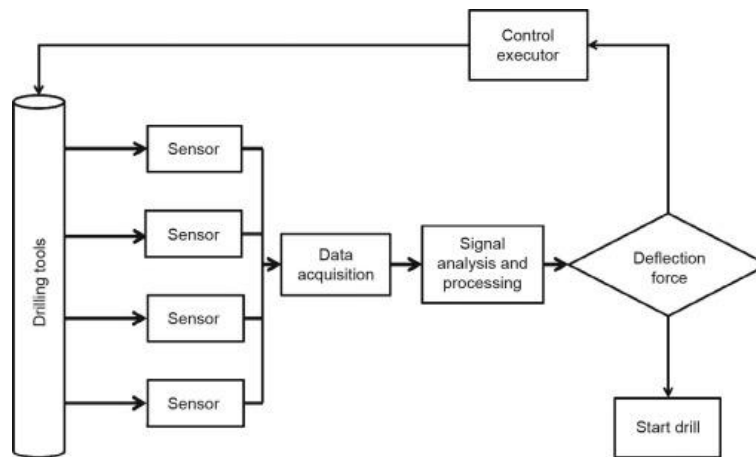
Εικόνα 24: Η δομή ενός ανεξάρτητου συστήματος διεύθυνσης τεσσάρων τροχών

Ένα άλλο χαρακτηριστικό που έπρεπε να εφαρμοστεί ήταν η αυτόματη αντιστοίχιση στις παραμέτρους γεώτρησης βράχου με έξυπνη τεχνολογία ελέγχου. Η επίδραση των παραμέτρων εργασίας στην απόδοση της γεώτρησης αναλύεται αξιολογώντας παραμέτρους διάτρησης όπως η αξονική ώθηση, η περιστροφική ταχύτητα, η περιστροφική ροπή, η πίεση κρούσης, η συχνότητα κρούσης, και η πίεση διάτρησης βράχου. Ένα θεωρητικό μοντέλο υπολογισμού ή εμπειρικός τύπος βγήκε ως αποτέλεσμα για κάθε επιλογή παραμέτρου και καθορίστηκαν οι βασικές παράμετροι που επηρεάζουν την απόδοση της γεώτρησης. Οι βέλτιστες παράμετροι διάτρησης για τη μέθοδο αντιστοίχισης ήταν επιλεγμένες, συμπεριλαμβανομένης της πίεσης αέρα, του όγκου αερίου και της δύναμης πρόωσης. Η απόδοση της γεώτρησης στη συνέχεια βελτιστοποιήθηκε με έξυπνο έλεγχο με τις παραμέτρους λειτουργίας.

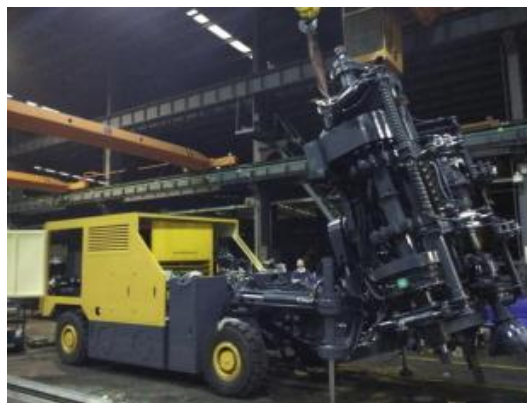
Το τρίτο χαρακτηριστικό ήταν η τεχνολογία ελέγχου κατά των αποκλίσεων, καθώς φαίνεται στο διάγραμμα 8. Η ανατίναξη μπορεί να επηρεαστεί άμεσα από πολλούς παράγοντες, όπως η ακρίβεια τοποθέτησης του σημείου διάτρησης, το βάθος της

τρύπας και την απόκλιση της τρύπας. Ένα έξυπνο τρυπάνι DTH πρέπει να μπορεί να ελέγχει τον σωλήνα διάτρησης σε πραγματικό χρόνο για να αποφευχθούν μεγάλα σφάλματα που θα επηρεάσουν την επακόλουθη ανατίναξη.

Τα τελικά χαρακτηριστικά ήταν η αποθήκευση πολλαπλών σωλήνων διάτρησης, η αυτόματη τεχνολογία ράβδου διαλογής και η τεχνολογία ράβδων αντίστασης κατά του μπλοκαρίσματος. Η εικόνα 25 δείχνει τη λειτουργία μιας έξυπνης μηχανής γεώτρησης DTH. Τα χαρακτηριστικά του τρυπανιού DTH καθορίζουν ότι εάν η τρύπα έχει βάθος 60 m, τότε χρειάζονται τουλάχιστον 40 σωλήνες γεώτρησης κάθε φορά. Ως εκ τούτου, οι τεχνολογίες αποθήκευσης πολλαπλών σωλήνων διάτρησης και αυτόματης αλληλουχίας ράβδων τροφοδοσίας σχεδιάστηκαν προκειμένου να βελτιωθεί η λειτουργική αποτελεσματικότητα του εξοπλισμού. Με την ανάλυση του μηχανισμού της ράβδου διάτρησης, οι παράμετροι της λειτουργίας ελέγχου της ράβδου διάτρησης DTH μπορούν να καθοριστούν προκειμένου να αποφευχθεί το μπλοκάρισμα της ράβδου κατά τη διάρκεια της αυτόματης διαδικασίας ταξινόμησης (Li and Zhan, 2018).



Διάγραμμα 8: Διάγραμμα ροής ελέγχου κατά της απόκλισης της ράβδου γεώτρησης



Εικόνα 25: Λειτουργία της έξυπνης μηχανής διάτρησης DTH

5.4.2.3 Έξυπνο υπόγειο scraper

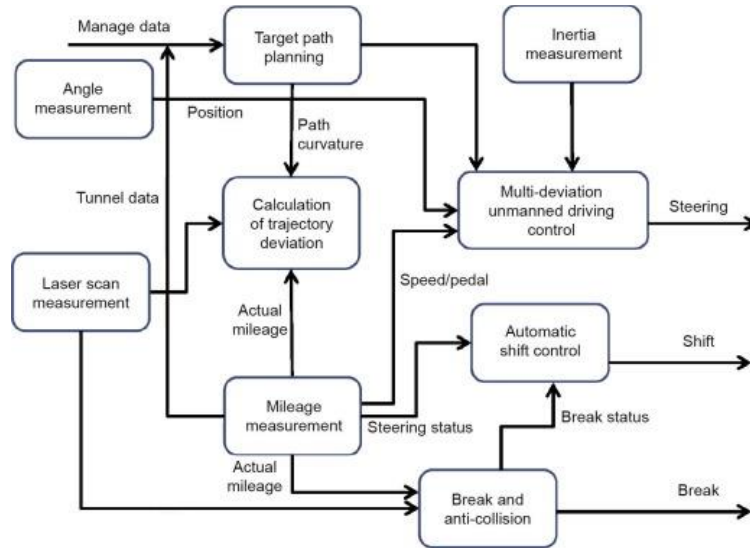
Από την πρώτη επιτυχημένη δοκιμή του scraper ST-5 από τον Wagner στη δεκαετία του 1960, τα scraper έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στην υπόγεια εξόρυξη λόγω της υψηλής απόδοσης, της ευελιξίας και της ικανότητας ελιγμών τους, αλλά και του χαμηλού κόστους. Με την ταχεία ανάπτυξη της ηλεκτρονικής και της τεχνολογίας πληροφοριών, έχουν αναπτυχθεί γρήγορα οι έξυπνες τεχνολογίες ελέγχου για τα υπόγεια scraper. Η λειτουργία του υπόγειου scraper έχει αλλάξει σταδιακά από χειροκίνητη σε τηλεκατευθυνόμενη. Προς το παρόν, είναι γνωστό ως η τέταρτη γενιά αυτόνομου scraper.

Το κύριο καθήκον ενός scraper είναι η επαναλαμβανόμενη μεταφορά μεταλλεύματος μεταξύ του σημείου φόρτωσης και του σημείου απόρριψης. Επομένως, το πρώτο καθήκον ενός έξυπνου scraper είναι να επιτύχει μη επανδρωμένη οδήγηση κατά τη μεταφορά του μεταλλεύματος. Η αναγνώριση του περιβάλλοντος της σήραγγας επιτυγχάνεται από έναν αισθητήρα φόρτωσης του σώματος και χρησιμοποιείται ένα σύστημα εντοπισμού θέσης και πλοήγησης για να βοηθήσει στη λειτουργία των scrapers. Το διάγραμμα 9 δείχνει τον αλγόριθμο οδήγησης ενός μη επανδρωμένου scraper.

Ένα άλλο τυπικό έργο ενός scraper είναι το φτυάρι του μεταλλεύματος, το οποίο μπορεί να περιλαμβάνει αυτόματη ζύγιση. Ο κύριος σκοπός της αυτόματης ζύγισης είναι να ληφθούν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και αυτόματα στατιστικά στοιχεία για το μέταλλευμα. Η τεχνολογία αυτόματης ζύγισης μπορεί να λάβει στατιστικά στοιχεία για την αναφορά τάξης, την ημερήσια αναφορά και τη μηνιαία αναφορά και μπορεί να μεταφέρει αυτά τα δεδομένα στο κεντρικό δωμάτιο ελέγχου μέσω του δικτύου επικοινωνίας. Μπορεί επίσης να επιτρέψει στους διαχειριστές να κατανοήσουν την κατάσταση της υπόγειας παραγωγής σε πραγματικό χρόνο.

Ένα έξυπνο υπόγειο scraper μπορεί αυτόματα να οδηγηθεί σε προκαθορισμένο σταθερό σημείο για την απόρριψη μεταλλεύματος, βασισμένο στο σύστημα εντοπισμού θέσης, στο σύστημα πλοήγησης και στο σύστημα ασύρματης επικοινωνίας αφού η οδηγία αποστολής έχει δώσει ένα συγκεκριμένο σημείο απόρριψης. Αυτή είναι η βάση για συνεχής μη επανδρωμένη εξόρυξη με scraper.

Ένα έξυπνο υπόγειο scraper δεν λειτουργεί εντός της οπτικής γωνίας του χειριστή του και οι πληροφορίες αποτυχίας δεν μπορούν να παρατηρούνται σε πραγματικό χρόνο. Ως εκ τούτου, πρέπει να μπορεί να εκτελεί με ένα έξυπνο τρόπο χρησιμοποιώντας τη λειτουργία διάγνωσης βλαβών. Το όχημα θα πρέπει να μπορεί να ακολουθεί τις οδηγίες τηλεχειρισμού από την επιφάνεια έτσι ώστε το scraper να μπορεί να ελεγχθεί ανά πάσα στιγμή. Η εικόνα 26 δείχνει τον έξυπνο υπόγειο scraper και την πλατφόρμα τηλεχειρισμού (Li and Zhan, 2018).



Διάγραμμα 9: Ο αλγόριθμος οδήγησης ενός μη επανδρωμένου scraper



Εικόνα 26: Ένα έξυπνο υπόγειο scraper και η πλατφόρμα τηλεχειρισμού του στην επιφάνεια

5.4.2.4 Έξυπνο υπόγειο φορτηγό εξόρυξης

Ένα υπόγειο φορτηγό εξόρυξης είναι το κύριο όχημα μεταφοράς για υπόγεια εξόρυξη χωρίς τροχιές και έχει τα πλεονεκτήματα της κινητικότητας, της ευελιξίας, της υψηλής απόδοσης και της οικονομίας. Τα φορτηγά εξόρυξης έχουν

χρησιμοποιηθεί ευρέως για τη μεταφορά μεταλλεύματος σε υπόγεια ορυχεία. Η χρήση του υπόγειου φορτηγού εξόρυξης μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την παραγωγική ικανότητα και την παραγωγικότητα της εργασίας, να αυξήσει την κλίμακα παραγωγής, και να βελτιώσει τη τεχνολογία εξόρυξης και το σύστημα μεταφορών. Για την εξοικονόμηση ενέργειας και την προστασία του περιβάλλοντος, ένα υπόγειο φορτηγό εξόρυξης μετάδοσης διπλής ισχύος, μπορεί να λάβει ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας μια γεννήτρια κίνησης κινητήρα diesel. Μπορεί επίσης να αποκτήσει ηλεκτρική ενέργεια από το σύστημα πλαισίου μέσω ενός συλλέκτη τόξου. Το όχημα έχει δύο συστήματα πέδησης, ηλεκτρικά και μηχανικά, που βοηθούν στη βελτίωση του βαθμού πράσινης εξόρυξης και την προστασία του περιβάλλοντος.

Ένα σύστημα ελέγχου οχήματος συνδυάζει τις περιβαλλοντικές πληροφορίες που συλλέγεται από διάφορους τύπους αισθητήρων. Ο αλγόριθμος εκμάθησης χρησιμοποιεί την κατάσταση του οχήματος που αποκτάται από τον αρθρωτό αισθητήρα γωνίας για τον υπολογισμό της εξόδου στόχου και τον έλεγχο της κίνησης του ενεργοποιητή. Η εικόνα 27 δείχνει την κατανομή των αισθητήρων για μία μη επανδρωμένη οδήγηση. Το σύστημα δεν χρειάζεται τις απόλυτες συντεταγμένες του οχήματος.

Το πρώτο φορτηγό εξόρυξης μετάδοσης διπλής ισχύος για χρήση σχεδιάστηκε για ένα υπόγειο ορυχείο στην Κίνα, για πλήρες φορτίο 35 τόνων, ταχύτητα 25 kmh^{-1} , και μέγιστη κλίση αναρρίχησης 21,8%, όπως φαίνεται στην εικόνα 28. Εκτός από τη λειτουργία μη επανδρωμένης οδήγησης, το φορτηγό είναι ικανό για ανίχνευση του χώρου του οχήματος και έξυπνη βοηθητική οδήγηση. Διαθέτει επίσης λειτουργία τηλεχειρισμού. Η ταχύτητα αυτόνομης λειτουργίας πλήρους φόρτισης είναι μεγαλύτερη από 10 kmh^{-1} (Li and Zhan, 2018).



Εικόνα 27: Κατανομή των αισθητήρων για μη επανδρωμένη οδήγηση



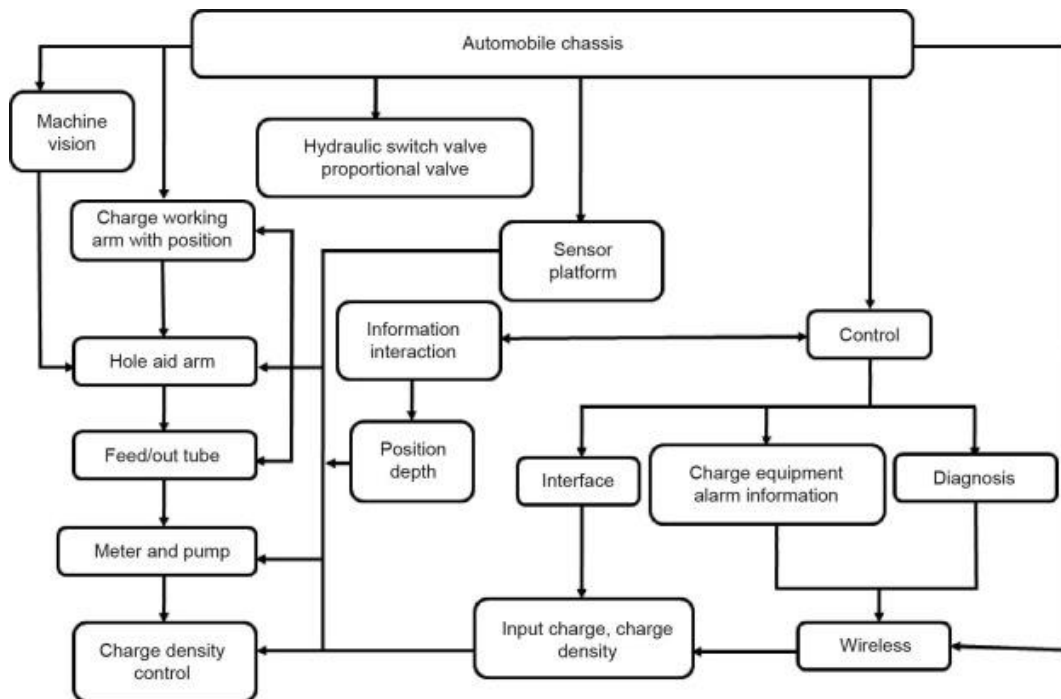
Εικόνα 28: Ένα έξυπνο φορτηγό υπόγειας εξόρυξης

5.4.2.5 Ευφρές υπόγειο όχημα φόρτισης

Στην υπόγεια εξόρυξη, οι τέσσερις κύριες διαδικασίες είναι η γεώτρηση, οι ανατινάξεις, η φόρτωση και η μεταφορά. Όπως ένα όχημα φόρτισης είναι απαραίτητο για την ανατίναξη, έτσι είναι πολύ σημαντική η ανάπτυξη αυτόματης λειτουργίας για φόρτιση οχήματος. Ένα υπόγειο όχημα φόρτισης είναι ένα ολοκληρωμένο μηχανολογικό και ηλεκτρολογικό προϊόν που αποδίδει μεταφορά πρώτων υλών, ανάμειξη εκρηκτικών και πλήρωση οπών. Μάλιστα διαθέτει τα χαρακτηριστικά μιας συμπαγούς δομής, με υψηλό βαθμό αυτοματισμού και ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών.

Ένα έξυπνο σύστημα φόρτισης οχήματος φαίνεται στο διάγραμμα 10. Η ταχύτητα τυλίγματος σωλήνα, η ταχύτητα τροφοδοσίας σωλήνα και η ταχύτητα φόρτισης μπορεί να ελέγχονται ψηφιακά και οι ταχύτητες περιτύλιξης και τροφοδοσίας αντιστοιχίζονται αυτόματα με την ταχύτητα φόρτισης και τη διάμετρο της οπής. Επιτυγχάνεται μια πλήρως συνδεδεμένη φόρτιση για να βελτιωθεί το αποτέλεσμα της ανατίναξης. Ένα σύστημα προστασίας ασφαλείας εκτελεί διαδικτυακή

παρακολούθηση και διάγνωση βλαβών του συστήματος φόρτισης. Με την χρήση ενός έξυπνου συστήματος προγραμματισμού στην επιφάνεια επιτυγχάνεται απομακρυσμένη διάγνωση βλαβών, απομακρυσμένος προγραμματισμός, απομακρυσμένη διαχείριση και μεταφόρτωση, καθώς και παράδοση των εργασιών παραγωγής και των δεδομένων.



Διάγραμμα 10: Σχεδιασμός ενός έξυπνου συστήματος φόρτισης οχημάτων

Ένα όχημα φόρτισης χρησιμοποιεί ασύρματη και έξυπνη τεχνολογία ελέγχου για να επιτύχει τηλεχειρισμό και έξυπνη αναζήτηση οπών. Η έναρξη και η διακοπή ενός συστήματος φόρτισης, οι βασικές παράμετροι διαδικασίας, η θερμοκρασία, η πίεση και η ροή εμφανίζονται στο τηλεχειριστήριο. Το αυτόματο σύστημα τροφοδοσίας και τύλιξης, η αυτόματη παράδοση, η φόρτιση βάθους οπής και η φόρτιση μιας οπής κατά την παράδοση του αγωγού έχουν σχεδιαστεί για να υποστηρίζουν την έξυπνη φόρτιση.

Για το όχημα χρησιμοποιείται ασύρματη τεχνολογία τηλεχειρισμού, και απομακρυσμένη λειτουργία και μία πλήρης μη επανδρωμένη οδήγηση μπορεί να επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας ένα σύστημα εντοπισμού θέσης και πλοήγησης και ένα ασύρματο σύστημα επικοινωνίας. Οι συντεταγμένες μπορούν να γίνουν δεκτές από ένα σύστημα προγραμματισμού και το όχημα μπορεί στη συνέχεια να οδηγείται αυτόνομα στο καθορισμένο σημείο θέσης της τρύπας και να

ολοκληρώνει την φόρτιση του. Η εικόνα 29 δείχνει τη λειτουργία ενός οχήματος φόρτισης σε σήραγγα (Li and Zhan, 2018).



Εικόνα 29: Ένα έξυπνο υπόγειο όχημα φόρτισης

5.4.3 Βασικές πλατφόρμες συστημάτων

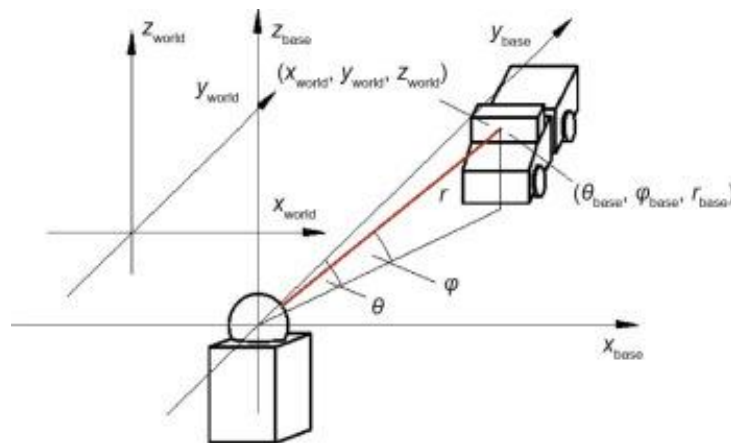
5.4.3.1 Πλατφόρμα εντοπισμού θέσης και πλοήγησης

Η πλατφόρμα εντοπισμού θέσης και πλοήγησης αποτελείται από ένα ακριβές σύστημα εντοπισμού θέσης και ένα έξυπνο σύστημα πλοήγησης. Το ακριβές σύστημα εντοπισμού θέσης μπορεί να παρέχει πληροφορίες για τη θέση και το υψόμετρο για το υπόγειο όχημα εξόρυξης. Το σύστημα πλοήγησης αποτελείται από δύο βασικές ενότητες, μία για τον σχεδιασμό διαδρομής και μία για τη παρακολούθηση διαδρομής. Η ενότητα σχεδιασμού διαδρομής βοηθά στην εύρεση της διαδρομής πλοήγησης του οχήματος ορυχείου σύμφωνα με τις οδηγίες και η μονάδα παρακολούθησης διαδρομής βοηθά στην αυτόματη μετακίνηση του οχήματος στη θέση στόχο κατά μήκος του μονοπατιού που σχεδιάστηκε.

Λαμβάνοντας ένα σημείο και μια ευθεία ως βασική γεωμετρική παράσταση, κατασκευάστηκε δισδιάστατος (2D) χάρτης πλοήγησης και με την ακριβή σχεδίαση του υπόγειου χάρτη και τη λεπτομερή ενσωμάτωση του, επιτεύχθηκαν οι πληροφορίες πλοήγησης. Αυτό παρέχει μία βασική πλατφόρμα χαρτών για ακριβή εντοπισμό θέσης και έξυπνη πλοήγηση του εξοπλισμού εξόρυξης.

Οι πληροφορίες ελήφθησαν με συνδυασμό δεδομένων τοποθέτησης λέιζερ με βοηθητικά δεδομένα τοποθέτησης εξαιρετικά ευρείας ζώνης (UWB), όπως φαίνεται στην εικόνα 30. Το σύστημα εντοπισμού θέσης αποτελείται από ένα υψηλής ακρίβειας σύστημα σταθμού βάσης τοποθέτησης λέιζερ, ένα σύστημα μηχανικής όρασης οχήματος και ασύρματη τεχνολογία εντοπισμού θέσης UWB. Η

ακρίβεια της τοποθέτησης μπορεί να φτάσει έως και 100 mm. Μια λογική και ομαλή διαδρομή προγραμματισμού μπορεί να αναζητηθεί στον ηλεκτρονικό χάρτη χρησιμοποιώντας την ενότητα σχεδιασμού διαδρομής, με βάση το εύρος της πρώτης αναζήτησης, τη διχοτομία και τη μέθοδο συμμετρικής πολυωνυμικής καμπύλης. Το σύστημα υβριδικής αρχιτεκτονικής και έλεγχου ανάκλασης σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιήθηκαν για την επίτευξη ακριβούς παρακολούθησης της διαδρομής σχεδιασμού χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες θέσης. Στην εικόνα 30 παρατηρούνται οι πληροφορίες εντοπισμού θέσης που λαμβάνονται από το σύστημα λέιζερ και το σύστημα UWB. Συγκεκριμένα: x_{world} - y_{world} - z_{world} είναι το παγκόσμιο σύστημα συντεταγμένων, x_{base} - y_{base} - z_{base} είναι το τοπικό σύστημα συντεταγμένων, h είναι η γωνία κλίσης και u είναι η γωνία κύλισης, r είναι η απόσταση μεταξύ του λέιζερ και του εξοπλισμού και $(h_{base}, u_{base}, r_{base})$ είναι η θέση του εξοπλισμού στο σύστημα συντεταγμένων x_{base} - y_{base} - z_{base} (Li and Zhan, 2018).



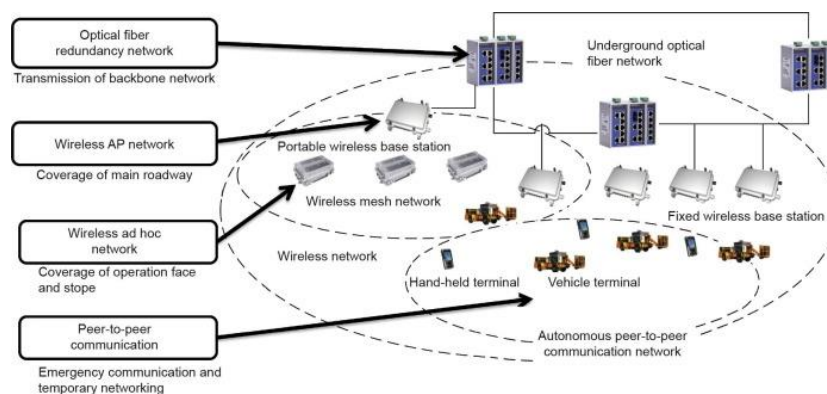
Εικόνα 30: Πληροφορίες εντοπισμού θέσης που λαμβάνονται από το σύστημα λέιζερ και το σύστημα UWB

5.4.3.2 Πλατφόρμα απόκτησης πληροφορίας και επικοινωνίας

Η κύρια λειτουργία της πλατφόρμας απόκτησης πληροφοριών και επικοινωνίας είναι η απόκτηση έξυπνων δεδομένων εξόρυξης. Ο υπόγειος ευφυής εξοπλισμός, το σύστημα προγραμματισμού και έλεγχου, το σύστημα απόκτησης πληροφοριών και σύστημα επικοινωνίας δεδομένων συνεργάζονται χρησιμοποιώντας το ίδιο πρωτόκολλο επικοινωνίας μέσα στο πλαίσιο της ευφυούς τεχνολογίας εξόρυξης, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 11. Έτσι, η επεκτασιμότητα, η επαναχρησιμοποίηση και η τυποποίηση του έχει επιτευχθεί με την έξυπνη τεχνολογία εξόρυξης.

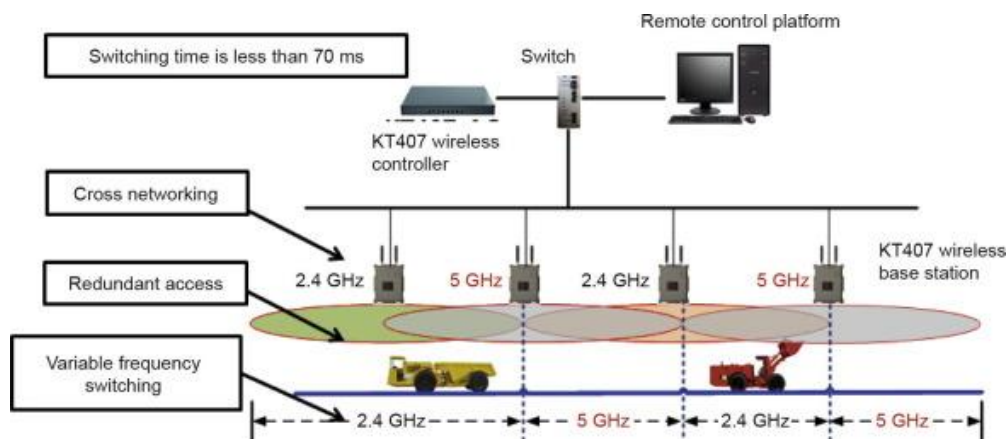
Ανεξάρτητος των υπόγειων λειτουργιών, γεωγραφικά διασκορπισμένοι αισθητήρες, εξοπλισμός χωρίς τροχιά, εξοπλισμός παραγωγής και τοπικά συστήματα ελέγχου συνδυάζονται για να αποτελέσουν τη βάση της έξυπνης τεχνολογίας εξόρυξης για ένα υπόγειο ορυχείο μετάλλων.

Οι βασικές λειτουργίες παρέχονται από μία υπόγεια συσκευή συλλογής και ελέγχου πληροφοριών. Η σε πραγματικό χρόνο υψηλή απόκτηση ακριβείας και η ταχεία αξιόπιστη μετάδοση αναλογικών, ψηφιακών συχνοτήτων και συχνοτήτων βίντεο και ήχου επιτυγχάνονται με τη χρήση ενός ενσωματωμένου επεξεργαστή υψηλής συχνότητας και κατανεμημένη αρχιτεκτονική, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 11. Η αρχιτεκτονική μπορεί να διαμορφωθεί με διάφορα κομμάτια υπόγειου εξοπλισμού, όπως με ένα ψηφιακό σύστημα ορυχείων, ένα σύστημα παραγωγής εξόρυξης και ένα σύστημα περιβαλλοντικής παρακολούθησης, και οι πληροφορίες μπορούν να μεταφορτωθούν αποτελεσματικά. Ένα μη διαφορικό κανάλι μετάδοσης δεδομένων δημιουργείται μεταξύ του εξοπλισμού και το σύστημα επικοινωνίας που χρησιμοποιεί CAN, RS485, Ethernet και άλλες μέθοδοι μετάδοσης δεδομένων. Μια πολυεπίπεδη σύνθετη αρχιτεκτονική δικτύου που βασίζεται σε κατανεμημένη τεχνολογία επιτρέπει την επίτευξη απρόσκοπτης περιαγωγής και πλεονάζοντος τεχνολογίας μετάδοσης μεταξύ των σταθμών βάσης κατά τη διάρκεια της κίνησης του υπόγειου οχήματος. Το υπόγειο ασύρματο δίκτυο δεν έχει κάλυψη τυφλής περιοχής και έχει ποσοστό υψηλής μετάδοσης και πολύ αξιόπιστη επικοινωνία. Αυτό το δίκτυο παρέχει γρήγορη, αποτελεσματική και αξιόπιστη πλατφόρμα υποστήριξης δεδομένων για την απομακρυσμένη λειτουργία εξορυκτικού εξοπλισμού.



Διάγραμμα 11: Αρχιτεκτονική ενός υπόγειου ασύρματου συστήματος επικοινωνίας. AP: σημείο πρόσβασης

Η γρήγορη εναλλαγή κινητής υπόγειας ασύρματης επικοινωνίας των ακροδεκτών είναι πολύ σημαντική, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 12. Η πολλαπλών συχνοτήτων δια-δικτύωση χρησιμοποιήθηκε για να ξεπεραστεί το πρόβλημα της διακοπής της επικοινωνίας για υπόγειο εξοπλισμό σε κίνηση. Επίσης επιτεύχθηκε η απρόσκοπτη φορητή παράδοση της διαδικασίας λειτουργίας του έξυπνου εξοπλισμού. Το σύστημα επικοινωνίας ξεπέρασε το σημείο συμφόρησης του ρυθμού επικοινωνίας των παραδοσιακών ασύρματων συσκευών και πέτυχε ρυθμό ασύρματης σύνδεσης έως και 600 Mbits^{-1} χρησιμοποιώντας τεχνολογία 802,11n. Η αυτόματη αναγνώριση, ταξινόμηση, και μετάδοση δεδομένων υπόγειο ευφυούς εξοπλισμού υποστηρίχθηκαν πλήρως. Προβλέφθηκε έτσι μια σταθερή πλατφόρμα επικοινωνίας δικτύου για την απομακρυσμένη λειτουργία και αυτόνομη λειτουργία του εξοπλισμού (Li and Zhan, 2018).

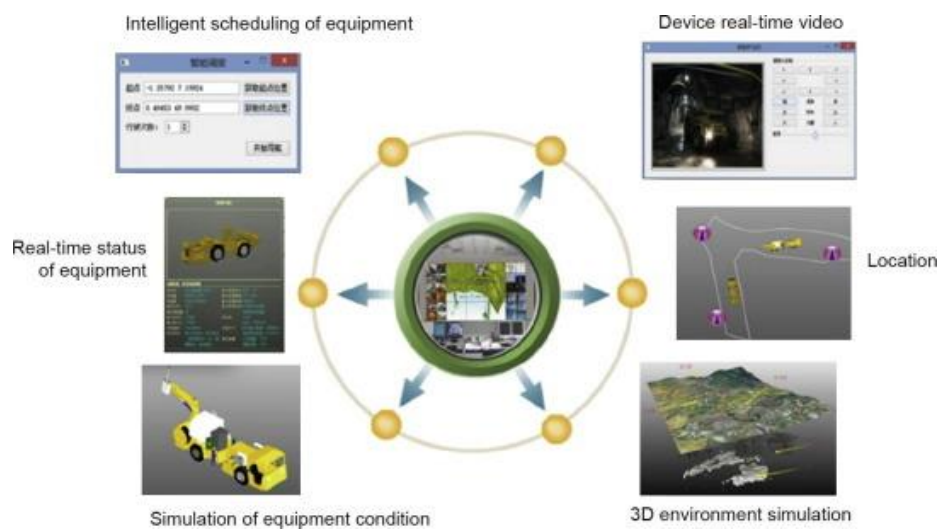


Διάγραμμα 12: Γρήγορη κινητή εναλλαγή υπόγειων τερματικών σταθμών ασύρματης επικοινωνίας

5.4.3.3 Πλατφόρμα προγραμματισμού και ελέγχου

Το ευφρές σύστημα προγραμματισμού και ελέγχου παίζει σημαντικό ρόλο στην απόδοση της εξόρυξης. Η έξυπνη πλατφόρμα λογισμικού και το κέντρο διαχείρισης είναι βασικά χαρακτηριστικά ενός ευφυούς συστήματος εξόρυξης. Με βάση την πραγματική ζήτηση υπόγειων μετάλλων, τον προγραμματισμό της παραγωγής ορυχείων και τον έλεγχο της διαδικασίας, η έξυπνη αποστολή ενός υπόγειου μεταλλείου με βάση μια αποθήκη δεδομένων επιτεύχθηκε με την εφαρμογή βασικών τεχνολογιών, όπως η οργάνωση και διαχείριση δεδομένων πολλαπλών πηγών, η τρισδιάστατη απεικόνιση των πόρων και του περιβάλλοντος εξόρυξης, η δυναμική προσομοίωση διαδικασιών παραγωγής και τα ευφυή συστήματα αποστολής και ελέγχου.

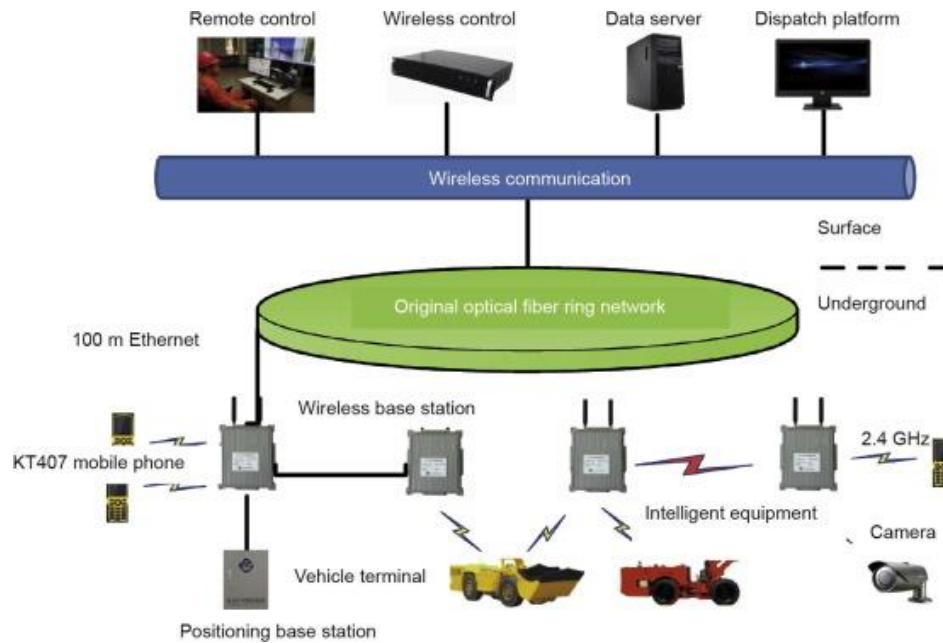
Το σύστημα προγραμματισμού και ελέγχου εκτελεί επίσης τις λειτουργίες οργάνωσης και διαχείρισης δεδομένων ορυχείων, μοντελοποίηση και ενημέρωση πόρων, τον προσδιορισμό του περιβάλλοντος εξόρυξης, την αυτόματη παραγωγή του σχεδίου εξόρυξης και την έξυπνη αποστολή της διαδικασίας παραγωγής. Η πλατφόρμα μπορεί να παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη τρισδιάστατη προσομοίωση περιβάλλοντος, τη προσομοίωση της κατάστασης του εξοπλισμού, την κατάσταση του εξοπλισμού σε πραγματικό χρόνο, τον έξυπνο προγραμματισμό του εξοπλισμού, τη συσκευή βίντεο σε πραγματικό χρόνο και τοποθεσία. Μία ολοκληρωμένη ευφυής πλατφόρμα προγραμματισμού και ελέγχου για έξυπνη εξόρυξη είναι εφικτή με την χρήση αυτού του συστήματος, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 13 (Li and Zhan, 2018).



Διάγραμμα 13: Διάγραμμα της πλατφόρμας ευφυούς προγραμματισμού και ελέγχου

5.4.4 Παράδειγμα έξυπνου συστήματος εξόρυξης στην Κίνα

Ένα έξυπνο σύστημα εξόρυξης κατασκευάστηκε στο μεσαίο τμήμα του ορυχείου μολύβδου-ψευδαργύρου Fankou στην Κίνα. Στο συγκεκριμένο ορυχείο δοκιμάστηκαν ο κεντρικός έλεγχος, η υψηλή ταχύτητα επικοινωνίας, η αυτόνομη οδήγηση και οι έξυπνες λειτουργίες ενός υπόγειου scrap, ενός φορητού εξόρυξης, ενός Jumbo γεώτρησης βράχου και ένα τρυπάνι DTH. Το διάγραμμα πλαισίου φαίνεται στο διάγραμμα 14.



Διάγραμμα 14: Πλαίσιο δοκιμής ενός ευφυούς συστήματος εξόρυξης σε υπόγειο μεταλλευτικό ορυχείο

Τα αποτελέσματα βιομηχανικών δοκιμών πεδίου δείχνουν ότι η ολοκληρωμένη τεχνολογία της υπόγειας ευφυούς εξόρυξης που βασίζεται σε μη επανδρωμένο εξοπλισμό είναι πολύ χρήσιμη. Ο έξυπνος έλεγχος του συστήματος λειτουργεί σταθερά και μπορεί να επιτύχει την απομακρυσμένη παρακολούθηση και τη σύγχρονη τρισδιάστατη απεικόνιση λειτουργίας του εξοπλισμού της γεώτρησης. Το σύστημα εντοπισμού θέσης και πλοήγησης έχει δυνατότητα πλοήγησης στο υπόγειο περιβάλλον και τη λειτουργία του εξοπλισμού. Ο σχεδιασμός διαδρομής είναι λογικός και η παρακολούθηση θέσης του εξοπλισμού επιτεύχθηκε με ακρίβεια 100 mm. Η απόδοση του συστήματος συλλογής πληροφοριών και επικοινωνίας ήταν εξαιρετική. Το έξυπνο υπόγειο scraper είχε πολλούς τρόπους λειτουργίας συμπεριλαμβανομένης της αυτόνομης, απομακρυσμένης και χειροκίνητης οδήγησης και μεταφοράς των λειτουργιών της εκφόρτωσης σταθερού σημείου και της αυτόνομης ζύγισης. Στο συγκεκριμένο ορυχείο συνεπώς επιτεύχθηκε η αυτόνομη οδήγηση και έξυπνη λειτουργία του φορτηγού εξόρυξης, το όχημα φόρτισης, το τρυπάνι DTH και το Jumbo γεώτρησης βράχου. Έτσι, έξυπνη τεχνολογία εξόρυξης για ένα υπόγειο ορυχείο που βασίζεται σε μη επανδρωμένο εξοπλισμό επαληθεύτηκε (Li and Zhan, 2018).

5.5 Μεθάνιο ανθρακωρυχείου (CMM)

Το CMM αναφέρεται στο μεθάνιο που απελευθερώνεται από τον άνθρακα και τα γύρω στρώματα πετρωμάτων, από τις εξορυκτικές δραστηριότητες. Αυτό το μεθάνιο στα ορυχεία ενέχει κίνδυνο για την ασφάλεια λόγω της εκρηκτικότητάς του όταν αναμιγνύεται με τον αέρα. Το μεθάνιο είναι επίσης ένα αέριο θερμοκηπίου που είναι περισσότερο από 25 φορές πιο ισχυρό από το διοξείδιο του άνθρακα σε μαζική βάση, σε μια χρονική περίοδο 100 ετών.

Το αέριο μεθάνιο στους σχηματισμούς άνθρακα παρήχθη την ίδια στιγμή που σχηματίστηκε ο άνθρακας, όταν τα φυτικά υπολείμματα (όπως αυτά που βρέθηκαν σε βάλτους) μετατράπηκαν αργά σε άνθρακα αφού θάφτηκαν και καλύφθηκαν για μεγάλο χρονικό διάστημα μέσω μιας διαδικασίας γνωστής ως ενανθράκωση.

Το CMM απελευθερώνεται από διαφορετικούς τύπους ορυχείων:

- Ενεργά υπόγεια ορυχεία, τα οποία απελευθερώνουν μεθάνιο μέσω συστημάτων απαερίωσης (σύστημα αποστράγγισης μεθανίου) και συστημάτων εξαερισμού (VAM).
- Εγκαταλελειμμένα ή κλειστά ορυχεία απελευθερώνουν εγκαταλελειμμένο μεθάνιο ορυχείων (AMM) από διάχυτους αεραγωγούς, σωλήνες εξαερισμού, γεωτρήσεις ή ρωγμές στο έδαφος.
- Τα επιφανειακά ορυχεία εκπέμπουν λιγότερο μεθάνιο από τα υπόγεια ορυχεία, αλλά επειδή τα επιφανειακά ορυχεία παράγουν μεγάλους όγκους άνθρακα, ορισμένα επιφανειακά ορυχεία μπορούν επίσης να εκπέμπουν μεθάνιο σε μεγάλες ποσότητες.

Τα υπόγεια ανθρακωρυχεία ευθύνονται για τη συντριπτική πλειοψηφία των εκπομπών μεθανίου από την εξόρυξη άνθρακα στις Ηνωμένες Πολιτείες και παγκοσμίως. Το μεγαλύτερο μέρος του μεθανίου από την εξόρυξη άνθρακα απελευθερώνεται με τη μορφή αραιωμένου VAM. Λιγότερο σημαντικές πηγές CMM προέρχονται από επιφανειακά ορυχεία και δραστηριότητες μετά την εξόρυξη, όπως η αποθήκευση και η μεταφορά.

Οι εκπομπές μεθανίου (CH₄) από την εξόρυξη άνθρακα και τα εγκαταλελειμμένα ανθρακωρυχεία αντιπροσώπευαν περίπου το 8% των συνολικών εκπομπών μεθανίου στις ΗΠΑ το 2019. Ήταν ο πέμπτος μεγαλύτερος τομέας εκπομπής

μεθανίου, με βάση τον κατάλογο των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου των ΗΠΑ για το 1990 έως το 2019.

Οι εκπομπές CMM αντιπροσωπεύουν μια σπατάλη πιθανής πηγής ενέργειας (όταν δεν συλλαμβάνεται) και έναν κίνδυνο για την ασφάλεια. Η ανάκτηση και η χρήση των εκπομπών CMM έχουν οφέλη για τοπικό και παγκόσμιο περιβάλλον.

Υπάρχουν τρεις κύριοι τρόποι απελευθέρωσης του μεθανίου λόγω των εξορυκτικών δραστηριοτήτων:

Συστήματα απαερίωσης σε ενεργά υπόγεια ορυχεία. Επίσης κοινώς αποκαλούμενα συστήματα αποστράγγισης, αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούν κατακόρυφα και/ή οριζόντια φρεάτια για την ανάκτηση μεθανίου πριν από τις δραστηριότητες εξόρυξης (αποστράγγιση πριν από την εξόρυξη) ή κατά τη διάρκεια (αποστράγγιση μετά την εξόρυξη) για να βοηθήσουν το σύστημα εξαερισμού να διατηρεί τις συγκεντρώσεις μεθανίου στο ορυχείο αρκετά χαμηλές (δηλαδή, πολύ κάτω από το όριο των εκρηκτικών) για την προστασία των ανθρακωρύχων. Τα συστήματα εξαερισμού απελευθερώνουν VAM. Το VAM αναφέρεται στο πολύ αραιό μεθάνιο που απελευθερώνεται από τα υπόγεια φρεάτια εξαερισμού ορυχείων.

Τα κλειστά ή εγκαταλελειμμένα ορυχεία εκπέμπουν εγκαταλελειμμένο μεθάνιο ορυχείων (AMM) από διάχυτες αεραγωγούς, σωλήνες εξαερισμού, γεωτρήσεις ή ρωγμές στο έδαφος.

Άλλες δευτερεύουσες πηγές μεθανίου από ανθρακωρυχεία περιλαμβάνουν επιφανειακά ορυχεία και δραστηριότητες μετά την εξόρυξη, καθώς ο άνθρακας συνεχίζει να εκπέμπει μεθάνιο καθώς αποθηκεύεται σε σωρούς και μεταφέρεται (EPA, 2015).

5.5.1 Χρήσεις του CMM

Για να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί το CMM, πρέπει να συλληφθεί με συστήματα αποχέτευσης και/ή εξαερισμού και να βγει στην επιφάνεια. Οι υπεύθυνοι ανάπτυξης έργων εξετάζουν τα διαθέσιμα δεδομένα για το ανθρακωρυχείο, όπως η απόδοση της αποστράγγισης, η ποιότητα και η ποσότητα του αερίου, οι πιθανές αγορές και άλλες εκτιμήσεις σχετικά με πιθανά έργα. Οι ειδικές τελικές χρήσεις αερίου εξαρτώνται από την ποιότητα του αερίου, τη συγκέντρωση μεθανίου και

την παρουσία άλλων ρύπων. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, τα περισσότερα ανακτημένα CMM πωλούνται σε συστήματα αγωγών φυσικού αερίου. Σε όλο τον κόσμο, το CMM χρησιμοποιείται συχνά για:

- Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Τηλεθέρμανση
- Καύσιμο λέβητα
- Πωλήσεις σε συστήματα αγωγών φυσικού αερίου

Το CMM μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για ξήρανση άνθρακα, πηγή θερμότητας για αέρα εξαερισμού ορυχείων, καύσιμο οχημάτων (ως συμπιεσμένο ή υγροποιημένο φυσικό αέριο), πρώτη ύλη κατασκευής ή πηγή καυσίμου για κυψέλες καυσίμου. Το 2019, τα ανθρακωρυχεία των ΗΠΑ ανέκτησαν και κατέστρεψαν ή χρησιμοποίησαν περισσότερα από 37 δισεκατομμύρια κυβικά πόδια CMM. Τα έργα στις Ηνωμένες Πολιτείες χρησιμοποιούν σύστημα αποστράγγισης μεθανίου, VAM και AMM (EPA, 2015).

5.5.2 Διαφορά CBM και CMM

Το CBM αναφέρεται στο μεθάνιο που βρίσκεται και εξάγεται από ραφές άνθρακα. Σχηματίζεται κατά τη διαδικασία της ενανθράκωσης, που είναι η μετατροπή της οργανικής φυτικής ύλης σε άνθρακα. Το CBM είναι επίσης γνωστό ως παρθένο μεθάνιο ανθρακικής στρώσης ή αέριο ανθρακικής στρώσης και θεωρείται ευρέως ως «μη συμβατική» πηγή φυσικού αερίου. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, το CBM είναι ένας πολύτιμος πόρος που αντιπροσωπεύει περίπου το 5% της συνολικής παραγωγής φυσικού αερίου των ΗΠΑ ετησίως.

Το CMM αναφέρεται στο μεθάνιο που απελευθερώνεται από τον άνθρακα και τα γύρω στρώματα βράχου λόγω των εξορυκτικών δραστηριοτήτων. Στα υπόγεια ορυχεία, καθώς το CMM μπορεί να δημιουργήσει εκρηκτικό κίνδυνο για τους εργαζόμενους, αφαιρείται μέσω συστημάτων εξαερισμού και απαερίωσης. Σε εγκαταλελειμμένα ορυχεία και επιφανειακά ορυχεία, το μεθάνιο μπορεί επίσης να διαφύγει στην ατμόσφαιρα μέσω φυσικών ρωγμών ή άλλων διάχυτων πηγών. Αν και το CMM είναι παρόμοιο με το CBM στο ότι είναι ένα υποσύνολο του μεθανίου που βρίσκεται στις ανθρακικές στρώσεις, αναφέρεται συγκεκριμένα στο μεθάνιο που βρίσκεται σε περιοχές εξόρυξης (π.χ. σε ένα σχέδιο εξόρυξης), ενώ το CBM αναφέρεται στο μεθάνιο σε ανθρακικές στρώσεις που δεν θα εξορυχτεί ποτέ.

Επειδή το CMM θα απελευθερωθεί μέσω δραστηριοτήτων εξόρυξης, η ανάκτηση και η χρήση του CMM θεωρείται καλή λύση για την αποφυγή εκπομπών (EPA, 2015).

6. Συμπεράσματα

Συντονισμένες ερευνητικές προσπάθειες, ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια, έχουν σημειώσει σημαντική πρόοδο στην ανάλυση της ευπάθειας στην κλιματική αλλαγή σε διαφορετικούς τομείς. Μάλιστα έχουν καταβάλει προσπάθειες προειδοποίησης της ανάγκης μετριασμού της κλιματικής αλλαγής, καθώς και για τη άμεση υιοθέτηση και ενσωμάτωση στρατηγικών περιορισμού της, στις καθημερινές δραστηριότητες των ανθρώπων.

Μέχρι σήμερα, η εξορυκτική βιομηχανία έχει επικεντρωθεί κυρίως σε δράσεις μετριασμού (μέσω εξοικονόμησης ενέργειας, η οποία οδηγεί επίσης σε μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου), οι οποίες οδηγούν σε αμοιβαία επωφελείς λύσεις. Από την μία επιτυγχάνουν αύξηση της παραγωγικότητας και από την άλλη, βελτίωση της περιβαλλοντικής απόδοσης των μεταλλευτικών έργων. Παρόλα αυτά η προσαρμογή του κλάδου στις μεταβαλλόμενες κλιματικές συνθήκες παραμένει ανεπαρκής, ανεξάρτητα από το γεγονός ότι η ευπάθεια του κλάδου στους κλιματικούς κινδύνους είναι αποδεδειγμένη.

Από τα παραδείγματα που παρουσιάστηκαν είναι προφανές ότι ο κλάδος αρχίζει να αντιμετωπίζει σοβαρά το ζήτημα της κλιματικής αλλαγής, παρά το γεγονός ότι τα βήματα θα μπορούσαν να είναι ταχύτερα. Συγκεκριμένα βλέπουμε ότι έχουν αρχίσει να γίνονται κάποιες δράσεις, κυρίως στις μεγάλες εξορυκτικές χώρες όπως Καναδάς, Χιλή και Αυστραλία. Όπως είναι φυσικό όμως αυτό δεν είναι αρκετό. Παρά το γεγονός ότι πολλές επιχειρήσεις έχουν υιοθετήσει σποραδικά συστήματα ΑΠΕ, παρατηρείται ότι αυτά δεν έχουν ενσωματωθεί στην μεταλλευτική δραστηριότητα, παρά μόνο σε ένα μικρό ποσοστό. Μάλιστα μέχρι σήμερα, τα συστήματα ΑΠΕ δεν έχουν υιοθετηθεί ως αυτόνομες λύσεις, αλλά συμπληρώνουν άλλες συμβατικές επιλογές (όπως πετρέλαιο και φυσικό αέριο).

Η πορεία προς μια γενικευμένη χρήση των ΑΠΕ στον εξορυκτικό τομέα δεν είναι απλή, ούτε χωρίς εμπόδια. Για παράδειγμα στον Καναδά ενώ το αιολικό δυναμικό είναι πλούσιο, κάποιες προσπάθειες που έγιναν στο παρελθόν δεν πέτυχαν, καθώς

οι κλιματικές συνθήκες είναι δύσκολες για να αντέξουν οι ανεμογεννήτριες. Από την άλλη, έχουν γίνει σημαντικά βήματα, όπως π.χ. στο ορυχείο Raglan mine, που θα οδηγήσει σε περαιτέρω ενσωμάτωση της αιολικής ενέργειας στο ενεργειακό μίγμα της περιοχής.

Φαίνεται, επίσης, ότι η Χιλή πρωτοπορεί στην υιοθέτηση συστημάτων ΑΠΕ στην μεταλλευτική δραστηριότητα. Η εξόρυξη χαλκού, είναι ο μεγαλύτερος τομέας κατανάλωσης ενέργειας και ένας από τους κύριους συντελεστές των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στη Χιλή, κυρίως χρησιμοποιώντας ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα για τις διαδικασίες εξόρυξης και διύλισης. Η θέση των μεγάλων εξορυκτικών δραστηριοτήτων της Χιλής και η διαθεσιμότητα ενός υψηλού ηλιακού δυναμικού, επιτρέπει την ενσωμάτωση συστημάτων ηλιακής ενέργειας στις διαδικασίες παραγωγής, με στόχο τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος άνθρακα της εξορυκτικής βιομηχανίας.

Στην Αυστραλία, τη δεύτερη μεγαλύτερη εξορυκτική χώρα, η υιοθέτηση των τεχνολογιών ΑΠΕ αποτελεί ακόμη νέα τάση που δεν έχει ακόμη διαδοθεί ευρέως στα ορυχεία της χώρας. Μόνο το 7% των υφιστάμενων ορυχείων έχουν ή σχεδιάζουν να αποκτήσουν συστήματα ΑΠΕ. Τα ορυχεία που βρίσκονται εκτός δικτύου, είναι πιο πιθανό να εγκαταστήσουν πρώτα συστήματα ΑΠΕ.

Όσον αφορά άλλες χώρες όπως η Νότια Αφρική, που αποτελεί επίσης μία από τις μεγαλύτερες εξορυκτικές χώρες, φαίνεται να έχει στα μελλοντικά της σχέδια την υιοθέτηση συστημάτων ΑΠΕ στα ορυχεία της.

Από την άλλη πλευρά η Κίνα, η μεγαλύτερη εξορυκτική χώρα στον κόσμο, φαίνεται να κάνει πιο γρήγορα βήματα στην ενσωμάτωση των ευφών τεχνολογιών εξόρυξης στα υπόγεια μεταλλεία, με σκοπό την αναβάθμιση των παραδοσιακών βιομηχανιών μέσω σύγχρονων και πρωτοποριακών τεχνολογιών. Οι ευφείς τεχνολογίες εξόρυξης ενσωματώνουν τις εφαρμογές των τεχνολογιών υψηλής τεχνολογίας που βασίζονται στην αυτοματοποίηση, τις πληροφορίες τεχνολογίας, την τεχνητή νοημοσύνη κλπ. Η έξυπνη εξόρυξη δεν βελτιώνει μόνο την αποτελεσματικότητα του εξοπλισμού εξόρυξης και την παρακολούθηση της εξορυκτικής διαδικασίας, αλλά οδηγεί, επίσης, σε μείωση του κόστους εξόρυξης, βελτίωση της ανταγωνιστικότητας, και συμβάλει σε καθαρότερη παραγωγή και στη βιώσιμη ανάπτυξη των ορυχείων.

Τέλος πέρα από τα βασικά συστήματα ΑΠΕ γίνονται προσπάθειες ανάπτυξης καινούργιων τεχνολογιών όπως φορτηγά που λειτουργούν με υδρογόνο, απανθρακοποίηση της παραγωγής αμμωνίας (παράγει περίπου το 1,8% των παγκόσμιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα) και αξιοποίηση της θερμότητας των εγκαταλελειμμένων ορυχείων.

Βιβλιογραφία

1. Alintaenergy.com. (n.d.). “Chichester project - alinta energy”. Available at: <https://www.alintaenergy.com.au/nsw/about-a-linta-energy/power-generation/chichester-project/> (Accessed: March 5, 2022).
2. AngloAmerican. (2017). “Drayton Management System Standard-Water Management Plan”. Available at: https://australia.angloamerican.com/~/_media/Files/A/Anglo-American-Australia-V3/document/drayton-environment/2017/DRA_8-118_MP_Water%20Management%20Plan.pdf (Accessed: March 4, 2022).
3. Australian Renewable Energy Agency. (2019). “Alinta Fortescue Solar Gas Hybrid Project.” Available at: <https://arena.gov.au/projects/alinta-fortescue-solar-gas-hybrid-project/> (Accessed: April 10, 2022).
4. Australian Trade and Investment Commission. (2020). “Copy of touring Aussie artists turn to tech.” Available at: <https://www.austrade.gov.au/benchmark-report/resources/sun-metals-corporation-finds-a-sustainable-future-in-australia> (Accessed: April 8, 2022).
5. Autogeneración.minenergía.cl. (n.d.). “Pampa Elvira Solar (Faena Minera Gabriela Mistral Codelco).” Available at: https://autoconsumo.minenergia.cl/?proyect_autoconsumo=pampa-elvira-solar-faena-minera-gabriela-mistral-codelco (Accessed: April 10, 2022).
6. Bell, T. (n.d.). “Manufacturing process of copper, ThoughtCo.” Available at: <https://www.thoughtco.com/copper-production-2340114> (Accessed: April 10, 2022).
7. Bucha, V. (1986). “Causes of climate changes,” Advances in space research: the official journal of the Committee on Space Research (COSPAR), 6(10), pp. 77–82. [https://doi.org/10.1016/0273-1177\(86\)90461-8](https://doi.org/10.1016/0273-1177(86)90461-8) (Accessed: March 4, 2022).
8. Coal Authority. (2020). Geothermal energy from abandoned coal mines. Available at: <https://www2.groundstability.com/geothermal-energy-from-abandoned-coal-mines/> (Accessed: April 10, 2022).
9. Codelco. (2020). “Sustainability report 2020.” Available at: https://www.codelco.com/prontus_codelco/site/artic/20210520/asocfile/20210

- [520085342/sustainability_report_2020_codelco.pdf](#) (Accessed: April 10, 2022).
10. Codelco.com. (n.d.). “Denmark’s prince Frederik visits world’s largest thermosolar plant”. Available at: https://www.codelco.com/denmark-s-prince-frederik-visits-world-s-largest-thermosolar-plant/prontus_code lco/2013-03-19/182546.html (Accessed: March 5, 2022).
 11. Energía Llama Solar. (n.d.). “Pampa Elvira — Energía Llama Solar”. Available at: <https://ellaimasolar.cl/engpampaelvira> (Accessed: March 7, 2022).
 12. Energy Monitor. (2022). “Will hydrogen trucks power the supply chains of the future”. Available at: <https://www.energymonitor.ai/tech/hydrogen/will-hydrogen-trucks-power-the-supply-chains-of-the-future> (Accessed: April 7, 2022).
 13. Epa, U. S. and OAR. (2015). “GHG inventory development process and guidance.” Available at: <https://www.epa.gov/climateleadership/ghg-inventory-development-process-and-guidance> (Accessed: May 6, 2022).
 14. EPA. (2015). “About Coal Mine Methane”. Available at: <https://www.epa.gov/cmop/about-coal-mine-methane> (Accessed: May 4, 2022).
 15. Europa.eu. (2015). “Circular economy: definition, importance and benefits”. Available at: <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/economy/20151201STO05603/circular-economy-definition-importance-and-benefits> (Accessed: June 10, 2022).
 16. European Commission. (n.d.). “2030 climate target plan - Climate Action”. Available at: https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal/2030-climate-target-plan_en (Accessed: March 4, 2022).
 17. European Commission. (n.d.). “Paris Agreement - Climate Action”. Available at: https://ec.europa.eu/clima/eu-action/international-action-climate-change/climate-negotiations/paris-agreement_en (Accessed: March 4, 2022).
 18. Fmgl.com. (2021). “Climate Change Report FY21”. Available at: https://www.fmgl.com.au/docs/default-source/announcements/fy21-climate-change-report.pdf?sfvrsn=b26e27f9_4 (Accessed: March 5, 2022).

19. Glencore. (n.d.). “Raglan mine operates its second wind turbine.” Available at: <https://www.glencore.ca/en/Media-and-insights/Insights/Raglan-Mine-Operates-its-Second-Wind-Turbine> (Accessed: April 10, 2022).
20. Grágeda, M. et al. (2016). “Review and multi-criteria assessment of solar energy projects in Chile,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, pp. 583–596. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.149> (Accessed: March 5, 2022).
21. Henderson, K. and Maksimainen, J. (n.d.). “Here’s how the mining industry can respond to climate change”, Mckinsey.com. Available at: <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/sustainability-blog/here-is-how-the-mining-industry-can-respond-to-climate-change> (Accessed: March 5, 2022).
22. Hyundai.news. (n.d.). “Hyundai XCIENT fuel cell heads to Europe for commercial use”. Available at: <https://www.hyundai.news/eu/articles/press-releases/hyundai-xcient-fuel-cell-heads-to-europe-for-commercial-use.html> (Accessed: April 7, 2022).
23. KGHM Corporate Website. (2014). “SX-EW (solvent extraction and electrowinning)”. Available at: <https://kghm.com/en/our-business/processes/sx-ew> (Accessed: March 5, 2022).
24. Khoroshunova, W. (2022). “5 things you should know about the greenhouse gases warming the planet”, UN News. Available at: https://news.un.org/en/story/2022/01/1109322?gclid=CjwKCAjws8yUBhA1EiwAi_tpERGPjPGPAEwUhFmwhBquzjQoj5kx_WQbas43zA35ZWW5IRHGeXBIRoCdYkQAvD_BwE (Accessed: May 29, 2022).
25. Li, J.-G. and Zhan, K. (2018). “Intelligent mining technology for an underground metal mine based on unmanned equipment,” *Engineering (Beijing, China)*, 4(3), pp. 381–391. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.eng.2018.05.013> (Accessed: May 2, 2022).
26. Met Office. (n.d.). “Effects of climate change.” Available at: <https://www.metoffice.gov.uk/weather/climate-change/effects-of-climate-change> (Accessed: May 1, 2022).
27. Mining equipment, parts & services (no date) Sandvik Mining and Rock Technology. Available at: <https://www.rocktechnology.sandvik/en/> (Accessed: April 10, 2022).

28. Mining Technology. (2020). “Borden Gold Mine, Borden lake area, Chapleau, Ontario, Canada”. Available at: <https://www.mining-technology.com/projects/borden-gold-mine-chapleau-ontario/> (Accessed: March 5, 2022).
29. NASA.gov. (n.d.). Climate Change: Vital Signs of the Planet. Available at: <https://climate.nasa.gov/evidence/> (Accessed: March 4, 2022).
30. Natural Resources Canada. (2014). “Glencore RAGLAN mine renewable electricity smart-grid pilot demonstration, Nrcan.gc.ca.” Available at: <https://www.nrcan.gc.ca/science-and-data/funding-partnerships/funding-opportunities/current-investments/glencore-raglan-mine-renewable-electricity-smart-grid-pilot-demonstration/16662> (Accessed: April 10, 2022).
31. Parkinson, G. (2020). “BHP turns to wind and solar to help power Queensland coal mines.” Available at: <https://reneweconomy.com.au/bhp-turns-to-wind-and-solar-to-help-power-queensland-coal-mines-78872/> (Accessed: May 2, 2022).
32. Pérez, C. (n.d.). Alta Ley, Corporacionaltaley.cl. Available at: <https://corporacionaltaley.cl/en/its-expected-that-by-2021-the-first-mining-truck-that-works-with-hydrogen-will-be-operative/> (Accessed: April 7, 2022).
33. Quiñones, G. et al. (2020). “Analyzing the potential for solar thermal energy utilization in the Chilean copper mining industry,” Solar energy (Phoenix, Ariz.). Available at: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.01.009> (Accessed: April 10, 2022).
34. Royalsociety.org. (n.d.). “Green ammonia”. Available at: <https://royalsociety.org/topics-policy/projects/low-carbon-energy-programme/green-ammonia/> (Accessed: April 7, 2022).
35. Sandvik Mining and Rock Technology. (n.d.). “Mining equipment, parts & services.” Available at: <https://www.rocktechnology.sandvik/en/> (Accessed: April 10, 2022).
36. Strazzabosco, A., Gruenhagen, J. H. and Cox, S. (2022). “A review of renewable energy practices in the Australian mining industry,” Renewable energy, 187, pp. 135–143. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.01.021> (Accessed: April 10, 2022).

37. Strockl, R. (2020). "Mining & renewable energy - A greener way forward," WFW. Watson Farley & Williams, 23 November. Available at: <https://www.wfw.com/articles/mining-renewable-energy-a-greener-way-forward/> (Accessed: April 7, 2022).
38. The Mining Association of Canada. (2021). "Newmont's all-electric Borden mine." Available at: <https://mining.ca/resources/canadian-mining-stories/newmonts-all-electric-borden-mine/> (Accessed: April 10, 2022).
39. Trade and Investment Queensland. (n.d.). "Sun Metals makes a green future in Townsville." Available at: <https://www.tiq.qld.gov.au/international-business/success-stories/sun-metals-makes-a-green-future-in-townsville> (Accessed: April 10, 2022).
40. Ulrich, S., Trench, A. and Hagemann, S. (2022). "Gold mining greenhouse gas emissions, abatement measures, and the impact of a carbon price," Journal of cleaner production. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130851> (Accessed: April 10, 2022).
41. World Gold Council. (n.d.). "Borden and the future of gold mining." Available at: <https://www.gold.org/gold-development/positive-impacts-mining-case-studies/borden-gold-mine-of-the-future> (Accessed: April 10, 2022).
42. Worldhighways.com. (2017). "Zambia road rebuild by mining firm". Available at: <https://www.worldhighways.com/wh10/wh3/feature/zambia-road-rebuild-mining-firm> (Accessed: March 4, 2022).
43. WWF Global Arctic Programme. (2015). "Renewable energy in the Arctic." Available at: file:///C:/Users/pkost/Downloads/theCircle0315_web.pdf (Accessed: April 10, 2022).
44. Δαμίγος, Δ. (2011). Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής «Εκτίμηση των μελλοντικών επιπτώσεων της κλιματικής μεταβολής στην εξορυκτική βιομηχανία». Τράπεζα της Ελλάδος.
45. Μαυρομάτης, Ε. (2020). Διδακτορική Διατριβή «Ανάπτυξη μεθοδολογίας για την εκτίμηση της οικονομική διακινδύνευσης των εξορυκτικών έργων από την κλιματική αλλαγή». Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, σχολή Μηχανικών Μεταλλείων- Μεταλλουργών, Αθήνα.

