



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ



ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ (ΠΡΩΗΝ Α.Τ.Ε.Ι.)

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης στην
μεταλλευτική

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: Γιαγκούλα Ελευθέρια

A.M.: GE06069

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Καπαγερίδης Ιωάννης

Περίληψη

Η χρήση της τεχνητής νοημοσύνης (AI) στον τομέα της εξόρυξης έχει εξελιχθεί σε μια μετασχηματιστική δύναμη που μεταβάλλει τις συμβατικές μεθόδους εξόρυξης. Η έρευνα εξετάζει τη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης (AI) στο εσωτερικό των εξορυκτικών επιχειρήσεων, εξετάζοντας στην πορεία τις προεκτάσεις, τα οφέλη και τα ηθικά ζητήματα.

Περνώντας στον τομέα των ορυχείων, η μελέτη εξετάζει τα σύγχρονα προβλήματα και εμπόδια που αντιμετωπίζει η επιχείρηση εξόρυξης. Η χρήση εκρηκτικών υλών και οι διάφορες τεχνικές εξόρυξης, όπως η επιφανειακή εξόρυξη, η εξόρυξη highwall και η υπόγεια εξόρυξη, είναι μερικά από τα ζητήματα της μεταλλευτικής. Επιπλέον, εξετάζονται σε βάθος οι επιπτώσεις της εξόρυξης στο περιβάλλον οικοσύστημα, καθώς και οι ρυθμίσεις που τη συνοδεύουν, θέματα διαχείρισης αποβλήτων και ασφάλειας, καθώς και το αμφιλεγόμενο θέμα της παιδικής εργασίας.

Στη συνέχεια θα εξετάσουμε τη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης στην εξόρυξη και τον σκοπό της καθώς και τα πλεονεκτήματα που προσφέρει, ιδίως σε σχέση με τα αυτοματοποιημένα οχήματα καθοδήγησης (AGV) και τα ρομπότ. Για να αναδείξουμε τα καλά αποτελέσματα που μπορεί να δώσει η τεχνητή νοημοσύνη, εξετάζουμε τα οικονομικά οφέλη και τις συνιστώσες της βιωσιμότητας, συμπεριλαμβανομένων των αξιολογήσεων για το περιβάλλον και την κοινωνία.

Ωστόσο, αυτή η τεχνολογική επανάσταση δημιουργεί επίσης εμπόδια όσον αφορά την εκτέλεση και ηθικά ζητήματα που πρέπει να εξεταστούν προσεκτικά. Στη βιομηχανία εξόρυξης, η εξεύρεση ισορροπίας μεταξύ των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων της τεχνητής νοημοσύνης (TN) αποτελεί ουσιαστικό στοιχείο, όπως και η επίλυση ηθικών ζητημάτων με προκατάληψη, ιεράρχηση και βιώσιμες μεθόδους εξόρυξης.

Συνολικά εξετάζεται η πολύπλοκη σχέση μεταξύ της τεχνητής νοημοσύνης και του τομέα της εξόρυξης, τονίζοντας τόσο τη δυνατότητα επαναστατικής αλλαγής όσο και την απαίτηση για ηθική, βιώσιμη και υπεύθυνη εφαρμογή. Ο συνδυασμός της τεχνητής νοημοσύνης με την εξόρυξη δημιουργεί τη δυνατότητα για αυξημένη

παραγωγικότητα, ασφάλεια και περιβαλλοντική υπευθυνότητα. Τα ηθικά ζητήματα είναι απαραίτητα για να διασφαλιστεί ότι αυτές οι βελτιώσεις θα είναι επωφελείς τόσο για την εξορυκτική βιομηχανία όσο και για την κοινωνία στο σύνολό της.

Λέξεις κλειδιά

Τεχνητή Νοημοσύνη (TN), Μεταλλευτική Βιομηχανία, Ενσωμάτωση της TN στη Μεταλλευτική Βιομηχανία, Ενσωμάτωση της TN, Μεταλλευτική Δεοντολογία.

Abstract

The use of artificial intelligence (AI) in mining has become a transformative force that is changing conventional mining methods. This research examines the use of artificial intelligence (AI) within mining operations, looking at the implications, benefits and ethical issues along the way.

Moving to the mining sector, the study examines the current problems and obstacles facing the mining business. The use of explosives and the various mining techniques, such as surface mining, highwall mining and underground mining, are some of the issues in mining. In addition, the impact of mining on the surrounding ecosystem and the regulations that accompany it, waste management and safety issues, and the controversial issue of child labour are examined in depth.

We will then look at the use of artificial intelligence in mining and its purpose and the advantages it offers, particularly in relation to automated guided vehicles (AGVs) and robots. To highlight the good outcomes that AI can deliver, we examine the economic benefits and sustainability components, including environmental and societal assessments.

However, this technological revolution also creates barriers in terms of execution and ethical issues that need to be carefully considered. In the mining industry, finding a balance between the advantages and disadvantages of artificial intelligence (AI) is essential, as is resolving ethical issues with bias, prioritisation and sustainable mining methods.

Overall, the complex relationship between AI and the mining sector is examined, highlighting both the potential for revolutionary change and the requirement for ethical, sustainable and responsible implementation. The combination of AI and mining creates the potential for increased productivity, safety and environmental responsibility. Ethical considerations are essential to ensure that these improvements are beneficial to both the mining industry and society as a whole.

Keywords

Artificial Intelligence (AI), Mining Industry, Integration of AI in Mining Industry, Integration of AI, Mining Ethics.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη	2
Λέξεις κλειδιά	3
Abstract	4
Keywords	5
Εισαγωγή	8
1. Εισαγωγή στην Τεχνητή Νοημοσύνη	9
1.1. Ορισμοί Ανθρώπινης και Τεχνητής Νοημοσύνης	9
1.2. Πεδία της τεχνητής νοημοσύνης	13
1.3. Δοκιμασία Turing	15
1.4. Ιστορική αναδρομή	17
1.5. Ερευνητικοί τομείς της Τεχνητή Νοημοσύνη.....	24
1.6. Η Ηθική της Τεχνητής Νοημοσύνης.....	27
2. Μεταλλευτική	30
2.1. Προκλήσεις και προβληματισμοί στη σύγχρονη εξόρυξη.....	31
2.2. Τεχνικές	34
2.2.1. Εκρηκτικές ύλες στα ορυχεία	35
2.2.2. Βιοτεχνική εξόρυξη.	35
2.2.3. Επιφανειακή εξόρυξη.....	37
2.2.4. Εξόρυξη Highwall.....	38
2.2.5. Υπόγεια εξόρυξη.....	38
2.3. Περιβαλλοντικές επιδράσεις.....	39
2.3.1. Περιβαλλοντική νομοθεσία	40
2.4. Απόβλητα.....	42
2.5. Ασφάλεια	44
2.6. Παιδική εργασία.....	46
3. Εφαρμογή της Τεχνητής νοημοσύνης στη μεταλλευτική	48
3.1. Ο ρόλος και τα πλεονεκτήματα της Τεχνητής Νοημοσύνης στα ορυχεία	50
3.2. Αυτοματοποιημένα καθοδηγούμενα οχήματα (AVG).....	55
3.3. Εφαρμογή της ρομποτικής στην εξόρυξη.....	56
3.3.1. Βιομηχανικές εφαρμογές	58
3.4. Οικονομικά οφέλη	59

3.5. Βιωσιμότητα στις εξορυκτικές επιχειρήσεις.....	61
3.5.1. Βαθμολογίες ESG	62
4. Προκλήσεις κατά την εφαρμογή της TN στην εξορυκτική βιομηχανία και ηθικές εκτιμήσεις	64
4.1. Εξισορρόπηση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων	65
4.2. Δεοντολογικές εκτιμήσεις στην εξόρυξη με τεχνητή νοημοσύνη	67
4.3. Μεροληψία και ιεράρχηση προτεραιοτήτων	69
4.4. Ηθικές απαιτήσεις για βιώσιμη εξόρυξη	71
Συμπέρασμα.....	73
Βιβλιογραφία	75

Εισαγωγή

Η εξορυκτική βιομηχανία χαρακτηρίζεται παραδοσιακά από τις επίπονες και εντάσεως εργασίας εργασίες της, όπου η αναζήτηση πολύτιμων ορυκτών και πόρων γίνεται συχνά σε μερικές από τις πιο αφιλόξενες και απομονωμένες περιοχές του πλανήτη μας. Ωστόσο, είναι επιτακτική ανάγκη να αναγνωριστεί ότι τα τελευταία χρόνια, ένα κύμα τεχνολογικής καινοτομίας που άλλαξε το παράδειγμα διείσδυσε σε αυτόν τον ιστορικά συμβατικό τομέα, εγκαινιάζοντας έτσι μια νέα εποχή που χαρακτηρίζεται από αυξημένη αποτελεσματικότητα, αυξημένη ασφάλεια και αυξημένη περιβαλλοντική συνείδηση. Η τεχνητή νοημοσύνη (AI), ένα επιδραστικό και πολύπλευρο εργαλείο, βρίσκεται στην εμπροσθοφυλακή αυτής της επανάστασης, παρουσιάζοντας συναρπαστικές εφαρμογές στη βιομηχανία εξόρυξης. Η Τεχνητή Νοημοσύνη (AI) έχει αναδειχθεί σε μετασχηματιστική δύναμη εντός της εξορυκτικής βιομηχανίας, προσφέροντας σημαντικά πλεονεκτήματα όσον αφορά τις δυνατότητες επεξεργασίας δεδομένων, τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας και τη βελτίωση της λήψης αποφάσεων. Αξιοποιώντας τις τεχνολογίες AI, οι εταιρείες εξόρυξης είναι σε θέση να εξάγουν πολύτιμους πόρους με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα, ενώ ταυτόχρονα μετριάζουν τις περιβαλλοντικές συνέπειες και δίνουν προτεραιότητα στην ασφάλεια του εργατικού δυναμικού τους (Hyder et al., 2019).

Στην παρούσα ομιλία, θα εμβαθύνουμε στις πολύπλευρες και συνεπακόλουθες εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης στον εξορυκτικό τομέα. Η εστίασή μας θα περιλαμβάνει ένα εύρος τομέων, συμπεριλαμβανομένων, μεταξύ άλλων, των αυτόνομων γεωτρήσεων, της προβλεπτικής συντήρησης, της περιβαλλοντικής παρακολούθησης και της εμπλοκής της κοινότητας. Εξετάζοντας αυτές τις εξελίξεις, στοχεύουμε να διαφωτίσουμε τη βαθιά επιρροή που ασκούν στην πορεία της εξόρυξης, διαμορφώνοντας έτσι το μελλοντικό τοπίο της.

1. Εισαγωγή στην Τεχνητή Νοημοσύνη

Η διάχυτη ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης (AI) έχει διαπεράσει πολλές πτυχές της καθημερινής ανθρώπινης εμπειρίας. Πριν από την εμβάθυνση στην εξέταση του αντίκτυπου της τεχνητής νοημοσύνης στις δραστηριότητες της πετρελαϊκής βιομηχανίας, είναι επιτακτική ανάγκη να παρασχεθεί μια εισαγωγική επισκόπηση που να διευκρινίζει τη θεμελιώδη φύση της τεχνητής νοημοσύνης, τις εφαρμογές της και τις αξιοσημείωτες συνεισφορές της μέχρι σήμερα (Ertel, 2018).

Τα τελευταία χρόνια, ο επιστημονικός κλάδος της τεχνητής νοημοσύνης έχει αναδειχθεί σε μια επίμονη και δυναμική δύναμη, βρίσκοντας εφαρμογή σε διάφορους τομείς, όπως η μηχανική, η οικονομία, η ιατρική και η γενετική. Η σύγκλιση των νέων τεχνολογιών με την τεχνητή νοημοσύνη δημιουργεί ταυτόχρονα ένα εκκολαπτόμενο πεδίο πολυπλοκότητας στον τομέα της ενέργειας. Ο πολλαπλασιασμός των εργαλείων τεχνητής νοημοσύνης (AI) εντός της πετρελαϊκής βιομηχανίας γνωρίζει μια αξιοσημείωτη άνοδο, ένα θέμα που θα αναλυθεί σε επόμενες συζητήσεις. Η μηχανική μάθηση διευκολύνει την ικανότητα των υπολογιστικών πληροφοριακών συστημάτων να κατανοούν φαινόμενα και δεδομένα αυτόνομα, χωρίς την ανάγκη ανθρώπινης παρέμβασης. Η ενίσχυση της διαδικασίας βελτιστοποίησης επιτυγχάνεται μέσω της αποφυγής της ανθρώπινης παρέμβασης, γεγονός που διευκολύνει τις συνεχείς επαναλήψεις και μετριάζει την εμφάνιση ανθρώπινων σφαλμάτων (Mintz & Brodie, 2019).

1.1. Ορισμοί Ανθρώπινης και Τεχνητής Νοημοσύνης

Σύμφωνα με την Εθνική Βιβλιοθήκη Ιατρικής των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής, η ανθρώπινη νοημοσύνη μπορεί να περιγραφεί ως η γνωστική ικανότητα που διαθέτει ένα άτομο για να συμμετέχει σε λογικούς συλλογισμούς, να πλοηγείται σε σύνθετα σενάρια επίλυσης προβλημάτων και να διευκολύνει την απόκτηση και τη διάδοση της γνώσης. Επιπλέον, είναι επιτακτικό να σημειωθεί ότι η νοημοσύνη, λόγω της εγγενούς διανοητικής της ουσίας, περιλαμβάνει ένα πλήθος γνωστικών

ικανοτήτων, συμπεριλαμβανομένων, μεταξύ άλλων, της αντίληψης, της μνήμης, της γλώσσας κ.ο.κ., όπως εκθέτουν οι Colom και συν (2010).

Ο τομέας της επιστήμης του εγκεφάλου, γνωστός και ως νευροεπιστήμη, επικεντρώνεται κυρίως στην ολοκληρωμένη εξέταση των ανατομικών, φυσιολογικών και λειτουργικών πτυχών που αφορούν τους βιολογικούς εγκεφάλους. Οι μηχανισμοί αυτοί θεωρούνται ως οι θεμελιώδεις διαδικασίες με τις οποίες ο εγκέφαλος συμμετέχει στην επεξεργασία πληροφοριών, στη λήψη αποφάσεων και στην αλληλεπίδραση με το περιβάλλον. Με παρόμοιο τρόπο, θα μπορούσε κανείς να αντιληφθεί την τεχνητή νοημοσύνη ως τη μίμηση των γνωστικών ικανοτήτων που επιδεικνύει ο ανθρώπινος εγκέφαλος (Ertel, 2018).

Δεδομένης της εγγενούς γενικότητας του όρου Τεχνητή Νοημοσύνη (AI), που περιλαμβάνει όλες τις μορφές μη βιολογικής νοημοσύνης, καθίσταται επιτακτική η εισαγωγή μιας συμπληρωματικής έννοιας, γνωστής ως Υπολογιστική Νοημοσύνη (CI). Ο όρος αυτός χρησιμεύει για να περικλείσει κάθε εκδήλωση μη βιολογικής νοημοσύνης που μπορεί να συλληφθεί και να αξιοποιηθεί αποτελεσματικά μέσω υπολογιστικών μέσων. Η ονοματολογία εισήχθη αρχικά από τον J. Bezdek (1992) στις σελίδες του διεθνούς περιοδικού International Journal of Approximate Reasoning. Ένας αποδεκτός ορισμός της Τεχνητής Νοημοσύνης μπορεί να διατυπωθεί συνοπτικά ως εξής:

Η Υπολογιστική Νοημοσύνη, όπως διευκρινίστηκε από τον Bezdek το 1990, αφορά τον επιστημονικό τομέα που περιλαμβάνει ένα ρεπερτόριο μεθοδολογιών που αποσκοπούν στην επίλυση περίπλοκων διλημμάτων. Στο πλαίσιο αυτό, οι μηχανές σχεδιάζονται για να μιμούνται βιολογικές διαδικασίες, χωρίς την απαίτηση να παρουσιάζουν ολοκληρωμένες γνωστικές ικανότητες.

Σύμφωνα με τον αξιόλογο Αμερικανό επιστήμονα Nils J. Nilsson, η τεχνητή νοημοσύνη αφορά την επιδίωξη να αποκτήσουν οι μηχανές την ικανότητα νοημοσύνης. Η νοημοσύνη, στο πλαίσιο αυτό, υποδηλώνει την εγγενή ιδιότητα που επιτρέπει στην εν λόγω μηχανή να λειτουργεί με επάρκεια και να επιδεικνύει διάκριση στο περιβάλλον της. Συνοπτικά, μπορεί να συναχθεί ότι η τεχνητή νοημοσύνη επιφέρει μεταβολές στα μηχανήματα που διευκολύνουν την απόκτηση γνώσεων μέσω της εμπειρίας, την ικανότητα προσαρμογής στα παρεχόμενα δεδομένα

και την ικανότητα εκτέλεσης καθηκόντων παρόμοιων με αυτά που εκτελούν οι άνθρωποι (Nilsson, 2005).

Είναι προφανές ότι υπάρχει μια διάχυτη πρόκληση για την καθιέρωση ενός ακριβούς και περιεκτικού ορισμού για την έννοια της τεχνητής νοημοσύνης. Η βασική αιτία αυτής της δυσχερούς κατάστασης μπορεί να αποδοθεί στην εγγενή πρόκληση της καθιέρωσης μιας ακριβούς και αδιαμφισβήτητης οριοθέτησης της έννοιας της νοημοσύνης, ή ακόμη και της ίδιας της έννοιας της νοημοσύνης (Schmidt, 2020).

Η τεχνητή νοημοσύνη αποκλίνει ως προς το φιλοσοφικό της υπόβαθρο από την ανθρώπινη νοημοσύνη, ωστόσο παραμένει ριζωμένη στις θεμελιώδεις αρχές της τελευταίας. Η πρωταρχική διάκριση έγκειται στο γεγονός ότι η ανθρώπινη νοημοσύνη, και κατά συνέπεια η ανθρώπινη επιστήμη, βασίζεται στην εξέταση και την τεκμηρίωση των φυσικών νόμων. Αυτό επιτυγχάνεται με ποικίλα μέσα, συμπεριλαμβανομένων πειραματικών τεχνικών όπως η ιατρική, καθώς και θεωρητικών ή υπολογιστικών προσεγγίσεων όπως η φυσική. Αντίθετα, η τεχνητή νοημοσύνη βασίζεται στις αρχές της τεχνολογίας και της μηχανικής, αξιοποιώντας τις εκρηκτικές εξελίξεις τους μέσω της εφαρμογής των φυσικών νόμων και της βιοματικής οξυδέρκειας του ερευνητή (Zhaoping, 2020).

Παρ' όλα αυτά, είναι επιτακτική ανάγκη να τονιστεί ότι η τεχνητή νοημοσύνη δεν πρέπει να εκλαμβάνεται εσφαλμένα ως συνώνυμη της μηχανικής μάθησης. Πράγματι, αξίζει να σημειωθεί ότι η μηχανική μάθηση αναγνωρίζεται ευρέως ως ένας εξέχων τομέας στο πεδίο της τεχνητής νοημοσύνης.

Η μηχανική μάθηση, ως υπο-τομέας της επιστήμης των υπολογιστών, προέκυψε από την ολοκληρωμένη διερεύνηση της αναγνώρισης προτύπων και της θεωρίας υπολογιστικής μάθησης στο πεδίο της τεχνητής νοημοσύνης. Η μηχανική μάθηση είναι ένας τομέας που επικεντρώνεται στην εννοιολόγηση και την ανάπτυξη αλγορίθμων που διαθέτουν την ικανότητα να υποβάλλονται σε εκπαίδευση με τη χρήση δεδομένων, επιτρέποντάς τους στη συνέχεια να παράγουν προβλέψεις με βάση την αποκτηθείσα γνώση. Η μηχανική μάθηση χρησιμοποιείται εκτενώς σε ένα ευρύ φάσμα υπολογιστικών προσπαθειών όπου η διατύπωση και η ρητή κωδικοποίηση αλγορίθμων αποδεικνύεται ανέφικτη για την εκτέλεσή τους. Αρκετές περιπτώσεις εφαρμογών μηχανικής μάθησης περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, το φιλτράρισμα

ανεπιθύμητης αλληλογραφίας, την οπτική αναγνώριση χαρακτήρων (OCR) και τις μηχανές αναζήτησης στο διαδίκτυο (Helm et al., 2020).

Η μηχανική μάθηση είναι μια υπολογιστική διαδικασία που περιλαμβάνει την εκπαίδευση και την επακόλουθη παραγωγή προβλέψεων με την αξιοποίηση των διαθέσιμων δεδομένων. Από την άλλη πλευρά, η τεχνητή νοημοσύνη περιλαμβάνει την εκτέλεση και την εκδήλωση αυτών των προβλέψεων σε διάφορες εφαρμογές και πλαίσια. Εν συντομία, μπορεί να υποστηριχθεί ότι η μηχανική μάθηση χρησιμεύει ως η κύρια ώθηση πίσω από την πρόοδο της τεχνητής νοημοσύνης, όπως εκτίθεται από τους Goodell και συν. (2021).

Έχουν διατυπωθεί πολυάριθμες εννοιολογήσεις της τεχνητής νοημοσύνης. Οι προαναφερθέντες ορισμοί κατηγοριοποιούνται συστηματικά σε τέσσερις διαφορετικές ταξινομήσεις, καθεμία από τις οποίες προσφέρει μια μοναδική πλεονεκτική θέση σε σχέση με τον γενικότερο στόχο της τεχνητής νοημοσύνης (Βλαχάβας, Κεφάλας et al. 2006).

- Συστήματα που σκέφτονται όπως οι άνθρωποι
- Συστήματα που σκέφτονται λογικά
- Συστήματα που ενεργούν όπως οι άνθρωποι
- Συστήματα που δρουν λογικά (Russell and Norvig 2005:32)

Μετά από προσεκτική εξέταση των προαναφερθέντων τεσσάρων κατηγοριών, μπορεί να διατυπωθεί ένας ευρύτερος και περιεκτικότερος ορισμός της τεχνητής νοημοσύνης, ο οποίος μπορεί να διατυπωθεί ως εξής: Η τεχνητή νοημοσύνη αφορά τον τομέα της επιστήμης των υπολογιστών, όπου το επίκεντρο είναι η σύλληψη και η εκτέλεση προγραμμάτων ικανών να μιμηθούν τις ανθρώπινες γνωστικές ικανότητες. Κατά συνέπεια, τα προγράμματα αυτά παρουσιάζουν χαρακτηριστικά που συνήθως συνδέονται με την ανθρώπινη συμπεριφορά, όπως, μεταξύ άλλων, η μάθηση, η επίλυση προβλημάτων, η κατανόηση της φυσικής γλώσσας και άλλα παρόμοια (Βλαχάβας, Κεφάλας et al. 2006).

1.2. Πεδία της τεχνητής νοημοσύνης

Υπάρχουν διάφοροι κλάδοι που έχουν συνεισφέρει τεχνικές και ιδέες στην Τεχνητή Νοημοσύνη. Μερικές από αυτές είναι η φιλοσοφία, η ψυχολογία, η νευρολογία, η γλωσσολογία, η επιστήμη των υπολογιστών και η μηχανική.

- Νευρολογία

Πρόκειται για τον επιστημονικό κλάδο που ασχολείται με τη μελέτη του νευρικού συστήματος, ιδίως του εγκεφάλου. Είναι γνωστό ότι ο εγκέφαλος αποτελείται από νευρικά κύτταρα ή νευρώνες. Ο ηλεκτροεγκεφαλογράφος εφευρέθηκε από τον Hans Berger το 1929, όταν άρχισε η μέτρηση της άθικτης εγκεφαλικής δραστηριότητας. Η ανάπτυξη της λειτουργικής απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού δίνει στους επιστήμονες λεπτομερείς εικόνες της εγκεφαλικής δραστηριότητας, οι οποίες επιτρέπουν μετρήσεις που δείχνουν ενδιαφέρουσες συσχετίσεις με τις γνωστικές διαδικασίες που βρίσκονται σε εξέλιξη. Ένα απρόσμενο συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι ο εγκέφαλος δημιουργεί τη νόηση - ότι δηλαδή μια συλλογή κυττάρων μπορεί να οδηγήσει στη σκέψη και τη διαίσθηση (Sohail, 2021).

- Ψυχολογία

Σύμφωνα με την επιστήμη της ψυχολογίας ο εγκέφαλος είναι όπως μια συσκευή που επεξεργάζεται πληροφορίες. Από το 1920 έως το 1960, η ψυχολογία επηρεάστηκε έντονα από το κίνημα του συμπεριφορισμού με επικεφαλής τον John Watson. Βασικό δόγμα αυτής της θεωρίας είναι ότι η μάθηση και η απόκτηση γνώσεων είναι το αποτέλεσμα των συν-σχέσεων μεταξύ των ερεθισμάτων που δέχεται το άτομο που δέχεται από το περιβάλλον του και των αντιδράσεών του σε αυτά τα ερεθίσματα. Δηλαδή, η συμπεριφορά του ατόμου ελέγχεται και διαμορφώνεται από περιβαλλοντικούς παράγοντες. Ο ανθρώπινος εγκέφαλος είναι ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά της γνωστικής ψυχολογίας. Η μοντελοποίηση σε υπολογιστές οδήγησε στη δημιουργία της γνωστικής επιστήμης και είναι πλέον αποδεκτό μεταξύ των ψυχολόγων ότι "μια γνωστική θεωρία πρέπει να μοιάζει με πρόγραμμα υπολογιστή" (Anderson, 1989).

- Γλωσσολογία

Η σύγχρονη γλωσσολογία και η τεχνητή νοημοσύνη δημιουργήθηκαν περίπου την ίδια εποχή και αναπτύχθηκαν από κοινού έχοντας ως κοινό πεδίο την υπολογιστική γλωσσολογία. Πολύ σύντομα έγινε φανερό ότι η κατανόηση της γλώσσας ήταν ένα πιο πολύπλοκο πρόβλημα από ό,τι φαινόταν. Για την κατανόηση της γλώσσας δεν επαρκεί η κατανόηση της δομής των προτάσεων. Απαιτείται επίσης η κατανόηση του αντικειμένου και του πλαισίου (Russell and Norvig 2005)

- Επιστήμη των υπολογιστών

Η επιτυχία που είχε η τεχνητή νοημοσύνη οφείλεται σε δύο πράγματα: στην ευφυΐα και στον υπολογιστή. Η επιστήμη της πληροφορικής και ειδικότερα το λογισμικό της παρείχε στην τεχνητή νοημοσύνη γλώσσες προγραμματισμού και γενικά όλα τα απαραίτητα εργαλεία για τη συγγραφή σύγχρονων προγραμμάτων (Russell and Norvig 2005)

- Φιλοσοφία

Ο φιλόσοφος Αριστοτέλης ήταν ο πρώτος που διατύπωσε ένα σύνολο νόμων σχετικά με τη νόηση. Συγκεκριμένα, εντόπισε ένα είδος συλλογισμού, ένα σύστημα συλλογισμού που επέτρεπε την παραγωγή συμπερασμάτων έχοντας ως δεδομένες κάποιες αρχικές υποθέσεις. Αργότερα, στην πιο σύγχρονη εποχή, ο Gottfried Wilhelm Leibniz θέλησε να μηχανοποιήσει τον συλλογισμό. Έτσι προσπάθησε να σχεδιάσει μια γλώσσα μέσω της οποίας θα μπορούσε να διατυπωθεί όλη η ανθρώπινη γνώση (Nilsson, 2010).

- Διαχωρισμός της τεχνητής από τη φυσική νοημοσύνη

Για κάθε φαινόμενο μπορούμε να διακρίνουμε το πραγματικό έναντι του ψευδούς, όπου το ψευδές είναι εξωπραγματικό. Επίσης, μπορούμε να διακρίνουμε το φυσικό από το τεχνητό. Φυσικό σημαίνει ότι δημιουργείται από τη φύση, ενώ τεχνητό σημαίνει ότι παράγεται από τον άνθρωπο. Έτσι, η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί επίσης να ερμηνευτεί ως το αντίθετο της πραγματικής νοημοσύνης. Φυσικά δεν είναι δυνατόν να έχουμε ψεύτικη νοημοσύνη. Αν ένας πράκτορας συμπεριφέρεται έξυπνα, είναι έξυπνος. Έτσι, η τεχνητή νοημοσύνη θα είναι πραγματική νοημοσύνη η οποία

θα έχει δημιουργηθεί τεχνητά. Καθορίζεται επίσης από την εξωτερική συμπεριφορά και αυτό ήταν το κίνητρο για τη δημιουργία ενός τεστ νοημοσύνης, γνωστού ως τεστ Turing (Poole and Mackworth 2010).

Διακρίνουμε δύο προσεγγίσεις για την τεχνητή νοημοσύνη. Αυτές είναι η κλασική (ή συμβολική) και η υπολογιστική (ή συνδετική) τεχνητή νοημοσύνη. Η κλασική νοημοσύνη ασχολείται με την προσομοίωση της ανθρώπινης νοημοσύνης. Ο τρόπος με τον οποίο την προσεγγίζει είναι με τη χρήση συστημάτων και αλγορίθμων που χρησιμοποιούν σύμβολα. Η κλασική νοημοσύνη επίσης βασίζεται στην κατανόηση των νοητικών διεργασιών. Από την άλλη πλευρά, η υπολογιστική νοημοσύνη βασίζεται στη μίμηση βιολογικών διαδικασιών. Για παράδειγμα τέτοιες διαδικασίες είναι ο τρόπος λειτουργίας του εγκεφάλου καθώς και η διαδικασία με την οποία εξελίσσονται τα είδη (Βλαχάβας, Κεφάλας et al. 2006).

1.3. Δοκιμασία Turing

Το τεστ Turing χρησιμεύει ως μεθοδολογική προσέγγιση για να διαπιστωθεί η ικανότητα μιας μηχανής να επιδεικνύει γνωστικές ικανότητες παρόμοιες με τις ανθρώπινες διαδικασίες σκέψης. Η εφεύρεση αποδίδεται στον Alan Turing. Η πειραματική διαδικασία περιλαμβάνει τη διεξαγωγή της δοκιμασίας σε ελεγχόμενο περιβάλλον, όπου ένας άνδρας συμμετέχων, μια γυναίκα συμμετέχουσα και ένας καθορισμένος εξεταστής βρίσκονται σε ξεχωριστούς θαλάμους, εξασφαλίζοντας οπτική απομόνωση μεταξύ των εμπλεκόμενων ατόμων. Οι αίθουσες έχουν εξοπλιστεί με μέτρα ηχομόνωσης, όπως σημειώνει ο McGettigan (2013). Επιπλέον, κάθε άτομο είναι εφοδιασμένο με μια διεπαφή βίντεο, επιτρέποντας την επικοινωνία μέσω αυτού του μέσου. ο στόχος αυτής της εξέτασης είναι να μπορέσει ο εξεταστής να διακρίνει το φύλο των εμπλεκόμενων ατόμων μέσω των ερωτήσεων που τίθενται και των αντίστοιχων απαντήσεών τους. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τόσο τα αρσενικά όσο και τα θηλυκά άτομα δεν έχουν καμία υποχρέωση να αποκαλύψουν πραγματικές πληροφορίες. Και τα δύο μέρη διαθέτουν εκ των προτέρων γνώση ότι είναι ικανά να εμπλακούν σε παραπλανητική συμπεριφορά. Συγκεκριμένα, το άτομο έχει κίνητρο να προβαίνει σε συχνές πράξεις παραπλάνησης, με την ελευθερία να το κάνει σε όποιο βαθμό επιθυμεί. Ο στόχος του εν λόγω ατόμου είναι να εξαπατήσει

σκόπιμα τον αξιολογητή. Προφανώς, αυτή η κατάσταση αποτελεί πρόκληση για τον εξεταστή, οδηγώντας ενδεχομένως σε λανθασμένο συμπέρασμα. Ωστόσο, η διαδικασία εξέτασης παραμένει ασαφής έως ότου ο εξεταστής καταλήξει σε ένα συμπέρασμα σχετικά με το συγκεκριμένο δωμάτιο που στεγάζει τον άνδρα και το δωμάτιο που στεγάζει τη γυναίκα, όπως περιγράφεται από τους Pinar Saygin και συν. στη μελέτη τους που διεξήχθη το έτος 2000.

Ωστόσο, πρέπει να αναλογιστεί κανείς τα πιθανά αποτελέσματα που μπορεί να προκύψουν στην περίπτωση που το άτομο υποκατασταθεί από ένα εξαιρετικά εξελιγμένο σύστημα υπολογιστή που έχει σχεδιαστεί για να μιμείται τις γνωστικές του ικανότητες. Εάν το μηχάνημα θεωρηθεί ότι διαθέτει έλλειψη διανοητικής οξύτητας, προκύπτει ότι η ακρίβεια του εξεταστή στη λήψη σωστών αποφάσεων θα ενισχυθεί. Εάν η μηχανή παρουσιάζει ανώτερη νοημοσύνη σε σύγκριση με τον άνθρωπο, προκύπτει ότι ο εξεταστής θα εμφανίζει μεγαλύτερη συχνότητα λαθών, όπως υποστήριξε ο Gibilisco το 1994.

Πράγματι, ο Turing έκανε μια προφητική πρόβλεψη στην οποία υποστήριζε ότι μέχρι την αλλαγή της χιλιετίας, στο πεδίο της τεχνητής νοημοσύνης θα είχε εμφανιστεί ένα γνωστικό σύστημα ικανό να εξαπατήσει περίπου το 30% των συνομιλητών του μέσα από μια απλή πεντάλεπτη ανταλλαγή πληροφοριών. Το πρώτο πρόγραμμα που πέρασε με επιτυχία αυτή την εκτίμηση αποδίδεται ευρέως στο ELIZA, το οποίο αναπτύχθηκε το 1976 από τον αξιόλογο Αμερικανό προγραμματιστή Joseph Wisenbaum. Το ELIZA πέτυχε με αξιοσημείωτο τρόπο το κατόρθωμα να πείσει τη γραμματέα του ότι συνομιλούσε με έναν ανθρώπινο συνομιλητή. Μετά το προαναφερθέν περιστατικό ακολούθησαν μεταγενέστερες προσπάθειες, στις οποίες αποδείχθηκε, μεταξύ άλλων, ότι το τεστ Turing, ενώ είναι ικανό να τεκμηριώσει την ευαισθησία των ανθρώπων να εξαπατώνται από μηχανές, αποτυγχάνει να αντιμετωπίσει τις σύγχρονες ερωτήσεις που αφορούν την τεχνητή νοημοσύνη, περιλαμβάνοντας τις προεκτάσεις της, και δεν παρέχει προβλέψεις σχετικά με τη χρονική υλοποίησή της. Αναγνωρίζοντας τον αξιόλογο χαρακτήρα των προγραμμάτων που συμμετείχαν μέχρι σήμερα σε αυτή τη δοκιμή, είναι επιτακτική ανάγκη να σημειωθεί ότι αποτυγχάνουν να επιδείξουν την πεμπτουσία της ανθρώπινης ικανότητας για αλληλεπίδραση με το εξωτερικό περιβάλλον. Ένας διορατικός παρατηρητής, οπλισμένος με τις κατάλληλες έρευνες, θα διακρίνει τη μηχανική τους ουσία (Damassino, 2020).

Παρ' όλα αυτά, η έρευνα επιμένει όσον αφορά τη δυνατότητα και τη χρονική εμφάνιση της ικανότητας της ανθρωπότητας να παράγει τεχνητή νοημοσύνη. Μια από τις πιο αληθοφανείς προβλέψεις, όπως διατυπώθηκε από το σεβαστό στέλεχος της Google Ray Kurzweil, προβλέπει την έλευση της τεχνητής νοημοσύνης το έτος 2029, βασιζόμενη στις αρχές του νόμου του Moore που αφορούν την εκθετική πρόοδο των ηλεκτρονικών συσκευών. Αντίθετα, ο Fred Brooks, μια διακεκριμένη προσωπικότητα στο χώρο της IBM, εξετάζει το θέμα μέσα από το πρίσμα του λογισμικού, υποστηρίζοντας ότι απέχουμε πολύ από το να επιτύχουμε την ικανότητα υπολογιστικής εξομοίωσης του τεράστιου δικτύου των περίπου 10^{14} διασυνδέσεων μεταξύ των νευρώνων στον ανθρώπινο εγκέφαλο. Τολμά να εκτιμήσει ότι αυτό θα απαιτήσει ένα επιπλέον διάστημα περίπου πέντε αιώνων ή και περισσότερο (Warwick & Shah, 2015).

1.4. Ιστορική αναδρομή

Ο τομέας της Τεχνητής Νοημοσύνης, αν και θεωρείται συνήθως ως σύγχρονος τεχνολογικός κλάδος, έχει τις ρίζες του στα μέσα του 20ού αιώνα.

Το έτος 1943, ο Warren Sturgis McCulloch και ο Walter Pitts έκαναν σημαντικά βήματα στον τομέα των Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων καθορίζοντας τις θεμελιώδεις αρχές στο θεμελιώδες έγγραφό τους με τίτλο "Ένας λογικός λογισμός των ιδεών που ενυπάρχουν στη νευρική δραστηριότητα". Οι συγγραφείς του προαναφερθέντος επιστημονικού άρθρου διατύπωσαν ένα θεωρητικό πλαίσιο που περιλαμβάνει τεχνητούς νευρώνες οι οποίοι παρουσιάζουν περιορισμένες ικανότητες επίλυσης προβλημάτων.

Το έτος 1949, ο Donald Hebb εισήγαγε μια θεμελιώδη αρχή που περιγράφει την τροποποίηση των συναπτικών συνδέσεων μεταξύ των νευρώνων, διευκολύνοντας έτσι την απόκτηση γνώσεων και δεξιοτήτων μέσω της διαδικασίας της μάθησης. Επί του παρόντος, το φαινόμενο αναφέρεται συνήθως ως "μάθηση κατά Hebb" (Hebbing learning) (Cooper, 2005).

Το έτος 1950, ο Alan Turing, εξέχουσα προσωπικότητα στον τομέα της θεωρίας του υπολογισμού και πρωτοπόρος στον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης,

διατύπωσε την έννοια της δοκιμής Turing. Το τεστ αυτό, που επινόησε ο Turing, χρησιμεύει ως μέσο για την εξακρίβωση της παρουσίας νοημοσύνης σε μια μηχανή. Η θεμελιώδης συμβολή του Τούρινγκ στον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης περιελάμβανε την εισαγωγή ενός παιχνιδιού μίμησης, το οποίο στη συνέχεια αναδείχθηκε σε σημαντικό ορόσημο στην ιστορική πορεία του εν λόγω κλάδου. Το παιχνίδι αυτό περιελάμβανε έναν "ανακριτή" που συμμετείχε σε παράλληλες συνομιλίες τόσο με έναν άνθρωπο συμμετέχοντα όσο και με μια υπολογιστική μηχανή, με τον ανακριτή να μην γνωρίζει την πραγματική ταυτότητα των συνομιλητών. Ο ανακριτής βρίσκεται σε μια ξεχωριστή χωρική σφαίρα σε σχέση τόσο με τον άνθρωπο όσο και με τη μηχανή, όπου τους τίθεται μια ακολουθία ερωτήσεων. Οι απαντήσεις λαμβάνονται στη συνέχεια με τρόπο που αποκλείει τη διάκριση του αν είναι ο άνθρωπος ή η μηχανή που δίνει τις απαντήσεις σε κάθε δεδομένη στιγμή. Ως εκ τούτου, εάν ο ανακριτής δεν είναι σε θέση να διακρίνει τη διάκριση μεταξύ του ανθρώπου και της μηχανής, προκύπτει ότι η μηχανή ολοκληρώνει επιτυχώς τη δοκιμή και θεωρείται ότι διαθέτει νοημοσύνη. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχει μια διευρυμένη εκδοχή της προαναφερθείσας εξέτασης που περιλαμβάνει τους τομείς της αναγνώρισης αντικειμένων και εικόνων. Αυτή η συγκεκριμένη πτυχή της αξιολόγησης έχει σημαντική σημασία στους επιστημονικούς κλάδους της μηχανικής όρασης και της ρομποτικής, όπως επισημάνθηκε από τον Turing το 1950 και αναπτύχθηκε περαιτέρω από τον Elmousalami το 2020.

Το έτος 1951, ο Marvin Minsky και ο Dean Edmonds συνεργάστηκαν για να αναπτύξουν το πρώτο υπολογιστικό σύστημα που βασίστηκε στις αρχές των νευρωνικών δικτύων. Η ονοματολογία που αποδόθηκε στην προαναφερθείσα οντότητα ήταν SNARC, ένα ακρωνύμιο που δηλώνει Stochastic Neural Analog Reinforcement Calculator (Στοχαστικός Νευρωνικός Αναλογικός Υπολογιστής Ενίσχυσης). Η εν λόγω συσκευή ήταν εξοπλισμένη με συνολικά 3.000 λυχνίες κενού, μαζί με έναν μηχανισμό αυτόματου πιλότου που προήλθε από ένα βομβαρδιστικό B-24, ο οποίος ουσιαστικά προσομοίαζε ένα δίκτυο αποτελούμενο από 50 νευρώνες. Το έτος που εξετάζεται, τα αρχικά προγράμματα τεχνητής νοημοσύνης (AI) αναπτύχθηκαν ειδικά για τον υπολογιστή Ferranti Mark I, ο οποίος στεγαζόταν στο αξιόλογο Πανεπιστήμιο του Μάντσεστερ. Ένα πλήθος ιδεών και προγραμμάτων ήρθε στην επιφάνεια, παρουσιάζοντας ένα ευρύ φάσμα εκδηλώσεων. Παρ' όλα αυτά, το

πρόγραμμα που επινόησε ο Christopher Strachey για την αναπαραγωγή ντάμας, καθώς και αυτό που ανέπτυξε ο Dietrich Prinz για την αναπαραγωγή σκακιού, τράβηξαν αναμφισβήτητα την προσοχή του κοινού.

Το έτος 1956, αξιόλογα άτομα, δηλαδή οι John McCarthy, Marvin Minsky, Claude Shannon και Nathaniel Rochester, συνεργάστηκαν για να οργανώσουν το περίφημο θερινό συνέδριο του Dartmouth. Η επίσημη καθιέρωση της Τεχνητής Νοημοσύνης ως επιστημονικού πεδίου έλαβε χώρα στη συνέχεια, όπως τεκμηριώνεται από τον Fleck το 2018.

Το έτος 1958, ο John McCarthy συνέβαλε σημαντικά στον τομέα της επιστήμης των υπολογιστών αναπτύσσοντας τη γλώσσα προγραμματισμού LISP (List Processor). Αυτή η πρωτοποριακή γλώσσα, που ήταν η πρώτη του είδους της, έπαιξε καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση του τοπίου των εφαρμογών τεχνητής νοημοσύνης (AI). Τη χρονιά της δημοσίευσής της, ο John McCarthy συνέγραψε μια επιστημονική εργασία με τίτλο "Programs with Common Sense" (Προγράμματα με κοινή λογική). Στο παρόν χειρόγραφο, ο συγγραφέας ανέπτυξε την έννοια του Advice Taker, ενός αφηρημένου προγράμματος που αξιοποιεί το αποθετήριο γνώσεων που διαθέτει για να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά διάφορα σενάρια επίλυσης προβλημάτων. Ο Advice Taker μπορεί να θεωρηθεί ως το πρώτο ολοκληρωμένο σύστημα τεχνητής νοημοσύνης.

Το έτος 1960, ο Ray Solomonoff συνεισέφερε σημαντικά στον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης (AI), δημιουργώντας μια μαθηματική βάση για τη θεωρία της AI. Εισήγαγε την αξιοποίηση των κανόνων του Bayes με σκοπό την καθολική εξαγωγή συμπερασμάτων και την πρόβλεψη.

Το έτος 1963, ο αξιόλογος μελετητής John McCarthy ίδρυσε το Εργαστήριο Τεχνητής Νοημοσύνης στο διάσημο Ερευνητικό Ινστιτούτο του Πανεπιστημίου Stanford. Μέσα στα όρια αυτού του αξιόλογου ιδρύματος, μια σειρά από αυστηρά πειράματα και δοκιμές διεξήχθησαν σχολαστικά με τον ευγενή στόχο να εκδηλωθεί το πρώτο ρομπότ στον κόσμο, το οποίο βαφτίστηκε εύστοχα Shakey.

Το έτος 1965, ο Joseph Weizenbaum ανέπτυξε με επιτυχία το πρωτοποριακό πρόγραμμα επεξεργασίας φυσικής γλώσσας, γνωστό ως "ELIZA". Το εν λόγω πρόγραμμα λειτουργεί διαδραστικά μέσω της επεξεργασίας των απαντήσεων των χρηστών (Bassett, 2018).

```
Welcome to
          EEEEE LL   IIII ZZZZZ AAAAA
          EE    LL   II   ZZ   AA   AA
          EEEEE LL   II   ZZZ  AAAAAA
          EE    LL   II   ZZ   AA   AA
          EEEEE LLLLL IIII ZZZZZ AA   AA

Eliza is a mock Rogerian psychotherapist.
The original program was described by Joseph Weizenbaum in 1966.
This implementation by Norbert Landsteiner 2005.

ELIZA: Is something troubling you ?
YOU:   Men are all alike.
ELIZA: What is the connection, do you suppose ?
YOU:   They're always bugging us about something or other.
ELIZA: Can you think of a specific example ?
YOU:   Well, my boyfriend made me come here.
ELIZA: Is it important to you that your boyfriend made you come here ?
YOU:   He says I'm depressed much of the time.
ELIZA: I am sorry to hear that you are depressed.
YOU:   It's true. I am unhappy.
ELIZA: Can you explain what made you unhappy ?
YOU:
```

Εικόνα 1 Το πρόγραμμα ELIZA

Το έτος 1967, ο σεβαστός γιατρός Edward Feugenbaum ξεκίνησε την εφαρμογή του DENTRAL στο διάσημο Πανεπιστήμιο του Stanford, μαζί με τους αξιόλογους επιστήμονες Joshua Lederberg, Bruce Buchanan και Georgia Sutherland. Το DENTRAL αποτέλεσε μια παρατεταμένη προσπάθεια ανάπτυξης λογισμικού που διήρκεσε δέκα χρόνια. Ο πρωταρχικός στόχος αυτής της προσπάθειας ήταν η αξιοποίηση των δεδομένων που λαμβάνονται από επιστημονικά όργανα προκειμένου να εξαχθεί η μοριακή διαμόρφωση των οργανικών ενώσεων και στη συνέχεια να εξαχθούν επιστημονικά ορθά συμπεράσματα. Το DENTRAL, ως το εναρκτήριο σύστημα μιας προοδευτικής σειράς, περιλάμβανε το σύνολο των γνώσεων που απαιτούνται για την εξομοίωση των γνωστικών ικανοτήτων και της εμπειρογνωμοσύνης των ανθρώπων σε διάφορους τομείς. Τα συστήματα αυτά αναφέρονται συνήθως ως συστήματα εμπειρογνωμόνων στην ακαδημαϊκή βιβλιογραφία. Κατά το δεύτερο μέρος της δεκαετίας του 1960, ξεκίνησε μια αξιοσημείωτη φάση που χαρακτηριζόταν από ανεπαρκείς οικονομικούς πόρους που διατίθεντο σε ερευνητικές προσπάθειες που αφορούσαν την τεχνητή νοημοσύνη, κυρίως λόγω της μη διαθεσιμότητας των αναμενόμενων αποτελεσμάτων μέχρι εκείνη τη συγκυρία (Elmousalami, 2020).

Το έτος 1970, ένα σύστημα εμπειρογνωμόνων γνωστό ως MYCIN σχεδιάστηκε και στη συνέχεια αναπτύχθηκε στο αξιόλογο Πανεπιστήμιο του Στάνφορντ. Ο πρωταρχικός στόχος της δημιουργίας του ήταν να διακρίνει και να εξακριβώσει τα βακτηριακά στελέχη που ήταν υπεύθυνα για την πρόκληση σοβαρών

λοιμώξεων, ιδίως μηνιγγίτιδας. Καλό είναι να χορηγούνται αντιβιοτικά λαμβάνοντας υπόψη την κατάλληλη δοσολογία, η οποία θα πρέπει να προσαρμόζεται με βάση το βάρος του ασθενούς. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε με σκοπό τη διάγνωση ασθενειών που σχετίζονται με την πήξη του αίματος.

Το έτος 1972, ο Alain Colmerauer συνέβαλε σημαντικά στον τομέα της επιστήμης των υπολογιστών αναπτύσσοντας τη γλώσσα λογικού προγραμματισμού γνωστή ως PROLOG. Η PROLOG, που έχει τις ρίζες της στο χώρο της λογικής, προέκυψε ως μια γόνιμη προσπάθεια που αποσκοπούσε στην κατασκευή αυτοματοποιημένων συστημάτων απόδειξης θεωρημάτων. Η έλευσή της έδωσε νέα πνοή στον τομέα της συμβολικής τεχνητής νοημοσύνης και συνεχίζει να χρησιμοποιείται ενεργά στη σύγχρονη εποχή.

Το έτος 1973, το αξιόλογο ρομπότ συναρμολόγησης Freddie παρουσιάστηκε στην πόλη του Εδιμβούργου. Αυτό το αξιοσημείωτο δημιούργημα μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα εξαιρετικά ευπροσάρμοστο σύστημα συναρμολόγησης ελεγχόμενο από υπολογιστή, επιδεικνύοντας τις εξαιρετικές ικανότητές του στον τομέα αυτό.

Το 1974, ο Ted Shortliffe παρουσίασε τις αξιοσημείωτες δυνατότητες της πρώιμης επανάληψης του συστήματος MYCIN στον τομέα των ιατρικών διαγνώσεων. Είναι αξιοσημείωτο ότι η γνώση του συστήματος δεν προερχόταν αποκλειστικά από συστήματα βασισμένα σε κανόνες, αλλά βασιζόταν σε μια εξελιγμένη διαδικασία συνεντεύξεων με επαγγελματίες του ιατρικού κλάδου.

Το έτος 1974, ο Paul Werbos έκανε την αρχική σκιαγράφηση της διαδικασίας εκπαίδευσης Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων, όπου πρότεινε την πιθανή χρήση του αλγορίθμου Back Propagation.

Το έτος 1975, ο Marvin Minsky εισήγαγε την έννοια των πλαισίων ως μέθοδο οργάνωσης και αναπαράστασης της γνώσης με συστηματικό και συνεκτικό τρόπο.

Το 1979, ο Bill Van Melle συνέβαλε σημαντικά στον τομέα της αναπαράστασης γνώσης και της συλλογιστικής αναπτύσσοντας το πρόγραμμα EMYCIN, το οποίο εμπνεύστηκε από το MYCIN. Αυτή η καινοτομία λειτούργησε ως θεμελιώδες πλαίσιο για πολυάριθμα συστήματα που αναπτύσσονται εμπορικά, όπως τονίζεται από τους Confalonieri και συν (2020).

Το έτος 1981, αξιόλογοι Ιάπωνες ερευνητές έκαναν μια σημαντική ανακοίνωση σχετικά με την έναρξη του προγράμματος 5ης γενιάς. Αυτό το φιλόδοξο εγχείρημα είχε ως στόχο να διαρκέσει μια δεκαετία και περιστρεφόταν γύρω από την ανάπτυξη υπολογιστών με γλώσσα μηχανής που χρησιμοποιούσαν τη γλώσσα προγραμματισμού PROLOG. Ο στόχος συνεπαγόταν την κατασκευή ευφών συστημάτων που θα διέθεταν την ικανότητα ολοκληρωμένης επικοινωνίας με τον άνθρωπο μέσω της χρήσης της φυσικής γλώσσας.

Κατά το δεύτερο μέρος της δεκαετίας του 1990, εμφανίστηκε μια αναζωπύρωση του ενδιαφέροντος στον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης (AI). Η ανάπτυξη εφαρμογών ΤΝ επηρεάστηκε βαθιά από την έλευση του Διαδικτύου και την εισαγωγή υπολογιστών υψηλής απόδοσης, οι οποίοι διαθέτουν σημαντικές υπολογιστικές δυνατότητες και την ικανότητα να αποθηκεύουν και να χειρίζονται τεράστιες ποσότητες δεδομένων (Confalonieri et al., 2020).

Το έτος 1997, ο σεβαστός παγκόσμιος πρωταθλητής σκακιού, Garry Kasparov, ενεπλάκη σε μια βαρυσήμαντη σκακιστική αναμέτρηση με τον τρομερό υπολογιστή Deep Blue της IBM, με αποτέλεσμα ένα αξιοσημείωτο αποτέλεσμα όπου ο υπολογιστής βγήκε θριαμβευτής. Η διερεύνηση των ορίων της τεχνητής νοημοσύνης πυροδοτήθηκε από το αξιοσημείωτο επίτευγμα μιας σύμπτωσης υλικού που θριάμβευσε επί του εξέχοντος μεγαλομάστορα του σκακιού σε μια κατεξοχήν γνωστική επίδιωξη, προκαλώντας τον προβληματισμό πολλών (Delipetrev et al., 2020).

Το έτος 1998, η Tiger Electronics παρουσίασε το ηλεκτρονικό ρομποτικό παιχνίδι Furby, το οποίο φιλοτεγήθηκε σχολαστικά από τα ταλαντούχα άτομα Dave Hampton και Caleb Chung. Αυτό το πρωτοποριακό δημιούργημα αποτέλεσε σημαντικό ορόσημο, καθώς αναδείχθηκε ως ο πρώτος θρίαμβος στην παρουσίαση της τεχνητής νοημοσύνης εντός των ορίων ενός οικιακού περιβάλλοντος.

Το έτος 1999, η Sony ανέλαβε την προώθηση του σκύλου AIBO, ενός πρωτοποριακού παραδείγματος αυτόνομου κατοικίδιου ζώου προικισμένου με δυνατότητες τεχνητής νοημοσύνης. Αυτό το αξιοσημείωτο δημιούργημα διέθετε την ικανότητα να συμμετέχει σε λεκτική επικοινωνία, να επιδεικνύει συναισθηματικές εκφράσεις και να εκτελεί ένα ευρύ φάσμα κινήσεων, εκπέμποντας παράλληλα διάφορα ακουστικά σήματα.

Το έτος 2009, το Πανεπιστήμιο Aberystwyth, που βρίσκεται στην Αγγλία, γεννά με επιτυχία τον Adam, έναν αυτόνομο ρομποτικό επιστήμονα ικανό να διατυπώνει πρωτότυπες επιστημονικές υποθέσεις και στη συνέχεια να εκτελεί πειράματα για την επικύρωσή τους. Ο Adam, σύμφωνα με το επιστημονικό έργο των Haenlein και Kaplan (2019), πέτυχε με επιτυχία την αρχική του εξόρμηση στο πεδίο των γνήσιων επιστημονικών ανακαλύψεων.

Το έτος 2011, η Apple κατασκεύασε με επιτυχία το iPhone 4s, ένα κινητό τηλέφωνο αιχμής εξοπλισμένο με το καινοτόμο λογισμικό Siri. Το Siri χρησιμοποιεί την αξιοποίηση της Τεχνητής Νοημοσύνης προκειμένου να κατανοεί τις φωνητικές οδηγίες και τις ερωτήσεις που θέτουν οι χρήστες, οι οποίες διατυπώνονται με τρόπο που μιμείται τα καθημερινά πρότυπα ομιλίας.

Το έτος 2014 σημειώθηκε μια σημαντική εξέλιξη στον τομέα της ρομποτικής με τη δημιουργία μικροσκοπικών ρομποτικών οντοτήτων εξοπλισμένων με εξελιγμένο λογισμικό που τους επιτρέπει να λειτουργούν ανεξάρτητα, χωρίς καμία ανθρώπινη παρέμβαση (Confalonieri et al., 2020).

Το 2015, η Google δημιούργησε με επιτυχία το πρόγραμμα AlphaGo, ένα αξιοσημείωτο επίτευγμα που κορυφώθηκε με τον θρίαμβό του επί του κυρίαρχου παγκόσμιου πρωταθλητή στο αρχαίο και περίπλοκο επιτραπέζιο παιχνίδι που είναι γνωστό ως Go. Η πολυπλοκότητα του παιχνιδιού Go ξεπερνάει εκείνη του σκακιού και ήταν ευρέως διαδεδομένη η άποψη στην επιστημονική κοινότητα ότι η προοπτική να ξεπεράσουν οι υπολογιστές τις ανθρώπινες ικανότητες στο συγκεκριμένο παιχνίδι ήταν εξαιρετικά απίθανη.

Σήμερα, είναι ευρέως αποδεκτό ότι το θεμέλιο πολλών εφαρμογών τεχνητής νοημοσύνης (AI) βρίσκεται στο πεδίο των τεχνητών νευρωνικών δικτύων (ANN) και της βαθιάς μάθησης (DL). Η εφαρμογή αλγορίθμων αναγνώρισης εικόνας, που χρησιμοποιούνται από το Facebook, παράλληλα με αλγορίθμους αναγνώρισης ομιλίας και αυτόνομα οχήματα, διευκολύνεται μέσω της χρήσης διαφόρων τεχνικών (Πριστάικο, (2017).

1.5. Ερευνητικοί τομείς της Τεχνητή Νοημοσύνη

Μόλις μισός αιώνας έχει περάσει από την έναρξη της Τεχνητής Νοημοσύνης (AI), αλλά οι επίμονες προσπάθειες για την επιστημονική εξερεύνηση και την προώθησή της έχουν αποφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα για το πεδίο της τεχνολογίας, που εκδηλώνονται στους τομείς της αυτοματοποίησης και της αυξημένης αποτελεσματικότητας. Παρ' όλα αυτά, πέραν της αξιοποίησής της στο πεδίο της παραγωγής, η τεχνητή νοημοσύνη υφίσταται σημαντικές εξελίξεις σε διάφορους τομείς, όπως περιγράφεται από τον Γεωργούλη (2015). Οι τομείς αυτοί περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα τομέων εντός της ίδιας της τεχνητής νοημοσύνης:

- Αναπαράσταση γνώσης.

Ο τομέας αυτός μελετά το σύνολο των αναπαραστάσεων γνώσης στον τομέα της Γνωστικής Επιστήμης, καθώς και τις μεθόδους επεξεργασίας τους. Κάθε σύστημα που έχει ευφυή συμπεριφορά, έχει μια βάση γνώσεων και έναν μηχανισμό εξαγωγής συμπερασμάτων που χρησιμοποιούν μια γλώσσα αναπαράστασης γνώσεων. Ο μηχανισμός εξαγωγής συμπερασμάτων χειρίζεται τις εκφράσεις γνώσης στη βάση γνώσης για να παράγει την ευφυή συμπεριφορά. Επιπλέον, η Αναπαράσταση Γνώσης θα πρέπει να διαθέτει μια μονοσήμαντη σημειογραφία που να δίνει μια ακριβή ερμηνεία χωρίς την ανάγκη πρόσθετων πληροφοριών, να καθιστά εμφανή τη σχέση μεταξύ των παραγόντων που υπάρχουν στο υπάρχον πρόβλημα και να μπορεί να συνδυαστεί και να συνεργαστεί κατάλληλα με μηχανισμούς εξαγωγής συμπερασμάτων (Zhu et al., 2021).

- Επεξεργασία φυσικής γλώσσας και κατανόηση

Πρόκειται για την επικοινωνία μεταξύ του χρήστη και της μηχανής μέσω του γραπτού και προφορικού λόγου και τη μετάφραση διαφορετικών γλωσσών. Για την επεξεργασία φυσικής γλώσσας υπάρχουν τρία στάδια. Συντακτική ανάλυση η οποία εξετάζει αν η μορφή της πρότασης που δίνει ο χρήστης είναι σωστή ή όχι. Στη συνέχεια υπάρχει η σημασιολογική ανάλυση όπου μελετάται το γλωσσικό νόημα και τέλος η πραγματολογική ανάλυση (Γεωργούλης, 2005).

- Μηχανισμοί εξαγωγής συμπερασμάτων - Συστήματα εμπειρογνομόνων

Ο κλάδος αυτός πραγματεύεται την ύπαρξη μηχανισμών που χειρίζονται κατάλληλα γεγονότα και κανόνες και μέσω αυτών αναπαράγεται η λογική σκέψη για την παραγωγή σωστών συμπερασμάτων. Τα Συστήματα Εμπειρογνομόνων χρησιμοποιούνται για τη λήψη δύσκολων αποφάσεων με βάση ένα σύνολο γνώσεων που έχουν συγκεντρωθεί από ειδικούς. Ένα πολύ βασικό χαρακτηριστικό που πρέπει να έχει ένα Έμπειρο Σύστημα είναι η υψηλή ποιότητα απόδοσης. Δηλαδή οι αποφάσεις που λαμβάνει πρέπει να είναι σαφείς, σωστές αλλά και γρήγορες καθώς πολλές φορές ακόμα και αν η απόφαση είναι η πιο επικερδής δεν είναι χρήσιμη καθώς μέχρι να βρεθεί είναι πολύ αργά για να εκτελεστεί (Krishnamoorthy & Rajeev, 2018).

- Επίλυση προβλημάτων

Ο κλάδος αυτός είναι η μελέτη ευφυών αλγορίθμων για την εύρεση λύσεων. Ο αλγόριθμος που επιλέγεται για την επίλυση του προβλήματος έχει καταλυτικό ρόλο στην έκβαση της διαδικασίας. Τα κριτήρια για την επιλογή ενός τέτοιου αλγορίθμου είναι η βεβαιότητα ότι θα βρει λύση, αν είναι δυνατόν να βρεθεί (πλήρης αλγόριθμος), η αποδοτικότητα σε χρόνο και μνήμη, η εξαντλητική ή μη εξαντλητική αναζήτηση που πραγματοποιεί, η ευκολία εύρεσης της βέλτιστης λύσης με την πρώτη προσπάθεια και τέλος η ευκολία υλοποίησης του αλγορίθμου (Γεωργούλης, 2005).

- Ανάλυση πρόβλεψης

Η ανάλυση πρόβλεψης συσχετίζεται με την επιστήμη των δεδομένων. Πρόκειται για τη χρήση στατιστικών και τεχνικών μοντελοποίησης για την πραγματοποίηση προβλέψεων σχετικά με μελλοντικά αποτελέσματα και επιδόσεις. Βασίζεται σε μια σειρά τεχνικών για να κάνει αυτούς τους προσδιορισμούς, συμπεριλαμβανομένης της τεχνητής νοημοσύνης. Εξετάζει τρέχοντα και ιστορικά πρότυπα δεδομένων για να καθορίσει εάν αυτά τα πρότυπα είναι πιθανό να εμφανιστούν ξανά. Έτσι χρησιμοποιείται για τη βελτίωση της επιχειρησιακής

αποτελεσματικότητας και τη μείωση των κινδύνων. Στην εκπαίδευση μπορεί να αξιοποιηθεί για την αξιολόγηση διαφόρων καταστάσεων, όπως η πιθανότητα επιτυχίας μαθητών με διαφορετικό μαθησιακό υπόβαθρο σε διαφορετικούς τύπους ακαδημαϊκών προγραμμάτων ή για τον εντοπισμό μαθητών που κινδυνεύουν να εγκαταλείψουν το σχολείο (Γεωργούλης, 2005).

- Μηχανική μάθηση

Η μηχανική μάθηση προέρχεται από στατιστικές μεθόδους μάθησης και χρησιμοποιεί δεδομένα και αλγόριθμους για την εκτέλεση εργασιών που συνήθως εκτελούνται από ανθρώπους. Η μηχανική μάθηση αφορά στο να κάνουμε τους υπολογιστές να ενεργούν με λογική αυτονομία, χωρίς να τους προγραμματίζουμε με οδηγίες εκτέλεσης για κάθε βήμα. Ο μηχανισμός λειτουργίας της στηρίζεται στην έκθεση του μοντέλου μάθησης σε άφθονες ποσότητες ποιοτικών δεδομένων. Οι αλγόριθμοι πρώτα αναλύουν τα δεδομένα για να προσδιορίσουν μοτίβα και να δημιουργήσουν ένα μοντέλο και στη συνέχεια προβλέπουν μελλοντικές τιμές μέσω αυτών των μοντέλων. Με άλλα λόγια, η μηχανική μάθηση μπορεί να θεωρηθεί μια διαδικασία τριών βημάτων. Ανάλυση δεδομένων, δημιουργία ενός μοντέλου και ανάληψη δράσης. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται συνεχώς, καθώς τα αποτελέσματα της δράσης δημιουργούν νέα δεδομένα, τα οποία με τη σειρά τους τροποποιούν το μοντέλο, το οποίο με τη σειρά του ενεργοποιεί νέα δράση (Danilov et al., 2020).

- Τεχνητά νευρωνικά δίκτυα

Το τεχνητό νευρωνικό δίκτυο είναι ένα μοντέλο μηχανικής μάθησης. Είναι ένας αλγόριθμος τεχνητής νοημοσύνης που βασίζεται στη δομή και τις λειτουργίες των βιολογικών νευρωνικών δικτύων. Ο εγκέφαλός μας απαρτίζεται από δισεκατομμύρια μεμονωμένους νευρώνες, καθένας από τους οποίους συνδέεται με έως και χίλιους άλλους νευρώνες, δίνοντας τρισεκατομμύρια συνδέσεις. Οι νευρώνες δέχονται εισροές, τις επεξεργάζονται και τις μεταδίδουν σε άλλους νευρώνες που υπάρχουν στα πολλαπλά κρυφά στρώματα του δικτύου, μέχρι το στρώμα εξόδου. Τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα περιλαμβάνουν το καθένα τρεις τύπους στρωμάτων (Wu

& Feng, 2017). Τουλάχιστον ένα, αλλά συχνά πολύ περισσότερα, κρυφά ενδιάμεσα στρώματα που κάνουν τους υπολογισμούς. Ένα στρώμα εξόδου, το οποίο αποδίδει το αποτέλεσμα. Τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα είναι εξαιρετικά μοντέλα μηχανικής μάθησης για την αντιμετώπιση ποικίλων ζητημάτων, όπως η ταξινόμηση, η αναγνώριση προτύπων, η πρόβλεψη και η ανάλυση, η ομαδοποίηση, η λήψη αποφάσεων (Γεωργούλης, 2005).

1.6. Η Ηθική της Τεχνητής Νοημοσύνης

Η τεχνητή νοημοσύνη έχει αναδειχθεί σε ένα επαναστατικό εργαλείο στο πεδίο της επιστημονικής έρευνας. Έχουν αντιμετωπιστεί με επιτυχία πολυάριθμα τεχνολογικά διλήμματα, έχουν επινοηθεί νέες μεθοδολογίες επίλυσης προβλημάτων και έχουν επιτευχθεί αξιοσημείωτες τεχνολογικές εξελίξεις. Όπως κάθε τεχνολογική πρόοδος ή μέσο, η τεχνητή νοημοσύνη έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί τόσο για αγαθοεργές προσπάθειες όσο και για κακόβουλες προθέσεις. Η τεχνητή νοημοσύνη (AI) δημιουργεί αναμφισβήτητα νέες προοπτικές, αλλά ταυτόχρονα παρουσιάζει τρομερά διλήμματα και κινδύνους που αφορούν την ασφάλεια και τη λογοδοσία, τη διασφάλιση του ατόμου και τις πρακτικές διακρίσεων. Ως εκ τούτου, η τεχνητή νοημοσύνη διαθέτει την ικανότητα να προκαλεί πολυάριθμες κοινωνικές και ηθικές αντιδράσεις.

Σε ολόκληρο τον κόσμο, έχει αναδυθεί ένα πλήθος απόψεων, που περιλαμβάνουν τα πεδία της πολιτικής, της επιστήμης και του ανθρωπισμού, οι οποίες εκφράζουν ποικίλους βαθμούς σκεπτικισμού ή απόλυτης αντίθεσης προς την τεχνητή νοημοσύνη. Οι φωνές αυτές υποστηρίζουν ότι η τεχνητή νοημοσύνη έχει τη δυνατότητα να διαβρώσει θεμελιώδη ανθρώπινα δικαιώματα και αξίες. Σύμφωνα με τον Κωνσταντίνο Δασκαλάκη, διακεκριμένο καθηγητή του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Επιστήμης Υπολογιστών του έγκριτου Τεχνολογικού Ινστιτούτου της Μασαχουσέτης (MIT), είναι ζωτικής σημασίας να αναγνωριστούν οι ανησυχητικές επιπτώσεις της τεχνητής νοημοσύνης (AI) στους θεμελιώδεις πυλώνες της δημοκρατίας και της παγκόσμιας ειρήνης. Ο συγγραφέας εκφράζει ένα αισιόδοξο συναίσθημα όσον αφορά τα πιθανά οφέλη της τεχνητής νοημοσύνης για την ανθρωπότητα [39].

Στο πεδίο της οικονομίας, προβλέπεται ότι ένα σημαντικό ποσό ύψους περίπου 15,5 τρισεκατομμυρίων δολαρίων θα εισρεύσει στην παγκόσμια οικονομία. Η εισροή αυτή μπορεί να αποδοθεί στην αξιοσημείωτη παραγωγικότητα της τεχνητής νοημοσύνης, όπως αναφέρεται στην αναφορά [40]. Σύμφωνα με εκτιμήσεις, η έλευση της τεχνητής νοημοσύνης (AI) είναι έτοιμη να επιφέρει γρήγορες και βαθιές αλλαγές στο τοπίο των συνθηκών εργασίας. Αυτός ο μετασχηματιστικός αντίκτυπος θα εκδηλωθεί με την εξαφάνιση πολυάριθμων επαγγελμάτων, τη μεταμόρφωση των υφιστάμενων και την εμφάνιση νέων επαγγελματικών τομέων. Ωστόσο, παρά τις εγγενείς προκλήσεις που συνδέονται με την ακριβή ποσοτικοποίηση αυτών των επιπτώσεων, εκτιμάται ότι μέχρι το 2020 θα έχουν εξαλειφθεί 1,8 εκατομμύρια ευκαιρίες απασχόλησης. Αντίθετα, προβλέπεται ότι κατά την ίδια περίοδο θα έχουν δημιουργηθεί 2,3 εκατ. αξιόπαινες προοπτικές απασχόλησης. Παρ' όλα αυτά, είναι επιτακτική ανάγκη να αναγνωριστεί ότι οι επακόλουθες κοινωνικές αντιδράσεις είναι προβλέψιμες, λόγω της επικείμενης εκτόπισης πολλών εργατών από τις αυτοματοποιημένες μηχανές. Αυτή η μετάβαση προς τη μηχανοποίηση αποσκοπεί στον εξορθολογισμό της παραγωγικής διαδικασίας και στην ενίσχυση της αποτελεσματικότητάς της.

Σύμφωνα με εκτιμήσεις, περίπου το 85% των αλληλεπιδράσεων εξυπηρέτησης πελατών αναμένεται να διευκολυνθεί από αυτοματοποιημένα συστήματα εξυπηρέτησης αντί για ανθρώπινους πράκτορες. Στο πλαίσιο των επικείμενων κοινωνικών εξελίξεων, πολυάριθμα έθνη έχουν προσπαθήσει να ενσωματώσουν σταδιακά και απρόσκοπτα την τεχνητή νοημοσύνη (AI) τόσο στους κοινωνικούς όσο και στους βιομηχανικούς τομείς. Η προσέγγιση αυτή αποσκοπεί στον μετριασμό των πιθανών διαταραχών που προκαλούνται από τις κοινωνικές αντιδράσεις. Ταυτόχρονα, υπάρχει η επιθυμία να ενισχυθεί η συνεργασία μεταξύ της τεχνητής νοημοσύνης (AI) και των ανθρώπινων παραγόντων, είτε με την ενσωμάτωση της AI ως εργαλείο είτε με την εφαρμογή της ως εκπαιδευτικό σχήμα.

Ο επιδιωκόμενος στόχος είναι η τεχνητή νοημοσύνη να λειτουργεί ως συμπληρωματική οντότητα των ανθρώπων και όχι ως αντικατάστασή τους. Η ανάθεση της κριτικής σκέψης, της δημιουργικότητας και της διαχείρισης στην ανθρώπινη φύση, παράλληλα με την ανάθεση της εξέλιξης και της βελτίωσης της παραγωγικής διαδικασίας στην τεχνητή νοημοσύνη, είναι μια προτεινόμενη προσέγγιση.

2. Μεταλλευτική

Η εξόρυξη, στην ουσία της, είναι η διαδικασία με την οποία εξάγονται πολύτιμα γεωλογικά υλικά από τη Γη και διάφορα ουράνια σώματα. Η απόκτηση της πλειονότητας των υλικών που δεν επιδέχονται γεωργική καλλιέργεια ή πρακτική τεχνητή σύνθεση σε εργαστηριακό ή βιομηχανικό περιβάλλον καθιστά αναγκαία την πρακτική της εξόρυξης. Τα ορυκτά που λαμβάνονται μέσω της διαδικασίας της εξόρυξης περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα πολύτιμων πόρων, όπως διάφορα μέταλλα, άνθρακα, σχιστόλιθο, πολύτιμους λίθους, ασβεστόλιθο, κιμωλία, διαστασιολογημένη πέτρα, πετρώδες αλάτι, ποτάσα, χαλίκι και άργιλο. Το μέταλλευμα πρέπει να διαθέτει τα χαρακτηριστικά ενός γεωλογικού σχηματισμού που αποτελείται είτε από πέτρωμα είτε από ορυκτό, στο οποίο περιέχονται συστατικά σημαντικής αξίας, καθιστώντας το έτσι κατάλληλο για εξόρυξη ή εξόρυξη με απώτερο στόχο την εμπορική εκμετάλλευσή του για οικονομικό κέρδος. Η εξόρυξη, σε ένα ευρύτερο πλαίσιο, περιλαμβάνει την ανάκτηση διαφόρων μη ανανεώσιμων πόρων, συμπεριλαμβανομένων, μεταξύ άλλων, του πετρελαίου, του φυσικού αερίου και ακόμη και του νερού (Jawadand & Randive, 2021).

Οι σύγχρονες μεθοδολογίες εξόρυξης περιλαμβάνουν την αρχική εξερεύνηση για κοιτάσματα ορυκτών πόρων, την αξιολόγηση της οικονομικής βιωσιμότητας μιας μελλοντικής επιχείρησης εξόρυξης, την εξόρυξη των στοχευμένων ουσιών και, τελικά, την ολοκληρωμένη αποκατάσταση ή αποκατάσταση του επηρεαζόμενου εδάφους μετά το κλείσιμο του ορυχείου. Η απόκτηση μεταλλευτικών υλικών πραγματοποιείται συχνά μέσω της εξόρυξης πόρων από διάφορους γεωλογικούς σχηματισμούς, όπως μεταλλευτικά σώματα, υφάλους ή κοιτάσματα. Η αξιοποίηση αυτών των κοιτασμάτων για την απόκτηση πρωτογενών πόρων εξαρτάται από παράγοντες όπως οι επενδύσεις κεφαλαίου, το εργατικό δυναμικό, η κατανάλωση ενέργειας, οι διαδικασίες καθαρισμού και το κόστος που συνδέεται με τη μεταφορά (Loganathan et al., 2017).

Οι εξορυκτικές δραστηριότητες έχουν τη δυνατότητα να προκαλέσουν δυσμενείς περιβαλλοντικές συνέπειες, τόσο κατά την άμεση φάση της εξόρυξης όσο και κατά την περίοδο μετά τον εγκλεισμό. Κατά συνέπεια, ένας σημαντικός αριθμός εθνών σε όλο τον κόσμο έχει εφαρμόσει ρυθμιστικά μέτρα με στόχο τον μετριασμό

των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκαλούνται από τις εξορυκτικές δραστηριότητες. Ωστόσο, η εξέχουσα συμβολή της εξόρυξης στην οικονομική ανάπτυξη, ιδίως σε αγροτικές, απομακρυσμένες ή οικονομικά μειονεκτικές περιοχές, έχει συχνά ως αποτέλεσμα την ανεπαρκή εφαρμογή αυτών των κανονισμών από τις κυβερνητικές αρχές. Το ζήτημα της ασφάλειας της εργασίας αποτελεί μακροχρόνιο πρόβλημα και στις περιπτώσεις όπου εφαρμόζεται αυστηρά, οι σύγχρονες πρακτικές έχουν αποφέρει σημαντικές προόδους στην ασφάλεια των ορυχείων. Οι ανεξέλεγκτες ή ανεπαρκώς ρυθμιζόμενες εξορυκτικές δραστηριότητες, ιδίως στις αναδύμενες οικονομίες, συχνά προκαλούν περιπτώσεις παραβιάσεων των τοπικών ανθρωπίνων δικαιωμάτων και περιβαλλοντικών διαφορών. Η εξόρυξη έχει τη δυνατότητα να προκαλέσει και να διατηρήσει την πολιτική αστάθεια λόγω της σύνδεσής της με συγκρούσεις πόρων (Žibret et al., 2020).

2.1. Προκλήσεις και προβληματισμοί στη σύγχρονη εξόρυξη

Η περίπλοκη διαδικασία της εξόρυξης, η οποία αρχίζει με τον εντοπισμό ενός κοιτάσματος μεταλλεύματος, προχωρά στην εξόρυξη πολύτιμων ορυκτών και καταλήγει στην αποκατάσταση της γης στην αρχική της κατάσταση, περιλαμβάνει μια σειρά διακριτών σταδίων. Το αρχικό στάδιο της διαδικασίας περιλαμβάνει τον εντοπισμό του μεταλλευτικού σώματος, έργο που επιτελείται με τη βοήθεια τεχνικών αναζήτησης ή εξερεύνησης. Οι μέθοδοι αυτές χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό και στη συνέχεια για την οριοθέτηση του μεγέθους, της θέσης και της οικονομικής αξίας του μεταλλευτικού σώματος. Έτσι προκύπτει μια μαθηματική εκτίμηση των πόρων με σκοπό την εκτίμηση του μεγέθους και της ποιότητας του κοιτάσματος (Mateus & Martins, 2019).

Η προαναφερθείσα εκτίμηση χρησιμοποιείται με σκοπό τη διενέργεια προκαταρκτικής αξιολόγησης για να διαπιστωθεί η θεωρητική οικονομική βιωσιμότητα του κοιτάσματος ορυκτών πόρων. Αυτή η αρχική αξιολόγηση χρησιμεύει για τον προσδιορισμό της αναγκαιότητας πρόσθετων επενδύσεων σε εκτιμήσεις και τεχνικές μελέτες, ενώ παράλληλα εντοπίζει κρίσιμους κινδύνους και περιοχές που απαιτούν περαιτέρω προσοχή. Η επόμενη φάση περιλαμβάνει την εκτέλεση μελέτης σκοπιμότητας με σκοπό την αξιολόγηση της δημοσιονομικής

βιωσιμότητας, των τεχνικών και δημοσιονομικών κινδύνων και της ανθεκτικότητας της επιχείρησης (Mateus & Martins, 2019).

Αυτή η κρίσιμη φάση συνεπάγεται τη διαβούλευση της μεταλλευτικής εταιρείας σχετικά με το αν θα προχωρήσει με την ανάπτυξη του ορυχείου ή θα επιλέξει να διακόψει το έργο. Τα προαναφερθέντα περιλαμβάνουν την ολοκληρωμένη αξιολόγηση διαφόρων παραγόντων που αφορούν τον σχεδιασμό του ορυχείου, περιλαμβάνοντας την αξιολόγηση του οικονομικά βιώσιμου τμήματος του κοιτάσματος, την εξέταση των μεταλλουργικών πτυχών και της δυνατότητας ανάκτησης του μεταλλεύματος, την αξιολόγηση της εμπορευσιμότητας και της πληρωσιμότητας των συμπυκνωμάτων μεταλλεύματος, την εξέταση των τεχνικών θεμάτων, την αξιολόγηση του κόστους άλεσης και των υποδομών, την ανάλυση των χρηματοοικονομικών και κεφαλαιακών απαιτήσεων και την εξέταση του κύκλου ζωής του προτεινόμενου ορυχείου από την αρχική εκσκαφή έως την αποκατάσταση. Η οικονομική απολήψιμότητα ενός κοιτάσματος εξαρτάται από τον συντελεστή εμπλουτισμού του μεταλλεύματος εντός της συγκεκριμένης περιοχής (Brown, 2012).

Προκειμένου να επιτευχθεί η είσοδος στο ορυκτό κοίτασμα που βρίσκεται εντός μιας δεδομένης περιοχής, είναι συχνά επιβεβλημένη η εμπλοκή στην εξόρυξη ή την εξάλειψη ξένων ουσιών που δεν διαθέτουν άμεση σημασία ή συνάφεια για τον φορέα εκμετάλλευσης του μεταλλείου. Η ολοκληρωμένη συγκέντρωση τόσο του μεταλλεύματος όσο και των αποβλήτων περιλαμβάνει το σύνολο της διαδικασίας εξόρυξης. Συχνά, κατά τη διάρκεια της λειτουργικής ζωής ενός ορυχείου εξάγεται μεγαλύτερη ποσότητα αποβλήτων σε σύγκριση με την ποσότητα του μεταλλεύματος, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά και τη γεωγραφική θέση του κοιτάσματος μεταλλεύματος. Οι δαπάνες που συνδέονται με την απομάκρυνση και την τοποθέτηση των αποβλήτων αποτελούν σημαντική οικονομική επιβάρυνση για τους φορείς εκμετάλλευσης των ορυχείων. Κατά συνέπεια, καθίσταται επιτακτική η διεξαγωγή μιας ολοκληρωμένης αξιολόγησης των αποβλήτων ως αναπόσπαστο στοιχείο του προγράμματος γεωλογικής διερεύνησης για κάθε εξορυκτική προσπάθεια (Gilsbach et al., 2019).

Μετά την ολοκλήρωση μιας ολοκληρωμένης ανάλυσης, κατά την οποία διαπιστώνεται ότι ένα συγκεκριμένο κοίτασμα μεταλλεύματος διαθέτει επαρκή αξία ώστε να δικαιολογείται η εξόρυξη, ξεκινά η επόμενη φάση ανάπτυξης με πρωταρχικό

στόχο τη δημιουργία της απαιτούμενης πρόσβασης στο εν λόγω κοίτασμα μεταλλεύματος. Η κατασκευή των κτιρίων του ορυχείου και των εγκαταστάσεων επεξεργασίας έχει ολοκληρωθεί, ενώ έχει αποκτηθεί δεόντως όλος ο απαιτούμενος εξοπλισμός. Η έναρξη και η συνέχιση της εκμετάλλευσης του μεταλλείου με σκοπό την εξόρυξη μεταλλεύματος εξαρτάται από την οικονομική βιωσιμότητα που διαπιστώνεται από την εταιρεία εξόρυξης. Μετά την εξάντληση της οικονομικά βιώσιμης εξόρυξης μεταλλεύματος από το ορυχείο, ακολουθεί η επόμενη φάση της αποκατάστασης, με στόχο την επαναφορά της χρησιμοποιούμενης γης σε κατάσταση που να ευνοεί την προοπτική αξιοποίησής της (Nadeau et al., 2013).

Εκτός από τα τρομερά τεχνικά και οικονομικά εμπόδια, είναι επιτακτική ανάγκη για μια θριαμβευτική προσπάθεια ανάπτυξης ορυχείου να αντιμετωπιστεί αποτελεσματικά το περίπλοκο πεδίο των ανθρώπινων παραγόντων. Η σημασία των συνθηκών εργασίας δεν μπορεί να υπερεκτιμηθεί, ιδίως σε σχέση με τους πιθανούς κινδύνους που σχετίζονται με τη σκόνη, την ακτινοβολία, τον θόρυβο, τους εκρηκτικούς κινδύνους, τους κραδασμούς και την τήρηση των προτύπων φωτισμού. Στη σύγχρονη εποχή, η εξορυκτική βιομηχανία βρίσκεται αντιμέτωπη με την επιτακτική ανάγκη να μετριάσει αποτελεσματικά τις περιβαλλοντικές και κοινοτικές επιπτώσεις, που περιλαμβάνουν ψυχολογικές και κοινωνιολογικές πτυχές. Ο μελετητής των μεταλλείων Frank T. M. White (1909-1971) διεύρυνε το πεδίο έρευνας ώστε να συμπεριλάβει το συνολικό περιβάλλον των μεταλλείων. Αυτό συνεπαγόταν την εξέταση όχι μόνο των τεχνικών πτυχών αλλά και των κοινωνικοοικονομικών επιπτώσεων, όπως η ανάπτυξη της κοινότητας κοντά στις επιχειρήσεις εξόρυξης, καθώς και η αντίληψη και η απεικόνιση της εξόρυξης μέσα στις αστικές κοινωνίες. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι αστικές κοινωνίες, παρά τη φαινομενική τους αδιαφορία, βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στη βιομηχανία εξόρυξης για τη συντήρησή τους. Ο ίδιος διατύπωσε: "Ιστορικά, οι μηχανικοί εξόρυξης δεν έχουν επιφορτιστεί με την εξέταση των ψυχολογικών, κοινωνιολογικών και προσωπικών διλημμάτων εντός του ίδιου τους του τομέα - πτυχές που σήμερα έχουν σημαντική σημασία". Ο μηχανικός εξόρυξης καλείται να αυξήσει ταχέως τις γνώσεις του και να επεκτείνει τη σφαίρα επιρροής του σε αυτούς τους αναδυόμενους τομείς (White, 2020).

2.2. Τεχνικές

Η ταξινόμηση των τεχνικών εξόρυξης περιλαμβάνει δύο κύριες μεθοδολογίες εκσκαφής: την επιφανειακή εξόρυξη και την υποεπιφανειακή (υπόγεια) εξόρυξη. Στη σύγχρονη εποχή, η επιφανειακή εξόρυξη έχει επικρατήσει σημαντικά, αναδεικνυόμενη ως η κυρίαρχη μέθοδος εξόρυξης ορυκτών. Ενδεικτικά, αντιπροσωπεύει σήμερα ένα σημαντικό ποσοστό, περίπου 85%, της παραγωγής ορυκτών στις Ηνωμένες Πολιτείες, με εξαίρεση το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Επιπλέον, αυτή η μορφή εξόρυξης είναι υπεύθυνη για τη συντριπτική πλειοψηφία, ακριβώς το 98%, της εξόρυξης μεταλλικών μεταλλευμάτων εντός της χώρας (Ramani, 2012).

Οι στόχοι μπορούν σε γενικές γραμμές να ταξινομηθούν σε δύο διακριτές κατηγορίες με βάση τη σύνθεσή τους: τα κοιτάσματα πλακών (placer deposits) και τα κοιτάσματα λατομείου (lode deposits). Τα κοιτάσματα placer περιλαμβάνουν πολύτιμα ορυκτά που είναι ενσωματωμένα μέσα σε ποτάμια χαλίκια, άμμο παραλίας και διάφορα άλλα μη στερεοποιημένα υλικά. Από την άλλη πλευρά, τα κοιτάσματα λατομείου χαρακτηρίζονται από πολύτιμα ορυκτά που είναι παρόντα σε φλέβες, στρώματα ή κόκκους ορυκτών που είναι συνήθως διασκορπισμένα σε μια στερεή μάζα πετρώματος. Και οι δύο κατηγορίες κοιτασμάτων ορυκτών, δηλαδή τα κοιτάσματα placer και lode, εξορύσσονται μέσω ενός συνδυασμού τεχνικών επιφανειακής και υπόγειας εξόρυξης (White, 2020).

Ορισμένες μορφές εξόρυξης, συγκεκριμένα εκείνες που αφορούν την εξόρυξη σπάνιων γαιών και ουρανίου, χρησιμοποιούν μη συμβατικές μεθοδολογίες, όπως η επί τόπου έκπλυση. Η συγκεκριμένη τεχνική αποκλίνει από τις παραδοσιακές πρακτικές εξόρυξης παρακάμπτοντας τόσο την επιφανειακή όσο και την υπόγεια εκσκαφή. Η επιτυχής εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθοδολογίας προϋποθέτει τη διαλυτότητα των επιθυμητών ορυκτών, όπως η ποτάσα, το χλωριούχο κάλιο, το χλωριούχο νάτριο και το θειικό νάτριο, τα οποία παρουσιάζουν την ικανότητα να διαλύονται σε υδατικά διαλύματα. Ορισμένα ορυκτά, όπως τα ορυκτά χαλκού και το οξείδιο του ουρανίου, απαιτούν τη χρήση όξινων ή ανθρακικών διαλυμάτων προκειμένου να διευκολυνθεί η διάλυσή τους (Ramani, 2012).

2.2.1. Εκρηκτικές ύλες στα ορυχεία

Τα εκρηκτικά έχουν χρησιμοποιηθεί τόσο στις επιφανειακές όσο και στις υποεπιφανειακές εξορύξεις ως μέσο απομάκρυνσης πετρωμάτων και μεταλλεύματος για σκοπούς μεταγενέστερης επεξεργασίας. Το νιτρικό αμμώνιο έχει αναγνωριστεί ως το επικρατέστερο εκρηκτικό που χρησιμοποιείται στις εργασίες εξόρυξης, όπως αναφέρει ο Tatiya το 2005. Κατά την περίοδο από το 1870 έως το 1920, στα γεωγραφικά όρια του Κουίνσλαντ της Αυστραλίας, παρατηρήθηκε μια διακριτή κλιμάκωση των ατυχημάτων στα ορυχεία, γεγονός που επέβαλε την εφαρμογή πρόσθετων πρωτοκόλλων ασφαλείας σχετικά με τη χρήση εκρηκτικών υλών στη βιομηχανία εξόρυξης. Στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, κατά τη διάρκεια της περιόδου 1990-1999, μια σημαντική ποσότητα περίπου 22,3 δισεκατομμυρίων χιλιογράμμων εκρηκτικών υλών χρησιμοποιήθηκε στους τομείς της εξόρυξης, των λατομείων και διαφόρων άλλων βιομηχανιών. Είναι αξιοσημείωτο να αναφερθεί ότι η εξόρυξη άνθρακα αντιπροσώπευε το μεγαλύτερο ποσοστό, συγκεκριμένα το 66,4%, ακολουθούμενη από την εξόρυξη και τα λατομεία μη μετάλλων με 13,5%, την εξόρυξη μετάλλων με 10,4%, τις κατασκευές με 7,1% και όλους τους άλλους χρήστες που αποτελούσαν συνολικά το 2,6% του συνόλου (Bajrayee et al., 2004).

2.2.2. Βιοτεχνική εξόρυξη.

Ο βιοτεχνικός ανθρακωρύχος, γνωστός και ως μικρής κλίμακας ανθρακωρύχος (ASM), αναφέρεται σε ένα άτομο που ασχολείται με εξορυκτικές δραστηριότητες διαβίωσης, όπου λειτουργεί αυτόνομα και δεν είναι επίσημα συνδεδεμένο με κάποια μεταλλευτική εταιρεία. Αυτοί οι μεταλλωρύχοι βασίζονται στους προσωπικούς τους πόρους και χρησιμοποιούν κυρίως χειρωνακτική εργασία για την εξόρυξη ορυκτών. Η εξόρυξη μικρής κλίμακας περιλαμβάνει τις δραστηριότητες επιχειρήσεων ή ατόμων που απασχολούν εργαζόμενους σε εξορυκτικές δραστηριότητες, βασιζόμενοι κυρίως σε τεχνικές έντασης εργασίας και χρησιμοποιώντας εργαλεία χειρός (Mallo, 2012).

Οι χειρωνακτικοί μεταλλωρύχοι ασχολούνται συχνά με την πρακτική της εξόρυξης σε εποχιακή βάση, κατά την οποία ευθυγραμμίζουν τις δραστηριότητές

τους με τις μεταβαλλόμενες κλιματολογικές συνθήκες. Για παράδειγμα, αφιερώνουν τις προσπάθειές τους σε γεωργικές δραστηριότητες κατά τη διάρκεια της περιόδου των βροχών, ενώ διατηρούν την ξηρή περίοδο για τις προσπάθειες εξόρυξης. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι ταξιδεύουν τακτικά στις περιοχές εξόρυξης και διατηρούν ένα σταθερό πρόγραμμα εργασίας καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Σύμφωνα με τον Huggins (2016), υπάρχουν τέσσερις γενικές κατηγορίες της βιοτεχνικής και ASM: η μόνιμη βιοτεχνική εξόρυξη, η εποχιακή μετανάστευση που λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια περιόδων αδράνειας της γεωργίας, η μετανάστευση τύπου βιασύνης που προκαλείται από σημαντικές διακυμάνσεις στις τιμές των βασικών προϊόντων και η μετανάστευση τύπου σοκ που προκαλείται από τη φτώχεια και έπεται συγκρούσεων ή φυσικών καταστροφών.

Ο γεωργικός τομέας, που συνήθως αναφέρεται ως ASM (Artisanal and Small-scale Mining), έχει σημαντική κοινωνικοοικονομική σημασία για τις φτωχές αγροτικές κοινότητες σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες. Ο τομέας αυτός χρησιμεύει ως ζωτική πηγή βιοπορισμού για άτομα που διαθέτουν περιορισμένες εναλλακτικές λύσεις για να συντηρήσουν τις οικογένειές τους. Περισσότερο από το 90% του παγκόσμιου εργατικού δυναμικού στον τομέα της εξόρυξης αποτελείται από άτομα που ασχολούνται με τις δραστηριότητες της βιοτεχνικής και μικρής κλίμακας εξόρυξης (ASM). Ο παγκόσμιος Νότος φιλοξενεί έναν σημαντικό πληθυσμό περίπου 40,5 εκατομμυρίων ατόμων, που περιλαμβάνει άνδρες, γυναίκες και παιδιά, οι οποίοι ασχολούνται ενεργά με την χειρωνακτική εξόρυξη και την εξόρυξη μικρής κλίμακας (ASM) σε περισσότερα από 80 έθνη. Ο τομέας της βιοτεχνικής και μικρής κλίμακας εξόρυξης (ASM) συμβάλλει σημαντικά στον παγκόσμιο εφοδιασμό με διάφορους πολύτιμους πόρους. Συγκεκριμένα, αντιπροσωπεύει περίπου το 20% της παγκόσμιας προσφοράς χρυσού, το 80% της παγκόσμιας προσφοράς πολύτιμων λίθων και το 20% της παγκόσμιας προσφοράς διαμαντιών. Επιπλέον, ο τομέας των ASM παίζει ρόλο στο 25% της παγκόσμιας παραγωγής κασσίτερου. Τα μέσα διαβίωσης περισσότερων από 150 εκατομμυρίων ατόμων εξαρτώνται από τη χειρωνακτική εξόρυξη και την εξόρυξη μικρής κλίμακας (ASM). Η κατάσταση που επικρατεί στον τομέα της εξόρυξης μικρής κλίμακας δείχνει ότι μια σημαντική πλειοψηφία, που κυμαίνεται από 70% έως 80%, των ανθρακωρύχων λειτουργεί σε άτυπο πλαίσιο. Επιπλέον, είναι αξιοσημείωτο ότι η συμμετοχή των γυναικών στον τομέα αυτό ανέρχεται περίπου στο 30%, αν και είναι σημαντικό να αναγνωριστεί ότι το ποσοστό αυτό παρουσιάζει

σημαντικές διακυμάνσεις μεταξύ των διαφόρων χωρών και προϊόντων, που κυμαίνονται από 5% έως και 80% (Huggins, 2016).

2.2.3. Επιφανειακή εξόρυξη

Η επιφανειακή εξόρυξη είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για την εξόρυξη πολύτιμων κοιτασμάτων ορυκτών μέσω της απομάκρυνσης της επιφανειακής βλάστησης, του εδάφους και του υποκείμενου πετρώματος, προκειμένου να αποκτήσει κανείς πρόσβαση στα κρυμμένα αποθέματα μεταλλευμάτων. Οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται στην επιφανειακή εξόρυξη περιλαμβάνουν μια σειρά τεχνικών. Για παράδειγμα, η εξόρυξη με ανοικτό λάκκο συνεπάγεται την εξόρυξη πολύτιμων πόρων από μια εμφανή εκσκαφή στην επιφάνεια της γης. Η λατόμευση, από την άλλη πλευρά, παρουσιάζει εκπληκτική ομοιότητα με την εξόρυξη ανοικτού λάκκου, με τη διαφορά να έγκειται στην εστίαση στην εξόρυξη άμμου, πέτρας και αργίλου. Η εξόρυξη σε λωρίδες, μια διαδεδομένη προσέγγιση, περιλαμβάνει την αφαίρεση επιφανειακών στρωμάτων για την αποκάλυψη υποκείμενων κοιτασμάτων μεταλλεύματος. Τέλος, η απομάκρυνση από τα βουνά, που συνδέεται κυρίως με την εξόρυξη άνθρακα, συνεπάγεται την απομάκρυνση του ανώτερου τμήματος ενός βουνού για την πρόσβαση σε κοιτάσματα μεταλλευμάτων που βρίσκονται σε σημαντικά βάθη (Xu et al., 2019). Η πλειονότητα των κοιτασμάτων πλακωδών μεταλλευμάτων, λόγω του σχετικά μικρού βάθους ταφής τους, εξορύσσεται μέσω τεχνικών επιφανειακής εξόρυξης. Η εξόρυξη σε χώρους υγειονομικής ταφής αφορά την πρακτική της εκσκαφής και επεξεργασίας χώρων που έχουν χαρακτηριστεί ως χώροι υγειονομικής ταφής. Η έννοια της εξόρυξης σε χώρους υγειονομικής ταφής έχει εξεταστεί ως μια μελλοντική μακροπρόθεσμη λύση για τον μετριασμό των εκπομπών μεθανίου και την αντιμετώπιση προβλημάτων τοπικής ρύπανσης (Krook et al., 2012).

2.2.4. Εξόρυξη Highwall

Η εξόρυξη υψηλών τοίχων, εξελικτικό παρακλάδι της εξόρυξης με γεωτρύπανο, αποτελεί μια πρόσθετη εκδήλωση της επιφανειακής εξόρυξης. Στο πλαίσιο της εξόρυξης υψηλών τοιχωμάτων, παρατηρείται ότι ένα κοίτασμα άνθρακα, το οποίο έχει προηγουμένως υποβληθεί σε τεχνικές επιφανειακής εξόρυξης, διατηρεί σημαντική ποσότητα υπερκείμενων υλικών που καθιστά ανέφικτη την πλήρη απομάκρυνσή του. Ωστόσο, είναι αξιοσημείωτο ότι αυτό το εναπομένον τμήμα της ανθρακικής στρώσης μπορεί ακόμη να αξιοποιηθεί οικονομικά με πρόσβαση από την πλευρική πλευρά του τεχνητού βράχου που προέκυψε από προηγούμενες εξορυκτικές δραστηριότητες. Μια συμβατική επιχειρησιακή ακολουθία περιλαμβάνει τη διαδοχική εκτέλεση δύο βασικών ενεργειών: την εκσκαφή, η οποία συνεπάγεται την υποσκαφή της ανθρακικής στρώσης, και τη διάτμηση, η οποία περιλαμβάνει την ελεγχόμενη κατακόρυφη κίνηση της κεφαλής του κοπτικού βραχίονα για να διευκολυνθεί η συνολική εξαγωγή ολόκληρης της κατακόρυφης έκτασης της ανθρακικής στρώσης. Καθώς συνεχίζεται ο κύκλος ανάκτησης του άνθρακα, η κεφαλή του κοπτικού μηχανήματος προωθείται σταδιακά βαθύτερα στο κοίτασμα άνθρακα. Η εξόρυξη υψηλού τοιχώματος είναι μια τεχνική εξόρυξης που έχει τη δυνατότητα να αποδώσει σημαντικές ποσότητες άνθρακα μέσα από εργασίες σε οριζόντιες λωρίδες που χαρακτηρίζονται από στενά παγκάκια, περιοχές που έχουν ήδη εξορυχθεί, εφαρμογές ορυχείων τάφρων και απότομες κοιτάσματα (Adhikary et al., 2002).

2.2.5. Υπόγεια εξόρυξη

Η πρακτική της υποεπιφανειακής εξόρυξης περιλαμβάνει την εκσκαφή σηράγγων ή φρεατίων εντός του φλοιού της γης με σκοπό την πρόσβαση σε κρυμμένα κοιτάσματα πολύτιμων ορυκτών. Η εξόρυξη του μεταλλεύματος, που προορίζεται για επεξεργασία, και η απομάκρυνση των άχρηστων πετρωμάτων, που προορίζονται για διάθεση, διευκολύνονται μέσω σηράγγων και φρεατίων, τα οποία χρησιμεύουν ως αγωγοί για τη μεταφορά των υλικών αυτών στην επιφάνεια. Η κατηγοριοποίηση της υποεπιφανειακής εξόρυξης εξαρτάται από τη χρήση των

φρεατίων πρόσβασης, καθώς και από τη μέθοδο εξόρυξης που χρησιμοποιείται για την επίτευξη του κοιτάσματος ορυκτών. Η εξόρυξη με διολίσθηση χρησιμοποιεί οριζόντιες σήραγγες πρόσβασης, ενώ η εξόρυξη με κλίση χρησιμοποιεί φρεάτια πρόσβασης με διαγώνια κλίση. Από την άλλη πλευρά, η εξόρυξη με φρεάτια βασίζεται στη χρήση κατακόρυφων φρεατίων πρόσβασης. Η εξόρυξη ορυκτών τόσο από σκληρούς όσο και από μαλακούς βραχώδεις σχηματισμούς απαιτεί την εφαρμογή διαφορετικών μεθοδολογιών, όπως διευκρινίζεται από τους Xu και συν. (2019).

Πρόσθετες μεθοδολογίες περιλαμβάνουν την εξόρυξη με συρρικνωμένο στοά, μια τεχνική που συνεπάγεται την εξόρυξη ορυκτών με ανοδική κατεύθυνση, δημιουργώντας έτσι έναν κεκλιμένο υπόγειο θάλαμο. Επιπλέον, η εξόρυξη μακρών τοιχωμάτων, η οποία χαρακτηρίζεται από τη λείανση μιας εκτεταμένης επιφάνειας μεταλλεύματος κάτω από την επιφάνεια της γης, και η εξόρυξη δωματίων και πυλώνων, κατά την οποία το μετάλλευμα εξάγεται επιλεκτικά από καθορισμένους θαλάμους, ενώ διατηρούνται πυλώνες για τη διατήρηση της δομικής ακεραιότητας του υπέργειου περιβάλλοντος, αποτελούν περαιτέρω βιώσιμες προσεγγίσεις. Η εξόρυξη σε χώρους και πυλώνες καταλήγει συχνά στην πρακτική της υποχώρησης, όπου η εξόρυξη των πυλώνων στήριξης γίνεται ταυτόχρονα με την αποχώρηση των μεταλλωρύχων από την περιοχή. Αυτή η σκόπιμη αφαίρεση των πυλώνων διευκολύνει την επακόλουθη κατάρρευση της αίθουσας, διευκολύνοντας έτσι την απελευθέρωση πρόσθετου μεταλλεύματος. Εκτός από τις συμβατικές τεχνικές εξόρυξης, υπάρχουν διάφορες μέθοδοι υποεπιφανειακής εξόρυξης που χρήζουν εξέτασης. Οι μέθοδοι αυτές περιλαμβάνουν την εξόρυξη σκληρών πετρωμάτων, την εξόρυξη με γεωτρήσεις, την εξόρυξη με παρασυρόμενες και γεμισμένες γεωτρήσεις, την εξόρυξη με μεγάλες οπές σε πλαγιές, την υποεπίπεδη σπηλαιολογία και την σπηλαιολογία με μπλοκ (Xu et al., 2019).

2.3. Περιβαλλοντικές επιδράσεις

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των εξορυκτικών δραστηριοτήτων μπορούν να εκδηλωθούν σε διάφορες χωρικές κλίμακες, που περιλαμβάνουν τον τοπικό, περιφερειακό και παγκόσμιο τομέα, ως αποτέλεσμα τόσο των άμεσων όσο και των έμμεσων μεθοδολογιών εξόρυξης. Η εξόρυξη έχει τη δυνατότητα να προκαλέσει

δυσμενείς περιβαλλοντικές συνέπειες, όπως διάβρωση, σχηματισμό καταβόθρας, μείωση της βιοποικιλότητας και εισαγωγή χημικών ρύπων στο έδαφος, τα υπόγεια και τα επιφανειακά ύδατα ως αποτέλεσμα των εργασιών εξόρυξης. Οι προαναφερθείσες διαδικασίες ασκούν επίδραση στην ατμόσφαιρα μέσω των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, συμβάλλοντας έτσι σημαντικά στο φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής (Sontet et al., 2018). Ορισμένες τεχνικές εξόρυξης, όπως η εξόρυξη λιθίου, η εξόρυξη φωσφορικών αλάτων, η εξόρυξη άνθρακα, η εξόρυξη από τις κορυφές των βουνών και η εξόρυξη άμμου, μπορούν να αποφέρουν σημαντικές περιβαλλοντικές συνέπειες και συνέπειες για τη δημόσια υγεία. Κατά συνέπεια, οι επιχειρήσεις εξόρυξης σε ορισμένα έθνη υποχρεούνται να τηρούν αυστηρούς περιβαλλοντικούς κανονισμούς και κανονισμούς αποκατάστασης για να εγγυηθούν την αποκατάσταση της εξορυγμένης περιοχής στην αρχική της κατάσταση.

Σε έθνη όπου τηρούνται αυστηρά οι κανονισμοί εξόρυξης, είναι σύνηθες οι αρχές να επιβάλλουν την εφαρμογή διαφόρων μέτρων πριν από την έναρξη των εξορυκτικών δραστηριοτήτων. Τα μέτρα αυτά περιλαμβάνουν συνήθως τη διενέργεια ολοκληρωμένων εκτιμήσεων περιβαλλοντικών επιπτώσεων, τη διατύπωση ισχυρών σχεδίων περιβαλλοντικής διαχείρισης και την εκπόνηση στρατηγικών για το κλείσιμο των ορυχείων. Η περιβαλλοντική παρακολούθηση μπορεί να κριθεί απαραίτητη τόσο κατά τη διάρκεια της λειτουργικής φάσης όσο και μετά το κλείσιμο. Η αποτελεσματικότητα των κυβερνητικών κανονισμών, ιδίως στις αναπτυσσόμενες χώρες, μπορεί να υπόκειται σε ανεπαρκή εφαρμογή (McKinnon, 2002).

2.3.1. Περιβαλλοντική νομοθεσία

Στο πλαίσιο των μεγάλων εξορυκτικών εταιρειών και επιχειρήσεων που επιδιώκουν διεθνή χρηματοδότηση, είναι επιτακτική ανάγκη να αναγνωριστεί η ύπαρξη διαφόρων εναλλακτικών μηχανισμών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να διασφαλιστεί η επιβολή των περιβαλλοντικών προτύπων. Αυτοί αφορούν χρηματοοικονομικούς κανόνες όπως οι αρχές του Ισημερινού, τα περιβαλλοντικά πρότυπα της IFC και τα κριτήρια για τις κοινωνικά υπεύθυνες επενδύσεις. Οι εταιρείες εξόρυξης εκμεταλλεύτηκαν επιδέξια αυτό το ρυθμιστικό κενό στον χρηματοπιστωτικό τομέα για να υποστηρίξουν έναν ορισμένο βαθμό αυτόνομης

ρύθμισης στον κλάδο. Η πρόταση ενός σχεδίου κώδικα δεοντολογίας για τις πολυεθνικές εταιρείες κατά τη διάρκεια της Συνόδου Κορυφής του Ρίο για τη Γη το 1992 από το Κέντρο των Ηνωμένων Εθνών για τις πολυεθνικές εταιρείες (UNCTC) συνάντησε την αντίδραση του Συμβουλίου Επιχειρήσεων για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη (BCSD) και του Διεθνούς Εμπορικού Επιμελητηρίου (ICC), οι οποίοι υποστήριξαν αποτελεσματικά την εφαρμογή της αυτορρύθμισης αντ' αυτού (Burger et al., 2017).

Στη συνέχεια, ακολούθησε η έναρξη της Παγκόσμιας Πρωτοβουλίας Μεταλλείων, με πρωτεργάτη μια κοινοπραξία εννέα σημαντικών οντοτήτων στον τομέα των μετάλλων και της εξόρυξης. Η πρωτοβουλία αυτή κορυφώθηκε με τη σύσταση του Διεθνούς Συμβουλίου Μεταλλείων και Μετάλλων, με πρωταρχικό στόχο την ανάληψη του ρόλου του καταλύτη για την προώθηση των εξελίξεων στις κοινωνικές και περιβαλλοντικές πρακτικές εντός της παγκόσμιας βιομηχανίας εξόρυξης και μετάλλων. Η εξορυκτική βιομηχανία έχει διαθέσει οικονομικούς πόρους σε διάφορες ομάδες διατήρησης, ορισμένες από τις οποίες συνεργάζονται με πρωτοβουλίες διατήρησης που έρχονται σε σύγκρουση με την αυξανόμενη αναγνώριση των δικαιωμάτων των αυτόχθονων κοινοτήτων - συγκεκριμένα, το προνόμιο να καθορίζουν τη χρήση της γης (Ntui, 2016).

Η πιστοποίηση των ορυχείων που τηρούν αξιόπαινες πρακτικές διεξάγεται από τον αξιόλογο Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης (ISO). Ενδεικτικά, τα ISO 9000 και ISO 14001, τα οποία επικυρώνουν ένα "επαληθεύσιμο σύστημα περιβαλλοντικής διαχείρισης", συνεπάγονται συνοπτικές επιθεωρήσεις, αν και αντιμετωπίζουν ισχυρισμούς για ανεπαρκή αυστηρότητα. Η πιστοποίηση μπορεί επίσης να ληφθεί μέσω της πρωτοβουλίας Global Reporting Initiative της Ceres- ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι εκθέσεις αυτές είναι εθελοντικής φύσης και στερούνται επαλήθευσης. Υπάρχουν διάφορα πρόσθετα προγράμματα πιστοποίησης που είναι διαθέσιμα για διάφορα έργα, τα οποία συχνά διευκολύνονται από μη κερδοσκοπικούς οργανισμούς.

Ο πρωταρχικός στόχος του εγγράφου EPS PEAKS του 2012 ήταν να παράσχει εμπειρική υποστήριξη όσον αφορά την αποτελεσματικότητα των ρυθμιστικών μέτρων της χώρας υποδοχής για τον αποτελεσματικό μετριασμό των οικολογικών δαπανών και τη βελτιστοποίηση των κοινωνικοοικονομικών πλεονεκτημάτων που συνδέονται με τις εξορυκτικές δραστηριότητες (Bloom &

Denison, 2012). Η υπάρχουσα βιβλιογραφία υποδεικνύει ότι οι δωρητές θα πρέπει να συμμετέχουν ενεργά στην προώθηση της ανάπτυξης των δικαιούχων χωρών μέσω της ενθάρρυνσης:

- Να συνδεθεί το περιβάλλον με τη φτώχεια και να εισαχθούν πρωτοποριακά μέτρα πλούτου και λογαριασμοί φυσικού κεφαλαίου.
- Μεταρρύθμιση των παλαιών φόρων σύμφωνα με την πιο πρόσφατη χρηματοοικονομική καινοτομία, άμεση συνεργασία με τις εταιρείες, θέσπιση αξιολογήσεων χρήσης γης και επιπτώσεων και ενσωμάτωση εξειδικευμένων οργανισμών υποστήριξης και προτύπων.
- Να ληφθούν πρωτοβουλίες για τη διαφάνεια και τη συμμετοχή της κοινότητας με τη χρήση του πλούτου που θα προκύψει (Ntui, 2016).

2.4. Απόβλητα

Οι μύλοι μεταλλευμάτων είναι υπεύθυνοι για τη δημιουργία σημαντικών ποσοτήτων υπολειμματικών υλικών, που συνήθως αναφέρονται ως απόβλητα. Ενδεικτικά, αξίζει να σημειωθεί ότι ανά τόνο χαλκού παράγεται σημαντική ποσότητα αποβλήτων, συγκεκριμένα 99 τόνοι. Είναι σκόπιμο να τονιστεί ότι οι επιχειρήσεις εξόρυξης χρυσού παρουσιάζουν ακόμη πιο έντονες αναλογίες από την άποψη αυτή. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι από κάθε τόνο μεταλλεύματος μπορούν να εξαχθούν μόλις 5,3 γραμμάρια χρυσού. Κατά συνέπεια, η εξόρυξη ενός τόνου χρυσού έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία του απίστευτου όγκου των 200.000 τόνων αποβλήτων, όπως διευκρινίζουν οι Zvereva και συν. στην πρόσφατη μελέτη τους (2021). Καθώς ακολουθεί το πέρασμα του χρόνου και τα πιο άφθονα αποθέματα εξαντλούνται, σε συνδυασμό με την πρόοδο της τεχνολογίας, παρατηρείται ότι αυτή η αριθμητική τιμή μειώνεται σταδιακά σε περίπου 0,5 γραμμάρια και ακόμη χαμηλότερα. Τα προαναφερθέντα απόβλητα έχουν τη δυνατότητα να παρουσιάζουν τοξικές ιδιότητες. Τα μεταλλευτικά απόβλητα, που συνήθως παράγονται με τη μορφή πολτού, συνήθως διατίθενται σε φυσικές λίμνες κοιλάδας. Οι εν λόγω λίμνες διασφαλίζονται αποτελεσματικά με την εφαρμογή αναχωμάτων, τα οποία μπορούν να έχουν τη μορφή είτε φραγμάτων είτε αναχωμάτων (McKinnon, 2002). Σύμφωνα με εκτιμήσεις που έγιναν το 2000, υπήρχαν περίπου 3.500 ταμιευτήρες τελμάτων.

Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι σε ετήσια βάση αναφέρονταν 2 έως 5 σημαντικές αστοχίες και 35 μικρές αστοχίες στο πλαίσιο αυτό. Στην περίπτωση της καταστροφής της εξόρυξης Marcoppe, αξίζει να αναφερθεί ότι μια σημαντική ποσότητα περίπου 2 εκατομμυρίων τόνων αποβλήτων απορρίφθηκε σε ένα κοντινό ποτάμι. Το έτος 2015, η Barrick Gold Corporation ήταν υπεύθυνη για ένα ατυχές περιστατικό κατά το οποίο ποσότητα κυανίου που ξεπερνούσε το 1 εκατομμύριο λίτρα απελευθερώθηκε κατά λάθος στο περιβάλλον. Το περιστατικό αυτό συνέβη στην περιοχή του ορυχείου Veladero που βρίσκεται στην Αργεντινή και επηρέασε συνολικά πέντε ποτάμια (Dold, 2008). Από το έτος 2007, στην περιοχή της κεντρικής Φινλανδίας, το πολυμεταλλικό ορυχείο Talvivaara Terrafame αντιμετωπίζει προβλήματα σχετικά με την απόρριψη υγρών αποβλήτων και τη διαρροή αλατούχων νερών του ορυχείου. Αυτά τα ατυχή περιστατικά οδήγησαν στη συνέχεια στην οικολογική κατάρρευση μιας κοντινής λίμνης. Η υποβρύχια διάθεση των αποβλήτων αποτελεί μια εναλλακτική πορεία δράσης. Η εξορυκτική βιομηχανία έχει διατυπώσει τον ισχυρισμό ότι η υποθαλάσσια διάθεση τελμάτων (STD), μια μέθοδος που περιλαμβάνει τη διάθεση των τελμάτων στο θαλάσσιο περιβάλλον, θεωρείται βέλτιστη λόγω της ικανότητάς της να παρακάμπτει τους εγγενείς κινδύνους που συνδέονται με τις λίμνες τελμάτων. Η προαναφερθείσα πρακτική θεωρείται παράνομη στις δικαιοδοσίες των Ηνωμένων Πολιτειών και του Καναδά, ωστόσο συνεχίζει να εφαρμόζεται στο πλαίσιο των αναπτυσσόμενων χωρών (McKinnon, 2002).

Τα απόβλητα κατηγοριοποιούνται σε δύο διαφορετικές κατηγορίες: στείρα ή μεταλλοποιημένα, καθεμία από τις οποίες διαθέτει εγγενές δυναμικό δημιουργίας οξέων. Η σχολαστική διαχείριση και ο περιορισμός αυτής της ουσίας αποτελούν σημαντικό στοιχείο στο πλαίσιο της συνολικής διαδικασίας σχεδιασμού των ορυχείων. Όταν το μεταλλοποιημένο πακέτο αξιολογείται με βάση μια οικονομική αποκοπή, συνηθίζεται να διαχωρίζονται τα σχεδόν μεταλλοποιημένα απόβλητα για πιθανή μελλοντική επεξεργασία σε περίπτωση ευνοϊκών συνθηκών αγοράς και βελτιωμένης οικονομικής σκοπιμότητας. Η χρήση παραμέτρων πολιτικού μηχανικού σχεδιασμού είναι επιτακτική στη διαδικασία σχεδιασμού των χωματερών αποβλήτων, με ιδιαίτερη έμφαση στην ικανοποίηση μοναδικών εκτιμήσεων σε περιοχές με υψηλή βροχόπτωση και σεισμικά ενεργές ζώνες. Προκειμένου να διασφαλιστεί η συμμόρφωση με τους σχετικούς κανονισμούς της χώρας υποδοχής, είναι επιτακτική

ανάγκη τα σχέδια των χώρων απόθεσης αποβλήτων να συμμορφώνονται με όλα τα ισχύοντα κανονιστικά πρότυπα. Συνηθίζεται η πρακτική της αποκατάστασης των χωματερών ώστε να συμμορφώνονται με διεθνώς αναγνωρισμένα πρότυπα, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις απαιτείται η εφαρμογή προτύπων που υπερβαίνουν τα ισχύοντα τοπικά ρυθμιστικά πρότυπα (Leppänen et al., 2017).

2.5. Ασφάλεια

Το θέμα της ασφάλειας είναι πάντα ένα θέμα ύψιστης σημασίας στη βιομηχανία εξόρυξης, ιδίως στον τομέα της υποεπιφανειακής εξόρυξης. Η καταστροφή του ορυχείου Courrières, που θεωρείται ευρέως ως το πιο καταστροφικό περιστατικό εξόρυξης στην Ευρώπη, είχε ως τραγικό αποτέλεσμα να χάσουν τη ζωή τους 1.099 ανθρακωρύχοι στη βόρεια περιοχή της Γαλλίας τη μοιραία ημέρα της 10ης Μαρτίου 1906. Το μέγεθος αυτής της καταστροφής ήταν δεύτερο μόνο μετά το καταστροφικό συμβάν στο ανθρακωρυχείο Benxiu στην Κίνα στις 26 Απριλίου 1942, όπου 1.549 ανθρακωρύχοι έχασαν τραγικά τη ζωή τους. Παρόλο που η σύγχρονη εξορυκτική βιομηχανία έχει κάνει σημαντικά βήματα στην ενίσχυση των μέτρων ασφαλείας σε σύγκριση με προηγούμενες εποχές, είναι επιτακτική ανάγκη να αναγνωρίσουμε ότι ατυχήματα σε ορυχεία συνεχίζουν να συμβαίνουν. Σύμφωνα με επίσημα κυβερνητικά στοιχεία, το ετήσιο ποσοστό θανάτων μεταξύ των κινέζων ανθρακωρύχων ανέρχεται σε 5.000, όπως αναφέρουν οι Saleh και Cummings (2011). Ωστόσο, εναλλακτικές πηγές έχουν διατυπώσει μια δυνητικά υψηλότερη εκτίμηση για 20.000 θύματα. Κατά τη διάρκεια της περιόδου από το 1870 έως το 1920, στα γεωγραφικά όρια του Κουίνσλαντ της Αυστραλίας, σημειώθηκε μια αισθητή κλιμάκωση των ατυχημάτων που σχετίζονται με την εξόρυξη, γεγονός που κατέστησε αναγκαία την ανάλογη αύξηση των πρωτοκόλλων προφύλαξης σχετικά με τη χρήση εκρηκτικών υλικών για σκοπούς εξόρυξης. Τα ατυχήματα στα ορυχεία συνεχίζονται σε παγκόσμια κλίμακα, περιλαμβάνοντας περιστατικά σημαντικού μεγέθους που είχαν ως αποτέλεσμα την τραγική απώλεια πολλών ανθρώπινων ζωών, όπως φαίνεται από την καταστροφή του ορυχείου Ulyanovskaya το 2007 στη Ρωσία, την έκρηξη του ορυχείου Heilongjiang το 2009 στην Κίνα και την καταστροφή του ορυχείου Upper Big Branch το 2010 στις Ηνωμένες Πολιτείες. Το Εθνικό Ινστιτούτο Επαγγελματικής

Ασφάλειας και Υγείας (NIOSH) έχει αναγνωρίσει τα ορυχεία ως τομέα υψίστης σημασίας στο πλαίσιο του Εθνικού Προγράμματος Επαγγελματικής Έρευνας (NORA). Ο χαρακτηρισμός αυτός αποσκοπεί στον εντοπισμό και την ανάπτυξη στρατηγικών παρέμβασης που αφορούν τις ανησυχίες για την επαγγελματική υγεία και ασφάλεια (Wegner, 2010). Η ίδρυση της Διοίκησης Ασφάλειας και Υγείας των Μεταλλείων (Mining Safety and Health Administration - MSHA) το 1978 είχε ως στόχο την επιμελή αντιμετώπιση της πρόληψης των θανάτων, των ασθενειών και των τραυματισμών στον κλάδο των μεταλλείων, ενώ ταυτόχρονα προωθούσε ασφαλή και υγιή περιβάλλοντα εργασίας για τους μεταλλωρύχους στις Ηνωμένες Πολιτείες. Από την ίδρυσή του το 1978, υπήρξε αξιοσημείωτη μείωση του αριθμού των θανάτων μεταξύ των ανθρακωρύχων, με μείωση από 242 ανθρακωρύχους το 1978 σε 24 ανθρακωρύχους το 2019, όπως αναφέρουν οι Lööw και Nygren (2019).

Οι εξορυκτικές εργασίες ενέχουν πληθώρα επαγγελματικών κινδύνων, που περιλαμβάνουν σε περίοπτη θέση τον κίνδυνο έκθεσης σε σκόνη πετρωμάτων. Η έκθεση αυτή έχει αναμφισβήτητα συνδεθεί με την ανάπτυξη εξουθενωτικών ασθενειών, κυρίως της πυριτιάσης, της αμιάντωσης και της πνευμονοκονίωσης. Η παρουσία αερίων στο περιβάλλον των ορυχείων ενέχει τον δυνητικό κίνδυνο πρόκλησης ασφυξίας, μια κατάσταση που χαρακτηρίζεται από τη στέρηση της παροχής οξυγόνου στον οργανισμό. Επιπλέον, αυτά τα αέρια έχουν την εγγενή ικανότητα να αναφλέγονται, επιδεινώνοντας έτσι περαιτέρω τον επικίνδυνο χαρακτήρα της παρουσίας τους. Η χρήση εξοπλισμού εξόρυξης έχει τη δυνατότητα να παράγει σημαντικά επίπεδα θορύβου, εκθέτοντας έτσι τους εργαζόμενους στον εγγενή κίνδυνο εμφάνισης ακουστικών διαταραχών. Οι καταρρεύσεις, οι πτώσεις βράχων και η έκθεση σε υπερβολική θερμότητα αναγνωρίζονται ως πιθανοί κίνδυνοι. Το ισχύον συνιστώμενο όριο έκθεσης (REL) της NIOSH για το θόρυβο είναι 85 dBA, με χρήση συντελεστή ανταλλαγής 3 dBA. Ομοίως, το επιτρεπόμενο όριο έκθεσης (PEL) του MSHA ορίζεται στα 90 dBA, με χρήση συντελεστή ανταλλαγής 5 dBA, για διάρκεια 8 ωρών ως μέσος σταθμισμένος χρόνος. Σύμφωνα με μελέτη που διεξήχθη από το Εθνικό Ινστιτούτο για την Ασφάλεια και την Υγεία στην Εργασία (NIOSH), διαπιστώθηκε ότι ένα σημαντικό ποσοστό, συγκεκριμένα το 25%, των ατόμων που απασχολούνται στους τομείς των ορυχείων, των λατομείων και της εξόρυξης πετρελαίου και φυσικού αερίου εμφανίζουν ακουστικές βλάβες ως αποτέλεσμα της παρατεταμένης έκθεσης σε υπερβολικά υψηλά επίπεδα θορύβου. Η

επίπτωση της ακουστικής εξασθένησης παρουσίασε αύξηση 1% κατά τη διάρκεια μιας δεκαετίας, συγκεκριμένα από το 1991 έως το 2001, μεταξύ της συγκεκριμένης επαγγελματικής ομάδας, όπως αναφέρουν οι Masterson και συν. (2015).

Πολυάριθμες έρευνες που αφορούν ακουστικές αναλύσεις έχουν διεξαχθεί σε διάφορα περιβάλλοντα εξόρυξης. Οι κλιμακωτοί φορτωτές, οι ψαλιδιστές, οι βοηθητικοί ανεμιστήρες, τα μηχανήματα συνεχούς εξόρυξης και οι κοιλίες οροφής συγκαταλέγονται στον εξοπλισμό που συναντάται στα υπόγεια ανθρακωρυχεία και εκπέμπει σημαντικά επίπεδα θορύβου, όπως τεκμηριώνεται από τους Masterson και συν. (2015). Ο εξοπλισμός αυτός έχει αναφερθεί ότι παράγει επίπεδα θορύβου που κυμαίνονται από 78 έως 120 ντεσιμπέλ (dBA), με τα φορτωτικά μηχανήματα να κυμαίνονται από 84 έως 102 dBA, τα κουρευτικά μηχανήματα από 85 έως 99 dBA, τους βοηθητικούς ανεμιστήρες από 84 έως 120 dBA, τις μηχανές συνεχούς εξόρυξης από 78 έως 109 dBA και τα μηχανήματα οροφής από 92 έως 103 dBA. Επαγγέλματα όπως οι χειριστές λαδιού σε συρόμενα οχήματα, οι χειριστές μπουλντόζας και οι ηλεκτροσυγκολλητές που χρησιμοποιούν τόξο αέρα βρέθηκαν να παρουσιάζουν τα πιο έντονα επίπεδα έκθεσης σε θόρυβο στο πλαίσιο της επιφανειακής εξόρυξης άνθρακα. Σύμφωνα με εμπειρικά στοιχεία, έχει παρατηρηθεί ότι τα ανθρακωρυχεία παρουσιάζουν σημαντικά αυξημένη πιθανότητα εμφάνισης τραυματισμών με απώλεια ακοής σε σύγκριση με άλλα επαγγελματικά περιβάλλοντα (Sun & Azman, 2018).

2.6. Παιδική εργασία

Η παιδική εργασία είναι μία από τις παραβιάσεις των ανθρωπίνων δικαιωμάτων που μπορούν να παρατηρηθούν στο πλαίσιο των εξορυκτικών δραστηριοτήτων. Τα προαναφερθέντα περιστατικά έχουν προκαλέσει μια διάχυτη αποδοκιμασία των εργασιών εξόρυξης κοβαλτίου, το οποίο είναι απαραίτητο για την τροφοδοσία των σύγχρονων τεχνολογιών, όπως οι φορητοί υπολογιστές, τα smartphones και τα ηλεκτρικά οχήματα. Ένας σημαντικός αριθμός περιπτώσεων που αφορούν παιδιά-εργάτες έχουν εντοπιστεί εντός της Λαϊκής Δημοκρατίας του Κονγκό, όπως σημειώνει ο O'Driscoll (2017). Έχει παρατηρηθεί μια αύξηση των λογαριασμών που τεκμηριώνουν τη συμμετοχή παιδιών στη μεταφορά κοβαλτίου,

όπου σηκώνουν το βάρος σάκων βάρους περίπου 25 κιλών, από τις μέτριες περιοχές εξόρυξης σε κοντινούς εμπόρους. Δυστυχώς, τα νεαρά αυτά άτομα αμείβονται αποκλειστικά με την παροχή τροφής και καταλύματος, όπως αναφέρει ο Sanderson (2019). Αρκετές εξέχουσες εταιρείες, συμπεριλαμβανομένων των Apple, Google, Microsoft και Tesla, έχουν βρεθεί αντιμέτωπες με νομικές προσφυγές που έχουν ξεκινήσει από οικογένειες των οποίων τα παιδιά υπέστησαν σοβαρούς τραυματισμούς ή έχασαν τη ζωή τους στο πλαίσιο των επιχειρήσεων εξόρυξης στη Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό. τον Δεκέμβριο του έτους 2019, μια ομάδα 14 οικογενειών από το Κονγκό κίνησε νομικές διαδικασίες κατά της Glencore, μιας εξέχουσας εταιρείας εξόρυξης που είναι υπεύθυνη για την παροχή απαραίτητων πόρων κοβαλτίου σε διάφορες πολυεθνικές επιχειρήσεις. Οι οικογένειες αυτές προβάλλουν ισχυρισμούς για αμέλεια εκ μέρους της Glencore, αποδίδοντάς της τον ατυχή θάνατο των παιδιών, καθώς και την εμφάνιση σοβαρών τραυματισμών, όπως κατάγματα της σπονδυλικής στήλης, ψυχολογική δυσφορία και περιπτώσεις καταναγκαστικής εργασίας (Kelly, 2019).

3. Εφαρμογή της Τεχνητής νοημοσύνης στη μεταλλευτική

Ο εξορυκτικός τομέας είχε σημαντική σημασία σε όλη τη διάρκεια της ιστορίας, καθώς η τεχνολογική πρόοδος διευκόλυνε την εξόρυξη ορυκτών και μετάλλων που ήταν προηγουμένως ανέφικτα. Στη σύγχρονη εποχή, οι εξορυκτικές επιχειρήσεις έχουν αγκαλιάσει όλο και περισσότερο τη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης (AI) ως μέσο για την ενίσχυση της λειτουργικής αποδοτικότητας, τον περιορισμό των δαπανών και την ανύψωση των προτύπων ασφαλείας. Η αξιοποίηση της τεχνητής νοημοσύνης (AI) στη βιομηχανία εξόρυξης, που συνήθως αναφέρεται ως έξυπνη εξόρυξη, γνωρίζει αξιοσημείωτη άνοδο της προβολής της. Η έξαρση αυτή μπορεί να αποδοθεί στην επιδίωξη των εξορυκτικών εταιρειών για αυξημένη επιχειρησιακή αποδοτικότητα και βιώσιμες πρακτικές (Hyder et al., 2019).

Στην επιδίωξη της ταχείας επανάστασης στις πρακτικές μας για τη χρήση της ενέργειας, υπάρχει μια κλιμακούμενη ανάγκη για πολύτιμα μέταλλα. Πολυάριθμα ορυκτά και μέταλλα, μεταξύ άλλων ο χαλκός και το κοβάλτιο, είναι απαραίτητα για την προώθηση νέων τεχνολογικών εξελίξεων και την επιτάχυνση του μετριασμού των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Παρ' όλα αυτά, η διαδικασία εξόρυξης αυτών των πόρων συνοδεύεται από σημαντικές κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως επισημαίνουν οι Hyder και συν. (2019). Ως εκ τούτου, η επιδίωξη μεθοδολογιών που αποσκοπούν στην εξόρυξη πολύτιμων ορυκτών με τρόπο που να ευθυγραμμίζεται με τους στόχους της παγκόσμιας βιωσιμότητας και να αντιμετωπίζει τις δυσμενείς συνέπειες που συνδέονται με την εξόρυξη, ενώ παράλληλα διορθώνει τις ανισότητες μεταξύ αναπτυσσόμενων και αναπτυγμένων χωρών, αποτελεί αξιόπαινο εγχείρημα. Η αξιοποίηση των εφαρμογών τεχνητής νοημοσύνης (AI) αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη ευκαιρία για την επιτάχυνση της συγκεκριμένης διαδικασίας. Η επείγουσα έρευνα αφορά τα μέσα με τα οποία μπορεί κανείς να βεβαιωθεί ότι η τεχνητή νοημοσύνη χρησιμοποιείται με τρόπο που να προσδίδει πλεονεκτήματα στις κοινότητες, να προωθεί την κοινωνική ανάπτυξη και να υποστηρίζει την περιβαλλοντική βιωσιμότητα στο πλαίσιο της εξορυκτικής βιομηχανίας. Στην επιδίωξη της ταχείας επανάστασης στις πρακτικές μας για τη χρήση της ενέργειας, υπάρχει κλιμακούμενη ζήτηση για πολύτιμα μέταλλα. Η αξιοποίηση ποικίλων ορυκτών και μετάλλων, συμπεριλαμβανομένων, μεταξύ άλλων,

του χαλκού και του κοβαλτίου, είναι επιτακτική ανάγκη για την προώθηση νέων τεχνολογικών εξελίξεων και την επιτάχυνση της διαδικασίας μετριασμού των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (Mackenzie, 2022).

Ωστόσο, η προμήθεια αυτών των απαραίτητων πόρων παρουσιάζει τρομερά περιβαλλοντικά, κοινωνικά και οικονομικά εμπόδια, ιδίως σε πολιτικά ασταθείς και οικονομικά μειονεκτικές περιοχές, όπως πολυάριθμα έθνη της Αφρικής και του "Παγκόσμιου Νότου" (Lèbre, 2020). Αναμφίβολα, το συχνά αναφερόμενο φαινόμενο που είναι γνωστό ως "κατάρτα των πόρων" περιλαμβάνει τα διακριτά φαινόμενα της εκμετάλλευσης, της περιβαλλοντικής υποβάθμισης και της παράδοξης υπανάπτυξης των οικονομιών σε έθνη προικισμένα με άφθονα αποθέματα πολύτιμου πετρελαίου και ορυκτών (Collier, 2007).

Ωστόσο, παρά τις συχνά παρατηρούμενες δυσμενείς συνέπειες που συνδέονται με την εξόρυξη ορυκτών πόρων, είναι επιτακτική ανάγκη αυτή η ενεργειακή μετάβαση να πραγματοποιηθεί γρήγορα και αποτελεσματικά. Επιπλέον, είναι επιτακτική ανάγκη να αναγνωριστούν οι εκτεταμένες οικονομικές προεκτάσεις που συνδέονται με αυτή τη μετάβαση. Η εξορυκτική ή εξορυκτική βιομηχανία, ως μια τρομερή δύναμη, διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην προώθηση της οικονομικής βιωσιμότητας σε ένα εντυπωσιακό αριθμό 81 εθνών, όπως καταγράφηκε από τα Ηνωμένα Έθνη το 2021. Επιπλέον, είναι αξιοσημείωτο ότι ένα σημαντικό 63% των χωρών χαμηλού και μεσαίου εισοδήματος έχουν βιώσει μια αύξηση της εξάρτησής τους από τις εξορυκτικές ύλες τις τελευταίες δεκαετίες, όπως διευκρινίζεται από τον Roe το 2016. Η Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό, ως ενδεικτική περίπτωση, προβλέπεται να κατέχει την κυριαρχία επί του 80% περίπου της παγκόσμιας προσφοράς κοβαλτίου μέχρι τα μέσα της τρέχουσας δεκαετίας, όπως προκύπτει από τα ευρήματα της έρευνας της Mackenzie το 2022. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι πολυάριθμα έθνη που διαθέτουν άφθονα κοιτάσματα φυσικών πόρων έχουν ταυτόχρονα βιώσει ένα παρατεταμένο χρονικό εκμετάλλευσης, επακόλουθη περιβαλλοντική υποβάθμιση και την ασθένεια που συνήθως αναφέρεται ως "κατάρτα των πόρων". Ως εκ τούτου, η επιδίωξη μεθοδολογιών που αποσκοπούν στην εξόρυξη πολύτιμων ορυκτών κατά τρόπο που να ευθυγραμμίζεται με τους στόχους της παγκόσμιας βιωσιμότητας και να αντιμετωπίζει αποτελεσματικά τις δυσμενείς συνέπειες που συνδέονται με την εξόρυξη, ενώ παράλληλα βελτιώνει τις ανισότητες μεταξύ των αναπτυσσόμενων και των αναπτυγμένων εθνών, αποτελεί αξιόπαινο

εγχείρημα (Sengupta, 2021). Οι εφαρμογές που υποστηρίζονται από την τεχνητή νοημοσύνη προσφέρουν μια πιθανή οδό για την επιτάχυνση αυτής της διαδικασίας. Η αξιοποίηση της τεχνητής νοημοσύνης (AI) έχει παρατηρηθεί ότι έχει σημαντικό αντίκτυπο στις οικονομικές πτυχές του εξορυκτικού τομέα, όπως τονίζεται στην έρευνα που διεξήγαγαν οι Jung και Choi (2021). Η επιρροή αυτή εκδηλώνεται κυρίως μέσω της βελτίωσης της παραγωγικότητας, της βελτιστοποίησης του λειτουργικού κόστους και της μεγιστοποίησης της κερδοφορίας. Οι δυνητικές εφαρμογές εκτείνονται πολύ πέρα από το προαναφερθέν πεδίο, περιλαμβάνοντας τη διευκόλυνση της ασφάλειας των εργαζομένων, την περιβαλλοντική διαχείριση και την κυβερνητική εποπτεία.

3.1. Ο ρόλος και τα πλεονεκτήματα της Τεχνητής Νοημοσύνης στα ορυχεία

Η εξορυκτική βιομηχανία έχει γίνει μάρτυρας της ενσωμάτωσης διαφόρων εφαρμογών τεχνητής νοημοσύνης (AI) στις δραστηριότητές της, με αποτέλεσμα σημαντικές εξελίξεις. Το αρχικό στάδιο της διαδικασίας περιλαμβάνει την αναζήτηση και την εξερεύνηση, όπου ο πρωταρχικός στόχος είναι να εντοπιστεί η παρουσία ενός βιώσιμου οικονομικού ορυκτού. Στη συνέχεια, διενεργείται αξιολόγηση των οικονομικών συνθηκών και των συνθηκών αγοράς του ορυκτού για να διαπιστωθεί το επενδυτικό δυναμικό του. Η προαναφερθείσα διαδικασία απαιτεί την αρχική έρευνα της καθορισμένης περιοχής, ακολουθούμενη από τη σχολαστική συλλογή σχετικών γεωφυσικών, γεωλογικών και οικονομικών δεδομένων. Η εξερεύνηση περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα δραστηριοτήτων, συμπεριλαμβανομένης της συλλογής δειγμάτων, αυστηρών εργαστηριακών αναλύσεων, σχολαστικής καταγραφής γεωτρήσεων και της επακόλουθης συνέχισης διεξοδικών ερευνών που αφορούν τις προοπτικές (Böhmer & Kucera, 2013). Εφαρμογές με χρήση τεχνητής νοημοσύνης έχουν παρατηρηθεί και χρησιμοποιούνται από την Goldspot Discoveries Incorporated και την IBM Watson με στόχο την επίτευξη ενός αξιόπαινου επιπέδου ακρίβειας στον εντοπισμό βιώσιμων προοπτικών εξόρυξης (Goldspot Discoveries- Murphy, 2021).

Τα μοντέλα μηχανικής μάθησης (ML), συμπεριλαμβανομένων των διανυσματικών μηχανών υποστήριξης (SVM) και των μοντέλων βαθιάς μάθησης,

είναι επί του παρόντος τα κυρίαρχα συστήματα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή, την απόκτηση και τη διάδοση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο που προέρχονται από γεωτρήσεις, αισθητήρες ή μετρήσεις (Jung & Choi, 2021). Οι προαναφερθείσες δραστηριότητες περιλαμβάνουν τεχνικές γεώτρησης και ανατινάξεων, αποτελεσματική διαχείριση του εξοπλισμού, ολοκληρωμένη κατανόηση της γεωτεχνικής διαχείρισης και των πρωτοκόλλων ασφαλείας των ορυχείων, καθώς και επιμελή παρακολούθηση της κάλυψης του εδάφους και σχολαστική αξιολόγηση των πιθανών κινδύνων των ορυχείων.

Η αξιοποίηση εργαλείων με δυνατότητα Τεχνητής Νοημοσύνης παρατηρείται στον τομέα της ασφάλειας στους χώρους εργασίας. Οι εργασίες εξόρυξης παρουσιάζουν αυξημένο επίπεδο κινδύνου λόγω των περιορισμένων χωρικών ορίων, του μη βέλτιστου φωτισμού, της έκθεσης σε επικίνδυνες ουσίες και αέρια, καθώς και της εισπνοής σωματιδίων. Λόγω αυτού του σκεπτικού, έχουν επινοηθεί εργαλεία τεχνητής νοημοσύνης (AI) με σκοπό τον μετριασμό της ευαισθησίας των εργαζομένων σε τέτοιες συνθήκες μέσω μηχανών που διαθέτουν την ικανότητα να επιβλέπουν ανεξάρτητα τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, να μεταδίδουν σήματα και ειδοποιήσεις, να εντοπίζουν περιοχές που προκαλούν ανησυχία και να λειτουργούν επίμονα ακόμη και σε επικίνδυνες συνθήκες (Hyder et al., 2019).

Η τεχνητή νοημοσύνη (AI) αξιοποιείται επίσης σε διάφορες επιχειρησιακές διαδικασίες. Τα αυτόνομα φορτηγά μεταφοράς ορυχείων, με παράδειγμα τη γνωστή εταιρεία Caterpillar, έχουν αποφέρει αξιοσημείωτη μείωση των λειτουργικών δαπανών κατά 15%. Το αποτέλεσμα αυτό μπορεί να αποδοθεί στην εγγενή ικανότητα των εν λόγω φορτηγών να λειτουργούν αδιάκοπα, χωρίς διακοπές ή αλλαγές στις βάρδιες εργασίας (Dyson, 2019). Επιπλέον, είναι πολύ πιθανό ότι αυτό θα συμβάλει στην ενίσχυση των μέτρων ασφαλείας για τους εργαζόμενους και τους οδηγούς.

Υπάρχουν συνεχείς εξελίξεις στον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης που οδηγούν στη δημιουργία πρόσθετων εργαλείων με δυνατότητες τεχνητής νοημοσύνης. Προκειμένου να βελτιωθούν οι συνθήκες των εργαζομένων, είναι εύλογο να χρησιμοποιηθούν ρομπότ ή αισθητήρες που αναλαμβάνουν την έρευνα των περιοχών που προκαλούν ανησυχία και συλλέγουν δεδομένα που αφορούν τα επίπεδα επικίνδυνων αερίων, τοξικής σκόνης και ακτινοβολίας εντός του ορυχείου πριν από οποιαδήποτε ανθρώπινη εμπλοκή με την εν λόγω περιοχή (Zhao et al., 2017).

Επιπλέον, τα συστήματα αυτά θα ενεργοποιούν συναγερμούς ή σήματα ή/και θα ανακατευθύνουν τα δίκτυα εξαερισμού σε περίπτωση επικίνδυνων συνθηκών. Η πρόταση αυτή έχει τη δυνατότητα όχι μόνο να βελτιώσει τις συνολικές συνθήκες εργασίας, αλλά και να συμβάλει στον μετριασμό των διαλειμμάτων, στην ενίσχυση της παραγωγικότητας και στη μείωση των κινδύνων που σχετίζονται με τα ατυχήματα και το επακόλουθο κόστος τους (Hyder et al., 2019).

Στον τομέα της παραγωγής, αναμένεται ότι τα αυτόνομα μηχανήματα θα διαθέτουν την ικανότητα να εκτελούν υπολογισμούς που αφορούν την αντοχή και τη σκληρότητα των πετρωμάτων, καθώς και να παρακολουθούν τα επίπεδα αερίου και μεθανίου, ενώ παράλληλα θα διεξάγουν επιτήρηση των συνθηκών της οροφής (Isleyen et al., 2021). Τα δεδομένα που προκύπτουν από αυτές τις επιχειρησιακές δραστηριότητες συλλέγονται συστηματικά και στη συνέχεια αξιοποιούνται με σκοπό την ενδελεχή εξέταση των συνθηκών εργασίας που επικρατούν. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στους ενδιαφερόμενους να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις και να εφαρμόζουν τα κατάλληλα διορθωτικά μέτρα σε περίπτωση τυχόν σφαλμάτων ή δυσλειτουργιών (Ge et al., 2022).

Ένας άλλος τομέας που παρουσιάζει ελπιδοφόρες προοπτικές για τη χρήση εργαλείων με δυνατότητα Τεχνητής Νοημοσύνης είναι η επεξεργασία ορυκτών πόρων. Σε αυτόν τον τομέα, τα προηγμένα συστήματα αξιοποιούν αισθητήρες διαλογής χρωμάτων, μετάδοσης ακτίνων X ή εγγύς υπέρυθρης ακτινοβολίας για την αποτελεσματική εξάλειψη των περιττών υλικών, ενισχύοντας έτσι τη συνολική αποδοτικότητα της διαδικασίας. Αυτό θα αποδεικνυόταν επωφελές για τη διάκριση ενός πλήθους φυσικών, ορυκτολογικών και χημικών χαρακτηριστικών. Οι προαναφερθείσες διεργασίες θα ενίσχυαν, κατά συνέπεια, σημαντικά την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας επικοινωνίας και θα μείωναν τις ενεργειακές δαπάνες, καθώς τα στάδια κοκκοποίησης του κύκλου επεξεργασίας ορυκτών αναγνωρίζονται ως τα πιο ενεργοβόρα και λιγότερο ενεργειακά αποδοτικά συστατικά (Hyder et al., 2019). Ως εκ τούτου, ενισχύοντας την αποτελεσματικότητα και προωθώντας τη βιωσιμότητα.

Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι η αξιοποίηση τεχνικών ανάλυσης και οπτικοποίησης δεδομένων παρουσιάζει μια μοναδική προοπτική πρόβλεψης και εν συνεχεία αποτροπής δυνητικά επικίνδυνων περιστάσεων ή αποφυγής της ανάγκης

ανθρώπινης παρέμβασης σε περιβάλλοντα υψηλού κινδύνου. Οι ρυθμίσεις αυτές περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, τη μεταφορά, τη φόρτωση και την ενεργοποίηση εκρηκτικών υλικών, την εγκατάσταση στηριγμάτων οροφής, καθώς και την εξάλειψη τοξικών αερίων και σωματιδίων σκόνης (Narkhede et al., 2021). Επιπλέον, είναι αξιοσημείωτο να αναφερθεί ότι η τεχνητή νοημοσύνη (AI) διαθέτει την ικανότητα να ενισχύει την επιχειρησιακή αποδοτικότητα στο σύνολο της εφοδιαστικής αλυσίδας. Αυτό επιτυγχάνεται με διάφορους τρόπους, όπως η ικανότητα πρόβλεψης των απαιτήσεων συντήρησης, ο μετριασμός της σπατάλης και η μείωση των εξόδων μεταφοράς, μεταξύ άλλων πλεονεκτικών αποτελεσμάτων (Kaack et al., 2020).

Οι εξορυκτικές εργασίες παράγουν εκτεταμένες ποσότητες δεδομένων, που περιλαμβάνουν γεωλογικά δεδομένα, δεδομένα παραγωγής και δεδομένα εξοπλισμού. Τα προαναφερθέντα δεδομένα διαθέτουν τη δυνατότητα βελτίωσης της επιχειρησιακής απόδοσης, πρόβλεψης των απαιτήσεων συντήρησης και ανύψωσης των προτύπων ασφαλείας. Τα συστήματα με βάση την τεχνητή νοημοσύνη έχουν τη δυνατότητα να πραγματοποιούν ανάλυση αυτών των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, παρέχοντας έτσι στις εταιρείες εξόρυξης αξιοποιήσιμες πληροφορίες.

Η τεχνητή νοημοσύνη έχει τη δυνατότητα να εξορθολογίσει και να μηχανοποιήσει πολλές δραστηριότητες που παραδοσιακά εκτελούνταν από ανθρώπους. Ως ακαδημαϊκός, αξίζει να σημειωθεί ότι η αξιοποίηση των αυτόνομων οχημάτων ενέχει δυνατότητες στον τομέα της μεταφοράς υλικών. Με τη χρήση τέτοιων οχημάτων, μπορεί κανείς να μετριάσει αποτελεσματικά την πιθανότητα ατυχημάτων και ταυτόχρονα να ενισχύσει τη συνολική επιχειρησιακή αποδοτικότητα. Με παρόμοιο τρόπο, αξίζει να σημειωθεί ότι τα ρομπότ διαθέτουν την ικανότητα να εκτελούν διάφορες εργασίες, συμπεριλαμβανομένων των γεωτρήσεων και των ανατινάξεων, μειώνοντας έτσι τους πιθανούς κινδύνους που συνδέονται με την ανθρώπινη εργασία. Η αυτοματοποίηση, εκτός από την πρωταρχική της λειτουργία του εξορθολογισμού των διαδικασιών, μπορεί επίσης να δημιουργήσει οικονομικά οφέλη μέσω του μετριασμού των απαιτήσεων ανθρώπινης εργασίας (Hil'ovská & Koncz, 2012).

Ένα πρόσθετο όφελος της τεχνητής νοημοσύνης στην εξορυκτική βιομηχανία έγκειται στην ικανότητά της να ενισχύει τη βελτιστοποίηση της παραγωγής. Τα συστήματα με τεχνητή νοημοσύνη μπορούν να αναλύουν δεδομένα όπως ο βαθμός

μεταλλεύματος, η σκληρότητα των πετρωμάτων και η απόδοση του εξοπλισμού για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας εξόρυξης. Το φαινόμενο αυτό μπορεί δυνητικά να οδηγήσει σε αυξημένη παραγωγικότητα της γεωργίας, μειωμένες δαπάνες και μετριασμένο οικολογικό αποτύπωμα. Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για τον σκοπό της πρόγνωσης βλαβών του εξοπλισμού, επιτρέποντας έτσι την εφαρμογή στρατηγικών προληπτικής συντήρησης που αντιμετωπίζουν προληπτικά πιθανές βλάβες (Hyder et al., 2019).

Η ασφάλεια είναι ένας πρόσθετος κρίσιμος παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στο πλαίσιο της εξορυκτικής βιομηχανίας και η τεχνητή νοημοσύνη (AI) έχει τη δυνατότητα να ασκήσει σημαντική επιρροή στην ενίσχυση των μέτρων ασφαλείας. Ενδεικτικά, οι αισθητήρες διαθέτουν την ικανότητα να παρακολουθούν αποτελεσματικά τη λειτουργική κατάσταση διαφόρων εξοπλισμών και να διακρίνουν τυχόν πιθανούς κινδύνους για την ασφάλεια που μπορεί να προκύψουν. Τα συστήματα με βάση την τεχνητή νοημοσύνη μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά για τον έλεγχο των δεδομένων που αφορούν τη συμπεριφορά των εργαζομένων και τις περιβαλλοντικές συνθήκες, διευκολύνοντας έτσι τον εντοπισμό πιθανών κινδύνων για την ασφάλεια. Οι προαναφερθείσες πληροφορίες διαθέτουν τη δυνατότητα να αξιοποιηθούν για τη διαμόρφωση στρατηγικών προσεγγίσεων με στόχο τον μετριασμό των προαναφερθέντων κινδύνων και τη βελτίωση της συνολικής κατάστασης της ασφαλείας (Ali & Frimpong, 2020).

Η έξυπνη εξόρυξη διαθέτει την εγγενή ικανότητα μετριασμού των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Μέσω της εφαρμογής στρατηγικών βελτιστοποίησης της παραγωγής και μέτρων μείωσης των αποβλήτων, οι εταιρείες εξόρυξης έχουν τη δυνατότητα να μετριάσουν αποτελεσματικά τις περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις και να ελαχιστοποιήσουν το οικολογικό τους αποτύπωμα. Η τεχνητή νοημοσύνη (AI) έχει τη δυνατότητα να διευκολύνει την ανάλυση διαφόρων τύπων δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων, μεταξύ άλλων, της χρήσης νερού, της κατανάλωσης ενέργειας και της παραγωγής αποβλήτων. Με την αξιοποίηση αλγορίθμων και τεχνικών τεχνητής νοημοσύνης, καθίσταται δυνατή η διάκριση μοτίβων, τάσεων και συσχετίσεων εντός αυτών των συνόλων δεδομένων, επιτρέποντας έτσι τον εντοπισμό συγκεκριμένων τομέων που θα μπορούσαν να επωφεληθούν από τη βελτίωση. Ενδεικτικά, η αξιοποίηση συστημάτων με βάση την τεχνητή νοημοσύνη παρουσιάζει την ευκαιρία να βελτιωθεί η αποδοτικότητα της κατανάλωσης νερού, μετριάζοντας

έτσι την ποσότητα νερού που απαιτείται για διάφορες δραστηριότητες επεξεργασίας (Hyder et al., 2019).

3.2. Αυτοματοποιημένα καθοδηγούμενα οχήματα (AVG)

Τα αυτοματοποιημένα κατευθυνόμενα οχήματα είναι όλο και πιο διαδεδομένα σε κάθε κλάδο της βιομηχανίας. Η εξορυκτική βιομηχανία δεν αποτελεί εξαίρεση. Υπάρχουν:

- Οχήματα εξόρυξης
- Drones
- Αυτόνομα συστήματα γεώτρησης
- Αυτόνομοι στόλοι μεταφορικών μέσων (Steclik et al., 2022).

Τα οχήματα αυτά παρουσιάζουν πλήθος ουσιαστικών πλεονεκτημάτων για τη βιομηχανία. Αυτές οι καινοτομίες κατέστησαν εφικτή τη χρήση αυτοματοποιημένων γεωλογικών απεικονίσεων (AVGs) με σκοπό τον προσδιορισμό της ταξινόμησης των ανασκαφέντων ορυκτών και την αξιολόγηση του διαμετρήματος ενός συγκεκριμένου αποθέματος. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αυτό είναι απλώς το αρχικό στάδιο. Λόγω της ικανότητάς τους για πλήρη εξ αποστάσεως λειτουργία και διαχείριση, τα εν λόγω οχήματα και μηχανήματα συμβάλλουν πολύτιμα στην ενίσχυση της ασφάλειας στις εξορυκτικές εργασίες. Η αξιοποίησή τους στις πιο επικίνδυνες περιοχές και φάσεις εργασιών διευκολύνεται, μειώνοντας έτσι τους πιθανούς κινδύνους. Σύμφωνα με τα ευρήματα των Hyder και συν. (2019), συνάγεται ότι με την υιοθέτηση αυτής της προσέγγισης διασφαλίζεται αποτελεσματικά η ευημερία και η ασφάλεια των εργαζομένων, διευκολύνοντας έτσι την απρόσκοπτη πρόοδο στον εργασιακό χώρο. Εκτός από τις συμβατικές τους εφαρμογές, τα ελαφρά οχήματα και τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά και για επιτόπιες επιθεωρήσεις και σκοπούς σχεδιασμού ορυχείων. Το Drone Deploy, όπως διευκρινίζεται από τους CUREK και συν. (2020), εκτελεί αποτελεσματικά τα προαναφερθέντα καθήκοντα.

Η προαναφερθείσα εταιρεία χρησιμοποιεί εναέρια δεδομένα που αποκτώνται μέσω της χρήσης μη επανδρωμένων αεροσκαφών (UAV) για τους σκοπούς της διαχείρισης

αποθεμάτων, των επιτόπιων επιθεωρήσεων, της υποβολής εκθέσεων προόδου και της εποπτείας της εφοδιαστικής. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη αποδεικνύονται ιδιαίτερα πλεονεκτικά στον τομέα της διαχείρισης της εφοδιαστικής, ιδίως στο πλαίσιο των εργασιών μεταφοράς. Αξιοποιώντας τη χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών, οι επιχειρήσεις έχουν τη δυνατότητα να αντιλαμβάνονται και να αξιολογούν οπτικά τις συνθήκες εξόρυξης και τις γεωλογικές συνθήκες, διευκολύνοντας έτσι τη διαμόρφωση επακόλουθων στρατηγικών πρωτοβουλιών (Steclik et al., 2022).

Η σημασία της τεχνητής νοημοσύνης στη βιομηχανία εξόρυξης κλιμακώνεται σταδιακά. Ενισχύει την αποτελεσματικότητα και την ασφάλεια της εργασίας των μεταλλωρύχων. Η αξιοποίηση τεχνικών βελτιστοποίησης και αυτοματοποίησης αποδεικνύεται επωφελής για τον εξορθολογισμό και την επιτάχυνση ενός ευρέος φάσματος δραστηριοτήτων έντασης εργασίας, συμπεριλαμβανομένης της διαδικασίας διαλογής των ορυκτών. Τελικά, μέσω της αξιοποίησης της επιστήμης των δεδομένων, οι εταιρείες εξόρυξης είναι σε θέση να επιτύχουν μια πιο ολοκληρωμένη κατανόηση του περιβάλλοντος μέσω της ανάλυσης των σεισμικών ερευνών (Hyder et al., 2019).

3.3. Εφαρμογή της ρομποτικής στην εξόρυξη

Τα τελευταία χρόνια, υπήρξε μια αξιοσημείωτη διερεύνηση από канаδικούς ερευνητικούς και βιομηχανικούς οργανισμούς, συμπεριλαμβανομένου του Εθνικού Συμβουλίου Έρευνας (NRC) και του Καναδικού Κέντρου Τεχνολογίας Μεταλλείων και Ενέργειας (CANMET), ενός τμήματος της ομοσπονδιακής κυβέρνησης, σχετικά με τις πιθανές εφαρμογές των τεχνικών τεχνητής νοημοσύνης (AI) και της ρομποτικής τεχνολογίας στο πλαίσιο των προκλήσεων της εξόρυξης. Η αξιοποίηση της προηγμένης τεχνολογίας αποτελεί μια ιδιαίτερα αποτελεσματική προσέγγιση για την αύξηση της παραγωγικότητας και την εξασφάλιση ασφαλών συνθηκών εργασίας σε ένα επικίνδυνο επάγγελμα, όπως είναι η εξόρυξη. Η ιδέα της επίτευξης πλήρους αυτοματοποίησης στη διαδικασία εξόρυξης, αν και δεν είναι καινούργια, κρίθηκε ανεφάρμοστη σύμφωνα με τα ευρήματα των Nanda και συν. το 2010.

Είναι πιθανό ότι σε διάστημα περίπου δέκα ετών, η υλοποίηση ενός πλήρως αυτοματοποιημένου και μη επανδρωμένου ορυχείου μπορεί να καρποφορήσει. Η έλευση της αυτοματοποίησης των ανθρακωρυχείων χρονολογείται αρκετά χρόνια πριν, όταν καρποφόρησε η εφαρμογή μηχανικών μεταφορέων, ταινιόδρομων και κουρευτών στο μέτωπο του άνθρακα. Κατά τα μέσα της δεκαετίας του 1950, υπήρξε μια αξιοσημείωτη έξαρση στην προσπάθεια μηχανοποίησης των υπόγειων εργασιών, ειδικά εκείνων που αφορούσαν την εξόρυξη άνθρακα. Αυτή η δυναμική απέκτησε περαιτέρω έλξη, με τελικό αποκορύφωμα τη σχεδόν ολοκληρωτική υλοποίηση αυτής της διαδικασίας εκμηχάνισης στα μέσα της δεκαετίας του 1970. Παράλληλα με τη διαδικασία εκμηχάνισης, αναλήφθηκαν προσπάθειες για την αυτοματοποίηση των συστημάτων μεταφοράς άνθρακα και, σε κάπως μικρότερο βαθμό, για την εποπτεία των εργασιών των ανθρακωρυχείων. Αν και υπήρξαν ορισμένα επιτεύγματα στην πρώτη προσπάθεια, οι προσπάθειες για την εποπτεία των εργασιών των ανθρακωρυχείων απέδωσαν ελάχιστες προόδους.

Αυτές οι πρώιμες αποτυχίες μπορούν να αποδοθούν σε

- (1) στις μεθόδους με τις οποίες παρουσιάστηκαν οι πληροφορίες παρακολούθησης,
- (2) στους τεχνικούς περιορισμούς του τότε διαθέσιμου εξοπλισμού
- (3) στην έλλειψη τεχνολογίας επικοινωνίας για τη συλλογή, τη μετάδοση, την επεξεργασία και την εμφάνιση των δεδομένων (Nanda et. al. 2010).

Η εξέλιξη από τα αυτοματοποιημένα συστήματα στα ρομποτικά συστήματα στο πεδίο των βιομηχανικών εφαρμογών πραγματοποιήθηκε σε δύο διακριτές φάσεις. Η αρχική φάση περιελάμβανε την ανάπτυξη ρομποτικών συστημάτων που χαρακτηρίζονταν από την προσαρμοστικότητα και την πολυλειτουργικότητά τους, όπου ένα πλήθος επαναλαμβανόμενων εργασιών προγραμματίζονταν σχολαστικά σε αυτές τις ρομποτικές οντότητες. Η πλειονότητα των ρομπότ που λειτουργούν σήμερα εμπίπτουν σε αυτή τη συγκεκριμένη ταξινόμηση. Παρατηρήθηκε η έναρξη της δεύτερης φάσης ανάπτυξης, όπου εισήχθησαν διαδραστικά ρομπότ που συμμετέχουν σε αλληλεπιδράσεις με το φυσικό τους περιβάλλον. Το προαναφερθέν ρομπότ μπορεί να χαρακτηριστεί ως "ρομπότ τεχνητής νοημοσύνης", καθώς παρουσιάζει αλληλεπιδράσεις που είναι άμεσο αποτέλεσμα της ενσωματωμένης νοημοσύνης στο σύστημά του (Besha, 2022).

Η χρήση των ρομπότ στη βιομηχανία εξόρυξης περιλαμβάνει τρεις πρωταρχικούς τομείς: εξερεύνηση, παραγωγή και ενίσχυση της ανθρώπινης εργασίας σε επίπονες ή επικίνδυνες προσπάθειες. Η αξιοποίηση ρομποτικών συστημάτων στο πλαίσιο των προσπαθειών εξερεύνησης διευκολύνει την εκτέλεση εξορυκτικών δραστηριοτήτων σε αφιλόξενα περιβάλλοντα, όπως βυθισμένα περιβάλλοντα, υπόγεια ορυχεία, ραδιενεργές ζώνες ή τόπους που χαρακτηρίζονται από αυξημένα επίπεδα θερμοκρασίας και υγρασίας (Marshall et al., 2016).

3.3.1. Βιομηχανικές εφαρμογές

Ο Coiffet (1983) ισχυρίζεται ότι η εμφάνιση της ρομποτικής μπορεί να αποδοθεί στην επιδίωξη της επινόησης ενός μηχανισμού ικανού να υποκαταστήσει τον άνθρωπο σε εργασίες που είτε δεν είναι σε θέση είτε δεν επιθυμεί να αναλάβει, αλλά παραμένουν απαραίτητες ή επιθυμητές, διασφαλίζοντας παράλληλα ότι η εν λόγω αυτοματοποίηση δεν αποτελεί πρόκληση για την ανθρώπινη εξουσία. Πολυάριθμες δημοσιεύσεις και διάφοροι κατασκευαστές ρομπότ έχουν υπογραμμίσει την άποψη ότι, για μεγάλο χρονικό διάστημα, τα ρομπότ έχουν την ικανότητα να υπερτερούν των ανθρώπινων χειριστών σε συγκεκριμένες εργασίες εξόρυξης. Αυτό αποδίδεται στην αυξημένη αποδοτικότητά τους, την ακλόνητη συνέπεια και την αυξημένη αξιοπιστία σε σύγκριση με τους ανθρώπινους συναδέλφους τους. Επιπλέον, τα ρομπότ παρουσιάζουν την ικανότητα να λειτουργούν σε επικίνδυνα περιβάλλοντα, αυξάνοντας έτσι περαιτέρω τη χρησιμότητά τους στη βιομηχανία εξόρυξης. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι η χρήση αυτοματοποιημένων συστημάτων αποδεικνύεται πιο αποδοτική από την απασχόληση ανθρώπινων εργαζομένων για μονότονα καθήκοντα. Ωστόσο, είναι σημαντικό να αναγνωριστεί ότι υπάρχουν ορισμένες εργασίες που απαιτούν αποκλειστικά τις γνωστικές ικανότητες των ανθρώπινων ατόμων για να επιλυθούν με επιτυχία (Coiffet, 1983).

Όπως επισημαίνει οξυδερκώς ο Strong, δυστυχώς, η προσπάθεια αυτή απαιτεί σημαντική επένδυση σε αυστηρή εκπαίδευση και επιμελή άσκηση. Το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται και εκτελεί τις λειτουργίες της μια ρομποτική οντότητα περιγράφει το περιβάλλον που την περιβάλλει, είτε πρόκειται για στατική είτε για δυναμική χωρική διάταξη. Μέσα στο συγκεκριμένο περιβάλλον, το ρομπότ έρχεται

αντιμέτωπο με διάφορα εμπόδια που απαιτούν αποφυγή, καθώς και με αντικείμενα ενδιαφέροντος που απαιτούν την ενεργό εμπλοκή του. Ως εκ τούτου, εγκαθιδρύεται μια δυναμική αλληλεπίδραση μεταξύ της ρομποτικής οντότητας και του περιβάλλοντος που την περιβάλλει. Ενδεικτικά, στο σενάριο όπου μια ρομποτική οντότητα είναι επιφορτισμένη με τον χειρισμό μιας συσκευής διάτρησης ικανής να διεισδύει σε βραχώδεις σχηματισμούς υπό γωνία που υπερβαίνει τις 60 μοίρες σε σχέση με τον κατακόρυφο άξονα, το ρομπότ πρέπει να χρησιμοποιήσει τις ικανότητες πρόσφυσης του για να πιάσει σταθερά την περιφέρεια του διατρητικού ανοίγματος. Κατά συνέπεια, το ρομπότ είναι υποχρεωμένο να δημιουργήσει ένα νέο κενό μέσω της διαδικασίας διάτρησης και στη συνέχεια να ελιχθεί μέσα στο νεοδημιουργημένο χώρο (Bredenfeld et al., n.d.).

Με τη χρήση αυτής της μεθόδου, η συσκευή διάτρησης είναι ικανή να πλοηγείται σε γωνίες, να εκτελεί καμπύλες τροχιές, να συμμετέχει σε πλευρικές γεωτρήσεις, ακόμη και να ανεβαίνει σε κλίσεις, διευκολύνοντας έτσι την πρόσβαση σε περιοχές όπου η συμβατική πρακτική της κάθετης διάτρησης δεν είναι εφικτή. Η αξιολόγηση του ρομποτικού συστήματος που χρησιμοποιείται για τη διάτρηση πετρωμάτων θα πρέπει να περιλαμβάνει την επιμελή παρακολούθηση τόσο της διαδικασίας διάτρησης όσο και των συνθηκών που επικρατούν στο πέτρωμα, με απώτερο στόχο τον προληπτικό μετριασμό κάθε πιθανής αστοχίας του τρυπανιού που προκύπτει από υπερβολική άσκηση φορτίου. Η έλευση μιας πολυλειτουργικής συσκευής διάτρησης με δύο βραχίονες, η οποία παρουσιάστηκε το προηγούμενο έτος, έφερε επανάσταση στη βιομηχανία εξόρυξης, επιτρέποντας την αυτόνομη λειτουργία εντός μιας κεφαλής ορυχείου (Besha, 2022).

3.4. Οικονομικά οφέλη

Οι εταιρείες εξόρυξης αντιμετωπίζουν σήμερα αυξημένες προκλήσεις όσον αφορά τη λήψη χρηματοδοτικής στήριξης για νέα εγχειρήματα, σε πλήρη αντίθεση με τις ευνοϊκότερες συνθήκες που επικρατούσαν πριν από δύο δεκαετίες. Αυτή η δυσχερής κατάσταση έχει κατά συνέπεια επιφέρει σημαντική έλλειψη επενδύσεων, επιδεινώνοντας έτσι την παρούσα κρίση. Το φαινόμενο αυτό έχει ωθήσει τις εταιρείες να επιδιώξουν ενεργά καινοτόμες και συχνά πιο δαπανηρές μεθόδους απόκτησης

κεφαλαίων, όπως εξειδικευμένα κεφάλαια, εύπορα άτομα με σημαντική καθαρή περιουσία, δικαιώματα και τη χρήση πλατφορμών crowdfunding. Οι εξορυκτικές επιχειρήσεις αντιμετωπίζουν σήμερα κλιμακούμενες λειτουργικές δαπάνες που απορρέουν από παράγοντες όπως ο πληθωρισμός, η κλιμάκωση των εργατικών δαπανών και οι γεωπολιτικές περιπλοκές. Κατά συνέπεια, οι εν λόγω οντότητες αναζητούν ενεργά νέες τεχνολογικές λύσεις για να επενδύσουν, με στόχο την ανακάλυψη πιο αποδοτικών μέσων παραγωγής. Η τεχνητή νοημοσύνη θεωρείται ευρέως ως μια κομβική τεχνολογία που διαθέτει σημαντικές δυνατότητες για την αντιμετώπιση διαφόρων προκλήσεων και την ενίσχυση της παραγωγικότητας (Hyder et al., 2019).

Μια πιθανή εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης βρίσκεται στο πεδίο της προληπτικής συντήρησης. Η τεχνητή νοημοσύνη (AI) μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για τη διενέργεια ανάλυσης δεδομένων αισθητήρων που προέρχονται από εξοπλισμό και μηχανήματα εξόρυξης. Η ανάλυση αυτή αποσκοπεί στη διάκριση μοτίβων που μπορούν να χρησιμεύσουν ως δείκτες μελλοντικών βλαβών του εξοπλισμού ή απαιτήσεων συντήρησης. Μέσω της εφαρμογής στρατηγικών προβλεπτικής συντήρησης, οι εταιρείες εξόρυξης έχουν τη δυνατότητα να προγραμματίζουν προληπτικά τις δραστηριότητες συντήρησης, μετριάζοντας έτσι την εμφάνιση απροσδόκητων διακοπών λειτουργίας και βελτιώνοντας τη συνολική απόδοση του εξοπλισμού τους (Cooper & Harvey, 2018). Η συγκεκριμένη προσέγγιση χρησιμεύει για τον μετριασμό των δαπανών που συνδέονται με απρόβλεπτες επισκευές, ενώ ταυτόχρονα βελτιστοποιεί τη συνολική λειτουργική αποδοτικότητα. Ο ετήσιος οικονομικός αντίκτυπος της αντιδραστικής συντήρησης στις επιχειρήσεις είναι σημαντικός, με αποτέλεσμα την απώλεια δισεκατομμυρίων δολαρίων στην παραγωγή. Ο πρωταρχικός στόχος δεν είναι η πρόωρη αντικατάσταση μηχανών ή εξαρτημάτων, αλλά η κατάλληλη συντήρηση και η φροντίδα τους τη βέλτιστη στιγμή (Ge et al., 2023).

Με παρόμοιο τρόπο, μπορεί να αξιοποιηθεί για τη βελτιστοποίηση της κατανομής των πόρων, συμπεριλαμβανομένων, μεταξύ άλλων, των καυσίμων, του νερού και της ενέργειας, στο πλαίσιο των εξορυκτικών εργασιών. Μέσω της σχολαστικής εξέτασης δεδομένων που προέρχονται από διάφορες πηγές, όπως οι μετεωρολογικές συνθήκες, η αποτελεσματικότητα του εξοπλισμού και οι στόχοι

παραγωγής, τα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης (AI) διαθέτουν την ικανότητα να βελτιώνουν την κατανομή και τη χρήση των πόρων (Ge et al., 2023).

Επιπλέον, η τεχνητή νοημοσύνη χρησιμεύει ως η υποκείμενη τεχνολογία που διευκολύνει τις αυτόνομες λειτουργίες. Τα αυτόνομα συστήματα με βάση την τεχνητή νοημοσύνη, όπως τα αυτόνομα φορτηγά μεταφοράς ή τα γεωτρύπανα, διαθέτουν την ικανότητα να λειτουργούν με περιορισμένη ανθρώπινη παρέμβαση. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν αλγορίθμους τεχνητής νοημοσύνης, τεχνικές όρασης υπολογιστών και τεχνολογίες αισθητήρων προκειμένου να πλοηγούνται και να εκτελούν αποτελεσματικά εργασίες. Με την αντικατάσταση ή την ενίσχυση των ανθρώπινων χειριστών με αυτόνομο εξοπλισμό, οι επιχειρήσεις εξόρυξης έχουν τη δυνατότητα να μετριάσουν τα κλιμακούμενα έξοδα που σχετίζονται με την εργασία και να αντιμετωπίσουν τις προκλήσεις που αφορούν τη διαθεσιμότητα και την τεχνογνωσία του εργατικού δυναμικού (Dauvergne, 2020).

3.5. Βιωσιμότητα στις εξορυκτικές επιχειρήσεις

Εκτός από τα οικονομικά οφέλη και την αποτελεσματικότητα, αξίζει να σημειωθεί ότι η ενσωμάτωση των εργαλείων με τεχνητή νοημοσύνη υπόσχεται να ενισχύσει την πληρότητα και τη βιωσιμότητα των διαδικασιών λήψης αποφάσεων στις εξορυκτικές επιχειρήσεις. Η δυνητική χρησιμότητα της βελτιστοποίησης των εργασιών με πολλαπλούς στόχους μέσω διαδικασιών μηχανικής μάθησης έγκειται στην ικανότητά της να ενσωματώνει σημαντικές ποσότητες οικονομικών δεδομένων παράλληλα με σημαντικά δεδομένα που αφορούν περιβαλλοντικούς παράγοντες, πρότυπα χρήσης γης, κοινότητες και παράγοντες διακυβέρνησης. Μέσω της αξιοποίησης της ανίχνευσης εικόνων με δυνατότητα τεχνητής νοημοσύνης για την παρατήρηση της γης, υπάρχει η δυνατότητα βελτίωσης της κατανόησης των αλληλεξαρτήσεων μεταξύ των διαφόρων οικοσυστημάτων και της αποτελεσματικής διάκρισης χαρακτηριστικών όπως ο τύπος εδαφοκάλυψης. Αυτό, με τη σειρά του, μπορεί να διευκολύνει την προώθηση βιώσιμων πρακτικών εξόρυξης (Vinuesa et al., 2020).

Τελικά, η τεχνητή νοημοσύνη (AI) διαθέτει την ικανότητα να αναλάβει μια μελλοντική λειτουργία στην επιτήρηση των χώρων εξόρυξης, καθώς και στον εντοπισμό περιβαλλοντικών παραβάσεων ή παραβάσεων της ασφάλειας των εργαζομένων που διαπράττονται από εταιρικές οντότητες ή κυβερνητικούς φορείς. Στο πλαίσιο των εξορυκτικών κοινοτήτων, αξίζει να σημειωθεί ότι ορισμένες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται επί του παρόντος για την παρακολούθηση της βιοποικιλότητας και τον εντοπισμό παραβιάσεων της ρύπανσης του αέρα ή του νερού θα μπορούσαν ενδεχομένως να αξιοποιηθούν από τις κυβερνήσεις για την παρακολούθηση των παραβιάσεων και σε αυτές τις κοινότητες. Οι τεχνικές παρατήρησης της γης που χρησιμοποιούν τη μηχανική μάθηση έχουν τη δυνατότητα να συμβάλουν στον εντοπισμό παράνομων εξορυκτικών δραστηριοτήτων, να επιταχύνουν τις διαδικασίες επαλήθευσης και διοίκησης για τη διαχείριση της γης, καθώς και να διευκολύνουν τον εντοπισμό και το σχεδιασμό αποτελεσματικών στρατηγικών αποκατάστασης της γης. Από εταιρική άποψη, αξίζει να σημειωθεί ότι συστήματα αναγνώρισης προσώπου και ανίχνευσης εικόνας έχουν ήδη εφαρμοστεί σε διάφορους δημόσιους τομείς (Tucker, 2020). Οι τεχνολογίες αυτές έχουν τη δυνατότητα να βοηθήσουν στην επιτήρηση και τη διαχείριση μη εξουσιοδοτημένων ατόμων ή τυχόν παραβιάσεων που αφορούν την περίμετρο και τα σημεία εισόδου των επιχειρήσεων των χώρων εξόρυξης.

3.5.1. Βαθμολογίες ESG

Οι εταιρείες εξόρυξης φημίζονται για τις μη βέλτιστες βαθμολογίες ESG, δίνοντας συχνά προτεραιότητα στις επενδύσεις που αποσκοπούν στην ενίσχυση της λειτουργικής αποδοτικότητας έναντι των προσπαθειών που επικεντρώνονται στον περιορισμό του κοινωνικού τους αποτυπώματος. Η επικρατούσα νοοτροπία υφίσταται επί του παρόντος μετασχηματισμό, λόγω της αυξανόμενης σημασίας των περιβαλλοντικών, κοινωνικών και διοικητικών αποτελεσμάτων (ESG) μεταξύ των επενδυτών και της κοινωνίας γενικότερα. Λόγω αυτού του σκεπτικού, οι μεταλλευτικές επιχειρήσεις μπορούν να εξετάσουν τη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης (AI) ως μέσο για να φέρουν επανάσταση στις δραστηριότητές τους σε σχέση με τις τρεις διαστάσεις του ESG. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω της παροχής

γνώσεων που προέρχονται από προσεγγίσεις που βασίζονται σε δεδομένα, διευκολύνοντας τις βελτιωμένες δυνατότητες παρακολούθησης και υποβολής εκθέσεων και ενισχύοντας την αποτελεσματικότητα των διαδικασιών λήψης αποφάσεων (Alberto, 2022).

Από περιβαλλοντική άποψη, η τεχνητή νοημοσύνη (AI) διαθέτει τη δυνατότητα ανάλυσης δορυφορικών εικόνων προκειμένου να παρακολουθείται αποτελεσματικά η αποψίλωση των δασών, να αξιολογείται η υποβάθμιση της γης και να παρατηρούνται μεταβολές στην κάλυψη της βλάστησης. Τα προαναφερθέντα δεδομένα μπορούν να αξιοποιηθούν με σκοπό τον εντοπισμό συγκεκριμένων περιοχών που απαιτούν προσπάθειες διατήρησης, καθώς και για την παρακολούθηση της αποτελεσματικότητας των προσπαθειών αναδάσωσης και αποκατάστασης της γης. Τα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης (AI) διαθέτουν την ικανότητα να διακρίνουν πρότυπα, να κάνουν προβλέψεις σχετικά με μελλοντικά γεγονότα και να αξιολογούν την αποτελεσματικότητα διαφόρων στρατηγικών μετριασμού. Αυτό έχει τη δυνατότητα να βοηθήσει τις μεταλλευτικές επιχειρήσεις στη βελτιστοποίηση των επιχειρησιακών τους διαδικασιών με στόχο τον μετριασμό των δυσμενών περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Η τεχνητή νοημοσύνη (AI) διαθέτει σημαντικές δυνατότητες για τον αποτελεσματικό μετριασμό και την ελαχιστοποίηση των δυσμενών περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Η χρήση αισθητήρων και καμερών στην παρακολούθηση των ορυχείων και η επακόλουθη συλλογή δεδομένων διευκολύνει μια ολοκληρωμένη ανάλυση που επιτρέπει τη βαθύτερη κατανόηση των στρατηγικών μείωσης των αποβλήτων και τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης (Hiřonská & Koncz, 2012).

Η Shyft Inc., μια επιχείρηση που ειδικεύεται στην ενσωμάτωση τεχνολογικών λύσεων αιχμής με στόχο τη βελτίωση των διαδικασιών παραγωγής ορυχείων, ασχολείται επί του παρόντος με την αξιοποίηση της τεχνητής νοημοσύνης, της ανάλυσης δεδομένων και των τεχνικών μηχανικής μάθησης για την ακριβή πρόβλεψη των ενεργειακών αιχμών. Η τεχνητή νοημοσύνη (AI) παρουσιάζει ανώτερες ικανότητες ανάλυσης δεδομένων σε σύγκριση με τους ανθρώπινους συναδέλφους της, επιτρέποντας τη βελτιωμένη παρακολούθηση και τον έλεγχο των συστημάτων εξαερισμού των ορυχείων. Αυτό, με τη σειρά του, οδηγεί σε σημαντικές βελτιώσεις στην ενεργειακή απόδοση και στη μείωση του κόστους εντός της εξορυκτικής βιομηχανίας (Saxena et al., 2022).

Η τεχνητή νοημοσύνη έχει τη δυνατότητα να ενισχύσει τις κοινωνικές επιπτώσεις των εξορυκτικών δραστηριοτήτων. Ενδεικτικά, η τεχνητή νοημοσύνη έχει χρησιμοποιηθεί από εταιρείες στην Αυστραλία λόγω της ικανότητάς της να διακρίνει περιοχές στις οποίες οι κοινότητες των αυτοχθόνων αντιμετωπίζουν πιθανή ευπάθεια ως αποτέλεσμα των εξορυκτικών δραστηριοτήτων. Οι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης έχουν την ικανότητα να αναλύουν διάφορες διαδικτυακές πλατφόρμες, συμπεριλαμβανομένων των μέσων κοινωνικής δικτύωσης, με σκοπό την κατανόηση των προοπτικών των τοπικών κοινοτήτων όσον αφορά τις εξορυκτικές δραστηριότητες και τον εντοπισμό εύλογων ανησυχιών που ενδέχεται να προκύψουν (Saxena et al., 2022).

4. Προκλήσεις κατά την εφαρμογή της TN στην εξορυκτική βιομηχανία και ηθικές εκτιμήσεις

Η ενσωμάτωση εργαλείων με δυνατότητα τεχνητής νοημοσύνης στον τομέα της εξόρυξης υπόσχεται την ενίσχυση της επιχειρησιακής αποδοτικότητας και της παραγωγικότητας σε διάφορα στάδια της παραγωγής και των εργασιών. Ωστόσο, είναι ζωτικής σημασίας να αναγνωριστεί ότι η χρήση τέτοιων εργαλείων συνεπάγεται συμβιβασμούς και παρουσιάζει αξιοσημείωτα ηθικά διλήμματα, μαζί με οικονομικές, περιβαλλοντικές και κοινωνικές προεκτάσεις. Η ολοένα και μεγαλύτερη σημασία των ηθικών προβληματισμών στην ανάπτυξη και τη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης γίνεται όλο και πιο εμφανής στους εταιρικούς και πολιτικούς διαλόγους. Οι Floridi και συν. (2019) εξέθεσαν ένα σύνολο πέντε θεμελιωδών αρχών που αφορούν την ηθική τεχνητή νοημοσύνη (AI), και συγκεκριμένα την ωφέλεια, τη μη αδικία, την αυτονομία, τη δικαιοσύνη και την επεξηγηματικότητα. Βασισμένη σε αυτές τις θεμελιώδεις αρχές, η επιστημονική μας έρευνα εμβαθύνει σε μια ολοκληρωμένη εξέταση τεσσάρων πρωταρχικών ηθικών προβληματισμών που αφορούν τη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης (AI) στο πλαίσιο της εξορυκτικής βιομηχανίας:

- αυτονομία και παρατήρηση
- ισορροπία των ανταμοιβών
- προκατάληψη και ιεράρχηση
- εξηγησιμότητα και αποδοχή.

4.1. Εξισορρόπηση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων

Παράλληλα με την ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης σε διάφορους τομείς, εξακολουθεί να υπάρχει αντίσταση από βασικούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων των εργαζομένων, των διευθυντών, των τοπικών κοινοτήτων και των επιστημόνων, όσον αφορά τις πιθανές αρνητικές συνέπειες αυτών των τεχνολογιών στις ευκαιρίες απασχόλησης, τις κοινωνικές δομές και τη δυναμική της εργασίας (Cazes, 2021). Οι ανησυχίες αυτές απορρέουν από τις ανησυχίες σχετικά με την εισβολή των καθηκόντων αυτοματοποίησης στον τομέα που παραδοσιακά καταλαμβάνουν οι ανθρώπινοι εργαζόμενοι, παράλληλα με την αυξημένη επιτήρηση που οδηγεί σε διακυβευμένη ιδιωτικότητα των δεδομένων και μειωμένη αυτονομία στη λήψη αποφάσεων. Τα αυτοματοποιημένα οχήματα ή τα συστήματα παρακολούθησης διαθέτουν την εγγενή ικανότητα να αντικαταστήσουν τους ανθρώπινους οδηγούς ή χειριστές. Ωστόσο, είναι επιτακτική ανάγκη να ληφθούν υπόψη τα αυξημένα πλεονεκτήματα ασφάλειας που προσφέρουν αυτά τα προαναφερθέντα εργαλεία σε συνδυασμό με τις πιθανές επιπτώσεις στις δαπάνες εργασίας. Η εξέταση συστημάτων που ενισχύουν, αντί να υποκαθιστούν, τους ανθρώπινους εργάτες ή χρησιμοποιούν μεθοδολογίες ανθρώπινου έργου στο κύκλωμα, θα μπορούσε να βελτιώσει τις δυσμενείς επιπτώσεις αυτών των τεχνολογικών εξελίξεων (Guo et al., 2022).

Επιπλέον, στην περίπτωση που τα μέσα επιτήρησης ή παρακολούθησης του προσώπου χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, τη διασφάλιση της ασφάλειας των εργαζομένων ή την οχύρωση των περιμέτρων των χώρων εξόρυξης, υπάρχει σημαντική πιθανότητα τα μέσα αυτά να υπερβούν τις στενά καθορισμένες εφαρμογές τους. Αντιθέτως, μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση των εργαζομένων και των γειτονικών κοινοτήτων με τρόπους που ενδεχομένως αντιβαίνουν στις ηθικές αρχές ή στις προσδοκίες της κοινότητας.

Η αξιοποίηση της τεχνητής νοημοσύνης (AI) στον τομέα της εξόρυξης έχει προκαλέσει σημαντικές διαβουλεύσεις και συζητήσεις. Από μια ορισμένη οπτική γωνία, μπορεί να υποστηριχθεί ότι η τεχνητή νοημοσύνη (AI) διαθέτει τη δυνατότητα να προσφέρει ένα εξαιρετικά αποτελεσματικό και οικονομικά επωφελές

μέσο για την εξόρυξη πολύτιμων πόρων από την επιφάνεια της Γης. Αντιθέτως, η έλευση της τεχνητής νοημοσύνης δημιουργεί πληθώρα ηθικών προβληματισμών, ιδίως σε σχέση με τη διασφάλιση των ανθρωπίνων δικαιωμάτων στον τομέα της εξόρυξης (An et al., 2023).

Τον τελευταίο καιρό, μια πληθώρα οργανισμών έχουν προσπαθήσει επιμελώς να αντιμετωπίσουν και να μετριάσουν το προαναφερθέν ζήτημα. Η Διεθνής Οργάνωση Εργασίας (ILO) έχει διαμορφώσει ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο κατευθυντήριων γραμμών που αφορούν την αξιοποίηση της τεχνητής νοημοσύνης (AI) στον τομέα της εξόρυξης. Οι εν λόγω κατευθυντήριες γραμμές έχουν διαμορφωθεί σχολαστικά με πρωταρχικό στόχο τη διασφάλιση και την τήρηση των θεμελιωδών ανθρωπίνων δικαιωμάτων των εργαζομένων που εμπλέκονται στον εν λόγω κλάδο. Οι κατευθυντήριες γραμμές υπογραμμίζουν κυρίως την επιτακτική ανάγκη να διασφαλιστεί η πρόσβαση των εργαζομένων σε ασφαλές και ευνοϊκό περιβάλλον εργασίας, σε δίκαιη αμοιβή και σε δυνατότητες βελτίωσης των ικανοτήτων και της τεχνογνωσίας τους (Cazes, 2021).

Ταυτόχρονα, η αξιοποίηση της τεχνητής νοημοσύνης (AI) εντός του τομέα της εξόρυξης μπορεί να αποφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα. Η τεχνητή νοημοσύνη διαθέτει τη δυνατότητα αυτοματοποίησης συγκεκριμένων διαδικασιών, όπως η τοπογράφηση και η χαρτογράφηση, μειώνοντας έτσι την ανάγκη για ανθρώπινη παρέμβαση και χειρωνακτική εργασία. Η αξιοποίηση της τεχνητής νοημοσύνης υπόσχεται την ενίσχυση της ασφάλειας στους χώρους εργασίας με τον αποτελεσματικό εντοπισμό και την ειδοποίηση των εργαζομένων για πιθανούς κινδύνους (An et al., 2023).

Η ουσία της επίτευξης ισορροπίας στη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης (AI) στον τομέα των ορυχείων έγκειται στην επιτακτική ανάγκη διατήρησης των ανθρωπίνων δικαιωμάτων, με ταυτόχρονη αξιοποίηση των πλεονεκτημάτων που μπορεί να προσφέρει η AI. Αυτό απαιτεί από τους οργανισμούς να αναλάβουν το επιτακτικό καθήκον της τήρησης των καθιερωμένων προτύπων που περιγράφονται από τη Διεθνή Οργάνωση Εργασίας (ILO), ενώ παράλληλα θα πρέπει να εφαρμόζουν μέτρα που θα εγγυώνται την υπεύθυνη αξιοποίηση της τεχνητής νοημοσύνης (AI) (Fontes et al., 2022).

Ενδεικτικά, είναι επιτακτική ανάγκη οι οργανισμοί να βεβαιωθούν ότι η αξιοποίηση της τεχνητής νοημοσύνης διεξάγεται με τρόπο που να μετριάξει τυχόν πιθανούς κινδύνους για το εργατικό δυναμικό. Είναι επιτακτική ανάγκη να διασφαλιστεί επιπροσθέτως ότι οι εργαζόμενοι έχουν την προοπτική να καλλιεργήσουν τις ικανότητες και την παιδεία τους, λαμβάνοντας ταυτόχρονα δίκαιη αμοιβή. Εν κατακλείδι, είναι επιτακτική ανάγκη οι οργανισμοί να βεβαιώνονται επιμελώς ότι η χρήση της τεχνητής νοημοσύνης τους τηρεί τις αρχές της διαφάνειας και της λογοδοσίας. Αυτό θα παρέχει στους εργαζομένους την απαραίτητη διαβεβαίωση ότι τα θεμελιώδη δικαιώματά τους αναγνωρίζονται και τηρούνται δεόντως. Μέσω της εφαρμογής αυτών των μέτρων, οι οργανισμοί μπορούν να επιτύχουν αποτελεσματικά μια αρμονική ισορροπία μεταξύ της αξιοποίησης της τεχνητής νοημοσύνης (AI) στον εξορυκτικό τομέα και της διατήρησης των θεμελιωδών ανθρωπίνων δικαιωμάτων. Αυτό θα εγγυηθεί την παροχή ασφαλών και υγιεινών εργασιακών περιβαλλόντων για τους εργαζόμενους, αξιοποιώντας ταυτόχρονα τα πλεονεκτικά χαρακτηριστικά που μπορεί να προσφέρει η τεχνητή νοημοσύνη.

Ως εκ τούτου, είναι επιτακτική ανάγκη ο σχεδιασμός και η υλοποίηση αυτών των συστημάτων επιτήρησης να θέτει ως προτεραιότητα την ενσωμάτωση παραμέτρων που διασφαλίζουν την ιδιωτική ζωή και προασπίζουν τα ανθρώπινα δικαιώματα (Fontes et al., 2022). Υπό το πρίσμα της αυξανόμενης χρήσης εργαλείων με δυνατότητα τεχνητής νοημοσύνης σε χώρους εξόρυξης, καθίσταται επιτακτική η ανάγκη προσεκτικής διαβούλευσης του συμβιβασμού μεταξύ της αυξημένης αποτελεσματικότητας και ασφάλειας από τη μία πλευρά και του δυνητικού συμβιβασμού της αυτονομίας και της ιδιωτικής ζωής των εργαζομένων και της κοινότητας από την άλλη (Fontes et al., 2022).

4.2. Δεοντολογικές εκτιμήσεις στην εξόρυξη με τεχνητή νοημοσύνη

Τα ηθικά διλήμματα που σχετίζονται με την αρχή της δικαιοσύνης προκύπτουν όταν εξετάζουμε τη διχοτόμηση των ατόμων που αναδεικνύονται σε "νικητές" ή "θύματα" μετά την εφαρμογή νέων τεχνολογιών. Οι πιθανές ανισότητες σε αυτή την ισορροπία των ανταμοιβών τίθενται υπό εξέταση όταν εξετάζεται η

ισορροπία των πλεονεκτημάτων μεταξύ εταιρειών ή εθνών. Υπό το πρίσμα της έλλειψης εγχώριου κεφαλαίου ή σχετικής εμπειρογνωμοσύνης που απαιτούνται για τη διατήρηση της ανάλογης δυναμικής έναντι της προόδου ενός εξορυκτικού τομέα με τεχνητή νοημοσύνη, οι μικρές επιχειρήσεις μπορεί να αποκομίσουν συγκριτικά μειωμένα πλεονεκτήματα από αυτές τις τεχνολογικές εξελίξεις σε αντίθεση με τις ήδη προνομιούχες διεθνείς και επεκτατικές αντίστοιχες επιχειρήσεις (Kaul & Soofastaei, 2022).

Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι στο πλαίσιο της συζήτησης μηχανισμών που αφορούν την παρακολούθηση περιβαλλοντικών παραβιάσεων, είναι εύλογο ότι οι μικρότερες ή λιγότερο προηγμένες οικονομικά κυβερνήσεις ενδέχεται να αντιμετωπίσουν περιορισμούς όσον αφορά τους οικονομικούς πόρους που απαιτούνται για την ανάπτυξη και την εφαρμογή τέτοιων εργαλείων, ιδίως σε σύγκριση με εξέχοντα εξορυκτικά έθνη του Παγκόσμιου Βορρά, συμπεριλαμβανομένων ενδεικτικά του Καναδά, της Αυστρίας και των Ηνωμένων Πολιτειών. Η αξιοποίηση της τεχνητής νοημοσύνης έχει τη δυνατότητα να επιδεινώσει, αντί να διορθώσει, τις συχνά γεωγραφικά επηρεασμένες συνέπειες της κατάρας των πόρων, στρεβλώνοντας έτσι την ισορροπία των μελλοντικών οφελών (Brendel et al., 2021).

Επιπλέον, είναι επίσης εύλογο να εξεταστεί η ισορροπία των κινήτρων σε σχέση με την αρχή της ευεργεσίας. Η τεχνητή νοημοσύνη (AI) διαθέτει την ικανότητα να μετριάσει ορισμένες περιβαλλοντικές δαπάνες που συνδέονται με τις εξορυκτικές δραστηριότητες μέσω της βελτιωμένης επεξεργασίας των ορυκτών, της μεταφοράς, της χρήσης των μηχανημάτων και της ακριβούς παρακολούθησης των περιβαλλοντικών παραβάσεων. Παρ' όλα αυτά, είναι επιτακτική ανάγκη να ληφθούν υπόψη οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που συνδέονται με τα εργαλεία τεχνητής νοημοσύνης.

Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι η ενίσχυση της αποτελεσματικότητας και της κερδοφορίας των εξορυκτικών δραστηριοτήτων μπορεί ενδεχομένως να οδηγήσει σε υπερβολική εξόρυξη ορυκτών ή σε αδικαιολόγητη επέκταση της εξόρυξης περιβαλλοντικά επιβλαβών πόρων, όπως ο άνθρακας. Η διευκόλυνση της εξόρυξης ορυκτών έχει τη δυνατότητα να επιταχύνει την απομάκρυνσή μας από τα ορυκτά καύσιμα από ορισμένες απόψεις- ωστόσο, είναι σημαντικό να αναγνωρίσουμε ότι

αυτά ακριβώς τα εργαλεία θα μπορούσαν επίσης να καταστήσουν την εξόρυξη ορυκτών καυσίμων πιο αποδοτική από άποψη κόστους, εμποδίζοντας έτσι την προαναφερθείσα μετάβαση (Victor, 2019). Ως εκ τούτου, είναι επιτακτική ανάγκη να μελετηθεί ο τρόπος και το πλαίσιο στο οποίο χρησιμοποιούνται αυτά τα εργαλεία, ώστε να διασφαλιστεί η ευθυγράμμισή τους με τους γενικότερους στόχους της βιωσιμότητας, αντί να παρεμποδίζεται η πρόοδός τους.

Συμπερασματικά, η εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης (AI) έχει τη δυνατότητα να ενισχύσει την οικονομική αποδοτικότητα εντός των επιχειρήσεων και ενδεχομένως να μετριάσει το ενεργειακό κόστος, προωθώντας έτσι τους περιβαλλοντικούς στόχους. Ωστόσο, είναι ζωτικής σημασίας να αναγνωριστεί ότι οι σημαντικές ποσότητες δεδομένων που είναι απαραίτητες για τις λειτουργίες της ΤΝ ενδέχεται να θέσουν ακούσια σε κίνδυνο την ιδιωτική ζωή των ατόμων που συνεισφέρουν δεδομένα, συμπεριλαμβανομένων των εργαζομένων. Το φαινόμενο αυτό διαταράσσει για άλλη μια φορά την ισορροπία των κινήτρων (Brendel et al., 2021).

4.3. Μεροληψία και ιεράρχηση προτεραιοτήτων

Η αξιοποίηση σημαντικών ποσοτήτων και ποικίλων σειρών δεδομένων για τη λειτουργική εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης (AI) στη βιομηχανία εξόρυξης είναι επιτακτική ανάγκη προκειμένου να δημιουργηθούν τα απαιτούμενα επίπεδα ακρίβειας και αποτελεσματικότητας στα σχετικά εργαλεία. Παρ' όλα αυτά, είναι επιτακτική ανάγκη να αναγνωριστεί η παρουσία προβληματισμών που αφορούν τη θεμελιώδη έννοια της δικαιοσύνης στο πλαίσιο αυτό. Στο πλαίσιο της ανάπτυξης εφαρμογών που υποστηρίζονται από την τεχνητή νοημοσύνη σε εξορυκτικές περιοχές του παγκόσμιου Νότου, είναι επιτακτική ανάγκη να αναγνωριστεί ότι τα δεδομένα που είναι προσβάσιμα για την εκπαίδευση των συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης μπορεί να μην ευθυγραμμίζονται με τις ειδικές απαιτήσεις του πλαισίου της επιδιωκόμενης εφαρμογής. Η πιθανή συνέπεια αυτής της περίπτωσης είναι η πιθανότητα μεροληπτικής λήψης αποφάσεων ή αποτελεσμάτων που απορρέουν από την ανεπάρκεια δεδομένων που είναι είτε τοπικά είτε αντιπροσωπευτικά (Australian Resources & Investment, 2021).

Σε περίπτωση που τα συστήματα αναγνώρισης προσώπου δεν αναπτύσσονται με τη δέουσα προσοχή στα συγκεκριμένα δημογραφικά χαρακτηριστικά του τοπικού πληθυσμού, όπως στην υποσαχάρια Αφρική, όπου ένα σημαντικό ποσοστό του εργατικού δυναμικού και των μελών της κοινότητας είναι άτομα μη λευκής εθνότητας, είναι εύλογο ότι η αποτελεσματικότητά τους μπορεί να τεθεί σε κίνδυνο, όπως αποδεικνύεται από τα ευρήματα των Raji και συν. (2020). Στο πλαίσιο της ενσωμάτωσης περιβαλλοντικών, πολιτισμικών (όπως η γλώσσα), κυβερνητικών ή κοινοτικών δεδομένων σε εφαρμογές μηχανικής μάθησης εντός της εξορυκτικής βιομηχανίας, είναι σημαντικό να αναγνωριστεί ότι η διαθεσιμότητα και η ακρίβεια των εν λόγω δεδομένων μπορεί να διαφέρει σε διάφορες περιοχές παγκοσμίως.

Επιπλέον, είναι επιτακτική ανάγκη να αναγνωριστεί ότι οι επικρατούσες έννοιες που συζητούνται στο πεδίο της ηθικής της ΤΝ παρουσιάζουν μια διακριτή γεωγραφική προκατάληψη, η οποία έχει τη δυνατότητα να στρεβλώσει την ιεράρχηση και την καταλληλότητα των ζητημάτων εντός συγκεκριμένων πλαισίων, ιδίως όταν εξετάζεται η χρήση της τεχνητής νοημοσύνης σε περιοχές πέραν των ορίων του Παγκόσμιου Βορρά. Ως εκ τούτου, είναι επιτακτική ανάγκη να τονιστεί ο απαραίτητος ρόλος των τοπικών ή περιφερειακών ενδιαφερομένων σε διάφορα επίπεδα, που περιλαμβάνουν τα στελέχη των εταιρειών, τους εργαζόμενους, τους διεθνείς και τοπικούς φορείς χάραξης πολιτικής και τη γειτονική κοινότητα, στην άμβλυνση των εγγενών ανησυχιών περί μεροληψίας δεδομένων (ÓhÉigeartaigh et al., 2020).

Τέλος, είναι επιτακτική ανάγκη να εξεταστεί το ζήτημα της ιεράρχησης των δεικτών δεδομένων και των δικαιούχων αυτών. Στο πλαίσιο της βελτιστοποίησης πολλαπλών στόχων σε εξορυκτικές δραστηριότητες, στόχος είναι η ενσωμάτωση δεδομένων από διάφορες διαστάσεις του επιχειρησιακού περιβάλλοντος. Αυτό συνεπάγεται την εξέταση όχι μόνο των δεδομένων που σχετίζονται με το κέρδος, αλλά και των δεδομένων που αφορούν τις περιβαλλοντικές, πολιτιστικές, κοινωνικές και διοικητικές επιπτώσεις. Στόχος είναι η αξιοποίηση αυτού του ολοκληρωμένου συνόλου δεδομένων για την ενημέρωση των διαδικασιών λήψης αποφάσεων. Ωστόσο, το άτομο που είναι επιφορτισμένο με το σχεδιασμό του εν λόγω συστήματος εξακολουθεί να αντιμετωπίζει την επιτακτική ανάγκη να αποδώσει αποφάσεις σχετικά με την αξία ή τη βαρύτητα που αποδίδεται σε κάθε επιμέρους πτυχή (Roche et al., 2022),

4.4. Ηθικές απαιτήσεις για βιώσιμη εξόρυξη

Πρέπει να αναγνωρίσουμε δεόντως την παρουσία μιας τελικής ταξινόμησης των ηθικών διαβουλεύσεων που είναι εγγενώς συνυφασμένη με τη θεμελιώδη αρχή της διαύγειας και την έννοια της διαύγειας στα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης (AI), όπως εκτίθεται από τους Angelon και συν (2021). Οι ανησυχίες που εκφράζονται από τους εργαζόμενους στα ορυχεία σχετικά με την πιθανή εκτόπιση θέσεων εργασίας που προκαλείται από την τεχνητή νοημοσύνη, καθώς και οι ανησυχίες που εκφράζονται από τις τοπικές κυβερνήσεις και τα μέλη της κοινότητας σχετικά με την εφαρμογή συστημάτων επιτήρησης σε περιοχές εξόρυξης, μπορούν να αντιμετωπιστούν και να μετριαστούν αποτελεσματικά μέσω της εφαρμογής μηχανισμών ανταλλαγής γνώσεων, της αξιοποίησης επεξηγήσιμων και διαφανών συστημάτων και της ενεργού εμπλοκής με τα σχετικά ενδιαφερόμενα μέρη. Δεδομένης της εγγενούς αλληλεξάρτησης μεταξύ της εξόρυξης και των γύρω φυσικών κοινοτήτων, είναι εξαιρετικά σημαντικό να προωθηθεί η κατανόηση και η έγκριση της τοπικής κοινότητας μέσω της προώθησης της διαφάνειας και της εκπαίδευσης σχετικά με την ανάπτυξη, τις μεθοδολογίες και την προβλεπόμενη χρήση αυτών των τεχνολογιών (Larsson & Heintz, 2020).

Προκειμένου να προωθηθεί η αποδοχή των πιο παρεμβατικών εργαλείων που υποστηρίζονται από την τεχνητή νοημοσύνη, είναι επιτακτική ανάγκη οι εταιρείες να συμμετάσχουν σε προσπάθειες συνεργασίας με τους εργαζομένους και τις κοινότητές τους. Αυτό συνεπάγεται την ενεργό συμμετοχή τους στη διαδικασία λήψης αποφάσεων και τη διασφάλιση της διαφάνειας όσον αφορά την προβλεπόμενη χρήση αυτών των εργαλείων. Η ύψιστη σημασία έγκειται στην εμπλοκή των ενδιαφερομένων μερών για την αποσαφήνιση των λειτουργιών και των περιορισμών της Τεχνητής Νοημοσύνης (AI), καθώς και για την εξασφάλιση γνήσιας συναίνεσης για τη χρήση της. Η σύνδεση αυτή όχι μόνο δημιουργεί μια σαφή σύνδεση με την υπεύθυνη και ηθική αξιοποίηση των εργαλείων που υποστηρίζονται από την AI, αλλά έχει επίσης τη δυνατότητα να ενισχύσει την ακρίβεια. Σύμφωνα με τον Mudd (2020), η ενισχυμένη κατανόηση των συμβιβασμών που συνδέονται με τις νέες τεχνολογίες και τα συστήματα που αναπτύσσονται με σχέδια με ανθρώπους μέσα στο κύκλωμα

μπορεί ενδεχομένως να ενισχύσει τη μεγαλύτερη προθυμία των κοινοτήτων και των εργαζομένων να συμμετάσχουν ενεργά σε αυτά τα συστήματα. Αυτή η αυξημένη συμμετοχή, με τη σειρά της, έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει την ακρίβεια των δεδομένων και την επακόλουθη αξιοποίησή τους.

Η αξιοποίηση εργαλείων τεχνητής νοημοσύνης (AI) στον τομέα της εξόρυξης βρίσκεται επί του παρόντος σε εξέλιξη. Λαμβάνοντας υπόψη τον καίριο ρόλο που διαδραματίζει ο τομέας αυτός στη διευκόλυνση της ενεργειακής μετάβασης και τον επείγοντα χαρακτήρα με τον οποίο πρέπει να πραγματοποιηθεί αυτή η μετάβαση, η τεχνητή νοημοσύνη (AI) έχει την ικανότητα, όταν χρησιμοποιείται κατάλληλα, να ενισχύσει την αποτελεσματικότητα αυτού του εγχειρήματος. Σύμφωνα με τους Hansen και συν. (2013), η ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης σε ζητήματα βιωσιμότητας και κοινοτικής ανάπτυξης έχει τη δυνατότητα να μετριάσει τις δυσμενείς ηθικές επιπτώσεις που συνδέονται με τη χρήση της.

Παρ' όλα αυτά, ελλείπει του δέοντος προβληματισμού σχετικά με την ηθική αξιοποίηση των εν λόγω εργαλείων, καθώς και των συναφών συμβιβασμών που προκύπτουν, υπάρχει η επικίνδυνη προοπτική να χαθεί η ευκαιρία να στραφούμε προς εναλλακτικές πηγές ενέργειας με τρόπο που να είναι τόσο περιβαλλοντικά βιώσιμος όσο και να δίνει προτεραιότητα στην ευημερία του πλανήτη μας και των κατοίκων του. Ως εκ τούτου, καθίσταται επιτακτική και αξιόπαινη η υιοθέτηση μιας ηθικής και ολοκληρωμένης προοπτικής από τους ενδιαφερόμενους φορείς της εξορυκτικής βιομηχανίας, καθώς και από τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής, όταν εξετάζουν τη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης (AI) στον τομέα αυτό (Mudd, 2020).

Συμπέρασμα

Η ενσωμάτωση της Τεχνητής Νοημοσύνης (AI) στον τομέα της εξόρυξης σηματοδοτεί μια αξιοσημείωτη πρόοδο προς την κατεύθυνση της αυξημένης αποτελεσματικότητας, ασφάλειας και βιωσιμότητας στις εξορυκτικές δραστηριότητες. Το παρόν χειρόγραφο παρέχει μια ολοκληρωμένη έκθεση που περιλαμβάνει την πορεία που ξεκινά από τις στοιχειώδεις αρχές της τεχνητής νοημοσύνης, τους διάφορους τομείς της και το ιστορικό υπόβαθρο, καταλήγοντας σε μια λεπτομερή εξέταση των περίπλοκων εμποδίων και μεθοδολογιών που συνεπάγονται οι σύγχρονες πρακτικές εξόρυξης. Επιπλέον, η έρευνά μας περιλάμβανε την εξέταση των ηθικών επιπτώσεων που συνδέονται με τη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης στη μεταλλευτική βιομηχανία, καθώς και τη διασταύρωσή της με το ευρύτερο πλαίσιο της βιωσιμότητας και την υιοθέτηση υπεύθυνων μεθοδολογιών εξόρυξης. Τονίστηκε δεόντως η σημασία της τεχνητής νοημοσύνης στην εξορυκτική βιομηχανία, η οποία περιλαμβάνει τη χρήση των αυτοματοποιημένων οχημάτων καθοδήγησης (AGV) και της ρομποτικής. Οι προαναφερθείσες τεχνολογίες έχουν τη δυνατότητα να αυξήσουν την παραγωγικότητα, να διασφαλίσουν την ασφάλεια και να ενισχύσουν τη συνολική οικονομική βιωσιμότητα των εξορυκτικών εργασιών. Επιπλέον, είναι αξιοσημείωτο να τονιστεί η σημασία που αποδίδεται στις βαθμολογίες για το περιβάλλον, την κοινωνία και τη διακυβέρνηση (ESG), η οποία αποτελεί απόδειξη της αταλάντευτης αφοσίωσης του κλάδου στην εκπλήρωση των περιβαλλοντικών και κοινωνικών υποχρεώσεών του.

Ωστόσο, όπως και σε κάθε προοδευτική εξέλιξη της τεχνολογίας, υπάρχει πληθώρα προκλήσεων και ηθικών προβληματισμών που απαιτούν προσοχή και επίλυση. Η προσεκτική εξέταση και η τεκμηριωμένη ανάλυση τόσο των πλεονεκτημάτων όσο και των μειονεκτημάτων που συνδέονται με την ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης (AI) είναι εξαιρετικά σημαντική. Αυτό οφείλεται στην ανάγκη υιοθέτησης μιας διακριτικής και καλά μελετημένης στρατηγικής, προκειμένου να αμβλυνθούν τυχόν απρόβλεπτες επιπτώσεις που μπορεί να προκύψουν από την εφαρμογή της. Η επιτακτική ανάγκη αντιμετώπισης των ηθικών προβληματισμών που αφορούν τη μεροληψία, την ιεράρχηση και την υπεύθυνη

χρήση της τεχνητής νοημοσύνης στην εξορυκτική βιομηχανία είναι υψίστης σημασίας προκειμένου να διασφαλιστούν δίκαια οφέλη για όλους τους σχετικούς ενδιαφερόμενους και το περιβάλλον.

Προκειμένου να αξιοποιηθούν πλήρως οι δυνατότητες της τεχνητής νοημοσύνης στη μεταλλευτική βιομηχανία, είναι επιτακτική ανάγκη να δημιουργηθεί ένα πλαίσιο ηθικών απαιτήσεων και κατευθυντήριων γραμμών που να προάγουν βιώσιμες πρακτικές εξόρυξης. Τα προαναφερθέντα πρότυπα θα έπρεπε να περιλαμβάνουν τις αρχές της διαφάνειας, της ισότητας και της σταθερής προσήλωσης στον μετριασμό των περιβαλλοντικών συνεπειών, ενώ παράλληλα θα πρέπει να υποστηρίζονται οι θεμελιώδεις αρχές των ανθρωπίνων δικαιωμάτων. Μέσω της εφαρμογής τέτοιων μέτρων, ο τομέας της εξόρυξης μπορεί να αξιοποιήσει αποτελεσματικά τις ικανότητες της τεχνητής νοημοσύνης που αλλάζουν το παράδειγμα, ενώ παράλληλα τηρεί τα ηθικά δόγματα και συμβάλλει ουσιαστικά στην υλοποίηση ενός βιώσιμου μέλλοντος.

Η δυναμική συνεργιστική σχέση μεταξύ της τεχνητής νοημοσύνης (AI) και της εξορυκτικής βιομηχανίας παρουσιάζει ευοίωνες ευκαιρίες. Ωστόσο, η υλοποίηση αυτών των προοπτικών εξαρτάται από τη συλλογική αφοσίωση στην ενσυνείδητη και ηθική ενσωμάτωση των τεχνολογιών τεχνητής νοημοσύνης. Υπό το πρίσμα της συνεχιζόμενης εξέλιξης της τεχνολογίας, είναι επιτακτική ανάγκη οι ενδιαφερόμενοι φορείς του εξορυκτικού τομέα να διατηρούν μια κατάσταση συνεχούς επαγρύπνησης. Αυτό συνεπάγεται τη διαρκή αξιολόγηση των υφιστάμενων πρακτικών τους, με σταθερή δέσμευση για την επίτευξη μιας κατάστασης αρμονικής συνύπαρξης μεταξύ της τεχνητής νοημοσύνης (AI), των ηθικών εκτιμήσεων και των βιώσιμων μεταλλευτικών δραστηριοτήτων.

Βιβλιογραφία

Adhikary, D. P., Shen, B., and Fama, M. E. D. (2002). A study of highwall mining panel stability. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 39(5), 643–659. [https://doi.org/10.1016/S1365-1609\(02\)00062-X](https://doi.org/10.1016/S1365-1609(02)00062-X)

Alberto, F. (2022). *Handbook of Environmental Impact Assessment*. [online] *Google Books*. Edward Elgar Publishing. Available at: https://books.google.com/books?hl=el&lr=&id=eguIEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA163&dq=+benefits+of+AI+in+mining+ESG+ratings&ots=LurtjPa5Pa&sig=7bOtCMGf7jLACIIXC-_bpsPcs7E.

Ali, D. and Frimpong, S. (2020). Artificial intelligence, machine learning and process automation: existing knowledge frontier and way forward for mining sector. *Artificial Intelligence Review*. doi:<https://doi.org/10.1007/s10462-020-09841-6>.

An, Z., Zhao, Y. and Zhang, Y. (2023). Mineral exploration and the green transition: Opportunities and challenges for the mining industry. *Resources Policy*, [online] 86, p.104263. doi:<https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.104263>.

Anderson, B. (1989). On artificial intelligence and theory construction in sociology. *The Journal of Mathematical Sociology*, 14(2-3), 209–216. <https://doi.org/10.1080/0022250x.1989.9990050>

Angelov, P.P., Soares, E.A., Jiang, R., Arnold, N.I., and Atkinson, P.M. (2021). Explainable artificial intelligence: an analytical review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 11(5), e1424. <https://doi.org/10.1002/widm.1424>.

Australian Resources and Investment. (2021, June 24). Ethical considerations of artificial intelligence in mining. <https://www.australianresourcesandinvestment.com.au/2021/06/07/ethical-considerationsof-artificial-intelligence-in-mining/>

Bajpayee, T. S., Rehak, T. R., Mowrey, G. L., and Ingram, D. K. (2004). Blasting injuries in surface mining with emphasis on flyrock and blast area security. *Journal of Safety Research*, 35(1), 47–57. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2003.07.003>

Basha, P. C., and Patel, M. V. K. (2022). Applications of Robotics in Mining Industry. *Thematics Journal of Applied Sciences*, 11(6), 1-6.

Bassett, C. (2018). The computational therapeutic: exploring Weizenbaum's ELIZA as a history of the present. *AI & SOCIETY*, 34(4), 803–812. <https://doi.org/10.1007/s00146-018-0825-9>

Bezdek, J. C. (1990). Advances in Artificial Intelligence: Applications and Theory. In *Google Books*. World Scientific. https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=oOrvk2fUdooC&oi=fnd&pg=PA305&dq=Definitions+of+Human+and+Artificial+Intelligence+Bezdek+&ots=Iw51wKFLPn&sig=C_LIpwlUcfHjz09FytIgiUvqtA8

Bloom, M. J., and Denison, M. (2012). Environmental management for extractives. Professional Evidence And Applied Knowledge Services <http://partnerplatform.org>.

Böhmer, M., and Kucera, M. (2013). Prospecting and Exploration of Mineral Deposits (ISSN) (2nd ed.). Elsevier Science.

Bredenfeld, A., Hofmann, A. and Steinbauer, G. (n.d.). *Robotics in Education Initiatives in Europe -Status, Shortcomings and Open Questions*. [online] Available at:

<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=cbbabddd3e3fb82b8584e062d82f5c320747b2cb>.

Brendel, A.B., Mirbabaie, M., Lembcke, T.-B. and Hofeditz, L. (2021). Ethical Management of Artificial Intelligence. *Sustainability*, [online] 13(4), p.1974. doi:<https://doi.org/10.3390/su13041974>.

Brown, E. T. (2012). Progress and challenges in some areas of deep mining. *Mining Technology*, 121(4), 177–191. <https://doi.org/10.1179/1743286312y.0000000012>

Burger, P., Marais, L., and Rooyen, D. van. (2017). Mining and Community in South Africa: From Small Town to Iron Town. In *Google Books*. Routledge. <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=JlgPEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA121&dq=Environmental+legislation+for+mining+&ots=dpvzY1B7ql&sig=B4bH5UnAkShxMV2NY7iDrL1oAVM>

Cazes, S. (2021, December). The impact of artificial intelligence on the labour market: What do we know so far?: OECD. <https://www.oecd.org/publications/the-impactof-artificial-intelligence-on-the-labour-market7c895724-en.htm>

Coiffet, P. (1983). *Interaction with the Environment*. Prentice-Hall, Inc..

Collier, P., (2007). *The Bottom Billion: Why the Poorest Countries are Failing and What Can Be Done About It*. Oxford University Press, Oxford.

Colom, R., Karama, S., Jung, R., and Haier, R. (2010). Human intelligence and brain networks. *Neurocircuitry of Cognition, Emotion, and Behavior*, 12(4), 489–501. <https://doi.org/10.31887/dcns.2010.12.4/rcolom>

Confalonieri, R., Coba, L., Wagner, B., and Besold, T. R. (2020). A historical perspective of explainable Artificial Intelligence. *WIREs Data Mining and Knowledge Discovery*, 11(1). <https://doi.org/10.1002/widm.1391>

Cooper, S. J. (2005). Donald O. Hebb's synapse and learning rule: a history and commentary. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 28(8), 851–874. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2004.09.009>

Cooper, T. and Harvey, R. (2018). *Mining the Socio-economic Benefits of the Extractive Industries*. [online] Africa Portal. Available at: <https://www.africaportal.org/publications/mining-socio-economic-benefits-extractive-industries/> [Accessed 1 Sep. 2019].

Cupek, R., Drewniak, M., Fojcik, M., Kyrkjebø, E., Lin, J.C.-W., Mrozek, D., Øvsthus, K. and Ziebinski, A. (2020). Autonomous Guided Vehicles for Smart Industries – The State-of-the-Art and Research Challenges. *Lecture Notes in Computer Science*, pp.330–343. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-030-50426-7_25.

Damassino, N. (2020). The Questioning Turing Test. *Minds and Machines*. <https://doi.org/10.1007/s11023-020-09551-6>

Danilov, G.V., Shifrin, M.A., Kotik, K.V., Ishankulov, T.A., Orlov, Y.N., Kulikov, A.S. and Potapov, A.A. (2020). Artificial Intelligence in Neurosurgery: a Systematic Review Using Topic Modeling. Part I: Major Research Areas. *Современные технологии в медицине*, [online] 12(5 (eng)), pp.106–112. Available at:

<https://cyberleninka.ru/article/n/artificial-intelligence-in-neurosurgery-a-systematic-review-using-topic-modeling-part-i-major-research-areas>.

Dauvergne, P. (2020). Is artificial intelligence greening global supply chains? Exposing the political economy of environmental costs. *Review of International Political Economy*, [online] 29(3), pp.1–23. doi:<https://doi.org/10.1080/09692290.2020.1814381>.

Delipetrev, B., Tsinaraki, C., and Kostic, U. (2020). *Historical Evolution of Artificial Intelligence*. Publications.jrc.ec.europa.eu. <https://eprints.ugd.edu.mk/28050/>

Dold, B. (2008). Sustainability in metal mining: from exploration, over processing to mine waste management. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 7(4), 275–285. <https://doi.org/10.1007/s11157-008-9142-y>

Dyson, N. (2019, September 5). BHP to double autonomous trucks at Jumblebar. Mining Magazine. <https://www.miningmagazine.com/innovation/news/1331400/bhp-to-double-autonomoustrucks-at-jumblebar>

Elmousalami, H. H. (2020). Artificial Intelligence and Parametric Construction Cost Estimate Modeling: State-of-the-Art Review. *Journal of Construction Engineering and Management*, 146(1), 03119008. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0001678](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001678)

Ertel, W. (2018). Introduction to Artificial Intelligence. In *Google Books*. Springer. https://books.google.com/books?hl=el&lr=&id=geFHDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=Introduction+to+Artificial+Intelligence&ots=3Fby7cbA4w&sig=UpviGyzZLDhETCYycTrzpC_I1NA

Fleck, J. (2018). Development and establishment in artificial intelligence. In *The Question of Artificial Intelligence* (pp. 106-164). Routledge.

Floridi, L., and Cowls, J. (2019). A Unified Framework of Five Principles for AI in Society. *Harvard Data Science Review*, 1(1). <https://doi.org/10.1162/99608f92.8cd550d1>

Fontes, C., Hohma, E., Corrigan, C.C. and Lütge, C. (2022). AI-powered public surveillance systems: why we (might) need them and how we want them. *Technology and Society*, 71. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.102137>

Ge, S., Wang, F.-Y., Yang, J., Ding, Z., Wang, X., Li, Y., Teng, S., Liu, Z., Ai, Y., and Chen, L. (2022). Making standards for smart mining operations: Intelligent Vehicles for Autonomous Mining Transportation. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 7(3), 413–416. <https://doi.org/10.1109/tiv.2022.3197820>

Ge, S., Xie, Y., Liu, K., Zhou, D., Ding, Z., Hu, E., Chen, L. and Wang, F.-Y. (2023). The Use of Intelligent Vehicles and Artificial Intelligence in Mining Operations: Ethics, Responsibility, and Sustainability. *IEEE transactions on intelligent vehicles*, 8(2), pp.1021–1024. doi:<https://doi.org/10.1109/tiv.2023.3246118>.

Gibilisco S , (1994) , «The McGraw-Hill illustrated Encyclopedia of Robotics & Artificial Intelligence» , Editor in Chief

Gilsbach, L., Schütte, P., and Franken, G. (2019). Applying water risk assessment methods in mining: Current challenges and opportunities. *Water Resources and Industry*, 22, 100118. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2019.100118>

Goldspot Discoveries. (n.d.). Goldspot discoveries helps monarch mining find new gold-rich zones at the BEAUFOR Gold deposit using artificial intelligence. GoldSpot Discoveries Corp. <https://goldspot.ca/news/goldspot-discoverieshelps-monarch-mining-find-new-gold-richzones-at-the-beaufor-gold-deposit-usingartificial-intelligence/>

Goodell, J. W., Kumar, S., Lim, W. M., and Pattnaik, D. (2021). Artificial intelligence and machine learning in finance: Identifying foundations, themes, and research clusters from bibliometric analysis. *Journal of Behavioral and Experimental Finance*, 32, 100577. <https://doi.org/10.1016/j.jbef.2021.100577>

Guo, Y., Zhang, W., Qin, Q., Chen, K. and Wei, Y. (2022). Intelligent manufacturing management system based on data mining in artificial intelligence energy-saving resources. *Soft Computing*. doi:<https://doi.org/10.1007/s00500-021-06593-5>.

Haenlein, M., and Kaplan, A. (2019). A Brief History of Artificial Intelligence: On the Past, Present, and Future of Artificial Intelligence. University of California.

Hansen, S. H., Pedersen, L. C., Vilsgaard, K. D., Nielsen, I. E., and Hansen, S. F. (2013). Environmental and ethical aspects of sustainable mining in Greenland. *Journal of Earth Science and Engineering*, 3(4), 213.

Helm, J. M., Swiergosz, A. M., Haeberle, H. S., Karnuta, J. M., Schaffer, J. L., Krebs, V. E., Spitzer, A. I., and Ramkumar, P. N. (2020). Machine Learning and Artificial Intelligence: Definitions, Applications, and Future Directions. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*, 13(1), 69–76. <https://doi.org/10.1007/s12178-020-09600-8>

Hil'ovská, K. and Koncz, P. (2012). ActA všfs. [online] 6. Available at: <https://www.vsfs.cz/periodika/acta-2012-1-04.pdf>.

Huggins, C. (2016). Artisanal and small-scale mining: critical approaches to property rights and governance. *Third World Thematics: A TWQ Journal*, 1(2), 151–164. <https://doi.org/10.1080/23802014.2016.1233043>

Hyder, Z., Siau, K. and Nah, F. (2019). Artificial Intelligence, Machine Learning, and Autonomous Technologies in Mining Industry. *Journal of Database Management*, 30(2), pp.67–79. doi:<https://doi.org/10.4018/jdm.2019040104>.

Hyder, Z., Siau, K., and Nah, F. (2019). Artificial Intelligence, Machine Learning, and Autonomous Technologies in the Mining Industry. *Journal of Database Management*, 30(2), 67–79. <https://doi.org/10.4018/jdm.2019040104>

Hyder, Z., Siau, K., and Nah, F. (2019). Artificial Intelligence, Machine Learning, and Autonomous Technologies in Mining Industry. *Journal of Database Management*, 30(2), 67–79. <https://doi.org/10.4018/jdm.2019040104>

Isleyen, E., Duzgun, S., and McKell Carter, R. (2021). Interpretable deep learning for roof fall hazard detection in underground mines. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 13(6), 1246–1255. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2021.09.005>

Jawadand, S., and Randive, K. (2021). A Sustainable Approach to Transforming Mining Waste into Value-Added Products. *Innovations in Sustainable Mining*, 1–20. https://doi.org/10.1007/978-3-030-73796-2_1

Jung, D., and Choi, Y. (2021). Systematic review of machine learning applications in mining: Exploration, exploitation, and reclamation. *Minerals*, 11(2), 148. <https://doi.org/10.3390/min11020148>

Kaack, L., Donti, P.L., Strubell, E., Rolnick, D. (2020). Artificial Intelligence and Climate Change: Opportunities, considerations, policy levers to align AI with climate change goals. E-Paper. Heinrich-Böll Stiftung.

Kaul, A. and Soofastaei, A. (2022). Advanced Analytics for Ethical Considerations in Mining Industry. *Springer eBooks*, pp.55–80. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-030-91589-6_3.

Kelly, A. (2019, December 16). *Apple And Google Named in US Lawsuit Over Congolese Child Cobalt Mining Deaths*. The Guardian. <https://www.theguardian.com/global-development/2019/dec/16/apple-and-google-named-in-us-lawsuit-over-congolese-child-cobalt-mining-deaths>

Krishnamoorthy, C. S., and Rajeev, S. (2018). Artificial intelligence and expert systems for engineers. CRC press.

Krook, J., Svensson, N., and Eklund, M. (2012). Landfill mining: A critical review of two decades of research. *Waste Management*, 32(3), 513–520. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.10.015>

Larsson, S. and Heintz, F. (2020). Transparency in Artificial Intelligence. *Internet Policy Review*, 9 (2). <https://doi.org/10.14763/2020.2.1469>.

Lèbre, É., Stringer, M., Svobodova, K. et al. (2020). The social and environmental complexities of extracting energy transition metals. *Nature Communications* 11, 4823. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18661-9>

Leppänen, J. J., Weckström, J., and Korhola, A. (2017). Multiple mining impacts induce widespread changes in ecosystem dynamics in a boreal lake. *Scientific Reports*, 7. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11421-8>

Loganathan, P., Naidu, G., and Vigneswaran, S. (2017). Mining valuable minerals from seawater: a critical review. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 3(1), 37–53. <https://doi.org/10.1039/c6ew00268d>

Löow, J., and Nygren, M. (2019). Initiatives for increased safety in the Swedish mining industry: Studying 30 years of improved accident rates. *Safety Science*, 117, 437–446. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.04.043>

Mackenzie, Wood. (2020, October 29). The Energy Transition Will Be Built With Metals. Forbes. <https://www.forbes.com/sites/woodmackenzie/2020/10/29/the-energy-transition-will-be-built-with-metals>

Mallo, S. J. (2012). The Socio-Economic Impact of Artisanal Mining in Kuru (Naraguta Sheet 168) Plateau State, North Central Nigeria. *Irepos.unijos.edu.ng*. <https://irepos.unijos.edu.ng/jspui/handle/123456789/1011>

Marshall, J.A., Bonchis, A., Nebot, E. and Scheduling, S. (2016). Robotics in Mining. *Springer Handbook of Robotics*, pp.1549–1576. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-319-32552-1_59.

Masterson, E. A., Deddens, J. A., Themann, C. L., Bertke, S., & Calvert, G. M. (2015). Trends in worker hearing loss by industry sector, 1981-2010. *American Journal of Industrial Medicine*, 58(4), 392–401. <https://doi.org/10.1002/ajim.22429>

Mateus, A., and Martins, L. (2019). Challenges and opportunities for a successful mining industry in the future. *BOLETÍN GEOLÓGICO Y MINERO*, 130(1), 99–121. <https://doi.org/10.21701/bolgeomin.130.1.007>

McGettigan, T. (2013, June 10). *The Turing Test: An Enduring AI Standard*. Social Science Research Network. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2277136

McKinnon, E. (2002). The environmental effects of mining waste disposal at Lihir Gold Mine, Papua New Guinea. *Journal of Rural and Remote Environmental Health*, 1(2), 40-50.

Mintz, Y., and Brodie, R. (2019). Introduction to artificial intelligence in medicine. *Minimally Invasive Therapy & Allied Technologies*, 28(2), 73–81. <https://doi.org/10.1080/13645706.2019.1575882>

Mudd, G.M. (2020). Sustainable/Responsible Mining and Ethical Issues related to the Sustainable Development Goals (SDGs). *Geological Society, London, Special Publications*, 508, pp.SP508-2020113. doi:<https://doi.org/10.1144/sp508-2020-113>.

Murphy, P. (2011, April 2). How AI technology can make mining more productive. IBM. <https://www.ibm.com/blogs/client-voices/aitechnology-mining-productive/>

Nadeau, S., Badri, A., Wells, R., Neumann, P., Kenny, G. P., and Morrison, D. (2013). Sustainable Canadian mining. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society ... Annual Meeting*, 57(1), 1071–1074. <https://doi.org/10.1177/1541931213571238>

Nanda, S. K., Dash, A. K., Acharya, S., and Moharana, A. (2010). Application of robotics in mining industry: A critical review. *Mining Technology-Extraction, Beneficiation for Safe & Sustainable Development, Indian Mining & Engg. Journal, Mine TECH*, 10, 108-112.

Narkhede, P., Walambe, R., Mandaokar, S., Chandel, P., Kotecha, K., and Ghinea, G. (2021). Gas detection and identification using multimodal artificial intelligence based sensor fusion. *Applied System Innovation*, 4(1), 3. <https://doi.org/10.3390/asi4010003>

Nilson N , (2010) , «THE QUEST FOR ARTIFICIAL INTELLIGENCE A HISTORY OF IDEAS AND ACHIEVEMENTS» , published by Cambridge University

Nilsson, N. J. (2005). Human-Level Artificial Intelligence? Be Serious! *AI Magazine*, 26(4), 68–68. <https://doi.org/10.1609/aimag.v26i4.1850>

Ntui, C. M. A. (2016). What is law without people? A review of mining legislation and communities. *Environment, Development and Sustainability*, 19(4), 1539–1555. <https://doi.org/10.1007/s10668-016-9797-4>

O’Driscoll, D. (2017). Overview of child labour in the artisanal and small-scale mining sector in Asia and Africa. *Opendocs.ids.ac.uk*. <https://opendocs.ids.ac.uk/opendocs/handle/20.500.12413/13355>

ÓhÉigeartaigh, S.S., Whittlestone, J., Liu, Y., Zeng, Y. and Liu, Z. (2020) Overcoming Barriers to Cross-cultural Cooperation in AI Ethics and Governance. *Philos. Technol.* 33, 571–593. <https://doi.org/10.1007/s13347-020-00402-x>

Pinar Saygin, A., Cicekli, I., and Akman, V. (2000). Turing Test: 50 Years Later. *Minds and Machines*, 10(4), 463–518. <https://doi.org/10.1023/a:1011288000451>

Poole D and Mackworth A , (2010) , «Artificial Intelligence: Foundations of Computational Agents» , Cambridge University Press 1st Edition , διαθέσιμο στον ιστότοπο: http://artint.info/html/ArtInt_4.html

Raji, I.D., Gebru, T., Mitchell, M., Buolamwini, J., Lee, J., and Denton, E. (2020). Saving Face: Investigating the Ethical Concerns of Facial Recognition Auditing .Proceedings of the 3rd AAAI/ACM Conference on Artificial Intelligence, Ethics, and Society (AIES), ACM (2020).

Ramani, R. V. (2012). Surface Mining Technology: Progress and Prospects. *Procedia Engineering*, 46, 9–21. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.09.440>

Roche, C., Wall, P.J. and Lewis, D. (2022). Ethics and diversity in artificial intelligence policies, strategies and initiatives. *AI Ethics*. <https://doi.org/10.1007/s43681-022-00218-9>

Roe, A.R. (2016, November 17). Like it or not, poor countries are increasingly dependent on mining and oil & gas. UNUWIDER. <https://www.wider.unu.edu/publication/it-or-not-poor-countries-are-increasinglydependent-mining-and-oil-gas>

Russel S , Norvig P , (2005) , «Τεχνητή Νοημοσύνη: Μια σύγχρονη προσέγγιση» , Εκδόσεις Κλειδάριθμος , Δεύτερη Αμερικανική Έκδοση

Saleh, J. H., and Cummings, A. M. (2011). Safety in the mining industry and the unfinished legacy of mining accidents: Safety levers and defense-in-depth for addressing mining hazards. *Safety Science*, 49(6), 764–777. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2011.02.017>

Sanderson, H. (2019, July 7). *Congo, child labour and your electric car*. Financial Times; Financial Times. <https://www.ft.com/content/c6909812-9ce4-11e9-9c06-a4640c9feebb>

Saxena, A., Singh, R., Gehlot, A., Akram, S.V., Twala, B., Singh, A., Montero, E.C. and Priyadarshi, N. (2022). Technologies Empowered Environmental, Social, and Governance (ESG): An Industry 4.0 Landscape. *Sustainability*, 15(1), p.309. doi:<https://doi.org/10.3390/su15010309>.

Schmidt, A. (2020). Interactive Human Centered Artificial Intelligence. *Proceedings of the International Conference on Advanced Visual Interfaces*. <https://doi.org/10.1145/3399715.3400873>

Sengupta, M., (2021). Environmental impacts of mining: Monitoring, restoration and control. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003164012>

Sohail, A. (2021). Genetic Algorithms in the Fields of Artificial Intelligence and Data Sciences. *Annals of Data Science*. <https://doi.org/10.1007/s40745-021-00354-9>

Sonter, L. J., Ali, S. H., & Watson, J. E. M. (2018). Mining and biodiversity: key issues and research needs in conservation science. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 285(1892), 20181926. <https://doi.org/10.1098/rspb.2018.1926>

Steclik, T., Cupek, R. and Drewniak, M. (2022). Automatic grouping of production data in Industry 4.0 – the use case of internal logistics systems based on Automated Guided Vehicles. *Journal of Computational Science*, p.101693. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jocs.2022.101693>.

Sun, K., and Azman, A. S. (2018). Evaluating hearing loss risks in the mining industry through MSHA citations. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 15(3), 246–262. <https://doi.org/10.1080/15459624.2017.1412584>

Tatiya, R. R. (2005). Surface and Underground Excavations: Methods, Techniques and Equipment. In *Google Books*. CRC Press. https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=Aj59BgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=+Mining+techniques++surface+mining+and+sub-surface++Explosives+&ots=h6cSMByPsX&sig=C_hecYB_TbNyPoS9BKT1nZVgNig

Tucker, A. (2020). The Citizen Question: Making Identities Visible Via Facial Recognition Software at the Border. *IEEE Technology and Society Magazine*, 39 (4), 52-59. <https://doi.org/10.1109/MTS.2020.3031847>

United Nations. (2021, May). Transforming Extractive Industries for Sustainable Development. https://www.un.org/sites/un2.un.org/files/sg_policy_brief_extractives.pdf

Victor, D.G. (2019). How Artificial Intelligence will affect the Future of Energy and Climate. A BluePrint for the Future of AI. Brookings Institute, 10 January 2019.

Vinuesa, R., Azizpour, H., Leite, I., Balaam, M., Dignum, V., Domisch, S., Felländer, A., Langhans, S.D., Tegmark, M. and Nerini, F. F. (2020). The role of artificial

intelligence in achieving the Sustainable Development Goals. *Nature Communications*, 11(1), 1-10

Warwick, K., and Shah, H. (2015). Passing the Turing Test Does Not Mean the End of Humanity. *Cognitive Computation*, 8(3), 409–419. <https://doi.org/10.1007/s12559-015-9372-6>

Wegner, J. H. (2010). BLASTING OUT: EXPLOSIVES PRACTICES IN QUEENSLAND METALLIFEROUS MINES, 1870-1920. *Australian Economic History Review*, 50(2), 193–208. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8446.2010.00301.x>

White, F. (2020). *Miner With a Heart of Gold*. FriesenPress.

Wu, Y. and Feng, J. (2017). Development and Application of Artificial Neural Network. *Wireless Personal Communications*, 102(2), pp.1645–1656. doi:<https://doi.org/10.1007/s11277-017-5224-x>.

Xu, H., Li, Q., Wang, J., Chen, K., and Sun, W. (2019). An improved MDS localisation algorithm for a WSN in a sub-surface mine. *International Journal of Sensor Networks*, 29(1), 58–58. <https://doi.org/10.1504/ijnsnet.2019.097555>

Zhao, J., Gao, J., Zhao, F., and Liu, Y. (2017). A Search-and-Rescue Robot System for Remotely Sensing the Underground Coal Mine Environment. *Sensors*, 17(10), 2426. <https://doi.org/10.3390/s17102426>

Zhaoping, L. (2020). Artificial and Natural Intelligence: From Invention to Discovery. *Neuron*, 105(3), 413–415. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2020.01.014>

Zhu, T., Ye, D., Wang, W., Zhou, W. and Yu, P. (2021). More Than Privacy: Applying Differential Privacy in Key Areas of Artificial Intelligence. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, pp.1–1. doi:<https://doi.org/10.1109/tkde.2020.3014246>.

Žibret, G., Lemiere, B., Mendez, A.-M., Cormio, C., Sinnett, D., Cleall, P., Szabó, K., and Carvalho, M. T. (2020). National Mineral Waste Databases as an Information Source for Assessing Material Recovery Potential from Mine Waste, Tailings and Metallurgical Waste. *Minerals*, 10(5), 446. <https://doi.org/10.3390/min10050446>

Zvereva, V. P., Frolov, K. R., and Lysenko, A. I. (2021). Chemical reactions and conditions of mineral formation at tailings storage facilities of the Russian Far East.

Gornye Nauki I Tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia), 6(3), 181–191. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-3-181-191>

Βλαχάβας Ι. , Κεφαλάς Π. , Βασιλειάδης Ν. , Κόκκορας Φ. , Σακελλαρίου Η., (2006), «Τεχνητή Νοημοσύνη» , Εκδόσεις Πανεπιστημίου Μακεδονίας, Γ' έκδοση

Γεωργούλη, Α. (2015) Τεχνητή Νοημοσύνη: Μια Εισαγωγική Προσέγγιση. Αθήνα, Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών

Γεωργούλη, Κ. (2015). Τεχνητή Νοημοσύνη. Μια εισαγωγική προσέγγιση.

Πριστάικο, Α. (2017). Τεχνητή Νοημοσύνη: Ιστορική αναδρομή και προβολή της μέσα από ταινίες, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδος.