



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

***ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ 4^{ης} ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗ***

Πτυχιακή Εργασία
της
Καναπίτσας Μαρίας-Ελένης, GE05863

που υποβάλλεται στο Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων
του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας
για τη μερική εκπλήρωση των υποχρεώσεων απόκτησης
του Πτυχίου Μηχανικού Γεωτεχνολογίας Περιβάλλοντος



Κοζάνη, Απρίλιος 2025

Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας την παρούσα Πτυχιακή Εργασία θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν σ' αυτό. Αρχικά, ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Καπαγερίδη Ιωάννη, του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας για την επιλογή του θέματος, την υποστήριξη και τη διαρκή βοήθεια που μου παρείχε σε όλα τα επιμέρους στάδια εκπόνησης της εργασίας αυτής. Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους διδάσκοντες καθηγητές μου για τις γνώσεις και τα πολύτιμα εφόδια που μου μετέδωσαν σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Τέλος, νιώθω μεγάλη ανάγκη να ευχαριστήσω και την οικογένειά μου για την υποστήριξή της και στο συγκεκριμένο στάδιο των σπουδών μου.

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εξετάζει τις επιπτώσεις της 4^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης στον μεταλλευτικό κλάδο, εστιάζοντας σε τεχνολογικές, οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές μεταβολές που λαμβάνουν χώρα. Η 4η Βιομηχανική Επανάσταση χαρακτηρίζεται από τη διάδοση της ψηφιοποίησης και την εφαρμογή προηγμένων τεχνολογιών, όπως η Τεχνητή Νοημοσύνη, η Ανάλυση Μεγάλων Δεδομένων και η αυτοματοποίηση, που επηρεάζουν κάθε πτυχή της παραγωγής και της λειτουργίας των βιομηχανιών. Ειδικότερα, στον μεταλλευτικό κλάδο, οι τεχνολογίες αυτές ενσωματώνονται για να βελτιώσουν την αποδοτικότητα, την ασφάλεια και τη βιωσιμότητα των εξορυκτικών δραστηριοτήτων. Η ψηφιοποίηση και ο αυτοματισμός επιτρέπουν την εκτέλεση επικίνδυνων και απαιτητικών εργασιών με λιγότερη ανθρώπινη παρέμβαση, αυξάνοντας την παραγωγικότητα και μετριάζοντας σημαντικά το κόστος.

Ο οικονομικός αντίκτυπος της 4^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης περιλαμβάνει τη μείωση των λειτουργικών εξόδων μέσω αυτοματοποιημένων συστημάτων και την ανάπτυξη νέων επιχειρηματικών μοντέλων, που βασίζονται στη χρήση δεδομένων και καινοτόμων τεχνολογιών. Σε κοινωνικό επίπεδο, παρατηρούνται αλλαγές στην αγορά εργασίας, καθώς δημιουργούνται θέσεις εργασίας υψηλής εξειδίκευσης, ενώ οι παραδοσιακές θέσεις αντικαθίσταται από αυτοματοποιημένα συστήματα. Σχετικό με τον περιβαλλοντικό τομέα, η 4^η Βιομηχανική Επανάσταση προσφέρει εργαλεία για τη βιώσιμη διαχείριση των πόρων, περιορίζοντας το οικολογικό αποτύπωμα της εξόρυξης. Εν κατακλείδι, η εργασία υπογραμμίζει τη σημασία της ψηφιοποίησης και της καινοτομίας για την αναβάθμιση του κλάδου και την ενίσχυση της ανταγωνιστικότητάς του.

Λέξεις Κλειδιά: 4^η Βιομηχανική Επανάσταση, Ελλάδα, Ευρώπη, Μεταλλευτικός Κλάδος, Συνέπειες, Τεχνητή Νοημοσύνη

Abstract

This thesis examines the impact of the 4th Industrial Revolution on the mining sector, focusing on the technological, economic, social and environmental changes that are taking place. The 4th Industrial Revolution is characterised by the spread of digitisation and the application of advanced technologies, such as Artificial Intelligence, Big Data Analysis and automation, affecting every aspect of production and operation of industries. In the mining sector in particular, these technologies are being integrated to improve the efficiency, safety and sustainability of mining operations. Digitalisation and automation allow dangerous and demanding operations to be carried out with less human intervention, increasing productivity and significantly mitigating costs.

The economic impact of the 4th Industrial Revolution includes the reduction of operating costs through automated systems and the development of new business models based on the use of data and innovative technologies. At the societal level, there are changes in the labour market as highly skilled jobs are created and traditional jobs are replaced by automated systems. Related to the environmental sector, the 4th Industrial Revolution offers tools for sustainable resource management, reducing the ecological footprint of mining. In conclusion, the paper highlights the importance of digitalisation and innovation to upgrade the industry and enhance its competitiveness.

Keywords: *4th Industrial Revolution, Greece, Europe, Mining Industry, Consequences, Artificial Intelligence.*

Πίνακας Περιεχομένων

Ευχαριστίες.....	1
Περίληψη.....	2
Abstract	3
Κατάλογος Εικόνων	5
Κατάλογος Σχημάτων.....	6
Εισαγωγή.....	7
Κεφάλαιο 1: Ιστορική αναδρομή Βιομηχανικών Επαναστάσεων και συνέπειες αυτών	10
1.1 1 ^η Βιομηχανική Επανάσταση & συνέπειες	10
1.2 2 ^η Βιομηχανική Επανάσταση & συνέπειες	13
1.3 3 ^η Βιομηχανική Επανάσταση & συνέπειες	16
Κεφάλαιο 2: 4 ^η Βιομηχανική Επανάσταση και συνέπειες που προκαλεί.....	19
2.1 Η εξέλιξη της 4 ^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης.....	19
2.2 Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence).....	21
2.3 Ανάλυση Μεγάλων Δεδομένων (Big Data Analytics).....	22
2.4 Άλλες εφαρμογές 4 ^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης.....	24
2.5 Οικονομικές αλλαγές που συνδέονται με την 4 ^η Βιομηχανική Επανάσταση	25
2.6 Κοινωνικές αλλαγές που συνδέονται με την 4 ^η Βιομηχανική Επανάσταση	27
2.7 Περιβαλλοντικές αλλαγές που σχετίζονται με την 4 ^η Βιομηχανική Επανάσταση .	30
Κεφάλαιο 3: Μεταλλευτικός κλάδος.....	33
3.1 Ιστορική αναδρομή μεταλλευτικού κλάδου.....	33
3.2 Ο μεταλλευτικός κλάδος στην Ευρώπη και στην Ελλάδα	34
3.3 Παραγωγική διαδικασία στην εξορυκτική βιομηχανία	37
3.4 Μεταλλευτικός κλάδος και βιώσιμη ανάπτυξη.....	38
Κεφάλαιο 4: Συνέπειες 4 ^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης στον μεταλλευτικό κλάδο	40
4.1 Καινοτομίες και πρακτικές που εισήγαγε η 4 ^η Βιομηχανική Επανάσταση στον μεταλλευτικό κλάδο	40
4.2 Διεθνείς τάσεις-καλές πρακτικές	44
4.3 Περιβαλλοντικές συνέπειες.....	47
4.4 Κοινωνικές συνέπειες	49
Συμπεράσματα.....	53
Βιβλιογραφία.....	57

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Σημαντικές τεχνολογικές αλλαγές που συνδέονται με την τεχνολογική επανάσταση	21
Εικόνα 2: Ρομπότ εξόρυξης στον μεταλλευτικό κλάδο.....	41

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1: Τεχνολογίες Τεχνητής Νοημοσύνης	22
Σχήμα 2: Κατηγορίες ορυκτών σύμφωνα με τον Μεταλλευτικό Κώδικα	37
Σχήμα 3: Βασικές τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στον μεταλλευτικό κλάδο	40

Εισαγωγή

Αρχικά, η έννοια της Βιομηχανικής Επανάστασης συνδέεται με μια σειρά βαθιών μετασχηματισμών που έχουν λάβει χώρα στην κοινωνία των ανθρώπων, στο πέρασμα του χρόνου. Απόρροια των μετασχηματισμών αυτών είναι αλλαγές στον τρόπο που ζουν και εργάζονται οι άνθρωποι. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι χαρακτηριστικό των περιόδων αυτών των μετασχηματισμών αποτέλεσε η σημαντική τεχνολογική πρόοδος, όπως επίσης και η εξέλιξη των μεθόδων παραγωγής, αλλά και η δημιουργία νέων κοινωνικό-οικονομικών δομών (Hosbawn, 1999). Ουσιαστικά, οι Βιομηχανικές Επαναστάσεις αναπτύσσονται σε τέσσερις διαφορετικές χρονικές φάσεις και για το λόγο αυτό γίνεται λόγος για τέσσερις Βιομηχανικές Επαναστάσεις. Πιο συγκεκριμένα, η 1η Βιομηχανική Επανάσταση λαμβάνει χώρα από το τέλος του 18^{ου} αιώνα έως και τις αρχές του 19^{ου} αιώνα, ενώ η 2^η Βιομηχανική Επανάσταση εκτείνεται από τα τέλη του 19^{ου} αιώνα έως και τις αρχές του 20^{ου} αιώνα. Αντίστοιχα, η 3^η Βιομηχανική Επανάσταση έλαβε χώρα περί τα τέλη του 20^{ου} αιώνα, ενώ η 4^η Βιομηχανική Επανάσταση βρίσκεται σε εξέλιξη ακόμη και σήμερα (Ferreira et al., 2016).

Σκοπός της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας είναι να μελετήσει τις επιπτώσεις που προκύπτουν από την 4^η Βιομηχανική Επανάσταση στον τομέα της μεταλλευτικής. Να σημειωθεί ότι ο κλάδος αυτός βρίσκεται ήδη σε διαρκείς αλλαγές, υπό το πρίσμα τόσο της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας, όσο και της ψηφιοποίησης, στην Ελλάδα, στην Ευρώπη, αλλά και σε άλλες χώρες διεθνώς. Η Πτυχιακή Εργασία αποτελείται από τέσσερα κεφάλαια. Ειδικότερα, το πρώτο κεφάλαιο επικεντρώνεται στην ιστορική αναδρομή των βιομηχανικών επαναστάσεων, καθώς και στις συνέπειες που προκλήθηκαν εξαιτίας αυτών στο πέρασμα του χρόνου. Πιο αναλυτικά, περιγράφεται αναλυτικά η 1^η Βιομηχανική Επανάσταση και οι συνέπειες αυτής, όπως επίσης και η 2^η Βιομηχανική Επανάσταση και οι συνέπειες που προέκυψαν από αυτή, αλλά και η 3^η Βιομηχανική Επανάσταση και οι συνέπειες που προκλήθηκαν εξαιτίας της. Εν συνεχεία, στο δεύτερο κεφάλαιο, δίνεται έμφαση στην 4^η Βιομηχανική Επανάσταση, καθώς και στις συνέπειες που προκαλούνται από την εξέλιξή της. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται λόγος για την εξέλιξη της 4^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης, ενώ ακολούθως έμφαση δίνεται στην Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence), στην ανάλυση Μεγάλων Δεδομένων (Big Data Analytics), όπως επίσης και σε άλλες εφαρμογές της

4^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης. Ιδιαίτερη μνεία γίνεται στις οικονομικές αλλαγές που συνδέονται με την 4^η Βιομηχανική Επανάσταση, όπως επίσης και στις κοινωνικές και περιβαλλοντικές αλλαγές.

Στη συνέχεια, στο κεφάλαιο τρία εξετάζεται αναλυτικά ο μεταλλευτικός κλάδος. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται ιστορική αναδρομή στην εξέλιξη του κλάδου, ενώ ακολούθως περιγράφεται η κατάσταση στον κλάδο τόσο στην Ευρώπη, όσο και στην Ελλάδα. Ξεχωριστή αναφορά γίνεται στην παραγωγική διαδικασία που ακολουθείται στην εξορυκτική βιομηχανία, όπως επίσης και στη σχέση μεταξύ του μεταλλευτικού κλάδου και της βιώσιμης ανάπτυξης. Στο κεφάλαιο τέσσερα παρουσιάζονται αναλυτικά οι συνέπειες της 4^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης στον μεταλλευτικό κλάδο. Ειδικότερα, γίνεται λόγος για τις καινοτομίες και τις πρακτικές που αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο της 4^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης στον μεταλλευτικό κλάδο, όπως επίσης και στις διεθνείς τάσεις και τις καλές πρακτικές. Περαιτέρω, μελετώνται οι οικονομικές, οι περιβαλλοντικές, καθώς και οι κοινωνικές συνέπειες που προκαλούνται εξαιτίας της 4^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης στον μεταλλευτικό κλάδο.

Σχετικά με την μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία αυτή, πρόκειται για εκτενή βιβλιογραφική αναζήτηση που έλαβε χώρα σε επιστημονικά περιοδικά, καθώς και σε συγγράμματα. Για τον εντοπισμό των συγγραμμάτων αυτών και των επιστημονικών άρθρων, έγινε χρήση βάσεων επιστημονικών δεδομένων, όπως είναι για παράδειγμα το Google Scholar, αλλά και το Scopus. Όσον αφορά την γλώσσα των πληροφοριών που αναζητήθηκαν, αυτή ήταν κυρίως αγγλικά και ελληνικά, ενώ χρησιμοποιήθηκαν λέξεις κλειδιά, τόσο στην ελληνική, όσο και στην αγγλική γλώσσα. Ενδεικτικά, οι λέξεις αυτές ήταν οι ακόλουθες: 4^η Βιομηχανική Επανάσταση, Ελλάδα, Ευρώπη, Μεταλλευτικός Κλάδος, Συνέπειες, Τεχνητή Νοημοσύνη. Λαμβάνοντας υπόψη τον δυναμικό χαρακτήρα του αντικειμένου μελέτης, η έρευνα που έγινε επικεντρώθηκε σε άρθρα και συγγράμματα, τα οποία και έχουν δημοσιευτεί από το 2010, με εξαίρεση κάποιους ορισμούς, οι οποίοι έχουν διατυπωθεί παλαιότερα, όπως για παράδειγμα είναι ο ορισμός για την 1^η Βιομηχανική Επανάσταση.

Παράλληλα, έγινε αναζήτηση πληροφοριών και δεδομένων σε μελέτες που έχουν δημοσιευτεί τόσο στα ελληνικά, όσο και στα αγγλικά και επικεντρώνεται σε θέματα που αφορούν την 4^η Βιομηχανική Επανάσταση, όπως επίσης και τις εξελίξεις

τεχνολογικές και μη στον μεταλλευτικό κλάδο. Επιπλέον, έγινε εκτενής αναζήτηση στατιστικών στοιχείων, τα οποία συνδέονται με το υπό μελέτη αντικείμενο, επικεντρώνοντας σε βάσεις δεδομένων όπως είναι η Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία, η Eurostat, καθώς επίσης και η διαρκώς επικαιροποιημένη βάση δεδομένων Our World in Data. Έμφαση δόθηκε επίσης σε υλικό το οποίο προέρχονταν από το διαδίκτυο, προκειμένου η προσέγγιση του ζητήματος αυτού να είναι όσο το δυνατόν πιο επικαιροποιημένη.

Κεφάλαιο 1: Ιστορική αναδρομή Βιομηχανικών Επαναστάσεων και συνέπειες αυτών

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναλυτική ιστορική αναδρομή των βιομηχανικών επαναστάσεων και των συνεπειών που αυτές προκάλεσαν στο πέρασμα του χρόνου. Ειδικότερα, μελετάται η 1^η Βιομηχανική Επανάσταση και οι συνέπειες αυτής, όπως επίσης αντίστοιχα και η 2^η Βιομηχανική Επανάσταση, καθώς και η 3^η Βιομηχανική Επανάσταση.

1.1 1^η Βιομηχανική Επανάσταση & συνέπειες

Η πρώτη Βιομηχανική Επανάσταση έλαβε χώρα στην Βρετανία κατά τη διάρκεια των ετών 1760 έως και 1840. Ωστόσο, οι συνέπειες που προκλήθηκαν εξαιτίας αυτής δεν περιορίστηκαν για μεγάλο χρονικό διάστημα, αλλά εξαπλώθηκαν σχεδόν σε ολόκληρο τον κόσμο. Οι επιχειρήσεις της Βρετανίας, αντιλαμβανόμενες νέες ευκαιρίες και πηγές κέρδους, προχώρησαν στην επέκταση των επιχειρήσεων τους σε άλλες χώρες, λειτουργώντας σε συνθήκες μονοπωλίου. Πέρα από την Βρετανία, το Βέλγιο ήταν μια ακόμη χώρα, η οποία συμμετείχε στην 1^η Βιομηχανική Επανάσταση και κατάφερε να πετύχει σημαντική οικονομική ανάπτυξη και ευημερία. Να σημειωθεί ότι το Βέλγιο εφάρμοσε τεχνογνωσία της Βρετανίας και επικεντρώθηκε στους τομείς της μεταλλουργίας, όπως για παράδειγμα ήταν ο τομέας σιδήρου και ο τομέας άνθρακα, καθώς και στον τομέα της κλωστοϋφαντουργίας (Mohajan, 2019).

Επιπλέον, η Γαλλία, έπειτα από την Γαλλική Επανάσταση, η οποία οδήγησε σε σημαντικές κοινωνικές και οικονομικές αλλαγές, προχώρησε στην εισαγωγή πλήθους νέων τεχνολογιών, οι οποίες με τη σειρά τους είχαν ως αποτέλεσμα να υπάρξει μεγάλη επιχειρησιακή ανάπτυξη. Από την άλλη, η Γερμανία σημείωσε καθυστέρηση στην εκκίνηση της 1^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης, παρόλο που διέθετε σημαντικά υλικά, καθώς και πρώτες ύλες. Στα τέλη της δεκαετίας του 1870, φαίνεται πλέον να ακολουθεί τις απαιτήσεις του εμπορίου της εποχής, με αποτέλεσμα να καταστεί πρωτοπόρος σε τεχνολογικό επίπεδο, ενώ προχώρησε σε μαζική παραγωγή ατσαλιού, όπως επίσης και χημικών, όντας πλέον στις πρώτες θέσεις μαζί με την Βρετανία και το Βέλγιο. Την ίδια περίοδο, σημαντική ήταν και η ανάπτυξη που σημειώθηκε από την Ισπανία, η οποία ακόμη και σήμερα αποτελεί μία από τις πλέον σημαντικές εμπορικές δυνάμεις.

Ιδιαίτερη αναφορά θα πρέπει να γίνει και στο γεγονός της ταχείας ανάπτυξης που διαπιστώθηκε από την Σοβιετική Ένωση, η οποία κατάφερε σε χρονικό διάστημα τριών δεκαετιών να ξεπεράσει την παραγωγή ισχύ που διέθετε (Mokyr, 2018).

Παρόλο που οι οικονομίες των παραπάνω και άλλων κρατών ευημερούσαν, οι εργασιακές και κοινωνικές συνθήκες που κυριαρχούσαν εντός των χωρών ήταν χείριστες. Για παράδειγμα, ήταν πολύ σύνηθες να υπάρχουν ελλείψεις υλικών αγαθών για τους εργαζόμενους, όπως επίσης και ελάχιστα έως και καθόλου μέτρα ατομικής προστασίας, καθώς και τρομακτικές συνθήκες εργασίες, οι οποίες μπορεί να περιλάμβαναν μεταξύ άλλων και κακομεταχείριση των εργαζόμενων (Dimanov, 2024).

Ξεχωριστή αναφορά θα πρέπει να γίνει στις σημαντικότερες εφευρέσεις, οι οποίες και πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο της εποχής της 1^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης. Ειδικότερα, η ατμομηχανή που εφευρέθηκε από τον James Watt, ήταν από τις πλέον σημαντικές, όπου στα πρώτα στάδια ανάπτυξής της χρησιμοποιήθηκε αποκλειστικά για την άντληση υδάτων από ορυχεία, όπου τα βάθη τους ήταν μη προσβάσιμα. Κατά τον αρχικό σχεδιασμό της ατμομηχανής, υπήρχαν μεγάλες απώλειες ατμού, με το ποσοστό αυτών να φθάνει το 80% περίπου, με αποτέλεσμα να μην είναι ιδιαίτερα αποδοτικές. Για το λόγο αυτό ο Watt, προχώρησε σε ενέργειες μείωσης των απωλειών, έτσι ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη απόδοση της μηχανής (Mohajan, 2019).

Την περίοδο εξάπλωσης της 1^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης, πλήθος διανοούμενων, αλλά και φυσικών, επεδείκνυν έντονο ενδιαφέρον για τη φύση του ρεύματος, παρά το γεγονός ότι ο όρος του ηλεκτρικού ρεύματος, με τη σημερινή του μορφή δεν ήταν γνωστό. Ωστόσο, η κατάσταση αυτή άλλαξε το 1790, όταν ο Alessandro Volta, προχώρησε στην εφεύρεση του ηλεκτροφόρου, το οποίο θα είχε ως αποτέλεσμα να αλλάξει η ζωή των ανθρώπων παγκοσμίως, κατά τη διάρκεια των επόμενων ετών. Ο Volta, κατέστησε δυνατή τη ροή του ρεύματος μεταξύ των μεταλλικών πλακών, ενώ κατά την εφαρμογή των χημικών καταλυτών μεταξύ των μεταλλικών στοιβών, λαμβάνει χώρα άμεση χημική αντίδραση. Η τεράστια εφεύρεση του Volta, έδωσε τη δυνατότητα εκμετάλλευσης του φαινομένου του ηλεκτρισμού (Dimanov, 2024).

Ιδιαίτερη αναφορά θα πρέπει να γίνει και στην ανακάλυψη του Faraday, την ηλεκτρομαγνητική επαγωγή, σύμφωνα με την οποία η αλλαγή του μαγνητικού πεδίου εντός, είτε κοντά σε κάποιον κυκλικό αγωγό προκαλεί την εμφάνιση ηλεκτρικού ρεύματος στον αγωγό. Λίγο αργότερα, ο Henry, στηριζόμενος στις μελέτες του επαγωγικού φαινομένου που είχαν γίνει από τον Faraday, επιδίωξε να κατασκευάσει ένα σύστημα το οποίο θα άλλαζε τα τεχνολογικά δεδομένα έως τότε, όπου πρόκειται για το ηλεκτρομαγνητικό διακοπτικό ρελέ. Η χρήση του ρελέ αυτού, πέρα από την κατασκευή του διακοπτικού ρελέ, προσέφερε νέες δυνατότητες εφεύρεσης, όπως επίσης και συνέβαλε στην τεχνολογική ανάπτυξη. Για παράδειγμα, τέτοιες χρήσεις αφορούσαν τα ηλεκτρικά κυκλώματα, όπως επίσης και τις τηλεπικοινωνίες (Mohajan, 2019).

Επιπλέον, μια ακόμη εφεύρεση που αναπτύχθηκε κατά τη διάρκεια της 1^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης ήταν ο τηλέγραφος, ο οποίος αποτέλεσε και την αρχή των σύγχρονων επικοινωνιών έως και σήμερα. Η εν λόγω εφεύρεση που έγινε από τον Morse, επέτρεψε τον εκμηδενισμό των αποστάσεων, όπως επίσης και των χρόνων μετάδοσης, κατά μεγάλα ποσοστά, ενώ σημαντικό ήταν και το γεγονός ότι αυξήθηκε η αξιοπιστία που αφορούσε την μετάδοση και τη λήψη μηνυμάτων (Bray, 2013).

Σχετικά με τις συνέπειες που προκλήθηκαν από την 1^η Βιομηχανική Επανάσταση, θα πρέπει να επισημανθεί ότι συνέβησαν αλλαγές, οι οποίες προσδιόρισαν τη δημιουργία του συστήματος εργασίας, με τα αποτελέσματα αυτά να είναι εμφανή ακόμη και έως και σήμερα. Ουσιαστικά, κατά την περίοδο της 1^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης υπήρξε μετάβαση από την αγροτική οικονομία στην βιομηχανοποίηση. Συνεπώς, κατά την περίοδο αυτή υπήρξε μεγάλη ζήτηση για εργαζόμενους στους κλάδους της βιομηχανίας και έτσι έλαβε χώρα μεγάλη μεταφορά μεταναστών προς τις χώρες όπου αναπτύσσονταν η βιομηχανική παραγωγή, λαμβάνοντας υπόψη ότι και η εργασία στα χωράφια κατά την εποχή εκείνη ήταν ιδιαίτερα δύσκολη, καθώς δεν μπορούσαν να εξασφαλίσουν τα προς το ζην. Παράλληλα, οι εργαζόμενοι της εποχής εκείνης ξεκίνησαν να λαμβάνουν εκπαίδευση πάνω σε νέες τεχνολογίες, με τους εργοδότες να επενδύουν μεγάλα ποσά, έτσι ώστε οι εργαζόμενοι να μάθουν τις λειτουργίες των μηχανών παραγωγής. Απόρροια της διαδικασίας αυτής μάθησης ήταν η βελτίωση του συνολικού βαθμού γνώσεων, αλλά και εξειδίκευσης (Groumpos, 2021).

Σε οικονομικό επίπεδο, επετεύχθη μείωση του κόστους παραγωγής, όπως επίσης και μείωση του κόστους μεταφοράς των προϊόντων, με αποτέλεσμα να αναπτυχθεί το εμπόριο στις επιμέρους χώρες. Πλέον, οι άνθρωποι είχαν τη δυνατότητα άμεσης πρόσβασης σε νέα και περισσότερα αγαθά, όπως για παράδειγμα ήταν εργαλεία, μέταλλα, ρούχα κτλ. Ωστόσο, καθώς υπήρχε μεγάλη εκμετάλλευση των εργαζομένων, διευρυμένα ωράρια, όπως επίσης και χαμηλές αποδοχές για τους εργαζόμενους, ήταν αρκετά σύνθηες να συμβαίνουν εργατικές εξεγέρσεις, με τους εργαζόμενους να επιδιώκουν να πετύχουν βελτίωση των συνθηκών εργασίας τους. Τέλος, να σημειωθεί ότι εξαιτίας των υψηλών κερδών που πέτυχαν οι εμπλεκόμενοι με τη βιομηχανική παραγωγή, προχώρησαν στην επέκτασή τους σε άλλες χώρες και ηπείρους, έτσι ώστε να παρέχουν μεγαλύτερες ποσότητες πρώτων υλών και κυρίως μετάλλων και υφασμάτων (Mokyr, 2018).

1.2 2^η Βιομηχανική Επανάσταση & συνέπειες

Εν συνεχεία, όσον αφορά την 2^η Βιομηχανική Επανάσταση, αυτή πραγματοποιήθηκε στο τέλος του 19^{ου} αρχές 20^{ου} αιώνα και έλαβαν χώρα σημαντικές τεχνολογικές, κοινωνικές, πολιτικές και οικονομικές εξελίξεις, με τα αποτελέσματα αυτών να επιδρούν ακόμη και σήμερα στην ζωή των ανθρώπων. Τα επιτεύγματα που είχαν δημιουργηθεί στο πλαίσιο της 1^η Βιομηχανικής Επανάστασης, αποτέλεσαν τη βάση για την ριζική αναδιάρθρωση της εργασιακής, κοινωνικής και οικονομικής οπτικής των κοινωνιών σε διεθνές επίπεδο. Πλέον, κατά την εποχή αυτοί οι άνθρωποι ενδιαφέρονται περισσότερο για μια σειρά προϊόντων, όπως είναι το πλαστικό, τα σύνθετα γεωλογικά πετρώματα, τα κράματα ελαφριών μετάλλων με αυξημένες δυνατότητες κτλ. Ταυτόχρονα, επήλθε μετασχηματισμός των πηγών ενέργειας που χρησιμοποιούνταν, με το πετρέλαιο και το ηλεκτρικό ρεύμα να διαθέτουν σημαίνοντα ρόλο. Οι εν λόγω μορφές ενέργειας είχαν διαφορετικά χαρακτηριστικά σε σχέση με τον άνθρακα, ενώ ήταν σημαντικά πιο αποδοτικές (Ahuja, 2015).

Ιδιαίτερη αναφορά θα πρέπει να γίνει στις ανακαλύψεις και εφευρέσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της περιόδου της 2^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης. Ειδικότερα, το 1879 κατασκευάστηκε η πρώτη λάμπα πυρακτώσεως από τον Thomas Edison. Η εφεύρεση αυτή, εκτός του ότι ήταν από τις πλέον σημαντικές σε παγκόσμιο επίπεδο, είχε τη δυνατότητα να ενταχθεί άμεσα σε σπίτια, σε

επιχειρήσεις καθώς και σε άλλες λειτουργίες και ουσιαστικά να καταστεί άμεσα προσβάσιμη. Ταυτόχρονα, ο Edison προχώρησε και στην ανάπτυξη του πρώτου δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο αρχικά είχε 59 πελάτες, οι οποίες στη συνέχεια αυξήθηκαν σε 508 πελάτες, ενώ οι λάμπες που τροφοδοούνταν ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο αυτό ξεπερνούσαν τις 10.000. Ακόμη, ο ίδιος προχώρησε στην κατασκευή μιας γεννήτριας συνεχούς ρεύματος, η οποία καλείται δυναμό. Ξεχωριστή αναφορά θα πρέπει να γίνει στο εναλλασσόμενο ρεύμα, με την παροχή αυτού να μειώνει σημαντικά την απότομη ισχύ του, κάνοντάς το ασφαλές, αλλά και ικανό για χρήση σε μικρότερες μονάδες παροχής ρεύματος, όπως για παράδειγμα ήταν οι οικίες. Παράλληλα, άρχισαν να χρησιμοποιούνται μετασχηματιστές, όπου το εναλλασσόμενο ρεύμα μπορεί να μετατραπεί σε διάφορα επίπεδα τάσης (Mokyr & Strotz, 1998).

Στον τομέα των μεταφορών, από τις πλέον σημαντικές ανακαλύψεις ήταν η δημιουργία της ιδέας της αυτοκίνησης, καθώς δημιουργήθηκε το πρώτο αυτοκινούμενο όχημα. Την ίδια περίοδο, οι ανάγκες για μεταφορά φορτίων και ανθρώπων παρουσίασαν σημαντικά μεγάλη αύξηση, με την διακίνηση των πόρων να αποτελεί ιδιαίτερα σημαντικό ζήτημα, ενώ παράλληλα, το ενδιαφέρον για την κατασκευή οχημάτων είχε αυξηθεί, εστιάζοντας κυρίως στην κατασκευή οχημάτων βαρέων τύπου, όπως για παράδειγμα ήταν τα τρένα. Για την εξέλιξη των αυτοκινήτων, σημαίνων ήταν ο ρόλος της ανάπτυξης του τετράτροχου κινητήρα βενζίνης (Sharma & Singh, 2020).

Επιπρόσθετα, κατά την περίοδο της 2^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης, έμφαση δόθηκε στην παραγωγή ατσαλιού, με την διαδικασία επεξεργασίας του σιδήρου να απαιτεί χρόνο και κόστος, ενώ γενικά αποτελούσε μια ιδιαίτερα επίπονη διαδικασία. Ο Henry Bessemer, μέσω των μεθόδων επεξεργασίας που χρησιμοποίησε κατάφερε να πετύχει αυξημένη παραγωγή ατσαλιού και έτσι επετεύχθη και τεράστια χρήση σε πλήθος διαφορετικών τομέων παγκοσμίως. Ουσιαστικά, η εξέλιξη αυτή συνέβαλε στην περαιτέρω εκβιομηχάνιση, καθώς και στην οικονομική ανάπτυξη χωρών και επιμέρους περιοχών (Terper & Hearn, 2018).

Αναφορά θα πρέπει να γίνει και στο ενσύρματο τηλέφωνο, το οποίο αποτέλεσε σπουδαία εφεύρεση στον τομέα των τηλεπικοινωνιών διεθνώς. Η εφεύρεση του τηλεφώνου, η οποία στηρίχθηκε σε προηγούμενες εφευρέσεις, είχε ως αποτέλεσμα να δημιουργηθούν μια σειρά από πλεονεκτήματα. Ειδικότερα, συνέβαλε στην άμεση

επικοινωνία, όπως επίσης και στον εκμηδενισμό των αποστάσεων, ενώ συνάμα άλλαξε και τον τρόπο με τον οποίο οι επιχειρήσεις επιτελούσαν τις δραστηριότητές τους. Ακόμη, το τηλέφωνο διαδραμάτισε σημαίνοντα ρόλο στην ανάπτυξη των υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης, με τους ανθρώπους να μπορούν πλέον να ειδοποιούν τους συνανθρώπους τους σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Τέλος, να σημειωθεί ότι η συνεργασία εξ' αποστάσεως μεταξύ των ερευνητών και των εκπαιδευτικών έγινε πιο απλή εξαιτίας του τηλεφώνου, ενώ τα οφέλη αυτού ήταν πολλαπλά και σε άλλους τομείς (Sterling, 2004).

Η 2^η Βιομηχανική Επανάσταση είχε ως αποτέλεσμα να επιφέρει τεράστιες κοινωνικές και πολιτικές αλλαγές, οι οποίες δημιούργησαν συνέπειες έως και σήμερα. Κατά την περίοδο αυτή υπήρξε μεγάλη αύξηση της παραγωγικότητας, όπως επίσης και ραγδαίες εξελίξεις στους τομείς της βιομηχανίας, των μεταφορών και των επικοινωνιών. Πιο αναλυτικά, στον τομέα της βιομηχανικής παραγωγής, υπήρξε ραγδαία ανάπτυξη στην Δυτική Ευρώπη, καθώς και στις ΗΠΑ, με την ανάπτυξη αυτή συνδέεται και με νέες προοπτικές απασχόλησης. Αντίστοιχα, στον τομέα των μεταφορών, ξεκίνησε η ανάπτυξη των μηχανοκίνητων πτήσεων, όπως επίσης και η εμφάνιση του αυτοκινήτου, αλλά και η ανάπτυξη του σιδηροδρομικού δικτύου, τα οποία και οδήγησαν στη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας. Για την κατασκευή των μεταφορικών υποδομών απαιτούνταν μεγάλος αριθμός εργαζόμενων, ενώ αντίστοιχα, αυξημένος αριθμός εργαζόμενων απασχολήθηκε στους τομείς της αυτοκινητοβιομηχανίας και στις βιομηχανίες αεροσκαφών (Wide, 2018).

Ταυτόχρονα, ο εξορυκτικός τομέας αναπτύσσονταν δυναμικά, συναρτήσει της υψηλής ζήτησης για πρώτες ύλες. Τα ορυκτά που εξορύσσονταν την περίοδο εκείνη ήταν ο άνθρακας, ο σίδηρος, όπως επίσης και άλλα απαραίτητα υλικά, για την υποστήριξη της αναπτυξιακής δυναμικής. Στον κλάδο της γεωργίας υπήρξε μηχανοποίηση, η οποία οδήγησε σε νέες θέσεις εργασίας, ενώ στον τομέα των κατασκευών η ζήτηση για την κατασκευή υποδομών ήταν μεγάλη και κατ' επέκταση μεγάλη ήταν και η ζήτηση για εξειδικευμένους ανθρώπους που μπορούσαν να εργαστούν στον κατασκευαστικό κλάδο. Καθώς υπήρξε τεχνολογική και οικονομική πρόοδος για μεγάλο μέρος του πληθυσμού, επετεύχθη συνολικά βελτίωση του βιοτικού επιπέδου, ενώ καθώς αυξήθηκε η διαθεσιμότητα των καταναλωτικών αγαθών, άρχισε να διαμορφώνεται η βαθμίδα της μεσαίας κοινωνικής τάξης (Berlanstein, 2003).

Σε κοινωνικό επίπεδο, σημαντικές αλλαγές επήλθαν εξαιτίας της δυνατότητας ελέγχου των ασθενειών, όπως επίσης και λόγω της ανάπτυξης εγκαταστάσεων αποχευτικών συστημάτων, καθώς και καθαρών πηγών νερού. Ωστόσο, υπήρξαν και αρνητικές επιδράσεις που συνδέθηκαν με την 2^η Βιομηχανική Επανάσταση, όπως ήταν η ρύπανση της ατμόσφαιρας, καθώς και η ρύπανση του εδάφους και των νερών, η οποία συνδέθηκε με την αυξημένη χρήση φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων. Ακόμη, η ανάπτυξη αυτή είχε ως αποτέλεσμα να δημιουργηθεί αυξημένη ζήτηση για πόρους, όπως για παράδειγμα είναι το ξύλο, καθώς και τα καύσιμα στην βιομηχανία (Berlanstein, 2003).

1.3 3^η Βιομηχανική Επανάσταση & συνέπειες

Εν αντιθέσει με τις προηγούμενες Βιομηχανικές Επαναστάσεις, η 3^η Βιομηχανική Επανάσταση δεν περιορίζεται σε έναν συγκεκριμένο τομέα δραστηριότητας, αλλά επιδρά σε κάθε στοιχείο της κοινωνίας, όπως για παράδειγμα είναι η παραγωγή, η υγειονομική περίθαλψη, όπως επίσης και η διακυβέρνηση. Κατά την υλοποίηση της 3^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης, επήλθε μετάβαση από τις αναλογικές μεθόδους που χρησιμοποιούνταν μέχρι πρότινος, στον ψηφιακό μετασχηματισμό των επιμέρους διαδικασιών. Όλες οι μεταβολές που συνέβησαν στο πλαίσιο της 3^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης συνδέονταν με τον στόχο της παροχής πληροφοριών και γνώσεων. Ταυτόχρονα, ο τρόπος αλληλεπίδρασης με το περιβάλλον άλλαξε ταχέως, καθώς υπήρξε αλληλεπίδραση μεταξύ των συσκευών (Mohajan, 2021).

Ιδιαίτερη αναφορά θα πρέπει να γίνει στις εφευρέσεις και ανακαλύψεις, οι οποίες και σημάδεψαν την περίοδο της 3^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης. Ειδικότερα, από τις πλέον σημαντικές ήταν ο ηλεκτρονικός υπολογιστής, με την δημιουργία του πρώτου ηλεκτρικού υπολογιστή να αποτελεί σημείο καμπής για την ανθρώπινη ιστορία. Πριν εφευρεθεί ο ηλεκτρονικός υπολογιστής, οι δραστηριότητες πληροφορικής απαιτούσαν πολύ χρόνο, καθώς και πολύ κόπο, λαμβάνοντας υπόψη ότι οι λίγες αριθμητικές μηχανές που υπήρχαν μπορούσαν να εκτελέσουν μόνο απλές αριθμητικές πράξεις, ενώ οι περισσότεροι μαθηματικοί υπολογισμοί εκτελούνταν με το χέρι. Η ιδέα του προσωπικού υπολογιστή άρχισε να διαμορφώνεται κατά τη διάρκεια των δεκαετιών 1950-1960, με τους υπολογιστές αυτούς βέβαια να μην έχουν απολύτως καμία σχέση με τους σημερινούς υπολογιστές, καθώς ήταν ογκώδεις και μεγάλοι, ενώ

τα άτομα που τους χειρίζονταν απαιτούνταν να διαθέτουν εξειδικευμένη εκπαίδευση (Troxler, 2013).

Η Apple κατασκεύασε σύγχρονους υπολογιστές κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1970, οι οποίοι διέθεταν έγχρωμα γραφικά, όπως επίσης παρείχαν τη δυνατότητα διεπαφής με τον χρήστη. Ακολούθως, την επόμενη δεκαετία, στην ίδια αγορά αναπτύχθηκε και η IBM, με το IBM PC να διαθέτει ανοιχτή αρχιτεκτονική και έτσι οι άλλες-τρίτες επιχειρήσεις είχαν τη δυνατότητα να δημιουργούν υλικό και λογισμικό και συνεργάζονται με τον υπολογιστή αυτόν. Το 1985, η Microsoft προχώρησε στην κυκλοφορία του Windows 1.0, παρέχοντας το MS-DOS, που ήταν το δημοφιλές λειτουργικό σύστημα για υπολογιστές, οι οποίοι και ήταν συμβατοί με την IBM. Στο πέρασμα του χρόνου, τα Windows εξελίχθηκαν και βελτιώθηκαν σταδιακά, αναβαθμίζοντας το περιβάλλον του χρήστη, καθώς και τις δυνατότητές του. Το επόμενο βήμα στην εξέλιξη των προσωπικών υπολογιστών ήταν η δυνατότητα φορητότητας των συσκευών αυτών. Οι φορητοί υπολογιστές έγιναν γρήγορα δημοφιλείς, καθώς δόθηκε η δυνατότητα να χρησιμοποιούνται παντού. Στη συνέχεια, υπήρξε ανάπτυξη των έξυπνων κινητών (smartphones), καθώς επίσης και των tablets, με τις συσκευές αυτές πέρα από το να προωθούν την επικοινωνία, έχουν τη δυνατότητα να υποστηρίζουν διάφορες εφαρμογές. Να σημειωθεί ότι ο τομέας των υπολογιστών και της πληροφορικής βρίσκεται σε διαρκή εξέλιξη, παρέχοντας νέα προϊόντα, όπως επίσης και νέες δυνατότητες (Heidegger, 2017).

Από τις πιο σημαντικές τεχνολογικές εξελίξεις που έλαβαν χώρα κατά τη διάρκεια της 3^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης ήταν ο παγκόσμιος ιστός (www), ο οποίος και συνέβαλε στην ριζική αλλαγή του τρόπου αλληλεπίδρασης, παρέχοντας τη δυνατότητα πρόσβασης σε πλήθος πληροφοριών. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι πρώτες απόπειρες επικοινωνίας μέσω του παγκοσμίου δικτύου έγιναν κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1960, ενώ κατά την δεκαετία του 1970, δημιουργήθηκαν τα πρωτόκολλα διαδικτύου (IP). Πλέον, η διασύνδεση της επικοινωνίας έχει αντικατασταθεί από ασύρματη επικοινωνία. Η ανάπτυξη του διαδικτύου, συνέβαλε στην δυνατότητα κάποιος να έχει πρόσβαση σε δισεκατομμύρια πηγές πληροφόρησης, όπως επίσης και συνέβαλε στην διευκόλυνση της επικοινωνίας, ενώ ιδιαίτερα σημαντικά θεωρούνται και τα ενεργειακά-περιβαλλοντικά οφέλη, τα οποία δημιουργούνται από την

ανταλλαγή ψηφιακού υλικού, σε σχέση με την ανταλλαγή δεδομένων πριν την έλευση του διαδικτύου (Krunii, 1997).

Μια ακόμη κατηγορία εφευρέσεων κατά τη διάρκεια της 3^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης ήταν τα λογισμικά προγραμματισμού, τα οποία ξεκίνησαν να αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια των δεκαετιών 1950-1960. Οι υπόλοιπες εξελίξεις που συντελούνταν είχαν ως αποτέλεσμα να υπάρχουν απαιτήσεις για διαδικασίες προγραμματισμού των συστημάτων. Η δημιουργία γλωσσών προγραμματισμού όπως ήταν η COBOL, καθώς και η Fortran, έδωσε την δυνατότητα στους προγραμματιστές να γράφουν κώδικα, ο οποίος έμοιαζε περισσότερο με τη φυσική γλώσσα, με την διαδικασία αυτή ανάπτυξης του κώδικα να βελτιώνεται διαρκώς (Zaletov, 2022).

Κεφάλαιο 2: 4^η Βιομηχανική Επανάσταση και συνέπειες που προκαλεί

Σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι να μελετήσει αναλυτικά την 4^η Βιομηχανική Επανάσταση και τις συνέπειες που αυτή προκαλεί. Ειδικότερα, παρουσιάζεται η εξέλιξη της 4^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης, ενώ ακολούθως παρουσιάζονται αναλυτικά δύο βασικές συνισταμένες της 4^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης, όπου η πρώτη είναι η Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence) και η δεύτερη είναι η Ανάλυση Μεγάλων Δεδομένων (Big Data Analytics). Έμφαση δίνεται επίσης και σε άλλες εφαρμογές που αφορούν την 4^η Βιομηχανική Επανάσταση. Ακόμη, εξετάζονται εκτενώς οι οικονομικές, οι κοινωνικές, καθώς και οι περιβαλλοντικές αλλαγές που έχουν προκληθεί εξαιτίας της 4^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης.

2.1 Η εξέλιξη της 4^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης

Η 4^η βιομηχανική επανάσταση, αποτελεί μια διαδικασία που βρίσκεται σε εξέλιξη και έχει παρουσιαστεί για πρώτη φορά από τον διάσημο Γερμανό οικονομολόγο Klaus Schwab και σύμφωνα μ' αυτόν, δύναται να αλλάξει ριζικά τον τρόπο που ζουν οι άνθρωποι, όπως επίσης και τον τρόπο που εργάζονται, αλλά και συσχετίζονται μεταξύ τους. Πριν περίπου από μια δεκαετία, το ενδιαφέρον για την 4^η βιομηχανική επανάσταση εντάθηκε, γεγονός που αποτυπώθηκε και στο Παγκόσμιο Οικονομικό Φόρουμ στο Νταβός της Ελβετίας, καθώς και σε άλλους φορείς και εκδηλώσεις. Ουσιαστικά, μέσω του όρου αυτού, γίνεται αναφορά στον μετασχηματισμό της παραγωγής αγαθών και υπηρεσιών, ενώ συνάμα, συνδέεται με την εφαρμογή σειρά νέων τεχνολογιών, αλλά και καινοτομιών (Φωτάκης & Σελίμης, 2020).

Βασική συνισταμένες της 4^{ης} βιομηχανικής επανάστασης είναι οι τεχνολογίες αυτοματισμού, ο μεγάλος όγκος των δεδομένων, η συνδεσιμότητα, η ανάλυση, η επιχειρηματική ευφυΐα, όπως επίσης και οι νέες μορφές αλληλεπίδρασης μεταξύ των ανθρώπων και των μηχανών. Ακόμη, στα χαρακτηριστικά αυτά συμπεριλαμβάνονται η ρομποτική, η τρισδιάστατη εκτύπωση, η ενσωμάτωση μηχανών στα συστήματα, όπως επίσης και τα έξυπνα δίκτυα, η επαυξημένη πραγματικότητα, η εικονική πραγματικότητα κτλ. (Μαστρογεωργίου, 2018).

Ιδιαίτερη μνεία θα πρέπει να γίνει στα λεγόμενα «έξυπνα εργοστάσια», τα οποία αναμένεται να αποτελέσουν τη βάση ενός νέου παραγωγικού μοντέλου. Ειδικότερα, χαρακτηριστικό του μοντέλου αυτού αποτελεί η χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών, όπως επίσης και η αναλυτική παρακολούθηση των φυσικών διεργασιών, όπως και η δημιουργία εικονικών αντιγράφων που αφορούν τον φυσικό κόσμο. Υπό το πρίσμα της 4^{ης} βιομηχανικής επανάστασης, θα πρέπει να υπάρξει διασύνδεση των «έξυπνων εργοστασίων», των λεγόμενων «έξυπνων προϊόντων», όπως επίσης και των «έξυπνων συστημάτων παραγωγής». Η ολοκλήρωση αυτή προσφέρει ταχείες αντιδράσεις, καθώς και ευελιξία σε μια σειρά από παραμέτρους που συνδέονται με τη ζήτηση, όπως επίσης με θέματα που άπτονται της αλυσίδας εφοδιασμού, όπως και με τα σφάλματα, τα οποία δύναται να προκύψουν κατά τη λειτουργία των μηχανών. Εξίσου σημαντικό είναι το γεγονός ότι στο πλαίσιο της 4^{ης} βιομηχανικής επανάστασης, επιτυγχάνεται οριζόντια ολοκλήρωση μέσω των δικτύων αλυσίδας, συμβάλλοντας έτσι στη δημιουργία και διατήρηση δικτύων, τα οποία προσδίδουν αξία, ενώ η οριζόντια ολοκλήρωση δύναται να περιλαμβάνει και την ολοκλήρωση νέων επιχειρηματικών μοντέλων διεθνώς (Αγγελάκης, 2019).

Στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 1) παρουσιάζονται οι σημαντικότερες τεχνολογικές αλλαγές που λαμβάνουν χώρα στο πλαίσιο της 4^{ης} βιομηχανικής επανάστασης. Όπως διαπιστώνεται από την εικόνα αυτή, στην πρώτη θέση των τεχνολογικών αυτών αλλαγών συμπεριλαμβάνεται η τεχνολογία νέφους (cloud), καθώς και το mobile internet, ενώ σημαντικό ποσοστό των νέων αυτών τεχνολογιών καταλαμβάνουν τα big data. Περαιτέρω, σημαντικές τεχνολογικές αλλαγές αφορούν τις νέες πηγές και τεχνολογίες ενέργειας, όπως επίσης και το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), όπως επίσης και την οικονομία διαμοιρασμού-πληθοπορισμός, ενώ δυναμική παρουσιάζει η τεχνητή νοημοσύνη, το ποσοστό της οποίας βαίνει διαρκώς αυξανόμενο. Χαμηλότερα ποσοστά έχουν η προηγμένη μεταποίηση, αλλά και η τρισδιάστατη εκτύπωση, όπως και τα προηγμένα υλικά και η βιοτεχνολογία (Ghobakhloo, 2020).

Τεχνολογικές αλλαγές



Εικόνα 1: Σημαντικές τεχνολογικές αλλαγές που συνδέονται με την τεχνολογική επανάσταση.

2.2 Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence)

Αρχικά, θα πρέπει να προσδιοριστεί η εννοιολογικά η έννοια της Τεχνητής Νοημοσύνης (Artificial Intelligence), η οποία συνδέεται με την διαμόρφωση ευφών υπολογιστικών συστημάτων, τα οποία και σχετίζονται με την ανθρώπινη νοημοσύνη, καθώς και με την συμπεριφορά των ανθρώπων. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι το γεγονός ότι μέσω της Τεχνητής Νοημοσύνης, οι μηχανές έχουν την ικανότητα να μαθαίνουν από την εμπειρία, καθώς επίσης και να προσαρμόζονται στα νέα δεδομένα που διαμορφώνονται. Ουσιαστικά, η Τεχνητή Νοημοσύνη έχει τη δυνατότητα κατανόησης, δράσης και μάθησης. Τα συστήματα που λειτουργούν με Τεχνητή Νοημοσύνη έχουν τη δυνατότητα να αντιληφθούν τον κόσμο γύρω τους και μάλιστα να κατανοήσουν εις βάθος τις πληροφορίες που λαμβάνουν. Το ενδιαφέρον για την Τεχνητή Νοημοσύνη υπάρχει εδώ και πολλά χρόνια, αλλά στο πέρασμα του χρόνου έχει αυξηθεί, εστιάζοντας σε εφαρμογές όπως είναι τα νευρωνικά δίκτυα, καθώς επίσης και η μηχανική όραση, αλλά και στην ανάπτυξη ρομπότ, τα οποία αφορούσαν προγράμματα κατανόησης του προφορικού λόγου. Τα πρώτα χρόνια ανάπτυξης της Τεχνητής Νοημοσύνης πρόβλημα στην ανάπτυξη των εφαρμογών της Τεχνητής Νοημοσύνης

ήταν η περιορισμένη ισχύς, το οποίο και στο πέρασμα του χρόνου ξεπεράστηκε (Androniceanu, 2023).

Η Τεχνητή Νοημοσύνη περιλαμβάνει ένα πλήθος από διαφορετικές τεχνολογίες, οι οποίες και μελετώνται σε έναν πολυεπιστημονικό πεδίο. Οι τεχνολογίες αυτές παρουσιάζονται στο σχήμα που ακολουθεί (Alenizi et al., 2023).

Σχήμα 1: Τεχνολογίες Τεχνητής Νοημοσύνης.



2.3 Ανάλυση Μεγάλων Δεδομένων (Big Data Analytics)

Η έννοια των Μεγάλων Δεδομένων (Big Data), είναι σχετικά πρόσφατη και ουσιαστικά άρχισε να λαμβάνει τη σημερινή της μορφή κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 2010, όπου οι ποσότητες των δεδομένων άρχισαν να αυξάνονται εκθετικά. Παράλληλα, με την αύξηση των δεδομένων, σημαίνοντες εξελίξεις υπήρξαν και στις εξελίξεις που αφορούν τις επιμέρους τεχνολογίες επεξεργασίας δεδομένων (Vassakis et al., 2018). Τα δεδομένα αυτά προέρχονται από διαφορετικές βάσεις δεδομένων, όπως επίσης μπορεί να είναι και μη δομημένα δεδομένα, τα οποία και προέρχονται από ιστολόγια, κοινωνικά δίκτυα, μηνύματα, καθώς και από άλλες πηγές. Η επεξεργασία, αλλά και η αποθήκευση των δεδομένων συνιστά μεγάλη πρόκληση, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι απαντώνται διαφορετικά συστήματα αποθήκευσης δεδομένων σε

διαφορετική μορφή, ακόμη και εντός του ίδιου οργανισμού-εταιρείας (Wang et al., 2022).

Τα Μεγάλα Δεδομένα περιγράφονται από τα λεγόμενα επτά V, τα οποία και αναλύονται ως ακολούθως (Naeem et al., 2022).

- Volume (Όγκος): Ο όγκος των δεδομένων που παράγονται διαρκώς είναι τεράστιος, με τα δεδομένα αυτά να πρέπει να αποθηκεύονται.
- Variety (Μεγάλη ποικιλομορφία δεδομένων): Τα δεδομένα αυτά μπορεί να έχουν οποιοδήποτε τύπο, όπως για παράδειγμα είναι τα δεδομένα υπό μορφή εικόνων, είτε τα δεδομένα υπό μορφή πινάκων, ενώ μπορεί να είναι και αδόμητα δεδομένα. Για να μπορέσει να υπάρξει ανάλυση των δεδομένων αυτών, απαιτείται συνδυασμός διαφορετικών τύπων δεδομένων. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των δεδομένων αυτών δεν ακολουθούν κάποιο συγκεκριμένο μορφολογικό πρότυπο.
- Velocity (Ταχύτητα): Τα μεγάλα δεδομένα δεν είναι στατικά, με την ταχύτητά τους να συνδέεται με τον μεγάλο ρυθμό δημιουργίας, αποθήκευσης, καθώς και ανάλυσής τους. Η ταχύτητα αυτή δεν περιορίζεται μόνο στην παραγωγή αυτών, αλλά συνδέεται άμεσα με την επεξεργασία τους.
- Value (Αξία): Σχετικά με την αξία των Big Data αυτή αφορά το όφελος το οποίο δημιουργείται από την επεξεργασία αυτών (Wang et al., 2022).
- Visualization (Οπτικοποίηση): Η διαδικασία της οπτικοποίησης περιλαμβάνει την μετατροπή μεγάλου όγκου δεδομένων σε μορφές απεικόνισης, οι οποίες και μπορούν να αναλυθούν, όπως επίσης και να αναγνωριστούν, προκειμένου να μπορέσουν αν προκύψουν συμπεράσματα που μπορούν να αξιοποιηθούν κατάλληλα.
- Variability (Μεταβλητότητα): Τα δεδομένα μπορούν να διακριθούν από μεταβολή και αλλαγή μορφών διαρκώς, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα να είναι αναγκαίο να γίνουν συνεχώς προσαρμογές, καθώς επίσης και κατάλληλη ερμηνεία αυτών.
- Veracity (Ποιότητα/αξιοπιστία δεδομένων): Για να μπορούν τα Big Data να να αξιοποιηθούν από τον αναλυτή, είναι αναγκαίο να χαρακτηρίζονται από ακρίβεια, αλλά και από αξιοπιστία, καθώς διαφορετικά η επεξεργασία αυτών

συνδέεται με σφάλματα, αλλά και μη αναγκαία αποτελέσματα. Αναμφίβολα, η ποιότητα των Big Data δεν είναι σταθερή, καθώς επηρεάζεται από την ανάλυση, ενώ μπορεί να υπάρχουν ελλιπείς τιμές, όπως επίσης και μη έγκυρες τιμές, οι οποίες και εμφανίζονται με μεγαλύτερη συχνότητα.

2.4 Άλλες εφαρμογές 4^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης

Στο πλαίσιο της 4^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης, έχει αναπτυχθεί και ένα μεγάλο πλήθος εφαρμογών, οι οποίες εξελίσσονται συνέχεια, προσαρμοζόμενες στις διεθνείς τάσεις και εξελίξεις. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται δύο από τις πλέον σημαντικές και αναπτυσσόμενες.

Internet of Things (IoT)

Η τεχνολογία Internet of Things (IoT), σχετίζεται άμεσα με την συνεχόμενη αύξηση των «έξυπνων» συσκευών, καθώς και των αντίστοιχων αντικειμένων, τα οποία μπορούν να συνδεόνται μεταξύ τους, όπως επίσης και με το διαδίκτυο. Τα δεδομένα που αξιοποιούνται από το IoT παράγονται από ανθρώπους, όπως επίσης και από αντικείμενα. Επιπλέον, τα δεδομένα αυτά μπορούν να παραχθούν όταν οι επιμέρους συσκευές επικοινωνούν μεταξύ τους, καθώς και αντίστοιχα με παρόχους. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι η τεχνολογία αυτή εξελίσσεται διαρκώς και συνδέεται με μια σειρά τεχνολογικών εφαρμογών, καθώς επίσης και με τη δυνατότητα βελτίωσης της πλοήγησης (Mouha, 2021).

Blockchain

Η τεχνολογία blockchain χαρακτηρίζεται από διαρκείς καινοτομίες, ενώ συμβάλλει στην αλλαγή της λειτουργίας του διαδικτύου. Βασική συνισταμένη της τεχνολογίας αυτής είναι η δημιουργία μιας αποκεντρωμένης βάσης δεδομένων, η οποία και διέπεται από συγκεκριμένους κανόνες, όπου η βάση αυτή ενημερώνεται, διατηρείται, συντηρείται, καθώς και αποθηκεύεται σε έναν κόμβο ενός ομότιμου δικτύου και στο δίκτυο αυτό υπάρχει δυνατότητα συμμετοχής από οποιονδήποτε χρήστη του διαδικτύου. Η αλυσίδα των μπλοκ, α οποία και συνδέονται με μια χρονική αλληλουχία, περιλαμβάνει ένα σύνολο δεδομένων, τα οποία και καλούνται συναλλαγές (transactions). Θα πρέπει να τονισθεί ότι ο τρόπος με τον οποίο γίνεται καταχώρηση

των δεδομένων στα μπλοκ, όπως επίσης και ο τρόπος με τον οποίο και συνδέονται μεταξύ τους συνιστούν δύο βασικά στοιχεία, τα οποία και δημιουργούν την αλυσίδα των μπλοκ (Habib et al., 2022).

2.5 Οικονομικές αλλαγές που συνδέονται με την 4^η Βιομηχανική Επανάσταση

Η 4η βιομηχανική επανάσταση πέρα από τις τεράστιες τεχνολογικές αλλαγές που προκάλεσε, είχε ως αποτέλεσμα να προκύψουν και σημαντικές οικονομικές αλλαγές, οι οποίες επιδρούν καθοριστικά στις οικονομίες του μέλλοντος, συμβάλλοντας στην αναθεώρηση βασικών οικονομικών εννοιών όπως είναι η παραγωγή, ο καταναλωτισμός, καθώς και η ίδια η εργασία. Ειδικότερα, στον τομέα της παραγωγής και της βιομηχανίας, οι αλλαγές είναι τεράστιες και μάλιστα εφαρμόζονται με πολύ μεγάλη ταχύτητα. Για παράδειγμα, τεχνολογίες όπως η ρομποτική έχει οδηγήσει σε μεγάλες αλλαγές στον τρόπο λειτουργίας των βιομηχανικών μονάδων, καθώς και στον τρόπο με τον οποίο επιτελούνται οι επιμέρους βιομηχανικές διαδικασίες. Υπό το πρίσμα των έξυπνων βιομηχανικών μονάδων (smart factories), χρησιμοποιούνται τεχνολογίες όπως είναι το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), μέσω του οποίου συνδέονται μηχανές, συσκευές, καθώς και άλλα επιμέρους συστήματα, ο συντονισμός των οποίων επιτρέπει να υπάρξει βελτιστοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας. Συνεπώς, με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται αποτελεσματικότερος προγραμματισμός, όπως επίσης και εντοπισμός των προβλημάτων σε πραγματικό χρόνο, καθώς και μείωση των χρόνων αδράνειας (Ross & Maynard, 2021).

Περαιτέρω, η αυτοματοποίηση στις βιομηχανίες μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση του κόστους παραγωγής, όπως επίσης δύναται να παραχθούν εξατομικευμένα προϊόντα, σε μεγαλύτερη κλίμακα. Με τον τρόπο αυτό, οι επιχειρήσεις έχουν τη δυνατότητα να αντιμετωπίσουν τον ανταγωνισμό με μια περισσότερο ευέλικτη και συνάμα καινοτόμα προσέγγιση. Ωστόσο, προκειμένου να είναι σε θέση να εφαρμόσουν τους αυτοματισμούς αυτούς θα πρέπει να προβούν σε σχετικές επενδύσεις, τόσο σε υποδομές, όσο και σε τεχνολογίες, κάτι που ίσως δημιουργεί πιέσεις στις μικρότερες επιχειρήσεις που δεν διαθέτουν και πολλές δυνατότητες χρηματοδότησης (Spottl & Windelband, 2021).

Ιδιαίτερη μνεία θα πρέπει να γίνει στις μεταβολές που προέκυψαν εξαιτίας της 4^{ης} βιομηχανικής επανάστασης στην αγορά εργασίας. Ειδικότερα, η αυτοματοποίηση, καθώς και η εκτενής χρήση της τεχνητής νοημοσύνης έχουν ως αποτέλεσμα μεγάλος αριθμός θέσεων εργασίας να αντικατασταθούν, ιδίως σε τομείς όπου υπάρχουν επαναλαμβανόμενα καθήκοντα, είτε χειρωνακτική εργασία. Ταυτόχρονα, οι τεχνολογικές εξελίξεις δημιουργούν νέες θέσεις εργασίας, ιδίως σε τομείς όπως είναι για παράδειγμα η ανάλυση δεδομένων, η κυβερνοασφάλεια, η ανάπτυξη λογισμικού, καθώς επίσης και οι δημιουργικές βιομηχανίες. Οι θέσεις αυτές μάλιστα εξελίσσονται διαρκώς, ενώ παρέχεται η δυνατότητα στους εργαζόμενους να εργάζονται εξ' αποστάσεως, χωρίς να απαιτείται η φυσική τους παρουσία σε κάποιο εργασιακό περιβάλλον (Bone, 2024).

Επιπροσθέτως, λόγω της 4^{ης} βιομηχανικής επανάστασης, λαμβάνει χώρα μια μετάβαση προς εργασία υψηλής εξειδίκευσης, με αποτέλεσμα η ζήτηση για ειδικευμένο ανθρώπινο δυναμικό να αυξάνεται, ενώ ταυτόχρονα, φαίνεται να δημιουργούνται προβλήματα για το ανειδίκευτο ανθρώπινο δυναμικό, το οποίο θα δυσκολευτεί να ενταχθεί στην αγορά εργασίας. Υπό τις συνθήκες αυτές, δημιουργούνται ανάγκες για εκπαίδευση και αναβάθμιση των δεξιοτήτων, προκειμένου οι εργαζόμενοι να πρέπει να ανταποκριθούν στις νέες απαιτήσεις που διαμορφώνονται. Τόσο οι χώρες, όσο και οι επιμέρους επιχειρήσεις θα πρέπει να επενδύσουν στην εκπαίδευση και κατάρτιση του ανθρώπινου δυναμικού τους, προκειμένου να αποφευχθεί η αύξηση της ανισότητας και η δημιουργία χάσματος μεταξύ των επιμέρους κατηγοριών του ανθρώπινου δυναμικού (Bone, 2024).

Ακόμη, με την 4^η βιομηχανική επανάσταση συνδέονται και νέα επιχειρηματικά μοντέλα, τα οποία και αξιοποιούν τις νέες τεχνολογίες, οι οποίες εξελίσσονται διαρκώς. Για παράδειγμα, τέτοια μοντέλα σχετίζονται με την ψηφιοποίηση των προϊόντων και υπηρεσιών οδηγώντας στο μοντέλο της υπηρεσίας ως προϊόν (Software as a Service-SaaS), όπως και στο μοντέλο της ευέλικτης παραγωγής, όπου δημιουργούνται νέες ευκαιρίες για τις επιχειρήσεις, έτσι ώστε αυτές να καταστούν περισσότερο ανταγωνιστικές και να μπορέσουν να αναπτυχθούν περισσότερο. Η δυνατότητα συλλογής και ανάλυσης δεδομένων, σε πραγματικό χρόνο παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για τις επιχειρήσεις, όπως επίσης και για τους καταναλωτές, δίνοντάς τη δυνατότητα να προσαρμόσουν τις στρατηγικές τους στις διαρκώς μεταβαλλόμενες

ανάγκες της αγοράς. Ενδεικτικό είναι το γεγονός ότι οι εταιρείες που δραστηριοποιούνται στο ηλεκτρονικό εμπόριο, χρησιμοποιούν δεδομένα και τους κατάλληλους αλγορίθμους, προκειμένου να μπορούν να παρέχουν εξατομικευμένες εμπειρίες στους πελάτες τους, αυξάνοντας την ικανοποίηση, αλλά και την αφοσίωση των πελατών. Η προσαρμοσμένη αυτή εμπειρία είναι ιδιαίτερα σημαντική για τους καταναλωτές, συνεκτιμώντας και τις διαθέσιμες επιλογές που έχουν αυτοί στη διάθεσή τους. Επιπλέον, αλλαγές προκύπτουν λόγω της 4^{ης} βιομηχανικής επανάστασης, καθώς λαμβάνει χώρα μετάβαση προς μια περισσότερο κυκλική οικονομία, όπου ο ρόλος των καταναλωτών είναι ισχυρός. Μέσω της οικονομίας διαμοιρασμού, μπορούν να αναδειχθούν νέες επιχειρηματικές πρακτικές, αλλά και στρατηγικές που επικεντρώνονται στην αειφορία, όπως επίσης και στην αυξημένη αποδοτικότητα των πόρων (Chalmers et al., 2021).

Εξαιτίας της 4^{ης} βιομηχανικής επανάστασης, μπορεί να υπάρξει όξυνση των οικονομικών ανισοτήτων, καθώς οι εταιρείες που είναι σε θέση να επενδύσουν σε νέες τεχνολογίες μπορούν να αποκομίσουν σημαντικά μεγάλα οφέλη, ενώ αντίστοιχα οι επιχειρήσεις που δεν προσαρμόζονται, είτε παρουσιάζουν αδυναμία πρόσβασης στις τεχνολογίες αυτές δεν έχουν τη δυνατότητα να τις ανταγωνιστούν. Μάλιστα, η κατάσταση αυτή μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερες ανισότητες μεταξύ των κρατών και των περιοχών που αναπτύσσουν τεχνολογίες αιχμής και αυτών που δεν ακολουθούν. Ξεχωριστή αναφορά θα πρέπει να γίνει και στο γεγονός ότι οι μεγάλες τεχνολογικές εταιρείες, οι οποίες και ελέγχουν τα δεδομένα και τους αλγορίθμους, δύναται να αποκτήσουν μεγαλύτερη οικονομική ισχύ και έτσι μπορούν να υπάρξει διαρκώς αυξανόμενος πλούτος και συγκέντρωση εξουσίας (Ross et al., 2021).

2.6 Κοινωνικές αλλαγές που συνδέονται με την 4^η Βιομηχανική Επανάσταση

Πέρα από τις τεχνολογικές και τις οικονομικές αλλαγές που προκλήθηκαν εξαιτίας της 4^{ης} βιομηχανικής επανάστασης, αλλαγές υπήρξαν και σε κοινωνικό επίπεδο, συνεκτιμώντας και το γεγονός ότι οι νέες αυτές τεχνολογίες επιδρούν άμεσα στον τρόπο ζωής, εργασίας, καθώς και στον τρόπο επικοινωνίας μεταξύ των ατόμων. Ειδικότερα, η 4^η βιομηχανική επανάσταση επιδρά καθοριστικά στην αλλαγή της αγοράς εργασίας, θέτοντας στο περιθώριο τις χειρωνακτικές εργασίες, καθώς και αυτές

που επαναλαμβάνονται, όπως για παράδειγμα είναι μεγάλος αριθμός θέσεων εργασίας στον τομέα της βιομηχανίας. Χρησιμοποιώντας τεχνητή νοημοσύνη, καθώς και ευφυή ρομπότ, μπορούν και πραγματοποιούνται εργασίες, οι οποίες μέχρι πρότινος θα απαιτούσαν ανθρώπινη διαχείριση. Το γεγονός αυτό προκαλεί ανησυχία, καθώς μεγάλος αριθμός θέσεων εργασίας σε τομείς όπως είναι οι λιανικές πωλήσεις, οι υπηρεσίες, καθώς και ο τομέας της παραγωγής επηρεάζονται άμεσα (Caruso, 2018).

Από την άλλη, μέσω της ανάπτυξης των νέων τεχνολογιών δημιουργήθηκαν νέες θέσεις εργασίας σε πλήθος τομέων, όπως είναι η ανάπτυξη λογισμικού, ο τομέας της κυβερνοασφάλειας, ο τομέας της ανάλυσης δεδομένων, όπως επίσης και ο τομέας της ανάλυσης μεγάλων δεδομένων. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι οι νέες αυτές θέσεις εργασίας απαιτούν υψηλό επίπεδο εκπαίδευσης, καθώς και ειδικές δεξιότητες, με αποτέλεσμα η εκπαίδευση και κατάρτιση του ανθρώπινου δυναμικού να είναι αναγκαία. Ουσιαστικά, ενώ υπάρχει απώλεια ορισμένων θέσεων εργασίας, κυρίως χαμηλότερης εξειδίκευσης, την ίδια στιγμή δημιουργούνται νέες θέσεις εργασίες, όπως για παράδειγμα είναι αυτές που συνδέονται με τη διαχείριση δεδομένων και τη σχεδίαση αλγορίθμων κτλ., οι οποίες χαρακτηρίζονται ως υψηλής εξειδίκευσης και είναι σημαντικά καλύτερα αμειβόμενες σε σχέση μ' αυτές που καταργούνται (Morrat et al., 2017).

Μέσω της διαρκούς αναβάθμισης δεξιοτήτων, μπορούν και αντιμετωπίζεται με τρόπο αποτελεσματικότερο οι απαιτήσεις που δημιουργούνται εξαιτίας των τεχνολογικών εξελίξεων της 4^{ης} βιομηχανικής επανάστασης. Οι εργαζόμενοι καλούνται να εξελίξουν τις ικανότητές τους, έτσι ώστε να παραμείνουν ανταγωνιστικοί, σε έναν κόσμο όπου οι τεχνολογίες μεταβάλλονται διαρκώς. Προς την κατεύθυνση αυτή είναι αναγκαίο τα εκπαιδευτικά ιδρύματα να επικεντρωθούν στις σύγχρονες δεξιότητες, τόσο σε τεχνολογικό, όσο και σε κοινωνικό επίπεδο. Για παράδειγμα, πέρα από την εξειδικευμένη τεχνική γνώση, απαιτείται κοινωνική και συναισθηματική νοημοσύνη, όπως επίσης και ενίσχυση της δημιουργικότητας, αλλά και κριτική σκέψη, καθώς και εξοικείωση και ευχέρεια στη χρήση των νέων τεχνολογιών. Επομένως, θα πρέπει να γίνει αναδιάρθρωση των εκπαιδευτικών προγραμμάτων, καθώς και των επιμέρους προγραμμάτων κατάρτισης, τα οποία θα περιλαμβάνουν σύγχρονα ψηφιακά εργαλεία, όπως επίσης και διαδραστικές τεχνικές, έτσι ώστε το ανθρώπινο δυναμικό να

αποκτήσει τις αναγκαίες δεξιότητες για να είναι σε θέση να χειριστεί και να εξελίξει την τεχνητή νοημοσύνη, καθώς και την αυτοματοποίηση (Ross & Maynard, 2021).

Περαιτέρω, εξαιτίας της 4^{ης} βιομηχανικής επανάστασης, αναμένεται να υπάρξει και επίδραση στις κοινωνικές ανισότητες. Καθώς ο κόσμος γίνεται περισσότερο ψηφιοποιημένος, δύναται να δημιουργηθεί ψηφιακό χάσμα μεταξύ των επιμέρους κοινωνικών ομάδων. Οι ανισότητες αυτές θα είναι περισσότερο έντονες για άτομα τα οποία διαθέτουν περιορισμένη πρόσβαση στην τεχνολογία, εξαιτίας χαμηλού εισοδήματος, είτε εξαιτίας γεωγραφικής απομόνωσης, τα οποία και κινδυνεύουν να αποκλειστούν από τις νέες κοινωνικές, αλλά και οικονομικές ευκαιρίες που δημιουργούνται. Να σημειωθεί ότι η ανισότητα αυτή στην πρόσβαση στην τεχνολογία μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα να αυξηθούν και οι κοινωνικές και οικονομικές ανισότητες. Από την άλλη, όμως οι έξυπνες πόλεις που δημιουργούνται διαρκώς, καθώς και οι σχετικές ψηφιακές υποδομές που αναπτύσσονται, στο πλαίσιο της 4^{ης} βιομηχανικής επανάστασης, παρέχουν τη δυνατότητα βελτίωσης της ζωής των πολιτών. Για παράδειγμα, τέτοιες τεχνολογίες και υποδομές μπορεί να αφορούν την εξοικονόμηση ενέργειας, όπως επίσης και την βελτίωση των δημοσίων συγκοινωνιών. Προκειμένου όμως να υπάρξει βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών από τις τεχνολογίες αυτές, θα πρέπει να είναι οι εν λόγω τεχνολογίες διαθέσιμες στο σύνολο των πολιτών (De Amorim et al., 2019).

Ενδιαφέρον έχει και το γεγονός ότι η 4^η βιομηχανική επανάσταση επιδρά στον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν τα κοινωνικά δίκτυα, καθώς και οι ψηφιακές πλατφόρμες, τα οποία και χρησιμοποιούνται από τους ανθρώπους σε καθημερινή βάση, με τα ποσοστά των χρηστών τους να αυξάνονται συνέχεια. Χρησιμοποιώντας τα ψηφιακά μέσα υπάρχει δυνατότητα επικοινωνίας, καθώς και συνεργασίας, ανεξάρτητα από το που βρίσκονται τα επιμέρους άτομα. Πλέον, οι κοινωνικές σχέσεις βρίσκονται υπό διαρκείς μετασχηματισμούς, στο πλαίσιο του ψηφιακού κόσμου, με τους χρήστες να αλληλεπιδρούν χρησιμοποιώντας τον εικονικό κόσμο και τις πλατφόρμες κοινωνικής δικτύωσης. Στο πλαίσιο των αλλαγών αυτών, δημιουργούνται νέες ηθικές προκλήσεις, όπως για παράδειγμα είναι η προστασία των προσωπικών δεδομένων, καθώς και τα δικαιώματα των χρηστών διαδίκτυο. Επιπλέον, εξαιτίας της τεχνητής νοημοσύνης και

της ανάπτυξης των «ψηφιακών βοηθών», δημιουργούνται αλλαγές στις ανθρώπινες σχέσεις, καθώς πλέον οι άνθρωποι βρίσκονται σε διαρκή αλληλεπίδραση με τις μηχανές και τους υπολογιστές. Όλο και περισσότερο, τα άτομα συνηθίζουν την ενσωμάτωση της τεχνολογίας στις επιμέρους δραστηριότητές της καθημερινότητάς τους, εστιάζοντας σε μια περισσότερο ανθρωποκεντρική τεχνολογία, η οποία διαδραματίζει σημαίνοντα ρόλο στις κοινωνικές τους δραστηριότητες (Jarosz et al., 2020).

2.7 Περιβαλλοντικές αλλαγές που σχετίζονται με την 4^η Βιομηχανική Επανάσταση

Μεταξύ άλλων, η 4^η βιομηχανική επανάσταση συνδέεται και με τεχνολογίες, οι οποίες και επιδρούν στον τρόπο με τον οποίο παράγονται, καταναλώνονται, αλλά και γίνεται διαχείριση των διαθέσιμων πόρων του πλανήτη από τους ανθρώπους. Για παράδειγμα, τέτοιες τεχνολογίες είναι η ρομποτική, η τεχνητή νοημοσύνη, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), η ανάλυση μεγάλων δεδομένων, όπως επίσης και η τρισδιάστατη εκτύπωση (3D printing), καθώς επίσης και οι εφαρμογές έξυπνης πόλης, οι οποίες επιδρούν στο περιβάλλον, καθώς και στις φυσικές πηγές, με τις τεχνολογίες αυτές να αναλύονται παραπάνω. Παρά το γεγονός ότι οι νέες αυτές τεχνολογίες δημιουργούν σημαντικές δυνατότητες για την περαιτέρω βελτίωση της περιβαλλοντικής επίδοσης, ελλοχεύει ο κίνδυνος αύξησης της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης, εφόσον δεν ληφθούν τα πλέον κατάλληλα μέτρα (Ross & Maynard, 2021).

Όλο και περισσότερο, η 4^η βιομηχανική επανάσταση επικεντρώνεται προς την μετάβαση σε νέες πράσινες τεχνολογίες, όπως επίσης και στη χρήση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Οι σύγχρονες προσεγγίσεις που προσφέρει το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), συμβάλλει στον συνδυασμό φωτοβολταϊκών συστημάτων με αιολικά πάρκα, καθώς και με τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας, όπως είναι οι μπαταρίες, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται περισσότερα αποδοτικά και απολύτως ελεγχόμενα ενεργειακά συστήματα. Λόγω των συστημάτων αυτών, επιτυγχάνεται μετριασμός των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, όπως επίσης και επικέντρωση στην κυκλική οικονομία, με τους πόρους πλέον να ανακυκλώνονται και να αξιοποιούνται περισσότερο αποδοτικά. Η χρήση της ανάλυσης μεγάλων δεδομένων και της τεχνητής νοημοσύνης στη διαχείριση ενέργειας έχει τη δυνατότητα να εξισορροπήσει τη ζήτηση

και προσφορά ενέργειας με ακρίβεια, περιορίζοντας με τον τρόπο αυτό την σπατάλη ενέργειας και ενισχύοντας την αποτελεσματικότητα τόσο για τις βιομηχανίες και τις επιχειρήσεις, όσο και για τους ιδιώτες. Ταυτόχρονα, η διαχείριση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, όπως είναι η ηλιακή και η αιολική, βελτιώνονται μέσω των τεχνολογιών, καθώς αυτές προσδιορίζουν σταθερότητα στη λειτουργία τους, ενώ τις καθιστούν και περισσότερο ελκυστικές από οικονομικής απόψεως. Επομένως, ενισχύεται συνολικά η δυνατότητα εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα και η δυνατότητα μετάβασης προς μια πράσινη ανάπτυξη (Elheddad et al., 2021).

Η δημιουργία και διαρκής ανάπτυξης των έξυπνων πόλεων, μπορεί να συμβάλλει καθοριστικά στις αλλαγές που δημιουργούνται εξαιτίας της 4^{ης} βιομηχανικής επανάστασης. Μέσω της χρήσης τεχνολογιών IoT, καθώς και έξυπνων αισθητήρων, επιτρέπεται η συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και έτσι στο πλαίσιο της έξυπνης πόλης μπορεί να γίνεται διαχείριση των πόρων, με τους πόρους αυτούς να αφορούν το νερό, την ενέργεια, καθώς επίσης και τις μεταφορές. Παράλληλα, οι πόλεις αυτές έχουν την δυνατότητα να διαχειρίζονται με τρόπο αποτελεσματικότερο τα απορρίμματα, τις κυκλοφοριακές ροές, τις ενεργειακές τους ανάγκες, όπως επίσης και την ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων, επικεντρώνοντας στην μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων για θέματα θέρμανσης και ψύξης, καθώς και στον μετριασμό των εκπεμπόμενων ρύπων. Παράλληλα, θα πρέπει να επισημανθεί ότι οι έξυπνες πόλεις έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν στους πολίτες υψηλότερη ποιότητα ζωής, μέσω της αειφορίας και της τεχνολογίας, περιορίζοντας παράλληλα τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οι οποίες και συνδέονται με την υπερκατανάλωση των πόρων, όπως επίσης και με την αστική ρύπανση. Προκειμένου όμως να μπορέσουν να δημιουργηθούν με επιτυχία οι πόλεις αυτές είναι αναγκαίο να υπάρξει συνεργασία των κυβερνήσεων, των τεχνολογικών εταιρειών, καθώς επίσης και των τοπικών κοινωνιών, οι οποίοι είναι και οι τελικοί αποδέκτες των υπηρεσιών αυτών (Yin et al., 2015).

Περαιτέρω, θα πρέπει να αναφερθεί ότι η 4^η βιομηχανική επανάσταση συμβάλλει στην προώθηση της κυκλικής οικονομίας, όπου οι πρώτες ύλες ανακυκλώνονται διαρκώς, περιορίζοντας την ανάγκη για νέες φυσικές πηγές και ελαχιστοποιώντας ταυτόχρονα τα απορρίμματα. Προς την κατεύθυνση αυτή συμβάλλουν πρακτικές όπως είναι για παράδειγμα οι τρισδιάστατες εκτυπώσεις, καθώς

επίσης και οι νέες μέθοδοι παραγωγής, οι οποίες δίνουν τη δυνατότητα κατασκευής προϊόντων με λιγότερους πόρους, αλλά και λιγότερα επίπεδα ενέργειας. Η κυκλική οικονομία μπορεί να συμβάλει καθοριστικά στην μείωση των αποβλήτων, όπως επίσης και στον μετριασμό των ρύπων που εκλύονται στην ατμόσφαιρα, ενώ σημαντική είναι η δυνατότητα που προσφέρει στην εκμετάλλευση των δευτερογενών πόρων, οι οποίοι παραδοσιακά παραμένουν αναξιοποίητοι, είτε οδηγούνται σε απόρριψη. Η χρήση των ανακυκλωμένων υλικών, καθώς και η επεξεργασία προϊόντων όπως είναι τα ηλεκτρονικά, καθώς και τα απόβλητα που παράγονται από την αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, αποτελούν στρατηγικές που περιορίζουν τη ζήτηση για νέες πρώτες ύλες ενισχύοντας την περιβαλλοντική βιωσιμότητα (Teixeira et al., 2022).

Η 4^η βιομηχανική επανάσταση δημιουργεί την ανάγκη για αυξημένη περιβαλλοντική ευθύνη στις εταιρείες και στις Κυβερνήσεις. Η διαρκώς αυξανόμενη χρήση δεδομένων, καθώς και η ανάλυση μεγάλων δεδομένων, σε συνδυασμό με την τεχνητή νοημοσύνη μπορούν να χρησιμοποιηθούν, προκειμένου να υπάρξει παρακολούθηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, εστιάζοντας στην αντιμετώπιση προβλημάτων, όπως είναι η ρύπανση καθώς και η υπερκατανάλωση των πόρων. Οι διαρκείς αλληλεπιδράσεις, καθώς και η χρήση των δεδομένων ενθαρρύνουν την περιβαλλοντική συνείδηση, όπως επίσης ενισχύουν τη συμμετοχή του πολίτη στην διαδικασία λήψης αποφάσεων. Ταυτόχρονα, λόγω των οικονομικών πιέσεων που δημιουργούνται στο πλαίσιο της 4^{ης} βιομηχανικής επανάστασης, οι οργανισμοί και οι επιχειρήσεις αναγκάζονται να ενσωματώσουν τη βιωσιμότητα, αλλά και την πράσινη επιχειρηματικότητα στις στρατηγικές που εφαρμόζουν, δίνοντας συνάμα έμφαση στη συμμόρφωση με τα περιβαλλοντικά πρότυπα, καθώς και στους νόμους που προάγουν την περιβαλλοντική προστασία (Park et al., 2019).

Κεφάλαιο 3: Μεταλλευτικός κλάδος

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζεται ο μεταλλευτικός κλάδος, όπου αρχικά λαμβάνει χώρα ιστορική αναδρομή στον κλάδο αυτό, ενώ ακολούθως εξετάζεται η υφιστάμενη κατάσταση του κλάδου, τόσο στην Ευρώπη, όσο και στην Ελλάδα. Ακόμη, μελετάται η παραγωγική διαδικασία που ακολουθείται στην εξορυκτική βιομηχανία, ενώ τέλος εξετάζεται ο μεταλλευτικός κλάδος, υπό το πρίσμα της βιώσιμης ανάπτυξης, στην οποία κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών δίνεται ιδιαίτερη έμφαση.

3.1 Ιστορική αναδρομή μεταλλευτικού κλάδου

Αρχικά θα πρέπει να αναφερθεί ότι η εκμετάλλευση των μεταλλευμάτων απαντάται ήδη από την αρχαιότητα, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι υπάρχουν δημοσιευμένα κείμενα για την εκμετάλλευση ορυκτών πρώτων υλών και ιδίως χρυσού στα μεταλλεία του Λαυρίου. Ήδη από την νεολιθική εποχή γινόταν επιφανειακές εκμεταλλεύσεις κυρίως πυριτόλιθου, με την διαδικασία αυτή της εξόρυξης να γίνεται με κεράτινες αξίνες και λίθινα σφυριά. Σύμφωνα με τον Όμηρο, γινόταν εκμετάλλευση χρυσού στην περιοχή της Μαρώνειας στη Θράκη, ενώ τόσο ο Ηρόδοτος, όσο και ο Αριστοτέλης αναφέρουν για την εκμετάλλευση κοιτασμάτων χρυσού στην περιοχή του Εχέδωρου, κοντά στον σημερινό Γαλλικό ποταμό. Περαιτέρω, αναφορές για εξόρυξη χρυσού γίνονταν από τους Ηρόδοτο, Θουκυδίδη, καθώς και Ξενοφώντα στην περιοχή του Παγγαίου, που σήμερα βρίσκεται στην Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας-Θράκης. Ακόμη, αναφορές γίνονταν για την ίδια περίοδο για την εκμετάλλευση μεταλλευμάτων και στην περιοχή της Θάσου (Φιλιππίδης & Καντηράνης, 2012).

Τα επόμενα χρόνια, γνωστά παραδείγματα εκμετάλλευσης ορυκτών μεταλλευτικών κοιτασμάτων ήταν τα μεταλλεία του Λαυρίου, η σμύριδα της Νάξου, τα κοιτάσματα βωξίτη στη Στερεά Ελλάδα, όπως επίσης και τα κοιτάσματα μπετονίτη στη Μήλο, όπως και τα διάσημα μεταλλεία της Κίρκης. Στη μεταπολεμική Ελλάδα δε, υπάρχει και το σχετικό θεσμικό πλαίσιο το οποίο προσδιορίζει την εκμετάλλευση των κοιτασμάτων αυτών (Σκουνάκης, 1996).

3.2 Ο μεταλλευτικός κλάδος στην Ευρώπη και στην Ελλάδα

Είναι γεγονός ότι σε επίπεδο Ευρώπης, ο μεταλλευτικός κλάδος διαδραματίζει σημαίνοντα ρόλο, λαμβάνοντας υπόψη ότι οριοθετείται στην αρχή της αλυσίδας αξίας της παροχής μιας σειράς αγαθών σε μια σύγχρονη οικονομία. Τυπικά παραδείγματα χρήσης των μετάλλων αυτών αφορούν την κατασκευή ενός σπιτιού, όπως επίσης και την παραγωγή ενός αυτοκινήτου, αλλά και την παραγωγή μιας σειράς ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών. Για την κάλυψη της υψηλής αυτής ζήτησης, σε επίπεδο Ε.Ε., τα κράτη στρέφονται αφενός στην αξιοποίηση δικών τους πόρων, αφετέρου δε, στις διεθνείς αγορές, προκειμένου να μπορέσουν να καλυφθούν οι ανάγκες της βιομηχανίας. Ταυτόχρονα, στην Ευρωπαϊκή Ένωση, έμφαση δίνεται στη βιώσιμη διαχείριση των ενεργειακών ορυκτών πόρων, καθώς η βιωσιμότητα αυτή συνδέεται με την ανάπτυξη και την ευημερία, όπως επίσης και με τον μετριασμό της φτώχειας (Pavolova et al., 2022).

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι καθώς αυξάνεται η διεθνής ζήτηση και ανεβαίνουν οι τιμές των μεταλλευμάτων διεθνώς, οι χώρες που διαθέτουν σχετικά κοιτάσματα παρουσιάζουν σημαντικό ενδιαφέρον για ανάπτυξη. Σε ορισμένα ορυκτά δεν μπορεί να υπάρξει κάλυψη των ευρωπαϊκών αναγκών, από υφιστάμενα κοιτάσματα, με αποτέλεσμα να περιορίζεται η ανταγωνιστικότητα του κλάδου συνολικά. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει προβλέψει μέσω του σχετικού θεσμικού της πλαισίου μια σειρά από πρωτοβουλίες, οι οποίες και αφορούν τη διαχείριση των μη ενεργειακών πρώτων υλών, επιδιώκοντας να υπάρξει η βέλτιστη δυνατή εκμετάλλευση των ευρωπαϊκών κοιτασμάτων, καθώς επίσης και η διασφάλιση πρώτων υλών σε διεθνές επίπεδο. Υπό το πρίσμα αυτό, οι ευρωπαϊκές πρωτοβουλίες συνοδεύονται από πλήθος οδηγιών και νομοθετημάτων, ενώ προβλέπεται και υποχρεωτική ενσωμάτωση του θεσμικού αυτού πλαισίου σε εθνικό επίπεδο. Ταυτόχρονα, μεγάλος αριθμός κρατών της Ευρωπαϊκής Ένωσης προχώρησε στην εκπόνηση σχετικών κειμένων πολιτικής, στοχεύοντας στην αναγνώριση των πρώτων υλών που θεωρούνται πρωτεύουσας σημασίας, τόσο για τις δικές τους οικονομίες, όσο και για να σχεδιάσουν σχετικές δράσεις, στοχεύοντας στη διασφάλιση της πρόσβασης τους σε μακροπρόθεσμο επίπεδο (Gavurova et al., 2017).

Επιπλέον, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η Ευρωπαϊκή Ένωση συμμετέχει στον διάλογο που αφορά τις ορυκτές πρώτες ύλες με διεθνείς οργανισμούς, όπως επίσης και

με άλλες χώρες, όπως για παράδειγμα είναι η Αργεντινή, η Χιλή, η Κίνα, το Μεξικό κτλ. Επιπλέον, πλήθος διεθνών φορέων αναδεικνύει τον σημαντικό ρόλο που διαδραματίζει η εξορυκτική βιομηχανία στη διαμόρφωση πολιτικής, όπως επίσης στην γενικότερη βελτίωση της αποδοτικότητας των εξορυκτικών διαδικασιών, δημιουργώντας οφέλη τόσο για την ανταγωνιστικότητα του κλάδου, όσο και για το ίδιο το φυσικό περιβάλλον (Pavolova et al., 2022).

Ιδιαίτερη μνεία θα πρέπει να γίνει στην πρωτοβουλία που εφαρμόζει η Ευρωπαϊκή Ένωση για τις πρώτες ύλες, η οποία στηρίζεται στην Ευρωπαϊκή Σύμπραξη για την Καινοτομία στα Ορυκτά, όπως επίσης και στην Οδηγία 2006/21/EK που αφορά την διαχείριση των αποβλήτων της εξορυκτικής βιομηχανίας, καθώς και σε άλλα κείμενα πολιτικής. Στο πλαίσιο των πυλώνων αυτών δίνεται έμφαση στην πρόσβαση στις διεθνείς αγορές χωρίς στρεβλώσεις, όπως επίσης και στην πρόσβαση σε πρώτες ύλες εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης, καθώς και στη μείωση της κατανάλωσης των πρώτων υλών εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ειδικότερα, έμφαση δίνεται στην λεγόμενη «διπλωματία» πρώτων υλών, όπως επίσης και στην ανάπτυξη διεθνών συνεργασιών, αλλά και στην εις βάθος γνώση των υφιστάμενων ευρωπαϊκών προγραμμάτων. Επιπλέον, η Ε.Ε. επικεντρώνεται στην προώθηση της έρευνας και της καινοτομίας αναφορικά με την εξόρυξη και την επεξεργασία των πρώτων υλών, όπως και στην αποδοτικότητα των πόρων, σε συνδυασμό με τη χρήση ανανεώσιμων πρώτων υλών (IOBE, 2016).

Στο πλαίσιο της επιδίωξης έρευνας και ανάπτυξης της Ε.Ε., έχουν αναπτυχθεί οι ευρωπαϊκές συμπράξεις για την καινοτομία και μία από αυτές αφορά τον κλάδο των ορυκτών. Οι συμπράξεις αυτές αποσκοπούν στο να δημιουργήσουν σημαντικά αποτελέσματα στην ευρωπαϊκή έρευνα και ανάπτυξη, όπως επίσης και στο να δημιουργήσουν συνθήκες τόνωσης της ζήτησης, έτσι ώστε να υπάρξει επιτάχυνση της έρευνας και ανάπτυξης στα επιμέρους κράτη. Η σύμπραξη που αφορά τα ορυκτά δομείται σε ένα πλαίσιο, το οποίο και αποτελείται από τρεις επιμέρους πυλώνες, με τον πρώτο να είναι τεχνολογικός πυλώνας, τον δεύτερο να είναι μη τεχνολογικός, ενώ ο τρίτος πυλώνας είναι οι διεθνείς συνεργασίες. Ιδιαίτερη αναφορά θα πρέπει να γίνει και στους σχετικούς στόχους που αφορούν τις ευρωπαϊκές συμπράξεις για την καινοτομία, οι οποίοι αφορούν την υλοποίηση δέκα πιλοτικών δράσεων για την αξιοποίηση, εξόρυξη, καθώς και επεξεργασία και ανακύκλωση των πρώτων υλών, όπως επίσης και

την υποκατάσταση τουλάχιστον τριών χρήσεων κρίσιμων πρώτων υλών. Παράλληλα, επιδιώκεται η δημιουργία δυναμικών υποδειγμάτων με στόχο την βελτίωση των γνώσεων αναφορικά με τις πρωτογενείς και τις δευτερογενείς πρώτες ύλες, αλλά και η δημιουργία δικτύου έρευνας, εκπαίδευσης και κέντρων ικανοτήτων κατάρτισης (IOBE, 2016).

Όσον αφορά την Ελλάδα, οι συνολικές πωλήσεις της βιομηχανίας εξόρυξης κατά τη διάρκεια των ετών, σύμφωνα με τον IOBE (2018), βαίνουν μειούμενες. Να σημειωθεί ότι η υποχώρηση αυτή αφορά τόσο τον κλάδο της εξόρυξης, όσο και τους μεταποιητικούς κλάδους που συνδέονται μ' αυτή. Η μείωση αυτή, όπως και οι διάφορες μειώσεις που συμβαίνουν στον κλάδο αυτό συνδέονται σε μεγάλο βαθμό με τις μεταβολές της διεθνούς τιμής των εμπορευμάτων. Να σημειωθεί ότι κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, στην Ελλάδα μειώθηκαν σημαντικά οι πωλήσεις λιγνίτη, με το γεγονός αυτό να συνδέεται με την εθνική στρατηγική περιορισμού χρήσης του λιγνίτη, υπό το πρίσμα της κλιματικής κρίσης.

Σχετικά με την Ακαθάριστη Προστιθέμενη Αξία (ΑΠΑ) της εξορυκτικής βιομηχανίας στην Ελλάδα κατά τη διάρκεια της περιόδου 2007-2012 υπέστη σημαντική μείωση, γεγονός που σχετίζεται με την βαθιά οικονομική κρίση που κλήθηκε να αντιμετωπίσει η χώρα, ήδη από το 2009. Ακολουθώντας, την επόμενη τριετία υπήρξε μικρή ανάκαμψη, γεγονός που συνδέθηκε με την βελτίωση της οικονομικής κατάστασης της χώρας, κατά το έτος 2014, ενώ τα επόμενα χρόνια, 2015-2016, υπήρξε και πάλι υποχώρηση της ΑΠΑ, η οποία συνδέθηκε επίσης με το δυσμενές οικονομικό περιβάλλον, όπως επίσης και με την έντονη πολιτική αστάθεια που δημιουργήθηκε κατά το έτος 2015. Ενδιαφέρον έχει το γεγονός ότι σε σχέση με άλλες χώρες της Ε.Ε. ο εξορυκτικός κλάδος στην Ελλάδα βρίσκεται σε υψηλότερες θέσεις σε όρους προστιθέμενης αξίας, αλλά στο σύνολο της οικονομικής δραστηριότητας, η εξορυκτική βιομηχανία συμμετέχει σε μικρό βαθμό. Περαιτέρω, κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, έχουν πραγματοποιηθεί και σημαντικές επενδύσεις στον κλάδο της εξορυκτικής βιομηχανίας, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι η λειτουργία του κλάδου αυτού απαιτεί υψηλές επενδύσεις, έτσι ώστε να είναι σε θέση να λειτουργήσει με τρόπο αποτελεσματικό. Ιστορικά, οι επενδύσεις του εξορυκτικού κλάδου έχουν φθάσει ακόμη και το 10% του συνόλου των επενδύσεων του κλάδου της βιομηχανίας, ενώ κάποιες άλλες χρονιές, οι επενδύσεις αυτές κυμαίνονται σε χαμηλότερα επίπεδα. Σημαντικές

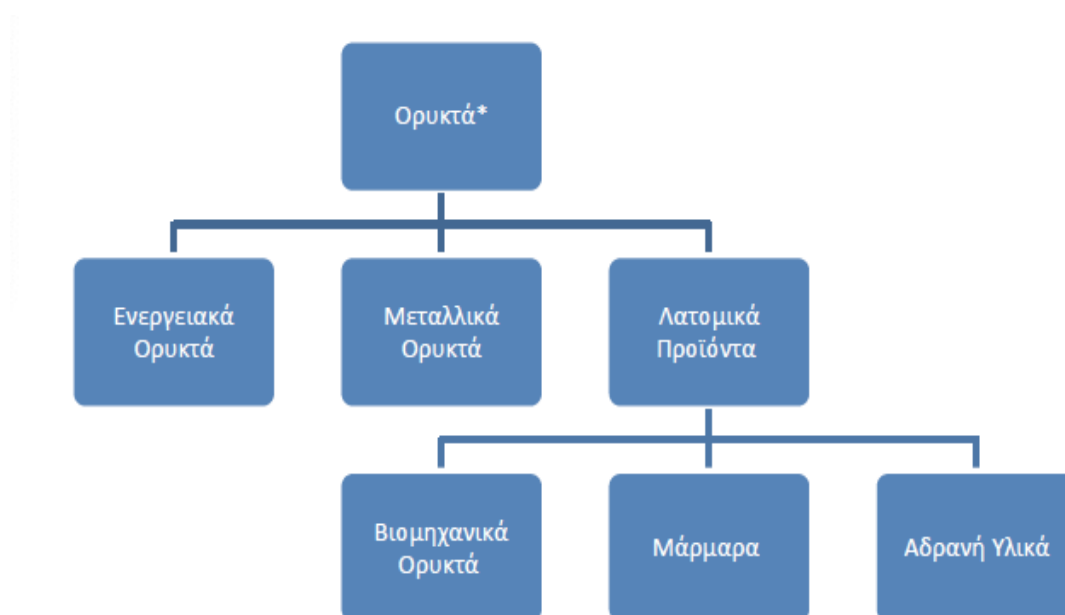
επιδόσεις στο σκέλος των επενδύσεων του τομέα της εξορυκτικής βιομηχανίας επιτυγχάνει η Ελλάδα, σε σχέση και με τον ευρωπαϊκό μέσο όρο (IOBE,2018).

3.3 Παραγωγική διαδικασία στην εξορυκτική βιομηχανία

Η εξορυκτική βιομηχανία περιλαμβάνει μια σειρά από δραστηριότητες, οι οποίες και συνδέονται με την εξόρυξη και την επεξεργασία ορυκτών, εκτός των υδρογονανθράκων, δηλαδή του πετρελαίου και του φυσικού αερίου. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα ορυκτά μπορούν να χωριστούν σε τρεις βασικές κατηγορίες, όπου πρόκειται για τα ενεργειακά, τα μεταλλικά, καθώς και τα λατομικά, ενώ τα λατομικά αποτελούνται και αυτά από επιμέρους κατηγορίες όπως είναι τα βιομηχανικά, τα μάρμαρα, καθώς και τα αδρανή (Salieiev, 2024).

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι κατηγορίες των ορυκτών σύμφωνα με τον μεταλλευτικό κώδικα.

Σχήμα 2: Κατηγορίες ορυκτών σύμφωνα με τον Μεταλλευτικό Κώδικα.



Στον τομέα της εξορυκτικής βιομηχανίας, σημαντικό είναι το γεγονός ότι υπάρχει έντονη καθετοποίηση εξορυκτικών και μεταποιητικών δραστηριοτήτων, με τις επιχειρήσεις που αναπτύσσουν δραστηριότητα στην εξόρυξη, αρκετές φορές να μπορούν να προχωρήσουν και στην μεταποίηση των προϊόντων που εξορύσσουν. Η καθετοποίηση των παραπάνω δραστηριοτήτων δημιουργεί σειρά ωφελειών, καθώς

αυξάνεται η προστιθέμενη αξία που παράγεται. Περαιτέρω, η χρήση εγχώριων πρώτων υλών, έχει ως αποτέλεσμα να υπάρξει αξιοποίηση της προστιθέμενης αξίας, η οποία και δημιουργείται κατά την εξόρυξη στην Ελλάδα και σε διαφορετική περίπτωση, δηλαδή αν χρησιμοποιούνταν εισαγόμενη πρώτη ύλη θα χανόταν. Δεν θα πρέπει να παραλείπεται άλλωστε και το γεγονός ότι η καθετοποίηση κάποιες φορές είναι αναγκαία, εξαιτίας του υψηλού μεταφορικού κόστους, το οποίο και μειώνει τις δυνατότητες για κερδοφόρες εξαγωγές ορυκτών πρώτων υλών (IOBE, 2016).

Η εξορυκτική βιομηχανία περιλαμβάνει την εξόρυξη λιγνίτη, όπου γίνεται εξόρυξη, πλύση, αφυδάτωση, κονιοποίηση, καθώς και συμπίεση του λιγνίτη, όπως επίσης και την εξόρυξη μη σιδηρούχων μεταλλευμάτων, όπου στον κλάδο αυτό εντάσσονται η εξόρυξη λευκόλιθου, η εξόρυξη βωξίτη, λατερίνη (νικελίου), μικτών θειούχων, όπως επίσης και άλλων μη σιδηρούχων μεταλλευμάτων. Περαιτέρω, ο κλάδος περιλαμβάνει την εξόρυξη λίθων, άμμου και αργίλου, όπου λαμβάνει χώρα εξόρυξη ασβεστόλιθου, γύψου, κιμωλίας, δολομίτη, καθώς και άμμου και αργίλου, ενώ η λειτουργία των ορυχείων και των λατομείων συνδέεται με την εξόρυξη ορυκτών, τα οποία βρίσκουν χρήση στη χημική βιομηχανία, καθώς και στη βιομηχανία λιπασμάτων, όπως επίσης και στην εξόρυξη τύρφης, μπετονίτη, αλλά και περλίτη. Επιπλέον, υπάρχει η παραγωγή αλουμινίου, όπου γίνεται παραγωγή αλουμινίου από αλουμίνα, όπως επίσης και παραγωγή κραμάτων αλουμινίου, καθώς και ημικατεργασία αλουμινίου που προέρχεται από εγχώριες ορυκτές πρώτες ύλες. Όσον αφορά την παραγωγή άλλων μη σιδηρούχων μετάλλων, πρόκειται για την παραγωγή και ημικατεργασία νικελίου, την παραγωγή κραμάτων και συσσωμάτων νικελίου από εγχώριες ορυκτές πρώτες ύλες. Τέλος, η παραγωγή τσιμέντου περιλαμβάνει την παραγωγή κλίνκερ που προέρχεται από εγχώριες ορυκτές πρώτες ύλες (IOBE, 2016).

3.4 Μεταλλευτικός κλάδος και βιώσιμη ανάπτυξη

Αρχικά, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η βιώσιμη ανάπτυξη συνδέεται με μια δραστηριότητα η οποία μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη μιας κοινότητας, είτε μιας περιοχής, ακόμη και αν αυτή η δραστηριότητα έχει περιορισμένη διάρκεια ζωής. Προϋπόθεση αποτελεί η δημιουργία νέων δραστηριοτήτων, οι οποίες και μπορούν να οδηγήσουν στην προώθηση της ανάπτυξης, χωρίς όμως να δημιουργούν επιπτώσεις στα οικοσυστήματα. Σε κάθε περίπτωση, υπό το πρίσμα της βιώσιμης ανάπτυξης, θα

πρέπει οι παρούσες γενιές να καλύπτουν τις ανάγκες τους, χωρίς όμως να θέτουν σε κίνδυνο και αμφισβήτηση τη δυνατότητα των μελλοντικών γενιών να καλύπτουν τις δικές τους ανάγκες (Mvile & Bishoge, 2024).

Υπό το πρίσμα της βιώσιμης ανάπτυξης, στον κλάδο των ορυκτών πόρων, έμφαση δίνεται στην οικονομική υπευθυνότητα, η οποία αφορά τους μετόχους, τους εργοδότες, όπως επίσης και τους εργαζόμενους, τις τοπικές κοινωνίες και την κοινωνία ευρύτερα. Σε επίπεδο περιβαλλοντικής υπευθυνότητας, η κοινωνία δίνει περισσότερη έμφαση στα αποτελέσματα της μεταλλευτικής δραστηριότητας και λιγότερη έμφαση στα ίδια τα προϊόντα της. Ακόμη, έμφαση δίνεται στην συνετή και αποτελεσματική χρήση των φυσικών πόρων (Endl et al., 2021).

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, σε αντίθεση με άλλες δραστηριότητες, οι εξορυκτικές βιομηχανίες δεν μπορούν να εγκατασταθούν οπουδήποτε, καθώς απαιτείται να υπάρχει ο κατάλληλος φυσικός μεταλλευτικός πλούτος. Τα πλεονεκτήματα αυτά που διαθέτει η κάθε περιοχή μπορούν να μετατραπούν σε κέρδη προς όφελος του κοινωνικού συνόλου, εφόσον υπάρχουν οργανωμένα σχέδια αξιοποίησης, τα οποία και υλοποιούνται με τρόπο ασφαλή προς το περιβάλλον, καθώς και με τρόπο υπεύθυνο, στηριζόμενα στη σύγχρονη επιστημονική τεχνολογία (Fraser, 2021).

Προκειμένου η μεταλλευτική δραστηριότητα να μπορεί να προάγει τη βιωσιμότητα, θα πρέπει να διασφαλίζεται ότι η υγεία, η ασφάλεια, καθώς και η περιβαλλοντική προστασία, συνεκτιμώντας τους επιχειρησιακούς σχεδιασμούς. Παράλληλα, θα πρέπει να προσδιορίζονται και εν συνεχεία να προάγονται οι οικονομικές, καθώς και οι κοινωνικές δραστηριότητες βιώσιμης ανάπτυξης στις τοπικές κοινωνίες όπου λαμβάνει χώρα η μεταλλευτική δραστηριότητα. Ταυτόχρονα, επιδιώκεται στο πλαίσιο της βιώσιμης ανάπτυξης να υπάρξει μεγιστοποίηση των ωφελειών που αφορούν την ανάπτυξη, περιορίζοντας τις συνέπειες που αφορούν την μεταλλευτική δραστηριότητα, τόσο σε οικονομικό, όσο και σε περιβαλλοντικό, αλλά και σε κοινωνικό επίπεδο (Sardjono et al., 2023).

Κεφάλαιο 4: Συνέπειες 4^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης στον μεταλλευτικό κλάδο

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζονται οι συνέπειες της 4^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης στον μεταλλευτικό κλάδο. Ιδιαίτερη μνεία γίνεται στις καινοτομίες και στις πρακτικές που έχουν εισαχθεί στο πλαίσιο της 4^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης στον μεταλλευτικό κλάδο, όπως επίσης και στις διεθνείς τάσεις και στις αντίστοιχες καλές πρακτικές. Ακόμη, παρουσιάζονται αναλυτικά οι οικονομικές συνέπειες, οι περιβαλλοντικές, καθώς επίσης και οι κοινωνικές συνέπειες που δημιουργούνται στον μεταλλευτικό κλάδο.

4.1 Καινοτομίες και πρακτικές που εισήγαγε η 4^η Βιομηχανική Επανάσταση στον μεταλλευτικό κλάδο

Όπως διαπιστώθηκε και παραπάνω, η 4^η βιομηχανική επανάσταση έχει δημιουργήσει σημαντικά μεγάλο αντίκτυπο στους περισσότερους τομείς της παγκόσμιας οικονομίας, ενώ κάτι αντίστοιχο συμβαίνει και στον μεταλλευτικό κλάδο. Παραδοσιακά, η μεταλλευτική βιομηχανία έχει υψηλές απαιτήσεις σε ανθρώπινο δυναμικό και απαιτεί σωματική εργασία. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια, καθώς η τεχνολογία διαρκώς εξελίσσεται και ο κλάδος αυτός καταφέρει να καταστεί περισσότερο αποδοτικός, βιώσιμος, αλλά και καινοτόμος. Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζονται ορισμένες βασικές τεχνολογίες που έχουν ξεκινήσει να εφαρμόζονται στον μεταλλευτικό κλάδο, κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών (Brodny, 2018).

Σχήμα 3: Βασικές τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στον μεταλλευτικό κλάδο



Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά οι παραπάνω τεχνολογίες, οι οποίες διακρίνονται για καινοτόμα χαρακτηριστικά τους και μπορούν να συμβάλλουν στην αύξηση της παραγωγικότητας, όπως επίσης και στη μείωση του κόστους, αλλά και στην βελτίωση των περιβαλλοντικών επιδόσεων. Επίσης, σημαντικός είναι ο ρόλος των τεχνολογιών αυτών στην ενίσχυση της ασφάλειας των εργαζομένων, στοχεύοντας σε μηδενικά ατυχήματα, καθώς και στην παροχή προς τους εργαζομένους των βέλτιστων συνθηκών εργασίας.

Ρομποτική

Η ρομποτική πλέον συνιστά θεμελιώδη παράγοντα ανάπτυξης του μεταλλευτικού κλάδου, με την αυτοματοποίηση να αποτελεί κυρίαρχη τάση στο πλαίσιο της 4^{ης} βιομηχανικής επανάστασης. Πλέον, αναπτύσσονται ρομπότ εξόρυξης, τα οποία και λειτουργούν σε ιδιαίτερα δύσκολες και συνάμα επικίνδυνες συνθήκες, αυξάνοντας την συνολική αποτελεσματικότητα των εργασιών και προστατεύοντας ταυτόχρονα την ασφάλεια του ανθρώπινου δυναμικού. Εξίσου σημαντικό θεωρείται και το γεγονός ότι μέσω της χρήσης των ρομπότ εξόρυξης, περιορίζονται τα λάθη εξαιτίας του ανθρώπινου παράγοντα, ενώ συνάμα γίνονται περισσότερο ακριβείς και γρήγορες οι αναλύσεις του εδάφους και των πρώτων υλών, συμβάλλοντας έτσι στον εντοπισμό των πλούσιων κοιτασμάτων και περιορίζοντας την σπατάλη των πόρων (Marshall et al., 2016).



Εικόνα 2: Ρομπότ εξόρυξης στον μεταλλευτικό κλάδο

Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT)

Η έννοια του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) αναφέρεται στην επικοινωνία μεταξύ διαφορετικών συσκευών μέσω του Διαδικτύου. Στον μεταλλευτικό τομέα, το IoT επιτρέπει την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο των ορυχείων και των βιομηχανικών συστημάτων, παρέχοντας δεδομένα για την κατάσταση των μηχανημάτων, την ασφάλεια του εργατικού δυναμικού και τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Επιπρόσθετα, οι έξυπνοι αισθητήρες τοποθετούνται σε μηχανήματα, στοές και εργαζόμενους για να καταγράφουν συνεχώς δεδομένα, όπως είναι για παράδειγμα η θερμοκρασία, η πίεση, η υγρασία και η συγκέντρωση αερίων. Εν συνεχεία, οι πληροφορίες αυτές διαβιβάζονται σε κεντρικές βάσεις δεδομένων, όπου αναλύονται σε πραγματικό χρόνο για να εντοπιστούν πιθανά προβλήματα ή ανωμαλίες. Συνεπώς, με τον τρόπο αυτό, μπορεί να υπάρχει πρόβλεψη των βλαβών, όπως επίσης και προγραμματισμός της συντήρησης των μηχανημάτων, περιορίζοντας τον χρόνο αδράνειας, όπως επίσης και το κόστος επισκευών. Η δυνατότητα προληπτικής συντήρησης μειώνει τα έξοδα και αυξάνει την αποδοτικότητα των διαδικασιών εξόρυξης, ενώ ταυτόχρονα βελτιώνει την ασφάλεια, καθώς εντοπίζονται επικίνδυνες καταστάσεις πριν εξελιχθούν σε ατυχήματα ή ακόμη και σε δυστυχήματα (Molaei et al., 2020).

Ανάλυση μεγάλων δεδομένων

Η ανάλυση μεγάλων δεδομένων (Big Data Analytics) βρίσκει εφαρμογές στον κλάδο της μεταλλευτικής βιομηχανίας, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι επιτρέπει τη συλλογή και ανάλυση τεράστιων ποσοτήτων δεδομένων, τα οποία και παράγονται κατά τη διάρκεια των εργασιών εξόρυξης. Η επεξεργασία αυτών των δεδομένων προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες που μπορούν να βελτιώσουν την αποδοτικότητα, να μειώσουν το κόστος και να βελτιώσουν την ποιότητα των προϊόντων. Η ανάλυση των δεδομένων μπορεί να βοηθήσει στην βελτιστοποίηση της παραγωγής, καθώς οι εταιρείες εξόρυξης μπορούν να παρακολουθούν τη ροή των υλικών, να εντοπίζουν πηγές σπατάλης και να προσαρμόζουν τις διαδικασίες για καλύτερη δυνατή απόδοση. Η πρόβλεψη της ζήτησης για πρώτες ύλες και τα στενά διαχειριστικά περιθώρια της βιομηχανίας καθιστούν την ανάλυση δεδομένων σημαντική για τη λήψη αποφάσεων και τη μείωση των αποθεμάτων. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι η χρήση της τεχνητής νοημοσύνης σε

συνδυασμό με την ανάλυση δεδομένων επιτρέπει την συνεχιζόμενη μάθηση, καθώς και τη συνεχή βελτίωση των διαδικασιών εξόρυξης. Με τον τρόπο αυτό, οι εταιρείες εξόρυξης μπορούν να προβλέψουν τα μοντέλα για την καλύτερη διαχείριση των φυσικών πόρων και την αποδοτικότερη εκμετάλλευση των κοιτασμάτων (Qi, 2020).

Τρισδιάστατη εκτύπωση (3D printing)

Μια ακόμη καινοτομία που βρίσκει εφαρμογές στον μεταλλευτική κλάδο, υπό το πρίσμα της 4^{ης} βιομηχανικής επανάστασης είναι η τρισδιάστατη εκτύπωση. Μέσω αυτής, οι μεταλλευτικές εταιρείες έχουν τη δυνατότητα να δημιουργήσουν ανταλλακτικά και εξαρτήματα μηχανημάτων, σε πραγματικό χρόνο, χωρίς να υπάρχει ανάγκη αποστολής των ανταλλακτικών αυτών σε χώρες του εξωτερικού. Η καινοτομία αυτή περιορίζει το κόστος αποθήκευσης και μεταφοράς ανταλλακτικών, περιορίζοντας συνάμα τον χρόνο αδράνειας κατά τη διάρκεια των επισκευών. Η προσαρμογή των εξαρτημάτων στις ακριβείς ανάγκες του εκάστοτε μεταλλευτικού έργου, συμβάλλει στην αύξηση της παραγωγικότητας, όπως επίσης και στις μειώσεις των καθυστερήσεων, αλλά και στην μείωση του κόστους το οποίο συνδέεται με τις παραγγελίες και τις μεταφορές (Bishwal, 2019).

Εξόρυξη με drone

Μια ακόμη σημαντική καινοτομία που αναπτύχθηκε κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών είναι η χρήση drones για την εξόρυξη και τη χαρτογράφηση των μεταλλευτικών περιοχών. Πλέον, τα drones χρησιμοποιούνται για εναέριες καταγραφές, καθώς επίσης και για ψηφιακή χαρτογράφηση των ορυχείων, παρέχοντας σε πραγματικό χρόνο δεδομένα που αφορούν την κατάσταση των εκτάσεων, καθώς επίσης και τις επικρατούσες συνθήκες του εδάφους. Επιπλέον, τα drones βοηθούν στην παρακολούθηση της ρύπανσης, αλλά και στην ανίχνευση των μεταλλευτικών κοιτασμάτων, καθώς και στη συλλογή δεδομένων για την εκτίμηση των πόρων. Ταυτόχρονα, περιορίζεται η ανάγκη για ανθρώπινη παρουσία σε επικίνδυνες περιοχές, γεγονός που αυξάνει την ασφάλεια και περιορίζει τα ανθρώπινα λάθη. Παράλληλα, οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να λαμβάνουν διαρκώς εικόνα της κατάστασης του εδάφους και μάλιστα χωρίς να είναι παρόντες (Shahmoradi et al., 2020).

4.2 Διεθνείς τάσεις-καλές πρακτικές

Αναμφίβολα, ο ψηφιακός μετασχηματισμός στον μεταλλευτικό τομέα έχει δημιουργεί σημαντικές αλλαγές στον τρόπο με τον οποίο λειτουργούν οι εταιρείες, ενσωματώνοντας νέες τεχνολογίες για την αύξηση της αποδοτικότητας, της ασφάλειας και της βιωσιμότητας. Στη συνέχεια παρουσιάζονται ορισμένες εταιρείες του κλάδου, οι οποίες και εφαρμόζουν καλές πρακτικές ψηφιακού μετασχηματισμού.

1^η περίπτωση-Rio Tinto

Η Rio Tinto είναι μία από τις μεγαλύτερες εταιρείες εξόρυξης στον κόσμο, έχοντας σημαντική παρουσία στον χρυσό, το σίδηρο, καθώς και σε άλλα μέταλλα. Όλο και περισσότερο η εταιρεία προβαίνει στην εφαρμογή λύσεων ψηφιακών τεχνολογιών, προκειμένου να αυξηθεί η αποδοτικότητα, καθώς και η ενίσχυση της βιωσιμότητας των επιμέρους δραστηριοτήτων που επιτελεί. Από τις πλέον σημαντικές πρωτοβουλίες της εταιρείας αυτής είναι η χρήση της τεχνολογίας autonomous haul trucks, όπου πρόκειται για αυτόνομα φορτωτικά οχήματα. Τα οχήματα αυτά είναι εξοπλισμένα με τεχνητή νοημοσύνη και συστήματα GPS, επιτρέποντας την αυτόματη μεταφορά υλικών στις μεταλλευτικές περιοχές, περιορίζοντας το ανθρώπινο λάθος και βελτιώνοντας αποτελεσματική την ασφάλεια για το σύνολο των εμπλεκομένων. Ουσιαστικά, με τον τρόπο αυτό, η εταιρεία έχει καταφέρει να περιορίσει το λειτουργικό της κόστος, ενώ την ίδια στιγμή καταφέρνει να αυξήσει την παραγωγικότητα των μεταλλείων της (Rio Tinto, 2022).

Ακόμη η εταιρεία εφαρμόζει τη χρήση ψηφιακών μοντέλων, έτσι ώστε να μπορεί να παρακολουθείται η λειτουργία των εξοπλισμών, αλλά και να γίνεται πρόβλεψη των βλαβών μέσω ανάλυσης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Οι εν λόγω καινοτομίες συμβάλλουν στην καλύτερη διαχείριση της παραγωγής, όπως επίσης και στον περιορισμό των μη προγραμματισμένων διακοπών της παραγωγής. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι το γεγονός ότι μέσω των τεχνολογιών αυτών, η Rio Tinto μπορεί να οδηγήσει στην βελτίωση της αποδοτικότητας, καθώς επίσης και στην μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, γεγονός που συνάδει και με τους στόχους βιωσιμότητα της εταιρείας (Rio Tinto, 2022).

2η περίπτωση-Anglo American

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι η εταιρεία AngloAmerican είναι μια προηγμένη εταιρεία στον τομέα της ψηφιοποίησης και της αυτοματοποίησης στον μεταλλευτικό κλάδο. Η εταιρεία εφαρμόζει το πρόγραμμα «Future Smart Mining», το οποίο επικεντρώνεται στην ενσωμάτωση τεχνολογιών για τη βελτίωση της παραγωγικότητας, της ασφάλειας και της περιβαλλοντικής απόδοσης. Περαιτέρω, μία από τις καινοτόμες εφαρμογές της εταιρείας είναι η χρήση του συστήματος “Mine of the Future”, το οποίο και συνδυάζει τα δεδομένα εξόρυξης, τους αισθητήρες, όπως επίσης και δίκτυα τεχνητής νοημοσύνης, προκειμένου να παρακολουθεί τις λειτουργίες των μεταλλείων σε πραγματικό χρόνο. Το σύστημα αυτό επιτρέπει τη βελτιστοποίηση της ροής υλικών και την πιο ακριβή πρόβλεψη της ζήτησης και της προσφοράς των προϊόντων. Η εταιρεία χρησιμοποιεί επίσης εξοπλισμό «smart drilling» για την ακριβέστερη γεώτρηση των ορυχείων, περιορίζοντας έτσι το κόστος, αλλά και την κατανάλωση ενέργειας (AngloAmerican, 2025).

Επιπλέον, άλλες καινοτομίες της εταιρείας αυτής στο πλαίσιο της 4^{ης} βιομηχανικής επανάστασης είναι η χρήση ρομπότ και αυτόνομων οχημάτων, τα οποία και χρησιμοποιούνται για την επιτέλεση επικίνδυνων εργασιών, βελτιώνοντας την ασφάλεια των εργαζομένων. Ταυτόχρονα, η εταιρεία ενσωματώνει τεχνολογίες που συμβάλλουν στην μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, αλλά και στην μείωση της κατανάλωσης νερού. Μέσω των παραπάνω πρακτικών, η AngloAmerican έχει καταφέρει να βελτιώσει την λειτουργική της απόδοση, καθώς επίσης και να εξασφαλίζει την ανταγωνιστικότητά της στην παγκόσμια μεταλλευτική αγορά (AngloAmerican, 2025).

3η περίπτωση-BHP

Η BHP είναι μία από τις μεγαλύτερες εταιρείες εξόρυξης στον κόσμο, έχοντας παρουσία σε διάφορους τομείς, όπως είναι ο σίδηρος, ο χαλκός, καθώς επίσης και ο άνθρακας. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι η BHP έχει επενδύσει εκτεταμένα στην εφαρμογή ψηφιακών τεχνολογιών, επιδιώκοντας να βελτιώσει την αποδοτικότητα των δραστηριοτήτων της και να μειώσει τον περιβαλλοντικό της αντίκτυπο. Ένα από τα πιο καινοτόμα έργα της είναι η χρήση της τεχνολογίας «blockchain» για την

παρακολούθηση και την παραλαβή των εξορυκτικών προϊόντων σε πραγματικό χρόνο (Supply Chain Digital, 2021).

Επιπροσθέτως, η BHP εφαρμόζει ακόμη την τεχνολογία «autonomous haul trucks» (αυτόματα φορτωτικά οχήματα), η οποία ενσωματώνει συστήματα GPS και τεχνητή νοημοσύνη, προκειμένου να υπάρξει βελτίωση της αποτελεσματικότητας και της ασφάλειας στις εξορυκτικές διαδικασίες. Ουσιαστικά, τα οχήματα αυτά είναι πλήρως αυτοματοποιημένα και μπορούν να λειτουργούν χωρίς να απαιτείται ανθρώπινη παρέμβαση, περιορίζοντας τους κινδύνους και αυξάνοντας συνάμα την παραγωγικότητα για την εταιρεία. Μία ακόμη σημαντική εφαρμογή της ψηφιοποίησης στην BHP είναι η χρήση της τεχνολογίας Internet of Things (IoT) για τη συλλογή δεδομένων από τα μηχανήματα και τα συστήματα της εταιρείας. Μέσω της χρήσης αισθητήρων, η BHP παρακολουθεί τη λειτουργία του εξοπλισμού και μπορεί να προβλέψει πότε θα χρειαστεί συντήρηση, μειώνοντας έτσι τον χρόνο εκτός λειτουργίας και εξασφαλίζοντας την καλύτερη απόδοση των επενδύσεων της (BHP, 2025).

4η περίπτωση-Vale

Η Vale είναι μία από τις μεγαλύτερες εξορυκτικές εταιρείες στον κόσμο και είναι ευρέως γνωστή για την εξόρυξη σιδηρομεταλλεύματος, νικελίου, καθώς και άλλων μεταλλευμάτων. Η εταιρεία έχει εφαρμόσει πλήθος καινοτόμων τεχνολογιών για να βελτιώσει τη διαχείριση των εξορυκτικών της διαδικασιών και να επιτύχει τους στόχους της, δίνοντας έμφαση τόσο στην βιωσιμότητα, όσο και στην ασφάλεια. Μια από τις πιο σημαντικές καινοτομίες που εφαρμόζει η υπό μελέτη εταιρεία είναι η χρήση της τεχνολογίας “mine automation”, η οποία περιλαμβάνει αυτόνομα οχήματα, ρομπότ, όπως επίσης και επιμέρους συστήματα τεχνητής νοημοσύνης (Vale, 2025).

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η εταιρεία αυτή επικεντρώνεται στην εφαρμογή αυτόνομων φορητών και μηχανημάτων γεώτρησης, τα οποία έχουν εξοπλιστεί με τους κατάλληλους αισθητήρες, όπως επίσης και συστήματα αναγνώρισης εικόνας, δίνοντας τη δυνατότητα ασφαλούς και αποδοτικής λειτουργίας των μεταλλείων, χωρίς να υπάρχει άμεση ανάγκη σε ανθρώπινο δυναμικό. Η εταιρεία χρησιμοποιεί επίσης ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο για να παρακολουθεί τις συνθήκες των ορυχείων και να προβλέπει πιθανά προβλήματα, όπως για παράδειγμα είναι η ανάγκη

για συντήρηση, είτε η πιθανότητα ατυχήματος. Μία άλλη σημαντική εφαρμογή της Vale είναι η χρήση της τεχνολογίας «Big Data» για τη διαχείριση των διαδικασιών εξόρυξης και τη βελτίωση της απόδοσης. Η συλλογή και ανάλυση μεγάλου όγκου δεδομένων επιτρέπει στην εταιρεία να εντοπίζει πρότυπα και τάσεις στην παραγωγή, βελτιώνοντας έτσι την αποτελεσματικότητα και τη βιωσιμότητα των εξορυκτικών της δραστηριοτήτων. Τέλος, να σημειωθεί ότι η Vale έχει προβεί στην πραγματοποίηση επενδύσεων στον τομέα της ανανεώσιμης ενέργειας, ενώ εστιάζει και σε βιώσιμες πρακτικές, έτσι ώστε να περιοριστούν οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και η κατανάλωση ενέργειας στις δραστηριότητές της (Vale, 2025).

4.3 Περιβαλλοντικές συνέπειες

Ο ψηφιακός μετασχηματισμός του μεταλλευτικού τομέα έχει σημαντικές περιβαλλοντικές συνέπειες που μπορούν να συμβάλλουν στην αποδοτικότερη διαχείριση των φυσικών πόρων, στη μείωση των επιπτώσεων στο περιβάλλον και γενικότερα στη βελτίωση της βιωσιμότητας των εξορυκτικών δραστηριοτήτων. Η ενσωμάτωση σύγχρονων τεχνολογιών, όπως η τεχνητή νοημοσύνη, η ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, η αυτοματοποίηση και το Internet of Things (IoT), μπορεί να βοηθήσει τις μεταλλευτικές εταιρείες να μειώσουν την περιβαλλοντική τους επιβάρυνση, ενώ ταυτόχρονα να αυξήσουν την αποδοτικότητα και τη βιωσιμότητα των εργασιών τους (Ulewicz et al., 2022).

Πιο αναλυτικά, η 4^η βιομηχανική επανάσταση, μέσω των παραπάνω τεχνολογιών μπορεί να συμβάλει στην μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, καθώς και στον περιορισμό της κατανάλωσης ενέργειας στον μεταλλευτικό τομέα. Η χρήση τεχνολογιών που βελτιστοποιούν τη διαδικασία εξόρυξης, όπως είναι τα αυτόνομα οχήματα συμβάλλουν στον μετριασμό της κατανάλωσης καυσίμων και ενέργειας. Τα αυτόνομα αυτά φορτηγά και γεωτρητικά μηχανήματα μπορούν να επιτυγχάνουν μεγαλύτερη αποδοτικότητα, περιορίζοντας την ανάγκη για εξωτερικούς πόρους και κατανάλωση καυσίμων. Ακόμη, μέσω της παρακολούθησης των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, οι εταιρείες έχουν τη δυνατότητα να βελτιώσουν τη διαχείριση των πόρων τους και να μειώσουν τη σπατάλη ενέργειας, εφαρμόζοντας σχετικές στρατηγικές. Ο ψηφιακός μετασχηματισμός επίσης προάγει τη χρήση

ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στις δραστηριότητες εξόρυξης, κάτι που συμβάλλει στην περαιτέρω μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος (Nouri et al., 2022).

Αναμφίβολα, η κατανάλωση νερού στον μεταλλευτικό τομέα είναι υψηλή, καθώς το νερό χρησιμοποιείται σε πλήθος διαδικασιών εξόρυξης, όπου συμπεριλαμβάνονται οι διαδικασίες πλύσης και επεξεργασίας ορυκτών. Ο ψηφιακός μετασχηματισμός προσφέρει τεχνολογίες για την καλύτερη διαχείριση και εξοικονόμηση νερού. Η παρακολούθηση των συστημάτων διαχείρισης νερού σε πραγματικό χρόνο μέσω αισθητήρων και η ανάλυση των δεδομένων που προκύπτουν, μπορούν να συμβάλλουν στο να εντοπίσουν οι εταιρείες περιοχές όπου η κατανάλωση νερού δύναται να μειωθεί, είτε μπορούν να εντοπίσουν διαρροές, εφαρμόζοντας περισσότερο αποδοτικές μεθόδους επανάχρησης του νερού. Η τεχνολογία IoT (Internet of Things) επιτρέπει την ανίχνευση υπερβολικής κατανάλωσης νερού ή προβλημάτων στις δεξαμενές αποθήκευσης, επιτρέποντας στις εταιρείες να αναλαμβάνουν δράση άμεσα και να μειώνουν την περιβαλλοντική τους επιβάρυνση. Αυτές οι βελτιώσεις βοηθούν τις μεταλλευτικές εταιρείες να συμμορφώνονται με τις περιβαλλοντικές κανονιστικές απαιτήσεις και να μειώνουν τις αρνητικές τους επιπτώσεις στον υδάτινο κύκλο (Jiskani et al., 2023).

Η εξόρυξη φυσικών πόρων, στο πλαίσιο των δραστηριοτήτων του μεταλλευτικού κλάδου, έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργούνται απόβλητα μεγάλου όγκου, όπως είναι για παράδειγμα τα απόβλητα μεταλλείων, η σκόνη, καθώς επίσης και οι απόβλητες λάσπες. Ο ψηφιακός μετασχηματισμός επιτρέπει τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας εξόρυξης, μειώνοντας τον όγκο των αποβλήτων που παράγονται. Με την εφαρμογή συστημάτων ανάλυσης δεδομένων, οι εταιρείες μπορούν να παρακολουθούν τις διαδικασίες παραγωγής και να εντοπίζουν περιοχές όπου η εξόρυξη μπορεί να είναι πιο αποδοτική, μειώνοντας την ανάγκη για εξόρυξη μεγαλύτερων ποσοτήτων ορυκτών και κατά συνέπεια τη δημιουργία αποβλήτων. Επιπλέον, η χρήση τεχνολογιών ανακύκλωσης και η επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων μπορεί επίσης να μειώσει την ανάγκη για την απόρριψη επικίνδυνων ή τοξικών υλικών στο περιβάλλον. Ορισμένες εταιρείες ήδη χρησιμοποιούν ψηφιακά εργαλεία για να παρακολουθούν και να διαχειρίζονται καλύτερα τα απόβλητα, ελαχιστοποιώντας τις περιβαλλοντικές συνέπειες από την απόρριψη αυτών των υλικών (Nouri et al., 2022).

Προκειμένου να εξασφαλιστεί η βιωσιμότητα είναι αναγκαίο να παρακολουθούνται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που δημιουργούνται εξαιτίας των μεταλλευτικών δραστηριοτήτων. Ο ψηφιακός μετασχηματισμός παρέχει τις δυνατότητες για συνεχή παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο των περιβαλλοντικών δεδομένων, όπως είναι για παράδειγμα η ποιότητα του αέρα και του νερού, όπως επίσης και η ποιότητα του εδάφους, χρησιμοποιώντας τους κατάλληλους αισθητήρες, αλλά και τα συστήματα δεδομένων. Η ακριβής καταγραφή και ανάλυση αυτών των δεδομένων επιτρέπει στις εταιρείες να αντιδρούν με μεγάλη ταχύτητα, σε περίπτωση που υπάρχουν αρνητικές επιπτώσεις, λαμβάνοντας τα κατάλληλα μέτρα τα οποία και περιορίζουν της ζημιές στο περιβάλλον (Jiskani et al., 2023).

Ιδιαίτερα σημαντικό είναι το γεγονός ότι η χρήση τεχνολογιών Big Data στις μεταλλευτικές εταιρείες μπορούν να προβλέψουν με μεγάλη ακρίβεια τις πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, προσαρμόζοντας τις διαδικασίες, μειώνοντας με τον τρόπο αυτό το περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Οι εταιρείες μπορούν να εκμεταλλευτούν τα δεδομένα για να εντοπίσουν περιοχές που απαιτούν προστασία και να εφαρμόσουν στρατηγικές για την αποκατάσταση της φυσικής τους κατάστασης μετά την εξόρυξη. Η ολοένα αυξανόμενη αυστηρότητα των περιβαλλοντικών κανονισμών απαιτεί από τις μεταλλευτικές εταιρείες να αναπτύξουν στρατηγικές για να μειώσουν την περιβαλλοντική τους επιβάρυνση. Οι ψηφιακές τεχνολογίες βοηθούν στην εύκολη και ακριβή παρακολούθηση της συμμόρφωσης με τους κανονισμούς, διευκολύνοντας την αναφορά και τη συμμόρφωση με τις τοπικές και διεθνείς περιβαλλοντικές απαιτήσεις (Vnukova et al., 2024).

4.4 Κοινωνικές συνέπειες

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο ψηφιακός μετασχηματισμός του μεταλλευτικού τομέα δημιουργεί σημαντικές κοινωνικές συνέπειες, οι οποίες επηρεάζουν τις τοπικές κοινότητες, την εργασία, την εκπαίδευση, καθώς και την ποιότητα ζωής. Η ψηφιοποίηση μπορεί να οδηγήσει σε θετικές αλλαγές για τις κοινότητες, αλλά και σε προκλήσεις που απαιτούν στρατηγική διαχείριση.

Ειδικότερα, ο ψηφιακός μετασχηματισμός του μεταλλευτικού τομέα δημιουργεί σημαντικές συνέπειες στην αγορά εργασίας του μεταλλευτικού τομέα. Η

αυτοματοποίηση των διαδικασιών, η χρήση ρομπότ και αυτόνομων οχημάτων περιορίζει την ανάγκη για παραδοσιακές θέσεις εργασίας, όπως για παράδειγμα είναι οι οδηγοί των φορητών. Ουσιαστικά, μπορεί να δημιουργηθούν απώλειες θέσεων εργασίας για εργαζόμενους που δεν διαθέτουν ειδικευμένες δεξιότητες, είτε για εργαζόμενους όπου δραστηριοποιούνται σε παραδοσιακές μεθόδους εξόρυξης (Semenovich et al., 2021).

Από την άλλη, η ψηφιοποίηση δημιουργεί νέες θέσεις εργασίας στον τομέα των τεχνολογιών, όπως είναι οι εξειδικευμένοι εργαζόμενοι πάνω στη διαχείριση δεδομένων, οι εργαζόμενοι στον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης, στην ανάλυση δεδομένων, καθώς και αυτοί που διαχειρίζονται λογισμικά. Οι εταιρείες απαιτούν επίσης προσωπικό για να υποστηρίξουν τις νέες τεχνολογίες και να διαχειριστούν την καθημερινή λειτουργία των αυτόνομων συστημάτων. Συνεπώς, οι εργαζόμενοι απαιτείται να αποκτήσουν νέες δεξιότητες, καθώς και να προσαρμοστούν κατάλληλα στις απαιτήσεις των ψηφιακών τεχνολογιών. Συνεπώς, δημιουργούνται συνθήκες για κοινωνικές αλλαγές, ενώ δημιουργούνται και πιέσεις στην εκπαίδευση και κατάρτιση. Η ανάγκη για συνεχιζόμενη εκπαίδευση και επανακατάρτιση γίνεται πιο επιτακτική, ενώ οι κοινότητες που βασίζονται σε παραδοσιακές βιομηχανίες εξόρυξης ενδέχεται να αντιμετωπίσουν προκλήσεις στην προσαρμογή τους στις νέες πραγματικότητες της αγοράς εργασίας (Bai et al., 2022).

Παράλληλα, ο ψηφιακός μετασχηματισμός, υπό το πρίσμα της 4^{ης} βιομηχανικής επανάστασης, μπορεί να επιδράσει θετικά στην ασφάλεια και υγεία των εργαζομένων στον τομέα της εξόρυξης. Η χρήση αισθητήρων, συστημάτων παρακολούθησης και αυτοματοποιημένων συστημάτων για τη διαχείριση κινδύνων μετριάξει τις πιθανότητες ατυχημάτων, λαμβάνοντας υπόψη ότι οι εργαζόμενοι δεν χρειάζεται να εκτίθενται σε επικίνδυνες ή βλαβερές συνθήκες. Τα αυτόνομα οχήματα και τα ρομπότ μπορούν να αναλάβουν επικίνδυνες εργασίες, όπως η απομάκρυνση των αποβλήτων ή η εκτέλεση επικίνδυνων γεωτρήσεων, περιορίζοντας την έκθεση των εργαζομένων σε επικίνδυνες συνθήκες. Περαιτέρω, τα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να ανιχνεύουν πιθανές απειλές για την ασφάλεια και να ειδοποιούν το προσωπικό ή να σταματούν αυτόματα την παραγωγή σε περίπτωση κινδύνου. Η χρήση αυτών των τεχνολογιών

αφενός προστατεύει τη ζωή των εργαζομένων, αφετέρου δε, περιορίζει τα κόστη που συνδέονται με εργατικά ατυχήματα και αποζημιώσεις.

Ταυτόχρονα, η ψηφιοποίηση του μεταλλευτικού τομέα επιδρά και στην στρατηγική κοινωνικής ευθύνης που εφαρμόζουν οι εταιρείες του κλάδου, όπως επίσης και τις σχέσεις τους με τις τοπικές κοινότητες. Καθώς οι εταιρείες εξορύσσουν ορυκτά και άλλους πόρους, η χρήση ψηφιακών τεχνολογιών μπορεί να βοηθήσει στην παρακολούθηση και βελτίωση των περιβαλλοντικών και κοινωνικών επιπτώσεων. Η καλύτερη παρακολούθηση των περιβαλλοντικών δεδομένων, όπως η ποιότητα του αέρα και του νερού, μπορεί να οδηγήσει σε πιο υπεύθυνη και διαφανή διαχείριση των φυσικών πόρων με πολλαπλά οφέλη για το σύνολο των εμπλεκόμενων. Οι τοπικές κοινότητες, οι οποίες συχνά εξαρτώνται από τις δραστηριότητες εξόρυξης για τη δημιουργία θέσεων εργασίας και την ανάπτυξή τους, επωφελούνται από τις βελτιώσεις στην ασφάλεια και τη βιωσιμότητα των μεταλλευτικών έργων. Ταυτόχρονα, οι εταιρείες είναι σε θέση να αναπτύξουν περισσότερο υπεύθυνες πρακτικές εξόρυξης, οι οποίες και συμβάλλουν στην κοινωνική ευημερία των περιοχών τους. Ωστόσο, η ψηφιοποίηση μπορεί να προκαλέσει και ανησυχίες στις τοπικές κοινωνίες, καθώς ενδέχεται να υπάρχουν κοινωνικές ανισότητες σχετικά με την πρόσβαση στις νέες τεχνολογίες και τις ευκαιρίες που προκύπτουν. Η ψηφιακή απομόνωση σε ορισμένες περιοχές μπορεί να δημιουργήσει χάσμα στις ευκαιρίες ανάπτυξης, καθώς και στη δυνατότητα απασχόλησης των εργαζομένων σε νέες θέσεις που απαιτούν τις κατάλληλες ψηφιακές δεξιότητες.

Η εφαρμογή του ψηφιακού μετασχηματισμού στον τομέα της μεταλλευτικής απαιτεί διαρκή εκπαίδευση του ανθρώπινου δυναμικού. Επομένως, είναι αναγκαίο οι επιχειρήσεις του κλάδου να επενδύσουν στην ανάπτυξη δεξιοτήτων, τόσο των υφιστάμενων, όσο και των νέων εργαζόμενων, προκειμένου αυτοί να είναι σε θέση να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις της νέας ψηφιακής εποχής. Η ψηφιοποίηση του μεταλλευτικού τομέα συνοδεύεται και με άλλες αλλαγές στις κοινωνικές δομές και στην κουλτούρα εργασίας. Η μετάβαση σε πιο ψηφιοποιημένες διαδικασίες μπορεί να επιφέρει αλλαγές στην οργανωτική δομή των εταιρειών, με τη μετατόπιση της έμφασης από την παραδοσιακή εργασία σε εργασίες που απαιτούν νέες τεχνολογικές δεξιότητες. Η κουλτούρα των μεταλλευτικών εταιρειών μπορεί να εξελιχθεί από μία βιομηχανική

κουλτούρα σε μία πιο τεχνολογική και καινοτόμο προσέγγιση στην παραγωγή. Αυτό μπορεί να έχει θετική επίδραση στην ποιότητα της εργασίας, δημιουργώντας ένα πιο συνεργατικό και σύγχρονο εργασιακό περιβάλλον, αλλά και προκλήσεις σε σχέση με την προσαρμογή του προσωπικού στις νέες απαιτήσεις που δημιουργούνται (Loow et al., 2019).

Συμπεράσματα

Από την παρούσα εργασία διαπιστώνεται ότι η 4^η Βιομηχανική Επανάσταση συνδέεται με μια σειρά μετασχηματισμών οι οποίοι ήδη λαμβάνουν χώρα. Σε αντίθεση όμως με τα παλαιότερα κύματα εκβιομηχάνισης, η 4η Βιομηχανική Επανάσταση χαρακτηρίζεται από την ευρεία ψηφιοποίηση και την ενσωμάτωση τεχνολογιών αιχμής, όπως είναι η τεχνητή νοημοσύνη, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), καθώς επίσης και η ανάλυση μεγάλων δεδομένων, με τις τεχνολογίες αυτές να εφαρμόζονται σε κάθε πτυχή της παραγωγικής διαδικασίας. Όπως διαπιστώθηκε από την εργασία αυτή, οι τεχνολογίες αυτές δημιουργούν σημαντικές επιδράσεις σε τεχνολογικό, οικονομικό, κοινωνικό, καθώς και περιβαλλοντικό επίπεδο, προκαλώντας αλλαγές στο παγκόσμιο οικονομικό σύστημα, αλλά και στην καθημερινή ζωή και εργασία των ανθρώπων. Το πέραςμα στη νέα αυτή ψηφιακή εποχή συνεπάγεται αναδιάρθρωση των δομών σε βιομηχανικούς κλάδους, όπως συμβαίνει και στον μεταλλευτικό κλάδο που μελετάται στο πλαίσιο της εργασίας αυτής.

Σε τεχνολογικό επίπεδο προκύπτει ότι ο ψηφιακός μετασχηματισμός έχει επιφέρει ριζικές αλλαγές στη λειτουργία του μεταλλευτικού κλάδου. Η ενσωμάτωση αυτοματοποιημένων συστημάτων, προηγμένου λογισμικού και ψηφιακών εργαλείων επιτρέπει στις μεταλλευτικές επιχειρήσεις να λειτουργούν με πρωτόγνωρη αποδοτικότητα, ακρίβεια και ευελιξία. Παραδοσιακά, η μεταλλευτική βιομηχανία ήταν εντάσεως εργασίας και βασιζόταν σε χειρωνακτικές διαδικασίες· σήμερα, ωστόσο, καινοτομίες της 4ης Βιομηχανικής Επανάστασης, όπως είναι τα ρομπότ εξόρυξης, οι αυτόνομες μηχανές, καθώς και τα έξυπνα συστήματα αισθητήρων, συμβάλλουν στον μετασχηματισμό των μεταλλευτικών πρακτικών. Οι τεχνολογίες αυτές επιτρέπουν την εκτέλεση επικίνδυνων ή απαιτητικών εργασιών χωρίς άμεση ανθρώπινη παρέμβαση, βελτιστοποιώντας ταυτόχρονα τη ροή υλικών και τον έλεγχο της παραγωγής.

Διεθνώς, κορυφαίες εταιρείες του κλάδου εφαρμόζουν ήδη τέτοιες λύσεις όπως είναι τα έξυπνα συστήματα διαχείρισης παραγωγής, καθώς και τα αυτόνομα οχήματα, τα οποία έχουν περιορίσει το κόστος και τον χρόνο λειτουργίας, ενώ παράλληλα έχει αυξηθεί η ασφάλεια και η παραγωγικότητα των εξορυκτικών δραστηριοτήτων. Οι τεχνολογικές αυτές εξελίξεις σηματοδοτούν μια νέα εποχή καινοτομίας για τη

μεταλλευτική βιομηχανία, καθιστώντας την περισσότερο αποτελεσματική, ευέλικτη, αλλά και ανταγωνιστικό, αφενός σε εθνικό επίπεδο, αφετέρου δε, σε διεθνές επίπεδο.

Σε οικονομικό επίπεδο, οι πρακτικές της 4^η Βιομηχανικής Επανάστασης έχουν συμβάλλει στη δημιουργία αλλαγών ως προς τα ζητήματα αποδοτικότητας της μεταλλευτικής βιομηχανίας. Η αυτοματοποίηση και η ψηφιοποίηση συμβάλλουν σε μείωση του λειτουργικού κόστους, στην αύξηση της παραγωγικότητας, όπως επίσης και στην βελτίωση της διαχείρισης των πόρων, γεγονός που οδηγεί σε αυξημένα επίπεδα ανταγωνιστικότητας του κλάδου. Οι επιχειρήσεις που υιοθετούν εγκαίρως τις τεχνολογίες αυτές αποκτούν πλεονέκτημα στην παγκόσμια αγορά, καθώς μπορούν να ανταποκρίνονται πιο γρήγορα και αποδοτικά στις μεταβολές της ζήτησης και στις απαιτήσεις της εφοδιαστικής αλυσίδας. Ταυτόχρονα, διαπιστώνεται ότι αναδύονται διαρκώς νέα επιχειρηματικά μοντέλα, τα οποία και αξιοποιούν τα δεδομένα και την τεχνητή νοημοσύνη, εστιάζοντας μεταξύ άλλων στην προληπτική συντήρηση του εξοπλισμού, τη βέλτιστη εκμετάλλευση κοιτασμάτων και την παροχή εξειδικευμένων υπηρεσιών προς τρίτους.

Ωστόσο, οι εξελίξεις αυτές συνοδεύονται και από μια σειρά προκλήσεων, καθώς οι επιχειρήσεις καλούνται να επενδύσουν κεφάλαια σε σύγχρονες υποδομές, όπως επίσης και για την κατάρτιση του ανθρώπινου δυναμικού της, ενώ οι χώρες που έχουν αναπτυγμένο μεταλλευτικό τομέα, θα πρέπει να προσαρμοστούν στα νέα αυτά δεδομένα, έτσι ώστε να μην μείνουν πίσω. Όσον αφορά την Ελλάδα, όπου ο μεταλλευτικός κλάδος κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών αντιμετωπίζει σημαντικές προκλήσεις, εξαιτίας των περιβαλλοντικών περιορισμών, η ενσωμάτωση των αρχών της 4ης Βιομηχανικής Επανάστασης μπορεί να αποτελέσει μοχλό ανάπτυξης και βιώσιμης ανάπτυξης. Μέσω της αξιοποίησης των νέων τεχνολογιών, οι ελληνικές μεταλλευτικές επιχειρήσεις μπορούν να βελτιώσουν την αποδοτικότητά τους, να μειώσουν το κόστος και να ενισχύσουν την προστιθέμενη αξία τους, ευθυγραμμίζοντας παράλληλα τη λειτουργία τους με τις σύγχρονες ευρωπαϊκές κατευθύνσεις για βιώσιμη εκμετάλλευση των πόρων.

Σε κοινωνικό επίπεδο, η 4^η Βιομηχανική Επανάσταση δημιουργεί πολυδιάστατες επιπτώσεις, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός η αυτοματοποίηση των διαδικασιών και η χρήση των ευφών μηχανών περιορίζει τις παραδοσιακές θέσεις

εργασίες. Εργασίες που παλαιότερα απαιτούσαν πολυάριθμο ανειδίκευτο προσωπικό (όπως οδηγοί βαρέων οχημάτων ή εργάτες σε υπόγεια μέτωπα) τείνουν να μειώνονται, καθώς αντικαθίστανται από αυτόνομα οχήματα και ρομποτικά συστήματα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργούνται άμεσες κοινωνικές συνέπειες, καθώς οι εργαζόμενοι που δεν διαθέτουν υψηλή εξειδίκευση, κινδυνεύουν να τεθούν στο περιθώριο της νέας αγοράς εργασίας. Ωστόσο, δεν θα πρέπει να παραβλέπεται το γεγονός ότι την ίδια στιγμή δημιουργείται ζήτηση για νέες ειδικότητες και δεξιότητες. Οι μεταλλευτικές εταιρείες χρειάζονται πλέον προσωπικό εξειδικευμένο στη διαχείριση ψηφιακών συστημάτων, αναλυτές δεδομένων, μηχανικούς λογισμικού και ειδικούς τεχνητής νοημοσύνης. Νέες θέσεις εργασίας εμφανίζονται σε τομείς όπως ο σχεδιασμός και η συντήρηση αυτοματοποιημένου εξοπλισμού, η ανάλυση γεωλογικών δεδομένων με προηγμένα εργαλεία και η κυβερνοασφάλεια υποδομών. Συνεπώς, είναι αναγκαία και η εκπαίδευση και η διαρκής κατάρτιση του ανθρώπινου δυναμικού, έτσι ώστε αυτό να καταφέρει να αποκτήσει τις κατάλληλες ψηφιακές δεξιότητες.

Την ίδια στιγμή, η ψηφιοποίηση βελτιώνει σημαντικά τις συνθήκες ασφάλειας και υγείας στην μεταλλευτικό κλάδο. Κάνοντας χρήση αισθητήρων και συστημάτων παρακολούθησης, αλλά και τεχνητής νοημοσύνης, οι επιχειρήσεις του κλάδου μπορούν να εντοπίζουν έγκαιρα κινδύνους, να αποτρέπουν ατυχήματα και να απομακρύνουν τους εργαζόμενους από επικίνδυνα περιβάλλοντα. Επομένως, μπορεί να προκύψει μείωση των εργατικών ατυχημάτων, καλύτερη ποιότητα ζωής για τους εργαζομένους, όπως επίσης και ενίσχυση του αισθήματος ασφάλειας, ευρύτερα στις μεταλλευτικές κοινότητες. Επιπλέον, οι εταιρείες, υιοθετώντας τις αρχές της 4ης Βιομηχανικής Επανάστασης, εντείνουν τις προσπάθειες εταιρικής κοινωνικής ευθύνης, εστιάζοντας στην διαφανή και υπεύθυνη λειτουργία τους.

Σε περιβαλλοντικό επίπεδο, η 4η Βιομηχανική Επανάσταση παρέχει στον μεταλλευτικό κλάδο πολύτιμα εργαλεία για τη βελτίωση της περιβαλλοντικής επίδοσης και τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των εξορύξεων. Ένας συνδυασμός τεχνολογιών επιτρέπει να γίνονται ακριβέστεροι έλεγχοι των περιβαλλοντικών παραμέτρων, σε κάθε στάδιο της παραγωγής. Οι μεταλλευτικές εταιρείες μπορούν πλέον να διαχειρίζονται πιο αποδοτικά τους φυσικούς πόρους, εξετάζοντας για παράδειγμα την ποιότητα του αέρα και του νερού, πέριξ των μεταλλείων, όπως επίσης

και την κατάσταση του εδάφους και τις εκπομπές ρύπων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την καλύτερη συμμόρφωση με τις ολοένα και αυστηρότερες περιβαλλοντικές κανονιστικές απαιτήσεις, όπως επίσης και την οικοδόμηση εμπιστοσύνης με το κοινωνικό σύνολο. Ακόμη, οι καινοτομίες της 4^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης συμβάλλουν στον μετριασμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της ίδιας της εξορυκτικής δραστηριότητας. Χρησιμοποιώντας εξελιγμένους αλγορίθμους, οι εταιρείες έχουν τη δυνατότητα να βελτιστοποιήσουν τις διαδικασίες εξόρυξης, έτσι ώστε να αποφεύγεται η υπερεκμετάλλευση των κοιτασμάτων και η παραγωγή περιττών αποβλήτων.

Εν κατακλείδι, οι άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις της 4^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης στον μεταλλευτικό κλάδο είναι καθοριστικές, καθώς οδηγούν σε μετασχηματισμό των τεχνικών και μεθόδων εξόρυξης, καθιστώντας αυτές περισσότερο αποδοτικές, ασφαλείς, αλλά και οικολογικές. Ακόμη, λαμβάνει χώρα αναδιαμόρφωση του οικονομικού και κοινωνικού περιβάλλοντος που αφορά την μεταλλευτική δραστηριότητες. . Σε διεθνές επίπεδο, ο μεταλλευτικός κλάδος εισέρχεται σε μια νέα εποχή, όπου η τεχνολογική καινοτομία και η βιωσιμότητα αποτελούν βασικές συνισταμένες εξέλιξης, με τις χώρες και τις εταιρείες που θα μπορούν να αξιοποιήσουν τις τάσεις αυτές, να αναμένεται να διασφαλίσουν την μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα, αλλά και την ανταγωνιστικότητά τους.

Η Ελλάδα, έχοντας σημαντική μεταλλευτική παράδοση, μπορεί να αξιοποιήσει προς όφελός της τον ψηφιακό μετασχηματισμό που λαμβάνει χώρα, κάτι όμως για το οποίο απαιτείται κατάλληλος σχεδιασμός, καθώς και θέληση για την πραγματοποίηση της αλλαγής. Η ενσωμάτωση των τεχνολογιών της 4ης Βιομηχανικής Επανάστασης στα ελληνικά μεταλλεία και η ευθυγράμμιση με τις βέλτιστες διεθνείς πρακτικές θα βοηθήσει όχι μόνο στη βελτίωση της αποδοτικότητας και της ασφάλειας των έργων, αλλά και στην περαιτέρω ενίσχυση της κοινωνικής αποδοχής της μεταλλευτικής δραστηριότητας, χρησιμοποιώντας περισσότερο υπεύθυνες και διαφανείς πρακτικές.

Βιβλιογραφία

- Ahuja, E. (2015). Energy Change-Insights from the 1st and 2nd Industrial Revolutions and Recent Developments to help achieve the next Low Carbon Industrial Revolution.
- Alenizi, F. A., Abbasi, S., Mohammed, A. H., & Rahmani, A. M. (2023). The artificial intelligence technologies in Industry 4.0: A taxonomy, approaches, and future directions. *Computers & Industrial Engineering*, 185, 109662.
- Androniceanu, A. (2023). The new trends of digital transformation and artificial intelligence in public administration. *Revista» Administratie si Management Public «(RAMP)*, (40), 147-155.
- AngloAmerican (2025). Διαθέσιμο στο: <https://www.angloamerican.com> [Πρόσβαση 10 Απριλίου 2025].
- Bai, C., Orzes, G., & Sarkis, J. (2022). Exploring the impact of Industry 4.0 technologies on social sustainability through a circular economy approach. *Industrial Marketing Management*, 101, 176-190.
- Berlanstein, L. R. (Ed.). (2003). *The industrial revolution and work in nineteenth century Europe*. Routledge.
- BHP (2025). Διαθέσιμο στο: <https://www.bhp.com> [Πρόσβαση 10 Απριλίου 2025].
- Bishwal, R. M. (2019). Scope of 3-D printing in mining and geology: An overview. *Journal of the Geological Society of India*, 93, 482-486.
- Bone, J. (2024). Globalization, the 'New' Labour Market, AI and the 4th Industrial Revolution. In *The Great Decline* (pp. 117-137). Bristol University Press.
- Bray, J. (2013). *The communications miracle: The telecommunication pioneers from Morse to the information superhighway*. Springer.
- Brodny, J. (2018). The fourth industrial revolution as an opportunity to enhance the effectiveness of the mining sector. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM*, 18(1.3), 949-956.
- Caruso, L. (2018). Digital innovation and the fourth industrial revolution: epochal social changes?. *Ai & Society*, 33(3), 379-392.
- Chalmers, D., MacKenzie, N. G., & Carter, S. (2021). Artificial intelligence and entrepreneurship: Implications for venture creation in the fourth industrial revolution. *Entrepreneurship Theory and Practice*, 45(5), 1028-1053.
- De Amorim, W. S., Deggau, A. B., do Livramento Gonçalves, G., da Silva Neiva, S., Prasath, A. R., & De Andrade, J. B. S. O. (2019). Urban challenges and opportunities to promote sustainable food security through smart cities and the 4th industrial revolution. *Land use policy*, 87, 104065.
- Dimanov, D. K. (2024). Social and Human Costs of Industrialization: A Review of Some Negative Effects on Society During The First Industrial Revolution. *Knowledge-International Journal*, 62(1), 123-127.
- Elheddad, M., Benjasak, C., Deljavan, R., Alharthi, M., & Almabrok, J. M. (2021). The effect of the Fourth Industrial Revolution on the environment: The relationship

- between electronic finance and pollution in OECD countries. *Technological Forecasting and Social Change*, 163, 120485.
- Endl, A., Tost, M., Hitch, M., Moser, P., & Feiel, S. (2021). Europe's mining innovation trends and their contribution to the sustainable development goals: Blind spots and strong points. *Resources Policy*, 74, 101440.
- Ferreira, P., Pessoa, S., Dos Santos, M. (2016). Globalization and the industrial revolution. *Macroeconomic Dynamics*, 643-66.
- Fraser, J. (2021). Mining companies and communities: Collaborative approaches to reduce social risk and advance sustainable development. *Resources Policy*, 74, 101144.
- Gavurová, B., Behúnová, A., Tkáčová, A., & Peržel'ová, I. (2017). The mining industry and its position in the economic cycle of the EU countries. *Acta Montanistica Slovaca*, 22(3).
- Ghobakhloo, M. (2020) Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. *Journal of cleaner production*, 252, 119869.
- Groumpos, P. P. (2021). A critical historical and scientific overview of all industrial revolutions. *IFAC-PapersOnLine*, 54(13), 464-471.
- Habib, G., Sharma, S., Ibrahim, S., Ahmad, I., Qureshi, S., & Ishfaq, M. (2022). Blockchain technology: benefits, challenges, applications, and integration of blockchain technology with cloud computing. *Future Internet*, 14(11), 341.
- Haidegger, G. (2017). Evolution of technology and users' requirements of factory communication systems from the 3rd to the 4th Industrial Revolution.
- Hosbawn, E.J. (1999). *Industry & Empire: The Birth of the Industrial Revolution*, The New Press.
- Jarosz, S., Sołtysik, M., & Zakrzewska, M. (2020). The fourth industrial revolution in the light of social and competence changes. *European Research Studies*, 23, 530-548.
- Jiskani, I. M., Zhou, W., Hosseini, S., & Wang, Z. (2023). Mining 4.0 and climate neutrality: A unified and reliable decision system for safe, intelligent, and green & climate-smart mining. *Journal of Cleaner Production*, 410, 137313.
- Kunii, T. L. (1997, October). The 3rd industrial revolution through integrated intelligent processing systems. In 1997 *IEEE International Conference on Intelligent Processing Systems (Cat. No. 97TH8335)* (Vol. 1, pp. 1-6). IEEE.
- Lööw, J., Abrahamsson, L., & Johansson, J. (2019). Mining 4.0—The impact of new technology from a workplace perspective. *Mining, Metallurgy & Exploration*, 36, 701-707.
- Marshall, J. A., Bonchis, A., Nebot, E., & Scheduling, S. (2016). Robotics in mining. In *Springer handbook of robotics* (pp. 1549-1576). Cham: Springer International Publishing.
- Mohajan, H. (2019). *The first industrial revolution: Creation of a new global human era*.
- Mohajan, H. (2021). *Third industrial revolution brings global development*.

- Mokyr, J., & Strotz, R. H. (1998). The second industrial revolution, 1870-1914. *Storia dell'economia Mondiale*, 21945(1), 219-245.
- Mokyr, J. (2018). *The Economics of the Industrial Revolution (Routledge Revivals)*. Routledge.
- Molaei, F., Rahimi, E., Siavoshi, H., Afrouz, S. G., & Tenorio, V. (2020). A comprehensive review on internet of things (IoT) and its implications in the mining industry. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13(3), 499-515.
- Morrar, R., Arman, H., & Mousa, S. (2017). The fourth industrial revolution (Industry 4.0): A social innovation perspective. *Technology innovation management review*, 7(11), 12-20.
- Mouha, R. A. R. A. (2021). Internet of things (IoT). *Journal of Data Analysis and Information Processing*, 9(02), 77.
- Mvile, B. N., & Bishoge, O. K. (2024). Mining and sustainable development goals in Africa. *Resources Policy*, 90, 104710.
- Naeem, M., Jamal, T., Diaz-Martinez, J., Butt, S. A., Montesano, N., Tariq, M. I., ... & De-La-Hoz-Valdiris, E. (2022). Trends and future perspective challenges in big data. In *Advances in Intelligent Data Analysis and Applications: Proceeding of the Sixth Euro-China Conference on Intelligent Data Analysis and Applications, 15–18 October 2019, Arad, Romania* (pp. 309-325). Springer Singapore.
- Nouri, A., Khanzadeh, D., Shahabi, R. S., & Basiri, M. H. (2022). Introducing sustainable development and reviewing environmental sustainability in the mining industry. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 37(4), 91-108.
- Park, S. H., Shin, W. S., & Kim, K. J. (2019). Assessing a social responsibility model for sustainable company growth in the Fourth Industrial Revolution. *International Journal of Quality and Service Sciences*, 11(3), 334-345.
- Pavolova, H., Čulková, K., Šimková, Z., Seňová, A., & Kudelas, D. (2022). Contribution of mining industry in chosen EU countries to the sustainability issues. *Sustainability*, 14(7), 4177.
- Qi, C. C. (2020). Big data management in the mining industry. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 27(2), 131-139.
- Rio Tinto (2022). *Scania and Rio Tinto agree to develop autonomous haulage solutions supporting a pathway to lower emissions mining*. <https://www.riotinto.com/en/news/releases/2022/scania-and-rio-tinto-agree-to-develop-autonomous-haulage-solutions-supporting-a-pathway-to-lower-emissions-mining> Διαθέσιμο στο: [Πρόσβαση](#) 10 Απριλίου 2025
- Ross, P., & Maynard, K. (2021). Towards a 4th industrial revolution. *Intelligent Buildings International*, 13(3), 159-161.
- Salieiev, I. (2024). Organization of processes for complex mining and processing of mineral raw materials from coal mines in the context of the concept of sustainable development. *Mining of Mineral Deposits*, 18(1), 54-66.

- Sardjono, W., Maryani, M., Sudrajat, J., & Lusia, E. (2023). Sustainable development in the coal mining operation: challenges, opportunities, and strategies. In *ICCD* (Vol. 5, No. 1, pp. 528-537).
- Semenovich, V. V., Vladimirovna, D. N., & Sergeevna, D. K. (2021). The challenges of Industry 4.0 and the need for new answers in the mining industry. *Известия Уральского государственного горного университета*, (2 (62)), 154-166.
- Shahmoradi, J., Talebi, E., Roghanchi, P., & Hassanalian, M. (2020). A comprehensive review of applications of drone technology in the mining industry. *Drones*, 4(3), 34.
- Sharma, A., & Singh, B. J. (2020). Evolution of industrial revolutions: a review. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 9(11), 66-73.
- Spöttl, G., & Windelband, L. (2021). The 4th industrial revolution—its impact on vocational skills. *Journal of Education and Work*, 34(1), 29-52.
- Sterling, C. H. (2004). Cbq review essay: History of the telephone (part one): Invention, innovation, and impact. *Communication Booknotes Quarterly*, 35(4), 222-241.
- SupplyChainDigital (2021). *Blockchain “key to supply transparency”-mining giant BHP*. Διαθέσιμο στο: <https://supplychaindigital.com/sustainability/blockchain-key-supply-transparency-mining-giant-bhp> [Πρόσβαση 10 Απριλίου 2025].
- Teixeira, C. H. S. B., Teixeira, R. L. P., Veiga, R. T., de Araújo Brito, M. L., & Silva, P. C. D. (2022). The circular economy in the age of the 4th industrial revolution—the use of technology towards transition. *Revista Gestão & Tecnologia*, 22(4), 64-89.
- Tepper, J. & Hearn, D. (2018). *The Myth of Capitalism: Monopolies and the Death of Competition*. New Jersey: Wiley.
- Troxler, P. (2013). Making the 3rd industrial revolution. *Fab Labs: Of Machines, Makers and Inventors*, Transcript Publishers, Bielefeld, 1-16.
- Ulewicz, R., KRSTIĆ, B., & Ingaldi, M. (2022). Mining Industry 4.0--Opportunities and Barriers. *Acta Montanistica Slovaca*, 27(2).
- Vale (2025). Διαθέσιμο στο: <https://vale.com/> [Πρόσβαση 30 Ιανουαρίου 2025].
- Vassakis, K., Petrakis, E., & Kopanakis, I. (2018). Big data analytics: applications, prospects and challenges. *Mobile big data: A roadmap from models to technologies*, 3-20.
- Vnukova, N., Tyshchenko, V., & Ostapenko, V. (2024, May). The innovativeness of technologies of Industry 4.0 in the modern mining environment. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1348, No. 1, p. 012015). IOP Publishing.
- Wilde, R. (2018). *The Development of Banking in the Industrial Revolution*, ThoughtCo.
- Yin, C., Xiong, Z., Chen, H., Wang, J., Cooper, D., & David, B. (2015). A literature survey on smart cities. *Science China. Information Sciences*, 58(10), 1-18.

- Zaletov, I. (2022). Development of IT history: An overview of how things have changed in 80 years.
- IOBE (2018). *Η συμβολή της εξορυκτικής βιομηχανίας στην ελληνική βιομηχανία*. Αθήνα: Ίδρυμα Οικονομικών & Βιομηχανικών Ερευνών-IOBE. Διαθέσιμο στο: https://iobe.gr/docs/research/RES_05_F_26062018_REP_GR.pdf [Πρόσβαση 30 Ιανουαρίου 2025].
- IOBE (2016). *Η συμβολή της εξορυκτικής βιομηχανίας στην ελληνική οικονομία*. Αθήνα: Ίδρυμα Οικονομικών & Βιομηχανικών Ερευνών-IOBE.
- Σκουνάκης, Σ. (1996). *Κοιτασματολογία: Εισαγωγή-Διαδικασίες Σχηματισμού των Κοιτασμάτων-Μεταλλοφόρα Κοιτάσματα*. Αθήνα: Τμήμα Εκδόσεων ΕΚΠΑ.
- Φιλιππίδης, Α. & Καντηράνης, Ν. (2012). *Ορυκτές Πρώτες Ύλες και Περιβάλλον*. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.