



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

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

***Η Μεταλλευτική Έρευνα στην Ελλάδα: Ευκαιρίες και
Προκλήσεις στο Σύγχρονο Περιβάλλον***

Πτυχιακή Εργασία

της

Κουλιάκη Ιωάννας, GE04275

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

Περίληψη

Η μεταλλευτική έρευνα στην Ελλάδα διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στο οικονομικό και βιομηχανικό τοπίο της χώρας, δεδομένου ότι διαθέτει πλούσιους ορυκτούς πόρους, όπως βωξίτη, νικέλιο, χρυσό, μαγνησίτη και μάρμαρο. Η παρούσα μελέτη διερευνά την τρέχουσα κατάσταση της μεταλλευτικής έρευνας στην Ελλάδα, εξετάζοντας τόσο τις ευκαιρίες όσο και τις προκλήσεις που αντιμετωπίζει στο σύγχρονο οικονομικό και περιβαλλοντικό πλαίσιο. Οι βασικές πτυχές που αναλύονται περιλαμβάνουν το ρυθμιστικό πλαίσιο, το ρόλο των κυβερνητικών οργανισμών και τη συμβολή του ιδιωτικού τομέα. Η μελέτη αναδεικνύει επίσης τις τεχνολογικές εξελίξεις, τις βιώσιμες πρακτικές εξόρυξης και τον αντίκτυπο της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας στον κλάδο.

Επιπλέον, εξετάζει τις οικονομικές και κοινωνικές προκλήσεις που συνδέονται με τις εξορυκτικές δραστηριότητες, δίνοντας έμφαση στη σημασία της χρηματοδότησης της έρευνας, της περιβαλλοντικής ευθύνης και της δημόσιας αποδοχής. Με την υιοθέτηση καινοτόμων τεχνολογιών και την ευθυγράμμιση με τις διεθνείς πολιτικές βιωσιμότητας, η Ελλάδα έχει τη δυνατότητα να ενισχύσει τη θέση της ως βασικός προμηθευτής κρίσιμων πρώτων υλών στην Ευρώπη. Τα ευρήματα παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής, τους επενδυτές και τους ενδιαφερόμενους φορείς του εξορυκτικού τομέα.

Abstract

Mining research in Greece plays a crucial role in the country's economic and industrial landscape, given its rich mineral resources, including bauxite, nickel, gold, magnesite, and marble. This study explores the current state of mining research in Greece, examining both the opportunities and challenges faced in the modern economic and environmental framework. Key aspects analyzed include the regulatory framework, the role of government agencies, and private sector contributions. The study also highlights technological advancements, sustainable mining practices, and the impact of the European Green Deal on the industry.

Furthermore, it addresses the financial and social challenges associated with mining activities, emphasizing the importance of research funding, environmental responsibility, and public acceptance. By adopting innovative technologies and aligning with international sustainability policies, Greece has the potential to enhance its position as a key supplier of critical raw materials in Europe. The findings provide valuable insights for policymakers, investors, and stakeholders in the mining sector.

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη	I
Abstract	II
Πίνακας Περιεχομένων	III
.....	IV
Εισαγωγή	1
1. Ιστορικό και μεταλλευτικό περιβάλλον	5
1.1 Γεωλογική και ορυκτολογική επισκόπηση της Ελλάδας	5
1.2 Μεταλλευτική ιστορία στην Ελλάδα	6
1.3 Νομικό και κανονιστικό πλαίσιο	8
1.4 Ρόλος των κυβερνητικών και ρυθμιστικών φορέων	10
2. Ορυκτά κοιτάσματα στην Ελλάδα	12
2.1 Κοιτάσματα υπό έρευνα	12
2.2 Γνωστά αλλά προς το παρόν ανεκμετάλλευτα κοιτάσματα	22
2.3 Σύγκριση με την παγκόσμια και ευρωπαϊκή ζήτηση	26
3. Παράγοντες εκμετάλλευσης ορυχείων στην Ελλάδα	28
3.1 Ρόλος της Ελληνικής Αρχής Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΕΑΓΜΕ)	28
3.2 Ιδιωτικές μεταλλευτικές εταιρείες που δραστηριοποιούνται στην Ελλάδα ..	31
3.3 Ερευνητικά ιδρύματα και πανεπιστήμια που ασχολούνται με γεωλογικές μελέτες	35
3.4 Ξένες επενδύσεις και συνεργασίες	39
4. Ευκαιρίες στο σύγχρονο μεταλλευτικό περιβάλλον	42
4.1 Εξελίξεις στην εξορυκτική τεχνολογία	42
4.2 Δυνατότητες για βιώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον εξόρυξη	46
4.3 Πράσινη Συμφωνία της ΕΕ και ο αντίκτυπός της στις ελληνικές πολιτικές εξόρυξης	50
4.4 Δυνατότητες χρηματοδότησης για την έρευνα και την ανάπτυξη στον τομέα της εξόρυξης	53
5. Προκλήσεις και εμπόδια στην ανάπτυξη	55
5.1 Περιβαλλοντικές ανησυχίες και αντιδράσεις του κοινού	55
5.2 Γραφειοκρατικές και νομικές προκλήσεις	58

5.3 Οικονομικοί και αγοραίοι περιορισμοί.....	62
5.4 Κοινωνικοί και γεωπολιτικοί παράγοντες που επηρεάζουν τις επενδύσεις στην εξόρυξη.....	65
Συμπεράσματα	68
Συστάσεις.....	69
Βιβλιογραφία	71

Εισαγωγή

Η μεταλλευτική έρευνα αποτελούσε ανέκαθεν σημαντικό μέρος του οικονομικού και βιομηχανικού τοπίου της Ελλάδας, δεδομένης της μακράς ιστορίας της χώρας στην εξόρυξη ορυκτών πόρων που χρονολογείται από την προϊστορική εποχή. Ο κύριος στόχος της παρούσας έρευνας είναι να διερευνήσει την τρέχουσα κατάσταση της μεταλλευτικής έρευνας στην Ελλάδα, φωτίζοντας τις δυνατότητες και τα προβλήματα που υπάρχουν στο σύγχρονο οικονομικό και περιβαλλοντικό πλαίσιο (Παπαδόπουλος, 2002).

Στόχος της μελέτης είναι να εξετάσει τις ενεργές μεταλλευτικές έρευνες, να εκτιμήσει τα γνωστά αλλά ανεκμετάλλευτα αποθέματα ορυκτών και να αξιολογήσει τη ζήτηση πρώτων υλών τόσο στην εγχώρια όσο και στη διεθνή αγορά. Έτσι, θα παρουσιαστεί μια λεπτομερής επισκόπηση του εξορυκτικού δυναμικού της Ελλάδας, ενώ παράλληλα θα αναδειχθούν οι βασικοί εμπλεκόμενοι φορείς στην εξορυκτική έρευνα, όπως η Ελληνική Αρχή Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών (ΕΑΓΜΕ), οι ιδιωτικές μεταλλευτικές εταιρείες και τα ερευνητικά ιδρύματα (Ελληνική Αρχή Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, 2019). Αυτή η έρευνα είναι ιδιαίτερα σημαντική για τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής, τους επενδυτές, τις περιβαλλοντικές ομάδες και τους ακαδημαϊκούς που επιθυμούν μια καλύτερη γνώση του εξορυκτικού τομέα της χώρας. Τα ευρήματα θα βοηθήσουν στην εκπαίδευση των διαδικασιών λήψης αποφάσεων και θα διασφαλίσουν βιώσιμες εξορυκτικές δραστηριότητες που συνάδουν με τους εθνικούς οικονομικούς στόχους και τις αρχές διατήρησης του περιβάλλοντος. Επιπλέον, η παρούσα έρευνα θα διερευνήσει τη θέση της Ελλάδας στο ευρύτερο ευρωπαϊκό και παγκόσμιο μεταλλευτικό γίγνεσθαι, δηλαδή πώς οι ορυκτοί της πόροι μπορούν να βοηθήσουν στη στρατηγική προμήθεια σημαντικών πρώτων υλών στην περιοχή.

Η μεταλλευτική έρευνα στην Ελλάδα είναι σημαντική για διάφορους λόγους, συμπεριλαμβανομένων των οικονομικών οφελών και της ασφάλειας των πόρων, καθώς και των τεχνολογικών εξελίξεων και των περιβαλλοντικών ανησυχιών. Ο εξορυκτικός τομέας έχει ιστορικά συμβάλει σημαντικά στην ελληνική οικονομία, δημιουργώντας θέσεις εργασίας και τονώνοντας τις τοπικές οικονομίες. Η εξόρυξη και η επεξεργασία κρίσιμων ορυκτών, όπως ο βωξίτης, το νικέλιο, ο μαγνησίτης και ο χρυσός, έχει ιστορικά στηρίζει τομείς που κυμαίνονται από τις κατασκευές έως τη

μεταποίηση υψηλής τεχνολογίας. Επενδύοντας στην έρευνα στον τομέα της εξόρυξης, η Ελλάδα μπορεί να μεγιστοποιήσει τη χρήση του ορυκτού της δυναμικού, να προσελκύσει ξένες επενδύσεις και να αυξήσει την παγκόσμια βιομηχανική της ανταγωνιστικότητα. Ένας άλλος κρίσιμος τομέας της μεταλλευτικής έρευνας είναι η ασφάλεια των πόρων. Η σύγχρονη οικονομία εξαρτάται πρωτίστως από τους φυσικούς πόρους για την παραγωγή ενέργειας, τη μεταποίηση και την τεχνολογική πρόοδο. Η ικανότητα της Ελλάδας να αναζητά και να εξορύσσει αποτελεσματικά ορυκτά συμβάλλει στη μείωση της εξάρτησης από εξωτερικούς προμηθευτές και συνάδει με τον στρατηγικό στόχο της Ευρωπαϊκής Ένωσης να αποκτήσει μεγαλύτερη αυτονομία στην προμήθεια πρώτων υλών (Ελληνική Αρχή Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, 2019).

Οι καινοτομίες στην εξορυκτική τεχνολογία έχουν τη δυνατότητα να αλλάξουν τον τομέα βελτιώνοντας την αποτελεσματικότητα και τη βιωσιμότητα των εργασιών εξόρυξης. Η τηλεπισκόπηση, η τεχνητή νοημοσύνη και η αυτοματοποίηση βελτιώνουν την ακρίβεια της εξερεύνησης, ενώ παράλληλα αυξάνουν την ασφάλεια των εργαζομένων και μειώνουν την περιβαλλοντική επιβάρυνση (Sánchez & Hartlieb, 2020). Η έρευνα στον τομέα της επεξεργασίας μεταλλευμάτων και της διαχείρισης αποβλήτων διασφαλίζει τη σωστή χρήση των φυσικών πόρων, μειώνοντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της εξόρυξης. Οι βιώσιμες μέθοδοι εξόρυξης είναι ζωτικής σημασίας για την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών ζητημάτων που σχετίζονται με την παραγωγή ορυκτών. Οι μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων, οι μέθοδοι αποκατάστασης της γης και η χρήση πράσινης τεχνολογίας εξόρυξης αποτελούν κρίσιμα στοιχεία των προσπαθειών της Ελλάδας να ευθυγραμμίσει τον εξορυκτικό τομέα με τους περιβαλλοντικούς κανόνες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Με την υιοθέτηση περιβαλλοντικά υπεύθυνων εναλλακτικών λύσεων, η Ελλάδα μπορεί να διασφαλίσει ότι οι δραστηριότητες εκμετάλλευσης ορυκτών πόρων δεν βλάπτουν τη βιοποικιλότητα ή τη δημόσια υγεία (Pavloudakis et al., 2024).

Η Ελλάδα διαθέτει τεράστιους ορυκτούς πόρους που εξορύσσονται εδώ και δεκαετίες, γεγονός που την καθιστά σημαντικό ρόλο στη μεταλλευτική βιομηχανία της Ευρώπης. Οι διάφοροι γεωλογικοί σχηματισμοί της περιέχουν άφθονα εξορύξιμα ορυκτά, πολλά από τα οποία είναι ζωτικής σημασίας για τις σύγχρονες επιχειρήσεις. Η Ελλάδα είναι ένας από τους κορυφαίους Ευρωπαίους παραγωγούς βωξίτη, ενός κύριου πόρου που χρησιμοποιείται στην κατασκευή αλουμινίου. Τα τεράστια αποθέματα βωξίτη της Ελλάδας στηρίζουν σημαντικές βιομηχανικές δραστηριότητες

και διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην ευρωπαϊκή αλυσίδα εφοδιασμού αλουμινίου (Pontikes & Angelopoulos, 2013). Το νικέλιο είναι ένα άλλο σημαντικό ορυκτό, και η Ελλάδα είναι μία από τις λίγες ευρωπαϊκές χώρες που διαθέτει σημαντικούς πόρους νικελίου (Mudd & Jowitt, 2014). Αυτοί οι πόροι είναι πολύ κρίσιμοι για την κατασκευή ανοξείδωτου χάλυβα και την ανάπτυξη τεχνολογιών μπαταριών. Η χώρα διαθέτει επίσης μεγάλες ποσότητες μαγνησίτη, ο οποίος χρησιμοποιείται συνήθως σε πυρίμαχα υλικά και στον χημικό τομέα, ιδίως στον βορρά. Στη βόρεια Ελλάδα υπάρχουν αποθέματα χρυσού και οι τρέχουσες ερευνητικές δραστηριότητες αποσκοπούν στην αύξηση του δυναμικού παραγωγής. Επιπλέον, η Ελλάδα έχει ιστορικά εξορύξει ψευδάργυρο και μόλυβδο, ορυκτά που απαιτούνται για μεταλλουργικούς σκοπούς, ιδίως σε περιοχές όπως το Λαύριο (Voudouris et al., 2021). Αν και ο λιγνίτης δεν είναι μεταλλικό ορυκτό, έχει διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην ενεργειακή βιομηχανία της Ελλάδας. Ωστόσο, λόγω των περιβαλλοντικών ανησυχιών και της στροφής προς καθαρότερες πηγές ενέργειας, η έμφαση μετατοπίζεται από την παραγωγή ενέργειας με καύση άνθρακα (Kavouridis, 2008).

Η παγκόσμια και η ευρωπαϊκή εξορυκτική βιομηχανία υφίστανται σήμερα σημαντικές μεταβολές ως αποτέλεσμα της τεχνικής προόδου, των περιβαλλοντικών πολιτικών και των μεταβαλλόμενων προτύπων ζήτησης. Μία από τις πιο ορατές εξελίξεις είναι η αυξανόμενη ζήτηση για ζωτικής σημασίας πρώτες ύλες. Ορυκτά όπως το λίθιο, το κοβάλτιο και τα στοιχεία σπάνιων γαιών έχουν αποκτήσει ολοένα και μεγαλύτερη σημασία για την κατασκευή μπαταριών, την τεχνολογία ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τις ηλεκτρονικές συσκευές, καθώς ο πλανήτης μεταβαίνει στην πράσινη ενέργεια και την ψηφιοποίηση (Calvo & Valero, 2021). Παρόλο που η Ελλάδα δεν διαθέτει σημαντικές ποσότητες αυτών των ορυκτών, ο βωξίτης, το νικέλιο και άλλοι πόροι της έχουν ωστόσο υψηλή αξία στην ευρωπαϊκή αγορά. Ανταποκρινόμενη σε αυτές τις τάσεις, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει καταστήσει την ασφάλεια των πρώτων υλών στρατηγική προτεραιότητα. Πρωτοβουλίες όπως η Ευρωπαϊκή Συμμαχία για τις Πρώτες Ύλες υπογραμμίζουν τη σημασία της μείωσης της εξάρτησης της Ευρώπης από τις εισαγωγές από χώρες εκτός ΕΕ. Ο εξορυκτικός τομέας της Ελλάδας μπορεί να συμβάλει σε αυτές τις προσπάθειες αναπτύσσοντας τους εγχώριους πόρους της και αυξάνοντας την παραγωγή ορυκτών πρώτων υλών (Tsirambides & Filippidis, 2024).

Η βιωσιμότητα είναι ένα άλλο σημαντικό ζήτημα για τον καθορισμό του μέλλοντος της εξόρυξης. Με την αυξανόμενη πίεση για τη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα, οι μεταλλευτικές εταιρείες σε όλο τον κόσμο εφαρμόζουν πιο βιώσιμες πρακτικές, όπως μοντέλα κυκλικής οικονομίας που ενθαρρύνουν την ανακύκλωση και την επαναχρησιμοποίηση των ορυκτών, τεχνικές εξόρυξης χαμηλού αντίκτυπου που μειώνουν τις περιβαλλοντικές ζημιές και την τήρηση αυστηρότερων περιβαλλοντικών κανονισμών (Antony Jose et al., 2024). Ο εξορυκτικός τομέας της Ελλάδας πρέπει να ακολουθήσει αυτές τις παγκόσμιες τάσεις, επενδύοντας στην έρευνα που προωθεί υπεύθυνες και φιλικές προς το περιβάλλον εξορυκτικές δραστηριότητες. Οι τεχνολογικές εξελίξεις αλλάζουν επίσης τον τομέα, με τις ψηφιακές εξελίξεις, όπως η τεχνητή νοημοσύνη, η μηχανική μάθηση και η αυτοματοποίηση, να διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη βελτιστοποίηση της εξόρυξης πόρων και την αύξηση της αποδοτικότητας. Η έρευνα σε αυτούς τους τομείς είναι ζωτικής σημασίας για να παραμείνει η Ελλάδα ανταγωνιστική στην παγκόσμια αγορά εξόρυξης. Επιπλέον, οι ευκαιρίες επενδύσεων και χρηματοδότησης από διεθνή και ευρωπαϊκά προγράμματα, όπως το Horizon Europe και οι πρωτοβουλίες της Ευρωπαϊκής Τράπεζας Επενδύσεων, συμβάλλουν στη χρηματοδότηση της έρευνας και της καινοτομίας στον τομέα της εξόρυξης. Αυτές οι πηγές χρηματοδότησης θα δώσουν ώθηση στον εξορυκτικό τομέα της Ελλάδας, επιτρέποντάς του να υιοθετήσει σύγχρονες διαδικασίες εξερεύνησης και εξόρυξης που συνάδουν με τους στόχους της αειφορίας (Haglund-Morrissey, 2019).

Η παρούσα έρευνα επιδιώκει να παράσχει μια εμπειριστατωμένη αξιολόγηση της μεταλλευτικής έρευνας στην Ελλάδα, με έμφαση σε διάφορα σημαντικά θέματα. Θα πραγματοποιηθεί λεπτομερής διερεύνηση των κοιτασμάτων ορυκτών πρώτων υλών για τον εντοπισμό των εν εξελίξει ερευνητικών εργασιών και την ανάλυση των γνωστών αλλά ανεκμετάλλευτων πόρων. Η αξιολόγηση της ικανότητας αυτών των πόρων να καλύψουν την εθνική και την ευρωπαϊκή ζήτηση είναι ζωτικής σημασίας για την εδραίωση της στρατηγικής θέσης της Ελλάδας στην παγκόσμια εξορυκτική βιομηχανία. Η μελέτη θα προσδιορίσει επίσης τους σημαντικούς συμμετέχοντες στην εξερεύνηση μεταλλείων, όπως οι κυβερνητικοί οργανισμοί όπως η Ελληνική Αρχή Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών, οι ιδιωτικές μεταλλευτικές εταιρείες και οι διεθνείς επενδυτές, καθώς και το ρόλο των ακαδημαϊκών και ερευνητικών ιδρυμάτων στην προώθηση των τεχνολογιών εξόρυξης (Ελληνική Αρχή Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, 2019).

Θα γίνει επίσης διεξοδική αξιολόγηση των οικονομικών και περιβαλλοντικών δυσκολιών που αντιμετωπίζει η εξορυκτική βιομηχανία. Ο εντοπισμός των εμποδίων στην έρευνα και την εξερεύνηση των μεταλλείων, η επίλυση των περιβαλλοντικών ζητημάτων και η εξέταση του ρυθμιστικού τοπίου μπορούν να ρίξουν φως στα στοιχεία που οδηγούν τη μεταλλευτική βιομηχανία της Ελλάδας. Η κατανόηση της αντίδρασης του κοινού στα μεταλλευτικά έργα, καθώς και των ευρύτερων περιβαλλοντικών επιπτώσεων, θα είναι κρίσιμη για τον σχεδιασμό πολιτικών που θα εξισορροπούν την οικονομική επέκταση με την οικολογική διατήρηση. Επιπλέον, θα διερευνηθούν οι επιλογές για τη βιώσιμη ανάπτυξη της εξόρυξης με την αξιολόγηση των τεχνολογικών βελτιώσεων στην έρευνα και την εξόρυξη, την εξέταση της συμμόρφωσης της Ελλάδας με τις πολιτικές βιωσιμότητας της ΕΕ και την έρευνα πιθανών πηγών χρηματοδότησης και μεθόδων επένδυσης (Terplická et al., 2021).

Με την αντιμετώπιση αυτών των θεμάτων, η παρούσα έρευνα θα παρέχει μια ολιστική άποψη για το μέλλον της μεταλλευτικής έρευνας στην Ελλάδα. Τα ευρήματα αυτής της μελέτης θα ωφελήσουν ένα ευρύ φάσμα ενδιαφερομένων, συμπεριλαμβανομένων κυβερνητικών φορέων, επιχειρηματικών επενδυτών, περιβαλλοντικών οργανώσεων και ακαδημαϊκών μελετητών. Με την ενθάρρυνση μιας τεκμηριωμένης προσέγγισης στην έρευνα για την εξόρυξη και την ανάπτυξη πολιτικής, η Ελλάδα μπορεί να διασφαλίσει ότι οι ορυκτοί της πόροι χρησιμοποιούνται αποτελεσματικά και βιώσιμα, συμβάλλοντας έτσι στην οικονομική πρόοδο και προστατεύοντας παράλληλα την περιβαλλοντική ακεραιότητα.

1. Ιστορικό και μεταλλευτικό περιβάλλον

1.1 Γεωλογική και ορυκτολογική επισκόπηση της Ελλάδας

Η Ελλάδα έχει μια περίπλοκη γεωλογική ιστορία που επηρεάστηκε από τεκτονικές κινήσεις, ηφαιστειακές εκρήξεις και ιζηματογενή δραστηριότητα. Ως μέλος της αλπικής ορογενετικής ζώνης, η χώρα έχει μια πολύπλοκη γεωλογική δομή που συμβάλλει στην αφθονία των φυσικών της πόρων (Melfos & Voudouris, 2012). Η γεωλογική σύνθεση περιλαμβάνει τις Ελληνίδες, οι οποίες χωρίζονται σε εσωτερικές και εξωτερικές ζώνες, καθώς και την Αττικοκυκλαδική Μάζα, η οποία φιλοξενεί μεγάλους μεταμορφωμένους σχηματισμούς και αποθέματα ορυκτών πόρων. Λόγω της γεωλογικής της ποικιλομορφίας, η Ελλάδα είναι πλούσια σε μεταλλικά και

μη μεταλλικά ορυκτά, βιομηχανικά ορυκτά και ενεργειακούς πόρους (Gamaletsos et al., 2013).

Ο βωξίτης είναι ένα από τα πιο προσοδοφόρα ορυκτά αποθέματα της Ελλάδας, γεγονός που ώθησε τη χώρα στην πρωτοπορία της ευρωπαϊκής παραγωγής. Τα κοιτάσματα βωξίτη είναι άφθονα στην Κεντρική Ελλάδα, ιδίως στην περιοχή Παρνασσού-Γκιώνας, και χρησιμοποιούνται κυρίως για την παραγωγή αλουμινίου. Ο λιγνίτης είναι ένας άλλος σημαντικός ενεργειακός πόρος, με σημαντικά αποθέματα συγκεντρωμένα στη Δυτική Μακεδονία και την Πελοπόννησο, καθιστώντας την Ελλάδα ιστορικά έναν από τους μεγαλύτερους παραγωγούς λιγνίτη στην Ευρώπη (Σύνδεσμος Μεταλλευτικών Επιχειρήσεων, 2016). Τα αποθέματα χρυσού και αργύρου είναι επίσης μεγάλα, ιδίως στη χερσόνησο της Χαλκιδικής στη Βόρεια Ελλάδα, όπου βρίσκονται τα μεταλλεία στις Σκουριές, την Ολυμπιάδα και το Στρατόνι (Dimova, 2021). Η μεταλλευτική περιοχή του Λαυρίου και τμήματα της Βόρειας Ελλάδας περιλαμβάνουν αποθέματα μολύβδου και ψευδαργύρου, ενώ κοιτάσματα χαλκού υπάρχουν στη Βόρεια Ελλάδα και στα νησιά του Αιγαίου. Ο μαγνησίτης, που συλλέγεται κυρίως από τη Χαλκιδική, ενισχύει τη θέση της Ελλάδας ως κορυφαίου ευρωπαϊκού παραγωγού (Kalyvas et al., 2018). Επιπλέον, τα νησιά του Αιγαίου, ιδίως η Μήλος, είναι πλούσια σε περλίτη και μπεντονίτη, βιομηχανικά ορυκτά που χρησιμοποιούνται ευρέως στις κατασκευές και τη γεωργία. Το ελληνικό μάρμαρο, που διακρίνεται για την υψηλή ποιότητά του, εξορύσσεται εδώ και γενιές, με σημαντικά λατομεία στη Θάσο, τη Δράμα και την Πεντέλη (Tvalchrelidze & Morizot, 2002).

1.2 Μεταλλευτική ιστορία στην Ελλάδα

Η ιστορία της εξόρυξης στην Ελλάδα χρονολογείται από την αρχαιότητα. Ο ορυκτός πλούτος της χώρας συνέβαλε σημαντικά στην ανάπτυξη των πρώτων πολιτισμών, ιδιαίτερα κατά την κλασική και την ελληνιστική περίοδο. Η εξόρυξη και η μεταλλουργία χρονολογούνται από το 3000 π.Χ., όταν εξορύχθηκε χαλκός στα νησιά του Αιγαίου. Τα μεταλλεία αργύρου του Λαυρίου ήταν ένας από τους πιο αξιόλογους τόπους εξόρυξης της αρχαιότητας, που άκμασε τον πέμπτο αιώνα π.Χ. Τα μεταλλεία αυτά παρείχαν ασήμι για την κοπή αθηναϊκού χρήματος, το οποίο χρηματοδοτούσε το ναυτικό στόλο της πόλης και συνέβαλε στην επέκταση της αθηναϊκής αυτοκρατορίας. Επιπλέον, τα ορυχεία παρήγαγαν μολύβδο και

ψευδάργυρο. Οι αρχαίοι Έλληνες εξόρυσσαν χρυσό στη Μακεδονία και τη Θράκη, με τον λόφο του Παγγαίου και την Αμφίπολη να είναι ιδιαίτερα παραγωγικές. Χρησιμοποίησαν επίσης προηγμένες τεχνικές εξόρυξης, όπως υπόγειες σήραγγες, συστήματα αποστράγγισης νερού και διαδικασίες τήξης για τη βελτίωση της εξόρυξης των ορυκτών (Tzachili, 2004).

Η μεταλλευτική δραστηριότητα αυξήθηκε σημαντικά μεταξύ του 146 π.Χ. και του 1453 μ.Χ. Οι Ρωμαίοι επικεντρώθηκαν στην εξόρυξη χρυσού, αργύρου και μολύβδου, ενώ οι Βυζαντινοί μεταλλωρύχοι συνέχισαν να εφαρμόζουν τις κληρονομημένες τεχνικές εξόρυξης, αν και οι προσπάθειές τους στόχευαν κυρίως στην απόκτηση υλικών όπως το μάρμαρο για εκκλησίες και μνημεία. Ωστόσο, η εξόρυξη μειώθηκε από το 1453 έως το 1821 κατά τη διάρκεια της οθωμανικής διοίκησης. Αν και ορισμένες μεταλλευτικές εργασίες συνεχίστηκαν στη Θράκη και τη Μακεδονία, η εκμετάλλευση των περισσότερων ορυκτών, ιδίως στα μεταλλεία του Λαυρίου, ήταν περιορισμένη, με σπάνιες μόνο προσπάθειες για την ανάκτηση μολύβδου και αργύρου (Weisgerber & Pernicka, 1995).

Η ελληνική μεταλλευτική δραστηριότητα επανήλθε τον δέκατο ένατο και εικοστό αιώνα. Μετά την ανεξαρτησία της Ελλάδας τη δεκαετία του 1830, οι μεταλλευτικές δραστηριότητες αναβίωσαν, με την επαναλειτουργία των μεταλλείων του Λαυρίου και την άφιξη ξένων επενδυτών, οι οποίοι συνέβαλαν στον εκσυγχρονισμό των διαδικασιών εξόρυξης. Η εξόρυξη σε βιομηχανική κλίμακα είχε αρχίσει στις αρχές της δεκαετίας του 1900, κυρίως για την εξόρυξη βωξίτη, μαγνησίτη και λιγνίτη, ως απάντηση στην αυξανόμενη ζήτηση πρώτων υλών. Στη μεταπολεμική εποχή, ιδίως από τη δεκαετία του 1950 έως τη δεκαετία του 1970, σημειώθηκε σημαντική ανάπτυξη της εξορυκτικής βιομηχανίας, με μεγάλης κλίμακας εκμετάλλευση ορυκτών πόρων όπως ο βωξίτης, ο λιγνίτης και διάφορα βιομηχανικά ορυκτά. Ωστόσο, οι ανησυχίες για την υποβάθμιση του περιβάλλοντος οδήγησαν σε αυστηρότερους νόμους περί εξόρυξης από τη δεκαετία του 1980, ιδίως όσον αφορά τη διαχείριση της ρύπανσης που προκαλείται από την εξόρυξη και την επεξεργασία του λιγνίτη (Liritzis & Oikonomou, 2025).

Η Ελλάδα έχει διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην ευρωπαϊκή εξορυκτική βιομηχανία από τις αρχές του εικοστού πρώτου αιώνα. Η χώρα εξακολουθεί να αποτελεί βασικό παραγωγό βωξίτη, μαγνησίτη και βιομηχανικών ορυκτών. Η εξόρυξη χρυσού έχει προσελκύσει σημαντικές επενδύσεις, ιδίως στη Βόρεια Ελλάδα, όπου παγκόσμιες εταιρείες όπως η Eldorado Gold διαχειρίζονται ορυχεία όπως η

Ολυμπιάς και οι Σκουριές. Ωστόσο, περιβαλλοντικές οργανώσεις και κάτοικοι της περιοχής έχουν εκφράσει αντιρρήσεις για τις εν λόγω εξορυκτικές δραστηριότητες λόγω ανησυχιών σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους. Η εξόρυξη λιγνίτη, άλλοτε ακρογωνιαίος λίθος του ενεργειακού τομέα της Ελλάδας, έχει μειωθεί καθώς η χώρα μεταβαίνει σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και συμμορφώνεται με τους κανόνες της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την απαλλαγή από τον άνθρακα. Παρόλα αυτά, η εξόρυξη μαρμάρων και βιομηχανικών ορυκτών εξακολουθεί να αποτελεί σημαντικό στοιχείο της ελληνικής οικονομίας (Liritzis & Oikonomou, 2025).

Για να επιτύχει ισορροπία μεταξύ οικονομικής ανάπτυξης και βιωσιμότητας, η Ελλάδα έχει επικαιροποιήσει τους νόμους περί εξόρυξης και τις περιβαλλοντικές πολιτικές της, ώστε να συμμορφωθεί με τους κανόνες της ΕΕ. Η κυβέρνηση θέλει να διασφαλίσει ότι οι εξορυκτικές δραστηριότητες θα παραμείνουν κερδοφόρες, αποφεύγοντας παράλληλα την περιβαλλοντική ζημία. Παρά τα ζητήματα όπως η μειωμένη παραγωγή λιγνίτη και η αντίθεση στην εξόρυξη χρυσού, ο εξορυκτικός τομέας της Ελλάδας αποτελεί ωστόσο σημαντικό μέρος της εθνικής οικονομίας, συμβάλλοντας στην απασχόληση, τη βιομηχανική ανάπτυξη και τις εξαγωγές. Καθώς η χώρα προοδεύει, η ικανότητά της να επιτύχει ισορροπία μεταξύ της εξόρυξης πόρων και της διατήρησης του περιβάλλοντος θα είναι κρίσιμη για τον καθορισμό του μέλλοντος του εξορυκτικού της τομέα (Mathioudakis et al., 2023).

1.3 Νομικό και κανονιστικό πλαίσιο

Η Ελλάδα έχει μακρά ιστορία στην εξόρυξη, η οποία ξεκινά από την αρχαιότητα, όταν πλούσια ορυκτά όπως ο άργυρος, ο χρυσός και ο χαλκός λαμβάνονταν σε μεγάλες ποσότητες για τη στήριξη των αρχαίων πολιτισμών. Στη σημερινή εποχή, ο ελληνικός εξορυκτικός τομέας παραμένει ένα κρίσιμο συστατικό της εθνικής οικονομίας, συμβάλλοντας σημαντικά στη βιομηχανική ανάπτυξη και τη δημιουργία θέσεων εργασίας. Η χώρα διαθέτει άφθονο ορυκτό πλούτο, όπως λιγνίτη, βωξίτη, νικέλιο, μαγνησίτη και μάρμαρο. Ο εξορυκτικός τομέας στην Ελλάδα λειτουργεί εντός ενός σαφώς καθορισμένου ρυθμιστικού πλαισίου που έχει θεσπιστεί τόσο από την εθνική όσο και από την ευρωπαϊκή νομοθεσία (Pagouni et al., 2024).

Ο ελληνικός εξορυκτικός τομέας διέπεται τόσο από την εθνική νομοθεσία όσο και από τους κανονισμούς της ΕΕ. Το θεμελιώδες νομικό πλαίσιο που διέπει τις μεταλλευτικές δραστηριότητες στην Ελλάδα αποτελείται από μια σειρά νομοθετικών

πράξεων που παρέχουν λεπτομερείς οδηγίες σχετικά με την έρευνα, την εκμετάλλευση και τα δικαιώματα των μεταλλευτικών εταιρειών (Pagouni et al., 2024). Ο Μεταλλευτικός Κώδικας, που δημιουργήθηκε με το νομοθετικό διάταγμα 210/1973, είναι ο θεμελιώδης νόμος που διέπει τον τομέα, περιγράφοντας ειδικούς κανονισμούς για την εκμετάλλευση των ορυκτών πόρων και τα δικαιώματα ιδιοκτησίας (Τράπεζα Πληροφοριών Νομοθεσίας, 2023). Ο νόμος 4512/2018 θεσπίζει νέες διατάξεις για τις άδειες εξόρυξης, διασφαλίζοντας μια διαφανή διαδικασία σύμφωνα με τις οδηγίες της ΕΕ (Kodiko, 2018). Επιπλέον, ο νόμος 4014/2011 προβλέπει διαδικασίες περιβαλλοντικής αδειοδότησης και ενσωματώνει τα κριτήρια εκτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων (ΕΠΕ) στην εθνική νομοθεσία, διασφαλίζοντας ότι οι εξορυκτικές δραστηριότητες πληρούν τα πρότυπα προστασίας του περιβάλλοντος (Taxheaven, 2011). Ο νόμος 998/1979 ρυθμίζει τη χρήση δασικών εκτάσεων και την έκταση στην οποία μπορούν να πραγματοποιούνται εξορυκτικές δραστηριότητες εντός δασικών περιοχών (Kodiko, 2025a), ενώ ο νόμος 3889/2010 ορίζει μέτρα αποζημίωσης για περιβαλλοντικές ζημιές που προκύπτουν από εξορυκτικές δραστηριότητες (Kodiko, 2025b).

Ως μέλος της ΕΕ, η Ελλάδα υπόκειται σε μια σειρά οδηγιών και κανόνων που έχουν αντίκτυπο στη μεταλλευτική βιομηχανία. Η οδηγία 2006/21/EK, η οποία επικεντρώνεται στη διαχείριση των αποβλήτων στους εξορυκτικούς τομείς, επιδιώκει την προώθηση βιώσιμων μεθόδων διαχείρισης αποβλήτων και παράλληλα τη μείωση των περιβαλλοντικών ζημιών που προκαλούνται από τις εξορυκτικές δραστηριότητες (Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 2006). Η οδηγία 2011/92/ΕΕ απαιτεί μια ολοκληρωμένη διαδικασία εκτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων πριν από την έκδοση οποιασδήποτε άδειας εξόρυξης, διασφαλίζοντας ότι οι περιβαλλοντικοί κίνδυνοι αναλύονται και διαχειρίζονται κατάλληλα (Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 2012). Για την προστασία των υδάτινων πόρων, η οδηγία-πλαίσιο για τα ύδατα 2000/60/EK ρυθμίζει τη χρήση του νερού και θεσπίζει αυστηρές διαδικασίες ελέγχου της ρύπανσης στις περιοχές εξόρυξης (Συμβούλιο των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, 2013). Η οδηγία 92/43/ΕΟΚ για τους οικοτόπους (Συμβούλιο των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, 1992), και η οδηγία 2009/147/EK για τα πτηνά παρέχουν νομική προστασία για τη βιοποικιλότητα στις περιοχές που επηρεάζονται από την εξόρυξη, διασφαλίζοντας ότι η χλωρίδα και η πανίδα δεν θα υποστούν αρνητική βλάβη (Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 2010). Επιπλέον, ο κανονισμός REACH (ΕΚ) αριθ. 1907/2006 ρυθμίζει τη χρήση

επικίνδυνων χημικών ουσιών στα ορυχεία και στις βιομηχανικές διεργασίες για την προστασία της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος (Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 2024).

1.4 Ρόλος των κυβερνητικών και ρυθμιστικών φορέων

Η περιβαλλοντική βιωσιμότητα είναι σημαντική για το ρυθμιστικό πλαίσιο της Ελλάδας για την εξόρυξη. Θεμελιώδες στοιχείο αυτού του πλαισίου είναι η απαίτηση για όλα τα μεταλλευτικά έργα να κάνουν εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Η διαδικασία αυτή εγγυάται ότι οι μεταλλευτικές εταιρείες αξιολογούν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των δραστηριοτήτων τους και προτείνουν αποτελεσματικές στρατηγικές μετριασμού για τη μείωση της βλάβης. Για την ελαχιστοποίηση της μόλυνσης του εδάφους και των υδάτων, οι κανονισμοί διαχείρισης αποβλήτων προβλέπουν αυστηρά κριτήρια για τη σωστή διάθεση και ανακύκλωση των εξορυκτικών αποβλήτων (Joyce, 2001). Οι μεταλλευτικές επιχειρήσεις πρέπει επίσης να ακολουθούν αυστηρούς κανονισμούς για την ποιότητα του αέρα και των υδάτων, διασφαλίζοντας ότι οι εκπομπές και οι απορρίψεις αποβλήτων δεν υπερβαίνουν τα αποδεκτά επίπεδα. Επιπλέον, οι εξορυκτικές δραστηριότητες εντός προστατευόμενων περιοχών που έχουν οριστεί στο πλαίσιο του δικτύου Natura 2000 υπόκεινται σε αυστηρούς περιορισμούς για την πρόληψη της απώλειας της βιοποικιλότητας και της περιβαλλοντικής υποβάθμισης (Zisenis, 2017).

Ο ελληνικός εξορυκτικός τομέας διέπεται από μια σειρά κυβερνητικών οργανισμών και ρυθμιστικών φορέων που διασφαλίζουν τη νομική και περιβαλλοντική συμμόρφωση. Το Ελληνικό Ινστιτούτο Γεωλογίας και Μεταλλευτικών Ερευνών, παλαιότερα γνωστό ως Ινστιτούτο Γεωλογίας και Μεταλλευτικών Ερευνών, είναι βασικός παράγοντας στη γεωλογική έρευνα και παρέχει εξειδικευμένες τεχνικές συμβουλές στην κυβέρνηση για μεταλλευτικά θέματα. Ο οργανισμός αυτός είναι υπεύθυνος για τη διεξαγωγή ερευνών ορυκτών πόρων, την τήρηση γεωλογικών βάσεων δεδομένων και την παροχή πληροφοριών σχετικά με βιώσιμες τεχνικές εξόρυξης και τη διατήρηση του περιβάλλοντος (Boronkay et al., 2021).

Το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας είναι η κεντρική αρχή που είναι υπεύθυνη για τους μεταλλευτικούς κανόνες, την περιβαλλοντική πολιτική και την εθνική ενεργειακή στρατηγική. Το εν λόγω υπουργείο εκδίδει άδειες εξόρυξης,

εγγυάται τη συμμόρφωση με τους εθνικούς κανόνες και τους κανόνες της ΕΕ, εφαρμόζει την περιβαλλοντική νομοθεσία και επιβλέπει τα έργα εξόρυξης για να διασφαλίσει ότι ακολουθούν τις αρχές της αειφορίας (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2025). Η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας είναι ένας άλλος σημαντικός ρυθμιστικός οργανισμός που επιβλέπει διάφορα στοιχεία του ενεργειακού τομέα, συμπεριλαμβανομένης της εξόρυξης ορυκτών καυσίμων και της ανάπτυξης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ο ρόλος της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας είναι να διασφαλίζει τον θεμιτό ανταγωνισμό στους τομείς της ενέργειας και της εξόρυξης, ευθυγραμμίζοντας τις πρακτικές του κλάδου με τις ενεργειακές πολιτικές της ΕΕ. Επιπλέον, οι τοπικές και περιφερειακές αρχές διαδραματίζουν ρόλο στη χορήγηση αδειών που σχετίζονται με τη χρήση γης και την περιβαλλοντική διαχείριση, διασφαλίζοντας παράλληλα ότι οι εξορυκτικές δραστηριότητες συμμορφώνονται με τους τοπικούς στόχους βιωσιμότητας και τα συμφέροντα της κοινότητας (Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, 2025).

Παρά το καλά δομημένο ρυθμιστικό πλαίσιο, ο ελληνικός εξορυκτικός τομέας αντιμετωπίζει μια σειρά από περιορισμούς που περιορίζουν τις δυνατότητές του. Οι γραφειοκρατικές καθυστερήσεις στη λήψη αδειών εξόρυξης και η διαπραγμάτευση πολύπλοκων κανονιστικών διαδικασιών αποθαρρύνουν τους επενδυτές και αναβάλλουν την ολοκλήρωση των έργων. Επιπλέον, οι όλο και πιο αυστηροί περιβαλλοντικοί κανονισμοί της ΕΕ δημιουργούν προβλήματα συμμόρφωσης για τις μεταλλευτικές επιχειρήσεις, απαιτώντας από αυτές να επενδύσουν σε σύγχρονες τεχνολογίες και βιώσιμες πρακτικές. Ένα άλλο σημαντικό εμπόδιο είναι οι κοινωνικές αντιδράσεις των κατοίκων της περιοχής, οι οποίες εγείρουν ανησυχίες σχετικά με τους περιβαλλοντικούς κινδύνους και τους κινδύνους για την υγεία που συνδέονται με τις εξορυκτικές δραστηριότητες. Η τοπική αντίσταση καταλήγει συχνά σε διαμαρτυρίες και νομικές συγκρούσεις, περιπλέκοντας τη διαδικασία αδειοδότησης νέων εξορυκτικών δραστηριοτήτων (Koukoulas et al., 2004).

Παρά τα ζητήματα αυτά, ο ελληνικός εξορυκτικός τομέας έχει τεράστιες δυνατότητες για μελλοντική ανάπτυξη και βιωσιμότητα. Μία από τις σημαντικότερες τάσεις είναι η αυξανόμενη αποδοχή των προσπαθειών για πράσινη εξόρυξη, οι οποίες ενθαρρύνουν φιλικές προς το περιβάλλον πρακτικές εξόρυξης και επεξεργασίας. Οι μεταλλευτικές επιχειρήσεις μπορούν να βελτιώσουν τη δημόσια εικόνα τους και παράλληλα να ευθυγραμμιστούν με τα πρότυπα βιωσιμότητας της ΕΕ, χρησιμοποιώντας σύγχρονες τεχνολογίες που ελαχιστοποιούν τα απόβλητα και τη

χρήση ενέργειας. Επιπλέον, η πρόσβαση στη χρηματοδότηση της ΕΕ παρέχει στις μεταλλευτικές επιχειρήσεις οικονομικά κίνητρα για να επενδύσουν σε βιώσιμες τεχνολογίες εξόρυξης και περιβαλλοντικές διασφαλίσεις (Diao et al., 2024).

Ένας άλλος τομέας δυνατοτήτων είναι η εξερεύνηση και η εξόρυξη στοιχείων σπάνιων γαιών, τα οποία απαιτούνται για τη δημιουργία συσκευών υψηλής τεχνολογίας, τεχνολογίας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και μπαταριών ηλεκτρικών αυτοκινήτων (Weng et al., 2013). Η Ελλάδα διαθέτει ανεκμετάλλευτα αποθέματα αυτών των ζωτικών ορυκτών και με τις κατάλληλες επενδύσεις, η χώρα θα μπορούσε να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην παγκόσμια αλυσίδα εφοδιασμού με στοιχεία σπάνιων γαιών. Αξιοποιώντας τον ορυκτό της πλούτο, η Ελλάδα μπορεί να αυξήσει την ανταγωνιστικότητα του εξορυκτικού της τομέα, τηρώντας παράλληλα αυστηρά περιβαλλοντικά πρότυπα και καλλιεργώντας επωφελείς σχέσεις με τον τοπικό πληθυσμό (Diao et al., 2024).

2. Ορυκτά κοιτάσματα στην Ελλάδα

2.1 Κοιτάσματα υπό έρευνα

Η μεταλλευτική εξερεύνηση είναι ζωτικής σημασίας για τον μεταλλευτικό τομέα, διότι εντοπίζει, αξιολογεί και επιβεβαιώνει την παρουσία πολύτιμων ορυκτών πόρων. Ορυκτά όπως ο χρυσός, ο χαλκός, ο μόλυβδος, ο ψευδάργυρος και τα σπάνια γήινα στοιχεία βρίσκονται στο επίκεντρο πολλών ερευνητικών προγραμμάτων σε όλο τον κόσμο λόγω της σημασίας τους στο παγκόσμιο εμπόριο και τη βιομηχανία. Οι κυβερνήσεις και οι εμπορικές εταιρείες αυξάνουν τις προσπάθειές τους για τον εντοπισμό νέων κοιτασμάτων, διασφαλίζοντας την οικονομική ανάπτυξη, τη βιομηχανική επέκταση και τη σταθερότητα της αλυσίδας εφοδιασμού. Οι εν λόγω ερευνητικές δραστηριότητες χωρίζονται σε διάφορα στάδια, συμπεριλαμβανομένων των γεωφυσικών ερευνών, της γεωχημικής ανάλυσης, των γεωτρήσεων και των εκτιμήσεων σκοπιμότητας. Η σύγχρονη εξερεύνηση προωθεί την αποτελεσματικότητα, τις μικρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τη μακροπρόθεσμη εξόρυξη πόρων (Tsirambides & Filippidis, 2012).

Η Ελλάδα, μια χώρα με μακρά μεταλλευτική ιστορία, έχει δει μια αύξηση των ερευνητικών προσπαθειών, ιδίως σε βόρειες περιοχές όπως η Χαλκιδική, η Θράκη και η Μακεδονία. Τα μέρη αυτά είναι γνωστά για την αφθονία πολυμεταλλικών

μεταλλευμάτων, τα οποία περιλαμβάνουν κοιτάσματα χρυσού, αργύρου, χαλκού και ψευδαργύρου μολύβδου. Αρκετές ενεργές πρωτοβουλίες χρησιμοποιούν τεχνολογίες αιχμής στην τοπογραφία και τις γεωτρήσεις για να προσδιορίσουν το δυναμικό αυτών των αποθεμάτων για μελλοντικές εξορυκτικές δραστηριότητες. Πέρα από την Ελλάδα, η μεταλλευτική έρευνα εξαπλώνεται γρήγορα σε όλο τον κόσμο, ιδίως στην Αφρική, τη Λατινική Αμερική και την Ασία. Οι περιοχές αυτές, οι οποίες είναι πλούσιες σε μη ανεπτυγμένους ορυκτούς πόρους, προσελκύουν σημαντικές επενδύσεις από διεθνείς μεταλλευτικές εταιρείες που επιθυμούν να διαφοροποιήσουν τις πηγές εφοδιασμού τους και να μειώσουν τους γεωπολιτικούς κινδύνους που συνδέονται με την έλλειψη ορυκτών πόρων (Τζεφέρης, 2015).

Ο κλάδος γνωρίζει σημαντική ανάπτυξη, η οποία τροφοδοτείται τόσο από παραδοσιακά μέσα όσο και από καινοτόμες τεχνολογίες. Οι σύγχρονες τεχνικές εξερεύνησης, όπως οι γεωφυσικές και γεωχημικές έρευνες, αυξάνουν την ακρίβεια του εντοπισμού κοιτασμάτων. Επιπλέον, η ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης και της μηχανικής μάθησης στα γεωλογικά μοντέλα βελτιώνει τη λήψη αποφάσεων και την αξιολόγηση των πόρων. Η χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών για εναέριες έρευνες και μαγνητομετρική ανάλυση επιτρέπει στους γεωλόγους να συλλέγουν ακριβή γεωλογικά δεδομένα, ελαχιστοποιώντας παράλληλα τα έξοδα και τις περιβαλλοντικές διαταραχές. Αυτές οι τεχνικές ανακαλύψεις συμβάλλουν στη δημιουργία πιο αποτελεσματικών και βιώσιμων προσεγγίσεων εξερεύνησης (Τζεφέρης, 2015).

2.1.1 Εταιρείες που συμμετέχουν στην έρευνα

Οι μεταλλευτικές επιχειρήσεις στην Ελλάδα και σε ολόκληρο τον κόσμο θέτουν τα πρότυπα για τη χρήση νέων τεχνολογιών για τη βελτίωση της αναζήτησης ορυκτών πόρων. Αξιοσημείωτοι παράγοντες στα ελληνικά έργα ανεύρεσης ορυκτών περιλαμβάνουν την Ελληνικός Χρυσός και διάφορες πολυεθνικές εταιρείες. Αυτοί οι οργανισμοί χρησιμοποιούν εξοπλισμό αιχμής, όπως η τεχνολογία τηλεπισκόπησης, οι διαδικασίες εξόρυξης σε βαθιές θάλασσες και οι προσεγγίσεις εξερεύνησης με τεχνητή νοημοσύνη για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας και της ακρίβειας των εργασιών τους. Καθώς ο τομέας εξελίσσεται, η εστίαση παραμένει στην επίτευξη ισορροπίας μεταξύ των οικονομικών οφελών της εξερεύνησης ορυκτών πόρων και των περιβαλλοντικών υποχρεώσεων που την συνοδεύουν. Το μέλλον του τομέα

προβλέπεται ότι θα καθοριστεί από βιώσιμες πρακτικές και τεχνολογίες αιχμής που μπορούν να βοηθήσουν στην κάλυψη των ολοένα αυξανόμενων αναγκών του κόσμου για κρίσιμους πόρους (Τζεφέρης, 2015).

Η επιχείρηση εξερεύνησης ορυκτών πόρων είναι μια επιχείρηση συνεργασίας, με εγχώριες και διεθνείς εταιρείες να φέρνουν μια ποικιλία εμπειρογνωμοσύνης, οικονομικών πόρων και καινοτόμων τεχνικών λύσεων για τον εντοπισμό και την εκτίμηση των κοιτασμάτων ορυκτών πόρων. Στην Ελλάδα, σημαντικοί παράγοντες του κλάδου περιλαμβάνουν την Ελληνικός Χρυσός, την ΕΑΓΜΕ και άλλες ξένες μεταλλευτικές εταιρείες που συμβάλλουν ουσιαστικά στην εξερεύνηση ορυκτών πόρων της χώρας (Ταργουτζίδης et al., 2007).

Η Ελληνικός Χρυσός, θυγατρική της καναδικής εταιρείας εξόρυξης Eldorado Gold, έχει αναδειχθεί σε βασικό παράγοντα στον εξορυκτικό τομέα της Ελλάδας. Η εταιρεία έχει διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην ανοικοδόμηση της βιομηχανίας εξόρυξης χρυσού της χώρας, ιδίως μέσω επιθετικών πρωτοβουλιών έρευνας και ανάπτυξης. Η Ελληνικός Χρυσός επικεντρώνει τις προσπάθειές της σε ορυχεία όπως οι Σκουριές και η Ολυμπιάδα, όπου διεξάγονται σημαντικές γεωλογικές μελέτες για την ενίσχυση των υφιστάμενων αποθεμάτων και την αποκάλυψη νέων περιοχών με μεταλλοφόρο δυναμικό. Τα έργα αυτά είναι ζωτικής σημασίας για το μεταλλευτικό μέλλον της Ελλάδας, καθώς αποσκοπούν στην αύξηση της παραγωγικής ικανότητας της χώρας σε ορυκτά και στη συμβολή της στην παγκόσμια προμήθεια πολύτιμων υλικών, όπως ο χρυσός. Συνδυάζοντας την προηγμένη γεωλογική έρευνα με τις σύγχρονες τεχνικές εξερεύνησης, η Ελληνικός Χρυσός βελτιστοποιεί τις δραστηριότητές της για να εξασφαλίσει υψηλότερα ποσοστά επιτυχίας στην ανακάλυψη ορυκτών και την εξόρυξη πόρων (Hellas Gold, 2025).

Μαζί με την Ελληνικός Χρυσός, πολλές τοπικές και διεθνείς εταιρείες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην αναζήτηση ορυκτών σε όλη την Ελλάδα. Το Ινστιτούτο Γεωλογίας και Μεταλλευτικής Έρευνας, ένας βασικός φορέας της ελληνικής μεταλλευτικής βιομηχανίας, προωθεί την εξερεύνηση όχι μόνο στην Ελλάδα αλλά και σε ολόκληρη την Ευρώπη. Το Ινστιτούτο Γεωλογίας και Μεταλλευτικής Έρευνας διευκολύνει την ερευνητική συνεργασία, τις τεχνολογικές ανταλλαγές και την προώθηση βιώσιμων εξορυκτικών πρακτικών. Πρωταρχικός στόχος του οργανισμού είναι η προώθηση τεχνολογιών εξερεύνησης που μειώνουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των εξορυκτικών δραστηριοτήτων, αυξάνοντας παράλληλα τα ποσοστά ανάκτησης πόρων. Οι σχέσεις του Ινστιτούτο Γεωλογίας και

Μεταλλευτικής Έρευνας με μεταλλευτικές επιχειρήσεις και ερευνητικά ιδρύματα συμβάλλουν στη δημιουργία βέλτιστων πρακτικών στον κλάδο, διασφαλίζοντας ότι ο ελληνικός εξορυκτικός τομέας παραμένει ανταγωνιστικός και περιβαλλοντικά υπεύθυνος στην παγκόσμια αγορά (Hellas Gold, 2025).

Τα τελευταία χρόνια, οι νέες τεχνολογίες έχουν ενσωματωθεί στην εξερεύνηση των μεταλλείων, με αποτέλεσμα σημαντική πρόοδο στον εντοπισμό και την αξιολόγηση των κοιτασμάτων. Η εισαγωγή της τεχνολογίας τηλεπισκόπησης, η οποία επιτρέπει την ακριβή χαρτογράφηση της γήινης επιφάνειας και του υπεδάφους χωρίς να απαιτείται σημαντική επίγεια έρευνα, έχει μεταμορφώσει τον τρόπο με τον οποίο οι εταιρείες εντοπίζουν βιώσιμες περιοχές εξόρυξης. Η συσκευή αυτή μπορεί να εντοπίσει πιθανούς ορυκτούς πόρους από απόσταση, ελαχιστοποιώντας την ποσότητα της φυσικής εργασίας και της διατάραξης της επιφάνειας που απαιτείται στις παραδοσιακές μεθόδους εξερεύνησης. Οι εταιρείες μπορούν να χρησιμοποιούν δορυφορικές εικόνες, μη επανδρωμένα αεροσκάφη και άλλα εργαλεία τηλεπισκόπησης για να αξιολογούν γρήγορα τεράστιες εκτάσεις γης, επιτρέποντάς τους να επικεντρωθούν στις πιο βιώσιμες περιοχές για μελλοντική εξερεύνηση και γεώτρηση (Okada, 2022).

Επιπλέον, οι εταιρείες εξόρυξης χρησιμοποιούν όλο και περισσότερο την εξερεύνηση με βάση την τεχνητή νοημοσύνη για τη βελτίωση της λήψης αποφάσεων και τη μεγιστοποίηση των ποσοστών επιτυχίας της εξερεύνησης. Οι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να αξιολογήσουν τεράστιους όγκους γεωλογικών, γεωφυσικών και γεωχημικών δεδομένων για να δημιουργήσουν εξαιρετικά ακριβή μοντέλα κοιτασμάτων ορυκτών. Αυτό επιτρέπει στις επιχειρήσεις να λαμβάνουν καλύτερες αποφάσεις σχετικά με το πού να αναλάβουν γεωτρήσεις, μειώνοντας την ανάγκη για άσκοπες εξερευνήσεις και αυξάνοντας παράλληλα την πιθανότητα αποκάλυψης νέων, προσοδοφόρων πόρων. Οι εταιρείες που ενσωματώνουν την τεχνητή νοημοσύνη στις διαδικασίες εξερεύνησης μπορούν να επιτύχουν μεγαλύτερη ακρίβεια στις δραστηριότητές τους, διασφαλίζοντας ότι οι πόροι εντοπίζονται και συλλέγονται με τον πιο αποτελεσματικό και αποδοτικό τρόπο (Okada, 2022).

Επιπλέον, οι τεχνικές εξόρυξης σε μεγάλα βάθη της θάλασσας αποκτούν ολοένα και μεγαλύτερη δημοτικότητα, καθώς οι εταιρείες αναζητούν στον πυθμένα των ωκεανών ορυκτά αποθέματα. Η εκμετάλλευση υποθαλάσσιων κοιτασμάτων ορυκτών πόρων αποτελεί ένα νέο σύνορο για την εξόρυξη, αλλά θέτει επίσης μοναδικά προβλήματα και περιβαλλοντικά ζητήματα. Καθώς η τεχνολογία εξόρυξης

σε βαθιές θάλασσες προχωρά, οι εταιρείες προσπαθούν να βρουν μεθόδους που μειώνουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της υποθαλάσσιας έρευνας, ενώ παράλληλα έχουν πρόσβαση στα πλούσια αποθέματα ορυκτών του ωκεάνιου πυθμένα (Τζεφέρης, 2015).

Ταυτόχρονα, οι διαδικασίες βιώσιμης μεταλλευτικής έρευνας αποκτούν όλο και μεγαλύτερη σημασία. Καθώς οι παγκόσμιες ανησυχίες για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της εξόρυξης αυξάνονται, οι εταιρείες αναζητούν λύσεις για να μειώσουν το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα. Οι τεχνικές γεωτρήσεων χαμηλού αντίκτυπου, για παράδειγμα, επιδιώκουν να ελαχιστοποιήσουν τη διατάραξη της επιφάνειας κατά τη διάρκεια των δραστηριοτήτων εξερεύνησης, διατηρώντας έτσι την ακεραιότητα του οικοσυστήματος και μειώνοντας το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των εξορυκτικών δραστηριοτήτων. Η χρήση μη τοξικών αντιδραστηρίων στην ανάλυση ορυκτών, καθώς και η πρόοδος στα συστήματα ανακύκλωσης νερού, συμβάλλουν σε πιο βιώσιμες και περιβαλλοντικά υπεύθυνες πρακτικές εξόρυξης (Ταργουτζίδης et al., 2007).

2.1.2 Πρόσφατα ευρήματα και τεχνολογικές προσεγγίσεις

Το μέλλον της εξερεύνησης ορυκτών εξαρτάται από τη συνεχή ενσωμάτωση αυτών των τεχνολογιών και των βιώσιμων πρακτικών. Καθώς αυξάνεται η παγκόσμια ζήτηση για ζωτικούς πόρους όπως ο χρυσός, ο χαλκός και τα ορυκτά σπάνιων γαιών, τα εξελιγμένα εργαλεία εξερεύνησης και οι κατάλληλες τεχνικές εξόρυξης θα διαδραματίζουν όλο και πιο σημαντικό ρόλο στην ικανοποίηση της ζήτησης αυτής. Με την αύξηση της αποτελεσματικότητας της εξερεύνησης και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, η εξορυκτική βιομηχανία μπορεί να συνεχίσει να διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην παγκόσμια οικονομία, διασφαλίζοντας παράλληλα ότι η διαχείριση των φυσικών πόρων του πλανήτη γίνεται με βιώσιμο τρόπο για τις μελλοντικές γενιές (Martinho, 2023).

Οι ξένες μεταλλευτικές εταιρείες επενδύουν ολοένα και περισσότερο σε ελληνικά έργα έρευνας ορυκτών πόρων, προσελκύονται από το πλούσιο γεωλογικό δυναμικό της χώρας. Οι καναδικές, αυστραλιανές και κινεζικές εταιρείες συγκαταλέγονται μεταξύ των πιο ενεργών συμμετεχόντων, ενώ συχνά συνεργάζονται με τοπικούς φορείς για την προώθηση της μεταλλευτικής έρευνας. Αυτές οι διεθνείς εταιρείες φέρνουν εξειδικευμένες γνώσεις σε τομείς όπως η εξόρυξη σε μεγάλο βάθος,

οι εφαρμογές τηλεπισκόπησης και οι περιβαλλοντικά βιώσιμες τεχνικές εξόρυξης. Αξιοποιώντας αυτές τις προηγμένες τεχνολογίες, ενισχύουν την αποτελεσματικότητα στην εξερεύνηση ορυκτών πόρων, τηρώντας παράλληλα περιβαλλοντικά υπεύθυνες πρακτικές (Martinho, 2023).

Καθώς οι επενδύσεις στην εξερεύνηση ορυκτών πόρων αυξάνονται, η Ελλάδα συνεχίζει να αναδεικνύεται σε περιοχή-κλειδί για την ανάπτυξη των ορυχείων. Η συνεργασία μεταξύ εγχώριων και διεθνών εταιρειών, σε συνδυασμό με τις τεχνολογικές εξελίξεις, διαμορφώνει ένα πιο αποτελεσματικό και βιώσιμο μέλλον για τον τομέα. Η εστίαση παραμένει στην εξισορρόπηση των οικονομικών οφελών με την περιβαλλοντική διαχείριση, διασφαλίζοντας ότι οι δραστηριότητες εξερεύνησης και εξόρυξης ευθυγραμμίζονται με τα σύγχρονα πρότυπα βιωσιμότητας (Martinho, 2023).

Οι πρόσφατες ερευνητικές δραστηριότητες στην Ελλάδα έχουν δείξει ιδιαίτερα ενθαρρυντικά αποτελέσματα, εντοπίζοντας νέες μεταλλοφόρες ζώνες και βελτιώνοντας τις διαδικασίες εξόρυξης για τη βελτίωση τόσο της αποτελεσματικότητας όσο και της βιωσιμότητας της εξορυκτικής βιομηχανίας. Σημαντικές ανακαλύψεις χρυσού, χαλκού και άλλων σημαντικών μετάλλων έχουν γίνει σε όλη τη χώρα, τροφοδοτώντας τη βιομηχανική αισιοδοξία. Οι γεωφυσικές έρευνες και οι δραστηριότητες γεωτρήσεων αποκάλυψαν εκτεταμένα μεταλλευτικά σώματα σε υφιστάμενες περιοχές εξόρυξης, υποδεικνύοντας ότι τα μεταλλευτικά αποθέματα είναι μεγαλύτερα από ό,τι είχε εκτιμηθεί προηγουμένως. Η ανακάλυψη φρέσκων φλεβών χρυσού στη Χαλκιδική και ανεκμετάλλευστων πολυμεταλλικών πόρων στη Θράκη έχει προκαλέσει σημαντικό επενδυτικό ενδιαφέρον, αναδεικνύοντας τις δυνατότητες της Ελλάδας ως σημαντικού παίκτη στην παγκόσμια εξορυκτική βιομηχανία (Rezaei & Fijin, 2024).

Οι σύγχρονες τακτικές εξερεύνησης θέτουν ως προτεραιότητα τις ελάχιστες επιφανειακές ζημιές, αυξάνοντας παράλληλα την ακρίβεια και την ακρίβεια του εντοπισμού των κοιτασμάτων ορυκτών. Τεχνικές όπως οι έρευνες επαγόμενης πόλωσης, η μαγνητοτηλεγραφική απεικόνιση και η υπερφασματική τηλεπισκόπηση αποκτούν ολοένα και μεγαλύτερη σημασία για την ανεύρεση ανωμαλιών στο υπέδαφος που μπορεί να σηματοδοτούν την παρουσία πολύτιμων ορυκτών. Αυτές οι προσεγγίσεις επιτρέπουν στους γεωλόγους να αποκτήσουν ακριβείς γνώσεις για το υπόγειο οικοσύστημα χωρίς να προκαλούν σημαντική επιφανειακή διαταραχή, γεγονός που είναι κρίσιμο για την περιβαλλοντική βιωσιμότητα και την οικονομική εξοικονόμηση. Επιπλέον, η χρήση της γεωχημικής ανάλυσης δειγμάτων εδάφους και

ισοτόπων βελτιώνει την ακρίβεια με την οποία εντοπίζονται οι μεταλλευτικοί στόχοι. Με την ανάλυση των εδαφικών και ισοτοπικών συνθέσεων, οι τεχνολογίες αυτές προσφέρουν πολύτιμα δεδομένα που βοηθούν τους γεωλόγους να εντοπίζουν με μεγαλύτερη ακρίβεια τις πλούσιες σε ορυκτά ζώνες, μειώνοντας έτσι την ανάγκη για υπερβολικές γεωτρήσεις (Kessouri et al., 2019).

Ο συνδυασμός αυτών των σύγχρονων τεχνικών εξερεύνησης αλλάζει τον τρόπο με τον οποίο ανακαλύπτονται και αξιολογούνται οι ορυκτοί πόροι. Είναι σημαντικά πιο αποδοτικές από τις παραδοσιακές προσεγγίσεις, επειδή μειώνουν τις απαιτήσεις γεωτρήσεων και μεγιστοποιούν την κατανομή των πόρων. Οι προσπάθειες εξερεύνησης μπορούν να πραγματοποιηθούν πιο αποτελεσματικά και με λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, εστιάζοντας στα πιο υποσχόμενα σημεία με τη χρήση εξελιγμένων, βασισμένων σε δεδομένα μοντέλων. Η δυνατότητα συλλογής ακριβών δεδομένων με τη χρήση αυτών των μη επεμβατικών προσεγγίσεων εγγυάται ότι διερευνώνται μόνο οι πιο βιώσιμες θέσεις, μειώνοντας έτσι το κόστος και τα απόβλητα που σχετίζονται με την εξερεύνηση των ορυχείων (Kessouri et al., 2019).

Ως αποτέλεσμα αυτών των καινοτομιών, ο τομέας εξερεύνησης ορυκτών πρώτων υλών στην Ελλάδα γνωρίζει μια αξιοσημείωτη αύξηση τόσο του επενδυτικού ενδιαφέροντος όσο και της οικονομικής δέσμευσης. Ο συνδυασμός νέων ανακαλύψεων, προηγμένων μεθόδων εξερεύνησης και βελτιωμένων τεχνικών εξόρυξης τοποθετεί την Ελλάδα ως έναν ολοένα και πιο ελκυστικό προορισμό για επενδύσεις σε ορυκτά. Τα αποθέματα της χώρας, ιδίως σε χρυσό και πολυμεταλλικά μεταλλεύματα, αναμένεται να αυξηθούν, καθώς οι ερευνητικές δραστηριότητες συνεχίζουν να αποκαλύπτουν νέες ευκαιρίες. Αυτή η πολλά υποσχόμενη τάση έχει τη δυνατότητα να συμβάλει σημαντικά στην οικονομική ανάπτυξη της χώρας, ενώ παράλληλα θα ενισχύσει τη θέση της στην παγκόσμια εξορυκτική βιομηχανία (Ali et al., 2022).

Μία από τις κύριες κινητήριες δυνάμεις πίσω από αυτές τις εξελίξεις είναι η αυξανόμενη υιοθέτηση της τεχνολογίας που μειώνει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της εξερεύνησης. Καθώς αυξάνεται η παγκόσμια γνώση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της εξόρυξης, ο κλάδος αντιμετωπίζει μεγαλύτερη πίεση για την υιοθέτηση βιώσιμων μεθόδων. Η χρήση μη επεμβατικών γεωφυσικών τεχνολογιών, σε συνδυασμό με τις εξελίξεις στη γεωχημική ανάλυση, ελαχιστοποιεί την ανάγκη για μεγάλης κλίμακας επιφανειακές διαταραχές. Αυτό είναι ζωτικής σημασίας για την προστασία των οικοσυστημάτων, τη μείωση της χρήσης νερού και τον μετριασμό των

διαφόρων περιβαλλοντικών συνεπειών που συχνά προκαλούν οι παραδοσιακές εξορυκτικές εργασίες. Ως αποτέλεσμα, αυτές οι βελτιώσεις βοηθούν τις εταιρείες εξόρυξης να διατηρήσουν την κοινωνική τους άδεια λειτουργίας, ενώ παράλληλα πληρούν τα αυστηρότερα περιβαλλοντικά πρότυπα (Ali et al., 2022).

Το αυξανόμενο ενδιαφέρον για τις προοπτικές εξερεύνησης ορυκτών πόρων στην Ελλάδα αντανακλά την ευρύτερη παγκόσμια τάση προς πιο αποτελεσματικές, καθοδηγούμενες από δεδομένα και περιβαλλοντικά ευαισθητοποιημένες πρακτικές εξόρυξης. Οι εταιρείες είναι πλέον σε θέση να αξιοποιήσουν προηγμένες τεχνολογίες που κάποτε ήταν απρόσιτες ή απλησίαστες, καθιστώντας την εξερεύνηση ορυκτών πόρων τόσο πιο ακριβή όσο και λιγότερο επεμβατική. Συνδυάζοντας αυτά τα τεχνολογικά εργαλεία με τη δέσμευση για βιωσιμότητα, η Ελλάδα τοποθετείται ως κόμβος υπεύθυνης εξόρυξης που μπορεί να καλύψει την αυξανόμενη παγκόσμια ζήτηση για κρίσιμα ορυκτά, όπως ο χρυσός, ο χαλκός και τα στοιχεία σπάνιων γαιών. Επιπλέον, οι συνεχιζόμενες εξελίξεις στις τεχνικές εξερεύνησης δημιουργούν ένα πιο ανταγωνιστικό και ελκυστικό περιβάλλον τόσο για τους εγχώριους όσο και για τους διεθνείς επενδυτές. Καθώς εντοπίζονται περισσότερα κοιτάσματα ορυκτών με μεγαλύτερη ακρίβεια, η διαδικασία εξερεύνησης γίνεται όλο και πιο αξιόπιστη, μειώνοντας τους κινδύνους που συνδέονται με τις επενδύσεις. Αυτό με τη σειρά του ενθαρρύνει την αύξηση της χρηματοδότησης στον τομέα, ενισχύοντας περαιτέρω την οικονομική ανάπτυξη και διευκολύνοντας την ανάπτυξη νέων μεταλλευτικών έργων σε όλη την Ελλάδα (Haritha, 2023).

Η τεχνητή νοημοσύνη και η μηχανική μάθηση μεταμορφώνουν την εξερεύνηση ορυκτών πόρων, επιτρέποντας τη μελέτη τεράστιων συνόλων δεδομένων για την πρόβλεψη της ανακάλυψης άγνωστων μέχρι πρότινος ορυκτών πόρων. Οι μεταλλευτικές επιχειρήσεις χρησιμοποιούν όλο και περισσότερο λογισμικό γεωλογικής μοντελοποίησης με τεχνητή νοημοσύνη για να βελτιώσουν τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων και τα ποσοστά επιτυχίας των ερευνητικών πρωτοβουλιών. Τα εργαλεία αυτά μπορούν να ενσωματώσουν και να αξιολογήσουν ένα ευρύ σύνολο πηγών δεδομένων, όπως ιστορικά αρχεία γεωτρήσεων, δορυφορικές φωτογραφίες και παρατηρήσεις πεδίου σε πραγματικό χρόνο. Ως αποτέλεσμα, η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να παράγει πολύ ακριβή μοντέλα των ορυκτών πόρων, επιτρέποντας την ακριβέστερη καθοδήγηση των δραστηριοτήτων εξερεύνησης (Onifade et al., 2023).

Εκτός από την τεχνητή νοημοσύνη, τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην αλλαγή του τρόπου με τον οποίο διεξάγεται η εξερεύνηση. Τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο για τη συλλογή αεροφωτογραφιών υψηλής ανάλυσης και τη διεξαγωγή μαγνητομετρικών ερευνών σε σκληρό, βραχώδες έδαφος. Αυτά τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη επιτρέπουν στους γεωλόγους να συλλέγουν κρίσιμα γεωλογικά δεδομένα χωρίς την ανάγκη για εκτεταμένες και δαπανηρές επίγειες μελέτες. Η δυνατότητα συλλογής δεδομένων από δυσπρόσιτες περιοχές μειώνει δραματικά τον χρόνο, την προσπάθεια και το κόστος που συνεπάγεται η εφαρμογή των παραδοσιακών μεθόδων εξερεύνησης, ενώ παράλληλα ενισχύει την ακρίβεια και την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη καθίστανται έτσι απαραίτητο εργαλείο στη σύγχρονη εξερεύνηση, αυξάνοντας την αποτελεσματικότητα και επιτρέποντας πιο εκτεταμένες έρευνες με λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Onifade et al., 2023).

Παράλληλα με αυτές τις τεχνολογικές εξελίξεις, οι εταιρείες εξόρυξης δίνουν μεγαλύτερη έμφαση σε βιώσιμες πρακτικές εξερεύνησης λόγω των αυξανόμενων ανησυχιών σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των εξορυκτικών δραστηριοτήτων. Οι τεχνικές γεωτρήσεων χαμηλής όχλησης ενσωματώνονται στα έργα εξερεύνησης για την ελαχιστοποίηση της διατάραξης της επιφάνειας και τη μείωση του οικολογικού αποτυπώματος. Οι μέθοδοι βιοέκπλυσης, οι οποίες χρησιμοποιούν μικροοργανισμούς για την εξαγωγή μετάλλων από μεταλλεύματα με πιο φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο, κερδίζουν επίσης έδαφος ως εναλλακτική λύση στις παραδοσιακές διαδικασίες εξόρυξης που απαιτούν χημικές ουσίες. Επιπλέον, εφαρμόζονται συστήματα ανακύκλωσης νερού για να διασφαλιστεί η ελαχιστοποίηση της χρήσης νερού και η προσεκτική διαχείριση των αποβλήτων καθ' όλη τη διάρκεια των φάσεων εξερεύνησης και εξόρυξης. Επιπλέον, η χρήση μη τοξικών αντιδραστηρίων στην ανάλυση ορυκτών αντικαθιστά τις επιβλαβείς χημικές ουσίες που παραδοσιακά χρησιμοποιούνται στη διαδικασία, συμβάλλοντας περαιτέρω στη στροφή του κλάδου προς πιο βιώσιμες και φιλικές προς το περιβάλλον πρακτικές. Αυτές οι καινοτομίες οδηγούνται τόσο από ρυθμιστικές πιέσεις όσο και από την αυξανόμενη αναγνώριση από τον κλάδο της σημασίας της ελαχιστοποίησης του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των εξορυκτικών δραστηριοτήτων (Levett et al., 2021).

Ο τομέας της μεταλλευτικής έρευνας γνωρίζει ταχείες και σημαντικές εξελίξεις, χάρη σε έναν συνδυασμό τεχνολογικών καινοτομιών και αυξημένων επενδύσεων από εγχώριους και διεθνείς ενδιαφερόμενους φορείς. Στην Ελλάδα, μια χώρα πλούσια σε ορυκτούς πόρους, εταιρείες όπως η Ελληνικός Χρυσός, μαζί με ξένες μεταλλευτικές εταιρείες, πρωτοστατούν στην ανακάλυψη νέων κοιτασμάτων ορυκτών. Οι εταιρείες αυτές χρησιμοποιούν μια σειρά από τεχνικές εξερεύνησης αιχμής, όπως γεωφυσικές και γεωχημικές έρευνες, καθώς και μεθοδολογίες που βασίζονται στην τεχνητή νοημοσύνη, για να ξεκλειδώσουν το πλήρες δυναμικό του ορυκτού πλούτου της Ελλάδας (Levett et al., 2021).

Πρόσφατα ευρήματα στην Ελλάδα, ιδίως σε χρυσό και πολυμεταλλικά μεταλλεύματα, έχουν τροφοδοτήσει την αισιοδοξία για το μέλλον του κλάδου. Τα ευρήματα αυτά δείχνουν ότι η χώρα διαθέτει τεράστια αναξιοποίητα κοιτάσματα που θα μπορούσαν να συμβάλουν στην κάλυψη της παγκόσμιας ζήτησης για βασικά ορυκτά. Η χρήση της τεχνητής νοημοσύνης στην εξερεύνηση επιτρέπει τον ακριβέστερο εντοπισμό των προσοδοφόρων κοιτασμάτων, ενώ η τοπογράφηση με τη βοήθεια drone επιτρέπει την αποτελεσματικότερη και οικονομικότερη χαρτογράφηση των ορυκτών. Μαζί, αυτές οι μέθοδοι αλλάζουν τον τρόπο με τον οποίο ανακαλύπτονται και αξιολογούνται οι ορυκτοί πόροι (Levett et al., 2021).

Μαζί με αυτές τις τεχνολογικές βελτιώσεις, οι προσεγγίσεις βιώσιμης εξόρυξης συμβάλλουν στη διασφάλιση ότι οι εργασίες εξερεύνησης τηρούν τα πρότυπα περιβαλλοντικής και κοινωνικής ευθύνης. Εστιάζοντας στην ελαχιστοποίηση των οικολογικών επιπτώσεων και βελτιώνοντας παράλληλα την αποτελεσματικότητα των δραστηριοτήτων εξερεύνησης, ο κλάδος τοποθετείται για μακροπρόθεσμη ανάπτυξη και επιτυχία. Αυτή η ισορροπία μεταξύ οικονομικής βιωσιμότητας και περιβαλλοντικής διαχείρισης είναι απαραίτητη καθώς η παγκόσμια ζήτηση για κρίσιμα ορυκτά συνεχίζει να αυξάνεται (Said et al., 2022).

Καθώς η ζήτηση για πόρους όπως ο χρυσός, ο χαλκός και άλλα βασικά ορυκτά αυξάνεται, η διασφάλιση ασφαλών και βιώσιμων αλυσίδων εφοδιασμού θα γίνεται όλο και πιο κρίσιμη. Οι τεχνολογικές βελτιώσεις στην εξερεύνηση ορυκτών παίζουν κρίσιμο ρόλο στην αντιμετώπιση αυτής της ζήτησης, διασφαλίζοντας ότι οι πόροι ανακαλύπτονται, αξιοποιούνται και επεξεργάζονται με τρόπους που είναι τόσο εμπορικά βιώσιμοι όσο και περιβαλλοντικά κατάλληλοι. Η αυξανόμενη ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης, των μη επανδρωμένων αεροσκαφών και των βιώσιμων μεθόδων στην εξερεύνηση ορυκτών πόρων θα αλλάξει σίγουρα το μέλλον της

εξορυκτικής βιομηχανίας, καθιστώντας την πιο αποτελεσματική, οικονομικά αποδοτική και βιώσιμη τα επόμενα χρόνια (Said et al., 2022).

2.2 Γνωστά αλλά προς το παρόν ανεκμετάλλευτα κοιτάσματα

Η Ελλάδα διαθέτει αρκετά κοιτάσματα ορυκτών πόρων με σημαντικό δυναμικό, τα οποία παραμένουν ανεκμετάλλευτα λόγω διαφόρων οικονομικών, νομικών και περιβαλλοντικών προβλημάτων. Ενώ η χώρα έχει πλούσια ιστορία στην εξόρυξη, ορισμένα κοιτάσματα δεν έχουν ακόμη αξιοποιηθεί λόγω οικονομικών περιορισμών, κανονιστικών προκλήσεων ή οικολογικών προβληματισμών. Αυτοί οι ανεκμετάλλευτοι πόροι παρουσιάζουν ευκαιρίες για μελλοντική ανάπτυξη, υπό την προϋπόθεση ότι τα απαραίτητα οικονομικά και νομικά πλαίσια ευθυγραμμίζονται με βιώσιμες περιβαλλοντικές πρακτικές (Sakellariadou et al., 2022).

Ένα από τα πιο αξιοσημείωτα αναξιοποίητα κοιτάσματα ορυκτών πόρων στην Ελλάδα είναι τα σημαντικά αποθέματα χρυσού. Ενώ ορισμένα έργα εξόρυξης χρυσού είναι ενεργά, όπως τα μεταλλεία στις Σκουριές και την Ολυμπιάδα στη Βόρεια Ελλάδα, άλλα κοιτάσματα παραμένουν ανεκμετάλλευτα λόγω περιβαλλοντικών και νομικών διαφορών. Περιοχές όπως η Θράκη και ορισμένα τμήματα της Μακεδονίας διαθέτουν σημαντικά αποθέματα χρυσού, ωστόσο η εξόρυξη έχει καθυστερήσει ή έχει σταματήσει εντελώς λόγω της αντίστασης των τοπικών κοινοτήτων, των ανησυχιών για τη ρύπανση και των αυστηρών περιβαλλοντικών κανονισμών. Περιβαλλοντικές οργανώσεις και κάτοικοι της περιοχής έχουν εκφράσει φόβους σχετικά με τις πιθανές επιπτώσεις των διαδικασιών έκπλυσης κυανίου, οι οποίες χρησιμοποιούνται συνήθως στην εξόρυξη χρυσού. Οι ανησυχίες αυτές έχουν οδηγήσει σε εκτεταμένες νομικές διαμάχες, δυσχεραίνοντας τις επιχειρήσεις εξόρυξης να προχωρήσουν σε εργασίες (Sakellariadou et al., 2022).

Ένας άλλος σημαντικός αλλά ανεκμετάλλευτος πόρος είναι τα κοιτάσματα χαλκού της Ελλάδας. Χαλκός έχει εντοπιστεί σε διάφορες περιοχές, ιδίως στη Βόρεια Ελλάδα και σε ορισμένα από τα νησιά του Αιγαίου. Ωστόσο, παρά την αυξανόμενη παγκόσμια ζήτησή του, τα έργα εξόρυξης χαλκού δεν έχουν προχωρήσει λόγω ζητημάτων οικονομικής σκοπιμότητας και ρυθμιστικών προκλήσεων. Το υψηλό αρχικό κόστος έρευνας και εξόρυξης, σε συνδυασμό με τις κυμαινόμενες τιμές της παγκόσμιας αγοράς, έχουν αποτρέψει τις επενδύσεις στον τομέα. Επιπλέον, η απόκτηση αδειών εξόρυξης έχει αποδειχθεί πολύπλοκη διαδικασία, καθώς οι αρχές

πρέπει να εξισορροπούν τα οικονομικά οφέλη με τις περιβαλλοντικές και κοινωνικές ευθύνες (Stos-Gale & Gale, 2009).

Η Ελλάδα διαθέτει επίσης μεγάλα κοιτάσματα μολύβδου και ψευδαργύρου, ιδίως σε περιοχές όπως το Λαύριο και η Βόρεια Ελλάδα. Ιστορικά, τα μέταλλα αυτά εξορύχονταν εκτενώς, αλλά η εξόρυξή τους έχει μειωθεί σημαντικά λόγω της μειωμένης ζήτησης στην αγορά και των περιβαλλοντικών ανησυχιών. Ορισμένα αποθέματα μολύβδου και ψευδαργύρου παραμένουν ανέγγιχτα λόγω του υψηλού κόστους που συνδέεται με την επεξεργασία και τον εξευγενισμό αυτών των μετάλλων, διασφαλίζοντας παράλληλα τη συμμόρφωση με τα σύγχρονα περιβαλλοντικά πρότυπα. Επιπλέον, τα αποθέματα από προηγούμενες εξορυκτικές δραστηριότητες δημιουργούν προκλήσεις αποκατάστασης που πρέπει να αντιμετωπιστούν πριν από την έναρξη νέων έργων εξόρυξης (Antoniadis et al., 2022).

Ένας άλλος ανεκμετάλλευτος πόρος είναι τα σημαντικά κοιτάσματα σπάνιων γαιών της Ελλάδας. Τα στοιχεία αυτά, τα οποία περιλαμβάνουν το νεοδύμιο, το δυσπρόσιο και το ύτριο, είναι κρίσιμα για την κατασκευή προϊόντων υψηλής τεχνολογίας, συμπεριλαμβανομένων των ηλεκτρονικών, των μπαταριών και των τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Παρά τη στρατηγική τους σημασία, η Ελλάδα δεν έχει ακόμη αναπτύξει μεγάλης κλίμακας εξορυκτικές δραστηριότητες σπάνιων γαιών. Οι λόγοι για αυτό περιλαμβάνουν την πολυπλοκότητα της εξόρυξης σπάνιων γαιών, την ανάγκη για σημαντικές επενδύσεις σε υποδομές επεξεργασίας και γεωπολιτικούς παράγοντες που επηρεάζουν την παγκόσμια αλυσίδα εφοδιασμού σπάνιων γαιών. Η Κίνα κυριαρχεί επί του παρόντος στην αγορά σπάνιων γαιών, γεγονός που καθιστά δύσκολο για τους νεοεισερχόμενους, όπως η Ελλάδα, να εδραιώσουν μια ανταγωνιστική θέση (Papavasileiou, 2014).

Τα κοιτάσματα νικελίου στην Ελλάδα παραμένουν επίσης σε μεγάλο βαθμό ανεκμετάλλευτα. Η χώρα διαθέτει ένα από τα μεγαλύτερα αποθέματα νικελίου στην Ευρώπη, με γνωστά κοιτάσματα στην Κεντρική και τη Βόρεια Ελλάδα. Παρόλο που υπάρχει κάποια εξορυκτική δραστηριότητα, ο τομέας νικελίου της Ελλάδας αντιμετωπίζει προκλήσεις όπως οι χαμηλές παγκόσμιες τιμές νικελίου, το υψηλό κόστος παραγωγής και οι περιβαλλοντικοί περιορισμοί. Επιπλέον, ο ενεργοβόρος χαρακτήρας της εξόρυξης και της επεξεργασίας νικελίου έχει εγείρει ανησυχίες σχετικά με τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και τη βιωσιμότητα, περιπλέκοντας περαιτέρω τις προσπάθειες επέκτασης του κλάδου (Papavasileiou, 2014).

Εκτός από τα μεταλλικά ορυκτά, η Ελλάδα διαθέτει τεράστια αποθέματα βιομηχανικών ορυκτών, όπως ο άστριος, ο χαλαζίας και ο καολίνης, τα οποία παραμένουν ανεκμετάλλευτα. Ενώ τα υλικά αυτά χρησιμοποιούνται ευρέως στα κεραμικά, στην παραγωγή γυαλιού και στις κατασκευές, η εξόρυξή τους δεν έχει αποτελέσει σημαντική εστίαση σε σύγκριση με άλλες εξορυκτικές δραστηριότητες. Ένας λόγος για αυτό είναι η σχετικά χαμηλή οικονομική αξία αυτών των ορυκτών, που καθιστά τις επενδύσεις μεγάλης κλίμακας λιγότερο ελκυστικές. Επιπλέον, ο ανταγωνισμός από άλλες χώρες με καθιερωμένες βιομηχανικές βιομηχανίες ορυκτών έχει περιορίσει την ικανότητα της Ελλάδας να επεκτείνει το μερίδιο αγοράς της (Vatalis et al., 2014).

Στην Ελλάδα έχουν επίσης εντοπιστεί κοιτάσματα φωσφορικών αλάτων, τα οποία είναι απαραίτητα για την παραγωγή λιπασμάτων, αλλά παραμένουν ανεκμετάλλευτα. Η παγκόσμια ζήτηση για φωσφορικά άλατα συνεχίζει να αυξάνεται, λόγω των γεωργικών αναγκών, ωστόσο η Ελλάδα δεν έχει αναπτύξει έναν ισχυρό τομέα εξόρυξης φωσφορικών αλάτων. Τα κυριότερα εμπόδια περιλαμβάνουν την οικονομική βιωσιμότητα, περιβαλλοντικά ζητήματα και την παρουσία ανταγωνιστικών παραγωγών στη Βόρεια Αφρική και τη Μέση Ανατολή, όπου οι επιχειρήσεις εξόρυξης φωσφορικών αλάτων είναι πιο προηγμένες και οικονομικά αποδοτικές (Vatalis et al., 2014).

Ένας άλλος βασικός παράγοντας που επηρεάζει την ανάπτυξη ανεκμετάλλευτων κοιτασμάτων είναι το νομικό και κανονιστικό πλαίσιο της Ελλάδας. Οι εταιρείες εξόρυξης πρέπει να περιηγηθούν σε μια πολύπλοκη διαδικασία αδειοδότησης που περιλαμβάνει πολλαπλές κυβερνητικές υπηρεσίες, αυστηρές εκτιμήσεις περιβαλλοντικών επιπτώσεων και μακρά χρονοδιαγράμματα έγκρισης. Ενώ οι κανονισμοί αυτοί είναι ζωτικής σημασίας για την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος και της πολιτιστικής κληρονομιάς της Ελλάδας, δημιουργούν επίσης εμπόδια στις επενδύσεις και καθυστερούν την έναρξη νέων έργων εξόρυξης (Magazzino, 2024).

Οι οικονομικές εκτιμήσεις διαδραματίζουν επίσης κρίσιμο ρόλο στον καθορισμό του κατά πόσον ένα κοιτάσμα θα εξορυχθεί. Πολλοί ανεκμετάλλευτοι πόροι απαιτούν σημαντικές αρχικές επενδύσεις κεφαλαίου και οι διακυμάνσεις των τιμών των ορυκτών στη διεθνή αγορά επηρεάζουν τη σκοπιμότητα των έργων εξόρυξης. Για παράδειγμα, εάν η τιμή ενός μετάλλου όπως το νικέλιο ή ο χαλκός είναι πολύ χαμηλή, οι εταιρείες εξόρυξης μπορεί να είναι απρόθυμες να επενδύσουν

σε νέες δραστηριότητες, καθώς τα πιθανά κέρδη μπορεί να μην δικαιολογούν το κόστος. Επιπλέον, η οικονομική αστάθεια της Ελλάδας τις τελευταίες δεκαετίες έχει καταστήσει δύσκολο για τις εταιρείες να εξασφαλίσουν χρηματοδότηση για έργα εξόρυξης μεγάλης κλίμακας (Deady et al., 2014).

Οι περιβαλλοντικές ανησυχίες είναι από τους σημαντικότερους λόγους για τους οποίους ορισμένα κοιτάσματα παραμένουν ανεκμετάλλευτα. Η Ελλάδα είναι γνωστή για τα ποικίλα τοπία της, την πλούσια βιοποικιλότητα και τα μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς, πολλά από τα οποία βρίσκονται κοντά σε πιθανές περιοχές εξόρυξης. Η προστασία αυτών των φυσικών και πολιτιστικών αγαθών αποτελεί προτεραιότητα τόσο για την κυβέρνηση όσο και για το κοινό. Ως αποτέλεσμα, τα προτεινόμενα μεταλλευτικά έργα συχνά αντιμετωπίζουν αντιδράσεις από περιβαλλοντικές ομάδες και τοπικές κοινότητες που φοβούνται την αποψίλωση των δασών, τη ρύπανση των υδάτων και την καταστροφή των οικοτόπων. Οι αυστηρότεροι περιβαλλοντικοί κανονισμοί, μαζί με την αυξανόμενη εστίαση της Ευρωπαϊκής Ένωσης στη βιωσιμότητα και την πράσινη ενέργεια, έχουν περιπλέξει περαιτέρω τη διαδικασία έγκρισης νέων έργων εξόρυξης (Deady et al., 2014).

Παρά τις προκλήσεις αυτές, υπάρχουν δυνατότητες για την υπεύθυνη ανάπτυξη των ανεκμετάλλευστων κοιτασμάτων ορυκτών της Ελλάδας. Οι εξελίξεις στην τεχνολογία εξόρυξης, συμπεριλαμβανομένων πιο βιώσιμων μεθόδων εξόρυξης και βελτιωμένων πρακτικών διαχείρισης αποβλήτων, θα μπορούσαν να καταστήσουν την εξόρυξη πιο φιλική προς το περιβάλλον. Επιπλέον, η παγκόσμια μετάβαση προς την πράσινη ενέργεια και τα ηλεκτρικά οχήματα θα μπορούσε να αυξήσει τη ζήτηση για βασικά ορυκτά, όπως το νικέλιο, τα στοιχεία σπάνιων γαιών και ο χαλκός, καθιστώντας την εξόρυξή τους πιο οικονομικά βιώσιμη στο μέλλον (Magazzino, 2024).

Για να ξεκλειδώσει το δυναμικό αυτών των ανεκμετάλλευστων πόρων, η Ελλάδα πρέπει να επιτύχει ισορροπία μεταξύ οικονομικής ανάπτυξης και προστασίας του περιβάλλοντος. Αυτό θα μπορούσε να περιλαμβάνει την επικαιροποίηση των κανονισμών εξόρυξης για την παροχή σαφέστερων κατευθυντήριων γραμμών για τη βιώσιμη εξόρυξη, την επένδυση στην έρευνα και την ανάπτυξη φιλικών προς το περιβάλλον τεχνολογιών εξόρυξης και την προώθηση συμπράξεων μεταξύ της κυβέρνησης, του ιδιωτικού τομέα και των τοπικών κοινοτήτων. Με την αντιμετώπιση αυτών των ζητημάτων, η Ελλάδα μπορεί δυνητικά να αναπτύξει τον ορυκτό της

πλούτο εξασφαλίζοντας παράλληλα μακροπρόθεσμη περιβαλλοντική και οικονομική βιωσιμότητα (Sutton, 2017).

2.3 Σύγκριση με την παγκόσμια και ευρωπαϊκή ζήτηση

Η παγκόσμια βιομηχανική ανάπτυξη, η ψηφιακή αλλαγή και η στροφή προς την πράσινη ενέργεια έχουν αυξήσει τη ζήτηση για βασικά ορυκτά. Η Ελλάδα αποτελεί ζωτικό προμηθευτή ζωτικών πρώτων υλών, ιδίως βωξίτη, νικελίου και κοιτάσματα σπάνιων γαιών, χάρη στους άφθονους ορυκτούς πόρους της (Papastefanaki, 2013).

Οι οικονομίες του κόσμου και της Ευρώπης εξαρτώνται όλο και περισσότερο από ζωτικά ορυκτά για έργα βιωσιμότητας και τεχνολογικές ανακαλύψεις. Λόγω της οικονομικής τους σημασίας και του κινδύνου εφοδιασμού τους, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει χαρακτηρίσει ορισμένα ορυκτά ως ζωτικής σημασίας. Ο βωξίτης είναι ένα από τα πιο περιζήτητα ορυκτά, καθώς είναι απαραίτητος για την παραγωγή αλουμινίου, το οποίο χρησιμοποιείται στις κατασκευές, τη συσκευασία και τις μεταφορές. Το νικέλιο έχει αυξήσει τη σημασία του για τις μπαταρίες ιόντων λιθίου και είναι απαραίτητο για την κατασκευή ανοξείδωτου χάλυβα. Για χρήσεις υψηλής τεχνολογίας, όπως οι ανεμογεννήτριες, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα και τα στρατιωτικά συστήματα, οι σπάνιες γαίες είναι απαραίτητες (Papastefanaki, 2013).

Η Ελλάδα διαθέτει σημαντικά αποθέματα αυτών των ορυκτών, γεγονός που την καθιστά βασικό προμηθευτή εντός της ΕΕ και παγκοσμίως. Ως ένας από τους κορυφαίους παραγωγούς βωξίτη στην Ευρώπη, τα κοιτάσματα της χώρας, που βρίσκονται κυρίως στην κεντρική Ελλάδα, συμβάλλουν σημαντικά στην εγχώρια και την ευρωπαϊκή αγορά αλουμινίου. Η Ελλάδα συγκαταλέγεται μεταξύ των κορυφαίων Ευρωπαίων παραγωγών βωξίτη, με σημαντικές εξορυκτικές δραστηριότητες σε περιοχές όπως ο Παρνασσός-Γκιώνα. Ο εξορυσσόμενος βωξίτης εξευγενίζεται σε αλουμίνα και μεταποιείται σε αλουμίνιο, υποστηρίζοντας ευρωπαϊκές βιομηχανίες όπως η αυτοκινητοβιομηχανία και η αεροδιαστημική. Δεδομένης της προσπάθειας της ΕΕ για τοπικές προμήθειες ώστε να μειωθεί η εξάρτηση από τις εισαγωγές, η ελληνική εξόρυξη βωξίτη έχει στρατηγική σημασία (Charalampides et al., 2014).

Το νικέλιο είναι ένα άλλο κρίσιμο ορυκτό που παράγει η Ελλάδα. Είναι απαραίτητο για τον ανοξείδωτο χάλυβα και όλο και περισσότερο για την παραγωγή μπαταριών ηλεκτρικών οχημάτων. Η Ελλάδα είναι ο μοναδικός παραγωγός

λατεριτικού μεταλλεύματος νικελίου στην Ευρώπη και παρά την οικονομική αστάθεια που αντιμετωπίζει η μεταλλευτική εταιρεία ΛΑΡΚΟ, παραμένει στρατηγικής σημασίας. Η ζήτηση για νικέλιο αναμένεται να αυξηθεί κατακόρυφα λόγω της παγκόσμιας στροφής προς τα ηλεκτρικά οχήματα και την τεχνολογία μπαταριών, τοποθετώντας την Ελλάδα ως βασικό ευρωπαϊκό προμηθευτή. Οι κανονισμοί της ΕΕ που προωθούν την εγχώρια προμήθεια πρώτων υλών ενισχύουν τη σημασία της ελληνικής παραγωγής νικελίου για τη μείωση της εξάρτησης από τις εισαγωγές (Charalampides et al., 2014).

Η Ελλάδα διαθέτει πιθανά κοιτάσματα που θα μπορούσαν να συμβάλουν στην κάλυψη της αυξανόμενης ζήτησης της Ευρώπης για σπάνιες γαίες, παρά το γεγονός ότι η χώρα δεν χρησιμοποιεί σήμερα εκτενώς αυτούς τους ζωτικούς πόρους. Η διαφοροποίηση είναι απαραίτητη, διότι η ΕΕ εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την Κίνα για τα κοιτάσματα σπάνιων γαιών. Σύμφωνα με γεωλογική έρευνα, η Ελλάδα θα μπορούσε να επεκτείνει τον τομέα εξόρυξης κοιτασμάτων σπάνιων γαιών για να καλύψει τις τεχνικές απαιτήσεις της Ευρώπης, ιδίως στους τομείς της άμυνας και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η κρίσιμη θέση της Ελλάδας στην ευρωπαϊκή αλυσίδα εφοδιασμού ορυκτών θα βελτιωθεί με επενδύσεις σε δυνατότητες έρευνας και επεξεργασίας κοιτασμάτων σπάνιων γαιών (Charalampides et al., 2014).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει ξεκινήσει μια σειρά προγραμμάτων για την προστασία των αλυσίδων εφοδιασμού πρώτων υλών, όπως η ευρωπαϊκή πράσινη συμφωνία, η οποία ενθαρρύνει τη βιωσιμότητα και την ανεξαρτησία στην προμήθεια ορυκτών. Η πράξη για τις κρίσιμες πρώτες ύλες επιδιώκει να ενισχύσει τις δραστηριότητες εξόρυξης και διύλισης εντός της ΕΕ, μειώνοντας παράλληλα την εξάρτηση από εξωτερικές πηγές. Επιπλέον, το νικέλιο και άλλα ζωτικής σημασίας ορυκτά για την κατασκευή μπαταριών έχουν προτεραιότητα στις στρατηγικές για τις μπαταρίες και τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Οι φυσικοί πόροι της Ελλάδας συμπληρώνουν αυτές τις στρατηγικές, προσφέροντας μια ευκαιρία για βιομηχανική ανάπτυξη, οικονομική επέκταση και στρατηγική ασφάλεια της εφοδιαστικής αλυσίδας για την ΕΕ (Charalampides et al., 2014).

Ενώ οι ορυκτοί πόροι της Ελλάδας παρουσιάζουν σημαντικές οικονομικές ευκαιρίες, οι προκλήσεις παραμένουν. Οι περιβαλλοντικές ανησυχίες πρέπει να αντιμετωπιστούν, καθώς οι εξορυκτικές δραστηριότητες πρέπει να εξισορροπούν τα οικονομικά οφέλη με τους στόχους βιωσιμότητας. Απαιτούνται αυξημένες επενδύσεις στην τεχνολογία εξόρυξης και στις εγκαταστάσεις διύλισης για την ενίσχυση της

αποτελεσματικότητας και της ανταγωνιστικότητας. Τα ρυθμιστικά εμπόδια, συμπεριλαμβανομένων των γραφειοκρατικών καθυστερήσεων στις εγκρίσεις εξόρυξης, μπορούν επίσης να εμποδίσουν την ανάπτυξη. Παρά τις προκλήσεις αυτές, υπάρχουν σημαντικές ευκαιρίες για την Ελλάδα. Η χώρα μπορεί να αξιοποιήσει τις πρωτοβουλίες της ΕΕ για τον εκσυγχρονισμό των ορυχείων και να επεκτείνει την εξερεύνηση σπάνιων γαιών για να τοποθετηθεί ως βασικός προμηθευτής. Η υιοθέτηση βιώσιμων τεχνολογιών εξόρυξης μπορεί να βελτιώσει τη βιωσιμότητα του κλάδου και την αποδοχή του κοινού, εξασφαλίζοντας ισορροπία μεταξύ οικονομικής ανάπτυξης και περιβαλλοντικής ευθύνης (Charalampides et al., 2014).

3. Παράγοντες εκμετάλλευσης ορυχείων στην Ελλάδα

3.1 Ρόλος της Ελληνικής Αρχής Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΕΑΓΜΕ)

Η μεταλλευτική έρευνα στην Ελλάδα διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην οικονομική και βιομηχανική ανάπτυξη της χώρας. Η γεωλογική ποικιλομορφία της Ελλάδας παρέχει σημαντικά κοιτάσματα κρίσιμων ορυκτών, συμπεριλαμβανομένων του βωξίτη, του νικελίου και των σπάνιων γαιών, τα οποία είναι απαραίτητα για διάφορες βιομηχανίες. Ο κύριος κρατικός φορέας που είναι υπεύθυνος για την εποπτεία των δραστηριοτήτων γεωλογικής και μεταλλευτικής έρευνας στην Ελλάδα είναι η Ελληνική Αρχή Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΕΑΓΜΕ) (Ελληνική Αρχή Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, 2019).

Το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας εποπτεύει τον δημόσιο οργανισμό ΕΑΓΜΕ. Η γεωλογική έρευνα, η χαρτογράφηση των ορυκτών πόρων και η παροχή επιστημονικών δεδομένων για τη βιώσιμη διαχείριση των πόρων είναι οι κύριες αρμοδιότητές του. Έργο του οργανισμού είναι να διασφαλίζει ότι η μεταλλευτική έρευνα συμμορφώνεται με τους ευρωπαϊκούς και εθνικούς κανονισμούς, προωθώντας την οικονομική ανάπτυξη και διατηρώντας παράλληλα την περιβαλλοντική βιωσιμότητα (Ελληνική Αρχή Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, 2019).

Μία από τις βασικές αρμοδιότητες της ΕΑΓΜΕ είναι η γεωλογική χαρτογράφηση. Διεξάγει εκτεταμένες έρευνες για τον εντοπισμό και την κατηγοριοποίηση των κοιτασμάτων ορυκτών, παρέχοντας πολύτιμες πληροφορίες για

τις εξορυκτικές επιχειρήσεις και τους φορείς χάραξης πολιτικής. Διατηρώντας μια επικαιροποιημένη γεωλογική βάση δεδομένων, η ΕΑΓΜΕ διευκολύνει τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων που σχετίζονται με την εξόρυξη πόρων και τον σχεδιασμό χρήσεων γης. Αυτές οι γεωλογικές έρευνες είναι θεμελιώδους σημασίας για την κατανόηση του ορυκτού πλούτου της Ελλάδας και των πιθανών ευκαιριών εξόρυξης (Ελληνική Αρχή Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, 2019).

Η ΕΑΓΜΕ είναι επίσης υπεύθυνο για την αξιολόγηση των ορυκτών πόρων. Μέσω της αξιολόγησης της ποιότητας, της διαθεσιμότητας και της οικονομικής βιωσιμότητας των διαφόρων κοιτασμάτων ορυκτών πόρων, ο οργανισμός βοηθά στον προσδιορισμό των πόρων που μπορούν να αξιοποιηθούν και να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά. Για την παροχή ακριβών πληροφοριών σχετικά με τα ορυκτά αποθέματα, η παρούσα μελέτη χρησιμοποιεί μεθόδους επιτόπιας εξερεύνησης, τηλεπισκόπησης και γεωχημικής έρευνας. Προκειμένου να διασφαλιστεί ότι η εξόρυξη ορυκτών πόρων είναι τόσο οικονομικά εφικτή όσο και περιβαλλοντικά υπεύθυνη, οι αξιολογήσεις αυτές είναι απαραίτητες για την κατεύθυνση των εθνικών πολιτικών εξόρυξης (Ελληνική Αρχή Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, 2019).

Η περιβαλλοντική διαχείριση είναι μια άλλη σημαντική πτυχή του έργου της ΕΑΓΜΕ. Ο οργανισμός παρακολουθεί τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των εξορυκτικών δραστηριοτήτων και αναπτύσσει στρατηγικές για την ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιπτώσεων στα οικοσυστήματα. Με τη διενέργεια εκτιμήσεων περιβαλλοντικών επιπτώσεων, η ΕΑΓΜΕ διασφαλίζει ότι οι εξορυκτικές δραστηριότητες συμμορφώνονται με τους εθνικούς και ευρωπαϊκούς περιβαλλοντικούς κανονισμούς. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει την παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων, της υποβάθμισης του εδάφους και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που σχετίζονται με τις εξορυκτικές δραστηριότητες. Μέσω της περιβαλλοντικής εποπτείας της, η ΕΑΓΜΕ συμβάλλει στις βιώσιμες εξορυκτικές πρακτικές και στη διατήρηση των φυσικών πόρων της Ελλάδας (Mallinis et al., 2023).

Εκτός από τα ερευνητικά και ρυθμιστικά του καθήκοντα, το ΕΑΓΜΕ είναι απαραίτητο για τη δημιουργία πολιτικής. Ο όμιλος προσφέρει στην ελληνική κυβέρνηση επαγγελματικές συμβουλές σχετικά με ρυθμιστικά πλαίσια, κατευθυντήριες γραμμές για τη διαχείριση των πόρων και τακτικές εξερεύνησης ορυκτών πόρων. Η ΕΑΓΜΕ εγγυάται ότι οι μεταλλευτικοί κανονισμοί συνάδουν τόσο με τις βέλτιστες διεθνείς πρακτικές όσο και με τους εθνικούς οικονομικούς στόχους,

συνεργαζόμενη με κυβερνητικούς φορείς. Προκειμένου να διασφαλιστεί η σταθερή προμήθεια ζωτικών ορυκτών για βιομηχανική χρήση, ο οργανισμός συμμετέχει επίσης σε ευρωπαϊκές πρωτοβουλίες (Mallinis et al., 2023).

Μια άλλη σημαντική λειτουργία της ΕΑΓΜΕ είναι η ευαισθητοποίηση και η εκπαίδευση του κοινού. Ο οργανισμός διεξάγει προγράμματα προβολής για την ενημέρωση του κοινού σχετικά με τη σημασία των ορυκτών πόρων και των βιώσιμων εξορυκτικών πρακτικών. Μέσω εργαστηρίων, δημοσιεύσεων και εκπαιδευτικών εκστρατειών, η ΕΑΓΜΕ προωθεί τη μεγαλύτερη κατανόηση των γεωλογικών επιστημών και του ρόλου της εξόρυξης στην οικονομική ανάπτυξη. Αυτή η δέσμευση είναι απαραίτητη για την οικοδόμηση της εμπιστοσύνης του κοινού και τη διασφάλιση της διαφάνειας στις δραστηριότητες εξερεύνησης των ορυχείων (Glatz Brubakk et al., 2022).

Ο ρόλος της ΕΑΓΜΕ επεκτείνεται στην υποστήριξη της καινοτομίας στον τομέα της μεταλλευτικής και γεωλογικής έρευνας. Ο οργανισμός προωθεί την ανάπτυξη προηγμένων τεχνολογιών εξερεύνησης και γεωεπιστημονικών μεθόδων. Με την ενσωμάτωση τεχνικών αιχμής, όπως η τηλεπισκόπηση, η γεωχωρική ανάλυση και η τεχνητή νοημοσύνη, η ΕΑΓΜΕ ενισχύει την αποτελεσματικότητα και την ακρίβεια της μεταλλευτικής έρευνας. Αυτές οι τεχνολογικές εξελίξεις συμβάλλουν σε ακριβέστερες εκτιμήσεις των πόρων και μειώνουν το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των εξορυκτικών δραστηριοτήτων (Glatz Brubakk et al., 2022).

Επιπλέον, η ΕΑΓΜΕ συμβάλλει στη διαχείριση κρίσεων γεωλογικών κινδύνων. Ο οργανισμός διεξάγει έρευνες σχετικά με τις φυσικές καταστροφές που μπορούν να επηρεάσουν τους χώρους εξόρυξης και τις υποδομές, συμπεριλαμβανομένων των κατολισθήσεων, των σεισμών και των καθιζήσεων. Η ΕΑΓΜΕ βοηθά στη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων των γεωλογικών κινδύνων στις επιχειρήσεις εξόρυξης και στους κοντινούς πληθυσμούς, προσφέροντας εκτιμήσεις κινδύνου και συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης. Αυτή η προληπτική στρατηγική εγγυάται ότι οι εξορυκτικές εργασίες διεξάγονται με ασφάλεια και με τη μικρότερη δυνατή περιβαλλοντική όχληση (Varvitsioti & Tsifoutidis, 2021).

Η συμβολή της ΕΑΓΜΕ στην εθνική και ευρωπαϊκή ασφάλεια των ορυκτών πόρων καταδεικνύει περαιτέρω τη σημασία των δραστηριοτήτων της. Η συμβολή της Ελλάδας στον εφοδιασμό με ζωτικής σημασίας ορυκτά γίνεται όλο και πιο σημαντική, καθώς η ζήτηση για τους πόρους αυτούς αυξάνεται. Η Ελλάδα συνεχίζει να είναι ένας αξιόπιστος προμηθευτής πρώτων υλών για την Ευρώπη χάρη στο έργο της ΕΑΓΜΕ

στην εξερεύνηση ορυκτών πόρων, την αξιολόγηση πόρων και την περιβαλλοντική διαχείριση. Η ΕΑΓΜΕ συμβάλλει στη βελτίωση της βιομηχανικής ανταγωνιστικότητας και της οικονομικής ανθεκτικότητας της Ελλάδας, υποστηρίζοντας μια στρατηγική προσέγγιση για την ανάπτυξη των ορυκτών πόρων (Varvitsioti & Tsifoutidis, 2021).

Η Ελληνική Αρχή Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών αποτελεί θεμελιώδη παράγοντα στον τομέα της μεταλλευτικής έρευνας στην Ελλάδα. Οι αρμοδιότητές της εκτείνονται από τη γεωλογική χαρτογράφηση και την αξιολόγηση των ορυκτών πόρων έως την περιβαλλοντική διαχείριση, τη χάραξη πολιτικής και την εκπαίδευση του κοινού. Προωθώντας βιώσιμες εξορυκτικές πρακτικές και υποστηρίζοντας την τεχνολογική πρόοδο, η ΕΑΓΜΕ διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην υπεύθυνη ανάπτυξη του ορυκτού πλούτου της Ελλάδας. Μέσω των προσπαθειών του, ο οργανισμός διασφαλίζει ότι η μεταλλευτική έρευνα ευθυγραμμίζεται με τις εθνικές οικονομικές προτεραιότητες και τους στόχους περιβαλλοντικής βιωσιμότητας, συμβάλλοντας στη μακροπρόθεσμη ευημερία της χώρας (Varvitsioti & Tsifoutidis, 2021).

3.2 Ιδιωτικές μεταλλευτικές εταιρείες που δραστηριοποιούνται στην Ελλάδα

Η μεταλλευτική έρευνα στην Ελλάδα διαδραματίζει ζωτικό ρόλο στην οικονομική και βιομηχανική ανάπτυξη της χώρας. Η γεωλογική ποικιλομορφία της Ελλάδας παρέχει σημαντικά κοιτάσματα κρίσιμων ορυκτών, συμπεριλαμβανομένων του βωξίτη, του νικελίου και των σπάνιων γαιών, τα οποία είναι απαραίτητα για διάφορες βιομηχανίες. Μεταξύ των βασικών παραγόντων του τομέα αυτού είναι οι ιδιωτικές μεταλλευτικές εταιρείες που συμβάλλουν στην εξόρυξη, την επεξεργασία και την προμήθεια ορυκτών. Οι εταιρείες αυτές είναι υπεύθυνες για τη χρήση σύγχρονων τεχνικών εξόρυξης, τη διασφάλιση βιώσιμων λειτουργιών και την κάλυψη της αυξανόμενης ζήτησης για πρώτες ύλες εντός της Ελλάδας και διεθνώς (Papastefanaki, 2013).

Στην Ελλάδα δραστηριοποιούνται αρκετές ιδιωτικές μεταλλευτικές εταιρείες, καθεμία από τις οποίες ειδικεύεται σε διαφορετικά ορυκτά. Ένας από τους σημαντικότερους παίκτες του κλάδου είναι η Μυτιληναίος Α.Ε., η οποία κατέχει και λειτουργεί την Αλουμίνιο της Ελλάδας. Η εταιρεία αυτή είναι ο μεγαλύτερος

παραγωγός βωξίτη και αλουμινίου στη χώρα. Οι εξορυκτικές δραστηριότητες της εταιρείας επικεντρώνονται γύρω από τα πλούσια κοιτάσματα βωξίτη στην κεντρική Ελλάδα, ιδίως στις περιοχές Παρνασσού-Γκιώνας. Η Μυτιληναίος Α.Ε. ακολουθεί βιώσιμες πρακτικές εξόρυξης και έχει επενδύσει στον εκσυγχρονισμό των δραστηριοτήτων εξόρυξης και επεξεργασίας για την τήρηση των περιβαλλοντικών κανονισμών και την αύξηση της αποδοτικότητας. Η Αλουμίνιον της Ελλάδος διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην προμήθεια πρώτων υλών για την ευρωπαϊκή βιομηχανία αλουμινίου, ενισχύοντας τη θέση της Ελλάδας ως βασικού παραγωγού ορυκτών πόρων (Metaxas & Tsavdaridou, 2013).

Η εταιρεία LARCO General Mining & Metallurgical είναι μια άλλη σημαντική μεταλλευτική εταιρεία στην Ελλάδα. Η ΛΑΡΚΟ λειτουργεί μία από τις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις παραγωγής σιδηρονικελίου στην Ευρώπη και είναι ο μοναδικός παραγωγός λατεριτικού μεταλλεύματος νικελίου. Το νικέλιο που εξάγεται από τα ορυχεία νικελίου της στην Εύβοια, την Καστοριά και τη Λάρυμνα μετατρέπεται σε σιδηρονικέλιο, το οποίο χρησιμοποιείται για την κατασκευή ανοξείδωτου χάλυβα. Η αυξανόμενη ανάγκη για νικέλιο στη βιομηχανία μπαταριών ηλεκτρικών οχημάτων και σε άλλες βιομηχανικές εφαρμογές σημαίνει ότι η ΛΑΡΚΟ εξακολουθεί να είναι μια στρατηγικής σημασίας μεταλλευτική εταιρεία, ακόμη και παρά τις πρόσφατες οικονομικές προκλήσεις. Οι δραστηριότητες της εταιρείας ενισχύουν τις ευρωπαϊκές αλυσίδες εφοδιασμού και βοηθούν την Ελλάδα να παράγει βασικές πρώτες ύλες στο εσωτερικό της (Metaxas & Tsavdaridou, 2019).

Η θυγατρική της Eldorado Gold Corporation, Ελληνικός Χρυσός, είναι μια άλλη σημαντική ιδιωτική μεταλλευτική εταιρεία στην Ελλάδα. Τα μεταλλεία στις Σκουριές και την Ολυμπιάδα στη βόρεια Ελλάδα είναι μεταξύ των σημαντικών επιχειρήσεων εξόρυξης χρυσού που η Ελληνικός Χρυσός έχει αναλάβει την ανάπτυξη και τη λειτουργία τους. Το ορυχείο της Ολυμπιάδας παράγει τώρα συμπυκνώματα ψευδαργύρου, μολύβδου, αργύρου και χρυσού. Αναμένεται ότι το έργο στις Σκουριές θα εξελιχθεί σε μια κορυφαία επιχείρηση χρυσού-χαλκού μόλις λειτουργήσει πλήρως. Με έμφαση στην ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και τη βελτιστοποίηση της αποδοτικότητας των πόρων, η Ελληνικός Χρυσός έχει πραγματοποιήσει μεγάλες επενδύσεις σε βιώσιμες διαδικασίες εξόρυξης. Παρόλο που οι δραστηριότητες της εταιρείας έχουν βρεθεί στο επίκεντρο έντονης δημόσιας συζήτησης και ρυθμιστικού ελέγχου λόγω περιβαλλοντικών ανησυχιών, συνεχίζει να

διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη μεταλλευτική βιομηχανία και την οικονομική ανάπτυξη της Ελλάδας (Hellas Gold, 2025).

Εκτός από αυτούς τους μεγάλους συμμετέχοντες, στην εξερεύνηση και εξόρυξη ορυκτών στην Ελλάδα συμμετέχουν και άλλες ιδιωτικές μεταλλευτικές εταιρείες. Ο μπεντονίτης, ο περλίτης και άλλα μη μεταλλικά ορυκτά παράγονται σε μεγάλο βαθμό από εταιρείες βιομηχανικών ορυκτών όπως η Imerys Greece. Η Imerys πωλεί βιομηχανικά ορυκτά τόσο στην εγχώρια όσο και στην ξένη αγορά και διαχειρίζεται μια σειρά από ορυχεία στην περιοχή του Αιγαίου. Ο ελληνικός μπεντονίτης και ο περλίτης είναι ζωτικής σημασίας για πολλές επιχειρήσεις λόγω της εκτεταμένης χρήσης τους στη γεωργία, τα φαρμακευτικά προϊόντα και τις κατασκευές (Zouros, 2005).

Η Ελληνικές Μεταλλευτικές Επιχειρήσεις Α.Ε. είναι μια άλλη αξιόλογη εταιρεία που δραστηριοποιείται στην εξόρυξη και επεξεργασία μαγνησίτη, ενός ορυκτού που χρησιμοποιείται στα πυρίμαχα υλικά, τα χημικά και τη γεωργία. Οι εξορυκτικές δραστηριότητες της εταιρείας επικεντρώνονται στη βόρεια Ελλάδα, ιδίως στις περιοχές της Χαλκιδικής και της Εύβοιας. Η Ελληνικές Μεταλλευτικές Επιχειρήσεις Α.Ε. εστιάζει σε βιώσιμες μεθόδους εξόρυξης και επενδύει σε τεχνολογικές εξελίξεις για τη βελτίωση της αποδοτικότητας και της περιβαλλοντικής συμμόρφωσης (Zouros, 2005).

Ο ρόλος των ιδιωτικών μεταλλευτικών εταιρειών στην Ελλάδα εκτείνεται πέρα από την εξόρυξη. Οι εταιρείες αυτές συμβάλλουν στις τοπικές οικονομίες δημιουργώντας θέσεις εργασίας, υποστηρίζοντας την περιφερειακή ανάπτυξη και επενδύοντας σε υποδομές. Πολλές μεταλλευτικές εταιρείες έχουν επίσης εφαρμόσει πρωτοβουλίες εταιρικής κοινωνικής ευθύνης με στόχο τη βελτίωση της ποιότητας ζωής στις κοινότητες των μεταλλείων. Προγράμματα που επικεντρώνονται στην περιβαλλοντική αποκατάσταση, την κατάρτιση του εργατικού δυναμικού και την εμπλοκή της κοινότητας διασφαλίζουν ότι οι εξορυκτικές δραστηριότητες ωφελούν τόσο τη βιομηχανία όσο και τους τοπικούς πληθυσμούς (Zouros, 2005).

Οι ιδιωτικές εταιρείες εξόρυξης έχουν συνεισφέρει, αλλά ο κλάδος εξακολουθεί να αντιμετωπίζει ορισμένες δυσκολίες. Η διαδικασία έγκρισης νέων έργων εξόρυξης μπορεί να επιβραδυνθεί από περιβαλλοντικά και ρυθμιστικά εμπόδια. Προκειμένου να μειωθούν οι αρνητικές επιπτώσεις της εξόρυξης στα οικοσυστήματα και τις κοινότητες, οι επιχειρήσεις πρέπει να τηρούν τους αυστηρούς περιβαλλοντικούς κανονισμούς της Ελλάδας. Τα χρονοδιαγράμματα των έργων και οι

επενδυτικές επιλογές ενδέχεται επίσης να επηρεαστούν από την αντίθεση του κοινού στις εξορυκτικές δραστηριότητες, ιδίως σε περιοχές με ισχυρές οργανώσεις υπεράσπισης του περιβάλλοντος. Οι επιχειρήσεις πρέπει να συνεργάζονται στενά με τις τοπικές κοινότητες και τους ρυθμιστικούς φορείς για την επίλυση ζητημάτων και την προώθηση βιώσιμων μεθόδων εξόρυξης (Bridge, 2004).

Μια άλλη πρόκληση είναι η ανάγκη για συνεχείς επενδύσεις σε σύγχρονες τεχνολογίες εξόρυξης. Καθώς η ζήτηση για κρίσιμα ορυκτά αυξάνεται, οι εταιρείες πρέπει να υιοθετήσουν προηγμένες μεθόδους εξερεύνησης και εξόρυξης για να αυξήσουν την αποδοτικότητα και να μειώσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η ψηφιοποίηση, η αυτοματοποίηση και η τεχνητή νοημοσύνη αποκτούν ολοένα και μεγαλύτερη σημασία στις εξορυκτικές δραστηριότητες και οι ελληνικές εξορυκτικές εταιρείες πρέπει να συμβαδίζουν με αυτές τις τεχνολογικές εξελίξεις για να παραμείνουν ανταγωνιστικές στην παγκόσμια αγορά (Bridge, 2004).

Η εξορυκτική βιομηχανία της Ελλάδας είναι επίσης απαραίτητη για τη συμμόρφωση με τις διεθνείς και ευρωπαϊκές βιομηχανικές πολιτικές. Ο εξορυκτικός τομέας της Ελλάδας έχει την ευκαιρία να εδραιώσει τη θέση του ως αξιόπιστου παραγωγού πρώτων υλών, καθώς η ΕΕ επιδιώκει να μειώσει την εξάρτηση από ορυκτές πηγές εκτός ΕΕ. Οι ιδιωτικές μεταλλευτικές επιχειρήσεις υποστηρίζουν αυτές τις πρωτοβουλίες, εξασφαλίζοντας τη σταθερή προμήθεια ορυκτών που χρειάζονται τομείς όπως οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η αυτοκινητοβιομηχανία και η αεροδιαστημική (Garetti & Taisch, 2011).

Οι ιδιωτικές μεταλλευτικές επιχειρήσεις είναι σημαντικές για την εξερεύνηση και την εξόρυξη ορυκτών στην Ελλάδα. Επιχειρήσεις όπως η Ελληνικές Μεταλλευτικές Επιχειρήσεις Α.Ε., η ΛΑΡΚΟ, η Ελληνικός Χρυσός, η Imerys Greece και η Μυτιληναίος Α.Ε. υποστηρίζουν τις αλυσίδες εφοδιασμού της χώρας, τη βιομηχανική επέκταση και την οικονομική ανάπτυξη. Ακόμη και αν εξακολουθούν να υπάρχουν ζητήματα όπως οι περιβαλλοντικές ανησυχίες και οι κανονιστικές διαδικασίες, ο κλάδος προσαρμόζεται λόγω της τεχνολογικής προόδου και των βιώσιμων μεθόδων εξόρυξης. Οι ιδιωτικές μεταλλευτικές επιχειρήσεις της Ελλάδας διασφαλίζουν ότι η χώρα παραμένει σημαντικός ρόλος στην παγκόσμια αλυσίδα εφοδιασμού ορυκτών πόρων, διεξάγοντας ηθικές μεταλλευτικές εργασίες και τηρώντας τους ευρωπαϊκούς κανονισμούς (Garetti & Taisch, 2011).

3.3 Ερευνητικά ιδρύματα και πανεπιστήμια που ασχολούνται με γεωλογικές μελέτες

Ένα δίκτυο ακαδημαϊκών ιδρυμάτων και ερευνητικών κέντρων στην Ελλάδα υποστηρίζει την εξερεύνηση των μεταλλείων και είναι απαραίτητο για την πρόοδο της γεωλογικής έρευνας, την αξιολόγηση των ορυκτών πόρων και τις βιώσιμες μεθόδους εξόρυξης. Οι οργανισμοί αυτοί διεξάγουν βασική και πρακτική έρευνα για να προωθήσουν τη γνώση του ορυκτού πλούτου της Ελλάδας και να βοηθήσουν στη δημιουργία τεχνολογιών αιχμής για την εξόρυξη. Το έργο τους βοηθά τις προσπάθειες της χώρας να διατηρήσει τη βιωσιμότητα και τις περιβαλλοντικές απαιτήσεις, διατηρώντας παράλληλα έναν ανταγωνιστικό μεταλλευτικό τομέα (Mosios et al., 2023).

Ένα από τα σημαντικότερα ακαδημαϊκά ιδρύματα που ασχολούνται με τις γεωλογικές μελέτες στην Ελλάδα είναι το Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ). Το Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του ΕΚΠΑ είναι αφιερωμένο στην έρευνα στην εξερεύνηση ορυκτών πόρων, τη γεωχημεία και την περιβαλλοντική γεωλογία. Το πανεπιστήμιο συνεργάζεται με κυβερνητικές υπηρεσίες και μεταλλευτικές εταιρείες για την παροχή επιστημονικής εμπειρογνωμοσύνης σχετικά με τη διαχείριση των πόρων και την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Η έρευνά του καλύπτει ένα ευρύ φάσμα θεμάτων, συμπεριλαμβανομένου του χαρακτηρισμού κοιτασμάτων ορυκτών, της γεωστατιστικής και της υδρογεωλογίας, τα οποία είναι απαραίτητα για βιώσιμες πρακτικές εξόρυξης (ΕΚΠΑ, 2023).

Ένας άλλος σημαντικός συμμετέχων στην εξορυκτική και γεωλογική έρευνα είναι το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). Η εξερεύνηση ορυκτών πόρων, η εξορυκτική μεταλλουργία και η γεωτεχνική μηχανική αποτελούν τους τομείς εξειδίκευσης της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων και Μεταλλουργών του ΕΜΠ. Δημιουργώντας τεχνολογία αιχμής για την εξόρυξη και την επεξεργασία των ορυκτών, το ίδρυμα έχει μακρά ιστορία στην υποστήριξη της εξορυκτικής βιομηχανίας της Ελλάδας. Οι κύριοι στόχοι της έρευνας του ΕΜΠ είναι η αποδοτική χρήση των πόρων, η μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και η βελτιστοποίηση των εξορυκτικών εργασιών. Επιπλέον, το ίδρυμα συνεργάζεται στενά με την ελληνική κυβέρνηση για τη δημιουργία νόμων και πολιτικών που ενθαρρύνουν την ηθική εξόρυξη (ΕΜΠ, 2024).

Το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ) διαδραματίζει επίσης ζωτικό ρόλο στις γεωλογικές μελέτες και την εξερεύνηση των ορυχείων. Το Τμήμα Γεωλογίας του ασχολείται ενεργά με την έρευνα που σχετίζεται με την ορυκτολογία, την πετρολογία και την οικονομική γεωλογία. Το ΑΠΘ διεξάγει μελέτες πεδίου και εργαστηριακές αναλύσεις για την αξιολόγηση των ορυκτών πόρων της Ελλάδας και την εκτίμηση του οικονομικού δυναμικού τους. Το πανεπιστήμιο συνεργάζεται με φορείς της βιομηχανίας για την ανάπτυξη φιλικών προς το περιβάλλον τεχνικών εξόρυξης και συμβάλλει στη βιώσιμη διαχείριση των πόρων. Η έρευνα στο ΑΠΘ περιλαμβάνει τη μελέτη κρίσιμων πρώτων υλών, στοιχείων σπάνιων γαιών και ενεργειακών πόρων, ευθυγραμμισμένη με τους στόχους της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη διασφάλιση στρατηγικών προμηθειών ορυκτών πόρων (ΑΠΘ, 2020).

Το Τμήμα Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Πατρών είναι ένα άλλο σημαντικό ερευνητικό κέντρο. Το τμήμα διεξάγει έρευνα που προάγει τη γνώση της γεωλογικής δομής της Ελλάδας και επικεντρώνεται στην τεκτονική, τη γεωχημεία και την αναζήτηση ορυκτών. Η ανεύρεση νέων ορυκτών πόρων και ο προσδιορισμός της εμπορικής τους βιωσιμότητας είναι οι κύριοι στόχοι της έρευνας. Το Πανεπιστήμιο Πατρών διασφαλίζει ότι οι εξορυκτικές δραστηριότητες συμμορφώνονται με τις σύγχρονες οικολογικές απαιτήσεις, εργαζόμενο σε πρωτοβουλίες που αφορούν την προστασία του περιβάλλοντος και την αειφορία των ορυκτών πόρων. Η έρευνα που διεξάγεται από τον οργανισμό βοηθά στη δημιουργία πολιτικών που επιτυγχάνουν ισορροπία μεταξύ της περιβαλλοντικής ευθύνης και της οικονομικής ευημερίας (Πανεπιστήμιο Πατρών, 2022).

Το Πανεπιστήμιο Κρήτης συμβάλλει επίσης στη γεωλογική έρευνα και τη μεταλλευτική έρευνα μέσω του Τμήματος Γεωλογίας. Το ίδρυμα επικεντρώνεται στη δομική γεωλογία, την ιζηματολογία και τη μελέτη κοιτασμάτων ορυκτών, προσφέροντας πολύτιμες γνώσεις για τη γεωλογική εξέλιξη της Ελλάδας. Οι ερευνητές του Πανεπιστημίου Κρήτης εξετάζουν το σχηματισμό των κοιτασμάτων μεταλλευμάτων και αξιολογούν τις δυνατότητες εμπορικής εκμετάλλευσής τους. Το πανεπιστήμιο συνεργάζεται με κυβερνητικούς οργανισμούς και εταιρείες εξόρυξης για την παροχή δεδομένων που υποστηρίζουν τα έργα εξερεύνησης ορυκτών πόρων και τον σχεδιασμό χρήσεων γης (Πανεπιστήμιο Κρήτης, 2015).

Εκτός από τα πανεπιστήμια, εξειδικευμένα ερευνητικά κέντρα διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην εξερεύνηση μεταλλευτικών δραστηριοτήτων και στις γεωλογικές μελέτες στην Ελλάδα. Το Ινστιτούτο Γεωλογίας και

Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), το οποίο αποτελεί πλέον μέρος της Ελληνικής Υπηρεσίας Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΕΑΓΜΕ), είναι ο κύριος ερευνητικός φορέας της χώρας για τη γεωλογική χαρτογράφηση και την αξιολόγηση των ορυκτών πόρων. Το ΙΓΜΕ διεξάγει εκτεταμένες έρευνες πεδίου, γεωφυσικές μελέτες και εργαστηριακές αναλύσεις για τον εντοπισμό και την αξιολόγηση του ορυκτού πλούτου της Ελλάδας. Η έρευνά του υποστηρίζει τις κυβερνητικές πολιτικές για την εξόρυξη, τη διαχείριση της γης και την προστασία του περιβάλλοντος. Το έργο του ΙΓΜΕ συμβάλλει καθοριστικά στην προώθηση βιώσιμων εξορυκτικών πρακτικών και στη διασφάλιση της υπεύθυνης εκμετάλλευσης των φυσικών πόρων (Ελληνική Αρχή Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, 2019).

Ένας άλλος κορυφαίος ερευνητικός οργανισμός που ασχολείται με τη γεωλογική έρευνα και τη μεταλλευτική εξερεύνηση είναι το Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογίας Ελλάδος (ΚΕΤΕ). Το ΚΕΤΕ διεξάγει διεπιστημονική έρευνα στους τομείς της περιβαλλοντικής μηχανικής, της επιστήμης των υλικών και της επεξεργασίας ορυκτών πόρων. Δημιουργεί μεθόδους αιχμής για τη διαχείριση των αποβλήτων και την εξόρυξη ορυκτών, οι οποίες βελτιώνουν τη βιωσιμότητα και την αποτελεσματικότητα των εξορυκτικών δραστηριοτήτων. Με έμφαση στην αποδοτικότητα των πόρων και την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών συνεπειών, οι ερευνητικές πρωτοβουλίες του ΚΕΤΕ συνάδουν με τις παγκόσμιες και ευρωπαϊκές τάσεις στην πράσινη εξόρυξη (Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογίας Ελλάδος, 2018).

Τα ελληνικά πανεπιστήμια και ερευνητικά ιδρύματα συμμετέχουν ενεργά σε διεθνή ερευνητικά προγράμματα, συνεργαζόμενα με Ευρωπαίους και παγκόσμιους εταίρους για την ενίσχυση της τεχνογνωσίας τους στην εξερεύνηση των ορυχείων και τις γεωλογικές επιστήμες. Οι συνεργασίες αυτές επιτρέπουν στα ελληνικά ιδρύματα να έχουν πρόσβαση σε τεχνολογίες αιχμής, να μοιράζονται γνώσεις και να συμβάλλουν στην ανάπτυξη βιώσιμων πρακτικών εξόρυξης παγκοσμίως. Συμμετέχοντας σε διασυνοριακές ερευνητικές πρωτοβουλίες, τα ελληνικά ιδρύματα συμβάλλουν στη διαμόρφωση του μέλλοντος της μεταλλευτικής έρευνας και υποστηρίζουν τη μετάβαση σε μια πιο πράσινη και αποδοτική ως προς τους πόρους οικονομία (Mosios et al., 2023).

Πέρα από την επιστημονική μελέτη, τα ερευνητικά ιδρύματα και τα πανεπιστήμια διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην ελληνική εξορυκτική βιομηχανία. Προκειμένου να εγγυηθούν ότι ο τομέας διαθέτει εκπαιδευμένο εργατικό δυναμικό, εξοπλισμένο για να αντιμετωπίσει τις δυσκολίες της σύγχρονης εξόρυξης,

προσφέρουν προγράμματα κατάρτισης για γεωλόγους, μηχανικούς εξόρυξης και περιβαλλοντολόγους. Πολυάριθμα κολέγια παρέχουν εξειδικευμένα μαθήματα στην περιβαλλοντική διαχείριση, τη μηχανική εξόρυξης και την εξερεύνηση ορυκτών πόρων, δίνοντας στους φοιτητές τις πληροφορίες και τις ικανότητες που χρειάζονται για να δραστηριοποιηθούν στον τομέα. Αυτές οι εκπαιδευτικές πρωτοβουλίες υποστηρίζουν την καινοτομία και τις τεχνολογικές ανακαλύψεις στην εξόρυξη γεφυρώνοντας το χάσμα μεταξύ ακαδημαϊκών και βιομηχανίας (Mosios et al., 2023).

Επιπλέον, τα ερευνητικά ιδρύματα και τα πανεπιστήμια διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην ευαισθητοποίηση του κοινού σχετικά με την εξόρυξη και τις επιπτώσεις της στην κοινωνία. Μέσω προγραμμάτων προβολής, σεμιναρίων και δημοσιεύσεων, ενημερώνουν το κοινό για τη σημασία των ορυκτών πόρων, τις βιώσιμες πρακτικές εξόρυξης και τα μέτρα προστασίας του περιβάλλοντος. Η δέσμευση αυτή συμβάλλει στην οικοδόμηση εμπιστοσύνης μεταξύ της εξορυκτικής βιομηχανίας και των τοπικών κοινοτήτων, αντιμετωπίζοντας τις ανησυχίες σχετικά με τις κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις των εξορυκτικών δραστηριοτήτων (Pagouni et al., 2024).

Στον τομέα της μεταλλευτικής έρευνας στην Ελλάδα εξακολουθούν να υπάρχουν δυσκολίες, παρά τη σημαντική συμβολή των ακαδημαϊκών ιδρυμάτων και των ερευνητικών κέντρων. Οι πρωτοβουλίες μεταλλευτικής εξερεύνησης μπορεί να επιβραδυνθούν από ρυθμιστικούς περιορισμούς, γραφειοκρατικά εμπόδια και έλλειψη κονδυλίων για γεωλογικές μελέτες. Για να ξεπεραστούν αυτά τα εμπόδια και να διασφαλιστεί η συνεχής ανάπτυξη της εξορυκτικής βιομηχανίας της Ελλάδας, πρέπει να ενισχυθεί η συνεργασία μεταξύ ακαδημαϊκών ιδρυμάτων, κυβερνητικών οργανισμών και φορέων του κλάδου (Pagouni et al., 2024).

Τα ελληνικά ερευνητικά ιδρύματα και πανεπιστήμια διαδραματίζουν θεμελιώδη ρόλο στην προώθηση των γεωλογικών μελετών και την υποστήριξη της μεταλλευτικής εξερεύνησης. Ιδρύματα όπως το Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, το Πανεπιστήμιο Πατρών και το Πανεπιστήμιο Κρήτης συμβάλλουν στην επιστημονική κατανόηση του ορυκτού πλούτου της Ελλάδας. Ερευνητικά κέντρα όπως το ΙΓΜΕ και το ΕΚΕΤΑ ενισχύουν τις προσπάθειες έρευνας ορυκτών πόρων μέσω καινοτόμων μελετών και τεχνολογικών εξελίξεων. Τα ιδρύματα αυτά όχι μόνο υποστηρίζουν την εξορυκτική βιομηχανία, αλλά και διασφαλίζουν ότι η εξόρυξη πόρων διεξάγεται με βιώσιμο και περιβαλλοντικά

υπεύθυνο τρόπο. Με την προώθηση της συνεργασίας μεταξύ του ακαδημαϊκού χώρου, της κυβέρνησης και της βιομηχανίας, η Ελλάδα μπορεί να ενισχύσει τη θέση της ως βασικός παίκτης στον παγκόσμιο τομέα της εξερεύνησης ορυκτών πόρων, προωθώντας παράλληλα υπεύθυνες πρακτικές εξόρυξης (Pagouni et al., 2024).

3.4 Ξένες επενδύσεις και συνεργασίες

Η ανάπτυξη της ελληνικής βιομηχανίας μεταλλευτικών ερευνών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις ξένες συνεργασίες και επενδύσεις. Ο βωξίτης, το νικέλιο και οι σπάνιες γαίες είναι μεταξύ των άφθονων ορυκτών πόρων που προσελκύουν ξένες επιχειρήσεις και επενδυτές που επιθυμούν να επωφεληθούν από την πλεονεκτική θέση της Ελλάδας εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ο εκσυγχρονισμός και η ανάπτυξη της εξορυκτικής βιομηχανίας της Ελλάδας διευκολύνεται από τους οικονομικούς πόρους, την τεχνική τεχνογνωσία και την τεχνολογία αιχμής που φέρνουν οι ξένες συνεργασίες (OECD, 2024).

Η Eldorado Gold, μια καναδική εταιρεία που διαχειρίζεται πολλαπλά μεταλλευτικά έργα στην Ελλάδα, είναι ένας από τους μεγαλύτερους ξένους επενδυτές στη μεταλλευτική βιομηχανία της χώρας. Η Eldorado Gold έχει πραγματοποιήσει σημαντικές επενδύσεις στην ανάπτυξη ορυχείων χρυσού και χαλκού, όπως τα έργα στις Σκουριές και την Ολυμπιάδα στη βόρεια Ελλάδα, μέσω της θυγατρικής της, Ελληνικός Χρυσός. Οι σύγχρονες μέθοδοι εξόρυξης έχουν εισαχθεί στη χώρα από αυτές τις επενδύσεις, οι οποίες έχουν επίσης ενισχύσει την οικονομία με τη δημιουργία θέσεων εργασίας και τη βελτίωση των υποδομών. Η Eldorado Gold συνεχίζει να αποτελεί σημαντική δύναμη στον εξορυκτικό τομέα της Ελλάδας, παρά τα περιβαλλοντικά και ρυθμιστικά εμπόδια, αναδεικνύοντας την αξία των ξένων επενδύσεων στην απελευθέρωση του ορυκτού δυναμικού της χώρας (Menzie et al., 2013).

Εκτός από τις άμεσες επενδύσεις, η Ελλάδα έχει συμμετάσχει σε πολυάριθμες συνεργασίες με διεθνείς μεταλλευτικές εταιρείες και ιδρύματα για την ενίσχυση των δυνατοτήτων εξερεύνησης. Ευρωπαϊκές μεταλλευτικές εταιρείες έχουν συνεργαστεί με ελληνικές εταιρείες για τη διεξαγωγή κοινών δραστηριοτήτων εξερεύνησης, αξιοποιώντας την τεχνογνωσία τους στις γεωλογικές έρευνες και την εξόρυξη ορυκτών. Οι συνεργασίες αυτές συμβάλλουν στον εντοπισμό νέων κοιτασμάτων και στη βελτιστοποίηση των εξορυκτικών δραστηριοτήτων, διασφαλίζοντας τη βιώσιμη

εκμετάλλευση των πόρων. Η παρουσία ξένων εταιρειών ενισχύει επίσης τη θέση της Ελλάδας στην ευρωπαϊκή αγορά πρώτων υλών, μειώνοντας την εξάρτηση από προμηθευτές ορυκτών υλών εκτός ΕΕ (Gatti et al., 2021).

Η έρευνα και η εξόρυξη δεν είναι οι μόνες ξένες επενδύσεις στην ελληνική εξορυκτική βιομηχανία. Πολυάριθμες πολυεθνικές εταιρείες υποστηρίζουν πρωτοβουλίες έρευνας και ανάπτυξης που αποσκοπούν στην αύξηση της παραγωγικότητας της εξόρυξης και της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας. Για παράδειγμα, βελτιώσεις στη διαχείριση αποβλήτων, στην αποκατάσταση χώρων εξόρυξης και στην επεξεργασία ορυκτών έχουν προκύψει από συνεργασίες μεταξύ ελληνικών ερευνητικών ιδρυμάτων και διεθνών πανεπιστημίων. Αυτές οι πρωτοβουλίες συνεργασίας συνάδουν με τους κανόνες της ΕΕ που υποστηρίζουν τις ηθικές μεθόδους εξόρυξης και τη μετάβαση σε μια οικονομία πιο φιλική προς το περιβάλλον (Gatti et al., 2021).

Η συμμετοχή της Ελλάδας σε χρηματοδοτούμενα από την ΕΕ έργα ενισχύει περαιτέρω τη συνεργασία της με ξένους εταίρους στον τομέα της εξόρυξης. Προγράμματα όπως το Horizon Europe και η Ευρωπαϊκή Σύμπραξη Καινοτομίας για τις Πρώτες Ύλες παρέχουν χρηματοδότηση για ερευνητικές πρωτοβουλίες που επικεντρώνονται στη βιώσιμη εξόρυξη και την αποδοτικότητα των πόρων. Συμμετέχοντας σε αυτές τις πρωτοβουλίες, η Ελλάδα επωφελείται από τεχνολογίες αιχμής και την ανταλλαγή γνώσεων με κορυφαία ευρωπαϊκά ερευνητικά ιδρύματα και μεταλλευτικές εταιρείες. Η δέσμευση αυτή συμβάλλει στον εκσυγχρονισμό του εξορυκτικού τομέα της χώρας και τον ευθυγραμμίζει με τις βέλτιστες διεθνείς πρακτικές (Branca et al., 2021).

Η Κίνα έχει επίσης εκδηλώσει ενδιαφέρον για τον εξορυκτικό τομέα της Ελλάδας, και συγκεκριμένα σε σχέση με τον εφοδιασμό της χώρας με ζωτικής σημασίας ορυκτά, όπως τα σπάνια γήινα στοιχεία. Κινεζικές επιχειρήσεις έχουν εξετάσει τις δυνατότητες κοινοπραξιών με ελληνικές μεταλλευτικές εταιρείες σε μια προσπάθεια να διασφαλίσουν τη σταθερή προμήθεια πρώτων υλών που χρειάζονται οι τομείς υψηλής τεχνολογίας. Παρόλο που οι συνεργασίες αυτές προσφέρουν οικονομικά πλεονεκτήματα, εγείρουν επίσης στρατηγικά ζητήματα όσον αφορά τις αλληλεξαρτήσεις της αλυσίδας εφοδιασμού και τις γεωπολιτικές επιπτώσεις στον κλάδο της εξορυκτικής βιομηχανίας. Η Ελλάδα πρέπει να βρει μια ισορροπία μεταξύ των εθνικών συμφερόντων και των ξένων επενδύσεων, προκειμένου να διατηρήσει

τον έλεγχο των ορυκτών της πόρων και να αποκομίσει τα οφέλη της διεθνούς συνεργασίας (Branca et al., 2021).

Πέρα από την Ευρώπη και την Κίνα, άλλες παγκόσμιες μεταλλευτικές εταιρείες έχουν εκφράσει ενδιαφέρον για τους ορυκτούς πόρους της Ελλάδας. Αυστραλιανές και αμερικανικές εταιρείες έχουν διερευνήσει πιθανές επενδύσεις στις βιομηχανίες βωξίτη και νικελίου της χώρας, αναγνωρίζοντας τη στρατηγική σημασία αυτών των υλικών για την παραγωγή αλουμινίου και την κατασκευή μπαταριών. Η αυξανόμενη ζήτηση για κρίσιμες πρώτες ύλες στους τομείς των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και των ηλεκτρικών οχημάτων έχει καταστήσει την Ελλάδα ελκυστικό προορισμό για ξένες επενδύσεις στον τομέα της εξόρυξης (Du et al., 2019).

Εξακολουθούν να υπάρχουν δυσκολίες στην ενσωμάτωση ξένων παικτών στη μεταλλευτική βιομηχανία της Ελλάδας, παρά τα οφέλη από τις ξένες επενδύσεις και τις συνεργασίες. Οι επενδυτικές επιλογές και η υλοποίηση έργων μπορεί να καθυστερήσουν λόγω κανονιστικών εμποδίων, περιβαλλοντικών ανησυχιών και τοπικών αντιδράσεων σε μεταλλευτικά εγχειρήματα. Η ελληνική κυβέρνηση έχει λάβει μέτρα για την ενθάρρυνση βιώσιμων μεθόδων εξόρυξης, την αύξηση της διαφάνειας και την επιτάχυνση των διαδικασιών αδειοδότησης προκειμένου να αντιμετωπιστούν αυτά τα ζητήματα. Τα μέτρα αυτά αποσκοπούν στην προώθηση ενός περιβάλλοντος που ευνοεί τις επενδύσεις, ενώ παράλληλα εγγυάται ότι οι ξένες επενδύσεις συνάδουν με τους οικονομικούς και περιβαλλοντικούς στόχους της Ελλάδας (Du et al., 2019).

Σημαντικός είναι επίσης ο ρόλος των διεθνών χρηματοπιστωτικών ιδρυμάτων στη στήριξη των εξορυκτικών έργων στην Ελλάδα. Οργανισμοί όπως η Ευρωπαϊκή Τράπεζα Ανασυγκρότησης και Ανάπτυξης και ο Διεθνής Οργανισμός Χρηματοδότησης παρέχουν χρηματοδότηση και συμβουλευτικές υπηρεσίες για επενδύσεις σε μεταλλεία. Τα ιδρύματα αυτά διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στον μετριασμό των επενδυτικών κινδύνων, στην προώθηση υπεύθυνων πρακτικών εξόρυξης και στη διασφάλιση της συμμόρφωσης με τα διεθνή περιβαλλοντικά και κοινωνικά πρότυπα. Η συμμετοχή τους ενισχύει την εμπιστοσύνη των επενδυτών και διευκολύνει τις μακροπρόθεσμες συνεργασίες στην ελληνική εξορυκτική βιομηχανία (Ευρωπαϊκή Τράπεζα Ανασυγκρότησης και Ανάπτυξης, 2025).

Οι ξένες επενδύσεις και οι συνεργασίες αποτελούν ουσιαστικό μοχλό ανάπτυξης του ελληνικού εξορυκτικού τομέα εξερεύνησης. Οι διεθνείς εταιρείες φέρνουν κεφάλαια, τεχνογνωσία και τεχνολογία, συμβάλλοντας στην απελευθέρωση

του ορυκτού δυναμικού της χώρας και στην ένταξή της στην παγκόσμια αλυσίδα εφοδιασμού πρώτων υλών. Οι συνεργασίες με ευρωπαίους και παγκόσμιους εταίρους ενισχύουν τις δυνατότητες εξερεύνησης, τις ερευνητικές προσπάθειες και τις πρωτοβουλίες βιωσιμότητας της Ελλάδας. Ωστόσο, η εξισορρόπηση των ξένων επενδύσεων με τα εθνικά συμφέροντα και τις περιβαλλοντικές εκτιμήσεις παραμένει βασική πρόκληση. Με την προώθηση ενός διαφανούς και φιλικού προς τους επενδυτές ρυθμιστικού περιβάλλοντος, η Ελλάδα μπορεί να συνεχίσει να προσελκύει ξένες επενδύσεις, διασφαλίζοντας παράλληλα την υπεύθυνη ανάπτυξη της εξορυκτικής της βιομηχανίας (OECD, 2024).

4. Ευκαιρίες στο σύγχρονο μεταλλευτικό περιβάλλον

4.1 Εξελίξεις στην εξορυκτική τεχνολογία

Οι τεχνολογικές εξελίξεις που βελτιώνουν την αποδοτικότητα, τη βιωσιμότητα και την ασφάλεια προκαλούν ριζικές αλλαγές στον εξορυκτικό τομέα. Νέες προοπτικές για την εξόρυξη πόρων με ταυτόχρονη μείωση των περιβαλλοντικών συνεπειών έχουν καταστεί δυνατές χάρη στις εξελίξεις στην ψηφιοποίηση, την αυτοματοποίηση, την τεχνητή νοημοσύνη (AI) και τις φιλικές προς το περιβάλλον τεχνικές εξόρυξης. Οι παραδοσιακές εργασίες εξόρυξης αλλάζουν ως αποτέλεσμα αυτών των εξελίξεων και γίνονται πιο κερδοφόρες και βιώσιμες (Mondejar et al., 2021).

Μία από τις σημαντικότερες τεχνολογικές ανακαλύψεις στη σύγχρονη εξόρυξη είναι η αυτοματοποίηση. Τα αυτοματοποιημένα συστήματα γεώτρησης, φόρτωσης και μεταφοράς έχουν φέρει επανάσταση στον κλάδο, μειώνοντας το κόστος εργασίας και βελτιώνοντας την επιχειρησιακή αποδοτικότητα. Τα αυτόνομα φορτηγά μεταφοράς και τα ρομποτικά τρυπάνια, που ελέγχονται εξ αποστάσεως ή μέσω αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης, είναι πλέον κοινά σε πολλές εξορυκτικές επιχειρήσεις παγκοσμίως. Αυτές οι τεχνολογίες επιτρέπουν στις εταιρείες εξόρυξης να λειτουργούν σε επικίνδυνα περιβάλλοντα με ελάχιστη ανθρώπινη παρέμβαση, βελτιώνοντας σημαντικά την ασφάλεια των εργαζομένων. Ο εξορυκτικός τομέας της Ελλάδας μπορεί να επωφεληθεί από την υιοθέτηση της αυτοματοποίησης για τη βελτιστοποίηση της εξόρυξης πόρων και την εξασφάλιση ασφαλέστερων συνθηκών εργασίας (Mondejar et al., 2021).

Στην εξερεύνηση και παραγωγή ορυχείων, η μηχανική μάθηση και η τεχνητή νοημοσύνη (AI) αποκτούν όλο και μεγαλύτερη σημασία. Με μεγαλύτερη ακρίβεια από ό,τι με τις συμβατικές τεχνικές, οι αλγόριθμοι που λειτουργούν με τεχνητή νοημοσύνη εξετάζουν γεωλογικά δεδομένα για να βρουν πιθανά αποθέματα ορυκτών πόρων. Η τεχνητή νοημοσύνη επιταχύνει και μειώνει το κόστος της εξερεύνησης ορυκτών πόρων αναλύοντας τεράστιους όγκους γεωλογικών και γεωφυσικών δεδομένων. Η τεχνητή νοημοσύνη βελτιώνει επίσης τον έλεγχο του βαθμού περιεκτικότητας του μεταλλεύματος, γεγονός που βοηθά τις εταιρείες εξόρυξης στη βελτιστοποίηση της αποδοτικότητας της εξόρυξης. Οι μέθοδοι εξερεύνησης με βάση την τεχνητή νοημοσύνη μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τις ελληνικές μεταλλευτικές εταιρείες για την εξεύρεση νέων κοιτασμάτων ορυκτών και τη βελτίωση των υφιστάμενων δραστηριοτήτων (Adnan et al., 2024).

Η προληπτική συντήρηση και η επιχειρησιακή αποτελεσματικότητα έχουν ενισχυθεί σημαντικά με την ενσωμάτωση του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) στην εξόρυξη. Δεδομένα σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τους ρυθμούς εξόρυξης πόρων, τις περιβαλλοντικές συνθήκες και την απόδοση του εξοπλισμού συλλέγονται από αισθητήρες που διαθέτουν IoT. Προκειμένου να βελτιωθεί η συνολική αποδοτικότητα, να εντοπιστούν ελαττώματα πριν οδηγήσουν σε βλάβες του εξοπλισμού και να βελτιστοποιηθούν οι διαδικασίες, τα δεδομένα αυτά αξιολογούνται. Οι έξυπνες επιχειρήσεις εξόρυξης με δυνατότητα IoT μπορούν να εξοικονομήσουν λειτουργικές δαπάνες, να βελτιώσουν την ενεργειακή απόδοση και να μειώσουν τον χρόνο διακοπής λειτουργίας. Οι τεχνολογίες IoT μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τον εξορυκτικό τομέα της Ελλάδας για να βελτιώσουν τις διαδικασίες παρακολούθησης και λήψης αποφάσεων τόσο σε υπαίθριες όσο και σε υπόγειες εξορυκτικές εργασίες (Mamun & Yuce, 2019).

Μια άλλη σημαντική τεχνολογική πρόοδος στην εξόρυξη είναι η χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών (drones) για την εξερεύνηση και την τοπογράφιση. Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη που είναι εξοπλισμένα με κάμερες υψηλής ανάλυσης και τεχνολογία LiDAR παρέχουν λεπτομερείς εναέριους χάρτες των περιοχών εξόρυξης, επιτρέποντας στους γεωλόγους και τους μηχανικούς να αξιολογούν με ακρίβεια τις συνθήκες του εδάφους (Loots et al., 2022). Αυτά τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα βελτιώνουν την αποτελεσματικότητα της εξερεύνησης καλύπτοντας γρήγορα τεράστιες περιοχές και συλλέγοντας δεδομένα υψηλής ποιότητας που βοηθούν στον σχεδιασμό των ορυχείων. Επιπλέον, τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη

χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της περιβαλλοντικής συμμόρφωσης και την αξιολόγηση των προσπαθειών αποκατάστασης της γης. Ο εξορυκτικός τομέας της Ελλάδας μπορεί να ενσωματώσει την τεχνολογία των μη επανδρωμένων αεροσκαφών για να βελτιώσει την ακρίβεια της εξερεύνησης και να μειώσει τους επιχειρησιακούς κινδύνους (Park & Choi, 2020).

Οι τεχνολογίες εξόρυξης με επίκεντρο τη βιωσιμότητα κερδίζουν επίσης ολοένα και περισσότερο έδαφος, καθώς οι περιβαλλοντικές ανησυχίες συνεχίζουν να διαμορφώνουν τις πρακτικές του κλάδου. Μία από τις πιο αξιοσημείωτες καινοτομίες είναι η ανάπτυξη τεχνικών εξόρυξης με αποδοτική χρήση του νερού. Οι παραδοσιακές διαδικασίες εξόρυξης καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες νερού, αλλά οι νέες μέθοδοι, όπως η ξηρή επεξεργασία και τα συστήματα ανακύκλωσης νερού κλειστού κυκλώματος, μειώνουν σημαντικά τη χρήση νερού. Οι τεχνολογίες αυτές είναι ιδιαίτερα επωφελείς για περιοχές με λειψυδρία, διασφαλίζοντας ότι οι εξορυκτικές δραστηριότητες παραμένουν βιώσιμες, ελαχιστοποιώντας παράλληλα το οικολογικό τους αποτύπωμα. Η εφαρμογή τέτοιων λύσεων στην Ελλάδα μπορεί να βοηθήσει την εξορυκτική βιομηχανία να συμμορφωθεί με τους αυστηρούς περιβαλλοντικούς κανονισμούς της ΕΕ (Zaman et al., 2024).

Η ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι μια άλλη κρίσιμη πρόοδος στη σύγχρονη εξόρυξη. Πολλές εξορυκτικές εταιρείες μεταβαίνουν σε ηλιακές, αιολικές και υδροηλεκτρικές πηγές ενέργειας για να μειώσουν την εξάρτησή τους από τα ορυκτά καύσιμα. Οι εξορυκτικές εργασίες που τροφοδοτούνται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όχι μόνο μειώνουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου αλλά και το ενεργειακό κόστος μακροπρόθεσμα. Η Ελλάδα, με τους άφθονους ηλιακούς και αιολικούς πόρους της, είναι σε καλή θέση για την υιοθέτηση λύσεων ανανεώσιμης ενέργειας σε μεταλλευτικά έργα. Η ενσωμάτωση τεχνολογιών καθαρής ενέργειας μπορεί να καταστήσει τις ελληνικές εξορυκτικές δραστηριότητες πιο βιώσιμες και οικονομικά αποδοτικές (Zięba & Smoliński, 2025).

Ο εξοπλισμός εξόρυξης που λειτουργεί με μπαταρίες γίνεται μια πιο φιλική προς το περιβάλλον επιλογή από τον εξοπλισμό που λειτουργεί με ντίζελ. Ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος των εξορυκτικών εργασιών μειώνεται από τις μηδενικές εκπομπές που παράγονται από τους ηλεκτρικούς φορτωτές, τα οχήματα και τα γεωτρήματα. Επιπλέον, αυτά τα φορτηγά είναι πιο αθόρυβα από τα συμβατικά μηχανήματα, γεγονός που μειώνει την ηχορύπανση στις πόλεις εξόρυξης. Η μετάβαση σε ηλεκτρικό εξοπλισμό εξόρυξης είναι μια εφικτή εναλλακτική λύση που

πρέπει να λάβει υπόψη του ο εξορυκτικός τομέας της Ελλάδας στην προσπάθειά του να εκσυγχρονίσει τις δραστηριότητές του, διότι συνάδει με τους στόχους της Πράσινης Συμφωνίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Zięba & Smoliński, 2025).

Οι προηγμένες τεχνολογίες επεξεργασίας ορυκτών βελτιώνουν την αποδοτικότητα της εξόρυξης και του εξευγενισμού των μεταλλευμάτων. Οι κύλινδροι λείανσης υψηλής πίεσης, η βιολογική έκπλυση και οι τεχνικές διαλογής μεταλλεύματος με αισθητήρες ενισχύουν την ανάκτηση των ορυκτών, ενώ παράλληλα μειώνουν την κατανάλωση ενέργειας και τη δημιουργία αποβλήτων. Αυτές οι καινοτομίες συμβάλλουν στην οικονομικά αποδοτική και περιβαλλοντικά υπεύθυνη επεξεργασία ορυκτών. Οι ελληνικές μεταλλευτικές εταιρείες μπορούν να επωφεληθούν από την υιοθέτηση αυτών των προηγμένων μεθόδων επεξεργασίας για να βελτιώσουν την κερδοφορία και τη βιωσιμότητα των δραστηριοτήτων τους (Bibri et al., 2023).

Επιπλέον, η τεχνολογία blockchain διερευνάται ως ένας τρόπος βελτίωσης της ιχνηλασιμότητας και της διαφάνειας της αλυσίδας εφοδιασμού των ορυχείων. Οι μεταλλευτικές επιχειρήσεις μπορούν να διασφαλίσουν ηθικές μεθόδους προμήθειας παρέχοντας επαληθεύσιμα αρχεία της προέλευσης των ορυκτών μέσω της χρήσης συστημάτων εντοπισμού που βασίζονται στην αλυσίδα μπλοκ (blockchain). Για τα βασικά ορυκτά και τα στοιχεία σπάνιων γαιών, όπου η ηθική προμήθεια είναι σημαντική για τομείς όπως η ηλεκτρονική, η αεροδιαστημική και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η μέθοδος αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική. Η τεχνολογία blockchain μπορεί να χρησιμοποιηθεί από την ελληνική εξορυκτική βιομηχανία για τη βελτίωση της λογοδοσίας και την ενίσχυση της εμπιστοσύνης των ενδιαφερομένων μερών και των επενδυτών (Bibri et al., 2023).

Ο ρόλος της ανάλυσης μεγάλων δεδομένων στη σύγχρονη εξόρυξη δεν μπορεί να αγνοηθεί. Οι εταιρείες εξόρυξης χρησιμοποιούν τα μεγάλα δεδομένα για τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης των πόρων, τη βελτίωση των μέτρων ασφαλείας και την ενίσχυση της λειτουργικής αποδοτικότητας. Οι προηγμένες πλατφόρμες ανάλυσης δεδομένων επεξεργάζονται γεωλογικά, γεωχημικά και γεωφυσικά δεδομένα για την πρόβλεψη των θέσεων των μεταλλευτικών σωμάτων και τη βελτίωση του σχεδιασμού των ορυχείων. Η προγνωστική ανάλυση βοηθά επίσης στην αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και στον μετριασμό των πιθανών κινδύνων. Η εφαρμογή λύσεων μεγάλων δεδομένων στις ελληνικές εξορυκτικές

δραστηριότητες μπορεί να οδηγήσει σε πιο τεκμηριωμένη λήψη αποφάσεων και βελτιωμένη αξιοποίηση των πόρων (Nishant et al., 2020).

Τα ψηφιακά δίδυμα, ή εικονικές αναπαραστάσεις πραγματικών εξορυκτικών δραστηριοτήτων, γίνονται όλο και πιο συνηθισμένα καθώς αναπτύσσεται ο εξορυκτικός τομέας. Η παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο και η προσομοίωση των εξορυκτικών εργασιών καθίστανται δυνατές με την τεχνολογία ψηφιακών διδύμων, η οποία επιτρέπει στις επιχειρήσεις να δοκιμάζουν διάφορα σενάρια πριν από τη λήψη κρίσιμων επιχειρησιακών επιλογών. Αυτό μειώνει τους περιβαλλοντικούς κινδύνους, βελτιώνει την αποδοτικότητα και μειώνει την αβεβαιότητα. Το λογισμικό ψηφιακού διδύμου μπορεί να βοηθήσει τις ελληνικές μεταλλευτικές επιχειρήσεις να σχεδιάσουν τα ορυχεία τους και να βελτιστοποιήσουν τους πόρους τους (Nishant et al., 2020).

Οι εξελίξεις στην τεχνολογία εξόρυξης μεταμορφώνουν τον κλάδο, προσφέροντας νέες ευκαιρίες για αυξημένη αποτελεσματικότητα, ασφάλεια και βιωσιμότητα. Η αυτοματοποίηση, η τεχνητή νοημοσύνη, το IoT, τα drones και η ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αναδιαμορφώνουν τις εξορυκτικές δραστηριότητες παγκοσμίως. Ο εξορυκτικός τομέας της Ελλάδας μπορεί να κερδίσει σημαντικά από την υιοθέτηση αυτών των καινοτομιών, ενισχύοντας την εξερεύνηση πόρων, την επιχειρησιακή αποδοτικότητα και την περιβαλλοντική συμμόρφωση. Με την υιοθέτηση των σύγχρονων τεχνολογιών εξόρυξης, η Ελλάδα μπορεί να ενισχύσει τη θέση της στην παγκόσμια αγορά πρώτων υλών, προωθώντας παράλληλα τη βιώσιμη ανάπτυξη (Nishant et al., 2020).

4.2 Δυνατότητες για βιώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον εξόρυξη

Καθώς μεταβαίνει σε πιο φιλικές προς το περιβάλλον και βιώσιμες μεθόδους, ο τομέας της εξόρυξης αλλάζει δραματικά σε παγκόσμια κλίμακα. Η επιθυμία να μειωθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των εξορυκτικών δραστηριοτήτων, διατηρώντας παράλληλα την οικονομική βιωσιμότητα, είναι αυτό που κινητοποιεί την κίνηση προς την υπεύθυνη εξόρυξη πόρων. Η μετάβαση σε μεθόδους εξόρυξης φιλικές προς το περιβάλλον προσφέρει στον κλάδο μια μοναδική ευκαιρία να υιοθετήσει νέες τεχνολογίες, να ενισχύσει την παραγωγικότητα και να μειώσει τις αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον (Igogo et al., 2021).

Η χρήση πρωτοποριακών στρατηγικών διαχείρισης αποβλήτων και διάθεσης τελμάτων είναι ένα από τα κύρια συστατικά της βιώσιμης εξόρυξης. Με τις συμβατικές τεχνικές εξόρυξης παράγονται μεγάλες ποσότητες αποβλήτων, οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν σε καταστροφή των οικοτόπων, μόλυνση των υδάτων και υποβάθμιση της γης. Οι σύγχρονες τεχνικές, όπως τα φιλτραρισμένα απόβλητα και η ξηρή στοίβαξη, μειώνουν δραστικά την πιθανότητα κατάρρευσης των φραγμάτων απόθεσης, ενώ παράλληλα χρησιμοποιούν λιγότερο νερό. Εξασφαλίζοντας τη μακροπρόθεσμη σταθερότητα των κοντινών οικοσυστημάτων, οι τεχνολογίες αυτές βοηθούν τις εταιρείες εξόρυξης να διεξάγουν τις δραστηριότητές τους με μεγαλύτερη αίσθηση περιβαλλοντικής ευθύνης (Laurence, 2011).

Η εξοικονόμηση νερού είναι ένα άλλο κρίσιμο στοιχείο της βιώσιμης εξόρυξης. Πολλές εξορυκτικές δραστηριότητες απαιτούν σημαντικούς υδάτινους πόρους για την επεξεργασία του μεταλλεύματος, την καταστολή της σκόνης και άλλες δραστηριότητες. Εφαρμόζονται καινοτόμα συστήματα ανακύκλωσης νερού, τεχνικές επεξεργασίας κλειστού κυκλώματος και τεχνολογίες αφαλάτωσης για τη μείωση της κατανάλωσης νερού και την αποφυγή της μόλυνσης των τοπικών πηγών νερού. Οι εταιρείες εξόρυξης που δίνουν προτεραιότητα στην αποδοτικότητα του νερού όχι μόνο συμμορφώνονται με τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς, αλλά συμβάλλουν και στη διατήρηση ζωτικών υδάτινων πόρων για τις τοπικές κοινότητες (Nwaila et al., 2022).

Μία από τις κύριες δυνάμεις πίσω από τη βιώσιμη εξόρυξη είναι η ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η μείωση της εξάρτησης της βιομηχανίας από μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου είναι δύο οφέλη από τη μετάβαση από πηγές ενέργειας που βασίζονται σε ορυκτά καύσιμα σε ηλιακή, αιολική και υδροηλεκτρική ενέργεια. Για την τροφοδοσία των εγκαταστάσεών τους, πολυάριθμες επιχειρήσεις εξόρυξης σε όλο τον κόσμο τοποθετούν υβριδικά ενεργειακά συστήματα, ανεμογεννήτριες και ηλιακά πάρκα. Εκτός από τη μείωση των λειτουργικών δαπανών, η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην εξόρυξη υποστηρίζει διεθνείς περιβαλλοντικούς στόχους που επιδιώκουν τη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα (Lim & Alorrio, 2021).

Η υιοθέτηση ηλεκτρικού και μπαταριοκίνητου εξοπλισμού εξόρυξης ενισχύει περαιτέρω τη βιωσιμότητα του τομέα. Παραδοσιακά, οι επιχειρήσεις εξόρυξης βασίζονται σε μηχανήματα που λειτουργούν με ντίζελ, τα οποία συμβάλλουν στην ατμοσφαιρική ρύπανση και στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Η εισαγωγή

ηλεκτρικών φορτηγών μεταφοράς, φορτωτών και γεωτρύπανων μειώνει σημαντικά την εξάρτηση του κλάδου από τα ορυκτά καύσιμα, ενώ παράλληλα βελτιώνει την ποιότητα του αέρα στα περιβάλλοντα των ορυχείων. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας μπαταριών υψηλής χωρητικότητας έχει καταστήσει εφικτή τη μετάβαση των εξορυκτικών εταιρειών σε πλήρως ηλεκτρικούς στόλους, προωθώντας καθαρότερες και αποδοτικότερες λειτουργίες (Lim & Alorro, 2021).

Καθώς οι εταιρείες εξόρυξης προσπαθούν να μειώσουν τις περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις, οι φιλικές προς το περιβάλλον τεχνικές επεξεργασίας ορυκτών γίνονται επίσης όλο και πιο δημοφιλείς. Οι τεχνολογίες που συμβάλλουν στη μείωση της χρήσης ενέργειας, της χρήσης νερού και των επικίνδυνων παραπροϊόντων περιλαμβάνουν τη βιολογική έκπλυση, τη διαλογή μεταλλεύματος με αισθητήρες και τη χημική εξόρυξη χαμηλού αντίκτυπου. Για παράδειγμα, η βιοέκπλυση χρησιμοποιεί φυσικά βακτήρια για την απομάκρυνση μετάλλων από μεταλλεύματα χωρίς τη χρήση επιβλαβών χημικών ουσιών όπως το θειικό οξύ και το κυάνιο. Η διαλογή μεταλλευμάτων με αισθητήρες βελτιώνει την αποδοτικότητα, διασφαλίζοντας ότι χειρίζονται μόνο τα καλύτερα ορυκτά, ενώ παράλληλα μειώνει την κατανάλωση ενέργειας και την παραγωγή αποβλήτων (Lim & Alorro, 2021).

Η αποκατάσταση της γης και η διατήρηση της βιοποικιλότητας αποτελούν βασικά στοιχεία της βιώσιμης εξόρυξης. Οι υπεύθυνες εταιρείες εξόρυξης δίνουν προτεραιότητα στις προσπάθειες αποκατάστασης της γης, επαναφέροντας τις εξορυγμένες περιοχές στη φυσική τους κατάσταση ή επαναχρησιμοποιώντας τις για γεωργική, ψυχαγωγική ή βιομηχανική χρήση. Τεχνικές όπως η αναδάσωση, η αποκατάσταση του εδάφους και η αποκατάσταση των οικοτόπων συμβάλλουν στον μετριασμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των εξορυκτικών δραστηριοτήτων. Επιπλέον, οι εξορυκτικές εταιρείες υιοθετούν όλο και περισσότερο στρατηγικές διατήρησης της βιοποικιλότητας που προστατεύουν την τοπική χλωρίδα και πανίδα με τη δημιουργία ζωνών προστασίας, διαδρόμων άγριας ζωής και προγραμμάτων διατήρησης (Dong et al., 2019).

Η μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος της εφοδιαστικής και των μεταφορών είναι μια άλλη πτυχή της βιώσιμης εξόρυξης. Η μειωμένη χρήση ενέργειας και οι εκπομπές είναι αποτέλεσμα της χρήσης αυτοματοποιημένων συστημάτων μεταφοράς, της σιδηροδρομικής μεταφοράς και της βελτιωμένης διαχείρισης της αλυσίδας εφοδιασμού. Οι μεταλλευτικές επιχειρήσεις μπορούν να αυξήσουν τη λειτουργική αποδοτικότητα και να δημιουργήσουν σημαντικά

περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα, μεταβαίνοντας από τα συμβατικά συστήματα μεταφοράς που είναι εντατικά σε καύσιμα σε ενεργειακά αποδοτικές εναλλακτικές λύσεις (Dong et al., 2019).

Η έννοια της κυκλικής οικονομίας διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση βιώσιμων πρακτικών εξόρυξης. Οι αρχές της κυκλικής οικονομίας δίνουν έμφαση στην αποδοτικότητα των πόρων, τη μείωση των αποβλήτων και την επαναχρησιμοποίηση των υλικών. Στην εξόρυξη, η προσέγγιση αυτή περιλαμβάνει την ανακύκλωση μετάλλων από ηλεκτρονικά απόβλητα, την επαναχρησιμοποίηση των υπολειμμάτων των ορυχείων για κατασκευαστικά υλικά και την ανάκτηση πολύτιμων υποπροϊόντων από την επεξεργασία μεταλλευμάτων. Με την υιοθέτηση πρακτικών κυκλικής οικονομίας, οι εταιρείες εξόρυξης μπορούν να μειώσουν την εξάρτησή τους από παρθένες πρώτες ύλες, ελαχιστοποιώντας παράλληλα την περιβαλλοντική υποβάθμιση (Asr et al., 2019).

Η κοινωνική υπευθυνότητα και η συμμετοχή της κοινότητας αποτελούν βασικά στοιχεία των επιτυχημένων εξορυκτικών δραστηριοτήτων. Οι θετικές σχέσεις με τις κοινότητες που επηρεάζονται από τις εξορυκτικές δραστηριότητες προωθούνται από τις εξορυκτικές εταιρείες που δίνουν μεγάλη προτεραιότητα στην ανοικτή επικοινωνία, τις ηθικές εργασιακές πρακτικές και την τοπική οικονομική ανάπτυξη. Οι τοπικές κοινότητες έχουν λόγο στα έργα εξόρυξης μέσω συνεργατικών πρωτοβουλιών, όπως τα σχέδια επιμερισμού των οφελών και τα προγράμματα περιβαλλοντικής παρακολούθησης υπό την ηγεσία της κοινότητας. Πέρα από την περιβαλλοντική συνείδηση, η βιώσιμη εξόρυξη συνεπάγεται επίσης την προάσπιση των δικαιωμάτων των αυτοχθόνων πληθυσμών, την παροχή βοήθειας σε προγράμματα υγειονομικής περίθαλψης και εκπαίδευσης και την προώθηση της οικονομικής διαφοροποίησης στις κοινότητες εξόρυξης (Frejowski et al., 2021).

Η ανάπτυξη της βιώσιμης εξόρυξης εξακολουθεί να καθοδηγείται από την τεχνολογική καινοτομία. Η ηθική και υπεύθυνη προμήθεια πρώτων υλών διασφαλίζεται από την εφαρμογή της τεχνολογίας blockchain για την παρακολούθηση των ορυκτών. Για τη μεγιστοποίηση της χρήσης των πόρων και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, τα ψηφιακά δίδυμα - εικονικά αντίγραφα των εργασιών εξόρυξης - επιτρέπουν την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο και την προγνωστική ανάλυση. Τεχνολογίες όπως η τηλεπισκόπηση, η τεχνητή νοημοσύνη και η ανάλυση μεγάλων δεδομένων βελτιώνουν επίσης τη λήψη αποφάσεων, επιτρέποντας στις επιχειρήσεις εξόρυξης να επιτύχουν μια ισορροπία

μεταξύ της περιβαλλοντικής διαχείρισης και της εκμετάλλευσης των πόρων (Frejowski et al., 2021).

Εν τέλει, η μετάβαση στη βιώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον εξόρυξη αποτελεί ευκαιρία για τον κλάδο να επαναπροσδιορίσει τον ρόλο του στην παγκόσμια διαχείριση των πόρων. Αγκαλιάζοντας καινοτόμες τεχνολογίες, δίνοντας προτεραιότητα στη διατήρηση του περιβάλλοντος και προωθώντας την κοινωνική υπευθυνότητα, οι εξορυκτικές εταιρείες μπορούν να επιτύχουν μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα, ικανοποιώντας παράλληλα την αυξανόμενη ζήτηση για βασικά ορυκτά. Η στροφή αυτή δεν ωφελεί μόνο το περιβάλλον, αλλά ενισχύει επίσης την ανθεκτικότητα και την ανταγωνιστικότητα του κλάδου σε έναν όλο και πιο οικολογικά ευαισθητοποιημένο κόσμο (Frejowski et al., 2021).

4.3 Πράσινη Συμφωνία της ΕΕ και ο αντίκτυπός της στις ελληνικές πολιτικές εξόρυξης

Η Πράσινη Συμφωνία της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι ένα μετασχηματιστικό πλαίσιο πολιτικής που στοχεύει να καταστήσει την Ευρώπη την πρώτη κλιματικά ουδέτερη ήπειρο έως το 2050. Αυτό το φιλόδοξο πρόγραμμα έχει εκτεταμένες επιπτώσεις σε διάφορους κλάδους, συμπεριλαμβανομένης της εξορυκτικής βιομηχανίας, η οποία διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην παροχή των πρώτων υλών που είναι απαραίτητες για την πράσινη μετάβαση. Για την Ελλάδα, μια χώρα με πλούσια μεταλλευτική ιστορία και σημαντικούς ορυκτούς πόρους, η Πράσινη Συμφωνία της ΕΕ παρουσιάζει προκλήσεις και ευκαιρίες. Το παρόν άρθρο διερευνά τον αντίκτυπο της Πράσινης Συμφωνίας της ΕΕ στις ελληνικές μεταλλευτικές πολιτικές και τις ευκαιρίες που προκύπτουν από αυτό το εξελισσόμενο ρυθμιστικό τοπίο (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2020).

Η Πράσινη Συμφωνία της ΕΕ δομείται γύρω από διάφορους βασικούς πυλώνες, όπως η απαλλαγή από τον άνθρακα, η προώθηση της κυκλικής οικονομίας και η προστασία της βιοποικιλότητας. Ένας από τους κύριους στόχους της είναι να διασφαλίσει ότι οι βιομηχανίες θα μειώσουν το ανθρακικό τους αποτύπωμα διατηρώντας παράλληλα την ανταγωνιστικότητά τους. Στον τομέα της εξόρυξης, αυτό σημαίνει αυξημένη έμφαση σε βιώσιμες πρακτικές εξόρυξης, μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και ενσωμάτωση περισσότερης ανακύκλωσης και δευτερογενών πρώτων υλών στην αλυσίδα εφοδιασμού. Μια θεμελιώδης πτυχή της

Πράσινης Συμφωνίας είναι το σχέδιο δράσης για τις κρίσιμες πρώτες ύλες, το οποίο αναγνωρίζει ότι η Ευρώπη εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις εισαγωγές βασικών ορυκτών, όπως το λίθιο, το κοβάλτιο και τα στοιχεία σπάνιων γαιών. Τα υλικά αυτά είναι απαραίτητα για τις τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τα ηλεκτρικά οχήματα και τις ψηφιακές υποδομές. Η Ελλάδα, η οποία διαθέτει σημαντικά κοιτάσματα βωξίτη (που χρησιμοποιείται για την παραγωγή αλουμινίου), νικελίου και στοιχείων σπάνιων γαιών, βρίσκεται σε ισχυρή θέση να συμβάλει στην αλυσίδα εφοδιασμού της ΕΕ, ευθυγραμμιζόμενη παράλληλα με τους στόχους βιωσιμότητας (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2020).

Ανταποκρινόμενη στην Πράσινη Συμφωνία της ΕΕ, η Ελλάδα έχει προσαρμόσει τις εξορυκτικές πολιτικές της ώστε να ευθυγραμμιστεί με τα ευρωπαϊκά πρότυπα περιβαλλοντικής προστασίας και βιωσιμότητας. Ως αποτέλεσμα έχουν προκύψει διάφορες βασικές τάσεις. Οι ελληνικές εξορυκτικές δραστηριότητες αντιμετωπίζουν πλέον αυστηρότερες εκτιμήσεις περιβαλλοντικών επιπτώσεων (ΕΠΕ). Τα έργα πρέπει να αποδεικνύουν ότι ελαχιστοποιούν τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, προστατεύουν τη βιοποικιλότητα και ενσωματώνουν σχέδια αποκατάστασης για τις εξορυγμένες περιοχές. Η συμμόρφωση με αυτούς τους κανονισμούς διασφαλίζει την επιλεξιμότητα για χρηματοδότηση και επενδυτικά κίνητρα από την ΕΕ. Οι Έλληνες υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής προωθούν τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στις εξορυκτικές δραστηριότητες. Οι εταιρείες ενθαρρύνονται να μεταβούν από τις λειτουργίες που βασίζονται σε ορυκτά καύσιμα σε ηλεκτρικά και υβριδικά μηχανήματα, να επενδύσουν σε ηλιακή ή αιολική ενέργεια για ενεργοβόρες διαδικασίες και να βελτιστοποιήσουν τις αλυσίδες εφοδιαστικής τους για τη μείωση των εκπομπών. Η Πράσινη Συμφωνία της ΕΕ δίνει προτεραιότητα στην επαναχρησιμοποίηση και την ανακύκλωση υλικών για τη μείωση της εξάρτησης από την εξόρυξη πρωτογενών πρώτων υλών (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2020).

Στην Ελλάδα, αυτό έχει οδηγήσει σε πολιτικές που υποστηρίζουν την ανάκτηση πολύτιμων μετάλλων από βιομηχανικά απόβλητα και ενθαρρύνουν την αστική εξόρυξη -εκχύλιση μετάλλων από ηλεκτρονικά απόβλητα και άλλες δευτερογενείς πηγές. Τα μεταλλευτικά έργα στην Ελλάδα υπόκεινται πλέον σε αυστηρότερους κανόνες διαφάνειας, οι οποίοι απαιτούν λεπτομερείς γνωστοποιήσεις σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, τις πρακτικές βιωσιμότητας και τις στρατηγικές δέσμευσης της κοινότητας. Οι διαδικασίες δημόσιας διαβούλευσης έχουν ενισχυθεί, διασφαλίζοντας ότι οι τοπικές κοινότητες έχουν λόγο στα έργα που

ενδέχεται να τις επηρεάσουν. Για τη στήριξη της πράσινης μετάβασης, η Ελλάδα επενδύει σε πρωτοβουλίες E&A που εστιάζουν σε πιο αποτελεσματικές τεχνικές επεξεργασίας ορυκτών, μειωμένη κατανάλωση νερού και ενέργειας και καινοτόμες μεθόδους για την εξόρυξη και τον εξευγενισμό κρίσιμων πρώτων υλών με ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2020).

Η Πράσινη Συμφωνία της ΕΕ, ενώ επιβάλλει αυστηρότερους κανονισμούς, ανοίγει επίσης σημαντικές ευκαιρίες για την ελληνική εξορυκτική βιομηχανία. Με την ΕΕ να στοχεύει στη μείωση της εξάρτησής της από τρίτες χώρες για κρίσιμα ορυκτά, η Ελλάδα μπορεί να τοποθετηθεί ως βασικός προμηθευτής στην ευρωπαϊκή αλυσίδα εφοδιασμού. Αυτό παρουσιάζει ευκαιρίες για νέα μεταλλευτικά έργα, συνεργασίες και επενδύσεις σε τοπικές εγκαταστάσεις επεξεργασίας. Οι μεταλλευτικές εταιρείες που ευθυγραμμίζονται με τις αρχές της βιωσιμότητας μπορούν να αξιοποιήσουν διάφορους χρηματοδοτικούς μηχανισμούς της ΕΕ, όπως το Ταμείο Δίκαιης Μετάβασης, τη διευκόλυνση ανάκαμψης και ανθεκτικότητας και το ερευνητικό πρόγραμμα «Ορίζοντας Ευρώπη». Τα εν λόγω κονδύλια μπορούν να υποστηρίξουν τεχνολογικές αναβαθμίσεις, την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και καινοτομίες εξόρυξης με γνώμονα τη βιωσιμότητα. Η στροφή προς πράσινες πρακτικές εξόρυξης θα δημιουργήσει ζήτηση για εξειδικευμένο εργατικό δυναμικό σε τομείς όπως η περιβαλλοντική μηχανική, η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η διαχείριση της κυκλικής οικονομίας. Η Ελλάδα μπορεί να αξιοποιήσει αυτή τη μετάβαση για να προωθήσει την αύξηση της απασχόλησης και να προσελκύσει νέους επαγγελματίες στον τομέα. Με την αυξημένη παγκόσμια ζήτηση για υλικά που προέρχονται από υπεύθυνες πηγές, η Ελλάδα έχει τη δυνατότητα να καθιερωθεί ως κόμβος για τη βιώσιμη επεξεργασία ορυκτών (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2020).

Επενδύοντας σε πιο πράσινες τεχνικές διύλισης και επεξεργασίας προστιθέμενης αξίας, οι ελληνικές μεταλλευτικές επιχειρήσεις μπορούν να ενισχύσουν την ανταγωνιστικότητά τους στις διεθνείς αγορές. Οι ελληνικές μεταλλευτικές εταιρείες μπορούν να υιοθετήσουν τεχνολογίες αιχμής, όπως η τεχνητή νοημοσύνη για την εξερεύνηση πόρων, η αυτοματοποίηση για ασφαλέστερες λειτουργίες και η blockchain για διαφανείς αλυσίδες εφοδιασμού. Αυτές οι καινοτομίες μπορούν να συμβάλουν στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, βελτιώνοντας παράλληλα την αποδοτικότητα (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2020).

Η Πράσινη Συμφωνία της ΕΕ αναδιαμορφώνει το μέλλον της εξόρυξης σε ολόκληρη την Ευρώπη και η Ελλάδα βρίσκεται σε ένα σταυροδρόμι προκλήσεων και ευκαιριών. Ενώ οι αυστηρότεροι περιβαλλοντικοί κανονισμοί απαιτούν από τις εταιρείες εξόρυξης να προσαρμοστούν, η μετάβαση προς βιώσιμες πρακτικές παρουσιάζει τεράστια οικονομικά και στρατηγικά οφέλη. Με την υιοθέτηση πράσινων τεχνολογιών εξόρυξης, τη βελτίωση της αποδοτικότητας των πόρων και την ενίσχυση του ρόλου της στη στρατηγική της ΕΕ για τις κρίσιμες πρώτες ύλες, η Ελλάδα μπορεί να μετατρέψει την Πράσινη Συμφωνία σε καταλύτη για έναν πιο ανθεκτικό και ανταγωνιστικό τομέα εξόρυξης. Το κλειδί της επιτυχίας έγκειται στην εξισορρόπηση της περιβαλλοντικής ευθύνης με την οικονομική ανάπτυξη, διασφαλίζοντας ότι η εξόρυξη θα παραμείνει πυλώνας βιώσιμης ανάπτυξης στο εξελισσόμενο βιομηχανικό τοπίο της Ελλάδας (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2020).

4.4 Δυνατότητες χρηματοδότησης για την έρευνα και την ανάπτυξη στον τομέα της εξόρυξης

Η έρευνα και ανάπτυξη στα ορυχεία είναι ζωτικής σημασίας για την προώθηση της καινοτομίας, τη βελτίωση της αποδοτικότητας και τη διασφάλιση της βιώσιμης εξόρυξης πόρων. Καθώς η εξορυκτική βιομηχανία αντιμετωπίζει προκλήσεις όπως η μείωση της περιεκτικότητας σε μεταλλεύματα, οι περιβαλλοντικές ανησυχίες και η ανάγκη για ψηφιακό μετασχηματισμό, οι ευκαιρίες χρηματοδότησης της έρευνας και ανάπτυξης αποκτούν ολοένα και μεγαλύτερη σημασία. Μια σειρά από πηγές χρηματοδότησης, συμπεριλαμβανομένων των κρατικών επιχορηγήσεων, των επενδύσεων του ιδιωτικού τομέα και των διεθνών συνεργασιών, παρέχουν οικονομική στήριξη για την προώθηση των τεχνολογιών εξόρυξης και τη βελτίωση των πρακτικών του κλάδου (Sánchez & Hartlieb, 2020).

Οι κυβερνήσεις παγκοσμίως αναγνωρίζουν τη στρατηγική σημασία της εξόρυξης και παρέχουν χρηματοδότηση μέσω διαφόρων επιχορηγήσεων, φορολογικών κινήτρων και ερευνητικών προγραμμάτων. Οργανισμοί όπως το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ, οι Φυσικοί Πόροι του Καναδά και τα προγράμματα Horizon της Ευρωπαϊκής Ένωσης προσφέρουν οικονομική υποστήριξη για την έρευνα στον τομέα της αυτοματοποίησης, της ασφάλειας και της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας. Για παράδειγμα, το αμερικανικό υπουργείο Ενέργειας παρέχει επιχορηγήσεις για έργα τεχνολογίας εξόρυξης που εστιάζουν στην ενεργειακή

απόδοση και τη μείωση των εκπομπών. Το πρόγραμμα Horizon Europe της Ευρωπαϊκής Ένωσης χορηγεί επίσης σημαντική χρηματοδότηση σε μεταλλευτικά έργα που εστιάζουν στην ψηφιοποίηση, στις πρακτικές κυκλικής οικονομίας και στην υπεύθυνη προμήθεια πρώτων υλών (Calzada Olvera, 2021).

Επιπλέον, πολλές κυβερνήσεις προσφέρουν φορολογικά κίνητρα και εκπτώσεις για εταιρείες που επενδύουν σε έρευνα και ανάπτυξη. Προγράμματα όπως το φορολογικό κίνητρο έρευνας και ανάπτυξης της Αυστραλίας και το φορολογικό κίνητρο επιστημονικής έρευνας και πειραματικής ανάπτυξης του Καναδά επιτρέπουν στις εταιρείες εξόρυξης να αντισταθμίσουν το κόστος έρευνας και να ενθαρρύνουν τις μακροπρόθεσμες επενδύσεις στην καινοτομία. Οι μεταλλευτικές εταιρείες και οι ενδιαφερόμενοι φορείς του κλάδου διαδραματίζουν επίσης βασικό ρόλο στη χρηματοδότηση της έρευνας. Μεγάλες πολυεθνικές εταιρείες εξόρυξης, όπως η Rio Tinto, η BHP και η Anglo American, επενδύουν σημαντικά στην έρευνα και ανάπτυξη μέσω εσωτερικών ερευνητικών ομάδων και συνεργασιών με πανεπιστήμια και εταιρείες τεχνολογίας. Οι επενδύσεις αυτές συχνά επικεντρώνονται στην αυτοματοποίηση, την τεχνητή νοημοσύνη και τις λύσεις ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για τη βελτίωση της παραγωγικότητας και της βιωσιμότητας (Calzada Olvera, 2021).

Οι εταιρείες επιχειρηματικών κεφαλαίων και ιδιωτικών συμμετοχών επενδύουν επίσης όλο και περισσότερο σε νεοφυείς επιχειρήσεις τεχνολογίας εξόρυξης. Οι εταιρείες που αναπτύσσουν προηγμένες τεχνικές επεξεργασίας ορυκτών, εξερεύνηση με βάση την τεχνητή νοημοσύνη και βιώσιμες τεχνολογίες εξόρυξης προσελκύουν χρηματοδότηση από επενδυτές που επιθυμούν να επωφεληθούν από τη μετάβαση της βιομηχανίας προς καθαρότερες και αποτελεσματικότερες πρακτικές. Επιπλέον, οι κατασκευαστές εξοπλισμού εξόρυξης, όπως η Caterpillar και η Sandvik, χρηματοδοτούν ερευνητικά έργα που αποσκοπούν στην ανάπτυξη αυτόνομων οχημάτων, ηλεκτροκίνητων μηχανημάτων και ψηφιακών συστημάτων παρακολούθησης. Αυτές οι συνεργασίες μεταξύ των εταιρειών εξόρυξης και των παρόχων τεχνολογίας προωθούν την καινοτομία και δημιουργούν νέες ευκαιρίες για βελτιώσεις σε ολόκληρη τη βιομηχανία (Sánchez & Hartlieb, 2020).

Οι διεθνείς οργανισμοί και οι συμπράξεις παρέχουν μια άλλη οδό για την εξασφάλιση χρηματοδότησης έρευνας και ανάπτυξης. Τα ακαδημαϊκά ιδρύματα και τα ερευνητικά κέντρα συχνά λαμβάνουν χρηματοδότηση από διεθνείς συνεργασίες. Πανεπιστήμια με ισχυρά προγράμματα μηχανικής εξόρυξης, όπως αυτά στον Καναδά,

την Αυστραλία και τη Νότια Αφρική, συνεργάζονται με παγκόσμιες εταιρείες εξόρυξης για τη διεξαγωγή έρευνας σχετικά με την εξόρυξη σε βαθιά θαλάσσια ύδατα, τη διαστημική εξόρυξη και τις βιώσιμες τεχνικές εξόρυξης πόρων (Calzada Olvera, 2021).

Οι ευκαιρίες χρηματοδότησης της έρευνας και ανάπτυξης για την εξόρυξη είναι ποικίλες και κυμαίνονται από κρατικές επιχορηγήσεις και φορολογικά κίνητρα έως επενδύσεις του ιδιωτικού τομέα και διεθνείς συνεργασίες. Καθώς ο κλάδος εξελίσσεται, η εξασφάλιση χρηματοδοτικής στήριξης για καινοτόμο έρευνα είναι απαραίτητη για την αντιμετώπιση περιβαλλοντικών προβλημάτων, τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας και τη διασφάλιση της μακροπρόθεσμης βιωσιμότητας των εξορυκτικών δραστηριοτήτων. Με συνεχείς επενδύσεις, ο εξορυκτικός τομέας μπορεί να αναπτύξει προηγμένες τεχνολογίες που ωφελούν τόσο την οικονομία όσο και το περιβάλλον (Calzada Olvera, 2021).

5. Προκλήσεις και εμπόδια στην ανάπτυξη

5.1 Περιβαλλοντικές ανησυχίες και αντιδράσεις του κοινού

Η ανάπτυξη, είτε με τη μορφή έργων υποδομής, είτε με τη μορφή βιομηχανικών επεκτάσεων, είτε με τη μορφή αστικής ανάπτυξης, συχνά χαιρετίζεται ως κρίσιμος μοχλός για την οικονομική πρόοδο και τη βελτίωση του βιοτικού επιπέδου. Ωστόσο, οι εξελίξεις αυτές συνοδεύονται από σημαντικές περιβαλλοντικές ανησυχίες και μπορεί να συναντήσουν σημαντικές αντιδράσεις από το κοινό. Αυτοί οι παράγοντες δημιουργούν εμπόδια που επιβραδύνουν ή μερικές φορές σταματούν τα έργα, εγείροντας σημαντικά ερωτήματα σχετικά με τις αντισταθμίσεις μεταξύ της προόδου και της διατήρησης του περιβάλλοντος (Sonter et al., 2018).

Ένα από τα σημαντικότερα εμπόδια στην ανάπτυξη είναι οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που έχουν τα διάφορα έργα στα οικοσυστήματα, τη βιοποικιλότητα και τους φυσικούς πόρους. Οι περιβαλλοντικές ανησυχίες εγείρονται συχνά ως απάντηση σε αναπτυξιακές δραστηριότητες όπως η κατασκευή δρόμων, φραγμάτων, σταθμών παραγωγής ενέργειας, εργοστασίων και οικιστικών συγκροτημάτων (Sonter et al., 2018).

Πολλά αναπτυξιακά έργα, ιδίως σε τροπικές και δασικές περιοχές, απαιτούν εκχέρσωση γης. Η αποψίλωση των δασών αποτελεί σημαντική ανησυχία επειδή

οδηγεί στην καταστροφή των ενδιαιτημάτων για αμέτρητα είδη φυτών και ζώων. Η απώλεια της βιοποικιλότητας έχει μακροπρόθεσμες συνέπειες για τις υπηρεσίες του οικοσυστήματος, όπως η επικονίαση, ο καθαρισμός του αέρα και του νερού και η δέσμευση άνθρακα. Η δημόσια αντίδραση προκύπτει συχνά όταν οι κοινότητες και οι περιβαλλοντολόγοι εκφράζουν ανησυχίες για τη μη αναστρέψιμη απώλεια της άγριας ζωής και των φυσικών πόρων λόγω της αποψίλωσης των δασών. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα στην περίπτωση έργων μεγάλης κλίμακας, όπως η εξόρυξη ή η επέκταση της γεωργίας (Maddala et al., 2021).

Τα αναπτυξιακά έργα μπορούν να συμβάλουν στην κλιματική αλλαγή μέσω της εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου. Η εκβιομηχάνιση, η καύση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας και η αποψίλωση των δασών παίζουν ρόλο στην αύξηση της συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Με την παγκόσμια κλιματική αλλαγή να γίνεται μια επείγουσα κρίση, οι περιβαλλοντολόγοι και το κοινό είναι όλο και πιο επιφυλακτικοί απέναντι σε έργα που επιδεινώνουν το ζήτημα. Η κατασκευή νέων εργοστασίων άνθρακα, αγωγών πετρελαίου ή άλλων υποδομών έντασης ενέργειας μπορεί να προκαλέσει την έντονη αντίδραση των περιβαλλοντικών ακτιβιστών, οι οποίοι υποστηρίζουν ότι η μακροπρόθεσμη περιβαλλοντική ζημία αντισταθμίζει τα βραχυπρόθεσμα οφέλη της ανάπτυξης (Dong et al., 2019).

Μια άλλη σημαντική περιβαλλοντική ανησυχία που συνδέεται με την ανάπτυξη είναι η ρύπανση του αέρα, του νερού και του εδάφους. Οι βιομηχανικές δραστηριότητες, όπως η εξόρυξη, η μεταποίηση και η γεωργία, συχνά απελευθερώνουν επιβλαβείς χημικές ουσίες στο περιβάλλον. Για παράδειγμα, η κατασκευή εργοστασίων μπορεί να οδηγήσει στην απελευθέρωση τοξικών ουσιών, ενώ η γεωργία μεγάλης κλίμακας μπορεί να συμβάλει στη μόλυνση των υδάτινων σωμάτων με φυτοφάρμακα και λιπάσματα. Η ρύπανση αυτή δεν επηρεάζει μόνο την υγεία των οικοσυστημάτων, αλλά μπορεί επίσης να βλάψει τις τοπικές κοινότητες. Καθώς αυξάνεται η ευαισθητοποίηση του κοινού σχετικά με τις επιπτώσεις της ρύπανσης στην υγεία, οι κοινότητες που ζουν κοντά σε αναπτυξιακά έργα συχνά εκφράζουν την αντίθεσή τους, απαιτώντας αυστηρότερους κανονισμούς και επιβολή της νομοθεσίας για τον μετριασμό αυτών των επιπτώσεων (Githiria & Onifade, 2020).

Η ανάπτυξη, ιδίως σε βιομηχανίες όπως η εξόρυξη, η εξόρυξη πετρελαίου και η γεωργία, μπορεί να εξαντλήσει τους πεπερασμένους φυσικούς πόρους. Καθώς πόροι όπως το νερό, τα ορυκτά και τα ορυκτά καύσιμα καταναλώνονται για τη

βιομηχανική και οικονομική ανάπτυξη, αυξάνεται η ανησυχία για τη βιωσιμότητα. Το κοινό αναγνωρίζει όλο και περισσότερο την ανάγκη εξισορρόπησης της ανάπτυξης με τη διατήρηση των πόρων, ώστε να διασφαλιστεί ότι οι μελλοντικές γενιές θα έχουν πρόσβαση σε βασικούς πόρους. Οι μη βιώσιμες πρακτικές μπορεί να οδηγήσουν στην εξάντληση ζωτικών πόρων, όπως το γλυκό νερό και η καλλιεργήσιμη γη, εμποδίζοντας έτσι τη μακροπρόθεσμη ανάπτυξη (Gorman & Dzombak, 2018).

Η αντίθεση του κοινού στα αναπτυξιακά έργα συχνά τροφοδοτείται από περιβαλλοντικές ανησυχίες, αλλά μπορεί επίσης να οφείλεται σε οικονομικούς, κοινωνικούς και πολιτιστικούς παράγοντες. Η αντίληψη του κοινού παίζει καθοριστικό ρόλο στο αν ένα αναπτυξιακό έργο μπορεί να προχωρήσει ή αν θα σταματήσει λόγω της ευρείας αντίστασης (Gorman & Dzombak, 2018).

Οι πιο άμεσες και σχετιζόμενες ανησυχίες για τους τοπικούς πληθυσμούς είναι οι πιθανές επιπτώσεις των αναπτυξιακών έργων στην υγεία. Για παράδειγμα, η κατασκευή βιομηχανικών μονάδων, εγκαταστάσεων επεξεργασίας αποβλήτων ή χώρων αποθήκευσης επικίνδυνων αποβλήτων μπορεί να εγείρει ανησυχίες σχετικά με την ποιότητα του αέρα και του νερού, την ηχορύπανση και την έκθεση σε τοξικές ουσίες. Οι κοινότητες που ζουν κοντά σε τέτοια έργα μπορεί να εμφανίσουν επιδείνωση των συνθηκών υγείας, όπως αναπνευστικές παθήσεις, δερματικά προβλήματα, ακόμη και καρκίνους. Οι ανησυχίες αυτές οδηγούν συχνά σε διαμαρτυρίες, νομικές προκλήσεις και εκκλήσεις για εναλλακτικές λύσεις που δίνουν προτεραιότητα στην υγεία και την ευημερία των πληγέντων πληθυσμών (Shengo, 2021).

Ένα άλλο βασικό στοιχείο της αντίδρασης του κοινού είναι η στάση «Not In My Backyard» (NIMBY). Ενώ οι άνθρωποι μπορεί να υποστηρίζουν την ανάπτυξη γενικά, μπορεί να μην επιθυμούν να συμβεί στην άμεση γειτονιά τους. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε αντίσταση σε συγκεκριμένα έργα, όπως η κατασκευή αυτοκινητοδρόμων, χωματερών ή βιομηχανικών μονάδων. Η αντίθεση NIMBY μπορεί να είναι ιδιαίτερα έντονη όταν το έργο θεωρείται ότι αποτελεί άμεση απειλή για το τοπικό περιβάλλον ή την ποιότητα ζωής. Οι άνθρωποι συχνά υποστηρίζουν ότι το κόστος μιας τέτοιας ανάπτυξης, όσον αφορά τις περιβαλλοντικές ζημιές και τους κινδύνους για την υγεία, αντισταθμίζει τα οικονομικά οφέλη, ιδίως αν δεν επωφελούνται άμεσα από το έργο (Tragnone et al., 2024).

Πολλές κοινότητες ανησυχούν για τις κοινωνικές και πολιτιστικές επιπτώσεις των αναπτυξιακών έργων. Ειδικότερα, οι ομάδες των αυτοχθόνων μπορεί να

αντιταχθούν στην καταπάτηση των παραδοσιακών τους εδαφών για αναπτυξιακούς σκοπούς. Η ανάπτυξη μπορεί να διαταράξει τον τοπικό τρόπο ζωής, να εκτοπίσει τις κοινότητες και να οδηγήσει στη διάβρωση των πολιτιστικών πρακτικών. Η δημόσια αντίθεση σε τέτοιες περιπτώσεις μπορεί να είναι ιδιαίτερα έντονη και να προσελκύσει την παγκόσμια προσοχή. Ο αγώνας για την προστασία των δικαιωμάτων των αυτοχθόνων, τη διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς και την αποτροπή του εκτοπισμού γίνεται συχνά σημείο συσπείρωσης για ακτιβιστές και περιβαλλοντικές ομάδες, εντείνοντας περαιτέρω τη δημόσια αντίθεση (Segerstedt & Abrahamsson, 2019).

Η αντίθεση του κοινού στην ανάπτυξη οφείλεται επίσης συχνά στην έλλειψη εμπιστοσύνης προς τις κυβερνητικές αρχές και τις εταιρείες που επιβλέπουν αυτά τα έργα. Οι άνθρωποι μπορεί να αισθάνονται ότι οι εργολάβοι δίνουν προτεραιότητα στο κέρδος έναντι του δημόσιου συμφέροντος και δεν είναι διαφανείς όσον αφορά τους πιθανούς περιβαλλοντικούς κινδύνους. Όταν οι τοπικές κοινότητες αισθάνονται ότι δεν ζητείται επαρκώς η γνώμη τους ή ότι οι ανησυχίες τους αγνοούνται, η αντίθεση αυξάνεται. Οι νομικές μάχες, οι δημόσιες διαμαρτυρίες και οι εκστρατείες για την απόδοση ευθυνών στις εταιρείες και τις κυβερνήσεις μπορούν να καθυστερήσουν ή να ακυρώσουν αναπτυξιακά έργα (Segerstedt & Abrahamsson, 2019).

5.2 Γραφειοκρατικές και νομικές προκλήσεις

Η μεταλλευτική έρευνα στην Ελλάδα, μια χώρα πλούσια σε ορυκτούς πόρους και με μακρά ιστορία μεταλλευτικής δραστηριότητας, αντιμετωπίζει μια σειρά από σημαντικές γραφειοκρατικές και νομικές προκλήσεις. Οι προκλήσεις αυτές μπορούν να επιβραδύνουν την πρόοδο τόσο της ακαδημαϊκής όσο και της βιομηχανικής έρευνας στον τομέα των μεταλλείων και να εμποδίσουν την ικανότητα της χώρας να αξιοποιήσει πλήρως τον ορυκτό της πλούτο για την οικονομική ανάπτυξη. Σε αυτό το άρθρο, θα διερευνήσουμε ορισμένα από τα κύρια γραφειοκρατικά και νομικά εμπόδια που αντιμετωπίζει σήμερα ο εξορυκτικός κλάδος στην Ελλάδα, εξετάζοντας τον αντίκτυπό τους στην έρευνα, την καινοτομία και τη βιώσιμη ανάπτυξη (Ζευγολατάκου, 2020).

Μία από τις κυριότερες γραφειοκρατικές και νομικές προκλήσεις στην έρευνα για την εξόρυξη στην Ελλάδα είναι η πολύπλοκη και χρονοβόρα διαδικασία αδειοδότησης. Οι εξορυκτικές δραστηριότητες στην Ελλάδα απαιτούν μια σειρά από

άδειες και εγκρίσεις, συμπεριλαμβανομένων των περιβαλλοντικών αδειών, των αδειών έρευνας και εξόρυξης. Οι διαδικασίες αυτές είναι συχνά χρονοβόρες, καθώς απαιτούν εκτενή τεκμηρίωση και έγκριση από πολλές κυβερνητικές υπηρεσίες (Ζευγολατάκου, 2020).

Ειδικότερα, οι εκτιμήσεις περιβαλλοντικών επιπτώσεων (ΕΠΕ) που πρέπει να διεξαχθούν για πολλά μεταλλευτικά έργα αναφέρονται συχνά ως ένα από τα σημαντικότερα εμπόδια στην πρόοδο. Η απαίτηση για εκτεταμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις και διαβουλεύσεις με τις τοπικές κοινότητες μπορεί να οδηγήσει σε καθυστερήσεις στις δραστηριότητες έρευνας και εξερεύνησης. Η πολλαπλότητα των απαιτούμενων αδειών, σε συνδυασμό με τις διαφορετικές απαιτήσεις των περιφερειακών και εθνικών αρχών, οδηγεί συχνά σε γραφειοκρατικές καθυστερήσεις, έλλειψη σαφήνειας στις διαδικασίες και μερικές φορές σε αντιφατικές αποφάσεις από διαφορετικούς κυβερνητικούς φορείς. Αυτό μπορεί να αποθαρρύνει νέες επενδύσεις στην έρευνα και εξερεύνηση μεταλλείων, καθώς οι εταιρείες μπορεί να μην έχουν τους πόρους για να περιηγηθούν σε ένα τόσο περίπλοκο ρυθμιστικό τοπίο (Morgan, 2012).

Ένα άλλο ζήτημα είναι η έλλειψη συντονισμού μεταξύ των διαφόρων ρυθμιστικών φορέων που εποπτεύουν τις εξορυκτικές δραστηριότητες στην Ελλάδα. Οι φορείς αυτοί περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων και το Υπουργείο Ανάπτυξης και Επενδύσεων. Κάθε φορέας έχει το δικό του σύνολο κανονισμών και διαδικασιών, οι οποίοι μπορεί να επικαλύπτονται ή να έρχονται σε σύγκρουση με εκείνους άλλων φορέων. Για παράδειγμα, οι περιβαλλοντικοί κανονισμοί μπορεί να μην ευθυγραμμίζονται πάντα με τις πολιτικές εξόρυξης και βιομηχανικής ανάπτυξης, οδηγώντας σε συγκρούσεις στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων. Επιπλέον, οι περιφερειακές και τοπικές αρχές έχουν συχνά σημαντικό ρόλο στην αδειοδότηση και τη λήψη αποφάσεων, αλλά οι ενέργειές τους δεν συμβαδίζουν πάντα με τις εθνικές πολιτικές. Αυτή η ασύνδετη προσέγγιση μπορεί να δημιουργήσει αβεβαιότητα για τους ερευνητές και τις εταιρείες εξόρυξης που προσπαθούν να περιηγηθούν στο ρυθμιστικό σύστημα. Το κατακερματισμένο ρυθμιστικό πλαίσιο, σε συνδυασμό με τις συχνές αλλαγές στους νόμους και τους κανονισμούς, μπορεί να δυσχεράνει την έγκαιρη και προβλέψιμη εξέλιξη των έργων εξόρυξης (Ζευγολατάκου, 2020).

Η χρήση γης και τα δικαιώματα ιδιοκτησίας αποτελούν μια άλλη σημαντική πρόκληση στην έρευνα για την εξόρυξη στην Ελλάδα. Το σύστημα ιδιοκτησίας γης

της χώρας είναι συχνά πολύπλοκο και δύσκολο να περιηγηθεί κανείς, με τους τίτλους γης να είναι μερικές φορές ασαφείς ή αμφισβητούμενοι. Η μεταλλευτική έρευνα και εξερεύνηση απαιτούν συνήθως πρόσβαση σε μεγάλες εκτάσεις γης και η απόκτηση των απαραίτητων δικαιωμάτων για τη διεξαγωγή έρευνας ή μεταλλευτικών εργασιών μπορεί να είναι μια αργή και απογοητευτική διαδικασία (Ζευγολατάκου, 2020).

Ειδικότερα, η πρόσβαση σε γη που προστατεύεται για περιβαλλοντικούς, ιστορικούς ή γεωργικούς σκοπούς μπορεί να είναι δύσκολη για την έρευνα εξόρυξης, ακόμη και αν δεν υπάρχουν άμεσες απειλές για την οικολογική ακεραιότητα της γης. Επιπλέον, ορισμένες περιοχές της Ελλάδας υπόκεινται σε αλληλοεπικαλυπτόμενες ιδιοκτησιακές διεκδικήσεις, ιδίως σε αγροτικές ή απομακρυσμένες περιοχές, όπου οι τοπικές κοινότητες μπορεί να έχουν εθιμικά δικαιώματα γης που δεν έχουν καταγραφεί επίσημα. Η διαδικασία διαπραγμάτευσης με τους ιδιοκτήτες γης, τις τοπικές κυβερνήσεις και άλλους ενδιαφερόμενους φορείς μπορεί να είναι επαχθής και συχνά συνεπάγεται σημαντικές καθυστερήσεις. Επιπλέον, η αυξανόμενη σημασία της βιώσιμης ανάπτυξης και της προστασίας του περιβάλλοντος έχει οδηγήσει σε αυστηρότερους κανονισμούς σχετικά με τη χρήση της γης, περιπλέκοντας περαιτέρω τη διαδικασία απόκτησης γης για μεταλλευτική έρευνα. Η επίτευξη ισορροπίας μεταξύ της έρευνας ορυκτών πόρων και της διατήρησης των φυσικών πόρων παραμένει μια συνεχής πρόκληση στο νομικό και γραφειοκρατικό πλαίσιο (Δούση, 2017).

Το περιβαλλοντικό κανονιστικό πλαίσιο που διέπει τις εξορυκτικές δραστηριότητες στην Ελλάδα είναι εκτεταμένο και συχνά θεωρείται ως ένα από τα αυστηρότερα στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Ενώ αυτό αποτελεί θετική πτυχή από την άποψη της προστασίας του περιβάλλοντος, αποτελεί σημαντική πρόκληση για την έρευνα στον τομέα της εξόρυξης. Οι νομικές και γραφειοκρατικές διαδικασίες που σχετίζονται με την περιβαλλοντική συμμόρφωση μπορεί να είναι δαπανηρές, χρονοβόρες και πολύπλοκες. Οι μεταλλευτικές εταιρείες και οι ερευνητές οφείλουν να τηρούν αυστηρά περιβαλλοντικά πρότυπα, συμπεριλαμβανομένων λεπτομερών αξιολογήσεων των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων των δραστηριοτήτων τους. Αυτό περιλαμβάνει την αξιολόγηση του εδάφους, του νερού, της ποιότητας του αέρα, της βιοποικιλότητας και των τοπικών οικοσυστημάτων, τα οποία πρέπει να τεκμηριώνονται και να παρακολουθούνται προσεκτικά. Η απόκτηση των απαραίτητων αδειών για δραστηριότητες εξερεύνησης και εξόρυξης απαιτεί

σημαντικές επενδύσεις σε περιβαλλοντικές μελέτες και σχέδια διαχείρισης (Δούση, 2017).

Σε ορισμένες περιπτώσεις, η διαδικασία συμμόρφωσης με αυτούς τους κανονισμούς μπορεί να καταπνίξει την καινοτομία. Οι ερευνητές που επικεντρώνονται στην εξόρυξη μπορεί να αντιμετωπίσουν δυσκολίες στη δοκιμή νέων τεχνολογιών εξόρυξης, καθώς η διαδικασία έγκρισης νέων τεχνικών ή τεχνολογιών μπορεί να είναι απαγορευτικά αργή. Επιπλέον, η αβεβαιότητα που περιβάλλει τη νομική συμμόρφωση ενόψει των μεταβαλλόμενων περιβαλλοντικών νόμων προσθέτει ένα επιπλέον επίπεδο κινδύνου για τους ερευνητές και τις εταιρείες που ασχολούνται με την έρευνα στον τομέα της εξόρυξης. Ο φόβος των νομικών ευθυνών ή των περιβαλλοντικών κυρώσεων μπορεί να τους αποτρέψει από το να δεσμευτούν πλήρως σε νέα έργα ή να επιδιώξουν καινοτόμες λύσεις (Δούση, 2017).

Εκτός από τα γραφειοκρατικά και νομικά εμπόδια, η μεταλλευτική έρευνα στην Ελλάδα υπόκειται συχνά σε δημόσια αντίθεση και νομικές προκλήσεις από περιβαλλοντικές οργανώσεις και μη κυβερνητικές οργανώσεις (ΜΚΟ). Οι οργανώσεις αυτές εμπλέκονται έντονα στην υπεράσπιση της διατήρησης των φυσικών πόρων της Ελλάδας, συμπεριλαμβανομένων των μοναδικών οικοσυστημάτων, της βιοποικιλότητας και των ιστορικών μνημείων της. Οι νομικές ενέργειές τους, οι οποίες μπορεί να περιλαμβάνουν προσφυγές, αγωγές και δημόσιες εκστρατείες, μπορούν να δημιουργήσουν σημαντικές καθυστερήσεις για τα μεταλλευτικά έργα (Δούση, 2017).

Οι περιβαλλοντικές διαμαρτυρίες και οι δικαστικές προκλήσεις μπορεί να οδηγήσουν σε νομικά ασφαλιστικά μέτρα που σταματούν ή καθυστερούν τις δραστηριότητες έρευνας και εξερεύνησης. Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία σε περιοχές όπου η περιβαλλοντική ευαισθησία είναι υψηλή, όπως η παρουσία προστατευόμενων ειδών ή φυσικών αποθεμάτων. Παρόλο που αυτές οι νομικές προκλήσεις είναι σημαντικές για τη διασφάλιση της προστασίας του περιβάλλοντος, συχνά δημιουργούν μια εχθρική σχέση μεταξύ του εξορυκτικού τομέα και των υποστηρικτών του περιβάλλοντος, εμποδίζοντας την πρόοδο της εξορυκτικής βιομηχανίας (Δούση, 2017).

Η Ελλάδα έχει βιώσει έναν βαθμό θεσμικής αστάθειας και ρυθμιστικής αβεβαιότητας τις τελευταίες δεκαετίες. Αλλαγές στην κυβέρνηση ή στην κατεύθυνση της πολιτικής μπορεί να οδηγήσουν σε μετατοπίσεις στους κανονισμούς εξόρυξης και στην επιβολή τους, δημιουργώντας ένα απρόβλεπτο περιβάλλον για τους ερευνητές

και τις εταιρείες εξόρυξης. Οι συχνές τροποποιήσεις των νόμων ή η εισαγωγή νέων κανονισμών συχνά επιδεινώνουν αυτή την αβεβαιότητα, καθιστώντας δύσκολο για τους φορείς του κλάδου να σχεδιάσουν μακροπρόθεσμες στρατηγικές έρευνας και επενδύσεων. Επιπλέον, ο αργός ρυθμός των δικαστικών διαδικασιών στην Ελλάδα, σε συνδυασμό με το υψηλό επίπεδο δικαστικών διαφορών, μπορεί να δημιουργήσει ένα περιβάλλον νομικής αστάθειας. Οι καθυστερήσεις στις δικαστικές αποφάσεις σχετικά με τις εξορυκτικές διαφορές μπορούν να παρατείνουν τη νομική αβεβαιότητα που αντιμετωπίζουν οι εταιρείες, αποθαρρύνοντας περαιτέρω τις επενδύσεις και την έρευνα στον τομέα (Williams & Vorley, 2015).

Συμπερασματικά, οι γραφειοκρατικές και νομικές προκλήσεις για την έρευνα στον τομέα της εξόρυξης στην Ελλάδα είναι πολύπλευρες και περιλαμβάνουν πολύπλοκες διαδικασίες αδειοδότησης, ένα κατακερματισμένο ρυθμιστικό περιβάλλον, ζητήματα που σχετίζονται με τα δικαιώματα γης, αυστηρούς περιβαλλοντικούς κανονισμούς, αντιδράσεις από περιβαλλοντικές ομάδες και θεσμική αστάθεια. Αυτά τα εμπόδια δημιουργούν ένα δύσκολο τοπίο για τη μεταλλευτική βιομηχανία, με τη δυνατότητα να καταπνίξουν την καινοτομία και να καθυστερήσουν την ανάπτυξη πολύτιμων ορυκτών πόρων. Η αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων απαιτεί συντονισμένες προσπάθειες μεταξύ των κυβερνητικών υπηρεσιών, των φορέων του κλάδου και του κοινού για τη δημιουργία ενός πιο αποτελεσματικού, διαφανούς και σταθερού νομικού και γραφειοκρατικού πλαισίου για την έρευνα και την ανάπτυξη των μεταλλείων στην Ελλάδα (Williams & Vorley, 2015).

5.3 Οικονομικοί και αγοραίοι περιορισμοί

Η εξορυκτική βιομηχανία στην Ελλάδα, όπως και πολλοί άλλοι τομείς παγκοσμίως, αντιμετωπίζει σημαντικούς οικονομικούς και αγοραίους περιορισμούς που εμποδίζουν την ανάπτυξη και την εξέλιξή της. Αυτοί οι περιορισμοί έχουν εκτεταμένες επιπτώσεις στην έρευνα στον τομέα της εξόρυξης, επηρεάζοντας τόσο τις επενδύσεις σε νέες τεχνολογίες όσο και τη βιωσιμότητα των υφιστάμενων δραστηριοτήτων. Παρακάτω, διερευνούμε ορισμένα από τα κύρια οικονομικά και σχετιζόμενα με την αγορά εμπόδια για την ανάπτυξη της μεταλλευτικής έρευνας στην Ελλάδα (Ταργουτζίδης et al., 2007).

Ένα από τα σημαντικότερα οικονομικά εμπόδια για την ανάπτυξη της μεταλλευτικής έρευνας στην Ελλάδα είναι οι περιορισμένες επενδύσεις στην έρευνα και ανάπτυξη (E&A). Σε σύγκριση με άλλες βιομηχανίες, ο τομέας της εξόρυξης έχει ιστορικά λάβει λιγότερη προσοχή όσον αφορά τη χρηματοδότηση και την κρατική στήριξη. Αυτή η έλλειψη οικονομικών πόρων εμποδίζει την καινοτομία, επιβραδύνει την υιοθέτηση νέων τεχνολογιών και μειώνει την ικανότητα αποτελεσματικής αντιμετώπισης των περιβαλλοντικών προκλήσεων. Οι ελληνικές μεταλλευτικές εταιρείες, ιδίως οι μικρότερες, αντιμετωπίζουν συχνά δημοσιονομικούς περιορισμούς, περιορίζοντας την ικανότητά τους να επενδύσουν σε προηγμένες ερευνητικές πρωτοβουλίες ή να υιοθετήσουν μεθόδους αιχμής που θα μπορούσαν να αυξήσουν την αποδοτικότητα ή να μειώσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Ταργουτζίδης et al., 2007).

Ενώ η Ελλάδα διαθέτει πολύτιμους ορυκτούς πόρους, όπως βωξίτη, χρυσό και λιγνίτη, η ικανότητα του εξορυκτικού τομέα να αξιοποιήσει αυτούς τους πόρους περιορίζεται από τις οικονομικές προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι εταιρείες. Η έλλειψη επαρκών επενδύσεων σε έρευνα και ανάπτυξη περιορίζει τις δυνατότητες για τεχνολογικές εξελίξεις, όπως η αυτοματοποίηση, η τεχνητή νοημοσύνη και οι περιβαλλοντικά βιώσιμες μέθοδοι εξόρυξης. Με τη σειρά του, αυτό όχι μόνο επιβραδύνει την ανάπτυξη του κλάδου, αλλά περιορίζει και την ανταγωνιστικότητά του σε μια ολοένα και πιο παγκοσμιοποιημένη αγορά (Ταργουτζίδης et al., 2007).

Η οικονομία της Ελλάδας αντιμετώπισε σημαντικές προκλήσεις την τελευταία δεκαετία, με τη χώρα να υφίσταται σοβαρή οικονομική κρίση. Αυτή η οικονομική αβεβαιότητα δημιούργησε ένα ασταθές περιβάλλον για τον εξορυκτικό τομέα. Ειδικότερα, οι μεταλλευτικές εταιρείες συχνά δυσκολεύονται να εξασφαλίσουν χρηματοδότηση λόγω του υψηλού κινδύνου των επενδύσεών τους, σε συνδυασμό με την έλλειψη εμπιστοσύνης στη σταθερότητα του οικονομικού και πολιτικού συστήματος της Ελλάδας. Περαιτέρω επιδείνωση του προβλήματος αποτελεί η κανονιστική αστάθεια στον τομέα της εξόρυξης. Οι συχνά μεταβαλλόμενες πολιτικές και κανονισμοί μπορούν να δημιουργήσουν ένα απρόβλεπτο λειτουργικό περιβάλλον. Αυτή η αστάθεια συχνά αποτρέπει τόσο τους ντόπιους όσο και τους ξένους επενδυτές από το να δεσμεύσουν μακροπρόθεσμους πόρους για την έρευνα και την ανάπτυξη στον μεταλλευτικό τομέα. Ως αποτέλεσμα, οι εταιρείες του τομέα δυσκολεύονται να σχεδιάσουν το μέλλον, είτε πρόκειται για τεχνολογικές αναβαθμίσεις, είτε για την εξερεύνηση νέων αποθεμάτων, είτε για την ανάπτυξη περιβαλλοντικά βιώσιμων

πρακτικών εξόρυξης. Το απρόβλεπτο ρυθμιστικό πλαίσιο καθίσταται έτσι σημαντικό εμπόδιο για την πρόοδο της μεταλλευτικής έρευνας στην Ελλάδα (Goodenough et al., 2017).

Η εξορυκτική βιομηχανία είναι εγγενώς παγκόσμια, με τις εταιρείες να επιδιώκουν συνεχώς να επεκτείνουν την εμβέλειά τους στην αγορά. Ο εξορυκτικός τομέας της Ελλάδας, ωστόσο, αντιμετωπίζει προκλήσεις στην πρόσβαση στις διεθνείς αγορές λόγω οικονομικών και αγοραίων εμποδίων. Ένας σημαντικός περιορισμός είναι η τοποθέτηση της Ελλάδας στην παγκόσμια αλυσίδα εφοδιασμού. Ενώ η χώρα διαθέτει πολύτιμους ορυκτούς πόρους, δεν είναι ένας από τους κορυφαίους παίκτες στην παγκόσμια εξορυκτική βιομηχανία. Αυτή η έλλειψη παγκόσμιας ανταγωνιστικότητας μειώνει το μέγεθος της αγοράς και τις πιθανές αποδόσεις για τις μεταλλευτικές εταιρείες στην Ελλάδα, καθιστώντας δυσκολότερη την εξασφάλιση κεφαλαίων για έρευνα και επέκταση. Επιπλέον, η Ελλάδα αντιμετωπίζει έντονο ανταγωνισμό από άλλες χώρες, ιδίως εκείνες με πιο εδραιωμένους τομείς εξόρυξης, όπως η Αυστραλία, ο Καναδάς και η Ρωσία. Οι χώρες αυτές επωφελούνται από μεγαλύτερες αγορές, πιο προηγμένες ερευνητικές δυνατότητες και ισχυρότερη οικονομική στήριξη για τις εξορυκτικές τους βιομηχανίες. Οι ελληνικές μεταλλευτικές εταιρείες, ιδίως οι μικρότερες, δυσκολεύονται να ανταγωνιστούν σε αυτό το πλαίσιο, καθυστερώντας περαιτέρω την έρευνα και την καινοτομία στον τομέα (Goodenough et al., 2017).

Η παγκόσμια αγορά ορυκτών υλών υπόκειται επίσης σε διακυμάνσεις της ζήτησης, οι οποίες μπορούν να επηρεαστούν από παράγοντες όπως οι διεθνείς εμπορικές πολιτικές, η αστάθεια των τιμών των βασικών εμπορευμάτων και οι μεταβαλλόμενες καταναλωτικές τάσεις. Ο εξορυκτικός τομέας της Ελλάδας είναι ευάλωτος σε αυτές τις διακυμάνσεις, γεγονός που δυσκολεύει τις εταιρείες να προβλέψουν τα μελλοντικά τους έσοδα και, κατ' επέκταση, να επενδύσουν στην απαραίτητη έρευνα για τη διασφάλιση της μακροπρόθεσμης βιωσιμότητάς τους. Η έλλειψη σταθερής ζήτησης από τις διεθνείς αγορές περιπλέκει περαιτέρω τη δυνατότητα ανάπτυξης και χρηματοδότησης νέων ερευνητικών έργων στον τομέα της εξόρυξης (Goodenough et al., 2017).

Οι οικονομικοί περιορισμοί της μεταλλευτικής έρευνας στην Ελλάδα δεν σχετίζονται μόνο με τις συνθήκες της αγοράς και τους οικονομικούς πόρους-περιβαλλοντικές και κοινωνικές εκτιμήσεις διαδραματίζουν επίσης καθοριστικό ρόλο. Ο εξορυκτικός τομέας επικρίνεται συχνά για τις αρνητικές περιβαλλοντικές

επιπτώσεις του, ιδίως όσον αφορά την υποβάθμιση της γης, τη μόλυνση των υδάτων και την καταστροφή των οικοσυστημάτων. Αυτό το περιβαλλοντικό κόστος συνυπολογίζεται όλο και περισσότερο στην οικονομική σκοπιμότητα των εξορυκτικών δραστηριοτήτων, οδηγώντας σε μεγαλύτερο έλεγχο των εξορυκτικών πρακτικών από το κοινό, τις τοπικές κοινότητες και τους ρυθμιστικούς φορείς (Komar & Lalić, 2015).

Ως απάντηση στις ανησυχίες του κοινού, η ελληνική κυβέρνηση έχει επιβάλει αυστηρότερους περιβαλλοντικούς κανονισμούς στις εταιρείες εξόρυξης, αυξάνοντας περαιτέρω το κόστος των εξορυκτικών δραστηριοτήτων. Αν και οι κανονισμοί αυτοί είναι απαραίτητοι για την προστασία του περιβάλλοντος, περιορίζουν επίσης τις οικονομικές δυνατότητες του τομέα, καθώς οι εταιρείες πρέπει να επενδύσουν σε δαπανηρές τεχνολογίες και διαδικασίες για να ανταποκριθούν στα πρότυπα αυτά. Αυτή η αυξημένη επιβάρυνση του κόστους μπορεί να περιορίσει τα διαθέσιμα κεφάλαια για έρευνα και ανάπτυξη, ιδίως για τις μικρότερες εταιρείες με λιγότερους οικονομικούς πόρους. Επιπλέον, το κοινωνικό κόστος της εξόρυξης, όπως ο εκτοπισμός των τοπικών κοινοτήτων και οι δυσμενείς επιπτώσεις των εξορυκτικών δραστηριοτήτων στην υγεία, μπορεί να οδηγήσει σε δημόσια αντίθεση και αντίσταση. Η πρόκληση της εξισορρόπησης της οικονομικής ανάπτυξης με την κοινωνική και περιβαλλοντική υπευθυνότητα αποτελεί σημαντικό περιορισμό που επηρεάζει την έρευνα για την εξόρυξη στην Ελλάδα (Komar & Lalić, 2015).

5.4 Κοινωνικοί και γεωπολιτικοί παράγοντες που επηρεάζουν τις επενδύσεις στην εξόρυξη

Οι επενδύσεις στα ορυχεία αποτελούν ακρογωνιαίο λίθο για την οικονομική ανάπτυξη, ιδίως σε περιοχές πλούσιες σε φυσικούς πόρους. Ωστόσο, στην Ελλάδα, οι εξορυκτικές επενδύσεις αντιμετωπίζουν διάφορους κοινωνικούς και γεωπολιτικούς παράγοντες που επηρεάζουν τη βιωσιμότητα και την επιτυχία τους. Οι παράγοντες αυτοί μπορούν είτε να προωθήσουν είτε να εμποδίσουν τις εξορυκτικές δραστηριότητες, ανάλογα με τη φύση τους και τον τρόπο διαχείρισής τους τόσο από τις κυβερνητικές αρχές όσο και από τις εξορυκτικές εταιρείες (Kamenopoulos & Agioutantis, 2019).

Μία από τις σημαντικότερες κοινωνικές προκλήσεις της ελληνικής εξορυκτικής βιομηχανίας είναι η αντίληψη του κοινού για τις εξορυκτικές

δραστηριότητες, ιδίως στις αγροτικές περιοχές. Ο εξορυκτικός τομέας αντιμετωπίζει συχνά αντιδράσεις από τις τοπικές κοινότητες, τις περιβαλλοντικές ομάδες και τις οργανώσεις της κοινωνίας των πολιτών. Οι ανησυχίες του κοινού επικεντρώνονται συνήθως στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος, στους κινδύνους για την υγεία και στη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα των τοπικών οικονομιών μετά την εξάντληση των ορυχείων. Στην Ελλάδα, οι διαμαρτυρίες κατά των έργων εξόρυξης, ιδίως σε περιοχές όπως η Χαλκιδική, έχουν αναδείξει αυτά τα ζητήματα. Οι τοπικοί πληθυσμοί φοβούνται ότι οι εργασίες εξόρυξης θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε αποψίλωση των δασών, ρύπανση των υδάτων και καταστροφή των γεωργικών εκτάσεων, οι οποίες είναι απαραίτητες για τον βιοπορισμό τους. Η αντίδραση συχνά τροφοδοτείται από την αντιληπτή έλλειψη διαφάνειας στη διαδικασία λήψης αποφάσεων, όπου πολλές κοινότητες αισθάνονται αποκλεισμένες από τις διαβουλεύσεις σχετικά με τα νέα μεταλλευτικά έργα (Kamenopoulos & Agioutantis, 2019).

Για να πετύχουν οι εξορυκτικές επενδύσεις στην Ελλάδα, οι εταιρείες πρέπει να αναπτύσσουν προληπτικές σχέσεις με τις κοινότητες και να ενσωματώνουν τις τοπικές προοπτικές στη διαδικασία ανάπτυξης. Η διαφανής επικοινωνία, οι στρατηγικές προστασίας του περιβάλλοντος και η δίκαιη αποζημίωση των επηρεαζόμενων κοινοτήτων είναι απαραίτητες για την ελαχιστοποίηση της αντίστασης. Επιπλέον, η προώθηση της αμοιβαίας κατανόησης των πλεονεκτημάτων της εξόρυξης, όπως η δημιουργία θέσεων εργασίας και η ανάπτυξη υποδομών, μπορεί να συμβάλει στη μεταστροφή του δημόσιου αισθήματος υπέρ των επενδύσεων στην εξόρυξη (Yu & Wang, 2023).

Οι γεωπολιτικοί παράγοντες, ιδίως οι κυβερνητικές πολιτικές και το ρυθμιστικό πλαίσιο, διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στον καθορισμό της ελκυστικότητας της Ελλάδας ως προορισμού επενδύσεων σε μεταλλεία. Η Ελλάδα διαθέτει ένα πολύπλοκο νομικό πλαίσιο για την εξόρυξη, το οποίο περιλαμβάνει εθνικούς, περιφερειακούς και κανονισμούς της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Οι πολιτικές αυτές διέπουν διάφορες πτυχές της εξόρυξης, όπως τα δικαιώματα έρευνας, η προστασία του περιβάλλοντος και η χρήση γης (Yu & Wang, 2023).

Παρά το γεγονός ότι αποτελεί μέρος της Ευρωπαϊκής Ένωσης, το ρυθμιστικό πλαίσιο της Ελλάδας μπορεί μερικές φορές να θεωρηθεί αβέβαιο ή ασυνεπές. Οι επενδυτές ενδέχεται να αντιμετωπίσουν καθυστερήσεις στην απόκτηση αδειών, στην πλοήγηση στις γραφειοκρατικές διαδικασίες ή στην αντιμετώπιση των ανησυχιών που εγείρουν οι τοπικές αρχές ή οι ΜΚΟ. Για παράδειγμα, η διαδικασία αδειοδότησης για

έργα εξόρυξης μπορεί να είναι χρονοβόρα και δυσκίνητα, γεγονός που αυξάνει το χρόνο και το κόστος που συνδέεται με τις επενδύσεις (Kamenopoulos & Agioutantis, 2019).

Επιπλέον, η πολιτική αστάθεια ή οι αλλαγές στις κυβερνητικές προτεραιότητες μπορεί να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στα μεταλλευτικά έργα. Για παράδειγμα, οι κυβερνητικές αλλαγές μπορεί να οδηγήσουν σε ξαφνικές αλλαγές στους νόμους περί εξόρυξης, στις φορολογικές πολιτικές ή στους περιβαλλοντικούς κανονισμούς. Η έλλειψη συνέχειας και μακροπρόθεσμου σχεδιασμού μπορεί να αποθαρρύνει τους δυνητικούς επενδυτές, καθώς αναζητούν πιο σταθερά και προβλέψιμα περιβάλλοντα για τις δραστηριότητές τους. Ως εκ τούτου, η δημιουργία ενός σταθερού ρυθμιστικού περιβάλλοντος με σαφείς, εφαρμόσιμους νόμους περί εξόρυξης είναι ζωτικής σημασίας για την προσέλκυση βιώσιμων επενδύσεων (Karakaya & Nuur, 2018).

Ως μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η Ελλάδα δεσμεύεται από αυστηρούς περιβαλλοντικούς κανονισμούς που αποσκοπούν στη διατήρηση της βιοποικιλότητας, στην καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής και στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των βιομηχανικών δραστηριοτήτων. Τα μεταλλευτικά έργα πρέπει να συμμορφώνονται με τις οδηγίες της ΕΕ σχετικά με τη διαχείριση των υδάτων, την αποκατάσταση των εδαφών και τις εκτιμήσεις περιβαλλοντικών επιπτώσεων (ΕΠΕ). Ενώ οι κανονισμοί αυτοί είναι απαραίτητοι για τη βιώσιμη ανάπτυξη, συχνά αποτελούν πρόκληση για τις εταιρείες εξόρυξης. Τα αυστηρά περιβαλλοντικά πρότυπα σημαίνουν ότι οι εταιρείες εξόρυξης πρέπει να επενδύσουν σημαντικά σε προηγμένες τεχνολογίες και μέτρα μετριασμού των επιπτώσεων για να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις συμμόρφωσης. Η αποτυχία να το πράξουν μπορεί να οδηγήσει σε πρόστιμα, νομικές προκλήσεις και καθυστερήσεις έργων (Karakaya & Nuur, 2018).

Από την άλλη πλευρά, οι περιβαλλοντικές ανησυχίες γίνονται συχνά εμπόδιο για τις επενδύσεις σε μεταλλεία, ιδίως σε ευαίσθητες περιοχές. Οι περιβαλλοντικοί ακτιβιστές συχνά στοχοποιούν τις εξορυκτικές δραστηριότητες στην Ελλάδα, τονίζοντας την ανάγκη προστασίας οικολογικά ευαίσθητων περιοχών, όπως τα δάση και οι υγράτοποι, από τις δυσμενείς επιπτώσεις των εξορυκτικών δραστηριοτήτων. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε αντιδράσεις τόσο από τις τοπικές κοινότητες όσο και από τις εθνικές περιβαλλοντικές οργανώσεις, καθιστώντας πιο δύσκολο για τις

μεταλλευτικές εταιρείες να εξασφαλίσουν την έγκριση των έργων τους (Karakaya & Nuur, 2018).

Συμπεράσματα

Η μεταλλευτική έρευνα στην Ελλάδα παρουσιάζει σημαντικές ευκαιρίες αλλά και πολλές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν για να εξασφαλιστεί η βιώσιμη και αποτελεσματική αξιοποίηση των ορυκτών πόρων της χώρας. Το ελληνικό υπέδαφος φιλοξενεί πλούτο ορυκτών, όπως βωξίτη, νικέλιο, χρυσό, μαγνησίτη και μάρμαρο, τα οποία είναι στρατηγικής σημασίας τόσο για την εγχώρια οικονομία όσο και για την ευρωπαϊκή και παγκόσμια αγορά πρώτων υλών. Ωστόσο, η εκμετάλλευση αυτών των πόρων απαιτεί μια ισορροπημένη προσέγγιση των περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών παραγόντων, σε συνδυασμό με την υιοθέτηση σύγχρονων τεχνολογιών εξόρυξης που ελαχιστοποιούν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Ένας από τους πιο κρίσιμους παράγοντες που επηρεάζουν τις εξορυκτικές δραστηριότητες στην Ελλάδα είναι το ρυθμιστικό και νομικό πλαίσιο. Ενώ η χώρα διαθέτει ένα καλά εδραιωμένο σύστημα κανόνων και κανονισμών, οι γραφειοκρατικές διαδικασίες και οι καθυστερήσεις στην αδειοδότηση παραμένουν σημαντικά εμπόδια για την ανάπτυξη του τομέα. Η απλούστευση των διοικητικών διαδικασιών και η ενίσχυση της διαφάνειας στις διαδικασίες έγκρισης θα μπορούσαν να διευκολύνουν τις επενδύσεις και να ενισχύσουν την ανταγωνιστικότητα της ελληνικής εξορυκτικής βιομηχανίας.

Ταυτόχρονα, η κοινωνική αποδοχή των εξορυκτικών δραστηριοτήτων αποτελεί κρίσιμο ζήτημα. Οι τοπικές κοινότητες και οι περιβαλλοντικές οργανώσεις εκφράζουν συχνά ανησυχίες σχετικά με τις επιπτώσεις της εξόρυξης στο περιβάλλον, τη δημόσια υγεία και την ποιότητα ζωής. Η προώθηση του διαλόγου μεταξύ των ενδιαφερομένων μερών, η ενίσχυση της διαφάνειας και η υιοθέτηση πρακτικών εταιρικής κοινωνικής ευθύνης μπορούν να συμβάλουν στη βελτίωση της δημόσιας αποδοχής των εξορυκτικών έργων.

Οι τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα της εξόρυξης προσφέρουν σημαντικές ευκαιρίες για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας και τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των εξορυκτικών δραστηριοτήτων. Η χρήση καινοτόμων τεχνολογιών όπως η τηλεπισκόπηση, η τεχνητή νοημοσύνη, η μηχανική

μάθηση και τα αυτοματοποιημένα συστήματα εξόρυξης μπορούν να συμβάλουν στην ακριβέστερη χαρτογράφηση των κοιτασμάτων, στη μείωση των αποβλήτων και στην ελαχιστοποίηση της περιβαλλοντικής ζημίας. Ειδικότερα, η εφαρμογή μεθόδων εξόρυξης με χαμηλό αντίκτυπο, η ανακύκλωση αποβλήτων και οι στρατηγικές αποκατάστασης εδαφών είναι απαραίτητες για τη διασφάλιση της βιωσιμότητας του τομέα.

Η χρηματοδότηση της έρευνας και της ανάπτυξης στον τομέα της εξόρυξης είναι ένας άλλος βασικός παράγοντας για την πρόοδο. Η αξιοποίηση ευρωπαϊκών και διεθνών χρηματοδοτικών εργαλείων, όπως το πρόγραμμα «Ορίζοντας Ευρώπη» και οι πρωτοβουλίες της Ευρωπαϊκής Τράπεζας Επενδύσεων, μπορεί να στηρίξει την έρευνα για νέες τεχνολογίες εξόρυξης, την καινοτομία στις διαδικασίες παραγωγής και την εφαρμογή βιώσιμων πρακτικών. Επιπλέον, η συνεργασία μεταξύ κυβερνητικών φορέων, ιδιωτικών επιχειρήσεων και ερευνητικών ιδρυμάτων μπορεί να προωθήσει την ανάπτυξη καινοτόμων λύσεων και να ενισχύσει την ανταγωνιστικότητα του κλάδου.

Μια κρίσιμη συνιστώσα της στρατηγικής ενός βιώσιμου εξορυκτικού τομέα είναι η προσαρμογή στις διεθνείς περιβαλλοντικές πολιτικές και κανονισμούς. Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία και η στρατηγική της ΕΕ για τις κρίσιμες πρώτες ύλες θέτουν νέες προκλήσεις και απαιτήσεις για την ελληνική εξορυκτική βιομηχανία. Η Ελλάδα έχει τη δυνατότητα να επωφεληθεί από αυτές τις πολιτικές ενισχύοντας τη θέση της ως βασικού προμηθευτή κρίσιμων πρώτων υλών για την Ευρώπη, υπό την προϋπόθεση ότι θα υιοθετήσει βιώσιμες πρακτικές και σύγχρονες τεχνολογίες εξόρυξης.

Επιπλέον, η διεθνής συνεργασία και οι ξένες επενδύσεις μπορούν να διαδραματίσουν καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη του εξορυκτικού τομέα. Οι συνεργασίες με παγκόσμιες μεταλλευτικές εταιρείες, οι κοινές ερευνητικές πρωτοβουλίες και η μεταφορά τεχνολογίας μπορούν να συμβάλουν στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των μεταλλευτικών δραστηριοτήτων και στη μεγιστοποίηση των οφελών για την ελληνική οικονομία.

Συστάσεις

Για να εξασφαλιστεί ένα βιώσιμο και ανταγωνιστικό μέλλον για τον ελληνικό εξορυκτικό τομέα, συνιστώνται οι ακόλουθες στρατηγικές δράσεις:

- Ρυθμιστικές βελτιώσεις: Απλοποίηση των γραφειοκρατικών διαδικασιών και των διαδικασιών αδειοδότησης για την προσέλκυση επενδύσεων και την επιτάχυνση των έργων εξόρυξης.
- Συμμετοχή της κοινότητας: Ενίσχυση του διαλόγου με τις τοπικές κοινότητες και εφαρμογή πρωτοβουλιών εταιρικής κοινωνικής ευθύνης για τη βελτίωση της δημόσιας αντίληψης και αποδοχής των εξορυκτικών δραστηριοτήτων.
- Τεχνολογική πρόοδος: Προώθηση της υιοθέτησης σύγχρονων τεχνολογιών εξόρυξης, όπως η τηλεπισκόπηση, η τεχνητή νοημοσύνη και η αυτοματοποιημένη εξόρυξη, για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.
- Βιώσιμες πρακτικές: Ενθάρρυνση της περιβαλλοντικά υπεύθυνης εξόρυξης μέσω μεθόδων εξόρυξης χαμηλού αντίκτυπου, ανακύκλωσης αποβλήτων και αποκατάστασης εδαφών.
- Χρηματοδότηση έρευνας και ανάπτυξης: Αξιοποίηση ευρωπαϊκών και διεθνών προγραμμάτων χρηματοδότησης για την υποστήριξη της καινοτομίας και της τεχνολογικής προόδου στον τομέα.
- Συμμόρφωση με τις διεθνείς πολιτικές: Ευθυγράμμιση των ελληνικών εξορυκτικών πρακτικών με τις περιβαλλοντικές πολιτικές και τους στόχους βιωσιμότητας της ΕΕ για τη διασφάλιση της μακροπρόθεσμης βιωσιμότητας.
- Ξένες επενδύσεις και συνεργασίες: Προώθηση συνεργασιών με διεθνείς μεταλλευτικές εταιρείες και ερευνητικά ιδρύματα για την ενίσχυση της τεχνογνωσίας, των τεχνολογικών ανταλλαγών και των οικονομικών οφελών.

Με την εφαρμογή αυτών των στρατηγικών δράσεων, η Ελλάδα μπορεί να αξιοποιήσει πλήρως τον ορυκτό της πλούτο, διασφαλίζοντας παράλληλα την οικονομική ανάπτυξη, την προστασία του περιβάλλοντος και την κοινωνική αποδοχή.

Βιβλιογραφία

- Adnan, M., Xiao, B., Ali, M. U., Bibi, S., Yu, H., Xiao, P., Zhao, P., Haiyan, W., & An, X. (2024). Human Inventions and its Environmental Challenges, especially Artificial Intelligence: New Challenges Require New Thinking. *Environmental Challenges*. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2024.100976>
- Ali, S. H., Kalantzakos, S., Eggert, R. G., Gauß, R., Karayannopoulos, C., Klinger, J. M., Pu, X., Vekasi, K., & Perrons, R. K. (2022). Closing the Infrastructure Gap for Decarbonization: The Case for an Integrated Mineral Supply Agreement. *Environmental Science & Technology*, 56(22), 15280–15289. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c05413>
- Antoniadis, V., Thalassinou, G., Levizou, E., Wang, J., Wang, S.-L., Shaheen, S. M., & Rinklebe, J. (2022). Hazardous enrichment of toxic elements in soils and olives in the urban zone of Lavrio, Greece, a legacy, millennia-old silver/lead mining area and related health risk assessment. *Journal of Hazardous Materials*, 434, 128906. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.128906>
- Antony Jose, S., Calhoun, J., Renteria, O. B., Mercado, P., Nakajima, S., Hope, C. N., Sotelo, M., & Menezes, P. L. (2024). Promoting a Circular Economy in Mining Practices. *Sustainability*, 16(24), 11016. <https://doi.org/10.3390/su162411016>
- ΑΠΘ. (2020). ΜΟΔΙΠ - Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης | ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ. Auth.gr. <https://qa.auth.gr/el/class/1/600235600/M1>
- Asr, E. T., Kakaie, R., Ataei, M., & Tavakoli Mohammadi, M. R. (2019). A review of studies on sustainable development in mining life cycle. *Journal of Cleaner Production*, 229, 213–231. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.029>
- Bibri, E. S., Krogstie, J., Kaboli, A., & Alahi, A. (2023). Smarter eco-cities and their leading-edge artificial intelligence of things solutions for environmental sustainability: A comprehensive systematic review. *Environmental Science and Ecotechnology*, 19, 100330. <https://doi.org/10.1016/j.ese.2023.100330>
- Boronkay, K., Stoumpos, G., Benissi, M., Rovolis, G., Korkaris, K., Papastamatiou, D., Dimitriou, G., Chrysikopoulou, A., Miliotis, I., Giakoumis, A., Novack, M., & Marinos, P. (2021). Geological map of Athens Metropolitan Area,

- Attica (Greece): A review based on Athens Metro ground investigation data. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 57(1), 68–68. <https://doi.org/10.12681/bgsg.26895>
- Branca, T. A., Fornai, B., Colla, V., Pistelli, M. I., Faraci, E. L., Cirilli, F., & Schröder, A. J. (2021). Industrial Symbiosis and Energy Efficiency in European Process Industries: A Review. *Sustainability*, 13(16), 9159. <https://doi.org/10.3390/su13169159>
- Bridge, G. (2004). CONTESTED TERRAIN: Mining and the Environment. *Annual Review of Environment and Resources*, 29(1), 205–259. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.28.011503.163434>
- Calvo, G., & Valero, A. (2021). Strategic mineral resources: Availability and future estimations for the renewable energy sector. *Environmental Development*, 41, 100640. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2021.100640>
- Calzada Olvera, B. (2021). Innovation in mining: what are the challenges and opportunities along the value chain for Latin American suppliers? *Mineral Economics*. <https://doi.org/10.1007/s13563-021-00251-w>
- Charalampides, G., Vatalis, K. I., Platias, S., & Karayannis, V. (2014). The Contribution of Industrial Minerals to Sustainable Recovery of Greek Economy. *Procedia Economics and Finance*, 14, 128–136. [https://doi.org/10.1016/s2212-5671\(14\)00694-7](https://doi.org/10.1016/s2212-5671(14)00694-7)
- Deady, E., Mouchos, E., Goodenough, K., Williamson, B., & Wall, F. (2014). Rare earth elements in karst-bauxites: a novel untapped European resource? - NERC Open Research Archive. *Nerc.ac.uk*. <https://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/508643/>
- Diao, H., Yang, H., Tan, T., Ren, G., You, M., Wu, L., Yang, M., Bai, Y., Xia, S., Song, S., Quintana, M., Liu, L., & Xue, Q. (2024). Navigating the rare earth elements landscape: Challenges, innovations, and sustainability. *Minerals Engineering*, 216, 108889–108889. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2024.108889>
- Dimova, R. (2021). Porosity of environmental activism and transnational mining companies. *Border Porosities*. <https://doi.org/10.7765/9781526140647.00012>
- Dong, L., Tong, X., Li, X., Zhou, J., Wang, S., & Liu, B. (2019). Some developments and new insights of environmental problems and deep mining strategy for

- cleaner production in mines. *Journal of Cleaner Production*, 210, 1562–1578.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.291>
- Du, H., Huang, P., & Jones, P. J. (2019). Modular facade retrofit with renewable energy technologies: the definition and current status in Europe. *Energy and Buildings*, 109543. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109543>
- Δούση, Ε. (2017). *Η Κλιματική Αλλαγή*. Παπαδόπουλος.
- ΕΚΠΑ. (2023). *EPEYNA*. Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστημίων Αθηνών.
<https://www.uoa.gr/ereyna/>
- Ελληνική Αρχή Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών. (2019). *ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ - Ελληνική Αρχή Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών*. Eagme.gr.
<https://www.eagme.gr/about/organismos>
- ΕΜΠ. (2024). *Σχολή Μεταλλειολόγων – Μεταλλουργών Μηχανικών – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο*. Ntua.gr. <https://www.metal.ntua.gr/>
- Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. (2006). *Οδηγία 2006/21/ΕΚ του ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και του συμβουλίου*. Ypen.gov.gr.
https://ypen.gov.gr/wp-content/uploads/legacy/Files/Perivallon/Diaxeirisi%20Apovlitwn/Eksoriktika/01_2006-21.pdf
- Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. (2010). *Οδηγία 2009/147/ΕΚ του ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και του συμβουλίου*. Eur-Lex.europa.eu. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0147>
- Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. (2012). *Οδηγία 2011/92/ΕΕ του ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και του συμβουλίου*. Eur-Lex.europa.eu. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:026:0001:0021:EL:PDF>
- Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. (2024). *Κανονισμός - 1907/2006 - EN - REACH - EUR-Lex*. Europa.eu. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=celex%3A32006R1907>
- Ευρωπαϊκή Τράπεζα Ανασυγκρότησης και Ανάπτυξης. (2025). *Ευρωπαϊκή Τράπεζα Ανασυγκρότησης και Ανάπτυξης - EUR-Lex*. Europa.eu. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=LEGISSUM:ebrd>
- Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο. (2020, February 7). *Πράσινη Συμφωνία: το κλειδί για μια κλιματικά ουδέτερη και βιώσιμη ΕΕ*. Wwww.europarl.europa.eu.

- <https://www.europarl.europa.eu/topics/el/article/20200618STO81513/prasini-sumfonia-to-kleidi-gia-mia-klimatika-oudeteri-kai-viosimi-ee>
- Frejowski, A., Bondaruk, J., & Duda, A. (2021). Challenges and Opportunities for End-of-Life Coal Mine Sites: Black-to-Green Energy Approach. *Energies*, 14(5), 1385–1385. <https://doi.org/10.3390/en14051385>
- Gamaletsos, P., Godelitsas, A., Dotsika, E., Grieco, G., Göttlicher, J., & Filippidis, A. (2013). Geological Sources of As in the Environment of Greece: A Review. *The Handbook of Environmental Chemistry*, 40, 77–113. https://doi.org/10.1007/698_2013_230
- Garetti, M., & Taisch, M. (2011). Sustainable manufacturing: trends and research challenges. *Production Planning & Control*, 23(2-3), 83–104. <https://doi.org/10.1080/09537287.2011.591619>
- Gatti, T., Lamberti, F., Mazzaro, R., Kriegel, I., Schlettwein, D., Enrichi, F., Lago, N., Maria, E. D., Meneghesso, G., Vomiero, A., & Gross, S. (2021). Opportunities from Doping of Non-Critical Metal Oxides in Last Generation Light-Conversion Devices. *Advanced Energy Materials*, 11(31), 2101041–2101041. <https://doi.org/10.1002/aenm.202101041>
- Githiria, J. M., & Onifade, M. (2020). The impact of mining on sustainable practices and the traditional culture of developing countries. *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 10(4), 394–410. <https://doi.org/10.1007/s13412-020-00613-w>
- Goodenough, K. M., Wall, F., & Merriman, D. (2017). The Rare Earth Elements: Demand, Global Resources, and Challenges for Resourcing Future Generations. *Natural Resources Research*, 27(2), 201–216. <https://doi.org/10.1007/s11053-017-9336-5>
- Gorman, M. R., & Dzombak, D. A. (2018). A review of sustainable mining and resource management: Transitioning from the life cycle of the mine to the life cycle of the mineral. *Resources, Conservation and Recycling*, 137, 281–291. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.06.001>
- Glatz Brubakk, K., Gjengedal, E. L. F., Enger, Ø., & Sripada, K. (2022). Ammunition Waste Pollution and Preliminary Assessment of Risks to Child Health from Toxic Metals at the Greek Refugee Camp Mavrovouni. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(16), 10086. <https://doi.org/10.3390/ijerph191610086>

- Haglund-Morrissey, A. (2019). Research and innovation. *Edward Elgar Publishing EBooks*. <https://doi.org/10.4337/9781788974097.00015>
- Haritha, K. (2023). A Review of Recent Advancements in Geophysical Technologies and Their Implications for Mineral and Hydrocarbon Exploration. *ASEAN Journal for Science and Engineering in Materials*, 2(2), 95–108. <https://ejournal.bumipublikasinusantara.id/index.php/ajsem/article/view/247>
- Hellas Gold. (2025). *Η Ελληνικός Χρυσός - Hellas Gold*. Hellas-Gold.com. <https://www.hellas-gold.com/etaireia/h-ellhnikos-xrysos>
- Igogo, T., Awuah-Offei, K., Newman, A., Lowder, T., & Engel-Cox, J. (2021). Integrating renewable energy into mining operations: Opportunities, challenges, and enabling approaches. *Applied Energy*, 300. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117375>
- Joyce, S. (2001). *Mining, Minerals and Sustainable Development Social Impact Assessment in the Mining Industry: Current Situation and Future Directions*. <https://www.iied.org/sites/default/files/pdfs/migrate/G01023.pdf>
- Kalyvas, G., Gasparatos, D., Papassiopi, N., & Massas, I. (2018). Topsoil pollution as ecological footprint of historical mining activities in Greece. *Land Degradation & Development*, 29(6), 2025–2035. <https://doi.org/10.1002/ldr.2963>
- Kamenopoulos, S. N., & Agioutantis, Z. (2019). Geopolitical Risk Assessment of Countries with Rare Earth Element Deposits. *Mining, Metallurgy & Exploration*, 37(1), 51–63. <https://doi.org/10.1007/s42461-019-00158-9>
- Karakaya, E., & Nuur, C. (2018). Social sciences and the mining sector: Some insights into recent research trends. *Resources Policy*, 58, 257–267. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2018.05.014>
- Kavouridis, K. (2008). Lignite industry in Greece within a world context: Mining, energy supply and environment. *Energy Policy*, 36(4), 1257–1272. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.11.017>
- Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογίας Ελλάδος. (2018). *Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης - ΕΚΕΤΑ*. Certh.gr. <https://www.certh.gr/>
- Kessouri, P., Furman, A., Huisman, J. A., Martin, T., Mellage, A., Ntarlagiannis, D., Bücker, M., Ehosioke, S., Fernandez, P., Flores-Orozco, A., Kemna, A., Nguyen, F., Pilawski, T., Saneiyan, S., Schmutz, M., Schwartz, N., Weigand, M., Wu, Y., Zhang, C., & Placencia-Gomez, E. (2019). Induced polarization

- applied to biogeophysics: recent advances and future prospects. *Near Surface Geophysics*, 17(6), 595–621. <https://doi.org/10.1002/nsg.12072>
- Kodiko. (2025a). *Νόμος 998/1979 (Κωδικοποιημένος) - ΦΕΚ Α 289/29.12.1979*. Kodiko.gr. <https://www.kodiko.gr/nomothesia/document/302789/nomos-998-1979>
- Kodiko. (2025b). *Νόμος 3889/2010 (Κωδικοποιημένος) - ΦΕΚ Α 182/14.10.2010*. Kodiko.gr. <https://www.kodiko.gr/nomothesia/document/57836/nomos-3889-2010>
- Kodiko. (2018). *Νόμος 4512/2018 (Κωδικοποιημένος) - ΦΕΚ Α 5/17.01.2018 - ΠΟΛΥΝΟΜΟΣΧΕΔΙΟ 2018 Πολυνομοσχέδιο 2018 νόμος 4512*. Kodiko.gr. https://www.kodiko.gr/nomothesia/document/339268/nomos-4512-2018#google_vignette
- Komar, I., & Lalić, B. (2015). Sea Transport Air Pollution. In *www.intechopen.com*. IntechOpen. <https://www.intechopen.com/chapters/48071>
- Koukouzas, N., Kakaras, E., & Grammelis, P. (2004). The lignite electricity-generating sector in Greece: Current status and future prospects. *International Journal of Energy Research*, 28(9), 785–798. <https://doi.org/10.1002/er.995>
- Laurence, D. (2011). Establishing a sustainable mining operation: an overview. *Journal of Cleaner Production*, 19(2-3), 278–284. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.08.019>
- Levett, A., Gleeson, S. A., & Kallmeyer, J. (2021). From exploration to remediation: A microbial perspective for innovation in mining. *Earth-Science Reviews*, 216, 103563. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103563>
- Lim, B., & Alorro, R. D. (2021). Technospheric Mining of Mine Wastes: A Review of Applications and Challenges. *Sustainable Chemistry*, 2(4), 686–706. <https://doi.org/10.3390/suschem2040038>
- Liritzis, I., & Oikonomou, A. (2025). Mediterranean Archaeology and Archaeometry: An Interdisciplinary Approach. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, 21(2), 1–1. <https://www.maajournal.com/index.php/maa/article/view/513>
- Loots, M., Grobbelaar, S., & van der Lingen, E. (2022). A review of remote-sensing unmanned aerial vehicles in the mining industry. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 122(7), 387–396. <https://doi.org/10.17159/2411-9717/1602/2022>

- Maddala, V. K., Sharma, S., Chohan, J., Kumar, R., & Singh, S. (2021). Green mining techniques to curb environmental problems - A review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 889(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/889/1/012026>
- Magazzino, C. (2024). The impact of conflicts in the mining industry: A case study of a gold mining dispute in Greece. *Resources Policy*, 97, 105292–105292. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.105292>
- Mallinis, G., Domakinis, C., Kokkoris, I. P., Stefanidis, S., Dimopoulos, P., & Mitsopoulos, I. (2023). MAES implementation in Greece: Geodiversity. *Journal of Environmental Management*, 342, 118324. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118324>
- Mamun, M. A. A., & Yuce, M. R. (2019). *Sensors and Systems for Wearable Environmental Monitoring Toward IoT-Enabled Applications: A Review | IEEE Journals & Magazine | IEEE Xplore*. [Ieeexplore.ieee.org. https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8723386](https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8723386)
- Martinho, E. (2023). Electrical Resistivity and Induced Polarization Methods for Environmental Investigations: an Overview. *Water, Air, & Soil Pollution*, 234(4). <https://doi.org/10.1007/s11270-023-06214-x>
- Mathioudakis, S., Xiroudakis, G., Petrakis, E., & Manoutsoglou, E. (2023). Alluvial Gold Mining Technologies from Ancient Times to the Present. *Mining*, 3(4), 618–644. <https://doi.org/10.3390/mining3040034>
- Melfos, V., & Voudouris, P. Ch. (2012). Geological, Mineralogical and Geochemical Aspects for Critical and Rare Metals in Greece. *Minerals*, 2(4), 300–317. <https://doi.org/10.3390/min2040300>
- Menzie, W. D., Soto-Viruet, Y., Bermúdez-Lugo, O., Mobbs, P. M., Perez, A. A., Taib, M., & Wacaster, S. (2013). Review of selected global mineral industries in 2011 and an outlook to 2017. *Antarctica a Keystone in a Changing World*. <https://doi.org/10.3133/ofr20131091>
- Metaxas, T., & Tsavdaridou, M. (2013). CSR in metallurgy sector in Greece: A content analysis. *Resources Policy*, 38(3), 295–309. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2013.03.010>
- Metaxas, T., & Tsavdaridou, M. (2019). Corporate Social Responsibility (CSR) on Metallurgy Sector in Greece Munich Personal RePEc Archive. *Uni-*

- Mondejar, M. E., Avtar, R., Diaz, H. L. B., Dubey, R. K., Esteban, J., Gómez-Morales, A., Hallam, B., Mbungu, N. T., Okolo, C. C., Prasad, K. A., She, Q., & Garcia-Segura, S. (2021). Digitalization to Achieve Sustainable Development goals: Steps Towards a Smart Green Planet. *Science of the Total Environment*, 794(148539), 148539. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969721036111>
- Morgan, R. K. (2012). Environmental impact assessment: the state of the art. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 30(1), 5–14. <https://doi.org/10.1080/14615517.2012.661557>
- Mosios, S., Georgousis, E., & Drinia, H. (2023). The Status of Geoethical Thinking in the Educational System of Greece: An Overview. *Geosciences*, 13(2), 37. <https://doi.org/10.3390/geosciences13020037>
- Mudd, G. M., & Jowitt, S. M. (2014). A Detailed Assessment of Global Nickel Resource Trends and Endowments. *Economic Geology*, 109(7), 1813–1841. <https://doi.org/10.2113/econgeo.109.7.1813>
- Nishant, R., Kennedy, M., & Corbett, J. (2020). Artificial intelligence for sustainability: Challenges, opportunities, and a research agenda. *International Journal of Information Management*, 53(53), 102104. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102104>
- Nwaila, G. T., Frimmel, H. E., Zhang, S. E., Bourdeau, J. E., Tolmay, L. C. K., Durrheim, R. J., & Ghorbani, Y. (2022). The minerals industry in the era of digital transition: An energy-efficient and environmentally conscious approach. *Resources Policy*, 78, 102851. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102851>
- OECD. (2024). A comprehensive overview of the renewable energy industrial ecosystem. *OECD Science, Technology and Industry Working Papers*. <https://doi.org/10.1787/94dce592-en>
- Okada, K. (2022). Breakthrough technologies for mineral exploration. *Mineral Economics*, 35. <https://doi.org/10.1007/s13563-022-00317-3>
- Onifade, M., Adebisi, J. A., Shivute, A. P., & Genc, B. (2023). Challenges and applications of digital technology in the mineral industry. *Resources Policy*, 85, 103978. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103978>

- Pagouni, C., Pavloudakis, F., Kapageridis, I., & Yiannakou, A. (2024). Transitional and Post-Mining Land Uses: A Global Review of Regulatory Frameworks, Decision-Making Criteria, and Methods. *Land*, 13(7), 1051–1051. <https://doi.org/10.3390/land13071051>
- Πανεπιστήμιο Κρήτης. (2015). *Μεταλλευτική Έρευνα - Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων*. Mred.tuc.gr. <https://www.mred.tuc.gr/el/spoydes/proptychiakes-spydes/mathimata/5o-examino/metalleytiki-ereyna-mop-301>
- Πανεπιστήμιο Πατρών. (2022). *Τμήμα Γεωλογίας*. Upatras.gr. <http://www.geology.upatras.gr/index.php/el/>
- Παπαδόπουλος, Τ. (2002). The importance of using geophysical methods in shallow investigations for natural or artificial structures. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 34(6), 2219. <https://doi.org/10.12681/bgsg.16864>
- Papastefanaki, L. (2013). “Greece Has Been Endowed by Nature with This Precious Material.” *University of British Columbia Press EBooks*, 158–184. <https://doi.org/10.59962/9780774825344-010>
- Papavasileiou, K. (2014). Near future ree resources for europe-the new frontier of marine exploration, mining and processing. *Rare Earth Resources Conference*. <https://www.eurare.org/docs/eres2014/sixthSession/KostasPapavasiliou.pdf>
- Park, S., & Choi, Y. (2020). Applications of Unmanned Aerial Vehicles in Mining from Exploration to Reclamation: A Review. *Minerals*, 10(8), 663. <https://doi.org/10.3390/min10080663>
- Pavloudakis, F., Roumpos, C., & Spanidis, P.-M. (2024). Sustainable Mining and Processing of Mineral Resources. *Sustainability*, 16(19), 8393–8393. <https://doi.org/10.3390/su16198393>
- Pontikes, Y., & Angelopoulos, G. N. (2013). Bauxite residue in cement and cementitious applications: Current status and a possible way forward. *Resources, Conservation and Recycling*, 73, 53–63. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.01.005>
- Rezaei, R., & Fijin, Z. (2024). *Navigating the Golden Seas: A Comprehensive Review of Business Management in the Gold Market*. <https://doi.org/10.20944/preprints202401.1901.v1>
- Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας. (2025, January 30). *ΡΑΑΕΥ-Οργανισμός*. ΡΑΑΕΥ. <https://www.raaey.gr/>

- Said, K. O., Onifade, M., Akinseye, P., Kolapo, P., & Abdulsalam, J. (2022). A review of geospatial technology-based applications in mineral exploration. *GeoJournal*. <https://doi.org/10.1007/s10708-022-10784-4>
- Sakellariadou, F., Gonzalez, F. J., Hein, J. R., Rincón-Tomás, B., Arvanitidis, N., & Kuhn, T. (2022). Seabed mining and blue growth: exploring the potential of marine mineral deposits as a sustainable source of rare earth elements (MaREEs) (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 94(3), 329–351. <https://doi.org/10.1515/pac-2021-0325>
- Sánchez, F., & Hartlieb, P. (2020). Innovation in the Mining Industry: Technological Trends and a Case Study of the Challenges of Disruptive Innovation. *Mining, Metallurgy & Exploration*, 37. <https://doi.org/10.1007/s42461-020-00262-1>
- Segerstedt, E., & Abrahamsson, L. (2019). Diversity of livelihoods and social sustainability in established mining communities. *The Extractive Industries and Society*, 6(2), 610–619. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2019.03.008>
- Shengo, L. M. (2021). Review of Practices in the Managements of Mineral Wastes: The Case of Waste Rocks and Mine Tailings. *Water, Air, & Soil Pollution*, 232(7). <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05198-w>
- Sonter, L. J., Ali, S. H., & Watson, J. E. M. (2018). Mining and biodiversity: key issues and research needs in conservation science. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 285(1892). <https://doi.org/10.1098/rspb.2018.1926>
- Stos-Gale, Z. A., & Gale, N. H. (2009). Metal provenancing using isotopes and the Oxford archaeological lead isotope database (OXALID). *Archaeological and Anthropological Sciences*, 1(3), 195–213. <https://doi.org/10.1007/s12520-009-0011-6>
- Sutton, D. (2017). The concealed and the revealed. *Routledge EBooks*, 86–101. <https://doi.org/10.4324/9781315299037-7>
- Συμβούλιο των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων. (1992). *Οδηγία 92/43/ΕΟΚ του συμβουλίου*. Eur-Lex.europa.eu. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1992L0043:20070101:EL:PDF>
- Συμβούλιο των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων. (2013). *Οδηγία 2000/60/ΕΚ του ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και του συμβουλίου*. Eur-Lex.europa.eu. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2000L0060:20070101:EL:PDF>

lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2000L0060:20130913:EL:PDF

- Σύνδεσμος Μεταλλευτικών Επιχειρήσεων. (2016). *Η συμβολή της εξορυκτικής βιομηχανίας στην ελληνική οικονομία*. Wwww.oryktosploutos.net. https://www.oryktosploutos.net/wp-content/uploads/2016/03/RES_05_F_31032016_REP_GR.pdf
- Ταργουτζίδης, Α., Βαγιόκας, Ν., Δρακόπουλος, Β., Κωνσταντινίδης, Θ., Πινότση, Δ., & Χατζηγιάννου, Χ. (2007). *Ορυχεία-Μεταλλεία*. Ελληνικό Ινστιτούτο Υγιεινής και Ασφάλειας της Εργασίας. <https://www.elinyae.gr/sites/default/files/2019-07/OryxeiaMetaleia%206.1191575558274.pdf>
- Taxheaven. (2011). *Νόμος 4014/2011*. Taxheaven | Φορολογικό αρχείο; www.taxheaven.gr. <https://www.taxheaven.gr/law/4014/2011>
- Teplická, K., Khouri, S., Beer, M., & Rybárová, J. (2021). Evaluation of the Performance of Mining Processes after the Strategic Innovation for Sustainable Development. *Processes*, 9(8), 1374. <https://doi.org/10.3390/pr9081374>
- Τράπεζα Πληροφοριών Νομοθεσίας. (2023, October 7). *Νομοθετικό Διάταγμα 210/1973 - ΦΕΚ 277/Α/5-10-1973 (Κωδικοποιημένο)*. E-Nomothesia.gr | Τράπεζα Πληροφοριών Νομοθεσίας. <https://www.e-nomothesia.gr/kat-periballon/latomeia-metalleia/nd-210-1973.html>
- Tragnone, B. M., Mancini, E., Petti, L., & Raggi, A. (2024). Not in My Backyard or Please in My Backyard? A PRISMA-Based Literature Review. *Circular Economy and Sustainability*, 327–334. https://doi.org/10.1007/978-3-031-28292-8_42
- Tsirambides, A., & Filippidis, A. (2012). Metallic mineral resources of Greece. *Open Geosciences*, 4(4). <https://doi.org/10.2478/s13533-012-0110-2>
- Tsirambides, A., & Filippidis, A. (2024). Critical and Strategic Metal Resources of Greece. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 61(1), 10–43. <https://doi.org/10.12681/bgsg.37171>
- Tvalchrelidze, A. G., & Morizot, G. (2002). Mineral Resource Base of the Southern Caucasus and Systems for its Management in the XXI Century. In *Springer eBooks*. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-94-010-0084-0>

- Tzachili, I. (2004). *Aegean metallurgy in the bronze age: Recent developments*. Wwww.ta-Pragmata.com. <https://www.ta-pragmata.com/imgs/metal-chapter1.pdf>
- Τζεφέρης, Π. (2015, April 13). *Μεταλλευτική Έρευνα και Αξιολόγηση των Μεταλλευμάτων*. Ελληνικός Ορυκτός Πλούτος. https://www.oryktosploutos.net/2015/04/blog-post_12-18/
- Varvitsioti, E., & Tsifoutidis, G. (2021). A Regulatory Roadmap to the Past, Present and Future of Geothermal Energy in Greece. *International Conference on Raw Materials and Circular Economy*, 5(1). <https://doi.org/10.3390/materproc2021005010>
- Vatalis, K. I., Charalampides, G., Platias, S., & Benetis, N. P. (2014). Market Developments and Industrial Innovative Applications of High Purity Quartz Refines. *Procedia Economics and Finance*, 14, 624–633. [https://doi.org/10.1016/s2212-5671\(14\)00751-5](https://doi.org/10.1016/s2212-5671(14)00751-5)
- Voudouris, P., Melfos, V., Mavrogonatos, C., Photiades, A., Moraiti, E., Rieck, B., Kolitsch, U., Tarantola, A., Scheffer, C., Morin, D., Vanderhaeghe, O., Spry, P. G., Ross, J., Soukis, K., Vaxevanopoulos, M., Pekov, I. V., Chukanov, N. V., Magganas, A., Kati, M., & Katerinopoulos, A. (2021). The Lavrion Mines: A Unique Site of Geological and Mineralogical Heritage. *Minerals (Basel)*, 11(1), 76–76. <https://doi.org/10.3390/min11010076>
- Weisgerber, G., & Pernicka, E. (1995). Ore Mining in Prehistoric Europe: An Overview. *Springer EBooks*, 159–182. https://doi.org/10.1007/978-94-015-1292-3_12
- Weng, Z. H., Jowitt, S. M., Mudd, G. M., & Haque, N. (2013). Assessing rare earth element mineral deposit types and links to environmental impacts. *Applied Earth Science*, 122(2), 83–96. <https://doi.org/10.1179/1743275813y.00000000036>
- Williams, N., & Vorley, T. (2015). The impact of institutional change on entrepreneurship in a crisis-hit economy: the case of Greece. *Entrepreneurship & Regional Development*, 27(1-2), 28–49. <https://doi.org/10.1080/08985626.2014.995723>
- Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. (2025). *ΥΠΕΝ Περιβάλλον*. Ypen.gov.gr. <https://ypen.gov.gr/>

- Yu, M., & Wang, N. (2023). The Influence of Geopolitical Risk on International Direct Investment and Its Countermeasures. *Sustainability*, 15(3). <https://doi.org/10.3390/su15032522>
- Zaman, Q. U., Zhao, Y., Zaman, S., Batool, K., & Nasir, R. (2024). Reviewing energy efficiency and environmental consciousness in the minerals industry Amidst digital transition: A comprehensive review. *Resources Policy*, 91. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.104851>
- Zięba, M., & Smoliński, A. (2025). Methane Emissions from Mining in the European Union. *Energies*, 18(4), 791. <https://doi.org/10.3390/en18040791>
- Zisenis, M. (2017). Is the Natura 2000 network of the European Union the key land use policy tool for preserving Europe's biodiversity heritage? *Land Use Policy*, 69, 408–416. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.09.045>
- Zouros, N. (2005). Assessment, protection, and promotion of geomorphological and geological sites in the Aegean area, Greece. *Géomorphologie : Relief, Processus, Environnement*, 11(3), 227–234. <https://doi.org/10.4000/geomorphologie.398>
- Ζευγολατάκου, Ζ. (2020). *Τα κοιτάσματα μεταλλικών ορυκτών στην Ελλάδα, νομικό καθεστώς, προβλήματα και προοπτικές ανάπτυξης*. Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Μεταπτυχιακή Εργασία. https://repo.lib.duth.gr/jspui/bitstream/123456789/13184/1/ZevgolatakouZ_2015.pdf