



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

«Η εξέλιξη της γεωλογικής χαρτογράφησης στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις»

Διπλωματική Εργασία

Μαρίνα Θ. Κλουκίνα

Εξεταστική Επιτροπή

Καθ. Ε. Μανούτσογλου (Επιβλέπων)

Επικ. Καθ. Ξηρουδάκης Γεώργιος

Δρ. Σαράτσης Γεώργιος, ΕΔΙΠ

Χανιά

Ιούνιος, 2024

Δηλώνω ρητά ότι, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής εργασίας και δεν προσβάλλει κάθε μορφής πνευματικά δικαιώματα τρίτων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον. Η έγκριση της παρούσας διπλωματικής εργασίας από το Πολυτεχνείο Κρήτης, δε σημαίνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Νόμος 5343/1932, άρθρο 202).

Πρόλογος

Ολοκληρώνοντας την παρούσα διπλωματική εργασία, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Μανούτσογλου Εμμανουήλ για την πολύτιμη βοήθειά του στην εκπόνηση της εργασίας μου, καθώς και για τις συμβουλές που μου έχει προσφέρει έως τώρα. Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ξηρουδάκη Γεώργιο, επίκουρο καθηγητή του Πολυτεχνείου Κρήτης, καθώς και τον κ. Σαράτση Γεώργιο για την συμμετοχή τους στη τριμελή επιτροπή αξιολόγησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Τέλος δεν θα μπορούσα να παραλείψω να ευχαριστήσω τους γονείς μου, οι οποίοι μου πρόσφεραν την δυνατότητα και την υποστήριξη καθ' όλη την διάρκεια των ακαδημαϊκών μου σπουδών.

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η παρακολούθηση της εξέλιξης της γεωλογικής χαρτογράφησης στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις διαχρονικά σε διάφορες περιοχές: από την Αίγυπτο στην αρχαιότητα και μέσω των αρχαίων Ελλήνων και των Ρωμαίων σε χώρες της κεντρικής Ευρώπης, σε χώρες της νοτίου Αμερικής μετά την ανακάλυψή της από τον Κολόμβο έως και τη σύγχρονη εποχή. Στις περιοχές αυτές οι γεωλογικές, τοπογραφικές έρευνες και η χαρτογράφηση γίνονταν χρησιμοποιώντας όργανα όπως η μαγνητική πυξίδα και αργότερα ο θεοδόλιχος κ.α., για μεγαλύτερη ακρίβεια στις αρχικά δύσκολες μετρήσεις σε υπόγειες στοές. Οι πρώτοι χάρτες που δημιουργήθηκαν αν και δεν ήταν από εξειδικευμένους μηχανικούς, αποτέλεσαν τη βάση για την εξέλιξη της γεωλογικής χαρτογράφησης των υπόγειων ορυχείων και λειτούργησαν πολλές φορές ως αρχεία της φυσικής ιστορίας.

Με την πάροδο του χρόνου, η κατασκευή χαρτών γινόταν από τοπογράφους, μηχανικούς εξόρυξης και γεωλόγους για πιο αξιόπιστα αποτελέσματα. Ωστόσο, πολλοί ιδιοκτήτες ορυχείων θεωρούσαν ότι οι χάρτες δεν μπορούν να λύσουν τα προβλήματα που προκύπτουν στα ορυχεία. Συγκεκριμένα, χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο αργός ρυθμός παραγωγής, αφού οι μεταλλωρύχοι μπορούσαν να εργαστούν αρχικά υπόγεια χωρίς τη βοήθεια των χαρτών. Επίσης, η ανάπτυξη της τοπογραφίας και της χαρτογράφησης των ορυχείων σταματούσε κατά διαστήματα γιατί δινόταν κατά χρονικές περιόδους έμφαση στο καλλιτεχνικό τμήμα των χαρτών παρά στην ακρίβεια και τη σαφήνεια τους και όχι στον συνδυασμό τους.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα προβλήματα και οι δυσκολίες που αντιμετώπισαν διαχρονικά οι διάφοροι χαρτογράφοι κατά τη διαδικασία γεωλογικής χαρτογράφησης των υπόγειων χώρων, που οφείλονταν κυρίως σε μια σωρεία παραγόντων, τόσο γεωλογικής φύσης, όσο και τεχνικής/τεχνολογικής. Ο παράγοντας που επέδρασε καθοριστικά στην ουσιαστική εξέλιξη της γεωλογικής χαρτογράφησης και των υπόγειων χώρων, ήταν η αλλαγή του νομικού πλαισίου σχετικά με την ασφάλεια των εργαζομένων στα ορυχεία, καθώς και τη θέσπιση νόμων που πρέπει να πληρούν τα ορυχεία με σκοπό τη σωστή λειτουργία τους. Η συστηματική δημιουργία εκτός των τοπογραφικών και γεωλογικών χαρτών έπαιξε σημαντικό ρόλο στην εξόρυξη των υπόγειων εκμεταλλεύσεων. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα, η κατασκευή και συνεπώς η χρήση των γεωλογικών χαρτών στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις να καθιερωθεί ως σημαντικό επιστημονικό και πρακτικό βοήθημα των μηχανικών εξόρυξης.

Λέξεις κλειδιά: Γεωλογική χαρτογράφηση, υπόγειες εκμεταλλεύσεις, εξέλιξη χαρτογράφησης.

Περίληψη στα αγγλικά (Abstract)

The object of this thesis is to follow the evolution of geological mapping in underground farms over time in various regions: from Egypt in antiquity and through the ancient Greeks and Romans in countries of Central Europe, in countries of South America after its discovery by Columbus to modern times. In these areas, geological, topographic surveys and mapping were done using instruments such as the magnetic compass and later theodolites etc., for greater accuracy in initially difficult measurements in underground galleries. The first maps created, although not by skilled engineers, formed the basis for the evolution of geological mapping of underground mines and functioned many times as archives of Natural History.

Over time map-making was done by surveyors, mining engineers and geologists for more reliable results. However, many mine owners felt that maps could not solve the problems that arose in the mines. In particular, a typical example is the slow rate of production, since miners could initially work underground without the help of maps. Also, the development of surveying and mapping of mines stopped from time to time because the emphasis was placed on the artistic part of the maps rather than on their accuracy and clarity and not on their combination.

This paper presents the problems and difficulties that the various cartographers have faced overtime during the geological mapping process of underground spaces, mainly due to a multitude of factors of both geological nature and technical/technological. The factor that had a decisive impact on the substantial development of geological mapping and underground sites was the change of the legal framework regarding the safety of mine workers, as well as the adoption of laws that must meet the mines for them to function properly. Systematic creation outside of topographic and geological maps played an important role in mining the underground farms. As a result, the construction and therefore the use of geological maps on underground farms was established as an important scientific and practical aid to mining engineers.

Keywords: Geological mapping, underground exploitations, evolution of mapping

Πίνακας περιεχομένων

Πρόλογος	iii
Περίληψη	iv
Περίληψη στα αγγλικά (Abstract)	v
Πίνακας περιεχομένων	vi
Κατάλογος εικόνων	viii
Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή	11
Κεφάλαιο 2ο: Η αρχαία μεταλλευτική δραστηριότητα στην Ελλάδα	13
2.1. Η εξόρυξη στα μεταλλεία του αρχαίου Λαυρίου	14
2.2. Η εξόρυξη στο Παγγαίο Όρος	16
Κεφάλαιο 3ο: Ιστορική αναδρομή της τοπογραφικής έρευνας και της εξόρυξης των ορυχείων	19
3.1. Η εξόρυξη και οι χάρτες των υπόγειων χώρων στην αρχαιότητα	19
3.2. Η εξόρυξη στα λατομεία της Γαλλίας και της Γερμανίας	26
3.3. Η ιστορία της τοπογραφικής έρευνας των ορυχείων στον κόσμο	29
3.4. Η ανάπτυξη των χαρτών εξόρυξης στην Κεντρική Ευρώπη	30
3.5. Συμπεράσματα για την εξελικτική πορεία των χαρτών εξόρυξης των ορυχείων	37
Κεφάλαιο 4ο: Η εξορυκτική δραστηριότητα στη νεότερη εποχή	40
4.1. Η εξέλιξη των χαρτών εξόρυξης στην Ιταλία	40
4.2. Χάρτες των σπηλαιών στον κόσμο	43
Κεφάλαιο 5ο: Η σπουδαιότητα και η εξέλιξη της υπόγειας χαρτογράφησης στην Αμερική	49
5.1. Η σημασία των χαρτών των ορυχείων στην Αμερική	49
5.2. Η λειτουργία και η εξόρυξη των ορυχείων στη Λατινική Αμερική	49
5.2.1. Η πρόταση και το σχέδιο του Sabugo	51
5.3. Η ανάπτυξη και η διάδοση των χαρτών εξόρυξης στις Ηνωμένες Πολιτείες	52
5.4. Συμπεράσματα για την εξέλιξη των χαρτών στα ορυχεία των ΗΠΑ	56
Κεφάλαιο 6ο: Προβλήματα σταθερότητας των υπόγειων χώρων κατά τη χαρτογράφηση τους	

.....	60
6.1. Προβλήματα σταθερότητας των υπόγειων σπηλαίων στην Κίνα	60
6.2. Προβλήματα σταθερότητας των αρχαίων λατομείων στην Ευρώπη και την Αίγυπτο	61
Κεφάλαιο 7ο: Το νομικό πλαίσιο σχετικά με τη χαρτογράφηση και την ασφάλεια των υπόγειων χώρων στον κόσμο	65
Κεφάλαιο 8ο: Νέες τεχνολογίες χαρτογράφησης	70
Κεφάλαιο 9ο: Συμπεράσματα - Προτάσεις	75
Βιβλιογραφία	77
Ελληνική	77
Ξενόγλωσση	77
Διαδικτυακή	80

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 2.1: Φτυάρι από το αρχαίο μεταλλείο του Λαυρίου (Βαξεβανόπουλος, 2017).	15
Εικόνα 2.2: Στην αριστερή εικόνα απεικονίζονται διάφορα σφυριά από το αρχαίο μεταλλείο του Λαυρίου, ενώ στη δεξιά εικόνα απεικονίζεται μία τσάπα από το αρχαίο Λαύριο (Βαξεβανόπουλος, 2017).	15
Εικόνα 2.3: Εικόνα από το σύγχρονο μεταλλείο του Λαυρίου, όπου φαίνονται οι αρχαίες στοές ορθογώνιας διατομής (Βαξεβανόπουλος, 2017).	16
Εικόνα 2.4: Πλήρωση τμήματος της στοάς παλαιότερης εκμετάλλευσης με στείρο υλικό από την εξόρυξη (Βαξεβανόπουλος, 2017).	17
Εικόνα 2.5: Στην αριστερή εικόνα φαίνονται τα υπολείμματα φωτιάς από το εσωτερικό του υπόγειου λατομείου, ενώ στην δεξιά εικόνα απεικονίζεται ένα στενό πέρασμα από το εσωτερικό ενός αρχαίου μεταλλείου (Βαξεβανόπουλος, 2017).	17
Εικόνα 3.1: Χάρτης που απεικονίζει αρχαία λατομεία καλύπτοντας μία έκταση περίπου 100km ² στο Ασουάν της Αιγύπτου (Harrell and Storemyr, 2009).	21
Εικόνα 3.2: Χάρτης του λατομείου Chephern που απεικονίζει σχεδόν 700 εργασίες και τις σχετικές υποδομές (Harrell and Storemyr, 2009).	22
Εικόνα 3.3: Λεπτομερής χάρτης του λατομείου βασάλτη Widan el-Faras που δείχνει τις περιοχές εργασιών, το δίκτυο διακλαδώσεων, κυρίως ασφαλοστρωμένους λατομικούς δρόμους και άλλες σχετικές υποδομές (Harrell and Storemyr, 2009).	23
Εικόνα 3.4: Χάρτης του λατομείου πορφυρίτη-ανδεδίτη-δακίτη στη βορειοκεντρική ανατολική έρημο, που δείχνει τις περιοχές με τις εργασίες λατομείου, καθώς και επιλεγμένους δρόμους και άλλες υποδομές (Harrell and Storemyr, 2009).	24
Εικόνα 3.5: Υπόγεια στοά στο Μαράθι Πάρου (Κατσωνοπούλου, 2019).	25
Εικόνα 3.6: (α) Χάρτης του λατομείου Caumont που δείχνει την υπαίθρια περιοχή και τους υπόγειους τομείς Α και Β, καθώς και τις αναχαιτισμένες καρστικές σπηλιές που μελετήθηκαν από τους Nehme et al. (2020). Ο χάρτης προέκυψε από τη δισδιάστατη τοπογραφική έρευνα του λατομείου que. (β) Τρισδιάστατο μοντέλο χαμηλής ανάλυσης του υπόγειου λατομείου Caumont (Ballesteros et al., 2022).	27
Εικόνα 3.7: Τοπογραφικός χάρτης Tranchot (Topographic Maps, 2024).	29
Εικόνα 3.8: Αριστερό τμήμα του πρώτου γεωλογικού χάρτη της Αιγύπτου.	30

Εικόνα 3.9: Εισαγωγικό φύλλο του Kutnohorský antifonář με μία απεικόνιση της εξόρυξης στην Kutná Hora (Ovesná et al., 2017).	31
Εικόνα 3.10: Λεπτομερής απεικόνιση της εξορυκτικής εργασίας στη Kutná Hora (Ovesná et al., 2017).	32
Εικόνα 3.11: Ο παλαιότερος χάρτης στη Σλοβακία (Ovesná et al., 2017).	32
Εικόνα 3.12: Συνοπτικός χάρτης των ορυκτών που βρέθηκαν στην λεκάνη των Καρπάθιων Όρεων (Deák, 2013).	33
Εικόνα 3.13: Το ορυχείο Herrengrund κοντά στο Selmec (Deák, 2013).	34
Εικόνα 3.14: Robert Townson – Section des Mines de Sel de Wieliczka (Τμήμα του αλατωρυχείου Wieliczka), 1797. Ιδιωτική συλλογή των συγγραφέων (Wołkowicz and Wołkowicz, 2014).	35
Εικόνα 3.15: Denis Diderot et al. – Γενική εικόνα του αλατωρυχείου Wieliczka κοντά στην Κρακοβία. Συμπλήρωμα 1772. Ευγενική προσφορά του Piotr Krzywiec, Warszawa, Πολωνία (ιδιωτική συλλογή) (Wołkowicz and Wołkowicz, 2014).	36
Εικόνα 3.16: Η αριστερή εικόνα απεικονίζει τον χάρτη της Βοημίας του Claudianus το 1518, ενώ η δεξιά εικόνα δείχνει το κεντρικό τμήμα του ίδιου χάρτη (Mikšovský, 2003).	38
Εικόνα 3.17: Το κεντρικό τμήμα του χάρτη της Βοημίας του Criginger (Mikšovský, 2003). ..	39
Εικόνα 3.18: Χάρτης της Χαϊδελβέργης το 1528.	39
Εικόνα 4.1: Χάρτης του ορυχείου Carbonaie που σχεδιάστηκε από τον Arduino το 1756 (Pantaloni and Sammuri, 2018).	41
Εικόνα 4.2: Χάρτης του όρους Acuti μαζί με το ορυχείο Bottino (Pantaloni and Sammuri, 2018).	42
Εικόνα 4.3: Λεπτομερής αποτύπωση των διαφόρων υπηρεσιών της εξόρυξης (μύλοι, φρέατα, κλπ) (Pantaloni and Sammuri, 2018).	43
Εικόνα 4.4: Η αριστερή εικόνα απεικονίζει την κάτοψη του Σπηλαίου του Λαβύρινθου στην Κρήτη του Δουμά το 1783. Η δεξιά εικόνα απεικονίζει την κάτοψη του ίδιου Σπηλαίου από τον βοτανολόγο Franz Sieber το 1821 (Mattes, 2022).	45
Εικόνα 4.5: Η εικόνα απεικονίζει την κάτοψη του Baumannshöhle (Σαξονία – Άνχαλτ) που κατασκευάστηκε από το Studiosus von Alvensleben το 1656 (Mattes, 2022).	47
Εικόνα 5.1: Το σχέδιο της νέας μεθόδου λειτουργίας των ορυχείων. Gaspar de Sabugo, Plano	

del nuevo método de trabajar las minas (Scott, 2015).	50
Εικόνα 5.2: Χάρτης που απεικονίζει τα τμήματα της εξόρυξης στις περιοχές του Αϊντάχο και του Όρεγκον, ο οποίος κατασκευάστηκε από τον George Woodman το 1864 (Allen, 2005).	54
Εικόνα 5.3: Κατόψεις και κατακόρυφες τομές του κοιτάσματος και των υπόγειων μεταλλείων του Ορυχείου αργύρου του Caribou (Chase, 1915).	55
Εικόνα 6.1: Υπόγεια στοά στο λατομείο μαρμάρου στο Μαράθι στην Πάρο (Δετοράτου, 2013).	63
Εικόνα 8.1: Δομή του συστήματος 3D φωτογραμμετρικής μοντελοποίησης UAV (Baterdene Bibish et al., 2023).	71
Εικόνα 8.2: Τοποθέτηση εξοπλισμού για τη συλλογή δεδομένων σε υπόγειο ορυχείο (Kirsch et al., 2023).	72

Κεφάλαιο 1^ο: Εισαγωγή

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διαχρονική εξέλιξη της γεωλογικής χαρτογράφησης στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις σε διάφορες χώρες του κόσμου. Αναλυτικότερα, σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι η παρακολούθηση, η έρευνα και η ανάλυση της γεωλογικής χαρτογράφησης των υπόγειων ορυχείων και των λατομικών χώρων από την αρχαιότητα μέχρι τη σημερινή εποχή, από βιβλιογραφικές αναφορές από όλο τον κόσμο.

Η χαρτογραφία είναι ο επιστημονικός κλάδος της γεωγραφίας που περιλαμβάνει ένα σύνολο προσδιορισμένων μελετών, τεχνικών αλλά και εργασιών που αφορούν απεικονίσεις πάνω στην επίπεδη ή σφαιρική επιφάνεια της γης σε σμίκρυνση, ενός τμήματος ή ολόκληρης της γήινης επιφάνειας, καθώς επίσης και τμήματα απεικονίσεων του υπογείου της γης ([wikipedia.org](https://www.wikipedia.org)). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, τη σύνταξη και συνεπώς την κατασκευή χαρτών και πιο συγκεκριμένα στην παρούσα εργασία, τη δημιουργία χαρτών των υπόγειων εκμεταλλεύσεων παγκοσμίως. Ήδη από την αρχαιότητα, πολλοί μηχανικοί εξόρυξης, τοπογράφοι ακόμα και ιδιοκτήτες ορυχείων προσπάθησαν να χαρτογραφήσουν τους υπόγειους χώρους στους οποίους εργάζονταν.

Η κατασκευή χαρτών αποτελεί μία από τις αρχαιότερες δραστηριότητες των ανθρώπων. Όμως η χαρτογράφηση των υπόγειων χώρων στη μεταλλευτική δεν ήταν τόσο διαδεδομένη, γεγονός που οδήγησε τους εργαζομένους στα ορυχεία να μην τους χρησιμοποιούν. Ωστόσο, η δημιουργία χαρτών διαφόρων ορυχείων ή λατομείων ξεκίνησε πριν από πάρα πολλά χρόνια, εξαιτίας της ανάγκης των μεταλλωρύχων να εργάζονται σε «γνωστό» περιβάλλον.

Το πρώτο βήμα για τη δημιουργία ή την αναθεώρηση ενός χάρτη υπόγειων ορυχείων ήταν να πραγματοποιηθεί μία έρευνα. Η τοπογραφία αφορούσε τη διαδικασία χρήσης οργάνων για τη μέτρηση γωνιών και αποστάσεων. Οι μηχανικοί θα μπορούσαν αργότερα να χρησιμοποιήσουν αυτές τις πληροφορίες για να μετρήσουν και να σχεδιάσουν έναν χάρτη του ορυχείου σε μειωμένη κλίμακα σε χαρτί, χρησιμοποιώντας γεωμετρικές αρχές ([Arnold, 2015](#)). Επομένως, ξεκίνησε η κατασκευή χαρτών, αρχικά παρατηρώντας τους υπόγειους χώρους και στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν ειδικά όργανα για τη συλλογή δεδομένων. Όπως αναφέρει και ο [Ovesná \(2017\)](#), ένας από τους παλαιότερους γνωστούς χάρτες εξόρυξης χρυσού χρονολογείται περίπου στο 1500 π.Χ. στην αρχαία Αίγυπτο. Ακόμη, με την πάροδο των χρόνων κατασκευάστηκαν χάρτες για άλλα ορυχεία της Ευρώπης που απεικόνιζαν αρκετά ακριβείς πληροφορίες για τη μεταλλευτική δραστηριότητα, καθώς η τοπογραφία και η χαρτογραφία εξελίσσονταν συνεχώς. Τελικά, μεγάλη ωστόσο ανάπτυξη είχαν οι γεωλογικοί χάρτες στις αρχές του δέκατου ένατου αιώνα.

Επιπλέον, πρέπει να αναφερθεί ότι οι χάρτες δεν ήταν απαραίτητο εργαλείο για τις υπόγειες εκμεταλλεύσεις. Αυτό συνέβη διότι πολλοί μεταλλωρύχοι θεωρούσαν ότι οι χάρτες δεν αποτελούσαν σημαντικό εργαλείο της εξόρυξης των υπόγειων χώρων, καθώς τα ορυχεία ήταν σχεδόν επιφανειακά. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να σταματήσει η ανάπτυξη της τοπογραφίας και συνεπώς της χαρτογράφησης των ορυχείων γεγονός που καθυστέρησε την περαιτέρω ανάπτυξη των χαρτών.

Μαζί με την εξέλιξη των χαρτών εξόρυξης, αναπτύχθηκαν και οι χάρτες των σπηλαίων παρέχοντας πληροφορίες για τη γεωλογία της περιοχής, τα ορυκτά και τα απολιθώματα. Ωστόσο, η χαρτογράφηση των ορυχείων διαδόθηκε λίγο περισσότερο, αφού η επιρροή των μηχανικών εξόρυξης ήταν αξιοπρόσεκτη ([Arnold, 2015](#)). Επίσης, σημαντικό γεγονός αποτελεί το βάθος των ορυχείων στην Αμερική, κάτι που δυσκόλευε πολύ τη χαρτογράφηση. Μετά από χρόνια όμως με την εξέλιξη της κατασκευής χαρτών εμφανίστηκαν και προβλήματα σχετικά με την ασφάλεια των εργαζομένων και τη σταθερότητα των ορυχείων. Επομένως, θεσπίστηκε ένα νομικό πλαίσιο που αφορούσε κυρίως την ασφάλεια των εργαζομένων καθώς επίσης ψηφίστηκαν νόμοι που αφορούσαν τα αχαρτογράφητα ορυχεία.

Το πρώτο κεφάλαιο είναι μια γενική αναφορά στη δημιουργία χαρτών, ενώ το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στην εξορυκτική δραστηριότητα της μεταλλευτικής στην Ελλάδα. Το τρίτο κεφάλαιο αφορά στην εξόρυξη και στους χάρτες των υπόγειων ορυχείων και λατομείων στη ρωμαϊκή περίοδο. Συγκεκριμένα, παρουσιάζεται η πορεία και η εξέλιξη της τοπογραφίας και της εξόρυξης των υπόγειων χώρων, από την αρχαία Αίγυπτο μέχρι την Κεντρική Ευρώπη. Στη συνέχεια, στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύεται η εμφάνιση και η χρησιμότητα των χαρτών στα υπόγεια σπήλαια και η εξέλιξή τους κυρίως στα ορυχεία της Ιταλίας. Το πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζει τη σπουδαιότητα των χαρτών στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, καθώς επίσης και τη σημασία που τους δόθηκε από τους μεταλλωρύχους αλλά και τους ιδιοκτήτες των ορυχείων. Τέλος, στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα προβλήματα σταθερότητας των υπόγειων χώρων στην Κίνα, καθώς και τα προβλήματα σταθερότητας των αρχαίων ορυχείων και λατομείων στην Ευρώπη και στην Αίγυπτο. Ακόμη, στο έβδομο κεφάλαιο αναλύεται το νομικό πλαίσιο για την ασφάλεια των εργαζομένων και των ορυχείων και η σημασία της νομοθεσίας για τους υπόγειους χώρους, καθώς επίσης και στο όγδοο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι νέες τεχνολογίες χαρτογράφησης.

Κλείνοντας, με την εξέλιξη της τεχνολογίας σήμερα, οι χάρτες των υπόγειων χώρων της γης δημιουργούνται με μεγαλύτερη ακρίβεια και παρέχουν πληροφορίες στους μεταλλωρύχους πριν ξεκινήσουν την εξόρυξη.

Κεφάλαιο 2ο: Η αρχαία μεταλλευτική δραστηριότητα στην Ελλάδα

Η μεταλλευτική δραστηριότητα εμφανίστηκε στην Αρχαία Ελλάδα σε πολλές περιοχές, όπως στο Λαύριο, τη Σίφνο, τη Θάσο, το Παγγαίο Όρος στην Ανατολική Μακεδονία, τη Θράκη, την Κρήτη, κλπ. Επιπλέον, σε πολλές περιοχές υπάρχουν αναφορές για μεταλλευτική δραστηριότητα, η οποία χρονολογείται στους ελληνιστικούς χρόνους, καθώς επίσης υπάρχουν καταγραφές και για τους υστεροβυζαντινούς και οθωμανικούς χρόνους. Αρχικά βασιζόμενοι σε αρχαιολογικά επιφανειακά ευρήματα των περιοχών, είναι εμφανές ότι οι αρχαίοι ελληνικοί πολιτισμοί ασχολούνταν με τα μέταλλα της ελληνικής γης. Υπάρχουν αναφορές πως οι άνθρωποι εκμεταλλεύονταν τις περιοχές με πλούσια μεταλλοφορία. Ωστόσο, η εκμετάλλευση των αρχαίων μεταλλευτικών περιοχών ήταν κυρίως επιφανειακή και είχε σαν σκοπό την εξόρυξη οξειδωμένης μεταλλοφορίας. Αργότερα, η επιφανειακή εξόρυξη οδήγησε στην υπόγεια λόγω μείωσης του επιφανειακού μεταλλεύματος, καθώς επίσης και της φυσικής συνέχειας του μεταλλοφόρου κοιτάσματος, το οποίο βρισκόταν πολλές φορές κάτω από την επιφάνεια της γης. Η εξόρυξη γινόταν σε υπόγειες μεταλλευτικές στοές και χρησιμοποιούσαν εργαλεία όπως το μεταλλευτικό σφυρί, το καλέμι, η τσάπα και η σφήνα, ανάλογα με τη σκληρότητα του πετρώματος.

Παρά το γεγονός ότι δεν υπάρχουν αναφορές για τους πρώτους ελληνικούς γεωλογικούς χάρτες υπόγειων εκμεταλλεύσεων, η εξόρυξη εμφανίζεται σε πολλές περιοχές αρκετά ανεπτυγμένη. Είναι σαφές ότι οι αρχαίοι μεταλλωρύχοι κατά βάση χρησιμοποιούσαν τις επιφανειακές τεχνικές εξόρυξης. Πιο συγκεκριμένα, ο άνθρωπος αναζητώντας χρήσιμα μεταλλεύματα, ανακάλυπτε διάφορες θέσεις επιφανειακής μεταλλοφορίας. Μετά τον εντοπισμό του κοιτάσματος, ξεκινούσε η εξόρυξη του. Επομένως, η εξάντληση του επιφανειακού μεταλλεύματος οδήγησε στην έναρξη της υπόγειας εκμετάλλευσης.

Πολλές περιοχές αρχαίας μεταλλευτικής δραστηριότητας αποτελούν σημαντικά μεταλλευτικά κέντρα. Παραδείγματος χάριν, στη Θάσο η εκμετάλλευση μολύβδου ξεκίνησε περίπου το 1200 π.Χ., ενώ η εξόρυξη αργύρου περίπου το 1000 με 800 π.Χ., και συνεχίστηκε μέχρι τους Βυζαντινούς χρόνους. Ένα ακόμα παράδειγμα αρχαίου μεταλλευτικού κέντρου αποτελεί η Βορειοανατολική Χαλκιδική, με ίχνη αρχαίας μεταλλευτικής δραστηριότητας έκτασης περίπου 150km². Παρακάτω θα αναφερθεί η ιστορία της μεταλλευτικής στην αρχαία Ελλάδα και συγκεκριμένα η εξορυκτική δραστηριότητα στις δύο πιο σημαντικές και αρχαιότερες περιοχές της Ελλάδας (([Βαξεβανόπουλος, 2017](#))).

2.1. Η εξόρυξη στα μεταλλεία του αρχαίου Λαυρίου

Μία σημαντική περιοχή στην ιστορία της αρχαίας μεταλλευτικής εκμετάλλευσης αποτελεί το Λαύριο. Τα μεταλλεία στην περιοχή του Λαυρίου είναι από τα αρχαιότερα μεταλλεία στον Ελλαδικό χώρο. Η μεταλλευτική δραστηριότητα ξεκίνησε από τους αρχαίους Έλληνες και χρονολογείται περίπου από το 3000 π.Χ., και έγιναν αντικείμενο εκμετάλλευσης επί περίπου 5000 χρόνια. Τα μεταλλεία, όμως, έχασαν την αξία τους όταν η Αθήνα ηττήθηκε στον Πελοποννησιακό Πόλεμο, ενώ επανήλθαν σε προσωρινή λειτουργία τον 4ο αιώνα π.Χ., τελικά, οι μεταλλευτικές δραστηριότητες σταμάτησαν οριστικά τον 2ο αιώνα π.Χ., για τους παρακάτω τρεις λόγους:

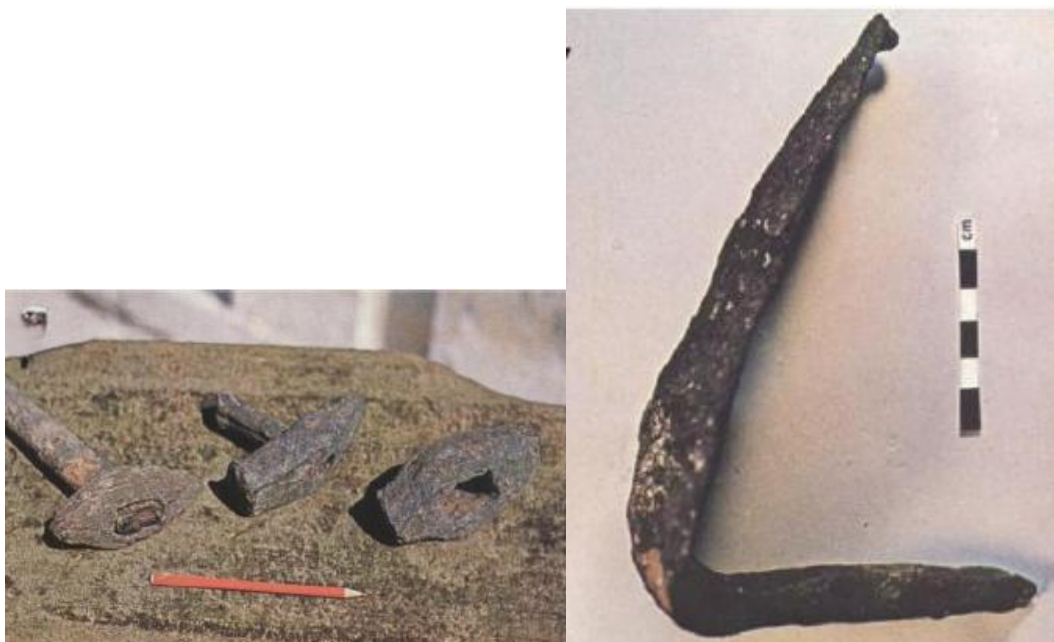
1. Καθώς προχωρούσε η εξόρυξη, φτάνοντας σε βάθος περίπου 100 μέτρων οι μεταλλωρύχοι συναντούσαν νερό μέσα στις στοές.
2. Οι Ρωμαίοι βρήκαν πολύ δύσκολη την επεξεργασία του μεταλλεύματος και τέλος.
3. Οι Ρωμαίοι άρχισαν την εκμετάλλευση των πλούσιων κοιτασμάτων αργύρου στην Ισπανία, με αποτέλεσμα τα μεταλλεία του Λαυρίου να χάσουν τα πρωτεία στην παραγωγή αργύρου παγκοσμίως, μια θέση που κατείχαν για σχεδόν χίλια χρόνια.

Η λειτουργία των μεταλλείων του Λαυρίου σταμάτησε οριστικά το 1977. Υπολογίζεται ότι από τον 7ο μέχρι το 1ο αιώνα π.Χ., από τα μεταλλεία εξορύχτηκαν 3.500 τόνοι αργύρου και 1.400.000 τόνοι μολύβδου.

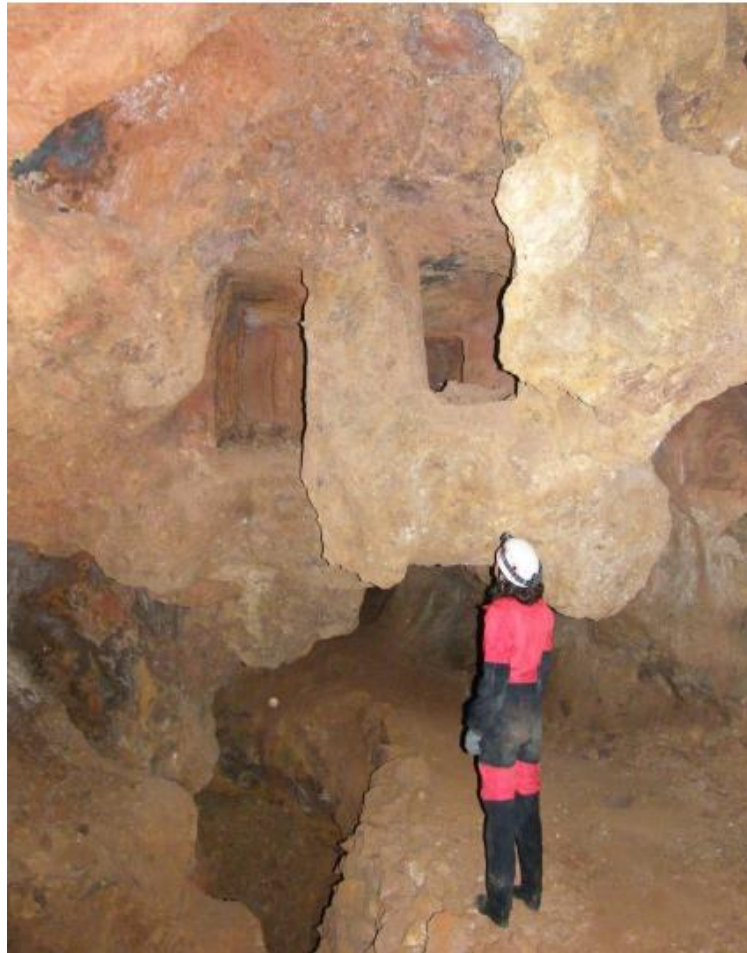
Η εξόρυξη των μεταλλευμάτων στο Λαύριο γινόταν κυρίως με τις ίδιες μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν και αργότερα. Στο Λαύριο η εξόρυξη γινόταν με τη μέθοδο των θαλάμων και στύλων. Για την ανίχνευση της ύπαρξης μεταλλευμάτων στην περιοχή ενδιαφέροντος, οι αρχαίοι μεταλλωρύχοι άνοιγαν στοές μικρής διατομής (0,7 x 0,9 μέτρα). Ωστόσο, καθώς η εξόρυξη προχωρούσε και το μήκος των στοών μεγάλωνε, οι μεταλλωρύχοι έρχονταν αντιμέτωποι με πολλά προβλήματα. Συγκεκριμένα υπήρχε η ανάγκη εξαερισμού και για αυτόν τον λόγο άνοιγαν φρέατα για την είσοδο καθαρού αέρα στα ορυχεία. Ακόμα τα φρέατα χρησιμοποιούνταν και για τη μεταφορά των μεταλλευμάτων από το υπόγειο στην επιφάνεια της γης ([Μήτσιου, 2023](#)). Οι μεταλλωρύχοι εργάζονταν μισοξαπλωμένοι ή γονατιστοί, ενώ τα εργαλεία που χρησιμοποιούσαν κατά την εξόρυξη ήταν συνήθως σιδερένια σφυριά, βελόνια ή καλέμια, όπως παρουσιάζονται στις *Εικόνες 2.1* και *2.2* τα εργαλεία αυτά βρέθηκαν στα μεταλλεία του Λαυρίου ([Βαξεβανόπουλος, 2017](#)). Ακόμα στην *Εικόνα 2.3* απεικονίζονται οι αρχαίες στοές με ορθογώνια διατομή, από το σύγχρονο μεταλλείο του Λαυρίου. Τέλος, σε πολλούς χάρτες απεικονίζονται περισσότερα από 1000 φρέατα, η κατασκευή των οποίων από πλευράς καταστάσεως των τοιχωμάτων είναι αξιοθαύμαστα.



Εικόνα 2.1: Φτυάρι από το αρχαίο μεταλλείο του Λαυρίου ([Βαξεβανόπουλος, 2017](#)).



Εικόνα 2.2: Στην αριστερή εικόνα απεικονίζονται διάφορα σφυριά από το αρχαίο μεταλλείο του Λαυρίου, ενώ στη δεξιά εικόνα απεικονίζεται μία τσάπα από το αρχαίο Λαύριο ([Βαξεβανόπουλος, 2017](#)).



Εικόνα 2.3: Εικόνα από το σύγχρονο μεταλλείο του Λαυρίου, όπου φαίνονται οι αρχαίες στοές ορθογώνιας διατομής (Βαξεβανόπουλος, 2017).

2.2. Η εξόρυξη στο Παγγαίο Όρος

Επίσης, μία από τις σημαντικότερες και αρχαιότερες περιοχές εξόρυξης στην Αρχαία Ελλάδα είναι το Παγγαίο Όρος, όμως δύσκολα χρονολογείται. Το Παγγαίο Όρος είναι ένας εμφανής όγκος, βρίσκεται στην Ανατολική Μακεδονία και περιστοιχίζεται από περιοχές με ιστορική σημασία σχετικά με τη μεταλλευτική δραστηριότητα στην αρχαιότητα (Βαξεβανόπουλος, 2017).

Σύμφωνα με καταγραφές φιλοσόφων όπως για παράδειγμα ο Πλίνιος (23 - 79 μ.Χ.), ο Στράβων (64 π.Χ. - 21 μ.Χ.), αλλά και ο Όμηρος στην Ιλιάδα, εμφανίζονται μεταλλοφορίες κυρίως χρυσού και αργύρου στο Παγγαίο Όρος. Επίσης, καταγράφεται σε εννέα περιοχές περιμετρικά από το Όρος, σημαντική αρχαία μεταλλευτική επιφανειακή αλλά και υπόγεια δραστηριότητα.

Μετά από έρευνες που πραγματοποιήθηκαν τη σημερινή εποχή, έχουν προκύψει σημαντικά αποτελέσματα. Συγκεκριμένα, για την καλύτερη μελέτη των περιοχών με δείγματα αρχαίας μεταλλευτικής εκμετάλλευσης, έγινε γεωλογική χαρτογράφηση της κάθε περιοχής και στη συνέχεια μελετήθηκε ο τρόπος εκμετάλλευσης των μεταλλοφόρων κοιτασμάτων. Σε κάθε μία από τις εννέα περιοχές εκμετάλλευσης, υπάρχουν στοιχεία που δηλώνουν ανθρώπινη δραστηριότητα.

Αναλυτικότερα, έχουν διανοιχτεί στοές με εμφανείς υπόγειες εργασίες, όπως η ύπαρξη στύλων από μάρμαρα και τοιχίων υποστήριξης στους διευρυμένους θαλάμους των στοών από τα υπολείμματα της εξόρυξης. Εμφανίζονται, ακόμα, υπόγειες μεταλλευτικές εργασίες με συστήματα στοών με διαστάσεις 1.5m x 1.0m (πλάτος x ύψος). Τέλος, μερικά ευρήματα όπως ξύλινα εργαλεία εξόρυξης στο εσωτερικό των αρχαίων μεταλλείων, έχουν διατηρηθεί σε σημαντικό βαθμό εξαιτίας των οξειδωτικών συνθηκών που επικρατούν στο εσωτερικό των υπόγειων μεταλλευτικών χώρων ([Βαξεβανόπουλος, 2017](#)).



Εικόνα 2.4: Πλήρωση τμήματος της στοάς παλαιότερης εκμετάλλευσης με στείρο υλικό από την εξόρυξη ([Βαξεβανόπουλος, 2017](#)).



Εικόνα 2.5: Στην αριστερή εικόνα φαίνονται τα υπολείμματα φωτιάς από το εσωτερικό του υπόγειου λατομείου, ενώ στην δεξιά εικόνα απεικονίζεται ένα στενό πέρασμα από το εσωτερικό ενός αρχαίου μεταλλείου ([Βαξεβανόπουλος, 2017](#)).

Συμπερασματικά, το Παγγαίο Όρος αποτελεί μία περιοχή εκμετάλλευσης ακόμα και σήμερα, καθώς οι αρχαίες στοές έχουν διευρυνθεί, οδηγώντας στη διάνοιξη σύγχρονης υπόγειας στοάς, ωστόσο δεν έχουν ολοκληρωθεί.

Παρά το γεγονός, ότι δεν υπάρχουν αναφορές γεωλογικής χαρτογράφησης στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις στην Αρχαία Ελλάδα, η δημιουργία των χαρτών ορυχείων κατά τη Ρωμαϊκή Περίοδο είναι σημαντική, καθώς εμφανίζονται στοιχεία χαρτογράφησης υπόγειων ορυχείων και λατομικών χώρων. Σύμφωνα με αναφορές, η εξόρυξη χρυσού στα σύνορα Αιγύπτου, Αιθιοπίας και Αραβίας ξεκίνησε περίπου τον 1ο αιώνα π.Χ. Επίσης, στην ανατολική Αίγυπτο κατά την Προδυναστική περίοδο εμφανίζονται τα πρώτα στοιχεία εξόρυξης χρυσού. Τέλος, η δημιουργία χαρτών των υπόγειων ορυχείων, μπορεί κανείς να πει ότι ξεκίνησε και αναπτύχθηκε στην Αίγυπτο, από τη Ρωμαϊκή Εποχή και αργότερα ([Βαξεβανόπουλος, 2017](#)).

Κεφάλαιο 3^ο: Ιστορική αναδρομή της τοπογραφικής έρευνας και της εξόρυξης των ορυχείων

3.1. Η εξόρυξη και οι χάρτες των υπόγειων χώρων στην αρχαιότητα

Λίγο περισσότερα από 200 αρχαία λατομεία είναι γνωστά στην Αίγυπτο και η ηλικία τους κυμαίνεται από την Ύστερη Προδυναστική έως την Ύστερη Ρωμαϊκή Περίοδο, διάρκειας περίπου 3500 ετών. Οι Harrell and Storemyr ([2009](#)), εντόπισαν σχεδόν όλα τα λατομεία, εκτός από αυτά που βρίσκονται τώρα κάτω από τη λίμνη Νάσερ στο πεδίο από δορυφορικές εικόνες. Επιπλέον, έχει αναφερθεί μία βάση δεδομένων, η οποία περιλαμβάνει επίσης πολλά λατομεία της μεσαιωνικής ισλαμικής εποχής στην ανατολική έρημο της Αιγύπτου. Αν και είναι ο πιο ολοκληρωμένος κατάλογος των αρχαίων αιγυπτιακών λατομείων που έχει δημοσιευθεί, αυτή η βάση δεδομένων εξακολουθεί να παραμένει ελλιπής. Επιπρόσθετα, η βάση δεδομένων δεν περιλαμβάνει λατομεία πριν από την Ύστερη Προδυναστική Περίοδο, όπως εκείνα της Παλαιολιθικής και της Νεολιθικής εποχής για εργαλεία που κατασκευάζονται από πυριτόλιθο (πυρόλιθο) και πυριτικό ψαμμίτη (χαλαζίτη). Υπάρχουν αναμφίβολα πολλά ακόμη λατομεία προς ανακάλυψη, καθώς και άλλα που θα παραμείνουν άγνωστα επειδή έχουν καταστραφεί από την αστική ανάπτυξη, τις σύγχρονες εκμεταλλεύσεις ή τις φυσικές καιρικές συνθήκες και τη διάβρωση.

Η εξόρυξη στα λατομεία της αρχαίας Αιγύπτου γινόταν συνήθως με επιφανειακές εκμεταλλεύσεις, σε ανοιχτούς λάκκους και τάφρους. Εκτός από τις εργασίες της «ανοιχτής υπαίθριας εκμετάλλευσης», σε ορισμένα λατομεία οι εργάτες κατά την εξόρυξη ακολουθούσαν τα προς εξόρυξη στρώματα πετρωμάτων κάτω από το έδαφος, και συνεπώς από τη διαδικασία αυτή δημιουργούνταν στοές λατομείων σαν σπηλιές. Οι μη λαξευμένοι βραχώδεις στύλοι παρέμεναν για να στηρίζουν το υπερκείμενο πέτρωμα στις μεγαλύτερες στοές, αλλά, εκτός από τους βραχώδεις στύλους, δεν ελήφθησαν άλλα μέτρα προστασίας με σκοπό την αποφυγή κατάρρευσης των γεωλογικών σχηματισμών. Οι στοές στα λατομεία είναι σχετικά κοινές για ασβεστόλιθο και τραβερτίνη, και τέτοιες ανασκαφές διεισδύουν τοπικά πάνω από 100 μέτρα σε πλαγιές λόφων. Εξαίρεση αποτελεί το λατομείο Gebel el-Silsila¹, στο οποίο δεν εξορύχθηκε ποτέ ψαμμίτης ή οποιοδήποτε είδος πετρωμάτων σκληρού λίθου. Υπάρχουν, ωστόσο, υπόγειες εργασίες, καθώς και νοιχτές τομές, σε όλα τα λατομεία σμαραγδιού, και σε ένα για πυριτόλιθο (Wadi elSheikh²), αλλά

¹ Όπου Gebel αναφέρεται σε λόφο / βουνό στην αρχαία Αίγυπτο

² Όπου Wadi αναφέρεται σε “ρέμα” που επικρατούν ξηρές συνθήκες δηλαδή, απουσία επιφανειακών υδάτων, που δε διαθέτουν υδάτινα χαρακτηριστικά και μεταφέρουν νερό μόνο μετά από πλημμύρες σε περιοχή της αρχαίας Αιγύπτου

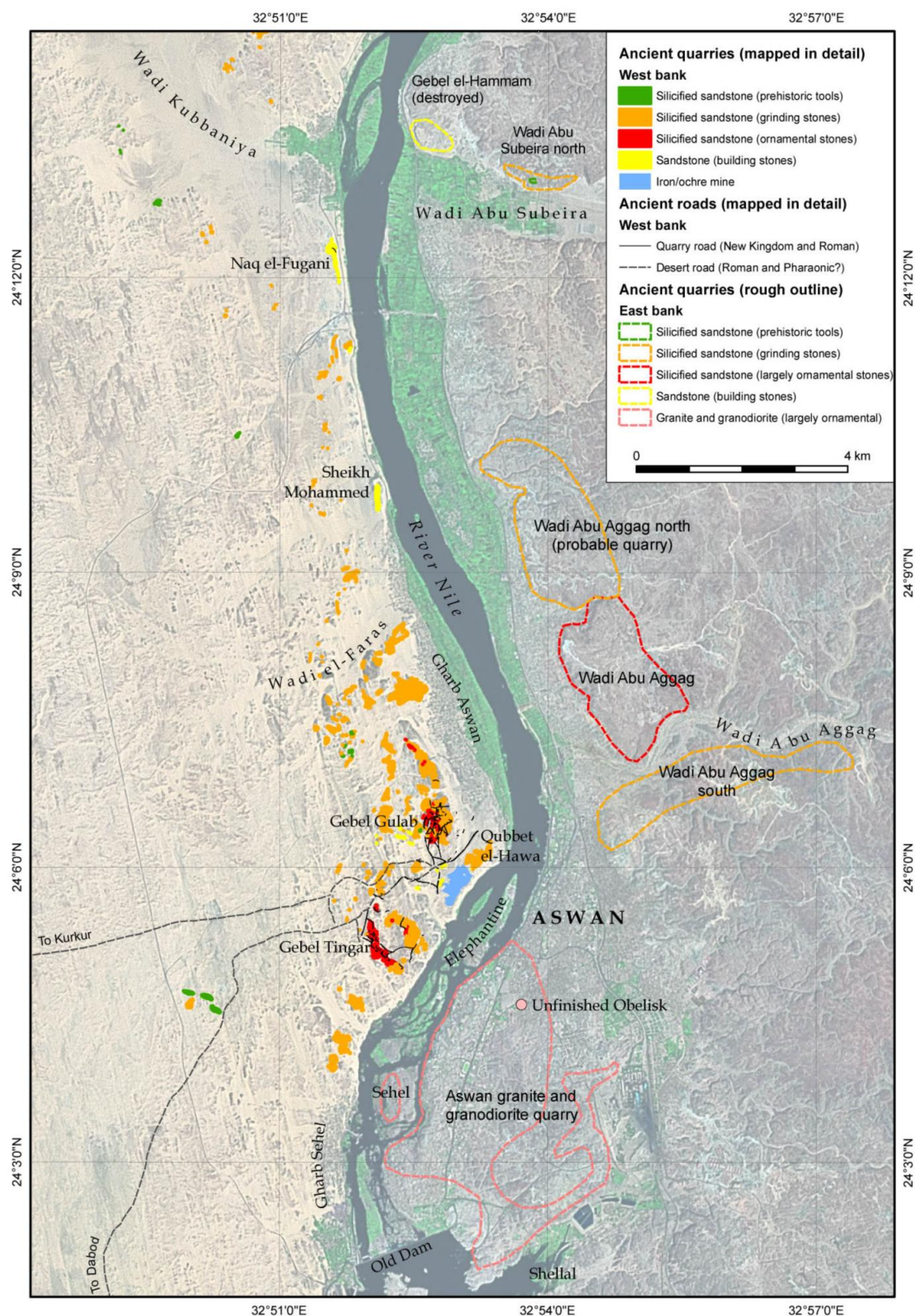
αυτά περιλαμβάνουν στενά φρεάτια και σήραγγες που μοιάζουν περισσότερο με αυτά που βρέθηκαν στα αρχαία αιγυπτιακά ορυχεία χρυσού ([Harrell and Storemyr, 2009](#)).

Αρχικά, οι μεταλλωρύχοι της ρωμαϊκής εποχής επέκτειναν τις υπόγειες εργασίες τους σε βάθος τουλάχιστον 137 μέτρων, ή ίσως 80 μέτρα κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα. Οι ρηχοί λάκκοι και οι τάφροι ήταν επίσης κοινοί, αλλά τώρα είναι ως επί το πλείστον κρυμμένοι ή δεν αναγνωρίζονται. Τα αρχαία ορυχεία λειτουργούσαν περίπου από το 20 π.Χ. μέχρι περίπου το 80 μ.Χ., ή κατά τη διάρκεια της βασιλείας των αυτοκρατόρων Αυγούστου μέσω του Βεσπασιανού. Ωστόσο τα έργα της ρωμαϊκής εποχής παρατηρήθηκαν καλύτερα όταν λειτουργούσαν τα σύγχρονα ορυχεία και μερικά ρωμαϊκά δημιουργήματα ανακτήθηκαν από το βάθος. Επομένως, η ασφαλής εξέταση των εργασιών του ρωμαϊκού ορυχείου θα μπορούσε να δώσει ανεκτίμητες πληροφορίες.

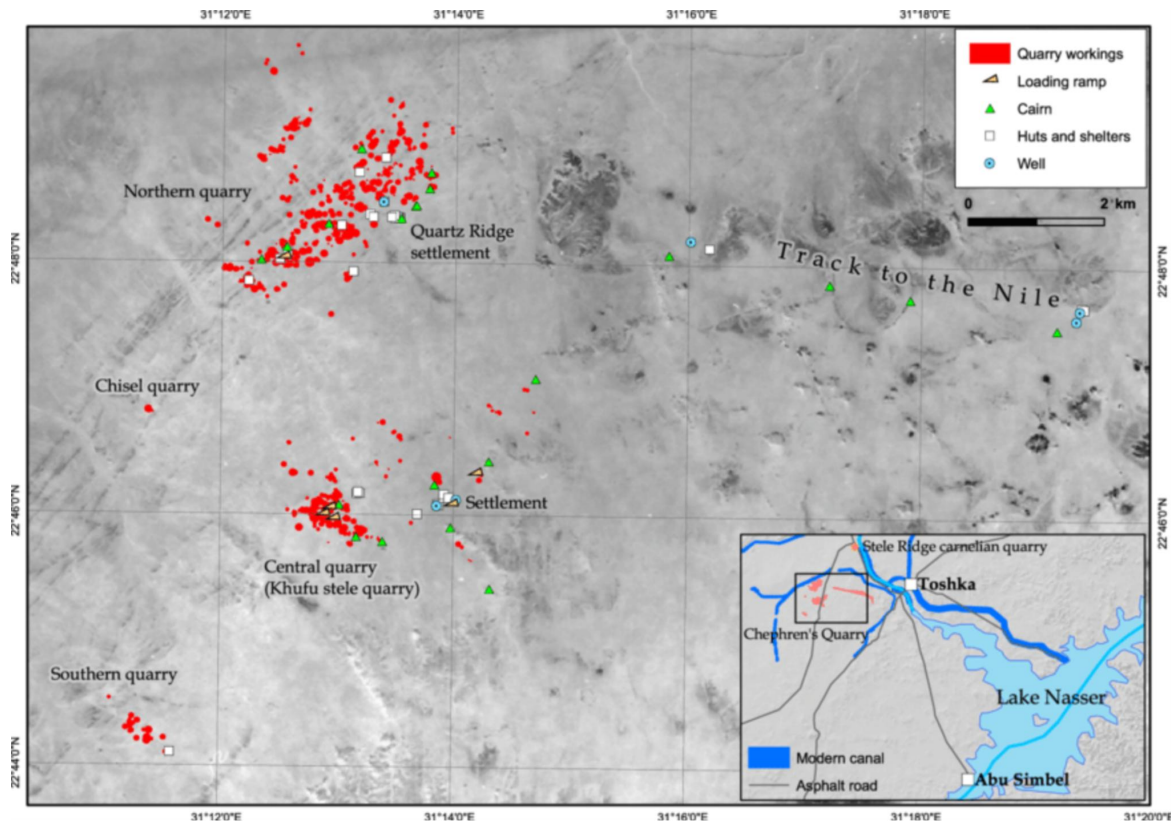
Παρά τους περιορισμούς, είναι δυνατό να αναπτυχθεί μια εικόνα της ρωμαϊκής εξόρυξης. Οι Ρωμαίοι χρησιμοποίησαν τρεις τεχνικές για την ανάκτηση των μετάλλων. Σύμφωνα με τον Πλίνιο, για παράδειγμα ο χρυσός μπορούσε να βρεθεί με τρεις τρόπους. Ο πρώτος ήταν στις αποθέσεις των ποταμών, ο δεύτερος ήταν να τον εξορύξουν από φρεάτια που έχουν εκσκαφτεί και ο τρίτος, ο πιο δύσκολος και πιο επικίνδυνος τρόπος ήταν να τον αναζητήσουν στα συντρίμια των βουνών που ανασκάπτονταν. Αντίθετα, το λιγότερο δύσκολο ήταν η επιφανειακή εξόρυξη, όπου το μέταλλευμα ήταν διαθέσιμο στην επιφάνεια, είτε σε κοίτες ρεμάτων, είτε εκτεθειμένο στο έδαφος, χρησιμοποιώντας την τεχνική που ονομάζεται «opencast» (μέθοδος ανοιχτής εξόρυξης). Ωστόσο, οι Ρωμαίοι δεν είχαν θεωρητική γνώση της γεωλογίας, αλλά αυτοί (όπως και οι Έλληνες πριν από αυτούς) έκαναν παρατηρήσεις που τους βοήθησαν να εντοπίσουν πηγές μεταλλεύματος. Συνεπώς, όλες αυτές οι μέθοδοι βοήθησαν τους Ρωμαίους να εντοπίσουν πιθανές αποθέσεις. Οι ίδιες τεχνικές χρησιμοποιήθηκαν επίσης και στο ορυχείο Reed, όπου ένα μεταλλοφόρο έδαφος ενθάρρυνε την επιφανειακή εκσκαφή, και τελικά την ανασκαφή αυλακώσεων και φρεατίων στο λόφο. Τέλος, οι ερευνητές της αποικιακής εποχής βασίζονταν σε επιφανειακά σημάδια παρόμοια με αυτά που παρατηρούσαν οι Ρωμαίοι ([Ancient mining, 2023](#)).

Βλέποντας κανείς τους χάρτες των αρχαίων λατομικών χώρων, που φαίνονται παρακάτω, και κυρίως τις *Εικόνες 3.1 και 3.2*, μπορεί να διακρίνει ότι οι χώροι εξόρυξης μπορεί να είναι μεγάλοι, τοπικά περισσότερο από αρκετές δεκάδες τετραγωνικά χιλιόμετρα. Πιο συγκεκριμένα, στην *Εικόνα 3.1*, φαίνονται τα αρχαία ορυχεία ψαμμίτη, ταξινομημένα κατά χρώμα, δηλαδή, το πράσινο χρώμα δηλώνει τον ψαμμίτη που κόπηκε με προϊστορικά εργαλεία, το πορτοκαλί χρώμα τα ψαμμιτικά πετρώματα λείανσης, το κόκκινο χρώμα τα διακοσμητικά πετρώματα, το κίτρινο χρώμα αφορά τα πετρώματα ψαμμίτη για οικοδομικές κατασκευές, ενώ τέλος, εμφανίζονται με μπλε χρώμα τα ορυχεία σιδήρου. Επίσης, στην *Εικόνα 3.2* φαίνεται ο χάρτη εργασιών του λατομείου Chephern και ειδικότερα με κόκκινο χρώμα είναι οι εργασίες του λατομείου, τα κίτρινα τρίγωνα, τα πράσινα

τρίγωνα και τα άσπρα τετράγωνα αναφέρονται σε διάφορες υποδομές της περιοχής, ενώ οι μπλε κύκλοι δηλώνουν τα πηγάδια της περιοχής. Τέλος, στην *Εικόνα 3.2* υπάρχει και ένας χάρτης για καλύτερο προσανατολισμό του αρχαίου λατομείου στη περιοχή Toshka.



Εικόνα 3.1: Χάρτης που απεικονίζει αρχαία λατομεία καλύπτοντας μία έκταση περίπου 100km² στο Ασουάν της Αιγύπτου (Harrell and Storemyr, 2009).

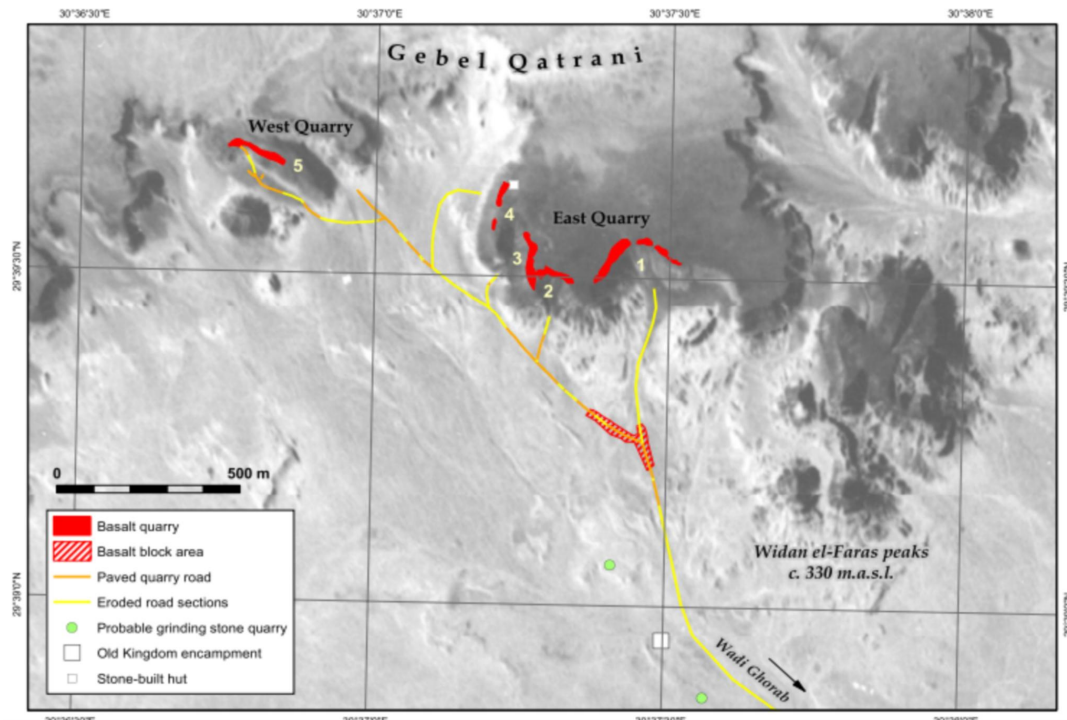


Εικόνα 3.2: Χάρτης του λατομείου Chephern που απεικονίζει σχεδόν 700 εργασίες και τις σχετικές υποδομές (Harrell and Storemyr, 2009).

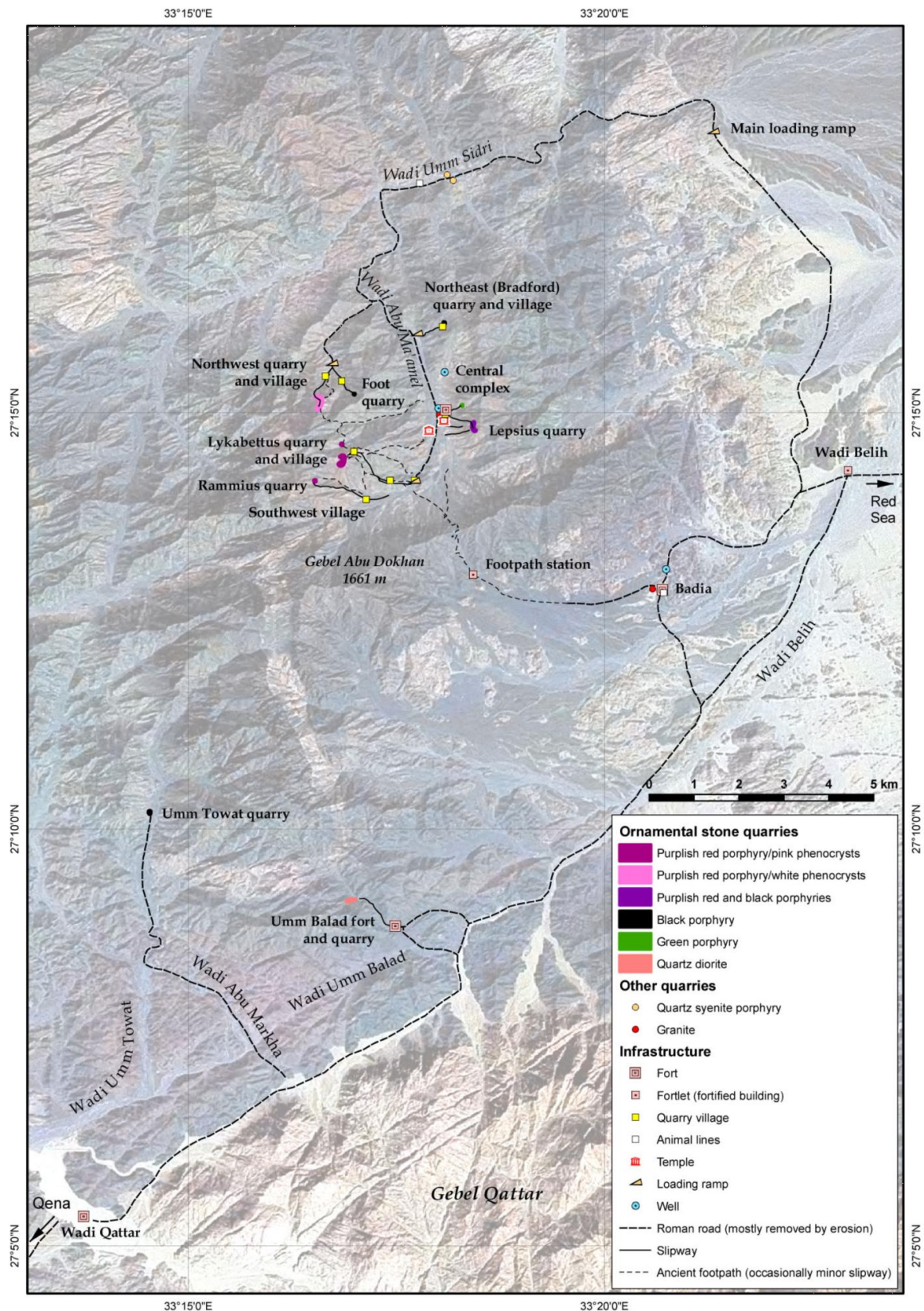
Στην Εικόνα 3.3, απεικονίζονται οι περιοχές των εξορυκτικών δραστηριοτήτων και πιο συγκεκριμένα, με το κόκκινο χρώμα είναι τα λατομεία βασάλτη, με το διακεκομμένο κόκκινο οι περιοχές των μπλοκ βασάλτη, και τέλος με το κίτρινο και το πορτοκαλί χρώμα απεικονίζονται οι δρόμοι του λατομείου. Ακόμα, στην Εικόνα 3.4, εκτός από τους δρόμους και τις υποδομές αλλά και τις περιοχές εργασίας, απεικονίζονται τα λατομεία γρανίτη Wadi Abu Ma'amel και Badia, τα λατομεία διορίτη - χαλαζία Wadi Umm Badia, καθώς και τα λατομεία πορφυρίτη - τραχυανδεσίτη Wadi Umm Towat. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, πολλές φορές να σχηματίζονται πολύπλοκα συμπλέγματα μεταξύ τους όσον αφορά στην κατανομή και σε άλλα χαρακτηριστικά.

Επιπλέον, έχουν τροποποιήσει συχνά το περιβάλλον σε τέτοιο βαθμό, που από φυσική άποψη, μπορεί να αναφερθεί σαν ένα «αρχαίο λατομικό τοπίο». Η τεράστια πλευρική έκταση ορισμένων λατομείων καθώς και ο μεγάλος αριθμός των λατομείων συνολικά είναι δύο από τις μεγαλύτερες προκλήσεις στις σημερινές προσπάθειες διατήρησης, ειδικά αφού η γη γίνεται δυσεύρετη στην Αίγυπτο. Όταν καταστρέφονται μικρότερα (ή μεγαλύτερα) κομμάτια ενός λατομικού τοπίου, το πλαίσιο του μπορεί να χαθεί και ίσως να καταστεί αδύνατο να ανακατασκευαστεί όταν προσπαθήσει κανείς να ερμηνεύσει τον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιήθηκε και αντιλήφθηκε στην αρχαιότητα. Ο όρος «λατομικό τοπίο» μπορεί επίσης να θεωρηθεί ως μία ερευνητική προοπτική για την κοινωνική και πολιτιστική σημασία που είχαν κάποτε τέτοια μέρη, δηλαδή, οι σχέσεις μεταξύ

των διαφορετικών λατομείων και οι δεσμοί τους με γειτονικά χωριά διατηρήθηκαν από τους ανθρώπους που διέσχιζαν, εργάστηκαν και διευθέτησαν το φυσικό τοπίο, ανταλλάσσοντας ιδέες και υλικά αντικείμενα, όπως εργαλεία. Τα λατομεία σχετίζονταν επίσης έντονα με τα μέρη όπου χρησιμοποιήθηκαν οι πέτρες, και πάλι από ανθρώπους για τους οποίους η πέτρα ήταν σημαντική.



Εικόνα 3.3: Λεπτομερής χάρτης του λατομείου βασάλτη Widan el-Faras που δείχνει τις περιοχές εργασιών, το δίκτυο διακλαδώσεων, κυρίως ασφαλτοστρωμένους λατομικούς δρόμους και άλλες σχετικές υποδομές ([Harrell and Storemyr, 2009](#)).



Εικόνα 3.4: Χάρτης του λατομείου πορφυρίτη-ανδεσίτη-δακίτη στη βορειοκεντρική ανατολική έρημο, που δείχνει τις περιοχές με τις εργασίες λατομείου, καθώς και επιλεγμένους δρόμους και άλλες υποδομές (Harrell and Storemyr, 2009).

Στη Ρωμαϊκή Περίοδο, ωστόσο, και πιθανώς ήδη από την Πτολεμαϊκή Περίοδο (305 π.Χ. - 30 π.Χ.), τα βαγόνια που σέρνονταν από ζώα ήταν το κύριο μέσο χερσαίας μεταφοράς για την εξόρυξη

πετρωμάτων και αυτή η μέθοδος έγινε πρακτική, χάρη σε ένα εκτεταμένο, καλοφτιαγμένο δίκτυο δρόμων (ξεκάθαρες, μη ασφαλτοστρωμένες διαδρομές) που συνέδεαν τα λατομεία της ερήμου με την κοιλάδα του Νείλου. Τέλος, σε όλες τις περιόδους και για όλους τους λίθους, τα λατομικά προϊόντα ήταν τουλάχιστον χοντροκομμένα επί τόπου και περιστασιακά λαξεύονταν σε σχεδόν λειασμένη κατάσταση, γεγονός που όχι μόνο μείωνε το βάρος του βράχου για μεταφορά, αλλά αποτελούσε και πλεονέκτημα σχετικά με την απομάκρυνση των στείων πετρωμάτων πριν από τη μεταφορά από το λατομείο ([Harrell and Storemyr, 2009](#)).

Συμπληρωματικά, κατά τη ρωμαϊκή περίοδο, υπάρχουν αναφορές για την Ελλάδα και συγκεκριμένα για το νησί της Πάρου, στο οποίο εξορυσσόταν παριανό μάρμαρο στα αρχαία λατομεία στο όρος Μάρπησσα, στο κέντρο του νησιού της Πάρου ([Marinos et al., 2019](#)). Η εξόρυξη του μαρμάρου γινόταν με δύο τρόπους, με υπαίθρια μέτωπα και υπόγειες στοές. Συγκεκριμένα, η υπόγεια λατόμευση που γινόταν σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία, στη θέση «Μαράθι», όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, στις δύο πλευρές μίας μικρής κοιλάδας, από τα υπόγεια λατομεία των σπηλαίων των Νυμφών και του Πανός. Η εξόρυξη του μαρμάρου γινόταν υπόγεια μέσα από δύο κατηφορικές στοές, οι οποίες ενώνονται μεταξύ τους στο βάθος και υπάρχουν δευτερεύουσες στοές που διακλαδίζονται. Το νοτιότερο μέρος του λατομείου είναι το αρχαιότερο και το βορειότερο το νεώτερο. Η νότια στοά, έχει σαν είσοδο το άνοιγμα σπηλαίου, που είναι γνωστό σαν σπήλαιο των Νυμφών εξαιτίας του αναγλύφου που είναι λαξευμένο στο φυσικό βράχο. Επιπλέον, σε απόσταση 600 μέτρα νοτιότερα του λατομείου των Νυμφών βρίσκεται ένα ακόμη υπόγειο λατομείο, γνωστό ως το λατομείο του Πανός, που έχει σχεδόν τις ίδιες διαστάσεις με εκείνο των Νυμφών. Από τα υπόγεια λατομεία των Νυμφών και του Πανός εξορυσσόταν το περίφημο παριανό μάρμαρο, με τη λεπτόκοκκη κρυσταλλική δομή, που ονομαζόταν «λυχνίτης», το οποίο χρησιμοποιούνταν κυρίως στη γλυπτική ([Δετοράτου, 2013](#)).



Εικόνα 3.5: Υπόγεια στοά στο Μαράθι Πάρου ([Κατσωνοπούλου, 2019](#)).

Αφήνοντας πίσω την Ρωμαϊκή Εποχή και την Αίγυπτο, αξίζει να σημειωθεί ότι η εξόρυξη των ορυχείων και πιο συγκεκριμένα της Ευρώπης, με κυριότερα το λατομεία στη Γαλλία και τη Γερμανία, εξελίχθηκε όσον αφορά τις μεθόδους αλλά και τα εργαλεία της εξόρυξης, δημιουργώντας χάρτες και αυξάνοντας την παραγωγή των ορυχείων.

3.2. Η εξόρυξη στα λατομεία της Γαλλίας και της Γερμανίας

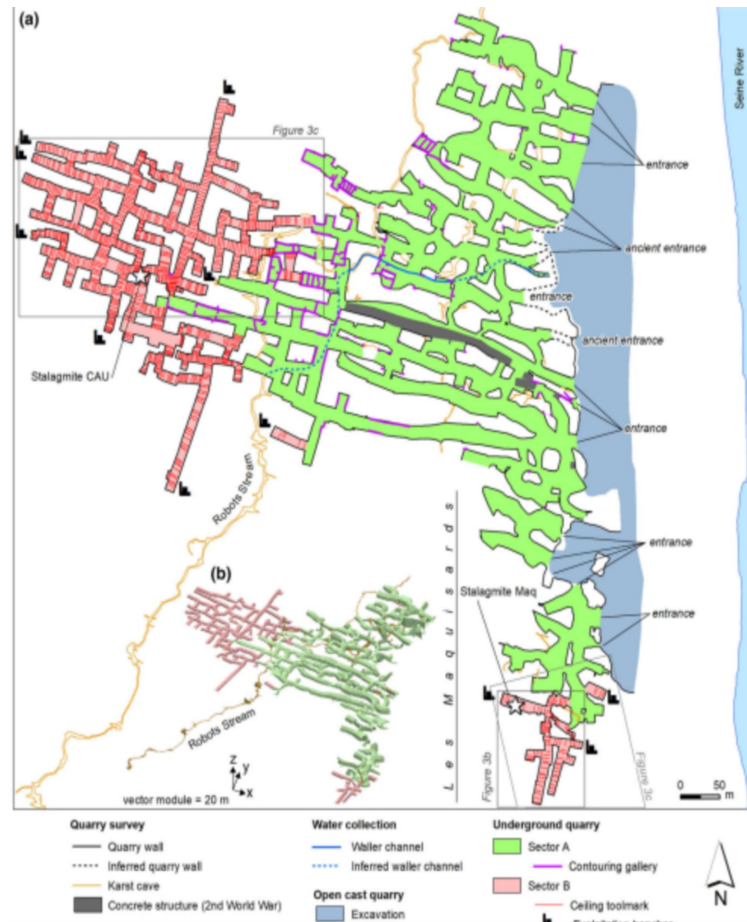
Πολλά πρώιμα υπόγεια λατομεία της Ευρώπης, μπορούν να εντοπιστούν στην Εποχή του Χαλκού (2000 – 1000 π.Χ.). Μερικά από αυτά τα λατομεία εξόρυξαν πετρώματα συνεχίζοντας μέχρι τον δέκατο όγδοο αιώνα. Ένα γνωστό παράδειγμα είναι το υπόγειο δίκτυο των λατομείων στο Παρίσι. Στα νότια του Παρισιού, το υπόγειο λατομείο εξόρυξης Montrouge λειτουργούσε από τον δωδέκατο αιώνα, ενώ μέχρι τον δέκατο ένατο αιώνα ήταν ακόμη σε εξέλιξη. Επίσης, βόρεια του Παρισιού, στη Μονμάρτη, στα ορεινά Belleville και Chaumont εξόρυσσαν γύψο από τον Μεσαίωνα.

Αναλυτικά, μία τοπογραφική έρευνα δύο διαστάσεων καθώς και δύο τρισδιάστατα μοντέλα του λατομείου Caumont, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.6, ολοκληρώθηκαν για τη δημιουργία ενός βασικού χάρτη του λατομείου και τη διεξαγωγή χωρικής ανάλυσης της γεωμετρίας του λατομείου και των τεχνικών εκσκαφής. Ο όγκος του λατομείου Caumont μοντελοποιήθηκε σε χαμηλή και υψηλή ανάλυση. Το τρισδιάστατο μοντέλο χαμηλής ανάλυσης περιλαμβάνει ολόκληρες τις στοές που ανασκάφτηκαν. Αντιθέτως, το τρισδιάστατο μοντέλο υψηλής ανάλυσης περιλαμβάνει μόνο ένα μέρος του συστήματος του λατομείου Caumont (Les Maquisards) και ολοκληρώθηκε για τον εντοπισμό πιο συγκεκριμένων τεχνικών, όπως για παράδειγμα, η αλλαγή προτύπων στο σύστημα εκμετάλλευσης.

Ωστόσο με την πάροδο του χρόνου οι μέθοδοι του λατομείου εξελίχθηκαν, με σκοπό να αυξηθεί η παραγωγή των πετρωμάτων, η φαινομενική ανακύκλωση των απορριμμάτων και κατά συνέπεια η κερδοφορία της εξόρυξης λίθων. Τα ποσοστά παραγωγής του Caumont εξακολουθούν να είναι κοντά στα ποσοστά που υπολογίζονται σε άλλα ιστορικά υπόγεια λατομεία.

Η εξειδίκευση των λατομικών διαδικασιών στο Caumont επέτρεψε την εκσκαφή ενός τεράστιου υπόγειου λατομείου από την πρώιμη μεσαιωνική περίοδο έως τις αρχές του εικοστού αιώνα. Η συνολική επιφάνεια του συστήματος του λατομείου Caumont (μεγαλύτερη από 60.000 m²) είναι διπλάσια από την επέκταση των μεγαλύτερων υπόγειων σπηλαίων, τόσο της Κίνας, όσο και της Μέσης Ανατολής, που χρονολογούνται από την Εποχή του Χαλκού έως την Αρχαιότητα. Γενικά, η γεωμετρία των στοών Caumont είναι πιο τακτική και ομοιόμορφη από άλλες εκμεταλλεύσεις της Αρχαιότητας, με αποτέλεσμα τη δημιουργία συστηματικών και τυποποιημένων λατομικών διαδικασιών που χρησιμοποιήθηκαν στο Caumont κατά τη διάρκεια του Μεσαίωνα ([Ballesteros et](#)

[al., 2022](#)).



Εικόνα 3.6: (α) Χάρτης του λατομείου Caumont που δείχνει την υπαίθρια περιοχή και τους υπόγειους τομείς Α και Β, καθώς και τις αναχαιτισμένες καρστικές σπηλιές που μελετήθηκαν από τους Nehme et al. (2020). Ο χάρτης προέκυψε από τη διδιάστατη τοπογραφική έρευνα του λατομείου que. (β) Τρισδιάστατο μοντέλο χαμηλής ανάλυσης του υπόγειου λατομείου Caumont (Ballesteros et al., 2022).

Από την άλλη πλευρά, στη Γερμανία, η πρώτη, αν και αβέβαιη, αναφορά στην υπόγεια εξόρυξη προέρχεται από τη μίσθωση που δόθηκε στο μοναστήρι Maria Laach για το λατομείο Niedermendig το 1389. Επίσης, μία μίσθωση το 1408 παρέχει μια περαιτέρω ένδειξη για το πεδίο του λατομείου Mayen.

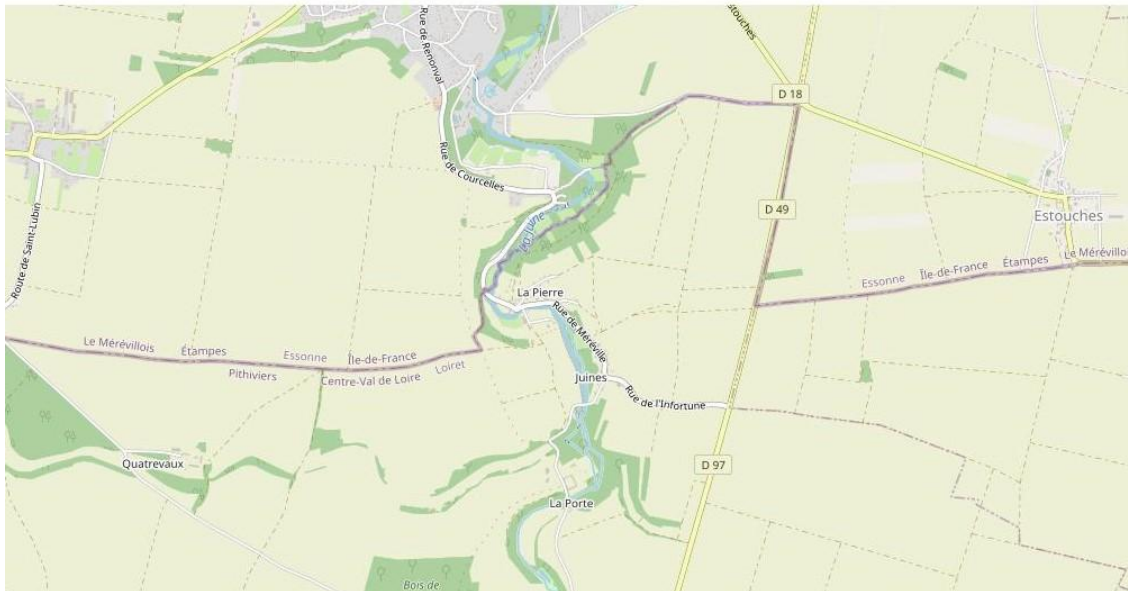
Εκτός από τις παραπάνω μισθώσεις, υπάρχει και η σύμβαση του 1532 σχετικά με το λατομείο Niedermendig, η οποία αναφέρεται στη συμφωνία για την είσοδο στο νέο λατομείο χρησιμοποιώντας ένα γειτονικό, ήδη υπάρχον λατομείο. Αυτό είναι χαρακτηριστικό για τα παλιά λατομεία, τα οποία αποτελούνται από μεγάλους υπόγειους δρόμους μεταφορών. Ωστόσο, τα πρώτα ευρήματα της αρχαίας λιθοδομής Siegburg σε παλιά λατομεία σηματοδοτούν την έναρξη της υπόγειας εξόρυξης, τόσο στο Mayen όσο και στο Niedermendig τον δέκατο έκτο αιώνα.

Καθώς η τεχνική εμπειρία αυξανόταν, τα υπόγεια λατομεία γίνονταν όλο και μεγαλύτερα μέχρι που οι μεταλλωρύχοι άφησαν μόνο τους μονούς πυλώνες από βασάλτη που ονομαζόταν

«Glocken» για να συγκρατεί την οροφή. Αν και αυτή η νέα μέθοδος της υπόγειας εκμετάλλευσης θα μπορούσε να θεωρηθεί αρχικά ασυνήθιστη και επικίνδυνη, η τεχνική επιβίωσε και συνέχισε να χρησιμοποιείται. Με την τεχνική αυτή, δεν ήταν πλέον απαραίτητο να αφαιρεθούν τα παχιά στρώματα του επιφανειακού εδάφους (8-20 m), ούτε οι τεράστιες ποσότητες των απορριμμάτων του λατομείου που είχαν απομείνει κατά τα προηγούμενα στάδια της εξόρυξης. Συνεπώς, αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη μεγάλων συνδεδεμένων υπόγειων επιφανειών λατομείου. Κατά τη διάρκεια της εξόρυξης, ο χώρος των παλαιότερων εγκαταλελειμμένων έργων θα γέμιζε με απορρίμματα λατομείου και με συντρίμια. Μετά τις αρχές του δέκατου ένατου αιώνα δεν υπήρχαν πλέον σκάλες για την είσοδο στα λατομεία στο Mayen. Από εκείνη την εποχή και μετά, οι εργάτες του λατομείου χρησιμοποιούσαν μακριές ξύλινες σκάλες για να κατεβαίνουν μέσα από τα φρεάτια. Αντίθετα, στο Niedermendig οι σκάλες ήταν σε κοινή χρήση μέχρι τον εικοστό αιώνα. Ο χάρτης της τοπικής αρχής της εξόρυξης του λατομείου Niedermendig δείχνει πάνω από 41 τέτοιες σκάλες εισόδους. Στο Mayen, τα φρεάτια βυθίζονταν κάθε 10 έως 15 μέτρα. Αυτό έγινε προκειμένου να αποτραπεί η ανάπτυξη των υπόγειων στοών που ήταν υπερβολικά μεγάλες σχετικά με τις μεταφορές. Επίσης, στο Niedermendig, τα σχέδια των λατομείων ήταν πολύ πιο περίπλοκα, και οι αποστάσεις κυμαίνονται μεταξύ 20-30m. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, τα φρεάτια γέμισαν με συντρίμια από την παραγωγή μολόπετρας και οικοδομικών λίθων.

Μετά από έρευνα στο Mayen, τον Ιούλιο του 2006 τεκμηριώθηκαν 2,22 εκτάρια υπόγειων λατομείων και σήμερα, τα κλειστά λατομεία βρίσκονται σε εμπορική ιδιοκτησία. Τα αποτελέσματα των νέων ερευνών, έδειξαν ότι μετά τον τελευταίο χάρτη που δημιουργήθηκε από τις εξορυκτικές αρχές το 1876, αναπτύχθηκαν μεγάλες περιοχές υπόγειας εξόρυξης. Η επέκταση των υπόγειων επιφανειών ήταν κυρίως αποτέλεσμα της αυξανόμενης πυκνότητας της εξόρυξης. Μαζί με τα 300 φρεάτια που συντάχθηκαν στον χάρτη από το 1876, μέχρι τώρα μπορούσαν να εντοπιστούν 450 φρεάτια στο λατομείο Mayen. Με το τέλος της έρευνας, ο αριθμός αυτός μπορεί να φτάσει σίγουρα τα 500 φρεάτια. Τα περισσότερα από αυτά τα πρώην φρεάτια, είναι πλέον γεμισμένα, χτισμένα ή καθαρισμένα. Η πλήρωση ενός φρεατίου, υπό κανονικές συνθήκες, θα γινόταν αμέσως μετά το τέλος της χρήσης του. Σήμερα, πέντε φρεάτια παραμένουν ανοιχτά. Λόγω της παρουσίας καλών χαρτών, μπορούσε να προ μελετηθεί η σχέση μεταξύ της εξαγόμενης επιφάνειας και του εναπομείναντος υλικού. Τέλος, αποδείχθηκε ότι στο Mayen το 15% - 17% του υλικού έμεινε πίσω σε πυλώνες, ενώ στο Niedermendig το ποσό αυτό ήταν ελαφρώς υψηλότερο από 23% ([Kling, 2008](#)).

Συνεπώς, ακόμη και τον δέκατο ένατο αιώνα, ο χάρτης Tranchot (1809) της περιοχής απεικονίζει τεράστιες χωματερές, λατομεία και κατασκευές τάφρων, που εξακολουθούσαν να φαίνονται στο τοπίο ως υπολείμματα των εκτεταμένων μεσαιωνικών λατομικών δραστηριοτήτων ([Kling, 2008](#)).



Εικόνα 3.7: Τοπογραφικός χάρτης Tranchot (Topographic Maps, 2024).

3.3. Η ιστορία της τοπογραφικής έρευνας των ορυχείων στον κόσμο

Η εξόρυξη και οι δραστηριότητες που σχετίζονται με αυτή, εκτός από την Γαλλία και τη Γερμανία, ανήκουν στους παλαιότερους τεχνικούς κλάδους που επηρέασαν την ανάπτυξη των κρατών. Ένα πεδίο το οποίο συνδέεται άμεσα με τις μεταλλευτικές δραστηριότητες είναι η τοπογραφία των ορυχείων και συνεπώς το επάγγελμα του επιθεωρητή των ορυχείων.

Αναλυτικότερα, οι χάρτες των ορυχείων παρέχουν πληροφορίες που βασίζονται στην άριστη γνώση και εμπειρία παλαιών επιθεωρητών ορυχείων ή ειδικών στις εξορύξεις, και πολλοί ιστορικοί χάρτες ορυχείων συνέβαλαν στην ανακάλυψη παλαιών πλημμυρισμένων ορυχείων και σε διάφορες εξερευνήσεις. Οι ιστορικοί ή οι παλαιότεροι χάρτες χρησιμοποιούνται ευρέως με σκοπό την εκ νέου ανακάλυψη των παλαιών δραστηριοτήτων, όπως για παράδειγμα στα ορυχεία λιγνίτη, τα οποία ανασκάπτονται με τη μέθοδο της υπαίθριας εξόρυξης.

Οι εργασίες της τοπογραφίας των ορυχείων αναφέρονται σε αρχαίους πολιτισμούς, όπως της Αιγύπτου, της Βαβυλώνας, της Κίνας και της Ινδίας, δηλώνοντας πως οι μεγάλες κατασκευές όπως οι πυραμίδες, τα έργα νερού και οι ναοί δε θα είχαν δημιουργηθεί χωρίς τους επιθεωρητές. Επιπλέον, η ιστορία της τοπογραφίας των ορυχείων έχει τεκμηριωθεί από τον δεύτερο αιώνα π.Χ., από την αρχαία Ρώμη. Από τότε έχουν σωθεί διάφορα έργα ορυχείων που όχι μόνο αποδεικνύουν τις εξορυκτικές ικανότητες, αλλά παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τις ικανότητες των τοπογράφων, που ήταν υπεύθυνοι για τα ορυχεία εκείνη την εποχή. Επίσης, η σύνδεση μεταξύ του ορυχείου και των επιφανειών, καθώς και οι εργασίες που σχετίζονται με αυτές τις δραστηριότητες περιγράφηκαν από τον Ήρωνα της Αλεξάνδρειας τον 2ο αιώνα π.Χ.

Ένας από τους παλαιότερους γνωστούς χάρτες εξόρυξης χρυσού στην Αίγυπτο χρονολογείται περίπου στο 1500 π.Χ. Η παρακάτω Εικόνα (3.8) απεικονίζει το αριστερό τμήμα του πρώτου γεωλογικού χάρτη της Αιγύπτου, ο οποίος δημιουργήθηκε περίπου το 1150 π.Χ., και πλέον φυλάσσεται στο Αιγυπτιακό Μουσείο του Τορίνο. Αξίζει να αναφερθεί το γεγονός, πως πριν εμφανιστούν οι πραγματικοί χάρτες εξόρυξης τον δέκατο έκτο αιώνα στην Αυστρία και στη Γερμανία, οι αρχικές σχέσεις που αφορούσαν τα μεταλλευτικά έργα καθώς και άλλες γνώσεις των μεταλλευτικών δραστηριοτήτων, απεικονίζονταν σε κλίμακα 1:1.



Εικόνα 3.8: Αριστερό τμήμα του πρώτου γεωλογικού χάρτη της Αιγύπτου.

Επομένως, σύμφωνα με το Stadt archaeologie-hall (2012) μπορεί να αναφερθεί ότι ένας από τους παλαιότερους γνωστούς χάρτες εξόρυξης στην Αυστρία, ήταν αυτός των αλατωρυχείων στο Tyrolean Halle, από το 1531. Είναι ο πρώτος χάρτης των αλατωρυχείων του Χάλστατ, και θεωρείται ως μία καινοτομία στην ιστορία της αλπικής εξόρυξης αφού δεν έχουν σωθεί άλλοι χάρτες εξόρυξης σε όλη την επικράτεια. Ακόμη ένας χάρτης ενός αλατωρυχείου στο Σάλτσμπουργκ χρονολογείται στο 1534 ([Ovesná et al., 2017](#)) .

3.4. Η ανάπτυξη των χαρτών εξόρυξης στην Κεντρική Ευρώπη

Η ανάπτυξη της τοπογραφίας των ορυχείων στην Τσεχία συνδέεται στενά με την ανάπτυξη των μεταλλευτικών δραστηριοτήτων της Βοημίας, η οποία έχει μακρόχρονη παράδοση. Πιο αναλυτικά, ήδη από τον δέκατο τρίτο και τον δέκατο τέταρτο αιώνα οι εργάτες στην Kutná Hora

αντιμετώπιζαν διάφορα ζητήματα, τα οποία άρχισαν να αντιμετωπίζουν άλλα έργα ορυχείων πολλούς αιώνες αργότερα. Εκείνη την εποχή οι μεταλλωρύχοι μπορούσαν να εξορύσουν από δύο έως πέντε τόνους αργύρου σε ετήσια βάση, και οι λάκκοι των ορυχείων είχαν βάθους 300-400 μέτρα. Καθώς οι εξορυκτικές δραστηριότητες εξελίσσονταν συνεχώς, αυξανόταν και η ζήτηση για επιθεωρητές ορυχείων. Αυτό είχε σαν συνέπεια τη δημιουργία ιδρυμάτων σχετικά με την τοπογραφία στην Kutná Hora και την Τζιχλάβα.

Στα τέλη του δέκατου πέμπτου αιώνα, εμφανίζονται οι πρώτες πληροφορίες σχετικά με τα χαρτογραφικά έργα των μεταλλείων στην Τσεχία. Στοιχεία αυτών βρίσκονται στο Kutnohorský antifonář του 1471 και αλλού. Οι χάρτες που αφορούν στην εξόρυξη της Kutná Hora ανήκουν όχι μόνο στους παλαιότερους χάρτες στην επικράτεια, αλλά και στα ιστορικά μνημεία εξόρυξης στην Kutná Hora, όπως δείχνουν οι παρακάτω *Εικόνες 3.9* και *3.10*, όπου φαίνονται απεικονίσεις της εξορυκτικής δραστηριότητας. Ο παλαιότερος και ο πιο σημαντικός χάρτης εξόρυξης στη Βοημία είναι ο χάρτης των μεταλλευμάτων, ο οποίος δείχνει την οριζόντια διαδρομή προς την επιφάνεια στην Poličany στην Kutná Hora, η οποία ξεκίνησε το 1534. Αυτός ο χάρτης καταγράφει σχεδόν όλες τις σημαντικές αρχές της εξορυκτικής χαρτογραφίας. Επίσης, ο χάρτης τοποθεσίας ονομάζεται και “χάρτης κλίσης” και μπορεί να θεωρηθεί ένας από τους παλαιότερους στον κόσμο, και το πρωτότυπό του βρίσκεται στο κρατικό περιφερειακό αρχείο στην Kutná Hora.

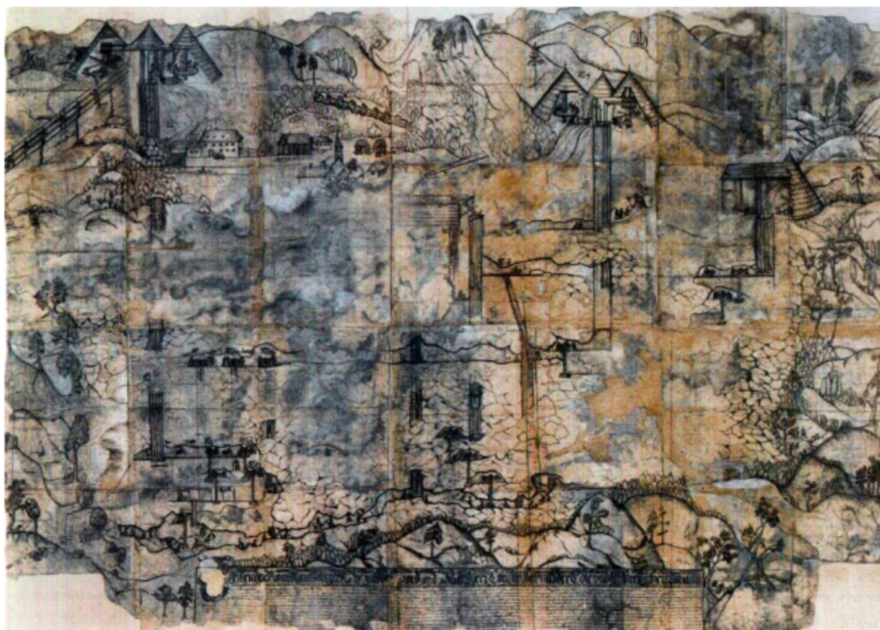


Εικόνα 3.9: Εισαγωγικό φύλλο του Kutnohorský antifonář με μία απεικόνιση της εξόρυξης στην Kutná Hora (Ovesná et al., 2017).



Εικόνα 3.10: Λεπτομερής απεικόνιση της εξορυκτικής εργασίας στη Kutná Hora (Ovesná et al., 2017).

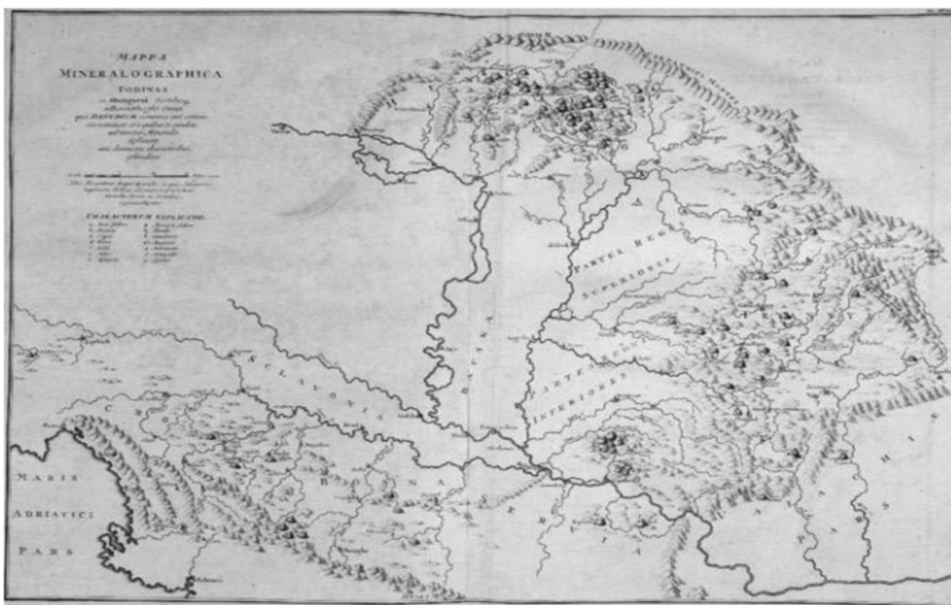
Επιπλέον, μεταξύ των παλαιότερων χαρτών εξόρυξης στην Κεντρική Ευρώπη μπορεί να συμπεριληφθεί ένας μοναδικός χάρτης Freiberg του 1529, κατασκευασμένος από τον δήμαρχο Köhler. Δυστυχώς, όμως το πρωτότυπο αντίγραφό του δε σώθηκε, παρά μόνο ένα αντίγραφο του δέκατου έβδομου αιώνα. Ένα από τα πρώτα έργα της τσέχικης και ευρωπαϊκής μεταλλευτικής χαρτογραφίας ήταν η στοά του Rudolf στην Πράγα. Το 1593 ο Isaac Phendler άρχισε να σχεδιάζει έναν χάρτη της στοάς του Rudolf, και κατέγραφε την πορεία της εργασίας καθ όλη τη διάρκεια της διαδικασίας διάνοιξης της σήραγγας κάθε εβδομάδα. Ο χάρτης σχεδιάστηκε πολύ προσεκτικά σε ένα κομμάτι περγαμηνής πλάτους 198 mm και μήκους περίπου 2420 mm και πάνω του είχαν σημειωθεί οι συναντήσεις των μεταλλωρύχων κατά τη διάνοιξη της σήραγγας με ακριβείς ώρες (Ovesná et al., 2017).



Εικόνα 3.11: Ο παλαιότερος χάρτης στη Σλοβακία (Ovesná et al., 2017).

Επιπλέον, ο Johann Christoph Müller (1673-1721), ο οποίος ήταν συντάκτης χαρτών

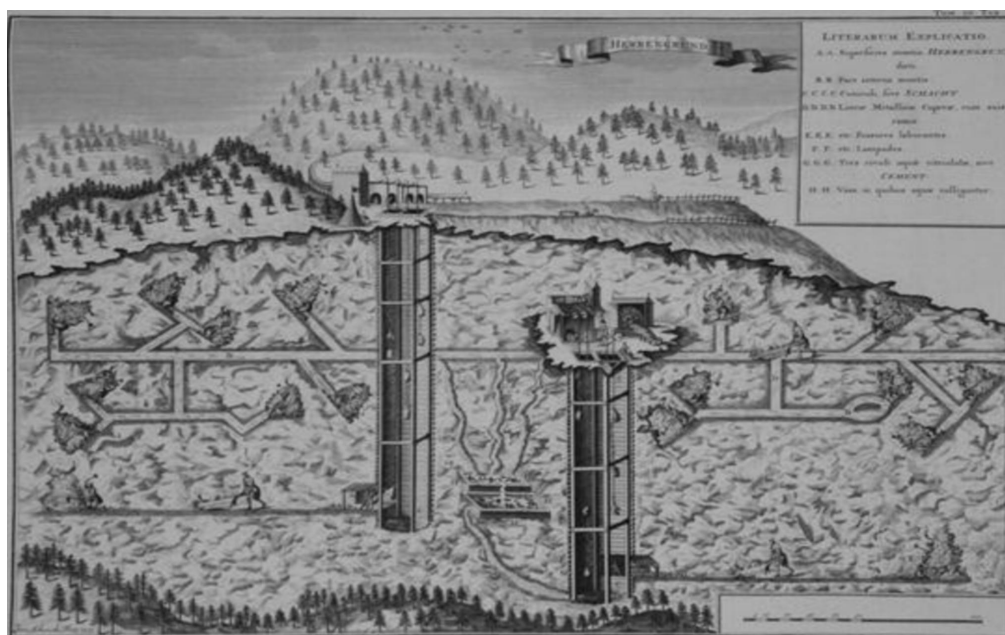
εκπαιδευμένος στη Νυρεμβέργη, κατάφερε να καθορίσει αστρονομικά τις θέσεις για την χαρτογράφηση της λεκάνης των Καρπαθίων Όρεων και συνέταξε και τους χάρτες που απεικονίζουν τα ορυχεία της Ουγγαρίας. Σχετικά με τους χάρτες ο Müller αποτελούσε τον πιο σημαντικό συνάδελφο του Marsigli. Ο Marsigli έδωσε μεγάλη προσοχή στην παρουσίαση των ορυκτών και των ορυχείων που βρέθηκαν στη λεκάνη των Καρπαθίων, κατανοώντας την ιδιαίτερα μεγάλη οικονομική σημασία των ορυχείων μεταλλευμάτων της βόρειας Ουγγαρίας και των αλατωρυχείων της Τρανσυλβανίας. Ένας επικεφαλής ορυχείου ονόματι Schmidt τον βοήθησε στο ερευνητικό του έργο, όπου μπόρεσε να κατέβει στα βάθη της γης, και να μελετήσει τα γεωλογικά στρώματα, να συλλέξει δείγματα πετρωμάτων και να παρατηρήσει τις εργασίες που εκτελούνταν εκεί. Εκτός από την άδεια που του δόθηκε για να μπει στα ορυχεία και να φέρει ψήγματα χρυσού και αργύρου, συνέλεξε επίσης πληροφορίες σχετικά με τα προσχέδια χαρτών των δομών του ορυχείου στο Selmec (Banská Štiavnica) (Εικόνα 3.13) και στην επιφάνεια, τη γεωγραφική θέση των ορυχείων, τις κατευθύνσεις των στοών με κατεύθυνση τα βάθη της γης καθώς και τα μεταλλεύματα που εξορύσσονται από αυτά τα βάθη. Εν συνεχεία, ένας συνοπτικός χάρτης των ορυκτών (Εικόνα 3.12) ξεκινούσε με την περιγραφή των πετρωμάτων και των μεταλλευμάτων που βρέθηκαν στα ορυχεία. Σε αυτόν τον χάρτη αποτυπώνονταν τα ορυχεία της βόρειας και νότιας Ουγγαρίας και της Τρανσυλβανίας, από όπου τα ποτάμια μετέφεραν κοιτάσματα στον Δούναβη. Τα βουνά στα οποία άνοιξαν τα ορυχεία ξεχωρίζουν με ισχυρότερες γραμμοσκιάσεις και μικρές οριζόντιες και επιμήκεις εισόδους τραβηγμένες στα πλευρά τους. Τέλος, το σύμβολο δίπλα τους δείχνει αν πρόκειται για ορυχείο χρυσού, αργύρου, χαλκού, σιδήρου, αλατιού, υδραργύρου ή μολύβδου. Πρέπει να σημειωθεί ότι αυτός ο χάρτης θεωρείται από τους πρώτους θεματικούς άτλαντες εξόρυξης, κατασκευασμένος από τους Marsigli και Müller (Deák, 2013).



Εικόνα 3.12: Συνοπτικός χάρτης των ορυκτών που βρέθηκαν στην λεκάνη των Καρπαθίων Όρεων (Deák, 2013).

Μέχρι τον δέκατο έκτο αιώνα ωστόσο, δεν υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα για χάρτες εξόρυξης που προέρχονταν από τη Σλοβακία. Εντούτοις, από τον δέκατο έβδομο αιώνα, εμφανίστηκαν αρκετοί χάρτες εξόρυξης. Αξίζει να αναφερθεί πως οι ιδρυτές των ιδιωτικών εταιρειών εξόρυξης ήταν ενάντια στη χάραξη χαρτών, προσπαθώντας να καλύψουν τα ορυχεία τους.

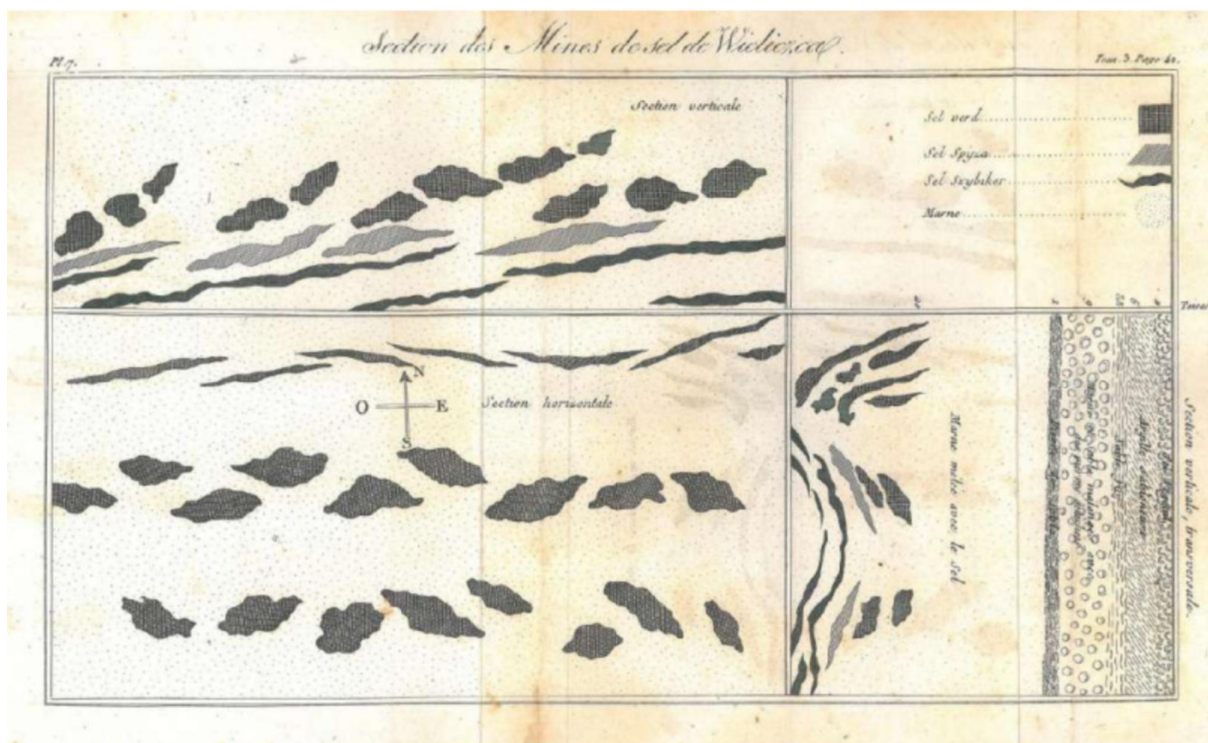
Η ανάπτυξη της τοπογραφίας και της χαρτογράφησης των ορυχείων στη Σλοβακία ξεκίνησε από τη δεκαετία του 1740. Από το 1740 έως τη δεκαετία του 1930 σχεδιάστηκαν πολλοί τεχνικά τέλειοι χάρτες, οι οποίοι παρέχουν ακριβείς πληροφορίες για τα μεταλλευτικά έργα ([Ovesná et al., 2017](#)).



Εικόνα 3.13: Το ορυχείο Herrengrund κοντά στο Selmec ([Deák, 2013](#)).

Στην Ευρώπη, η γεωλογική χαρτογράφηση άρχισε να εμφανίζεται στα μέσα του δέκατου όγδοου αιώνα, με δυναμική ανάπτυξη στις αρχές του δέκατου ένατου αιώνα. Αξίζει να τονιστεί η ιδιαίτερη σημασία του αλατωρυχείου Wieliczka ως ένα από τα πιο γνωστά ορυχεία στον κόσμο. Η εξόρυξη αλατιού γινόταν συνεχώς από τους μεσαιωνικούς χρόνους και συγκεκριμένα από το 1290 μέχρι το 1996, όπου τα αποθέματα αλατιού εξαντλήθηκαν. Στην *Εικόνα 3.14*, παρουσιάζεται μόνο ένα τμήμα του αλατωρυχείου. Συγκεκριμένα, ο Robert Townson ήταν ένας από τους πρώτους ξένους ερευνητές που περιέγραψε και σχεδίασε τις διατομές των δομών άλατος του Wieliczka. Το 1826, μια ομάδα με επικεφαλής τον Leopold von Buch δημοσίευσε το Γεωγνωστικό χάρτη της Γερμανίας (Geognostische Karte von Deutschland), πιθανώς μία από τις πρώτες σειρές γεωλογικών χαρτών στον κόσμο. Σε αυτούς τους χάρτες εμφανίζεται ένα μεγάλο μέρος της Ευρώπης από το Παρίσι και το Clermont Ferrand στα δυτικά, μέχρι την KlaipÅda (German Memel) στα ανατολικά και το Τορίνο στα νότια. Περιοχές της σημερινής Πολωνίας εμφανίζονται σε πολλά φύλλα: Stralsund, Breslau (Βρότσλαφ), Brunn (Brno), Eperies (Presov), Danzig (Gdańsk) και Königsberg

(Królewiec, το σημερινό Καλίνιν γκραντ). Αυτός είναι πιθανώς ο πρώτος σύγχρονος γεωλογικός χάρτης της βορειοανατολικής Πολωνίας. Οι συγκρίσεις δείχνουν ότι οι χάρτες βασίστηκαν κυρίως σε συλλογή ή/και επανερμηνεία προγενέστερων χαρτών, όπως των C. von Raumer και A. Kaluža.



Εικόνα 3.14: Robert Townson – *Section des Mines de Sel de Wieliczka* (Τμήμα του αλατωρυχείου Wieliczka), 1797.

Ιδιωτική συλλογή των συγγραφέων ([Wolkowicz and Wolkowicz, 2014](#)).

Η πρόοδος των γεωλογικών χαρτών των περιοχών της σημερινής κεντρικής και ανατολικής Πολωνίας, ήταν πολύ πιο αργή. Στην περίπτωση της Άνω Σιλεσίας, σύμφωνα με τους Wolkowicz και Wolkowicz, ([2014](#)) ο πιο σημαντικός χάρτης εκείνης της εποχής είναι ο Γεωγνωστικός χάρτης της Άνω Σιλεσίας (*Geognostische Karte von Ober-Schlesien*), που συντάχθηκε από τον Carl von Oeynhausen (1795–1865), έναν ευρέως αναγνωρισμένο ειδικό στην εξόρυξη. Συντάχθηκε πολύ πιθανότατα το 1819 για να δημοσιευθεί το 1822, ως κλείσιμο μιας εκτεταμένης μελέτης, με τίτλο «Προσπάθεια για μια γεωγνωστική περιγραφή της Άνω Σιλεσίας και των μη γειτονικών περιοχών της Πολωνίας, της Γαλικίας και της Αυστριακής Σιλεσίας» (*Bersuch einer geonostischen Beschreibung von Oberschlesien und den nachst angrenzenden Gegenden von Polen, Galizien und Österreichisch-Schlesien*). Είναι ένας από τους πρώτους γεωλογικούς χάρτες αυτής της περιοχής και ταυτόχρονα μπορεί να χρησιμεύσει ως παράδειγμα μιας σύγχρονης προσέγγισης για τη γεωλογική χαρτογράφηση. Ο χάρτης του περιλαμβάνει 18 λιθολογικές ενότητες. Επιπλέον, παρέχει τη θέση της εξόρυξης και της επεξεργασίας των ορυκτών πρώτων υλών, από ορυχεία μεταλλευμάτων έως την πρόσληψη ορυκτού νερού.

Πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στις περιγραφές και τα σχέδια του αλατωρυχείου

Wieliczka, όπως παρουσιάζει η παρακάτω εικόνα, που δίνονται στη μεγάλη γαλλική εγκυκλοπαίδεια (*Encyclopédie, ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*, 1751–1766), του δέκατου όγδοου αιώνα από τον Denis Diderot και άλλους συγγραφείς, καθώς επιδρούν σημαντικά στην επιστήμη.



Εικόνα 3.15: Denis Diderot et al. – Γενική εικόνα του αλατωρυχείου Wieliczka κοντά στην Κρακοβία. Συμπλήρωμα 1772. Ευγενική προσφορά του Piotr Krzywiec, Warszawa, Πολωνία (ιδιωτική συλλογή) ([Wolkowicz and Wolkowicz, 2014](#)).

Ένας άλλος σημαντικός χάρτης, ο οποίος σχεδιάστηκε από τον Ludwik Zejszner, έναν αξιόλογο γεωλόγο πολωνικής καταγωγής, με βιογραφία που αντικατοπτρίζει την ιστορία των Πολωνών τον δέκατο ένατο αιώνα. Το 1844, δημοσίευσε ανώνυμα τον χάρτη με τίτλο «Γεωλογικός χάρτης της οροσειράς Τάτρα και τις παράλληλες ανυψώσεις» (*Carte géologique de la chaîne du Tatra et des soulèvements parallèles*) στο Βερολίνο. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο Sir Roderick I. Murchison (1792–1871), ένας εξαιρετικός γεωλόγος της εποχής, δήλωσε ξεκάθαρα στις εξηγήσεις ενός χάρτη που επισυνάπτεται στο βιβλίο του που περιγράφει τις γεωλογικές περιπλανήσεις του στη Ρωσία και την Πολωνία, ότι χρησιμοποίησε τον νέο χάρτη του L. Zejszner στη χαρτογράφηση της περιοχής των Καρπαθίων Όρεων. Ο χάρτης του Zejszner ήταν ο πρώτος και ο μόνος λεπτομερής χάρτης των βουνών Τάτρα μέχρι που ο Victor Uhlig, ένας Αυστριακός γεωλόγος, δημοσίευσε τον δικό του, περισσότερο από μισό αιώνα αργότερα. Επί του παρόντος, τα αντίγραφα του χάρτη του Zejszner είναι πολύ σπάνια καθώς υπάρχουν μόνο τέσσερα που διατηρούνται σε πολωνικές συλλογές (συμπεριλαμβανομένων δύο αντιγράφων σε πολύ καλή κατάσταση στις συλλογές του Εθνικού Γεωλογικού Αρχείου PGI-NRI). Τέλος, ο Ludwik Zejszner αφοσιώθηκε για

πολλά χρόνια στη χαρτογράφηση της περιοχής μεταξύ Sandomierz και Kielce στα Όρη του Τιμίου Σταυρού, συμβάλλοντας έτσι σε μεγάλο βαθμό στη γνώση της πολύπλοκης γεωλογικής δομής αυτής της περιοχής ([Wolkowicz and Wolkowicz, 2014](#)).

Βέβαια, ένα σημαντικό γεωλογικό στοιχείο του δέκατου όγδοου αιώνα, αποτέλεσε η παρατήρηση της δομής των βουνών, ιδιαίτερα στην Ιταλία, διότι συνέβαλε στην ανάπτυξη των γεω-επιστημών, όπως η ιστορική γεωλογία ή η στρωματογραφία. Ταυτόχρονα, στις αρχές του ίδιου αιώνα, τα ορυχεία και τα λατομεία έγιναν από τα καλύτερα μέρη για την παρατήρηση των βραχωδών εν στρώσεων. Πολλοί επιστήμονες που ενδιαφέρονταν για τη μελέτη της επιφάνειας της γης, συμμετέχοντας ή όχι στην εξόρυξη, άρχισαν να αναγνωρίζουν τη σπουδαιότητα των υπόγειων εξερευνήσεων, οι οποίες συνήθως παρείχαν πολύτιμες γνώσεις για τις φλέβες των ορυκτών, τα στρώματα και τους βραχώδεις σχηματισμούς. Κατά το δεύτερο μισό του ίδιου αιώνα, επιβεβαιώθηκε από τον Ιταλό Giovanni Arduino (1714-95) ή από τους Γερμανούς Johann Gottlob Lehmann (1719-67) και Abraham Gottlob Werner (1749-1817), ότι η πραγματική αλληλεπίδραση των γεω-επιστημών και της μεταλλευτικής έγινε πιο εμφανής όταν οι γνώσεις των ορυχείων έλυσαν κάποια προβλήματα θεωρητικού χαρακτήρα σχετικά με την ορυκτολογία και τη γεωλογία. Επίσης, σε πολλές περιπτώσεις σημαντικό συνδετικό ρόλο είχε και η λιθολογία. Τέλος, καθοριστικό ρόλο για την ανάπτυξη της λιθοστρωματογραφίας, ιδιαίτερα στη Γερμανία και το μεγαλύτερο μέρος της Κεντρικής Ευρώπης, τη Σουηδία, τη Μεγάλη Βρετανία, τη Ρωσία, και επίσης στα ιταλικά κράτη κατά το δεύτερο μισό του δέκατου όγδοου αιώνα, είχε η αλληλεπίδραση της γεωλογίας και της μεταλλευτικής ([Deák, 2013](#)).

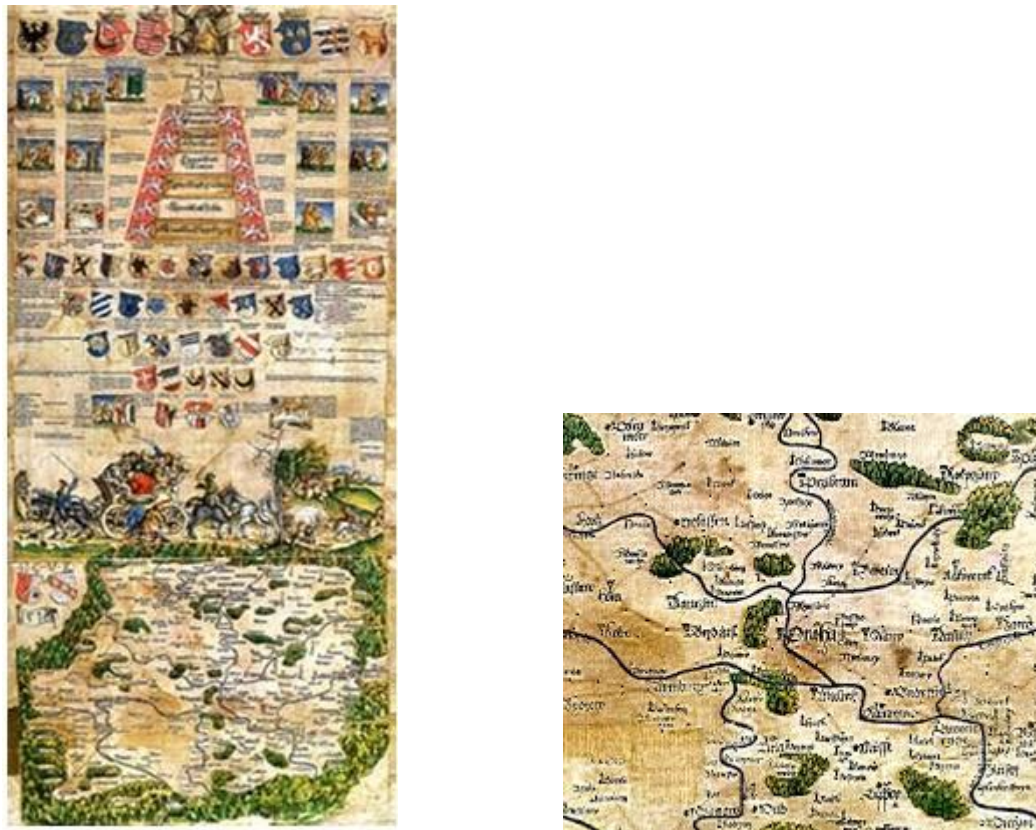
3.5. Συμπεράσματα για την εξελικτική πορεία των χαρτών εξόρυξης των ορυχείων

Από τον δέκατο έκτο αιώνα, έχουν βρεθεί περισσότεροι από τριάντα χάρτες εξόρυξης, οι οποίοι μπορούν να θεωρηθούν ως απόδειξη της εξέλιξης της τοπογραφίας και της χαρτογράφησης των ορυχείων στην Τσεχία, αντίθετα με τις γειτονικές χώρες την ίδια περίοδο, όπου οι χάρτες εξόρυξης ήταν ελάχιστοι. Για παράδειγμα, στην Αυστρία υπάρχουν έξι, στη Γερμανία περίπου επτά, στην πρώην Αυστροουγγαρία τέσσερις και στην Πολωνία μόνο ένας. Τον δέκατο έβδομο αιώνα, υπήρξε μια παρακμή της εξόρυξης, η οποία επηρέασε σχεδόν το σύνολο της τσεχικής εξόρυξης, με αποτέλεσμα η ανάπτυξη της τοπογραφίας και της χαρτογράφησης των ορυχείων να σταματήσει, ενώ οι νέοι χάρτες παρέμειναν στον ίδιο αριθμό με τον δέκατο έκτο αιώνα. Στο περιεχόμενό τους όμως, υπάρχουν ορισμένες αποδείξεις για στοιχεία και χαρακτήρες που σχετίζονται με τη γερμανική προέλευσή τους.

Πρέπει να αναφερθεί ότι, μέχρι τον δέκατο όγδοο αιώνα δόθηκε μεγαλύτερη έμφαση στον

καλλιτεχνικό σχεδιασμό και τη διακόσμηση των χαρτών παρά στην ακρίβεια και τη σαφήνεια αυτών. Από τα μέσα του ίδιου αιώνα άρχισε να καταγράφεται μια νέα περίοδος αναγέννησης της τοπογραφικής και μεταλλευτικής χαρτογραφίας των ορυχείων, λόγω της αυξημένης ζήτησης για εξόρυξη πολύτιμων μετάλλων. Εκείνη την περίοδο σχεδιάστηκαν διάφοροι χάρτες με διαφορετική τεχνική ποιότητα, αλλά είναι μοναδικοί ιδιαίτερα για την κλίμακα που χρησιμοποιείται.

Τελικά, από τον δέκατο έκτο έως τα μέσα του δέκατου ένατου αιώνα έχουν διατηρηθεί περίπου πέντε χιλιάδες χάρτες με στοιχεία εξόρυξης. Αυτοί οι χάρτες παρουσιάζουν τις εκπληκτικές τεχνικές και καλλιτεχνικές δεξιότητες των επιθεωρητών των ορυχείων και των χαρτογράφων της εξόρυξης ([Ovesná et al., 2017](#)). Μερικά παραδείγματα χαρτών φαίνονται παρακάτω.



Εικόνα 3.16: Η αριστερή εικόνα απεικονίζει τον χάρτη της Βοημίας του Claudianus το 1518, ενώ η δεξιά εικόνα δείχνει το κεντρικό τμήμα του ίδιου χάρτη (Mikšovský, 2003).

Η Εικόνα 3.16 απεικονίζει τον χάρτη της Βοημίας το 1518, ο οποίος κατασκευάστηκε από τον Nicholas Claudianus. Ο χάρτης αυτός είναι ο παλαιότερος ανεξάρτητος χάρτης που συντάχθηκε στις αρχές του δέκατου έκτου αιώνα. Ακόμα η Εικόνα 3.17 είναι ο χάρτης Βοημίας αλλά συντάχθηκε 50 χρόνια αργότερα, δηλαδή το 1568 και παρουσιάζει με μεγάλη επιτυχία τα γύρω βουνά και ο χάρτης είναι πιο λεπτομερής από του Claudianus. Παρουσιάζεται, τέλος, ένα χάρτης που απεικονίζει την περιοχή της Χαϊδελβέργης (Εικόνα 3.17), που κατασκευάστηκε από τον Sebastian Münster σε ξυλογραφία. Ο συγκεκριμένος χάρτης σχεδιάστηκε ως παράδειγμα για τη χαρτογράφηση μιας περιοχής με αποστάσεις και γωνίες.



Εικόνα 3.17: Το κεντρικό τμήμα του χάρτη της Βοημίας του Criginger (Μικšovský, 2003).



Εικόνα 3.18: Χάρτης της Χαϊδελβέργης το 1528.

Κεφάλαιο 4ο: Η εξορυκτική δραστηριότητα στη νεότερη εποχή

4.1. Η εξέλιξη των χαρτών εξόρυξης στην Ιταλία

Ένας από τους πρώτους παρατηρητές βουνών στην Ιταλία, ήταν ο Antonio Vallisneri, διακεκριμένος καθηγητής της πρακτικής ιατρικής στο Πανεπιστήμιο της Πάδοβας. Κατά τη διάρκεια των ταξιδιών του στα βόρεια Απέννινα Όρη (1704-1711), περιέγραψε και συνέλεξε βοτανικά, ζωολογικά, γεω-ορυκτολογικά και παλαιοντολογικά δείγματα, καθώς επίσης παρατήρησε και τη μορφολογία του τοπίου και επισκέφτηκε πολλά ορυχεία και λατομεία. Σύμφωνα με τον Vallisneri, τα βραχώδη στρώματα όπως η μορφολογία και η λιθολογική τους σύνθεση, μπορούσαν να επιβεβαιώσουν τη θεωρία της μετεωρικής προέλευσης των πηγών, μόνο αν τα ίδια τα στρώματα είχαν παρατηρηθεί με ακρίβεια, από το βάθος των ορυχείων μέχρι την κορυφή των βουνών, δηλαδή σε οποιοδήποτε ορατό σημείο με εκτεθειμένους σχηματισμούς πετρωμάτων. Ακόμα, θεωρούσε πως από τα ορυχεία μπορούσε κανείς να συλλέξει πληροφορίες και δεδομένα για τη συμπεριφορά των υδάτων που διεισδύουν στο εσωτερικό της γης.

Εκτός από τον Vallisneri, ένας ακόμα γιατρός χωρίς μεταλλευτικό υπόβαθρο, ο Bernandino Ramazzini (1633-1714), υιοθέτησε επίσης την έννοια της ανατομίας της επιφάνειας της Γης και ανέπτυξε τη θεωρία του για την προέλευση των πηγών παρατηρώντας τις ανασκαφές των αρτεσιανών πηγαδιών γλυκού νερού γύρω από την πόλη της Μόντενα στην κοιλάδα του ποταμού Πάδου. Επομένως, η προέλευση των πηγών ήταν ένας ταμειυτήρας που βρισκόταν κάτω από τα Απέννινα Όρη και συνδεόταν με τη θάλασσα. Η παρατήρηση της ανασκαφής των αρτεσιανών πηγαδιών, έδωσε βασικά στοιχεία όσον αφορά στην επεξεργασία της απλής στρωματογραφικής ακολουθίας στην κοιλάδα του Πάδου, με βάση τις εναλλαγές των στρωμάτων αργίλου και λάσπης, ενώ αντίθετα αναφέρθηκε και στις ασθένειες των μεταλλωρύχων.

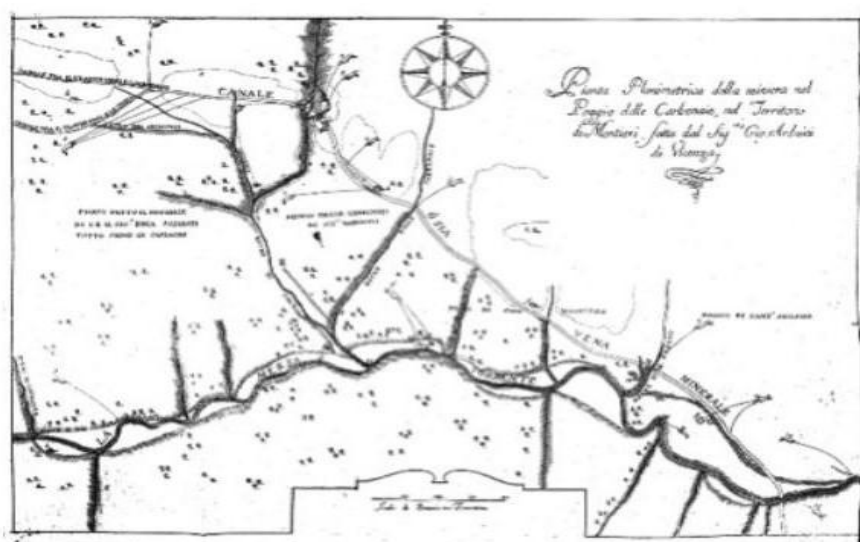
Επιπλέον, ο Μπολονέζος κόμης Luigi Ferdinando Marsili ή Marsigli (1658-1730), αφού ταξίδεψε σε όλη την Ευρώπη και παρατήρησε σχολαστικά τα πεδία, απέκτησε εντυπωσιακές γνώσεις σχετικά με τα ορυχεία κυρίως στην Τρανσυλβανία και στην περιοχή του Schemnitz. Μεταξύ των πολυάριθμων αδημοσίευτων χειρογράφων που άφησε ο Marsili, ήταν σχέδια, τα οποία έγιναν κατά τα έτη 1705-1725 στη Γαλλία, την Ελβετία και την Ιταλία, και τα οποία αφορούσαν σε ορυχεία ή σε λατομεία. Επίσης, δείχνουν το ενδιαφέρον του για τα διαφορετικά λιθολογικά, ορυκτολογικά και απολιθωμένα περιεχόμενα των στρωμάτων και την πρωτοτυπία του στην ακριβή γραφική τους αναπαράσταση.

Όπως ο Marsili, έτσι και ο Βενετός λόγιος Giovanni Arduino, ήταν ένας ειδικός στα

Η εξέλιξη της γεωλογικής χαρτογράφησης στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις

μεταλλεία και τοπογράφος, ο οποίος έγινε γεωλόγος πεδίου ερευνώντας τα πετρώματα στο φυσικό τους περιβάλλον, αλλά και ορυκτολόγος ευρωπαϊκής φήμης κατά την ίδια χρονική περίοδο. Αποκτώντας μεταλλευτική εμπειρία για περισσότερες από μερικές δεκαετίες, έδειξε αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη μελέτη και την ερμηνεία των διαφόρων στρωμάτων και πετρωμάτων. Κατά τη διάρκεια των ταξιδιών του ως ειδικός στα μεταλλεία και ως διευθυντής ορυχείων, μελέτησε την Τοσκάνη, τα Απέννινα Όρη και τις προ-Άλπεις του Βένετο και της Λομβαρδίας. Από τη μεταλλευτική του εμπειρία, ο Arduino ήταν σε θέση να ερμηνεύει τις δομές των πετρωμάτων στο πεδίο, τη μορφολογία, τη λιθολογία και το ορυκτολογικό ή απολιθωματοφόρο περιεχόμενο, αλλά και να αναλύει τα χαρακτηριστικά των πετρωμάτων και των ορυκτών στο εργαστήριο χρησιμοποιώντας χημικές - μεταλλουργικές διεργασίες, καθώς επίσης απέκτησε τη συνήθεια να σχεδιάζει σκίτσα και τομές, όπως ακριβώς και ο Marsili. Συνεπώς, τα σχέδια αυτά αναπτύχθηκαν σταδιακά από τους πρώτους χάρτες εξόρυξης τοποθεσιών μεταλλεύματος στην περιοχή της Βιτσέντζα, σε πιο πολύπλοκα σχέδια της ακολουθίας των στρωμάτων που παρατηρήθηκαν στην ίδια περιοχή και πιο συγκεκριμένα στο όρος Spitz και στην κοιλάδα Agno. Συμπερασματικά, ο Arduino το 1774, γνώριζε ήδη ότι αυτό που χρειαζόνταν οι μεταλλουργοί ή οι ειδικοί στα ορυχεία δεν ήταν μόνο το στερεό πρακτικό υπόβαθρο, αλλά και η επιστημονική προετοιμασία βασισμένη στις γνώσεις της ορυκτολογίας και των γεωλογικών χαρακτηριστικών των χερσαίων αναγλύφων (Vaccari, 2000).

Τέλος, ο Arduino σχεδίασε τον παρακάτω χάρτη (Εικόνα 4.1) του ορυχείου Carbonaie το 1756, ο οποίος δείχνει τα όρια των πετρωμάτων, καθώς επίσης, φλέβες μαζί με σήραγγες και τα κτήρια που αφορούν την επεξεργασία του εξορυσσόμενου υλικού (το χυτήριο, τον μύλο, κλπ.). Αυτός ο χάρτης αποτελεί τον πρώτο χάρτη των ορυχείων στην Τοσκάνη (Pantaloni and Sammuri, 2018).



Εικόνα 4.1: Χάρτης του ορυχείου Carbonaie που σχεδιάστηκε από τον Arduino το 1756 (Pantaloni and Sammuri, 2018).

Η εξέλιξη της γεωλογικής χαρτογράφησης στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις

Επίσης το 1766, ο Mazzoni δημιούργησε ένα χάρτη που φαίνεται παρακάτω (*Εικόνα 4.2*), με τίτλο Τοπογραφικό και ορυκτό υψομετρικό σχέδιο του Montanga Acuti και των γύρω βουνών στο Capitanato di Pietrasanta, μαζί με το γειτονικό Τοπογραφικό και ορυκτό υψομετρικό σχέδιο του όρους Gabbari και των παρακείμενων βουνών του στο Capitanato di Pietrasanta. Ο μύθος που επικρατούσε αναφέρει ότι στον πρώτο χάρτη τα βουνά του Acuti συνορεύουν ή και συνδέονται με τα βουνά Gabbari, αφού υπάρχει αντιστοιχία των υψομέτρων και των επιπέδων. Ωστόσο ο Mazzoni παρήγαγε μόνο ένα αντίγραφο αυτού του χάρτη.



Εικόνα 4.2:Χάρτης του όρους Acuti μαζί με το ορυχείο Bottino (Pantaloni and Sammuri, 2018).

Στην *Εικόνα 4.3*, απεικονίζονται οι θέσεις των μύλων, των φούρνων, των σιηράγγων και των φρεατίων καθώς επίσης και οι φλέβες των μεταλλευμάτων, τα οποία συμβολίζονται με αριθμούς και γράμματα. Κύριος στόχος της απεικόνισης αυτής είναι ο εύκολος, ακριβής και γρήγορος εντοπισμός της επιπεδομετρίας και των υψομέτρων (Pantaloni and Sammuri, 2018).



Εικόνα 4.3: Λεπτομερής αποτύπωση των διαφόρων υπηρεσιών της εξόρυξης (μύλοι, φρέατα, κλπ) (Pantalonì and Sammuri, 2018).

4.2. Χάρτες των σπηλαίων στον κόσμο

Συγκριτικά με τους χάρτες των ορυχείων, η προσοχή που έχει δοθεί στα σπήλαια είναι ελάχιστη. Σύμφωνα με το άρθρο του Ernst Hamm «Knowledge from underground: Leibniz mines the Enlightenment», τα ορυχεία και τα σπήλαια, τον δέκατο όγδοο αιώνα, προσδιορίζονται ως αντικείμενα επιστημονικής περιέργειας. Εξαιτίας του γεγονότος ότι η άμεση επιτόπια έρευνα, παραμένει η μόνη αξιόπιστη μέθοδος χαρτογράφησης τους, η εξερεύνηση και η χαρτογράφηση των σπηλαίων συνδέονται στενά από το 1800. Αν και το βιβλίο «Encyclopedia of Caves and Karst Science» αναφέρει περισσότερους από δώδεκα χάρτες σπηλαίων που κατασκευάστηκαν πριν από το 1800, το ενδιαφέρον των συγγραφέων εστιάζεται στον δέκατο ένατο και εικοστό αιώνα και στον τρόπο με τον οποίο οι βελτιωμένες τεχνικές εξερεύνησης ενημέρωσαν την επιστήμη της σπηλαιολογίας (ή μελέτη των σπηλαίων) συνολικά.

Επιπλέον, οι κριτικές προσεγγίσεις μελετητών, όπως για παράδειγμα οι Simon Naylor και David Turnbull, ερευνούν καθιερωμένα παραδείγματα της χαρτογραφίας και υποστηρίζουν ότι οι

χάρτες είναι εργαλεία παραγωγής και μετάφρασης της γνώσης, υπογραμμίζοντας τη σημασία τους για τους ιστορικούς της επιστήμης.

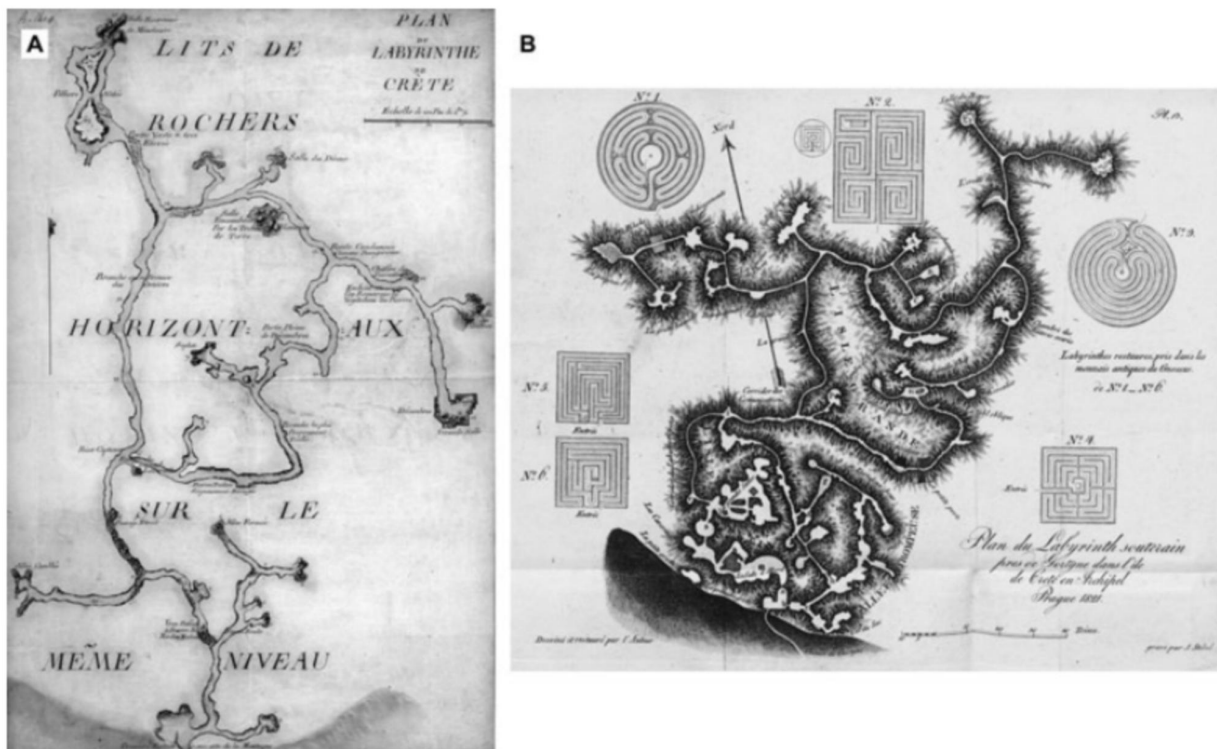
Πιο συγκεκριμένα, τα τελευταία χρόνια, μελετήθηκαν περισσότεροι από 120 χάρτες που είχαν δημιουργηθεί πριν από το 1800, και οι οποίοι κάλυπταν τόσο φυσικές σπηλιές όσο και τεχνητές κοιλότητες (όπου πιστεύεται ότι ήταν φυσικής προέλευσης τη στιγμή που έγινε το σχέδιο). Ξεκινώντας επομένως, από ένα εξαιρετικό σχέδιο του Σπηλαίου του Λαβύρινθου του 1417 κοντά στη Γόρτυνα στην Κρήτη, οι πηγές περιλαμβάνουν χάρτες σπηλαίων που βρίσκονται στην Ευρώπη, τη Σιβηρία από τις αρχές του δέκατου όγδοου αιώνα και μετά, και την Αμερική από τα τέλη του δέκατου όγδοου αιώνα. Σε αντίθεση με τα παραπάνω, οι πρώτοι διατηρημένοι χάρτες σπηλαίων στην Αφρική, την Αυστραλία και σε άλλα μέρη της Ασίας χρονολογούνται από τις πρώτες δεκαετίες του δέκατου ένατου αιώνα. Ενώ οι χάρτες που κατασκευάστηκαν μετά το 1800 ποικίλλουν σημαντικά ως προς την καθορισμένη χρήση τους ανάλογα με τον δημιουργό τους ή με το ποιος τους ανέθεσε, οι πρώτοι σύγχρονοι χάρτες απευθύνονταν σχεδόν αποκλειστικά σε μελετητές, ταξιδιώτες και μορφωμένους αριστοκράτες. Συγκεκριμένα αυτοί οι χάρτες είτε κατασκευάστηκαν από ακαδημαϊκούς συγγραφείς και εκδότες, είτε ανατέθηκαν από αυτούς σε μηχανικούς, ή τοπογράφους, ή ακόμα και σε ζωγράφους και δημοσιεύτηκαν κυρίως σε ταξιδιωτικά ένθετα, περιγραφές χωρών ή επιστημονικές πραγματείες. Χάρτες σπηλαίων έχουν επίσης διατηρηθεί σε επαρχιακά και κρατικά αρχεία που βρίσκονται σε περιοχές με καρστ και με σπήλαια, καθώς και σε προσωπικά κτήματα διαφόρων μελετητών. Άλλα κοινά σημεία που δικαιολογούν μια μελέτη σύγκρισης είναι ότι όλες αυτές οι έρευνες προέρχονται από προσωπική παρατήρηση και ότι μπορούν να διακριθούν σαφώς από τις καλλιτεχνικές απεικονίσεις με τη χρήση χαρτογραφικών χαρακτηριστικών.

Επίσης, η χαρτογράφηση των υπόγειων γεωγραφιών ήταν μια σημαντική τεχνολογία για την οικοδόμηση της αξιοπιστίας, παρόλο που κάθε τέτοιο εγχείρημα βασίστηκε σε μη εμπειρικές πτυχές όπως η ασάφεια και η έλλειψη γνώσης. Οι χάρτες των σπηλαίων έδειξαν πολύ περισσότερα από όσα μπορούσαν να δουν οι πρώτοι σύγχρονοι επιθεωρητές. Αυτό έχει ως συνέπεια οι χάρτες των σπηλαίων να μην αποτελούν μόνο έναν «ευαίσθητο δείκτη της μεταβαλλόμενης σκέψης του ανθρώπου» για τον υπόγειο κόσμο, αλλά και επιστημονικά εργαλεία τα οποία επέτρεψαν την παρατήρηση του αόρατου, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα στον θεατή να δει και να πιστέψει σε δομές εντός του φλοιού της Γης, που διαφορετικά θα τους παρέμενε άγνωστο.

Ακόμα, μια μεταθανάτια τυπωμένη πραγματεία για την ιστορία της Γης με τίτλο «The Protogaea», από τον Γερμανό Gottfried W. Leibniz (1646–1716), περιλαμβάνει πιθανώς τον πιο γνωστό πρώιμο σύγχρονο χάρτη ενός σπηλαίου. Αναφέροντας και ενσωματώνοντας επιστημονικές υποθέσεις σχετικά με την προέλευση συγκεκριμένων σπηλαίων στη δουλειά τους, οι χαρτογράφοι

Η εξέλιξη της γεωλογικής χαρτογράφησης στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις

ανέπτυξαν συγκεκριμένες στρατηγικές για να αντιμετωπίσουν την υβριδικότητα και τη μετατόπιση των ορίων των υπόγειων χώρων. Ένα σημαντικό παράδειγμα, αποτελεί ένας χάρτης του Σπηλαίου του Λαβύρινθου στην Κρήτη που κατασκευάστηκε από τον Γάλλο Mathieu Dumas (1753–1837), ο οποίος δείχνει ένα σύστημα υπόγειων στοών που πιθανότατα χρησιμοποιήθηκαν ως αρχαίο λατομείο (Εικόνα 4.4 Α). Ωστόσο, ο ίδιος αργότερα απέκλεισε τη χρήση του ως αρχαίο λατομείο, καθώς άλλες τοποθεσίες ήταν πιο ευνοϊκές και ο λαβύρινθος είχε μόνο μία είσοδο. Αντίθετα, υποστήριξε ότι ορισμένα μέρη της συγκεκριμένης σπηλιάς είναι μια ιδιοτροπία της φύσης και υπήρχαν πριν παρέμβει ο άνθρωπος. Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι ο χάρτης δεν απεικονίζει ίχνη λατομείου και τα περιγράμματα των στοών μοιάζουν σε μεγάλο βαθμό με φυσική κοιλότητα.



Εικόνα 4.4: Η αριστερή εικόνα απεικονίζει την κάτοψη του Σπηλαίου του Λαβύρινθου στην Κρήτη του Δουμά το 1783. Η δεξιά εικόνα απεικονίζει την κάτοψη του ίδιου Σπηλαίου από τον βοτανολόγο Franz Sieber το 1821 (Mattes, 2022).

Στη συνέχεια, ένας χάρτης που φτιάχτηκε περίπου τριάντα χρόνια αργότερα από τον Βοημικό βοτανολόγο και συλλέκτη Franz Sieber (1789–1844) και ερευνήθηκε με πυξίδα και γραμμή μέτρησης απεικόνιζε το ίδιο σπήλαιο, αν και με εντελώς διαφορετική μορφή (Εικόνα 4.4 Β). Ο Sieber είχε επισκεφθεί το Σπήλαιο του Λαβύρινθου στην Κρήτη το 1817. Με βάση την υπόθεση του ότι ο λαβύρινθος ήταν αρχαίο λατομείο, σκιαγράφησε μεγάλους θαλάμους και συνδύασε φυσικά και τεχνητά στοιχεία, με υπεροχή των τελευταίων. Δεδομένου ότι ο Sieber παρήγαγε τον χάρτη ειδικά με σκοπό τη δημοσίευσή του, γνώριζε την έκταση που θα λάμβανε. Ενίσχυσε περαιτέρω το επιχείρημά του για την κυρίως τεχνητή προέλευση του σπηλαίου προσθέτοντας εικονογραφήσεις μοτίβων λαβυρίνθου που βρέθηκαν σε μινωικά νομίσματα. Ο χάρτης του περιέχει

επίσης περισσότερα κυκλώματα από αυτόν του Δουμά.

Έτσι, οι πρώιμοι χάρτες των σπηλαίων έδωσαν προτεραιότητα στους διάφορους τύπους των ορυκτών, των απολιθωμάτων και των τεχνουργημάτων που συναντήθηκαν σε γεωγραφική κατεύθυνση, απόσταση και επίπεδα προβολής. Επίσης, εντυπωσιακά σύμβολα χαρτών που μιμούνταν το σχήμα φυσικών δειγμάτων χρησίμευαν για να οδηγήσουν τον αναγνώστη στους λαβύρινθους. Καθώς αυτά ήταν συχνά διατεταγμένα κατά μήκος προκαθορισμένων υπόγειων μονοπατιών, τα αντικείμενα δόμησαν επίσης το ίδιο το σχέδιο. Το σχήμα, η σειρά και η διασταυρούμενη σημασία των δειγμάτων που απεικονίζονται ήταν το κλειδί για την αξιοποίηση της προηγούμενης γνώσης των δυνητικών χρηστών καθώς και την ένδειξη ότι ο χάρτης ήταν αξιόπιστος.

Οι συντάκτες έκαναν τακτικά έρευνες στο υπόγειο της γης, αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις παρήγαγαν επίσης χάρτες βασισμένους σε αναφορές ή σκίτσα που παρείχαν οι πελάτες τους. Παρομοίως, οι μελετητές και οι εκδότες προσέλαβαν ντόπιους φυσιοδίφες, ειδικά αν δεν μπορούσαν να επισκεφθούν οι ίδιοι το σπήλαιο ή τα σπήλαια, κάτι που δεν ήταν καθόλου αξιόπιστο. Δεδομένου όμως ότι δεν υπήρχαν τυποποιημένες μέθοδοι για τη χαρτογραφική απεικόνιση των φυσικών κοιλοτήτων, χαρακτηριστικά όπως τα σύμβολα χαρτών έπαιζαν ιδιαίτερο ρόλο στην ταξινόμηση της γνώσης, ενώ οι πρακτικές τοπογραφίας και οι γραμμές κλίμακας έπαιρναν μια νομιμοποιητική λειτουργία.

Οι χάρτες έχουν σαν στόχο τη δημιουργία τάξης και τον προσανατολισμό του θεατή μέσω της διανομής συμβολικού νοήματος. Αντίστοιχα, οι πρώιμοι χάρτες των σπηλαίων απεικόνιζαν τη δυναμική και τη διαταραχή εντός του φλοιού της Γης ως συστημική μορφή διαταραχής. Προς τα τέλη του δέκατου όγδοου αιώνα, η χρήση των ομοιόμορφων συμβόλων χαρτών, αντί για μεμονωμένα αντικείμενα ή οπτικές αφηγήσεις, προέκυψε από θεμελιώδεις αλλαγές τόσο στο επιστημολογικό ενδιαφέρον όσο και στην ταξινόμηση των φυσικών δειγμάτων. Στο νέο πλαίσιο, η γνώση η οποία βασίζεται στην εμπειρία έπρεπε να ταξινομηθεί σε μια ιεραρχία και να συσχετιστούν. Αυτή η εξέλιξη κατέστησε δυνατή τη σύγκριση διαφορετικών σπηλαίων διαβάζοντας τους αντίστοιχους χάρτες τους. Μερικοί χάρτες περιλάμβαναν ακόμη και επίσημους θρύλους ή ολόκληρες παραγράφους που εξηγούσαν τις συντομογραφίες και διευκρίνιζαν τη σχέση μεταξύ ενός σημείου και της σημασίας του, δηλαδή, προσβάσιμα συστήματα πινακίδων που προορίζονται για ένα ευρύτερο κοινό.

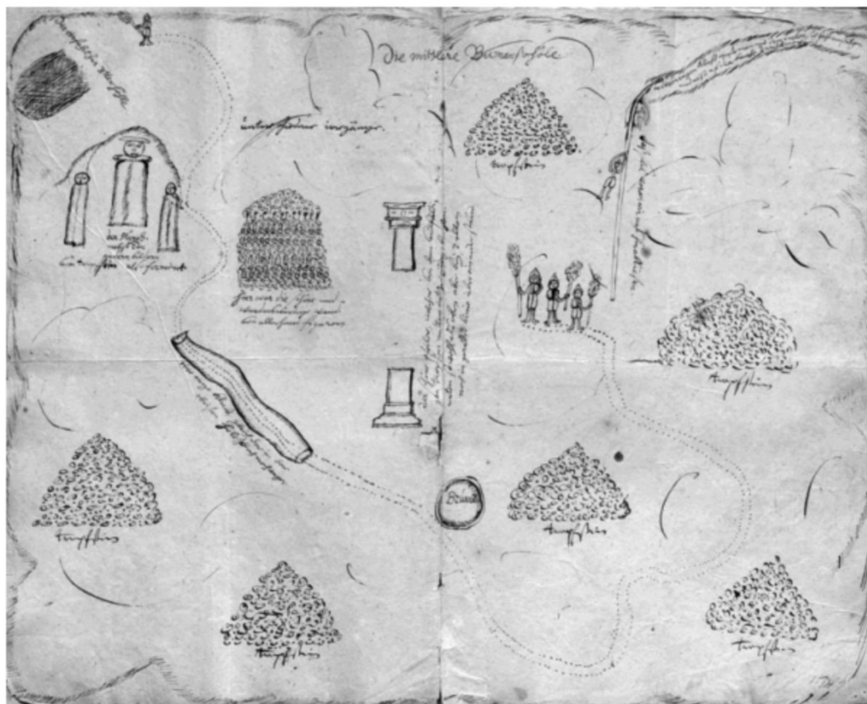
Ενώ αντίθετα οι πρώτοι χάρτες των σπηλαίων ήταν κυρίως κατόψεις και δεν έδειχναν κάθετες διαφορές, όπως λάκκους, σκαλοπάτια και καμινάδες, τα διαμήκη τμήματα των σπηλαίων σύντομα έγιναν κοινά επίπεδα προβολής χαρτών. Ειδικότερα, οι χάρτες των σπηλαίων ξεκίνησαν απλώς ως ένας τρόπος για να αποδοθεί μια συγκεκριμένη τοποθεσία σε φυσικά αξιοπερίεργα. Με την πάροδο

Η εξέλιξη της γεωλογικής χαρτογράφησης στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις

του χρόνου όμως, οι χάρτες άρχισαν να θεωρούνται ως αξιόπιστα φυσικά ιστορικά στοιχεία από μόνα τους. Στην αλλαγή του δέκατου ένατου αιώνα, αυτοί οι χάρτες, αν και εξακολουθούσαν να βασίζονται σε αμφίβολα δεδομένα, άρχισαν να παίζουν σημαντικό ρόλο στην επιστημονική επιχειρηματολογία και αναδείχθηκαν ως ισχυρά εργαλεία στην επιστημονική συλλογιστική.

Αναλυτικότερα, οι χάρτες των σπηλαίων δεν παρείχαν μόνο πληροφορίες για τα μέρη όπου έγιναν οι ανακαλύψεις. Ολοένα και περισσότερο, λειτούργησαν επίσης ως αληθινά αρχεία φυσικής ιστορίας, στα οποία εμφανιζόταν η εναπόθεση των απολιθωμάτων ή των ορυκτών σχηματισμών. Ο χάρτης του Baumannshöhle (Εικόνα 4.5), ρίχνει φως στη θεμελιώδη φύση της δημιουργίας των αποδεικτικών στοιχείων για την εξαγωγή συμπερασμάτων για την ιστορία της Γης, σε αντίθεση με τον αρχικό χάρτη του Hermann von der Hardt, καθώς η αναθεωρημένη και συμπληρωμένη έκδοση του Leibniz δεν ήταν εργαλείο για άλλους επισκέπτες, υποδεικνύοντας την υπόγεια περιέργεια που αξίζει να δουν. Συγκεκριμένα, η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει τη δεύτερη σελίδα του χάρτη με τίτλο «Die mittlere Bumanßhöhle», δηλαδή το μεσαίο σπήλαιο Baumannshöhle.

Ακόμα, κάποιοι μελετητές υποκινούμενοι από χάρτες που παρείχαν στοιχεία όπως η μηχανική διάβρωση, η διάλυση και οι τεκτονικές διεργασίες κυρίως για τις διατομές των περασμάτων των σπηλαίων, εξέτασαν έναν συνδυασμό διαφορετικών παραγόντων στον σχηματισμό των σπηλαίων.



Εικόνα 4.5: Η εικόνα απεικονίζει την κάτοψη του Baumannshöhle (Σαξονία – Άνχαλτ) που κατασκευάστηκε από το Studiosus von Alvensleben το 1656 ([Mattes, 2022](#)).

Οι χάρτες, και η χρήση των επιθεωρητών, των οργάνων και των τεχνικών στη δημιουργία τους, αποτέλεσε το κλειδί για την επικοινωνία της αυθεντικότητας και της αξιοπιστίας, αν και τα δεδομένα πίσω από αυτούς ήταν κατά καιρούς λανθασμένα και επιρρεπή σε γνωστική αβεβαιότητα.

Η εξέλιξη της γεωλογικής χαρτογράφησης στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις

Τελικά, στον πρώιμο σύγχρονο κόσμο, όπου η κατανόηση δομούνταν μέσω αναλογιών, οι χάρτες αντιπροσώπευαν ένα μεταγενέστερο επίπεδο αφηρημένου συλλογισμού, συνδυάζοντας τη μειωμένη απόδοση των μακρινών, αόρατων γεωγραφιών με την κατασκευή ενός αναλογικού χώρου σε δισδιάστατα υλικά ([Mattes, 2022](#)).

Περίπου εκατό χρόνια αργότερα και έχοντας εξελιχθεί σημαντικά η χαρτογράφηση των υπόγειων ορυχείων στην Ευρώπη με τη δημιουργία χαρτών, ακολούθησε η Αμερική προσπαθώντας να εντάξει τη χρήση των χαρτών στα ορυχεία.

Κεφάλαιο 5ο: Η σπουδαιότητα και η εξέλιξη της υπόγειας χαρτογράφησης στην Αμερική

5.1. Η σημασία των χαρτών των ορυχείων στην Αμερική

Στην Ισπανία και την ισπανική Αμερική, την εποχή των Βουρβόνων, ήταν συνηθισμένο για τα άτομα να συντάσσουν προτάσεις για λύσεις σε κάθε είδους συγκεκριμένα οικονομικά, κοινωνικά ή πολιτικά προβλήματα και να τις παρουσιάζουν στις αποικιακές ή μητροπολιτικές αρχές. Αυτές οι προτάσεις συλλογικά χαρακτηρίζονται *Projectos* από τους ιστορικούς σύμφωνα με τον Scott ([2015](#)).

Στη δεκαετία του 1860 πριν από την άνοδο της βιομηχανοποιημένης εξόρυξης στην Αμερική, οι χάρτες των υπόγειων χώρων στη μεταλλευτική ήταν σπάνιοι. Ο πιο σημαντικός λόγος ήταν το γεγονός ότι θεωρήθηκε πως ελάχιστα προβλήματα μπορούσαν να λυθούν με τη χρήση των υπόγειων χαρτών, καθώς τα περισσότερα ορυχεία ήταν πολύ κοντά στην επιφάνεια της γης. Πολλοί μεταλλωρύχοι θεωρούσαν πως οι χάρτες δεν παρείχαν καμία βοήθεια στην υπόγεια εργασία, αφού ο ρυθμός ανάπτυξης της υπόγειας εκμετάλλευσης ήταν πολύ αργός. Πιο αναλυτικά, η καθημερινή εργασία των μεταλλωρύχων μπορούσε εύκολα να πραγματοποιηθεί χωρίς τη χρήση χαρτών, αφού μόλις εντόπιζαν μία φλέβα μεταλλεύματος, η ίδια η φλέβα τους οδηγούσε σε περισσότερο μέταλλευμα και συνεπώς περισσότερη παραγωγή. Λίγοι ήταν οι άνθρωποι, οι οποίοι πριν από τον εμφύλιο πόλεμο της Αμερικής εκπαιδεύτηκαν να σχεδιάζουν χάρτες. Ωστόσο, η κατάσταση δεν άλλαξε δραματικά κατά τη διάρκεια του 1860 και του 1870. Η χαρτογράφηση των ορυχείων διαδόθηκε λίγο περισσότερο στη Δύση και την Ανατολή, εξαιτίας του γεγονότος ότι η επιρροή των μηχανικών εξόρυξης ήταν αξιοπρόσεκτη. Στην ανατολική Πενσυλβάνια, οι περιοχές με ανθρακίτη αποτέλεσαν την εστία για την καινοτομία της υπόγειας χαρτογράφησης ([Arnold, 2015](#)).

5.2. Η λειτουργία και η εξόρυξη των ορυχείων στη Λατινική Αμερική

Το 1790 ο Gaspar de Sabugo, ο οποίος ήταν ταξίαρχος και ιδιοκτήτης ορυχείου, ισχυρίστηκε ότι είχε βρει ένα νέο τρόπο εξόρυξης, και τον είχε εφαρμόσει στο ορυχείο αργύρου της Santa Barbara στην κεντρική περουβιανή επαρχία, Χουαροχίρι. Παράλληλα, ζήτησε από το Δικαστήριο των Μεταλλείων της Λίμα να αναγνωρίσει αυτόν τον τρόπο λειτουργίας των ορυχείων ως καινοτόμο. Το εντυπωσιακό αυτό σχέδιο του ορυχείου, με τίτλο «*Plano del nuevo método de trabajar las minas*» (Σχέδιο της νέας μεθόδου λειτουργίας στα ορυχεία), το οποίο υπέβαλε ο Sabugo παράλληλα με την αναφορά του, αποτελούσε ουσιαστικό στοιχείο της υποτιθέμενης καινοτομίας του, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.1. Συγκεκριμένα, το σχέδιο αυτό απεικόνιζε μία διπλή

κάθετη τομή που δείχνει το εσωτερικό του ορυχείου από μπροστά και από το κέντρο, συνδυαστικά με τη θέα του τοπίου της επιφάνειας. Αυτή η νέα προσέγγιση στην εξόρυξη, ήταν αρκετά διαφορετική από τον τρόπο με τον οποίο εμφανίζονταν τα ορυχεία και οι υπόγειοι χώροι στην Ισπανική Αμερική.



Εικόνα 5.1: Το σχέδιο της νέας μεθόδου λειτουργίας των ορυχείων. Gaspar de Sabugo, *Plano del nuevo método de trabajar las minas* (Scott, 2015).

Αξίζει να σημειωθεί πως παρατηρήθηκε μία άνθηση των μελετών όσον αφορά στους όψιμους αποικιακούς χαρτογραφικούς πολιτισμούς στην ιβηρική Αμερική, καθώς και στην αλλαγή και την επιμονή με την πάροδο του χρόνου σε χωρικές και γεωγραφικές υποθέσεις. Το έργο αυτό έχει δώσει μέχρι στιγμής ελάχιστη προσοχή στη χαρτογράφηση των μεταλλευτικών περιοχών και στις αντιλήψεις του υπόγειου χώρου στην εποχή του Διαφωτισμού. Στην έρευνα των οπτικών πηγών και της μεταλλευτικής νομοθεσίας από τον δέκατο έκτο έως τον δέκατο όγδοο αιώνα, εντοπίζονται στη συνέχεια μεταβαλλόμενα πρότυπα σκέψης για τους χώρους εξόρυξης στις Άνδεις. Μέχρι τα τέλη του δέκατου όγδοου αιώνα, στο πλαίσιο των ευρύτερων ρευμάτων των ιδεών και των ιδανικών του Διαφωτισμού, η εμπιστοσύνη στη δυνατότητα εισαγωγής της χωρικής και της κοινωνικής τάξης στα ορυχεία κέρδιζε συνεχώς έδαφος. Θεωρείται επίσης ότι η παραγωγή χαρτών αντικατόπτριζε και ενίσχυε αυτή την αλλαγή. Η μελέτη παρέχει μία ιδανική εστίαση για τη χαρτογράφηση σε μεγαλύτερο βάθος αυτών των μεταγενέστερων αποικιακών αλλαγών στη σκέψη για τους χώρους εξόρυξης. Ομοίως, το σχέδιο του Sabugo προοριζόταν να κάνει περισσότερα από το να

Η εξέλιξη της γεωλογικής χαρτογράφησης στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις

αντιπροσωπεύει απλά μία καινοτόμο μέθοδο εξόρυξης. Αντίθετα, ο Sabugo το ανέφερε ως ένα ζωτικό εργαλείο για την εισαγωγή της φωτισμένης τάξης κάτω από το έδαφος σε όλο το Περού ([Scott, 2015](#)).

5.2.1. Η πρόταση και το σχέδιο του Sabugo

Σε ένα υπόμνημα του Sabugo προς τον αντιβασιλέα, αναφέρεται πως ήταν οδυνηρό να βλέπει κανείς πώς οι απρόσεκτες πρακτικές καταστρέφουν τα ορυχεία και να βλέπει επίσης πώς τα ορυχεία που θα μπορούσαν να διαρκέσουν πάνω από έναν αιώνα καθίσταται άχρηστα σε μόλις είκοσι ή είκοσι πέντε χρόνια. Σε αντίθεση με την Αγγλία, όπου η εξόρυξη του άνθρακα άνθισε και έδωσε δουλειά σε χιλιάδες άνδρες, στο Περού τα ορυχεία και οι μεταλλωρύχοι παραμελούνταν. Παρά το γεγονός ότι κατείχε μια τόσο μεγάλη ήπειρο, ένα σοβαρό μειονέκτημα ήταν ότι δεν υπήρχαν κίνητρα ή ανταμοιβές, και συνεπώς κανείς δεν ήταν πρόθυμος να καινοτομήσει. Επομένως, η καινοτομία εξόρυξης του Sabugo, είχε ως στόχο να βοηθήσει στην αλλαγή αυτής της κατάστασης προς το καλύτερο. Έχοντας πειραματιστεί με διαφορετικές προσεγγίσεις, υιοθετήθηκε τελικά η μέθοδος που αντιπροσωπεύεται στο σχέδιό του. Ο Sabugo είχε ήδη υποβάλει την πρότασή του στο Δικαστήριο νωρίτερα το 1790. Το Δικαστήριο, ωστόσο, το απέρριψε με το επιχείρημα ότι δεν περιείχε κάτι νέο ή καινοτόμο, αλλά ότι απλώς ακολουθήθηκαν οι κανόνες που ορίζονται στις διατάξεις της Νέας Ισπανίας που είχαν εγκριθεί το 1787.

Παρ' όλα αυτά, το σχέδιο του Sabugo είχε αρκετούς υποστηρικτές, οι οποίοι επιβεβαίωναν πως το συγκεκριμένο σχέδιο και η μέθοδος που αντιπροσώπευε, αποτελούσαν μία σημαντική βελτίωση των υφιστάμενων μεταλλευτικών πρακτικών στο Περού. Πίστευαν επίσης πως αν υιοθετηθεί, θα διευκολύνει σε μεγάλο βαθμό την εξόρυξη των μεταλλευμάτων και του νερού, και θα επιτρέψει τον καθαρισμό και τον αερισμό των ορυχείων με μεγαλύτερη ευκολία. Ένας από αυτούς ήταν ο Don Josef Ignacio de Rojas y Melo, ο οποίος ισχυρίστηκε ότι στα είκοσι οκτώ χρόνια εργασίας του ως μεταλλωρύχος και επιθεωρητής ορυχείων, ταξιδεύοντας ευρέως σε πολλές επαρχίες, δεν είχε συναντήσει ποτέ μια μέθοδο τόσο κατάλληλη και χρήσιμη. Το ίδιο υποστηρικτικός ήταν και ο μεταλλωρύχος Don Luis Riamondez, που είχε εργαστεί στο Χουαροχίρι για περισσότερα από δεκαοκτώ χρόνια. Τα οφέλη από αυτό το σχέδιο ήταν πολλά, αφού το ορυχείο του San Silvestre στο οποίο διορίστηκε διαχειριστής ο Sabugo, το κόστος εξόρυξης του μεταλλεύματος μειώθηκε αισθητά και το ορυχείο παρήγαγε μεγάλο πλούτο. Τελικά, το σχέδιο εμφανίζεται ως το κύριο κλειδί για τη μετατροπή των ορυχείων του Περού σε χώρους μεγάλης παραγωγικότητας.

Στις Άνδεις, οι ύστερες αποικιακές μεταλλευτικές μεταρρυθμίσεις απέφεραν μόνο μέτρια αποτελέσματα όσον αφορά στην αύξηση της παραγωγικότητας και ο βαθμός στον οποίο ο τεχνολογικός εκσυγχρονισμός πραγματοποιήθηκε σε περιοχές εξόρυξης ήταν πράγματι

περιορισμένος. Ωστόσο, χάρτες και σχέδια από τα τέλη του δέκατου όγδοου αιώνα, μαζί με τους κώδικες εξόρυξης και τα σχόλια σχετικά με τη νομοθεσία για τα ορυχεία, αποκαλύπτουν την εμφάνιση μίας αναδυόμενης εμπιστοσύνης στη δυνατότητα μετασχηματισμού των χώρων εξόρυξης. Αν σε παλαιότερες εποχές, αυτοί οι χώροι θεωρούνταν ευρέως ως εγγενώς επικίνδυνοι και πέρα από το κράτος δικαίου, μέχρι τις τελευταίες δεκαετίες του ίδιου αιώνα, η ιδέα ότι θα μπορούσαν να μετρηθούν με ακρίβεια, να ρυθμιστούν προσεκτικά και να αξιοποιηθούν σύμφωνα με τις ορθολογικές αρχές μεταδόθηκε τόσο από τους χάρτες όσο και από τα γραπτά κείμενα. Συγκριτικά με τα σχέδια εξόρυξης στα τέλη του δέκατου όγδοου αιώνα που παρήχθησαν από στρατιωτικούς μηχανικούς, το σχέδιο του Sabugo δεν ήταν σε καμία περίπτωση ένα εξελιγμένο τεχνικό σχέδιο. Η σημασία που προσέδωσε ο Sabugo στο σχέδιό του, όμως, ξεπέρασε κατά πολύ την απεικόνιση, με μοναδικό σκοπό να πείσει το Δικαστήριο των Μεταλλείων της Λίμας ότι άξιζε την αναγνώριση ως καινοτόμου. Αντίθετα, οραματίστηκε το σχέδιο ως ένα εξαιρετικά φορητό εργαλείο, το οποίο θα μπορούσε να αναπαράγεται και να κυκλοφορεί μεταξύ των μεταλλωρύχων προκειμένου να αναδημιουργήσει σε όλο το Περού τους προσεκτικά χώρους εκσκαφής και εκμετάλλευσης που ήδη υπήρχαν στη Santa Bárbara. Αυτό συνέβαλε στη διερεύνηση για την ύστερη αποικιακή χαρτογραφική κουλτούρα στην ισπανική Αμερική, παρέχοντας ένα εντυπωσιακό παράδειγμα των δυνατοτήτων μετασχηματισμού, που συνδέθηκαν με τους χάρτες σε αυτή την εποχή. Τέλος, η λεπτομερής χαρτογράφηση του τρόπου με τον οποίο αναπτύχθηκαν οι χαρτογραφικές αναπαραστάσεις των ορυχείων του Ποτοσί και του Huancavelica με την πάροδο του χρόνου, η χαρτογράφηση των κοιτασμάτων των ορυκτών στα ύστερα αποικιακά σύνορα του αποικισμού και η χρήση των χαρτών και των σχεδίων σε τρόπους εξόρυξης είναι μόνο μερικές από τις θεματικές γωνίες που αξίζουν να ερευνηθούν περαιτέρω ([Scott, 2015](#)).

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί πως στις αρχές του δέκατου ένατου αιώνα συνέβη μία σημαντική αλλαγή στον τοπογραφικό εξοπλισμό που αφορούσε στην ανάπτυξη του οπτικού και όχι του μαγνητικού εξοπλισμού. Αυτά τα νέα όργανα που ονομάζονταν θεοδόλιχοι, ήταν πιο ακριβή από τις μαγνητικές πυξίδες αλλά ταυτόχρονα ήταν πιο ευαίσθητα και αργά στη χρήση. Ωστόσο, οι περισσότερες έρευνες ορυχείων στη βιομηχανική εποχή διεξήχθησαν με μία εξελιγμένη μορφή του θεοδόλιχου, το transit, με αποτέλεσμα οι μετρήσεις για τη δημιουργία χαρτών να ήταν πιο ακριβείς ([Arnold, 2015](#)).

5.3. Η ανάπτυξη και η διάδοση των χαρτών εξόρυξης στις Ηνωμένες Πολιτείες

Οι χάρτες των επιφανειακών τοπίων έχουν συσχετιστεί με την εξόρυξη για πολλούς αιώνες, συμπεριλαμβανομένων μερικών από τους πρώτους χάρτες που σχετίζονται με την εξόρυξη στις

Η εξέλιξη της γεωλογικής χαρτογράφησης στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις

Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής. Ένας σημαντικός λόγος ήταν ότι υπήρχε μικρή εξορυκτική δραστηριότητα στην Αμερική το 1856 που ήταν αρκετά βαθιά για να χαρτογραφηθεί, και ήταν λίγοι οι μηχανικοί που θα μπορούσαν να είχαν κάνει τη συγκεκριμένη δουλειά. Αυτή η κατάσταση όμως άλλαξε δραματικά τις επόμενες δεκαετίες και ξεκίνησε με την έρευνα των υπόγειων ορυχείων.

Αρχικά, ένας τυπικός δυτικός υπόγειος χάρτης ήταν ένας σύνθετος οριζόντιος χάρτης, ο οποίος απεικόνιζε όλες τις λειτουργίες του ορυχείου σε διάφορα βάθη, με αποτέλεσμα ο παρατηρητής να μπορεί να δει από ψηλά κατευθείαν το εσωτερικό του ορυχείου. Ακόμα, οι εργασίες σε κάθε διαδοχικό επίπεδο του ορυχείου παρουσιάζονταν με διαφορετικά χρώματα στον χάρτη, έτσι ώστε να είναι διακριτές, ενώ συχνά προσδιορίζονταν με κάποιο αριθμό ή με το βάθος, όπως για παράδειγμα 2ο επίπεδο ή επίπεδο 1200ft (365.76 μέτρα). Αυτό είχε σαν συνέπεια να εμφανίζονται όλες οι οριζόντιες εργασίες στον χάρτη. Επιπλέον, υπήρχαν και χάρτες που χρησιμοποιούσαν κατακόρυφα επίπεδα, όμως ήταν λιγότερο συνηθισμένοι. Ωστόσο, αυτοί οι χάρτες μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να δείξουν τη γεωλογία. Κάποιες φορές, βέβαια, συνδυάζονταν δύο ή περισσότερες προβολές στο ίδιο φύλλο. Συνήθως, η πιθανότητα χαρτογράφησης ενός συγκεκριμένου ορυχείου αυξανόταν ανάλογα με το μέγεθος του ορυχείου, ενώ οι εξειδικευμένοι μηχανικοί εξόρυξης για την κατασκευή και τη χρήση των χαρτών έγιναν περισσότεροι αργότερα και κυρίως τον δέκατο ένατο αιώνα.

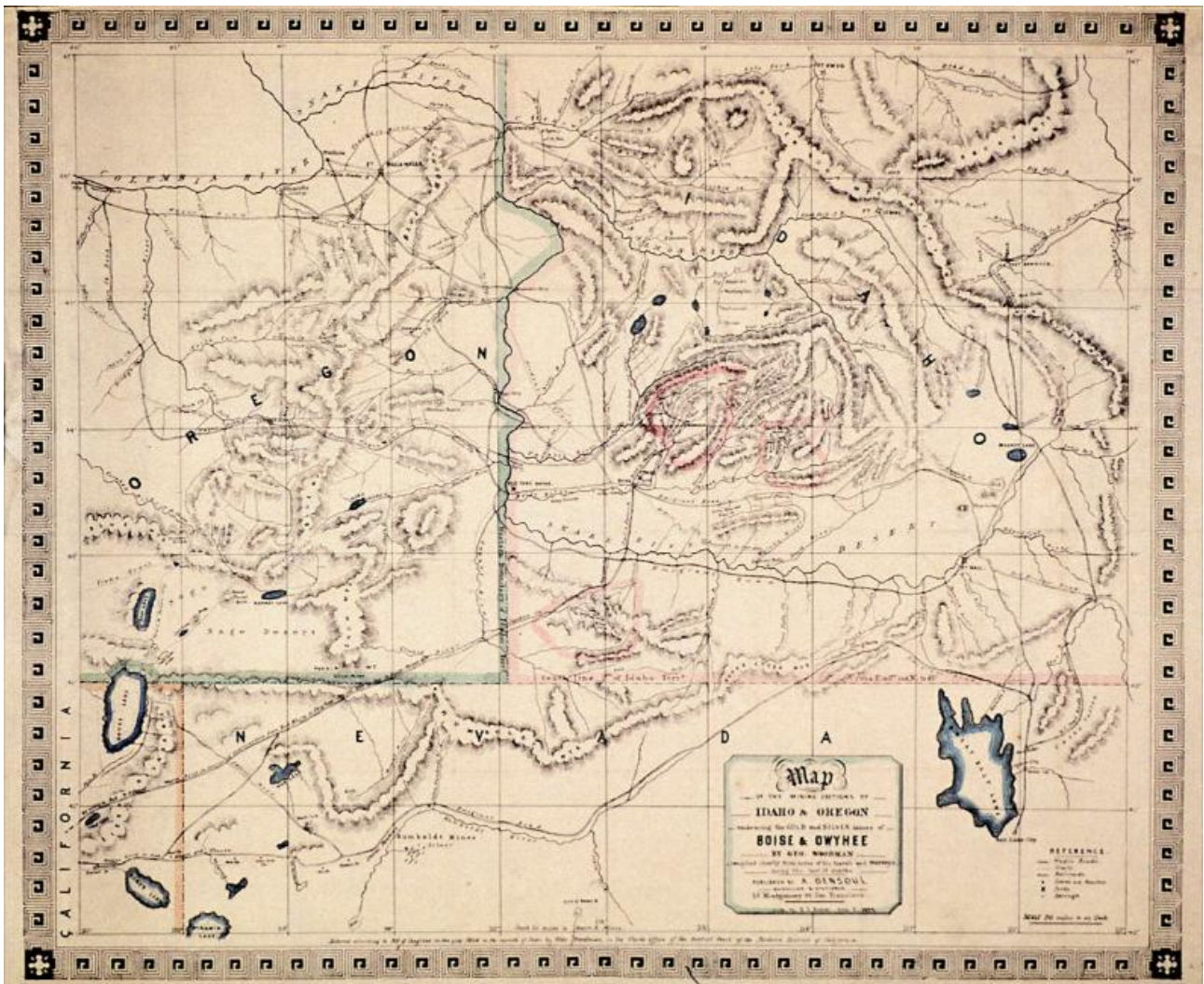
Επιπρόσθετα, η χρήση των υπόγειων χαρτών συνδέθηκε στενά με τη βιομηχανική ανάπτυξη της εξόρυξης στα τέλη του δέκατου ένατου αιώνα. Όταν οι πρακτικές εξόρυξης ήταν σχετικά απλές, υπήρχε μικρή ανάγκη για χάρτες ορυχείων, για υπόγειες τοπογραφικές εργασίες ή για μηχανικούς εξόρυξης.

Εκτός από τους χάρτες της επιφανειακής ιδιοκτησίας και των περιοχών διεκδίκησης που απεικόνιζαν την επιφάνεια της γης, ένας άλλος πρόδρομος των υπόγειων χαρτών ήταν οι γεωλογικοί χάρτες, οι οποίοι υποτίθεται ότι έδειχναν τη γεωλογία κάτω από την επιφάνεια της γης. Ωστόσο, οι γεωλογικές επιστήμες συγχωνεύτηκαν γρήγορα τις πρώτες δεκαετίες του δέκατου ένατου αιώνα και η οπτική αναπαράσταση των γεωλογικών χαρακτηριστικών έπαιξε σημαντικό ρόλο στις γεωλογικές ερμηνείες. Πρέπει να αναφερθεί ότι η δημιουργία του πρώτου γεωλογικού χάρτη, το 1815 αποδίδεται στον William Smith.

Επίσης, ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι περιοχές του Αϊντάχο και του Όρεγκον. Συγκεκριμένα, στη δεκαετία του 1850, ανακαλύφθηκαν περισσότερα κοιτάσματα χρυσού στη μαύρη άμμο της Νότιας Ακτής, στις δυτικές πλαγιές των Cascades, κατά μήκος του ποταμού John Day, καθώς επίσης και στη βορειοανατολική Ουάσιγκτον και τη νότια Βρετανική Κολομβία. Αυτό είχε σαν συνέπεια, να αυξηθεί η αναζήτηση κοιτασμάτων χρυσού και επομένως από το 1860 και για τα επόμενα τρία χρόνια, ανακαλύφθηκε ο χρυσός κατά μήκος των ποταμών Clearwater και Salmon,

Η εξέλιξη της γεωλογικής χαρτογράφησης στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις

καθώς επίσης και στη λεκάνη Boise, αλλά και στα όρη Owyhee. Η μεγάλη ζήτηση χρυσού και αργύρου ήταν ένας καθοριστικός παράγοντας για την ανάπτυξη της ενδοχώρας. Ωστόσο μέχρι το 1864, όπου δημοσιεύτηκε ένας χάρτης, η εξορυκτική δραστηριότητα μετατοπίστηκε από τις περιοχές του Clearwater του Αϊντάχο και Auburn του Όρεγκον στη λεκάνη Boise και τα Όρη Owyhee. Στην *Εικόνα 5.2*, παρουσιάζεται ο χάρτης των τμημάτων εξόρυξης του Αϊντάχο και του Όρεγκον, ο οποίος κατασκευάστηκε από τον George Woodman, βασίστηκε στις έρευνες του ίδιου το 1860 και είχε ως σκοπό την αναζήτηση κοιτασμάτων χρυσού ([Allen, 2005](#)).



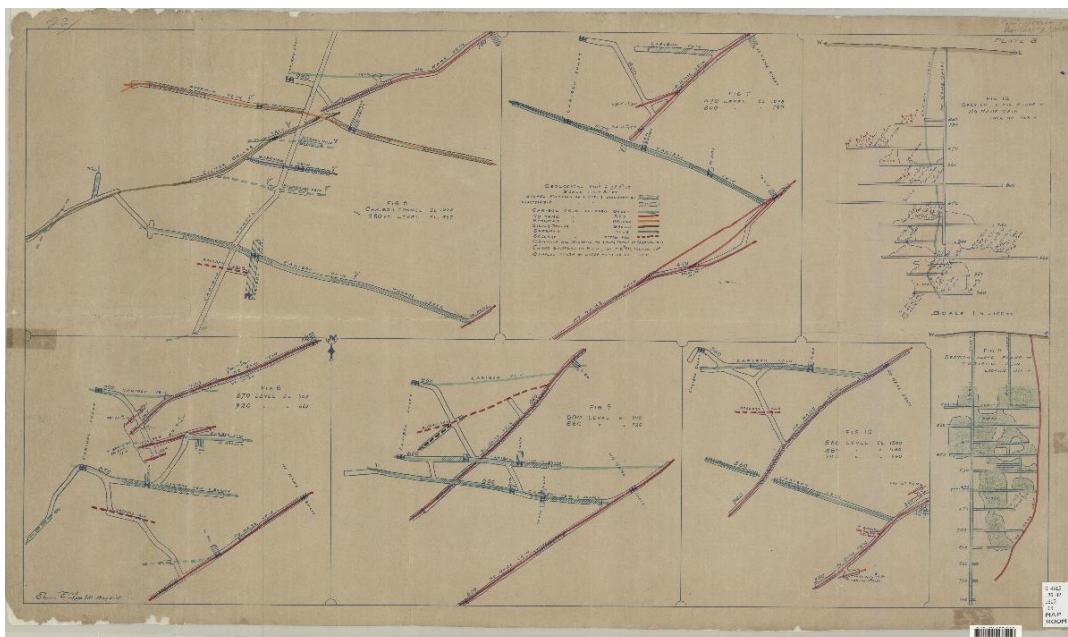
Εικόνα 5.2: Χάρτης που απεικονίζει τα τμήματα της εξόρυξης στις περιοχές του Αϊντάχο και του Όρεγκον, ο οποίος κατασκευάστηκε από τον George Woodman το 1864 ([Allen, 2005](#)).

Μέχρι τη δεκαετία του 1890, τα ορυχεία Butte ήταν μεγάλα και πολύπλοκα και η γνώση που απαιτούνταν για τη χαρτογράφηση ήταν άμεσα διαθέσιμη. Πολλά ορυχεία χαρτογραφήθηκαν με βάση την κλίμακα σαράντα σε σύνθετο χάρτη, κάτι που θεωρούνταν συνηθισμένο στη Δύση. Οι χάρτες του Butte καθώς και άλλων περιοχών, απεικόνιζαν με εξιδανικευμένο τρόπο κυρίως τις ανασκαφές που είχαν κάνει οι μεταλλωρύχοι υπόγεια. Πιο αναλυτικά, απεικόνιζαν άξονες, ανυψώσεις από το ένα επίπεδο στο άλλο κ.α., καθώς επίσης εμφανίζονταν σύμβολα που

Η εξέλιξη της γεωλογικής χαρτογράφησης στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις

υποδείκνυαν τους σταθμούς του τοπογράφου και άλλα υπόγεια χαρακτηριστικά. Τέλος, οι σύνθετοι αυτοί χάρτες κατέγραφαν τις μηχανικές λεπτομέρειες του υπόγειου χώρου και αργότερα αποτέλεσαν τη βάση για τη δημιουργία του καινοτόμου συστήματος Butte.

Στη συνέχεια, η χαρτογράφηση των ορυχείων εξαπλώθηκε ανομοιόμορφα στην αμερικανική βιομηχανία εξόρυξης, ξεκινώντας από τα τέλη της δεκαετίας του 1850 και επιταχύνθηκε στα μέσα της δεκαετίας του 1870 και του 1880, με ευρεία αποδοχή στις αρχές του εικοστού αιώνα. Αξίζει να αναφερθεί το γεγονός ότι το μεταλλείο του Caribou, στο οποίο εξορυσσόταν χρυσός, άργυρος, μόλυβδος και ουράνιο από το 1870 και για εκατό περίπου χρόνια, αποτελεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα εξέλιξης των χαρτών. Στην *Εικόνα 5.3* που φαίνεται παρακάτω, παρουσιάζεται το ορυχείο αργύρου του Caribou και συγκεκριμένα, οι κατόψεις των μεταλλείων καθώς και οι κατακόρυφες τομές του υπογείου σε διάφορα επίπεδα της εκμετάλλευσης. Δηλαδή, απεικονίζονται οι στοές της εκμετάλλευσης, τα έργα προσπέλασης και το κοίτασμα προς εκμετάλλευση. Η ιστορία της εκβιομηχάνισης της αμερικανικής εξόρυξης, εμφανιζόταν περισσότερο εξελιγμένη σε κάποιες περιοχές συγκριτικά με άλλες. Επιπλέον, η υπόγεια χαρτογράφηση προωθήθηκε περισσότερο σε κάποιες περιοχές από ότι σε κάποιες άλλες για λόγους πέραν της απλής τεχνικής εμπειρογνωμοσύνης. Ένα παράδειγμα αποτελεί η βιομηχανία εξόρυξης άνθρακα της ανατολικής Πενσυλβάνια, η οποία ήταν ένας αρχικός ηγέτης στην αμερικανική τοπογραφία των ορυχείων εξαιτίας πολλών παραγόντων, συμπεριλαμβανομένης και της πρώιμης πολιτειακής ρύθμισης σχετικά με την κατασκευή χαρτών. Η πρακτική της υπόγειας χαρτογράφησης στην Αμερική ήταν πιο προηγμένη στην περιοχή των ανθρακωρυχείων στην Πενσυλβάνια, εν μέρει λόγω των πρωτοποριακών νόμων για την ασφάλεια των ορυχείων που ψηφίστηκαν από την πολιτεία που απαιτούσε τη χαρτογράφηση των ορυχείων ανθρακίτη.



Εικόνα 5.3: Κατόψεις και κατακόρυφες τομές του κοιτάσματος και των υπόγειων μεταλλείων του Ορυχείου αργύρου του

Τελικά, τόσο η εκβιομηχάνιση της μεταλλευτικής βιομηχανίας, όσο και η ανάπτυξη της οπτικής κουλτούρας της εξόρυξης επιτεύχθηκαν τη δεκαετία του 1880. Μέχρι το τέλος της ίδιας δεκαετίας η ακριβής τοπογραφία των ορυχείων αποτελούσε ευρέως ένα σημαντικό συστατικό της εργασίας κάθε μηχανικού ορυχείων, αν και οι βέλτιστες πρακτικές ακολουθήθηκαν με συνέπεια μόνο από τις μεγαλύτερες εταιρείες εξόρυξης.

Μετά την αλλαγή του εικοστού αιώνα, παραδείγματος χάρι, οι χάρτες του ανθρακωρυχείου Drifton που έχουν διασωθεί αποκτούν πιο δυναμική ποιότητα, καθώς η χαρτογράφηση έγινε μια αναμενόμενη διαδικασία σε όλη τη βιομηχανία εξόρυξης και οι χάρτες ενσωματώθηκαν περισσότερο στην καθημερινή εργασία του ορυχείου. Εξετάζοντας επομένως, ένα εύρος χαρτών από το 1870 έως το 1927 ενός μεμονωμένου ορυχείου σε ένα μόνο μέρος μπορεί κανείς να συμπεράνει ορισμένες μακροπρόθεσμες τάσεις που σχετίζονται με την οπτική κουλτούρα της εξόρυξης. Το πιο σημαντικό είναι πως, οι χάρτες έγιναν χρήσιμοι ως αναπαράσταση του υπογείου. Οι πρώτοι χάρτες θα ήταν ελάχιστα χρήσιμοι σε κάποιον που δεν ήταν ήδη εξοικειωμένος με τα έργα του Drifton, αλλά οι μεταγενέστεροι χάρτες παρείχαν αρκετές πληροφορίες για να επιτρέψουν σε κάποιον που δεν ήταν εξοικειωμένος με το μέρος, αλλά έχοντας κάποιες γνώσεις στη μηχανική που χρησιμοποιούσε, να έχει μια καλή εκτίμηση της κατάστασης του ορυχείου. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα, η πιο ισχυρή γνώση που σχετίζεται με τους πρώτους χάρτες - τοπικές γνώσεις, του είδους που κατείχαν οι μεταλλωρύχοι - έδωσε τη θέση της στη γνώση της μηχανικής και της διαχείρισης, η οποία συγκέντρωσε δεδομένα σχετικά με την κατάσταση του υπόγειου χώρου. Αυτά κωδικοποιήθηκαν σε αριθμούς, σύμβολα και λέξεις και αποτυπώθηκαν σε χάρτη. Αυτή η μετατόπιση συνδέεται με την αυξανόμενη χρησιμότητα του χάρτη ως βάσης για τη λήψη αποφάσεων από στελέχη που απομακρύνθηκαν από το άμεσο πλαίσιο της υπόγειας εργασίας. Αποτελεί επίσης απόδειξη και εργαλείο για την ενίσχυση του ελέγχου των μηχανικών στο υπόγειο εργασία. Συμπερασματικά, οι μεταγενέστεροι χάρτες δεν ήταν απλώς δισδιάστατες εικόνες μιας πανοραμικής άποψης του υπόγειου (όπως ήταν ο χάρτης του 1870), αλλά περιέγραφαν επίσης τη γεωλογία, το υψόμετρο καθώς και τους ελέγχους της εργασίας και παρείχαν λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με την σταθερότητα του χώρου εργασίας.

5.4. Συμπεράσματα για την εξέλιξη των χαρτών στα ορυχεία των ΗΠΑ

Συμπερασματικά, οι χάρτες των υπόγειων ορυχείων ήταν ένα κεντρικό μέρος της οπτικής κουλτούρας της εξόρυξης που αναπτύχθηκε στα τέλη του δέκατου ένατου και στις αρχές του εικοστού αιώνα. Άσχετοι ή ανύπαρκτοι πριν από τα τέλη της δεκαετίας του 1850, οι υπόγειοι

Η εξέλιξη της γεωλογικής χαρτογράφησης στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις

χάρτες έγιναν σταδιακά πιο εξελιγμένοι, πιο ακριβείς και χρήσιμοι, και τελικά έγιναν το βασικότερο εργαλείο για τους μηχανικούς των ορυχείων καθώς και για τους διαχειριστές που υπηρέτησαν. Για να κατασκευάσουν έναν χάρτη ορυχείων, οι μηχανικοί έπρεπε να χρησιμοποιήσουν εξειδικευμένα εργαλεία για να ερευνήσουν το υπόγειο, στη συνέχεια να σχεδιάσουν, να αποθηκεύσουν και να αντιγράψουν τον χάρτη σε έναν χώρο αφιερωμένο στην οπτική κουλτούρα του ορυχείου. Η στενή σύνδεση των μηχανικών εξόρυξης με την υπόγεια χαρτογράφηση ξεκίνησε, για τους περισσότερους, με την πανεπιστημιακή τους εκπαίδευση, εάν εκπαιδεύτηκαν στα αναπτυσσόμενα προγράμματα μηχανικής εξόρυξης της δεκαετίας του 1880, ή με την έκθεση στο θέμα σε τεχνικές πραγματείες που προέκυψαν την ίδια εποχή. Τέλος, όποια και αν ήταν η πηγή, η χαρτογράφηση και η τοπογραφία των ορυχείων έγιναν κεντρικές στην επαγγελματική ταυτότητα των μηχανικών ορυχείων, γεγονός που καθόρισε τους μηχανικούς εξόρυξης αυτοί που ήταν ([Arnold, 2015](#)).

Τόσο τα ορυχεία όσο και οι χάρτες των ορυχείων έγιναν πιο συχνόι κατά τη διάρκεια του δέκατου όγδοου αιώνα στη Νέα Ισπανία. Τα παράπονα για την ανάγκη για πιο ακριβείς χάρτες των ορυχείων ήταν επαναλαμβανόμενα κατά το δεύτερο μισό του αιώνα. Μια χρονολογική ανάλυση ορισμένων από τους χάρτες και τα σχέδια που φτιάχτηκαν μεταξύ του τέλους του δέκατου έβδομου αιώνα και του τέλους του δέκατου όγδοου, όλα στα Εθνικά Αρχεία του Μεξικού, παρέχει μια ματιά στα είδη των προβλημάτων που αντιμετώπισαν οι μεταλλωρύχοι, οι ιδιοκτήτες και οι τοπογράφοι στη Νέα Ισπανία, σχετικά με τον καθορισμό του σχήματος, την έκταση και την εσωτερική δομή των ορυχείων καθώς επίσης και του τρόπου με τον οποίο τα αντιμετώπιζαν.

Ωστόσο, και οι δύο χάρτες, των ορυχείων San Antonio στο Cerro Garibaldi και Cabrera και San Antonio, παρουσιάζουν ξεκάθαρα τα ορυχεία ως κάτι χωρίς βάθος και τόσο απλό όσο οι δρόμοι στην επιφάνεια. Αυτός ο τρόπος απεικόνισης των ορυχείων είχε το πλεονέκτημα ότι έδειχνε τις προθέσεις του μεταλλωρύχου σε περίπτωση δικαστικής διαμάχης. Αναλυτικότερα, στην περίπτωση που το μονοπάτι ήταν κατά κάποιο τρόπο ακανόνιστο ή δύσκολο, τότε ήταν σαφές πως ακολουθούσε το μονοπάτι της φλέβας σύμφωνα με το νόμο. Ενώ στην περίπτωση που το μονοπάτι ήταν πολύ ίσιο προς την κατεύθυνση ενός δεύτερου ορυχείου που εκμεταλλευόταν μια πλούσια φλέβα, τότε ήταν ξεκάθαρα ότι το πρώτο ορυχείο ήταν κακόβουλο. Οι μεταλλωρύχοι του Guanajuato έδειχναν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τον συγκεκριμένο τρόπο απεικόνισης των ορυχείων. Τουλάχιστον από το 1739, είχαν προτείνει ότι τα ορυχεία πρέπει να μετρώνται μόνο στην επιφάνεια και ότι αυτές οι μετρήσεις δεν πρέπει να προβάλλονται σε βάθος. Επομένως, το υπόγειο θα παρέμενε απροσδιόριστο, διασφαλίζοντας έτσι το δικαίωμά τους να εξερευνούν και να εκμεταλλεύονται την έκταση της κλίσης της φλέβας σαν να ήταν απεριόριστη.

Εντούτοις, σύντομα, τα πλεονεκτήματα του να γίνει ορατός ο υπόγειος όγκος έγιναν εμφανή. Κατά τις αρχές της δεκαετίας του 1750, μια σειρά δικαστικών διαφορών απ' ότι φαίνεται, οδήγησε

στην εξέταση νέων τρόπων απεικόνισης της ανάπτυξης των ορυχείων και στις επακόλουθες διαδοχικές αλλαγές που υπέστησαν σε νομικούς όρους, ως συνέπεια των διαφορετικών ερευνών. Έτσι, ο χάρτης του ορυχείου του San Antonio de Zimapán, Hidalgo (1751), αντιπαραθέτει τα μέτρα που ελήφθησαν το 1744 με εκείνα του 1751 για να αποσαφηνιστούν τα δικαιώματα των διαφορετικών ιδιοκτητών πάνω στην κύρια φλέβα. Παρ' όλα αυτά, και οι δύο χάρτες λειτούργησαν ως επιστημονικό όργανο που βοήθησε να καθοριστούν τα στοιχεία που συνέθεταν την ενότητα της περιγραφής του ορυχείου.

Αυτή η τάση όμως δεν ήταν αποκλειστική για τη Νέα Ισπανία. Το *Diseño del Cerro de Potosí* (1779) (Σχεδιασμός του Cerro de Potosí) του Juan Francisco Navarro είναι ένα καλό παράδειγμα της παρουσίας αυτού του στυλ στην Αντιβασιλεία του Περού. Ωστόσο, ο υπέροχος χάρτης του Minas del Real de Zacatecas (1789) (Ορυχεία της Ρεάλ ντε Ζακατέκας), που σχεδιάστηκε από τον Fermín de Reygadas κατόπιν αιτήματος της εταιρείας εξόρυξης, βασίστηκε σε προσχέδιο του διαχειριστή του ορυχείου Ventura de Arteaga. Ο συνδυασμός των προοπτικών του σηματοδοτεί τόσο την επέκταση και τα όρια καθεμιάς από τις μοναδικές εκμεταλλεύσεις, το βάθος των στοών καθώς και την κατεύθυνση και την κλίση των φλεβών, με τα ονόματα που τις προσδιόρισαν από τη φύση του ορυκτού, καθώς και τα διάφορα ποτάμια που τα διέσχιζαν. Έτσι, αποτυπώνει την έκταση της διαθέσιμης γνώσης σχετικά με τη δομή και τη διάθεση των «κάθετων στρωμάτων» που πέτυχαν οι μεταλλωρύχοι στη Νέα Ισπανία. Μέχρι τότε, λόγω των θεσμικών αλλαγών και της εφαρμογής των εταιρειών των ορυχείων, οι εξορυκτικές εξελίξεις και οι «*reales de minas*» (δηλαδή αληθινά ορυχεία) άρχισαν να διοικούνται από μεγάλες εταιρείες που πρόσφεραν ένα νέο μοντέλο που έτεινε να εκτοπίσει την κατανόηση της περιοχής εξόρυξης ως ένα σύνολο μικρών ιδιωτικών ασύνδετων εκμεταλλεύσεων. Τέλος, η δημιουργία του Board of Mines (1774), δηλαδή του Διοικητικού Συμβουλίου των Ορυχείων, άφησε επίσης αρκετά διαρκή σημάδια στην εννοιολογική χρήση αυτών των χαρτών, αλλά το κύριο αποτέλεσμα αυτών των διαδοχικών γραφικών έργων, μια διαρκής άποψη του μεταλλευτικού συγκροτήματος, ήταν ένα συλλογικό, αγωνιστικό και πολλαπλά - εστιασμένο επίτευγμα.

Κλείνοντας πρέπει να αναφερθεί πως στο συγκεκριμένο πλαίσιο της Νέας Ισπανίας, δηλαδή εκείνο ενός χώρου όπου το νομικό πλαίσιο άνοιξε τη δυνατότητα εγκαθίδρυσης μιας οικονομίας της γνώσης, με την επίτευξη του στόχου της διασφάλισης των αυτοκρατορικών και τοπικών συμφερόντων, οι χειρόγραφοι χάρτες των ορυχείων που κατασκευάστηκαν με έναν όχι αυστηρά τυποποιημένο και επισημοποιημένο τρόπο λειτούργησαν ως καταλύτης για τις εντάσεις που περιβάλλουν τις εξορυκτικές δραστηριότητες, καταγράφοντας με ευελιξία διαφορετικές φωνές, αναμνήσεις, έργα και φόβους. Αυτό έγινε αρκετά τοπικά και ως εκ τούτου, μια αίσθηση μοναδικότητας και κατακερματισμού, ακόμη και αβεβαιότητας, αναδύεται από την ανάγνωση και

Η εξέλιξη της γεωλογικής χαρτογράφησης στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις

την κυκλοφορία αυτών των εγγράφων στην εποχή τους, όπως και σήμερα ([Pérez, 2016](#)).

Σύμφωνα με τα παραπάνω, αν και χάρτες των υπόγειων ορυχείων στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής άργησαν να λάβουν τη σημασία που τους άξιζε και καθώς η διάδοσή τους δεν ήταν η απαιτούμενη, οι εργαζόμενοι των ορυχείων είχαν να αντιμετωπίσουν και περιβαλλοντικά προβλήματα. Ενώ αρχικά οι χάρτες που είχαν δεν ήταν ακριβείς σε πολλά ορυχεία όπως στη Λατινική Αμερική, αντίθετα με την Αμερική και συγκεκριμένα την Ανατολική Πενσυλβάνια, οι μεταλλωρύχοι αντιμετώπιζαν προβλήματα όπως οι κατολισθήσεις και η εισροή νερών στον υπόγειο χώρο. Τέλος, αυτά τα προβλήματα δεν αφορούσαν μόνο τα υπόγεια ορυχεία των ΗΠΑ αλλά όλα τα υπόγεια ορυχεία και τους λατομικούς χώρους ολόκληρης της γης.

Κεφάλαιο 6ο: Προβλήματα σταθερότητας των υπόγειων χώρων κατά τη χαρτογράφηση τους

6.1. Προβλήματα σταθερότητας των υπόγειων σπηλαίων στην Κίνα

Τα τελευταία χρόνια, ορισμένα σπήλαια λατομείων μεγάλης κλίμακας βρέθηκαν στην επαρχία Τζετζιάνγκ, στη Νότια Κίνα. Για παράδειγμα, τα σπήλαια Longyou κατασκευάστηκαν πριν από περίπου 2000 χρόνια στο Longyou, τα σπήλαια Feifengyan ανασκάφτηκαν αρχικά πριν από 700 χρόνια στο Xianju, τα σπήλαια Shepan Island στο Sanmen, τα σπήλαια Panlong στο Huangyan και τα σπήλαια Changyu στο Wenling. Κατά τη διάρκεια της χαρτογράφησης πολλών υπόγειων χώρων σε όλο τον κόσμο, δημιουργήθηκαν προβλήματα σχετικά με τη σταθερότητα των σπηλαίων και των αρχαίων λατομείων. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αφορούν κυρίως στα σπήλαια της Κίνας.

Το λατομείο Changyu, το οποίο βρίσκεται στο Wenling, μια παράκτια πόλη της επαρχίας Τζετζιάνγκ, στην Κίνα, είναι ένα σύστημα υπόγειων σπηλαίων που σχηματίζονται από τη λατομική δραστηριότητα. Ανασκάφτηκε αρχικά στη Νότια και Βόρεια Δυναστεία της Κίνας (420–589 μ.Χ.) για την εξόρυξη της πλάκας τόφφου. Η λατομική δραστηριότητα ωστόσο σταμάτησε τη δεκαετία του 1980 λόγω κυβερνητικών κανονισμών. Για να αξιοποιηθεί όμως πλήρως αυτή η ιστορική τοποθεσία, ιδρύθηκε το πάρκο λατομείου Changyu και αργότερα εξελέγη ως το παγκόσμιο γεωπάρκο και το εθνικό πάρκο των ορυχείων. Τόσο τα επιφανειακά όσο και τα υπόγεια λατομεία είναι εμφανή στο λατομείο Changyu, δηλαδή στο λατομείο ανοιχτής εκμετάλλευσης και στο υπόγειο λατομείο ή στις σπηλιές. Ωστόσο, το σημαντικότερο τουριστικό αξιοθέατο κρύβεται κάτω από την επιφάνεια, δηλαδή τα σπήλαια με διάφορες διαστάσεις. Περισσότερα από 1300 μεμονωμένα σπήλαια συγκεντρωμένα σε 28 συμπλέγματα σπηλαίων μπορούν να βρεθούν στο λατομείο. Πρέπει να αναφερθεί ότι υπάρχουν όμως και κάποιες ζημιές όπως για παράδειγμα η παραμόρφωση του βράχου, που αφορά στην τοπική αστάθεια, όπως οι πυλώνες, και ο κίνδυνος του νερού, που αναφέρεται στην εισροή υδάτων στον υπόγειο χώρο.

Επιπλέον, πολλά προβλήματα εμφανίζονται σε σχέση με το ζήτημα της μακροπρόθεσμης προστασίας των υπόγειων χώρων. Η επιφανειακή διάβρωση των σπηλαίων, η διείσδυση του νερού της γύρω βραχώδους μάζας, η πιθανή πτώση επικίνδυνων πετρωμάτων είναι μερικά προβλήματα που αφορούν στα σπήλαια Longyou, τα οποία βρίσκονται στα δυτικά της επαρχίας Τζετζιάνγκ, και τα οποία είναι γιγάντια αρχαία υπόγεια κτίρια που είχαν ανασκαφεί από τους αρχαίους Κινέζους τεχνίτες πριν από πολύ καιρό. Τα Σπήλαια Longyou προσέλκυαν την προσοχή μεγάλου αριθμού

Η εξέλιξη της γεωλογικής χαρτογράφησης στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις

ειδικών και επιστημόνων από την ανακάλυψή τους το 1992. Εκτός από τα πολλά μυστήρια στην αρχαιολογία, τα Σπήλαια Longyou έχουν επίσης μεγάλη αξία αναφοράς στη σύγχρονη υπόγεια μηχανική.

Κατά τη διάρκεια των επιτόπιων επιθεωρήσεων σε αρχαία υπόγεια λατομεία στο ChangyuDongtian και στις γύρω περιοχές, ανακαλύφθηκαν τα μέσα μεταφοράς που χρησιμοποιούσαν οι αρχαίοι άνθρωποι. Υπάρχουν βαρούλκα για ανύψωση, ειδικά δομημένες σανίδες και ένας αρχαίος ορεινός δρόμος, που δεν έχουν αναφερθεί ποτέ πριν. Οι μέθοδοι μεταφοράς είναι τα συσσωρευτικά αποτελέσματα των πρακτικών των αρχαίων ανθρώπων στη μακρά ιστορία των λατομείων στο ChangyuDongtian και της προοδευτικής βελτίωσης και της αδιάλειπτης κληρονομιάς. Κλείνοντας, όλα αυτά μαρτυρούν την εξαιρετική ευφυΐα και τη δημιουργικότητα των ανθρώπων της αρχαιότητας στο ChangyuDongtian.

Τέλος, μερικές ακόμα παραμορφώσεις, αναφέρονται σε εκείνες λόγω των ισχυρών βροχοπτώσεων όπως για παράδειγμα οι πτώσεις της οροφής και των πλευρικών τοιχωμάτων, καθώς επίσης και εξαιτίας άλλων περιβαλλοντικών και βιολογικών παραγόντων που οδήγησαν στην κατάρρευση βράχων και συνεπώς στο κλείσιμο της εισόδου των σπηλαίων ([Yang and Tanimoto, 2015](#)).

6.2. Προβλήματα σταθερότητας των αρχαίων λατομείων στην Ευρώπη και την Αίγυπτο

Υπάρχουν επίσης κάποια αρχαία λατομικά σπήλαια, τα οποία αποτελούν αναπόσπαστο μέρος των ιστορικών τοποθεσιών. Περιλαμβάνουν τα σπήλαια σε σχήμα καμπάνας του Bet Guvrin που ανασκάφτηκαν πριν από 1300 χρόνια στο Ισραήλ, το αλατωρυχείο Wieliczka, ένα μνημείο παγκόσμιας κληρονομιάς που λειτουργεί συνεχώς από τον Μεσαίωνα στην Πολωνία, και η Βασιλική Κινστέρνα στην Κωνσταντινούπολη, αξιοποιώντας τους ήδη υπάρχοντες χάρτες και τα σχέδια της κάθε περιοχής. Χαρακτηριστικό παράδειγμα υπόγειων λατομείων που παρουσίασαν προβλήματα διατήρησης σχετικά με τη γεωλογική και τη γεω-μηχανική ρύθμιση, καθώς και με τις ανησυχίες για τη σταθερότητα, είναι τα μεγάλα υπόγεια αυτοκρατορικά λατομεία στην Αντινούπολη της Αιγύπτου, τα οποία τα άνοιξαν και τα εκμεταλλεύτηκαν οι Ρωμαίοι τον 2ο-4ο αιώνα μ.Χ., τα τεράστια υπόγεια ανοίγματα αποθήκευσης νερού στο φρούριο του Μαχαΐρου του Ηρώδη του μεγάλου στην Ιορδανία, στα οποία οι Ιουδαίοι έσκαψαν τις στέρνες τον 1ο αιώνα π.Χ., και τέλος τα υπόγεια λατομεία της Pietra Serena στο Fiesole της Φλωρεντίας, τα οποία ανασκάφτηκαν από τον δέκατο όγδοο έως τον εικοστό αιώνα ([Yang and Tanimoto, 2015](#)).

Αντίθετα, το υπόγειο λατομείο του Caumont εμφανίζει κανονική γεωμετρία και σχετικά ομοιόμορφα σημάδια εργαλείων, ειδικά στον τομέα B, που προκύπτουν από τη χρήση δύο

συστηματικών μεθόδων εξόρυξης. Και οι δύο μέθοδοι στόχευαν σε επιλεγμένα στρώματα λαμβάνοντας υπόψη τη σταθερότητα του λατομείου και την απομάκρυνση του νερού. Σχετικά με τη σταθερότητα του λατομείου οι στοές ανασκάφτηκαν διαγώνια ως προς τα κύρια συστήματα θραύσης για την αποφυγή καταρρεύσεων και διεργασιών πτώσης πετρωμάτων στην οροφή και τους τοίχους. Τέτοιες κατασκευές και οικοδομήματα που έχουν απομείνει μέσα στις στοές δείχνουν ότι η λατομική δραστηριότητα στο Caumont σχεδιάστηκε προσεκτικά, λαμβάνοντας υπόψη τις τεχνολογικές προόδους κάθε χρονικής περιόδου καθώς και τις γεωλογικές ρυθμίσεις (όπως για παράδειγμα, την εξόρυξη λίθων, και τη σταθερότητα των στοών) ([Ballesteros et al., 2022](#)).

Πρέπει να αναφερθεί επίσης, ότι σύμφωνα με μία μελέτη της σύγχρονης εποχής για τη σταθερότητα των στοών και την αξιολόγηση της βραχομάζας του Παριανού μαρμάρου (*Εικόνα 6.1*), το οποίο εξορύσσονταν στο νησί της Πάρου στην Ελλάδα, προκύπτουν συμπεράσματα σχετικά με τη σταθερότητα των υπόγειων ανοιγμάτων. Συγκεκριμένα, η σταθερότητα των ανοιγμάτων αξιολογήθηκε με βάση τα δεδομένα LiDAR (Light Detection and Ranging) καθώς και τις επιτόπιες μετρήσεις ([Marinos et al., 2019](#)). Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται κυρίως για την αξιολόγηση τοποθεσιών με σημαντική αρχαιολογική αξία όπου η ανθρώπινη παρέμβαση πρέπει να είναι όσο το δυνατό περιορισμένη. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν επί τόπου, χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα για την αξιολόγηση της σταθερότητας των υπόγειων χώρων. Πιο συγκεκριμένα, η περιοχή μελέτης βρίσκεται περίπου 5 χλμ ανατολικά της πρωτεύουσας του νησιού, στην Παροικιά, στην περιοχή του χωριού Μαράθι. Η εκμετάλλευση των ορυχείων μαρμάρου ξεκίνησε κατά την Πρωτοκυκλαδική Περίοδο (3200–2000 π.Χ.). Αυτά τα ορυχεία αποτελούν σημαντική πηγή πλούτου και ανάπτυξης για το νησί από τον 7ο αιώνα π.Χ.



Εικόνα 6.1: Υπόγεια στοά στο λατομείο μαρμάρου στο Μαράθι στην Πάρο ([Δετοράτου, 2013](#)).

Αρχικά η εξόρυξη του μαρμάρου γινόταν στην επιφάνεια του εδάφους. Ωστόσο, η συνεχής πρόοδος σε μεγαλύτερα βάθη και το αυξανόμενο κόστος απομάκρυνσης του υπερκείμενου υλικού οδήγησαν στη συνέχιση των εργασιών με εκσκαφές υπόγειων ανοιγμάτων. Κατά την κατασκευή των υπόγειων ανοιγμάτων οι μηχανικοί εξόρυξης ακολουθούσαν συγκεκριμένα στάδια εκσκαφής. Μετά την απομάκρυνση μέρους του κοιτάσματος μαρμάρου, πραγματοποιούνταν περαιτέρω απομάκρυνση υλικού προκειμένου να δημιουργηθεί χώρος για τους εργάτες και την ανάπτυξη του εργοταξίου πριν από τη συνέχιση της εξόρυξης μαρμάρου.

Ωστόσο, η διαδραστική χαρτογράφηση των ασυνεχειών πραγματοποιούνταν με τη χρήση ενός τρισδιάστατου μοντέλου επιφάνειας. Αυτή η διαδικασία έχει πολλά πλεονεκτήματα σε αντίθεση με τη επιτόπια χαρτογράφηση, παρόλο που κάποιες φορές μπορεί να είναι χρονοβόρα, καθώς παρέχει πλήρη πρόσβαση στη σαρωμένη εκτεθειμένη βραχώμαζα, καθιστώντας τα δεδομένα πιο αξιόπιστα και μειώνοντας τον χρόνο στο πεδίο και τους σχετικούς κινδύνους στο υπόγειο περιβάλλον. Για την αξιολόγηση της ευστάθειας των υπόγειων ανοιγμάτων χρησιμοποιούνταν δεδομένα που είχαν συλλεχθεί με σάρωση λέιζερ καθώς επίσης και μετρήσεις πεδίου. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν εισήχθησαν σε ειδικό λογισμικό για περαιτέρω ανάλυση της σταθερότητας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την εγκυρότητα της γεωλογικής χαρτογράφησης και επομένως την παροχή μίας εικόνας των ασυνεχειών της οροφής της ανασκαφής. Τέλος, από την ανάλυση των δεδομένων

Η εξέλιξη της γεωλογικής χαρτογράφησης στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις προέκυψε το συμπέρασμα ότι η σταθερότητα των συγκεκριμένων υπόγειων ανοιγμάτων είναι κακή, και πρέπει να ληφθούν μέτρα προστασίας ([Marinos et al., 2019](#)).

Κεφάλαιο 7ο: Το νομικό πλαίσιο σχετικά με τη χαρτογράφηση και την ασφάλεια των υπόγειων χώρων στον κόσμο

Κατά τη διάρκεια της χαρτογράφησης των υπόγειων ορυχείων και των σπηλαίων, οι άνθρωποι που εργάζονταν πάνω και κάτω από τη γη αντιμετώπισαν κινδύνους που αφορούσαν σε θέματα ασφάλειας των ίδιων των εργαζομένων αλλά των ορυχείων, και συνεπώς κάποιους περιορισμούς όσον αφορά στο νομικό πλαίσιο των ορυχείων. Το γεγονός αυτό οδήγησε στη θέσπιση συγκεκριμένης νομοθεσίας για την προστασία των ορυχείων και των εργαζομένων.

Αρχικά, το 1869 το νομοθετικό σώμα της Πενσυλβάνια ψήφισε έναν πρωτοποριακό νόμο για την ασφάλεια των ορυχείων - τον πρώτο στην Αμερική - αλλά λόγω σοβαρών διαφωνιών σχετικά με τους όρους, την αναγκαιότητα, καθώς και το πεδίο εφαρμογής του, περιορίστηκε στις διατάξεις του και εφαρμόστηκε μόνο στην κομητεία Σκούλκιλ. Στη συνέχεια, μέσα σε λίγους μήνες, μια καταστροφική πυρκαγιά στο ανθρακωρυχείο Avondale στην κομητεία Λουκέρνη σκότωσε 110 ανθρώπους. Σε απάντηση, οι νομοθέτες της πολιτείας ψήφισαν έναν πιο εκτεταμένο νόμο για την ασφάλεια των ορυχείων το 1870 που ίσχυε για όλα τα πεδία του ανθρακίτη, όχι μόνο για αυτά στην κομητεία Σκούλκιλ. Και οι δύο νόμοι απαιτούσαν να γίνεται επιθεώρηση των υπόγειων ορυχείων και να υποβάλλονται οι χάρτες στο νεοσύστατο γραφείο του κρατικού επιθεωρητή ορυχείων δύο φορές το χρόνο. Φαίνεται ότι οι διατάξεις χαρτογράφησης του νόμου περί ασφάλειας, αποτελούσαν μόνο ένα μικρό μέρος αυτού του νόμου. Ωστόσο, αυτή η νομική απαίτηση είχε σκοπό τελικά να συμβάλει στο να γίνει η περιοχή του ανθρακίτη κυρίαρχη στις τεχνικές χαρτογράφησης των ορυχείων.

Μέχρι τη στιγμή της ψήφισης του νόμου για την ασφάλεια του 1870, οι χάρτες των ορυχείων δεν ήταν πρωτόγνωροι, αλλά δεν αποτελούσαν επίσης και τυπικό μέρος της κάθε λειτουργίας του ορυχείου. Για παράδειγμα, το ορυχείο ανθρακίτη στο Beaver Meadow άρχισε να παράγεται το 1830, αλλά χαρτογραφήθηκε μέχρι το 1864. Ο νόμος του 1869, που ίσχυε μόνο για την κομητεία Σκούλκιλ, και απαιτούσε να χαρτογραφηθούν τα ορυχεία, έδινε στους επιθεωρητές το δικαίωμα να εξετάσουν τους χάρτες και όριζε ότι ένα αντίγραφο του χάρτη έπρεπε να δοθεί στον επιθεωρητή όταν ένα ορυχείο (ή ένα τμήμα του ορυχείου) επρόκειτο να εγκαταλειφθεί. Ωστόσο, ο νόμος του 1869 δεν περιείχε λεπτομερώς συγκεκριμένα πρότυπα που έπρεπε να πληρούν οι χάρτες. Από τη άλλη πλευρά, ο νόμος του 1870, ο οποίος ίσχυε για όλα τα ορυχεία άνθρακα της Πενσυλβάνια, αύξησε τους κανονισμούς της χαρτογράφησης. Αναλυτικότερα, το πρώτο του τμήμα απαιτούσε κάθε ορυχείο να χαρτογραφηθεί με ακρίβεια, και στην περίπτωση που δεν υπήρχε χάρτης, ο χειριστής έπρεπε να δημιουργήσει έναν. Ο συγκεκριμένος νόμος έδινε στον περιφερειακό

επιθεωρητή των ορυχείων το δικαίωμα να προσλάβει κάποιον για να χαρτογραφήσει τα ορυχεία των ιδιοκτητών που αμέλησαν ή αρνήθηκαν να τα χαρτογραφήσουν μόνοι τους και να χρεώσει το κόστος στην εταιρεία. Αυτός ο υπόγειος χάρτης ορίστηκε ότι είναι σε κλίμακα εκατό ποδιών (30.48 μέτρα) σε μια ίντσα (0.0254 μέτρα), και έπρεπε να δείξει τη λειτουργία, να δώσει μια αίσθηση της «γενικής κλίσης των στρωμάτων» και των ορίων της γης της εταιρείας. Ο ίδιος ο χάρτης, ή ένα αντίγραφο του, έπρεπε να κατατεθεί στον κρατικό επιθεωρητή των ορυχείων για την περιοχή και να ενημερώνεται δύο φορές το χρόνο -πολύ μεγαλύτερη συμμετοχή από την απλούστερη διάταξη του νόμου του 1869. Όπως και με τον προηγούμενο νόμο, εάν ένα ορυχείο ή ένα τμήμα του επρόκειτο να εγκαταλειφθεί, ο χειριστής έπρεπε να καταθέσει έναν χάρτη και να ενημερώσει τον επιθεωρητή. Οι ενημερώσεις μπορεί να αποτελούνται από έναν νέο χάρτη ή μια πρόσφατη αναφορά προόδου. Τέλος, παρά τις φιλόδοξες απαιτήσεις, κανένας νόμος δεν προέβλεπε κυρώσεις για μη συμμόρφωση.

Όταν τέθηκε σε ισχύ ο νόμος, ήταν σαφές ότι η υπόγεια χαρτογράφηση ασκούνταν σε ορισμένα σημεία των ανθρακίτων, αλλά σε καμία περίπτωση δεν ήταν ευρέως διαδεδομένη. Ακόμη και όταν οι μηχανικοί των ορυχείων συναντήθηκαν για να σχηματίσουν το Αμερικάνικο Ινστιτούτο Μηχανικών Μεταλλείων (AIME) το 1871, το νομικό περιβάλλον στο οποίο λάμβανε χώρα η εξόρυξη ανθρακίτη άλλαζε, με τρόπους που τελικά θα ωφελούσαν τους μηχανικούς ορυχείων.

Σημειώνεται πως ο αριθμός των ανθρακωρυχείων που χαρτογραφήθηκαν αυξήθηκε σημαντικά στα μέσα της δεκαετίας του 1870. Κατά τη διάρκεια του 1875, τα ορυχεία ανθρακίτη παρέμειναν αδρανή για σχεδόν το μισό έτος λόγω μιας μεγάλης απεργίας, και ίσως αυτό βοήθησε στην αύξηση της συμμόρφωσης με τις διατάξεις χαρτογράφησης του νόμου για την ασφάλεια των ορυχείων. Μηχανικοί ορυχείων στην Πενσυλβάνια και σε άλλα μέρη προσπάθησαν συχνά να πραγματοποιήσουν τοπογραφικές εργασίες όταν τα ορυχεία ήταν διαφορετικό τρόπο σε αδράνεια, όπως κατά τη διάρκεια απεργιών και τις Κυριακές. Επιπλέον, καθώς η P&R C&I επέκτεινε τον επιχειρησιακό έλεγχο σε μεγάλο μέρος του κοιτάσματος άνθρακα, πιθανότατα διέδιδε προηγμένες τεχνικές τοπογραφίας δανεισμένες ή εμπνευσμένες από την τυπική πρακτική της μηχανικής των σιδηροδρόμων.

Τα συνεχόμενα προβλήματα με τη συμμόρφωση με τη διάταξη της χαρτογράφησης των ορυχείων ώθησαν τελικά το νομοθετικό σώμα της Πενσυλβάνια σε δράση. Στις 8 Μαΐου 1876 ψηφίστηκε νομοσχέδιο που τροποποίησε τον νόμο του 1870. Η τροπολογία έκανε μικρές αλλαγές για να διευκρινιστούν και να επεκταθούν οι λεπτομέρειες που απαιτούνταν για τους υπόγειους χάρτες. Ο προηγούμενος νόμος απαιτούσε γραμμές ορίων, αλλά η τροπολογία ανάγκασε επίσης τους ιδιοκτήτες να δείξουν την εγγύτητα των εργασιών τους με τους γειτονικούς ιδιοκτήτες. Αυτός ο νέος νόμος, καθιστώντας έγκλημα τη μη παροχή ακριβών χαρτών ορυχείων, μπορεί να έπεισε τις περισσότερες εταιρείες στην περιοχή του ανθρακίτη να χαρτογραφήσουν τελικά τα υπόγεια ορυχεία

Η εξέλιξη της γεωλογικής χαρτογράφησης στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις

τους. Τελικά, η έκθεση των επιθεωρητών των ορυχείων για το 1876 αντικατόπτριζε μια βελτιωμένη μορφή που δεν περιελάμβανε μια γενική λίστα των ανθρακωρυχείων της περιοχής Σκούκκιλ που παρείχαν χάρτες, ίσως επειδή η συμμόρφωση είχε τελικά γίνει αρκετά εκτεταμένη ώστε να μην μπορεί να σημειωθεί.

Επομένως, στα τέλη της δεκαετίας του 1870, ακόμη και αφού η χαρτογράφηση του ορυχείου είχε γίνει απαίτηση στη χώρα των ανθρακίτων θεωρητικά τιμωρούμενη από το νόμο, δεν ήταν καθολική πρακτική και όπου γινόταν, δε γινόταν απαραίτητα με τα υψηλότερα πρότυπα. Αυτό υποδηλώνει ότι η χαρτογράφηση των ορυχείων δεν αποτελούσε ακόμη απαραίτητη δραστηριότητα για όλες τις εταιρείες στην καθημερινή μεταλλευτική τους εργασία. Μέσα σε μια δεκαετία, ωστόσο, η πολλά υποσχόμενη έναρξη της ακριβούς χαρτογράφησης βάσει του νόμου θα μετατρέψει την πρακτική της χαρτογράφησης της ανθρακικής χώρας σε μια από τις καλύτερες στο επάγγελμα, όπως σημειώθηκε από τον Brough και τον τεχνικό τύπο.

Ακόμα, μέχρι την δεκαετία του 1880, μερικοί μηχανικοί και εκπαιδευτικοί εξόρυξης είχαν αρχίσει να αναγνωρίζουν την αξία της χαρτογράφησης των ορυχείων, αλλά όπως ήταν προφανές, μία σημαντική μειοψηφία εταιρειών εξόρυξης δεν είχε ακόμη κάνει τις οπτικές αναπαραστάσεις μέρος του ιστού της καθημερινής διαχείρισης των ορυχείων. Η νομική απαίτηση πολλών κρατών να κατασκευάσουν χάρτες έγινε σίγουρα αντιληπτή από τους μικρότερους φορείς εκμετάλλευσης, ιδιαίτερα, ως ανεπιθύμητη οικονομική και επιχειρησιακή επιβάρυνση.

Εν συντομία, μέχρι τα τέλη της ίδιας δεκαετίας, τουλάχιστον ορισμένοι μηχανικοί εξόρυξης όπως ο B.W. Robinson, αναγνώρισε το γεγονός ότι οι υπόγειοι χάρτες αποτελούσαν μία σημαντική δύναμη πέρα από την απλή νομική συμμόρφωση και την αποφυγή παραβίασης. Αντίθετα, ο Robinson θεωρούσε ότι οι χάρτες είναι πολύπλοκα αντικείμενα που οργανώνουν πολλούς διαφορετικούς τύπους πληροφοριών στον χώρο. Από τη στιγμή που δημιουργηθεί, αυτό το έγγραφο χρησίμευε στον μηχανικό ως οπτικό ευρετήριο άλλων πληροφοριών και ως εργαλείο που, μέσω του συνδυασμού διαφορετικών τύπων δεδομένων, βοήθησε τους μηχανικούς να οπτικοποιήσουν τις λύσεις στα προβλήματα της εξόρυξης ([Arnold, 2015](#)).

Μια μετατόπιση στην εξορυκτική πρακτική αυτού του μεγέθους, από συχνά μη χαρτογραφημένη σε σχεδόν καθολικά χαρτογραφημένη, δε συνέβη ομοιόμορφα ή εμφανίζονταν συχνά κάποιες δυσκολίες, και η άνοδος της χαρτογράφησης στα πεδία του ανθρακίτη μπορεί να ρίξει λίγο φως στη διαδικασία. Μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1880, ο νόμος για την ασφάλεια των ορυχείων είχε συμβάλει στο να γίνει η περιοχή του ανθρακίτη της Πενσυλβάνια εστία καινοτομίας στην τοπογραφία των ορυχείων ([Arnold, 2015](#)).

Επιπρόσθετα στη δεκαετία του 1880, ορισμένες άλλες πολιτείες θέσπισαν μία νομοθεσία που αφορούσαν στην ασφάλεια των ορυχείων που απαιτούσαν χαρτογράφηση, η οποία χωρίς αμφιβολία

με την πάροδο του χρόνου σημείωσε μία αύξηση των χαρτογραφημένων ορυχείων που διήρκεσε μέχρι και τις αρχές του εικοστού αιώνα.

Πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι πολλοί από τους χάρτες εξόρυξης της Νέας Ισπανίας του δέκατου όγδοου αιώνα δημιουργήθηκαν ως μέρος του νομικού αρχείου του ορυχείου. Τρεις ήταν οι παράγοντες που καθόρισαν την εξέλιξη αυτών των χαρτών:

- η ανάπτυξη των ορυχείων,
- η τοπική ρύθμιση για την εξόρυξη,
- και το έθιμο της επίλυσης διαφορών για την ιδιοκτησία στα δικαστήρια που κατέστησαν απαραίτητη την κατανόηση της δομής των φλεβών για να ξεπεραστούν νομικές και οικονομικές προκλήσεις.

Αν και ο νόμος που καθόριζε τις εκμεταλλεύσεις της εξόρυξης στις ισπανικές αποικίες ήταν γενικός, εν τούτοις οι τοπικές παραλλαγές αποδείχθηκαν σημαντικές για την εξέλιξη αυτών των χαρτών. Επιπλέον, στο Περού, οι μεταλλωρύχοι αναγκάστηκαν να σταματήσουν την ανάπτυξή τους μόλις έφτασαν στα όρια ενός ορυχείου που ανήκε σε άλλο ορυχείο ή εταιρεία, ενώ αντίθετα οι μεταλλωρύχοι στη Νέα Ισπανία μπορούσαν να προχωρήσουν όσο μπορούσαν, ακόμα και αν έμπαιναν σε άλλο ορυχείο, υπό τον όρο ότι θα έδιναν μερίδιο στον ιδιοκτήτη. Αυτό σήμαινε ότι, σε περιπτώσεις διαμάχης, οι ιδιοκτήτες έπρεπε να αποδείξουν ότι ακολουθούσαν την κύρια φλέβα της ιδιοκτησίας τους και ότι γνώριζαν τα είδη των συνδέσεων μεταξύ των διαφόρων φλεβών ([Pérez, 2016](#)).

Μέχρι τις πρώτες δεκαετίες του εικοστού αιώνα, οι χάρτες των ορυχείων είχαν γίνει αναπόσπαστο κομμάτι της τακτικής εργασίας των μεγάλων εταιρειών εξόρυξης. Αυτές οι μεγάλες εταιρείες είχαν αναπτύξει μια οπτική κουλτούρα εξόρυξης που τους επέτρεπε να έχουν μεγαλύτερο συντονισμό και έλεγχο των υπόγειων χώρων, της εργασίας καθώς και του κόστους παραγωγής. Επιπλέον, η δημιουργία χαρτών αποτελούσε ένα νομικό σημείο αναφοράς για τα ανθρακωρυχεία, καθώς κάθε κράτος εξόρυξης άνθρακα είχε θεσπίσει μέχρι το 1915 νόμους που απαιτούσαν από τις εταιρείες να συντάσσουν χάρτες και να τους παρέχουν στο κράτος. Σαφώς, η χαρτογράφηση και η τοπογραφία θεωρούνταν μέρος των γενικών καθηκόντων των μηχανικών εξόρυξης σε ολόκληρη τη βιομηχανία εξόρυξης άνθρακα.

Καθώς το νομικό πλαίσιο σχετικά με τα ορυχεία, είτε αφορά την ασφάλεια των εργαζομένων των ορυχείων, είτε τα ορυχεία χωρικά, έχει εξελιχθεί σημαντικά, οι νέες τεχνολογίες χαρτογράφησης έχουν συμβάλλει στην εξέλιξη της γεωλογικής χαρτογράφησης στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις. Πολλοί χάρτες που δημιουργήθηκαν με κάποια από τις καινούριες τεχνικές χαρτογράφησης και σύμφωνα με τους νέους ισχύοντες νόμους για τα υπόγεια ορυχεία, τα

Η εξέλιξη της γεωλογικής χαρτογράφησης στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις

αποτελέσματα είναι αξιοσημείωτα. Τέλος, τον εικοστό πρώτο αιώνα οι νέες μέθοδοι χαρτογράφησης αποτελούν ένα καινούριο κομμάτι των υπόγειων ορυχείων και λατομικών χώρων που απαιτεί περαιτέρω έρευνα.

Κεφάλαιο 8ο: Νέες τεχνολογίες χαρτογράφησης

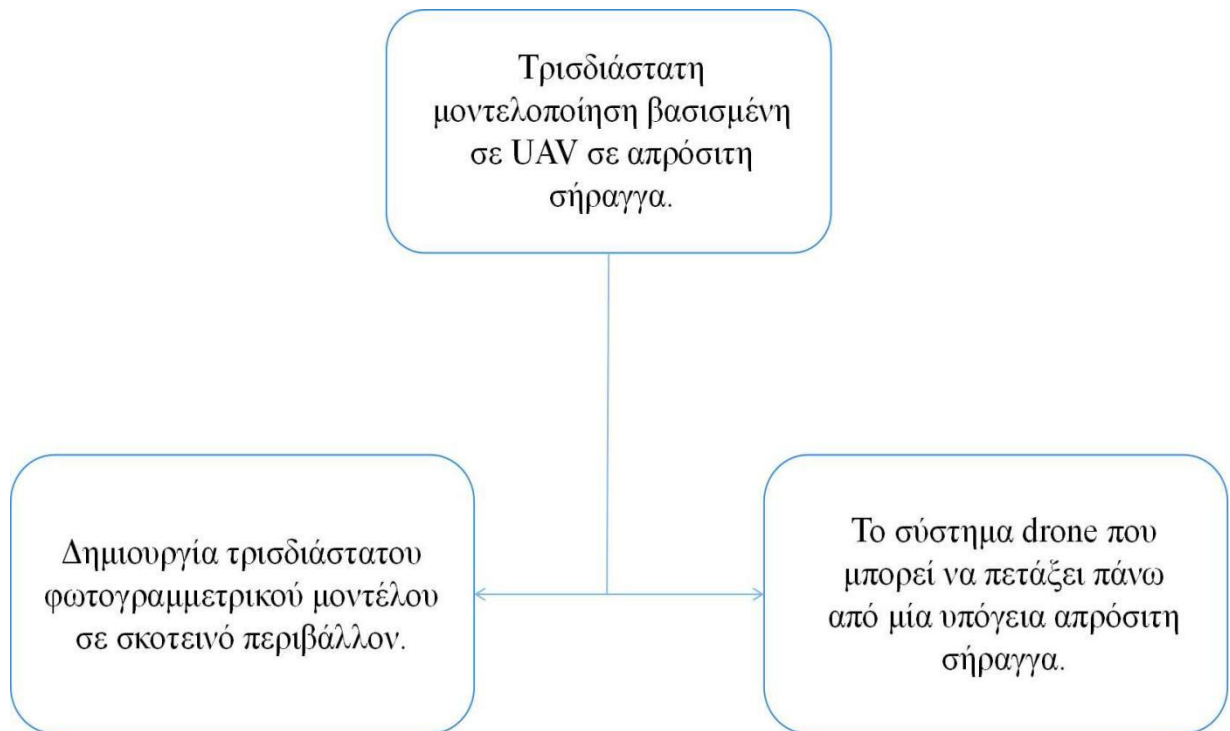
Με την πάροδο του χρόνου και φτάνοντας στη σύγχρονη εποχή, αξίζει να σημειωθεί το γεγονός ότι έχουν αναπτυχθεί νέες μέθοδοι και τεχνολογίες χαρτογράφησης των υπόγειων εκμεταλλεύσεων, με αποτέλεσμα η δημιουργία των υπόγειων χαρτών να γίνεται ευκολότερη σε σημαντικό βαθμό και για τους συντάκτες χαρτών αλλά και για τους μηχανικούς εξόρυξης. Ο γεωλόγος πρέπει να αναπτύξει δεξιότητες για τη συλλογή των καλύτερων πληροφοριών σε συντομότερο χρονικό διάστημα, προκειμένου η γεωλογική χαρτογράφηση να παρέχει μια πλήρη εικόνα των γεωτεχνικών πληροφοριών της εκάστοτε περιοχής μελέτης. Χρειάζεται να αναφερθεί ότι υπάρχουν πολλές καινούριες μέθοδοι για τη χαρτογράφηση των υπόγειων χώρων, από τις οποίες κάποιες βρίσκονται ακόμα σε πειραματικό στάδιο. Παραδείγματα νέων μεθόδων χαρτογράφησης αποτελούν η μέθοδος της υπερφασματικής απεικόνισης (HIS), η μέθοδος των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (UAV) ή της τρισδιάστατης φωτογραμμετρικής μοντελοποίησης, το μοντέλο χαμηλής ανάλυσης και εμβέλειας (LiDAR) που βασίζεται στην εκπομπή παλμικής ακτινοβολίας με λέιζερ, παρέχοντας γρήγορα και αξιόπιστα αποτελέσματα σχετικά με τη συγκέντρωση και τον τύπο των ορυκτών της υπό μελέτη περιοχής, καθώς επίσης και διάφορα προγράμματα ελέγχου βαθμίδων για καλύτερη κατανόηση της γεωλογίας, με σκοπό η χαρτογράφηση να είναι σαφής και ακριβής.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα χαρτογράφησης, είναι η χρήση μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (UAV) ή τρισδιάστατης φωτογραμμετρικής μοντελοποίησης, η οποία βασίζεται σε drones, τα οποία είναι εξοπλισμένα με κάμερες για λήψη εικόνων υψηλής ανάλυσης σε απρόσιτους υπόγειους χώρους. Αποτελεί μια νέα και πολλά υποσχόμενη μέθοδο, η οποία έχει τη δυνατότητα να αυξήσει σημαντικά την αποτελεσματικότητα και την ακρίβεια της χαρτογράφησης καθώς και της επιθεώρησης των υπόγειων χώρων. Αυτή η νέα τεχνολογία, εφαρμόζεται σε περιοχές όπου η επιθεώρηση του υπογείου διατηρείται σε καλή κατάσταση και συνδυάζει την εναέρια και την επίγεια φωτογραμμετρία, ανοίγοντας συνεπώς, τον δρόμο για διάφορες εφαρμογές σε περιοχές κοντινής εμβέλειας. Αναλυτικότερα, τα UAV έχουν γίνει ισχυρές συσκευές τόσο για επαγγελματίες όσο και για ερευνητές. Τα τελευταία χρόνια, έχει σημειωθεί σημαντική ανάπτυξη στη χρήση των UAV για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών στην έρευνα και τη μηχανική. Χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον για τεχνικές λήψης εικόνων λόγω της εξοικονόμησης χρόνου, του χαμηλού κόστους, της ελάχιστης επιτόπιας εργασίας, καθώς επίσης και σε γεωτεχνικά έργα, έργα σήραγγας και εξόρυξης βασικά για τη χαρτογράφηση και την τρισδιάστατη ανακατασκευή. Τέλος, η φωτογραμμετρία με UAV εφαρμόζεται σε χάρτες, τοπογραφικές και άλλες τεχνικές εφαρμογές, έχοντας υψηλή ακρίβεια μετρήσεων με αποτέλεσμα να χρησιμοποιούνται πολύ συχνά για να απεικονίσουν την πραγματική κατάσταση της περιοχής μελέτης ([Baterdene Bibish et al., 2023](#)).

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η δομή του συστήματος της τρισδιάστατης

Η εξέλιξη της γεωλογικής χαρτογράφησης στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις

φωτογραμμετρικής μοντελοποίησης, χρησιμοποιώντας μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα σε σκοτεινά περιβάλλοντα, όπως για παράδειγμα σε μία σήραγγα. Συγκεκριμένα, η *Εικόνα 8.1*, δείχνει τις τεχνικές για τη δημιουργία ενός τρισδιάστατου φωτογραμμετρικού μοντέλου σε υπόγειους χώρους. Είναι σημαντικό να επιλεγούν τα κατάλληλα εργαλεία φωτογραφίας για πιο αξιόπιστα αποτελέσματα. Όμως, υπάρχουν πολλοί παράγοντες, όπως η ανάλυση της εικόνας, η κατάσταση του φωτισμού, κ.λπ., που δρουν αρνητικά στην ακρίβεια της φωτογραμμετρίας. Στη συνέχεια, ακολουθεί η πτήση του drone πάνω από την υπό μελέτη περιοχή. Επομένως, το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι η κατασκευή του τρισδιάστατου μοντέλου.



Εικόνα 8.1: Δομή του συστήματος 3D φωτογραμμετρικής μοντελοποίησης UAV (Baterdene Bibish et al., 2023).

Επιπλέον, η τρισδιάστατη φωτογραμμετρική μοντελοποίηση δυσπρόσιτων υπόγειων τοποθεσιών, είναι σημαντική για μια αποτελεσματική μέθοδο παραγωγής υψηλής ανάλυσης και ακριβείας αναπαραστάσεων. Τα τελευταία χρόνια, η τεχνολογία και οι τεχνικές για τη δημιουργία ψηφιακών μοντέλων με χρήση φωτογραμμετρίας έχουν εξελιχθεί σημαντικά, επιτρέποντας στους χρήστες να μετρούν αποστάσεις, να συλλέγουν χωρικά δεδομένα από το έδαφος και να χαρτογραφούν σημεία ενδιαφέροντος. Τέλος, η φωτογραμμετρία με UAV έχει αναδειχθεί ως μια βιώσιμη εναλλακτική λύση στις παραδοσιακές μεθόδους τοπογραφίας και έχει τη δυνατότητα να μειώσει δραστικά τον χρόνο αλλά και το κόστος που απαιτούνται για τη χαρτογράφηση δύσκολων εδαφών (Baterdene Bibish et al., 2023).

Η χαρτογράφηση επιφανειακών πετρωμάτων, παρέχει κρίσιμες γεωλογικές πληροφορίες στις φάσεις της εξερεύνησης, της αξιολόγησης και της εξόρυξης ορυκτών πόρων. Αποτελεί επίσης

ουσιαστικό μέρος του ελέγχου ποιότητας και διεργασιών και των εκτιμήσεων γεωτεχνικών κινδύνων. Ως εκ τούτου, οι αποφάσεις που λαμβάνονται με βάση τη γεωλογική χαρτογράφηση στις περιοχές εξόρυξης έχουν άμεσες επιπτώσεις στην κερδοφορία, την ασφάλεια και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του ορυχείου. Οι γεωλόγοι πραγματοποιούν τοπογραφική έρευνα σε άμεση επαφή με την προς μελέτη περιοχή, μέθοδος αρκετά χρονοβόρα, κινδυνεύοντας από πτώσεις βράχων. Αυτό οδήγησε στην ανάπτυξη διαφόρων μεθόδων για την απομακρυσμένη χαρτογράφηση των ορυχείων, εστιάζοντας σε δύο τύπους δεδομένων όπως τα λεπτομερή τρισδιάστατα (3D) μοντέλα προεξέχοντος βράχου (outcrop) και οι δισδιάστατες (2D) υπερφασματικές εικόνες από τις οποίες προκύπτουν πληροφορίες για τη σύνθεση του υλικού. Συνεπώς, οι βιομηχανίες εξόρυξης έχουν μία ολοκληρωμένη εικόνα για την αναπαράσταση, την ανάλυση και την ερμηνεία των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης.

Συγκεκριμένα, η μέθοδος της υπερφασματικής απεικόνισης (HSI) έχει αποδειχθεί ότι προσθέτει αξία στις δραστηριότητες εξερεύνησης σε περιβάλλοντα επιφανειακής εξόρυξης, ενώ δεν έχει ακόμη αποδειχθεί πλήρως σε υπόγεια περιβάλλοντα. Τα υπόγεια περιβάλλοντα αποτελούν πρόκληση, λόγω του ανεπαρκούς φωτισμού, της υγρασίας του αέρα και της επιφάνειας και της περιορισμένης πρόσβασης. Μόνο λίγες μελέτες έχουν εξερευνήσει την απόκτηση υπερφασματικών δεδομένων σε υπόγεια περιβάλλοντα. Ωστόσο, τα αποτελέσματα που προκύπτουν από πειράματα με την συγκεκριμένη μέθοδο, μπορούν να δημιουργήσουν τρισδιάστατους χάρτες με τα χαρακτηριστικά της περιοχής βασιζόμενοι σε προγράμματα μείωσης των διαστάσεων, με αποτέλεσμα να δίνουν τη δυνατότητα εντοπισμού γεωλογικών δομών.



Εικόνα 8.2: Τοποθέτηση εξοπλισμού για τη συλλογή δεδομένων σε υπόγειο ορυχείο ([Kirsch et al., 2023](#)).

Η εξέλιξη της γεωλογικής χαρτογράφησης στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις

Στην *Εικόνα 8.2* φαίνεται ο τρόπος συλλογής δεδομένων ενός υπόγειου ορυχείου για επεξεργασία στο εργαστήριο, καθώς η μέθοδος υπερφασματικής απεικόνισης δεν μπορεί ακόμα να χρησιμοποιηθεί σε υπόγεια περιβάλλοντα δίνοντας αξιόπιστα αποτελέσματα. Η χαρτογράφηση, επομένως, γίνεται με τη χρήση ειδικών προγραμμάτων που συμβάλλουν στη κατασκευή χάρτη της υπό μελέτη υπόγειας περιοχής.

Πρέπει να αναφερθεί πως μέχρι σήμερα, δεν έχει γίνει συστηματική διερεύνηση της επίδρασης του φωτός, της υγρασίας και του εξοπλισμού στη φασματική ποιότητα και τη γεωλογική ερμηνεία, και η σκοπιμότητα εφαρμογής υπερφασματικών μεθόδων υπό πραγματικές υπόγειες συνθήκες παραμένει σε μεγάλο βαθμό άγνωστη, καθώς απαιτείται ένα κατάλληλο τρισδιάστατο σύστημα αναφοράς για την παροχή ακριβών και χρήσιμων δεδομένων HSI. Τέλος, η παραπάνω μέθοδος δίνει τη δυνατότητα να χαρτογραφηθούν μεγάλες και πολύπλοκες υπόγειες περιοχές σε πραγματικές συνθήκες ορυχείου, δηλαδή, ανώμαλη τοπογραφία, υγρασία και κακός φωτισμός καθώς επίσης περιορισμένη πρόσβαση στο ορυχείο ([Kirsch et al., 2023](#)).

Όπως πολλές άλλες βιομηχανίες, ο τομέας της εξόρυξης βρίσκεται στη μέση μιας επανάστασης που βασίζεται στα δεδομένα. Πολλές εταιρείες εξόρυξης, εφαρμόζουν όλο και περισσότερο ψηφιακές λύσεις για την αυτοματοποίηση των ορυχείων, συμπεριλαμβανομένης της προηγμένης τεχνολογίας αισθητήρων στη φάση της εξόρυξης. Συμπεραίνουμε επομένως, ότι ενώ η εξορυκτική βιομηχανία δεν έχει υιοθετήσει ευρέως την (υπόγεια) υπερφασματική χαρτογράφηση των μετώπων, είναι τεχνικά εφικτή και φέρνει πολλά πλεονεκτήματα, όπως για παράδειγμα η αντικειμενικότητα, η ασφάλεια, κλπ.

Ένα τελευταίο παράδειγμα αποτελούν τα καλά σχεδιασμένα προγράμματα ελέγχου βαθμίδων, τα οποία μπορούν να κάνουν τη διαδικασία της εξόρυξης αποτελεσματική και οικονομικά αποδοτική, με την εφαρμογή γεωλογικών γνώσεων. Πιο συγκεκριμένα, οι πρακτικές ελέγχου βαθμίδων, έχουν εξελιχθεί τα τελευταία 15 περίπου χρόνια από τη χρήση μεθόδων, έως την τρισδιάστατη (3D) μοντελοποίηση και τη γεωστατιστική προσομοίωση. Όμως, η βασική αρχή όλων των προγραμμάτων ελέγχου βαθμίδων εξακολουθεί να στηρίζεται στη γεωλογική κατανόηση που καθοδηγείται από τη χαρτογράφηση και τη δειγματοληψία και συχνά υποστηρίζεται από γεωτρήσεις. Οι αρχές της γεωλογικής χαρτογράφησης και της δειγματοληψίας για την υποστήριξη του ελέγχου βαθμίδων είναι γνωστές και τεκμηριωμένες επί σειρά ετών. Η στρατηγική που ακολουθείται για τον έλεγχο της βαθμίδας συνδέεται άμεσα με το μέγεθος του ορυχείου και τη μέθοδο εξόρυξης. Παρόλο που είναι σχετικά εύκολο να διαπιστωθεί η γεωλογική συνέχεια της δομής με διάτρηση, η ανίχνευση μεταλλεύματος και ο προσδιορισμός της έκτασής τους εντός της κύριας δομής είναι δύσκολος χωρίς την υπόγεια έκθεση γεωλογική χαρτογράφηση. Τόσο η επιφανειακή, όσο και η υπόγεια γεωλογική χαρτογράφηση έχει θετικό αντίκτυπο στην εκτίμηση

Η εξέλιξη της γεωλογικής χαρτογράφησης στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις των πόρων και στον έλεγχο των βαθμίδων.

Η χαρτογράφηση συμβάλλει στην ευρύτερη γεωλογική γνώση του κοιτάσματος και αποτελεί μέρος της διαδικασίας εκμάθησής της. Εκτός από τα φύλλα χαρτογράφησης, τα οποία είναι χρήσιμα διαγράμματα χαρτών που βοηθούν στη διαδικασία ανάλυσης της διαδρομής, ένα απαραίτητο εργαλείο της σύγχρονης υπόγειας χαρτογράφησης αποτελεί η ψηφιακή φωτογραφία. Επομένως, οι κάθετες βραχώδεις επιφάνειες μπορούν να καταγραφούν γρήγορα, σε συγκεκριμένη μορφή που μπορεί να ενσωματωθεί σε ψηφιακές βάσεις δεδομένων και σε λογισμικό εξόρυξης. Οι φωτογραφίες μπορούν να εκτυπωθούν και στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν στο ορυχείο ως βασικός χάρτης για τη χάραξη σύνθετων δεδομένων. Ακόμα, οι φωτογραφίες από μόνες τους δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται ως υποκατάστατο της συμβατικής γεωλογικής εξέτασης, σκιαγράφησης και περιγραφής της υπό μελέτη περιοχής. Ωστόσο, μερικές φορές οι φωτογραφίες μπορούν να καλύψουν τις γεωλογικές λεπτομέρειες, ιδιαίτερα όπου οι λιθολογικές αντιθέσεις εμφανίζονται αδύναμες ([Dominy and Platten, 2012](#)).

Με βάση τα παραπάνω, προκύπτει το συμπέρασμα ότι, η απευθείας χαρτογράφηση ενός μετώπου είναι δυνατή μέσω εξειδικευμένων μονάδων ψηφιακής κάμερας. Ο γεωλόγος έχοντας την κατάλληλη εκπαίδευση, μπορεί να σχεδιάσει «γραμμές» στην εικόνα για να αναπαραστήσει διάφορα γεωλογικά χαρακτηριστικά, τα οποία στη συνέχεια μπορούν να μεταφερθούν σε κατάλληλο λογισμικό εξόρυξης πλήρως καταχωρημένο στον τρισδιάστατο χώρο ορυχείων. Με μία πιο ευρεία έννοια, η χαρτογράφηση μπορεί να περιλαμβάνει την καταγραφή των γεωτεχνικών πληροφοριών, αλλά και των γεωλογικών χαρακτηριστικών με σκοπό την καλύτερη αποτύπωση της περιοχής. Τέλος, οι υπόγειοι χώροι εκμετάλλευσης εξακολουθούν να αποτελούν πρόκληση για τους μηχανικούς εξόρυξης, ακόμα και με τις νέες μεθόδους γεωλογικής χαρτογράφησης, καθώς απαιτείται γνώση και πρακτική για τη σωστή χρήση και εφαρμογή των παραπάνω μεθόδων στα υπόγεια ορυχεία, περιορίζοντας σημαντικά τους κινδύνους, στους οποίους εκτίθενται οι μηχανικοί.

Κεφάλαιο 9ο: Συμπεράσματα - Προτάσεις

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα. Παρά το γεγονός ότι πολλοί χάρτες δεν έχουν διασωθεί εξαιτίας πολλών παραγόντων όπως για παράδειγμα, λόγω πυρκαγιών και κατολισθήσεων κ.α., είχε ως αποτέλεσμα η χαρτογράφηση των υπόγειων ορυχείων να εξελίσσεται με πολύ αργούς ρυθμούς. Ήδη από τους αρχαίους πολιτισμούς, η δημιουργία χαρτών έπαιζε σημαντικό ρόλο για την εξόρυξη των υπόγειων λατομείων σε όλο τον κόσμο. Παρ' όλα αυτά, στη σύγχρονη εποχή οι χάρτες δεν έλαβαν την αναγνώριση που έπρεπε. Αυτό οφειλόταν κυρίως στο γεγονός ότι πολλοί ιδιοκτήτες ορυχείων δε θεωρούσαν ότι οι χάρτες μπορούσαν να είναι αξιόπιστοι και χρήσιμοι για την εξόρυξη στα ορυχεία. Και συνεπώς η χαρτογράφηση παρέμενε περιορισμένη.

Πρέπει να αναφερθεί πως η τεχνική βιβλιογραφία που περιγράφει την τοπογραφία των ορυχείων ήταν επίσης σπάνια πριν από τη δεκαετία του 1880. Πριν από τα τέλη της δεκαετίας του 1850, είχαν δημοσιευτεί μόνο μερικές πραγματείες σχετικά με το συγκεκριμένο θέμα, εκ των οποίων πολλές από αυτές ήταν στα γερμανικά και στα λατινικά. Αυτές οι λίγες δημοσιεύσεις που γράφτηκαν στα αγγλικά έγιναν αρκετά σπάνιες κατά τις δεκαετίες που μεσολάβησαν. Από τη δεκαετία του 1890, πολλά βιβλία κάλυψαν το θέμα της τοπογραφίας των ορυχείων καθώς επίσης και το θέμα των οδηγών για την τοπογραφία και τη μηχανική εξόρυξης.

Ωστόσο, σύμφωνα με το Γεωλογικό Ινστιτούτο της Ιταλίας, έχουν συλλεχθεί και διατηρηθεί χαρτογραφικό υλικό ήδη από το δεύτερο μισό του δέκατου ένατου αιώνα. Πιο συγκεκριμένα, η συλλογή της αρχαίας και ιστορικής χαρτογραφίας σε γεωλογικά και γεωθεματικά ζητήματα προέρχεται από αποκτήματα που ξεκίνησαν το 1867 μετά τη σύσταση της Βασιλικής Γεωλογικής Επιτροπής και της Βασιλικής Γεωλογικής Υπηρεσίας. Το Βασιλικό Γεωλογικό Ινστιτούτο ιδρύθηκε το 1873 με έργο τη δημιουργία και τη δημοσίευση του γεωλογικού χάρτη της Ιταλίας, ενώ η δραστηριότητά του ανατέθηκε στο προσωπικό του Σώματος Μεταλλείων. Σκοπός του ήταν η ψηφιοποίηση της συλλογής προκειμένου να διευκολυνθεί η διαδικτυακή πρόσβαση στη συλλογή. Επίσης, στόχευαν στην ανάπτυξη μίας λειτουργικής μεθόδου για την αναζήτηση και την οπτικοποίηση ιστορικών γεωλογικών χαρτών ώστε να παρέχει ένα αποτελεσματικό εργαλείο για τις τεχνικές και επιστημονικές αξιολογήσεις σχετικά με την εξέλιξη της επικράτειας ([Pantaloni et al., 2021](#)).

Αξιοσημείωτο, βέβαια, είναι το γεγονός πως στη σύγχρονη εποχή έχουν δημιουργηθεί αρκετές βάσεις δεδομένων με χάρτες υπαίθριων και υπόγειων ορυχείων που περιλαμβάνουν συλλογές χαρτών και απεικονίσεων από ολόκληρη την περιοχή των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν τα παρακάτω. Αρχικά το Εθνικό Αρχείο

Η εξέλιξη της γεωλογικής χαρτογράφησης στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις

Χαρτών Ορυχείων ([National Mine Map Repository, NMMR, 2024](#)), περιλαμβάνει ψηφιοποιημένους χάρτες από το 1790, καθώς επίσης και χάρτες από εταιρείες εξόρυξης, κρατικές υπηρεσίες κλπ. Εν συνεχεία, η συλλογή χαρτών της Σχολής Ορυχείων του Κολοράντο ([Colorado School of Mines – The Map Collection at the Colorado School of Mines, 2024](#)) που περιέχει σήμερα περισσότερους από 165,000 χάρτες, 5,400 βιβλία και άτλαντες και 167,000 αεροφωτογραφίες των μεταλλείων της περιοχής, οι περισσότεροι χάρτες των οποίων χρονολογούνται πριν από το 1800.

Τέλος, είναι φανερό πως οι μέθοδοι εξόρυξης των υπόγειων εκμεταλλεύσεων έχουν εξελιχθεί με την πάροδο των αιώνων και κατά συνέπεια και η τοπογραφία και η χαρτογράφηση. Ωστόσο, τη σημερινή εποχή η τεχνολογία έχει κάνει πολύ σημαντικά βήματα σχετικά με τη χαρτογράφηση χώρων που βρίσκονται κάτω από τη γη, όπως είναι η ψηφιοποίηση των γεωλογικών χαρτών, προσφέροντας τη δυνατότητα για μελέτη και εμβάθυνση του μετασχηματισμού της επικράτειας με την πάροδο του χρόνου, αλλά και της εξέλιξης της τεχνικής και επιστημονικής πλευράς οι οποίες οδηγούν στη δημιουργία ενός γεωλογικού χάρτη. Η ανάκτηση της ιστορικής χαρτογραφικής κληρονομιάς αποτελεί επίσης πολύτιμο βοήθημα για τη διάδοση της γνώσης και της εξέλιξής της.

Βιβλιογραφία

Ελληνική

- Βαξεβανόπουλος, Μ. (2017). *Καταγραφή Και Μελέτη Της Αρχαίας Μεταλλευτικής Δραστηριότητας Στο Όρος Παγγαίο, Α. Μακεδονία*. ΑΠΘ, [Διδακτορική Διατριβή] p.334. Available at: <https://hdl.handle.net/10442/hedi/39868>.
- Δετοράτου, Σ. (2013). *Παριανή Γλυπτική Ελληνιστικής Και Ρωμαϊκής περιόδου: Η Περίπτωση Ενός Εργαστηρίου Γλυπτικής Στην Πάρο*. ΕΚΠΑ, [Διδακτορική Διατριβή] p.450. <https://doi.org/10.12681/eadd/28675>.
- Κατσωνοπούλου, Ν. (2019). *Τα Αρχαία Λατομεία Μαρμάρου της Πάρου*. [online] *Διεθνές Συνέδριο Του ICOMOS, Αθήνα*. Available at: <https://www.oryktosploutos.net/2021/02/ancient-mines-of-paros/>.

Ξενόγλωσση

- Arnold, A.B. (2015). Eric C. Nystrom. Seeing Underground: Maps, Models, and Mining Engineering in America. *The American Historical Review*, 120(3), pp.1037-1038. <https://doi.org/10.1093/ahr/120.3.1037>.
- Ballesteros, D., Nehme, C., Roussel, B., Delisle, F., Pons-Branchu, E., Mouralis, D, (2022). Historical underground quarrying: A multidisciplinary research in the Caumont quarry (c. 13th–19th centuries), France. *Archaeometry*, 64(4), pp.849–865. <https://doi.org/10.1111/arc.12758>.
- Baterdene Bibish, Hisatoshi Toriya, Yewuhalashet Fissha, Ikeda, H., Narihiro Owada, Brian Bino Sinaice, Adachi, T. and Kawamura, Y. (2023). UAV Based 3D Photogrammetric Modelling in Underground Inaccessible Tunnel. *Preprints* 2023. <https://doi.org/10.20944/preprints202305.1429.v1>.
- Chase, E.E. (1915). Geological Maps along Plane of Caribou Vein and along Plant of No Name vein, Grand Island Mining District. *repository.mines.edu*. [online] Available at: <https://repository.mines.edu/handle/11124/171119>.

- Deák, A.A. (2013). The Mineral Maps of L. F. Marsigli and the Mystery of a Mine Map. In: E. Liebenberg, P. Collier and Z. Gyözö Török, eds., *History of Cartography. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography (ICA)*. [online] Springer, Berlin, Heidelberg, pp.91–110. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-642-33317-0_6.
- Dominy, S.C. and Platten, I.M. (2012). Grade Control Geological Mapping in Underground Gold Vein Operations. *Applied Earth Science*, 121(2), pp.96–103. <https://doi.org/10.1179/1743275812y.0000000019>.
- Harrell, J.A. and Storemyr, P. (2009). Ancient Egyptian Quarries - an Illustrated Overview. *Quarry Scapes: Ancient Stone Quarry Landscapes in the Eastern Mediterranean, Geological Survey of Norway Special Publication*, [online] 12, pp.7–50. https://www.researchgate.net/publication/281397894_Ancient_Egyptian_quarries_-_an_illustrated_overview.
- Kirsch, M., Mavroudi, M., Thiele, S., Lorenz, S., Tusa, L. and Booysen, R. (2023). Underground Hyperspectral Outcrop Scanning for Automated Mine-face mapping: the Lithium Deposit of Zinnwald/Cínovec. *The Photogrammetric Record*, 38, pp.408–429. <https://doi.org/10.1111/phor.12457>.
- Kling, J. (2008). The Underground Millstone Quarries at Niedermendig and Mayen. History, Research, Threats and Valuation. *The Underground Millstone Quarries at Niedermendig and Mayen. 3rd International Symposium on Archaeological Mining History - Low Countries.*, [online] pp.138–169. <https://www.academia.edu/88892990>.
- Marinos, V., Vazaios, I., Papathanassiou, G., Kaklis, T. and Goula, E. (2019). 3D Modelling of the Ancient Underground Quarries of the Famous Parian Marble in the Aegean Sea, Greece and Assessment of Their Stability Using LiDAR Scanning. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 52(1), pp.61–73. <https://doi.org/10.1144/qjegh2017-145>.
- Mattes, J. (2022). Mapping the invisible: knowledge, Credibility and Visions of Earth in Early Modern Cave Maps. *The British Journal for the History of Science*, 55(1), pp.53–80. <https://doi.org/10.1017/s0007087421000789>.
- Mikšovský, M. (2003). Oldest Czech Maps. In: *International Cartographic Association. 21st International Cartographic Conference (ICC) ‘Cartographic Renaissance’*. Czech, Technical University in Prague: Institute of Mapping and Cartography, pp.936–943.
- Nystrom, E. (2011). Underground Mine Maps and the Development of the Butte System at the Turn of the 20th Century. *IA. The Journal of the Society for Industrial Archeology*, 37(1/2), pp.97–113. <https://www.jstor.org/stable/23757911>.

Η εξέλιξη της γεωλογικής χαρτογράφησης στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις

- Ovesná, G., Staňková, H., Plánka, L., Wlochová, A. (2017). The history of mine surveying and mining maps. *Geodesy and cartography*, 43(3), pp.118–123. <https://doi.org/10.3846/20296991.2017.1371651>.
- Pantaloni, M., Console, F., Congi, M.P. and Ventura, R. (2021). The Historical Geological cartography: from Digital Archive to WebGIS Environment. *Abstracts of the ICA*, 3(230), pp.1–2. <https://doi.org/10.5194/ica-abs-3-230-2021>.
- Pantaloni, M. and Sammuri, P. (2018). Mineral Resources Mapping in the 18th Century (Tuscany, Italy). *De Re Metallica*, pp.39–50. <https://doi.org/10.15161/oar.it/143555>.
- Pérez, N.V. (2016). Underground Knowledge: Mining, Mapping and Law in Eighteenth-Century Nueva España. In: *The Globalization of Knowledge in the Iberian Colonial World*. [online] Berlin: Max-Planck-Gesellschaft Zur Förderung Der Wissenschaften. Available at: <https://www.mprl-series.mpg.de/proceedings/10/11/index.html>.
- Scott, H.V., (2015). Taking the enlightenment underground: Mining spaces and cartographic representation in the late colonial Andes. *Journal of Latin American Geography*, [online] 14(3), pp.7–34. Available at: <https://www.jstor.org/stable/i40163884>.
- Silvertant, J. (2008). Figure 3: Map of the Vallenberg Quarry with Extraction Phases and Working directions. Relics of Ancient Mining at Sibbe; an Old Quarrying Technique at the Vallenberg Quarry. *www.academia.edu*, [online] pp.80–113. Available at: https://www.academia.edu/45133109/Figure_3_Map_of_the_Vallenberg_Quarry_with_extraction_phases_and_working_directions_Relics_of_ancient_Mining_at_Sibbe_An_old_Quarrying_Technique_at_the_Vallenberg_Quarry.
- Vaccari, E., (2000). Mining and Knowledge of the Earth in Eighteenth-century Italy. *Annals of Science*, 57(2), pp.163–180. <https://doi.org/10.1080/000337900296236>.
- Williams, D.F. and Peacock, D. (2011). *Bread for the People: the Archaeology of Mills and Milling : Proceedings of a Colloquium Held in the British School at Rome, 4th-7th November 2009*. [online] *Google Books*. Archaeopress. Available at: <https://books.google.gr/books?id=N3MAywAACAAJ>.
- Wołkowicz, S., Wołkowicz, K. (2014). Geological Cartography in Poland in the 19th Century. *Geological Quarterly*, [online] 58(3), pp.623–658. <https://doi.org/10.7306/gq.1198>.
- Yang, Z. and Tanimoto, C. (2015). *Ancient Underground Opening and Preservation: Proceedings of the International Symposium on Scientific Problems and Long-term Preservation of Large-scale Ancient Underground Engineering* . 1st ed. [online] London: Taylor & Francis, p.432.

Available at: <https://www.routledge.com/Ancient-Underground-Opening-and-Preservation-Proceedings-of-the-International/Yang-Tanimoto/p/book/9781138028999>.

Διαδικτυακή

Μήτσιου, Π. (Πρόσβαση 2023). *Τεχνολογία Μετάλλου Στη Λαυρεωτική*. [online] www.ancientgreektechnology.gr. Available at: <https://www.ancientgreektechnology.gr/el/tanea/item/18-texnologia-metallou>.

Allen, C. (2005). *Mining Sections of Idaho and Oregon, 1864*. [online] www.oregonhistoryproject.org. Available at: <https://www.oregonhistoryproject.org/articles/historical-records/mining-sections-of-idaho-and-oregon-1864/>.

Ancient Mining. (Πρόσβαση 2023). *Earth Science Australia*. [online] Available at: http://earthsci.org/mineral/mindep/ancient_mine/deep-vein_mining.html.

Colorado School of mines, Arthur Lakes Library, MAPS AND GEOSPATIAL INFORMATION (2024). Available at: <https://libguides.mines.edu/maps/mining>

U.S. Department of the Interior, Office of Surface Mining Reclamation and Enforcement, National Mine Map Repository (2024). Available at: <https://www.osmre.gov/programs/national-mine-map-repository>

Wikipedia.org (2010). *Μεταλλεία Λαυρίου*. [online] Available at: https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B5%CF%84%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%B5%CE%AF%CE%B1_%CE%9B%CE%B1%CF%85%CF%81%CE%AF%CE%BF%CF%85.

Wikipedia.org. (2005). *Χαρτογραφία*. [online] Available at: <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A7%CE%B1%CF%81%CF%84%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%AF%CE%B1>.