



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ (ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ,
ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ, ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ)

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Εξέλιξη της τεχνολογίας εξόρυξης χρυσού από
προσχωματικά κοιτάσματα

Μαθιουδάκης Σπυρίδων



ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Καθ. Ε. Μανούτσογλου (Επιβλέπων),

Επικ. Καθ. Γ. Ξηρουδάκης

Επικ. Καθ. Ε. Πετράκης

Χανιά, Μάρτιος, 2023

Η έγκριση της παρούσας διπλωματικής εργασίας από το Πολυτεχνείο Κρήτης, δεν σημαίνει
αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Νόμος 5343/1932, άρθρο 202)

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία που υλοποιήθηκε στην σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης και έλαβε την υποστήριξη του εργαστηρίου της ερευνητικής μονάδας γεωλογίας μπορεί να είναι ατομική, ωστόσο πραγματοποιήθηκε μία συλλογική συνεργασία και προσπάθεια για να μπορέσει να επιτευχθεί η ολοκλήρωση της.

Έτσι λοιπόν, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Μανούτσογλου Εμμανουήλ για την εμπιστοσύνη του στην ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος, την υποστήριξη και καθοδήγηση του σε όλη την πορεία αυτής της προσπάθειας, καθώς και για την απρόσκοπτη επικοινωνία και συνεργασία την οποία είχαμε. Χωρίς την καθημερινή υποστήριξη του κ. Μανούτσογλου η παρούσα διπλωματική εργασία δεν θα είχε υλοποιηθεί.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Επικ. Καθ. Γ. Ξηρουδάκη και τον Δρ. Η. Λάζο για τις επισημάνσεις και διορθώσεις που πραγματοποίησαν στα τελικά κείμενα της παρούσας διπλωματικής, καθώς και για τον χρόνο που αφιέρωσαν στην ανάγνωση των κειμένων που αναπτύσσονται παρακάτω. Η συμβολή τους ήταν καθοριστική για την επιστημονική εγκυρότητα και την ορθή ανάπτυξη των τεχνικών ορολογιών που συμπεριλαμβάνονται στο κείμενο.

Παράλληλα, θα ήθελα να αναφερθώ στην συνδρομή του Επικ. Καθ. Πετράκη Ευάγγελου για την καλύτερη δυνατή μετάφραση της γεωεπιστημονικής ορολογίας και να τον ευχαριστήσω για τον χρόνο που διέθεσε, με την συμμετοχή του στην τριμελή εξεταστική επιτροπή.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς και συγγενείς μου για την οικονομική και ψυχολογική υποστήριξη που μου παρείχαν, καθώς και τους φίλους και συμφοιτητές με τους οποίους πορευτήκαμε μαζί στα πανεπιστημιακά μας χρόνια.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί μία χρονολογική περιγραφή των τεχνολογιών εξόρυξης και επεξεργασίας προσχωματικών κοιτασμάτων χρυσού. Ο χρυσός αποτελεί ένα από τα πολυτιμότερα μέταλλα και έχει συμβάλει σημαντικά στην οικονομική και πολιτιστική ανάπτυξη της ανθρωπότητας. Πιθανότατα να είναι ένα από τα πρώτα μέταλλα που χρησιμοποιήθηκαν από τον άνθρωπο, όντας ένα από τα ελάχιστα που εμφανίζονται σε ελεύθερη μορφή. Οι μέθοδοι ανάκτησης και διαχωρισμού του χρυσού, και πιο συγκεκριμένα του προσχωματικού χρυσού, εφαρμόζονται από την αρχική εκμετάλλευση του στην Μικρά Ασία και εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται στην σημερινή βιομηχανικά εξελιγμένη εποχή. Οι διαδικασίες μεταβάλλονταν συνεχώς με την εξέλιξη του εξοπλισμού και της διαθέσιμης γνώσης σχετικά με τις εξορύξεις. Έτσι, ξεκινώντας από τις πρωτόγονες μεθόδους που εφαρμόστηκαν στην Μικρά Ασία, ακολούθησε ο περίφημος μύθος του χρυσόμαλλου δέρατος και η αρχική χρήση του δέρματος προβάτου στην απόληψη του χρυσού. Ακολούθησαν οι βελτιωμένες τεχνικές του αυτοκράτορα Αυγούστου κατά την διάρκεια της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας. Στην συνέχεια, χρησιμοποιήθηκαν εκτεταμένα οι αξιοθαύμαστες αντλίες του Georgius Agricola, ενώ με την αποικιοκρατία της Αμερικής οι τεχνικές εξελίχθηκαν περαιτέρω, βελτιώνοντας τις αποτελεσματικές μεθόδους των αυτοχθόνων. Τέλος, η πιο σημαντική ίσως περίοδος στην εξόρυξη του προσχωματικού χρυσού υπήρξε η εποχή του «πυρετού του χρυσού», η οποία πραγματοποιήθηκε στα ποτάμια της Αμερικής κατά την διάρκεια του 18^{ου} έως και τις αρχές του 19^{ου} αιώνα.

Στην διάρκεια του «πυρετού του χρυσού» της Αμερικής εφαρμόστηκαν μέθοδοι διαχωρισμού, όπως τα ταψιά συγκέντρωσης χρυσού, τα κουτιά λίκνισης, οι υδροσυγκεντρωτές, οι βυθοκορήσεις, κάθε μία από τις οποίες είχε το δικό της ιστορικό υπόβαθρο και εξέλιξη. Οι συγκεκριμένες συσκευές θα αναλυθούν εκτενώς στο παρόν κείμενο, καθώς αποτέλεσαν τις θεμελιώδεις πρωταρχικές τεχνικές που εφαρμόστηκαν στην εξόρυξη και την επεξεργασία των προσχωματικών κοιτασμάτων χρυσού. Οι διαδικασίες εξόρυξης αναπτύσσονται συνεχώς, με τις πιο εξελιγμένες τεχνικές να επιτυγχάνουν πολύ υψηλότερα ποσοστά παραγωγής, με το μικρότερο δυνατό κόστος. Ωστόσο, η βασική αρχή της λειτουργίας τους δεν αποκλίνει σημαντικά από την αντίστοιχη των προηγούμενων αιώνων. Έτσι, η σύγκριση των πιο εξελιγμένων συσκευών εξόρυξης προσχωματικών κοιτασμάτων χρυσού με εκείνες που εφαρμόστηκαν κατά την διάρκεια των προηγούμενων αιώνων, κρίνεται απαραίτητη.

Λέξεις κλειδιά: «πυρετός του χρυσού», προσχωματικά κοιτάσματα, χρονολογική περιγραφή

Abstract

This present thesis is a detailed chronological description of alluvial gold mining technologies. Gold is one of the most valuable metals and has contributed significantly to the economic and cultural development of humanity. It's probably one of the first metals that was used by human and only one of very few metals to occur in free form.

Gold recovering methods, more specifically alluvial gold, have been applied since its initial discovery in «Anatolia» and are still used in today's industrially advanced era. The procedures were constantly changing with equipment development and the available knowledge about mining. The primitive methods first applied in Asia Minor (Anatolia) and followed by the famous myth of the golden fleece, with the original use of sheepskin in the ascension of gold. Next, emperor Augustus improved the gold extraction techniques during the Roman empire period. Subsequently, the admirable pumps of Georgius Bauer Agricola were widely used, while during the colonization of America the techniques were further evolved, improving upon the efficient methods of the natives. Finally, the "gold rush" era was perhaps the most significant period in alluvial gold mining and took place in the rivers of America during the 18th-19th century.

During the "gold rush" period, techniques such as: gold pans, cradle boxes, sluicing machines and dredges were applied, each of which had its own historical background and development. These specific devices, that will be analyzed extensively in this text, are the foundations for the first massive and efficient mining of alluvial deposits, and especially gold.

Mining processes are constantly evolving, with most modern techniques achieving much higher production rates at the lowest possible cost. However, the basic principle of their operation does not deviate significantly from that of previous centuries (gold rush). Thus, it is necessary to compare the most modern devices for the extraction of alluvial gold with those used in previous centuries.

Key words: «Gold rush period», placers, chronological description

Πίνακας Περιεχομένων

Ευχαριστίες	iv
Περίληψη	v
Abstract	vi
Πίνακας Περιεχομένων	vii
Κατάλογος Εικόνων	xi
Εισαγωγή	1
Κεφάλαιο 1: Ιστορική εξέλιξη των διαδικασιών εξόρυξης και επεξεργασίας προσχωματικών κοιτασμάτων χρυσού	2
1.1 Η ανακάλυψη του χρυσού στην Μικρά Ασία, την Ελλάδα και την Αίγυπτο (5000-1000 π.Χ.)	2
1.2 Η Αργοναυτική εκστρατεία (1300 π.Χ.)	5
1.3 Η επεξεργασία προσχωματικών κοιτασμάτων χρυσού κατά την διάρκεια της Ρωμαϊκής περιόδου (27 π.Χ-476 μ.Χ.)	7
1.3.1 Εξόρυξη και εκμετάλλευση ορεινών περιοχών στα βορειοδυτικά της Ισπανίας	8
1.3.2 Το ρωμαϊκό επαρχιακό σύστημα εξόρυξης χρυσού και η σημασία της παροχής νερού	9
1.4 Η συμβολή των μεθόδων του Agricola (1494-1556)	11
1.4.1 Η Αναγέννηση και η ζωή του Georgius Agricola	11
1.4.2 De Re Metallica	12
1.4.3 Οι αντλίες του Agricola	12
1.5 Η αποικιοκρατία και η εξόρυξη χρυσού στην Αμερική (1492-1511)	16
1.6 Η εποχή του πυρετού του χρυσού στα ποτάμια της δυτικής Αμερικής (18 ^{ος} - αρχές 19 ^{ου} αιώνα)	18

1.6.1	Οι συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν	19
1.6.2	Η Υδραυλική εξόρυξη	20
1.6.3	Υπόγεια εξόρυξη με στοά (-ες).....	21
1.6.4	Οι βυθοκορήσεις	21
Κεφάλαιο 2: Τα προσχωματικά κοιτάσματα		23
2.1	Εισαγωγή.....	23
2.2	Ο σχηματισμός του χρυσού εντός των προσχωματικών κοιτασμάτων	23
2.3	Η διατήρηση των προσχωματικών κοιτασμάτων.....	24
2.4	Βασικοί τύποι προσχωματικών κοιτασμάτων	26
2.5	Ζώνες συγκέντρωσης ορυκτών εντός των προσχωματικών κοιτασμάτων	29
Κεφάλαιο 3: Τα θεμελιώδη συστήματα επεξεργασίας προσχωματικών κοιτασμάτων χρυσού		32
3.1	Ταπί συγκέντρωσης χρυσού	32
3.1.1	Γενικά.....	32
3.1.2	Αρχή λειτουργίας	33
3.1.3	Διαφορετικά είδη ταπιών συγκέντρωσης χρυσού	36
3.1.4	Σύνοψη.....	39
3.2	Κουτιά Λίκνισης (Rocker or Cradle boxes)	40
3.2.1	Γενικά.....	40
3.2.2	Αρχή λειτουργίας	40
3.2.3	Σχεδιασμός.....	42
3.2.4	Παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψιν πριν από τη χρήση ενός κουτιού λίκνισης.....	43
3.2.5	Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα	43
3.3	Υδροσυγκεντρωτές (Sluices)	44
3.3.1	Γενικά.....	44
3.3.2	Αρχή λειτουργίας	45

3.3.3	Προετοιμασία της τροφοδοσίας.....	47
3.3.4	Μηχανισμοί παγίδευσης σωματιδίων χρυσού (ραβδώσεις και υφάσματα συλλογής).....	48
3.3.5	Ο υδροσυγκεντρωτής Long Tom.....	50
3.3.6	Καθαρισμός συσκευής υδροσυγκέντρωσης.....	52
3.3.7	Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα	53
3.4	Οι βυθοκορήσεις	54
3.4.1	Γενικά.....	54
3.4.2	Αρχή λειτουργίας πλωτών βυθοκορήσεων με γραμμή κάδων.....	55
3.4.3	Ο σχεδιασμός των πλωτών Βυθοκορήσεων	56
3.4.4	Οι βυθοκορήσεις ξηράς/ Επαναλαμβανόμενα Μηχανικά Συστήματα	58
3.4.5	Το παράδειγμα της βυθοκόρου Yuba 21	59
3.4.6	Σύγκριση των συστημάτων βυθοκόρησης που χρησιμοποιούνται σε διαδικασίες εξόρυξης.....	61
	Κεφάλαιο 4: Συστήματα επεξεργασίας προσχωματικών κοιτασμάτων χρυσού χωρίς την χρήση νερού.....	63
4.1	Γενικά.....	63
4.2	Αεροσυγκεντρωτές (Dry Washers)	63
4.3	Αεροτράπεζες (Air tables).....	66
	Κεφάλαιο 5: Πιο σύγχρονες συσκευές επεξεργασίας προσχωματικών κοιτασμάτων χρυσού	68
5.1	Σπειροειδείς συγκεντρωτές (Spiral Concentrators).....	68
5.1.1	Γενικά.....	68
5.1.2	Αρχή λειτουργίας	68
5.2	Συγκεντρωτές Jiggs	70
5.2.1	Αρχή λειτουργίας	70
5.2.2	Διαφορετικοί τύποι συγκεντρωτών Jiggs	72
5.3	Συγκεντρωτές Pinched sluice	75

5.3.1	Αρχή λειτουργίας	75
5.3.2	Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα	76
5.4	Ο κώνος «Reichert»	77
5.4.1	Αρχή λειτουργίας	77
5.4.2	Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα	78
Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα-Προτάσεις		80
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		82
Υπόμνημα		89

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1-1: Η διαδρομή των Αργοναυτών με βάση τις βιβλιογραφικές αναφορές (1300 π.Χ.) (Κακριδής, 1986).	6
Εικόνα1-2: Ανακατασκευή των σταδίων εκμετάλλευσης δευτερογενών χρυσοφόρων αποθεμάτων χρησιμοποιώντας την υδραυλική ισχύ (Σχέδιο: Hugo Prades—Fundació'n Las Medulas, επιστημονική επίβλεψη: CSIC).	10
Εικόνα1-3: Αιγυπτιακός τροχός «Noria» (Yannopoulos & Lyberatos, 2015)	13
Εικόνα1-4: Σχηματική απεικόνιση της αρχής λειτουργίας της αντλίας με καδοφόρα αλυσίδα (Macini & Mesini, 2004)	14
Εικόνα1-5: Η αντλία «pater noster» ή «rag and chain» (Agricola, 1950)	15
Εικόνα1-6: Σχηματική απεικόνιση της αρχής λειτουργίας της εμβολοφόρου αντλίας της εποχής (Agricola, 1950).	16
Εικόνα1-7: Η εφαρμογή των κανονιών νερού στο ορυχείο North Bloomfield, στην Καλιφόρνια, κατά την διάρκεια της εποχής του «πυρετού του χρυσού» (Ridgley, 2018)	20
Εικόνα2-1: Απεικόνιση της τοποθεσίας ανάπτυξης των βασικών τύπων προσχωματικών κοιτασμάτων (Michaud D. , 2016).	29
Εικόνα3-1: Ξύλινα ρηγά ταψιά συγκέντρωση «bateas» (Lao, PDR) (Veiga M. , 2006).	37
Εικόνα3-2: Αλουμινένιο μπολ που χρησιμοποιείται ως ταψί συγκέντρωσης (Σουδάν) (Veiga M. , 2006).	38
Εικόνα3-3: Μεταλλικό ταψί συγκέντρωσης «batea» (Βραζιλία) (Veiga M. , 2006).	38
Εικόνα3-4: Μικρό ταψί συγκέντρωσης σχήματος κώνου και επενδυμένο με καουτσούκ για δοκιμές μεταλλεύματος (Περού) (Veiga M. , 2006).	39
Εικόνα3-5: Χρησιμοποιώντας αντικείμενα κατασκευασμένα από το σκληρό κέλυφος ενός φρούτου στην Αφρική ως ταψιά συγκέντρωσης (calabash or calabace) (Veiga M. , 2006) ...	39
Εικόνα3-6: Συσκευή λίκνισης (Silva, 1986).	41
Εικόνα3-7: Παραστατική περιγραφή σχετικά με την λειτουργία ενός κουτιού λίκνισης (Rocker box) (Hustrulid, 2009).	42
Εικόνα3-8: Μεταλλική εσχάρα (σημείο Α) και βασικές ραβδώσεις υδροσυγκεντρωτή (σημείο Β) (Weishaupt & Jacobson, 1989)	50

Εικόνα3-9:Ο υδροσυγκεντρωτής Long Tom. Πλάγια όψη και κάτοψη (West, 1971)	51
Εικόνα3-10:Υδροσυγκεντρωτής Long Tom που χρησιμοποιήθηκε στην πόλη Auburn της Καλιφόρνια	52
Εικόνα3-11:Σχηματική διάταξη ενός τυπικού υδροσυγκεντρωτή (Weishaupt & Jacobson, 1989)	53
Εικόνα3-12:Πλωτή βυθοκόρηση γραμμής κάδων (Μεσαίου μεγέθους) (Grayson, 2008).....	56
Εικόνα3-13:Σχηματική απεικόνιση του καλοδιοφόρου εκσκαφέα «dragline» (Bruce, 2007) 59	
Εικόνα4-1:Μία τυπική διάταξη ενός αεροσυγκεντρωτή όπου η λειτουργία πραγματοποιείται χειροκίνητα (μέσω τύπου μανιβέλας) (Silva, 1986).....	65
Εικόνα4-2:Χειριστής αεροσυγκεντρωτή στο Νέο Μεξικό το 1940 (Library of Congress-prints and photographs reading room)	66
Εικόνα4-3:Η αρχή λειτουργίας της αεροτράπεζας (Kärki, 2018)	67
Εικόνα5-1:Σπειροειδείς συγκεντρωτής «Humphrey» (Φραγκίσκος & Κατράκης, 1979).....	70
Εικόνα5-2:Εγκάρσια τομή σπειροειδούς συγκεντρωτή «Humphrey» (Silva, 1986).....	70
Εικόνα5-3:Σχηματική απεικόνιση της αρχής λειτουργίας ενός συγκεντρωτή Jiggs (Swapan, 2018)	71
Εικόνα5-4:Η βασική αρχή λειτουργίας του συγκεντρωτή Jiggs (Gupta & Yan, 2006)	72
Εικόνα5-5:Σχηματική απεικόνιση του συγκεντρωτή Jiggs τύπου Harz (Fuerstenau & Han, 2003)	73
Εικόνα5-6:Σχηματική απεικόνιση του εσωτερικού ενός φυγοκεντρικού συγκεντρωτή Jiggs(CPG Resources brochure).....	74
Εικόνα5-7: Η διαδικασία διαχωρισμού σε έναν συγκεντρωτή pinched sluice (Falconer, 2003)	76
Εικόνα5-8:Διάγραμμα που παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά ροής σε μία μονάδα κώνου Reichert (Macdonald, 2007)	78
Εικόνα5-9:Αρχή λειτουργίας συγκεντρωτή κώνου «Reichert» (Wills & Napier, 2006)	79

Εισαγωγή

Ο χρυσός είναι γνωστός στον άνθρωπο εδώ και τουλάχιστον 5000 χρόνια (Boyle, 1987) και η απόληψή του γινόταν από προσχωματικά κοιτάσματα. Οι παραδοσιακές μέθοδοι εξόρυξης χρυσού που εφαρμόζονταν στην αρχαϊκή περίοδο, εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται για πολλές ακόμα εκατονταετίες, με εισαγωγές νέων μηχανημάτων και τεχνικών που διευκολύνουν την εργασία του εκάστοτε μεταλλωρύχου ή χειριστή. Ωστόσο, όπως θα φανεί και στην παρούσα διπλωματική εργασία, οι θεμελιώδεις αρχές της μεταλλευτικής του προσχωματικού χρυσού που ορίστηκαν πριν από τουλάχιστον 4000 χρόνια, αποτέλεσαν την βάση για την εξέλιξη των μεθόδων και διαδικασιών, δίχως όμως να αποκλίνουν από εκείνες.

Η ανάκτηση χρυσού από προσχώσεις θεωρείται ως μία από τις αρχαιότερες μεθόδους που εφαρμόστηκαν και οι οποίες πολύ αργότερα ονομάστηκαν «μεταλλευτικές». Κόκκοι του ορυκτού, το οποίο ορίζεται ως «αυτοφυής χρυσός», απαντώνται σε μεταλλεύματα χρυσού ή χρυσοφόρα πετρώματα και αποδεσμεύονται όταν αυτά οξειδώνονται ή αποσαθρώνονται. Λόγω της επίδρασης της βαρύτητας, οι κόκκοι μετατοπίζονται σε χαμηλότερα σημεία του ανάγλυφου και μπορεί μαζί με άλλα ορυκτά να σχηματίσουν αμμώδεις προσχώσεις, εμπλουτισμένες σε χρυσό. Δηλαδή, μπορεί να δημιουργήσουν ένα «προσχωματικό κοιτάσμα χρυσού», ενώ οι συγκεκριμένοι κόκκοι ορίζονται ως «ψήγματα χρυσού».

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στην ερευνητική μονάδα γεωλογίας της σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης. Αντικείμενο της είναι:

- i. Η αναλυτική καταγραφή της χρονολογικής εξέλιξης των τεχνολογιών εξόρυξης και επεξεργασίας προσχωματικών κοιτασμάτων χρυσού, οι οποίες εφαρμόζονται από την αρχαιότητα μέχρι και την σημερινή εποχή.
- ii. Η λεπτομερής ανάλυση των επί μέρους λειτουργιών συστημάτων εξόρυξης και επεξεργασίας προσχωματικών κοιτασμάτων χρυσού.
- iii. Η σύγκριση των τεχνολογικά εξελιγμένων συστημάτων εξόρυξης προσχωματικών κοιτασμάτων χρυσού με τις θεμελιώδεις διαδικασίες που εφαρμόστηκαν στην αρχαϊκή εποχή

Κεφάλαιο 1: Ιστορική εξέλιξη των διαδικασιών εξόρυξης και επεξεργασίας προσχωματικών κοιτασμάτων χρυσού

1.1 Η ανακάλυψη του χρυσού στην Μικρά Ασία, την Ελλάδα και την Αίγυπτο (5000-1000 π.Χ.)

Τα μεγαλύτερα βήματα στις μεταλλουργικές τεχνικές πραγματοποιήθηκαν κατά την Ύστερη Χαλκολιθική περίοδο. Η παραγωγή διαφόρων τύπων κραμάτων, οι εξελιγμένες δεξιότητες στην σιδηρουργία, οι άφθονοι μεταλλικοί πόροι και η διακοσμητική χρήση του χρυσού και του αργύρου οφείλουν την ύπαρξη τους σε προγενέστερες ενέργειες που έλαβαν χώρα κατά την διάρκεια της Ύστερης Χαλκολιθικής περιόδου. Η Πρώιμη εποχή του Χαλκού χαρακτηρίζεται από θεαματική «άνθιση» των μεταλλουργικών πρακτικών, οι οποίες όμως άργησαν να εφαρμοσθούν ευρέως. Παρόλο που μπορούν να βρεθούν εξάισια δείγματα μεταλλοτεχνίας και αντικείμενα μοναδικού σχεδιασμού κατά την διάρκεια της Πρώιμης εποχής του Χαλκού, δεν υπάρχει ακόμα η δυνατότητα εντοπισμού της προέλευσης του ακατέργαστου χαλκού, του αργύρου και του χρυσού της εποχής (Dardeniz, 2015).

Ο χρυσός εμφανίζεται συχνά υπό την μορφή φυσικού μετάλλου. Ωστόσο, καμία από τις ιδιότητες του δεν κατάφερε να αναγνωρισθεί μέχρι και την Πρώιμη εποχή του Χαλκού. Γενικότερα, ο χρυσός διαθέτει κάποια εξαιρετικά χαρακτηριστικά, τα οποία δεν μπορούν να εντοπισθούν σε άλλα μέταλλα. Καταρχήν, είναι πολύ ανθεκτικός και δεν οξειδώνεται ή διαβρώνεται όπως ο χαλκός ή ο σίδηρος. Στην συνέχεια, μπορεί να σφυρηλατηθεί εύκολα σε πολύ λεπτές στρώσεις και να δεχθεί μία ομοιόμορφη κλίση ή ακόμα και να λάβει την μορφή ενδιαφερόντων σχημάτων. Ο χρυσός δεν εκτιμήθηκε μόνο για την ομορφιά του ως μέταλλο αλλά και για τις ιδιαίτερες ιδιότητες του. Για παράδειγμα, οι Κινέζοι αλχημιστές ήταν γνωστό ότι έτρωγαν μικρές ποσότητες του χρυσού, οι οποίες πίστευαν ότι τους προσέφεραν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

Στα πρώτα χρόνια της ανθρώπινης ιστορίας οι κυνηγοί-συλλέκτες σίγουρα θα είχαν παρατηρήσει γυαλιστερά σωματίδια χρυσού στις όχθες των ποταμών, τα οποία εναποτίθενται από την φυσική δράση του νερού. Έτσι, η αρχική χρήση του χρυσού καθοριζόταν από την ικανότητα ενός τεχνίτη να λιώσει τα μεγαλύτερα τεμάχια του πολύτιμου μεταλλεύματος σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 1064 °C, ενώ μόνο μετά από εκείνη την περίοδο ο χρυσός

μπορούσε να δεχθεί αμαλγάμωση και να μετασχηματισθεί σε μεγάλα κομμάτια και διακοσμητικά αντικείμενα. Παρά την ύπαρξη ειδικευμένων τεχνιτών στην νεολιθική Μικρά Ασία, ο χρυσός παρέμεινε στην «σκιά» για μεγάλο χρονικό διάστημα πριν ακόμα τραβήξει το ενδιαφέρον (Dardeniz, 2015)

Οι πρώτες αναφορές ανάκτησης χρυσού είναι περί του 4000 π.Χ., όταν ο χρυσός ανακτήθηκε υπό την μορφή φολιδών και ψηγμάτων σε παραποτάμιες ακτές της Μικράς Ασίας και της Κεντρικής Ασίας. Περίπου την ίδια χρονολογική περίοδο οι Αιγύπτιοι ανάκτησαν χρυσό κατά μήκος του Νείλου και της Νουβία (Σουδάν), από τα υψίπεδα ανατολικά του Νείλου στην περιοχή της Ερυθράς θάλασσας. Στα συγκεκριμένα κοιτάσματα ο χρυσός προερχόταν αρχικά από διαβρωμένες επιφανειακές ύλες και στην συνέχεια από υπόγεια φρέαρ και σήραγγες. Η Αίγυπτος αποτέλεσε την πηγή του μεγαλύτερου μέρους του χρυσού στον αρχαίο κόσμο της Μεσογείου πριν από την ακμή της Ελλάδας. Τα πρώτα τεχνουργήματα χρυσού που ανακαλύφθηκαν στην Ελλάδα ήταν ένα χρυσό σκουλαρίκι από το Διμήνι (μία μικρή οχυρωμένη τοποθεσία οικισμού της Ύστερης Νεολιθικής εποχής στην Θεσσαλία, κοντά στον Βόλο), το οποίο ανακτήθηκε στις αρχές της 5^{ης} χιλιετίας π.Χ. Λίγο αργότερα, ανακαλύφθηκε μία χρυσή χάντρα κατά την διάρκεια την Τελικής Νεολιθικής εποχής στον οικισμό των Σιταγρών, επίσης στην Ελλάδα (4600-4200 π.Χ.).

Οι αρχαιολόγοι συμφωνούν γενικά ότι ο ρόλος του χρυσού συνδέθηκε με άτομα υψηλής κοινωνικής θέσης και αποτέλεσε σύμβολο της εξουσίας και της δύναμης τους. Το κίνητρο για την παραγωγή ενός ευγενούς αλλά μη πρακτικού για την εποχή μετάλλου, υποδεικνύει ότι το ίδιο σχετίζεται περισσότερο με την κοινωνική σύνθεση και την ιεραρχία των πολιτισμών, παρά με τις μεταλλουργικές δεξιότητες των τεχνιτών (Düring, 2011).

Σήμερα, υπάρχουν ενδείξεις ότι η αρχική παραγωγή χρυσού στην Μικρά Ασία χρονολογείται σε ένα πλαίσιο μεταξύ της Ύστερης Χαλκολιθικής-Πρώιμης εποχής του χαλκού. Ένα πρώιμο παράδειγμα χρήσης χρυσού στην Μικρά Ασία προέρχεται από την αρχαία πόλη Melid (ή Arslantepe), στην οποία εντοπίστηκε ένας χρυσός δίσκος περί του 3000 π.Χ. (Frangipane & al., 2010). Το συγκεκριμένο αντικείμενο, καθώς και ένα σπειροειδές δακτυλίδι που βρέθηκε σε μεταγενέστερους βασιλικούς τάφους, υποδεικνύουν ότι πιθανότατα είχε ήδη αναπτυχθεί μία μεταλλουργική βιομηχανία χρυσού και λειτουργούσε στην ενδοχώρα.

Μετά την έλευση της Πρώιμης εποχής του Χαλκού, περισσότερα χρυσά αντικείμενα εντοπίστηκαν στην Μικρά Ασία, όπως και στο δεύτερο επίπεδο της εκσκαφής «Τροία» (2500 π.Χ.), τα οποία χρησιμοποιήθηκαν κυρίως ως διακοσμητικά. Στην Μικρά Ασία

αναπτύχθηκε έντονο ενδιαφέρον για το μέταλλο του χρυσού όταν οι παραδοσιακές μεταλλουργικές μέθοδοι άρχισαν να αναπτύσσονται, όταν τα πολυμεταλλικά κοιτάσματα άρχισαν να εξορύσσονται μαζικά και όταν μία κοινωνική ζήτηση για αγαθά πολυτελείας αναπτύχθηκε σοβαρά (Lehner & Joseph, 2013).

Οι τεχνολογίες γεννιούνται μέσα από πολιτισμούς με καθορισμένα πλαίσια που ανταποκρίνονται στις αυστηρές ανάγκες του πληθυσμού. Το μέγεθος, η ποιότητα και η πολυπλοκότητα ενός αντικειμένου αποτελούν χαρακτηριστικά άρρηκτα συνδεδεμένα με τα πολιτισμικά θεμέλια, ως εκ τούτου και με τον τρόπο παραγωγής και χρήσης ενός αντικειμένου ή υλικού. Η μεγάλη έκρηξη στην χρήση του χρυσού εμφανίσθηκε στα μέσα της 3^{ης} χιλιετίας π.Χ. Η παραγωγή του αυξήθηκε σημαντικά με μεγάλες ποσότητες αντικειμένων να κατασκευάζονται από το προαναφερόμενο δεύτερο επίπεδο της εκσκαφής «Τροία», στις κατακόμβες του Alaca Höyük και σε άλλες τοποθεσίες της Ανατολικής Μεσογείου, ιδιαίτερα στους βασιλικούς τάφους της πόλης Ουρ (Μεσοποταμία).

Η υψηλή ζήτηση για χρυσό οδήγησε στην εξάντληση των πρωταρχικών πηγών. Θεωρείται ότι μετά από ένα σημείο τα αλουβιακά και προσχωματικά κοιτάσματα δεν μπορούσαν να προσφέρουν τις απαραίτητες ποσότητες χρυσού, με αποτέλεσμα οι μεταλλωρύχοι της εποχής να κινηθούν σε διαφορετικές πηγές. Συνειδητοποίησαν γρήγορα ότι τα χρυσοφόρα μεταλλεύματα που συσσωρεύονταν στα ποτάμια, προέρχονταν από ένα αρχικά μεγαλύτερο υψόμετρο, ενώ δεν χρειάστηκε μεγάλο χρονικό διάστημα για να καταφέρουν να εντοπίσουν την πρωταρχική πηγή του. Στην προκειμένη περίπτωση, ο χρυσός ήταν εγκλωβισμένος στο μητρικό πέτρωμα που βρισκόταν στο υψηλότερο σημείο (Dardeniz, 2015).

Ο χρυσός αρχικά δεχόταν μία διαδικασία κοσκινίσματος. Για να αποδεσμευθεί από τα σύνδρομα ορυκτά, οι μεταλλωρύχοι πραγματοποιούσαν διαδικασία απόξεσης του χρυσοφόρου χαλαζία και στην συνέχεια ανάμειξη του νερού και του πολφού του χρυσοφόρου μεταλλεύματος. Στην συνέχεια, ο πολφός χυνόταν πάνω σε μία τράπεζα κοσκινίσματος, με τα βαρύτερα σωματίδια να συλλέγονται στις τρύπες και στις εγκοιλώσεις της. Η συγκεκριμένη συσκευή ήταν γνωστή ως «buddle» στην Αίγυπτο και χρονολογείται περί του 2000 π.Χ. (De Jesus, 1977). Η προαναφερόμενη διαδικασία μπορούσε να επαναληφθεί όσο το δυνατόν περισσότερες φορές για να προκύψει το καθαρότερο δυνατό συμπύκνωμα χρυσού, χωρίς την ύπαρξη των σύνδρομων ορυκτών (Roger & Moorey, 1999).

1.2 Η Αργοναυτική εκστρατεία (1300 π.Χ.)

Τα βουνά του Καυκάσου είχαν εδώ και χιλιετίες μία έντονη σχέση με τον χρυσό. Σύμφωνα με τους μύθους που αφηγούνται Έλληνες και Ρωμαίοι συγγραφείς, ο θρυλικός ήρωας Ιάσωνας στάλθηκε σε μια αδύνατη αποστολή αναζήτησης του Χρυσόμαλλου δέρατος στην Κολχίδα, από την οποία ο σφετεριστής θεός του και βασιλιάς της Ιωλκού Πελίας υπέθεσε ότι δεν θα επιστρέψει ποτέ.

Τα ορεινά ποτάμια της Κολχίδας (επαρχία Σβανέτι) μετέφεραν αδρόκοκκη άμμο και σωματίδια χρυσού. Οι άμμοι πλένονταν με την χρήση ειδικών ξύλινων συσκευών υδροσυγκεντρωτών και τα λεπτότερα κλάσματα συγκρατούνταν στο κατώτερο τμήμα της συσκευής, το οποίο ήταν επενδυμένο με δέρμα προβάτου. Αυτό το θαυμάσιο ειδικό σύστημα ανέδειξε τον μύθο του Χρυσόμαλλου Δέρατος, ο οποίος προήλθε από μία χώρα που διέθετε άπλετα ασημένια παλάτια και χρυσές αίθουσες των αρχαίων βασιλιάδων. Έτσι, ο θρύλος του υπέροχου πλούτου της Κολχίδας, όπως και οι φήμες σχετικά με τον πλούτο των ηγεμόνων του λέγεται ότι ενθουσίασε την επιχειρηματική φιλαργυρία των Αργοναυτών (Doumas, 1991).

Ο Ρωμαίος ιστορικός ελληνικής καταγωγής Αππιανός ο Αλεξανδρεύς (90-170 π.Χ.) καθώς και άλλοι ιστορικοί εξέφρασαν την ιδέα ότι το Χρυσόμαλλο Δέρας ήταν εμπνευσμένο από πραγματικές πρακτικές εξόρυξης. Η περιγραφή του Χρυσόμαλλου Δέρατος παραπέμπει στην χρήση του δέρματος των προβάτων για την απόληψη του χρυσού από τα υπόβαθρα των ποταμών. Το πυκνό τρίχωμά τους συγκρατούσε τον χρυσό που παρέσυρε το νερό, σε ψήγματα ή σκόνη, λαμβάνοντας χρυσαφένια λάμψη (Jones, 1924). Η μέθοδος αυτή ήταν ευρέως διαδεδομένη κατά την περίοδο του Χαλκού και ήταν η ίδια που εφαρμοζόταν και στον Φάση ποταμό στην Κολχίδα, ενώ αργότερα η τεχνική εξελίχθηκε στο ρείθρο-φάνη. Προστέθηκε δηλαδή ένα ξύλινο λούκι το οποίο είχε πλέον ως επένδυση το δέρμα του ζώου. Η ιστορία του Ιάσωνα, των Αργοναυτών και του Χρυσόμαλλου δέρατος είναι ένας μύθος, αλλά, όπως συμβαίνει στους περισσότερους μύθους, πάντα εμπεριέχονται στοιχεία αλήθειας.

Οι Αργοναύτες, κατά την επιστροφή τους, απέφυγαν το Αιγαίο και ακολούθησαν τους θαλάσσιους δρόμους της κεντρικής Μεσογείου και τα ποτάμια της νότιας Ευρώπης. Πέρασαν από τα μεγάλα μεταλλευτικά κέντρα κατά μήκος του Δούναβη που βρίσκονταν κυρίως στις περιοχές του Αί Βουνάρ (Βουλγαρία) και της Ρουνά Γκλαβ (Σερβία), από όπου εξορυσσόταν χαλκός, από την Τρανσυλβανία, όπου υπήρχαν μεγάλα κοιτάσματα χρυσού,

όπως και στο νοτιοδυτικό κομμάτι του Δούναβη (Erzgebirge, Σερβία). Από εκεί η Αργώ κατέπλευσε, μέσω της Αδριατικής, στον Ροδανό και τον Ηριδανό, τα ποτάμια νοτίως των Άλπεων, στις όχθες των οποίων ήταν συγκεντρωμένα κοιτάσματα χαλκού, σιδήρου, μολύβδου και χρυσού. Οι Αργοναύτες έφτασαν τελικά στο Αιγαίο, σταματώντας στην Κρήτη και στην Θήρα, η οποία και αποτέλεσε τον ενδιάμεσο σταθμό των εισαγωγών από το Αιγαίο προς την Κρήτη (Εικόνα 1-1) (Κακριδής, 1986).

Με βάση έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί στα μεταλλεύματα της επαρχίας Σβανέτι (Okrostsvavidze & al, 2014), αποδεικνύεται ότι το μεγαλύτερο τμήμα των χρυσοφόρων αποθεμάτων έχει εξορυχθεί στο ιστορικό παρελθόν. Ταυτόχρονα, ο εντατικός κύκλος διάβρωσης της σημερινής εποχής, ο οποίος και προκλήθηκε από τις άφθονες βροχοπτώσεις και τους εκτεταμένους παγετώνες, οδήγησε στην ταχεία ανύψωση του τμήματος Svaneti του ευρύτερου Καυκάσου, ευνοώντας την ταχεία αναπλήρωση χρυσού στα σημερινά ποτάμια. Το συγκεκριμένο σενάριο ενεργητικού εμπλουτισμού των ποτάμιων κροκάλων της περιοχής, αποτελεί βασικό γεωλογικό δεδομένο που υποδεικνύει την υψηλής ποιότητας δραστηριότητα εξόρυξης χρυσού στο ιστορικό παρελθόν, καθώς και στην σημερινή εποχή. Συνεπώς, από τις έρευνες στην περιοχή Σβανέτι προκύπτουν αρκετά δεδομένα σχετικά με την επαλήθευση του μύθου, με βάση τον οποίο η περιοχή περιγράφεται ως «μία χώρα πλούσια σε χρυσό».



Εικόνα 1-1: Η διαδρομή των Αργοναυτών με βάση τις βιβλιογραφικές αναφορές (1300 π.Χ.) (Κακριδής, 1986).

- Ο Στράβων, τον 1^ο αιώνα μ.Χ. έγραψε ότι οι ισχυροί άνδρες του Καυκάσου (Soanes) συνέλεξαν τον χρυσό μέσα από τα ρέματα, με την χρήση «διάτρητων σκαφών» και δερμάτων προβάτου (Jones, 1924). Η συγκεκριμένη περιγραφή ταιριάζει ιδανικά σε μία συσκευή υδροσυγκεντρωτή που περιλαμβάνει επένδυση και κουτί απόθεσης των κροκάλων στο ανώτερο τμήμα της.
- Ο Rickard (1932) τονίζει την σημαντικότητα της χρήσης των δερμάτων προβάτου στην διαδικασία της ανάκτησης χρυσού, επισημαίνοντας ότι η φυσική λιπαρή υφή του δέρματος συμβάλλει στην συγκράτηση του χρυσού. Έτσι, δηλώνει ότι «μία από τις πιο εξελιγμένες μεταλλουργικές μεθόδους-η διαδικασία της επίπλευσης, θα μπορούσε να υποδηλώνεται έμμεσα στις ιστορίες των Αργοναυτών, αλλά αυτό είναι κάτι δύσκολο να αποδειχθεί».

1.3 Η επεξεργασία προσχωματικών κοιτασμάτων χρυσού κατά την διάρκεια της Ρωμαϊκής περιόδου (27 π.Χ-476 μ.Χ.)

Η επέκταση της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας υποδείκνυε ότι η ζήτηση για μέταλλα ήταν υψηλή και ως εκ τούτου, έπρεπε να βρεθούν περισσότερες πηγές. Το μεγαλύτερο τμήμα του χρυσού που εξορύσσονταν στα εδάφη της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας, συμπεριλαμβανομένων και των εδαφών που είχαν κατακτηθεί, χρησιμοποιήθηκε κυρίως στην υποστήριξη του στρατού και των υποδομών του. Ωστόσο, ο χρυσός εξελίχθηκε και αποτέλεσε έναν από τους πιο κεντρικούς πυλώνες του ρωμαϊκού πολιτισμού. Δεν υπήρξε μόνο το νόμισμα της εποχής, αλλά και ένα μέτρο για τον προσδιορισμό του πλούτου ή ακόμα και ένας μοχλός του παγκόσμιου εμπορίου.

Οι μεταλλουργικές διεργασίες εφαρμόζονταν στην Ρώμη ήδη από το 53 π.Χ. και δεν ανακαλύφθηκαν κατά την διάρκεια της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας. Οι συγκεκριμένες τεχνικές ήταν ήδη γνωστές στην Ιταλία από την περίοδο του Χαλκού. Το μεγαλύτερο μέρος του χρυσού που χρησιμοποιήθηκε στη Ρώμη προήλθε από εννέα εδάφη που περιλαμβάνουν οι ακόλουθες περιοχές (Hirt, 2020):

- Ιβηρία, μία χερσόνησος της νοτιοδυτικής Ευρώπης, στην οποία σήμερα συμπεριλαμβάνονται η Ισπανία και η Πορτογαλία.
- Γαλατία, μία περιοχή της Δυτικής Ευρώπης, η οποία αποτελείται από την σημερινή Γαλλία, το Βέλγιο, την Ελβετία και το Λουξεμβούργο.

- Γαλατία των Ιταλικών Άλπεων, μία ανεξάρτητη διοικητικά περιοχή της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας, εντός της Ιταλίας.
- Britannia, η οποία αποτελεί την σημερινή Βρετανία.
- Noricum, η οποία αποτελεί μεγάλο μέρος της σημερινής Αυστρίας και τμήματα της Σλοβενίας.
- Δαλματία, μία γεωγραφικά ιστορική έκταση της Κροατίας.
- Moesia, μία έκταση των σημερινών Βαλκανίων νότια του ποταμού Δούναβη.
- Αραβική Χερσόνησος.
- Αφρική.

Ως επί το πλείστον, η εξόρυξη χρυσού και άλλων μετάλλων πραγματοποιούνταν χειρωνακτικά. Στην συνέχεια όμως, εφευρέθηκε η μέθοδος της υδραυλικής εξόρυξης, μία τεχνική που συνέβαλε στην μαζική αύξηση της παραγωγής. Η συγκεκριμένη αποτελεί μία αρχαία τεχνολογία εξόρυξης, στην οποία ένας χείμαρρος νερού χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση των υπολειμμάτων και την αποκάλυψη των ορυκτών φλεβών. Στην πιο κερδοφόρα περίοδο εξόρυξης, υπολογίζεται ότι η Ρωμαϊκή Αυτοκρατορία παρήγαγε **έως και 9 τόνους χρυσού τον χρόνο**. Με βάση τις τιμές του χρυσού σήμερα, αυτή η παραγωγή θα μεταφραζόταν σε πάνω από μισό δισεκατομμύριο δολάρια σε ετήσια έσοδα από χρυσό.

Οι Ρωμαίοι εφάρμοσαν ποικίλες τεχνικές για να καταφέρουν να διαχωρίσουν τα μέταλλα από την συνολική μάζα του μεταλλεύματος. Πιο συγκεκριμένα, ο εξευγενισμός του χρυσού πραγματοποιούνταν είτε μέσω της θέρμανσης του για μεγάλο χρονικό διάστημα παρουσία άλλων ουσιών, μεταλλικών ή μη (καθαρισμός-κραμάτωση), είτε μέσω της διαδικασίας αμαλγάμωσης με υδράργυρο, η αρχαιότερη μέθοδος εξαγωγής χρυσού. Πρόκειται για τη διάλυση του Au από Hg και στην συνέχεια την απόσταξη του Hg από το κράμα Au-Hg, με την δημιουργία σπογγώδους χρυσού και ατμών υδραργύρου (Ζευγώλης, 2003).

1.3.1 Εξόρυξη και εκμετάλλευση ορεινών περιοχών στα βορειοδυτικά της Ισπανίας

Ο χρυσός στο Βορειοδυτικό τμήμα της Ιβηρικής χερσονήσου έχει εντοπισθεί ήδη από την αρχαιότητα. Οι εξορύξεις χρυσού αναπτύχθηκαν ταχύτατα στην συγκεκριμένη γεωγραφική ζώνη μετά από την λήξη του Κανταβριανού πολέμου (19 π.Χ), όταν και αναδιοργανώθηκε το ρωμαϊκό νομισματικό σύστημα από τον αυτοκράτορα Οκταβιανό Αύγουστο.

Τα αποτυπώματα που άφησαν οι ρωμαϊκές εξορυκτικές εργασίες εξακολουθούν να αναγνωρίζονται στο σημερινό τοπίο της περιοχής. Πιο συγκεκριμένα, έως σήμερα έχουν

εντοπισθεί περισσότερες από 500 τοποθεσίες εξόρυξης στην Βορειοδυτική Ιβηρική χερσόνησο. Έτσι, στα ορυχεία εφαρμόζονταν κατά κύριο λόγο υδραυλικά συστήματα για την αφαίρεση του μη εμπορικού υλικού και για την συγκέντρωση των χρυσοφόρων κροκάλων του υποβάθρου. Παράλληλα, είχαν κατασκευασθεί δεκάδες χιλιόμετρα τάφρων, μέσω των οποίων μεταφερόταν το νερό στις τοποθεσίες των ορυχείων, ενώ οι ίδιες εξακολουθούν να ρέουν μέσα από τις δασικές εκτάσεις του πρανούς της περιοχής.

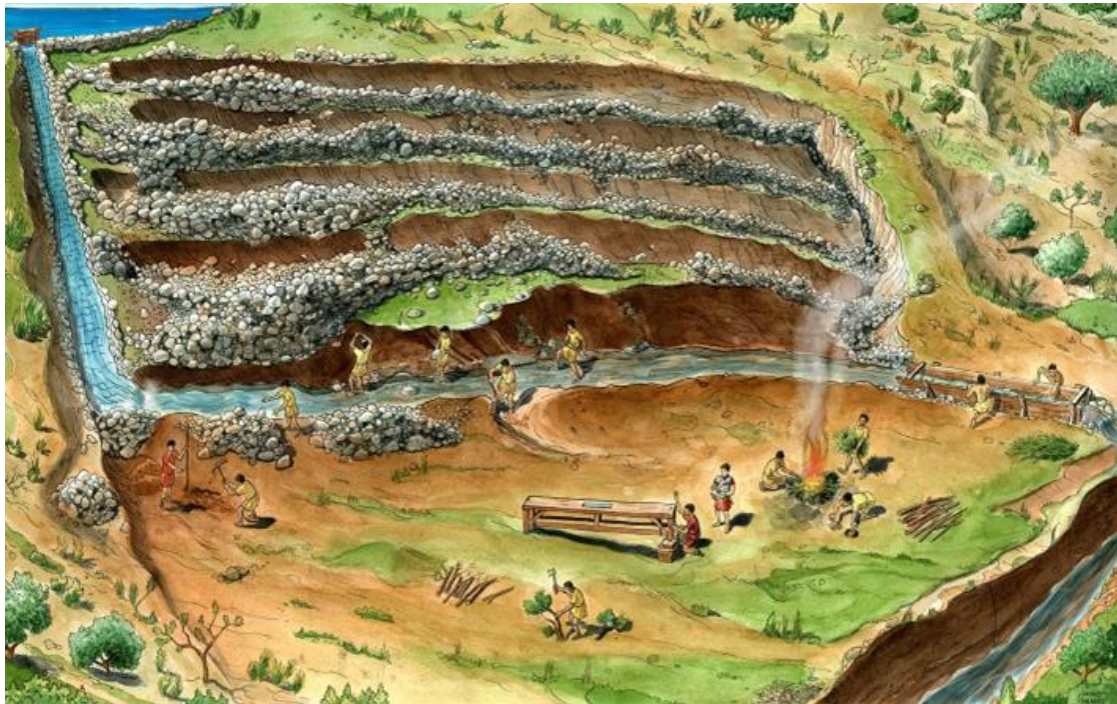
Τα εντυπωσιακά υπολείμματα της Ρωμαϊκής εποχής σηματοδοτούν το τοπίο της Βορειοδυτικής Ιβηρικής χερσονήσου και υποδηλώνουν την σημαντική παραγωγή χρυσού της περιοχής. Ωστόσο, η ποσότητα του χρυσού που εξορύχτηκε χαρακτηρίζεται ως «μέτρια». Θεωρείται ότι παράχθηκαν περίπου 195 τόνοι χρυσού στους δύο με τρεις αιώνες λειτουργίας. Από αυτή την ποσότητα, περίπου 20 τόνοι χρυσού προέρχονται από προσχωματικά κοιτάσματα (Pérez-García, 2000).

Η έναρξη λειτουργίας των ορυχείων απαιτούσε την εκ των προτέρων διεξαγωγή εργασιών αναζήτησης, οι οποίες σίγουρα ξεκίνησαν αμέσως μετά την κατάκτηση. Οι πρώτοι χρονολογημένοι οικισμοί που σχετίζονται με εν λειτουργία ορυχεία απαντώνται στην περιοχή La Vladuerna και αναφέρονται στις εποχές του Τιβέριου και του Κλαυδίου. Η ανακάλυψη κοιτασμάτων χρυσού στην συγκεκριμένη περιοχή έχει πραγματοποιηθεί μέσω της αναζήτησης χρυσοφόρων προσχωματικών αποθέσεων, είτε λόγω της προ Ρωμαϊκής γνώσης σχετικά με αυτά είτε χάρη στην αναζήτηση με την χρήση των ταπιών συγκέντρωσης χρυσού, τα οποία γνώριζαν πολύ καλά οι Ρωμαίοι και περιγράφονται αναλυτικά από τον Πλίνιο τον Πρεσβύτερο (Ruiz del Árbol, 2014).

1.3.2 Το ρωμαϊκό επαρχιακό σύστημα εξόρυξης χρυσού και η σημασία της παροχής νερού

Οι διαδικασίες έχουν ανακατασκευασθεί σε τοπική κλίμακα στην περιοχή Las Cavenes της Salamanca (Sanchez, 2006). Πιο συγκεκριμένα, ο έλεγχος της επικράτειας ήταν βασικός για την απόκτηση και την απαραίτητη παροχή νερού στο σύνολο της διαδικασίας εξόρυξης. Το σύστημα εξόρυξης που χρησιμοποιήθηκε στην περιοχή Las Cavenes δεν διέφερε σε μεγάλο βαθμό από τις στρατηγικές εξόρυξης που ήδη εφαρμόζονταν εκείνη την εποχή, σε παρόμοιους τύπους χρυσοφόρων προσχωματικών κοιτασμάτων, όπως για παράδειγμα στην Καλιφόρνια και σε αρκετές περιοχές της Νότιας Αμερικής.

Η έκπλυση και η μετακίνηση-θραύση των χρυσοφόρων πετρωμάτων, αποτέλεσαν τα πρώτα βήματα της διαδικασίας εκμετάλλευσης του προσχωματικού χρυσού. Οι δύο προαναφερόμενες ενέργειες μπορούσαν να πραγματοποιηθούν ταυτόχρονα και συνεχόμενα, ή όχι, ανάλογα με την προς εξόρυξη μάζα και τον όγκο του παρεχόμενου νερού. Τα ανοιχτά ορυχεία παρέχουν αρκετά στοιχεία σχετικά με τις διάφορες μεθόδους έκπλυσης που χρησιμοποιήθηκαν, όπως ήταν οι επιλεκτικές εργασίες στις οποίες εφαρμόζονταν συγκλίνουσες αυλακώσεις (Las Cavenes), όταν ο χρυσός εντοπιζόταν σε υψηλότερες τοποθεσίες (Εικόνα 1-2).



Εικόνα 1- 2: Ανακατασκευή των σταδίων εκμετάλλευσης δευτερογενών χρυσοφόρων αποθεμάτων χρησιμοποιώντας την υδραυλική ισχύ (Σχέδιο: Hugo Prades—Fundacio 'n Las Medulas, επιστημονική επίβλεψη: CSIC).

Πιο συγκεκριμένα, στην Εικόνα 1-2 παρουσιάζεται η ανακατασκευή των διαφόρων σταδίων της διαδικασίας εκμετάλλευσης δευτερογενών χρυσοφόρων αποθεμάτων χρησιμοποιώντας την υδραυλική ισχύ. Στο σχέδιο απεικονίζεται η δεξαμενή νερού (από την οποία τροφοδοτείται το νερό στην εξόρυξη μέσω ενός καναλιού), η χρήση αυλακιών για την μετακίνηση των κροκαλοπαγών υλικών προς το κατώτερο τμήμα, οι μεταλλωρύχοι που απομακρύνουν τους μεγαλύτερους ογκόλιθους χειρωνακτικά, οι συσκευές υδροσυγκεντρωτών που χρησιμοποιούνται για την έκπλυση των κροκαλοπαγών και τον διαχωρισμό του χρυσού, η διαδικασία της προετοιμασίας του ελαφρύτερου εδαφικού υλικού, καθώς και η χρήση των χωροβατών στην μέτρηση και τον εντοπισμό των καναλιών.

Γενικότερα, οι Ρωμαίοι μεταλλωρύχοι χρησιμοποιούσαν αποκλειστικά την ειδική μέθοδο έκπλυσης «ground sluicing», η οποία θεωρείται και η καταλληλότερη για αποθέσεις με πάχος από 4 έως 6 m. Στα ξηρά εδάφη, χρησιμοποιούνταν από 6 έως 8 συγκλίνουσες αυλακώσεις, οι οποίες διανοίγονταν σε κλίση 5% με το οριζόντιο επίπεδο. Μία μοναδική τάφρος μπορούσε να παρέχει ολόκληρη την ποσότητα νερού για το σύνολο της λειτουργίας. Έτσι, οι μεταλλωρύχοι ωθούσαν τις προσχωματικές εναποθέσεις στα τοιχώματα των αυλακιών, οδηγώντας τες προς το κατώτερο τμήμα του πρηνούς με την συμβολή του τρεχούμενου νερού. Οι κροκάλες πλένονταν και αφαιρούνταν (έξω από τα αυλάκια), ενώ η άμμος και η άργιλος παρασύρονταν από το ρέμα του νερού μέχρι την έξοδο. Με αυτό τον τρόπο, το βαρύτερο κλάσμα του υλικού παρέμενε στον πυθμένα των αυλακιών, όπου με την χρήση των ταψιών συγκέντρωσης πραγματοποιούνταν η ανάκτηση των κόκκων χρυσού (Pérez-García, 2000).

1.4 Η συμβολή των μεθόδων του Agricola (1494-1556)

1.4.1 Η Αναγέννηση και η ζωή του Georgius Agricola

Μετά από την πτώση της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας (476 μ.Χ.), η ζήτηση για ορυκτά και μέταλλα μεταφέρθηκε από την Μεσόγειο στα νέα και πιο παραγωγικά ορυχεία της κεντρικής Ευρώπης. Κατά την διάρκεια της πρώιμης Αναγέννησης (15^{ος} αιώνα μ.Χ.) πραγματοποιήθηκε η μεγάλη ανάπτυξη της εξόρυξης και της μεταλλουργίας. Η παραγωγή μετάλλων εκείνη την εποχή ήταν η μεγαλύτερη που έχει γνωρίσει ο κόσμος με τις τεχνολογίες που εφαρμόζονταν να εξελίσσονται συνεχώς. Μία σημαντική αλλαγή αποτέλεσε η ιδιοκτησία των ορυχείων, τα οποία έως τότε τα διαχειρίζονταν μόνο οι μεταλλωρύχοι. Αργότερα, η ιδιοκτησία πέρασε στα χέρια εμπόρων, μοναστηριών και συμβουλίων πόλεων και γενικότερα σε οποιονδήποτε διέθετε το απαραίτητο κεφάλαιο για να υποστηρίξει τις σύγχρονες και ακριβές εξορυκτικές τεχνολογίες. Με την μετάβαση στον Καπιταλισμό, υπήρξε η ανάγκη για πληροφόρηση σχετικά με την διαδικασία της εξόρυξης και της μεταλλουργίας, η οποία προηγουμένως περιοριζόταν στον κλάδο των εργατών και των τεχνιτών. Η εξόρυξη θεωρήθηκε ως μία επιχείρηση που θα μπορούσε να κάνει τους ιδιοκτήτες πλούσιους, αν μπορούσαν να αντέξουν οικονομικά το κόστος έναρξης ενός ορυχείου.

Οι συγγραφείς Georgius Agricola και Vannoccio Biringuccio ήταν εκείνοι που παρείχαν το μεγαλύτερο μέρος των πληροφοριών σχετικά με την μεταλλουργία και τις εξορύξεις της

εποχής. Μαζί τους δύο βασικά έργα, το *Pirotechnia* (1540) και το *De Re Metallica* (1556), καλύπτουν τα περισσότερα θέματα που σχετίζονται με την εξόρυξη και τη μεταλλουργία. Τα συγκεκριμένα έργα αποτέλεσαν πρότυπα εγχειρίδια για τους επόμενους δύο αιώνες.

1.4.2 De Re Metallica

Το 1556, σχεδόν ένα χρόνο μετά τον θάνατο του συγγραφέα του, το *De Re Metallica* δημοσιεύθηκε στην Βασιλεία. Η έκδοση του συγκεκριμένου βιβλίου σηματοδότησε την έναρξη της μετάβασης μεταξύ της φιλοσοφικής πλευράς της μεταλλουργίας και της επιστήμης που βασίζεται στην εμπειρικά καθορισμένη παρατήρηση. Έτσι, το *De Re Metallica* αποτελεί την πρώτη προσπάθεια περιγραφής της φύσης, της τοποθεσίας, των μέσων απόκτησης και καθαρισμού των μετάλλων που προέρχονται από την πραγματική εμπειρία και τον πειραματισμό. Αυτό αντικατοπτρίζεται στην ικανότητα της αντιγραφής των διαδικασιών και των πειραμάτων που εξελίσσονται, καθώς και στην ακρίβεια και λεπτομέρεια με την οποία περιγράφονται (Frank, Galvin, & Skinner, 1999)

Το *De Re Metallica* του Agricola (Agricola, 1950) θεωρείται το κορυφαίο βιβλίο μηχανών του 16^{ου} αιώνα. Στο έργο του, ο Agricola εμβαθύνει ιδιαίτερα στην περιγραφή των προηγμένων μηχανημάτων των ορυχείων του Erzgebirge (Γερμανία), πιο συγκεκριμένα στην χρήση αντλιών για την αποστράγγιση του νερού και ανυψωτικών για την εξόρυξη του μεταλλεύματος.

Στο 6^ο βιβλίο του *De Re Metallica*, ο Agricola αναλύει τις συσκευές που εφαρμόζονται στις υπόγειες εξορύξεις. Σε αυτό μπορεί κανείς να εντοπίσει σχολαστικές περιγραφές για τις συσκευές με τις οποίες αντλείται νερό από τα φρέατα, η αφθονία των οποίων εμποδίζει την εξόρυξη. Η ανεξέλεγκτη παροχή νερού εμποδίζει την αποτελεσματική λειτουργία των υπόγειων διαδικασιών εκμετάλλευσης. Όταν δεν υπάρχει σύστημα αποχέτευσης, πρέπει απαραίτητα να σκαφθεί ένα κατάλληλο πηγάδι και να κατασκευασθεί αντλία για την υποβάθμιση του υδροφόρου ορίζοντα. Συνεπώς, ένα μεγάλο τμήμα του συγκεκριμένου βιβλίου περιγράφει αναλυτικά τις προαναφερόμενες αντλίες (Macini & Mesini, 2004).

1.4.3 Οι αντλίες του Agricola

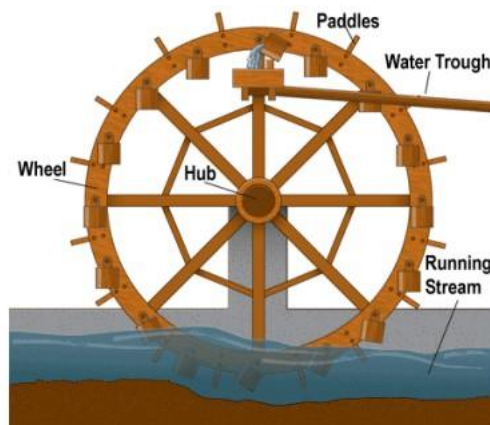
Ο Agricola παρουσιάζει ένα νέο είδος αντλίας που αποτέλεσε τεχνολογική επανάσταση στον κλάδο των εξορύξεων. Ακολουθώντας μία αυστηρά ταξινομική σειρά στο έργο του, περιγράφει τα διαφορετικά είδη των συστημάτων αντλιών, τα οποία μπορεί να είναι είτε

διακοπτόμενα (χρήση κάδων, δερμάτων ζώων κτλ.) είτε συνεχόμενης λειτουργίας, όπως οι αντλίες καδοφόρων αλυσίδων, οι εμβολοφόρες αντλίες ή οι αντλίες «pater noster».

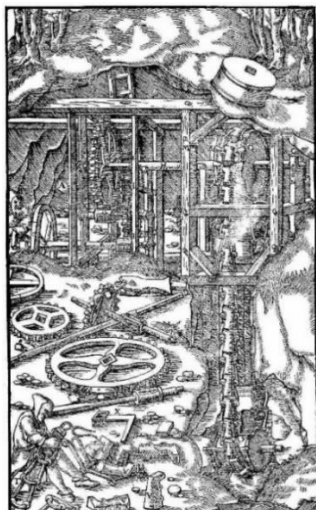
- Αντλία καδοφόρας αλυσίδας

Η συγκεκριμένη αντλία καταγράφεται ήδη από τα αρχαία ελληνικά και ρωμαϊκά χρόνια, ενώ εφαρμόστηκε και κατά την διάρκεια του Μεσαίωνα. Γενικότερα, οι αντλίες τροχών διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες, οι οποίες είναι ο Αιγυπτιακός τροχός (noria) και οι αντλίες καδοφόρων αλυσίδων, οι οποίες και εφαρμόζονται συχνότερα. Η αντλία noria αποτελείται από έναν μεγάλο τροχό που διαθέτει δοχεία στερεωμένα πάνω στην περιφέρεια του. Οι κάδοι (ή δοχεία) γεμίζουν με νερό όταν διέρχονται μέσα από το ρέμα και το αποθέτουν λίγο πριν φθάσουν στην κορυφή. Όταν το νερό έπρεπε να ανυψωθεί σε μεγάλο ύψος ή όταν τα ρέματα επεξεργασίας ήταν πολύ βαθιά, η συσκευή δεχόταν κατάλληλο μετασχηματισμό. Πιο συγκεκριμένα, οι κάδοι συνδέονταν με ιμάντα στο ανώτερο και κατώτερο σημείο του ανυψωτικού. Έτσι, η συγκεκριμένη συσκευή δεν είχε καθορισμένα περιοριστικά όρια σχετικά με τα ποσοστά ισχύος που μπορούσε να επεξεργαστεί.

Ο Agricola περιγράφει πολλούς διαφορετικούς τύπους αντλιών με καδοφόρες αλυσίδες, ενώ ο βασικός τύπος λειτουργεί χειροκίνητα με κατάλληλο σύστημα ταχυτήτων, το οποίο ενεργεί ως μειωτήρας (Macini & Mesini, 2004). Στην εικόνα 1-3, απεικονίζονται τα εξαρτήματα της αντλίας «Noria», ενώ στην εικόνα 1-4 περιγράφεται η λειτουργία της αντλίας καδοφόρας αλυσίδας.



Εικόνα 1- 3: Αιγυπτιακός τροχός «Noria» (Yannopoulos & Lyberatos, 2015)



Εικόνα 1- 4: Σχηματική απεικόνιση της αρχής λειτουργίας της αντλίας με καδοφόρα αλυσίδα (Macini & Mesini, 2004)

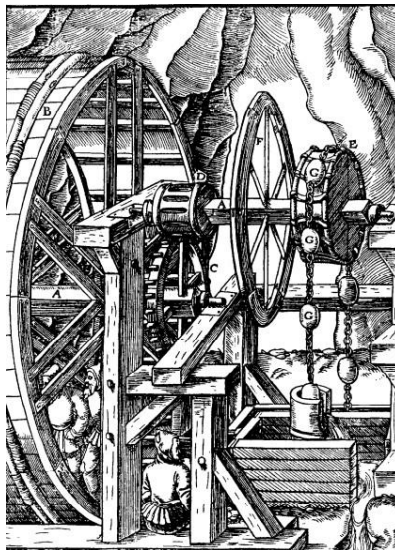
- Αντλία «pater noster»

Η συγκεκριμένη αντλία αποτελείται από αλυσίδα με κλειστή θηλιά που κινείται εντός σωλήνα, ο οποίος κατασκευάζεται από διάτρητους κορμούς ξύλων. Η αλυσίδα γλιστράει εντός του σωλήνα μέσω μίας τροχαλίας, η οποία εγκαθίσταται πάνω στον άξονα του τροχού νερού. Ο πρώτος τύπος της συσκευής λειτούργησε μέσω ενός τροχού υπερχειλίσσης νερού και εξοπλίστηκε με κυκλικούς δίσκους που απείχαν περίπου 2m μεταξύ τους κατά μήκος της αλυσίδας. Το βάθος αποστράγγισης που μπορούσε να επιτευχθεί με την αντλία «pater noster» υπολογίσθηκε στα 70m με την χρήση ενός τροχού διαμέτρου 8m, ενώ αν εφαρμοσθεί ένας τροχός διαμέτρου 10m το βάθος μπορεί να φθάσει έως και τα 80m. Ο δεύτερος τύπος κατασκευάστηκε υπό την μορφή «rag and chain», δηλαδή μιας ατέρμονης αλυσίδας με κυκλικούς δίσκους. Το ένα τμήμα της αλυσίδας βυθίζεται στο νερό, με την αλυσίδα να διέρχεται ταυτόχρονα μέσα από σωλήνα, οριακά μεγαλύτερο από την διάμετρο των δίσκων. Έτσι, όταν η αλυσίδα σέρνεται εντός του σωλήνα, το νερό παγιδεύεται ανάμεσα στους δίσκους και ανυψώνεται, υπερχειλίζει στην κορυφή.

Μία ακόμα σημαντική παραλλαγή ως προς την κίνηση των αντλιών αποτελεί η χρήση περίτεχνων τροχών οριζόντιας κίνησης. Η κίνηση μεταφέρεται στην αντλία μέσω ξύλινων τροχών και γραναζιών, ένας μηχανισμός που εφαρμόστηκε ευρέως στην μύλους του Μεσαίωνα. Έτσι, φαίνεται ότι η συγκεκριμένη αντλία είχε την δυνατότητα ανύψωσης νερού από βάθος έως και 80m, ενώ η κίνηση της πραγματοποιούνταν μέσω αλόγων (Macini & Mesini, 2004).

Στην Εικόνα 1-5 περιγράφεται ο εξοπλισμός μέσω συγκεκριμένων σημείων που έχουν ορισθεί:

- A) Άξονας τροχού
- B) Τροχός που περιστρέφεται χειροκίνητα
- C) Οδοντωτός τροχός
- D) Ανυψωτικό μέσο
- E) Ανυψωτικό στο οποίο προσαρμόζονται σιδερένιοι πάσσαλοι
- F) Δευτερεύων τροχός
- G) Κυκλικοί δίσκοι



Εικόνα 1- 5: Η αντλία «pater noster» ή «rag and chain» (Agricola, 1950)

Πιο συγκεκριμένα, ο άξονας (A) διατηρεί σταθερό τον κεντρικό τροχό (B) που περιστρέφεται χειροκίνητα από κατάλληλη ομάδα εργατών ή αλόγων. Στην συνέχεια, πάνω στον ίδιο άξονα εγκαθίσταται οδοντωτός τροχός που «μεταφέρει» την περιστροφική κίνηση στο πρώτο ανυψωτικό μέσο (D). Μέσω κατάλληλου άξονα το (D), με την συμβολή ενός δευτερεύοντος τροχού (F), μεταφέρει την κίνηση του στο κεντρικό ανυψωτικό μέσο (E), πάνω στο οποίο τοποθετείται και η αλυσίδα με τους κυκλικούς δίσκους. Συνεπώς, περιστρέφοντας το (E), η αλυσίδα με τους κυκλικούς δίσκους διέρχεται μέσα από τον σωλήνα, ανυψώνεται η μέγιστη δυνατή ποσότητα νερού και υπερχειλίζει στην επιφάνεια.

- Εμβολοφόρος Αντλία

Οι εμβολοφόρες αντλίες απλής δράσης στηρίζονται στην αρχή λειτουργίας της υδραυλικής αντλίας του Κτησίβιου (3^{ος} αιώνας π.Χ.). Ο Agricola ανέλυσε διαφορετικούς τύπους

εμβόλων, εμφανώς βελτιωμένους σχεδιαστικά σε σύγκριση με τους αντίστοιχους των προηγούμενων αιώνων. Τα συγκεκριμένα διέθεταν βαλβίδες πολύ καλύτερης κατασκευής, ενώ πιο βελτιωμένη ήταν και η στεγανοποίηση μεταξύ του σωλήνα και του εμβόλου. Ο βασικός τύπος της εμβολοφόρου αντλίας λειτουργεί χειροκίνητα, πραγματοποιώντας την παλινδρόμηση της ράβδου κίνησης χωρίς την χρήση μοχλών. Πολλά είδη εμβολοφόρων αντλιών απεικονίζονται σε εντυπωσιακά προσχωματικά κοιτάσματα στο έργο «De Re Metallica». Πιο συγκεκριμένα, αναφέρεται εκτενώς μία αντλία κατασκευασμένη από δύο παράλληλους σωλήνες που συνδέονται μεταξύ τους, τα έμβολα των οποίων κινούνται από έναν οριζόντιο στροφαλοφόρο άξονα. Στην πραγματικότητα, οι αντλίες κατασκευάστηκαν από έναν κορμό, προσεκτικά τρυπημένο και επεξεργασμένο με ειδικό εργαλείο στην περιοχή της διαδρομής του εμβόλου (Εικόνα 1-6). Ένα ακόμη σύστημα περιλάμβανε τη χρήση τριών παράλληλων αντλιών. Σε αυτή την διάταξη ο μηχανισμός μετατροπής της περιστροφικής κίνησης σε παλινδρομική στηρίζεται σε έναν περιστρεφόμενο άξονα, ιδιαίτερα συνηθισμένο εκείνα τα χρόνια. Έτσι, αποστράγγιζαν νερό από πηγάδια βάθους έως και 30 m περίπου (Macini & Mesini, 2004).



Εικόνα 1- 6: Σχηματική απεικόνιση της αρχής λειτουργίας της εμβολοφόρου αντλίας της εποχής (Agricola, 1950)

1.5 Η αποικιοκρατία και η εξόρυξη χρυσού στην Αμερική (1492-1511)

Κατά την διάρκεια των πρώτων χρόνων της ευρωπαϊκής επέκτασης στην Αμερικανική ήπειρο, η αναζήτηση χρυσού αποτέλεσε έναν από τους κυριότερους παράγοντες για την εξερεύνηση και τον αποικισμό των αχανών αυτών εδαφών. Η ύπαρξη των δύο μεγάλων τμημάτων της ηπείρου ήταν άγνωστη στην Ευρώπη μέχρι και τον Οκτώβριο του 1492, όταν ο Χριστόφορος Κολόμβος αποβιβάστηκε σε ένα «νησί στις Ινδίες», έχοντας υπολογίσει

λάθος την περιφέρεια της υδρογείου κατά περίπου 25%. Ο Κολόμβος, ένας έμπειρος ναυτικός στις υπηρεσίες της Ισπανίας έψαχνε για το Cipangu (Ιαπωνία), το νησί του «ατελείωτου χρυσού». Πεισμένος ότι το Cipangu δεν βρισκόταν μακριά από το μικρό νησί στο οποίο είχε αποβιβαστεί, ο Κολόμβος το διεκδίκησε για τους εντολείς του, τον βασιλιά Φερδινάνδο και τη βασίλισσα Ισαβέλλα της Ισπανίας, αποτελώντας έτσι την απαρχή της τράστιας Ισπανικής αυτοκρατορίας στην Αμερική.

Οι αποικιακοί μεταλλωρύχοι πραγματοποιούσαν εξορύξεις τόσο προσχωματικών όσο και φλεβικών κοιτασμάτων. Η επεξεργασία των κροκάλων και της άμμου που εντοπίζονταν στα ποτάμια και στον πυθμένα λιμνών, μέσω των ταψιών συγκέντρωσης, αποτέλεσε την πιο απλή διαδικασία που εφαρμόστηκε. Παράλληλα, η χρήση των συσκευών υδροσυγκέντρωσης ήταν ευρεία στην έκπλυση των τεμαχίων χρυσού και πραγματοποιήθηκε στην αποικιακή πια Νέα Γρανάδα. Κάτω από μία επιφάνεια που περιείχε ορυκτά ή στα πρανή, οι εργάτες διαμόρφωναν ένα κανάλι ή φράγμα, σκάβοντας τον πυθμένα του. Στην συνέχεια απομάκρυναν το χώμα από την περιοχή επεξεργασίας και το αποθέτανε εντός της συσκευής του υδροσυγκεντρωτή. Μερικές φορές κατεύθυναν το νερό προς την επιφάνεια επεξεργασίας, χρησιμοποιώντας τη δύναμή του για να ανασκάψουν το πρανές.

Στα συγκεκριμένα ανοιχτά ορυχεία, κατασκεύαζονταν δίκτυα αγωγών από μπαμπού, ως μικρά υδραγωγεία που μετέφεραν το νερό από τις υψηλότερες τοποθεσίες στην ζώνη που θα δεχόταν επεξεργασία μέσω των υδροσυγκεντρωτών. Έτσι, το νερό έρεε μέσα από τον υδροσυγκεντρωτή, αφήνοντας τα πιο αδρομερή ορυκτά στο κατώτερο τμήμα της συσκευής. Στην συνέχεια, αφού πραγματοποιούνταν χειροδιαλογή των ψηγμάτων χρυσού, οι εργάτες αφαιρούσαν τα υπολείμματα από την συσκευή για να τα επεξεργαστούν με τα ταψιά συγκέντρωσης χρυσού. Προσθέτοντας νερό και ανακινώντας το μείγμα στο ταψί απομάκρυναν το ελαφρύτερο υλικό από την κορυφή. Έτσι, αφήνονταν τα βαρύτερα μέταλλα συγκεντρωμένα στον πυθμένα του ταψιού.

Οι μεταλλωρύχοι χρησιμοποιούσαν πολλές διαφορετικές τεχνικές για να διαχωρίσουν τον χρυσό από το συμπύκνωμα. Όταν διαχειρίζονταν μαύρες άμμους που περιείχαν νιφάδες χρυσού και οξείδια σιδήρου, οι αποικιακοί μεταλλωρύχοι εφάρμοσαν τις εφευρέσεις των ιθαγενών. Πιο συγκεκριμένα, αναμείγνυναν το συμπύκνωμα με τον χυμό από τα τροπικά φυτά, με τις «νιφάδες από οξείδιο του σιδήρου» να προσκολλώνται στο αφρώδες, κολλώδες υλικό, αφήνοντας σκόνη καθαρού χρυσού στο κατώτερο τμήμα του ταψιού συγκέντρωσης χρυσού τύπου «batea». Παράλληλα, η τεχνική της χρήσης των μαγνητών από τους

Ευρωπαίους θα μπορούσε επίσης να συμβάλλει στον διαχωρισμό του οξειδίου του σιδήρου. Στην περιοχή Chocó της βορειοδυτικής Κολομβίας, ο χρυσός πολλές φορές εμφανιζόταν μαζί με πλατίνα, με τους μεταλλωρύχους τότε να χρησιμοποιούν υδράργυρο για τον διαχωρισμό των δύο μετάλλων. Ωστόσο, μέχρι τα μέσα του δέκατου όγδοου αιώνα η πλατίνα, platino όπως ονομαζόταν για την ομοιότητά της με το ασήμι, δεν είχε αξία (Brown, 2012).

1.6 Η εποχή του πυρετού του χρυσού στα ποτάμια της δυτικής Αμερικής (18^{ος} - αρχές 19^{ου} αιώνα)

Ο πυρετός του χρυσού στην Καλιφόρνια ξεκίνησε με την ανακάλυψη των πρώτων ψηγμάτων χρυσού στην κοιλάδα του Σακραμέντο στις αρχές του 1848, και αποτέλεσε αδιαμφισβήτητα ένα από τα πιο σημαντικά γεγονότα στην διαμόρφωση της Αμερικανικής ιστορίας κατά την διάρκεια του πρώτου μισού του 19^{ου} αιώνα. Τα νέα σχετικά με την ανακάλυψη του πολύτιμου μετάλλου διαδόθηκαν, με αποτέλεσμα χιλιάδες αναζητητές μεταλλωρύχοι να ταξιδέψουν μέσω της θαλάσσης ή από την ξηρά στο Σαν Φρανσίσκο και στην ευρύτερη περιοχή. Μέχρι το τέλος του 1849, ο μη αυτόχθονος πληθυσμός της επικράτειας της Καλιφόρνια ήταν περίπου 100.000 (σε σύγκριση με τον αριθμό πριν από το 1848 που ήταν λίγο μικρότερος από 1000). Έτσι, εξορύχθηκαν μέταλλα συνολικής αξίας 2 δισεκατομμυρίων δολαρίων από την περιοχή κατά την διάρκεια του πυρετού του χρυσού, ενώ η παραγωγή κορυφώθηκε το 1852 (Holliday, 2002).

Σε όλη την διάρκεια του 1849, άνθρωποι στις Ηνωμένες Πολιτείες κατέβαλαν κάθε δυνατή προσπάθεια ώστε να μπορέσουν να πραγματοποιήσουν το μακρινό ταξίδι στην Καλιφόρνια. Επιδιώκοντας τον πλούτο που δεν είχαν ποτέ, άφησαν τις οικογένειες και τις πατρίδες τους. Έτσι, χιλιάδες επίδοξοι μεταλλωρύχοι χρυσού, γνωστοί ως «49ers» (λόγω του έτους που έφθασαν), ταξίδεψαν κατά μήκος των βουνών ή μέσω της θαλάσσης στον Παναμά ή ακόμα και στο Cape Horn, το νοτιότερο σημείο της Νότιας Αμερικής. Μέχρι το τέλος του χρόνου, ο μη αυτόχθον πληθυσμός της Αμερικής υπολογίστηκε περίπου στις 100.000 (συγκριτικά με τις 20.000 στο τέλος του 1848 και στους 800 τον Μάρτιο του 1848). Για να καλυφθούν οι ανάγκες διαμονής των 49er, οι πόλεις εξόρυξης χρυσού είχαν πολλαπλασιαστεί σε όλη την επικράτεια, αναζητώντας την δική τους κερδοφορία από την συγκεκριμένη εποχή.

Μετά το 1850, ο επιφανειακός χρυσός στην Καλιφόρνια εξαφανίστηκε σε μεγάλο βαθμό, ακόμη και όταν οι μεταλλωρύχοι συνέχισαν να φτάνουν. Η εξόρυξη ήταν ανέκαθεν μία δύσκολη και επικίνδυνη εργασία, ενώ για να βρεθεί μία πλούσια φλέβα απαιτούνταν ιδιαίτερη τύχη, επιδεξιότητα και σκληρή δουλειά. Επιπλέον, ο μέσος ημερήσιος μισθός για έναν μεμονωμένο μεταλλωρύχο που εργαζόταν με αξίνα και φτυάρι είχε μειωθεί απότομα συγκριτικά με το 1848. Ωστόσο, η εξόρυξη χρυσού συνεχίστηκε και κατά την διάρκεια της δεκαετίας του 1850, φθάνοντας στο αποκορύφωμα της μέχρι το 1852, όταν τα συνολικά κέρδη από την παραγωγή έφθασαν τα περίπου 81 εκατομμύρια δολάρια. Μετά από εκείνο το έτος, τα συνολικά κέρδη μειώθηκαν σταδιακά στα 45 εκατομμύρια δολάρια ετησίως μέχρι το 1857. Η εγκατάσταση στην Καλιφόρνια συνεχίστηκε, ωστόσο, μέχρι και το τέλος της δεκαετίας ο πληθυσμός της πολιτείας είχε μειωθεί σημαντικά (Paddison, 2011).

1.6.1 Οι συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν

Κατά την διάρκεια του πυρετού του χρυσού, η εξόρυξη προσχωματικών κοιτασμάτων καθοριζόταν σε μεγάλο βαθμό από την χειρωνακτική εργασία και την χρήση νερού, επομένως οι τοποθεσίες εξόρυξης βρίσκονταν συνήθως κατά μήκος ρεμάτων, σε παραποτάμια φαράγγια. Ο τυπικός εξοπλισμός εξόρυξης και επεξεργασίας περιλάμβανε κουτιά λίκνισης, Long Toms, σκάφες υδροσυγκέντρωσης και εξοπλισμό χειρός (ταψιά, αξίνα, φτυάρια κτλ.). Καθώς περνούσαν τα χρόνια εφαρμόστηκαν πιο εξελιγμένες μέθοδοι εξόρυξης προσχωματικών κοιτασμάτων, ενώ κρίσιμη θεωρήθηκε η κατασκευή φραγμάτων και αντλιών νερού, καθώς και συστημάτων υδροσυγκεντρωτών που τροφοδοτούνταν από τάφρους. Οι αντλίες παράγονταν σε διαφορετικές εκδόσεις και τα προηγμένα συστήματα γρήγορα αντικατέστησαν το ταψί και την αξίνα του μεταλλωρύχου.

Οι μέθοδοι εξόρυξης προσχωματικών κοιτασμάτων που εφαρμόστηκαν στην Καλιφόρνια, είναι γνωστές εδώ και αιώνες. Εφαρμόστηκαν από τους Ισπανούς στον Νέο Κόσμο, καθώς και από τους μεταλλωρύχους στην Τζόρτζια και την Βόρεια Καρολίνα κατά την διάρκεια των δεκαετιών του 1820 και του 1830. Δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι οι μεταλλωρύχοι από αυτές τις περιοχές είχαν μεγάλη επιρροή στην παροχή πληροφοριών σχετικά με τις τεχνικές εξόρυξης, στους άπειρους μεταλλωρύχους των πρώτων χρόνων της εποχής του πυρετού του χρυσού (Brereton, 1976). Στις συγκεκριμένες περιλαμβάνονταν η χρήση του γνωστού ταψιού συγκέντρωσης χρυσού (Batea), του κουτιού λίκνισης, του Long Tom και της σκάφης υδροσυγκέντρωσης. Κάθε μία αποτελούσε την τελειοποίηση της προηγούμενης της. Ένα κουτί λίκνισης επεξεργαζόταν καλύτερα ένα λεπτόκοκκο υλικό συγκριτικά με το ταψί

συγκέντρωσης χρυσού (αν και το ταψί εφαρμοζόταν στο τελικό στάδιο του διαχωρισμού). Στην συνέχεια, η συσκευή Long Tom ήταν πιο αποτελεσματική από το κουτί λίκνισης, ενώ οι υδροσυγκεντρωτές λειτουργούσαν καλύτερα από τους Long Tom. Γενικότερα, οι μεταλλωρύχοι χρησιμοποίησαν τις συγκεκριμένες συσκευές για την εξόρυξη προσχωματικών κοιτασμάτων, συνήθως κοντά σε μία διαθέσιμη παροχή νερού (Paul, 1965).

1.6.2 Η Υδραυλική εξόρυξη

Η έλευση της υδραυλικής εξόρυξης αποτέλεσε μία από τις σημαντικότερες βελτιώσεις στην εξόρυξη προσχωματικών κοιτασμάτων. Ήταν εκείνη όμως που προκάλεσε μεγάλες επιπτώσεις στο περιβάλλον της Καλιφόρνια, αφήνοντας υπολείμματα στα φαράγγια και τους ποταμούς, καθώς και ένα πολύπλοκο σύστημα από κανάλια και τάφρους για την μεταφορά του νερού στις περιοχές εξόρυξης που βρίσκονταν μακριά από την πηγή του. Η υδραυλική επεξεργασία απαιτούσε επίσης την εφαρμογή ενός επενδυτικού κεφαλαίου, εφαρμόζοντας για πρώτη φορά την έννοια του βιομηχανισμού (μισθωτή εργασία, πόροι και υπηρεσίες που αποκτήθηκαν από άλλες εταιρείες κ.λπ.).

Οι μεταλλωρύχοι που χρησιμοποιούσαν τα συγκεκριμένα συστήματα, παρείχαν νερό με υψηλή πίεση για να ξεπλύνουν το υπερκείμενο φορτίο, καθώς και να προωθήσουν τις χρυσοφόρες κροκάλες μέσα στο περίτεχνο σύστημα των υδροσυγκεντρωτών. Τα κανόνια νερού, τα οποία απεικονίζονται συχνά και στις περισσότερες ιστορικές φωτογραφίες, χρησιμοποιήθηκαν για την απομάκρυνση των απορριμμάτων ή του υπερκείμενου φορτίου. Μικρότερα κανόνια εφαρμόστηκαν επίσης στην έκπλυση των χρυσοφόρων κροκάλων εντός των συστημάτων υδροσυγκέντρωσης στα ορυχεία (Εικόνα 1-7).



Εικόνα 1- 7: Η εφαρμογή των κανονιών νερού στο ορυχείο North Bloomfield, στην Καλιφόρνια, κατά την διάρκεια της εποχής του «πυρετού του χρυσού» (Ridgley, 2018)

Τα συστήματα υδραυλικής εξόρυξης άκμασαν από την δεκαετία του 1860 έως και τα μέσα του 1880, όταν και πραγματοποιήθηκε μία από τις πρώτες αγωγές σχετικά με την πρόκληση περιβαλλοντικών ρύπων, η οποία οδήγησε στον αυστηρό έλεγχο και στο τέλος της συγκεκριμένης διαδικασίας. Ωστόσο, μερικά από τα συγκεκριμένα συστήματα συχνά μετατράπηκαν σε κρατικά υδροηλεκτρικά συστήματα, μετά από την εφαρμογή τους ως μέθοδος έκπλυσης (Logan, 1981).

1.6.3 Υπόγεια εξόρυξη με στοά (-ες)

Στην υπόγεια εξόρυξη με στοές απαιτείται η κατασκευή σηράγγων στο υπόβαθρο των κροκάλων, για την επεξεργασία του εξαγόμενου υλικού. Εφαρμοζόταν όταν το προς εξόρυξη υλικό βρισκόταν σε πολύ μεγάλο βάθος για να χρησιμοποιηθούν υδραυλικά συστήματα ή όταν υπήρχε πολύ μικρή διαθεσιμότητα παρεχόμενου νερού. Παραδείγματα εφαρμογής της υπόγειας εξόρυξης εντοπίζονται στο χρυσωρυχείο Lava Cap στην κομητεία της Νεβάδα, καθώς και στα αποθέματα της Τριτογενούς περιόδου, στον λόφο Mokelumne.

1.6.4 Οι βυθοκορήσεις

Οι βυθοκορήσεις αποτέλεσαν την τελική εξέλιξη των μεθόδων εξόρυξης προσχωματικών κοιτασμάτων της εποχής. Οι πιο επιτυχημένες μορφές τους λειτούργησαν κατά την διάρκεια του 20^{ου} αιώνα. Αν και πραγματοποιήθηκαν ποικίλες προσπάθειες, ιδιαίτερα κατά μήκος του ποταμού Yuba το 1850, οι προσπάθειες για την εφαρμογή της μεθόδου αρχικά εγκαταλείφθηκαν στην Καλιφόρνια μέχρι και την δεκαετία του 1880. Τα πεδία εξόρυξης βυθοκόρησης βρίσκονταν σε χαμηλά υψόμετρα, συνήθως εκεί όπου αναδύονταν ποτάμια ή μεγάλα παραποτάμια ρέματα από τα βουνά, όπως γύρω από το Jenny Lind στην κομητεία Καλαβέρας. Οι πρώτες επιτυχημένες βυθοκορήσεις με καδοφόρες αλυσίδες στην Αμερική, πραγματοποιήθηκαν στο Bannack της Μοντάνα το 1895. Στις πρώτες δεκαετίες του 20ου αιώνα η βυθοκόρηση αποτέλεσε μία αποτελεσματική, κερδοφόρα και μεγάλη επιχείρηση που επενδύθηκε από τους πιο πλούσιους ανθρώπους της χώρας (Limbaugh & Fuller, 2004).

Ωστόσο, οι συγκεκριμένες μηχανές προκάλεσαν σημαντική επίπτωση στο περιβάλλον. Ο ιστορικός ορυχείων Spence (Spence, 2016) σημείωσε ότι οι μεγάλοι σωροί των απορριμμάτων χαρακτήρισαν αρνητικά την συγκεκριμένη μορφή βιομηχανίας. Παρατήρησε επίσης ότι, επειδή οι βυθοκορήσεις λειτούργησαν σε πολύ μεγάλο βαθμό πριν από την εποχή της περιβαλλοντικής μεταρρύθμισης, τα απορρίμματα τους έτειναν να περιορίζονται σε αυτά των εξορύξεων, με την βιομηχανία να διαφεύγει τις σοβαρές ρυθμίσεις. Οι σωροί των απορριμμάτων αποτελούνταν κυρίως από χαλίκια και κροκάλες, με αποτέλεσμα να προκαλείται καθυστέρηση στην ανάπτυξη της βλάστησης. Έτσι, όταν οι βυθοκορήσεις σταμάτησαν να λειτουργούν στην Καλιφόρνια, ο διαθέσιμος εξοπλισμός αποσυναρμολογήθηκε και μεταφέρθηκε σε άλλα κοιτάσματα χρυσού σε όλο τον κόσμο.

Κεφάλαιο 2: Τα προσχωματικά κοιτάσματα

2.1 Εισαγωγή

Σε παλαιότερη νομοθεσία των Ηνωμένων Πολιτειών αναφερόμενη στην εξόρυξη, τα κοιτάσματα των ορυκτών που δεν αποτελούνται από φλέβες, ορίστηκαν με λεπτομέρειες ως προσχωματικά κοιτάσματα όσον αφορά τον εντοπισμό, την κατοχή και τα δικαιώματα εκμετάλλευσής τους. Ωστόσο, στην παρούσα εργασία ο όρος προσχωματικό κοιτάσμα χρησιμοποιείται ως γενικός όρος, για να περιγραφούν οι αποθέσεις άμμου, κροκάλων ή άλλου υπολειμματικού υλικού, εντός των οποίων μπορεί να εμπεριέχεται ένα πολύτιμο ορυκτό όπου έχει συσσωρευθεί λόγω των διαδικασιών της αποσάθρωσης και της μηχανικής συμπίκνωσης. Οι προϋποθέσεις που κρίνονται απαραίτητες για τον σχηματισμό ενός προσχωματικού κοιτάσματος είναι οι εξής:

- A. Να περιλαμβάνεται ένα ορυκτό πολύτιμο, καθώς και ανθεκτικό στις διαδικασίες της αποσάθρωσης και της τριβής.
- B. Το ορυκτό να αποδεσμεύεται από το μητρικό πέτρωμα στο οποίο απαντάται αρχικά.
- Γ. Η συγκέντρωση του πολύτιμου ορυκτού στα προς εκμετάλλευση κοιτάσματα. Ιδιαίτερα σημαντική διαδικασία αποτελεί και ο τρόπος μεταφοράς του νερού εντός των σχηματισμών (Wells, 1969).

2.2 Ο σχηματισμός του χρυσού εντός των προσχωματικών κοιτασμάτων

Ως πρώτη φυσική διαδικασία για τον σχηματισμό του χρυσού σε προσχωματικά εδάφη θεωρείται η αποδέσμευση των σωματιδίων του από μια πηγή που εντοπίζεται στο υπόβαθρο. Οι μεγάλες περίοδοι έκθεσης των πετρωμάτων στην επιφάνεια της Γης, έχουν ως αποτέλεσμα τη χημική διάσπαση της δομής τους και την φυσική αποσύνθεση των ορυκτών που απαντώνται σε αυτά. Τα υπόγεια και τα επιφανειακά ύδατα, η αλλαγή της θερμοκρασίας και η ανάπτυξη των φυτών συντελούν στην αποδόμηση και στην αποσύνθεση των πετρωμάτων. Γενικά, τα χρυσοφόρα μεταλλεύματα είναι εξαιρετικά ανθεκτικά (χημικά και φυσικά). Έτσι, παρά το γεγονός ότι τα ορυκτά που περιέχονται σε αυτό τείνουν να μεταφέρονται σε διάλυμα ή να διασπώνται και να απομακρύνονται με φυσική τριβή, τα θραύσματα χρυσού παρουσιάζουν σχετικά ανεπαίσθητη αλλαγή στο μέγεθος και το σχήμα

(Yeend & al, 1968). Τελικά, λόγω της μεταφοράς μέσω υδάτων από τα ποτάμια συστήματα, τα σωματίδια του χρυσού συγκρουόμενα πολλές φορές κατά την μεταφορά τους καταλήγουν πριν την απόθεσή τους, τα μεγαλύτερα σωματίδια να παρουσιάζουν σφαιρικό σχήμα, ενώ αντίστοιχα το σχήμα των πολύ μικρών σωματιδίων να είναι πεπλατυσμένο (σωματίδια της τάξης των μικρομέτρων, τα οποία διαφεύγουν της παραμόρφωσης).

Το κινούμενο νερό των ρεμάτων και των ποταμών αποτελεί τον κύριο παράγοντα σχηματισμού των περισσότερων προσχωματικών κοιτασμάτων. Το μεγαλύτερο τμήμα των διεργασιών και των παραγόμενων συμπυκνωμάτων προκύπτει σε περιόδους πλημμύρας. Ο χρυσός, λόγω του υψηλού ειδικού του βάρους (19,3 για χρυσό που βρίσκεται σε καθαρή μορφή), κινείται προς τα κάτω, σε στρώματα που περιέχουν κροκάλες, καθώς και στις διακλάσεις του υποβάθρου, οι οποίες βρίσκονται στο κατώτερο τμήμα του καναλιού. Θεωρητικά, το πιο εμπλουτισμένο τμήμα ενός προσχωματικού κοιτάσματος εντοπίζεται κοντά στο υπόβαθρο, γεγονός το οποίο έχει παρατηρηθεί στην πράξη. Ωστόσο, συνήθως θεωρείται η περίπτωση των κοιτασμάτων στα οποία ο χρυσός είναι διασκορπισμένος εντός ενός κροκαλοπαγούς, χωρίς σημαντικό εμπλουτισμό του πετρώματος. Τοπικά, ενδέχεται να συγκεντρωθεί πολύ μεγάλη ποσότητα λεπτόκοκκου χρυσού στην επιφάνεια και τα συγκεκριμένα κοιτάσματα χρυσού ορίζονται ως πλημμυρικά «flood golds».

Η μέγιστη δυνατή περιεκτικότητα ενός προσχωματικού κοιτάσματος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα φυσικά χαρακτηριστικά του υποβάθρου, τα οποία βοηθούν στην παγίδευση του χρυσού. Τα πετρώματα που παρουσιάζουν απότομη κλίση, καθώς και τα διερρηγμένα πετρώματα θεωρούνται ως τα πιο αποτελεσματικά μέσα παγίδευσης του χρυσού, σε αντίθεση με τον λείο, μη αποσαθρωμένο γρανίτη και τον σερπεντίνη, οι οποίοι έχουν πολύ χαμηλή ικανότητα ανάκτησης υλικού. Λόγω του γεγονότος ότι ο χρυσός συνήθως κατέρχεται στις διακλάσεις του υποβάθρου, η εξόρυξη μπορεί να περιοριστεί στο πρώτο μέτρο του, ανακτώντας με αυτό τον τρόπο ολόκληρη την μάζα του (Wells, 1969).

2.3 Η διατήρηση των προσχωματικών κοιτασμάτων

Εάν ένα προσχωματικό κοιτάσμα δε διατηρηθεί, εξαιτίας κάποιας μεταβολής στον κύκλο της διάβρωσης, οι ίδιες δυνάμεις που το δημιούργησαν θα το καταστρέψουν με τον καιρό. Τα προσχωματικά κοιτάσματα που διατηρούνται είναι αυτά που καλύπτονται από ένα αδιαπέρατο γεωλογικό στρώμα. Τα καλυμμένα με λάβα και γεμάτα με κροκάλες κανάλια της Τριτογενούς εποχής, στην περιοχή της Σιέρα Νεβάδα της Καλιφόρνια, αποτελούν μερικά από

τα καλύτερα παραδείγματα θαμμένων προσχώσεων. Αντίθετα, η ανύψωση των αποθέσεων της ακτογραμμής του ωκεανού έχει συμβάλει στην διατήρηση των παραλιακών προσχωματικών κοιτασμάτων στην περιοχή Nome της Αλάσκας.

Τα προσχωματικά κοιτάσματα δεν δημιουργούνται ξαφνικά, αλλά αντίθετα συσσωρεύονται προοδευτικά και εμπλουτίζονται από μία σειρά διαδικασιών και αλληλεπιδράσεων που πραγματοποιούνται στα ρέματα. Η γνώση σχετικά με το πως ένα συγκεκριμένο κοιτάσμα κατάφερε να διατηρηθεί, είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τον μηχανικό που εξετάζει τον σχηματισμό. Οι πιο κοινές αιτίες διατήρησης ενός κοιτάσματος είναι:

A. Προσχώσεις που έχουν διαφύγει από την ροή του ρέματος και έχουν διατηρηθεί: Αυτή είναι πιθανότατα η πιο συνήθης μορφή διατήρησης ενός κοιτάσματος που παρατηρείται. Εντοπίζεται συνήθως στο σημείο που το ρέμα αλλάζει πορεία ή κινείται ταχύτατα προς τα κάτω, εγκαταλείποντας τα αρχικά του στρώματα και τις προσχώσεις που περιέχονται σε αυτό. Οι προσχώσεις διατηρούνται λόγω του γεγονότος ότι δεν υφίστανται πια διάβρωση από το μητρικό αρχικό ρέμα.

B. Ανυψώσεις περιοχών: Η ανύψωση των ακτογραμμών του ωκεανού έχει σε ορισμένες περιοχές συμβάλει στην διατήρηση παραλιακών προσχωματικών κοιτασμάτων, λόγω της ανύψωσης τους πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Σε ορισμένες περιοχές, όπως το Nome της Αλάσκας, τα ανυψωμένα παραλιακά προσχωματικά κοιτάσματα εκτείνονται πλέον αρκετά μίλια εντός της ενδοχώρας.

Γ. Κάλυψη από εδαφικό υλικό (ενταφιασμός): Τα καλυμμένα με λάβα κανάλια της Τριτογενούς περιόδου, τα οποία απαντώνται στην περιοχή της Σιέρα Νεβάδα της Καλιφόρνια, αποτελούν μερικά από τα καλύτερα παραδείγματα προσχωματικών κοιτασμάτων όπου έχουν διατηρηθεί λόγω της επικάλυψης τους από εδαφικό υλικό. Ωστόσο, υπάρχουν και άλλα μέσα εκτός από τις ηφαιστειακές ροές που μπορούν να επηρεάσουν την επικάλυψη και διατήρηση των κοιτασμάτων. Μεταξύ αυτών περιλαμβάνονται:

1. Επικάλυψη από υλικό ολίσθησης εδάφους
2. Επικάλυψη από κροκάλες πλημμυρικών πεδιάδων
3. Επικάλυψη από αλλουβιακές αποθέσεις (Shawe & Yeend, 1989)

2.4 Βασικοί τύποι προσχωματικών κοιτασμάτων

Η ταξινόμηση των Jenkins (Jenkins, 1935) και Brooks (Brooks, 1905) αποτέλεσε πιθανότητα τον πιο αποτελεσματικό τρόπο ομαδοποίησης των πιο βασικών τύπων προσχωματικών κοιτασμάτων. Η συγκεκριμένη ταξινόμηση βασίζεται στις συνθήκες εναπόθεσης και στην θέση ανάπτυξης του προσχωματικού κοιτάσματος. Έτσι, οι πιο βασικοί τύποι προσχωματικών κοιτασμάτων αναπτύσσονται ως εξής:

A) Υπολειμματικά προσχωματικά κοιτάσματα (Residual placers):

Τα υπολειμματικά προσχωματικά κοιτάσματα (Residual placers) αποτελούν στην πραγματικότητα συγκεντρώσεις χρυσού (ή άλλων βαρύτερων ορυκτών) που σχηματίζονται στην θέση του μητρικού πετρώματος. Στον συγκεκριμένο τύπο προσχωματικού κοιτάσματος, ο εμπλουτισμός προκύπτει περισσότερο από την αποσάθρωση και απομάκρυνση των υλικών χαμηλότερης αξίας και λιγότερο από την συγκέντρωση υλικών. Έτσι, τα υπολειμματικά προσχωματικά κοιτάσματα μπορεί να είναι πλούσια, αλλά υπάρχουν λίγες πιθανότητες να είναι εκτεταμένα.

B) Ελουβιακά προσχωματικά κοιτάσματα (Eluvial placers):

Τα ελουβιακά προσχωματικά κοιτάσματα (Eluvial placers) αντιπροσωπεύουν το μεταβατικό στάδιο μεταξύ των υπολειμματικών προσχωματικών κοιτασμάτων και των ποτάμιων προσχωμάτων. Γενικότερα, τέτοιου είδους κοιτάσματα αναπτύσσονται υπό την μορφή ακανόνιστων στρώσεων επιφανειακών υπολειμμάτων και εδαφών, τα οποία περιβάλλουν συνήθως το πρανές, κάτω από μία φλέβα ή άλλη πηγή πολύτιμου ορυκτού. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η μητρική φλέβα δεν είναι απαραίτητο ότι θα είναι ορατή στην επιφάνεια του εδάφους. Συνεπώς, τα ελουβιακά προσχωματικά κοιτάσματα διαφέρουν από τα υπολειμματικά ως προς την πιο αργή μετακίνηση του χρυσού και των αποσθρωμένων υπολειμμάτων, επιτρέποντας στα ελαφρύτερα σωματίδια να απομακρύνονται υπό την επίδραση της βροχής και του ανέμου. Επιπρόσθετα, καθώς η μάζα των κλαστικών πετρωμάτων (detrital) μετατοπίζεται προς τα κάτω λόγω της βαρύτητας, μπορεί να αναπτυχθεί μία διαστρωμάτωση ή συγκέντρωση πολύτιμων ορυκτών, αλλά αυτό σπάνια τελειοποιείται στον βαθμό που επιτυγχάνεται στα ποτάμια προσχωματικά κοιτάσματα. Συνοψίζοντας, τα ελουβιακά προσχωματικά κοιτάσματα είναι συνήθως περιορισμένης έκτασης, αλλά υπήρξαν περιπτώσεις όπως στο Round Mountain της Νεβάδα, όπου εξορύχτηκαν σε μεγάλη κλίμακα (Vanderburg, 1983).

Γ) Ποτάμια προσχωματικά κοιτάσματα (Stream placers) :

Τα ποτάμια προσχωματικά κοιτάσματα αποτελούν την πιο διαδεδομένη μορφή κοιτασμάτων στις δυτικές ΗΠΑ. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία επιμέρους κοιτασμάτων, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να εξαχθούν εύκολα κάποια γενικά συμπεράσματα για αυτά. Με βάση τα στοιχεία που λαμβάνονται από τα κείμενα του Wells (Wells, 1969) ταξινομούνται ως εξής:

- Προσχωματικά κοιτάσματα σε κόλπους
- Προσχωματικά κοιτάσματα σε ρυάκια ή ρέματα
- Ποτάμια προσχωματικά κοιτάσματα
- Πεδινά κοιτάσματα σε περιοχές με κροκάλες

Δ) Προσχωματικά κοιτάσματα αναβαθμίδων (Bench placers):

Τα προσχωματικά κοιτάσματα που απαντώνται σε αναβαθμίδες αποτελούν συνήθως υπολείμματα αποθέσεων, τα οποία σχηματίζονται κατά τη διάρκεια του πρωταρχικού σταδίου της ανάπτυξης ενός ρέματος και εκτρέπονται από την ροή του, καθώς παραμένουν σε κάποιο σημείο της περιοχής όταν το ρέμα αρχίζει να κινείται καθοδικά. Τα τεμάχια των υλικών που παραμένουν στην περιοχή λόγω της καθοδικής ροής του ρέματος, ιδιαίτερα εκείνα που απαντώνται σε λόφους περιοχών, αναφέρονται συνήθως ως κροκάλες των αναβαθμίδων (bench gravels). Συχνά, υπάρχουν δύο ή περισσότερες σειρές από αναβαθμίδες, τις οποίες οι μεταλλωρύχοι αναφέρουν ως «υψηλές» και «χαμηλές». Παράλληλα, στην Καλιφόρνια καθώς και σε άλλες περιοχές, τα περισσότερα από τα προαναφερόμενα κοιτάσματα ανακαλύφθηκαν ταχύτατα από τους πρώτους μεταλλωρύχους, οι οποίοι επεξεργάστηκαν τα πιο πλούσια υπόβαθρα, χρησιμοποιώντας πρωτόγονες τεχνικές υπόγειας εξόρυξης, αναφερόμενες εκείνη την εποχή ως «εκσκαφές λόφων» (hill diggings). Μετά από την ανάπτυξη της υδραυλικής εξόρυξης κατά την δεκαετία του 1850, πολλά από τα μεγαλύτερα κοιτάσματα των αναβαθμίδων υποβλήθηκαν σε επεξεργασία μέσω υδραυλικών μεθόδων, ενώ τα μικρότερα κοιτάσματα εξορύχτηκαν με την κύρια τεχνική εξόρυξης προσχωματικών κοιτασμάτων, αναφερόμενη ως «ground sluicing».

Ε) Προσχωματικά κοιτάσματα λεπτοκατανεμημένου χρυσού (flood gold):

Κατά κανόνα, ο λεπτοκατανεμημένος χρυσός μπορεί να μετακινηθεί σε πολύ μεγάλες αποστάσεις υπό συνθήκες αυξημένης ροής, οι οποίες συνήθως επικρατούν μετά από έντονες βροχοπτώσεις. Η συγκεκριμένη μορφή χρυσού αναφέρεται από τους μεταλλωρύχους με τον όρο «flood gold» και αποτελείται κυρίως από πολύ λεπτά σωματίδια, ενώ παρά κάποιες

ελάχιστες εξαιρέσεις, έχει αποδειχθεί οικονομικά ασήμαντος. Έτσι, σε ένα κινούμενο ρέμα το νερό δέχεται εφαιπτομενικές δυνάμεις από το έδαφος, με αποτέλεσμα το κατώτερο στρώμα του να επιβραδύνεται λόγω της τριβής. Η συγκεκριμένη κίνηση συντελεί στον σχηματισμό άμμου και μικρών κροκάλων, τα οποία συσσωρεύονται υπό την μορφή επικαθίσεων και δρουν ως φραγμοί κατά μήκος της όχθης της καμπύλης. Τέλος, κάποια από τα σωματίδια του χρυσού εναποτίθενται κοντά στο ανώτερο σημείο των προαναφερόμενων φραγμών όταν μεταφέρονται από το ρέμα.

Z) Προσχωματικά κοιτάσματα ερήμων (Desert placers):

Τα προσχωματικά κοιτάσματα που απαντώνται σε ερήμους προκύπτουν κάτω από πολύ διαφορετικές συνθήκες, αλλά συνολικά, διαφέρουν σε πολύ μεγάλο βαθμό από τα πιο συνήθη ποτάμια προσχωματικά κοιτάσματα, με αποτέλεσμα να απαιτείται μία ειδική ταξινόμηση. Τα προσχωματικά κοιτάσματα των ερήμων παρατηρούνται σε άνυδρες περιοχές όπου η διάβρωση και η μεταφορά των υπολειμμάτων εξαρτώνται κατά κύριο λόγο από τα γρήγορα ανερχόμενα ρέματα, τα οποία κινούνται μέσα από τις χαράδρες (gullies). Επιπλέον, πραγματοποιούνται ελάχιστες εκπλύσεις, στις οποίες μεταφέρεται νερό μόνο σε σπάνια και μικρά χρονικά διαστήματα, ιδιαίτερα μετά από έντονες βροχοπτώσεις που λαμβάνουν χώρα κατά την καλοκαιρινή περίοδο (cloudbursts, dry washes). Σε ενδιάμεσες περιόδους, ποικίλες ποσότητες άμμου, κροκάλων ή άλλων υπολειμμάτων μεταφέρονται μέσω του νερού που έχει προκύψει από τις βροχές. Όταν προκύψει η επόμενη έντονη βροχόπτωση, μια καταρρακτώδης ροή μπορεί να υπερκαλύψει ολόκληρο το υπολειμματικό υλικό ή τμήμα αυτού, ανάλογα με την ένταση, την διάρκεια της καθώς και το βάθος πλήρωσης. Συνεπώς, είναι προφανές ότι η διακοπτόμενη ροή που παρέχεται από τις βροχοπτώσεις δίνει ελάχιστες ευκαιρίες για αποτελεσματική διαλογή των κροκάλων ή για την συγκέντρωση χρυσού. Υπό τις προαναφερόμενες συνθήκες, η μετακίνηση καθώς και η συγκέντρωση του προσχωματικού χρυσού αποτελούν διαδικασίες εξαιρετικά ασταθείς.

H) Κροκάλες της Τριτογενούς περιόδου (Tertiary gravels):

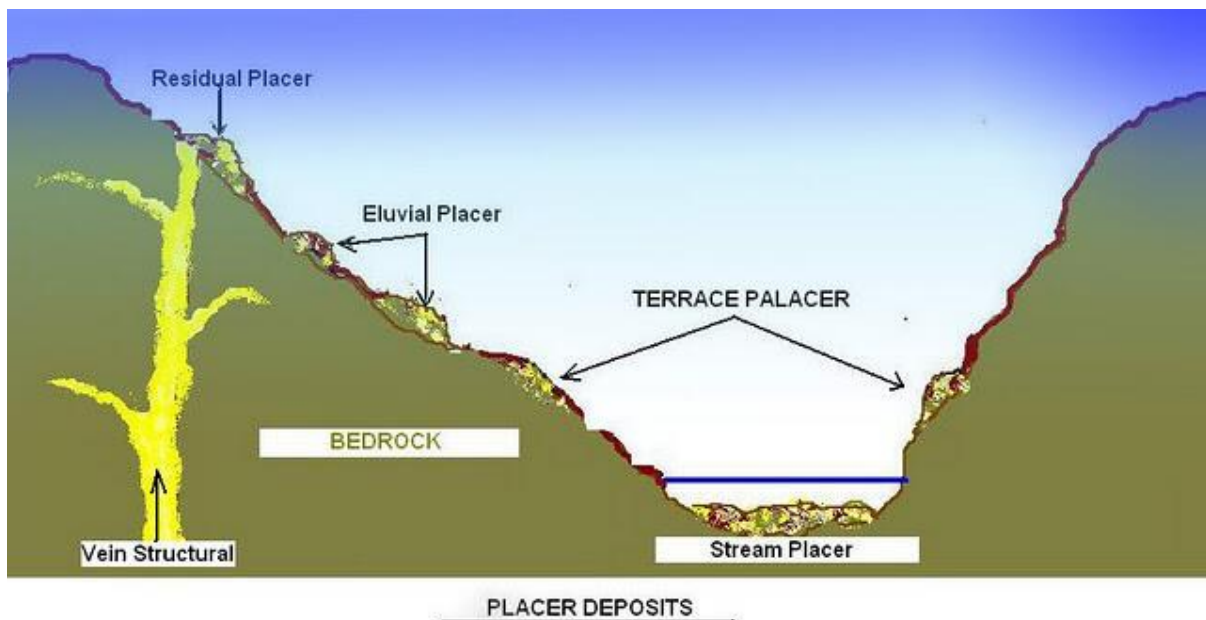
Οι κροκάλες της Τριτογενούς περιόδου εντοπίζονται σε άφθονες ποσότητες στην περιοχή της Σιέρα Νεβάδα της Καλιφόρνια, ενώ υπάρχουν και σε μικρότερες ποσότητες στο Νοτιοδυτικό Όρεγκον και στην Βορειοδυτική Καλιφόρνια. Στην Καλιφόρνια, έχουν εξορυχθεί αμέτρητα μίλια από τα κανάλια των ποταμών της αρχαϊκής περιόδου, ενώ σύμφωνα με τα στοιχεία που προσφέρει ο Clark (Clark, Tertiary Channels: Mineral Information Service Vol. 18, 1965), 7 από τα κοιτάσματα της Καλιφόρνια είχαν παραγάγει συνολικά χρυσό αξίας μεγαλύτερης από

232 εκατομμύρια δολάρια έως το 1969. Ωστόσο, ελάχιστα κοιτάσματα της Τριτογενούς περιόδου μπορούν να εξορυχθούν σήμερα με την τρέχουσα τιμή του χρυσού (Michaud D. , 2016)

Θ) Λιγότερο διαδεδομένοι τύποι προσχωματικών κοιτασμάτων:

- Παραλιακά προσχωματικά κοιτάσματα
- Προσχωματικά κοιτάσματα παγετώνων
- Αιολικά προσχωματικά κοιτάσματα

Στην Εικόνα 2-1 απεικονίζονται οι βασικότεροι τύποι προσχωματικών κοιτασμάτων, όπως και οι τοποθεσίες ανάπτυξης τους σχηματικά.



Εικόνα 2- 1:Απεικόνιση της τοποθεσίας ανάπτυξης των βασικών τύπων προσχωματικών κοιτασμάτων (Michaud D. , 2016)

2.5 Ζώνες συγκέντρωσης ορυκτών εντός των προσχωματικών κοιτασμάτων

Θεωρητικά, η ζώνη ενός προσχωματικού κοιτάσματος στην οποία υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα ανάκτησης του πολύτιμου ορυκτού, απαντάται συνήθως κοντά στο υπόβαθρο. Για αυτό τον λόγο θεωρείται από πολλούς ότι τα προσχωματικά κοιτάσματα που περιέχουν χρυσό είναι πιο πλούσια στο υπόβαθρο σε αντίθεση με οποιοδήποτε άλλο τμήμα του σχηματισμού. Στηριζόμενοι σε αυτό, πιστεύουν ότι αν υπάρξουν ενδείξεις ότι εμπεριέχεται κάποιο πολύτιμο ορυκτό στους ανώτερους ορίζοντες, τότε σίγουρα θα υπάρχουν κροκάλες

στο υπόβαθρο. Πρακτικά, δεν είναι ασυνήθιστο να εντοπισθούν κοιτάσματα, στα οποία το στρώμα που περιέχει το πολύτιμο ορυκτό (pay) θα είναι διάσπαρτο εντός της μάζας των κροκάλων, χωρίς σημαντικό εμπλουτισμό του υποβάθρου. Έτσι, σε ορισμένα κοιτάσματα λεπτοκατανεμημένου χρυσού παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο μέρος των συγκεντρώσεων των πολύτιμων ορυκτών απαντάται στην επιφάνεια και όχι στο υπόβαθρο (flood golds).

A. Συγκέντρωση στο υπόβαθρο:

Η διαδικασία της συγκέντρωσης των πολύτιμων ορυκτών στο βραχώδες υπόβαθρο, σε απλές αποθέσεις ρεμάτων μπορεί να γενικευτεί ως εξής: Έστω ότι υπάρχει ένα ρέμα με καθοδική ροή, το οποίο αποτελείται από στρώματα άμμου, κροκάλων και ογκολίθων, ενώ μετατοπίζεται προοδευτικά προς τα κάτω και υπόκειται σε αναδεύσεις τις περιόδους που η στάθμη του νερού είναι υψηλή. Κατά τις περιόδους της υψηλής στάθμης, μερικά από τα μικρότερα και πιο ελαφριά σωματίδια συλλέγονται από το ρέμα, ενώ οι βαρύτεροι βράχοι και οι ογκόλιθοι γλιστρούν κατά μήκος του πυθμένα, παραμένοντας έτσι στην ροή του ρέματος. Συνεπώς, κάθε φορά που τα σωματίδια εντός του ρέματος μετακινούνται ή αναδεύονται, τα περιεχόμενα τεμάχια χρυσού μπορούν μέσω της ροής να κινηθούν προς το υπόβαθρο. Ωστόσο, πρέπει να γίνει αντιληπτό ότι χωρίς μια τέτοια κίνηση και αναδιάταξη ολόκληρου του φορτίου του ρέματος, δεν θα ήταν δυνατή η μετακίνηση και παραμονή του χρυσού στο υπόβαθρο. Υπό συνθήκες πλημμύρας, ο λεπτός χρυσός μπορεί να παρασυρθεί αλλά όταν ο αδρομερής χρυσός κατακρατηθεί στο υπόβαθρο, είναι πολύ δύσκολο για το ρέμα να τον απομακρύνει. Για τον λόγο αυτό ο αδρομερής χρυσός απαντάται γενικότερα πιο κοντά στην πηγή της αποδέσμευσης του.

B. Τύποι υποβάθρου:

Ο απόλυτος πλούτος που περιέχεται εντός ενός προσχωματικού κοιτάσματος καθορίζεται από τα φυσικά χαρακτηριστικά του υποβάθρου. Οι σχιστόλιθοι και οι ενώσεις βράχων που διαχωρίζονται από ασυνεχείς επιφάνειες, ιδιαίτερα εκείνες που καλύπτονται από ασθενέστερα υλικά (jointed rocks), θεωρούνται ως οι πιο αποτελεσματικοί για την ανάκτηση και συγκράτηση των ποσοτήτων χρυσού. Η συμπαγής άργιλος, τα αργιλώδη ηφαιστειακά πετρώματα και ο αποσυντεθειμένος γρανίτης μπορούν να συμβάλλουν στην δημιουργία ιδιαίτερα αποτελεσματικών τύπων υποβάθρου. Αντίθετα, ένα λείο, σκληρό υπόβαθρο, όπως για παράδειγμα ο σερπεντίνης, θεωρείται ως ένα από τα λιγότερο αποτελεσματικά στην ανάκτηση του χρυσού.

Γ. Στρώσεις στις οποίες περιέχονται πολύτιμα ορυκτά:

Οι συγκεντρώσεις των πολύτιμων ορυκτών στο υπόβαθρο, γνωστές ως πολύτιμες ζώνες χρυσού «pay streaks», συνήθως ακολουθούν μια ελικοειδή διαδρομή και δεν έχουν καμία ευδιάκριτη σχέση με το τρέχον κανάλι ροής. Οι ζώνες στις οποίες συγκεντρώνεται το μέταλλευμα μπορούν να διαχωριστούν ή να τερματιστούν ξαφνικά και η έκτασή τους θεωρείται αρκετές φορές ακανόνιστη ή ακαθόριστη, παρόλο που η τοποθεσία στην οποία απαντώνται υπόκειται σε τοπικούς ελέγχους. Πρέπει να ληφθεί υπόψιν, ότι οι συνθήκες που προκάλεσαν τις συγκεκριμένες ζώνες, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις παλαιότερων κοιτασμάτων, ενδέχεται να μην αποτελούν πλέον αποδείξεις ως προς τον σχηματισμό τους. Συνεπώς, οι ζώνες (pay streaks) που απαντώνται σε περιοχές κροκάλων ή παρόμοιες εκτάσεις προσχωματικών κοιτασμάτων είναι λιγότερο σαφείς από τις αντίστοιχες που εντοπίζονται στα ποτάμια προσχωματικά κοιτάσματα (Wells, 1969).

Κεφάλαιο 3: Τα θεμελιώδη συστήματα επεξεργασίας προσχωματικών κοιτασμάτων χρυσού

3.1 Ταψί συγκέντρωσης χρυσού

3.1.1 Γενικά

Τα ταψιά συγκέντρωσης χρυσού αποτελούν μία από τις αρχαιότερες μεθόδους συγκέντρωσης με βάση την πυκνότητα και το μέγεθος των σωματιδίων. Έτσι, τα ταψιά συγκέντρωσης εμφανίζονται σε απεικονίσεις αιγυπτιακών μνημείων που χρονολογούνται περί του 2900 π.Χ. Η κυκλική ή εμπρός-πίσω ανακίνηση του μεταλλεύματος και του νερού, εντός του ταψιού συγκέντρωσης, αναγκάζει το μέταλλευμα να διαχωρισθεί σε στρώσεις. Τα βαριά ορυκτά κατακάθονται στο κατώτερο τμήμα του ταψιού, σε αντίθεση με το ελαφρύτερο υλικό, το οποίο μπορεί να υπερχειλίσει στην κορυφή (Michaud D. , 2015).

Στην σύγχρονη μεταλλευτική ιστορική περίοδο, τα ταψιά συγκέντρωσης χρυσού σε συνδυασμό με τις εξορύξεις προσχωματικών κοιτασμάτων χρυσού λαμβάνουν πολύ σημαντική θέση, ιδιαίτερα στην Βόρεια Αμερική. Το χαμηλό κόστος λειτουργίας και η απλότητα της μεθόδου επέτρεψαν σε πολλούς χειριστές, οι οποίοι δεν διέθεταν τα κατάλληλα μέσα, να συμμετάσχουν στην εποχή του «πυρετού του χρυσού» που έλαβε χώρα στην Βόρεια Αμερική κατά τον 19^ο αιώνα. Η πρώτη μεγάλη περίοδος «πυρετού του χρυσού» πραγματοποιήθηκε από το 1855 έως το 1949, στην Βόρεια Κεντρική Καλιφόρνια. Περισσότεροι από 300.000 αναζητητές, γνωστοί και ως «49ers», μετανάστευσαν στην περιοχή Coloma της Καλιφόρνια. Όταν τα αποθέματα χρυσού εξαντλήθηκαν, μερικοί από εκείνους μετακινήθηκαν προς την περιοχή Cariboo της Βρετανικής Κολομβίας από το 1858 έως το 1863. Στο Cariboo εγκαταστάθηκαν λίγο περισσότεροι από 30.000 αναζητητές, επικεντρώνοντας το ενδιαφέρον τους στην πόλη Barkerville. Σήμερα, μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό εξορύξεων προσχωματικών κοιτασμάτων εξακολουθεί να πραγματοποιείται στην συγκεκριμένη περιοχή.

Τέλος, κατά την διάρκεια της πρώτης εποχής «πυρετού του χρυσού» 100.000 άνδρες διακινδύνευαν την ζωή τους λόγω των σκληρών κλιματικών συνθηκών που επικρατούσαν στην περιοχή Yukon, αναζητώντας μία καλύτερη τύχη. Η δραστηριότητα τους επικεντρώθηκε κατά μήκος του ποταμού Klondike, μεταξύ των ανατολικών συνόρων της

Αλάσκας και της Dawson (Yukon), και ολοκληρώθηκε με την εύρεση χρυσού στο Nome της Αλάσκας (1899) (Michaud D. , 2015).

Η εποχή του «πυρετού του χρυσού» της Βόρειας Αμερικής αναπτύσσεται στην παρούσα εργασία, διότι στην συγκεκριμένη περίοδο αναπτύχθηκαν και εδραιώθηκαν οι μέθοδοι επεξεργασίας των προσχωματικών κοιτασμάτων χρυσού, και πιο συγκεκριμένα τα ταψιά συγκέντρωσης, τα κουτιά λίκνισης και οι υδροσυγκεντρωτές. Στην συνέχεια, με την ανακάλυψη χρυσού στο Nome της Αλάσκας (1899) οι μέθοδοι εξελίχθηκαν, ενώ ταυτόχρονα εισήχθησαν νέες διαδικασίες με περισσότερα πλεονεκτήματα.

3.1.2 Αρχή λειτουργίας

Τα ταψιά συγκέντρωσης χρυσού χαρακτηρίζονται ως μία απλή, αλλά ταυτόχρονα δύσκολη για να περιγραφεί διαδικασία. Παρόλο που οι τεχνικές διαχωρισμού με τα ταψιά συγκέντρωσης χρυσού ποικίλουν ανάλογα με τον χειριστή και το υλικό που δέχεται επεξεργασία, η μέθοδος μπορεί να αναλυθεί στα έξι παρακάτω βασικά βήματα:

A) Προετοιμασία:

Μετά την πλήρωση του ταψιού με το υλικό, πρέπει να τοποθετηθεί κάτω από την επιφάνεια του νερού, ιδανικά να αφεθεί στον πυθμένα μίας ρηχής λίμνης ή ποταμού με το άνω άκρο του να βρίσκεται ακριβώς κάτω από την επιφάνεια. Αφού το ταψί τοποθετηθεί στον πυθμένα, το υλικό δέχεται επεξεργασία χειρωνακτικά, διασπώντας τυχόν σβόλους που μπορεί να εντοπίζονται στην επιφάνεια του. Εάν εντοπισθούν ποσότητες αργίλου, το υλικό δέχεται χειρωνακτική επεξεργασία μέχρι η άργιλος να διασπαστεί πλήρως και να απομακρυνθεί με την ροή του νερού μέσα από το ταψί. Θεωρείται ιδιαίτερα σημαντικό να εξαλειφθεί ολόκληρη η ποσότητα της αργίλου από το δείγμα πριν την έναρξη της διαδικασίας διαχωρισμού. Επιπλέον, είναι βασικό να ξεπλυθούν και να απομακρυνθούν τα μεγάλα τεμάχια, μία διαδικασία που πραγματοποιείται στο αρχικό αυτό στάδιο χειρωνακτικά και χωρίς την χρήση κόσκινου.

B) Διαστρωμάτωση των υλικών εντός του ταψιού συγκέντρωσης:

Στο βήμα αυτό ο χειριστής κρατάει το ταψί και ενώ το διατηρεί στο ίδιο επίπεδο βύθισης, πραγματοποιεί μία έντονη εμπρός-πίσω ανακίνηση (δεξιόστροφα και αριστερόστροφα), διατηρώντας ταυτόχρονα τα περιεχόμενα του ταψιού χαλαρά πάνω στην επιφάνεια του. Έτσι, τα πιο βαριά ορυκτά μετατοπίζονται προς το κατώτερο τμήμα του ταψιού. Εάν το δεύτερο

βήμα εκτελεσθεί σωστά, οι μικρότεροι και βαρύτεροι κόκκοι μετατοπίζονται προς το κατώτερο τμήμα, ενώ ταυτόχρονα οι μεγαλύτεροι και πιο ελαφριοί μετακινούνται προς την επιφάνεια του ταψιού. Με αυτό τον τρόπο, τα πετρώματα με μέγεθος της τάξης του βότσαλου μπορούν να αφαιρεθούν εύκολα από το ταψί συγκέντρωσης με το χέρι.

Γ) Έκπλυση:

Στο τρίτο βήμα, ανάλογα με την φύση του υλικού που δέχεται επεξεργασία, μπορεί να υπάρχουν διάφορες παραλλαγές. Όπως και στο βήμα (B), όλο το υλικό διατηρείται σε κίνηση εντός του ταψιού συγκέντρωσης, αλλά καθώς η διαστρωμάτωση των σωματιδίων συνεχίζεται, ένα μέρος των ελαφρύτερων σωματιδίων μπορεί να διαφύγει από το χείλος του ταψιού. Για να επιτευχθεί αυτό, το ταψί ανυψώνεται μερικώς πάνω από την επιφάνεια του νερού και δέχεται μία μικρή κλίση προς τα εμπρός, ενώ η κίνηση από περιστροφική (βήμα B) αλλάζει σε επίπεδη κυκλική. Ο ρυθμός της απομάκρυνσης των ελαφρύτερων σωματιδίων ρυθμίζεται ανάλογα με την ανύψωση ή την μείωση του ύψους του ταψιού συγκέντρωσης, καθώς και από την πραγματοποίηση της πλάγιας κίνησης σε συνδυασμό με την επίπεδη κυκλική.

Δ) Καθαρισμός:

Το τέταρτο βήμα περιλαμβάνει την επιλεκτική έκπλυση της επιφάνειας των κόκκων, το οποίο μπορεί να συγκριθεί με την δράση του νερού έκπλυσης πάνω σε μία τράπεζα συγκέντρωσης. Για την προετοιμασία του μερικώς συμπυκνωμένου υλικού, το ταψί συγκέντρωσης δέχεται μία σύντομη και γρήγορη ανακίνηση από πλευρά σε πλευρά, για την επίτευξη μίας περαιτέρω διαστρωμάτωσης των υλικών. Κατά την διάρκεια της ανακίνησης το ταψί δέχεται μία σταδιακή προς τα εμπρός κλίση, έως ότου η επιφάνεια του στρώματος των ορυκτών φθάσει στο άκρο του χείλους του ταψιού. Στο συγκεκριμένο σημείο, η ανακίνηση διακόπτεται και το στρώμα των ορυκτών αφήνεται να κατακαθίσει στον πυθμένα του ταψιού. Στην συνέχεια, ένα λεπτό στρώμα από τα ελαφρύτερα υλικά αφαιρείται με την προσεκτική εμβάπτιση και ανύψωση του ταψιού, η οποία πραγματοποιείται παράλληλα με την εμπρός-πίσω ανακίνηση του.

Η διαδικασία της έκπλυσης επαναλαμβάνεται μέχρι στο ταψί να παραμείνουν οι καθαρές συγκεντρώσεις των βαρύτερων ορυκτών ή έως ότου να είναι δυνατός ο εντοπισμός και η απόληψη του χρυσού. Κατά την διάρκεια του τελευταίου βήματος, ο χειριστής μπορεί να εξοικονομήσει χρόνο από την απομάκρυνση των μεγαλύτερων πετρών με τα δάχτυλα του,

καθώς και από την αφαίρεση των μικρότερων τεμαχίων με τον αντίχειρα του. Οι συγκεκριμένες τεχνικές μαθαίνονται καλύτερα μόνο μέσω της εξάσκησης.

Ε) Επιθεώρηση και εκτίμηση:

Στο τέλος της λειτουργίας των ταψιών συγκέντρωσης, το αρχικό υλικό θα έχει συνήθως μειωθεί σε μία πολύ μικρή ποσότητα συμπυκνώματος, η οποία θα αποτελείται κυρίως από ορυκτά της μαύρης άμμου. Μετά από την εισροή μικρής ποσότητας καθαρού νερού στο ταψί, ένας έμπειρος χειριστής μπορεί να απλώσει το συμπύκνωμα στον πυθμένα του, και κατά την διάρκεια της ανάκτησης του χρυσού να εντοπίσει τα διαφορετικά χρώματα των ορυκτών. Σε αυτό το σημείο, ο χειριστής είναι σε θέση να εκτιμήσει την φύση του δείγματος. Αυτό συνήθως επιτυγχάνεται από την ανακίνηση του ταψιού με τέτοιο τρόπο, ώστε το νερό να στροβιλίζεται γύρω από τη σκάφη που σχηματίζεται μεταξύ του κατώτερου τμήματος των τοιχωμάτων του ταψιού. Ο προαναφερόμενος στροβιλισμός του νερού, μεταφέρει τα ελαφρύτερα σωματίδια πιο γρήγορα από τα βαρύτερα ή λεπτότερα, με αποτέλεσμα να γίνονται αντιληπτά τα χρυσά χρώματα στο μείγμα του αργά κινούμενου συμπυκνώματος.

ΣΤ) Απώληση του χρυσού:

Ο τελικός διαχωρισμός του χρυσού από τα υπόλοιπα αδρομερή ορυκτά, μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους. Τα μεγαλύτερα τεμάχια μπορούν να συλλεχθούν με τσιμπίδες ή με την άκρη ενός μαχαιριού, ενώ τα μικρότερα χρώματα ή οι κηλίδες μπορούν να συλλεχθούν πιέζοντάς τα με την άκρη ενός ξύλινου σπέρτου ή την στεγνή άκρη του δακτύλου. Ο χρυσός μπορεί να αφαιρεθεί πιο εύκολα φυσώντας τον, όπου υπάρχει μια ικανοποιητική ποσότητα συμπυκνώματος μαύρης άμμου. Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να παραμείνει εντός του ταψιού μόνο το βαρύτερο κλάσμα της «μαύρης άμμου» (όπως για παράδειγμα ο ιλμενίτης, ο μαγνητίτης και ο πυρίτης). Στην συνέχεια, το υλικό ξηραίνεται και ανακτάται ο χρυσός (ίσως μετά από την χρήση μαγνητίτη για να αφαιρεθεί ένα τμήμα της μαύρης άμμου). Η συγκεκριμένη τεχνική απαιτεί αρκετή εξάσκηση, αλλά με προσοχή ο καθαρός διαχωρισμός μπορεί να πραγματοποιηθεί σε εκπληκτικά σύντομο χρονικό διάστημα (Hustrulid, 2009).

Τα στρώματα του γράσου ή άλλων υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή και πιθανόν να παραμένουν πάνω στην επιφάνεια ενός νέου ταψιού συγκέντρωσης χρυσού, πρέπει να αφαιρεθούν πριν από την χρήση. Αυτό επιτυγχάνεται καλύτερα τοποθετώντας το ταψί πάνω από ένα γκαζάκι ή άλλη πηγή φωτιάς, μέχρι το μέταλλο να γίνει μπλε. Η

συγκεκριμένη διαδικασία απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή ώστε να μην δημιουργηθεί εκτεταμένη φλόγα. Εκτός από την απομάκρυνση των στρωμάτων σκουριάς και λίπανσης, το προκύπτον σκούρο χρώμα του ταψιού, συμβάλλει στην ευκολότερη ανίχνευση των λεπτών μεγεθών χρυσού εντός αυτού. Η συγκεκριμένη διαδικασία πρέπει να επαναλαμβάνεται όσο συχνά χρειάζεται για να διατηρείται το ταψί απαλλαγμένο από τις προαναφερόμενες στρώσεις πριν από την χρήση του (Wells, 1969).

3.1.3 Διαφορετικά είδη ταψιών συγκέντρωσης χρυσού

Οι μεταλλωρύχοι που χρησιμοποιούν μικρές χειρωνακτικές συσκευές συνήθως διαθέτουν μεγάλη εμπειρία και μπορούν να επιτύχουν απίστευτα αποτελέσματα, ακόμα και με τους πιο βασικούς τύπους ταψιών.

Οι χειριστές-μεταλλωρύχοι χρησιμοποιούν συχνά το σκληρό κέλυφος της κολοκύθας, μαγειρικά σκεύη, όπως μπολ και ταψιά για να ανακτήσουν τον χρυσό. Χρησιμοποιούν επίσης ειδικά σχεδιασμένα ταψιά, τα οποία κατασκευάζονται από ξύλο, μέταλλο ή πλαστικό. Γενικότερα, τα ταψιά συγκέντρωσης χρυσού έχουν συνήθως κυκλικό σχήμα, αλλά σπανιότερα μπορεί να είναι και ορθογώνια, όπως για παράδειγμα στο Βιετνάμ. Αναφορικά με το υλικό κατασκευής, τα ταψιά που κατασκευάζονται από ξύλο διατηρούν τον χρυσό στην επιφάνειά τους με μεγαλύτερη ευκολία, λόγω της τραχύτητας που την χαρακτηρίζει. Ωστόσο, τα μεταλλικά ταψιά μπορούν να αποκτήσουν μία πιο τραχιά επιφάνεια, αν πραγματοποιηθεί οξείδωση με την εφαρμογή κάποιου οξέος, ενώ ταυτόχρονα στα πλαστικά ταψιά η επιφάνεια τους μπορεί να αποκτήσει μία πιο τραχιά υφή εάν πραγματοποιηθεί τριβή με άμμο. Ένα ακόμα πλεονέκτημα των ξύλινων ταψιών συγκέντρωσης χρυσού είναι η μεγαλύτερη άνωση, η οποία καθιστά ευκολότερη την ισορροπία ενός γεμάτου με μετάλλευμα ταψιού, εντός του νερού (Εικόνα 3-1).

Τα ταψιά συγκέντρωσης χρυσού μπορούν να κατασκευασθούν από την κοπή ενός χαλύβδινου φύλλου και με κατάλληλη επεξεργασία του να αποκτήσουν το τελικό τους σχήμα. Επιπλέον, ως υλικά κατασκευής μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα μεγάλα κυλινδρικά δοχεία αποθήκευσης πετρελαίου και κυανιδίου, τα οποία μετασχηματίζονται κατάλληλα. Γενικότερα, τα ταψιά που κατασκευάζονται από μέταλλο και αλουμίνιο παράγονται συχνά μαζικά και σε μεγάλες ποσότητες, μέσω μίας βασικής διαδικασίας επεξεργασίας των μετάλλων. Στην συγκεκριμένη διαδικασία, ένας δίσκος ή σωλήνας από μέταλλο

περιστρέφεται με υψηλή ταχύτητα, με αποτέλεσμα να σχηματίζεται ένα αξονικά συμμετρικό τμήμα (metal spinning process) (Εικόνα 3-2).

Στην Βόρεια Αμερική, τα ταψιά με επίπεδο κατώτερο τμήμα χρησιμοποιούνται για περισσότερα από 150 χρόνια στην διαδικασία της ανάκτησης των αδρομερών τεμαχίων χρυσού. Τυπικά, κατασκευάζονται από ατσάλι, με τα τοιχώματα τους να έχουν κλίση περίπου ίση με 35 μοίρες με το οριζόντιο επίπεδο. Σήμερα, οι συγκεκριμένοι τύποι ταψιών κατασκευάζονται από πλαστικό και διαθέτουν δύο ή τρεις μικρές ραβδώσεις πάνω στην κυκλική επιφάνεια τους.

Στην Βραζιλία, την Ινδονησία και σε άλλες περιοχές, τα κωνικά και με κλίσεις από 150 έως 155 μοίρες ταψιά συγκέντρωσης χρυσού «bateas», συγκρατούν τον αδρομερή χρυσό σχετικά γρήγορα, όντας επίσης αποτελεσματικά στην ανάκτηση των λεπτόκοκκων τεμαχίων του (Εικόνα 3-3). Στο Περού, οι μεταλλωρύχοι χρησιμοποιούν μικρά ταψιά «bateas» διαμέτρου 15 εκατοστών, τα οποία επικαλύπτονται με καουτσούκ (Εικόνα 3-4). Τα συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της ανάκτησης που επιτυγχάνεται από τα υπολείμματα των διαδικασιών της υδροσυγκέντρωσης. Παράλληλα, στην Αφρική οι μεταλλωρύχοι χρησιμοποιούν πλαστικά ταψιά με μεγάλη κλίση, τα οποία όμως είναι λιγότερο αποτελεσματικά από τα «bateas». Τέλος, οι μεταλλωρύχοι από το Σουδάν κατασκευάζουν ένα χειροποίητο ταψί, το οποίο λαμβάνει σχήμα ελλειψοειδούς και μπορεί να σχηματισθεί από ξύλο ή από το κέλυφος της κολοκύθας (Εικόνα 3-5) (Veiga M. , 2006).



Εικόνα 3- 1:Ξύλινα ρηχά ταψιά συγκέντρωσης «bateas» (Lao, PDR) (Veiga M. , 2006)



Εικόνα 3-2: Αλουμινένιο μπολ που χρησιμοποιείται ως ταψί συγκέντρωσης (Σουδάν) (Veiga M. , 2006)



Εικόνα 3- 3:Μεταλλικό ταψί συγκέντρωσης «batea» (Βραζιλία) (Veiga M. , 2006)



Εικόνα 3- 4: Μικρό ταψί συγκέντρωσης σχήματος κώνου και επενδυμένο με καουτσούκ για δοκιμές μεταλλεύματος (Περού) (Veiga M. , 2006)



Εικόνα 3- 5: Χρησιμοποιώντας αντικείμενα κατασκευασμένα από το σκληρό κέλυφος ενός φρούτου στην Αφρική ως ταψιά συγκέντρωσης (calabash or calabace) (Veiga M. , 2006)

3.1.4 Σύνοψη

Τα ταψιά συγκέντρωσης χρυσού εφαρμόστηκαν και εφαρμόζονται ευρέως ως η κύρια μέθοδος ανάκτησης στις πρώτες ημέρες της εξόρυξης. Ωστόσο, η διαδικασία είναι εξαιρετικά περιορισμένη, καθώς ανακτάται μόνο ο αδρομερής χρυσός, ενώ τα λεπτόκοκκα σωματίδια παρασύρονται στην ροή του νερού μαζί με τις κροκάλες. Έτσι, μόνο μικρές ποσότητες κροκάλων μπορούν να δεχθούν επεξεργασία, ακόμα και από τους πιο έμπειρους χειριστές. Σήμερα, τα ταψιά συγκέντρωσης χρυσού χρησιμοποιούνται κυρίως για τον έλεγχο και τον καθαρισμό των συμπυκνωμάτων. Η χαμηλή τιμή τους, η άμεση διαθεσιμότητα και η ευκολία μεταφοράς τους, τα καθιστούν ως ένα απαραίτητο εργαλείο για τον οποιονδήποτε αναζητητή ή μεταλλωρύχο.

3.2 Κουτιά Λίκνισης (Rocker or Cradle boxes)

3.2.1 Γενικά

Τα κουτιά λίκνισης αποτέλεσαν ένα πολύ δημοφιλές εργαλείο, το οποίο χρησιμοποιήθηκε εκτεταμένα από τους μεταλλωρύχους που εργάστηκαν κατά την διάρκεια των πρώτων χρόνων της εποχής του «πυρετού του χρυσού». Οι συγκεκριμένες συσκευές ήταν φορητές και μπορούσαν να ανακτήσουν πολύ μεγαλύτερη ποσότητα χρυσού συγκριτικά με ένα απλό ταψί συγκέντρωσης. Τα κουτιά λίκνισης μπορούσαν να επεξεργαστούν πολύ μεγάλη ποσότητα κροκάλων, με ελάχιστη αρχική επένδυση στον εξοπλισμό. Οι συγκεκριμένες συσκευές ποικίλουν σε μέγεθος, σχήμα και σε γενικότερο σχεδιασμό, ανάλογα με τα διαθέσιμα υλικά κατασκευής, το μέγεθος του χρυσού που ανακτάται και την εμπειρία που διαθέτει ο κατασκευαστής.

3.2.2 Αρχή λειτουργίας

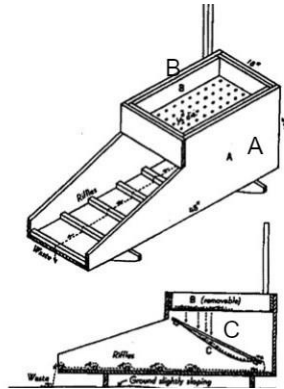
Τα περισσότερα κουτιά λίκνισης λειτουργούσαν από ένα και μόνο χειριστή, αλλά σε ορισμένες τοποθεσίες όπως τα παράλια του Nome, οι μεταλλωρύχοι κατασκεύαζαν μεγάλα μηχανήματα που μπορούσαν να τροφοδοτηθούν με πολλαπλάσιες ποσότητες κροκάλων. Συνοψίζοντας, τα κουτιά λίκνισης επέτρεψαν στους μεταλλωρύχους να επεξεργάζονται δύο ή και τρεις φορές περισσότερες κροκάλες συγκριτικά με τα ταψιά συγκέντρωσης χρυσού (Silva, 1986).

Οι κροκάλες αποτίθενται μέσα στην χοάνη του κουτιού και το κουτί λίκνισης ανακινείται έντονα πίσω και μπρος, ενώ ταυτόχρονα το νερό ρέει πάνω από τις κροκάλες. Η κλίση του κουτιού είναι ιδιαίτερα σημαντική για το διαχωρισμό και την ανάκτηση των λεπτών υλικών. Για παράδειγμα, εάν δέχεται επεξεργασία αδρομερής χρυσός και κροκάλες χωρίς την παρουσία αργίλου, η πλάκα του επιπέδου που εντοπίζεται στην κορυφή πρέπει να είναι 2 έως 4 ίντσες (5 έως 10 cm) υψηλότερη από την πλάκα του κατώτερου επιπέδου. Εάν όμως το υλικό είναι αργιλώδες ή υπάρχει λεπτός χρυσός, η κλίση πρέπει να μειωθεί σε ίσως μόνο μία ίντσα (2,54 cm) για να επιτευχθεί ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα.

Ο ρυθμός ροής του νερού είναι επίσης σημαντικός. Αν παρέχεται πολύ μεγάλη ποσότητα νερού, ο χρυσός θα διαπεράσει το κόσκινο χωρίς να κατακρατηθεί σε αυτό, ενώ πολύ μικρή ποσότητα νερού θα οδηγήσει στον σχηματισμό λάσπης που θα συμπαρασύρει μαζί της τον λεπτό χρυσό. Το νερό παρέχεται χειρωνακτικά ή τροφοδοτείται μέσω σωλήνα, ενώ θεωρείται

σημαντικό να διατηρείται μια σταθερή ροή μέσα στο κουτί. Όταν όλο το υλικό (που μπορεί) περάσει μέσα από το κόσκινο, τότε αυτό απορρίπτεται και ένα νέο υλικό προστίθεται και πλένεται. Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να γίνει αναγκαίος ο καθαρισμός του υφάσματος συλλογής. Οι συχνοί καθαρισμοί συντελούν στην επίτευξη της μέγιστης δυνατής ανάκτησης του χρυσού.

Όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 3-6, η λάσπη και το νερό τοποθετούνται στο σημείο B με την συσκευή να ανακινείται χειροκίνητα. Το νερό, η άμμος και ο χρυσός περνούν διαμέσου των οπών και καταλήγουν στην ποδιά της συσκευής (C), όπου και κατακρατείται το μεγαλύτερο ποσοστό της μαύρης άμμου και του χρυσού. Στην συνέχεια, τα υλικά διέρχονται από το σύστημα των ραβδώσεων στο οποίο συγκρατείται μεγαλύτερη ποσότητα χρυσού, ενώ το υπόλοιπο υλικό καταλήγει στα απορρίμματα. Το υλικό που έχει παραμείνει στο (B) απομακρύνεται και η ποδιά αφαιρείται για περαιτέρω έκπλυση.



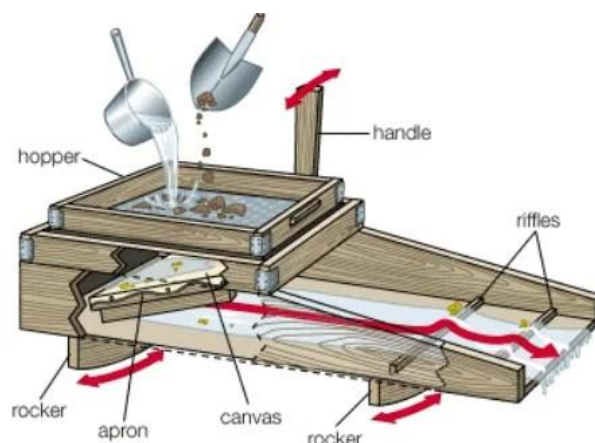
Εικόνα 3- 6: Συσκευή λίκνισης (Silva, 1986).

Για τον καθαρισμό, το ύφασμα αφαιρείται και πλένεται προσεκτικά, ενώ οι ραβδώσεις καθαρίζονται λιγότερο συχνά, όταν συσσωρεύεται άμμος στην επιφάνειά τους. Μετά τον καθαρισμό, το κουτί λίκνισης επανασυναρμολογείται και η επεξεργασία συνεχίζεται. Τα συμπτκνώματα που θα συλλεχθούν εξευγενίζονται περαιτέρω, συνήθως μέσω της διαδικασίας της αμαλγάμωσης ή των ταπιών συγκέντρωσης χρυσού. Μερικές φορές προστίθεται υδράργυρος στις ραβδώσεις για την ευκολότερη συλλογή του λεπτόκοκκου χρυσού, ο οποίος εξάγεται από το μέταλλευμα υπό την μορφή αμαλγάματος (κράμα με βασικό συστατικό τον υδράργυρο). Στην συνέχεια, το αμάλαμα θερμαίνεται μέχρι να εξατμιστεί ο υδράργυρος και να απομονωθεί ο χρυσός (Silva, 1986).

3.2.3 Σχεδιασμός

Οι διαστάσεις των κουτιών κυμαίνονται γενικά σε μήκη από 24 έως 60 ίντσες (61 έως 152 cm), σε πλάτη από 12 έως 25 ίντσες (38 έως 64 cm) και σε ύψος από 6 έως 24 ίντσες (15 έως 61 cm). Παρομοιάζονται με κουτιά που λικνίζονται σε σταθερό υλικό (πχ παλέτα), ενώ η ταξινόμηση των υλικών πραγματοποιείται μέσω της κοσκίνισης.

Τα κουτιά λίκνισης αποτελούνται από τρία διακριτά μέρη: Ένα σώμα ή κουτί παρόμοιο με υδροσυγκεντρωτή, ένα κόσκινο και ένα ύφασμα συλλογής («ποδιά»). Το κατώτερο τμήμα του κουτιού αποτελείται από ραβδώσεις στις οποίες εγκλωβίζεται ο χρυσός, ενώ το κόσκινο συγκρατεί τα αδρομερή υλικά και αποτελεί το τμήμα στο οποίο μπορεί να διασπαστεί η άργιλος μέχρι τελικά να αφαιρεθούν όλα τα μικρά σωματίδια χρυσού. Τα κόσκινα έχουν τυπικά μέγεθος από 15 έως 20 ίντσες (38 έως 51 cm) σε κάθε πλευρά και διαθέτουν ανοίγματα οπών της μισής ίντσας (1,25 cm). Τα πιο λεπτόκοκκα υλικά πλένονται μέσω των ανοιγμάτων με νερό, πάνω σε ένα ύφασμα συλλογής με συγκεκριμένη κλίση. Το ύφασμα χρησιμοποιείται για να κατακρατηθεί όλο το υλικό και είναι κατασκευασμένο από καμβά που τεντώνεται πάνω σε ένα πλαίσιο. Επιπλέον, διαθέτει μια τσέπη ή χαμηλή θέση, στην οποία ο αδρομερής χρυσός και η μαύρη άμμος μπορούν να συλλεχθούν. Το ύφασμα συλλογής μπορεί να κατασκευαστεί από μεγάλη ποικιλία υλικών: Κουβέρτες, χαλιά, καμβάδες, λαστιχένια χαλάκια, λινάτσες ή πλάκες αμαλγάμωσης από χαλκό. Τέλος, οι ραβδώσεις κάτω από το ύφασμα συμβάλλουν στην συλλογή του χρυσού πριν από την διαδικασία της απόρριψης (Silva, 1986) (Εικόνα 3-7).



Εικόνα 3- 7: Παραστατική περιγραφή σχετικά με την λειτουργία ενός κουτιού λίκνισης (Rocker box) (Hustrulid, 2009)

3.2.4 Παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψιν πριν από τη χρήση ενός κουτιού λίκνισης

Το πρώτο βήμα πριν από την χρήση ενός κουτιού λίκνισης αποτελεί η ρύθμιση της πλάκας του κουτιού ώστε να μην μετατοπίζεται ή μετακινείται όταν η συσκευή είναι σε λειτουργία. Η καλύτερη δυνατή κλίση μίας συσκευής λίκνισης καθορίζεται μέσω δοκιμών, αλλά θεωρείται ότι αν αρχικά ορισθεί σε 1 με $\frac{1}{2}$ ίντσα ανά πόδι (2 με 4 cm ανά 0,3 m) μήκους της συσκευής, με μερικές σύντομες δοκιμαστικές διαδρομές θα μπορέσει να γίνει η οποιαδήποτε απαραίτητη προσαρμογή. Μία ανεπαρκής κλίση μπορεί να προκαλέσει την επικάλυψη των ραβδώσεων με άμμο, με αποτέλεσμα να υπάρχει απώλεια του λεπτού χρυσού. Επιπλέον, αν η σκάφη της συσκευής γεμίσει σε μεγάλο βαθμό με υλικό, οι κροκάλες θα διαφεύγουν από τα άκρα κατά την λειτουργία της και θα καθιστούν δύσκολη την ρύθμιση της ροής του υλικού μέσω του κόσκινου. Έτσι, για αυτό τον λόγο η σκάφη δεν πρέπει να γεμίζεται ποτέ πάνω από το ήμισυ, ενώ το κόσκινο θα πρέπει κατά προτίμηση, να αφήνεται μερικώς εκτεθειμένο στο ένα του άκρο. Έτσι, το νερό χύνεται στο κόσκινο και πάνω από τις κροκάλες, με την συσκευή να ανακινείται έντονα.

Παράλληλα, η ποσότητα του υλικού που τροφοδοτείται στις ράβδους ρυθμίζεται μέσω της μετατόπισης του σημείου εφαρμογής του νερού. Οι περισσότερες εικόνες που απεικονίζουν την χρήση ενός κουτιού λίκνισης δείχνουν ότι το νερό παρέχεται μέσω δοχείων, τα οποία πρέπει να χειρίζονται με ιδιαίτερη προσοχή ώστε να επιτυγχάνεται ένας σταθερός ρυθμός τροφοδοσίας του νερού. Για αυτό τον λόγο, όπου είναι δυνατόν, πρέπει να παρέχεται ένας εύκαμπτος σωλήνας νερού, ο οποίος εφοδιάζεται με κατάλληλη αντλία. Η ροή του νερού που μπορεί να ληφθεί από ένα συνηθισμένο λάστιχο (19 λίτρα ανά λεπτό) είναι συνήθως αρκετή για τη λειτουργία ενός κουτιού λίκνισης, αλλά όπου αυτό δεν είναι διαθέσιμο, 2 ή 3 βαρέλια νερού στα οποία αυτό ανακυκλώνεται θα είναι αρκετά για την λειτουργία μίας ημέρας (Wells, 1969).

3.2.5 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα

Η αποτελεσματικότητα των κουτιών λίκνισης αποτελεί και το βασικότερο πλεονέκτημα τους. Ένας και μόνο μεταλλωρύχος μπορεί να επεξεργαστεί τουλάχιστον την διπλάσια ποσότητα κροκάλων σε μία ημέρα με την χρήση ενός κουτιού λίκνισης, συγκριτικά με την χρήση ενός ταψιού συγκέντρωσης χρυσού. Τα συγκεκριμένα ποσοστά μπορούν να πολλαπλασιαστούν

εάν δύο μεταλλωρύχοι εργαστούν ομαδικά. Ο ένας θα φτυαρίζει τις κροκάλες εντός του κουτιού, ενώ ταυτόχρονα ο άλλος θα ρίχνει το νερό πάνω από τις κροκάλες.

Αντίθετα, το βασικό μειονέκτημα από την χρήση των συγκεκριμένων συσκευών αποτελεί η απώλεια των μεγάλων ποσοτήτων του λεπτόκοκκου χρυσού, οι οποίες προκύπτουν από την υψηλή ταχύτητα της ροής που επικρατεί κατά την διάρκεια της λειτουργίας της συσκευής. Επιπλέον, ορισμένοι μεταλλωρύχοι συνήθιζαν να προσθέτουν μικρές ποσότητες υδραργύρου στο κατώτερο στρώμα του κουτιού, σε μία προσπάθεια παγίδευσης της μεγαλύτερης δυνατής ποσότητας του λεπτόκοκκου χρυσού. Στην συνέχεια, ζέσταιναν τον υδράργυρο για να τον εξατμίσουν, διατηρώντας το υπόλειμμα του χρυσού. Ωστόσο, από την καύση του υδραργύρου εκλύονται τοξικά και επιβλαβή αέρια που μπορεί να προκαλέσουν τόσο βραχυχρόνια όσο και μακροχρόνια αναπνευστικά προβλήματα.

Τελικά, τα περισσότερα τεχνικά προβλήματα κατάφεραν να επιλυθούν και οι μεγάλες απώλειες χρυσού βελτιώθηκαν χάρη στην εφευρετικότητα των χειριστών. Γενικότερα, τα κουτιά λίκνισης λειτουργούσαν ικανοποιητικά. Ωστόσο, τα κουτιά υδροσυγκέντρωσης που αναπτύσσονται στην επόμενη ενότητα επιτυγχάνουν πολύ υψηλότερα ποσοστά ανάκτησης, ενώ σήμερα τα κουτιά λίκνισης στις περισσότερες περιοχές δεν εξακολουθούν να εφαρμόζονται.

3.3 Υδροσυγκεντρωτές (Sluices)

3.3.1 Γενικά

Οι υδροσυγκεντρωτές αποτελούν κεκλιμένες συσκευές με σχήμα παρόμοιο της «σκάφης», και διαθέτουν κατάλληλο μηχανισμό παγίδευσης των σωματιδίων χρυσού (ή άλλων αδρομερών ορυκτών) στο επίπεδο κατώτερο τμήμα τους. Γενικότερα, οι συσκευές υδροσυγκέντρωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επεξεργασία τόσο αλλουβιακών όσο και πρωτογενών μεταλλευμάτων (primary ores). Πιο συγκεκριμένα, το μετάλλευμα αναμιγνύεται με νερό, με αποτέλεσμα ο σχηματιζόμενος πολφός να εισρέει στο εσωτερικό της συσκευής. Για τον σχεδιασμό των μονάδων υδροσυγκέντρωσης έχουν χρησιμοποιηθεί πολλά διαφορετικά υλικά σε διάστημα χιλιάδων χρόνων. Για παράδειγμα, ένα βασικό υλικό αποτέλεσαν οι γούνες ζώων, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν ευρέως στην αρχαιότητα για την κατασκευή των μηχανισμών παγίδευσης ποικίλων σωματιδίων χρυσού. Έτσι, σύμφωνα με τους αρχαίους Ελληνικούς μύθους, ο ήρωας των Αργοναυτών Ιάσωνας ανακάλυψε το

«χρυσόμαλλο δέρας» (εφαρμόστηκε ως επένδυση του υδροσυγκεντρωτή από δέρμα προβάτου).

Εάν χρησιμοποιηθούν σωστά, οι υδροσυγκεντρωτές μπορούν να αποτελέσουν ιδιαίτερα αποτελεσματικές συσκευές στον διαχωρισμό του χρυσού από τα σύνδρομα ορυκτά, τα οποία δεν έχουν καμία οικονομική σημασία. Επιπλέον, παρόλο που οι υδροσυγκεντρωτές δεν είναι απαραίτητα πιο αποδοτικοί από τα ταψιά συγκέντρωσης χρυσού, η δυνατότητα τους για επεξεργασία μεγάλου όγκου μεταλλεύματος επιτρέπει στους μεταλλωρύχους να αυξήσουν το εισόδημα τους σε σημαντικό βαθμό (Veiga M. , 2006).

3.3.2 Αρχή λειτουργίας

Η λειτουργία των υδροσυγκεντρωτών στηρίζεται στο γεγονός ότι τα βαρύτερα σωματίδια τείνουν να βυθίζονται στον πυθμένα ενός ρεύματος νερού, σε αντίθεση με τα ελαφρύτερα, τα οποία μεταφέρονται μέσω της ροής του νερού και απομακρύνονται στο τελικό άκρο του υδροσυγκεντρωτή. Οι συσκευές υδροσυγκέντρωσης διατίθενται σε ποικίλα μεγέθη και διαστάσεις, ξεκινώντας από μικρούς υδροσυγκεντρωτές στους οποίους η τροφοδοσία πραγματοποιείται χειρωνακτικά, και καταλήγοντας στους μεγάλου μεγέθους υδροσυγκεντρωτές που εντοπίζονται στις βυθοκορήσεις. Στους τελευταίους, η τροφοδοσία πραγματοποιείται με φορητά ή φορτωτές με τσάπα, ενώ μπορούν να επεξεργαστούν έως και 150 m³ αλλουβιακών αποθέσεων στο διάστημα της μίας ώρας.

Ένας καλά σχεδιασμένος υδροσυγκεντρωτής εξασφαλίζει ότι η μέγιστη ποσότητα του χρυσού θα μετατοπισθεί και θα παραμείνει στο κατώτερο τμήμα της συσκευής, όπου υπάρχει η δυνατότητα παγίδευσης της μέσω κατάλληλων μηχανισμών, όπως τα υφάσματα συλλογής ή οι ραβδώσεις. Γενικότερα, οι μηχανισμοί παγίδευσης εγκλωβίζουν τα σωματίδια του χρυσού και εμποδίζουν την επιστροφή τους στην ροή του ρέματος, η οποία μπορεί να προκληθεί από τυρβώδεις δυνάμεις που αναπτύσσονται εντός της ροής. Έτσι, αποτρέπουν την έκπλυση του χρυσού στο τελικό άκρο της συσκευής υδροσυγκέντρωσης, κατακρατώντας τα πολύτιμα λεπτόκοκκα ορυκτά.

Η βαρύτητα επιτρέπει στον χρυσό να μετατοπισθεί προς το υπόβαθρο πιο γρήγορα, συγκριτικά με το πυρίτιο ή άλλα σύνδρομα υλικά. Ο ρυθμός της μετατόπισης καθορίζεται από την πυκνότητα, το μέγεθος και το σχήμα των σωματιδίων. Οι μεγάλοι, υψηλότερης πυκνότητας, σφαιρικοί κόκκοι μετατοπίζονται προς τα κάτω γρήγορα, σε αντίθεση με τα μικρά, χαμηλότερης πυκνότητας και λιγότερο σφαιρικά σωματίδια, τα οποία μετατοπίζονται

πολύ πιο αργά. Επιπρόσθετα, τα αδρόκοκκα σωματίδια χαμηλής πυκνότητας και τα πιο λεπτόκοκκα και υψηλής πυκνότητας σωματίδια, μετατοπίζονται με τους ίδιους ρυθμούς. Σε υδροσυγκεντρωτές όπου δεν αναπτύσσεται έντονη τυρβώδης ροή, η διαφορά του ρυθμού μετατόπισης μεταξύ των ελαφριών και των βαρύτερων σωματιδίων οδηγεί στον διαχωρισμό του πολφού σε στρωματοποιημένες ζώνες. Πιο συγκεκριμένα, το ρέμα πολφού ρέει κατά μήκος του υδροσυγκεντρωτή, με τα υψηλότερης πυκνότητας και μεγαλύτερα σε μέγεθος σωματίδια να συσσωρεύονται σε μία ζώνη κοντά στον πυθμένα, στην οποία μπορούν να παγιδευτούν εντός του επενδυμένου υφάσματος συλλογής και να απομακρυνθούν από το ρέμα. Αντίθετα, τα ελαφρύτερα σωματίδια τείνουν να παραμένουν κοντά στην κορυφή του ρέματος και να απομακρύνονται στο τελικό άκρο απόρριψης του υδροσυγκεντρωτή.

Για την αποτελεσματική λειτουργία της συσκευής, η ταχύτητα ροής του πολφού πρέπει να προσαρμόζεται τόσο στο εύρος του μεγέθους των σωματιδίων χρυσού της τροφοδοσίας όσο και στον μηχανισμό παγίδευσης που χρησιμοποιείται. Ειδικότερα, η τροφοδοσία πρέπει να είναι αρκετά γρήγορη ώστε να διασφαλίζεται ότι οι χώροι παγίδευσης, οι οποίοι σχηματίζονται από τις ραβδώσεις ή τα στρώματα των υφασμάτων συλλογής, δεν υπερκαλύπτονται με άμμο ή άλλα σύνδρομα υλικά. Ωστόσο, η ροή της τροφοδοσίας πρέπει να μην υπερβαίνει μία συγκεκριμένη ταχύτητα, ώστε να επιτρέπει στην μέγιστη δυνατή ποσότητα χρυσού να μετατοπισθεί προς το κατώτερο τμήμα της συσκευής, όπου και μπορεί να κατακρατηθεί.

Η αύξηση της κλίσης του υδροσυγκεντρωτή είναι ανάλογη με την ταχύτητα ροής. Επιπλέον, η αύξηση του βάθους στο οποίο εισέρχεται ο πολφός στον υδροσυγκεντρωτή, είτε περιορίζοντας το πλάτος είτε αυξάνοντας την είσοδο, προκαλεί επίσης την αύξηση της ταχύτητας ροής. Στην συνέχεια, η αύξηση του μήκους του υδροσυγκεντρωτή οδηγεί επίσης σε αύξηση της ταχύτητας ροής, καθώς η ταχύτητα ενός ρευστού μεγαλώνει με την απόσταση. Για έναν δεδομένο ρυθμό τροφοδοσίας και ένα προκαθορισμένο πλάτος συσκευής, η βέλτιστη ταχύτητας ροής προσδιορίζεται εμπειρικά, με σταδιακή αύξηση της γωνίας κλίσης και μέχρι ο μηχανισμός παγίδευσης να είναι καθαρός από πυρίτιο ή άλλα ελαφριά σύνδρομα υλικά (ή το αντίστροφο, μειώνοντας την γωνία κλίσης μέχρι ο υδροσυγκεντρωτής να αρχίσει να απομακρύνει την άμμο, και στην συνέχεια αυξάνοντας την ελάχιστα).

Ο ρυθμός της ροής πρέπει να είναι σταθερός. Οι εξαιρετικά μεταβαλλόμενοι, ασυνεχείς ρυθμοί τροφοδοσίας που απαντώνται στους μικρού μεγέθους και με χειρωνακτική

τροφοδοσία υδροσυγκεντρωτές δεν θεωρούνται αποτελεσματικοί, καθώς το ύφασμα συλλογής γρήγορα φράσσεται με εμπορικά άχρηστο υλικό, περιορίζοντας τους χώρους παγίδευσης. Στους συγκεκριμένους υδροσυγκεντρωτές, το νερό εισάγεται στην συσκευή μέσω ενός δοχείου ανά λειτουργία, με αποτέλεσμα η ταχύτητα της ροής να είναι πάρα πολύ μικρή για να συμπαρασύρει το εμπορικά άχρηστο υλικό και να διατηρήσει τους μηχανισμούς παγίδευσης ενεργούς. Παρόλο που μερικά σωματίδια χρυσού μπορούν να παγιδευτούν εντός της μάζας των επιφανειακών ιζημάτων που εντοπίζονται στον υδροσυγκεντρωτή, η αποτελεσματικότητα της παγίδευσης των συγκεκριμένων είναι πολύ μικρότερη από την αντίστοιχη που επιτυγχάνεται μέσω των ινωδών στρωμάτων υφασμάτων συλλογής (Veiga M., 2006).

3.3.3 Προετοιμασία της τροφοδοσίας

Αρχικά, το υλικό επεξεργάζεται μέσω της διαδικασίας της κοσκίνισης και το άγονο υλικό απομακρύνεται. Υπό ιδανικές συνθήκες, η τροφοδοσία δεν πρέπει να περιέχει πιο αδρόκοκκα σωματίδια από το μεγαλύτερο δυνατό σε μέγεθος σωματίδιο χρυσού. Τα μεγαλύτερα σωματίδια δημιουργούν δίνες και τυρβώδεις ροές, οι οποίες διατηρούν τον λεπτό χρυσό εντός του ρέματος και υπό μορφή αιωρήματος κατά την διαδικασία της υδροσυγκέντρωσης. Στην συνέχεια, οι υψηλές ταχύτητες ροής που απαιτούνται για την απομάκρυνση των μεγαλύτερων ογκοτεμαχίων από τον υδροσυγκεντρωτή, οδηγούν επίσης σε σημαντικές απώλειες. Έτσι, σε υδροσυγκεντρωτές που επεξεργάζονται αλουβιακά κοιτάσματα, δύο παράλληλες ραβδώσεις σε απόσταση 1-2,5 cm μεταξύ τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον διαχωρισμό του υλικού της τροφοδοσίας, εξασφαλίζοντας ότι τα μεγαλύτερα ογκοτεμάχια θα παραμείνουν εκτός της συσκευής. Οι παραπάνω ραβδώσεις «Grizzlies» χρησιμοποιούνται επίσης στην απομάκρυνση της αργίλου, η οποία μπορεί να μεταφερθεί στο κατώτερο στρώμα του υδροσυγκεντρωτή, να προσκολληθεί στα σωματίδια του χρυσού και να τα απομακρύνει υπό την μορφή απορριμμάτων.

Η ιδανική τροφοδοσία περιέχει από 5 έως 15% στερεά, ενώ ένα υψηλό ποσοστό στερεών καθιστά τον πολφό υπερβολικά ιξώδη. Στην συνέχεια, αν υπάρχει πολύ μικρή ποσότητα διαθέσιμου νερού και ο χρυσός δεν είναι πολύ λεπτός, τα αδρόκοκκα σωματίδια μπορούν να απομακρυνθούν προσεκτικά από την συσκευή υδροσυγκέντρωσης.

Η ροή επιταχύνεται με την απόσταση, καθιστώντας πιο δύσκολο για τον μηχανισμό παγίδευσης να συγκρατήσει τα λεπτά σωματίδια χρυσού. Από έρευνες έχει αποδειχθεί ότι το

90% του χρυσού ανακτάται στο πρώτο 1/3 του υδροσυγκεντρωτή, το 9% στο δεύτερο 1/3, και μόλις το 1% ανακτάται στο τελευταίο 1/3 της συσκευής. Παράλληλα, το μεγαλύτερο ποσοστό του χρυσού ανακτάται στα πρώτα 0,5 m του υδροσυγκεντρωτή, υποδηλώνοντας την αποτελεσματικότητα των συσκευών υδροσυγκέντρωσης μικρού μήκους (κάτω από 2 μέτρα για υδροσυγκεντρωτές με χειρωνακτική τροφοδοσία). Όταν οι συσκευές τοποθετούνται σε διάταξη «ζιγκ-ζαγκ» η ταχύτητα της ροής μειώνεται, συμβάλλοντας στην μεγιστοποίηση της ανάκτησης. Ειδικότερα, τρεις υδροσυγκεντρωτές μήκους 2m ο κάθε ένας σε διάταξη «ζιγκ-ζαγκ» είναι πιο αποτελεσματικοί από έναν μεμονωμένο υδροσυγκεντρωτή μήκους 6m.

Η βέλτιστη κλίση του υδροσυγκεντρωτή κυμαίνεται μεταξύ 10 έως 15°, αλλά μπορεί να περιοριστεί και στις 5° όταν πρόκειται για λεπτόκοκκη τροφοδοσία πρωτογενών ορυκτών. Στο Εκουαδόρ, οι μεταλλωρύχοι χρησιμοποιούν κουτιά υδροσυγκέντρωσης με κλίση από 5-8°, τα οποία είναι επενδυμένα με στρώσεις υφασμάτων συλλογής. Αποθέτουν το συμπύκνωμα στο ύφασμα συλλογής περίπου κάθε μία ώρα. Επειδή ο υδροσυγκεντρωτής δεν έχει μεγάλη κλίση και η απόθεση είναι πολύ συχνή, επιτυγχάνεται μία πολύ ικανοποιητική ανάκτηση χρυσού (>50%). Ωστόσο, ο χρυσός που εντοπίζεται στο συμπύκνωμα είναι αρκετά αδρόκοκκος. Συνεπώς, εφαρμόζεται η διαδικασία της αμαλγάμωσης (αναλύεται παραπάνω) για την καλύτερη δυνατή ανάκτηση του. Όμως, επειδή τα αδρόκοκκα σωματίδια είναι δύσκολο να δεχθούν επεξεργασία, εφαρμόζεται αρχικά η διαδικασία των ταψιών συγκέντρωσης χρυσού (Veiga M. , 2006).

3.3.4 Μηχανισμοί παγίδευσης σωματιδίων χρυσού (ραβδώσεις και υφάσματα συλλογής)

Για την κατασκευή των ραβδώσεων απαιτείται η χρήση ξύλου, πετρών, καουτσούκ, σιδήρου ή χάλυβα, ενώ το ύψος τους κυμαίνεται από 1-1/2 ίντσες (2,5-3,8 cm) και τοποθετούνται σε απόσταση από μισή έως αρκετές ίντσες μεταξύ τους. Συνήθως, στερεώνονται σε ένα ράφι που είναι τοποθετημένο στον υδροσυγκεντρωτή, προκειμένου να μπορούν να αφαιρεθούν εύκολα. Ο υδράργυρος μπορεί να προστεθεί στις ραβδώσεις για να διευκολυνθεί η ανάκτηση του λεπτού χρυσού μέσω της διαδικασίας αμαλγάμωσης, αλλά η διαφυγή του στο περιβάλλον πρέπει να οπωσδήποτε να αποτρέπεται λόγω της τοξικότητάς του.

Εκτός από τις ραβδώσεις, χρησιμοποιούνται κι άλλα υλικά για την επένδυση των υδροσυγκεντρωτών, προκειμένου να επιτευχθεί βελτιωμένη ανάκτηση. Στο παρελθόν, χρησιμοποιήθηκαν εκτεταμένα το χαλί, το κοτλέ, η λινάτσα και το ύφασμα τζιν στην

επένδυση τους. Το μακρύ ύφασμα συλλογής «Astro-Turf», τα κόσκινα και τα λαστιχένια χαλιά εφαρμόστηκαν αργότερα για τον ίδιο σκοπό (Zamyatin & et.al, 1975)

Συνοψίζοντας, οι βασικές κατηγορίες ραβδώσεων και οι παράμετροι εφαρμογής τους αναπτύσσονται παρακάτω:

- Ραβδώσεις κατασκευασμένες από σίδηρο, ξύλο ή μπαμπού, χρησιμοποιούνται συχνά για την παγίδευση σωματιδίων με μέγεθος >1 mm. Οι πιο απλές ραβδώσεις μπορεί να είναι πέτρες, οι οποίες όμως προκαλούν αναταράξεις και πιθανόν να οδηγήσουν σε απώλεια χρυσού. Οι στρώσεις υφασμάτων συλλογής ή διογκωμένων μετάλλων χρησιμοποιούνται κάτω από τις ραβδώσεις σε οποιαδήποτε συσκευή υδροσυγκέντρωσης.
- Βασικές (ή στοιχειώδεις) ραβδώσεις: Δεν βελτιώνουν απαραίτητα την ανάκτηση. Οι αναταράξεις μπορεί να διαλύσουν την διαστρωμάτωση και να προκαλέσουν την απώλεια λεπτού χρυσού. Κατακρατώντας συχνά ένα τμήμα του αδρομερούς χρυσού, οι ραβδώσεις δίνουν την εντύπωση ότι οι ανακτήσεις έχουν βελτιωθεί.
- Οι ραβδώσεις προστατεύουν την επένδυση του υφάσματος συλλογής από πιθανές φθορές, ενώ ταυτόχρονα διατηρούν σταθερό το κατώτερο τμήμα της συσκευής υδροσυγκέντρωσης.
- Μεταλλεύματα με πολλά αδρομερή μεγέθη σωματιδίων μπορεί να χρειαστούν διαφορετικά είδη ραβδώσεων (πχ, μεγάλες και μικρές διογκωμένες μεταλλικές ραβδώσεις) για την παγίδευση τους.
- Επιλέγεται το κατάλληλο μέγεθος και απόσταση μεταξύ των ραβδώσεων και, στην συνέχεια, ορίζεται ο κατάλληλος ρυθμός ροής ώστε να διατηρείται ο χώρος αποθήκευσης του ανακτηθέντος υλικού πίσω από τις ραβδώσεις καθαρός από άμμο.
- Συνήθως χρησιμοποιούνται ραβδώσεις διαμέτρου 25 mm και με απόσταση από 4-6,5 cm μεταξύ τους. Θεωρείται απαραίτητο να υπάρχει πολύ λίγη άμμος ανάμεσα στις ραβδώσεις. Αν υπάρχει πολύ μεγάλη ποσότητα άμμου, είτε η ταχύτητα της ροής είναι πολύ χαμηλή, είτε οι ραβδώσεις έχουν τοποθετηθεί πολύ ψηλά.
- Η μεταλλική εσχάρα αποτελείται από ρηχές ραβδώσεις, οι οποίες προκαλούν έναν τοπικό στροβιλισμό, με αποτέλεσμα η άμμος να συνεχίζει να κινείται κατά μήκος της συσκευής και ο χρυσός με μέγεθος $<0,1$ mm να συγκρατείται. Οι υδροσυγκεντρωτές μεγαλύτερου πλάτους απαιτούν ένα μεγαλύτερης διαμέτρου μέταλλο ώστε να συγκρατούν την επένδυση σταθερή στο κατώτερο τμήμα της συσκευής (Εικόνα 3-8).



Εικόνα 3- 8:Μεταλλική εσχάρα (σημείο A) και βασικές ραβδώσεις υδροσυγκεντρωτή (σημείο B)
(Weishaupt & Jacobson, 1989)

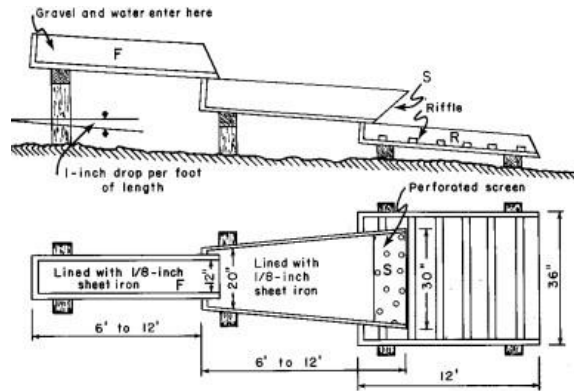
Αντιστοίχως, οι πιο βασικές κατηγορίες υλικών επίστρωσης του κατώτερου στρώματος του υδροσυγκεντρωτή αναπτύσσονται παρακάτω:

- Ο τύπος του υφάσματος συλλογής που χρησιμοποιείται ως επένδυση του υδροσυγκεντρωτή, καθορίζεται από το τι είναι διαθέσιμο.
- Τα ινώδη ή τριχωτά υφάσματα, όπως τα τσουβάλια, οι κουβέρτες ή τα παλιά χαλιά, διαθέτουν ίνες που μπορούν να παγιδεύσουν τα λεπτά σωματίδια χρυσού και ταυτόχρονα να αποτρέψουν μία πιθανή επαναιώρηση τους εντός της ροής του ρέματος, λόγω στροβιλισμού. Τα δέρματα ζώων συνήθως δεν αποτελούν καλή επιλογή.
- Γενικότερα, τα καλύτερα υφάσματα συλλογής αποτελούνται από ανοιχτά ινώδη υλικά, τα οποία επιτρέπουν στα σωματίδια του χρυσού να εισχωρήσουν βαθιά εντός της επένδυσης.
- Εάν δεν υπάρχουν διαθέσιμα υφάσματα με λαστιχένια βάση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα πιο σφιχτό υφασμάτινο υπόστρωμα κάτω από το ύφασμα συλλογής, ώστε να αποτραπεί η απώλεια χρυσού (Veiga M. , 2006) .

3.3.5 Ο υδροσυγκεντρωτής Long Tom

Μεταξύ των πολλών παραλλαγών των υδροσυγκεντρωτών, ο τύπος Long Tom περιλαμβάνεται εδώ, λόγω της απλότητας και της πιθανής χρησιμότητας του. Ο Long Tom είναι ένας μικρός υδροσυγκεντρωτής που χρησιμοποιεί λιγότερο νερό από έναν κανονικό. Αποτελείται από ένα κεκλιμένο επίπεδο μήκους 12 ποδιών (3,7 m), πλάτους 15 έως 20 ιντσών (38 έως 51 cm) στο επάνω άκρο, ανοίγματος από 24 έως 30 ίντσες (61 έως 76 cm)

στο κάτω άκρο. Το κάτω άκρο του κουτιού έχει ρυθμιστεί σε γωνία 45 μοιρών και καλύπτεται με διάτρητη πλάκα ή κόσκινο (με ανοίγματα από ένα τέταρτο έως τρία τέταρτα της ίντσας). Κάτω από αυτό το κόσκινο υπάρχει ένα δεύτερο κουτί που περιέχει ραβδώσεις· είναι πιο φαρδύ και συνήθως πιο κοντό, ενώ τοποθετείται σε πιο μικρή κλίση απ' ό,τι το πρώτο κουτί (Εικόνα 3-9).



Εικόνα 3- 9: Ο υδροσυγκεντρωτής Long Tom. Πλάγια όψη και κάτοψη (West, 1971)

Οι κροκάλες εισάγονται μέσω κατάλληλων δοχείων στο ανώτερο κιβώτιο (σημείο F) μαζί με νερό. Στην συνέχεια, το υλικό ρέει κατά μήκος της συσκευής μέσω συνεχούς παροχής νερού. Στο κατώτερο κιβώτιο (σημείο S), τοποθετείται διάτρητο κόσκινο, μέσω του οποίου το υλικό διαχωρίζεται περαιτέρω. Τέλος, όση ποσότητα υλικού διαπεράσει το κόσκινο (S), μετατοπίζεται προς τις ραβδώσεις με στόχο την μέγιστη δυνατή κατακράτηση χρυσού.

Ο Long tom χρησιμοποιεί πολύ λιγότερο νερό από έναν τυπικό υδροσυγκεντρωτή αλλά απαιτεί περισσότερη εργασία για την αποτελεσματική λειτουργία του. Το υλικό τροφοδοτείται στο ανώτερο κιβώτιο και έπειτα πλένεται κατευθείαν με νερό. Ένας χειριστής διασπά το υλικό, το περνά μέσω του κόσκινου και αφαιρεί τα μεγαλύτερα ογκοτεμάχια . Ο αδρομερής χρυσός παραμένει στο ανώτερο κιβώτιο και ο λεπτός χρυσός στο χαμηλότερο. Γενικότερα, η ικανότητα ανάκτησης μιας τέτοιας συσκευής κυμαίνεται από 3 έως 6 κυβικές γιάρδες (2,3 έως 4,6 m³) την ημέρα, ενώ εκτός από τη χρήση λιγότερου νερού, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα είναι τα ίδια με τα αντίστοιχα των υδροσυγκεντρωτών (Silva, 1986) (Εικόνα 3-10, 3-11).



Εικόνα 3- 10: Υδροσυγκεντρωτής Long Tom που χρησιμοποιήθηκε στην πόλη Auburn της Καλιφόρνια

(From Wells Fargo Bank History Room)

3.3.6 Καθαρισμός συσκευής υδροσυγκέντρωσης

Για τον καθαρισμό της συσκευής, διοχετεύεται καθαρό νερό μέσα στον υδροσυγκεντρωτή έως ότου να μην παραμείνει καμία ποσότητα κροκάλων εντός των ραβδώσεων. Ένα ταπί ή βαρέλι τοποθετείται στο άκρο εκφόρτισης για να αποφευχθεί η απώλεια του συμπυκνώματος. Ξεκινώντας από το ανώτερο τμήμα του υδροσυγκεντρωτή, οι ραβδώσεις αφαιρούνται και πλένονται προσεκτικά μέσα σε αυτόν. Τα υφάσματα συλλογής που εντοπίζονται στα κατώτερα τμήματα της συσκευής αφαιρούνται και πλένονται σε ξεχωριστά δοχεία. Ο καθαρισμός συνεχίζεται μέχρι να αφαιρεθούν και να καθαρισθούν όλες οι ραβδώσεις. Τα μεγάλα ψήγματα χρυσού αφαιρούνται χειρωνακτικά, ενώ στην συνέχεια το συμπύκνωμα πλένεται έξω από τον συγκεντρωτή μέσα σε κατάλληλο δοχείο. Το παραγόμενο συμπύκνωμα μπορεί να αποσταλεί για περαιτέρω μεταλλουργική επεξεργασία, αλλά συνήθως συμπυκνώνεται μέσω των ταπιών συγκέντρωσης χρυσού, της μεθόδου των δονούμενων τραπεζών και της επαναλαμβανόμενης έκπλυσης. Μετά τον καθαρισμό, ο υδροσυγκεντρωτής επανασυναρμολογείται και επεξεργάζεται περισσότερο υλικό.

Η διάρκεια του καθαρισμού της συσκευής αποτελεί έναν πολύ σημαντικό παράγοντα. Οι μηχανισμοί παγίδευσης πρέπει να αφαιρούνται για να μπορούν να καθαριστούν εύκολα. Ωστόσο, οι σύνθετες διατάξεις υδροσυγκεντρωτών μειώνουν την πιθανότητα καθαρισμού. Ο καθαρισμός μπορεί να πραγματοποιείται κάθε μία ώρα, ώστε να αποτρέπεται μία πιθανή υπερπλήρωση υλικού και απενεργοποίηση των υφασμάτων συλλογής, ειδικά στην περίπτωση πρωτογενών μεταλλευμάτων με υψηλή περιεκτικότητα σε θειούχα ορυκτά. Για να καταστεί δυνατή μία συνεχής λειτουργία, θα πρέπει να εγκατασταθούν δύο παράλληλοι υδροσυγκεντρωτές (ο ένας σε λειτουργία και ο άλλος για τον καθαρισμό και την

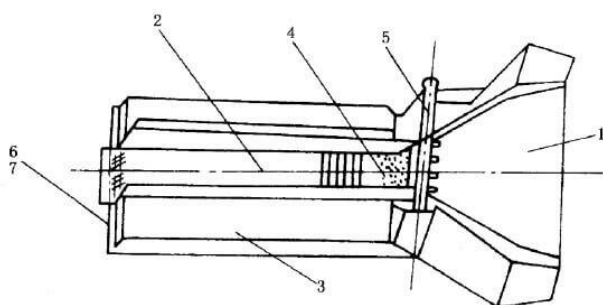
προετοιμασία του υλικού). Τέλος, για να βελτιωθεί η ανάκτηση και να αποτραπεί η απώλεια υλικών, τα ανώτερα τμήματα των υδροσυγκεντρωτών που επεξεργάζονται αλουβιακά κοιτάσματα, πρέπει να πλένονται τουλάχιστον μία φορά την ημέρα.

Οι δευτερεύοντες υδροσυγκεντρωτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην επανασυμπύκνωση του υλικού που ανακτάται από τον πρωτεύοντα υδροσυγκεντρωτή και στην μείωση της μάζας του υλικού που πρόκειται να δεχθεί μετέπειτα επεξεργασία με την διαδικασία της αμαλγάμωσης. Τα υπολείμματα του δευτερεύοντα υδροσυγκεντρωτή θα πρέπει να ανακυκλώνονται στην πρωτεύουσα μονάδα υδροσυγκέντρωσης (Silva, 1986).

3.3.7 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα

Οι υδροσυγκεντρωτές χρησιμοποιούνται ευρέως λόγω του χαμηλού κόστους και της διαθεσιμότητάς τους, ενώ παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα. Ειδικότερα, είναι φορητοί και δέχονται μεγάλες διακυμάνσεις ως προς τον όγκο της τροφοδοσίας που μπορούν να επεξεργασθούν. Επιπρόσθετα, έχουν πολύ χαμηλές απαιτήσεις επίβλεψης και συντήρησης, ενώ επιτυγχάνουν πολύ ικανοποιητικά ποσοστά ανάκτησης χρυσού. Ειδικότερα, όταν λειτουργούν σωστά και πληρώνοντας όλες τις απαιτούμενες προϋποθέσεις, μπορούν να προσεγγίσουν ένα ποσοστό ανάκτησης χρυσού της τάξεως του 90%. Τέλος, η αρχική επένδυση ως προς την αγορά και λειτουργία της συσκευής είναι ελάχιστη.

Όσον αφορά τα μειονεκτήματα, τα σημαντικότερα από αυτά είναι τα εξής: τα πολύ λεπτά σωματίδια χρυσού δεν ανακτώνται αποτελεσματικά, απαιτούνται συχνοί καθαρισμοί και επιπλέον δεν μπορούν να λειτουργήσουν κατά τον καθαρισμό και χρειάζονται μεγάλες ποσότητες καθαρού νερού έκπλυσης.



1. feed ore tank 2. coarse gold sluice 3. fine gold sluice
4. screen plate 5. water pipe 6. grizzly bar 7. mat

Εικόνα 3- 11: Σχηματική διάταξη ενός τυπικού υδροσυγκεντρωτή (Weishaupt & Jacobson, 1989)

Σημείο 1: Δοχείο τροφοδοσίας μεταλλεύματος

Σημείο 2: Ανάκτηση αδρόκοκκων σωματιδίων χρυσού

Σημείο 3: Ανάκτηση λεπτόκοκκων σωματιδίων χρυσού

Σημείο 4: Κόσκινο

Σημείο 5: Σωλήνας παροχής νερού έκπλυσης

Σημείο 6: Ραβδώσεις «grizzlies»

Σημείο 7: Ύφασμα συλλογής κατώτερου τμήματος υδροσυγκεντρωτή

3.4 Οι βυθοκορήσεις

3.4.1 Γενικά

Μία τυπική βυθοκόρος χρυσού αποτελείται από πλωτή επιφάνεια πάνω στην οποία στηρίζεται η κατασκευή, ένας βραχίονας εκσκαφής, μία αλυσίδα πάνω στην οποία προσαρμόζονται οι κάδοι εκσκαφής, μία συσκευή κοσκίνισης και εξοπλισμό ανάκτησης του χρυσού. Η αρχική χρήση της μεθόδου βυθοκόρησης στην εξόρυξη προσχωματικών κοιτασμάτων ξεκίνησε στην Νέα Ζηλανδία το 1882, ενώ η πρώτη επιτυχημένη εφαρμογή της στις Ηνωμένες Πολιτείες πραγματοποιήθηκε στο Bannack της Μοντάνα το 1894 (Janin, 1915). Ήδη από το 1897, οι εξορύξεις με βυθοκορήσεις αποτέλεσαν πλήρως μηχανοποιημένες διαδικασίες. Έτσι, οι βυθοκορήσεις εξασφάλιζαν την δυνατότητα εκσκαφής των ποτάμιων κροκάλων κατά μήκος ολόκληρου του ποταμού με στόχο την αναζήτηση χρυσού, ενώ ταυτόχρονα εναπόθεταν τα απορρίμματα σε σωρούς υλικών που είχαν διαμορφωθεί πίσω από την μονάδα εκσκαφής.

Η πιο επιτυχημένη και κερδοφόρα περίοδος βυθοκόρησης στις Ηνωμένες Πολιτείες υπήρξε μεταξύ του 1895 και του 1942 (Romanowitz & al, 1970). Το 1934, η κυβέρνηση αύξησε την τιμή του χρυσού στα 35\$ ανά ουγγιά (31,10 γραμμάρια), γεγονός που κατάστησε την βυθοκόρηση ιδιαίτερα δημοφιλή και κερδοφόρα (McCulloch & al, 2003). Ωστόσο, οι περισσότερες από τις επιχειρήσεις εξόρυξης προσχωματικού χρυσού αναγκάστηκαν να κλείσουν το 1942, λόγω των παγκόσμιων περιορισμών που επιβλήθηκαν από την Αμερική στο εμπόριο κατά τον 2^ο παγκόσμιο πόλεμο (διαταγή L-208). Έτσι, η τελευταία βυθοκόρηση που έκλεισε ήταν η Yuba 21, στο Hammonton το 1968 (Clark, 1970). Συνεπώς, η εξόρυξη χρυσού χαρακτηρίστηκε ως μία δευτερεύουσα και μη βασική βιομηχανία (McCulloch & al,

2003). Είναι χαρακτηριστικό το γεγονός ότι η επανέναρξη της περιόδου μεγάλης εξόρυξης χρυσού από προσχωματικά κοιτάσματα στην Καλιφόρνια ξεκίνησε με την επαναλειτουργία αυτής της ίδιας βυθοκόρησης το 1981 (Purdy, 2007).

Οι εξορύξεις με βυθοκορήσεις εφαρμόστηκαν στην διεργασία της ανάκτησης χρυσού και λειτουργούν με υδραυλικό ή με μηχανικό σύστημα (Romanowitz & al, 1970). Τα υδραυλικά συστήματα δεν εφαρμόστηκαν ευρέως. Αντίθετα, τα μηχανικά συστήματα ταξινομήθηκαν σε δύο διαφορετικούς τύπους:

A. Πλωτές συσκευές βυθοκόρησης

B. Εκσκαφείς ξηράς με πλωτές συσκευές έκπλυσης (φορητές ή σταθερές)

3.4.2 Αρχή λειτουργίας πλωτών βυθοκορήσεων με γραμμή κάδων

Οι βυθοκορήσεις γραμμής κάδων αποτελούνται από βαριούς χαλύβδινος κάδους που στηρίζονται πάνω σε ατσάλινη αλυσίδα, η οποία περιστρέφεται πάνω από τον ισχυρό βραχίονα βυθοκόρησης. Ο βραχίονας κατασκευάζεται από δοκούς που συγκρατούνται μεταξύ τους μέσω εγκάρσιων μελών και περιστρέφεται με τροχαλίες, οι οποίες χειρίζονται από ένα κεντρικό σύστημα. Πάνω σε μία πλωτή κατασκευή εγκαθίστανται οι υποστηρικτικές κατασκευές, ο μηχανισμός εκσκαφής και (στις περισσότερες περιπτώσεις) οι εγκαταστάσεις στις οποίες πραγματοποιείται η διαδικασία διαχωρισμού και διαλογής των κοκκωδών υλικών. Πιο συγκεκριμένα, ο πλωτήρας κατασκευάζεται με μία επιμήκη τομή στην πλώρη του ώστε να εγκατασταθεί ο βραχίονας της βυθοκόρησης και η κινούμενη αλυσίδα των κάδων (Εικόνα 3-12).

Η δυναμική κίνηση των κάδων οδηγεί στην εκσκαφή των προσχωματικών κοιτασμάτων, τα οποία και τροφοδοτούνται στην μονάδα επεξεργασίας. Γενικότερα, απαιτείται μεγάλη ισχύς για την υποστήριξη της συνεχούς και με πολλαπλούς κάδους εκσκαφής, όπως και για την μεταφορά των μεταλλευμάτων. Ως εκ τούτου, οι βυθοκορήσεις αποτελούν τεράστιες και πολύ βαριές κατασκευές, οι οποίες ζυγίζουν από 7000 έως και 8000 τόνους, με ικανότητα εκσκαφής από 1000 έως 2000 m³ ανά ώρα λειτουργίας.

Οι βυθοκορήσεις γραμμής κάδου απαιτούν ένα υψηλό κεφάλαιο επένδυσης και η επιλογή τους για την εξόρυξη αλλουβιακών κοιτασμάτων πρέπει να υποστηρίζεται από:

- Μεγάλα αποθέματα (πάνω από 10,000,000 m³ για μικρές βυθοκόρους και πάνω από 120,000,000 m³ για μεγάλες συσκευές),

- Μία επαρκή παροχή νερού, χωρίς την ύπαρξη πολλών ριζών δέντρων και υδρόβιων φυτών που μπορεί να επηρεάσουν την λειτουργία,
- Ένα ευνοϊκό υπόβαθρο για βυθοκόρηση, όχι υπερβολικά συμπαγές, με ήπια κλίση και χωρίς την παρουσία μεγάλων ογκοτεμαχίων.

Εάν και από τους μεγάλους κάδους αναμένεται ένας υψηλός ρυθμός παραγωγής, οι τοπικές συνθήκες που επικρατούν (μεγάλα ογκοτεμάχια, βραχώδες έδαφος και βάθος) μπορούν να περιορίσουν σημαντικά το μέγεθος των κάδων που θα χρησιμοποιηθούν. Στην πραγματικότητα, οι όγκοι των κάδων που εφαρμόζονται στις εξορύξεις κυμαίνονται από 400 έως 680 λίτρα. Ο ρυθμός λειτουργίας και η απόδοση μίας πλωτής βυθοκόρησης με γραμμή κάδων καθορίζεται από τις συνθήκες του εδάφους που θα εκσκαφτεί. Γενικότερα, οι περισσότερες βυθοκόροι εκσκάπτουν 20 με 24 κάδους ανά λεπτό ανεξαρτήτως τοπικών συνθηκών, ενώ σε καλές, αμμώδεις εκτάσεις, μπορούν να εκσκαφθούν έως και 30 κάδοι το λεπτό (Yannopoulos J. C., 1991).



Εικόνα 3- 12: Πλωτή βυθοκόρηση γραμμής κάδων (Μεσαίου μεγέθους) (Grayson, 2008)

3.4.3 Ο σχεδιασμός των πλωτών Βυθοκορήσεων

Οι πλωτές βυθοκορήσεις, αναφερόμενες και ως συνεχή μηχανικά συστήματα, περιλαμβάνουν μία πλωτή πλατφόρμα πάνω στην οποία εγκαθίσταται μηχανοκίνητη σειρά κάδων για την εκσκαφή των ιζημάτων, καθώς και μονάδα έκπλυσης που επιτρέπει την συνεχή εκσκαφή και τον διαχωρισμό των απορριμμάτων από τον χρυσό. Η γραμμή κάδων αποτελεί ένα βασικό παράδειγμα μηχανικών συστημάτων συνεχούς λειτουργίας (Romanowitz & al, 1970). Πιο συγκεκριμένα, οι πλωτές βυθοκόροι αποτέλεσαν αυτόνομες μονάδες που λειτουργούσαν με ένα αρκετά περιορισμένο εργατικό δυναμικό, και κατά συνέπεια με εξαιρετικά χαμηλό κόστος, ενώ ήταν πιο αποτελεσματικές στην εξόρυξη

αλλουβιακών αποθέσεων, λόγω του μεγάλου όγκου και των πιο προβλέψιμων μεγεθών (McCulloch & al, 2003).

Η πρώτη πλωτή βυθοκόρηση με γραμμή κάδου αναπτύχθηκε στην Ευρώπη κατά τον 16^ο αιώνα στις ανασκαφές εντός των λιμανιών (Romanowitz & al, 1970). Από εκείνη την εποχή, ο σχεδιασμός και η αποτελεσματικότητα των συγκεκριμένων μονάδων βελτιώθηκαν σημαντικά. Μία τυπική μονάδα βυθοκόρησης χρυσού του 19^{ου} αιώνα αποτελούνταν από ένα επίπεδο σκάφος, εφοδιασμένο με εκσκαφείς και μηχανήματα έκπλυσης χρυσού (Rohe, 1986). Οι συγκεκριμένες μονάδες κατασκευάζονταν από ξύλο, όμως σύντομα αντικαταστάθηκαν από μεγάλες, ατσάλινες, ηλεκτροκίνητες βυθοκόρους.

Οι ανωτέρω μονάδες εφοδιάζονταν με κόσκινα τύπου «trommel» και κουτιά υδροσυγκέντρωσης με ραβδώσεις για την ανάκτηση του χρυσού, ενώ απαραίτητοι θεωρούνταν οι ιμάντες μεταφοράς για την απομάκρυνση των απορριμμάτων (Rohe, 1986). Οι μονάδες «Trommel» ήταν κυλινδρικά κόσκινα, κατασκευασμένα από ατσάλι. Θεωρήθηκαν ιδιαίτερα αποτελεσματικά και οικονομικά στον διαχωρισμό και την έκπλυση των κροκαλοπαγών αποθέσεων. Οι παραπάνω επιφάνειες μπορεί να είναι διάτρητες ή με οπές διαμέτρου 3/8 έως 5/8 της ίντσας (3 έως 16 mm), ενώ τυπικά είχαν μήκος από 16-20 πόδια (4,9 έως 6,1 m). Η πλήρης διαδικασία που περιγράφεται παραπάνω επέτρεψε στην συγκεκριμένη μορφή βυθοκόρησης να επεξεργαστεί μεγάλες ποσότητες υλικού σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα. Ωστόσο, τυπικά δεν μπορούσε να ανακτηθεί περισσότερο από το 50% του χρυσού που βρισκόταν εντός των αποθεμάτων (Purdy, 2007).

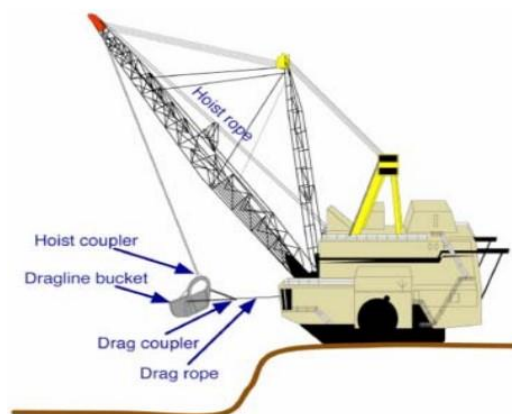
Το σχήμα και το μέγεθος των κάδων, καθώς και ο σχεδιασμός και η χωρητικότητα της μονάδας επεξεργασίας καθορίζονταν από το βάθος, τα χαρακτηριστικά και την ποσότητα των προς εξόρυξη κροκάλων. Επιπρόσθετα, το μέγεθος των ογκοτεμαχίων, η συνοχή του σχηματισμού και η περιεκτικότητα του σε άργιλο, το είδος του υποβάθρου και ο τρόπος με τον οποίο ο χρυσός συγκεντρωνόταν εντός του σχηματισμού, αποτέλεσαν σημαντικούς παράγοντες στον σχεδιασμό της βυθοκόρησης. Παράλληλα, η γνώση σχετικά με την στάθμη του νερού της λίμνης, το περίγραμμα και την κλίση του υποβάθρου επηρέασαν επίσης τον τρόπο λειτουργίας της βυθοκόρου. Ιδιαίτερα σημαντική θεωρείται επίσης η παροχή νερού για την έκπλυση των ιζημάτων και των κροκάλων μέσα από τα κόσκινα τύπου «trommel». Γενικότερα, οι βυθοκόροι γραμμής κάδου δεν απαιτούσαν την ύπαρξη μεγάλου αριθμού εργατικού δυναμικού και συνήθως χειρίζονταν από 3-6 άτομα ανά βάρδια. Έτσι, απαιτούνταν

ένα άτομο για την μεταφορά των βαριών αντικειμένων, ο πλοίαρχος, οι λιπαντές και βοηθητικό προσωπικό (Purdy, 2007).

3.4.4 Οι βυθοκορήσεις ξηράς/ Επαναλαμβανόμενα Μηχανικά Συστήματα

Κατά την δεκαετία του 1930, στις βυθοκορήσεις ξηράς χρησιμοποιήθηκαν γερανοί, συρματόσχοινα και μηχανικοί εκσκαφείς (McCulloch & al, 2003). Ωστόσο, ο προαναφερόμενος εξοπλισμός δεν εξακολουθεί να εφαρμόζεται σήμερα. Επιπλέον, κατά την διάρκεια της ίδιας δεκαετίας παρουσιάστηκε ο νέος τύπος βυθοκόρησης «doodlebug», ως αποτέλεσμα της προσπάθειας μείωσης του κόστους λειτουργίας των πλωτών βυθοκορήσεων γραμμής κάδου, στην επεξεργασία αποθεμάτων μικρού όγκου. Η βυθοκόρος «doodlebug» αποτελείται από έναν καλοδιοφόρο εκσκαφέα «dragline» ή υδραυλικό «power shovel», σε συνδυασμό με πλωτή ή εγκαταστημένη στην ξηρά μονάδα έκπλυσης (Rohe, 1986). Η πρώτη επιτυχημένη βυθοκόρηση «doodlebug» στις ΗΠΑ, ξεκίνησε το 1933 και κατασκευάστηκε από τον Horace Oynett (Merrill, 1938).

Οι καλοδιοφόροι εκσκαφείς «dragline» αποτελούνται από μία κινητή μονάδα ισχύος, πάνω στην οποία βρίσκεται τοποθετημένος ένας περιστρεφόμενος βραχίονας και ο κάδος. Η κίνηση του κάδου πραγματοποιείται μέσω συρματόσχοινων. Ο κάδος αποτελεί το πιο βασικό εξάρτημα της μονάδας και πολύ συχνά διαθέτει ειδικό χείλος κοπής για την απόξεση των ανώτερων στρωμάτων του βραχώδους υποβάθρου (Evans, 1936). Πιο συγκεκριμένα, οι κάδοι αποξέουν και φορτώνουν το υλικό, ενώ τα συρματόσχοινα τους κατευθύνουν προς την μονάδα ισχύος. Ένα άλλο καλώδιο επιτρέπει την περιστροφή του κάδου σε οποιαδήποτε θέση εντός της εμβέλειας του βραχίονα (Merrill, 1938). Μετά από την συλλογή του υλικού, ο κάδος ανυψώνεται και αιωρείται πάνω από την μονάδα έκπλυσης, ώστε τελικά να απορρίψει τις κροκάλες για να δεχθούν περαιτέρω επεξεργασία. Γενικότερα, ο συγκεκριμένος τύπος εκσκαφής λειτουργεί μόνο από τις όχθες (ξηρά) και μετακινείται προς τα πίσω, όταν το νερό της λίμνης πλησιάζει την μονάδα λειτουργίας (Gardner & Johnson, 1938). Σε κάθε βάρδια περιλαμβάνεται ένας υπεύθυνος λίπανσης του μηχανήματος, ένας επιβλέπων και δύο επισκευαστές (Evans, 1936) (Εικόνα 3-13).



Εικόνα 3- 13: Σχηματική απεικόνιση του καλοδιοφόρου εκσκαφέα «dragline» (Bruce, 2007)

Ο υδραυλικός εκσκαφέας «power shovel» διαθέτει κατάλληλη μονάδα φόρτωσης και εκσκαφής των ιζημάτων, η οποία αποτελείται από μία ωθούμενη προς τα εμπρός και τοποθετημένη πάνω σε άκαμπτο βραχίονα τσάπα. Κατά την διάρκεια της εικοσαετίας 1890-1910, οι συγκεκριμένοι εκσκαφείς τοποθετούνταν συχνά πάνω σε πλωτές βυθοκόρους (Romanowitz & al, 1970). Η χωρητικότητα του κάδου κυμαίνεται μεταξύ $\frac{1}{4}$ έως 20 κυβικές γιάρδες (0,2 έως 15,3 m³), ενώ οι κάδοι χωρητικότητας 2 κυβικών γιάρδων (1,52 m³) αποτέλεσαν την πιο συνηθισμένη επιλογή. Ο υδραυλικός εκσκαφέας «power shovel» διαθέτει μία ακτίνα εκσκαφής που κυμαίνεται μεταξύ 12-25 ποδιών (3,7 έως 7,6 m), μπορεί να πραγματοποιήσει κοπές πλάτους 25-50 πόδια (7,6 έως 15,2 m) και να αποθέσει το υλικό των κάδων από ύψος 15-25 πόδια (4,6 έως 7,6 m) πάνω από το έδαφος (Gardner & Johnson, 1938).

3.4.5 Το παράδειγμα της βυθοκόρου Yuba 21

Η βυθοκόρος του Hammonton, επίσημα ονομαζόμενη ως «η ανακατασκευασμένη βυθοκόρος Yuba 21», λειτούργησε από την εταιρεία εξόρυξης προσχωματικού χρυσού Yuba, η οποία έδρευε στην περιοχή του Marysville, ενώ άνηκε από κοινού στην Placer Services και την Yuba Natural Resources. Η επιχείρηση εγκαταστάθηκε στο παλιό πεδίο βυθοκόρησης Hammonton, περίπου 10 μίλια ανατολικά του Marysville. Έτσι, η βυθοκόρηση σχεδιάστηκε για να ανασκάπτει υλικό σε βάθος 140 πόδια (42,67 m) κάτω από την επιφάνεια του νερού, ενώ χαρακτηρίστηκε ως η βαθύτερη βυθοκόρηση χρυσού στο δυτικό ημισφαίριο. Οι εξορύξεις πραγματοποιήθηκαν από το 1912 έως το 1925, σε βάθη από 50 έως 60 πόδια (15,24 έως 18,29 m). Το υλικό του μεταλλεύματος που δέχθηκε επεξεργασία αποτελούνταν

από μη στερεοποιημένα ιζήματα της Τεταρτογενούς περιόδου, τα οποία εναποτέθηκαν από τον ποταμό Yuba.

Η επεξεργασία του χρυσού πραγματοποιείται στο δεύτερο κατάστρωμα της βυθοκόρησης και ο υδράργυρος χρησιμοποιείται εκτενώς στο συγκεκριμένο τμήμα. Μετά από την επεξεργασία τα συμπυκνώματα αφυδατώνονται και αντλούνται εντός ενός μεγάλου δοχείου, το οποίο είναι σχεδόν γεμάτο με υδράργυρο και στο οποίο συλλέγεται το ένα τρίτο του συνόλου του χρυσού που ανακτήθηκε. Η υπερχειλίση του δοχείου τροφοδοτείται στην τράπεζα υδραργύρου. Η συγκεκριμένη αποτελεί μια μεγάλου μήκους, επίπεδη επιφάνεια με περίπου 2 πόδια πλάτος επί 5 πόδια μήκος (61 cm πλάτος επί 1,5 m μήκος), ενώ αναπτύσσεται σε τρία διακριτά τμήματα. Το ανώτερο τμήμα αποτελείται από εναλλασσόμενες, γεμάτες με υδράργυρο ραβδώσεις. Στην συνέχεια, το μεσαίο τμήμα αποτελεί ένα απλό φύλλο μετάλλου επικαλυμμένο με λεπτή μεμβράνη υδραργύρου. Τέλος, στο κατώτερο τμήμα υπάρχει μία ενιαία υποδοχή γεμάτη με υδράργυρο, η οποία αναφέρεται και ως κάτω παγίδα. Τα απορρίμματα από την τράπεζα αμαλγάμωσης ξηραίνονται και στην συνέχεια τροφοδοτούνται στον μύλο αμαλγάμωσης (επίσης γνωστό ως βαρέλι αμαλγάμωσης), έναν μικρό μεταλλικό κύλινδρο που διαθέτει σφαίρες λείανσης και τροφοδοτείται με μία μικρή ποσότητα υδραργύρου. Έτσι, τελικά το αμάλαμα ανακτάται από το δοχείο, την τράπεζα υδραργύρου και τον μύλο αμαλγάμωσης.

Το κύκλωμα ανάκτησης χρυσού εγκαθίσταται στον περιορισμένο χώρο της βυθοκόρου. Στις δύο άκρες του καταστρώματος τοποθετείται από μία ολοκληρωμένη μονάδα επεξεργασίας, ενώ το υλικό διαχωρίζεται και τροφοδοτείται ταυτόχρονα και στις δύο μονάδες. Συνήθως, οι δύο μονάδες λειτουργούν ταυτόχρονα, αλλά εάν η μία χρειαστεί να τεθεί εκτός λειτουργίας για επισκευή ή συντήρηση, η δεύτερη μονάδα μπορεί να λειτουργήσει και ανεξάρτητα. Το υλικό που προκύπτει από την βυθοκόρηση, τροφοδοτείται στα κόσκινα «trommel», όπου πραγματοποιείται η έκπλυση και η διάσπαση των κροκάλων. Το υλικό με διάμετρο μικρότερη από $\frac{1}{2}$ ίντσας περνάει μέσα από το κόσκινο και καταλήγει σε κατάλληλο δοχείο. Το υλικό που παραμένει στο κόσκινο αποτίθεται στο πίσω μέρος της βυθοκόρου, ενώ το υλικό του δοχείου διασπάται και στην συνέχεια αντλείται στο πρωτεύον κύκλωμα ανάκτησης που εντοπίζεται σε κάθε πλευρά του καταστρώματος. Στην συνέχεια, το υλικό τροφοδοτείται σε μία συσκευή ανάκτησης του υδραργύρου και σε συγκεντρωτή Jiggs που λειτουργεί με βάση την παλμική κίνηση του νερού. Πριν από την τελική απόρριψη, τα υπολείμματα του συγκεντρωτή Jiggs περνούν πάνω από ειδικό ύφασμα συλλογής (βλ. υδροσυγκεντρωτές) για

να ανακτηθούν και οι μικρότερες ποσότητες λεπτόκοκκου χρυσού. Τέλος, τα συμπυκνώματα του συγκεντρωτή Jiggs μεταφέρονται στην μονάδα απόσταξης.

Η μονάδα απόσταξης είναι η μοναδική που δεν βρίσκεται πάνω στην βυθοκόρο. Κατά την απόσταξη, το αμάλγαμα (κράμα υδραργύρου-χρυσού) θερμαίνεται έως την θερμοκρασία εξάτμισης του υδραργύρου. Αυτό επιτυγχάνεται σε ένα κλειστό σύστημα, με στόχο την ανάκτηση των ατμών υδραργύρου και την επαναχρησιμοποίησή του. Ο προκύπτον χρυσός αποθηκεύεται σε ράβδους, ώστε να σταλεί σε διυλιστήριο για να δεχθεί την τελική επεξεργασία (Silva, 1986).

3.4.6 Σύγκριση των συστημάτων βυθοκόρησης που χρησιμοποιούνται σε διαδικασίες εξόρυξης

Η βυθοκόρηση γραμμής κάδων, η βυθοκόρηση στην οποία η εκσκαφή πραγματοποιείται από καλοδιοφόρους εκσκαφείς (dragline dredge), καθώς και η βυθοκόρηση με υδραυλικούς εκσκαφείς (power shovel), χρησιμοποιήθηκαν εκτεταμένα στο Elk City (Οκλαχόμα). Η διευρυμένη χρήση τους οφείλεται στο γεγονός ότι κάθε μία από τις παραπάνω διαθέτει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα, ανάλογα με τα αποθέματα των κροκάλων και τον τύπο του εδάφους επεξεργασίας. Ωστόσο, οι καλοδιοφόροι και οι υδραυλικοί εκσκαφείς ανακτούν μικρό ποσοστό του χρυσού, διότι κατά την λειτουργία τους μεγάλη ποσότητα αυτού χάνεται, είτε λόγω της μετατόπισης των ιζημάτων κατά την εκσκαφή, είτε λόγω διαρροών που μπορεί να παρουσιάζουν τα φτυάρια. Επιπρόσθετα, οι βυθοκόροι «dragline» διαθέτουν μεγαλύτερη κινητικότητα από τις βυθοκόρους γραμμής κάδου, απαιτούν μία μικρή αρχική επένδυση, διατηρούν μία υψηλή αξία μεταπώλησης, ενώ μπορούν να επεξεργαστούν με επικερδή τρόπο τις μικρές μάζες κροκάλων (Merrill, 1938).

Συγκριτικά με τις συνεχείς μηχανικές μεθόδους, τα επαναλαμβανόμενα μηχανικά συστήματα απαιτούσαν μικρότερο χρόνο εγκατάστασης και λειτουργίας, διέθεταν καλύτερη ευελιξία σε στενά, επιφανειακά, ή και μεγάλα ογκώδη κοιτάσματα, προσαρμόζονταν σε διαφορετικά είδη κοιτασμάτων και εδαφών, και τέλος απαιτούσαν μικρότερο αρχικό κεφάλαιο λειτουργίας (Romanowitz & al, 1970). Παράλληλα, η βυθοκόρηση «dragline» διέθετε μία μεγαλύτερη ακτίνα εκσκαφής από την βυθοκόρηση «power shovel», ενώ μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και σε πλωτές μονάδες έκπλυσης (Gardner & Johnson, 1938). Ωστόσο, η βυθοκόρηση «dragline» δεν πραγματοποιούσε μία ικανοποιητική απόξεση του υποβάθρου, στο οποίο μπορούσε να εντοπισθεί και η μεγαλύτερη δυνατή ποσότητα του χρυσού, ενώ ταυτόχρονα

απαιτούσε ένα πολύ υψηλό κόστος λειτουργίας. Στην συνέχεια, αν και η χρήση της βυθοκόρησης «power shovel» είχε απαγορευθεί λόγω των σταθερών εγκαταστάσεων έκπλυσης, μπορούσε να μεταφέρει τους μεγάλους ογκόλιθους πιο εύκολα από την βυθοκόρηση «dragline» και να σκάψει καλύτερα σε στενούς χώρους ή σε σκληρά εδάφη (Gardner & Johnson, 1938). Όταν χρησιμοποιούταν σε συνδυασμό με επαρκούς χωρητικότητας ανατρεπόμενο φορτηγό, η βυθοκόρηση με υδραυλικούς εκσκαφείς ήταν πιο παραγωγική από την βυθοκόρηση γραμμής κάδου (bucket line dredge) ή την βυθοκόρηση «dragline»

Κεφάλαιο 4: Συστήματα επεξεργασίας προσχωματικών κοιτασμάτων χρυσού χωρίς την χρήση νερού

4.1 Γενικά

Αρκετά προσχωματικά κοιτάσματα χρυσού δέχονται επεξεργασία σε ερημικές περιοχές, εκεί όπου η ποσότητα του παρεχόμενου νερού είναι ελάχιστη. Συνεπώς, οι διαδικασίες που αναλύθηκαν παραπάνω δεν θα μπορούσαν να εφαρμοσθούν στις συγκεκριμένες περιοχές, με αποτέλεσμα να αναπτυχθούν «ξηρές» μέθοδοι στις οποίες ως στοιχείο χρησιμοποιείται ο αέρας. Η διαδικασία της συγκέντρωσης των υλικών με τις «ξηρές» μεθόδους χαρακτηρίζεται ως λιγότερο αποτελεσματική και πιο αργή συγκριτικά με τις «υγρές» μεθόδους, ενώ μπορούν να εφαρμοσθούν μόνο όταν στο δείγμα περιέχονται μικρά, ξηρά σωματίδια που δύνανται να μετακινηθούν μέσω της δύναμης του αέρα.

Η έκπλυση ή αλλιώς η διαδικασία της φυσικής απομάκρυνσης του λεπτόκοκκου υλικού που περιέχεται σε ένα αδρομερές ίζημα, υπό την επίδραση του ανέμου (winnowing), αποτέλεσε την πρώτη ξηρή μέθοδο που αναπτύχθηκε. Ωστόσο, η συγκεκριμένη αποτελεί μία πρωτόγονη διαδικασία και από εκείνη την εποχή οι διαδικασίες συγκέντρωσης του χρυσού έχουν αναπτυχθεί σημαντικά, όπως θα φανεί στο παρακάτω κείμενο.

4.2 Αεροσυγκεντρωτές (Dry Washers)

Οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες συσκευές ανάκτησης του προσχωματικού χρυσού, οι οποίες δεν απαιτούν την παροχή νερού, είναι πιθανότατα οι αεροσυγκεντρωτές. Οι συγκεκριμένες συσκευές αποτελούν έναν μικρού μήκους υδροσυγκεντρωτή που δεν απαιτεί την τροφοδοσία νερού. Πιο συγκεκριμένα, ο διαχωρισμός του χρυσού από την άμμο στηρίζεται στην παλμική κίνηση του αέρα που διαχέεται μέσα από ένα πορώδες μέσο. Η άμμος τροφοδοτείται στην κορυφή της συσκευής, όπου υπάρχει κόσκινο με διάμετρο 3/8 της ίντσας (περίπου 1 cm) για τον διαχωρισμό των μεγαλύτερων κροκάλων από τα πιο λεπτόκοκκα σωματίδια. Έτσι, οι κροκάλες απομακρύνονται και τα λεπτόκοκκα σωματίδια περνούν μέσα από το κόσκινο και κατευθύνονται, μέσα από το κεκλιμένο κουτί, προς τις ραβδώσεις στο κατώτερο τμήμα της συσκευής. Κάτω από τις ραβδώσεις τοποθετείται κατάλληλο ύφασμα για την συγκράτηση του χρυσού (π.χ. καμβάς), ενώ στο ίδιο σημείο

τοποθετείται και η συσκευή παροχής αέρα, η οποία παρέχει αέρα με ιδιαίτερη δύναμη και σε σύντομα χρονικά διαστήματα. Με αυτό τον τρόπο, παρέχεται μία συνδυασμένη δράση ανακίνησης και ταξινόμησης του υλικού. Ο χρυσός μετατοπίζεται προς το κατώτερο τμήμα του υφάσματος συλλογής και συγκρατείται από τις ραβδώσεις, ενώ τα υπολείμματα περνούν μέσα από τις ραβδώσεις και κατευθύνονται προς την έξοδο της συσκευής.

Οι ράβδοι στερεώνονται σε απόσταση 4 έως 6 ιντσών (10,16 έως 15,24 cm) μεταξύ τους. Η κλίση του κουτιού κυμαίνεται μεταξύ 4 έως 6 ιντσών ανά πόδι μήκους συσκευής (10,16 έως 15,24 cm ανά 0,3 m). Ένας αεροσυγκεντρωτής στον οποίο παρέχεται αέρας μέσω ηλεκτρικής συσκευής μπορεί να επεξεργαστεί έως και 21 ft³ (1 m³) κοσκινισμένου υλικού, στο διάστημα της 1 ώρας. Παράλληλα, οι αεροσυγκεντρωτές στους οποίους ο αέρας παρέχεται χειροκίνητα (ανακίνηση κουτιού), χειρίζονται από 2 άτομα και μπορούν να επεξεργαστούν λίγο περισσότερα από 0,7 m³ υλικού ανά 8 ώρες, ανάλογα και με το μέγεθος του υλικού που δέχεται επεξεργασία.

Για την ανάκτηση του χρυσού, το μετάλλευμα πρέπει να είναι εντελώς ξηρό και να μην περιέχει υγρασία. Εάν περιέχεται έστω και μικρή ποσότητα νερού, τότε κρίνεται απαραίτητο το δείγμα να ξηρανθεί πριν από την επεξεργασία. Σε εργασίες μικρής κλίμακας, η ξήρανση του δείγματος από τον ήλιο θα πραγματοποιηθεί όσο γρήγορα χρειάζεται για να δεχθεί το δείγμα επεξεργασία. Όταν η παροχή αέρα και η παλλόμενη κίνηση του κόσκινου γίνεται χειροκίνητα, συνήθως πρέπει να πραγματοποιούνται 250 πιέσεις το λεπτό σε μία διαδρομή περίπου 3 ιντσών (7,6 cm) (πιέσεις δοκού που συνδέεται με σχοινί στο κόσκινο ώστε να πάλλεται κατά την τροφοδοσία του υλικού). Οι συγκεκριμένες προϋποθέσεις ποικίλουν ανάλογα με το πόσο αδρομερές είναι το προς επεξεργασία υλικό και πόσο λεπτά τα τεμάχια του χρυσού (Saliou, 2020) (Εικόνα 4-1).

Κατά τον καθαρισμό, το κουτί των ραβδώσεων ανυψώνεται και αναποδογυρίζεται πάνω σε μία μεγάλη επίπεδη επιφάνεια. Έτσι, τα συμπυκνώματα από τις τρεις ανώτερες ραβδώσεις διαχωρίζονται αρχικά μέσω της μεθόδου των ταπιών συγκέντρωσης χρυσού, ενώ στην συνέχεια ο χρυσός αφαιρείται. Συνήθως, ο πιο αδρομερής χρυσός ανακτάται στο συγκεκριμένο βήμα αλλά το μεγαλύτερο ποσοστό του εντοπίζεται στις χαμηλότερες ραβδώσεις. Εάν η υγρασία είναι πολύ χαμηλή, τα συμπυκνώματα τοποθετούνται για δεύτερη φορά στον αεροσυγκεντρωτή και διαχωρίζονται περαιτέρω, φυσώντας τα πιο λεπτόκοκκα τεμάχια εντός του ταπιού συγκέντρωσης χρυσού. Οι αεροσυγκεντρωτές είναι φορητοί,

φθινοί και εύχρηστοι. Ωστόσο, ένα μεγάλο ποσοστό του λεπτόκοκκου χρυσού μπορεί να χαθεί (Silva, 1986).

Με την υιοθέτηση των συγκεκριμένων άκρως αποδοτικών και φορητών μηχανημάτων, οι Ισπανοί ερευνητές εργάστηκαν εκτενώς σχεδόν σε όλα τα κύρια προσχωματικά κοιτάσματα που εντοπίστηκαν στα νοτιοδυτικά της Αριζόνα, συμπεριλαμβανομένων και των βαθύτερων σημείων των χειμάρρων. Η αξία του χρυσού που μπορούσε να ανακτηθεί από ένα και μόνο άτομο ήταν εντυπωσιακή και πολλοί υποστήριζαν το ανεξάρτητο αυτό σύστημα ανάκτησης του προσχωματικού χρυσού (Wormer & Stephen, 2012).

Στην εικόνα 4-1 παρατηρούνται :

A: Κόσκινο διαχωρισμού λεπτόκοκκων και αδρομερών τεμαχιδίων

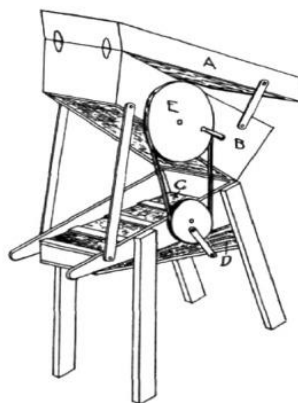
B: Κεκλιμένο κουτί μέσα από το οποίο μεταφέρονται τα λεπτόκοκκα υλικά στις ραβδώσεις

C: Ραβδώσεις στις οποίες συγκρατείται ο λεπτόκοκκος χρυσός

D: Κατώτερο τμήμα συσκευής όπου τοποθετούνται τα υφάσματα συλλογής χρυσού

E: «Μανιβέλα» όπου με την περιστροφή της πάλλεται το κόσκινο

Σε μία διαφορετική απεικόνιση αεροσυγκεντρωτή της εποχής του «πυρετού του χρυσού», η παλλόμενη κίνηση του κόσκινου θα μπορούσε να παρέχεται από την χειροκίνητη πίεση δοκού πάνω από το σημείο A (Εικόνα 4-2).



Εικόνα 4-1: Μία τυπική διάταξη ενός αεροσυγκεντρωτή όπου η λειτουργία πραγματοποιείται χειροκίνητα (μέσω τύπου μανιβέλας) (Silva, 1986)



Εικόνα 4-2: Χειριστής αεροσυγκεντρωτή στο Νέο Μεξικό το 1940 (Library of Congress-prints and photographs reading room)

Στις σύγχρονες συσκευές αεροσυγκεντρωτών ο αέρας παρέχεται από κατάλληλα ηλεκτρικά μέσα και μέσω σωληνώσεων στο κατώτερο τμήμα της συσκευής.

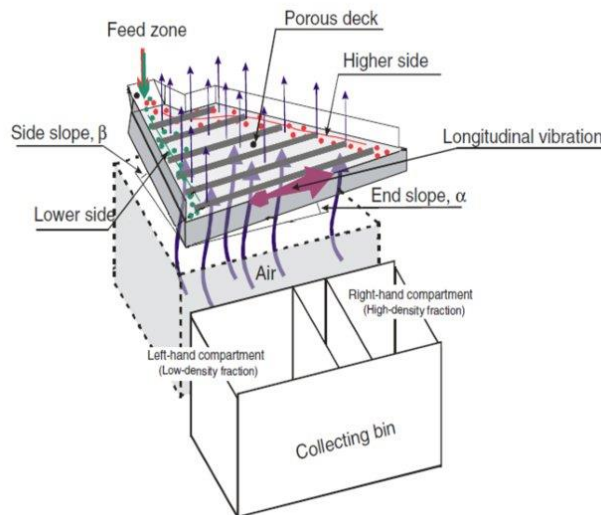
4.3 Αεροτράπεζες (Air tables)

Οι αεροτράπεζες πραγματοποιούν μία κίνηση παρόμοια με αυτή των δονούμενων τραπεζών, αλλά αντί για νερό χρησιμοποιείται ο αέρας στον διαχωρισμό των αδρόκοκκων από τα πιο λεπτόκοκκα σωματίδια. Ειδικότερα, οι αεροτράπεζες αποτελούνται από μία κύρια επιφάνεια στην οποία περιέχεται πλέγμα και πραγματοποιείται το σύνολο της διαδικασίας διαχωρισμού. Η επιφάνεια τοποθετείται πάνω σε βάση που περιέχει συμπιεστή, ο οποίος δημιουργεί την κατάλληλη πίεση ώστε να παρέχεται αέρας στο σύστημα από τον θάλαμο, ο οποίος εντοπίζεται επίσης κάτω από την επιφάνεια της τραπεζής. Έτσι, ο θάλαμος εξισορροπεί την πίεση από τον συμπιεστή και εξασφαλίζει την ομοιόμορφη ροή του αέρα σε ολόκληρη την επιφάνεια. Τέλος, η κύρια επιφάνεια είναι κεκλιμένη, ενώ ένας ενσωματωμένος κινητήρας παρέχει ενέργεια στο σύστημα.

Η λειτουργία των αεροτραπεζών στηρίζεται στην αρχή της ρευστοποίησης των επιφανειακών στρωμάτων σε συνδυασμό με την αρχή της διαστρωμάτωσης των σωματιδίων, όπως συμβαίνει και στις δονούμενες τράπεζες με νερό, όπου τα σωματίδια διαχωρίζονται με βάση το ειδικό τους βάρος. Ο αέρας που παρέχεται κάτω από την επιφάνεια της συσκευής, προκαλεί μία προς τα πάνω ώθηση και υποστήριξη των σωματιδίων, ανάλογα με το μέγεθος και την πυκνότητα τους. Στην πραγματικότητα, η ελάχιστη ταχύτητα ρευστοποίησης ακόμα

και για το πιο λεπτόκοκκο και ελαφρύ σωματίδιο είναι δύσκολο να επιτευχθεί. Έτσι, επιφέρεται μία οριζόντια κίνηση, σε ορθή γωνία προς την ροή, με ταχεία κίνηση από τα δεξιά προς τα αριστερά και αργή επιστροφή από αριστερά προς τα δεξιά. Η προαναφερόμενη κίνηση κάνει τον ρυθμό μετακίνησης των σωματιδίων να επηρεάζεται τόσο από το μέγεθος, όσο και από το ειδικό τους βάρος και προξενεί την δημιουργία στρωματοποίησης μεταξύ των ραβδώσεων. Πιο συγκεκριμένα, τα βαρύτερα σωματίδια ωθούνται προς τα πλάγια και προς το υψηλότερο άκρο της επιφάνειας, λόγω της ροπής αδράνειας σε συνδυασμό με την πρόσφυση που προσφέρει η ίδια. Τα λεπτόκοκκα σωματίδια κατευθύνονται προς το κάτω μέρος της τράπεζας και συλλέγονται (Εικόνα 4-3). Η συγκεκριμένη λειτουργία επιτυγχάνει τον διαχωρισμό των σωματιδίων με διαφορετικές πυκνότητες (Chalavadi, 2016).

Ωστόσο, οι αεροτράπεζες προκαλούν συχνά την απώλεια των λεπτόκοκκων σωματιδίων υπό μορφή απορριμμάτων, απαιτώντας έτσι την προσεκτική κοσκίνιση του δείγματος πριν από την τροφοδοσία του στην συσκευή. Ο ρυθμός της τροφοδοσίας, όπως και η γωνία και η κλίση της επιφάνειας ρυθμίζονται με στόχο την μέγιστη απόδοση του διαχωρισμού. Οι διαστάσεις των επιφανειών της τραπεζής κυμαίνονται από 18 επί 40 ίντσες (45,7 έως 101,6 cm) για μοντέλα εργαστηριακών δοκιμών, ενώ μπορούν να φθάσουν έως και τα 7 επί 15 πόδια (2,13 έως 4,57 m) για μεγάλης κλίμακας λειτουργίες. Συνολικά, μπορούν να επεξεργαστούν έως και 175 τόνους υλικού σε 24 ώρες λειτουργίας (Silva, 1986).



Εικόνα 4- 3: Η αρχή λειτουργίας της αεροτράπεζας (Kärki, 2018)

Κεφάλαιο 5: Πιο σύγχρονες συσκευές επεξεργασίας προσχωματικών κοιτασμάτων χρυσού

5.1 Σπειροειδείς συγκεντρωτές (Spiral Concentrators)

5.1.1 Γενικά

Οι σπειροειδείς συγκεντρωτές ανήκουν στα μηχανήματα των βαρυτομετρικών μεθόδων διαχωρισμού. Εμφανίστηκαν για πρώτη φορά ως μονάδα παραγωγής το 1943 με την μορφή των σπειρών «Humphrey», για τον διαχωρισμό της άμμου που φέρει χρωμίτη στο Όρεγκον. Μέχρι την δεκαετία του 1950, οι σπείρες αποτέλεσαν την κύρια μονάδα διαχωρισμού με βάση το ειδικό βάρος των σωματιδίων, στην Αυστραλιανή βιομηχανία ορυκτής άμμου. Αναπτύχθηκαν για την συγκέντρωση μεταλλευμάτων χαμηλής ποιότητας και βιομηχανικών ορυκτών σε μορφή πολφού.

Οι σπείρες αποτελούν συγκεντρωτές τύπου μεμβράνης, στους οποίους ο πολφός ρέει μέσω ενός ελικοειδούς αγωγού (σπειροειδής επιφάνεια) και τα σωματίδια διαφορετικού ειδικού βάρους διαχωρίζονται μεταξύ τους. Τα υψηλότερης πυκνότητας σωματίδια συγκεντρώνονται σε μία ζώνη κατά μήκος της εσωτερικής πλευράς της σπείρας και διαχωρίζονται-εκκενώνονται σε διαφορετικά σημεία στην έξοδο της συσκευής (Putz, 1994).

5.1.2 Αρχή λειτουργίας

Ο σπειροειδής συγκεντρωτής ή συγκεντρωτής «Humphreys» αποτελεί μία σύγχρονη συσκευή υψηλής χωρητικότητας και χαμηλού κόστους. Η λειτουργία του καθορίζεται από την πυκνότητα των στερεών σωματιδίων και από τις υδροδυναμικές τους ιδιότητες. Πιο συγκεκριμένα, ο σπειροειδής συγκεντρωτής αποτελείται από έναν ελικοειδή αγωγό 4-5 σπειρών και τροποποιημένης κυκλικής διατομής. Επιπλέον, η συσκευή διαθέτει κανάλι νερού έκπλυσης των σωματιδίων και μία σειρά από σημεία αποκομιδής του συμπυκνώματος, τοποθετημένα σε συγκεκριμένες θέσεις στην έξοδο της συσκευής. Έτσι, η τροφοδοσία πραγματοποιείται στην κορυφή σε μορφή πολφού 20-40% κατά βάρος, με ένα εύρος μεγέθους σωματιδίων που κυμαίνεται από 3 mm έως 75 μm. Ο διαχωρισμός επιτυγχάνεται με την διαστρωμάτωση του υλικού, η οποία προκαλείται από ένα σύνθετο σύστημα φυγόκεντρων δυνάμεων, διαφορικής καθίζησης και μετατόπισης των βαρέων σωματιδίων,

μέσω μίας κλίνης και προς το εσωτερικό τμήμα του αγωγού (Φραγκίσκος & Κατράκης, 1979) (Εικόνα 5-1).

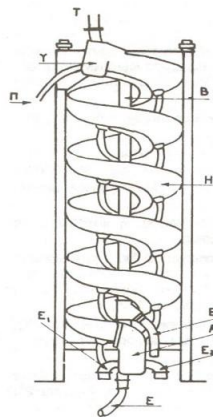
Η δυναμικότητα του σπειροειδούς συγκεντρωτή ανά ώρα εξαρτάται από το προς επεξεργασία μετάλλευμα και κυμαίνεται από 1,3 έως 1,8 τόνους ανά συγκεντρωτή για τους περισσότερους τύπους μεταλλευμάτων ή ορυκτών. Παράλληλα, η κατανάλωση του νερού καθορίζεται από την πυκνότητα του πολφού και κυμαίνεται μεταξύ 3,3-8 m³/h, ενώ η κατανάλωσης του νερού έκπλυσης κυμαίνεται μεταξύ 0,6-1,6 m³/h (Φραγκίσκος & Κατράκης, 1979).

Τα μεγαλύτερα και βαρύτερα σωματίδια κατευθύνονται προς το κατώτερο τμήμα του συγκεντρωτή και η ταχύτητα τους μειώνεται λόγω της τριβής που αναπτύσσεται στην επιφάνεια της σπείρας, με αποτέλεσμα να μετατοπίζονται προς το εσωτερικό της. Αντίθετα, τα πιο λεπτόκοκκα και ελαφρύτερα σωματίδια παραμένουν στα εξωτερικά σημεία της σπείρας μαζί με το νερό, και φθάνουν ταχύτερα στο κατώτερο σημείο. Εκεί, πραγματοποιείται ένας διαχωρισμός των κλασμάτων χαμηλής και υψηλής πυκνότητας, μέσω συστημάτων ρυθμιζόμενων λεπίδων διαχωρισμού. Οι λεπίδες του συγκεντρωτή είναι ρυθμιζόμενες, ώστε να μπορούν να κατευθύνουν τα βαρύτερα κλάσματα εντός των σωλήνων ή του δοχείου συλλογής (Εικόνα 5-2).

Οι σπείρες συχνά διατάσσονται σε σειρά και αποτελούν τμήματα μονάδων αδρομερούς διαχωρισμού, έκπλυσης και καθαρισμού. Οι στροφές των σπειρών είναι συνήθως πέντε ή περισσότερες για εργασίες αδρομερούς διαχωρισμού και τρεις σε ορισμένες μονάδες καθαρισμού. Επιπρόσθετα, δύο ή τρεις σπείρες μπορούν να εγκατασταθούν γύρω από την ίδια κοινή στήλη, ενώ οι συγκεκριμένοι τύποι σπειρών χρησιμοποιούνται στην Αυστραλία για περισσότερα από 20 χρόνια (Hubbard & et.al, 1953).

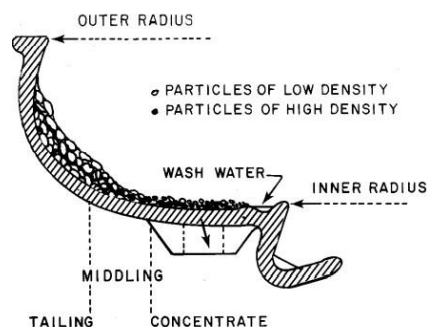
Στα πλεονεκτήματα των σπειροειδών συγκεντρωτών περιλαμβάνεται το χαμηλό κόστος, η μεγάλη διάρκεια ζωής, οι χαμηλές απαιτήσεις χώρου εγκατάστασης (περίπου 0,4 m²), καθώς και η ικανοποιητική ανάκτηση των λεπτόκοκκων υλικών. Επιπλέον, μπορούν να ελεγχθούν οπτικά με μεγάλη ευκολία, προσδιορίζοντας έτσι αν το υλικό διαχωρίζεται σωστά. Για την μέγιστη λειτουργική απόδοση, η ροή της τροφοδοσίας πρέπει να διατηρείται σταθερή, η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων της τροφοδοσίας να είναι ομοιόμορφη και οι διακυμάνσεις στον όγκο της να ελαχιστοποιούνται. Παράλληλα, οι σπειροειδείς συγκεντρωτές, όπως και οι κωνικοί, αποτελούν αποδοτικές μονάδες που δεν έχουν υψηλές απαιτήσεις συντήρησης, οι οποίες θα έπρεπε σε κάθε άλλη περίπτωση να ληφθούν υπόψη.

Οι σπείρες «Humphreys» είναι ικανές να διαχωρίσουν σωματίδια με μέγεθος έως και 270 mesh (53 μm). Σε δοκιμή που έλαβε χώρα στο CSMRI (Colorado School of Mines Research Institute), η σπείρα «Reichert Mark VII» ανέκτησε το 91,3% του χρυσού που βρισκόταν σε ελεύθερη μορφή εντός της τροφοδοσίας, αντιπροσωπεύοντας μόνο το 5,4% του συνολικού της βάρους. Η μονάδα παρουσίασε μία πολύ μικρή μείωση στην αποδοτικότητα της ανάκτησης του χρυσού, σε μεγέθη έως και 325 mesh (45 μm) (Spiller, 1983).



Εικόνα 5-1: Σπειροειδείς συγκεντρωτής «Humphrey» (Φραγκίσκος & Κατράκης, 1979)

T: τροφοδοσία, Y: υποδοχή τροφοδοσίας, Π: νερό εκπλύσεως, B: Σωλήνας περισυλλογής συμπυκνώματος, E1: Αμμώδη ελαφρά σωματίδια, E2: Ιλύς, E: Ενδιάμεσα, H: Σπείρες



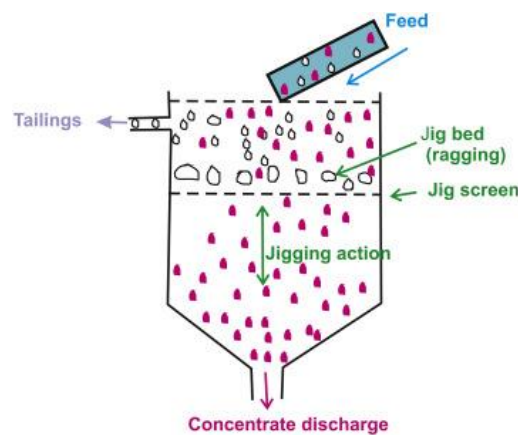
Εικόνα 5-2: Εγκάρσια τομή σπειροειδούς συγκεντρωτή «Humphrey» (Silva, 1986)

5.2 Συγκεντρωτές Jiggs

5.2.1 Αρχή λειτουργίας

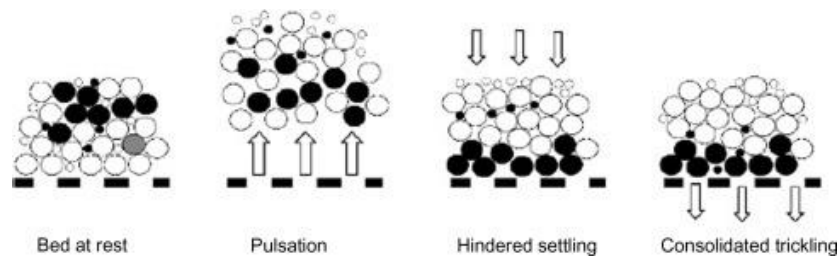
Ο βασικός τύπος του συγκεντρωτή Jiggs αποτελεί μια ανοιχτή και γεμάτη με νερό δεξαμενή, διαθέτει οριζόντια εσχάρα στο ανώτερο τμήμα του και ένα στόμιο στο κατώτερο τμήμα του για την συλλογή του συμπυκνώματος. Η εσχάρα συγκρατεί τις στρώσεις των αδρόκοκκων

και βαρύτερων υλικών. Παράλληλα, τα μηχανικά έμβολα μέσα στη δεξαμενή προκαλούν την παλμική κίνηση του νερού, με αποτέλεσμα κατά την τροφοδοσία του μεταλλεύματος (στο ανώτερο τμήμα της συσκευής) να πραγματοποιείται ο διαχωρισμός των ορυκτών στην κλίνη του συγκεντρωτή. Τα τεμάχια υψηλού ειδικού βάρους διαπερνούν τις οπές της εσχάρας και συλλέγονται στο κατώτερο τμήμα της συσκευής. Στην συνέχεια, τοποθετούνται πάνω στην επιφάνεια της εσχάρας, σχηματίζοντας μία στρώση από σωματίδια υψηλού ειδικού βάρους. Έτσι, στην επόμενη τροφοδοσία μόνο τα σωματίδια πολύ υψηλού ειδικού βάρους μπορούν να διαπεράσουν την στρώση των αδρόκοκκων σωματιδίων και να φθάσουν στις οπές της εσχάρας για να διαχωρισθούν περαιτέρω ή να συλλεχθούν. Αντίθετα, τα σωματίδια μικρότερου ειδικού βάρους υπερχειλίζουν και συλλέγονται στην κορυφή της συσκευής (Silva, 1986) (Εικόνα 5-3) .



Εικόνα 5-3: Σχηματική απεικόνιση της αρχής λειτουργίας ενός συγκεντρωτή Jiggs (Swapan, 2018)

Η λειτουργία του συγκεντρωτή Jiggs βασίζεται στην αρχή της παρεμποδιζόμενης καθίζησης (ή καθίζησης ζώνης), με βάση την οποία τα σωματίδια συσσωματώνονται δημιουργώντας ζώνες διαφορετικού βαθμού συμπίκνωσης και σχηματίζοντας διεπιφάνεια στην υγρή φάση. Έτσι, για να επιτευχθεί ο διαχωρισμός μεταξύ των σωματιδίων διαφορετικού ειδικού βάρους πρέπει να υπάρχει διαφορά στους ρυθμούς καθίζησης των στερεών σωματιδίων που υποβάλλονται σε επεξεργασία (Εικόνα 5-4). Στην εικόνα 5-4, με μαύρο απεικονίζονται τα τεμάχια υψηλού ειδικού βάρους και με άσπρο τα τεμάχια μικρότερου ειδικού βάρους.



Εικόνα 5-4: Η βασική αρχή λειτουργίας του συγκεντρωτή Jiggs (Gupta & Yan, 2006)

5.2.2 Διαφορετικοί τύποι συγκεντρωτών Jiggs

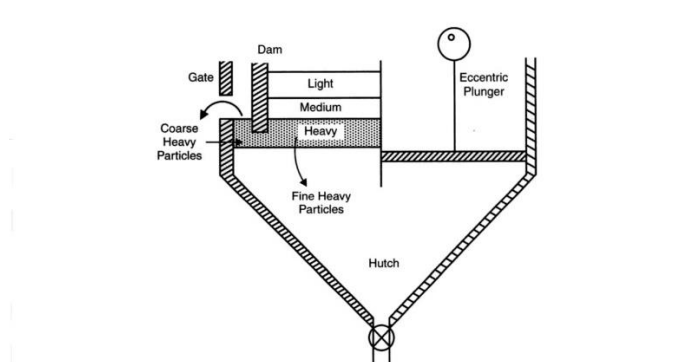
Η επιλογή του κατάλληλου τύπου συγκεντρωτή Jiggs καθορίζεται από μια πληθώρα διαφορετικών παραγόντων, συμπεριλαμβανομένης της γεωμετρίας της κλίνης της συσκευής, του μηχανισμού παραγωγής της παλμικής κίνησης του νερού, του συστήματος απόθεσης των βαρύτερων τεμαχίων και του συστήματος ελέγχου. Οι Sampaio και Tavares (Sampaio & Tavares, 2005) έχουν προτείνει μία ταξινόμηση των νεότερων συσκευών συγκέντρωσης Jiggs, η οποία βασίζεται σε 3 κύριους παράγοντες:

- Κατάστασης εσχάρας (σταθερή ή μετακινούμενη)
- Μέθοδος εξαγωγής βαρέως προϊόντος
- Μηχανισμός παραγωγής παλμικής κίνησης νερού

Στους πιο συνηθισμένους τύπους των συγκεντρωτών Jiggs η εσχάρα είναι σταθερή και το νερό ρέει μέσα από τις οπές της, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Ωστόσο, σε αρκετούς τύπους συγκεντρωτών Jiggs η στρωμάτωση των τεμαχίων που απαντώνται πάνω στην επιφάνεια της εσχάρας παράγεται μέσω της δόνησης της εντός του ρευστού. Σήμερα, τα μοντέλα των συγκεντρωτών που ανήκουν στην συγκεκριμένη κατηγορία είναι οι συγκεντρωτές Jiggs τύπου ROMJIG και Inline Pressure. Στους δύο παραπάνω τύπους της συσκευής, η εσχάρα δονείται κατακόρυφα μέσω κατάλληλου υδραυλικού συστήματος που συνδέεται στην επιφάνεια της (Nesbitt & et.al, 2005).

Οι συγκεντρωτές Jiggs μπορούν επίσης να ταξινομηθούν με βάση τον μηχανισμό παραγωγής της παλμικής κίνησης. Έτσι, υπάρχουν οι μηχανικοί μηχανισμοί παλμικής κίνησης που λειτουργούν μέσω εμβόλων και μέσω διαφράγματος, καθώς και η εισροή πεπιεσμένου αέρα για την παλμική ώθηση του νερού. Ένας από τους πρώτους μηχανικούς συγκεντρωτές Jiggs ήταν ο συγκεντρωτής τύπου Harz, ο οποίος αποτελούταν από μία δεξαμενή δύο θαλάμων και ήταν εξοπλισμένος με έμβολο συνδεδεμένο με μπιέλα και σύστημα στροφάλου. Με αυτό τον σχεδιασμό μπορούσε να πραγματοποιεί μία αρμονική κίνηση του νερού (Εικόνα 5-5).

Ωστόσο, αν και ο μηχανικός σχεδιασμός-λειτουργία του ήταν απλά, οι επαναλαμβανόμενες διαρροές νερού κατά την λειτουργία του, λόγω της ελλιπούς στεγανοποίησης μεταξύ του εμβόλου και των τοιχωμάτων της συσκευής, προκάλεσαν ανησυχία (Burt, 1984).



Εικόνα 5-5: Σχηματική απεικόνιση του συγκεντρωτή Jiggs τύπου Harz (Fuerstenau & Han, 2003)

Μία λύση για την αποφυγή διαρροών νερού μεταξύ των τοιχωμάτων και του εμβόλου ήταν η αντικατάσταση του από ένα διάφραγμα κατασκευασμένο από καουτσούκ και συνδεδεμένο με έκκεντρο κατακόρυφο άξονα. Ο συγκεντρωτής Jiggs που λειτουργούσε με την συγκεκριμένη διάταξη ήταν ο Denver, ο οποίος διέθετε περιστροφική βαλβίδα που λειτουργούσε σε συγχρονισμό με το έμβολο, αποτρέποντας την εισροή νερού αντιστάθμισης απωλειών κατά την διάρκεια της διαδρομής αναρρόφησης (Sampaio & Tavares, 2005).

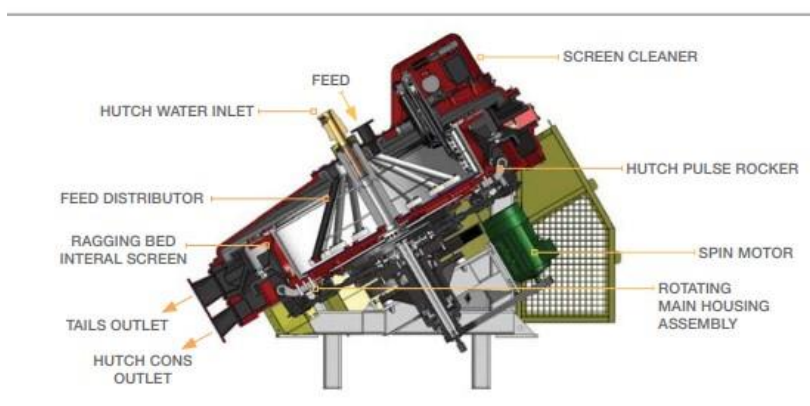
Η χρήση πεπιεσμένου αέρα αντί για μηχανικές συσκευές παλμικής κίνησης του νερού εμφανίστηκε για πρώτη φορά στα τέλη του 19^{ου} αιώνα, με την ανάπτυξη του συγκεντρωτή Jiggs τύπου Baum. Ο καθοριστικός παράγοντας για την επιτυχία των παλμικών μηχανισμών αέρα ήταν η χρήση ηλεκτρονικά ελεγχόμενων βαλβίδων αέρα για τον γρήγορο έλεγχο της ροής του νερού. Στους συγκεντρωτές τύπου Baum, ο αέρας εισάγεται υπό πίεση (μεγαλύτερη ή ίση από 17 kPa) εντός του θαλάμου που βρίσκεται στην μία πλευρά της επιφάνειας στήριξης του συγκεντρωτή. Οι ηλεκτρικά κινούμενες βαλβίδες με περιστρεφόμενα έμβολα επιτρέπουν τον ακριβή έλεγχο της διάρκειας και της έντασης του παλμού, ενώ αν συνδυαστούν με αυτοματοποιημένο σύστημα απόθεσης των τεμαχίων υψηλού ειδικού βάρους, οι συγκεντρωτές Baum αποτελούν μία πιο ευέλικτη και αποτελεσματική επιλογή συγκριτικά με τα μηχανικά συστήματα παραγωγής παλμικής κίνησης (Ambrós, 2020).

Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν αναπτυχθεί οι συγκεντρωτές Jiggs τύπου Kelsey και αποτελούν το πιο γνωστό παράδειγμα συγκεντρωτή που λειτουργεί μέσω φυγόκεντρων δυνάμεων. Η αρχή της λειτουργίας τους είναι παρόμοια με την αντίστοιχη των συμβατικών συγκεντρωτών Jiggs, όσο αναφορά την παλμική κίνηση του νερού και την διαχείριση της

έκπλυσης των αδρομερών σωματιδίων για να επιτευχθεί ο διαχωρισμός. Ωστόσο, στους φυγοκεντρικούς συγκεντρωτές Kelsey αναπτύσσεται μία φυγόκεντρος δύναμη βαρύτητας «G», η οποία αυξάνει την ευαισθησία του διαχωρισμού, επιτρέποντας σε πιο λεπτόκοκκα σωματίδια και σε σωματίδια με παρόμοιες τιμές ειδικούς βάρους να διαχωρισθούν.

Πιο συγκεκριμένα, η συσκευή αποτελείται από έναν περιστρεφόμενο κύλινδρο στον οποίο αναπτύσσονται υψηλές φυγόκεντρες δυνάμεις. Το περιστρεφόμενο δοχείο τοποθετείται κάθετα μέσα σε ένα περίβλημα, μέσα στο οποίο πραγματοποιείται και η έκπλυση των τεμαχίων. Έτσι, κατά την λειτουργία ο πολφός τροφοδοσίας εισάγεται στην συσκευή μέσω σωλήνα και στο μέσο του δοχείου, με αποτέλεσμα τα τεμάχια με διαφορετικό ειδικό βάρος να κατανέμονται στα τοιχώματά του (Ambrós, 2020). Το νερό έκπλυσης πραγματοποιεί την παλμική του κίνηση μέσα από μία στρώση αδρόκοκκων σωματιδίων (η οποία διατηρείται πάνω σε εσχάρα κυλινδρικής μορφής), χρησιμοποιώντας έναν μηχανισμό χαμηλής κατανάλωσης σε ενέργεια. Τα σωματίδια με υψηλό ειδικό βάρος περνούν μέσα από την εσχάρα για να συλληθούν, ενώ τα σωματίδια χαμηλότερου ειδικού βάρους υπερχειλίζουν στην κορυφή (Εικόνα 5-6).

Ο συγκεντρωτής Jiggs τύπου Kelsey μπορεί να ανακτήσει λεπτόκοκκα σωματίδια με μέγεθος έως και 10 μm , συνδυάζοντας την αρχή της τεχνολογίας των συγκεντρωτών Jiggs με την αρχή της φυγόκεντρης δύναμης. Ωστόσο, πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή κατά την τροφοδοσία ώστε η εσχάρα να μην φράσσεται από εκτεταμένες στρώσεις αδρόκοκκων τεμαχίων. Επιπλέον, οι φυγοκεντρικοί συγκεντρωτές Jiggs αποτελούν τις συσκευές βαρυτομετρικού διαχωρισμού που καταναλώνουν την μεγαλύτερη ποσότητα νερού (μεγαλύτερη από 15 m^3 /τόνο μεταλλεύματος) (Ambrós, 2020).



Εικόνα 5- 6: Σχηματική απεικόνιση του εσωτερικού ενός φυγοκεντρικού συγκεντρωτή Jiggs(CPG Resources brochure)

5.3 Συγκεντρωτές Pinched sluice

5.3.1 Αρχή λειτουργίας

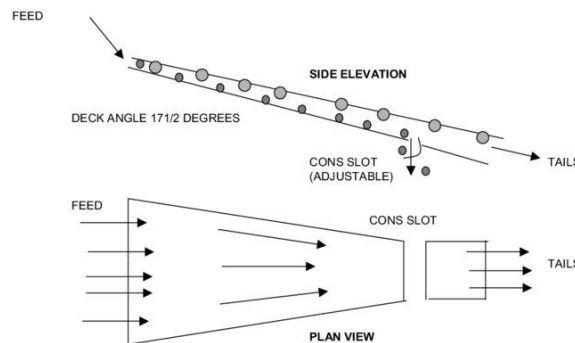
Οι συγκεντρωτές pinched sluice αποτελούν μία από τις απλούστερες συσκευές βαρυτομετρικού διαχωρισμού των σωματιδίων. Πιο συγκεκριμένα, έχουν σχήμα V και η διατομή τους μικραίνει κοντά στο άκρο απόθεσης της συσκευής. Ο πολφός της τροφοδοσίας περιέχει από 50-60% στερεά και τροφοδοτείται ομοιόμορφα στην κορυφή της κεκλιμένης επιφάνειας του συγκεντρωτή. Έτσι, όταν ο πολφός της τροφοδοσίας συσσωρεύεται προοδευτικά κοντά στο στενό άκρο απόθεσης, τα βαρύτερα σωματίδια τείνουν να μετατοπίζονται προς το κατώτερο τμήμα της συσκευής, σε αντίθεση με τα πιο ελαφριά σωματίδια που μετατοπίζονται πάνω από το στρώμα των βαρύτερων (Polat & al, 2017).

Οι κύριες παράμετροι λειτουργίας είναι ο ρυθμός ροής της τροφοδοσίας, το ποσοστό των στερεών στην τροφοδοσία, η γωνία του διαχωρισμού και η θέση του συγκεντρωτή. Δεδομένου ότι έχει άμεσο έλεγχο της ποσότητας του πολφού που κατευθύνεται στο συμπίκνωμα, ο συγκεντρωτής καθορίζει τα ποσοστά της ανάκτησης και την ποιότητα του προϊόντος. Στην συνέχεια, ο ρυθμός ροής της τροφοδοσίας αποτελεί μία ακόμα σημαντική μεταβλητή. Πολύ υψηλός ρυθμός μειώνει την απόδοση. Σημειώνεται επίσης ότι τα ποσοστά των στερεών της τροφοδοσίας σε pinched sluice συγκεντρωτές κυμαίνονται μεταξύ του 55% και 70%, ανάλογα με το υλικό που δέχεται επεξεργασία, αλλά το κατώτερο όριο του 45% έχει αναφερθεί επίσης. Επιπρόσθετα, η βέλτιστη γωνία κλίσης του συγκεντρωτή καθορίζεται από το μέγεθος των σωματιδίων και από την πυκνότητα τους. Σε βιομηχανική εφαρμογή η κλίση κυμαίνεται μεταξύ 15 και 20 μοιρών, ενώ κατά κανόνα, η γωνία κλίσης πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την κρίσιμη γωνία, στην οποία αρχίζουν τα σωματίδια να ρέουν στην επιφάνεια της συσκευής (Εικόνα 5-7).

Η επιτυχία των αρχικών μονάδων συγκέντρωσης οφειλόταν στον περίτεχνο μηχανισμό απομάκρυνσης των βαρύτερων ορυκτών, ελαχιστοποιώντας τις διαταραχές στα ανώτερα στρώματα. Ωστόσο, όσον αναφορά τα πιο ελαφριά τεμάχια, εξακολουθούσε να υπάρχει το πρόβλημα ενός αποτελεσματικού διαχωρισμού μεταξύ των πολύτιμων ορυκτών και των άγονων. Αυτό συνέβαινε διότι τα ορυκτά ήταν διασκορπισμένα πάνω σε μία λεπτή οριζόντια επιφάνεια κατά μήκος του συγκεντρωτή. Έτσι, για να ξεπεραστεί η συγκεκριμένη σημαντική δυσκολία αναπτύχθηκε ο συγκεντρωτής pinched sluice, στον οποίο η ροή του πολφού

καθοδηγείται από συγκλίνοντα τοιχώματα ώστε να απομακρυνθεί μέσα το στενό, κάθετο άνοιγμα.

Οι συγκεντρωτές *pinched sluice* χρησιμοποιούνται εδώ και αρκετές δεκαετίες για τον διαχωρισμό των ελαφρών τεμαχίων. Ωστόσο, οι προσπάθειες σχετικά με την πρόβλεψη της απόδοσης που μπορούν να επιτύχουν, δεν έχουν επεκταθεί πέρα από την χρήση εμπειρικών συσχετισμών. Έτσι, οι συγκεκριμένες μονάδες δεν χρησιμοποιούνται εκτεταμένα, λόγω της χαμηλής απόδοσης διαχωρισμού που μπορούν να επιτύχουν από ένα μόνο πέρασμα του υλικού. Ωστόσο, το κόστος λειτουργίας τους είναι πολύ χαμηλό συγκριτικά με άλλες συσκευές βαρυτομετρικού διαχωρισμού, καθώς απαιτούν σταθερούς συγκεντρωτές που απαιτούν μόνο την άντληση του πολφού (Ergun & Ersayin, 2002).



Εικόνα 5-7: Η διαδικασία διαχωρισμού σε έναν συγκεντρωτή *pinched sluice* (Falconer, 2003)

5.3.2 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα

Πλεονεκτήματα

- Δυνατότητα οπτικής παρακολούθησης διαδικασίας, προσαρμογής και καθαρισμού
- Υψηλός ρυθμός τροφοδοσίας και κατά συνέπεια μικρός όγκος υλικού που απαιτεί άντληση
- Χαμηλό κόστος απόκτησης και λειτουργίας

Μειονεκτήματα

- Υψηλές απαιτήσεις σε χώρο εγκατάστασης
- Ανάγκη για έλεγχο και ρύθμιση της πυκνότητας του υλικού της τροφοδοσίας
- Χαμηλή ανάκτηση λεπτόκοκκων ορυκτών
- Η τροφοδοσία απαιτεί συνήθως κοσκίνιση
- Πολλαπλά σημεία τροφοδοσίας και επιφάνειες διαχωρισμού
- Απαιτείται μεγάλη ποσότητα νερού έκπλυσης

5.4 Ο κώνος «Reichert»

5.4.1 Αρχή λειτουργίας

Ο κώνος Reichert εφευρέθηκε από τον Ernst Reichert στο Queensland της Αυστραλίας το 1966 και κατοχυρώθηκε ως πατέντα στην Αμερική το 1968. Η συσκευή περιέχει συγκεντρωτές pinched sluice σε κυκλική μορφή, παραλείποντας τα πλευρικά τους τοιχώματα για να σχηματισθεί ένας ενιαίος κώνος, με την ροή απαλλαγμένη από δυνάμεις που θα επενεργούσαν στα τοιχώματα των συγκεντρωτών.

Η αρχή λειτουργίας του είναι παρόμοια με αυτή του συγκεντρωτή pinched sluice. Πιο συγκεκριμένα, ο πολφός που τροφοδοτείται κατανέμεται ομοιόμορφα γύρω από την περιφέρεια του κώνου και ρέει προς την οπή που βρίσκεται στο κέντρο του. Στην συνέχεια, ο πολφός συσσωρεύεται στην κεντρική οπή του κώνου, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η πυκνότητα των σωματιδίων που βρίσκονται στο κατώτερο τμήμα του και να επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός των βαρύτερων σωματιδίων. Έτσι, τα βαρύτερα σωματίδια αφαιρούνται από μία οπή που υπάρχει στο κάτω τμήμα του κώνου (συνήθως το συμπύκνωμα), ενώ το υλικό που ρέει πάνω από την οπή είναι τα πιο ελαφριά σωματίδια (απορρίμματα). Η επαναλαμβανόμενη συσσώρευση του πολφού στην οπή οδηγεί στην εμφάνιση φαινομένων παρεμποδιζόμενης καθίζησης (ή καθίζησης ζώνης), με αποτέλεσμα το συμπύκνωμα να αφαιρείται μέσω μιας δακτυλιοειδούς οπής και να μεταφέρεται σε έναν μεμονωμένο κώνο ή σε σπειροειδή συγκεντρωτή για περαιτέρω επεξεργασία (Εικόνες 5-8, 5-9) (Wills & Napier, 2006).

Ο κώνοι κατασκευάζονται από ελαφρύ πλαστικό που ενισχύεται με ίνες γυαλιού και στρώσεις πολυουρεθάνης και τοποθετούνται σε σειρά για να επιτυγχάνονται πολλαπλά στάδια διαχωρισμού. Τα κυκλικά πλαίσια στα οποία τοποθετούνται έχουν ύψος μεγαλύτερο από 6m, ενώ οι κώνοι ύψους 3.5m μπορούν να επεξεργασθούν περίπου 350 τόνους υλικού/ώρα. Επιπρόσθετα, η κατανάλωση νερού είναι μικρότερη από την αντίστοιχη των υδροσυγκεντρωτών ή των συγκεντρωτών Jiggs. Παράλληλα, η μονάδα δεν διαθέτει κινούμενα τμήματα και λειτουργεί με χαμηλό κόστος. Ωστόσο, απαιτείται η αγορά κοσκίνων, κυκλώνων και αντλιών του πολφού (Silva, 1986).

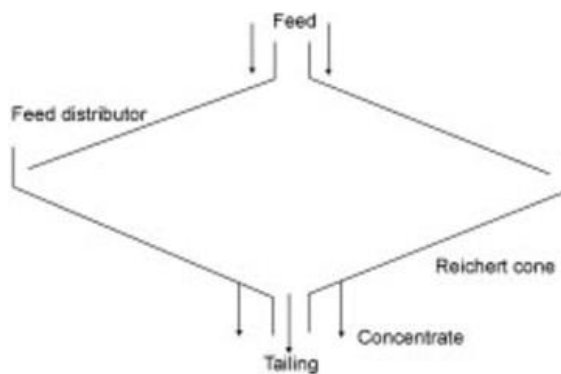
Πιο συγκεκριμένα, το υλικό της τροφοδοσίας πρέπει να κοσκινισθεί διότι οι κώνοι δεν έχουν την δυνατότητα επεξεργασίας τεμαχίων >0.5mm και ο διαχωρισμός μειώνεται αν η άργιλος

καταλαμβάνει >5% της τροφοδοσίας. Επιπλέον, ο κώνος είναι ευαίσθητος σε μεταβολές της πυκνότητας στην τροφοδοσία του πολφού (55-70% στερεά).

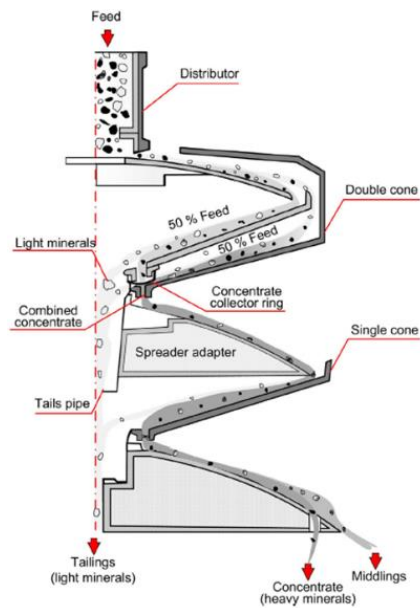
5.4.2 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα

Ο εξοπλισμός τους έχει μεγάλη διάρκεια ζωής και χαμηλά κόστη συντήρησης, ενώ καταναλώνουν λιγότερο νερό από τους τυπικούς συγκεντρωτές Jiggs και τους υδροσυγκεντρωτές. Έτσι, η επιτυχία των συγκεκριμένων κυκλωμάτων στην Αυστραλία οδήγησε στην εφαρμογή τους για την συγκέντρωση κασσίτερου, βολφραμίου, μαγνητίτη και χρυσού. Σε πολλές εφαρμογές, οι κώνοι αντικαθιστούν τους σπειροειδείς συγκεντρωτές και τις δονούμενες τράπεζες.

Στα μειονεκτήματα περιλαμβάνεται η υψηλή ευαισθησία που παρουσιάζουν στις διακυμάνσεις της πυκνότητας του πολφού της τροφοδοσίας, όπως και η ακαταλληλότητα τους για εργασίες με ρυθμούς τροφοδοσίας μικρότερους από 50 τόνους ανά ώρα. Οι συγκεκριμένες μονάδες πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν όταν εντοπίζονται μεγάλοι όγκοι λεπτόκοκκου χρυσού ή άλλων ορυκτών που πρόκειται να ανακτηθούν, καθώς και όπου υπάρχει περιορισμένη παροχή νερού έκπλυσης, ενώ ο χώρος εγκατάστασης αποτελεί ακόμη ένα παράγοντα (Silva, 1980).



Εικόνα 5- 8: Διάγραμμα που παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά ροής σε μία μονάδα κώνου Reichert (Macdonald, 2007)



Εικόνα 5- 9: Αρχή λειτουργίας συγκεντρωτή κώνου «Reichert» (Wills & Napier, 2006)

Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα-Προτάσεις

Η μελέτη των προσχωματικών κοιτασμάτων χρυσού δεν αποτελεί μία απλή διαδικασία, καθώς περιλαμβάνει αρκετές από τις βασικές αρχές της γεωλογίας, με ιδιαίτερη έμφαση στην θεωρία και τις κινήσεις των υδάτινων ρεμάτων. Εάν και η θέση, το μέγεθος και το σχήμα ενός προσχωματικού κοιτάσματος αντικατοπτρίζουν τις περιφερειακές δυνάμεις διάβρωσης, μεταφοράς και εναπόθεσης που συντέλεσαν στον σχηματισμό του, η τελική μορφή του ελέγχεται και τροποποιείται κατά κύριο λόγο μόνο από τις τοπικές συνθήκες. Συνεπώς, κάθε προσχωματικό κοιτάσμα αναμένεται να είναι μοναδικό και ο ερευνητής θα πρέπει να το προσεγγίσει λαμβάνοντας το αυτό υπόψιν.

Από την αρχαιότητα μέχρι και την σημερινή εποχή, η εξόρυξη αλλουβιακών κοιτασμάτων χρυσού έχει πιθανώς αποδώσει τις μεγαλύτερες ποσότητες ιδιαίτερα χρυσού, συγκριτικά με άλλες πηγές. Πιο συγκεκριμένα, περιέχουν χρυσό σε θραύσματα όλων των μεγεθών, τα οποία κυμαίνονται από την πιο λεπτή σκόνη μέχρι και ψήγματα μεγάλου μεγέθους. Στις κοίτες των περισσότερων ποταμών εντοπίζονται χρυσοφόρες άμμοι, οι οποίες μετατοπίζονται μέσω της ροής και κινούνται μεταξύ των πετρωμάτων του ποταμού. Εάν το υπόβαθρο του ποταμού είναι βραχώδες, ο χρυσός εντοπίζεται εντός των ρωγμών, καλυμμένος από στρώματα άμμου.

Η ανάκτηση του χρυσού με την χρήση των ταψιών συγκέντρωσης αποτέλεσε μία ιδιαίτερα επίπονη διαδικασία, με τον χρυσό συχνά να εντοπίζεται σε πολύ μικρές ποσότητες. Συνεπώς, δεν αποτέλεσε έκπληξη το γεγονός ότι οι μεταλλωρύχοι χρυσού στράφηκαν σε μηχανές ατμού και στην συνέχεια ντίζελ ώστε να εκμεταλλευτούν τα κερδοφόρα εδάφη. Γενικότερα, υπήρξαν και εξακολουθούν να υπάρχουν ιδιαίτερα αποτελεσματικοί τύποι εξοπλισμού ανάκτησης του προσχωματικού χρυσού. Σχετικά με την επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού τέθηκαν σημαντικά ζητήματα.

Ένα πρωταρχικό ζήτημα αποτέλεσε το κόστος απόκτησης, συντήρησης, καθαρισμού και λειτουργίας ενός μηχανήματος, συγκριτικά με τα ποσοστά ανάκτησης που μπορούν να επιτευχθούν από την χρήση του. Στην συνέχεια, η κατανομή των μεγεθών του χρυσού ήταν εκείνη που περιόρισε τις επιλογές ως προς την εφαρμογή του κατάλληλου εξοπλισμού ανάκτησης. Παράλληλα, με βάση την κατανομή μεγεθών της πρώτης ύλης στην τροφοδοσία, καθοριζόταν εάν η ταξινόμηση του μεταλλεύματος ήταν απαραίτητη για την πραγματοποίηση καλύτερων ποσοστών ανάκτησης προσχωματικού χρυσού.

Έτσι, η ανάπτυξη και βελτιστοποίηση των συσκευών εξόρυξης προσχωματικού χρυσού κατά την διάρκεια των τελευταίων αιώνων και δεκαετιών βασίστηκαν σε συγκεκριμένους παράγοντες. Πιο συγκεκριμένα, τόσο η ελαχιστοποίηση της χειρωνακτικής και επίπονης εργασίας όσο και η αύξηση της αποτελεσματικότητας που επιτυγχάνεται μέσω των αυτοματοποιημένων μεθόδων, αποτέλεσαν κρίσιμους παράγοντες στην διάρκεια της εξέλιξης των συσκευών. Στην συνέχεια, σημαντική χαρακτηρίστηκε η ανάγκη για την επεξεργασία μίας ευρύτερης κοκκομετρίας σωματιδίων χρυσού, καθώς και η μετατροπή της διακοπτόμενης λειτουργίας των μηχανισμών σε συνεχόμενη. Επιπρόσθετα, αναπτύχθηκαν συσκευές με χαμηλότερες απαιτήσεις σε καθαρισμούς, μικρότερη κατανάλωση νερού έκπλυσης και με μειωμένο εργατικό δυναμικό. Σήμερα, με την περιβαλλοντική κρίση την οποία βιώνουμε καθημερινά, κρίνεται απαραίτητο να αναπτυχθούν συσκευές ανάκτησης και επεξεργασίας του χρυσού, οι οποίες θα πρέπει να καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια, να είναι πιο αποδοτικές, να παράγουν λιγότερα απορρίμματα, τα οποία με την κατάλληλη επεξεργασία να μπαίνουν σε ένα κύκλο χρήσης, στα πλαίσια της κυκλικής οικονομίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Agricola, G. B. (1950). *De Re Metallica libri XII, translated by H. and L.H. Hoover*. New York: Dover publications reprint.
2. Ambrós, W. M. (2020). Jigging: A Review of Fundamentals and Future Directions. *Minerals 2020, 10(11)*, 998.
3. Barry, M., & Xinwu, H. (2020). A Critical Analysis of Gold Prospecting Methods. *International Journal of Geosciences 2020, 11*, 15-24.
4. Boyle, R. W. (1987). *Gold History and Genesis of Deposits*. Springer/Van Nostrand Reinhold.
5. Brereton, R. (1976). Mining Techniques in the California Goldfields During the 1850s. Στο *The Pacific Historian, Volume 20, Number 3* (σσ. 286-302). Stockton, CA: University of the Pacific for the Pacific Center for Western Studies.
6. Brooks, A. (1905). Placer mining in Alaska in 1904, Report of progress on investigations of mineral resources in Alaska in 1904. *U.S. Geological Survey 259*, 18-31.
7. Brown, K. W. (2012). The Lure of Gold, the Wealth of Silver. Στο K. W. Brown, A *History of Mining in Latin America: From the Colonial Era to the Present* (σσ. 1-36). University of New Mexico Press.
8. Bruce, T. (2007). *Dragline Maintenance Engineering*. Queensland: University of Southern Queensland Faculty of Engineering and Surveying.
9. Burt, R. O. (1984). *Gravity Concentration Technology (Developments in Mineral processing)*. Amsterdam: Elsevier.
10. Chalavadi, G. (2016). Processing of coal fines using air fluidization in an air table. *International Journal of Mineral Processing 149*, 9-17.
11. Clark, W. B. (1965). *Tertiary Channels: Mineral Information Service Vol. 18*. California Division of Mines.

12. Clark, W. B. (1970). *Gold districts of California*. Sacramento, California: California Division of Mines and Geology Bulletin 193.
13. Dardeniz, P. G. (2015). Archaeological and geological concepts on the topic of ancient mining. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration* (σσ. 231-246). Turkey: Maden Tetkik de Arama Mudurlugu.
14. De Jesus, P. S. (1977). *The development of Prehistoric mining and metallurgy in Anatolia*.
15. Doumas, C. (1991). What did the Argonauts seek in Colchis? *Hermathena No.150 (summer 1991)*, 31-41.
16. Düring, B. S. (2011). *Fortifications and fabrications: Reassessing the emergence of fortifications in Prehistoric Asia Minor*. ResearchGate.
17. Ergun, L., & Ersayin, S. (2002). Part 5: The effects of operating variables and sluice geometry on the performance of pinched sluices. Στο B. Wills, *Minerals Engineering* (σσ. 423-435). Elsevier.
18. Ergun, L., & Ersayin, S. (2002, March 25). Studies on pinched sluice concentration. Part 1: The effects of operating variables and sluice geometry on the performance of pinched sluices. *Minerals engineering 15(6)*, (σσ. 423-435).
19. Evans, D. (1936). Digging Gold with Dragline and Doodlebug. *Excavating Engineer 30(6)*, (σσ. 231-233,258).
20. Falconer, A. (2003). Gravity Separation: Old Technique/New Methods. *Magnetic and Electrical Separation 12(1)*.
21. Frangipane, M., & et.al. (2010). *Economic Centralisation in Formative States. The Archaeological Reconstruction of the Economic System in 4th Millennium Arslantepe*. Rome: Sapienza Universita di Roma.
22. Frank, L., Galvin, M., & Skinner, M. (1999). *Mining and metallurgy to the Renaissance*. Worcester: Worcester Polytechnic Institute.
23. Fuerstenau, M., & Han, K. (2003). *Principles of Mineral Processing*. Littleton, Colorado: Society for Mining, Metallurgy and Exploration Inc.

24. Gardner, E., & Johnson, C. (1938). *Power-shovel and Dragline Placer Mining*. Michigan: University of Michigan library.
25. Grayson, R. (2008). Bucket-line gold dredges-a review of world techniques. *World Placer Journal*, volume 8, 1-41.
26. Gupta, A., & Yan, D. (2006). Chapter 15 - Gravity Separation. Στο A. Gupta, & D. Yan, *Mineral Processing Design and Operation* (σσ. 494-554). Elsevier Science.
27. Hirt, A. M. (2020). Gold and Silver Mining in the Roman Empire. Στο K. Butcher, *Debasement: Manipulation of Coin Standards in Pre-Modern Monetary Systems* (σσ. 111-124). Oxford, Philadelphia: Oxbow books.
28. Holliday, J. (2002). *The World rushed in. The California gold rush experience*. Oklahoma : University of Oklahoma Press.
29. Hubbard, J., & et.al. (1953). How Humphreys spiral concentrator is used in modern ore dressing practice. *Min. World vol.15*, 40-45.
30. Hustrulid, W. A. (2009, August 7). Panning/mining. *Encyclopedia Britannica*, σ. 1.
31. Janin, C. (1915). *The history and development of Gold Dredging in Montana/ Placer Mining methods and operating costs*. Washington: Washington Government printing office.
32. Jenkins, O. P. (1935). New technique applicable to the study of placers. *California journal of mines and geology v.31, no.2*, 143-210.
33. Kärki, T. (2018). Mechanical Sorting Processing of Waste Material Before Composite Manufacturing – A Review. *Journal of Engineering Science and Technology Review* 11, 35-46.
34. Lehner, W., & Joseph, K. (2013). Organization and Specialization of Early Mining and Metal Technologies in Anatolia. Στο B. Roberts, & C. Thornton, *Archaeometallurgy in Global Perspective/ Methods and Syntheses* (σσ. 529-557). Springer.
35. Limbaugh, R., & Fuller, W. (2004). Calaveras Gold: The Impact of Mining on a Mother Lode County. *Journal of American History, Volume 91, Issue 3*, 162-163.

36. Logan, C. (1981). History of Mining and Milling Methods in California. . *California Geology*, 194.
37. Macdonald, E. H. (2007). *Handbook of gold exploration and evaluation*. Woodhead Publishing.
38. Macini, P., & Mesini, E. (2004). Hydraulic Pumps of Agricola's De Re Metallica. *Journal of Hydraulic Engineering-asce*, 1051-1054.
39. McCulloch, R., & et.al. (2003). *Applied Gold Placer Exploration and Evaluation Techniques* . Montana: Montana Bureau of Mines and Geology.
40. Merrill, C. (1938). Dragline Dredges – A New Way to Mine Placer Gold. Mining and Metallurgy. *Mining and metallurgy*, vol.19, no.12, 521-525.
41. Michaud, D. (2015). Gold Panning -History of a Prospecting Method (Tool). *911 Metallurgist*.
42. Michaud, D. (2016). Types of placer deposits. *911 Metallurgist*.
43. Michaud, L. (2016, March 26). Gravity Spiral Concentrator Working Principle. *911 Metallurgist*.
44. Nesbitt, A., & et.al. (2005). Characterisation of the pulse wave of an InLine Pressure Jig in a near density application. *Mineral engineering, volume 18, issue 1*, 1-7.
45. Okrostsvaridze, A., & et.al. (2014). Field investigation of the mythical “Gold Sands”of the ancient Colchis Kingdom and modern discussion on the Argonauts’ expedition. *Quaternary International* 409, 1-9.
46. Paddison, J. (2011). *1848-1865: Gold Rush, Statehood, and the Western Movement*. California: University of California.
47. Paul, R. (1965). *California Gold. The Beginning of Mining in the Far West*. Nebraska: University of Nebraska Press.
48. Pérez-García, L. (2000, November). Tertiary and Quaternary alluvial gold deposits of Northwest Spain and Roman mining (NW of Duero and Bierzo Basins). *Journal of Geochemical Exploration* 71(2), 225-240.
49. Polat, E., & et.al. (2017). Use of Pinched Sluice in Albite Concentration. *Inzynieria Mineralna (1)*, 33-38.

50. Purdy, S. (2007). *Analysis of Dredge Tailings Pile Patterns: Applications for Historical Archaeological Research*. Oregon: Oregon State University.
51. Putz, A. (1994). *An investigation of the gravity recovery of gold*. McGill University.
52. Ridgley, V. (2018, November 8). *Hydraulic Gold Mining - History and Current Use*. Ανάκτηση από Mineral Expert.org: <https://mineralexpert.org/article/hydraulic-mining-placer-gold-monitor>
53. Roger, P., & Moorey, S. (1999). *Ancient Mesopotamian Materials and Industries: The Archaeological Evidence*. Eisenbrauns.
54. Rohe, R. E. (1986). Gold Dredging in the American West: Origin and Diffusion of traditional placer mining in the West. *Material culture vol.18,no.3*, 127-166.
55. Romanowitz, C., & et.al. (1970). *Gold placer mining - placer evaluation and dredge selection*. Washington: U.S. Bureau of Mines .
56. Ruiz del Árbol, M. (2014). Water networks of Roman gold mines of Northwestern Iberian Peninsula. *Water Hist (6)*, 95-113.
57. Saliou, M. B. (2020). A Critical Analysis of Gold Prospecting Methods. *International Journal of Geosciences vol.11,no.2*, 15-24.
58. Sampaio, C., & Tavares, L. (2005). *Beneficiamento Gravimétrico: Uma Introdução aos Processos de Concentração Mineral e Reciclagem de Materiais por Densidade*. Porto Alegre: UFRGS.
59. Sanchez, F. (2006). Las zonas mineras romanas del noroeste peninsular. Infraestructura y organización del territorio. *Nuevos Elementos de Ingeniería Romana*, 265-285.
60. Shawe, D., & Yeend, W. (1989). *Gold in Placer Deposits*. Georgia: USGS Publications Warehouse.
61. Silva, M. (1986). *Placer Gold Recovery Methods (special publicaton 87)*. California: California department of conservation division of mines and geology.
62. Spence, C. C. (2016). *A History of Gold Dredging in Idaho. Mining the American West Series*. . University of Colorado Press.

63. Spiller, D. (1983). Gravity separation of gold-then and now. *National Western Mining Conference*, (σ. 7). Denver,Colorado.
64. Jones, H. (1924). *The Geography of Strabo*. London: Harvard University Press.
65. Subasinghe, G., & Mary, Y. (1994). The use of mercury in small-scale gold mining operations: effectiveness and pollution aspects. *Exploration and mining conference*, (σσ. 264-270). Papua,New Guinea: Australasian Institute of Mining and Metallurgy.
66. Swapan, K. (2018). Chapter 13- Mineral Processing. Στο K. Swapan, *Mineral Exploration (second edition)* (σσ. 259-290). Elsevier.
67. Vanderburg, W. O. (1983). *Placer Mining in Nevada*. Reno,Nevada: Nevada Bureau of Mines and Geology.
68. Veiga, M. M. (2020). Gravity Concentration in Artisanal Gold Mining. *Minerals*,10,1026, 1-49.
69. Veiga, M., & et.al. (2006). Manual for Training Artisanal and Small-Scale Gold Miners. *UNIDO/Removal of Barriers to Introduction of Cleaner Artisanal Gold Mining and Extraction Technologies* (σσ. 1-152). Vienna: UNIDO.
70. Weishaupt, G., & Jacobson, C. (1989). *How To Build and Operate Sluice Boxes Part III Riffle Testing*. University of British, Columbia. .
71. Wells, J. H. (1969). *Placer Examination Principles and Practice*. Phoenix: U,S, Department of the Interior Bureau of Land Management.
72. West, J. (1971). *How to mine and prospect for placer gold*. U.S. Bureau of Mines Information Circular .
73. Wills, B. A., & Napier, T. (2006). *Will's Mineral Processing Technology*. Queensland: Elsevier Science & Technology Books.
74. Wormer, V., & Stephen, R. (2012). Dry Diggings/A History of the Potholes Mining District. *Association of Geologists 40th Anniversary Volume.San Diego*, 103-108.
75. Yannopoulos, J. C. (1991). *The Extractive Metallurgy of Gold*. New York: SpringerLink.
76. Yannopoulos, S., & Lyberatos, G. (2015). Evolution of Water Lifting Devices (Pumps) over the Centuries Worldwide. *Water* 7(9), 5031-5060.

77. Yeend, W., & et.al. (1968). *Tertiary gold-bearing channel gravel in northern Nevada County, California*. California: USGS Publications Warehouse.
78. Zamyatin, & et.al. (1975). *Concentration of gold sands and conglomerates*. Moscow.
79. Ζευγώλης, Ε. Ν. (2003). Μεταλλουργία Χρυσού και Περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η Διεθνής Εμπειρία. *Ημερίδα ΤΕΕ: Σύγχρονες Εξελίξεις και Προοπτικές Ανάπτυξης του Κλάδου Μεταλλευτικής και Μεταλλουργίας*. Αθήνα: Research gate.
80. Κακριδής, Ι. Θ. (1986). *Ελληνική Μυθολογία - σειρά 5 τόμων*. Αθήνα: Εκδοτική Αθηνών.
81. Φραγκίσκος, Α. Ζ., & Κατράκης, Σ. Δ. (1979). *Εισαγωγή εις τον εμπλουτισμόν των μεταλλευμάτων και βιομηχανικών ορυκτών*. Αθήνα: Τεχνικό Επιμελητήριο της Ελλάδος (ΤΕΕ).

Υπόμνημα

Adit: Κύρια οριζόντια ή σχεδόν οριζόντια στοά προσπέλασης σε ορυχείο
Alluvial deposit: Αλλουβιακό κοίτασμα ή απόθεση/ Αποθέσεις άμμου και κροκάλων κατά μήκος ποταμών σε θέσεις όπου μειώνεται η ταχύτητα του ρέματος
Amalgam: Αμάλαμα (Κράμα με βασικό συστατικό τον υδράργυρο)
Apron: Ποδιά (αποτελείται από ξύλινο πλαίσιο το οποίο καλύπτεται με χονδρό πανί ή άλλο υλικό)
Arrastra: Πρωτόγονος μύλος για άλεση και κονιοποίηση χρυσού και αργύρου
Bank: Όχθη
Bar: Αποθέσεις ιζημάτων από την ροή του ύδατος
Bedrock: Πέτρωμα Υποβάθρου
Bench: Βαθμίδα υπαίθριας εκμετάλλευσης
Carbon in Pulp (CIP): Τεχνική εκχύλισης με κυάνιο για ανάκτηση χρυσού
Cobble: Ογκοτεμάχια με στρογγυλεμένες άκρες, είναι μεγαλύτερα της κροκάλας με διάμετρο μεταξύ 65-256mm. Λόγω της μεταφοράς ή της διαβρώσεως είναι κάπως στρογγυλή ή αποστρογγυλλεμένη.
Conglomerate: Κροκαλοπαγές ιζηματογενές πέτρωμα το οποίο αποτελείται από ένα σημαντικό κλάσμα στρογγυλλεμένων κροκάλων μεγέθους χαλικιού
Consolidation trickling: Στερεοποίηση με τρεχούμενη ροή νερού/ Στους συγκεντρωτές Jiggs αποτελεί το τελευταίο βήμα στο οποίο τα λεπτόκοκκα σωματίδια υψηλού ειδικού βάρους περνούν μέσα από τα διάκενα των αδρόκοκκων σωματιδίων υψηλού ειδικού βάρους, σχηματίζονται μία στρώση υλικών στην εσχάρα της συσκευής.
Crosscuts: Εγκάρσιες οριζόντιες στοές που εκτείνονται από το υπόβαθρο (footwall) του μεταλλεύματος προς την οριζόντια στοά μεταφοράς.
Detrital: Δενδριτικός/ Ο όρος χαρακτηρίζει κλαστικά ιζήματα. Το δενδριτικό υλικό είναι κλαστικό ίζημα, το οποίο έχει παραχθεί από την αποσάθρωση και αποσύνθεση πετρώματος μεταφερθέντος και μη σχηματισθέντος in situ
Dip-box: κουτί εμβάπτισης
Dipper: Τσάπα
Ditches: Τάφροι

Dragline dredge: Βυθοκόρηση στην οποία η εκσκαφή πραγματοποιείται από καλοδιοφόρου εκσκαφείς
Dredging: Βυθοκόρηση
Drift mines: Υπόγεια ορυχεία
Drums (of a mining machine): Περιστροφική κοπτική κεφαλή ('τύμπανο') με προσαρμοσμένα κοπτικά άκρα.
Electrowinning: Η εξαγωγή μέσω ηλεκτρόλυσης αποτελεί μία διαδικασία κατά την οποία μέταλλα, όπως ο χρυσός, ο άργυρος και ο χαλκός ανακτώνται από ένα διάλυμα μέσω ηλεκτρολυτικών χημικών αντιδράσεων. Αυτό πραγματοποιείται όταν ένα ηλεκτρικό ρεύμα διέρχεται μέσα από το διάλυμα. Κατά την διάρκεια της διαδικασίας, τα ηλεκτρόνια μειώνουν χημικά τα μεταλλικά ιόντα, για να σχηματίσουν μια στερεή μεταλλική ένωση στην κάθοδο (αρνητικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο)/ Διαχωρισμός με την χρήση ηλεκτροδίων
Eluvial placers: Προσχωματικά κοιτάσματα που δημιουργούνται από την επί τόπου αποσάθρωση ή έναν συνδυασμό αποσάθρωσης και βαρυτικής κίνησης ή συσσώρευσης (eluvial = έκπλυση, π.χ. eluvial ore deposit = εκπλυμένο κοίτασμα μεταλλικού ορυκτού)
Gangue: Σύνδρομο υλικό, χωρίς οικονομική σημασία, το οποίο εμπεριέχει συνήθως τα μεταλλογενετικά ορυκτά/ το εμπορικά άχρηστο υλικό στο οποίο βρίσκεται το μέταλλευμα
Gold pans: Ταψιά συγκέντρωσης χρυσού
Ground sluicing: Κύρια ειδική τεχνική για την έκπλυση προσχωματικών κοιτασμάτων
Gullies: Διάδρομος - μικρό κανάλι, το οποίο προσπίπτει στη λάσπη ή σε επίπεδα άμμου, κάτω από το επίπεδο της μέσης υψηλής παλίρροιας
Hutch water: Νερό που χρησιμοποιείται για την αντιστάθμιση απωλειών
Jigging: Βαρυτομετρική μέθοδος διαχωρισμού μέσω συγκεντρωτών Jiggs
Jointed rock : Κατακερματισμένο πέτρωμα, πέτρωμα με ασυνέχειες
Lode deposits: Κοιτάσματα φλεβικού τύπου
Mafic rock: Πέτρωμα βασικής σύστασης
Mineralized zones: Ζώνες εντός των οποίων έχουν αναπτυχθεί ορυκτά
Moss: Βρύα ή βρυόφυτα

Pebbles: Κροκάλες. Είναι γενικός όρος, ο οποίος χαρακτηρίζει τεμάχια αποστρογγυλεμένων πετρωμάτων με διάμετρο από 4-64 mm.
Placer deposits: Προσχωματικά κοιτάσματα - κοιτάσμα το οποίο σχηματίζεται από αυστηρά μηχανική συγκέντρωση – εμπλουτισμό – ορυκτών τεμαχιδίων, π.χ. με τη δράση κινούμενων υδάτων ή ανέμου. Ο όρος χρησιμοποιείται για αλλουβιακά κοιτάσματα χρυσού.
Plants: Εγκαταστάσεις (οι σήραγγες, τα μηχανοστάσια, μηχανήματα, εργαστήρια κτλ. ενός ορυχείου)
Power shovel dredge: Βυθοκόρηση στην οποία η εκσκαφή πραγματοποιείται από υδραυλικούς εκσκαφείς
Puddling box: Κυκλικός λάκκος διαμορφωμένος στο έδαφος, επενδεδυμένος με ξύλο και γεμάτος με νερό και άργιλο. Τα άλογα πραγματοποιούσαν μία κυκλική διαδρομή περιστρέφοντας μία συσκευή με κοπτικά άκρα εντός του λάκκου, σπάζοντας με αυτό τον τρόπο τους σβόλους των υλικών και μετατρέποντας τους σε παχύρευστη λάσπη. Ο χρυσός που αποδεσμευόταν από την άργιλο βυθιζόταν στον πυθμένα, ενώ η υγρή άργιλος αποστραγγιζόταν στην επιφάνεια. Το υπόλειμμα που παρέμενε στον πυθμένα, επεξεργαζόταν περαιτέρω μέσω μεθόδων όπως τα ταψιά συγκέντρωσης χρυσού, ώστε να ανακτηθεί η μέγιστη ποσότητα αυτού.
Oceanic plains: Ωκεάνιες λεκάνες
Quicksilver flasks: Φιάλες υδραργύρου
Radio tracers: Ραδιοεντοπιστές, όπου ο ραδιενεργός ιχνηθέτης είναι ένα χημικό συστατικό του οποίου ένα ή περισσότερα άτομα έχουν αντικατασταθεί από ραδιοϊσότοπα.
Ragging (jigs meaning): Η έκπλυση των χονδροειδών σωματιδίων/ η διαδικασία συγκέντρωσης του μεταλλεύματος
Residual placers: Υπολειμματικά προσχωματικά κοιτάσματα
Regional Rocks: Πετρώματα της περιοχής
Reef gold: Φλέβα χρυσού εντός του αρχικού μητρικού πετρώματος
Riveted iron slip-joint pipe: Σιδερένιος σωλήνας ολίσθησης με άρθρωση
Riffles: Ραβδώσεις
Rocker: Συσκευή έκπλυσης για τεχνητή συγκέντρωση μεταλλικών ορυκτών και συσσωματωμάτων/ Κουτί λίκνισης
Roughers: Συσκευές αδρομερούς διαχωρισμού
Scavenging: Καθαρισμός

Scintillometers: Επιστημονική συσκευή που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση των τυρβωδών διακυμάνσεων του δείκτη διάθλασης του αέρα, οι οποίες προκαλούνται από μεταβολές στη θερμοκρασία, την υγρασία και την πίεση.
Shacking tables: Δονούμενες τράπεζες
Shaft: Φρέαρ (κατακόρυφο κύριο έργο προσπέλασης που παρέχει πρόσβαση σε ορυχείο ή άλλες υπόγειες εργασίες)
Stamp mill: Μύλος λειοτρίβησης μορφής σφραγίδας (μηχανική συσκευή που χρησιμοποιείται για την σύνθλιψη μεταλλεύματος και την εξαγωγή των επιθυμητών μετάλλων από τον πέτρωμα)
Steam scraper: Συσκευή αποψίλωσης υλικού με την χρήση ατμού
Stream piracy: Δέσμευση ρεμάτων ή κατακράτηση ποταμών
Slime tables: Τράπεζες που εφαρμόζονται για σωματίδια με μεγέθη μικρότερα από 10μm.
Sluices: Υδροσυγκεντρωτές
Subsidence: Καθίζηση/ Ταπείνωση/Κατάπτωση. i) Είναι η τοπική καταβύθιση του γήινου φλοιού. ii) Υποχώρηση, τοπική ή περιφερειακή του πυθμένα.
Suction dredges: Βυθοκόροι αναρρόφησης
Terrigenous: Χερσογενή
Trommels: Κυλινδρικές διάτρητες μεταλλικές συσκευές κοσκίνισης ορυκτών, των οποίων η λειτουργία βασίζεται στην δράση των σωματιδίων του πολφού που προσκρούουν μεταξύ τους.
Tumblers: Ανατροπείς
Vestiges: Υπολείμματα
Weathering: Αποσάθρωση (μηχανική χημική, βιοχημική)
Winnowing: Έκπλυση. Είδος εκπλύσεως κατά το οποίο απομακρύνονται τα συστατικά από την αρχικώς αποτεθείσα ασβεστολιθική ιλύ, λόγω της δράσεως των θαλάσσιων ρευμάτων και των κυματισμών του θαλάσσιου ύδατος.

