



**ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΚΟΜΒΟΥ
ΤΑΙΝΙΟΔΡΟΜΩΝ ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΛΙΓΝΙΤΩΡΥΧΕΙΑ
ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ**

ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Καθηγητής Ζαχαρίας Αγιουτάντης (επιβλέπων)

Λέκτορας Παναγιώτης Παρτσινέβελος

Δρ. Χρήστος Ρούμπος (407)

**Αντιγόνη Γ. Βλάχου
Χανιά 2012**



Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις των εξεταστών.

Περίληψη

Η υπαίθρια εκμετάλλευση είναι πιθανότατα η παλαιότερη μέθοδος εκμετάλλευσης, το προβάδισμά της, όμως, έναντι της υπόγειας αποδόθηκε στη σημαντική βελτίωση του μηχανολογικού εξοπλισμού. Σήμερα η υπαίθρια εκμετάλλευση συνεχούς λειτουργίας βρίσκει μεγάλη εφαρμογή στην Ελλάδα, στα ορυχεία τόσο της περιοχής Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου όσο και της περιοχής της Μεγαλόπολης.

Κατά τον σχεδιασμό των εκμεταλλεύσεων συχνά ανακύπτουν επιμέρους ζητήματα βελτιστοποίησης τα οποία πρέπει να διερευνηθούν σε βάθος. Ένα από τα προβλήματα που συχνά αντιμετωπίζονται κατά το σχεδιασμό υπαιθρίων εκμεταλλεύσεων συνεχούς λειτουργίας είναι η χωροθέτηση του κόμβου ταινιοδρόμων, δηλαδή του κόμβου στον οποίο καταλήγει το σύνολο των εκσκαφών και από τον οποίο διανέμεται το σύνολο των αποθέσεων και του μεταλλευτικού προϊόντος.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία διερευνάται η εύρεση της βέλτιστης θέσης του κόμβου ταινιοδρόμων βάσει οικονομικών κριτηρίων στα οποία περιλαμβάνεται και το κόστος επένδυσης αλλά και το κόστος λειτουργίας. Τα παραπάνω κόστη είναι ευθέως ανάλογα με τις επιμέρους αποστάσεις μεταφοράς. Στα πλαίσια της διερεύνησης αυτής αναπτύχθηκε αλγόριθμος ο οποίος υλοποιήθηκε σε περιβάλλον Matlab για τον προσδιορισμό της βέλτιστης θέσης του κόμβου ταινιοδρόμων. Παρουσιάζονται κυρίως αποτελέσματα για εναλλακτικά σενάρια χωροθέτησης αποθέσεων σε ένα απλοποιημένο μοντέλο λιγνιτικού κοιτάσματος.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να αφιερώσω λίγα λόγια ώστε να ευχαριστήσω θερμά όλους αυτούς τους ανθρώπους που με βοήθησαν να φέρω εις πέρας αυτή την εργασία. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της εργασίας αυτής, κ. Ζαχαρία Αγιουτάντη, για τη διαρκή υποστήριξη και καθοδήγηση καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής εργασίας, καθώς επίσης και τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, τον κ. Χρήστο Ρούμπο, για τις παρατηρήσεις και διορθώσεις του στο κείμενο, αλλά και για τις πολύτιμες πληροφορίες για τη συγγραφή της εργασίας και τα στοιχεία από τη ΔΕΗ και τον κ. Παναγιώτη Παρτσινέβελο, για την πολύτιμη βοήθειά του στο κομμάτι των προγραμμάτων. Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Κωνσταντίνο Μακαντάση για το προγραμματιστικό κομμάτι της εργασίας, αλλά και τη βοήθειά του στην κατανόηση του προγράμματος και την κ. Σταθογιάννη Φωτεινή για τις απαραίτητες διορθώσεις της επί του κειμένου της διπλωματικής, αλλά κυρίως για την ψυχολογική βοήθειά της. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τις φίλες, τους φίλους και τους γονείς μου για τη στήριξη που μου παρείχαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	i
Ευχαριστίες.....	ii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Γενικά.....	1
1.2 Μεθοδολογία διερεύνησης του προβλήματος της βέλτιστης χωροθέτησης του κόμβου ταινιοδρόμων σε υπαίθριες εκμεταλλεύσεις συνεχούς λειτουργίας.....	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	6
ΥΠΑΙΘΡΙΕΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ.....	6
2.1 Η σημασία της τεχνολογίας της υπαίθριας εκμετάλλευσης στη σύγχρονη μεταλλευτική	6
2.2 Καθορισμός μεθόδου εκμετάλλευσης	8
2.2.1 Επιφανειακή εκμετάλλευση με βαθμίδες για κοιτάσματα μεγάλης οριζόντιας εξάπλωσης	8
2.2.2 Παράλληλη και στροφική και λειτουργία	10
2.2.2.1 Παράλληλη λειτουργία	11
2.2.2.2 Στροφική λειτουργία	13
2.3 Καθορισμός παραμέτρων σχεδιασμού	16
2.4 Εξοπλισμός	18
2.5 Σχεδιασμός υπαίθριας εκμετάλλευσης.....	19
2.5.1 Βασικοί ορισμοί και στοιχεία του σχεδιασμού	19
2.5.2 Καθορισμός θέσης αρχικής διάνοιξης	24
2.5.3 Καθορισμός περιοχής εξωτερικής απόθεσης	25
2.5.4 Καθορισμός θέσης κατασκευής κόμβου ταινιοδρόμων	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	27
ΚΟΜΝΗΝΑ – ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ – ΠΡΩΤΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ	27
3.1 Περιγραφή του κοιτάσματος του ορυχείου Κομνηνών.....	27
3.1.1 Θέση και προσανατολισμός του κοιτάσματος	27
3.1.2 Κοιτασματολογικά στοιχεία	28
3.1.2.1 Βασικά χαρακτηριστικά λιγνίτη	30
3.1.2.2 Βασικά χαρακτηριστικά υπερκείμενων σχηματισμών	31
3.1.2.3 Βασικά χαρακτηριστικά ενδιάμεσων σχηματισμών	31
3.1.3 Όρια και έκταση κοιτάσματος - Αποθέματα λιγνίτη - ποσότητες αγόνων - σχέση εκμετάλλευσης.....	31
3.1.4 Τεκτονική.....	32

3.2 Επιλογή κατάλληλου εξοπλισμού.....	33
3.2.1 Πάγιος εξοπλισμός.....	33
3.2.2 Συμβατικός εξοπλισμός	36
3.3 Προγραμματισμός παραγωγής.....	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	41
ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ	41
4.1 Ορισμός.....	41
4.1.1 Γραμμικός Προγραμματισμός.....	42
4.1.2 Μη Γραμμικός Προγραμματισμός	43
4.1.2.1 Ντετερμινιστικές Μέθοδοι	43
4.1.2.2 Στοχαστικές Μέθοδοι	44
4.2 Εφαρμογή βελτιστοποίησης στην επιλογή του κόμβου ταινιοδρόμων για μοντέλο κοιτάσματος που ομοιάζει το κοιτάσμα Κομνηνών	44
4.2.1 Γενικά	44
4.2.2 Χρήση εξισώσεων βελτιστοποίησης	45
4.3 Εφαρμογή βελτιστοποίησης.....	48
4.3.1 Αλγόριθμος βελτιστοποίησης θέσης του κόμβου ταινιοδρόμων.....	48
4.3.2 Ανάλυση ευαισθησίας και εντοπισμός σφαλμάτων.....	51
4.4 Περιγραφή αλγορίθμου	54
4.5 Παραμετρική ανάλυση	56
4.5.1 Γεωμετρία μοντέλων.....	56
4.5.2 Υπολογισμός όγκων	57
4.5.3 Παρουσίαση τομών.....	58
4.5.4 Παρουσίαση μεθοδολογίας εύρεσης όγκων	62
4.5.5 Παραμετρική ανάλυση.....	65
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	85
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	85
5.1 Συμπεράσματα	85
5.2 Προτάσεις.....	87
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	89

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Κατά τον σχεδιασμό τόσο υπογείων όσο και υπαιθρίων εκμεταλλεύσεων συχνά ανακύπτουν επιμέρους ζητήματα τα οποία πρέπει να διερευνηθούν σε βάθος ώστε να προκύψουν οι βέλτιστες συνθήκες εφαρμογής. Ένα από τα προβλήματα που συχνά αντιμετωπίζονται κατά το σχεδιασμό υπαιθρίων εκμεταλλεύσεων, στις οποίες η εκμετάλλευση γίνεται με τη χρήση πάγιου εξοπλισμού συνεχούς λειτουργίας, είναι η χωροθέτηση του κόμβου ταινιοδρόμων, δηλαδή του κόμβου στον οποίο καταλήγει το σύνολο των εκσκαφών και από τον οποίο διανέμεται το σύνολο των άγονων υλικών και του μεταλλευτικού προϊόντος.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία διερευνάται η εύρεση της βέλτιστης θέσης του κόμβου ταινιοδρόμων βάσει οικονομικών κριτηρίων στα οποία περιλαμβάνεται το κόστος επένδυσης αλλά και το κόστος λειτουργίας των ταινιοδρόμων. Η εύρεση της θέσης του κόμβου ώστε να επιτυγχάνεται το ελάχιστο συνολικό κόστος, συναρτάται με την επίτευξη του μέγιστου οικονομικού οφέλους για την επιχείρηση που διενεργεί την εκμετάλλευση, εφόσον οι λοιπές παράμετροι δαπανών και εσόδων παραμένουν σταθερές. Τα παραπάνω κόστη, όπως θα αναπτυχθεί και στη συνέχεια, είναι ευθέως ανάλογα με τις επιμέρους αποστάσεις μεταφοράς. Η παραπάνω διερεύνηση αναφέρεται κυρίως στις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις λιγνίτη που διενεργούνται από τη ΔΕΗ στις λιγνιτικές λεκάνες στη Βόρεια και Νότια Ελλάδα με τη χρήση της Γερμανικής μεθόδου, όπως θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε αντίστοιχες εκμεταλλεύσεις εντός και εκτός Ελλάδος.

Η σε βάθος διερεύνηση του ζητήματος αυτού είναι σημαντική καθώς το κόστος μεταφοράς είναι σημαντικό μέρος του κόστους επένδυσης για την αξιοποίηση κοιτασμάτων. Ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια, συζητείται εκτεταμένα το θέμα της μεγιστοποίησης της προσδοκώμενης ωφέλειας από την αξιοποίηση ορυκτών πρώτων υλών (Cairns, 1998, Marvasti, 2000, O'Regan και Moles, 2003).

Για την ιεραρχική κατάταξη των κοιτασμάτων, ως προς το αναμενόμενο όφελος που θα προέλθει από την εκμετάλλευσή τους, δηλαδή ως προς την εκμεταλλευσιμότητά τους, απαιτείται η κατάρτιση κατάλληλου συστήματος λήψης αποφάσεων.

Το πρόβλημα της διαμόρφωσης μαθηματικού μοντέλου για την ολοκληρωμένη προσέγγιση της αξιολόγησης μεταλλευτικών επενδύσεων καθίσταται πολυσύνθετο και ιδιαίτερα ενδιαφέρον όταν οι επιχειρήσεις δραστηριοποιούνται σε ανταγωνιστικές αγορές, οι οποίες, σε συνδυασμό με πολλούς αστάθμητους παράγοντες, διαμορφώνουν συνθήκες αβεβαιότητας. Στο σημείο αυτό, έρχονται να προστεθούν οι κίνδυνοι μιας μεταλλευτικής επένδυσης.

Η μεταλλευτική δραστηριότητα σχετίζεται με την εκμετάλλευση κοιτασμάτων, τα οποία αποτελούν μη ανανεώσιμους φυσικούς πόρους, με σκοπό το όφελος. Αν και το συγκεκριμένο όφελος δύναται να ερμηνευτεί με διάφορους τρόπους (οικονομικό, κοινωνικό όφελος κτλ.), το κυρίαρχο κίνητρο για μια επιχείρηση που αναλαμβάνει τον επιχειρηματικό κίνδυνο υλοποίησης μεταλλευτικών επενδύσεων είναι το άμεσο συνολικό οικονομικό όφελος, δηλαδή το σύνολο του ετήσιου πλεονάσματος μεταξύ των εσόδων και των δαπανών της παραγωγής, αφαιρούμενου του κόστους της επένδυσης, αφού φυσικά ληφθεί υπόψη η σχετική χρονική υστέρηση.

Η μεταλλευτική δραστηριότητα εντάσσεται στην κατηγορία των παραγωγικών κλάδων εντάσεως κεφαλαίου. Δηλαδή, η απόδοση της παραγωγής επηρεάζεται κυρίως από τον μηχανολογικό εξοπλισμό, δηλαδή από την παράμετρο του κεφαλαίου, και σε περιορισμένο βαθμό από την παράμετρο της εργασίας. Η παρατήρηση αυτή υποδηλώνει την αναγκαιότητα δέσμευσης σημαντικών κεφαλαίων κατά την έναρξη της επένδυσης, αλλά και εξασφάλισης επιπρόσθετων κεφαλαίων κατά τη διάρκειά της για την ανανέωση, τον εκσυγχρονισμό του μηχανολογικού εξοπλισμού και την ενσωμάτωση της νέας τεχνολογίας (Ρούμπος, 2010α).

Η ίδια η φύση της μεταλλευτικής δραστηριότητας, παρουσιάζει πολυπλοκότητα και πολλές ιδιομορφίες, οι οποίες εισάγουν επιπρόσθετες παραμέτρους κινδύνου στη διαδικασία αξιολόγησης μιας νέας επένδυσης. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που διαμορφώνουν αυτή την εικόνα είναι (Κατράκης, 1965, Οικονομόπουλος και Παναγόπουλος, 1977, Αποστολίδης, 1987, Φραγκίσκος, 1994, Dimitrakopoulos, 2000):

- a) Η μη ανανεωσιμότητα των ορυκτών φυσικών πόρων
- b) Η μοναδικότητα κάθε κοιτάσματος
- c) Η χρονική διάρκεια των μεταλλευτικών επενδύσεων
- d) Η γεωγραφική θέση των κοιτασμάτων

- e) Το ιδιόμορφο νομικό καθεστώς που διέπει την εκμετάλλευση των ορυκτών πόρων
- f) Ο μικρός βαθμός ανακτησιμότητας του κεφαλαίου

Λαμβάνοντας υπόψη τα προαναφερθέντα είναι σαφές ότι όσο καλύτερα αντιμετωπιστούν επιμέρους θέματα αβεβαιότητας που προκύπτουν κατά το σχεδιασμό ή και κατά τη λειτουργία μιας μεταλλευτικής δραστηριότητας τόσο καλύτερο θα είναι αφενός το οικονομικό αποτέλεσμα της επένδυσης ενώ ταυτόχρονα θα μειώνονται και οι πιθανότητες αστοχιών λόγω μη αποδοτικής λειτουργίας των επιμέρους συστημάτων.

1.2 Μεθοδολογία διερεύνησης του προβλήματος της βέλτιστης χωροθέτησης του κόμβου ταινιοδρόμων σε υπαίθριες εκμεταλλεύσεις συνεχούς λειτουργίας

Το έναυσμα για το θέμα που διερευνάται στην παρούσα διπλωματική εργασία ήταν η ανάγκη ανάπτυξης ενός μοντέλου χωροθέτησης με βέλτιστο τρόπο της θέσης του κόμβου ταινιοδρόμων σε ορυχεία συνεχούς λειτουργίας, όπως τα ορυχεία τα οποία έχουν αναπτυχθεί τόσο στην περιοχή Αμυνταίου – Πτολεμαΐδας όσο και στην περιοχή Μεγαλόπολης. Για τα κοιτάσματα τα οποία βρίσκονται ήδη σε φάση εκμετάλλευσης μπορεί να γίνει επαναπροσδιορισμός της βέλτιστης θέσης χωροθέτησης του κόμβου ταινιοδρόμων αλλά δεν είναι σίγουρο ότι θα είναι εύκολη η αλλαγή σε νέο βέλτιστο κόμβο λόγω της δαπάνης η οποία απαιτείται. Σημειώνεται ότι στο Νότιο Πεδίο προβλέπεται η κατασκευή νέου κόμβου ταινιοδρόμων, καθώς η εκμετάλλευση συνεχίζεται σε τομείς όπου το κοίτασμα είναι βαθύτερο.

Η αρχική σκέψη στην παρούσα εργασία ήταν να μελετηθεί η χωροθέτηση του κόμβου ταινιοδρόμων για το κοίτασμα Κομνηνών. Η εκμετάλλευση στο κοίτασμα Κομνηνών δεν έχει ξεκινήσει ακόμα, παρόλο που οι τομείς μελετών της ΔΕΗ έχουν προχωρήσει στην ολοκληρωμένη πρόταση μελέτης για εκμετάλλευση με τη μέθοδο συνεχούς λειτουργίας, αλλά και τη χρήση εξοπλισμού ασυνεχούς λειτουργίας. Η πρώτη προσέγγιση για την αντιμετώπιση του ζητήματος αυτού ήταν να χρησιμοποιηθεί μία πλατφόρμα GIS (ArcGIS), στην οποία θα μπορούσαν να καταχωρηθούν όλα τα γεωμετρικά στοιχεία του κοιτάσματος και τα μορφολογικά στοιχεία της περιοχής και στη συνέχεια, με τα εργαλεία που είναι διαθέσιμα στις ενδοπλατφόρμες, να γίνει η βελτιστοποίηση της χωροθέτησης του κόμβου ταινιοδρόμων. Μετά από αρκετές δοκιμές διαπιστώθηκε ότι η μέθοδος αυτή δεν ήταν

ευέλικτη και με δυσκολία θα μπορούσε να προκύψει το τελικό αποτέλεσμα καθώς οι υπολογισμοί αυτοί χρειάζονται αρκετά επιμέρους στοιχεία τα οποία πρέπει να δίνονται παραμετρικά. Ένα άλλο στοιχείο που συνέβαλε στην εγκατάλειψη της πρώτης ιδέας ήταν ότι δεν ήταν εύκολο να επιλυθεί το πρόβλημα υπολογισμού του κόστους επένδυσης και λειτουργίας με αλγορίθμους ενσωματωμένους στο σύστημα αυτό. Ένα πλεονέκτημα της χρήσης πλατφόρμας GIS είναι ότι τα γεωγραφικά/χωρικά στοιχεία είναι πολύ εύκολο να καταχωρηθούν και να απεικονιστούν στα συστήματα αυτά.

Στη συνέχεια αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί το περιβάλλον MATLAB για την επίλυση του προβλήματος αυτού. Ένα από τα ζητήματα τα οποία αμέσως ανέκυψαν ήταν ότι θα έπρεπε τα χωρικά στοιχεία του προβλήματος να καταχωρηθούν εκ νέου μετά από την ψηφιοποίηση τοπογραφικών χαρτών και χαρτών εκμετάλλευσης.

Είναι γνωστό ότι όταν αναπτύσσονται νέοι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης τεχνικών προβλημάτων είναι αναγκαίο να μπορούν ελεγχθούν τα αποτελέσματα με βάση συγκριτικά αποτελέσματα που εξήχθησαν με συμβατικό τρόπο υπολογισμού. Για το λόγο αυτό, στην εργασία αυτή επιλέχτηκε να χρησιμοποιηθεί ένα γεωμετρικό προσομοίωμα του κοιτάσματος Κομνηνών με περίπου τις ίδιες διαστάσεις στο χώρο αλλά με σημαντικές απλοποιήσεις όσον αφορά τη στρωματογραφία του κοιτάσματος, τη γεωμετρία των θέσεων εκσκαφής και απόθεσης καθώς και τις φυσικές ιδιότητες των εξορυσσόμενων υλικών.

Έτσι η διάρθρωση της παρούσας εργασίας είναι ως εξής:

Στο κεφάλαιο 2, γίνεται εισαγωγή στις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις, εξηγείται η σημασία επικράτησής τους έναντι των υπογείων, καθορίζεται η μέθοδος εκμετάλλευσης και γίνεται εκτενής αναφορά στις λειτουργίες της (παράλληλη και στροφική λειτουργία). Στη συνέχεια, αναλύονται οι παράμετροι που επηρεάζουν το σχεδιασμό μιας εκμετάλλευσης και γίνεται η επιλογή των στοιχείων που αναφέρονται πριν από την εκμετάλλευση. Τέλος, αναφέρεται ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται στις επιφανειακές εκμεταλλεύσεις.

Στο κεφάλαιο 3, γίνεται μία πρώτη προσέγγιση στο ορυχείο Κομνηνών, το κοίτασμα του οποίου ομοιάζει με το απλοποιημένο μοντέλο που μελετάται στην εργασία. Δίνονται τα στοιχεία του κοιτάσματος (χωροθέτηση κοιτάσματος, κοιτασματολογικά στοιχεία, γεωλογικά στοιχεία) καθώς και ο προγραμματισμός παραγωγής. Επίσης, δίνεται και ο εξοπλισμός που προγραμματίζεται να χρησιμοποιηθεί στην εκμετάλλευση του ορυχείου.

Στο κεφάλαιο 4 γίνεται αναλυτική περιγραφή των βημάτων που ακολουθήθηκαν για την επίτευξη του στόχου, περιγράφεται ο αλγόριθμος μέσω του οποίου υπολογίζεται η βέλτιστη θέση

χωροθέτησης για διαφορετικά σενάρια εκμετάλλευσης (διαφορετικές θέσεις απόθεσης, διαφορετικό μίγμα υλικών, κλπ) και στη συνέχεια παρουσιάζονται τα σενάρια αυτά.

Τέλος, συγκρίνονται τα αποτελέσματα αυτά με γνώμονα το ελάχιστο κόστος επένδυσης και λειτουργίας για τη μεταφορά των προϊόντων εκσκαφής και προτείνονται λύσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΥΠΑΙΘΡΙΕΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ

2.1 Η σημασία της τεχνολογίας της υπαίθριας εκμετάλλευσης στη σύγχρονη μεταλλευτική

Η υπαίθρια εκμετάλλευση είναι πιθανότατα η παλαιότερη μέθοδος εκμετάλλευσης. Η αξιόλογη τεχνολογική εξέλιξη στο μηχανολογικό εξοπλισμό των ορυχείων που σημειώθηκε τελευταία, έδωσε το προβάδισμα στην υπαίθρια εκμετάλλευση έναντι της υπόγειας. Η μηχανοποίηση της εκσκαφής, που συνεπάγεται μεγάλες επενδύσεις, σε συνδυασμό με την παρατηρούμενη στενότητα των ακατέργαστων πρώτων υλών και ιδιαίτερα των καυσίμων συνετέλεσε στην αύξηση της τιμής της οριακής σχέσης αποκάλυψης με αποτέλεσμα κοιτάσματα, που λόγω βάθους, η εκμετάλλευσή τους γινόταν με μεθόδους υπογείων εκμεταλλεύσεων, τώρα σε πολλές περιπτώσεις η απόληψή τους μπορεί να γίνει επιφανειακά.

Είναι φανερό ότι ο υψηλός συντελεστής απόληψης του κοιτάσματος, που μπορεί να φτάσει το 100%, δημιουργεί πιο ευνοϊκές συνθήκες επικράτησης της υπαίθριας εκμετάλλευσης σε σχέση με την υπόγεια.

Οι καθοριστικοί παράγοντες επιλογής μεταξύ υπαίθριας και υπόγειας εκμετάλλευσης είναι το κόστος ανά μονάδα χρήσιμου στοιχείου και ο βαθμός απόληψης του κοιτάσματος.

Το μέγεθος της υπαίθριας εκμετάλλευσης γίνεται κατανοητό από το πρόγραμμα ανάπτυξης της δεκαετίας του '90 σχετικά με την παραγωγή άνθρακα στις Η.Π.Α.. Η ενεργειακή κρίση έκανε σαφή την ανάγκη ανάπτυξης εναλλακτικών μορφών ενέργειας και την ανεξαρτητοποίηση από τις ευαίσθητες αγορές πετρελαίου. Οι Η.Π.Α. σκόπευαν να αυξήσουν την παραγωγή άνθρακα σε 1,2 δισεκατομμύρια τόνους το χρόνο, μέχρι το 1985, διπλασιάζοντας την παραγωγή τους, ενώ στόχος τους ήταν να φτάσει η παραγωγή αυτή τα 2 δισεκατομμύρια τόνους μέχρι το 2000. Η επίτευξη αυτού του στόχου σε τόσο σύντομο χρονικό διάστημα μπορεί να γίνει μόνο με την τεχνολογία της υπαίθριας εκμετάλλευσης, διότι είναι η μόνη που χαρακτηρίζεται από τέτοιες υψηλές παραγωγικότητες. Επιπρόσθετα, η εξασφάλιση αυτής της παραγωγής προϋποθέτει την εφαρμογή μεθόδων συνεχούς λειτουργίας αντί των

συμβατικών μεθόδων ασυνεχούς λειτουργίας ή εναλλακτικά τη χρησιμοποίηση συνδυασμού των δύο μεθόδων (Καβουρίδης, 1990).

Πριν από την ανάπτυξη της διαδικασίας που ακολουθείται για το σχεδιασμό μιας υπαίθριας εκμετάλλευσης αναφέρονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα αυτής συγκριτικά μ' εκείνα της υπόγειας. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της υπαίθριας εκμετάλλευσης είναι τα ακόλουθα (Καβουρίδης, 1990, Μενεγάκη, 2010) :

- Υψηλός συντελεστής απόληψης. Σε εκμεταλλεύσεις άνθρακα οι απώλειες μπορεί να μηδενιστούν όταν πρόκειται για αδιατάρακτα στρώματα και καλή εφαρμογή της μεθόδου, ενώ σε κοιτάσματα με διαταραγμένα στρώματα δεν υπερβαίνουν το 5%. Η σημασία αυτού του πλεονεκτήματος είναι πολύ ουσιώδης αν ληφθεί υπόψη ότι τα γνωστά εκμεταλλεύσιμα αποθέματα ελαττώνονται συνεχώς παρά την εφαρμογή ολοένα και πιο βελτιωμένων μεθόδων εκμετάλλευσης. Κατά συνέπεια το πρόβλημα δεν είναι τόσο η ενεργειακή κρίση όσο η κρίση σε πρώτες ύλες, που θεωρείται πιο σοβαρό φαινόμενο λόγω της συνεχούς μείωσης των αποθεμάτων τους. Το γεγονός αυτό επιβάλλει επιτακτικά την ολική απόληψη και χρησιμοποίηση των αποθεμάτων και την ελαχιστοποίηση πιθανών απωλειών.
- Δυνατότητα εκλεκτικής εκμετάλλευσης (υπό προϋποθέσεις).
- Υψηλή παραγωγικότητα ανά θωρο – άτομο και κατά συνέπεια χαμηλότερο κόστος παραγωγής ανά τόνο.
- Καλύτερες συνθήκες εργασίας για τους εργαζόμενους.
- Δυνατότητα παραγωγής μεγάλων διαστάσεων όγκων κατάλληλων για ειδικές χρήσεις.
- Δυνατότητα χρησιμοποίησης ισχυρότερου και καλύτερου εξοπλισμού εξόρυξης, φόρτωσης και αποκομιδής του υλικού.

Τα κυριότερα μειονεκτήματα συνοψίζονται ως εξής:

- Διακίνηση τεράστιων ποσοτήτων μη χρήσιμου υλικού.
- Μεγάλες επενδύσεις στα αρχικά στάδια σε περιορισμένο αριθμό μηχανημάτων.
- Έκθεση στις άμεσες επιδράσεις των καιρικών συνθηκών.
- Σημαντική επίδραση στο φυσικό περιβάλλον τόσο από την εξόρυξη όσο και από την απόθεση των αγόνων.

2.2 Καθορισμός μεθόδου εκμετάλλευσης

2.2.1 Επιφανειακή εκμετάλλευση με βαθμίδες για κοιτάσματα μεγάλης οριζόντιας εξάπλωσης

Η μέθοδος εκμετάλλευσης με συστήματα πολλών βαθμίδων (terrace mining), που βρίσκει εφαρμογή σε επιφανειακές εκμεταλλεύσεις κοιτασμάτων μεγάλης οριζόντιας εξάπλωσης και σχετικά μεγάλου βάθους, απαιτεί λειτουργία με πολλές βαθμίδες, με τις οποίες εξασφαλίζεται η απαραίτητη προπορεία (lateral advance) κατά την εκμετάλλευση του ορυχείου. Η μέθοδος γενικά υιοθετείται στις περιπτώσεις όπου τα κοιτάσματα είναι σχεδόν οριζόντια, πολυστρωματικά και τα υπερκείμενα ή/και το χρήσιμο ορυκτό έχουν μεγάλο σχετικά πάχος, έτσι ώστε να μην είναι δυνατή η απευθείας απόθεση των υπερκειμένων εγκάρσια προς την τάφρο εκμετάλλευσης, ακόμα και με πολύ μεγάλους εκσκαφείς συρόμενου κάδου (draglines), με αποτέλεσμα τα άγονα υλικά να πρέπει αναγκαστικά να μεταφέρονται περιφερειακά, παράλληλα δηλαδή, προς την τάφρο εκμετάλλευσης με ταινιόδρομους και να αποτίθενται είτε σε εξωτερικό χώρο (εξωτερική απόθεση) κατά τα πρώτα χρόνια λειτουργίας του ορυχείου ή στον εξοφλημένο κενό χώρο του ορυχείου (εσωτερική απόθεση αγόνων σε κοιλάτη, όταν έχει δημιουργηθεί επαρκής χώρος για την υποδοχή τους). Στα ορυχεία αυτά πρέπει σχεδόν πάντα να επιτυγχάνονται οικονομίες μεγάλης κλίμακας.

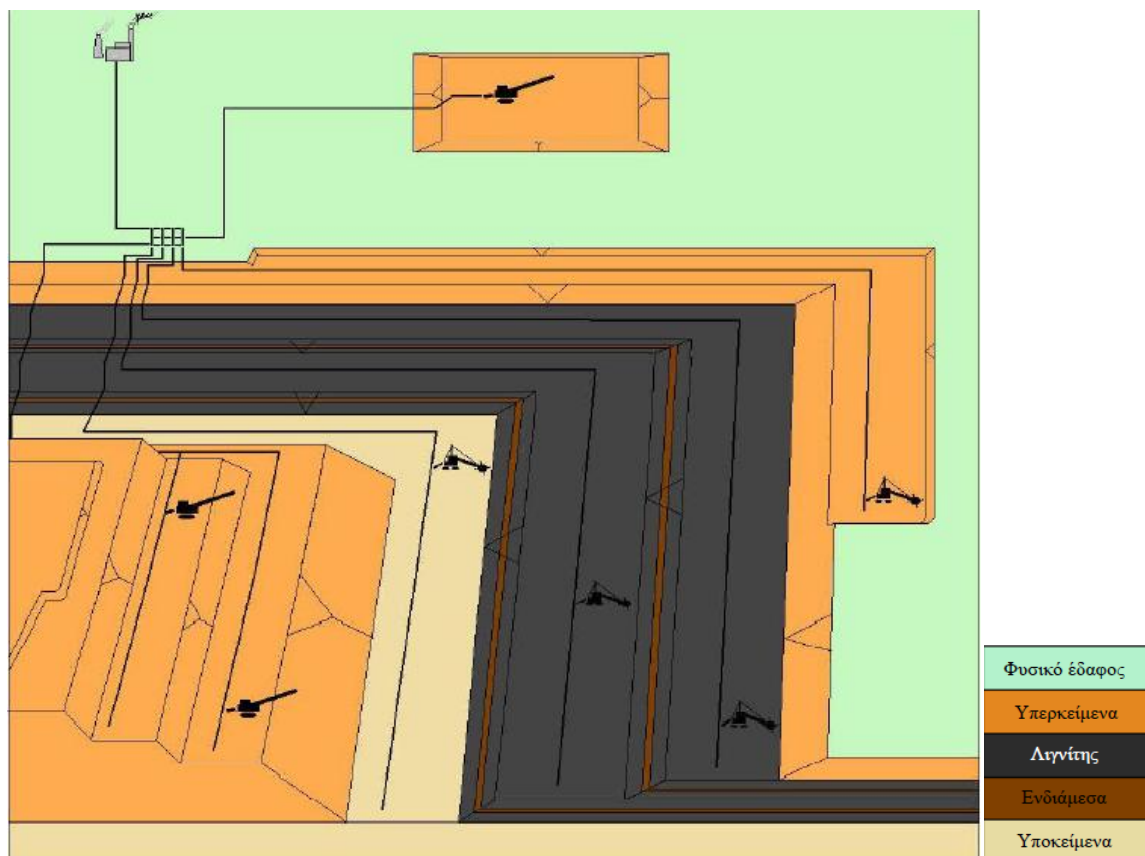
Η μέθοδος εκμετάλλευσης με συστήματα πολλών βαθμίδων εφαρμόζεται συστηματικά σε ευρεία κλίμακα στις εκμεταλλεύσεις λιγνιτών της Γερμανίας κυρίως (για το λόγο αυτό είναι ευρέως γνωστή και ως “Γερμανική Μέθοδος”), αλλά και άλλων χωρών της Ευρώπης, συμπεριλαμβανομένης και της Ελλάδας. Εκτός του ευρωπαϊκού χώρου αναφέρονται εκμεταλλεύσεις με εφαρμογή της μεθόδου στην Ασία, στην Αυστραλία καθώς επίσης και στη Βόρεια Αμερική (ΗΠΑ, Καναδάς). Στον ελληνικό χώρο η εκμετάλλευση των πολυστρωματικών λιγνιτικών κοιτασμάτων διενεργείται από τη Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού. Μάλιστα, η Ελλάδα κατέχει εξέχουσα θέση στη λιγνιτοπαραγωγή (6^η στον κόσμο).

Η μέθοδος εφαρμόζεται σε πολυστρωματικά κοιτάσματα μεγάλης οριζόντιας εξάπλωσης και μεγάλου πάχους που καλύπτονται από γεωλογικά νεότερους και μεγάλου πάχους υπερκείμενους σχηματισμούς, χαλαρά συνδεδεμένους, έτσι ώστε να είναι δυνατή η εξόρυξή τους με εκσκαφείς συνεχούς λειτουργίας, όπως είναι οι καδοφόροι εκσκαφείς (Bucket Wheel Excavators-BWE) και η

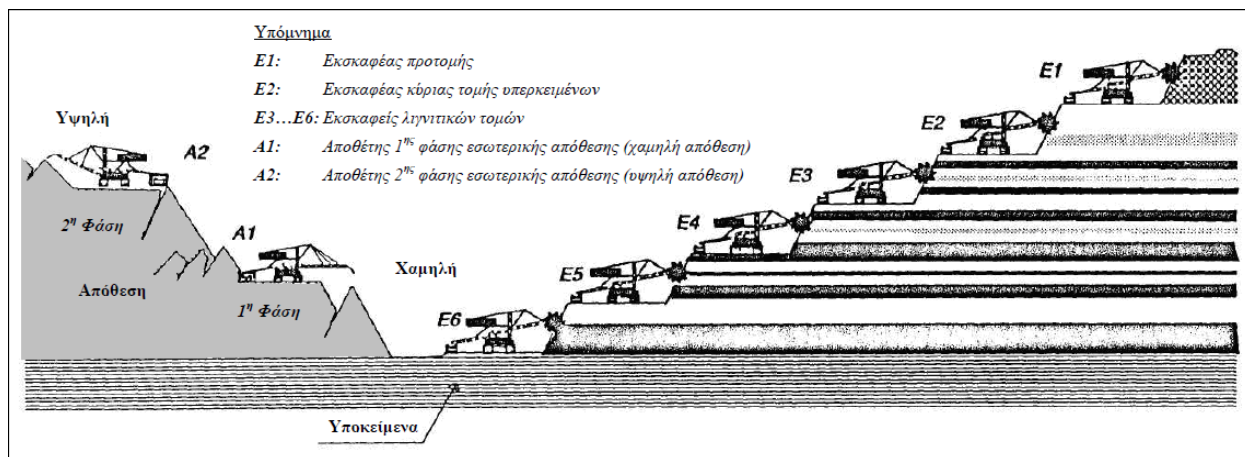
μεταφορά τους με ταινιοδρόμους, δηλαδή μεταφορικές ταινίες με ιμάντες που μπορούν σε ορισμένες περιπτώσεις να αναπτύξουν υψηλές ταχύτητες, μέχρι και 7m/s. Για την εξόρυξη των σκληρών υπερκείμενων σχηματισμών που απαντώνται στο ορυχείο και καθιστούν την εκμετάλλευση του λιγνίτη με τη μέθοδο της συνεχούς λειτουργίας δυσχερή ή/και αδύνατη, εφαρμόζονται μέθοδοι ασυνεχούς λειτουργίας, με τη χρήση συμβατικού εξοπλισμού, μηχανικών πτύων και αυτοκινήτων, αλλά και άλλου είδους εξοπλισμού (φορτωτές, αποξεστήρες), πάντοτε όμως υποβοηθητικά. Εκτός από τον κύριο αυτό εξοπλισμό χρησιμοποιούνται κατά θέσεις εκρηκτικές ύλες για τη χαλάρωση κάποιων σκληρών σχηματισμών, όπου είναι εφικτό (Τερεζόπουλος, 2001, ΔΕΗ, 2010).

Τα κύρια βασικά χαρακτηριστικά της μεθόδου εκμετάλλευσης είναι:

- Η εκλεκτική απόληψη του κοιτάσματος.
- Η συνεχής ροή των εξορυσσόμενων υλικών.
- Οι υψηλοί ρυθμοί παραγωγής.



Σχήμα 2.1: Εκμετάλλευση κοιτασμάτων μεγάλης οριζόντιας εξάπλωσης με τη μέθοδο επιφανειακής εκμετάλλευσης συνεχούς εξόρυξης και απόθεσης με σύστημα βαθμίδων (ΔΕΗ, 2010)



Σχήμα 2.2: Ενδεικτική διάταξη εξοπλισμού για την εκμετάλλευση κοιτασμάτων μεγάλης οριζόντιας εξάπλωσης με τη μέθοδο επιφανειακής εκμετάλλευσης συνεχούς εξόρυξης και απόθεσης με σύστημα πολλαπλών βαθμίδων – Τομή (ΔΕΗ, 2010)

Τα κοιτασματολογικά χαρακτηριστικά των πολυστρωματικών κοιτασμάτων της λιγνιτοφόρου λεκάνης Πτολεμαΐδας, αποτελούμενα από εναλλασσόμενες στρώσεις λιγνίτη και αγόνων ποικίλου πάχους, απαιτούν για την εκμετάλλευσή τους εκλεκτική εξόρυξη του λιγνίτη. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με τους αναγκαίους υψηλούς ρυθμούς παραγωγής, επέβαλε από την έναρξη της εξορυκτικής δραστηριότητας στην περιοχή την επιλογή της μεθόδου επιφανειακής εκμετάλλευσης των κοιτασμάτων με την εφαρμογή της συνεχούς εκσκαφής, μεταφοράς και απόθεσης με σύστημα πολλαπλών βαθμίδων (ΔΕΗ, 2010)

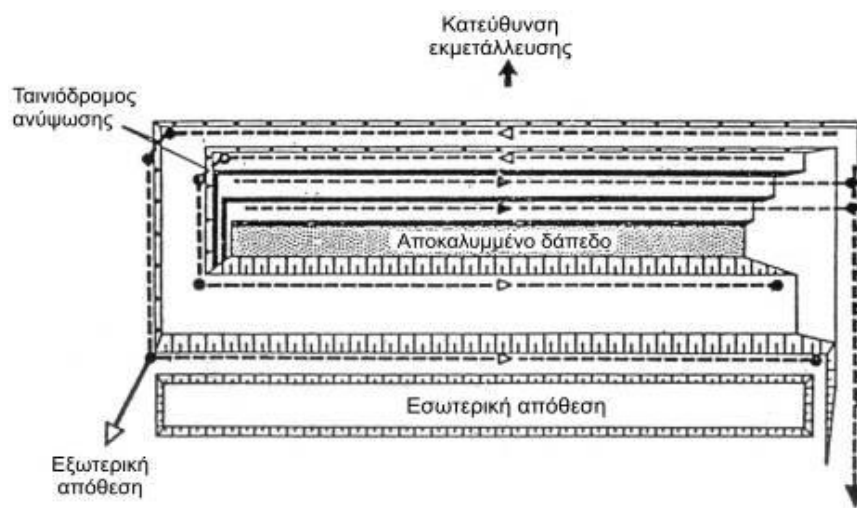
2.2.2 Παράλληλη και στροφική και λειτουργία

Η ανάπτυξη των ορυχείων όπου εφαρμόζεται η μέθοδος εκμετάλλευσης κοιτασμάτων μεγάλης οριζόντιας εξάπλωσης με συστήματα πολλών βαθμίδων, με χρησιμοποίηση καδοφόρων εκσκαφών, μεταφορικών ταινιών και αποθετών γίνεται (Ρούμπος, 2010β):

1. Με παράλληλη λειτουργία (δηλ. παράλληλη προχώρηση της τάφρου εκμεταλλεύσεως) και/ή
2. Με στροφική λειτουργία (δηλαδή περιστροφική προχώρηση της τάφρου εκμεταλλεύσεως γύρω από ένα κέντρο στροφής.

2.2.2.1 Παράλληλη λειτουργία

Στο Σχήμα 2.3 απεικονίζεται ένα σύστημα παράλληλης λειτουργίας που εφαρμόζεται σε ομαλά αναπτυσσόμενο κοίτασμα χωρίς τη χρήση κόμβου ταινιοδρόμων για τη διακίνηση των υλικών με ενδιάμεσες μεταφορτώσεις. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται ταινιοδρόμοι που λειτουργούν κάτω από συνθήκες απότομων κλίσεων για να μεταφέρουν τα άγονα υλικά στα υψηλότερα επίπεδα των φάσεων της απόθεσης.



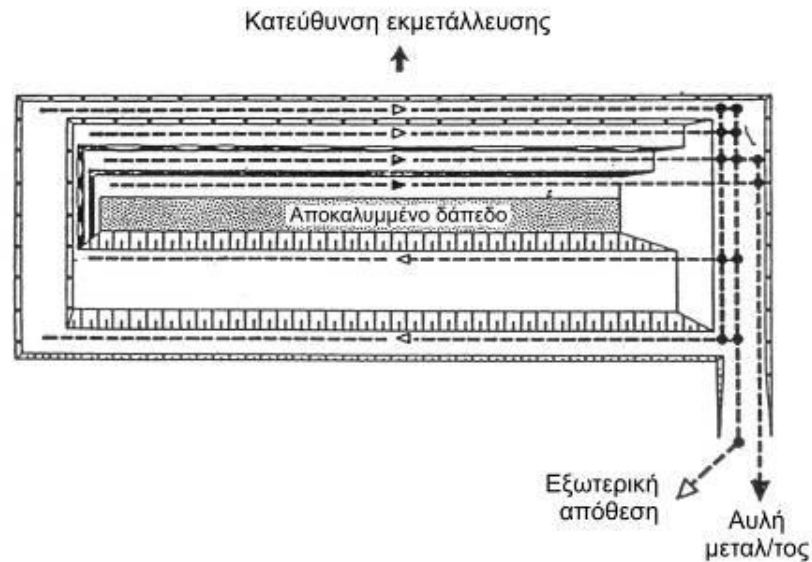
Σχήμα 2.3: Σύστημα παράλληλης λειτουργίας χωρίς τη χρήση κόμβου ταινιοδρόμων (Ρούμπος, 2010β).

Αν το μέταλλευμα ή και τα άγονα έχουν μεγάλο πάχος και η ανάπτυξη του κοιτάσματος δεν είναι τόσο ομαλή, τέτοιου είδους μεταφορά σε υψηλότερα επίπεδα με ενδιάμεσες μεταφορτώσεις δεν είναι εφικτή. Στις περιπτώσεις αυτές απαιτείται η εγκατάσταση κόμβου ταινιοδρόμων.

Ο κόμβος ταινιοδρόμων παρέχει τη δυνατότητα καλύτερου ελέγχου του χώρου που διατίθεται για την απόθεση των αγόνων, όσον αφορά στην περιβαλλοντική διαμόρφωση και την αισθητική του τοπίου. Επίσης ο κόμβος παρέχει και τη δυνατότητα επιλεκτικής απόθεσης των αγόνων υλικών έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ευστάθεια των πρυνών των αποθέσεων. Κατά κανόνα και εφόσον αυτό είναι εφικτό, τα άγονα καλό είναι να αποτίθενται με τη διαδοχή με την οποία εκσκάπτονται.

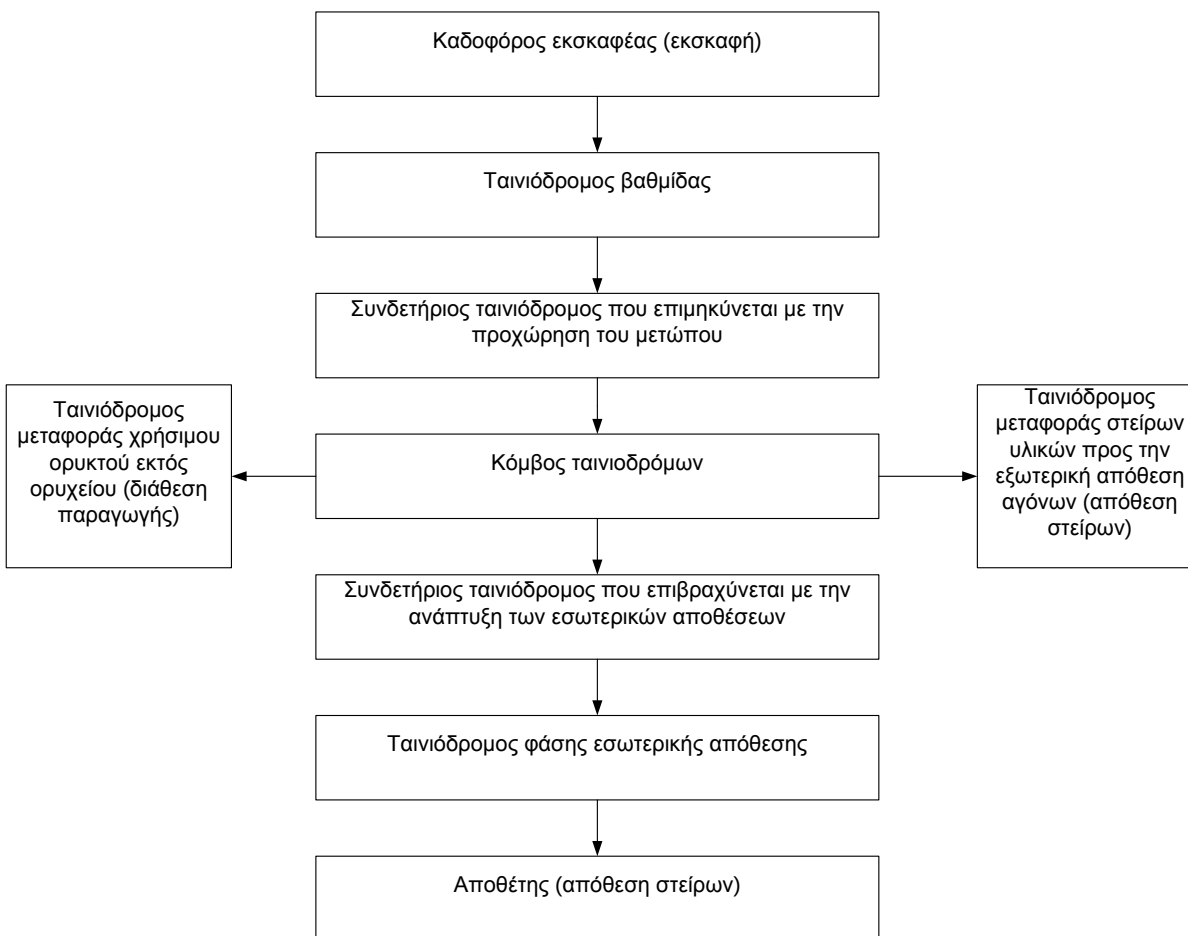
Στο Σχήμα 2.4 απεικονίζεται η ίδια παράλληλη λειτουργία του Σχήματος 2.3, αλλά με χρήση κόμβου ταινιοδρόμων. Απαραίτητη είναι η χρήση κόμβου ταινιοδρόμων και στην περίπτωση

κοιτάσματος με πολλά επάλληλα στρώματα ενδιάμεσων αγόνων προκειμένου να εξασφαλίζεται η εκλεκτική απόληψη του χρήσιμου ορυκτού.



Σχήμα 2.4: Σύστημα παράλληλης λειτουργίας με κόμβο ταινιοδρόμων (Ρούμπος, 2010β).

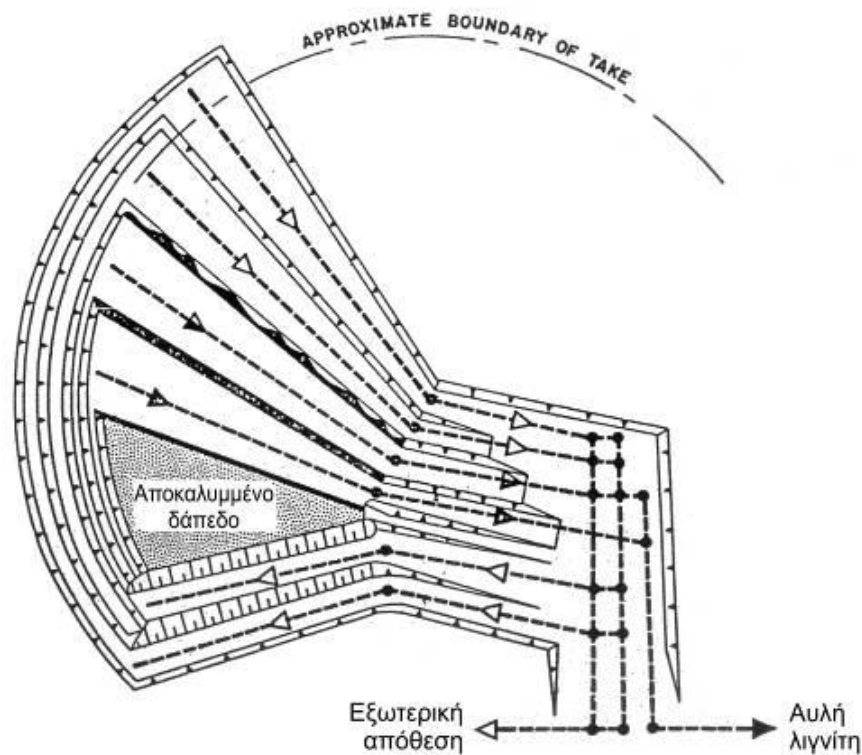
Στο Σχήμα 2.5 δίνεται ένα τυπικό διάγραμμα ροής που ακολουθούν τα εξορυγμένα υλικά σε περίπτωση εφαρμογής της παράλληλης λειτουργίας κατά την εκμετάλλευση κοιτασμάτων με συστήματα πολλών βαθμίδων.



Σχήμα 2.5: Διάγραμμα ροής των εξορυγμένων υλικών στην περίπτωση παράλληλης λειτουργίας (Ρούμπος, 2010β)

2.2.2.2 Στροφική λειτουργία

Στο Σχήμα 2.6 απεικονίζεται ένα ορυχείο σε στροφική λειτουργία. Γενικά η λειτουργία αυτή επιλέγεται στις περιπτώσεις που τα τελικά όρια της εκσκαφής του ορυχείου έχουν περίπου τη μορφή κυκλικού τόξου.

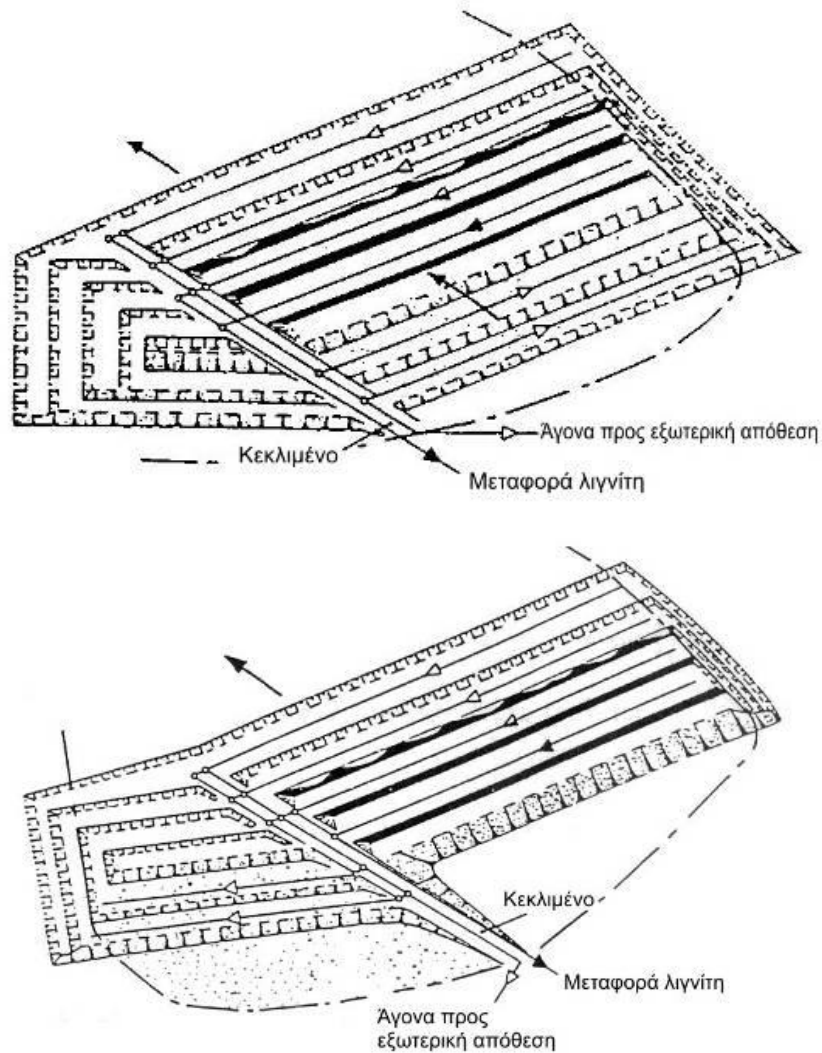


Σχήμα 2.6: Στροφική λειτουργία ορυχείου (Ρούμπος, 2010β).

Στη στροφική λειτουργία το ορυχείο στρέφεται γύρω από ένα κέντρο στροφής (pivot point), στο οποίο εγκαθίσταται ο κόμβος ταινιοδρόμων. Σημειώνεται ότι υπάρχει ένας αριθμός σημείων στροφής (ένα σημείο για κάθε ταινιόδρομο), γύρω από τα οποία οι ταινιόδρομοι στρέφονται. Τα σημεία τοποθετούνται όσο το δυνατό πλησιέστερα μεταξύ τους, έτσι ώστε οι περιφέρειες των βαθμίδων να διατηρούνται κατά την περιστροφή όσο γίνεται περισσότερο παράλληλες, ώστε να αποφεύγονται οι εκτεταμένες επιμηκύνσεις και επιβραχύνσεις των ταινιοδρόμων. Έπειτα από στροφή 90° περίπου του ορυχείου θα απαιτηθούν κάποιες τροποποιήσεις στη διαμόρφωση του κέντρου στροφής ή ενδεχομένως και επανασχεδιασμός του.

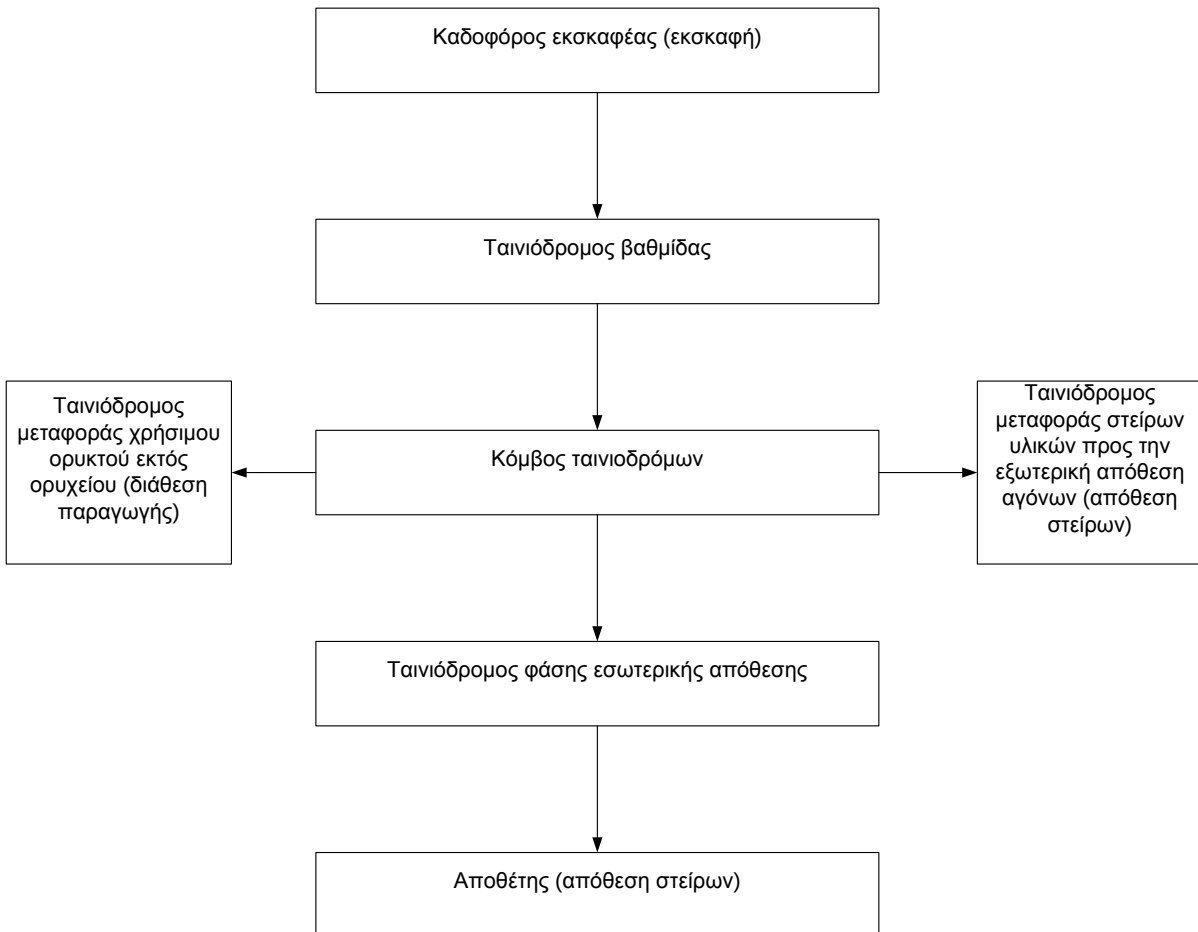
Επειδή οι κεφαλές των ταινιοδρόμων είναι συγκεντρωμένες στην περιοχή του κέντρου στροφής, οι κλίσεις των πρανών είναι σχετικά απότομες με αποτέλεσμα να δημιουργούνται προβλήματα ευστάθειας. Πρέπει δε να σημειωθεί ότι είναι απαραίτητο τα πρανά στην περιοχή του κόμβου να παρουσιάζουν επαρκή ευστάθεια, δεδομένου ότι παραμένουν ανοικτά (χωρίς τη στήριξη από εσωτερικές αποθέσεις) για μεγάλη χρονική περίοδο.

Με κόμβο ταινιοδρόμων εγκατεστημένο σε κεκλιμένο επίπεδο, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.7, αποφεύγεται το πρόβλημα της ευστάθειας που αναφέρθηκε, μετακινώντας τον κόμβο ταινιοδρόμων και τους συνδετήριους ταινιόδρομους από την επικίνδυνη ζώνη στο κέντρο του ορύγματος. Τα προβλήματα ευστάθειας που παρουσιάζονται στο κέντρο στροφής είναι γενικά πιο έντονα σε ορυχεία μεγαλύτερου βάθους που βρίσκονται στη φάση ανάπτυξης.



Σχήμα 2.7: Κόμβος ταινιοδρόμων εγκατεστημένος σε κεκλιμένο επίπεδο (Ρούμπος, 2010β).

Το αντίστοιχο τυπικό διάγραμμα ροής που ακολουθούν τα εξορυγμένα υλικά σε περίπτωση εφαρμογής της στροφικής λειτουργίας κατά την εκμετάλλευση κοιτασμάτων με συστήματα πολλών βαθμίδων δίνεται στο Σχήμα 2.8.



Σχήμα 2.8: Διάγραμμα ροής των εξορυγμένων υλικών στην περίπτωση στροφικής λειτουργίας (Ρούμπος, 2010β).

2.3 Καθορισμός παραμέτρων σχεδιασμού

Οι παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη στο σχεδιασμό μιας εκμετάλλευσης μπορούν να διακριθούν στις ακόλουθες γενικές κατηγορίες (Μενεγάκη, 2010):

- ❖ Φυσικές παράμετροι, που αφορούν στα γεωλογικά και ορυκτολογικά χαρακτηριστικά ενός κοιτάσματος, τα οποία έχουν επίδραση στην οικονομικότητα και κατ' επέκταση στο σχεδιασμό μιας εκμετάλλευσης.

Φυσικές παραμέτρους αποτελούν τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής, που επιδρούν στην ευστάθεια, αφενός, των πρανών και αφετέρου στο συνολικό κόστος της εκμετάλλευσης λόγω απαίτησης άντλησης των υδάτων. Επίσης, η τεκτονική της περιοχής (ρήγματα, κατακλάσεις), επιδρά στην ευστάθεια και στην επιλογή της μεθόδου. Στη συνέχεια, το τοπογραφικό ανάγλυφο επηρεάζει τη σχέση αποκάλυψης και τη γεωμετρία της εκμετάλλευσης. Επιπρόσθετα, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κοιτάσματος (σχήμα και μορφή, κλίση, πάχος, τελικό βάθος) καθώς επίσης και τα μηχανικά χαρακτηριστικά του κοιτάσματος, αλλά και των περιβαλλόντων πετρωμάτων έχουν άμεση συσχέτιση με την επιλογή της μεθόδου εκμετάλλευσης. Η γεωγραφική θέση του κοιτάσματος έχει επίδραση στο κόστος μεταφοράς του υλικού, και στην κατασκευή των έργων υποδομής. Σε περιπτώσεις γειννίας με αστικά κέντρα μπορεί να προκαλέσει κοινωνικές αντιδράσεις ή να απαιτεί μετεγκαταστάσεις οικισμών. Τέλος, το κλίμα της περιοχής παίζει καθοριστικό ρόλο, καθώς μπορεί να επηρεάσει την περίοδο λειτουργίας της εκμετάλλευσης κατά τη διάρκεια του έτους και το είδος του εξοπλισμού που θα χρησιμοποιηθεί, ή μπορεί να απαιτεί και διαφοροποιήσεις στο σχεδιασμό.

- ❖ Οικονομικές παράμετροι, που αφορούν στην οικονομική ή οριακή ή ακόμη και μέγιστη σχέση αποκάλυψης, στην οριακή περιεκτικότητα του κοιτάσματος σε χρήσιμο συστατικό και στον τρόπο αποκάλυψης του κοιτάσματος.
- ❖ Περιβαλλοντικές παράμετροι. Ο σχεδιασμός μιας εκμετάλλευσης υπό το πρίσμα της περιβαλλοντικής προστασίας επιδιώκει την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, την ελαχιστοποίηση της όχλησης και τη διαμόρφωση ενός αποτελεσματικού σχεδίου αποκατάστασης.
- ❖ Τεχνολογικές παράμετροι. Οι τεχνολογικές εξελίξεις τόσο σε επίπεδο εξοπλισμού όσο και σε επίπεδο εργαλείων σχεδιασμού προσφέρουν σήμερα πολλές δυνατότητες για την βέλτιστη αξιοποίηση των κοιτασμάτων. Η επιλογή κατάλληλου τύπου μηχανημάτων για την εξόρυξη αλλά και την επεξεργασία είναι κρίσιμης σημασίας για την απρόσκοπτη λειτουργία της επιχείρησης, καθώς μπορεί να επηρεάσει σημαντικά το τελικό οικονομικό αποτέλεσμα. Τα σύγχρονα εργαλεία σχεδιασμού, τέλος, παρέχουν τη δυνατότητα διαμόρφωσης πολλών

εναλλακτικών σεναρίων που μπορούν να ελεγχθούν άμεσα ως προς την αποτελεσματικότητά τους τόσο στο επίπεδο των εσόδων σε ένα ορυχείο όσο και στο επίπεδο περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

- ❖ Νομοθετικές απαιτήσεις.

2.4 Εξοπλισμός

Η επιλογή του εξοπλισμού στις επιφανειακές εκμεταλλεύσεις εξαρτάται από διάφορους παράγοντες σχετικούς τόσο με τις ιδιότητες των εξορυσσομένων υλικών όσο και με την γεωμετρία της εκμετάλλευσης. Σύμφωνα με τον Καβουρίδη (1990), ο τύπος του εξοπλισμού που θα επιλεγεί για την εκσκαφή – φόρτωση – μεταφορά – απόθεση των υλικών των επιφανειακών εκμεταλλεύσεων εξαρτάται κυρίως από τους ακόλουθους τρεις παράγοντες:

- Την εξορυξιμότητα των πετρωμάτων (δηλαδή το αν το προς εκσκαφή υλικό είναι μαλακό ή σκληρό).
- Το βάθος του κοιτάσματος.
- Τον όγκο των προς διακίνηση μαζών.

Ένα βασικό ερώτημα στην επιλογή του εξοπλισμού είναι το αν θα χρησιμοποιηθούν μηχανήματα συνεχούς ή ασυνεχούς λειτουργίας. Στην πλειονότητα των περιπτώσεων η οικονομική ανάλυση δείχνει ότι η μέθοδος συνεχούς λειτουργίας (εκσκαφή – μεταφορά – απόθεση των υλικών) είναι πλεονεκτικότερη. Κατά τη διερεύνηση επιλογής του εξοπλισμού ενός ορυχείου πρέπει να εξεταστούν όλοι οι παράγοντες εκείνοι που επηρεάζουν το κόστος ανά μονάδα εξορυγμένου όγκου πετρώματος (χαρακτηριστικά του πετρώματος, τρόπος προσβολής, χαρακτηριστικά του μηχανήματος) (Καβουρίδης, 1990).

2.5 Σχεδιασμός υπαίθριας εκμετάλλευσης

2.5.1 Βασικοί ορισμοί και στοιχεία του σχεδιασμού

Παρακάτω δίνονται οι ορισμοί εννοιών που χρησιμοποιούνται ευρέως στις εκμεταλλεύσεις και στο σχεδιασμό τους (Μενεγάκη, 2010):

Υπαίθρια εκμετάλλευση: Οποιαδήποτε εκμετάλλευση στερεών πρώτων υλών, η οποία πραγματοποιείται με οικονομικά συμφέροντες όρους.

Ενδιάμεσα Άγονα: Το χωρίς οικονομική σημασία πέτρωμα που περιβάλλει το κοιτάσμα. Άγονα χαρακτηρίζονται και τα χαμηλής ποιότητας τμήματα του κοιτάσματος των οποίων η επεξεργασία μετά την εξόρυξη είναι ασύμφορη.

Υπερκείμενα: Υπερκείμενα χαρακτηρίζονται τα άγονα που υπέρκεινται του κοιτάσματος και πρέπει να απομακρυνθούν για να πραγματοποιηθεί η εκμετάλλευση.

Αποκάλυψη: Η εξόρυξη και απομάκρυνση των αγόνων από το μέτωπο. Η φάση της εργασίας αυτής, η οποία πραγματοποιείται πριν από την έναρξη της παραγωγής του ορυκτού ή του μεταλλεύματος ονομάζεται αρχική αποκάλυψη.

Σχέση αποκάλυψης: Ορίζεται ως ο αριθμός των μονάδων όγκου ή βάρους αγόνων που πρέπει να απομακρυνθούν για να αποκαλυφθεί μία μονάδα χρήσιμου προϊόντος και δίνεται από τη σχέση:

$$\Sigma A = \frac{\text{Άγονα (m}^3\text{)}}{\text{Χρήσιμο συστατικό (ton ή m}^3\text{)}}$$

Κλίση πρανούς: Η γωνία ή η κλίτύς ενός πρανούς με το οριζόντιο επίπεδο.

Γωνία κατολίσθησης: Η κλίση του πρανούς, φυσικού ή τεχνητού, στην οποία ξεκινά η κατολίσθηση.

Γωνία φυσικού πρανούς: Η μέγιστη κλίση υπό την οποία σωρός χαλαρού ή θραυσμένου υλικού βρίσκεται σε ισορροπία.

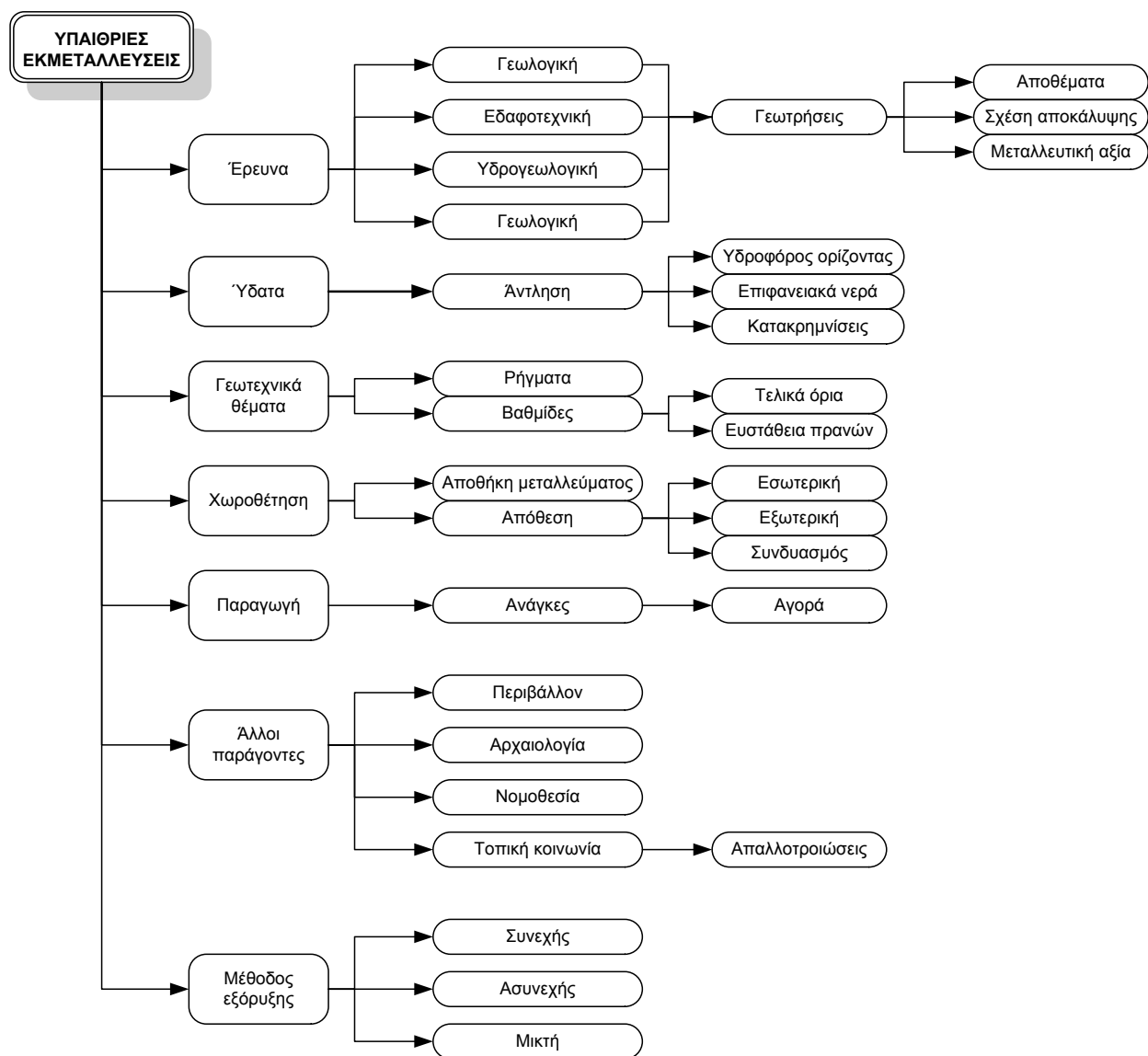
Βαθμίδα: Είναι η συνήθης μορφή ενός μετώπου παραγωγής. Αποτελείται από δύο ελεύθερες επιφάνειες: μία οριζόντια και μία κατακόρυφη ή κεκλιμένη με μεγάλη κλίση.

Κλίση πρανούς εκμετάλλευσης: Η κλίση που έχουν τα πρανή της εκμετάλλευσης προς το οριζόντιο επίπεδο οποιαδήποτε στιγμή κατά τη διάρκεια της εκμετάλλευσης. Μέγιστη, τελική ή οριακή κλίση είναι η κλίση στην οποία μπορεί να φθάσει με ασφάλεια η εκμετάλλευση κατά την τελική φάση.

Τελική περίμετρος εκμετάλλευσης: Η μέγιστη οριζόντια ανάπτυξη της εκμετάλλευσης στην επιφάνεια του εδάφους.

Τελική περίμετρος βάσης: Η μέγιστη οριζόντια ανάπτυξη στο βαθύτερο σημείο της εκμετάλλευσης.

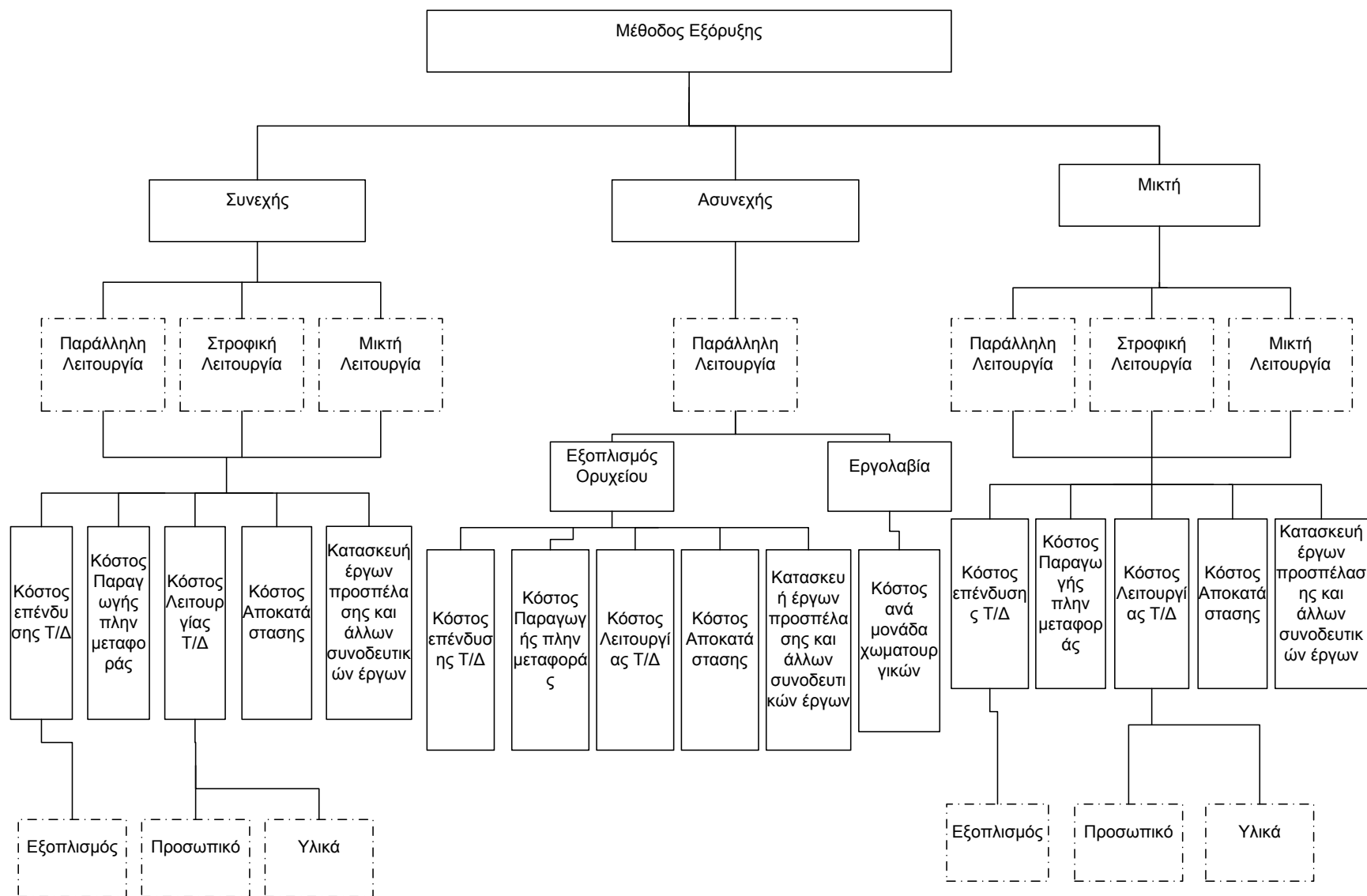
Στο Σχήμα 2.9, παρουσιάζονται διαγραμματικά οι παράμετροι που επηρεάζουν το σχεδιασμό μίας υπαίθριας εκμετάλλευσης.



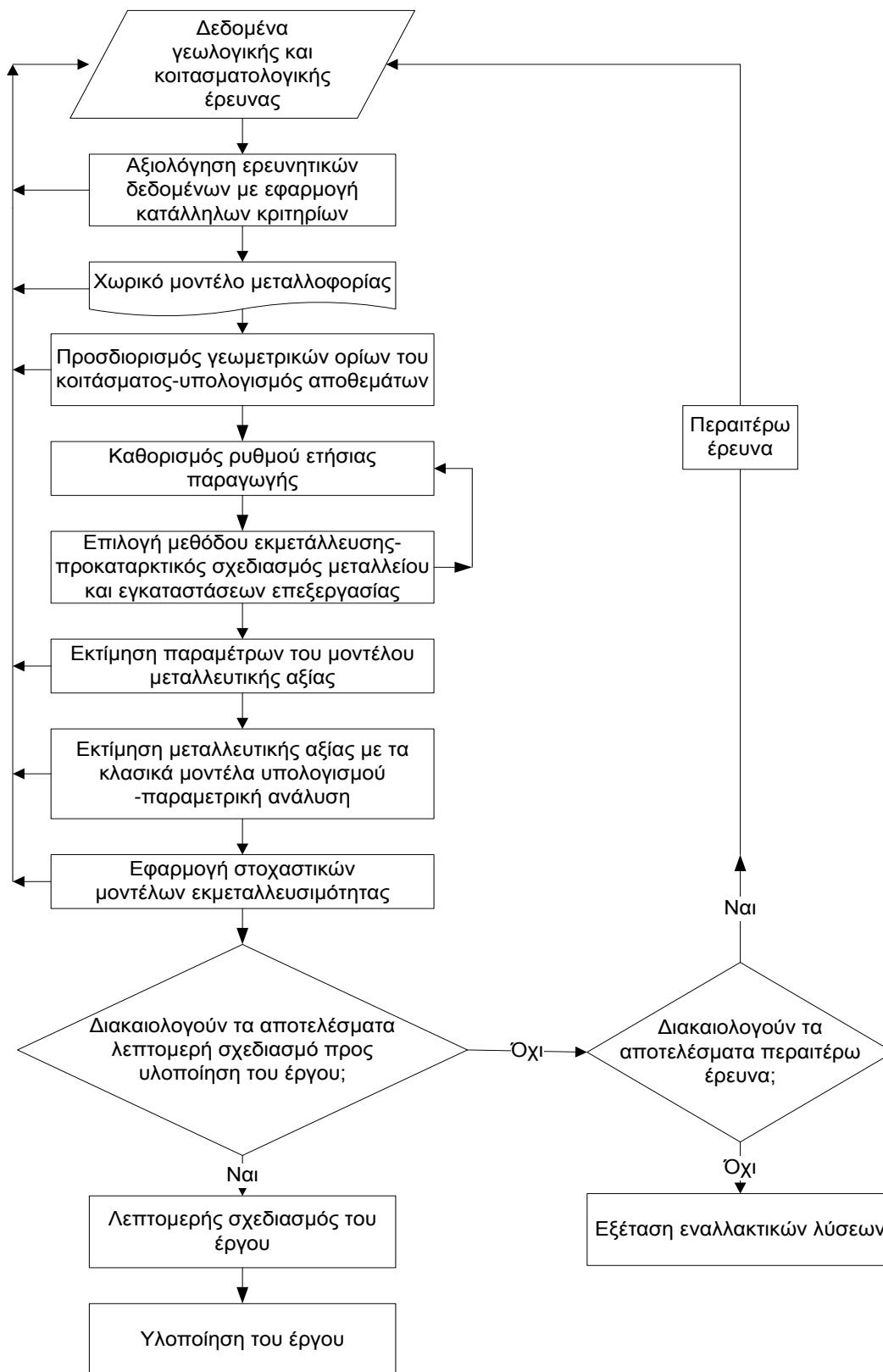
Σχήμα 2.9: Διάγραμμα παρουσίασης παραγόντων που επιδρούν στο σχεδιασμό υπαίθριας εκμετάλλευσης

Στο Σχήμα 2.10, φαίνεται ο διαχωρισμός των μεθόδων εξόρυξης και οι λειτουργίες κάθε μεθόδου, ενώ το διάγραμμα καταλήγει στον υπολογισμό του κόστους κάθε μεθόδου.

Στο Σχήμα 2.11, παρουσιάζονται τα στάδια του μεταλλευτικού σχεδιασμού και η εκτίμηση της μεταλλευτικής αξίας.



Σχήμα 2.10: Διάγραμμα παρουσίασης συνολικού κόστους ανά μέθοδο εξόρυξης σε ένα ορυχείο

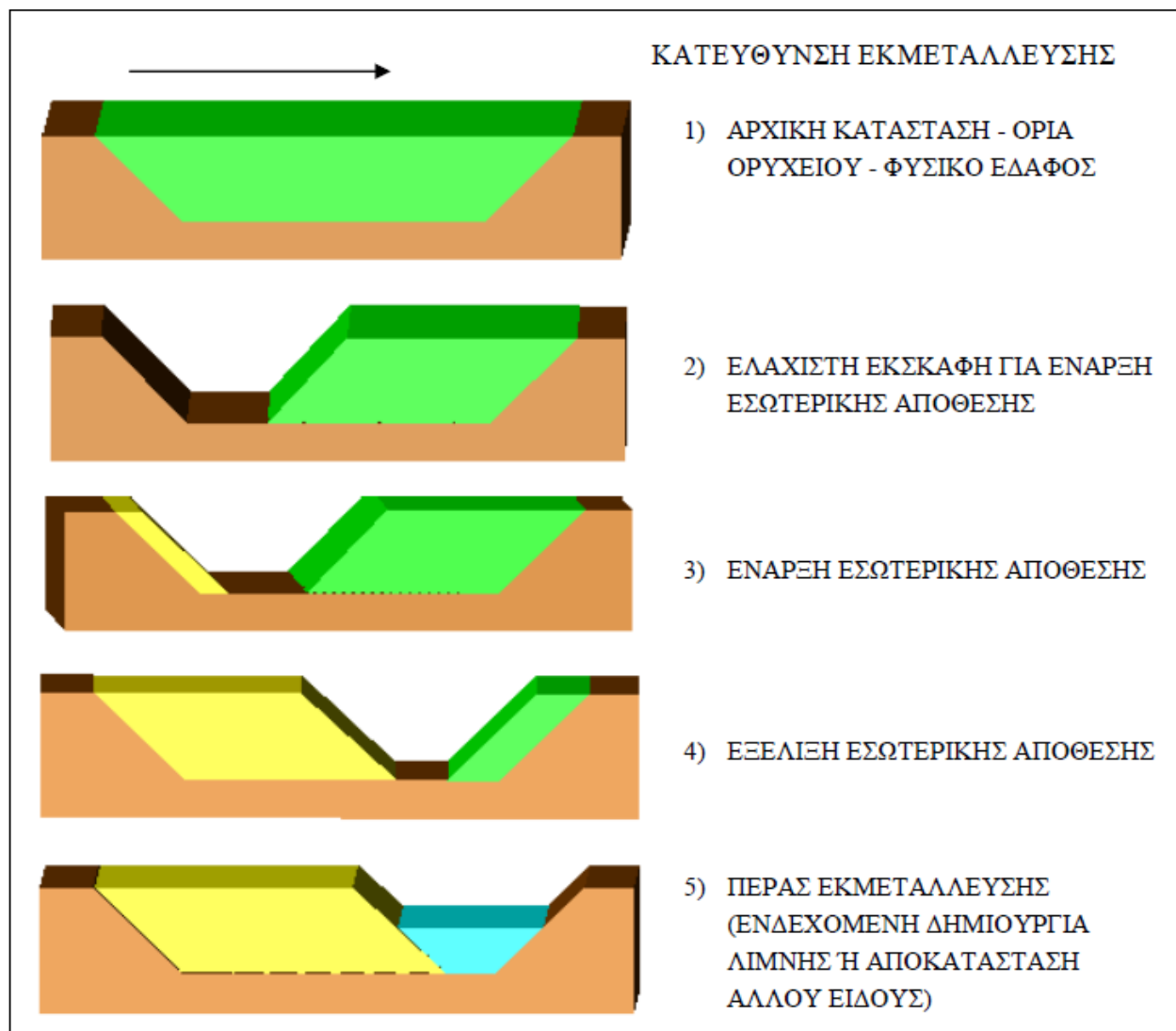


Σχήμα 2.11: Στάδια μεταλλευτικού σχεδιασμού – Εκτίμηση μεταλλευτικής αξίας (Ρούμπος, 2010β)

2.5.2 Καθορισμός θέσης αρχικής διάνοιξης

Το σημείο από το οποίο θα αρχίσουν οι εκσκαφές εκμετάλλευσης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Ως κύριοι παράγοντες αναφέρονται η κατανομή της μεταλλοφορίας στο χώρο, οι θέσεις των υπαρχόντων οικισμών, έργων υποδομής (δρόμοι), και τυχόν προστατευόμενων περιοχές (φυσικός πλούτος, αρχαιολογικές εκτάσεις), καθώς και οι θέσεις τυχόν επιφανειακών υδάτων στην περιοχή (ποτάμια, λίμνες). Πολύ σημαντικό κριτήριο για τη θέση της αρχικής διάνοιξης αποτελεί και ο προσανατολισμός του κοιτάσματος, όπως και ο τρόπος έκτασης και βύθισής του, καθώς στις περισσότερες των περιπτώσεων κρίνεται σωστό η εκμετάλλευση να ξεκινά από το λιγότερο βαθύ κοίτασμα και στη συνέχεια να εκτείνεται προς το κοίτασμα μεγαλύτερου βάθους για να καλύπτονται τα έξοδα του ορυχείου. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτεί η ύπαρξη ρηγμάτων στην περιοχή. Τέλος, η θέση της πρώτης εκσκαφής εξαρτάται και από τη χωροθέτηση του χώρου απόθεσης.

Η επιλογή της θέσης έναρξης της εκσκαφής κρίνεται πολύ σημαντική για ένα ορυχείο, γιατί επηρεάζει άμεσα το χρονοδιάγραμμα των εκσκαφών, όπως επίσης και την Καθαρά Παρούσα Αξία της εκμετάλλευσης.



Σχήμα 2.12: Στάδια εξέλιξης της εκμετάλλευσης ορυχείου (ΔΕΗ, 2010)

2.5.3 Καθορισμός περιοχής εξωτερικής απόθεσης

Η επιλογή της θέσης της εξωτερικής απόθεσης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Οι κυριότεροι από τους παράγοντες αυτούς είναι η ενδεχόμενη ύπαρξη οικισμού στην περιοχή, η ανάγκη απαλλοτριώσεων ιδιωτικών εκτάσεων, η ύπαρξη προστατευόμενων δομών (αρχαιολογικοί χώροι, πάρκο, υδροβιότοπος κλπ). Το ανάγλυφο της περιοχής παίζει πρωτεύοντα ρόλο στην επιλογή της τοποθεσίας που προορίζεται για απόθεση, καθώς δεν μπορεί να είναι τέτοιο που δεν θα ευνοεί τις ασφαλείς κλίσεις και θα υπάρχουν κίνδυνοι κατολισθήσεων.

2.5.4 Καθορισμός θέσης κατασκευής κόμβου ταινιοδρόμων

Ένα από τα πιο κρίσιμα θέματα πριν από την έναρξη της εκμετάλλευσης αποτελεί η επιλογή της βέλτιστης θέσης για την κατασκευή του κόμβου ταινιοδρόμων, μιας και επηρεάζει σημαντικά το κόστος κεφαλαίου, όπως και το κόστος λειτουργίας.

Η επιλογή της θέσης εξαρτάται άμεσα από τις αποστάσεις από το χώρο εκσκαφής – απόθεσης – αποθήκευσης και την απόσταση από τον ατμοηλεκτρικό σταθμό. Εξαρτάται, επίσης, από τους διακινούμενους όγκους λιγνίτη και στείρων υλικών.

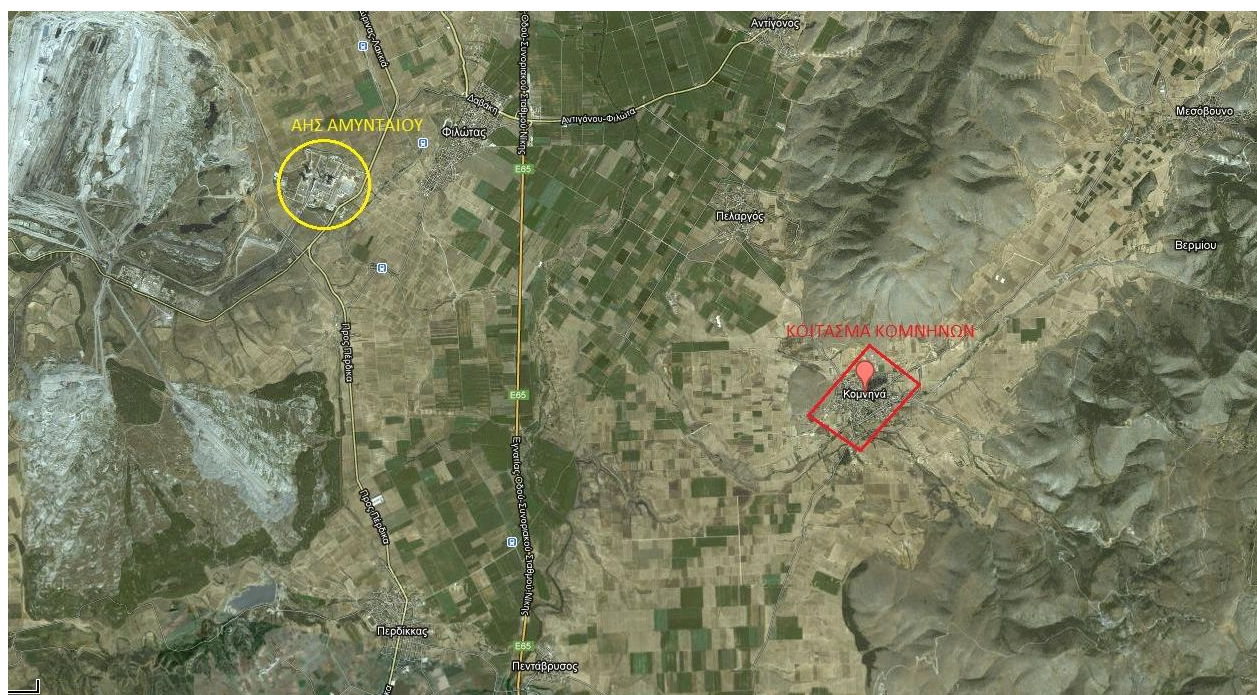
Με τον προσδιορισμό της βέλτιστης θέσης επιτυγχάνεται οικονομία στο συνολικό κόστος διακίνησης των υλικών με τη μέθοδο συνεχούς λειτουργίας, καθώς βελτιστοποιείται ταυτόχρονα το κόστος επένδυσης, αλλά και το λειτουργικό κόστος για το χρόνο ζωής του ορυχείου. Το υψόμετρο της θέσης του κόμβου είναι επίσης σημαντικό, καθώς οι αποστάσεις υπολογίζονται σε τρεις διαστάσεις. Όπως θα φανεί και στη συνέχεια, η βέλτιστη θέση του κόμβου είναι συνήθως χαμηλότερα από το υψόμετρο έναρξης εκσκαφών ενός υπαίθριου ορυχείου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΚΟΜΝΗΝΑ – ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ – ΠΡΩΤΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

3.1 Περιγραφή του κοιτάσματος του ορυχείου Κομνηνών

3.1.1 Θέση και προσανατολισμός του κοιτάσματος



Σχήμα 3.1. Δορυφορική εικόνα της θέσης που πρόκειται να γίνει το ορυχείο (Google maps)

Το ξυλιτικού τύπου λιγνιτικό κοιτάσμα Κομνηνών απαντάται στη Δυτική Μακεδονία, 8 έως 15 km βορειοανατολικά της πόλης της Πτολεμαΐδας, περιβάλλεται δε από τους οικισμούς Ανατολικό, Πελαργός και Μεσόβουνο. Ο οικισμός Κομνηνά, από τον οποίον έχει πάρει την ονομασία του το κοιτάσμα, οριζοντιογραφικά βρίσκεται στις παρυφές του κοιτάσματος από την βόρεια πλευρά.

Το κοιτάσμα αναπτύσσεται από ΒΑ προς ΝΔ, σταδιακά βυθιζόμενο με κλίση 4% περίπου, ξεκινώντας από ενδιάμεσα βάθη 50 m και φθάνοντας σε ένα μέγιστο βάθος της τάξης των 360 m στο

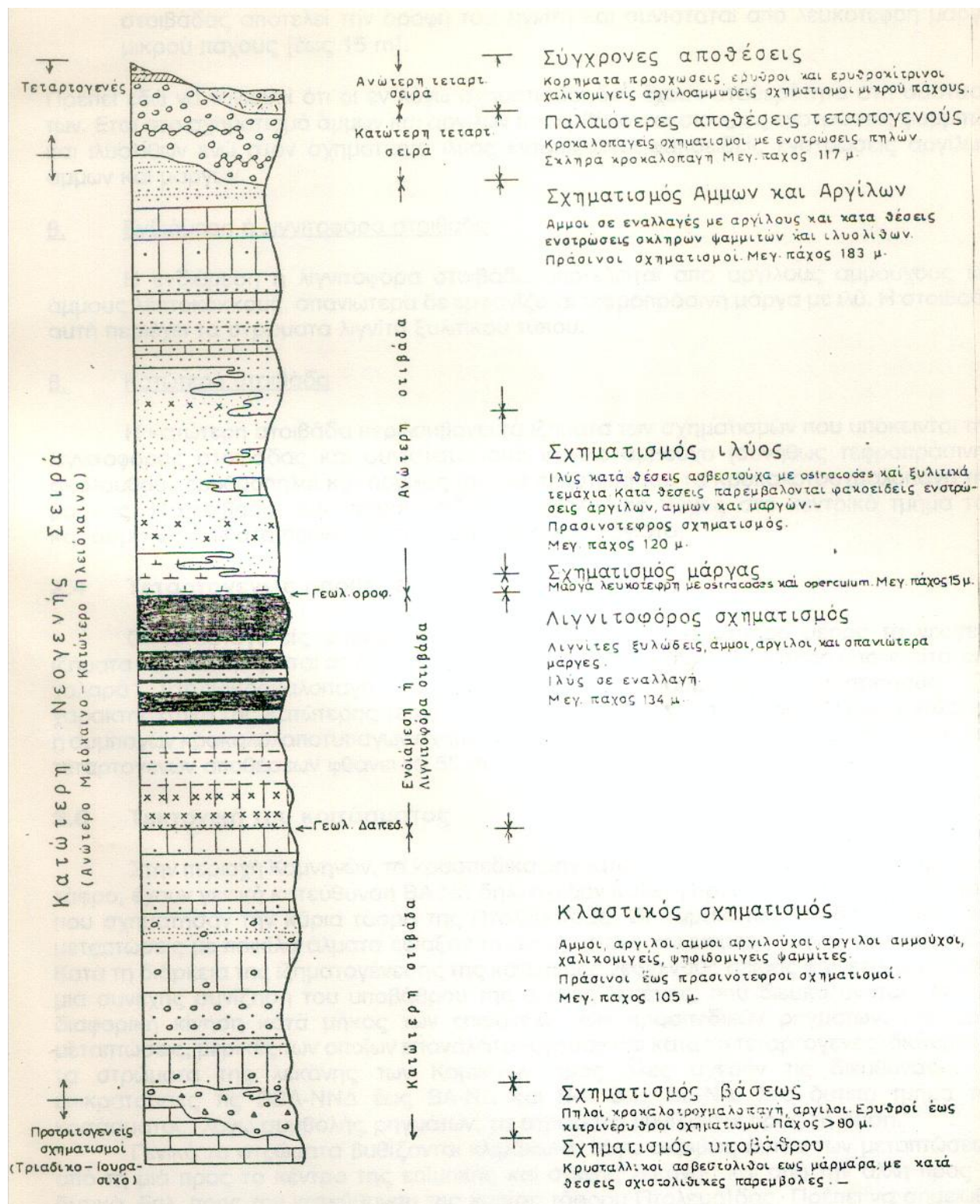
ΝΔ του άκρο, ενώ στα ΒΑ το βάθος του ελαττώνεται σημαντικά, 50 m από την επιφάνεια του εδάφους (Ρούμπος, 2010β).

Επίσης το κοίτασμα είναι βαθύτερο κατά μήκος του κύριου άξονά του σε σχέση με τις παρυφές του, παρατηρείται δηλαδή και κατά την εγκάρσια, ως προς τον κύριο άξονα έννοια, μια βύθιση του κοιτάσματος στο κέντρο της λεκάνης. Η βύθιση αυτή δίνει κατά τόπους σημαντικές υψομετρικές διαφορές. Ολόκληρη η στιβάδα έχει κυμαινόμενο πάχος και ελαττώνεται προς τα περιθώρια της λεκάνης αλλά και προς τα ΒΑ. Γενικά το μεγαλύτερο πάχος της λιγνιτοφόρου στιβάδας συναντάται προς το ΝΔ τμήμα του κοιτάσματος.

Βορειοανατολικότερα, μετά την παρεμβολή στείρας περιοχής, υπάρχει συνέχεια του κοιτάσματος με τη μορφή μικρού λιγνιτικού αποθέματος, γνωστού ως κοίτασμα Μεσοβούνου. Το μικρό κοίτασμα Μεσοβούνου έχει μικρό βάθος (10 – 50 m). Αυτό βυθίζεται από ΒΑ προς ΝΔ με κλίση περίπου 4% (Ρούμπος, 2010β).

3.1.2 Κοιτασματολογικά στοιχεία

Στο Σχήμα 3.2, παρουσιάζεται μία τομή της περιοχής που δείχνει το γεωλογικό υπόβαθρό της και την εποχή σχηματισμού του κάθε στρώματος.



Σχήμα 3.2: Τομή παρουσίασης του γεωλογικού υποβάθρου της περιοχής ανά εποχή σχηματισμού.

3.1.2.1 Βασικά χαρακτηριστικά λιγνίτη

Ποιοτικά, ο λιγνίτης του κοιτάσματος Κομνηνών ανήκει στην κατηγορία των πλούσιων ελληνικών λιγνιτών. Στον Πίνακα 3.1 παρατίθενται τα βασικά ποιοτικά χαρακτηριστικά του κοιτάσματος.

Πίνακας 3.1: Βασικά ποιοτικά χαρακτηριστικά του κοιτάσματος Κομνηνών, Δυτικής Μακεδονίας (μέσες τιμές) (Ρούμπος, 2010β).

Υγρασία (ως έχει)	36,5%
Τέφρα (επί ξηρού)	37,7%
Κατώτερη θερμογόνο ικανότητα	1850kcal/kg

Επίσης στο κοιτάσμα των Κομνηνών το καύσιμο θείο αποτελεί το 32% του ολικού θείου. Η μέση τιμή του ολικού θείου σε κατάσταση «ως έχει» του λιγνίτη του κοιτάσματος είναι 1,05% με τις τιμές να κυμαίνονται από 0,62 – 1,62% ενώ η μέση τιμή του καύσιμου θείου σε κατάσταση «ως έχει» είναι 0,33% με διακύμανση τιμών 0,12 – 0,57% (Ρούμπος, 2010β).

Τα αντίστοιχα ποιοτικά χαρακτηριστικά του κοιτάσματος Μεσοβούνου δίνονται στον Πίνακα 3.2 .

Πίνακας 3.2: Βασικά ποιοτικά χαρακτηριστικά του κοιτάσματος Μεσοβούνου, Δυτικής Μακεδονίας (μέσες τιμές) (Ρούμπος, 2010β).

Υγρασία (ως έχει)	45,01%
Τέφρα (επί ξηρού)	33,94%
Κατώτερη θερμογόνο ικανότητα	1600kcal/kg

3.1.2.2 Βασικά χαρακτηριστικά υπερκείμενων σχηματισμών

Στους υπερκείμενους σχηματισμούς διακρίνονται οι εξής ορίζοντες (Ρούμπος, 2010β):

Ορίζοντας σκληρού λατυποπαγούς και κροκαλοπαγούς (καπέλο σκληρών) πάχους 0 έως 50m. Από εξέταση των πυρήνων των γεωτρήσεων, προέκυψε το συμπέρασμα ότι τα σκληρά αυτά υλικά είναι τύπου Χαραυγής, Νοτίου Πεδίου Πτολεμαΐδας. Εδώ πρόκειται για κλασική περίπτωση πετρωμάτων που δεν είναι δυνατόν να εκσκαφούν με καδοφόρους εκσκαφείς αλλά μόνο με συμβατικό εξοπλισμό (shovels – φορτηγά - dumpers) αφού προηγηθεί η ανατίναξή τους.

Ορίζοντας αργίλου πάχους από 3 έως 100 m, όπου υπάρχουν ενστρώσεις άμμου μέσα σ' αυτή.

Ορίζοντας πράσινης μάργας μετρίως σκληρής πάχους από 2 έως 4 m, η οποία συναντάται κατά τόπους στην οροφή του λιγνιτικού κοιτάσματος.

Σκληροί σχηματισμοί:

Οι σκληροί σχηματισμοί υπέρκεινται κατά θέσεις του κοιτάσματος Κομνηνών με κυμαινόμενο πάχος 0 έως 58 m και εμφανίζονται κυρίως στο βόρειο τμήμα του ορυχείου το οποίο εκτείνεται έως τον οικισμό Κομνηνών. Το σύνολο των σκληρών σχηματισμών ανέρχεται σε 72 εκατομμύρια m³.

3.1.2.3 Βασικά χαρακτηριστικά ενδιάμεσων σχηματισμών

Μεταξύ των στρωμάτων λιγνίτη παρεμβάλλονται στείρες ενστρώσεις που συνίστανται κυρίως από αμμούχους αργίλους και λεπτόκοκκο τεφροπράσινη άμμο (Ρούμπος, 2010β).

3.1.3 Όρια και έκταση κοιτάσματος - Αποθέματα λιγνίτη - ποσότητες αγόνων - σχέση εκμετάλλευσης

Η ανάπτυξη του κοιτάσματος Κομνηνών είναι από ΒΑ προς ΝΔ με τα πρώτα 4,5 έως 5 km κατά μήκος του κύριου άξονά του, ενώ στη συνέχεια γίνεται καθαρά από Β προς Ν για τα υπόλοιπα 3 km περίπου. Το πλάτος του περιορίζεται στα 1500- 2000 m περίπου και η επιφανειακή του εξάπλωση είναι της τάξεως των 14 km².

Βορειοανατολικότερα, μετά την παρεμβολή στείρας περιοχής, υπάρχει συνέχεια του κοιτάσματος με τη μορφή μικρού λιγνιτικού αποθέματος, γνωστού ως κοιτάσμα Μεσοβούνου. Στα ανατολικά όρια του κοιτάσματος ο λιγνίτης έρχεται σε επαφή με καρστικοποιημένο ασβεστόλιθο. Το συνολικό γεωλογικό απόθεμα του κοιτάσματος Κομνηνών φθάνει σχεδόν τα 170 εκατομμύρια τόνους, το εκμεταλλεύσιμο όμως απόθεμά του ανέρχεται σε 95 εκατομμύρια τόνους. Οι συνολικές εκσκαφές, συμπεριλαμβανομένων και εκείνων του λιγνιτικού κοιτάσματος, ανέρχονται σε 772 εκατομμύρια m³ και η σχέση εκμετάλλευσης διαμορφώνεται σε 7,4:1 m³/t. Η ποιότητα του ξυλίτη θεωρείται, όπως αναφέρθηκε, καλή με κατώτερη θερμογόνο ικανότητα κυμαινόμενη μεταξύ 1650 και 2000 kcal/kg, με μέση κατώτερη θερμογόνο ικανότητα 1700 kcal/kg.

Το εμβόλιμο απόθεμα του κοιτάσματος Μεσοβούνου είναι 7,5 εκατομμύρια τόνοι, με συνολικές εκσκαφές 39 εκατομμύρια m³ και σχέση εκμετάλλευσης 4:1 m³/t. Η μέση κατώτερη θερμογόνος ικανότητα του κοιτάσματος αυτού είναι 1600 kcal/kg (Ρούμπος, 2010β).

3.1.4 Τεκτονική

Στην περιοχή Κομνηνών, τα κρασπεδικά ρήγματα, τα οποία σχημάτισαν την ομώνυμη τάφρο, έχουν γενική κατεύθυνση ΒΑ - ΝΔ δηλαδή σχεδόν κάθετη προς τα κρασπεδικά ρήγματα που σχημάτισαν την κύρια τάφρο της Πτολεμαΐδας. Οι κλιμακωτές, σχεδόν παράλληλες μεταπτώσεις με ποικίλα άλματα δημιούργησαν τη μικρή, στενή και επιμήκη τάφρο των Κομνηνών. Κατά τη διάρκεια της ιζηματογένεσης της κατώτερης νεογενούς σειράς φαίνεται ότι υπήρχε μια συνεχής συνίζηση του υποβάθρου της στενής λεκάνης, που διευκολυνόταν από μία διαφορική κίνηση κατά μήκος των επιφανειών των κρασπεδικών ρηγμάτων. Νεώτερες μεταπτώσεις, μερικές των οποίων επαναλειτούργησαν και κατά το τεταρτογενές, διατέμνουν τα στρώματα της λεκάνης των Κομνηνών προς όλες σχεδόν τις διευθύνσεις, με επικρατούσες τις ΒΒΑ - ΝΝΔ έως ΒΑ - ΝΔ και Β - Ν έως ΒΔ - ΝΑ. Στο δυτικό τμήμα του κοιτάσματος, λόγω συμβολής ρηγμάτων, τα στρώματα βυθίζονται προς τη δύση. Γενικά τα στρώματα βυθίζονται κλιμακωτά, λόγω ακριβώς αυτών των μεταπτώσεων, από τη μια προς το κέντρο της επιμήκης και στενής λεκάνης και από την άλλη προς τα δυτικά, δηλαδή προς τη κατεύθυνση της κυρίας τάφρου Πτολεμαΐδας. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα ρήγματα που είναι δυνατόν να εντοπιστούν έχουν άλμα άνω των 20m (Ρούμπος, 2010β).

3.2 Επιλογή κατάλληλου εξοπλισμού

3.2.1 Πάγιος εξοπλισμός

Από τη ΔΕΗ Α.Ε. εκπονήθηκε μελέτη του κοιτάσματος Κομνηνών. Στα πλαίσια αυτής της μελέτης προβλέπεται ότι η εκμετάλλευση του κοιτάσματος θα γίνει με ορθές βαθμίδες και με τη μέθοδο της συνεχούς λειτουργίας. Περισσότερες λεπτομέρειες δίνονται στην ενότητα 3.3.

Κατά την εκμετάλλευση του κοιτάσματος, στη ζώνη των υπερκειμένων προβλέπεται να αναπτυχθούν τέσσερις βαθμίδες (ή τομές) λειτουργίας (προτομή, 1η, 2η και 3η) στις οποίες θα ενταχθούν τρεις κλάδοι ταινιοδρόμων οι οποίοι θα συνεργάζονται με τρεις καδοφόρους εκσκαφείς τύπου SCHRS 2000/8x32 ετήσιας δυναμικότητας $8 \times 10^6 \text{ m}^3$ υλικού επί τόπου (in situ), δηλαδή συμπαγούς υλικού. Η απόληψη του εν λόγω κοιτάσματος έχει προβλεφθεί να πραγματοποιηθεί με έναν «μικρό» εκσκαφέα, τύπου SCHRS 1000/8x15 ετήσιας δυναμικότητας $3,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ από δύο κύριες τομές (4η και 5η) και μία μετατομή, ο οποίος θα συνεργάζεται με δύο κλάδους ταινιοδρόμων. Στα υπερκείμενα η συνολική ετήσια διακίνηση με πάγιο εξοπλισμό προβλέπεται να είναι της τάξης των 20 εκατομμυρίων m^3 και στο λιγνιτικό κοιτάσμα η αντίστοιχη ετήσια παραγωγή λιγνίτη προβλέπεται ότι θα κυμαίνεται μεταξύ δύο και τριών εκατομμυρίων τόνων. Στο Σχήμα 3.3, παρουσιάζεται ένας τυπικός καδοφόρος εκσκαφέας.



Σχήμα 3.3: Φωτογραφία τυπικού καδοφόρου εκσκαφέα (από προσωπικό αρχείο)

Στον πάγιο εξοπλισμό του ορυχείου εντάσσονται και οι ταινιόδρομοι (Τ/Δ) όπως αναφέρθηκαν και νωρίτερα, για τη μεταφορά των εξορυγμένων υλικών. Ένας ταινιόδρομος αποτελείται από την κεφαλή, τον κατά μήκος ταινιοδρομικό εξοπλισμό (ράουλα κυλίσεως, ράουλα επιστροφής, ιμάντας, κα.) και το τερματικό του ταινιοδρόμου ή σταθμό επιστροφής. Το πλάτος των ταινιοδρόμων κυμαίνεται ανάλογα με τις ανάγκες παραγωγής. Στα ορυχεία του Λ.Κ.Δ.Μ. χρησιμοποιούνται διαφορετικά πλάτη ταινιοδρόμων με χαρακτηριστικό το πλάτος ταινιοδρόμου που χρησιμοποιείται στις λιγνιτικές τομές (1800mm) και μεγάλους ταινιοδρόμους παραγωγής ου το πλάτος τους μπορεί να φτάσει και 2400mm. Στο Σχήμα 3.4, παρουσιάζεται μία φωτογραφία ενός ταινιοδρόμου κατά μήκος μιας βαθμίδας εκματάλλευσης.



Σχήμα 3.4: Φωτογραφία ταινιοδρόμου κατά μήκος βαθμίδας εκματάλλευσης (από προσωπικό αρχείο)

Για την απόθεση των αγόνων υλικών θα χρησιμοποιηθούν τρεις αποθέτες τύπου ARS 1800/(38+60) ετήσιας δυναμικότητας $8 \times 10^6 \text{ m}^3$ (Ρούμπος, 2010β). Στο Σχήμα 3.5, παρουσιάζεται ένας αποθέτης.



Σχήμα 3.5: Φωτογραφία αποθέτη (από προσωπικό αρχείο)

3.2.2 Συμβατικός εξοπλισμός

Κατά την εκμετάλλευση του Ορυχείου Κομνηνών θα συναντηθούν, στη ζώνη των υπερκειμένων, συνεκτικοί σχηματισμοί συνολικού όγκου $69.000.000 \text{ m}^3$, οι οποίοι θα πρέπει να διακινηθούν αναγκαστικά με συμβατικό εξοπλισμό και με ετήσιους ρυθμούς της τάξης των $4.000.000 - 8.000.000 \text{ m}^3$ για τα 10 πρώτα χρόνια της ζωής του ορυχείου. Επίσης με συμβατικό εξοπλισμό θα διακινηθούν οι μάζες των αρχικών διανοίξεων των τομών οι οποίες ανέρχονται σε $14.000.000 \text{ m}^3$ καθώς και μάζες της τάξης των $8.000.000 \text{ m}^3$ από το επικάλυμμα της προτομής, λόγω της μικρής του έκτασης (Ρούμπος, 2010β). Σε γενικές γραμμές ο ντιζελοκίνητος εξοπλισμός του ορυχείου αποτελείται από μεγάλο αριθμό χωματοουργικών αυτοκινήτων, από προωθητές ερπυστριοφόρους και ελαστικοφόρους, από φορτωτές και από εσκαπτικά μετωπικού και ανεστραμμένου κάδου. Όπως έχει αναφερθεί, υπάρχει και βοηθητικός ντιζελοκίνητος εξοπλισμός ο οποίος συμμετέχει σε διάφορες διαδικασίες του ορυχείου, όπως για παράδειγμα την υποστήριξη της λειτουργίας του πάγιου εξοπλισμού, την πραγματοποίηση των μεταθέσεων – επιμηκύνσεων – μετασκευών των ταινιοδρόμων. Επίσης, ο βοηθητικός εξοπλισμός αποτελείται από ισοπεδωτές, από σφύρες, από οχήματα παρασκευής και γόμωσης εκρηκτικών, από οδοστρωτήρες, βυτία καυσίμου, βυτία διαβροχής, торναντόζες

(ελαστικοφόροι προωθητές), οχήματα μεταφοράς και επίβλεψης προσωπικού και αεροσυμπιεστές. Τέλος, στη γεωτρητική έρευνα χρησιμοποιούνται ντιζελοκίνητα γεωτρύπανα. Στο Σχήμα 3.6, παρουσιάζονται ενδεικτικά φωτογραφίες συμβατικού εξοπλισμού.



Σχήμα 3.6: Φωτογραφίες συμβατικού εξοπλισμού (από προσωπικό αρχείο)

3.3 Προγραμματισμός παραγωγής

Στην μελέτη εκμετάλλευσης του κοιτάσματος Κομνηνών (βλέπε και ενότητα 3.2.1) υπολογίστηκαν οι ετήσιοι όγκοι εκσκαφών (στείρων και κοιτάσματος) για τη διάρκεια ζωής του ορυχείου. Γενικά, σε κάθε λιγνιτικό κοιτάσμα προηγείται ο χρονικός προγραμματισμός έρευνας και μελέτης του κοιτάσματος, ο οποίος παρουσιάζεται με τη μορφή διαγράμματος στους πίνακες 3.3, 3.4 και 3.5 παρουσιάζεται το δρομοχρονικό διάγραμμα εκσκαφών σε m^3 χαλαρών, *in situ*, υλικών για τα έτη 1993 – 2026. Στη συνέχεια από την μελέτη προβλέπεται η φάση κατασκευής του ορυχείου για την εκμετάλλευση του κοιτάσματος. Ως φάση κατασκευής ενός λιγνιτωρυχείου μπορεί να θεωρηθεί η κατασκευή του κόμβου ταινιοδρόμων (Τ/Δ), η κατασκευή των απαραίτητων κτιριακών υποδομών και συνοδών έργων, (πύργος ελέγχου ταινιοδρόμων (ΠΕΤ), γραφεία, μηχανουργεία, συνεργεία συντήρησης κλπ.), τα έργα προσπέλασης για την αρχική διάνοιξη των ορυχείων, όπως επίσης και οι χωματουργικές εργασίες αρχικής διάνοιξης κάθε ορυχείου (ΔΕΗ,2010).

Πίνακας 3.3: Δρομοχρονικό διάγραμμα εκσκαφών ορυχείου Κομνηνών (*10⁶ Fm³) για τα έτη 1993 - 2004

ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΕΤΟΣ ΤΟΜΗ	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
	Ε. ΠΡΟΤ.								5	2.94			
ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΣ	ΠΡΟΤΟΜΗ						4.9			2			
	ΤΟΜΗ 1	3	6.8		0.31	2	3.29	2	3.3		1.8	3.81	2.47
	ΤΟΜΗ 2		1.27	5	3	5.5	5	1.7	5	3	1.1	4	2.7
	ΣΥΝΟΛΟ (1)	3	8.07	8	7.81	8.29	8.6	8.3	8	7.84	7.81	5.17	1.47
	ΠΑΤΙΟΣ								6	2.89			2.76
ΠΑΤΙΟΣ	ΤΟΜΗ 1						1	3	7	0.92	4	7	7
	ΤΟΜΗ 2					1.49	2.49	3.65	1	2.52	2.5	4	6
	ΤΟΜΗ 3							1.89	5.5	3.5	2	5	3.5
	ΤΟΜΗ 4										1.34	2	2
	ΤΟΜΗ 5												
	ΜΕΤΑΤΟΜΗ												
	ΣΥΝΟΛΟ (2)					1.49	6.49	12.54	15.94	18.89	19.34	19.5	14.57
ΣΥΝΟΛΟ (1) + (2)		3	8.07	8	7.81	9.78	15.09	20.84	23.94	26.73	27.15	24.67	16.04

Πίνακας 3.3: Δρομοχρονικό διάγραμμα εκσκαφών ορυχείου Κομνηνών (*10⁶ Fm³) για τα έτη 2005 - 2016

ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΕΤΟΣ ΤΟΜΗ	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
	Ε. ΠΡΟΤ.												
ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΣ	ΠΡΟΤΟΜΗ				1.78							1	
	ΤΟΜΗ 1					5							
	ΤΟΜΗ 2												
	ΣΥΝΟΛΟ (1)	1.78				5						1	
	ΠΑΓΙΟΣ												
ΠΑΓΙΟΣ	ΠΡΟΤΟΜΗ	6.07	6.98	1.4	5.8	7.03	5.39						
	ΤΟΜΗ 1					1.61	7.22	6	6.5	6	6.5	6	6.5
	ΤΟΜΗ 2	6	6	6	6	6	5.43	6	6.5	6.5	7	7	7
	ΤΟΜΗ 3	6.97	4	2	6.77	6	6	6.5	2	5.5	5.72	7	7
	ΤΟΜΗ 4	1.5	1.8	2	3	3	1.09	1.88	3	3	3	3	3
	ΤΟΜΗ 5					0.6	2	2.8	2	2	2	1	1
	ΜΕΤΑΤΟΜΗ												
	ΣΥΝΟΛΟ (2)	20.54	20.78	21.97	22.03	22.6	22.24	26.98	23.72	24.5	25.5	24	24.5
ΣΥΝΟΛΟ (1) + (2)		20.54	20.78	21.97	23.81	27.6	26.98	26.98	23.72	24.5	25.5	25	24.5

Πίνακας 3.3: Δρομοχρονικό διάγραμμα εκσκαφών ορυχείου Κομνηνών (*10⁶ Fm³) για τα έτη 20017 - 2026

ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΕΤΟΣ ΤΟΜΗ										
		2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΣ	Ε. ΠΡΟΤ.										
	ΠΡΟΤΟΜΗ										
	ΤΟΜΗ 1										
	ΤΟΜΗ 2										
	ΣΥΝΟΛΟ (1)										
ΓΛΙΤΟΣ	ΠΡΟΤΟΜΗ										
	ΤΟΜΗ 1	2	4	6	6	1.97					
	ΤΟΜΗ 2	5.57	7	7	7	7	7	7	7	3.4	
	ΤΟΜΗ 3	7	7	7	7	7	7	7	7	2.63	
	ΤΟΜΗ 4	2	3	3	3	3	3	3	3	1.46	
	ΤΟΜΗ 5	1.38	2	2	2	2	2.68	1	1	1	
	ΜΕΤΑΤΟΜΗ							1	2	3	3.61
	ΣΥΝΟΛΟ (2)	21.95	25	25	20.97	19	19.68	19	20	11.49	3.61
	ΣΥΝΟΛΟ (1) + (2)	21.95	25	25	20.97	19	19.68	19	20	11.49	3.61

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

4.1 Ορισμός

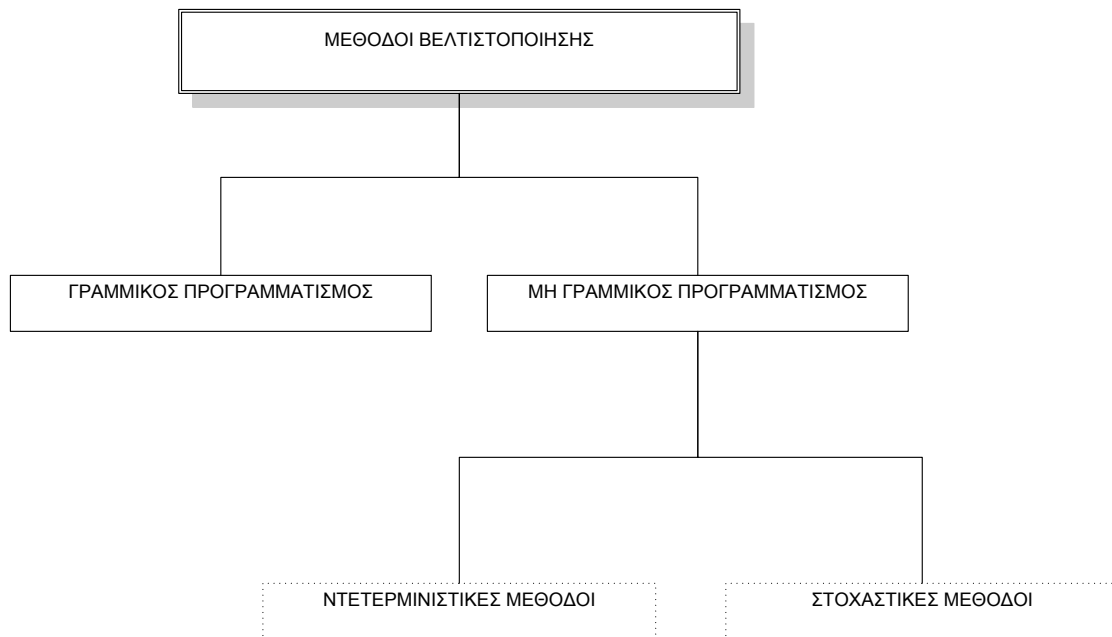
Ο όρος «βελτιστοποίηση» στη μεταλλευτική υιοθετήθηκε για να περιγράψει τη μεγιστοποίηση της παρούσας αξίας των ταμειακών ροών, σε ένα πλαίσιο σχεδιασμού – προγραμματισμού της εκμετάλλευσης των κοιτασμάτων και παρουσιάζει ειδική σπουδαιότητα στη διαχείριση μεταλλευτικών κοιτασμάτων, διότι κάθε κοίτασμα είναι πεπερασμένο (Ρούμπος, 2010α).

Στη σύγχρονη εποχή, ο όρος αποδοτικότητα είναι απαραίτητα παρών στο λεξιλόγιο κάθε μηχανικού. Ιδέες όπως απόδοση και κόστος δεν μπορούν να αγνοηθούν σε μία ανταγωνιστική κοινωνία. Η ελαχιστοποίηση του κόστους ή/και η μεγιστοποίηση της απόδοσης μπορεί να θεωρηθεί ως ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης. Η επίλυση ενός προβλήματος βελτιστοποίησης συνήθως οδηγεί είτε στην επιλογή της βέλτιστης λύσης ή σε μερικές περιπτώσεις ομάδας βέλτιστων λύσεων. Υπάρχει μια τεράστια κλίμακα μεθόδων βελτιστοποίησης, οι περισσότερες από τις οποίες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σύμφωνα με το Σχήμα 4.1. Κάθε μέθοδος περιλαμβάνει μια σειρά προβλημάτων για τα οποία αυτή ενδείκνυται περισσότερο. Η επιλογή της μεθόδου εξαρτάται από μια σειρά χαρακτηριστικών του προβλήματος και ειδικά από την εξίσωση που το περιγράφει. Συνεπώς, είναι απαραίτητη η καλή κατανόηση του προβλήματος και των μεθόδων βελτιστοποίησης οι οποίες τυχόν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επίλυσή του.

Οι ντετερμινιστικές μέθοδοι βασίζονται στον υπολογισμό των παράγωγων συναρτήσεων ή προσεγγίσεων τους. Ο αντικειμενικός σκοπός είναι να ελαχιστοποιηθεί ή μεγιστοποιηθεί η συνάρτηση μηδενίζοντας την πρώτη παράγωγο και ελέγχοντας το πρόσημο της δεύτερης παραγώγου. Οι στοχαστικές μέθοδοι αναζητούν τη βέλτιστη λύση ορισμένου προβλήματος κάνοντας χρήση μιας “τυχαία οριοθετημένης” προσέγγισης.

Σε μεγάλο αριθμό προβλημάτων, υπάρχει η ανάγκη εύρεσης βέλτιστων λύσεων που λαμβάνουν υπόψη τους περισσότερα από ένα κριτήρια. Σε αυτήν την περίπτωση, πρέπει να εφαρμόζεται μία πολυκριτηριακή προσέγγιση. Τα προβλήματα της μηχανικής που απαιτούν μείωση

του κόστους, υψηλή απόδοση και μικρές απώλειες, αποτελούν παράδειγμα εφαρμογής όπου αυτή η προσέγγιση είναι απαραίτητη. Είναι σαφές ότι η γνώση της φύσης του προβλήματος θα βοηθήσει στην επιλογή του κατάλληλου εργαλείου βελτιστοποίησης (Joao et al, 2006).



Σχήμα 4.1. Οικογένειες μεθόδων βελτιστοποίησης

4.1.1 Γραμμικός Προγραμματισμός

Ο γραμμικός προγραμματισμός στόχο έχει να εξασφαλίσει τη βέλτιστη λύση σε προβλήματα που περιγράφονται τέλεια από μία σειρά γραμμικών εξισώσεων. Το κάθε πρόβλημα περιγράφεται από μία σειρά συναρτήσεων, οι οποίες είτε πρέπει να ελαχιστοποιηθούν ή να μεγιστοποιηθούν. Οι συναρτήσεις αυτές ονομάζονται αντικειμενικές συναρτήσεις και συνοδεύονται από μία σειρά γραμμικών εξισώσεων που καλούνται περιορισμοί. Αυτές οι συναρτήσεις οριοθετούν ένα υποσύνολο

των πιθανών λύσεων, ή ένα αποδεκτό σύνολο λύσεων. Η περισσότερο αποδεκτή λύση, ή βέλτιστη λύση, είναι αυτή που ελαχιστοποιεί (ή μεγιστοποιεί) την αντικειμενική συνάρτηση (Bazaraa et al, 1990, σύμφωνα με Joao et al, 2006). Ένα παράδειγμα προβλήματος που επιλύεται με γραμμικό προγραμματισμό είναι αυτό του πλανόδιου πωλητή, στο οποίο αναζητείται η ελάχιστη απόσταση (Joao et al, 2006).

4.1.2 Μη Γραμμικός Προγραμματισμός

Για τα προβλήματα που περιγράφονται από μη γραμμικές εξισώσεις, χρησιμοποιείται μη γραμμικός προγραμματισμός. Ο μη γραμμικός προγραμματισμός μπορεί να διαιρεθεί σε τρεις μεγάλες ομάδες μεθόδων: τις ντετερμινιστικές, τις στοχαστικές και της απαρίθμησης (Luenberger, 1990, Bazaraa et al, 1993, σύμφωνα με Joao et al, 2006). Ενδιαφέρουν κυρίως οι δύο πρώτες ομάδες και είναι αυτές που θα αναλυθούν στη συνέχεια.

4.1.2.1 Ντετερμινιστικές Μέθοδοι

Οι ντετερμινιστικές μέθοδοι βασίζονται στη γενική ιδέα της διαδοχικής αναζήτησης εντός του διαστήματος βελτιστοποίησης, χρησιμοποιώντας πληροφορίες από την κλίση της αντικειμενικής συνάρτησης. Το βήμα λαμβάνεται γενικά στην κατεύθυνση στην οποία η συνάρτηση ελαχιστοποιείται. Η αναζήτηση της βέλτιστης λύσης χρησιμοποιεί το διάνυσμα τρέχουσας θέσης ($\vec{x}^k$) για εξασφάλιση επανάληψης $k+1$. Υπάρχουν πολλοί τρόποι να εκτελεστούν οι επαναλήψεις, ένας από τους οποίους δίνεται από την εξίσωση:

$$\vec{x}_{k+1} = \vec{x}_k + \lambda_k \vec{d}_k$$

όπου: k είναι το μήκος του βήματος και το $\vec{d}_k$ δείχνει την κατεύθυνση προς την οποία θα ληφθεί το επόμενο βήμα. Ο όρος λ_k ελέγχει την εξέλιξη και την ακρίβεια της λύσης. Μέθοδοι όπως η Χρυσή Τομή και η Fibonacci (Golden Section and Fibonacci) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να τον καθορίσουν. Το βήμα κατεύθυνσης $\vec{d}_k$ μπορεί να καθοριστεί από διάφορες τεχνικές, όπως η μέθοδος Newton (Luenberger, 1990, Bazaraa et al, 1993, σύμφωνα με Joao et al, 2006).

Στις επιστήμες της μηχανικής, τα προβλήματα είναι συνήθως σύνθετα, μη γραμμικά και μερικές φορές περιγράφονται από μη διαφορίσιμες συναρτήσεις, απαιτώντας έτσι πιο αποτελεσματικές αριθμητικές μεθόδους για τη λύση τους. Σε αυτού του είδους τα προβλήματα χρησιμοποιούνται οι στοχαστικές μέθοδοι, που αποτελούν μία διαφορετική ομάδα μη γραμμικών μεθόδων βελτιστοποίησης (Joao et al, 2006).

4.1.2.2 Στοχαστικές Μέθοδοι

Οι στοχαστικές μέθοδοι έχουν, ως κύριο χαρακτηριστικό τους, την αναζήτηση της βέλτιστης τιμής μέσω κανόνων πιθανοτήτων, οι οποίοι εφαρμόζονται με ένα “τυχαία προσανατολισμένο” τρόπο. Αυτές οι μέθοδοι αντλούν μόνο πληροφορίες από την αντικειμενική συνάρτηση, χωρίς να απαιτούν γνώσεις από τις παραγώγους της ή από πιθανές ασυνέχειες (Michalewicz et al, 1997, Alotto et al, 1998, σύμφωνα με Joao et al, 2006).

Οι επιλύσεις εφαρμόζοντας στοχαστικές στρατηγικές έχουν το πλεονέκτημα ότι είναι λιγότερο πιθανό να συγκλίνουν σε ένα τοπικό ελάχιστο. Αυτές οι τεχνικές κέρδισαν δημοσιότητα με τις πρόσφατες εξελίξεις στα συστήματα υπολογιστών, καθώς απαιτούν μεγάλο αριθμό αριθμητικών πράξεων για την επίλυση του κάθε προβλήματος. Αυτό είναι απαραίτητο προκειμένου να είναι δυνατή η εξέταση όλου του πεδίου εφικτών λύσεων ούτως ώστε να βρεθεί η βέλτιστη λύση (Joao et al, 2006).

4.2 Εφαρμογή βελτιστοποίησης στην επιλογή του κόμβου ταινιοδρόμων για μοντέλο κοιτάσματος που ομοιάζει το κοίτασμα Κομνηνών

4.2.1 Γενικά

Υπάρχουν πολλά επιμέρους προβλήματα βελτιστοποίησης στα ορυχεία. Ο στόχος της παρούσας διπλωματικής είναι η αντιμετώπιση του ζητήματος της εύρεσης της βέλτιστης θέσης του κόμβου ταινιοδρόμων σε ένα ορυχείο επιφανειακής εκμετάλλευσης, όπως αυτά που αναπτύσσονται στην περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας από τη ΔΕΗ Α.Ε.. Η επίλυση του προβλήματος έγινε με την ανάπτυξη κατάλληλου αλγορίθμου. Ένας τέτοιος αλγόριθμος πρέπει να λαμβάνει υπόψη του τόσο τα χαρακτηριστικά της εκμετάλλευσης (με τη χρήση πάγιου εξοπλισμού – καδοφόροι εκσκαφείς –

ταινιόδρομοι - αποθέτες) όσο και τα χαρακτηριστικά της απόθεσης ή της μεταφοράς του παραγόμενου λιγνίτη προς την αυλή του ατμοηλεκτρικού εργοστασίου.

Στα πλαίσια, λοιπόν, αυτής της διπλωματικής σχεδιάστηκε ένα πρόγραμμα που υλοποιεί έναν αλγόριθμο βελτιστοποίησης για τη χωροθέτηση του κόμβου ταινιοδρόμων. Στις επόμενες ενότητες δίνονται τα χαρακτηριστικά του προγράμματος αυτού, οι βασικές παράμετροι που υπεισέρχονται στον αλγόριθμο καθώς και αποτελέσματα από την ανάλυση ευαισθησίας και την παραμετρική ανάλυση για ένα κοίτασμα το οποίο έχει παρόμοια γεωμετρικά και κοιτασματολογικά χαρακτηριστικά με τη λιγνιτική εμφάνιση στην περιοχή Κομνηνών της Δυτικής Μακεδονίας.

4.2.2 Χρήση εξισώσεων βελτιστοποίησης

Τα στοιχεία που πρέπει να προσδιοριστούν κατά το σχεδιασμό μιας εκμετάλλευσης περιλαμβάνουν:

1. Τον αριθμό ταινιοδρόμων (ταινιόδρομοι κλάδων εκσκαφής, ταινιόδρομοι κλάδων αποθέσεων, ταινιόδρομοι τροφοδοσίας ΑΗΣ)
2. Το μήκος κάθε ταινιοδρόμου
3. Το πλάτος ιμάντα κάθε ταινιοδρόμου
4. Την ισχύ κινητήρων κάθε ταινιοδρόμου
5. Τη θέση και χωρητικότητα ενδιάμεσου χώρου αποθήκευσης (αν υπάρχει)

Το ζητούμενο για τον υπολογισμό του κόστους λειτουργίας είναι ο υπολογισμός της ισχύος του κινητήρα. Κατά την κίνηση του ιμάντα πάνω στα ράουλα και γύρω από τα ακραία τύμπανα δημιουργούνται διάφορες αντιστάσεις από τριβές και από την συνεχή κάμψη του ελαστικού οι οποίες υπερνικούνται από την καταβαλλόμενη από τον κινητήρα ενέργεια. Όταν ο ιμάντας εργάζεται υπό κλίση (μέχρι 18° για κανονικές κατασκευές) στην ισχύ που υπολογίζεται για την οριζόντια μεταφορά προστίθεται ή αφαιρείται η απαιτούμενη ισχύς για την ανύψωση ή καταβίβαση του υλικού.

Ο ακριβής προσδιορισμός των αντιστάσεων κίνησης ενός μεταφορικού ιμάντα προϋποθέτει σειρά πολύπλοκων υπολογισμών. Αντί αυτών, οι κανονισμοί DIN δίνουν τον ακόλουθο εύχρηστο τύπο, ο οποίος βασίζεται σε εργαστηριακούς και εμπειρικούς συντελεστές:

$$N_a = \frac{C \cdot f \cdot L}{270} \cdot (3,6 \cdot G_m \cdot v + Q_t) \pm \frac{Q_t \cdot H}{270}$$

όπου:

N_a, η ισχύς στον άξονα του τύμπανου κίνησης σε PS,

C, συντελεστής εξαρτώμενος από το μήκος μεταφοράς (Σχήμα 4.2),

f, συντελεστής αντιστάσεων λόγω τριβών στα έδρανα των ραούλων (για έδρανα ολίσθησης λαμβάνει τιμές 0,050-0,060 και για ένσφαιρους τριβείς 0,025-0,030), στην παρούσα περίπτωση λαμβάνεται f=0,028

L, το μήκος μεταφοράς σε m,

H, η υψομετρική διαφορά σε m,

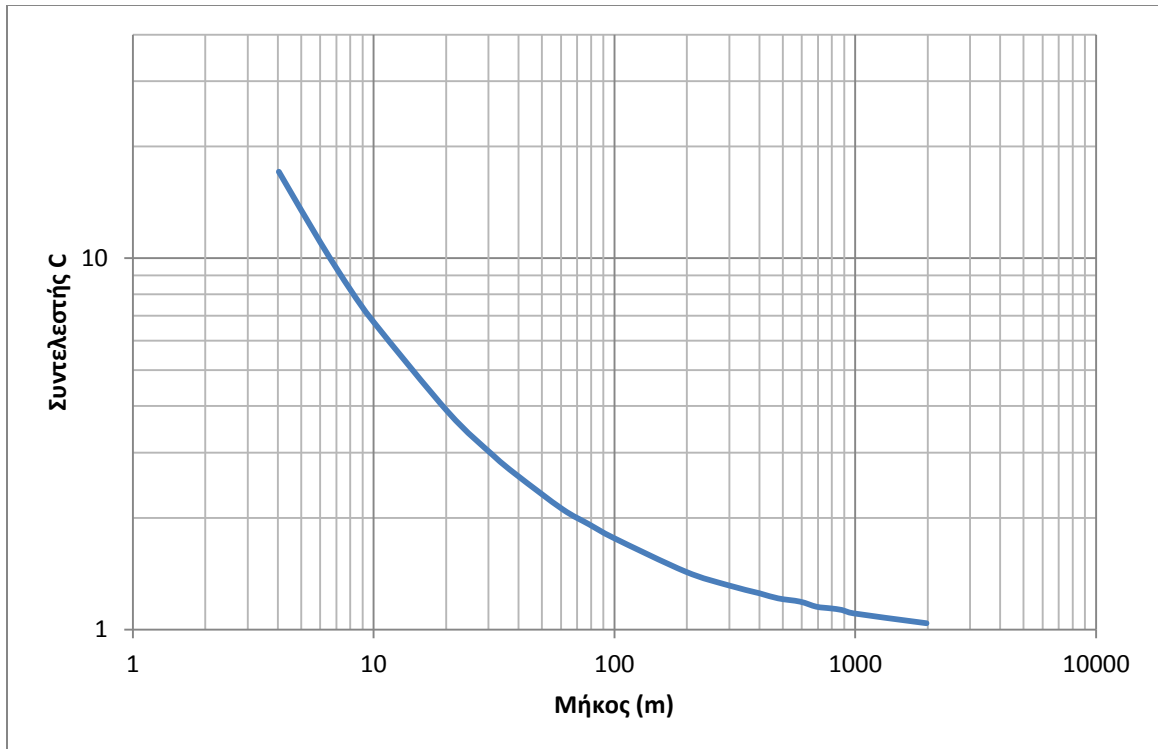
G_m, το φορτίο του μεταφορέα σε kp ανά τρέχον μέτρο μεταφοράς (αφορά το άθροισμα των βαρών όλων των κινούμενων στοιχείων του μεταφορέα: ράουλα και ιμάντας στον άνω και τον κάτω κλάδο του ταινιοδρόμου, χωρίς το βάρος του μεταφερόμενου υλικού), στην παρούσα περίπτωση λαμβάνεται G_m =100 kp/m

Q_t, η μεταφερόμενη ποσότητα υλικού σε Mp/h (=t/h)

v, η ταχύτητα του ταινιοδρόμου σε m/s, στην παρούσα περίπτωση λαμβάνεται v = 5,4 m/s

Η ταχύτητα των ταινιοδρόμων εξαρτάται από παράγοντες όπως: α) το πλάτος του ιμάντα, β) το αν ο ιμάντας είναι επίπεδος ή σκαφιδωτός, γ) το μήκος των ταινιοδρόμων, και δ) τη γωνία κλίσης των ταινιοδρόμων.

Η τιμή της ισχύος που υπολογίζεται από την παραπάνω σχέση επαυξάνεται κατά 20-40% για μεγάλες και μικρές εγκαταστάσεις, αντίστοιχα, προκειμένου να καλυφθούν τυχόν απρόβλεπτες αντιστάσεις (δυνάμεις αδράνειας κατά την εκκίνηση, υπερφορτώσεις, κλπ).



Σχήμα 4.2 : Διάγραμμα παρουσίασης εξάρτησης του συντελεστή C από την απόσταση μεταφοράς L

Στη συνέχεια γίνεται η μετατροπή της ισχύος από PS σε kW και υπολογίζεται τελικά το κόστος λειτουργίας, μέσω των εξισώσεων:

$$N_{\pi} = N_{\alpha} * 0,746$$

όπου:

N_{π} , η ισχύς του κινητήρα σε kW

N_{α} , η ισχύς στον άξονα του τύμπανου κίνησης σε PS,

0,746, ο συντελεστής μετατροπής

$$K_A = N_{\pi} * \Omega \Lambda_y * MK_E$$

όπου:

K_L , το κόστος λειτουργίας σε €

N_p , η ισχύς του κινητήρα σε kW

Ω_L , οι ετήσιες ώρες λειτουργίας οι οποίες θεωρητικά προκύπτουν ως $24 \cdot 365 = 8760h$, αλλά πρακτικά λαμβάνονται ίσες με 5000h/year, καθώς προσμετρώνται οι τυχόν αργίες, συντηρήσεις, βλάβες κλπ.

M_{KE} , το κόστος σε €/kWh και η τιμή λαμβάνεται ίση με 0,06 €/kWh

Ενώ το κόστος επένδυσης υπολογίζεται ως:

$$K_E = L * \alpha$$

όπου:

K_E , το κόστος επένδυσης σε €

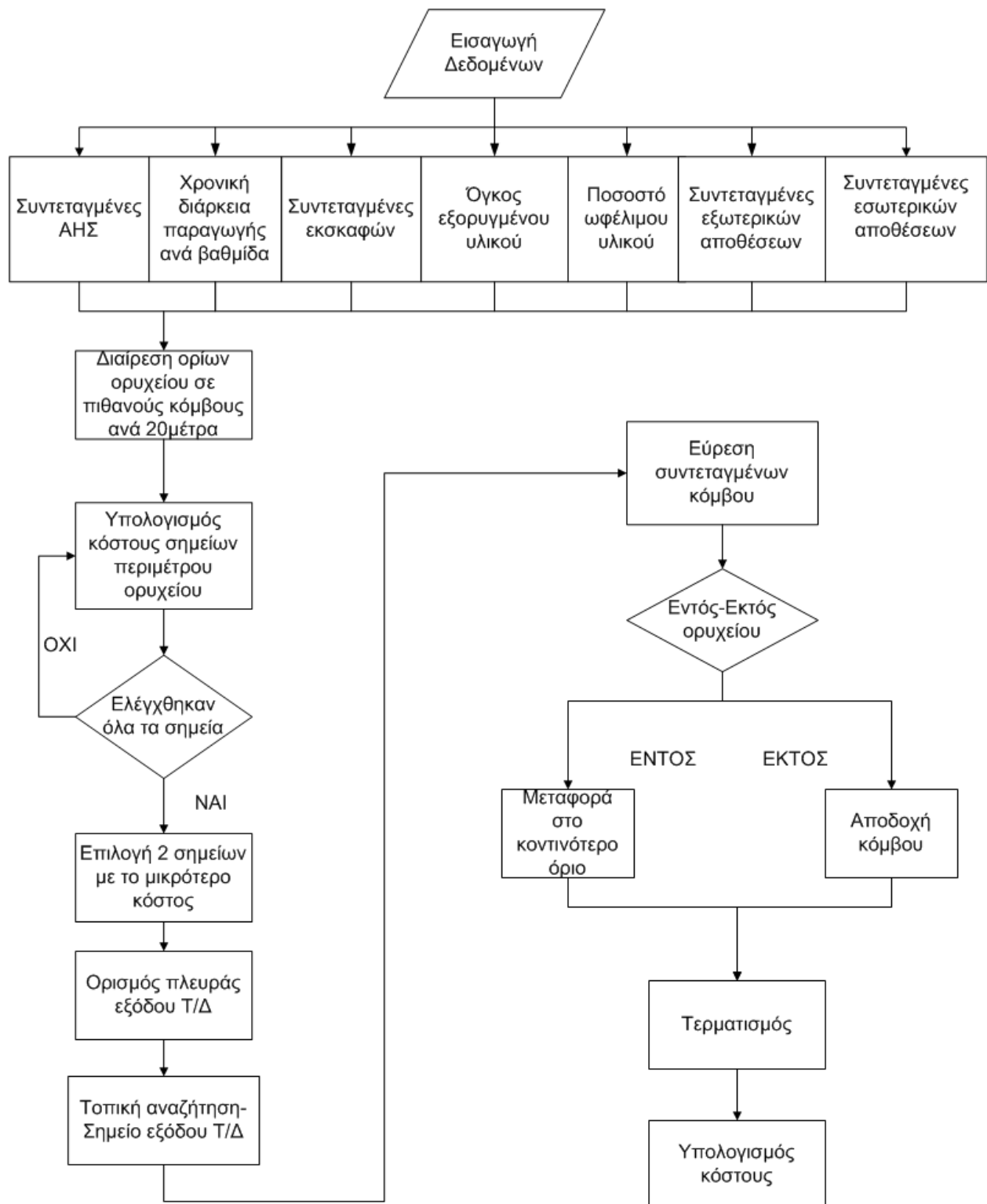
L , το μήκος του ταινιοδρόμου σε m

α , το κόστος ανά μονάδα ταινιοδρόμου σε €/m το οποίο λαμβάνεται σήμερα ίσο με 3520€/m

4.3 Εφαρμογή βελτιστοποίησης

4.3.1 Αλγόριθμος βελτιστοποίησης θέσης του κόμβου ταινιοδρόμων

Η βελτιστοποίηση αναφέρεται στην ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους (επένδυσης και λειτουργίας), όπως αναλύεται στο ακόλουθο διάγραμμα ροής, Σχήμα 4.3 .



Σχήμα 4.3: Διάγραμμα ροής της διαδικασίας βελτιστοποίησης του κόστους

Πιο αναλυτικά, η λειτουργία του προγράμματος περιγράφεται σε μερικά βήματα. Τα βήματα αυτά χωρίζονται σε δύο επιμέρους κατηγορίες, την εισαγωγή, στην οποία περιλαμβάνονται τα βήματα εισαγωγής των δεδομένων, και την επίλυση του προβλήματος. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα βήματα των επιμέρους ομάδων:

A. Εισαγωγή δεδομένων:

1. Γίνεται ο σχεδιασμός του φρυδιού εκσκαφής βάσει των δεδομένων που δίνονται στο πρόγραμμα, δηλαδή των συντεταγμένων των ορίων του (x, y, z) .
2. Αμέσως μετά το σχεδιασμό της περιμέτρου του ορυχείου, γίνεται η εισαγωγή των συντεταγμένων του ΑΗΣ, οι οποίες είναι πάντα σταθερές.
3. Στη συνέχεια εισάγονται οι υπόλοιπες παράμετροι που είναι απαραίτητες για τη λειτουργία του προγράμματος. Αυτές περιλαμβάνουν τις συντεταγμένες του κέντρου βάρους των εκσκαφών, τη μάζα του εξορυσσόμενου υλικού σε τόνους ανά βαθμίδα και ανά φάση εκσκαφής, το ποσοστό του ωφέλιμου υλικού, καθώς και τις συντεταγμένες του κέντρου βάρους των αποθέσεων. Τα παραπάνω εισάγονται ανά φάση (τομέα) εκσκαφής. Επίσης, εισάγεται και η χρονική διάρκεια παραγωγής ανά βαθμίδα.

B. Επίλυση προβλήματος:

4. Μετά την έναρξη της επίλυσης, πραγματοποιείται από το πρόγραμμα επαναληπτικός έλεγχος των ορίων και γίνεται ο υπολογισμός κόστους για κάθε σημείο υποθέτοντας πως ο κόμβος βρίσκεται στο σημείο αυτό.
5. Μετά τον έλεγχο αυτό, το πρόγραμμα επιλέγει τα δύο σημεία με το μικρότερο κόστος κι έτσι ορίζεται η πλευρά εξόδου των ταινιοδρόμων.
6. Βάσει του αλγορίθμου γίνεται η διαμέριση της πλευράς σε n ευθύγραμμα τμήματα.
7. Υποθέτοντας πως ο κόμβος βρίσκεται στο μέσον κάθε ευθύγραμμου τμήματος, υπολογίζεται το κόστος του πιθανού κόμβου για κάθε τμήμα.
8. Από τον αλγόριθμο γίνεται η τελική επιλογή του ευθύγραμμου τμήματος, όπου ελαχιστοποιείται το κόστος, ως σημείο εξόδου των ταινιοδρόμων.
9. Υπολογίζονται οι συντεταγμένες (x, y, z) του σημείου το οποίο αποτελεί τη θέση του κόμβου έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η συνάρτηση κόστους.

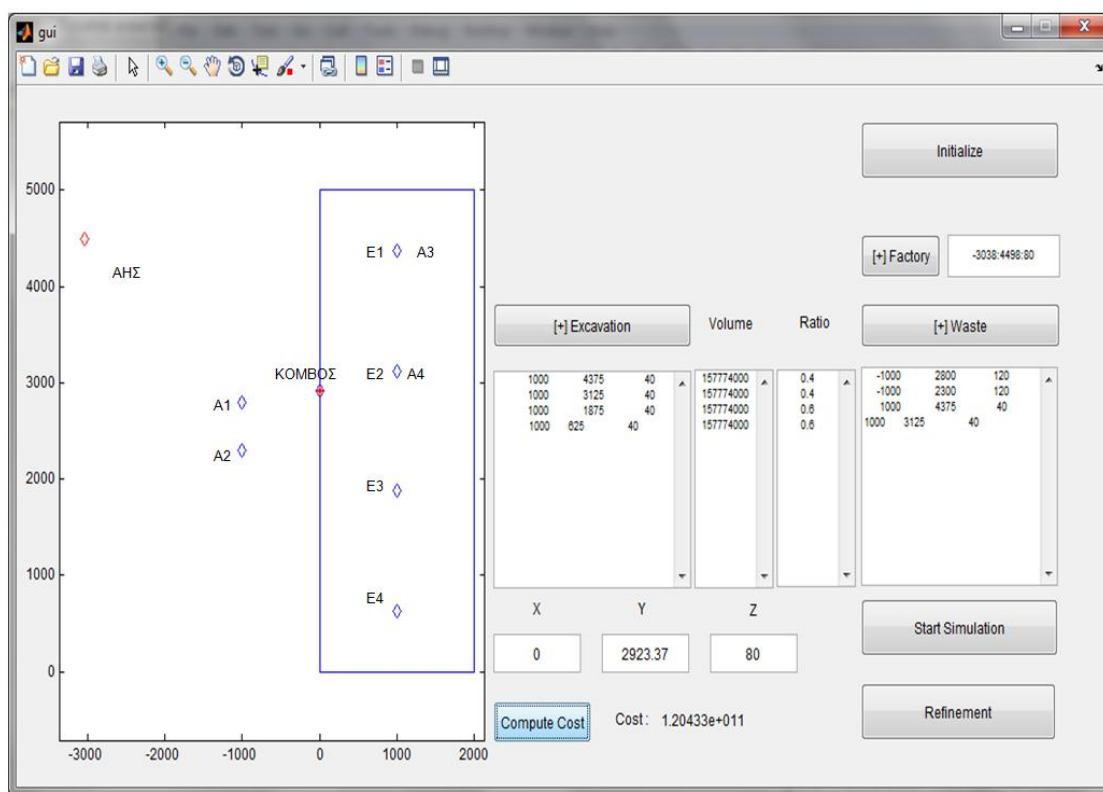
10. Αφού υπολογιστούν οι συντεταγμένες του βήματος 9, για να εμφανιστούν γίνεται χρήση του πλήκτρου refinement, με αποτέλεσμα το πρόγραμμα να πραγματοποιεί μία τοπική αναζήτηση για την ελαχιστοποίηση του κόστους γύρω από το σημείο του κόμβου και του σημείου εξόδου των ταινιοδρόμων.
11. Τέλος, μπορεί να εκτελεστεί η εντολή compute cost, όπου το πρόγραμμα εμφανίζει το αποτέλεσμα υπολογισμού του κόστους στο σημείο που επελέγη ως θέση κόμβου.
12. Στη συνέχεια, μπορούν να γίνουν αλλαγές χειροκίνητα στις συντεταγμένες του κόμβου και να υπολογιστεί εκ νέου το κόστος για τη νέα θέση του κόμβου.

4.3.2 Ανάλυση ευαισθησίας και εντοπισμός σφαλμάτων

Το πρώτο βήμα μετά την ανάπτυξη ενός νέου αλγορίθμου και τη δοκιμαστική του λειτουργία, είναι η ανάλυση ευαισθησίας. Ως ανάλυση ευαισθησίας νοείται η διαδικασία με την οποία μεταβάλλονται οι παράμετροι εισόδου και εξετάζονται τα εξαγόμενα αποτελέσματα ως προς τη λογική συνέπεια. Συνήθως για μικρές μεταβολές των παραμέτρων εισόδου αναμένονται αντίστοιχα μικρές μεταβολές των αποτελεσμάτων. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να βρεθούν σφάλματα στην εφαρμογή του αλγορίθμου που σε άλλη περίπτωση δεν θα γίνονταν αντιληπτά και θα επηρέαζαν τα αποτελέσματα διερεύνησης των πραγματικών προβλημάτων. Στην προκειμένη περίπτωση η ανάλυση ευαισθησίας αποσκοπούσε στο να ελέγξει το κατά πόσο μικρές μεταβολές στις θέσεις των κέντρων βαρών εκσκαφής - απόθεσης καθώς και της θέσης ΑΗΣ επηρεάζουν τη χωροθέτηση του κόμβου ταινιοδρόμων. Πράγματι έτρεξαν διάφορα σενάρια ανάλυσης ευαισθησίας όπως παρουσιάζονται παρακάτω (Σχήμα 4.4, Σχήμα 4.5). Μέσω των αποτελεσμάτων που εξήχθησαν από τα σενάρια αυτά έγινε η δυνατή διόρθωση του προγράμματος που αντιστοιχεί στον αλγόριθμο. Ενδεικτικά, παρουσιάζονται παρακάτω δύο σενάρια που συνέβαλαν στη διόρθωση του προγράμματος:

Το πρώτο από τα σενάρια για την ανάλυση ευαισθησίας που παρουσιάζεται στη συνέχεια, είναι ένα σενάριο πολύ απλής μορφής, όπου το μοντέλο χωρίζεται σε τέσσερα ίσα ορθογώνια παραλληλεπίπεδα και οι όγκοι που χρησιμοποιούνται ανταποκρίνονται ο καθένας στο ένα τέταρτο του συνολικού όγκου του ορυχείου που υπολογίστηκε. Οι συντεταγμένες της θέσης του ΑΗΣ είναι ίδιες σε όλα τα σενάρια που εξετάστηκαν, καθώς η θέση του ΑΗΣ δεν αποτελεί μεταβαλλόμενη παράμετρο εισόδου. Στην εκτέλεση του αλγορίθμου θεωρείται ότι οι αποθέσεις χωροθετούνται σε τέσσερις

περιοχές με ισάριθμα κέντρα βάρους (τέσσερα κέντρα βάρους περιοχών αποθέσεων), δύο εκ των οποίων θεωρούνται εξωτερικές και τοποθετούνται στο μέσο περίπου της πλευράς του ορυχείου, στην ίδια πλευρά με τον ΑΗΣ, ενώ δύο θεωρούνται εσωτερικές και χωροθετούνται σε εξοφλημένους χώρους, δηλαδή σε περιοχές που έχει ολοκληρωθεί η εκσκαφή. Η αναλογία όγκων ωφέλιμου προς στείρο υλικό συμπίπτει με τη μέση αναλογία που δίνεται από τη γεωλογική μελέτη για το κοίτασμα των Κομνηνών, 0,6 στείρα/0,4 λιγνίτης. Στο Σχήμα 4.4, παρουσιάζονται όλα τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για το πρώτο σενάριο ανάλυσης ευαισθησίας που δίνεται στην παρούσα εργασία.



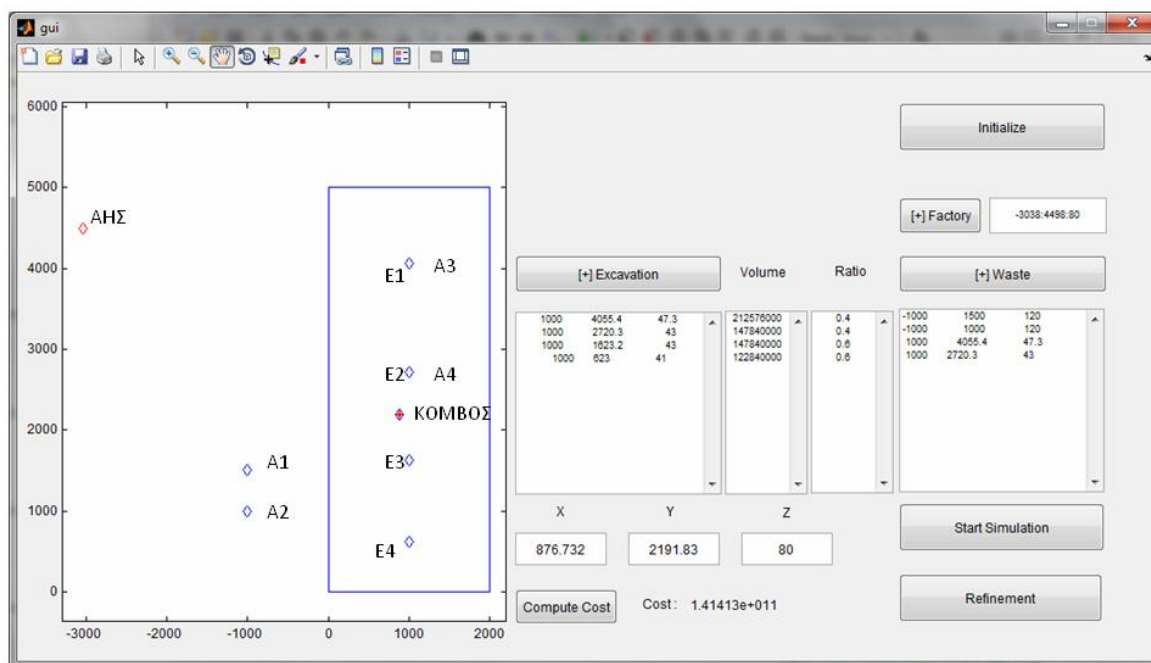
Σχήμα 4.4: Πρώτη περίπτωση ανάλυσης ευαισθησίας

Στον Πίνακα 4.1, παρουσιάζεται η μεταβολή του κόστους συναρτήσει του υψομέτρου του κόμβου ταινιοδρόμων. Το κόστος δίνεται εδώ ενδεικτικά ως K1, K2, K3, όπου $K1 < K2 < K3$. Με τον τρόπο αυτό γίνεται ο έλεγχος απόκρισης του συστήματος στις μεταβολές του υψομέτρου χωροθέτησης του κόμβου ταινιοδρόμων.

Πίνακας 4.1: Πίνακας μεταβολής του κόστους συναρτήσει του υψομέτρου του κόμβου
ταινιοδρόμων

Υψόμετρο κόμβου (m)	Διαφορά από επιφάνεια (m)	Κόστος (*10 ⁸ €)
70	-10	K2=1,21
80	0	K1=1,20
90	+10	K3=1,21

Η δεύτερη περίπτωση ανάλυσης ευαισθησίας που παρουσιάζεται στην παρούσα εργασία, περιλαμβάνει ένα σενάριο στο οποίο το πρόγραμμα που υλοποιεί τον αλγόριθμο που περιγράφηκε νωρίτερα δεν ανταποκρίνεται σωστά, διότι η χωροθέτηση του κόμβου αντί να εμφανιστεί στα όρια του ορυχείου όπως προβλέπεται από τη θεωρία που διέπει τον αλγόριθμο, ορίζεται εντός της περιμέτρου, στην περιοχή του κοιτάσματος. Επίσης, παρατηρείται μεγάλη απόκλιση στο κόστος που προκύπτει, καθώς είναι τρεις τάξεις και πλέον μεγαλύτερο του αναμενόμενου, γεγονός που το καθιστά μη συγκρίσιμο. Όταν παρουσιάστηκε το πρόβλημα αυτό έγιναν περαιτέρω αλλαγές στον κώδικα του προγράμματος που υλοποιεί τον αλγόριθμο και συνεχίστηκαν οι δοκιμές ανάλυσης ευαισθησίας. Αξίζει να τονιστεί ότι η ανάλυση ευαισθησίας είναι ένα πάρα πολύ σημαντικό βήμα που πρέπει πάντα να πραγματοποιείται μετά την υλοποίηση ενός νέου αλγορίθμου καθώς έτσι μπορούν να βρεθούν σφάλματα στην υλοποίηση του αλγορίθμου αυτού.



Σχήμα 4.5: Σενάριο παρουσίασης σφάλματος του συστήματος

4.4 Περιγραφή αλγορίθμου

Το πρόβλημα της εύρεσης της βέλτιστης θέσης του κόμβου ταινιοδρόμων μπορεί να περιγραφεί από ένα σύνολο παραμέτρων στις οποίες συμπεριλαμβάνονται οι συντεταγμένες του ατμοηλεκτρικού σταθμού (ΑΗΣ), των κέντρων βάρους των περιοχών αποθέσεων και των κέντρων βάρους των περιοχών εκσκαφών για κάθε χρονική περίοδο. Επίσης περιλαμβάνονται οι συντεταγμένες των σημείων του πολυγώνου της περιμέτρου του ορυχείου, οι εκσκαπτόμενες ποσότητες του υλικού και τα ποσοστά του ωφέλιμου και του προς απόρριψη υλικού, καθώς και τα έτη λειτουργίας κάθε βαθμίδας σε κάθε φάση εκσκαφής. Οι τιμές που λαμβάνουν οι παραπάνω παράμετροι καταχωρούνται από το χρήστη και αποτελούν τα δεδομένα εισαγωγής. Τα βήματα του αλγορίθμου βελτιστοποίησης περιγράφονται παρακάτω:

Βήμα 1: Χρησιμοποιείται η Ευκλείδεια απόσταση για να υπολογιστεί το συνολικό μήκος του συστήματος ταινιοδρόμων για κάθε σημείο της περιμέτρου μέσω της σχέσης:

$$D_i = \sum_{j=1}^k (dw_j + de_j) + df$$

όπου D_i είναι το συνολικό μήκος ταινιοδρόμων για το σημείο i της περιμέτρου, k είναι ο αριθμός των χρονικών περιόδων, dw_j και de_j είναι η απόσταση μεταξύ του σημείου i της περιμέτρου του ορυχείου και της απόθεσης και η απόσταση του ίδιου σημείου και της εκσκαφής κατά τη διάρκεια της χρονικής περιόδου j και df είναι η απόσταση μεταξύ του σημείου i της περιμέτρου του ορυχείου και της θέσης του ΑΗΣ.

Βήμα 2: Γίνεται η επιλογή του σημείου, $p_{\min}$, με το μικρότερο D_i .

Βήμα 3: Στο σημείο αυτό τοποθετείται η έξοδος του συστήματος ταινιοδρόμων.

Βήμα 4: Γίνεται η τοποθέτηση του κόμβου ταινιοδρόμων στο σημείο $(x_{BCDP}, y_{BCDP}, z_{BCDP})$. Η συντεταγμένη z_{BCDP} συμπίπτει με τη συντεταγμένη z στο σημείο $p_{\min}$ και οι συντεταγμένες x_{BCDP}, y_{BCDP} τοποθετούνται στο καθολικό ελάχιστο της εξίσωσης:

$$f = \sum_{j=1}^k (cw_j + ce_j + cf_j) + ci$$

όπου: cw_j είναι το λειτουργικό κόστος του ταινιοδρόμου που συνδέει τη βέλτιστη θέση του κόμβου και τη θέση απόθεσης, είτε αυτή είναι εξωτερική είτε εσωτερική, κατά τη χρονική περίοδο j , ce_j είναι το λειτουργικό κόστος του ταινιοδρόμου που συνδέει τη βέλτιστη θέση του κόμβου ταινιοδρόμων και την εκσκαφή κατά τη χρονική περίοδο j , cf είναι το λειτουργικό κόστος του ταινιοδρόμου που συνδέει τη βέλτιστη θέση του κόμβου και την θέση του ΑΗΣ και ci είναι το κόστος επένδυσης. Το λειτουργικό κόστος δίνεται από την εξίσωση υπολογισμού της ισχύος του κινητήρα (N_a) και μετατρέπεται, στη συνέχεια, σε χρηματικό κόστος.

Βήμα 5: Υπολογίζεται το συνολικό κόστος.

Βήμα 6: Εκτελείται τοπική βελτιστοποίηση (refinement) στην τοποθέτηση της βέλτιστης θέσης του κόμβου χρησιμοποιώντας μία μέθοδο τοπικής αναζήτησης. Η μέθοδος αυτή ενημερώνει το σημείο εξόδου του συστήματος ταινιοδρόμων στο σημείο που ανταποκρίνεται στην κάθετη προβολή του σημείου βέλτιστης θέσης στην κοντινότερη πλευρά του πολυγώνου της περιμέτρου του ορυχείου.

Βήμα 7: Γίνεται επανάληψη των βημάτων 4, 5 και 6 μέχρις ότου να μην υπάρχει περαιτέρω μείωση του συνολικού κόστους ή το σημείο εξόδου των ταινιοδρόμων να μην μεταβάλλεται.

Βήμα 8: Πραγματοποιείται έλεγχος στην τοποθέτηση της βέλτιστης θέσης του κόμβου ταινιοδρόμων. Αν η βέλτιστη θέση του κόμβου βρίσκεται μέσα στο ορυχείο μετακινείται στο σημείο που ανταποκρίνεται στην κάθετη προβολή της θέσης αυτής στην κοντινότερη πλευρά του πολυγώνου της περιμέτρου του ορυχείου. Για τον έλεγχο αυτό λαμβάνεται ως δεδομένο ότι το σχήμα του ορυχείου είναι κυρτό. Μέσω της υπόθεσης αυτής, το κέντρο βάρους του ορυχείου, $p_c = (x_c, y_c)$, βρίσκεται εντός των ορίων του ορυχείου. Χρησιμοποιώντας το p_c ως σημείο αναφοράς μπορεί να γίνει ο έλεγχος για την ύπαρξη οποιουδήποτε σημείου εντός του ορυχείου.

4.5 Παραμετρική ανάλυση

Αφού έγινε η ανάλυση ευαισθησίας και διαπιστώθηκε ότι το πρόγραμμα αποκρίνεται με προβλέψιμο τρόπο στη μεταβολή των δεδομένων εισαγωγής, δηλαδή για τα διαφορετικά κάθε φορά σενάρια να βρίσκεται η βέλτιστη θέση του κόμβου βάσει της απόστασης από τον ΑΗΣ, του χώρου των εξωτερικών αποθέσεων και του χώρου εκσκαφών καθώς επίσης και της ελαχιστοποίησης του κόστους λειτουργίας του, γίνεται εξέταση σεναρίων όπου το ορυχείο έχει χωριστεί σε κανονικές φάσεις εκσκαφής, με διαφορετικές κλίσεις πρανών και κλίσεις λειτουργίας και όγκους που έχουν υπολογιστεί ανά φάση.

4.5.1 Γεωμετρία μοντέλων

Για την αρχική προσέγγιση ενός απλοποιημένου μοντέλου που ομοιάζει στο ορυχείο Κομνηνών, γίνεται η παραδοχή ότι η εκσκαφή θα πραγματοποιηθεί σε τέσσερις φάσεις, ενώ το ορυχείο, βάσει του βάθους του, θα χωριστεί σε τέσσερις βαθμίδες ύψους 20m έκαστη. Στη συνέχεια υπολογίζεται ο όγκος του εξορυσσόμενου υλικού ανά βαθμίδα και ανά φάση εκσκαφής. Ο υπολογισμός του όγκου του εξορυσσόμενου υλικού είναι απαραίτητος ώστε να βρεθεί η κατάλληλη περιοχή των εξωτερικών αποθέσεων, ο χρόνος έναρξης των εσωτερικών αποθέσεων καθώς και ο τρόπος λειτουργίας του ορυχείου ανάλογα με τις ανάγκες (βλέπε ενότητα 4.5.2).

Κατά την ανάλυση ευαισθησίας που προηγήθηκε χρησιμοποιήθηκε ένα υπεραπλουστευμένο μοντέλο κοιτάσματος όπου ο όγκος κάθε φάσης ήταν ένα ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο με όγκο ίσο με το $\frac{1}{4}$ του συνολικού όγκου εκσκαφών. Καθώς στην πράξη η εκμετάλλευση γίνεται με ορθές βαθμίδες και καθώς τα πρανή των βαθμίδων έχουν μια κλίση της τάξης των 60° - 70° από την οριζόντιο για την εξασφάλιση της ευστάθειάς τους, είναι απαραίτητο οι υπολογισμοί των εξορυσσόμενων όγκων να λάβουν υπόψη τους την πραγματική γεωμετρία εκσκαφών. Ο όγκος κάθε φάσης προκύπτει από το άθροισμα των εκσκαφών κάθε βαθμίδας, ο δε όγκος της βαθμίδας προκύπτει ως ένα ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο με πλάτος το μέσο πλάτος της βαθμίδας (πχ. από το μέσο του ευθύγραμμου τμήματος που ενώνει το φρύδι με το πόδι του πρανούς). Έτσι, ο υπολογισμός των αποστάσεων έγινε βάσει των συντεταγμένων κάθε σημείου, ενώ ως αρχή των αξόνων έχει ληφθεί το σημείο $(x,y,z=0, 0, 80)$.

4.5.2 Υπολογισμός όγκων

Ο υπολογισμός του όγκου εξόρυξης ολόκληρου του ορυχείου μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους: α) ως το άθροισμα των όγκων των ορθογωνίων παραλληλεπιπέδων από τη διαίρεση του ορυχείου σε βαθμίδες και β) με τη θεώρηση ότι η τελική εκσκαφή του ορυχείου μοιάζει με κόλουρη πυραμίδα.

Στον πίνακα 4.2 στην επόμενη ενότητα περιγράφεται αναλυτικά ο υπολογισμός των όγκων των επιμέρους ορθογωνίων παραλληλεπιπέδων οι οποίοι προκύπτουν ανά βαθμίδα και φάση εκμετάλλευσης. Επίσης υπολογίζονται και τα αθροίσματα αυτών ανά φάση εκμετάλλευσης.

Τέλος, γίνεται η εύρεση του κέντρου βάρους αφενός της κάθε φάσης ξεχωριστά και αφετέρου ολόκληρου του ορυχείου. Γενικά θεωρείται ότι η Βαρύτητα εφαρμόζεται σε κάθε σημείο ενός σώματος έλκοντας αυτό προς το κέντρο της Γης. Έτσι όλες οι δυνάμεις που ασκούνται σε ένα σώμα λόγω της σμίκρυνσης αυτού σε σχέση με την ακτίνα της Γης θεωρούνται παράλληλες. Η συνισταμένη όλων αυτών ονομάζεται βάρος του σώματος. Το σημείο εφαρμογής αυτής της συνισταμένης πάνω στο σώμα ονομάζεται κέντρο βάρους του σώματος. Σε περίπτωση που το πεδίο βαρύτητας είναι ομοιογενές σε όλο τον χώρο που καταλαμβάνει το σώμα και η πυκνότητα του σώματος έχει ομοιόμορφη κατανομή, το κέντρο βάρους είναι το ίδιο σημείο με το κέντρο μάζας του σώματος.

Το κέντρο βάρους αποτελεί το σημείο εκείνο του σώματος που επιδέχεται υποστήριξη προκειμένου να ισορροπήσει υπό την ενέργεια της βαρύτητας. Αναλυτικά βρίσκονται οι συντεταγμένες

X, Y, και Z του κέντρου βάρους σε σχέση προς το σύστημα αξόνων των συντεταγμένων. Έτσι, υπολογίζεται πρώτα το κέντρο βάρους των ορθογωνίων στα οποία έχει διαιρεθεί η κάθε φάση, του οποίου ο υπολογισμός είναι απλός και στη συνέχεια γίνεται ο υπολογισμός του κέντρου βάρους της φάσης από την εξίσωση:

$$K_x^* = \frac{K_{x1} * V_1 + K_{x2} * V_2 + K_{x3} * V_3 + K_{x4} * V_4}{V_1 + V_2 + V_3 + V_4}$$

$$K_y^* = \frac{K_{y1} * V_1 + K_{y2} * V_2 + K_{y3} * V_3 + K_{y4} * V_4}{V_1 + V_2 + V_3 + V_4}$$

$$K_z^* = \frac{K_{z1} * V_1 + K_{z2} * V_2 + K_{z3} * V_3 + K_{z4} * V_4}{V_1 + V_2 + V_3 + V_4}$$

όπου: K^* = σταθμισμένο κέντρο βάρους ανάλογα με την συντεταγμένη που εξετάζεται

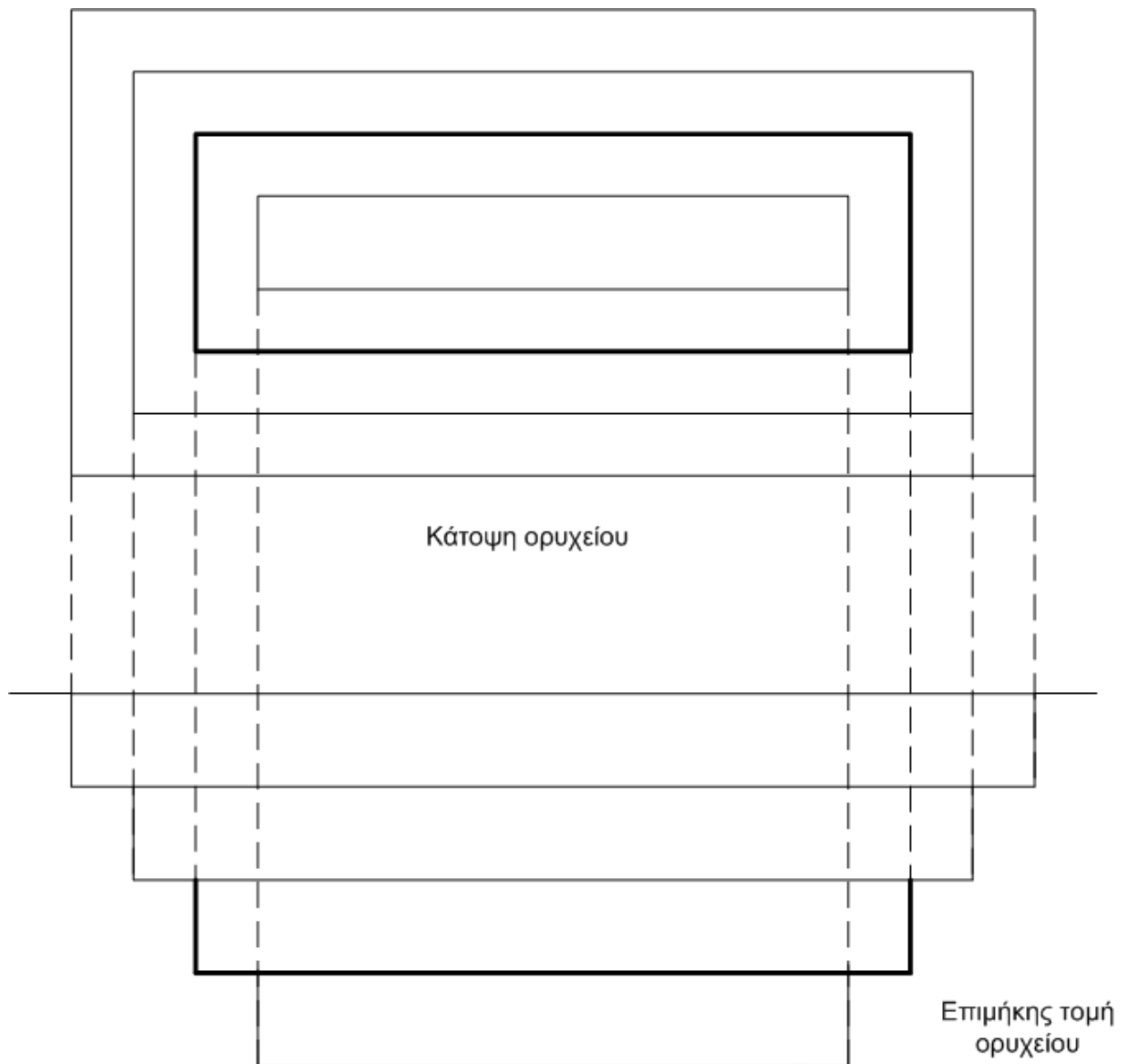
K_n = κέντρο βάρους κάθε βαθμίδας που ανήκει στη φάση ανάλογα με την συντεταγμένη που εξετάζεται

V_n = όγκος κάθε βαθμίδας που ανήκει στη φάση

Το κέντρο βάρους (K^{**}) όλου του ορυχείου προκύπτει από την ίδια εξίσωση με την αντικατάσταση των επιμέρους κέντρων βάρους από τα σταθμισμένα κέντρα βάρους της κάθε φάσης.

4.5.3 Παρουσίαση τομών

Στα σχήματα που ακολουθούν φαίνεται καθαρά ο τρόπος με τον οποίο χωρίστηκε το ορυχείο στις διάφορες φάσεις, η διαδικασία εκσκαφής ανά χρονική περίοδο φάσης, καθώς και η αρχή και το πέρας εκσκαφής καθεμίας φάσης. Αρχικά, στο Σχήμα 4.6 παρατίθεται η επιμήκης τομή και η κάτοψη όλου του ορυχείου.

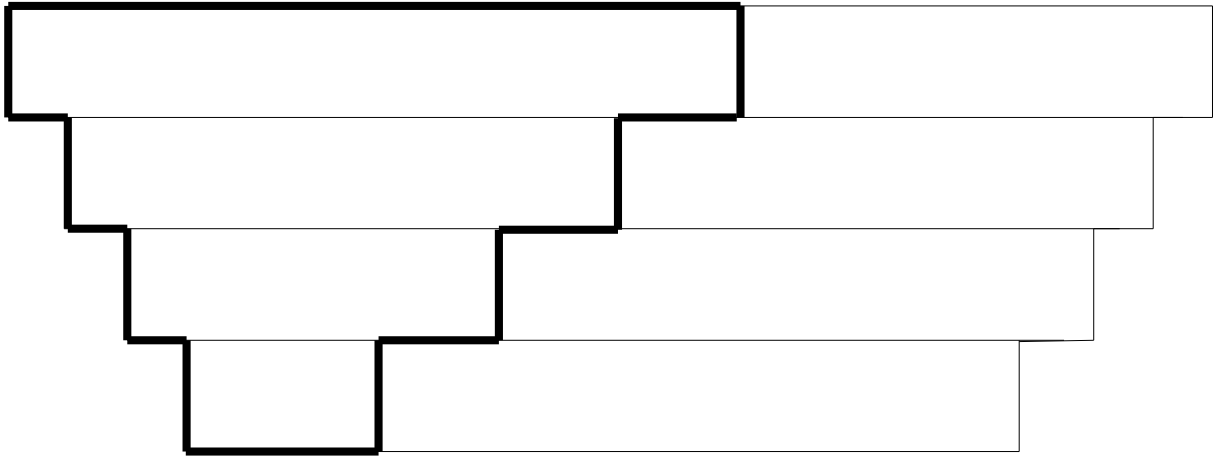


Σχήμα 4.6: Παρουσίαση κάτοψης (άνω) και επιμήκους τομής (κάτω) ορυχείου

Στη συνέχεια δίνονται αναλυτικά οι τομές κάθε φάσης, όπου η εκσκαπτόμενη κάθε φορά φάση παρουσιάζεται με έντονο το περίγραμμά της.

Στο Σχήμα 4.7, παρουσιάζεται η πρώτη φάση εκσκαφής. Είναι η αρχική διάνοιξη της εκσκαφής του ορυχείου. Το σύνολο των εκσκαφών της πρώτης φάσης δεν μπορεί να προσομοιαστεί ως κόλουρη πυραμίδα, καθώς δεν έχει συμμετρία ως προς σημείο ή ως προς άξονες, διότι κάποιες από τις πλευρές του δεν έχουν σχεδιαστεί με την ίδια κλίση πρανών. Πιο συγκεκριμένα η αριστερή πλευρά, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.6, είναι σχεδιασμένη με την κλίση τελικών πρανών εκσκαφής (1:3), ενώ η δεξιά

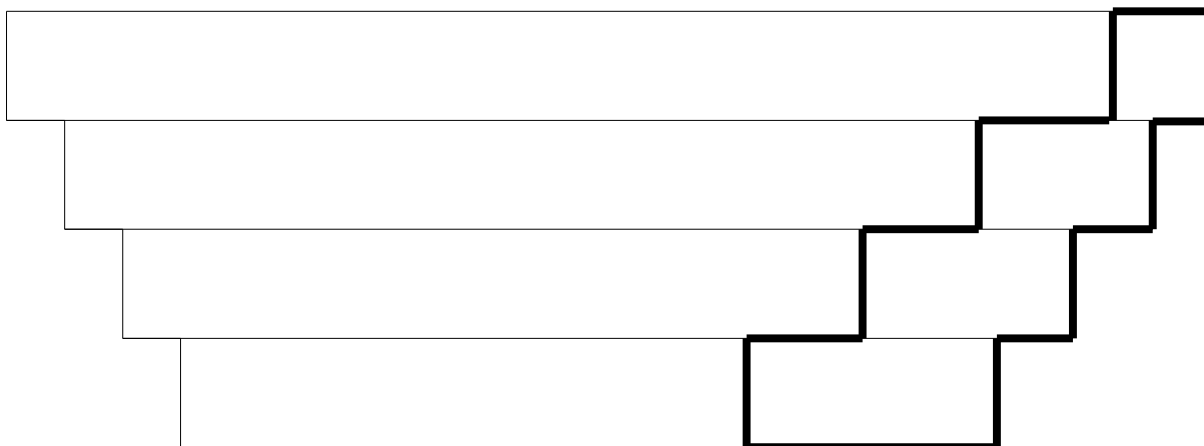
πλευρά είναι σχεδιασμένη με την κλίση πρανών λειτουργίας (1:5). Στην τομή φαίνονται οι τέσσερις βαθμίδες με τις οποίες έχει σχεδιαστεί οι εκσκαφές του ορυχείου οι οποίες στην παρούσα περίπτωση έχουν ύψος, 20m έκαστη.



Σχήμα 4.7: Παρουσίαση πρώτης φάσης εκσκαφής (όχι σε κλίμακα)

Στο Σχήμα 4.8, παρουσιάζεται η δεύτερη φάση εκσκαφής. Η τομή της δεύτερης φάσης εκσκαφής ακολουθεί χρονικά την πρώτη φάση και απεικονίζει την εξέλιξη της εκσκαφής του ορυχείου. Συνήθως οι εργασίες σε κάθε βαθμίδα ξεκινούν ταυτόχρονα. Η τομή της δεύτερης φάσης εκσκαφών αποτελείται από ένα σύνολο ορθογωνίων παραλληλεπιδέδων με διαφορετική αφετηρία. Και οι δύο πλευρές είναι σχεδιασμένες με την ίδια κλίση πρανών, την κλίση πρανών λειτουργίας (1:5).

κλίσεις σχεδιασμού, η αριστερή πλευρά είναι σχεδιασμένη με την κλίση πρανών λειτουργίας (1:5) ενώ η δεξιά πλευρά είναι σχεδιασμένη με την κλίση τελικών πρανών εκσκαφής (1:3).



Σχήμα 4.10: Παρουσίαση τέταρτης φάσης εκσκαφής (όχι σε κλίμακα)

4.5.4 Παρουσίαση μεθοδολογίας εύρεσης όγκων

Στον Πίνακα 4.2 παρουσιάζονται οι όγκοι ανά βαθμίδα και ανά φάση εκσκαφής, καθώς και ο συνολικός όγκος εκσκαφών του ορυχείου, όπως επίσης και η μέθοδος με την οποία αυτοί υπολογίστηκαν. Η μεθοδολογία υπολογισμού των όγκων βασίζεται στο άθροισμα των όγκων των επιμέρους ορθογωνίων παραλληλεπιπέδων που ανήκουν σε κάθε φάση μέσω της εξίσωσης:

$$V = x * y * z$$

όπου x το πλάτος του κάθε ορθογωνίου, y το μήκος κάθε ορθογωνίου και z το ύψος της κάθε βαθμίδας. Οι όγκοι οι οποίοι παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2, χρησιμοποιούνται ως στοιχεία εισαγωγής στον κώδικα κατά την ανάλυση των σεναρίων εκσκαφής.

Ο όγκος όλου του ορυχείου υπολογίστηκε επίσης από την εξίσωση εύρεσης όγκου της κόλουρης πυραμίδας:

$$V_{ολ} = \frac{1}{3} * h * (B_1 + \sqrt{B_1 * B_2} + B_2)$$

όπου h το βάθος της εκμετάλλευσης του ορυχείου, B_1 το εμβαδόν του πατώματος του ορυχείου και B_2 το εμβαδόν του πατώματος του ορυχείου στη βάση της τελευταίας βαθμίδας του ορυχείου. Ενώ το αποτέλεσμα που προέκυψε είναι $V_{ολ}=630133056 \text{ m}^3$.

Παρατηρείται, μία μικρή διαφορά μεταξύ των όγκων που υπολογίστηκαν με τις δύο παραπάνω μεθόδους. Η διαφορά αυτή είναι της τάξης του 1000000 m^3 περίπου και εξηγείται με το γεγονός ότι στη μεθοδολογία υπολογισμού όγκου της κόλουρης πυραμίδας δεν υπολογίζονται κάποιοι μικροί όγκοι (σε μορφή τριγωνικών πρισμάτων) τα οποία βρίσκονται εκτός του όγκου της κόλουρης πυραμίδας όταν τα τελικά πρηνή του ορυχείου ενώνονται με επίπεδα (ευθείες στις αντίστοιχες τομές).

Στον Πίνακα 4.3 παρουσιάζονται τα κέντρα βάρους κάθε φάσης, όπως προέκυψαν από τα επιμέρους κέντρα βάρους κάθε βαθμίδας που περιλαμβάνονται σε κάθε φάση. Τα παραπάνω στοιχεία υπολογίστηκαν συναρτήσει των όγκων κάθε βαθμίδας σύμφωνα με τις εξισώσεις που προαναφέρθηκαν. Οι συντεταγμένες των κέντρων βάρους κάθε φάσης εκσκαφής χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εισαγωγής στον αλγόριθμο εύρεσης της βέλτιστης θέσης του κόμβου. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν και για τον ορισμό των κέντρων βάρους των περιοχών εσωτερικής απόθεσης. Σημειώνεται ότι, στην πραγματικότητα τα κέντρα βάρους των αποθέσεων πρέπει να είναι μετατοπισμένα ως προς τα κέντρα βάρους της εκσκαφής, λόγω της διαφορετικής γεωμετρίας της απόθεσης.

Πίνακας 4.2: Εύρεση όγκων ανά βαθμίδα και ανά φάση και συνολικός όγκος

φάσεις/ βαθμίδες	1				2				3				4				
	x	y	z	V	x	y	z	V	x	y	z	V	x	y	z	V	Voλ
1	1980	1960	20	77616000	1980	1100	20	43560000	1980	1100	20	43560000	1980	820	20	32472000	
2	1780	1680	20	59808000	1780	1100	20	39160000	1780	1100	20	39160000	1780	880	20	31328000	
3	1580	1400	20	44240000	1580	1100	20	34760000	1580	1100	20	34760000	1580	960	20	30336000	
4	1380	1120	20	30912000	1380	1100	20	30360000	1380	1100	20	30360000	1380	1040	20	28704000	
όγκοι (m ³)	212576000				147840000				147840000				122840000				

Πίνακας 4.3: Εύρεση κέντρων βάρους κάθε φάσης, K*, και κέντρου βάρους του ορυχείου, K**

φάσεις/κέντρο βάρους	1				2				3				4			
	x	y	z		x	y	z		x	y	z		x	y	z	
K1	1000	4010	70		1000	2470	70		1000	1380	70		1000	420	70	
K2	1000	4050	50		1000	2660	50		1000	1560	50		1000	560	50	
K3	1000	4090	30		1000	2840	30		1000	1740	30		1000	700	30	
K4	1000	4130	10		1000	3020	10		1000	1920	10		1000	840	10	
K*	1000	4055,4	47,3		1000	2720,3	43,0		1000	1623,2	43,0		1000	623,0	41,0	
K**	1000	2504,8	44,1													

4.5.5 Παραμετρική ανάλυση

Στη συνέχεια παρουσιάζεται μία παραμετρική διερεύνηση του ζητήματος χωροθέτησης του κόμβου ταινιοδρόμων για συνθήκες που πλησιάζουν τις συνθήκες που απαντώνται στο κοίτασμα των Κομνηνών. Η παραμετρική ανάλυση παρουσιάζεται σε τρεις επιμέρους ομάδες. Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει σενάρια όπου τα κέντρα βάρους των εξωτερικών αποθέσεων τοποθετούνται μεταξύ περιγράμματος του ορυχείου και του ΑΗΣ. Τη δεύτερη συνθέτουν τα σενάρια όπου τα κέντρα βάρους των εξωτερικών αποθέσεων δεν κείνται μεταξύ της περιμέτρου του ορυχείου και του ΑΗΣ, ενώ στην τελευταία ομάδα συγκαταλέγονται τα σενάρια όπου τα κέντρα βάρους των εξωτερικών αποθέσεων τοποθετούνται προς διαφορετικές πλευρές της περιμέτρου του ορυχείου. Συνήθως ο χώρος εξωτερικής απόθεσης είναι ενιαίος. Στην προκειμένη περίπτωση ο χώρος εξωτερικής απόθεσης διαιρείται σε δύο επιμέρους χώρους (με δύο διακριτά κέντρα βάρους) ώστε να είναι απλούστερη η αντιστοίχιση του χώρου αυτού με τις εκσκαφές του ορυχείου. Αντίστοιχα, η εσωτερική απόθεση του ορυχείου διαιρείται επίσης σε δύο επιμέρους ενότητες με δύο διαφορετικά κέντρα βάρους, για να είναι εύκολη η διαχείρισή της από πλευράς επίλυσης. Έτσι παρακάτω γίνεται αναφορά για τέσσερις περιοχές απόθεσης με τέσσερα διακριτά κέντρα βάρους, ενώ στην πραγματικότητα η απόθεση γίνεται σε δύο μόνο περιοχές.

Μεθοδολογία προσέγγισης

Τα δεδομένα που απαιτούνται για την επίλυση των διαφορετικών σεναρίων της παραμετρικής ανάλυσης είναι:

- a) Τα σημεία που ορίζουν την περίμετρο του ορυχείου, η οποία ορίζεται ως ένα ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο με τις ακόλουθες τοπικές συντεταγμένες των κορυφών του:

X	y	z
0	0	80
2000	0	80
2000	5000	80
0	5000	80

- b) Η θέση του ΑΗΣ σε σχέση με το ορυχείο. Η θέση αυτή δίνεται σε τοπικές συντεταγμένες x, y, z (-3038, 4498, 80).
- c) Τα κέντρα βάρους της κάθε φάσης εκσκαφής (θεωρώντας ότι η εξόφληση του κοιτάσματος πραγματοποιείται σε τέσσερις φάσεις), καθώς και τα κέντρα βάρους των

τεσσάρων περιοχών απόθεσης. Οι συντεταγμένες των σημείων αυτών φαίνονται στα σχήματα ανάλυσης του κάθε σεναρίου.

- d) Οι διακινούμενες εκσκαπτόμενες μάζες στείρων (αγόνων) και λιγνίτη, σε τόνους, κάθε βαθμίδας σε κάθε φάση οι οποίες έχουν υπολογιστεί με βάση τη δυναμικότητα του εκσκαφέα κάθε βαθμίδας, την αναλογία στείρων – λιγνίτη και το ειδικό βάρος κάθε υλικού. Στην προκειμένη περίπτωση λαμβάνεται ε.β. λιγνίτη=1,2 t/m³ και ε.β. στείρων=1,8 t/m³. Λαμβάνοντας αναλογία στείρων:λιγνίτη 60:40 για τις δύο πρώτες φάσεις και 40:60 για τις δύο επόμενες, καθώς και δυναμικότητα εκσκαφέων 10*10⁶ m³ στερεών (in situ)/γ για τις δύο πρώτες βαθμίδες, 9*10⁶ m³ στερεών (in situ)/γ στην τρίτη βαθμίδα και 8*10⁶ m³ στερεών (in situ)/γ στην τελευταία βαθμίδα του ορυχείου. Επομένως, τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα που χρησιμοποιήθηκαν στο πρόγραμμα παρουσιάζονται παρακάτω:

ΦΑΣΗ	ΒΑΘΜΙΔΑ	ΜΑΖΑ (t)
1	1	15600000
1	2	15600000
1	3	14040000
1	4	12480000
2	1	15600000
2	2	15600000
2	3	14040000
2	4	12480000
3	1	14400000
3	2	14400000
3	3	12960000
3	4	15200000
4	1	14400000
4	2	14400000
4	3	12960000
4	4	15200000

- e) Το ποσοστό (ratio) του ωφέλιμου υλικού, το οποίο αναφέρεται σε μάζες και υπολογίζεται αν διαιρεθεί η μάζα του λιγνίτη της κάθε βαθμίδας κάθε φάσης με τη συνολική μάζα που εκσκάπτεται και οδηγείται προς τον κόμβο. Για τα παραπάνω δεδομένα εισαγωγής και λαμβάνοντας υπόψη ότι ο αρχικός λόγος όγκων στείρων προς λιγνίτη είναι 0.6/0.4, οι αντίστοιχες τιμές αναλογίας μαζών αυτές διαμορφώνονται ως εξής:

ΦΑΣΗ	ΒΑΘΜΙΔΑ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΩΦΕΛΙΜΟΥ ΥΛΙΚΟΥ
1	1	0.3
1	2	0.3
1	3	0.3
1	4	0.3
2	1	0.3
2	2	0.3
2	3	0.3
2	4	0.3
3	1	0.5
3	2	0.5
3	3	0.5
3	4	0.5
4	1	0.5
4	2	0.5
4	3	0.5
4	4	0.5

- f) Τη χρονική διάρκεια παραγωγής, σε έτη, ανά βαθμίδα κάθε φάσης, η οποία υπολογίζεται ως το πηλίκο του συνολικού όγκου της κάθε βαθμίδας και της ετήσιας δυναμικότητας του εκσκαφέα. Για τα παραπάνω δεδομένα εισαγωγής, οι τιμές αυτές διαμορφώνονται ως εξής:

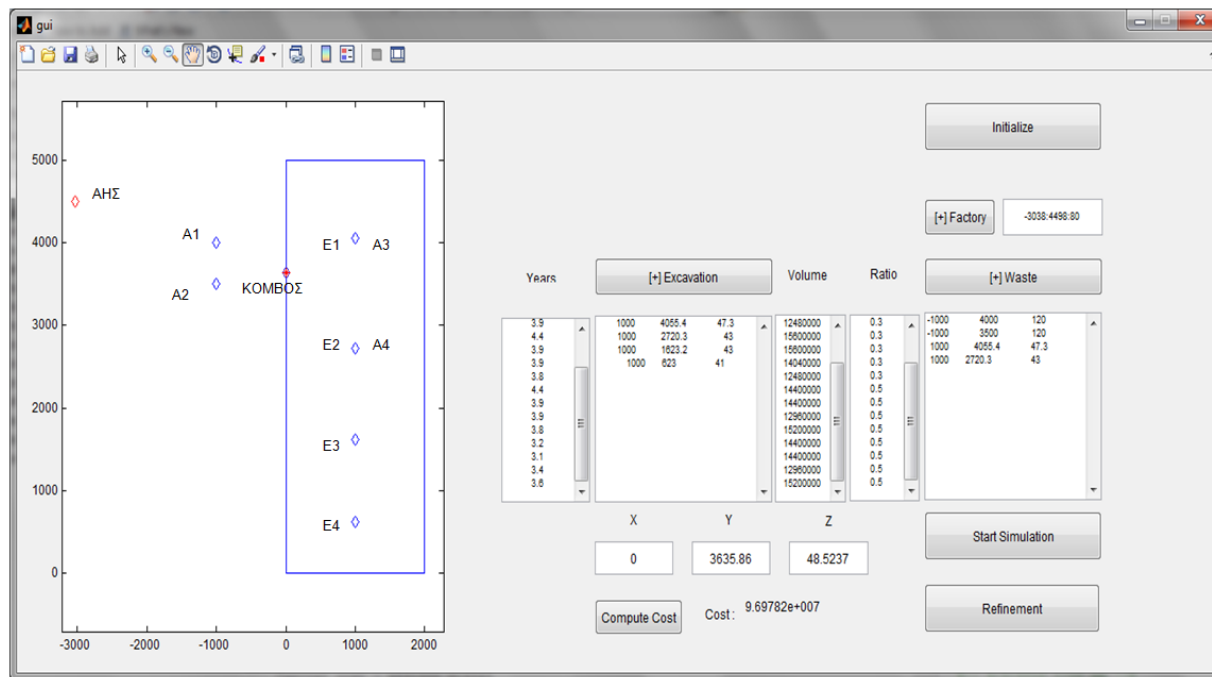
ΦΑΣΗ	ΒΑΘΜΙΔΑ	ΧΡΟΝΙΚΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ (γ)
1	1	7.8
1	2	6
1	3	4.9
1	4	3.9
2	1	4.4
2	2	3.9
2	3	3.9
2	4	3.8
3	1	4.4
3	2	3.9
3	3	3.9
3	4	3.8
4	1	3.2
4	2	3.1
4	3	3.4
4	4	3.6

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα σενάρια που εκτελέστηκαν ομαδοποιημένα σε τρεις ενότητες.

- I. Πρώτη ομάδα σεναρίων: τα κέντρα βάρους των εξωτερικών αποθέσεων τοποθετούνται μεταξύ του περιγράμματος του ορυχείου και του ΑΗΣ.

Σενάριο ΙΑ

Το σενάριο ΙΑ παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.11. Σε αυτό το σενάριο οι περιοχές που επιλέγονται για την κατανομή υλικών στις εξωτερικές αποθέσεις βρίσκονται στην ίδια πλευρά με τον ΑΗΣ και μάλιστα μεταξύ των ορίων του ορυχείου και του ΑΗΣ, σε διαδοχικές θέσεις κατά μήκος της πλευράς του ορυχείου, πλησιέστερα στον ΑΗΣ. Μετά την εκτέλεση του προγράμματος η βέλτιστη θέση του κόμβου προκύπτει, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.11, επάνω στα όρια της περιμέτρου του ορυχείου, στην ίδια πλευρά με τον ΑΗΣ και τις εξωτερικές αποθέσεις. Οι συντεταγμένες της βέλτιστης θέσης του κόμβου ταινιοδρόμων στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων υπολογίζονται ως: $x, y, z = 0, 3636, 49$. Στη θέση αυτή το συνολικό κόστος εκτιμήθηκε ίσο περίπου με 97 εκατομμύρια €.



Σχήμα 4.11: Στιγμιότυπο του προγράμματος κατά την εξέταση σεναρίου της πρώτης ομάδας

Στον πίνακα 4.4 παρουσιάζεται η μεταβολή του συνολικού κόστους ανάλογα με το υψόμετρο της θέσης που θα κατασκευαστεί ο κόμβος ταινιοδρόμων. Για τον έλεγχο μεταβολής του κόστους επένδυσης και λειτουργίας, εξετάζονται δύο θέσεις με υψόμετρο μικρότερο από την προκύπτουσα βέλτιστη θέση κατασκευής του κόμβου ταινιοδρόμων και δύο θέσεις με υψόμετρο μεγαλύτερο από την προκύπτουσα βέλτιστη θέση κατασκευής του κόμβου ταινιοδρόμων.

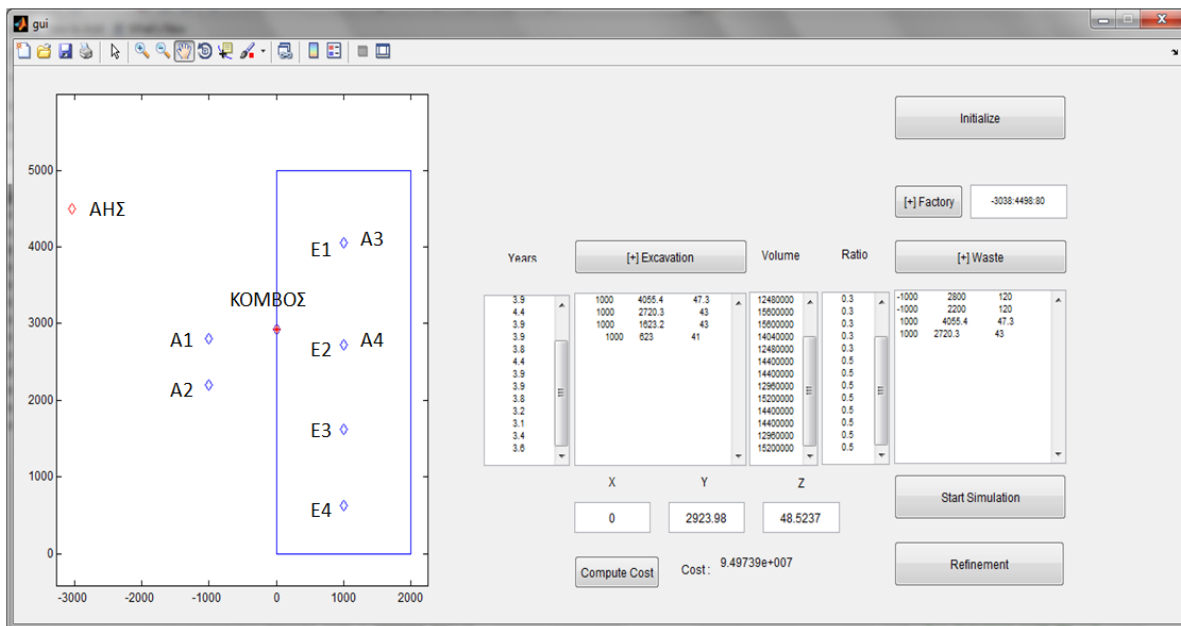
Πίνακας 4.4: Μεταβολή συνολικού κόστους σε σχέση με τη μεταβολή υψομέτρου του κόμβου

Υψόμετρο κόμβου (m)	Διαφορά από τη βέλτιστη θέση (m)	Κόστος (*10 ⁶ €)
40	-9	97.4
45	-4	97.1
49	0	97.0
55	+6	97.5
60	+11	97.9

Από τα αποτελέσματα του Πίνακα 4.4, συνάγεται ότι η μεταβολή του υψομέτρου της θέσης του κόμβου ταινιοδρόμων κατά +/-10m, οδηγεί σε μία αύξηση του συνολικού κόστους μεταφοράς μικρότερη του 1%. Επίσης, εξάγεται το συμπέρασμα ότι το ελάχιστο συνολικό κόστος προκύπτει στη θέση που προέκυψε αρχικά, στα 49m, δηλαδή στη βέλτιστη θέση κατασκευής του κόμβου ταινιοδρόμων, βάσει των αποτελεσμάτων του προγράμματος.

Σενάριο IB

Το σενάριο IB παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.12. Σε αυτό το σενάριο οι περιοχές που επιλέγονται για τις εξωτερικές αποθέσεις βρίσκονται στην ίδια πλευρά με τον ΑΗΣ, μεταξύ των ορίων του ορυχείου και του ΑΗΣ, σε διαδοχικές θέσεις κατά μήκος της πλευράς του ορυχείου, απομακρυνόμενες από τον ΑΗΣ. Μετά την εκτέλεση του προγράμματος η βέλτιστη θέση του κόμβου ταινιοδρόμων προκύπτει, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.12, επάνω στα όρια της περιμέτρου του ορυχείου, στην ίδια πλευρά με τον ΑΗΣ και τις εξωτερικές αποθέσεις. Οι συντεταγμένες της βέλτιστης θέσης του κόμβου ταινιοδρόμων στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων υπολογίζονται ως: $x, y, z = 0, 2924, 49$. Στη θέση αυτή το συνολικό κόστος εκτιμήθηκε ίσο περίπου με 95 εκατομμύρια €.



Σχήμα 4.12: Στιγμιότυπο του προγράμματος κατά την εξέταση σεναρίου της πρώτης ομάδας

Στον πίνακα 4.5 παρουσιάζεται η μεταβολή του συνολικού κόστους ανάλογα με το υψόμετρο της θέσης που θα κατασκευαστεί ο κόμβος ταινιοδρόμων. Για τον έλεγχο μεταβολής του κόστους επένδυσης και λειτουργίας, εξετάζονται δύο θέσεις με υψόμετρο μικρότερο από την προκύπτουσα βέλτιστη θέση κατασκευής του κόμβου ταινιοδρόμων και δύο θέσεις με υψόμετρο μεγαλύτερο από την προκύπτουσα βέλτιστη θέση κατασκευής του κόμβου ταινιοδρόμων.

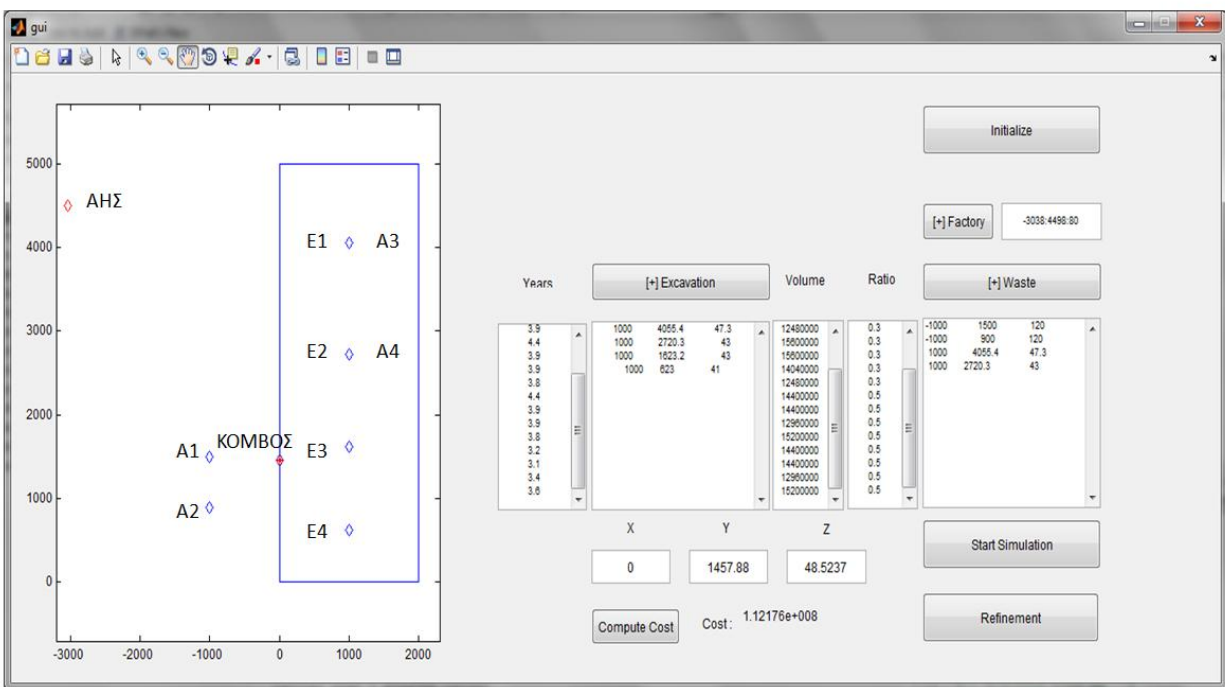
Πίνακας 4.5: Μεταβολή συνολικού κόστους σε σχέση με τη μεταβολή υψομέτρου του κόμβου

Υψόμετρο κόμβου (m)	Διαφορά από τη βέλτιστη θέση (m)	Κόστος (*10 ⁶ €)
40	-9	95.4
45	-4	95.1
49	0	95.0
55	+6	95.5
60	+11	95.9

Από τα αποτελέσματα του Πίνακα 4.5, συνάγεται ότι η μεταβολή του υψομέτρου της θέσης του κόμβου ταινιοδρόμων κατά +/-10m, οδηγεί σε μία αύξηση του συνολικού κόστους μεταφοράς μικρότερη του 1%. Επίσης, εξάγεται το συμπέρασμα ότι το ελάχιστο συνολικό κόστος προκύπτει στη θέση που προέκυψε αρχικά, στα 49m, δηλαδή στη βέλτιστη θέση κατασκευής του κόμβου ταινιοδρόμων, βάσει των αποτελεσμάτων του προγράμματος.

Σενάριο ΙΓ

Το σενάριο ΙΓ παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.13. Σε αυτό το σενάριο οι περιοχές που επιλέγονται για τις εξωτερικές αποθέσεις βρίσκονται στην ίδια πλευρά με τον ΑΗΣ, μεταξύ των ορίων του ορυχείου και του ΑΗΣ, σε διαδοχικές θέσεις κατά μήκος της πλευράς του ορυχείου, σε απόσταση μέγιστη από τον ΑΗΣ. Μετά την εκτέλεση του προγράμματος η βέλτιστη θέση του κόμβου ταινιοδρόμων προκύπτει, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.13, επάνω στα όρια της περιμέτρου του ορυχείου, στην ίδια πλευρά με τον ΑΗΣ και τις εξωτερικές αποθέσεις. Οι συντεταγμένες της βέλτιστης θέσης του κόμβου ταινιοδρόμων στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων υπολογίζονται ως: $x, y, z = 0, 1458, 49$. Στη θέση αυτή το συνολικό κόστος εκτιμήθηκε ίσο με 112,2 εκατομμύρια € περίπου.



Σχήμα 4.13: Στιγμιότυπο του προγράμματος κατά την εξέταση σεναρίου της πρώτης ομάδας

Στον πίνακα 4.6 παρουσιάζεται η μεταβολή του συνολικού κόστους ανάλογα με το υψόμετρο της θέσης που θα κατασκευαστεί ο κόμβος ταινιοδρόμων. Για τον έλεγχο μεταβολής του κόστους επένδυσης και λειτουργίας, εξετάζονται δύο θέσεις με υψόμετρο μικρότερο από την προκύπτουσα βέλτιστη θέση κατασκευής του κόμβου ταινιοδρόμων και δύο θέσεις με υψόμετρο μεγαλύτερο από την προκύπτουσα βέλτιστη θέση κατασκευής του κόμβου ταινιοδρόμων.

Πίνακας 4.6: Μεταβολή συνολικού κόστους σε σχέση με τη μεταβολή υψομέτρου του κόμβου

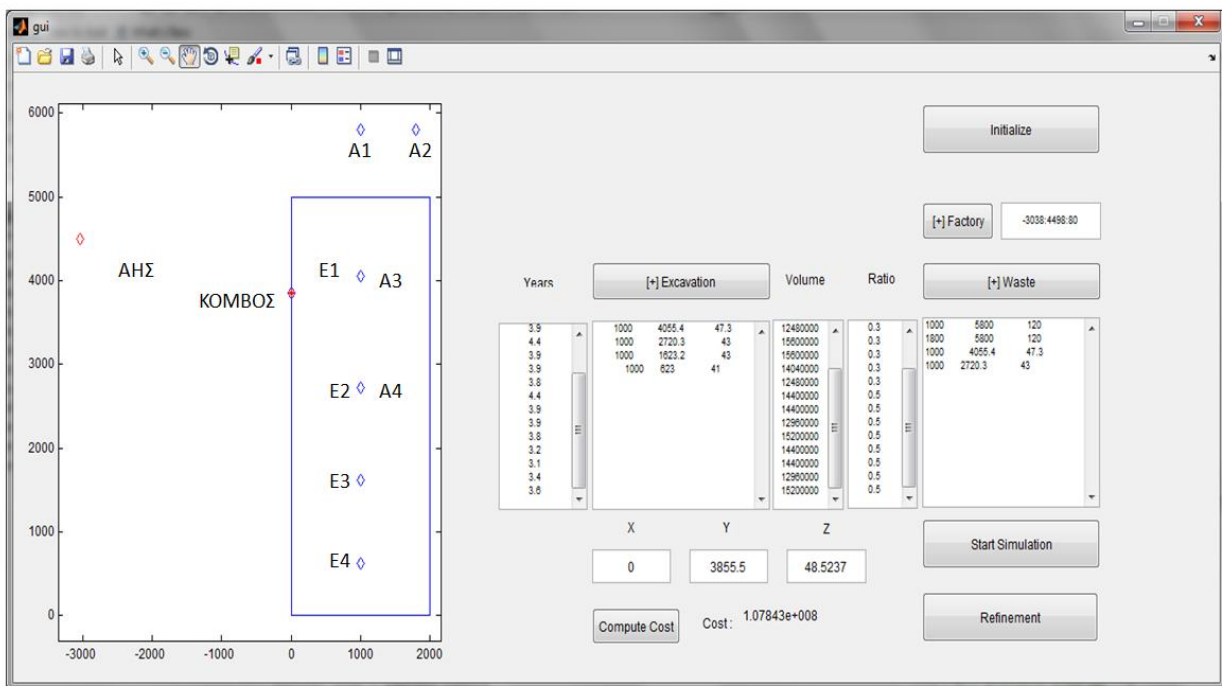
Υψόμετρο κόμβου (m)	Διαφορά από τη βέλτιστη θέση (m)	Κόστος (*10 ⁶ €)
40	-9	113.1
45	-4	112.3
49	0	112.2
55	+6	112.7
60	+11	113.1

Από τα αποτελέσματα του Πίνακα 4.6, συνάγεται ότι η μεταβολή του υψομέτρου της θέσης του κόμβου ταινιοδρόμων κατά +/-10m, οδηγεί σε μία αύξηση του συνολικού κόστους μεταφοράς μικρότερη του 1%. Επίσης, εξάγεται το συμπέρασμα ότι το ελάχιστο συνολικό κόστος προκύπτει στη θέση που προέκυψε αρχικά, στα 49m, δηλαδή στη βέλτιστη θέση κατασκευής του κόμβου ταινιοδρόμων, βάσει των αποτελεσμάτων του προγράμματος. Αξίζει, επίσης, να αναφερθεί ότι το κόστος προκύπτει ίσο στο υψόμετρο θέσης των 40 και των 60m αντίστοιχα.

- II. Δεύτερη ομάδα σεναρίων: τα κέντρα βάρους των εξωτερικών αποθέσεων δεν κείνται μεταξύ της περιμέτρου του ορυχείου και του ΑΗΣ.

Σενάριο IIA

Το σενάριο IIA παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.14. Σε αυτό το σενάριο οι περιοχές που επιλέγονται για τις εξωτερικές αποθέσεις δεν βρίσκονται στην ίδια πλευρά με τον ΑΗΣ. Οι θέσεις των δύο εξωτερικών αποθέσεων που έχουν επιλεγεί για το σενάριο είναι διαδοχικές και τοποθετημένες παράλληλα με τον άξονα της επάνω πλευράς, όπως φαίνεται στην κάτοψη, του ορυχείου. Μετά την εκτέλεση του προγράμματος η βέλτιστη θέση του κόμβου ταινιοδρόμων προκύπτει, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.14, επάνω στα όρια της περιμέτρου του ορυχείου, στην ίδια πλευρά με τον ΑΗΣ και σε διαφορετική σε σχέση με τις εξωτερικές αποθέσεις. Οι συντεταγμένες της βέλτιστης θέσης του κόμβου ταινιοδρόμων στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων υπολογίζονται ως: $x, y, z = 0, 3856, 49$. Στη θέση αυτή το συνολικό κόστος εκτιμήθηκε ίσο με 107,8 εκατομμύρια € περίπου.



Σχήμα 4.14: Στιγμιότυπο του προγράμματος κατά την εξέταση σεναρίου της δεύτερης ομάδας

Στον πίνακα 4.7 παρουσιάζεται η μεταβολή του συνολικού κόστους ανάλογα με το υψόμετρο της θέσης που θα κατασκευαστεί ο κόμβος ταινιοδρόμων. Για τον έλεγχο μεταβολής του κόστους επένδυσης και λειτουργίας, εξετάζονται δύο θέσεις με υψόμετρο μικρότερο από την προκύπτουσα βέλτιστη θέση κατασκευής του κόμβου ταινιοδρόμων και δύο θέσεις με υψόμετρο μεγαλύτερο από την προκύπτουσα βέλτιστη θέση κατασκευής του κόμβου ταινιοδρόμων.

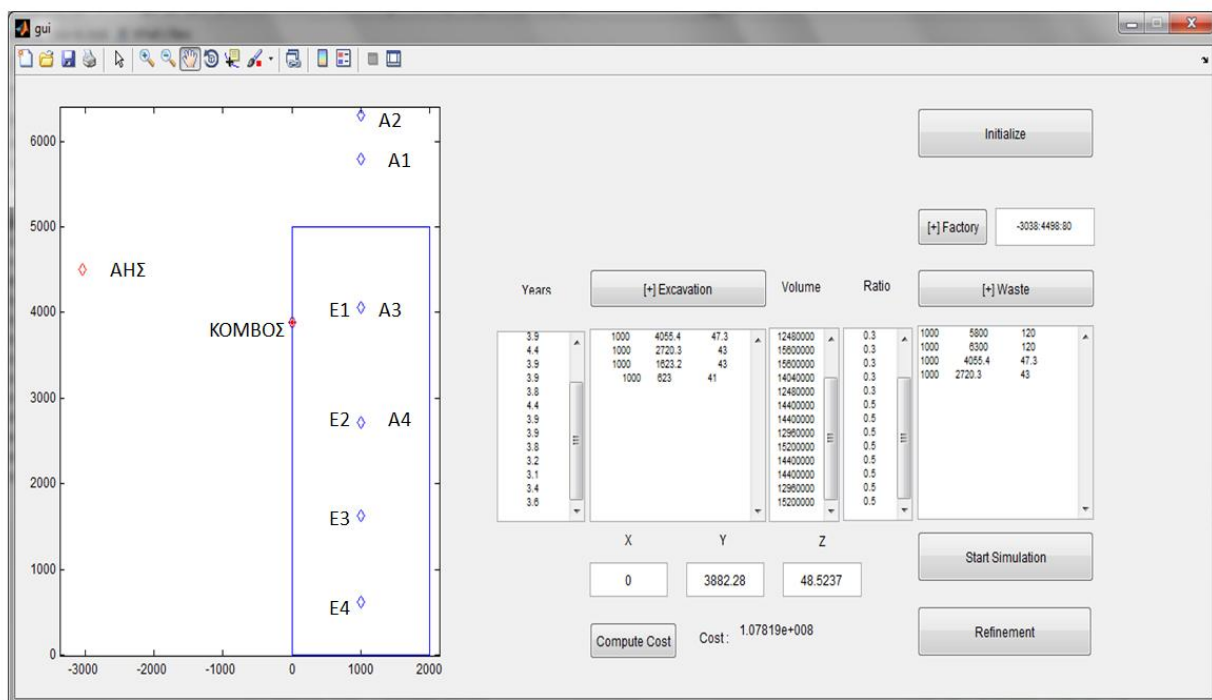
Πίνακας 4.7: Μεταβολή συνολικού κόστους σε σχέση με τη μεταβολή υψομέτρου του κόμβου

Υψόμετρο κόμβου (m)	Διαφορά από τη βέλτιστη θέση (m)	Κόστος (*10 ⁶ €)
40	-9	108.8
45	-4	108.4
49	0	107.8
55	+6	108
60	+11	108.8

Από τα αποτελέσματα του Πίνακα 4.7, συνάγεται ότι η μεταβολή του υψομέτρου της θέσης του κόμβου ταινιοδρόμων κατά +/-10m, οδηγεί σε μία αύξηση του συνολικού κόστους μεταφοράς μικρότερη του 1%. Επίσης, εξάγεται το συμπέρασμα ότι το ελάχιστο συνολικό κόστος προκύπτει στη θέση που προέκυψε αρχικά, στα 49m, δηλαδή στη βέλτιστη θέση κατασκευής του κόμβου ταινιοδρόμων, βάσει των αποτελεσμάτων του προγράμματος. Αξίζει, επίσης, να αναφερθεί ότι το κόστος προκύπτει ίσο στο υψόμετρο των 40 και των 60m αντίστοιχα.

Σενάριο IIB

Το σενάριο IIB παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.15. Σε αυτό το σενάριο οι περιοχές που επιλέγονται για την εξωτερική απόθεση δεν βρίσκονται στην ίδια πλευρά με τον ΑΗΣ. Οι θέσεις των δύο εξωτερικών αποθέσεων που έχουν επιλεγεί για το σενάριο είναι διαδοχικές και τοποθετημένες εγκάρσια στον άξονα της επάνω πλευράς, όπως φαίνεται στην κάτοψη, του ορυχείου. Μετά την εκτέλεση του προγράμματος η βέλτιστη θέση του κόμβου προκύπτει, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.15, επάνω στα όρια της περιμέτρου του ορυχείου, στην ίδια πλευρά με τον ΑΗΣ και σε διαφορετική σε σχέση με τις εξωτερικές αποθέσεις. Οι συντεταγμένες της βέλτιστης θέσης του κόμβου ταινιοδρόμων στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων υπολογίζονται ως: $x, y, z = 0, 3832, 49$. Στη θέση αυτή το συνολικό κόστος εκτιμήθηκε ίσο με 107,8 εκατομμύρια € περίπου.



Σχήμα 4.15: Στιγμιότυπο του προγράμματος κατά την εξέταση σεναρίου της δεύτερης ομάδας

Στον πίνακα 4.8 παρουσιάζεται η μεταβολή του συνολικού κόστους ανάλογα με το υψόμετρο της θέσης που θα κατασκευαστεί ο κόμβος ταινιοδρόμων. Για τον έλεγχο μεταβολής του κόστους επένδυσης και λειτουργίας, εξετάζονται δύο θέσεις με υψόμετρο μικρότερο από την προκύπτουσα βέλτιστη θέση κατασκευής του κόμβου ταινιοδρόμων και δύο θέσεις με υψόμετρο μεγαλύτερο από την προκύπτουσα βέλτιστη θέση κατασκευής του κόμβου ταινιοδρόμων.

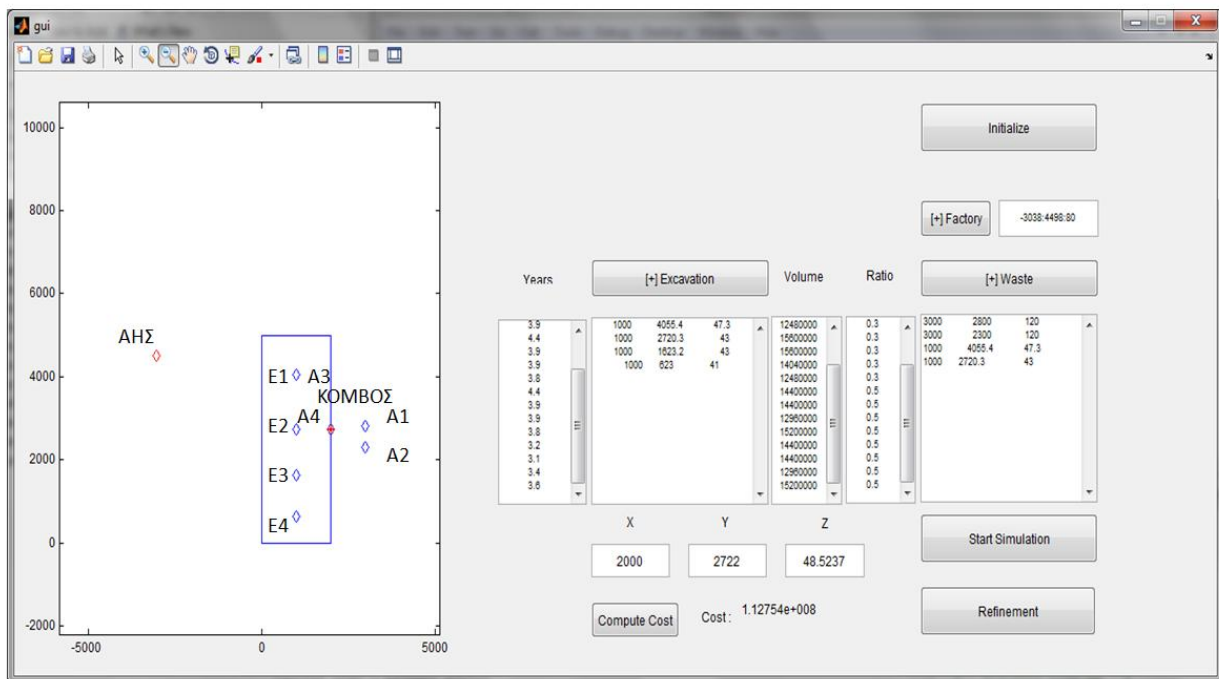
Πίνακας 4.8: Μεταβολή συνολικού κόστους σε σχέση με τη μεταβολή υψομέτρου του κόμβου

Υψόμετρο κόμβου (m)	Διαφορά από τη βέλτιστη θέση (m)	Κόστος (*10 ⁶ €)
40	-9	108.2
45	-4	108.0
49	0	107.8
55	+6	108.4
60	+11	108.8

Από τα αποτελέσματα του Πίνακα 4.8, συνάγεται ότι η μεταβολή του υψομέτρου της θέσης του κόμβου ταινιοδρόμων κατά +/-10m, οδηγεί σε μία αύξηση του συνολικού κόστους μεταφοράς μικρότερη του 1%. Επίσης, εξάγεται το συμπέρασμα ότι το ελάχιστο συνολικό κόστος προκύπτει στη θέση που προέκυψε αρχικά, στα 49m, δηλαδή στη βέλτιστη θέση κατασκευής του κόμβου ταινιοδρόμων, βάσει των αποτελεσμάτων του προγράμματος.

Σενάριο ΙΙΓ

Το σενάριο ΙΙΓ παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.16. Σε αυτό το σενάριο οι περιοχές που επιλέγονται για την εξωτερική απόθεση δεν βρίσκονται στην ίδια πλευρά με τον ΑΗΣ. Οι θέσεις των δύο εξωτερικών αποθέσεων που έχουν επιλεγεί για το σενάριο είναι διαδοχικές και τοποθετημένες παράλληλα στη δεξιά πλευρά, όπως φαίνεται στην κάτοψη, του ορυχείου. Μετά την εκτέλεση του προγράμματος η βέλτιστη θέση του κόμβου προκύπτει, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.16, επάνω στα όρια της περιμέτρου του ορυχείου, στην ίδια πλευρά με τις εξωτερικές αποθέσεις και σε διαφορετική πλευρά σε σχέση με τον ΑΗΣ. Οι συντεταγμένες της βέλτιστης θέσης του κόμβου ταινιοδρόμων στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων υπολογίζονται ως: $x, y, z = 2000, 2722, 49$. Στη θέση αυτή το συνολικό κόστος εκτιμήθηκε ίσο με 112,8 εκατομμύρια € περίπου.



Σχήμα 4.16: Στιγμιότυπο του προγράμματος κατά την εξέταση σεναρίου της δεύτερης ομάδας

Στον πίνακα 4.9 παρουσιάζεται η μεταβολή του συνολικού κόστους ανάλογα με το υψόμετρο της θέσης που θα κατασκευαστεί ο κόμβος ταινιοδρόμων. Για τον έλεγχο μεταβολής του κόστους επένδυσης και λειτουργίας, εξετάζονται δύο θέσεις με υψόμετρο μικρότερο από την προκύπτουσα βέλτιστη θέση κατασκευής του κόμβου ταινιοδρόμων και δύο θέσεις με υψόμετρο μεγαλύτερο από την προκύπτουσα βέλτιστη θέση κατασκευής του κόμβου ταινιοδρόμων.

Πίνακας 4.9: Μεταβολή συνολικού κόστους σε σχέση με τη μεταβολή υψομέτρου του κόμβου

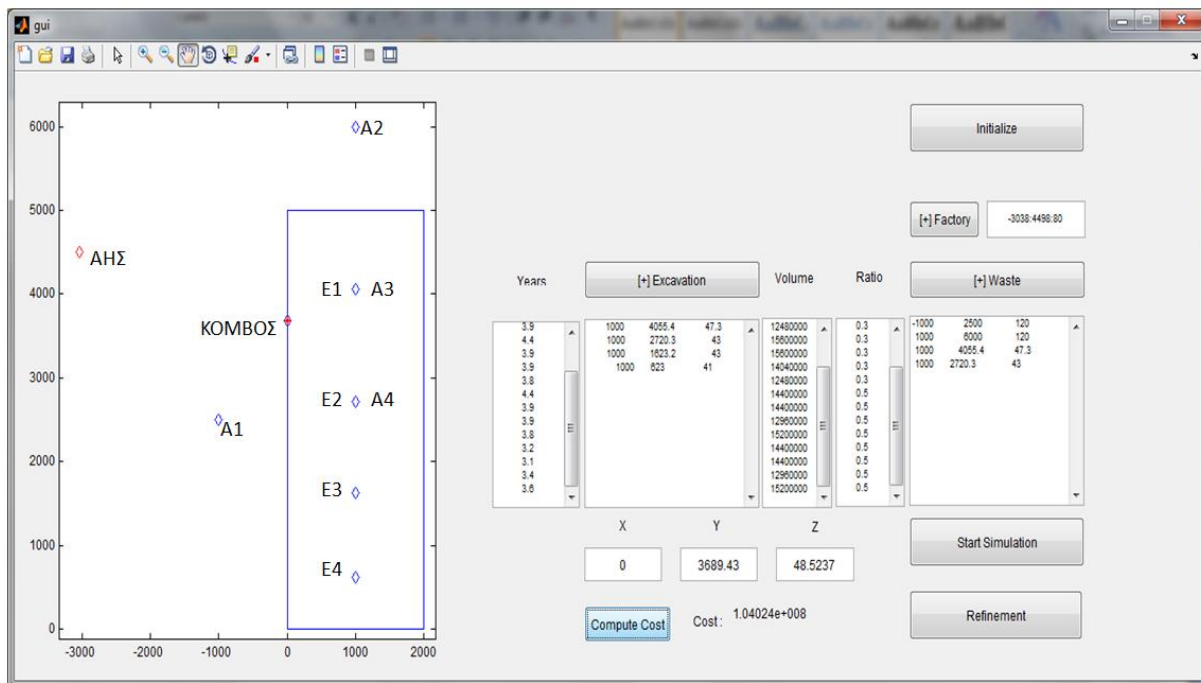
Υψόμετρο κόμβου (m)	Διαφορά από τη βέλτιστη θέση (m)	Κόστος (*10 ⁶ €)
40	-9	113.1
45	-4	112.9
49	0	112.8
55	+6	113.3
60	+11	113.7

Από τα αποτελέσματα του Πίνακα 4.9, συνάγεται ότι η μεταβολή του υψομέτρου της θέσης του κόμβου ταινιοδρόμων κατά +/-10m, οδηγεί σε μία αύξηση του συνολικού κόστους μεταφοράς μικρότερη του 1%. Επίσης, εξάγεται το συμπέρασμα ότι το ελάχιστο συνολικό κόστος προκύπτει στη θέση που προέκυψε αρχικά, στα 49m, δηλαδή στη βέλτιστη θέση κατασκευής του κόμβου ταινιοδρόμων, βάσει των αποτελεσμάτων του προγράμματος.

III. Τρίτη ομάδα σεναρίων: τα κέντρα βάρους των εξωτερικών αποθέσεων τοποθετούνται προς διαφορετικές πλευρές της περιμέτρου του ορυχείου.

Σενάριο ΙΙΙΑ

Το σενάριο IIIA παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.17. Σε αυτό το σενάριο οι περιοχές που επιλέγονται για τις εξωτερικές αποθέσεις δεν βρίσκονται στην ίδια πλευρά. Η μία από τις θέσεις που επιλέγονται για τις εξωτερικές αποθέσεις βρίσκεται μεταξύ των ορίων της περιμέτρου του ορυχείου και του ΑΗΣ και η άλλη θέση βρίσκεται σε άξονα παράλληλα στην επάνω πλευρά, όπως φαίνεται στην κάτωψη, του ορυχείου. Μετά την εκτέλεση του προγράμματος η βέλτιστη θέση του κόμβου ταινιοδρόμων προκύπτει, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.17, επάνω στα όρια της περιμέτρου του ορυχείου, στην ίδια πλευρά με τον ΑΗΣ. Οι συντεταγμένες της βέλτιστης θέσης του κόμβου ταινιοδρόμων στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων υπολογίζονται ως: $x, y, z = 0, 3689, 49$. Στη θέση αυτή το συνολικό κόστος εκτιμήθηκε ίσο με 104 εκατομμύρια € περίπου.



Σχήμα 4.17: Στιγμιότυπο του προγράμματος κατά την εξέταση σεναρίου της τρίτης ομάδας

Στον πίνακα 4.10 παρουσιάζεται η μεταβολή του συνολικού κόστους ανάλογα με το υψόμετρο της θέσης που θα κατασκευαστεί ο κόμβος ταινιοδρόμων. Για τον έλεγχο μεταβολής του κόστους επένδυσης και λειτουργίας, εξετάζονται δύο θέσεις με υψόμετρο μικρότερο από την προκύπτουσα βέλτιστη θέση κατασκευής του κόμβου ταινιοδρόμων και δύο θέσεις με υψόμετρο μεγαλύτερο από την προκύπτουσα βέλτιστη θέση κατασκευής του κόμβου ταινιοδρόμων.

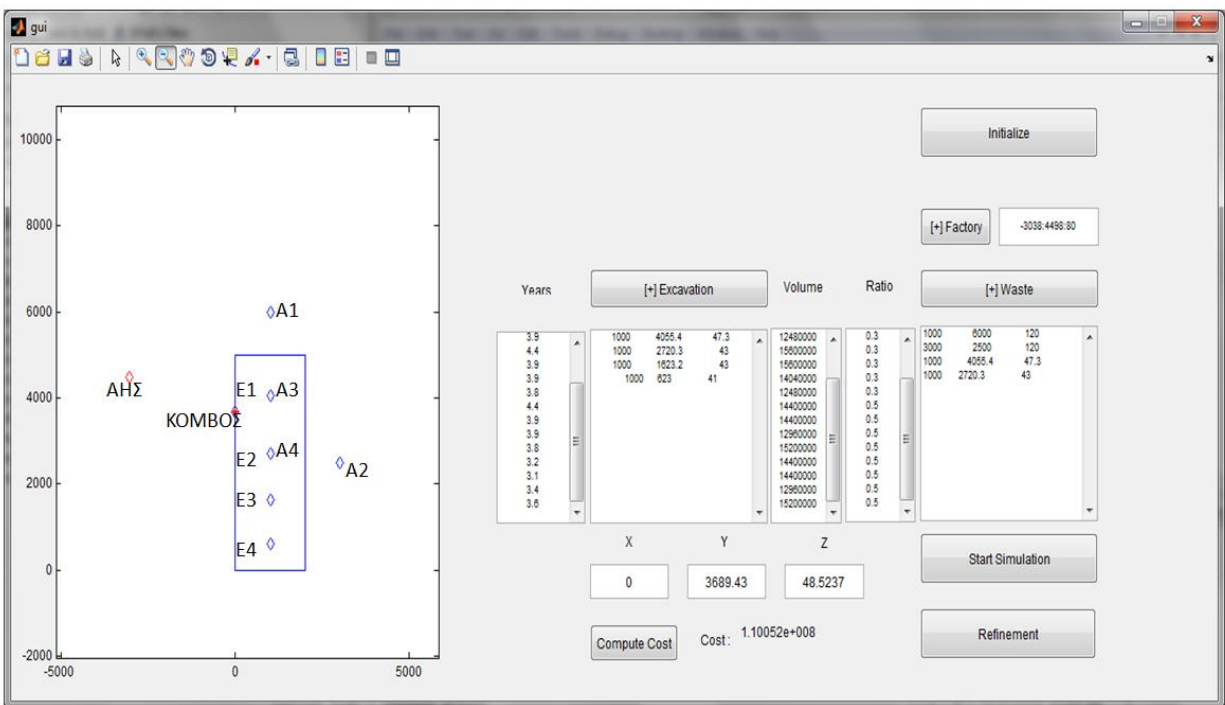
Πίνακας 4.10: Μεταβολή συνολικού κόστους σε σχέση με τη μεταβολή υψομέτρου του κόμβου

Υψόμετρο κόμβου (m)	Διαφορά από τη βέλτιστη θέση (m)	Κόστος (*10 ⁶ €)
40	-9	104.4
45	-4	104.2
49	0	104.0
55	+6	104.6
60	+11	105.0

Από τα αποτελέσματα του Πίνακα 4.10, συνάγεται ότι η μεταβολή του υψομέτρου της θέσης του κόμβου ταινιοδρόμων κατά +/-10m, οδηγεί σε μία αύξηση του συνολικού κόστους μεταφοράς μικρότερη του 1%. Επίσης, εξάγεται το συμπέρασμα ότι το ελάχιστο συνολικό κόστος προκύπτει στη θέση που προέκυψε αρχικά, στα 49m, δηλαδή στη βέλτιστη θέση κατασκευής του κόμβου ταινιοδρόμων, βάσει των αποτελεσμάτων του προγράμματος.

Σενάριο IIIB

Το σενάριο IIIB παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.18. Σε αυτό το σενάριο οι περιοχές που επιλέγονται για τις εξωτερικές αποθέσεις δεν βρίσκονται στην ίδια πλευρά. Η μία από τις θέσεις που επιλέγονται για τις εξωτερικές αποθέσεις βρίσκεται σε άξονα παράλληλα με την επάνω πλευρά, όπως φαίνεται στην κάτοψη, του ορυχείου και η άλλη σε άξονα παράλληλα με τη δεξιά πλευρά, όπως φαίνεται στην κάτοψη, του ορυχείου. Μετά την εκτέλεση του προγράμματος η βέλτιστη θέση του κόμβου ταινιοδρόμων προκύπτει, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.18, επάνω στα όρια της περιμέτρου του ορυχείου, στην ίδια πλευρά με τον ΑΗΣ. Οι συντεταγμένες της βέλτιστης θέσης του κόμβου ταινιοδρόμων στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων υπολογίζονται ως: $x, y, z = 0, 3689, 49$. Στη θέση αυτή το συνολικό κόστος εκτιμήθηκε ίσο με 110 εκατομμύρια € περίπου.



Σχήμα 4.18: Στιγμιότυπο του προγράμματος κατά την εξέταση σεναρίου της τρίτης ομάδας

Στον πίνακα 4.11 παρουσιάζεται η μεταβολή του συνολικού κόστους ανάλογα με το υψόμετρο της θέσης που θα κατασκευαστεί ο κόμβος ταινιοδρόμων. Για τον έλεγχο μεταβολής του κόστους επένδυσης και λειτουργίας, εξετάζονται δύο θέσεις με υψόμετρο μικρότερο από την προκύπτουσα βέλτιστη θέση κατασκευής του κόμβου ταινιοδρόμων και δύο θέσεις με υψόμετρο μεγαλύτερο από την προκύπτουσα βέλτιστη θέση κατασκευής του κόμβου ταινιοδρόμων.

Πίνακας 4.11: Μεταβολή συνολικού κόστους σε σχέση με τη μεταβολή υψομέτρου του κόμβου

Υψόμετρο κόμβου (m)	Διαφορά από τη βέλτιστη θέση (m)	Κόστος (*10 ⁶ €)
40	-9	110.4
45	-4	110.2
49	0	110.0
55	+6	110.6
60	+11	111.0

Από τα αποτελέσματα του Πίνακα 4.4, συνάγεται ότι η μεταβολή του υψομέτρου της θέσης του κόμβου ταινιοδρόμων κατά +/-10m, οδηγεί σε μία αύξηση του συνολικού κόστους μεταφοράς μικρότερη του 1%. Επίσης, εξάγεται το συμπέρασμα ότι το ελάχιστο συνολικό κόστος προκύπτει στη θέση που προέκυψε αρχικά, στα 49m, δηλαδή στη βέλτιστη θέση κατασκευής του κόμβου ταινιοδρόμων, βάσει των αποτελεσμάτων του προγράμματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

5.1 Συμπεράσματα

Ο στόχος της παρούσας διπλωματικής ήταν η μελέτη του προβλήματος της βελτιστοποίησης της θέσης του κόμβου ταινιοδρόμων σε ένα ορυχείο επιφανειακής εκμετάλλευσης με τη μέθοδο συνεχούς λειτουργίας. Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν αντιστοιχούν σε ένα πραγματικό κοίτασμα στην περιοχή Δυτικής Μακεδονίας, στη λεκάνη Πτολεμαΐδας - Αμυνταίου. Στα πλαίσια της διερεύνησης αυτής σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε ένας αλγόριθμος, ο οποίος λαμβάνει υπόψη του τόσο τα χαρακτηριστικά της εκμετάλλευσης (με τη χρήση πάγιου εξοπλισμού: καδοφόρους εκσκαφείς – ταινιοδρόμους - αποθέτες) όσο και τα χαρακτηριστικά της απόθεσης ή της μεταφοράς του παραγόμενου λιγνίτη προς την αυλή του ατμοηλεκτρικού εργοστασίου.

Ο αλγόριθμος υλοποιήθηκε σε περιβάλλον Matlab και στη συνέχεια εκτελέστηκε παραμετρική ανάλυση κατά την οποία μεταβάλλονταν οι θέσεις των εξωτερικών αποθέσεων με συνέπεια τη μεταβολή της θέσης του κόμβου ταινιοδρόμων.

Μετά την εξέταση όλων των σεναρίων προκύπτει ότι για διαφορετικές θέσεις αποθέσεων, αλλά πάντα κοντά στην περίμετρο του ορυχείου, το συνολικό κόστος (κόστος επένδυσης και κόστος λειτουργίας) μεταβάλλεται από 95 έως 112,8 εκατομμύρια €. Στον Πίνακα 5.1 παρατίθενται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα που αφορούν το συνολικό κόστος (κόστος επένδυσης και λειτουργίας) όλων των σεναρίων που εξετάστηκαν. Το κόστος αυτό αναφέρεται στο βέλτιστο υψόμετρο της θέσης του κόμβου ταινιοδρόμων, όπως αυτό προέκυψε από τον αλγόριθμο που αναπτύχθηκε. Είναι σαφές ότι η βέλτιστη θέση που προκύπτει από τον Πίνακα 5.1 αναφέρεται μόνο στα σενάρια που εξετάστηκαν. Το ελάχιστο συνολικό κόστος μεταφοράς που φαίνεται στον Πίνακα 5.1, προκύπτει με βάση τα σενάρια που εξετάστηκαν. Τυχόν διαφορετική χωροθέτηση εξωτερικών ή και εσωτερικών αποθέσεων μπορεί να οδηγήσει σε διαφοροποιήσεις στο συνολικό κόστος.

Όπως προέκυψε από τις παραμετρικές αναλύσεις το βέλτιστο υψόμετρο του κόμβου ταινιοδρόμων είναι χαμηλότερα από το υψόμετρο έναρξης των εκσκαφών του ορυχείου. Αυτό είναι

ένα πολύ σημαντικό αποτέλεσμα, καθώς προκύπτει η ανάγκη στη χωροθέτηση του κόμβου ταινιοδρόμων να μην εξετάζεται μόνο το συνολικό μεταφορικό κόστος, αλλά να εξετάζεται και το κόστος εγκατάστασης του κόμβου μαζί με τυχόν εκσκαφές ταπείνωσης της στάθμης θεμελίωσης.

Πριν από την εφαρμογή του αλγορίθμου στα σενάρια που προαναφέρθηκαν, ο αλγόριθμος εκτελέστηκε σε πολύ απλά σενάρια εκμετάλλευσης ώστε να διαπιστωθεί εάν αποκρίνεται λογικά στις μεταβολές των δεδομένων εισόδου. Πιο συγκεκριμένα, ο αλγόριθμος εκτελέστηκε για μεταβαλλόμενες θέσεις εξωτερικών αποθέσεων κατά μήκος μιας πλευράς και ελέγχθηκε κατά πόσο η θέση του κόμβου ακολουθεί τη μεταβολή των θέσεων αυτών.

Πίνακας 5.1: Παρουσίαση συγκεντρωτικών αποτελεσμάτων συνολικού κόστους για το βέλτιστο υψόμετρο της θέσης του κόμβου κάθε σεναρίου

Σενάριο	Θέση κ.β. εξωτερικών αποθέσεων	Κόστος (*10 ⁶ €)
IA	Δίπλα στην πλησιέστερη πλευρά προς ΑΗΣ	97,0
IB	Δίπλα στην πλησιέστερη πλευρά προς ΑΗΣ	95,0
ΙΓ	Δίπλα στην πλησιέστερη πλευρά προς ΑΗΣ	112,2
IIA	Δίπλα σε πλευρά μακριά από ΑΗΣ	107,8
IIB	Δίπλα σε πλευρά μακριά από ΑΗΣ	107,8
IIΓ	Δίπλα σε πλευρά μακριά από ΑΗΣ	112,8
IIIA	Δίπλα σε διαδοχικές πλευρές του ορυχείου	104,0
IIIB	Δίπλα σε διαδοχικές πλευρές του ορυχείου	110,0

Καθώς τα κέντρα βάρους των θέσεων απόθεσης απομακρύνονται από τη νοητή γραμμή που συνδέει τον ΑΗΣ με το κέντρο βάρους των μαζών προς εκμετάλλευση, το συνολικό κόστος μεταφοράς αυξάνεται. Σε δυσμενείς περιπτώσεις όπου οι αποθέσεις απομακρύνονται από την περιοχή μεταξύ ΑΗΣ

και ορυχείου, το συνολικό κόστος μεταφοράς αυξάνεται και μπορεί να φτάσει και σε ποσοστό έως 20% από το ελάχιστο κόστος που αναφέρθηκε παραπάνω. Σημειώνεται ότι η βελτιστοποίηση βασίζεται μόνο στο κόστος μεταφορικού έργου (επένδυσης και λειτουργίας) και ότι δεν έχουν ληφθεί υπόψη τα άλλα στοιχεία κόστους: εκσκαφής-φόρτωσης, απόθεσης, διάστρωσης.

5.2 Προτάσεις

Στην παρούσα διπλωματική το πρόβλημα που μελετήθηκε ήταν πολυσύνθετο και στο φάσμα των αποτελεσμάτων που προέκυψαν υπάρχουν περιθώρια για περαιτέρω έρευνα και ανάλυση. Οι ακόλουθες προτάσεις συνιστούν μία βάση για πιθανή μελλοντική διερεύνηση του αντικειμένου που πραγματεύεται η βελτιστοποίηση χωροθέτησης κόμβου ταινιοδρόμων σε επιφανειακά λιγνιτωρυχεία συνεχούς λειτουργίας.

1. Το συνολικό κόστος μεταφοράς θα μπορούσε να προσεγγιστεί καλύτερα αν ο λόγος στείρων προς λιγνίτη ανά βαθμίδα εκμετάλλευσης δινόταν με μεγαλύτερη ακρίβεια.
2. Το συνολικό κόστος μεταφοράς θα προσεγγιζόταν καλύτερα αν λαμβανόταν υπόψη η διαχρονική μεταβολή της ετήσιας πραγματικής δυναμικότητας των εκσκαφών.
3. Στον αλγόριθμο δεν λαμβάνεται υπόψη η δυνατότητα χρησιμοποίησης δύο παράλληλων ταινιών για τη σύνδεση δύο σημείων. Τόσο το λειτουργικό κόστος όσο και το κόστος επένδυσης, αναφέρονται σε έναν ταινιόδρομο που μπορεί να ικανοποιεί την απαιτούμενη δυναμικότητα για τη μεταφορά του υλικού μεταξύ των δύο σημείων. Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται δύο ταινιόδρομοι για τη μεταφορική σύνδεση δύο σημείων, τότε τόσο το κόστος εγκατάστασης, όσο και το κόστος λειτουργίας είναι διαφορετικά απ' ότι όταν χρησιμοποιείται ένας ταινιόδρομος. Στην πράξη, συχνά χρησιμοποιούνται δύο παράλληλοι ταινιόδρομοι για λόγους εφεδρείας.
4. Δεν διερευνήθηκε το κόστος διαμόρφωσης της περιοχής για εγκατάσταση του κόμβου ταινιοδρόμων σε χαμηλότερο υψόμετρο από αυτό της περιμέτρου του ορυχείου. Στην περίπτωση που απαιτούνται εκσκαφές ή άλλες χωματουργικές εργασίες για την εγκατάσταση του κόμβου ταινιοδρόμων, το κόστος αυτό επιβαρύνει ουσιαστικά το συνολικό κόστος

επένδυσης μεταφορικού έργου του ορυχείου και ενδεχομένως να μεταβάλει τη βέλτιστη λύση που προκύπτει από τον αλγόριθμο που περιγράφηκε στην παρούσα διπλωματική.

5. Σε μια πιο προχωρημένη ανάλυση, ως αντικειμενική συνάρτηση βελτιστοποίησης θα μπορούσε να θεωρηθεί η Καθαρή Παρούσα Αξία των ταμειακών ροών που θα προέλθουν από την εκμετάλλευση του κοιτάσματος. Στην περίπτωση αυτή, πλέον του κόστους μεταφοράς των υλικών εκσκαφής, θα μπορούσαν επίσης να ενσωματωθούν η χωρική διαφοροποίηση της ποιότητας του κοιτάσματος καθώς και η χωρική διαφοροποίηση του κόστους εκσκαφής (επένδυσης αλλά και λειτουργίας).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αποστολίδης Ν. (1987). Μεταλλευτική Εκτιμητική, Ε.Μ.Π.
2. ΔΕΗ Α.Ε. (2010). Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Ορυχείων Πτολεμαΐδας, ν. Κοζάνης.
3. Καβουρίδης Κ. (1990). Βασικές Αρχές Σχεδιασμού Επιφανειακών Εκμεταλλεύσεων (Λιγνιτωρυχείο), Έκδοση Χανιά.
4. Κατράκης Σ. (1965). Ορυκτός πλούτος και οικονομική ανάπτυξη της χώρας, έκδοση Τ.Ε.Ε.
5. Μενεγάκη Μ. (2010). Σχεδιασμός Υπαιθρίων Εκμεταλλεύσεων, Σημειώσεις του Μαθήματος, Ε.Μ.Π.
6. Οικονομόπουλος Ι. Ν., Παναγόπουλος Κ. Ι. (1972). Εισαγωγή εις το πρόβλημα της οικονομικής αναλύσεως μεταλλοφόρου κοιτάσματος, Μεταλλειολογικά Μεταλλουργικά Χρονικά, τεύχος 3: 9-14.
7. Ρούμπος Χρ. (2010α). Οικονομική Ανάλυση Μεταλλευτικών και Τεχνικών Έργων, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης.
8. Ρούμπος Χρ. (2010β). Μελέτη – Σχεδιασμός Εκμετάλλευσης και Ανάπτυξης Λιγνιτωρυχείων, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης.
9. Τερεζόπουλος Ν. (2001). Μέθοδοι Υπαιθρίων Εκμεταλλεύσεων, Ε.Μ.Π.
10. Φραγκίσκος Α. (1994). Η μεταλλευτική επιχείρηση, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
11. Alotto P. G., Eranda C., Brandstaetter B. (1998). "Stochastic algorithms in electromagnetic optimization," IEEE Transactions on Magnetics, vol. 34, no. 5, pp. 3674–3684, Sept. 1998.
12. Bazaraa M. S., Jarvis J. J., Sherali H. D. (1990). Linear Programming and Network Flows, 2nd ed. New York: John Wiley & Sons.
13. Bazaraa M. S., Sherali H. D., Shetty C. M. (1993). Nonlinear Programming – theory and algorithms. New York: John Wiley & Sons.
14. Cairns R. (1998). Are Mineral Deposits Valuable? A Reconciliation of Theory and Practice, Resources Policy 24, 1, March, 19-24.
15. Dimitrakopoulos R. (2000). Geostatistical simulations for the mining industry: risk assessment and profitability in ore reserves, grade control and mine planning, MPES 2000 seminar.
16. Goldberg D. E. (1989). Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. New York: Addison Wesley Longman.

17. Google Maps: <http://maps.google.com/>
18. Joao S. D. Garcia, Sergio L. Avila, and Walter P. Carpes. (2006). Introduction to Optimization Methods: A Brief Survey of Methods. IEEE Multidisciplinary Engineering Education Magazine, Volume 1, Issue No. 2.
19. Luenberger D. G. (1990). Linear and Non-linear Programming. New York: Addison-Wesley.
20. Marvasti A. (2000). Resource characteristics, extraction costs, and Optimal Exploitation of Mineral Resources, Environmental and resource Economics 17: 395-408.
21. Michalewicz Z. and Michalewicz M. (1997). "Evolutionary computation techniques and their applications," in IEEE — International Conference on Intelligent Processing Systems, Beijing, pp. 14–25.
22. O'Regan B., Moles R. (2003). Modeling policies and decisions: A case study in mineral extraction, Information & Management, Volume 40, Issue 3, January, Pages 147-157.