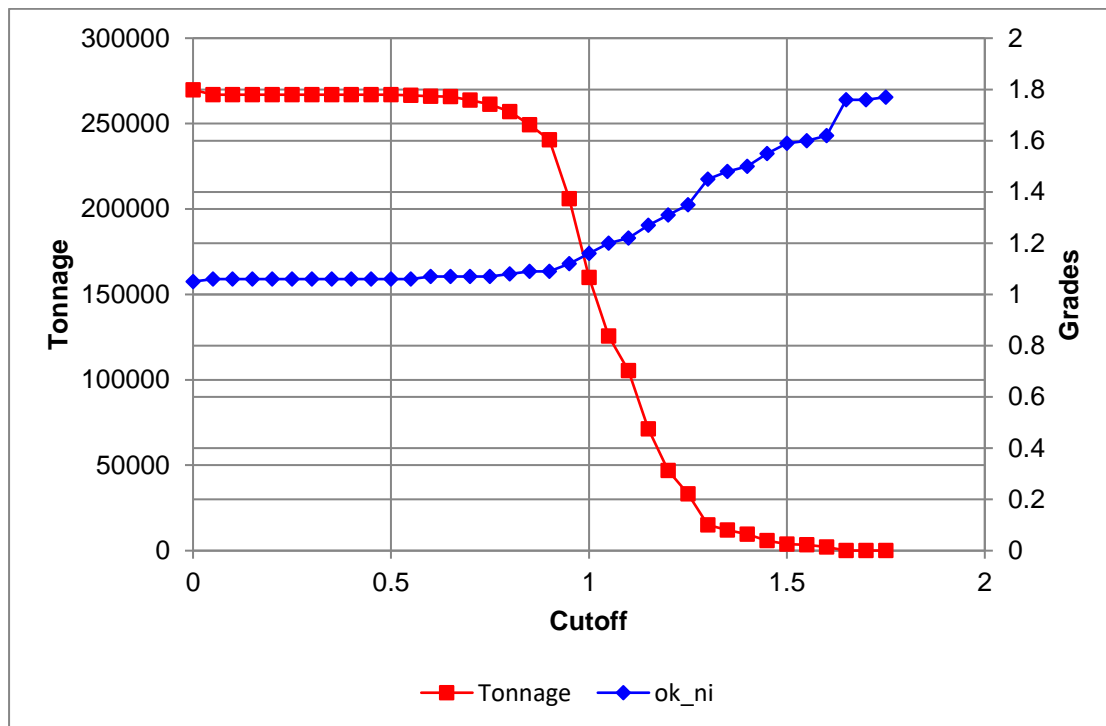




ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΕ  
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΓΕΩΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

### **ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΟΡΙΟΥ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΥΠΑΙΘΡΙΑΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΝΙΚΕΛΙΟΥ**



ΤΟΠΑΛΙΔΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ – ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ ΠΑΣΧΑΛΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΔΡ. ΚΑΠΑΓΕΡΙΔΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΚΟΖΑΝΗ

ΙΟΥΝΙΟΣ 2014

## Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ .....	2
2. ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΟΙ ΠΟΡΟΙ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΕΣ ΑΞΙΕΣ .....	8
3. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ.....	20
3.1 Μεταλλοφόρο υλικό .....	20
3.2 Μετάλλευμα .....	21
3.3 Ορυκτό .....	21
4. ΠΕΡΙΟΡΙΣΤΙΚΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΑΤΩΤΑΤΑ ΟΡΙΑ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ .....	27
4.1 Ρυθμός παραγωγής μεταλλείου .....	28
4.2 Ρυθμός παραγωγής εργοστασίου .....	30
4.3 Ρυθμός πώλησης προϊόντος .....	31
5. ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΩΤΑΤΑ ΟΡΙΑ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ .....	35
6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΑ ΒΕΛΤΙΣΤΑ ΚΑΤΩΤΑΤΑ ΟΡΙΑ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ.....	41
7. ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΠΛΗΡΟΥΣ ΚΑΤΩΤΑΤΟΥ ΟΡΙΟΥ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ .....	48
8. ΑΠΟΘΕΣΗ ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΟΣ ΕΝΔΙΑΜΕΣΩΝ ΠΟΙΟΤΗΤΩΝ .....	54
9. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ .....	62
10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	98
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	99

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ

Ένα βασικό ερώτημα που προκύπτει για κάθε σώμα μεταλλοφορίας είναι το εξής: περιέχει μέταλλευμα; ή πιο συγκεκριμένα: υπάρχει πιθανότητα μεταλλεύματος;

Το πρόβλημα στη θέσπιση ενός οικονομικού όρου που αφορά το μέταλλευμα είναι ότι δεν υπάρχει εγγενής ιδιότητα του μεταλλοφόρου υλικού επιτρέποντας μας να απαντήσουμε μεμονωμένα σε αυτή την ερώτηση. Αν και το προσωπικό που ασχολείται με την μεταλλευτική έρευνα κάνει συχνά τον υπολογισμό αξία δολαρίου ανά τόνο πετρώματος έτσι ώστε να κάνει τους απαραίτητους υπολογισμούς, στη πραγματικότητα το μέταλλευμα που βρίσκεται στο έδαφος δεν έχει ομοιογένεια και επομένως η αξία του μεταβάλλεται. Δεν μπορούμε να υπολογίσουμε τη πραγματική αξία εάν πρώτα δεν εξορύξουμε, επεξεργαστούμε και παραδώσουμε στον πελάτη το μέταλλευμα. Ως εκ τούτου ο οικονομικός ορισμός του μεταλλεύματος δεν μπορεί να εκτιμηθεί χωριστά από τα οικονομικά στοιχεία του συνόλου της διαδικασίας εξόρυξης. Πράγματι ο οικονομικός χαρακτήρας του συνόλου της διαδικασίας εξόρυξης καθορίζει και τον οικονομικό ορισμό του μεταλλεύματος.

Το ζήτημα αυτό είναι θεμελιώδες - τα μεταλλοφόρα σώματα συχνά αναφέρονται και ως πηγές πλούτου. Κατά μία έννοια μπορούν να είναι αλλά θεωρώντας τα έτσι είναι πολλές φορές παραπλανητικό. Δεν είναι σίγουρα μια πηγή πλούτου η οποία μπορεί να συγκριθεί με τα χρήματα που είναι κατατεθειμένα σε μια τράπεζα ούτε και με μια σοδειά (αγροτική). Η μόνη άμεση αξία που μπορούν να κατέχουν είναι η πλειοδοτική τιμή που μπορεί να δώσει μια μεταλλευτική εταιρία έτσι ώστε να κατέχει τα μεταλλευτικά δικαιώματα. Ποιο ρεαλιστικά ένα μεταλλοφόρο σώμα θα πρέπει να θεωρείται ως μια πιθανή ευκαιρία για ανάπτυξη και με τον όρο αυτό εννοούμε μεταλλευτική δραστηριότητα. Οποιαδήποτε τιμή θα μπορούσε να αποδοθεί στην μεταλλοφορία στην συνέχεια αποτελεί αναπόσπαστο μέρος των εσόδων της επιχείρησης.

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω, για να καθιερωθεί μια οικονομική βάση για τον ορισμό του μεταλλεύματος η ανάλυση θα πρέπει πρώτα να απευθύνεται σε ένα ορυχείο που λειτουργεί. Η κατανόηση των οικονομικών παραγόντων οι οποίοι

επηρεάζουν τα όρια του μεταλλεύματος πρέπει να προέρχονται από την κατανόηση των οικονομικών παραγόντων που επηρεάζουν όλη την διαδικασία εξόρυξης.

Οι εν λόγω παράγοντες είναι πολλοί και περιλαμβάνουν αγορές, τιμές και κόστη, αλλά μπορούν να ενσωματωθούν και με την οικονομική έννοια της αξίας. Η εξορυκτική δραστηριότητα αποφέρει έσοδα και επιβαρύνεται με έξοδα, είναι επομένως μια οικονομική μονάδα και εκτιμάτε η τιμή που μπορεί να αποδοθεί σε αυτή.

Αυτή η τιμή εξαρτάται από τον ορισμό του μεταλλεύματος, με κάποιες περιπτώσεις ορισμών να αποδίδουν υψηλότερες τιμές από άλλους. Η περίπτωση η οποία παράγει την υψηλότερη τιμή είναι η βέλτιστη και αυτή προσδιορίζει τον οικονομικό ορισμό του μεταλλεύματος. Δηλαδή το υλικό από το μεταλλοφόρο σώμα που χαρακτηρίζεται ως μετάλλευμα θα πρέπει να προγραμματιστεί για εξόρυξη μόνο όταν η επεξεργασία του αποφέρει κέρδος και αυτό είναι ένα ζωτικής σημασίας κριτήριο.

Οι οικονομικές εκτιμήσεις της αξίας προκύπτουν από τις προβλεπόμενες ταμειακές ροές. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα έσοδα και τα έξοδα που προκύπτουν χρόνο με το χρόνο σε μια μεταλλευτική επιχείρηση να παράγουν ετήσιες καθαρές ροές (καθαρά κέρδη).

Σε ένα κατάλληλο κόστος κεφαλαίου αυτές οι έννοιες μπορούν να συγχωνευτούν σε μια τιμή προεξοφλώντας τις ταμειακές ροές και αθροίζοντας τις (παρούσα αξία).

Η θεωρία της παρούσας αξίας - η αντίστροφα, ο συντελεστής επιστροφής κεφαλαίου - και η μέθοδος για τον καθορισμό του κόστους του κεφαλαίου είναι πέρα από το πεδίο εφαρμογής της παρούσας εργασίας. Η θεωρία έχει ευρέως συζητηθεί και αναλυθεί σε πολλά βιβλία και δημοσιεύσεις και έχει γίνει αποδεκτή στην εξορυκτική βιομηχανία και τους οικονομικούς αναλυτές. Χρησιμοποιείται παγκοσμίως για την αποτίμηση και την αξιολόγηση νέων έργων (project). Ωστόσο η χρήση της ως μέσο για να καθοριστεί μια βέλτιστη πολιτική λειτουργίας είναι λιγότερο διαδεδομένη.

Φυσικά αυτό δεν την καθιστά λιγότερο έγκυρη, αλλά η έλλειψη εξοικείωσης έχει συμβάλει στον σκεπτικισμό για το παρόν κριτήριο της αξίας της ιδιαίτερα όταν τα αποτελέσματα διαφέρουν σημαντικά από της συμβατικές ιδέες. Οι διαφορές είναι συνήθως ότι η μεγιστοποίηση της παρούσας αξίας υποδεικνύει υψηλότερους βαθμούς και έχουν υψηλότερα ποσοστά εξόρυξης που φαίνονται ασυμβίβαστα με αξιόπιστες συντηρητικές πολιτικές εξόρυξης.

Η διατύπωση των επιφυλάξεων σχετικά με το κριτήριο της παρούσας αξίας απέχει πολύ από τη διαμόρφωση μιας εναλλακτικής πρότασης. Όντως λύσεις σπανίως προτείνονται, αλλά οι δύο πιο γενικοί ισχυρισμοί είναι:

1. Τα μεταλλοφόρα υλικά θα πρέπει να θεωρηθούν σαν μετάλλευμα αν αυτά θα συνεισφέρουν στο κέρδος
2. Η εξόρυξη θα πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μεγιστοποιηθεί η εξαγωγή των χρήσιμων ορυκτών.

Οι πολιτικές του κατώτατου ορίου εκμεταλλευσιμότητας (cut-off) που προκύπτουν από την εφαρμογή αυτών των κριτηρίων μπορεί να είναι ίδιες, ανάλογα με τον ορισμό των όρων που χρησιμοποιούνται, οι οποίοι εξετάζονται ξεχωριστά.

Το πρώτο κριτήριο σε κάποια μορφή είναι γνωστό μεταξύ του τεχνικού προσωπικού. Ωστόσο το ερώτημα για το τι αποτελεί συνεισφορά στο κέρδος είναι αντικείμενο μεγάλης συζήτησης. Προβάλλεται συχνά ο ισχυρισμός ότι κάθε υλικό για το οποίο η αξία του ανακτημένου ορυκτού θα υπερβαίνει το οριακό κόστος επεξεργασίας θα πρέπει να είναι μετάλλευμα. Μερικές φορές η συμβολή για τα γενικά έξοδα, προστίθεται, στο κόστος και μερικές φορές, μια ελάχιστη απαίτηση κέρδους επίσης προστίθεται. Η βάση του επιχειρήματος είναι ότι το εν λόγω υλικό, αν δεν ταξινομείται ως μετάλλευμα, έχει ως αποτέλεσμα να σπαταληθεί μια ευκαιρία για κέρδος.

Η διαφωνία εντοπίζεται στο γεγονός ότι παραβλέπονται τελείως οι χωρητικότητες, και αυτό είναι ένα μεγάλο μειονέκτημα. Είναι αντίστοιχο με το επιχειρήμα ότι ο λιανοπώλης πρέπει να προσθέσει στην αποθήκη του τα εμπορεύματα τα οποία υπόσχονται κέρδος. Οι λιανοπωλητές δεν κάνουν κάτι

τέτοιο. Όλοι γνωρίζουν ότι ο χώρος είναι περιορισμένος και μέσα σε αυτόν προσπαθούν να αποθηκεύσουν το πιο κερδοφόρο προϊόν. Ανάλογο σκεπτικό ισχύει για ένα ορυχείο. Έχει χωρητικότητα η οποία περιορίζεται από το μέρος της εγκατάστασης, το φρέαρ, το σπαστήρα, τον αριθμό των φορτηγών, το ρυθμό ανάπτυξης κ.τ.λ - και μέσα σε αυτόν τον περιορισμό, θα πρέπει να επιλέξει και να επεξεργαστεί το πιο κερδοφόρο υλικό. Η πολιτική αυτή είναι σύμφωνη με την ερμηνεία του κριτηρίου που περιλαμβάνει ένα ελάχιστο περιθώριο κέρδους, αλλά εκτός από την πολιτική της εταιρίας οι υποστηρικτές του κριτηρίου συνήθως δεν δίνουν καμιά βάση για τον καθορισμό του περιθωρίου. Αντίθετα το κριτήριο της παρούσας αξίας, δίνει την ακριβή βάση που προκύπτει από εξισορρόπηση μεταξύ των σημερινών και των μελλοντικών κερδών μέσω της παρούσας αξίας.

Το δεύτερο κριτήριο αφορά στη αύξηση της εξόρυξης πολύτιμων μετάλλων και είναι μια ενέργεια που ενθαρρύνεται από μεταλλειοκτήτες, τοπικές κυβερνήσεις και οικολόγους (conservationists). Φυσικά, τίθεται αμέσως το ερώτημα, τι είναι πολύτιμο ορυκτό. Μια ακραία άποψη είναι πως όλα τα μεταλλικά και γεωλογικά αποθέματα (όποια και αν είναι αυτά) θα πρέπει να εξορυχθούν για το συμφέρον της διατήρησης των πόρων. Αυτή είναι μια μη ρεαλιστική θέση η οποία συνήθως προκύπτει από τον παρεξηγημένο τρόπο με τον οποίο είναι καταναμημένα τα ορυκτά στο έδαφος. Ως λιγότερο ακραία άποψη είναι ότι η εξόρυξη θα πρέπει να αναπτυχθεί με έναν τέτοιο τρόπο ώστε το φτωχότερο υλικό να εξορύσσεται μαζί με πλουσιότερο ώστε να παίρνουμε ένα αποδεκτό μείγμα αποδίδοντας ικανοποιητικό κέρδος. Φυσικά κάθε ορυχείο συνδυάζει φτωχότερο και πλουσιότερο υλικό κατ' ανάγκη και ο βαθμός του κατώτατου ορίου εκμετάλλευσης καθορίζει το πόσο πιο φτωχό μπορεί να γίνει το φτωχότερο υλικό. Οι οπαδοί των κριτηρίων μέγιστης εξόρυξης, όμως, συνήθως υπονοούν κάποιο βαθμό επιδότησης για το φτωχότερο υλικό το οποίο δεν θα ήταν κερδοφόρο από μόνο του. Το τι σημαίνει αυτό είναι δεν είναι σαφές αλλά εκτός από ειδικές περιπτώσεις η ιδέα των διασταυρωμένων ποιοτήτων μεταλλεύματος είναι οικονομικά ανορθολογική. Μία πιο λογική άποψη ορίζει το πολύτιμο υλικό κατά τον ίδιο τρόπο όπως και στο πρώτο κριτήριο. Σε αυτή τη περίπτωση και τα δύο δίνουν το ίδιο αποτέλεσμα και έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην χωρητικότητα.

Τα δύο κριτήρια έχουν άλλο ένα σημαντικό μειονέκτημα και αυτό είναι ότι δεν αντιμετωπίζουν ικανοποιητικά τις διακυμάνσεις των τιμών ούτε μπορούν να αντιμετωπίσουν ικανοποιητικά τις μεταβολές των άλλων οικονομικών παραμέτρων, αλλά η τιμή τους αποτελεί τη κύρια επιρροή. Το θέμα είναι ότι, όπως με όλους τους υπολογισμούς νεκρού σημείου οι οποίοι συγκρίνουν την ουσιαστική αξία με το κόστος, οι υψηλότερες τιμές οδηγούν σε μείωση των κατώτατων ορίων εκμετάλλευσης. Πλέον τα χαμηλά κατώτατα όρια εκμετάλλευσης αποφέρουν χαμηλό μέσο όρο ποιότητας, και αν η ποσότητα του επεξεργασμένου μεταλλεύματος παραμένει η ίδια, όπως συνήθως συμβαίνει, η παραγωγή του μετάλλου μειώνεται. Αυτό είναι το ακριβώς αντίθετο από αυτό που θα πρέπει να συμβαίνει στην αγορά. Σε ψηλότερες τιμές παρουσιάζετε το φαινόμενο της μείωσης της προσφοράς με τη ζήτηση και θα οδηγήσει σε αύξηση της προσφοράς και όχι σε μείωση. Επιπρόσθετα, το σκεπτικό είναι να πωλούν λιγότερο με την υψηλότερη τιμή και όχι περισσότερο με τη χαμηλότερη, μια πολιτική η οποία δεν έχει νόημα.

Η παρούσα αξία είναι το μόνο κριτήριο που έχει ενσωματώσει ένα μέσο για την αντιμετώπιση διαφορετικών οικονομικών συνθηκών. Οι παράμετροι που καθορίζουν τις προϋποθέσεις που περιλαμβάνονται στις παρούσες εκτιμήσεις της αξίας και επηρεάζουν το κατώτατο όριο εκμετάλλευσης κατά τέτοιο τρόπο ώστε να αποφεύγεται η παράλογη αντίδραση στις μεταβολές των τιμών.

Πολλές από τις επικρίσεις του κριτηρίου παρούσας αξίας εκφράζονται ως ειδικά συμφέροντα. Για παράδειγμα, σπάνια είναι συμφέρουσα για το προσωπικό του ορυχείου μια πολιτική που είναι απειλητική για την επιβίωση τους. Το μόνο που θα κατάφερναν θα ήταν να δημιουργήσουν στον εαυτό τους βιοποριστικά προβλήματα. Επίσης, οι τοπικές κυβερνήσεις επιθυμούν να δουν βιομηχανικές δραστηριότητες να έχουν μεγάλο χρόνο λειτουργίας, γιατί αυτό συνεπάγεται συνεχή απασχόληση προσωπικού και φορολογία.

Υπάρχει μια φαινομενική σύγκρουση μεταξύ των συμφερόντων των συμβαλλόμενων μερών, αλλά από μια αυστηρή οικονομική σκοπιά, αυτό δεν φαίνεται να αποτελεί πρόβλημα. Εάν ένα ορυχείο σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μεγιστοποιηθεί η καθαρή παρούσα αξία του (περίσσια παρούσα αξία επί του κόστους του κεφαλαίου) τότε, θεωρητικά, υπάρχει περισσότερος πλούτος να

μοιραστεί μεταξύ των συμμετεχόντων, και έτσι ο καθένας θα μπορούσε να είναι σε καλύτερη θέση. Αν στη περίπτωση αυτή, είναι ή όχι, εξαρτάται από την φύση των συμφωνιών μεταξύ τους, αλλά αυτό είναι τεράστιο θέμα από μόνο του.

Συνοψίζοντας, στην πτυχιακή εργασία αυτή εξετάζεται ο οικονομικός ορισμός του μεταλλεύματος, ο οποίος μεγιστοποιεί την καθαρή παρούσα αξία μιας μεταλλευτικής επιχείρησης.



## 2. ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΟΙ ΠΟΡΟΙ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΕΣ ΑΞΙΕΣ

Όπως έχει ήδη τονιστεί, κάθε ορυχείο είναι εγκατεστημένο πάνω σε ένα σώμα μεταλλοφορίας που είναι περιορισμένης έκτασης. Ορισμένα είναι πολύ εύκολο να εντοπιστούν και εξορυχθούν μέσα σε διάστημα μηνών, άλλα είναι αχανή με φαινομενικά ατελείωτες πηγές μεταλλεύματος. Παρόλα αυτά, στην πραγματικότητα είναι πεπερασμένα και αργά ή γρήγορα θα εξαντληθούν.

Αυτό το χαρακτηριστικό καθιστά την ανάλυση των λειτουργικών στρατηγικών για τα ορυχεία πολύ διαφορετική από την ανάλυση των υπολοίπων βιομηχανιών ή εμπορικών επιχειρήσεων. Η θεμελιώδης έννοια της βελτιστοποίησης μεγιστοποιώντας την παρούσα αξία είναι εξίσου σημαντική. Ωστόσο οι άλλες επιχειρήσεις δεν βασίζονται συνήθως σε εξαντλήσιμους πόρους και, ως εκ τούτου οι τρέχουσες στρατηγικές λειτουργίας δεν έχουν τα ίδια αποτελέσματα μελλοντικά. Για ένα ορυχείο, τα υψηλά ποσοστά εξόρυξης θα συντομεύσουν την ζωή λειτουργίας του και το αντίστροφο. Το αποτέλεσμα αυτό πρέπει με κάποιο τρόπο να ενσωματωθεί στην ανάλυση. Είναι, φυσικά, η ίδια η συνάρτηση της παρούσας αξίας η οποία παρέχει τα μέσα για την πραγματοποίηση των ταμειακών συνεπειών που λαμβάνουν χώρα σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Ουσιαστικά αποτελεί αναγκαία προϋπόθεση για την ανάλυση της στρατηγικής των κατώτατων ορίων εκμετάλλευσης και κατά συνέπεια, η εξέταση της παρούσας μεγιστοποίησης της αξίας για την λειτουργία βασίζεται σε ένα πεπερασμένο πόρο. Αυτό οδηγεί κατ' ανάγκη σε κάποιες μαθηματικές πράξεις οι οποίες όμως εξετάζονται στις παραγράφους που ακολουθούν.

Συμβολίζουμε την παρούσα αξία μιας επιχείρησης στη βάση πεπερασμένων πόρων με το  $V$ . Η επιχείρηση θα μπορούσε να είναι ένα μεταλλείο αλλά η ανάλυση είναι γενική και μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιοδήποτε είδος επιχείρησης με πεπερασμένους πόρους όπως για παράδειγμα την ρευστοποίηση μιας απόθεσης.

Το  $V$  υπολογίζεται ως το σύνολο των μελλοντικών ταμειακών ροών που ανάγονται (υποτιμώνται) στο παρόν. Αν αυτές οι ταμειακές ροές, χρόνο με τον χρόνο, είναι  $C_1, C_2, \dots$  και το κόστος του κεφαλαίου είναι  $\delta$  ( $100 \times \delta$  ως ποσοστό), τότε

$$V = C_1 / (1 + \delta) + C_2 / (1 + \delta)^2 + \dots$$

Οι ταμειακές ροές  $C_1, C_2, \dots$  εξαρτώνται από τις τιμές και το κόστος που επικρατούν κατά την δεδομένη στιγμή και συνεπώς η τιμή του  $V$  εξαρτάται από την παρούσα στιγμή,  $T$ , η οποία αποτελεί τη βάση του υπολογισμού. Με άλλα λόγια η παρούσα αξία δύο ίδιων επιχειρήσεων που υπολογίζεται σε διαφορετικούς χρόνους, θα διαφέρει.

$$\text{Δηλ.} \quad V = V(T)$$

Η παρούσα αξία πρέπει επίσης να εξαρτάται από την ποσότητα των πόρων,  $R$ , που είναι ακόμα διαθέσιμοι. Σε γενικές γραμμές, θα πρέπει να μειώνεται καθώς ο πόρος καταναλώνεται και να μηδενίζεται όταν ο πόρος έχει εξαντληθεί.

$$\text{Δηλ.} \quad V = V(T, R) \text{ και } V(T, 0) = 0$$

Αυτό ωστόσο δεν είναι το τέλος της ιστορίας. Το  $V$  πρέπει να εξαρτάται από πολλές μεταβλητές που περιγράφουν τον τρόπο με τον οποίο η επιχείρηση πρόκειται να πραγματοποιηθεί. Αντί να γράψουμε μια μεγάλη λίστα, γράφουμε μια μαθηματική σύμβαση που εκπροσωπεί όλες τις μεταβλητές με ένα σύμβολο, έστω  $\Omega$ . Το  $\Omega$  καθορίζει τις λειτουργικές στρατηγικές που θα χρησιμοποιηθούν στο μέλλον.

$$V = V(T, R, \Omega)$$

Στην περίπτωση στρατηγικών κατώτατου ορίου για ένα ορυχείο, το  $\Omega$  θα αποτελείται από την μεταβλητή του κατώτατου ορίου εκμεταλλευσιμότητας (έστω,  $g$ ) η οποία μπορεί να λάβει διαφορετικές τιμές  $g_1, g_2, g_3, \dots$  για τα εναπομείναντα χρόνια της ζωής του ορυχείου. Μια τέτοια ακολουθία τιμών μπορεί να χαρακτηριστεί ως πολιτική και ως εκ τούτου τα  $g_1, g_2, g_3, \dots$  ορίζουν την πολιτική του κατώτατου ορίου εκμεταλλευσιμότητας. Έτσι σε αυτή την περίπτωση, αν τα

κατώτατα όρια εκμεταλλευσιμότητας είναι οι μοναδικές παράμετροι που ερευνάται τότε:

$$\Omega = g_1, g_2$$

$$V = V(T, R, g_1, g_2, \dots)$$

Επιστρέφοντας στην γενική περίπτωση όλων των ομάδων στρατηγικών λειτουργίας,  $\Omega$ , που θα μπορούσαν να υιοθετηθούν, πρέπει να υπάρχει τουλάχιστον μια ομάδα η οποία να είναι βέλτιστη με την έννοια ότι αυτή η ομάδα θα οδηγήσει στη μέγιστη τιμή για το  $V = V(T, R, \Omega)$ . Για να το θέσουμε αλλιώς, κάθε σύνολο τιμών για το  $\Omega$  θα οδηγήσει σε κάποια τιμή για το  $V(T, R, \Omega)$  και αν το  $\Omega$  μεταβάλλεται πάνω από κάθε πιθανό σύνολο αξιών, το  $V(T, R, \Omega)$  θα μεταβάλλεται αντίστοιχα, και τουλάχιστον μία από τις τιμές που θα λάβει θα είναι η μέγιστη.

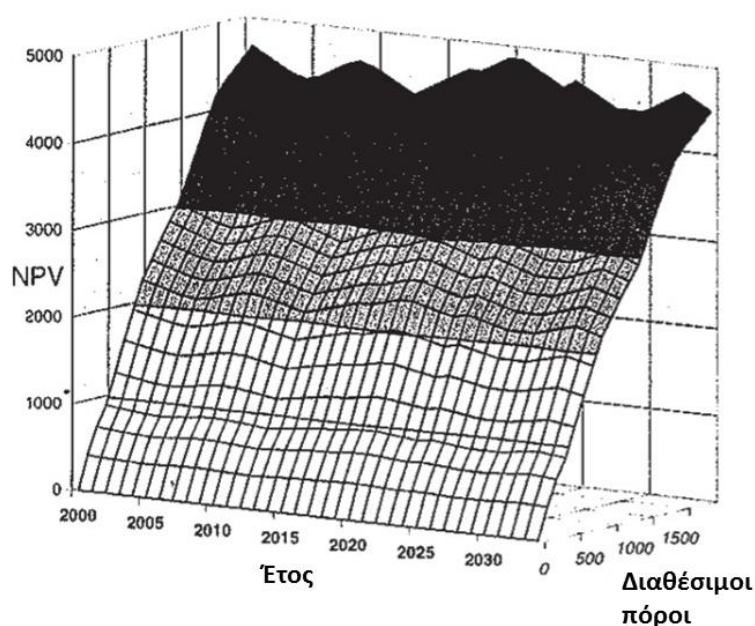
Συμβολίζουμε αυτή τη μέγιστη τιμή  $V^*(T, R)$ . Μια σημαντική παρατήρηση σε αυτό το σημείο είναι ότι δεν είναι πλέον συνάρτηση του  $\Omega$ . Η  $V(T, R, \Omega)$  από μόνη της είναι, αλλά η  $V^*(T, R)$  δεν είναι.

Αυτό είναι σαν να διαπιστώνουμε ότι τα υψόμετρα σε ένα χάρτη είναι συνάρτηση της θέσης, αλλά το υψόμετρο του υψηλότερου σημείου δεν είναι. Έχει μια θέση, βέβαια, αλλά εξαρτάται μόνο από την συγκεκριμένη περιοχή που καλύπτεται από τον χάρτη και τίποτα άλλο.

Έτσι 
$$\text{Max}_{\Omega}\{V(T, R, \Omega)\} = V^*(T, R)$$

Πριν από την περαιτέρω ανάπτυξη των μαθηματικών, πρέπει να εξετάσουμε την συνάρτηση  $V^*(T, R)$  πιο προσεκτικά. Είναι μια συνάρτηση δύο μεταβλητών και ορίζει επομένως μια επιφάνεια. Για  $R=0$  όταν ο πόρος έχει εξαντληθεί,  $V^*=0$ , ώστε η επιφάνεια παρουσιάζει κλίση προς το μηδέν κατά μήκος του άξονα  $R=0$ . Επίσης, σε γενικές γραμμές, η συνάρτηση πρέπει να μειώνεται όσο το  $R$  μειώνεται (θα αυξηθεί μόνο αν η βέλτιστη στρατηγική περιλαμβάνει ταμειακή εκροή).

Μια πιθανή επιφάνεια απεικονίζεται στο Σχήμα 2.1 και η κατανόηση αυτού του γραφήματος είναι σημαντική. Η επιφάνεια που αντιπροσωπεύει κατηφορίζει σταθερά προς τον κάτω άξονα επί του οποίου οι διαθέσιμοι πόροι είναι μηδέν. Ο άξονας αυτός είναι η ισοκαμπύλη μηδενικής παρούσας αξίας. Μελετώντας το σχήμα παρατηρούμε πως στην επιφάνεια υπάρχουν κυματισμοί σε σχέση με τον χρόνο. Οι κυματισμοί αυτοί προκύπτουν από τις μεταβολές των προβλέψεων των τιμών και των παραμέτρων κόστους οι οποίες δημιουργούν μεταβολές στις εκτιμήσεις της παρούσας αξίας σε διαφορετικούς χρόνους ακόμα και για την ίδια διαθεσιμότητα πόρων. Προβλέψεις σταθερών τιμών και παραμέτρων κόστους θα δώσουν μια σειρά από οριζόντιες παράλληλες τιμές.

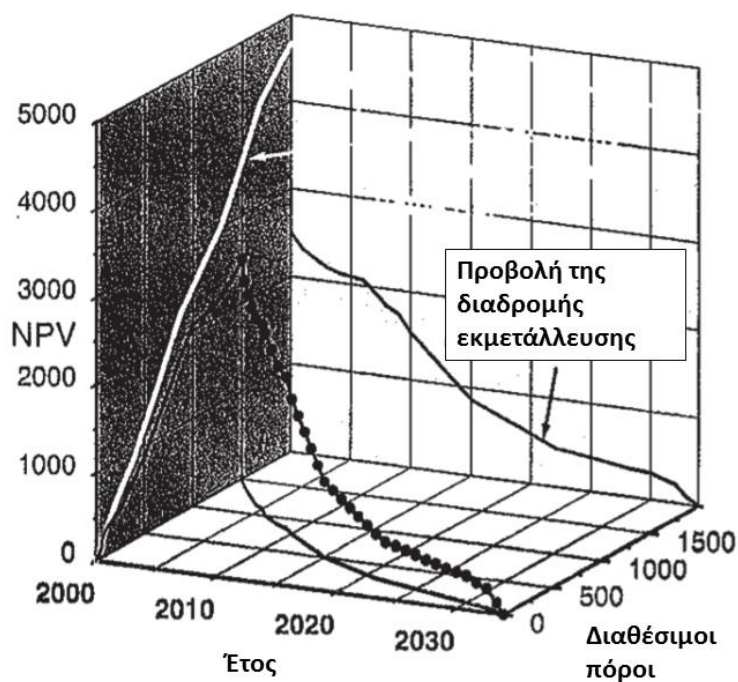


**Σχήμα 2.1:** Επιφάνεια μέγιστης παρούσας αξίας.

Από τις δύο ανεξάρτητες μεταβλητές  $T$  και  $R$ , η πρώτη δεν είναι ελεγχόμενη. Είναι απλά η ημερομηνία στην οποία βασίζεται η παρούσα αξία, δηλαδή καθορίζει το χρόνο στον οποίο οι ταμειακές ροές υποτιμώνται. Η τελευταία μεταβλητή,  $R$ , ή

ακριβέστερα ο ρυθμός στον οποίο το  $R$  μειώνεται είναι η μεταβλητή που επηρεάζεται άμεσα από τις εργασίες.

Φυσικά όσο το  $R$  μειώνεται (δηλαδή καθώς οι πόροι καταναλώνονται) ο χρόνος προχωράει αναγκαστικά και η αλλαγή του επιπέδου των πόρων με το χρόνο μπορεί να προβληθεί γραφικά. Έτσι σχηματίζει μια γραμμή ή ένα ίχνος όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.2. Αυτό το ίχνος καθορίζει το ρυθμό με τον οποίο ο πόρος καταναλώνεται κάθε στιγμή καθ όλη την διάρκεια της ζωής του μεταλλείου και ως εκ τούτου είναι ένας πλήρης προσδιορισμός μιας στρατηγικής εκμετάλλευσης. Μπορεί να ονομαστεί και διάγραμμα εκμετάλλευσης.



Σχήμα 2.2: Ίχνος εκμετάλλευσης.

Ένα διάγραμμα εκμετάλλευσης απεικονίζεται στην Σχήμα 2.2. Είναι η προβολή του χρόνου και του επιπέδου των πόρων που καθορίζει τη στρατηγική εκμετάλλευσης. Αρχίζει με 1500 μονάδες διαθέσιμων πόρων κατά την χρονική στιγμή του έτους 2000. Περίπου 400 μονάδες καταναλώνονται τα πρώτα 5 χρόνια,

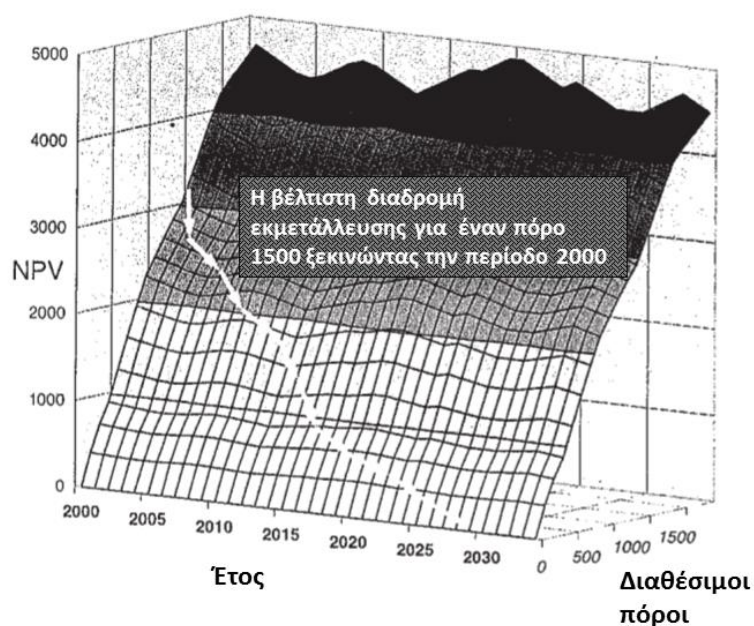
αλλά ο ρυθμός της εκμετάλλευσης μειώνεται σε περίπου 100 μονάδες τα τελευταία 5 χρόνια και οι πόροι θα έχουν εξαντληθεί μέχρι το 2035.

Κάθε διάγραμμα εκμετάλλευσης έχει μια σχετική αλληλουχία με τις παρούσες αξίες. Λαμβάνοντας υπόψη τις προβλεπόμενες τιμές, το κόστος και άλλες οικονομικές παραμέτρους, οι ταμειακές ροές για κάθε έτος μπορούν να υπολογιστούν και από αυτές να συγκεντρωθούν οι παρούσες αξίες σε κάθε σημείο κατά μήκος του διαγράμματος.

Οι παρούσες αξίες που αντιστοιχούν στην στρατηγική εκμετάλλευσης απεικονίζονται στο Σχήμα 2.2 με μεγάλες κουκκίδες. Η αρχική τιμή στο έτος 2000 είναι 2500 μονάδες. Μειώνεται ελαφρώς από το 2000 μέχρι το 2007 περίπου και στη συνέχεια πέφτει σταθερά προς το μηδέν μέχρι το 2035.

Οι παρούσες αξίες μπορούν να συγκριθούν με εκείνες στα αντίστοιχα σημεία της μέγιστης επιφάνειας της παρούσας αξίας των οποίων οι διασταυρώσεις στα δύο κατακόρυφα επίπεδα απεικονίζονται στο ίδιο σχήμα για λόγους αναφοράς. Προφανώς καμία δεν μπορεί να υπερβεί την αντίστοιχη μέγιστη και γενικά όλες θα είναι λιγότερες από αυτή. Όταν έχουμε ισότητα, το υπόλοιπο του ίχνους από το σημείο της ισότητας και μετά καθορίζει την βέλτιστη στρατηγική. Επιπλέον, οι παρούσες αξίες σε κάθε επακόλουθο σημείο κατά μήκος του ίχνους θα πρέπει να ισούνται επίσης με τα αντίστοιχα μέγιστα, εάν όχι θα μπορούσε να κατασκευαστεί ένα εναλλακτικό ίχνος που να παρέχει μια υψηλότερη παρούσα αξία σε αντίθεση με τον ορισμό της μέγιστης.

Αυτή η αρχή είναι θεμελιώδης. Μία βέλτιστη στρατηγική ίχνους θα πρέπει να είναι βέλτιστη για κάθε σημείο κατά μήκος του και όλες οι σχετικές παρούσες αξίες πρέπει να είναι οι μέγιστες. Με άλλα λόγια η βέλτιστη στρατηγική ίχνους θα πρέπει να είναι ενσωματωμένη στη επιφάνεια των μέγιστων παρουσιών αξιών. Αυτή που αντιστοιχεί στην αρχική θέση 1500 μονάδων μεταλλεύματος το έτος 2000 απεικονίζεται στο Σχήμα 2.3. (Με μαθηματικούς όρους η εφαρμογή αυτής της αρχής βελτιστοποίησης είναι γνωστή και ως δυναμικός προγραμματισμός).



**Σχήμα 2.3:** Μια διαδρομή βέλτιστης εκμετάλλευσης στην επιφάνεια μέγιστης παρούσας αξίας.

Προκειμένου να βρεθεί μία βέλτιστη στρατηγική λειτουργίας που να ανταποκρίνεται στη μέγιστη παρούσα αξία στην συγκεκριμένη περίπτωση το σύνολο της επιφάνειας της μέγιστης παρούσας αξίας είναι άνευ σημασίας. Μόνο η επιφάνεια που είναι πολύ κοντά με το ίχνος έχει σημασία. Αν με κάποιο τρόπο η επιλογή της διεύθυνσης του ίχνους σε οποιοδήποτε σημείο μπορεί να βρεθεί τότε αυτό μπορεί να ακολουθηθεί και οι παρούσες αξίες που σχετίζονται να συλλεχθούν. Αυτός είναι και ο σκοπός της ανάλυσης που παρουσιάζετε παρακάτω.

Επιστρέφοντας στα μαθηματικά και ξεκινώντας με τα αποθέματα  $R$  στο χρόνο  $T$ , θεωρούμε μία μικρή μείωση του  $r$  στο  $R$ . Έστω ότι η στρατηγική λειτουργίας που πραγματοποιεί αυτή την μείωση ορίζεται με το  $\omega$ . Έστω ότι ο χρόνος που απαιτείται είναι  $t$  και οι αντίστοιχες ταμειακές ροές ανά μονάδα πόρου είναι  $c$ . Το  $t$  είναι συνάρτηση των  $\omega$  και  $r$ , και το  $c$  είναι συνάρτηση των  $\omega$  και  $t$ .

$$\Delta\eta\lambda, t = t(\omega, r) \text{ και } c = c(\omega, t)$$

Αφού ληφθεί η μείωση  $r$ , τα αποθέματα που έχουν απομείνει θα είναι  $R-r$  και ο χρόνος  $T+t$ . Αυτό θα δώσει μια παρούσα αξία:

$$V = V(T+t, R - r, \Omega')$$

Όπου  $\Omega'$  είναι η στρατηγική λειτουργίας που υιοθετείται από αυτό το σημείο και μετά. Η παρούσα αξία στο σημείο  $T$ ,  $R$  συμβολίζεται με:

$$V = V(T, R, \omega + \Omega')$$

Επειδή η αντίστοιχη στρατηγική λειτουργίας είναι  $\omega$  για την μείωση  $r$  που ακολουθείται από το  $\Omega'$ . Με βάση των ορισμών των παρούσων αξιών:

$$V(T, R, \omega + \Omega') = rc(\omega, t) + V(T+t, R - r, \Omega') / (1+\delta)^t$$

οπού  $\delta$  είναι το κόστος κεφαλαίου (100δ ως ποσοστό).

Αν το  $\omega$  πρόκειται να είναι μία βέλτιστη στρατηγική για την μείωση  $r$  και μέρος μιας βέλτιστης στρατηγικής  $\Omega$ , τότε το  $\Omega'$  θα πρέπει να αποτελεί μια βέλτιστη στρατηγική και

$$V(T+t, R - r, \Omega') = V^*(T+t, R - r)$$

Μεγιστοποιώντας και της δύο μεριές της εξίσωσης όσον αναφορά το  $\omega$ :



$$V^*(T,R) = \text{MAX} \{rc(\omega,t) + V^*(T+t, R-r) / (1+\delta)^t\}$$

Θεωρώντας ότι  $r$  και  $t$  είναι μικρά

$$V^*(T+t, R-r) = V^*(T,R) + t \, dV^*/dt - r \, dV^*/dr$$

στον πρώτο βαθμό προσέγγισης και λαμβάνοντας τα διαφορικά στο σημείο  $T,R$ .

Επίσης 
$$1/(1+\delta)^t = (1+\delta)^{-t} = 1 - \delta t$$

και πάλι στον πρώτο βαθμό προσέγγισης. Συνδυάζοντας αυτούς τους δύο τύπους:

$$V^*(T+t, R-r)/(1+\delta)^t = (1 - \delta t) V^*(T,R) + t \, dV^*/dT - r \, dV^*/dR$$

παραμελώντας όλους τους δευτεροβάθμιους όρους. Ως εκ τούτου για να απλοποιηθεί ο συμβολισμός αφήνουμε την αναλογία των  $T,R$  εκτός:

$$V^* = \text{MAX}_\omega \{rc(\omega,t) + V^* - \delta t V^* + t \, dV^*/dT - r \, dV^*/dR\}$$

Ωστόσο, το  $V^*$  και επομένως και τα  $dV^*/dT$  και  $dV^*/dR$  είναι ανεξάρτητα από το  $\omega$ . Όπως επίσης και η μικρή αυθαίρετη αύξηση  $r$ . Αφαιρώντας το  $V^*$  και  $r \, dV^*/dR$  από τον τύπο μεγιστοποίησης:

$$V^* = V^* - r \, dV^*/dR + \text{MAX}_\omega \{rc(\omega,t) + V - \delta t V^* + t \, dV^*/dT\}$$

Το  $V^*$  καταργείται έτσι

$$r \, dV^*/dR = \text{MAX}_\omega \{rc(\omega,t) - t[\delta V^* - dV^*/dT]\}$$

ή

$$dV^*/dR = \text{MAX}_\omega \{c(\omega,t) - [\delta V^* - dV^*/dT]t/r\}$$

$[\delta V^* - dV^*/dT]$  είναι μία σταθερά στην διαδικασία μεγιστοποίησης. Συμβολίζοντας το  $F$  και θέτοντας  $t/r=\tau$ , το χρόνο που χρειάζεται για την επεξεργασία μιας μονάδας αποθέματος, η εξίσωση ανάγεται σε

$$dV^*/dR = \text{MAX}_\omega \{c(\omega,t) - Ft\}$$

Αυτή η εξίσωση είναι πολύ σημαντική. Υπονοεί ότι το  $dV^*/dR$  πρέπει να είναι μέγιστο σε όλα τα σημεία κατά μήκος μιας βέλτιστης στρατηγικής διαδρομής. Αυτό σημαίνει ότι οι στρατηγικές θα πρέπει να επιλέγονται έτσι ώστε κάθε μείωση  $r$  στο  $R$  να έχει την μεγαλύτερη δυνατή επίδραση στο  $V^*$ . Αυτό είναι προφανές γιατί αθροίζοντας όλες τις αλλαγές στο  $V^*$ , που αντιστοιχούν σε μια σειρά μειώσεων του  $R$ , μέχρι το μηδέν θα μας δώσει το μεγαλύτερο άθροισμα. Ή αντίστροφα αν ακολουθηθεί μία βέλτιστη στρατηγική διαδρομή ανάποδα από το  $R=0$  σε βήματα  $r$ , τότε, αν κάθε βήμα γίνει στη διεύθυνση της μεγαλύτερης κλίσης στην επιφάνεια  $V^*$ , το τελικό σημείο που θα φτάσουμε θα πρέπει να είναι το υψηλότερο δυνατό.

Ωστόσο τα αξιοσημείωτα χαρακτηριστικά, είναι στην δεξιά πλευρά της εξίσωσης.

Καταρχήν, η μεγιστοποίηση δεν είναι δυσκολότερη από την ίδια τη μεγιστοποίηση του  $c$ . Η μόνη διαφορά που παρουσιάζεται εξετάζοντας την παρούσα αξία μιας ακολουθίας ταμιακών ροών αντί κάθε ταμιακής ροής ξεχωριστά είναι η προσθήκη του όρου  $Ft$ . Καθώς το  $F$  είναι ανεξάρτητο από το  $\omega$ , αυτό είναι ισοδύναμο με την προσθήκη του ενός χρονικού όρου κόστους και ένας παρόμοιος όρος είναι σχεδόν βέβαιο ότι εμπεριέχεται ήδη στο  $c$ .

Αφετέρου, προκειμένου να καθορίσουμε μια βέλτιστη στρατηγική εκμετάλλευσης σε οποιοδήποτε σημείο, η μόνη πληροφορία που απαιτείται από το

υπόλοιπο μιας διαδικασίας βελτιστοποίησης στο μέλλον είναι η τιμή του  $F$ . Μια ταυτόχρονη μεγιστοποίηση για όλες τις μεταβλητές στο  $\Omega$  δεν είναι απαραίτητη. Αυτό είναι μία τεράστια απλοποίηση παρόλο που το  $F$  εξαρτάται από την μελλοντική στρατηγική, έτσι θα πρέπει ακόμα να αναπτυχθεί κάποια μέθοδος προσδιορισμού της αξίας του.

Στην οικονομική ορολογία, ο όρος  $F$  είναι ένα κόστος ευκαιρίας. Η επιχείρηση μπορεί να θεωρηθεί ότι έχει μία αξία κεφαλαίου  $V$ . Πράγματι αυτή είναι μία ερμηνεία της παρούσας αξίας. Είναι κατά μία έννοια το κεφάλαιο το οποίο επιβαρύνεται με δύο ποινές ως αποτέλεσμα της ενσωμάτωσής του στην επιχείρηση. Η μία ποινή είναι ο τόκος ο οποίος θα μπορούσε να είχε κερδηθεί ενώ είχε χρησιμοποιηθεί αλλού και αυτό συμβολίζεται με  $\delta V$ , όπου το  $\delta$  είναι το κόστος κεφαλαίου της εταιρίας. Το άλλο είναι η υποτίμηση της αξίας ως συνέπεια της επιδείνωσης των οικονομικών συνθηκών και αυτό συμβολίζεται με  $-dV^*/dT$  (μπορεί βεβαίως να είναι επιβράβευση αντί για ποινή αν  $dV^*/dT$  είναι θετικό).

Υπάρχουν δύο βασικές εναλλακτικές μέθοδοι για των προσδιορισμό της τιμής του  $F$  σε πρακτικές εφαρμογές.

Η πρώτη μέθοδος είναι απλά το να εκτιμηθεί. Η μέθοδος αυτή είναι ικανοποιητική όταν οι ταμιακές ροές δεν είναι υπερβολικά ευαίσθητες σε αλλαγές στην στρατηγική λειτουργίας και απαιτείται μόνο μια βέλτιστη τιμή. Υπό αυτές της συνθήκες μία χονδρική εκτίμηση για το  $F$  δίνει μία επαρκή βάση για την θέσπιση του βέλτιστου επειδή τα σφάλματα σε αυτή την εκτίμηση έχουν πολύ μικρή σημαντική επίδραση στο αποτέλεσμα. Επιπλέον το  $F$  καθορίζεται ως μόνο μία οικονομική προβολή η οποία υπόκειται σε ένα μέτρο με αβεβαιότητα.

Η δεύτερη μέθοδος αφορά στη χρήση μιας επαναλαμβανόμενη μαθηματική τεχνική. Θεωρείται μια αρχική τιμή του  $F$  και υπολογίζεται μία ολοκληρωμένη στρατηγική βέλτιστης εκμετάλλευσης, βήμα-βήμα, μέχρι να εξαντληθούν όλα τα αποθέματα. Το υπόλοιπο της παρούσας αξίας σε αυτό το σημείο θα πρέπει να είναι μηδέν. Εάν δεν συμβαίνει αυτό η αρχική τιμή για το  $F$  προσαρμόζεται και η όλη διαδικασία επαναλαμβάνεται. Μία τεχνική αυτού του είδους είναι κατάλληλη για εφαρμογές σε υπολογιστή και έχει το πλεονέκτημα να εξάγει μια ολοκληρωμένη στρατηγική εκμετάλλευσης η οποία σε ορισμένες περιπτώσεις είναι σημαντική. Στο

Κεφάλαιο 7 εξετάζεται η τεχνική στο πλαίσιο του καθορισμού μιας πολιτικής βέλτιστου κατώτατου ορίου εκμεταλλευσιμότητας.

Με λίγα λόγια μία στρατηγική βέλτιστης εκμετάλλευσης που αφορά στην μεγιστοποίηση της παρούσας αξίας μιας επιχείρησης βασισμένης σε πεπερασμένους πόρους μπορεί να καθοριστεί σε οποιοδήποτε στάδιο μεγιστοποιώντας την έκφραση

$$C - \tau(\delta V^* - dV^*/dT) = c - Ft... (I)$$

όπου  $c$  οι ταμειακές ροές που προκύπτουν από την μοναδιαία υποβάθμιση της πηγής,  $\tau$  είναι ο χρόνος που χρειάζεται για να επεξεργαστούμε μία μονάδα, και  $V^*$  είναι η μέγιστη παρούσα αξία σε αυτό το στάδιο. Αυτός ο τύπος είναι απαραίτητος για τον υπολογισμό των βέλτιστων κατώτατων ορίων εκμετάλλευσης σε συνδυασμό με ένα κατάλληλο οικονομικό μοντέλο.

Μία σημαντική παρατήρηση που πρέπει να κάνουμε σε αυτό το σημείο είναι ότι για την παραγωγή αυτού του τύπου δεν απαιτείται μια συγκεκριμένη αναφορά στα κατώτατα όρια εκμετάλλευσης. Είναι εξίσου σχετική σε οποιαδήποτε βελτιστοποίηση όπου ο στόχος είναι η μεγιστοποίηση της παρούσας αξίας. Το ευκαιριακό κόστος μετρά το αντιστάθμισμα μεταξύ παρουσών και μελλοντικών ροών και ως εκ τούτου θα πρέπει να επηρεάζει οποιοδήποτε σχεδιασμό αποφάσεων οι οποίες θα επιδρούν στο ρυθμό εκμετάλλευσης και στην ζωή των πόρων. Ένα παράδειγμα είναι η ανάκτηση και απόδοση του μύλου. Ωστόσο σε αυτή την εργασία δίνεται έμφαση στον υπολογισμό κατώτατων ορίων εκμετάλλευσης.

### 3. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

Ο σκοπός ενός οικονομικού μοντέλου εκμετάλλευσης είναι να παρέχει ένα μέσο για τον υπολογισμό των επιδράσεων των μεταβολών σε συγκεκριμένες μεταβλητές. Για τους λόγους που αφορούν τη συγκεκριμένη εργασία, είναι αναγκαίο το οικονομικό μοντέλο να είναι σε θέση να υπολογίσει τις επιδράσεις των μεταβολών των ελάχιστων ορίων εκμετάλλευσης, της χωρητικότητας επεξεργασίας, των τιμών και των παραμέτρων κόστους, στις ταμειακές ροές από μια εξορυκτική δραστηριότητα. Τα ορυχεία διαφέρουν με ποικίλους τρόπους και μερικές φορές έχουν μοναδικά χαρακτηριστικά, έτσι τα μοντέλα συχνά πρέπει να τροποποιούνται για να ταιριάζουν στην κάθε περίπτωση. Ωστόσο η δομή της διαδικασίας εξόρυξης είναι παρόμοια στις περισσότερες περιπτώσεις και είναι χρήσιμο στη κατασκευή ενός μοντέλου να μπορούν να γίνονται τροποποιήσεις όταν αυτό κρίνεται απαραίτητο. Υπάρχουν τρία βασικά στοιχεία μιας μεταλλευτικής δραστηριότητας που σχετίζονται με την ικανότητα επεξεργασίας. Αυτά είναι:

1. Μεταλλοφόρο υλικό
2. Μετάλλευμα
3. Ορυκτό

Ο ορισμός των στοιχείων με αυτό το τρόπο είναι θεμελιώδης, αλλά η ερμηνεία των ορισμών διαφέρει για διαφόρους τύπους ορυχείων.

#### 3.1 Μεταλλοφόρο υλικό

Αυτό το συστατικό μπορεί να ονομαστεί το εξορυκτικό στοιχείο. Συνδέεται με τη δημιουργία πρόσβασης στο εσωτερικό ενός μεταλλοφόρου σώματος. Τα κόστη προκύπτουν ανά τόνο μεταλλοφόρου υλικού το οποίο γίνεται διαθέσιμο, και η δυναμικότητα είναι ο μέγιστος ρυθμός με τον οποίο μπορεί να διανοιχτεί το μεταλλοφόρο σώμα.

Σε ένα υπόγειο ορυχείο αυτό το στοιχείο θα έπρεπε κανονικά να ονομάζεται ανάπτυξη. Αποτελείται από στοές, κεκλιμένα κλπ. και το σχηματισμό μετώπων εξόρυξης κατά την προετοιμασία εξαγωγής μεταλλεύματος. Σε ένα υπαίθριο μεταλλείο είναι τα διατρήματα, η εξόρυξη με εκρηκτικές ύλες και η μεταφορά του υλικού από τη στιγμή που υπάρχει πρόσβαση με πλήρη εξόρυξη.

### 3.2 Μετάλλευμα

Αυτό μπορεί να ονομαστεί και στοιχείο επεξεργασίας. Αφορά στην περαιτέρω επεξεργασία του μεταλλοφόρου σώματος το οποίο ορίζεται ως μετάλλευμα. Τα κόστη προκύπτουν ανά τόνο μεταλλεύματος και η χωρητικότητα είναι η μέγιστη δυναμικότητα επεξεργασίας μεταλλεύματος που ο εξοπλισμός μπορεί να επιτύχει. Στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις το μεγαλύτερο μέρος της εξαγωγικής διαδικασίας, το οποίο αναφέρεται συνήθως ως εκμετάλλευση, ανήκει σε αυτό το στοιχείο γιατί συνήθως μόνο το μετάλλευμα εξάγεται. Ότι απομένει από το μεταλλοφόρο σώμα παραμένει στην αρχική του θέση. Η ανέλκυση και ο εμπλουτισμός ανήκουν επίσης στην ίδια κατηγορία. Σε ένα επιφανειακό μεταλλείο ο όρος είναι πιο σαφής. Είναι η διαδικασία μέσω της οποίας περνάει το μετάλλευμα αφού μεταφερθεί από το χώρο εκσκαφής.

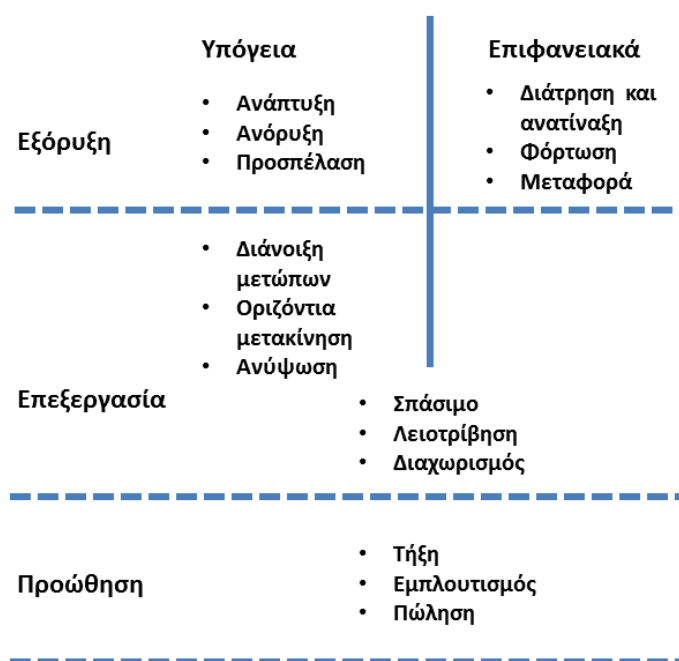
Η μέγιστη δυναμικότητα ενός μεταλλείου αναφέρεται συνήθως ως η δυναμικότητα επεξεργασίας μεταλλεύματος της όλης επιχείρησης. Για παράδειγμα ένα μεταλλείο 3.000 τόνων ανά ημέρα είναι αυτό το οποίο μπορεί να επεξεργαστεί 3.000 τόνους ανά ημέρα. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ότι ο χειρισμός του μεταλλεύματος και ο εμπλουτισμός του είναι τα πιο κοστοβόρα τμήματα μιας μεταλλευτικής εγκατάστασης, και συχνότερα από όλα τα άλλα, είναι ο τελικός περιοριστικός παράγοντας τον εκροών.

### 3.3 Ορυκτό

Μπορεί να ονομαστεί και στοιχείο μάρκετινγκ ωστόσο μπορεί να περιλαμβάνει την διαδικασία τήξης μεταλλεύματος και διύλισης καθώς επίσης και την πώληση. Τα κόστη προκύπτουν ανά μονάδα ορυκτού και η σχετική χωρητικότητα αποτελεί περιορισμό της εκροής ορυκτού. Οι εγκαταστάσεις εμπλουτισμού συχνά επιβάλλουν έναν τέτοιο περιορισμό. Οι αγορές, επίσης, έχουν μερικές φορές ένα τέτοιο ανώτατο όριο. Αυτό το στοιχείο είναι ουσιαστικά το ίδιο για όλους τους τύπους ορυχείων. Το Σχήμα 3.1 συνοψίζει αυτούς τους ορισμούς γραφικά.

Είναι σημαντικό να κατανοήσουμε ότι αυτοί οι ορισμοί των κύριων στοιχείων στη μεταλλευτική έχουν σημαντικές αποκλίσεις από την συνήθη χρήση στην ερμηνεία ορισμένων λέξεων. Ο λόγος γι' αυτό είναι η ανάγκη της ανάπτυξης ενός σταθερού μοντέλου τόσο για υπόγειες όσο και για επιφανειακές εφαρμογές

έτσι ώστε να περιλαμβάνουν την δομή και των τριών στοιχείων. Για παράδειγμα σε μια υπόγεια εκσκαφή η εξόρυξη σε βαθμίδες και η μεταφορά μέσω βαγονέτων θα κατατάσσονταν ως εξόρυξη επειδή είναι υπόγειες δραστηριότητες οι οποίες είναι ευθύνη του τμήματος εξόρυξης. Η ανέλκυση αν και αμφίβολα, χαρακτηρίζεται ως εξόρυξη. Σε αυτή την ανάλυση, όμως, και οι τρεις δραστηριότητες κατατάσσονται ως δραστηριότητες επεξεργασίας επειδή συνδέονται με το μετάλλευμα. Το θέμα είναι ότι υλικό εντός του σώματος μεταλλοφορίας υπόκειται τα κόστη ανάπτυξης μετώπου εξόρυξης, μεταφοράς, και ανύψωσης μόνο όταν κατατάσσεται στην κατηγορία μετάλλευμα. Σε αντίθετη περίπτωση μένει στην αρχική του θέση με αποτέλεσμα να μην επιβαρύνεται με επιπλέον κόστος.



**Σχήμα 3.1:** Τα διάφορα κόστη όπως ταξινομούνται στα τρία στοιχεία στην περίπτωση υπόγειου και υπαίθριου μεταλλείου.

Η λέξη ανάπτυξη συνήθως αναγνωρίζεται ως υπόγεια δραστηριότητα. Αυτή είναι η διαδικασία με την οποία δημιουργούμε πρόσβαση στο μεταλλοφόρο σώμα και γενικά στο υλικό στο οποίο δεν μπορούμε επαρκώς να κάνουμε δειγματοληψία έτσι ώστε να προσδιορίσουμε το βαθμό περιεκτικότητας και να αποφασίσουμε αν

είναι στείρο ή μετάλλευμα μέχρι να προσεγγίσουμε το σώμα μεταλλοφορίας. Ως εκ τούτου οι δαπάνες προκύπτουν ανά μονάδα μεταλλοφόρου υλικού το οποίο έχει διανοιχτεί. Το κόστος της διάνοιξης στοών πρόσβασης μετώπων εξόρυξης, η κλιμακωτή ανόρυξη μεταλλεύματος, και συχνά κάποια κόστη προετοιμασίας των μετώπων είναι επίσης ουσιαστικά κόστη ανάπτυξης. Εδώ ταξινομούνται ως κόστη εξόρυξης για λόγους συνέχειας με της επιφανειακές εφαρμογές.

Σε μια υπαίθρια εκσκαφή, η αποκάλυψη των υπερκείμενων αντικατοπτρίζει το πλησιέστερο ισοδύναμο κόστος ανάπτυξης επειδή υφίσταται μόνο για την απόκτηση πρόσβασης στο μεταλλοφόρο σώμα. Ωστόσο εξετάζοντας το βαθύτερα είναι σαφές ότι όλες οι εξορυκτικές δραστηριότητες έχουν μια λειτουργία προσπέλασης. Ακόμα και όταν το υλικό που αφαιρείται είναι μετάλλευμα η εξαγωγή του παραμένει ουσιώδης έτσι ώστε να φτάσουμε στο υλικό από κάτω του. Το κόστος επεξεργασίας που προκύπτει όταν το υλικό χαρακτηρίζεται ως μετάλλευμα αρχίζει να δημιουργεί περαιτέρω δαπάνες από εκείνες που ήδη προϋπήρχαν λόγω των αγόνων. Ως εκ τούτου όλα τα κόστη εξόρυξης είναι κόστη πρόσβασης εκφρασμένα ανά μονάδα υλικού εντός της εκσκαφής και γι' αυτόν ακριβώς τον λόγο έχει υιοθετηθεί αυτός ο όρος στο συγκεκριμένο κείμενο.

Το μεταλλοφόρο σώμα είναι ένας ακόμα ορισμός ο οποίος απαιτεί προσοχή. Είναι ολόκληρος ο χώρος μέσα στον οποίο σχεδιάζεται η διαδικασία της εξόρυξης. Στην περίπτωση ενός υπαίθριου ορυχείου είναι όλο το υλικό εντός της βέλτιστης εκσκαφής. Σε υπόγειο ορυχείο είναι όλος ο χώρος εντός της αδειοδοτημένης περιοχής στην οποία σχεδιάζεται να επεκταθεί η ανάπτυξη. Ένα μεταλλοφόρο σώμα περιέχει εξ ορισμού μεταλλοφόρο υλικό, αλλά συνήθως ένα μέρος του θα έχει μηδενική περιεκτικότητα - για παράδειγμα τα υπερκείμενα - και μόνο ένα μικρό μέρος του υπόλοιπου υλικού μπορεί να θεωρηθεί ως οικονομικά εκμεταλλεύσιμο και να χαρακτηριστεί ως μετάλλευμα.

Αυτοί οι ορισμοί αναλύθηκαν σε βάθος επειδή αποδείχθηκε ότι υπήρξαν αιτία σύγχυσης. Αρκετοί επαγγελματίες μεταλλευτές γνωρίζουν ποια είναι τα κόστη εξόρυξης από δικούς τους ορισμούς και δεν είναι πρόθυμοι να δεχθούν την ιδέα του ορισμού του κατώτατου όριου εκμετάλλευσης και γι' αυτό σε συγκεκριμένες περιπτώσεις επιμένουν να αναθεωρηθεί η ονομασία τους.



Η σημασιολογία είναι ουσιαστικά το κύριο πρόβλημα. Η ανάπτυξη ενός κατάλληλου μοντέλου κόστους για κάθε ορυχείο απαιτεί μια ειδική μελέτη για τον προσδιορισμό των σταθερών και μεταβλητών στοιχείων που σχετίζονται με τις περιοχές διακύμανσης της περίπτωσης που εξετάζεται. Για τις αναλύσεις του κατώτατου ορίου εκμετάλλευσης, τα μεταβλητά στοιχεία πρέπει να σχετίζονται με τρία βασικά στοιχεία, μεταλλοφόρο υλικό, μέταλλευμα, ορυκτό.

Σε γενικές γραμμές ουσιαστικά υπάρχουν κάποια σταθερά στοιχεία τα οποία αναφέρονται ως εξόρυξη, επεξεργασία ή έξοδα εμπορίας (δαπάνες μαρκετινγκ) και πρέπει να υπολογιστούν, να διαχωριστούν και να αθροιστούν με τα κοινώς αποδεκτά πάγια έξοδα όπως η διαχείριση και τα γενικά έξοδα. Φυσικά ο όρος πάγια έξοδα σε αυτό το κείμενο έχει μια απροσδιόριστη έννοια. Τέτοιου είδους κόστη ποικίλουν με το χρόνο και ονομάζονται πιο σωστά χρονικά κόστη. Ένας βολικός συμβολισμός είναι ο εξής:

Στοιχείο	Εκροή	Βασική Ποσότητα	Μεταβλητά κόστη	Δυναμικότητα
Εξόρυξη	Μεταλλοφόρο υλικό	1	m	M
Επεξεργασία	Ορυκτό	x	h	H
Πρώθηση	Μετάλλευμα	$xyg_m$	k	K

Όπου  $x$  το ποσοστό του μεταλλοφόρου υλικού το οποίο χαρακτηρίζεται ως μέταλλευμα και  $g_m$  η μέση περιεκτικότητα του μεταλλεύματος στο ορυκτό (αναλογία μεταλλεύματος). Άλλες μεταβλητές είναι:

- $g_0$  κατώτατο όριο εκμετάλλευσης που εφαρμόζεται στο μεταλλοφόρο υλικό για να χαρακτηριστεί μέταλλευμα.
- $y$  η απόδοση του ορυκτού στη διαδικασία επεξεργασίας (100 γ %).
- $f$  τα χρονικά κόστη ανά έτος (μερικές φορές προτιμάται ο όρος πάγια έξοδα).
- $p$  τιμή ανά μονάδα ορυκτού.
- $c$  ταμειακές ροές ανά μονάδα μεταλλοφόρου υλικού.
- $\tau$  ο χρόνος που χρειάζεται για να επεξεργαστεί μια μονάδα μεταλλοφόρου υλικού.

Οποιαδήποτε από αυτές τις παραμέτρους μπορεί να μεταβάλλεται από έτος σε έτος και αυτό μπορεί να φαίνεται με το έτος ως κατάληξη. Άλλες καταλήξεις χρησιμοποιούνται επίσης στο κείμενο και η σημασία τους εξαρτάται από τα συμφραζόμενα.

Κάνοντας χρήση του παραπάνω συμβολισμού, οι ταμειακές ροές που προκύπτουν από μια μονάδα μεταλλοφόρου υλικού είναι:

$$c = (p - k)xyg_m - xh - m - ft... (II)$$

Όπου τ είναι ο χρόνος που χρειάστηκε να επεξεργαστεί μια μονάδα. Το τ εξαρτάται από ποιο από τα τρία στοιχεία μιας μεταλλευτικής δραστηριότητας είναι ο περιοριστικός παράγοντας της επεξεργαστικής ικανότητας. Έτσι τρεις υποθέσεις πρέπει να εξεταστούν και αυτό είναι το αντικείμενο του επόμενου κεφαλαίου.

Η ιδιαίτερη σημασία του τύπου (II) οφείλεται στο ότι είναι το απλούστερο μοντέλο το οποίο δείχνει τα βασικά έσοδα και το κόστος κατασκευής μιας εξορυκτικής δραστηριότητας.

Η πολυπλοκότητα προκύπτει συχνά στην πράξη από ερωτήσεις που σχετίζονται με την κατανομή του κόστους κεφαλαίου, και το χειρισμό των εσωτερικών επιβαρύνσεων και τιμών διακίνησης. Δεν υπάρχουν γενικά απλές απαντήσεις σε τέτοιου είδους ερωτήσεις. Όπως έχει αναφερθεί, σκοπό έχει να παρέχει ένα μέσο για τον υπολογισμό των αλλαγών σε ορισμένες μεταβλητές και όχι για να ικανοποιήσουμε οποιουδήποτε λογιστικούς κανόνες ή διοικητικούς στόχους.

Για παράδειγμα το κεφάλαιο αντικατάστασης για ένα στόλο φορτηγών σχετίζεται καθαρά με το επίπεδο των διακινήσεων υλικών σε ένα μεταλλείο. Ως εκ τούτου είναι πιο ρεαλιστικό να το ενσωματώσουμε στο εξορυκτικό κόστος ανά τόνο υπολογίζοντας μια ισοδύναμη ετήσια δαπάνη και προϋπολογίζοντας την σύμφωνα με τις ετήσιες χωρητικότητες.

Ένα άλλο παράδειγμα είναι μια εσωτερική χρέωση του χυτηρίου. Εάν ισχύει ότι μια αύξηση της παραγωγής εμπλουτισμένου υλικού θα μπορούσε να μετατοπίσει υλικό από αλλού όπου η χρέωση θα μπορούσε να επιβληθεί, τότε η επιβολή της χρέωσης είναι ρεαλιστική. Σε διαφορετική περίπτωση είναι τεχνητή.

Υπάρχουν πολλές παραλλαγές για τα θέματα αυτά οι οποίες πρέπει να αντιμετωπίζονται με βάση την σημασία τους. Ο στόχος σε κάθε εφαρμογή θα πρέπει να είναι η ανάπτυξη ενός μοντέλου το οποίο να είναι προσαρμοσμένο στο υπό μελέτη ορυχείο.

## 4. ΠΕΡΙΟΡΙΣΤΙΚΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΑΤΩΤΑΤΑ ΟΡΙΑ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ

Έχοντας καταλήξει σε μια έκφραση που πρέπει να μεγιστοποιηθεί για να λάβουμε μια βέλτιστη στρατηγική λειτουργίας για μια επιχείρηση με πεπερασμένους πόρους (I), και έχοντας καταλήξει σε μια εξίσωση που σχετίζει ταμειακές ροές με εκμεταλλεύσιμα όρια περιεκτικότητας για ένα μεταλλείο (II), μπορούμε πλέον να συνδυάσουμε αυτά τα δύο και να αποδώσουμε έναν τύπο καθορισμού βέλτιστων ορίων περιεκτικότητας. Αυτός ο τύπος είναι:

$$\text{MAX}g\{(p-k)xyg_m-xh-m-ft-\tau(\delta V^*-dV^*/dT)\}$$

$$\text{ή } \text{MAX}g\{(p-k)xyg_m-xh-m-(f+F)\tau\}$$

Στο εξής η παραπάνω έκφραση θα συμβολίζεται με  $v$ .

$$\text{δηλαδή } v = (p-k)xyg_m-xh-m-(f+F)\tau \dots \text{(III)}$$

Αντιστοιχεί με το  $dV^*/dR$ , ο ρυθμός με τον οποίο η παρούσα αξία αλλάζει σε σχέση με τις αλλαγές στο  $R$  (τον διαθέσιμο πόρο).

Σε αυτόν τον τύπο το  $x$  είναι το μέταλλευμα σε αναλογία με το μεταλλοφόρο υλικό, και το  $g_m$  η μέση περιεκτικότητα που είναι άμεσα εξαρτημένη από το κατώτατο όριο εκμεταλλευσιμότητας  $g_0$ . Ο χρόνος  $\tau$  εξαρτάται έμμεσα από το  $g_0$  (κατώτατο όριο εκμετάλλευσης), και πρέπει να μελετηθούν τρεις περιπτώσεις σε σχέση με την δυναμικότητα η οποία ουσιαστικά είναι ο περιορισμός της παραγωγής. Οι τρεις περιπτώσεις μας οδηγούν σε τρία βέλτιστα κατώτατα όρια εκμεταλλευσιμότητας τα οποία ονομάζονται περιοριστικά οικονομικά κατώτατα όρια εκμετάλλευσης.

Η εξεταζόμενη περίπτωση αφορά ένα μεσαίου μεγέθους ανοιχτής εκσκαφής μεταλλείο ουρανίου. Για ευκολία τα στοιχεία δίνονται παρακάτω:

**Πίνακας 4.1:** Δεδομένα παραδείγματος.

Μεταβλητό κόστος εξόρυξης	\$1.32 /τόνο υλικού (m)
Μεταβλητό κόστος επεξεργασίας	\$3.41/τόνο μεταλλεύματος (h)
Δυναμικότητα μεταλλείου	\$12.000.000 τόνοι/έτος (M)
Δυναμικότητα επεξεργασίας	3.900.000 τόνοι/έτος (H)
Δυνατότητα προώθησης στην αγορά	9.000 τόνοι/έτος (K)
Πάγια έξοδα	\$11.900.000/έτος (f)
Καθαρή τιμή κόστους προώθησης	\$60 ανά κιλό (p)
Ανάκτηση	0.87 (y)
Εκτιμώμενο κόστος ευκαιρίας	\$15.200.000 (F)

#### 4.1 Ρυθμός παραγωγής μεταλλείου

Όταν ο συντελεστής της εξόρυξης ( $O/P$ ) ή ο συντελεστής της ανάπτυξης ( $U/G$ ) περιορίζουν την ικανότητα επεξεργασίας, η αντίστοιχη δυναμικότητα είναι  $M$  μονάδες ανά έτος, έτσι ο χρόνος για να χειριστούμε μια μονάδα είναι  $1/M$ . Επομένως ο τύπος που προκύπτει είναι

$$\text{MAX}_g \{ V_m = (p-k)xyg_m - xh - m - (f+F)/M \}$$

Μόνο οι όροι  $(p-k)xyg_m - xh$  ποικίλουν με το  $g$  ώστε το  $g_M$ , το βέλτιστο κατώτατο όριο εκμεταλλευσιμότητας με το περιορισμό του μεταλλείου δίνεται παρακάτω

$$\text{MAX}_g \{ x[(p-k)yg_m - h] \}$$

Όπου  $g_m$  και  $x$  μπορούν να αντιπροσωπευθούν από ολοκληρώματα της συνάρτησης κατανομής περιεκτικότητας και του μέγιστου που προσδιορίζεται μαθηματικά. Ωστόσο είναι πιθανό να παρατηρήσουμε ότι το  $g$  μπορεί να μειώνεται για όσο το  $(p-k)yg$  είναι μεγαλύτερο από το  $h$  και αυτό επειδή ο τύπος είναι της μορφής  $x\{(p-k)yg_m - h\}$ . Έτσι το νεκρό σημείο εκμετάλλευσης δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$(p-k)yg_M = h$$

$$\text{ή } g_M = h/(p-k)y.$$

Αυτή είναι ουσιαστικά η ίδια ιδέα του νεκρού σημείου εκμετάλλευσης που χρησιμοποιείται και σε άλλους προσδιορισμούς του κατώτατου ορίου

εκμετάλλευσης. Το μεταλλοφόρο υλικό θα πρέπει να χαρακτηρίζεται ως μετάλλευμα για όσο η έμμεση αξία του,  $(p-k)yg$ , ξεπερνά το κόστος της περαιτέρω επεξεργασίας  $h$ .

Υπάρχουν δύο σημαντικά χαρακτηριστικά του τύπου  $g_M$ . Αρχικά αυτό σημαίνει ότι η έμμεση αξία του μεταλλοφόρου υλικού πρέπει να καλύψει μόνο το μεταβλητό κόστος επεξεργασίας (μετά από τις προβλεπόμενες αποζημιώσεις από το κόστος μάρκετινγκ,  $k$ ). Το χρονικό κόστος δεν σχετίζεται ούτε με την ανάπτυξη ούτε με το μεταλλευτικό κόστος και αυτό επειδή ο τύπος βασίζεται στην παραδοχή ότι η απόφαση για τη συνέχιση της λειτουργίας πέρα από τον τρέχοντα χρονικό ορίζοντα έχει ήδη ληφθεί. Εάν όχι, ισχύουν άλλα κριτήρια.

Κατά δεύτερο λόγο, δεν περιλαμβάνει οποιαδήποτε αναφορά σε παρούσες αξίες. Αυτό σημαίνει ότι ένα μεταλλείο που περιορίζεται από την δυναμικότητα εξόρυξης ή ανάπτυξης κατά αυτό τον τρόπο, θα πρέπει να λειτουργεί σε τακτική και όχι στρατηγική βάση. Δεν μπορούμε να εξισορροπήσουμε τις μελλοντικές ζημιές με τωρινά κέρδη έτσι ώστε να μεταβάλουμε τωρινές πολιτικές.

Για παράδειγμα, σε μία τακτική βάση, εάν η τιμή του ορυκτού αλλάξει ομοίως θα πρέπει να αλλάξει και το κατώτατο όριο εκμετάλλευσης και κατά τον τρόπο που θεωρήθηκε παράλογος νωρίτερα, δηλαδή όσο αυξάνεται η τιμή θα πρέπει να μειώνεται η περιεκτικότητα. Δεν υπάρχει κάτι παράλογο σε αυτή την περίπτωση, επειδή μια χαμηλότερη περιεκτικότητα αυξάνει την μερίδα του μεταλλοφόρου υλικού που χαρακτηρίζεται ως μετάλλευμα και κατ' επέκταση του συνολικού ορυκτού που παράγεται. Δεν υπάρχει περιορισμός στην χωρητικότητα εμπλουτισμού για να περιοριστεί η παραγωγή του επιπλέον ορυκτού. Ως εκ τούτου η παραγωγή αυξάνεται όσο αυξάνονται και οι τιμές. Αντικαθιστώντας τα δεδομένα που παρουσιάζονται παραπάνω:

$$g_M = 3.41/60 * 0.87$$

$$= 0.07 \text{ kilo/tonne}$$

Το κατώτατο όριο των 0.07 kilo/tonne είναι πολύ χαμηλό. Αυτό προκύπτει γιατί εάν η εξόρυξη περιορίζει, το εργοστάσιο εμπλουτισμού και η αγορά θα έχουν έλλειψη παραγωγής οπότε οτιδήποτε διαθέσιμο μπορεί να ταξινομηθεί ως μέταλλευμα.

#### 4.2 Ρυθμός παραγωγής εργοστασίου

Είναι η συνήθης περίπτωση όπου οι βοηθητικές εγκαταστάσεις ή η μονάδα εμπλουτισμού περιορίζουν την παραγωγή. Σε αυτή την περίπτωση, μια μονάδα μεταλλοφόρου υλικού δίνει  $x$  μονάδες μεταλλεύματος και αυτές απαιτούν  $x/H$  μονάδες χρόνου για την επεξεργασία τους. Ως εκ τούτου  $t=x/H$  και αυτό οδηγεί στον τύπο

$$\text{MAX}_g\{V_h = (p-k)xyg_m - xh - m - (f+F) x/H\}$$

Ακολουθώντας την ίδια λογική όπως προηγουμένως αυτό ισοδυναμεί με

$$\text{MAX}_g\{x[(p-k)yg_m - h - (f+F) x/H]\}$$

Και το  $g_h$  δίνεται από την εξίσωση

$$(p-k)yg_h = h + (f+F) / H$$

$$\text{ή } g_h = \{h + (f+F) / H\} / (p-k)y$$

Αυτό δείχνει ότι ο όρος της παρούσας αξίας  $F = \delta V^* - dV^*/dT$ , εμφανίζεται ως ένα επιπλέον χρονικό κόστος.

Αυτός ο τύπος διαφέρει αρκετά από οποιοδήποτε κλασικό τύπο λόγω της ύπαρξης του όρου  $F$  ο οποίος μπορεί να είναι πολύ σημαντικός. Ας προσέξουμε πως καθώς μειώνεται το κατώτατο όριο εκμετάλλευσης ομοίως μειώνεται και το  $F$ , το οποίο συμβαίνει συνήθως καθώς το μεταλλείο γερνάει. Αυτό είναι το χαρακτηριστικό βέλτιστων κατώτατων ορίων εκμετάλλευσης που καθορίζονται από την παρούσα θεωρία. Αντικαθιστώντας τα δεδομένα που παρουσιάζονται παραπάνω

$$g_h = (3.41 + (11.9 + 15.2) / 3.9) / 60 \times 0.87 = 0.2 \text{ kilo/tonne}$$

Αυτό είναι ένα αρκετά μεγαλύτερο κατώτατο όριο εκμετάλλευσης το οποίο λαμβάνεται όταν ο ρυθμός παραγωγής του μεταλλείου περιορίζεται. Χωρίς το ευκαιριακό κόστος, ( $F=15.2$ ) ο τύπος είναι

$$g = \{3.41+11.90/3.9\} / 60 \times 0.87=0.12 \text{ kilo/tonne}$$

Αυτός ο τύπος είναι παρόμοιος με αυτούς που προέρχονται από τις αναλύσεις κατώτατου όριο εκμετάλλευσης οι οποίοι δεν λαμβάνουν υπόψη την μεγιστοποίηση της παρούσας αξίας. Η διαφορά απεικονίζει την υπερτίμηση που συνδέεται με τις προηγούμενες ταμειακές ροές τότε που μόνο οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας περιορίζουν τον ρυθμό παραγωγής.

### 4.3 Ρυθμός πώλησης προϊόντος

Μπορεί να είναι ένας πραγματικός περιορισμός της αγοράς που επιβάλλεται από μια αποκλειστική σύμβασή πώλησης ή μπορεί να είναι η περιοριστική χωρητικότητα μιας μονάδας επεξεργασίας ή ενός χυτηρίου. Μια μονάδα μεταλλοφόρου υλικού δημιουργεί  $xyg_m$  μονάδες υλικού οι οποίες απαιτούν  $xyg_m/K$  μονάδες χρόνου για επεξεργασία ή πώληση. Έτσι ο τύπος βελτιστοποίησης γίνεται:

$$\text{MAX}_g \{V_k = (p-k)xyg_m - xh - m - (f+F) xyg_m/K\}$$

Όπως προηγουμένως αυτός ο τύπος είναι ισοδύναμος με:

$$\text{MAX}_g \{x[(p-k - (f+F)/K) yg_m - h]\}$$

Και το  $g_k$  δίνεται από

$$\{p-k-(f+F)/K\} yg_k = h$$

ή

$$g_k = h / \{p-k-(f+F)/K\}y$$



Το κοινό που έχουν αυτός και ο προηγούμενος τύπος είναι ότι τα πάγια έξοδα διανέμονται σύμφωνα με την περιοριστική χωρητικότητα και προστίθενται στο αντίστοιχο μεταβλητό κόστος. Δηλαδή, στην περίπτωση του ρυθμού παραγωγής εργοστασίου το κόστος παραγωγής εκφράζεται από τη σχέση:

$$h + (f+F)/H$$

και για την περίπτωση του ρυθμού προώθησης αγοράς, το κόστος προώθησης είναι:

$$k + (f+F)/K$$

Ο τελευταίος τύπος είναι καινοτόμος σε μορφή αλλά διαθέτει τα ίδια χαρακτηριστικά στα οποία καθώς μειώνεται το κατώτατο όριο εκμετάλλευσης ομοίως μειώνεται και το  $F$  για όσο η ζωή του μεταλλείου μικραίνει.

Εφαρμόζοντας αυτόν τον τύπο σε ένα μεταλλείο ουρανίου με τα δεδομένα που δόθηκαν προηγουμένως έχουμε:

$$g_k = 3,41 / \{60 - (11,9 + 15,2) / 0,9\} \times 0,87 = 0.13 \text{ kilo/tonne}$$

Το χαμηλότερο ποσοστό είναι αποτέλεσμα του γεγονότος ότι εάν περιοριστεί ο ρυθμός προώθησης του προϊόντος, περιορίζεται και ο βαθμός με τον οποίο επηρεάζονται οι ταμειακές ροές από τη πολιτική κατώτατου ορίου εκμετάλλευσης.

Για επεξηγηματικούς σκοπούς, η ίδια τιμή ευκαιριακού κόστους έχει χρησιμοποιηθεί και στις τρεις περιπτώσεις. Αυτό είναι κάπως τεχνητό επειδή και στις τρεις υποθέσεις στις οποίες το στοιχείο περιορίζει την ικανότητα επεξεργασίας θα δημιουργούσε τρία διαφορετικά αποτελέσματα με αντιστοίχως διαφορετικά ευκαιριακά κόστη εάν αυτά εφαρμοζόντουσαν κατά την διάρκεια της λειτουργίας. Ωστόσο, τα 15,2 εκ. δολάρια που προήλθαν από προηγούμενη μελέτη (Lane, 1988), είναι μια τυπική τιμή για ένα μεταλλείο τέτοιου είδους και η χρήση αυτής μας δίνει

αποτελέσματα τα οποία είναι ρεαλιστικά και συγκρίσιμα. Αποκαλύπτουν τα προφανή αποτελέσματα των χωρητικότητων στον καθορισμό των κατώτατων ορίων εκμετάλλευσης.

Κανένας από αυτούς τους τύπους δεν έχει άμεση αναφορά στις περιεκτικότητες του υλικού που πραγματικά υπάρχει μέσα στο μεταλλοφόρο σώμα, όπως δεν κάνουν και άλλοι τύποι που αφορούν το νεκρό σημείο. Το κατώτατο όριο εκμετάλλευσης υπολογίζεται με αναφορά μόνο στα κόστη, τις τιμές, και τις δυναμικότητες ανεξάρτητα από τον τρόπο που τα όρια ποικίλουν εντός του μεταλλοφόρου σώματος του οποίου εξορύσσεται.

Αυτό το χαρακτηριστικό αν και είναι ευρέως αποδεκτό από την βιομηχανία δεν είναι και τόσο προφανώς πιθανό. Σίγουρα, το κατώτατο όριο εκμετάλλευσης θα πρέπει να εξαρτάται από την κατανομή της περιεκτικότητας του μεταλλοφόρου σώματος που είναι υπό εξέταση; Σε γενικές γραμμές η απάντηση είναι ναι και ο τρόπος με τον οποίο η κατανομή της περιεκτικότητας της μεταλλοφορίας επηρεάζει τα βέλτιστα κατώτατα όρια εκμετάλλευσης είναι το θέμα του επόμενου κεφαλαίου. Ωστόσο στη συγκεκριμένη περίπτωση όπου μόνο ένα στοιχείο ενός εξορυκτικού συστήματος περιορίζει την παραγωγή, είναι γεγονός ότι η πραγματική κατανομή της περιεκτικότητας δεν σχετίζεται άμεσα.

Η εφαρμογή αυτών των περιοριστικών οικονομικών τύπων κατώτατων ορίων εκμετάλλευσης παρουσιάζεται στις πρώτες τρεις μελέτες σκοπιμότητας του Lane (1988).

Μια πολύ σημαντική επιφύλαξη σχετικά με τη χρήση αυτών των τύπων και εφαρμογών οποιοδήποτε άλλων νεκρών σημείων είναι ότι εφαρμόζονται σε πραγματικές περιεκτικότητες όπως απαντώνται μέσα στο έδαφος. Δεν είναι απαραίτητα πανομοιότυπες με αυτές που μετρούνται για την υπολογισμό του κατώτατου ορίου εκμετάλλευσης. Είναι μια κοινή παραδοχή αλλά τελικά δεν είναι έγκυρη. Για παράδειγμα, ο έλεγχος της ποιότητας μπορεί να αποτελείται από ένα ορυκτό ωστόσο η αξία του μεταλλεύματος να αποτελεί σύνθεση διαφόρων ορυκτών. Μπορεί επίσης να υπάρχουν και σημαντικά σφάλματα στη μέτρηση της περιεκτικότητας. Και τα δύο μπορούν να προκαλέσουν αποκλίσεις μεταξύ του θεωρητικού ορίου (σε σχέση με το μέταλλο και το στείρο που δίνεται από τον

τύπο του νεκρού σημείου) και του πραγματικού διαχωρισμού που επιτυγχάνεται στην πράξη με την χρήση της περιεκτικότητας του κατώτατου νεκρού σημείου ως ένα λειτουργικό κατώτατο όριο εκμετάλλευσης. Υπό αυτές τις συνθήκες το λειτουργικό κατώτατο όριο εκμετάλλευσης ονομάζεται *παραμετρικό κατώτατο όριο* επειδή σχετίζεται έμμεσα με το πραγματικό όριο. Ο περιορισμός των κατώτατων ορίων εκμετάλλευσης οικονομικά υπάρχει ακόμα και πρέπει να υπολογίζεται με προσοχή.

Μια άλλη επιφύλαξη είναι ότι οι τύποι εξαρτώνται από την Εξίσωση (II). Ένα διαφορετικό μοντέλο μας δίνει μια διαφορετική εξίσωση η οποία θα καθορίζει τα μέγιστα από διαφορετικούς τύπους. Οι τύποι θα πρέπει να προέρχονται ειδικά για κάθε περίπτωση. Αν αυτό αποδειχθεί δύσκολο λόγω της μορφής της εξίσωσης τα μέγιστα μπορούν να βρεθούν από μια διαδικασία αναζήτησης. Αυτή η πιθανότητα αναφέρεται σε διάφορα κείμενα και από τον Lane (1988).

## 5. ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΩΤΑΤΑ ΟΡΙΑ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Στο προηγούμενο κεφάλαιο, οι περιπτώσεις που εξετάστηκαν αφορούσαν ένα στοιχείο που περιορίζει τον ρυθμό παραγωγής ενός μεταλλευτικού συστήματος. Σε αυτή την περίπτωση το βέλτιστο κατώτατο όριο εκμετάλλευσης καθορίζεται μόνο από οικονομικούς παράγοντες και ονομάζεται περιοριστικό κατώτατο όριο εκμετάλλευσης. Σε γενικές γραμμές όπως και σε ένα οποιοδήποτε σύστημα με διάφορα στοιχεία κανένα στοιχείο από μόνο του δεν ευθύνεται για τον περιορισμό. Σε αυτές της περιπτώσεις δύο ή και τα τρία στοιχεία είναι σε ισορροπία.

Οι παράγοντες οι οποίοι καθορίζουν την αξιοποίηση των δυνατοτήτων ενός μεταλλευτικού συστήματος είναι ο βαθμός κατανομής του υλικού το οποίο εξορύσσεται και το κατώτατο όριο εκμεταλευσιμότητας που εφαρμόζεται στο εξορυχθέν υλικό.

Ένα χαμηλό κατώτατο όριο εκμετάλλευσης συνεπάγεται πως το περισσότερο υλικό το οποίο είναι διαθέσιμο χαρακτηρίζεται ως μετάλλευμα. Η ανάκτηση του ορυκτού από το μεταλλοφόρο σώμα είναι μεγάλη επειδή μια πολύ μικρή μερίδα αυτού χαρακτηρίζεται ως στείρο αλλά η μέση περιεκτικότητα του μεταλλεύματος είναι χαμηλή. Ως εκ τούτου, το ποσοστό του μεταλλεύματος που παίρνουμε από μια εκσκαφή είναι υψηλό, η παραγωγή του υλικού από την συγκεκριμένη χωρητικότητα επεξεργασίας μεταλλεύματος είναι χαμηλή.

Ένα υψηλό ποσοστό κατώτατου ορίου εκμετάλλευσης οδηγεί σε υψηλή επιλεκτικότητα στην εκμετάλλευση η οποία απαιτεί έναν υψηλό ρυθμό ανάπτυξης έτσι ώστε να διατηρήσει ένα συγκεκριμένο όριο τροφοδοσίας μεταλλεύματος. Η ανάκτηση του ορυκτού είναι σχετικά χαμηλή επειδή τα χαμηλότερα όρια της μεταλλοφορίας χαρακτηρίζονται ως στείρα και η μέση περιεκτικότητα μεταλλεύματος είναι υψηλή έτσι ώστε η παραγωγή του ορυκτού από την συγκεκριμένη χωρητικότητα επεξεργασίας είναι υψηλή.

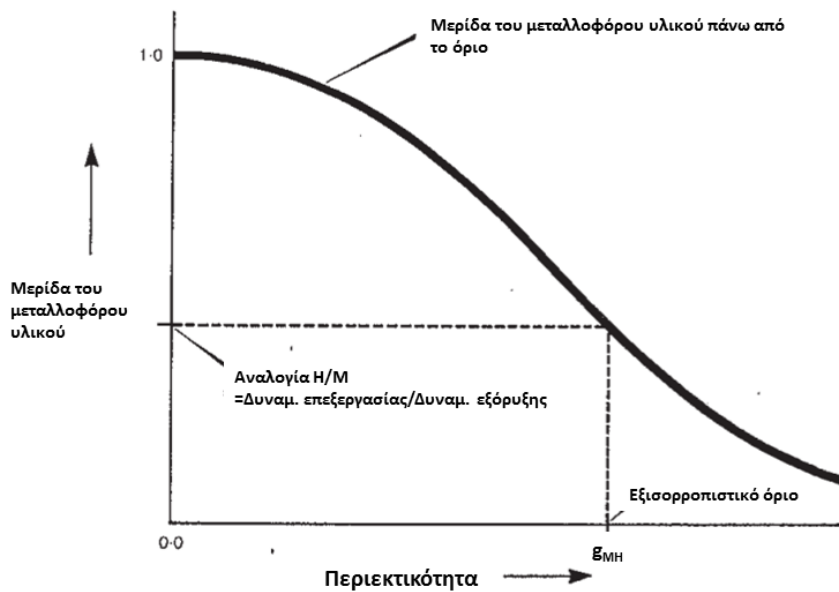
Τα ενδιάμεσα κατώτατα όρια εκμετάλλευσης συνεπάγονται ενδιάμεσες θέσεις, και γενικά υπάρχουν τιμές στις οποίες οι χωρητικότητες αξιοποιούνται πλήρως κατά ζεύγη. Αυτές ονομάζονται εξισορροπιστικά κατώτατα όρια περιεκτικότητας.

Οι υφιστάμενες χωρητικότητες του μεταλλευτικού συστήματος περιορίζουν έτσι το εύρος των πιθανών κατώτατων ορίων εκμετάλλευσης και επομένως καθορίζουν την επιλογή τους. Για να δούμε πιο καθαρά το πως συμβαίνει αυτό, η ιδέα της εξισορρόπησης του κατώτατου ορίου εκμετάλλευσης πρέπει να εξεταστεί λίγο πιο αναλυτικά.

Η πιο απλή επεξήγηση αυτής της έννοιας παρέχεται από την λειτουργία μιας ανοιχτής εκσκαφής που βασίζεται σε ένα διάσπαρτο μεταλλοφόρο σώμα. Το μεταλλοφόρο υλικό θα αποτελείται από ένα εύρος ποιοτήτων οι οποίες, στην πράξη, θα έχουν εκτιμηθεί για κάποια μεταλλευτική φάση της εκμετάλλευσης καλύπτοντας τουλάχιστον αρκετές βδομάδες πριν με την διαδικασία δειγματοληψίας, πιθανώς δειγματοληψία με διατρήματα. Μια ποιοτική κατανομή μπορεί να κατασκευαστεί για την δειγματοληψία του υλικού από τον υπολογισμό των ποσοστών που υπερβαίνουν ένα εύρος ορίων ποιότητας. Το αποτέλεσμα είναι μια γραφική παράσταση που ονομάζεται, Αθροιστική Κατανομή Ποιότητας, η οποία έχει το σχήμα του γραφήματος στο Σχήμα 5.1. Προφανώς, το 100% του υλικού υπερβαίνει ποιοτικά το μηδέν αλλά το ποσοστό αυτό μειώνεται σταθερά όταν αυξάνουμε τα όρια της περιεκτικότητας του μεταλλεύματος.

Μία ανοιχτή εκσκαφή έχει μια μέγιστη δυναμικότητα στην μετακίνηση υλικού που εξαρτάται από το μέγεθος του στόλου των φορτηγών και των αριθμό των εκσκαφών και γεωτρήσεων. Ας θεωρήσουμε  $M$  μονάδες ανά έτος. Ομοίως η εγκατάσταση επεξεργασίας έχει μια μέγιστη χωρητικότητα για τον χειρισμό του μεταλλεύματος, και συμβολίζεται με  $H$  μονάδες ανά έτος. Αυτά τα δύο στοιχεία ως εκ τούτου θα ισορροπήσουν όταν η ποσότητα του μεταλλεύματος που προκύπτει από την ποσότητα του μεταλλοφόρου υλικού είναι σε αναλογία  $H : M$ . Με άλλα λόγια, η αναλογία μεταλλεύματος/υλικού είναι  $H/M$ .

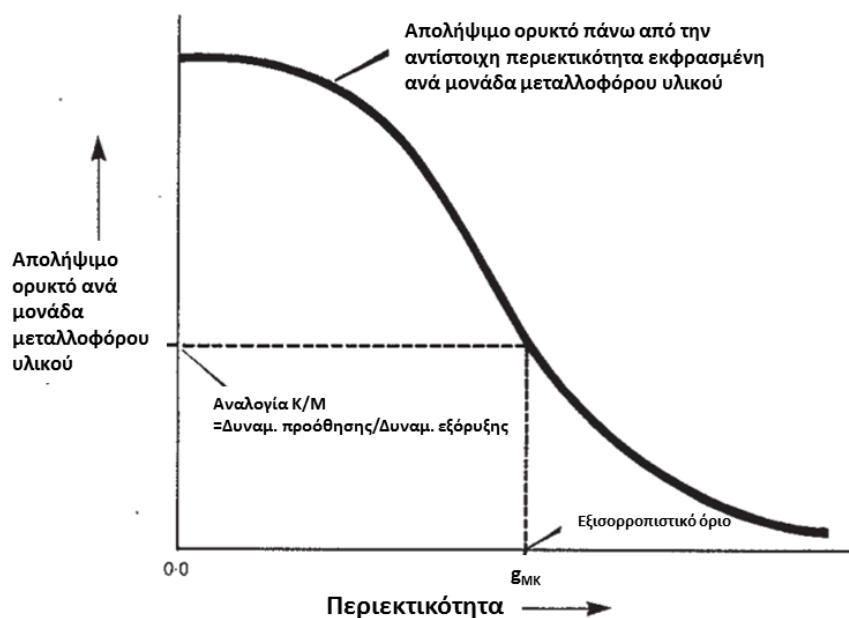
Κοιτώντας το γράφημα αθροιστικής κατανομής, επειδή μειώνεται σταθερά θα πρέπει να υπάρχει ένα σημείο στο οποίο το ποσοστό του μεταλλοφόρου υλικού πάνω από την αντίστοιχη ποιότητα εξισορροπεί την αναλογία  $H/M$ . Η ποιότητα σε αυτό το σημείο ονομάζεται εξισορροπιστικό κατώτατο όριο εκμετάλλευσης,  $g_{MH}$ , επειδή λειτουργώντας σε αυτό το όριο διατηρούνται και τα δύο στοιχεία ταυτόχρονα στη μέγιστη χωρητικότητα. Αυτό φαίνεται στο Σχήμα 5.1.



**Σχήμα 5.1:** Διάγραμμα αθροιστικής κατανομής ποιότητας μιας φάσης εκμετάλλευσης.

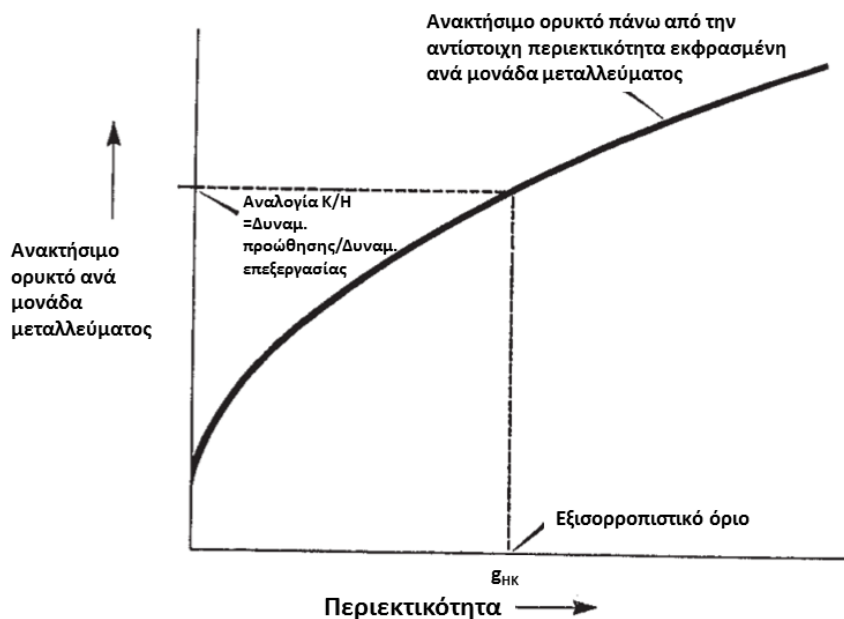
Τα ίδια αποτελέσματα των δειγμάτων επιτρέπουν των υπολογισμό όχι μόνο των μερίδων του μεταλλοφόρου υλικού πάνω από ένα εύρος ορίων περιεκτικότητας αλλά επίσης και του περιεχόμενου απολήψιμου ορυκτού από αυτές τις ποσότητες. Αυτό το γράφημα έχει παρόμοια μορφή με αυτήν στο Σχήμα 5.2. Και σε αυτήν την περίπτωση το γράφημα μειώνεται συνεχώς επειδή εντός μιας ορισμένης ποσότητας μεταλλοφόρου υλικού, όσο αυξάνεται το όριο της περιεκτικότητας τόσο λιγότερο υλικό την ξεπερνάει. (Το συνολικό περιεχόμενο σε ορυκτό υλικό δεν πρέπει να συγχέεται με τη μέση περιεκτικότητα του υλικού αυτού. Αυτή θα αυξάνεται όσο θα αυξάνεται και το όριο της περιεκτικότητας). Εάν η ικανότητα προώθησης προϊόντων είναι  $K$  μονάδες ανά έτος τότε η προώθηση προϊόντων και η εξόρυξη θα εξισορροπήσουν όταν το απολήψιμο υλικό ανά μονάδα εξόρυξης θα ισούται με την αναλογία  $K/M$ . Αυτό είναι ένα κατώτατο όριο εκμετάλλευσής το οποίο εξισορροπεί

την εξόρυξη/ικανότητα προώθησης προϊόντος  $g_{MK}$  το οποίο φαίνεται και στο Σχήμα 5.2.



**Σχήμα 5.2:** Απολήψιμο υλικό ανά μονάδα μεταλλοφόρου υλικού ως συνάρτηση του ορίου περιεκτικότητας.

Το γράφημα της αναλογίας της περιεκτικότητας του υλικού σε σχέση με την ποσοστό του μεταλλοφόρου υλικού που είναι πάνω από τα όρια περιεκτικότητας είναι ουσιαστικά ένα γράφημα μέσων περιεκτικότητας τροφοδοσίας. Η διαφορά εντοπίζεται στην ενσωμάτωση ενός συντελεστή ανάκτησης. Σε αυτή την περίπτωση όπως προαναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο το γράφημα αυξάνεται σταθερά όπως στο Σχήμα 5.3. Όταν στο γράφημα επιτυγχάνεται η αναλογία  $K/H$  τότε η μονάδα επεξεργασίας και η ικανότητα προώθησης προϊόντος βρίσκεται σε ισορροπία και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το αντίστοιχο όριο στο οποίο συμβαίνει αυτό να είναι το εξισορροπιστικό κατώτατο όριο εκμετάλλευσης της μονάδας επεξεργασίας/ικανότητα διάθεσης προϊόντος  $g_{KH}$ .



**Σχήμα 5.3:** Απολήψιμο υλικό ανά μονάδα μεταλλεύματος ως συνάρτηση του ορίου περιεκτικότητας.

Ο προσδιορισμός των εξισορροπιστικών κατώτατων ορίων εκμετάλλευσης στη συγκεκριμένη περίπτωση επιτυγχάνεται καλύτερα στη πράξη συντάσσοντας έναν πίνακα των δεδομένων της κατανομής των περιεκτικοτήτων για τον συγκεκριμένο σχεδιασμό μεταλλείου αυξάνοντας και επεκτείνοντας τον σε στήλες αναλογιών και αθροιστικές τιμές. Τα σημεία εξισορρόπησης μπορούν να βρεθούν με έλεγχο.

Τα ορυχεία τα οποία λειτουργούν με περισσότερα από ένα στοιχεία είναι ο κανόνας παρά η εξαίρεση. Αρκετοί διαχειριστές μεταλλείων κατανοούν ότι η αδράνεια της λειτουργίας κοστίζει, γι' αυτό και κάνουν ότι μπορούν για να εκμεταλλευτούν τη μέγιστη δυναμικότητα. Εάν αυτό αποδειχθεί δύσκολο με την πάροδο του χρόνου, προετοιμάζονται και εφαρμόζονται προτάσεις επέκτασης της



δυναμικότητας λόγω των πλεονεκτημάτων που προκύπτουν από την εξάλειψη ενός σημείου συμφόρησης με οριακό κόστος κεφαλαίου.

Ο ρόλος του κατώτατου ορίου εκμετάλλευσης ως παράμετρος εξισορρόπησης είναι κατανοητός αλλά όχι συνήθως αποδεκτός. Το κατώτατο όριο εκμετάλλευσης θεωρείται δικαίως ως μια στρατηγική παράμετρος και αυτό έχει σαν συνέπεια η διοίκηση να είναι απρόθυμη να το χρησιμοποιήσει για πρακτικούς λόγους. Αντιθέτως οι μελέτες επαναλαμβάνονται περιλαμβάνοντας ή εξαιρώντας το οριακό μέταλλευμα όπως απαιτείται μέχρι να υπάρξει μια ικανοποιητική ισορροπία. Αυτό ισοδυναμεί με το να αλλάζουμε το κατώτατο όριο εκμετάλλευσης ακόμα και όταν δεν το αναγνωρίζουμε ως παράμετρο.

Τα εξισορροπιστικά κατώτατα όρια εκμετάλλευσης είναι στοιχεία και στρατηγικής και τακτικής. Η στρατηγική είναι το μέσο επίπεδο το οποίο επιτυγχάνει μια ισορροπία μακροπρόθεσμα ενώ η τακτική αφορά εβδομαδιαίες ή μηνιαίες αλλαγές οι οποίες είναι απαραίτητες για το μεταλλοφόρο υλικό το οποίο είναι έτοιμο για εξόρυξη. Μία λειτουργία του μεταλλευτικού σχεδιασμού είναι η ανάπτυξη πλάνων τα οποία εξομαλύνουν τέτοιες βραχυπρόθεσμες μεταβολές προς όφελος της αποδοτικής λειτουργίας ενός μεταλλείου, όμως τα μεταλλοφόρα σώματα δεν είναι πάντα ομοιογενή. Με άλλα λόγια τα εξισορροπιστικά κατώτατα όρια εκμετάλλευσης είναι δυναμικές παράμετροι οι οποίοι εξαρτώνται από την κατανομή περιεκτικότητας του μεταλλοφόρου υλικού το οποίο είναι διαθέσιμο για εξόρυξη σε οποιοδήποτε σημείο ή χρόνο.

## 6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΑ ΒΕΛΤΙΣΤΑ ΚΑΤΩΤΑΤΑ ΟΡΙΑ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ

Η αναζήτηση για ένα βέλτιστο όριο έχει οδηγήσει σε μια πληθώρα κατώτατων ορίων εκμετάλλευσης (έξι για την ακρίβεια). Υπάρχουν τρία περιοριστικά οικονομικά κατώτατα όρια εκμετάλλευσης και τρία εξισοροπιστικά κατώτατα όρια εκμετάλλευσης αντίστοιχα στα τρία πιθανά ζευγάρια των περιοριστικών στοιχείων ενός μεταλλευτικού συστήματος.

Η πληθώρα των διεκδικητών για τον τίτλο του αποτελεσματικού βέλτιστου ορίου είναι το αποτέλεσμα της μορφής του οικονομικού μοντέλου. Έτσι δημιουργούνται έξι διαφορετικές περιπτώσεις αλλά μόνο μια από αυτές είναι εφικτή κάτω από οποιοσδήποτε συνθήκες λειτουργίας. Συχνά η εφικτή λύση προκύπτει από την δομή της εφαρμογής αλλά δεν συμβαίνει πάντα αυτό, και γι' αυτό μια διαδικασία αναγνώρισης της σωστής μεθόδου είναι απαραίτητη.

Ο καλύτερος τρόπος για να εξετάσουμε την συσχέτιση των έξι κατώτατων ορίων εκμετάλλευσης είναι να υπολογίσουμε την μεταβλητή  $v$  που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 4. Αυτή η μεταβλητή  $v$  είναι στην ουσία ο ρυθμός μεταβολής του  $V^*$ , σε σχέση με τη χρήση των πόρων ( $dV/dR$ ) (δηλαδή η βέλτιστη παρούσα αξία). Με άλλα λόγια είναι η προσαύξηση της παρούσας αξίας ανά μονάδα χρησιμοποιούμενων πόρων. Πρέπει να μεγιστοποιηθεί έτσι ώστε να καθοριστεί το βέλτιστο κατώτατο όριο εκμετάλλευσης. Ο τύπος είναι :

$$v=(p-k)xyg_m-xh-m-(f+F)\tau$$

η  $v$  παίρνει τρεις μορφές ανάλογα με την ορίζουσα του  $\tau$

$$v_m=(p-k)xyg_m-xh-m-(f+F)/M$$

$$v_h=(p-k)xyg_m-x\{h + (f+F)/H\}-m$$

$$v_k=\{p-k-(f+F)/K\}xyg_m-xh-m$$

Οι γραφικές παραστάσεις των τριών μορφών του  $v$  ως συνάρτηση των κατώτατων ορίων εκμετάλλευσης,  $g$ , είναι παρόμοιες. Το υψηλότερο σημείο της καμπύλης είναι το μέγιστο. Αυτό το σημείο αντιστοιχεί στο περιοριστικό οικονομικό κατώτατο

όριο εκμετάλλευσης για το υπό εξέταση στοιχείο. Αυτό φαίνεται στο Σχήμα 6.1. Αν συγχωνευτούν τα διαγράμματα για δύο τύπους του  $\nu$ , τότε η εικόνα που προκύπτει είναι αυτή του Σχήματος 6.2. Οι δύο καμπύλες στην συγκεκριμένη περίπτωση αντιστοιχούν στην εξόρυξη ή στο εργοστάσιο επεξεργασίας. Η τομή των δύο καμπύλων δίνεται από:

$$V_m = V_H$$

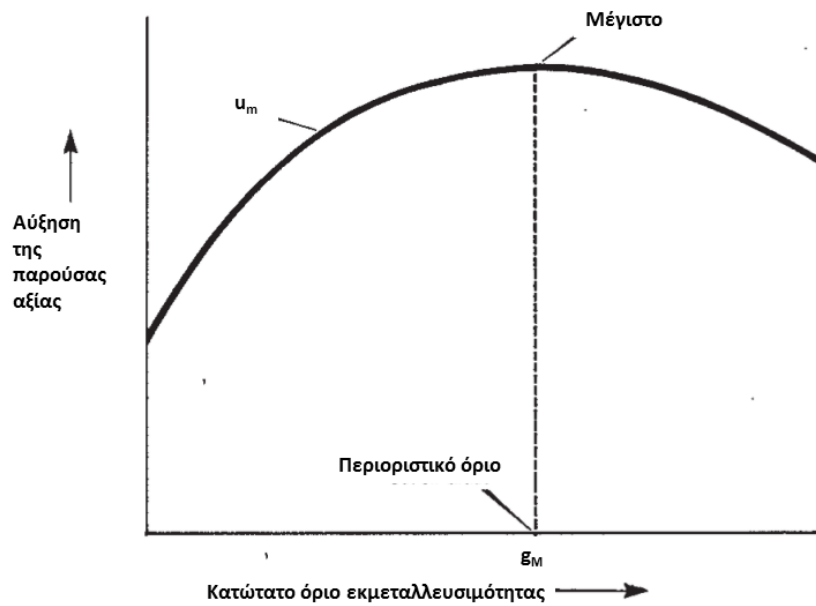
το οποίο ανάγετε σε

$$x = H/M$$

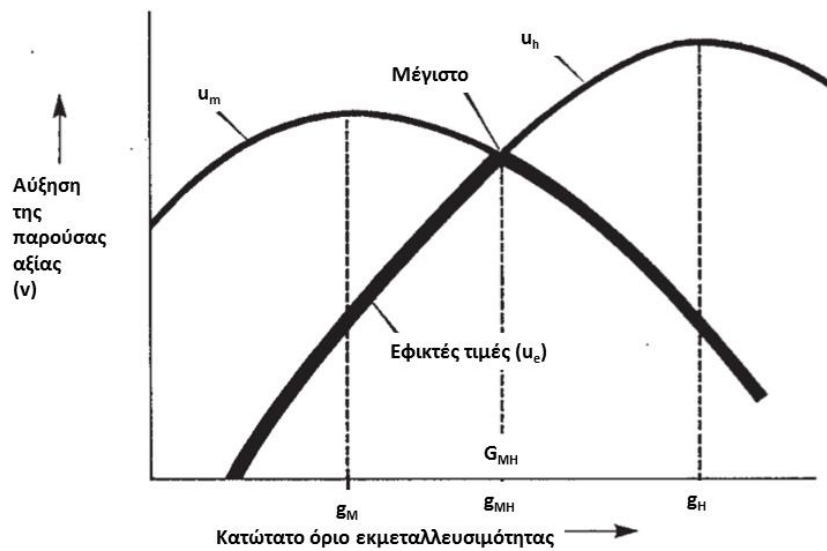
Αυτό σημαίνει ότι στο σημείο τομής αντιστοιχεί το εξισορροπιστικό κατώτατο όριο εκμετάλλευσης,  $g_{MH}$ . Από τον τύπο είναι εύκολα κατανοητό για τιμές κατώτατου ορίου μικρότερες από το  $g_{MH}$  ότι υπάρχει περιορισμός του υλικού επεξεργασίας και για τιμές πάνω από το  $g_{MH}$  υπάρχει περιορισμός για το υλικό εξόρυξης. Με άλλα λόγια, η εφικτή μορφή για το  $\nu$  σε οποιοδήποτε κατώτατο όριο εκμετάλλευσης είναι πάντοτε χαμηλότερη από της δύο καμπύλες και αυτό αποδίδεται από την έντονη γραμμή του Σχήματος 6.2. Η μέγιστη εφικτή τιμή στο διάγραμμα είναι στο σημείο τομής,  $g_{MH}$ . Ωστόσο δεν ισχύει πάντα αυτό και θα πρέπει να εξεταστούν δύο άλλες περιπτώσεις. Αυτές παρουσιάζονται γραφικά για καλύτερη κατανόηση στο Σχήμα 6.3 και 6.4.

Το Σχήμα 6.3 δείχνει ότι όταν το εξισορροπιστικό κατώτατο όριο εκμετάλλευσης  $g_{MH}$  είναι μικρότερο από το  $g_M$  τότε η εξόρυξη είναι ο περιοριστικός παράγοντας της λειτουργίας και το  $g_M$  είναι το βέλτιστο κατώτατο όριο εκμετάλλευσης. Απ' την άλλη μεριά, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.4 όταν το  $g_{MH}$  είναι μεγαλύτερο του  $g_H$  τότε το εργοστάσιο επεξεργασίας είναι ο περιοριστικός παράγοντας και το  $g_H$  είναι το βέλτιστο κατώτατο όριο εκμετάλλευσης.

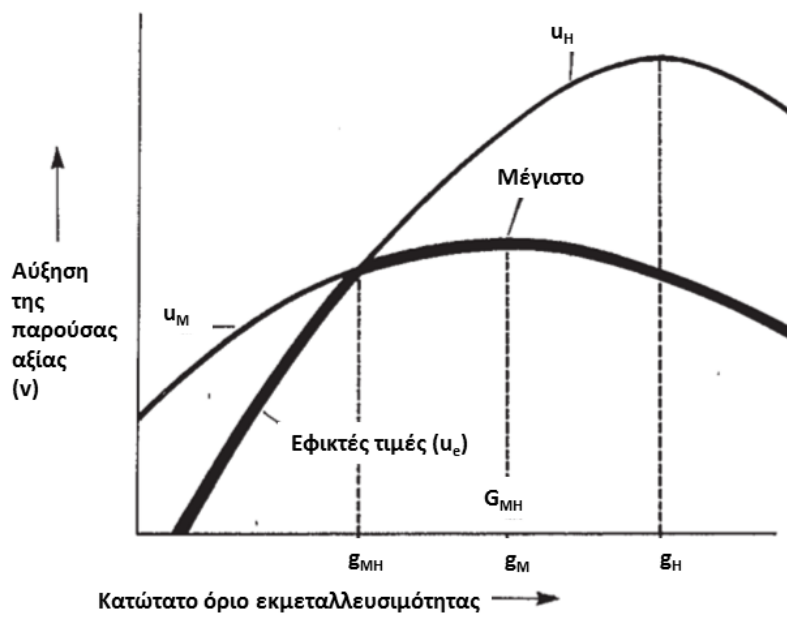
Έτσι μπορεί να σχηματιστεί ο εξής κανόνας για μία περιορισμένη λειτουργία ενός μεταλλείου ή μονάδας επεξεργασίας. Το αποτελεσματικό βέλτιστο κατώτατο όριο εκμετάλλευσης ονομάζεται  $G_{MH}$ .



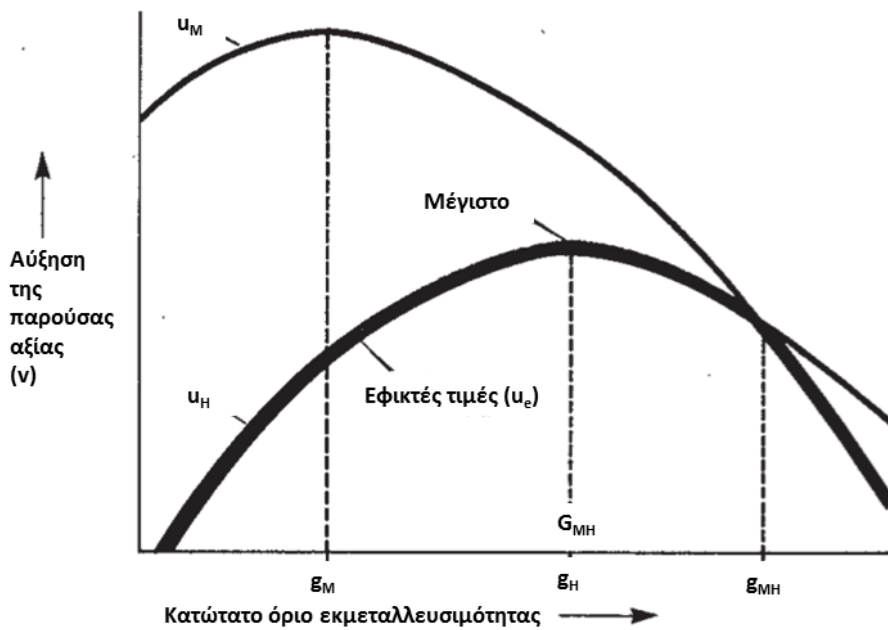
**Σχήμα 6.1:** Αύξηση της παρούσας αξίας ως προς το όριο περιεκτικότητας μοναδικού στοιχείου (M). Περιοριστικό βέλτιστο.



**Σχήμα 6.2:** Αύξηση της παρούσας αξίας ως προς το όριο περιεκτικότητας δύο στοιχείων (M & H). Εξισορροπιστικό βέλτιστο.



**Σχήμα 6.3:** Αύξηση της παρούσας αξίας ως προς το όριο περιεκτικότητας δύο στοιχείων (M & H). Περιοριστικό βέλτιστο ως προς M.



**Σχήμα 6.4:** Αύξηση της παρούσας αξίας ως προς το όριο περιεκτικότητας δύο στοιχείων (M & H). Περιοριστικό βέλτιστο ως προς H.

Μεταλλείο και Μονάδα Επεξεργασίας

$$\begin{aligned}G_{MH} &= g_M \text{ αν } g_{MH} < g_M \\ &= g_H \text{ αν } g_{MH} > g_H \\ &= g_{MH} \text{ διαφορετικά}\end{aligned}$$

Ομοίως εξετάζοντας τα υπόλοιπα ζεύγη των φάσεων

Μεταλλείο και Αγορά

$$\begin{aligned}G_{MK} &= g_M \text{ αν } g_{MK} < g_M \\ &= g_K \text{ αν } g_{MK} > g_K \\ &= g_{MK} \text{ διαφορετικά}\end{aligned}$$

Μονάδα Επεξεργασίας και Αγορά

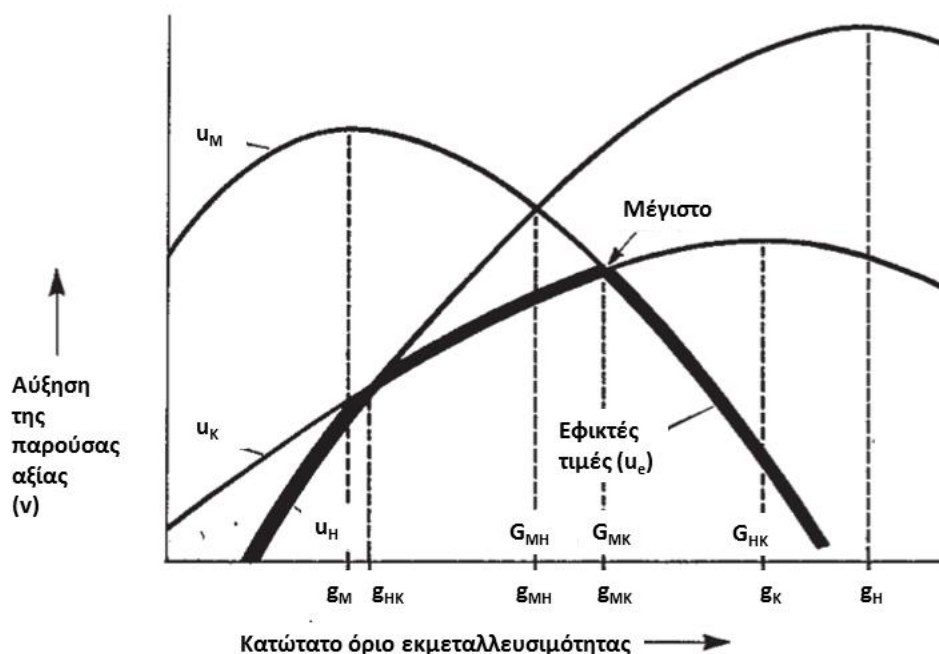
$$\begin{aligned}G_{HK} &= g_K \text{ αν } g_{HK} < g_K \\ &= g_H \text{ αν } g_{HK} > g_H \\ &= g_{HK} \text{ διαφορετικά}\end{aligned}$$

Το συνολικό αποτελεσματικό βέλτιστο κατώτατο όριο εκμετάλλευσης είναι το ένα από  $G_{MH}$ ,  $G_{MK}$ ,  $G_{HK}$ . Το σημείο μπορεί να απεικονισθεί γραφικά στο Σχήμα 6.5.

Η μεγαλύτερη αύξηση της παρούσας αξίας που μπορεί να επιτευχθεί σε οποιοδήποτε κατώτατο όριο εκμετάλλευσης, που να λαμβάνει υπόψη τους περιορισμούς δυναμικότητας, είναι στην πραγματικότητα το ελάχιστο από τα  $v_M$ ,  $v_K$ ,  $v_H$ . Αυτό αποδίδεται από τα τρία καμπύλα τμήματα που φαίνονται με έντονη γραμμή στο Σχήμα 6.5. Το βέλτιστο κατώτατο όριο εκμετάλλευσης αντιστοιχεί στο υψηλότερο σημείο αυτών των τμημάτων και μπορεί να δειχθεί ότι πάντα βρίσκεται στη μεσαία τιμή των  $G_{MH}$ ,  $G_{MK}$ ,  $G_{HK}$ .

Δηλαδή. Αποτελεσματικό Βέλτιστο Κατώτατο Όριο Εκμετάλλευσης  $G$

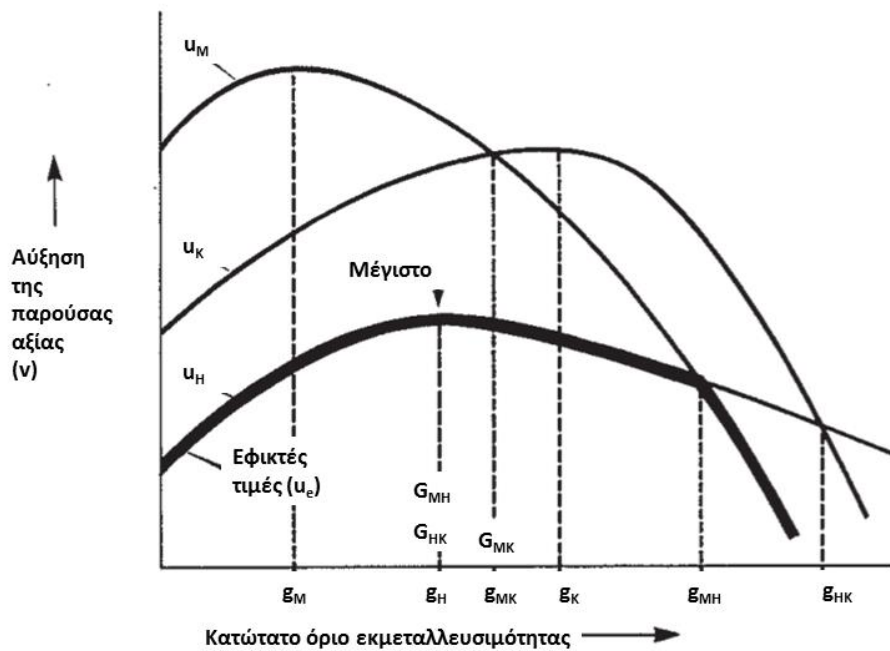
$$= \text{μεσαία τιμή } (G_{MH}, G_{MK}, G_{HK}).$$



**Σχήμα 6.5:** Αύξηση της παρούσας αξίας ως προς το όριο περιεκτικότητας τριών στοιχείων. Ξεχωριστά Μέγιστα Ζευγών.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση του Σχήματος 6.5 αυτό συμβαίνει στο σημείο  $G_{MK}$ . Επιπλέον η αύξηση που σχετίζεται με την παρούσα αξία  $v$  είναι πάντοτε μικρότερη από της υπόλοιπες 3 αυξήσεις οι οποίες είναι πιθανές εξετάζοντας τα στάδια σε ζεύγη. Το τελευταίο αποτέλεσμα είναι προφανές - δεν είναι δυνατή η επιβολή ενός τρίτου περιορισμού στην βελτίωση της ικανότητας επεξεργασίας. Το προηγούμενο αποτέλεσμα γίνεται εμφανές απαριθμώντας τις πιθανότητες.

Το υψηλότερο σημείο το τριών τμημάτων δεν χρειάζεται να είναι ένα σημείο πάνω στις κορυφές όπως στο διάγραμμα. Ανάλογα με την σχετική θέση των τριών καμπύλων παρούσας αξίας μπορεί να είναι ένα από τα μέγιστα σημεία στο  $g_M$ ,  $g_K$ ,  $g_H$ . Κάτω από αυτές τις συνθήκες η συνολική ικανότητα επεξεργασίας περιορίζεται μόνο σε ένα στάδιο και σε δύο τιμές που σχετίζονται με το  $G_{MH}$ ,  $G_{MK}$ ,  $G_{HK}$ . Στο Σχήμα 6.6 απεικονίζει αυτές τις θέσεις. Επομένως συμπίπτουν τα  $G_{MH}$  και  $G_{HK}$  στο  $g_H$ . Αυτό είναι πραγματικά το βέλτιστο και η μονάδα επεξεργασίας από μόνη της περιορίζει την ικανότητα επεξεργασίας.



**Σχήμα 6.6:** Αύξηση της παρούσας αξίας ως προς το όριο περιεκτικότητας τριών στοιχείων. Σύμπτωση Δύο Μέγιστων Ζευγών.

Η μέθοδος που προσδιόρισε πρώτα τον οικονομικό περιορισμό των κατώτατων ορίων εκμετάλλευσης και μετέπειτα το εξισορροπιστικό κατώτατο όριο εκμετάλλευσης για να προκύψει ένα βέλτιστο κατώτατο όριο εκμετάλλευσης έχει περιγραφεί σε λεπτομέρεια επειδή μας δίνει μία εικόνα για το πως οι συντελεστές επηρεάζουν την λειτουργία. Άλλες πιο άμεσες μέθοδοι μπορούν να εμπλακούν και μερικές φορές είναι απαραίτητο όταν τα μέγιστα των οικονομικών μοντέλων δεν μπορούν να προσδιοριστούν με απλά μέσα.



## **7. ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΠΛΗΡΟΥΣ ΚΑΤΩΤΑΤΟΥ ΟΡΙΟΥ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ**

Τα κεφάλαια 4 έως 6 ασχολήθηκαν με τον υπολογισμό του βέλτιστου κατώτατου ορίου εκμετάλλευσης σε ένα μόνο σημείο. Αυτό το κεφάλαιο ασχολείται με τον υπολογισμό μίας αλληλουχίας κατώτατων ορίων εκμετάλλευσης για παρατεταμένη περίοδο. Αυτό αποτελεί τον ορισμό μιας πολιτικής βέλτιστου κατώτατου ορίου εκμετάλλευσης.

Ουσιαστικά δεν αναλύεται καμιά νέα ιδέα σε αυτό το κεφάλαιο. Οποιοδήποτε κατώτατο όριο εκμετάλλευσης στην ακολουθία είναι ένα βέλτιστο κατώτατο όριο εκμετάλλευσης υπολογισμένο σύμφωνα με τις αρχές που αναλύσαμε προηγουμένως. Ωστόσο, θα πρέπει τα όρια αυτά να έχουν μια συνέχεια ως προς τη λογική που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 2 - οι αντίστοιχες ετήσιες ταμειακές ροές και οι σχετιζόμενες ακολουθίες των παρουσών τιμών θα πρέπει να συμμορφώνονται σε ένα κοινό ορισμό των παρουσών αξιών κατά την διάρκεια μιας ολόκληρης περιόδου.

Σύμφωνα με την ορολογία του κεφαλαίου 2, μία πολιτική βέλτιστου κατώτατου ορίου αντιστοιχεί σε μια ολοκληρωμένη βέλτιστη στρατηγική εκμετάλλευσης για το μεταλλοφόρο σώμα. Το πρόβλημα έγκειται στην εύρεση μιας διαδρομής εκμετάλλευσης κατά μήκος της οποίας η σχετική ακολουθία παρουσών αξιών μαζί με μία δοσμένη τελική αξία γίνεται δυνατή. Αυτή τότε αποτελεί τη βέλτιστη διαδρομή εκμετάλλευσης και οι παρούσες αξίες σε κάθε στάδιο κατά μήκος της είναι οι μέγιστες.

Συνήθως η περίοδος για την οποία η πολιτική χρειάζεται να καθοριστεί είναι η εναπομείνουσα ζωή του μεταλλείου. Στην συγκεκριμένη περίπτωση η τελική παρούσα αξία είναι μηδέν. Είναι δυνατό να προσδιορίσουμε την πολιτική για μία μικρότερη περίοδο αλλά, σε τέτοιες περιπτώσεις, μια τελική παρούσα αξία θα πρέπει να καθοριστεί για το υλικό που θα μείνει μετά το τέλος της λειτουργίας. Ο λόγος για τον οποίο γίνεται αυτό είναι ότι η διαδικασία της βελτιστοποίησης μεγιστοποιεί τις παρούσες αξίες για ένα συγκεκριμένο επίπεδο πόρων, και οι εξισώσεις μεγιστοποίησης υποχρεωτικά ενσωματώνουν μία τιμή που σχετίζεται με

την συνέχιση της λειτουργίας βασισμένη σε οποιοδήποτε υλικό έχει απομείνει μετά την εξόφληση της συγκεκριμένης φάσης εκμετάλλευσης που εξετάζεται.

Προφανώς για τον υπολογισμό μιας ακολουθίας βέλτιστων κατώτατων ορίων εκμετάλλευσης απαιτείται μια βάση δεδομένων που να δίνει πληροφορίες για όλη την περίοδο. Αυτή περιλαμβάνει τις ετήσιες προβλέψεις των οικονομικών παραμέτρων.

Το κύριο πρόβλημα στο υπολογισμό της πολιτικής κατώτατου ορίου εκμετάλλευσης εν' αντιθέσει με το απλό βέλτιστο βαθμό κατώτατου ορίου εκμετάλλευσης είναι στο πότε και πως να ξεκινήσουμε. Μία δελεαστική προσέγγιση είναι η δημιουργία της πολιτικής αντίστροφα. Ξεκινώντας με την τελική αξία, μπορεί να υπολογιστεί ένα βέλτιστο όριο - ως εκ τούτου και μία ταμειακή ροή για το τελευταίο έτος, και από αυτόν τον συνδυασμό με την τελική αξία, μία παρούσα αξία για το προτελευταίο έτος. Αυτό το διάγραμμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το προτελευταίο έτος και η παρούσα αξία μπορεί να υπολογιστεί για δυο έτη πριν το κλείσιμο του μεταλλείου και ούτω καθεξής.

Ωστόσο, υπάρχει μια δυσκολία με αυτή την προσέγγιση. Η πολιτική κατώτατου ορίου επηρεάζει τον ρυθμό της προόδου στο μεταλλοφόρο σώμα. Μέχρι να καθοριστεί η πολιτική ο χρόνος τερματισμού είναι άγνωστος. Η δυσκολία μπορεί να ξεπεραστεί λαμβάνοντας μια σειρά ετών τερματισμού, αλλά μάλλον είναι πιο λογικό να ξεκινήσουμε από την αρχή.

Το πρόβλημα σ' αυτή την περίπτωση είναι πώς θα ξεκινήσουμε, επειδή τα αρχικά επίπεδα των παρούσων αξιών είναι άγνωστα. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να ξεπεραστεί με μια επαναλαμβανόμενη μαθηματική διαδικασία. Τα αρχικά επίπεδα θεωρούνται ότι είναι μία πολιτική που υπολογίζεται και οι παρούσες αξίες στη λήξη της λειτουργίας του μεταλλείου συγκρίνονται με της καθορισμένες τελικές αξίες. Ανάλογα με την διαφορά, τα αρχικά επίπεδα τροποποιούνται και μια νέα πολιτική υπολογίζεται. Αυτός είναι ένας τύπος προσεγγιστικής μαθηματικής πρακτικής όπου η διεύθυνση εύρεσης λύσης ορίζεται από τα αρχικά επίπεδα των παρούσων αξιών και τροποποιείται προοδευτικά μέχρι η λύση που προκύπτει να φτάσει κοντά στον στόχο.

Και εδώ προκύπτει η επιπλοκή από την απαίτηση να ακολουθήσουμε δύο συνέχειες των παρούσων αξιών. Όπως φαίνεται και στο κεφάλαιο 2, ο τύπος προσδιορισμού βέλτιστης στρατηγικής σε κάθε επίπεδο ενσωματώνεται στον όρο του ευκαιριακού κόστους.

$$F = \delta V^* - dV^*/dT$$

$dV^*/dT$  είναι ο ρυθμός μεταβολής των παρούσων αξιών με τον χρόνο και μια εκτίμηση με τον χρόνο είναι η διαφορά μεταξύ της παρούσας αξίας ένα έτος μπροστά και της παρούσας αξίας τώρα με την ίδια ποσότητα μεταλλεύματος που απομένει. Αυτό έχει σαν συνέπεια, να πρέπει να θεωρηθούν δύο αρχικά επίπεδα και να ακολουθηθούν σε δύο παράλληλα ρεύματα.

Αφαιρώντας του αστερίσκους, καθώς μόνο στην τελική επανάληψη οι παρούσες αξίες είναι οι βέλτιστες, ορίζουμε το  $V_i$  να είναι η παρούσα αξία στην αρχή του έτους  $i$  και  $W_i$  η παρούσα αξία για το ίδιο μέταλλευμα που παραμένει στο τέλος του έτους  $i$ . Ωστε:

$$(dV/dT)_i = W_i - V_i$$

$$\text{Και } F_i = \delta V_i - (dV/dT)_i = \delta V_i + V_i - W_i$$

Χρησιμοποιώντας αυτή την τιμή  $F_i$ , οι οικονομικές παράμετροι για την περίοδο  $i$  και οι περιεκτικότητες του αποθέματος για την αντίστοιχη φάση εκμετάλλευσης, το αποτελεσματικά βέλτιστο κατώτατο όριο εκμετάλλευσης  $g_i$  μπορεί να καθοριστεί, και οι αντίστοιχες ταμειακές ροές  $C_i$  να υπολογιστούν από τον τύπο:

$$C_i = \{ (p_i - k_i)x_i y_i g_{mi} - x_i h_i - m_i \} r_i - f_i$$

όπου  $r_i$  είναι πόροι που καταναλώνονται.

Περιστασιακά όγκος των αποθεμάτων μιας φάσης εκμετάλλευσης εξαντλείται κατά την διάρκεια του έτους έτσι ώστε μια άλλη να ξεκινήσει για το

υπόλοιπο του έτους. Σε τέτοιες περιπτώσεις οι ταμειακές ροές είναι ένα μείγμα δύο στοιχείων που υπολογίζονται ξεχωριστά για δύο διαφορετικές μονάδες πληθυσμού και μοιράζονται κατά αναλογία σύμφωνα με τον χρόνο που η κάθε μονάδα πληθυσμού έχει εξορυχθεί. Τότε η επόμενη παρούσα αξία στην ακολουθία μπορεί να υπολογιστεί προσθέτοντας τόκο στο κόστος του κεφαλαίου αφαιρώντας τις αναλήψεις.

$$V_{i+1} = (1+\delta)V_i - C_i$$

Ο υπολογισμός για την ακολουθία  $W$  είναι παρόμοιος, με την μόνη διαφορά ότι χρησιμοποιούνται οι οικονομικές παράμετροι για το έτος που θα ακολουθήσει. Μία τιμή για το  $W_{i+1}$  για να δημιουργήσει την κατάλληλη εκτίμηση για το  $F$

$$F'_{i+1} = \delta W_i + V_{i+1} - W_{i+1}$$

δεν είναι διαθέσιμη αλλά το  $V_i - W_i$  μπορεί να δοθεί σαν μια πρώτη εκτίμηση του  $V_{i+1} - W_{i+1}$  και από μία άλλη εσωτερική επανάληψη που εκτελείται για να συγκλίνει στο  $W_{i+1}$  μέσω του αντίστοιχου τύπου του  $W$

$$W_{i+1} = (1+\delta)W_i - C'_{i+1}$$

όπου οι πρώτοι αριθμοί αναφέρονται στην ακολουθία  $W$ .

Για να κρατήσουμε τις αλληλουχίες  $V$  και  $W$  παράλληλες θα πρέπει το  $W_{i+1}$  να αντιστοιχεί στους εναπομείναντες πόρους όπως το  $V_{i+1}$ . Μπορεί να μην είναι έτσι, όμως, στον υπολογισμό της προηγούμενης παραγράφου εξαιτίας των διαφορετικών οικονομικών παραμέτρων και ως εκ τούτου των διαφορετικών βέλτιστων περιεκτικότητων. Πρέπει επομένως να εφαρμοστεί μία διόρθωση. Μία απλή παραδοχή είναι ότι η αλληλουχία  $W$  μεταβάλλεται με τον ίδιο ρυθμό όσο αναφορά με τον πόρο που καταναλώνεται όπως στην ακολουθία  $V$  για το προηγούμενο έτος. Αυτό μας δίνει την εξής διόρθωση:

$$(V_{i+1} - W_i) \frac{(r_{i+1} - r'_{i+1})}{(r_{i+1} - r_i)}$$

Όπου όπως προηγουμένως το  $r$  είναι ο πόρος που καταναλώνεται κατά την διάρκεια του έτους. Ο τροποποιημένος τύπος για το  $W_{i+1}$  γίνεται

$$W_{i+1} = (1+\delta)W_i - C'_{i+1} + (V_{i+1}-W_i)(r_{i+1} - r'_{i+1}) / (r_{i+1} - r_i)$$

Αυτός ο βρόγχος συγκλίνει σε μια σταθερή τιμή για το  $W_{i+1}$  στις περισσότερες περιπτώσεις.

Το τέλος ενός υπολογισμού πολιτικής επιτυγχάνεται όταν ο πόρος έχει εξαντληθεί ή όταν έχει παραμείνει μια καθορισμένη ποσότητα. Σε αυτό το σημείο και οι δύο ακολουθίες  $W$  και  $V$  θα πρέπει να είναι κοντά στο μηδέν σε μία καθορισμένη τελική αξία. Αν όχι τα αρχικά επίπεδα  $W_1$  και  $V_1$  θα πρέπει να τροποποιηθούν και να επαναληφθεί ολόκληρος ο υπολογισμός. Η διαδικασία για μια ολοκληρωμένη επανάληψη απεικονίζεται γραφικά στο Σχήμα 7.1.

Το ερώτημα για το πιο κατάλληλο τύπο σύγκλισης είναι πολύπλοκο και εξαρτάται από την συμπεριφορά του υποκείμενου μοντέλου και τη σχετική σημασία της ταχύτητας και της αντοχής (έλλειψη ευαισθησίας στις παραδοχές και τα μικρά σφάλματα). Ωστόσο, εφαρμόζοντας τα υποτιμημένα υπόλοιπα είναι συνήθως αποτελεσματικό.

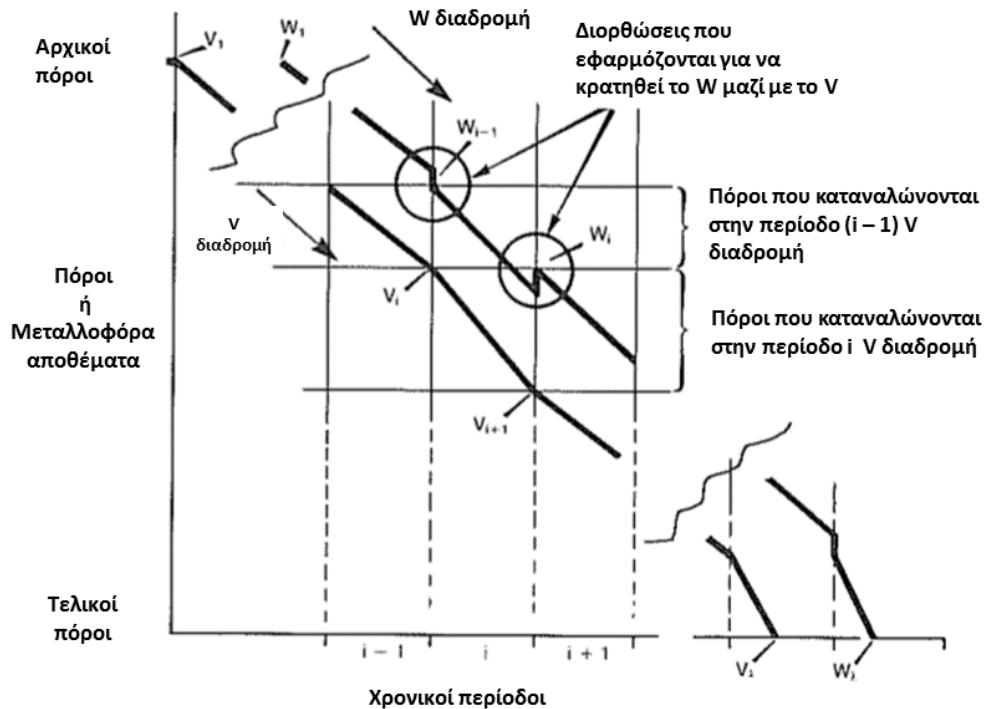
Αν οι παρούσες αξίες με τη λήξη είναι  $V_\lambda$  και  $W_\lambda$  τα αντίστοιχα υπόλοιπα είναι:

$$V_\lambda - \Gamma \text{ και } W_\lambda - \Gamma$$

Όπου  $\Gamma$  είναι η τελική αξία. Αν η αντίστοιχη ζωή του μεταλλείου είναι  $\lambda$  έτσι τότε τα υποτιμημένα υπόλοιπα είναι:

$$(V_\lambda - \Gamma) / (1+\delta)^\lambda \text{ και } (W_\lambda - \Gamma) / (1+\delta)^\lambda$$

Αυτές οι εκφράσεις είναι έγκυρες, ακόμη και για τμηματικά έτη που συμπεριλαμβάνονται στο  $\lambda$ . Αφαιρώντας τα  $V1$  και  $W1$  αντίστοιχα μας δίνει καινούρια αρχικά επίπεδα για μία άλλη εκδοχή.



**Σχήμα 7.1:** Γραφική απόδοση μιας μοναδικής επανάληψης βέλτιστης πολιτικής.

Αυτός ο υπολογισμός μπορεί να είναι σύνθετος και χρονοβόρος και γι' αυτό είναι καλύτερα να γίνεται σε υπολογιστή. Έχει ενσωματωθεί στο τμήμα Cutoff Grade Optimiser (COG) του πακέτου μεταλλευτικού σχεδιασμού Vulcan 3D Software το οποίο χρησιμοποιήθηκε στο παράδειγμα εφαρμογής που δίνεται στο κεφάλαιο 9.

## 8. ΑΠΟΘΕΣΗ ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΟΣ ΕΝΔΙΑΜΕΣΩΝ ΠΟΙΟΤΗΤΩΝ

Ένα βέλτιστο κατώτατο όριο εκμεταλλευσιμότητας συνήθως υποδηλώνει μία γενική πτώση στα κατώτατα όρια κατά την διάρκεια της ζωής του μεταλλείου - συνήθως ως αποτέλεσμα της μείωσης της παρούσας αξίας του. Αυτό το φαινόμενο έχει σαν επίπτωση οι περιεκτικότητες οι οποίες δεν θεωρούνταν εκμεταλλεύσιμες τα προηγούμενα χρόνια να θεωρούνται εκμεταλλεύσιμες αργότερα.

Το μεταλλοφόρο υλικό του οποίου η περιεκτικότητα είναι μεταξύ του μέγιστου και ελάχιστου κατώτατου ορίου εκμεταλλευσιμότητας ονομάζεται ενδιάμεσης ποιότητας υλικό. Ορισμένοι τύποι εξόρυξης επιτρέπουν την απόθεση μεταλλεύματος τέτοιων υλικών και σε αυτές τις περιπτώσεις αυτή η στρατηγική είναι σκόπιμη για την αποθήκευση μεταλλεύματος για μελλοντική επεξεργασία. Μακροπρόθεσμα κανένα μεταλλοφόρο υλικό το οποίο μπορεί πιθανώς να θεωρηθεί ως μετάλλευμα σε οποιοδήποτε στάδιο κατά την διάρκεια της ζωής του μεταλλείου δεν θα απορριφθεί ως άγονο. Αυτό μεγιστοποιεί την ποσότητα του υλικού που ανακτάται από το μεταλλοφόρο σώμα κάτι που είναι ελκυστικό για ορισμένους. Ταυτόχρονα αυτή η στρατηγική υπόσχεται να βελτιώσει τα οικονομικά αυξάνοντας τις ταμειακές ροές τα επόμενα χρόνια καθώς το υλικό απόθεσης ανακτάται.

Ωστόσο η ιδέα αυτή έχει και τα μειονεκτήματά της. Αρχικά η υλικοτεχνική υποδομή για την δημιουργία ξεχωριστού χώρου απόθεσης μεταλλεύματος ή ίσως πολλαπλών χώρων εάν η ακτίνα των ενδιάμεσων περιεκτικότητων είναι ευρεία δεν είναι εύκολη. Θα εξαρτάται από το μέγεθος του χώρου του μεταλλείου και την φύση των γειτονικών εδαφών αλλά ο χώρος είναι πάντα κάτι που κοστίζει πολύ. Υπάρχει ανάγκη για χώρους αγόνων, φτωχών προϊόντων, δεξαμενές καθίζησης, αποθέσεις μεταλλεύματος, αποθήκευση νερού, εγκαταστάσεις συντήρησης ακόμα και τμήματα σχεδιασμού του μεταλλείου. Μία πρόσθετη απαίτηση για την απόθεση ενδιάμεσης ποιότητας υλικού το οποίο θα μπορούσε να αποτελεί σημαντική ποσότητα και να φυλάσσετε ξεχωριστά, πιθανώς για πολλά χρόνια μπορεί να συνεπάγεται στον επανασχεδιασμό της διάταξης του χώρου και στην αύξηση των διαδρομών.

Δευτερευόντως, προκύπτουν αρκετές πρόσθετες δαπάνες. Αυτό είναι το κόστος των μεγαλύτερων αποστάσεων καθώς και το κόστος επαναδιακίνησης όταν ανακτηθεί το ενδιάμεσης ποιότητας υλικό. Συνδέεται επίσης και το κόστος κεφαλαίου με την δημιουργία των χώρων απόθεσης και οποιονδήποτε βοηθητικό εξοπλισμό.

Τέλος το υλικό μπορεί να φθαρεί λόγο της μεγάλης έκθεσης του στις περιβαλλοντικές συνθήκες. Μπορεί να συμβεί μερική έκπλυση και αυτό να έχει σαν επακόλουθο την απώλεια ορυκτού, η οξείδωση μπορεί να δημιουργήσει δυσκολίες στην μονάδα επεξεργασίας και να προκαλέσει φτωχή ανάκτηση η οποία είναι πιθανή πηγή επιπλέον κόστους. Τέτοια φαινόμενα δεν είναι συνήθως εύκολα να προβλεφθούν επειδή η συμπεριφορά του υλικού σε συγκεκριμένο περιβάλλον δεν έχει κατανοηθεί πλήρως χωρίς να έχουν περάσει κάποια χρόνια εμπειρίας πάνω σε αυτό.

Η βέλτιστη πολιτική απόθεσης είναι ένα πολύπλοκο πρόβλημα. Αρχικά το γεγονός του να δημιουργούμε αποθέσεις μεταλλεύματος επηρεάζει την εξίσωση του κατώτατου ορίου η οποία μέχρι σήμερα αξιολογούνταν από την υπόθεση ότι το υλικό που πετάμε δεν έχει αξία. Η παραδοχή αυτή παύει να ισχύει, εάν αποφασιστεί η χρήση μιας απόθεσης η οποία θα μπορούσε να ανακτηθεί στο μέλλον με οικονομικό τρόπο. Δευτερευόντως η ρύθμιση του χρόνου της εξαγωγής από τις αποθέσεις εξαρτάται, μεταξύ άλλων πραγμάτων, από τις διακυμάνσεις της τιμής. Παραδείγματος χάρη, μπορεί να είναι μία καλύτερη τακτική υπό ορισμένες συνθήκες να πάρουμε χαμηλότερης ποιότητας υλικό από την απόθεση όταν η τιμή θα είναι χαμηλή προκειμένου να διατηρήσουμε υψηλότερης ποιότητας υλικό στο μεταλλείο για μία αναμενόμενη βελτίωση στην τιμή του μεταλλεύματος σε κάποιο μεταγενέστερο στάδιο.

Ωστόσο μία πολιτική απόθεσης είναι σπάνια και ο καθορισμός της βέλτιστης είναι κρίσιμος. Ένας ικανοποιητικός συμβιβασμός για τους περισσότερους πρακτικούς σκοπούς είναι να υπολογίσουμε το κατώτατο όριο του μεταλλείου θέτοντας μηδενική τιμή στο στείρο και τροφοδοτώντας υλικό από την απόθεση στην μονάδα επεξεργασίας όταν, και για όσο αυτό συμβαίνει, το αποτέλεσμα μας δίνει αύξηση στις ταμειακές ροές.



Μία πολιτική απόθεσης τέτοιου είδους μπορεί να αξιολογηθεί επεκτείνοντας το μαθηματικό μοντέλο της λειτουργίας να συμπεριλαμβάνει μία εγκατάσταση απόθεσης και να υπολογίζει μια τελική πολιτική του κατώτατου ορίου για την ζωή του μεταλλείου. Το μοντέλο θα πρέπει να είναι προσαρμοσμένο για να ταιριάζει στην συγκεκριμένη εφαρμογή. Ένα βασικό μοντέλο που ενσωματώνει ένα χώρο απόθεσης στον οποίο όλες οι ενδιάμεσες ποιότητες του υλικού προέρχονται από προηγούμενα έτη και από το οποίο μία μερίδα ή ένα ποσοστό της τροφοδοσίας του μύλου έχει αποσυρθεί από τα προηγούμενα έτη θα μας δώσει τα ουσιώδη χαρακτηριστικά. Οι επιπλέον οικονομικές παράμετροι στο μοντέλο είναι οι εξής:

- $s$  το μεταβλητό κόστος ανά τόνο ανακτώμενου υλικού από το χώρο απόθεσης υλικού και η μεταφορά του στο εργοστάσιο εμπλουτισμού.
- $\gamma_s$  η ανάκτηση της ενδιάμεσης περιεκτικότητας του υλικού στην διαδικασία εμπλουτισμού.
- $g_s$  το κατώτατο όριο που καθορίζει την ενδιάμεση ποιότητα του υλικού.

Οι επιπλέον αποθεματικές πληροφορίες είναι οι εξής:

- $S$  το τονάζ της ενδιάμεσης περιεκτικότητας υλικού στον χώρο απόθεσης.
- $g_{ms}$  Η μέση περιεκτικότητα του υλικού

Η  $g_s$  είναι ουσιαστικά μία πρόβλεψη του κατώτατου ορίου το οποίο μπορεί να επεξεργαστεί με οικονομικό τρόπο σε συνθήκες οι οποίες θα επικρατήσουν όταν το υλικό ανακτηθεί από την απόθεση. Μία εκτίμηση είναι ότι η εγκατάσταση επεξεργασίας θα περιορίζει την ικανότητα επεξεργασίας και ότι το μέταλλευμα θα πλησιάζει την εξάντληση. Κάτω από αυτές τις συνθήκες οι όροι της παρούσας αξίας είναι μικροί και η οικονομικά χαμηλότερη περιεκτικότητα θα είναι το κατώτατο όριο εκμετάλλευσης που δίνεται από τον τύπο:

$$g_s = (h + s + f/H) / \gamma_s (p - k)$$

όπου θεωρείται πως όλες οι τιμές στις παραμέτρους έχουν προβλεφθεί για το κατάλληλο χρονικό διάστημα. Η τιμή  $s$  εμφανίζεται στον τύπο επειδή όλο το υλικό που λαμβάνεται από την απόθεση τροφοδοτείται στην μονάδα ως μέταλλευμα και ως εκ τούτου το κόστος ανάκτησης είναι ουσιαστικά μέρος του κόστους της επεξεργασίας του μεταλλεύματος.

Καθώς το υλικό το οποίο έχει αποθεθεί είναι πιθανό να επεξεργαστεί στο μέλλον, η παράμετρος που προβλέπει τις τιμές θα έχει διευθετηθεί σε μακροπρόθεσμο επίπεδο. Εάν δεν συμβαίνει αυτό και ο χρόνος εξαγωγής του υλικού από την απόθεση είναι κρίσιμος, ένα πλάνο σχεδιασμού μπορεί να ληφθεί για μία ολοκληρωμένη πολιτική κατώτατου ορίου που δεν θα λαμβάνει υπόψη την απόθεση σαν διαδικασία. Μία μελέτη της κατανομής της ποιότητας με την πάροδο των χρόνων θα μας αποκαλύψει το πώς να χρησιμοποιούμε το μέταλλευμα καλύτερα από το χώρο απόθεσης. Θα μας αποκαλύψει επίσης και την χαμηλότερη ποιότητα η οποία μπορεί να επεξεργαστεί οικονομικά και ως εκ τούτου να παρέχει μία εναλλακτική εκτίμηση για το  $g_s$ .

Μόλις προσδιοριστεί μία τιμή για το  $g_s$ , είναι απαραίτητος ένας αλγόριθμος για την συσσώρευση της απόθεσης κατά την διάρκεια του υπολογισμού μιας πολιτικής κατώτατου ορίου. Μετά των καθορισμό κάθε κατώτατου ορίου  $g$  στην αλληλουχία την οποία αποτελεί την πολιτική, το μεταλλοφόρο υλικό μεταξύ του  $g_s$  και  $g$  προστίθεται στην απόθεση αυξάνοντας το τονάζ και τροποποιώντας την μέση περιεκτικότητα.

Η δημιουργία ενός αλγόριθμου για την εξαγωγή μεταλλεύματος από την απόθεση δεν είναι εύκολη υπόθεση αν και οι αρχές για την δημιουργία του όταν αυτό αυξάνει τις ταμειακές ροές για ένα συγκεκριμένο έτος είναι απλές. Ο καθορισμός του ποσοστού το οποίο μεγιστοποιεί τις ταμειακές ροές του συγκεκριμένου έτους δεν είναι τόσο εύκολος. Η εξαγωγή μεταλλεύματος από την απόθεση αφαιρεί μερική από την διαθέσιμη ικανότητα επεξεργασίας και αυτό με την σειρά του έχει επιπτώσεις στο κατώτατο όριο της εξόρυξης.

Ας θεωρήσουμε ότι το πόσο που παίρνουμε από την απόθεση είναι  $q_s$  τότε η συνεισφορά στις ετήσιες ταμειακές ροές που προκύπτει από την επεξεργασία αυτού του υλικού  $C_s$  δίνεται από τον τύπο:

$$C_s = \{ (p-k)y_s g_{ms} - s - h \} q_s$$

Ο χρόνος που απαιτείται για την επεξεργασία αυτού του υλικού εξαρτάται από το στοιχείο του μεταλλευτικού συστήματος χρησιμοποιείται περισσότερο κατά την διάρκεια της επεξεργασίας. Αν ο χρόνος είναι  $t_s$  τότε

$$t_s = \max \{ q_s/M, q_s/H, Y_s g_s q_s/K \}$$

Αυτό αφήνει μία περίοδο  $1 - t_s$  (το υπόλοιπο του έτους) για επεξεργασία για την εύρυθμη λειτουργία του μεταλλείου. Αν η ποσότητα των πόρων που καταναλώθηκε είναι  $q_m$  τότε η συνεισφορά τους στις ταμειακές ροές από αυτή την πηγή  $C_m$  δίνεται από τον τύπο:

$$C_m = [ \{ (p - k)yg - h \} x - m ] q_m$$

Και το σύνολο των ταμειακών ροών  $C$  για αυτό το έτος είναι:

$$C = C_s + C_m - f$$

Ο τύπος για το  $C_m$  απαιτεί μία τιμή για το βέλτιστο κατώτατο όριο εκμετάλλευσης η οποία πρέπει να εφαρμοστεί στο υλικό από το μεταλλείο. Όλα τα αποτελέσματα των προηγούμενων κεφαλαίων εξακολουθούν να ισχύουν αλλά οι παράμετροι πρέπει να τροποποιηθούν και να προσαρμοστούν έτσι ώστε να ανταποκρίνονται σε ένα τμηματικό έτος. Τα σταθερά χρονικά κόστη θα πρέπει να προϋπολογίζονται σύμφωνα με τον διαθέσιμο χρόνο  $1 - t_s$  και οι χωρητικότητες πρέπει να μειώνονται από τις ποσότητες που προκύπτουν από την επεξεργασία του υλικού της απόθεσης. Έτσι έχουμε:

$$M - q_s, H - q_s, K - y_s g_{ms} q_s$$

για το μεταλλείο, την επεξεργασία, και την ικανότητα προώθησης αντίστοιχα. Έτσι το βέλτιστο κατώτατο όριο εκμετάλλευσης  $g$  για την λειτουργία του μεταλλείου δίνεται από τη σχέση:

$$\text{Max}_g \{ \min (V_m, V_h, V_k) \}$$

$$\text{όπου } V = (p - k) y g_{mx} - h_x - (f + F)(1 - t_s) \tau$$

Και  $V_m, V_h, V_k$  αντιστοιχούν σε

$$\tau = 1/(M - q_s), 1/(H - q_s), 1/(K - Y_s g_s q_s) \text{ αντίστοιχα}$$

Αν και ο τύπος έχει διαμορφωθεί με τη λογική της τροφοδοσίας υλικού από τις αποθέσεις για συγκεκριμένο τμήμα του έτους και υλικό από το μεταλλείο για το υπόλοιπο, στην ουσία τα υλικά αυτά θα αναμειγνύονταν.

Αυτή η εμφανώς πολύπλοκη μαθηματική έκφραση του προβλήματος των λήψεων από την απόθεση καλύπτει κάτι που είναι πολύ πιο εύκολο στην πράξη. Το υλικό απόθεσης αξιοποιεί σχεδόν πάντα περισσότερο την δυναμικότητα της μονάδας εμπλουτισμού από ότι το μεταλλείο ή την ικανότητα προώθησης προϊόντος επειδή είναι μόνο μέταλλευμα και επειδή είναι χαμηλότερης ποιότητας υλικό.

Ως εκ τούτου το αποτέλεσμα της τροφοδοσίας υλικού από τις αποθέσεις είναι να ελαττώσει την ποσότητα στην μονάδα εμπλουτισμού η οποία είναι διαθέσιμη για υλικό από το μεταλλείο. Όσο περισσότερο υλικό από την απόθεση προστίθεται στην τροφοδοσία τόσο περισσότερο το υλικό που εξορύχθηκε γίνεται ο περιοριστικός παράγοντας και αυτό συμβαίνει επειδή δεν έχει σταθερή σύσταση και είναι μιας ενδιάμεσης ποιότητας μέταλλευμα. Πέρα από αυτό το στάδιο

περαιτέρω υλικό απόθεσης δεν έχει καμία επίδραση στους υπολογισμούς του κατώτατου ορίου για το εξορυχθέν υλικό ώστε το υπόλοιπο της ικανότητας επεξεργασίας θα πρέπει να απορροφηθεί είτε από το εξορυχθέν μέταλλευμα είτε από το ενδιάμεσης ποιότητας μέταλλευμα. Δεν υπάρχει πλέον η δυνατότητα να αξιοποιήσουμε την δυναμικότητα τροφοδοσίας μεταλλεύματος εν μέρει από μία πηγή και από μία άλλη.

Στα τελευταία χρόνια της ζωής του μεταλλείου το υλικό από την μονάδα επεξεργασίας περιορίζει χωρίς τροφοδοσία από τις αποθέσεις, μια στρατηγική ανάκτησης αφορά στο να χρησιμοποιείται 100% υλικό απόθεσης ή 100% υλικό εξόρυξης ανάλογα από το ποιο μας δίνει τα περισσότερα χρήματα.

Ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να εξαλείψει περιττούς υπολογισμούς είναι ότι η ισοδύναμη ποιότητα του μεταλλείου της ενδιάμεσης περιεκτικότητας του μεταλλεύματος θα πρέπει να υπερβαίνει το κατώτατο όριο εκμεταλλευσιμότητας για το εξορυχθέν υλικό πριν αυτό φτάσει στο χώρο απόθεσης. Είναι αντιφατικό να απορρίπτουμε υλικό από το μεταλλείο και ταυτόχρονα να ανακτούμε κατώτερης ποιότητας υλικό από τις αποθέσεις. Η ισοδύναμη ποιότητα του μεταλλείου  $g_e$  είναι αυτή που αποδίδει την ίδια οριακή τιμή στη μονάδα εμπλουτισμού, δηλαδή:

$$(p - k)yg_c = (p - k)Y_s g_s - s$$

$$g_e = \{(p - k)Y_s g_s - s\} / (p - k)y$$

Μόνο όταν το κατώτατο όριο εκμετάλλευσης για το εξορυχθέν μέταλλευμα πέφτει κάτω από το  $g_e$  υπάρχει η ανάγκη να εξεταστούν ανακτήσεις από την απόθεση και επομένως γίνεται απαραίτητος ένας λεπτομερής υπολογισμός όταν το στοιχείο της επεξεργασίας δεν είναι ο περιοριστικός παράγοντας.

Καθώς στην πράξη, μόνο η αφαίρεση σημαντικών ποσοτήτων υλικού από τις αποθέσεις θα πρέπει να εξετάζεται, ένας κατάλληλος αλγόριθμος είναι αυτός που υπολογίζει τις ταμειακές ροές που σχετίζονται με την αύξηση ανακτήσεων υλικού από της αποθέσεις ανά βήματα 5% ή 10% της ικανότητας επεξεργασίας της

μονάδας εμπλουτισμού και πάντα επιλέγουμε αυτό που μας συμφέρει περισσότερο. Δεν είναι ανάγκη να υπολογίσουμε όλα τα στάδια επειδή δεν θα υπάρξει αλλαγή στα ενδιάμεσα στάδια πέρα από το σημείο όπου η ικανότητα επεξεργασίας περιορίζει την παραγωγή και των αποθέσεων και του υλικού από το μεταλλείο.

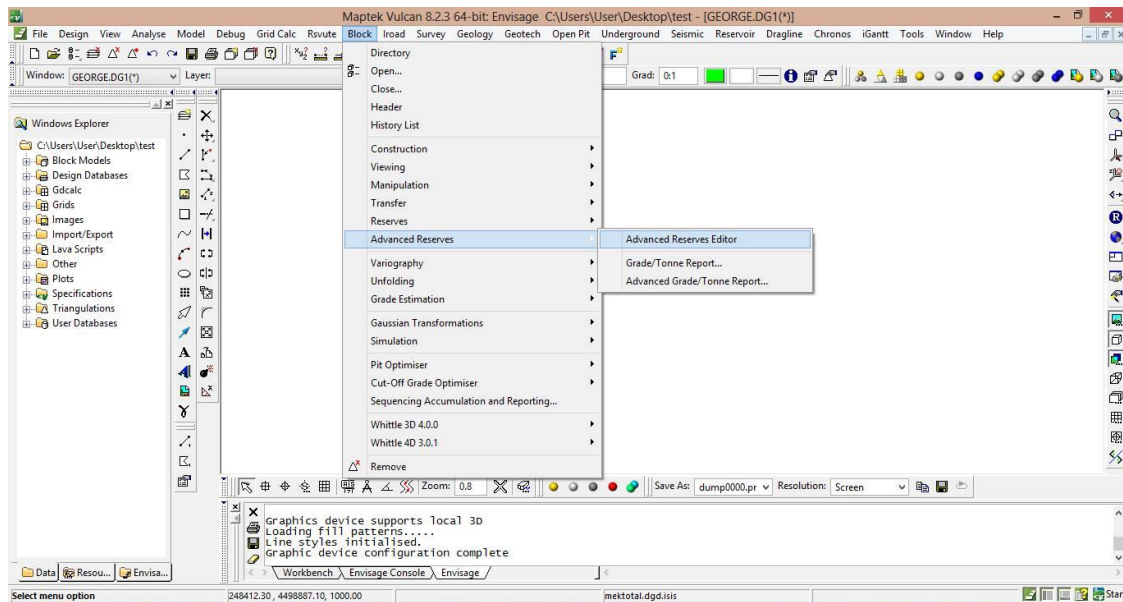
## 9. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Η παρούσα πτυχιακή ασχολείται με τον υπολογισμό του βέλτιστου κατώτατου ορίου εκμετάλλευσης. Γι' αυτό το λόγο τα προηγούμενα βήματα (εισαγωγή βάσης δεδομένων, δομές μοντέλων, γεωλογική μοντελοποίηση) δεν παρουσιάζονται. Το παράδειγμα εφαρμογής βασίζεται στα παρακάτω αρχεία και πληροφορίες:

- Μοντέλο μπλοκ με τις εκτιμήσεις περιεκτικότητας – βάση δεδομένων των αποθεμάτων (kolokotroni\_ikk.bmf).
- Μεταβλητή στο μοντέλο μπλοκ στην οποία έχει καταχωρηθεί ο αριθμός ενδιάμεσης εκσκαφής από τη βελτιστοποίηση της γεωμετρίας της εκσκαφής με τη μέθοδο Lerchs-Grossman.
- Οικονομικές παράμετροι σχετικά με το ύψος της αρχικής επένδυσης και τα πάγια έξοδα ανά έτος.
- Τιμές που αφορούν την δυναμικότητα της εξόρυξης, επεξεργασίας και προώθησης του προϊόντος ανά έτος.

Θεωρώντας λοιπόν πως μέχρι ένα σημείο έχουν γίνει οι απαραίτητες ενέργειες - υπολογισμοί ξεκινούμε με τον υπολογισμό των αποθεμάτων ανά ενδιάμεση εκσκαφή. Το βήμα αυτό είναι απαραίτητο για την επιλογή εκείνων των ενδιάμεσων εκσκαφών που θα θεωρηθούν ως φάσεις εκμετάλλευσης και θα χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη μιας βέλτιστης πολιτικής κατώτατου ορίου εκμετάλλευσης για ολόκληρη τη ζωή του μεταλλείου.

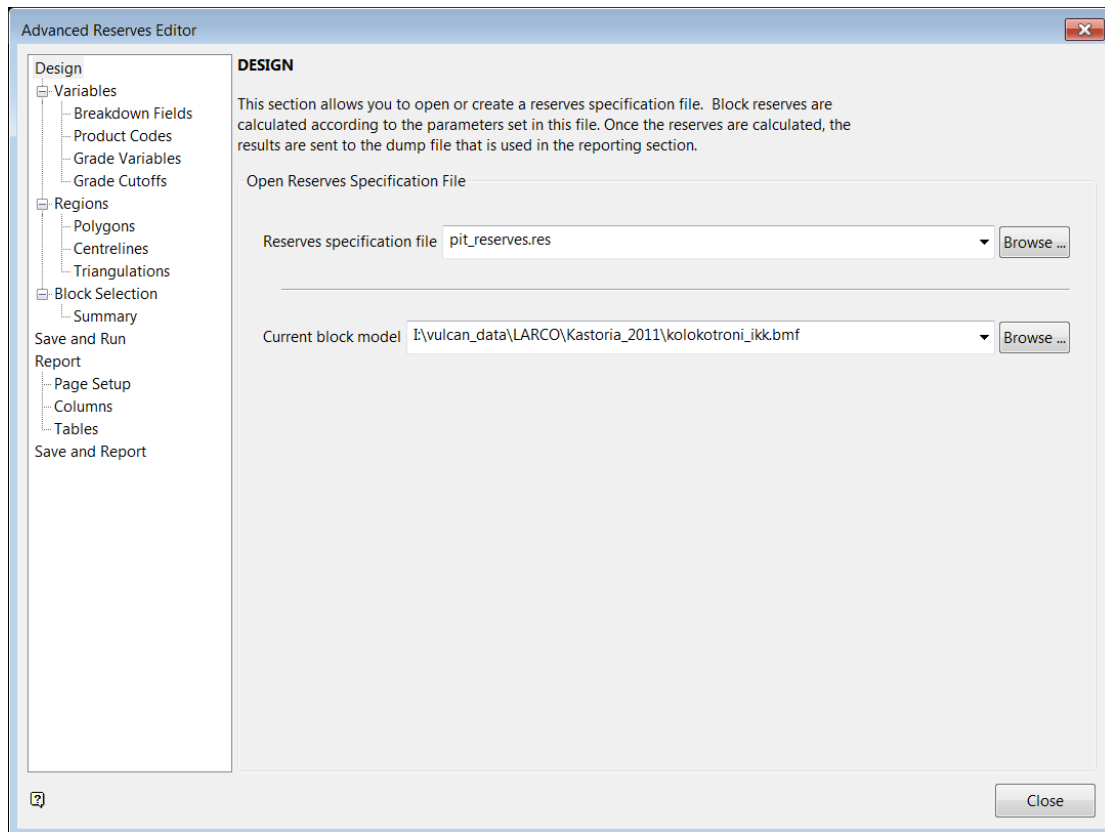
1. Επιλέγουμε την λειτουργία **Block > Advanced Reserves > Advanced Reserves Editor** για να υπολογίσουμε τα αποθέματα.



2. Στο επίπεδο **Design** δίνουμε μια ονομασία στο αρχείο προδιαγραφών που θα αποθηκευτεί, ***pit\_reserves*** και επιλέγουμε το μοντέλο μπλοκ ***kolokotroni\_ikk.bmf*** το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για να υπολογιστούν τα αποθέματα. Αυτό το επίπεδο μας επιτρέπει να ανοίξουμε ή να δημιουργήσουμε ένα αρχείο προδιαγραφών που θα έχει κατάληξη **.res**.

Αν ένα μοντέλο μπλοκ έχει φορτωθεί πριν την εκκίνηση του **Advanced Reserves Editor** τότε θα επιλεγεί αυτόματα.

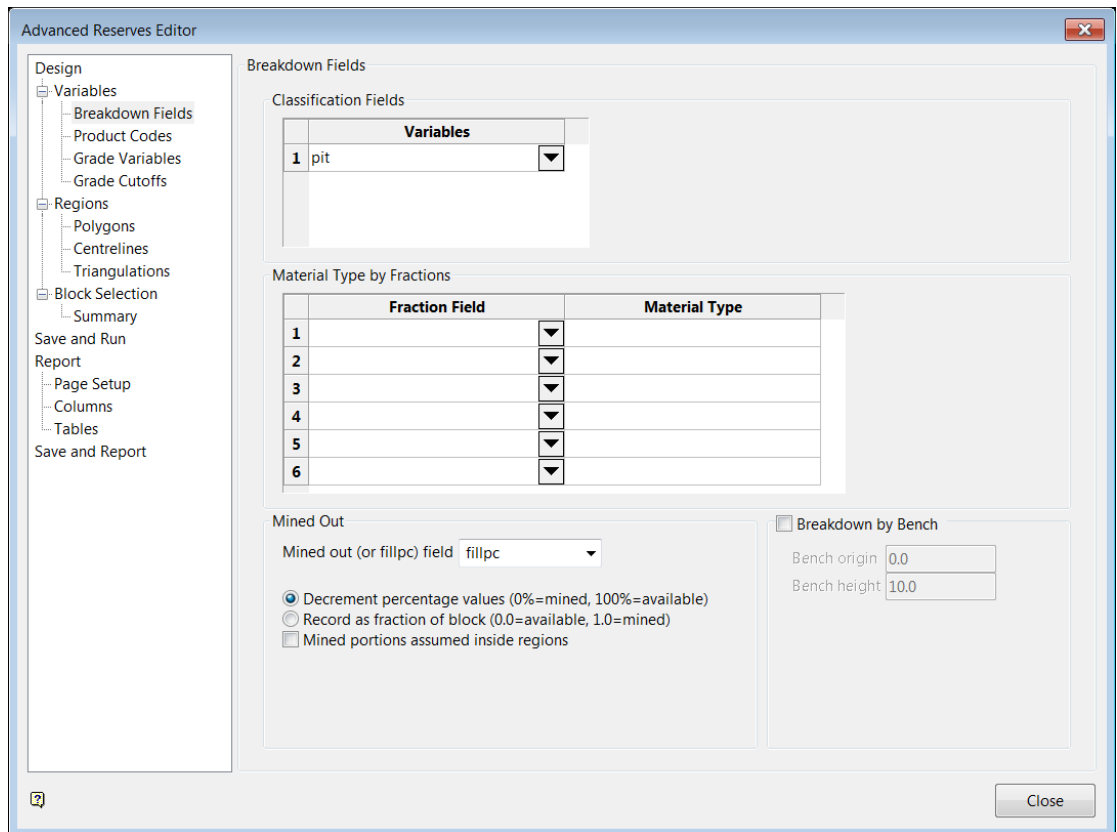




Οι πληροφορίες για τον υπολογισμό καθορίζονται από την καρτέλα **Variables** και **Regions**

Μόλις το αρχείο προδιαγραφών και το μοντέλο μπλοκ έχουν επιλεγεί, τα πεδία στο Advanced Reserves Editor θα πρέπει να συμπληρωθούν με τις σχετικές τιμές.

3. Έπειτα από το επίπεδο **Breakdown fields** επιλέγουμε την μεταβλητή ταξινόμησης **pit**.
4. Στη ίδια καρτέλα επιλέγουμε στο πεδίο **Mined Out** τη **fillpc**, η οποία μεταβλητή αποδίδει το ποσοστό των μπλοκ κάτω από το τοπογραφικό ανάγλυφο και βοηθά στη διόρθωση της πραγματικής μάζας των μπλοκ.
5. Στη συνέχεια επιλέγουμε το **Decrement percentage values** γιατί η μεταβλητή **fillpc** τείνει στο μηδέν καθώς μειώνεται το ποσοστό του μπλοκ που είναι κάτω από το τοπογραφικό ανάγλυφο.



6.

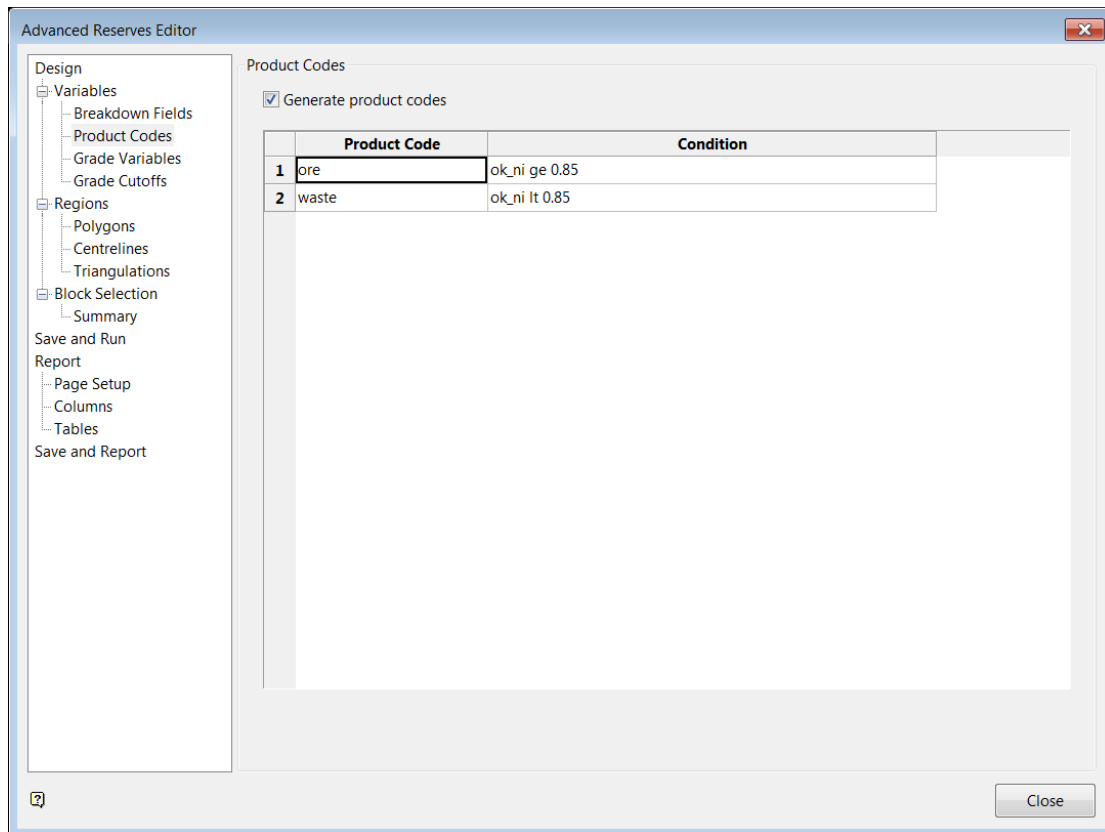
Στο επίπεδο **Product Codes** επιλέγουμε το **Generate Product Codes** γιατί θέλουμε να υπολογίσουμε το τονάζ μεταλλεύματος και στείρων, και τις επιμέρους αξίες για να είναι δυνατή η επιλογή των φάσεων της εκμετάλλευσης. Κάθε μπλοκ στο μοντέλο μπορεί να ταξινομηθεί σύμφωνα με το προϊόν βασιζόμενο στο αν καλύπτει ή όχι τη συνθήκη για το συγκεκριμένο προϊόν. Κάθε προϊόν θα πρέπει να συσχετίζεται με μια συνθήκη και η πρώτη συνθήκη που θα το ικανοποιεί θα χαρακτηρίζει το προϊόν για κάθε μπλοκ.

7. Έπειτα γράφουμε στο πινακάκι **Product Code/Condition**,

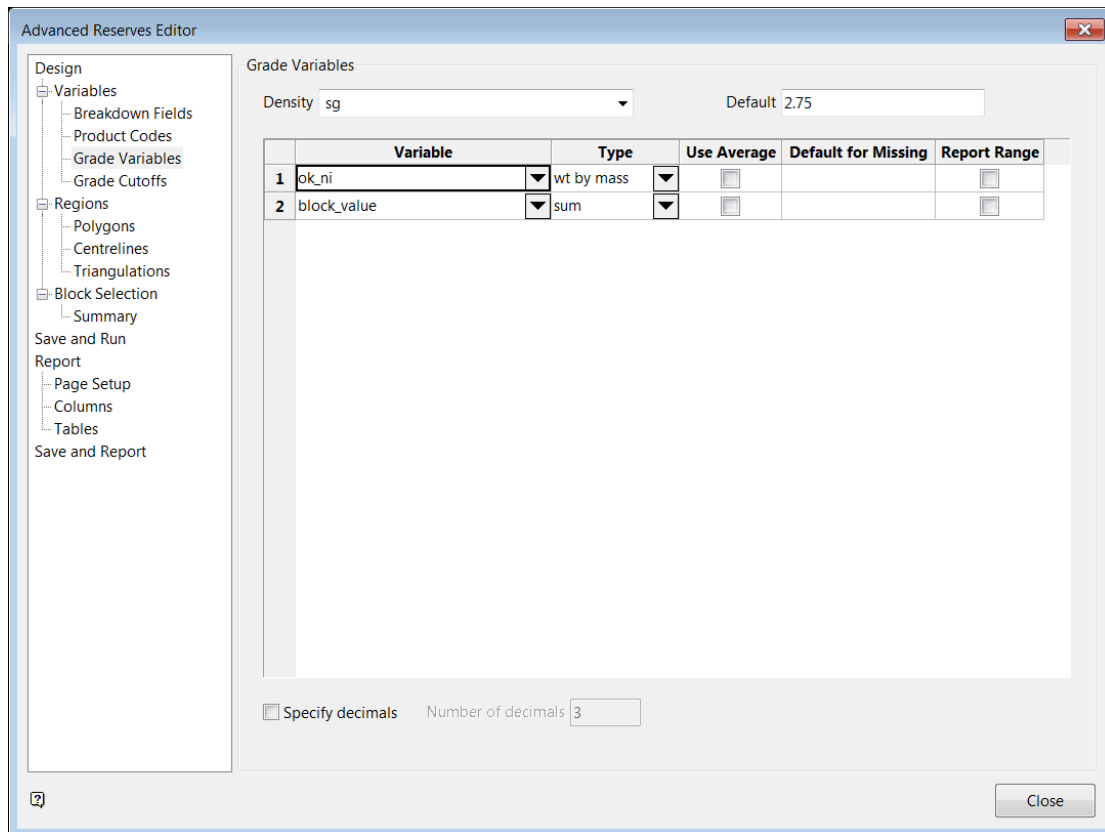
1	<b>ore</b>	<b>ok_ni ge 0.85</b>
2	<b>waste</b>	<b>ok_ni lt 0.85</b>

Δηλ. 1. μέταλλευμα: εκτίμηση νικελίου  $\geq 0.85$

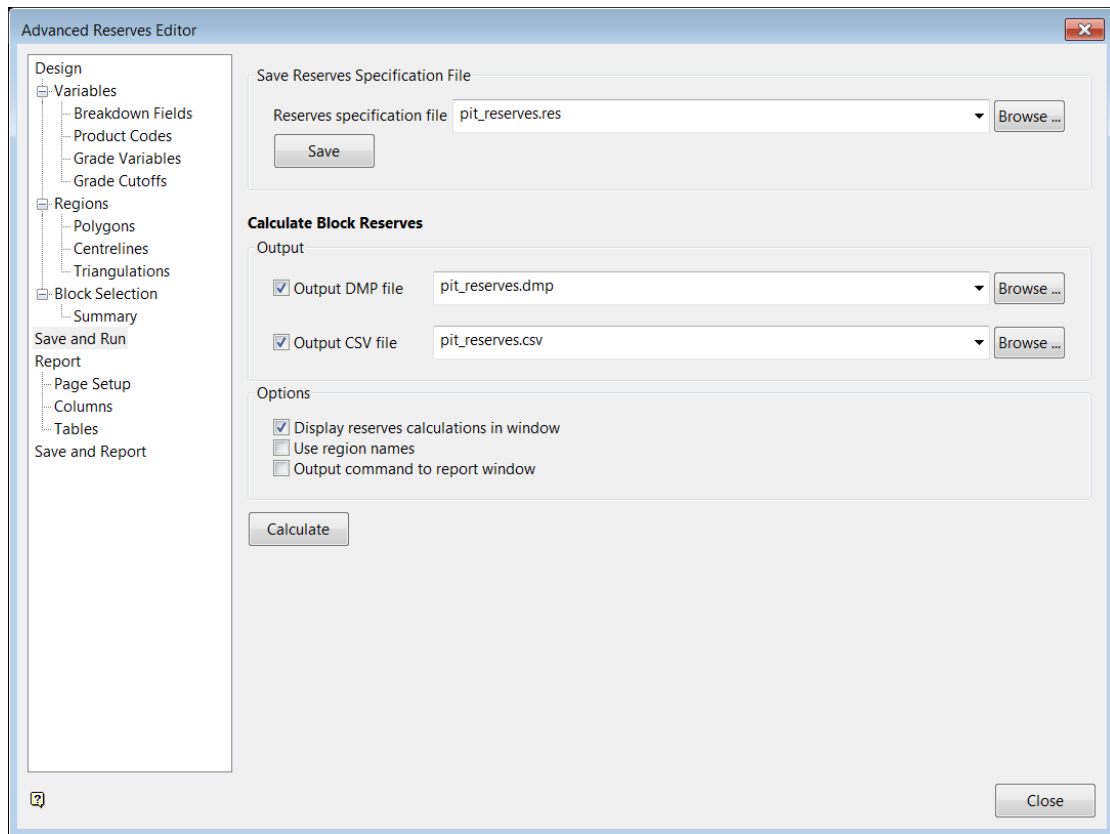
2. Στείρο: εκτίμηση νικελίου  $< 0.85$



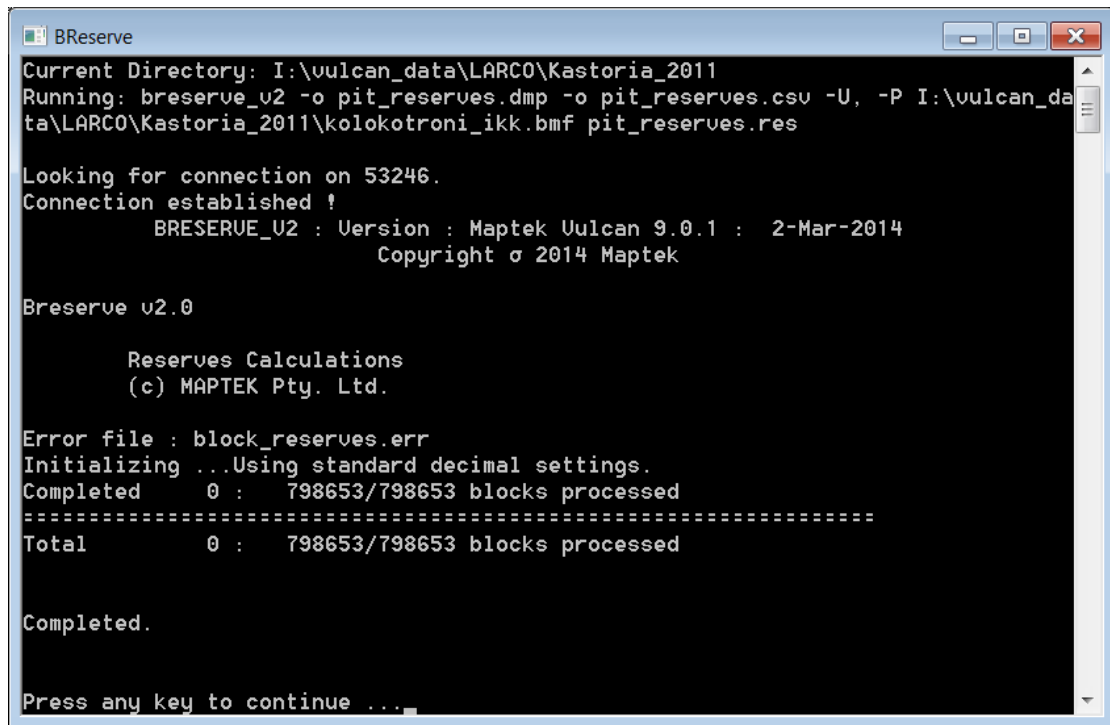
8. Προχωρούμε στο επίπεδο **Grade Variable**. Επιλέγουμε τη μεταβλητή ειδικού βάρους **Density: sg** με προεπιλεγμένη τιμή **Default: 2.75**.
9. Επιλέγουμε τη μεταβλητή περιεκτικότητας **ok\_ni** και τον τύπο ζύγισης της **wt by mass**. Η ζύγιση έχει να κάνει με το πως υπολογίζονται οι συνολικές τιμές για τη μεταβλητή – ζυγίζονται με βάση την μάζα των επιμέρους μπλοκ.
10. Επιλέγουμε τη μεταβλητή **block value** η οποία έχει τύπο άθροισμα - **sum**.



11. Πηγαίνουμε στο επίπεδο **Save and Run** (όχι το τελευταίο, αυτό στη μέση) και δίνουμε το όνομα ***pit\_reserves*** στο **reserves specification file** για να αποθηκευτούν οι προδιαγραφές.
12. Κάνουμε κλικ στο πλήκτρο **Save**.
13. Τσεκάρουμε την επιλογή **Output CSV file** για να λάβουμε έξοδο και σε αρχείο που ανοίγει με το MS Excel.
14. Κάνουμε κλικ στο **Calculate** για να εκτελεστεί ο υπολογισμός.



15. Στο μήνυμα επιβεβαίωσης που εμφανίζεται κάνουμε κλικ στο **Yes**. Ανοίγει ένα παράθυρο κονσόλας στο οποίο εκτελείται ο υπολογισμός.



```
BReserve
Current Directory: I:\vulcan_data\LARCO\Kastoria_2011
Running: breserve_v2 -o pit_reserves.dmp -o pit_reserves.csv -U, -P I:\vulcan_data\LARCO\Kastoria_2011\kolokotroni_ikk.bmf pit_reserves.res

Looking for connection on 53246.
Connection established !
      BRESERVE_U2 : Version : Maptek Vulcan 9.0.1 : 2-Mar-2014
                  Copyright © 2014 Maptek

Breserve v2.0

      Reserves Calculations
      (c) MAPTEK Pty. Ltd.

Error file : block_reserves.err
Initializing ...Using standard decimal settings.
Completed    0 :    798653/798653 blocks processed
=====
Total        0 :    798653/798653 blocks processed

Completed.

Press any key to continue ...
```

16. Όταν ολοκληρωθεί ο υπολογισμός πατάμε το **Enter** για να κλείσει το παράθυρο κονσόλας. Στο αρχικό παράθυρο κάνουμε κλικ στο **No**.
17. Ανοίγουμε το φάκελο εργασίας και εντοπίζουμε το αρχείο excel **pit\_reserves.csv**. Ανοίγουμε το αρχείο αυτό με το MS Excel. Ο πίνακας αναφοράς θα έχει τις παρακάτω τιμές:

pit\_reserves.csv - Microsoft Excel

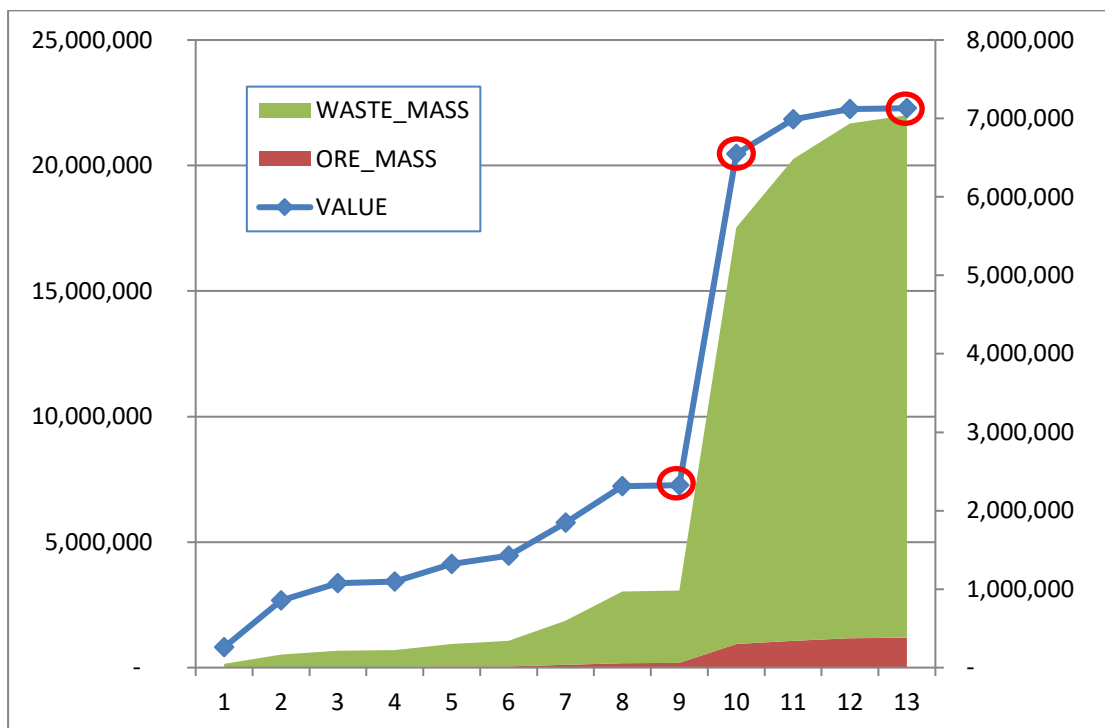
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	SOURCE	PIT	PRODUCT	OK_NI	OK_NI_VOLUME	OK_NI_MASS	BLOCK_VALUE	BLOCK_VALUE_VOLUME	BLOCK_VALUE_MASS	TOTAL_VOLUME	TOTAL_MASS
2	kolokotroni_ikk.bmf	0	waste	0	0	0	0	0	0	0	0
3	kolokotroni_ikk.bmf	1	ore	1.757902545	1430	3932.5	352947.1271	1430	3932.5	1430	3932.5
4	kolokotroni_ikk.bmf	1	waste	0.003304609	987	2714.25	-94264.42525	54321.9258	149385.2959	54321.9258	149385.2959
5	kolokotroni_ikk.bmf	2	ore	1.521331119	4827	13274.25	836081.8217	4827	13274.25	4827	13274.25
6	kolokotroni_ikk.bmf	2	waste	0.336861454	967	2659.25	-237048.2589	128593.5257	353632.1956	128593.5257	353632.1956
7	kolokotroni_ikk.bmf	3	ore	1.317439731	2903	7983.25	318898.8804	2903	7983.25	2903	7983.25
8	kolokotroni_ikk.bmf	3	waste	0.784657613	377	1036.75	-101233.1606	51838.74495	142556.5486	51838.74495	142556.5486
9	kolokotroni_ikk.bmf	4	ore	1.503067313	213	585.75	35689.60779	213	585.75	213	585.75
10	kolokotroni_ikk.bmf	4	waste	0	331	910.25	-13528.17686	7745.852338	21301.09393	7745.852338	21301.09393
11	kolokotroni_ikk.bmf	5	ore	1.145985064	6760	18590	382170.7062	6760	18590	6760	18590
12	kolokotroni_ikk.bmf	5	waste	0.248787539	1233	3390.75	-159919.5573	84816.80411	233246.2113	84816.80411	233246.2113
13	kolokotroni_ikk.bmf	6	ore	1.332250797	1676	4609	191745.1362	1676	4609	1676	4609
14	kolokotroni_ikk.bmf	6	waste	0.786030125	441	1212.75	-84839.3445	45022.38241	123811.5516	45022.38241	123811.5516
15	kolokotroni_ikk.bmf	7	ore	1.109647249	20787	57164.25	938998.7936	20787	57164.25	20787	57164.25
16	kolokotroni_ikk.bmf	7	waste	0.618366939	1955	5376.25	-520007.9772	268119.1764	737327.7351	268119.1764	737327.7351
17	kolokotroni_ikk.bmf	8	ore	1.104272644	26866	73881.5	1178294.939	26866	73881.5	26866	73881.5
18	kolokotroni_ikk.bmf	8	waste	0.309303484	2376	6534	-712093.328	394135.332	1083872.163	394135.332	1083872.163
19	kolokotroni_ikk.bmf	9	ore	1.179037821	541	1487.75	36328.29686	541	1487.75	541	1487.75
20	kolokotroni_ikk.bmf	9	waste	0	8	22	-25280.39157	14351.87503	39467.65634	14351.87503	39467.65634
21	kolokotroni_ikk.bmf	10	ore	1.123879176	276114	759313.5	13704078.65	276114	759313.5	276114	759313.5
22	kolokotroni_ikk.bmf	10	waste	0.670882807	70875	194906.25	-9477163.524	4983863.896	13705625.71	4983863.896	13705625.71
23	kolokotroni_ikk.bmf	11	ore	1.116180366	45537	125226.75	2145458.402	45537	125226.75	45537	125226.75
24	kolokotroni_ikk.bmf	11	waste	0.683874627	3246	8926.5	-1707273.808	944350.8876	2596964.941	944350.8876	2596964.941
25	kolokotroni_ikk.bmf	12	ore	1.055199794	36965	101653.75	1040561.588	36965	101653.75	36965	101653.75
26	kolokotroni_ikk.bmf	12	waste	0.637626961	4083	11228.25	-910000.6189	482086.5916	1325738.127	482086.5916	1325738.127
27	kolokotroni_ikk.bmf	13	ore	1.046349674	8165	22453.75	207622.2891	8165	22453.75	8165	22453.75
28	kolokotroni_ikk.bmf	13	waste	0.828804541	110	302.5	-195966.0704	109222.8688	300362.8892	109222.8688	300362.8892
29	kolokotroni_ikk.bmf	501	ore	0.992539964	526597	1448141.75	4557867.254	526597	1448141.75	526597	1448141.75
30	kolokotroni_ikk.bmf	501	waste	0.657162134	301533	829215.75	-305090432	170778403.4	469640609.3	170778403.4	469640609.3

Σε κάθε σειρά αναφέρεται η μέση περιεκτικότητα σε νικέλιο και για κάθε κατηγορία, καθώς και ο συνολικός όγκος και η συνολική μάζα του μεταλλεύματος. Η κατηγορία 0 αφορά το υλικό το οποίο δεν ανήκει σε καμία κατηγορία ορυκτών πόρων και δεν έχει καν εκτιμηθεί. Θα χρειαστεί κάποια μορφοποίηση του αρχείου για να μπορέσουμε να δημιουργήσουμε πίνακες που θα χρησιμοποιηθούν παρακάτω.

M20

	ORE				WASTE			INCREMENTAL TOTAL			CUMULATIVE TOTAL				
	PIT	OK_NI	BLOCK_VALUE	TOTAL_VOLUME	TOTAL_MASS	OK_NI	BLOCK_VALUE	TOTAL_VOLUME	TOTAL_MASS	VALUE	VOLUME	MASS	VALUE	ORE_MASS	WASTE_MASS
2	1	1.758	352947.1271	1430	3932.5	0.003	94,264	54,322	149,385	258,683	55,752	153,318	258,683	3,933	149,385
4	2	1.521	836081.8217	4827	13274.25	0.337	237,048	128,594	353,632	599,034	133,421	366,906	857,716	17,207	503,017
5	3	1.317	318898.8804	2903	7983.25	0.785	101,233	51,839	142,557	217,666	54,742	150,540	1,075,382	25,190	645,574
6	4	1.503	35689.60779	213	585.75	0.000	13,528	7,746	21,301	22,161	7,959	21,887	1,097,543	25,776	666,875
7	5	1.146	382170.7062	6760	18590	0.249	159,920	84,817	233,246	222,251	91,577	251,836	1,319,795	44,366	900,121
8	6	1.332	191745.1362	1676	4609	0.786	84,839	45,022	123,812	106,906	46,698	128,421	1,426,700	48,975	1,023,933
9	7	1.110	938998.7936	20787	57164.25	0.618	520,008	268,119	737,328	418,991	288,906	794,492	1,845,691	106,139	1,761,261
10	8	1.104	1178294.939	26866	73881.5	0.309	712,093	394,135	1,083,872	466,202	421,001	1,157,754	2,311,893	180,021	2,845,133
11	9	1.179	36328.29686	541	1487.75	0.000	25,280	14,352	39,468	11,048	14,893	40,955	2,322,941	181,508	2,884,600
12	10	1.124	13704078.65	276114	759313.5	0.671	9,477,164	4,983,864	13,705,626	4,226,915	5,259,978	14,464,939	6,549,856	940,822	16,590,226
13	11	1.116	2145458.402	45537	125226.75	0.684	1,707,274	944,351	2,596,965	438,185	989,888	2,722,192	6,988,040	1,066,049	19,187,191
14	12	1.055	1040561.588	36965	101653.75	0.638	910,001	482,087	1,325,738	130,561	519,052	1,427,392	7,118,601	1,167,702	20,512,929
15	13	1.046	207622.2891	8165	22453.75	0.829	195,966	109,223	300,363	11,656	117,388	322,817	7,130,258	1,190,156	20,813,292

18. Αφού ολοκληρώσουμε την μορφοποίηση δημιουργούμε το διάγραμμα της συνολικής μάζας μεταλλεύματος (**ORE\_MASS**) και στείρων (**WASTE\_MASS**) καθώς και της συνολικής αξίας (**VALUE**) την οποία αποικονίζουμε με τον δεξιό άξονα στο διάγραμμα. Ο σκοπός της δημιουργίας του είναι να μας βοηθήσει να επιλέξουμε τις φάσεις της εκσκαφής. Τα σημεία που φαίνονται με κόκκινο κύκλο έχουν επιλεγεί ως ενδιαμέσες φάσεις της εκμετάλλευσης με βάση την αξία τους και τις μάζες που αντιστοιχούν.

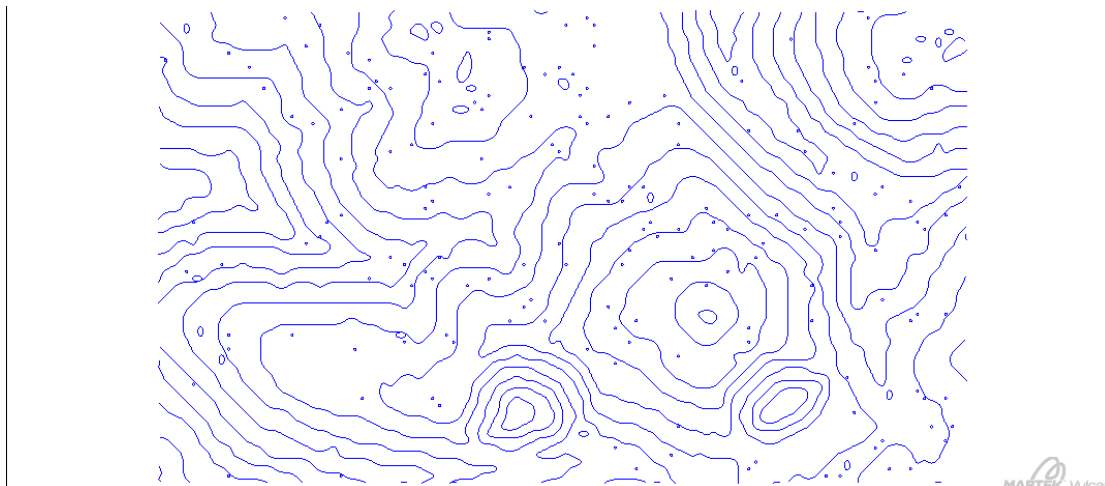
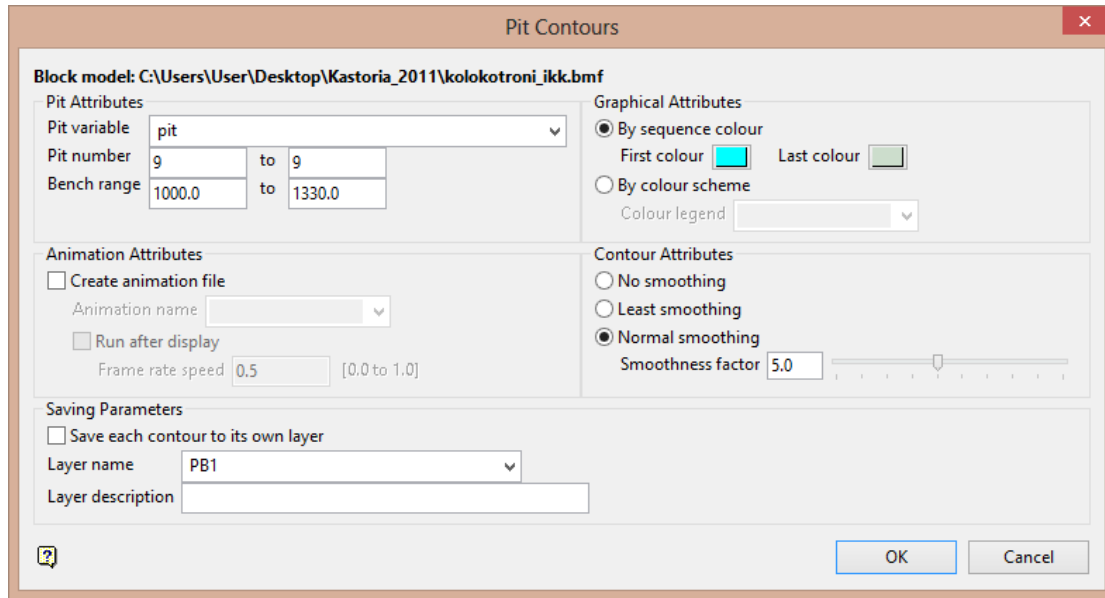


19. Με τη χρήση της λειτουργία **Block > Viewing > Pits** φορτώνουμε σε στρώματα τελικά όρια της εκσκαφής.
20. Επιλέγουμε την μεταβλητή **pit** (Pit variable) και τον αριθμό εκσκαφής από **9** έως **9** (Pit number).
21. Αφήνουμε τις προεπιλεγμένες τιμές για τις βαθμίδες (Bench range) από 1000.0 έως 1330.0.
22. Δίνουμε την ονομασία του στρώματος (Layer name) στο οποίο θα αποθηκευτούν τα βέλτιστα όρια **PB1**.
23. Τσεκάρουμε την επιλογή για κανονική εξομάλυνση των ορίων (Normal smoothing). Ομοίως για τις φάσεις **10** και **13** ακολουθούμε ακριβώς τα ίδια



βήματα με τη μόνη διαφορά πως στον αριθμό εκσκαφής (Pit number) γράφουμε από **10** έως **10** και από **13** έως **13** αντίστοιχα.

### Φάση 1



## Φάση 2

Pit Contours

Block model: C:\Users\User\Desktop\Kastoria\_2011\kolokotroni\_ikk.bmf

**Pit Attributes**

Pit variable: pit

Pit number: 10 to 10

Bench range: 1000.0 to 1330.0

**Graphical Attributes**

By sequence colour

First colour: [Blue] Last colour: [Green]

By colour scheme

Colour legend: [ ]

**Animation Attributes**

Create animation file

Animation name: [ ]

Run after display

Frame rate speed: 0,5 [0,0 to 1,0]

**Contour Attributes**

No smoothing

Least smoothing

Normal smoothing

Smoothness factor: 5.0 [ ]

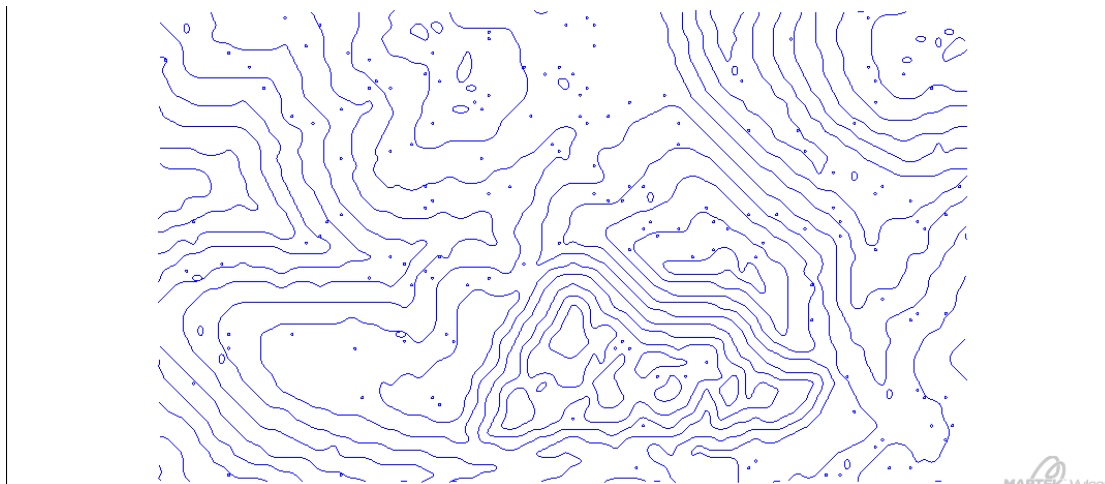
**Saving Parameters**

Save each contour to its own layer

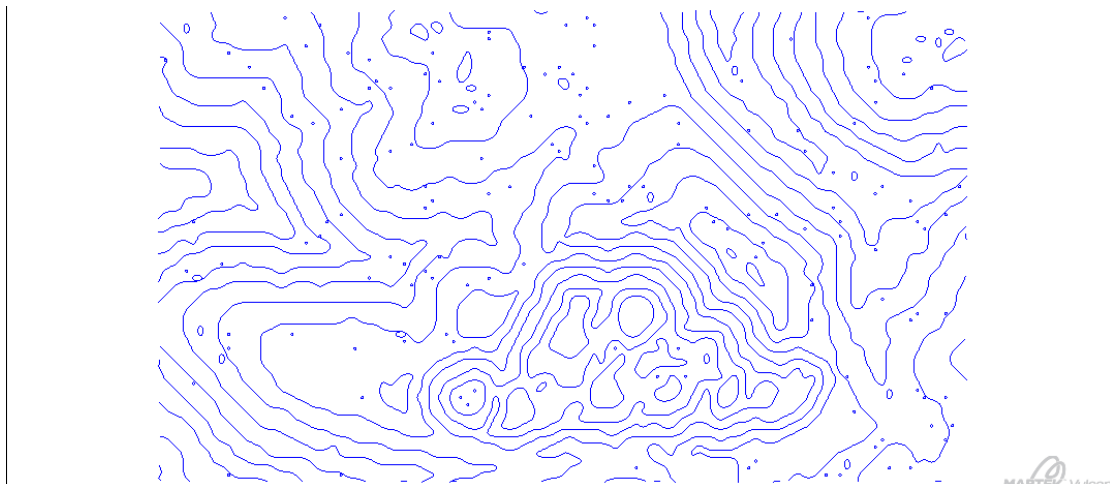
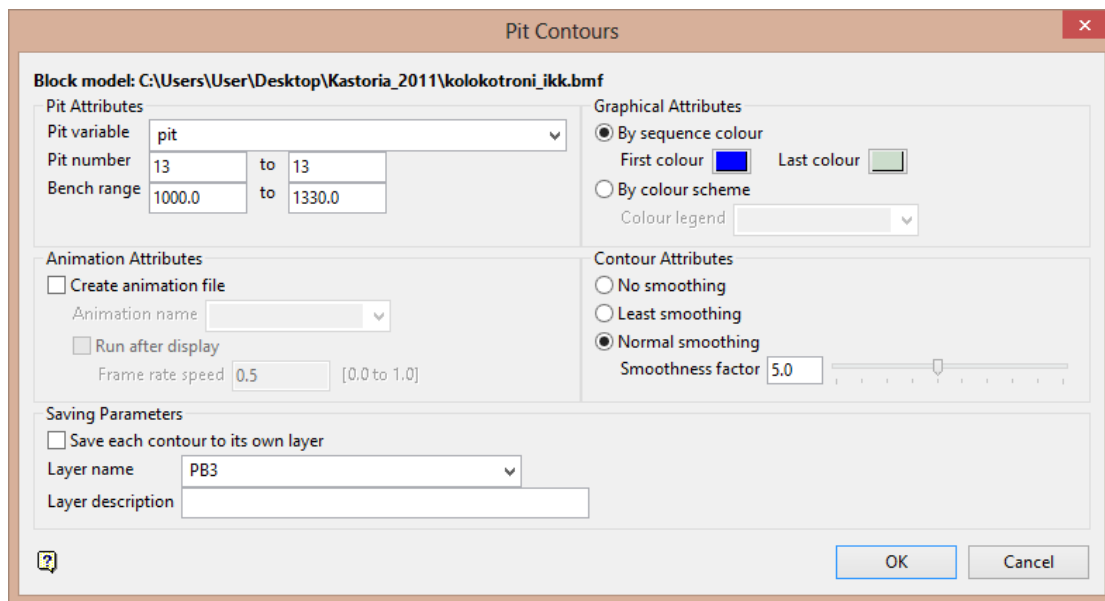
Layer name: PB2

Layer description: [ ]

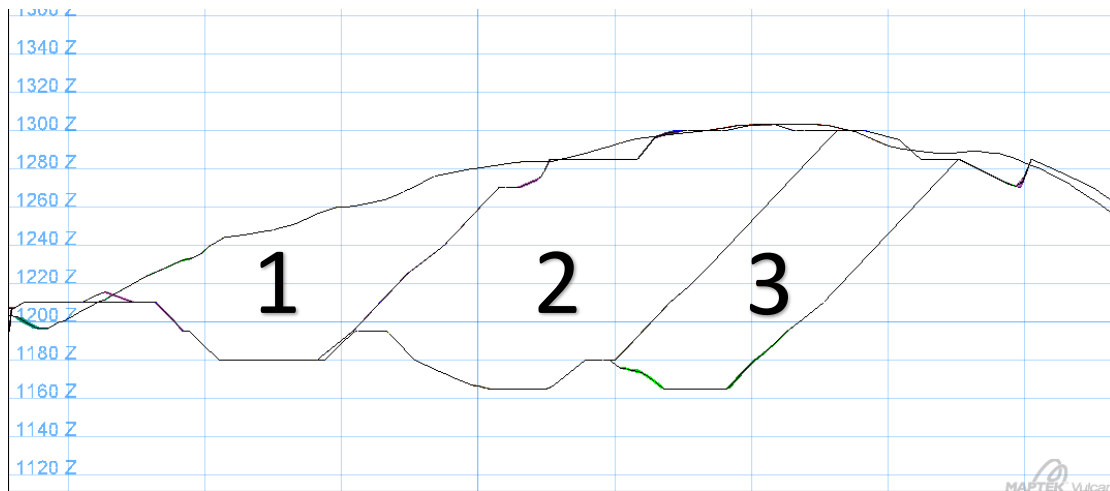
OK Cancel



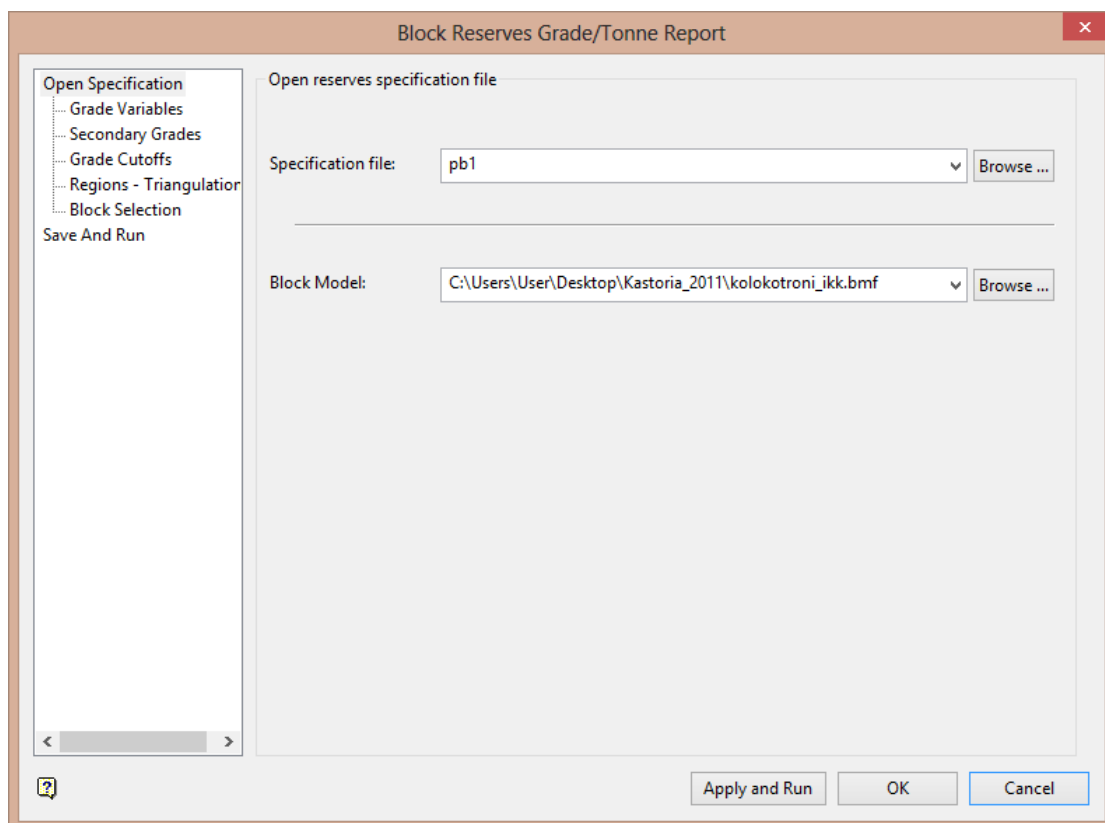
### Φάση 3



Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζονται σε τομή οι τρεις φάσεις τις εκσκαφής (pb1, pb2, pb3 από τα αριστερά προς τα δεξιά).



24. Για να δημιουργήσουμε το διάγραμμα περιεκτικότητας / τονάζ το οποίο είναι απαραίτητο για τον υπολογισμό του βέλτιστου ορίου, χρησιμοποιούμε την λειτουργία **Block > Advanced Reserves > Grade/Tonne Report**.
25. Στο παράθυρο που εμφανίζεται δίνουμε μια ονομασία στο αρχείο προδιαγραφών (Specification file), στη συγκεκριμένη περίπτωση δίνουμε το όνομα της πρώτης φάσης, **pb1**.
26. Επιλέγουμε το μοντέλο μπλοκ (Block model) **kolokotroni\_ikk.bmf**



27. Προχωράμε στο επίπεδο **Grade variables**.
28. Επιλέγουμε στην μεταβλητή περιεκτικότητας (**Grade variable**) το **ok\_ni** και πληκτρολογούμε στην επιλογή για τα δεκαδικά ψηφία (**Decimal places**) τον αριθμό **2** και για την περιεκτικότητα και για το τονάζ.
29. Επιλέγουμε την μεταβλητή ειδικού βάρους (**density variable**), **sg**.
30. Στο πεδίο **mined out or fillpc** επιλέγουμε τη μεταβλητή **fillpc** η οποία είναι μια μεταβλητή που αποδίδει το ποσοστό του κάθε μπλοκ κάτω από το τοπογραφικό ανάγλυφο και χρησιμοποιείται για τη διόρθωση της μάζας των μπλοκ.
31. Στη συνέχεια επιλέγουμε το **decrement percentage values** γιατί δεν έχει εξορυχθεί κανένα μέρος του μπλοκ και είναι διαθέσιμα όλα τα αποθέματα.

The screenshot shows the 'Block Reserves Grade/Tonne Report' dialog box. On the left is a navigation pane with 'Open Specification' expanded, showing 'Grade Variables', 'Secondary Grades', 'Grade Cutoffs', 'Regions - Triangulation', and 'Block Selection'. The main area is divided into sections: 'Breakdown fields' (empty), 'Grade variables' (Grade variable: ok\_ni, Grade: 2, Tonnes: 2), 'Density variables' (Use density variable selected, Density variable: sg), and 'Mined out variable' (Use mined out variable checked, Mined out (or fillpc) field: fillpc). The 'Decrement percentage values' radio button is selected. At the bottom are 'Apply and Run', 'OK', and 'Cancel' buttons.

32. Προχωράμε στο επίπεδο **Grade Cutoffs**.

Βεβαιωνόμαστε ότι είναι τικαρισμένη η επιλογή **Set by increment** και συμπληρώνουμε τις παρακάτω τιμές.

Δηλαδή: Ορίζουμε την πρώτη τιμή (**First**), **0** η οποία είναι και αυτή που θα ξεκινήσει να υπολογίζει το cutoff. Στο (**Last**) ορίζουμε την τελευταία τιμή του

cutoff, **1.75** που θέλουμε να υπολογίσει και στο (**Increment**) θέτουμε το βήμα **0.05**.

Block Reserves Grade/Tonne Report

Open Specification  
... Grade Variables  
... Secondary Grades  
... Grade Cutoffs  
... Regions - Triangulation  
... Block Selection  
Save And Run

Grade cutoffs

Set by increment

First  Last  Increment

Set by values

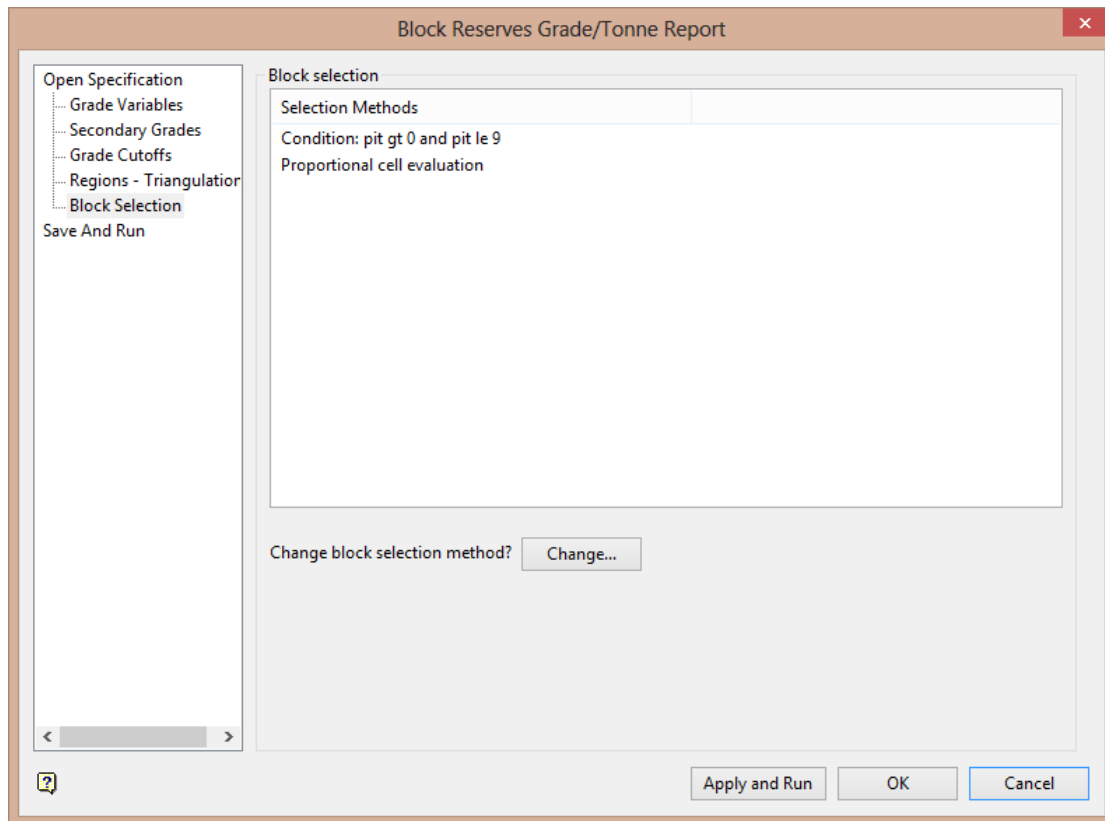
Cutoff
*

Report cutoff increment values

Apply and Run OK Cancel

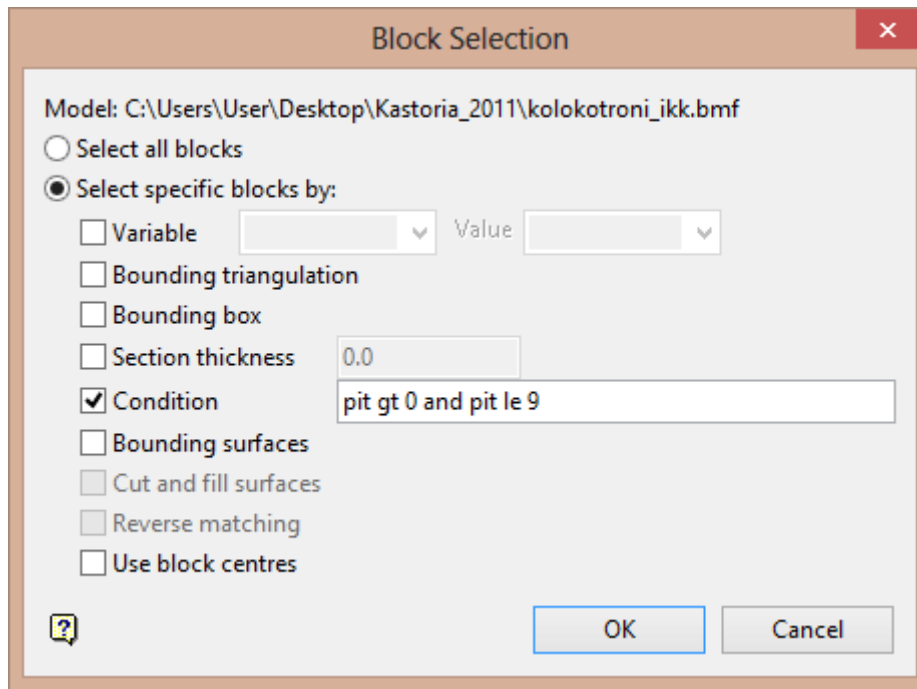
33. Συνεχίζουμε στο επίπεδο **Block selection**.

34. Επιλέγουμε το κουτάκι **Change...** για να αλλάξουμε τη μέθοδο με την οποία επιλέγονται τα μπλοκ.



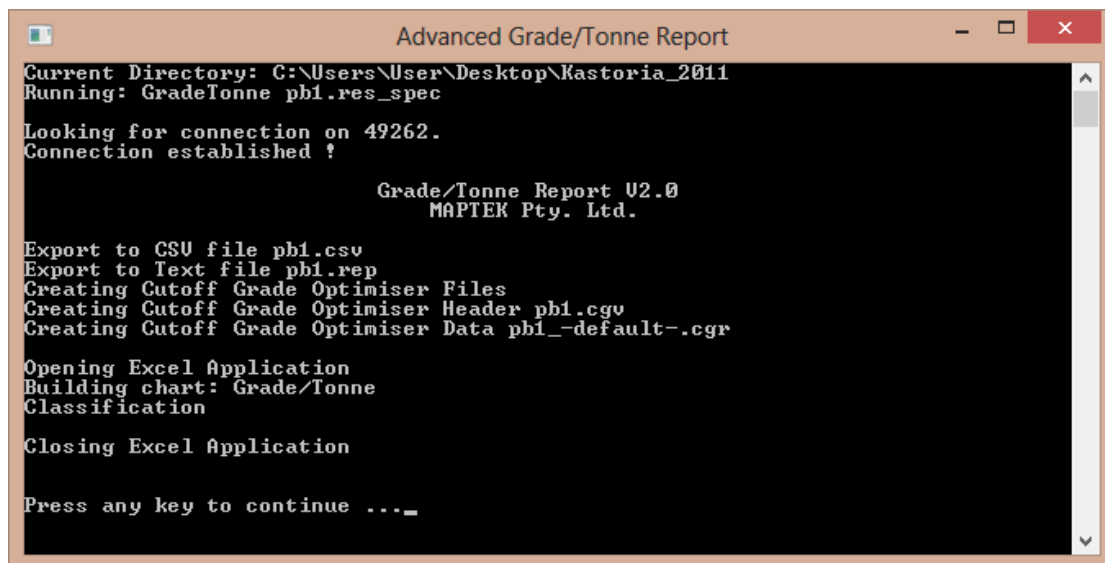
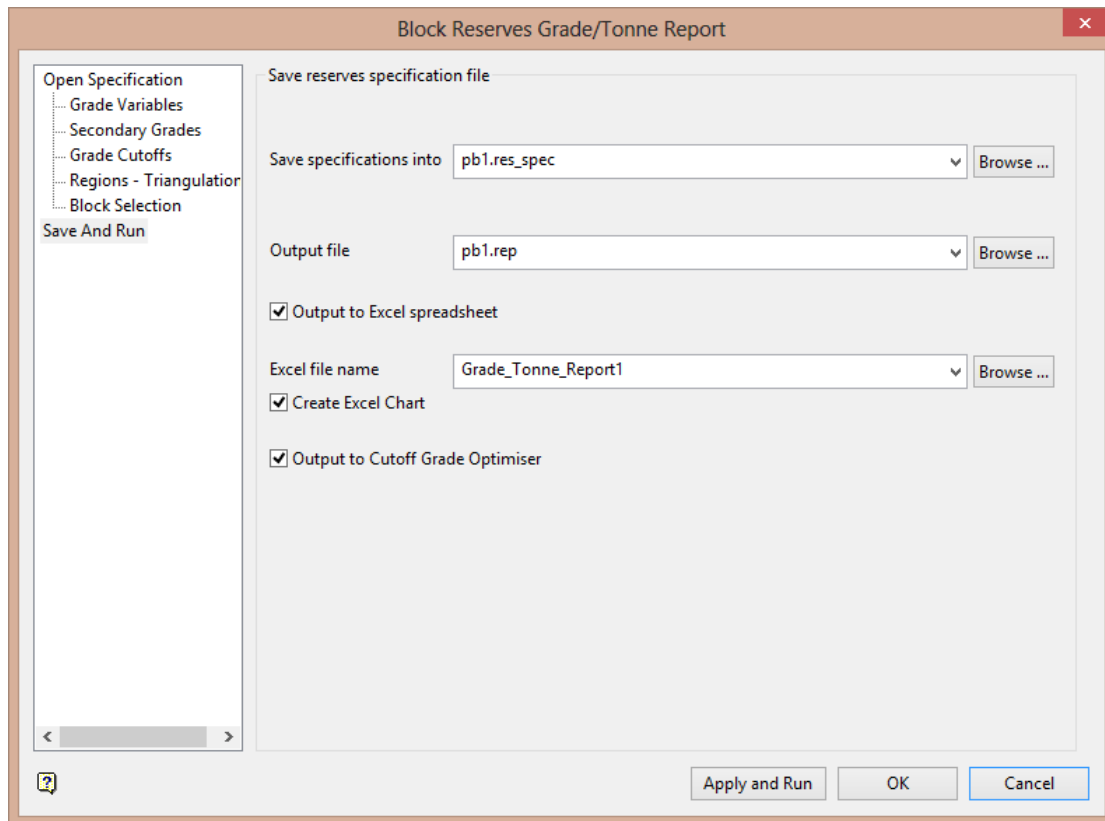
35. Στο παρακάτω παράθυρο επιλέγουμε το **Select specific blocks by:** και τικάρουμε το **Condition**, στο διπλανό κουτάκι πληκτρολογούμε την παρακάτω συνθήκη: ***pit gt 0 and pit le 9***. Δηλαδή, μεταβλητή pit > 0 και μεταβλητή pit <= 9. Όπου με την παραπάνω συνθήκη επιλέγουμε για ποιες φάσεις θέλουμε να εμφανιστεί το διάγραμμα τονάζ περιεκτικότητας.

36. Πατάμε **OK** και επιλέγουμε το πεδίο **Save And Run**.



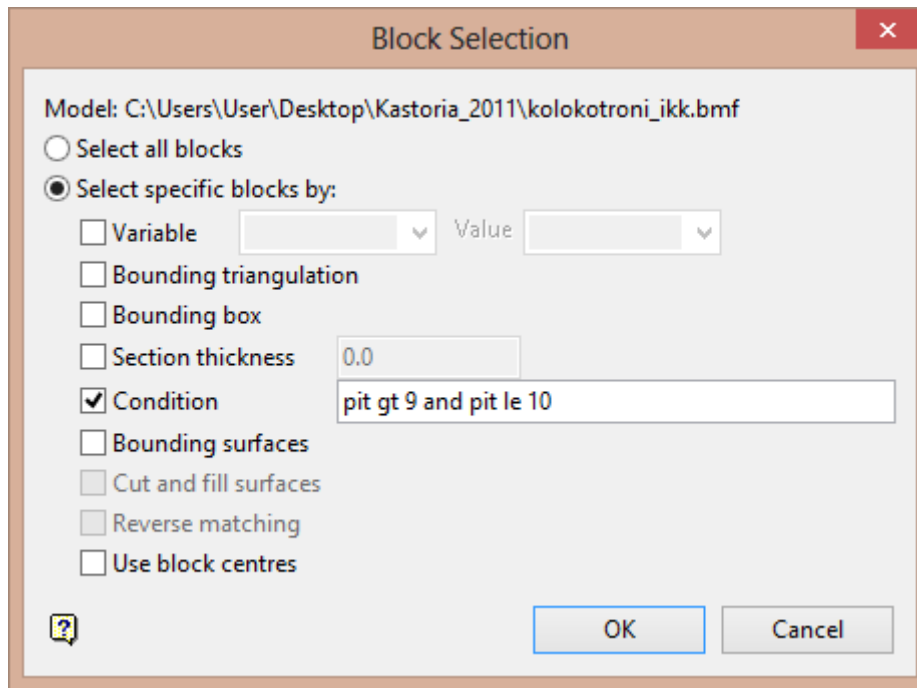
37. Ελέγχουμε αν η ονομασία του πεδίου **Save specifications into** είναι αυτή που δώσαμε στο αρχικό παράθυρο, δηλ. **pb1** καθώς επίσης και στο πεδίο **Output file**.
38. Επιλέγουμε το **Output to Excel spreadsheet** για να εξαχθεί ένα αρχείο excel στο οποίο θα περιλαμβάνονται οι τιμές του cutoff, η περιεκτικότητα του νικελίου και το τονάζ.
39. Στο πεδίο **Excel file name** δίνουμε την ονομασία **Grade\_Tonne\_Report1**.
40. Επιλέγουμε το **Create Excel Chart** για να δημιουργηθεί το γράφημα.
41. Επιλέγουμε το **Output to Cutoff Grade Optimiser** για να εξαχθεί το αρχείο αναφοράς και σε μορφή που αναγνωρίζει το **Cutoff Grade Optimiser**.
42. Πατάμε **Apply and Run** και ανοίγει η κονσόλα εργασιών.



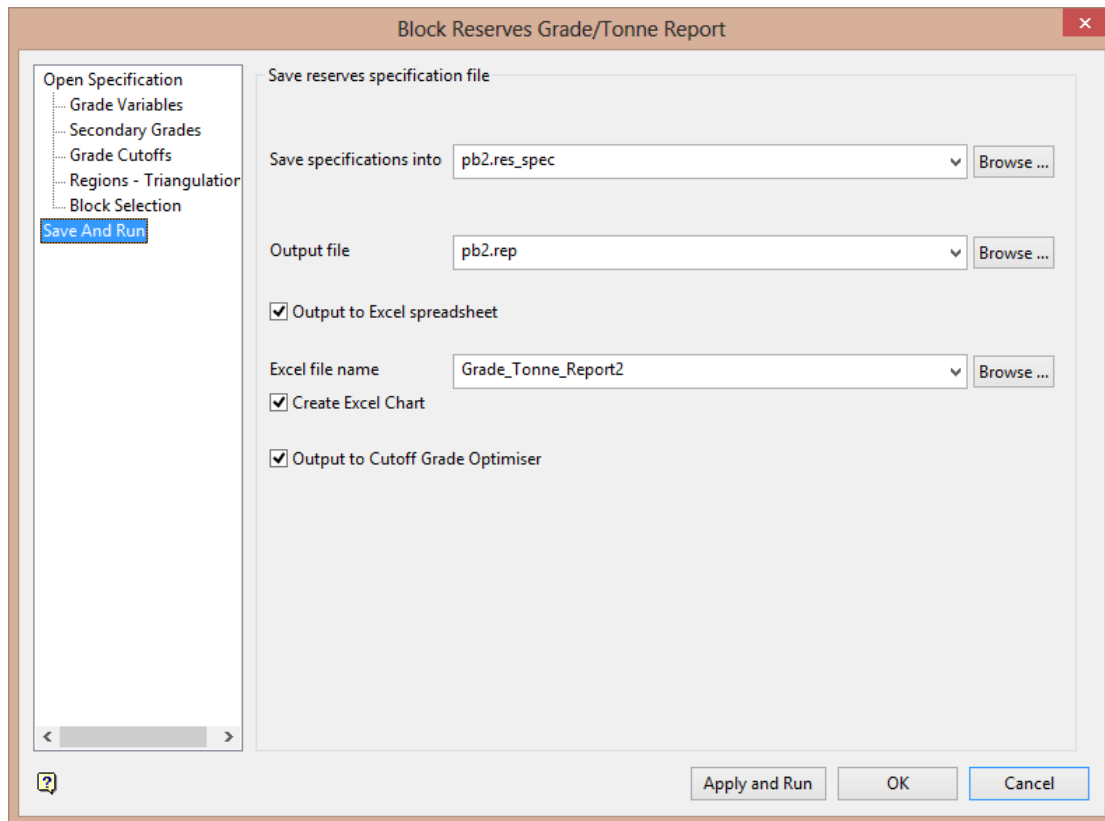


43. Μόλις ολοκληρωθεί η διαδικασία πατάμε **ENTER** για να κλείσει το παράθυρο.

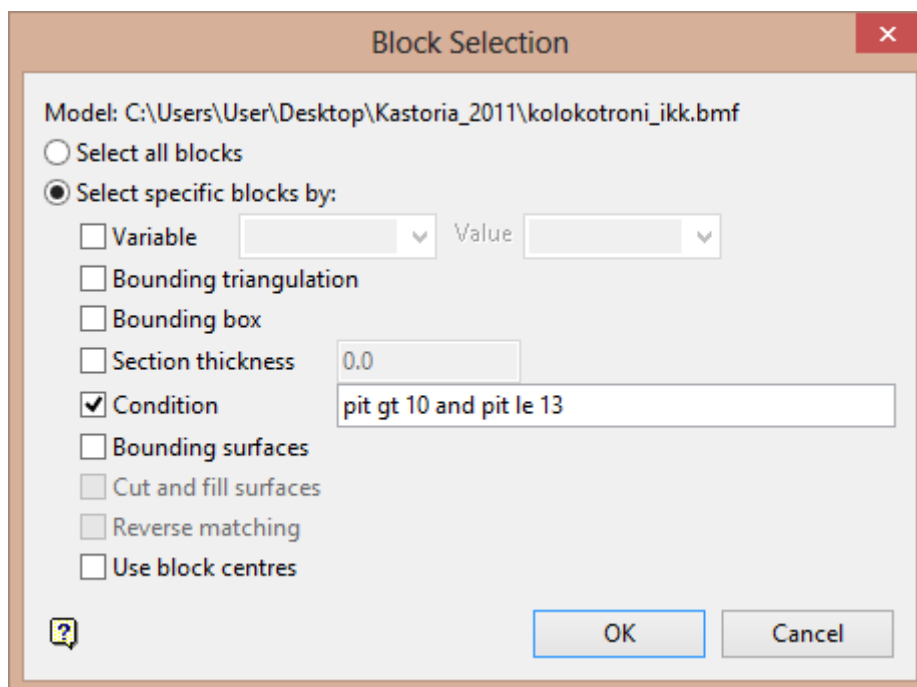
44. Ομοίως με τη λειτουργία **Block > Advanced Reserves > Grade/Tonne Report**, (βήμα 10) ακολουθούμε την ίδια διαδικασία μέχρι το παράθυρο **Block Selection** όπου συμπληρώνουμε την παρακάτω συνθήκη αλλάζοντας τις φάσεις: ***pit gt 9 and pit le 10*** και συνεχίζουμε ακριβώς όπως παραπάνω.



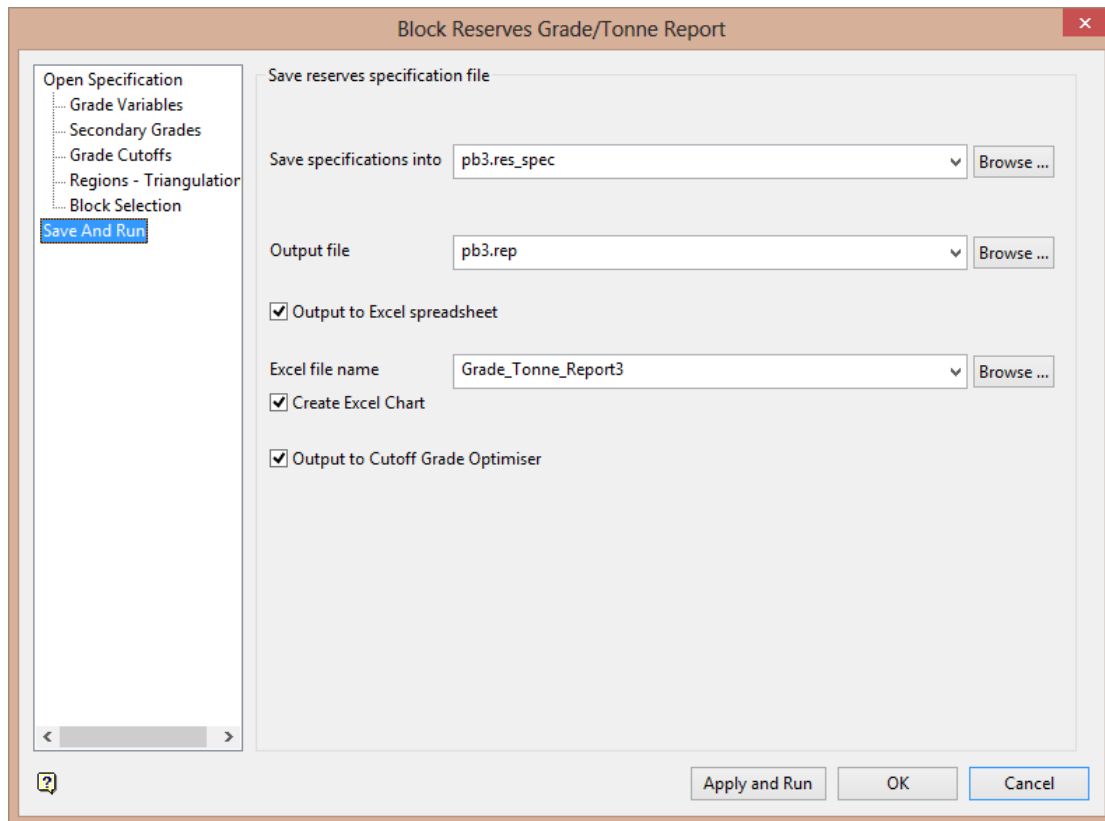
45. Στο πεδίο **Excel file name** δίνουμε την ονομασία ***Grade\_Tonne\_Report2***. **ΠΡΟΣΟΧΗ**, το Vulcan δεν αλλάζει αυτόματα το όνομα του αρχείου και σε περίπτωση που το ξεχάσουμε θα αντικαταστήσει το αρχείο Excel του ***pb1***.



46. Με το ίδιο ακριβώς τρόπο προχωρούμε και εδώ με την μόνη διαφορά πως η συνθήκη είναι πλέον: ***pit gt 10 and pit le 13***.



47. Στο πεδίο **Excel file name** δίνουμε την ονομασία ***Grade\_Tonne\_Report3***.



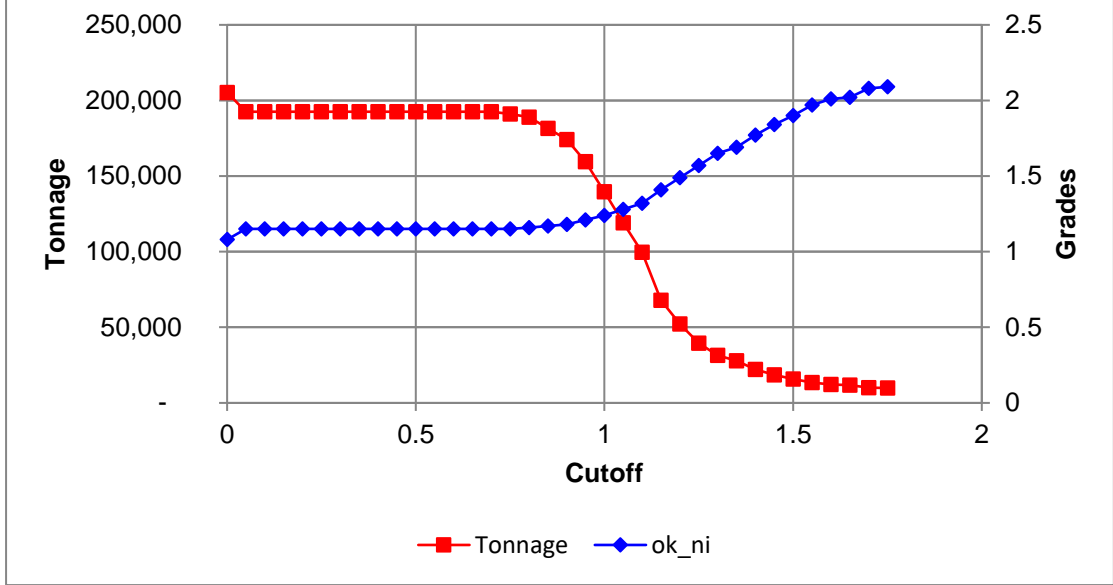
Αφού ολοκληρώσουμε την διαδικασία, προκύπτουν οι 3 παρακάτω πίνακες και τα αντίστοιχα διαγράμματα.

PB1		
Cutoff	ok_ni	Tonnage
0	1.08	205,365
0.05	1.15	192,514
0.1	1.15	192,514
0.15	1.15	192,514
0.2	1.15	192,514
0.25	1.15	192,514
0.3	1.15	192,514
0.35	1.15	192,514
0.4	1.15	192,514
0.45	1.15	192,514
0.5	1.15	192,514
0.55	1.15	192,514
0.6	1.15	192,514
0.65	1.15	192,514
0.7	1.15	192,478
0.75	1.15	191,128
0.8	1.16	189,057
0.85	1.17	181,508
0.9	1.18	174,185
0.95	1.21	159,440
1	1.24	139,642
1.05	1.28	119,196
1.1	1.32	99,525
1.15	1.41	67,826
1.2	1.49	52,245
1.25	1.57	39,424
1.3	1.65	31,416
1.35	1.69	27,822
1.4	1.77	22,052
1.45	1.84	18,549
1.5	1.9	15,870
1.55	1.97	13,415
1.6	2.01	12,130
1.65	2.02	11,855
1.7	2.08	10,109
1.75	2.09	9,859

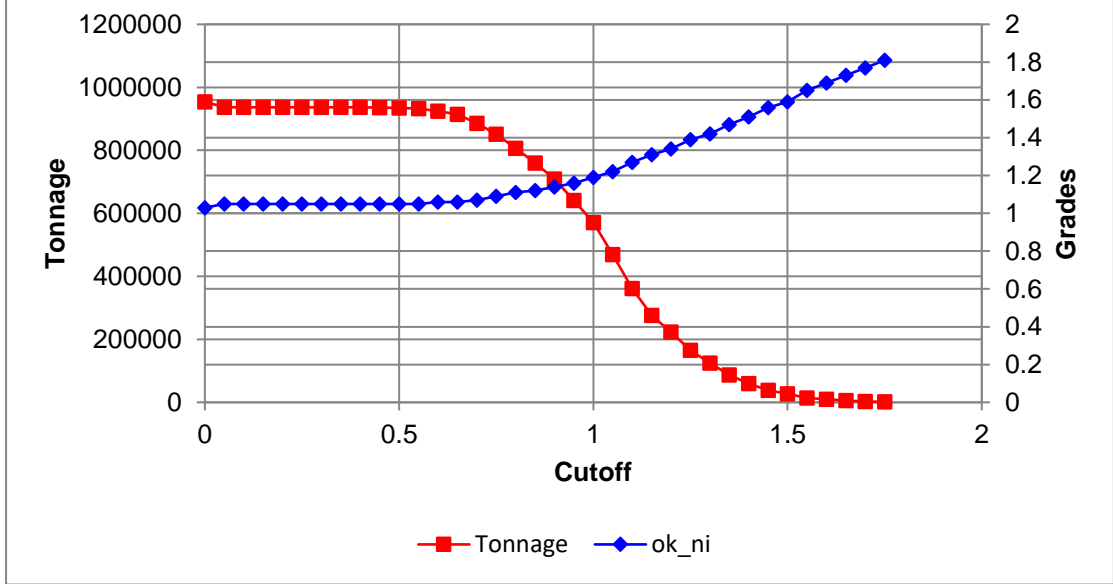
PB2		
Cutoff	ok_ni	Tonnage
0	1.03	954,220
0.05	1.05	936,414
0.1	1.05	936,414
0.15	1.05	936,414
0.2	1.05	936,414
0.25	1.05	936,414
0.3	1.05	936,414
0.35	1.05	936,414
0.4	1.05	936,260
0.45	1.05	935,622
0.5	1.05	934,434
0.55	1.05	932,467
0.6	1.06	924,223
0.65	1.06	914,089
0.7	1.07	885,613
0.75	1.09	851,164
0.8	1.11	806,460
0.85	1.12	759,314
0.9	1.14	708,763
0.95	1.16	641,396
1	1.19	570,917
1.05	1.22	468,938
1.1	1.27	361,768
1.15	1.31	276,012
1.2	1.34	222,822
1.25	1.39	165,259
1.3	1.42	124,911
1.35	1.47	86,639
1.4	1.51	59,197
1.45	1.56	38,041
1.5	1.59	26,672
1.55	1.65	14,193
1.6	1.69	9,460
1.65	1.73	5,684
1.7	1.77	3,102
1.75	1.81	1,592

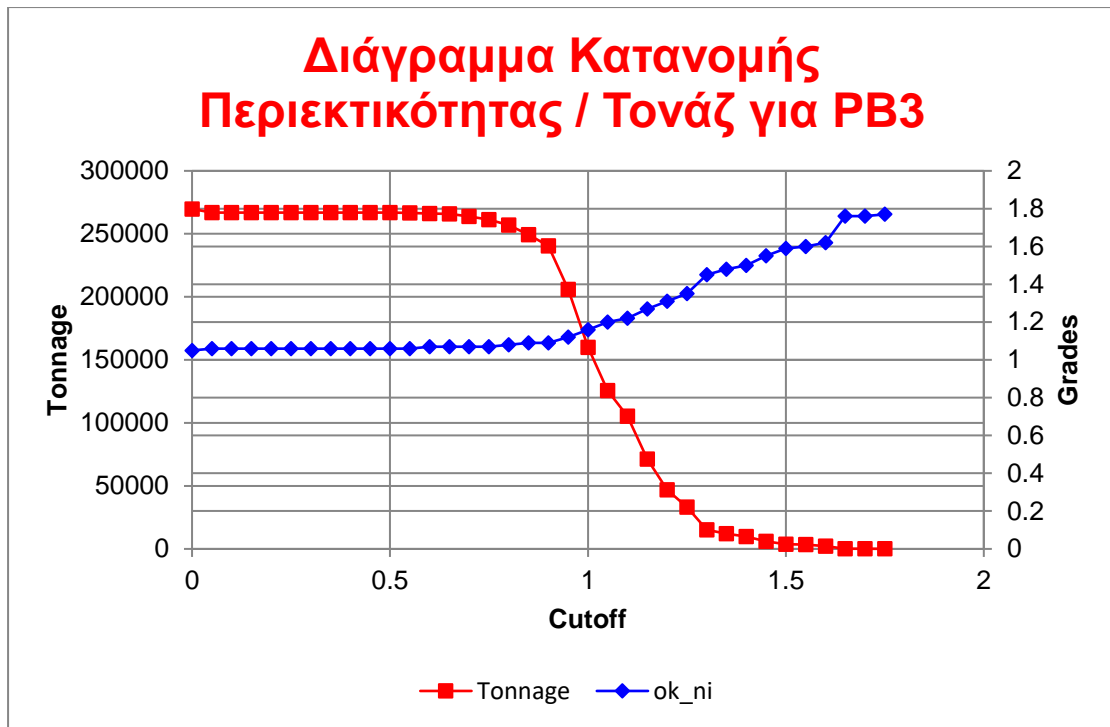
PB3		
Cutoff	ok_ni	Tonnage
0	1.05	269,792
0.05	1.06	266,871
0.1	1.06	266,871
0.15	1.06	266,871
0.2	1.06	266,871
0.25	1.06	266,871
0.3	1.06	266,871
0.35	1.06	266,871
0.4	1.06	266,871
0.45	1.06	266,871
0.5	1.06	266,871
0.55	1.06	266,566
0.6	1.07	266,063
0.65	1.07	265,757
0.7	1.07	263,736
0.75	1.07	261,209
0.8	1.08	257,056
0.85	1.09	249,334
0.9	1.09	240,523
0.95	1.12	205,928
1	1.16	159,948
1.05	1.2	125,686
1.1	1.22	105,311
1.15	1.27	71,332
1.2	1.31	46,954
1.25	1.35	33,215
1.3	1.45	15,026
1.35	1.48	11,971
1.4	1.5	9,666
1.45	1.55	5,888
1.5	1.59	3,765
1.55	1.6	3,416
1.6	1.62	2,065
1.65	1.76	66
1.7	1.76	66
1.75	1.77	58

## Διάγραμμα Κατανομής Περιεκτικότητας / Τονάζ για PB1



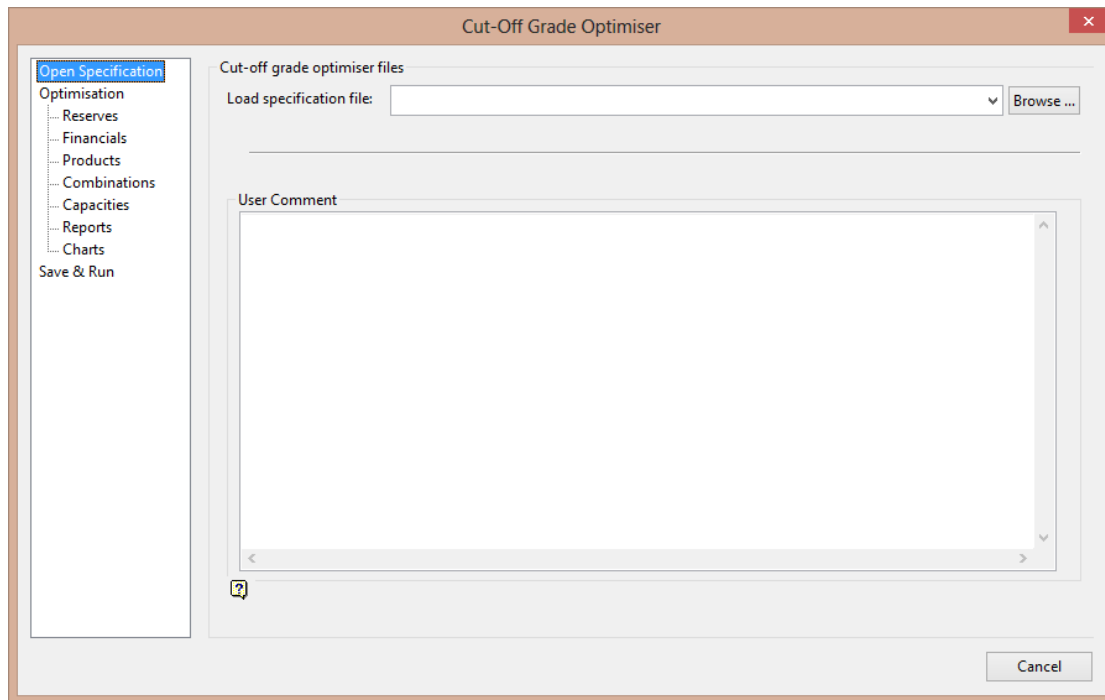
## Διάγραμμα Κατανομής Περιεκτικότητας / Τονάζ για PB2



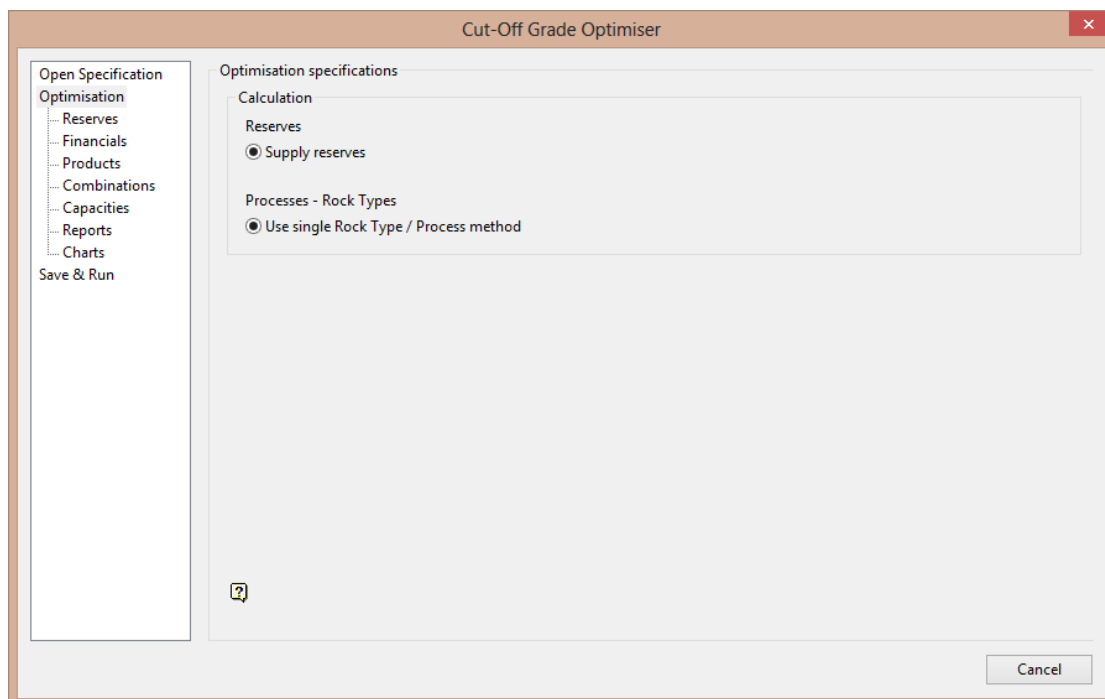


48. Στη συνέχεια επιλέγουμε τη λειτουργία **Block > Cut-Off Grade Optimiser > C.O.G. Optimiser Editor**. Αυτή μας επιτρέπει να βρούμε την πιο κατάλληλη περιεκτικότητα που μεγιστοποιεί την καθαρή παρούσα αξία (NPV) μιας μεταλλευτικής επιχείρησης η οποία βασίζεται στον αλγόριθμο του Lane για να υπολογίσει τις διάφορες πιθανές περιεκτικότητες κατώτατου ορίου εκμεταλλευσιμότητας σε μια απόθεση.

49. Στο αρχείο προδιαγραφών (**load specification file**) επιλέγουμε το **cog.cgf**.



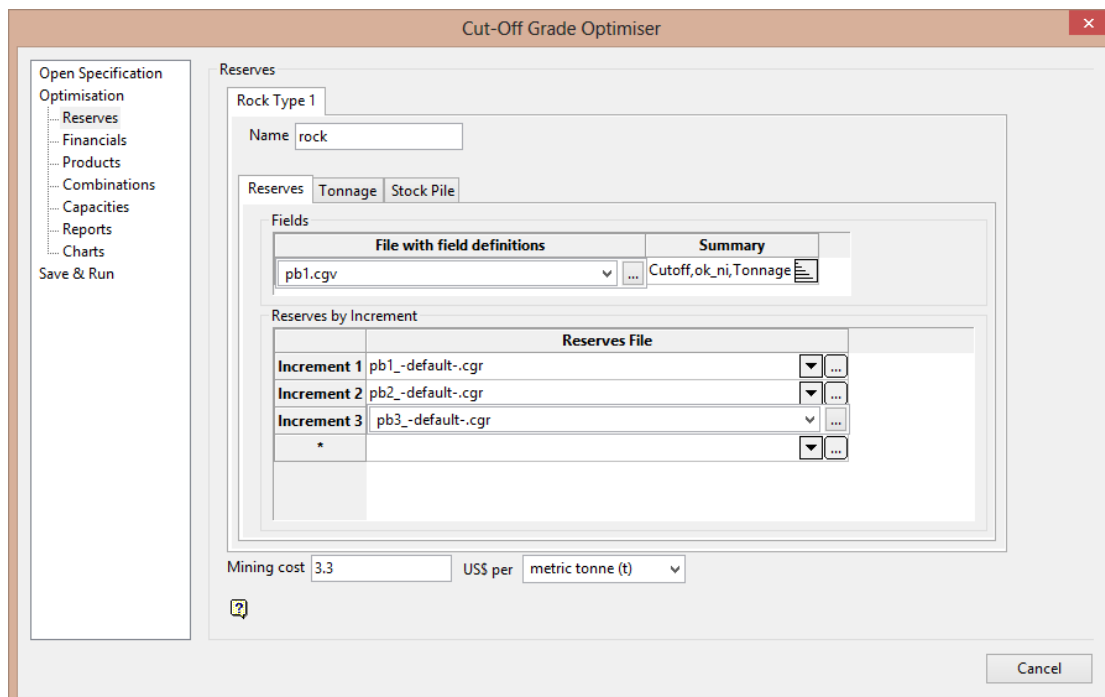
50. Το συγκεκριμένο πεδίο του **Optimiser (Optimisation)** το αφήνουμε ως έχει διότι στηρίζει μόνο ένα τύπο μεταλλεύματος και μια διαδικασία επεξεργασίας.



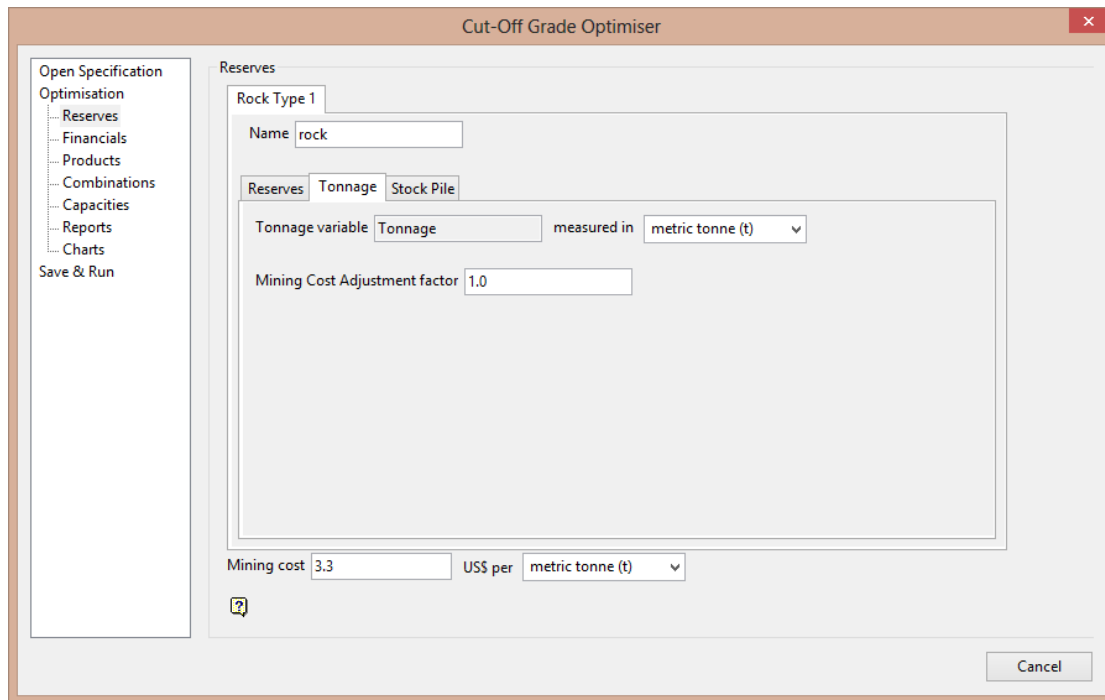
51. Πηγαίνοντας στο πεδίο **Reserves**, στην επιλογή **Rock Type 1** πληκτρολογούμε **rock**.



52. Ακριβώς από κάτω, στην καρτέλα **Reserves** επιλέγουμε στο **File with field definitions** το **pb1.cgv** για να μας δώσει τις μεταβλητές.
53. Έπειτα εισάγουμε με τη σειρά που πρέπει να γίνει η εκσκαφή τις τρεις φάσεις **pb1\_-default.cgr**, **pb2\_-default.cgr**, **pb3\_-default.cgr** στο **Reserves File** επιλέγοντάς τες κάνοντας κλικ στο τριγωνάκι που βρίσκεται δίπλα από το **Increment 1**, **Increment 2** και **Increment 3** αντίστοιχα.
54. Παρακάτω, στο **Mining cost** συμπληρώνουμε το κόστος εκσκαφής **3.3** επιλέγοντας δίπλα τον τρόπο χρέωσης ανά μετρικό τόνο (**metric tonne**).



Στην καρτέλα **Tonnage** μας δίνεται η δυνατότητα να επιλέξουμε τον τρόπο με τον οποίο γίνεται ο χαρακτηρισμός της μονάδας του μεταλλεύματος (στη συγκεκριμένη περίπτωση ανά μετρικό τόνο), καθώς επίσης και να εισάγουμε τον συντελεστή προσαρμογής του κόστους εξόρυξης (**Mining Cost Adjustment factor**).



55. Στο επίπεδο **Financials** μας δίνεται η δυνατότητα να ορίσουμε τη νομισματική μονάδα, ποσά επένδυσης (**Investments**), πάγια κόστη (**Fixed Costs**) καθώς και την υποτίμησης εκφρασμένη σε ποσοστό επί τις εκατό (**Discount rate**). Πιο συγκεκριμένα:

Στη νομισματική μονάδα επιλέγουμε το €.

Στα ποσά επένδυσης συμπληρώνουμε **1.000.000**.

Στα πάγια κόστη συμπληρώνουμε **570.000** και

Στο ρυθμό υποτίμησης **10**.

56. Στο πεδίο **Product** επιλέγουμε την μεταβλητή περιεκτικότητας (**Grade variable**), **ok\_ni** και στο **Values measured in** επιλέγουμε το **weight percent (%)**.
57. Παρακάτω στο **Base price** εισάγουμε την τιμή του μεταλλεύματος **13.750** και επιλέγουμε **metric tonne (t)** επειδή η τιμή 13750 αναφέρεται ανά τόνο μεταλλεύματος.
58. Επειδή δεν έχουμε κόστος για την πώληση ανακτώμενου προϊόντος συμπληρώνουμε **0**.

The screenshot shows the 'Cut-Off Grade Optimiser' window with the 'Products' section active. On the left is a navigation menu with options: Open Specification, Optimisation, Reserves, Financials, Products, Combinations, Capacities, Reports, Charts, and Save & Run. The 'Products' panel is titled 'Grade 1' and contains the following fields:

- Product units:** Grade variable (ok\_ni), Values measured in (weight percent (%)) per (empty).
- Price:** Base price (13750.0) € per (metric tonne (t)).
- Selling Cost:** Cost to sell a unit of recovered product (0.0) € per (metric tonne (t)).

Buttons at the bottom right include 'Add Product', 'Remove Last', and 'Cancel'.

59. Στο πεδίο **Combinations** συμπληρώνουμε στο κόστος επεξεργασίας (**Rock Type processing cost**) τον αριθμό **68.8** και επιλέγουμε από δίπλα το **metric tonne (t)** για να εφαρμόσει αυτό το κόστος ανά τόνο μεταλλεύματος.

60. Παρακάτω στο ποσοστό ανάκτησης (**Recovery fraction**) συμπληρώνουμε **0.82**.

The screenshot shows the 'Cut-Off Grade Optimiser' window with the 'Combinations: Process - Rock Type' section active. The left navigation menu is the same as in the previous screenshot. The 'Combinations: Process - Rock Type' panel is titled 'Combination 1' and contains the following fields:

- Process name:** Process 1
- Rock type:** rock
- Rock Type processing cost:** 68.8 € per (metric tonne (t)).
- Products:** Product controlling Cut-Off (ok\_ni), Recovery fraction (0.82).

Below the 'Products' section is a table with two columns: 'Product' and 'Recovery fraction'.

Product	Recovery fraction
*	1.0

Buttons at the bottom right include 'Cancel'.

61. Στο πεδίο **Capacities** συμπληρώνουμε:

Δυναμικότητα εξόρυξης (**Mining capacity**), **100.000** ανά μετρικό τόνο (**metric tonne**).

Δυναμικότητα επεξεργασίας (**Treating capacity**), **90.000** ανά μετρικό τόνο (**metric tonne**).

Δυναμικότητα προώθησης προϊόντος (**Marketing capacity**), **830** ανά μετρικό τόνο (**metric tonne**).

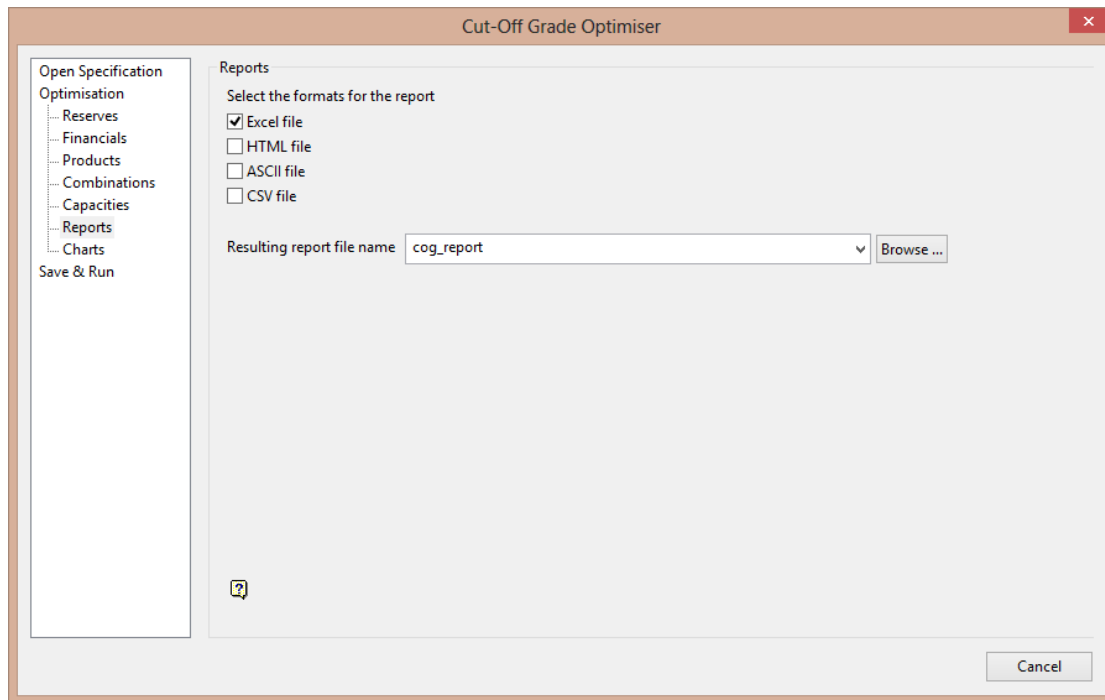
The screenshot shows the 'Cut-Off Grade Optimiser' window. The left sidebar contains a tree view with the following items: 'Open Specification', 'Optimisation', 'Reserves', 'Financials', 'Products', 'Combinations', 'Capacities' (highlighted), 'Reports', 'Charts', and 'Save & Run'. The main panel is titled 'Capacities' and features three input fields with dropdown menus:

Capacity Type	Value	Unit
Mining Capacity	100000	metric tonne (t)
Treating capacity	90000	metric tonne (t)
Marketing capacity	830	metric tonne (t)

A 'Cancel' button is located at the bottom right of the window.

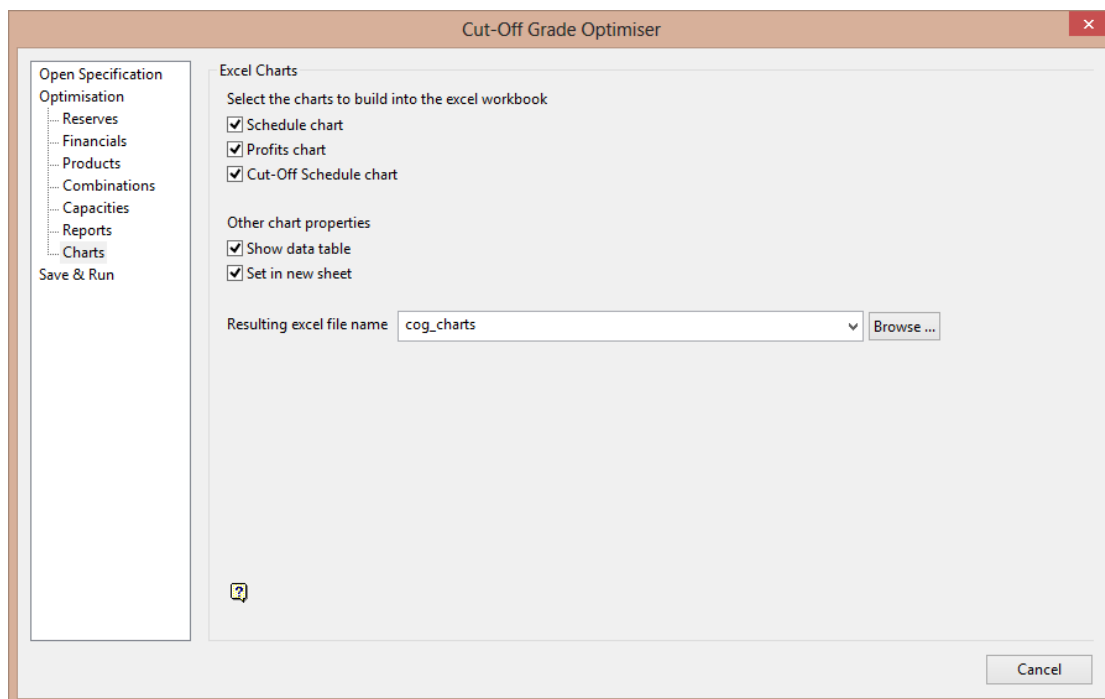
62. Στο πεδίο **Reports** επιλέγουμε το **Excel file** για να εξαγει σε φύλλο excel την αναφορά.

63. Παρακάτω στο **Resulting report file name** πληκτρολογούμε το όνομα **cog\_report** για να αποθηκευτεί το αρχείο.

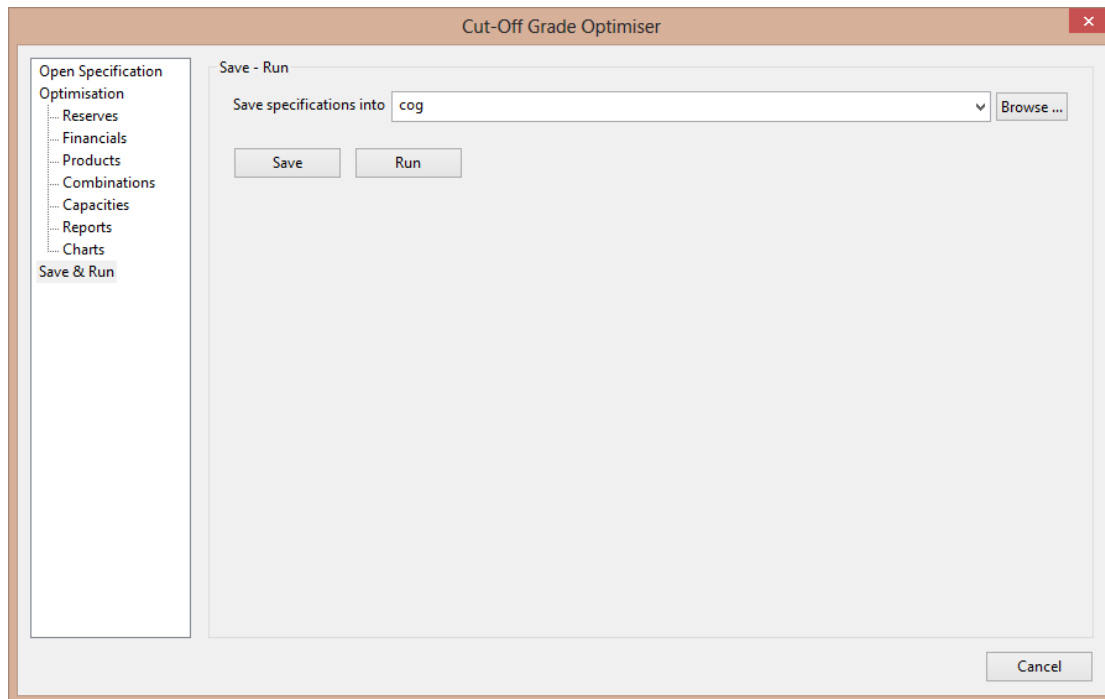


64. Στο πεδίο **Charts** τικάρουμε όλα τα κουτάκια γιατί χρειαζόμαστε όλα τα διαγράμματα.

65. Στο **Resulting excel file name** πληκτρολογούμε **cog\_charts**.



66. Τέλος στο πεδίο **Save & Run** πληκτρολογούμε τη λέξη **cog** στο **save specifications into** και πατάμε **Save** και **Run**.

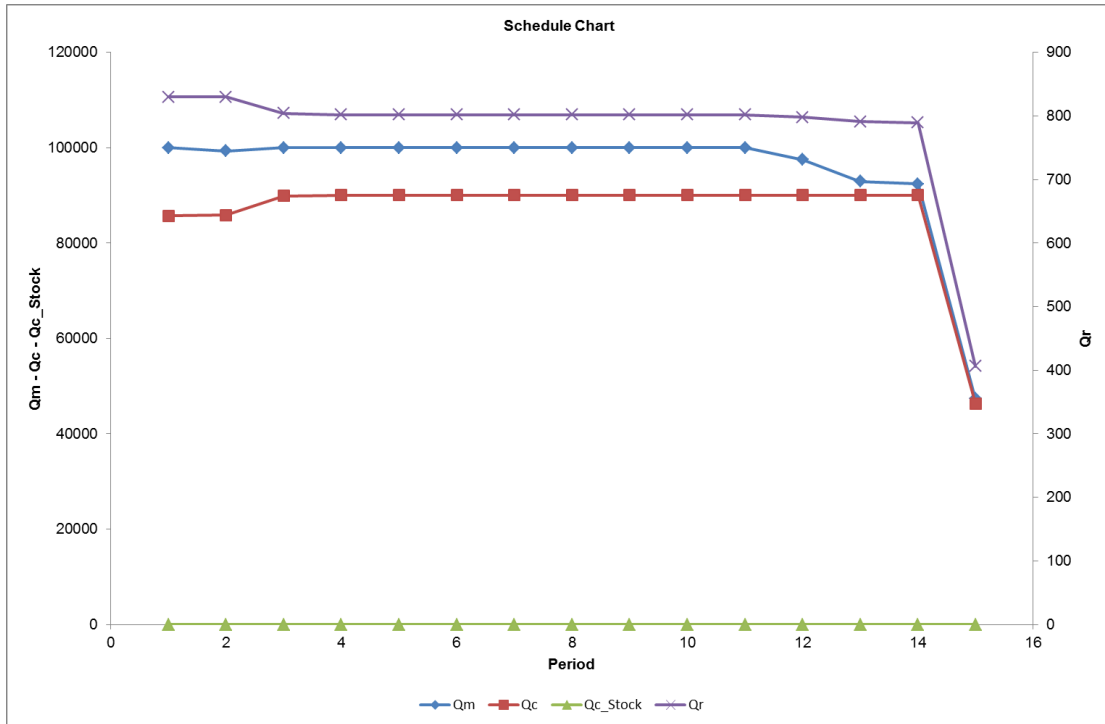


	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Period	Increment	COG	Limit	Qm	Qc	Qc_Stock	Qr	Profit	NPV
2	1	1	0.887985	M	100000	85674.39	0	830	4618102	30572114
3	2	1	0.876914	R	99318.2	85874.48	0	830	4606586	29011223
4	3	1	0.73892	M	100000	89865.7	0	804.2423	3975571	27305759
5	4	2	0.73892	M	100000	90000	0	801.6074	3930102	26060764
6	5	2	0.73892	M	100000	90000	0	801.6074	3930102	24736739
7	6	2	0.73892	M	100000	90000	0	801.6074	3930102	23280311
8	7	2	0.73892	M	100000	90000	0	801.6074	3930102	21678240
9	8	2	0.73892	M	100000	90000	0	801.6074	3930102	19915962
10	9	2	0.73892	M	100000	90000	0	801.6074	3930102	17977456
11	10	2	0.73892	M	100000	90000	0	801.6074	3930102	15845099
12	11	2	0.73892	M	100000	90000	0	801.6074	3930102	13499507
13	12	2	0.773977	C	97485.36	90000	0	798.0893	3890027	10919356
14	13	3	0.746403	C	92892.55	90000	0	790.9789	3807414	8121265
15	14	3	0.716886	C	92365.35	90000	0	789.5473	3789470	5125978
16	15	3	0.684593	C	47314.29	46361.54	0	405.9339	1942157	1849106
17										
18	Final NPV	29572114								
19										
20										
21										

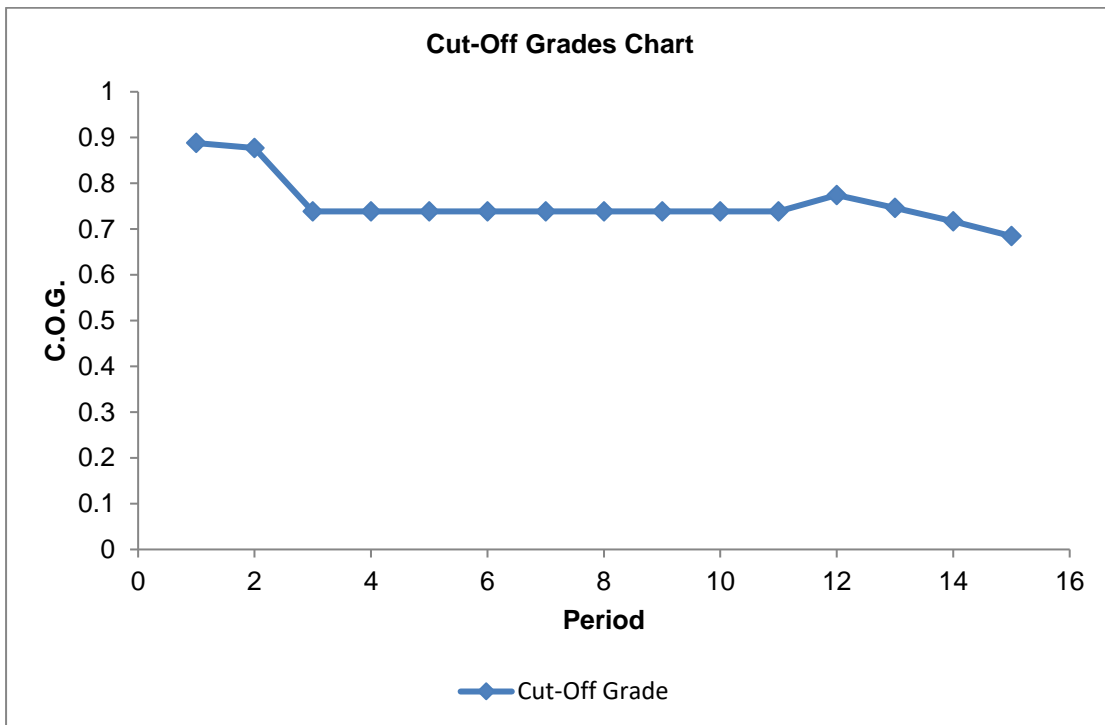
### Αναφορά προγραμματισμού

- Στην στήλη **Period** βλέπουμε τις περιόδους.
- Στην στήλη **Increment** βλέπουμε τις φάσεις.
- Στην στήλη **COG** βλέπουμε το κατώτατο όριο.
- Στην στήλη **Limit** βλέπουμε ποιος από τους τρεις παράγοντες είναι ο περιοριστικός.
- Στην στήλη **Qm** βλέπουμε τους τόνους που θα εξορυχθούν κάθε περίοδο.
- Στην στήλη **Qc** βλέπουμε τους τόνους που θα επεξεργαστούν κάθε περίοδο.
- Στην στήλη **Qm** βλέπουμε τους τόνους που μπορούν να προωθηθούν στην αγορά κάθε περίοδο.
- Στην στήλη **Profit** βλέπουμε το κέρδος ανά περίοδο.
- Στην στήλη **NPV** βλέπουμε την καθαρή παρούσα αξία ανά περίοδο.

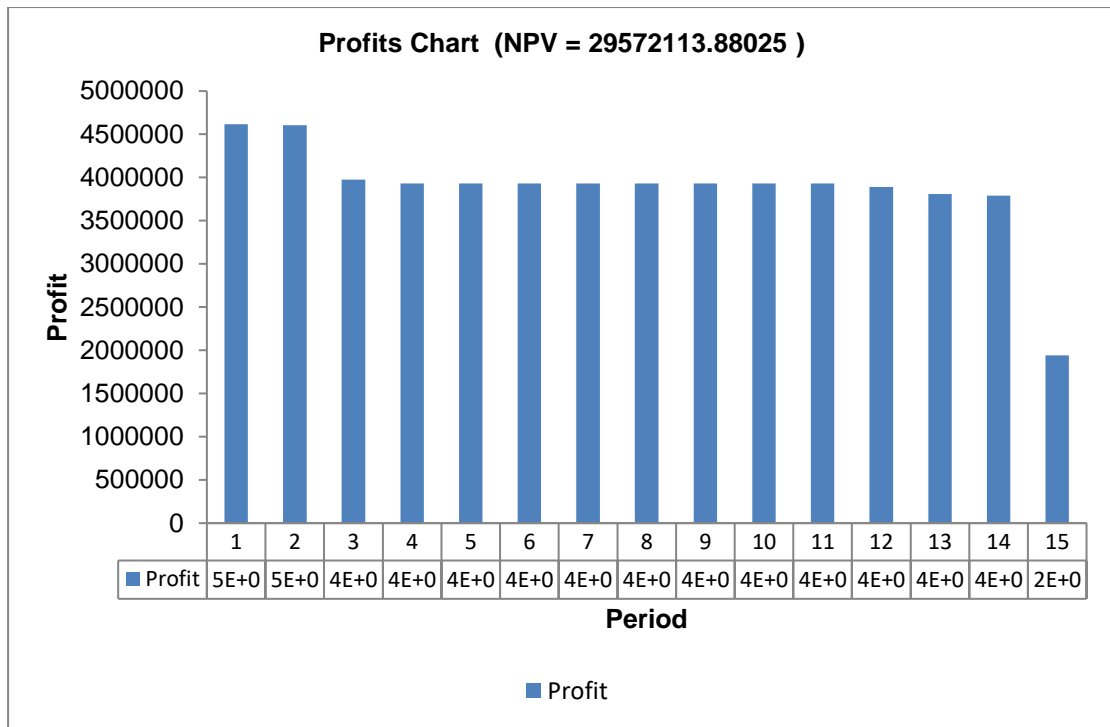




**Διάγραμμα προγραμματισμού**



**Διάγραμμα κατώτατου ορίου εκμεταλλευσιμότητας**



**Διάγραμμα κέρδους**

## 10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην πτυχιακή αυτή ασχοληθήκαμε με την διαμόρφωση μιας βέλτιστης πολιτικής κατώτατου ορίου εκμεταλλευσιμότητας με βάση τη μεθοδολογία που ανέπτυξε ο Kenneth Lane και έχει ενσωματωθεί στο λογισμικό Vulcan 3D και συγκεκριμένα στο τμήμα του που είναι υπεύθυνο για τη βελτιστοποίηση του ορίου, Cutoff Grade Optimiser. Η μεθοδολογία εξετάστηκε ως προς το μαθηματικό της μέρος καθώς και ως προς την κρισιμότητα της εφαρμογής της. Στο πρακτικό μέρος (παράδειγμα εφαρμογής) παρουσιάστηκε η περίπτωση ενός κοιτάσματος νικελίου και χρησιμοποιήθηκαν πραγματικά δεδομένα με εξαίρεση τις οικονομικές παραμέτρους εισόδου για το πρόγραμμα βελτιστοποίησης. Οι παράμετροι αυτές διαμορφώθηκαν έτσι ώστε να γίνει η μέγιστη δυνατή χρήση των δυνατοτήτων του λογισμικού και να φανεί το πώς μπορεί να επηρεάζεται το βέλτιστο κατώτατο όριο από τους τρεις περιοριστικούς παράγοντες. Όπως φάνηκε και στο παράδειγμα, το βέλτιστο κατώτατο όριο εκμεταλλευσιμότητας μπορεί να είναι ιδιαίτερα δυναμικό και εξαρτάται από όλους τους παράγοντες που αναφέραμε καθόλη τη διάρκεια ζωής ενός μεταλλείου.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

Καπαγερίδης, Ι., *Μεταλλευτική Πληροφορική με Χρήση του Vulcan 3D Software – Σημειώσεις Θεωρίας και Εργαστηρίου*, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Μακεδονίας, 2013.

Lane, K., *The Economic Definition of Ore*, Mining Journal Books Ltd, 1998.

Rendu, J.M., *An Introduction to Cut-Off Grade Estimation*, Society for Mining Metallurgy & Exploration, 2008.

Vulcan online help, Maptek Pty Ltd.