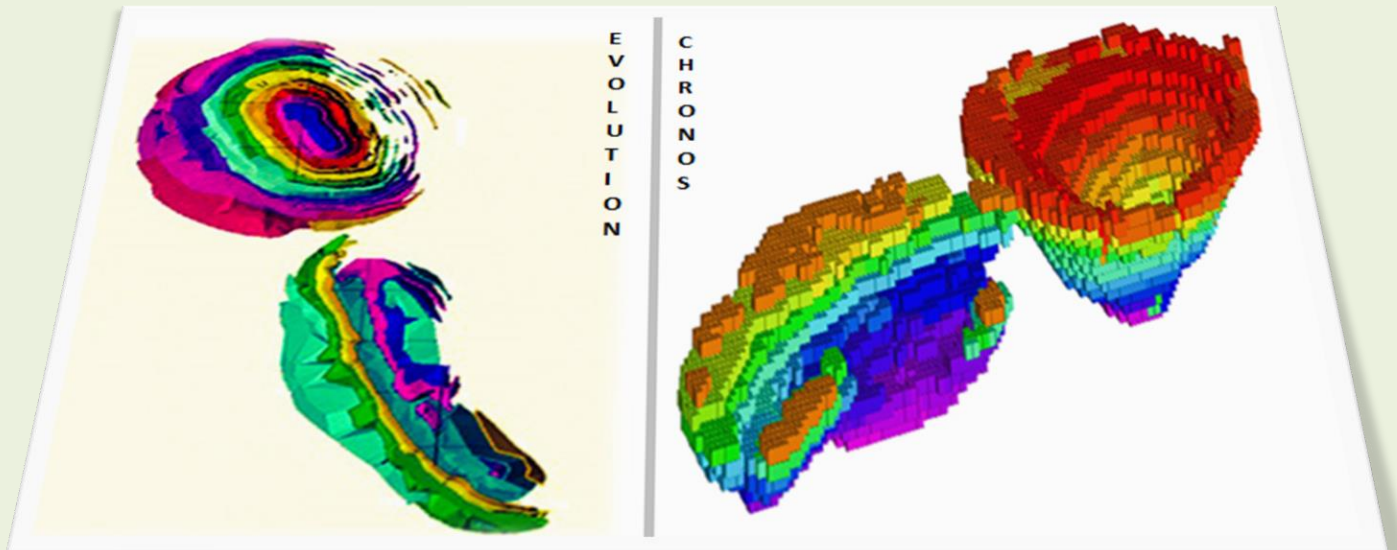


ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΣΗΣ



Σύγκριση Βελτιστοποίησης
Προγραμματισμού Υπαίθριας
Εκμετάλλευσης με Γενετικούς
Αλγόριθμους & Μικτό Ακέραιο Γραμμικό
Προγραμματισμό

ΦΟΙΤΗΤΕΣ: ΕΥΑ ΜΠΡΕΓΚΟΥ & ΔΙΟΝΥΣΗΣ ΤΣΟΥΧΛΑΚΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΔΡ. ΚΑΠΑΓΕΡΙΔΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ

ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΣΗΣ

Πτυχιακή εργασία

**Σύγκριση Βελτιστοποίησης Προγραμματισμού Υπαίθριας
Εκμετάλλευσης με Γενετικούς Αλγόριθμους & Μικτό
Ακέραιο Γραμμικό Προγραμματισμό**

**A Comparative Study of NPV Open Pit Schedule
Optimisation Using Mixed Integer Programming and
Evolutionary Algorithms**

Φοιτητές: Εύα Μπρέγκου & Διονύσης Τσουχλάκης

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Καπαγερίδης Ιωάννης

KOZANH 2017

Ευχαριστίες

Η διπλωματική αυτή εργασία εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2016-2017 υπό την επίβλεψη του Δρ. Ιωάννη Καπαγερίδη, στον οποίο οφείλουμε ιδιαίτερες ευχαριστίες για την ανάθεσή της και την εμπιστοσύνη που μας έδειξε δίνοντας μας την ευκαιρία να ασχοληθούμε με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα. Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους γονείς μας και τους φίλους μας για τη στήριξη και βοήθεια τους όλα τα χρόνια των σπουδών.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αύξηση της αξίας ενός προγράμματος ορυχείων είναι μία από τις κύριες ανησυχίες των μηχανικών κατά το σχεδιασμό μεταλλείων. Τα χρονοδιαγράμματα των ορυχείων δημιουργούνται σε διάφορα στάδια ενός έργου εξόρυξης, από μελέτες σκοπιμότητας μέχρι τους τελευταίους μήνες της ζωής του. Τα εργαλεία λογισμικού που είναι διαθέσιμα στους μηχανικούς για προγραμματισμό επιτρέπουν την ταχεία ανάπτυξη διαφορετικών σεναρίων παραγωγής που πληρούν τους στόχους παραγωγής και ικανοποιούν επιχειρησιακούς περιορισμούς. Τα περισσότερα από τα πακέτα λογισμικού προγραμματισμού ενσωματώνουν κάποιο σύστημα βελτιστοποίησης που επιτρέπει στους μηχανικούς να ελαχιστοποιούν ή να μεγιστοποιούν μια αντικειμενική λειτουργία περιορίζοντας παράλληλα και άλλες ποιοτικές παραμέτρους (ποσοτήτων, όγκων, μονάδων εμπορευμάτων, χρόνου κλπ.) Και ποιοτικών (βαθμών, αναλογιών κ.λπ.). Μια ειδική και πολύ κοινή αντικειμενική λειτουργία για τη βελτιστοποίηση του χρονοδιαγράμματος είναι η καθαρή παρούσα αξία (NPV) του χρονοδιαγράμματος. Οι παραδοσιακοί αλγόριθμοι βελτιστοποίησης για τον προγραμματισμό του ορυχείου βασίζονται κυρίως σε κάποια μορφή γραμμικού, δυναμικού ή μικτού ακέραιου προγραμματισμού και συνήθως είναι αρκετά χρονοβόρες για την εγκατάσταση. Οι εξελικτικές μέθοδοι όπως ο γενετικός προγραμματισμός έχουν δοκιμαστεί από διάφορους ερευνητές στο παρελθόν. Αυτό το έγγραφο εξετάζει δύο λύσεις προγραμματισμού ικανές να βελτιστοποιήσουν την NPV - το Martek Chronos, έναν προγραμματιστή υπολογιστικών φύλλων που χρησιμοποιεί τον προγραμματισμό μικτού ακέραιου IBM ILOG CPLEX για βελτιστοποίηση και το Martek Evolution, ένα από τα πρώτα εμπορικά προϊόντα που βασίζονται σε εξελικτικούς αλγόριθμους για προγραμματισμό ορυχείων. Τα εργαλεία σχεδιασμού ανοιχτών κοιτασμάτων που παρέχονται από το Martek Evolution λειτουργούν από ένα ενιαίο σύνολο δεδομένων για τη δημιουργία στρατηγικού προγραμματισμού, μεσοπρόθεσμου και μακροπρόθεσμου προγραμματισμού καθ' όλη τη διάρκεια μιας επιχείρησης. Η εξέλιξη αποτελείται από ένα υβριδικό σύστημα με δύο εξελικτικούς και έναν κλασσικό αλγόριθμο βελτιστοποίησης. Μια μελέτη περίπτωσης που βασίζεται σε δύο γειτονικά λειτουργικά ορυχεία επιφάνειας νικελίου από την κεντρική Ελλάδα χρησιμοποιείται για να εκτιμηθούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της χρήσης αυτών των δύο προσεγγίσεων προγραμματισμού.

Λέξεις κλειδιά

Προγραμματισμός Υπαίθρια Εκμετάλλευση, Γενετικοί Αλγόριθμοι, Μεικτός Ακέραιος Γραμμικός Προγραμματισμός, Βελτιστοποίηση, Martek Chronos, Martek Evolution, IBM ILOG CPLEX.

Abstract

Increasing the value of a mine schedule is one of the main concerns of mine planning engineers. Mine schedules are generated at different stages of a mining project, from prefeasibility studies all the way to the last few months of its life. The software tools available to engineers for scheduling allow quick development of different production scenarios that meet production targets and satisfy operational constraints. Most of the scheduling software packages incorporate some optimisation system that enables engineers to minimise or maximise an objective function while constraining other parameters, both quantitative (tonnages, volumes, commodity units, time, etc.) and qualitative (grades, ratios, etc.). A special and very common objective function for schedule optimisation is the net present value (NPV) of the schedule. Traditional optimisation algorithms for mine scheduling are mostly based on some form of linear, dynamic or mixed integer programming and are commonly quite time consuming to setup. Evolutionary methods such as genetic programming have been tried by various researchers in the past. This paper examines two scheduling solutions capable of NPV optimisation – Maptek Chronos, a spreadsheet scheduler that uses IBM ILOG CPLEX mixed integer programming for optimisation, and Maptek Evolution, one of the first commercial products based on evolutionary algorithms for open pit mine scheduling. The open pit planning tools provided by Maptek Evolution work off a single dataset to generate strategic scheduling, medium and long term planning across the life of an operation. Evolution consists of a hybrid system with two evolutionary and one classical optimisation algorithm. A case study based on two adjacent operational nickel surface mines from central Greece is used to assess the advantages and disadvantages of using these two scheduling approaches.

Keywords

Scheduling in Open Pit Mining, Genetic Algorithms, Mixed- Integer Linear Programs, Optimization, Maptek Chronos, Maptek Evolution, IBM ILOG CPLEX.

Πίνακας περιεχομένων

1	Εισαγωγή.....	10
2	Προγραμματισμός Υπαίθριας Εκμετάλλευσης	11
2.1	Πρακτικός προγραμματισμός.....	15
2.2	Αυτόματος προγραμματισμός	15
2.3	Εμπειρικός προγραμματισμός.....	16
2.4	Βελτιστοποίηση Προγραμματισμού	16
3	Γενετικοί Αλγόριθμοι.....	17
3.1	Πλεονεκτήματα των Γενετικών αλγορίθμων.....	21
3.2	Τα προβλήματα των γενετικών αλγορίθμων.....	22
3.3	Τα βασικά χαρακτηριστικά των Γενετικών Αλγορίθμων	24
3.4	Εφαρμογές των γενετικών αλγορίθμων.....	25
3.4.1	Βελτιστοποίηση δικτύων	25
3.4.2	Βελτιστοποίηση χρονοδιαγραμμάτων	27
3.4.3	Εφαρμογές στη μηχανική	28
4	Μεικτός Ακέραιος Γραμμικός Προγραμματισμός (MILP).....	32
4.1	Γραμμικός Προγραμματισμός.....	32
4.2	Ακέραιος Προγραμματισμός	32
4.3	Μεικτός ακέραιος γραμμικός προγραμματισμός (Mixed- Integer Linear Programs).....	32
4.4	Προσέγγιση υπολογισμού όλων των συνδυασμών.....	33
4.5	Προσέγγιση Χαλάρωσης και Στρογγυλοποίησης.....	34
4.5.1	LP Χαλάρωση.....	34
4.5.2	Στρογγυλοποίηση	34
4.6	Προβλήματα και εφαρμογές.....	34
4.7	Το σύστημα CPLEX της IBM ILOG	36
4.7.1	Μεικτός ακέραιος γραμμικός προγραμματισμός.....	36

4.7.2	Παράδειγμα μεικτού ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού	37
5	<i>Βελτιστοποίηση Προγραμματισμού Υπαίθριας Εκμετάλλευσης με Γενετικούς Αλγόριθμους</i>	40
5.1	Η μέθοδος βελτιστοποίησης του λογισμικού Evolution.....	42
5.3	Εξερεύνηση του χώρου ορίου εκμεταλλευσιμότητας.....	45
5.4	Παράδειγμα Προγραμματισμού με Χρήση Γενετικών αλγορίθμων στο πρόγραμμα Martek Evolution	48
6	<i>Βελτιστοποίηση Προγραμματισμού Υπαίθριας Εκμετάλλευσης Με Μεικτό Ακέραιο Προγραμματισμό</i>	51
6.1	Το πρόγραμμα Martek Chromos.....	51
6.2	Προγραμματισμός του Chronos και προγραμματισμός των πόρων.....	52
6.3	Δημιουργία ενός φύλλου εργασίας για το προγραμματισμό στο Chronos	52
6.4	Βελτιστοποίηση	53
6.5	Εκτέλεση της βελτιστοποίησης και προγραμματισμός των αποτελεσμάτων	54
6.6	Παραδείγματα από βιβλιογραφία	55
7	<i>Παράδειγμα Εφαρμογής Λογισμικού Martek Evolution</i>	63
7.1	Αρχικές Ρυθμίσεις και Εισαγωγή των Μεταλλευτικών Αποθεμάτων ...	63
7.2	Προετοιμασία Προγράμματος.....	71
7.3	Προγραμματισμός και Βελτιστοποίηση	76
7.4	Προβολή Αποτελεσμάτων.....	78
8	<i>Παράδειγμα Εφαρμογής Λογισμικού Martek Chronos</i>	80
8.1	Εισαγωγή.....	80
8.2	Κατασκευή Μπλοκ Εκμετάλλευσης Ανά Φάση και Βαθμίδα.....	80
8.3	Υπολογισμός Αποθεμάτων Μπλοκ Εκμετάλλευσης.....	86
8.4	Εισαγωγή Μπλοκ Εκμετάλλευσης στο Πρόγραμμα	90

8.5	Διαμόρφωση Πεδίων/Στηλών Φύλλου Αποθεμάτων.....	95
8.6	Υπολογισμός Εφικτής Σειράς Μπλοκ Εκμετάλλευσης.....	98
8.7	Ημερολόγιο Προγράμματος.....	103
8.8	Προορισμοί.....	105
8.9	Διαδικασίες	106
8.10	Πίνακας Αντιστοίχισης Προορισμών	107
8.11	Ομάδα Δραστηριοτήτων - Προγραμματισμός.....	108
8.12	Προγραμματισμός και Βελτιστοποίηση	111
9	<i>Σύγκριση Μεθόδων Βελτιστοποίησης.....</i>	<i>116</i>
10	<i>Βιβλιογραφία.....</i>	<i>121</i>

1 Εισαγωγή

Η εργασία αυτή αποτελεί μια προσπάθεια σύγκρισης δύο διαφορετικών μεθόδων προγραμματισμού και βελτιστοποίησης προγράμματος υπαίθριων εκμεταλλεύσεων. Οι μέθοδοι που καλύπτονται βασίζονται στο μεικτό ακέραιο προγραμματισμό και τους γενετικούς αλγόριθμους. Χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά Martek Vulcan για την προετοιμασία της υπαίθριας εκμετάλλευσης και τον υπολογισμό των μεταλλευτικών αποθεμάτων, Martek Chronos για την βελτιστοποίηση προγραμματισμού με μεικτό ακέραιο προγραμματισμό, και Martek Evolution για τη βελτιστοποίηση με γενετικούς αλγόριθμους. Η σύγκριση βασίστηκε στο ίδιο κοίτασμα νικελίου και δύο γειτονικές εκσκαφές. Έγινε κάθε προσπάθεια ώστε η σύγκριση να γίνει με σταθερές συνθήκες, αν και οι ιδιαιτερότητες των λογισμικών δημιουργούν διαφορές που είναι αδύνατο να αντιμετωπιστούν.

Η δομή της εργασίας έχει ως εξής. Στο 2^ο κεφάλαιο δίνονται κάποια γενικά στοιχεία για τον προγραμματισμό υπαίθριων εκμεταλλεύσεων. Στο 3^ο κεφάλαιο γίνεται μια παρουσίαση των γενετικών αλγόριθμων και των εφαρμογών τους. Στο 4^ο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στον μεικτό ακέραιο προγραμματισμό. Τα κεφάλαια 5 και 6 αναλύουν την εφαρμογή των γενετικών αλγόριθμων και του μεικτού ακέραιου προγραμματισμού αντίστοιχα στο πρόβλημα της βελτιστοποίησης του προγράμματος υπαίθριας εκμετάλλευσης. Τα κεφάλαια 7 και 8 αποτελούν το παράδειγμα εφαρμογής των δύο λογισμικών και μεθόδων μέσω του οποίου επιχειρείται η σύγκριση τους. Στο κεφάλαιο 9 σχολιάζονται τα αποτελέσματα του παραδείγματος εφαρμογής.

2 Προγραμματισμός Υπαίθριας Εκμετάλλευσης

Ο προγραμματισμός μιας υπαίθριας εκμετάλλευσης είναι μια δύσκολη και περίπλοκη διαδικασία καθώς η οικονομική βιωσιμότητα ενός ορυχείου βασίζεται σε μεγάλο ποσοστό από το σωστό προγραμματισμό και σχεδιασμό του. Κατά τον σχεδιασμό μιας εκμετάλλευσης εμφανίζονται πολλαπλά προβλήματα που σχετίζονται με τις γεωλογικές δομές την οικονομική μεταβλητότητα και την αλλαγή της ζήτησης στην αγορά για την επίλυση των οποίων εφαρμόζονται διάφορες μέθοδοι. Στόχος του προγραμματισμού μιας εκμετάλλευσης είναι η μεγιστοποίηση του κέρδους του, έτσι τα σχέδια πρέπει να είναι όσο το δυνατό ακριβέστερα ώστε να βελτιστοποιείται η παραγωγή σε κάθε στάδιο. Συγκεκριμένα, οι στόχοι αυτοί πρέπει να περιλαμβάνουν:

- Μια σταθερή τροφοδοσία μεταλλεύματος στον εμπλουτισμό ή ένα σταθερό μείγμα προϊόντος για άμεση μεταφορά.
- Τη μεγιστοποίηση της αξίας της εκμετάλλευσης με την πραγματοποίηση των βέλτιστων δυνατών περιεκτικοτήτων στα αρχικά στάδια της εκμετάλλευσης.
- Την παροχή ενός σταθερού και ισορροπημένου φόρτου εργασίας για τους στόλους εξοπλισμού εξόρυξης μεταλλεύματος και στείρων.
- Την αναβολή της εξόρυξης για όσο το δυνατό περισσότερο για την ελαχιστοποίηση της τρέχουσας αξίας του κόστους αποκάλυψης.
- Τον ορισμό των επεκτάσεων της εκμετάλλευσης για μεγιστοποίησης της αποτελεσματικότητας της εξόρυξης στείρων και την ελαχιστοποίηση του κόστους εξόρυξης.
- Το συνδυασμό μπλοκ μεταλλεύματος και / ή στείρων για το σχηματισμό ελάχιστου πλάτους βαθμίδων ώστε ο εξοπλισμός να μπορεί να λειτουργεί αποτελεσματικά και με ασφάλεια, και ως προς αποφυγή των εκσκαφών που κοστίζουν πολύ.
- Τη διατήρηση της πρόσβασης μεταφοράς στις λειτουργικές βαθμίδες και τη διατήρηση ενός αποτελεσματικού χώρου απόθεσης.
- Τη διάθεση αρκετού πλάτους μετώπου για τον σχεδιασμένο ρυθμό παραγωγής.
- Τη διάθεση χρόνου στο κύκλο εξόρυξης για τον έλεγχο ποιότητας και για την προετοιμασία νέων βαθμίδων.

- Τη βελτιστοποίηση του μείγματος παραγωγής από δύο ή περισσότερα ορυχεία με παράλληλη διαχείριση ενεργών και χαμηλής περιεκτικότητας αποθέσεων.

Οι στόχοι αυτοί λόγω της περιπλοκότητας και του μεγέθους του έργου ενός προγραμματισμού μιας εκμετάλλευσης μπορεί πολλές φορές να μην έχουν καθαρά όρια μεταξύ τους και πολλές φορές να έρχονται σε αντίφαση. Έτσι λοιπόν είναι απαραίτητη μια εμπειρία και σωστή κρίση των μηχανικών υπεύθυνων για το έργο.

Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος οι υπεύθυνοι για τη διαδικασία του προγραμματισμού της εκμετάλλευσης πρέπει να λάβουν υπόψιν τους μια πληθώρα παραγόντων όπως:

- Γεωλογικά δείγματα και δεδομένα από το ορυχείο
- Την παραγωγική ικανότητα σε κάθε στάδιο της διαδικασίας
- Τον απαιτούμενο εξοπλισμό και ανθρώπινο δυναμικό υπολογίζοντας όμως και πιθανό υπάρχοντα εξοπλισμό και δυναμικό
- Το κόστος συντήρησης, επισκευής και αντικατάστασης αυτού του εξοπλισμού
- Τιμές των απαραίτητων αγαθών στην αγορά καθώς και τη ζήτηση της αγοράς στα παραγόμενα υλικά
- Υπολογισμοί του κόστους παραγωγής
- Την ασφάλεια και υγιεινή των εργατών
- Υπολογισμοί των γεωμετρικών ιδιοτήτων του ορυχείου
- Κατάλληλες τοποθεσίες για την απόθεση των στείρων

Αυτοί οι παράγοντες μπορούν να συνοψιστούν σε 3 κύριες κατηγορίες:

- Την οικονομικότητα
- Την ασφάλεια
- Και την προστασία του περιβάλλοντος

Οι ενέργειες απαραίτητες για την δημιουργία ενός προγράμματος ενός υπαίθριου ορυχείου είναι οι εξής

- Η συλλογή δεδομένων από το ορυχείο και μετρήσεις της γεωλογικής δομής καθώς και χημικές αναλύσεις

- Δημιουργία γεωλογικών μοντέλων του σχηματισμού και της χημείας από αυτά τα δεδομένα
- Η βελτιστοποίηση του τελικού σχήματος
- Η προετοιμασία ενός λεπτομερούς σχεδίου συμπεριλαμβανομένων των τελικών βαθμίδων πρανών και δρόμους πρόσβασης προς το ορυχείο
- Αύξηση του κόστους ή μείωση της τιμής του προϊόντος και επανάληψη της βελτιστοποίησης για ένα ή δύο ενδιάμεσα ορυχεία
- Ορισμό δύο ή περισσότερων φάσεων ανάπτυξης του ορυχείου με περίπου ίσους όγκους μεταλλεύματος και στείρων βάση των ενδιάμεσων ορυχείων
- Την περιγραφή της ελάχιστης απαιτούμενης αποκάλυψης για την παροχή αρκετού μήκους μετώπου σε μετάλλευμα στην πρώτη φάση ώστε να μπορεί να επετευχθεί ο καθορισμένος στόχος παραγωγής
- Τον προγραμματισμό της εξόρυξης μεταλλεύματος και στείρων στις διάφορες φάσεις με σκοπό την ικανοποίηση των στόχων που αναφέρθηκαν
- Την προετοιμασία μιας σειράς από σχέδια ανάπτυξης του ορυχείου που να δείχνουν πως διατηρείται η πρόσβαση σε αυτό κατά τη πορεία της ανάπτυξής του.



Μετά το τέλος του γενικού προγράμματος του κύκλου ζωής ενός ορυχείου ετοιμάζονται προγράμματα σε ετήσια βάση τα οποία είναι λεπτομερέστερα και περιλαμβάνουν νέες μεταβλητές που έχουν προκύψει.

Για να πραγματοποιηθεί αυτός ο προγραμματισμός συνδυάζεται το σχέδιο ανάπτυξης του ορυχείου με το μοντέλο μπλοκ των αποθεμάτων και υπολογίζονται οι ποσότητες με βάση το ύψος των βαθμίδων και άλλων παραμέτρων. Το πρόγραμμα μπορεί να δείξει τον επόμενο μήνα σε ημερήσια βάση και σε μηνιαία όρια. Ο προγραμματισμός έχει νόημα όμως ως το σημείο στο οποίο ικανοποιείται το πρόγραμμα καθώς όποια παρεκτροπή από αυτό σημαίνει και την ανάγκη για ανάπτυξή του από την αρχή.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον προγραμματισμό μιας εκμετάλλευσης είναι διάφορες και χρησιμοποιείται μια πληθώρα εργαλείων ανάλογα με τις ανάγκες και δυνατότητες κάθε εταιρίας.

2.1 Πρακτικός προγραμματισμός

Σήμερα υπάρχουν διάφορα εργαλεία προγραμματισμού εκμετάλλευσης σε υπολογιστή, παρόλα αυτά η πλειοψηφία των μεταλλευτικών επιχειρήσεων χρησιμοποιεί ακόμα φύλλα εργασίας για να πραγματοποιήσει μια διαδικασία προγραμματισμού υπαίθριας εκμετάλλευσης. Αυτά τα φύλλα εργασίας συνήθως τροφοδοτούνται από πληροφορίες από το μοντέλο μπλοκ, όπως γεωμετρικές πληροφορίες, τονάζ και περιεκτικότητες. Σε ένα άλλο φύλλο δημιουργείται μια αναπαράσταση του προγράμματος της εκμετάλλευσης, στο οποίο επιλέγονται χειροκίνητα τα μπλοκ και προγραμματίζονται σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους.

Σε αυτό τον τύπο προγραμματισμού, όταν προγραμματίζεται ένα μπλοκ ανανεώνονται χειροκίνητα πληροφορίες όπως το σύνολο μεταλλεύματος και στείρων που εξορύχτηκαν και οι περιεκτικότητες αυτών. Η χρήση αυτών των φύλλων εργασίας προϋποθέτει εμπειρία του μηχανικού σε άλλες περιπτώσεις προγραμματισμού καθώς και μια λεπτομερή γνώση του ορυχείου του οποίου προγραμματίζει. Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι πώς υπάρχει περιορισμός της επίτευξης των στόχων περιεκτικότητας καθώς η διαδικασία είναι δύσκολη, και είναι σχεδόν αδύνατο για το μηχανικό να γνωρίζει αν υπάρχει δυνατότητα για βελτίωση της αξίας ενός προγράμματος σε αντίθεση με την αυτοματοποιημένη διαδικασία που ακολουθεί ένα πρόγραμμα.

2.2 Αυτόματος προγραμματισμός

Ο αυτόματος προγραμματισμός χρησιμοποιεί λογισμικό σε υπολογιστή για τη δημιουργία ενός προγράμματος εκμετάλλευσης. Η χρήση του λογισμικού έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να αναπτύξει και να εκτιμήσει με μεγαλύτερη ακρίβεια τις μεταβλητές ενός προγράμματος αλλά και να ελέγχει για πιθανότητα βελτίωσης της αξίας του. Φυσικά είναι απαραίτητο ο μηχανικός να γνωρίζει τον τρόπο λειτουργίας του λογισμικού αυτού καθώς δεν μπορούν όλα τα λογισμικά να χρησιμοποιηθούν για όλες τις περιπτώσεις εκμεταλλεύσεων καθώς οι τρόποι του προγραμματισμού μπορεί να μη συμβαδίζουν με τους περιορισμούς του λογισμικού.

2.3 Εμπειρικός προγραμματισμός

Είναι μια μορφή αυτόματου προγραμματισμού στον οποίο το λογισμικό επιλέγει τα μπλοκ ανάλογα με κανόνες που σχετίζονται με την περιεκτικότητα και την αξία των μπλοκ. Το πρόγραμμα σε αυτή την περίπτωση δημιουργείται με επιλογή των μπλοκ ένα τη φορά. Αυτή η μέθοδος έχει ως πλεονέκτημα την ταχύτητα στην ανάπτυξη του προγράμματος αλλά δεν μπορεί να αναπτύξει τα βέλτιστα προγράμματα ενώ αν είναι σημαντική η ικανοποίηση των περιορισμών περιεκτικότητας οι εμπειρικοί αλγόριθμοί δε μπορούν να εγγυηθούν ότι θα βρεθεί ένα τέτοιο πρόγραμμα ακόμα και αν είναι γνωστό πως υπάρχει.

2.4 Βελτιστοποίηση Προγραμματισμού

Η βελτιστοποίηση του προγράμματος χρησιμοποιεί συνήθως ένα μαθηματικό μοντέλο στο οποίο ορίζονται οι περιορισμοί της παραγωγής και του ορυχείου, βάση των οποίων παράγεται ένα πρόγραμμα που ικανοποιεί τους περιορισμούς αυτούς αλλά βελτιστοποιεί και το πρόγραμμα. Τέτοια μαθηματικά μοντέλα είναι η μέθοδος simplex, ο δυναμικός προγραμματισμός κ.α. Συνήθως ο στόχος είναι η βελτιστοποίηση της τρέχουσας καθαρής αξίας αλλά μπορούν να οριστούν και επιπλέον παράμετροι.

3 Γενετικοί Αλγόριθμοι

Σε πολλές περιπτώσεις προβλημάτων το μέγεθος τους περιορίζει τη χρήση κλασσικών μαθηματικών μεθόδων για την επίλυση του. Σε αυτές τις περιπτώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν πιθανοκρατικοί αλγόριθμοι. Οι αλγόριθμοι αυτοί είναι ένα αποτέλεσμα ενός αυξανόμενου ενδιαφέροντος για την ανάπτυξη συστημάτων που βασίζονται στη φυσική εξέλιξη. Αυτά τα συστήματα δημιουργούν ένα πληθυσμό λύσεων του προβλήματος και εφαρμόζουν σε αυτόν διάφορες διαδικασίες εμπνευσμένες από την φυσική εξέλιξη. Αυτά τα συστήματα περνώντας από γενιά σε γενιά δημιουργούν νέους πληθυσμούς λύσεων εξελίσσοντας στην ουσία τους πληθυσμούς-γονείς τους.

Τα συστήματα που χρησιμοποιούν πιθανοκρατικούς αλγόριθμους είναι διάφορα όπως ο εξελικτικός προγραμματισμός, οι στρατηγικές εξέλιξης, τα συστήματα ταξινόμησης και ο γενετικός προγραμματισμός, και μαζί με τους γενετικούς αλγόριθμους αποτελούν μια κατηγορία συστημάτων επίλυσης προβλημάτων που είναι γνωστά ως εξελικτικοί αλγόριθμοι.

Οι γενετικοί αλγόριθμοι κάνουν την εμφάνισή τους τις αρχές της δεκαετίας του '50, όπου επιστήμονες από το χώρο της βιολογίας προσπάθησαν να χρησιμοποιήσουν υπολογιστές με την πρόθεση να τους προσαρμόσουν σε βιολογικά συστήματα. Το 1958 ο Friedberg προσπάθησε να συνδυάζει μικρά προγράμματα σε μια προσπάθεια να δημιουργήσει νέα, μια προσπάθεια που συνήθως αποτύγχανε. Η ανάπτυξη των σύγχρονων αλγορίθμων όμως εντοπίζεται στις αρχές του 1970 από τον John Holland και τους συνεργάτες του στο πανεπιστήμιο του Michigan οι οποίοι χρησιμοποίησαν σειρές μπιτ για να αναπαραστήσουν λειτουργίες, με ένα τρόπο ώστε κάθε συνδυασμός μπιτ να είναι μια έγκυρη λειτουργία.

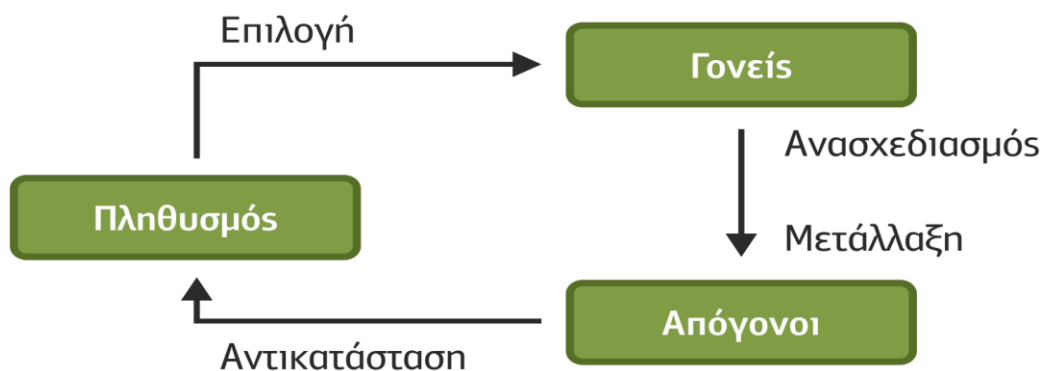
Η λειτουργία των γενετικών αλγορίθμων εντοπίζεται στις λειτουργίες των μηχανισμών της φυσικής εξέλιξης των οργανισμών που συναντάμε στη φύση. Στη φυσική επιλογή λοιπόν, οι οργανισμοί που δε μπορούν να επιβιώσουν στο περιβάλλον πεθαίνουν ενώ αυτοί που έχουν μεταλλάξεις οι οποίες συμβάλουν στην επιβίωση τους μπορούν να επιβιώσουν και να αναπαραχθούν. Οι απόγονοί τους θα παρουσιάζουν μικρές διαφοροποιήσεις από τους προγόνους και αυτοί με τα καλύτερα χαρακτηριστικά

θα επικρατήσουν. Αυτά τα χαρακτηριστικά προέρχονται από τυχαίες μεταλλάξεις, οι οποίες συνήθως δεν οδηγούν, αν και είναι πιθανό, στο θάνατο τα άτομα αλλά μπορούν κάποιες φορές να οδηγήσουν σε ένα καλύτερο οργανισμό. Έτσι σε ένα περιβάλλον που μεταβάλλεται σε αρκετά αργούς ρυθμούς οι οργανισμοί που ζουν σε αυτό μπορούν να προσαρμόζονται ώστε να επιβιώνουν σε αυτό.

Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι το παράδειγμα με την εξέλιξη και την αναπαραγωγή των λαγών [Michalewicz, 1996]. Σε ένα συγκεκριμένο πληθυσμό λαγών στη φύση, κάποιοι από αυτούς θα είναι γρηγορότεροι ή εξυπνότεροι από άλλους. Αυτοί οι λαγοί έχουν περισσότερες πιθανότητες να επιβιώσουν από τους κινδύνους του περιβάλλοντος ή φυσικούς θηρευτές, όπως για παράδειγμα τις αλεπούδες, από τους πιο αργούς ή λιγότερο εξυπνους λαγούς. Φυσικά κάποιοι «χειρότερα γενετικά» λαγοί μπορεί να επιβιώσουν λόγω τύχης ή άλλων παραγόντων. Αυτοί που θα επιβιώσουν θα αρχίσουν την αναπαραγωγή δημιουργώντας μια νέα γενιά η οποία θα συνδυάζει τα χαρακτηριστικά των γονιών του. Με αυτό τον τρόπο κάποιοι αργοί λαγοί θα αναμιχθούν με γρήγορους και άλλοι γρήγοροι επίσης με γρήγορους και αντίστοιχα για το χαρακτηριστικό της ευφυΐας. Ο πληθυσμός που θα προκύψει θα έχει κατά μέσο όρο μεγαλύτερη ευφυΐα και ταχύτητα από τους προγόνους τις. Φυσικά τα αρπακτικά υφίστανται μια αντίστοιχη εξέλιξη έτσι ώστε να μην υπάρχει υπερκορεσμός σε θηράματα και μείωση χλωρίδας.

Οι γενετικοί αλγόριθμοι δανειζόμενοι την ορολογία από τη γενετική, αναφέρονται σε άτομα και σε γενοτύπους ενός πληθυσμού. Κάθε άτομο από αυτά αποτελείται από χρωμοσώματα, αν και σε αντίθεση με τη φύση στους Γ.Α. τα άτομα έχουν μόνο ένα χρωμόσωμα. Τα χρωμοσώματα αποτελούνται από γονίδια που βρίσκονται διατεταγμένα γραμμικά και κάθε ένα από αυτά επηρεάζει τη κληρονομικότητα ενός ή περισσότερων χαρακτηριστικών. Τα γονίδια έχουν θέσεις στο χρωμόσωμα που ονομάζονται loci. Κάθε χαρακτηριστικό έχει τη δυνατότητα να εμφανιστεί με διάφορες μορφές ανάλογα με τη θέση που βρίσκεται το αντίστοιχο γονίδιο. Οι διαφορετικές καταστάσεις που μπορεί να βρίσκεται ένα γονίδιο ονομάζονται alleles (τιμές χαρακτηριστικού γνωρίσματος). Ο κάθε γενότυπος αναπαριστά μια πιθανή λύση για ένα πρόβλημα, ενώ το αποκωδικοποιημένο περιεχόμενο (έκφραση του γονιδίου) περιεχόμενο του χρωμοσώματος ονομάζεται φαινότυπος (phenotype).

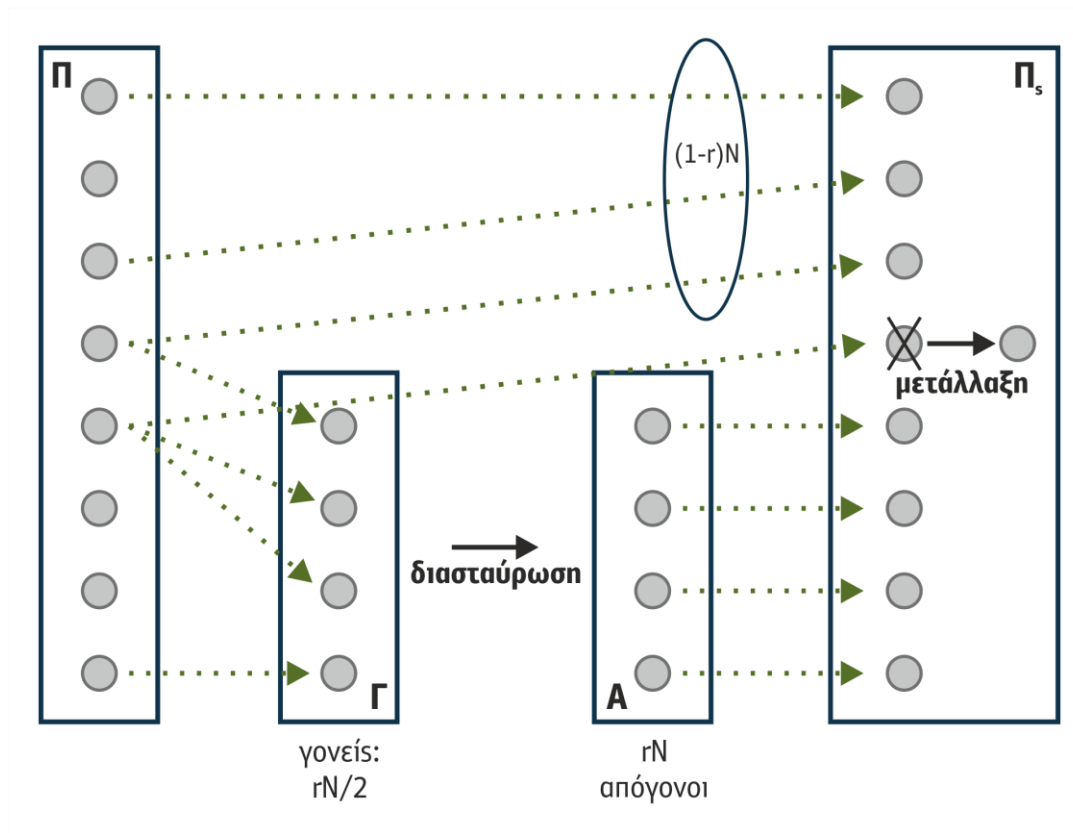
Οι γενετικοί αλγόριθμοι διατηρούν λοιπόν ένα πληθυσμό πιθανών λύσεων του προβλήματος πάνω στον οποίο δουλεύουν εν αντιθέσει με άλλες μεθόδους που ψάχνουν τη λύση σε ένα μόνο διάστημα αναζήτησης. Ο Γ.Α. πραγματοποιεί αναζήτηση λύσεων σε όλες της κατευθύνσεις και ανταλλάσσει πληροφορίες μεταξύ αυτών των λύσεων. Οι λύσεις αυτές μπορούμε να πούμε ότι υφίστανται μια διαδικασία συγκρίσιμη με τη γενετική εξέλιξη, οι καλύτερες λύσεις αναπαράγονται ενώ οι κακές λύσεις απομακρύνονται. Ο διαχωρισμός μεταξύ καλών και κακών λύσεων γίνεται μέσω μιας αντικειμενικής συνάρτησης (Objective / Fitness function), η οποία παίζει το ρόλο της περιβαλλοντικής πίεσης της οποίας υφίσταται ένας πληθυσμός. Η συνάρτηση καταλληλότητας δέχεται ως είσοδο ένα χρωμόσωμα και επιστρέφει ως έξοδο έναν αριθμό συνήθως από 0-1 που υποδηλώνει το πόσο κατάλληλο είναι. Η αξιολόγηση αυτή χρησιμοποιείται είτε από τη συνθήκη τερματισμού ή από τη διαδικασία επιλογής για να συμπεριληφθούν ή όχι στο πληθυσμό της επόμενης γενιάς.



Ένας γενετικός αλγόριθμος έχει συνήθως την εξής γενική μορφή:

1. Δημιουργία ενός αρχικού πληθυσμού Π , με N υποψήφια λύσεις.
2. Βαθμολογείται στη συνέχεια κάθε υποψήφια λύση με βάση τη συνάρτηση καταλληλότητας
3. Σχηματίζονται $N/2$ ζευγάρια όχι απαραίτητα μοναδικών γονέων και δίνεται προτεραιότητα στις καταλληλότερες λύσεις
4. Κάθε ζευγάρι γονέων αναπαράγεται δίνοντας 2 νέες λύσεις ή απογόνους
5. Ο πληθυσμός που προκύπτει αποτελείται από το σύνολο των απογόνων και αποτελεί συνήθως βελτίωση του προηγούμενου πληθυσμού. Αυτός ο πληθυσμός είναι ο Π'
6. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται εκ νέου για τον Π'

7. Η συνθηθέστερη συνθήκη τερματισμού είναι η εύρεση μίας τέλει λύσης με βάση τη συνάρτηση καταλληλότητας ή σύγκλιση όλων των λύσεων σε μία.



Αξίζει να σημειωθεί ότι κάποιοι γονείς μπορεί να επιλεγούν περισσότερες από μια φορές για αναπαραγωγή ενώ άλλοι με χαμηλότερη καταλληλότητα μπορεί να μην επιλεγούν καθόλου.

Συνοψίζοντας μπορούμε να πούμε ότι οι Γ.Α. πρέπει να περιλαμβάνουν πέντε συγκεκριμένα χαρακτηριστικά για τη λύση του κάθε προβλήματος:

- Μια γενετική αναπαράσταση των πιθανών λύσεων
- Ένα τρόπο δημιουργίας ενός αρχικού πληθυσμού
- Μια αντικειμενική συνάρτηση αξιολόγησης της καταλληλότητας των μελών του πληθυσμού που παίζει το ρόλο του περιβάλλοντός
- Γενετικούς τελεστές για τη δημιουργία νέων μελών
- Τιμές για τις διάφορες παραμέτρους, όπως μέγεθος πληθυσμού, πιθανότητες εφαρμογής των γενετικών τελεστών κ.τ.λ.).

3.1 Πλεονεκτήματα των Γενετικών αλγορίθμων

Τα πλεονεκτήματα των γενετικών αλγορίθμων είναι τα εξής

- *Μπορούν να επιλύσουν δύσκολα προβλήματα με ταχύτητα και αξιοπιστία.*

Ένας λόγος χρήσης των Γ.Α. είναι η μεγάλη τους αποδοτικότητα. Τόσο στη θεωρία όσο και στη πράξη έχουν δείξει ότι τα προβλήματα που έχουν πολλές, δύσκολα προσδιορισμένες λύσεις, μπορούν να αντιμετωπιστούν καλύτερα με τους Γ.Α. Μάλιστα σε περιπτώσεις όπου οι συναρτήσεις παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις, και άλλες μέθοδοι είναι ανεπαρκείς οι Γ.Α. δεν αντιμετωπίζουν πρόβλημα.

- *Μπορούν να συνεργαστούν εύκολα με άλλα μοντέλα και συστήματα*

Οι Γ.Α. μπορούν να προσφέρουν αυτό το πλεονέκτημα έναντι των συμβατικών μοντέλων και δεν απαιτούν έτσι την επανασχεδιάσή τους. Μπορούν να συνεργαστούν με υπάρχοντα κώδικα χωρίς μεγάλο κόπο καθώς χρησιμοποιούν πληροφορίες που ήδη υπάρχουν στη συνάρτηση ή διαδικασία που βελτιστοποιούν χωρίς να τις ενδιαφέρει ο ρόλος των πληροφοριών αυτών μέσα στη δομή του κώδικα.

- *Είναι εύκολα επεκτάσιμοι και εξελίξιμοι*

Οι Γ.Α. δεν αντιστέκονται σε αλλαγές και επεκτάσεις ανάλογα με τη κρίση του σχεδιαστή του προγράμματος. Οι Γ.Α. έχουν αναφερθεί να δουλεύουν σε πολλές εφαρμογές που δεν είναι δανεισμένες από τη φύση ή έχουν υποστεί σημαντικές αλλαγές.

- *Μπορούν να συμμετέχουν σε υβριδικά μοντέλα με άλλες μεθόδους*

Οι Γ.Α. είναι κάθε αυτοί πολύ ισχυροί, όμως σε κάποιες περιπτώσεις προβλημάτων κάποιες άλλες μέθοδοι μπορεί να έχουν υψηλή αποδοτικότητα λόγω εξειδίκευσής τους. Σε αυτές τις περιπτώσεις υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί ένα υβριδικό μοντέλο Γ.Α. με μια άλλη μέθοδο.

- *Δεν απαιτούν περιορισμούς στις συναρτήσεις που επεξεργάζονται*

Ο κύριος λόγος που καθιστά τις παραδοσιακές μεθόδους δύσκαμπτες είναι η απαίτησή τους για ύπαρξη περιορισμών, όπως η ύπαρξη παραγώγων, συνέχειας

(συνέχεια συνάρτησης) κ.α. κάτι που στους Γ.Α. δεν αποτελεί πρόβλημα και τους κάνει κατάλληλους για ένα μεγάλο φάσμα προβλημάτων.

- *Δεν ενδιαφέρει η σημασία της εξεταζόμενης πληροφορίας.*

Η μόνη «επικοινωνία» των Γ.Α. με το περιβάλλον τους είναι η αντικειμενική συνάρτηση. Αυτό εγγυάται επιτυχία ανεξάρτητα με τη σημασία του προβλήματος χωρίς βέβαια αυτό να σημαίνει ότι δεν υπάρχουν άλυτα προβλήματα για τους Γ.Α. Στις περιπτώσεις αυτές όμως το πρόβλημα έγκειται στη φύση του χώρου που ερευνάται και όχι στο πληροφοριακό χώρο του προβλήματος.

- *Πραγματοποιούν ταυτόχρονη εξερεύνηση του χώρου αναζήτησης και εκμετάλλευση της ήδη επεξεργασμένης πληροφορίας.*

Ο Συνδυασμός αυτών είναι κάτι που σπάνια συναντάται σε άλλη μέθοδο. Με το τυχαίο ψάξιμο γίνεται καλή εξερεύνηση του χώρου αλλά δε γίνεται εκμετάλλευση της πληροφορίας. Αντίθετα με το “hill climbing” που επιδιώκει να βρει λύσεις απλώς αλλάζοντας ένα στοιχείο μιας είδη υπάρχουσας λύσεις που κάνει καλή εκμετάλλευση πληροφορίας αλλά όχι εξερεύνηση. Αυτά τα δύο χαρακτηριστικά είναι ανταγωνιστικά αλλά η συνύπαρξή τους στους Γ.Α. επιτυγχάνει το βέλτιστο συνδυασμό εξερεύνησης και εκμετάλλευσης και τους κάνει βέλτιστους.

3.2 Τα προβλήματα των γενετικών αλγορίθμων

Αν και η τεχνολογία των γενετικών αλγορίθμων έχει κάποια ιστορία, ουσιαστικά βρίσκει εφαρμογή τα τελευταία χρόνια και έτσι αντιμετωπιζόταν στην αρχή με δυσπιστία. Αυτή σχετικά σχετιζόταν με:

- *Προβλήματα εξοικείωσης με τη Γενετική*

Για τους περισσότερους στις πληροφοριακές επιστήμες οι έννοιες της εξέλιξης και φυσικής επιλογής σίγουρα θα είναι γνωστές αλλά όχι και πλήρως κατανοητές ή οικείες καθώς η βιολογία δε σχετίζεται, ακόμα τουλάχιστον, άμεσα με τους υπολογιστές και έτσι οι γνώσεις βρίσκονται σε γενικό επίπεδο. Στη πραγματικότητα όμως δεν απαιτούνται γνώσεις γενετικής και βιολογίας. Αντίθετα οι Γ.Α. με έμπνευση που προέρχεται από τις διαδικασίες που πραγματοποιούνται στη φύση χρησιμοποιούν το γενικό πλαίσιο αυτών των διαδικασιών χωρίς να απαιτούν μεγάλη εντρύφηση σε βιολογικές γνώσεις. Αντίστοιχο παράδειγμα άλλωστε συναντάται στην περίπτωση των

νευρωνικών δικτύων όπου υπάρχει δάνειο από την επιστήμη της νευρολογίας και φυσικά το μέλλον τους και η μετέπειτα πορεία τους δεν εξαρτάται πλέον από τη βιολογία. Το αρχικό μοντέλο είναι δανεισμένο από εκεί αλλά η εφαρμογή του είναι βελτιστοποιημένη και τροποποιημένη για χρήση στα υπολογιστικά συστήματα και μέγιστη απόδοση.

- *Πρόβλημα του χρόνου*

Στη φύση η εξέλιξη λειτουργεί με πολύ αργούς ρυθμούς και χρειάζονται χιλιάδες ή εκατομμύρια χρόνια και χιλιάδες γενιές για να αλλάξουν τα χαρακτηριστικά των ειδών και να διαφοροποιηθούν οι ικανότητες τους και άρα η συμπεριφορά τους. Αυτό θέτει το ερώτημα στο μυαλό πολλών για το πώς θα μπορούν οι Γ.Α. να έχουν καλές επιδόσεις χρόνου έλκοντας την έμπνευση από μια τόσο αργή φυσική διαδικασία. Στην πραγματικότητα, ακόμα και στη φύση η εξέλιξη δεν είναι μια τόσο αργή διαδικασία όσο μπορεί να φαίνεται. Αρχικά η εξέλιξη σε πολλές περιπτώσεις όπως στην περίπτωση των ιών είναι ταχύτερη και νέα είδη παρατηρούνται μέσα στο πέρασμα λίγων ή ακόμα και ενός έτους. Επιπλέον η ταχύτητα της εξέλιξης στη φύση οφείλεται στην ταχύτητα των ρυμών της φύσης και του περιβάλλοντος στο οποίο η εξέλιξη βοηθάει τα είδη να προσαρμοστούν. Φυσικά αν το περιβάλλον δεν προσφέρει καμία επιπλέον πίεση οι οργανισμοί δεν εξελίσσονται ή δεν εξελίσσονται τόσο γρήγορα. Σε μια περίπτωση όμως γρήγορης αλλαγής του περιβάλλοντος επιταχύνεται και η εξέλιξη, κάτι που παρατηρείται και στα βιολογικά εργαστήρια όταν οι οργανισμοί τοποθετούνται σε νέο περιβάλλον.

Επιπρόσθετα στον τομέα των υπολογιστών τα άτομα κωδικοποιούνται με σύμβολα και οι συνθήκες με μαθηματικές σχέσεις, κάτι που σημαίνει ότι το μοντέλο δεν απαιτεί ιδιαίτερα μεγάλο υπολογιστικό φόρτο για την λειτουργία του σε σύγκριση με άλλες μεθόδους. Τα άτομα που εξετάζονται κάθε φορά είναι από λίγες δεκάδες ως μερικές χιλιάδες, ένας αριθμός κατά πολύ μικρότερος από το γονιδίωμα ενός οργανισμού. Επιπλέον ο ρυθμός ζευγαρώματος είναι πολύ ταχύτερος από των έμβιων οργανισμών της τάξης των μερικών εκατομμυρίων ανά δευτερόλεπτο. Το μέγεθος του χώρου που καλείται να ψάξει ο αλγόριθμος δε παίζει ιδιαίτερο ρόλο καθώς η επεξεργασία μερικών ατόμων αρκεί καθώς αυτά αντιπροσωπεύουν και της γονικές τους γενιές. Ως εκ τούτου οι ταχύτητες που επιτυγχάνουν οι Γ.Α. είναι πολύ μεγάλες.

3.3 Τα βασικά χαρακτηριστικά των Γενετικών Αλγορίθμων

Σύμφωνα με τον D. Goldberg [Goldberg, 1989] τα χαρακτηριστικά των γενετικών αλγορίθμων είναι τα εξής:

1. *Οι Γ.Α δουλεύουν με μια κωδικοποίηση του συνόλου των τιμών που μπορούν να λάβουν και οι μεταβλητές και όχι με τις ίδιες τις μεταβλητές.*

Έτσι, σε ένα παράδειγμα προβλήματος στο οποίο έχουμε 5 μεταβλητές που μπορούν να πάρουν τιμές «ανοιχτό» ή «κλειστό» η κωδικοποίηση των μεταβλητών θα γίνει ως 1 και 0 αντίστοιχα. Βέβαια δεν είναι απαραίτητο πως η κωδικοποίηση θα γίνει με αυτό τον τρόπο ή θα είναι πάντα δυαδικής μορφής και μπορούν στη πραγματικότητα να χρησιμοποιηθούν πολλοί τρόποι κωδικοποίησης.

2. *Οι Γ.Α. κάνουν αναζήτηση σε πολλά σημεία ταυτόχρονα και όχι σε ένα*

Στις περισσότερες μεθόδους βελτιστοποίησης η επεξεργασία γίνεται βήμα βήμα πηγαίνοντας από σημείο σε σημείο του πεδίου ορισμού του προβλήματος. Αυτό ενέχει αρκετούς κινδύνους με τον κυριότερο να είναι να περιοριστεί η αναζήτηση σε μια περιοχή τοπικού ακρότατου που δεν είναι ολικό. Οι Γ.Α. εξαλείφουν αυτό το πρόβλημα ενεργώντας ταυτόχρονα σε ένα ευρύ σύνολο σημείων (σύνολο συμβολοσειρών). Έτσι μπορούν να ανεβαίνουν πολλούς λόφους (hill climbing) την ίδια στιγμή ελαχιστοποιώντας την πιθανότητα να βρουν μια λάθος κορυφή.

3. *Οι Γ.Α. χρησιμοποιούν μόνο την αντικειμενική συνάρτηση και καμία επιπρόσθετη πληροφορία.*

Πολλές μέθοδοι αναζήτησης απαιτούν πολλές βοηθητικές πληροφορίες για να βρουν τη λύση της συνάρτησης πάνω στην οποία εργάζονται. Τέτοιες πληροφορίες δεν απαιτούνται από τους γενετικούς αλγόριθμους. Στην ουσία το ψάξιμο που κάνουν είναι τυφλό και αξιοποιούν μόνο την πληροφορία που τους παρέχεται από την αντικειμενική συνάρτηση πράγμα που τους δίνει μεγάλη ευελιξία. Σε αυτή τη περίπτωση όμως μπορεί οι βοηθητικές πληροφορίες να είναι χρήσιμες και να προσφέρουν ένα καλύτερο αποτέλεσμα. Για την περίπτωση αυτή έχουν αναπτυχθεί γενετικοί αλγόριθμοι που αξιοποιούν και τέτοιες πληροφορίες (knowledge based genetic algorithms).

4. Οι Γ.Α. χρησιμοποιούν πιθανοθεωρητικούς κανόνες μετάβασης και όχι ντετερμινιστικούς.

Η χρήση των πιθανοτικών κανόνων είναι ένα κύριο γνώρισμα των γενετικών αλγορίθμων χωρίς αυτό να σημαίνει βέβαια πως η όλη διαδικασία γίνεται τυχαία. Η τύχη στη περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται ως οδηγός για την αναζήτηση σε περιοχές που αναμένεται να δώσουν καλά αποτελέσματα αναζητώντας σε περιοχές που οι συμβατικοί αλγόριθμοι μπορεί να μη έχουν τη δυνατότητα.

3.4 Εφαρμογές των γενετικών αλγορίθμων

Οι γενετικοί αλγόριθμοι έχουν εφαρμοστεί σε ένα μεγάλο εύρος πρακτικών προβλημάτων με διαφοροποιούμενα αποτελέσματα. Οι γενετικοί αλγόριθμοι παρέχουν έναν αρκετά κατανοητό τρόπο να προσεγγιστούν πολλά είδη δύσκολων προβλημάτων μηχανικής και βελτιστοποίησης με αρκετά αν όχι βέλτιστα αποτελέσματα. Φαίνεται ότι η τεχνολογία των γενετικών αλγορίθμων βρίσκουν σιγά σιγά το δρόμο τους στο πραγματικό κόσμο ευκολότερα από άλλες άγνωστες ως τώρα μεθόδους.

3.4.1 Βελτιστοποίηση δικτύων

Μια από τις παλαιότερες εφαρμογές των γενετικών αλγορίθμων είναι ο έλεγχος των αγωγών αερίου με μία σταθερή βάση παροχής σε διαφοροποιούμενες συνθήκες. Η πίεση του αερίου πέφτει φυσικά κατά το μήκος του αγωγού αλλά επαναφέρεται από συμπιεστές κατά μήκος αυτής. Το πρόβλημα σε αυτή τη περίπτωση είναι να κρατηθεί αρκετή πίεση στα σημεία μεταφοράς την ίδια στιγμή που η ενέργεια που χρησιμοποιείται στους συμπιεστές μειώνεται αλλά και να ικανοποιηθούν διάφοροι άλλοι παράγοντες. Επίσης υπάρχει η ανάγκη της έγκαιρης αναφοράς πιθανών διαρροών με βάση τις τιμές πίεσης χωρίς πολλές εσφαλμένες προειδοποιήσεις.

Υπάρχουν βέβαια πολλές σχετιζόμενες εφαρμογές. Για παράδειγμα η ανάγκη του σχεδιασμού τηλεπικοινωνιακών δικτύων που συνδέουν πόλεις με μεγάλες αποστάσεις να τις χωρίζουν όπως περιγράφεται από τους David και Coombs. Μια εταιρία τηλεπικοινωνιών θα παρήγαγε ένα τοπολογικό μοντέλο για το δίκτυο, το οποίο πρέπει να συνάδει με απαιτήσεις όπως την δυνατότητα κάθε σημείου να είναι

προσβάσιμο από πάνω από μια οδούς έτσι ώστε να μην απομονωθεί από μία αποτυχία η καταστροφή μιας γραμμής.

Κατά τη κατασκευή μιας τέτοιας τοπολογίας η ομάδα σχεδιασμού θα άρχιζε υποθέτοντας πως οι συνδέσεις είναι μεγάλης ταχύτητας και αξιοπιστίας, παρόλο που, τέτοιες γραμμές είναι πολύ ακριβές. Έπειτα, μετά την δημιουργία της τοπολογίας, ένα σημαντικό βήμα ήταν να ανακαλυφθεί κατά πόσο μπορούσαν να μειωθούν οι ταχύτητες και κατά συνέπεια το κόστος στις γραμμές, την ίδια στιγμή που αυτά συνάδουν με τις απαιτήσεις των καταναλωτών. Αυτή η δουλειά είναι πολύ δυσκολότερη από όσο φαίνεται καθώς, για παράδειγμα, η αύξηση της ταχύτητας των γραμμών μπορεί να μειώνει την απόδοση όλου του δικτύου καθώς πολλοί δρομολογητές επιλέγουν την αποστολή δεδομένων μέσα από τις γρηγορότερες γραμμές, δημιουργώντας σημεία υψηλής κυκλοφορίας. Η σχεδιαστική ομάδα θα έπρεπε σε αυτή τη περίπτωση να ξοδέψει αρκετές εβδομάδες ώστε να μικρορυθμίσει τους τύπους και τις ταχύτητες των συνδέσεων και κάθε φορά να προσομοιώνει το δίκτυο ώστε να το δοκιμάσει. Οι Davis και Coombs βρήκαν πως οι Γενετικοί αλγόριθμοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον ίδιο σκοπό και έβρισκαν συνήθως μια λύση πολύ καλύτερη από άποψη οικονομίας από ότι μπορούσε η ανθρώπινη ομάδα σχεδιασμού, με μικρότερη προσπάθεια και σε συντομότερο χρόνο. Στη περίπτωση αυτή το χρωμόσωμα ήταν μια λίστα ταχυτήτων της γραμμής, για κάθε γραμμή του δικτύου. Εδώ έπρεπε να περιληφθούν κάποιοι σχετικοί περιορισμοί. Αυτός ο γενετικός αλγόριθμος ήταν από τους πρώτους που περιλάμβαναν έναν τελεστή ο οποίος επισκεύαζε χρωμοσώματα τα οποία παραβίαζαν κάποιους περιορισμούς. Η αξιολόγηση του χρωμοσώματος γινόταν από μια στατιστική εξομοίωση του δικτύου το οποίου αντιπροσωπευόταν και περιλάμβανε δεδομένα όπως τον έλεγχο της απόδοσης του δικτύου κατά την αποτυχία ενός συνδέσμου, κάτι το οποίο γινόταν για κάθε σύνδεσμο σε σειρά. Μια τέτοια προσομοίωση είναι πολύ χρονοβόρα για να γίνει διεξοδικά, οπότε ο Γ.Α. τους έκανε μια μερική αξιολόγηση στην οποία εξέταζε λίγες αποτυχίες δεσμών σε κάθε γενιά και χρησιμοποιούσε για τους υπόλοιπους δεδομένα που είχαν παρθεί από την επεξεργασία προηγούμενων γενεών.

Ένα πιο πρόσφατο παράδειγμα αποτελεί η προσαρμογή της πίεσης σε δίκτυα ύδρευσης. Οι απώλειες από διαρροές σε υπόγειους αγωγούς αυξάνονται δραματικά ανάλογα με τη πίεση, και έτσι είναι επιθυμητό να κρατείται η πίεση όσο το δυνατό

χαμηλότερα σε όλα τα σημεία του δικτύου, την ίδια στιγμή όμως που υπάρχει μια κατώτατη πίεση που παρέχεται στους πελάτες. Μια απλή μέθοδος ελέγχου είναι το κλείσιμο και άνοιγμα βαλβίδων αλλάζοντας την τοπολογία της ροής. Η δουλειά του γενετικού αλγορίθμου σε αυτή τη περίπτωση είναι λοιπόν να βρει την κατάλληλη τοπολογία στην οποία μετριάζονται οι απώλειες καθώς οι πελάτες του δικτύου έχουν επαρκή πίεση. Κάθε χρωμόσωμα δείχνει ένα γράφημα μιας πιθανής τοπολογίας. Μια στρατηγική γενεαλογίας χρησιμοποιείται στην οποία η γονείς δημιουργούν δύο παιδιά χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο ο οποίος εγγυάται να βρει μόνο δυνατά δίκτυα. Η καταλληλότητα ελέγχεται από μια υδραυλική ανάλυση της παρουσιαζόμενης τοπολογίας. Μια βασική σύγκριση με απαριθμητές μεθόδους δείχνει ότι η χρήση ενός γενετικού αλγορίθμου παράγει ικανοποιητικά αποτελέσματα σε ένα τέτοιο πρόβλημα αλλά από τη στιγμή που οι περισσότερες τυχαία δημιουργημένες τοπολογίες θα αφήσουν κάποιους πελάτες χωρίς παροχή στο νερό, υπάρχουν ίσως συμβατικές μέθοδοι που θα μπορέσουν να συναγωνιστούν ή να τα πάνε καλύτερα από τους γενετικούς αλγόριθμους.

3.4.2 Βελτιστοποίηση χρονοδιαγραμμάτων

Η χρήση των γενετικών αλγορίθμων για την δημιουργία χρονοδιαγραμμάτων εξετάσεων έχει ως στόχο τη τοποθέτηση κάθε εξέτασης σε έναν καθορισμένο αριθμό θέσεων στο χρονοδιάγραμμα, έτσι ώστε κανείς μαθητής να μη πρέπει να είναι σε δύο μέρη ταυτόχρονα και κανείς μαθητής να μην έχει εξετάσεις σε ακολουθία ή πολλές σε μια μέρα, εξαιρώντας κάποιες εξετάσεις από κάποια χρονοδιαγράμματα και ούτω καθ' εξής. Υπάρχει ένα γονίδιο ανά συμβάν και τα σετ των alleles αντιπροσωπεύει τις θέσεις στο χρονοδιάγραμμα. Τα περισσότερα τυχαία χρωμοσώματα θα παραβαίνουν πολλούς περιορισμούς. Η καταλληλότητα κρίνεται από μια συνάρτηση καταλληλότητας. Οι γενετικοί αλγόριθμοι είναι σε αυτή τη περίπτωση σε μια συμβατική μορφή αν και έχει βρεθεί ότι είναι θετικό να χρησιμοποιηθεί μια μορφή μετάλλαξης η οποία πιέζει προς τη κατεύθυνση της βελτίωσης των χρονοδιαγραμμάτων. Η χρήση μιας μετάλλαξης με ισχυρή πίεση η οποία κάνει τη μοναδική αλλαγή η οποία αυξάνει στο μέγιστο την ποιότητα, στη πραγματικότητα είναι εντελώς αντιπαραγωγική. Ενδελεχείς δοκιμές έχουν δείξει ότι ένας γενετικός αλγόριθμος δίνει μακράν καλύτερα αποτελέσματα από ότι οι άνθρωποι και σε πολύ μικρότερο χρόνο, σε λεπτά αντί για εβδομάδες. Ο ίδιος αλγόριθμος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη παραγωγή χρονοδιαγραμμάτων

διδασκαλίας εξίσου. Σε αυτή τη περίπτωση το χρωμόσωμα περιγράφει την αρχή και τη τοποθεσία κάθε διδακτικής ώρας και υπάρχουν περιορισμοί ως προς την χωρητικότητα των αιθουσών, την απόσταση μεταξύ τάξεων και λοιπά.

Άλλα παραδείγματα βελτιστοποίησης χρονοδιαγραμμάτων είναι προβλήματα στα οποία εφαρμόζονται εργασίες σε τεχνικούς με μια συγκεκριμένη σειρά σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Ένα τέτοιο πρόβλημα πρέπει να λαμβάνει υπόψη του το κόστος του προγραμματισμού μιας κλήσης κοντά στο χρόνο στον οποίο έρχεται σε κατάληξη ή πάνω σε αυτόν καθώς και το κόστος του ταξιδιού από κλήση σε κλήση. Επιπρόσθετα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα κόστη της επιστροφής στο σπίτι-εταιρία της παραγγελίας απαραίτητου εξοπλισμού για την επισκευή και ανταλλακτικών όταν αυτά δε βρίσκονται στα χέρια του τεχνικού τη στιγμή που είναι εκτός της εταιρίας αλλά και το κόστος της ανάθεσης ενός μη καταρτισμένου τεχνικού σε μια κλήση.

3.4.3 Εφαρμογές στη μηχανική

Η συνάρτηση καταλληλότητας μπορεί να εφαρμοστεί σε κάποια πολύ σημαντικά προβλήματα μηχανικής. Για παράδειγμα η χρήση γενετικών αλγορίθμων για τη κατασκευή πτερυγίων που παράγουν μικρές δονήσεις για τα ελικόπτερα. Τα ελικόπτερα Boeing έχουν ένα εκλεπτυσμένο πρόγραμμα εξομοίωσης το οποίο με την εισαγωγή πληροφοριών όπως η διανομή μάζας και η ελαστικότητα των πτερυγίων, η εξωτερική πίεση του αέρα κ.α. υπολογίζει την δόνηση την οποία παράγουν οι έλικες σε μια περιστροφή. Η συνάρτηση η οποία εφαρμόζεται από αυτή την εξομοίωση είναι πολύ περίπλοκη και οι παράμετροι της βέλτιστης λύσεις πρέπει να έχουν ένα καλό βαθμό αριθμητικής ακρίβειας. Αν αυτό το πεδίο ορισμού το οποίο είναι απαραίτητο δινόταν στον αλγόριθμο από την αρχή τότε θα ήταν πολύ μεγάλο ακόμα και για τους γενετικούς αλγόριθμους. Γι αυτό το λόγο χρησιμοποιείται μια μέθοδος προσεγγιστική. Αρχικά οι παράμετροι εκπροσωπούνται με χαμηλή ακρίβεια, έτσι ώστε οι γενετικοί αλγόριθμοι να μπορέσουν να βρουν τη σωστή θέση στο πεδίο ορισμού. Όταν ο γενετικός αλγόριθμος στη λύση χαμηλής ακρίβειας συγκλίνει χρησιμοποιείται στη συνέχεια για την εύρεση μιας λύσης με λίγο υψηλότερο επίπεδο ακρίβειας. Αυτή η διαδικασία χρησιμοποιείται ώσπου να βρεθεί η επιθυμητή ακρίβεια.

Στην ίδια λογική, οι γενετικοί αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται στο σχεδιασμό των πτερυγίων των αεροσκαφών ώστε να βελτιωθεί ο λόγος άνωσης με την τριβή σε ένα περίπλοκο πτερύγιο. Σε περιπτώσεις σαν αυτή που το πρόβλημα έχει πολλούς

παράγοντες οι γενετικοί αλγόριθμοι μπορούν να προσαρμοστούν ανάλογα με τις απαιτήσεις του σχεδίου. Αυτό συνήθως είναι απαραίτητο για την παραγωγή ανταγωνιστικών προϊόντων.

Ένα ενδιαφέρον παράδειγμα χρήσης των γενετικών αλγορίθμων στην πολεμική βιομηχανία είναι η χρήση τους για την εύρεση κανόνων με τους οποίους ένα αργό αλλά με καλύτερη κινητικότητα αεροσκάφος μπορεί να ξεφύγει από έναν γρήγορο αλλά λιγότερο ευκίνητο πύραυλο, έως ότου αυτός να αδειάσει από καύσιμα. Ο πύραυλος αυξάνει την ευκίνησή του καθώς μειώνονται τα καύσιμα του αλλά ταυτόχρονα μειώνεται και η ταχύτητα του. Το αεροσκάφος έχει δεδομένα από την ταχύτητα την απόσταση και την κατεύθυνση του πυραύλου αλλά οι αισθητήρες αυτοί δημιουργούν θόρυβο. Οι κανόνες που δέχεται ο αλγόριθμος είναι αρκετά απλοί, όπως η κατά 90 μοίρες στροφή αν η απόσταση του πυραύλου η κατεύθυνση του και η διεύθυνση του είναι μέσα σε κάποια όρια. Ένα χρωμόσωμα σε αυτόν τον γενετικό αλγόριθμο είναι στην ουσία ένα σετ από κανόνες με οργάνωση και διαφοροποιούμενο μέγεθος. Η συνάρτηση καταλληλότητας βρίσκεται από μια προσομοίωση. Ένας απόγονος κρίνεται κατάλληλος ανάλογα με το χρόνο που καταφέρνει ένα αεροσκάφος να ξεφύγει από τον πύραυλο.

Φυσικά αξίζει να αναφερθεί και η εφαρμογή στο θέμα της εργασίας που είναι ο προγραμματισμός εκμεταλλεύσεων. Σε αυτή τη περίπτωση το πρόβλημα είναι αρχικά λογιστικό και κατά δεύτερο μέρος σχεδιαστικό. Αρχικά ο γενετικός αλγόριθμος όπως και σε άλλες περιπτώσεις πρέπει να βελτιστοποιήσει τα χρονοδιαγράμματα μεταφοράς μεταλλεύματος αλλά και στείρων έτσι ώστε τα οχήματα να μην έχουν μη απαραίτητους χρόνους αναμονής, να βρίσκονται τα βέλτιστα οχήματα ανά στιγμή σε χρήση αλλά και να ακολουθούν τις βέλτιστες διαδρομές προς αποφυγή χρήσης καυσίμων και φθοράς των οχημάτων. Έπειτα ο αλγόριθμος πρέπει να καθορίσει τις εργασίες και τα χρονοδιαγράμματα αυτών για τον κάθε εργάτη στο ορυχείο με τους ίδιους στόχους όπως άνωθεν. Ο στόχος επιπλέον ενός γενετικού αλγόριθμου είναι η συνεχόμενη παροχή και η βελτιστοποίηση της στιγμιαίας αξίας του ορυχείου δημιουργώντας ένα πλάνο το οποίο περιλαμβάνει και μελλοντικές καταστάσεις αποφεύγοντας περιπτώσεις πολύ υψηλής αξίας ή πολύ μικρής. Στη συνέχεια ο γενετικός αλγόριθμος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την βελτιστοποίηση του σχεδίου του ορυχείου δημιουργώντας τη σειρά με την οποία θα εξαχθούν τα μπλοκ για τη βελτιστοποίηση του ποσοστού

αποκάλυψης με βάση τις αναμενόμενες τιμές της αγοράς, τις θέσεις απόθεσης των στείρων, τις κλίσεις των πρανών αλλά και τους δρόμους πρόσβασης που τροποποιούνται κατά τη ζωή του ορυχείου. Όλα αυτά τα προβλήματα δημιουργούν ένα μεγάλο εύρος περιορισμών που πρέπει να τεθούν στον αλγόριθμο και φυσικά έχουν ως προαπαιτούμενο γνώση του ορυχείου και της μεθόδου το προγράμματος από το μηχανικό. Η αξία των Γ.Α. σε αυτήν τη περίπτωση σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους θα εξεταστεί παρακάτω.

Τέλος οι γενετικοί αλγόριθμοι βρίσκουν χρήση και σε πολλές επιπλέον χρήσεις που θα ήταν αδύνατο να αναφερθούν διεξοδικά. Αναφορικά μερικές από αυτές είναι:

- Στη σχεδίαση
 - με ζητούμενο την εύρεση μιας λύσης αλλά και τη βελτιστοποίηση της.
 - Δίνουν νέες ιδέες που οι άνθρωποι δε θα μπορούσαν ή θα καθυστερούσαν να σκεφτούν και δίνουν πρωτότυπα αποτελέσματα
- Μηχανική μάθηση
 - Στα συστήματα ταξινόμησης (classifier systems) αλλά και σε παιχνίδια όπως επίλυση λαβυρίνθων κ.α.
 - Δημιουργία πολιτικών και οικονομικών αναλύσεων
 - Στα συστήματα μηχανικής μάθησης οι αλγόριθμοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για προσέγγιση συναρτήσεων
- Επεξεργασία εικόνων
 - Αναγνώριση προτύπων όπως ακμές επιφάνειες, ακόμα και σε αντικείμενα, σε ψηφιοποιημένες εικόνες.
- Συνδυαστική βελτιστοποίηση
 - Το κλασικό πρόβλημα κατανομής πόρων σε δραστηριότητες με σκοπό τη μεγιστοποίηση του οφέλους ή την ελάττωση του κόστους
 - Ο έλεγχος των υποψήφιων λύσεων να είναι αδύνατος

- Τέτοια προβλήματα είναι: το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή, η αποθήκευση κιβωτίων, σχεδίαση VLSI κυκλωμάτων, καταμερισμός εργασιών, ωρολόγιο πρόγραμμα κ.α.

Αυτές οι εφαρμογές εντοπίζονται από τους τομείς της ιατρικής και της ακτινολογίας ως τους τομείς της αεροναυπηγικής και δείχνουν ότι οι γενετικοί αλγόριθμοι είναι πραγματικά ένα εργαλείο για τις επιστήμες το οποίο έχει σίγουρα θέση στο μέλλον και πρέπει να μελετηθεί διεξοδικότερα από εδώ και στο εξής ώστε να γίνει πλήρης χρήση των δυνατοτήτων τους.

4 Μεικτός Ακέραιος Γραμμικός Προγραμματισμός (MILP)

4.1 Γραμμικός Προγραμματισμός

Ο γραμμικός προγραμματισμός είναι η τεχνική με την οποία γίνεται η βέλτιστη κατανομή των πεπερασμένου πλήθους πόρων σε δραστηριότητες. Η κύρια μέθοδος επίλυσης προβλημάτων γραμμικού προγραμματισμού είναι η μέθοδος Simplex, η οποία δημιουργήθηκε από το 1947 από τον G.B. Dantzig, και αποτέλεσε το πιο σημαντικό αποτέλεσμα στο χώρο της επιχειρησιακής έρευνας.

4.2 Ακέραιος Προγραμματισμός

Ο ακέραιος προγραμματισμός, όπως και ο γραμμικός είναι τμήμα της συνδυαστικής βελτιστοποίησης (combinatorial optimization). Τα αντικείμενα που εξετάζονται σε τέτοιου είδους προβλήματα είναι πεπερασμένου αλλά συχνά πολύ μεγάλου πλήθους. Ο γραμμικός προγραμματισμός καλύπτει ένα ευρύ σύνολο προβλημάτων, όμως υπάρχουν και προβλήματα που για να έχει νόημα η λύση τους, πρέπει όλες η μέρος των μεταβλητών τους να παίρνουν ακέραιες τιμές. Για παράδειγμα σε ό,τι έχει να κάνει με ανθρώπινο δυναμικό, μηχανήματα ή οχήματα, δεν μπορούμε να προτείνουμε μη ακέραιες λύσεις, διότι κανένα από τα παραπάνω δεν μπορεί να υποδιαιρεθεί σε όμοια.

4.3 Μεικτός ακέραιος γραμμικός προγραμματισμός (Mixed- Integer Linear Programs)

Η γενική μορφή των προβλημάτων του μεικτού ακέραιου προγραμματισμού είναι:

$$\min_{x,y} f(x,y)$$

$$h(x,y) = 0$$

$$g(x,y) \leq 0$$

$$x \in \mathcal{R}^n$$

$$y \in \{0,1\}^q$$

Το διάνυσμα των μεταβλητών x αντιπροσωπεύει τις συνεχείς αποφάσεις (θερμοκρασίες, πιέσεις, θερμικά φορτία κλπ) ενώ το διάνυσμα των μεταβλητών αντιπροσωπεύει την ύπαρξη ή όχι μιας συσκευής. Τα παραπάνω γενικά προβλήματα είναι γνωστά ως προβλήματα μεικτού ακέραιου μη- γραμμικού προγραμματισμού, Όταν όλες οι συναρτήσεις είναι γραμμικές ονομάζονται – προβλήματα μεικτού ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού MILP (Mixed- Integer Linear Programs).

Ο μεικτός ακέραιος γραμμικός προγραμματισμός χρησιμοποιείται συχνά στην βιομηχανία και ειδικά σε προβλήματα χρονοπρογραμματισμού και οργάνωσης παραγωγής. Υπάρχουν πολύ αποτελεσματικοί αλγόριθμοι για την επίλυση προβλημάτων με εκατομμύρια δυαδικές μεταβλητές (συμπεριλαμβανομένου και λογισμικού όπως η CPLEX και XPRESS). Οι αλγόριθμοι MILP εξασφαλίζουν την βέλτιστη λύση του προβλήματος (εφόσον υπάρχει χρόνος και μνήμη). Η γενική μορφή ενός MILP προβλήματος είναι:

$$\min_{x,y} c_x^T x + c_y^T y$$

$$Ax + By \leq 0$$

$$x \geq 0$$

$$y \in \{0,1\}^q$$

4.4 Προσέγγιση υπολογισμού όλων των συνδυασμών

Η προσέγγιση αυτή βασίζεται στον πλήρη υπολογισμό όλων των δυνατών συνδυασμών των δυαδικών μεταβλητών. Από την στιγμή που οι δυαδικές μεταβλητές καθορίζονται (φιξάρονται), το πρόβλημα μετατρέπεται σε πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού, το οποίο μπορεί να λυθεί με την κλασική μέθοδο Simplex και να οδηγηθούμε στο ολικό βέλτιστο συγκρίνοντας τις λύσεις των προβλημάτων γραμμικού προγραμματισμού. Ωστόσο, υπάρχουν 2^q συνδυασμοί που θα πρέπει να ελεγχθούν. Η αύξηση των συνδυασμών σε σχέση με τον αριθμό των δυαδικών μεταβλητών φαίνεται στον πίνακα:

q	2	5	10	20	50	100
2q	4	32	1024	10^6	10^{15}	10^{30}

Υποθέτοντας 50 δυαδικές μεταβλητές και θεωρώντας ότι παίρνει περίπου 10 λεπτά για την λύση του κάθε γραμμικού προβλήματος, θα χρειαζόμασταν 31 χρόνια για να ελεγχθούν όλοι οι συνδυασμοί.

4.5 Προσέγγιση Χαλάρωσης και Στρογγυλοποίησης

4.5.1 LP Χαλάρωση

Ας χαλαρώσουμε το MILP πρόβλημα, απομακρύνοντας την συνθήκη δυαδικότητας των μεταβλητών y . Έτσι, επιτρέπονται οι μεταβλητές αυτές να μεταβάλλονται μεταξύ 0 και 1. Με αυτόν τον τρόπο το πρόβλημα γίνεται γραμμικού προγραμματισμού (LP). Δεδομένου ότι έχουμε λιγότερο αυστηρούς περιορισμούς στις μεταβλητές y , η λύση που θα πάρουμε δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερη λύση από την λύση του αρχικού MILP. Σε κάποιες ειδικές περιπτώσεις η λύση του LP είναι ίδια με αυτή του MILP. Μία ικανή συνθήκη για να συμβεί αυτό είναι: ο πίνακας B στο παραπάνω γενικό πρόβλημα να είναι unimodular (δηλ. κάθε τετραγωνικός μη-singular πίνακας B έχει ορίζουσα ίση με 1). Ωστόσο, για γενικά προβλήματα MILP κάποιες από τις y μεταβλητές θα είναι μη ακέραιες στην λύση του χαλαρωμένου LP. Αυτό συνήθως ισχύει σε προβλήματα σύνθεσης διεργασιών.

4.5.2 Στρογγυλοποίηση

Στην γενική περίπτωση όπου η λύση του χαλαρωμένου LP είναι μη-ακέραια, μπορεί να εφαρμοστεί ένα σχήμα στρογγυλοποίησης της λύσης στην πλησιέστερη ακέραια λύση. Ωστόσο αυτό μπορεί να οδηγήσει σε υπό-βέλτιστες λύσεις ή ακόμη και σε μη-εφικτούς συνδυασμούς.

4.6 Προβλήματα και εφαρμογές

Σε αυτήν παράγραφο θα παρουσιάσουμε κάποια από τα προβλήματα και τις εφαρμογές των MILP:

Παράδειγμα 1

Δίνεται το παρακάτω πρόβλημα ακέραιου προγραμματισμού:

$$\text{Max } Z=5x_1 + x_2$$

$$\text{s.t. } -x_1 + 2x_2 \leq 4$$

$$x_1 - x_2 \leq 1$$

$$4x_1 + x_2 \leq 12$$

$$x_1, x_2 \text{ ακέραιοι } \geq 0$$

α) Βρείτε γραφικά την βέλτιστη λύση.

β) Βρείτε γραφικά τη βέλτιστη λύση του προβλήματος που προκύπτει όταν αφαιρεθούν οι περιορισμοί ακεραιότητας. Βρείτε όλες τις λύσεις που προκύπτουν από τη στρογγυλοποίηση αυτής της λύσης (δηλαδή από τη στρογγυλοποίηση κάθε μεταβλητής και προς τα πάνω και προς τα κάτω). Ελέγξτε κάθε μια από αυτές τις λύσεις για εφικτότητα και (αν είναι εφικτή) για βελτιστότητα. Είναι κάποια λύση βέλτιστη για το ακέραιο πρόβλημα?

Λύση

α) Η βέλτιστη λύση είναι $x_1 = 2$, $x_2 = 3$ και $Z = 13$.

β) Η βέλτιστη λύση της γραμμικής χαλάρωσης είναι $x_1 = 2.6$, $x_2 = 1.6$ και $Z = 14.6$.

• Από τη στρογγυλοποίηση αυτής της λύσης προκύπτουν οι εξής λύσεις:

x_1	x_2	Εφικτή?	Z	Βέλτιστη?
2	1	Ναι	11	Όχι
2	2	Ναι	12	Όχι
3	1	Όχι		
3	2	Όχι		

Επομένως, η στρογγυλοποίηση της βέλτιστης λύσης της γραμμικής χαλάρωσης του προβλήματος δεν οδηγεί στην εύρεση της βέλτιστης λύσης του ακέραιου προβλήματος.

4.7 Το σύστημα CPLEX της IBM ILOG

Το σύστημα CPLEX της IBM ILOG ήταν το πρώτο εμπορικό λογισμικό βελτιστοποίησης γραμμικού προγραμματισμού στην αγορά γραμμένο σε γλώσσα C, και έδωσε ερευνητικές λειτουργίες πρωτοφανή στην ευελιξία, την αξιοπιστία και την απόδοση για τη δημιουργία νέων αλγορίθμων βελτιστοποίησης. Στην πραγματικότητα, το ίδιο το όνομα CPLEX είναι ένα λογοπαίγνιο χτισμένο στην έννοια του αλγορίθμου Simplex γραμμένο σε C: C-Simplex έδωσε CPLEX. Αρχικά το μοντέλο αναπτύχθηκε από τον Robert E. Bixby και πουλήθηκε στο εμπόριο το 1988, το 1997 εξαγοράστηκε από την ILOG και στη συνέχεια η ILOG, τον Ιανουάριο του 2009, εξαγοράστηκε από την IBM. Έκτοτε η CPLEX συνεχίζει να αναπτύσσεται ενεργά από την IBM.

Επιλογές της CPLEX Optimization

- Μέθοδος διπλής όψευς
- Προβλήματα δικτύων ροής
- Προβλήματα μεικτού ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού
- Μέθοδος Barrier
- Προβλήματα τετραγωνικού προγραμματισμού

4.7.1 Μεικτός ακέραιος γραμμικός προγραμματισμός

Μερικές φορές οι γραμμικές σχέσεις δεν είναι αρκετές για να συλλάβουν την ουσία ενός προβλήματος μιας επιχείρησης. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα όταν οι αποφάσεις αφορούν διακριτές επιλογές, όπως το αν πρέπει ή όχι να ανοίξει μια αποθήκη σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία. Για αυτές τις περιπτώσεις, θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε ακέραιο προγραμματισμό (ή εάν το πρόβλημα περιλαμβάνει δύο διακριτές και συνεχείς επιλογές), μεικτό ακέραιο γραμμικό προγραμματισμό.

Ο ακέραιος προγραμματισμός είναι πολύ πιο δύσκολο να λυθεί από τον γραμμικό προγραμματισμό, αλλά έχει σημαντικές επιχειρηματικές εφαρμογές. HCPLEX χρησιμοποιεί εξελιγμένες μαθηματικές τεχνικές για την επίλυση δύσκολου ακέραιου προγραμματισμού. Αυτές οι τεχνικές περιλαμβάνουν τη συστηματική διερεύνηση πάνω από πιθανούς συνδυασμούς των διακριτών μεταβλητών απόφασης,

χρησιμοποιώντας σύστημα γραμμικής ή τετραγωνικής χαλαρώσεις προγραμματισμού για τον υπολογισμό των ορίων σχετικά με την αξία της βέλτιστης λύσης. Οι καινοτόμες τεχνολογίες της CPLEX έχουν καταστήσει δυνατή την επίλυση του μεικτού ακέραιου προγραμματισμού που προηγουμένως θεωρούνταν δυσεπίλυτα, επιτρέποντας έτσι τη χρήση της βελτιστοποίησης σε σημαντικές επιχειρηματικές εφαρμογές.

4.7.2 Παράδειγμα μεικτού ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού

Πρόβλημα :

$$\text{Min: } z = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7$$

Subject to:

$$x_1 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 \geq 17$$

$$x_1 + x_2 + x_5 + x_6 + x_7 \geq 13$$

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_6 + x_7 \geq 15$$

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_7 \geq 19$$

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 \geq 14$$

$$x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 \geq 16$$

$$x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 \geq 11$$

$$x_1 \geq 0, \text{ and } x_1 \text{ is an integer}$$

$$x_2 \geq 0, \text{ and } x_2 \text{ is an integer}$$

$$x_3 \geq 0, \text{ and } x_3 \text{ is an integer}$$

$$x_4 \geq 0, \text{ and } x_4 \text{ is an integer}$$

$$x_5 \geq 0, \text{ and } x_5 \text{ is an integer}$$

$$x_6 \geq 0, \text{ and } x_6 \text{ is an integer}$$

$$x_7 \geq 0, \text{ and } x_7 \text{ is an integer}$$

Δημιουργία φακέλου "The_Post_Office_Problem.lp":

```
\Problem name: example

Minimize
obj: x1 + x2 + x3 + x4 + x5 + x6 + x7
Subject To
c1: x1 + x4 + x5 + x6 + x7 >= 17
c2: x1 + x2 + x5 + x6 + x7 >= 13
c3: x1 + x2 + x3 + x6 + x7 >= 15
c4: x1 + x2 + x3 + x4 + x7 >= 19
c5: x1 + x2 + x3 + x4 + x5 >= 14
c6: x2 + x3 + x4 + x5 + x6 >= 16
c7: x3 + x4 + x5 + x6 + x7 >= 11

Bounds
x1 >= 0
x2 >= 0
x3 >= 0
x4 >= 0
x5 >= 0
x6 >= 0
x7 >= 0

Generals
x1 x2 x3 x4 x5 x6 x7

End
```

Λύση του προβλήματος με την χρήση της CPLEX Interactive Optimizer:

```
CPLEX> read The_Post_Office_Problem.lp
Problem 'The_Post_Office_Problem.lp' read.
Read time = 0.00 sec.

CPLEX> opt
Tried aggregator 1 time.
```

Reduced MIP has 7 rows, 7 columns, and 35 nonzeros.

Presolve time = 0.00 sec.

MIP emphasis: balance optimality and feasibility.

Root relaxation solution time = 0.00 sec.

Nodes Cuts/

Node Left Objective IInf Best Integer Best Node ItCnt Gap

0 0 22.3333 4 22.3333 5

* 0+ 0 0 23.0000 22.3333 5 2.90%

MIP - Integer optimal solution: Objective = **2.3000000000e+01**

Solution time = 0.00 sec. Iterations = 5 Nodes = 0

CPLEX> d sol v -

Variable Name Solution Value

x1 6.000000

x2 4.000000

x3 1.000000

x4 8.000000

x6 4.000000

All other variables in the range 1-7 are 0.

CPLEX>

5 Βελτιστοποίηση Προγραμματισμού Υπαίθριας Εκμετάλλευσης με Γενετικούς Αλγόριθμους

Για τη βελτιστοποίηση Προγραμματισμού Υπαίθριας Εκμετάλλευσης με Γενετικούς Αλγόριθμους γίνεται χρήση του προγράμματος Evolution της Martek. Το πρόγραμμα επιτρέπει στους χρήστες να μεγιστοποιήσουν την αξία ενός κοιτάσματος χωρίς στην πορεία να θέτουν σε κίνδυνο την ίδια την εκμετάλλευση.

Το Evolution έχει τη δυνατότητα να παράγει προγράμματα εκμετάλλευσης για μεσαίο και μεγάλο βάθος χρόνου καθώς και στρατηγικά προγράμματα ζωής του ορυχείου τα οποία μειώνουν τα λειτουργικά κόστη. Η χρήση του βελτιστοποιεί την τρέχουσα καθαρή αξία χρησιμοποιώντας την οριακά εκμεταλλεύσιμη περιεκτικότητα, κάτι που έχει αποδειχθεί πως μεγιστοποιεί την αξία του ορυχείου. Επιπρόσθετα, το Evolution, έχει τη δυνατότητα να βελτιστοποιήσει τον στόλο μεταφοράς ώστε να προσφέρει εξοικονόμηση κόστους στα πρώτα στάδια της εκμετάλλευσης.

Επιπλέον εξοικονόμηση μπορεί να επιτευχθεί με την βελτιστοποίηση των χώρων απόρριψης αγόνων. Τα οφέλη από μια τέτοια βελτιστοποίηση περιλαμβάνουν αναβολή δαπανών, ελαχιστοποίηση κόστους εκκαθάρισης και καλύτερο προγραμματισμό της απόθεσης των αγόνων. Ένα αποδοτικότερο στάδιο αναμόρφωσης του περιβάλλοντος σημαίνει πως οι δεσμοί μεταξύ των περιβαλλοντικών παραγόντων μπορούν να επιστρέψουν γρηγορότερα.

Το Evolution προσφέρει επίσης συστηματικά προγράμματα παραγωγής μαζί με ένα πρακτικό σχέδιο ανάπτυξης. Ο ευφυής σχεδιασμός του, του επιτρέπει να υπολογίζει ταυτόχρονα πολλούς στόχους έτσι ώστε να μην υπάρχει ανάγκη να συγκεντρωθούν πολλά δεδομένα.

Πρακτικά και υψηλής αξίας προγράμματα καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του ορυχείου

- Ταχύς υπολογισμός πληθώρας σεναρίων με βάση τα μοντέλα πόρων, κάτι που δίνει τη δυνατότητα να επιλεγούν κατάλληλα τα επόμενα βήματα.
- Προγραμματισμός από μπλοκ σε μπλοκ σε όλα τα μήκη του προγραμματισμού. Αυτό παράγει δεδομένα για δυναμική μοντελοποίηση.

- Δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να πάρει αποφάσεις με σύνεση και αποφασιστικότητα σε σχέση με τον προγραμματισμό, έτσι ώστε, να μειώσει τα κόστη και να μεγιστοποιήσει την εκμεταλλεύσιμη ουσία

Παραγωγή πολλαπλών προγραμμάτων με μια μόνο προσομοίωση

- Η χρήση ενός φύλλου δεδομένων για όλο το εύρος του πεδίου προγραμματισμού, εξασφαλίζει την σταθερότητα του τονάζ και της περιεκτικότητας σε όλη τη διάρκεια ζωής του ορυχείου.
- Βελτιστοποίηση της ζωής του ορυχείου και ικανοποίηση όλων των προαπαιτούμενων για την κάθε περίοδο.
- Μπορείτε κανείς να γνωρίζει από πού θα εξορυχθεί το κάθε μπλοκ και πού θα οδηγηθεί έτσι ώστε να είναι βέβαιο ότι δε θα μείνει καμία ποσότητα πολύτιμου ορυκτού στο έδαφος
- Εκσυγχρονισμένη ροή εργασίας και δυνατά εργαλεία
- Ενσωματωμένα εργαλεία προγραμματισμού και σχεδιασμού ορυχείου
- Φιλική προς το χρήστη επιφάνεια εργασίας που προσφέρει ευκολία στη ρύθμιση και στην επεξεργασία προγραμμάτων
- Παραγωγή πολλαπλών σεναρίων εκτός σύνδεσης, την ίδια στιγμή που ο χρήστης μπορεί να συνεχίσει άλλου είδους εργασίες.
- Αποτελέσματα μοντέλων και προγραμμάτων μπορούν να παρουσιαστούν ξεκάθαρα έτσι ώστε να χρησιμοποιηθούν για να εξηγήσουν τα σχέδια και να δικαιολογήσουν τα αποτελέσματα

Χαρακτηριστικά

- Ευθυγράμμιση οριζόντων σχεδιασμού
- Επίτευξη αναμεμιγμένων στόχων
- Ορισμός διαφοροποιούμενου κατώτατου ορίου εκμεταλλευσιμότητας
- Ολιστικός προγραμματισμός
- Προγραμματισμός από μπλοκ σε μπλοκ
- Βελτιστοποίηση Καθαρής Παρούσας Αξίας
- Προγραμματισμός με πολλαπλούς στόχους
- Σύγκριση προγραμμάτων με τα μοντέλα μπλοκ
- Επεξεργασιμότητα προγραμμάτων
- Ανάλυση προγραμμάτων

5.1 Η μέθοδος βελτιστοποίησης του λογισμικού Evolution

Το Evolution χρησιμοποιεί ένα υβρίδιο σύγχρονων ευρετικών μεθόδων με τις παραδοσιακές μεθόδους βελτιστοποίησης. Ο στόχος είναι η ταυτόχρονη βελτιστοποίηση της σειράς εξόρυξης και του κατώτατου ορίου εκμεταλλευσιμότητας για ένα συγκεκριμένο στοιχείο λαμβάνοντας υπόψιν πολλαπλές πηγές επεξεργασίας. Τα προαπαιτούμενα για την ανάπτυξη ενός μοντέλου ελάχιστης εκμεταλλευσιμότητας περιλαμβάνουν:

- Τις δυνατότητες εξόρυξης, επεξεργασίας και εμπλουτισμού
- Τα κόστη λειτουργίας καθώς και τη τιμή του μεταλλεύματος
- Ο βέλτιστος σχεδιασμός των σταδίων είναι προαιρετικός αλλά προτιμάται. Η σημασία σωστών σχεδίων σταδίων στο ελάχιστο όριο εκμεταλλευσιμότητας είναι τεράστιος
- Τα αποθέματα μεταλλεύματος μέσα στα όρια της εκσκαφής με βάση την περιεκτικότητα και την διανομή τονάζ

Το Evolution χρησιμοποιεί ένα υβρίδιο δύο εξελικτικών και ενός κλασικού αλγόριθμου βελτιστοποίησης. Αυτοί περιλαμβάνουν:

- Τον βασικό εξελικτικό αλγόριθμο
- Τον τοπικό εξελικτικό αλγόριθμο αναζήτησης
- Τον αλγόριθμο γραμμικού προγραμματισμού

Οι βασικές ευθύνες του κάθε αλγορίθμου είναι:

Βασικός αλγόριθμος

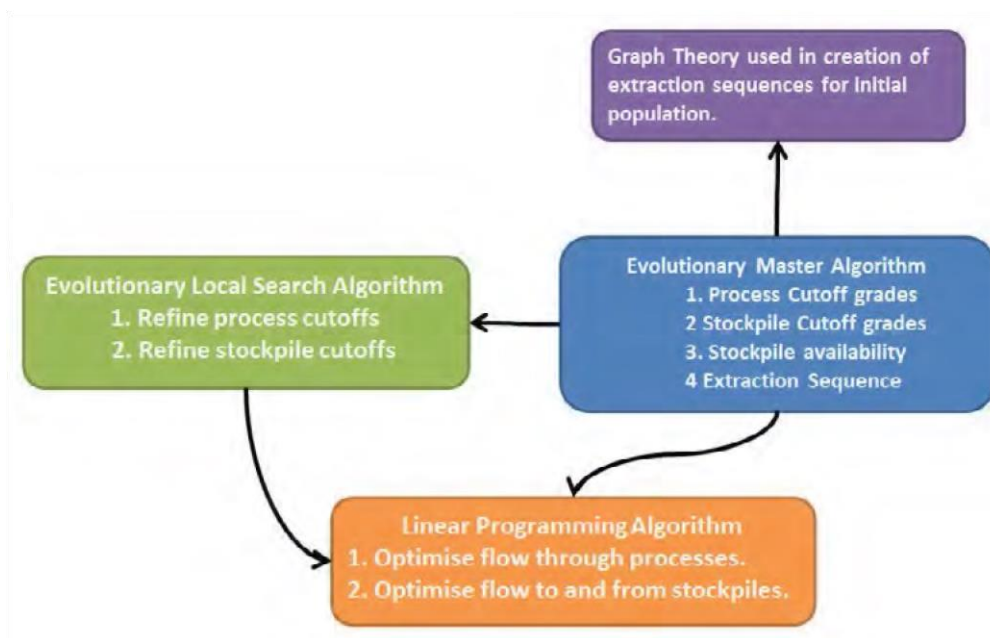
- Εύρεση του χώρου αναζήτησης ορίου εκμεταλλευσιμότητας για την επεξεργασία
- Εύρεση του χώρου αναζήτησης ορίου εκμεταλλευσιμότητας για τα αποθέματα
- Εύρεση του χώρου αναζήτησης ορίου εκμεταλλευσιμότητας για την εκσκαφή
- Διαχείριση τοπικού εξελικτικού αλγορίθμου αναζήτησης
- Διαχείριση του αλγορίθμου γραμμικού προγραμματισμού

Τοπικός αλγόριθμος

- Διατήρηση της ακολουθίας εξαγωγής σταθερής

Αλγόριθμος γραμμικού προγραμματισμού

- Βελτιστοποιεί την ροή του υλικού μέσα από τις προσφερόμενες διαδικασίες
- Υπεύθυνος για την βέλτιστη στρατηγική ανάκτησης από τις αποθέσεις



Εικόνα 1- η «μηχανή» του Strategy

1. Τα βασικά βήματα είναι:
 - a) Για κάθε μοναδική λύση παράγεται μια γεωμετρικά σωστή ακολουθία εξαγωγής χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό θεωριών γραφημάτων, περιορισμών που παρέχονται από το χρήστη και οικονομικά δεδομένα που παρέχονται και αυτά από το χρήστη
 - b) Ένα προφίλ για το όριο εκμεταλλευσιμότητας δημιουργείται για το κάθε άτομο. Το προφίλ μπορεί να παρομοιαστεί σαν πολλές γραμμές μέσα στο χώρο του ορίου εκμεταλλευσιμότητας.
 - c) Παρομοίως δημιουργείται ένα προφίλ για το όριο εκμεταλλευσιμότητας πολλών αποθέσεων το οποίο παράγεται για την κάθε λύση.
2. Η καταλληλότητα της κάθε λύσης υπολογίζεται και μετά ο πληθυσμός βαθμολογείται με βάση τη καταλληλότητα. Η καταλληλότητα σε αυτή τη περίπτωση είναι η καθαρή παρούσα αξία. Κατά τους υπολογισμούς

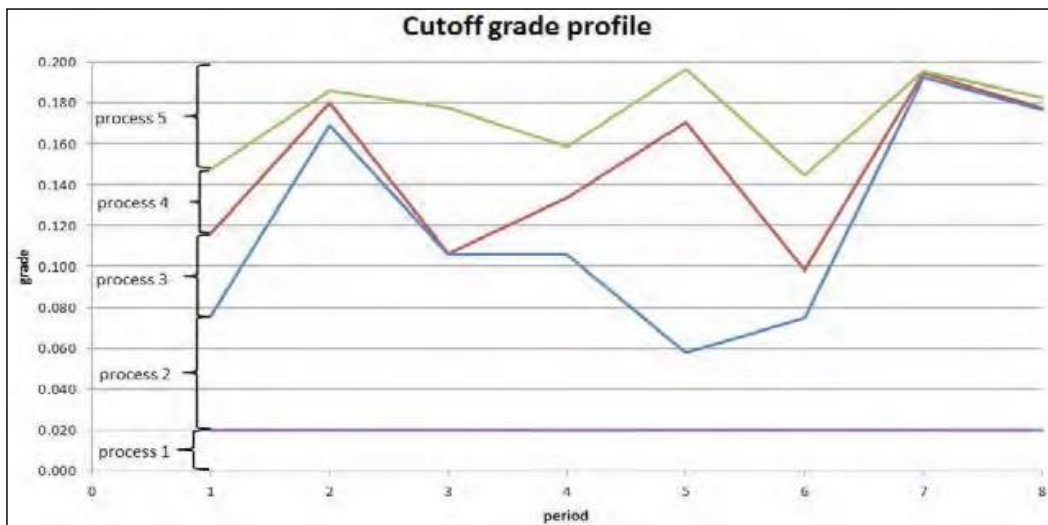
καταλληλότητας ο βασικός αλγόριθμος αλλά και ο τοπικός φέρουν τον αλγόριθμο γραμμικού προγραμματισμού να χρησιμοποιήσει τα παρεχόμενα από το χρήστη όρια για το όριο εκμεταλλευσιμότητας, την διαθεσιμότητα των αποθέσεων και την ακολουθία της εξόρυξης έτσι ώστε να βελτιστοποιηθεί η ροή του υλικού μέσα από όλες τις μονάδες επεξεργασίας. Ο αλγόριθμος γραμμικού προγραμματισμού είναι επίσης υπεύθυνος για την βέλτιστη στρατηγική ανάκτησης.

3. Στη συνέχεια ο βασικός αλγόριθμος περνά μέσα από της διαδοχικές γενεές δημιουργώντας μια γενεά απογόνων στην οποία κάθε παιδί ανταγωνίζεται με τους γονείς του για το δικαίωμα να περάσει στην επόμενη γενεά.
4. Κάθε λίγο ο βασικός αλγόριθμος καλεί τον δευτερεύον τοπικό αλγόριθμο να προωθήσει τον καλύτερο απόγονο που έχει παραχθεί ως τώρα. Ο νέος απόγονος επιστρέφει πίσω στο βασικό ώστε να αντικαταστήσει ή να αναβαθμίσει τον παλαιό του εαυτό
5. Τα βήματα από 2 ως 4 επαναλαμβάνονται μέχρι να μη μπορεί να παραχθεί νέα βελτίωση στην παρούσα αξία, με άλλα λόγια όταν ο πληθυσμός χάνει την ανομοιομορφία του και ενώνεται σέ έναν υψηλής αξίας πληθυσμό με υψηλή καθαρή παρούσα αξία.

5.3 Εξερεύνηση του χώρου ορίου εκμεταλλευσιμότητας

1. Παρουσίαση

Όπως αναφέραμε, το προφίλ του ορίου εκμεταλλευσιμότητας μπορεί να παρομοιαστεί σαν νήματα που τρέχουν μέσα στο χώρο του ορίου εκμεταλλευσιμότητας. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένα παράδειγμα ενός προφίλ ενός ατόμου σε έναν αρχικό πληθυσμό. (εκπροσωπούνται 5 διαφορετικές επεξεργαστικές οδοί.)



Εικόνα 2 – Παράδειγμα προφίλ Ορίου εκμεταλλευσιμότητας στο χώρο του ορίου εκμεταλλευσιμότητας

Period	1	2	3	4	5	6	7	8
Stockpile 1	1	1	1	1	1	1	1	1
Stockpile 2	0	0	1	1	1	1	1	1
Stockpile 3	0	0	0	0	0	0	1	1

Not available
Available

Εικόνα 3 – Διαθεσιμότητα αποθέσεων

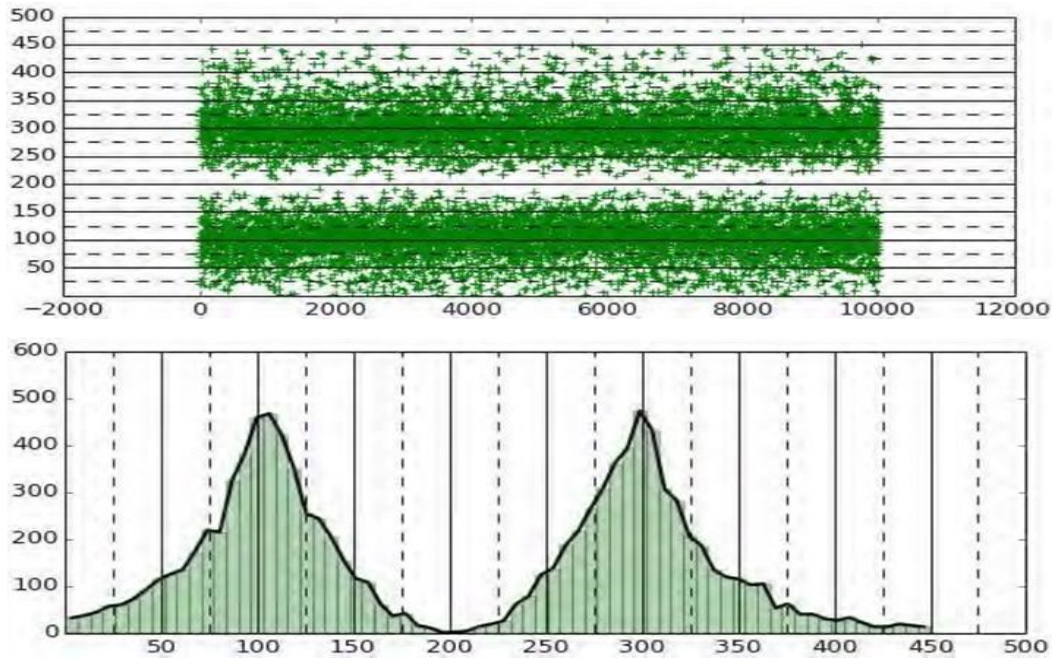
Παρόμοια χειρίζεται το πρόγραμμα τα όρια εκμεταλλευσιμότητας για τις αποθέσεις. Η διαθεσιμότητα των αποθέσεων αντιπροσωπεύεται ως διαδυκό σύστημα όπου 0= η απόθεση δεν είναι διαθέσιμη και 1=η απόθεση είναι διαθέσιμη.

2. Γενετικοί τελεστές και τελεστές crossover

Στους γενετικούς αλγόριθμους ο τελεστής crossover είναι συνήθως το κύριο εργαλείο το οποίο χρησιμοποιείται για να διερευνηθεί ο χώρος αναζήτησης. Γενικά, ένας καλοσχεδιασμένος γενετικός αλγόριθμος λειτουργεί σαν μια μηχανή σύνδεσης η οποία συνδέει τα κομμάτια των λύσεων- γονέων οι οποίοι έχουν υψηλή αξία ως λύσεις. Ιδανικά αυτά τα κομμάτια ή χρωμοσώματα των υψηλής αξίας γονέων θα μεταφερθούν στις επόμενες γενεές και θα κάνουν και αυτές πάνω του μετρίου. Σύμφωνα με την θεωρία των κατασκευαστικών μπλοκ μπορούμε να περιμένουμε ότι ο εξελικτικός αλγόριθμος θα μαζέψει συστηματικά όλα τα κομμάτια γενετικής πληροφορίας τα οποία βρίσκονται στην αρχή σκόρπια στον αρχικό πληθυσμό (Affenyeller, Winkler, Wagner και Beham, 2009). Οπότε ένας καλός τελεστής crossover μπορεί να υποστηρίξει την ανάπτυξη κατασκευαστικών μπλοκ με μεγαλύτερες συνέχειες alleles. Για αυτό το σκοπό είναι σημαντικό ότι το χρωμόσωμα επιτρέπει στον τελεστή crossover να πράξει τη σημαντική του αυτή λειτουργία.

Σε αυτή τη περίπτωση ο τελεστής crossover αναζητεί στον αρχικό πληθυσμό νημάτων οριακής περιεκτικότητας ο οποίος είναι τυχαίος, και προσπαθεί να δημιουργήσει καλά νήματα. Στη συνέχεια μεγάλα τμήματα αυτών των νημάτων πρέπει να ενωθούν για να σχηματίσουν καλύτερα νήματα.

Το Evolution χρησιμοποιεί έναν τροποποιημένο τελεστή crossover ο οποίος συνδυάζει τα νήματα οριακής περιεκτικότητας από πολλαπλούς γονείς. Ο τελεστής επιλέγει να δημιουργήσει τους απογόνους βασιζόμενος σε έναν γονέα. Επιπλέον, έχει την ιδιότητα να μπορεί να δημιουργήσει οποιαδήποτε τιμή στον χώρο αναζήτησης από δύο τιμές των γονέων αλλά με διαφορετικές πιθανότητες. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η διακύμανση 10000 απογόνων που δημιουργήθηκαν από γονείς που εντοπίζονται στο $\chi=100$ και $\chi=300$. Μια διασπορά πιθανοτήτων χρησιμοποιείται για να ελεγχτεί η επέκταση των απογόνων γύρω από τους γονείς. Από την εικόνα φαίνεται ότι η πιθανότητα να δημιουργηθούν απόγονοι κοντά στους γονείς είναι πολύ μεγαλύτερη από το να δημιουργηθούν σε απόσταση. Έτσι η κατανομή και η διασπορά των απογόνων γύρω από τους γονείς ελέγχεται δυναμικά και διαφοροποιείται στη διάρκεια της βελτιστοποίησης.

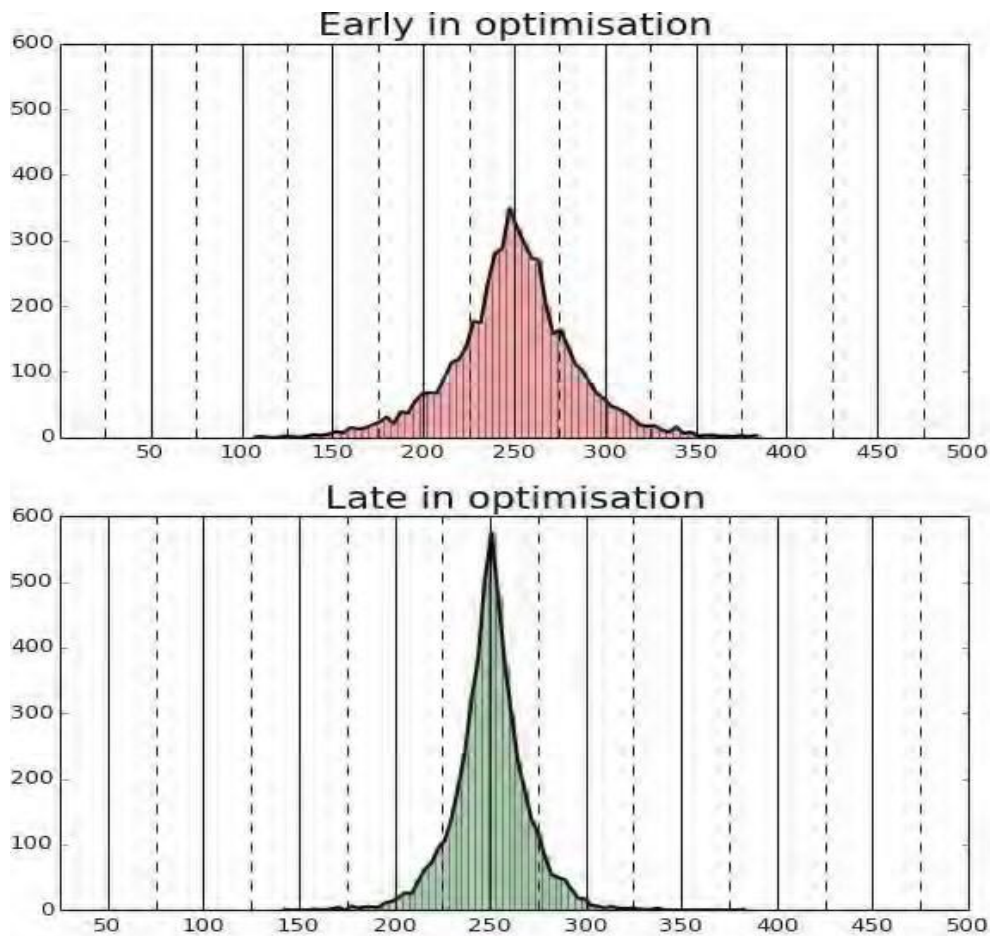


Εικόνα 4

Ο τελεστής μεταλλάξεων

Είναι γνωστό ότι ο τελεστής μεταλλάξεων χρησιμοποιείται για να διατηρηθεί μια ποικιλία στους πληθυσμούς και είναι πολύ σημαντικός για τους εξελικτικούς αλγόριθμους (Deb and Deb, 2012 and Goldberg, 1989). Ο σημαντικότερος του ρόλος είναι να αποτρέψει την πρόορη συνένωση των πληθυσμών. Αυτό γίνεται δυνατό λαμβάνοντας τυχαία σημεία στον χώρο έρευνας. Σε αντίθεση με έναν τελεστή ανασυνδυασμού, ο τελεστής μετάλλαξης λειτουργεί πάνω σε ένα μόνο μέλος του πληθυσμού ανα φορά και το μετατρέπει ανεξάρτητα από τον υπόλοιπο πληθυσμό.

Στο Strategy χρησιμοποιείται ένας τροποποιημένος πολυωνυμικός τελεστής μετάλλαξης. Αυτός ο τελεστής χρησιμοποιεί μια στατιστική κατανομή για να βρεθεί μια λύση κοντά στον γονέα. Η διασπορά των μεταλλαγμένων «παιδιών» γύρω από τον γονέα διαφοροποιείται στη διάρκεια της βελτιστοποίησης.



Εικόνα 5- Πολυωνυμικός τελεστής μετάλλαξης

5.4 Παράδειγμα Προγραμματισμού με Χρήση Γενετικών αλγορίθμων στο πρόγραμμα Marstek Evolution

Το ορυχείο χρυσού της Tropicana βρίσκεται στην δυτική Αυστραλία και σε αυτό έγινε χρήση του προγράμματος Evolution της Marstek για τη δημιουργία του προγράμματος εκμετάλλευσης. Το πρότζεκτ καλύπτεται από ένα μεγάλο μοντέλο μπλοκ το οποίο έχει έκταση περισσότερα από 5 χμ και βάθος 400μ. Δέκα τοποθεσίες ρίψης στείρων χρησιμοποιήθηκαν ενώ δημιουργήθηκαν μακροπρόθεσμα και βραχυπρόθεσμα προγράμματα από το μοντέλο των αποθεμάτων.

Το πρόγραμμα του ορυχείου πέτυχε τις απαιτήσεις της τροφοδοσίας μειώνοντας το κόστος μεταφοράς των υλικών την ίδια στιγμή ενώ η διαδικασία προγραμματισμού ήταν ιδιαίτερα αποδοτική καθώς μείωσε το χρόνο παραγωγής

βέλτιστων διαδρομών για τα φορτηγά απόθεσης, και για τα 10 σημεία απόθεσης στείρων. Επιπλέον το κόστος απόθεσης μειώθηκε κάνοντας χρήση πρακτικών προγραμμάτων που πέτυχαν όλους του στόχους που σχετίζονται με τη λειτουργική ετοιμότητα.

Το πρόγραμμα χρειάστηκε να ενσωματώσει κατασκευές όπως δρόμους πρόσβασης και να επιτρέπει την ύπαρξη επιφανειακού χώματος όπου θα μεγαλώσουν αργότερα τα φυτά της αποκατάστασης αλλά και την περίφραξη υλικού που πιθανώς θα μπορούσε να παράξει οξύ.

Άλλες απαιτήσεις ήταν να δημιουργηθεί μια στρατηγική για την πρόσβαση των φορτηγών από ράμπες και να επιτραπεί μια διακυμαινόμενης διάρκειας και διαφοροποιούμενη διακίνησης μεταφορά υλικών, κάτι που εξαρτάται από τη λιθολογία, έτσι ώστε να μπορεί να επεξεργαστεί 5.8 με 6.6 εκ. τόνους ανά χρόνο.

Τα οφέλη παραγωγής

Εκτός από τη βελτιστοποίηση της αξίας με την επίτευξη των στόχων παραγωγής μεταλλεύματος τα κόστη μεταφοράς μειώθηκαν κατά 10%. Επιπλέον οφέλη παραγωγικότητας ικανοποιήθηκαν από την αναβολή δαπανών που σχετίζονται με αγορές στο στόλο και έγκαιρο εντοπισμό των τοποθεσιών αλλά για το πού, πότε και πώς πρέπει να καθαριστεί η γη για την εκμετάλλευση

Η ανάλυση δείχνει ότι η αγορά 3 επιπλέον φορτηγών θα μπορούσε να καθυστερήσει για δεκαοχτώ μήνες, κάτι το οποίο θα γλύτωνε την επιχείρηση από περισσότερες από 1000 ώρες μεταφοράς το μήνα για αυτή τη χρονική περίοδο.

Επιπλέον στον προγραμματισμό αυτό συμπεριλήφθηκε σχέδιο αποκατάστασης. Το όφελος αυτού εντοπίζεται στο γεγονός ότι μπορούν να εντοπιστούν νωρίς οι περιοχές στις οποίες μπορεί να ξεκινήσει η αποκατάσταση, ακόμα και νωρίς στη διάρκεια ζωής του ορυχείου. Έτσι η διεύθυνση μπορεί να πάρει τις σωστές αποφάσεις ανάλογα με τα γνωστά κόστη καθαρισμού της γης.

Η διαδικασία της προσομοίωσης του προγράμματος παραγωγής, της ανάθεσης δρόμων, της ανάλυσης του χρονικού κύκλου των μεταφορών των υλικών αλλά και η βελτιστοποίηση των πρυνών των αποθέσεων των στείρων μέσα στο ίδιο πακέτο σημαίνει μείωση κόστους κατά 30% στα έξοδα που περιλαμβάνουν λογισμικό.

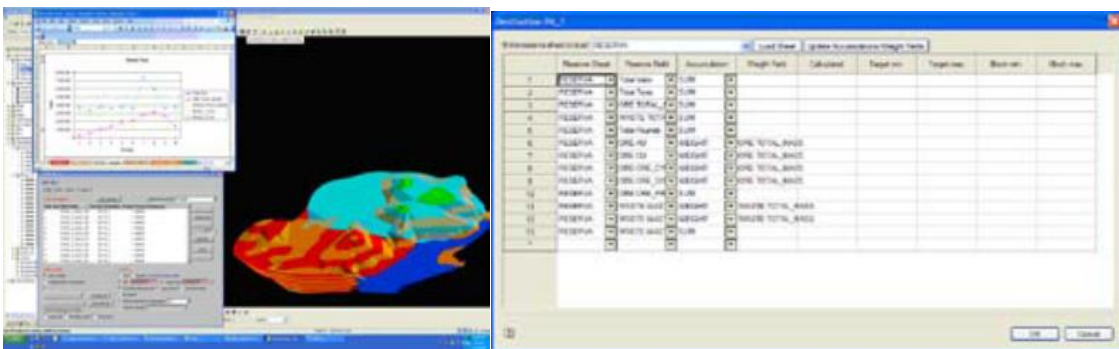
Επιπρόσθετα το τεχνικό προσωπικό ανέφερε βελτιωμένη αποδοτικότητα μέσα από την εργασία στα πλαίσια του προγράμματος, με μειωμένα κόστη εκπαίδευσης και ενισχυμένες ροές εργασίας.

6 Βελτιστοποίηση Προγραμματισμού Υπαίθριας

Εκμετάλλευσης Με Μεικτό Ακέραιο Προγραμματισμό

6.1 Το πρόγραμμα Martek Chronos

Η λειτουργικότητα του προγράμματος Chronos συνδυάζει την διαισθητική λογική με το ισχυρό γραφικό περιβάλλον του λογισμικού Martek Vulcan. Τα προσαρμοσμένα φύλλα πληροφοριών σε Microsoft Excel επιτρέπουν την έξοδο των σχεδίων και των γραφημάτων σε χαρτί.



Το Chronos επιτρέπει στους χρήστες να δουν το πρόγραμμα διαδραστικά με διάφορους τρόπους, συμπεριλαμβανομένων των γραφικών μέσα από το έργο, και σε προκαθορισμένα γραφήματα στο Excel. Ο χρήστης μπορεί να δει γρήγορα αποτελέσματα και να κάνει τις απαραίτητες αλλαγές καθώς αναπτύσσεται το πρόγραμμα.

Το Chronos λειτουργεί μέσα σε ένα αντικειμενοστραφές περιβάλλον με υπολογιστικό φύλλο για την αποθήκευση, το χειρισμό και την αναφορά των πληροφοριών παραγωγής του ορυχείου .

Το περιβάλλον αυτό επιτρέπει την δυναμική ανάλυση και την ανατροφοδότηση μεταξύ του σχεδιασμού του ορυχείου, του γεωλογικού μοντέλου και του χρονοδιάγραμματος. Το Chronos είναι εύκολο στην χρήση και έχει την ευελιξία να χειριστεί τις ιδιαίτερες απαιτήσεις των χρηστών σε κάθε λειτουργία του.

Η βάση του προγράμματος Chronos μπορεί να χρησιμοποιηθεί για βραχυπρόθεσμο, μεσοπρόθεσμο και μακροπρόθεσμο προγραμματισμό, καθώς και για τον προγραμματισμό του εξοπλισμού. Επιτρέπει το γραφικό διαδραστικό προγραμματισμό των αποθεμάτων χρησιμοποιώντας τριγωνισμούς και πολύγωνα για την συλλογή δεδομένων, δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να δημιουργήσει και να

επεξεργαστεί τις σχέσεις προτεραιότητας, και διευκολύνει τη δημιουργία πολλαπλών ημερολογίων λειτουργίας για τα μεμονωμένα στοιχεία του εξοπλισμού ή των πόρων.

Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι οι βασικές λειτουργίες για την έξοδο του επιχειρηματικού μοντέλου υπολογίζονται δυναμικά μέσα στο ίδιο το φύλλο εργασίας του προγράμματος. Οι χαμηλές επιπτώσεις τις κάθε απόφασης προγραμματισμού είναι άμεσα διαθέσιμες και μπορούν να ληφθούν υπόψιν κατά τη διαδικασία προγραμματισμού. Ο προγραμματισμός των φύλλων εργασίας προσαρμόζεται εύκολα για να ταιριάζει σε κάθε ενδεχόμενο σενάριο.

Δεδομένου ότι όλα τα εργαλεία προγραμματισμού ενσωματώνονται ως επιλογές του μενού, η διαμόρφωση των μικροεντολών ή άλλων εξειδικευμένων προγραμμάτων είναι περιττή. Επιπλέον, οι βασικοί δείκτες απόδοσης μπορούν να τυποποιηθούν και να παρακολουθούνται ταυτόχρονα με τον προγραμματισμό.

6.2 Προγραμματισμός του Chronos και προγραμματισμός των πόρων

- Η μονάδα προγραμματισμού του ορυχείου εργάζεται σε ένα περιβάλλον υπολογιστικού φύλλου για την αποθήκευση, το χρονοδιάγραμμα, το χειρισμό και τις πληροφορίες παραγωγής του ορυχείου
- Η απεικόνιση των αποτελεσμάτων από τις αποφάσεις προγραμματισμού μέσω virtual ορυχείων και animations
- Οι βασικές λειτουργίες και οι έξοδοι του επιχειρηματικού μοντέλου υπολογίζονται δυναμικά μέσα στο ίδιο χρονοδιάγραμμα του βιβλίου εργασίας
- Ο προγραμματισμός πραγματοποιείται με άμεση γνώση των κατάντη επιπτώσεων της κάθε απόφασης
- Στα φύλλα εργασίας ο προγραμματισμός μπορεί να προσαρμοστεί εύκολα για να ταιριάζει σε κάθε σενάριο.
- Μπορεί να συνδεθεί σε Συστήματα Διαχείρισης Επιχειρήσεων

6.3 Δημιουργία ενός φύλλου εργασίας για το προγραμματισμό στο Chronos

Μια περιληπτική περιγραφή των βημάτων που απαιτούνται για να δημιουργηθεί το βιβλίο εργασίας είναι:

1. Άνοιγμα του προγράμματος και δημιουργία ενός νέου βιβλίου εργασίας

2. Εισαγωγή του αρχείου Vulcan Reserve Dump (DMP) σε ένα φύλλο αποθεμάτων
3. Εισαγωγή των στηλών στο φύλλο των αποθεμάτων
4. Μορφοποίηση των εισαγόμενων στηλών και προσδιορισμός των πεδίων τύπου και βάρους
5. Παραγωγή ενός ημερολογίου περιόδων και προσδιορισμός των περιόδων του προγραμματισμού
6. Δημιουργία ενός μοναδικού προορισμού Chronos με την ονομασία MINE. Αυτό είναι ένα βήμα κλειδί λόγω του ότι όλες οι σημαντικές μεταβλητές ορίζονται εδώ
7. Δημιουργία μιας μοναδικής διαδικασίας του Chronos με την ονομασία Excavate
8. Δημιουργία ενός πίνακα εύρεσης διαδικασιών με την ονομασία Table
9. Δημιουργία ενός πίνακα που περιέχει το κλάσμα αποκάλυψης με την ονομασία RATIO. Αυτός ο πίνακας ορίζει ι) το ελάχιστο ποσοστό οποιασδήποτε βαθμίδας η οποία μπορεί να εξορυχθεί ανά περίοδο, ιι) το ποσοστό της βαθμίδας άνωθεν η οποία πρέπει να εξορυχτεί πριν από την τρέχουσα.
10. Δημιουργία ενός γενικού φύλλου το οποίο θα έχει στο τελευταίο μισό του μια αυτόματη περίληψη των περιόδων
11. Προσδιορισμός των προτεραιοτήτων των μπλοκ και έλεγχος του φύλλου αποθεμάτων. Μετατροπή των προτεραιοτήτων σε αρίθμηση των μπλοκ με βάση τη προτεραιότητα

6.4 Βελτιστοποίηση

Η διαμόρφωση Βελτιστοποίηση Χρόνος λειτουργεί σε Chronos Base Schedule, επιτρέποντας τη δημιουργία βελτιστοποιημένων χρονοδιαγραμμάτων.

- Δημιουργία βελτιστοποιημένων προγραμμάτων που χρησιμοποιούν τον μηχανισμό βελτιστοποίησης CPLEX.
- Λειτουργικοί περιορισμοί που καθορίζονται διαδραστικά ή μέσω ενός γραφικού οδηγού για τον συνολικό προσδιορισμό των προτεραιοτήτων της εξόρυξης..
- Οι οικονομικοί και μεταλλουργικοί περιορισμοί μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη βελτιστοποίηση, δίνοντας σε κάθε περίοδο προγραμματισμού δικούς τους στόχους και τους περιορισμούς που ορίζονται σε ένα και μόνο στόχο τη λειτουργία του.
- Η δυναμική εμφάνιση των αποτελεσμάτων η παροχή πληροφοριών συνδυάζουν το σχέδιο, το γεωλογικό μοντέλο και το χρονοδιάγραμμα.

- Πληροί τις απαιτήσεις σε σύντομο χρονικό διάστημα.
- Η οπτικοποίηση και η ανάλυση των σεναρίων διευκολύνει την καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας των ορυχείων, βοηθώντας στον εντοπισμό των τομέων βελτίωσης.
- Προγραμματίζει όλους τους τύπους των υπόγειων και υπαίθριων λατομείων μέσα σε ένα φιλικό προς το χρήστη interface.
- Το Chronos προωθεί την αποτελεσματικότητα και αυξάνει την αποδοτικότητα της ζωής.

6.5 Εκτέλεση της βελτιστοποίησης και προγραμματισμός των αποτελεσμάτων

Το μυστικό της επιτυχημένης Βελτιστοποίησης και προγραμματισμού στο Chronos είναι να προσεγγιστούν σαν μια διαδικασία στην οποία ο μηχανικός συμμετέχει.

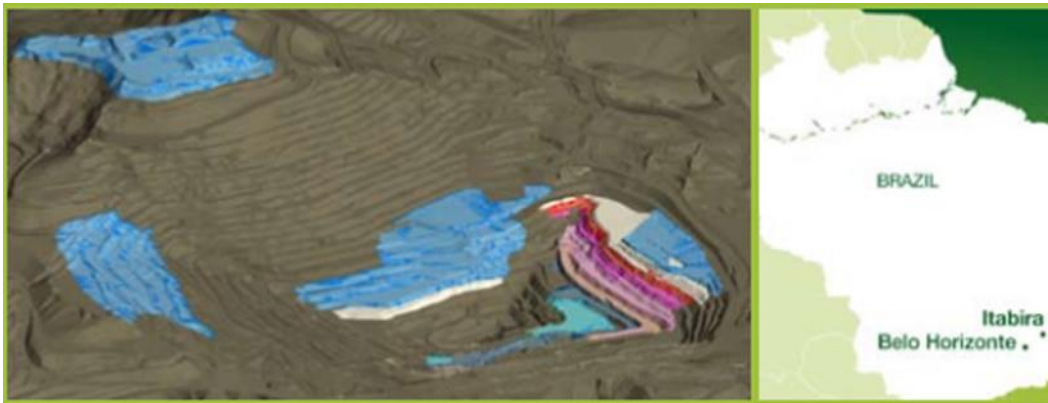
1. Ταυτοποιεί ένα σετ από περιορισμούς του προγραμματισμού σύμφωνα με τους στόχους του και τους αποθηκεύει σε ονομαζόμενα φύλλα περιορισμών
2. Δημιουργεί μια λίστα διαθέσιμων προς εξόρυξη βαθμίδων σε ένα task του Chronos
3. Στήνει το πρόβλημα, προσδιορίζοντας τις περιόδους οι οποίες θα βελτιστοποιηθούν, τους πίνακες περιορισμών που θα χρησιμοποιηθούν στη κάθε περίοδο και άλλες παραμέτρους της βελτιστοποίησης όπως το αν θα επιτρέπεται η μερική εξόρυξη, η χρήση των πινάκων με τα κλάσματα αποκάλυψης κλπ
4. Δημιουργεί τα αρχεία βελτιστοποίησης “bci” , “bco” που περιέχουν το πρόβλημα (bci) και παρέχουν ένα αρχείο για να καταγραφεί το αποτέλεσμα (bco).
5. Παρέχει τη λύση της βελτιστοποίησης
6. Φορτώνει το αποτέλεσμα (Bco) στο πίνακα αποτελεσμάτων του Chronos (CRT)
7. Προγραμματίζει το αποτέλεσμα από το CRT και παρατηρεί το πρόγραμμα από το φύλλο Summary General

8. Η βελτιστοποίηση προγραμματισμού στο Chronos είναι επαναληπτική διαδικασία. Για αυτό ο μηχανικός χρειάζεται να ελέγχει συνεχώς και να εξετάζει τα αποτελέσματα κατά τη διαδικασία της βελτιστοποίησης.

6.6 Παραδείγματα από βιβλιογραφία

Ο προγραμματισμός και η λειτουργία του Itabira με Martek Chronos

Η Βραζιλία είναι ο μεγαλύτερος εξαγωγέας σιδηρομεταλλεύματος στον κόσμο. Το μεγαλύτερο μέρος αυτού του ορυκτού προέρχεται από δύο περιοχές, το Serra dos Carajas στο Para περιοχή στο βορρά, και την Quadrilatero Ferrifero νοτιότερα στην πολιτεία Minas Gerais



Η Vale είναι μια εταιρεία, που ιδρύθηκε το 1942 και ιδιωτικοποιήθηκε το 1997, είναι η μεγαλύτερη διαφοροποιημένη εταιρεία εξόρυξης στην Αμερική, με παρουσία σε 13 πολιτείες της Βραζιλίας και 5 ηπείρους και λειτουργώντας 9.000 χιλιόμετρα σιδηροδρόμου και 8 θαλασσιούς τερματικούς σταθμούς.

Η Vale είναι ο παγκόσμιος ηγέτης στην αγορά σιδηρομεταλλεύματος και σφαιριδίων και ο δεύτερος μεγαλύτερος παραγωγός μαγγανίου και χυτοσιδήρου.

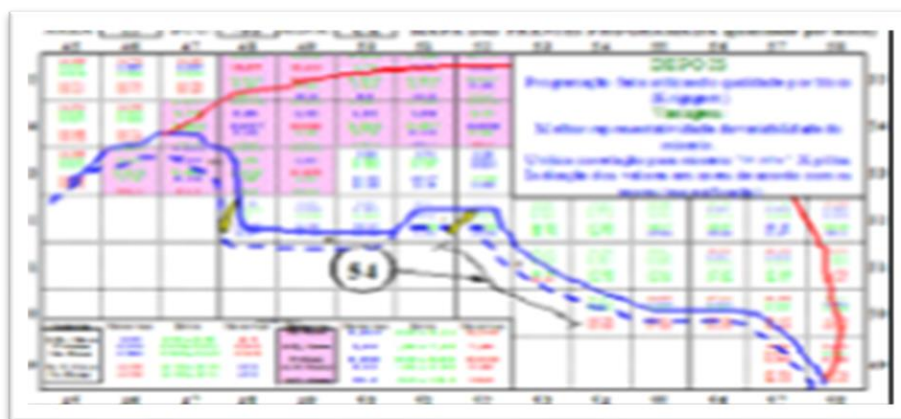
Η περιοχή Itabira ήταν η αρχική κατοικία των δραστηριοτήτων της Vale και περιλαμβάνει αρκετές επιχειρήσεις, κυρίως την Cauê και το Conceição. Το Cauê είναι στην παραγωγή από το 1942. Το Conceição άρχισε να λειτουργεί το 1957.

Η Martek ασχολείται με τα έργα της Vale από το 1997, όταν εισήχθη το Martek Vulcan για βάσεις γεωτρήσεων, προηγμένο γεωλογικό μοντέλο και γεωστατιστικά.

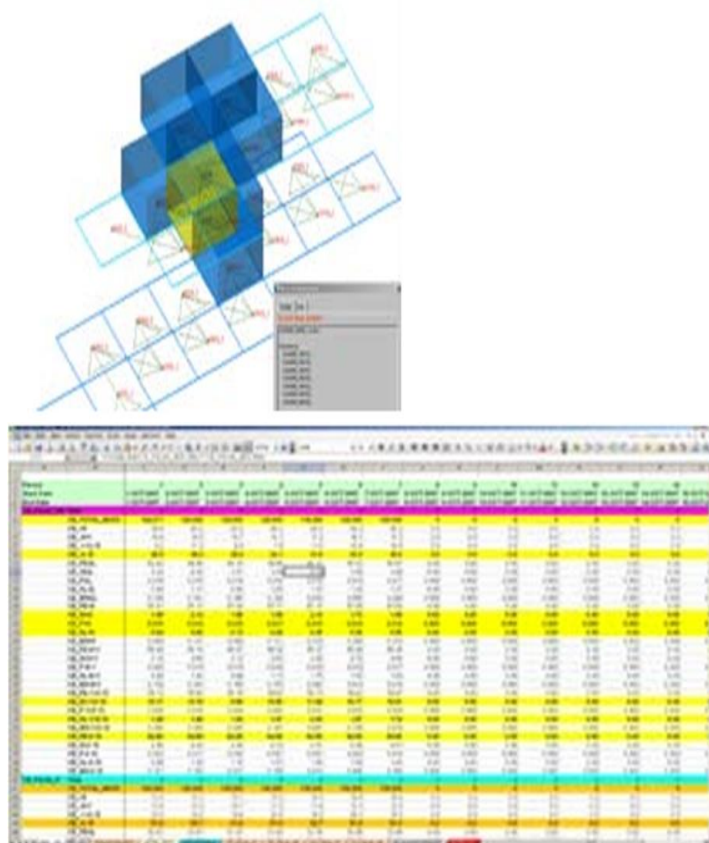
Η λειτουργία της Itabira της Vale χρησιμοποιεί το Martek Chronos για καθημερινή και εβδομαδιαία προγράμματα ανάμειξης, αξιολογώντας τις απαιτήσεις τις χημικής ποιότητας και του μεγέθους για τον συγκέντρωση μεταλλευμάτων και την ανάθεση εξοπλισμού φόρτωσης για εξόρυξη σιδηρομεταλλεύματος.

Τα χρονοδιαγράμματα του Chronos βοηθούν τους ανθρακωρύχους να συμμορφώνονται με το σχέδιο του ορυχείου και να συμβάλλουν στην καλύτερη αξιοποίηση των εγκαταστάσεων του εργοστασίου, παρακολουθώντας και ελέγχοντας τον σχηματισμό ομοιογενοποιημένων αποθεμάτων και την άμεσης τροφοδοσία στο εργοστάσιο συγκέντρωσης.

Το Chronos επιτρέπει στην εταιρεία Itabira να παράγει ποικίλες αναφορές σχετικά με τον σχηματισμό ομοιογενοποιημένων αποθεμάτων, καθώς και τις εβδομαδιαίες και ετήσιες εκθέσεις για την ποιότητα και να πραγματοποιεί στατιστικές αναλύσεις, όπως την τυπική απόκλιση, το ανώτερο όριο και το κατώτερο όριο. Η γραφική απεικόνιση διευκολύνει την παρακολούθηση των αποθεμάτων και ενισχύει τις μελέτες σχετικά με την προσκόλληση και τον προσδιορισμό της συσχέτισης μεταξύ του επί τόπου υλικού και των προγραμματισμένων αποθεμάτων.



Ένα πρότυπο βιβλίο μπλοκ του Chronos μπορεί να εκτυπωθεί ως οδηγός για τους χειριστές εκσκαφής στο πεδίο



Οι σειρές που επισημαίνονται με κίτρινο χρώμα αντιπροσωπεύουν περιορισμούς κατηγορίας περιορισμού, στους οποίους οι υπεύθυνοι σχεδιασμού πρέπει να δώσουν ιδιαίτερη προσοχή.

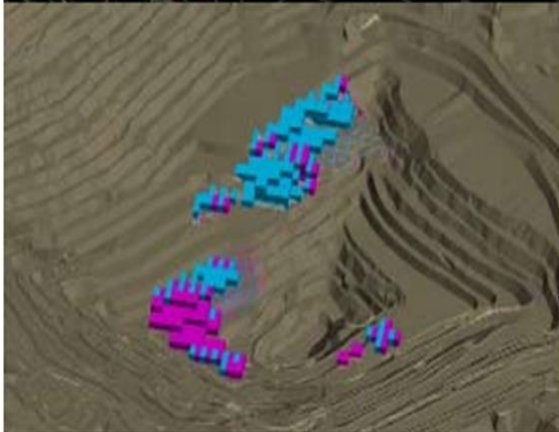
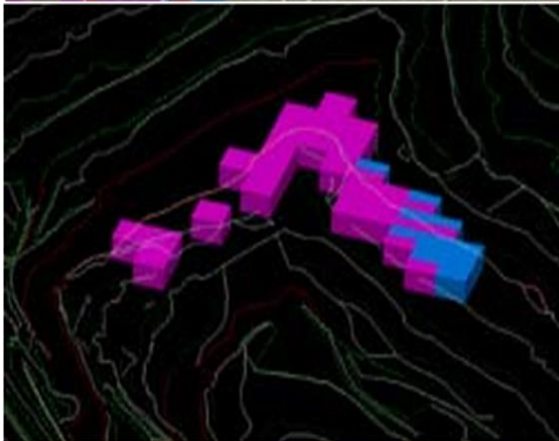
Η συμφιλίωση των αποθεμάτων πραγματοποιείται μέσω στατιστικών μεθόδων για τον καθορισμό νέων ορίων ελέγχου. Μπορεί να δημιουργηθεί μια γραφική παράσταση των παραγόμενων αριθμών. Όλες οι διαθέσιμες γεωλογικές πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν μαζί με τοπογραφικές ενημερώσεις. Οι εκθέσεις αποστέλλονται για την ενημέρωση της βάσης δεδομένων του Vulcan Chronos.

Στο Itabira, τα μηνιαία στερεά του σχεδιασμού ορυχείων υπολογίστηκαν με ένα σενάριο CLava σε ένα μοντέλο μπλοκ των 25m x 25m x 15m, με μερικά μπλοκ 12,5m x 12,5m x 6,5m.

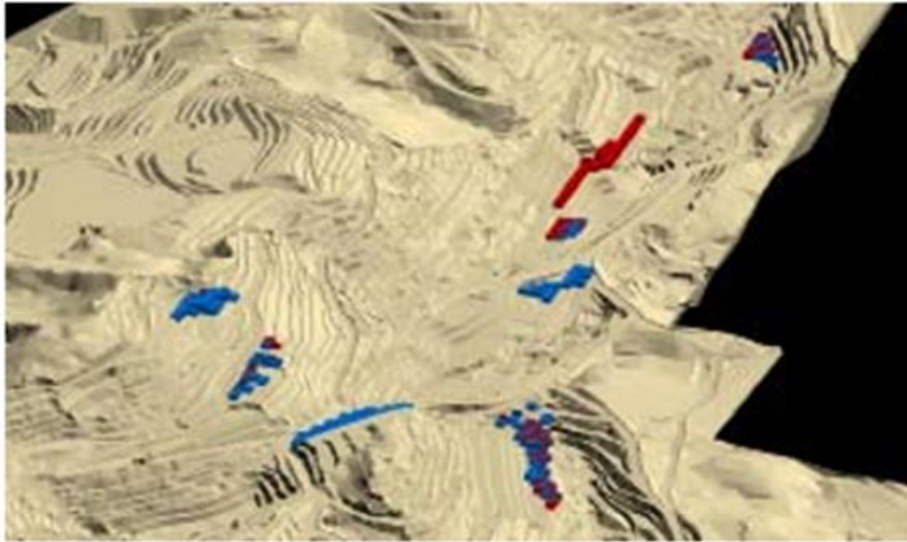
Τριάντα πέντε βαθμοί περιορισμού χρησιμοποιούνται για τη βελτιστοποίηση ταυτόχρονα 2 προορισμών: CE (HE, IT) - Conceição CA (HE, IT) – Cauê.

Κάθε ημέρα στις περιλήψεις των περιόδων, οι δυναμικές αναφορές αντιπροσωπεύουν ένα απόθεμα αιματίτη ή (itabirite), το οποίο παρουσιάζει συγκεκριμένη χωρητικότητα και ποιότητα.

Μια λεπτομερής απεικόνιση μπορεί να δημιουργηθεί με ένα οριζόντιο γεωλογικό τμήμα, της τρέχουσα τοπογραφίας και τα στερεά που αντιπροσωπεύουν τα μπλοκ που προγραμματίζονται στο μηνιαίο σχέδιο.



ήσεις 3D Vulcan
τές. Τα
υσιάζονται εδώ
έντα μπλοκ
δεν έχουν



Vulcan 3D σχέδιο ορυχείων που δείχνει τα προγραμματισμένα μπλοκ (κόκκινο = αιματίτης, μπλε = itabirite)

2. Ορυχείο χαλκού του Sungun, Χρήση Μικτού γραμμικού προγραμματισμού.

Το ορυχείο του Sungun στο Ανατολικό Αζερμπαϊτζάν που βρίσκεται στο Βορειοδυτικό Ιράν. Ιστορικά ντοκουμέντα δείχνουν μια μακρά και αρχαία εξορυκτική παράδοση στη περιοχή, ενώ γεωφυσικές και γεωχημικές έρευνες στη περιοχή επιβεβαίωσαν τη παρουσία υψηλών επιπέδων χαλκού και μολυβδαινίου στα κοιτάσματα του ορυχείο. Η NICICO (National Iranian Copper Industries Co. – Εθνική Εταιρία χαλκού του Ιράν) Πραγματοποίησε έρευνες οι οποίες έδειξαν ότι θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν 45000μ εξόρυξης με διαμάντι και 2100μ σήραγγες, κάτι το οποίο υποδεικνύει 700κτ ορυκτού σε περιεκτικότητα 0.63% σε χαλκό χρησιμοποιώντας οριακή περιεκτικότητα 0.3% . Το αρχικό πρόγραμμα του ορυχείου φτιάχτηκε με την κλασσική μέθοδο και είχε βασιστεί σε ένα προφίλ παραγωγής 7κτ ετησίως, τα πρώτα χρόνια, και με αύξηση στους 14κτ το χρόνο, ανά τον έβδομο χρόνο ως τον χρόνο 27. Σύμφωνα με αυτό το σενάριο η ολική παραγωγή και ο συντελεστής αποκάλυψης ήταν 340κτ και 2.1 αντίστοιχα. Υπήρξε αρχικά, μια εκτιμώμενη ποσότητα 150κτ αποκάλυψης σε διάρκεια 5 ετών και ένας ετήσιος εξορυκτικός ρυθμός 44κτ, που παρήγαγε 7κτ μεταλλεύματος τα πρώτα 6 χρόνια παραγωγής. Η έλλειψη μελέτης βελτιστοποίησης προγραμματισμού σήμαινε μεγάλες σχέσεις αποκάλυψης και μεγάλη δαπάνη κεφαλαίων σε εξοπλισμό. Το 2000 πραγματοποιήθηκε μελέτη σκοπιμότητας χρησιμοποιώντας μεθόδους βελτιστοποίησης εκσκαφής. Το μοντέλο ανανεώθηκε με την ενσωμάτωση περαιτέρω πληροφοριών από γεωτρήσεις αλλά και γεωλογικές αναλύσεις. Τι βελτιωμένο μοντέλο έφερε πολλές βελτιώσεις, τόσο τεχνικές όσο και οικονομικές.

Οικονομικό Μοντέλο Μπλοκ

Βασικός στόχος της βελτιστοποίησης είναι να μεγιστοποιηθεί η στιγμιαία αξία του ορυχείου, κάτι το οποίο απαιτεί την εύρεση των μπλοκ με τη μεγαλύτερη αξία. Έτσι η οικονομική αξία των μπλοκ, είναι ο σημαντικότερος παράγοντας μετά τους επίσης σημαντικούς παράγοντες της σταθερότητας του ορυχείου και των ορίων εκμετάλλευσης.

Αν ο υπολογισμός της αξίας των μπλοκ είναι λάθος τότε και ο βέλτιστος προγραμματισμός θα είναι επίσης λάθος, κάτι που δείχνει τη σημασία που έχει η ακρίβεια του υπολογισμού της οικονομικής αξίας των μπλοκ.

Τιμή Χαλκού:

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα στο σχεδιασμό του πεδίου και στον προγραμματισμό της παραγωγής είναι ο υπολογισμός της μελλοντικής αξίας του μεταλλεύματος. Αυτός ο υπολογισμός μπορεί να πραγματοποιηθεί με τρεις μεθόδους:

- Μέθοδος σημερινής τιμής
- Μέθοδος οικονομικών τάσεων
- Οικονομετρική μέθοδος

Η απλούστερη και χειρότερη μέθοδος είναι η μέθοδος που θεωρεί την τιμή του μεταλλεύματος ως τη σημερινή τιμή καθώς η τιμές των μεταλλευμάτων αλλάζουν περιοδικά. Παρόλα αυτά αν ο υπολογισμός χρησιμοποιήσει μια τιμή η οποία είναι η χαμηλότερη ή η υψηλότερη μιας περιόδου τότε το αποτέλεσμα θα έχει μεγάλη απόκλιση από τη πραγματικότητα και ένα κερδοφόρο ορυχείο μπορεί να φαίνεται ως μη κερδοφόρο. Η κυριότερη και βέλτιστη μέθοδος είναι η μέθοδος των οικονομικών τάσεων.

Αυτή η μέθοδος πρέπει να λάβει υπόψιν:

- Την ανάλυση τάσεων από διάφορες οικονομικές περιόδους
- Μια ανάλυση ευαισθησίας των τάσεων
- Μια σχέση μεταξύ την αξία και τον χρόνο δεν δηλώνει απαραίτητα αναλογική σχέση.

Η οικονομετρική μέθοδος υπολογισμού της τιμής είναι η μοντελοποίηση της ζήτησης και της αγοράς των διάφορων προϊόντων. Αυτά τα μοντέλα μπορούν να είναι ιδιαίτερα περίπλοκα και συνήθως χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη βραχυπρόθεσμων τάσεων τιμών.

Αποληψιμότητα

Είναι απαραίτητο να υπολογιστεί η περιεκτικότητα σε χαλκό ενός μπλοκ και ο βαθμός ανάκτησης για κάθε διαφορετικό τύπο μεταλλεύματος σε όλες τις διαδικασίες εξόρυξης και επεξεργασίας.

Κόστος

Το κόστος μπορεί να υπολογιστεί κάνοντας χρήση των προηγούμενων δεδομένων άλλων έργων της NCICO. Το κόστος εξόρυξης ανά μονάδα υπολογίστηκε σε αυτή τη περίπτωση χρησιμοποιώντας τα τελευταία δεδομένα από ένα άλλο ορυχείο χαλκού στο Sarcheshme.

Τέλος τα δεδομένα για τα κόστη μεταλλουργίας και επεξεργασίας που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα βελτιστοποίησης προέρχονται από το οικονομικό μοντέλο της τελευταίας έκδοσης της μελέτης σκοπιμότητας του ορυχείου Sungun.

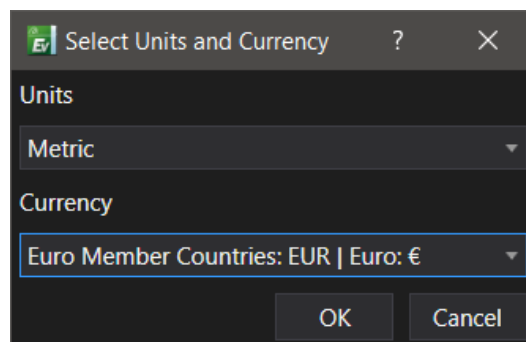
7 Παράδειγμα Εφαρμογής Λογισμικού Maptek Evolution

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζουμε την εφαρμογή του λογισμικού Maptek Evolution στη βελτιστοποίηση του προγράμματος υπαίθριας εκμετάλλευσης νικελίου με στόχο τη μεγιστοποίηση της τρέχουσας καθαρής αξίας του προγράμματος. Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενα κεφάλαια, το λογισμικό αυτό βασίζεται σε εξελικτικούς αλγόριθμους και αποτελεί μια νέα απάντηση στο πρόβλημα του προγραμματισμού υπαίθριων εκμεταλλεύσεων.

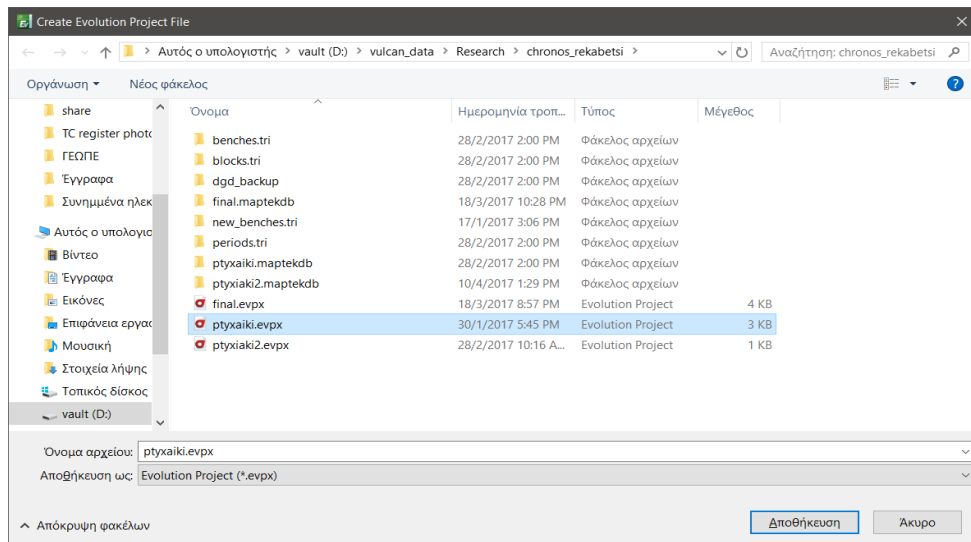
7.1 Αρχικές Ρυθμίσεις και Εισαγωγή των Μεταλλευτικών

Αποθεμάτων

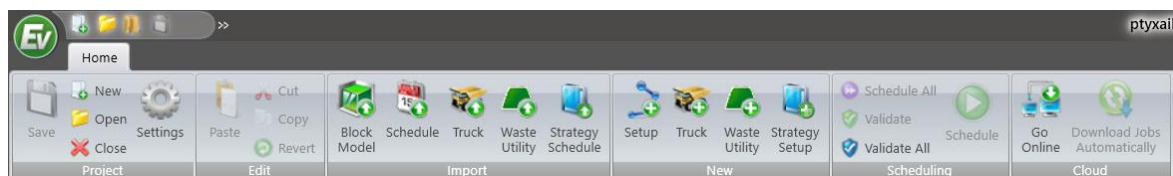
Μετά την εκκίνηση της εφαρμογής, επιλέγουμε το εικονίδιο New για να ξεκινήσουμε μια νέα εργασία στο Evolution. Αρχικά μας ζητά να επιλέξουμε το σύστημα μονάδων μέτρησης και των συναλλαγματικών μονάδων.



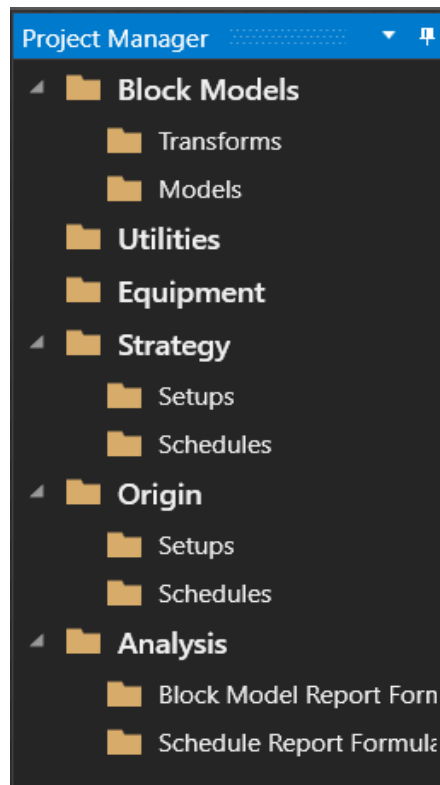
Πατώντας το OK, το πρόγραμμα μας ζητά στη συνέχεια να επιλέξουμε την ονομασία της εργασίας.



Μετά το άνοιγμα του νέου αρχείο εργασίας, ενεργοποιούνται τα περισσότερα εικονίδια στη λωρίδα Home της εφαρμογής.

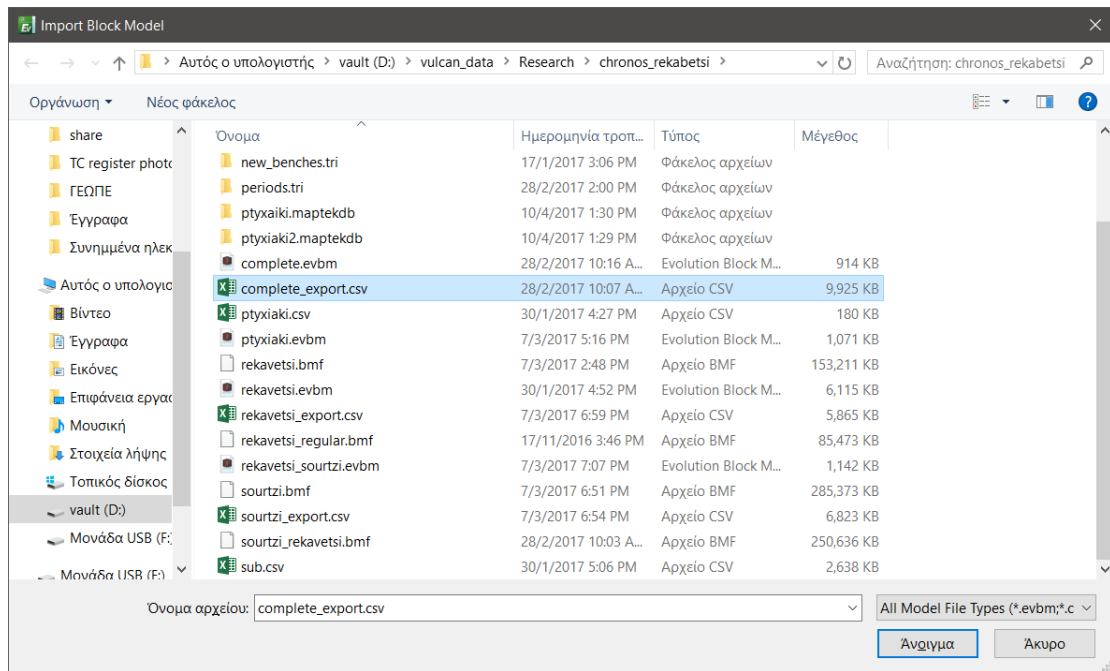


Επίσης ανοίγουν και μια σειρά από φακέλους στην περιοχή διαχείρισης εργασίας – Project Manager. Οι φάκελοι αυτοί δίνουν πρόσβαση σε αρχεία αλλά και ειδικές λειτουργίες του προγράμματος.



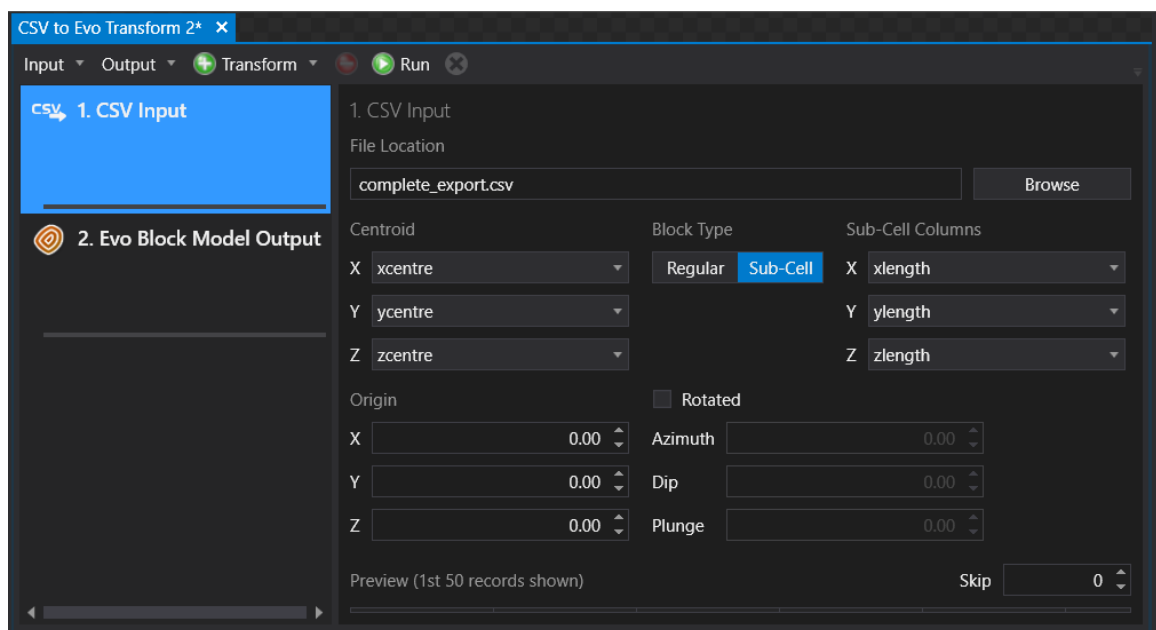
Το πρώτο ουσιαστικό βήμα στο πρόγραμμα είναι η εισαγωγή των μεταλλευτικών αποθεμάτων που πρόκειται να προγραμματιστούν μέσω του μοντέλου μπλοκ που προηγουμένως έχει γίνει η εξαγωγή του από το πρόγραμμα Vulcan. Επειδή οι πληροφορίες αυτές προέρχονται από δύο ξεχωριστά μοντέλα μπλοκ – ένα για κάθε εκσκαφή – χρειάστηκε να γίνει συνδυασμός τους σε ένα αρχείο CSV.

Επιλέγοντας το εικονίδιο Block Model γίνεται δυνατή η εισαγωγή του μοντέλου μπλοκ από διάφορες πηγές – τύπους αρχείων. Επιλέγουμε το αρχείο complete_export.csv και πατάμε το Άνοιγμα. Το αρχείο αυτό έχει δημιουργηθεί στο Vulcan με εξαγωγή εκείνων των μπλοκ που βρίσκονται μέσα στα στερεά των εκσκαφών ή τέμνονται με αυτά, από τα αντίστοιχα μοντέλα μπλοκ των δύο εκσκαφών.

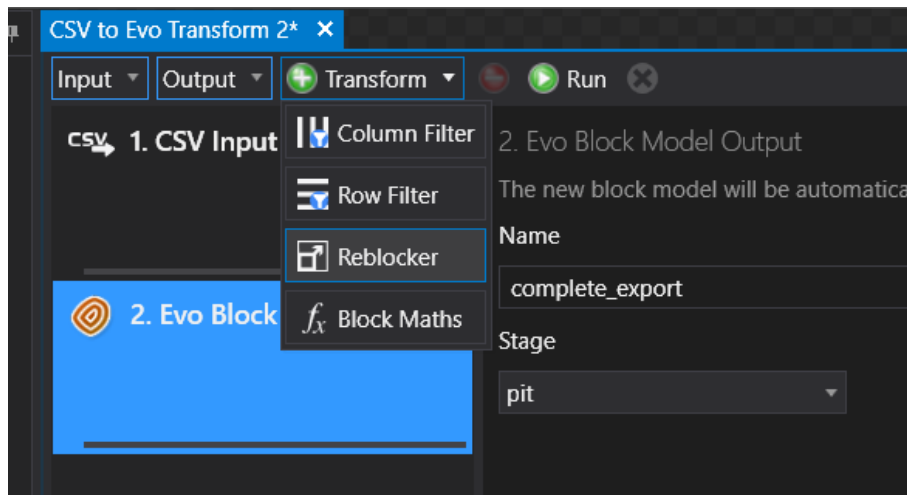


Το μοντέλο αυτό περιέχει μπλοκ διαφορετικών διαστάσεων (subblocking) που σημαίνει ότι θα πρέπει να περάσει από μια διαδικασία κανονικοποίησης (regularisation) σε μπλοκ σταθερών διαστάσεων με κατάλληλο υπολογισμό των επιμέρους μεταβλητών του.

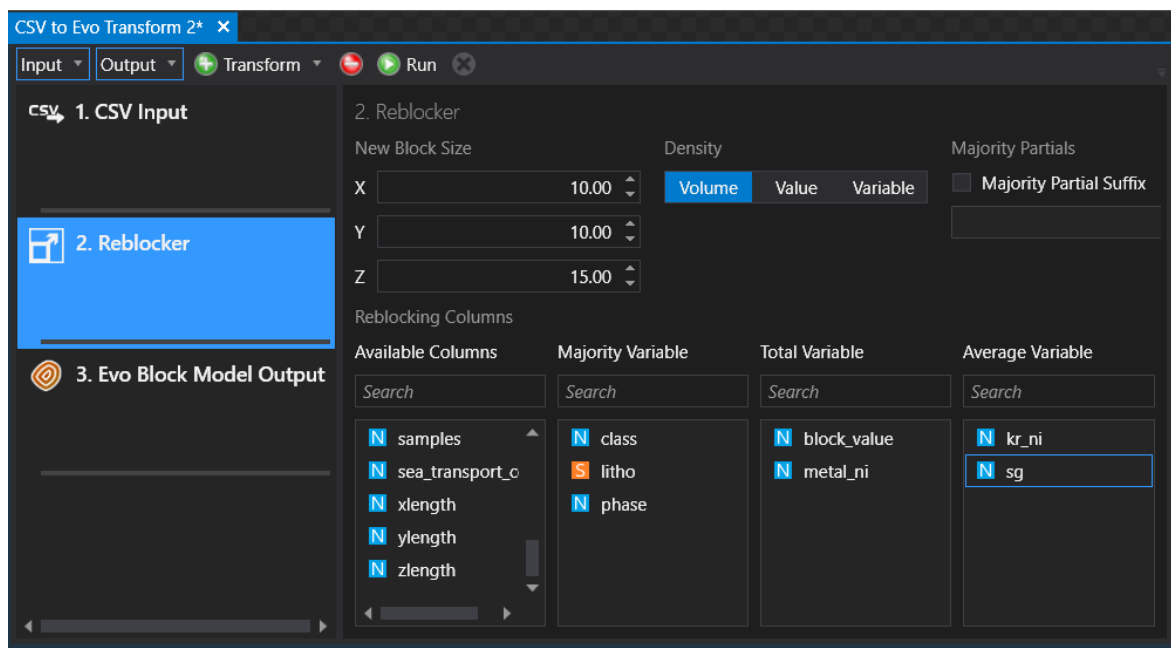
Στο παράθυρο που ανοίγει, επιλέγουμε τον τύπο μπλοκ Sub-Cell καθώς και άλλες πληροφορίες για το μοντέλο που πρόκειται να εισαχθεί.



Επιλέγουμε το μενού Transform και την επιλογή Reblocker.

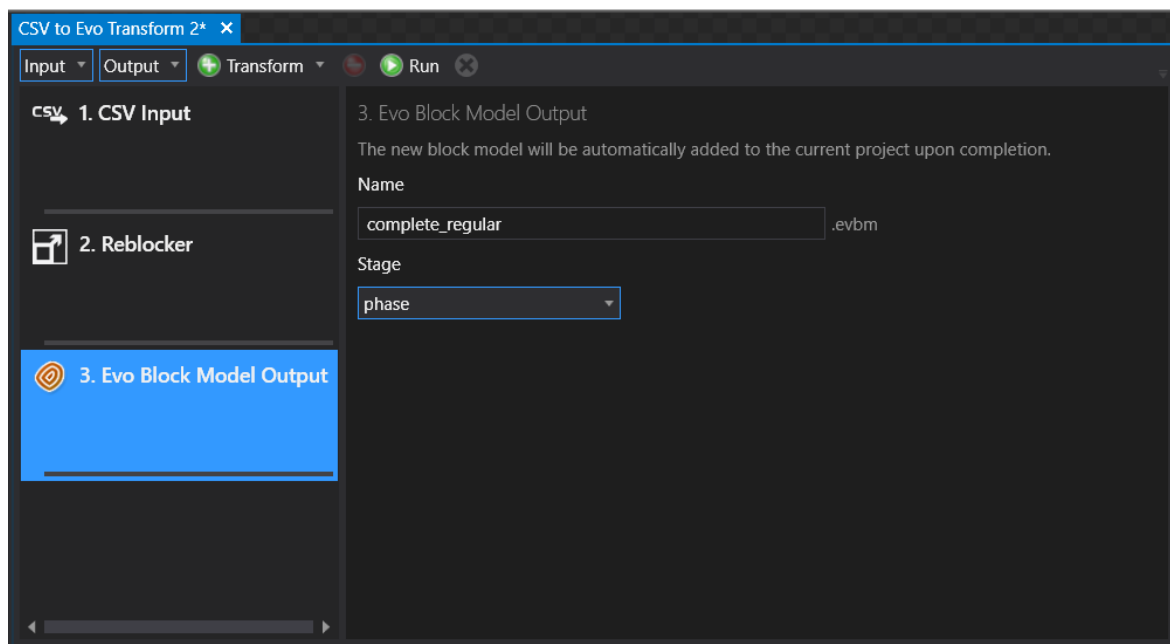


Η λειτουργία αυτή θα επιτρέψει την κανονικοποίηση του αρχικού μοντέλου σε μοντέλο με μπλοκ σταθερών διαστάσεων, κάτι που είναι απαραίτητο για τη σωστή λειτουργία του Evolution. Δίνουμε τις διαστάσεις των νέων μπλοκ και επιλέγουμε στις κατάλληλες κατηγορίες τις μεταβλητές που θα μεταφερθούν – υπολογιστούν στο νέο μοντέλο.

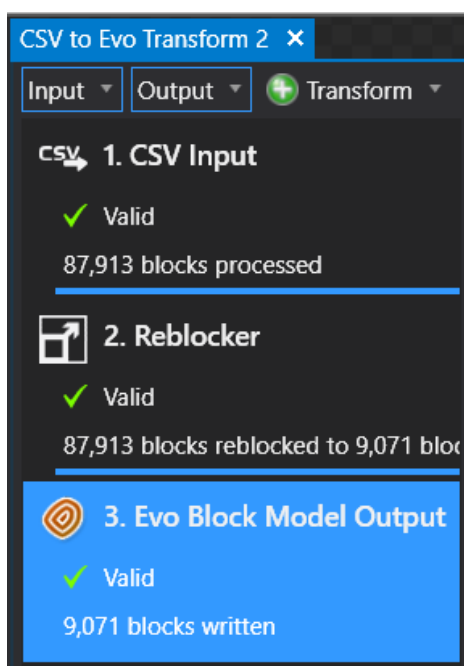


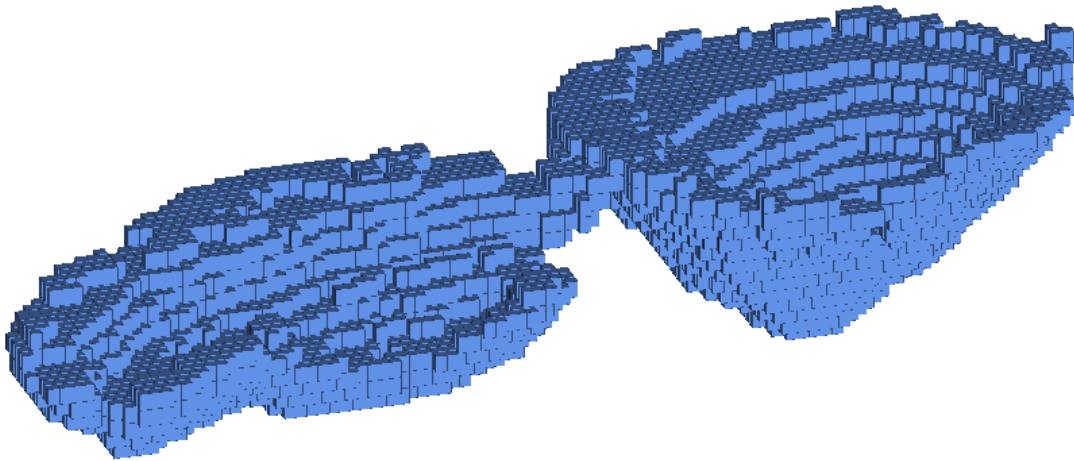
Οι μεταβλητές class, litho και phase μεταφέρονται ως Majority Variable καθώς λαμβάνουν διακριτές τιμές και ο υπολογισμός της νέας τελικής τιμής τους για τα μεγάλα μπλοκ διαστάσεων 10X10X15 μέτρων θα γίνει με βάση την πιο κυρίαρχη τιμή στα αρχικά μπλοκ. Οι μεταβλητές block_value και metal_ni υπολογίζονται ως άθροισμα των αρχικών μπλοκ. Τέλος, η μεταβλητή sg υπολογίζεται ως μέσος όρος των αρχικών τιμών.

Προχωράμε στο τρίτο επίπεδο Evo Block Model Output για να καθορίσουμε το όνομα του νέου μοντέλου που θα δημιουργηθεί καθώς και να επιλέξουμε τη μεταβλητή που δίνει τις ενδιάμεσες φάσεις της εκσκαφής.



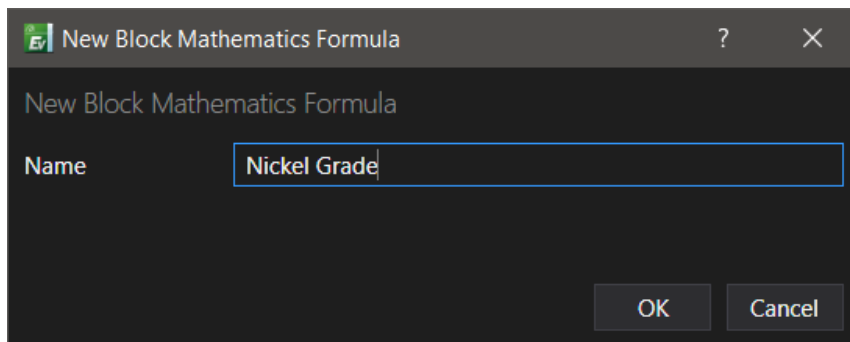
Στη συνέχεια πατάμε το Run για να τρέξει η διαδικασία εισαγωγής όπως έχει διαμορφωθεί. Το πρόγραμμα μας ενημερώνει για την επιτυχία της εισαγωγής, τον αριθμό των αρχικών μπλοκ που επεξεργάστηκε και τον αριθμό των νέων μπλοκ που έχει εισάγει.



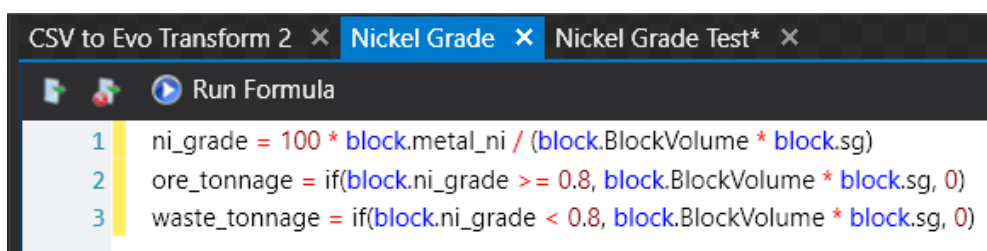


Το μόνο που μένει μετά την εισαγωγή και πριν τη χρήση του μοντέλου για τον προγραμματισμό, είναι ο υπολογισμός της περιεκτικότητας σε νικέλιο από την μεταβλητή `metal_ni` που μας δίνει τις μονάδες νικελίου μέσα σε κάθε μπλοκ καθώς και του βάρους του μεταλλεύματος και των στείρων ανά μπλοκ

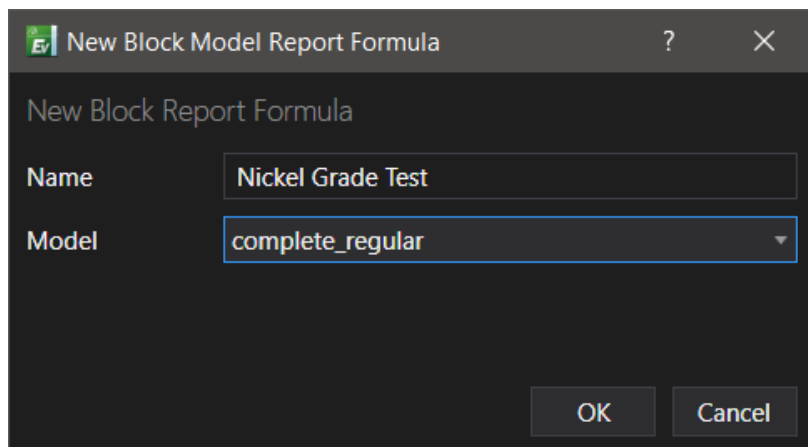
Για το σκοπό αυτό, κάνουμε χρήση της λειτουργίας Block Mathematics Formulas με δεξί κλικ και επιλέγοντας τη λειτουργία New Block Mathematics Formula. Δίνουμε μια ονομασία στον υπολογισμό και πατάμε το OK.



Εμφανίζεται ένα παράθυρο όπου θα δώσουμε τον μαθηματικό τύπο υπολογισμού της περιεκτικότητας στο νικέλιο.



Για να ελέγξουμε το αποτέλεσμα των υπολογισμών, θα ζητήσουμε από το πρόγραμμα μια μικρή αναφορά ως προς τη μέση τιμή αυτών των νέων μεταβλητών ανά φάση εκμετάλλευσης. Χρησιμοποιούμε τη λειτουργία Block Model Report Formulas.



New Block Model Report Formula

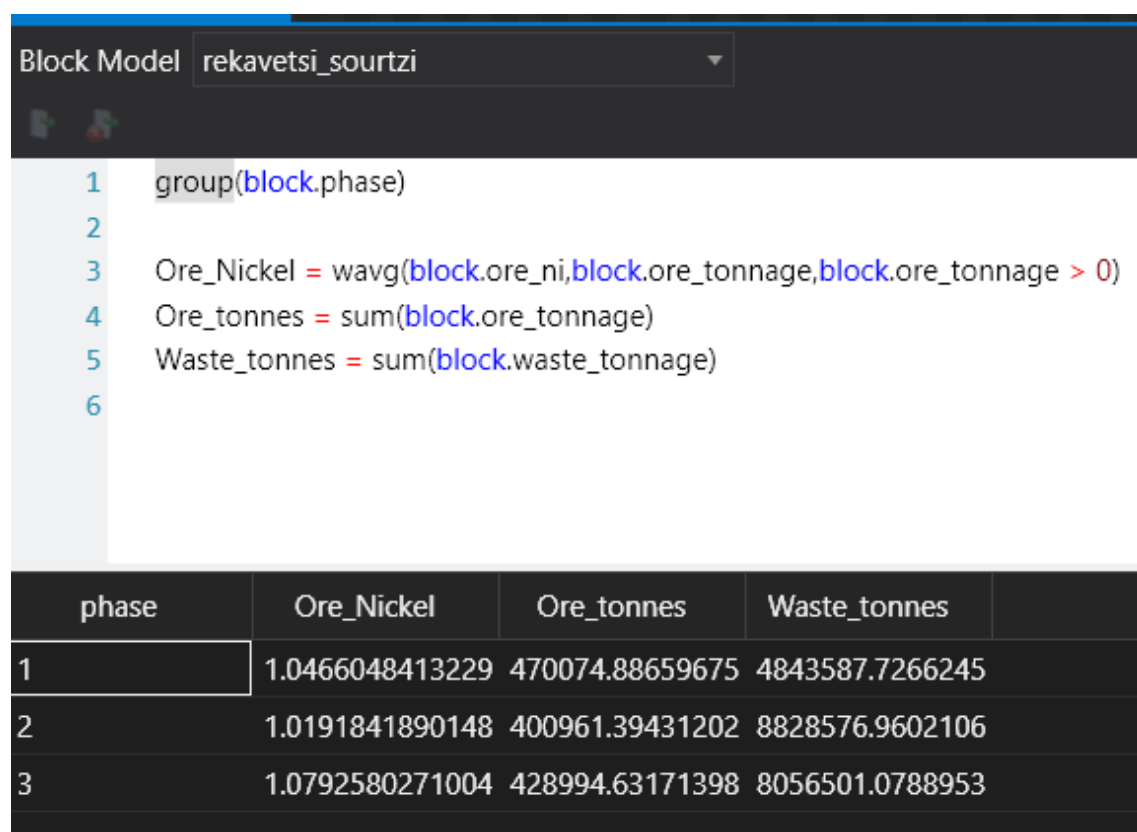
New Block Report Formula

Name: Nickel Grade Test

Model: complete_regular

OK Cancel

Στη σελίδα που εμφανίζεται διαμορφώνουμε την αναφορά ως εξής:



Block Model: rekavetsi_sourtzi

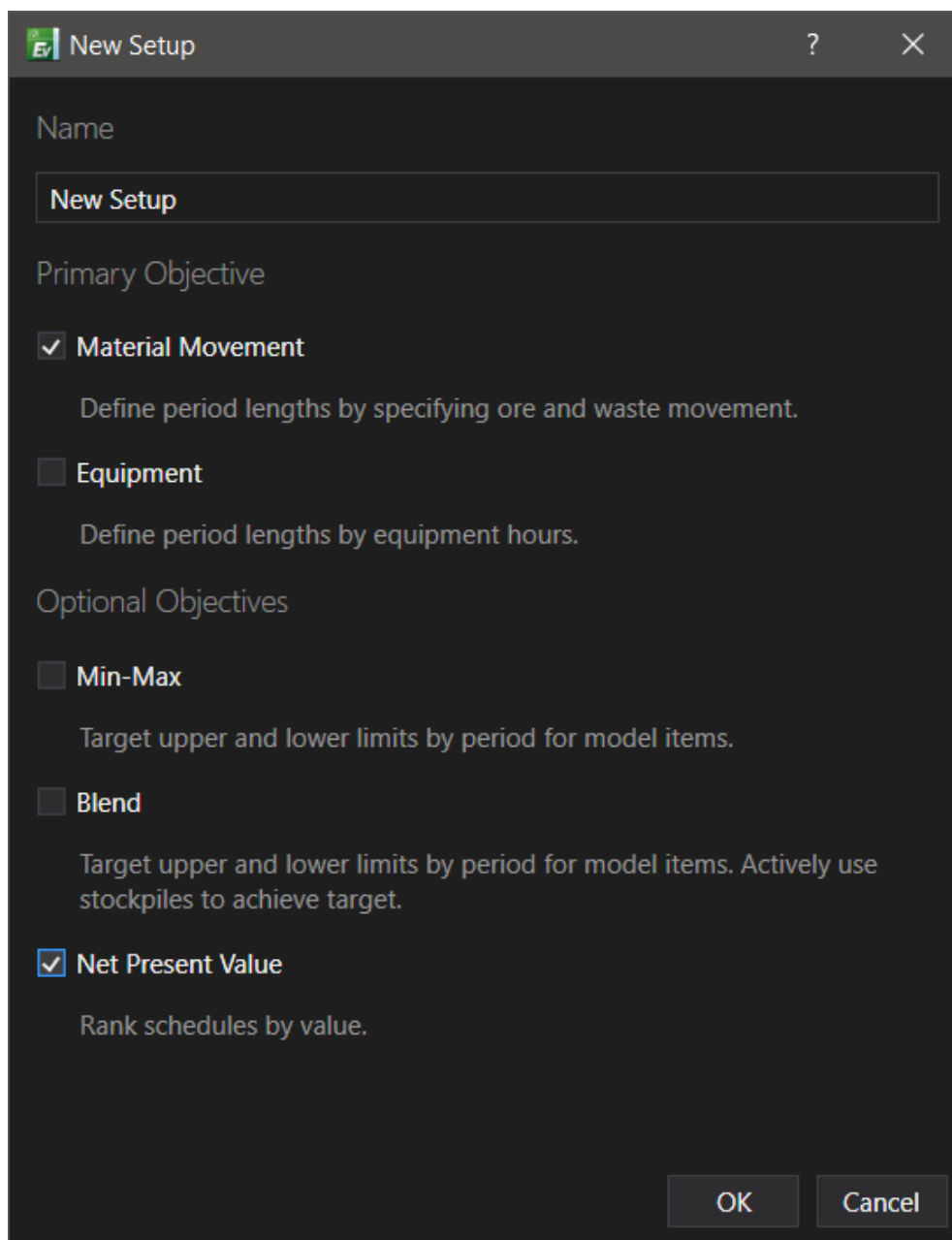
```
1 group(block.phase)
2
3 Ore_Nickel = wavg(block.ore_ni, block.ore_tonnage, block.ore_tonnage > 0)
4 Ore_tonnes = sum(block.ore_tonnage)
5 Waste_tonnes = sum(block.waste_tonnage)
6
```

phase	Ore_Nickel	Ore_tonnes	Waste_tonnes
1	1.0466048413229	470074.88659675	4843587.7266245
2	1.0191841890148	400961.39431202	8828576.9602106
3	1.0792580271004	428994.63171398	8056501.0788953

Πατώντας το Run Formula τρέχει ο υπολογισμός και προβάλλεται η αναφορά.

7.2 Προετοιμασία Προγράμματος

Για τον προγραμματισμό και τη βελτιστοποίηση της τρέχουσας καθαρής αξίας θα χρησιμοποιήσουμε ένα νέο Setup του συστήματος Origin. Επιλέγουμε τα σχετικά κριτήρια για το πρόγραμμα, που στην περίπτωση του παραδείγματος μας είναι η κίνηση υλικού (Material Movement) και η τρέχουσα καθαρή αξία (Net Present Value).

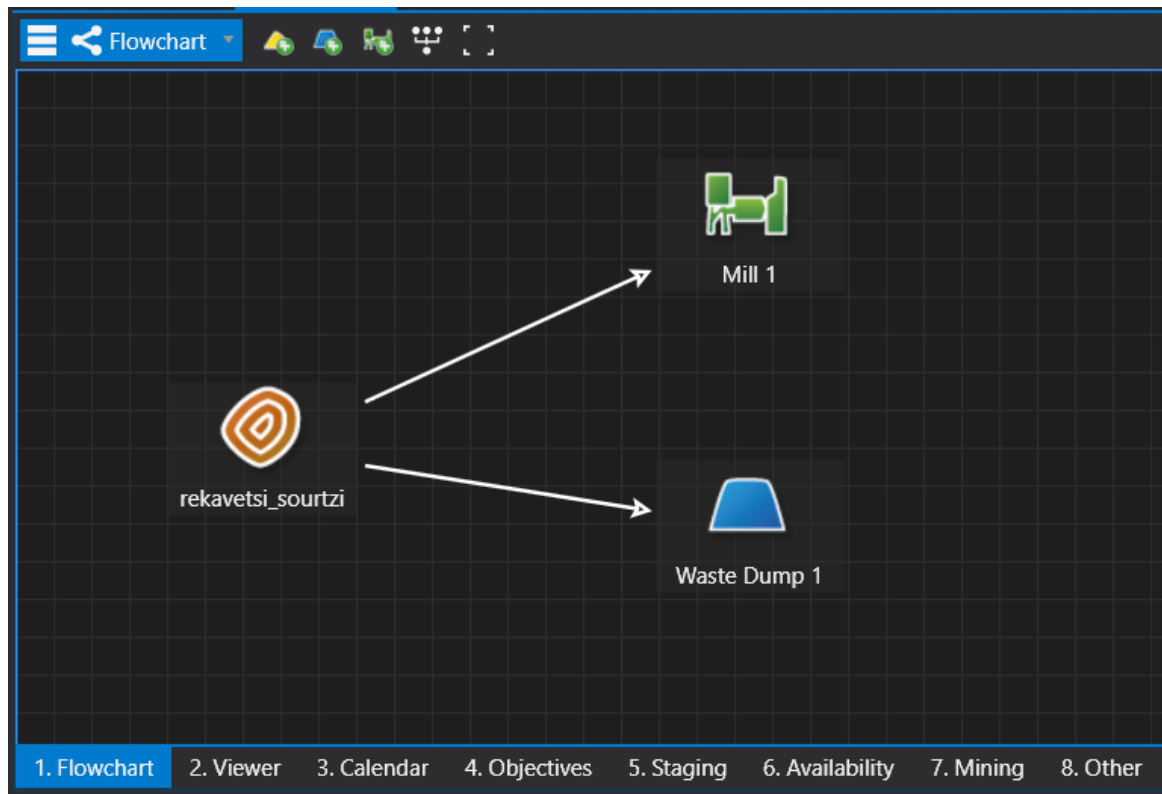


The screenshot shows the 'New Setup' dialog box in Origin software. The dialog box has a title bar with 'New Setup', a question mark, and a close button. It contains several sections:

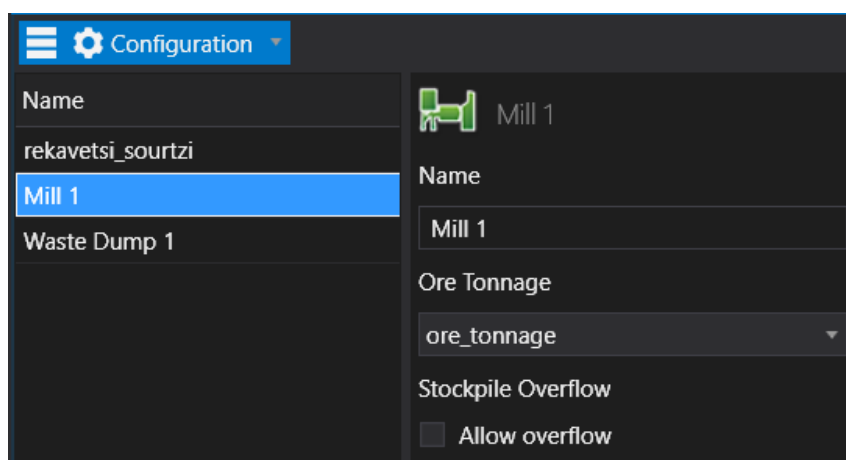
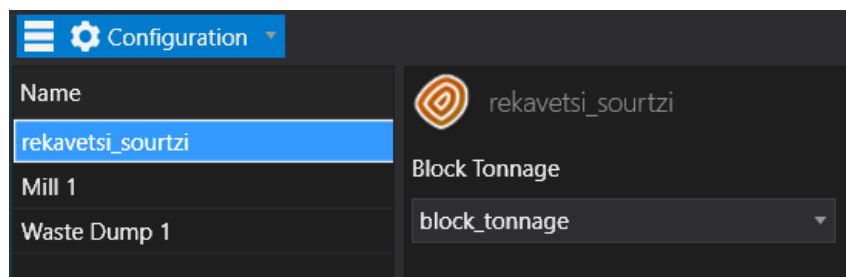
- Name:** A text box containing 'New Setup'.
- Primary Objective:** Three radio buttons are present:
 - Material Movement**
Define period lengths by specifying ore and waste movement.
 - Equipment**
Define period lengths by equipment hours.
- Optional Objectives:** Three radio buttons are present:
 - Min-Max**
Target upper and lower limits by period for model items.
 - Blend**
Target upper and lower limits by period for model items. Actively use stockpiles to achieve target.
 - Net Present Value**
Rank schedules by value.

At the bottom of the dialog box are two buttons: 'OK' and 'Cancel'.

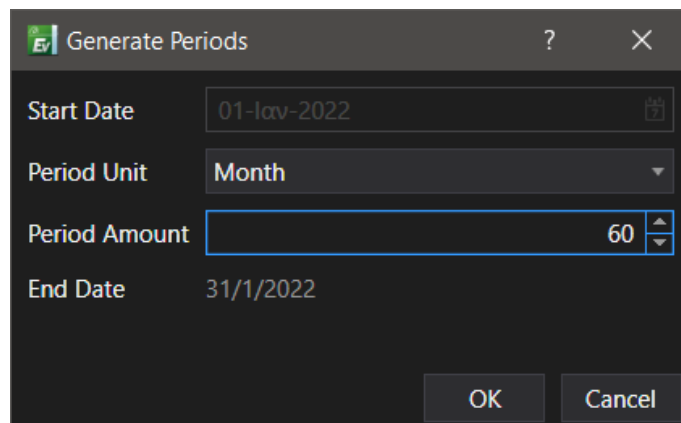
Διαμορφώνουμε το σχεδιάγραμμα του εργοταξίου όπως φαίνεται παρακάτω. Ουσιαστικά πρόκειται για μια απλοποίηση της πραγματικότητας, με μια πηγή υλικού (το μοντέλο μπλοκ), ένα εργοστάσιο επεξεργασίας, και μια απόθεση στείρων.



Επιλέγοντας την προβολή Configuration, ρυθμίζουμε τα διάφορα τμήματα του εργοστάσιου.



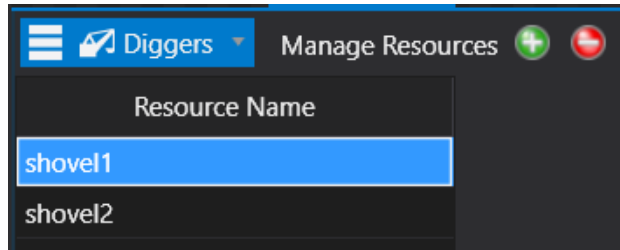
Προχωράμε στη διαμόρφωση του ημερολόγιου του προγράμματος στη σελίδα 3. Calendar. Επιλέγουμε το εικονίδιο Create Periods και δίνουμε την αρχή του προγράμματος, τη διάρκεια των περιόδων και το πλήθος τους.



Πατώντας το OK εμφανίζεται ο πίνακας του ημερολόγιου με τις επιμέρους περιόδους. Στο κάτω μέρος του πίνακα, δίνουμε το κριτήριο για το μέταλλευμα (Ore Definition) καθώς και την χωρητικότητα του εργοστασίου ανά μήνα (Ore Capacity).

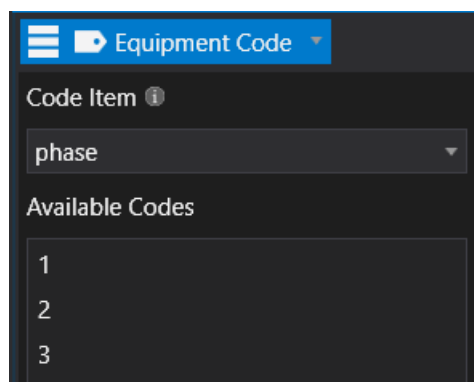
	Period 1	Period 2	Period 3	Period 4	Period
Min Production (Tonnes)	297,600	268,800	297,600	288,000	
shovel2					
Delay Hours	0	0	0	0	
Utilisation	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	
Availability	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	
Unit Count	1	1	1	1	
Available Hours	744	672	744	720	
Max Production (Tonnes)	297,600	268,800	297,600	288,000	
Min Production (Tonnes)	297,600	268,800	297,600	288,000	
Mill 1					
Capacity (Tonne)	40,000	40,000	40,000	40,000	
Ore Definition	block.ore_ni >= 0.8	block.ore_ni >= 0.8	block.ore_ni >= 0.8	block.ore_ni >= 0.8	block.ore_r

Προχωράμε στην προβολή Diggers όπου θα δώσουμε κάποια στοιχεία για τον εξοπλισμό μας. Πατάμε το εικονίδιο + για να προσθέσουμε εξοπλισμό. Με τον τρόπο αυτό προσθέτουμε δύο σκαπτικά μηχανήματα (shovel1 & shovel2).



Προχωράμε στη σελίδα 4. Objectives για να δώσουμε επιπλέον στοιχεία για τον εξοπλισμό μας.

Επιλέγουμε την προβολή Equipment Code και επιλέγουμε τη μεταβλητή phase. Εμφανίζονται οι τρεις τιμές που λαμβάνει η μεταβλητή αυτή.



Επιλέγουμε την προβολή Equipment Code Digger Productivity για να δώσουμε στοιχεία δυναμικότητας του εξοπλισμού. Θα μπορούσαμε εδώ να καθορίσουμε την παραγωγή έτσι ώστε κάποιο από τα μηχανήματα να εργαστεί μόνο σε μια από τις εκσκαφές.

	Units	shovel1	shovel2
Equipment Code Production Rate			
1	Tonnes/OpHour	400,00	400,00
2	Tonnes/OpHour	400,00	400,00
3	Tonnes/OpHour	400,00	400,00

Επιλέγουμε την σελίδα 3. Calendar. Δίνουμε τον στόχο για την συνολική μετακίνηση μαζών ανά μήνα (Total Tonnes Target) που είναι 400000 τόνοι.

Στην προβολή Calendar της σελίδας 4. Objectives δίνουμε μια τιμή 5% στην επιτρεπόμενη διακύμανση των ποσοτήτων που θα καταλήξουν στο εργοστάσιο.

	Period 1	Period 2	Period 3	Period 4	Period 5
^ Mill Summary					
Mill 1	40,000	40,000	40,000	40,000	40,000
Total Capacity (Tonnes)	40,000	40,000	40,000	40,000	40,000
^ Material Movement					
Variance	5.00%	5.00%	5.00%	5.00%	5.00%

Στην υποσελίδα Net Present Value και την προβολή Configuration δίνουμε το ποσοστό ετήσιας υποτίμησης (5%) και επιλέγουμε τη μεταβλητή που δίνει τις αξίες των μπλοκ.

Configuration

Net Present Value

Discount Rate %

5.00 %

Block Value

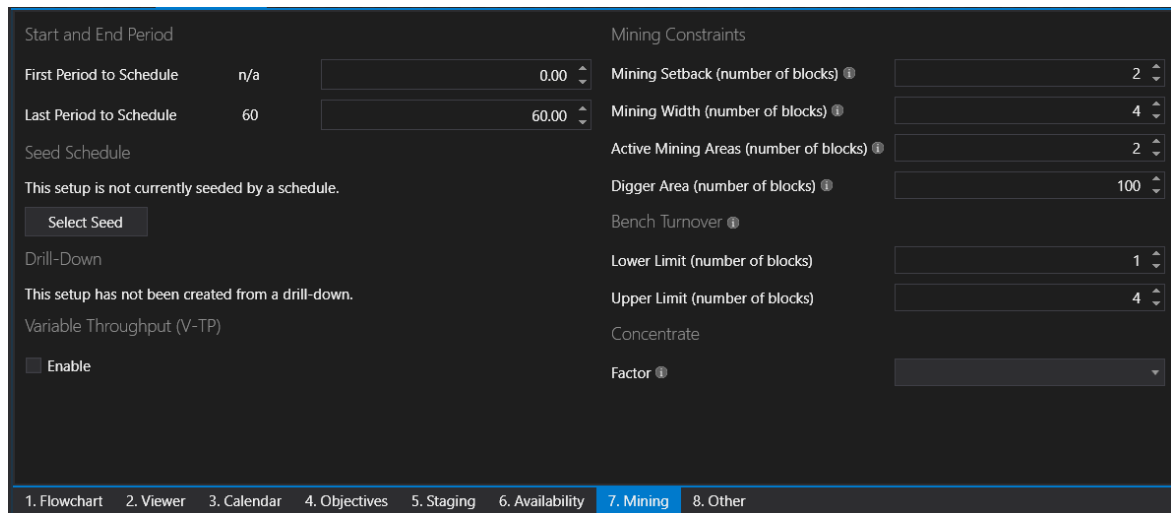
block_value

Έτσι έχουμε διαμορφώσει πλήρως τους στόχους του προγράμματος και της βελτιστοποίησης.

Στη σελίδα 5. Staging μπορούμε να καθορίσουμε το πότε θα επιτρέψουμε στο πρόγραμμα να βγάλει υλικά από συγκεκριμένες φάσεις εκσκαφής. Όπως φαίνεται παρακάτω, η δεύτερη φάση γίνεται διαθέσιμη μετά τους πρώτους 2 μήνες, ενώ η τρίτη μετά τους πρώτους τέσσερις.

	Period 1	Period 2	Period 3	Period 4	Period 5
^ rekavetsi_sourtzi					
Stage 1					
Stage 2					
Stage 3					

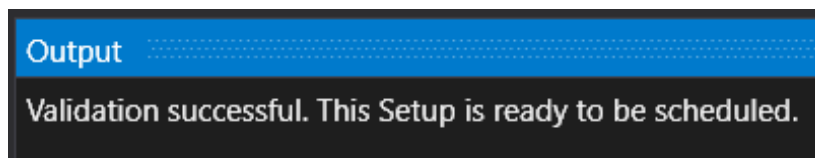
Προχωράμε στη σελίδα 7. Mining όπου μπορούμε να βάλουμε επιπλέον περιορισμούς σχετικά με το πόσες περιοχές μπορούμε να εξορύσσουμε ταυτόχρονα, πόσα μπλοκ θα πρέπει να εξορύξουμε από μια περιοχή πριν μετακινηθούμε σε άλλη, ποιο είναι το ελάχιστο πλάτος εξόρυξης, κλπ.



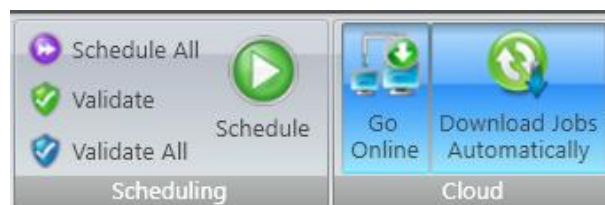
Έτσι είναι έτοιμη η διαμόρφωση του προγράμματος για εκτέλεση.

7.3 Προγραμματισμός και Βελτιστοποίηση

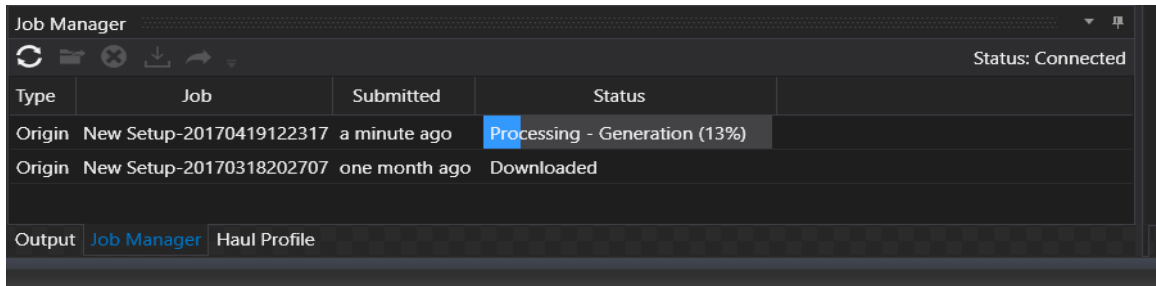
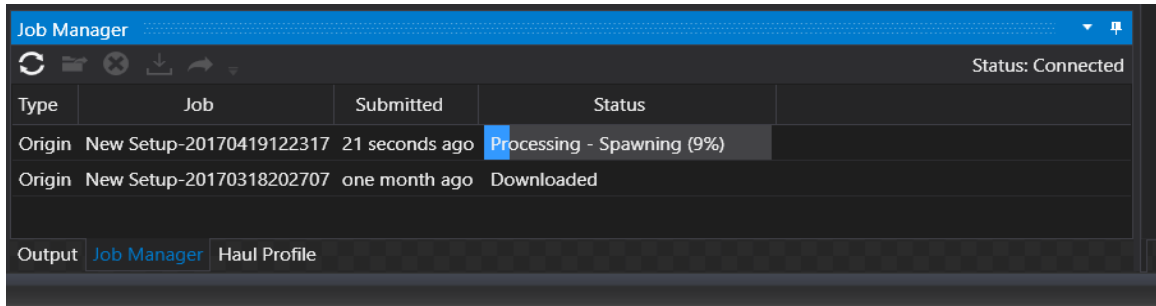
Πριν ζητήσουμε από το Evolution να προχωρήσει στον προγραμματισμό, θα πρέπει να επικυρώσουμε τη διαμόρφωση του προγράμματος. Κάνουμε κλικ στο εικονίδιο Validate. Εφόσον όλα πάνε καλά θα λάβουμε το εξής μήνυμα στην περιοχή Output.



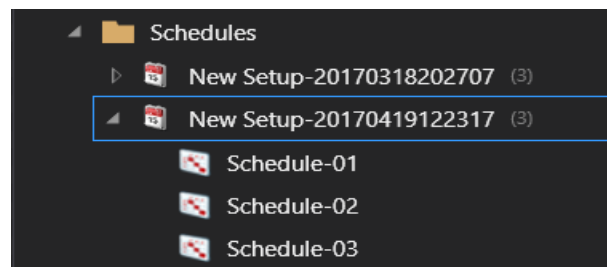
Για να γίνει ο προγραμματισμός θα πρέπει να συνδεθούμε με την υπηρεσία της Martek για τον προγραμματισμό με το Evolution στο cloud. Πατάμε το εικονίδιο Go Online. Εφόσον συνδεθούμε επιτυχώς θα ενεργοποιηθεί το εικονίδιο Schedule. Πριν το πατήσουμε όμως, επιλέγουμε και το εικονίδιο Download Jobs Automatically.



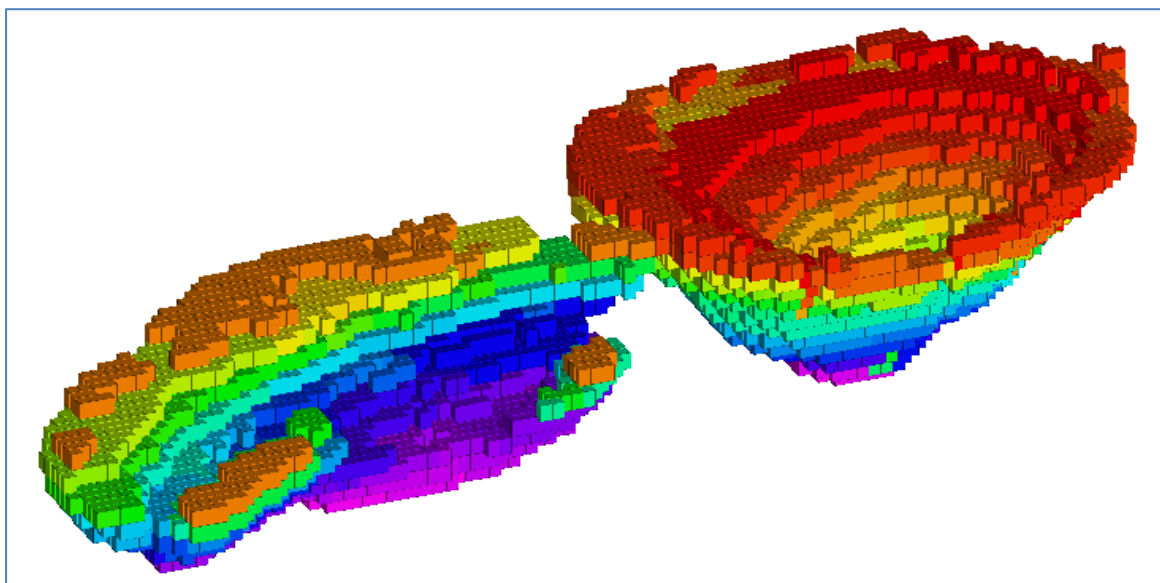
Στη συνέχεια πατάμε το Schedule. Γίνεται αποστολή των πληροφοριών και στη συνέχεια γίνεται επεξεργασία από το απομακρυσμένο σύστημα. Στην περιοχή Job Manager μπορούμε να δούμε την εξέλιξη.



Μετά την ολοκλήρωση του προγράμματος, οι λύσεις που προέκυψαν φαίνονται πλέον στο φάκελο Schedules.

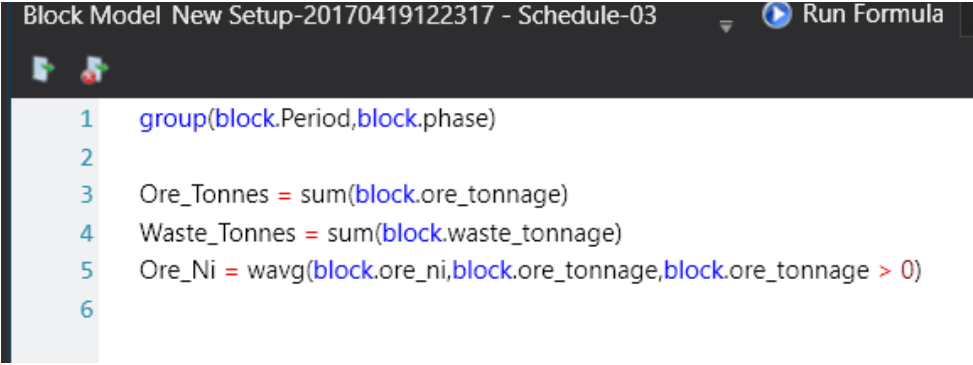


Επιλέγουμε τη λύση που ικανοποιεί καλύτερα τα κριτήρια μας και προβάλλεται οπτικά το πρόγραμμα. Τα μπλοκ είναι χρωματισμένα ανά βαθμίδα.



7.4 Προβολή Αποτελεσμάτων

Για την καλύτερη κατανόηση του αποτελέσματος, πέρα από την οπτική προβολή του προγράμματος, θα πρέπει να δούμε σε πίνακες την παραγωγή ανά περίοδο. Για το σκοπό αυτό θα ζητήσουμε από το πρόγραμμα την δημιουργία μιας αναφοράς προγράμματος μέσω του φακέλου Schedule Report Formulas και της λειτουργίας New Schedule Report Formula. Διαμορφώνουμε την αναφορά ως εξής:



```
Block Model New Setup-20170419122317 - Schedule-03 Run Formula
1 group(block.Period,block.phase)
2
3 Ore_Tonnes = sum(block.ore_tonnage)
4 Waste_Tonnes = sum(block.waste_tonnage)
5 Ore_Ni = wavg(block.ore_ni,block.ore_tonnage,block.ore_tonnage > 0)
6
```

Κάνουμε κλικ στο Run Formula για να τρέξει η αναφορά.

Period	Phase 1			Phase 2			Phase 3		
	Ore_Tonnes	Waste_Tonnes	Ore_Ni	Ore_Tonnes	Waste_Tonnes	Ore_Ni	Ore_Tonnes	Waste_Tonnes	Ore_Ni
1	90	399,911	1.00						
2	204	399,841	1.71						
3	407	329,361	0.97	-	70,434	-			
4	2,076	315,370	2.24	-	82,634	-			
5	-	246,970	-	20	153,388	1.38			
6	-	53,533	-	-	346,610	-			
7	2,730	299,105	1.49	-	43,303	-	-	54,902	-
8	1,152	319,549	1.72	-	65,949	-	-	13,358	-
9	2,079	309,748	0.97	-	88,217	-	-	82,934	-
10	7,086	374,565	1.09	-	21,026	-	-	136,649	-
11	16,101	257,707	1.07	-	43,259	-	-	96,538	-
12	12,624	214,707	1.05	-	36,252	-	-	148,785	-
13	6,060	101,555	1.09	1,300	196,257	1.06	-	226,215	-
14	23,933	214,777	1.02	82	12,436	5.87	-	24,002	-
15	34,351	123,899	1.04	-	17,810	-	-	18,958	-
16	32,704	283,688	1.09	-	60,339	-	-	56,087	-
17	14,957	137,726	1.10	478	228,064	0.90	-	31,379	-
18	32,494	62,380	0.99	-	249,238	-	-	27,146	-
19	38,958	44,495	1.10	-	287,322	-	-	348,644	-
20	22,014	22,686	0.97	-	328,213	-	-	155,810	-
21				-	400,154	-	-	185,670	-
22	18,537	32,486	1.01	-	2,750	-	-	102,935	-
23	39,104	39,291	1.02	-	166,375	-	-	144,803	-
24	42,279	30,483	1.06	-	141,625	-	-	277,493	-
25	40,267	23,626	1.00	-	234,419	-			
26	40,458	57,911	0.98	-	157,455	-			
27	25,529	54,214	0.99	2,294	41,361	0.99			
28	12,520	16,718	1.19	1	400,127	1.20			
29				-	371,187	-			
30				4,600	395,783	1.45			
31				-	376,750	-	-	25,255	-
32	-	5,500	-	696	288,203	0.96	-	105,879	-
33				632	47,010	1.00	-	352,441	-
34				-	397,375	-	-	2,750	-
35	-	9,900	-	1,705	383,612	1.81	-	6,875	-
36				147	89,983	1.11	-	313,635	-
37	1,360	2,761	1.01	4,950	66,825	1.12	-	327,283	-
38	-	2,750	-	3,185	212,380	1.02	-	183,433	-
39	-	8,250	-	-	338,250	-	2,921	50,983	1.25
40				6,715	194,339	1.17	2,367	197,021	1.26
41				1,582	394,649	0.94	-	4,042	-
42	-	5,500	-	125	231,603	0.96	-	162,774	-
43							20,283	383,352	0.99
44				16,068	263,793	1.12	12,598	110,605	0.91
45	-	2,750	-	360	144,708	1.13	31,112	221,409	1.40
46	-	28,875	-	30,957	252,102	0.96	76	90,446	47.94
47				40,448	111,892	0.94	-	248,059	-
48				37,709	64,209	1.02	2,287	296,003	0.99
49	-	11,000	-	38,957	83,465	0.98	1,046	266,030	1.08
50				23,829	19,401	0.95	16,167	341,802	0.99
51				-	8,250	-	40,140	353,238	0.95
52				36,379	32,550	1.05	3,629	327,536	1.06
53							39,980	361,573	1.15
54				21,737	44,686	1.01	18,254	318,381	0.99
55							50,227	351,407	1.22
56				-	16,500	-	83,774	300,632	1.04
57				116,434	107,959	1.02	49,687	128,272	0.97
58				9,570	16,096	1.01	54,447	93,075	1.01

8 Παράδειγμα Εφαρμογής Λογισμικού Maptek Chronos

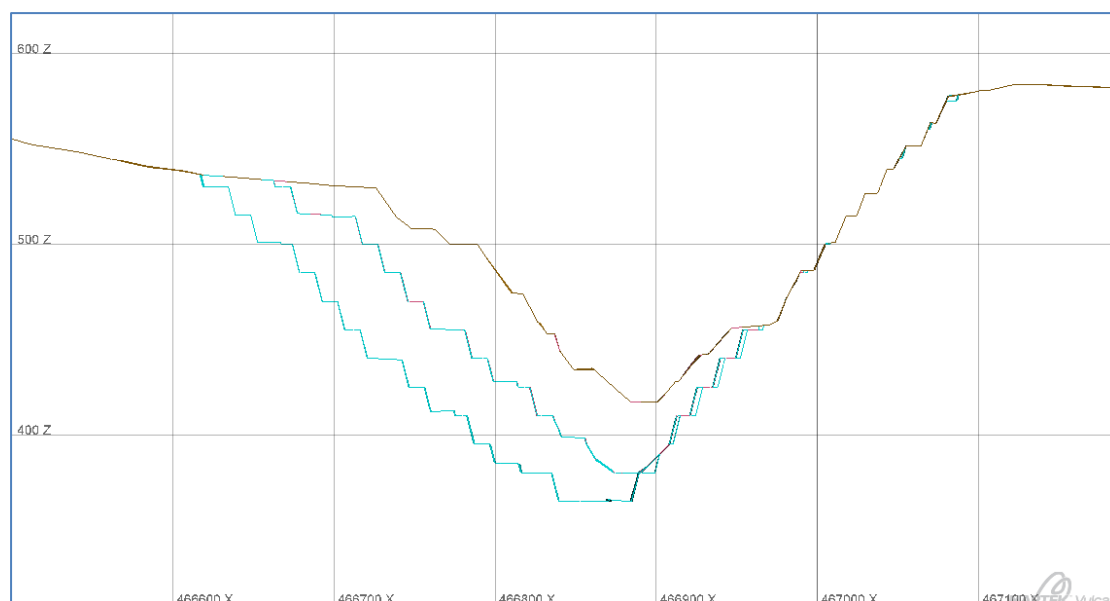
8.1 Εισαγωγή

Στο πρώτο μέρος αυτού του κεφαλαίου θα εκτελέσουμε όλα εκείνα τα βήματα που είναι απαραίτητα για την προετοιμασία των μπλοκ εκμετάλλευσης και τον υπολογισμό των αποθεμάτων τους καθώς και άλλων παραμέτρων απαραίτητων για τον προγραμματισμό.

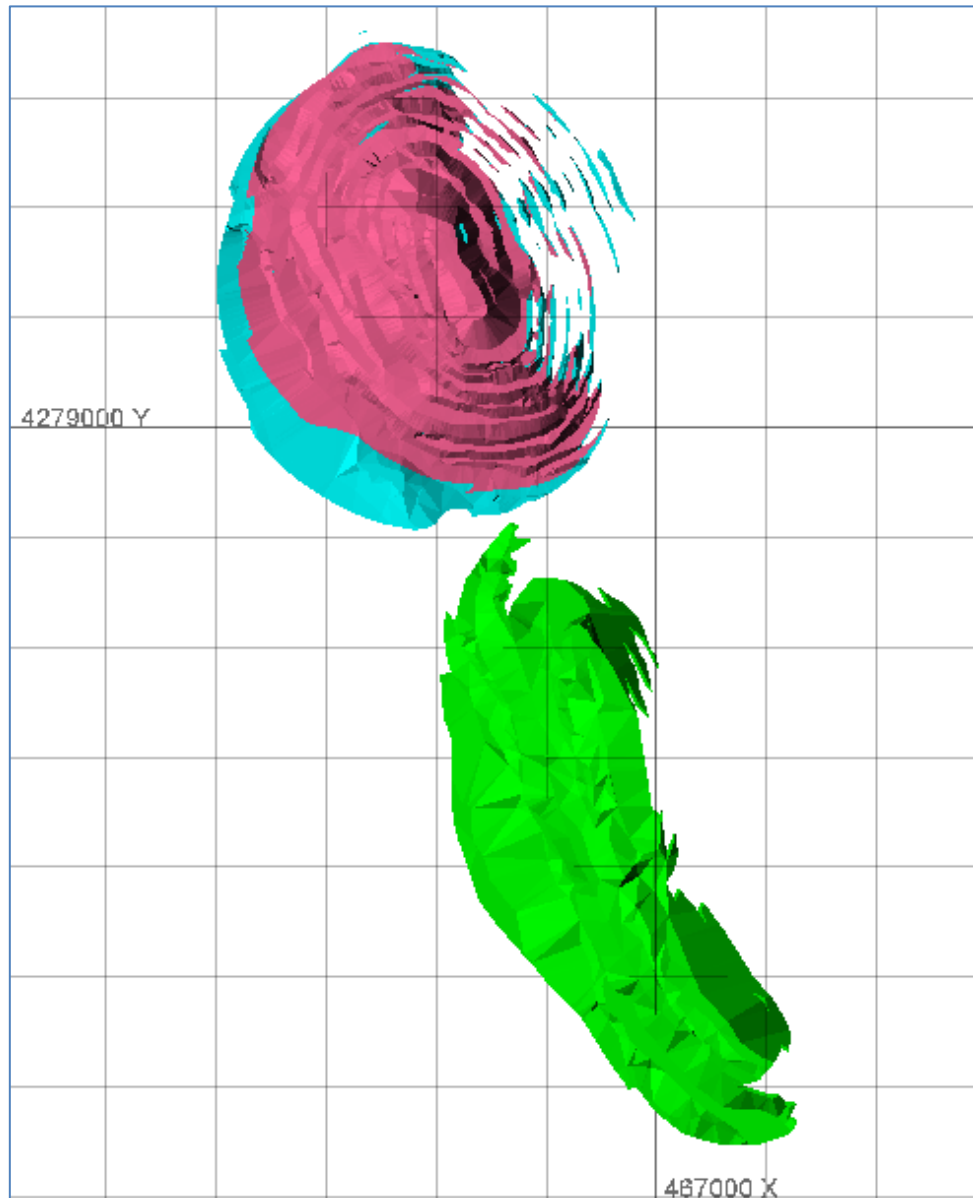
8.2 Κατασκευή Μπλοκ Εκμετάλλευσης Ανά Φάση και Βαθμίδα

Αρχικά θα πρέπει να κατασκευάσουμε τα μπλοκ εκμετάλλευσης. Το μέγεθος τους προσδιορίζει την ανάλυση του προγράμματος και τη λεπτομέρεια που μπορεί να αποδώσει χρονικά και χωρικά. Ανάλογα με τον χρονικό ορίζοντα του προγραμματισμού, κατασκευάζονται ή εξετάζονται μπλοκ εκμετάλλευσης διαφόρων διαστάσεων – από ολόκληρες βαθμίδες μέχρι μπλοκ διαστάσεων επιλεκτικής μονάδας εξόρυξης (SMU). Στο παράδειγμα μας εξετάζονται μπλοκ διαστάσεων βαθμίδα ανά φάση εκμετάλλευσης και ο προγραμματισμός μας θα είναι στρατηγικού χαρακτήρα για όλη τη ζωή του μεταλλείου.

1. Φορτώνουμε τα στερεά μοντέλα τριγωνισμού των όγκων εκσκαφής από τις τρεις φάσεις εκμετάλλευσης, δηλαδή τα **rekavetsi_19.00t**, **rekavetsi_36.00t** και **sourtzi_27.00t**. Τα στερεά αυτά αφορούν τις δύο γειτονικές εκσκαφές – η μία είναι χωρισμένη σε δύο φάσεις.



Τομή ΝΔ-ΒΑ όπου διακρίνονται οι επιφάνειες της τρέχουσας κατάστασης, της 1^{ης} και της 2^{ης} φάσης της βόρειας εκσκαφής.

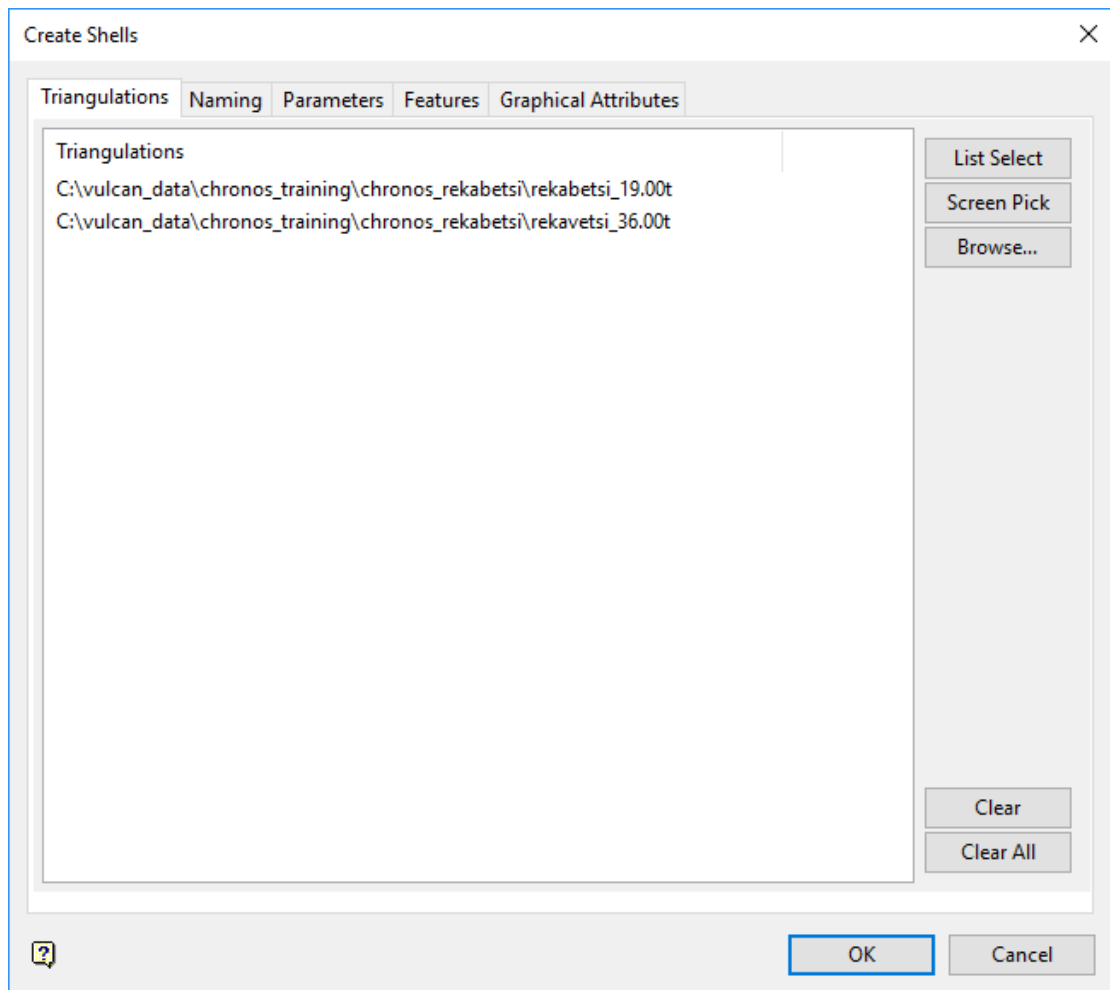


Στερεοί τριγωνισμοί των δύο φάσεων του υπολειπόμενου όγκου της βόρειας εκσκαφής και της τελικής φάσης της νότιας εκσκαφής.

2. Επιλέγουμε τη λειτουργία **Model > Triangle Solid > Shells**. Η λειτουργία αυτή θα μας επιτρέψει να διαιρέσουμε σε βαθμίδες τα στερεά αυτά, δηλαδή να πάρουμε μια σειρά από στερεά μοντέλα για κάθε βαθμίδα.

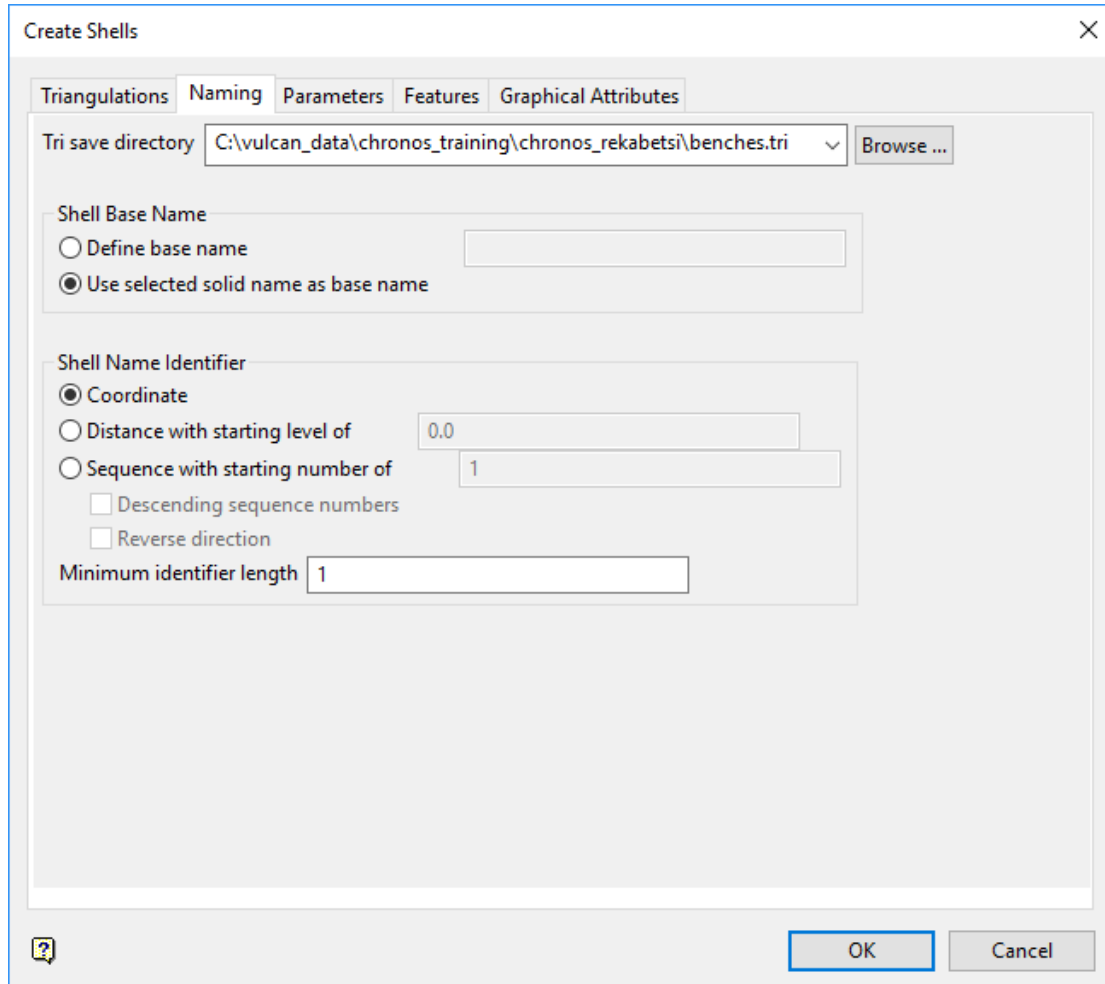
3. Κάνουμε κλικ στο πλήκτρο **List Select** δεξιά στο παράθυρο που εμφανίζεται.
4. Εισάγουμε τον χαρακτήρα * στο πεδίο Pattern και πατάμε το **OK**.

Επιστρέφουμε στο αρχικό παράθυρο όπου πλέον αναφέρονται τα τρία επιλεγμένα μοντέλα.

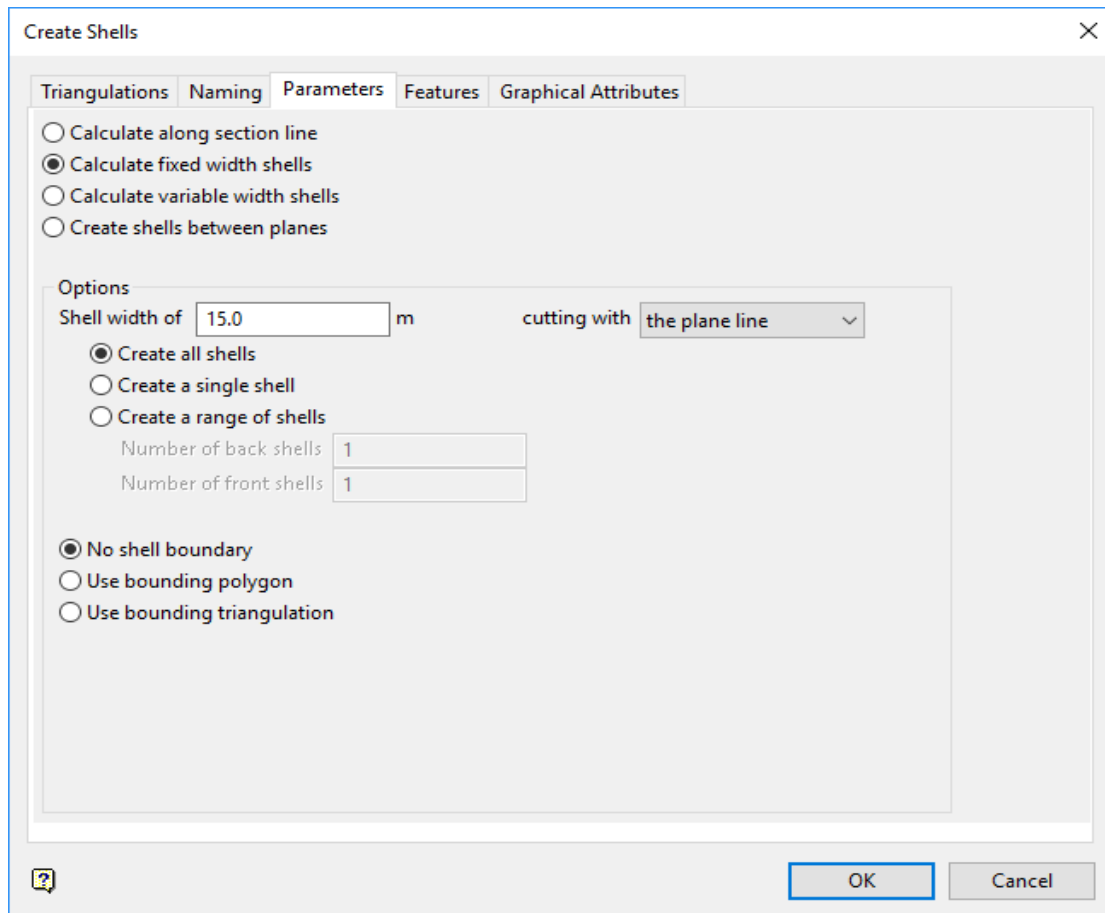


5. Προχωράμε στη σελίδα **Naming**.
6. Κάνουμε κλικ στο πλήκτρο **Browse** για να αλλάξουμε το φάκελο στον οποίο θα αποθηκευτούν τα μοντέλα των βαθμίδων.
7. Πατάμε το εικονίδιο δημιουργίας νέου φακέλου στο παράθυρο που εμφανίζεται.
8. Ονομάζουμε τον νέο φάκελο **benches.tri** και τον επιλέγουμε με διπλό κλικ. Η κατάληξη **.tri** στον φάκελο επιτρέπει στο πρόγραμμα να αναγνωρίσει ότι ο φάκελος θα περιέχει τριγωνισμούς και έτσι να τον συμπεριλάβει στον φάκελο **Triangulations** στην περιοχή **Vulcan Explorer**.

9. Στη συνέχεια πατάμε το **OK**. Επιστρέφουμε στο αρχικό παράθυρο.
10. Τσεκάρουμε την επιλογή **Use selected solid name as base name** και αφήνουμε τις υπόλοιπες επιλογές όπως είναι.



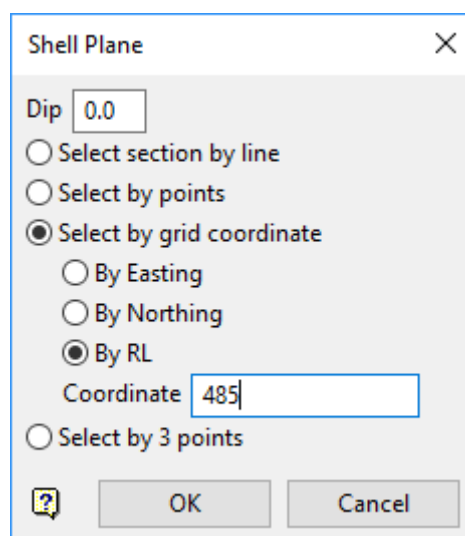
11. Προχωράμε στη σελίδα **Parameters**.
12. Τσεκάρουμε την επιλογή **Calculate fixed width shells** καθώς όλες οι βαθμίδες έχουν ίδιο ύψος (15 μέτρα). Προσέχουμε το Shell width of να είναι **15**.



13. Πατήστε το **OK**.

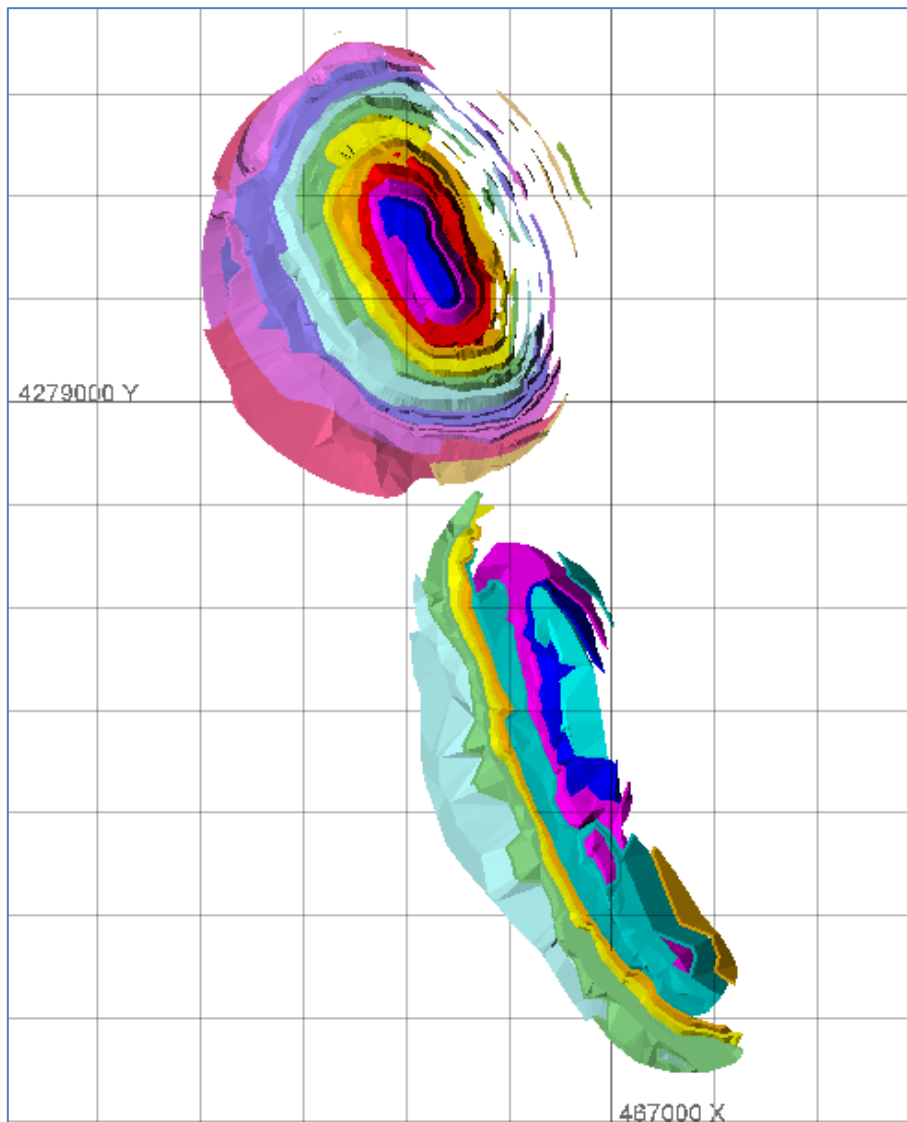
14. Εμφανίζεται το παράθυρο προσδιορισμού του επιπέδου βάσει του οποίου θα γίνει η διαίρεση των αρχικών μοντέλων. Δίνουμε κλίση **0** (οριζόντια).

15. Τσεκάρουμε την επιλογή **RL** (υψομετρικά) και δίνουμε υψόμετρο αναφοράς **485** (Coordinate).



16. Θα δημιουργηθούν τα στερεά μοντέλα των βαθμίδων μέσα στο φάκελο benches.tri και θα προβληθούν στην οθόνη.
17. Ανοίγουμε το φάκελο στο Vulcan Explorer και παρατηρούμε τις ονομασίες τους. Το πρώτο στοιχείο είναι η φάση εκμετάλλευσης και το δεύτερο το υψόμετρο της βαθμίδας.
18. Διώχνουμε τα αρχικά μοντέλα από την οθόνη.

Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για τη δημιουργία μπλοκ μικρότερων διαστάσεων από τα στερεά των βαθμίδων ώστε να πλησιάσουμε όσο περισσότερο γίνεται στα μπλοκ που χρησιμοποιήσαμε για τον προγραμματισμό στο Martek Evolution.



Κάτοψη των βαθμίδων των φάσεων από τις δύο εκσκαφές.

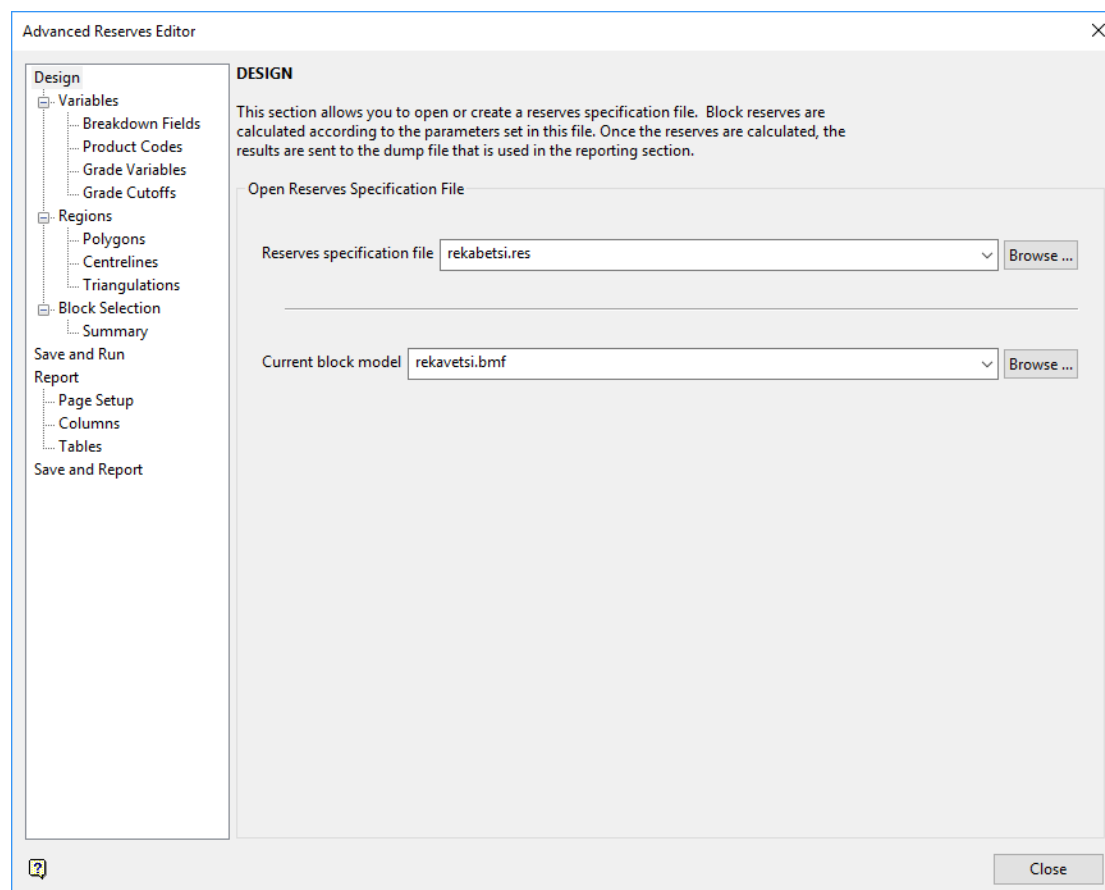
Μπορούμε πλέον να προχωρήσουμε στον υπολογισμό των αποθεμάτων των μπλοκ εκμετάλλευσης.

8.3 Υπολογισμός Αποθεμάτων Μπλοκ Εκμετάλλευσης

Ο υπολογισμός των αποθεμάτων γίνεται με την λειτουργία Advanced Reserves Editor η οποία χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των ορυκτών πόρων ενός κοιτάσματος αλλά και για τα ορυκτά αποθέματα εντός εκσκαφής η οποία ικανοποιεί τεχνικούς και οικονομικούς όρους.

19. Επιλέγουμε τη λειτουργία **Block > Advanced Reserves > Advanced Reserves Editor**.

20. Δίνουμε την ονομασία **rekabetsi** στο αρχείο παραμέτρων και επιλέγουμε το μοντέλο μπλοκ **rekabetsi.bmf**. Αρχικά θα υπολογίσουμε τα αποθέματα για τη βόρεια εκσκαφή.



21. Προχωράμε στη σελίδα **Product Codes**. Εδώ θα καθορίσουμε τα δύο προϊόντα της εκσκαφής ανάλογα με την περιεκτικότητα σε χρυσό.

22. Τσεκάρουμε την επιλογή **Generate product codes** για να ενεργοποιηθεί η σελίδα.
23. Εισάγουμε τα δύο προϊόντα (**ore** και **waste**) όπως φαίνεται παρακάτω. Ότι έχει περιεκτικότητα σε νικέλιο μεγαλύτερη ή ίση (**greater or equal**) του 0.8% θεωρείται μέταλλευμα και ότι έχει περιεκτικότητα μικρότερη (**less than**) από 0.8% θεωρείται στείρο.

Product Codes

Generate product codes

	Product Code	Condition
1	ore	kr_ni ge 0.8
2	waste	kr_ni lt 0.8

24. Προχωράμε στη σελίδα **Grade Variables**. Εδώ θα καθορίσουμε τα ποιοτικά στοιχεία που θα υπολογιστούν παράλληλα με τους όγκους και το τονάζ.
25. Επιλέγουμε το πεδίο **sg** ως πεδίο πυκνότητας και εισάγετε την αρχική τιμή (Default) **3.3**.
26. Επιλέγουμε τις μεταβλητές όπως φαίνονται στον πίνακα μεταβλητών και επιλέγουμε τον κατάλληλο τύπο μεταβλητής. Οι περισσότερες μεταβλητές θα προκύψουν με άθροισμα (sum) των επιμέρους μπλοκ, ενώ η μεταβλητή περιεκτικότητας νικελίου με ζυγισμένο μέσο όρο κατά μάζα.

Grade Variables

Density Default

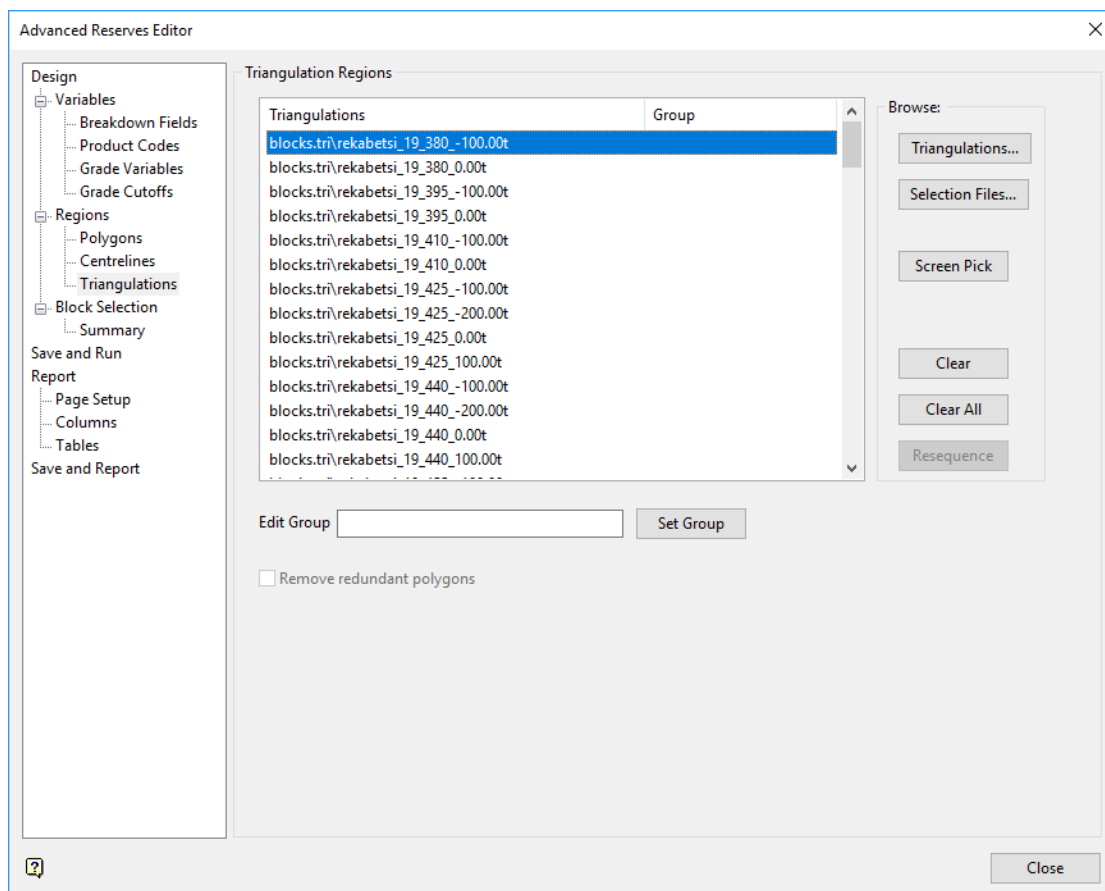
	Variable	Type	Use Average	Default for Missing	Report Range
1	kr_ni	wt by mass	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
2	mining_cost	sum	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
3	hauling_cost	sum	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
4	crushing_cost	sum	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
5	sea_transport_cost	sum	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
6	metal_cost	sum	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
7	metal_ni	sum	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
8	revenue	sum	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
9	block_value	sum	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

27. Τσεκάρουμε την επιλογή **Specify decimals** στο κάτω μέρος του παράθυρου και

εισάγετε τον αριθμό **2**. Έτσι οι υπολογισμένες τιμές θα έχουν μέχρι 2 δεκαδικά.

Specify decimals Number of decimals

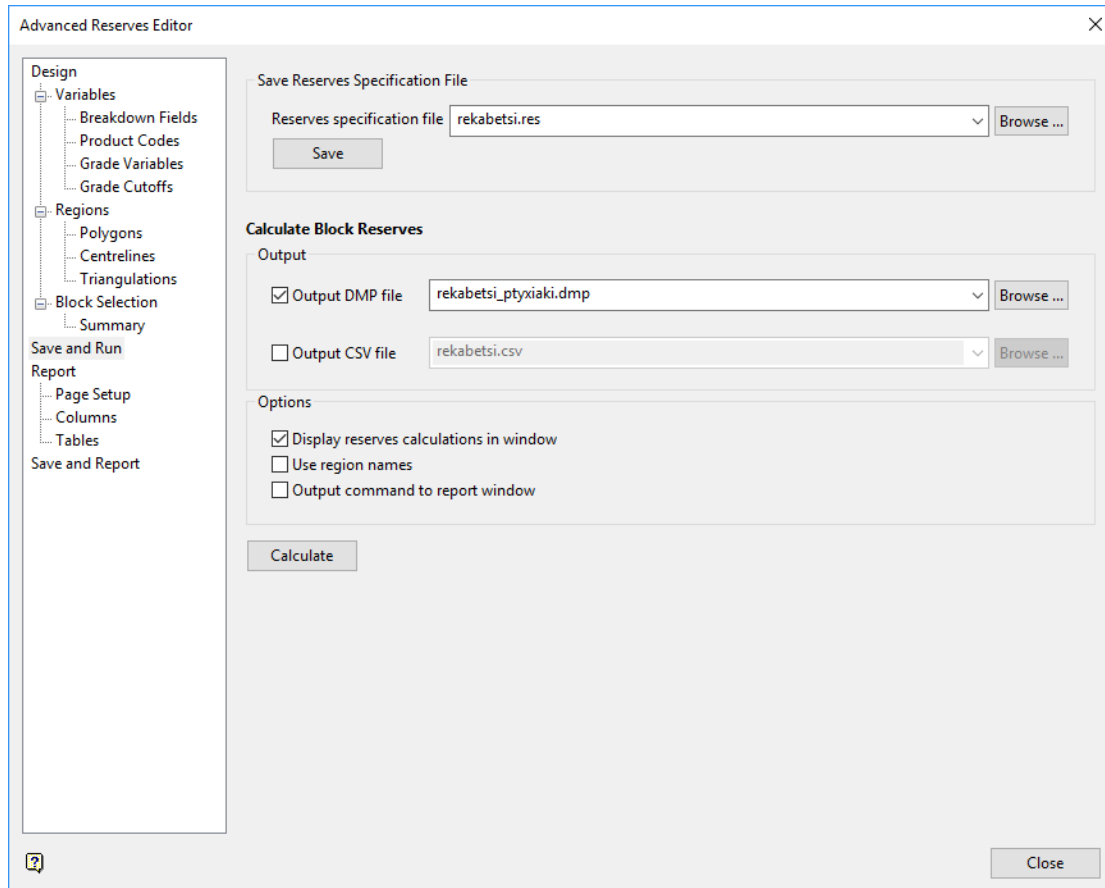
28. Προχωράμε στη σελίδα **Triangulations**. Οι περιοχές εντός των οποίων θα υπολογίσουμε αποθέματα είναι τριγωνισμοί.
29. Κάνουμε κλικ στο πλήκτρο **Triangulations** στα δεξιά του παράθυρου.
30. Κάνουμε διπλό κλικ στο φάκελο **benches.tri** στο παράθυρο που εμφανίζεται.
31. Πατάμε το πλήκτρο ώστε να μεταφερθούν όλοι οι τριγωνισμοί που περιέχει ο φάκελος benches.tri στα αριστερά του παράθυρου και πατήστε το **OK**.



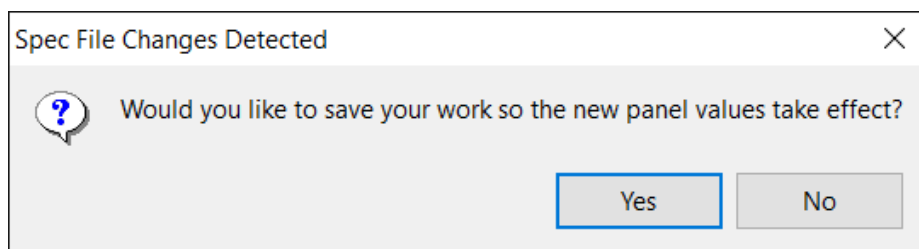
Επιστρέφουμε στο αρχικό παράθυρο όπου πλέον υπάρχει ο κατάλογος με τους τριγωνισμούς που επιλέξαμε.

32. Προχωράμε στη σελίδα **Save and Run**.
33. Τσεκάρουμε την επιλογή **Output DMP file**. Το αρχείο dmp είναι απαραίτητο

για την εισαγωγή των αποθεμάτων στην εφαρμογή προγραμματισμού εκμετάλλευσης Chronos.



34. Πατάμε το πλήκτρο **Calculate**. Θα μας ζητήσει αρχικά να αποθηκεύσουμε τις προδιαγραφές υπολογισμού.
35. Στο παράθυρο που εμφανίζεται πατάμε το **Yes**.



Ανοίγει παράθυρο κονσόλας και τρέχει ο υπολογισμός των αποθεμάτων. Όταν ολοκληρωθεί θα δείτε ότι υπολογίστηκαν αποθέματα για 101 περιοχές-τριγωνισμούς της βόρειας εκσκαφής και άλλες 45 περιοχές για τη νότια εκσκαφή.

36. Πατάμε το **Enter** για να κλείσει το παράθυρο κονσόλας και το **Close** για να κλείσει και το αρχικό παράθυρο.

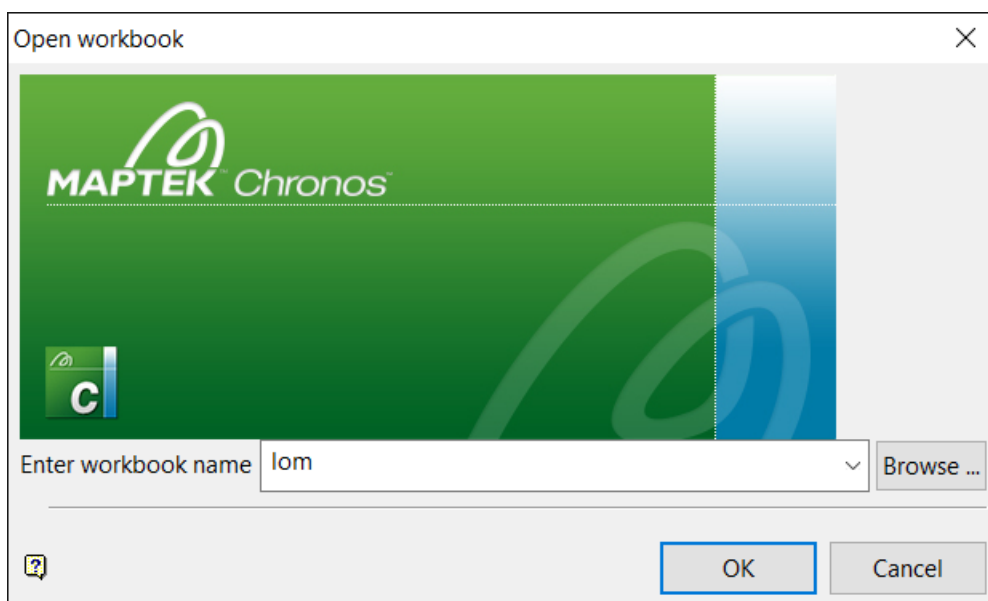
Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία για τη νότια εκσκαφή – θα προκύψουν άλλες 9 βαθμίδες σε μορφή στερεού τριγωνισμού και υπολογίζουμε τα αποθέματα τους. Τα αποθέματα ανά βαθμίδα και φάση εκμετάλλευσης είναι έτοιμα για εισαγωγή στην εφαρμογή προγραμματισμού.

8.4 Εισαγωγή Μπλοκ Εκμετάλλευσης στο Πρόγραμμα

Μπορούμε πλέον να εκκινήσουμε την εφαρμογή Chronos και να αρχίσουμε τη διαμόρφωση του προγράμματος. Η εφαρμογή αυτή βασίζεται στο Microsoft Excel για την αποθήκευση όλων των στοιχείων και παραμέτρων του προγράμματος.

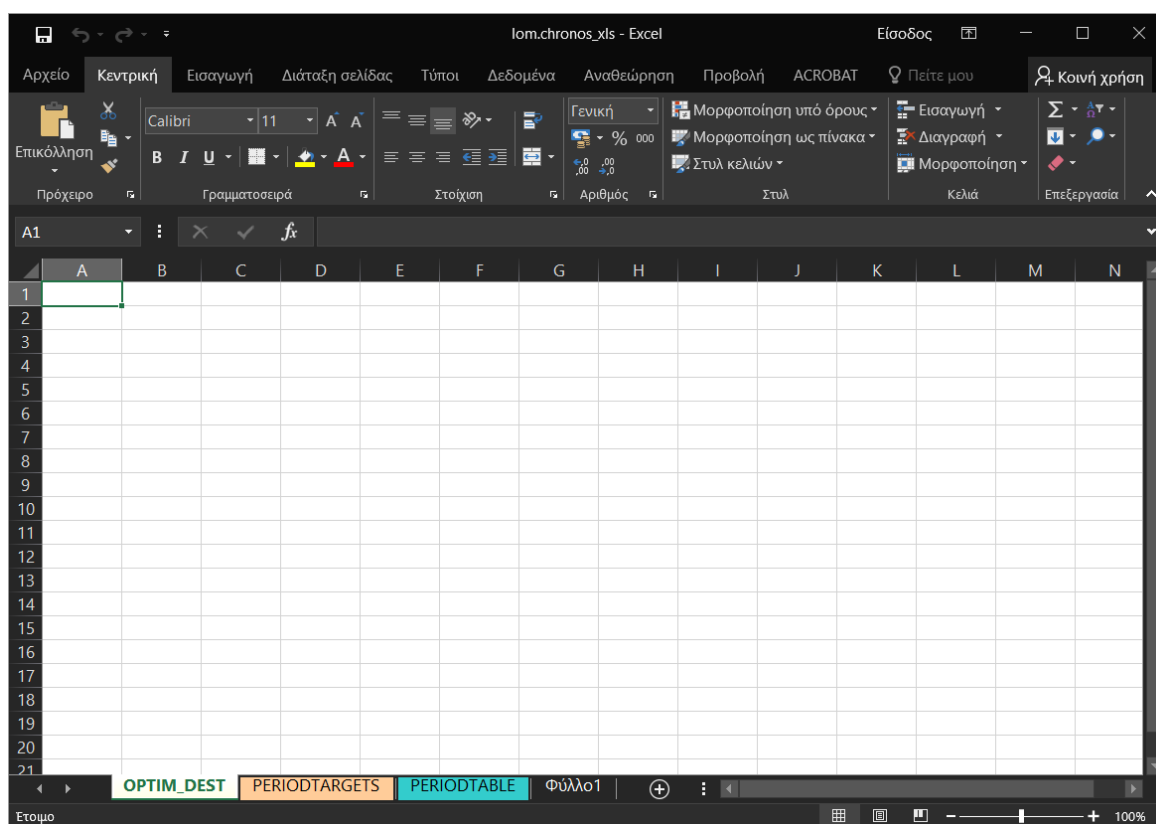
37. Επιλέξτε τη λειτουργία **Chronos > Files > Open Workbook**. Με τη λειτουργία αυτή ανοίγουμε ένα νέο ή υπάρχον αρχείο προγράμματος.

38. Δίνουμε την ονομασία **lom** (από τα αρχικά των λέξεων life of mine – ζωή μεταλλείου).

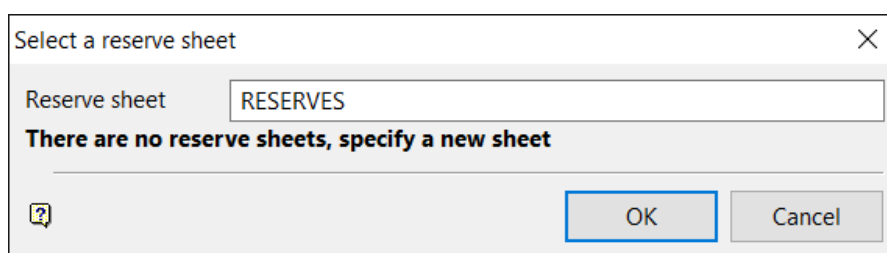


39. Πατήστε το **OK**. Δημιουργείται ένα νέο αρχείο προγράμματος και ανοίγει στο Microsoft Excel. Τα αρχεία του Chronos ξεχωρίζουν από τα υπόλοιπα αρχεία του Excel μέσω της επέκτασης **.chronos_xls** και δεν θα πρέπει να ανοίγονται

απευθείας από το Microsoft Excel. Αρχικά το βιβλίο είναι κενό ενώ έχουν ήδη δημιουργηθεί 3 φύλλα εργασίας.

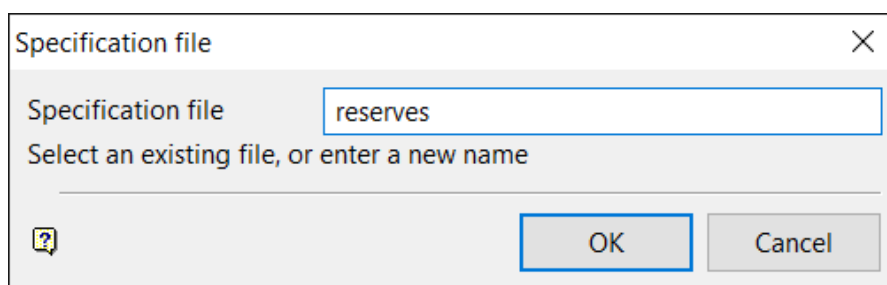


40. Επιστρέφουμε στο Vulcan και επιλέγουμε τη λειτουργία **Chronos > Reserve Sheet > Import Dump File**. Με την λειτουργία αυτή θα εισάγουμε το αρχείο dmp με τα αποθέματα των μπλοκ της εκμετάλλευσης που θα προγραμματίσουμε.
41. Εισάγουμε την ονομασία **RESERVES** για το φύλλο εργασίας που θα τα περιέχει.

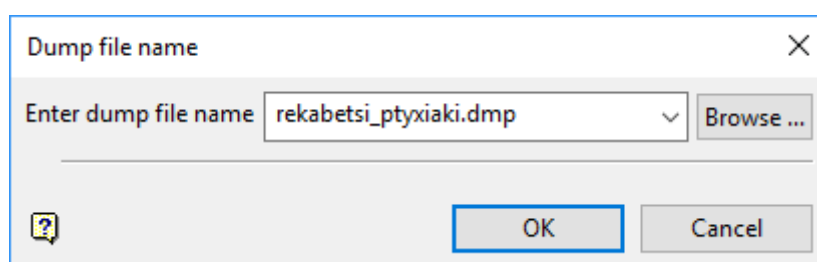


42. Πατάμε το **OK**. Στο επόμενο παράθυρο εισάγουμε την ονομασία **reserves** στο

αρχείο προδιαγραφών εισαγωγής που θα δημιουργηθεί και θα περιγράφει τον τρόπο εισαγωγής των αποθεμάτων.



43. Πατάμε το **OK**. Στη συνέχεια εμφανίζεται το παράθυρο επιλογής του αρχείου dmp. Επιλέγουμε το αρχείο **rekabetsi_ptyxiaki.dmp** και πατάμε το **OK**.



44. Ακολουθεί το παράθυρο επιλογής των πεδίων του αρχείου αποθεμάτων που θα εισάγουμε στο φύλλο αποθεμάτων του προγράμματος. Επιλέγουμε τα πεδία όπως φαίνεται στο παρακάτω παράθυρο. (στήλη Load)
45. Τσεκάρουμε την επιλογή στη στήλη Key για το πεδίο REGION – ουσιαστικά ορίζουμε το πεδίο REGION ως ονομασία των μπλοκ.
46. Επιλέγουμε το πεδίο **PRODUCT** ως πεδίο Fold Fields. Η επιλογή αυτή θα οδηγήσει σε μια γραμμή για κάθε μπλοκ με τις επιμέρους πληροφορίες για την κάθε κατηγορία αποθεμάτων και για κάθε προϊόν σε ξεχωριστές στήλες.

Import Dump File

Load all Load none

	Field	Load	Key	Example
1	SOURCE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	rekavetsi.bmf
2	REGION	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	blocks.tri\rekabetsi_19_380_
3	PRODUCT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ore
4	KR_NI	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.9156158000180763
5	KR_NI_VOLUME	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	11632.021921402506
6	KR_NI_MASS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	38385.672340628284
7	MINING_COST	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	41072.669404472188
8	MINING_COST_VOLUME	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	11632.021921402506
9	MINING_COST_MASS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	38385.672340628284
10	HAULING_COST	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	41840.382851285016
11	HAULING_COST_VOLUME	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	11632.021921402506

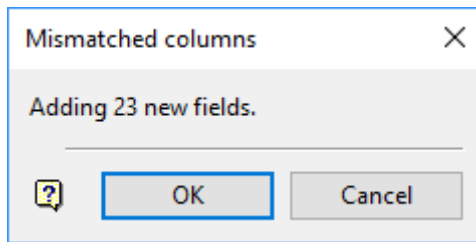
Update existing data
 Clear data before updating
 Clear data and expressions before updating

Fold fields

1	PRODUCT	▼
2		▼
3		▼

Using a field named 'PRODUCT' as an example,
 with values WASTE, OXIDE, and SULF,
 field AU becomes WASTE AU, OXIDE AU, and SULF AU,
 field AG becomes WASTE AG, OXIDE AU, and SULF AG.

47. Πατάμε το **OK**. Εμφανίζεται ένα παράθυρο που μας ενημερώνει για τον αριθμό των στηλών που θα δημιουργηθούν.



48. Πατάμε το **OK**. Γίνεται η εισαγωγή και δημιουργείται ένα νέο φύλλο εργασίας με ονομασία RESERVES το οποίο περιέχει όλα τα στοιχεία των αποθεμάτων ανά μπλοκ εκμετάλλευσης.

49. Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία για την εισαγωγή των μπλοκ της νότιας εκσκαφής.

Οι πρώτες στήλες είναι κλειδωμένες από το πρόγραμμα και διαμορφώνονται κατά τον προγραμματισμό αυτόματα:

- **Block Name:** δίνει την ονομασία του κάθε μπλοκ.
- **Available:** δίνει το διαθέσιμο ποσοστό του μπλοκ για προγραμματισμό.
- **State:** δίνει τον τελευταίο προορισμό στον οποίο στάλθηκε ένα μπλοκ μέσω του προγραμματισμού. Εφόσον ένα μπλοκ δεν έχει προγραμματιστεί ακόμα θα είναι insitu (στην αρχική του θέση μέσα στο κοίτασμα).

- **Percent Sent:** δίνει το τελευταίο ποσοστό του μπλοκ που προγραμματίστηκε.
- **Period:** δίνει την τελευταία περίοδο του προγράμματος στην οποία προγραμματίστηκε το μπλοκ.
- **Precedences:** δίνει τη σειρά προτεραιότητας του μπλοκ με βάση την εφικτή σειρά ως προς τα υπόλοιπα μπλοκ.

Οι επόμενες στήλες έχουν να κάνουν με τα περιεχόμενα του αρχείου αποθεμάτων και τον τρόπο εισαγωγής – ειδικά τα πεδία Fold Fields. Για παράδειγμα, το πεδίο ORE AU είναι η περιεκτικότητα σε χρυσό του μεταλλεύματος (ORE). Κάποια από τα πεδία αυτά θα τα διαγράψουμε καθώς δεν είναι απαραίτητα για τον προγραμματισμό.

Η πρώτη γραμμή του φύλλου RESERVES δίνει την ονομασία των πεδίων/στηλών. Η δεύτερη γραμμή (Accumulation) δείχνει το πώς γίνεται ο υπολογισμός των συνόλων για το κάθε πεδίο. Υπάρχουν τρεις επιλογές για κάθε πεδίο:

- **SUM:** το σύνολο των μπλοκ προκύπτει με απλό άθροισμα των τιμών του πεδίου
- **WEIGHT:** το σύνολο των μπλοκ προκύπτει με ζυγισμένο μέσο όρο των τιμών του πεδίου. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να δοθεί και το πεδίο ζύγισης στην Τρίτη γραμμή του φύλλου.
- **DISPLAY:** το πεδίο είναι μόνο για εμφάνιση και ταξινόμηση των μπλοκ και όχι για υπολογισμούς.

Η τρίτη γραμμή του φύλλου (Weight Field) δίνει το πεδίο ζύγισης για το συγκεκριμένο πεδίο εφόσον στη γραμμή **Accumulation** έχει επιλεγεί ο τύπος WEIGHT. Το πεδίο ζύγισης πρέπει να είναι ένα από τα πεδία που υπάρχουν στο φύλλο.

8.5 Διαμόρφωση Πεδίων/Στηλών Φύλλου Αποθεμάτων

Το φύλλο αποθεμάτων που δημιουργήθηκε με την εισαγωγή του σχετικού αρχείου χρειάζεται αρκετή προετοιμασία. Αρχικά διαγράφουμε τις στήλες περιεκτικότητας νικελίου για το στείρο κομμάτι των μπλοκ. Επίσης θα πρέπει να ενημερώσουμε τα πεδία ζύγισης στη στήλη περιεκτικότητας του μεταλλεύματος

50. Από το Vulcan επιλέγουμε τη λειτουργία **Chronos > Reserve Sheet > Update Weight/Accumulation**. Η λειτουργία αυτή μας επιτρέπει να διορθώσουμε το πεδίο ζύγισης των πεδίων που έχουν τύπο Accumulation WEIGHT.

51. Στη στήλη ORE KR_NI αλλάζουμε το πεδίο ζύγισης (Weight field) σε **ORE TOTAL_MASS**.

Block Name	Available	State	Percent Sent	Period	Precedences	REGION	PIT	PHASE	BENCH	BLOCK	ORE KR_NI	ORE MINING_COST	ORE HAULING_COST
Accumulation	DISPLAY												
Weight Field	ORE TOTAL_MASS												
REKABETS_19_380_100	100.000	insitu				BLOCKS.TRI\REKABETS_19_380_100.00T	REKABETS_19_380_0.00T	19	380	-100	0.9156	41072.6694	41840.3829
REKABETS_19_380_0	100.000	insitu				BLOCKS.TRI\REKABETS_19_380_0.00T	REKABETS_19_380_0.00T	19	380	0	1.0754	5911.1968	6021.6864
REKABETS_19_395_100	100.000	insitu				BLOCKS.TRI\REKABETS_19_395_100.00T	REKABETS_19_395_0.00T	19	395	-100	0.9307	107759.4658	109773.6614
REKABETS_19_395_0	100.000	insitu				BLOCKS.TRI\REKABETS_19_395_0.00T	REKABETS_19_395_0.00T	19	395	0	1.0609	60439.8549	61569.5718
REKABETS_19_410_100	100.000	insitu				BLOCKS.TRI\REKABETS_19_410_100.00T	REKABETS_19_410_0.00T	19	410	-100	0.9802	50552.2011	51497.2039
REKABETS_19_410_0	100.000	insitu				BLOCKS.TRI\REKABETS_19_410_0.00T	REKABETS_19_410_0.00T	19	410	0	1.0307	93532.592	95280.8647
REKABETS_19_425_100	100.000	insitu				BLOCKS.TRI\REKABETS_19_425_100.00T	REKABETS_19_425_0.00T	19	425	-100	1.03	27617.8146	28134.0354
REKABETS_19_425_200	100.000	insitu				BLOCKS.TRI\REKABETS_19_425_200.00T	REKABETS_19_425_0.00T	19	425	-200	0	0	0
REKABETS_19_425_0	100.000	insitu				BLOCKS.TRI\REKABETS_19_425_0.00T	REKABETS_19_425_0.00T	19	425	0	0.9943	51773.2687	52740.9934
REKABETS_19_425_100	100.000	insitu				BLOCKS.TRI\REKABETS_19_425_100.00T	REKABETS_19_425_100.00T	19	425	100	1.0059	3887.5401	3960.2044
REKABETS_19_440_100	100.000	insitu				BLOCKS.TRI\REKABETS_19_440_100.00T	REKABETS_19_440_0.00T	19	440	-100	0.9898	8226.9101	8380.6841
REKABETS_19_440_200	100.000	insitu				BLOCKS.TRI\REKABETS_19_440_200.00T	REKABETS_19_440_0.00T	19	440	-200	0.9063	6057.1375	6170.355
REKABETS_19_440_0	100.000	insitu				BLOCKS.TRI\REKABETS_19_440_0.00T	REKABETS_19_440_0.00T	19	440	0	1.0584	25318.5626	25791.8067
REKABETS_19_440_100	100.000	insitu				BLOCKS.TRI\REKABETS_19_440_100.00T	REKABETS_19_440_100.00T	19	440	100	1.0002	21101.6842	21496.1082
REKABETS_19_455_100	100.000	insitu				BLOCKS.TRI\REKABETS_19_455_100.00T	REKABETS_19_455_0.00T	19	455	-100	0.9213	621.3042	632.9174
REKABETS_19_455_200	100.000	insitu				BLOCKS.TRI\REKABETS_19_455_200.00T	REKABETS_19_455_0.00T	19	455	-200	0.9224	5548.7821	5652.4976
REKABETS_19_455_0	100.000	insitu				BLOCKS.TRI\REKABETS_19_455_0.00T	REKABETS_19_455_0.00T	19	455	0	1.0528	235.2615	239.6589
REKABETS_19_455_100	100.000	insitu				BLOCKS.TRI\REKABETS_19_455_100.00T	REKABETS_19_455_100.00T	19	455	100	1.0005	8110.9205	8262.5265
REKABETS_19_470_100	100.000	insitu				BLOCKS.TRI\REKABETS_19_470_100.00T	REKABETS_19_470_0.00T	19	470	-100	0	0	0
REKABETS_19_470_200	100.000	insitu				BLOCKS.TRI\REKABETS_19_470_200.00T	REKABETS_19_470_0.00T	19	470	-200	0.9063	484.8952	493.9587
REKABETS_19_470_0	100.000	insitu				BLOCKS.TRI\REKABETS_19_470_0.00T	REKABETS_19_470_0.00T	19	470	0	0	0	0
REKABETS_19_470_100	100.000	insitu				BLOCKS.TRI\REKABETS_19_470_100.00T	REKABETS_19_470_100.00T	19	470	100	0.9463	2778.0387	2829.9647
REKABETS_19_485_100	100.000	insitu				BLOCKS.TRI\REKABETS_19_485_100.00T	REKABETS_19_485_0.00T	19	485	-100	0	0	0
REKABETS_19_485_200	100.000	insitu				BLOCKS.TRI\REKABETS_19_485_200.00T	REKABETS_19_485_0.00T	19	485	-200	0	0	0
REKABETS_19_485_0	100.000	insitu				BLOCKS.TRI\REKABETS_19_485_0.00T	REKABETS_19_485_0.00T	19	485	0	0	0	0
REKABETS_19_485_100	100.000	insitu				BLOCKS.TRI\REKABETS_19_485_100.00T	REKABETS_19_485_100.00T	19	485	100	0.9012	698.6934	711.7531

Στη συνέχεια θα δημιουργήσουμε δύο νέες στήλες με τον συνολικό όγκο και τη συνολική μάζα των μπλοκ, αθροίζοντας τις αντίστοιχες τιμές για το μέταλλευμα και τα στείρα του κάθε μπλοκ.

Προσθέτουμε μερικά πεδία που θα μας βοηθούν να διακρίνουμε τη σχετική θέση των μπλοκ μεταξύ τους. Αυτό θα μας βοηθήσει να διαμορφώσουμε την εφικτή σειρά (προτεραιότητα) μεταξύ των μπλοκ. Για παράδειγμα, θα πρέπει για να εξορυχθεί ένα μπλοκ να έχει ήδη εξορυχθεί αυτό που είναι από πάνω του.

52. Εισάγουμε δύο νέες στήλες μεταξύ της G (REGION) και της H (ORE KR_NI).

53. Στη νέα στήλη H και το κελί H1 εισάγετε την ονομασία **PHASE**.

54. Στη νέα στήλη I και το κελί I1 εισάγετε την ονομασία **BENCH**.

55. Στα κελιά H2 και I2 επιλέξτε τον τύπο **DISPLAY**.

	E	F	G	H	I	J
1	Period	Precedences	REGION	PHASE	BENCH	ORE AU
2			DISPLAY	DISPLAY	DISPLAY	WEIGHT
3						ORE TOTAL_MASS
4			BENCHES.TRI\P1_1080.00T			4.08
5			BENCHES.TRI\P1_1090.00T			4.22
6			BENCHES.TRI\P1_1100.00T			4.09
7			BENCHES.TRI\P1_1110.00T			3.58
8			BENCHES.TRI\P1_1120.00T			3.7
9			BENCHES.TRI\P1_1130.00T			4.45
10			BENCHES.TRI\P1_1140.00T			3.66
11			BENCHES.TRI\P1_1150.00T			0
12			BENCHES.TRI\P1_1160.00T			0
13			BENCHES.TRI\P2_1050.00T			3.06
14			BENCHES.TRI\P2_1060.00T			2.97
15			BENCHES.TRI\P2_1070.00T			3.34

56. Στο κελί H4 πληκτρολογούμε την εξής συνάρτηση και πατάμε το Enter:

=IndexSplit(A4,"_",2)

Θα εμφανιστεί η τιμή 19 στο κελί H4. Η συνάρτηση IndexSplit είναι ειδική συνάρτηση του Chronos η οποία χωρίζει κείμενο ενός κελιού χρησιμοποιώντας κάποιο διαχωριστικό, και επιστρέφει οποιοδήποτε από τα τμήματα που προκύπτουν. Στην περίπτωση μας, χωρίζει τα περιεχόμενα του κελιού A4 που είναι REKABETSI_19_380_-100 σε τέσσερα τμήματα και επιστρέφει το δεύτερο που είναι η φάση εκμετάλλευσης.

57. Στο κελί I4 πληκτρολογούμε την εξής συνάρτηση και πατάμε το Enter:

=VALUE(IndexSplit(A4,"_",3))

Θα εμφανιστεί η τιμή 380 στο κελί I4. Η τιμή εμφανίζεται στα δεξιά καθώς πρόκειται για αριθμητική τιμή μια και χρησιμοποιήσαμε επιπλέον τη συνάρτηση VALUE. Η τιμή 380 που μας επέστρεψε η συνολική συνάρτηση είναι το υψόμετρο της βαθμίδας.

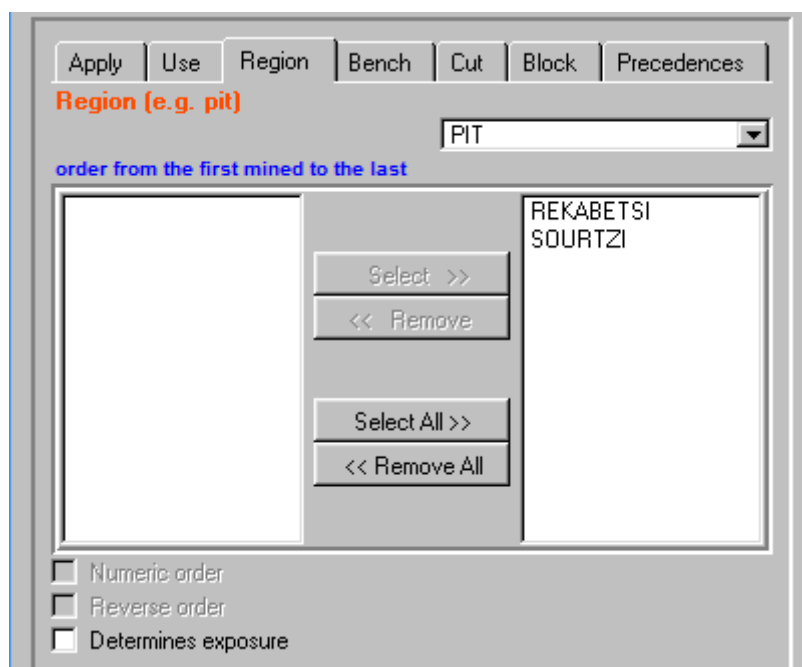
Έτσι ολοκληρώνεται η διαμόρφωση του φύλλου αποθεμάτων και μπορούμε να προχωρήσουμε στη διαμόρφωση των παραμέτρων του προγράμματος και στον προγραμματισμό. Στη συνέχεια θα καθορίσουμε κάποιες βασικές παραμέτρους του

προγράμματος, όπως η εφικτή σειρά των μπλοκ, το ημερολόγιο, τους προορισμούς, τις διαδικασίες και τους στόχους του προγράμματος.

8.6 Υπολογισμός Εφικτής Σειράς Μπλοκ Εκμετάλλευσης

Η εφικτή σειρά των μπλοκ καθορίζει για κάθε μπλοκ τα άμεσα προαπαιτούμενα μπλοκ που θα πρέπει να εξορυχθούν προηγουμένως. Εφόσον η εκσκαφή είναι υπαίθρια και πραγματοποιείται από πάνω προς το κάτω, για να είμαστε σε θέση να βγάλουμε ένα μπλοκ από το έδαφος, θα πρέπει να το αποκαλύψουμε, δηλαδή να έχουμε βγάλει αυτά που είναι από πάνω του.

58. Εφόσον ανοίξει σωστά, πηγαίνουμε στη λειτουργία **Chronos > Precedences > Advanced Setup**. Ανοίγει το σχετικό παράθυρο του Chronos το οποίο μπορεί να εμφανιστεί αρχικά μόνο στη μπάρα εργασίας και να πρέπει να το επαναφέρουμε.
59. Πηγαίνουμε στη σελίδα **Region**. Επιλέγουμε το πεδίο **PIT** και πατάμε το **Select All**. Έτσι θα μπορεί να διακρίνει το πρόγραμμα ότι τα μπλοκ προέρχονται από δύο ξεχωριστές εκσκαφές.

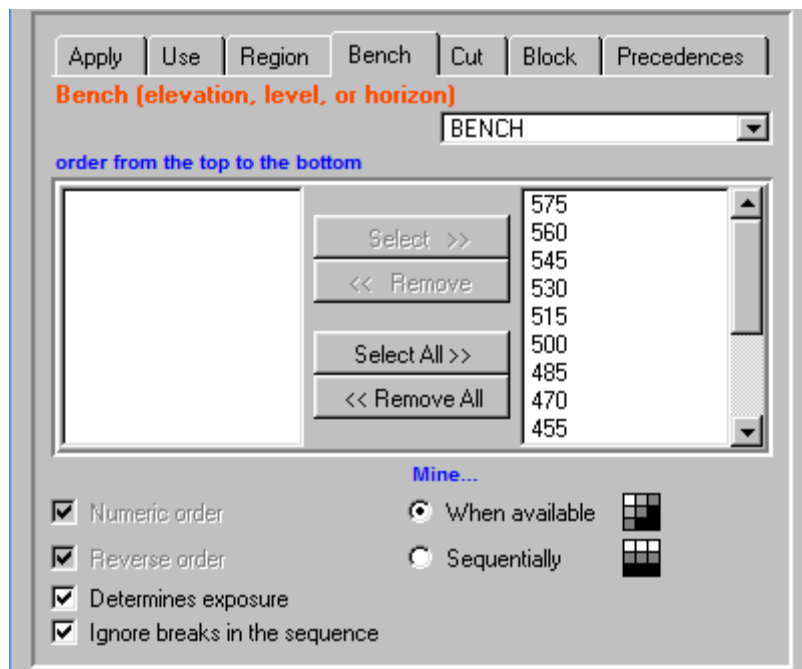


60. Πηγαίνουμε στη σελίδα **Bench**. Επιλέγουμε το πεδίο **BENCH** ως τη στήλη που μας δίνει τις τιμές των υψομέτρων των βαθμίδων.
61. Τσεκάρουμε τις επιλογές **Numeric order** (αριθμητική σειρά), **Reverse order**

(αντιστροφή σειράς), **Determines exposure** (καθορίζει την αποκάλυψη), και **Ignore breaks in the sequence** (αγνόησε διακοπές στη σειρά).

Οι παραπάνω επιλογές καθορίζουν ότι οι βαθμίδες πρέπει να εξορυχθούν με την αντίστροφη αριθμητική σειρά (από την ψηλότερη προς τη χαμηλότερη), ότι η εξόρυξη τους καθορίζει την αποκάλυψη των επόμενων, και ότι μπορεί σε ορισμένες περιπτώσεις να λείπει κάποια βαθμίδα από επάνω (πχ όταν κάποια φάση εκμετάλλευσης δεν περιλαμβάνει κάποιες βαθμίδες).

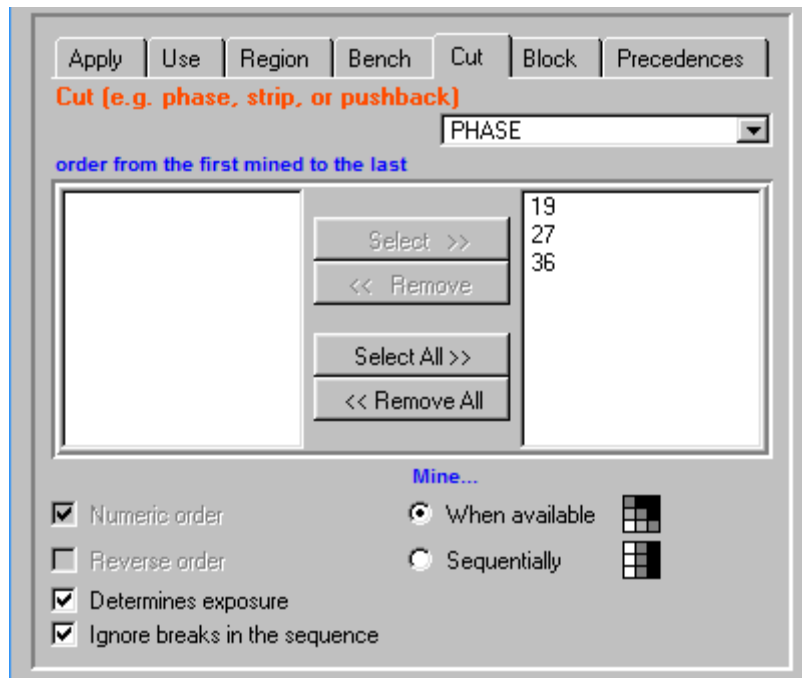
62. Πατάμε το πλήκτρο **Select All** και οι βαθμίδες μεταφέρονται στη δεξιά πλευρά.



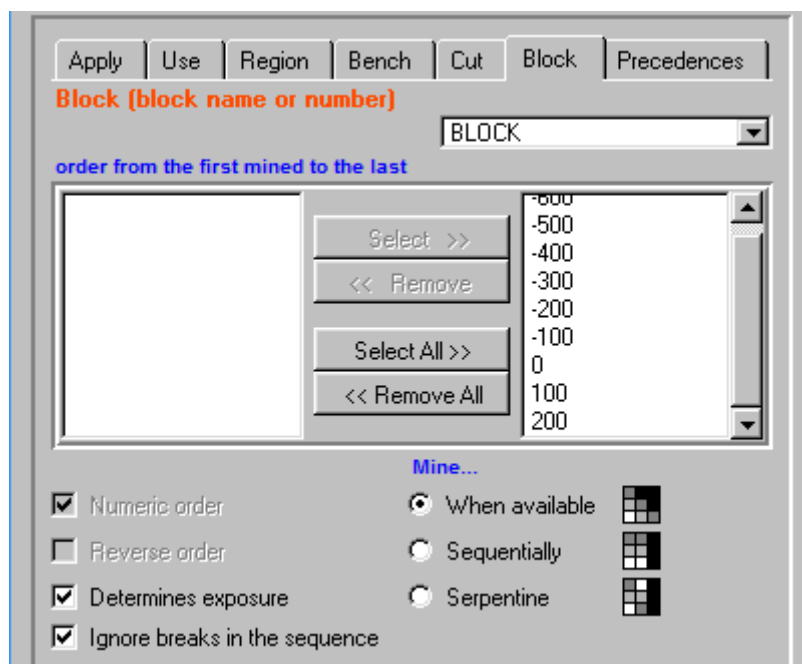
63. Συνεχίζουμε στη σελίδα **Cut**. Επιλέγουμε το πεδίο **PHASE**.

64. Τσεκάρουμε τις επιλογές **Determines exposure** και **Ignore breaks in the sequence**.

65. Πατάμε το πλήκτρο **Select All** και μεταφέρονται οι φάσεις με αλφαβητική σειρά στα δεξιά.



66. Πηγαίνουμε στη σελίδα Block. Επιλέγουμε το πεδίο BLOCK και τσεκάρουμε το Numeric Order, Determines exposure, Ignore breaks in the sequence. Πατάμε το Select All.



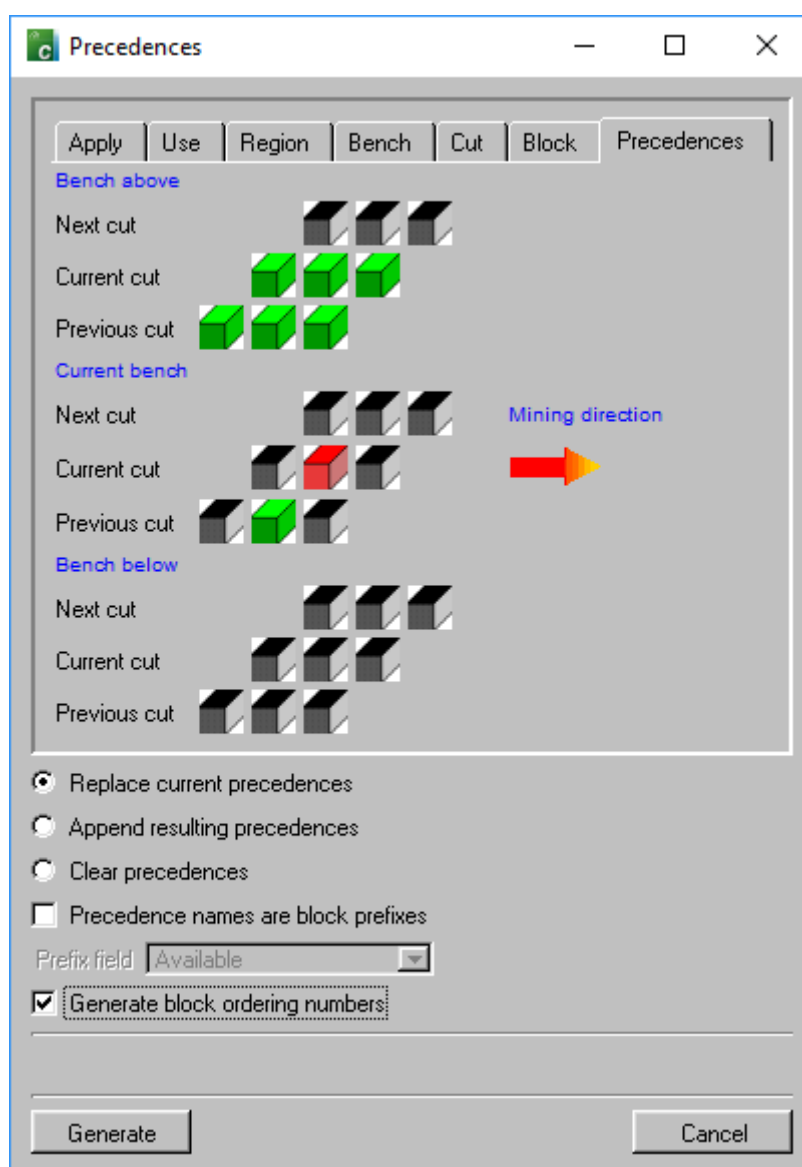
67. Προχωράμε στην τελευταία σελίδα **Precedences**.

Εδώ δίνεται μια γραφική απεικόνιση των μπλοκ. Με κόκκινο χρώμα δίνεται το μπλοκ για το οποίο καθορίζουμε τα προαπαιτούμενα. Με τον όρο cut εννοείται η φάση

εκμετάλλευσης στην περίπτωση μας. Επομένως current cut είναι η φάση του μπλοκ για το οποίο γίνεται ο υπολογισμός, previous cut είναι η προηγούμενη φάση και next cut η επόμενη.

68. Κάνουμε κλικ στα μπλοκ των previous και current cut στην επάνω βαθμίδα (Bench above) και γίνονται πράσινα, δηλαδή είναι προαπαιτούμενα.

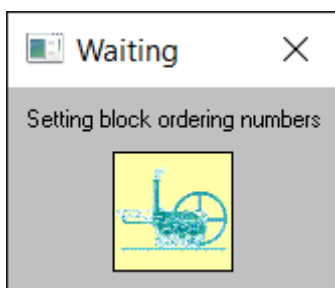
Ουσιαστικά αυτό που λέμε είναι ότι για να βγάλουμε μια βαθμίδα μιας φάσης θα πρέπει προηγουμένως να έχουμε βγάλει την ακριβώς από πάνω στην ίδια φάση αλλά και την ακριβώς από πάνω της προηγούμενης φάσης (εφόσον υπάρχουν).



69. Τσεκάρουμε την επιλογή **Generate block ordering numbers** για να

υπολογίσει και τη σειρά προτεραιότητας των μπλοκ.

70. Πατάμε το πλήκτρο **Generate**. Ξεκινά ο υπολογισμός των προαπαιτούμενων και της σειρά προτεραιότητας.



Όταν ολοκληρωθεί ο υπολογισμός, στο φύλλο BLOCKPRECEDENCE μπορούμε να δούμε τα προαπαιτούμενα για κάθε μπλοκ.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	REKAVETSI_36_575_-100	1														
2	REKAVETSI_36_575_0	1														
3	REKABETSI_19_560_100	1														
4	REKAVETSI_36_560_0	2	REKAVETSI_36_575_-100	1	REKAVETSI_36_575_0	1										
5	REKAVETSI_36_560_100	2	REKABETSI_19_560_100	1	REKAVETSI_36_575_0	1										
6	REKABETSI_19_545_-300	1														
7	REKABETSI_19_545_-200	1														
8	REKABETSI_19_545_-100	1														
9	REKAVETSI_36_545_-300	2	REKABETSI_19_545_-300	1												
10	REKAVETSI_36_545_-200	2	REKABETSI_19_545_-200	1	REKAVETSI_36_575_-100	1										
11	REKAVETSI_36_545_-100	3	REKABETSI_19_545_-100	1	REKAVETSI_36_560_0	1	REKAVETSI_36_575_-100	1	REKAVETSI_36_575_0	1						
12	REKAVETSI_36_545_0	3	REKABETSI_19_560_100	1	REKAVETSI_36_560_0	1	REKAVETSI_36_560_100	1	REKAVETSI_36_575_-100	1						
13	REKAVETSI_36_545_100	3	REKABETSI_19_560_100	1	REKAVETSI_36_560_0	1	REKAVETSI_36_560_100	1								
14	REKAVETSI_36_545_200	3	REKABETSI_19_560_100	1	REKAVETSI_36_560_100	1										
15	REKABETSI_19_530_-200	2	REKABETSI_19_545_-100	1	REKABETSI_19_545_-200	1	REKABETSI_19_545_-300	1								
16	REKABETSI_19_530_-100	2	REKABETSI_19_545_-100	1	REKABETSI_19_545_-200	1										
17	REKABETSI_19_530_0	2	REKABETSI_19_545_-100	1	REKABETSI_19_560_100	1										
18	REKABETSI_19_530_100	2	REKABETSI_19_560_100	1												
19	REKABETSI_19_530_200	2	REKABETSI_19_560_100	1												
20	REKAVETSI_36_530_-300	3	REKABETSI_19_545_-200	1	REKABETSI_19_545_-300	1	REKAVETSI_36_545_-200	1	REKAVETSI_36_545_-300	1						
21	REKAVETSI_36_530_-200	4	REKABETSI_19_530_-200	1	REKABETSI_19_545_-100	1	REKABETSI_19_545_-200	1	REKABETSI_19_545_-300	1	REKAVETSI_36_545_-100	1	REKAVETSI_36_545_-200	1	REKAVETSI_36_545_-300	1
22	REKAVETSI_36_530_-100	4	REKABETSI_19_530_-100	1	REKABETSI_19_545_-100	1	REKABETSI_19_545_-200	1	REKAVETSI_36_545_-100	1	REKAVETSI_36_545_-200	1	REKAVETSI_36_545_0	1		
23	REKAVETSI_36_530_0	4	REKABETSI_19_530_0	1	REKABETSI_19_545_-100	1	REKABETSI_19_560_100	1	REKAVETSI_36_545_-100	1	REKAVETSI_36_545_0	1	REKAVETSI_36_545_100	1		
24	REKAVETSI_36_530_100	4	REKABETSI_19_530_100	1	REKABETSI_19_560_100	1	REKAVETSI_36_545_0	1	REKAVETSI_36_545_100	1	REKAVETSI_36_545_200	1				
25	REKAVETSI_36_530_200	4	REKABETSI_19_530_200	1	REKABETSI_19_560_100	1	REKAVETSI_36_545_100	1	REKAVETSI_36_545_200	1						
26	REKABETSI_19_515_-200	3	REKABETSI_19_530_-100	1	REKABETSI_19_530_-200	1										
27	REKABETSI_19_515_-100	3	REKABETSI_19_530_-100	1	REKABETSI_19_530_-200	1	REKABETSI_19_530_0	1								
28	REKABETSI_19_515_0	3	REKABETSI_19_530_-100	1	REKABETSI_19_530_0	1	REKABETSI_19_530_100	1								
29	REKABETSI_19_515_100	3	REKABETSI_19_530_0	1	REKABETSI_19_530_100	1	REKABETSI_19_530_200	1								
30	REKABETSI_19_515_200	3	REKABETSI_19_530_100	1	REKABETSI_19_530_200	1										
31	REKAVETSI_36_515_-300	5	REKABETSI_19_530_-200	1	REKAVETSI_36_530_-200	1	REKAVETSI_36_530_-300	1								
32	REKAVETSI_36_515_-200	5	REKABETSI_19_515_-200	1	REKABETSI_19_530_-100	1	REKABETSI_19_530_-200	1	REKAVETSI_36_530_-100	1	REKAVETSI_36_530_-200	1	REKAVETSI_36_530_-300	1		
33	REKAVETSI_36_515_-100	5	REKABETSI_19_515_-100	1	REKABETSI_19_530_-100	1	REKABETSI_19_530_-200	1	REKABETSI_19_530_0	1	REKAVETSI_36_530_-100	1	REKAVETSI_36_530_-200	1	REKAVETSI_36_530_0	1
34	REKAVETSI_36_515_0	5	REKABETSI_19_515_0	1	REKABETSI_19_530_-100	1	REKABETSI_19_530_0	1	REKABETSI_19_530_100	1	REKAVETSI_36_530_-100	1	REKAVETSI_36_530_0	1	REKAVETSI_36_530_100	1
35	REKAVETSI_36_515_100	5	REKABETSI_19_515_100	1	REKABETSI_19_530_0	1	REKABETSI_19_530_100	1	REKABETSI_19_530_200	1	REKAVETSI_36_530_0	1	REKAVETSI_36_530_100	1	REKAVETSI_36_530_200	1
36	REKAVETSI_36_515_200	5	REKABETSI_19_515_200	1	REKABETSI_19_530_100	1	REKABETSI_19_530_200	1	REKAVETSI_36_530_100	1	REKAVETSI_36_530_200	1				
37	REKABETSI_19_500_-200	4	REKABETSI_19_515_-100	1	REKABETSI_19_515_-200	1										
38	REKABETSI_19_500_-100	4	REKABETSI_19_515_-100	1	REKABETSI_19_515_-200	1	REKABETSI_19_515_0	1								
39	REKABETSI_19_500_0	4	REKABETSI_19_515_-100	1	REKABETSI_19_515_0	1	REKABETSI_19_515_100	1								
40	REKABETSI_19_500_100	4	REKABETSI_19_515_0	1	REKABETSI_19_515_100	1	REKABETSI_19_515_200	1								
41	REKABETSI_19_500_200	4	REKABETSI_19_515_100	1	REKABETSI_19_515_200	1										
42	REKAVETSI_36_500_-200	6	REKABETSI_19_500_-200	1	REKABETSI_19_515_-100	1	REKABETSI_19_515_-200	1	REKAVETSI_36_515_-100	1	REKAVETSI_36_515_-200	1	REKAVETSI_36_515_-300	1		
43	REKAVETSI_36_500_-100	6	REKABETSI_19_500_-100	1	REKABETSI_19_515_-100	1	REKABETSI_19_515_-200	1	REKABETSI_19_515_0	1	REKAVETSI_36_515_-100	1	REKAVETSI_36_515_-200	1	REKAVETSI_36_515_0	1
44	REKAVETSI_36_500_0	6	REKABETSI_19_500_0	1	REKABETSI_19_515_-100	1	REKABETSI_19_515_0	1	REKABETSI_19_515_100	1	REKAVETSI_36_515_-100	1	REKAVETSI_36_515_0	1	REKAVETSI_36_515_100	1

Η σειρά προτεραιότητας των μπλοκ θα χρησιμοποιηθεί κατά τον προγραμματισμό για να εξασφαλιστεί ότι η εκμετάλλευση θα γίνει με τεχνικά εφικτό τρόπο. Καθώς μπορεί

να έχουμε πολλαπλά μπλοκ με τον ίδιο αριθμό προτεραιότητας, υπάρχει δυνατότητα για παραγωγή διαφορετικών σεναρίων με διαφορετική αξία εκμετάλλευσης.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Block Name	Available	State	Percent Sent	Period	Precedences	REGION
2	Accumulation						DISPLAY
3	Weight Field						
4	REKABETSI_19_380_-100	0.000	MININ	14.543	24	12	BLOCKS.TRI\REKABETSI_1
5	REKABETSI_19_380_0	0.000	MININ	28.205	23	12	BLOCKS.TRI\REKABETSI_1
6	REKABETSI_19_395_-100	0.000	MININ	35.780	22	11	BLOCKS.TRI\REKABETSI_1
7	REKABETSI_19_395_0	0.000	MININ	27.129	20	11	BLOCKS.TRI\REKABETSI_1
8	REKABETSI_19_410_-100	0.000	MININ	79.442	18	10	BLOCKS.TRI\REKABETSI_1
9	REKABETSI_19_410_0	0.000	MININ	33.205	17	10	BLOCKS.TRI\REKABETSI_1
10	REKABETSI_19_425_-100	0.000	MININ	100.000	14	9	BLOCKS.TRI\REKABETSI_1
11	REKABETSI_19_425_-200	0.000	MININ	100.000	17	9	BLOCKS.TRI\REKABETSI_1
12	REKABETSI_19_425_0	0.000	MININ	37.862	15	9	BLOCKS.TRI\REKABETSI_1
13	REKABETSI_19_425_100	0.000	MININ	4.329	13	9	BLOCKS.TRI\REKABETSI_1
14	REKABETSI_19_440_-100	0.000	MININ	100.000	13	8	BLOCKS.TRI\REKABETSI_1
15	REKABETSI_19_440_-200	0.000	MININ	100.000	14	8	BLOCKS.TRI\REKABETSI_1
16	REKABETSI_19_440_0	0.000	MININ	100.000	12	8	BLOCKS.TRI\REKABETSI_1
17	REKABETSI_19_440_100	0.000	MININ	100.000	11	8	BLOCKS.TRI\REKABETSI_1
18	REKABETSI_19_455_-100	0.000	MININ	45.985	12	7	BLOCKS.TRI\REKABETSI_1
19	REKABETSI_19_455_-200	0.000	MININ	100.000	10	7	BLOCKS.TRI\REKABETSI_1
20	REKABETSI_19_455_0	0.000	MININ	100.000	11	7	BLOCKS.TRI\REKABETSI_1
21	REKABETSI_19_455_100	0.000	MININ	100.000	9	7	BLOCKS.TRI\REKABETSI_1
22	REKABETSI_19_470_-100	0.000	MININ	94.419	10	6	BLOCKS.TRI\REKABETSI_1
23	REKABETSI_19_470_-200	0.000	MININ	100.000	8	6	BLOCKS.TRI\REKABETSI_1
24	REKABETSI_19_470_0	0.000	MININ	100.000	9	6	BLOCKS.TRI\REKABETSI_1
25	REKABETSI_19_470_100	0.000	MININ	100.000	6	6	BLOCKS.TRI\REKABETSI_1
26	REKABETSI_19_485_-100	0.000	MININ	97.292	8	5	BLOCKS.TRI\REKABETSI_1
27	REKABETSI_19_485_-200	0.000	MININ	100.000	7	5	BLOCKS.TRI\REKABETSI_1
28	REKABETSI_19_485_0	0.000	MININ	100.000	6	5	BLOCKS.TRI\REKABETSI_1
29	REKABETSI_19_485_100	0.000	MININ	100.000	5	5	BLOCKS.TRI\REKABETSI_1
30	REKABETSI_19_500_-100	0.000	MININ	100.000	4	4	BLOCKS.TRI\REKABETSI_1
31	REKABETSI_19_500_-200	0.000	MININ	95.979	7	4	BLOCKS.TRI\REKABETSI_1
32	REKABETSI_19_500_0	0.000	MININ	100.000	5	4	BLOCKS.TRI\REKABETSI_1
33	REKABETSI_19_500_100	0.000	MININ	100.000	2	4	BLOCKS.TRI\REKABETSI_1
34	REKABETSI_19_500_200	0.000	MININ	100.000	5	4	BLOCKS.TRI\REKABETSI_1
35	REKABETSI_19_515_-100	0.000	MININ	100.000	4	3	BLOCKS.TRI\REKABETSI_1
36	REKABETSI_19_515_-200	0.000	MININ	100.000	3	3	BLOCKS.TRI\REKABETSI_1
37	REKABETSI_19_515_0	0.000	MININ	100.000	1	3	BLOCKS.TRI\REKABETSI_1
38	REKABETSI_19_515_100	0.000	MININ	21.464	2	3	BLOCKS.TRI\REKABETSI_1
39	REKABETSI_19_515_200	0.000	MININ	100.000	2	3	BLOCKS.TRI\REKABETSI_1
40	REKABETSI_19_530_-100	0.000	MININ	100.000	1	2	BLOCKS.TRI\REKABETSI_1
41	REKABETSI_19_530_-200	0.000	MININ	37.078	3	2	BLOCKS.TRI\REKABETSI_1
42	REKABETSI_19_530_0	0.000	MININ	100.000	1	2	BLOCKS.TRI\REKABETSI_1
43	REKABETSI_19_530_100	0.000	MININ	100.000	1	2	BLOCKS.TRI\REKABETSI_1
44	REKABETSI_19_530_200	0.000	MININ	100.000	1	2	BLOCKS.TRI\REKABETSI_1

8.7 Ημερολόγιο Προγράμματος

Το ημερολόγιο του προγράμματος καθορίζει, μαζί με το μέγεθος των μπλοκ, τον χαρακτήρα του προγράμματος, δηλαδή αν είναι βραχυπρόθεσμο, μεσοπρόθεσμο ή μακροπρόθεσμο. Ο προσδιορισμός του απαιτεί τα εξής στοιχεία:

- Ημερομηνία έναρξης
- Διάρκεια περιόδων (ημέρα, εβδομάδα, μήνας, τρίμηνο, εξάμηνο, έτος)
- Πλήθος περιόδων

Δεν είναι απαραίτητο όλες οι περίοδοι να έχουν ίδια διάρκεια. Για παράδειγμα, μπορεί να ξεκινήσουμε το πρόγραμμα με τρίμηνα ή εξάμηνα και να συνεχίσουμε με έτη. Στο πρόγραμμα μας που αφορά τη ζωή του μεταλλείου, θα έχουμε ετήσιες περιόδους.

71. Επιλέγουμε τη λειτουργία **Chronos > Workbook Setup > Period Calendar**.

72. Στο παράθυρο που εμφανίζεται δίνουμε την ημερομηνία έναρξης του προγράμματος (Start Date) **1 Jan 2017**.

73. Επιλέγουμε διάρκεια περιόδου (Period Length) **1** (1 μήνας).

74. Δίνουμε το πλήθος των περιόδων **60** (Number of Periods).

75. Πατάμε το πλήκτρο **Replace All** για να δημιουργηθούν οι περίοδοι.

	Start Date	End Date
1	1-JAN-2017	31-JAN-2017
2	1-FEB-2017	28-FEB-2017
3	1-MAR-2017	31-MAR-2017
4	1-APR-2017	30-APR-2017
5	1-MAY-2017	31-MAY-2017
6	1-JUN-2017	30-JUN-2017
7	1-JUL-2017	31-JUL-2017
8	1-AUG-2017	31-AUG-2017

76. Τέλος πατάμε το **OK**. Μπορούμε να δούμε τις περιόδους στο φύλλο

PERIODTABLE.

8.8 Προορισμοί

Ο προγραμματισμός γίνεται ουσιαστικά με την αποστολή ενός μπλοκ εκμετάλλευσης από τη θέση που βρίσκεται μέσα στο κοίτασμα προς μια νέα θέση (ή κατάσταση) μέσω μιας διαδικασίας. Η νέα θέση (προορισμός) μπορεί να είναι για παράδειγμα μια απόθεση, ένα τριβείο ή και μια διαφορετική κατάσταση (εξορυγμένο, θραυσμένο, κλπ.). Στην απλούστερη περίπτωση, όπως στην άσκηση αυτή, έχουμε έναν προορισμό για όλα τα υλικά καθώς μας ενδιαφέρει να δούμε συνολικά την παραγωγή μεταλλεύματος και στείρων ανά έτος. Ο προορισμός θα συγκεντρώσει τα μπλοκ που εξορύσσονται σε κάθε περίοδο μέχρι να ικανοποιηθεί ο στόχος ή οι στόχοι για κάθε περίοδο.

77. Επιλέγουμε τη λειτουργία **Chronos > Workbook Setup > Destinations**.

78. Εισάγουμε την ονομασία **MINED** στη στήλη Destination Name.

	Destination Name	Attributes	Create Stockpile
1	MINED	...	<input type="checkbox"/>
*		...	<input type="checkbox"/>

79. Κάνουμε κλικ στο εικονίδιο [...] στη στήλη Attributes. Εμφανίζεται το παράθυρο όπου θα συμπληρώσουμε τα πεδία που μας ενδιαφέρουν να συγκεντρώσουμε στον προορισμό αυτό.

80. Συμπληρώνουμε τις στήλες Reserve Sheet και Reserve Field όπως φαίνεται παρακάτω. Δεν χρειάζεται να συμπληρώσουμε τις στήλες Accumulation και Weight Field.

81. Πατάμε το πλήκτρο **Update Accumulations/Weight Fields** για να συμπληρωθούν αυτόματα και οι στήλες Accumulation και Weight Field.

Destination MINED						
Entire reserve sheet to load				Load Sheet	Update Accumulations/Weight Fields	
	Reserve Sheet	Reserve Field	Accumulation	Weight Field	Calculated	Target
1	RESERVES	ORE KR_NI	WEIGHT	ORE TOTAL_MASS		
2	RESERVES	ORE TOTAL_MASS	SUM			
3	RESERVES	WASTE TOTAL_VOLUME	SUM			
4	RESERVES	TOTAL_BLOCK_VALUE	SUM			
*						

82. Πατάμε το **OK** για να κλείσει το παράθυρο με τα πεδία.

83. Πατάμε το **OK** και στο αρχικό παράθυρο για να κλείσει και να δημιουργηθεί ο προορισμός.

Θα δημιουργηθεί ένα νέο φύλλο εργασίας με την ονομασία MINED.

8.9 Διαδικασίες

Η αποστολή ενός μπλοκ από μια θέση (ή κατάσταση) σε μια άλλη γίνεται μέσω μιας διαδικασίας. Η διαδικασία προσδιορίζει απλά τον ρυθμό παραγωγής, ενώ σε πιο σύνθετα προγράμματα μπορεί να συνδέεται με συγκεκριμένες ομάδες εξοπλισμού με ξεχωριστά ημερολόγια. Στην άσκηση αυτή έχουμε μια απλή διαδικασία.

84. Επιλέγουμε τη λειτουργία **Chronos > Workbook Setup > Processes**.

85. Δίνουμε την ονομασία **mining** στη στήλη Process Name.

86. Επιλέγουμε τύπο διαδικασίας **excavation** στη στήλη Process type.

	Process Name	Description	Process type	Prerequisites
1	mining		excavation	...
*			insitu	...

Process (Time Calculation)					
	Process Name	Description	Process type	Prerequisites	Rate Macro (Time Formula)
1	MINING		excavation
*			insitu

OK Cancel

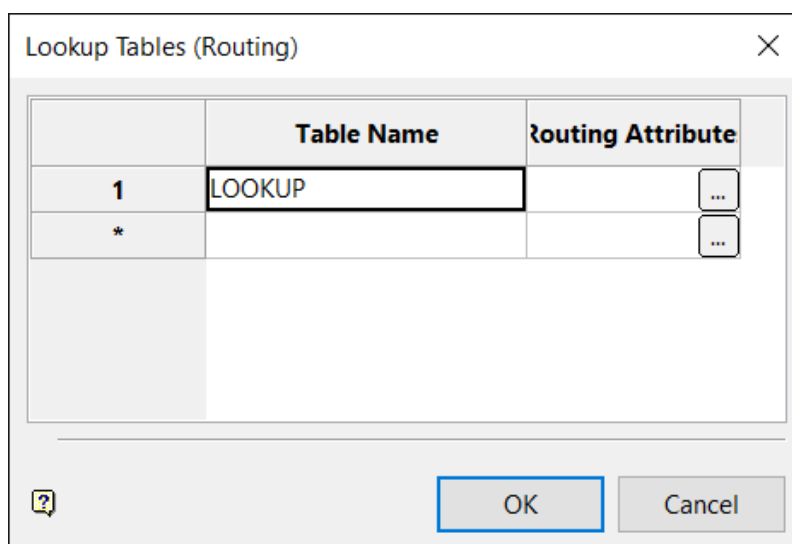
87. Πατάμε το **OK** για να δημιουργηθεί η διαδικασία mining.

8.10 Πίνακας Αντιστοίχισης Προορισμών

Ο πίνακας αντιστοίχισης προορισμών καθορίζει ποια μπλοκ και μέσω ποιας διαδικασίας μπορούν να σταλούν σε συγκεκριμένους προορισμούς. Η επιλογή των μπλοκ γίνεται μέσω κάποιου χαρακτηριστικού πεδίου/στήλης, όπως για παράδειγμα λιθολογία, φάση, κλπ. Είναι απαραίτητος σε πιο σύνθετα προγράμματα. Παρόλα αυτά θα τον δημιουργήσουμε για να δούμε πως μπορεί να εξυπηρετήσει.

88. Επιλέγουμε τη λειτουργία **Chronos > Workbook Setup > Lookup Tables (Routing)**

89. Δίνουμε την ονομασία **LOOKUP** στη στήλη Table Name.



90. Κάνουμε κλικ στο εικονίδιο **...** στη στήλη Routing Attribute για να συμπληρώσουμε τον πίνακα.

91. Επιλέγουμε το πεδίο **PIT** σαν χαρακτηριστικό πεδίο (Reserve Field).

92. Επιλέγουμε την προεπιλεγμένη διαδικασία **mining** (Default Process). Έτσι συμπληρώνεται ο πίνακας.

LOOKUP (routing) ✕

Reserve Field: PIT Default Process: MINING

	Reserve Field Values	MINED
1	REKABETSI	MINING ▼
2	SOURTZI	MINING ▼

Έτσι, για να σταλεί ένα μπλοκ από οποιαδήποτε εκσκαφή στον προορισμό MINED πρέπει να χρησιμοποιηθεί η διαδικασία mining.

93. Πατάμε το **OK** και επιστρέφουμε στο αρχικό παράθυρο.

94. Πατάμε το **OK** και δημιουργείται η διαδικασία.

8.11 Ομάδα Δραστηριοτήτων - Προγραμματισμός

Η λειτουργία το προγραμματισμού των μπλοκ στο Chronos γίνεται μέσω ειδικού παράθυρου μιας ομάδας δραστηριοτήτων (συνδυασμού μπλοκ-διαδικασίας-προορισμού) που ονομάζεται Task. Κάθε ομάδα περιέχει μια σειρά από μπλοκ που έχουν συνδυαστεί με μια διαδικασία και έναν προορισμό. Στην πιο απλή περίπτωση έχουμε μία ομάδα που περιέχει όλα τα μπλοκ, ενώ σε πιο σύνθετες περιπτώσεις μπορούμε να έχουμε περισσότερες που να μπαίνουν και σε λογική σειρά.

95. Επιλέγουμε τη λειτουργία **Chronos > Workbook Setup > Tasks**.

96. Δίνουμε την ονομασία **TASK1** και πατάμε το πλήκτρο **Open**.

Εμφανίζεται το παράθυρο Task TASK1. Αρχικά θα κάνουμε κάποιες γενικές ρυθμίσεις.

97. Πηγαίνουμε στη σελίδα **Edit**.

98. Δίνουμε το ποσοστό **100** (Percent).

99. Επιλέγουμε τον προορισμό **MINED** ως τον μοναδικό προορισμό (Single).

100. Τσεκάρουμε την επιλογή **Process table**.
101. Επιλέγουμε τον πίνακα **LOOKUP** ως Process table.
102. Διώχνουμε το τσεκάρισμα των επιλογών **Send to task** και **Resource selection**.

Block: <Task defaults>

Percent

Destination

Single

Lookup destination from process table

Period

Process

Single

Process table

Send to task

Resource selection

Replace

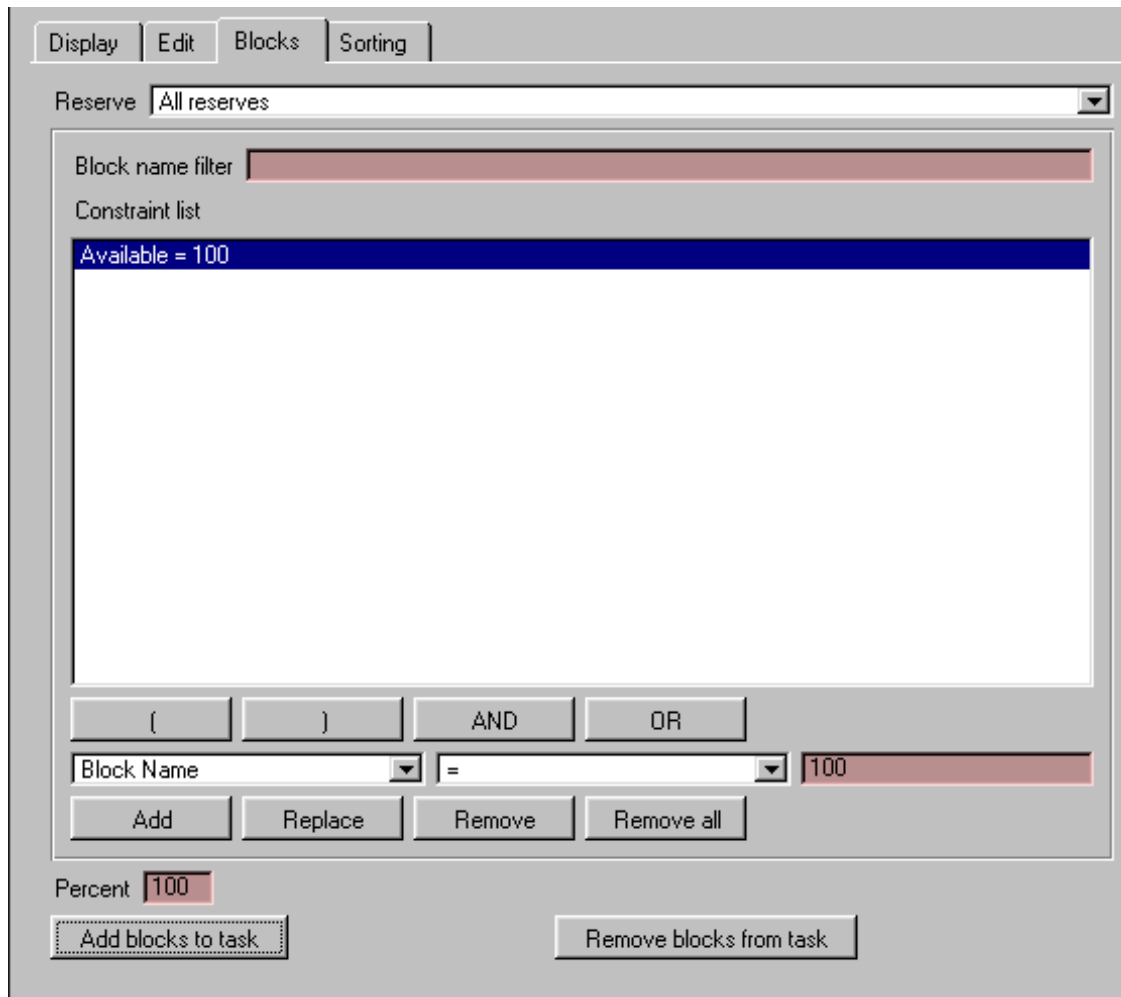
Add

Remove

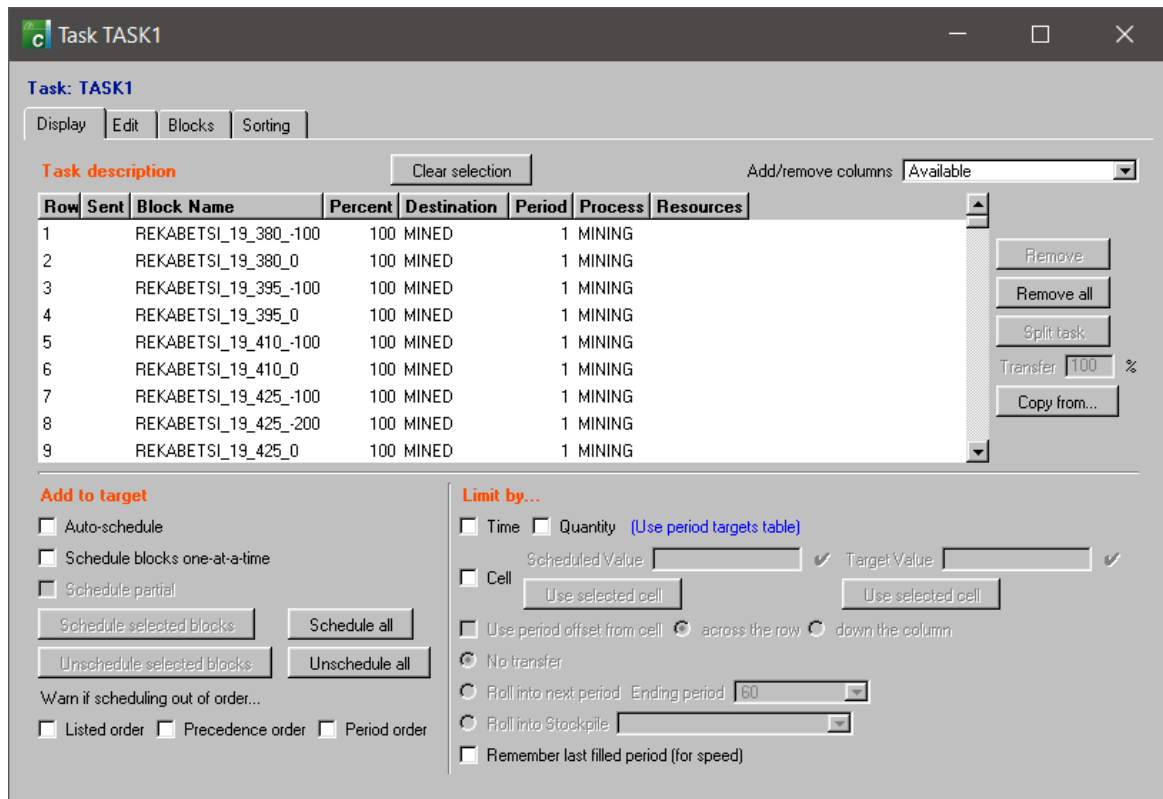
103. Πατάμε το πλήκτρο **Apply** για να εφαρμοστούν οι ρυθμίσεις. Όποια μπλοκ προσθέσουμε στην ομάδα θα έχουν αυτές τις ρυθμίσεις προγραμματισμού.
104. Πηγαίνουμε στη σελίδα **Blocks**. Εδώ θα επιλέξουμε τα μπλοκ θα προστεθούν.
105. Επιλέγουμε το πεδίο **Available** και εισάγουμε την τιμή **100** ως κριτήριο επιλογής (όλα τα μπλοκ που είναι 100% διαθέσιμα).

Percent

106. Πατάμε το πλήκτρο **Add** για να προστεθεί το κριτήριο που καθορίσαμε.



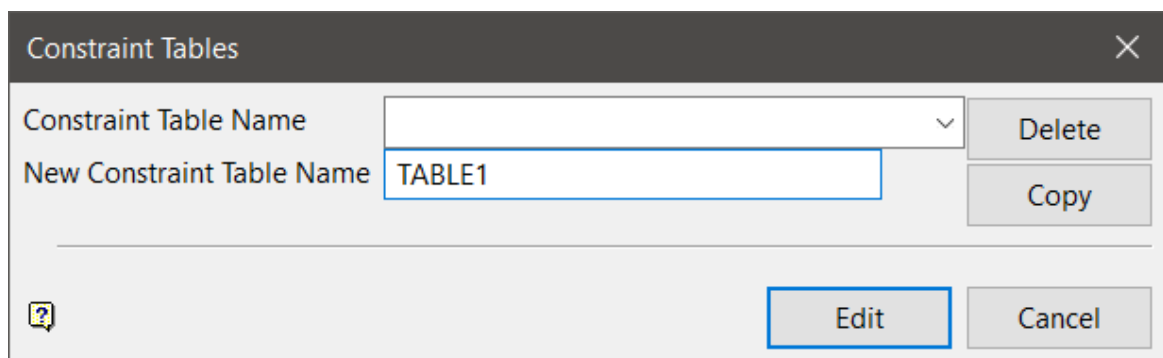
107. Πατάμε το πλήκτρο **Add blocks to task** για να προστεθούν όλα τα μπλοκ στην ομάδα.
108. Πηγαίνουμε στη σελίδα **Display** για να δούμε τα μπλοκ. Αρχικά είναι σε αλφαβητική σειρά την οποία θα πρέπει να αλλάξουμε.



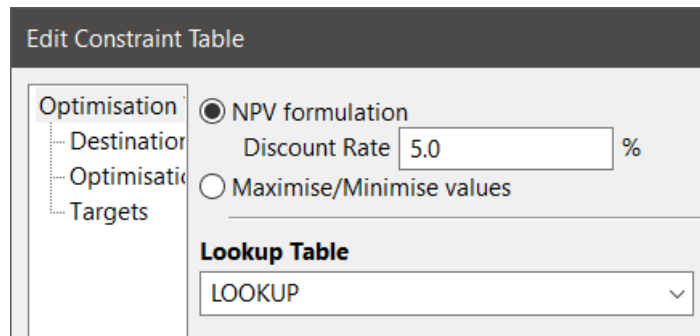
8.12 Προγραμματισμός και Βελτιστοποίηση

Για να εκτελεστεί ο προγραμματισμός με ταυτόχρονη βελτιστοποίηση κάποιων παραμέτρων, πρέπει αρχικά να δημιουργηθεί ένας πίνακας περιορισμών και κριτηρίων.

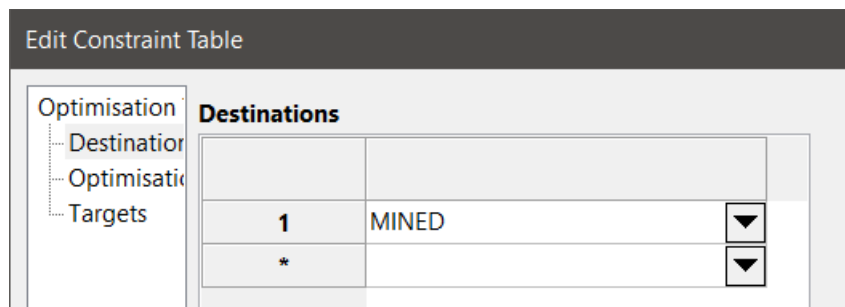
109. Με τη λειτουργία Chronos > Optimisation > Constraint Table δημιουργούμε έναν νέο πίνακα.



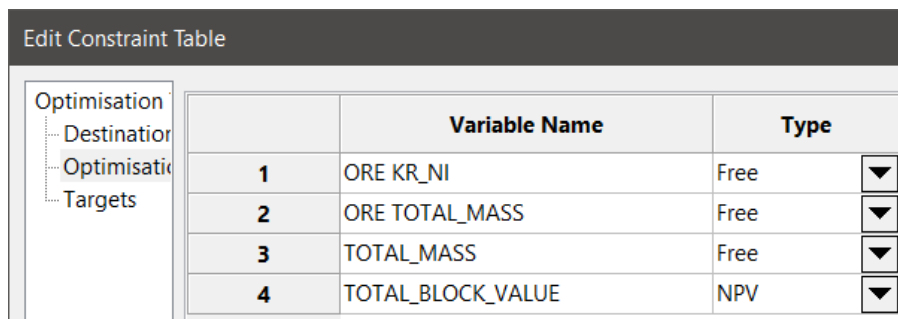
110. Πατώντας το Edit ανοίγει το σχετικό παράθυρο. Εφόσον θέλουμε βελτιστοποίηση της τρέχουσας καθαρής αξίας, επιλέγουμε το NPV formulation και δίνουμε το ετήσιο ποσοστό υποτίμησης.



111. Στη σελίδα Destinations επιλέγουμε τον μοναδικό προορισμό MINED.



112. Στη σελίδα Optimisation Fields επιλέγουμε τον τύπο NPV δίπλα από το πεδίο TOTAL_BLOCK_VALUE.

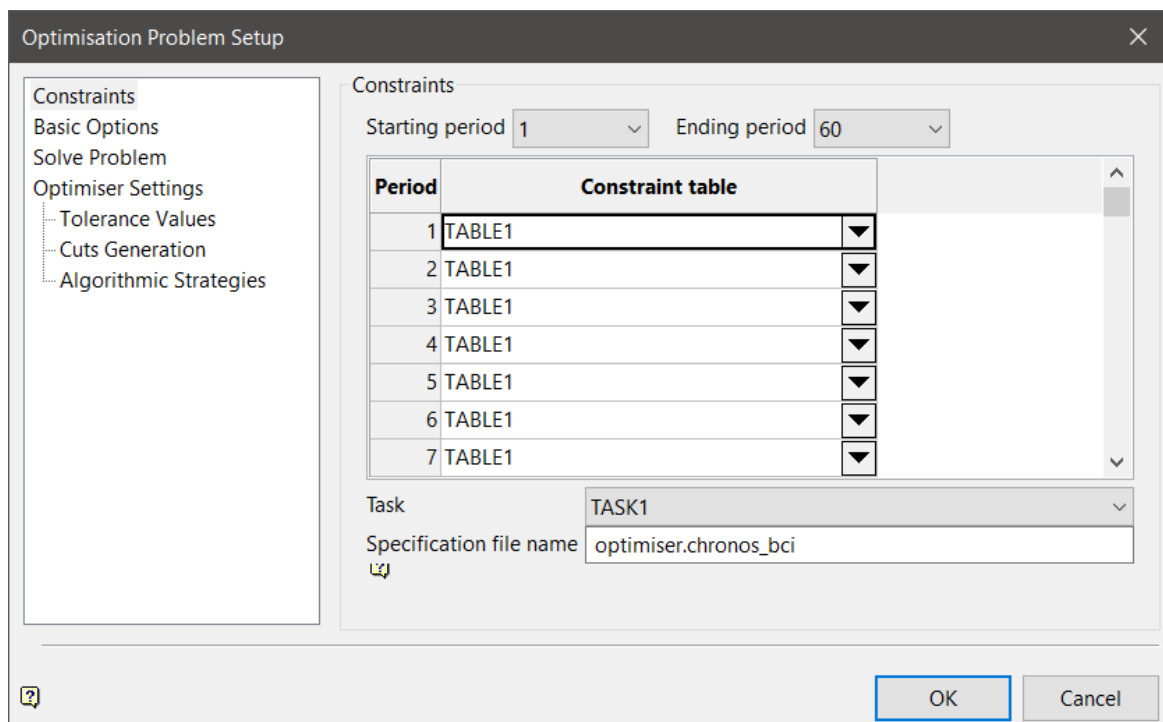


113. Στη σελίδα Targets δίνουμε την τιμή 40000 στο άνω όριο του βάρους του μεταλλεύματος, και τις τιμές 395000 και 400000 ως κάτω και άνω όριο για το συνολικό βάρος του υλικού.

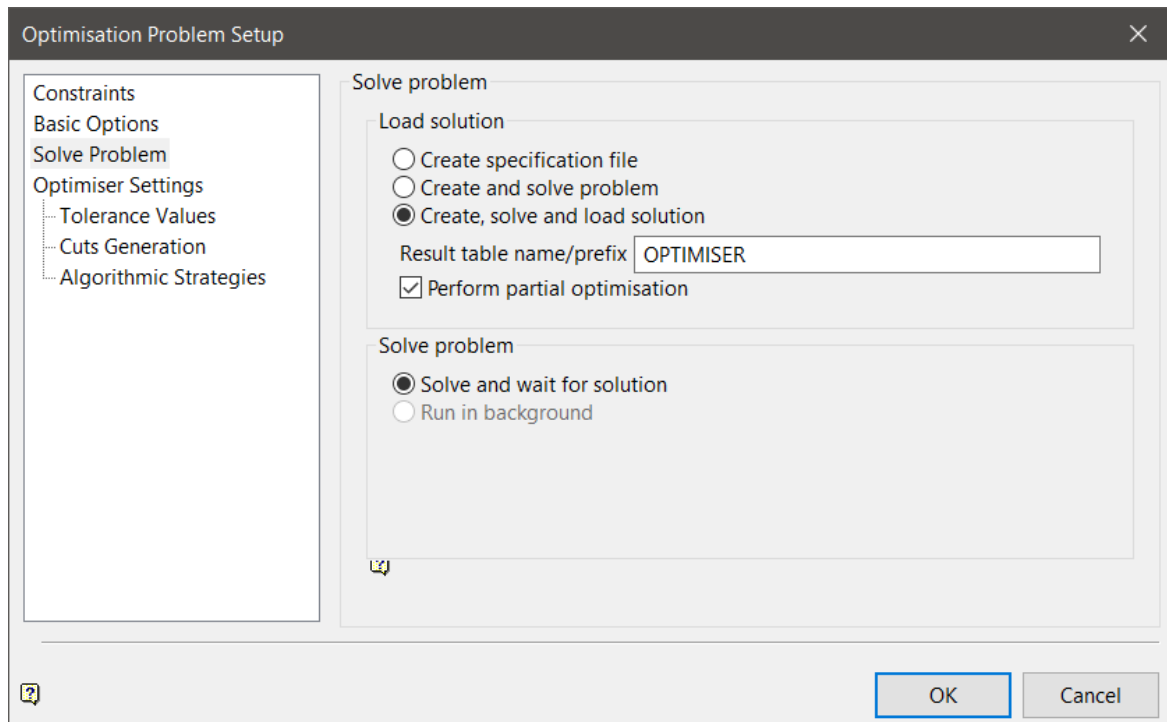
Target	Destination Name	Constraint Type	ORE KR_NI (lower bound)	ORE KR_NI (upper bound)	ORE TOTAL_MASS (lower bound)	ORE TOTAL_MASS (upper bound)	TOTAL_MASS (lower bound)	TOTAL_MASS (upper bound)	TOI
1	MINED	Average							
2		Block Limit							
3	TOTAL	Average				40000	395000	400000	

114. Πατάμε το OK για να κλείσει το παράθυρο.

115. Προχωράμε στη λειτουργία Chronos > Optimisation > Problem Setup όπου θα διαμορφώσουμε το πρόβλημα της βελτιστοποίησης και θα τρέξουμε τον προγραμματισμό.
116. Επιλέγουμε την αρχική και τελική περίοδο.
117. Επιλέγουμε τον πίνακα περιορισμών TABLE1 για όλες τις περιόδους. Θα χρησιμοποιηθούν τα μπλοκ της εργασίας TASK1. Με το παράθυρο αυτό θα δημιουργηθεί ένα αρχείο εισόδου για το σύστημα CPLEX με ονομασία optimiser.chronos_bci.



118. Προχωράμε στη σελίδα Solve Problem.
119. Τσεκάρουμε την επιλογή Create, solve and load solution καθώς και την επιλογή Perform partial optimisation.



Πατώντας το OK ξεκινάει η διαμόρφωση του αρχείου εισόδου και στη συνέχεια τρέχει η βελτιστοποίηση. Μόλις ολοκληρωθεί, μπορούμε να δημιουργήσουμε πίνακες αναφοράς του αποτελέσματος.

Period	Phase 1			Phase 2			Phase 3		
	KR_NI	ORE MASS	WASTE MASS	KR_NI	ORE MASS	WASTE MASS	KR_NI	ORE MASS	WASTE MASS
1	0.00	-	381,632	0.00	-	2,311	0.00	-	11,056
2	0.95	37	382,020				0.00	-	12,943
3	0.90	81	399,919						
4	0.90	676	394,324						
5	0.95	1,576	398,424						
6	0.95	1,261	266,672				0.00	-	127,067
7	0.91	41	399,959						
8	1.00	8,416	391,584						
9	0.92	3,857	396,143						
10	0.99	22,454	377,546						
11	1.01	19,382	380,618						
12	1.03	25,789	374,211						
13	1.02	40,000	309,153				0.00	-	45,847
14	0.99	40,000	203,955				0.00	-	151,045
15	1.03	40,000	87,995				0.00	-	267,005
16	1.03	40,000	85,371				0.00	-	269,629
17	0.99	40,000	116,514				0.00	-	238,486
18	1.02	40,000	88,366				0.00	-	266,634
19	1.05	40,000	45,668	0.00	-	6,893	0.00	-	302,440
20	0.93	40,000	17,707				0.00	-	337,293
21	0.93	40,000	17,707				0.00	-	337,293
22	0.95	34,362	59,388				0.93	5,638	295,612
23	0.92	26,717	16,083				0.95	501	351,699
24							0.98	18	394,982
25							1.01	2,109	392,891
26							0.85	4,078	395,922
27							0.96	7,238	392,762
28				0.00	-	61,981	0.98	40,000	293,019
29				0.00	-	220,505	0.92	40,000	134,495
30				0.00	-	310,395	1.02	40,000	44,605
31				0.00	-	338,823	1.00	40,000	16,177
32				0.00	-	339,975	0.97	40,000	15,025
33				0.00	-	339,975	0.97	40,000	15,025
34				0.00	-	323,536	0.98	40,000	31,464
35				0.00	-	345,643	0.97	29,132	20,225
36				0.82	31	394,969			
37				0.89	24,556	370,444			
38				0.88	11,119	388,881			
39				0.88	40,000	355,000			
40				0.89	24,257	375,743			
41				0.90	14,860	380,140			

42				0.92	37,595	357,405			
43				0.94	40,000	355,249			

9 Σύγκριση Μεθόδων Βελτιστοποίησης

Τα κριτήρια σύγκρισης των δύο μεθόδων και των αντίστοιχων λογισμικών που καλύπτονται σε αυτή την εργασία είναι τα εξής:

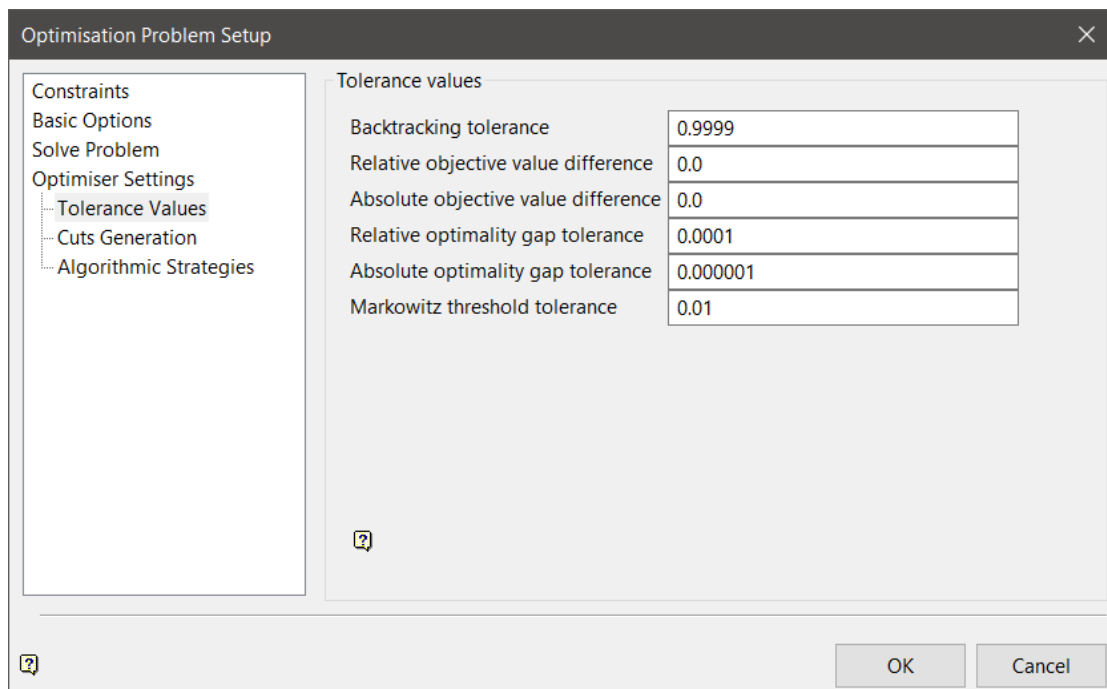
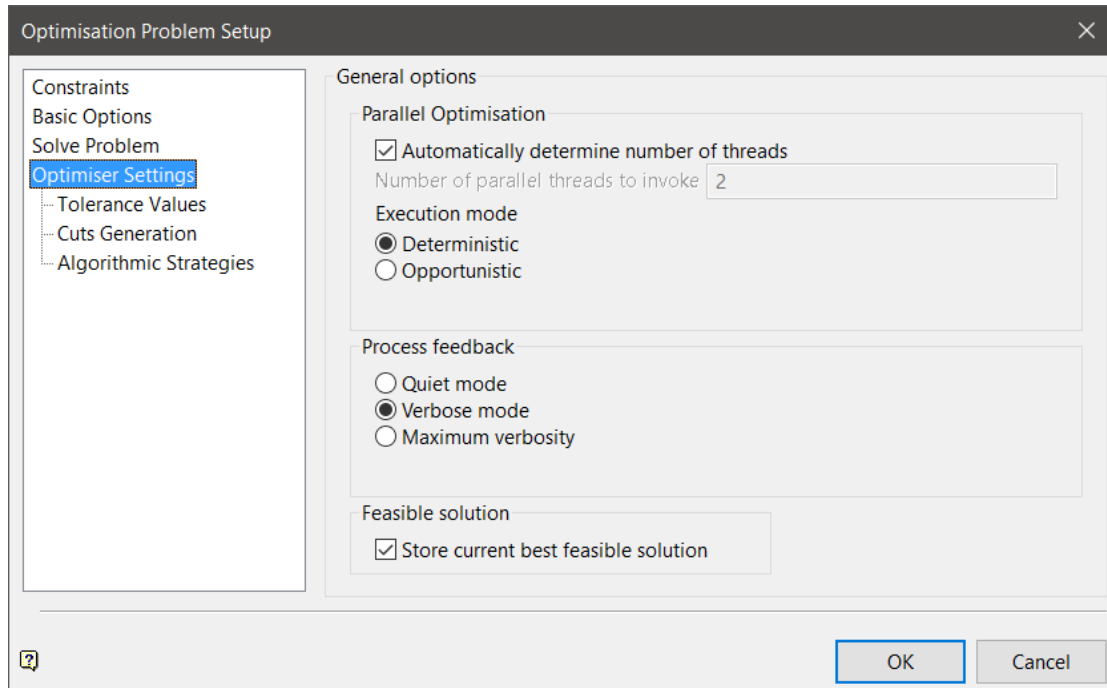
1. Ευκολία και χρόνος που χρειάστηκε στην εισαγωγή των μεταλλευτικών αποθεμάτων και την διαμόρφωση επιπλέον παραμέτρων.
2. Ευκολία και χρόνος που χρειάστηκε στο στήσιμο του προγράμματος.
3. Φιλικότητα προς τον χρήστη.
4. Ταχύτητα εκτέλεσης εντολών.
5. Δυνατότητες ορισμού των μεταλλευτικών περιορισμών στο πρόγραμμα.
6. Δυνατότητες αλλαγής παραμέτρων μετά την πρώτη εκτέλεση της βελτιστοποίησης.
7. Δυνατότητες τροποποίησης του αλγόριθμου βελτιστοποίησης.
8. Ταχύτητα στην εκτέλεση της βελτιστοποίησης.
9. Ευκολία στην εξαγωγή αναφορών του προγράμματος.
10. Δυνατότητες οπτικής προβολής του προγράμματος.
11. Αποτελεσματικότητα της βελτιστοποίησης

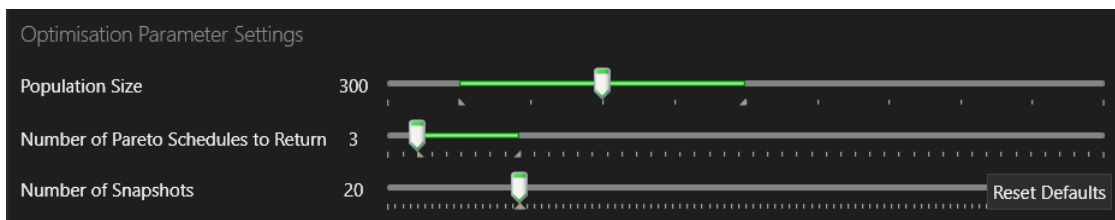
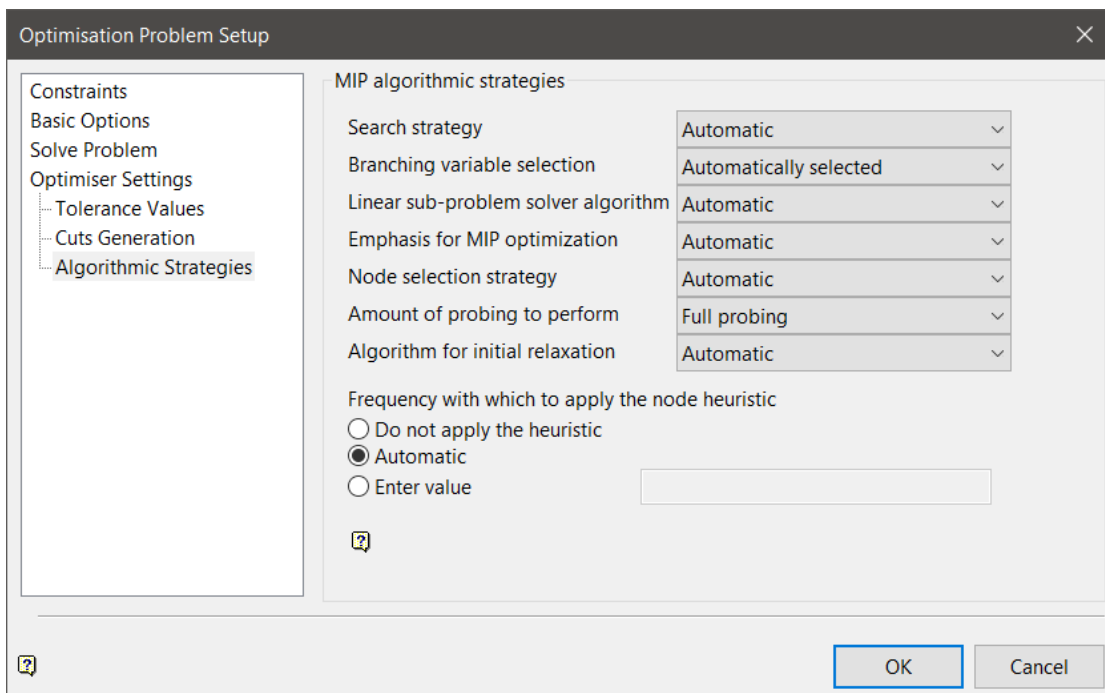
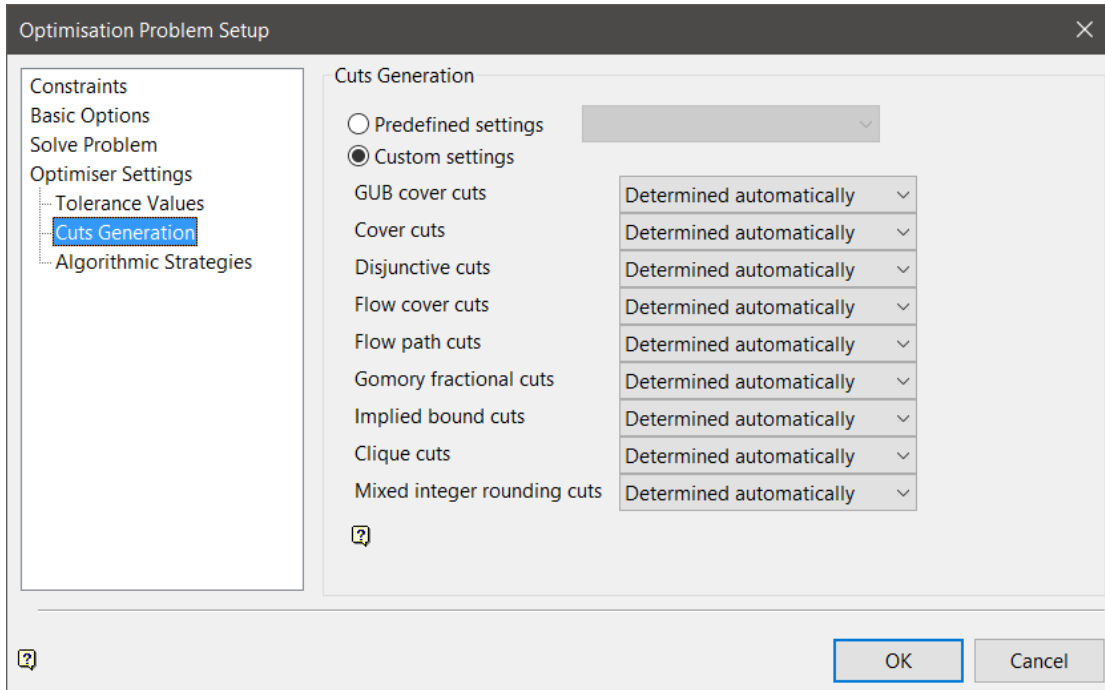
Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει τα αποτελέσματα της σύγκρισης ως προς τα παραπάνω κριτήρια.

Κριτήριο	Maptek Evolution Εξελκτικoί αλγόριθμοι	Maptek Chronos – CPLEX Μεικτός Ακέραιος Προγραμματισμός
1. Εισαγωγή αποθεμάτων	Μεγαλύτερη ευκολία και αμεσότητα καθώς πρόκειται για Block Scheduler	Πιο επίπονη η εισαγωγή καθώς απαιτείται ο υπολογισμός αποθεμάτων στερεών τριγωνισμών και η διαμόρφωση του φύλλου αποθεμάτων στο Excel
2. Στήσιμο προγράμματος	Μεγαλύτερη ευκολία καθώς πρόκειται για πρόγραμμα φτιαγμένο μόνο για υπαίθριες εκμεταλλεύσεις. Πιο σύγχρονο περιβάλλον χρήστη	Πιο δύσκολο στήσιμο καθώς δεν υπάρχει τίποτα δεδομένο – όλα πρέπει να καθοριστούν από τον χρήστη. Το Chronos δεν προορίζεται μόνο για υπαίθριες εκμεταλλεύσεις. Η χρήση του Excel για φύλλο εργασίας απαιτεί την εναλλαγή μεταξύ των δύο λογισμικών κατά το στήσιμο του προγράμματος
3. Φιλικότητα	Πολύ φιλικότερο με λειτουργίες που γίνονται πιο εύκολα κατανοητές αν και απαιτεί κάποιο χρόνο για τον εντοπισμό κάποιων λειτουργιών. Το online βοήθημα δεν είναι τόσο καλό.	Το Chronos έχει ένα αρκετά παλιό περιβάλλον χρήστη. Η χρήση του Excel ως βάση δεδομένων βοηθάει στον τομέα αυτό καθώς πολλές λειτουργίες εκτελούνται από το Excel. Το online βοήθημα είναι καλύτερο του Evolution.
4. Ταχύτητα περιβάλλοντος	Η ταχύτητα του Evolution είναι πολύ καλή και βοηθάει τον χρήστη να είναι παραγωγικός.	Το Chronos υστερεί στο θέμα ταχύτητας καθώς βασίζεται στη συνεργασία και επικοινωνία πολλών υποσυστημάτων με το Vulcan και το Excel.
5. Μεταλλευτικοί περιορισμοί	Το Evolution διαθέτει έτοιμα εργαλεία για τον προσδιορισμό των μεταλλευτικών παραμέτρων που περιορίζουν το πρόγραμμα	Το Chronos διαθέτει ειδικά εργαλεία για τον προσδιορισμό των μεταλλευτικών παραμέτρων αλλά απαιτούν αρκετή προεργασία.
6. Δυνατότητες μεταβολής	Οι όποιες μεταβολές απαιτούν επανεκτέλεση της βελτιστοποίησης. Το κάθε αποτέλεσμα όμως αποθηκεύεται ξεχωριστά γεγονός που επιτρέπει την εκτέλεση οποιουδήποτε αριθμού σεναρίων χωρίς	Οι μεταβολές απαιτούν αναίρεση του προηγούμενου προγράμματος, ή την αποθήκευση αντιγράφων του αρχείου του Chronos πριν την εκτέλεση του προγραμματισμού.

	την ανάγκη για αναίρεση του προηγούμενου.	
7. Τροποποίησης αλγόριθμου	Δεν υπάρχουν σαφείς οδηγίες ή κατευθύνσεις για την τροποποίηση των παραμέτρων των εξελικτικών αλγορίθμων, παρόλο που δίνεται η δυνατότητα μέσα από σχετικό παράθυρο (δείτε σχετικές εικόνες αμέσως μετά τον πίνακα).	Η τροποποίηση του αλγόριθμου απαιτεί ειδικές γνώσεις μαθηματικών και επιχειρησιακή έρευνας.
8. Ταχύτητα αλγόριθμου	Το πλεονέκτημα της χρήσης απομακρυσμένης υπηρεσίας cloud και υπολογιστικού συστήματος HPC για την εκτέλεση της βελτιστοποίησης είναι ιδιαίτερα σημαντικό. Η ταχύτητα εκτέλεσης είναι πολύ μεγάλη.	Η ταχύτητα εκτέλεσης της βελτιστοποίησης εξαρτάται από τις υπολογιστικές δυνατότητες του συστήματος στο οποίο τρέχει το πρόγραμμα.
9. Εξαγωγή αναφορών	Η λειτουργία εξαγωγής αναφορών είναι σχετικά επίπονη αν και δίνει αρκετές δυνατότητες.	Το Chronos έχει καλύτερες λειτουργίες δημιουργίας αναφορών. Οι αναφορές δημιουργούνται άμεσα στο Excel δίνοντας επιπλέον πλεονεκτήματα έναντι του Evolution
10. Οπτική προβολή	Διαθέτει δικό του γραφικό περιβάλλον όπου μπορεί να γίνει η προβολή του προγράμματος στατικά και σε μορφή animation	Επικοινωνεί άμεσα με το Vulcan και επιτρέπει την προβολή του προγράμματος στατικά και σε μορφή animation σε συνδυασμό με άλλα μοντέλα και δεδομένα. Υπερτερεί στον τομέα αυτό έναντι του Evolution. Επίσης το γεγονός ότι ο προγραμματισμός βασίζεται σε στερεά μοντέλα της πραγματικής εκσκαφής δίνει περισσότερο ρεαλισμό στην προβολή του προγράμματος.
11. Αποτελεσματικότητα	Συγκρίνοντας τους πίνακες με τις σχετικές αναφορές του προγράμματος από τις δύο περιπτώσεις διαπιστώνει μια εντελώς διαφορετική λογική στην ικανοποίηση των ίδιων στόχων. Είναι σίγουρο ότι και οι δύο μέθοδοι μπορούν να αποδώσουν βέλτιστα αποτελέσματα.	

Ακολουθούν τα παράθυρα διαμόρφωσης του αλγόριθμου μεικτού ακέραιου προγραμματισμού στο Marstek Chronos καθώς και το παράθυρο διαμόρφωσης των εξελικτικών αλγορίθμων στο Marstek Evolution.





10 Βιβλιογραφία

n.d.

«Agile scheduling.» *Maptek Evolution*. 2015.

http://www.maptek.com/pdf/evolution/Maptek_Evolution_Overview.pdf
(πρόσβαση January 2017).

«Applying Modern Heuristics to Maximising NPV through Cut-off Grade Optimisation .»

Maptek Evolution. November 2014.

http://www.maptek.com/pdf/insight/AUSIMM_Applying_Modern_Heuristics.pdf
(πρόσβαση January 2017).

«Calculate haulage while scheduling.» *Maptek*. 2015.

http://www.maptek.com/pdf/evolution/Maptek_Evolution_Integrated_Haulage_casestudy.pdf (πρόσβαση January 2017).

«Chronos Scheduler.» *Maptek*. 2009.

http://www.maptek.com/pdf/vulcan/case_studies/vulcan_chronos_scheduler_casestudy.pdf (πρόσβαση January 2017).

Craig, S. «Reducing costs with real waste.» *www.maptek.com*. February 2014.

http://www.maptek.com/pdf/evolution/Maptek_Evolution_SME_paper_2014.pdf

«Integrated Haulage Strategy Cuts Costs.» *Maptek Evolution*. n.d. (πρόσβαση March 2017).

Ivanovica, M. *A Mixed Integer Linear Programming Formulation for Restrained Roman Domination Problem*. Belgrade: University of Belgrade, 2015.

«Maptek Evolution.» *Maptek*. 2017. <http://www.maptek.com/products/evolution/>
(πρόσβαση January 2017).

P. Ross, D. Corne. *Application of genetic algorithms*. Edinburgh: University of Edinburgh, n.d.

R.Vahid, O. Asghari. «A heuristic traditional MIP solving approach for long term production scheduling in open pit mine.» *Journal of Applied Sciences* 8(24), 2008: 4512-4522.

«Reserving the Maptek way.» *Maptek*. 2015.

http://www.maptek.com/pdf/evolution/Maptek_Evolution_Reserving_the_Maptek_way.pdf (πρόσβαση January 2017).

Sharma, P. Das. *Mining and Blasting*. 30 August 2011.

<https://miningandblasting.wordpress.com/2011/08/30/mine-planning-and-scheduling-smart-practices/>.

Sung-Hyuk, Cha, και Charles C Tappert. «A Genetic Algorithm for Constructing Compact Binary Decision Trees.» *Journal of Pattern Recognition Research* 4 , 2009: 1-13.

- «Vale schedules the Itabira operation with Maptek Chronos.» *Maptek*. March 2009.
http://www.maptek.com/pdf/vulcan/case_studies/vulcan_itabira_casestudy.pdf
(πρόσβαση January 2017).
- «Vulcan Scheduler.» *Maptek*. 2016.
http://www.maptek.com/pdf/vulcan/bundles/Maptek_Vulcan_Scheduler_Bundle.pdf
(πρόσβαση January 2017).
- «Vulcan Scheduler Bundle.» *Maptek*. 2016.
http://www.maptek.com/products/vulcan/scheduler_bundle.html (πρόσβαση
January 2017).
- «Vulcan Scheduling Modules.» *Maptek*. 2016.
http://www.maptek.com/pdf/vulcan/bundles/Maptek_Vulcan_Module_Overview_Scheduling.pdf (πρόσβαση January 2017).
- Γεωργόπουλος, Ευστράτιος, και Σπυρίδων Λυκοθανάσης. *Εισαγωγή στους Γενετικούς Αλγόριθμους*. Πάτρα: Πανεπιστήμιο Πατρών Πολυτεχνική Σχολή, 1999.
- Γεωργούλη, Κ. *Τεχνητή Νοημοσύνη*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2015.
- «Εισαγωγή Στην Εμπειρσιακή Έρευνα .» Στο *Ακέραιος Προγραμματισμός*, 2-15. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2006.
- Καπαγερίδης, Ιωάννης Κ. *Optimized Open Pit Mine Planning and Scheduling*. United Kingdom: Maptek, n.d.
- Καπαγερίδης, Ιωάννης Κ. *ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΜΑΡΤΕΚ VULCAN 10*. Κοζάνη, 2016 .
- Λυκοθανάσης, Σ. *Γενετικοί Αλγόριθμοι και Εφαρμογές*. Πάτρα: Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, 2001.
- Μενεγάκη, Μ. *Σχεδιασμός υπαιθρίων εκμεταλλεύσεων*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2010.