



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

Διπλωματική Εργασία

**«ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΣΥ-
ΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ARENA»**

Ευθυμίου Βασίλειος

Εξεταστική Επιτροπή

1. Καθηγητής Γαλετάκης Μιχαήλ (Επιβλέπων)
2. Επίκουρος Καθηγητής Ξηρουδάκης Γεώργιος
3. Λιόλιος Παντελής ΕΔΙΠ, Μηχανικός Ορυκτών Πόρων

Χανιά 2023

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

Ευχαριστίες και αφιερώσεις

Επιθυμώ να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές της σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες αξίζουν στον επιβλέποντα Καθηγητή μου κύριο Μιχαήλ Γαλετάκη, για την πολύτιμη καθοδήγηση του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας.

Τέλος, η παρούσα εργασία είναι αφιερωμένη στους γονείς μου Χρήστο και Κατερίνα, για την ηθική και ψυχολογική στήριξη, καθ' όλη τη διάρκεια αυτής μου της προσπάθειας.

Περίληψη

Σκοπός της εργασίας είναι να γίνει η προσομοίωση μεταλλευτικών συστημάτων υπαίθριων εκμεταλλεύσεων με χρήση του λογισμικού ARENA της Rockwell Automation, και η εξέταση των αποτελεσμάτων τους, για την εύρεση της πιο αποδοτικής διάταξης του χωματουργικού εξοπλισμού. Η εφαρμογή αυτή προσαρμόζεται και σε μία μελέτη περίπτωσης, η οποία αφορά στο υπαίθριο μεταλλείο του Αγίου Ιωάννη στη Βοιωτία.

Παρουσιάζονται διαφορετικά σενάρια για ένα τυπικό παράδειγμα υπαίθριας εκμετάλλευσης, όπου προσπαθούμε να καθορίσουμε την πιο αποδοτική διάταξη του χωματουργικού εξοπλισμού, τόσο για την αρχική μορφή του μεταλλείου, όσο και για τη μελλοντική του, η οποία έχει προκύψει μετά από προχώρηση της εκμετάλλευσης. Οι διαφοροποιήσεις των μεταβλητών ανάμεσα στα σενάρια αυτά, αφορούν στους κύκλους φόρτωσης του φορτωτή, στις διαδρομές των χωματουργικών αυτοκινήτων σε συστήματα μεταφοράς κατ' αποκλειστικότητα (no dispatching) και μεικτής μεταφοράς (dispatched) και στις μεταβολές των χρόνων των διαδικασιών, είτε αυτοί είναι σταθεροί είτε μεταβάλλονται με βάση την κανονική κατανομή.

Στην συνέχεια γίνεται εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης για τον Βόρειο Τομέα του μεταλλείου του Αγίου Ιωάννη. Τα υπάρχοντα πραγματικά δεδομένα χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των παραμέτρων θέσης και διασποράς των στοχαστικών μεταβλητών του μοντέλου προσομοίωσης. Για την καλύτερη εκτίμηση των παραμέτρων θέσης και διασποράς γίνεται χρήση της τεχνικής bootstrapping (δειγματοληψία με επανατοποθέτηση) στις περιπτώσεις που τα υπάρχοντα δεδομένα είναι μικρού πλήθους.

Όπως προέκυψε από την προσομοίωση, τα σενάρια με μεικτή φόρτωση (dispatching) σταθερού χρόνου φάνηκε να δίνουν την καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση, τόσο στην αξιοποίηση του φορτωτή αλλά και σε χρόνους αναμονής. Στις περιπτώσεις μεταβλητών χρόνων παρατηρήθηκαν μεγαλύτερες καθυστερήσεις στο σύστημα εκσκαφής-μεταφοράς, ενώ με την αύξηση των αποστάσεων απαιτείται μεγαλύτερος αριθμός χωματουργικών αυτοκινήτων για την επίτευξη της μέγιστης απόδοσης του συστήματος.

Λέξεις κλειδιά: Μεταλλευτική Βιομηχανία, Λογισμικό Arena, Προσομοίωση μεταλλευτικών συστημάτων, Μέθοδος Διακριτών Συμβάντων, Μεταλλείο Αγίου Ιωάννη

Abstract

The purpose of this thesis is to simulate surface mining systems using Rockwell Automation's ARENA software for the optimal selection of the required equipment (loaders and haulage trucks). The developed simulation model was applied in the surface mine of Agios Ioannis (belonging to Larco SA) located in the area of Boeotia.

Different scenarios were presented regarding a typical surface mine, where we try to determine the most efficient layout of the mining equipment, both for the initial excavation stage of the mine, and for its future expansion. The differences in the model variables between these scenarios concern the loading cycles of the loader, the routes of the haulage trucks in non-dispatching transport systems and dispatched systems. Also, the changes concerning the duration of the related mining procedures and its variability (fixed or following a normal distribution) were considered.

Afterwards, the simulation model was applied for the Northern Sector of the Agios Ioannis mine. The existing measurements of loading and haulage cycles were used to estimate their mean value and the variance. Bootstrapping was used to increase the accuracy of these estimations in the cases where small number of measurements were available.

As emerged from the simulation, the scenarios with fixed-time and dispatched transportation appeared to give the best possible equipment exploitation, both in terms of loader utilization and waiting times. In the cases of variable times, longer delays were observed in the excavation-transportation system, while the increase in distances requires a greater number of haulage trucks to achieve the maximum efficiency of the loading system.

Keywords: Mining Industry, Arena Software, Mining Systems Simulation, Discrete Event Simulation, Agios Ioannis Mine

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1	1
1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Σύντομη εισαγωγή στο θεωρητικό υπόβαθρο	1
1.3 Αξία θέματος και συνεισφορά εργασίας.....	3
1.4 Σκοπός εργασίας και ερευνητικά ερωτήματα	3
1.5 Μεθοδολογία Έρευνας	4
1.6 Δομή εργασίας.....	5
Κεφάλαιο 2	6
2.1 Η μεταλλευτική βιομηχανία παγκοσμίως σε αριθμούς	6
2.2 Ορυκτοί πόροι – κοίτασμα.....	9
2.3 Η μεταλλευτική βιομηχανία στην Ελλάδα.....	10
2.4 Μέθοδοι εκμετάλλευσης και εξόρυξης	14
2.4.1 Υπαίθριες εκμεταλλεύσεις.....	15
2.5 Απόδοση ενός συστήματος εκσκαφής	16
Κεφάλαιο 3	20
3.1 Προσομοίωση: Ορισμός και Ιστορία	20
3.2 Αξία των προσομοιώσεων	21
3.3 Οφέλη και προβλήματα των προσομοιώσεων.....	22
3.4 Η διαφορά των προσομοιώσεων και των ψηφιακών διδύμων	23
3.5 Είδη Μοντέλων	24
3.6 Μέθοδοι Προσομοίωσης	24
3.6.1 Προσομοίωση Δυναμικών Συστημάτων.....	26
3.6.2 Προσομοίωση με την χρήση Πρακτόρων	27
3.6.3 Προσομοίωση Διακριτών Συμβάντων	28
3.7 Λογισμικά Προσομοίωσης.....	29
3.8 Προσομοίωση και μεταλλευτική βιομηχανία.....	31
Κεφάλαιο 4	35
4.1 Μεθοδολογία έρευνας αναλυτικά - Τεκμηρίωση μεθοδολογικών επιλογών.....	35
4.2 Παρουσίαση μεταλλείου μελέτης περίπτωσης.....	36
4.3 Παρουσίαση εργαλείου έρευνας (Arena).....	37
4.4 Συστήματα μεταφοράς μιας υπαίθριας εκμετάλλευσης	38
4.4.1 Σύστημα μεταφοράς κατά αποκλειστικότητα (non- dispatching).....	38

4.4.2 Σύστημα μεταφοράς με dispatching.....	39
4.5 Προσομοιώσεις στις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις και παράμετροι	39
Κεφάλαιο 5	42
5.1 Μοντελοποίηση υπαίθριας εκμετάλλευσης στο λογισμικό Arena	42
5.2 Παράμετροι των σεναρίων και παραδοχές	47
5.3 Επίλυση για την αρχική μορφή.....	49
5.3.1 Σενάριο μεταφοράς χωρίς dispatching με σταθερούς χρόνους και με 5 κύκλους φόρτωσης. 50	
5.3.2 Σενάριο μεταφοράς χωρίς dispatching με σταθερούς χρόνους και με 6 κύκλους φόρτωσης. 56	
5.3.3 Σενάριο μεταφοράς χωρίς dispatching με μεταβλητούς χρόνους με κανονική κατανομή και με 5 κύκλους φόρτωσης	58
5.3.4 Σενάριο μεταφοράς χωρίς dispatching με μεταβλητούς χρόνους με κανονική κατανομή και με 6 κύκλους φόρτωσης	59
5.3.5 Σενάριο μεταφοράς dispatched με σταθερούς χρόνους και με 5 κύκλους φόρτωσης	60
5.3.6 Σενάριο μεταφοράς dispatched με σταθερούς χρόνους και με 6 κύκλους φόρτωσης	61
5.3.7 Σενάριο μεταφοράς dispatched με μεταβλητούς χρόνους με κανονική κατανομή και με 5 κύκλους φόρτωσης	62
5.3.8 Σενάριο μεταφοράς dispatched με μεταβλητούς χρόνους με κανονική κατανομή και με 6 κύκλους φόρτωσης	63
5.4 Προσομοίωση για την περίπτωση επέκτασης του ορυχείου και αύξησης της απόστασης μεταφοράς	64
5.4.1 Σενάριο μεταφοράς χωρίς dispatching με σταθερούς χρόνους και με 5 κύκλους φόρτωσης . 67	
5.4.2 Σενάριο μεταφοράς χωρίς dispatching με σταθερούς χρόνους και με 6 κύκλους φόρτωσης . 68	
5.4.3 Σενάριο μεταφοράς χωρίς dispatching με μεταβλητούς χρόνους με κανονική κατανομή και με 5 κύκλους φόρτωσης	69
5.4.4 Σενάριο μεταφοράς χωρίς dispatching με μεταβλητούς χρόνους με κανονική κατανομή και με 6 κύκλους φόρτωσης	70
5.4.5 Σενάριο μεταφοράς dispatched με σταθερούς χρόνους και με 5 κύκλους φόρτωσης	71
5.4.6 Σενάριο μεταφοράς dispatched με σταθερούς χρόνους και με 6 κύκλους φόρτωσης	72
5.4.7 Σενάριο μεταφοράς dispatched με μεταβλητούς χρόνους με κανονική κατανομή και με 5 κύκλους φόρτωσης	73
5.4.8 Σενάριο μεταφοράς dispatched με μεταβλητούς χρόνους με κανονική κατανομή και με 6 κύκλους φόρτωσης	74
Κεφάλαιο 6	76
6.1 Περιγραφή του προβλήματος	76
6.2 Ανάπτυξη μοντέλου Αγίου Ιωάννη στο Arena	77

6.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το μεταλλείο του Αγίου Ιωάννη	81
Κεφάλαιο 7- Συμπεράσματα - Προτάσεις	114
7.1 Συμπεράσματα.....	114
7.2 Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα	116
Βιβλιογραφία	117
Επιστημονικά άρθρα και βιβλία	117
Πηγές από το Διαδίκτυο	123
Παράρτημα 1 - Αναλυτικά αποτελέσματα Arena.....	125
Αρχική Μορφή	125
Σενάριο μεταφοράς χωρίς dispatching με σταθερούς χρόνους και με 6 κύκλους φόρτωσης.....	125
Σενάριο μεταφοράς χωρίς dispatching με μεταβλητούς χρόνους με κανονική κατανομή και με 5 κύκλους φόρτωσης	128
Σενάριο μεταφοράς χωρίς dispatching με μεταβλητούς χρόνους με κανονική κατανομή και με 6 κύκλους φόρτωσης	131
Σενάριο μεταφοράς dispatched με σταθερούς χρόνους και με 5 κύκλους φόρτωσης	134
Σενάριο μεταφοράς dispatched με σταθερούς χρόνους και με 6 κύκλους φόρτωσης	137
Σενάριο μεταφοράς dispatched με μεταβλητούς χρόνους με κανονική κατανομή και με 5 κύκλους φόρτωσης.....	140
Σενάριο μεταφοράς dispatched με μεταβλητούς χρόνους με κανονική κατανομή και με 6 κύκλους φόρτωσης.....	144
Αποτελέσματα Arena για την περίπτωση επέκτασης του ορυχείου και αύξησης της απόστασης μεταφοράς	148
Σενάριο μεταφοράς χωρίς dispatching με σταθερούς χρόνους και με 5 κύκλους φόρτωσης	148
Σενάριο μεταφοράς χωρίς dispatching με σταθερούς χρόνους και με 6 κύκλους φόρτωσης	151
Σενάριο μεταφοράς χωρίς dispatching με μεταβλητούς χρόνους με κανονική κατανομή και με 5 κύκλους φόρτωσης	154
Σενάριο μεταφοράς χωρίς dispatching με μεταβλητούς χρόνους με κανονική κατανομή και με 6 κύκλους φόρτωσης	158
Σενάριο μεταφοράς dispatched με σταθερούς χρόνους και με 5 κύκλους φόρτωσης	162
Σενάριο μεταφοράς dispatched με σταθερούς χρόνους και με 6 κύκλους φόρτωσης	165
Σενάριο μεταφοράς dispatched με μεταβλητούς χρόνους με κανονική κατανομή και με 5 κύκλους φόρτωσης.....	168
Σενάριο μεταφοράς dispatched με μεταβλητούς χρόνους με κανονική κατανομή και με 6 κύκλους φόρτωσης.....	172
Παράρτημα 2 – Χρόνοι διαδικασιών μεταλλείου Αγίου Ιωάννη	176

Κεφάλαιο 1

1.1 Εισαγωγή

Η παρούσα εργασία έχει τίτλο «Στοχαστική Προσομοίωση Μεταλλευτικών Συστημάτων με χρήση του Λογισμικού ARENA». Σκοπός της εργασίας είναι η εφαρμογή μοντέλων προσομοίωσης υπαίθριων εκμεταλλεύσεων με στόχο να βρεθεί η πιο αποδοτική διάταξη του χωματουργικού εξοπλισμού. Η εφαρμογή αυτή λαμβάνει χώρα τόσο σε τυπικά παραδείγματα υπαίθριων εκμεταλλεύσεων, όσο και σε ένα πραγματικό μεταλλείο, ως μελέτη περίπτωσης, το μεταλλείο του Αγίου Ιωάννη στη Βοιωτία. Διερευνάται δηλαδή, αν με τη διαδικασία της προσομοίωσης μπορεί να σχεδιαστεί και να επιτευχθεί ο συνδυασμός της καλύτερης χρήσης πόρων (ανθρώπων, μηχανημάτων κ.α.) με το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα εξόρυξης.

1.2 Σύντομη εισαγωγή στο θεωρητικό υπόβαθρο

Οι εξορυκτικές δραστηριότητες είναι πολύπλοκες, μακροχρόνιες και απαιτούν μεγάλες επενδύσεις. Οι μεταλλευτικές εταιρείες επιδιώκουν να χρησιμοποιούν το πιο αποδοτικό σύστημα εκμετάλλευσης, να συντηρούν τον εξορυκτικό τους εξοπλισμό διασφαλίζοντας με αυτό τον τρόπο τη σωστή λειτουργία του, να ελαχιστοποιούν την κατανάλωση νερού και ενέργειας κατά την εξορυκτική διαδικασία, και κυρίως να εξασφαλίζουν πάντα την ασφάλεια του προσωπικού τους.

Σύμφωνα με τα παραπάνω οι μεταλλευτικές εταιρείες δεν επιθυμούν να λαμβάνουν σημαντικές αποφάσεις, υπό καθεστώς αβεβαιότητας. Για αυτό χρησιμοποιούν προσομοιώσεις τα αποτελέσματα των οποίων, αφορούν τον σχεδιασμό της εκμετάλλευσης, τη διαθεσιμότητα του εξοπλισμού και την εκτιμώμενη παραγωγή (*Modis, & Stamataki, 2015*).

Η εκτιμώμενη απόδοση προκύπτει από θεωρητικά ή εμπειρικά μοντέλα βασισμένα σε μαθηματικές σχέσεις (αιτιοκρατικά αναλυτικά μοντέλα), οι οποίες χρησιμοποιούν ως παραμέτρους, την απόδοση των εκσκαφών και των φορτηγών που χρησιμοποιούνται στην παραγωγική διαδικασία. Τα αποτελέσματα των συγκεκριμένων μοντέλων παρουσιάζουν συχνά μεγάλες αποκλίσεις από την παραγωγή που τελικά επιτυγχάνεται, επειδή τα χρησιμοποιούμενα αναλυτικά αιτιοκρατικά μοντέλα δεν είναι ικανά να ενσωματώσουν την τυχαιότητα που διέπει τη λειτουργία των συστημάτων εκσκαφής και μεταφοράς.

Οι αποκλίσεις αυτές, μεταξύ της εκτιμώμενης παραγωγής και της πραγματικής, προκύπτουν λόγω της μεταβλητότητας των παραμέτρων που εισάγονται στο σύστημα εκσκαφής. Για την αποφυγή των συγκεκριμένων αποκλίσεων χρησιμοποιείται η στοχαστική προσομοίωση διακριτών γεγονότων, η οποία επιτρέπει τη δημιουργία μοντέλων δυναμικών συστημάτων, που παρουσιάζουν μεγάλη αβεβαιότητα και δίνει την ευελιξία στον μηχανικό να εξετάσει το υπό μελέτη σύστημα σε διάφορα επίπεδα πολυπλοκότητας και λεπτομέρειας.

Η προσομοίωση είναι μία μίμηση της λειτουργίας μιας πραγματικής διαδικασίας ή συστήματος με την πάροδο του χρόνου, περιλαμβάνει τη δημιουργία ενός τεχνητού ιστορικού του συστήματος και την παρατήρηση αυτού του τεχνητού ιστορικού, για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του πραγματικού συστήματος που αναπαρίσταται (Γεωργίου κ.α., 2015). Η προσομοίωση είναι μία απαραίτητη μεθοδολογία επίλυσης προβλημάτων που χρησιμοποιείται για να περιγράψει και να αναλύσει τη συμπεριφορά ενός συστήματος, να κάνει ερωτήσεις σχετικά με το πραγματικό σύστημα και να βοηθήσει στο σχεδιασμό πραγματικών συστημάτων. Τόσο τα υπάρχοντα όσο και τα εννοιολογικά συστήματα μπορούν να μοντελοποιηθούν με τη χρήση της προσομοίωσης.

Η μελέτη των συστημάτων περιλαμβάνει την ανάλυση τους όταν αναφέρεται σε υπάρχοντα συστήματα και την σύνθεση τους όταν αναφέρεται σε συστήματα που βρίσκονται ακόμη στο στάδιο του σχεδιασμού. Η σύνθεση αποτελεί τον καθορισμό των στοιχείων εισόδου και η ανάλυση τον καθορισμό των στοιχείων εξόδου του συστήματος, σύμφωνα με τα οποία διαπιστώνεται η λειτουργία αυτού και καθορίζεται η αξιοπιστία του, η ευαισθησία του και η απόδοσή του.

Μοντέλο είναι η αναπαράσταση του συνόλου των πληροφοριών ενός συστήματος που έχουν συγκεντρωθεί με σκοπό την μελέτη αυτού (Byrne & Byrne, 2010).

Οι μεταβλητές κατάστασης του συστήματος είναι το σύνολο όλων των πληροφοριών που χρειάζονται για να οριστεί σε ένα επαρκές επίπεδο το τι συμβαίνει στο σύστημα, δηλαδή να επιτευχθεί η επιθυμητή έξοδος, τη δεδομένη χρονική στιγμή. Ο προσδιορισμός των μεταβλητών κατάστασης του συστήματος γίνεται συναρτήσει του σκοπού της έρευνας, γεγονός που σημαίνει ότι οι μεταβλητές αυτές μπορεί να διαφέρουν από περίπτωση σε περίπτωση, παρόλο που το φυσικό σύστημα παραμένει το ίδιο.

1.3 Αξία θέματος και συνεισφορά εργασίας

Η χρήση των λογισμικών προσομοίωσης στη μεταλλευτική βιομηχανία είναι μία σχετικά νέα ιδέα η οποία άρχισε να εφαρμόζεται ευρέως στις αρχές του εικοστού πρώτου αιώνα (*Sturgul, 2001*).

Γενικά η χρήση των λογισμικών προσομοίωσης σε διάφορους κλάδους είναι αρκετά καλά συζητούμενη και έχει δώσει χειροπιαστά αποτελέσματα με αναγνωρισμένα ευρέως οφέλη από τη χρήση των μεθοδολογιών αυτών. Δεν έχει γίνει όμως η ανάλογη εμβάθυνση στη μεταλλευτική βιομηχανία στον ελλαδικό χώρο.

Δεν είναι βέβαια λίγες οι μελέτες για την προσομοίωση μεταλλείων και μεταλλευτικών διαδικασιών σε συνεχή συστήματα (*Michalakopoulos et al., 2015*), αλλά δεν υπάρχει πλούσια βιβλιογραφία για χρήση των μοντέλων διακριτών συμβάντων, και αυτό αποτέλεσε ένα ερέθισμα για την διενέργεια της παρούσας μελέτης.

Τέλος δεν υπάρχει σχετική μελέτη και προσπάθεια προσομοίωσης στο μεταλλείο το οποίο έχει επιλεγεί, ώστε πολύ στοχευμένα να διερευνηθεί και να εξαχθούν μετρήσιμα αποτελέσματα και να προταθούν βελτιώσεις στον σχεδιασμό του μεταλλείου.

1.4 Σκοπός εργασίας και ερευνητικά ερωτήματα

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, σκοπός της εργασίας είναι να παρουσιαστεί μία μελέτη εφαρμογής του επιλεγμένου λογισμικού, σε ένα μεταλλείο και να διερευνηθεί εάν μέσα από μια σειρά σεναρίων με διαδικασίες προσομοίωσης με την μεθοδολογία που προτείνεται στην παρούσα εργασία, μπορούν να βελτιστοποιήσουν οι δραστηριότητες του μεταλλείου και κατ' επέκταση να γίνει πιο αποτελεσματικό και πιο παραγωγικό. Το μεταλλείο το οποίο έχει επιλεγεί για την συγκεκριμένη μελέτη και από το οποίο έχουν αντληθεί πραγματικά δεδομένα, είναι το υπαίθριο μεταλλείο του Αγίου Ιωάννη και πιο συγκεκριμένα ο Βόρειος Τομέας του (BT).

Ουσιαστικά μέσω των διαφόρων σεναρίων, ο ερευνητής φιλοδοξεί να αναδείξει το σενάριο το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα τη βελτίωση της απόδοσης σε ένα υπαίθριο μεταλλείο, σαν αυτό του Αγίου Ιωάννη (BT).

Τα ερευνητικά ερωτήματα της παρούσης εργασίας θα μπορούσαν να διατυπωθούν ως εξής:

- Με ποιο σενάριο στοχαστικού μοντέλου προσομοίωσης προκύπτει βελτίωση της αποτελεσματικότητας σε ένα υπαίθριο μεταλλείο;
- Υπάρχει διαφορά της αποδοτικότητας μεταξύ των μοντέλων προσομοίωσης σταθερού και μεταβλητού χρόνου;

1.5 Μεθοδολογία Έρευνας

Για την παρούσα διπλωματική έχει επιλεγεί η χρήση της μελέτης εξόρυξης σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος στην Βοιωτία. Η μελέτη περίπτωσης σύμφωνα με τους ερευνητές ανήκει ως μεθοδολογία στην ποιοτική έρευνα (*Hollweck, 2016*).

Στη συνέχεια, και εξειδικεύοντας περαιτέρω την έρευνα, θα πραγματοποιηθούν προσομοιώσεις οι οποίες αφορούν σε ένα τυπικό υπαίθριο μεταλλείο. Οι προσομοιώσεις, σύμφωνα με τους ερευνητές, είναι πειραματικές διαδικασίες και ανήκουν επίσης ως μεθοδολογία στην ποιοτική έρευνα (*Fishwick, 1991*).

Υπάρχουν βέβαια και οι προσεγγίσεις που υποστηρίζουν ότι ειδικότερα για τις προσομοιώσεις που έχουν ένα πειραματικό χαρακτήρα όταν διαχειρίζονται αρκετά μεγάλο όγκο ποσοτικών δεδομένων καταλήγουν να δημιουργούν μία δικιά τους ομάδα τεχνικών οι οποίες ονομάζονται ημι-ποσοτικές προσομοιώσεις (*Berleant & Kuipers, 1997*).

Σε κάθε περίπτωση όμως είναι κοινώς αποδεκτό ότι οι πειραματικές διαδικασίες ανήκουν στις μεθοδολογίες της ποιοτικής έρευνας και με αυτή τη μεθοδολογία πραγματοποιήθηκε η παρούσα εργασία.

Η μελέτη περίπτωσης η οποία έχει επιλεγεί, αφορά σε μεταλλείο το οποίο εκμεταλλεύεται η εταιρεία ΛΑΡΚΟ και συγκεκριμένα τα μεταλλεία Αγίου Ιωάννη το οποίο βρίσκεται στο νομό Βοιωτίας και πιο συγκεκριμένα στο Νέο Κόκκινο.

Το μεταλλείο είναι περίπου 7 χιλιόμετρα μακριά από το μεταλλουργικό εργοστάσιο της Λάρυμνας και είναι ένα από τα παλιότερα μεταλλεία της εταιρείας. Λειτουργεί με υπόγεια και με επιφανειακές εκμεταλλεύσεις και διαθέτει σύγχρονο υπόγειο και επιφανειακό εξοπλισμό, με εγκαταστάσεις θραύσης-κοσκίνισης, εμπλουτισμού και άλλα (*larco.gr, 2022*).

Για την δημιουργία του στοχαστικού μοντέλου προσομοίωσης της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Arena της Rockwell Automation.

1.6 Δομή εργασίας

Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί το εισαγωγικό μέρος της εργασίας. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μία παρουσίαση της μεταλλευτικής βιομηχανίας, των μεταλλείων, της οργάνωσης τους και των διαθέσιμων πόρων τους, μαζί με την παρουσίαση των ορυκτών πόρων και των κοιτασμάτων. Επίσης, στο ίδιο κεφάλαιο γίνεται μία παρουσίαση των μεθόδων εκμετάλλευσης και εξόρυξης κοιτασμάτων, καθώς και αναλυτική περιγραφή της απόδοσης ενός συστήματος εξόρυξης.

Το τρίτο κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στις μεθόδους προσομοίωσης, όπου συζητείται η αξία των προσομοιώσεων σε διάφορους κλάδους, τα οφέλη και τα προβλήματα των προσομοιώσεων, τα είδη των μοντέλων και οι μέθοδοι προσομοιώσεων, καθώς και μία αναλυτική παρουσίαση των λογισμικών προσομοίωσης που είναι διαθέσιμα αυτή τη στιγμή στην αγορά και πώς αυτά χρησιμοποιούνται στη μεταλλευτική βιομηχανία.

Στο τέταρτο κεφάλαιο έχουμε αναλυτικά την παρουσίαση της μεθοδολογίας έρευνας, την παρουσίαση της μελέτης περίπτωσης και του εργαλείου της έρευνας, όπου έγιναν οι πειραματικές εφαρμογές με το λογισμικό Arena. Επίσης, γίνεται αναφορά στα συστήματα μεταφοράς υπαίθριων εκμεταλλεύσεων και στις προσομοιώσεις αυτών.

Στο πέμπτο κεφάλαιο έχουμε την παρουσίαση των μοντέλων τυπικών υπαίθριων εκμεταλλεύσεων και των αποτελεσμάτων τους. Πιο συγκεκριμένα, αναπτύχθηκαν μοντέλα με διαφοροποιήσεις στους κύκλους φόρτωσης, τις αποστάσεις και την μεταβλητότητα των χρόνων των διαδικασιών.

Στο έκτο κεφάλαιο έχουμε την παρουσίαση των αποτελεσμάτων, των ασυνεχών συστημάτων διακριτών συμβάντων στο Arena, ύστερα από την εφαρμογή πραγματικών δεδομένων για την ανάπτυξη του μοντέλου της εκμετάλλευσης του μεταλλείου του Αγίου Ιωάννη,

Τέλος, στο έβδομο κεφάλαιο δίνονται τα συμπεράσματα της έρευνας, οι περιορισμοί της έρευνας και τα προτεινόμενα θέματα για μελλοντική έρευνα

Κεφάλαιο 2

2.1 Η μεταλλευτική βιομηχανία παγκοσμίως σε αριθμούς

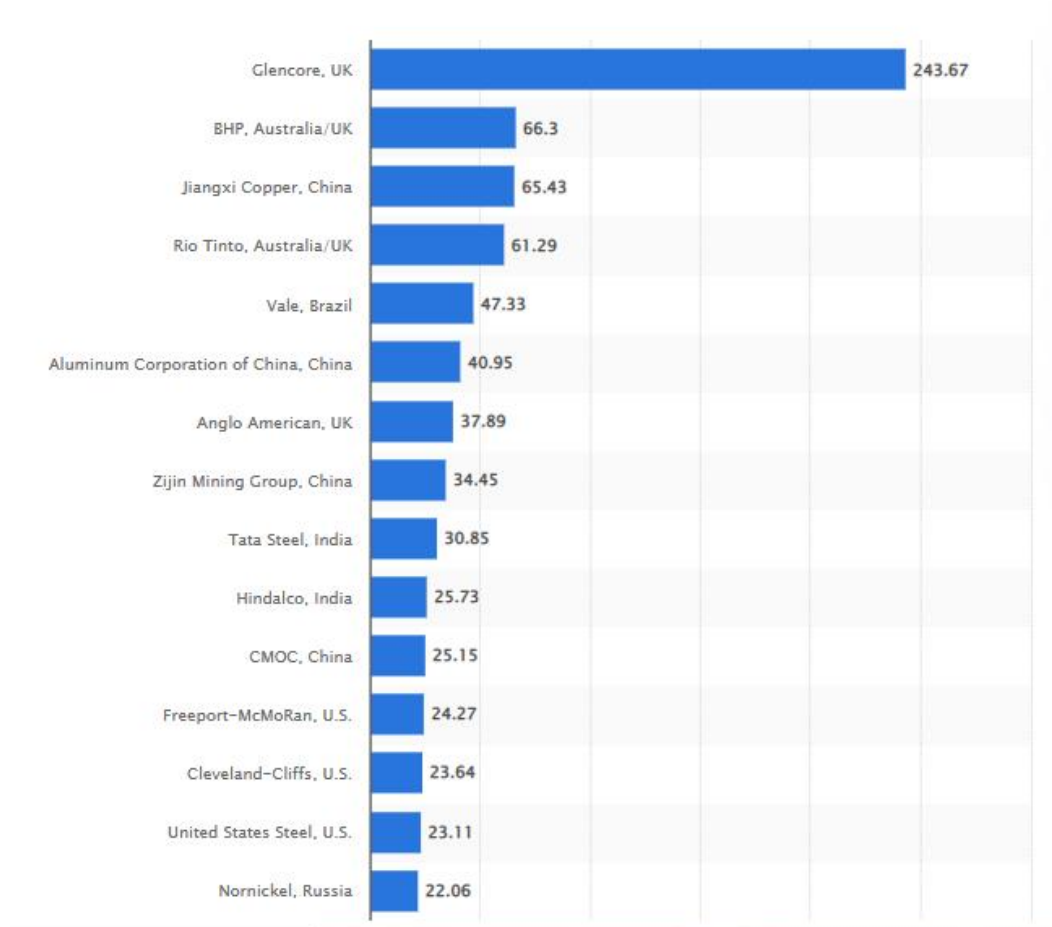
Η μεταλλευτική βιομηχανία θεωρείται και αποδεδειγμένα είναι μια από τις πιο σημαντικές πηγές εσόδων πολλών χωρών, καθώς η ανάπτυξη των εξορυκτικών βιομηχανιών συχνά καθορίζει την δυναμική απόκτησης πόρων, ακόμα και από χώρες σε διαφορετικά σημεία της γης, καθώς και την οικονομική ανάπτυξη των χωρών αυτών (Jacobs, 2013).

Είναι γεγονός, ότι οι μεταλλευτικές βιομηχανίες παγκοσμίως κατάφεραν να ξεπεράσουν διάφορα εμπόδια, οικονομικά και διαχειριστικά, τα οποία παρουσιάστηκαν σε παγκόσμιο επίπεδο τα τελευταία χρόνια λόγω της πανδημίας Covid-19. Μάλιστα οι μεταλλευτικές βιομηχανίες παγκοσμίως εμφανίστηκαν και πιο δυνατές σε απόλυτα νούμερα, τόσο σε παραγωγή όσο και σε έσοδα (Hussain et al., 2022).

Τα έσοδα του κλάδου είναι πάρα πολύ μεγάλα σε παγκόσμιο επίπεδο. Μόνο οι 15 μεγαλύτερες εταιρείες του κλάδου για το έτος 2022 πραγματοποίησαν έσοδα λίγο πιο κάτω από ένα τρισεκατομμύριο δολάρια Ηνωμένων Πολιτειών (Εικόνα 2.1) . Σε παγκόσμια κλίμακα το νούμερο είναι πολύ μεγαλύτερο αν συμπεριλάβουμε και τις μικρότερες εταιρείες.

Δεν είναι βέβαια αμελητέο το κοινωνικό και περιβαλλοντικό αποτύπωμα της μεταλλευτικής βιομηχανίας σε παγκόσμιο επίπεδο, το οποίο αξιολογείται πλέον όλο και πιο αυστηρά, όπου και σε συνδυασμό με τα έσοδα σχηματίζουν τους πυλώνες: οικονομία, κοινωνία και περιβάλλον, δηλαδή την θεώρηση της αειφορίας στη μεταλλευτική βιομηχανία, η οποία μέχρι πριν από λίγα χρόνια απουσίαζε πλήρως από τον κλάδο (Owusu et al., 2019).

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονιστεί και ο ρόλος των μεγάλων εταιρειών που όπως προαναφέραμε λειτουργούν σε παγκόσμια κλίμακα, και στις ιδιαίτερες σχέσεις που έχουν με κοινωνίες και χώρες που αποτελούσαν πρώην αποικίες των χωρών τους, γεγονός το οποίο δημιουργεί μεγαλύτερες πολυπλοκότητες σε κοινωνικό και οικονομικό επίπεδο (Horowitz et al., 2018).



Εικόνα 2.1 Κατάταξη μεγάλων μεταλλευτικών εταιρειών παγκοσμίως, σύμφωνα με τα έσοδα του 2022 (σε δις δολάρια ΗΠΑ) Πηγή Garside, 2022.

Η μεταλλευτική βιομηχανία είναι πλέον σύγχρονη, όπως κάθε άλλη μεταποιητική βιομηχανία και χρησιμοποιεί εξελιγμένα και παραγωγικά μηχανήματα. Μαζί με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και την ψηφιοποίηση, καταφέρνει να αυξάνει την παραγωγικότητα μειώνοντας παράλληλα το κόστος.

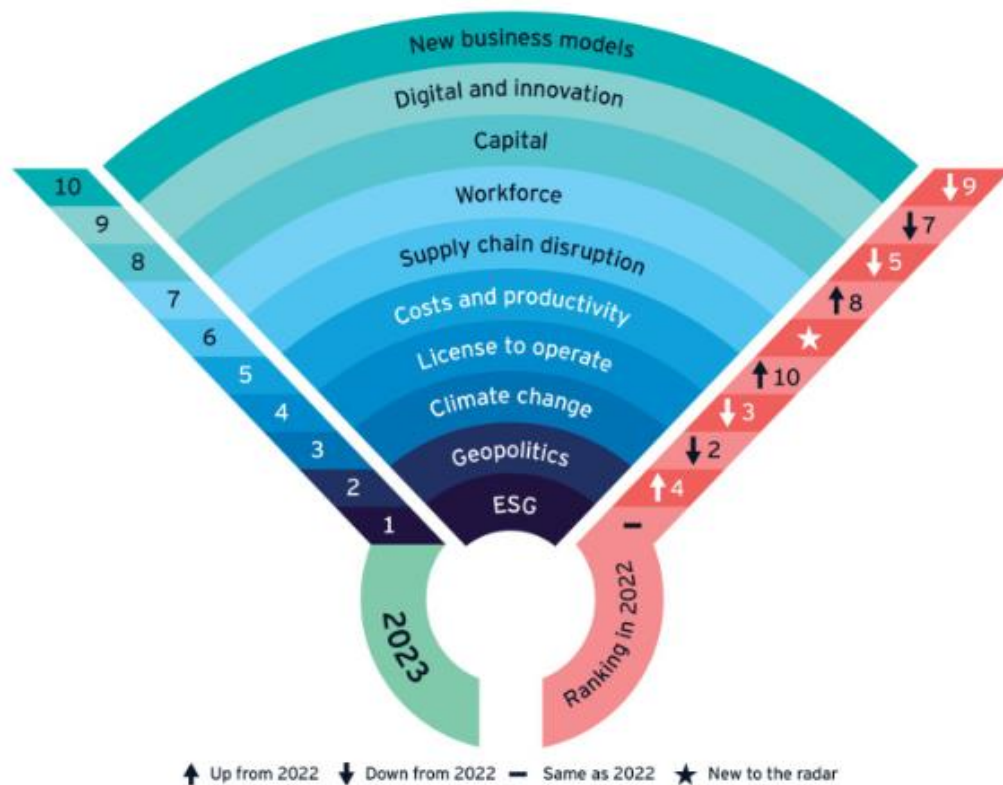
Η ανάπτυξη της έξυπνης τεχνολογίας εξόρυξης αλλά και της χρήσης των δεδομένων βρίσκεται σε εξέλιξη σε όλο τον κόσμο. Έτσι βελτιώνεται η παραγωγικότητα, η ασφάλεια και η αποτελεσματικότητα της εξόρυξης (Mardonova & Choi, 2018; Qi, 2020).

Οι υπεύθυνοι των εταιρειών στην μεταλλευτική βιομηχανία, πρέπει να προετοιμαστούν για τις σημαντικές προκλήσεις της σύγχρονης εποχής συμπεριλαμβανομένων:

- Ελλείψεις εργατικού δυναμικού
- Χρόνια υποεπένδυσης

- Αυξημένοι γεωπολιτικοί κίνδυνοι
- Χαμηλή παραγωγικότητα (Berbner et al., 2022)

Κλείνοντας την παρούσα ενότητα γίνεται η παρουσίαση των κύριων προκλήσεων της μεταλλευτικής βιομηχανίας παγκοσμίως για το 2023 (Εικόνα 2.2), όπου οι 10 κυριότερες προκλήσεις που έχουν να αντιμετωπίσουν είναι στα θέματα του περιβάλλοντος - κοινωνίας και διακυβέρνησης (ESG), οι γεωπολιτικοί κίνδυνοι (Geopolitics), η κλιματική αλλαγή (Climate change), οι άδειες ώστε να μπορούν να δραστηριοποιούνται νόμιμα (License to operate), το κόστος (costs and productivity), οι κίνδυνοι στην εφοδιαστική αλυσίδα (Supply chain disruption), η έλλειψη εργατικού δυναμικού και κεφαλαίου (Workforce and capital), η ψηφιοποίηση και καινοτομία (Digital and innovation) και τέλος τα επιχειρηματικά μοντέλα (New business models) τα οποία απαιτούν συνεχώς αναπροσαρμογή.



Εικόνα 2.2 Οι προκλήσεις για την μεταλλευτική βιομηχανία για το 2023. Πηγή Mitchell, 2022

Η έννοια ESG (Environmental, Social and Governance) είναι ένα νέο πλαίσιο-ατζέντα, το οποίο αξιοποιείται και από τη μεταλλευτική βιομηχανία, όπου σε αυτό το περιεκτικό πλαίσιο μπορεί να

εξισορροπήσει το κέρδος για τον πλανήτη, τους ανθρώπους και το κέρδος για την εταιρεία την ίδια με έναν επιτυχημένο τρόπο.

Στον περιβαλλοντικό παράγοντα, η ατζέντα ασχολείται με θέματα όπως: βιοποικιλότητα, η ισορροπία των οικοσυστημάτων, διαχείριση υδάτινων πόρων, διαχείριση αποβλήτων των μεταλλείων, διαχείριση κλιματικής αλλαγής, ρύπανση αέρα, ρύπανση από θόρυβο κ.α και τέλος την αποκατάσταση του μεταλλείου και τη διαχείριση του μετά το πέρας εκμετάλλευσής του.

Στον κοινωνικό τομέα, σε ότι αφορά στα μεταλλεία η ατζέντα περιέχει οδηγίες, κυρίως για τη χρήση γης, την επαναχρησιμοποίηση της, τα ανθρώπινα δικαιώματα και τις πρακτικές της εργασίας σε ότι έχει να κάνει με την υγιεινή και την ασφάλεια.

Τέλος, στον τομέα της διακυβέρνησης, δίνει οδηγίες σχετικά με την ηθική, τη δεοντολογία και τη διαφάνεια με την οποία λειτουργεί μία εταιρεία, δικλίδες αποφυγής της διαφθοράς και οδηγίες για τη συμμόρφωση της μεταλλευτικής εταιρείας με τα νομικά πλαίσια (Walker, 2023).

2.2 Ορυκτοί πόροι – κοίτασμα

Οι ορυκτοί πόροι, είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψουν ορυκτά και πετρώματα που μπορούν να τύχουν εκμετάλλευσής. Χαρακτηριστικό γνώρισμα τους είναι ότι περιέχουν τα απαραίτητα συστατικά σε μεγάλες συγκεντρώσεις με αποτέλεσμα να αποτελούν κατάλληλη πρώτη ύλη για άλλες επεξεργασίες και οικονομικές δραστηριότητες. Τα αποθέματα αυτών των αξιοποιήσιμων ορυκτών πρώτων υλών ανήκουν σε μία ευρύτερη κατηγορία που ονομάζουμε φυσικούς πόρους.

Αν θα θέλαμε να δώσουμε έναν ορισμό για το «κοίτασμα», θα πρέπει να πούμε ότι είναι η φυσικά σχηματισμένη συγκέντρωση χρήσιμων ορυκτών πρώτων υλών, η οποία βρίσκεται στο φλοιό της γης και μπορεί να τύχει οικονομικής εκμετάλλευσής.

Τα ορυκτά-μαζί με τα πετρώματα και τα μέταλλα- αποτελούν σημαντικό μέρος του φυσικού και πολιτιστικού περιβάλλοντος κάθε χώρας και ιδιαίτερα της Ελλάδας και συνδέονται με σημαντικές πτυχές του πολιτισμού, της ιστορίας και της οικονομικής ανάπτυξης της κάθε χώρας.

Συγκεκριμένα, η Ελλάδα, λόγω της γεωτεκτονικής της θέσης και της γεωμορφολογίας της, από τα αρχαία χρόνια είναι μία περιοχή στην οποία ευνοείται η μεταλλογένεση και διαθέτει πλούσιο αριθμό ορυκτών κοιτασμάτων ικανό να αποτελέσει πρώτη ύλη με σημαντικές βιομηχανικές εφαρμογές.

Οι ορυκτές πρώτες ύλες της Ελλάδας διακρίνονται σε: μεταλλικά ορυκτά, μη μεταλλικά ορυκτά (λατομικά ορυκτά και πετρώματα) και ενεργειακές πρώτες ύλες. (Μέλφος, & Βουδούρης, 2022).

Συνεπώς, στους ορυκτούς πόρους ενός κοιτάσματος το οποίο μπορεί να τύχει εκμετάλλευσης, συναντάμε και μετάλλευμα (ore) δηλαδή χρήσιμα μεταλλικά ορυκτά (αλλά και κάποια μη χρήσιμα και μη μεταλλικά ορυκτά που εξορύσσονται μαζί με το βασικό μετάλλευμα ως σύνδρομα).

Στην παρούσα εργασία, επικεντρωνόμαστε κυρίως στα **μεταλλικά ορυκτά** (μη ενεργειακά) και ειδικότερα στα νικελιούχα σιδηρομεταλλεύματα, που εξορύσσονται και στο μεταλλείο που έχει επιλεγεί να παρουσιαστεί στην παρούσα μελέτη.

Σημαντικός παράγοντας για την εκμετάλλευση των ορυκτών πόρων και την απόφαση εξόρυξης τους, είναι η περιεκτικότητα των κοιτασμάτων σε μέταλλο. Η εξόρυξη πραγματοποιείται σε συγκεκριμένους μεταλλευτικούς χώρους, δηλαδή χώρους οι οποίοι έχουν τη σχετική άδεια για μεταλλευτικές έρευνες και εξόρυξη, και ουσιαστικά αποτελούν παραχωρήσεις μεταλλείων προς εκμετάλλευση. Δηλαδή υπάρχει σχετική άδεια από τον αρμόδιο φορέα προς έναν οργανισμό, ώστε να πραγματοποιηθούν εργασίες για προσπέλαση του κοιτάσματος, την εξόρυξη του και την παραγωγή εμπορεύσιμων προϊόντων.

Η διαδικασία είναι οικονομικά σημαντική, δηλαδή είναι εντάσεως κεφαλαίου και εργασίας, πολύπλοκη και ενέχει αρκετούς κινδύνους (οικονομικούς, γεωλογικούς, υγιεινής και ασφάλειας κ.λπ.). Η εξόρυξη των ορυκτών πόρων και κοιτασμάτων απαιτεί την συνεργασία πολλών επιστημόνων: της κοιτασματολογίας, όπου είναι η επιστήμη που ασχολείται με το σχηματισμό και την κατανομή των κοιτασμάτων, τις επιστημονικές διαδικασίες αναζήτησης, όπου εμπλέκονται οι κατάλληλες γεωλογικές έρευνες, ο εμπλουτισμός των μεταλλευμάτων και άλλες που θα παρουσιαστούν στις επόμενες ενότητες.

2.3 Η μεταλλευτική βιομηχανία στην Ελλάδα

Η εξόρυξη και αξιοποίηση πετρωμάτων και μεταλλευμάτων στην Ελλάδα είναι γνωστή από τα αρχαία χρόνια και συνέβαλε πολύ στην τελική διαμόρφωση του ελληνικού πολιτισμού και κουλτούρας. Όπως και στον υπόλοιπο κόσμο, έτσι και στην Ελλάδα, η εξόρυξη λειτούργησε ως σημαντικός πυλώνας ανάπτυξης, τοπικής και περιφερειακής, κοινωνικής και οικονομικής.

Η Ελλάδα η οποία λίγο καιρό αργότερα από την Επανάσταση του 1821 χρεοκόπησε, καθώς δεν μπορούσε να εκπληρώσει και να εξυπηρετήσει τα δάνεια της που είχε πάρει από τα ξένα έθνη.

Στα τέλη του 19ου αιώνα στην περιοχή της Λαυρεωτικής υπήρξε σπουδαία ανάπτυξη μεταλλευτικής δραστηριότητας η οποία είχε διάφορες διακυμάνσεις. Μέσα σε ένα κλίμα αστάθειας και αλληπάλληλων επαναστάσεων αλλά και εθνικών διχασμών, φτάνουμε στους παγκόσμιους πολέμους.

Ο δεύτερος παγκόσμιος πόλεμος με την εισβολή της Ιταλίας στην Ελλάδα και τη γερμανική κατοχή, έπαψαν όλες οι εξορυκτικές δραστηριότητες και έτσι σήμανε το τέλος της λειτουργίας, αλλά κυρίως της συντήρησης των μεταλλείων με αποτέλεσμα την ολοσχερή καταστροφή τους.

Παρόλα αυτά υπήρχαν άνθρωποι με όραμα και επιχειρήσεις, όπως ο Ιωάννης Λαμπρινίδης όπου στήριξαν την Ελληνική μεταλλευτική Βιομηχανία.

Μετά το δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο υπήρξε η ανασυγκρότηση των μεταλλείων με την αμερικανική βοήθεια και του σχεδίου Μάρσαλ. Με ανύπαρκτη κρατική πολιτική στον τομέα της έρευνας αλλά με διάφορες πρωτοβουλίες ιδιωτών και των τότε μεταλλευτικών επιχειρήσεων προχώρησε η μεταλλευτική βιομηχανία στην Ελλάδα.

Από το 1960 και μετά υπήρξε μία άνθηση στη μεταλλευτική βιομηχανία της Ελλάδας, αφού ανακαλύφθηκαν και νέα είδη ορυκτών πόρων στρατηγικής σημασίας και οικονομικά εκμεταλλεύσιμα. Μετά το 1980 όμως λόγω των συγκυριών στις Διεθνείς αγορές, πολλές μεταλλευτικές επιχειρήσεις υπέπεσαν σε μαρασμό και ως συνέπεια έκλεισαν.

Προς το τέλος της δεκαετίας 1990 υπήρξε μία ανάκαμψη στον τομέα της εξόρυξης και έρευνα για νέα προϊόντα, όπως για χρυσό (Orykta.gr, 2022a).

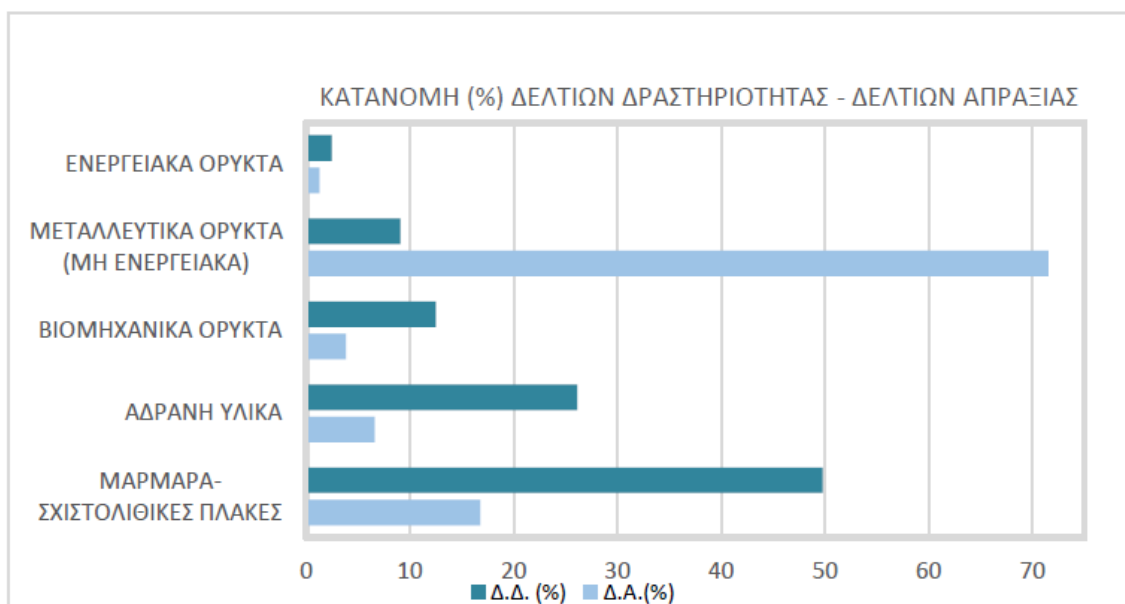
Η πιο πρόσφατη εικόνα της δραστηριότητας της ελληνικής μεταλλευτικής βιομηχανίας παρουσιάζεται στον [Πίνακα 2.1](#):

Πίνακας 2.1 Συνοπτική εικόνα εξορυκτικής βιομηχανίας 2021 (Πηγή: sme.gr, 2022)

	2020	2021	Μεταβολή έναντι 2020
Αριθμός απασχολούμενων	76000	74000	-3%
Παραγωγή (σε τό- νους τελικών ε- μπορεύσιμων προϊόντων)	63200000	69520000	10%

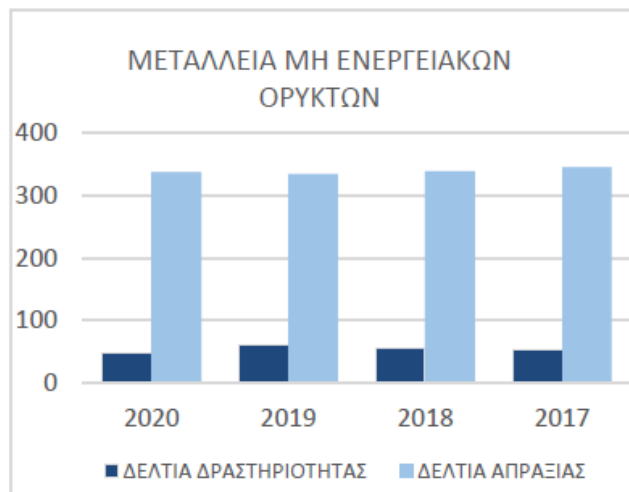
Πωλήσεις (σε ευρώ)	1.38 δις	1.52	10%
Εξαγωγές (σε ευρώ)	0.69 δις	0.79	15%

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η κατανομή των δελτίων δραστηριότητας σε σχέση με τα δελτία απραξίας. Παρατηρούμε ότι τα περισσότερα δελτία απραξίας των μεταλλευτικών εταιρειών είναι στον τομέα των μεταλλευτικών ορυκτών (μη ενεργειακών). Τα δελτία απραξίας τα διατηρεί το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας και πιο συγκεκριμένα η Γενική Διεύθυνση Ορυκτών Πρώτων Υλών και το τμήμα Ανάπτυξης και Ανάλυσης Πολιτικών Ορυκτών Πρώτων Υλών.



Εικόνα 2.1 Κατανομή δελτίων δραστηριότητας (Δ.Δ.) και δελτίων απραξίας (Δ.Α.) 2020 (Πηγή: ypen.gov.gr, 2022)

Ο τομέας των μεταλλείων μη ενεργειακών ορυκτών, τα τελευταία χρόνια παρουσιάζει μια σχετική σταθερότητα, όπως φαίνεται και στην [Εικόνα 2.4](#).



Εικόνα 2.2 Πορεία των Δελτίων Δραστηριότητας Μεταλλείων Μη Ενεργειακών Ορυκτών τα τελευταία χρόνια.

Πηγή ypen.gov.gr, 2022

Τέλος, ακολουθεί μια συνολική εικόνα της παραγωγής και εξαγωγών των μεταλλευτικών ορυκτών σε τόνους (μη ενεργειακά) (Πίνακας 3.2).

Πίνακας 3.2 Στοιχεία παραγωγής και εξαγωγών Μεταλλευτικών Ορυκτών Ο.Π.Υ., 2020 Πηγή ypen.gov.gr, 2022

Μεταλλευτικά Ορυκτά (μη Ενεργειακά)	Παραγωγή	Εξαγωγές
Βωξίτης	1 428 639	
Αλουμίνα Ενδρη	826 500	
Αλουμίνα Ανδρη	672 527	
Αλουμίνιο	189 036	
Λευκόλιθος Ωμός	335 943	3 906
Δίπορος Μαγνησία	34 327	15 972
Κασσιτε Μαγνησία	96 640	65 078
Πυρίμαχες Μάζες	44 207	41 210
Μεικτά θειούχα	627 766	
Αρσеноπυρίτης	110 621	118 640
Γαληνίτης	30 552	30 589
Σφαλερίτης	55 698	58 836
Νικελιούχα σιδηρομεταλλεύματα	1 030 434	
Fe-Ni	29 263	
Νικέλιο (σε κράμα)	5 774	
Χουντίτης - Υδρομαγνησίτης	18 980	5 238
Χρωμίτης	1 651	
Συμπύκνωμα Χρωμίτη	80	
CO ₂ (g)	9 255	
CO ₂ (l)	8 791	
CO ₂ (s)	22	

2.4 Μέθοδοι εκμετάλλευσης και εξόρυξης

Η μέθοδος εκμετάλλευσης, είτε πρόκειται για επιφανειακή είτε για υπόγεια, προσδιορίζεται ύστερα από σχολαστική μελέτη των στοιχείων της έρευνας η οποία πρέπει να γίνει πριν την φάση της εκμετάλλευσης.

Η μεταλλευτική έρευνα είναι ένα στάδιο στην αρχή του κύκλου ζωής του κοιτάσματος. Είναι δηλαδή η ανακάλυψη του κοιτάσματος, το οποίο θα δώσει το έναυσμα για τη σχετική μελέτη σκοπιμότητας, ώστε εάν όλα είναι ευνοϊκά, η εταιρεία θα προχωρήσει στην ανάπτυξη του μεταλλείου και στην εκμετάλλευση. Βασικό στοιχείο της μεταλλευτικής έρευνας είναι η εκτίμηση των αποθεμάτων (*Modis, & Stamataki, 2015*).

Όταν γίνεται αναφορά στην εκτίμηση αποθεμάτων, ουσιαστικά αναφερόμαστε στη λεπτομερή γνώση του κοιτάσματος στο οποίο θα στηριχθεί η απόφαση για τον τρόπο της εκμετάλλευσης, τον τρόπος προσπέλασης και την απόφαση για την οικονομική απόδοση του εγχειρήματος. Ο υπολογισμός των αποθεμάτων πραγματοποιείται (*Μενεγάκη, 2010*):

- ο είτε με συμβατικές μεθόδους, όπου οι συμβατικές μέθοδοι περιλαμβάνουν μεθοδολογίες που επιχειρούν να υπολογίσουν την ποιότητα του κοιτάσματος με βάση γεωμετρικά και άλλα κριτήρια (πχ ακολουθείται η μέθοδος των τομών ή των πολυγώνων ή των τριγώνων ή των αντίστροφων αποφάσεων αποστάσεων)
- ο είτε μαθηματικοστατιστικές μέθοδοι και πιο εξελιγμένα μοντέλα για την εκτίμηση των αποθεμάτων (όπως γεωστατιστική).

Στη συνέχεια, στον κύκλο ζωής ενός κοιτάσματος, μετά τη μεταλλευτική έρευνα και τη μελέτη σκοπιμότητας, ακολουθεί η φάση της εκμετάλλευσης. Οι φάσεις εκμετάλλευσης ενός ορυχείου είναι συνήθως τρεις:

Στην πρώτη φάση έχουμε την **προσπέλαση**, όπου ουσιαστικά ανοίγεται ένας διάδρομος πρόσβασης στη φλέβα του μεταλλεύματος ή του πετρώματος το οποίο παρουσιάζει ενδιαφέρον για εξόρυξη.

Στη δεύτερη φάση έχουμε την **προετοιμασία**, όπου ουσιαστικά είναι η πρώτη περιχάραξη και διαμόρφωση του ορυχείου. Με απλά λόγια, τοποθετούνται τα διάφορα δίκτυα τα οποία είναι απαραίτητα για την καλή λειτουργία του ορυχείου (όπως δίκτυο νερού, πεπιεσμένου αέρα, ρεύματος κ.λπ.).

Στην τρίτη και τελευταία φάση, τη φάση της **εξόφλησης**, όπου συνήθως έχουμε και την εξόρυξη, αφαιρείται το πέτρωμα ή το μετάλλευμα με διάφορες μεθόδους εκμετάλλευσης, ανάλογα με το είδος του μεταλλεύματος και την μέθοδο που θα χρησιμοποιηθεί. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι, όπως η μέθοδος των θαλάμων και στύλων, είτε με υποστηρίξεις (υποστύλωση) με άλλες ύλες.

Ειδικότερα, κατά την φάση της εξόρυξης, συναντάμε τα ακόλουθα βασικά στάδια: το πρώτο στάδιο είναι η διάτρηση, μετά είναι η γόμωση (εφόσον έχει επιλεγεί και προηγηθεί η τοποθέτηση εκρηκτικών) και μετά η πυροδότηση τους. Στη συνέχεια έχουμε τη μεταφορά, το ξεσκάρωμα και την υποστύλωση (Γαλετάκης, 2019).

Σημαντικό ρόλο στη διαδικασία της διάτρησης, δηλαδή στη διάνοιξη στοών με σκοπό να φτάσουμε στο συγκεκριμένο πέτρωμα ή μετάλλευμα το οποίο μας ενδιαφέρει, παίζουν οι μηχανές διάτρησης οι οποίες μπορεί να είναι διαφόρων μεθόδων: κρουστικής διάτρησης, περιστροφικής διάτρησης, κρουστικής και περιστροφικής συγχρόνως (Μπενάρδος, 2014).

Για τη διάνοιξη των στοών, ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται συνήθως είναι οι αερόσφυρες και άλλα βεβαίως μηχανήματα. Αυτά λειτουργούν είτε με υδραυλικό τρόπο, είτε με πίεση αέρα. Η υδραυλική διάτρηση προτιμάται, γιατί συνήθως έχει λιγότερες απαιτήσεις σε κατανάλωση ενέργειας, όπως επίσης δημιουργεί καλύτερες συνθήκες για τον εργαζόμενο.

2.4.1 Υπαίθριες εκμεταλλεύσεις

Ειδικότερα για τις υπαίθριες και επιφανειακές εκμεταλλεύσεις, που αποτελούν και την εφαρμογή που έχει επιλεγεί για την παρούσα εργασία, μπορούμε να πούμε ότι πρόκειται για την εκμετάλλευση στερεών πρώτων υλών η οποία πραγματοποιείται επιφανειακά με σκοπό την οικονομική εκμετάλλευση. Μπορούμε να διακρίνουμε τους εξής τρεις βασικούς τύπους: την επιφανειακή εκμετάλλευση κατά λωρίδες, την επιφανειακή εκμετάλλευση με βαθμίδες είτε κλειστές (δημιουργώντας μία χοανοειδή εκσκαφή), μέθοδος η οποία είναι κυρίως για τις περιπτώσεις μεταλλικών κοιτασμάτων, είτε με ανοιχτές βαθμίδες (αναπτύσσονται όταν η εκμετάλλευση πραγματοποιείται στην πλαγιά ενός λόφου), μέθοδος η οποία χρησιμοποιείται στις πιο πολλές περιπτώσεις λατομείων αδρανών υλικών και μαρμάρων (Orykta.gr, 2022b; Εξαδάκτυλος, 2022).

Στις επιφανειακές εκμεταλλεύσεις, χρησιμοποιείται συνήθως η μέθοδος εξόρυξης με χρήση και διαμόρφωση της εκσκαφής σε βαθμίδες. Ανοίγονται διατρήματα στα οποία τοποθετείται η

εκρηκτική ύλη και μετά την ανατίναξη, το θρυμματισμένο μετάλλευμα φορτώνεται σε φορτηγά που το μεταφέρουν για περαιτέρω επεξεργασία (π.χ. θραύση).

Όπως σε κάθε εκμετάλλευση, έτσι και στις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις ο σχεδιασμός στηρίζεται σε τρεις πυλώνες: την οικονομική απόδοση, την ασφάλεια και την περιβαλλοντική προστασία. Σαφέστατα, όπως έχει ήδη τονιστεί, η εκμετάλλευση των ορυκτών πόρων και μεταλλευμάτων είναι μία σημαντική οικονομική δραστηριότητα η οποία αναμένεται να έχει θετικά οικονομικά αποτελέσματα τα οποία δεν πρέπει να αντισταθμίζονται από τις πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τις βλαπτικές συνέπειες για τις τοπικές κοινωνίες.

Στις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις πρέπει να γίνει μία καλή μελέτη, ώστε να υπάρχει σωστή εκτίμηση για τα άγονα και τα υπερκείμενα πετρώματα, τα οποία είναι χαμηλής ποιότητας και δεν παρουσιάζουν κάποιο ενδιαφέρον για περαιτέρω επεξεργασία, αλλά συνήθως πρέπει να απομακρυνθούν ώστε να ανοίξει η πρόσβαση προς το μέταλλευμα το οποίο παρουσιάζει ενδιαφέρον και να υπάρξει η αποκάλυψη. Η αναλογία (σχέση) των άγονων που πρέπει να απομακρυνθούν για να αποκαλυφθεί μία μονάδα χρήσιμου προϊόντος είναι πολύ ουσιαστική για την εκτίμηση της οικονομικότητας μιας εκμετάλλευσης (Μενεγάκη, 2010).

2.5 Απόδοση ενός συστήματος εκσκαφής

Η διαδικασία εξόρυξης και η λειτουργία ενός ορυχείου, σαν μία μεγάλη επένδυση εντάσεως κεφαλαίου αλλά και εντάσεως εργασίας, δεν μπορεί να μείνει χωρίς κάποιες διαδικασίες ελέγχου για την απόδοση του παραγωγικού συστήματος.

Ο έλεγχος γενικά μπορεί να γίνει ως προς το σύνολό του εγχειρήματος, με την ελπίδα κέρδους σε σχέση με την αναμενόμενη χρηματική αξία. Στο σύνολο του έργου και για την παρακολούθηση της επένδυσης, η χρηματική αξία είναι το άθροισμα των κερδών και ζημιών που μπορεί να έχει η εταιρεία που αποσκοπεί στην εκμετάλλευση ενός κοιτάσματος, αφού τα κέρδη και οι ζημιές σταθμίζονται το καθένα με την πιθανότητα πραγματοποίησής τους (Modis, & Stamataki, 2015).

Το κάθε ορυχείο όμως με τους πόρους που διαθέτει (ανθρώπους, μηχανήματα, κεφάλαιο κ.α.) πρέπει να παρακολουθείται, όπως κάθε άλλο παραγωγικό σύστημα για τη μέτρηση της απόδοσης και τη βελτίωση του.

Έτσι και το σύστημα εκσκαφής, όπου η μέτρηση της απόδοσης και της βελτίωσης του είναι βασικά βήματα για την επίτευξη της βελτίωσης του συστήματος όσον αφορά τις διαδικασίες παραγωγής.

Οι μετρήσεις αυτές μπορούν να χρησιμοποιούνται για εσωτερικό έλεγχο και μελλοντικό προγραμματισμό, ή για εξωτερικό έλεγχο (παραδείγματος χάρη λογοδοσία προς το κράτος ή άλλους εμπλεκόμενους).

Τα περισσότερα συστήματα απόδοσης συσσωματώνουν έναν αριθμό μεμονωμένων δεικτών που σχετίζονται με διαφορετικές πτυχές των επιχειρηματικών λειτουργιών.

Ένας δείκτης απόδοσης του συστήματος εκσκαφής, ο οποίος συζητήθηκε και στην προηγούμενη ενότητα, είναι η οικονομική σχέση αποκάλυψης R_E , η οποία αναφέρεται στο ελάχιστο αποδεκτό κέρδος για την επιχείρηση, όπου έχουμε (Μενεγάκη, 2010):

$$R_E = \frac{A - B}{C}$$

όπου: A , τα έσοδα/ton μεταλλεύματος

B , το κόστος εξόρυξης/ton μεταλλεύματος και

C , το κόστος αποκάλυψης/ m^3 αγόνων

Γενικότερα, η μέτρηση της απόδοσης είναι μία διαδικασία ποσοτικοποίησης της αποδοτικότητας και αποτελεσματικότητας των διαφόρων συντελεστών παραγωγής ενός παραγωγικού συστήματος. Παρέχει μία αίσθηση της επιτυχίας ή αποτυχίας του σκοπού του παραγωγικού συστήματος και φυσικά αποτελεί βάση για διορθωτικές κινήσεις. Τα αποτελέσματα της μέτρησης της απόδοσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε για μελλοντικό σχεδιασμό, είτε για σύγκριση με παλαιότερα δεδομένα.

Ένα κατάλληλο σύστημα μέτρησης απόδοσης εκσκαφής μπορεί να περιέχει μεμονωμένους δείκτες ή δομημένες ομάδες δεικτών, που εξυπηρετούν το σκοπό του συστήματος. Οι δείκτες μπορεί να αφορούν:

- το κόστος, όπου μπορούμε να μετράμε το κόστος ανά ώρα λειτουργίας, την απόκλιση του κόστους από το στόχο κ.α.
- την ευελιξία, όπου μπορούμε να μετράμε το χρόνο προετοιμασίας του εξοπλισμού, ή τη μέση και τη μέγιστη δυναμικότητα
- την ποιότητα, δηλαδή το ποσοστό των αστοχιών σε σχέση με τους στόχους
- την ταχύτητα, όπως παραδείγματος χάρη το χρόνο εκπλήρωσης μιας εργασίας

Οι δείκτες μπορούν να αφορούν την παραγωγικότητα των εργαζομένων, αλλά και τα πραγματικά επίπεδα αποδοτικότητας. Η παραγωγικότητα μετρά την ποσότητα των πόρων που δαπανούνται για την επίτευξη ενός συγκεκριμένου επιπέδου εκροών και η αποδοτικότητα μετρά το πόσο καλά χρησιμοποιούνται οι διάφοροι πόροι (Αδαμίδης, 2016).

$$\text{Αποδοτικότητα} = \frac{\text{Πραγματικές εκροές}}{\text{Αναμενόμενες ή πρότυπες εκροές}}$$

Φυσικά, εφόσον μετράμε την παραγωγικότητα και την αποδοτικότητα των πόρων, πρέπει να μπορούμε να μετρήσουμε και το ποσοστό εκμετάλλευσης του κάθε πόρου, όπου είναι η σύγκριση του χρόνου όπου ο πόρος είναι διαθέσιμος, και του χρόνου πραγματικής χρήσης του πόρου (Mohammadi, et al., 2015).

$$\text{Εκμετάλλευση} = \frac{\text{Χρόνος πραγματικής χρήσης πόρου}}{\text{Χρόνος που ο πόρος είναι διαθέσιμος}}$$

Και κατ' επέκταση τη διαθεσιμότητα του εξοπλισμού εκσκαφής:

$$\text{Διαθεσιμότητα εξοπλισμού} = \frac{\text{Προγραμματισμένος χρόνος λειτουργίας} - \text{Συνολικός χρόνος που ο εξοπλισμός δεν είναι διαθέσιμος}}{\text{Προγραμματισμένος χρόνος λειτουργίας}}$$

Δεδομένα τα οποία θα μας οδηγήσουν ώστε να μπορούμε να υπολογίσουμε την αποτελεσματικότητα του υπό χρήση εξοπλισμού (Αδαμίδης, 2016):

$$\text{Αποτελεσματικότητα εξοπλισμού} = \text{Διαθεσιμότητα εξοπλισμού} * \text{Αποδοτικότητα} * \text{Ποιότητα}$$

Η αποτελεσματικότητα του εξοπλισμού, όπως ορίζεται στην παραπάνω εξίσωση, δηλαδή το γινόμενο της διαθεσιμότητας επί την αποδοτικότητα και επί την ποιότητα, έχει ήδη συζητηθεί και στην ακαδημαϊκή κοινότητα (Fourie, 2016).

Η έννοια της ποιότητας είναι ολιστική και συμπεριλαμβάνει όλους τους παράγοντες που οδηγούν στην απώλεια εξαγόμενου προϊόντος από οποιοδήποτε λόγο. Τέτοιοι λόγοι μπορεί να είναι:

- Προγραμματισμένος και Μη προγραμματισμένος χρόνος συντήρησης
- Χρόνος αδράνειας φορητών και φορτωτών
- Απώλειες χρόνου λόγω εργασιακών συνθηκών
- Απώλεια ταχύτητας εκμετάλλευσης
- Τυπικά προβλήματα της εκμετάλλευσης, όπως
 - Υπερθέρμανση εξοπλισμού

- Προβλήματα κάδου (συνήθως από βράχους που προκύπτουν από κακή ανατίναξη)
- Λειτουργικά προβλήματα (όπως διακοπή λειτουργίας που οφείλεται σε ανεπαρκή σχεδιασμό ανατινάξεων)
- Αλλαγή βάρδιας
- Έλλειψη απαραίτητου μεγέθους στόλου
- Ζημιά από ατύχημα
- Θέματα με τα Ελαστικά
- Βροχή και άλλες καιρικές συνθήκες
- Εξοπλισμός που εκτελεί λάθος εργασίες ή λάθος επιλογή εργαλείου (το κατάλληλο μηχανήμα για την εργασία)
- Ικανότητα χειριστών

Έτσι, η ποιότητα στην μεταλλευτική βιομηχανία ορίζεται ως το ποσοστό του διαθέσιμου λειτουργικού χρόνου των μηχανημάτων μείον τις απώλειες εξαγόμενου προϊόντος από διάφορες αιτίες προς το συνολικό διαθέσιμο χρόνο λειτουργίας (Elevli & Elevli, 2010) .

$$\text{Ποιότητα} = \frac{\text{Διαθέσιμος λειτουργικός χρόνος} - \text{Απώλειες εξαγόμενου προϊόντος}}{\text{Συνολικός διαθέσιμος χρόνος}} * 100$$

Σε απλή μορφή, η ποιότητα του εξοπλισμού, σύμφωνα με τους ειδικούς ερευνητές, καταλήγει να ορίζεται ως το ποσοστό του καλού εξαγόμενου προϊόντος προς το συνολικό εξαγόμενο προϊόν.

$$Q = \frac{\text{Καλό εξαγόμενο προϊόν}}{\text{Συνολικό εξαγόμενο προϊόν}}$$

Επίσης με την ίδια λογική, η ποιότητα μπορεί να αναφέρεται σε χρόνο (ο αξιόλογος χρόνος παραγωγής προς το συνολικό χρόνο παραγωγής) ή σε φόρτωση προϊόντος (ο όγκος της μέσης φόρτωσης του κάδου του φορτωτή προς την πραγματική ικανότητα φόρτωσης του φορτωτή, γνωστός και ως παράγοντας πλήρωσης).

$$\text{Ποιότητα} = \frac{\text{Αξιόλογος χρόνος παραγωγής}}{\text{Συνολικός χρόνος παραγωγής}}$$

$$\text{Ποιότητα} = \frac{\text{Όγκος της μέσης φόρτωσης του κάδου του φορτωτή}}{\text{Πραγματική ικανότητα φόρτωσης του φορτωτή}}$$

Κεφάλαιο 3

3.1 Προσομοίωση: Ορισμός και Ιστορία

Προσομοίωση ορίζεται η τεχνική μοντελοποίησης η οποία με την βοήθεια υπολογιστικών συστημάτων, αναπαριστά ή μιμείται τη λειτουργία ενός πραγματικού συστήματος και τις λειτουργίες του, έτσι όπως αναπτύσσονται μέσα στο χρόνο ή έχοντας σαν παράμετρο τον χρόνο.

Για να γίνουν όλα αυτά κατανοητά θα πρέπει να δώσουμε επίσης τον ορισμό του συστήματος και των μοντέλων. Σύστημα είναι κάθε συλλογή στοιχείων (αντικειμένων, οντοτήτων και εμπλεκόμενων) τα οποία αποτελούν ένα σύνολο. Κάθε στοιχείο αλληλεπιδρά ή συσχετίζεται με άλλα στοιχεία του συστήματος με στόχο την επίτευξη ενός καθορισμένου αποτελέσματος (π.χ. μια εργασία).

Έχοντας ήδη μία εικόνα για το τι είναι σύστημα, για να μπορεί να πραγματοποιηθεί κάποια προσομοίωση του, το σύστημα θα πρέπει να μπορεί να εκφραστεί μέσω κάποιας κατανοητής από τον άνθρωπο μορφής αναπαράστασης. Η αναπαράσταση μπορεί να αποτελείται από σχέδια, σύμβολα, μαθηματικές σχέσεις κ.ο.κ. Αυτόν τον τρόπο αναπαράστασης τον ονομάζουμε μοντέλο. Ένα μοντέλο είναι η αναπαράσταση ενός συστήματος με σκοπό την κατάλληλη απεικόνιση της λειτουργίας του, την καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας και της τρέχουσας συμπεριφοράς των στοιχείων που το αποτελούν. Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατή η σύγκριση εναλλακτικών σεναρίων και η πρόβλεψη μελλοντικής συμπεριφοράς του συστήματος (Γεωργίου, κ.α., 2015).

Η προσομοίωση σαν διαδικασία μπορεί να διαχωριστεί σε τρεις βασικές φάσεις. Η πρώτη φάση είναι η προκαταρκτική διαδικασία προετοιμασίας και συλλογής δεδομένων όπου γίνεται και η μοντελοποίηση του συστήματος σε ένα πρώτο επίπεδο (πχ με απλές διαγραμματικές μεθόδους). Μετά ακολουθεί η αναπαράσταση του μοντέλου με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού και τέλος έχουμε την ανάλυση των αποτελεσμάτων της λειτουργίας του συστήματος, σύγκριση με την πραγματική του απόδοση και την διαχείριση σεναρίων.

Η προσομοίωση ουσιαστικά είναι μία τεχνική μοντελοποίησης στην οποία συναντιούνται η πληροφορική, η επιχειρησιακή έρευνα και όλες οι μέθοδοι βελτιστοποίησης, η στατιστική και διάφορες τεχνικές οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων.

Η ιστορία της προσομοίωσης με υπολογιστή χρονολογείται από τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο, όταν δύο μαθηματικοί, ο Jon Von Neumann και ο Stanislaw Ulam, θέλησαν να μελετήσουν την συμπεριφορά των νετρονίων. Ο πειραματισμός ήταν πολύ δαπανηρός και το πρόβλημα ήταν πολύ

περίπλοκο για ανάλυση. Ως εκ τούτου, η τεχνική της προσομοίωσης με τα τότε υπολογιστικά μέσα προτάθηκε από τους δύο μαθηματικούς (*uh.edu*, 2022).

Η προσομοίωση, από τις αρχές του 1960, ήταν πλέον μία γνωστή διαδικασία όπου με τη χρήση υπολογιστικών συστημάτων είχε ξεκινήσει να εφαρμόζεται για την επίλυση διαφόρων επιχειρησιακών προβλημάτων. Κατά πολλούς, η προσομοίωση είναι μία αριθμητική τεχνική για διεξαγωγή πειραμάτων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή.

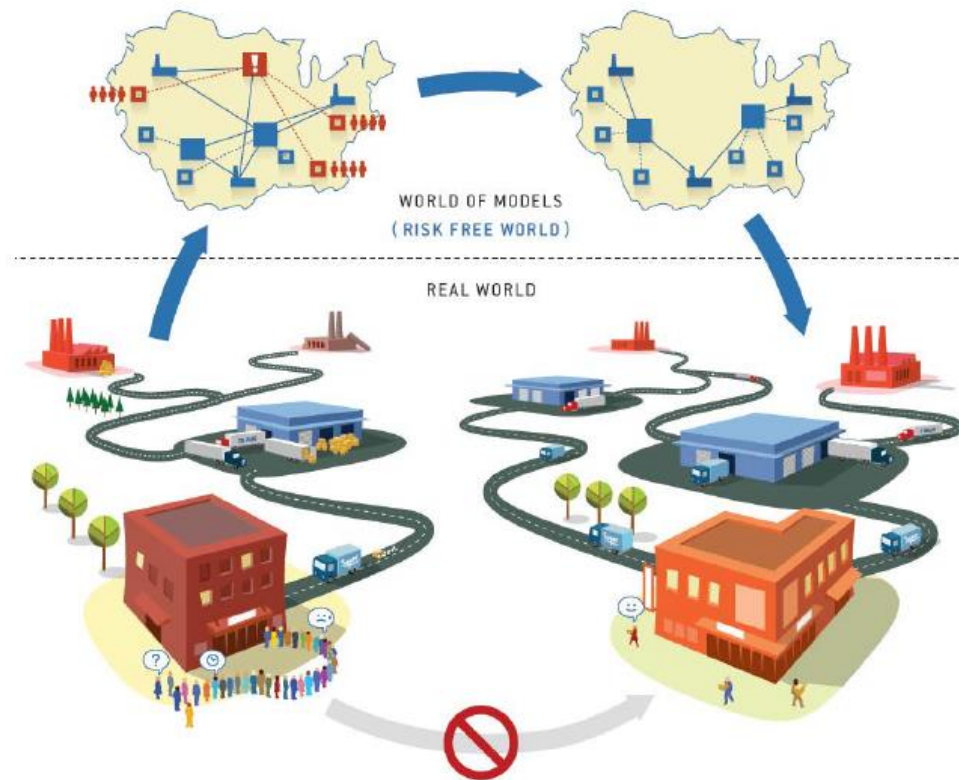
Οι προσομοιώσεις και τα μοντέλα χρησιμοποιούνται όλο και συχνότερα για τη λήψη επιχειρηματικών αποφάσεων ήδη από τη δεκαετία του 1980 για διαφορετικές χρήσεις, όπως για παράδειγμα τη μείωση των νεκρών χρόνων των παραγωγικών συστημάτων, τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας των γραμμών παραγωγής, τη βελτιστοποίηση των δικτύων διανομής, την πιστοποίηση των μονάδων παροχής υπηρεσιών υγείας και άλλα (*Γεωργίου, κ.α., 2015*).

3.2 Αξία των προσομοιώσεων

Η προσομοίωση χρησιμοποιείται για να λυθούν πραγματικά προβλήματα. Σε πολλές περιπτώσεις είναι ασύμφορο σε πραγματικές συνθήκες να βρεθεί η κατάλληλη λύση π.χ. όταν πρόκειται για την μετακίνηση κάποιας υποδομής ή πρόκειται για αλλαγές που είτε είναι πολύ ακριβές είτε επικίνδυνες ή απλά αδύνατες.

Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις είναι καλύτερο να φτιαχτεί ένα μοντέλο της συγκεκριμένης κατάστασης που αναπαριστά το πραγματικό σύστημα. Αυτή η διαδικασία προϋποθέτει και μία αφαιρετική προσέγγιση. Για αρχή συμπεριλαμβάνονται οι λεπτομέρειες που ο σχεδιαστής πιστεύει πως είναι απαραίτητες και αφήνει εκτός πράγματα τα οποία είναι λιγότερο σημαντικά -μέχρι να χρειαστούν σε μία επόμενη αναθεώρηση του μοντέλου. Έτσι στην προσομοίωση το μοντέλο είναι λιγότερο σύνθετο από το πραγματικό σύστημα (*Εικόνα 3.1*).

Αυτό έχει το μεγάλο πλεονέκτημα ότι με το μοντέλο στο οποίο αντικατοπτρίζεται μία κατάσταση, ο σχεδιαστής εντοπίζει τις λειτουργίες που πραγματικά έχουν σημασία για το σύστημα και θέτει υπό αμφισβήτηση τις υπόλοιπες που μπορούν να δημιουργούν θόρυβο, προβλήματα και αλλοιώσεις στα αποτελέσματα.



Εικόνα 3.1 Διαδρομή αλλαγής από τον πραγματικό κόσμο στο μοντέλο και πάλι πίσω (anylogic.com, 2022a).

Έτσι μπορούμε να μεταφέρουμε ένα σύστημα στον ψηφιακό κόσμο, κάνοντας τις δοκιμές, πειράματα και σενάρια που χρειάζονται και μετά να το επαναφέρουμε στον πραγματικό κόσμο, αποφεύγοντας την απευθείας μετατροπή των συστημάτων στον πραγματικό κόσμο που πολλές φορές είναι δαπανηρό ή εμπεριέχει μεγάλο ποσοστό ρίσκου (anylogic.com, 2022a).

3.3 Οφέλη και προβλήματα των προσομοιώσεων

Τα πλεονεκτήματα των προσομοιώσεων μπορούν συνοπτικά να αναφερθούν ως εξής:

Οι προσομοιώσεις με τη μοντελοποίηση επιτρέπουν στον αναλυτή να προσεγγίσει τα συστήματα και να βρει λύσεις όπου μέθοδοι, όπως οι αναλυτικοί υπολογισμοί και ο γραμμικός προγραμματισμός, γενικά αποτυγχάνουν.

Η μοντελοποίηση με την αφαιρετική προσέγγιση που αναφέρθηκε και παραπάνω απαιτεί λιγότερη προσπάθεια όταν χρειαστεί να κλιμακωθεί το μοντέλο και είναι επίσης πολύ ευέλικτος τρόπος προσθαφάιρησης στοιχείων και οντοτήτων ώστε να διευκολυνθούν τα διάφορα σενάρια που επιθυμεί ο αναλυτής να μελετήσει (Giezen, 2012).

Το μοντέλο και η προσομοίωση αντικατοπτρίζουν την πραγματική δομή του υπό μελέτη συστήματος κάνοντας ξεκάθαρο ποιες είναι οι πραγματικές μεταβλητές, στοιχεία και άλλοι εμπλεκόμενοι που πρέπει να συμπεριληφθούν, για συγκεκριμένες εργασίες που επιθυμεί να μελετήσει ο αναλυτής.

Με ένα μοντέλο προσομοίωσης μπορούν να αποτυπωθούν μεταβλητές και να εντοπιστούν στοιχεία για τα οποία μπορούν να προστεθούν μετρήσεις και στατιστικές αναλύσεις ανά πάσα ώρα και στιγμή (Byrne & Byrne, 2010).

Ένα μεγάλο πλεονέκτημα των προσομοιώσεων είναι ότι μπορούν να αναπαραστήσουν με κίνηση (animation) τη συμπεριφορά του συστήματος κατά την εξέλιξή του χρόνου. Η κίνηση είναι χρήσιμη για λόγους επίδειξης, επιβεβαίωσης της κατάστασης ή επίλυση προβλημάτων.

Η προσομοίωση, όπως κάθε μέθοδος, έχει και ορισμένα μειονεκτήματα.

Ο αναλυτής και σχεδιαστής των συστημάτων πρέπει να είναι πολύ έμπειρος, να έχει ανεπτυγμένες προγραμματιστικές τεχνικές, καθώς για τα πιο πολλά προγράμματα προσομοίωσης από ένα σημείο και μετά απαιτείται και συγγραφή κώδικα σε κάποια γλώσσα προγραμματισμού.

Επίσης ο αναλυτής πρέπει να είναι πολύ έμπειρος και γνώστης των επιχειρηματικών διαδικασιών τις οποίες προσπαθεί να αναπαραστήσει ή να περάσει ικανό χρόνο με τα στελέχη που τις γνωρίζουν πολύ καλά (Sumari et al., 2013).

3.4 Η διαφορά των προσομοιώσεων και των ψηφιακών διδύμων

Μία απαραίτητη διευκρίνιση πρέπει να γίνει σε αυτό το σημείο της εργασίας. Οι προσομοιώσεις συχνά αναφέρονται και σαν ψηφιακά δίδυμα. Οι δύο αυτοί όροι όμως δεν είναι ίδιοι και πιστεύουμε ότι πρέπει να τονιστεί αυτή η διαφορά.

Το ψηφιακό δίδυμο (digital twin) είναι ένας εικονικός κόσμος ο οποίος σχεδιάζεται ώστε να αναπαραστήσει με ακρίβεια το φυσικό σύστημα το οποίο μελετάται. Με τη βοήθεια αισθητήρων, λαμβάνει πραγματικά δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για όλα τα στοιχεία του. Όταν συγκεντρωθούν όλα τα απαραίτητα στοιχεία το ψηφιακό δίδυμο τρέχει προσομοιώσεις για να μελετηθούν σενάρια και βελτιώσεις.

Αν και οι προσομοιώσεις και τα ψηφιακά δίδυμα χρησιμοποιούν και τα δύο μοντέλα και ηλεκτρονικούς υπολογιστές ώστε να αναπαραστήσουν πραγματικά συστήματα, τα ψηφιακά δίδυμα

αποτελούν ένα εικονικό περιβάλλον, το οποίο τα καθιστά πλουσιότερα στην μελέτη. Για την ακρίβεια με τις προσομοιώσεις συνήθως μελετώνται συγκεκριμένες διαδικασίες ή κομμάτια του συστήματος, ενώ ένα ψηφιακό δίδυμο μπορεί να τρέξει οποιονδήποτε αριθμό προσομοιώσεων για όλο το σύστημα συνολικά (*ibm.com*, 2022).

3.5 Είδη Μοντέλων

Η διαδικασία της μοντελοποίησης είναι μία πάρα πολύ σημαντική διαδικασία, τόσο γιατί υπάρχουν διάφορα είδη μοντέλων που πρέπει να επιλεγθούν σωστά ανάλογα με την εργασία που επιθυμούμε, όπως επίσης γιατί υπάρχουν και διάφορα εργαλεία (*Κομηνέας & Χαρμανδάρης*, 2016). Στην περίπτωση της προσομοίωσης, τα μοντέλα είναι δύο ειδών: στοχαστικά και προσδιοριστικά και έτσι προσεγγίζονται και όλα τα υπό ανάλυση συστήματα.

Ένα μοντέλο ονομάζεται στοχαστικό αν τα αποτελέσματα που προκύπτουν στην έξοδο του δεν είναι γνωστά αλλά καθορίζονται από την τυχαιότητα. Ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να έχει σαν είσοδο συγκεκριμένες τιμές ή τυχαίες (*Γεωργίου, κ.α*, 2015). Τα στοχαστικά μοντέλα διακρίνονται σε δυναμικά και στατικά. Εάν η κατάσταση του μοντέλου μεταβάλλεται με βάση την παράμετρο του χρόνου ονομάζεται δυναμικό. Εάν η κατάσταση του μοντέλου είναι ανεξάρτητη από το χρόνο τα ονομάζουμε στατικό ή Μόντε Κάρλο (*Tribastone & Vandin*, 2018). Για τα δυναμικά μοντέλα υπάρχει ακόμα μια διάκριση: Μπορεί να είναι συνεχή ή διακριτά. Στα στοχαστικά μοντέλα διακριτών συστημάτων οι μεταβολές είναι κυρίως ασυνεχείς, δηλαδή η κατάσταση του συστήματος αλλάζει μόλις τελειώσει μία δραστηριότητα. Στα συνεχή οι δραστηριότητες μεταβάλλουν συνεχώς την κατάσταση του συστήματος (*Ρουμελιώτης*, 2001).

Ένα μοντέλο ονομάζεται προσδιοριστικό (deterministic) αν τα αποτελέσματα που προκύπτουν στην έξοδο του, είναι γνωστά και πάντα τα ίδια για δεδομένες τιμές εισόδου (*Bohorquez & Ancey*, 2015).

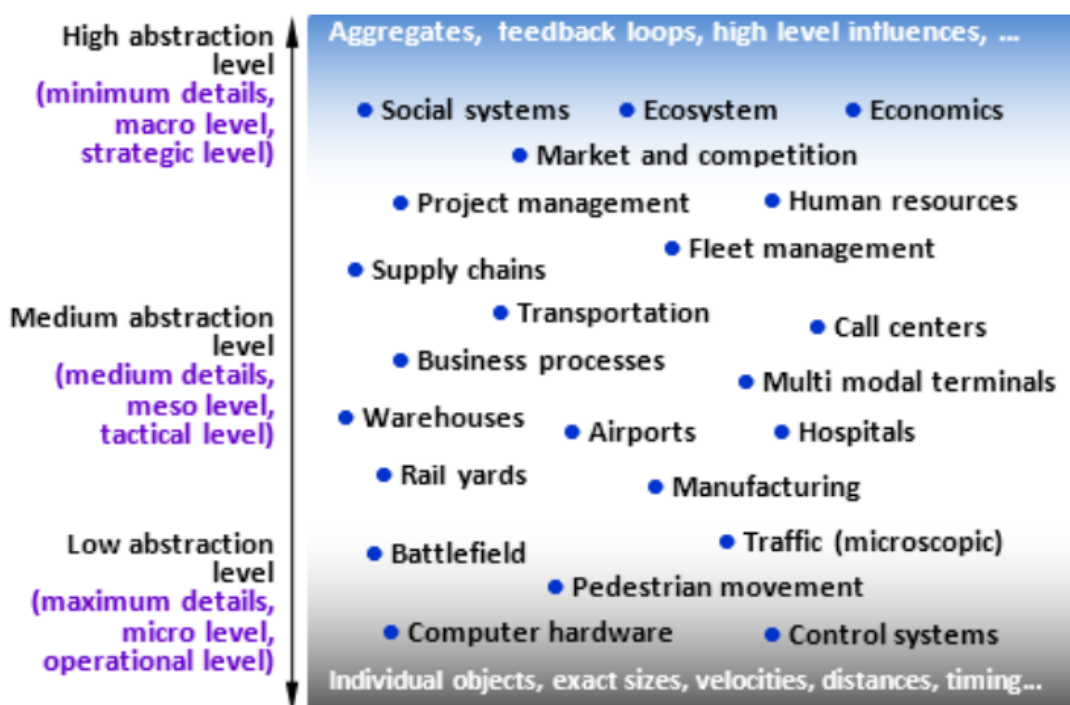
3.6 Μέθοδοι Προσομοίωσης

Η μέθοδος η οποία θα ακολουθηθεί για την επιτυχή δημιουργία της προσομοίωσης, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το υπό μελέτη σύστημα. Η βασική παράμετρος για αυτή την απόφαση είναι το επίπεδο αφαίρεσης το οποίο απασχολεί τον σχεδιαστή του μοντέλου. Το επίπεδο αφαίρεσης έχει να κάνει με το επίπεδο λεπτομερειών που είναι διαθέσιμο ή σημαντικό για την προσομοίωση και τα αποτελέσματα της. Γενικά υπάρχουν τρεις κατηγορίες (*Sumari et al.*, 2013):

Το επίπεδο υψηλής αφάιρεσης, όπου χρησιμοποιούνται λίγες λεπτομέρειες και συνήθως περιγράφει ένα σύστημα σε μακρο επίπεδο και ευρύτερα στρατηγικό, όπως παραδείγματος χάρη να γίνει προσομοίωση μιας αγοράς, ενός οικοσυστήματος, ενός πληθυσμού, η πορεία της πανδημίας κ.α.

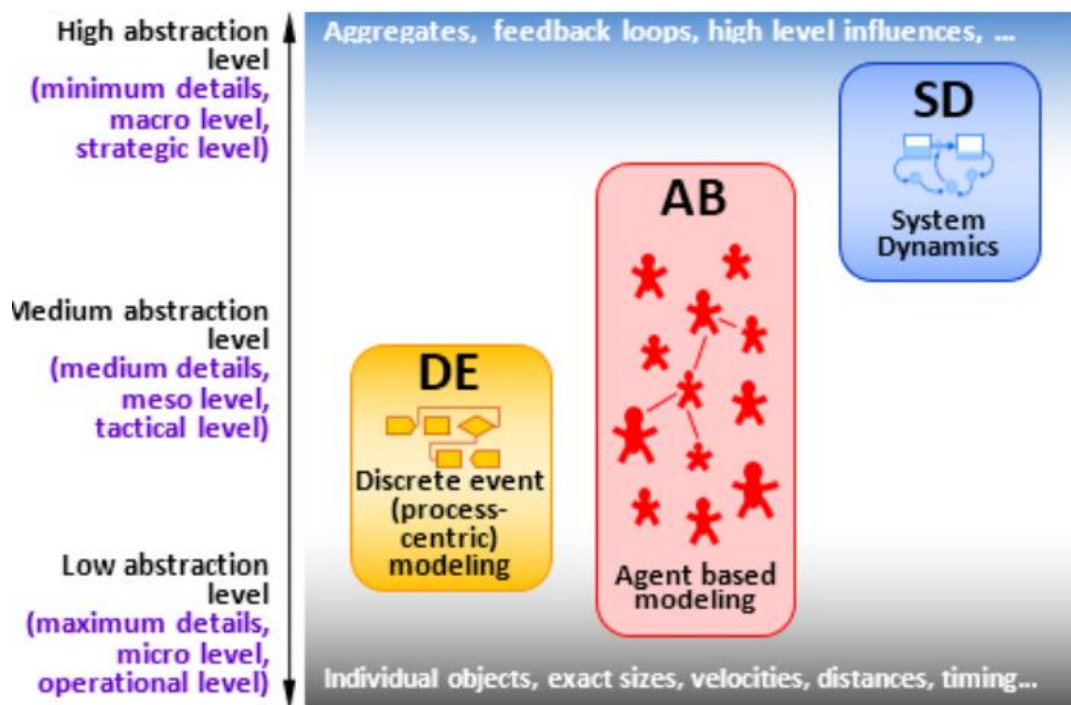
Το μέσο επίπεδο αφάιρεσης, όπου εστιάζουμε σε ένα μέσο επίπεδο λεπτομερειών. Αυτά κινούνται στο τακτικό επίπεδο των επιχειρήσεων και των αποφάσεων. Για παράδειγμα σε αυτό το επίπεδο λαμβάνονται οι επιχειρησιακές διαδικασίες, η κίνηση στα αεροδρόμια, η κίνηση στα νοσοκομεία, η λειτουργία των αποθηκών.

Τέλος υπάρχει και το επίπεδο χαμηλής αφάιρεσης, όπου υπάρχει η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη λεπτομέρεια. Κινούνται στο λειτουργικό (καθημερινών λειτουργιών) επίπεδο των διαδικασιών όπως είναι οι προσομοιώσεις για κίνηση σε μία διάβαση, σε ένα πεδίο μάχης, η κίνηση στους δρόμους κ.λπ. (Εικόνα 3.2).



Εικόνα 3.2 Επίπεδο αφάιρεσης και εφαρμογές. Πηγή anylogic.com, 2022a.

Αναλόγως λοιπόν, ακολουθείται και η μέθοδος προσομοίωσης όσον αφορά το επίπεδο αναπαράστασης του πραγματικού συστήματος για την τελική απόφαση της μοντελοποίησης του. Έτσι υπάρχουν τρία είδη μεθοδολογιών για την υλοποίηση των προσομοιώσεων. Τα δυναμικά συστήματα, τα συστήματα που μοντελοποιούνται βάσει πρακτόρων και τα συστήματα διακριτών συμβάντων (Εικόνα 3.3), στα οποία επικεντρωνόμαστε στην παρούσα εργασία.

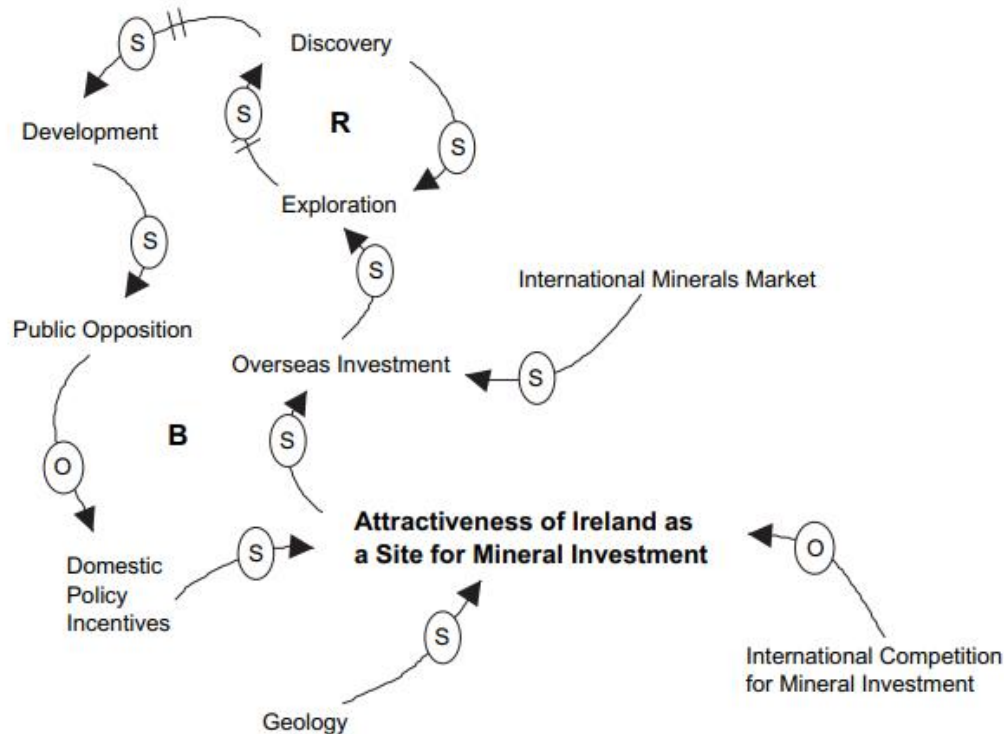


Εικόνα 3.3 Επίπεδο αφαίρεσης και μέθοδος προσομοίωσης. Πηγή anylogic.com, 2022α.

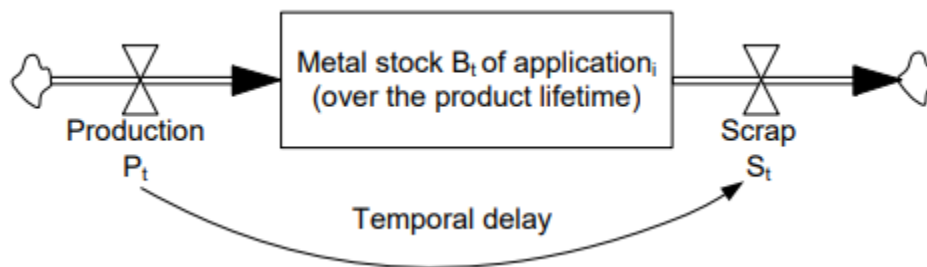
3.6.1 Προσομοίωση Δυναμικών Συστημάτων

Η μοντελοποίηση των δυναμικών συστημάτων και της δυναμικής τους, είναι μία θεώρηση που μας επιτρέπει να καταλάβουμε την δομή και το δυναμισμό πολύπλοκων συστημάτων. Υπάρχουν πάρα πολλά παραδείγματα στην καθημερινότητα όπου γίνεται αναφορά στα δυναμικά συστήματα. Ένα κλασσικό παράδειγμα τέτοιου συστήματος είναι το μοντέλο θηράματος-θηρευτή όπου έχοντας σαν βάση έναν πληθυσμό κουνελιών και ένα πληθυσμό λύκων, γίνεται προσομοίωση της ανάπτυξης και μείωσης των πληθυσμών τους, ανάλογα με τις παραμέτρους (π.χ. διαθέσιμη τροφή για τα κουνέλια, μέσος όρος ζωής κουνελιών, πυκνότητα πληθυσμών).

Τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται είναι κυρίως βρόγχοι σχέσεως αιτίας και αιτιατού (causal loop diagrams) (Εικόνα 3.4) και διαγράμματα αποθεμάτων και ροών (stocks and flows) (Εικόνα 3.5) (Sterman, 2000).



Εικόνα 3.4 Casual loop diagram των παραγόντων που επηρεάζουν το μέλλον της εξορυκτικής βιομηχανίας σε μια χώρα. Πηγή O'Regan & Moles, 2006.



Εικόνα 3.5 Stocks and Flows από την εξόρυξη μέχρι την απόρριψη του scrap. Πηγή: Glöser et al., 2013

3.6.2 Προσομοίωση με την χρήση Πρακτόρων

Η μοντελοποίηση και προσομοίωση με την χρήση πρακτόρων είναι μία σχετικά νέα πρακτική. Ξεκίνησε στην αρχή της δεκαετίας του 1990, αλλά μετά το 2000 ξεκίνησε η βιομηχανική και ευρεία εφαρμογή τους, καθώς μέχρι τότε ήταν κυρίως μια ακαδημαϊκή συζήτηση (Sumari, 2013).

Η προσομοίωση με πράκτορες έχει τοποθετηθεί από τους ερευνητές σαν ενδιάμεσο βήμα ανάμεσα στην προσομοίωση της δυναμικής των συστημάτων και της προσομοίωσης διακριτών συμβάντων

που θα παρουσιαστεί στην συνέχεια. Το μεγάλο θετικό αυτής της μεθόδου είναι ότι σε κάθε περίπτωση, όσες λεπτομέρειες και αν λείπουν από το σύστημα, όσες άγνωστες μεταβλητές και να υπάρχουν, μπορεί να δημιουργηθεί το μοντέλο τοποθετώντας πράκτορες (όπου ορίζεται και η συμπεριφορά τους) και να βελτιώνεται το μοντέλο σταδιακά, συγκρίνοντας το μοντέλο με την πραγματικότητα και βελτιώνοντας το προσθέτοντας και άλλους πράκτορες ή αλλάζοντας την συμπεριφορά τους (*anylogic.com, 2022a*).

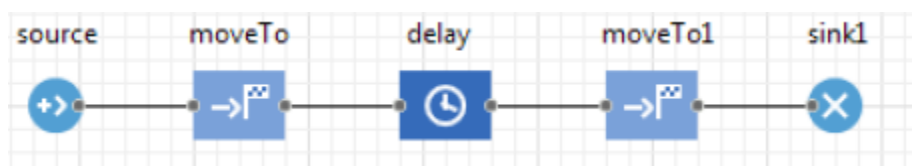
Ένας πράκτορας μπορεί να είναι οτιδήποτε, ανάλογα με το μοντέλο και το σύστημα που μελετάται. Έτσι για ένα λιμάνι πράκτορας μπορεί να είναι ένα πλοίο το οποίο μπαίνει ή βγαίνει από το λιμάνι. Το ίδιο για ένα αεροδρόμιο πράκτορας θα είναι ένα αεροπλάνο, ή άνθρωποι σε διάφορους ρόλους (όπως παραδείγματος χάρη υπάλληλοι, στρατιώτες κ.λπ.). Ακόμα και τελείως παθητικά στοιχεία μπορεί να είναι πράκτορες, όπως ένα δέντρο όταν προσομοιώνεται μια πυρκαγιά.

3.6.3 Προσομοίωση Διακριτών Συμβάντων

Η προσομοίωση με την μέθοδο των διακριτών συμβάντων είναι σχεδόν τόσο παλιά όσο η προσομοίωση με υπολογιστικά συστήματα. Υπάρχει από το 1960 όταν η IBM έφτιαξε το πρώτο λογισμικό για μοντελοποίηση και προσομοίωση συστημάτων διακριτών συμβάντων.

Η προσομοίωση διακριτών συμβάντων (ΠΔΣ) απαιτεί έναν έμπειρο σχεδιαστή, ο οποίος πρέπει να γνωρίζει σε βάθος το σύστημα το οποίο θέλει να μοντελοποιήσει με όλες τις ροές των διαδικασιών και των λειτουργιών, όπου συμμετέχουν τα εμπλεκόμενα στοιχεία.

Το μοντέλο μπορεί να συμπεριλαμβάνει καθυστερήσεις, διάφορες πηγές πόρων (άλλων συμβάντων ή τα αποτελέσματά τους), πολλές διακλαδώσεις στις διαδικασίες, ουρές αναμονής κ.α. Γίνεται εκτεταμένη χρήση διαγραμμάτων ροής και πρακτόρων, δηλαδή κάποιων στοιχείων όπου αλληλοεπιδρούν με τις διαδικασίες (*Εικόνα 3.6*).



Εικόνα 3.6 Διαγράμματα ροής διαδικασιών στο Anylogic. Πηγή *anylogic.com, 2022a*.

Ο κύριος σκοπός των ΠΔΣ και των μοντέλων τους είναι να αναδείξουν τις διαδικασίες και τη ροή τους, έτσι όπως εξελίσσονται κατά τη διάρκεια των συμβάντων στο σύστημα, όπου κάθε στοιχείο συμμετέχει σε μία αλληλουχία δραστηριοτήτων σε σχέση με το χρόνο (δράσης ή αναμονής).

Και στην περίπτωση των ΠΔΣ βοηθάει πάρα πολύ η κίνηση και τα γραφικά, ώστε να γίνεται πιο ρεαλιστική η αναπαράσταση των οντοτήτων και των γεγονότων τα οποία προκύπτουν στο σύστημα, και κατ' επέκταση πως θα είναι στο πραγματικό σύστημα εάν εφαρμοστούν οι προτεινόμενες αλλαγές ή σενάρια (Robinson, 2005).

Είναι γενικά αποδεκτό ότι μία ΠΔΣ βασίζεται στην θεωρία ουρών και των δικτύων αναμονής. Οι ουρές και τα δίκτυα αναμονής αποτελούν μία κατηγορία μοντέλων τα οποία χρησιμοποιούνται κυρίως για να αναπαραστήσουν και να βελτιώσουν τα συστήματα παραγωγής, αλλά και για την περιγραφή δικτύων υπολογιστών, τηλεπικοινωνιών και άλλα (Tako and Robinson, 2012).

Οι ΠΔΣ λοιπόν, είναι ιδανικές στο να περιγράφουν συστήματα με δίκτυα παραγωγής, τα οποία περιέχουν σταθμούς παραγωγής, οι οποίοι με τη σειρά τους περιλαμβάνουν μηχανές παράλληλα συνδεδεμένες με τις γραμμές παραγωγής και ουσιαστικά δέχονται ως εισροές πρώτες ύλες κι άλλους πόρους και παράγουν επεξεργασμένα είδη. Οι γραμμές παραγωγής επίσης είναι μία σειρά από μηχανές, αλλά συνδεδεμένες σε σειρά.

Αυτή η προσέγγιση βοηθά στο να γίνει αναπαράσταση πραγματικών συστημάτων με μεγάλη ακρίβεια και να αναλυθούν εύκολα στον επιθυμητό βαθμό (med.upenn.edu, 2022).

Όπως αναφέραμε και πριν, τα συστήματα αυτά δίνουν μία μετρίου επιπέδου έμφαση στις λεπτομέρειες. Στην κλασσική προσέγγιση των διακριτών συμβάντων, οι οντότητες είναι παθητικές και έχουν μόνο ιδιότητες που επηρεάζουν τον τρόπο με τον οποίο τις χειριζόμαστε (anylogic.com, 2022b).

3.7 Λογισμικά Προσομοίωσης

Τα λογισμικά τα οποία είναι διαθέσιμα για την πραγματοποίηση προσομοιώσεων είναι πάρα πολλά στην αγορά και διακρίνονται σε αυτά που προορίζονται για επαγγελματική χρήση αλλά και για ερασιτεχνική χρήση και διασκέδαση (π.χ. παιχνίδια προσομοίωσης). Η λίστα με τα λογισμικά θα μπορούσε να είναι πολύ μεγάλη αλλά κρίνουμε απαραίτητο να παρουσιάσουμε τους μεγάλους ανταγωνιστές, δηλαδή εταιρείες, που φτιάχνουν επαγγελματικό λογισμικό προσομοίωσης με ιδιαίτερη έμφαση στη χρήση για συστήματα διακριτών συμβάντων. Στην αγορά υπάρχουν πέντε

μεγάλες εταιρείες όπως παρουσιάζεται στην [εικόνα 3.7](#), όπου απευθύνονται σε συγκεκριμένες αγορές/βιομηχανίες. Το πολύ σημαντικό το οποίο μπορούμε να παρατηρήσουμε μελετώντας την τελευταία στήλη (αγορές που απευθύνονται) είναι ότι στην πλειοψηφία τους οι λύσεις τους απευθύνονται και στην μεταλλευτική βιομηχανία.

	VENDOR	TYPICAL APPLICATIONS	PRIMARY MARKETS
ANYLOGIC	AnyLogic North America	Multimethod general-purpose simulation tool. Discrete event, agent-based, and system dynamics modeling.	<ul style="list-style-type: none"> • Supply Chains • Transportation • Warehouse operations • Rail logistics • Mining • Oil and gas • Road traffic • Passenger flows • Manufacturing and material handling • Healthcare • Business processes • Asset management • Marketing • Social processes • Defense
ARENA	Rockwell Automation	Used for simulating and analyzing existing and proposed systems as well as operational analysis.	<ul style="list-style-type: none"> • Manufacturing • Supply chains • Government • Healthcare • Logistics • Food and Beverage • Packaging • Mining • Call Centers
ENTERPRISE DYNAMICS	INCONTROL Simulation Solutions	Manufacturing, logistics, and material handling simulation	<ul style="list-style-type: none"> • Warehouses • Distribution centers • Airports and harbors • Healthcare and pharmaceuticals • FMCG
EXTENDSIM PRO	Imagine That Inc	Professional level tool for modeling and analyzing complex discrete rate, continuous, agent-based, and hybrid systems.	<ul style="list-style-type: none"> • Consumer products • Healthcare • Energy • Petro-chem • Pulp/Paper • Transportation • Pharmaceuticals • Semiconductors • Military and Government • Mining
FLEXSIM	FlexSim Software Products, Inc.	Simulation and modeling of any process, with the purpose of analyzing, understanding, and optimizing that process.	<ul style="list-style-type: none"> • Manufacturing • Packaging • Warehousing • Material handling • Supply chain • Logistics • Healthcare • Factory • Aerospace • Mining

Εικόνα 3.7 Κορυφαία επαγγελματικά λογισμικά προσομοίωσης παγκοσμίως. Πηγή anylogic.com, 2022c.

3.8 Προσομοίωση και μεταλλευτική βιομηχανία

Οι προσομοιώσεις στην μεταλλευτική βιομηχανία αξιοποιούνται εδώ και αρκετά χρόνια. Οι εφαρμογές των προσομοιώσεων στη μεταλλευτική βιομηχανία είναι πάρα πολλές, όπως για παράδειγμα η ανάπτυξη βέλτιστων σχεδίων εκσκαφής και γενικότερα εργασιών εξόρυξης, με πάρα πολλά σενάρια «τι θα γίνει εάν» (what-if scenarios) με σκοπό να αξιολογηθούν οι εργασίες εξόρυξης με την πάροδο του χρόνου και να πραγματοποιηθεί και σχετική ανάλυση κινδύνου.

Μία ακόμα εφαρμογή είναι η μοντελοποίηση στην κίνηση των οχημάτων, όπου λόγω περιορισμών μέσα και γύρω από το ορυχείο, απαιτείται λεπτομερής δρομολόγηση και προγραμματισμός. Επίσης με τις ίδιες μεθόδους πραγματοποιείται η πρόβλεψη της χρήσης του εξοπλισμού, ειδικά της περίπτωση που ο εξοπλισμός είναι μισθωμένος και το κόστος ανεβαίνει σημαντικά για τις ημέρες που δεν αξιοποιείται ο εξοπλισμός (*Torkamani & Nasab, 2015*).

Σημαντικό στοιχείο και σε αυτή την περίπτωση, είναι η οπτικοποίηση του αποτελέσματος με τις δυνατότητες κίνησης (animation) που δίνονται από το λογισμικό προσομοίωσης, και έτσι δίνεται καλύτερη εικόνα σε όλους τους εμπλεκόμενους -και κυρίως σε αυτούς που λαμβάνουν την απόφαση.

Η προσομοίωση των εργασιών εξόρυξης ουσιαστικά παρέχεται σε ένα εικονικό περιβάλλον για ανάλυση, δοκιμή και βελτιστοποίηση των δραστηριοτήτων εξόρυξης, με την δυνατότητα να δημιουργηθούν πολλά σενάρια και να καταγραφούν. Επίσης δίνεται η δυνατότητα να παρουσιαστούν στατιστικά στοιχεία για την αποδοτικότητα του μεταλλίου με σκοπό να βελτιωθεί η παραγωγικότητα (*Upadhyay & Askari-Nasab, 2018*).

Σχεδόν όλα τα σύγχρονα λογισμικά προσομοίωσης διαθέτουν ειδική βιβλιοθήκη εργαλείων ώστε να μπορούν να γίνουν προσομοιώσεις της εφοδιαστικής αλυσίδας σε ένα μεταλλείο αλλά και όλων των διαδικασιών εξόρυξης. Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε ορισμένες εικόνες από ένα δείγμα προσομοίωσης μεταλλείου έτσι όπως το έχει αναπτύξει η εταιρεία Anylogic.

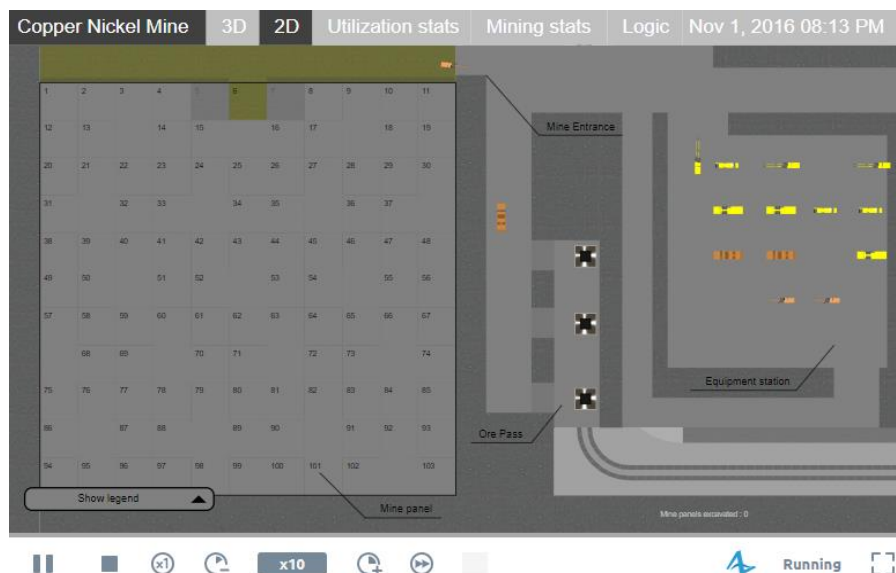
Το συγκεκριμένο παράδειγμα προσομοίωσης απεικονίζει τη διαδικασία εξόρυξης μεταλλεύματος χαλκού και νικελίου. Όλες οι εργασίες εξόρυξης (διάτρηση, ανατίναξης, φόρτωση και μεταφορά μεταλλεύματος με φορτηγό ορυχείων κ.α.) γίνονται σειριακά από θάλαμο σε θάλαμο. Το μοντέλο εστιάζει στο πρόβλημα του εξοπλισμού που φτάνει στον επιθυμητό θάλαμο σε σχέση με τη διαδρομή που μπλοκάρεται από άλλα μηχανήματα που λειτουργούν ή κινούνται. Έως τότε, ο θάλαμος

που είναι έτοιμος για εξόρυξη παραμένει σε κατάσταση αδράνειας. Το μοντέλο βοηθά στον προσδιορισμό του βέλτιστου μεγέθους του στόλου οχημάτων, στην αποφυγή αποκλεισμένων διαδρομών και στη μείωση του χρόνου αδράνειας του εξοπλισμού (*anylogic.com, 2022d*).



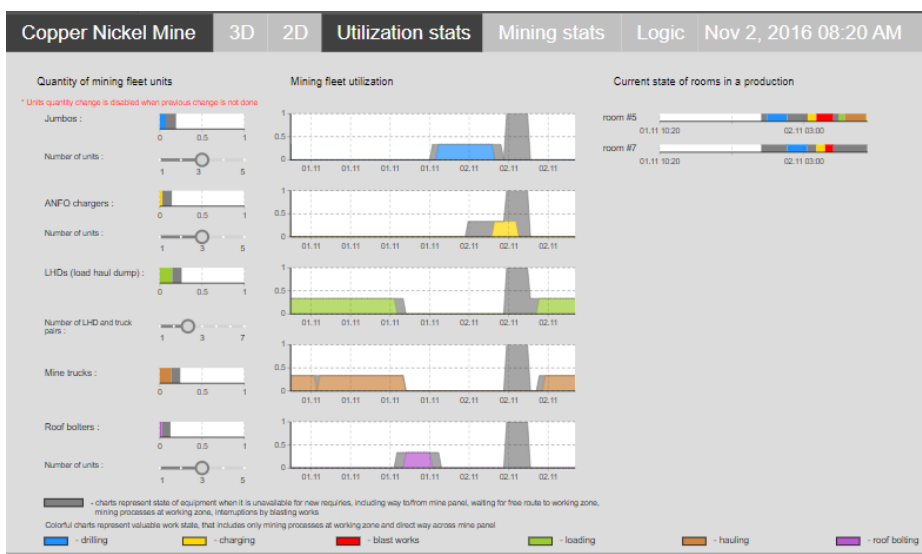
Εικόνα 3.8 Τρισδιάστατη οπτική από την κύρια κάμερα του μεταλλείου. Πηγή *anylogic.com, 2022d*.

Στην *εικόνα 3.8*, φαίνεται η προσομοίωση του χώρου του ορυχείου από την κυρία κάμερα που έχει τοποθετήσει ο σχεδιαστής. Στο συγκεκριμένο μοντέλο ο σχεδιαστής έχει τοποθετήσει τέσσερις κάμερες: μία κεντρική, μια στο πέρασμα, μια εκεί που βρίσκεται ο εξοπλισμός και μια εκεί που βρίσκεται η ταινία μεταφοράς του υλικού. Η τοποθέτηση καμερών σαν δυνατότητα υπάρχει στην περίπτωση που ο σχεδιαστής και χρήστης επιλέξει τη δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου.

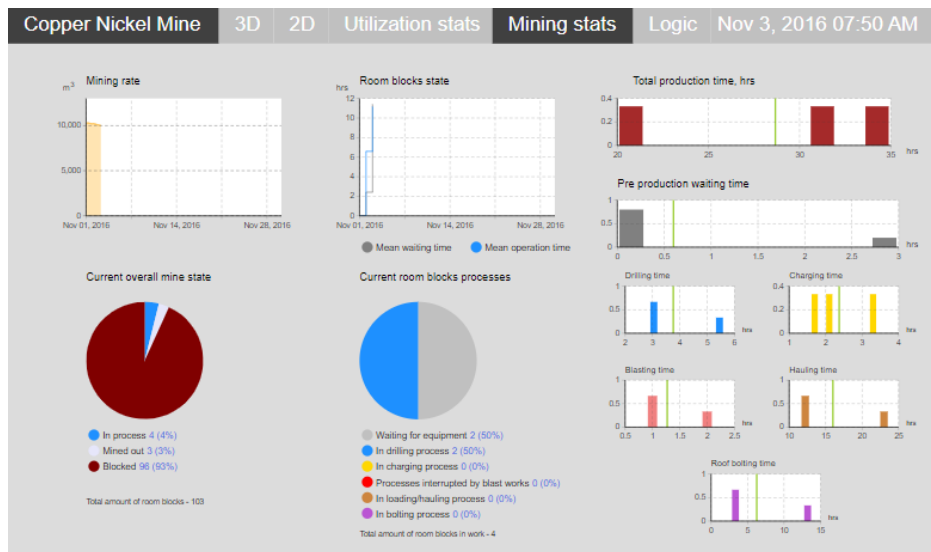


Εικόνα 3.9 2Δ οπτική του μεταλλείου. Πηγή anylogic.com, 2022d.

Στην [εικόνα 3.9](#) φαίνεται η δισδιάστατη όψη του μεταλλείου του χώρου των υλικών και του περάσματος. Στην [εικόνα 3.10](#) φαίνονται τα στατιστικά της χρήσης των διαθέσιμων πόρων του ορυχείου, δηλαδή η ποσότητα του χωματουργικού εξοπλισμού και το ποσοστό αξιοποίησης του.

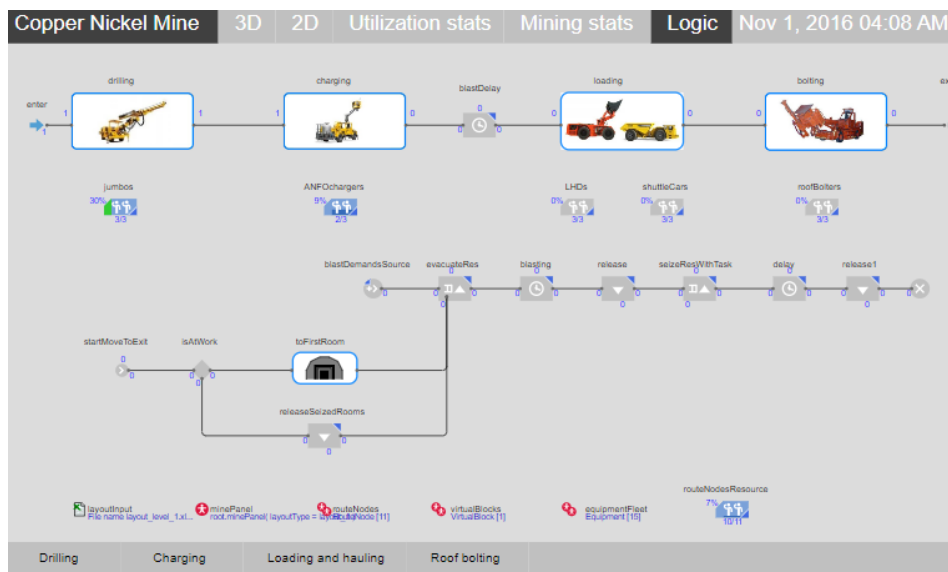


Εικόνα 3.10 Στατιστικά χρήσης πόρων. Πηγή anylogic.com, 2022d.



Εικόνα 3.11 Στατιστικά αποδοτικότητα μεταλλείου. Πηγή anylogic.com, 2022d.

Στην [εικόνα 3.11](#) φαίνονται τα συνοπτικά στατιστικά αποδοτικότητα του μεταλλείου έτσι όπως τα έχει ορίσει ο σχεδιαστής για να φαίνονται όταν «τρέχει» η προσομοίωση, ενώ στην [εικόνα 3.12](#) φαίνεται η βασική μοντελοποίηση της λογικής και της ροής εργασιών που είναι απαραίτητες για τη δημιουργία του μοντέλου ώστε να τρέχει σωστά η προσομοίωση.



Εικόνα 3.12 Μοντελοποίηση της λογικής και της ροής εργασιών. Πηγή anylogic.com, 2022d.

Κεφάλαιο 4

4.1 Μεθοδολογία έρευνας αναλυτικά - Τεκμηρίωση μεθοδολογικών επιλογών

Η χρήση της μελέτης περίπτωσης, ως κομμάτι της ποιοτικής έρευνας, επιτρέπει μία σε βάθος πολύπλευρη εξερεύνηση πολύπλοκων συστημάτων και εννοιών σε πραγματικές συνθήκες (*Crowe et al., 2011*).

Η ποιοτική έρευνα με τη χρήση της μελέτης περίπτωσης, είναι μία εμπειρική αναζήτηση, η οποία περιγράφει και μελετάει ένα σύγχρονο πραγματικό μικρόκοσμο και σαν τεχνικές μπορεί να εμπεριέχει: τη συλλογή δεδομένων, ποσοτικές τεχνικές και αναλυτική προσέγγιση για την καλύτερη κατανόηση του φαινομένου. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν πειραματικές μέθοδοι σχεδιασμένες με τέτοιο τρόπο ώστε να βοηθήσουν στην βελτίωση του υπό μελέτη συστήματος ή φαινομένου (*Gog, 2016*).

Ειδικότερα σε μία περίπτωση, όπως στην παρούσα εργασία όπου τα πειράματα γίνονται με τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή και προγραμμάτων προσομοίωσης, είναι αποδεκτό από τους ερευνητές, ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά δεδομένα (*Zhang & Notz, 2014*).

Επίσης είναι ήδη συζητημένη η καλή πρακτική των πειραμάτων διακριτών επιλογών (discrete choice experiments - DCEs) και της ποιοτικής έρευνας (*Vass et al., 2017*), οι οποίες επιλογές χρησιμοποιούνται ήδη ευρέως στην μεταλλευτική βιομηχανία για την υποστήριξη και λήψη διαφόρων επιχειρηματικών αποφάσεων, όπως για παράδειγμα που θα εγκατασταθούν νέα μεταλλευτικά έργα, η τοποθέτηση εργατικού δυναμικού και άλλα (*Windle & Rolfe, 2013; Que et al., 2015; Awuah-Offei et al., 2021*)

Συμπερασματικά, οι προσομοιώσεις με τη χρήση του υπολογιστή στα πλαίσια μιας μελέτης περίπτωσης εντάσσονται στην κατηγορία ποιοτικής έρευνας, με ποικίλες εφαρμογές στην μεταλλευτική βιομηχανία, όπως παραδείγματος χάρη βαθμό διάβρωσης εδάφους (*Hancock & Willgoose, 2004*) και θεωρείται κατάλληλη μέθοδος για την ανάπτυξη σεναρίων και λήψη αποφάσεων.

Για τις ανάγκες της πραγματοποίησης της έρευνας στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από το μεταλλείο του Αγίου Ιωάννη στην Βοιωτία, όπου πρώτα έγινε η αποτύπωση της πραγματικής κατάστασης χρησιμοποιώντας έγκυρα δεδομένα τα οποία έχουν ήδη παραχωρηθεί

στην ακαδημαϊκή κοινότητα (Ζαμπός, 2000) και μετέπειτα πραγματοποιήθηκε ανάπτυξη των σεναρίων.

Ο βασικός διαχωρισμός των σεναρίων έγινε με βάση την διαδικασία απόθεσης του μεταλλεύματος (με dispatching και χωρίς dispatching), μελετώντας τις διαδικασίες σταθερού χρόνου και χωριστά τις διαδικασίες μεταβλητού χρόνου, τροποποιώντας στα σενάρια βασικές μεταβλητές: την απόσταση μεταξύ σημείου εξόρυξης και απόθεσης του μεταλλεύματος και του κύκλου φόρτωσης του φορτωτή (5 ή 6 κουβαδιές).

4.2 Παρουσίαση μεταλλείου μελέτης περίπτωσης

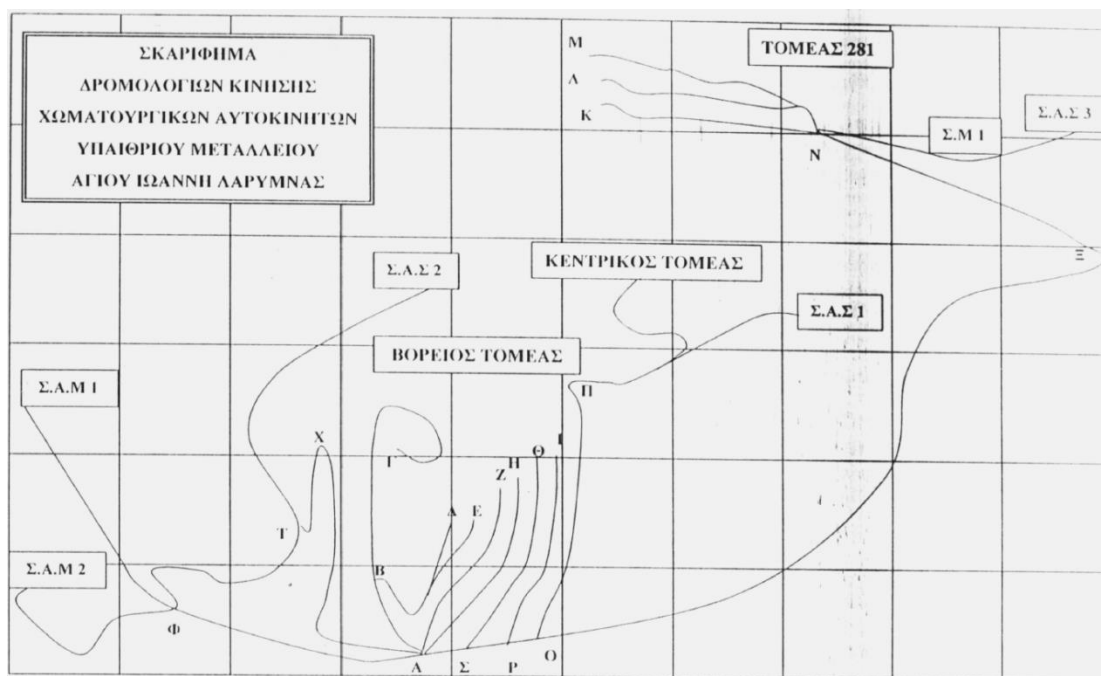
Τα μεταλλεία του Αγίου Ιωάννη (*Εικόνα 4.1*), όπως αναφέρθηκε και στο εισαγωγικό κεφάλαιο, βρίσκονται στο Νέο Κόκκινο του νομού Βοιωτίας και είναι ένα από τα παλιότερα μεταλλεία της εταιρίας Larco, με μεγάλη ετήσια παραγωγή -περίπου 700.000 τόνοι μεταλλεύματος, με υπόγειες και επιφανειακές εκμεταλλεύσεις.

Τα μεταλλεία διαθέτουν σύγχρονο εξοπλισμό θραύσης- κοσκίνισης, εμπλουτισμού κ.α. Στην περιοχή έχει δημιουργηθεί από την ίδια την εταιρεία ένας μικρός οικισμός με το όνομα Άγιος Ιωάννης (πρώην Νέο Κόκκινο) για τις ανάγκες της στέγασης των εργαζομένων της εταιρείας.



Εικόνα 4.1 Κάτοψη μεταλλείων και οικισμού. Πηγή: Google Maps

Τα μεταλλεία του Αγίου Ιωάννη βρίσκονται 7 χλμ. μακριά από το μεταλλουργικό εργοστάσιο της Λάρυμνας. Η κύρια παραγωγική διαδικασία του Αγίου Ιωάννη χωρίζεται σε δύο τμήματα: α) τις επιφανειακές εξορύξεις και β) το τριβείο και ο εμπλουτισμός του μεταλλεύματος. Τα μεταλλεύματα του Αγίου Ιωάννου έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο και διοξείδιο του πυριτίου όπως επίσης και ένα ποσοστό νικελίου 1.0-1.5% στο όριο εκμεταλλευσιμότητας. (Παπακωνσταντίνου, 2018).



Εικόνα 4.2 Σκαρίφημα Δρομολογιών Κίνησης Χωματουργικών Αυτοκινήτων. Πηγή Ζαμπός, 2000

Από το μεταλλείο του Αγίου Ιωάννη και για τις ανάγκες της παρούσης εργασίας, έχουν υιοθετηθεί ορισμένοι παράμετροι για την χρήση στα σενάρια τα οποία αναπτύσσονται για ένα οποιοδήποτε υπαίθριο μεταλλείο.

Η πρώτη παράμετρος είναι ότι η αξιοποίηση του εξοπλισμού είναι στο 80% (συντελεστής εκμετάλλευσης χρόνου). Επίσης υιοθετήθηκαν ως μέσα φόρτωσης οι 2 διαθέσιμοι ελαστικοφόροι φορτωτές.

4.3 Παρουσίαση εργαλείου έρευνας (Arena)

Το Arena είναι ένα λογισμικό προσομοίωσης διακριτών συμβάντων και αυτοματοποίησης, το οποίο αρχικά αναπτύχθηκε από την Systems Modeling η οποία εξαγοράστηκε από την Rockwell Automation το 2000. Χρησιμοποιεί τη δικιά του γλώσσα προσομοιώσεως, την SIMAN.

Στο Arena ο χρήστης χτίζει ένα πειραματικό μοντέλο τοποθετώντας modules (αρθρώματα) τα οποία αντιπροσωπεύουν διαδικασίες, οντότητες ή μία συγκεκριμένη λογική. Μέσω συνδετικών γραμμών, συνδέονται τα αρθρώματα και έτσι δημιουργούνται συγκεκριμένες ροές πληροφοριών και διαδικασιών.

Κάθε module διαθέτει συγκεκριμένες εργασίες που σχετίζονται είτε με οντότητες, είτε με πληροφορίες και χρόνο, έτσι ώστε το μοντέλο που θα δημιουργηθεί να μπορεί να έχει μία πλήρη απεικόνιση και σχέση με ένα πραγματικό σύστημα.

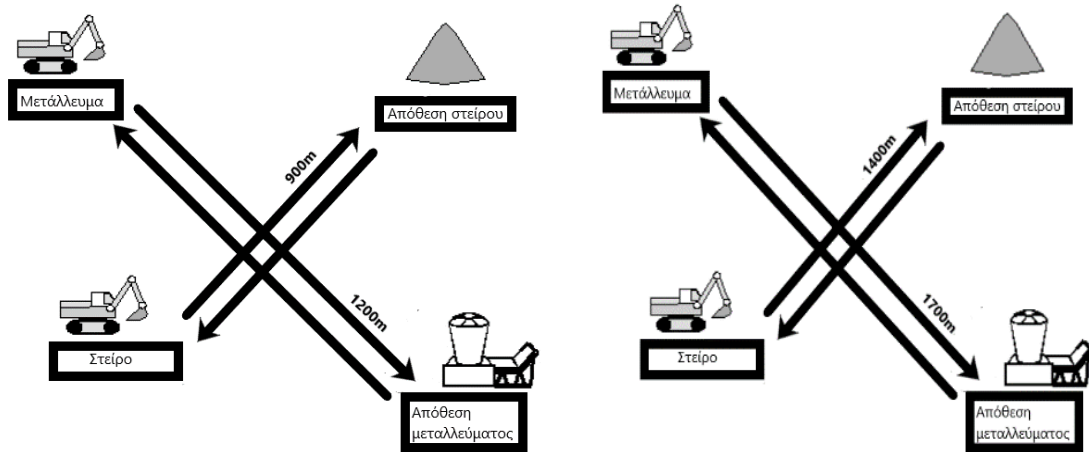
Το Arena επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί με οποιοδήποτε πρόγραμμα της εταιρείας Microsoft καθώς περιέχει την γλώσσα VBA (visual basic for applications) που μπορεί να έχει άμεση αλληλεπίδραση με προγράμματα όπως το Excel και Access (*Rockwellautomation.com*, 2022).

Το Arena δέχεται ανανεώσεις συνεχώς και νέες εκδόσεις περίπου μία φορά κάθε δύο χρόνια. Θεωρείται ένα αρκετά φιλικό προς το χρήστη λογισμικό και χρησιμοποιείται σε πολλές εργασίες, όπως μοντελοποίηση, επιβεβαίωση και επαλήθευση μοντέλων, ανάλυση συστημάτων με εφαρμογές σε πολλές βιομηχανίες όπως εφοδιαστική αλυσίδα, μεταφορές, τράπεζες και ATM, διαχείριση διαδικασιών και άλλες.

4.4 Συστήματα μεταφοράς μιας υπαίθριας εκμετάλλευσης

4.4.1 Σύστημα μεταφοράς κατά αποκλειστικότητα (non- dispatching)

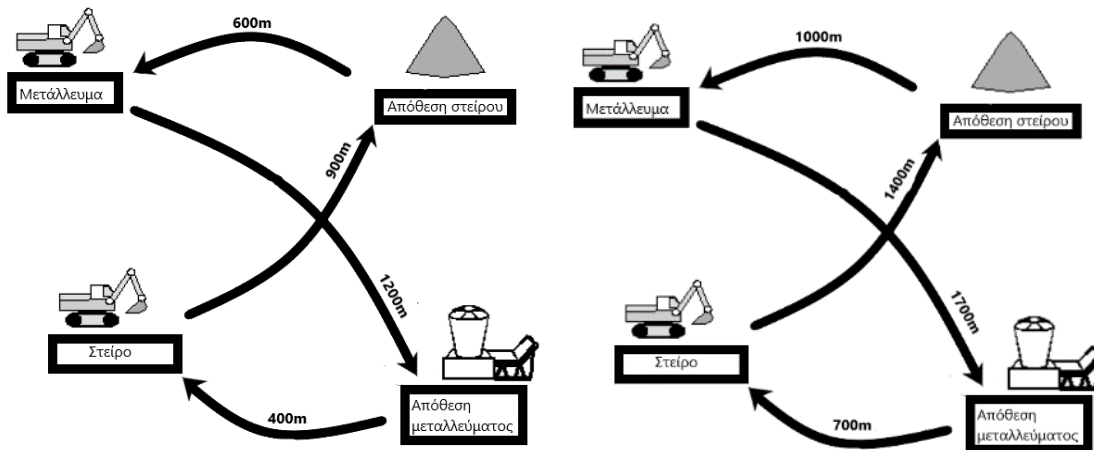
Στην περίπτωση όπου γίνεται μεταφορά κατ' αποκλειστικότητα (non-dispatching) μεταλλεύματος, το μέταλλευμα μεταφέρεται από το χώρο εξόρυξης στο χώρο απόθεσης απευθείας και το ίδιο συμβαίνει και για το στείρο (*Εικόνα 4.3*). Το χαρακτηριστικό εδώ είναι η αποκλειστική χρήση των μεταφορικών πόρων σε μια εργασία (ο φορτωτής του μεταλλεύματος και το αντίστοιχο χωματουργικό όχημα μεταφέρουν μόνο μέταλλευμα και το αντίστοιχο συμβαίνει για το στείρο υλικό).



Εικόνα 4.3 Μεταφορά κατ' αποκλειστικότητα μεταλλεύματος και στείρου υλικού (non-dispatching) για δυο περιπτώσεις με διαφορετικές αποστάσεις μεταφοράς.

4.4.2 Σύστημα μεταφοράς με dispatching

Στην περίπτωση μεικτής μεταφοράς (dispatched), το μέταλλευμα μεταφέρεται στο σημείο απόθεσης αλλά επειδή δεν υπάρχει αποκλειστικότητα στους πόρους μεταφοράς, εάν το μεταφορικό μέσο το οποίο μετέφερε μέταλλευμα είναι πιο κοντά σε σημείο απόθεσης στείρου, θα μεταφέρει και στείρο (Εικόνα 4.4).



Εικόνα 4.4 Μεικτή μεταφορά μεταλλεύματος και στείρου (dispatched) για δυο περιπτώσεις με διαφορετικές αποστάσεις μεταφοράς.

4.5 Προσομοιώσεις στις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις και παράμετροι

Ήδη από το 1987, στο περιοδικό International Journal of Surface Mining, αναφέρεται η χρήση των μοντέλων προσομοίωσης για υπαίθριες εκμεταλλεύσεις όπου σε ένα συγκεκριμένο παράδειγμα που δίνουν οι ερευνητές για υπαίθρια εκμετάλλευση ουρανίου, αναφέρονται οι

προβληματισμοί που τους οδήγησαν στην χρήση των προσομοιώσεων. Με επιθυμητό αποτέλεσμα τον προσδιορισμό του σωστού αριθμού των φορτηγών για τη βέλτιστη παραγωγή. Τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποίησαν για να πραγματοποιήσουν τις προσομοιώσεις ήταν: **η χωρητικότητα των χωματουργικών αυτοκινήτων, η απόσταση διαδρομής, οι χρόνοι απόθεσης και επιστροφής** για τα φορτηγά και τους φορτωτές. Επίσης, χρειάστηκαν την **κατανομή του χρόνου** για τη μετακίνηση των φορτηγών από σημείο φόρτωσης σε σημείο απόθεσης και το πόσο συνεισφέρει στο κέρδος κάθε φόρτωση του μεταλλεύματος και το κόστος της προσθήκης ενός νέου φορτηγού στο ορυχείο (Sturgul & Eharrison, 1987).

Ένα φλέγον θέμα για το οποίο οι μεταλλευτικές εταιρείες πιέζονται να βρουν λύσεις έχει να κάνει κυρίως με την **διαχείριση του εξορυσσόμενου υλικού**. Η διαχείριση του εξορυσσόμενου υλικού ως διαδικασία, έχει υπολογισθεί ότι είναι περίπου το 50% του συνολικού λειτουργικού κόστους μιας υπαίθριας εκμετάλλευσης.

Αυτό το γεγονός κάνει την εκλογίκευση και την βελτιστοποίηση της διαχείρισης, προτεραιότητα κάθε εταιρείας υπεύθυνης για την εκμετάλλευση. Ειδικότερα, μεγάλος λόγος γίνεται για τα **συστήματα μικτής μεταφοράς** (dispatched) στείρου και μεταλλεύματος. Αν και η βελτιστοποίηση του αριθμού των φορτηγών που αφιερώνονται στη μεταφορά είναι ούτως ή άλλως εξέχουσας σημασίας στη μεταλλευτική βιομηχανία, έχει φανεί ότι ο εξορθολογισμός του dispatching έχει μεγαλύτερα οφέλη για την μεταλλευτική επιχείρηση (Tan & Takakuwa, 2016).

Η μέθοδος προσομοίωσης διακριτών συμβάντων, η οποία στην μεταλλευτική βιομηχανία είναι μία στοχαστική μοντελοποίηση με μαθηματικά εργαλεία και με εφαρμογές στα συστήματα αναμονής και προσομοίωσης, είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδος για τις υπαίθριες μεταλλευτικές εκμεταλλεύσεις, όπου το σύστημα προσομοίωσης βοηθάει να μελετηθεί η δυναμική του συστήματος και να πραγματοποιηθούν αναλύσεις ευαισθησίας σε διάφορα κρίσιμα στοιχεία που καθορίζουν την αποδοτικότητα του συστήματος. Έτσι, με βάση το μοντέλο προσομοίωσης και την πραγματοποίηση σεναρίων μπορούν να υποστηριχθούν οι αποφάσεις για την **μέθοδο μεταφοράς** του φορτίου (πχ dispatched ή χωρίς dispatching), τη **μέθοδο φόρτωσης των φορτηγών** από τους φορτωτές κ.α. (Dindarloo & Siامي-Irdemoosa, 2016).

Τα στοχαστικά μοντέλα τα οποία χρησιμοποιούνται για την μελέτη μιας υπαίθριας εκμετάλλευσης, εστιάζουν επίσης στο **πλήθος του στόλου** των φορτωτών και των φορτηγών. Αυτό το πρόβλημα, δηλαδή ποιο είναι το καταλληλότερο μέγεθος στόλου, έχει ήδη μελετηθεί από τους

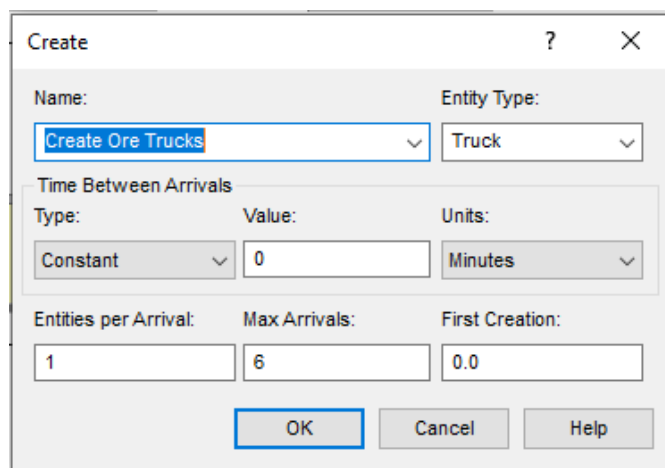
επιστήμονες. Όμως, υπάρχουν ακόμα αστοχίες στην εφαρμογή των μοντέλων στην πραγματική επιχειρηματική δραστηριότητα λόγω της κακής διαχείρισης του στόλου. Σε κάθε περίπτωση, έχει φανεί ότι τα στοχαστικά μοντέλα μπορούν να διαχειριστούν τις λειτουργίες μιας υπαίθριας εκμετάλλευσης με 13% λιγότερο αριθμό φορτηγών από ότι προτείνουν τα ντετερμινιστικά μοντέλα (Moradi Afrapoli et al., 2018).

Ένα πρόβλημα το οποίο επίσης λύνεται με τη χρήση των προσομοιώσεων στις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις, είναι **οι νεκροί χρόνοι και η ασυμβατότητα στην παραγωγικότητα** των φορτωτών και των χωματουργικών οχημάτων. Σε κάθε περίπτωση όμως πρώτα αποτυπώνεται η πραγματική κατάσταση της υπαίθριας εκμετάλλευσης ώστε να εφαρμοστούν τα διάφορα σενάρια βελτιστοποίησης (Ozdemir & Kumral, 2019).

Κεφάλαιο 5

5.1 Μοντελοποίηση υπαίθριας εκμετάλλευσης στο λογισμικό Arena

Αρχικά, πρέπει να οριστούν οι οντότητες για τις ανάγκες της προσομοίωσης, τα χωματουργικά αυτοκίνητα (X.A.) δηλαδή, το οποίο στο περιβάλλον του Arena γίνεται με το data module Entity που βρίσκεται στα Basic Processes. Η εισαγωγή των οντοτήτων στο σύστημα πραγματοποιείται με το module Create (Basic Process), στο οποίο επιλέγεται ο χρόνος εισαγωγής της εκάστοτε οντότητας στο σύστημα (*Εικόνες 5.1 και 5.2*).



Εικόνα 5.1 Create Module για την εισαγωγή των φορτηγών στο σύστημα

	Entity Type	Initial Picture	Holding Cost / Hour	Initial VA Cost	Initial NVA Cost	Initial Waiting Cost	Initial Tran Cost	Initial Other Cost	Report Statistics	
1	Truck	Picture.Truck	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	Entity

Εικόνα 5.2 Ορισμός του Entity Truck

Στην συνέχεια, πρέπει να οριστούν τα διάφορα μέσα που χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση των διαδικασιών του συστήματος. Στο Arena αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση του Resource (Basic Process) data module. Πιο συγκεκριμένα, στο παράδειγμα μας, τα μέσα που χρησιμοποιούνται είναι οι φορτωτές μεταλλεύματος και στείρου (Shovel1 και Shovel2 αντίστοιχα) (*Εικόνα 5.3*) για τους οποίους θέτουμε ότι θα πρέπει να ολοκληρώσουν την φόρτωση ενός X.A πριν χωρήσουν στο επόμενο με την χρήση της θεωρίας των ουρών (Queue Basic Process) και την επιλογή ο πρώτος που έρχεται εξυπηρετείται πρώτος (First in First out) (*Εικόνα 5.4*).

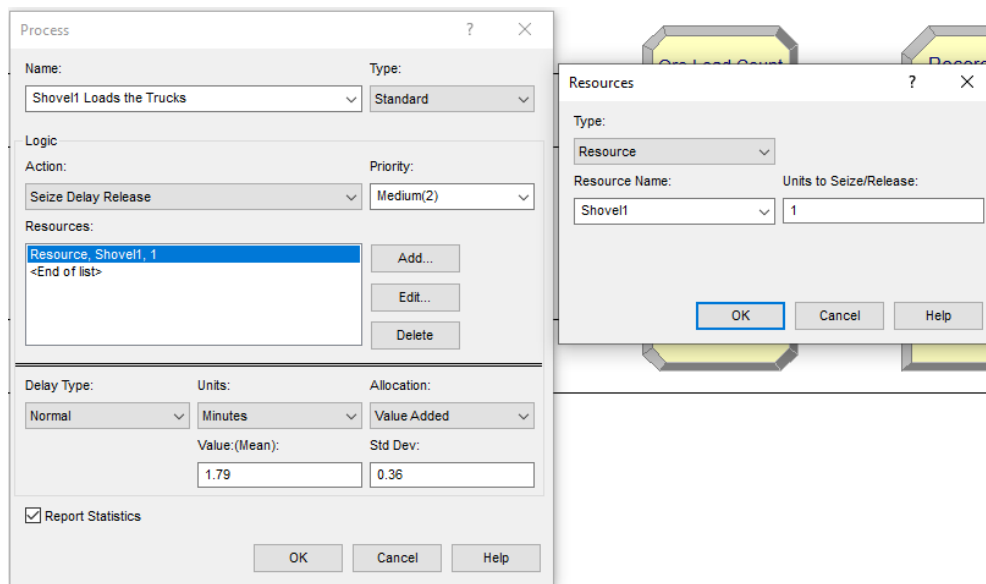
	Name	Type	Capacity	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	StateSet Name	Failures	Report Statistics
1 ▶	Shovel1	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Shovel2	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>

Εικόνα 5.3 Ορισμός των Resources Shovel1 και Shovel2.

	Name	Type	Shared	Report Statistics
1 ▶	Shovel1 Loads the Trucks.Queue	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Shovel2 Loads the Trucks.Queue	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Εικόνα 5.4 Ορισμός των Queues για την διαδικασία φόρτωσης.

Οι διαδικασίες του συστήματος αποτελούνται από την φόρτωση και την μεταφορά του εξορυσσόμενου υλικού, από τα μέτωπα στα σημεία απόθεσης. Στο λογισμικό Arena οι διαδικασίες πραγματοποιούνται μέσω των Process modules, όπου για την διαδικασία φόρτωσης επιλέγουμε ως Action το Seize Delay Release και αναφερόμενοι στο φορτωτικό μέσο που έχουμε ορίσει νωρίτερα, υποδηλώνουμε ότι το X.A. δεσμεύεται από τον φορτωτή μέχρι να ολοκληρωθεί η διαδικασία φόρτωσης. Η χρονική διάρκεια της διαδικασίας ορίζεται και μεταβάλλεται σύμφωνα με τα δεδομένα του ερευνητή, χρησιμοποιώντας σταθερούς (Constant) ή μεταβλητούς χρόνους που ακολουθούν την κανονική κατανομή (Normal) και αναφέρονται σε 5 ή 6 κύκλους φόρτωσης (Εικόνα 5.5).

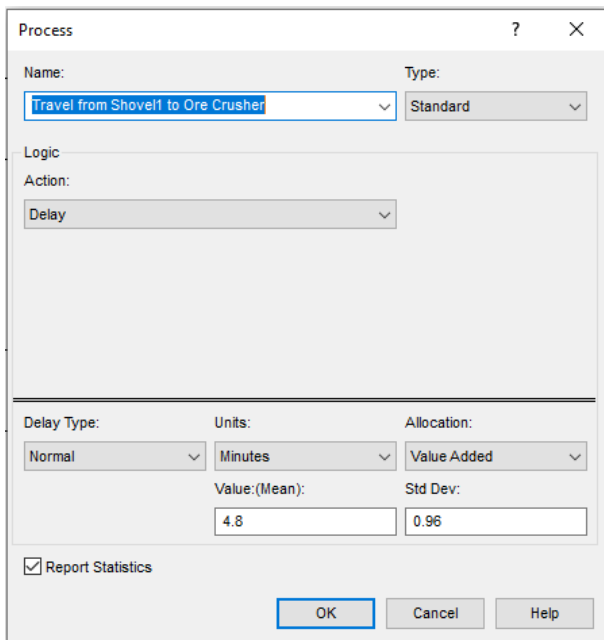


Εικόνα 5.5 Process Module με την επιλογή Seize Release Delay και την εισαγωγή των Resources.

Η μεταφορά του εξορυσσόμενου υλικού επηρεάζεται από την απόσταση και την μέση ταχύτητα του X.A., βασιζόμενοι σε αυτές τις δύο μεταβλητές, εισάγουμε στο σύστημα την χρονική διάρκεια

της μεταφοράς αυτής, με την βοήθεια ενός Process Module και την επιλογή Delay, προσδιορίζοντας πάντα το αν η χρονική διάρκεια αυτή είναι σταθερή ή μεταβλητή (*Εικόνα 5.6*).

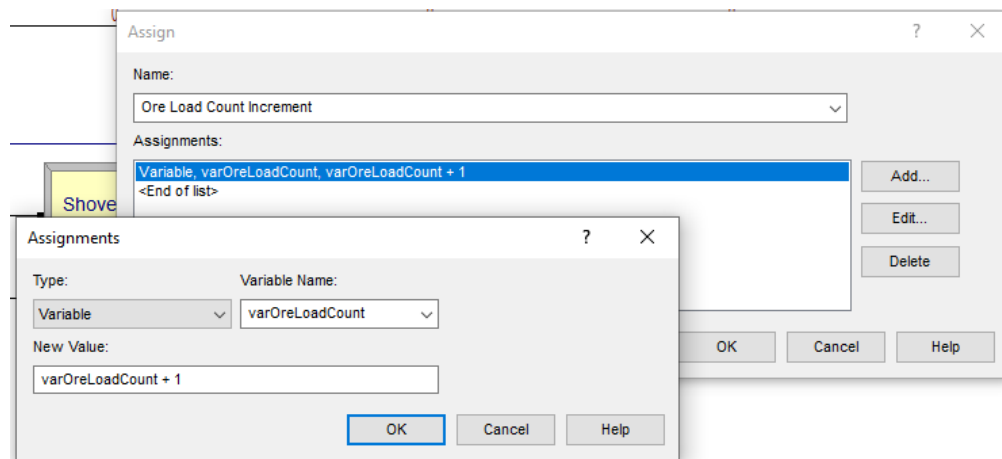
Η τελευταία διαδικασία του συστήματος αναφέρεται στην εκκένωση του κάδου του Χ.Α., η οποία ορίζεται επίσης με την χρήση του Process Module και την επιλογή Delay, καθώς και τον ορισμό της χρονικής διάρκειας της διαδικασίας αυτής και φυσικά τον προσδιορισμό της μεταβολής ή όχι του χρόνου.



Process		
Name:	Type:	
Travel from Shovelf to Ore Crusher	Standard	
Logic		
Action:		
Delay		
Delay Type:	Units:	Allocation:
Normal	Minutes	Value Added
Value:(Mean):		Std Dev:
4.8		0.96
<input checked="" type="checkbox"/> Report Statistics		
OK Cancel Help		

Εικόνα 5.6 Process Module με την επιλογή Delay.

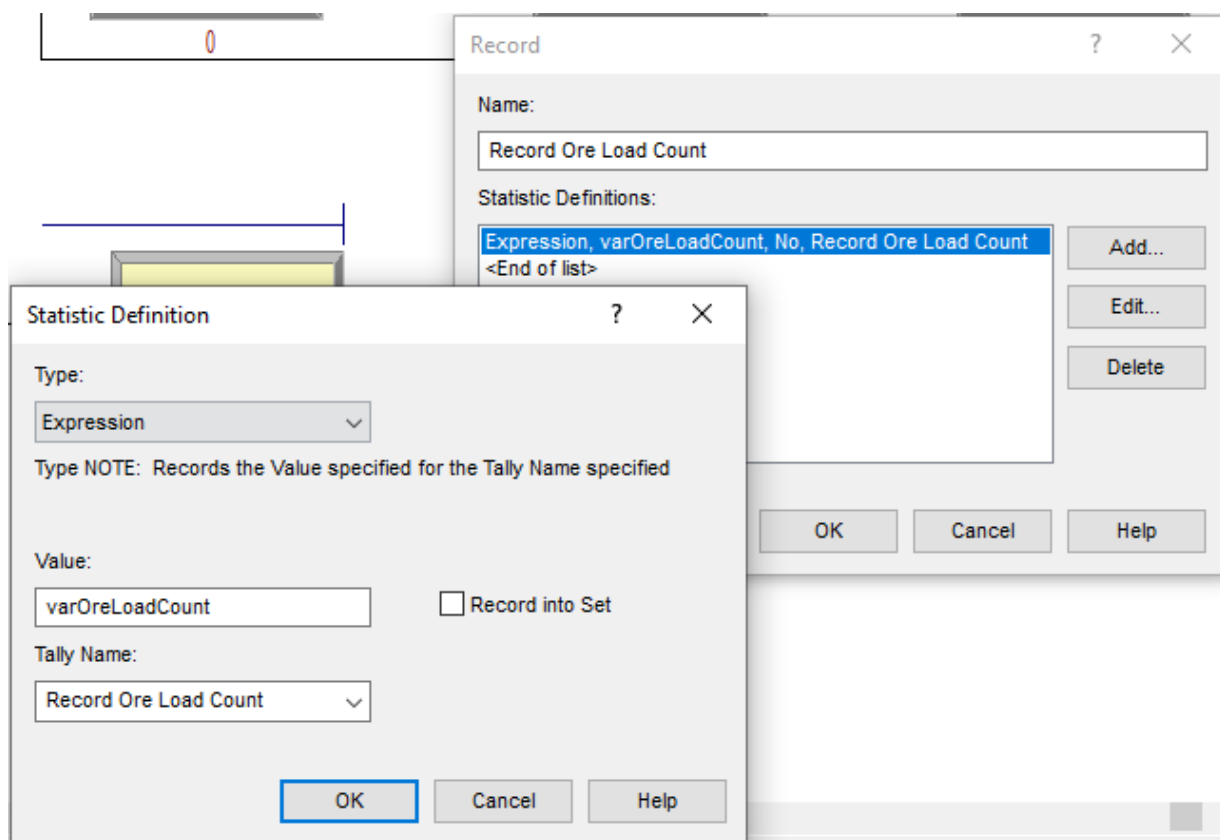
Μέρος των αποτελεσμάτων τα οποία θέλουμε να λάβουμε από το σύστημα αποτελούν οι συνολικές αποθέσεις του εξορυσσόμενου υλικού κατά την διάρκεια λειτουργίας του συστήματος και ο συνολικός όγκος μεταλλεύματος και στείρου που αποτίθεται από τα Χ.Α. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση των modules Assign (Basic Process) και Record (Basic Process). Η χρήση του Assign module (*Εικόνα 5.7*) προϋποθέτει τον ορισμό μιας μεταβλητής στο Variable (Basic Process) data module που αναφέρεται στα Χ.Α. που έχουν ολοκληρώσει την διαδικασία απόθεσης και αυξάνεται κατά 1 κάθε φορά που τηρείται η συγκεκριμένη προϋπόθεση (*Εικόνα 5.8*) . Προκειμένου, να καταγραφεί η συγκεκριμένη μεταβλητή χρησιμοποιείται το module Record (*Εικόνα 5.9*).



Εικόνα 5.7 Assign Module με την εισαγωγή των Variables.

	Name	Comment	Rows	Columns	Data Type	Clear Option	File Name	Initial Values	Report Statistics
1	varOreLoadCount				Real	System		0 rows	<input type="checkbox"/>
2	varWasteLoadCount				Real	System		0 rows	<input type="checkbox"/>

Εικόνα 5.8 Ορισμός των Variables για την μέτρηση των εκκενώσεων μεταλλεύματος και στείρου.



Εικόνα 5.9 Record Module και η επιλογή της μεταβλητής που καταγράφεται αυτό.

Με την χρήση των μεταβλητών αυτών, γίνεται ο υπολογισμός των υπόλοιπων αποτελεσμάτων που θέλουμε να λάβουμε, δηλαδή του όγκου μεταλλεύματος και στείρου που έχουν μεταφερθεί και του αθροίσματος αυτών. Στο περιβάλλον του Arena αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση του Statistics (Advanced Process) data module, όπου ο αριθμός των εκκενώσεων που έχει μετρηθεί από την μεταβλητή που έχουμε ορίσει πολλαπλασιάζεται με τον όγκο μεταφοράς του Χ.Α., ο οποίος μεταβάλλεται στην περίπτωση των 5 ή των 6 κύκλων φόρτωσης, από 100 στα 111m³ (Εικόνα 5.10)

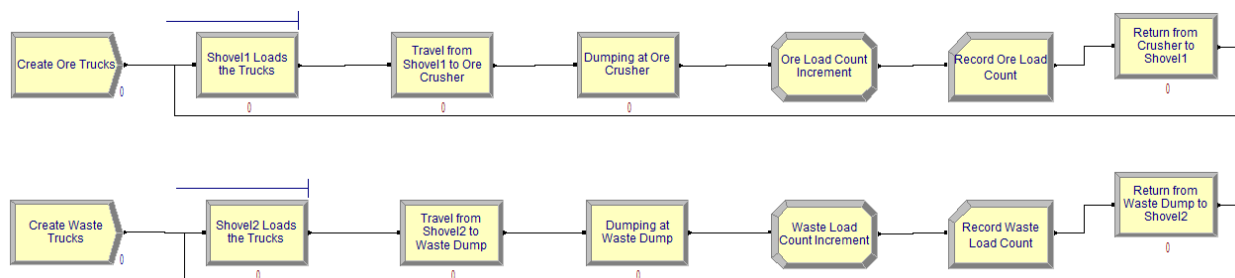
	Name	Type	Expression	Report Label	Output File
1	sttOreLoadCount	Output	varOreLoadCount	sttOreLoadCount	
2	sttWasteLoadCount	Output	varWasteLoadCount	sttWasteLoadCount	
3	sttTotalVolume	Output	(varOreLoadCount+varWasteLoadCount)*100	sttTotalVolume	
4	sttOreVolume	Output	varOreLoadCount*100	sttOreVolume	
5	sttWasteVolume	Output	varWasteLoadCount*100	sttWasteVolume	



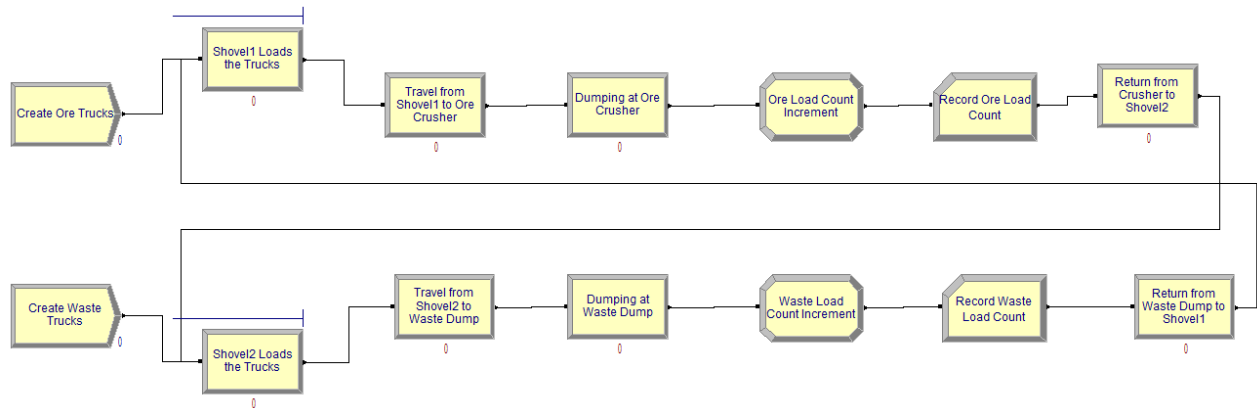
Statistic

Εικόνα 3 Ορισμός των Statistics για την μέτρηση των εκκενώσεων μεταλλεύματος και στείρου και για τον συνολικό όγκο απόθεσης.

Το σύστημα ολοκληρώνεται με την επιστροφή του Χ.Α. από το σημείο απόθεσης στον φορτωτή με την χρήση ενός ακόμη Process module, την επιλογή Delay και τον καθορισμό της χρονικής διάρκειας της μεταφοράς. Στην περίπτωση της μεταφοράς κατ' αποκλειστικότητα (χωρίς dispatching) το Χ.Α. επιστρέφει στον ίδιο φορτωτή, ενώ στην περίπτωση της μεικτής φόρτωσης (dispatched) κατευθύνεται προς διαφορετικό φορτωτή.



Εικόνα 5.11 Προσομοίωση συστήματος εκσκαφής-μεταφοράς για το μέταλλευμα και τα σείρα (non-dispatching)



Εικόνα 5.12 Προσομοίωση συστήματος εκσκαφής-μεταφοράς για το μέταλλευμα και τα στείρα (Dispatched)

5.2 Παράμετροι των σεναρίων και παραδοχές

Από το μεταλλείο του Αγίου Ιωάννη και για τις ανάγκες της παρούσης εργασίας, έχουν υιοθετηθεί ορισμένοι παράμετροι για τη χρήση στα σεναρία τα οποία αναπτύσσονται, τα οποία θα μπορούσαν να θεωρηθούν ως τυπικές περιπτώσεις για οποιοδήποτε υπαίθριο μεταλλείο. Η πρώτη παράμετρος είναι ότι η αξιοποίηση του εξοπλισμού είναι στο 80%. Επίσης θεωρήθηκαν ως φορτωτικά μέσα οι ελαστικοφόροι φορτωτές που είναι διαθέσιμοι και στην περίπτωση του μεταλλείου του Αγίου Ιωάννη αυτοί είναι δύο (2) στον αριθμό. Οι παράμετροι που θεωρήθηκαν ότι μεταβάλλονται και χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία των σεναρίων είναι η απόσταση μεταφοράς και ο κύκλος φόρτωσης.

Replication Parameters	
Number of Replications:	5
Start Date and Time:	<input type="checkbox"/> Friday, January 27, 2023 4:19:14 PM
Warm-up Period:	0.0 Minutes
Replication Length:	30 Days
Hours Per Day:	12.8
Terminating Condition:	
Base Time Units:	Minutes

Εικόνα 5.13 Παράμετροι αναπαραγωγής του συστήματος

Το χρονικό διάστημα λειτουργίας που προσομοιώθηκε είχε διάρκεια ενός μήνα, δηλαδή 30 ημέρες, με την υπόθεση ότι ισχύουν δύο οκτάωρες βάρδιες ανά ημέρα. Οι συνολικές ώρες εργασίας ανά ημέρα είναι 16 από τις οποίες όμως πραγματικές ώρες λειτουργίας θεωρούνται οι 12.8

(συντελεστής εκμετάλλευσης χρόνου 80%) (*Εικόνα 5.13*). Το υπόλοιπο χρονικό διάστημα που ο εξοπλισμός δεν είναι διαθέσιμος για παραγωγική λειτουργία χρησιμοποιείται για τις ανάγκες ανεφοδιασμού, λίπανσης, αλλαγής ελαστικών ή τυχόν βλάβης των μηχανημάτων και χρόνος για την αλλαγή βάρδιας.

Για τα σενάρια μεταβλητών χρόνων τα αποτελέσματα προκύπτουν μετά την ολοκλήρωση πέντε επαναλήψεων της προσομοίωσης και αποτελούν τον μέσο όρο των αποτελεσμάτων τους. Επίσης, γίνεται η παραδοχή για τα δύο σενάρια, του τυπικού παραδείγματος υπαίθριας εκμετάλλευσης, ότι οι χρόνοι των διαδικασιών ακολουθούν την κανονική κατανομή και η τυπική απόκλιση των χρόνων αυτών ισούται με το 20% της μέσης τιμής.

Η εκμετάλλευση γίνεται με δύο φορτωτές τύπου Komatsu WA1200: έναν μεταλλεύματος και έναν στείρου (*Πίνακας 5.1*).

Πίνακας 5.1 Χαρακτηριστικά του ελαστιχοφόρου φορτωτή Komatsu WA1200.

Ελαστιχοφόρος φορτωτής	
Komatsu WA1200	
Χωρητικότητα κάδου (m ³)	17.2
Χωρητικότητα υπερπλήρωσης(m ³)	20
Χρόνος για ανύψωση κάδου(s)	13.5
Χρόνος για εκκένωση κάδου(s)	3
Χρόνος για επιστροφή κάδου(s)	5

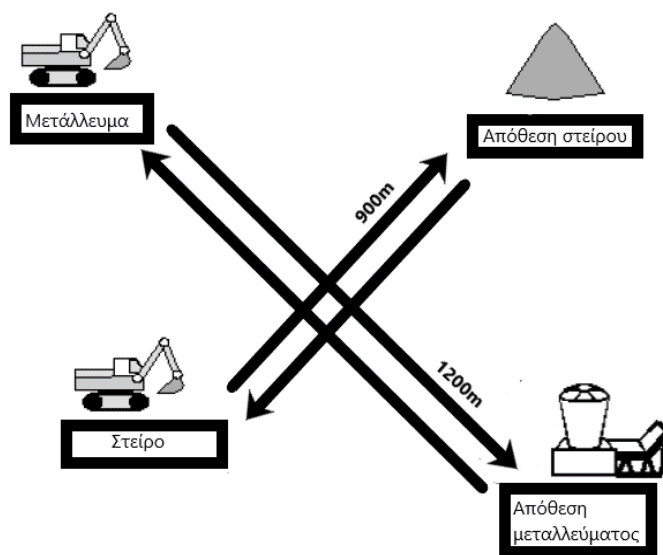
Η μεταφορά του εξορυσσόμενου υλικού για τα σενάρια του τυπικού μεταλλείου υπαίθριας εκμετάλλευσης γίνεται με το φορτηγό Komatsu 730E (*Πίνακας 5.2*).

Πίνακας 5.2 Χαρακτηριστικά του φορτηγού ορυχείων Komatsu 730E

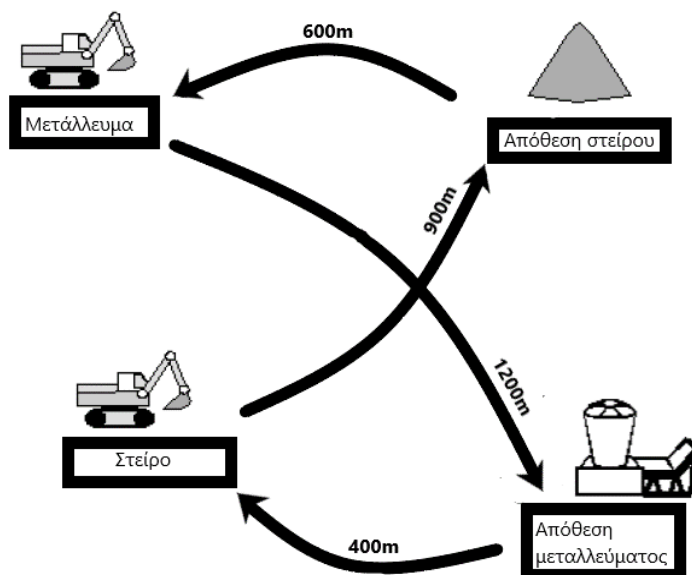
Χωματοургικό Αυτοκίνητο	
Komatsu 730E	
Μέγιστη ταχύτητα(km/h)	55.7
Βάρος άδειο(kg)	140592
Βάρος φορτωμένο(kg)	324319
Χωρητικότητα κάδου(m ³)	77
Χωρητικότητα υπερπλήρωσης(m ³)	111
Χρόνος για ανύψωση σκάφης(s)	21
Χρόνος για επιστροφή σκάφης(s)	15
Ταχύτητα φορτωμένο(km/h)	15
Ταχύτητα άδειο(km/h)	30

5.3 Επίλυση για την αρχική μορφή

Στην παρούσα ενότητα, παρουσιάζονται τα σενάρια με τα δεδομένα τα οποία χαρακτηρίζουν την αρχική μορφή του υποθετικού μεταλλείου, το οποίο προσομοιώνεται, έτσι όπως παρουσιάζονται στον [πίνακα 5.1](#) και [πίνακα 5.2](#) και αναφέρονται στα χαρακτηριστικά του ελαστικοφόρου φορτωτή Komatsu WA1200 και του X.A. Komatsu 730E αντίστοιχα. Σχηματικά η διάταξη μεταφοράς δίνεται στις [Εικόνες 5.14](#) και [5.15](#), με μεταφορά κατά αποκλειστικότητα (non- dispatching) και μεικτή μεταφορά (dispatched) αντίστοιχα. Στον [πίνακα 5.3](#) παρουσιάζονται οι αποστάσεις του ορυχείου και στον [πίνακα 5.4](#) οι χρόνοι των διαδικασιών φόρτωσης-μεταφοράς του μεταλλεύματος και του στείρου.



Εικόνα 5.14 Αρχική μορφή τυπικού μεταλλείου υπαίθριας εκμετάλλευσης χωρίς dispatching



Εικόνα 5.15 Αρχική μορφή τυπικού μεταλλείου υπαίθριας εκμετάλλευσης με dispatching

Πίνακας 5.3 Αποστάσεις του ορυχείου στην αρχική του μορφή

Αποστάσεις(km)	
Μέτωπο εξόρυξης μεταλλεύματος - Απόθεση μεταλλεύματος	1.2
Μέτωπο εξόρυξης στείρου-Απόθεση στείρου	0.9
Απόθεση μεταλλεύματος- Μέτωπο εξόρυξης στείρου	0.4
Απόθεση στείρου- Μέτωπο εξόρυξης μεταλλεύματος	0.6

Πίνακας 5.4 Χρόνοι των διαδικασιών του ορυχείου στην αρχική του μορφή

Επιμέρους φάσεις της διαδικασίας φόρτωσης και μεταφοράς μεταλλεύματος και αγόνων	Χρόνος (min)	
	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση
Φόρτωση Χ.Α. (5 κύκλοι φόρτωσης)	1.79	0.36
Φόρτωση Χ.Α. (6 κύκλοι φόρτωσης)	2.15	0.43
Εκκένωση κάδου φορτωτή	0.6	0.12
Μεταφορά: Μέτωπο μεταλλεύματος-Απόθεση μεταλλεύματος	4.8	0.96
Μέτωπο εξόρυξης στείρου-Απόθεση στείρου	3.6	0.72
Απόθεση μεταλλεύματος- Μέτωπο εξόρυξης στείρου	0.8	0.16
Απόθεση στείρου- Μέτωπο εξόρυξης μεταλλεύματος	1.2	0.24
Απόθεση μεταλλεύματος- Μέτωπο εξόρυξης μεταλλεύματος	2.4	0.48
Απόθεση στείρου- Μέτωπο εξόρυξης στείρου	1.8	0.36

5.3.1 Σενάριο μεταφοράς χωρίς dispatching με σταθερούς χρόνους και με 5 κύκλους φόρτωσης

Σε αυτό το σενάριο εξετάζουμε την αποδοτικότητα τριών πιθανών διατάξεων για την εκμετάλλευση του ορυχείου, χωρίς dispatching με σταθερούς χρόνους και 5 κύκλους φόρτωσης που αναλογούν σε 100m³ ανά φορτηγό. Στην αρχή παρουσιάζεται το σενάριο όπου χρησιμοποιούνται 4

φορτηγά μεταλλεύματος και 3 φορτηγά στείρου (4x3) και στη συνέχεια εξετάζονται οι περιπτώσεις 5x4 και 6x5.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης όπως εξάγονται από το λογισμικό Arena παρουσιάζονται στην Εικόνα 5.18. Όπως στην εικόνα 5.18, τα αποτελέσματα που λαμβάνονται από την προσομοίωση περιλαμβάνουν αρχικά πληροφορίες για την διάταξη του εξοπλισμού (4 φορτηγά μεταφοράς μεταλλεύματος και 3 στείρου). Στη συνέχεια δίνουν τους μέσους (average) χρόνους αναμονής των χωματουργικών αυτοκινήτων στους φορτωτές, καθώς και τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές που παρατηρήθηκαν. Για τα φορτωτικά μέσα (shovel) υπολογίζεται ο βαθμός εκμετάλλευσης που επιτεύχθηκε (scheduled utilization). Στην προσομοίωση αυτή ο όρος shovel1 αναφέρεται στο φορτωτή μεταλλεύματος shovel2 αναφέρεται στο φορτωτή στείρου. Τέλος δίνονται οι ποσότητες του μεταλλεύματος και του στείρου που διακινήθηκαν και ο αριθμός των κύκλων διακίνησης μεταλλεύματος (OreLoadCount) και στείρου (WasteLoadCount).

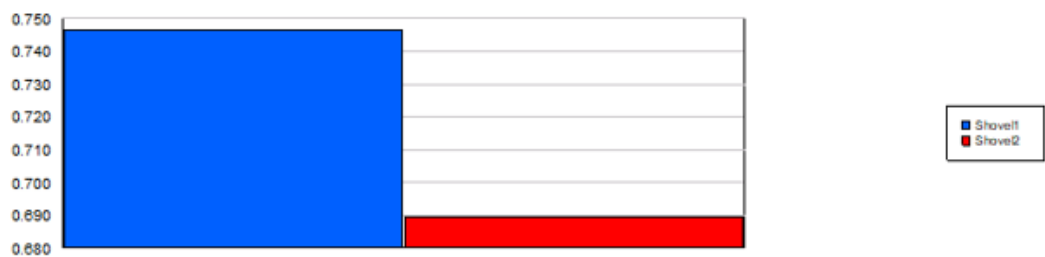
4 Ore Trucks x 3 Waste Trucks

Queue

Time

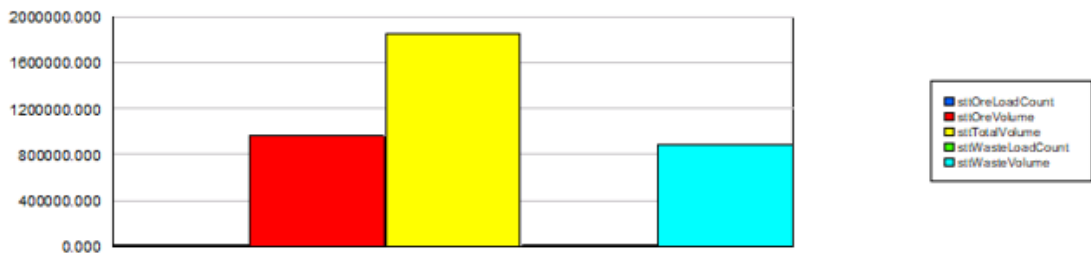
Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	0.00111747	(Correlated)	0.00	5.3700
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	0.00060514	(Correlated)	0.00	3.5800

Scheduled Utilization	Value
Shovel1	0.7467
Shovel2	0.6894



Output

Output	Value
sttOreLoadCount	9608.00
sttOreVolume	960800.00
sttTotalVolume	1847900.00
sttWasteLoadCount	8871.00
sttWasteVolume	887100.00



Εικόνα 5.16 Αποτελέσματα της προσομοίωσης για το σενάριο μεταφοράς χωρίς *dispatching* με σταθερούς χρόνους και με 5 κύκλους φόρτωσης. Διάταξη 4x3

Από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που δίνονται στην [Εικόνα 5.16](#) φαίνεται ότι η μέση αναμονή του χωματουργικού αυτοκινήτου στον φορτωτή μεταλλεύματος είναι 0.001 min, η ελάχιστη αναμονή είναι 0.0 min και η μέγιστη αναμονή είναι 5.37 min κάτι το οποίο συμβαίνει στην αρχή της βάρδιας, επειδή όλα τα χωματουργικά αυτοκίνητα κατευθύνονται στο φορτωτή για φόρτωση και δημιουργείται ουρά αναμονής. Η απόδοση του φορτωτή μεταλλεύματος (shovel1) είναι

74.67% και η απόδοση του φορτωτή στείρου (shovel2) 68.94%. Τέλος, όσον αφορά τις συνολικά διακινηθείσες ποσότητες στο χρονικό διάστημα που προσομοιώθηκε παρατηρούμε ότι πραγματοποιήθηκαν 9608 μεταφορές μεταλλεύματος, 8871 μεταφορές στείρου ενώ ο όγκος μεταλλεύματος που διακινήθηκε ανέρχεται σε 960800 m^3 , του αγόνου σε 887100 m^3 και ο συνολικός όγκος εξορυσσόμενου υλικού σε 1847900 m^3 .

Με βάση τα αποτελέσματα αυτής της διάταξης, προχωράμε στην εξέταση διαφορετικών διατάξεων, προκειμένου να αυξηθεί η απόδοση των φορτωτών και να επιτευχθεί η μικρότερη δυνατή αναμονή για τα χωματουργικά αυτοκίνητα. Για το λόγο αυτό εξετάστηκαν δυο επιπλέον σενάρια με αύξηση του αριθμού των χωματουργικών αυτοκινήτων. Το σενάριο 5x4 και το σενάριο 6x5.

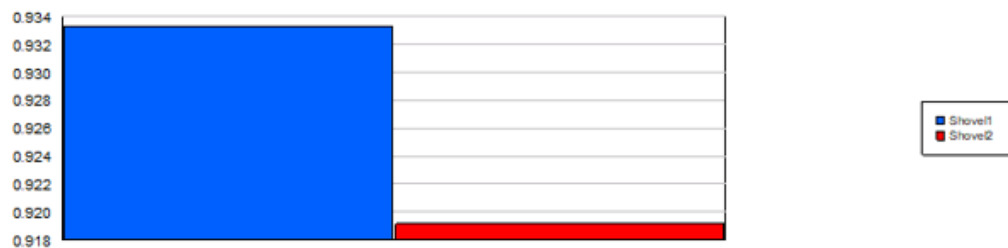
Τα αναλυτικά αποτελέσματα της προσομοίωσης των σεναρίων αυτών δίνονται στις [Εικόνες 5.17](#) και [5.18](#) και συνοψίζονται στον [πίνακα 5.5](#).

5 Ore Trucks x 4 Waste Trucks

Queue

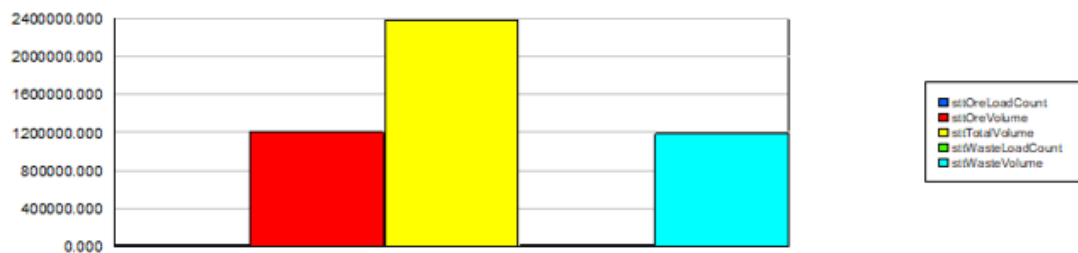
Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	0.00149005	(Correlated)	0.00	7.1600
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	0.00090778	(Correlated)	0.00	5.3700
Scheduled Utilization	Value			
Shovel1	0.9333			
Shovel2	0.9191			



Output

Output	Value
sttOreLoadCount	12010.00
sttOreVolume	1201000.00
sttTotalVolume	2383800.00
sttWasteLoadCount	11828.00
sttWasteVolume	1182800.00



Εικόνα 5.17 Αποτελέσματα της προσομοίωσης για το σενάριο μεταφοράς χωρίς *dispatching* με σταθερούς χρόνους και με 5 κύκλους φόρτωσης. Διάταξη 5x4

6 Ore Trucks x 5 Waste Trucks

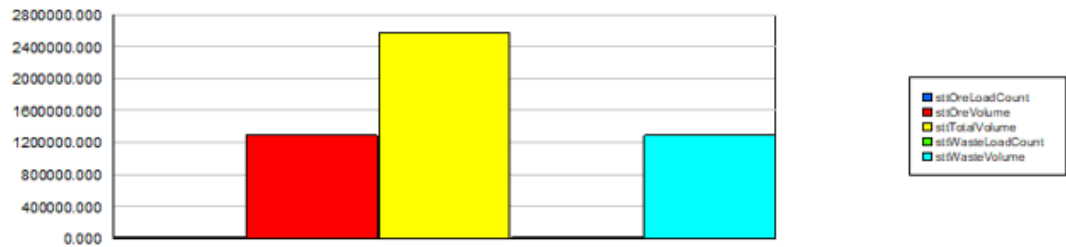
Queue

Time				
Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	1.1515	(Correlated)	0.00	8.9500
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	1.1609	(Correlated)	0.00	7.1600
Scheduled Utilization	Value			
Shovel1	1.0000			
Shovel2	1.0000			



Output

Output	Value
sttOreLoadCount	12868.00
sttOreVolume	1286800.00
sttTotalVolume	2573700.00
sttWasteLoadCount	12869.00
sttWasteVolume	1286900.00



Εικόνα 5.18 Αποτελέσματα της προσομοίωσης για το σενάριο μεταφοράς χωρίς *dispatching* με σταθερούς χρόνους και με 5 κύκλους φόρτωσης. Διάταξη 6x5

Πίνακας 5.5 Σύνοψη αποτελεσμάτων προσομοίωσης για τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν για το σενάριο μεταφοράς χωρίς dispatching με σταθερούς χρόνους και με 5 κύκλους φόρτωσης.

Παράμετρος	(Αριθμός ΧΑ μεταλλεύματος x ΧΑ στείρων)		
	4x3	5x4	6x5
Αριθμός δρομολογίων μεταλλεύματος	9608	12010	12868
Αριθμός δρομολογίων στείρων	8871	11828	12869
Ποσότητα μεταλλεύματος m ³	960800	1201000	1286800
Ποσότητα στείρου m ³	887100	1182800	1286900
Συνολική ποσότητα υλικών m ³	1847900	2383800	2573700
Συντελεστής εκμετάλλευσης φορτωτή μεταλλεύματος (%)	74.67	93.33	100
Συντελεστής εκμετάλλευσης φορτωτή αγόνων (%)	68.94	91.91	100
Μέσος χρόνος αναμονής ΧΑ στον φορτωτή μεταλλεύματος (min)	0.0011	0.0015	1.1515
Μέσος χρόνος αναμονής ΧΑ στον φορτωτή στείρων (min)	0.0006	0.0009	1.1609

Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα συγκεκριμένα σενάρια που εξετάστηκαν, η διάταξη με τα 6 φορτηγά μεταφοράς μεταλλεύματος και τα 5 στείρου, εξασφαλίζει τη μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση των φορτωτών (100%) τόσο του μεταλλεύματος όσο και των στείρων, αλλά οδηγεί σε ένα μέσο χρόνο αναμονής των φορτηγών που ανέρχεται σε 1.15 min και 1.16 min για μέταλλευμα και στείρα αντίστοιχα.

5.3.2 Σενάριο μεταφοράς χωρίς dispatching με σταθερούς χρόνους και με 6 κύκλους φόρτωσης

Σε αυτό το σενάριο εξετάζουμε την αποδοτικότητα τριών πιθανών διατάξεων για την εκμετάλλευση του ορυχείου, χωρίς dispatching με σταθερούς χρόνους και 6 κύκλους φόρτωσης που αναλογούν σε 111m³ ανά φορτηγό. Στην αρχή παρουσιάζεται το σενάριο όπου χρησιμοποιούνται 4

χωματουργικά αυτοκίνητα (ΧΑ) μεταλλεύματος και 3 ΧΑ στείρου (4x3) και στη συνέχεια εξετάζονται οι περιπτώσεις 5x4 και 6x5.

Πίνακας 5.6 Σύνοψη αποτελεσμάτων προσομοίωσης για τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν για το σενάριο μεταφοράς χωρίς dispatching με σταθερούς χρόνους και με 6 κύκλους φόρτωσης.

Παράμετρος	(Αριθμός ΧΑ μεταλλεύματος x ΧΑ στείρων)		
	4x3	5x4	6x5
Αριθμός δρομολογίων μεταλλεύματος	9260	10713	10713
Αριθμός δρομολογίων στείρων	8479	10714	10714
Ποσότητα μεταλλεύματος m ³	1027860	1189143	1189143
Ποσότητα στείρου m ³	941169	1189254	1189254
Συνολική ποσότητα υλικών m ³	1969029	2378397	2378397
Συντελεστής εκμετάλλευσης φορτωτή μεταλλεύματος (%)	86.44	100	100
Συντελεστής εκμετάλλευσης φορτωτή αγόνων (%)	79.14	100	100
Μέσος χρόνος αναμονής ΧΑ στον φορτωτή μεταλλεύματος (min)	0.0014	0.8016	2.9514
Μέσος χρόνος αναμονής ΧΑ στον φορτωτή στείρων (min)	0.0008	0.451	2.6008

Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα συγκεκριμένα σενάρια που εξετάστηκαν, η διάταξη με τα 5 φορτηγά μεταφοράς μεταλλεύματος και τα 4 στείρου, εξασφαλίζει τη μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση των φορτωτών (100%) τόσο του μεταλλεύματος όσο και των στείρων, με τον μικρότερο αριθμό ΧΑ και τον μικρότερο μέσο χρόνο αναμονής των φορτηγών που ανέρχεται σε 0.8 min και 0.45 min για μετάλλευμα και στείρα αντίστοιχα.

5.3.3 Σενάριο μεταφοράς χωρίς dispatching με μεταβλητούς χρόνους με κανονική κατανομή και με 5 κύκλους φόρτωσης

Σε αυτό το σενάριο εξετάζουμε την αποδοτικότητα τριών πιθανών διατάξεων για την εκμετάλλευση του ορυχείου, χωρίς dispatching με μεταβλητούς χρόνους με κανονική κατανομή και 5 κύκλους φόρτωσης που αναλογούν σε 100m³ ανά φορτηγό. Στην αρχή παρουσιάζεται το σενάριο όπου χρησιμοποιούνται 4 φορτηγά μεταλλεύματος και 3 φορτηγά στείρου (4x3) και στη συνέχεια εξετάζονται οι περιπτώσεις 5x4 και 6x5.

Πίνακας 5.7 Σύνοψη αποτελεσμάτων προσομοίωσης για τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν για το σενάριο μεταφοράς χωρίς dispatching με μεταβλητούς χρόνους με κανονική κατανομή και με 5 κύκλους φόρτωσης.

Παράμετρος	(Αριθμός ΧΑ μεταλλεύματος x ΧΑ στείρων)		
	4x3	5x4	6x5
Αριθμός δρομολογίων μεταλλεύματος	9148	11076.4	12455.2
Αριθμός δρομολογίων στείρων	8541.6	10978.6	12571
Ποσότητα μεταλλεύματος m ³	914800	1107640	1245520
Ποσότητα στείρου m ³	854160	1097860	1257100
Συνολική ποσότητα υλικών m ³	1768960	2205500	2502620
Συντελεστής εκμετάλλευσης φορτωτή μεταλλεύματος (%)	71.02	86.18	96.81
Συντελεστής εκμετάλλευσης φορτωτή αγόνων (%)	66.33	85.29	97.7
Μέσος χρόνος αναμονής ΧΑ στον φορτωτή μεταλλεύματος (min)	0.4805	0.8103	1.507
Μέσος χρόνος αναμονής ΧΑ στον φορτωτή στείρων (min)	0.3009	0.8529	1.3723

Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα συγκεκριμένα σενάρια που εξετάστηκαν, η διάταξη με τα 6 φορτηγά μεταφοράς μεταλλεύματος και τα 5 στείρου, προσεγγίζει καλύτερα τη μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση των φορτωτών, 96.81% για τον φορτωτή μεταλλεύματος και 97.7%

για τον φορτωτή στείρου, αλλά οδηγεί σε ένα μέσο χρόνο αναμονής των φορτηγών που ανέρχεται σε 1.5 min και 1.37 min για μετάλλευμα και στείρα αντίστοιχα.

5.3.4 Σενάριο μεταφοράς χωρίς dispatching με μεταβλητούς χρόνους με κανονική κατανομή και με 6 κύκλους φόρτωσης

Σε αυτό το σενάριο εξετάζεται η αποδοτικότητα τριών πιθανών διατάξεων για την εκμετάλλευση του ορυχείου, χωρίς dispatching με μεταβλητούς χρόνους με κανονική κατανομή και 6 κύκλους φόρτωσης που αναλογούν σε 111m³ ανά φορτηγό. Στην αρχή παρουσιάζεται το σενάριο όπου χρησιμοποιούνται 4 φορτηγά μεταλλεύματος και 3 φορτηγά στείρου (4x3) και στη συνέχεια εξετάζονται οι περιπτώσεις 5x4 και 6x5.

Πίνακας 5.8 Σύνοψη αποτελεσμάτων προσομοίωσης για τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν για το σενάριο μεταφοράς χωρίς dispatching με μεταβλητούς χρόνους με κανονική κατανομή και με 6 κύκλους φόρτωσης.

Παράμετρος	(Αριθμός ΧΑ μεταλλεύματος x ΧΑ στείρων)		
	4x3	5x4	6x5
Αριθμός δρομολογίων μεταλλεύματος	8679.4	10194.2	10687.2
Αριθμός δρομολογίων στείρων	8082.6	10089.6	10682.8
Ποσότητα μεταλλεύματος m ³	963413.4	1131556.2	1186279.2
Ποσότητα στείρου m ³	897168.6	1119945.6	1185790.8
Συνολική ποσότητα υλικών m ³	1860582	2251501.8	2372070
Συντελεστής εκμετάλλευσης φορτωτή μεταλλεύματος (%)	80.91	95.08	99.78
Συντελεστής εκμετάλλευσης φορτωτή αγόνων (%)	75.55	94.09	99.85
Μέσος χρόνος αναμονής ΧΑ στον φορτωτή μεταλλεύματος (min)	0.6771	1.3484	2.9819
Μέσος χρόνος αναμονής ΧΑ στον φορτωτή στείρων (min)	0.4008	0.985	2.6296

Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα συγκεκριμένα σενάρια που εξετάστηκαν, η διάταξη με τα 6 φορτηγά μεταφοράς μεταλλεύματος και τα 5 στείρου, προσεγγίζει καλύτερα τη μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση των φορτωτών, 99.78% για τον φορτωτή μεταλλεύματος και 99.85% για τον φορτωτή στείρου, αλλά οδηγεί σε ένα μέσο χρόνο αναμονής των φορτηγών που ανέρχεται σε 2,98 min και 2.63 min για μέταλλευμα και στείρα αντίστοιχα.

5.3.5 Σενάριο μεταφοράς dispatched με σταθερούς χρόνους και με 5 κύκλους φόρτωσης

Σε αυτό το σενάριο εξετάζουμε την αποδοτικότητα τριών πιθανών διατάξεων για την εκμετάλλευση του ορυχείου, με dispatching με σταθερούς χρόνους και 5 κύκλους φόρτωσης που αναλογούν σε 100m³ ανά φορτηγό. Στην αρχή παρουσιάζεται το σενάριο όπου χρησιμοποιούνται 3 φορτηγά μεταλλεύματος και 3 φορτηγά στείρου (3x3) και στη συνέχεια εξετάζονται οι περιπτώσεις 4x4 και 5x5.

Πίνακας 5.9 Σύνοψη αποτελεσμάτων προσομοίωσης για τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν για το σενάριο μεταφοράς με dispatching με σταθερούς χρόνους και με 5 κύκλους φόρτωσης.

Παράμετρος	(Αριθμός ΧΑ μεταλλεύματος x ΧΑ στείρων)		
	3x3	4x4	5x5
Αριθμός δρομολογίων μεταλλεύματος	9105	12139	12868
Αριθμός δρομολογίων στείρων	9105	12140	12869
Ποσότητα μεταλλεύματος m ³	910500	1213900	1286800
Ποσότητα στείρου m ³	910500	1214000	1286900
Συνολική ποσότητα υλικών m ³	1821000	2427900	2573700
Συντελεστής εκμετάλλευσης φορτωτή μεταλλεύματος (%)	70.76	94.34	100
Συντελεστής εκμετάλλευσης φορτωτή αγόνων (%)	70.75	94.33	100
Μέσος χρόνος αναμονής ΧΑ στον φορτωτή μεταλλεύματος (min)	0.0006	0.0009	1.7607
Μέσος χρόνος αναμονής ΧΑ στον φορτωτή στείρων (min)	0.0006	0.0009	0.961

Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα συγκεκριμένα σενάρια που εξετάστηκαν, η διάταξη με τα 5 φορτηγά μεταφοράς μεταλλεύματος και τα 5 στείρου, εξασφαλίζει τη μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση των φορτωτών (100%) τόσο του μεταλλεύματος όσο και των στείρων, αλλά οδηγεί σε ένα μέσο χρόνο αναμονής των φορτηγών που ανέρχεται σε 1.76 min και 0.96 min για μετάλλευμα και στείρα αντίστοιχα.

5.3.6 Σενάριο μεταφοράς dispatched με σταθερούς χρόνους και με 6 κύκλους φόρτωσης

Σε αυτό το σενάριο εξετάζουμε την αποδοτικότητα τριών πιθανών διατάξεων για την εκμετάλλευση του ορυχείου, με dispatching με σταθερούς χρόνους και 6 κύκλους φόρτωσης που αναλογούν σε 111m³ ανά φορτηγό. Στην αρχή παρουσιάζεται το σενάριο όπου χρησιμοποιούνται 3 φορτηγά μεταλλεύματος και 3 φορτηγά στείρου (3x3) και στη συνέχεια εξετάζονται οι περιπτώσεις 4x4 και 5x5.

Πίνακας 5.10 Σύνοψη αποτελεσμάτων προσομοίωσης για τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν για το σενάριο μεταφοράς με dispatching με σταθερούς χρόνους και με 6 κύκλους φόρτωσης.

Παράμετρος	(Αριθμός ΧΑ μεταλλεύματος x ΧΑ στείρων)		
	3x3	4x4	5x5
Αριθμός δρομολογίων μεταλλεύματος	8692	10713	10713
Αριθμός δρομολογίων στείρων	8692	10714	10714
Ποσότητα μεταλλεύματος m ³	964812	1189143	1189143
Ποσότητα στείρου m ³	964812	1189254	1189254
Συνολική ποσότητα υλικών m ³	1929624	2378397	2378397
Συντελεστής εκμετάλλευσης φορτωτή μεταλλεύματος (%)	81.13	100	100
Συντελεστής εκμετάλλευσης φορτωτή αγόνων (%)	81.13	100	100
Μέσος χρόνος αναμονής ΧΑ στον φορτωτή μεταλλεύματος (min)	0.0007	1.0508	3.2005
Μέσος χρόνος αναμονής ΧΑ στον φορτωτή στείρων (min)	0.0007	0.2511	2.4009

Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα συγκεκριμένα σενάρια που εξετάστηκαν, η διάταξη με τα 4 φορτηγά μεταφοράς μεταλλεύματος και τα 4 στείρου, εξασφαλίζει τη μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση των φορτωτών (100%) τόσο του μεταλλεύματος όσο και των στείρων, με τον μικρότερο αριθμό ΧΑ και τον μικρότερο μέσο χρόνο αναμονής των φορτηγών που ανέρχεται σε 1.05 min και 0.25 min για μέταλλευμα και στείρα αντίστοιχα.

5.3.7 Σενάριο μεταφοράς dispatched με μεταβλητούς χρόνους με κανονική κατανομή και με 5 κύκλους φόρτωσης

Σε αυτό το σενάριο εξετάζουμε την αποδοτικότητα τεσσάρων πιθανών διατάξεων για την εκμετάλλευση του ορυχείου, με dispatching με μεταβλητούς χρόνους που ακολουθούν την κανονική κατανομή και 5 κύκλους φόρτωσης που αναλογούν σε 100m³ ανά φορτηγό. Στην αρχή παρουσιάζεται το σενάριο όπου χρησιμοποιούνται 3 φορτηγά μεταλλεύματος και 3 φορτηγά στείρου (3x3) και στη συνέχεια εξετάζονται οι περιπτώσεις 4x4, 5x5 και 6x6.

Πίνακας 5.11 Σύνοψη αποτελεσμάτων προσομοίωσης για τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν για το σενάριο μεταφοράς με dispatching με μεταβλητούς χρόνους που ακολουθούν την κανονική κατανομή και με 5 κύκλους φόρτωσης.

Παράμετρος	(Αριθμός ΧΑ μεταλλεύματος x ΧΑ στείρων)			
	3x3	4x4	5x5	6x6
Αριθμός δρομολογίων μεταλλεύματος	8642	11009	12403	12696
Αριθμός δρομολογίων στείρων	8642.4	11009	12403.4	12696.9
Ποσότητα μεταλλεύματος m ³	864200	1100900	1240300	1269600
Ποσότητα στείρου m ³	864240	1100900	1240340	1269690
Συνολική ποσότητα υλικών m ³	1728440	2201800	2480640	2539290
Συντελεστής εκμετάλλευσης φορτωτή μεταλλεύματος (%)	67.08	85.53	96.32	98.76
Συντελεστής εκμετάλλευσης φορτωτή αγόνων (%)	67.19	85.5	96.35	98.64
Μέσος χρόνος αναμονής ΧΑ στον φορτωτή μεταλλεύματος (min)	0.3751	0.733	1.6102	3.2363
Μέσος χρόνος αναμονής ΧΑ στον φορτωτή στείρων (min)	0.4389	0.8288	1.7804	3.3519

Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα συγκεκριμένα σενάρια που εξετάστηκαν, η καλύτερη διάταξη που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι με τα 5 φορτηγά μεταφοράς μεταλλεύματος και τα 5 στείρου, διότι προσεγγίζει καλύτερα την μέγιστη απόδοση των φορτωτών, 96.32% για τον φορτωτή μεταλλεύματος και 96.35% για τον φορτωτή στείρου, με τον μικρότερο δυνατό αριθμό χωματουργικών αυτοκινήτων και τον μικρότερο μέσο χρόνο αναμονής των φορτηγών που ανέρχεται σε 1.61 min και 1.78 min για μέταλλευμα και στέιρο αντίστοιχα. Χρησιμοποιώντας 6 φορτηγά μεταφοράς μεταλλεύματος και 6 στείρου, επιτυγχάνεται μεγαλύτερη απόδοση των φορτωτών, 98.76% για τον φορτωτή μεταλλεύματος και 98.64% για του στείρου, αλλά η διαφορά στην παραγωγή δεν είναι ικανή για να δικαιολογήσει την χρήση δύο επιπλέον χωματουργικών αυτοκινήτων, ενώ αυξάνονται και οι μέσοι χρόνοι αναμονής των φορτηγών σε 3.23 min και 3.35 min για το μέταλλευμα και το στέιρο αντίστοιχα.

5.3.8 Σενάριο μεταφοράς dispatched με μεταβλητούς χρόνους με κανονική κατανομή και με 6 κύκλους φόρτωσης

Σε αυτό το σενάριο εξετάζουμε την αποδοτικότητα τεσσάρων πιθανών διατάξεων για την εκμετάλλευση του ορυχείου, με dispatching με μεταβλητούς χρόνους που ακολουθούν την κανονική κατανομή και 6 κύκλους φόρτωσης που αναλογούν σε 111m³ ανά φορτηγό. Στην αρχή παρουσιάζεται το σενάριο όπου χρησιμοποιούνται 3 φορτηγά μεταλλεύματος και 3 φορτηγά στείρου (3x3) και στη συνέχεια εξετάζονται οι περιπτώσεις 4x4, 5x5 και 6x6.

Πίνακας 5.12 Σύνοψη αποτελεσμάτων προσομοίωσης για τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν για το σενάριο μεταφοράς με dispatching με μεταβλητούς χρόνους που ακολουθούν την κανονική κατανομή και με 6 κύκλους φόρτωσης.

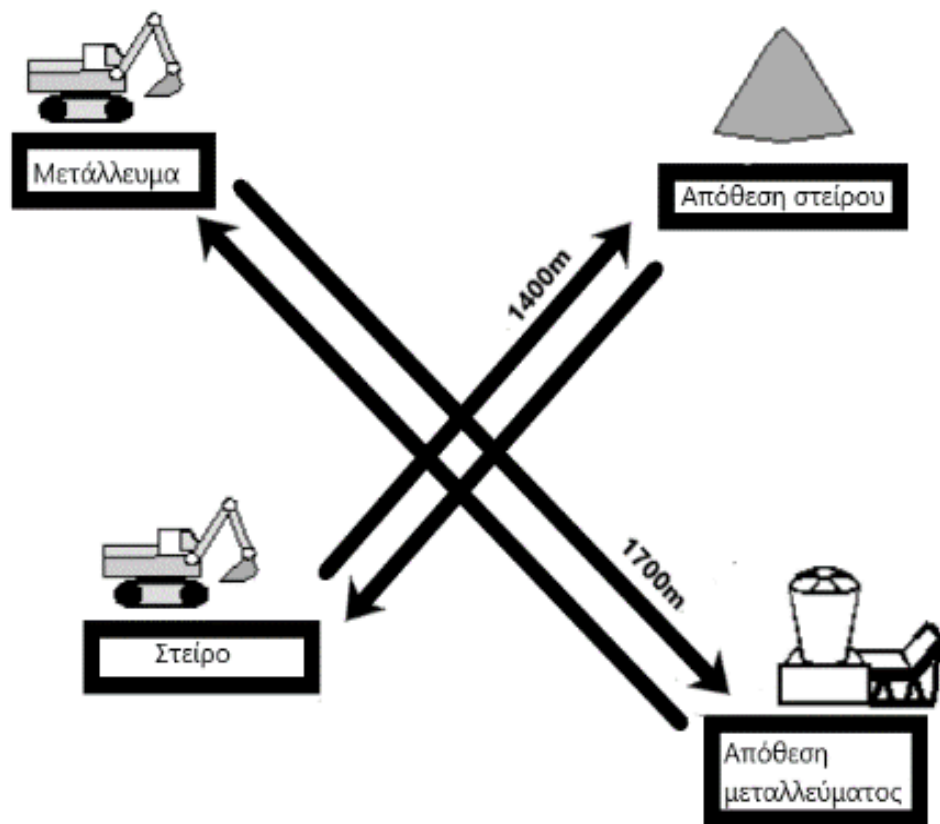
Παράμετρος	(Αριθμός ΧΑ μεταλλεύματος x ΧΑ στείρων)			
	3x3	4x4	5x5	6x6
Αριθμός δρομολογίων μεταλλεύματος	8123	9987.6	10527	10611.7
Αριθμός δρομολογίων στείρων	8123.2	9988.4	10527.2	10611.7
Ποσότητα μεταλλεύματος m ³	901653	1108623.6	1168497	1177898.7
Ποσότητα στείρου m ³	901675.2	1108712.4	1168519.2	1177898.7
Συνολική ποσότητα υλικών m ³	1803328.2	2217336	2337016.2	2355797.4

Συντελεστής εκμετάλλευσης φορτωτή μεταλλεύματος (%)	75.73	93.19	98.31	98.96
Συντελεστής εκμετάλλευσης φορτωτή αγόνων (%)	75.99	93.26	98.21	99.14
Μέσος χρόνος αναμονής ΧΑ στον φορτωτή μεταλλεύματος (min)	0.5083	1.1887	2.932	4.8697
Μέσος χρόνος αναμονής ΧΑ στον φορτωτή στείρων (min)	0.6009	1.3578	3.0485	5.2738

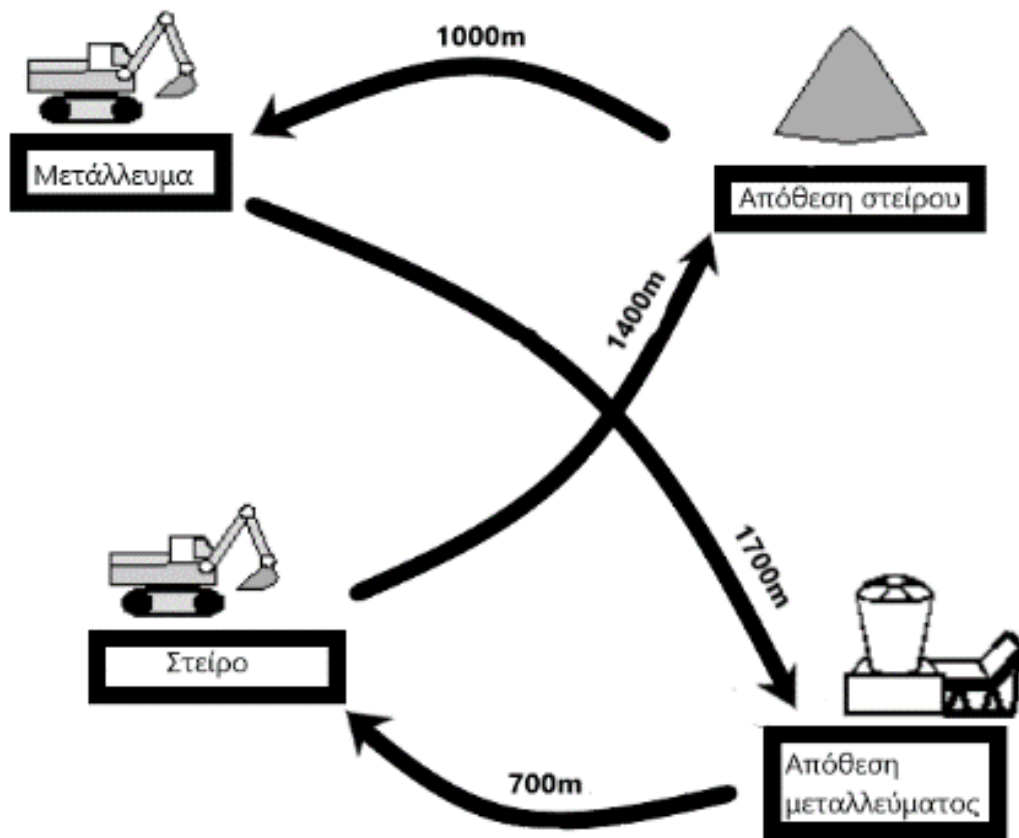
Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα συγκεκριμένα σενάρια που εξετάστηκαν, η καλύτερη διάταξη που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι με τα 5 φορτηγά μεταφοράς μεταλλεύματος και τα 5 στείρου, διότι προσεγγίζει καλύτερα την μέγιστη απόδοση των φορτωτών, 98.31% για τον φορτωτή μεταλλεύματος και 98.21% για τον φορτωτή στείρου, με τον μικρότερο δυνατό αριθμό χωματουργικών αυτοκινήτων και τον μικρότερο μέσο χρόνο αναμονής των φορτηγών που ανέρχεται σε 2.93 min και 3.05 min για μετάλλευμα και στέιρο αντίστοιχα. Χρησιμοποιώντας 6 φορτηγά μεταφοράς μεταλλεύματος και 6 στείρου, επιτυγχάνεται μεγαλύτερη απόδοση των φορτωτών, 98.96% για τον φορτωτή μεταλλεύματος και 99.14% για του στείρου, αλλά η διαφορά στην παραγωγή δεν είναι ικανή για να δικαιολογήσει την χρήση δύο επιπλέον χωματουργικών αυτοκινήτων, ενώ αυξάνονται και οι μέσοι χρόνοι αναμονής των φορτηγών σε 4.87 min και 5.27 min για το μετάλλευμα και το στέιρο αντίστοιχα.

5.4 Προσομοίωση για την περίπτωση επέκτασης του ορυχείου και αύξησης της απόστασης μεταφοράς

Στη συνέχεια εξετάστηκε η περίπτωση κατά την οποία το ορυχείο επεκτείνεται και η προχώρηση αυτή οδηγεί σε αύξηση των αποστάσεων μεταφοράς. Σχηματικά η διάταξη μεταφοράς δίνεται στις [Εικόνες 5.19](#) και [5.20](#), με μεταφορά κατά αποκλειστικότητα (non- dispatching) και μεικτή μεταφορά (dispatched) αντίστοιχα. Στον [πίνακα 5.13](#) παρουσιάζονται οι αποστάσεις του ορυχείου και στον [πίνακα 5.14](#) οι χρόνοι των διαδικασιών φόρτωσης-μεταφοράς του μεταλλεύματος και του στείρου.



Εικόνα 5.19 Διάταξη μεταφοράς τυπικού μεταλλείου υπαίθριας εκμετάλλευσης χωρίς *dispatching*



Εικόνα 5.20 Διάταξη μεταφοράς τυπικού μεταλλείου υπαίθριας εκμετάλλευσης με dispatching. Πίνακας 5.13 Αποστάσεις μεταφοράς

Αποστάσεις(km)	
Μέτωπο εξόρυξης μεταλλεύματος – Απόθεση μεταλλεύματος	1.7
Μέτωπο εξόρυξης στείρου-Απόθεση στείρου	1.4
Απόθεση μεταλλεύματος- Μέτωπο εξόρυξης στείρου	0.7
Απόθεση στείρου- Μέτωπο εξόρυξης μεταλλεύματος	1

Πίνακας 5.14 Απαιτούμενοι χρόνοι των διαδικασιών φόρτωσης-μεταφοράς μεταλλεύματος και στείρων

Επιμέρους φάσεις της διαδικασίας φόρτωσης και μεταφοράς μεταλλεύματος και αγόνων	Χρόνος (min)	
	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση
Φόρτωση Χ.Α. (5 κύκλοι φόρτωσης)	1.79	0.36
Φόρτωση Χ.Α. (6 κύκλοι φόρτωσης)	2.15	0.43
Εκκένωση κάδου φορτωτή	0.6	0.12
Μεταφορά: Μέτωπο μεταλλεύματος-Απόθεση μεταλλεύματος	6.8	1.36
Μέτωπο εξόρυξης στείρου-Απόθεση στείρου	5.6	1.12
Απόθεση μεταλλεύματος- Μέτωπο εξόρυξης στείρου	1.4	0.28
Απόθεση στείρου- Μέτωπο εξόρυξης μεταλλεύματος	2	0.40
Απόθεση μεταλλεύματος- Μέτωπο εξόρυξης μεταλλεύματος	3.4	0.68
Απόθεση στείρου- Μέτωπο εξόρυξης στείρου	2.8	0.56

5.4.1 Σενάριο μεταφοράς χωρίς dispatching με σταθερούς χρόνους και με 5 κύκλους φόρτωσης

Σε αυτό το σενάριο εξετάζουμε την αποδοτικότητα τριών πιθανών διατάξεων για την εκμετάλλευση του ορυχείου, χωρίς dispatching με σταθερούς χρόνους και 5 κύκλους φόρτωσης που αναλογούν σε 100m³ ανά φορτηγό. Στην αρχή παρουσιάζεται το σενάριο όπου χρησιμοποιούνται 4 φορτηγά μεταλλεύματος και 4 φορτηγά στείρου (4x4) και στη συνέχεια εξετάζονται οι περιπτώσεις 6x5 και 7x6.

Πίνακας 5.15 Σύνοψη αποτελεσμάτων προσομοίωσης για τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν για το σενάριο μεταφοράς χωρίς dispatching με σταθερούς χρόνους και με 5 κύκλους φόρτωσης.

Παράμετρος	(Αριθμός ΧΑ μεταλλεύματος x ΧΑ στείρων)		
	4x4	6x5	7x6
Αριθμός δρομολογίων μεταλλεύματος	7319	10977	12806
Αριθμός δρομολογίων στείρων	8540	10674	12808
Ποσότητα μεταλλεύματος m ³	731900	1097700	1280600
Ποσότητα στείρου m ³	854000	1067400	1280800
Συνολική ποσότητα υλικών m ³	1585900	2165100	2561400
Συντελεστής εκμετάλλευσης φορτωτή μεταλλεύματος (%)	56.87	85.31	99.52
Συντελεστής εκμετάλλευσης φορτωτή αγόνων (%)	66.36	82.95	99.54
Μέσος χρόνος αναμονής ΧΑ στον φορτωτή μεταλλεύματος (min)	0.0015	0.0024	0.0029
Μέσος χρόνος αναμονής ΧΑ στον φορτωτή στείρων (min)	0.0013	0.0017	0.0021

Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα συγκεκριμένα σενάρια που εξετάστηκαν, η διάταξη με τα 7 φορτηγά μεταφοράς μεταλλεύματος και τα 6 στείρου, προσεγγίζει καλύτερα τη μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση των φορτωτών, 99.52% για τον φορτωτή μεταλλεύματος και 99.54% για τον φορτωτή στείρου, με μηδαμινό μέσο χρόνο αναμονής των φορτηγών.

5.4.2 Σενάριο μεταφοράς χωρίς dispatching με σταθερούς χρόνους και με 6 κύκλους φόρτωσης

Σε αυτό το σενάριο εξετάζουμε την αποδοτικότητα τριών πιθανών διατάξεων για την εκμετάλλευση του ορυχείου, χωρίς dispatching με σταθερούς χρόνους και 6 κύκλους φόρτωσης που αναλογούν σε 111m³ ανά φορτηγό. Στην αρχή παρουσιάζεται το σενάριο όπου χρησιμοποιούνται 4 φορτηγά μεταλλεύματος και 4 φορτηγά στείρου (4x4) και στη συνέχεια εξετάζονται οι περιπτώσεις 6x5 και 7x6.

Πίνακας 5.16 Σύνοψη αποτελεσμάτων προσομοίωσης για τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν για το σενάριο μεταφοράς χωρίς dispatching με σταθερούς χρόνους και με 6 κύκλους φόρτωσης.

Παράμετρος	(Αριθμός ΧΑ μεταλλεύματος x ΧΑ στείρων)		
	4x4	6x5	7x6
Αριθμός δρομολογίων μεταλλεύματος	7115	10671	10712
Αριθμός δρομολογίων στείρων	8264	10329	10713
Ποσότητα μεταλλεύματος m ³	789765	1184481	11889032
Ποσότητα στείρου m ³	917304	1146519	1189143
Συνολική ποσότητα υλικών m ³	1707069	2331000	2378175
Συντελεστής εκμετάλλευσης φορτωτή μεταλλεύματος (%)	66.41	99.61	100
Συντελεστής εκμετάλλευσης φορτωτή αγόνων (%)	77.13	96.41	100
Μέσος χρόνος αναμονής ΧΑ στον φορτωτή μεταλλεύματος (min)	0.0018	0.003	2.1028
Μέσος χρόνος αναμονής ΧΑ στον φορτωτή στείρων (min)	0.0016	0.0021	1.752

Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα συγκεκριμένα σενάρια που εξετάστηκαν, η καλύτερη διάταξη που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι με τα 6 φορτηγά μεταφοράς μεταλλεύματος και τα 5 στείρου, διότι προσεγγίζει καλύτερα την μέγιστη απόδοση των φορτωτών, 99.61%

για τον φορτωτή μεταλλεύματος και 96.41% για τον φορτωτή στείρου, με τον μικρότερο δυνατό αριθμό χωματουργικών αυτοκινήτων και τον μικρότερο μέσο χρόνο αναμονής των φορτηγών που ανέρχεται σε 0.003 min και 0.0021 min για μετάλλευμα και στέιρο αντίστοιχα. Χρησιμοποιώντας 7 φορτηγά μεταφοράς μεταλλεύματος και 6 στείρου, εξασφαλίζεται η μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση των φορτωτών (100%) τόσο του μεταλλεύματος όσο και των στείρων, αλλά η διαφορά στην παραγωγή δεν είναι ικανή για να δικαιολογήσει την χρήση δύο επιπλέον χωματουργικών αυτοκινήτων, ενώ αυξάνονται και οι μέσοι χρόνοι αναμονής των φορτηγών σε 2.1 min και 1.75 min για το μετάλλευμα και το στέιρο αντίστοιχα.

5.4.3 Σενάριο μεταφοράς χωρίς dispatching με μεταβλητούς χρόνους με κανονική κατανομή και με 5 κύκλους φόρτωσης

Σε αυτό το σενάριο εξετάζουμε την αποδοτικότητα τεσσάρων πιθανών διατάξεων για την εκμετάλλευση του ορυχείου, χωρίς dispatching με μεταβλητούς χρόνους που ακολουθούν την κανονική κατανομή και 5 κύκλους φόρτωσης που αναλογούν σε 100m³ ανά φορτηγό. Στην αρχή παρουσιάζεται το σενάριο όπου χρησιμοποιούνται 4 φορτηγά μεταλλεύματος και 4 φορτηγά στείρου (4x4) και στη συνέχεια εξετάζονται οι περιπτώσεις 6x5, 7x6 και 8x7.

Πίνακας 5.17 Σύνοψη αποτελεσμάτων προσομοίωσης για τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν για το σενάριο μεταφοράς χωρίς dispatching με μεταβλητούς χρόνους που ακολουθούν την κανονική κατανομή και με 5 κύκλους φόρτωσης.

Παράμετρος	(Αριθμός ΧΑ μεταλλεύματος x ΧΑ στείρων)			
	4x4	6x5	7x6	8x7
Αριθμός δρομολογίων μεταλλεύματος	7101.6	10273	11639	12567
Αριθμός δρομολογίων στείρων	8191.4	10030.6	11623	12641.4
Ποσότητα μεταλλεύματος m ³	710160	1027300	1163900	1256700
Ποσότητα στείρου m ³	819140	1003060	1162300	1264140
Συνολική ποσότητα υλικών m ³	1529300	2030360	2326200	2520840
Συντελεστής εκμετάλλευσης φορτωτή μεταλλεύματος (%)	55.15	79.75	90.45	97.6
Συντελεστής εκμετάλλευσης φορτωτή αγόνων (%)	63.61	77.92	90.41	98.21

Μέσος χρόνος αναμονής ΧΑ στον φορτωτή μεταλλεύματος (min)	0.3903	0.8569	1.2678	2.0835
Μέσος χρόνος αναμονής ΧΑ στον φορτωτή στείρων (min)	0.4496	0.6986	1.1033	1.9611

Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα συγκεκριμένα σενάρια που εξετάστηκαν, η διάταξη με τα 8 φορτηγά μεταφοράς μεταλλεύματος και τα 7 στείρου, προσεγγίζει καλύτερα τη μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση των φορτωτών, 97.6% για τον φορτωτή μεταλλεύματος και 98.21% για τον φορτωτή στείρου, αλλά οδηγεί σε ένα μέσο χρόνο αναμονής των φορτηγών που ανέρχεται σε 2.08 min και 1.96 min για μέταλλευμα και στείρα αντίστοιχα

5.4.4 Σενάριο μεταφοράς χωρίς dispatching με μεταβλητούς χρόνους με κανονική κατανομή και με 6 κύκλους φόρτωσης

Σε αυτό το σενάριο εξετάζουμε την αποδοτικότητα τεσσάρων πιθανών διατάξεων για την εκμετάλλευση του ορυχείου, χωρίς dispatching με μεταβλητούς χρόνους που ακολουθούν την κανονική κατανομή και 6 κύκλους φόρτωσης που αναλογούν σε 111m³ ανά φορτηγό. Στην αρχή παρουσιάζεται το σενάριο όπου χρησιμοποιούνται 4 φορτηγά μεταλλεύματος και 4 φορτηγά στείρου (4x4) και στη συνέχεια εξετάζονται οι περιπτώσεις 6x5, 7x6 και 8x7.

Πίνακας 5.18 Σύνοψη αποτελεσμάτων προσομοίωσης για τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν για το σενάριο μεταφοράς χωρίς dispatching με μεταβλητούς χρόνους που ακολουθούν την κανονική κατανομή και με 6 κύκλους φόρτωσης.

Παράμετρος	(Αριθμός ΧΑ μεταλλεύματος x ΧΑ στείρων)			
	4x4	6x5	7x6	8x7
Αριθμός δρομολογίων μεταλλεύματος	6833.6	9679.8	10522.8	10708
Αριθμός δρομολογίων στείρων	7837.6	9453	10494.2	10713
Ποσότητα μεταλλεύματος m ³	758529.6	1074457.8	1168030.8	1188588
Ποσότητα στείρου m ³	869973.6	1049283	1164856.2	1189143
Συνολική ποσότητα υλικών m ³	1628503.2	2123740.8	2332887	2377731
Συντελεστής εκμετάλλευσης φορτωτή μεταλλεύματος (%)	63.78	90.39	98.21	99.92

Συντελεστής εκμετάλλευσης φορτωτή αγόνων (%)	73.24	88.21	97.94	99.94
Μέσος χρόνος αναμονής ΧΑ στον φορτωτή μεταλλεύματος (min)	0.536	1.3242	2.3829	4.2628
Μέσος χρόνος αναμονής ΧΑ στον φορτωτή στείρων (min)	0.6075	1.0317	2.0268	3.9045

Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα συγκεκριμένα σενάρια που εξετάστηκαν, η καλύτερη διάταξη που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι με τα 7 φορτηγά μεταφοράς μεταλλεύματος και τα 6 στείρου, διότι προσεγγίζει καλύτερα την μέγιστη απόδοση των φορτωτών, 98.21% για τον φορτωτή μεταλλεύματος και 97.94% για τον φορτωτή στείρου, με τον μικρότερο δυνατό αριθμό χωματουργικών αυτοκινήτων και τον μικρότερο μέσο χρόνο αναμονής των φορτηγών που ανέρχεται σε 2.38 min και 2.03 min για μετάλλευμα και στέιρο αντίστοιχα. Χρησιμοποιώντας 8 φορτηγά μεταφοράς μεταλλεύματος και 7 στείρου, επιτυγχάνεται μεγαλύτερη απόδοση των φορτωτών, 99.92% για τον φορτωτή μεταλλεύματος και 99.94% για του στείρου, αλλά η διαφορά στην παραγωγή δεν είναι ικανή για να δικαιολογήσει την χρήση δύο επιπλέον χωματουργικών αυτοκινήτων, ενώ αυξάνονται και οι μέσοι χρόνοι αναμονής των φορτηγών σε 4.26 min και 3.9 min για το μετάλλευμα και το στέιρο αντίστοιχα.

5.4.5 Σενάριο μεταφοράς dispatched με σταθερούς χρόνους και με 5 κύκλους φόρτωσης

Σε αυτό το σενάριο εξετάζουμε την αποδοτικότητα τριών πιθανών διατάξεων για την εκμετάλλευση του ορυχείου, χωρίς dispatching με σταθερούς χρόνους και 5 κύκλους φόρτωσης που αναλογούν σε 100m³ ανά φορτηγό. Στην αρχή παρουσιάζεται το σενάριο όπου χρησιμοποιούνται 4 φορτηγά μεταλλεύματος και 4 φορτηγά στείρου (4x4) και στη συνέχεια εξετάζονται οι περιπτώσεις 5x5 και 6x6.

Πίνακας 5.19 Σύνοψη αποτελεσμάτων προσομοίωσης για τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν για το σενάριο μεταφοράς με dispatching με σταθερούς χρόνους και με 5 κύκλους φόρτωσης.

Παράμετρος	(Αριθμός ΧΑ μεταλλεύματος x ΧΑ στείρων)		
	4x4	5x5	6x6
Αριθμός δρομολογίων μεταλλεύματος	8953	11191	12867
Αριθμός δρομολογίων στείρων	8954	11192	12868

Ποσότητα μεταλλεύματος m ³	895300	1119100	1286700
Ποσότητα στείρου m ³	895400	1119200	1286800
Συνολική ποσότητα υλικών m ³	1790700	2238300	2573500
Συντελεστής εκμετάλλευσης φορτωτή μεταλλεύματος (%)	69.58	86.98	100
Συντελεστής εκμετάλλευσης φορτωτή αγόνων (%)	69.58	86.98	100
Μέσος χρόνος αναμονής ΧΑ στον φορτωτή μεταλλεύματος (min)	0.0012	0.0016	0.7517
Μέσος χρόνος αναμονής ΧΑ στον φορτωτή στείρων (min)	0.0012	0.0016	0.152

Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα συγκεκριμένα σενάρια που εξετάστηκαν, η διάταξη με τα 6 φορτηγά μεταφοράς μεταλλεύματος και τα 6 στείρου, εξασφαλίζει τη μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση των φορτωτών (100%) τόσο του μεταλλεύματος όσο και των στείρων, αλλά οδηγεί σε ένα μέσο χρόνο αναμονής των φορτηγών που ανέρχεται σε 0.75 min και 0.15 min για μέταλλευμα και στείρα αντίστοιχα.

5.4.6 Σενάριο μεταφοράς dispatched με σταθερούς χρόνους και με 6 κύκλους φόρτωσης

Σε αυτό το σενάριο εξετάζουμε την αποδοτικότητα τριών πιθανών διατάξεων για την εκμετάλλευση του ορυχείου, χωρίς dispatching με σταθερούς χρόνους και 6 κύκλους φόρτωσης που αναλογούν σε 111m³ ανά φορτηγό. Στην αρχή παρουσιάζεται το σενάριο όπου χρησιμοποιούνται 4 φορτηγά μεταλλεύματος και 4 φορτηγά στείρου (4x4) και στη συνέχεια εξετάζονται οι περιπτώσεις 5x5 και 6x6.

Πίνακας 5.20 Σύνοψη αποτελεσμάτων προσομοίωσης για τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν για το σενάριο μεταφοράς με dispatching με σταθερούς χρόνους και με 6 κύκλους φόρτωσης.

Παράμετρος	(Αριθμός ΧΑ μεταλλεύματος x ΧΑ στείρων)		
	4x4	5x5	6x6
Αριθμός δρομολογίων μεταλλεύματος	8651	10712	10712

Αριθμός δρομολογίων στείρων	8651	10713	10713
Ποσότητα μεταλλεύματος m ³	960261	1189032	1189032
Ποσότητα στείρου m ³	960261	1189143	1189143
Συνολική ποσότητα υλικών m ³	1920522	2378175	2378175
Συντελεστής εκμετάλλευσης φορτωτή μεταλλεύματος (%)	80.76	100	100
Συντελεστής εκμετάλλευσης φορτωτή αγόνων (%)	80.75	100	100
Μέσος χρόνος αναμονής ΧΑ στον φορτωτή μεταλλεύματος (min)	0.0015	0.202	2.5516
Μέσος χρόνος αναμονής ΧΑ στον φορτωτή στείρων (min)	0.0015	0.002	1.9519

Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα συγκεκριμένα σενάρια που εξετάστηκαν, η διάταξη με τα 5 φορτηγά μεταφοράς μεταλλεύματος και τα 5 στείρου, εξασφαλίζει τη μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση των φορτωτών (100%) τόσο του μεταλλεύματος όσο και των στείρων, με τον μικρότερο αριθμό ΧΑ και τον μικρότερο μέσο χρόνο αναμονής των φορτηγών που ανέρχεται σε 0.2 min και 0.002 min για μέταλλευμα και στείρα αντίστοιχα.

5.4.7 Σενάριο μεταφοράς dispatched με μεταβλητούς χρόνους με κανονική κατανομή και με 5 κύκλους φόρτωσης

Σε αυτό το σενάριο εξετάζουμε την αποδοτικότητα τεσσάρων πιθανών διατάξεων για την εκμετάλλευση του ορυχείου, με dispatching με μεταβλητούς χρόνους που ακολουθούν την κανονική κατανομή και 5 κύκλους φόρτωσης που αναλογούν σε 100m³ ανά φορτηγό. Στην αρχή παρουσιάζεται το σενάριο όπου χρησιμοποιούνται 4 φορτηγά μεταλλεύματος και 4 φορτηγά στείρου (4x4) και στη συνέχεια εξετάζονται οι περιπτώσεις 5x5, 6x6 και 7x7.

Πίνακας 5.21 Σύνοψη αποτελεσμάτων προσομοίωσης για τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν για το σενάριο μεταφοράς χωρίς dispatching με μεταβλητούς χρόνους που ακολουθούν την κανονική κατανομή και με 6 κύκλους φόρτωσης.

Παράμετρος	(Αριθμός ΧΑ μεταλλεύματος x ΧΑ στείρων)			
	4x4	5x5	6x6	7x7

Αριθμός δρομολογίων μεταλλεύματος	8492.4	10318.4	11809.4	12555.2
Αριθμός δρομολογίων στείρων	8492	10318.6	11809.8	11809.8
Ποσότητα μεταλλεύματος m ³	849240	1031840	1180940	1255520
Ποσότητα στείρου m ³	849200	1031860	1180980	1180980
Συνολική ποσότητα υλικών m ³	1698440	2063700	2361920	2436500
Συντελεστής εκμετάλλευσης φορτωτή μεταλλεύματος (%)	65.99	80.08	91.76	97.46
Συντελεστής εκμετάλλευσης φορτωτή αγόνων (%)	66.15	80.23	91.76	97.63
Μέσος χρόνος αναμονής ΧΑ στον φορτωτή μεταλλεύματος (min)	0.5408	0.8352	1.3634	2.4465
Μέσος χρόνος αναμονής ΧΑ στον φορτωτή στείρων (min)	0.5828	0.9135	1.4647	2.656

Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα συγκεκριμένα σενάρια που εξετάστηκαν, η διάταξη με τα 7 φορτηγά μεταφοράς μεταλλεύματος και τα 7 στείρου, προσεγγίζει καλύτερα τη μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση των φορτωτών, 97.46% για τον φορτωτή μεταλλεύματος και 97.63% για τον φορτωτή στείρου, αλλά οδηγεί σε ένα μέσο χρόνο αναμονής των φορτηγών που ανέρχεται σε 2.45 min και 2.66 min για μέταλλευμα και στείρα αντίστοιχα.

5.4.8 Σενάριο μεταφοράς dispatched με μεταβλητούς χρόνους με κανονική κατανομή και με 6 κύκλους φόρτωσης

Σε αυτό το σενάριο εξετάζουμε την αποδοτικότητα τεσσάρων πιθανών διατάξεων για την εκμετάλλευση του ορυχείου, με dispatching με μεταβλητούς χρόνους που ακολουθούν την κανονική κατανομή και 6 κύκλους φόρτωσης που αναλογούν σε 111m³ ανά φορτηγό. Στην αρχή παρουσιάζεται το σενάριο όπου χρησιμοποιούνται 4 φορτηγά μεταλλεύματος και 4 φορτηγά στείρου (4x4) και στη συνέχεια εξετάζονται οι περιπτώσεις 5x5, 6x6 και 7x7.

Πίνακας 5.22 Σύνοψη αποτελεσμάτων προσομοίωσης για τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν για το σενάριο μεταφοράς χωρίς dispatching με μεταβλητούς χρόνους που ακολουθούν την κανονική κατανομή και με 6 κύκλους φόρτωσης.

Παράμετρος	(Αριθμός ΧΑ μεταλλεύματος x ΧΑ στείρων)			
	4x4	5x5	6x6	7x7

Αριθμός δρομολογίων μεταλλεύματος	8063.4	9606.4	10419.4	10585.6
Αριθμός δρομολογίων στείρων	8064.4	9607	10419.6	10585.8
Ποσότητα μεταλλεύματος m ³	895037.4	1066310.4	1156553.4	1175001.6
Ποσότητα στείρου m ³	895148.4	1066377	1156575.6	1175023.8
Συνολική ποσότητα υλικών m ³	1790185.8	2132687.4	2313129	2350025.4
Συντελεστής εκμετάλλευσης φορτωτή μεταλλεύματος (%)	75.26	89.68	97.3	98.8
Συντελεστής εκμετάλλευσης φορτωτή αγόνων (%)	75.26	89.74	97.23	98.82
Μέσος χρόνος αναμονής ΧΑ στον φορτωτή μεταλλεύματος (min)	0.7444	1.2836	2.5472	4.5465
Μέσος χρόνος αναμονής ΧΑ στον φορτωτή στείρων (min)	0.8087	1.3944	2.6876	4.6249

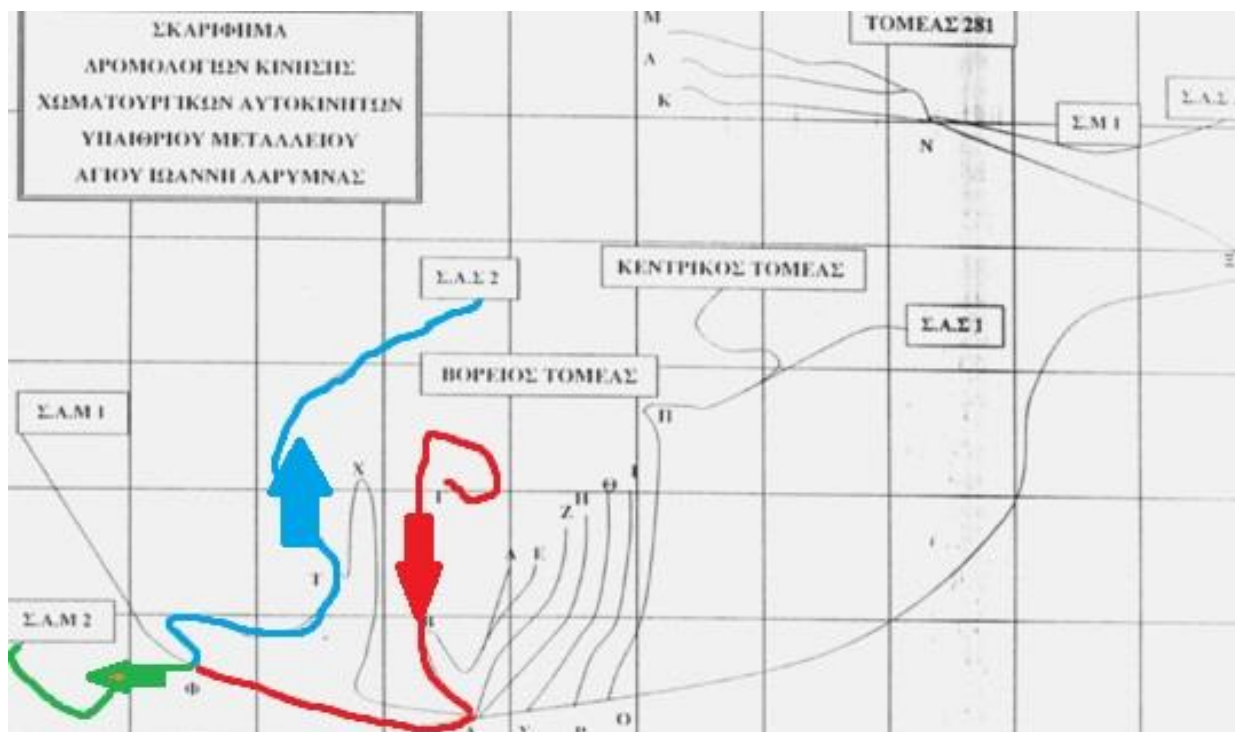
Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα συγκεκριμένα σενάρια που εξετάστηκαν, η καλύτερη διάταξη που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι με τα 6 φορτηγά μεταφοράς μεταλλεύματος και τα 6 στείρου, διότι προσεγγίζει καλύτερα την μέγιστη απόδοση των φορτωτών, 97.3% για τον φορτωτή μεταλλεύματος και 97.23% για τον φορτωτή στείρου, με τον μικρότερο δυνατό αριθμό χωματουργικών αυτοκινήτων και τον μικρότερο μέσο χρόνο αναμονής των φορτηγών που ανέρχεται σε 2.55 min και 2.69 min για μετάλλευμα και στέιρο αντίστοιχα. Χρησιμοποιώντας 7 φορτηγά μεταφοράς μεταλλεύματος και 7 στείρου, επιτυγχάνεται μεγαλύτερη απόδοση των φορτωτών, 98.8% για τον φορτωτή μεταλλεύματος και 98.82% για του στείρου, αλλά η διαφορά στην παραγωγή δεν είναι ικανή για να δικαιολογήσει την χρήση δύο επιπλέον χωματουργικών αυτοκινήτων, ενώ αυξάνονται και οι μέσοι χρόνοι αναμονής των φορτηγών σε 4.55 min και 4.62 min για το μετάλλευμα και το στέιρο αντίστοιχα.

Κεφάλαιο 6

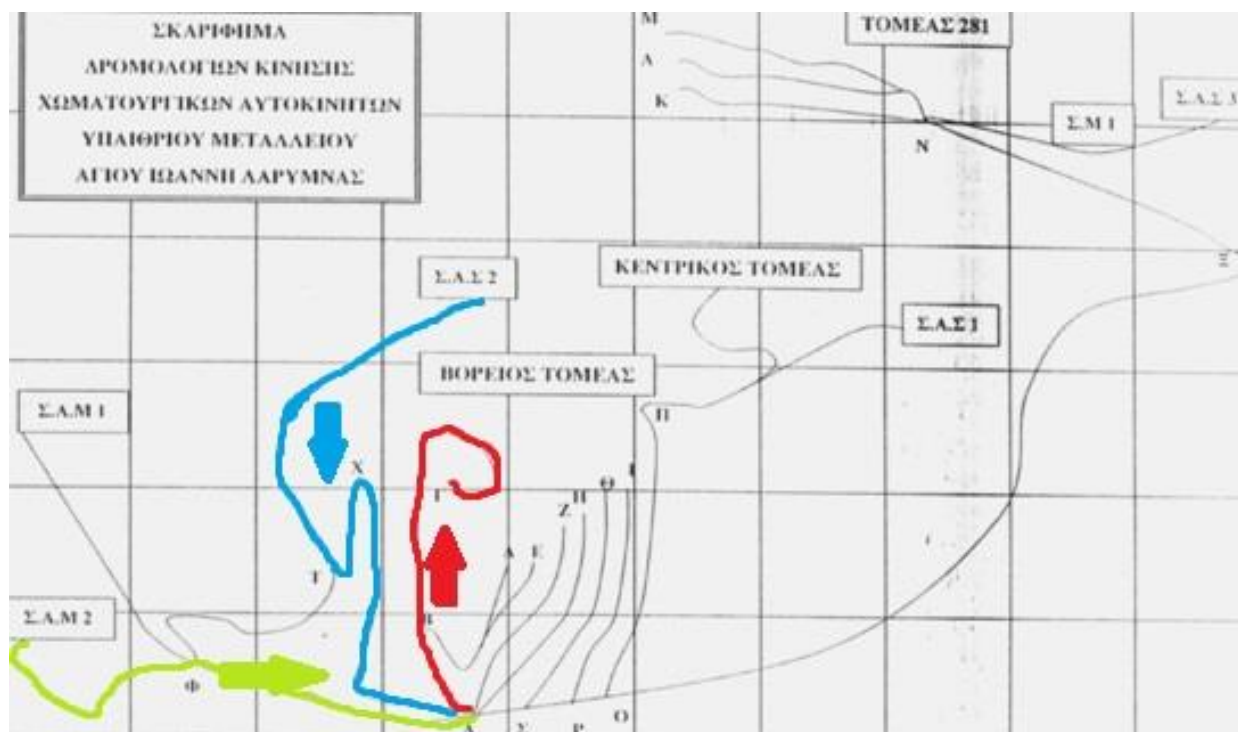
6.1 Περιγραφή του προβλήματος

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, σκοπός της εργασίας είναι να παρουσιαστεί μία μελέτη περίπτωσης για ένα μεταλλείο και να διερευνηθεί εάν μέσα από μια σειρά σεναρίων με διαδικασίες προσομοίωσης με συγκεκριμένο λογισμικό και συγκεκριμένη μεθοδολογία, μπορούν να βελτιστοποιήσουν οι δραστηριότητες του μεταλλείου και κατ' επέκταση η αποτελεσματικότητά του και η παραγωγικότητά του. Το μεταλλείο το οποίο έχει επιλεγεί για την συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης και από το οποίο έχουν αντληθεί πραγματικά δεδομένα, είναι το υπαίθριο μεταλλείο του Αγίου Ιωάννη και πιο συγκεκριμένα ο Βόρειος Τομέας του (BT).

Ουσιαστικά μέσω των διαφόρων σεναρίων που εξετάζονται μέσω προσομοίωσης επιχειρείται να βρεθεί η διάταξη εκείνη που έχει ως αποτέλεσμα τη βελτιστοποίηση απόδοσης του συστήματος φόρτωσης-μεταφοράς στο υπαίθριο μεταλλείο του Αγίου Ιωάννη (BT).



Εικόνα 6.1 Πορεία από το μέτωπο εκμετάλλευσης στα σημεία απόθεσης μεταλλεύματος, τμήμα Νο 18 Α-Σ.Α.Μ 2 (πράσινο) και απόθεσης στείρου, τμήμα Νο 19 Α-Σ.Α.Σ 2 (μπλε). Το κοινό τμήμα της διαδρομής, τμήμα Νο 1 Γ-Α (κόκκινο).



Εικόνα 6.2 Πορεία επιστροφής των χωματουργικών αυτοκινήτων από τα σημεία απόθεσης στους φορτωτές. Χ.Α μεταλλεύματος τμήμα Νο 18 Σ.Α.Μ.2-Α (πράσινο), Χ.Α στείρου τμήμα Νο 20-21 Σ.Α.Σ.2-Τ-Χ-Α (μπλε). Το κοινό κομμάτι της διαδρομής τμήμα Νο 1 Α-Γ (κόκκινο).

Στην [Εικόνα 6.1](#) απεικονίζεται η διαδρομή που ακολουθούν τα χωματουργικά αυτοκίνητα όταν είναι φορτωμένα. Ξεκινώντας, από το μέτωπο στο σημείο Γ έως και το σημείο Φ περνώντας από το Α, όπου διαχωρίζονται και το φορτηγό με το μέταλλευμα κατευθύνεται στο Σημείο Απόθεσης Μεταλλεύματος 2 (Σ.Α.Μ 2) ενώ το φορτηγό με τα στείρα κατευθύνεται στο Σημείο Απόθεσης Στείρου (Σ.Α.Σ 2).

Στην επιστροφή ([Εικόνα 6.2](#)), όπου τα φορτηγά είναι άδεια το φορτηγό που μεταφέρει μέταλλευμα επιστρέφει από την ίδια διαδρομή, δηλαδή Σ.Α.Μ 2-Α-Γ, ενώ η διαδρομή της επιστροφής για το φορτηγό που μεταφέρει τα στείρα αλλάζει. Από το Σ.Α.Σ 2 κατευθύνεται στο Τ μετά στο Χ, για να καταλήξει στην διαδρομή Α-Γ και να επιστρέψει στο μέτωπο της εκμετάλλευσης.

6.2 Ανάπτυξη μοντέλου Αγίου Ιωάννη στο Arena

Τα δεδομένα τα οποία ήταν διαθέσιμα για τους χρόνους φόρτωσης και διαδρομών ήταν περιορισμένα και δεν ήταν αρκετά ώστε με βεβαιότητα να προσδιορίζεται ποια στατιστική κατανομή ακολουθούν. Για αυτό το λόγο, και για τη μείωση του στατιστικού σφάλματος, ακολουθήθηκε η διαδικασία bootstrapping (δειγματοληψία με επανατοποθέτηση), με την χρήση του MS Excel,

όπου δημιουργήθηκε μεγαλύτερος αριθμός δεδομένων με τα οποία να μπορούμε με μεγαλύτερη σιγουριά να εξετάσουμε ποια κατανομή ακολουθούν και να προσδιορίσουμε τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση.

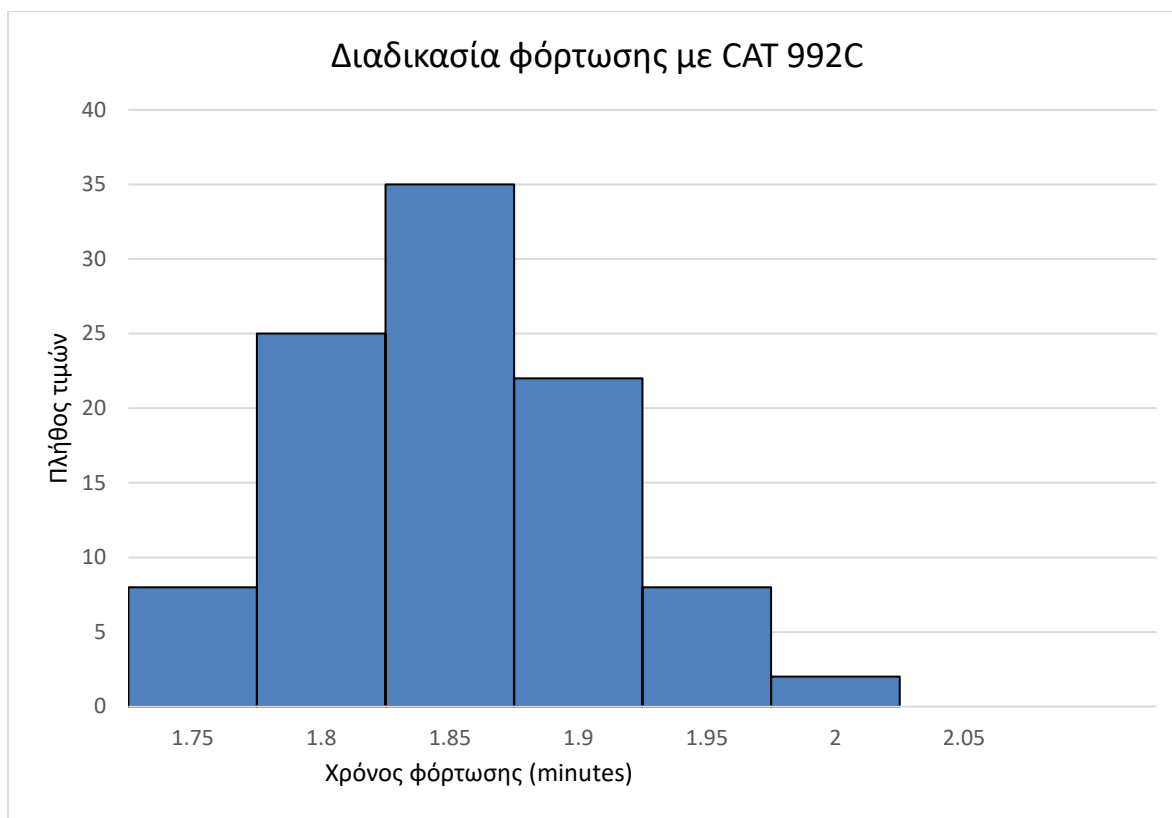
Μετά από την διαδικασία bootstrapping, δημιουργήθηκαν τα ιστογράμματα όπου φάνηκε ότι ακολουθείται η κανονική κατανομή και έτσι προσδιορίσαμε με μεγαλύτερη ακρίβεια τον Μέσο Όρο και την Τυπική Απόκλιση, παράμετροι που χρησιμοποιούνται στα συστήματα προσομοίωσης που πραγματοποιήθηκαν και προσδιορίζουν τους χρόνους ολοκλήρωσης των υπό μελέτη διαδικασιών.

Οι χρόνοι που χρησιμοποιήθηκαν σύμφωνα με υπάρχουσες μετρήσεις περιλάμβαναν: χρόνος φόρτωσης του φορτηγού, ο ελιγμός φόρτωσης του χωματουργικού αυτοκινήτου για το φορτωτή μεταλλεύματος, ο ελιγμός φόρτωσης του χωματουργικού αυτοκινήτου για το φορτωτή στείρου, οι χρόνοι μεταφοράς, εκκένωσης και επιστροφής του χωματουργικού αυτοκινήτου για το τμήμα της διαδρομής No18 (Α-Σ.Α.Μ.2), οι χρόνοι μεταφοράς και εκκένωσης του χωματουργικού αυτοκινήτου για το τμήμα διαδρομής No19 (Α-Σ.Α.Σ.2), οι χρόνοι επιστροφής του χωματουργικού αυτοκινήτου για το τμήμα No20-No21 (Σ.Α.Σ.2-T-X-A) και οι χρόνοι μεταφοράς και επιστροφής του χωματουργικού αυτοκινήτου για το τμήμα No1 (Α-Γ).

Στον [πίνακα 6.1](#) δίνονται οι επιμέρους χρόνοι φόρτωσης και ο συνολικός για τον ελαστικοφόρο φορτωτή τύπου Caterpillar 992C που φορτώνει το χωματουργικό αυτοκίνητο τύπου Terex 3308E (Ζαμπός, 2000). Στην Εικόνα 6.3 δίνεται το ιστόγραμμα (μετά από bootstrapping) για το συνολικό χρόνο φόρτωσης, όπου φαίνεται ότι ακολουθεί την κανονική κατανομή με μέση τιμή 1.83min και τυπική απόκλιση 0.23min. Με όμοιο τρόπο προσδιορίστηκαν και οι υπόλοιποι χρόνοι και οι παράμετροι που προέκυψαν (μέση τιμή και τυπική απόκλιση) συνοψίζονται στην εικόνα 6.4 που παρουσιάζει τον πίνακα εισαγωγής των παραμέτρων προσομοίωσης του λογισμικού Arena που χρησιμοποιήθηκε.

Πίνακας 6.1 οι επιμέρους χρόνοι φόρτωσης και ο συνολικός για τον ελαστικοφόρο φορτωτή τύπου Caterpillar 992C που φορτώνει το χωματουργικό αυτοκίνητο τύπου Terex 3308E

Ελαστικοφόρος Φορτωτής Caterpillar 992C Φόρτωση Terex3308E			
Ανύψωση κάδου	Εκκένωση κάδου	Επιστροφή κάδου	Σύνολο
t(min)	t(min)	t(min)	t(min)
1.25	0.17	0.33	1.75
1	0.25	0.33	1.58
0.92	0.25	0.42	1.59
1.25	0.17	0.33	1.75
1.17	0.25	0.42	1.84
1	1.25	0.42	2.67
1	0.42	0.5	1.92
1.33	0.25	0.42	2
1	0.33	0.42	1.75
1.25	0.25	0.42	1.92
1.33	0.33	0.42	2.08
1	0.22	0.27	1.49
1.25	0.28	0.25	1.78
1	0.27	0.28	1.55
1.25	0.45	0.28	1.98
1.25	0.33	0.28	1.86
1.08	0.5	0.33	1.91
1.08	0.33	0.2	1.61
1.33	0.28	0.33	1.94
1.25	0.4	0.2	1.85
1.33	0.5	0.33	2.16
1.25	0.42	0.42	2.09
1.17	0.4	0.28	1.85
1.17	0.33	0.33	1.83
1	0.42	0.33	1.75
1.08	0.28	0.23	1.59
1.17	0.42	0.33	1.92
1.17	0.28	0.28	1.73
1.08	0.32	0.33	1.73
1.17	0.32	0.3	1.79
1	0.33	0.28	1.61
mean			1.83
stdev			0.23
min			1.49
max			2.67



Εικόνα 6.3 Το ιστόγραμμα (μετά από bootstrapping) για το συνολικό χρόνο φόρτωσης, όπου φαίνεται ότι ακολουθεί την κανονική κατανομή.

Τα αποτελέσματα των μέσων χρόνων των διαδικασιών και των τυπικών τους αποκλίσεων, όπως προέκυψαν μετά την εφαρμογή της δειγματοληψίας με επανατοποθέτηση (bootstrapping) παρουσιάζονται στον [πίνακα 6.2](#).

Πίνακας 6.2 Οι χρόνοι των διαδικασιών του συστήματος φόρτωσης- μεταφοράς του μεταλλεύματος του Αγίου Ιωάννη, όπως προέκυψαν μετά την εφαρμογή του bootstrapping.

Επιμέρους φάσεις της διαδικασίας φόρτωσης και μεταφοράς μεταλλεύματος και αγόνων		Χρόνοι(min)	
		Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση
Caterpillar 992C	Φόρτωση TEREX 3308E	1.83	0.23
Φορτωτής μεταλλεύματος	Ελιγμός φόρτωσης	0.7	0.16
Φορτωτής στείρου	Ελιγμός φόρτωσης	0.73	0.18
TEREX3308E Τμήμα Νο18(Α-Σ.Α.Μ 2)	Μεταφορά	2.54	0.22
	Εκκένωση	1.44	0.42
	Επιστροφή	1.41	0.26
TEREX3308E Τμήμα Νο19(Α-Τ-Σ.Α.Σ 2)	Μεταφορά	6.14	0.39
	Εκκένωση	1.7	0.32
TEREX3308E Τμήμα Νο1(Γ-Α)	Μεταφορά	3.97	0.4

	Επιστροφή	2.34	0.57
Τμήμα No20-No21 (Σ.Α.Σ 2-T-X-A)	Επιστροφή	4.1	0.47

	Name	Type	Action	Priority	Resources	Delay Type	Units	Allocation	Value	Std Dev	Report Statistics
1	Shovel1 Loads the Dumpers	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Normal	Minutes	Value Added	1.83	0.23	☑
2	Travel Ore Section No1	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Normal	Minutes	Value Added	3.97	0.4	☑
3	Dumping at Ore Crusher	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Normal	Minutes	Value Added	1.44	0.42	☑
4	Return Empty Ore Dumper Section No18	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Normal	Minutes	Value Added	1.41	0.26	☑
5	Shovel2 Loads the Dumpers	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Normal	Minutes	Value Added	1.83	0.23	☑
6	Travel Waste Section No1	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Normal	Minutes	Value Added	3.97	0.4	☑
7	Dumping at Waste Dump	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Normal	Minutes	Value Added	1.70	0.32	☑
8	Return Empty Waste Dumper Section No20	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Normal	Minutes	Value Added	4.10	0.47	☑
9 ▶	Loading Maneuver 1	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Normal	Minutes	Value Added	0.7	0.16	☑
10	Loading Maneuver 2	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Normal	Minutes	Value Added	0.73	0.18	☑
11	Travel Ore Section No18	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Normal	Minutes	Value Added	2.54	0.22	☑
12	Travel Waste Section No19	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Normal	Minutes	Value Added	6.14	0.39	☑
13	Return Ore Dumper Empty Section No1	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Normal	Minutes	Value Added	2.34	0.57	☑
14	Return Empty Waste Dumper Section No1	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Normal	Minutes	Value Added	2.34	0.57	☑

Εικόνα 6.4 Οι χρόνοι των διαδικασιών που χρησιμοποιήθηκαν στο Arena για το μεταλλείο του Αγίου Ιωάννη.

6.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το μεταλλείο του Αγίου Ιωάννη

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα προσομοίωσης για το μεταλλείο του Αγίου Ιωάννη. Οι χρόνοι των διαδικασιών θεωρήθηκαν στοχαστικές μεταβλητές που ακολουθούν την κανονική κατανομή και η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση εκτιμήθηκαν από υπάρχουσες μετρήσεις. Η μεταφορά πραγματοποιείται χωρίς dispatching και το κάθε φορτηγό μεταφέρει 34m³ εξορυσσόμενου υλικού. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για τη φόρτωση είναι ο ελαστικοφόρος φορτωτής Caterpillar 992C και για τη μεταφορά το χωματουργικό αυτοκίνητο Terex 3308E. Τα χαρακτηριστικά λειτουργίας τους δίνονται στους [πίνακες 6.3](#) και [6.4](#).

Πίνακας 6.3 Χαρακτηριστικά του φορτωτή Caterpillar 992 C που χρησιμοποιείται στο μεταλλείο του Αγίου Ιωάννη

Ελαστικοφόρος φορτωτής Caterpillar 992C	
Μέγιστη ταχύτητα(km/h)	21.1
Χωρητικότητα κάδου(m ³)	8.18
Χωρητικότητα υπερπλήρωσης(m ³)	9.6

Πίνακας 6.4 Χαρακτηριστικά του φορτηγού Terex 3308E που χρησιμοποιείται για την μεταφορά του εξορυσσόμενου υλικού στο μεταλλείο του Αγίου Ιωάννη

Χωματουργικό αυτοκίνητο Terex 3308E	
Ισχύς (HP)	645
Μέγιστη ταχύτητα (km/h)	57
Βάρος άδειο (kg)	42750
Βάρος φορτωμένο (kg)	92750
Χωρητικότητα κάδου (m ³)	25
Χωρητικότητα υπερπλήρωσης (m ³)	34(2:1)
Φορτίο κύκλου(kg)	40000

Η δημιουργία του μοντέλου προσομοίωσης της υπαίθριας εκμετάλλευσης του μεταλλείου του Αγίου Ιωάννη βασίστηκε, στο μοντέλο που έχει δημιουργηθεί νωρίτερα και αναφέρεται στο παράδειγμα τυπικού μεταλλείου υπαίθριας εκμετάλλευσης με μεταφορά κατ' αποκλειστικότητα (χωρίς dispatching). Έγινε προσθήκη της διαδικασίας του ελιγμού φόρτωσης με τη χρήση ενός Process module και την επιλογή Delay, στο οποίο χρησιμοποιήθηκε η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση που προέκυψε μετά τη διαδικασία του bootstrapping με βάση τις υπάρχουσες μετρήσεις ([Εικόνα 6.5](#)).

The image shows a 'Process' dialog box with the following settings:

- Name:** Loading Maneuver 1
- Type:** Standard
- Logic:**
 - Action:** Delay
- Delay Configuration:**
 - Delay Type:** Normal
 - Units:** Minutes
 - Allocation:** Value Added
 - Value:(Mean):** 0.7
 - Std Dev:** 0.16
- Report Statistics:** ☒
- Buttons:** OK, Cancel, Help

Εικόνα 6.5 Process module που αντιστοιχεί στην διαδικασία του ελιγμού φόρτωσης

Οι διαδρομές μεταφοράς του εξορυσσόμενου υλικού χωρίστηκαν σε δύο κομμάτια. Για το μέταλλευμα στο τμήμα No1 και το τμήμα No 18 και για το στείρο στο τμήμα No1 και το τμήμα 19, λόγω της διαφορετικής μορφολογίας του εδάφους στο κάθε τμήμα ([Εικόνα 6.6](#)).

The image shows a 'Process' dialog box with the following fields and values:

- Name:** Travel Ore Section No1
- Type:** Standard
- Logic:**
 - Action:** Delay
- Delay Type:** Normal
- Units:** Minutes
- Allocation:** Value Added
- Value (Mean):** 3.97
- Std Dev:** 0.4
- ☒ Report Statistics
- Buttons:** OK, Cancel, Help

Εικόνα 6.6 Process module που αντιστοιχεί στην διαδικασία μεταφοράς μεταλλεύματος στο τμήμα Νο1

Το αντίστοιχο έγινε και για τη διαδρομή επιστροφής των χωματουργικών αυτοκινήτων από τα σημεία απόθεσης μεταλλεύματος και στείρου. Πιο συγκεκριμένα για το φορτηγό μεταφοράς μεταλλεύματος ακολουθήθηκε η διαδρομή των τμημάτων Νο 18 και Νο 1, ενώ για το στείρο η διαδρομή των τμημάτων Νο 20, Νο 21 και Νο 1 (Εικόνα 6.7).

Process

Name: Type:

Logic

Action:

Delay Type: Units: Allocation:

Value (Mean): Std Dev:

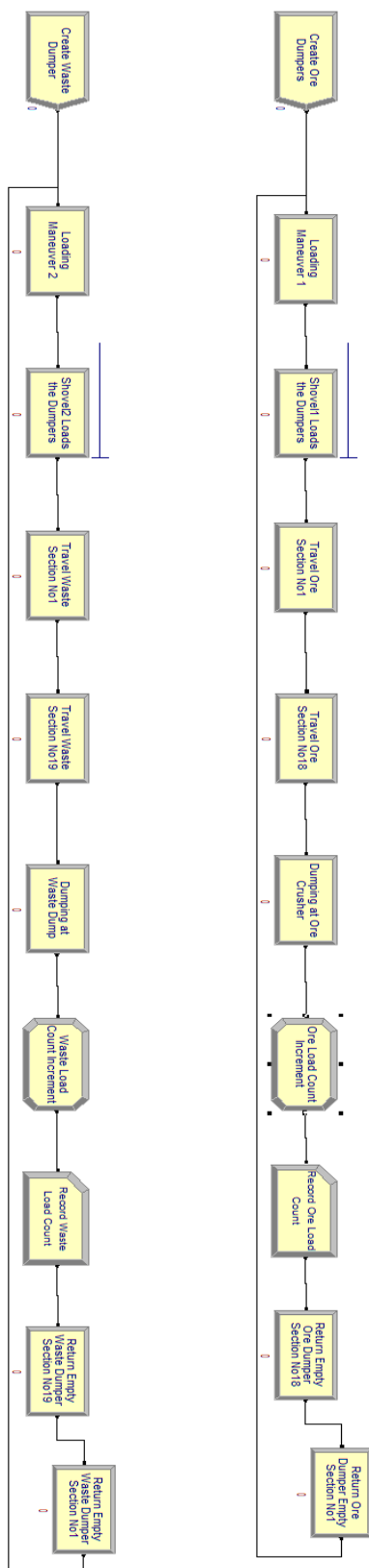
☒ Report Statistics

Εικόνα 6.7 Process module που αντιστοιχεί στην διαδικασία επιστροφής του Χ.Α στο τμήμα Νο18

Τέλος, ορίστηκε στο σύστημα ότι η χωρητικότητα των χωματουργικών αυτοκινήτων είναι 34m^3 , μέσω της χρήσης Statistics data module (Εικόνα 6.8).

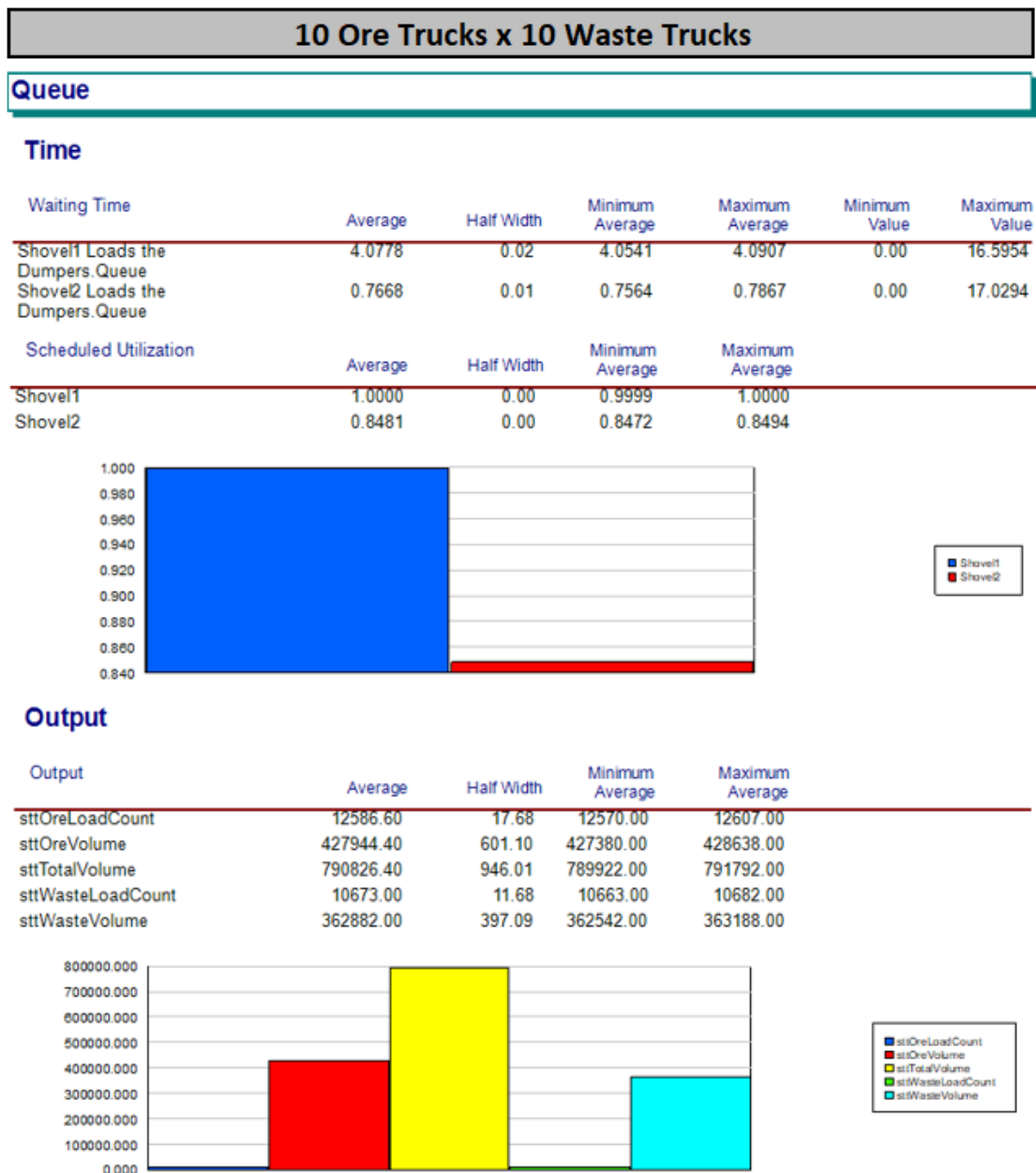
	Name	Type	Expression	Report Label	Output File
1	sttOreLoadCount	Output	varOreLoadCount	sttOreLoadCount	
2	sttWasteLoadCount	Output	varWasteLoadCount	sttWasteLoadCount	
3	sttTotalVolume	Output	(varOreLoadCount+varWasteLoadCount)*34	sttTotalVolume	
4	sttOreVolume	Output	varOreLoadCount*34	sttOreVolume	
5	sttWasteVolume	Output	varWasteLoadCount*34	sttWasteVolume	

Εικόνα 6.8 Statistics data module και ο προσδιορισμός της χωρητικότητας των Χ.Α.



Εικόνα 6.9 Το σύνολο των modules που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση του συστήματος εκσκαφής-μεταφοράς του ορυχείου του Αγίου Ιωάννη στη Βοιωτία για το μέταλλευμα και το στείρο.

Για την περίπτωση του μεταλλείου του Αγίου Ιωάννη εξετάζουμε την αποδοτικότητα τεσσάρων πιθανών διατάξεων για την εκμετάλλευση του ορυχείου, χωρίς dispatching και με μεταβλητούς χρόνους που ακολουθούν την κανονική κατανομή, για Χ.Α που μεταφέρουν 34m³. Στην αρχή παρουσιάζεται το σενάριο όπου χρησιμοποιούνται 10 φορτηγά μεταλλεύματος και 10 φορτηγά στείρου (10x10).



Εικόνα 6.10 Αποτελέσματα της προσομοίωσης για το μεταλλείο του Αγίου Ιωάννη, για την διάταξη 10x10

Από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που δίνονται στην [Εικόνα 6.10](#) φαίνεται ότι η μέση αναμονή του χωματουργικού αυτοκινήτου στον φορτωτή μεταλλεύματος είναι 4.08 min. Η απόδοση του φορτωτή μεταλλεύματος (shovel1) είναι 100% και η απόδοση του φορτωτή στείρου (shovel2) 84.81%. Τέλος, όσον αφορά τις συνολικά διακινηθείσες ποσότητες στο χρονικό διάστημα που προσομοιώθηκε, παρατηρούμε ότι πραγματοποιήθηκαν κατά μέσο όρο 12586.6 μεταφορές μεταλλεύματος, 10673 μεταφορές στείρου ενώ ο όγκος μεταλλεύματος που διακινήθηκε ανέρχεται σε 427944.4 m³, του αγόνου σε 362882 m³ και ο συνολικός όγκος εξορυσσόμενου υλικού σε 790826.4 m³. Με βάση τα αποτελέσματα αυτής της διάταξης, προχωράμε στην εξέταση διαφορετικών διατάξεων, προκειμένου να μειωθεί ο μέσος χρόνος αναμονής των Χ.Α του φορτωτή μεταλλεύματος και να αυξηθεί η απόδοση των φορτωτή του αγόνου υλικού. Για το λόγο αυτό εξετάστηκαν τρεις επιπλέον πιθανές διατάξεις των Χ.Α, η 9x11, η 9x12 και η 9x13.

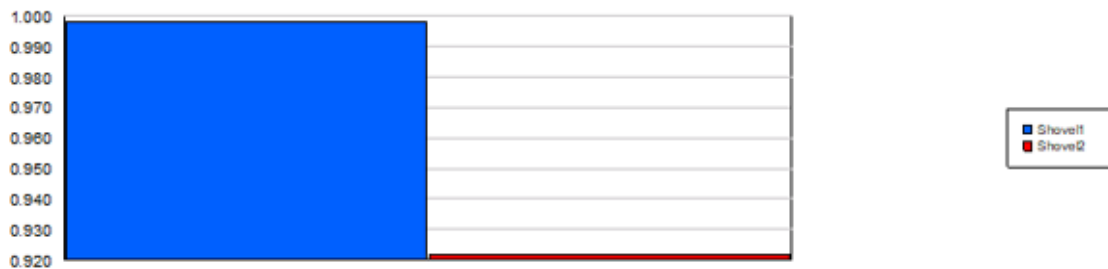
Τα αναλυτικά αποτελέσματα της προσομοίωσης των σεναρίων αυτών δίνονται στις [Εικόνες 6.11](#), [6.12](#) και [6.13](#) και συνοψίζονται στον [πίνακα 6.5](#).

9 Ore Trucks x 11 Waste Trucks

Queue

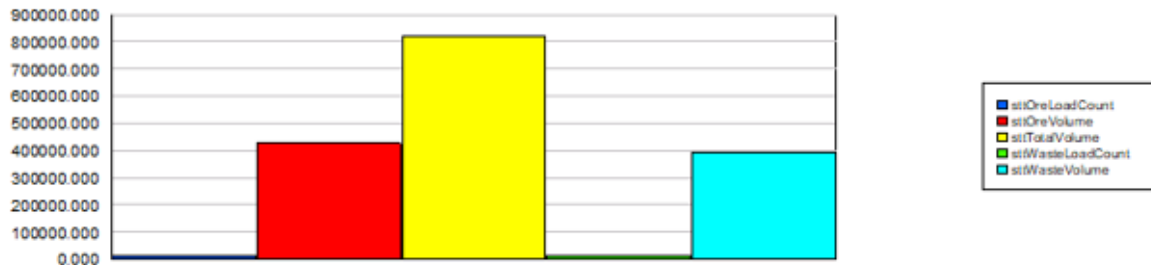
Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Dumpers.Queue	2.2808	0.02	2.2693	2.3062	0.00	14.8379
Shovel2 Loads the Dumpers.Queue	1.0330	0.01	1.0187	1.0513	0.00	18.7284
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Shovel1	0.9980	0.00	0.9979	0.9982		
Shovel2	0.9219	0.00	0.9213	0.9222		



Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
sttOreLoadCount	12556.40	11.12	12547.00	12570.00
sttOreVolume	426917.60	378.24	426598.00	427380.00
sttTotalVolume	821372.00	571.78	820760.00	822018.00
sttWasteLoadCount	11601.60	9.44	11589.00	11607.00
sttWasteVolume	394454.40	320.91	394026.00	394638.00



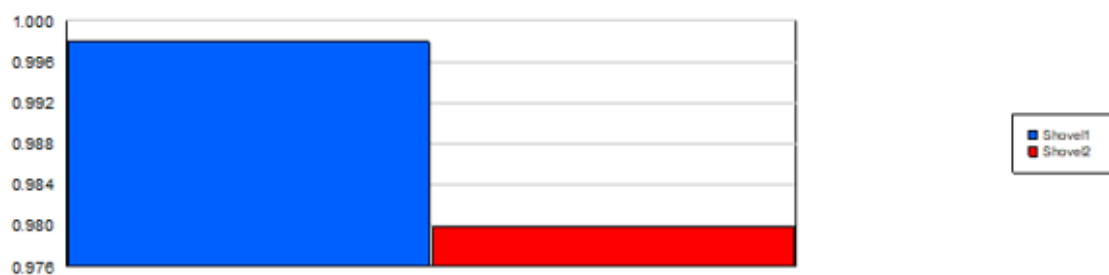
Εικόνα 6.11 Αποτελέσματα της προσομοίωσης για το μεταλλείο του Αγίου Ιωάννη, για την διάταξη 9x11

9 Ore Trucks x 12 Waste Trucks

Queue

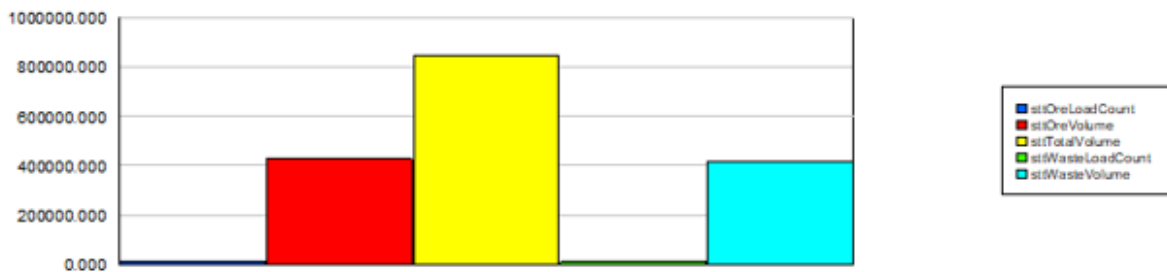
Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Dumpers.Queue	2.2714	0.02	2.2594	2.2920	0.00	15.0812
Shovel2 Loads the Dumpers.Queue	1.6129	0.01	1.6055	1.6168	0.00	20.6193
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Shovel1	0.9979	0.00	0.9978	0.9981		
Shovel2	0.9799	0.00	0.9787	0.9815		



Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
sttOreLoadCount	12562.00	9.33	12554.00	12573.00
sttOreVolume	427108.00	317.28	426836.00	427482.00
sttTotalVolume	846328.00	275.17	846056.00	846634.00
sttWasteLoadCount	12330.00	8.47	12321.00	12339.00
sttWasteVolume	419220.00	287.83	418914.00	419526.00



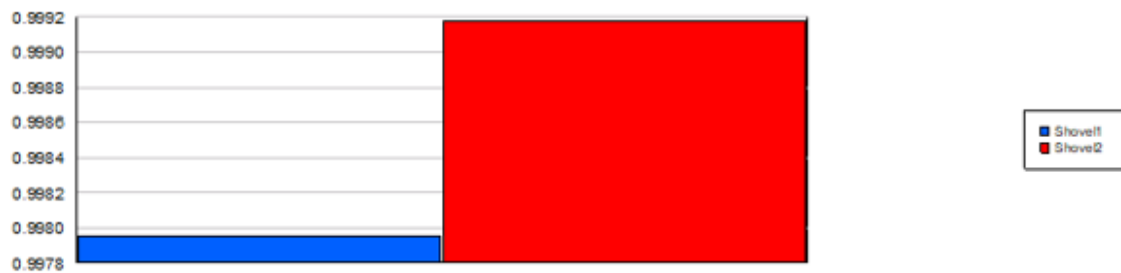
Εικόνα 6.12 Αποτελέσματα της προσομοίωσης για το μεταλλείο του Αγίου Ιωάννη, για την διάταξη 9x12

9 Ore Trucks x 13 Waste Trucks

Queue

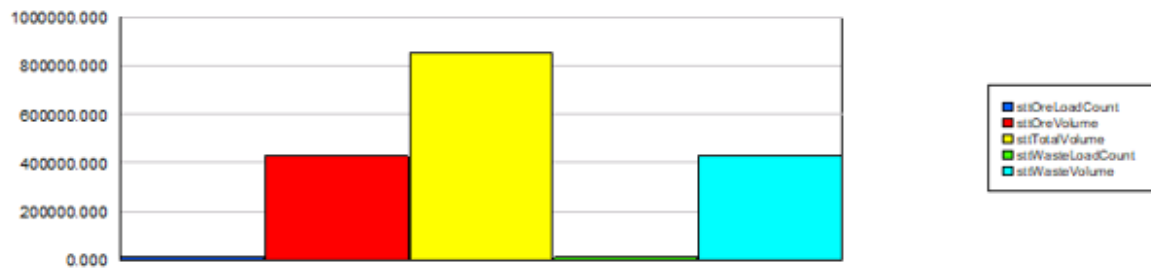
Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Dumpers.Queue	2.2688	0.02	2.2406	2.2924	0.00	15.2132
Shovel2 Loads the Dumpers.Queue	3.0094	0.03	2.9821	3.0331	0.00	22.1423
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Shovel1	0.9979	0.00	0.9977	0.9982		
Shovel2	0.9992	0.00	0.9989	0.9994		



Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
sttOreLoadCount	12562.80	16.94	12549.00	12581.00
sttOreVolume	427135.20	575.97	426666.00	427754.00
sttTotalVolume	854644.40	1,078.87	853740.00	855984.00
sttWasteLoadCount	12573.80	18.19	12561.00	12595.00
sttWasteVolume	427509.20	618.49	427074.00	428230.00



Εικόνα 6.13 Αποτελέσματα της προσομοίωσης για το μεταλλείο του Αγίου Ιωάννη, για την διάταξη 9x13

Πίνακας 6.5 Σύνοψη αποτελεσμάτων προσομοίωσης για τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν για το μεταλλείο του Αγίου Ιωάννη.

Παράμετρος

(Αριθμός ΧΑ μεταλλεύματος x ΧΑ στείρων)

	10x10	9x11	9x12	9x13
Αριθμός δρομολογίων μεταλλεύματος	12586.6	12556.4	12562	12562.8
Αριθμός δρομολογίων στείρων	10673	11601.6	12330	12573.8
Ποσότητα μεταλλεύματος m ³	427944.4	426917.6	427108	427135.2
Ποσότητα στείρου m ³	362882	394454.4	419220	427509.2
Συνολική ποσότητα υλικών m ³	790826.4	821372	846328	854644.4
Συντελεστής εκμετάλλευσης φορτωτή μεταλλεύματος (%)	100	99.8	99.79	99.79
Συντελεστής εκμετάλλευσης φορτωτή αγόνων (%)	84.81	92.19	97.99	99.92
Μέσος χρόνος αναμονής ΧΑ στον φορτωτή μεταλλεύματος (min)	4.0778	2.2808	2.2714	2.2688
Μέσος χρόνος αναμονής ΧΑ στον φορτωτή στείρων (min)	0.7668	1.033	1.6129	3.0094

Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα συγκεκριμένα σενάρια που εξετάστηκαν (*πίνακας 6.5*), η καλύτερη διάταξη που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι με τα 9 φορτηγά μεταφοράς μεταλλεύματος και τα 12 στείρου, διότι προσεγγίζει καλύτερα την μέγιστη απόδοση των φορτωτών, 99.79% για τον φορτωτή μεταλλεύματος και 97.99% για τον φορτωτή στείρου, με τον μικρότερο δυνατό αριθμό χωματουργικών αυτοκινήτων και τον μικρότερο μέσο χρόνο αναμονής των φορτηγών που ανέρχεται σε 2.27 min και 1.16 min για μέταλλευμα και στέιρο αντίστοιχα. Χρησιμοποιώντας 9 φορτηγά μεταφοράς μεταλλεύματος και 13 στείρου, επιτυγχάνεται μεγαλύτερη απόδοση των φορτωτών, 99.79% για τον φορτωτή μεταλλεύματος και 99.92% για του στείρου, αλλά η διαφορά στην παραγωγή δεν είναι ικανή για να δικαιολογήσει την χρήση δύο επιπλέον χωματουργικών αυτοκινήτων, ενώ αυξάνονται και οι μέσοι χρόνοι αναμονής των φορτηγών σε 2.27 min και 3 min για το μέταλλευμα και το στέιρο αντίστοιχα.

Κεφάλαιο 7- Συμπεράσματα - Προτάσεις

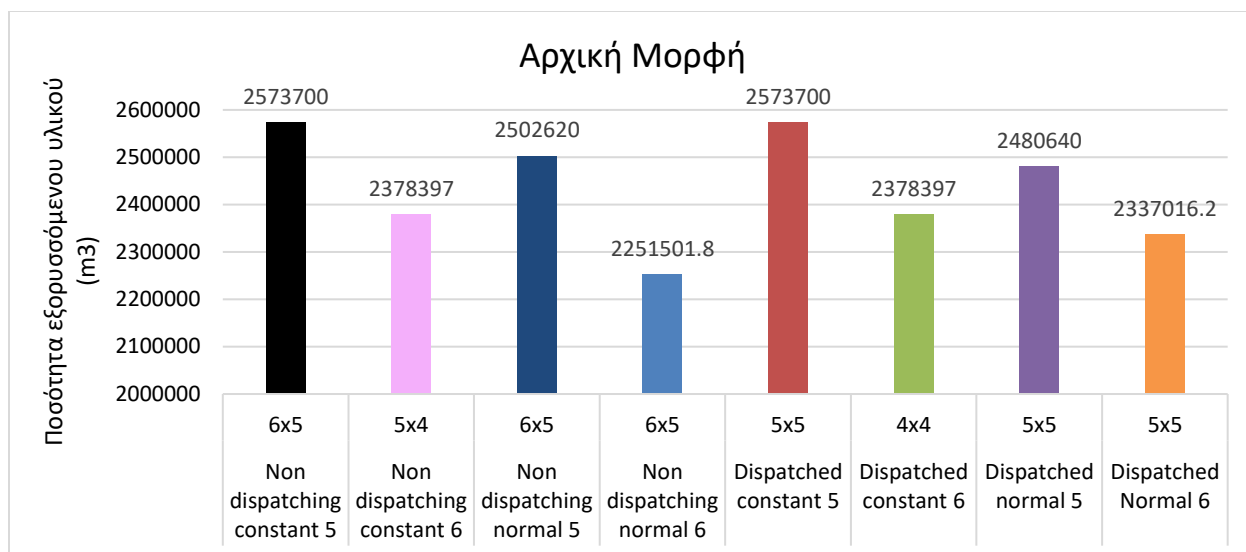
7.1 Συμπεράσματα

Σκοπός της εργασίας ήταν η εφαρμογή μοντέλων προσομοίωσης υπαίθριων εκμεταλλεύσεων, με στόχο να βρεθεί η πιο αποδοτική διάταξη του εξοπλισμού φόρτωσης μεταφοράς. Η εφαρμογή αυτή έγινε τόσο σε τυπικά παραδείγματα υπαίθριων εκμεταλλεύσεων, όσο και σε ένα πραγματικό μεταλλείο, το μεταλλείο του Αγίου Ιωάννη στη Βοιωτία. Διερευνήθηκε μέσω των διαφόρων σεναρίων που αναπτύχθηκαν, η επίδραση του αριθμού των χωματουργικών αυτοκινήτων, των μορφών φόρτωσης και μεταφοράς (κατά αποκλειστικότητα και μεικτή) και των χρόνων φόρτωσης και μεταφοράς (σταθερός ή μεταβλητός) στην απόδοση του συστήματος. Ως βασικοί δείκτες απόδοσης χρησιμοποιήθηκαν ο συντελεστής εκμετάλλευσης των φορτωτικών μέσων και ο μέσος χρόνος αναμονής των χωματουργικών αυτοκινήτων.

Αρχικά έγιναν προσομοιώσεις για τυπικά παραδείγματα υπαίθριων εκμεταλλεύσεων για διάφορους συνδυασμούς φορτωτών και χωματουργικών αυτοκινήτων, ενώ εξετάστηκε και η επίδραση απόστασης μεταξύ μετώπου εξόρυξης και σημείου απόθεσης, τα αποτελέσματα των οποίων συνοψίζονται στις [εικόνες 7.1](#) και [7.2](#). Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν, για την περίπτωση όπου οι χρόνοι φόρτωσης μεταφοράς θεωρήθηκαν σταθεροί, φάνηκε ότι το σενάριο της μεικτής μεταφοράς (dispatched) πετυχαίνει καλύτερο αποτέλεσμα παραγωγής με τον μικρότερο αριθμό χωματουργικών αυτοκινήτων, γεγονός το οποίο το καθιστά προτιμητέο σε σχέση με το σενάριο της κατά αποκλειστικότητα μεταφορά (non-dispatching), εφόσον βέβαια μπορεί να εφαρμοστεί.

Τα σενάρια που χρησιμοποιούν μεταβλητό χρόνο, που θεωρούνται και τα πιο ρεαλιστικά, φάνηκε να δίνουν μικρότερη αξιοποίηση του φορτωτή και μεγαλύτερη καθυστέρηση ανά φορτηγό. Η διαφορά των σεναρίων dispatched και non-dispatching σε αυτή την κατηγορία είναι μικρότερη.

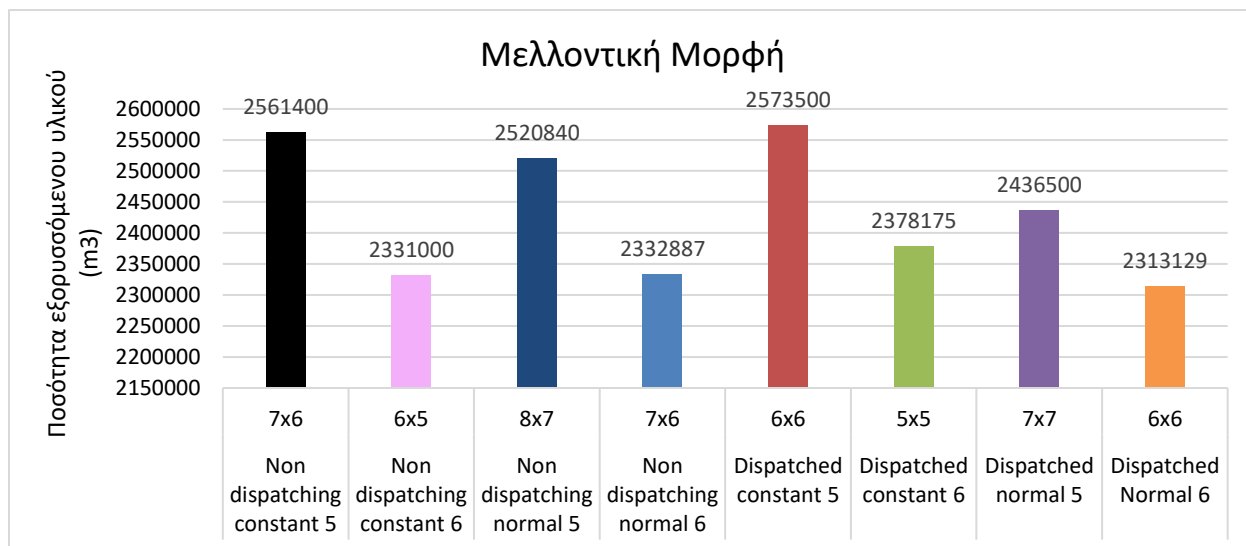
Γενικά, σε όλα τα σενάρια που εξετάστηκαν όπου χρησιμοποιήθηκαν έξι (6) κύκλοι φόρτωσης, παρουσίασαν μικρότερη παραγωγή, ως αποτέλεσμα των μεγαλύτερων μέσων χρόνων αναμονής των χωματουργικών αυτοκινήτων στους φορτωτές. Έτσι φαίνεται ότι η παραπάνω ποσότητα υλικού που φορτώνεται ανά φορτηγό δεν είναι αρκετά σημαντική, ώστε να δικαιολογήσει την καθυστέρηση (αύξηση χρόνου αναμονής φορτηγών) που δημιουργείται από τον παραπάνω κύκλο φόρτωσης.



Εικόνα 7.1 Διάγραμμα σύνοψης των αποτελεσμάτων που αφορούν την ποσότητα του εξορυσσόμενου υλικού που αποτίθεται κατά την διάρκεια της προσομοίωσης για την αρχική μορφή του ορυχείου.

Από τα μοντέλα προσομοίωσης που μελετήθηκαν και αφορούσαν την προχώρηση του ορυχείου και τη δημιουργία μεγαλύτερων αποστάσεων μεταφοράς, φάνηκε ότι η μέγιστη παραγωγή και η καλύτερη αξιοποίηση του φορτωτή παρουσιάστηκε στα σενάρια με dispatching, αφού επιτυγχάνει τους στόχους παραγωγής με τη χρήση ενός λιγότερου χωματουργικού αυτοκινήτου.

Στα σενάρια μεταβλητού χρόνου φάνηκε ότι για να επιτευχθεί η ίδια παραγωγή με εκείνα του σταθερού χρόνου, απαιτείται μεγαλύτερος αριθμός χωματουργικών αυτοκινήτων σε κάθε περίπτωση.



Εικόνα 7.2 Διάγραμμα σύνοψης των αποτελεσμάτων που αφορούν την ποσότητα του εξορυσσόμενου υλικού που αποτίθεται κατά την διάρκεια της προσομοίωσης για την αρχική μορφή του ορυχείου

Σχετικά με το μεταλλείο του Αγίου Ιωάννη, προσομοιώθηκαν τέσσερις πιθανές διατάξεις του χωματουργικού εξοπλισμού. Το καλύτερο αποτέλεσμα επιτεύχθηκε με την διάταξη των εννέα (9) φορτηγών μεταλλεύματος (όπου επιτεύχθηκε ~99% εκμετάλλευση του φορτωτή) και των δώδεκα (12) φορτηγών στείρου (όπου επιτεύχθηκε ~97% εκμετάλλευση του φορτωτή).

Στο σενάριο των δεκατριών (13) φορτηγών μεταφοράς στείρου η ποσότητα του άγονου υλικού που μεταφέρθηκε δεν αυξήθηκε σημαντικά, σε αντίθεση με τον χρόνο αναμονής των φορτηγών μεταφοράς στείρου, ο οποίος αυξήθηκε στα 3 min από τα 1.6 min που είχε επιτευχθεί στο σενάριο των δώδεκα (12) φορτηγών.

7.2 Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα

Στις προτάσεις για μελλοντική έρευνα προτείνεται:

- Η συμπερίληψη οικονομικών στοιχείων, ώστε να μπορεί να προκύψει το οικονομικά βέλτιστο σενάριο (ελαχιστοποίηση του κόστους μεταφοράς ανά τονοχιλιόμετρο).
- Η αναλυτική προσομοίωση της διαδικασίας της υπαίθριας εκμετάλλευσης που θα περιλαμβάνει στην προσομοίωση υπό τη μορφή στοχαστικών μεταβλητών και τη διαθεσιμότητα του εξοπλισμού.
- Η προσομοίωση και σε συστήματα εξόρυξης μεταφοράς που χρησιμοποιούνται στις συνεχείς εκμεταλλεύσεις.

Βιβλιογραφία

Επιστημονικά άρθρα και βιβλία

- Awuah-Offei, K., Que, S. and Ur Rehman, A. (2021) “Evaluating mine design alternatives for social risks using discrete choice analysis,” *Sustainability*, 13(16), p. 8700. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.3390/su13168700>.
- Berbner, J., Lath, V. and Maksimainen, J. (2022) *Navigating a decade of challenges: Five winning initiatives for mining CEOS*, McKinsey & Company. McKinsey & Company. Διαθέσιμο στο: <https://www.mckinsey.com/industries/metals-and-mining/our-insights/navigating-a-decade-of-challenges-five-winning-initiatives-for-mining-ceos>
- Berleant, D. and Kuipers, B.J. (1997) “Qualitative and Quantitative Simulation: Bridging The Gap,” *Artificial Intelligence*, 95(2), pp. 215–255. Διαθέσιμο στο: [https://doi.org/10.1016/s0004-3702\(97\)00050-7](https://doi.org/10.1016/s0004-3702(97)00050-7).
- Bohorquez, P. and Ancey, C. (2015) “Stochastic-deterministic modeling of bed load transport in shallow water flow over erodible slope: Linear Stability Analysis and numerical simulation,” *Advances in Water Resources*, 83, pp. 36–54. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2015.05.016>.
- Byrne, J., C. and Byrne, P.J. (2010) “A review of web-based simulation and supporting tools,” *Simulation Modelling Practice and Theory*, 18(3), pp. 253–276. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2009.09.013>.
- Crowe, S., Cresswell, K., Robertson, A., Huby G., Avery, A. & Sheikh, A.. (2011) “The case study approach,” *BMC Medical Research Methodology*, 11(1). Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1186/1471-2288-11-100>.
- Dindarloo, S. and Siami-Irdemoosa, E. (2016) *Merits of discrete event simulation in modeling mining operations*. Διαθέσιμο στο: https://www.researchgate.net/publication/292983651_Merits_of_discrete_event_simulation_in_modeling_mining_operations
- Elevli, S. and Elevli, B. (2010) *Performance measurement of mining equipments by utilizing Oee*. Διαθέσιμο στο: https://www.researchgate.net/profile/Birol-Elevli-2/publication/47517712_Performance_Measurement_of_Mining_Equipments_by_Utilizing_OEE/links/557ffcce08aeb61eae26ef2d/Performance-Measurement-of-Mining-Equipments-by-Utilizing-OEE.pdf?origin=journalDetail
- Fishwick, P.A. (1991) “Methods for qualitative modeling in simulation,” *Advances in Simulation*, pp. 36–52. Διαθέσιμο στο: https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3040-3_3.
- Fourie, H. (2016) “Improvement in the overall efficiency of mining equipment: A case study,” *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 116(2). Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.17159/2411-9717/2016/v116n3a9>.

- Garside, M. (2022) *Global leading mining companies by revenue 2022 ranking*, Statista. Διαθέσιμο στο: <https://www.statista.com/statistics/272707/ranking-of-top-10-mining-companies-based-on-revenue/>
- Giezen, M. (2012) “Keeping it simple? A case study into the advantages and disadvantages of reducing complexity in Mega Project Planning,” *International Journal of Project Management*, 30(7), pp. 781–790. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.01.010>.
- Glöser, S. et al. (2013) *Using Dynamic Stock & Flow Models for Global and Regional Material and Substance Flow Analysis in the Field of Industrial Ecology: The Example of a Global Copper Flow Model*, System Dynamics Society. <https://proceedings.systemdynamics.org/2013/proceed/papers/P1236.pdf>. Διαθέσιμο στο: <https://systemdynamics.org/conference-proceedings/>
- Gog, M. (2016) *CASE STUDY RESEACH*. International Journal of Sales, Retailing and Marketing. Διαθέσιμο στο: <https://www.circleinternational.co.uk/wp-content/uploads/2021/01/IJSRM4-9.pdf>
- Güneralp, Burak. (2005). Progress in eigenvalue elasticity analysis as a coherent loop dominance analysis tool. Διαθέσιμο στο: https://www.researchgate.net/publication/228874466_Progress_in_eigenvalue_elasticity_analysis_as_a_coherent_loop_dominance_analysis_tool
- Hancock, G.R. and Willgoose, G.R. (2004) “An experimental and computer simulation study of erosion on a mine tailings Dam Wall,” *Earth Surface Processes and Landforms*, 29(4), pp. 457–475. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1002/esp.1045>.
- Hollweck, T. (2016) “Robert K. Yin. (2014). Case Study Research Design and methods (5th ed.). Thousand Oaks, ca: Sage. 282 pages.,” *The Canadian Journal of Program Evaluation* [Preprint]. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.3138/cjpe.30.1.108>.
- Horowitz, L.S., Keeling, A., Levesque, F., Rodon, T., Schott, S. & Theriault, S. (2018) “Indigenous peoples’ relationships to large-scale mining in post/colonial contexts: Toward multi-disciplinary comparative perspectives,” *The Extractive Industries and Society*, 5(3), pp. 404–414. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1016/j.exis.2018.05.004>.
- Hussain, C.M., Paulraj, M.S. and Nuzhat, S. (2022) “Source reduction and waste minimization,” *Elsevier*. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1016/c2020-0-01110-2>.
- Jacobs, J. (2013) “An overview of revenue flows from the mining sector: Impacts, debates and policy recommendations,” *Modes of Governance and Revenue Flows in African Mining*, pp. 16–47. Διαθέσιμο στο: https://doi.org/10.1057/9781137332318_2.
- John D.W. Morecroft (Ed.) (2015). *Strategic Modelling and Business Dynamics: A Feedback Systems Approach*. John Wiley and Sons. Print ISBN: 9781118844687, Online ISBN: 9781119176831 (DOI: 10.1002/9781119176831)

- Mardonova, M. and Choi, Y. (2018) “Review of Wearable Device Technology and its applications to the mining industry,” *Energies*, 11(3), p. 547. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.3390/en11030547>.
- Michalakopoulos, T.N., Roumpos, C.P., Galetakis, M.J. and Panagiotou, M.J. (2015) “Discrete-event simulation of continuous mining systems in multi-layer lignite deposits,” *Lecture Notes in Production Engineering*, pp. 225–239. Διαθέσιμο στο: https://doi.org/10.1007/978-3-319-12301-1_21.
- Mitchell, P.D. (2022) *Top 10 business risks and opportunities for mining and metals in 2023*, EY.EY. Διαθέσιμο στο: https://www.ey.com/en_gl/mining-metals/risks-opportunities
- Modis, K., & Stamatakis, S. (2015). *Introduction to mineral exploration*. Kallipos, Open Academic Editions. <https://hdl.handle.net/11419/755>
- Mohammadi, Mousa&Rai, Piyush& Gupta, Suprakash.(2015). Performance Measurement of Mining Equipment. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*.5. 240-248. Διαθέσιμο στο: https://www.researchgate.net/publication/281457548_Performance_Measurement_of_Mining_Equipment
- Moradi Afrapoli, A., Tabesh, M. and Askari-Nasab, H. (2018) “A stochastic hybrid simulation-optimization approach towards haul fleet sizing in surface mines,” *Mining Technology*, 128(1), pp. 9–20. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1080/25726668.2018.1473314>.
- O’Regan, B. and Moles, R. (2006) “Using system dynamics to model the interaction between environmental and economic factors in the mining industry,” *Journal of Cleaner Production*, 14(8), pp. 689–707. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.05.006>.
- Owusu, O., Bansah, K.J. and Mensah, A.K. (2019) “‘small in size, but big in impact’: Socio-environmental reforms for sustainable artisanal and small-scale mining,” *Journal of Sustainable Mining*, 18(1), pp. 38–44. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1016/j.jsm.2019.02.001>.
- Ozdemir, B. and Kumral, M. (2019) “Simulation-based optimization of truck-shovel material handling systems in multi-pit surface mines,” *Simulation Modelling Practice and Theory*, 95, pp. 36–48. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2019.04.006>.
- Panagiotou, G.N. (1999) “Discrete mine system simulation in Europe,” *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*, 13(2), pp. 43–46. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1080/09208119908944208>.
- Qi, Cc. Big data management in the mining industry. *Int J Miner Metall Mater* 27, 131–139 (2020). <https://doi.org/10.1007/s12613-019-1937-z>
- Que, S., Awuah-Offei, K. and Samaranayake, V.A. (2015) “Classifying critical factors that influence community acceptance of mining projects for discrete choice experiments in the

- United States,” *Journal of Cleaner Production*, 87, pp. 489–500. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.084>.
- Robinson, S. (2005) “Discrete-event simulation: From the Pioneers to the present, what next?,” *Journal of the Operational Research Society*, 56(6), pp. 619–629. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601864>.
- Sterman John (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World with CD-ROM*. McGraw-Hill Education. ISBN-10: 007238915X, ISBN-13: 978-0072389159, e-ISBN: 9781307555066 (1st Edition)
- Sturgul, J.R. (2001) “Modeling and simulation in mining – its time has finally arrived,” *SIMULATION*, 76(5), pp. 286–288. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1177/003754970107600509>.
- Sturgul, J.R. and Eharrison, J. (1987) “Simulation models for surface mines,” *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*, 1(3), pp. 187–189. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1080/09208118708944118>.
- Sumari, S., Ibrahim, R., Zakaria, N., Ab Hamid, A. (2013). Comparing Three Simulation Model Using Taxonomy: System Dynamic Simulation, Discrete Event Simulation and Agent Based Simulation. *International Journal of Management Excellence*.1. 10.17722/ijme.v1i3.9.
- Tako, A.A. and Robinson, S., (2012). The application of discrete event simulation and system dynamics in the logistics and supply chain context. *Decision Support Systems*, 52 (4), pp. 802 – 815.
- Tan, Y. and Takakuwa, S. (2016) “A practical simulation approach for an effective truck dispatching system of open pit mines using VBA,” *2016 Winter Simulation Conference (WSC)* [Preprint]. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1109/wsc.2016.7822279>.
- Torkamani, E. and Nasab, H.A. (2015) “A linkage of truck-and-shovel operations to short-term mine plans using discrete-event simulation,” *International Journal of Mining and Mineral Engineering*, 6(2), p. 97. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1504/ijmme.2015.070367>.
- Tribastone, M. and Vandin, A. (2018) “Speeding up stochastic and deterministic simulation by aggregation: An advanced tutorial,” *2018 Winter Simulation Conference (WSC)* [Preprint]. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1109/wsc.2018.8632364>.
- Upadhyay, S.P. and Askari-Nasab, H. (2018) “Simulation and optimization approach for uncertainty-based short-term planning in open pit mines,” *International Journal of Mining Science and Technology*, 28(2), pp. 153–166. Availableat: <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.12.003>.

- Vass, C., Rigby, D. and Payne, K. (2017) “The role of qualitative research methods in discrete choice experiments,” *Medical Decision Making*, 37(3), pp. 298–313. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1177/0272989x16683934>.
- Walker, D. (2023) *ESG insights: What does ESG mean for the mining industry?* SLR Consulting Limited. Διαθέσιμο στο: <https://www.slrconsulting.com/en/news-and-insights/insights/esg-insights-what-does-esg-mean-mining-industry#:~:text=The%20following%20issues%20are%20covered,%2C%20hazardous%20substances%2C%20mine%20closure>.
- Windle, J. and Rolfe, J. (2013) “Using discrete choice experiments to assess the preferences of new mining workforce to commute or relocate to the Surat Basin in Australia,” *Resources Policy*, 38(2), pp. 169–180. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1016/j.resour-pol.2012.10.006>.
- Zhang, Y. and Notz, W.I. (2014) “Computer experiments with qualitative and quantitative variables: A review and Reexamination,” *Quality Engineering*, 27(1), pp. 2–13. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1080/08982112.2015.968039>.
- Αδαμίδης, Ε. (2016). *Μέτρηση της επίδοσης και βελτίωση* [Κεφάλαιο]. Στο Αδαμίδης, Ε. 2016. Σχεδιασμός και Διοίκηση Βιομηχανικών Μονάδων . Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις. <https://hdl.handle.net/11419/6282>
- Γεωργίου, Α., Κωνσταντάρας, Ι., & Καπάρης, Κ. (2015). Τεχνικές προσομοίωσης στη διοικητική επιστήμη [Προπτυχιακό εγχειρίδιο]. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις. Διαθέσιμο στο: <https://hdl.handle.net/11419/2488>
- Γαλετάκης, Μ. (2019) *Υγιεινή και Ασφάλεια σε Μεταλλευτικά και Υπόγεια Έργα. Σημειώσεις του μαθήματος για τους φοιτητές του 8^{ου} εξαμήνου. Πολυτεχνείο Κρήτης. Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.*
- Εξαδάκτυλος, Γ. (2022) *Σχεδιασμός Υπαίθριων Εκμεταλλεύσεων. Εκτίμηση Αποθεμάτων και Σχεδιασμός – Μέρος Ι. Διαφάνειες μαθήματος.*
- Ζάμπος, Γ. (2000). «Μελέτη και ανάλυση του συστήματος φόρτωσης και μεταφοράς στο υπαίθριο μεταλλείο Αγίου Ιωάννη Λάρυμνας», Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, Ελλάδα, <https://doi.org/10.26233/heallink.tuc.11106>
- Κομηνέας, Σ., & Χαρμανδάρης, Ε. (2016). Μαθηματική Μοντελοποίηση [Προπτυχιακό εγχειρίδιο]. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις. Διαθέσιμο στο: <https://hdl.handle.net/11419/6325>
- Μέλφος, Β., & Βουδούρης, Π. (2022). Κοιτάσματα της Ελλάδας. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις. <https://dx.doi.org/10.57713/kallipos-32>

- Μενεγάκη, Μ. (2010) *Σημειώσεις του Μαθήματος Σχεδιασμός Υπαιθρίων Εκμεταλλεύσεων*. Διαθέσιμο στο: http://mycourses.ntua.gr/courses/METAL1065/document/notes_surface_mining.pdf
- Μενεγάκη, Μ. (χ.η.) *Σχεδιασμός Υπαιθρίων Εκμεταλλεύσεων, OpenClass*. Ενότητα 4: Εκτίμηση Αποθεμάτων και Βελτιστοποίηση Ορίων Εκμετάλλευσης. Διαθέσιμο στο: https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/METAL108/Enotita_4.pdf
- Μπενάρδος, Α. (2014) *Μέθοδοι Υπόγειας Εκμετάλλευσης – Ελληνικές Εκμεταλλεύσεις*. Διαθέσιμο στο: http://mycourses.ntua.gr/courses/METAL1019/document/Underground_mining_methods_Greece.pdf.
- Παπακωνσταντίνου, Ρ. (2018) *Διερεύνηση λειτουργίας και βελτιστοποίηση κυκλώματος θραύσης μεταλλεύματος ΛΑΡΚΟ*, ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΩΝ. Διαθέσιμο στο: <https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/?locale-attribute=en>
- Ρουμελιώτης, Μάνος, (2001) *Μοντελοποίηση και Προσομοίωση*. Διαθέσιμο στο: http://teach-ers.cm.ihu.gr/anastasiou/wp-content/uploads/2012/01/simulation_ROUMELIOTIS.pdf
- Χελιώτης, Δ. (2015). Το κεντρικό οριακό θεώρημα [Κεφάλαιο]. Στο Χελιώτης, Δ. 2015. Ένα δεύτερο μάθημα στις πιθανότητες . Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις. <https://hdl.handle.net/11419/2839>

Πηγές από το Διαδίκτυο

- anylogic.com (2022a) *Anylogic in 3 days*. Διαθέσιμο στο: <https://www.anylogic.com/upload/al-in-3-days/anylogic-in-3-days.pdf> (προσπελάστηκε στις 21/2/2023)
- anylogic.com (2022b) *Discrete-Event Modeling – AnyLogic Simulation Software*. Διαθέσιμο στο: <https://www.anylogic.com/use-of-simulation/discrete-event-simulation/> (προσπελάστηκε στις 21/2/2023)
- anylogic.com (2022c) *Simulation software comparison: Discrete event simulation competitors, Simulation Software Comparison: Discrete Event Simulation Competitors*. Διαθέσιμο στο: <https://www.anylogic.com/resources/white-papers/simulation-software-comparison/> (προσπελάστηκε στις 21/2/2023)
- anylogic.com (2022d) *Anylogic cloud: Online simulation tools – Copper Nickel Mine*. Διαθέσιμο στο: <https://cloud.anylogic.com/model/9820dd7f-373d-4c62-86a8-9cac9adfb88e?mode=SETTINGS> (προσπελάστηκε στις 21/2/2023)
- elinyae.gr (2007) *Ορυχεία – Μεταλλεία*. ΕΛΙΝΥΑΕ. Διαθέσιμο στο: <https://www.elinyae.gr/sites/default/files/2019-07/OryxeiaMetaleia%206.1191575558274.pdf> (προσπελάστηκε στις 21/2/2023)
- Ibm.com (2022) *What is a digital twin?* Διαθέσιμο στο: <https://www.ibm.com/topics/what-is-a-digital-twin> (προσπελάστηκε στις 21/2/2023)
- larco.gr (2022) *Μεταλλείο Αγίου Ιωάννη, ΛΑΡΚΟ ΓΜΜ. Α.Ε – Μεταλλείο Αγ. Ιωάννη*. Διαθέσιμο στο: http://www.larco.gr/el.ioannis_mines.php# (προσπελάστηκε στις 21/2/2023)
- Med.upenn.edu (no date) *Discrete event simulation*. Διαθέσιμο στο: <https://www.med.upenn.edu/kmas/DES.htm> (προσπελάστηκε στις 21/2/2023)
- Orykta.gr (2022a) *Ιστορία Ελληνικής μεταλλείας*. Διαθέσιμο στο: <https://www.orykta.gr/istoria/istoria-ellinikis-metalleias/99-h-elliniki-metalleia-ston-20o-aiona> (προσπελάστηκε στις 21/2/2023)
- Orykta.gr (2022b) *Υπαίθριες – Επιφανειακές εκμεταλλεύσεις*. Διαθέσιμο στο: <https://www.orykta.gr/ekmetalleusi-emploutismos/ypaithries-epifaniakes-ekmetalleyseis> (προσπελάστηκε στις 21/2/2023)
- Rockwell Automation. (2022) *Arena simulation software: Arena simulation software*. Διαθέσιμο στο: <https://www.rockwellautomation.com/en-us/products/software/arena-simulation.html> (προσπελάστηκε στις 21/2/2023)

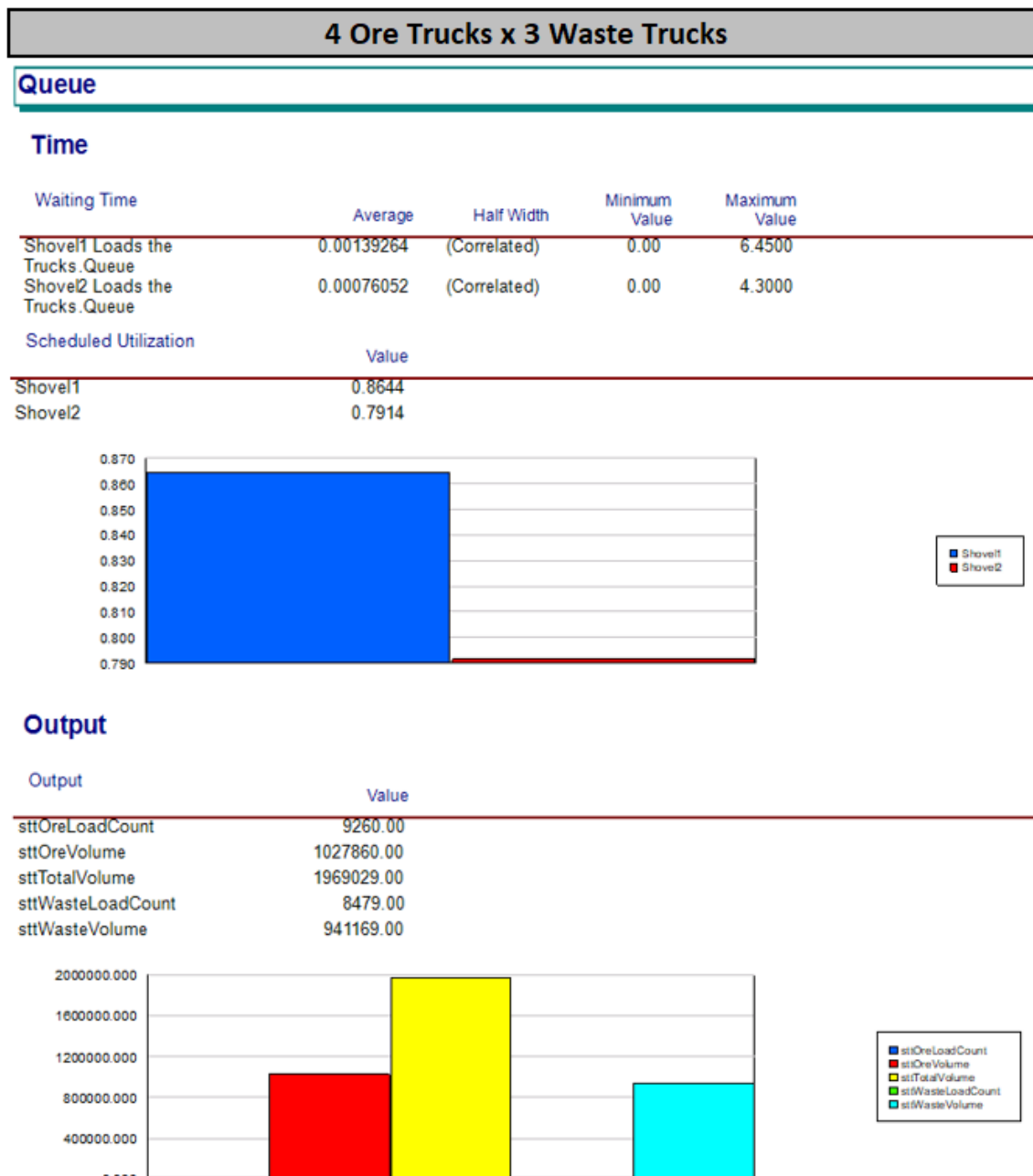
sme.gr (2022) *ΕΚΘΕΣΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ 2021. ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΕΠΙ-ΧΕΙΡΗΣΕΩΝ*. Διαθέσιμο στο: <https://www.sme.gr/wp-content/uploads/2022/07/%CE%95%CE%9A%CE%98%CE%95%CE%A3%CE%97-%CE%9F%CE%A0%CE%A5-2020.pdf> (προσπελάστηκε στις 21/2/2023)

ypen.gov.gr (2022) *Έκθεση Ορυκτών Πρώτων Υλών (ΟΠΥ), Μεταλλευτική και Λατομική δραστηριότητα στην Ελλάδα – Ετήσια Έκθεση 2020*. Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. Διαθέσιμο στο: <https://ypen.gov.gr/wp-content/uploads/2022/07/%CE%95%CE%9A%CE%98%CE%95%CE%A3%CE%97-%CE%9F%CE%A0%CE%A5-2020.pdf> (προσπελάστηκε στις 21/2/2023)

Παράρτημα 1 - Αναλυτικά αποτελέσματα Arena

Αρχική Μορφή

Σενάριο μεταφοράς χωρίς dispatching με σταθερούς χρόνους και με 6 κύκλους φόρτωσης



5 Ore Trucks x 4 Waste Trucks

Queue

Time

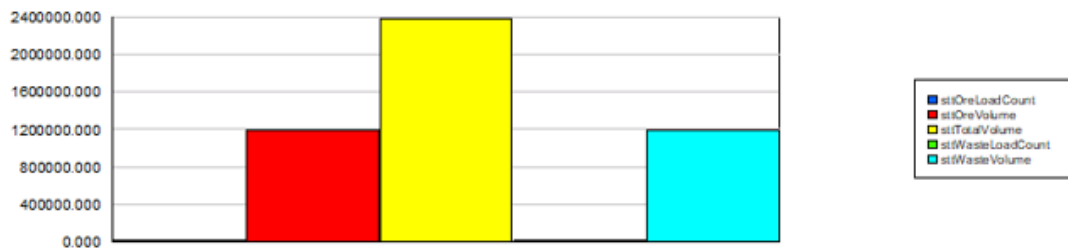
Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	0.8016	(Correlated)	0.00	8.6000
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	0.4510	(Correlated)	0.00	6.4500

Scheduled Utilization	Value
Shovel1	1.0000
Shovel2	1.0000



Output

Output	Value
sttOreLoadCount	10713.00
sttOreVolume	1189143.00
sttTotalVolume	2378397.00
sttWasteLoadCount	10714.00
sttWasteVolume	1189254.00



6 Ore Trucks x 5 Waste Trucks

Queue

Time

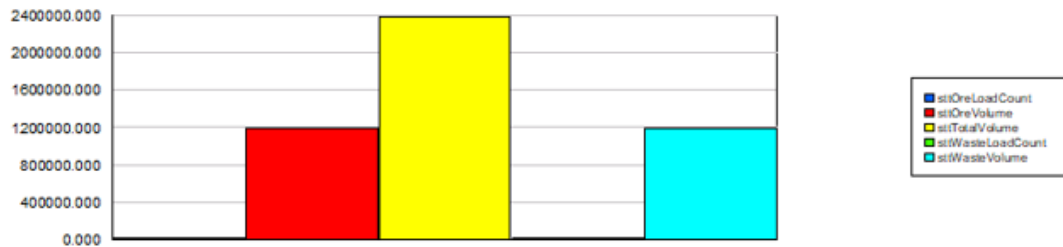
Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	2.9514	(Correlated)	0.00	10.7500
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	2.6008	(Correlated)	0.00	8.6000

Scheduled Utilization	Value
Shovel1	1.0000
Shovel2	1.0000



Output

Output	Value
sttOreLoadCount	10713.00
sttOreVolume	1189143.00
sttTotalVolume	2378397.00
sttWasteLoadCount	10714.00
sttWasteVolume	1189254.00



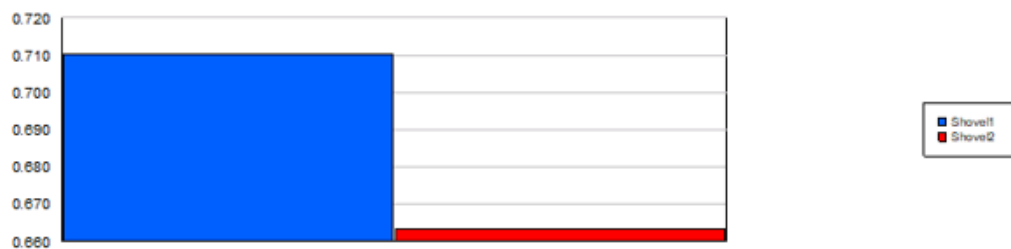
Σενάριο μεταφοράς χωρίς dispatching με μεταβλητούς χρόνους με κανονική κατανομή και με 5 κύκλους φόρτωσης

4 Ore Trucks x 3 Waste Trucks

Queue

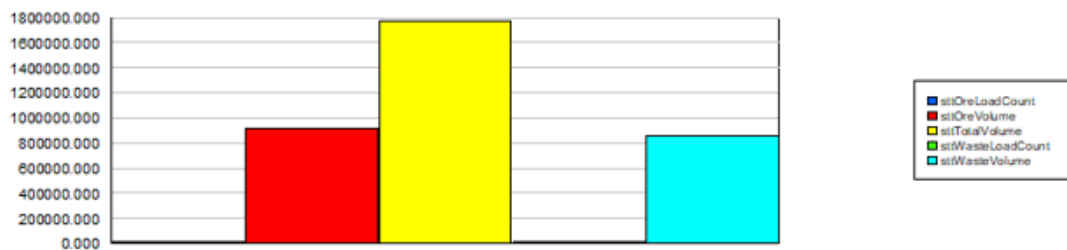
Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	0.4805	0.01	0.4693	0.4929	0.00	5.9371
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	0.3009	0.01	0.2884	0.3096	0.00	5.0758
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Shovel1	0.7102	0.00	0.7077	0.7120		
Shovel2	0.6633	0.00	0.6622	0.6650		



Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
sttOreLoadCount	9148.00	9.33	9136.00	9155.00
sttOreVolume	914800.00	933.17	913600.00	915500.00
sttTotalVolume	1768960.00	2,895.04	1765900.00	1771300.00
sttWasteLoadCount	8541.60	26.27	8516.00	8563.00
sttWasteVolume	854160.00	2,627.10	851600.00	856300.00

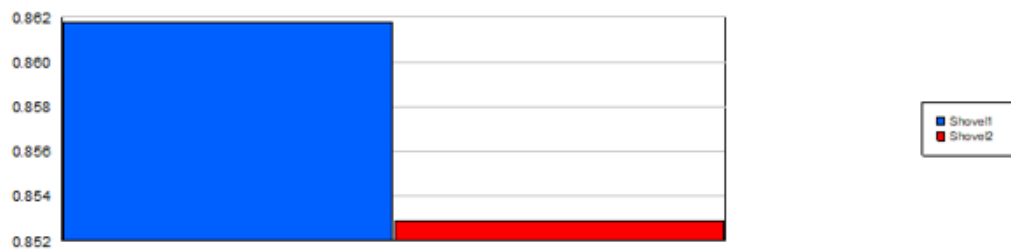


5 Ore Trucks x 4 Waste Trucks

Queue

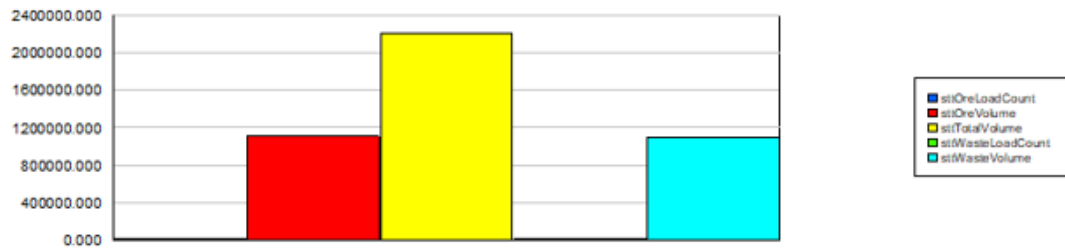
Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	0.8103	0.01	0.8017	0.8256	0.00	7.4087
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	0.6058	0.01	0.5988	0.6127	0.00	6.9370
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Shovel1	0.8618	0.00	0.8611	0.8630		
Shovel2	0.8529	0.00	0.8521	0.8537		



Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
sttOreLoadCount	11076.40	6.89	11072.00	11086.00
sttOreVolume	1107640.00	688.99	1107200.00	1108600.00
sttTotalVolume	2205500.00	2,312.59	2202200.00	2206700.00
sttWasteLoadCount	10978.60	21.42	10950.00	10993.00
sttWasteVolume	1097860.00	2,142.38	1095000.00	1099300.00



6 Ore Trucks x 5 Waste Trucks

Queue

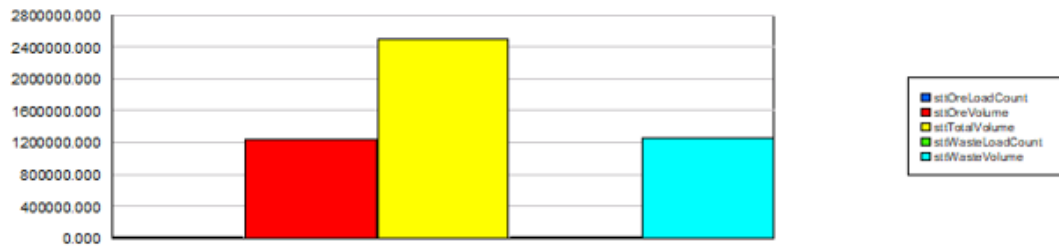
Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	1.5070	0.01	1.4955	1.5170	0.00	9.2801
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	1.3723	0.02	1.3523	1.3809	0.00	9.0670
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Shovel1	0.9681	0.00	0.9659	0.9700		
Shovel2	0.9770	0.00	0.9759	0.9781		



Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
sttOreLoadCount	12455.20	13.70	12440.00	12464.00
sttOreVolume	1245520.00	1,369.56	1244000.00	1246400.00
sttTotalVolume	2502620.00	3,688.43	2498900.00	2507200.00
sttWasteLoadCount	12571.00	27.77	12549.00	12608.00
sttWasteVolume	1257100.00	2,777.39	1254900.00	1260800.00



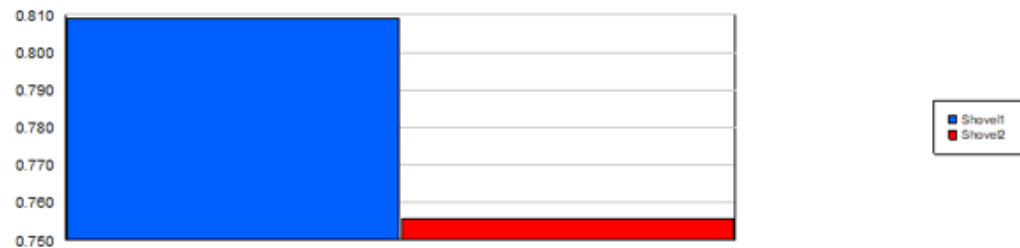
Σενάριο μεταφοράς χωρίς dispatching με μεταβλητούς χρόνους με κανονική κατανομή και με 6 κύκλους φόρτωσης

4 Ore Trucks x 3 Waste Trucks

Queue

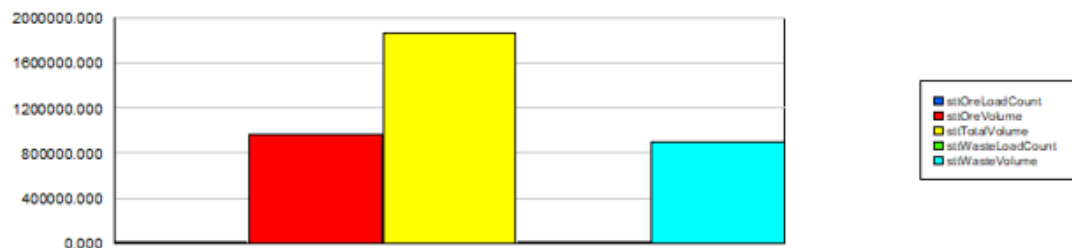
Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	0.6771	0.01	0.6658	0.6920	0.00	7.1274
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	0.4008	0.01	0.3915	0.4063	0.00	6.0866
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Shovel1	0.8091	0.00	0.8077	0.8110		
Shovel2	0.7555	0.00	0.7551	0.7560		



Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
sttOreLoadCount	8679.40	15.94	8661.00	8693.00
sttOreVolume	963413.40	1,769.03	961371.00	964923.00
sttTotalVolume	1860582.00	3,348.63	1857030.00	1863468.00
sttWasteLoadCount	8082.60	16.62	8068.00	8095.00
sttWasteVolume	897168.60	1,845.22	895548.00	898545.00

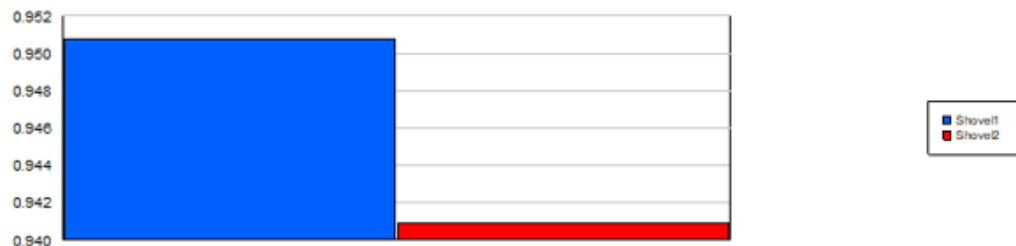


5 Ore Trucks x 4 Waste Trucks

Queue

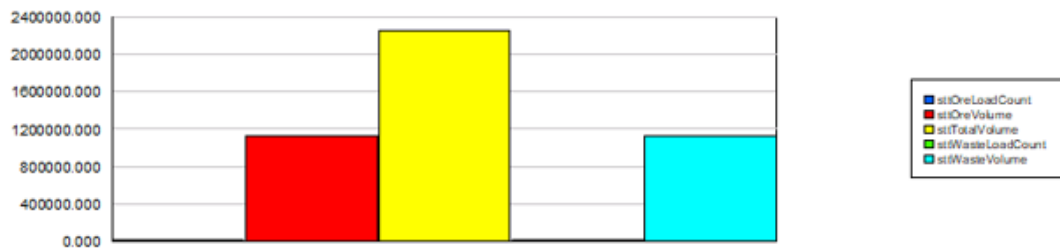
Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	1.3484	0.01	1.3351	1.3627	0.00	9.6150
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	0.9850	0.01	0.9777	0.9988	0.00	8.4471
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Shovel1	0.9508	0.00	0.9490	0.9520		
Shovel2	0.9409	0.00	0.9393	0.9433		



Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
sttOreLoadCount	10194.20	16.83	10177.00	10205.00
sttOreVolume	1131556.20	1,867.72	1129647.00	1132755.00
sttTotalVolume	2251501.80	3,171.56	2248416.00	2253966.00
sttWasteLoadCount	10089.60	13.90	10074.00	10101.00
sttWasteVolume	1119945.60	1,542.53	1118214.00	1121211.00



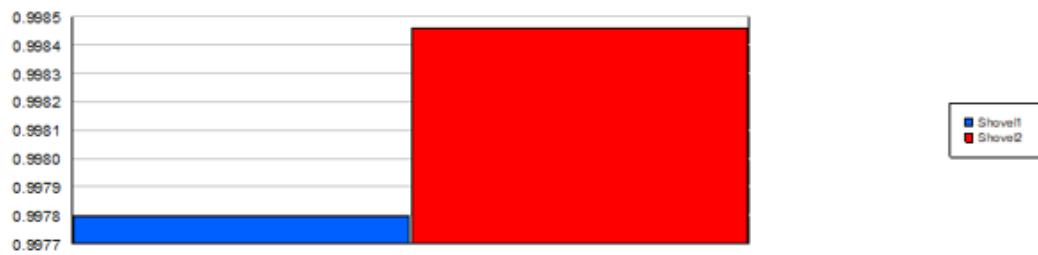
6 Ore Trucks x 5 Waste Trucks

Queue

Time

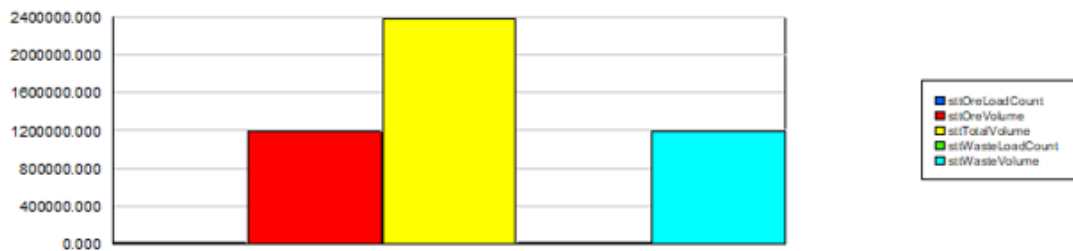
Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	2.9819	0.03	2.9501	3.0061	0.00	11.9342
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	2.6296	0.01	2.6199	2.6375	0.00	11.0032

Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Shovel1	0.9978	0.00	0.9975	0.9980
Shovel2	0.9985	0.00	0.9983	0.9987

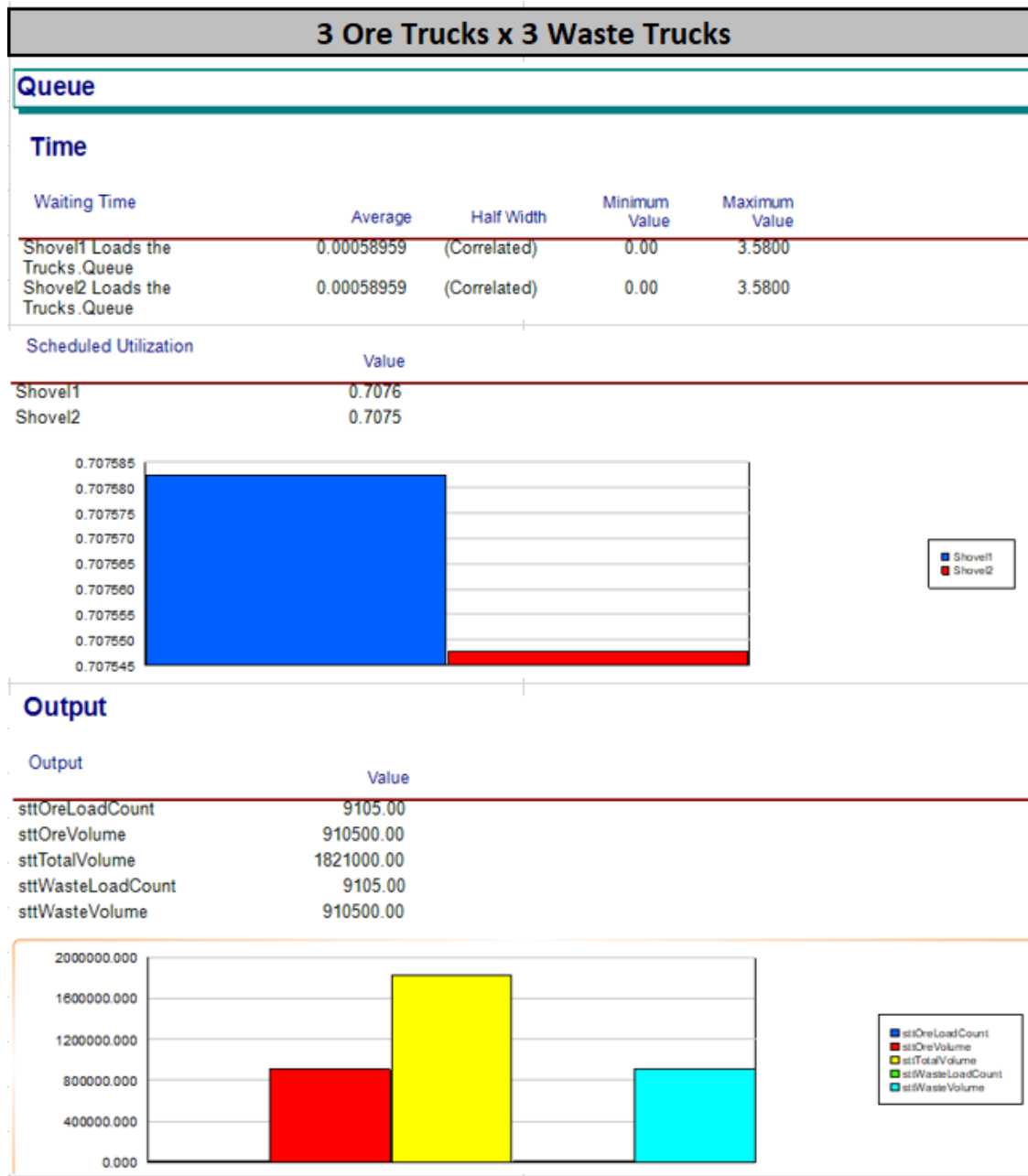


Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
sttOreLoadCount	10687.20	31.50	10658.00	10718.00
sttOreVolume	1186279.20	3,496.22	1183038.00	1189698.00
sttTotalVolume	2372070.00	3,403.47	2369184.00	2375622.00
sttWasteLoadCount	10682.80	11.43	10667.00	10691.00
sttWasteVolume	1185790.80	1,268.23	1184037.00	1186701.00



Σενάριο μεταφοράς dispatched με σταθερούς χρόνους και με 5 κύκλους φόρτωσης



4 Ore Trucks x 4 Waste Trucks

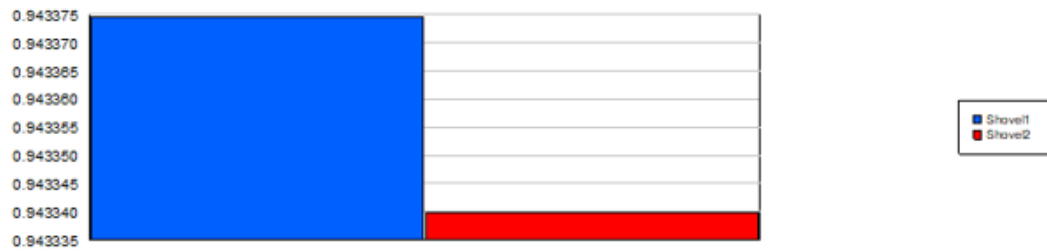
Queue

Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	0.00088446	(Correlated)	0.00	5.3700
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	0.00088446	(Correlated)	0.00	5.3700

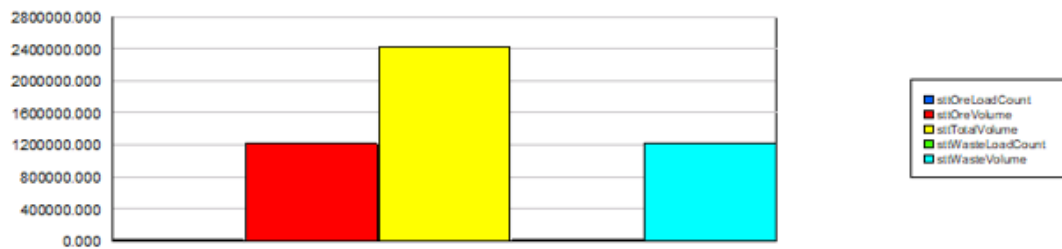
Scheduled Utilization

	Value
Shovel1	0.9434
Shovel2	0.9433



Output

Output	Value
sttOreLoadCount	12139.00
sttOreVolume	1213900.00
sttTotalVolume	2427900.00
sttWasteLoadCount	12140.00
sttWasteVolume	1214000.00



5 Ore Trucks x 5 Waste Trucks

Queue

Time

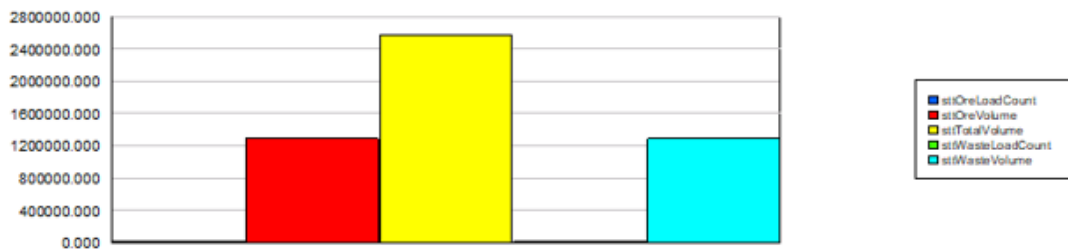
Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	1.7607	(Correlated)	0.00	7.1600
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	0.9610	(Correlated)	0.00	7.1600

Scheduled Utilization	Value
Shovel1	1.0000
Shovel2	1.0000

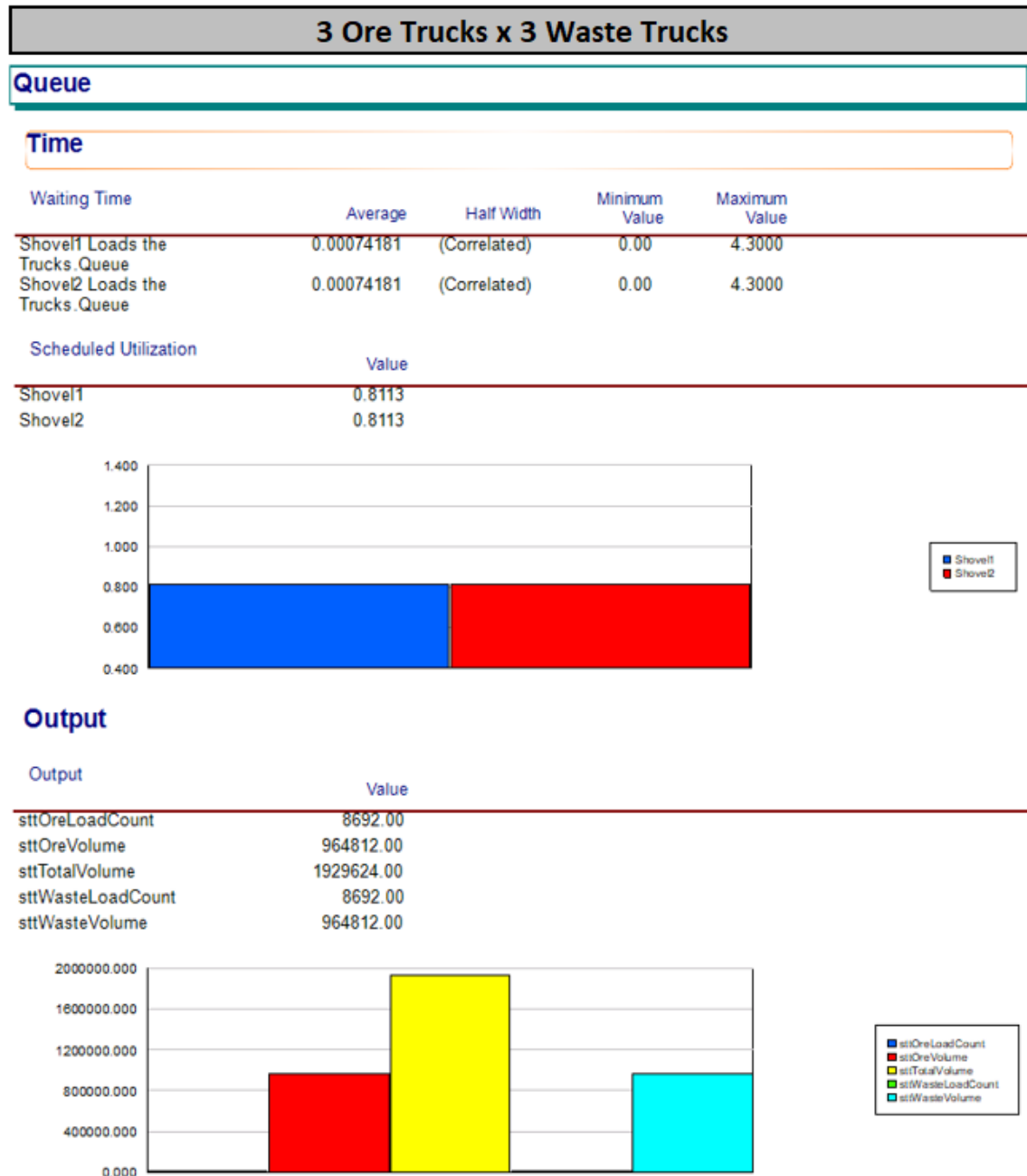


Output

Output	Value
sttOreLoadCount	12868.00
sttOreVolume	1286800.00
sttTotalVolume	2573700.00
sttWasteLoadCount	12869.00
sttWasteVolume	1286900.00



Σενάριο μεταφοράς dispatched με σταθερούς χρόνους και με 6 κύκλους φόρτωσης

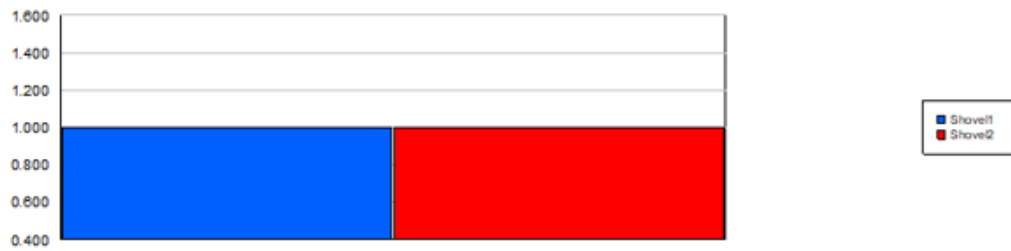


4 Ore Trucks x 4 Waste Trucks

Queue

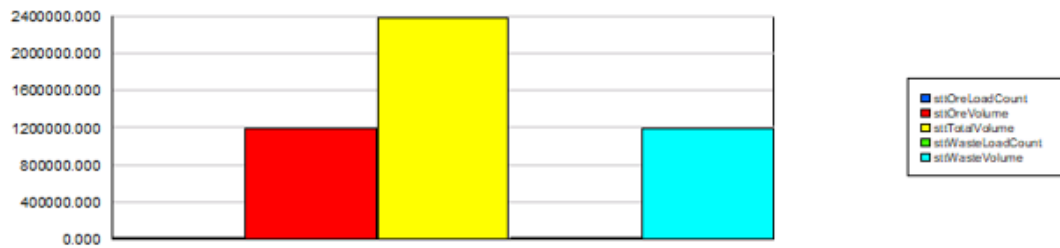
Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	1.0508	(Correlated)	0.00	6.4500
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	0.2511	(Correlated)	0.00	6.4500
Scheduled Utilization	Value			
Shovel1	1.0000			
Shovel2	1.0000			



Output

Output	Value
sttOreLoadCount	10713.00
sttOreVolume	1189143.00
sttTotalVolume	2378397.00
sttWasteLoadCount	10714.00
sttWasteVolume	1189254.00



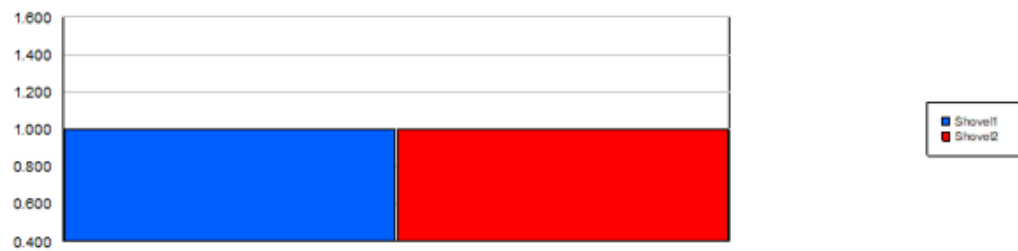
5 Ore Trucks x 5 Waste Trucks

Queue

Time

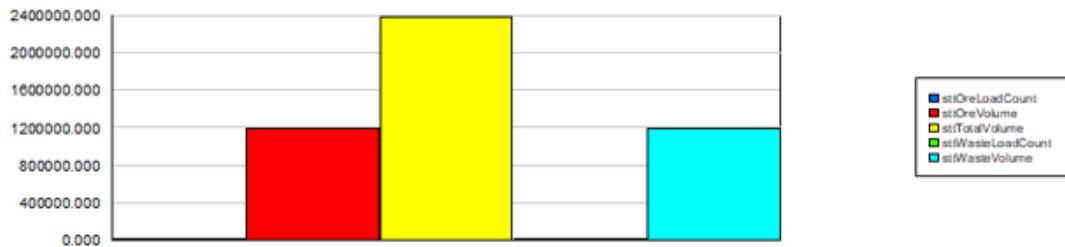
Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	3.2005	(Correlated)	0.00	8.6000
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	2.4009	(Correlated)	0.00	8.6000

Scheduled Utilization	Value
Shovel1	1.0000
Shovel2	1.0000



Output

Output	Value
sttOreLoadCount	10713.00
sttOreVolume	1189143.00
sttTotalVolume	2378397.00
sttWasteLoadCount	10714.00
sttWasteVolume	1189254.00



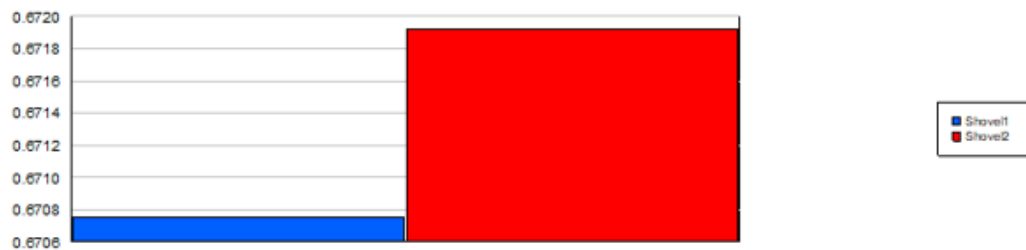
Σενάριο μεταφοράς dispatched με μεταβλητούς χρόνους με κανονική κατανομή και με 5 κύκλους φόρτωσης

3 Ore Trucks x 3 Waste Trucks

Queue

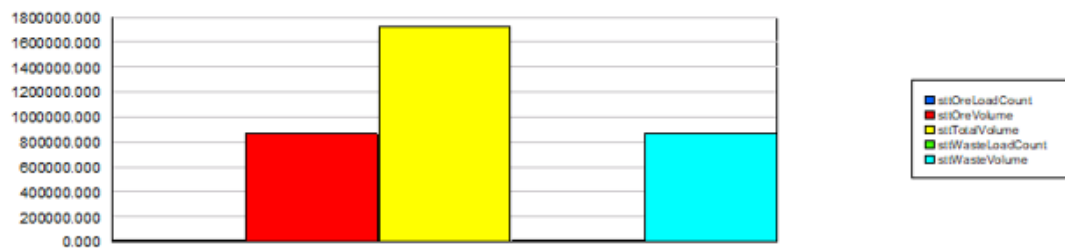
Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	0.3751	0.01	0.3608	0.3893	0.00	4.9134
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	0.4389	0.01	0.4321	0.4465	0.00	5.1955
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Shovel1	0.6708	0.00	0.6689	0.6725		
Shovel2	0.6719	0.00	0.6708	0.6725		



Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
sttOreLoadCount	8642.00	16.68	8623.00	8657.00
sttOreVolume	864200.00	1,667.91	862300.00	865700.00
sttTotalVolume	1728440.00	3,199.75	1724800.00	1731300.00
sttWasteLoadCount	8642.40	15.32	8625.00	8656.00
sttWasteVolume	864240.00	1,532.09	862500.00	865600.00

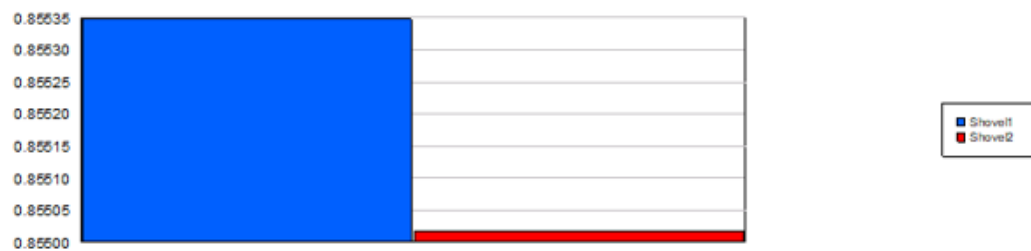


4 Ore Trucks x 4 Waste Trucks

Queue

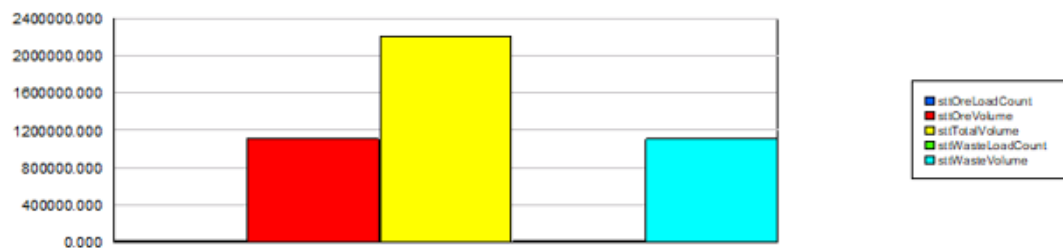
Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	0.7330	0.02	0.7150	0.7465	0.00	5.9371
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	0.8288	0.01	0.8154	0.8342	0.00	6.9370
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Shovel1	0.8553	0.00	0.8542	0.8563		
Shovel2	0.8550	0.00	0.8541	0.8565		



Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
sttOreLoadCount	11009.00	6.86	11002.00	11017.00
sttOreVolume	1100900.00	685.62	1100200.00	1101700.00
sttTotalVolume	2201800.00	1,322.61	2200400.00	2203300.00
sttWasteLoadCount	11009.00	6.39	11002.00	11016.00
sttWasteVolume	1100900.00	639.08	1100200.00	1101600.00

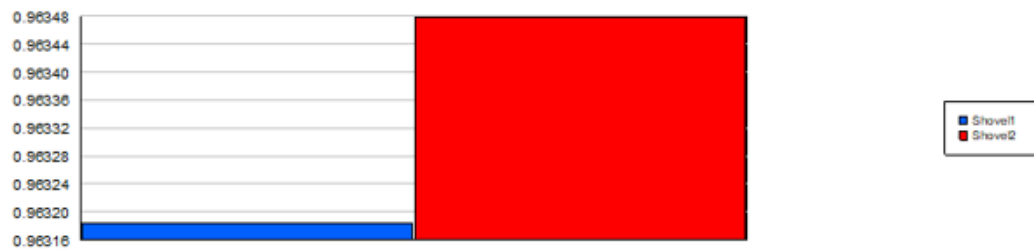


5 Ore Trucks x 5 Waste Trucks

Queue

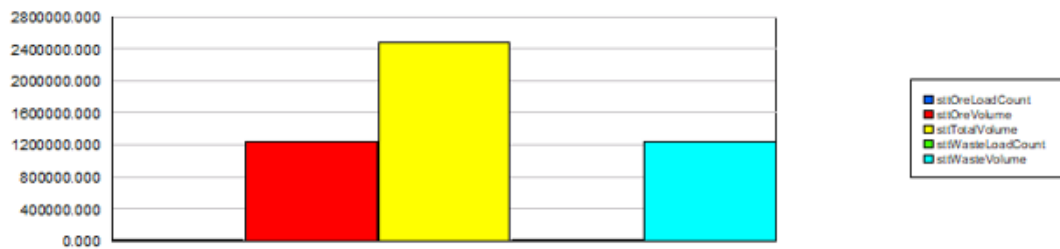
Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	1.6102	0.02	1.5999	1.6328	0.00	7.8611
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	1.7804	0.02	1.7630	1.7988	0.00	9.0670
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Shovel1	0.9632	0.00	0.9615	0.9644		
Shovel2	0.9635	0.00	0.9616	0.9652		



Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
sttOreLoadCount	12403.00	19.77	12383.00	12424.00
sttOreVolume	1240300.00	1,976.62	1238300.00	1242400.00
sttTotalVolume	2480640.00	3,940.16	2476600.00	2484800.00
sttWasteLoadCount	12403.40	19.64	12383.00	12424.00
sttWasteVolume	1240340.00	1,964.11	1238300.00	1242400.00

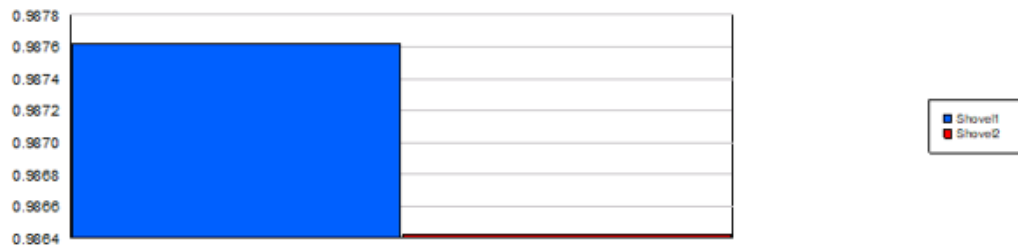


6 Ore Trucks x 6 Waste Trucks

Queue

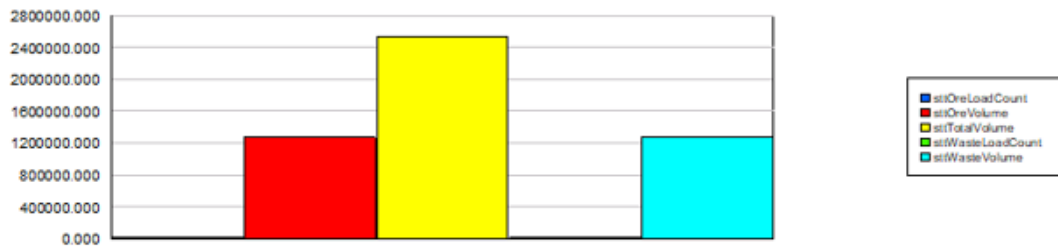
Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	3.2363	0.05	3.0900	3.3168	0.00	11.8194
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	3.3519	0.06	3.2717	3.5000	0.00	12.6912
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Shovel1	0.9876	0.00	0.9862	0.9885		
Shovel2	0.9864	0.00	0.9851	0.9880		



Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
sttOreLoadCount	12696.00	12.53	12660.00	12726.00
sttOreVolume	1269600.00	1,252.64	1266000.00	1272600.00
sttTotalVolume	2539290.00	2,526.17	2532000.00	2545300.00
sttWasteLoadCount	12696.90	12.76	12660.00	12727.00
sttWasteVolume	1269690.00	1,275.78	1266000.00	1272700.00



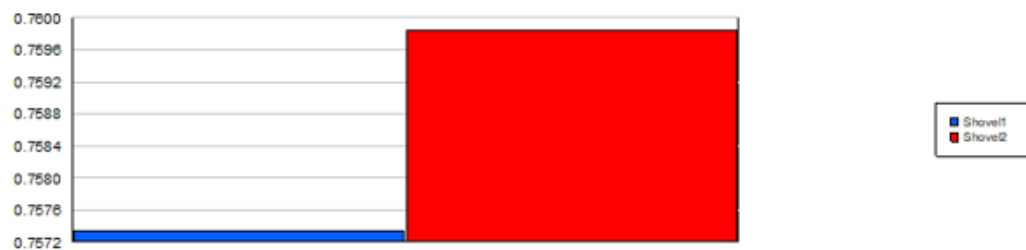
Σενάριο μεταφοράς dispatched με μεταβλητούς χρόνους με κανονική κατανομή και με 6 κύκλους φόρτωσης

3 Ore Trucks x 3 Waste Trucks

Queue

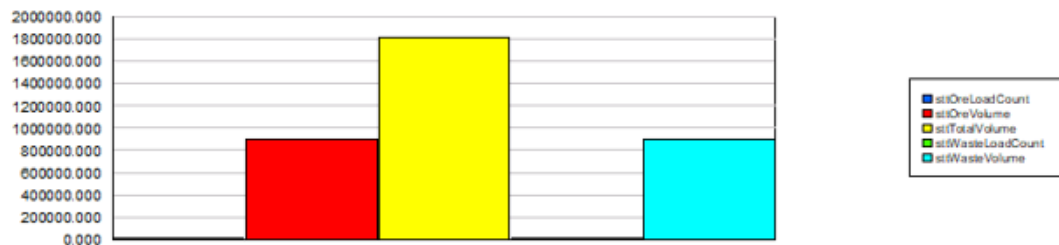
Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	0.5083	0.01	0.4837	0.5243	0.00	5.9197
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	0.6009	0.01	0.5836	0.6313	0.00	6.7116
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Shovel1	0.7573	0.00	0.7549	0.7602		
Shovel2	0.7599	0.00	0.7572	0.7653		



Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
sttOreLoadCount	8123.00	7.55	8107.00	8139.00
sttOreVolume	901653.00	837.78	899877.00	903429.00
sttTotalVolume	1803328.20	1,695.00	1799643.00	1806858.00
sttWasteLoadCount	8123.20	7.73	8106.00	8139.00
sttWasteVolume	901675.20	858.26	899766.00	903429.00

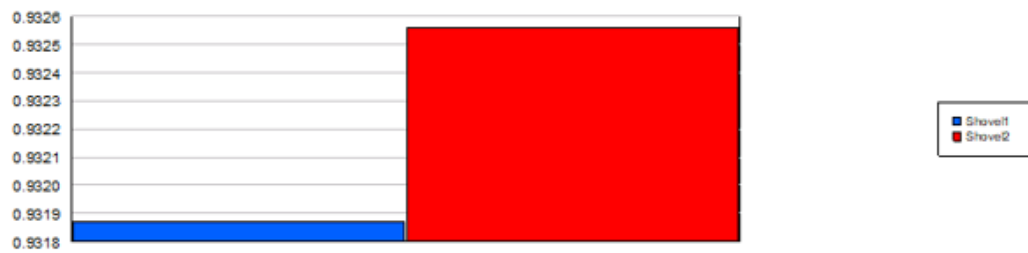


4 Ore Trucks x 4 Waste Trucks

Queue

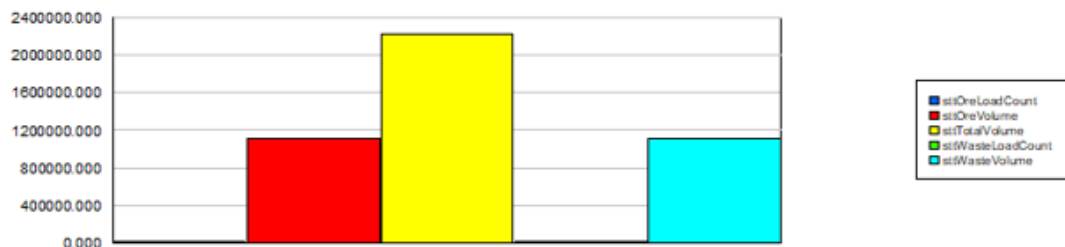
Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	1.1887	0.01	1.1579	1.2251	0.00	7.5297
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	1.3578	0.01	1.3302	1.3973	0.00	8.4471
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Shovel1	0.9319	0.00	0.9293	0.9345		
Shovel2	0.9326	0.00	0.9301	0.9344		



Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
sttOreLoadCount	9987.60	8.62	9972.00	10004.00
sttOreVolume	1108623.60	957.34	1106892.00	1110444.00
sttTotalVolume	2217336.00	1,878.18	2214006.00	2220888.00
sttWasteLoadCount	9988.40	8.30	9974.00	10004.00
sttWasteVolume	1108712.40	921.55	1107114.00	1110444.00

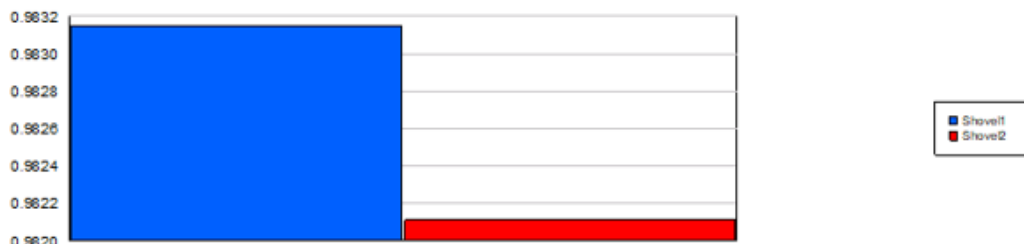


5 Ore Trucks x 5 Waste Trucks

Queue

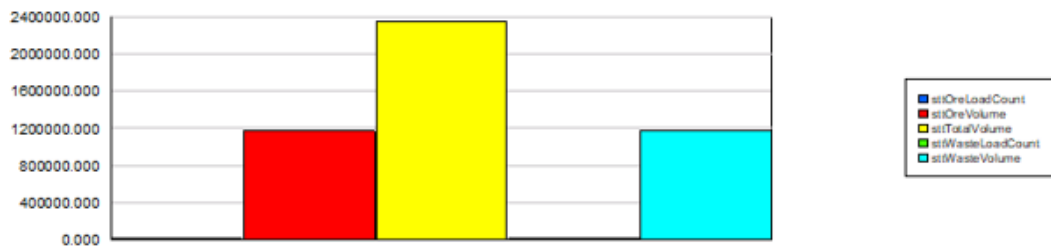
Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	2.9320	0.07	2.7299	3.0479	0.00	10.7545
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	3.0485	0.07	2.9120	3.2253	0.00	11.0032
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Shovel1	0.9831	0.00	0.9817	0.9856		
Shovel2	0.9821	0.00	0.9801	0.9858		



Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
sttOreLoadCount	10527.00	6.57	10512.00	10545.00
sttOreVolume	1168497.00	729.63	1166832.00	1170495.00
sttTotalVolume	2337016.20	1,464.43	2333775.00	2340990.00
sttWasteLoadCount	10527.20	6.63	10513.00	10545.00
sttWasteVolume	1168519.20	736.13	1166943.00	1170495.00

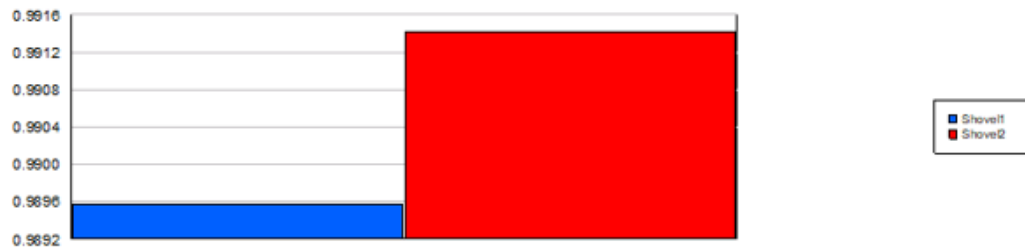


6 Ore Trucks x 6 Waste Trucks

Queue

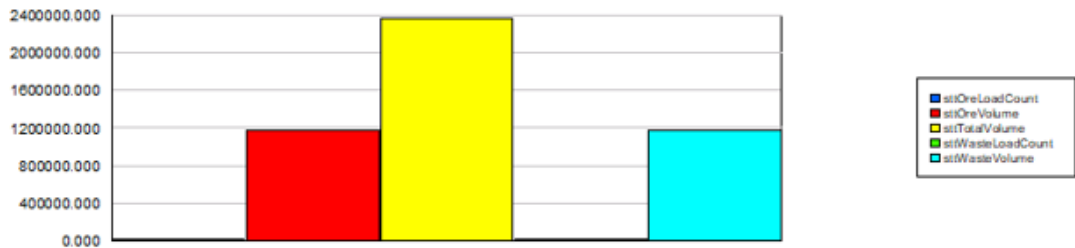
Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	4.8697	0.18	4.4972	5.1282	0.00	16.1167
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	5.2738	0.18	5.0269	5.6427	0.00	17.0544
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Shovel1	0.9896	0.00	0.9873	0.9911		
Shovel2	0.9914	0.00	0.9893	0.9933		



Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
sttOreLoadCount	10611.70	14.71	10583.00	10663.00
sttOreVolume	1177898.70	1,632.38	1174713.00	1183593.00
sttTotalVolume	2355797.40	3,243.23	2349426.00	2367075.00
sttWasteLoadCount	10611.70	14.52	10583.00	10662.00
sttWasteVolume	1177898.70	1,611.65	1174713.00	1183482.00



Αποτελέσματα Arena για την περίπτωση επέκτασης του ορυχείου και αύξησης της απόστασης μεταφοράς

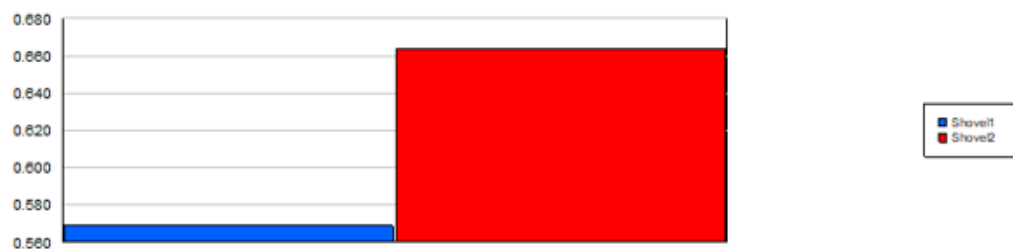
Σενάριο μεταφοράς χωρίς dispatching με σταθερούς χρόνους και με 5 κύκλους φόρτωσης

4 Ore Trucks x 4 Waste Trucks

Queue

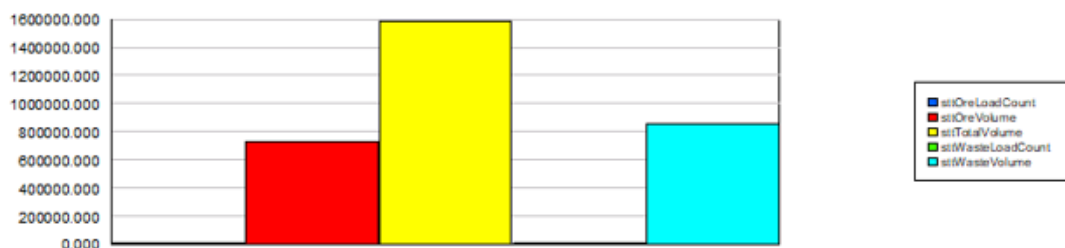
Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	0.00146701	0.00	0.00146701	0.00146701	0.00	5.3700
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	0.00125732	0.00	0.00125732	0.00125732	0.00	5.3700
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Shovel1	0.5687	0.00	0.5687	0.5687		
Shovel2	0.6636	0.00	0.6636	0.6636		



Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
sttOreLoadCount	7319.00	0.00	7319.00	7319.00
sttOreVolume	731900.00	0.00	731900.00	731900.00
sttTotalVolume	1585900.00	0.00	1585900.00	1585900.00
sttWasteLoadCount	8540.00	0.00	8540.00	8540.00
sttWasteVolume	854000.00	0.00	854000.00	854000.00

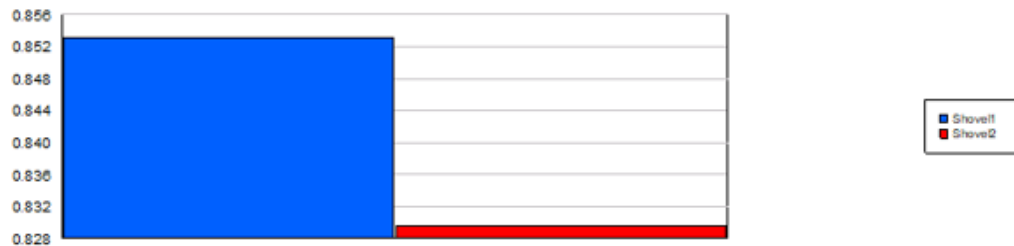


6 Ore Trucks x 5 Waste Trucks

Queue

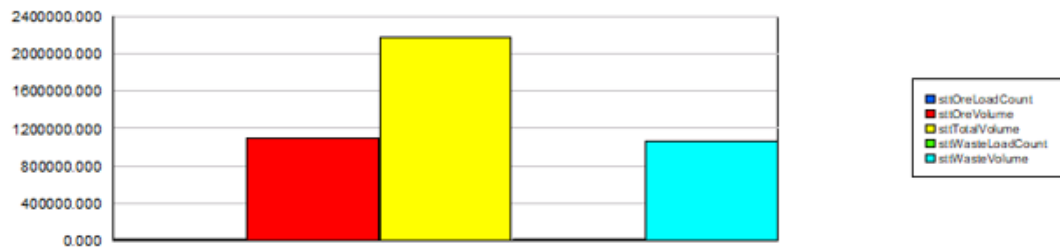
Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	0.00244513	0.00	0.00244513	0.00244513	0.00	8.9500
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	0.00167650	0.00	0.00167650	0.00167650	0.00	7.1600
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Shovel1	0.8531	0.00	0.8531	0.8531		
Shovel2	0.8295	0.00	0.8295	0.8295		



Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
sttOreLoadCount	10977.00	0.00	10977.00	10977.00
sttOreVolume	1097700.00	0.00	1097700.00	1097700.00
sttTotalVolume	2165100.00	0.00	2165100.00	2165100.00
sttWasteLoadCount	10674.00	0.00	10674.00	10674.00
sttWasteVolume	1067400.00	0.00	1067400.00	1067400.00



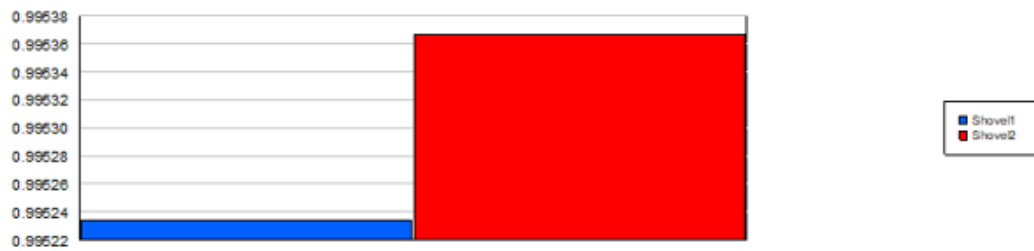
7 Ore Trucks x 6 Waste Trucks

Queue

Time

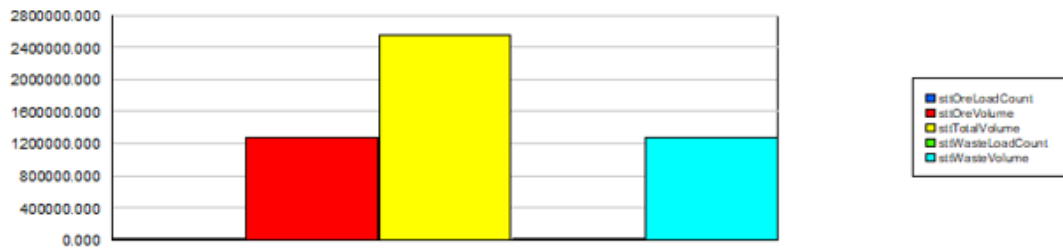
Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	0.00293420	0.00	0.00293420	0.00293420	0.00	10.7400
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	0.00209569	0.00	0.00209569	0.00209569	0.00	8.9500

Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Shovel1	0.9952	0.00	0.9952	0.9952
Shovel2	0.9954	0.00	0.9954	0.9954

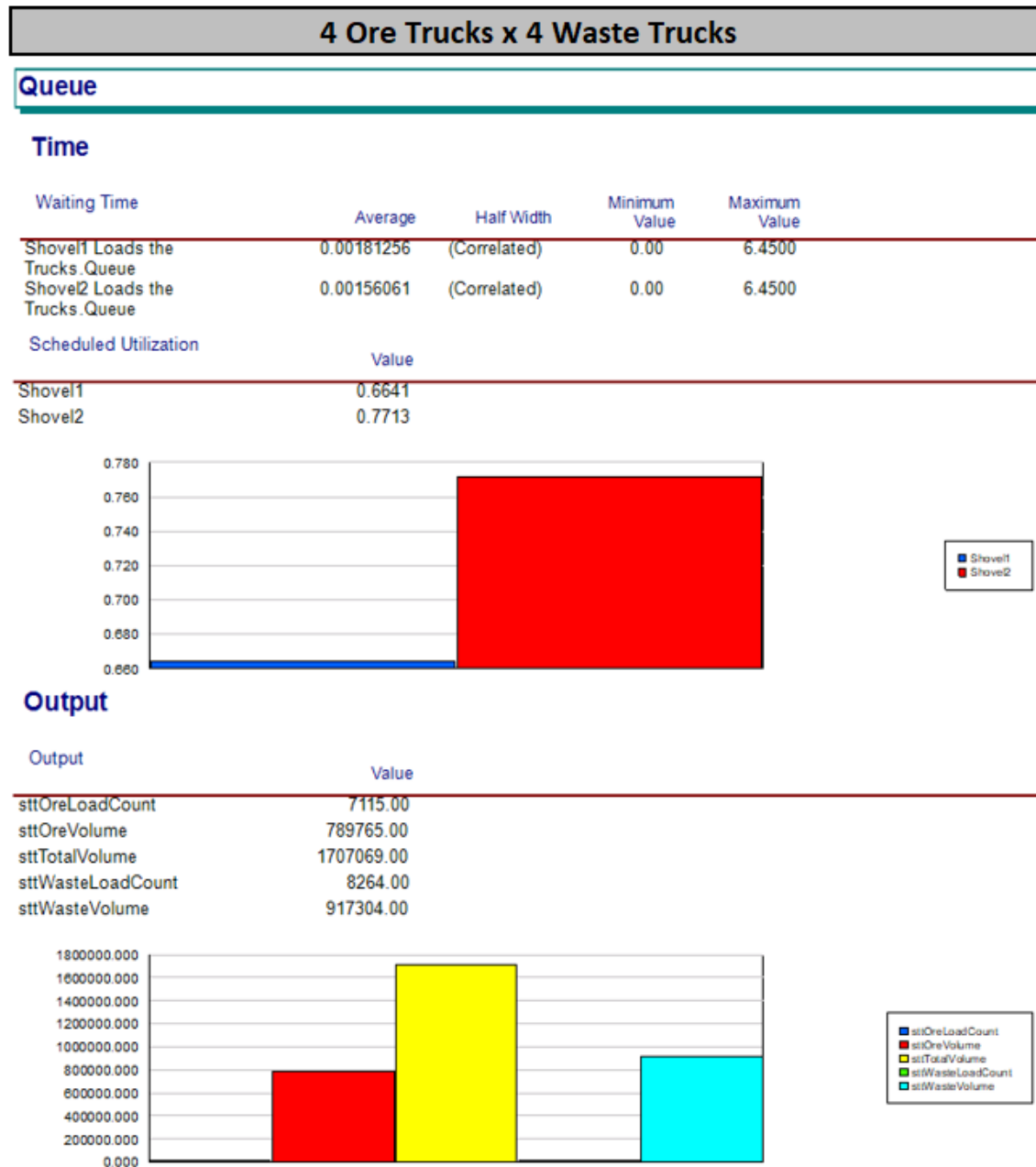


Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
sttOreLoadCount	12806.00	0.00	12806.00	12806.00
sttOreVolume	1280600.00	0.00	1280600.00	1280600.00
sttTotalVolume	2561400.00	0.00	2561400.00	2561400.00
sttWasteLoadCount	12808.00	0.00	12808.00	12808.00
sttWasteVolume	1280800.00	0.00	1280800.00	1280800.00



Σενάριο μεταφοράς χωρίς dispatching με σταθερούς χρόνους και με 6 κύκλους φόρτωσης



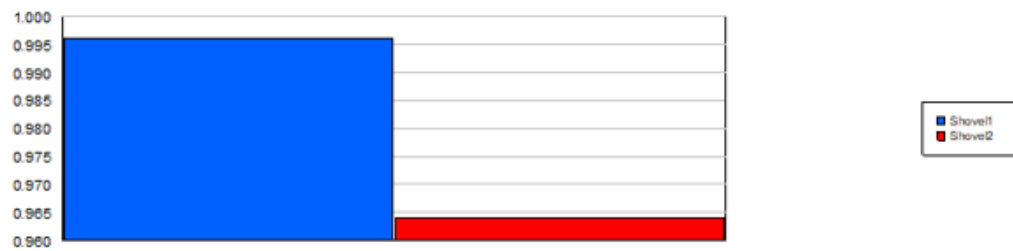
6 Ore Trucks x 5 Waste Trucks

Queue

Time

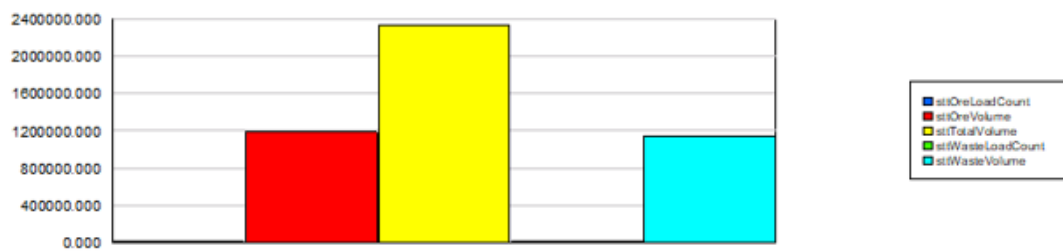
Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	0.00302108	(Correlated)	0.00	10.7500
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	0.00208091	(Correlated)	0.00	8.6000

Scheduled Utilization	Value
Shovel1	0.9961
Shovel2	0.9641



Output

Output	Value
sttOreLoadCount	10671.00
sttOreVolume	1184481.00
sttTotalVolume	2331000.00
sttWasteLoadCount	10329.00
sttWasteVolume	1146519.00



7 Ore Trucks x 6 Waste Trucks

Queue

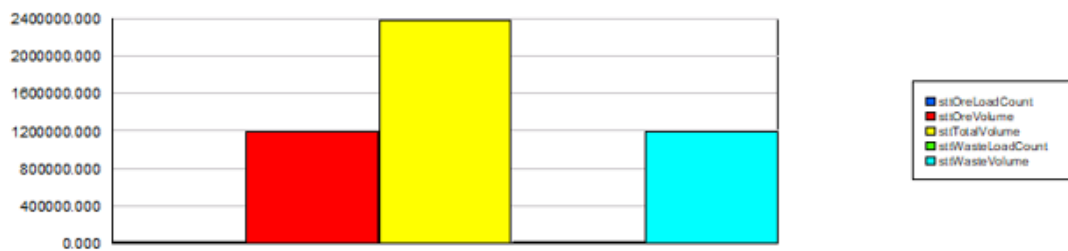
Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	2.1028	(Correlated)	0.00	12.9000
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	1.7520	(Correlated)	0.00	10.7500
Scheduled Utilization	Value			
Shovel1	1.0000			
Shovel2	1.0000			



Output

Output	Value
sttOreLoadCount	10712.00
sttOreVolume	1189032.00
sttTotalVolume	2378175.00
sttWasteLoadCount	10713.00
sttWasteVolume	1189143.00



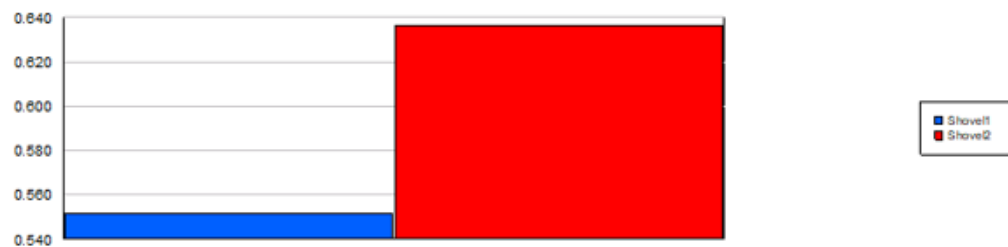
Σενάριο μεταφοράς χωρίς dispatching με μεταβλητούς χρόνους με κανονική κατανομή και με 5 κύκλους φόρτωσης

4 Ore Trucks x 4 Waste Trucks

Queue

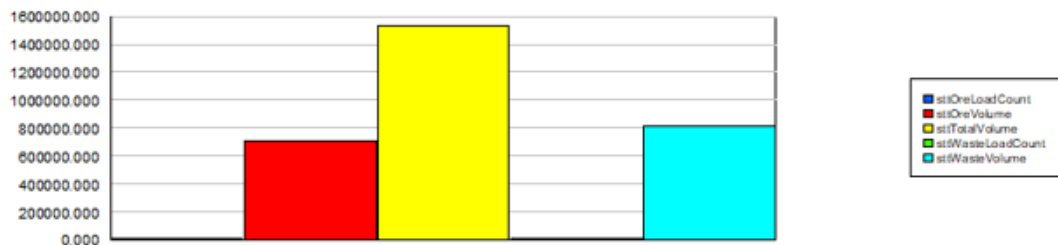
Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	0.3903	0.01	0.3818	0.4004	0.00	5.9371
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	0.4496	0.01	0.4331	0.4576	0.00	6.9370
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Shovel1	0.5515	0.00	0.5504	0.5526		
Shovel2	0.6361	0.00	0.6332	0.6391		



Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
sttOreLoadCount	7101.60	28.04	7080.00	7140.00
sttOreVolume	710160.00	2,804.45	708000.00	714000.00
sttTotalVolume	1529300.00	2,443.83	1527300.00	1532500.00
sttWasteLoadCount	8191.40	7.53	8185.00	8197.00
sttWasteVolume	819140.00	753.11	818500.00	819700.00

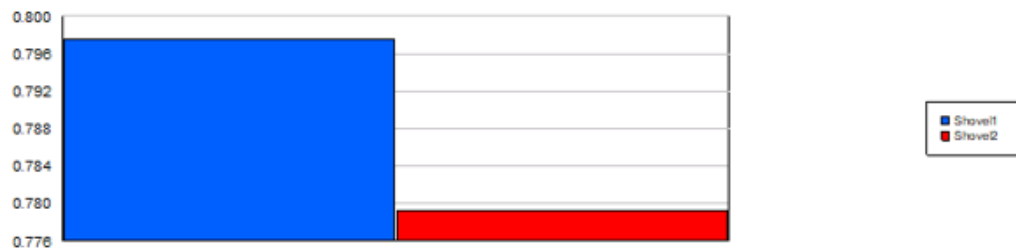


6 Ore Trucks x 5 Waste Trucks

Queue

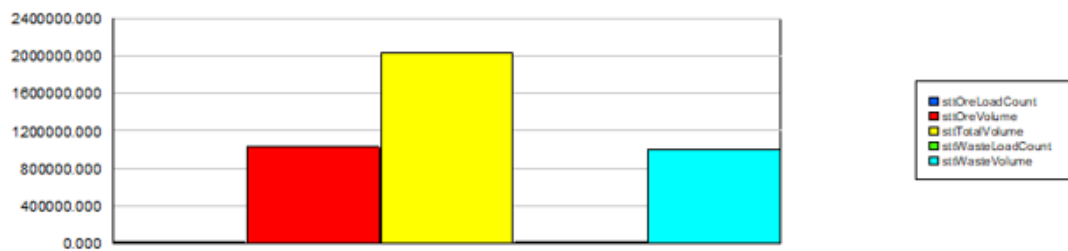
Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	0.8569	0.01	0.8468	0.8659	0.00	9.2614
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	0.6986	0.01	0.6903	0.7053	0.00	8.2070
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Shovel1	0.7975	0.00	0.7949	0.7999		
Shovel2	0.7792	0.00	0.7779	0.7802		



Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
sttOreLoadCount	10273.00	19.98	10250.00	10293.00
sttOreVolume	1027300.00	1,997.95	1025000.00	1029300.00
sttTotalVolume	2030360.00	2,174.51	2028400.00	2033000.00
sttWasteLoadCount	10030.60	26.77	9999.00	10058.00
sttWasteVolume	1003060.00	2,676.50	999900.00	1005800.00

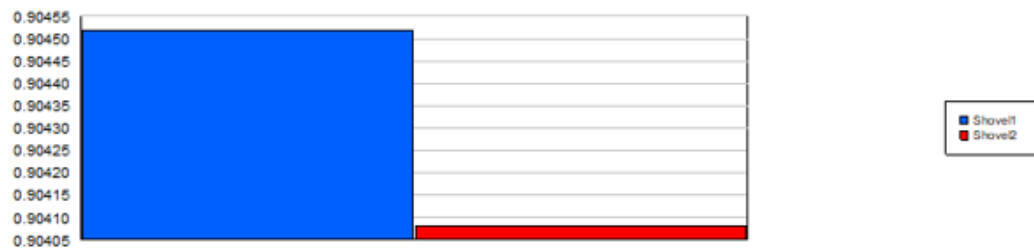


7 Ore Trucks x 6 Waste Trucks

Queue

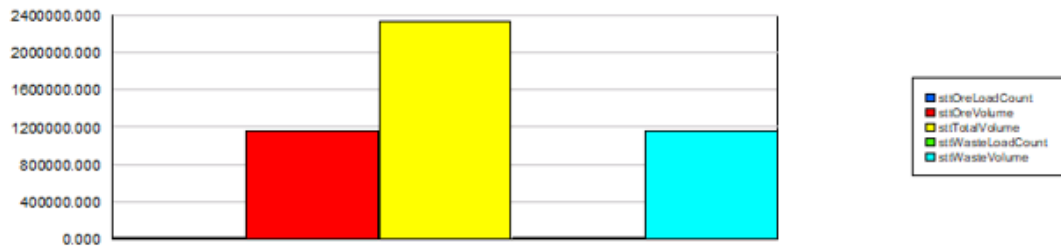
Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	1.2678	0.01	1.2613	1.2809	0.00	11.2878
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	1.1033	0.02	1.0803	1.1141	0.00	10.1387
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Shovel1	0.9045	0.00	0.9011	0.9065		
Shovel2	0.9041	0.00	0.9028	0.9051		



Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
sttOreLoadCount	11639.00	12.00	11628.00	11653.00
sttOreVolume	1163900.00	1,200.44	1162800.00	1165300.00
sttTotalVolume	2326280.00	2,863.99	2323700.00	2329900.00
sttWasteLoadCount	11623.80	17.01	11609.00	11646.00
sttWasteVolume	1162380.00	1,700.85	1160900.00	1164600.00



8 Ore Trucks x 7 Waste Trucks

Queue

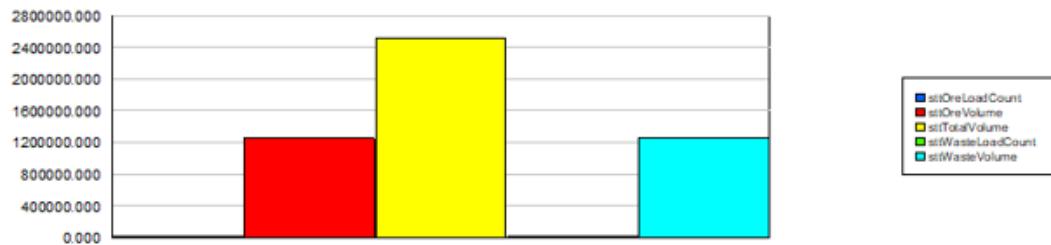
Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	2.0835	0.02	2.0652	2.0987	0.00	13.2246
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	1.9611	0.03	1.9366	1.9805	0.00	12.8232
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Shovel1	0.9760	0.00	0.9749	0.9765		
Shovel2	0.9821	0.00	0.9816	0.9829		



Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
sttOreLoadCount	12567.00	8.78	12558.00	12574.00
sttOreVolume	1256700.00	877.85	1255800.00	1257400.00
sttTotalVolume	2520840.00	812.19	2519900.00	2521700.00
sttWasteLoadCount	12641.40	12.25	12636.00	12659.00
sttWasteVolume	1264140.00	1,224.59	1263600.00	1265900.00



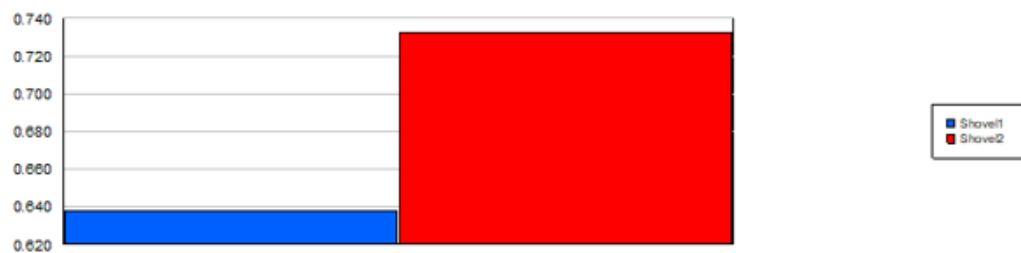
Σενάριο μεταφοράς χωρίς dispatching με μεταβλητούς χρόνους με κανονική κατανομή και με 6 κύκλους φόρτωσης

4 Ore Trucks x 4 Waste Trucks

Queue

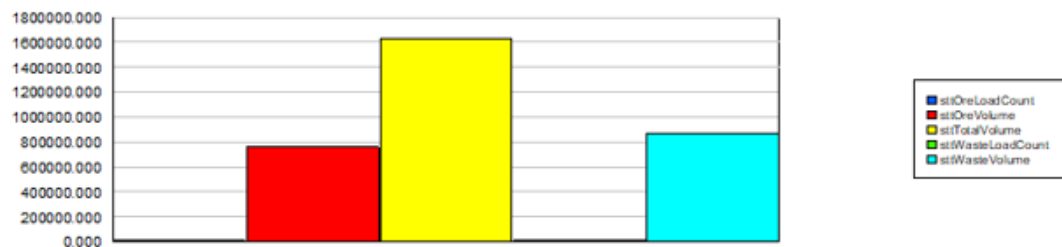
Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	0.5360	0.02	0.5231	0.5609	0.00	7.1274
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	0.6075	0.01	0.5968	0.6226	0.00	8.3217
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Shovel1	0.6378	0.00	0.6358	0.6396		
Shovel2	0.7324	0.00	0.7307	0.7333		



Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
sttOreLoadCount	6833.60	9.88	6824.00	6844.00
sttOreVolume	758529.60	1,096.38	757464.00	759684.00
sttTotalVolume	1628503.20	2,692.27	1625928.00	1631145.00
sttWasteLoadCount	7837.60	16.83	7824.00	7853.00
sttWasteVolume	869973.60	1,868.23	868464.00	871683.00

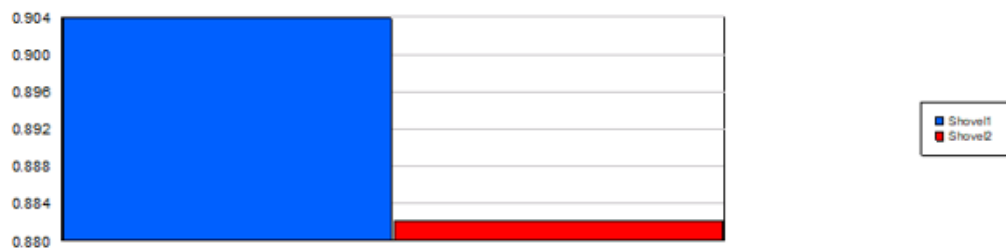


6 Ore Trucks x 5 Waste Trucks

Queue

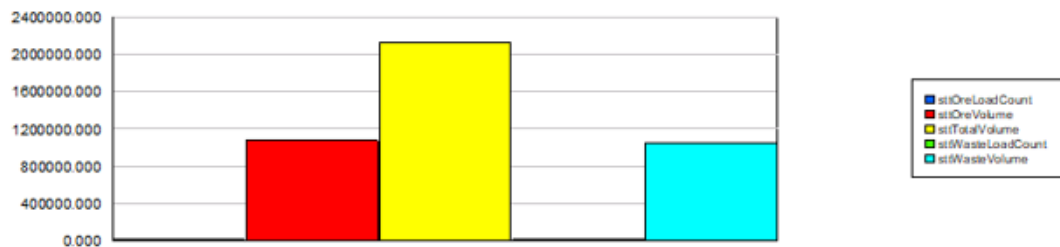
Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	1.3242	0.02	1.3040	1.3454	0.00	10.8882
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	1.0317	0.01	1.0248	1.0460	0.00	10.8778
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Shovel1	0.9039	0.00	0.9018	0.9075		
Shovel2	0.8821	0.00	0.8806	0.8853		



Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
sttOreLoadCount	9679.80	21.53	9661.00	9699.00
sttOreVolume	1074457.80	2,389.59	1072371.00	1076589.00
sttTotalVolume	2123740.80	2,928.75	2120766.00	2127315.00
sttWasteLoadCount	9453.00	13.68	9441.00	9466.00
sttWasteVolume	1049283.00	1,518.96	1047951.00	1050726.00

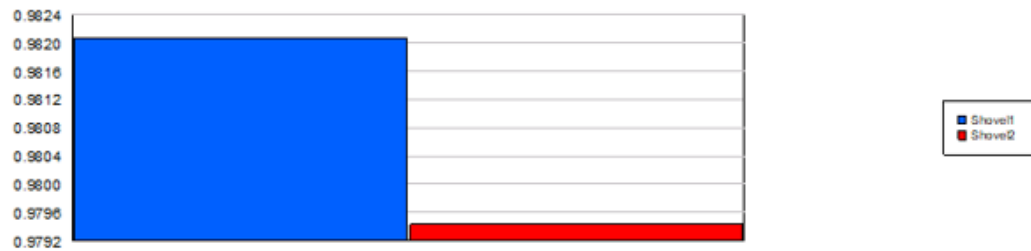


7 Ore Trucks x 6 Waste Trucks

Queue

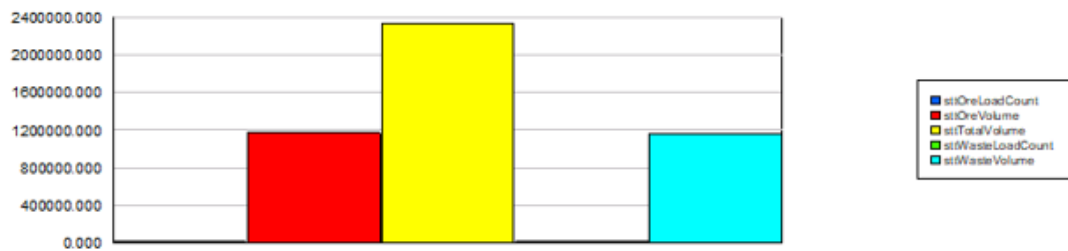
Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	2.3829	0.05	2.3234	2.4415	0.00	13.6476
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	2.0268	0.02	2.0021	2.0458	0.00	13.5282
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Shovel1	0.9821	0.00	0.9811	0.9834		
Shovel2	0.9794	0.00	0.9791	0.9800		



Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
sttOreLoadCount	10522.80	39.84	10481.00	10570.00
sttOreVolume	1168030.80	4,421.94	1163391.00	1173270.00
sttTotalVolume	2332887.00	6,096.89	2325672.00	2338215.00
sttWasteLoadCount	10494.20	22.13	10471.00	10520.00
sttWasteVolume	1164856.20	2,456.21	1162281.00	1167720.00

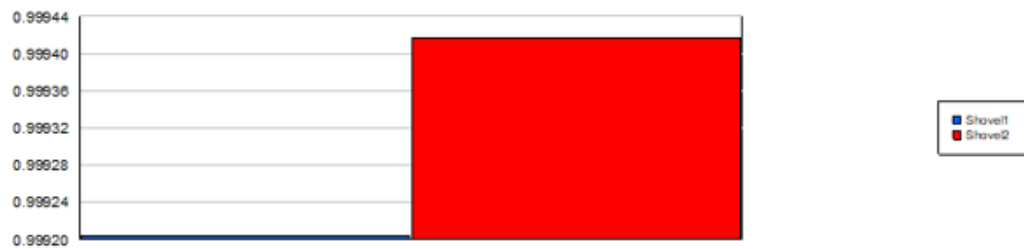


8 Ore Trucks x 7 Waste Trucks

Queue

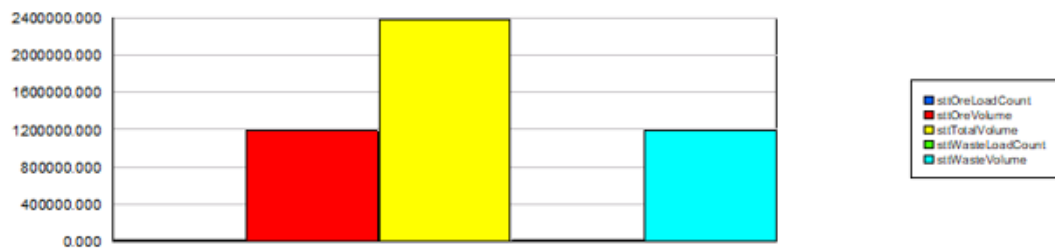
Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	4.2628	0.05	4.2013	4.3081	0.00	15.5508
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	3.9045	0.03	3.8686	3.9232	0.00	15.9532
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Shovel1	0.9992	0.00	0.9991	0.9993		
Shovel2	0.9994	0.00	0.9993	0.9995		



Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
sttOreLoadCount	10708.00	14.13	10694.00	10724.00
sttOreVolume	1188588.00	1,568.17	1187034.00	1190364.00
sttTotalVolume	2377731.00	1,682.10	2376288.00	2378952.00
sttWasteLoadCount	10713.00	19.47	10696.00	10738.00
sttWasteVolume	1189143.00	2,161.35	1187256.00	1191918.00



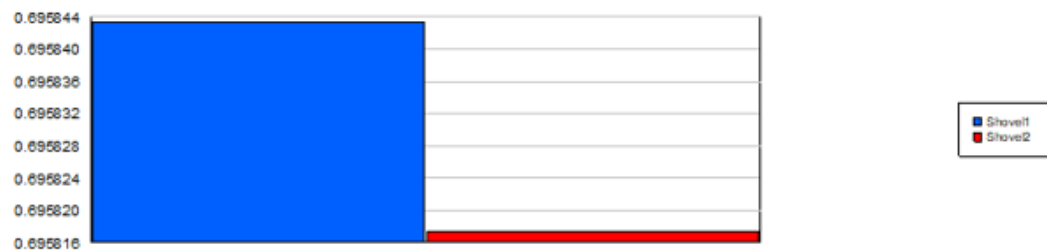
Σενάριο μεταφοράς dispatched με σταθερούς χρόνους και με 5 κύκλους φόρτωσης

4 Ore Trucks x 4 Waste Trucks

Queue

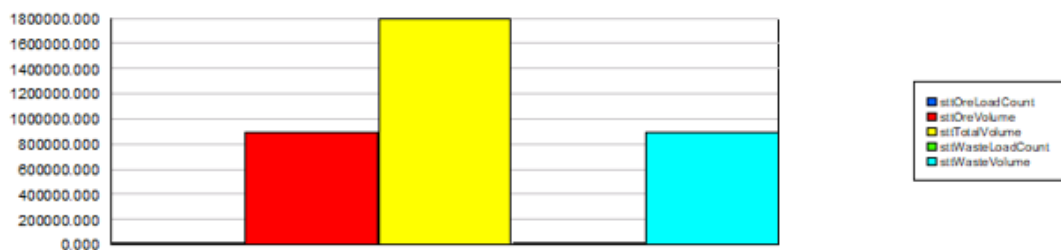
Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	0.00119906	0.00	0.00119906	0.00119906	0.00	5.3700
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	0.00119906	0.00	0.00119906	0.00119906	0.00	5.3700
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Shovel1	0.6958	0.00	0.6958	0.6958		
Shovel2	0.6958	0.00	0.6958	0.6958		



Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
sttOreLoadCount	8953.00	0.00	8953.00	8953.00
sttOreVolume	895300.00	0.00	895300.00	895300.00
sttTotalVolume	1790700.00	0.00	1790700.00	1790700.00
sttWasteLoadCount	8954.00	0.00	8954.00	8954.00
sttWasteVolume	895400.00	0.00	895400.00	895400.00

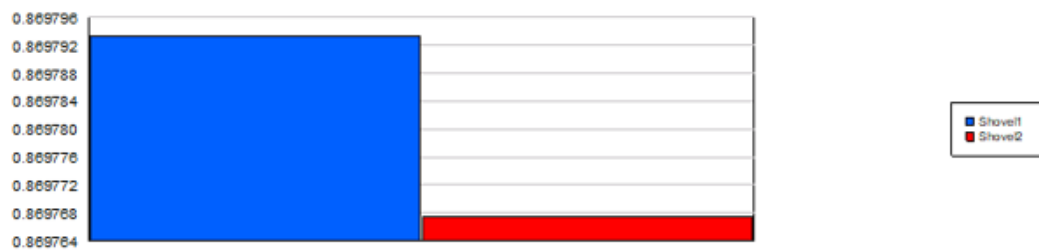


5 Ore Trucks x 5 Waste Trucks

Queue

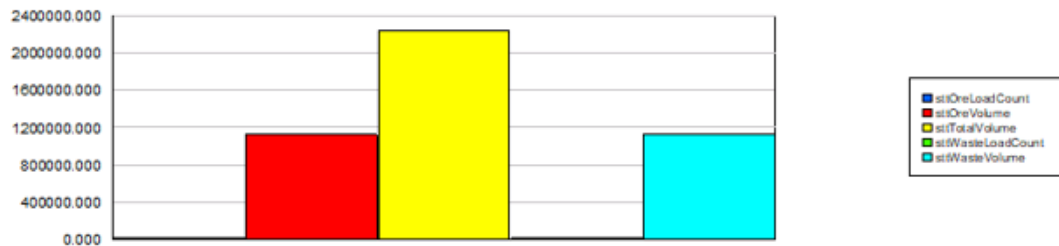
Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	0.00159879	0.00	0.00159879	0.00159879	0.00	7.1600
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	0.00159879	0.00	0.00159879	0.00159879	0.00	7.1600
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Shovel1	0.8698	0.00	0.8698	0.8698		
Shovel2	0.8698	0.00	0.8698	0.8698		



Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
sttOreLoadCount	11191.00	0.00	11191.00	11191.00
sttOreVolume	1119100.00	0.00	1119100.00	1119100.00
sttTotalVolume	2238300.00	0.00	2238300.00	2238300.00
sttWasteLoadCount	11192.00	0.00	11192.00	11192.00
sttWasteVolume	1119200.00	0.00	1119200.00	1119200.00



6 Ore Trucks x 6 Waste Trucks

Queue

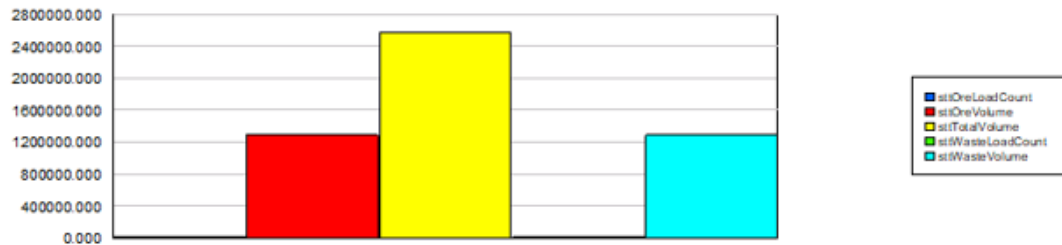
Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	0.7517	0.00	0.7517	0.7517	0.00	8.9500
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	0.1520	0.00	0.1520	0.1520	0.00	8.9500
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Shovel1	1.0000	0.00	1.0000	1.0000		
Shovel2	1.0000	0.00	1.0000	1.0000		



Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
sttOreLoadCount	12867.00	0.00	12867.00	12867.00
sttOreVolume	1286700.00	0.00	1286700.00	1286700.00
sttTotalVolume	2573500.00	0.00	2573500.00	2573500.00
sttWasteLoadCount	12868.00	0.00	12868.00	12868.00
sttWasteVolume	1286800.00	0.00	1286800.00	1286800.00



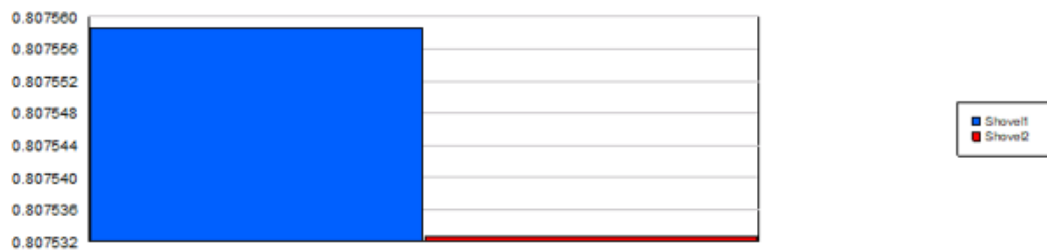
Σενάριο μεταφοράς dispatched με σταθερούς χρόνους και με 6 κύκλους φόρτωσης

4 Ore Trucks x 4 Waste Trucks

Queue

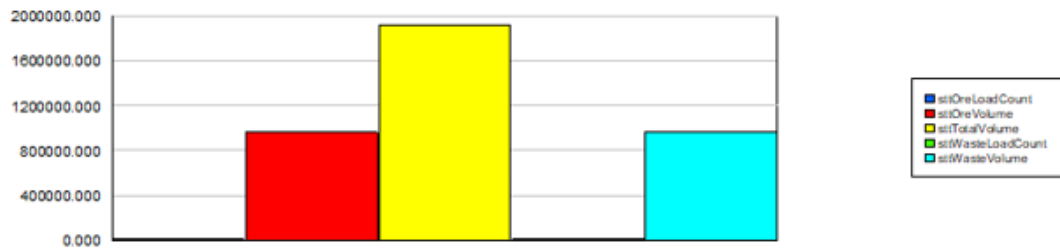
Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	0.00149047	0.00	0.00149047	0.00149047	0.00	6.4500
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	0.00149064	0.00	0.00149064	0.00149064	0.00	6.4500
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Shovel1	0.8076	0.00	0.8076	0.8076		
Shovel2	0.8075	0.00	0.8075	0.8075		



Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
sttOreLoadCount	8651.00	0.00	8651.00	8651.00
sttOreVolume	960261.00	0.02	960261.00	960261.00
sttTotalVolume	1920522.00	0.03	1920522.00	1920522.00
sttWasteLoadCount	8651.00	0.00	8651.00	8651.00
sttWasteVolume	960261.00	0.02	960261.00	960261.00

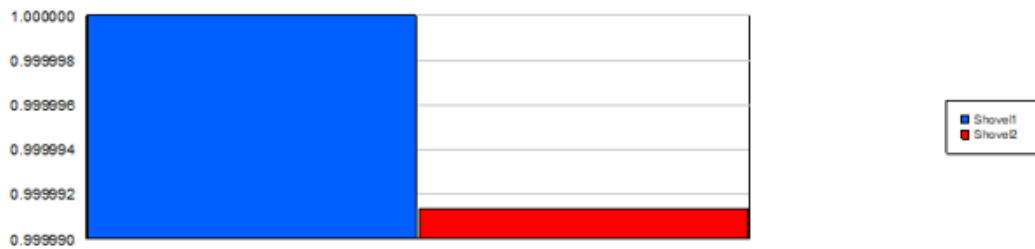


5 Ore Trucks x 5 Waste Trucks

Queue

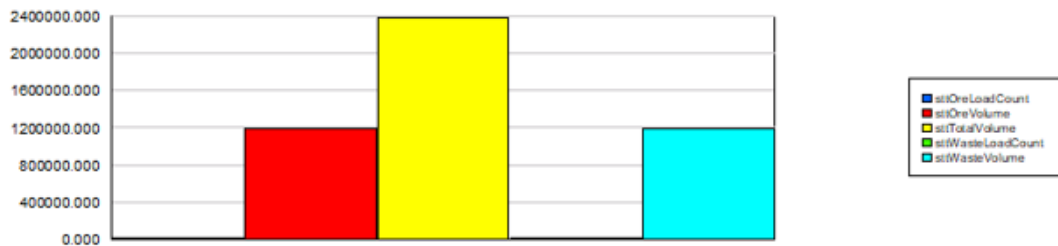
Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	0.2020	0.00	0.2020	0.2020	0.00	8.6000
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	0.00200616	0.00	0.00200616	0.00200616	0.00	8.6000
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Shovel1	1.0000	0.00	1.0000	1.0000		
Shovel2	1.0000	0.00	1.0000	1.0000		



Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
sttOreLoadCount	10712.00	0.00	10712.00	10712.00
sttOreVolume	1189032.00	0.00	1189032.00	1189032.00
sttTotalVolume	2378175.00	0.00	2378175.00	2378175.00
sttWasteLoadCount	10713.00	0.00	10713.00	10713.00
sttWasteVolume	1189143.00	0.00	1189143.00	1189143.00



6 Ore Trucks x 6 Waste Trucks

Queue

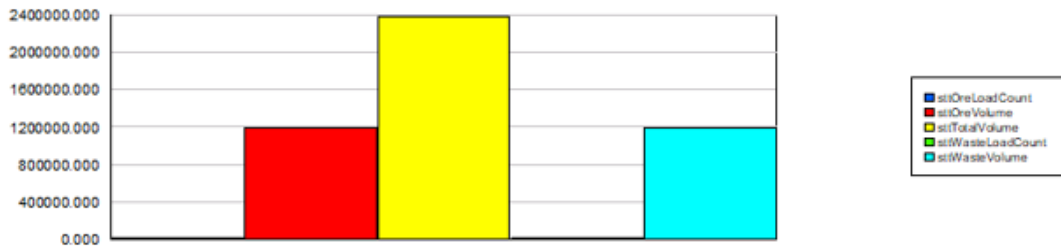
Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	2.5516	0.00	2.5516	2.5516	0.00	10.7500
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	1.9519	0.00	1.9519	1.9519	0.00	10.7500
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Shovel1	1.0000	0.00	1.0000	1.0000		
Shovel2	1.0000	0.00	1.0000	1.0000		



Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
sttOreLoadCount	10712.00	0.00	10712.00	10712.00
sttOreVolume	1189032.00	0.00	1189032.00	1189032.00
sttTotalVolume	2378175.00	0.00	2378175.00	2378175.00
sttWasteLoadCount	10713.00	0.00	10713.00	10713.00
sttWasteVolume	1189143.00	0.00	1189143.00	1189143.00



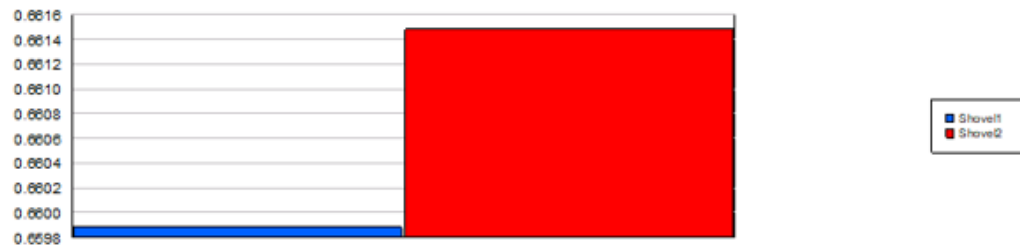
Σενάριο μεταφοράς dispatched με μεταβλητούς χρόνους με κανονική κατανομή και με 5 κύκλους φόρτωσης

4 Ore Trucks x 4 Waste Trucks

Queue

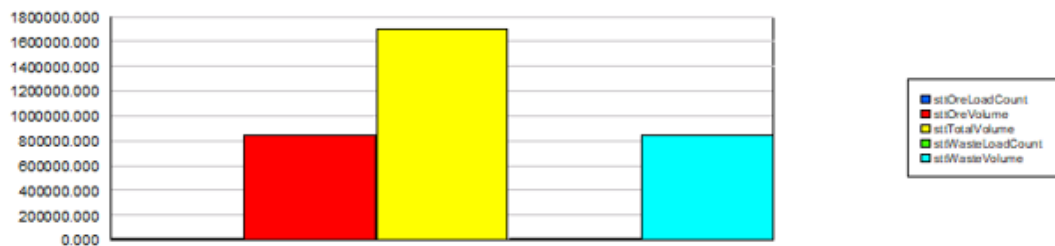
Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	0.5408	0.01	0.5222	0.5519	0.00	5.9371
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	0.5828	0.03	0.5553	0.6118	0.00	6.9370
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Shovel1	0.6599	0.00	0.6572	0.6627		
Shovel2	0.6615	0.00	0.6604	0.6623		



Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
sttOreLoadCount	8492.40	24.62	8468.00	8523.00
sttOreVolume	849240.00	2,462.05	846800.00	852300.00
sttTotalVolume	1698440.00	4,983.36	1693500.00	1704600.00
sttWasteLoadCount	8492.00	25.23	8467.00	8523.00
sttWasteVolume	849200.00	2,522.95	846700.00	852300.00

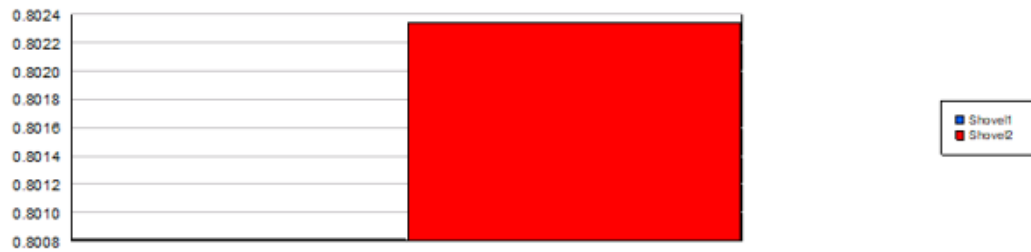


5 Ore Trucks x 5 Waste Trucks

Queue

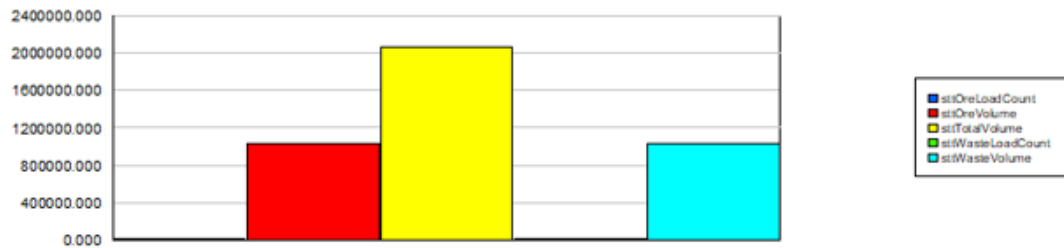
Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	0.8352	0.01	0.8283	0.8408	0.00	7.2993
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	0.9135	0.02	0.8954	0.9330	0.00	8.2070
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Shovel1	0.8008	0.00	0.7987	0.8018		
Shovel2	0.8023	0.00	0.8002	0.8041		



Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
sttOreLoadCount	10318.40	11.99	10305.00	10332.00
sttOreVolume	1031840.00	1,199.15	1030500.00	1033200.00
sttTotalVolume	2063700.00	2,490.68	2060900.00	2066500.00
sttWasteLoadCount	10318.60	12.92	10304.00	10333.00
sttWasteVolume	1031860.00	1,291.96	1030400.00	1033300.00

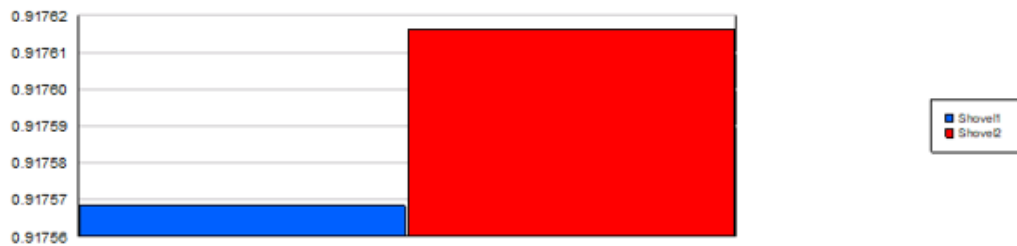


6 Ore Trucks x 6 Waste Trucks

Queue

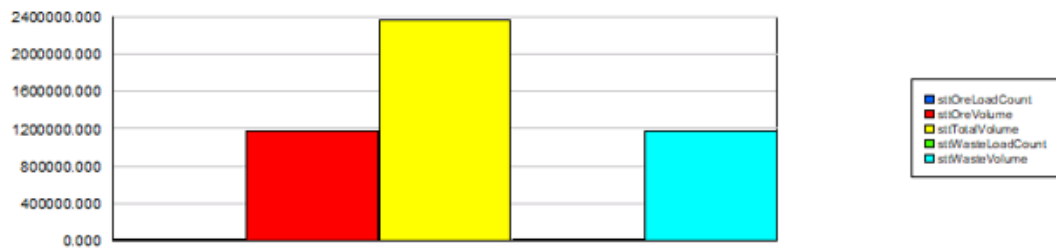
Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	1.3634	0.04	1.3228	1.3960	0.00	9.2614
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	1.4647	0.03	1.4354	1.4892	0.00	10.1387
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Shovel1	0.9176	0.00	0.9162	0.9185		
Shovel2	0.9176	0.00	0.9158	0.9192		



Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
sttOreLoadCount	11809.40	12.18	11795.00	11820.00
sttOreVolume	1180940.00	1,218.28	1179500.00	1182000.00
sttTotalVolume	2361920.00	2,425.47	2359000.00	2364000.00
sttWasteLoadCount	11809.80	12.08	11795.00	11820.00
sttWasteVolume	1180980.00	1,208.12	1179500.00	1182000.00

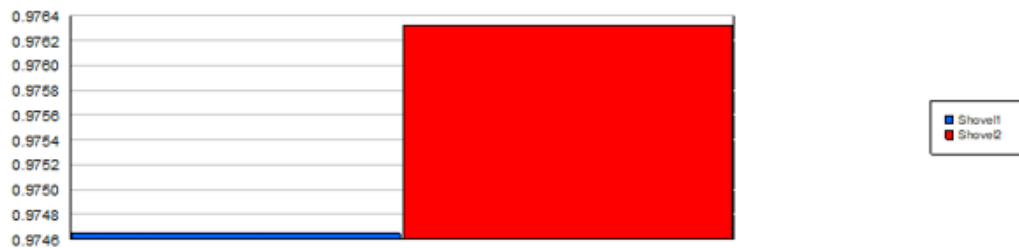


7 Ore Trucks x 7 Waste Trucks

Queue

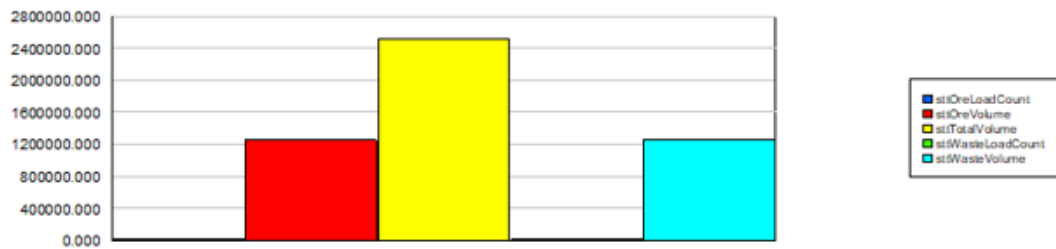
Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	2.4465	0.04	2.4095	2.4860	0.00	11.2878
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	2.6560	0.03	2.6348	2.6913	0.00	12.8232
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Shovel1	0.9746	0.00	0.9739	0.9758		
Shovel2	0.9763	0.00	0.9746	0.9786		



Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
sttOreLoadCount	12555.20	21.72	12533.00	12580.00
sttOreVolume	1255520.00	2,172.39	1253300.00	1258000.00
sttTotalVolume	2511100.00	4,363.71	2506700.00	2516100.00
sttWasteLoadCount	12555.80	21.92	12534.00	12581.00
sttWasteVolume	1255580.00	2,191.81	1253400.00	1258100.00



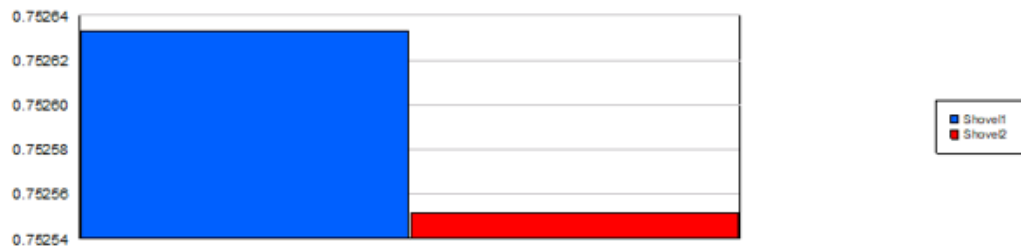
Σενάριο μεταφοράς dispatched με μεταβλητούς χρόνους με κανονική κατανομή και με 6 κύκλους φόρτωσης

4 Ore Trucks x 4 Waste Trucks

Queue

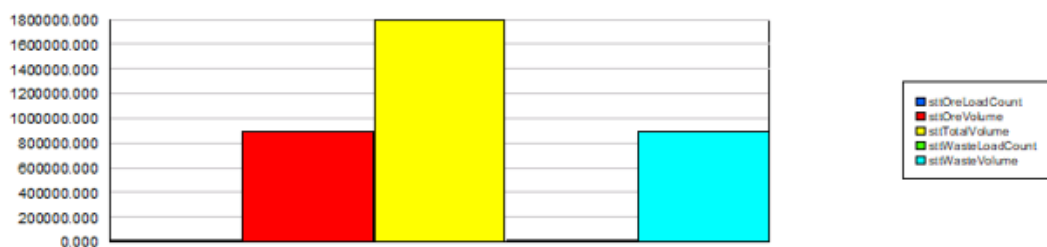
Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	0.7444	0.02	0.7272	0.7578	0.00	7.5660
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	0.8087	0.02	0.7943	0.8282	0.00	8.3217
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Shovel1	0.7526	0.00	0.7514	0.7548		
Shovel2	0.7526	0.00	0.7496	0.7539		



Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
sttOreLoadCount	8063.40	15.91	8049.00	8084.00
sttOreVolume	895037.40	1,766.35	893439.00	897324.00
sttTotalVolume	1790185.80	3,539.41	1786989.00	1794759.00
sttWasteLoadCount	8064.40	16.01	8050.00	8085.00
sttWasteVolume	895148.40	1,777.07	893550.00	897435.00

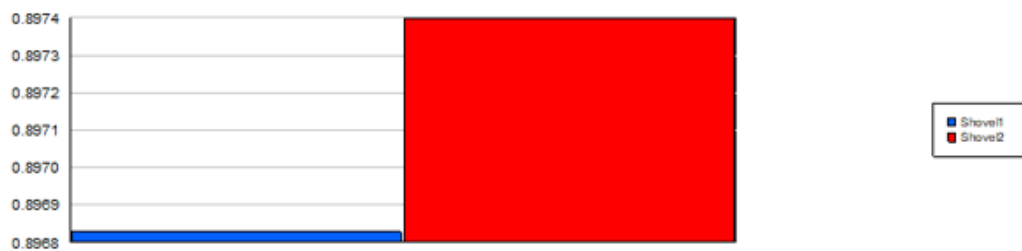


5 Ore Trucks x 5 Waste Trucks

Queue

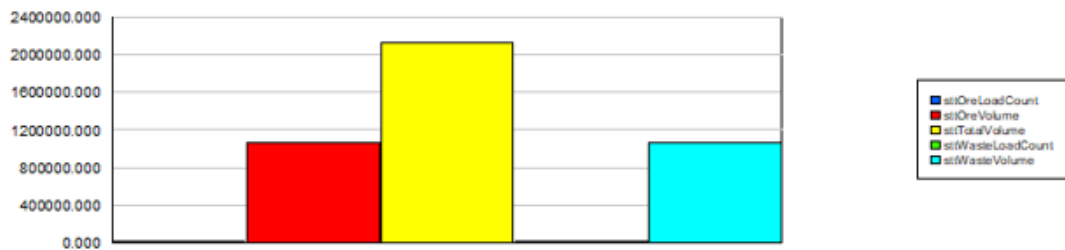
Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	1.2836	0.02	1.2683	1.2999	0.00	8.7664
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	1.3944	0.02	1.3714	1.4085	0.00	10.8778
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Shovel1	0.8968	0.00	0.8953	0.8982		
Shovel2	0.8974	0.00	0.8949	0.9010		



Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
sttOreLoadCount	9606.40	11.33	9594.00	9615.00
sttOreVolume	1066310.40	1,257.71	1064934.00	1067265.00
sttTotalVolume	2132687.40	2,606.62	2129868.00	2134641.00
sttWasteLoadCount	9607.00	12.16	9594.00	9616.00
sttWasteVolume	1066377.00	1,350.18	1064934.00	1067376.00

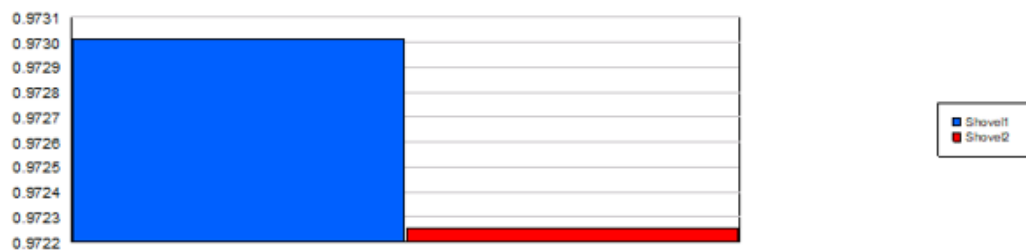


6 Ore Trucks x 6 Waste Trucks

Queue

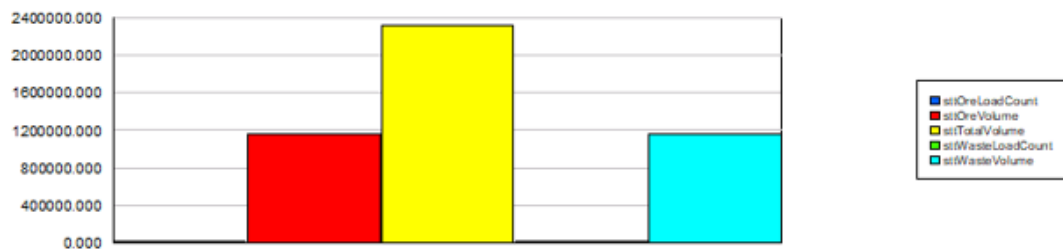
Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	2.5472	0.03	2.5082	2.5710	0.00	12.5036
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	2.6876	0.05	2.6269	2.7225	0.00	13.5282
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Shovel1	0.9730	0.00	0.9719	0.9746		
Shovel2	0.9723	0.00	0.9700	0.9738		



Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
sttOreLoadCount	10419.40	23.70	10395.00	10448.00
sttOreVolume	1156553.40	2,630.19	1153845.00	1159728.00
sttTotalVolume	2313129.00	5,216.52	2307801.00	2319456.00
sttWasteLoadCount	10419.60	23.30	10396.00	10448.00
sttWasteVolume	1156575.60	2,586.51	1153956.00	1159728.00

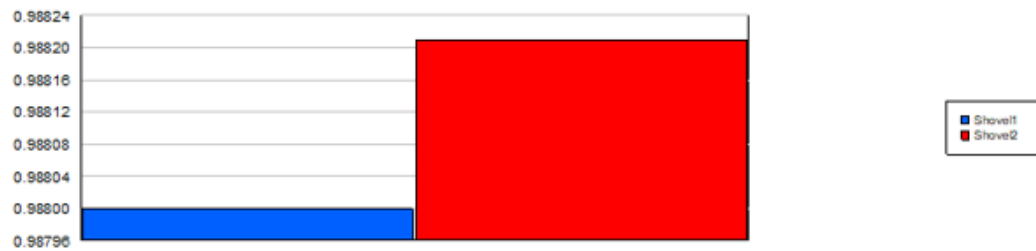


7 Ore Trucks x 7 Waste Trucks

Queue

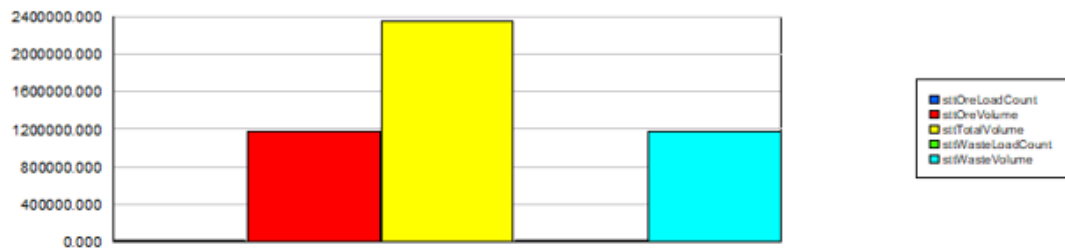
Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Shovel1 Loads the Trucks.Queue	4.5465	0.11	4.4629	4.6860	0.00	15.0322
Shovel2 Loads the Trucks.Queue	4.6249	0.11	4.4731	4.6926	0.00	15.9532
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Shovel1	0.9880	0.00	0.9867	0.9898		
Shovel2	0.9882	0.00	0.9865	0.9891		



Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
sttOreLoadCount	10585.60	8.12	10578.00	10591.00
sttOreVolume	1175001.60	901.53	1174158.00	1175601.00
sttTotalVolume	2350025.40	1,832.31	2348316.00	2351313.00
sttWasteLoadCount	10585.80	8.39	10578.00	10592.00
sttWasteVolume	1175023.80	931.57	1174158.00	1175712.00



Παράρτημα 2 – Χρόνοι διαδικασιών μεταλλείου Αγίου Ιωάννη

Παρακάτω παρουσιάζονται οι χρόνοι των διαδικασιών του μεταλλείου Αγίου Ιωάννη, όπως υιοθετήθηκαν από άλλη ερευνητική εργασία και συγκεκριμένα του κ. Ζαμπού.

Τμήμα Νο18(Α-Σ.Α.Μ 2)	
Ελιγμός φόρτωσης(min)	
	0.58
	0.83
	0.42
	0.58
	0.67
	0.50
	0.67
	0.67
	0.67
	0.67
	0.58
	1.00
	0.67
	0.92
	0.75
	1.00
mean	0.70
stdev	0.17
min	0.42
max	1.00

Τμήμα Νο 19(Α-Τ-Σ.Α.Σ 2)	
Ελιγμός φόρτωσης(min)	
	0.58
	0.92
	0.83
	1
	0.58
	0.67
	0.5
mean	0.73
stdev	0.19

TEREX3308E Τμήμα Νο19(Α-Τ-Σ.Α.Σ 2)		
	Μεταφορά(min)	Εκκένωση(min)
	6.58	1.33
	5.83	2
	5.92	1.92
	5.92	1.5
	6.50	2
	6.58	1.92
	5.50	1.17
mean	6.12	1.69
stdev	0.43	0.35
min	5.50	1.17
max	6.58	2.00

TEREX3308E Τμήμα Νο18(Α-Σ.Α.Μ 2)			
	Μεταφορά(min)	Εκκένωση(min)	Επιστροφή(min)
	2.42	1.08	1.50
	2.17	1.17	1.17
	2.50	1.25	1.67
	2.67	1.25	1.50
	2.50	1.25	1.83
	2.75	1.42	1.58
	2.67	1.42	1.08
	2.67	1.33	1.17
	2.50	1.25	1.25
	2.75	2.00	1.92
	2.75	1.92	1.17
	2.33	2.50	1.25
	3.00	1.83	1.08
	2.50	1.17	1.50
	2.17	1.00	1.67
	2.33	1.00	1.33
mean	2.54	1.43	1.42
stdev	0.23	0.42	0.27
min	2.17	1.00	1.08
max	3.00	2.50	1.92

Τμήμα Νο20-Νο21 (Σ.Α.Σ 2-Τ-Χ-Α)	
Επιστροφή(min)	
	3.50
	4.83
	3.67
	4.00
	3.75
	4.50
	4.50
mean	4.11
stdev	0.50
min	3.50
max	4.83

TEREX3308E Τμήμα Νο1(Γ-Α)		
	Μεταφορά(min)	Επιστροφή(min)
	3.67	1.75
	3.50	2.00
	3.67	2.17
	3.67	1.17
	3.50	3.50
	4.00	2.50
	4.67	2.17
	4.33	2.00
	3.75	2.17
	4.00	2.15
	3.75	2.50
	3.83	2.33
	4.50	2.33
	4.50	3.67
	4.67	2.33
	3.83	2.67
mean	3.99	2.34
stdev	0.41	0.60
min	3.50	1.17
max	4.67	3.67