



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

Προσομοίωση συνεχούς συστήματος εξόρυξης-μεταφοράς
σε υπαίθριο ληνιτωρυχείο

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Ανάργυρου Χ. Μάλαμα

Επιβλέπων: Μιχαλακόπουλος Θεόδωρος

Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2014



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

Προσομοίωση συνεχούς συστήματος εξόρυξης-μεταφοράς
σε υπαίθριο λιγνιτωρυχείο

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Ανάργυρου Χ. Μάλαμα

Επιβλέπων: Μιχαλακόπουλος Θεόδωρος

Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις 30/09/2014:

Μιχαλακόπουλος Θεόδωρος, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Παναγιώτου Γεώργιος, Καθηγητής ΕΜΠ

Μενεγάκη Μαρία, Επίκουρος Καθηγήτρια ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2014

.....
Ανάργυρος Χ. Μάλαμας

Διπλωματούχος Μηχανικός Μεταλλείων – Μεταλλουργός Ε.Μ.Π.

Copyright © Μάλαμας Ανάργυρος, 2014.

Με επιφύλαξη κάθε δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	i
Κατάλογος Σχημάτων	v
Κατάλογος Εικόνων.....	ix
Κατάλογος Πινάκων.....	x
Πρόλογος	xi
Περίληψη.....	xii
Abstract	xiii
1. Εισαγωγή.....	1
1.1. Προσομοίωση και μεταλλευτική βιομηχανία	1
1.2. Στόχοι της παρούσας εργασίας	1
1.3. Δομή εργασίας	2
2. Εκμετάλλευση λιγνιτικών κοιτασμάτων	4
2.1. Μέθοδος εκμετάλλευσης λιγνιτών.....	4
2.2. Βασικός μηχανολογικός εξοπλισμός – Κύριες φάσεις εκμετάλλευσης.....	5
2.2.1. Εκσκαφή – Ο καδοφόρος εκσκαφέας.....	5
2.2.1.1. Μέθοδοι κοπής με καδοφόρο εκσκαφέα	7
2.2.1.2. Μέθοδοι εξόρυξης με καδοφόρο εκσκαφέα.....	9
2.2.1.3. Παράμετροι λειτουργίας του καδοφόρου εκσκαφέα.....	12
2.2.1.4. Παροχή ενέργειας για τη λειτουργία καδοφόρων εκσκαφέων.....	13
2.2.1.5. Πλεονεκτήματα καδοφόρων εκσκαφέων συγκριτικά με άλλους εκσκαφείς.....	13
2.2.2. Μεταφορά και απόθεση.....	15

2.3.	Παράλληλη και στροφική λειτουργία.....	18
2.3.1.	Παράλληλη λειτουργία.....	18
2.3.2.	Στροφική λειτουργία.....	22
2.4.	Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α.Ε.	23
2.4.1.	Ιστορική αναδρομή.....	23
2.4.2.	Ορυχεία.....	25
2.4.2.1.	Αποθέματα και ποιότητα λιγνίτη	25
2.4.2.2.	Κοιτασματολογία λιγνίτη.....	26
2.4.2.3.	Λιγνιτικό Κέντρο Δυτικής Μακεδονίας.....	28
2.4.3.	Παραγωγή.....	29
2.4.4.	Ορυχείο Πεδίου Καρδιάς.....	30
3.	Προσομοίωση συστημάτων.....	35
3.1.	Στοιχεία ενός μοντέλου προσομοίωσης.....	39
3.1.1.	Οντότητες	39
3.1.2.	Ιδιότητες	40
3.1.3.	Μεταβλητές	40
3.1.4.	Πόροι	40
3.1.5.	Σειρές αναμονής	40
3.1.6.	Στατιστικές μεταβλητές.....	41
3.1.7.	Γεγονότα.....	41
3.1.8.	Ρολόι προσομοίωσης.....	41
3.1.9.	Εκκίνηση και τερματισμός της προσομοίωσης.....	41
3.2.	Μελέτη ενός μεταλλευτικού συστήματος με χρήση μοντέλων προσομοίωσης ...	42
3.2.1.	Προσομοίωση συνεχών μεταλλευτικών συστημάτων.....	48
3.3.	Η προσομοίωση μεταλλευτικών συστημάτων – Ιστορική αναδρομή	48

4. Μοντελοποίηση δεδομένων εισόδου	51
4.1. Κατανομές.....	51
4.1.1. Βασικές έννοιες	51
4.1.2. Κατανομές πιθανοτήτων.....	51
4.1.2.1. Κανονική κατανομή	53
4.1.2.2. Εκθετική κατανομή	54
4.1.2.3. Κατανομή Erlang	55
4.1.2.4. Κατανομή Poisson.....	57
4.2. Εισαγωγή δεδομένων σε μοντέλο προσομοίωσης	58
4.3. Συλλογή και επεξεργασία δεδομένων Ορυχείου Καρδιάς.....	59
4.3.1. Σεντόνια.....	59
4.3.2. Καταγραφή σε βάση δεδομένων	60
4.3.3. Επεξεργασία δεδομένων	61
4.3.3.1. Κατανομές των κλάδων λιγνίτη και στείρου υλικού	63
4.3.3.2. Κατανομές κλάδων E1-E6	64
4.3.3.3. Αργίες και απεργίες για το έτος λειτουργίας 2006.....	66
4.3.4. Στατιστική ανάλυση για την αξιολόγηση του μοντέλου	66
5. Περιβάλλον εργασίας Arena.....	72
5.1. Ανάπτυξη μοντέλου στο Arena.....	72
6. Μοντέλο προσομοίωσης του Ορυχείου Καρδιάς.....	75
6.1. Ανάπτυξη του μοντέλου	77
6.2. Δομή του μοντέλου	78
6.2.1. Υπομοντέλο ενεργοποίησης των κλάδων απόθεσης	78
6.2.2. Υπομοντέλο ενεργοποίησης κλάδου καδοφόρου εκσκαφέα.....	79
6.2.3. Υπομοντέλο ελέγχου της κίνησης καδοφόρου εκσκαφέα.....	79

6.2.4.	Υπομοντέλο ελέγχου της εξόρυξης	80
6.2.5.	Υπομοντέλο για τη διαχείριση της αλλαγής προορισμού στον κόμβο.....	81
6.2.6.	Υπομοντέλο για τη μεταφορά μέχρι τον κόμβο	82
6.2.7.	Υπομοντέλο για τον έλεγχο εξόδου από τον κόμβο.....	83
6.2.8.	Υπομοντέλο για τη μεταφορά μέχρι τον τελικό προορισμό.....	84
6.2.9.	Υπομοντέλο για την ετήσια συντήρηση καδοφόρων εκσκαφών.....	85
6.2.10.	Υπομοντέλο μεταφορά καδοφόρου εκσκαφέα	85
6.2.11.	Υπομοντέλο απεικόνισης του κόμβου	86
6.2.12.	Υπομοντέλα ελέγχου των ταινιοδρόμων στείρου υλικού.....	87
6.2.13.	Υπομοντέλα ελέγχου των ταινιοδρόμων λιγνίτη.....	88
6.2.14.	Υπομοντέλο ελέγχου ταινιοδρόμων κλάδου εξόρυξης.....	88
6.2.15.	Υπομοντέλο για την καταγραφή των τελικών στατιστικών	89
7.	Αποτελέσματα της προσομοίωσης.....	91
8.	Συμπεράσματα.....	95
	Βιβλιογραφία.....	96

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 2.1 Επιφανειακή εκμετάλλευση με βαθμίδες για κοιτάσματα μεγάλης οριζόντιας εξάπλωσης (πηγή: Ν. Τερεζόπουλος, 2003).....	4
Σχήμα 2.2 Τα μέρη του καδοφόρου εκσκαφέα (πηγή: Γ. Παναγιώτου, 1990)	6
Σχήμα 2.3 Μέθοδοι κοπής (πηγή: Ν. Τερεζόπουλος, 2003)	8
Σχήμα 2.4 Καδοφόρος εκσκαφέας με βραχίονα καδοτροχού σταθερού μήκους (πηγή: Γ. Παναγιώτου, 1990).....	9
Σχήμα 2.5 Καδοφόρος εκσκαφέας με βραχίονα καδοτροχού μεταβλητού μήκους (πηγή: Γ. Παναγιώτου, 1990).....	10
Σχήμα 2.6 Εξόρυξη με βραχίονα καδοτροχού μεταβλητού μήκους (πηγή: Γ. Παναγιώτου, 1990).....	11
Σχήμα 2.7 Εκσκαφή με καδοτροχό (πηγή: Ν. Τερεζόπουλος, 2003).....	13
Σχήμα 2.8 Κόμβος ταινιοδρόμων (πηγή: Ν. Τερεζόπουλος, 2003)	16
Σχήμα 2.9 Κύρια στοιχεία ταινιοδρόμου (πηγή: Γ. Παναγιώτου, 1990).....	17
Σχήμα 2.10 Τυπικό σύστημα καδοφόρου/ταινιοδρόμου (πηγή: Ν. Τερεζόπουλος, 2003) .	17
Σχήμα 2.11 Αποθέτης αγόνων (πηγή: Ν. Τερεζόπουλος, 2003)	18
Σχήμα 2.12 Σύστημα παράλληλης λειτουργίας χωρίς τη χρήση κόμβου ταινιοδρόμων (πηγή: Ν. Τερεζόπουλος, 2003).....	19
Σχήμα 2.13 Σύστημα παράλληλης λειτουργίας με κόμβο ταινιοδρόμων (πηγή: Ν. Τερεζόπουλος, 2003).....	20
Σχήμα 2.14 Διάγραμμα ροής των εξορυγμένων υλικών στην περίπτωση παράλληλης λειτουργίας (πηγή: Ν. Τερεζόπουλος, 2003).....	21
Σχήμα 2.15 Στροφική λειτουργία ορυχείου (πηγή: Ν. Τερεζόπουλος, 2003).....	22
Σχήμα 2.16 Διάγραμμα ροής των εξορυγμένων υλικών στην περίπτωση στροφικής λειτουργίας (πηγή: Ν. Τερεζόπουλος, 2003).....	23
Σχήμα 2.17 Αποθέματα λιγνίτη (πηγή: ΔΕΗ Α.Ε., 2013).....	25
Σχήμα 2.18 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργεια σε TWh (πηγή: ΔΕΗ Α.Ε., 2013)	29

Σχήμα 2.19 Γεωγραφική κατανομή σταθμών παραγωγής (πηγή: ΔΕΗ Α.Ε., 2013).....	30
Σχήμα 2.20 Τοπογραφική αποτύπωση Ορυχείου Καρδίας κατά το έτος 2006.....	33
Σχήμα 2.21 Ανάπτυξη ταινιόδρομων Ορυχείου Καρδίας	34
Σχήμα 3.1 Τρόποι μελέτης συστημάτων (πηγή: Law and Kelton, 1991).....	37
Σχήμα 3.2 Γραφική παράσταση μεταβλητής κατάστασης ως προς το χρόνο σε δυναμικά μοντέλα διακριτών γεγονότων (πηγή: Yingling, 1992).....	38
Σχήμα 3.3 Απόκριση στοχαστικού μοντέλου (πηγή: Yingling, 1992).....	38
Σχήμα 3.4 Διεργασία σε θέση εξυπηρέτησης συστήματος σειράς αναμονής (Law and Kelton, 1991).....	45
Σχήμα 3.5 Ρουτίνα διεργασίας οντότητας σε σύστημα σειράς αναμονής (Law and Kelton, 1991).....	47
Σχήμα 4.1 Αθροιστική συνάρτηση κατανομής πιθανότητας.....	52
Σχήμα 4.2 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας.....	52
Σχήμα 4.3 Γραφική παράσταση συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας για κανονική κατανομή με διάφορα μ και σ	53
Σχήμα 4.4 Γραφική παράσταση συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας εκθετικής κατανομής για διάφορες τιμές του λ	54
Σχήμα 4.5 Γραφική παράσταση αθροιστικής συνάρτησης κατανομής πιθανότητας εκθετικής κατανομής για διάφορες τιμές του λ	55
Σχήμα 4.6 Γραφική παράσταση της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας της κατανομής Erlang για διάφορες τιμές της παραμέτρου l	56
Σχήμα 4.7 Γραφική παράσταση της αθροιστικής συνάρτησης κατανομής πιθανότητας της κατανομής Erlang για διάφορες τιμές της παραμέτρου l	57
Σχήμα 4.8 Γραφική παράσταση της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας της κατανομής Poisson του ρυθμού εμφάνισης λ	58
Σχήμα 4.9 Χρονική διάρκεια κανονικής λειτουργίας για τον κλάδο E1 το έτος 2006	67
Σχήμα 4.10 Χρονική διάρκεια μη λειτουργίας για τον κλάδο E1 το έτος 2006.....	68
Σχήμα 4.11 Χρονική διάρκεια αναμονών για τον κλάδο E1 το έτος 2006	68

Σχήμα 4.12 Διασπορά και σωρευτική κατανομή της κανονικής κατάστασης λειτουργίας του κλάδου E1 για το έτος 2006.....	68
Σχήμα 4.13 Διασπορά και σωρευτική κατανομή της μη λειτουργίας του κλάδου E1 για το έτος 2006	69
Σχήμα 4.14 Διασπορά και σωρευτική κατανομή αναμονής του κλάδου E1 για το έτος 2006	69
Σχήμα 4.15 Χρονική διάρκεια σε λεπτά των καταστάσεων λειτουργίας για τους κλάδους του ορυχείου το έτος 2006.....	70
Σχήμα 4.16 Αριθμός καταγραφών των καταστάσεων λειτουργίας για του κλάδους του ορυχείου το έτος 2006	70
Σχήμα 4.17 Ποσοστό των καταστάσεων λειτουργίας κάθε κλάδου με βάση των αριθμό των καταγραφών για το έτος 2006	71
Σχήμα 6.1 Κεντρική εικόνα του μοντέλου του Ορυχείου Καρδιάς.....	76
Σχήμα 6.2 Υπομοντέλα που συγκροτούν το κυρίως μοντέλο	77
Σχήμα 6.3 Υπομοντέλο ενεργοποίησης των κλάδων λιγνίτη και στείρου υλικού	78
Σχήμα 6.4 Υπομοντέλο ενεργοποίησης του κλάδου E2.....	79
Σχήμα 6.5 Υπομοντέλο ελέγχου της κίνησης του καδοφόρου εκσκαφέα E2	80
Σχήμα 6.6 Υπομοντέλο ελέγχου της παραγωγής του κλάδου E2.....	81
Σχήμα 6.7 Υπομοντέλο για την διαχείριση της αλλαγής του κόμβου.....	82
Σχήμα 6.8 Υπομοντέλο ελέγχου για μεταφορά στον κόμβο	83
Σχήμα 6.9 Υπομοντέλο για την πραγματοποίηση ελέγχων εξόδου από τον κόμβο.....	83
Σχήμα 6.10 Υπομοντέλο για την τελική μεταφορά των οντοτήτων.....	84
Σχήμα 6.11 Υπομοντέλο για την ετήσια συντήρηση των καδοφόρων εκσκαφέων	85
Σχήμα 6.12 Υπομοντέλο μετακίνησης των καδοφόρων εκσκαφέων	86
Σχήμα 6.13 Υπομοντέλο ελέγχου λειτουργίας του κόμβου για τον κλάδο E2.....	87
Σχήμα 6.14 Υπομοντέλο ελέγχου του ταινιοδρόμου A1.....	87
Σχήμα 6.15 Υπομοντέλο ελέγχου του ταινιοδρόμου K.....	88

Σχήμα 6.16 Υπομοντέλο ελέγχου του ταινιοδρόμου E2	89
Σχήμα 6.17 Υπομοντέλο για την καταγραφή των τελικών στατιστικών	90
Σχήμα 7.1 Καταστάσεις λειτουργίας του καδοφόρου εκσκαφέα E3 για όλες τις επαναλήψεις.....	92
Σχήμα 7.2 Πραγματική και προσομοιωμένη κατάσταση λειτουργίας του καδοφόρου εκσκαφέα E3.....	92
Σχήμα 7.3 Χρονοδιάγραμμα του ρυθμού μεταφοράς λιγνίτη και στείρου υλικού κατά την 2η επανάληψη και την χρονική περίοδο Αυγούστου – Δεκεμβρίου	94
Σχήμα 7.4 Ρυθμός μεταφοράς εξορυγμένου υλικού στην πρώτη εκτέλεση του μοντέλου .	94

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2.1 Πολυστρωματικό κοίτασμα λιγνίτη	27
Εικόνα 4.1 Μορφή βάσης δεδομένων για το έτος λειτουργίας 2006	61
Εικόνα 4.2 Επεξεργασία δεδομένων που αφορούν τον κλάδο E1 για το έτος 2006	62
Εικόνα 5.1 Λίστα δεδομένων μεταβλητών	73

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1 Ενεργειακές μονάδες του Λιγνιτικού Κέντρου Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου (πηγή: ΔΕΗ Α.Ε., 2013)	29
Πίνακας 4.1 Διάρκεια κρατήσεων για αργίες και απεργίες του έτους 2006	66
Πίνακας 4.2 Η ανάλυση των δεδομένων για τις καταστάσεις λειτουργίας του κλάδου Ε1	67
Πίνακας 7.1 Παραγωγή υλικού των κλάδους Ε1 – Ε6.....	93

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε, σύμφωνα με το πρόγραμμα σπουδών της Σχολής, στο πλαίσιο του μαθήματος του 8^{ου} εξαμήνου «Συστήματα Φόρτωσης – Μεταφοράς σε Τεχνικά Έργα και Μεταλλεία». Η συγγραφή της ξεκίνησε τον Απρίλιο του 2013 και ολοκληρώθηκε τον Οκτώβριο του ίδιου έτους. Ωστόσο η παρουσίασή της προγραμματίστηκε ένα χρόνο αργότερα για το Σεπτέμβριο του 2014, καθώς μεσολάβησε η ολοκλήρωση των στρατιωτικών μου υποχρεώσεων.

Η ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας σημαίνει το τέλος της φοίτησής μου στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, στη Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών, κάτι που με κάνει να νιώθω περήφανος και τυχερός που σπούδασα σε ένα από τα ιστορικότερα και σπουδαιότερα τεχνολογικά ιδρύματα της χώρας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα Επίκουρο Καθηγητή Ε.Μ.Π. Θεόδωρο Μιχαλακόπουλο για την αμέριστη βοήθεια, τις διορθώσεις και την γενικότερη καθοδήγηση που παρείχε σε όλη την ακαδημαϊκή μου πορεία. Επίσης, οφείλω να ευχαριστήσω τον Δρ. Χ. Ρούμπο, Τομεάρχη Σχεδιασμού και Μελετών Ορυχείων της ΔΕΗ Α.Ε. και υπό διορισμό Επίκουρο Καθηγητή στο Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης, για την παραχώρηση των δεδομένων από το Ορυχείο Καρδιάς της ΔΕΗ Α.Ε. που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή την εργασία.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την καθοδήγηση, τις συμβουλές τους και την υλική και πνευματική υποστήριξη που μου προσφέρουν όλα αυτά τα χρόνια. Ακόμη θέλω να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου στους κοντινούς φίλους και συμφοιτητές για τα όμορφα και δημιουργικά φοιτητικά χρόνια που πέρασα.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2014.

Ανάργυρος Μάλαμας

Περίληψη

Η εκμετάλλευση των λιγνιτικών κοιτασμάτων της Ελλάδας επιτυγχάνεται, κατά κανόνα, με τη χρήση συνεχών συστημάτων εξόρυξης, μεταφοράς και απόθεσης, τα οποία συνίστανται από καδοφόρους εκσκαφείς, ταινιόδρομους και αποθέτες (Γερμανική Μέθοδος). Η γεωλογία αυτών των κοιτασμάτων επιβάλλει την εφαρμογή εκλεκτικής εξόρυξης, αφού η μορφολογία του κοιτάσματος χαρακτηρίζεται από συνεχείς εναλλαγές λιγνιτικών και στείρων (αργιλικών, μαργαϊκών, αμμούχων σχηματισμών) ενστρώσεων. Η λειτουργία ενός ορυχείου χαρακτηρίζεται από πολυπλοκότητα και έχει στοχαστικό χαρακτήρα, εξαιτίας των συχνών αλλαγών του εξορυσσόμενου υλικού και των κρατήσεων που προκύπτουν στον μηχανολογικό εξοπλισμό. Με βάση τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι η ρεαλιστική προσομοίωση τέτοιων μεταλλευτικών συστημάτων αποτελεί ισχυρό εργαλείο επιχειρησιακής έρευνας, καθώς δίνεται η δυνατότητα για εκτιμήσεις στο τομέα της παραγωγής, τη διαθεσιμότητα του εξοπλισμού και τη διακίνηση του εξορυγμένου υλικού.

Η παρούσα διπλωματική εργασία στοχεύει στην όσο γίνεται ρεαλιστικότερη προσομοίωση του συστήματος εξόρυξης – φόρτωσης και μεταφοράς του Ορυχείου Καρδιάς της ΔΕΗ Α.Ε. Η αξιοπιστία και η ρεαλιστικότητα του μοντέλου αξιολογήθηκαν από την μελέτη και τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων που προέκυψαν μετά την εκτέλεση δέκα επαναλήψεων.

Αρχικά γίνεται μία αναφορά στον τρόπο εκμετάλλευσης λιγνιτικών κοιτασμάτων, στον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται, καθώς και γενικές πληροφορίες που αφορούν τις λιγνιτικές εκμεταλλεύσεις της ΔΕΗ Α.Ε. Στη συνέχεια αναπτύσσονται βασικές έννοιες της προσομοίωσης και διαδικασίες προσδιορισμού των κατανομών τυχαίων μεταβλητών εισαγωγής (input modeling). Τέλος παρουσιάζεται το μοντέλο προσομοίωσης του ορυχείου που αναπτύχθηκε και ακολουθεί η επεξεργασία και ερμηνεία των αποτελεσμάτων της μελέτης.

Η μοντελοποίηση του Ορυχείου Καρδιάς, πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο προσομοίωσης διακριτών γεγονότων στο λογισμικό Arena Simulation της Rockwell Automation. Τα δεδομένα εισόδου προέκυψαν από την επεξεργασία των διαθέσιμων καταγραφών και κρατήσεων του εξοπλισμού, από την πραγματική λειτουργία του ορυχείου για το έτος 2006.

Abstract

The exploitation of lignite deposits in Greece is normally accomplished through continuous excavation, transportation and deposition systems which consist of bucket wheel excavators (BWE), belt conveyors (BC) and stackers. The geology of the Greek lignite deposits imposes the selective mining method, since the stratigraphy ore is characterized by constant changes of lignite and sterile (clay, marl, sandy formations) layers. The operation of a mine is characterized by complexity and stochastic character due to the frequent changes of the material being excavated and the breakdowns of the mechanical equipment. Based on the aforementioned, it is understood that the realistic simulation of such mining systems is a powerful operational research tool, as useful estimations are made possible regarding the production, the equipment availability and the transportation of the excavated material.

The present diploma thesis aims at a simulation, as realistic as possible, of the excavation-loading and transportation system of the Kardias Mine operated by the Public Power Corporation S.A. (PPC S.A.). In order to evaluate the reliability of the model, the data acquired by ten distinct runs were studied and statistically analyzed.

Firstly, the exploitation method of the lignite deposits and the equipment used are reported as well as some general information concerning the lignite extraction in PPC S.A. Moreover, some key concepts for the simulation are presented along with the procedures used to determine the distribution of imported random variables (input modeling). Finally, the model developed for the simulation of the mine is shown together with the processing of the results and discussion of the conclusions of the study.

The software used for the modeling and simulation of the Kardias Mine is the Arena Simulation, a product of Rockwell Automation and is based on the discrete - event method. The input data were obtained by processing available records and the availability of equipment during the actual operation of the mine in 2006.

1. Εισαγωγή

1.1. Προσομοίωση και μεταλλευτική βιομηχανία

Οι εξορυκτικές δραστηριότητες χαρακτηρίζονται από τη μεγάλη κλίμακά τους, την μακροχρόνια διάρκειά τους και το υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης. Μία επιπλέον δυσκολία που πρέπει να αντιμετωπιστεί σε όλες τις εξορυκτικές δραστηριότητες, αποτελεί η γεωλογική ανομοιογένεια που εμφανίζεται στα κοιτάσματα μεταλλικών και ενεργειακών ορυκτών. Η επιτυχημένη προσομοίωση ενός μεταλλευτικού συστήματος μπορεί να υποβοηθήσει σε μεγάλο βαθμό τη λήψη αποφάσεων υπό ρίσκο και να εμφανίσει στοιχεία που αφορούν στη παραγωγή του ορυχείου/μεταλλείου, στη διαθεσιμότητα του εξοπλισμού και στον εντοπισμό πιθανών καθυστερήσεων στο σύστημα. Επιπλέον, παρέχεται η δυνατότητα εναλλακτικών σχεδιασμών κατά τη διάρκεια μιας εξορυκτικής δραστηριότητας ή μπορεί να μελετηθεί λεπτομερώς στη φάση του σχεδιασμού της.

1.2. Στόχοι της παρούσας εργασίας

Τα συνεχή συστήματα εξόρυξης είναι ιδιαίτερα διαδεδομένα στην Ευρώπη για την εκμετάλλευση λιγνιτικών κοιτασμάτων. Τα συστήματα αυτά αποτελούνται από καδοφόρους εκσκαφείς, μεταφορικές ταινίες και αποθέτες που η συνεργασία τους αποτελεί ένα συνεχές δίκτυο εξόρυξης, μεταφοράς και απόθεσης του υλικού.

Εξαιτίας της εν σειρά λειτουργίας των μονάδων σε αυτά τα συστήματα, το ύψος της παραγωγής επηρεάζεται άμεσα από την αξιοπιστία των επί μέρους μονάδων. Η μειωμένη παραγωγική ικανότητα ή η αδυναμία του συστήματος για επαρκή διαχείριση του εξορυγμένου υλικού, χαρακτηρίζει το σχεδιασμό του συστήματος ανεπαρκή. Αντίστοιχα, αν έχει γίνει υπερεκτίμηση του μεγέθους της εκμετάλλευσης, το αρχικό κόστος επένδυσης και το κόστος λειτουργίας θα είναι υψηλότερο από αυτό που χρειάζεται.

Η κατανομή της διακίνησης του υλικού, οι κρατήσεις του εξοπλισμού, ο όγκος του εξορυγμένου υλικού, η συχνότητα άφιξης του υλικού στα σημεία μεταφοράς και στον κόμβο, αποτελούν στοχαστικά μεγέθη με αποτέλεσμα η μέθοδος της προσομοίωσης να ανταποκρίνεται κατάλληλα στο σχεδιασμό συνεχών συστημάτων εξόρυξης.

Η προσομοίωση μεταλλευτικών συστημάτων πραγματοποιείται με μοντέλα διακριτών γεγονότων. Στην περίπτωση αυτή η κατάσταση του μοντέλου αλλάζει μόνο σε χρονικές

στιγμές, πιθανόν τυχαίες, που εμφανίζονται γεγονότα που επηρεάζουν το σύστημα (event times).

Στη παρούσα διπλωματική εργασία, προσομοιώνεται μέσω μίας στοχαστικής προσέγγισης, ένα συνεχές σύστημα εκμετάλλευσης ενός πολυστρωματικού κοιτάσματος λιγνίτη, που αποτελείται από έξι καδοφόρους εκσκαφείς τριών τύπων, τρεις αποθέτες και περίπου 40 km ταινιοδρόμων. Τα πολυστρωματικά κοιτάσματα λιγνίτη συναντούνται συχνά στον ελλαδικό χώρο και παραμένουν η κύρια πηγή ενέργειας παρέχοντας το 48% της ηλεκτρικής ενέργειας. Εξαιτίας της κοιτασματολογίας του λιγνίτη, που χαρακτηρίζεται από εναλλαγές στρωμάτων χρήσιμου και στείρου υλικού, κρίνεται απαραίτητη η εκλεκτική εξόρυξη με καδοφόρους εκσκαφείς.

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε κατά την προσομοίωση είναι το Arena Simulation της Rockwell Automation. Η καταγραφή δεδομένων που αφορά στη γεωλογία του λιγνιτικού κοιτάσματος, στο σχεδιασμό του ορυχείου, στις καταστάσεις λειτουργίας του μηχανολογικού εξοπλισμού και στο μέγεθος της παραγωγής διαμόρφωσαν τη βάση για τη μοντελοποίηση ενός συστήματος διακριτών γεγονότων. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν μετά την εκτέλεση της προσομοίωσης είναι η κατανομή της διακίνησης του υλικού στα σημεία μεταφοράς και απόθεσης, η ποσότητα του εξορυγμένου υλικού, η διαθεσιμότητα του εξοπλισμού κ.α.

1.3. Δομή εργασίας

Η εργασία συγκροτείται από 7 κεφάλαια, των οποίων το περιεχόμενο παρουσιάζεται συνοπτικά παρακάτω:

Κεφάλαιο 1: Είναι το παρόν κεφάλαιο και η εισαγωγή στο θέμα της εργασίας

Κεφάλαιο 2: Αναφέρεται η μέθοδος εκμετάλλευσης λιγνιτικών κοιτασμάτων και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται. Επίσης, γίνεται αναφορά στη λειτουργία της ΔΕΗ Α.Ε., στο λιγνιτικό Κέντρο Δυτικής Μακεδονίας και στην κοιτασματολογία του λιγνίτη.

Κεφάλαιο 3: Παρουσιάζονται πληροφορίες για την προσομοίωση συστημάτων και τους τύπους των μοντέλων που υπάρχουν καθώς και γενικές έννοιες στοιχείων που δημιουργούν το μοντέλο προσομοίωσης. Στη συνέχεια γίνεται λεπτομερέστερη αναφορά στην προσομοίωση μεταλλευτικών συστημάτων.

Κεφάλαιο 4: Αρχικά αναφέρονται βασικές έννοιες σχετικές με τη Στατιστική και ιδιαίτερα με τις συναρτήσεις κατανομών πιθανοτήτων. Στη συνέχεια περιγράφεται η μεθοδολογία

διαμόρφωσης κατανομών πιθανοτήτων για τη μοντελοποίηση των τυχαίων μεταβλητών εισόδου (input modeling) του Ορυχείου Καρδιάς και η στατιστική ανάλυση των καταστάσεων όλων των κλάδων που υλοποιείται για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του μοντέλου προσομοίωσης.

Κεφάλαιο 5: Περιγράφεται η δομή και οι βασικές λειτουργίες του λογισμικού προγράμματος Arena Simulation, που χρησιμοποιήθηκε κατά την προσομοίωση του συστήματος που μελετάται.

Κεφάλαιο 6: Περιγράφεται η δομή και η λειτουργία του μοντέλου προσομοίωσης που αναπτύχθηκε.

Κεφάλαιο 7: Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης.

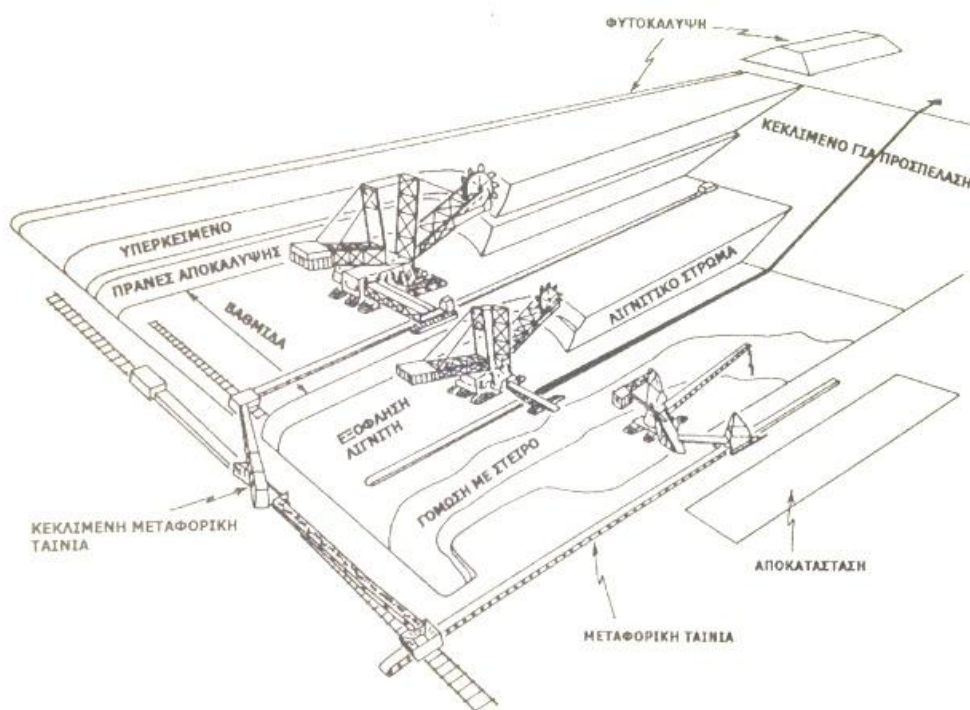
Κεφάλαιο 8: Παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας.

2. Εκμετάλλευση λιγνιτικών κοιτασμάτων

2.1. Μέθοδος εκμετάλλευσης λιγνιτών

Ανάλογα με τα μηχανικά και γεωλογικά χαρακτηριστικά ενός κοιτάσματος πραγματοποιείται και η επιλογή της μεθόδου εκμετάλλευσης, με σκοπό την μέγιστη απόδοση παραγωγής σε συνδυασμό με την οικονομικότητα και την ασφάλεια του έργου.

Στην περίπτωση της εκμετάλλευσης λιγνιτών εφαρμόζεται κατά κανόνα η επιφανειακή μέθοδος με συστήματα πολλών βαθμίδων. Τα λιγνιτικά κοιτάσματα τις περισσότερες φορές εμφανίζονται με μεγάλη οριζόντια εξάπλωση, σε σχετικά μεγάλο βάθος. Επιπλέον, ένα χαρακτηριστικό αυτών των κοιτασμάτων, που καθιστά την συγκεκριμένη μέθοδο εκμετάλλευσης απαραίτητη, είναι ότι η πολυστρωματική δομή τους με το χρήσιμο υλικό και τα στείρα να εναλλάσσονται με μεγάλα σχετικά πάχη.



Σχήμα 2.1 Επιφανειακή εκμετάλλευση με βαθμίδες για κοιτάσματα μεγάλης οριζόντιας εξάπλωσης (πηγή: Ν. Τερεζόπουλος, 2003)

Η μέθοδος εκμετάλλευσης με συστήματα πολλαπλών βαθμίδων (terrace mining) εφαρμόζεται τόσο σε ορυχεία παραγωγής λιγνίτη στην Ευρώπη, την Ασία, την Αυστραλία, την Βόρεια Αμερική, όσο και στην Ελλάδα ως η καταλληλότερη μέθοδος, η οποία χαρακτηρίζεται από ένα συνεχές σύστημα λειτουργίας, ή αλλιώς «γερμανικό»,

αποτελούμενο από ηλεκτροκίνητους καδοφόρους εκσκαφείς (bucket wheel excavators - BWE), ταινιοδρόμους (belt conveyors - BC) και αποθέτες (stackers).

Οι κύριες συνθήκες που χαρακτηρίζουν την συγκεκριμένη μέθοδο είναι οι εξής:

- Ομαλές κλίσεις στα δάπεδα των ορυχείων (έως 4%)
- Υδρογεωλογικά προβλήματα που ενδέχεται να προκύψουν εξαιτίας της ύπαρξης υδροφόρου ορίζοντα
- Γεωλογικά προβλήματα κατά τη φάση εκμετάλλευσης και αποκατάστασης εάν δεν δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στις κλίσεις των πρανών
- Μεγάλος όγκος εξωτερικών αποθέσεων και αποκατεστημένων περιοχών

Στον ελλαδικό χώρο, ένας σημαντικός παράγοντας κατά την έναρξη τέτοιων εκμεταλλεύσεων είναι η διασφάλιση μεγάλων οικονομικών κλίμακας, εξαιτίας της χαμηλής απόδοσης της καύσιμης ύλης σε συνδυασμό με την οικονομική βιωσιμότητα του ορυχείου.

Η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ Α.Ε.) έχει αναλάβει την εκμετάλλευση των λιγνιτικών κοιτασμάτων στην Ελλάδα, χρησιμοποιώντας σχεδόν αποκλειστικά την επιφανειακή εκμετάλλευση με βαθμίδες για κοιτάσματα μεγάλης οριζόντιας εξάπλωσης.

2.2. Βασικός μηχανολογικός εξοπλισμός – Κύριες φάσεις εκμετάλλευσης

Όπως σε κάθε μεταλλευτικό σύστημα έτσι και στη συγκεκριμένη μέθοδο εντοπίζονται οι κύριες φάσεις του κύκλου εξόρυξης, οι οποίες είναι η εκσκαφή, η φόρτωση και η μεταφορά. Οι φάσεις αυτές πραγματοποιούνται από τον καδοφόρο εκσκαφέα και τους ταινιοδρόμους οι οποίοι είναι απαραίτητο να συνεργαστούν και με τον αντίστοιχο εξοπλισμό της απόθεσης, δηλαδή τους αποθέτες.

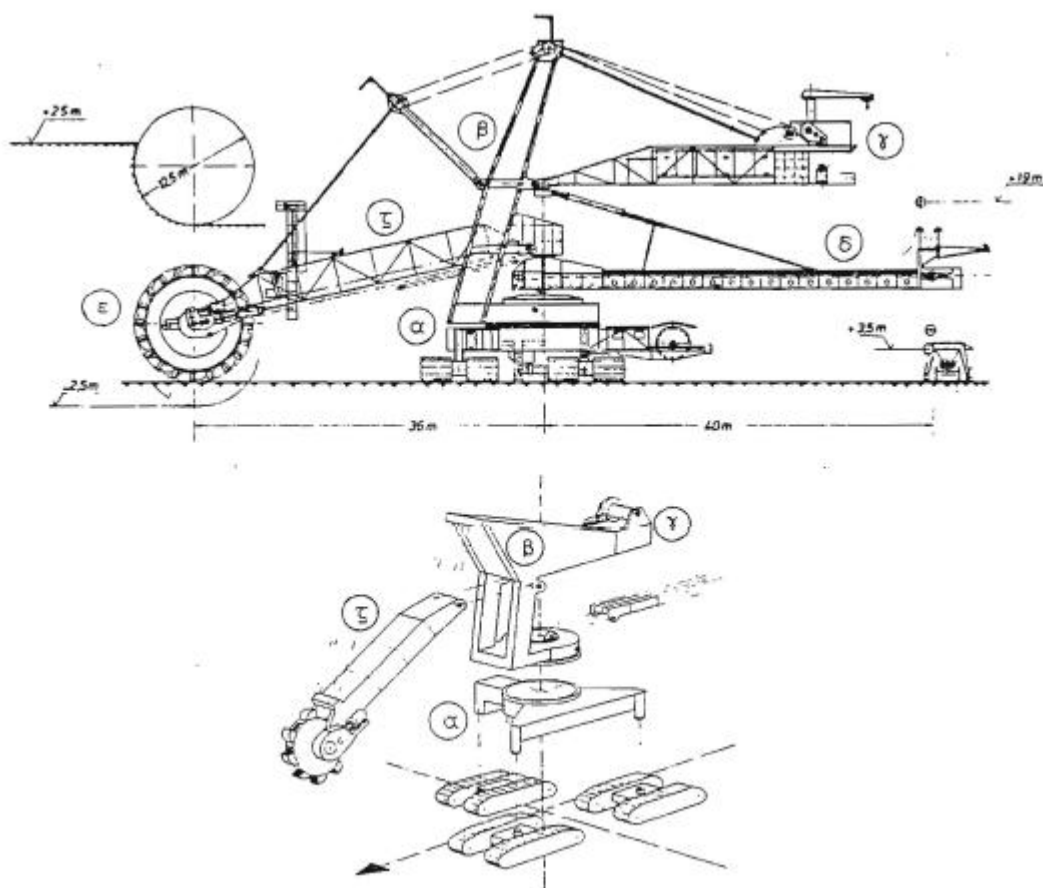
Κατά την εφαρμογή της μεθόδου δημιουργείται η τάφρος εκμεταλλεύσεως που ορίζεται από τη θέση του κοιτάσματος και σε αυτήν αναπτύσσονται τα συστήματα εκσκαφής, φόρτωσης και απόθεσης τα οποία κινούνται και λειτουργούν επάνω σε ένα σύστημα βαθμίδων, οι οποίες ονομάζονται τομές.

2.2.1. Εκσκαφή – Ο καδοφόρος εκσκαφέας

Το βασικό μηχάνημα για την εξόρυξη λιγνίτη και άγονων υλικών στη μέθοδο εκμετάλλευσης με σύστημα πολλαπλών βαθμίδων, είναι ο καδοφόρος εκσκαφέας (BWE)

Το κύριο χαρακτηριστικό του καδοφόρου εκσκαφέα, το οποίο τον κάνει ιδανικό για χρήση σε συνεχή συστήματα εκμετάλλευσης, είναι η δυνατότητα ταυτόχρονης εκτέλεσης των τριών βασικών φάσεων της εξόρυξης.

Για να είναι σε θέση ο καδοφόρος εκσκαφέας να πραγματοποιήσει τη φάση της εκσκαφής του πετρώματος, της φόρτωσής του και τέλος της απόθεσης ή της μεταφοράς του σε άλλο μέσο αποκομιδής, ακολουθεί τη διάταξη του Σχήματος 2.2.



Σχήμα 2.2 Τα μέρη του καδοφόρου εκσκαφέα (πηγή: Γ. Παναγιώτου, 1990)

Τα μέρη της παραπάνω διάταξης είναι τα εξής:

- (α) Υποδομή: Ονομάζεται το κατώτερο τμήμα του καδοφόρου εκσκαφέα που αποτελείται από έναν τριγωνικό φορέα και το σύστημα πορείας και διεύθυνσης. Ο τριγωνικός φορέας στηρίζει τις τρεις κορυφές του επάνω στις ομάδες ερπυστριών που παρέχουν την δυνατότητα κίνησης του μηχανήματος ανάλογα με το δάπεδο πορείας, ενώ εντός αυτού βρίσκεται μέρος της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης του καδοφόρου εκσκαφέα και το σύστημα λίπανσης της υποδομής. Στο πάνω μέρος του τριγωνικού φορέα εδράζεται η σφαιροθήκη του τριβέα της περιφερόμενης

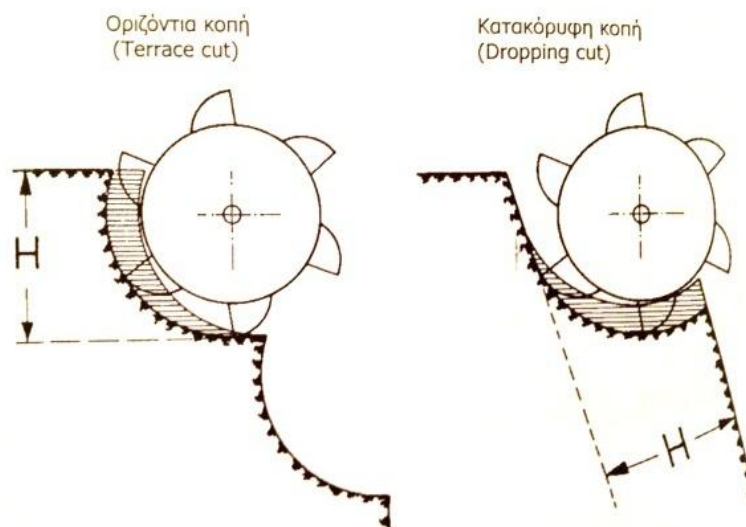
ανωδομής και ο οδοντωτός τροχός για την περιφορά της ανωδομής. (Γ. Παναγιώτου,1990)

- (β, γ) Περιφερόμενη ανωδομή: Αποτελείται από την πλατφόρμα, στην οποία στηρίζεται ο βραχίονας απόθεσης/φόρτωσης και η ενδιάμεση μεταφορική ταινία, και από τον πύργο όπου στηρίζεται ο βραχίονας καδοτροχού, τα αντίβαρα, το βαρούλκο του βραχίονα καδοτροχού, ο μετασχηματιστής ισχύος, οι ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις και ο ιστός. Η κίνηση της ανωδομής πραγματοποιείται με τη βοήθεια ηλεκτροκινητήρα-μειωτήρα.
- (δ) Βραχίονας απόθεσης/φόρτωσης: Είναι δικτύωμα χαλύβδινων δοκών όπου στο επάνω μέρος τους φέρουν ταινία φορτώσεως και τον μηχανισμό κίνησής της, έτσι ώστε να οδηγείται το εξορυγμένο υλικό σε ταινιόδρομο ή άλλο σύστημα μεταφοράς.
- (ε) Καδοτροχός: Αποτελείται από το κυρίως σώμα, το οποίο κινείται από σύστημα ηλεκτροκινητήρων-μειωτήρων, ενώ περιφερειακά του καδοτροχού υπάρχουν οι κάδοι που πραγματοποιούν την εξόρυξη του πετρώματος και οι προκοπήρες αν κριθούν απαραίτητοι για τη χαλάρωση σκληρών σχηματισμών. Κατά την εκκένωση των κάδων το υλικό περνάει στη μεταφορική ταινία του βραχίονα καδοτροχού.
- (ζ) Βραχίονας καδοτροχού: Είναι δικτύωμα χαλύβδινων δοκών, σταθερού ή μεταβλητού μήκους, κατά μήκος των οποίων βρίσκεται μεταφορική ταινία που καταλήγει στο κέντρο περιφοράς της ανωδομής.

2.2.1.1. Μέθοδοι κοπής με καδοφόρο εκσκαφέα

Το ύψος κοπής πρέπει να είναι μεγαλύτερο από μία ελάχιστη τιμή, που κυμαίνεται από 0,5 έως 0,7 της διαμέτρου του καδοτροχού. Υπό αυτές τις συνθήκες η εξόρυξη του καδοφόρου εκσκαφέα μπορεί να χαρακτηριστεί ως αποδοτική.

Η οριζόντια κοπή (terrace cut) και η κατακόρυφη κοπή, όπως φαίνονται στο Σχήμα 2.3, είναι οι μέθοδοι κοπής κατά την εκσκαφή με χρήση καδοφόρου εκσκαφέα.



Σχήμα 2.3 Μέθοδοι κοπής (πηγή: Ν. Τερεζόπουλος, 2003)

Ο καδοφόρος εκσκαφέας παρέχει τη δυνατότητα εκλεκτικής εξόρυξης, με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του (διάμετρος καδοτροχού, βάθος κοπής) και τα χαρακτηριστικά του κοιτάσματος να καθορίζουν τα όρια στα οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί εξόρυξη.

Στην περίπτωση που η εξόρυξη έχει σκοπό την εκμετάλλευση λιγνιτικών πολυστρωματικών κοιτασμάτων, όπου εναλλάσσονται στρώματα στείρου υλικού και λιγνίτη, η εκλεκτική εξόρυξη που προσφέρουν αυτού του τύπου τα μηχανήματα αποτελεί χαρακτηριστικό πλεονέκτημά τους.

Στον ελλαδικό χώρο τα κοιτάσματα λιγνίτη, είναι πολυστρωματικά και αποτελούνται από στρώματα λιγνίτη διαφόρων παχών όπου ανάμεσά τους παρεμβάλλονται στρώματα στείρων υλικών (αμμώδη και αργιλώδη). Η γεωλογία αυτή καθιστά την εκλεκτική εξόρυξη με καδοφόρους εκσκαφείς ως την καταλληλότερη μέθοδο εκμετάλλευσης.

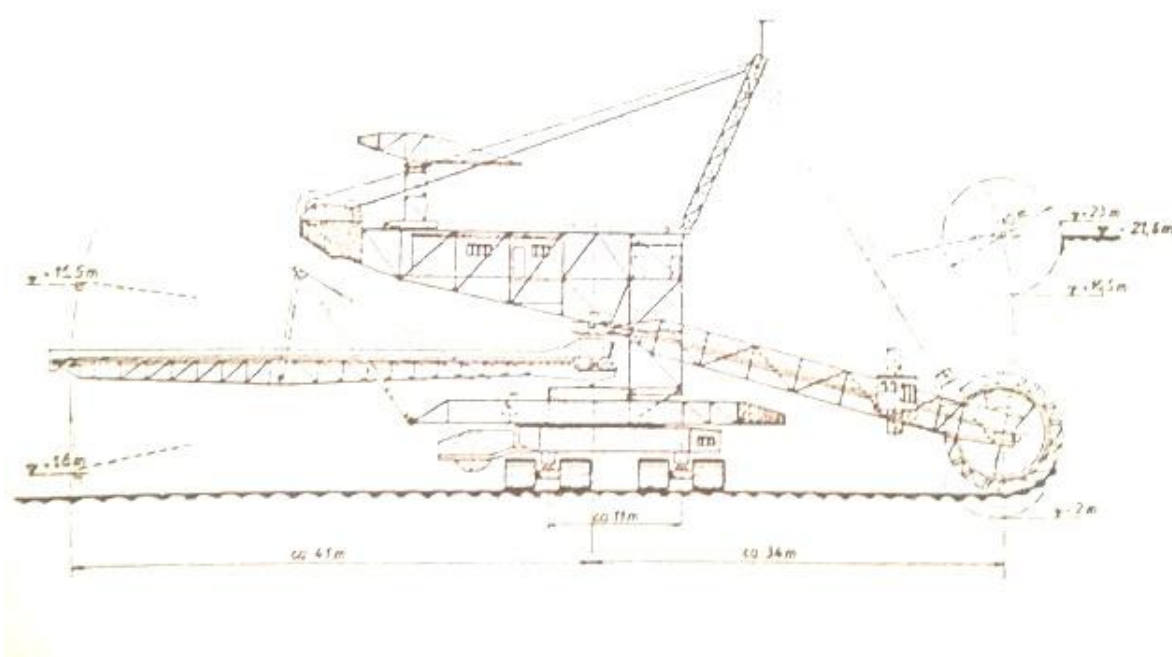
Ένα συνεχές σύστημα εκμετάλλευσης (καδοφόροι εκσκαφείς, ταινιόδρομοι, αποθέτες) έχει αποδειχθεί αξιόπιστο και επιτυχημένο τόσο για οικονομικούς, όσο και για λειτουργικούς λόγους. Ωστόσο, λόγω των συχνών εναλλαγών στείρων και λιγνίτη, παρατηρείται πολλές φορές το φαινόμενο λεπτά στρώματα λιγνίτη να παρεμβάλλονται μεταξύ παχύτερων στρωμάτων στείρων και αντίστροφα. Το ελάχιστο πάχος εξόρυξης είναι περίπου 10cm και καθορίζεται από τη γεωμετρία του καδοτροχού και των κάδων. Στις περιπτώσεις όπου το πάχος του λιγνίτη είναι μικρότερο από το ελάχιστο πάχος εξόρυξης, δεν είναι δυνατή η απόληψη του λιγνίτη και έχουμε απώλεια, δηλαδή ο λιγνίτης εξορύσσεται ως στέιρο (loss of lignite). Αντίστροφα, αν το πάχος του στείρου υλικού είναι μικρότερο από το ελάχιστο

πάχος κοπής δεν είναι δυνατή η εκλεκτική εξόρυξη και έχουμε επιμόλυνση του λιγνίτη (dilution of lignite).

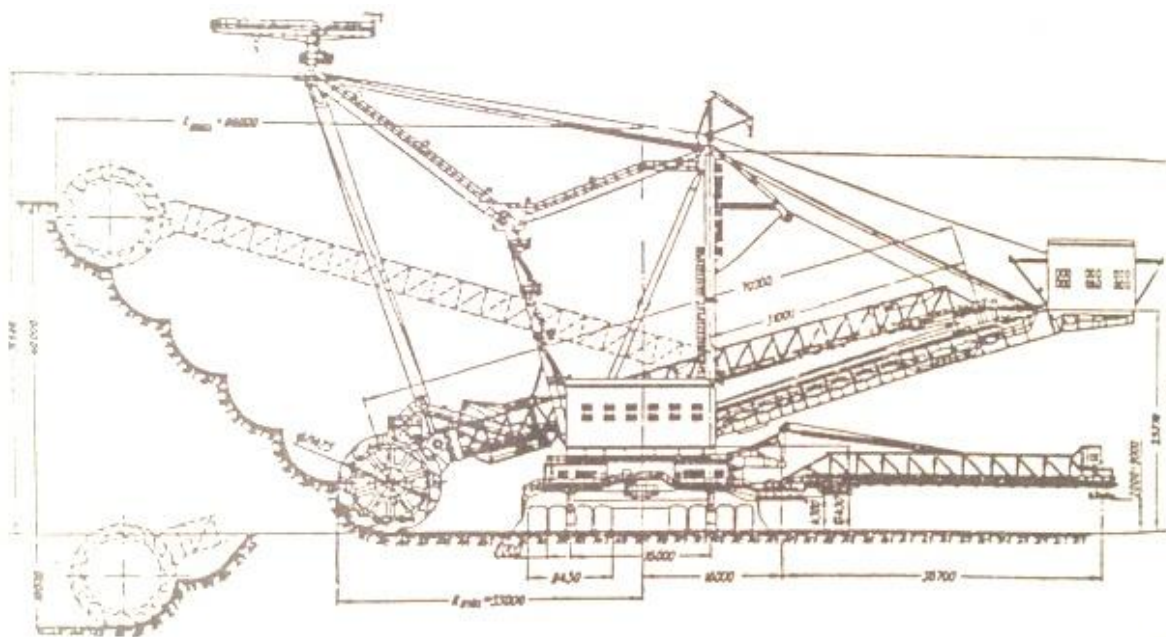
2.2.1.2. Μέθοδοι εξόρυξης με καδοφόρο εκσκαφέα

Για την επιλογή της μεθόδου εξόρυξης με τη χρήση καδοφόρου εκσκαφέα, το κριτήριο που συμβάλλει καθοριστικά στην τελική απόφαση είναι το μεταβλητό ή όχι μήκος του βραχίονα καδοτροχού. Έτσι οι δύο τύποι καδοφόρων εκσκαφών, που απεικονίζονται στα Σχήματα 2.4 και 2.5, προκύπτουν σύμφωνα με τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά τους και είναι οι εξής:

- Καδοφόρος εκσκαφέας με βραχίονα καδοτροχού σταθερού μήκους
- Καδοφόρος εκσκαφέας με βραχίονα καδοτροχού μεταβλητού μήκους



Σχήμα 2.4 Καδοφόρος εκσκαφέας με βραχίονα καδοτροχού σταθερού μήκους (πηγή: Γ. Παναγιώτου, 1990)



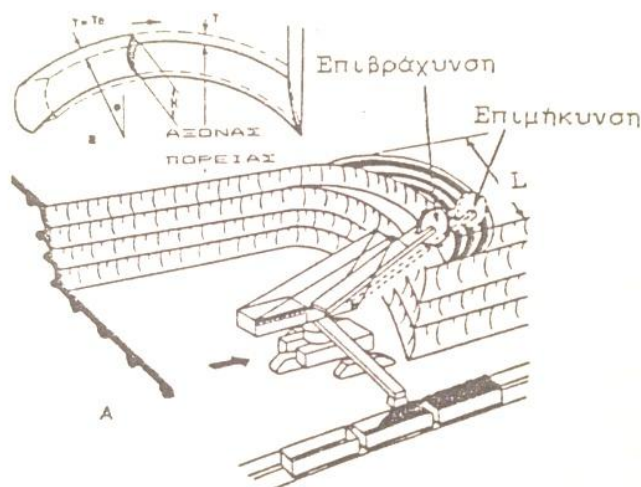
Σχήμα 2.5 Καδοφόρος εκσκαφέας με βραχίονα καδοτροχού μεταβλητού μήκους (πηγή: Γ. Παναγιώτου, 1990)

Σήμερα στις περισσότερες εκμεταλλεύσεις χρησιμοποιούνται κατά κανόνα καδοφόροι εκσκαφείς με βραχίονα καδοτροχού σταθερού μήκους καθώς κατέχουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα συγκριτικά με τους καδοφόρους εκσκαφείς με βραχίονα μεταβλητού μήκους:

- Απλούστερος σχεδιασμός
- Απλούστερη κατασκευή
- Μικρότερο κόστος κατασκευής
- Απλούστερος χειρισμός
- Χαμηλότερο κόστος λειτουργίας κατά 10 – 35%

Με την επιλογή του τύπου του καδοφόρου εκσκαφέα καθορίζεται και η μέθοδος εξόρυξης. Στην περίπτωση που επιλεγεί καδοφόρος εκσκαφέας με βραχίονα μεταβλητού μήκους, ο καδοφόρος εκσκαφέας παραμένει ακίνητος μπροστά από το μέτωπο και ξεκινάει την εξόρυξη σε κοπές από πάνω προς τα κάτω, με το ύψος της κάθε κοπής να ισούται με 50-75% της διαμέτρου του καδοτροχού, εάν υπάρχει ενιαίο υλικό επαρκούς πάχους. Κατά τη συγκεκριμένη διαδικασία το μόνο μέρος του καδοφόρου εκσκαφέα που κινείται είναι αυτό του βραχίονα καδοτροχού, το οποίο σαρώνει το μέτωπο έχοντας σταθερό κέντρο

περιφοράς δημιουργώντας ομόκεντρες εντομές στο πέτρωμα, όπως απεικονίζεται και στο Σχήμα 2.6.



Σχήμα 2.6 Εξόρυξη με βραχίονα καδοτροχού μεταβλητού μήκους (πηγή: Γ. Παναγιώτου, 1990)

Εφόσον ολοκληρωθεί η εξόρυξη της ανώτερης κοπής η διαδικασία προχωράει με τον ίδιο τρόπο στη χαμηλότερη κοπή μέχρι το δάπεδο της βαθμίδας. Μετά την ολοκλήρωση της εξόρυξης του μετώπου ο καδοφόρος εκσκαφέας είναι σε θέση να κινηθεί κατά τη διεύθυνση προχωρήσεως του μετώπου ώστε να επαναληφθεί η μέθοδος εξόρυξης που αναφέρθηκε παραπάνω.

Στην περίπτωση όπου επιλέγονται καδοφόροι εκσκαφείς με βραχίονα καδοτροχού σταθερού μήκους οι μέθοδοι εξόρυξης είναι οι εξής:

- Εξόρυξη κατά μέτωπο
- Πλευρική εξόρυξη κατά μέτωπο
- Πλευρική εξόρυξη κατά στρώσεις
- Χαμηλή εξόρυξη

Βάση των παραπάνω μεθόδων εξόρυξης έχουν προκύψει και αρκετές παραλλαγές όπου διευκολύνουν και κάνουν πιο αποδοτική τη διαδικασία σε συγκεκριμένες εκμεταλλεύσεις. Για την επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου πρέπει να ληφθούν υπόψη ο τρόπος με τον οποίο ο καδοτροχός προσβάλλει το μέτωπο, η περιεκτικότητα σε χρήσιμο και άχρηστο υλικό, η απαιτούμενη δύναμη εκσκαφής στο συγκεκριμένο σχηματισμό κ.ά.

2.2.1.3. Παράμετροι λειτουργίας του καδοφόρου εκσκαφέα

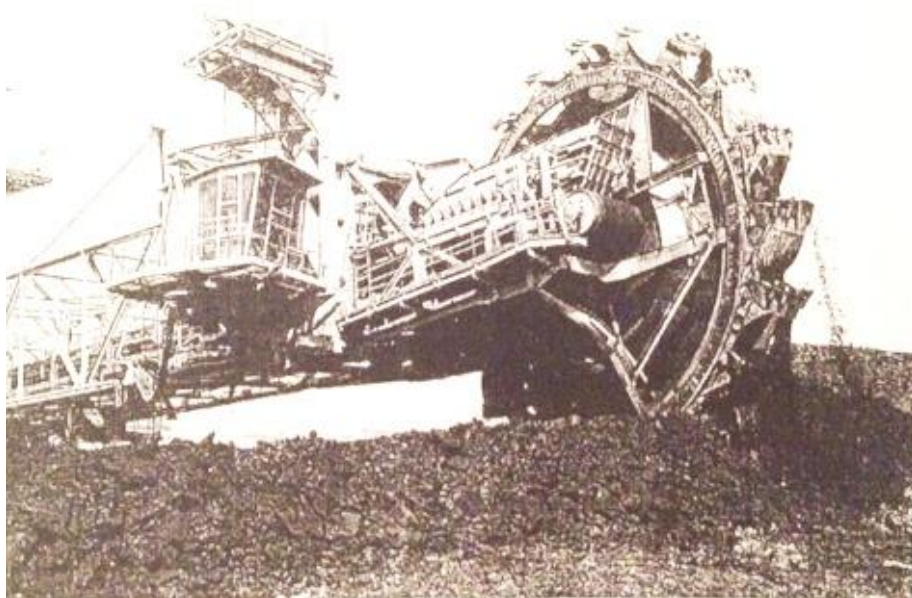
Οι παράμετροι λειτουργίας του καδοφόρου εκσκαφέα καθορίζουν την επίδοσή του (performance), την πλήρωση των κάδων με εξορυγμένο υλικό και την εκκένωση των κάδων. Κατά τη φάση της εξόρυξης οι κύριες παράμετροι λειτουργίας είναι η ταχύτητα κοπής του καδοτροχού και η ταχύτητα περιφοράς του βραχίονα του καδοτροχού.

Ως ταχύτητα κοπής του καδοτροχού ορίζεται η γραμμική ταχύτητα που αναπτύσσεται στην περιφέρεια του κύκλου κοπής του καδοτροχού και δε μπορεί να υπερβεί μια ορισμένη τιμή αφού περιορίζεται από τις εξής παραμέτρους:

- Οριακή ταχύτητα κοπής: Απαιτείται το βάρος του πετρώματος που βρίσκεται μέσα στον κάδο να είναι μεγαλύτερο από τη φυγόκεντρο δύναμη που αναπτύσσεται λόγω της περιστροφής του καδοτροχού, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται εκκένωση του κάδου και μεταφορά του υλικού στη μεταφορική ταινία με τη βοήθεια της βαρύτητας.
- Επιτεύξιμη ταχύτητα κοπής: Εκφράζεται ως ποσοστό της αντίστοιχης οριακής ταχύτητας κοπής και η μικρότερη τιμή που λαμβάνει καθορίζεται από τις ιδιότητες του προς εξόρυξη πετρώματος, τις ιδιότητες του εξορυγμένου πετρώματος, τις κατασκευαστικές ιδιαιτερότητες του καδοτροχού και των κάδων, τον τύπο της διάταξης εκκένωσης του καδοτροχού και τη γεωμετρία της εκσκαφής.

Η δεύτερη παράμετρος λειτουργίας, δηλαδή η ταχύτητα περιφοράς του βραχίονα καδοτροχού, αντιπροσωπεύει την ταχύτητα περιφοράς του βραχίονα καδοτροχού κατά μήκος του μετώπου από τη μία άκρη στην άλλη. Το ετήσιο συνολικό μήκος που διανύει το κέντρο του καδοτροχού κυμαίνεται από 3600 έως 5000 km, ανάλογα με το μήκος του βραχίονα καδοτροχού.

Στην εικόνα του Σχήματος 2.7 φαίνεται καθαρά η εκσκαφή που εκτελείται με την περιστροφή του καδοτροχού.



Σχήμα 2.7 Εκσκαφή με καδοτροχό (πηγή: Ν. Τερεζόπουλος, 2003)

2.2.1.4. Παροχή ενέργειας για τη λειτουργία καδοφόρων εκσκαφών

Οι καδοφόροι εκσκαφείς καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία τους. Οι μεγάλης δυναμικότητας καδοφόροι εκσκαφείς συνδέονται με κατάλληλη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω καλωδίου τοποθετημένου στον ταινιόδρομο που τροφοδοτούν, με αποτέλεσμα να υπάρχει περιορισμένη ευελιξία σε περίπτωση που χρειαστεί να μετακινηθεί ο καδοφόρος εκσκαφέας. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος και τη λειτουργία του καδοφόρου εκσκαφέα μακριά από τον ταινιόδρομο χρησιμοποιούνται κατάλληλα καλωδιοχήματα, με τα οποία δίνεται μεγαλύτερη ελευθερία κινήσεων.

2.2.1.5. Πλεονεκτήματα καδοφόρων εκσκαφών συγκριτικά με άλλους εκσκαφείς

Ο καδοφόρος εκσκαφέας κυρίως εξαιτίας της χαρακτηριστικής συνεχούς λειτουργίας του και των ταυτόχρονων λειτουργιών που πραγματοποιεί, εμφανίζει ορισμένα σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλα μηχανήματα της ίδιας δυναμικότητας για επιφανειακές εκμεταλλεύσεις. Τα πλεονεκτήματα ενός καδοφόρου εκσκαφέα συγκριτικά με άλλα εκσκαπτικά μηχανήματα είναι τα εξής:

- Ειδική κατανάλωση ενέργειας εκσκαφής: Εξαιτίας της συνεχούς λειτουργίας οι κινητήρες δέχονται ομοιόμορφες φορτίσεις με αποτέλεσμα να εμφανίζονται χαμηλές τιμές ειδικής κατανάλωσης ενέργειας.

- Συντελεστής διαθεσιμότητας: Ο καδοφόρος εκσκαφέας παρουσιάζει τον μεγαλύτερο συντελεστή διαθεσιμότητας αφού ο χρόνος που δαπανά για μετακινήσεις είναι ελάχιστος και οι καθυστερήσεις του περιορίζονται στη συγκρότηση του μηχανήματος, στη συντήρησή του, στις απρόβλεπτες βλάβες και στην εξάρτησή του από το δίκτυο ταινιόδρομων, που σημαίνει ότι αν σταματήσει ο ταινιόδρομος που μεταφέρει το υλικό από τον συγκεκριμένο εκσκαφέα αναγκαστικά σταματάει και η λειτουργία αυτού.
- Οικονομική απόδοση: Το μέτρο της οικονομικής απόδοσης υπολογίζεται από τον δείκτη Gartner, όπου εξετάζεται το βάρος λειτουργίας του μηχανήματος (σε τόνους), η θεωρητική απόδοση (σε κυβικά μέτρα χαλαρού πετρώματος ανά ώρα) και το μέγιστο ύψος εκσκαφής (σε μέτρα). Ο δείκτης Gartner δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$E = \frac{G}{Q_{th} * H} * 1000$$

όπου:

E = Δείκτης Gartner

G = Βάρος λειτουργίας του μηχανήματος

Q_{th} = Θεωρητική απόδοση του μηχανήματος

H = Μέγιστος ύψος εκσκαφής

Όσο μικρότερη είναι η τιμή του δείκτη Gartner ενός εκσκαπτικού μηχανήματος, τόσο πιο οικονομικά αποδοτικό είναι το συγκεκριμένο μηχάνημα. Συγκριτικά με άλλα μηχανήματα ο καδοφόρος εκσκαφέας παρουσιάζει υψηλή οικονομική απόδοση, με χαρακτηριστικές τιμές για τον δείκτη Gartner να κυμαίνονται από 10 έως 20, ενώ για μηχανικά πτύα ή εκσκαφείς συρόμενου κάδου ο δείκτης παίρνει τιμές από 20 έως 30.

- Εκλεκτική εξόρυξη: Ο καδοφόρος εκσκαφέας έχει τη δυνατότητα να εξορύσσει εκλεκτικά διάφορα στρώματα πετρωμάτων, κάτι που τον κάνει αναντικατάστατο εάν το κοίτασμα χαρακτηρίζεται από συνεχείς εναλλαγές χρήσιμου και στείρου υλικού.

- Αποκατάσταση περιβάλλοντος: Η συνεχής λειτουργία του καδοφόρου εκσκαφέα σε συνδυασμό με τη χρήση ταινιόδρομων και αποθετών, εξασφαλίζει μια ταχεία και οικονομική περιβαλλοντική αποκατάσταση, η οποία πραγματοποιείται παράλληλα με τη φάση της εκμετάλλευσης αλλά και μετά το πέρας αυτής.
- Εκσκαφή σκληρών σχηματισμών: Ο καδοφόρος εκσκαφέας έχει την δυνατότητα εξόρυξης σκληρών σχηματισμών, εφόσον μεταβληθούν κάποιες χαρακτηριστικές παράμετροί του όπως η ταχύτητα περιστροφής του καδοτροχού, το βάθος της εντομής κ.α. με επίπτωση φυσικά στην απόδοσή του. Υπερτερεί όμως και σε αυτή την περίπτωση αφού άλλα εκσκαπτικά μηχανήματα δεν μπορούν να εξορύξουν αντίστοιχους σχηματισμούς αν δεν προηγηθεί χαλάρωση με εκρηκτικές ύλες.

2.2.2. Μεταφορά και απόθεση

Η μεταφορά του εξορυγμένου υλικού πραγματοποιείται κατά κανόνα από ένα σύστημα ταινιόδρομων. Στη βαθμίδα όπου βρίσκεται ο καδοφόρος εκσκαφέας υπάρχει και ένας συνδεδεμένος ταινιόδρομος, ο οποίος αφού τροφοδοτηθεί με υλικό έχει ως σκοπό του, να το μεταφέρει στην έξοδο της τάφρου εκμεταλλεύσεως.

Στο σημείο αυτό συγκεντρώνεται το εξορυγμένο υλικό από όλο το ορυχείο. Όλοι οι κλάδοι των ταινιόδρομων καταλήγουν σε έναν κόμβο, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 2.8, όπου γίνεται ο διαχωρισμός για το που πρέπει να πάει το συγκεκριμένο υλικό που φτάνει εκείνη τη στιγμή. Στον κόμβο το εξορυγμένο υλικό μπορεί να είναι είτε χρήσιμο υλικό, οπότε οδηγείται για αποθήκευση ή περαιτέρω επεξεργασία, είτε στείρο οπότε θα κατευθυνθεί προς την εξωτερική ή την εσωτερική απόθεση.



Σχήμα 2.8 Κόμβος ταινιοδρόμων (πηγή: Ν. Τερεζόπουλος, 2003)

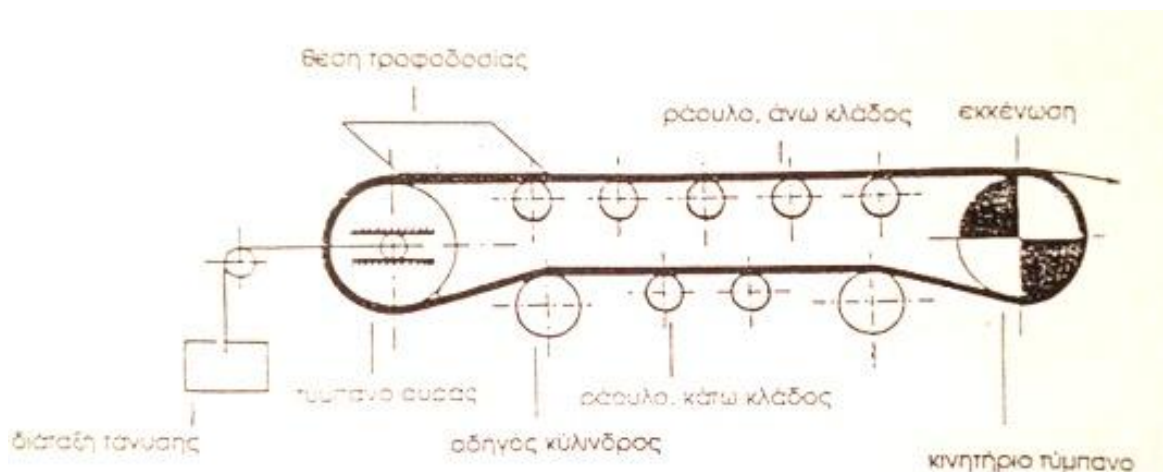
Παρά το υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης και το υψηλό λειτουργικό κόστος λόγω της υψηλής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, οι ταινιοδρόμοι αποτελούν ένα αναμφίβολα αποδοτικό μέσο μεταφοράς για τέτοιου τύπου ορυχεία. Με την εξέλιξη των ταινιοδρόμων, έχουν κατασκευαστεί συστήματα με ταχύτητες που ξεπερνούν τα 7 μέτρα ανά δευτερόλεπτο, ενώ μπορούν να λειτουργούν με ασφάλεια σε κλίσεις άνω των 20°.

Η μεταφορική ικανότητα ενός ταινιοδρόμου εξαρτάται από:

- Το πλάτος της ταινίας
- Την ταχύτητα του ταινιοδρόμου
- Την εγκάρσια κλίση της σκάφης της ταινίας
- Την κλίση του ταινιοδρόμου
- Το είδος του μεταφερόμενου υλικού
- Την τροφοδοσία του ταινιοδρόμου

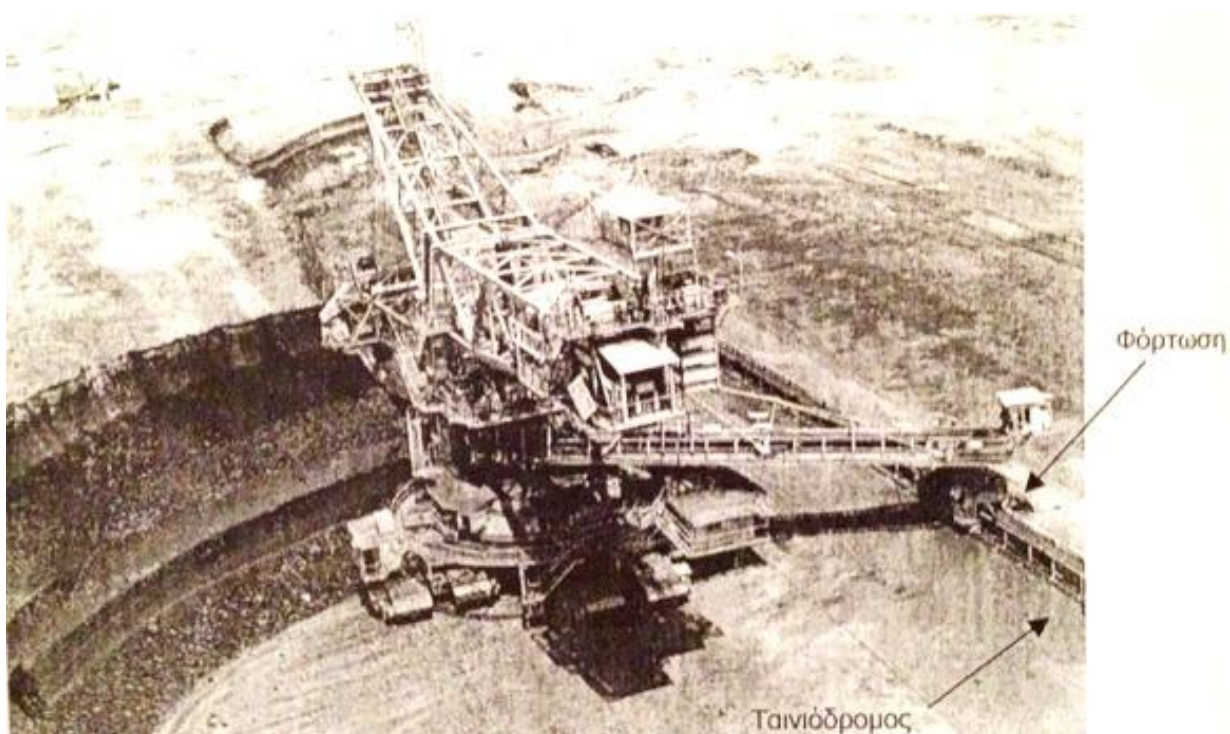
Φυσικά οι μεταφορικές ικανότητες που προκύπτουν από υπολογισμούς και παρουσιάζονται για συγκεκριμένους τύπους ταινιοδρόμων, χαρακτηρίζονται ως θεωρητικές μεταφορικές ικανότητες αφού για να επιτευχθούν οι δεδομένες τιμές θα πρέπει να ισχύουν ιδανικές συνθήκες, δηλαδή να υπάρχει ομοιόμορφη τροφοδοσία και οριζόντιοι ταινιοδρόμοι, κάτι που στην πραγματικότητα είναι πρακτικά ανέφικτο.

Τα κύρια τμήματα ενός ταινιοδρόμου φαίνονται στο Σχήμα 2.9.



Σχήμα 2.9 Κύρια στοιχεία ταινιοδρόμου (πηγή: Γ. Παναγιώτου, 1990)

Για τη μέγιστη εκμετάλλευση των πλεονεκτημάτων που προσφέρουν οι ταινιοδρόμοι, είναι απαραίτητος ο κατάλληλος μεταλλευτικός σχεδιασμός του ορυχείου, με στόχο την κατά το δυνατό ευθυγράμμιση των βαθμίδων και εξασφάλιση της απαραίτητης προπορείας κατά την προχώρησή τους. Στην εικόνα του Σχήματος 2.10 φαίνεται ένας καδοφόρος εκσκαφέας που αποχετεύει απευθείας το εξορυγμένο υλικό στον ταινιοδρόμο της βαθμίδας.



Σχήμα 2.10 Τυπικό σύστημα καδοφόρου/ταινιοδρόμου (πηγή: Ν. Τερεζόπουλος, 2003)

Η τελευταία φάση κατά την εκμετάλλευση κοιτασμάτων μεγάλης οριζόντιας εξάπλωσης, που είναι η απόθεση αγόνων, ολοκληρώνεται από τους αποθέτες και απεικονίζεται στο

Σχήμα 2.11. Οι αποθέτες έχουν μέγεθος παραπλήσιο των καδοφόρων εκσκαφών και συγκροτούνται από το κεντρικό τμήμα, έναν βραχίονα παραλαβής υλικού και έναν βραχίονα απόρριψης. Τα συγκεκριμένα μηχανήματα είναι τοποθετημένα στις θέσεις είτε των εσωτερικών είτε των εξωτερικών αποθέσεων, λειτουργούν ανεξάρτητα από τη λειτουργία άλλων παρόμοιων μηχανημάτων εντός του ορυχείου και συνήθως αντιστοιχεί ένας αποθέτης σε κάθε καδοφόρο εκσκαφέα.



Σχήμα 2.11 Αποθέτης αγόνων (πηγή: Ν Τερεζόπουλος, 2003)

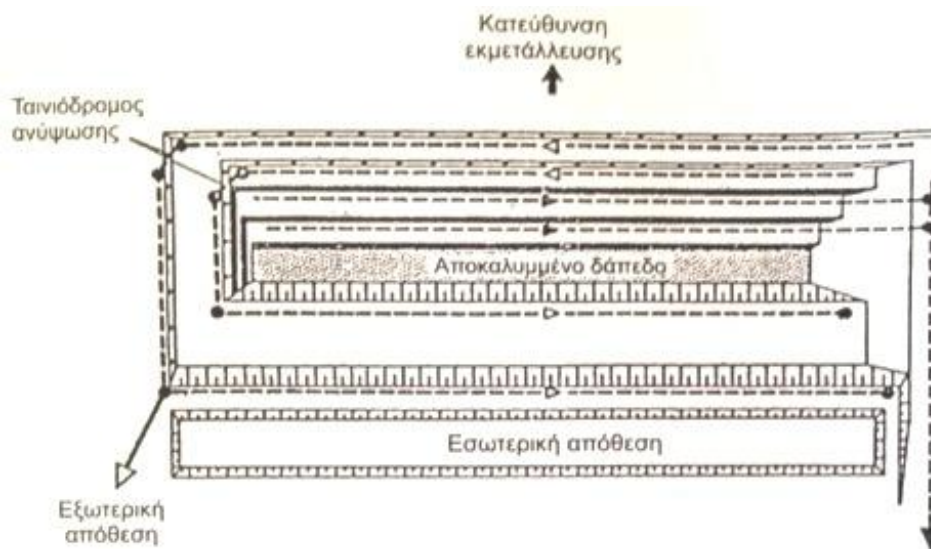
2.3. Παράλληλη και στροφική λειτουργία

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου εκμετάλλευσης κοιτασμάτων μεγάλης οριζόντιας εξάπλωσης με συστήματα πολλαπλών βαθμίδων, η ανάπτυξη των ορυχείων πραγματοποιείται είτε παράλληλα με την προχώρηση της τάφρου εκμεταλλεύσεως, είτε περιστροφικά γύρω από ένα κέντρο στροφής της τάφρου εκμεταλλεύσεως. Στα περισσότερα ορυχεία χρησιμοποιούνται και οι δυο τρόποι λειτουργίας καθώς εξελίσσεται η εκμετάλλευση.

2.3.1. Παράλληλη λειτουργία

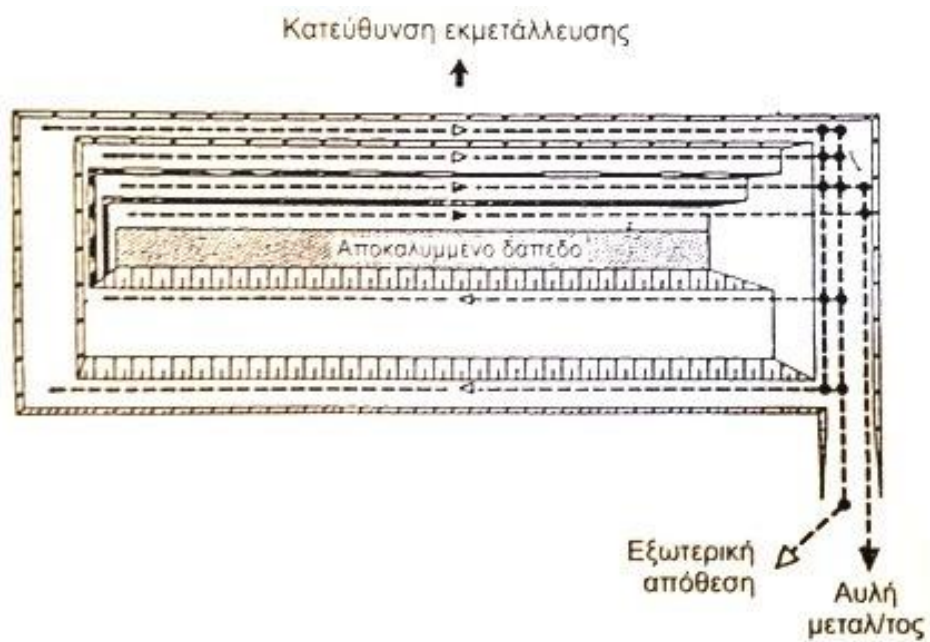
Στην περίπτωση ενός ομαλώς αναπτυσσόμενου κοιτάσματος χωρίς τη χρήση κόμβου ταινιοδρόμου για τη διακίνηση υλικών με ενδιάμεσες μεταφορτώσεις, το σύστημα παράλληλης λειτουργίας έχει τη μορφή του Σχήματος 2.12. Τα άγωνα υλικά μεταφέρονται

στα υψηλότερα επίπεδα των φάσεων της απόθεσης με ταινιοδρόμους, οι οποίοι λειτουργούν κάτω από συνθήκες απότομων κλίσεων (Bench Lift Conveyors).

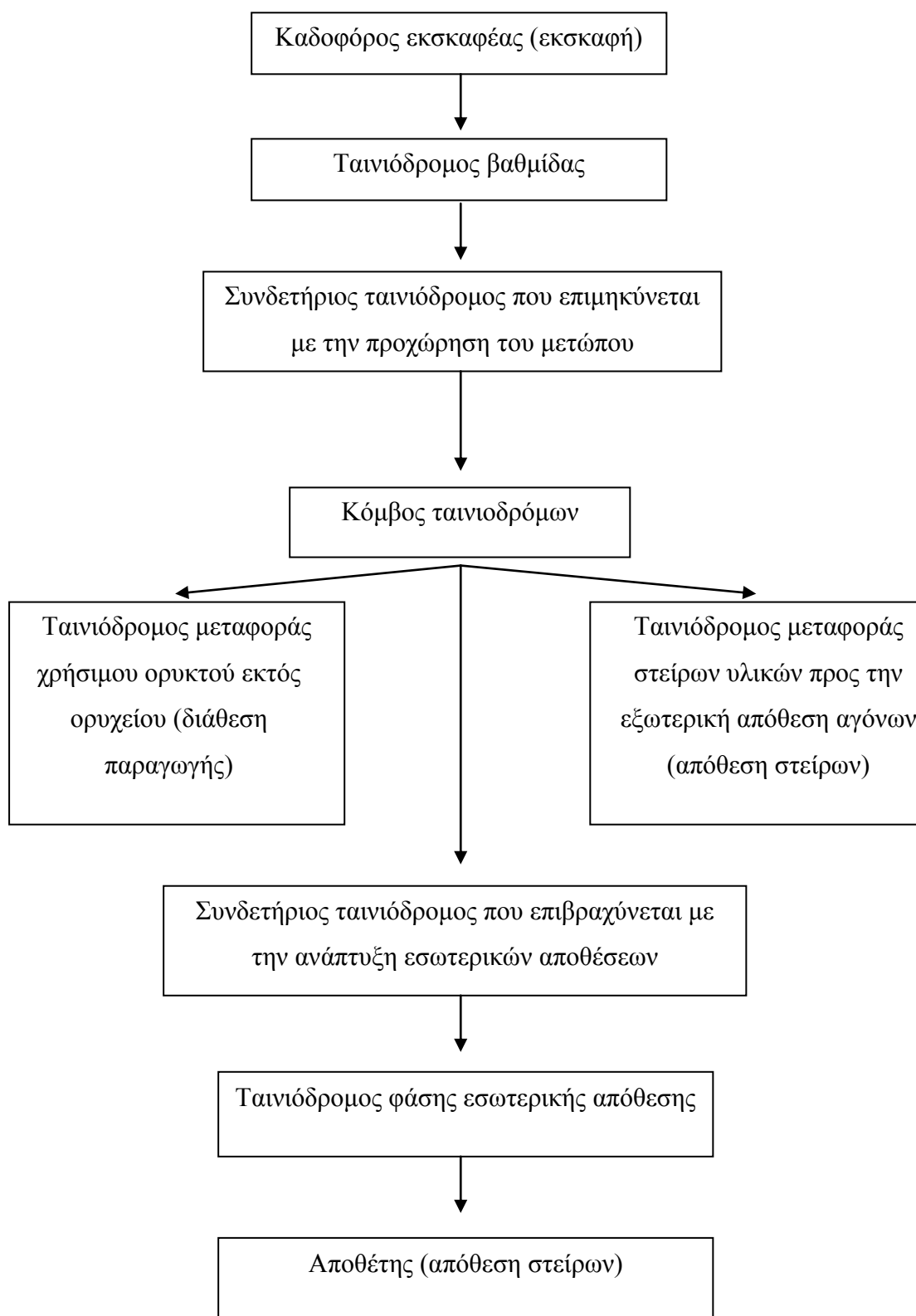


Σχήμα 2.12 Σύστημα παράλληλης λειτουργίας χωρίς τη χρήση κόμβου ταινιοδρόμων (πηγή: Ν. Τερεζόπουλος, 2003)

Αν η ανάπτυξη του κοιτάσματος δεν είναι τόσο ομαλή και το χρήσιμο υλικό ή και τα άγονα έχουν μεγάλο πάχος, η μεταφορά σε υψηλότερα επίπεδα με ενδιάμεσες μεταφορώσεις δεν είναι εφικτή και απαιτείται η εγκατάσταση κόμβου ταινιοδρόμων. Στην περίπτωση αυτή παρέχεται η δυνατότητα καλύτερου ελέγχου του χώρου που διατίθεται για την απόθεση των αγόνων, σε επίπεδο περιβαλλοντικής διαμόρφωσης και αισθητικής του τοπίου. Επιπλέον αν κριθεί αναγκαίο, ο κόμβος παρέχει τη δυνατότητα επιλεκτικής απόθεσης των αγόνων υλικών για την εξασφάλιση της ευστάθειας των πρανών των αποθέσεων. Στην εικόνα του Σχήματος 2.13 φαίνεται η ίδια παράλληλη λειτουργία του Σχήματος 2.12, με τη διαφορά ότι χρησιμοποιείται κόμβος ταινιοδρόμων. Το Σχήμα 2.14 απεικονίζει ένα τυπικό διάγραμμα ροής που ακολουθούν τα εξορυγμένα υλικά στη περίπτωση παράλληλης λειτουργίας σε εκμετάλλευση κοιτασμάτων με συστήματα πολλών βαθμίδων.



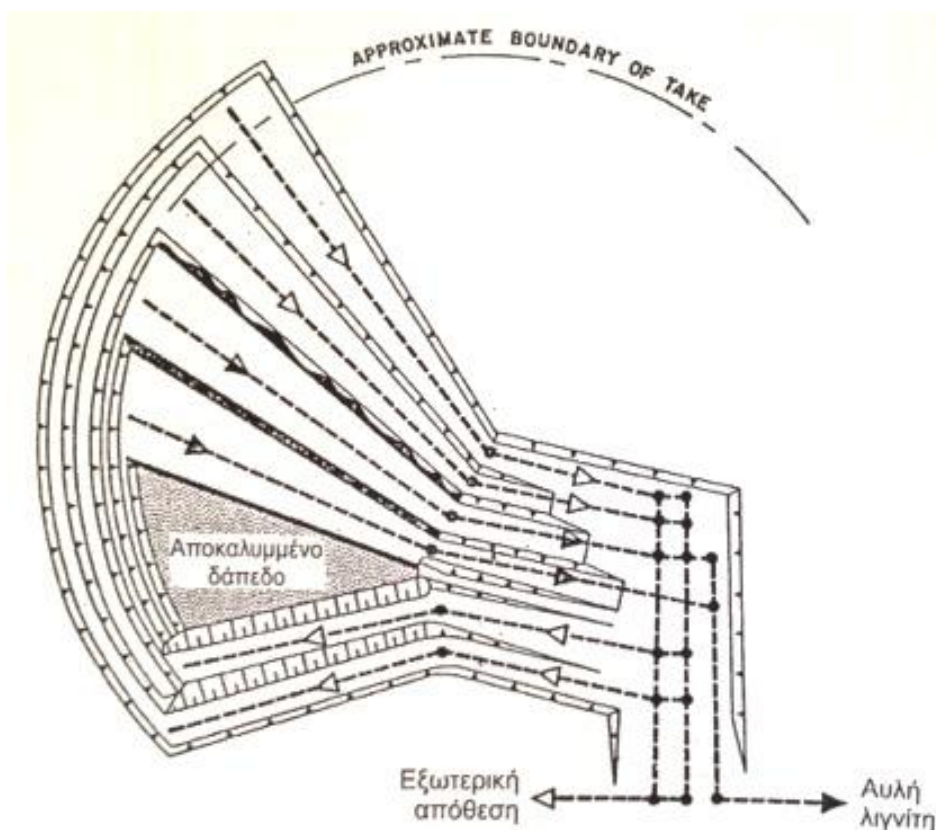
Σχήμα 2.13 Σύστημα παράλληλης λειτουργίας με κόμβο ταινιοδρόμων (πηγή: Ν. Τερεζόπουλος, 2003)



Σχήμα 2.14 Διάγραμμα ροής των εξορυγμένων υλικών στην περίπτωση παράλληλης λειτουργίας (πηγή: Ν. Τερεζόπουλος, 2003)

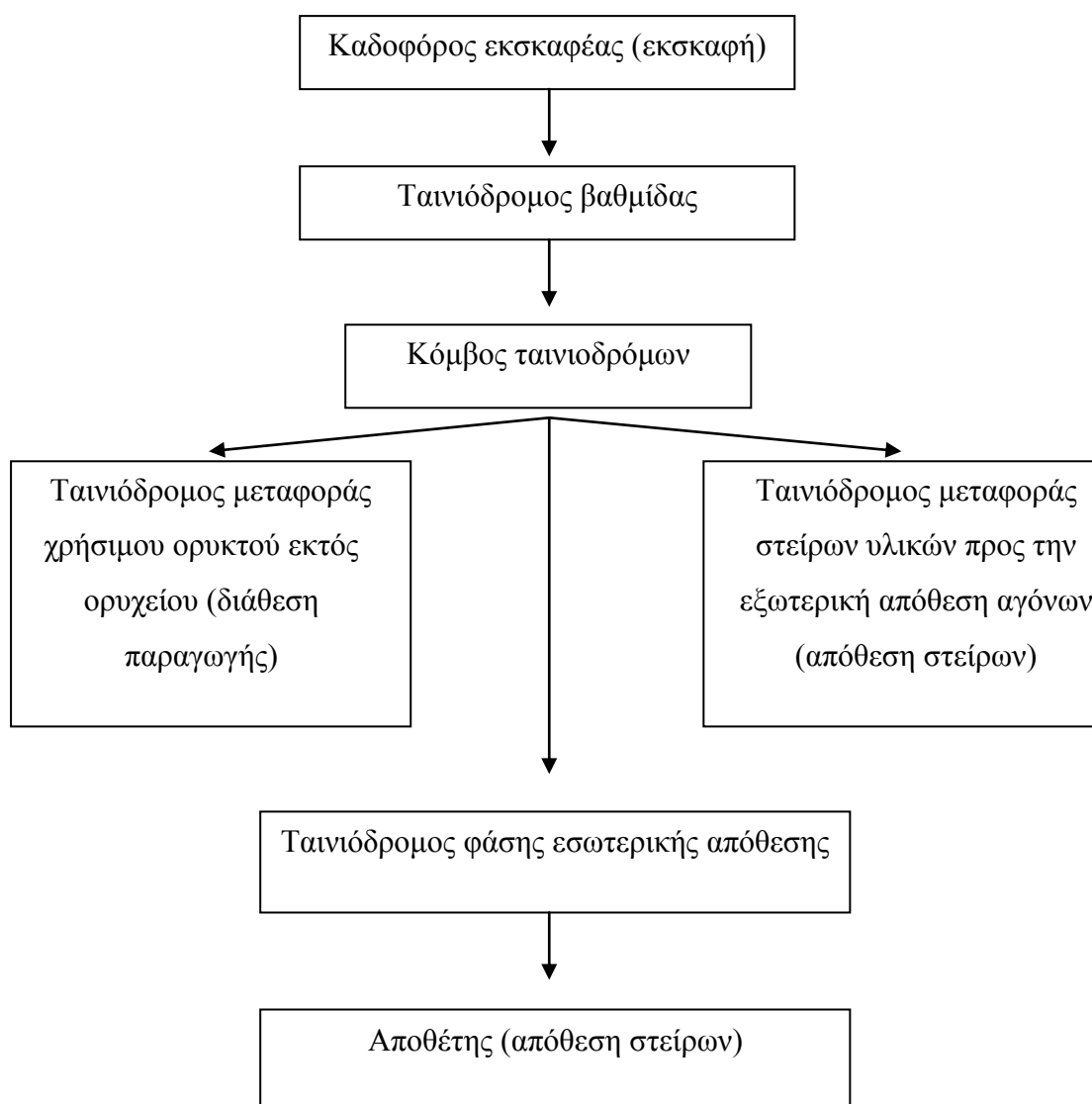
2.3.2. Στροφική λειτουργία

Στη στροφική λειτουργία η προχώρηση του ορυχείου στρέφεται γύρω από ένα κέντρο στροφής, όπου βρίσκεται και ο κόμβος ταινιοδρόμων. Η συγκεκριμένη λειτουργία επιλέγεται κυρίως όταν τα τελικά όρια της εκσκαφής του ορυχείου έχουν τη μορφή κυκλικού τόξου. Στο σχήμα 2.15 απεικονίζεται ένα ορυχείο σε στροφική λειτουργία.



Σχήμα 2.15 Στροφική λειτουργία ορυχείου (πηγή: Ν. Τερεζόπουλος, 2003)

Στο Σχήμα 2.16 φαίνεται το τυπικό διάγραμμα ροής που ακολουθούν τα εξορυγμένα υλικά σε περίπτωση εφαρμογής της στροφικής λειτουργίας κατά την εκμετάλλευση κοιτασμάτων με συστήματα πολλών βαθμίδων.



Σχήμα 2.16 Διάγραμμα ροής των εξορυγμένων υλικών στην περίπτωση στροφικής λειτουργίας
(πηγή: Ν. Τερεζόπουλος, 2003)

2.4. Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α.Ε.

2.4.1. Ιστορική αναδρομή

Το 1889 κατασκευάζεται για πρώτη φορά στην Ελλάδα μονάδα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος από τη Γενική Εταιρεία Εργοληψιών. Τον ίδιο χρόνο ιδρύεται η Ελληνική Ηλεκτρική Εταιρεία, η οποία είναι αποτέλεσμα συνεργασίας της Αμερικανικής εταιρίας ηλεκτρισμού Thomson-Houston με τη συμμετοχή της Εθνικής Τράπεζας. Εκτός από την

Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη θα ηλεκτροδοτηθούν 250 πόλεις με πληθυσμό άνω των 5000 κατοίκων έως το 1929.

Το 1950 οι εταιρείες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανέρχονταν σε 400 έτσι ώστε να καλυφθούν και οι πιο απόμακρες περιοχές. Η πρώτη ύλη ήταν εισαγόμενη (πετρέλαιο, γαιάνθρακας), ενώ σε συνδυασμό με την κατάτμηση της παραγωγής η τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος ήταν πολύ υψηλή. Τον Αύγουστο του 1950 ιδρύεται η ΔΕΗ όπου η λειτουργία της είχε ως γνώμονα την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος σε ολόκληρη την Ελλάδα στη χαμηλότερη δυνατή τιμή. Για την επίτευξη αυτού του σκοπού ακολουθήθηκε ένα πρόγραμμα που περιελάμβανε την αξιοποίηση των εγχώριων πλουτοπαραγωγικών πόρων (λιγνιτικά κοιτάσματα του ελληνικού υπεδάφους), ενοποίηση των δικτύων σε ένα εθνικό διασυνδεδεμένο σύστημα κ.α. Έξι χρόνια αργότερα ξεκινά η απορρόφηση των ιδιωτικών και δημοτικών επιχειρήσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω εξαγορών ώστε να υπάρχει ένας ενιαίος φορέας διαχείρισης.

Σήμερα, η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α.Ε. είναι η μεγαλύτερη εταιρία παραγωγής και προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, έχοντας μεγάλη υποδομή σε εγκαταστάσεις ορυχείων λιγνίτη, παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, με περίπου 7,4 εκατομμύρια πελάτες. Κατέχει περίπου το 68% της εγκατεστημένης ισχύος των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα συμπεριλαμβάνοντας υδροηλεκτρικούς και πετρελαϊκούς σταθμούς καθώς και σταθμούς φυσικού αερίου και μονάδες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ).

Κατά την απόσχιση των κλάδων διανομής και μεταφοράς, δημιουργήθηκαν δύο 100% θυγατρικές της ΔΕΗ Α.Ε., ο ΑΔΜΗΕ Α.Ε. (Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Ε) και ο ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε. (Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Ε.). Για τη λειτουργία των μονάδων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, έχει δημιουργηθεί η θυγατρική με την ονομασία «ΔΕΗ Ανανεώσιμες Α.Ε.», όπου διαχειρίζεται αιολικά πάρκα, μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς, καθώς και φωτοβολταϊκούς σταθμούς ισχύος 116 MW.

Η ΔΕΗ Α.Ε. το 2012 απασχολούσε μισθοδοτούμενο τακτικό προσωπικό 19.998 εργαζομένων και η εγκατεστημένη ισχύς των μονάδων παραγωγής ανήλθε σε 12,5 GW. Τέλος, η ΔΕΗ Α.Ε. από 12.12.2001 έχει εισαχθεί στα Χρηματιστήρια Αξιών Αθηνών και Λονδίνου.

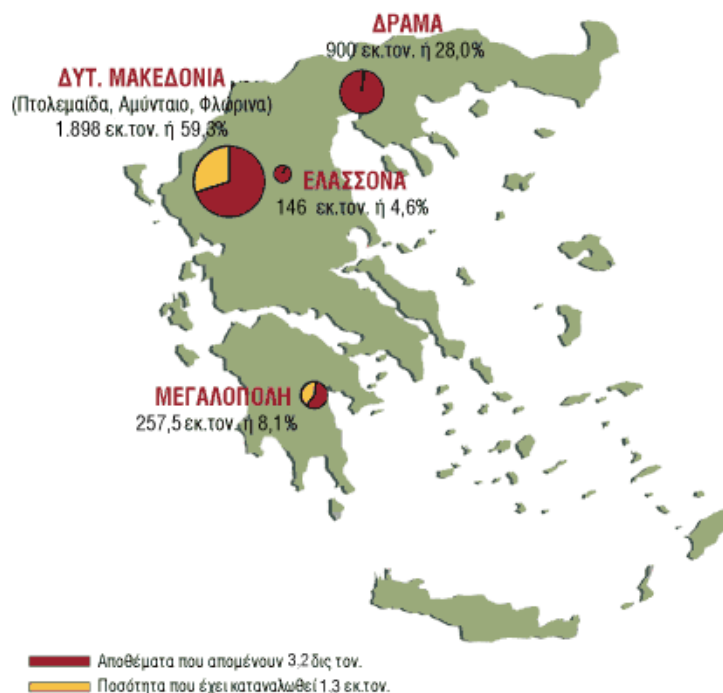
2.4.2. Ορυχεία

Ο λιγνίτης αποτελεί το σημαντικότερο ενεργειακό καύσιμο για την Ελλάδα και οι δύο κύριες πηγές εξόρυξης του είναι τα λιγνιτωρυχεία της ΔΕΗ στη Δυτική Μακεδονία και τη Μεγαλόπολη.

Μέχρι σήμερα έχουν εξορυχθεί συνολικά περίπου 1,3 δισ. τόνοι λιγνίτη, με τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα να ανέρχονται σε περίπου 3,1 δισ. τόνους. Με βάση τα αποθέματα και τον προγραμματιζόμενο ρυθμό κατανάλωσης, ο λιγνίτης που βρίσκεται στο ελληνικό υπέδαφος επαρκεί για τα επόμενα 45 χρόνια. Η Ελλάδα κατέχει τη δεύτερη θέση στην Ευρώπη σε παραγωγή λιγνίτη και την έκτη θέση παγκοσμίως.

Η ΔΕΗ διατηρεί 8 λιγνιτικούς σταθμούς, οι οποίοι αποτελούν το 42% τα εγκατεστημένης ισχύος της και παράγουν το 56% περίπου της καθαρής ηλεκτρικής της παραγωγής.

Στην εικόνα του Σχήματος 2.17 απεικονίζονται τα σημεία που βρίσκονται τα αποθέματα λιγνίτη προς εκμετάλλευση από την ΔΕΗ Α.Ε. στον ελλαδικό χώρο.



Σχήμα 2.17 Αποθέματα λιγνίτη (πηγή: ΔΕΗ Α.Ε., 2013)

2.4.2.1. Αποθέματα και ποιότητα λιγνίτη

Αν και με βάση τα σημερινά τεχνικο-οικονομικά δεδομένα, τα εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα λιγνίτη είναι της τάξης των περίπου 3,2 δισ. τόνων, τα συνολικά βεβαιωμένα

αποθέματα ανέρχονται σε περίπου 5 δισ. τόνους με σημαντική γεωγραφική εξάπλωση στον ελλαδικό χώρο.

Στην περιοχή της Πτολεμαΐδας, του Αμυνταίου και της Φλώρινας εντοπίζονται τα κυριότερα εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα με 1,8 δισ. τόνους λιγνίτη. Επιπλέον στην περιοχή της Δράμας, της Ελασσόνας και της Μεγαλόπολης υπάρχουν κοιτάσματα με αποθέματα 900 εκ. τόνων, 169 εκ. τόνων και 223 εκ. τόνων αντίστοιχα. Μέχρι σήμερα έχει εξορυχθεί περίπου το 29% των αποθεμάτων λιγνίτη.

Η ποιότητα των λιγνιτών στην Ελλάδα χαρακτηρίζεται ως χαμηλή με τη θερμογόνο δύναμη να κυμαίνεται από 975 έως 1380 kcal/kg στις περιοχές Μεγαλόπολης, Δράμας και Αμυνταίου, από 1261 έως 1615 kcal/kg στην περιοχή της Πτολεμαΐδας και από 1927 έως 2257 kcal/kg στις περιοχές Φλώρινας και Ελασσόνας. Η χαμηλή περιεκτικότητα σε καύσιμο θείο είναι ένα συγκριτικό πλεονέκτημα των λιγνιτών στον ελλαδικό χώρο.

2.4.2.2. Κοιτασματολογία λιγνίτη

Η ύπαρξη του λιγνίτη, ή αλλιώς γαιάνθρακα, ως στερεή ορυκτή καύσιμη ύλη οφείλεται στις διεργασίες ενανθράκωσης φυτικών υπολειμμάτων. Μέσω αυτών των διεργασιών, προέκυψε ο εμπλουτισμός των φυτικών υπολειμμάτων σε άνθρακα. Το αρχικό στάδιο της ενανθράκωσης χαρακτηρίζεται από τη μετατροπή των φυτών σε τύρφη και στη συνέχεια ακολουθεί το τελικό στάδιο που περιλαμβάνει τη μετατροπή από τύρφη σε ανθρακίτη, όπου όλη η διαδικασία επηρεάζεται από τον χρόνο, τη θερμοκρασία και την πίεση. Η αύξηση του βαθμού ενανθράκωσης επηρεάζει τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των γαιανθράκων. Οι λιγνίτες σχηματίστηκαν κατά τα πρώτα στάδια της ενανθράκωσης αμέσως μετά την τύρφη. Για τον σχηματισμό ενός κυβικού μέτρου λιγνίτη, έχει υπολογισθεί ότι απαιτείται χρονικό διάστημα 1000 έως 4000 ετών.

Το θερμιδικό περιεχόμενο των λιγνιτών είναι από 3 έως 7 φορές μικρότερο από το θερμιδικό περιεχόμενο του λιθάνθρακα και 5 έως 10 φορές μικρότερο από αυτό του πετρελαίου. Στον ελλαδικό χώρο δημιουργήθηκαν κατάλληλες συνθήκες για την δημιουργία λιγνιτών, κατά περιόδους και κατά περιοχές, από τις αρχές του Καινοζωϊκού αιώνα μέχρι τους πρόσφατους γεωλογικούς χρόνους. Η κύρια φάση λιγνιτογένεσης συμπίπτει με την Νεοτριτογενή και Τεταρτογενή γεωλογική περίοδο. Τα σημαντικότερα κοιτάσματα λιγνίτη αναπτύχθηκαν σε αβαθείς λίμνες και έλη κλειστών ενδοηπειρωτικών λεκανών. Κύριο χαρακτηριστικό των κοιτασμάτων είναι ο έντονος τεκτονισμός.

Ο λιγνίτης Πτολεμαΐδας σχηματίστηκε κατά τη διάρκεια μίας μεγάλης χρονικής περιόδου (10 εκατομμύρια χρόνια περίπου) και εκτιμάται ότι οι διεργασίες τελείωσαν πριν 1 εκατομμύριο χρόνια.

Την εποχή εκείνη η ευρύτερη λεκάνη Μοναστηρίου, Φλώρινας, Αμυνταίου, Πτολεμαΐδας, Κοζάνης και Σερβίων καλύπτονταν από αβαθείς λίμνες και έλη. Σε διάφορες θέσεις της λεκάνης με τη βοήθεια των κλιματολογικών συνθηκών ευνοήθηκαν υδροχαρή φυτά (βρύα, καλάμια κ.α.) και με το πέρασμα του χρόνου τα φυτά αυτά συγκεντρώθηκαν σε μεγάλες ποσότητες στον πυθμένα των λιμνών, ενώ στη συνέχεια η βλάστηση αυτή καλύφθηκε με γαιώδη υλικά. Με τον τρόπο αυτό οι οργανικές ύλες των φυτών, ευρισκόμενες υπό πίεση και με την επίδραση διαφόρων μικροοργανισμών, μετατράπηκαν με το χρόνο σε στρώματα λιγνίτη. Αυτό επαναλήφθηκε πολλές φορές και τέλος πάνω από τα νεώτερα στρώματα λιγνίτη επικάθισαν άλλα γαιώδη υλικά, τα λεγόμενα «υπερκειμένα». Έτσι προέκυψαν πολυστρωματικά λιγνιτικά κοιτάσματα μορφής «ζέβρας», όπως απεικονίζεται και στην Εικόνα 2.1.



Εικόνα 2.1 Πολυστρωματικό κοιτάσμα λιγνίτη

Το πάχος των υπερκειμένων υλικών κυμαίνεται από 12 έως 230 μέτρα για τα κοιτάσματα στην περιοχή της Πτολεμαΐδας. Τα υλικά αυτά είναι συνήθως άμμος, αμμοχάλικα, μαλακός ασβεστόλιθος και άργιλος. Αλλά και το κοιτάσμα του λιγνίτη δεν είναι ενιαίο, διότι μέσα στο κοιτάσμα αυτό υπάρχουν λεπτά στρώματα από γαιώδη υλικά, τα οποία επειδή βρίσκονται μεταξύ των λιγνιτικών στρωμάτων ονομάζονται «ενδιάμεσα». Το μέσο

πάχος των απολείψιμων στρωμάτων λιγνίτη ανέρχεται σε 2 μέτρα περίπου, ο αριθμός των οποίων κυμαίνεται από 20 έως 30.

Το μεγαλύτερο λιγνιτικό δυναμικό της χώρας εντοπίζεται σε τρεις περιοχές – λεκάνες κατά μήκος του άξονα Φλώρινα – Αμύνταιο – Πτολεμαΐδα – Κοζάνη – Σέρβια.

2.4.2.3. Λιγνιτικό Κέντρο Δυτικής Μακεδονίας

Στην περιοχή Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου, δημιουργήθηκε σταδιακά ένα από τα μεγαλύτερα Λιγνιτικά Κέντρα στον κόσμο, το οποίο εκτείνεται κατά μήκος του άξονα Φλώρινα – Αμύνταιο – Πτολεμαΐδα – Κοζάνη – Σέρβια.

Στο Λιγνιτικό Κέντρο λειτουργούν τα εξής λιγνιτωρυχεία:

- Ορυχείο Νότιου Πεδίου
- Ορυχείο Καρδιάς
- Ορυχείο Κυρίου Πεδίου
- Ορυχείο Αμυνταίου

Στη φάση της εκμετάλλευσης χρησιμοποιούνται 42 καδοφόροι εκσκαφείς, 16 αποθέτες, 225 km ταινιοδρόμων (πλάτους 1 – 2,4 μέτρων) και 1.000 περίπου ντιζελοκίνητα μηχανήματα.

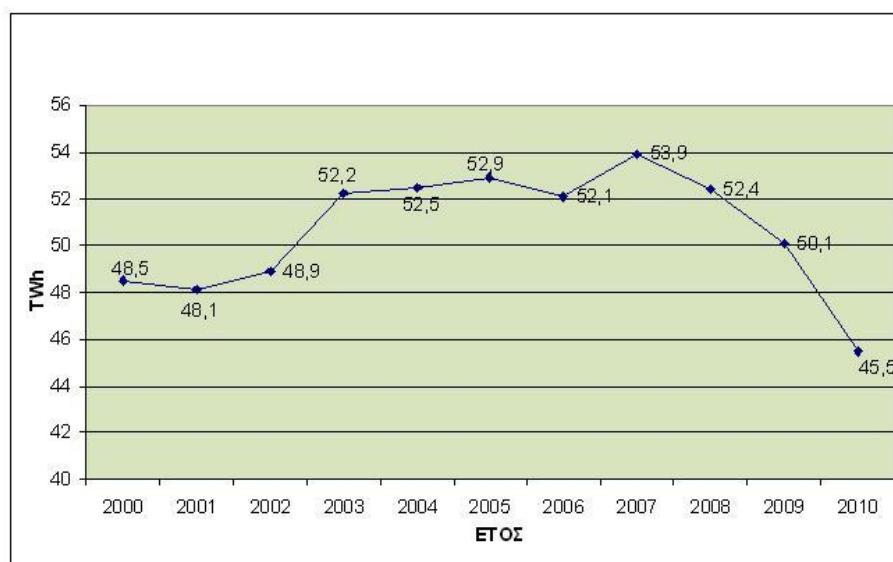
Το Λιγνιτικό Κέντρο Δυτικής Μακεδονίας τροφοδοτεί τις ενεργειακές μονάδες που φαίνονται στον Πίνακα 2.1.

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW)
ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ	$10 + 33 = 43$
ΑΗΣ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ	$70 + 2*125 + 300 = 620$
ΑΗΣ ΚΑΡΔΙΑΣ	$2*300 + 2*325 = 1.250$
ΑΗΣ ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ	$2*300 + 2*310 + 375 = 1.595$
ΑΗΣ ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ	$2*300 = 600$
ΑΗΣ ΜΕΛΙΤΗΣ – ΑΧΛΑΔΑΣ	$1*330 = 330$
ΣΥΝΟΛΟ	4.438

Πίνακας 2.1 Ενεργειακές μονάδες του Λιγνιτικού Κέντρου Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου
(πηγή: ΔΕΗ Α.Ε., 2013)

2.4.3. Παραγωγή

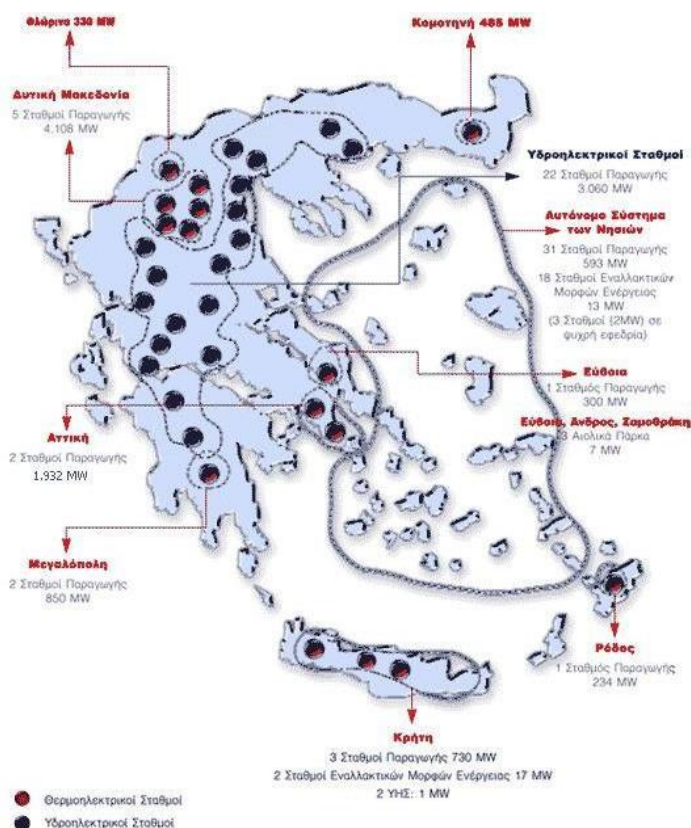
Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς της ΔΕΗ σε 98 σταθμούς παραγωγής ανέρχεται στα 12.760 MW. Στο Σχήμα 2.18 παρουσιάζεται η καθαρή παραγωγή για την περίοδο 2000 έως 2010.



Σχήμα 2.18 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε TWh (πηγή: ΔΕΗ Α.Ε., 2013)

Οι 34 μεγάλοι θερμικοί και υδροηλεκτρικοί σταθμοί, καθώς και 3 αιολικά πάρκα βρίσκονται στο διασυνδεδεμένο σύστημα της ηπειρωτικής χώρας, ενώ οι υπόλοιποι 61 αυτόνομοι σταθμοί λειτουργούν στην Κρήτη, τη Ρόδο και σε άλλα νησιά (39 θερμικοί, 2

υδροηλεκτρικοί, 15 αιολικά πάρκα και 5 φωτοβολταϊκοί σταθμοί). Η γεωγραφική κατανομή των σταθμών παραγωγής φαίνεται στο Σχήμα 2.19.



Σχήμα 2.19 Γεωγραφική κατανομή σταθμών παραγωγής (πηγή: ΔΕΗ Α.Ε., 2013)

2.4.4. Ορυχείο Πεδίου Καρδιάς

Το συγκεκριμένο ορυχείο μοντελοποιήθηκε και προσομοιώθηκε βάση πραγματικών δεδομένων, που αναφέρονται στο έτος λειτουργίας 2006, για να εξαχθούν συμπεράσματα όπως περιγράφεται στα κεφάλαια πέντε και έξι.

Η λειτουργία του ορυχείου έχει ως εξής:

- Υπάρχουν οι καδοφόροι εκσκαφείς E1-E7 και οι αντίστοιχοι ταινιόδρομοι που τροφοδοτούνται αποκλειστικά από κάθε μονάδα εξόρυξης μεμονωμένα. Στη συνέχεια οι ταινιόδρομοι μεταφέρουν το υλικό στον κόμβο (hub). Να σημειωθεί ότι ο E1 εξορύσσει σχεδόν αποκλειστικά υπερκείμενα στην Τομή Υπερκειμένων, ενώ οι υπόλοιποι καδοφόροι εκσκαφείς βρίσκονται στις Λιγνιτικές Τομές και εξορύσσουν, ανάλογα με την κάθε φορά θέση τους, είτε στείρα είτε λιγνίτη.

- Στον κόμβο το υλικό που καταφτάνει οδηγείται είτε προς τους δύο κλάδους λιγνίτη, είτε προς τους τρεις κλάδους στείρων.
- Στον κλάδο του λιγνίτη ο πρώτος ταινιόδρομος τροφοδοτεί απευθείας τον ΑΗΣ, ενώ ο δεύτερος κατευθύνει τον λιγνίτη στο Bunker ενδιάμεσης αποθήκευσης. Η ύπαρξη αυτού του χώρου αποθήκευσης χρησιμεύει είτε όταν υπάρχει πλεόνασμα στην παραγωγή, είτε αν χρειαστεί περισσότερο υλικό στο εργοστάσιο του ΑΗΣ, αφού η παραγωγή δεν είναι σταθερή.
- Στον κλάδο των στείρων υπάρχουν τρεις ταινιόδρομοι που καταλήγουν σε ισάριθμους αποθέτες, η λειτουργία των οποίων έχει ως σκοπό την αποκατάσταση του ορυχείου μέσω εσωτερικής απόθεσης.
- Εκτός από τους αποθέτες Α1-Α3 που λειτουργούν στον κλάδο των στείρων, υπάρχει και ο αποθέτης Α5 που δουλεύει στο χώρο αποθήκευσης λιγνίτη (Bunker) και προστέθηκε στο σύστημα στα μέσα του 2009.
- Το ορυχείο λειτουργεί σε 24ώρη βάση που χωρίζεται σε τρεις δωρες βάρδιες.

Αναλυτικά ο μηχανολογικός εξοπλισμός για το Ορυχείο Καρδίας είναι ο εξής:

- 2 εκσκαφείς KRUPP SchRs 2300
- 4 εκσκαφείς KRUPP SchRs 600
- 1 εκσκαφέας KRUPP SchRs 500
- 2 αποθέτες KRUPP-OK A2Rs 1800
- 1 αποθέτης TAKRAF A2Rs-B6700-60
- 1 αποθέτης FAM B2400
- 33 km ταινιόδρομων πλάτους 1,2-1,8 m

Ο συμβολισμός των καδοφόρων εκσκαφέων έχει ως εξής:

- Sch: τύπος μηχανήματος (σε αυτή την περίπτωση καδοφόρος εκσκαφέας)
- R: τρόπος μετακίνησης (ερπύστριες)
- s: δηλώνει ότι ο πύργος του εκσκαφέα είναι περιστρεφόμενος
- Χωρητικότητα του κάδου σε λίτρα

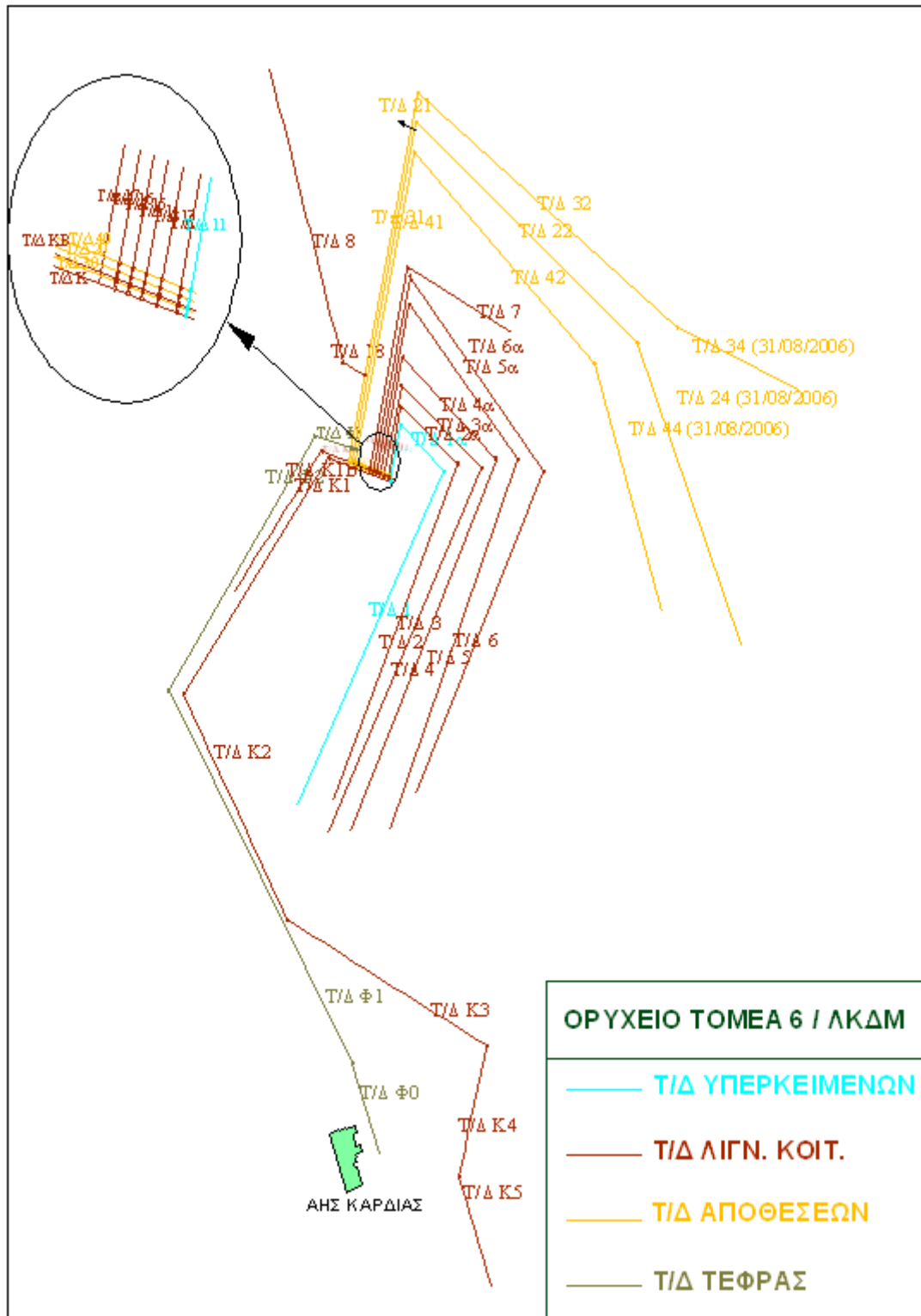
Για τους αποθέτες των οίκων KRUPP και TAKRAF ο κωδικός A αναφέρεται στον τύπο του μηχανήματος (αποθέτης), ο κωδικός R στον τρόπο μετακίνησης (ερπύστριες), ο κωδικός s στον περιστρεφόμενο πύργο του εκσκαφέα και τέλος το αριθμητικό μέρος αντιπροσωπεύει το πλάτος του ταινιόδρομου σε χιλιοστά. Η δυναμικότητα των αποθετών είναι:

- 5600 Lm³/hr , για τους δύο αποθέτες της KRUPP
- 6700 Lm³/hr, για τον αποθέτη της TAKRAF
- 11000 Lm³/hr, για τον αποθέτη της FAM

Η τοπογραφική αποτύπωση του Ορυχείου Καρδιάς για το έτος 2006 απεικονίζεται στο Σχήμα 2.20, ενώ η ανάπτυξη των ταινιοδρόμων σε αυτό φαίνεται στο Σχήμα 2.21.



Σχήμα 2.20 Τοπογραφική αποτύπωση Ορυχείου Καρδίας κατά το έτος 2006



Σχήμα 2.21 Ανάπτυξη ταινιόδρομων Ορυχείου Καρδίας

3. Προσομοίωση συστημάτων

Με τον όρο προσομοίωση αναφερόμαστε σε ένα ευρύ φάσμα μεθόδων και εφαρμογών, έτσι ώστε να αναπαραστήσουμε τη λειτουργία κάποιου πραγματικού συστήματος. Η προσομοίωση αυτή πραγματοποιείται με την βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή και κατάλληλου λογισμικού, παρέχοντάς μας τη δυνατότητα προσομοίωσης πολλών διαφορετικών συστημάτων και εφαρμογών.

Μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα συστημάτων, όπου θα μπορούσε να εφαρμοστεί η μέθοδος της προσομοίωσης είναι τα εξής:

- Το τμήμα της εντατικής σε ένα νοσοκομείο, όπου υπάρχουν το διαθέσιμο προσωπικό, τα υπάρχοντα δωμάτια, το πλήθος των προμηθειών και ο αριθμός των ασθενών.
- Μία τράπεζα όπου θα αναπαριστώνται πελάτες με διαφορετικές ανάγκες και τα αντίστοιχα τμήματα εξυπηρέτησής τους (ταμεία, θυρίδες, τμήμα δανείων κ.ά.)
- Μία μονάδα παραγωγής προϊόντων, όπου θα λαμβάνονται υπόψη, οι εργαζόμενοι, το σύστημα μεταφοράς και συσκευασίας, ο αποθηκευτικός χώρος κ.α.

Η προσομοίωση ενός συστήματος συχνά πραγματοποιείται για την αξιολόγηση της απόδοσής του, τη βελτίωση της λειτουργίας του ή τον εντοπισμό των αδυναμιών του πριν ακόμα αυτό υλοποιηθεί όταν βρίσκεται στη φάση του σχεδιασμού. Επιπλέον δεν είναι λίγες οι φορές που ένα σύστημα προσομοιώνεται, με σκοπό να εκτιμηθούν τα αποτελέσματα από μία ενδεχόμενη αλλαγή του, όπως για παράδειγμα τι θα συμβεί σε ένα μεταλλευτικό σύστημα που αποτελείται από εκσκαφείς (μονάδες φόρτωσης) και χωματουργικά αυτοκίνητα (μονάδες μεταφοράς), εάν προστεθεί ένα χωματουργικό αυτοκίνητο στο συγκεκριμένο στόλο αυτοκινήτων. Τα αποτελέσματα από την προσομοίωση στη συγκεκριμένη περίπτωση, μπορούν να καθορίσουν την απόφαση στο ερώτημα εάν η επένδυση θα φανεί χρήσιμη ή θα είναι άσκοπη για τη βελτίωση της παραγωγής.

Κάθε σύστημα αποτελείται από οντότητες (entities), οι οποίες συμμετέχουν στις επί μέρους διεργασίες (processes) που λαμβάνουν χώρα μέσα σε αυτό, ενώ οι αλληλεπιδράσεις που πραγματοποιούνται με βάση το σκοπό λειτουργίας του συστήματος καταγράφονται και αξιολογούνται με τη χρήση κατάλληλων μέτρων επίδοσης (performance measures). Ένα σύνολο από μεταβλητές απόφασης (decision variables)

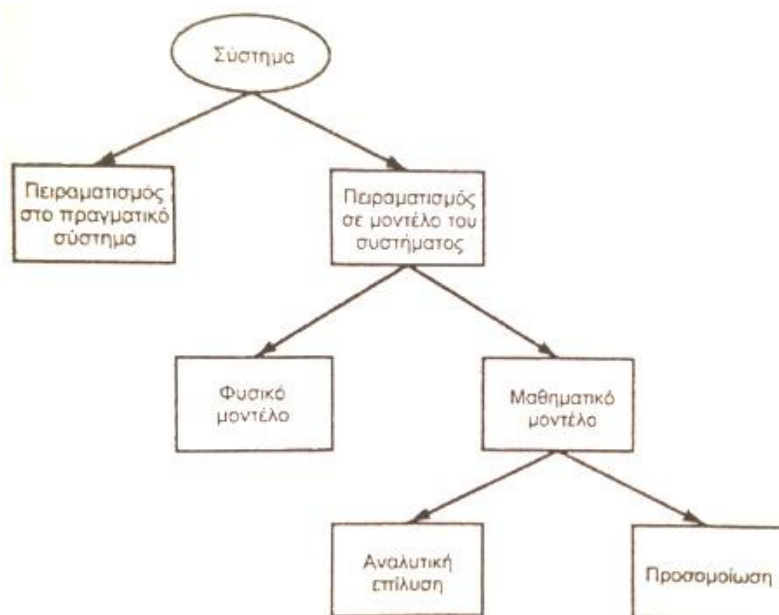
καθορίζουν τη διαχείριση και τον έλεγχο του συστήματος, ενώ εισάγονται στη φάση του σχεδιασμού. Κατά τον καθορισμό των μεταβλητών απόφασης, είναι πολύ σημαντικό να επιλεγούν οι βέλτιστες τιμές με σκοπό την εύρυθμη λειτουργία του συστήματος σύμφωνα με τα μέτρα επίδοσης.

Για τη μελέτη του εκάστοτε συστήματος κατασκευάζεται ένα μοντέλο (system model) που αναπαριστά το εξεταζόμενο σύστημα κατά το δυνατό πιο ρεαλιστικό τρόπο, έτσι ώστε οι τιμές των μεταβλητών απόφασης που θα προκύψουν να είναι και οι κατάλληλες. Ένα μοντέλο μπορεί να χαρακτηριστεί είτε φυσική αναπαράσταση ενός συστήματος (π.χ. η μακέτα ενός κτιρίου υπό κλίμακα), είτε μαθηματικό (ή λογικό).

Σήμερα τα περισσότερα μοντέλα είναι μαθηματικά και συγκροτούνται από προσεγγίσεις και υποθέσεις, όπου οι σχέσεις είναι λογικές και ποσοτικές. Στην περίπτωση ενός μαθηματικού μοντέλου, η αναπαράσταση γίνεται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή με στόχο μια ρεαλιστική απεικόνιση του συστήματος έτσι ώστε και τα αποτελέσματα που θα εξαχθούν να είναι εξίσου ρεαλιστικά. Επιπλέον θα πρέπει να είναι διακριτές οι μεταβολές των μέτρων επίδοσης όταν έχει προηγηθεί αλλαγή των μεταβλητών απόφασης.

Για τη μελέτη των αποτελεσμάτων και της συμπεριφοράς ενός συστήματος επιλέγεται κάθε φορά η καταλληλότερη μέθοδος συναρτήσεως της πολυπλοκότητας του μοντέλου που απεικονίζεται.

Εάν το σύστημα περιγράφεται από απλές σχέσεις μπορεί να εξαχθεί μία ακριβής λύση μέσω των αποτελεσμάτων, με τη χρήση αυστηρών μαθηματικών μεθόδων. Στην περίπτωση αυτή προκύπτει μια αναλυτική επίλυση του προβλήματος. Στην αντίθετη περίπτωση των πολύπλοκων συστημάτων, που είναι και η συνηθέστερη για συστήματα του πραγματικού κόσμου, τα μοντέλα μελετώνται με προσομοίωση με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή. Με τον τρόπο αυτό υπολογίζονται αριθμητικά οι τιμές των μεταβλητών και αφού γίνει και η συλλογή των δεδομένων, εκτιμάται η επίδοση του συστήματος. Στο Σχήμα 3.1 εμφανίζονται οι βασικοί τρόποι μελέτης συστημάτων.



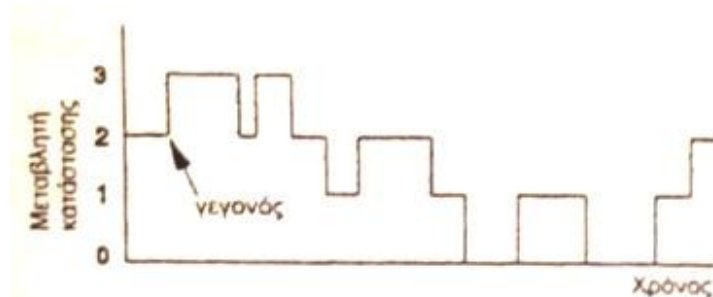
Σχήμα 3.1 Τρόποι μελέτης συστημάτων (πηγή: Law and Kelton, 1991)

Ανάλογα με την κατάσταση (state) στην οποία βρίσκεται ένα σύστημα, χρησιμοποιούνται μεταβλητές κατάστασης με κατάλληλες τιμές στο μοντέλο, ώστε η λειτουργία και η απόδοσή του να παραπέμπουν στην πραγματικότητα.

Τα μοντέλα διακρίνονται στους εξής τύπους:

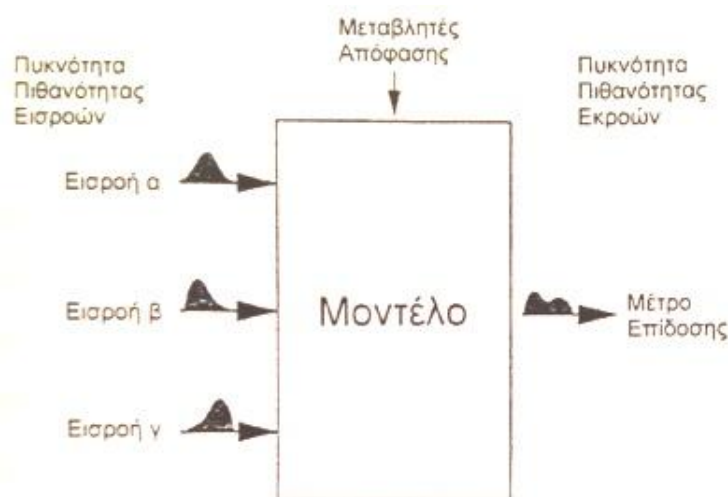
- Στατικά μοντέλα (static models): Χρησιμοποιούνται για συστήματα όπου μένουν ανεπηρέαστα από το χρόνο και ο συνδυασμός τιμών των μεταβλητών του μοντέλου είναι συγκεκριμένος.
- Δυναμικά μοντέλα (dynamic models): Στην αντίθετη περίπτωση όπου η μελέτη ενός συστήματος εστιάζεται στην εξέλιξη της κατάστασής του σε συνάρτηση με το χρόνο, το χώρο ή μια ακολουθία σταδίων, επιλέγονται δυναμικά μοντέλα. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι οι μεταβλητές κατάστασης να χαρακτηρίζουν επαρκώς τη λειτουργία και την επίδοση του συστήματος, ώστε να είναι δυνατός ο υπολογισμός των μέτρων επίδοσης και στη συνέχεια αξιολόγηση των εναλλακτικών σεναρίων που εξετάζονται. Επιπλέον ένα άλλο στοιχείο που καλύπτουν τα δυναμικά μοντέλα είναι η δυνατότητα προσδιορισμού της επόμενης κατάστασης του συστήματος με δεδομένα τις τρέχουσες τιμές των μεταβλητών κατάστασης, τις εξωγενείς εισροές και τη γνώση των λειτουργικών σχέσεων μεταξύ των οντοτήτων που αποτελούν το σύστημα (Θ. Μιχαλακόπουλος, 2001).

- Δυναμικά μοντέλα διακριτών γεγονότων (discrete-event models): Στα συγκεκριμένα μοντέλα καθορίζονται μεταβλητές κατάστασης, οι οποίες αλλάζουν τιμή κάθε φορά που λαμβάνει χώρα ένα συγκεκριμένο συμβάν – γεγονός (event). Στο Σχήμα 3.2 απεικονίζεται η γραφική παράσταση μεταβλητής κατάστασης ως προς το χρόνο σε δυναμικά μοντέλα διακριτών γεγονότων.



Σχήμα 3.2 Γραφική παράσταση μεταβλητής κατάστασης ως προς το χρόνο σε δυναμικά μοντέλα διακριτών γεγονότων (πηγή: Yingling, 1992)

- Στοχαστικά μοντέλα (stochastic models): Χρησιμοποιούνται όταν οι εξωγενείς εισροές στο μοντέλο είναι τυχαίας φύσης, δηλαδή η μεταβολή τους στο χρόνο ή το χώρο περιγράφεται με τους νόμους των πιθανοτήτων. Για τις εξωγενείς εισροές θα πρέπει να είναι γνωστή η καταλληλότερη κατανομή πιθανότητας, καθώς και η μορφή της με τις απαραίτητες παραμέτρους. Η διαδικασία και η απόκριση της μοντελοποίησης φαίνεται στο Σχήμα 3.3.



Σχήμα 3.3 Απόκριση στοχαστικού μοντέλου (πηγή: Yingling, 1992)

- Ντετερμινιστικά μοντέλα (deterministic models): Τα συγκεκριμένα μοντέλα σε αντίθεση με τα στοχαστικά, χρησιμοποιούνται όταν οι εξωγενείς εισροές δεν είναι στοχαστικές.

Αρκετές φορές παρατηρείται το φαινόμενο καταχώρησης των μέσων τιμών, ως τιμές των μεταβλητών εισόδου, στις μαθηματικές σχέσεις περιγραφής της επίδοσης του μοντέλου. Όμως, με αυτή τη τεχνική μοντελοποίησης, είναι πολύ πιθανόν να εμφανιστεί σφάλμα στις εκτιμήσεις της επίδοσης του συστήματος, παρέχοντας ουσιαστικά προσεγγίσεις του αποτελέσματος.

3.1. Στοιχεία ενός μοντέλου προσομοίωσης

Για την μοντελοποίηση ενός συστήματος χρησιμοποιούνται ορισμένα βασικά στοιχεία που δημιουργούν το μοντέλο προσομοίωσης. Τα στοιχεία αυτά στοχεύουν στη ρεαλιστικότερη δυνατή απεικόνισή του συστήματος, έτσι ώστε να εξαχθούν και τα ακριβέστερα συμπεράσματα. Τα στοιχεία ενός μοντέλου προσομοίωσης καθώς και η χρησιμότητά τους επεξηγείται στη συνέχεια.

3.1.1. Οντότητες

Στις περισσότερες προσομοιώσεις ορίζονται “πελάτες”, ή αλλιώς οντότητες (entities), οι οποίες κινούνται μέσα στο σύστημα, αλλάζουν κατάσταση, επηρεάζουν και επηρεάζονται από άλλες οντότητες και από την κατάσταση του συστήματος, ενώ επιπλέον επηρεάζουν τα αποτελέσματα των μετρήσεων που προκύπτουν στο τέλος της προσομοίωσης. Οι οντότητες είναι δυναμικά μέρη στο μοντέλο προσομοίωσης, τα οποία δημιουργούνται, κινούνται για λίγο μέσα στο σύστημα και στη συνέχεια καταστρέφονται αφού εξέλθουν από αυτό. Πολλές φορές για την ανάγκη της ρεαλιστικής αναπαράστασης ενός συστήματος, δημιουργούνται οντότητες οι οποίες μετά τη δημιουργία τους ακολουθούν μία κυκλική προκαθορισμένη πορεία που επαναλαμβάνουν διαρκώς έως ότου ολοκληρωθεί η διαδικασία της προσομοίωσης. Οι οντότητες που δημιουργούνται με αυτό τον σκοπό ονομάζονται οντότητες ελέγχου (control entities). Όλες οι οντότητες δημιουργούνται είτε από τον χρήστη στη φάση του σχεδιασμού, είτε από το ίδιο το πρόγραμμα προσομοίωσης. Αν και τις περισσότερες φορές οι οντότητες αναπαριστούν πραγματικά μέρη ενός συστήματος, υπάρχουν πολλά και διαφορετικά είδη οντοτήτων που βρίσκονται μέσα σε ένα σύστημα, οπότε είναι απαραίτητη η καταγραφή και ο διαχωρισμός τους στην αρχή της μοντελοποίησης κάθε συστήματος.

3.1.2. Ιδιότητες

Για να επιτευχθεί η απαραίτητη εξατομίκευση στις υπάρχουσες οντότητες, τους αποδίδεται ένα πλήθος ιδιοτήτων (attributes). Το είδος των ιδιοτήτων αυτών μπορεί να είναι το ίδιο για τις οντότητες, αλλά διαφέρουν στην τιμή που θα λάβει το κάθε γνώρισμα. Για παράδειγμα όλες οι οντότητες μπορούν να έχουν όνομα ή ένα συγκεκριμένο χρώμα με το οποίο θα απεικονίζονται, χωρίς όμως να ταυτίζονται τα χαρακτηριστικά μίας οντότητας με αυτά μίας άλλης. Με άλλα λόγια οι τιμές των ιδιοτήτων είναι χαρακτηριστικές και λειτουργούν σαν ταυτότητα για την κάθε οντότητα.

3.1.3. Μεταβλητές

Κάθε μεταβλητή (variable) παρέχει μία πληροφορία για ένα χαρακτηριστικό του συστήματος, ανεξαρτήτως του αριθμού ή των ειδών των οντοτήτων που υπάρχουν. Παρά το πλήθος των μεταβλητών που μπορούν να υπάρξουν σε ένα μοντέλο, κάθε μία είναι μοναδική. Οι μεταβλητές σε αντίθεση με τις ιδιότητες αναφέρονται σε όλο το σύστημα σαν σύνολο και όχι σε κάθε οντότητα ξεχωριστά. Ορισμένες μεταβλητές είναι προσβάσιμες από οντότητες και μπορούν να αλλαχθούν από αυτές.

3.1.4. Πόροι

Με τον όρο πόροι (resources) γίνεται αναφορά στα τμήματα του μοντέλου, στα οποία εξυπηρετούνται οι οντότητες. Μία οντότητα δεσμεύει (seizes) μία μονάδα εξυπηρέτησης όταν είναι διαθέσιμη και την αποδεσμεύει (releases) όταν έχει ολοκληρώσει το έργο της.

Μία μονάδα εξυπηρέτησης μπορεί να αντιπροσωπεύει μία ομάδα εξυπηρετητών και να αποτελείται από επιμέρους μονάδες. Αυτός ο τρόπος αναπαράστασης των μονάδων εξυπηρέτησης συναντάται συχνά όταν το σύστημα που εξετάζεται το απαιτεί. Για παράδειγμα εάν χρειαστεί να προσομοιωθεί το τμήμα εξυπηρέτησης μίας αεροπορικής εταιρίας για τον έλεγχο των εισιτηρίων και τον αποσκευών, η ομάδα εξυπηρετών θα αποτελείται από το σύνολο των μονάδων εξυπηρέτησης που βρίσκονται παράλληλα στο χώρο.

3.1.5. Σειρές αναμονής

Όταν μία οντότητα δεν μπορεί να κινηθεί, πιθανότατα γιατί η μονάδα εξυπηρέτησης για την οποία προορίζεται είναι απασχολημένη, είναι απαραίτητη η δημιουργία ενός χώρου αναμονής, ο οποίος ονομάζεται σειρά αναμονής (queue).

3.1.6. Στατιστικές μεταβλητές

Για τη μελέτη των αποτελεσμάτων των μέτρων επίδοσης του συστήματος, είναι απαραίτητη η ύπαρξη κατάλληλων στατιστικών μεταβλητών (statistical accumulators), όπου καταγράφεται οποιαδήποτε αλλαγή παρουσιαστεί στις μεταβλητές κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.

3.1.7. Γεγονότα

Γεγονός (event) ονομάζεται οτιδήποτε συμβεί στιγμιαία στο μοντέλο την ώρα της προσομοίωσης, με αποτέλεσμα να παρατηρηθεί αλλαγή της τιμής μιας μεταβλητής κατάστασης, στις ιδιότητες των οντοτήτων ή στις στατιστικές μεταβλητές. Φυσικά ο αριθμός και το είδος των συμβάντων διαφέρει ανάλογα με το εκάστοτε σύστημα το οποίο μελετάται.

Τα γεγονότα που θα εμφανιστούν κατά την εκτέλεση μίας προσομοίωσης έχουν καταχωρηθεί στο μοντέλο και αποτελούν τη λίστα μελλοντικών γεγονότων (future event list). Στην λίστα αυτή καταγράφεται η ταυτότητα της οντότητας που θα πάρει μέρος στο γεγονός, η ώρα του γεγονότος, καθώς και το είδος του. Τα γεγονότα είναι τοποθετημένα με χρονολογική σειρά εμφάνισης στο μοντέλο προσομοίωσης. Το συμβάν που πρόκειται να εμφανιστεί συντομότερα τοποθετείται στην κορυφή της λίστας, ενώ όταν αυτό πραγματοποιηθεί απομακρύνεται από την λίστα και το επόμενο γεγονός που το διαδέχεται τοποθετείται με την σειρά του στην κορυφή της λίστας περιμένοντας την ώρα που είναι προγραμματισμένο να προκύψει.

3.1.8. Ρολόι προσομοίωσης

Ρολόι προσομοίωσης (simulation clock) ονομάζεται η μεταβλητή, η οποία αντιπροσωπεύει τον τρέχοντα πραγματικό χρόνο. Η λειτουργία αυτής της μεταβλητής καθορίζεται από την λίστα μελλοντικών γεγονότων και σκοπός της είναι ο καθορισμός των χρονικών στιγμών, όπου εμφανίζεται στο μοντέλο ένα γεγονός.

3.1.9. Εκκίνηση και τερματισμός της προσομοίωσης

Αν και φαινομενικά απλή, σημαντική για τη μοντελοποίηση ενός συστήματος, είναι η διαδικασία εκκίνησης και τερματισμού (starting and stopping). Θα πρέπει εκ των προτέρων να έχουν επιλεχτεί τόσο οι συνθήκες εκκίνησης, όσο και οι συνθήκες τερματισμού της προσομοίωσης. Για παράδειγμα, ο τερματισμός της προσομοίωσης

μπορεί να καθοριστεί με βάση μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή ή με βάση την εμφάνιση ενός συγκεκριμένου γεγονότος.

3.2. Μελέτη ενός μεταλλευτικού συστήματος με χρήση μοντέλων προσομοίωσης

Οι δυνατότητες που παρέχονται από τη χρήση της προσομοίωσης χρησιμοποιούνται εκτενώς για τη μελέτη μεταλλευτικών συστημάτων. Η προσομοίωση σε εφαρμογές μεταλλευτικής εμφανίζεται ήδη από το 1961.

Για τη σωστή λειτουργία μίας μεταλλευτικής εκμετάλλευσης απαιτείται η συγκρότηση συστημάτων από επί μέρους μονάδες, οι οποίες όταν συνεργαστούν θα αποφέρουν το βέλτιστο οικονομικό και λειτουργικό αποτέλεσμα. Οι προαπαιτήσεις που θα πρέπει να πληρούν οι μονάδες αυτές για μία αποδοτική εκμετάλλευση μπορεί να είναι: η επαρκής ισχύς του εκσκαφέα έτσι ώστε τα κοπτικά άκρα να επιτυγχάνουν την επιθυμητή εξόρυξη, η δυνατότητα κίνησης των χωματουργικών αυτοκινήτων στο οδικό δίκτυο του ορυχείου, η διαχείριση του εξορυγμένου υλικού με τα καταλληλότερα μέσα κ.α. Εκτός όμως από το σχεδιασμό και την επιλογή του εξοπλισμού θα πρέπει να συντονιστεί η αρμονική λειτουργία όλων αυτών των μονάδων.

Η ολοκλήρωση της λειτουργίας όλων των μονάδων, για τη δημιουργία ενός αποδοτικού συστήματος που θα πραγματοποιεί την παραγωγική διαδικασία, χρήζει ιδιαίτερης προσοχής, τόσο στον αρχικό σχεδιασμό του συστήματος, όσο και στη διαχείριση των καθημερινών λειτουργιών του. Κάποια από τα κρισιμότερα σημεία στα οποία πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή είναι τα εξής:

- Επειδή ο προγραμματισμός και η αλληλουχία των λειτουργιών εκτελούνται παράλληλα (δηλαδή, συγχρόνως), θα πρέπει να υλοποιούνται έτσι ώστε σπανίως μία λειτουργία να προκαλεί υπερβολική καθυστέρηση στην εκτέλεση οποιασδήποτε άλλης.
- Εξισορρόπηση της δυνατότητας παραγωγής σύμφωνα με τη λειτουργία των μονάδων του συστήματος. Η επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού και της συνεργασίας των διαφόρων μονάδων, είναι πολλές φορές πιο πολύπλοκο από ότι δείχνει.
- Εκτίμηση των αποτελεσμάτων του σχεδιασμού εκμετάλλευσης στην επίδοση του συστήματος.

- Εκτίμηση του βαθμού διαθεσιμότητας των μονάδων βάση του σχεδιασμού του συστήματος. Γενικά τα μεταλλευτικά συστήματα χαρακτηρίζονται ως αλληλοεξαρτώμενα και διαδοχικά. Με τους χαρακτηρισμούς αυτούς εννοείται ότι μία ενδεχόμενη βλάβη στη λειτουργία μίας μονάδας παραγωγής, μπορεί να αποτελέσει αιτία διακοπής της λειτουργίας άλλων εξαρτώμενων μονάδων.
- Τα συστήματα μεταφοράς του υλικού σε μία μεταλλευτική εκμετάλλευση καλούνται πολλές φορές να διαχειριστούν ένα μεγάλο εύρος παραγωγής. Έτσι θα πρέπει να επιδιώκεται στο σχεδιασμό ο περιορισμός της διαφοράς ανάμεσα στη μέση και την υψηλότερη παραγωγή, ώστε να επιλεγεί το μικρότερο μεν δίκτυο μεταφοράς, που όμως θα μπορεί να διαχειριστεί το συνήθη όγκο της παραγωγής. Στην περίπτωση που επιλεγεί το μεγαλύτερο δίκτυο μεταφοράς σύμφωνα με τη μέγιστη παραγωγή, το κόστος επένδυσης όπως και το κόστος λειτουργίας θα είναι πιθανώς ασύμφορο.

Τα μοντέλα μεταλλευτικών συστημάτων στοχεύουν στην αξιολόγηση πολλών διαφορετικών σχεδιασμών και λειτουργικών στρατηγικών που μπορούν να αναπτυχθούν για την εκμετάλλευση ενός δεδομένου ορυχείου. Οι λειτουργίες των μονάδων παρουσιάζονται συγκεντρωτικά ως σύστημα και όχι μεμονωμένα. Η διασύνδεση και η αλληλεπίδραση των μονάδων εξετάζεται με προσοχή. Με τον τρόπο αυτό η αξιολόγηση της επίδοσης του συστήματος αναφέρεται σε μία συνολική εικόνα της λειτουργίας του και όχι στα επί μέρους τμήματα που το αποτελούν.

Η προσομοίωση μπορεί να οριστεί ως ένα πείραμα στατιστικής δειγματοληψίας που εκτελείται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή (Law and Kelton, 1991). Σε αντίθεση με άλλα μοντέλα ενός συστήματος, τα μοντέλα προσομοίωσης έχουν εξαρχής ως σκοπό την εκτέλεσή τους (run). Κατά την εκτέλεση παράγονται αριθμητικώς τεχνητά ιστορικά της λειτουργίας του συστήματος, όπου φαίνεται ο τρόπος μεταβολής των τιμών των μεταβλητών κατάστασης στο χρόνο, το χώρο ή σε μία διαδικασία σταδίων (Θ. Μιχαλακόπουλος, 2001). Αυτά τα ιστορικά, ολόκληρα ή εν μέρει, παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες για τη λειτουργία του συστήματος και επιτρέπουν την εκτίμηση των μέτρων επίδοσής του (Yingling 1992).

Επιπλέον, είναι δυνατή η στατική ή δυναμική οπτική (animation) απεικόνιση της κατάστασης του συστήματος στις διάφορες φάσεις της λειτουργίας του. Στην περίπτωση που επιλέγεται δυναμική οπτική απεικόνιση, υπάρχει η δυνατότητα επιλογής του ρυθμού

ανανέωσης της απεικόνισης. Μέσω της απεικόνισης παρέχεται μία πιστοποίηση της εγκυρότητας της αναπαράστασης του συστήματος από ένα μοντέλο. Επίσης, η ύπαρξη απεικόνισης είναι καθοριστική στην εύρεση δυσλειτουργιών και μη επιθυμητών αποτελεσμάτων κατά τη λειτουργία του μοντέλου (debugging).

Τα διάφορα συστήματα αναπαρίστανται μέσω μοντέλων είτε συνεχών είτε διακριτών γεγονότων, με βασικό κριτήριο επιλογής να είναι ο σκοπός της μελέτης και σε μικρότερο βαθμό ο τύπος του συστήματος. Για τα μεταλλευτικά συστήματα χρησιμοποιούνται κυρίως μοντέλα διακριτών γεγονότων.

Τα διάφορα μοντέλα προσομοίωσης καταστρώνονται με μία από τις εξής μεθόδους (Banks, 1998):

- Προγραμματισμού γεγονότων (event scheduling).
- Αλληλεπίδρασης διεργασιών (process interaction).
- Ανίχνευσης δραστηριοτήτων (activity scanning).
- Τριών φάσεων (three-phase).

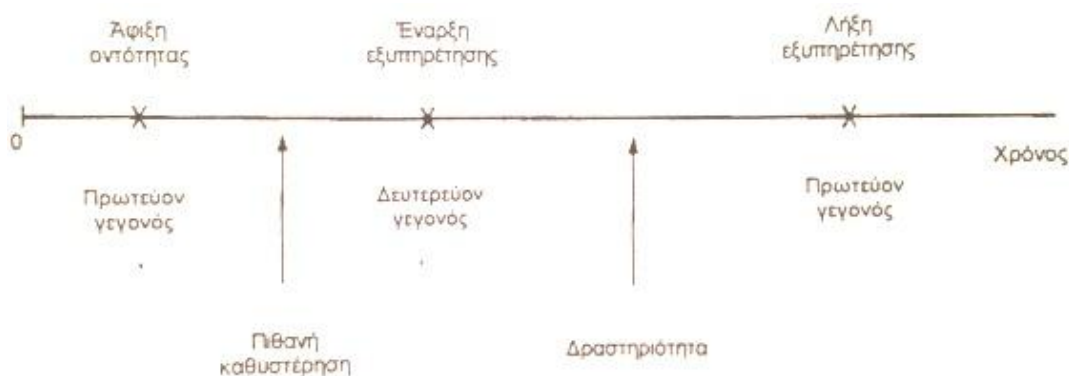
Στη μέθοδο του προγραμματισμού γεγονότων, προσδιορίζονται οι τύποι γεγονότων που λαμβάνουν χώρα και περιγράφεται, ο ακριβής μηχανισμός κάθε τύπου μέσω των αλλαγών που προκαλεί στην κατάσταση του συστήματος. Τα γεγονότα εμφανίζονται κατά τη διάρκεια του χρόνου με τη σειρά που εμφανίζονται στη λίστα μελλοντικών γεγονότων, ενώ ο προσομοιούμενος χρόνος παραμένει στάσιμος κατά την εκτέλεση του μηχανισμού γεγονότων. Σημαντικό ρόλο έχουν οι αρχικές συνθήκες, σύμφωνα με τις οποίες ορίζεται η αρχική κατάσταση του συστήματος, ενώ ταυτόχρονα παράγουν τα γεγονότα που αρχικοποιούν το μοντέλο. Γενικά, για κάθε τύπο γεγονότος πρέπει να παράγεται ένα αρχικό γεγονός κατά την έναρξη εκτέλεσης της προσομοίωσης. Κατά την εκτέλεση αφού υπολογιστεί η χρονική στιγμή του επόμενου γεγονότος, το ρολόι της προσομοίωσης προωθείται στη συγκεκριμένη χρονική στιγμή και εκτελείται ο μηχανισμός του γεγονότος. Οι ενέργειες που προκαλούνται από το μηχανισμό είναι οι ακόλουθες:

- Ενημέρωση της κατάστασης του συστήματος.
- Ορισμός μελλοντικών γεγονότων στο σχετικό πίνακα, τα οποία προκύπτουν την δεδομένη στιγμή εξαιτίας της εμφάνισης του τρέχοντος γεγονότος.

Το αποτέλεσμα των ενεργειών εξαρτάται αποκλειστικά από τον τύπο του γεγονότος, τις τρέχουσες τιμές των μεταβλητών κατάστασης και τις λειτουργικές σχέσεις που

περιγράφουν τη συμπεριφορά του συστήματος (Θ. Μιχαλακόπουλος, 2001). Η λίστα μελλοντικών γεγονότων τροποποιείται διαρκώς και εξαρτάται πλήρως από τις εξελισσόμενες δραστηριότητες. Έτσι η σειρά και ο αριθμός των γεγονότων που περιέχει είναι δυνατόν να αλλάξουν κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης της προσομοίωσης.

Με τη μέθοδο της αλληλεπίδρασης διεργασιών περιγράφεται η πορεία μίας οντότητας καθώς υφίσταται μία διεργασία. Με τον όρο διεργασία γίνεται αναφορά σε μία διαδοχή αλληλοεξαρτώμενων γεγονότων, που λαμβάνουν χώρα με συγκεκριμένη σειρά. Το Σχήμα 3.5 απεικονίζει μία διεργασία σε ένα σύστημα σειράς αναμονής.

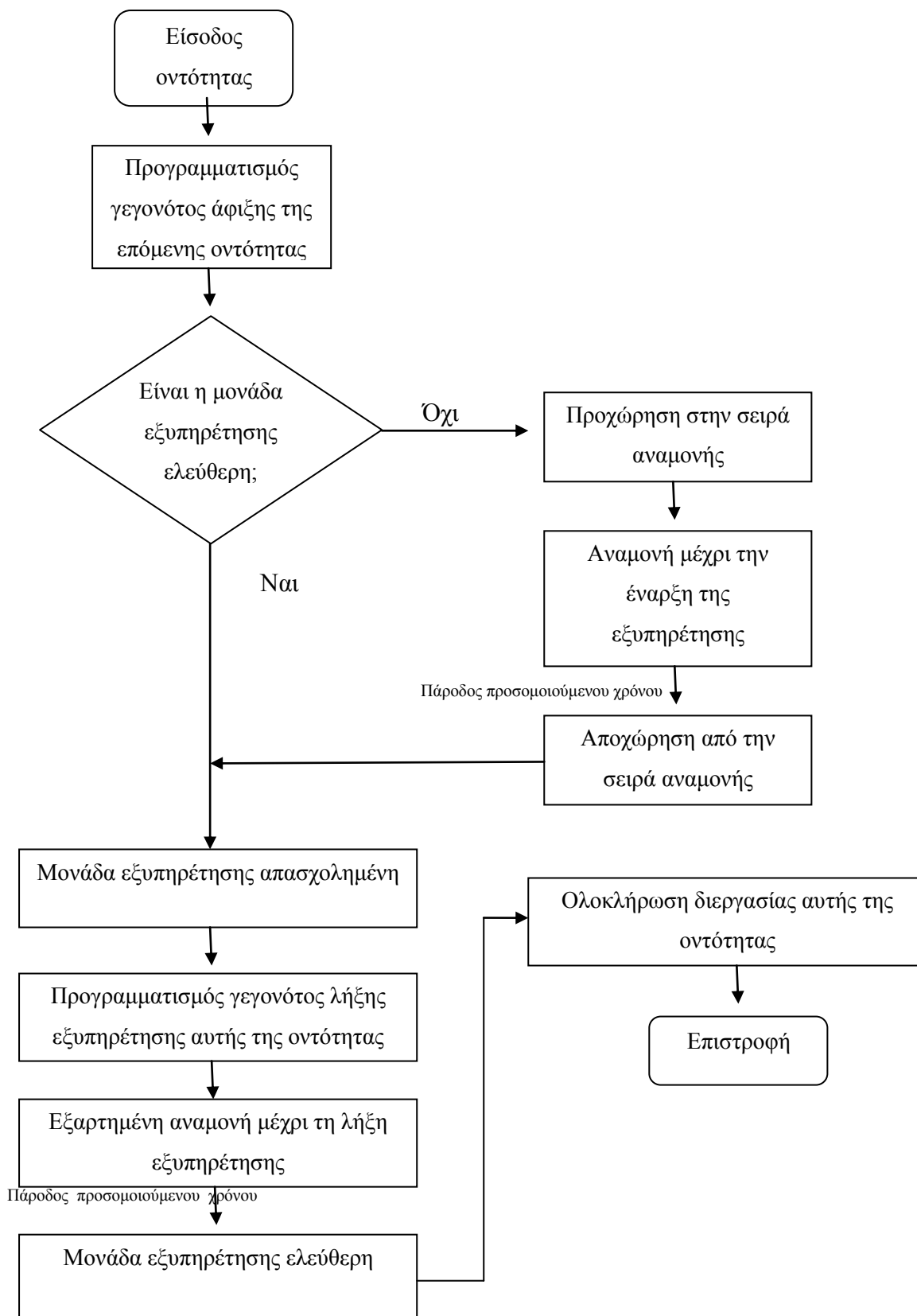


Σχήμα 3.4 Διεργασία σε θέση εξυπηρέτησης συστήματος σειράς αναμονής (Law and Kelton, 1991)

Η εκτέλεση βασίζεται στις ρουτίνες διεργασιών (process routines). Σε κάθε οντότητα που εισέρχεται στο σύστημα αποδίδεται ένα αντίγραφο της αντίστοιχης ρουτίνας και γίνεται αρχικοποίησή της. Η εκτέλεση ξεκινάει από κάποιο σημείο της ρουτίνας και συνεχίζει με όσα βήματα μπορούν να γίνουν χωρίς καθυστερήσεις (Θ. Μιχαλακόπουλος, 2001). Στο σημείο αυτό οι τιμές των μεταβλητών κατάστασης του συστήματος ή οι ιδιότητες μίας οντότητας μπορούν να μεταβληθούν, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται μελλοντικά γεγονότα, τα οποία τοποθετούνται στη λίστα μελλοντικών γεγονότων.

Αν στο επόμενο βήμα διαπιστωθεί καθυστέρηση η εκτέλεση αναβάλλεται προσωρινά. Στο σημείο αυτό ενεργοποιούνται οι ρουτίνες διεργασιών άλλων οντοτήτων έτσι ώστε να αποφύγουν τις καθυστερήσεις. Οι ρουτίνες προωθούνται μέχρις ότου το ρολόι προσομοίωσης εμφανίσει την ίδια χρονική στιγμή με αυτή που είναι προγραμματισμένο να προκύψει το επόμενο γεγονός. Με τον τρόπο αυτό ολοκληρώνεται μία δραστηριότητα και ακολουθεί η ενεργοποίηση της ρουτίνας της οντότητας που προγραμματίσει το γεγονός. Η εκτέλεση της ρουτίνας συνεχίζει από το σημείο που είχε σταματήσει. Η οντότητα εκτελεί τη ρουτίνα είτε μέχρι να εξέλθει του συστήματος, είτε μέχρι τον τερματισμό της

προσομοίωσης για οποιοδήποτε λόγο. Το Σχήμα 3.6 απεικονίζει τη ρουτίνα διεργασίας οντότητας σε ένα σύστημα σειράς αναμονής.



Σχήμα 3.5 Ρουτίνα διεργασίας οντότητας σε σύστημα σειράς αναμονής (Law and Kelton, 1991)

3.2.1. Προσομοίωση συνεχών μεταλλευτικών συστημάτων

Η προσομοίωση σε ηλεκτρονικό υπολογιστή είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για το σχεδιασμό μεταλλευτικών εκμεταλλεύσεων που αποτελούνται από ένα συνεχές σύστημα καδοφόρων εκσκαφών, ταινιοδρόμων και αποθετών, με τη δυνατότητα να προβλεφθεί η επίδοση του συστήματος όσον αφορά στις διαρροές και στις υπερφορτώσεις υλικού στους ταινιοδρόμους, το βαθμό διαθεσιμότητας και χρησιμοποίησης του συστήματος κ.α.

Τα συνεχή συστήματα εκμετάλλευσης παρουσιάζουν αρκετά πλεονεκτήματα συγκριτικά με ασυνεχή συστήματα που αποτελούνται από χωματουργικά αυτοκίνητα και φορτωτές-εκσκαφείς. Ωστόσο εντοπίζονται και αρκετά προβλήματα κατά την εφαρμογή συστημάτων συνεχούς λειτουργίας, όπως τα εξής:

- Στην περίπτωση που η εκμετάλλευση πραγματοποιείται σε πολυστρωματικό κοίτασμα, η ροή του υλικού επάνω στους ταινιοδρόμους αυξομειώνεται διαρκώς με αποτέλεσμα να αποτελεί πολύπλοκο πρόβλημα η επιλογή του βέλτιστου εξοπλισμού που θα μπορεί να διαχειριστεί το μέγεθος της παραγωγής.
- Η δομή των συνεχών συστημάτων εκμετάλλευσης βασίζεται στη ταυτόχρονη λειτουργία των επί μέρους μονάδων. Η αυστηρή αλληλεξάρτηση μεταξύ των μονάδων, προϋποθέτει υψηλή αξιοπιστία του εξοπλισμού, καθώς και τακτική συντήρησή του, για να μην τεθεί σε κίνδυνο το μέγεθος της απαιτούμενης παραγωγής. Στην περίπτωση που μία μονάδα εμφανίσει βλάβη σε ένα συνεχές σύστημα, αναπόφευκτα θα ακολουθήσει η διακοπή λειτουργίας των μονάδων που συνεργάζονται με αυτή.

3.3. Η προσομοίωση μεταλλευτικών συστημάτων – Ιστορική αναδρομή

Στο μεταλλευτικό χώρο έχει σημειωθεί ήδη από το 1960 περίπου, ένα ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την εφαρμογή της μεθόδου της προσομοίωσης συστημάτων. Οι μεταλλειολόγοι μηχανικοί έδειχναν και νωρίτερα ενδιαφέρον για τη συγκεκριμένη τεχνική, αλλά εξαιτίας της έλλειψης ηλεκτρονικών υπολογιστών τα παλαιότερα χρόνια, δεν μπορούσε να τεθεί σε εφαρμογή κάποια αξιόλογη ιδέα. Ωστόσο, πέρασαν αρκετά χρόνια έως ότου γίνει αποδεκτό ότι η ακριβέστερη και καλύτερη λύση για την μελέτη ενός συστήματος στον μεταλλευτικό χώρο, είναι μέσα από την προσομοίωση με μοντέλα διακριτών γεγονότων.

Κομβικό σημείο στην ανάπτυξη τέτοιων μεθόδων ήταν η είσοδος των ηλεκτρονικών υπολογιστών και η δυναμική απεικόνιση (animation) που εμφανίζεται στην οθόνη και δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη όχι μόνο να έχει την εποπτεία ενός συστήματος που προσομοιώνει, αλλά επιπλέον να μπορεί να εντοπίσει ευκολότερα (debugging) τυχόν δυσλειτουργίες του συστήματος που χρήζουν τροποποίησης.

Η πρώτη εφαρμογή πραγματοποιήθηκε το 1961 από τον Rist και χρησιμοποιήθηκε η ειδική γλώσσα προγραμματισμού SPS (Symbolic Programming System Language), η οποία δεν είναι πλέον διαθέσιμη. Το πρόβλημα που έπρεπε να διαχειριστεί ο Rist ήταν αφού προσομοιώσει ένα υπόγειο ορυχείο μολυβδαινίου, να αποφανθεί για το βέλτιστο αριθμό βαγονιών που έπρεπε να υπάρχουν για τη μεταφορά του υλικού. Τα βαγόνια που ήταν φορτωμένα με υλικό έπρεπε να περιμένουν στην ουρά έως ότου ελευθερωθεί μία από τις δύο θέσεις που βρισκόντουσαν στον θραυστήρα. Για την αναπαράσταση του συστήματος ορίστηκαν στο μοντέλο και ορισμένοι ακόμα περιορισμοί. Η προσομοίωση για το συγκεκριμένο ορυχείο αναπτύχθηκε και εξελίχθηκε από τον Harvey, ο οποίος με δεδομένα που αντιπροσώπευαν το 1,5% περίπου της πραγματικής παραγωγής του ορυχείου, εξήγαγε χρήσιμες πληροφορίες. Στην εφαρμογή αυτή χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά η γλώσσα GPSS.

Το 1965, ο Sanford δοκιμάζει να προσομοιώσει σε γλώσσα Fortran για πρώτη φορά την λειτουργία ενός συνεχούς συστήματος λειτουργίας με ταινιοδρόμους.

Στη δεκαετία 1960-1970 υπήρξαν αρκετές διαθέσιμες γλώσσες προσομοίωσης, όπως οι SNOBOL, GPSS, GASP, SIMSCRIPT, SIMULA. Έτσι, το 1973 οι Bauer και Calder πρότειναν την αξιοποίηση της προσομοίωσης στο σχεδιασμό οποιασδήποτε εκμετάλλευσης, κάτι το οποίο δεν λήφθηκε σοβαρά υπόψη για αρκετό χρονικό διάστημα.

Από εκεί και έπειτα υπάρχουν αρκετές εφαρμογές προσομοίωσης στον μεταλλευτικό χώρο που ποικίλουν ανάλογα με τη μέθοδο εκμετάλλευσης και τις ιδιαιτερότητες λειτουργίας του κάθε ορυχείου, βάση των οποίων επιλέγεται και η γλώσσα προγραμματισμού ώστε να διαχειρίζεται αποτελεσματικότερα το πρόβλημα που εξετάζεται.

Γενικά υπάρχουν τρεις τρόποι για την προσέγγιση της λειτουργίας μίας μεταλλευτικής εκμετάλλευσης μέσα από την τεχνική της προσομοίωσης. Οι τρόποι αυτοί συνοψίζονται ως εξής:

- Συγγραφή κώδικα στον ηλεκτρονικό υπολογιστή σε μία από τις κλασικές γλώσσες, όπως Fortran, Pascal κ.α., έτσι ώστε να προσομοιωθεί το πρόβλημα.

- Επιλογή ενός προγράμματος γενικής χρήσης, που συνήθως έχει προκύψει από τις κλασικές γλώσσες που προαναφέρθηκαν, και προσαρμογή του για τη μελέτη του προβλήματος που έχει προκύψει.
- Επιλογή μίας γλώσσας που έχει αναπτυχθεί ειδικά για τη μέθοδο της προσομοίωσης. Οι κύριες γλώσσες που έχουν δημιουργηθεί είναι η GPSS (όπου περιλαμβάνονται οι GPSS V, GPSS 360, GPSS/PC και GPSS/H), η SLAM (όπου περιλαμβάνονται οι SLAM II, SLAMSYSTEM και GASP) και η SIMAN(που χρησιμοποιείται και από την εφαρμογή προσομοίωσης ARENA).

4. Μοντελοποίηση δεδομένων εισόδου

Η πραγματοποίηση μετρήσεων διαφόρων μεγεθών για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων μέσα από την εφαρμογή τεχνικών προσομοίωσης, θεωρίας Αναμονής, θεωρίας Αξιοπιστίας, απλών μαθηματικών ή άλλων μεθόδων αποτελεί σύνηθες φαινόμενο. Τα περισσότερα μεγέθη επηρεάζονται από μία σειρά παραγόντων που διαφοροποιούνται στην πορεία του χρόνου. Για τον λόγο αυτό είναι απαραίτητη η λήψη πολλών μετρήσεων σε κατάλληλα χρονικά διαστήματα και υπό διάφορες συνθήκες, ώστε το μέγεθος που εξετάζεται να απεικονίζει όσο πιο ρεαλιστικά γίνεται την πραγματικότητα. Σε όρους στατιστικής, πρέπει να συγκεντρωθεί ένα δείγμα, μέσω του οποίου θα εξαχθούν με στατιστικές τεχνικές συμπεράσματα για έναν πληθυσμό.

4.1. Κατανομές

4.1.1. Βασικές έννοιες

Οι βασικές έννοιες για την κατανόηση της θεωρίας των πιθανοτήτων είναι οι εξής:

- Πιθανότητα στατιστικά ανεξάρτητων γεγονότων:

Αν και μόνο αν,

$$P(Y_1 \cdot Y_2 \cdot Y_3 \cdot \dots \cdot Y_m) = P(Y_1) \cdot P(Y_2) \cdot P(Y_3) \cdot \dots \cdot P(Y_m)$$

τότε τα γεγονότα $Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_m$ είναι ανεξάρτητα. Η $P(Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_m)$ υποδεικνύει τη συνδυαστική πιθανότητα m γεγονότων. Το $P(Y_i)$ είναι η πιθανότητα του γεγονότος i του Y , για $i=1, 2, 3, \dots, m$.

- Συνολική πιθανότητα m γεγονότων:

Η συνολική πιθανότητα m γεγονότων είναι,

$$P(Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots + Y_m) = \{P(Y_1) + P(Y_2) + P(Y_3) + \dots + P(Y_m)\} - \{P(Y_1 Y_2) + P(Y_1 Y_3) + \dots + P(Y_i Y_j)\} \dots + (-1)^{m-1} \{P(Y_1 Y_2 Y_3 \dots Y_m)\}$$

όπου $i = j$ και $(Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots + Y_m)$ είναι η ένωση των γεγονότων Y_m .

4.1.2. Κατανομές πιθανοτήτων

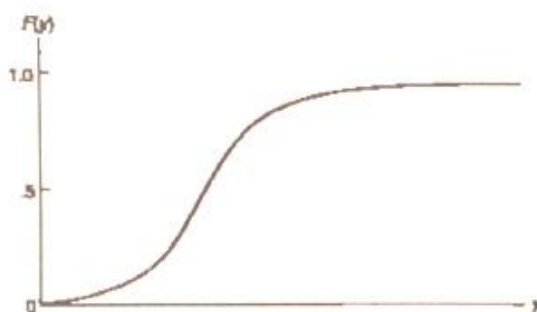
Σημαντικός στόχος της στατιστικής επεξεργασίας δεδομένων, είναι η προσπάθεια προσαρμογής τους σε μία από τις γνωστές θεωρητικές κατανομές. Για την προσαρμογή

θεωρητικών κατανομών είναι αναγκαίο να είναι γνωστά μία σειρά από χαρακτηριστικά αυτών των κατανομών, όπως η αθροιστική συνάρτηση κατανομής πιθανότητας, η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας, η μέση τιμή, η διασπορά κ.α.

Η αθροιστική συνάρτηση κατανομής πιθανότητας $F(y_0)$ μίας τυχαίας μεταβλητής y έχει τη μορφή:

$$F(y_0) = P(y \leq y_0)$$

Η αθροιστική συνάρτηση κατανομής πιθανότητας μιας συνεχούς τυχαίας μεταβλητής y είναι μία μονότονα αύξουσα συνεχής συνάρτηση του y , όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 4.1.

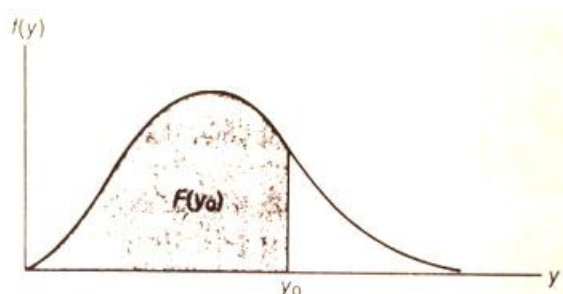


Σχήμα 4.1 Αθροιστική συνάρτηση κατανομής πιθανότητας

Έστω $F(y)$ η αθροιστική συνάρτηση κατανομής πιθανότητας μιας συνεχούς τυχαίας μεταβλητής y , τότε η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας $f(y)$ του y είναι:

$$f(y) = dF(y)/dy$$

Η μορφή της γραφικής παράστασης μιας συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας συνεχούς τυχαίας μεταβλητής παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.2.



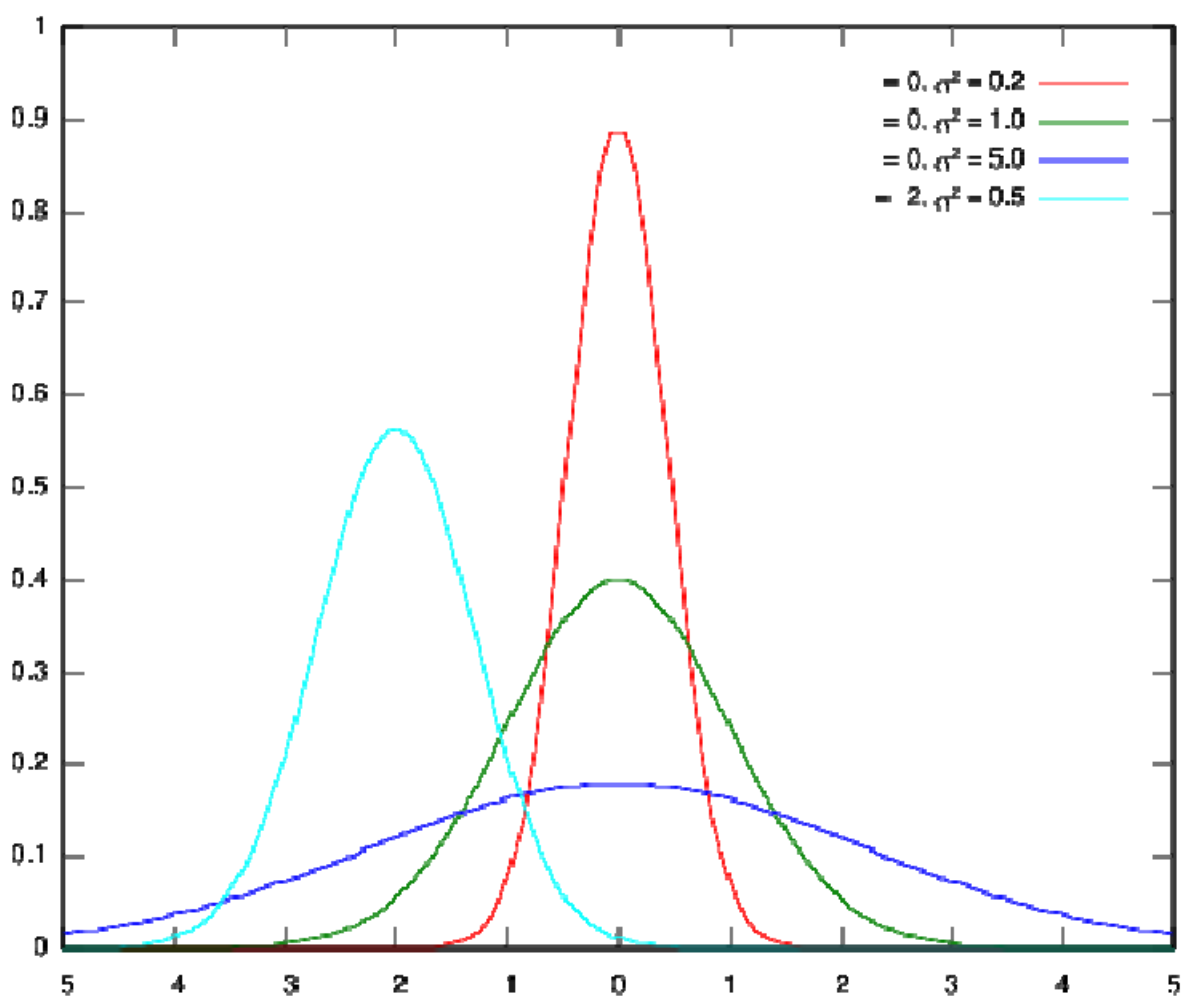
Σχήμα 4.2 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας

4.1.2.1. Κανονική κατανομή

Για να ακολουθεί μία μεταβλητή y την κανονική κατανομή ή κατανομή Gauss, θα πρέπει η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας να είναι η εξής:

$$f(y) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(y-\mu)^2/2\sigma^2}, \quad -\infty < y < \infty$$

Όπου μ και σ σταθερές, που ισούνται με τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση αντίστοιχα. Η γραφική παράσταση της κανονικής κατανομής απεικονίζεται στο Σχήμα 4.3.



Σχήμα 4.3 Γραφική παράσταση συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας για κανονική κατανομή με διάφορα μ και σ

4.1.2.2. Εκθετική κατανομή

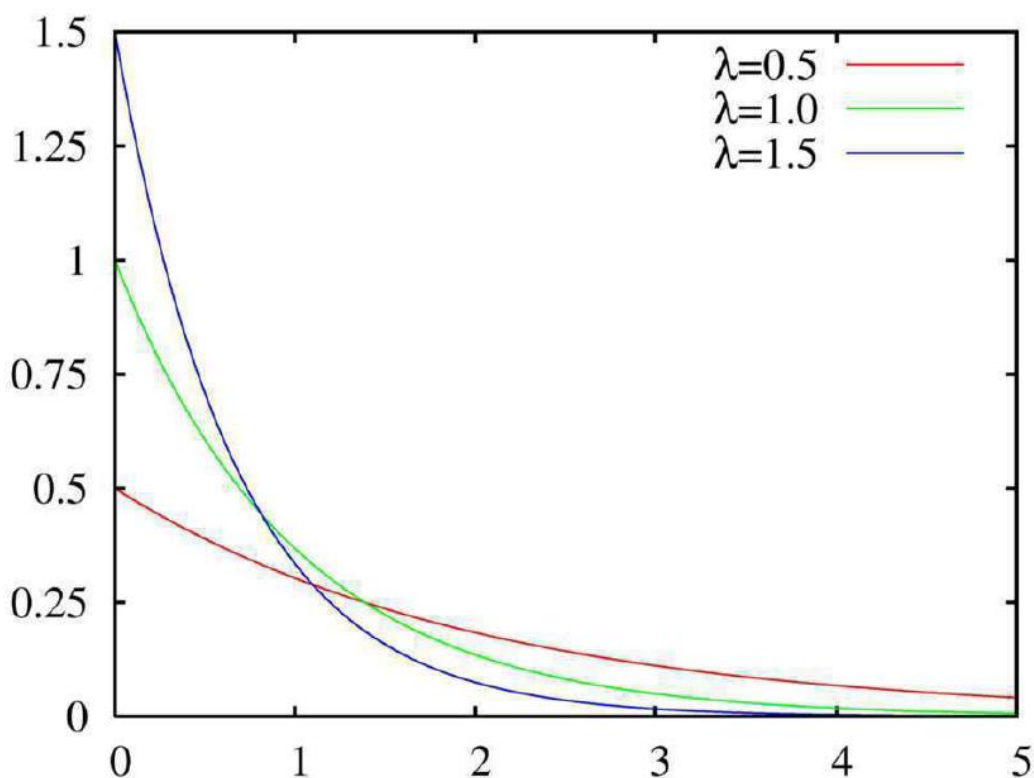
Η εκθετική κατανομή χρησιμοποιείται εκτενώς στη θεωρία Αξιοπιστίας και στη θεωρία Αναμονής, σε εφαρμογές της στη διάρκεια ζωής εξαρτημάτων ενός συστήματος και στο χρόνο εξυπηρέτησης πελάτη σε ένα σύστημα εξυπηρέτησης.

Η εκθετική κατανομή, της οποίας η γραφική παράσταση απεικονίζεται στο Σχήμα 4.4, αποτελεί μία μονοπαραμετρική κατανομή, με παράμετρο λ , ενώ η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας είναι η ακόλουθη:

$$f(y) \begin{cases} \lambda e^{-\lambda y} & \lambda > 0 \\ 0 & \lambda \leq 0 \end{cases}$$

Μέση τιμή: $\mu = 1/\lambda$

Διασπορά: $\sigma^2 = 1/\lambda^2$

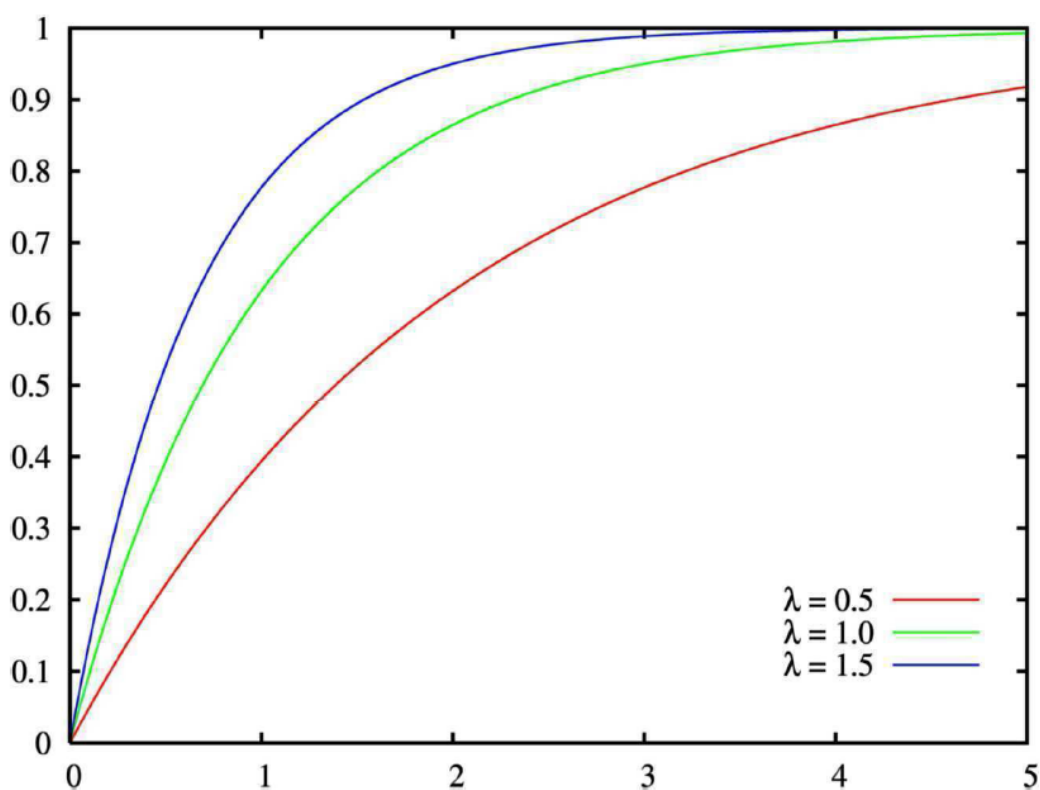


Σχήμα 4.4 Γραφική παράσταση συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας εκθετικής κατανομής για διάφορες τιμές του λ

Η αθροιστική συνάρτηση κατανομής πιθανότητας είναι η εξής:

$$F(y) = 1 - e^{-\lambda y}, \quad y > 0$$

Στο Σχήμα 4.5 φαίνεται η γραφική παράσταση της αθροιστικής συνάρτησης κατανομής πιθανότητας της εκθετικής κατανομής. Τέλος, αναφέρεται ότι η εκθετική κατανομή αποτελεί ειδική περίπτωση της διπαραμετρικής Γ- κατανομής.



Σχήμα 4.5 Γραφική παράσταση αθροιστικής συνάρτησης κατανομής πιθανότητας εκθετικής κατανομής για διάφορες τιμές του λ

4.1.2.3. Κατανομή Erlang

Η κατανομή Erlang βρίσκει εκτεταμένη εφαρμογή στη θεωρία Αναμονής και αποτελεί ειδική περίπτωση της διπαραμετρικής Γ-κατανομής.

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της κατανομής εξαρτάται από τις παραμέτρους λ και l και έχει την ακόλουθη μορφή, ενώ η γραφική της παράσταση απεικονίζεται στο Σχήμα 4.6:

$$f(y) = \frac{(\lambda l)^l}{(l-1)!} y^{l-1} e^{-\lambda y}, \quad y \geq 0, \quad l: \text{θετικό ακέραιος}$$

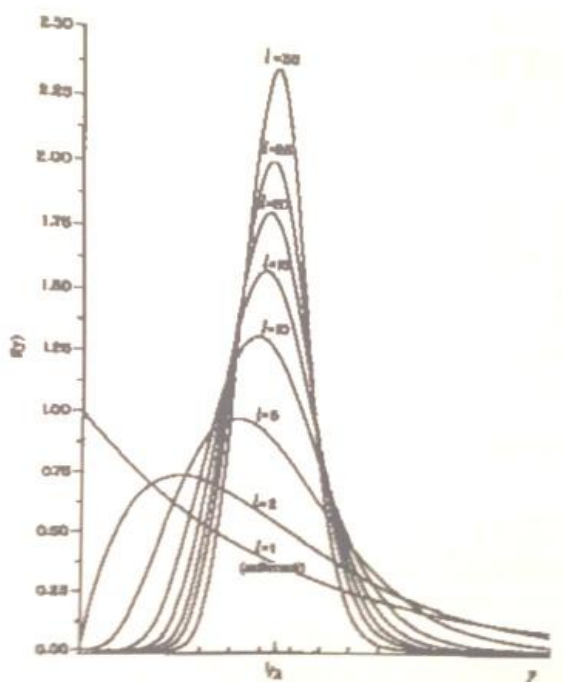
Μέση τιμή $\mu = 1/\lambda$ και διασπορά $\sigma^2 = 1/\lambda^2$

Η σχέση που προκύπτει για την παράμετρο l είναι:

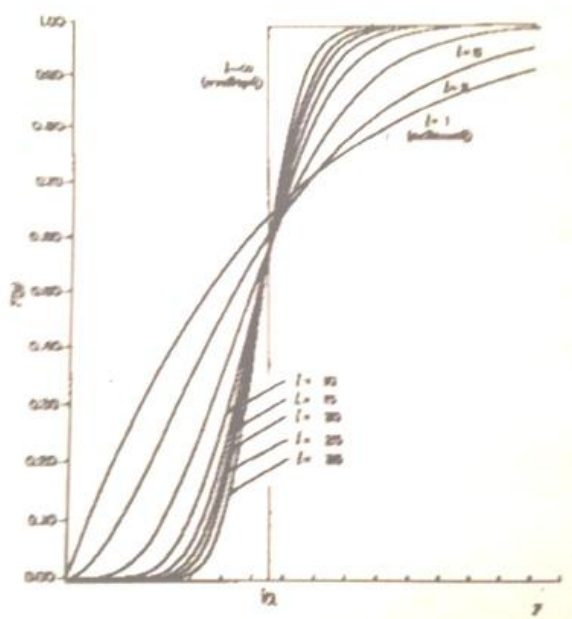
$$l = \mu^2 / \sigma^2$$

Αν $l = 1$ η κατανομή Erlang ταυτίζεται με την εκθετική, ενώ αν $l \rightarrow \infty$ ταυτίζεται με τη σταθερή κατανομή.

Στο σχήμα 4.7 φαίνεται η γραφική παράσταση της αθροιστικής συνάρτησης κατανομής πιθανότητας της κατανομής Erlang για διάφορες τιμές της παραμέτρου l .



Σχήμα 4.6 Γραφική παράσταση της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας της κατανομής Erlang για διάφορες τιμές της παραμέτρου l



Σχήμα 4.7 Γραφική παράσταση της αθροιστικής συνάρτησης κατανομής πιθανότητας της κατανομής Erlang για διάφορες τιμές της παραμέτρου l

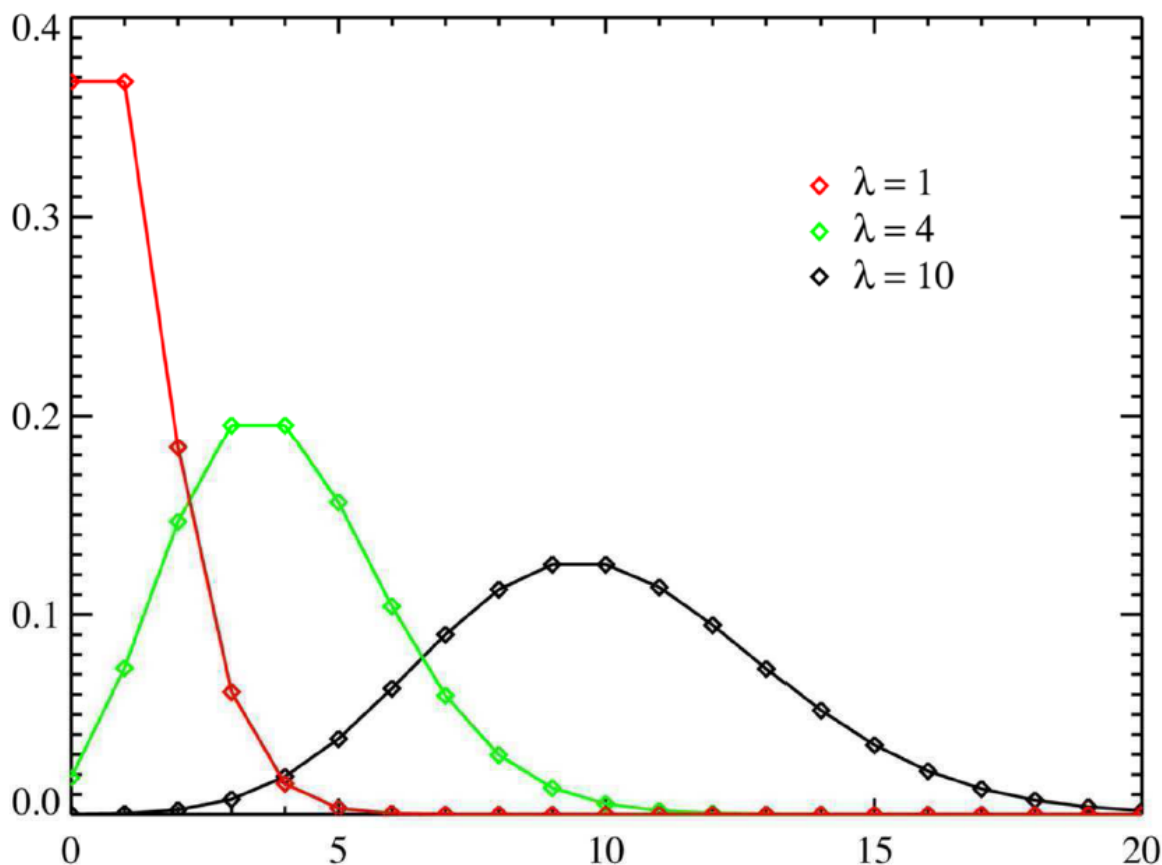
4.1.2.4. Κατανομή Poisson

Η κατανομή Poisson αφορά στον αριθμό των συμβάντων (διακριτές τιμές) σε ορισμένο χρονικό ή χωρικό διάστημα. Ο ρυθμός λ είναι χρονικά σταθερός αλλά τα συμβάντα εμφανίζονται τυχαία. Όλες οι μονάδες έχουν τις ίδιες πιθανότητες να εμφανιστούν σε μια δεδομένη μονάδα χρόνου ή χώρου. Η κατανομή Poisson ορίζεται από την εξής συνάρτηση:

$$f(y) = \frac{\lambda^y e^{-\lambda}}{y!}, \quad y = 0, 1, 2, \dots$$

Μέση τιμή $\mu = \lambda$ και διασπορά $\sigma^2 = \lambda$

Η γραφική παράσταση της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας της κατανομής Poisson του ρυθμού εμφάνισης λ , απεικονίζεται στο Σχήμα 4.8



Σχήμα 4.8 Γραφική παράσταση της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας της κατανομής Poisson του ρυθμού εμφάνισης λ

4.2. Εισαγωγή δεδομένων σε μοντέλο προσομοίωσης

Τα δεδομένα που εισάγονται σε ένα μοντέλο προσομοίωσης, αποτελούν τη βάση για την εκτέλεση της προσομοίωσης. Ανάλογα με το είδος του συστήματος που πρόκειται να μελετηθεί, επιλέγεται και η κατάλληλη κατανομή. Εάν εξετάζεται ένα σύστημα αναμονής, τα δεδομένα που εισάγονται προέρχονται από μία κατανομή των χρόνων αφίξεων και των χρόνων εξυπηρέτησης. Ενώ για την προσομοίωση ενός συστήματος αξιοπιστίας, η κατανομή του χρόνου εμφάνισης αστοχίας προκύπτει από τους χρόνους μεταξύ αστοχιών (time between failure).

Για την μελέτη πραγματικών συστημάτων, η επιλογή της κατάλληλης κατανομής για την εισαγωγή δεδομένων, είναι θεμελιώδης για την εξαγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων. Στην περίπτωση όπου σημειωθεί λάθος στο σημείο αυτό, τα αποτελέσματα θα οδηγήσουν σε παρερμηνείες και λανθασμένες επιλογές σχετικά με τη διαχείριση του συστήματος. Τα βήματα που προτείνονται για τη ρεαλιστική αναπαράσταση ενός συστήματος σε ότι αφορά στα δεδομένα που εισάγονται, είναι τα εξής:

- Συλλογή δεδομένων από το πραγματικό σύστημα που προσομοιώνεται. Αυτό συνήθως απαιτεί σημαντικό χρόνο. Συμβαίνει όμως αρκετές φορές, η συλλογή πραγματικών δεδομένων να μην είναι εφικτή (περιορισμένος χρόνος, μελέτη ενός συστήματος πριν την λειτουργία του κ.α.), επομένως απαιτείται να γίνουν προσεκτικές υποθέσεις που βασίζονται σε γνώμες και γνώση ειδικών.
- Επιλογή της κατάλληλης κατανομής. Προκύπτει από τη φύση των εξεταζόμενων μεγεθών και τα διαθέσιμα δεδομένα.
- Επιλογή των παραμέτρων των κατανομών. Προκύπτει από την κατάλληλη στατιστική επεξεργασία των διαθέσιμων δεδομένων.
- Αξιολόγηση της κατανομής που έχει επιλεγεί και των σχετικών παραμέτρων. Η αξιολόγηση αυτή μπορεί να επιτευχθεί είτε με γραφικές μεθόδους, είτε με στατιστικές δοκιμές. Στην περίπτωση όπου τα αποτελέσματα δεν είναι τα επιθυμητά, θα πρέπει να εξεταστεί άλλη κατανομή και να εκτελεστεί εκ νέου η προσομοίωση.

Ακόμα και αν η δομή του μοντέλου δείχνει σωστή, εάν τα δεδομένα που συλλεχθούν είναι ανακριβή, δεν εξεταστούν ορθά ή δεν αναπαριστούν ακριβώς το σύστημα, τα εξαχθέντα αποτελέσματα θα είναι παραπλανητικά και πιθανώς θα έχουν οικονομικό αντίκτυπο στις λανθασμένες επιλογές που μπορεί να ληφθούν.

4.3. Συλλογή και επεξεργασία δεδομένων Ορυχείου Καρδιάς

Η καταγραφή των δεδομένων παραγωγής του ορυχείου πραγματοποιείται σε πραγματικό χρόνο καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας του. Για τις ανάγκες της ρεαλιστικότερης προσομοίωσης της λειτουργίας του ορυχείου, που περιγράφεται στο κεφάλαιο έξι, χρησιμοποιήθηκαν πραγματικά δεδομένα (189364 εγγραφές) από τα αρχεία του Ορυχείου Καρδιάς της ΔΕΗ Α.Ε για το έτος 2006. Παρακάτω περιγράφεται ο τρόπος καταγραφής των δεδομένων στο ορυχείο, ενώ στη συνέχεια περιγράφεται ο τρόπος επεξεργασίας τους για τον προσδιορισμό των κατάλληλων κατανομών που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο του συστήματος.

4.3.1. Σεντόνια

Ο όρος “σεντόνια” αναφέρεται στο μέσο, στο οποίο γινόταν η καταγραφή των δεδομένων παραγωγής του ορυχείου, πριν τη χρήση της ψηφιακής καταγραφής. Η ονομασία προέκυψε από ένα φύλλο χαρτιού μεγάλων διαστάσεων, όπου γίνονται οι καταγραφές

όλων των κλάδων. Ο όρος κρατήσεις περιλαμβάνει όλες τις ενέργειες που εκτελούνται σε έναν κλάδο ανά πάσα στιγμή και περιγράφει αναλυτικά με κάποια στοιχεία την συγκεκριμένη ενέργεια.

Τα δεδομένα που περιέχονται στα σεντόνια χαρακτηρίζονται από μεγάλη αξιοπιστία, αφού η καταγραφή των γεγονότων γινόταν σε πραγματικό χρόνο.

4.3.2. Καταγραφή σε βάση δεδομένων

Με την εμφάνιση των ηλεκτρονικών υπολογιστών, τα δεδομένα καταγράφονται ψηφιακά σε ηλεκτρονική βάση δεδομένων, σε περιβάλλον Ms Access. Παρακάτω γίνεται επεξήγηση των κωδικών ονομασιών που περιέχονται σε ένα αρχείο Ms Access για καταγραφή δεδομένων και απεικονίζεται το περιβάλλον λειτουργίας του συγκεκριμένου προγράμματος στην Εικόνα 4.1.

Η περιγραφή των κωδικών ονομασιών που συναντώνται είναι οι εξής:

- HME_KR: Ημερομηνία καταγραφής κράτησης.
- ONO_OM: Αναφέρεται στην ομάδα που εκτελούσε τις εργασίες.
- ONO_FY: Αναφέρεται στη βάρδια που σημειώθηκε η κράτηση.
- ONO_YP: Όνομα Υπομηχανικού.
- ONO_XE: Όνομα χειριστή.
- ONO_AP: Με/Χωρίς αποθέτη.
- ONO_KL: Όνομα κλάδου που σημειώθηκε η κράτηση.
- ONO_TE: Αναφέρεται στην ακριβή θέση που σημειώθηκε.
- ONO_KR: Περιγραφή της κράτησης.
- OMA_KR: Αναφέρεται στο τμήμα του κλάδου που σημειώθηκε.
- ONO_XR: Τμήμα χρέωσης.
- ONO_SE: Περιγραφή εργασίας/κράτησης. Εάν γίνεται αναφορά σε εργασία είναι είτε λιγνίτης, είτε στείρο υλικό, ενώ για κρατήσεις είναι είτε από δικά του αίτια είτε από ξένα.
- ENA_KR: Έναρξη κράτησης.
- LHX_KR: Λήξη κράτησης.

- XRO_KR: Χρονική διάρκεια κράτησης.
- LEI_KR: Κατηγοριοποιεί τις κρατήσεις σε κατάσταση Λειτουργίας, Αναμονής και Εκτός Λειτουργίας.
- TELARA: Βάσεις έδρασης ταινιοδρόμων.
- KOD_AN: Κωδικός Ανάλυσης.
- POS_AN: Ποσοστό Ανάλυσης.

HME_KR	ONO_OM	ONO_FY	ONO_YP	ONO_XE	ONO_AP	ONO_KL	ONO_TE	ONO_KR	OMA_KR	ONO_XR	ONO_SE
1/1/2006	B OMAΔA	ΠΡΟΙ	ΤΣΙΜΠΛΙΔΗΣ Ι. ΝΙΚΑΣ Ν.			A1	A1	Αντικατάσταση	ΕΚΣΚΑΦΕΑΣ,ΑΙ ΔΙΑΦΟΡΑ		ΞΕΝΑ ΑΙΤΙΑ
1/1/2006	B OMAΔA	ΠΡΟΙ	ΤΣΙΜΠΛΙΔΗΣ Ι. ΝΙΚΑΣ Ν.			A1	A1	Απόθεση Στείρ.	ΑΠΟΘΕΤΗΣ ΕΚΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣ		ΕΝΔΙΑΜΕΣΑ
1/1/2006	B OMAΔA	ΠΡΟΙ	ΤΣΙΜΠΛΙΔΗΣ Ι. ΝΙΚΑΣ Ν.	χωρίς Αποθ		A1	A1	Αναμονή - Ελλ	ΑΠΟΘΕΤΗΣ ΕΚΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣ		ΞΕΝΑ ΑΙΤΙΑ
1/1/2006	B OMAΔA	ΠΡΟΙ	ΤΣΙΜΠΛΙΔΗΣ Ι. ΝΙΚΑΣ Ν.	χωρίς Αποθ		A1	A1	Απόθεση Στείρ.	ΑΠΟΘΕΤΗΣ ΕΚΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣ		ΕΝΔΙΑΜΕΣΑ
1/1/2006	B OMAΔA	ΠΡΟΙ	ΤΣΙΜΠΛΙΔΗΣ Ι. ΝΙΚΑΣ Ν.			A1	T41	Κοπή Λωρίδας	ΤΑΙΝΙΟΔΡΟΜΙΣ ΙΜΑΝΤΕΣ		ΔΙΚΑ ΤΟΥ ΑΙΤ
1/1/2006	B OMAΔA	ΠΡΟΙ	ΤΣΙΜΠΛΙΔΗΣ Ι. ΝΙΚΑΣ Ν.	χωρίς Αποθ		A1	A1	Απόθεση Στείρ.	ΑΠΟΘΕΤΗΣ ΕΚΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣ		ΕΝΔΙΑΜΕΣΑ
1/1/2006	B OMAΔA	ΠΡΟΙ	ΤΣΙΜΠΛΙΔΗΣ Ι. ΝΙΚΑΣ Ν.	χωρίς Αποθ		A1	A1	Αναμονή - Ελλ	ΑΠΟΘΕΤΗΣ ΕΚΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣ		ΞΕΝΑ ΑΙΤΙΑ
1/1/2006	B OMAΔA	ΠΡΟΙ	ΤΣΙΜΠΛΙΔΗΣ Ι. ΝΙΚΑΣ Ν.			A1	A1	Απόθεση Στείρ.	ΑΠΟΘΕΤΗΣ ΕΚΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣ		ΕΝΔΙΑΜΕΣΑ
1/1/2006	B OMAΔA	ΠΡΟΙ	ΤΣΙΜΠΛΙΔΗΣ Ι. ΝΙΚΑΣ Ν.			A2	A2	A p γ ι α	ΕΚΣΚΑΦΕΑΣ,ΑΙ ΔΙΑΦΟΡΑ		ΞΕΝΑ ΑΙΤΙΑ
1/1/2006	B OMAΔA	ΠΡΟΙ	ΤΣΙΜΠΛΙΔΗΣ Ι. ΝΙΚΑΣ Ν.			A3	A3	A p γ ι α	ΕΚΣΚΑΦΕΑΣ,ΑΙ ΔΙΑΦΟΡΑ		ΞΕΝΑ ΑΙΤΙΑ
1/1/2006	B OMAΔA	ΠΡΟΙ	ΤΣΙΜΠΛΙΔΗΣ Ι. ΝΙΚΑΣ Ν.			A5	A5	A p γ ι α	ΕΚΣΚΑΦΕΑΣ,ΑΙ ΔΙΑΦΟΡΑ		ΞΕΝΑ ΑΙΤΙΑ
1/1/2006	B OMAΔA	ΠΡΟΙ	ΤΣΙΜΠΛΙΔΗΣ Ι. ΝΙΚΑΣ Ν.			AΗΣ	AΗΣ	Αναμονή - Ελλ	ΑΠΟΘΕΤΗΣ ΕΚΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣ		ΞΕΝΑ ΑΙΤΙΑ
1/1/2006	B OMAΔA	ΠΡΟΙ	ΤΣΙΜΠΛΙΔΗΣ Ι. ΝΙΚΑΣ Ν.			AΗΣ	AΗΣ	Απόθεση Λυγνί	ΑΠΟΘΕΤΗΣ ΕΚΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣ		ΛΙΓΝΙΤΗΣ
1/1/2006	B OMAΔA	ΠΡΟΙ	ΤΣΙΜΠΛΙΔΗΣ Ι. ΝΙΚΑΣ Ν.	χωρίς Αποθ		AΗΣ	AΗΣ	Αναμονή - Ελλ	ΑΠΟΘΕΤΗΣ ΕΚΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣ		ΞΕΝΑ ΑΙΤΙΑ
1/1/2006	B OMAΔA	ΠΡΟΙ	ΤΣΙΜΠΛΙΔΗΣ Ι. ΝΙΚΑΣ Ν.	χωρίς Αποθ		AΗΣ	AΗΣ	Απόθεση Λυγνί	ΑΠΟΘΕΤΗΣ ΕΚΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣ		ΛΙΓΝΙΤΗΣ
1/1/2006	B OMAΔA	ΠΡΟΙ	ΤΣΙΜΠΛΙΔΗΣ Ι. ΝΙΚΑΣ Ν.	χωρίς Αποθ		AΗΣ	AΗΣ	Αναμονή - Ελλ	ΑΠΟΘΕΤΗΣ ΕΚΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣ		ΞΕΝΑ ΑΙΤΙΑ
1/1/2006	B OMAΔA	ΠΡΟΙ	ΤΣΙΜΠΛΙΔΗΣ Ι. ΝΙΚΑΣ Ν.	χωρίς Αποθ		AΗΣ	AΗΣ	Απόθεση Λυγνί	ΑΠΟΘΕΤΗΣ ΕΚΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣ		ΛΙΓΝΙΤΗΣ
1/1/2006	B OMAΔA	ΠΡΟΙ	ΤΣΙΜΠΛΙΔΗΣ Ι. ΝΙΚΑΣ Ν.	χωρίς Αποθ		AΗΣ	AΗΣ	Αναμονή - Ελλ	ΑΠΟΘΕΤΗΣ ΕΚΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣ		ΞΕΝΑ ΑΙΤΙΑ
1/1/2006	B OMAΔA	ΠΡΟΙ	ΤΣΙΜΠΛΙΔΗΣ Ι. ΝΙΚΑΣ Ν.	χωρίς Αποθ	A1	AΗΣ	AΗΣ	Απόθεση Λυγνί	ΑΠΟΘΕΤΗΣ ΕΚΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣ		ΛΙΓΝΙΤΗΣ
1/1/2006	B OMAΔA	ΠΡΟΙ	ΤΣΙΜΠΛΙΔΗΣ Ι. ΝΙΚΑΣ Ν.	χωρίς Αποθ		AΗΣ	AΗΣ	Αναμονή - Ελλ	ΑΠΟΘΕΤΗΣ ΕΚΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣ		ΞΕΝΑ ΑΙΤΙΑ
1/1/2006	B OMAΔA	ΠΡΟΙ	ΤΣΙΜΠΛΙΔΗΣ Ι. ΝΙΚΑΣ Ν.	χωρίς Αποθ		AΗΣ	AΗΣ	Απόθεση Λυγνί	ΑΠΟΘΕΤΗΣ ΕΚΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣ		ΛΙΓΝΙΤΗΣ
1/1/2006	B OMAΔA	ΠΡΟΙ	ΤΣΙΜΠΛΙΔΗΣ Ι. ΝΙΚΑΣ Ν.	χωρίς Αποθ		AΗΣ	AΗΣ	Αναμονή - Ελλ	ΑΠΟΘΕΤΗΣ ΕΚΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣ		ΞΕΝΑ ΑΙΤΙΑ

Εικόνα 4.1 Μορφή βάσης δεδομένων για το έτος λειτουργίας 2006

4.3.3. Επεξεργασία δεδομένων

Η επεξεργασία των δεδομένων του Ορυχείου Καρδιάς για το έτος 2006, πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του Ms Excel. Ο αρχικός διαχωρισμός από τις συνολικές εγγραφές του αρχείου για το συγκεκριμένο έτος πραγματοποιήθηκε βάση κλάδου (E1, E2, A1, K κ.α.). Στην Εικόνα 4.2 παρουσιάζεται το περιβάλλον εργασίας του προγράμματος Ms Excel στο οποίο έγινε η ομαδοποίηση και η επεξεργασία των δεδομένων του κλάδου E1.

Κατάσταση	Ομάδα Κράτησης	Αιτιολογία Κράτησης	Έναρξη Κράτησης	Λήξη Κράτησης	Διάρκεια Κράτησης	Sum	count
0	ΤΑΙΝΙΟΔΡΟΜΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ	Σύρμα Ασφαλείας (Τ/Δ-ΕΟΚ)	01/01/2006 01:06		1:18	12	3268
0	ΕΚΣΚΑΦΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟ	Ηλ.βλάβη R/R T.Μεσαίας (Ε/ΗΟΚ)	01/01/2006 01:18		1:24	6	
0	ΤΑΙΝΙΟΔΡΟΜΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ	Εμφραξη Κεφαλής (Τ/Δ-ΕΟΚ)	01/01/2006 01:34		2:04	30	
0	ΤΑΙΝΙΟΔΡΟΜΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ	Εμφραξη Κεφαλής (Τ/Δ-ΕΟΚ)	01/01/2006 03:56		4:16	20	
0	ΤΑΙΝΙΟΔΡΟΜΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ	Σύρμα Ασφαλείας (Τ/Δ-ΕΟΚ)	01/01/2006 04:50		4:58	8	
0	ΕΚΣΚΑΦΕΑΣ,ΑΠΟΘΕΤΗΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ	Καθαρισμός T.Μεσαίας (Ε-Α/ΕΟΚ)	01/01/2006 23:20		23:36	16	
0	ΤΑΙΝΙΟΔΡΟΜΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ	Σύρμα Ασφαλείας (Τ/Δ-ΕΟΚ)	01/01/2006 23:50		0:04	14	
0	ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟ	βλάβη Μηχανολογική (ΜΟΚ)	02/01/2006 01:30		2:00	30	
0	ΕΚΣΚΑΦΕΑΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ	Αλλαγή Πακέτου (Ε/ΕΟΚ)	02/01/2006 09:06		9:12	6	
0	ΕΚΣΚΑΦΕΑΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ	Εμφραξη Λεκάνης T.Φόρτωσης (Ε/ΕΟΚ)	02/01/2006 10:48		10:54	6	
0	ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟ	Εκτός από Συνεργασία (ΗΟΚ)	02/01/2006 11:04		11:08	4	
0	ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟ	Φραγή Χρονδιακοπτη (ΗΟΚ)	02/01/2006 13:14		13:30	16	
0	ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟ	Εκτός από Συνεργασία (ΗΟΚ)	02/01/2006 13:32		13:36	4	
0	ΤΑΙΝΙΟΔΡΟΜΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ	Εμφραξη Κεφαλής (Τ/Δ-ΕΟΚ)	02/01/2006 14:10		14:30	20	
0	ΤΑΙΝΙΟΔΡΟΜΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ	Εμφραξη Κεφαλής (Τ/Δ-ΕΟΚ)	02/01/2006 14:30		16:00	90	
0	ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟ	Εκτός Χωρίς Ενδειξη (ΗΟΚ)	02/01/2006 21:22		21:32	10	
0	ΤΑΙΝΙΟΔΡΟΜΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ	Καθαρισμός Κεφαλής (Τ/Δ-ΕΟΚ)	02/01/2006 23:56		0:10	14	
0	ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟ	Εκτός από Συνεργασία (ΗΟΚ)	03/01/2006 01:30		4:32	182	
0	ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟ	Εκτός από Συνεργασία (ΗΟΚ)	03/01/2006 04:54		5:18	24	
0	ΕΚΣΚΑΦΕΑΣ,ΑΠΟΘΕΤΗΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ	Καθαρισμός Μηχανήματος (Ε-Α/ΕΟΚ)	03/01/2006 09:10		10:00	50	
0	ΕΚΣΚΑΦΕΑΣ,ΑΠΟΘΕΤΗΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟ	Εκτός από ΜΟΚ (Ε-Α/ΜΟΚ)	03/01/2006 11:40		12:10	30	
0	ΕΚΣΚΑΦΕΑΣ,ΑΠΟΘΕΤΗΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟ	Εκτός από ΜΟΚ (Ε-Α/ΜΟΚ)	03/01/2006 14:00		14:10	10	
0	ΕΚΣΚΑΦΕΑΣ,ΑΠΟΘΕΤΗΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ	Πορεία προς Κεφαλή (Ε-Α/ΕΟΚ)	03/01/2006 15:34		16:20	46	
0	ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ	Πορεία Εκτός (ΕΟΚ)	03/01/2006 16:20		16:30	10	

Εικόνα 4.2 Επεξεργασία δεδομένων που αφορούν τον κλάδο E1 για το έτος 2006

Δεύτερο κριτήριο που επιλέχθηκε για την δημιουργία των επιθυμητών κατανομών είναι η κατάσταση στην οποία βρίσκεται ο κλάδος που μελετάται. Η κατάσταση λειτουργίας ενός κλάδου μπορεί να λαμβάνει είτε την τιμή 0 (down), η οποία υποδηλώνει τη μη λειτουργία του (συντήρηση, επισκευή, ετήσια συντήρηση), είτε την τιμή 1 (up), η οποία δηλώνει ότι ο κλάδος βρίσκεται σε κανονική λειτουργία (στους καδοφόρους εκσκαφείς είναι εκσκαφή λιγνίτη ή στείρων) ή την τιμή 2 (blocked) που δηλώνει αναμονή (αργίες, απεργίες που σημειώθηκαν κ.α.). Οι αναμονές δεν χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εισόδου στο μοντέλο, παρά μόνο χρησιμεύουν στο τέλος της προσομοίωσης για να ελεγχθεί αν οι καταστάσεις που αντιστοιχούν σε αναμονές δίνουν κατανομές που προσεγγίζουν τις καταγεγραμμένες. Στη Εικόνα 4.2 απεικονίζονται τα δεδομένα που καταγράφηκαν για την κατάσταση λειτουργίας του κλάδου E1 με τιμή 0.

Οι κατανομές που επιλέχθηκαν για τη μοντελοποίηση του συστήματος Ορυχείου Καρδιάς, έχουν τις εξής μορφές:

- Ομοιόμορφη κατανομή (Uniform distribution): Στην ομοιόμορφη κατανομή ορίζονται η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή. Κατά την εκτέλεση, οι τιμές που προκύπτουν βρίσκονται ανάμεσα στο μέγιστο και το ελάχιστο όριο, έχοντας την ίδια πιθανότητα εμφάνισης.
- Εμπειρική διακριτή κατανομή (Empirical discrete distribution): Σε αυτή την κατανομή, η γεννήτρια ψευδοτυχαίων αριθμών δημιουργεί μία τυχαία τιμή ανάμεσα στο 0 και το 1. Ανάλογα με την τιμή που θα προκύψει ορίζονται οι

πιθανότητες εμφάνισης ενός συγκεκριμένου αριθμού. Για παράδειγμα, έστω ότι η κατανομή είναι η $DISC(0.3, 1, 0.8, 2, 1.0, 3)$. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει πιθανότητα να επιστραφεί 30% η τιμή 1, 50% η τιμή 2 ($0.8 - 0.3 = 0.5$ ή 50%) και 20% η τιμή 3.

- Εμπειρική συνεχής κατανομή (Empirical continuous distribution): Η εμπειρική αυτή κατανομή λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο, όπου η μόνη διαφορά σε σχέση με τη διακριτή, είναι ότι αφού έχει δημιουργηθεί από τη γεννήτρια ψευδοτυχαίων αριθμών ένας αριθμός και έχει καθορίσει το ποσοστό πιθανότητας, χρησιμοποιείται γραμμική παρεμβολή ανάμεσα στο εύρος δύο πιθανοτήτων για τον ακριβή υπολογισμό της τιμής.

4.3.3.1. Κατανομές των κλάδων λιγνίτη και στείρου υλικού

Τα δεδομένα για την προσομοίωση λειτουργίας των κλάδων A1, A2, A3, K και KB, ελήφθησαν για τις καταστάσεις λειτουργίας που προκύπτει κάποια βλάβη ή κάποιο είδος συντήρησης.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε ένας επιπλέον διαχωρισμός με βάση την αιτιολογία κράτησης. Έτσι για κάθε κλάδο προέκυψαν τρία διαφορετικά φύλλα εργασίας τα οποία έχουν δεδομένα για την περίπτωση που ο κλάδος σταμάτησε τη λειτουργία του από ένα ξαφνικό μη προγραμματισμένο γεγονός, για την περίπτωση που υπάρχει προγραμματισμένη συντήρηση και τέλος για το ενδεχόμενο να πραγματοποιείται η ετήσια συντήρηση. Επισημαίνεται ότι για κάθε αιτιολογία κράτησης υπάρχει και η αντίστοιχη εγγραφή που αναφέρεται στην ομάδα κράτησης.

Έστω ότι εξετάζεται η περίπτωση που ο κλάδος A1 βρίσκεται σε κατάσταση μη λειτουργίας, από ένα μη προγραμματισμένο γεγονός. Σε αυτή την περίπτωση πραγματοποιούνται κάποια βήματα ώστε να υπολογιστεί ο χρόνος λειτουργίας και μη λειτουργίας του κλάδου A1. Όλα τα γεγονότα έχουν τοποθετηθεί με χρονολογική σειρά ξεκινώντας από την αρχή του έτους 2006 και καταλήγουν στην ολοκλήρωσή του. Κάθε φορά που εμφανίζεται μία αιτιολογία κράτησης, γίνεται η ακριβής καταγραφή της ώρας έναρξης και της ώρας λήξης όπου ο κλάδος δεν λειτουργεί. Επομένως υπολογίζεται η διάρκεια κράτησης από την αρχή μέχρι τη λήξη του γεγονότος.

Μετά την επεξεργασία των δεδομένων προέκυψαν οι εμπειρικές συνεχείς κατανομές που καταχωρήθηκαν στο μοντέλο του Ορυχείου Καρδιάς και είναι οι εξής για τους κλάδους των καδοφόρων εκσκαφών:

- Κατανομές όπου παρουσιάζεται το χρονικό διάστημα διάρκειας των μη προγραμματισμένων επισκευών, καθώς επίσης και ο χρόνος επανεμφάνισης βλάβης.
- Κατανομές όπου παρουσιάζεται το χρονικό διάστημα διάρκειας των προγραμματισμένων συντηρήσεων, καθώς και ο χρόνος επανεμφάνισης ενός παρόμοιου γεγονότος.

Τέλος, οι κρατήσεις που εμφανίζουν ετήσια συντήρηση αφορούν μόνο τους κλάδους A1, A2 και A3, και καταχωρούνται οι χρονικές στιγμές που εμφανίζονται και η συνολική χρονική τους διάρκεια στο μοντέλο.

4.3.3.2. Κατανομές κλάδων E1-E6

Για του κλάδους E1-E6 ακολουθήθηκε η ίδια επεξεργασία δεδομένων για την δημιουργία των κατανομών, οι οποίες και θα ορίσουν στο μοντέλο μας την χρονική διάρκεια σε λεπτά που διαρκεί η κάθε κράτηση. Επιπλέον, δημιουργήθηκαν κατανομές για ακόμα δύο κλάδους, τον E7 και τον ΤΕΦΡΑ, χωρίς όμως να πραγματοποιηθεί η προσομοίωσή τους, αφού ο E7 κατά την εξέλιξη της εκμετάλλευσης μετακινήθηκε και μετονομάστηκε E8, ενώ ο κλάδος ΤΕΦΡΑ δεν περνούσε από τον κόμβο.

Αρχικά, από την κατάσταση λειτουργίας 0 φιλτραρίστηκαν τα δεδομένα με βάση την αιτιολογία κράτησης. Έτσι τα συμβάντα χωρίστηκαν σε κατηγορίες που αφορούσαν στη λειτουργία των ταινιοδρόμων, στη λειτουργία των καδοφόρων εκσκαφέων και τις απρόβλεπτες βλάβες που προκύπτουν, την προγραμματισμένη συντήρηση των καδοφόρων εκσκαφέων, την ετήσια συντήρηση των καδοφόρων εκσκαφέων, τις αλλαγές στον κόμβο για τον συγκεκριμένο κλάδο και το υλικό που εξορύσσεται.

Για την ετήσια συντήρηση κάθε κλάδου καταγράφεται η συνολική διάρκεια κράτησης και η ακριβής έναρξή της. Επομένως στο μοντέλο καταχωρήθηκε το χρονικό διάστημα σε λεπτά που πρόκειται να εμφανιστεί το συγκεκριμένο γεγονός από την έναρξη της εκτέλεσης και η διάρκεια της κράτησης.

Οι κατανομές που αφορούν στη διαδρομή του παραγόμενου υλικού μετά τον κόμβο, είναι δύο και έχουν την μορφή εμπειρικών διακριτών κατανομών (transfer points distributions). Οι μεν αφορούν τους κλάδους στείρων υλικών και οι δε τους κλάδους του λιγνίτη.

Οι υπόλοιπες κατανομές αποτελούν εμπειρικές συνεχείς κατανομές τόσο για τη χρονική διάρκεια κάθε γεγονότος, όσο και για τη χρονική διάρκεια η οποία μεσολαβεί μέχρι την

επανεμφάνισή του. Έτσι για κάθε συμβάν, για παράδειγμα για τη λειτουργία των ταινιοδρόμων ενός κλάδου, υπάρχει μία κατανομή που ορίζει την εμφάνιση βλάβης για μία δεδομένη χρονική διάρκεια, ενώ όταν ολοκληρώνεται το συμβάν μία άλλη κατανομή αναλαμβάνει να δώσει τιμή για τη χρονική διάρκεια κανονικής λειτουργίας του ταινιοδρόμου.

Στη συνέχεια επεξεργάστηκαν και αναλύθηκαν τα δεδομένα που αφορούσαν στην κατάσταση λειτουργίας ένα, δηλαδή οι κρατήσεις που δηλώνουν εκσκαφή είτε στείρων, είτε λιγνίτη. Από το συνολικό χρόνο εκσκαφής, προέκυψε μία εμπειρική διακριτή κατανομή για κάθε κλάδο, όπου φαίνεται η επί της εκατό πιθανότητα να προκύψει η τιμή 5, με την οποία ορίζεται ο λιγνίτης, ή η τιμή 6, η οποία χαρακτηρίζει τα στείρα υλικά. Επομένως, το ποσοστό εκσκαφής λιγνίτη και το ποσοστό εκσκαφής στείρου υλικού, δίνει την εικόνα του γεωλογικού μοντέλου της περιοχής που λειτουργεί ο κάθε καδοφόρος εκσκαφείας.

Επιπλέον, με βάση το γεωλογικό μοντέλο του Ορυχείου Καρδιάς, προέκυψε ο λόγος στείρου υλικού προς λιγνίτη σε μπλοκ μήκους 40 μέτρων σε κάθε τομή (δηλαδή σε κάθε βαθμίδα). Έτσι στην περίπτωση που υπάρχουν ενδιάμεσα υλικά και λιγνίτης η κατανομή προκύπτει από τον παραπάνω λόγο. Έστω ότι ο λόγος αγόνων προς λιγνίτη είναι 2,74, τότε εάν εξορυχθούν 3,74 κυβικά μέτρα υλικού, τα 2,74 θα είναι στείρα και το 1 λιγνίτης. Βρίσκοντας σε μορφή ποσοστού τις παραπάνω τιμές προκύπτει μία εμπειρική διακριτή κατανομή.

Η τελευταία κατανομή που αφορά στους κλάδους E1-E6, διαχειρίζεται τους καδοφόρους εκσκαφείς και πιο συγκεκριμένα την τιμή πλήρωσης του κάδου. Με τις τιμές να εμφανίζουν μία διακύμανση ανάμεσα στο 0,8 και το 0,9 προκύπτει μία κατανομή όπου περιλαμβάνονται οι τιμές αυτές ανάλογα με τα δεδομένα που έχουν καταγραφεί και τον τύπο του καδοφόρου εκσκαφεία.

Επισημαίνεται ότι στις παραπάνω κατανομές ορίζεται κάθε φορά συγκεκριμένη σειρά ψευδοτυχαίων αριθμών (stream), η οποία είναι μοναδική για κάθε κλάδο (πχ. στον κλάδο E1 αντιστοιχεί η τιμή 1, στον E2 η τιμή 2 και ομοίως στις υπόλοιπες περιπτώσεις). Αυτό συμβαίνει για την ορθή και μοναδική εμφάνιση των τιμών που δίνονται κάθε φορά στις κατανομές κάθε κλάδου.

4.3.3.3. Αργίες και απεργίες για το έτος λειτουργίας 2006

Οι αργίες και οι απεργίες κατά το έτος 2006, εντοπίζονται στα δεδομένα που αφορούν στην αναμονή λειτουργίας των κλάδων, με την κατάσταση λειτουργίας να λαμβάνει την τιμή 2. Αφού συγκεντρώθηκαν οι συνολικές αργίες και απεργίες κάθε κλάδου ξεχωριστά, προέκυψε ο Πίνακας 4.1, στον οποίο εμφανίζεται το μικρό χρονικό διάστημα που διήρκησαν οι αναμονές αυτές συγκριτικά με το συνολικό χρόνο λειτουργίας του ορυχείου. Για το λόγο αυτό οι αργίες και απεργίες δεν λαμβάνονται υπόψη στο μοντέλο.

Κλάδος	Συνολική διάρκεια αργιών και απεργιών (λεπτά)	Ποσοστό που αντιστοιχεί σε ένα έτος
E1	5.486	1,04%
E2	984	0,19%
E3	5.004	0,95%
E4	1.428	0,27%
E5	4.082	0,78%
E6	3.352	0,64%

Πίνακας 4.1 Διάρκεια κρατήσεων για αργίες και απεργίες του έτους 2006

4.3.4. Στατιστική ανάλυση για την αξιολόγηση του μοντέλου

Προκειμένου να υπάρχει μία αντιπροσωπευτική εικόνα για την κατανομή των λειτουργιών (καταστάσεων) σε κάθε κλάδο και εν συνεχεία να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που θα προέκυπταν από την εκτέλεση του μοντέλου, πραγματοποιήθηκε η παρακάτω στατιστική ανάλυση.

Αρχικά, από τη βάση δεδομένων του έτους 2006 δημιουργήθηκαν τρία φύλλα εργασίας excel, για την κατάσταση λειτουργίας (up), την κατάσταση μη λειτουργίας (down) και την κατάσταση αναμονής (blocked).

Ας πάρουμε την περίπτωση μελέτης του κλάδου E1. Από όλα τα δεδομένα ενός έτους προκύπτουν για τις τρεις καταστάσεις λειτουργίας τα παρακάτω, που συγκεντρώνονται και στον Πίνακα 4.2:

- Το άθροισμα των εγγραφών που αφορούν κάθε κατάσταση λειτουργίας (count).
- Το άθροισμα, σε λεπτά, της διάρκειας της κάθε κράτησης που έχει καταγραφεί (sum).

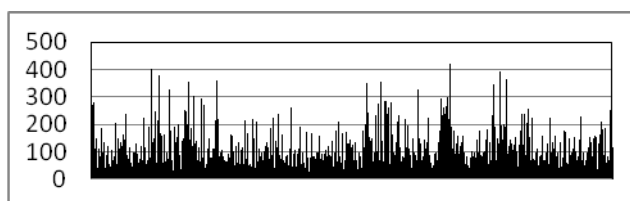
- Ο μέσος όρος της χρονικής διάρκειας των κρατήσεων (average).
- Η τυπική απόκλιση (standard deviation).
- Ο συντελεστής μεταβλητότητας (coefficient of variation).
- Η ελάχιστη (min) και η μέγιστη (max) τιμή χρονικής διάρκειας για κάθε κατάσταση λειτουργίας.
- Οι συναρτήσεις που αποδίδουν το 10^ο, 25^ο, 50^ο, 75^ο και 90^ο εκατοστημόριο των τιμών για την χρονική διάρκεια των κρατήσεων, ώστε να καθοριστεί το όριο αποδοχής.

	Up	Down	Blocked
summary statistics			
count	4566	3268	2314
sum	180825	267604	77895
average	40	82	34
standard deviation	46	155	69
coefficient of variation	1,16	1,89	2,04
min	2	2	2
10th percentile	4	4	6
25th percentile	10	6	8
median	24	14	14
75th percentile	50	40	26
90th percentile	90	480	62
max	420	480	480

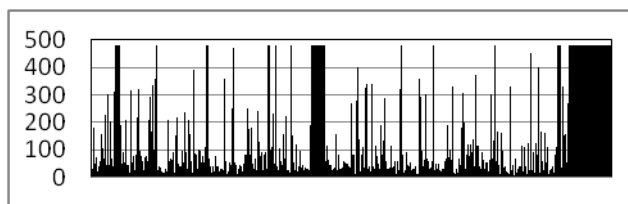
Πίνακας 4.2 Η ανάλυση των δεδομένων για τις καταστάσεις λειτουργίας του κλάδου E1

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τρία είδη διαγραμμάτων που κατασκευάστηκαν για τον κλάδο E1.

Το πρώτο είδος διαγράμματος, όπως στο Σχήμα 4.9 για την κανονική λειτουργία του E1, παρουσιάζει κάθε κατάσταση λειτουργίας του κλάδου E1 για το έτος 2006, με τα δεδομένα να ξεκινούν την εμφάνισή τους με χρονολογική σειρά από την πρώτη μέρα του έτους μέχρι και την τελευταία. Στον κάθετο άξονα απεικονίζονται οι τιμές που λαμβάνουν οι κρατήσεις σε λεπτά.



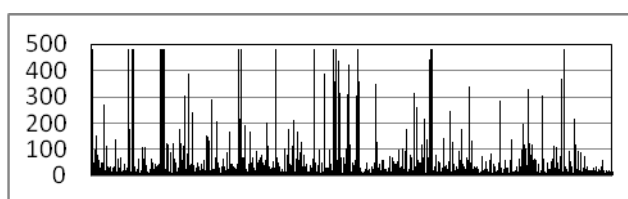
Σχήμα 4.9 Χρονική διάρκεια κανονικής λειτουργίας για τον κλάδο E1 το έτος 2006



Σχήμα 4.10 Χρονική διάρκεια μη λειτουργίας για τον κλάδο E1 το έτος 2006

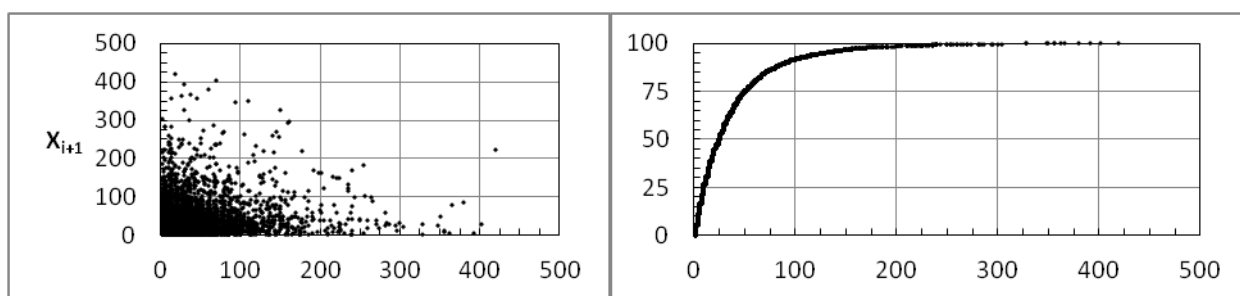
Στο Σχήμα 4.10 γίνεται εύκολα αντιληπτή η περίοδος προγραμματισμένης και ετήσιας συντήρησης, οι οποίες εμφανίζονται χωρίς διακύμανση τιμής για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Ενώ στο Σχήμα 4.11, απεικονίζεται η χρονική διάρκεια αναμονών του κλάδου E1.

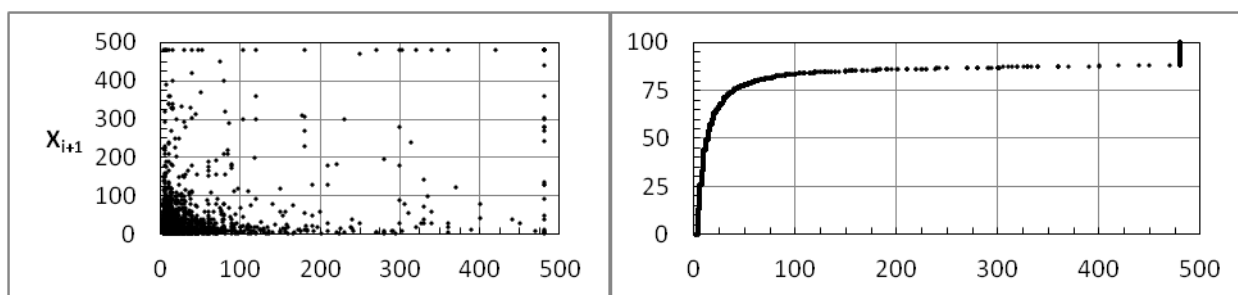


Σχήμα 4.11 Χρονική διάρκεια αναμονών για τον κλάδο E1 το έτος 2006

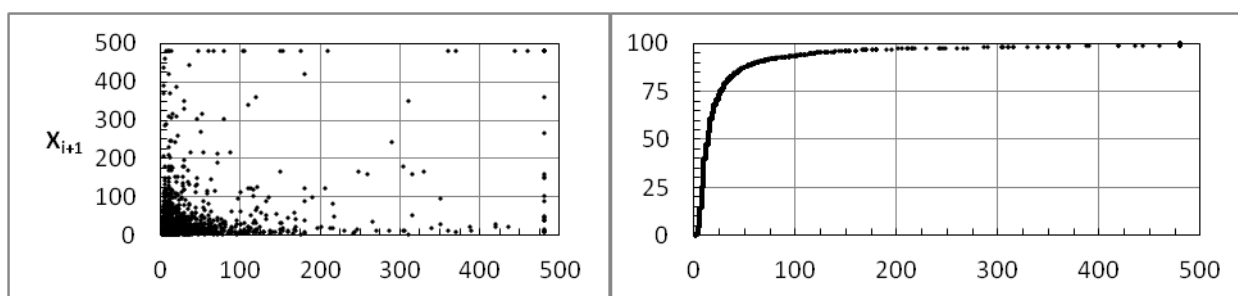
Στα Σχήματα 4.12, 4.13 και 4.14 που ακολουθούν εμφανίζεται η διασπορά στους χρόνους κράτησης των γεγονότων που αποτελούν την κάθε κατάσταση λειτουργίας, σε συνδυασμό με την σωρευτική κατανομή που εμφανίζει τις τιμές χρονικών κρατήσεων στο αντίστοιχο εκατοστημόριο.



Σχήμα 4.12 Διασπορά και σωρευτική κατανομή της κανονικής κατάστασης λειτουργίας του κλάδου E1 για το έτος 2006



Σχήμα 4.13 Διασπορά και σωρευτική κατανομή της μη λειτουργίας του κλάδου E1 για το έτος 2006



Σχήμα 4.14 Διασπορά και σωρευτική κατανομή αναμονής του κλάδου E1 για το έτος 2006

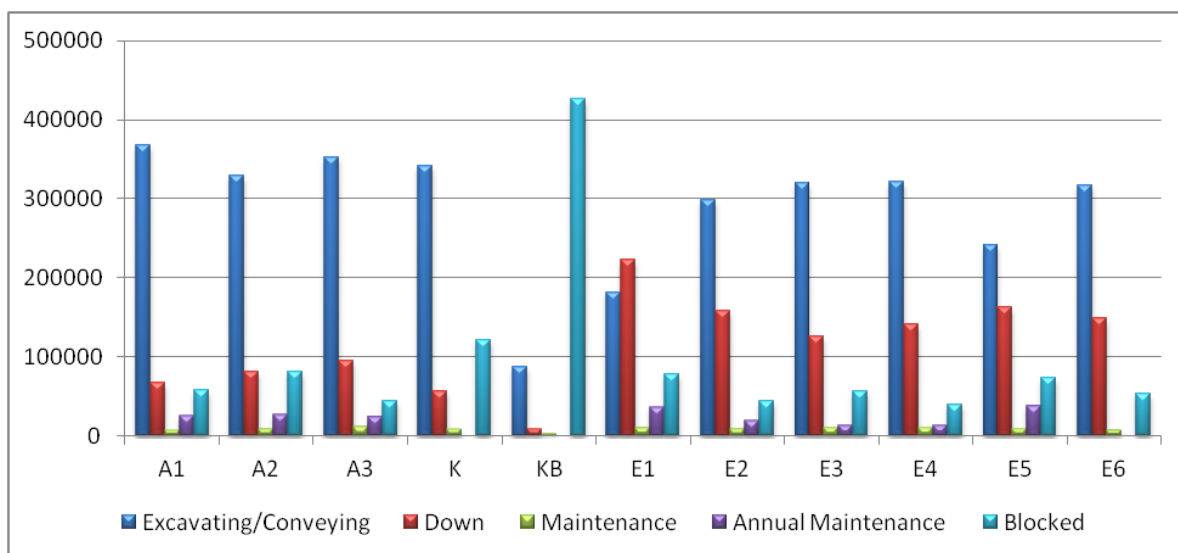
Η παραπάνω ανάλυση υλοποιήθηκε με την ίδια διαδικασία για όλους τους κλάδους του Ορυχείου Καρδιάς.

Ωστόσο, βάσει της εξέλιξης και των αναγκών του μοντέλου, κρίθηκε απαραίτητη η εξαγωγή αποτελεσμάτων που θα αφορούσαν μία λεπτομερέστερη προσέγγιση των καταστάσεων λειτουργίας των κλάδων, η οποία θα πρέπει να συμβαδίζει με τα εξαχθέντα αποτελέσματα από την εκτέλεση του μοντέλου.

Οι καταστάσεις λειτουργίας σε αυτήν την περίπτωση είναι οι εξής:

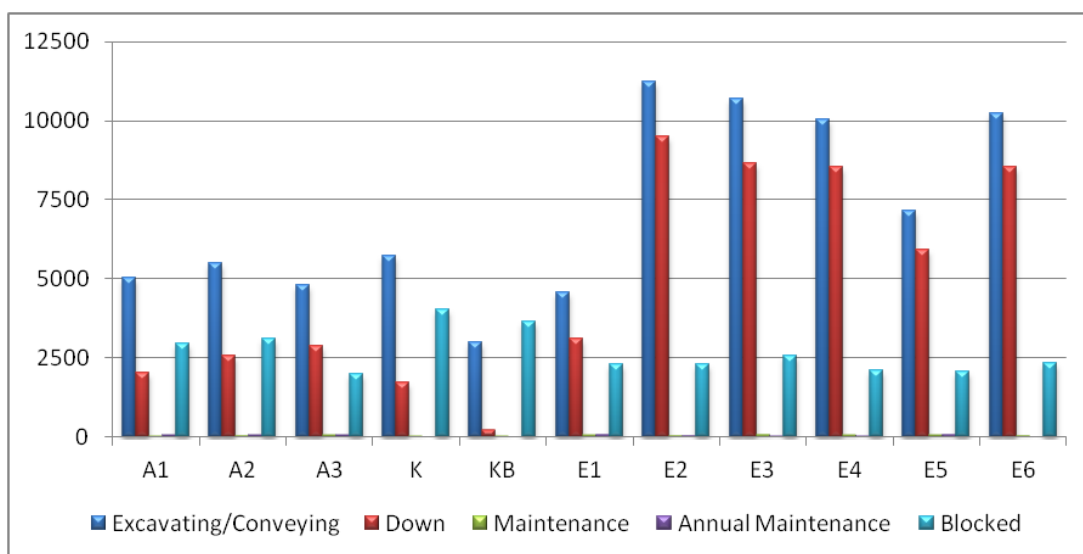
- Εκσκαφή (excavating) / Μεταφορά (conveying) (αν πρόκειται για τους κλάδους A1, A2, A3, K και KB).
- Μη προγραμματισμένη διακοπή λειτουργίας (down).
- Προγραμματισμένη συντήρηση (maintenance).
- Ετήσια συντήρηση (annual maintenance).
- Αναμονή (blocked).

Στο Σχήμα 4.15 εμφανίζονται στον οριζόντιο άξονα οι πέντε καταστάσεις λειτουργίας για κάθε κλάδο, ενώ στον κάθετο άξονα ο συνολικός χρόνος διάρκειας σε λεπτά για όλο το έτος λειτουργίας 2006.



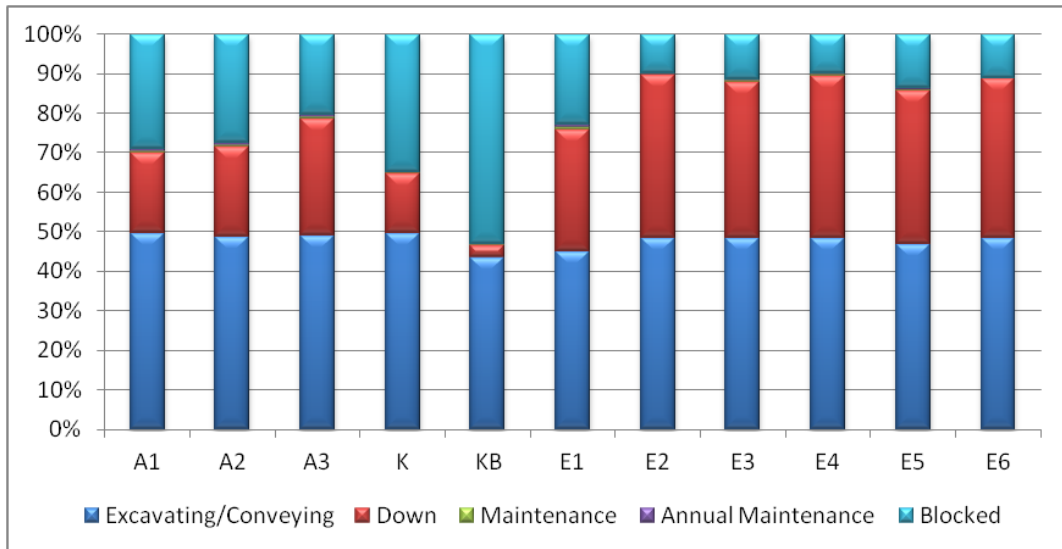
Σχήμα 4.15 Χρονική διάρκεια σε λεπτά των καταστάσεων λειτουργίας για τους κλάδους του ορυχείου το έτος 2006

Στην συνέχεια κατασκευάστηκε το διάγραμμα Σχήματος 4.16, που απεικονίζονται όλοι οι κλάδοι, με τον κάθετο άξονα να δηλώνει τον αριθμό των καταγραφών που έχουν πραγματοποιηθεί για την κάθε μία κατάσταση λειτουργίας στο έτος 2006.



Σχήμα 4.16 Αριθμός καταγραφών των καταστάσεων λειτουργίας για του κλάδους του ορυχείου το έτος 2006

Τέλος, στο Σχήμα 4.17 απεικονίζεται το ποσοστό που αντιστοιχεί σε κάθε κατάσταση λειτουργίας για ένα έτος, με βάση των αριθμό των εγγραφών που έχουν πραγματοποιηθεί.



Σχήμα 4.17 Ποσοστό των καταστάσεων λειτουργίας κάθε κλάδου με βάση τον αριθμό των καταγραφών για το έτος 2006

5. Περιβάλλον εργασίας Arena

Το λογισμικό προσομοίωσης που χρησιμοποιήθηκε είναι το ARENA™ του οίκου Rockwell Automation, Inc. Βασίζεται στη γλώσσα προσομοίωσης SIMAN και παρέχει ένα γραφικό περιβάλλον εργασίας όπου η λογική ακολουθία της λειτουργίας ενός συστήματος προσομοιώνεται με κατάλληλα διαγράμματα ροής. Αυτά δημιουργούνται με τη χρήση modules που αντιστοιχούν σε εντολές της SIMAN. Επίσης, παρέχει εγγενώς τη δυνατότητα δυναμικής οπτικής απεικόνισης (animation) της λειτουργίας του μοντέλου.

5.1. Ανάπτυξη μοντέλου στο Arena

Ένα μοντέλο αναπτύσσεται στο περιβάλλον προσομοίωσης Arena ως ένα project. Για κάθε project καταστρώνεται το διάγραμμα ροής και ορίζονται όλες οι απαραίτητες πληροφορίες, οργανωμένες σε πίνακες του περιβάλλοντος. Η δυναμική απεικόνιση υλοποιείται είτε μέσω της κίνησης οντοτήτων στο διάγραμμα ροής, είτε με τη σχεδίαση μιας αναπαράστασης του συστήματος και τη χρήση κατάλληλων εντολών.

Τα module και οι πίνακες είναι συγκεντρωμένα στο επονομαζόμενο model-building panel, όπου ταξινομούνται σε κατηγορίες, μεταξύ των οποίων είναι οι εξής:

- Basic process: Είναι η κύρια κατηγορία. Περιέχει τα βασικά modules που είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη όλων των μοντέλων.
- Advanced process: Είναι η κατηγορία των πιο σύνθετων διεργασιών.
- Advanced transfer: Περιέχει πόρους για τη μεταφορά των οντοτήτων, όπως μεταφορείς και ταινιοδρόμους.

Στην κατηγορία basic process καταχωρούνται σε πίνακες οι εξής πληροφορίες:

- Οντότητες (entities): Ορίζονται τύποι οντοτήτων (π.χ. λιγνίτης, στείρα, οντότητα ελέγχου) και η εικόνα τους σε εκτέλεση με animation.
- Ιδιότητες (attributes): Ορίζονται οι ιδιότητες των παραπάνω οντοτήτων. Χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά πληροφορίας από την κάθε οντότητα.
- Ουρές (queues): Ορίζονται οι ουρές στις οποίες μπορούν να εισέρχονται για αναμονή οι οντότητες, καθώς και τα χαρακτηριστικά τους, μεταξύ των οποίων είναι και η σειρά εξυπηρέτησης (π.χ. ο αφικνούμενος πρώτος εξυπηρετείται πρώτος, FIFO).

- Πόροι (resources): Ορίζονται οι πόροι του συστήματος, δηλαδή οι μονάδες εξυπηρέτησης και τα χαρακτηριστικά τους.
- Μεταβλητές (variables): Ορίζονται οι μεταβλητές του μοντέλου, οι οποίες είναι ορατές από όλα τα στοιχεία του. Επίσης, αποδίδονται οι τιμές που έχουν κατά την έναρξη εκτέλεσης του μοντέλου. Η καταχώρηση και οργάνωση μεταβλητών απεικονίζεται στην Εικόνα 5.1.

Name	Rows	Columns	Data Type	Clear Option	File Name	Initial Values	Report Statistics
1	E2_current_material		Real	System		1 rows	<input type="checkbox"/>
2	E2_discharges_per_minute		Real	System		1 rows	<input type="checkbox"/>
3	E2_bucket_volume_m3		Real	System		1 rows	<input type="checkbox"/>
4	E2_hub_control		Real	System		1 rows	<input type="checkbox"/>
5	TempSumWaste_m3		Real	System		0 rows	<input type="checkbox"/>
6	TotalWaste_m3		Real	System		0 rows	<input type="checkbox"/>
7	TotalLignite_t		Real	System		0 rows	<input type="checkbox"/>
8	TotalLignite_m3		Real	System		0 rows	<input type="checkbox"/>
9	TempSumLignite_t		Real	System		0 rows	<input type="checkbox"/>
10	TempSumLignite_m3		Real	System		0 rows	<input type="checkbox"/>
11	A1_TempSum_m3		Real	System		0 rows	<input type="checkbox"/>
12	A2_TempSum_m3		Real	System		0 rows	<input type="checkbox"/>
13	KB_TempSum_t		Real	System		0 rows	<input type="checkbox"/>
14	KB_TempSum_m3		Real	System		0 rows	<input type="checkbox"/>
15	A3_TempSum_m3		Real	System		0 rows	<input type="checkbox"/>
16	K_TempSum_t		Real	System		0 rows	<input type="checkbox"/>
17	K_TempSum_m3		Real	System		0 rows	<input type="checkbox"/>
18	E2_TotalWaste_m3		Real	System		0 rows	<input type="checkbox"/>
19	E2_TempSumWaste_m3		Real	System		0 rows	<input type="checkbox"/>
20	E2_TempSumLignite_t		Real	System		0 rows	<input type="checkbox"/>
21	E2_TotalLignite_m3		Real	System		0 rows	<input type="checkbox"/>
22	E2_TotalLignite_t		Real	System		0 rows	<input type="checkbox"/>
23	E2_TempSumLignite_m3		Real	System		0 rows	<input type="checkbox"/>
24	E2_destination_station		Real	System		1 rows	<input type="checkbox"/>
25	E2_direction		Real	System		1 rows	<input type="checkbox"/>
26	E2_location_head		Real	System		1 rows	<input type="checkbox"/>
27	E2_location_tail		Real	System		1 rows	<input type="checkbox"/>
28	E2_location		Real	System		1 rows	<input type="checkbox"/>

Εικόνα 5.1 Λίστα δεδομένων μεταβλητών

Στην κατηγορία advanced process καταχωρούνται σε πίνακες οι εξής πληροφορίες:

- Μορφοποιήσεις (expressions): Ορίζονται όλες οι κατανομές που χρησιμοποιούνται στη μοντελοποίηση του συστήματος, καθώς και η ακριβής έκφραση που καθορίζει την κάθε κατανομή (π.χ. UNIF(0.80, 0.90, 2) είναι η κατανομή που αποδίδει το ποσοστό πλήρωσης του κάδου στον καδοφόρο εκσκαφέα).
- Βλάβες (failures): Ορίζονται οι βλάβες του συστήματος στις μονάδες εξυπηρέτησης, που διακόπτουν τη λειτουργία τους για όσο χρονικό διάστημα ορίζεται από τις κατανομές που έχουν εισαχθεί για το αντίστοιχο συμβάν.
- Καθορισμός κατάστασης (stateset): Ορίζονται οι καταστάσεις των τμημάτων του συστήματος, όταν αυτό βρίσκεται σε λειτουργία (π.χ. όταν ο κλάδος E2 βρίσκεται σε ετήσια συντήρηση, η κατάσταση μπορεί να οριστεί για τον κλάδο ως απασχολημένος, σε άλλη περίπτωση θα χαρακτηριστεί ως ελεύθερος).

- Στατιστικά (statistics): Ορίζονται τα δεδομένα που πρέπει να εξαχθούν και να αποθηκευτούν, ώστε να υποστούν επεξεργασία μόλις ολοκληρωθεί η προσομοίωση. Τα στατιστικά μπορούν να αντιστοιχούν σε χρονική διάρκεια, πλήθος, συχνότητα κ.α.

Στην κατηγορία advanced transfer καταχωρούνται σε πίνακες οι εξής πληροφορίες:

- Μεταφορείς (π.χ. conveyors): Ορίζονται οι μονάδες που έχουν στόχο την μεταφορά οντοτήτων από ένα σημείο του συστήματος σε ένα άλλο.
- Τμήματα (segments): Ορίζονται τα επί μέρους τμήματα που καθορίζουν το μέγεθος του μεταφορέα (π.χ. ενός ταινιοδρόμου), καθορίζοντας το σημείο εκκίνησης, τα ενδιάμεσα τμήματα καθώς και το σημείο που καταλήγει.

6. Μοντέλο προσομοίωσης του Ορυχείου Καρδιάς

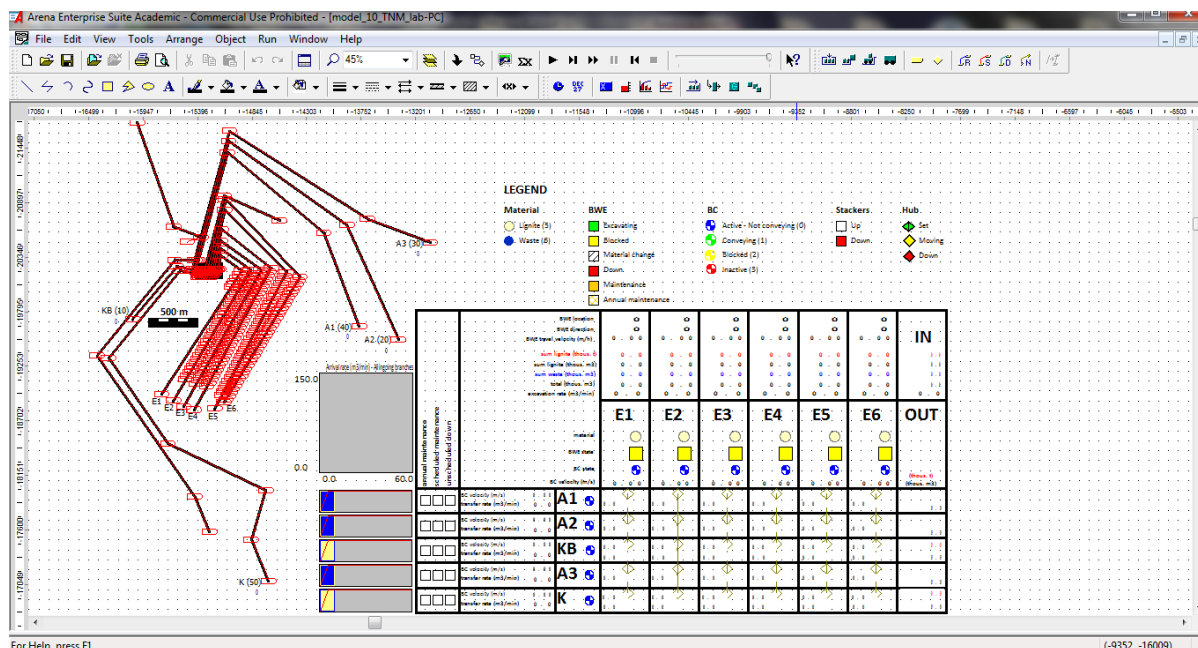
Μία από τις σημαντικές παραμέτρους στο σχεδιασμό και τη λειτουργία ενός συνεχούς συστήματος εκμετάλλευσης, που αποτελείται από καδοφόρους εκσκαφείς, ταινιόδρομους και αποθέτες, είναι ο όγκος του υλικού που καλείται να διαχειριστεί το σύστημα μεταφοράς του. Οι επιμέρους μονάδες του συστήματος απαιτείται να είναι διαστασιολογημένες με τέτοιο τρόπο, ώστε να αποκλείεται η εμφάνιση «στραγγαλισμών», δηλαδή περιπτώσεων όπου μία μονάδα τροφοδοτείται με υλικό που υπερβαίνει τη δυναμικότητά της.

Σε εκμεταλλεύσεις όπου σε κάθε μονάδα εξόρυξης και μεταφοράς ανατίθεται η διαχείριση ενός μόνου τύπου υλικού (στείρο ή λιγνίτης), οι απαιτούμενες δυναμικότητες κάθε κλάδου προκύπτουν από το ρυθμό εξόρυξης των καδοφόρων εκσκαφών που τον τροφοδοτούν. Όμως, στην εκμετάλλευση πολυστρωματικών κοιτασμάτων, όπως αυτών του Λιγνιτικού Κέντρου Δυτικής Μακεδονίας, ο τύπος υλικού που εξορύσσει κάθε καδοφόρος εκσκαφείας αλλάζει εξαιρετικά συχνά. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με τις τυχαίες, μη προγραμματισμένες βλάβες των επιμέρους μονάδων, προσδίδει στον όγκο του υλικού που καταφτάνει κάθε στιγμή στον κόμβο ταινιοδρόμων έναν έντονα τυχαίο χαρακτήρα. Συνεπώς, το μέγεθος που καλύτερα περιγράφει την απαιτούμενη δυναμικότητα του κόμβου και των επόμενων κλάδων είναι η κατανομή του ρυθμού άφιξης κάθε τύπου υλικού στον κόμβο.

Η υποδιαστασιολόγηση του κόμβου και των επόμενων κλάδων, προφανώς οδηγεί σε προβλήματα υπερφόρτωσης, απώλειας υλικού, και δυσλειτουργίες στην παραγωγή. Ούτε, όμως, και η υπερδιαστασιολόγηση είναι λύση, διότι οδηγεί σε υψηλότερο κόστος κτήσης και λειτουργίας, που αυξάνει σημαντικά το μοναδιαίο κόστος.

Στην παρούσα εργασία το Ορυχείο Καρδιάς μοντελοποιήθηκε με τη μέθοδο της προσομοίωσης διακριτών γεγονότων (discrete-event system simulation). Στη μέθοδο αυτή το σύστημα εξετάζεται μόνο κατά τις διακριτές χρονικές στιγμές (event times) που λαμβάνει χώρα ένα γεγονός (event), το οποίο μεταβάλλει την τιμή μεταβλητών κατάστασης του συστήματος. Ο συνεχής χαρακτήρας του συστήματος προσομοιώθηκε με κατάλληλη διακριτοποίηση της ροής του εξορυγμένου υλικού. Συγκεκριμένα, οι κύριες οντότητες που δημιουργούνται και μεταφέρονται αντιστοιχούν στο περιεχόμενο ενός κάδου των καδοφόρων εκσκαφών.

Το μοντέλο αναπτύχθηκε στο περιβάλλον προσομοίωσης Arena. Στο Σχήμα 6.1 φαίνεται μια γενική εικόνα του περιβάλλοντος και του μοντέλου.

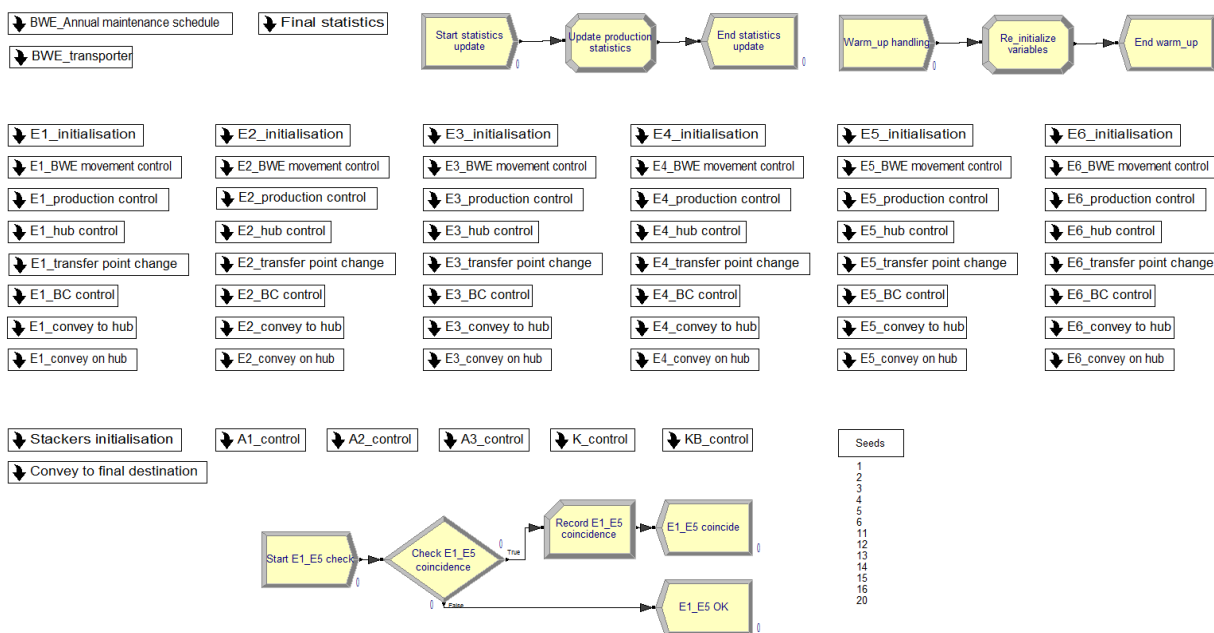


Σχήμα 6.1 Κεντρική εικόνα του μοντέλου του Ορυχείου Καρδιάς

Στο αριστερό μέρος είναι σχεδιασμένο το ορυχείο, όπου απεικονίζονται όλοι οι κλάδοι (κλάδοι καδοφόρων εκσκαφών, κλάδοι απόθεσης στείρων, κλάδοι μεταφοράς λιγνίτη), με κεντρικό σημείο τον κόμβο όπου γίνεται η δρομολόγηση του αφικνούμενου υλικού ανάλογα με το αν είναι λιγνίτης ή στέιρο. Όταν επιλεγεί εκτέλεση του μοντέλου με δυναμική απεικόνιση το υλικό εμφανίζεται σε μορφή σφαίρας (κίτρινου χρώματος για λιγνίτη και μπλε για στέιρο υλικό) επάνω στους κλάδους E1-E6 και μεταφέρεται μέχρι το σημείο του κόμβου, όπου συνεχίζει την πορεία του προς κατάλληλο κλάδο.

Στον πίνακα που βρίσκεται στο κεντρικό μέρος της εικόνας είναι συγκεντρωμένα όλα τα απαραίτητα στοιχεία για την πλήρη εποπτεία του συστήματος. Εκεί, κατά την εκτέλεση, απεικονίζεται η κατάσταση όλων των κλάδων, το υλικό που παράγεται σε κάθε κλάδο, πόσο υλικό έχει καταφτάσει σε κάθε έναν από τους κλάδους λιγνίτη ή στείρου υλικού, καθώς και ο προορισμός του εξορυγμένου υλικού των κλάδων E1-E6. Στο επάνω μέρος υπάρχει και το αντίστοιχο υπόμνημα όπου φαίνονται τα σύμβολα για τις πιθανές καταστάσεις όπου μπορούν να βρεθούν οι καδοφόροι εκσκαφείς, οι ταινιόδρομοι, οι αποθέτες και ο κόμβος.

Το κυρίως μοντέλο συγκροτείται από υπομοντέλα (submodels). Η δομή του φαίνεται στο Σχήμα 6.2.



Σχήμα 6.2 Υπομοντέλα που συγκροτούν το κυρίως μοντέλο

6.1. Ανάπτυξη του μοντέλου

Για την προσομοίωση του συστήματος του Ορυχείου Καρδιάς, αξιοποιήθηκαν οι δυνατότητες που παρέχει το Arena.

Πέραν των οντοτήτων που αντιπροσωπεύουν εξορυγμένα στείρα ή λιγνίτη, κατάλληλες οντότητες ελέγχου (control entities) χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο της λειτουργίας των επιμέρους μονάδων του συστήματος.

Για το συντονισμό και την ορθή λειτουργία των μονάδων, καθώς και για την εξασφάλιση της ορθής ροής του υλικού, χρησιμοποιήθηκαν συνδυασμένα σήματα (signals) και θέσεις αναμονής (hold modules), όπου οι οντότητες ελέγχου αναμένουν την ικανοποίηση κάποιας συνθήκης ή ένα σήμα.

Για τη μεταφορά του εξορυγμένου υλικού και την κίνηση των καδοφόρων εκσκαφέων, χρησιμοποιήθηκαν κατάλληλοι ταινιόδρομοι (conveyors) και μεταφορείς (transporters) αντίστοιχα.

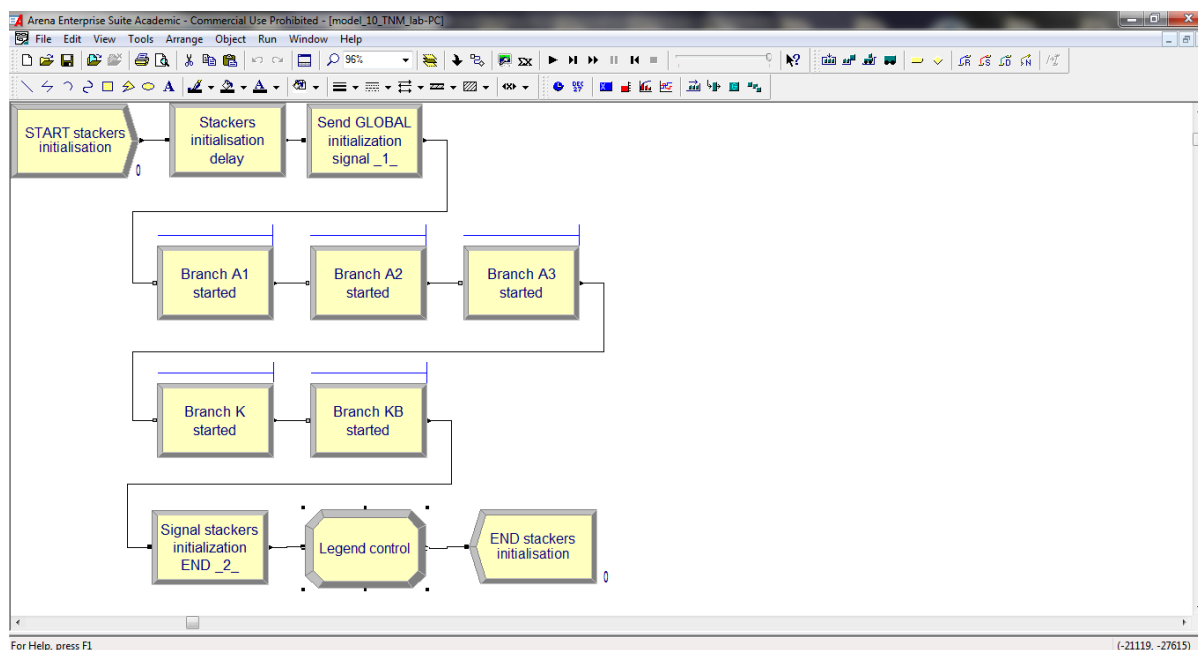
Τέλος, για τη συγκέντρωση των δεδομένων που απαιτούνται κατά την αξιολόγηση της λειτουργίας του συστήματος, χρησιμοποιήθηκαν καταγραφείς (record modules), οι οποίοι τοποθετούνται συνήθως πριν την έξοδο μίας οντότητας από το σύστημα. Τα μεγέθη που καταγράφονται είναι ποσοτικά (π.χ. ο όγκος του εξορυγμένου υλικού), χρονικά (π.χ. ο χρόνος που μεσολαβεί ανάμεσα στις αφίξεις των οντοτήτων) κ.ά.

6.2. Δομή του μοντέλου

Για την καλύτερη οργάνωση και εποπτεία της αναπαράστασης του συστήματος, η δομή του αποτελείται από υπομοντέλα. Στη συνέχεια αναλύεται η λειτουργία και ο σκοπός κάθε υπομοντέλου.

6.2.1. Υπομοντέλο ενεργοποίησης των κλάδων απόθεσης

Στο υπομοντέλο αυτό επιδιώκεται η ενεργοποίηση λειτουργίας των κλάδων απόθεσης. Ο τρόπος λειτουργίας του υπομοντέλου φαίνεται στο Σχήμα 6.3.



Σχήμα 6.3 Υπομοντέλο ενεργοποίησης των κλάδων λιγνίτη και στείρου υλικού

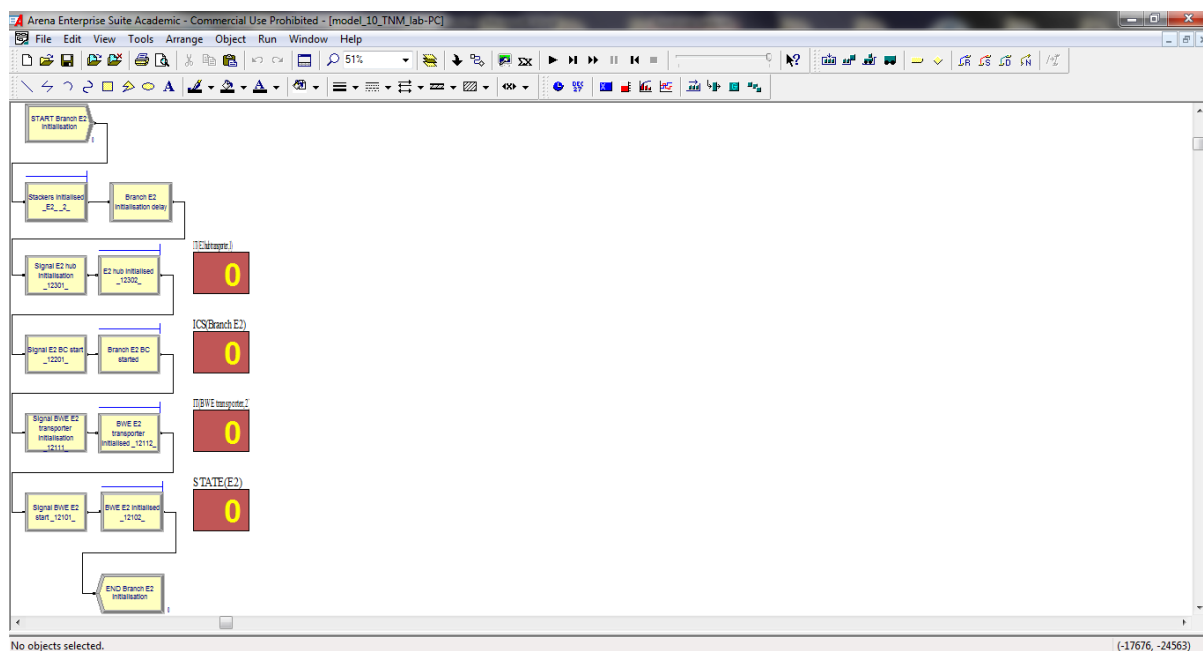
Αρχικά δημιουργείται (create) μία οντότητα ελέγχου (control entity), η οποία είναι μοναδική και εμφανίζεται τη χρονική στιγμή μηδέν, δηλαδή κατά την έναρξη εκτέλεσης του μοντέλου. Στη συνέχεια, αναμένει για πέντε δευτερόλεπτα και προκαλεί την εκπομπή του σήματος «1», το οποίο λαμβάνεται από τα υπομοντέλα για την ενεργοποίηση των επιμέρους κλάδων που έπονται του κόμβου. Στα επόμενα πέντε modules αναμένεται η ενεργοποίηση των κλάδων A1, A2, A3, K και KB. Μόλις όλοι οι κλάδοι είναι ενεργοί, εκπέμπεται το σήμα «2» που ανακοινώνει την ολοκλήρωση της ενεργοποίησης των κλάδων απόθεσης. Τέλος, η οντότητα ελέγχου ενεργοποιεί την απεικόνιση του υπομνήματος και άλλων στοιχείων του πίνακα κατάστασης του συστήματος και η διαδικασία ολοκληρώνεται με την καταστροφή της (discard).

6.2.2. Υπομοντέλο ενεργοποίησης κλάδου καδοφόρου εκσκαφέα

Για κάθε καδοφόρο εκσκαφέα υπάρχει ένα υπομοντέλο ενεργοποίησής του, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.4. Σκοπός του υπομοντέλου είναι η εξασφάλιση της συνεχούς ροής του εξορυγμένου υλικού. Για να επιτευχθεί αυτό είναι απαραίτητο οι επιμέρους κλάδοι να ενεργοποιούνται με συγκεκριμένη σειρά. Πρώτα ενεργοποιούνται οι κλάδοι απόθεσης, που περιγράφονται στην παράγραφο 6.2.1, μετά ενεργοποιείται ο κόμβος, ακολουθεί ο ταινιόδρομος του κλάδου και, τέλος, τίθεται σε λειτουργία ο καδοφόρος εκσκαφέας.

Αυτή η διαδικασία υλοποιείται μέσω μίας οντότητας ελέγχου, που δημιουργείται κατά την έναρξη εκτέλεσης του μοντέλου, και μιας ακολουθίας εκπομπής σημάτων και αναμονής. Όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία, η οντότητα ελέγχου καταστρέφεται.

Στο συγκεκριμένο υπομοντέλο εμφανίζονται και κάποιες δυναμικές απεικονίσεις που παρουσιάζουν την μεταβολή των μεταβλητών του κλάδου (κατάσταση καδοφόρου εκσκαφέα, κατάσταση ταινιοδρόμου κ.α.)

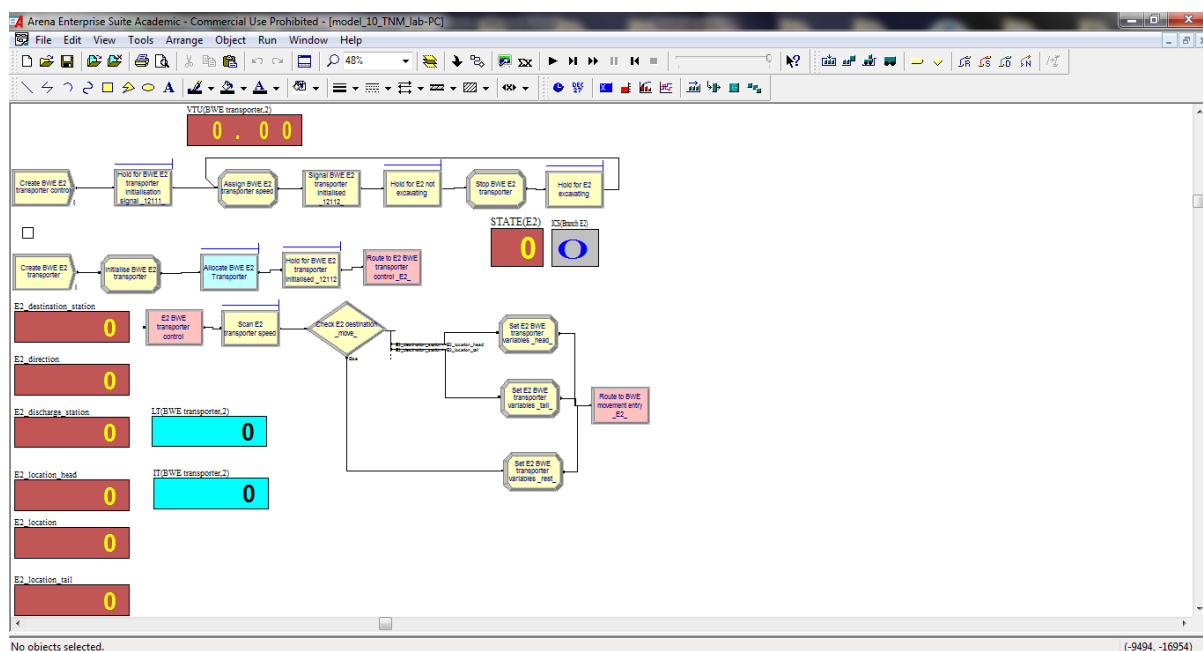


Σχήμα 6.4 Υπομοντέλο ενεργοποίησης του κλάδου E2

6.2.3. Υπομοντέλο ελέγχου της κίνησης καδοφόρου εκσκαφέα

Σε αυτό το υπομοντέλο ελέγχεται η λειτουργία του καδοφόρου εκσκαφέα, μέσω δύο οντοτήτων ελέγχου που παραμένουν ενεργές καθόλη την εκτέλεση του μοντέλου. Η πρώτη αφού λάβει το σήμα για την ενεργοποίηση της κίνησης του καδοφόρου εκσκαφέα, ορίζει την ταχύτητα κίνησής του, εκπέμπει σήμα για την κίνησή του και στη συνέχεια ελέγχει την κατάστασή του, ώστε να επαναληφθεί όποτε απαιτείται η διαδικασία. Η δεύτερη οντότητα

ελέγχου, αφού δημιουργηθεί και λάβει το σήμα που επιτρέπει την κίνηση του καδοφόρου εκσκαφέα, ελέγχει τη θέση του στη βαθμίδα εκμετάλλευσης, ορίζει την κατεύθυνσή του, δεσμεύει μεταφορέα για την απεικόνιση της κίνησης και αναμένει κατάλληλο σήμα για την επανάληψη της διαδικασίας. Η δομή για τη λειτουργία του υπομοντέλου φαίνεται στο Σχήμα 6.5.



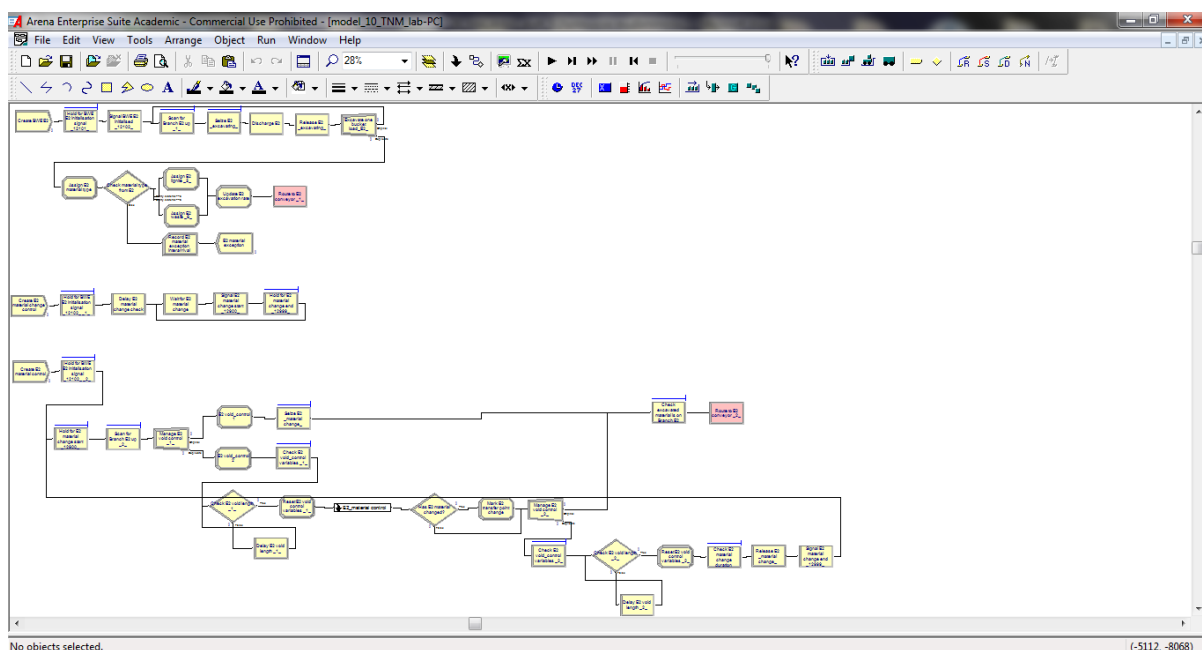
Σχήμα 6.5 Υπομοντέλο ελέγχου της κίνησης του καδοφόρου εκσκαφέα E2

6.2.4. Υπομοντέλο ελέγχου της εξόρυξης

Εδώ ελέγχεται η εξόρυξη υλικού από τον καδοφόρο εκσκαφέα. Αρχικά δημιουργείται μία οντότητα που αναπαριστά τον καδοφόρο εκσκαφέα και αφού ληφθεί το σήμα για την ενεργοποίηση λειτουργίας του και σταλεί ένα σήμα για να δειχθεί ότι ο καδοφόρος εκσκαφέας είναι σε λειτουργία, ελέγχεται η κατάσταση του ταινιοδρόμου. Στη συνέχεια δεσμεύεται ο πόρος (resource) του καδοφόρου εκσκαφέα και μεσολαβεί μία καθυστέρηση που ορίζεται με βάση το πλήθος των εκκενώσεων κάδων στη μονάδα του χρόνου και αναπαριστά τον χρόνο που χρειάζεται για να εξορυχθεί μία κουβαδιά. Μετά η οντότητα «κλωνοποιείται». Ο ένας κλώνος αναπαριστά την κουβαδιά που έχει παραχθεί, ενώ ο άλλος επιστρέφει στο σημείο πριν τον έλεγχο της κατάστασης του ταινιοδρόμου. Η οντότητα που αντιπροσωπεύει την κουβαδιά του υλικού περνάει από modules όπου ορίζονται οι ιδιότητες του υλικού (είδος υλικού, βάρος, όγκος).

Στο ίδιο υπομοντέλο πραγματοποιείται η διαχείριση της αλλαγής υλικού (material change). Στην περίπτωση που ένας καδοφόρος εκσκαφέας παράγει λιγνίτη και περάσει στην

εξόρυξη στείων, ή αντίστροφα, απαιτείται ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα που πρέπει να μεσολαβήσει. Αυτό ακριβώς αναλαμβάνει να διεκπεραιώσει το συγκεκριμένο τμήμα του υπομοντέλου. Όταν ανιχνεύεται αλλαγή υλικού δημιουργείται μία οντότητα έναρξης κενού στον ταινιόδρομο (void control entity) και σταματάει η εξόρυξη από τον καδοφόρο εκσκαφέα. Ο καδοφόρος εκσκαφέας θα ξεκινήσει να εξορύσσει εκ νέου υλικό όταν η απόσταση της πρώτης οντότητας κενού έχει μετακινηθεί τουλάχιστον εκατό μέτρα πάνω στον ταινιόδρομο. Με τον τρόπο αυτό διασφαλίζεται το κενό επάνω στον ταινιόδρομο που απαιτείται στον κόμβο για την απρόσκοπτη αλλαγή του προορισμού του υλικού. Την έλευση του καινούργιου υλικού σημαίνει δεύτερη οντότητα κενού, η οποία όταν φτάνει στον κόμβο αποβάλλεται από το σύστημα, όπως ακριβώς συμβαίνει και με την πρώτη οντότητα κενού. Στο Σχήμα 6.6 απεικονίζεται η δομή του υπομοντέλου ελέγχου εξόρυξης.

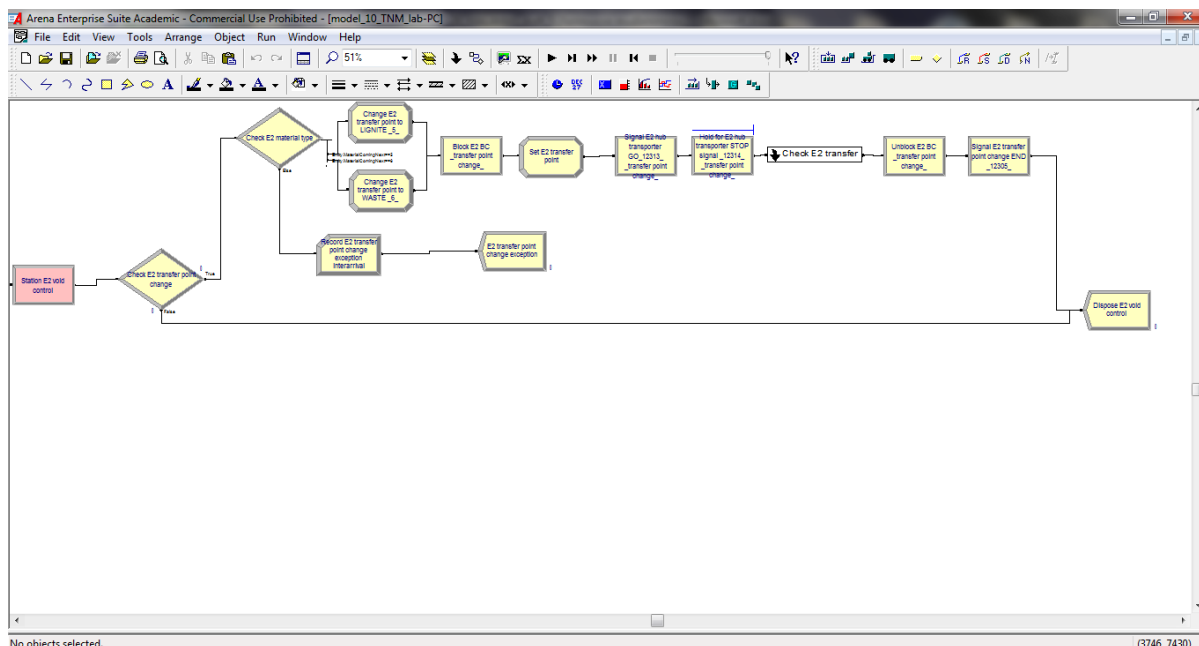


Σχήμα 6.6 Υπομοντέλο ελέγχου της παραγωγής του κλάδου E2

6.2.5. Υπομοντέλο για τη διαχείριση της αλλαγής προορισμού στον κόμβο

Σε αυτό το υπομοντέλο πραγματοποιείται η αλλαγή στον κόμβο αν ακολουθεί διαφορετικό υλικό από το μέχρι τότε αφικνούμενο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.7. Αρχικά η πρώτη οντότητα κενού που καταφτάνει φέρει την πληροφορία για το είδος του νέου υλικού που ακολουθεί. Αφού προσδιοριστεί το είδος του υλικού, μέσω κατάλληλης κατανομής ορίζεται σε ποιον από τους κλάδους λιγνίτη ή στείων αντίστοιχα θα οδηγηθεί. Μέσω ενός

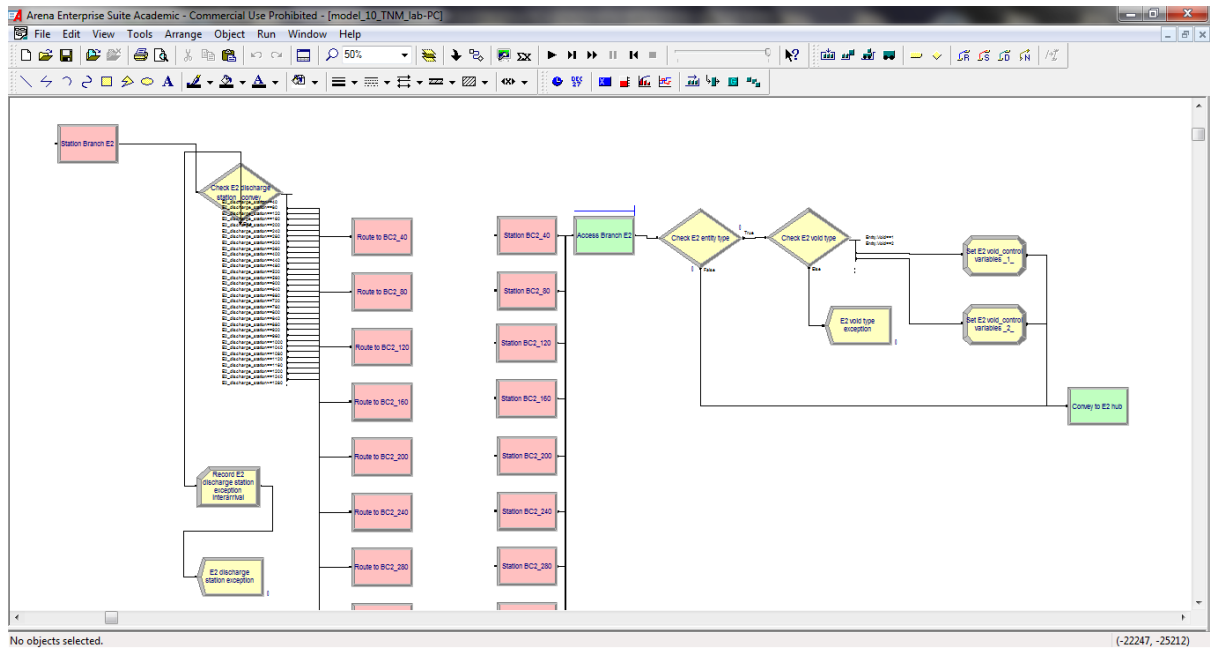
συστήματος σημάτων που έχουν αποσταλεί και ληφθεί, διασφαλίζεται η ομαλή λειτουργία του κόμβου για να πραγματοποιηθεί η αλλαγή.



Σχήμα 6.7 Υπομοντέλο για την διαχείριση της αλλαγής του κόμβου

6.2.6. Υπομοντέλο για τη μεταφορά μέχρι τον κόμβο

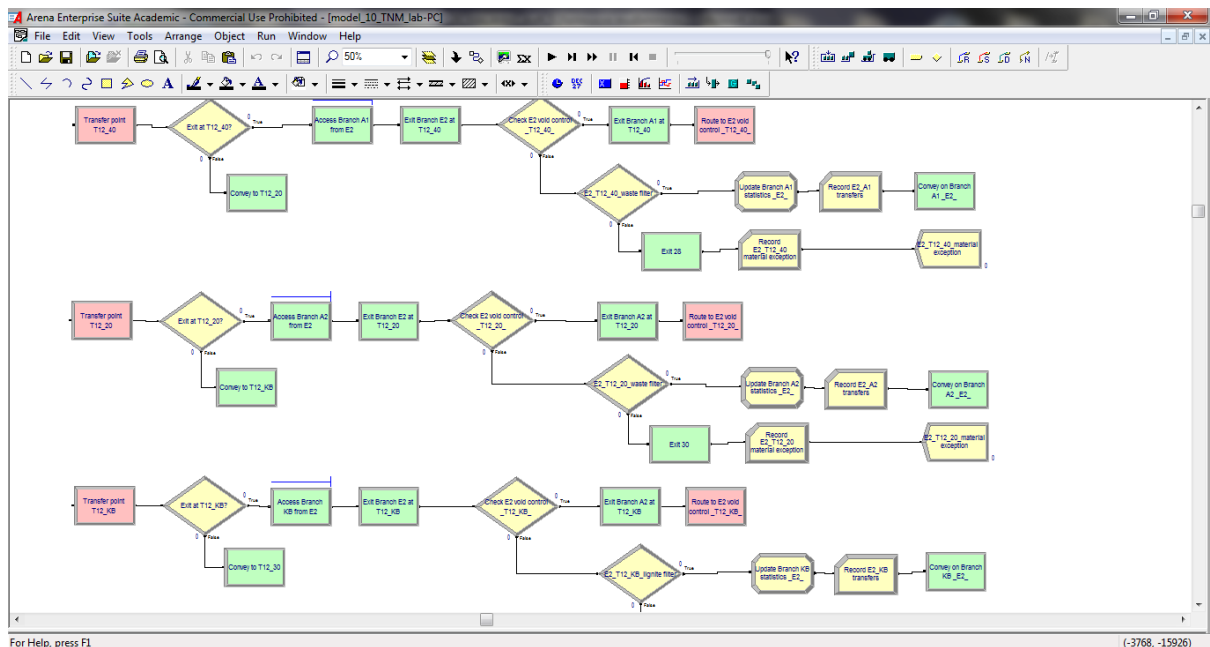
Αρχικά σε αυτό το υπομοντέλο ελέγχονται οι συντεταγμένες του καδοφόρου εκσκαφέα και αποφασίζεται σε ποιο σημείο βρίσκεται μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Αφού είναι γνωστή η θέση του, όπου οι θέσεις εργασίας απέχουν μεταξύ τους 40 μέτρα, δίνεται πρόσβαση στον εκάστοτε κλάδο. Επεμβαίνει μία επεξεργασία απόφασης, η οποία εξετάζει αν οι οντότητες που καταφτάνουν αντιπροσωπεύουν υλικό ή οντότητες ελέγχου. Αν οι οντότητες είναι στείρα ή λιγνίτης περνάνε απευθείας στον κόμβο, αν είναι οντότητες ελέγχου εξετάζεται ποια από τις δύο έχει καταφτάσει και ορίζονται οι ανάλογες μεταβλητές. Εν συνεχεία, μεταφέρονται και αυτές στον κόμβο και η συνέχεια των διεργασιών περιγράφεται στο ακόλουθο υπομοντέλο. Στο σχήμα 6.8 απεικονίζεται η δομή του υπομοντέλου.



Σχήμα 6.8 Υπομοντέλο ελέγχου για μεταφορά στον κόμβο

6.2.7. Υπομοντέλο για τον έλεγχο εξόδου από τον κόμβο

Το συγκεκριμένο υπομοντέλο ελέγχει τη μεταφορά υλικού όταν βρίσκεται στον κόμβο, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 6.9. Ο πρώτος έλεγχος εξετάζει το σημείο εξόδου από τον κόμβο (δηλαδή προς τον κλάδο A1, A2, A3, K ή KB).

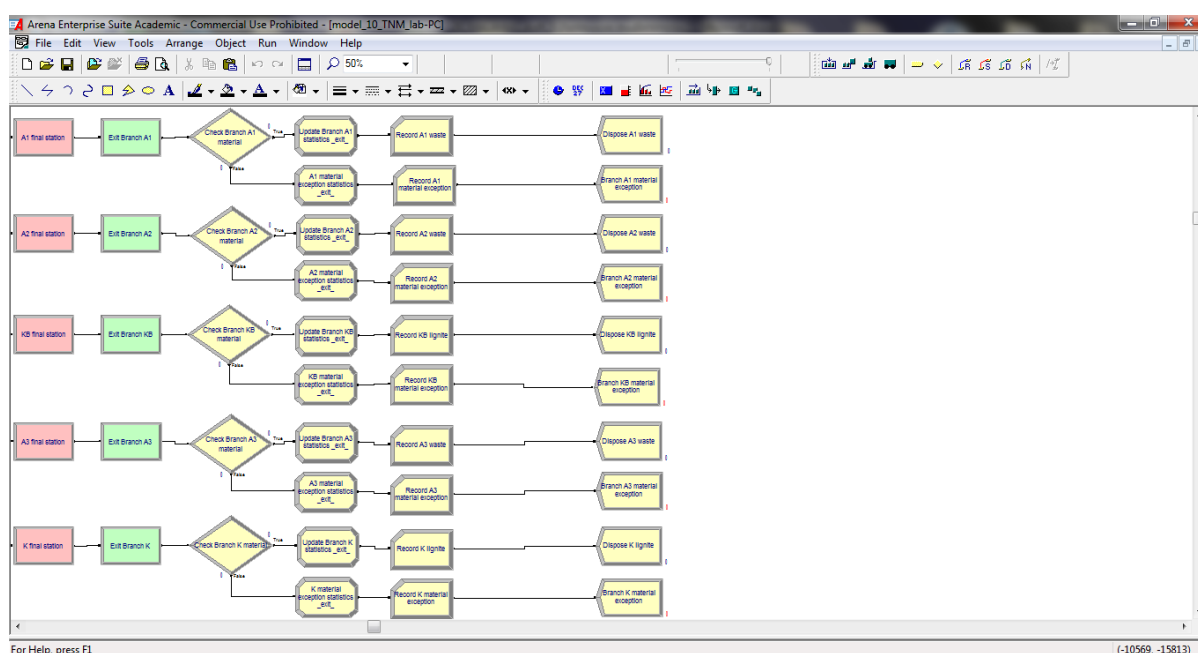


Σχήμα 6.9 Υπομοντέλο για την πραγματοποίηση ελέγχων εξόδου από τον κόμβο

Αν το σημείο εξόδου είναι αποδεκτό, επιτρέπεται πρόσβαση στον εκάστοτε κλάδο με ταυτόχρονη έξοδο από τον κλάδο που προέρχεται το υλικό και ακολουθεί ο δεύτερος έλεγχος για το είδος της οντότητας. Αν παρουσιαστεί οντότητα ελέγχου βγαίνει από τον κλάδο που μόλις της έχει επιτραπεί η είσοδος και μεταφέρεται στο υπομοντέλο για την διαχείριση της αλλαγής του κόμβου. Στην περίπτωση που η οντότητα αναπαριστά υλικό επανελέγχεται ότι το υλικό πρέπει να βρίσκεται στον συγκεκριμένο κλάδο και αφού ανανεωθούν τα στατιστικά του κλάδου σύμφωνα με το υλικό που φτάνει, μεταφέρεται στο υπομοντέλο που ακολουθεί η περιγραφή του. Τα παραπάνω βήματα επαναλαμβάνονται έως ότου η αφικνούμενη οντότητα εξέλθει του κόμβου.

6.2.8. Υπομοντέλο για τη μεταφορά μέχρι τον τελικό προορισμό

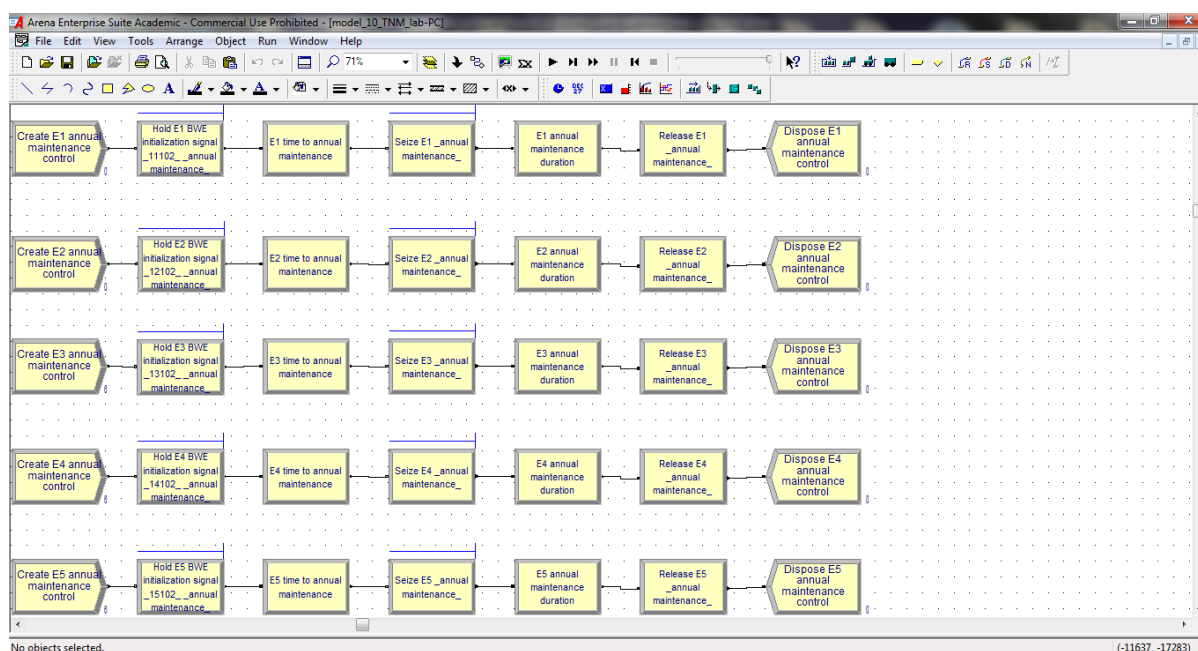
Οι οντότητες έχουν τοποθετηθεί πλέον από το προηγούμενο υπομοντέλο στον κλάδο που θα τις οδηγήσει είτε στους αποθέτες στείρου υλικού, είτε σε έναν από τους δύο προορισμούς των κλάδων λιγνίτη. Στο σημείο που εξέρχονται οι οντότητες από έναν κλάδο (A1, A2, A3, K ή KB), προς αποφυγή λαθών εξετάζεται αν το υλικό είναι σωστό. Αν ο τύπος του υλικού ανήκει στον κλάδο, ανανεώνεται η μεταβλητή του όγκου του αφικνούμενου υλικού, καταγράφεται η άφιξη και τέλος αποβάλλονται οι οντότητες από το σύστημα. Αν για κάποιο λόγο το υλικό δεν θα έπρεπε να βρίσκεται εκεί, πριν αποβληθεί από το σύστημα καταγράφεται σε έναν μετρητή για να εμφανιστεί στα αποτελέσματα και να εντοπιστεί το σφάλμα. Το Σχήμα 6.10 απεικονίζει τη δομή του υπομοντέλου.



Σχήμα 6.10 Υπομοντέλο για την τελική μεταφορά των οντοτήτων

6.2.9. Υπομοντέλο για την ετήσια συντήρηση καδοφόρων εκσκαφών

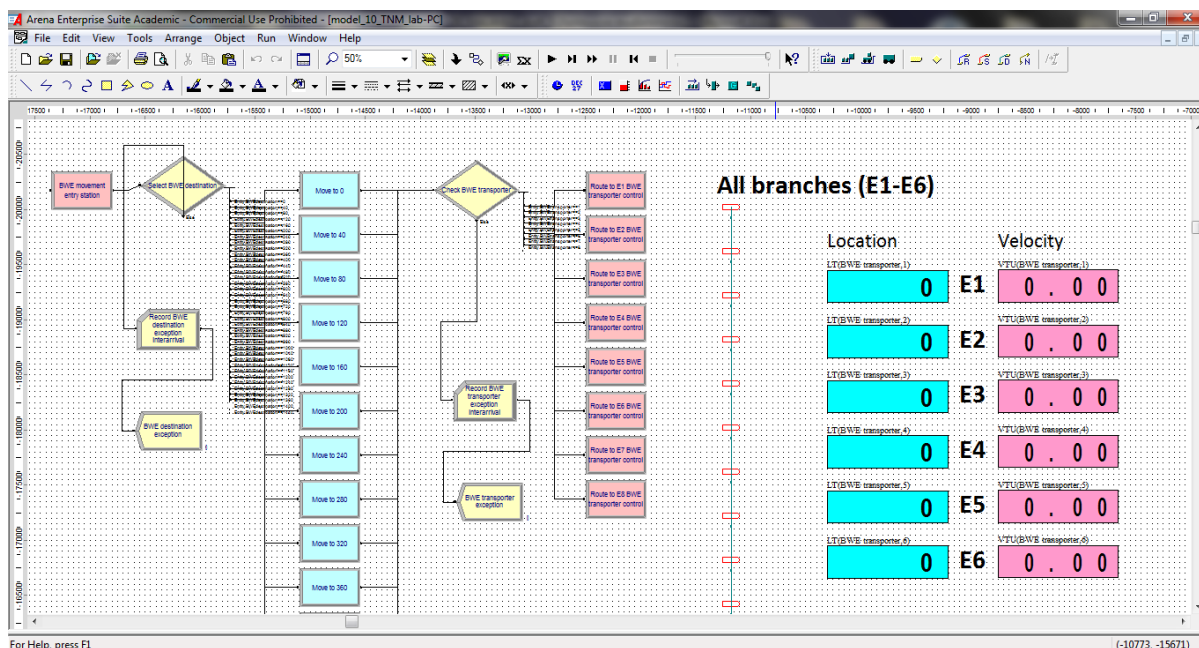
Στο υπομοντέλο γίνεται η διαχείριση της ετήσιας συντήρησης των καδοφόρων εκσκαφών. Αρχικά δημιουργείται μία οντότητα ελέγχου τη χρονική στιγμή μηδέν κατά την εκκίνηση εκτέλεσης του μοντέλου. Στη συνέχεια η οντότητα μπαίνει σε κατάσταση αναμονής για τις αναγκαίες ενεργοποιήσεις στο σύστημα και αναμένει την έναρξη της ετήσιας συντήρησης, ώστε να δεσμεύσει τον πόρο της ετήσιας συντήρησης. Όταν ολοκληρωθεί η ετήσια συντήρηση, αποδεσμεύεται ο πόρος και καταστρέφεται η οντότητα. Η παραπάνω διαδικασία φαίνεται στο Σχήμα 6.11.



Σχήμα 6.11 Υπομοντέλο για την ετήσια συντήρηση των καδοφόρων εκσκαφών

6.2.10. Υπομοντέλο μεταφοράς καδοφόρου εκσκαφής

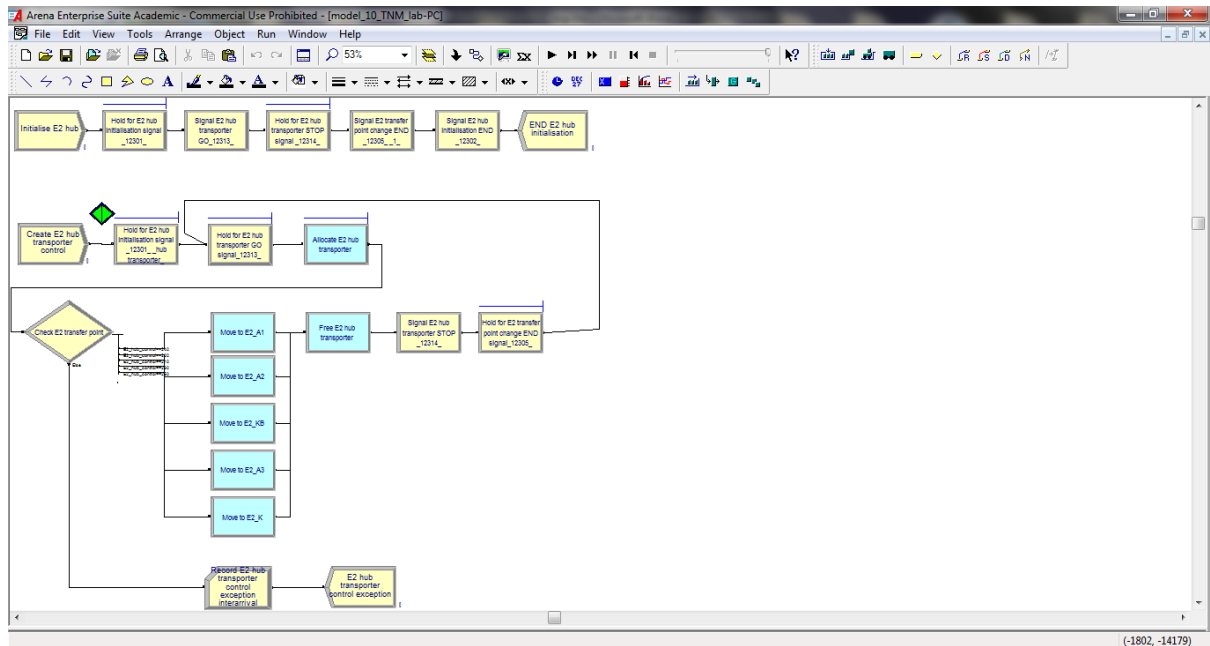
Το υπομοντέλο αυτό συνεργάζεται άμεσα με τα υπομοντέλα ελέγχου κίνησης των καδοφόρων εκσκαφών. Κάθε μία οντότητα των έξι υπομοντέλων, για την υλοποίηση της πορείας των καδοφόρων εκσκαφών από σταθμό σε σταθμό, οδηγούνται στο υπομοντέλο των μεταφορών των καδοφόρων εκσκαφών. Οι οντότητες μεταφοράς δεσμεύουν τον αντίστοιχο μεταφορέα και αναλόγως με τον προορισμό του κινούνται προς τον αντίστοιχο σταθμό. Μόλις ολοκληρωθεί η πορεία, σε χρόνο που είναι συνάρτηση της ταχύτητας πορείας, η οντότητα οδηγείται ξανά στο δικό της υπομοντέλο ελέγχου κίνησης. Η δομή του υπομοντέλου παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.12.



Σχήμα 6.12 Υπομοντέλο μετακίνησης των καδοφόρων εκσκαφέων

6.2.11. Υπομοντέλο απεικόνισης του κόμβου

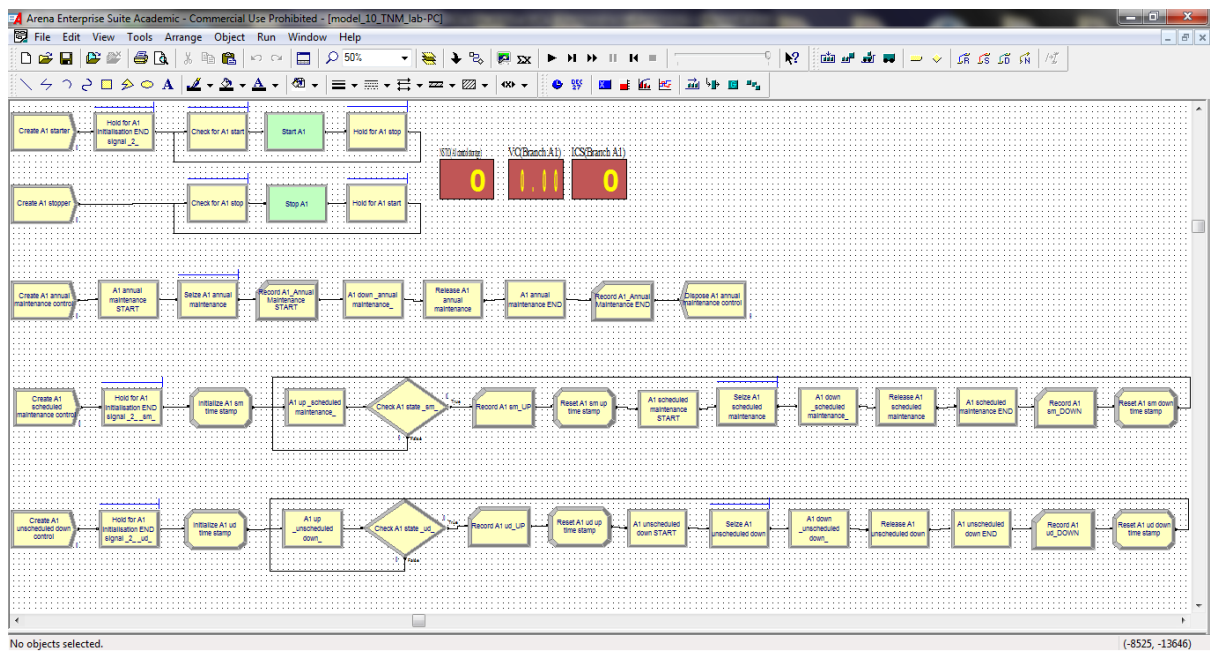
Κάθε κλάδος παραγωγής υλικού χρειάζεται μία άμεση συνεργασία με τον κόμβο ώστε να μετακινείται η θέση της εξόδου του αφικνούμενου υλικού στον κατάλληλο κλάδο (A1, A2, A3, K, KB). Στο Σχήμα 6.13 εμφανίζεται ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί το υπομοντέλο με αποκλειστικό σκοπό την ενημέρωση του πίνακα κατάστασης. Στην πρώτη γραμμή εντολών δημιουργείται μία οντότητα ελέγχου, η οποία συνεργάζεται με μία άλλη οντότητα ελέγχου, που δημιουργείται στο διάγραμμα ροής που ακολουθεί, και με κάποια υπομοντέλα του συστήματος έτσι ώστε να ενεργοποιηθεί η λειτουργία του κόμβου που αφορά στον κλάδο. Η οντότητα ελέγχου που έχει δημιουργηθεί, αναμένει δύο σήματα προκειμένου να δεσμεύσει τον μεταφορέα στον κόμβο και αφού ελεγχθεί η τιμή της μεταβλητής για το που πρέπει να στείλει το υλικό ο κλάδος εξόρυξης, ο μεταφορέας του κόμβου τοποθετείται στο σωστό σημείο και ελευθερώνεται. Αφού η οντότητα ενημερώσει το σύστημα για την ολοκλήρωση της διαδικασίας επιστρέφει στην αρχική της θέση. Να σημειωθεί ότι για την ομαλή λειτουργία του συστήματος ελέγχεται εάν υπάρχει ταυτόχρονη αλλαγή στον κόμβο από τους κλάδους E1 και E5, μέσω ενός μηχανισμού που καθυστερεί την αλλαγή μέχρι την ολοκλήρωση της αλλαγής του άλλου.



Σχήμα 6.13 Υπομοντέλο ελέγχου λειτουργίας του κόμβου για τον κλάδο E2

6.2.12. Υπομοντέλα ελέγχου των ταινιοδρόμων στείρου υλικού

Για τη διαχείριση των κλάδων A1, A2 και A3, χρησιμοποιούνται τρία υπομοντέλα τα οποία έχουν ακριβώς την ίδια δομή και λειτουργία, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.14.



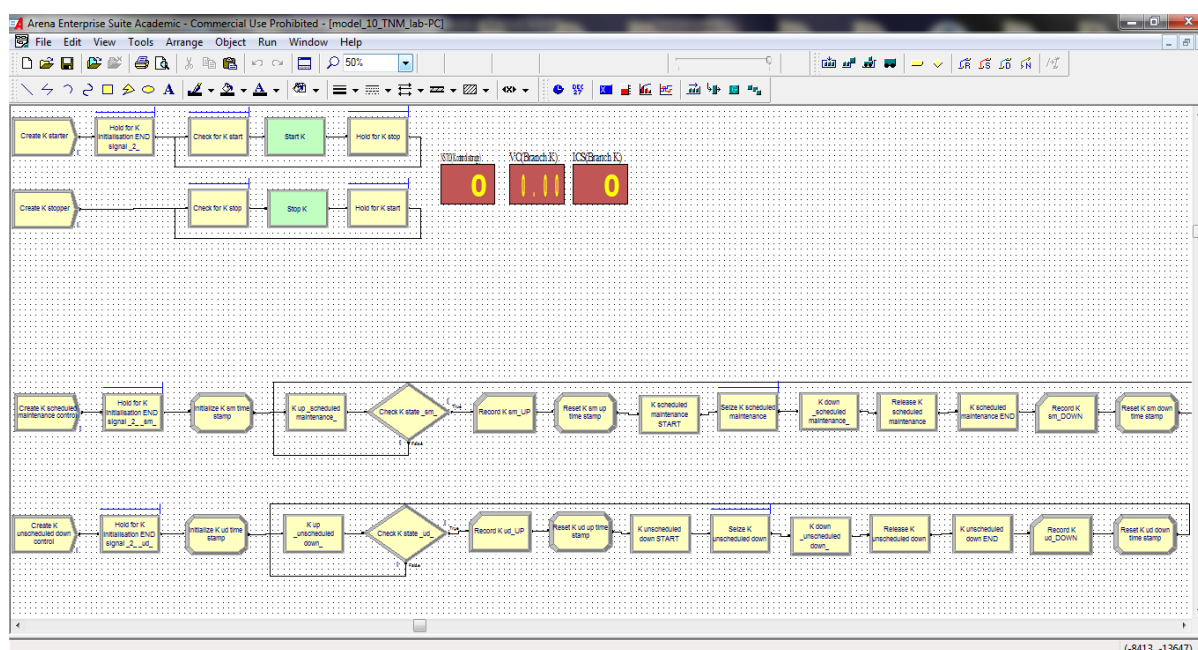
Σχήμα 6.14 Υπομοντέλο ελέγχου του ταινιοδρόμου A1

Με αυτά υλοποιείται η εκκίνηση και στάση των ταινιοδρόμων του στείρου υλικού, καθώς επίσης και η εμφάνιση και διαχείριση των καταστάσεων στις οποίες μπορούν να βρεθούν οι τρεις κλάδοι. Οι καταστάσεις αυτές μπορεί να είναι η ετήσια συντήρηση, μία

προγραμματισμένη συντήρηση, ή μία βλάβη. Ο χρόνος εμφάνισης και διάρκειας τέτοιων καταστάσεων προκύπτει βάση των κατανομών που έχουν δημιουργηθεί από πραγματικά δεδομένα λειτουργίας του ορυχείου και έχουν καταχωρηθεί στο μοντέλο. Επίσης τα στατιστικά που αφορούν στις συγκεκριμένες καταστάσεις καταγράφονται και εμφανίζονται στα αποτελέσματα της προσομοίωσης.

6.2.13. Υπομοντέλα ελέγχου των ταινιοδρόμων λιγνίτη

Για την διαχείριση των κλάδων του λιγνίτη (K και KB), έχουν δημιουργηθεί δύο υπομοντέλα τα οποία βασίζονται στην ίδια λογική λειτουργίας και σχεδιασμού με τα υπομοντέλα για τη διαχείριση των κλάδων A1, A2 και A3. Η μόνη διαφορά εντοπίζεται στην ετήσια συντήρηση, η σχεδίαση της οποίας παραλήφθηκε, αφού στα δεδομένα της ΔΕΗ Α.Ε. για το έτος 2006 δεν εμφανίζεται να έχει πραγματοποιηθεί ετήσια συντήρηση σε έναν από τους δύο κλάδους. Η δομή του υπομοντέλου φαίνεται στο Σχήμα 6.15.

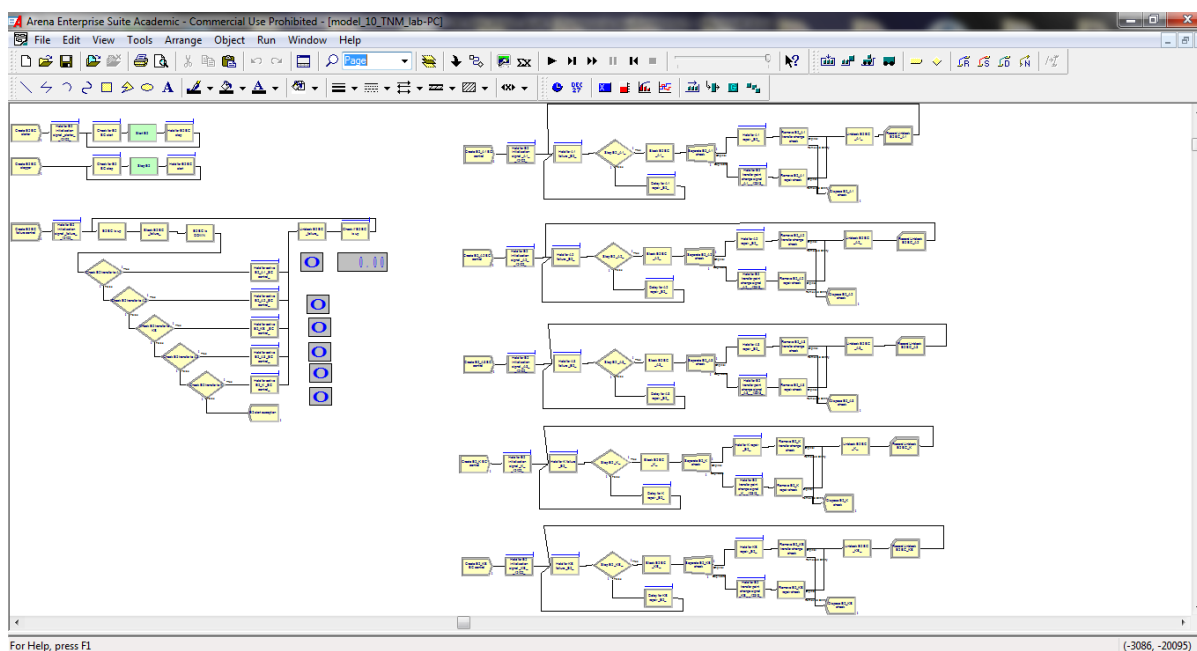


Σχήμα 6.15 Υπομοντέλο ελέγχου του ταινιοδρόμου K

6.2.14. Υπομοντέλο ελέγχου ταινιοδρόμων κλάδου εξόρυξης

Το υπομοντέλο για την διαχείριση λειτουργίας του ταινιοδρόμου ενός κλάδου εξόρυξης αποτελείται από τρία μέρη. Το πρώτο, απεικονίζεται στο επάνω αριστερό μέρος του Σχήματος 6.16, ελέγχει την εκκίνηση και τη στάση του ταινιοδρόμου. Το δεύτερο διαχειρίζεται την κατάσταση του ταινιοδρόμου. Αρχικά δημιουργείται μία οντότητα ελέγχου, η οποία αναμένει κατάλληλο σήμα που επιτρέπει την λειτουργία του. Στη συνέχεια μέσω μίας κατανομής καθορίζεται η χρονική διάρκεια λειτουργίας του

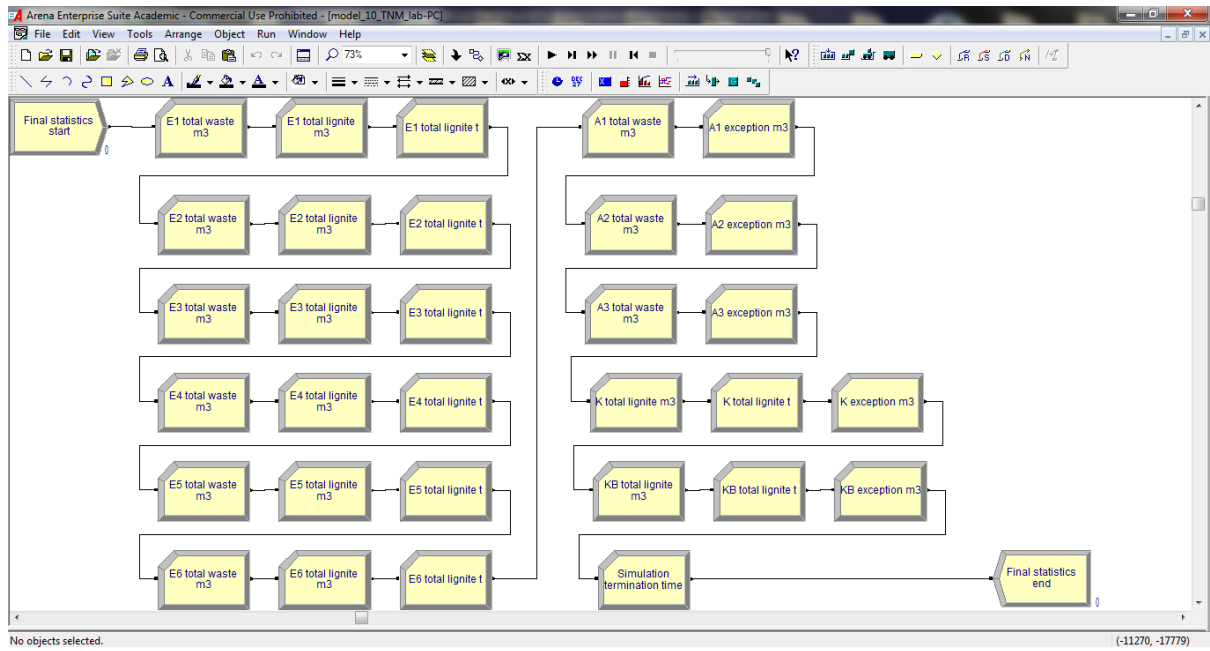
ταινιοδρόμου. Όταν αυτή η χρονική στιγμή ξεπεραστεί, ο ταινιόδρομος σταματάει την λειτουργία του για όση ώρα οριστεί από μία δεύτερη κατανομή. Μετά ελέγχεται σε ποιον κλάδο (A1, A2, A3, K ή KB) έστειλε υλικό ο ταινιόδρομος και αφού διαπιστωθεί ότι και οι δύο ταινιόδρομοι δεν είναι ανενεργοί, ο ταινιόδρομος επαναλειτουργεί για όσο χρονικό διάστημα ορίσει η αντίστοιχη κατανομή. Το υπόλοιπο υπομοντέλο διαχειρίζεται την περίπτωση όπου ένας από τους κλάδους λιγνίτη ή στείρων σταματάει να λειτουργεί, ενώ τροφοδοτείται από τον κλάδο εξόρυξης. Στην περίπτωση αυτή ο ταινιόδρομος τροφοδότης σταματάει και αναμένει είτε την επισκευή του ταινιοδρόμου που τροφοδοτούσε, είτε τη λήψη σήματος για αλλαγή προορισμού του μεταφερόμενου υλικού.



Σχήμα 6.16 Υπομοντέλο ελέγχου του ταινιοδρόμου E2

6.2.15. Υπομοντέλο για την καταγραφή των τελικών στατιστικών

Εκτός από τις καταγραφές των δεδομένων που πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης του μοντέλου, υπάρχουν και τα συγκεντρωτικά στατιστικά που καταγράφονται από το συγκεκριμένο υπομοντέλο. Κατά την ολοκλήρωση εκτέλεσης της προσομοίωσης, δημιουργείται μία οντότητα ελέγχου και καταγράφονται τα στατιστικά, όπως ο συνολικός όγκος στείρων και λιγνίτη που εξορύχθηκαν ανά κλάδο, ο συνολικός όγκος λιγνίτη και στείρων που παρέλαβε κάθε κλάδος απόθεσης κ.α. Στο Σχήμα 6.17 απεικονίζεται η δομή του υπομοντέλου για την καταγραφή των τελικών στατιστικών.



Σχήμα 6.17 Υπομοντέλο για την καταγραφή των τελικών στατιστικών

7. Αποτελέσματα της προσομοίωσης

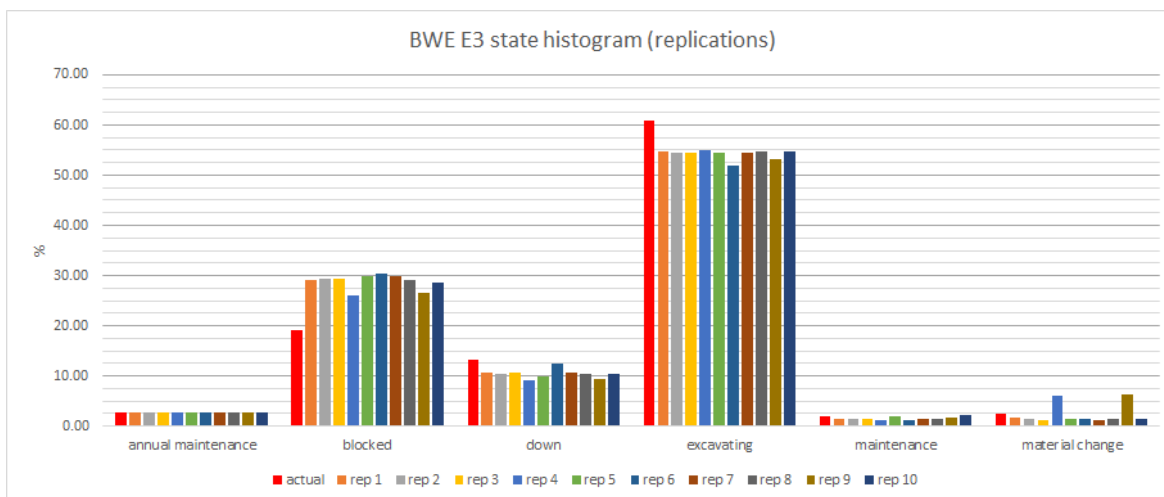
Κάθε εκτέλεση προσομοίωσης ενός συστήματος αντιστοιχεί σε μία από τις πιθανές υλοποιήσεις της λειτουργίας του. Συνεπώς, για τη συγκέντρωση δεδομένων που μπορούν να αναλυθούν στατιστικά, απαιτείται η εκτέλεση της προσομοίωσης περισσότερες από μία φορές, με χρήση σε κάθε εκτέλεση διαφορετικής σειράς ψευδοτυχαίων αριθμών.

Για το Ορυχείο Καρδιάς εκτελέστηκαν δέκα επαναλήψεις. Κάθε επανάληψη προσομοιώνει τη λειτουργία του Ορυχείου Καρδιάς για 366 ημέρες. Η πρώτη ημέρα θεωρείται ότι αντιστοιχεί στη μεταβατική κατάσταση του συστήματος (warm up) και δεν καταγράφονται στατιστικά δεδομένα. Οι υπόλοιπες 365 ημέρες αντιστοιχούν στην ετήσια λειτουργία του συστήματος σε σταθερή κατάσταση (steady state) και παρέχουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.

Οι δείκτες παραγωγικότητας του συστήματος, προκύπτουν μετά από στατιστική ανάλυση των δεδομένων που αφορούν το εξορυγμένο υλικό και τις καταστάσεις των επιμέρους μονάδων του συστήματος, κατά την εκτέλεση της προσομοίωσης.

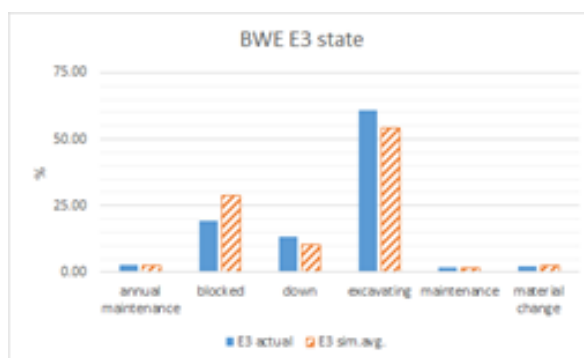
Οι μεταβλητές που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον είναι ο ρυθμός παραγωγής του εξορυσσόμενου υλικού, ο όγκος λιγνίτη και στείρων που παράγονται, καθώς και η ποσότητα αυτών που καταλήγει σε κάθε έναν από τους κλάδους του μοντέλου. Επίσης, για την αξιολόγηση της εγκυρότητας του μοντέλου λαμβάνονται υπόψη οι καταστάσεις λειτουργίας του συστήματος.

Στο Σχήμα 7.1 απεικονίζεται η κατανομή των καταστάσεων λειτουργίας του καδοφόρου εκσκαφέα E3, τόσο για τις δέκα επαναλήψεις της προσομοίωσης, όσο και στην πραγματική λειτουργία κατά το έτος 2006.



Σχήμα 7.1 Καταστάσεις λειτουργίας του καδοφόρου εκσκαφέα E3 για όλες τις επαναλήψεις

Στην συνέχεια, στο Σχήμα 7.2, εμφανίζεται η σύγκριση μεταξύ της πραγματικής κατανομής των καταστάσεων για τον καδοφόρο εκσκαφέα E3 και του μέσου όρου των δέκα επαναλήψεων του μοντέλου.



Σχήμα 7.2 Πραγματική και προσομοιωμένη κατάσταση λειτουργίας του καδοφόρου εκσκαφέα E3

Στο Σχήμα 7.2 παρατηρείται μία ταύτιση της εμφάνισης των καταστάσεων λειτουργίας, όσον αφορά την ετήσια συντήρηση, τις προγραμματισμένες συντηρήσεις και την αλλαγή υλικού. Ωστόσο, η διάρκεια μη προγραμματισμένων διακοπών λειτουργίας (down), αναμονών (blocked) και εκσκαφής (excavating) στο μοντέλο, παρουσιάζουν αποκλίσεις από την πραγματική λειτουργία του ορυχείου.

Στο Πίνακα 7.1 εξετάζεται ο μέσος όρος του εξορυγμένου υλικού (λιγνίτης ή στείρο) από κάθε κλάδο που προκύπτει από την εκτέλεση δέκα επαναλήψεων του μοντέλου, συγκριτικά με την παραγωγή που σημειώθηκε το έτος λειτουργίας 2006. Σε γενικές γραμμές τα αποτελέσματα της προσομοίωσης συγκλίνουν προς τα πραγματικά, όσον αφορά στο σύνολο του εξορυγμένου υλικού, με τις διαφορές να κυμαίνονται από -4,3% έως 2,5%. Το ίδιο ισχύει και για το συντελεστή μεταβλητότητας, ο οποίος παρουσιάζει

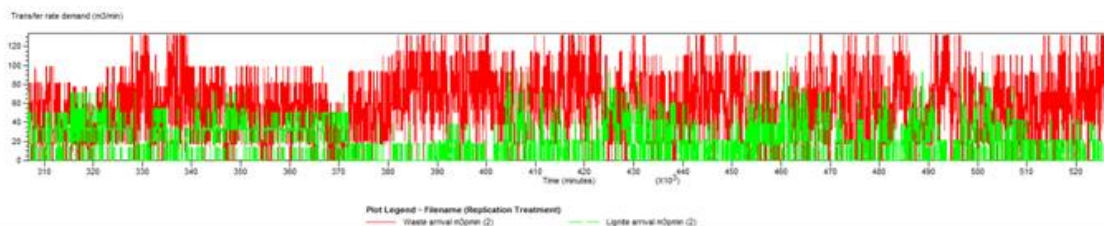
πολύ χαμηλές τιμές για τον όγκο του εξορυγμένου υλικού. Ωστόσο, τα αποτελέσματα δεν είναι ικανοποιητικά όταν εξετάζεται για κάθε κλάδο ξεχωριστά το ύψος παραγωγής του λιγνίτη και των στείρων της προσομοίωσης, με το πραγματικό ύψος παραγωγής κατά την λειτουργία του ορυχείου.

Κλάδος	Υλικό		Πραγματικό	Προσομοιωμένο/ πραγματικό	Προσομοιωμένο				
					min	avg	max	stdev	c.v.
E1	Λιγνίτης	m ³	69750	1.424	12852	99300	243489	91334	0.92
	Λιγνίτης	t	83700	1.424	15423	119161	292186	109601	0.92
	Στείρο	m ³	4869400	0.965	4379550	4698310	5047788	265528	0.06
	Sum E1	m³	4939150	0.975	4394973	4817470	5339974	243642	0.05
E2	Λιγνίτης	m ³	1059667	0.715	697769	757166	786697	35596	0.05
	Λιγνίτης	t	1271600	0.715	837327	908601	944039	42714	0.05
	Στείρο	m ³	4584100	1.064	4652413	4876494	4948231	126258	0.03
	Sum E2	m³	5643767	1.025	5489740	5785095	5892270	135766	0.02
E3	Λιγνίτης	m ³	712000	1.372	926232	976946	1082969	63120	0.06
	Λιγνίτης	t	854400	1.372	1111474	1172335	1299563	75744	0.06
	Στείρο	m ³	5554900	0.908	4914150	5042267	5141685	100073	0.02
	Sum E3	m³	6266900	0.992	6025624	6214602	6441249	74703	0.01
E4	Λιγνίτης	m ³	804833	2.114	1469261	1701032	1922630	167030	0.10
	Λιγνίτης	t	965800	2.114	1763116	2041240	2307155	200435	0.10
	Στείρο	m ³	5536300	0.773	4082544	4279184	4424454	124392	0.03
	Sum E4	m³	6341133	0.997	5845660	6320424	6731609	72603	0.01
E5	Λιγνίτης	m ³	1568833	2.021	2122902	3171047	3968567	668741	0.21
	Λιγνίτης	t	1882600	2.021	2547495	3805255	4762265	802478	0.21
	Στείρο	m ³	9227300	0.808	6913054	7451528	7948229	371462	0.05
	Sum E5	m³	10796133	1.043	9460549	11256782	12710494	340127	0.03
E6	Λιγνίτης	m ³	2361917	0.857	1925950	2023694	2232056	124993	0.06
	Λιγνίτης	t	2834300	0.857	2311139	2428428	2678462	149992	0.06
	Στείρο	m ³	2620200	1.039	2517803	2721876	2997331	178153	0.07
	Sum E6	m³	4982117	1.034	4828942	5150304	5675793	106223	0.02
ΣΥΝΟΛΟ	Λιγνίτης	m ³	6577000	1.327	7531785	8729185	9802579	839160	0.10
	Λιγνίτης	t	7892400	1.327	9038159	10475019	11763082	1006977	0.10
	Στείρο	m ³	32392200	0.897	28062313	29069659	30311628	824453	0.03
	Σύνολο	m³	40284600	0.982	37100472	39544678	42074710	219828	0.01

Πίνακας 7.1 Παραγωγή υλικού των κλάδους E1 – E6

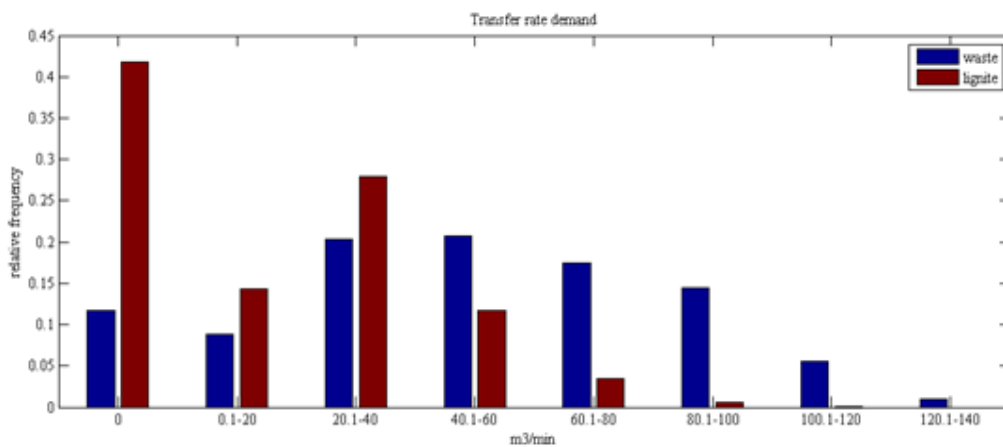
Στο παρακάτω χρονικό διάγραμμα παρουσιάζεται ο ρυθμός άφιξης λιγνίτη και στείρου υλικού, από το σημείο εξόρυξης στους κλάδους E1 – E6 στον κόμβο ταινιοδρόμων. Από

το Σχήμα 7.3 διαπιστώνεται ο έντονα στοχαστικός και δυναμικός χαρακτήρας του μεγέθους.



Σχήμα 7.3 Χρονοδιάγραμμα του ρυθμού μεταφοράς λιγνίτη και στείρου υλικού κατά την 2η επανάληψη και την χρονική περίοδο Αυγούστου – Δεκεμβρίου

Η συνεχής καταγραφή του ρυθμού άφιξης υλικού στον κόμβο παρέχει τα δεδομένα για τον προσδιορισμό της κατανομής του. Στο Σχήμα 7.4 παρουσιάζεται η κατανομή του ρυθμού άφιξης στείρων και λιγνίτη. Τέτοιου είδους κατανομές παρέχουν τη δυνατότητα να προβλεφθούν πιθανές αδυναμίες διαχείρισης του εξορυγμένου υλικού στον κόμβο. Με τις μεθόδους αυτές ο σχεδιασμός και η διαστασιολόγηση συνεχών μεταλλευτικών συστημάτων, όπου η εξισορρόπηση του κόστους λειτουργίας και του μεγέθους του συστήματος αποτελεί πρωταρχικό μέλημα, μπορεί να επιτευχθεί.



Σχήμα 7.4 Ρυθμός μεταφοράς εξορυγμένου υλικού στην πρώτη εκτέλεση του μοντέλου

8. Συμπεράσματα

Η αναπαράσταση ενός συνεχούς συστήματος εξόρυξης – μεταφοράς στο υπαίθριο λιγνιτωρυχείο Καρδιά, πραγματοποιήθηκε με ένα επαρκώς ρεαλιστικό μοντέλο προσομοίωσης διακριτών γεγονότων. Η εκτεταμένη στατιστική ανάλυση των πραγματικών δεδομένων λειτουργίας αποτέλεσε τη βάση για τη δημιουργία των δεδομένων εισόδου και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν. Οι μεταβλητές του συστήματος (η συχνότητα εμφάνισης γεγονότων, η χρονική τους διάρκεια κ.ά.) καθορίστηκαν από κατάλληλες εμπειρικές κατανομές. Επιπλέον, η ενσωμάτωση του γεωλογικού μοντέλου στην προσομοίωση ήταν καθοριστική για τον προσδιορισμό της κατανομής λιγνίτη και στείρου υλικού σε κάθε τμήμα εξόρυξης του ορυχείου.

Τέλος, η συνεχής καταγραφή του ρυθμού μεταφοράς υλικού προς τον κόμβο, παρέχει τα δεδομένα για τον προσδιορισμό της κατάλληλης κατανομής. Οι πληροφορίες αυτές αποτελούν τη βάση για να παρθούν αποφάσεις υπό μερικό ρίσκο και όχι υπό αβεβαιότητα, έτσι ώστε ο σχεδιασμός και η διαστασιολόγηση ενός συνεχούς μεταλλευτικού συστήματος, να πετυχαίνουν μία ισορροπία ανάμεσα στο αρχικό και λειτουργικό κόστος του ορυχείου με τη βέλτιστη παραγωγική του δυνατότητα.

Βιβλιογραφία

- Banks J, Carson JS, Nelson BL (1995). *Discrete–event system simulation (2nd ed)*. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 548 p.
- Hartman HL (1992). *SME Mining engineering handbook (2nd ed)*, Two volumes. Littleton, CO.
- Kelton WD, Sadowski RP, Sturrock DT (2007). *Simulation with Arena (4th ed)*. McGraw-Hill, New York, NY, 630 p.
- Law AM, Kelton WD (1991). *Simulation modeling and analysis (2nd ed)*. McGraw-Hill, New York, NY, 759 p.
- Mevorach R, Findikakis, Panagiotou GN (1994). Modeling of lignite–waste material mixing during selective mining with BWE. In *Mine Planning and Equipment Selection 1994* (eds. AG Pasamehmetoglu et al.), pp. 347-351, Balkema, Rotterdam.
- Michalakopoulos TN, Roumpos CP and Panagiotou GN (2007). ARENA simulation of continuous lignite excavation systems. In *Mine Planning and Equipment Selection 2007* (eds. RK Singhal et al.), pp. 636-647. Reading Matrix, Irvine.
- Sturgul JR (1997). Annotated bibliography of mine system simulation (1961–1995). In *Mine Simulation* (eds GN Panagiotou and JR Sturgul), pp. 28 + html file, Balkema, Rotterdam.
- Sturgul JR (1997). History of discrete mine system simulation. In *Mine Simulation* (eds GN Panagiotou and JR Sturgul), pp. 27 + html file, Balkema, Rotterdam.
- Yingling JC (1997). *The use of simulation in design of mine conveyor and bulk materials handling systems*. In *Mine Simulation* (eds GN Panagiotou and JR Sturgul), pp. 106 + html file, Balkema, Rotterdam.
- ΔΕΗ ΑΕ (2014). Επίσημος ιστότοπος <http://www.dei.gr> [τελευταία επίσκεψη 12 Αυγούστου 2014].
- Μενεγάκη Μ (2010). *Σχεδιασμός υπαίθριων εκμεταλλεύσεων*. Σημειώσεις, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 139 σελ.

- Μιχαλακόπουλος Θ (2001). *Ανάπτυξη συστήματος δρομολόγησης αυτοκινούμενου εξοπλισμού μεταλλείων*. Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 156 σελ.
- Οικονόμου Π (2010). *Ανάλυση των δεδομένων λειτουργίας του πάγιου εξοπλισμού της ΔΕΗ Α.Ε.* Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 95 σελ. και παράρτημα.
- Παναγιώτου Γ, Μιχαλακόπουλος Θ (2007). *Συστήματα φόρτωσης – μεταφοράς και μηχανικός εξοπλισμός μεταλλείων*. Σημειώσεις, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 188 σελ.
- Τερεζόπουλος Ν (2003). *Μέθοδοι υπαίθριων εκμεταλλεύσεων*. Σημειώσεις, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 176 σελ.