



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΛΟΓΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

Μελέτη μεταλλευτικών συστημάτων λατομείου αδρανών υλικών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Γεώργιου Σ. Βουτσινά

Επιβλέπων: Μιχαλακόπουλος Θεόδωρος

Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Φεβρουάριος 2024



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΛΟΓΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

Μελέτη μεταλλευτικών συστημάτων λατομείου αδρανών υλικών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Γεώργιου Σ. Βουτσινά

Επιβλέπων: Μιχαλακόπουλος Θεόδωρος

Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις 26/02/2024:

Μιχαλακόπουλος Θεόδωρος, Καθηγητής ΕΜΠ

Μενεγάκη Μαρία, Καθηγήτρια ΕΜΠ

Μπενάρδος Ανδρέας, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Φεβρουάριος 2024

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	14
Περίληψη	15
Abstract.....	16
1. Εισαγωγή.....	17
1.1. Η προσομοίωση στη μεταλλευτική βιομηχανία	17
1.2. Αντικείμενο της εργασίας	17
1.3. Δομή της εργασίας	18
2. Μέθοδος Ασυνεχούς Εκμετάλλευσης Ασβεστολιθικού Κοιτάσματος σε Λατομείο στη Βοιωτία.....	19
2.1. Τοποθεσία.....	19
2.2. Γεωλογικά - Κοιτασματολογικά στοιχεία	19
2.3. Αποθέματα.....	19
2.4. Κλιματολογικά στοιχεία περιοχής.....	20
2.5. Εγκαταστάσεις.....	21
2.6. Παραγωγικό κύκλωμα (Θραύση - Κοσκίνιση) – Προϊόντα	22
2.7. Όρια παραγωγής.....	23
2.8. Κυκλοφορία οχημάτων – Οδικό Δίκτυο	24
2.9. Προσωπικό	24
2.10. Ασφάλεια.....	24
2.11. Παραγωγή και απόρριψη στείρων υλικών	25
2.12. Μηχανολογικός εξοπλισμός.....	25
2.12.1. Φορητά αυτοκίνητα.....	25
2.12.2. Εκσκαφείς – Φορτωτές	26
2.12.3. Διατρητικά μηχανήματα	26
2.13. Εκμετάλλευση – Μέθοδος εξόρυξης.....	27
2.14. Μέθοδος εξόρυξης - Εκρηκτικά.....	29

2.15. Φόρτωση.....	31
2.16. Μεταφορά και εκκένωση	31
3. Καταγραφή δεδομένων	32
3.1 Γενικά.....	32
3.2 Μεγέθη ενδιαφέροντος.....	33
3.2.1 Σταθερά μεγέθη ενδιαφέροντος	33
3.2.2 Μεταβλητά μεγέθη ενδιαφέροντος	34
3.3 Δειγματοληψία	35
3.3.1 Γενικά.....	35
3.3.2 Βασικές έννοιες.....	35
3.3.3 Μεταβλητές.....	36
3.3.4 Χρονομετρήσεις	36
3.3.5 Δειγματοληψία στο πεδίο	36
3.3.5.a Εξοπλισμός	37
3.3.5.b Έντυπα καταγραφής δεδομένων.....	37
3.3.5.c Σφάλμα.....	38
3.3.6 Καταναλώσεις	39
3.3.7 Βλάβες.....	39
3.3.8 Σχέδιο ανατίναξης - Εκρηκτικές ύλες.....	40
3.3.9 Κοκκομετρία	40
3.3.10 Εσωτερικό Οδικό Δίκτυο	41
3.3.10.a Κλίσεις.....	41
3.3.10.b Αποστάσεις	41
3.3.10.c Κατάσταση	41
3.3.11 Καταγραφή σε βάση δεδομένων	42
4. Θεωρία σειρών αναμονής	43
5. Προσομοίωση.....	45

5.1	Ορισμός	45
5.2	Ιστορική αναδρομή.....	45
5.3	Η μέθοδος Μόντε Κάρλο	45
5.4	Λόγοι εφαρμογής προσομοίωσης.....	47
5.5	Μειονεκτήματα της προσομοίωσης	48
5.6	Εφαρμογές της προσομοίωσης.....	49
5.7	Μελλοντικές χρήσεις προσομοίωσης.....	52
5.8	Χρήσιμοι ορισμοί στην προσομοίωση	53
5.8.1	Κατηγορίες συστημάτων.....	53
5.8.2	Συστήματα διακριτού χρόνου.....	54
5.8.3	Τυχαίοι αριθμοί	54
5.8.4	Γεννήτριες τυχαίων αριθμών.....	54
5.8.5	Ψευδοτυχαίοι αριθμοί.....	55
5.9	Βασικές έννοιες στην προσομοίωση	55
5.10	Ανάπτυξη μοντέλων προσομοίωσης	57
5.11	Στοιχεία ενός μοντέλου προσομοίωσης	57
5.11.1	Οντότητες (entities).....	57
5.11.2	Ιδιότητες - Χαρακτηριστικά οντοτήτων (attributes)	57
5.11.3	Μεταβλητές και παράμετροι	57
5.11.4	Γεγονός (event)	58
5.11.5	Πόροι (resources)	58
5.11.6	Ουρές.....	58
5.11.7	Στατιστικοί συσσωρευτές.....	58
5.11.8	Ημερολόγιο γεγονότων (event calendar)	58
5.11.9	Ρολόι προσομοίωσης (simulation clock).....	58
5.12	Στατιστικές κατανομές	59
5.12.1	Κατανομή Erlang.....	59

5.12.2 Κατανομή Γάμμα	60
5.12.3 Εκθετική κατανομή	62
6. Μοντελοποίηση δεδομένων εισόδου	63
6.1 Ανάλυση	63
6.2 Διαχωρισμός δεδομένων σε κατηγορίες.....	63
6.3 Επεξεργασία	64
6.3.1 Μετατροπές – Υπολογισμοί.....	64
6.3.2 Στατιστική μοντελοποίηση δεδομένων	66
6.4 Διαγράμματα	70
6.4.1 Κατανομή	70
6.4.2 Διάγραμμα P-P Plot.....	71
6.4.3 Διάγραμμα Q-Q Plot.....	72
6.5 Προετοιμασία δεδομένων για εισαγωγή στο πρόγραμμα	72
7. Περιβάλλον προσομοίωσης Rockwell Arena	74
7.1 Γενικά.....	74
7.2 Περιβάλλον εργασίας προγράμματος Arena.....	74
7.3 Modules.....	78
7.3.1 Create module	78
7.3.2 Entity Module.....	79
7.3.3 Process Module	79
7.3.4 Resource Module.....	80
7.3.5 Decide module.....	80
7.3.6 Assign module.....	80
7.3.7 Variables module.....	81
7.3.8 Assign Attribute Module	81
7.3.9 Seize, Delay και Release Modules	82
7.4 Animation.....	83

7.5	Εκτέλεση προγράμματος	83
7.6	Ανάλυση Δεδομένων	85
7.6.1	Input analyzer	85
7.6.2	Process Analyzer	86
8.	Μοντέλο προσομοίωσης λατομείου στη Βοιωτία	87
8.1	Στόχοι της προσομοίωσης	87
8.2	Ανάπτυξη του μοντέλου	87
8.3	Παραδοχές	87
8.4	Δομή του μοντέλου	88
8.4.1	Οντότητες (Entities)	88
8.4.2	Πόροι (Resources)	88
8.4.3	Μεταβλητές (Variables)	88
8.4.4	Assign	89
8.4.5	Attributes	92
8.4.6	Ανάλυση του μοντέλου	92
8.5	Επαλήθευση και επικύρωση του μοντέλου	104
8.6	Παράμετροι προσομοίωσης	104
8.7	Υγρές συνθήκες	104
9.	Αποτελέσματα προσομοίωσης	105
9.1	Σενάρια	105
9.2	Συγκρίσεις σεναρίων - Παρατηρήσεις	107
9.2.1	Ξηρές vs Υγρές συνθήκες	107
9.2.2	Σενάριο 1/5 vs Σενάριο 2/6	107
9.2.3	Σενάριο 1/5 vs Σενάριο 3/7	107
9.2.4	Σενάριο 2/6 vs Σενάριο 3/7	107
9.2.5	Σενάριο 4/8	108
10.	Εφαρμογή αποτελεσμάτων προσομοίωσης - Προβλέψεις	109

11. Συμπεράσματα - Προτάσεις111

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Θερμοκρασία και υετός το έτος 2023(https://www.meteoblue.com/)..	20
Διάγραμμα 2: Ημέρες από ηλιοφάνεια μέχρι υετό ανά μηνά το έτος 2023 (https://www.meteoblue.com/)	21
Διάγραμμα 3: Ρυθμός παραγωγής συστήματος vs Απόσταση θέσης φόρτωσης – θέσης απόθεσης για διαφορετικό συνδυασμό φορτηγών	109
Διάγραμμα 4: Χρησιμοποίηση Φορτωτή vs Απόσταση θέσης φόρτωσης – θέσης απόθεσης για διαφορετικό συνδυασμό φορτηγών	110
Διάγραμμα 5: Μέσος χρόνος αναμονής των φορτηγών στη θέση φόρτωσης vs Απόσταση θέσης φόρτωσης – θέσης απόθεσης για διαφορετικό συνδυασμό φορτηγών	110

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Σύμπλεγμα Θραύσης - Κοσκίνισης (https://unsplash.com/photos/a-large-construction-crane-at-a-construction-site-DUxxHkRucs?utm_content=creditShareLink&utm_medium=referral&utm_source=unsplash).....	22
Εικόνα 2: Παράδειγμα φορτηγού και φορτωτή στο πεδίο (https://pixabay.com/photos/digger-excavator-engine-heavy-1867268/).....	26
Εικόνα 3: Παράδειγμα μεθόδου εκμετάλλευσης ορθών διαδοχικών βαθμίδων ανοιχτής εκσκαφής (https://pixabay.com/).....	27
Εικόνα 4: ANFO (https://www.extraco.gr/).....	30
Εικόνα 5: Σύστημα σειράς αναμονής (Carmichael 1987)	43
Εικόνα 6: Παράδειγμα διαγράμματος κατανομής	71
Εικόνα 7: Παράδειγμα PP Plot	71
Εικόνα 8: Παράδειγμα QQ Plot	72
Εικόνα 9: Περιβάλλον εργασίας προγράμματος Rockwell Arena.....	74
Εικόνα 10: Create module και οι αντίστοιχες επιλογές	78
Εικόνα 11: Entity module και οι αντίστοιχες επιλογές.....	79
Εικόνα 12: Process module και οι αντίστοιχες επιλογές	79
Εικόνα 13: Resource module και οι αντίστοιχες επιλογές.....	80
Εικόνα 14: Decide module και οι αντίστοιχες επιλογές	80
Εικόνα 15: Assign και οι αντίστοιχες επιλογές.....	81
Εικόνα 16: Variables module και οι αντίστοιχες επιλογές.....	81
Εικόνα 17: Assign Attribute module και οι αντίστοιχες επιλογές	82
Εικόνα 18: Seize, Delay και Release modules και οι αντίστοιχες επιλογές	83
Εικόνα 19: Animation tab και επιλογές	83
Εικόνα 20: Run tab και επιλογές.....	84
Εικόνα 21: Run set up και επιλογές	84
Εικόνα 22: Input analyzer	85
Εικόνα 23: Process Analyzer	86
Εικόνα 24: Tools Tab	86
Εικόνα 25: Entity Tab με πληροφορίες για τις οντότητες του μοντέλου	88
Εικόνα 26: Resources tab με πληροφορίες για τους πόρους του μοντέλου	88
Εικόνα 27: Variables Tab με πληροφορίες για τις μεταβλητές του μοντέλου	89

Εικόνα 28: Assign Attributes Tab με πληροφορίες για τα assign attributes του μοντέλου	91
Εικόνα 29: Assign Tab με πληροφορίες για τα attributes του μοντέλου	92
Εικόνα 30: Create Tab με τα χαρακτηριστικά της κάθε οντότητας. Δεξιά για το Red Truck και αριστερά για το White Truck.....	93
Εικόνα 31: Σύνδεση των Create modules με τα Assign modules	93
Εικόνα 32: Δεξιά το Process module Maneuver Time Load Dry και Αριστερά το παράθυρο με τα χαρακτηριστικά του	94
Εικόνα 33: Δεξιά το Process module Load Dry και Αριστερά το παράθυρο με τα χαρακτηριστικά του	94
Εικόνα 34: Δεξιά το Decide module Decide Truck Type και Αριστερά το παράθυρο με τα χαρακτηριστικά του.....	95
Εικόνα 35: Αριστερά πάνω τα Assign Attribute Modules AssignLoadWhiteTruckDry και AssignLoadRedTruckDry.	96
Εικόνα 36: Σύνδεση Assign module EnterLoadedRoute με Assign module UpdateLoadedTruckPosition	97
Εικόνα 37: Σύνδεση του Decide module DecideLoadedTruckType με τα Assign modules SampleLoadedWhiteTruck και SampleLoadedRedTruck. Σύνδεση του κάθε ένα module με ένα Assign module με όνομα ComputeLoadedWhiteExitTime και ComputeLoadedRedExitTime αντίστοιχα.....	97
Εικόνα 38: Decide module CheckLoadedTruckPosition.....	98
Εικόνα 39: Assign module SetLeadingLoadedTruck	98
Εικόνα 40: Decide module CheckLoadedTakeover.....	99
Εικόνα 41: Σύνδεση Assign module PreventLoadedTakeover με SetLoadedTravelDuration.....	99
Εικόνα 42: Assign module SetFollowingLoadedTruck.....	100
Εικόνα 43: Σύνδεση Delay module TravelLoaded με Assign module ExitLoadedRoute	100
Εικόνα 44: Δεξιά το Seize module Seize for Dumping και Αριστερά το παράθυρο με τα χαρακτηριστικά του	101
Εικόνα 45: Σύμπλεγμα modules που αντιπροσωπεύουν την θέση εκκένωσης.....	102
Εικόνα 46: Παράθυρο Assign module AddingToProductionDry με τα Assignments που περιέχει.....	102

Εικόνα 47: Σύμπλεγμα modules με σκοπό την αποφυγή προσπέρασης μεταξύ των φορτηγών (έμφορτο).....	103
Εικόνα 48:Σύμπλεγμα modules με σκοπό την αποφυγή προσπέρασης μεταξύ των φορτηγών (κενό).....	103
Εικόνα 49: Κατηγορίες απαντήσεων των Σεναρίων που εξετάζονται.....	105
Εικόνα 50: Σενάρια 1-10 με τα χαρακτηριστικά τους.....	106
Εικόνα 51: Πίνακας αποτελεσμάτων προσομοίωσης για τα Σενάρια 1-10.....	106

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Διάταξη διατρημάτων και υπολογισμός γομώσεων	30
Πίνακας 2: Δείγμα από το υπολογιστικό φύλλο Excel	64
Πίνακας 3: Δείγμα από τις μετατροπές στο υπολογιστικό φύλλο Excel	64
Πίνακας 4: Δείγμα από την κατηγοριοποίηση στο ενιαίο υπολογιστικό φύλλο Excel	65
Πίνακας 5: Δείγμα από την μετατροπή των τιμών στο ενιαίο υπολογιστικό φύλλο Excel	65
Πίνακας 6: Δείγμα από την προσαρμογή της Γαμμα κατανομής στις τιμές των μετρήσεων στο ενιαίο υπολογιστικό φύλλο Excel	68
Πίνακας 7: Δείγμα των μέτρων περιγραφικής στατιστικής από το υπολογιστικό φύλλο Microsoft Office Excel.....	69
Πίνακας 8: Δείγμα των δεδομένων από το υπολογιστικό φύλλο Microsoft Office Excel.	70

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο της φοίτησης μου στη Σχολή Μεταλλειολόγων - Μεταλλουργών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Αφορμή για τη συγγραφή και τη σύλληψη του θέματος της ήταν το μάθημα του 9^{ου} εξαμήνου «Προσομοίωση Μεταλλευτικών Συστημάτων», μέσα από το οποίο ανακάλυψα τη χρησιμότητα της προσομοίωσης στη σύγχρονη εποχή και την εφαρμογή της στον τομέα της μεταλλευτικής βιομηχανίας. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία ήταν πραγματικά, καθώς μου δόθηκε η ευκαιρία να εφαρμόσω τη θεωρία που διδάχθηκα, στις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας ενός λατομείου στην περιοχή της Βοιωτίας. Η αλληλεπίδραση που είχα με το περιβάλλον εργασίας με έκανε να καταλάβω την κλίση που έχω σε πρακτικά ζητήματα και επιβεβαίωσε την επιλογή μου να ακολουθήσω το δρόμο του μηχανικού το 2018. Η χρονική περίοδος της συγγραφής αποδείχθηκε αρκετά απαιτητική από θέμα χρόνου και δυνάμεων, καθώς κατά το μεγαλύτερο μέρος της, βρέθηκα εργαζόμενος στο περιβάλλον της ίδιας εταιρείας που λειτουργεί το λατομείο. Μέσω αυτής της καθημερινότητας και ισορροπώντας μεταξύ φοίτησης και εργασίας εξελίχθηκα σαν άνθρωπος και πήρα μια επιπλέον ώθηση για τα επόμενα βήματα της ζωής μου.

Σε αυτό το σημείο θέλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, που με στήριξε και με στηρίζει καθημερινά με κάθε δυνατό τρόπο, ώστε τα όνειρά μου να γίνουν πραγματικότητα. Ευχαριστώ επίσης όλα τα μέλη της εταιρείας που μου έδωσαν τη δυνατότητα να εισχωρήσω στο περιβάλλον εργασίας τους και να γίνω μέρος της καθημερινότητας τους κατά τη διάρκεια των μετρήσεων που πραγματοποίησα. Παράλληλα ευχαριστώ ιδιαίτερα τον επιβλέποντα Καθηγητή Ε.Μ.Π. Θεόδωρο Μιχαλακόπουλο για τη βοήθεια που μου παρείχε κατά την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2024.

Γεώργιος Βουτσινάς.

Περίληψη

Η μέθοδος εκμετάλλευσης αδρανών υλικών που επικρατεί στην Ελλάδα είναι η μέθοδος ορθών διαδοχικών βαθμίδων ανοιχτής εκσκαφής. Οι γεωμορφολογικές συνθήκες και οι ιδιαιτερότητες του κάθε κοιτάσματος καθορίζουν τη μορφή του εκάστοτε λατομείου. Το λατομείο που εξετάζεται στην παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από κοίτασμα ασβεστόλιθου με αποτέλεσμα η εξόρυξη του να πραγματοποιείται με τη χρήση διαρρηκτικών εκρηκτικών υλών. Η φόρτωση και η μεταφορά του υλικού προς επεξεργασία πραγματοποιείται από το συνδυασμό των κινήσεων φορτωτών και φορτηγών αυτοκινήτων. Η επιλογή του κατάλληλου πλήθους φορτωτών και φορτηγών αποτελεί μείζον ζήτημα για την ορθή λειτουργία του λατομείου καθώς έχει άμεσο αποτέλεσμα στο ρυθμό παραγωγής. Η προσομοίωση της λειτουργίας του λατομείου σε H/Y δίνει τη δυνατότητα στην εκάστοτε εκμεταλλεύτρια εταιρεία να εξετάσει αυτό το πολύπλοκο ζήτημα με το ελάχιστο κόστος και να καταλήξει σε αποτελέσματα που θα οδηγήσουν στη λήψη αποφάσεων.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία στόχος είναι η ρεαλιστική προσέγγιση του συστήματος φόρτωσης – μεταφοράς του λατομείου στην περιοχή της Βοιωτίας, μέσω της δημιουργίας ενός μοντέλου προσομοίωσης στο πρόγραμμα Arena της Rockwell Automation. Στα πρώτα κεφάλαια αναφέρονται ορισμένες πληροφορίες για το λατομείο και για τη μέθοδο εκμετάλλευσης που χρησιμοποιείται. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για τη συλλογή των δεδομένων από το λατομείο. Έπειτα ακολουθεί η ανάπτυξη βασικών εννοιών και στοιχείων της προσομοίωσης, καθώς και η παρουσίαση των κατανομών τυχαίων μεταβλητών που χρησιμοποιούνται στο μοντέλο. Παρουσιάζεται επίσης η διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων και η μοντελοποίηση τους με σκοπό την εισαγωγή τους στο πρόγραμμα προσομοίωσης. Τέλος αναλύεται το μοντέλο προσομοίωσης που αναπτύχθηκε και ακολουθεί η παρουσίαση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων που προέκυψαν.

Η μοντελοποίηση του συστήματος φόρτωσης – μεταφοράς του λατομείου πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο προσομοίωσης διακριτών γεγονότων. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, προέκυψαν από την καταγραφή της πραγματικής λειτουργίας του λατομείου την περίοδο του Μαρτίου 2023 από τον συντάκτη της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Abstract

The prevailing method for aggregate extraction in Greece is open-pit mining. The geomorphological conditions and the particularities of each deposit determine the shape of each quarry. The quarry examined in this thesis consists of a limestone deposit, resulting in extraction with the use of explosives. The front-end-loader/truck system is used for loading and hauling the extracted material. Choosing the right number of loaders and trucks is a major issue for the operation of the quarry as it has a direct effect on the production rate. By simulating the quarry operation digitally, the operating company can examine this complex issue at a minimum cost and get results that can support the decision-making process.

The objective of this thesis is the development of a realistic simulation model of the extracted materials handling system of a quarry situated in the Viotia region, by utilizing the Arena simulation software of Rockwell Automation. The initial chapters provide information about the quarry and the applied extraction method. The methodology employed for data collection from the quarry is then outlined. Subsequently, the fundamental concepts and components of the simulation are analyzed, followed by the distributions of random variables related to the model. Finally, the developed simulation model is presented, along with the presentation and interpretation of the obtained results

The modeling of the quarry's materials handling system employed the discrete event system simulation method, utilizing data recorded during the actual quarry operation in March 2023 by the author of this thesis.

1. Εισαγωγή

1.1. Η προσομοίωση στη μεταλλευτική βιομηχανία

Η προσομοίωση κατέχει μια σημαντική θέση στη μεταλλευτική βιομηχανία, προσφέροντας λύσεις και εφαρμογές που στοχεύουν στη βελτιστοποίηση των λειτουργικών διαδικασιών και στη βελτίωση της συνολικής αποδοτικότητας. Μια από τις κύριες χρήσεις της προσομοίωσης στον εξορυκτικό κλάδο είναι η ανάπτυξη σύνθετων ρεαλιστικών μοντέλων, με τη δυνατότητα εξέτασης πολλαπλών εναλλακτικών σεναρίων, χωρίς την ανάγκη εφαρμογής τους στο πεδίο. Η προσομοίωση λειτουργεί ως βοηθητικό εργαλείο στη λήψη αποφάσεων, παρέχοντας πληροφορίες σχετικά με πιθανές προκλήσεις και δυνατότητες, ελαχιστοποιώντας τους κινδύνους καθώς και τους χρόνους αδράνειας που δύναται να εμφανιστούν. Ιδιαίτερη εφαρμογή έχει στα ζητήματα της φόρτωσης και μεταφοράς του υλικού μέσω φορτωτών και φορτηγών. Σε αυτές τις περιπτώσεις η προσομοίωση δίνει τη δυνατότητα στις εκμεταλλεύτριες εταιρείες να αναλύσουν τη χρησιμοποίηση του εξοπλισμού, να βελτιστοποιήσουν το συνδυασμό του στόλου φορτηγών - φορτωτών και να αξιολογήσουν το αντίκτυπο ορισμένων παραγόντων, όπως το εσωτερικό οδικό δίκτυο μεταφοράς, όπου κινούνται τα οχήματα, και τη συντήρηση του μηχανολογικού εξοπλισμού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι υπεύθυνοι μηχανικοί να έχουν τη δυνατότητα επιλογής του κατάλληλου σχεδιασμού με σκοπό τη βελτιστοποίηση της παραγωγής, σε συνδυασμό με τον έλεγχο του κόστους.

1.2. Αντικείμενο της εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο την προσομοίωση της λειτουργίας του ασυνεχούς συστήματος φόρτωσης – μεταφοράς στην εκμετάλλευση κοιτάσματος ασβεστόλιθου ενός λατομείου αδρανών υλικών που βρίσκεται στην περιοχή της Βοιωτίας. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε κατά την προσομοίωση είναι το Arena Simulation της Rockwell Automation, στο οποίο χρησιμοποιήθηκαν πραγματικά δεδομένα. Τα δεδομένα αυτά κατεγράφησαν στο χώρο του λατομείου από τον συντάκτη της εργασίας και διαμόρφωσαν τη βάση για τη μοντελοποίηση του συστήματος διακριτών γεγονότων. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εκτέλεση της προσομοίωσης οδήγησαν σε συμπεράσματα και προτάσεις με στόχο τη βελτιστοποίηση του ρυθμού παραγωγής.

1.3. Δομή της εργασίας

Η εργασία αποτελείται από έντεκα κεφάλαια και πέντε παραρτήματα, το περιεχόμενο των οποίων αναλύεται συνοπτικά παρακάτω:

Κεφάλαιο 1: Είναι το παρόν κεφάλαιο, όπου αναπτύσσεται η εισαγωγή της εργασίας.

Κεφάλαιο 2: Παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του λατομείου καθώς και η μέθοδος εκμετάλλευσης που εφαρμόζεται.

Κεφάλαιο 3: Αναλύεται η μέθοδος καταγραφής των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε και το θεωρητικό πλαίσιο στο οποίο αυτή βασίζεται.

Κεφάλαιο 4: Παρουσιάζεται συνοπτικά η θεωρία σειρών αναμονής με σκοπό την κατανόηση της εφαρμογής της στο σύστημα που μελετάται.

Κεφάλαιο 5: Αναπτύσσονται ορισμοί και βασικές έννοιες για την προσομοίωση, στοιχεία που εμφανίζονται σε μοντέλα προσομοίωσης και στατιστικές κατανομές που εφαρμόζονται σε αυτά.

Κεφάλαιο 6: Παρουσιάζονται οι αναλύσεις, οι μετατροπές, οι υπολογισμοί και τα διαγράμματα που εφαρμόστηκαν στα δεδομένα.

Κεφάλαιο 7: Περιγράφεται η δομή και οι βασικές λειτουργίες του λογισμικού Arena Simulation, που χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση του συστήματος.

Κεφάλαιο 8: Παρουσιάζεται η δομή και η λειτουργία του μοντέλου.

Κεφάλαιο 9: Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.

Κεφάλαιο 10: Αναλύονται τα αποτελέσματα και εφαρμόζονται για προβλέψεις.

Κεφάλαιο 11: Παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας.

Παράρτημα 1: Παρουσιάζονται τα δεδομένα των μετρήσεων ανά ημέρα καταγραφής.

Παράρτημα 2: Παρουσιάζονται τα έντυπα καταγραφής των μετρήσεων στο πεδίο.

Παράρτημα 3: Παρουσιάζονται τα διαγράμματα PP Plot.

Παράρτημα 4: Παρουσιάζονται τα διαγράμματα QQ Plot.

Παράρτημα 5: Παρουσιάζονται τα διαγράμματα κατανομής

2. Μέθοδος Ασυνεχούς Εκμετάλλευσης Ασβεστολιθικού Κοιτάσματος σε Λατομείο στη Βοιωτία

2.1. Τοποθεσία

Η δραστηριότητα που θα αναλυθεί στις παρακάτω παραγράφους αφορά λατομικό χώρο που βρίσκεται στην ευρύτερη περιοχή της Βοιωτίας, στην Ελλάδα, εκτάσεως 283.274,16 m², στον οποίο λαμβάνει χώρα η εξόρυξη και η επεξεργασία ασβεστολιθικού κοιτάσματος.

2.2. Γεωλογικά - Κοιτασματολογικά στοιχεία

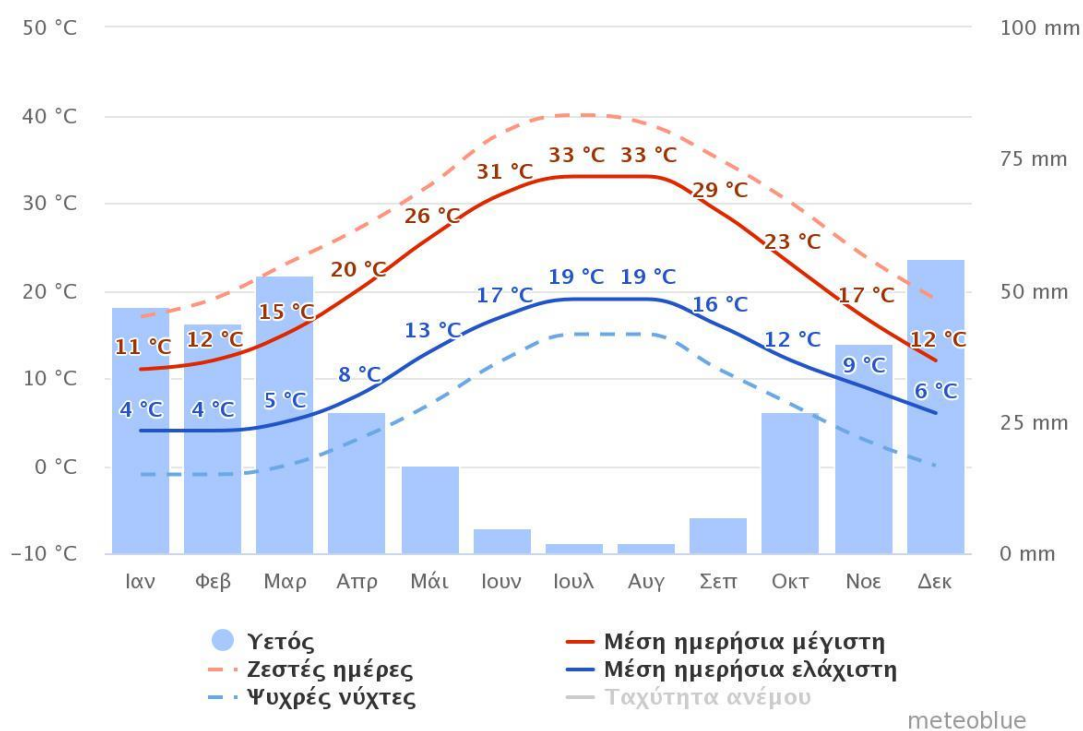
Το ανάγλυφο της περιοχής είναι ήπιο με κλίσεις κυμαινόμενες από 20% μέχρι 35%. Στον χώρο της άδειας εκμετάλλευσης εμφανίζεται κρητιδικός ασβεστόλιθος, ο οποίος είναι σχετικά ομοιογενής, σε όλη την έκταση του χώρου, με εξαίρεση το Β.ΒΔκό τμήμα του, όπου συναντώνται προσμίξεις SiO₂ και κυρίως MgO, με τάση μετάβασης σε δολομιτικό ασβεστόλιθο. Ο σχηματισμός στον οποίο προχωρεί σήμερα η εξόρυξη του ασβεστολιθικού πετρώματος είναι ενιαίος, συμπαγής και μεγάλου πάχους, ομοιόμορφος και δίχως ξένες - στείρες παρεμβολές ή γαιώδη υλικά. Από τη μέχρι σήμερα εκμετάλλευση και διερεύνηση του λατομικού χώρου, το ορατό πάχος του σχηματισμού υπερβαίνει την υψομετρική διαφορά ανάμεσα στο χαμηλότερο και ψηλότερο σημείο της περιοχής μελέτης (που είναι της τάξεως των 130 m). Εξαιτίας δε της καθαρότητας του πετρώματος και της διαπιστωμένης ομοιομορφίας του τόσο κατά την κατακόρυφη διεύθυνση, όσο και κατά την οριζόντια εξάπλωσή του μέσα στην περιοχή μελέτης, τα τμήματα του χώρου ή του κοιτάσματος που εντάσσονται στην εκμετάλλευση, θεωρούνται πλήρως απολήψιμα.

2.3. Αποθέματα

Τα απολήψιμα αποθέματα του χώρου άδειας της εκμετάλλευσης είναι της τάξεως των 9.800.000 m³ ασβεστολιθικού πετρώματος, που αντιστοιχούν σε 26.400.000tn τελικών προϊόντων και κατατάσσονται στην κατηγορία των βέβαιων - πιθανών, με βάση τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν και τον βαθμό αβεβαιότητας στη σχεδίαση. Με βάση τα υπολογιζόμενα αποθέματα, με προβλεπόμενο ρυθμό απόληψης του κοιτάσματος τους 400.000 tn/έτος, η υπολειπόμενη διάρκεια ζωής της εκμετάλλευσης υπολογίζεται σε περίπου 66 έτη.

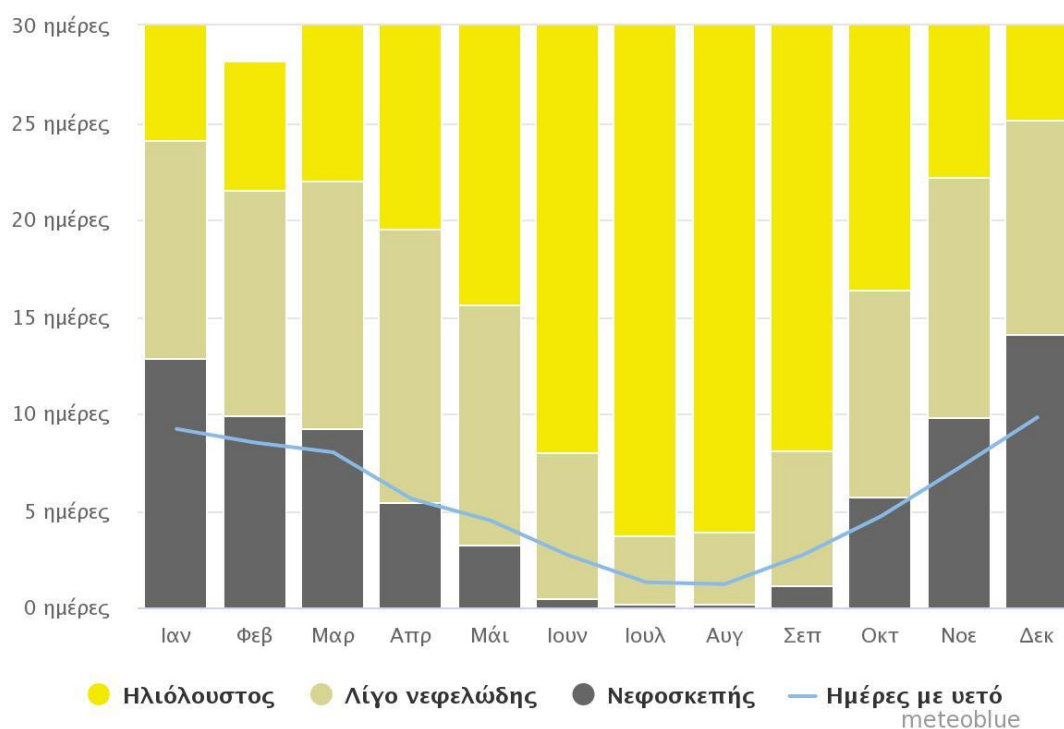
2.4. Κλιματολογικά στοιχεία περιοχής

Ούσα τμήμα της κεντρικής Ελλάδας, το κλίμα της ευρύτερη περιοχής του λατομείου είναι μεσογειακό, με ήπιους χειμώνες και θερινές θερμοκρασίες που κυμαίνονται σε επίπεδα φιλικά προς τον άνθρωπο. Οι χειμώνες είναι συνήθως βροχεροί με χαμηλή υγρασία και χαμηλές θερμοκρασίες. Αυτές οι κλιματολογικές συνθήκες επηρεάζουν την εκμετάλλευση των φυσικών πόρων με έναν ευνοϊκό τρόπο και αποτελούν ένα σημαντικό στοιχείο για την οικονομική δραστηριότητα της περιοχής. Στο παρακάτω διάγραμμα η «μέση ημερήσια μέγιστη» (συμπαγής κόκκινη γραμμή) δείχνει τη μέγιστη θερμοκρασία μιας μέσης ημέρας για κάθε μήνα για την ευρύτερη περιοχή του λατομείου. Ομοίως, «ημερήσια μέση ελάχιστη» (συμπαγής μπλε γραμμή) δείχνει τη μέση ελάχιστη θερμοκρασία. Οι ζεστές ημέρες και κρύες νύχτες (διακεκομμένες κόκκινες και μπλε γραμμές) δείχνουν τον μέσο όρο της πιο ζεστής μέρας και πιο κρύας νύχτας του κάθε μήνα για τα τελευταία 30 χρόνια.



Διάγραμμα 1: Θερμοκρασία και υετός το έτος 2023(<https://www.meteoblue.com/>)

Στη συνέχεια παρουσιάζεται γράφημα το οποίο δείχνει το μηνιαίο αριθμό ημερών με καιρό αίθριο, λίγο νεφελώδη, νεφοσκεπή και τις ημέρες με βροχή. Οι ημέρες με λιγότερο από 20% νεφοκάλυψη θεωρούνται ως αίθριες, με 20-80% νεφοκάλυψη ως νεφελώδεις και με περισσότερο από 80%, ως νεφοσκεπείς.



Διάγραμμα 2: Ημέρες από ηλιοφάνεια μέχρι υετό ανά μηνά το έτος 2023 (<https://www.meteoblue.com/>)

Οι ομαλές κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή δίνουν τη δυνατότητα της συνεχούς λειτουργίας του λατομείου. Ο υπεύθυνος του λατομείου (εργοδηγός) καθημερινά συμβουλευέται την πρόγνωση του καιρού με σκοπό να κρίνει αν η λειτουργία του λατομείου είναι ασφαλής, με κύριο σκοπό την ασφάλεια των εργαζομένων. Παράλληλα σε περιπτώσεις έκτακτων καιρικών φαινομένων η λειτουργία του λατομείου σταματάει, για τον ίδιο λόγο που προαναφέρθηκε.

2.5. Εγκαταστάσεις

Η πλήρης έκταση του λατομείου, όπως αναφέρθηκε, ανέρχεται στα 283,1 στρ., εντός των οποίων πραγματοποιείται:

- η εξόρυξη και η κατεργασία του κοιτάσματος,
- η φόρτωση και η μεταφορά του υλικού προς πώληση ή μετακίνηση,
- η συντήρηση και αποθήκευση του μηχανολογικού εξοπλισμού, καθώς και
- η στέγαση των βοηθητικών εγκαταστάσεων του λατομείου.

Οι εγκαταστάσεις αποτελούνται από:

- το παραγωγικό κύκλωμα (Θραύση - Κοσκίνιση) (Α και Β μέρος),
- τις Η/Μ εγκαταστάσεις,

- τα κτίρια γραφείων, αποδυτηρίων, χώρων ενδιαίτησης του προσωπικού,
- το συνεργείο συντήρησης - επισκευών του μηχανολογικού εξοπλισμού,
- τις αποθήκες ανταλλακτικών – αναλωσίμων και
- τον χώρο ζύγισης των φορτηγών οχημάτων (γεφυροπλάστιγγα).

2.6. Παραγωγικό κύκλωμα (Θραύση - Κοσκίνιση) – Προϊόντα



Εικόνα 1: Σύμπλεγμα Θραύσης - Κοσκίνισης (https://unsplash.com/photos/a-large-construction-crane-at-a-construction-site-0DUxxHkRucs?utm_content=creditShareLink&utm_medium=referral&utm_source=unsplash)

Το παραγωγικό κύκλωμα χωρίζεται σε δύο μέρη Α και Β. Αφού πραγματοποιηθεί η εξόρυξη του πετρώματος από τη φυσική του θέση, το εξορυγμένο πέτρωμα μεταφέρεται με φορτηγά και τροφοδοτείται στη χοάνη ακατέργαστου, όπου ξεκινάει το παραγωγικό κύκλωμα Α. Δονούμενος τροφοδότης σχάρας αφήνει το υλικό με μέγεθος κάτω από 70 mm να διέλθει προς διαβάθμιση, ενώ το αδρομερές οδηγείται σε σιαγωνωτό θραυστήρα. Το υλικό εξόδου από τον σιαγωνωτό θραυστήρα, μαζί με το υλικό που διέρχεται από τον τροφοδότη σχάρας, οδηγούνται σε σειρά κοσκίνων προς διαβάθμιση.

Τα κλάσματα που παράγονται σε αυτό το τμήμα του κυκλώματος είναι:

- Πέτρα, διαστάσεων κόκκου 70 έως 300 mm (εμπορεύσιμο κλάσμα. Όταν δεν παράγεται, το υλικό τροφοδοτείται στο κύκλωμα «Β»)
- Υλικό 3ΑΒ (προδιαλογή), διάστασης <20 mm (εμπορεύσιμο κλάσμα)

- Άμμος επίχωσης (<5 mm) (εμπορεύσιμο κλάσμα)
- Ενδιάμεσο προϊόν τροφοδοσίας κυκλώματος «B», διάστασης κόκκου 4/300 mm)

Το ενδιάμεσο προϊόν από το κύκλωμα «A», αποθηκεύεται σε σωρό, που στοιβάζεται πάνω σε πλάκα σκυροδέματος. Κάτω από την πλάκα, μεταφορική ταινία παραλαμβάνει το υλικό μέσω δονούμενων τροφοδοτών σκάφης. Το υλικό οδηγείται σε ενδιάμεση χοάνη από σκυρόδεμα, απ' όπου τροφοδοτούνται τα δύο τμήματα του κυκλώματος «B». Το κύκλωμα B περιλαμβάνει:

- το τμήμα παραγωγής αδρομερών κλασμάτων:
 - σκύρο 28/74mm
 - χαλίκι 16/28mm-
 - ψηφίδα 10/ 20mm
 - ρυζάκι 4/10 mm
 - Άμμος 0-4mm (συμπαράγεται εδώ ως παραπροϊόν).

Στο μέρος αυτό του κυκλώματος B, το υλικό μετά την θραύση στον θραυστήρα του κυκλώματος (κωνικός θραυστήρας), χωρίζεται σε κλάσματα, για τα οποία δεν υπάρχει δυνατότητα περαιτέρω θραύσης στον θραυστήρα του τμήματος αυτού. Τα ανεπιθύμητα κλάσματα (πλεονάζουσες ποσότητες) μπορούν μόνο να τροφοδοτηθούν στο δεύτερο τμήμα του κυκλώματος B για την παραγωγή άμμου (<4 mm).

- Το τμήμα παραγωγής άμμου 0-4mm:

Εδώ συμπαράγεται γαρμπίλι 4/14 mm ως παραπροϊόν. Το κάθε ένα από τα τμήματα του κυκλώματος «B», διαθέτει θραυστήρα για την υποβάθμιση και κόσκινα για τη διαβάθμιση του υλικού, ώστε να παραχθούν τα επιθυμητά κλάσματα.

2.7. Όρια παραγωγής

Τα όρια της παραγωγής ταυτίζονται με τη μέγιστη ωριαία παραγωγικότητα του συστήματος θραύσης – κοσκίνισης. Η ωριαία παραγωγικότητα είναι 350t/h για διαστάσεις κόκκου μικρότερες από 74 χιλιοστά. Αυτό μεταφράζεται σε 700.000tn ετησίως, υπό την προϋπόθεση πως η μονάδα λειτουργεί 2000ώρες/έτος.

2.8. Κυκλοφορία οχημάτων – Οδικό Δίκτυο

Το λατομείο συνδέεται με το τοπικό οδικό δίκτυο μέσω δύο εισόδων, από όπου εισέρχονται και εξέρχονται τα φορτηγά των πελατών και των συνεργατών, καθώς και τα αυτοκίνητα των εργαζομένων και των επισκεπτών. Υπάρχει οδικό δίκτυο εντός του λατομείου, συνολικού μήκους 2.000 m περίπου, που εξασφαλίζει τη σύνδεση των βαθμίδων εξόρυξης με το συγκρότημα επεξεργασίας, τις άλλες βοηθητικές εγκαταστάσεις και με την κύρια προσπέλαση του χώρου. Όλοι οι δρόμοι του εσωτερικού δικτύου έχουν μέγιστη κλίση 12%, ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας 25 m και πλάτος καταστρώματος τουλάχιστον 6 m.

2.9. Προσωπικό

Το απασχολούμενο προσωπικό στην παραγωγική δραστηριότητα αποτελείται από:

- έναν μεταλλειολόγο μηχανικό,
- έναν εργοδηγό - επικεφαλής εργασιών (ένας εκ των χειριστών),
- έναν χειριστή φορτωτή - εκσκαφέα,
- έναν εξορύκτη (χειριστή διατρητικού) - γομωτή πυροδότη,
- έναν χειριστή σπαστηροτριβείου - τεχνίτη συντηρητή και
- έναν ζυγιστή - υπάλληλο γραφείου κίνησης.

Επιπλέον, η εταιρεία συνεργάζεται με εργολάβους που παρέχουν τα φορτηγά αυτοκίνητα για τη μεταφορά του υλικού από τη θέση φόρτωσης στη θέση εκκένωσης και πίσω. Η απασχόληση του προσωπικού προβλέπεται σε μια βάρδια ανά ημέρα, πέντε ημέρες την εβδομάδα και συνολικά περίπου 220 ημέρες ανά έτος.

2.10. Ασφάλεια

Η διαχειρίστρια εταιρεία έχει δεσμευτεί να τηρεί υψηλά πρότυπα ασφαλείας για τους εργαζομένους της και το περιβάλλον. Αυτό περιλαμβάνει την παροχή εκπαίδευσης στο προσωπικό σχετικά με τους κινδύνους που συνδέονται με την εργασία στον χώρο του λατομείου, τη χρήση ΜΑΠ (Μέσων Ατομικής Προστασίας) από όλο το προσωπικό και την παρακολούθηση της συμμόρφωσης του σύμφωνα με τις προδιαγραφές ασφαλείας. Επιπλέον, η εταιρεία έχει διασφαλίσει την ασφαλή λειτουργία των μηχανημάτων και του εξοπλισμού για την πρόληψη των ατυχημάτων. Μέσω αυτών των μέτρων, διασφαλίζεται η ασφάλεια των εργαζομένων, η προστασία του περιβάλλοντος καθώς και η συμμόρφωσή της λειτουργίας με τους νόμους και τις κανονιστικές απαιτήσεις.

Παράλληλα η διαχειρίστρια εταιρεία οργανώνει ανά τακτά χρονικά διαστήματα σεμινάρια ασφάλειας και υγείας, όπως σεμινάρια πυροπροστασίας, πρώτων βοηθειών, κ.ά., καθώς και ομιλίες από εξειδικευμένους επαγγελματίες που εργάζονται σε αυτούς τους τομείς. Έτσι διασφαλίζεται η συνεχής εκπαίδευση των εργαζομένων καθώς και η συνεχής υπενθύμιση των καθημερινών κινδύνων που διατρέχει το επάγγελμα.

2.11. Παραγωγή και απόρριψη στείρων υλικών

Το εξορυσσόμενο πέτρωμα μεταφέρεται στις εγκαταστάσεις θραύσης – κοσκίνισης της εκμεταλλεύτριας εταιρείας, που έχει εγκατασταθεί και λειτουργεί νόμιμα στο Δκό άκρο του λατομικού χώρου, σε θέση που δεν παρεμποδίζει τις εξορυκτικές εργασίες, για περαιτέρω επεξεργασία και παραγωγή θραυστών αδρανών υλικών. Δεν προβλέπεται παραγωγή στείρων υλικών, για την απόθεση των οποίων θα πρέπει να ληφθεί ιδιαίτερη μέριμνα. Τα λίγα επιφανειακά γαιώδη υλικά όταν και όπου διαχωρίζονται, αποτίθενται σε μικρούς σωρούς στα άκρα της κάθε βαθμίδας, ώστε μελλοντικά να χρησιμοποιηθούν στις εργασίες αποκατάστασης του χώρου.

2.12. Μηχανολογικός εξοπλισμός

Ο κύριος μηχανικός εξοπλισμός του λατομείου αποτελείται από δέκα μηχανήματα. Χρησιμοποιείται τόσο για τις εργασίες εξόρυξης, όσο και για τις εργασίες στο συγκρότημα επεξεργασίας και αναλύεται στις επόμενες τρεις παραγράφους. Η συνολική ισχύς αυτών των δέκα μηχανημάτων είναι 2.960HP.

2.12.1. Φορτηγά αυτοκίνητα

Το φορτηγά αυτοκίνητα που βρίσκονται εντός του λατομείου είναι τα εξής:

- Ένα ανατρεπόμενο φορτηγό αυτοκίνητο (dumper), TEREX τύπου 3305 δυναμικότητας 35 tn και ισχύος 350HP, που χρησιμοποιείται για μεταφορά εξορυγμένου υλικού στις εγκαταστάσεις θραύσης.
- Δύο ανατρεπόμενα φορτηγά αυτοκίνητα τετραξονικά MAN τύπου 41.463 δυναμικότητας 30 tn και ισχύος 460HP, που χρησιμοποιούνται για μεταφορά εξορυγμένου υλικού στις εγκαταστάσεις θραύσης (εργολαβικά).
- Ένα υδροφόρο φορτηγό αυτοκίνητο MAN τύπου 26.291, χωρητικότητας 15 m³ και ισχύος 240HP, που χρησιμοποιείται για μεταφορά νερού και διαβροχή των δρόμων του λατομείου.

2.12.2. Εκσκαφείς – Φορτωτές

Οι εκσκαφείς και οι φορτωτές που βρίσκονται εντός του λατομείου είναι οι εξής:

- Ένας ελαστικοφόρος φορτωτής, CAT τύπου 980 C, ισχύος 280HP, που χρησιμοποιείται για φόρτωση εξορυγμένου υλικού.
- Ένας ελαστικοφόρος φορτωτής, CAT τύπου 966 D, ισχύος 220HP, που χρησιμοποιείται για φόρτωση έτοιμων προϊόντων.
- Ένας ερπυστριοφόρος εκσκαφέας KOMATSU τύπου 450 LS, ισχύος 330HP, που χρησιμοποιείται για φόρτωση εξορυγμένου υλικού και καθαρισμό μετώπων.
- Ένας ερπυστριοφόρος εκσκαφέας LIEBHERR τύπου R922, με υδραυλική σφύρα 1,8 tn, ισχύος 170HP, που χρησιμοποιείται για θραύση των μεγάλων ογκολίθων στο μέτωπο.



Εικόνα 2: Παράδειγμα φορτηγού και φορτωτή στο πεδίο (<https://pixabay.com/photos/digger-excavator-engine-heavy-1867268/>)

2.12.3. Διατρητικά μηχανήματα

Το διατρητικά μηχανήματα που βρίσκονται εντός του λατομείου είναι τα εξής:

- Ένα ερπυστριοφόρο αυτοκινούμενο διατρητικό μηχάνημα, με ενσωματωμένο αεροσυμπιεστή, της TAMROCK τύπου PANTERA 1100, ισχύος 300HP, που χρησιμοποιείται για την όρυξη διατρημάτων διαμέτρου 3,5 - 4 in.
- Ένα ερπυστριοφόρο αυτοκινούμενο διατρητικό της TAMROCK DHA 600, τύπου ZOOMTRACK, ισχύος 150HP, που χρησιμοποιείται για βοηθητικές εργασίες διάτρησης και ως εφεδρικό.

2.13. Εκμετάλλευση – Μέθοδος εξόρυξης

Τα χαρακτηριστικά του κοιτάσματος και οι φυσικομηχανικές ιδιότητες του πετρώματος κάνουν απαραίτητη την επιλογή της μεθόδου εκμετάλλευσης ορθών διαδοχικών βαθμίδων ανοιχτής εκσκαφής. Η εξόρυξη πραγματοποιείται με τη χρήση διαρρηκτικών εκρηκτικών υλών (ΕΥ), δηλαδή με διάτρηση – γόμωση – ανατίναξη. Η αποκομιδή των εξορυσσομένων στείρων και η φόρτωση των εξορυγμένων για τις εγκαταστάσεις θραύσης - ταξινόμησης γίνεται με ελαστικοφόρο φορτωτή, η δε μεταφορά τους με εργολαβικά τετραξονικά φορτηγά αυτοκίνητα MAN τύπου 41.463, δυναμικότητας 30 tn.



Εικόνα 3: Παράδειγμα μεθόδου εκμετάλλευσης ορθών διαδοχικών βαθμίδων ανοιχτής εκσκαφής (<https://pixabay.com/>)

Η ανάπτυξη – εξόρυξη των βαθμίδων προχωράει με δύο μέτωπα – πατάρια, με σκοπό να υπάρχει πάντοτε σε χρήση και εκμετάλλευση ένα ζεύγος βαθμίδων. Με αυτόν τον τρόπο προχώρησης επιτυγχάνεται:

- Καλύτερη διασπορά – διάθεση του εξοπλισμού και του προσωπικού, στοιχείο σημαντικό για την ορθή εφαρμογή της μεθόδου εξόρυξης,
- Αύξηση – βελτιστοποίηση της παραγωγικότητας του συστήματος
- Ποσοτική αύξηση της παραγωγής

- Δυνατότητα παραγωγής – συγκέντρωσης ποσοτήτων ασβεστολιθικού υλικού, στις διάφορες ποιότητες που πιθανόν να περιέχονται στο κοίτασμα
- Μεγιστοποίηση ασφάλειας του έργου, με τη διασπορά των μηχανημάτων και του εξοπλισμού σε περισσότερες από δύο θέσεις, με παράλληλη διάτρηση παταριών – δαπέδων
- Καλύτερη διαχείριση του κοιτάσματος
- Δυνατότητα ευχερούς αποκατάστασης των δυσμενών επιπτώσεων στο περιβάλλον
- Μείωση κοστολογίων παραγωγής

Τα χαρακτηριστικά των βαθμίδων είναι τα εξής:

- Η πλησιέστερη στα όρια του λατομικού χώρου βαθμίδα θα εγκαταλείπει περιμετρική ζώνη 8m σύμφωνα με την παρ. 2, του άρθ. 80 του ΚΜΛΕ (ήδη έχει εγκαταλειφθεί ένα μέρος της)
- Το ελάχιστο πλάτος δαπέδων κατά το στάδιο εξόρυξης ή κατά το στάδιο που κινούνται οχήματα σε αυτές θα έχει ελάχιστο πλάτος 12m.
- Κατά το στάδιο εξόρυξης στην αμέσως χαμηλότερη βαθμίδα η μείωση του δαπέδου δεν θα οδηγεί σε πλάτος μικρότερο των 6m
- Η γωνία του τελικού μετώπου κατά το στάδιο της εξόρυξης θα είναι περίπου 75 - 80° ως προς το οριζόντιο επίπεδο.
- Τα μέτωπα των τελικών πρανών θα έχουν κλίση τέτοια που να εξασφαλίζει κλίση τελικού πρανούς ή ΝΓΠ (νοητής γραμμής τελικού πρανούς) 63°.

Από τη μέχρι τώρα δραστηριότητα στον λατομικό χώρο μελέτης έχουν διαμορφωθεί τα ακόλουθα στοιχεία εκμετάλλευσης :

- Στο Βόρειο τμήμα του χώρου έχουν διαμορφωθεί πέντε ανοικτές ορθές διαδοχικές βαθμίδες ύψους 15 m περίπου. Οι 3 από αυτές έχουν εδώ και πολλά χρόνια εγκαταλειφθεί λόγω υψηλής περιεκτικότητας σε Mg στη μάζα του ασβεστολίθου. Έχει γίνει μερική αποκατάστασή τους, δε γίνονται εργασίες εξόρυξης και δεν είναι ορατές από κανένα σημείο του ορίζοντα. Οι υπόλοιπες δύο βαθμίδες έχουν αναπτυχθεί μερικώς.
- Στο Κεντρικό και Ανατολικό τμήμα του χώρου είναι διαμορφωμένες επτά ανοικτές ορθές διαδοχικές βαθμίδες. Από αυτές μόνο οι δύο ανώτερες έχουν

εξοφληθεί και αποκατασταθεί, ενώ οι υπόλοιπες κατώτερες είναι υπό διαμόρφωση.

- Στο Νότιο και ΝΑ τμήμα του χώρου είναι διαμορφωμένες έξι ανοικτές ορθές διαδοχικές βαθμίδες ύψους επίσης 15 m. Από αυτές μόνο οι δύο βρίσκονται σήμερα σε φάση εξόφλησης και αναμένεται στην προσεχή φυτευτική περίοδο να αποκατασταθούν. Οι υπόλοιπες βαθμίδες είναι υπό διαμόρφωση.
- Έχουν διαμορφωθεί τρεις πλατείες. Η πρώτη πλατεία είναι εσωτερική του λατομείου, δεν είναι τελική και θα εξελιχθεί σε χαμηλότερα υψόμετρα με την πρόοδο των εργασιών εκμετάλλευσης. Στις άλλες δύο πλατείες έχει εγκατασταθεί το συγκρότημα επεξεργασίας και παραγωγής θραυστών αδρανών υλικών, οι βοηθητικοί χώροι της εγκατάστασης (αποθήκες, συνεργείο), χώροι εξυπηρέτησης προσωπικού, γραφεία, ιατρείο, κλπ.
- Προβλέπεται ότι στη τελική μορφή του λατομείου, θα έχουν διαμορφωθεί εννέα τελικές βαθμίδες εκμετάλλευσης

2.14. Μέθοδος εξόρυξης - Εκρηκτικά

Τα χαρακτηριστικά της διάτρησης – γόμωσης – ανατίναξης σε όλη την έκταση του λατομικού χώρου είναι τα παρακάτω:

- Όρυξη διατρημάτων διαμέτρου 3,5 in με κλίσεις 75 - 80° σε μέτωπα μέγιστου ύψους 15m. Στοιχεία, προτεινόμενες αποστάσεις και χαρακτηριστικά δίνονται στον πίνακα 1. Τα διατρήματα γομώνονται με γαλακτώματα ή αμμωνίτιδα στον πυθμένα (με φυσίγγια 65 × 500mm που αποτελούν τη γόμωση πυθμένα και δέχονται καψύλιο NONEL) και ANFO (πετραμμωνίτη) στη στήλη (τύπου 50/50, χύμα). Σύνδεση με μη ηλεκτρικά καψύλια (NONEL) για την εξασφάλιση μικροεπιβράδυνσης 25ms (για τη μείωση των δονήσεων, αλλά κυρίως για τη βελτίωση της κοκκομετρίας του εξορυσσόμενου υλικού), πυροδότηση με κοινά καψύλλια.
- Η ποσότητα των χρησιμοποιούμενων εκρηκτικών υλών ανά χρόνο πυροδότησης είναι για τη γόμωση του πυθμένα 9,90kg και για τη γόμωση της στήλης 49,60kg, δηλαδή συνολικά ανά χρόνο πυροδότησης στα 59,50kg.



Εικόνα 4: ANFO (<https://www.extraco.gr/>)

- Το ερπυστριοφόρο διατρητικό μηχάνημα έχει τη δυνατότητα διάτρησης σε μια βάρδια διατρημάτων συνολικού μήκους 200 – 240 drm (m διατρημάτων), ανάλογα με τα διάφορα χαρακτηριστικά της εξόρυξης, του πετρώματος, την κατάσταση του εξοπλισμού, την εμπειρία του χειριστή κ.ά. Για $K = 15m$ η ημερήσια διατρητική ικανότητα των 200drm αντιπροσωπεύει εξόρυξη συμπαγούς όγκου πετρώματος της τάξεως των $200\text{drm} \times 11\text{m}^3/\text{drm} = 2.200\text{m}^3$ ή χαλαρού εξορυγμένου πετρώματος τουλάχιστον: $2.200 \times 1,7 = 3.740\text{m}^3/\text{ημέρα}$, που αντιστοιχεί σε περίπου 6.000 tn εξορυγμένου πετρώματος ανά ημέρα.

Πίνακας 1: Διάταξη διατρημάτων και υπολογισμός γομώσεων

Μηχάνημα	K	H	V	E	P	d	EYb	Qb	EYp	Qp	Qt	q
Drifter 3,5in	7,5	8,6	3,0	3,7	83	0,1	αμμ.	ANFO	23.85	23.85	28.50	0.34
	10	11,7	3,1	3,8	118	0,1	αμμ.	ANFO	33.05	33.05	41.30	0.35
	12	13,7	3,0	3,7	135	0,1	αμμ.	ANFO	37.35	37.35	47.25	0.35
	15	17	3,0	3,7	170	0,1	αμμ.	ANFO	49.60	49.60	59.5	0.35

Όπου:

K: κατ. Ύψος μετώπου βαθμίδας (m)

H: βάθος (μήκος) διατρήματος (m)

V: εύρος μετώπου (φορτίο) (m)

E: απόσταση μεταξύ διατρημάτων (m)

P: εξορυσσόμενος όγκος ανά διάτρημα m^3

D: ειδική διάτρηση, σε m διάτρησης drm/m^3

EYb: είδος EY στον πυθμένα του διατρήματος, συνήθως αμμωνίτης σε φυσίγγια $65 \times 100mm$

Qb: ποσότητα EY στον πυθμένα (Kg)

EYp: είδος EY στη στήλη του διατρήματος συνήθως πετρελαιοαμμωνίτης (Kg)

Qp: ποσότητα EY στη στήλη (Kg)

Qt: συνολική ποσότητα EY στο διάτρημα (Kg)

q: ειδική γόμωση, ή κατανάλωση EY (Kg) ανά m^3 εξορυσσόμενου πετρώματος

Οι εκρηκτικές ύλες δεν αποθηκεύονται εντός του λατομείου. Κατόπιν παραγγελίας, καταφθάνουν στον χώρο τις πρωινές ώρες της ημέρας που έχει οριστεί για να πραγματοποιηθεί η έκρηξη. Αφού ο γομωτής - πυροδότης ολοκληρώσει τη συνδεσμολογία, παύουν όλες οι εργασίες εντός του λατομείου έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί η έκρηξη με ασφάλεια.

2.15. Φόρτωση

Μετά την ανατίναξη ακολουθεί η φόρτωση του υλικού με τη χρήση ελαστικοφόρου φορτωτή, ενώ παράλληλα πραγματοποιείται και θραύση των μεγάλων όγκων που έχουν απομείνει από την έκρηξη με τη χρήση ερπυστριοφόρου εκσκαφέα με υδραυλική σφύρα. Το υλικό φορτώνεται από τον εκσκαφέα σε ανατρεπόμενα φορητά αυτοκίνητα σύμφωνα με τη χωρητικότητα του κάδου τους.

2.16. Μεταφορά και εκκένωση

Το υλικό μεταφέρεται από τα φορητά μέσω του οδικού δικτύου εντός του λατομείου στον χώρο εκκένωσης, όπου πραγματοποιείται η ανατροπή του κάδου τους σε ειδικά διαμορφωμένο χώρο. Το εξορυγμένο υλικό καταλήγει στη χοάνη του συμπλέγματος θραύσης – κοσκίνισης.

3. Καταγραφή δεδομένων

3.1 Γενικά

Η καταγραφή δεδομένων χωρίζεται σε δύο κύριες κατηγορίες, σε αυτή των *πρωτογενών δεδομένων* και σε αυτή των *δευτερογενών δεδομένων*.

Πρωτογενή ονομάζονται τα δεδομένα που δεν έχουν δημοσιευτεί ακόμα και αποτελούν πρωταρχικές πληροφορίες που δεν έχουν τροποποιηθεί από κανένα άτομο. Η εγκυρότητα, η αξιοπιστία, η αντικειμενικότητα και η αυθεντικότητα των δεδομένων είναι περισσότερο εμφανείς στα πρωτογενή δεδομένα σε σύγκριση με τα δευτερογενή. Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι σημαντικά σε ορισμένες μεθόδους έρευνας, όπως η στατιστική έρευνα, καθώς οι πληροφορίες είναι συγκεκριμένες για ένα πρόβλημα και δεν μπορεί να προέρχονται από δημοσιευμένες αναφορές. Έτσι, αν και η έρευνα μπορεί να διεξαχθεί βάσει δευτερογενών δεδομένων, δεν είναι δυνατόν να επιτευχθεί αξιόπιστο αποτέλεσμα χωρίς τη χρήση πρωτογενών δεδομένων. Κατά τη συλλογή πρωτογενών δεδομένων μπορεί να αντιμετωπιστούν δυσκολίες, όπως η πρόσβαση στη συλλογή δεδομένων, ο χρόνος που χρειάζεται για την καταγραφή τους, τα μέσα και ο απαραίτητος εξοπλισμός, οι συνθήκες κάτω από τις οποίες λαμβάνουν χώρα οι μετρήσεις, ακόμα και η επιλογή της μεθόδου συλλογής δεδομένων κ.ά.. Επιπλέον πρέπει να διασφαλιστεί η ακρίβεια των δεδομένων, η οποία προέρχεται μέσω της τήρησης ορισμένων προτύπων. Παράλληλα είναι σημαντικό τα αρχικά δεδομένα να υποστούν επεξεργασία, διατηρώντας τα έγκυρα/χρήσιμα και απορρίπτοντας τα δεδομένα που αποπροσανατολίζουν την έρευνα.

Τα *δευτερογενή δεδομένα* είναι αυτά που συλλέγονται από δημοσιευμένες πηγές, δηλαδή δεδομένα που έχουν συγκεντρωθεί από κάποιον τρίτο και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ερευνητικούς σκοπούς. Τα δευτερογενή δεδομένα αποτελούν σημαντικό τμήμα κάθε έρευνας και συμπεριλαμβάνονται σε κάθε βιβλιογραφική αναφορά. Βοηθούν στο σχεδιασμό ερευνών και παρέχουν τις βάσεις για σύγκριση με τα πρωτογενή δεδομένα. Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως οι ερευνητές θα πρέπει να επανεξετάζουν την εγκυρότητα και την αξιοπιστία των δεδομένων αυτών με σκοπό να αποκτήσουν αυθεντικά αποτελέσματα.

Η καταγραφή πρωτογενών δεδομένων αποτελεί βασική διαδικασία στον τομέα της έρευνας και της επιστήμης, καθώς αποτελεί τον πρώτο σταθμό στη συλλογή πληροφοριών που θα αναλυθούν, ερμηνευθούν και χρησιμοποιηθούν για την

κατανόηση του τρόπου λειτουργίας του συστήματος και τον εντοπισμό των προβλημάτων. Αυτή η διαδικασία βασίζεται στη συγκέντρωση δεδομένων από τον ίδιο τον ερευνητή και απαιτεί προσεκτική σχεδίαση και εκτέλεση, καθώς και χρήση κατάλληλων μεθόδων και εργαλείων για τη συλλογή των δεδομένων. Τα πρωτογενή δεδομένα αποτελούν τη βάση για τη λήψη αποφάσεων και την ανακάλυψη νέων προκλήσεων και ευκαιριών στον τομέα της έρευνας και της επιστήμης. Επομένως, η σωστή διαχείριση και ανάλυση των πρωτογενών δεδομένων αποτελεί κρίσιμο βήμα για επίλυση προβλημάτων.

Στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκαν πρωτογενή δεδομένα που συλλέχθηκαν από τον ίδιο τον συντάκτη της έρευνας.

3.2 Μεγέθη ενδιαφέροντος

Τα μεγέθη ενδιαφέροντος αποτελούν τις παραμέτρους που αναλύονται και μελετώνται για την κατανόηση και την αξιολόγηση του συστήματος. Τα μεγέθη αυτά θα καθορίσουν τους στόχους της έρευνας και το πλαίσιο για τη συλλογή δεδομένων. Η επιλογή των μεγεθών πραγματοποιείται σύμφωνα με τη μορφολογία του συστήματος και τις δυνατότητες για καταγραφή δεδομένων και είναι κρίσιμη για την αξιοπιστία και την ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Στη συγκεκριμένη εργασία τα μεγέθη χωρίστηκαν σε σταθερά και μεταβλητά.

3.2.1 Σταθερά μεγέθη ενδιαφέροντος

Τα σταθερά μεγέθη ενδιαφέροντος αποτελούν το θεμέλιο της έρευνας, καθώς αποτελούν τα μετρήσιμα μεγέθη που παραμένουν σταθερά κατά τη διάρκεια της. Αυτά τα μεγέθη είναι κρίσιμα για τον προσδιορισμό των σχέσεων, των παραμέτρων και των αποτελεσμάτων και επιτρέπουν τη σύγκριση και την αξιολόγηση των επιπτώσεων των μεταβλητών μεγεθών. Στη συγκεκριμένη έρευνα τα σταθερά μεγέθη είναι τα παρακάτω:

- *Μηχανοκίνητος εξοπλισμός*

Ο μηχανολογικός εξοπλισμός του λατομείου και άρα τα χαρακτηριστικά του, εκτός των φορητών που μεταφέρουν το υλικό, είναι ιδιοκτησία της εκμεταλλεύτριας εταιρείας και άρα παραμένουν σταθερό μέγεθος. Τα φορητά παρέχονται από συνεργαζόμενο εργολάβο και χρησιμοποιούνται από την εκμεταλλεύτρια εταιρεία για μεγάλο χρονικό διάστημα, με αποτέλεσμα και αυτά να θεωρούνται σταθερά μεγέθη.

- *Όριο μέγιστης ωριαίας παραγωγής*
Ο τροφοδότης που βρίσκεται στη θέση εκφόρτωσης και μέσω αυτού περνάει όλη η ποσότητα του εξορυγμένου υλικού μπορεί να τροφοδοτήσει τον θραυστήρα και τις μεταφορικές ταινίες με ένα μέγιστο ρυθμό, ο οποίος ταυτίζεται με τη μέγιστη ωριαία παραγωγή του λατομείου και άρα αυτή παραμένει σταθερή.
- *Κάδος φορτωτή*
Η επιλογή του κάδου φόρτωσης του φορτωτή αποτελεί ένα σημαντικό στοιχείο στην αύξηση ή μείωση της παραγωγής, καθώς με ένα μεγαλύτερο κάδο μειώνεται ο χρόνος φόρτωσης, αυξάνονται τα δρομολόγια των φορητών και άρα αυξάνεται η παραγωγή. Στην περίπτωση της συγκεκριμένης εργασίας ο κάδος του φορτωτή είναι γνωστός και παραμένει σταθερός.

3.2.2 Μεταβλητά μεγέθη ενδιαφέροντος

Τα μεταβλητά μεγέθη αποτελούν τον πυρήνα της ερευνητικής εργασίας, αντιπροσωπεύοντας τα στοιχεία «κλειδιά» που εξετάζονται και αναλύονται προκειμένου να ανακαλυφθούν πρότυπα, σχέσεις και να αποκτηθεί κατανόηση επί του συστήματος. Αυτά τα μεγέθη επιλέγονται βάσει των στόχων της ερευνητικής εργασίας και των ερωτημάτων που διατυπώνονται. Η σωστή επιλογή και ορισμός των μεταβλητών μεγεθών είναι ουσιώδης για την επιτυχία της έρευνας, καθώς επηρεάζει την ακρίβεια, την αξιοπιστία και τη χρησιμότητα των αποτελεσμάτων. Στη συγκεκριμένη έρευνα τα μεταβλητά μεγέθη είναι τα παρακάτω:

- *Πλήθος ανατρεπόμενων αυτοκινήτων*
Τα χαρακτηριστικά των φορητών είναι γνωστά και σταθερά, καθώς μόνα αυτά λειτουργούν στο λατομείο. Το πλήθος των φορητών όμως, που θα μπορούσαν να λειτουργήσουν στο λατομείο είναι ένας μεταβλητός αριθμός, καθώς μέσω αυτών αυξάνεται ή μειώνεται η παραγωγή.
- *Καιρικές συνθήκες*
Οι καιρικές συνθήκες αποτελούν ένα σημαντικό παράγοντα που επιδρά στον ρυθμό παραγωγής, καθώς επηρεάζουν την κατάσταση του δρόμου, το βάρος του υλικού και ορισμένες φορές την ορατότητα. Επιπλέον, ορισμένες καιρικές συνθήκες είναι απαγορευτικές για εργασία, με αποτέλεσμα να παύεται η λειτουργία του λατομείου
- *Απόσταση από τη θέση φόρτωσης στη θέση εκκένωσης*

Ένα λατομείο καταλαμβάνει μεγάλες εκτάσεις προς εκμετάλλευση. Τα μέτωπα αλλάζουν συνεχώς καθώς διεκπεραιώνονται οι εργασίες. Επομένως, η απόσταση που διανύουν τα φορτηγά από τη θέση φόρτωσης στη θέση εκκένωσης είναι μεταβαλλόμενο μέγεθος.

3.3 Δειγματοληψία

3.3.1 Γενικά

Δειγματοληψία ή *δειγματοληπτική μέθοδος* ονομάζεται η απογραφή ορισμένων συγκεκριμένων χαρακτηριστικών ενός τμήματος του πληθυσμού. Το τμήμα του πληθυσμού που απογράφεται ονομάζεται δείγμα. Σκοπός των δειγματοληπτικών ερευνών είναι να προσδιοριστούν όσο γίνεται ακριβέστερα οι ιδιότητες του πληθυσμού, μελετώντας απογραφικά τα στοιχεία του δείγματος. Γενικά, η δειγματοληψία θεωρείται επιτυχής όταν η επιλογή του δείγματος παράγει αποτελέσματα, δείκτες και μετρήσεις που είναι όσο το δυνατόν ακριβέστερα, δηλαδή βρίσκονται όσο πιο κοντά στις αντίστοιχες παραμέτρους του ευρύτερου συνόλου, δηλαδή του πληθυσμού. Η συνέπεια της επέκτασης των συμπερασμάτων που προέρχονται από τη μελέτη των χαρακτηριστικών του δείγματος, σε ολόκληρο τον πληθυσμό, εξαρτάται από τη μέθοδο δειγματοληψίας που εφαρμόζεται, καθώς από την ποιότητα του δείγματος εξαρτάται κατά πολύ η σημαντικότητα των εκτιμήσεων. Τέλος, οι εκτιμήσεις των δειγματοληψιών δε δίνουν ακριβείς τιμές, αλλά εκτιμήσεις για το σύνολο του πληθυσμού. (Thompson, 2012)

Για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία με τη μέθοδο των χρονομετρήσεων.

3.3.2 Βασικές έννοιες

Στατιστικός πληθυσμός ονομάζεται το σύνολο των μονάδων ανάλυσης που μελετώνται και συνδέονται με το φαινόμενο - σύστημα μελέτης. Ο πληθυσμός διακρίνεται σε άπειρο και πεπερασμένο ανάλογα με τη φύση της έρευνας.

Το *δείγμα* δεν ασχολείται με το σύνολο των παρατηρήσεων αλλά με ένα μέρος αυτών. Είναι δηλαδή ένα υποσύνολο του πληθυσμού.

Μέγεθος του πληθυσμού ονομάζεται το πλήθος των μονάδων ανάλυσης του πληθυσμού, εφόσον ο πληθυσμός είναι πεπερασμένος. Το πλήθος αυτό συμβολίζεται με N . Ανάλογα, συμβολίζεται και ονομάζεται το *μέγεθος δείγματος*, που ορίζεται ως το

πλήθος μονάδων ανάλυσης του πληθυσμού που επιλέγονται για το δείγμα, το οποίο συμβολίζεται με n .

Ανάλογα με τον σκοπό της έρευνας, από τις μονάδες ανάλυσης του πληθυσμού, μέσω ενός δείγματος, επιλέγονται οι κατάλληλες προς μελέτη. Η όλη διαδικασία ονομάζεται δειγματοληψία. Για να επιλεγούν ορθά οι μονάδες ανάλυσης του δείγματος, απαραίτητο είναι να κατανοηθεί η έννοια της μεταβλητής.

3.3.3 Μεταβλητές

Στον ερευνητικό τομέα ως *μεταβλητή* ορίζεται κάθε φυσικό μέγεθος που μπορεί να μετρηθεί ή σημειωθεί. Εναλλακτικά ως μεταβλητές ορίζονται οι χαρακτηριστικές ιδιότητες των στατιστικών μονάδων ενός πληθυσμού. Οι μεταβλητές χωρίζονται σε *ποσοτικές* και *ποιοτικές*. Ποσοτικές είναι οι μετρήσιμες μεταβλητές και είναι δύο ειδών, οι συνεχείς και οι διακριτές. Οι συνεχείς παίρνουν οποιαδήποτε τιμή σ' ένα διάστημα πραγματικών αριθμών και οι διακριτές παίρνουν συγκεκριμένες - συνήθως ακέραιες - τιμές. Οι ποιοτικές μεταβλητές δεν μπορούν να μετρηθούν, δεν έχουν άρα αριθμητική υπόσταση και χωρίζονται σε διατάξιμες και μη.

3.3.4 Χρονομετρήσεις

Τα δεδομένα της παρούσας εργασίας συλλέχθηκαν μέσω ενός πλήθους χρονομετρήσεων. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν από τον συντάκτη της εργασίας στον χώρο του λατομείου και χωρίστηκαν σε δύο μέρη. Οι πρώτες μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με τον συντάκτη - παρατηρητή σταθερό σε ένα ασφαλές σημείο καταγράφοντας τους χρόνους κύκλου των φορτηγών αυτοκινήτων και του φορτωτή. Στις δεύτερες μετρήσεις ο παρατηρητής βρισκόταν μέσα στα φορτηγά αυτοκίνητα καταγράφοντας όλα τα στάδια του χρόνου κύκλου του κάθε φορτηγού αυτοκινήτου ξεχωριστά.

3.3.5 Δειγματοληψία στο πεδίο

Η καταγραφή και η συγκέντρωση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε το διάστημα από 3 Μαρτίου 2023 έως και 9 Μαρτίου του 2023. Διήρκησε έξι ημέρες, στις οποίες κατεγράφησαν τα παρακάτω δεδομένα:

- 266 δεδομένα χρόνου που αφορούσαν το πρώτο τετραξονικό φορτηγό
- 273 δεδομένα χρόνου που αφορούσαν το δεύτερο τετραξονικό φορτηγό

- 1044 δεδομένα χρόνου από σταθερό σημείο παρατήρησης που αφορούσαν στη διαδικασία φόρτωσης

Τα παραπάνω δεδομένα περιέχουν τις χρονομετρήσεις στα σημεία/σταθμούς του κύκλου φόρτωσης και παρατίθενται στο Παράρτημα 1.

3.3.5.a Εξοπλισμός

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή των μετρήσεων ήταν ένα ηλεκτρονικό ρολόι με ακρίβεια δευτερολέπτων, το οποίο ήταν τοποθετημένο σε εμφανές σημείο τη στιγμή της καταγραφής. Κατά τη διάρκεια των πρώτων μετρήσεων ο παρατηρητής βρισκόταν εντός αυτοκινήτου που του διέθεσε η εταιρεία, με σκοπό την προστασία του από τις καιρικές συνθήκες. Επιπλέον, η εταιρεία προμήθευσε τον παρατηρητή με τα απαραίτητα Μέτρα Ατομικής Προστασίας (ΜΑΠ).

3.3.5.b Έντυπα καταγραφής δεδομένων

Η μετρήσεις καταγράφηκαν χειρόγραφα σε προσαρμοσμένα για την έρευνα έντυπα τα οποία δημιουργήθηκαν από τον συντάκτη σύμφωνα με τα πρότυπα έντυπα καταγραφής δεδομένων του Carmichael. Το πρώτο έντυπο δημιουργήθηκε για τις χρονομετρήσεις από σταθερό σημείο και περιείχε τις παρακάτω πληροφορίες:

- Αριθμός σελίδας (1, 2, 3..)
- Αριθμός φορτηγών σε χρήση (1, 2 ή 3)
- Ημερομηνία καταγραφής (ηη/μμ/εε)
- Καιρικές συνθήκες (ξηρές ή υγρές)
- Αρχή καταγραφής (ωω:λλ:δδ)
- Τέλος καταγραφής (ωω:λλ:δδ)
- Μηχάνημα φόρτωσης (π.χ. CAT790)
- Χειριστής μηχανήματος φόρτωσης
- Διεργασίες:
 - Άφιξη (ωω:λλ:δδ)
 - Αρχή μανούβρας (ωω:λλ:δδ)
 - Αρχή φόρτωσης (ωω:λλ:δδ)
 - Τέλος φόρτωσης (ωω:λλ:δδ)
 - Αριθμός κουβαδιών (1, 2, 3..)
 - Σχόλια – Παρατηρήσεις

Το δεύτερο έντυπο δημιουργήθηκε για τις ανάγκες της χρονομέτρησης του κύκλου των φορτηγών, με τον παρατηρητή να βρίσκεται μέσα στο φορτηγό και περιείχε τις παρακάτω πληροφορίες:

- Αριθμός σελίδας (1, 2, 3..)
- Φορτηγό σε χρήση (Λευκό ή Κόκκινο)
- Ημερομηνία καταγραφής (ηη/μμ/εε)
- Καιρικές συνθήκες (ξηρές ή υγρές)
- Αρχή καταγραφής (ωω:λλ:δδ)
- Τέλος καταγραφής (ωω:λλ:δδ)
- Μηχάνημα φόρτωσης (π.χ. CAT790)
- Χειριστής μηχανήματος φόρτωσης
- Αριθμός κύκλου (1, 2, 3..)
- Διεργασίες:
 - Άφιξη στη θέση φόρτωσης (ωω:λλ:δδ)
 - Αρχή μανούβρας (ωω:λλ:δδ)
 - Αρχή φόρτωσης (ωω:λλ:δδ)
 - Αρχή μεταφοράς έμφορτο (ωω:λλ:δδ)
 - Άφιξη στη θέση εκκένωσης (ωω:λλ:δδ)
 - Αρχή εκκένωσης (ωω:λλ:δδ)
 - Αρχή επιστροφής κενό (ωω:λλ:δδ)
 - Αριθμός κουβαδιών (1, 2, 3..)
 - Καθυστερήσεις - Σχόλια - Παρατηρήσεις

Οι παραπάνω πληροφορίες ήταν επαρκείς για τη συλλογή των απαραίτητων δεδομένων που χρειάστηκαν για τη διαδικασία της προσομοίωσης του συστήματος. Τα έντυπα παρουσιάζονται στο Παράρτημα 2.

3.3.5.c Σφάλμα

Στις μετρήσεις παρεμβλήθηκε η ανθρώπινη παρατήρηση και αντίδραση, επομένως είναι σημαντικό να επισημανθεί η επίπτωση του ανθρώπινου παράγοντα στις μετρήσεις, δηλαδή το σφάλμα που εμπεριέχεται σε αυτές.

Το σφάλμα στις χρονομετρήσεις που πραγματοποιούνται από ανθρώπους αποτελεί συχνή πρόκληση στον τομέα της έρευνας. Παρά τις προσπάθειες για ακρίβεια, η ανθρώπινη φύση περιλαμβάνει ποικίλους παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την

ακρίβεια των μετρήσεων, όπως η ανθρώπινη αντίληψη, η συγκέντρωση, η κούραση και οι προσωπικές διακυμάνσεις στον τρόπο που αντιλαμβάνονται το χρόνο. Το σφάλμα αυτό μπορεί να επηρεάσει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων και την ερμηνεία της έρευνας, και ως εκ τούτου, απαιτεί προσεκτική διαχείριση και έλεγχο κατά τη διάρκεια των χρονομετρήσεων. Στην περίπτωση της παρούσας μελέτης το ανθρώπινο σφάλμα λήφθηκε υπόψιν στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων, καθώς και στη σύνταξη των συμπερασμάτων.

3.3.6 Καταναλώσεις

Ένα από τα κύρια ζητήματα που αντιμετωπίζουν οι εταιρίες εξόρυξης είναι οι καταναλώσεις πρώτων υλών. Οι κύριες καταναλώσεις χωρίζονται σε αυτές που αφορούν στον μηχανολογικό εξοπλισμό, τα εκρηκτικά, και τον εξοπλισμό θραύσης κοσκίνισης.

Για την κίνηση του μηχανολογικού εξοπλισμού καταναλώνεται πετρέλαιο, με το οποίο ανεφοδιάζονται τα μηχανήματα εντός του λατομείου. Το πετρέλαιο αποτελεί μια από τις σημαντικότερες προμήθειες πρώτης ύλης για τις εκμεταλλεύτριες εταιρίες καθώς οι ανάγκες είναι συνεχείς και ο απαιτούμενος όγκος μεγάλος. Στη συνέχεια το τμήμα της θραύσης κοσκίνισης λειτουργεί με ηλεκτρική ενέργεια που προμηθεύεται η εκμεταλλεύτρια εταιρεία από τον πάροχό της. Η σημαντικότερη πηγή εξόδων για τις εκμεταλλεύτριες εταιρίες είναι η ηλεκτρική ενέργεια, καθώς υπάρχει συνεχής ανάγκη για ηλεκτρικό ρεύμα για τη λειτουργία του λατομείου. Άλλη πρώτη ύλη που είναι απαραίτητη για τη λειτουργία του λατομείου είναι οι εκρηκτικές ύλες. Η ποσότητα των εκρηκτικών υλών που χρειάζονται για την έκρηξη υπολογίζεται προτού αυτή πραγματοποιηθεί και προμηθεύεται την ημέρα αυτής από συνεργαζόμενο παραγωγό-προμηθευτή. Παράλληλα σημαντικές καταναλώσεις είναι αυτές των λιπαντικών ελαίων, ελαστικών, μεταφορικών ταινιών, κ.ά.. Οι συνολικές καταναλώσεις καταγράφονται καθημερινά και αποθηκεύονται στο αρχείο της εταιρείας.

3.3.7 Βλάβες

Η γεωμορφολογία του λατομείου, οι καιρικές συνθήκες, καθώς και οι συνθήκες εκμετάλλευσης και επεξεργασίας πετρωμάτων, επιβαρύνουν τον μηχανολογικό εξοπλισμό και τον εξοπλισμό της θραύσης - κοσκίνισης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να λαμβάνουν χώρα βλάβες οι οποίες είναι οι εξής:

Για τον μηχανολογικό εξοπλισμό:

- Αστοχία ελαστικών
- Φθορά δοντιών κάδου εκσκαφέα
- Φθορά σφύρας
- Μηχανικά προβλήματα
- Υδραυλικά προβλήματα

Για τον εξοπλισμό θραύσης - κοσκίνισης

- Αστοχία μεταφορικών ταινιών
- Φθορά ράουλων
- Φθορά τυμπάνων
- Φθορά θραυστήρα
- Φθορά κοσκίνων

Οι βλάβες του εξοπλισμού θραύσης - κοσκίνισης επιδιορθώνονται συνήθως επί τόπου στο πεδίο από εξειδικευμένα εξωτερικά συνεργεία ή για μικρότερες βλάβες από τον συντηρητή του λατομείου. Οι βλάβες του μηχανολογικού εξοπλισμού επιδιορθώνονται συνήθως στο συνεργείο του λατομείου, ενώ σε περίπτωση σοβαρής βλάβης μεταφέρονται σε εξωτερικό συνεργαζόμενο συνεργείο για επισκευή.

3.3.8 Σχέδιο ανατίναξης - Εκρηκτικές ύλες

Ο σχεδιασμός της ανατίναξης οργανώνεται από τον εργοδηγό του λατομείου σε συνεργασία με τον γομωτή - πυροδότη. Ορίζεται το μέτωπο όπου θα πραγματοποιηθεί η ανατίναξη, γίνονται οι απαραίτητες μετρήσεις, υπολογίζονται τα φορτία και δημιουργείται το τελικό σχέδιο. Εν συνέχεια ο γομωτής ξεκινάει τη διάτρηση με το διατρητικό μηχάνημα, ειδοποιεί τον εργοδηγό όταν ολοκληρώσει το προγραμματισμένο σχέδιο και έπειτα ο εργοδηγός παραγγέλλει τα εκρηκτικά για το πρωί της ημέρας της ανατίναξης. Εκείνη την ημέρα πραγματοποιείται η γόμωση, η συνδεσμολογία και στη συνέχεια η εκκένωση του τμήματος του λατομείου όπου θα πραγματοποιηθεί η έκρηξη. Αφού επαληθευτεί ότι δεν παραβρίσκεται κάποιος εντός του λατομείου, πραγματοποιείται η έναυση.

3.3.9 Κοκκομετρία

Η κοκκομετρία του υλικού προκύπτει από το σχέδιο ανατίναξης σύμφωνα με τα φορτία που ασκούνται στο πέτρωμα. Ο σωστός σχεδιασμός της ανατίναξης προκύπτει έπειτα από υπολογισμούς που πραγματοποιεί ο εργοδηγός με τον γομωτή – πυροδότη,

σύμφωνα με τα στοιχεία των εκρηκτικών που θα χρησιμοποιηθούν, καθώς και με τα χαρακτηριστικά του πετρώματος. Σημαντικό στοιχείο για μία επιτυχή ανατίναξη και μια ομοιόμορφη κοκκομετρία είναι η εμπειρία του κάθε εργαζόμενου, καθώς και ο συνδυασμός παρατήρησης και γνώσης. Στόχος μετά την έκρηξη είναι η κοκκομετρία να είναι ομοιόμορφη, χωρίς μεγάλους όγκους, χωρίς εξογκώματα στη βάση του μετώπου (ποδαρικά), και χωρίς πολλά λεπτομερή (άμμο).

3.3.10 Εσωτερικό Οδικό Δίκτυο

Το οδικό δίκτυο του λατομείου συνδέει το μέτωπο με τις υπόλοιπες υποδομές του λατομείου. Ο σχεδιασμός του καθώς και η συντήρηση του αποτελούν κρίσιμο στάδιο για τη βέλτιστη λειτουργία του λατομείου. Οι κλίσεις και οι αποστάσεις στο οδικό δίκτυο επηρεάζουν την παραγωγή, καθώς επιδρούν θετικά ή αρνητικά στην κίνηση του μηχανολογικού εξοπλισμού και άρα στον χρόνο του κύκλου παραγωγής.

3.3.10.a Κλίσεις

Στο οδικό δίκτυο του λατομείου οι κλίσεις έχουν περιοριστεί στο ελάχιστο δυνατό. Απότομες κλίσεις εμφανίζονται στο τμήμα του λατομείου κοντά στη θραύση – κοσκίνιση και πριν το μέτωπο εξόρυξης, ενώ στο μέτωπο οι κλίσεις είναι ομαλές με σκοπό ο χρόνος κύκλου των φορτηγών να είναι ο βέλτιστος δυνατός.

3.3.10.b Αποστάσεις

Οι συνολικές αποστάσεις στο λατομείου δεν ξεπερνούν τα 2.000 m, ενώ από το μέτωπο μέχρι τη θέση εκκένωσης του υλικού στον τροφοδότη τα φορτηγά διανύουν κατά μέσο όρο 900 μέτρα.

3.3.10.c Κατάσταση

Το οδικό δίκτυο του λατομείου διαβρέχεται καθημερινά τις άνομβρες ημέρες ενώ παράλληλα επεμβαίνουν φορτωτές για το στρώσιμο του δικτύου, καθώς και την απομάκρυνση οποιονδήποτε θραυσμάτων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το οδικό δίκτυο να βρίσκεται συνεχώς σε εξαιρετική κατάσταση και ο ρυθμός της παραγωγής να μην επηρεάζεται. Βέβαια υπάρχουν και ειδικές περιπτώσεις όπως η πραγματοποίηση κάποιου λανθασμένου χειρισμού στη φόρτωση, με αποτέλεσμα όγκοι υλικού να πέσουν στο δρόμο. Τότε ειδοποιούνται οι οδηγοί και οι χειριστές για να απομακρυνθεί το θραύσμα, ώστε να αποφευχθεί κάποιο ατύχημα

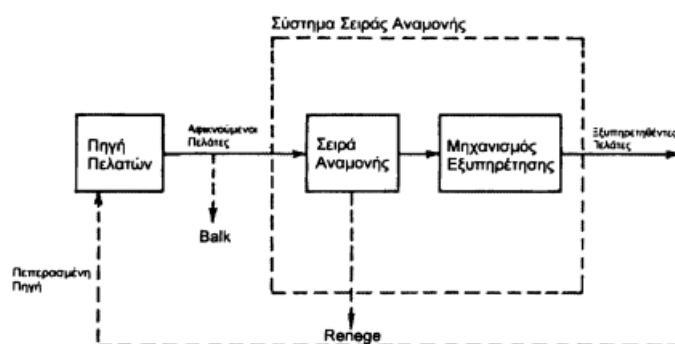
3.3.11 Καταγραφή σε βάση δεδομένων

Μετά την ολοκλήρωση της περιόδου χειρόγραφης καταγραφής των δεδομένων στα έντυπα που είχαν δημιουργηθεί, ακολούθησε η ψηφιοποίηση τους. Τα δεδομένα μεταφέρθηκαν στην εφαρμογή Microsoft Office Excel και κατηγοριοποιήθηκαν, αρχικά σύμφωνα με την ημερομηνία διεξαγωγής των χρονομετρήσεων και στη συνέχεια σύμφωνα με τη θέση παρατήρησης. Έπειτα συγκεντρώθηκαν σε ένα ενιαίο υπολογιστικό φύλλο Excel και πραγματοποιήθηκε η κατηγοριοποίηση τους που αναλύεται στις παρακάτω παραγράφους. Παράλληλα συγκεντρώθηκαν διάφορα επιπρόσθετα στοιχεία που αφορούσαν στη λειτουργία του λατομείου, όπως τα αρχεία καταγραφής βλαβών, οι καταναλώσεις πετρελαίων, μελέτες, κ.ά.

4. Θεωρία σειρών αναμονής

Για την καλύτερη κατανόηση των παρακάτω παραγράφων, καθώς και για την κατανόηση του συστήματος που αναλύεται στην παρούσα εργασία, δηλαδή του συστήματος ασυνεχούς εκμετάλλευσης, είναι σημαντικό να παρουσιαστεί η θεωρία σειρών αναμονής, καθώς η εμφάνιση της στο σύστημα είναι συνεχής.

Η θεωρία σειρών αναμονής αναπτύχθηκε την περίοδο 1908-1922 από τον A.K. Erlang και χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά ως μοντέλο σειρών αναμονής από τον E. Koenigsberg. Μέσω της θεωρίας σειρών αναμονής περιγράφεται ο στοχαστικός χαρακτήρας ενός συστήματος που εξυπηρετεί κάποια τρέχουσα ζήτηση. Πιο συγκεκριμένα μία σειρά ή ουρά είναι μία γραμμή αναμονής. Οι σειρές σχηματίζονται οποτεδήποτε η ζήτηση για εξυπηρέτηση ξεπερνά τη δυναμικότητα του συστήματος εξυπηρέτησης. Ένα σύστημα σειράς αναμονής αποτελείται από οντότητες («πελάτες») που εισέρχονται σε αυτό για να εξυπηρετηθούν, περιμένουν σε μία ουρά και αφού εξυπηρετηθούν εξέρχονται από το σύστημα. Η θεωρία των ουρών αναμονής χρησιμοποιεί ένα σύνολο μαθηματικών εκφράσεων, το οποίο βοηθά στην επίλυση προβλημάτων και φαινομένων συνωστισμού. Τα φαινόμενα αυτά μπορεί να προέρχονται από διάφορους τομείς της ανθρώπινης καθημερινότητας, π.χ. νοσοκομεία, δημόσιες υπηρεσίες, μεταφορά αγαθών, κινηματογράφοι, τράπεζες, κ.ά.



Εικόνα 5: Σύστημα σειράς αναμονής (Carmichael 1987)

Ο νόμος προτεραιότητας εξυπηρέτησης ορίζει τον τρόπο με τον οποίο οι πελάτες εξυπηρετούνται από τη σειρά αναμονής. Ο πιο κοινός νόμος είναι ο FCFS ή FIFO (First Come First Served ή First In First Out). Υπάρχουν ωστόσο και άλλοι νόμοι εξυπηρέτησης όπως ο LCFS (Last Come First Served) ή ο RSS (Random Selection for Service).

Ένα σύστημα μπορεί να έχει άπειρη χωρητικότητα, ή μπορεί να υπάρχει περιορισμός στον αριθμό πελατών που μπορούν να εξυπηρετηθούν/εισέλθουν στην σειρά. Ο μηχανισμός εξυπηρέτησης ορίζεται σύμφωνα με τον αριθμό των μονάδων εξυπηρέτησης και από τη διάταξή τους. Στην περίπτωση που οι μονάδες είναι περισσότερες από μια, τότε μπορούν να είναι παράλληλες, σε σειρά, σε κύκλο ή σε δίκτυο. Ειδική περίπτωση αποτελούν τα αυτοεξυπηρετούμενα συστήματα, όπου αποκλειστικά οι ενέργειες του πελάτη επηρεάζουν τη διάρκεια εξυπηρέτησης.

Ο βασικός συμβολισμός που περιγράφει μια διεργασία ουράς (queuing process) είναι ο συμβολισμός Kendall A/B/X/ Y/ Z, όπου A συμβολίζει τον χρόνο μεταξύ των αφίξεων στην ουρά, B συμβολίζει την κατανομή πιθανότητας που περιγράφει τον χρόνο εξυπηρέτησης, X είναι ο αριθμός των παράλληλων καναλιών εξυπηρέτησης, Y είναι ο περιορισμός στη χωρητικότητα του συστήματος και Z ο κανόνας της ουράς. Τα X και Y μπορούν να λάβουν οποιαδήποτε τιμή στο $[1, \infty)$, και τα A και B περιγράφονται από σύμβολα που παριστάνουν τις κατανομές πιθανότητας.

Μέσω της θεωρίας σειρών αναμονής μπορούν να μελετηθούν τρία χαρακτηριστικά ενός συστήματος (Gross and Harris 1998):

- Ο χρόνος αναμονής ενός πελάτη
- Ο τρόπος συσσώρευσης πελατών
- Ο βαθμός απασχόλησης των μονάδων εξυπηρέτησης.

Ο χρόνος αναμονής χωρίζεται σε δυο τύπους, στον χρόνο παραμονής στη σειρά αναμονής και στον χρόνο παραμονής στο σύστημα. Η επιλογή του κάθε τύπου εξαρτάται από το σύστημα που μελετάται. Παράλληλα ο τρόπος συσσώρευσης των πελατών χωρίζεται στον αριθμό των πελατών στη σειρά αναμονής και στον συνολικό αριθμό πελατών στο σύστημα, ενώ ο βαθμός απασχόλησης των μονάδων εξυπηρέτησης δίνεται ως ποσοστό του χρόνου που είναι ελεύθερη μια συγκεκριμένη μονάδα εξυπηρέτησης ή ως ποσοστό του χρόνου που συνολικά το σύστημα βρίσκεται άνευ πελατών.

Η εφαρμογή της θεωρίας σειρών αναμονής αποτελεί μια αξιόπιστη και γρήγορη μέθοδο, που προσδιορίζει τα μέτρα επίδοσης του συστήματος.

5. Προσομοίωση

5.1 Ορισμός

Τι είναι **προσομοίωση**;

Η **προσομοίωση** (simulation) αποτελεί μια πολύ διαδεδομένη τεχνική μελέτης και ανάλυσης της συμπεριφοράς πολύπλοκων συστημάτων. Πιο συγκεκριμένα **προσομοίωση** είναι η μίμηση με τη βοήθεια υπολογιστή της λειτουργίας ενός συστήματος ή της εξέλιξης μιας διαδικασίας ή φαινομένου στον χρόνο.

5.2 Ιστορική αναδρομή

Η μέθοδος της προσομοίωσης ως εργαλείο ανάλυσης και πειραματισμού χρησιμοποιήθηκε ευρύτατα από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα στη μηχανική και γενικότερα στις φυσικές επιστήμες με τη χρησιμοποίηση υποδειγμάτων για επίλυση επιστημονικών προβλημάτων, αν και υπήρχαν και παλαιότερες προσπάθειες για την εφαρμογή της.

5.3 Η μέθοδος Μόντε Κάρλο

Η μέθοδος Μόντε Κάρλο θεωρείται γενικά ότι προήλθε από το «πείραμα βελόνας» του Buffon το 1777. Το πείραμα ήταν η ρίψη βελόνων σε ένα επίπεδο με παράλληλες γραμμές προκειμένου να εκτιμηθεί η τιμή του π . Αυτή ήταν και η πιο πρόωμη τεκμηριωμένη χρήση τυχαίας δειγματοληψίας για την επίλυση ενός μαθηματικού προβλήματος. Το πείραμα με τη βελόνα του Buffon έγινε αρκετά γνωστό αφού αναφέρθηκε από τον Laplace το 1812, ενώ παράλληλα αρκετοί επιστήμονες προσπάθησαν να επαναλάβουν το πείραμά του κατά τα τέλη του 19ου αιώνα. Παράλληλα, κι άλλοι στατιστικολόγοι πειραματίζονταν με διαφορετικούς μηχανισμούς για τη δημιουργία τυχαίων αριθμών (π.χ. χρησιμοποιώντας κάρτες, ρουλέτα ή ζάρια) για να επαληθεύσουν εμπειρικά, μέσω κάποιου είδους στοχαστικής προσομοίωσης, περίπλοκες στατιστικές διαδικασίες.

Ένα άλλο παράδειγμα προσομοίωσης σε στατιστικούς υπολογισμούς συνέβη στις αρχές του εικοστού αιώνα, όταν ο William Gosset, γνωστός και ως "Student", δημοσίευσε τις διάσημες εργασίες του, όπου διερεύνησε την κατανομή της στατιστικής t και τον συντελεστή συσχέτισης.

Ο Leonard H. C. Tippett ήταν αυτός που επινόησε έναν τρόπο να σχεδιάζει συστηματικά τυχαίους αριθμούς για τα πειράματά του σε κατανομές ακραίων τιμών

και δημοσίευσε μια λίστα με τυχαία ψηφία που χρησιμοποιήθηκε από επόμενους ερευνητές. Ωστόσο, όλες αυτές οι προσεγγίσεις προηγήθηκαν της εμφάνισης των υπολογιστών και στόχευαν μόνο στην επίλυση κάποιου συγκεκριμένου προβλήματος, όχι στην παροχή κάποιας γενικής μεθόδου προσομοίωσης. Εξαιρεση αποτελεί η προσέγγιση του Galton, η οποία παρείχε έναν γενικό τρόπο σχεδίασης κανονικών τυχαίων μεταβλητών (random variables - RVs) για όλους τους τύπους εφαρμογών, αλλά απέτυχε να κερδίσει ευρεία αποδοχή.

Παρόλες τις πρώιμες απόπειρες εκτέλεσης στοχαστικής προσομοίωσης (γνωστή και ως στατιστική δειγματοληψία), η διαμόρφωση της μεθόδου Μόντε Κάρλο, όπως είναι γνωστή σήμερα, δεν συνέβη μέχρι και την κατασκευή των πρώτων υπολογιστών στη δεκαετία του 1940. Ο Stanislaw Ulam, ένας Πολωνός μαθηματικός που εργαζόταν στο Εθνικό Εργαστήριο του Λος Άλαμος, επινόησε τη μέθοδο Μόντε Κάρλο ενώ ανάρρωνε από μια ασθένεια το 1946. Έπαιζε πασιέντζα και προσπαθούσε να υπολογίσει την πιθανότητα επιτυχίας (ένα δύσκολο συνδυαστικό πρόβλημα) όταν συνειδητοποίησε ότι ένας ευκολότερος τρόπος για να ολοκληρώσει αυτό το έργο (τουλάχιστον με κατά προσέγγιση τρόπο) θα ήταν να παίζει έναν ορισμένο αριθμό «χεριών» και να υπολογίσει την εμπειρική πιθανότητα επιτυχίας (empirical success probability). Κατά την επιστροφή του στο Los Alamos, έμαθε για τους νέους υπολογιστές που κατασκευάζονταν από τον στενό του φίλο John von Neumann, σύμβουλο τόσο στο Los Alamos όσο και στο Εργαστήριο Βαλλιστικής Έρευνας (όπου αναπτύσσονταν ο πρώτος υπολογιστής, ο ENIAC) και συζήτησε τη δυνατότητα ανάπτυξης μιας εφαρμογής της ιδέας του μέσω υπολογιστή για την επίλυση δύσκολων προβλημάτων στη στατιστική φυσική. Ο von Neumann αναγνώρισε αμέσως τη σημαντικότητα της ιδέας του Ulam και σύνταξε σε μια επιστολή το 1947 προς τον Robert Richtmyer (επικεφαλής του Θεωρητικού Τμήματος στο Los Alamos) μια προσέγγιση για την επίλυση προβλημάτων διάχυσης/πολλαπλασιασμού νετρονίων μέσω στατιστικής δειγματοληψίας σε έναν υπολογιστή. Στη συνέχεια, η μέθοδος δοκιμάστηκε με επιτυχία σε 9 προβλήματα μεταφοράς νετρονίων χρησιμοποιώντας τον ENIAC. Τότε ο Nicholas Metropolis, συνάδελφος των δύο, επινόησε το όνομα «Monte Carlo», από το καζίνο Monte Carlo στο Μονακό, εμπνευσμένο από έναν θείο του Stan Ulam που δανειζόταν χρήματα από συγγενείς για να παίζει. Η θεμελιώδης εργασία για τη μέθοδο Μόντε Κάρλο δημοσιεύθηκε στη συνέχεια το 1949, παράλληλα αναπτύχθηκαν πιο ισχυροί υπολογιστές, όπως ο MANIAC στο Los Alamos, και πολλοί φυσικοί άρχισαν να

χρησιμοποιούν μεθόδους Μόντε Κάρλο σε υπολογιστή για να βρουν λύσεις κατά προσέγγιση στα προβλήματα τους. Οι μέθοδοι Μόντε Κάρλο απαιτούσαν εκτεταμένη προσφορά τυχαίων αριθμών και η ανάπτυξη των βασικών γεννητριών τυχαίων αριθμών που απαιτούνται από τις μεθόδους Μόντε Κάρλο ξεκίνησε επίσης κατά τη διάρκεια αυτών των ετών.

Η ανάπτυξη των ψηφιακών ηλεκτρονικών υπολογιστών από τα μέσα της δεκαετίας του 1950 (IBM) με τη χρήση αντίστοιχων προγραμμάτων που αναπτύχθηκαν (SIMSCRIPT 1, 1.5, II) μετέτρεψε την τεχνική της προσομοίωσης σε ένα σημαντικό εργαλείο ανάλυσης επιχειρηματικών και οικονομικών προβλημάτων. Την περίοδο 1970-1981 υπήρξε μια σημαντική ανάπτυξη βελτιωμένων εργαλείων μοντελοποίησης και αναλυτικών εργαλείων όπως οι γλώσσες μοντελοποίησης συστημάτων διακριτών γεγονότων π.χ. η GASP IV από τους Pritsker και Hurst, η SIMSCRIPT II.5 από τους Kiviat, Villanueva και Markowitz, η SLAM από τον Pritsker και τον Pegden, η SIMAN από τον Pegden, κ.ά.. Στη σημερινή εποχή, το υψηλό τεχνολογικό επίπεδο των ηλεκτρονικών υπολογιστών σε συνδυασμό με τον υψηλό βαθμό εξειδίκευσης των στελεχών, έχουν καταστήσει την προσομοίωση σημαντικό εργαλείο ανάλυσης και επίλυσης σε ένα ευρύτατο πεδίο εφαρμογών. Περίπλοκα συστήματα ουρών, ελέγχου αποθεμάτων, σύνθετα συστήματα στρατηγικής αναγόμενα στη θεωρία παιγνίων, γενικευμένα συστήματα αξιοπιστίας συστημάτων, καθώς και μια σειρά άλλων εφαρμογών, αναλύονται και βελτιώνονται χρησιμοποιώντας τεχνικές προσομοίωσης

5.4 Λόγοι εφαρμογής προσομοίωσης

Η προσομοίωση εμφανίζεται ως η μέθοδος με τα λιγότερα απαραίτητα μέσα για την ανάλυση και αποτύπωση ενός συστήματος, καθώς και την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για αυτά. Άλλοι θετικοί λόγοι για τη χρήση της προσομοίωσης στην αντιμετώπιση προβληματικών καταστάσεων σε συστήματα ανθρώπινων δραστηριοτήτων είναι:

- *Η προσομοίωση αντικαθιστά την πειραματική προσέγγιση.*

Τα πειράματα πραγματοποιούνται με ελάχιστο κόστος, ταχύτητα και με ασφάλεια, ακόμα και σε σενάρια που δεν ήταν άμεσα εφικτά. Πειραματισμός με τη βοήθεια των Η/Υ σημαίνει ταυτόχρονη εξασφάλιση χαμηλού κόστους και ασφάλειας.

- *Η προσομοίωση αντιμετωπίζει το πρόβλημα της αδυναμίας της πρόσβασης στο σύστημα.*

Η προσομοίωση κάνει δυνατή τη μελέτη και τον πειραματισμό σε περίπλοκες προβληματικές καταστάσεις σε συστήματα όπου η πρόσβαση είναι αδύνατη ή επικίνδυνη. Κατασκευάζοντας ένα μοντέλο προσομοίωσης μπορεί να μελετηθεί το σύστημα χωρίς να κινδυνεύσει ο μελετητής ή το σύστημα.

- *Η προσομοίωση οδηγεί στην καλύτερη κατανόηση του συστήματος.*

Μια λεπτομερής παρατήρηση του συστήματος του οποίου γίνεται η προσομοίωση, μέσα από τη διαδικασία ανάπτυξη του μοντέλου προσομοίωσης, μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερη κατανόηση του συστήματος, και σε προτάσεις βελτίωσής του.

- *Η προσομοίωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εκπαιδευτικός μηχανισμός.*

Με την ανάπτυξη μοντέλων προσομοίωσης είναι δυνατόν να εκπαιδευτούν χειριστές χωρίς τον κίνδυνο καταστροφών από λάθος των εκπαιδευόμενων. Επίσης είναι δυνατό να εκπαιδευτούν οι χειριστές ενός συστήματος, το οποίο ακόμη δεν έχει κατασκευασθεί και είναι σε αρχικό στάδιο.

- *Η προσομοίωση αποτελεί εργαλείο πρόβλεψης.*

Πολλά συστήματα μεταβάλλονται με αργό ρυθμό με αποτέλεσμα να είναι αδύνατη η πρόβλεψη της συμπεριφοράς τους για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Κατασκευάζοντας και υλοποιώντας ένα μοντέλο προσομοίωσης σε Η/Υ είναι δυνατή η επιτάχυνση χρονοβόρων διαδικασιών, ώστε να προβλεφθεί η μελλοντική συμπεριφορά του πραγματικού συστήματος για μεγάλο χρονικό διάστημα.

- *Η προσομοίωση επιτρέπει τον έλεγχο αλλαγών σε ένα σύστημα με το ελάχιστο κόστος.*

Με την κατασκευή ενός μοντέλου προσομοίωσης είναι δυνατό να ελεγχθεί η συμπεριφορά του συστήματος για διάφορες τιμές των μεταβλητών και των παραμέτρων του με ελάχιστο κόστος. Μελετώντας το μοντέλο προσομοίωσης διαπιστώνεται ο αποδοτικότερος συνδυασμός μεταβλητών και παραμέτρων, που στη συνέχεια μπορούν να εφαρμοστούν στο πραγματικό σύστημα.

5.5 Μειονεκτήματα της προσομοίωσης

Η επιλογή της προσομοίωσης ως μέθοδος εκτίμησης παρουσιάζει και ορισμένα αρνητικά χαρακτηριστικά. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζεται:

- *Μεγάλος όγκος δεδομένων*
Τα περισσότερα μοντέλα προσομοίωσης απαιτούν σημαντική ποσότητα δεδομένων. Αυτά δεν είναι πάντα άμεσα διαθέσιμα, ενώ στην πορεία η επεξεργασία των δεδομένων μπορεί να είναι χρονοβόρα.
- *Ανάγκη για εξειδίκευση*
Η μοντελοποίηση με προσομοίωση απαιτεί δεξιότητες, ειδικά στη χρήση και λειτουργία των σχετικών εφαρμογών. Αυτή η απαίτηση τεχνογνωσίας οδηγεί τις εταιρείες σε εξωτερικούς συνεργάτες, οι οποίοι μπορεί να κοστίσουν αρκετά χρήματα.
- *Υπερβολική αυτοπεποίθηση*
Η προσομοίωση είναι μια προσεγγιστική αναπαράσταση της πραγματικότητας και όχι η ίδια η πραγματικότητα. Επομένως κατά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων από μια προσομοίωση, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η εγκυρότητα του υποκείμενου μοντέλου και οι παραδοχές και οι απλοποιήσεις που έχουν γίνει.

5.6 Εφαρμογές της προσομοίωσης

Η προσομοίωση έχει χρησιμοποιηθεί σε ευρύ πεδίο δραστηριοτήτων, μερικές από τις οποίες αναφέρονται ενδεικτικά στις επόμενες παραγράφους.

- *Επικοινωνίες*
Η εφαρμογή της προσομοίωσης είναι ιδιαίτερα ζωτική στον χώρο των επικοινωνιών. Τοπικά δίκτυα υπολογιστών και δίκτυα ευρείας ζώνης, τηλεφωνικά συστήματα, εθνικά και διηπειρωτικά συστήματα δορυφορικών επικοινωνιών, δίκτυα καλωδιακής τηλεόρασης και συστήματα κινητής τηλεφωνίας είναι μερικά από τα παραδείγματα πολύπλοκων συστημάτων που απαιτούν τη συμβολή της προσομοίωσης με υπολογιστή για αποδοτική σχεδίαση και λειτουργία.
- *Οικονομία*
Πολλαπλές είναι οι εφαρμογές της προσομοίωσης σε τράπεζες, εταιρείες ασφαλειών και προστασίας. Μερικές από τις δραστηριότητες που μπορούν να εκτιμηθούν με την προσομοίωση είναι: η ανάλυση των συναλλαγών και της ροής χρημάτων, ο σχεδιασμός συστημάτων γραφείων, ο προγραμματισμός υλικών και προμηθειών, ο σχεδιασμός επεξεργασίας δεδομένων και δικτύων

υπολογιστών, ο σχεδιασμός αυτόματων ταμειακών μηχανών και συστημάτων εξυπηρέτησης.

- *Υπηρεσίες τροφίμων*

Συστήματα όπως διάφορα είδη εστιατορίων και συστήματα αποθήκευσης τροφίμων μπορούν να γίνουν αντικείμενα μελετών προσομοίωσης με σκοπούς όπως η διαχείριση της αποθήκης των υλικών και ο σχεδιασμός προμηθειών, ο σχεδιασμός διανομής, η επιλογή θέσεων και ο σχεδιασμός εργατικού δυναμικού.

- *Υγεία*

Νοσοκομεία, μονάδες εντατικής θεραπείας, ιατρεία, οδοντιατρεία και παραϊατρικά γραφεία μελετώνται συχνά μέσω της προσομοίωσης για τον καθορισμό των βαρδιών του προσωπικού, τις πολιτικές για τη διαχείριση των αποθεμάτων φαρμάκων και τροφίμων και τα σχέδια τα σχετικά με τη διαθεσιμότητα σε πόρους όπως κρεβάτια, χώρους αναμονής, χειρουργεία, εξοπλισμούς εργαστηρίων και ασθενοφόρα. Επιπλέον, μελέτες επιδημιών όπως οι προβλεπόμενοι ρυθμοί εξάπλωσης μιας ασθένειας ή ανάλυση εναλλακτικών πολιτικών ελέγχου ασθενειών, θεωρούνται ως εργασίες ρουτίνας για την προσομοίωση.

- *Μονάδες φιλοξενίας*

Συστήματα όπως ξενοδοχεία, πανδοχεία και θέρετρα μπορούν να μελετηθούν με χρήση προσομοίωσης για να καθοριστούν παράγοντες όπως: κατάλληλες δυναμικότητες, περιοχές, πολιτικές διαχείρισης αποθηκών και πόρων, μέθοδοι σχεδιασμού και προγραμματισμού ανθρώπινου δυναμικού και συστήματα κρατήσεων.

- *Μεταφορές*

Εδώ τα συστήματα περιέχουν έναν ή περισσότερους τύπους οχημάτων (π.χ. ταξί, λεωφορεία, τρένα αεροπλάνα, πλοία), επιβάτες, φορτία και διαδρομές μεταφοράς. Η μελέτη προσομοίωσης μπορεί να έχει ως στόχο της τον καθορισμό της χωρητικότητας των οχημάτων, το εργατικό δυναμικό (οδηγούς, προσωπικό συντήρησης κ.λπ.), το σχεδιασμό αποθεμάτων ανταλλακτικών, το σχεδιασμό συντήρησης, τη δρομολόγηση των οχημάτων, το σχεδιασμό λεωφόρων, το σχεδιασμό συστημάτων ελέγχου κίνησης αέρα και εδάφους και το σχεδιασμό των δομών και των χώρων στάθμευσης.

- *Πρόγνωση καιρού, περιβάλλον και οικολογία*

Η πρόγνωση του καιρού είναι αλληλένδετη με την προσομοίωση, καθώς δίχως αυτή θα ήταν αδύνατη. Μεγάλος αριθμός μεταβλητών εξετάζονται από προγράμματα προσομοίωσης, που συνήθως εκτελούνται σε υπερ-υπολογιστές, για την πρόβλεψη τοπικών και παγκόσμιων καιρικών συνθηκών σε διάφορες χρονικές στιγμές. Οι μελέτες που αφορούν τον έλεγχο της ρύπανσης, στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, τους πληθυσμούς των εντόμων και άλλα περιβαλλοντικά και οικολογικά ζητήματα πραγματοποιούνται επίσης με χρήση προσομοίωσης με υπολογιστή.

Σημαντική ενότητα της εφαρμογής της προσομοίωσης αποτελούν τα συστήματα παραγωγής και κατασκευών. Ορισμένα τυπικά συστήματα στην ενότητα αυτή και οι αντίστοιχοι στόχοι για μελέτες προσομοίωσης είναι οι ακόλουθοι:

- *Εκμετάλλευση φυσικών πόρων*

Βιομηχανικές μονάδες στον τομέα των ορυχείων, της υλοτομίας, της άντλησης υδάτων και της αλιείας χρησιμοποιούν προσομοίωση με υπολογιστή στη σχεδίαση σχετικών δραστηριοτήτων και τη δημιουργία πολιτικών για έγκαιρη προκήρυξη διαγωνισμών για την αγορά ακριβών μέσων όπως μεγάλων τρακτέρ, φορτωτών, εκσκαφών, ανυψωτών, γερανών, μεταφορέων, προωθητών γαιών και πλοίων.

- *Παραγωγή ενέργειας*

Τα συστήματα παραγωγής ενέργειας τα οποία βασίζονται σε πηγές όπως ο ατμός, τα καύσιμα, το νερό, τα πυρηνικά υλικά, ο ήλιος ή ο άνεμος συνήθως προσομοιώνονται για το σχεδιασμό συστημάτων δυναμικότητας, σύνθεση και διανομής και για την ανάλυση και το σχεδιασμό λειτουργικών συστημάτων σχετικά με τον προγραμματισμό ρυθμών παραγωγής, το προγραμματισμό διανομής, το σχεδιασμό συστημάτων ελέγχου, το σχεδιασμό συστημάτων ασφάλειας και αξιοπιστίας, τον προγραμματισμό συντήρησης και τον έλεγχο των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

- *Βιομηχανίες*

Κάθε είδος βιομηχανίας, συμπεριλαμβανομένων των εργοστασίων επεξεργασίας χημικών, των αυτοκινητοβιομηχανιών, των βιομηχανιών κατασκευής αεροπλάνων, μηχανημάτων, ηλεκτρονικών συσκευών κ.λπ. χρησιμοποιεί εκτεταμένα την προσομοίωση σε εφαρμογές όπως ο στρατηγικός

σχεδιασμός, η μέση παραγωγική ικανότητα και ο σχεδιασμός παραγωγής, η μελέτη κατασκευής εργοστασίου, ο σχεδιασμός πολιτικής επιλογής εξοπλισμού, αντικατάστασης και συντήρησης, ελέγχου και προγραμματισμού αποθεμάτων, προγραμματισμού παραγωγής, αποθήκευσης και διαχείρισης υλικών, βελτίωσης γραμμής παραγωγής και πολλά άλλα ζητήματα που σχετίζονται με το σχεδιασμό, την κατασκευή, τη συναρμολόγηση, τον έλεγχο ποιότητας, την αποθήκευση και τη διανομή. Η ζήτηση των μελετών προσομοίωσης στα βιομηχανικά συστήματα αυξάνεται συνέχεια. Κατά συνέπεια υπάρχει ήδη ένας σημαντικός αριθμός εργαλείων προσομοίωσης ειδικού σκοπού, που προσφέρονται ως εμπορικά προϊόντα για σχεδιασμό και ανάλυση βιομηχανικών συστημάτων.

5.7 Μελλοντικές χρήσεις προσομοίωσης

Η χρήση της προσομοίωσης με Η/Υ αναμένεται να αυξηθεί με γοργούς ρυθμούς στο άμεσο μέλλον. Η κινητήρια δύναμη αυτής της ανάπτυξης μπορεί να αναζητηθεί στους ακόλουθους παράγοντες:

1. Ο βαθμός της πολυπλοκότητας των φυσικών, βιολογικών, κοινωνικο-τεχνικών και κοινωνικο-οικονομικών συστημάτων που μελετώνται από τους σημερινούς σχεδιαστές και αναλυτές συστημάτων απαγορεύει τη χρήση των κλασικών ή ακόμα και των σύγχρονων μαθηματικών εργαλείων στην πλειονότητα των πραγματικών μελετών.
2. Οι συνεχώς αυξανόμενες δυνατότητες των υπολογιστών, οι οποίοι επιτυγχάνουν εξαιρετικά υψηλότερες αποδόσεις, επιτρέπουν την προσομοίωση συστημάτων ευρείας κλίμακας, ενώ η ταχύτητα επεξεργασίας προσφέρει έγκαιρη παραγωγή πληροφοριών. Οι ισχυροί μικροϋπολογιστές, χαμηλού κόστους, εξασφαλίζουν στις μικρές επιχειρήσεις πρόσβαση στις δυνατότητες που προσφέρει η προσομοίωση.
3. Η εξέλιξη του υπάρχοντος λογισμικού για μοντελοποίηση, το οποίο προσφέρει νέες δυνατότητες, και η παραγωγή νέων εργαλείων λογισμικού που περιλαμβάνουν πιο εύκολες και πιο προηγμένες τεχνικές για το περιβάλλον επικοινωνίας με το χρήστη, προσφέρουν στον τελευταίο το αναγκαίο τεχνικό υπόβαθρο και τις προγραμματιστικές δυνατότητες ώστε να χρησιμοποιήσει την προσομοίωση.

4. Η αυξανόμενη αναγνώριση των πλεονεκτημάτων της προσομοίωσης από τους διευθυντές διάφορων οργανισμών και έργων και η δυνατότητα χρήσης σύγχρονων εργαλείων προσομοίωσης και ισχυρών χαμηλού κόστους υπολογιστών, θα οδηγήσει σε επέκταση της χρήσης της προσομοίωσης σε διάφορες δραστηριότητες λήψης αποφάσεων, οι οποίες μέχρι τώρα βασιζόνταν στη διαίσθηση.

5.8 Χρήσιμοι ορισμοί στην προσομοίωση

Τι είναι **διαδικασία ή σύστημα**;

Διαδικασία ή σύστημα είναι ένα σύνολο στοιχείων που εξελίσσονται και αλληλοεπιδρούν σύμφωνα με κάποιους κανόνες

Τι είναι τα **στοιχεία**;

Τα **στοιχεία** αποτελούνται από οντότητες, χαρακτηριστικά και δραστηριότητες.

Οντότητα είναι κάθε αντικείμενο του συστήματος που ενδιαφέρει τη μελέτη.

Χαρακτηριστικά είναι οι ιδιότητες των οντοτήτων και **δραστηριότητα** είναι η κάθε διεργασία που προκαλεί αλλαγές στο σύστημα.

Τι είναι **κατάσταση του συστήματος**;

Κατάσταση του συστήματος είναι η συνολική περιγραφή των οντοτήτων, χαρακτηριστικών και δραστηριοτήτων σε μια δεδομένη χρονική στιγμή. Η κατάσταση ενός συστήματος εξαρτάται δυνητικά από δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα μέσα στο σύστημα (ενδογενείς δραστηριότητες), αλλά και από δραστηριότητες εκτός του συστήματος (εξωγενείς δραστηριότητες).

5.8.1 Κατηγορίες συστημάτων

Τα συστήματα διακρίνονται σε δυναμικά και στατικά, σύμφωνα με το αν παρουσιάζουν εξέλιξη στο χρόνο. Δυναμικά είναι τα συστήματα των οποίων η κατάσταση είναι συνάρτηση του χρόνου. Διακρίνονται σε συστήματα διακριτού χρόνου, συνεχούς χρόνου και υβριδικά συστήματα. Στατικά είναι τα συστήματα τα οποία δεν εμφανίζουν εξέλιξη – δεν μεταβάλλονται – με την πάροδο του χρόνου. Παράλληλα, τα συστήματα διακρίνονται σε στοχαστικά και αιτιοκρατικά. Στοχαστικά ονομάζονται τα συστήματα όταν οι εξωγενείς παράγοντες ακολουθούν τυχαίες μεταβλητές, ενώ αιτιοκρατικά όταν οι εξωγενείς μεταβλητές είναι γνωστές κάθε χρονική στιγμή και άρα οι ενδογενείς προσδιορίζονται επακριβώς.

5.8.2 Συστήματα διακριτού χρόνου

Στα διακριτά συστήματα, η κατάσταση αλλάζει μόνο σε διακριτά χρονικά σημεία, που σηματοδοτούν την πραγματοποίηση ενός γεγονότος. Μεταξύ δυο τέτοιων διαδοχικών χρονικών σημείων, θεωρείται ότι η κατάσταση του συστήματος παραμένει σταθερή. (Seila et al., 2003). Η παρούσα διπλωματική ασχολείται με ένα τέτοιο σύστημα.

5.8.3 Τυχαίοι αριθμοί

Σε κάθε προσομοίωση η παραγωγή μιας ακολουθίας από φαινομενικά τυχαίους αριθμούς είναι βασικό στοιχείο. Ο ιδανικότερος τρόπος για την παραγωγή τυχαίων αριθμών είναι η χρήση μιας τυχαίας διαδικασίας π.χ. η ρίψη ενός ζαριού ή τα αποτελέσματα του Λόττο. Βέβαια ο τρόπος αυτός δεν είναι ιδιαίτερα αποδοτικός. Σήμερα η δημιουργία (ψευδό-)τυχαίων αριθμών πραγματοποιείται μέσω Η/Υ. Στην προσομοίωση διακριτών γεγονότων χρησιμοποιείται ακολουθία τυχαίων αριθμών στην περίπτωση που απαιτείται η δημιουργία στοχαστικών μεταβλητών και παραμέτρων σε κατάλληλες διακριτές στιγμές κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Μια ακολουθία από αριθμούς που παράγονται από κάποια πηγή θεωρείται τυχαία όταν ικανοποιούνται οι εξής δύο βασικές ιδιότητες:

1. Όλοι οι αριθμοί της ακολουθίας να είναι ομοιόμορφα κατανεμημένοι στο πεδίο ορισμού τους και
2. Οι παραγόμενοι αριθμοί να είναι στατιστικά ανεξάρτητοι.

Για την πρώτη ιδιότητα, η ακολουθία των αριθμών που παράγεται από πηγή δίνει τη δυνατότητα σε κάθε νέο αριθμό να έχει την ίδια πιθανότητα οποιασδήποτε τιμής μέσα στο πεδίο ορισμού της ακολουθίας. Για τη δεύτερη ιδιότητα, κάθε παραγόμενος αριθμός είναι στατιστικά ανεξάρτητος από τους άλλους αριθμούς της ακολουθίας που έχουν ήδη εμφανιστεί και δεν επηρεάζει τη σειρά εμφάνισης των επομένων αριθμών.

5.8.4 Γεννήτριες τυχαίων αριθμών

Παραδείγματα μεθόδων δημιουργίας τυχαίων αριθμών είναι γνωστά από την αρχαιότητα ακόμα, όπως το ρίξιμο ζαριών, το μοίρασμα χαρτιών, η λοταρία κ.λπ. Πολλές από τις μεθόδους αυτές χρησιμοποιούνται ακόμα και σήμερα είτε σε τυχερά παιχνίδια, είτε σε κληρώσεις. Η πιο συνηθισμένη μέθοδος στις κληρώσεις είναι η τυχαία επιλογή μιας αριθμημένης σφαίρας μέσα από ένα καλά ανακατεμένο δοχείο. Η ρουλέτα είναι επίσης ένα κλασικό παράδειγμα δημιουργίας τυχαίων αριθμών. Άλλη μέθοδος παραγωγής τυχαίων αριθμών με ηλεκτρονικά μέσα κάνει χρήση παλλόμενων

ηλεκτρονικών λυχνιών για τη δημιουργία τυχαίων αριθμών με βάση τους παλμούς που δημιουργούνται σε ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα.

5.8.5 Ψευδοτυχαίοι αριθμοί

Τη σημερινή εποχή χρησιμοποιούνται αποκλειστικά οι Η/Υ για τη δημιουργία τυχαίων αριθμών. Ο συνηθέστερος τρόπος παραγωγής είναι η χρήση μιας επαναληπτικής διαδικασίας, καθώς πλεονεκτεί στην απασχόληση ελάχιστου τμήματος της μνήμης του υπολογιστή και στη δυνατότητα του να παράγει τυχαίους αριθμούς με μεγάλη ταχύτητα. Παράλληλα η χρήση Η/Υ πλεονεκτεί στη δυνατότητα που κατέχει για επανάληψη μιας σειράς τυχαίων αριθμών. Οι τυχαίοι αριθμοί που παράγονται από ένα ηλεκτρονικό υπολογιστή ονομάζονται ψευδοτυχαίοι, επειδή έχουν το μειονέκτημα σε κάποιο σημείο να κλείνει ο κύκλος παραγωγής τους και να επανεμφανίζονται σε δεύτερο κύκλο με την ίδια ακριβώς σειρά όπως στον πρώτο. Βέβαια αυτό δεν επηρεάζει την εγκυρότητα της προσομοίωσης καθώς ο κύκλος είναι αρκετά μεγάλος και δεν εξαντλείται πριν τον τερματισμό της προσομοίωσης. Μία γεννήτρια ψευδοτυχαίων αριθμών θα πρέπει να ικανοποιεί τις παρακάτω ιδιότητες:

- Ανεξαρτησία μεταξύ των παραγόμενων αριθμών.
Ιδανικά δεν θα πρέπει να υπάρχει συσχέτιση μεταξύ τους. Δηλαδή, για κάποιον που δεν γνωρίζει τον αλγόριθμο της επαναληπτικής διαδικασίας, οι αριθμοί που παράγονται θα πρέπει να είναι τυχαίοι.
- Ταχύτητα και ανάγκη για μικρή υπολογιστική μνήμη.
- Μεγάλο κύκλο επανάληψης (περίοδος) των παραγόμενων αριθμών.
- Δυνατότητα αναπαραγωγής της ίδιας ακολουθίας αριθμών, με σκοπό κατά τη διάρκεια της επανάληψης της προσομοίωσης του μοντέλου διαφορετικών σεναρίων, να πραγματοποιούνται στις ίδιες συνθήκες

5.9 Βασικές έννοιες στην προσομοίωση

- *Μέγιστος χρόνος αναμονής στην ουρά* (maximum waiting time in queue). Πρόκειται για ένα μέτρο που δίνει πληροφορία για τη δυσμενέστερη περίπτωση και η γνώση του είναι απαραίτητη για την εκτίμηση του επιπέδου εξυπηρέτησης.
- *Ο μέσος αριθμός προϊόντων που περιμένουν στην ουρά.* (the time – average number of parts waiting in the queue).

Το συγκεκριμένο μέτρο δηλώνει το μέσο μήκος της ουράς που ενδεχομένως ενδιαφέρει για τον καθορισμό του απαραίτητου χώρου.

- *Ο μέγιστος αριθμός προϊόντων που περίμεναν στην ουρά.* (the maximum number of parts that were ever waiting in the queue).

Στη πράξη η τιμή του μεγέθους αυτού δίνει καλύτερη πληροφόρηση για το πόσος χώρος χρειάζεται παρά ο μέσος αριθμός προϊόντων που περιμένουν στην ουρά.

- *Ο μέσος και ο μέγιστος χρόνος παραμονής στο σύστημα* (average and maximum flow time).

Επίσης συναντάται και ως lead time ή cycle time και καταγράφει το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί από τη στιγμή που ένα προϊόν μπαίνει στο σύστημα μέχρι τη στιγμή που εξέρχεται. Αποτελείται από τον χρόνο αναμονής και τον χρόνο εξυπηρέτησης κάθε μονάδα προϊόντος

- *Ο βαθμός χρήσης (utilization) της μηχανής* (ή του εξυπηρετητή).

Δηλώνει το τμήμα του χρόνου που η μηχανή ήταν απασχολημένη κατά τη διάρκεια του χρόνου προσομοίωσης. Το μέγεθος του βαθμού χρησιμοποίησης είναι άμεσου ενδιαφέροντος σε πολλές προσομοιώσεις. Δεν είναι εύκολο να προσδιορισθεί πάντοτε ποια είναι η καλύτερη τιμή αυτού του μεγέθους δηλαδή αν πρέπει να είναι υψηλή κοντά στο 1 ή χαμηλή πλησίον του 0. Η υψηλή τιμή δηλώνει μικρή αχρησιμοποίητη παραγωγική ικανότητα, αλλά από την άλλη μεριά μπορεί να δηλώνει υψηλό βαθμό συσσώρευσης, δηλαδή μεγάλες ουρές και μικρό ρυθμό εξόδου.

Τι είναι μοντέλο;

Μοντέλο είναι μία αναπαράσταση ενός φυσικού συστήματος ή οργανισμού ή φυσικού φαινομένου ή ακόμη και μιας ιδέας. Ένας δεύτερος ορισμός είναι πως, μοντέλο είναι το σύνολο των πληροφοριών ενός συστήματος, που έχει συγκεντρωθεί με σκοπό τη μελέτη του συστήματος.

Ένα μοντέλο δημιουργείται με σκοπό να αντιπροσωπεύει το σύστημα πιστά με σκοπό τα συμπεράσματα που θα εξαχθούν από τη μελέτη του να αντιστοιχούν σε συμπεράσματα για το σύστημα καθαυτό. Σημαντικό στάδιο στην ανάπτυξη του μοντέλου είναι η επιλογή των κατάλληλων παραμέτρων, οι οποίες καθορίζουν τα χαρακτηριστικά ή τις ιδιότητες του μοντέλου και του συστήματος.

5.10 Ανάπτυξη μοντέλων προσομοίωσης

Η ανάπτυξη του μοντέλου αποτελεί μια πολύπλοκη διαδικασία και ένα στάδιο στο οποίο χρειάζεται αρκετή οργάνωση των δεδομένων έτσι ώστε να αποτυπωθεί ορθά το σύστημα. Το μοντέλο θα πρέπει να είναι ταυτόχρονο απλό, για την κατασκευή του και τη μελέτη του, καθώς και επαρκώς πολύπλοκο ώστε να αντιπροσωπεύει πιστά το σύστημα. Πριν ξεκινήσει η ανάπτυξη του μοντέλου είναι αναγκαίο να ληφθούν υπόψη τα βασικά στοιχεία του συστήματος. Για να συμβεί αυτό πραγματοποιείται η μελέτη της φύσης του μοντέλου και του συστήματος, δηλαδή καθορίζεται ο στόχος της μελέτης και το μέγεθος της λεπτομέρειας που θα συμπεριληφθεί.

5.11 Στοιχεία ενός μοντέλου προσομοίωσης

5.11.1 Οντότητες (entities)

Στα μοντέλα προσομοίωσης διακριτών γεγονότων οι μονάδες κίνησης στο σύστημα καλούνται “οντότητες” (entities). Οι οντότητες κινούνται, αλλάζουν καταστάσεις, επηρεάζουν και επηρεάζονται από άλλες οντότητες και από τις καταστάσεις του συστήματος και επιδρούν στην έξοδο του συστήματος (στα μέτρα επίδοσης). Οι οντότητες αποτελούν τα δυναμικά στοιχεία της προσομοίωσης. Συνήθως, δημιουργούνται εισερχόμενες στο σύστημα, μετακινούνται για κάποιο χρονικό διάστημα μέσα σε αυτό και καταστρέφονται με το που εξέρχονται από αυτό.

5.11.2 Ιδιότητες - Χαρακτηριστικά οντοτήτων (attributes)

Για το διαχωρισμό των οντοτήτων επισυνάπτονται ιδιότητες σε αυτές. Η ιδιότητα αποτελεί ένα χαρακτηριστικό όλων των οντοτήτων, αλλά με ιδιαίτερη τιμή που διαφοροποιεί μία οντότητα από μία άλλη. Η ιδιότητα μπορεί να θεωρηθεί ως μια ετικέτα που είναι προσδεμένη στην οντότητα, αλλά το περιεχόμενο της ετικέτας χαρακτηρίζει την οντότητα και τη διαφοροποιεί από τις άλλες.

5.11.3 Μεταβλητές και παράμετροι

Είναι μεγέθη μέτρησης και χαρακτηρισμού των συστημάτων. Οι παράμετροι είναι ανεξάρτητα μέτρα που διαμορφώνουν τις συνθήκες των εισόδων. Αλλάζουν μόνο αν το επιθυμεί ο μελετητής (Khoshnevis, 1994). Οι μεταβλητές είναι μέτρα που εξαρτώνται από τις παραμέτρους και από άλλες μεταβλητές (Banks, et al., 2004). Καθορίζονται από συναρτησιακές σχέσεις και αλλάζουν συναρτησί του χρόνου στα δυναμικά συστήματα. (Khoshnevis, 1994)

5.11.4 Γεγονός (event)

Είναι κάποιο συμβάν που ωθεί το μοντέλο να μεταβεί σε κάποια άλλη κατάσταση. Τα γεγονότα μπορεί να είναι ενδογενή (να προέρχονται από το ίδιο το σύστημα) ή εξωγενή (να καταλήγουν μόνο σε αυτό). (Banks, n.d.)

5.11.5 Πόροι (resources)

Πεπερασμένα στοιχεία που χρησιμοποιούνται, καταναλώνονται ή αναπληρώνονται από τις οντότητες. (Khoshnevis, 1994)

5.11.6 Ουρές

Όταν μία οντότητα δεν μπορεί να μετακινηθεί πιθανόν λόγω του ότι χρειάζεται μία μονάδα από ένα μέσο που είναι δεσμευμένο από άλλη ή άλλες οντότητες, τότε απαιτείται να περιμένει κάπου σε κάποια ουρά. Στο πρόγραμμα προσομοίωσης που χρησιμοποιείται για τους σκοπούς της συγκεκριμένης μελέτης (Arena), οι ουρές έχουν ονόματα και ενδεχομένως να έχουν περιορισμένη χωρητικότητα.

5.11.7 Στατιστικοί συσσωρευτές

Για τον προσδιορισμό των μέτρων επίδοσης της εξόδου του συστήματος απαιτείται η συνεχής καταγραφή και ενημέρωση ποικίλων στατιστικών συσσωρευτών, καθώς εξελίσσεται η προσομοίωση.

5.11.8 Ημερολόγιο γεγονότων (event calendar)

Για την πραγματοποίηση της προσομοίωσης πρέπει να υπάρξει καταγραφή των γεγονότων που πρόκειται να συμβούν στο (προσομοιωτικό) μέλλον. Στο Arena αυτή η πληροφορία αποθηκεύεται σε μία λίστα στο *ημερολόγιο συμβάντων* (event calendar). Σε ένα μοντέλο διακριτών γεγονότων (discrete event) οι μεταβλητές που περιγράφουν το σύστημα δεν αλλάζουν στο χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ δύο διαδοχικών γεγονότων.

5.11.9 Ρολόι προσομοίωσης (simulation clock)

Η τρέχουσα τιμή του χρόνου στην προσομοίωση αντιπροσωπεύεται από μια μεταβλητή που ονομάζεται ρολόι προσομοίωσης. Η λειτουργία αυτής της μεταβλητής καθορίζεται από τη λίστα μελλοντικών γεγονότων και σκοπός της είναι ο καθορισμός των χρονικών στιγμών, όπου εμφανίζεται στο μοντέλο ένα γεγονός.

5.12 Στατιστικές κατανομές

Στην προσομοίωση διακριτών γεγονότων είναι απαραίτητη η στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων. Στη διαδικασία αυτή προσαρμόζονται στις μετρήσεις γνωστές θεωρητικές κατανομές. Για την προσαρμογή τους στις μετρήσεις είναι αναγκαία η κατανόηση αυτών των κατανομών, καθώς και ορισμένων χαρακτηριστικών τους. Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται η χρήση συνεχών θεωρητικών κατανομών για τη μοντελοποίηση των μεταβλητών εισόδου της προσομοίωσης και συγκεκριμένα οι κατανομές Erlang, Gamma και Εκθετική. Ακολουθεί μια συνοπτική ανάλυση αυτών των κατανομών.

5.12.1 Κατανομή Erlang

Η θεωρητική κατανομή Erlang είναι μια συνεχής διπαραμετρική κατανομή με πεδίο ορισμού $x \in [0, \infty)$. Οι δύο παράμετροί της είναι :

- Ένας ακέραιος αριθμός k (Shape Parameter): → Καθορίζει το σχήμα της κατανομής
- Ένας θετικός πραγματικός αριθμός λ (Rate Parameter): → Καθορίζει τη συχνότητα των συμβάντων

Η κατανομή Erlang είναι η κατανομή ενός αθροίσματος k ανεξάρτητων εκθετικών μεταβλητών με μέση τιμή:

$$\mu = \frac{1}{\lambda}$$

Παράλληλα, είναι η κατανομή του χρόνου για την πραγματοποίηση k συμβάντων μιας διαδικασίας Poisson με ρυθμό λ . Οι κατανομές Erlang και Poisson είναι συμπληρωματικές, καθώς ενώ η κατανομή Poisson μετράει τον αριθμό των συμβάντων που συμβαίνουν σε ένα σταθερό χρονικό διάστημα, η κατανομή Erlang μετρά το χρονικό διάστημα μέχρι την εμφάνιση ενός σταθερού αριθμού συμβάντων. Όταν $k = 1$ η κατανομή Erlang απλοποιείται στη μορφή της εκθετικής κατανομής. Η κατανομή Erlang είναι μια ειδική περίπτωση της κατανομής Γάμμα, όπου το σχήμα της κατανομής είναι διακριτικό.

Η κατανομή Erlang αναπτύχθηκε από τον Α. Κ. Erlang για να εξετάσει τον αριθμό των τηλεφωνικών κλήσεων που θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν ταυτόχρονα στους χειριστές των σταθμών μεταγωγής. Η μελέτη αυτή επεκτάθηκε στη μελέτη των χρόνων

αναμονής σε συστήματα ουράς. Η κατανομή χρησιμοποιείται επίσης στον τομέα των στοχαστικών διεργασιών.

1. Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (PDF):

$$f(x; k, \lambda) = \frac{\lambda^k x^{k-1} e^{-\lambda x}}{(k-1)!}, \text{ για } x, \lambda \geq 0.$$

2. Αθροιστική Συνάρτηση Κατανομής (CDF):

$$F(x; k, \lambda) = 1 - \sum_{n=0}^{k-1} \frac{(\lambda x)^n e^{-\lambda x}}{n!}$$

ή

$$F(x; k, \lambda) = P(k, \lambda x) = \frac{\gamma(k, \lambda x)}{\Gamma(k)} = \frac{\gamma(k, \lambda x)}{(k-1)!}$$

όπου γ η κατώτερη ατελής συνάρτηση Γάμμα (lower incomplete gamma function) και το P είναι η χαμηλότερη κανονικοποιημένη συνάρτηση Γάμμα (lower regularized gamma function).

3. Διακύμανση (Variance):

$$\sigma^2 = \frac{1}{\lambda^2}$$

Η κατανομή Erlang χρησιμοποιείται ευρέως στη μοντελοποίηση χρόνων αναμονής, όπως σε ουρές καταναλωτών όπου ο χρόνος μεταξύ συμβάντων είναι κρίσιμος. Η προσαρμογή των παραμέτρων k και λ επιτρέπει την προσαρμογή της κατανομής στις συγκεκριμένες συνθήκες της εφαρμογής. Συμβολίζεται, $X \sim \text{Erlang}(k, \lambda)$.

5.12.2 Κατανομή Γάμμα

Η θεωρητική κατανομή Γάμμα (Gamma distribution) είναι μια συνεχής διπαραμετρική κατανομή. Η κατανομή Γάμμα χρησιμοποιείται κυρίως για τη μοντελοποίηση χρόνων αναμονής και περιγράφει τον χρόνο που χρειάζεται για να συμβεί ένα γεγονός, όταν τα γεγονότα συμβαίνουν με μια σταθερή ταχύτητα και ανεξάρτητα μεταξύ τους. Η εκθετική κατανομή και η κατανομή Erlang είναι ειδικές περιπτώσεις της Γάμμα κατανομής. Συμβολίζεται $X \sim \Gamma(\alpha, \beta)$.

Ορισμός:

Η θεωρητική κατανομή Gamma περιγράφεται από δύο παραμέτρους:

- $k \rightarrow$ παράμετρος σχήματος και $\theta \rightarrow$ παράμετρος κλίμακας ή
- $\alpha = k$ και $\beta = 1 / \theta$

και στις δύο περιπτώσεις οι παράμετροι είναι πραγματικοί θετικοί αριθμοί.

1. Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (PDF):

$$f(x; \alpha, \beta) = \frac{\beta^\alpha x^{\alpha-1} e^{-\beta x}}{\Gamma(\alpha)}$$

όπου x είναι η μεταβλητή χρόνου, με $x > 0$, $\alpha > 0$, $\beta > 0$ και $\Gamma(\alpha)$ η συνάρτηση Γάμμα, με $\Gamma(\alpha) = (\alpha - 1)!$.

2. Αθροιστική Συνάρτηση Κατανομής (CDF):

$$F(x; \alpha, \beta) = \int_0^x f(u; \alpha, \beta) du = \frac{\gamma(\alpha, \beta x)}{\Gamma(\alpha)}$$

Όπου $\gamma(\alpha, \beta x)$ η κατώτερη ατελής συνάρτηση Γάμμα (lower incomplete gamma function).

2. Μέση Τιμή (Mean):

$$\mu = \frac{\alpha}{\beta}$$

3. Διακύμανση (Variance):

$$\sigma^2 = \frac{\alpha}{\beta^2}$$

Η κατανομή Gamma είναι χρήσιμη σε πολλούς τομείς, όπως η μοντελοποίηση χρόνων συστημάτων αστοχίας, η χρηματοοικονομική και άλλες εφαρμογές όπου η συσσώρευση ανεξάρτητων γεγονότων παίζει καίριο ρόλο. Η επιλογή των παραμέτρων α και β επηρεάζει το σχήμα της κατανομής, καθορίζοντας το πώς θα κατανέμονται τα γεγονότα στο χρόνο.

5.12.3 Εκθετική κατανομή

Η θεωρητική εκθετική κατανομή ανήκει στην οικογένεια των συνεχών κατανομών. Χρησιμοποιείται για την περιγραφή της απόστασης μεταξύ συμβάντων σε μια διαδικασία Poisson, δηλαδή μια διαδικασία στην οποία πραγματοποιούνται συνεχώς συμβάντα, ανεξάρτητα μεταξύ τους και με σταθερό ρυθμό. Είναι μια ιδιαίτερη περίπτωση της κατανομής Γάμμα. Συμβολίζεται, $X \sim \text{Exp}(\lambda)$.

Εξισώσεις:

1. Συνάρτηση Πυκνότητας Πιθανότητας (PDF) :

$$f(x; \lambda) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

όπου x είναι η τυχαία μεταβλητή, λ είναι η παράμετρος συχνότητας (rate parameter) με $x > 0, \lambda > 0$.

2. Συνάρτηση Κατανομής Πιθανότητας (CDF):

$$F(x; \lambda) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda x}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

3. Μέση Τιμή (Mean):

$$\mu = \frac{1}{\lambda}$$

4. Διακύμανση (Variance):

$$\sigma^2 = \frac{1}{\lambda^2}$$

Η θεωρητική κατανομή Exponential χρησιμοποιείται σε ποικίλους τομείς, όπως στη θεωρία των συστημάτων αξιολόγησης αξιοπιστίας και στην ανάλυση χρόνων αναμονής, για να περιγράψει τη χρονική διάρκεια μεταξύ ανεξάρτητων επιτυχημένων γεγονότων. Είναι γνωστή για την ιδιότητα της έλλειψης μνήμης (memoryless property), που σημαίνει ότι ο χρόνος μέχρι το επόμενο επιτυχημένο γεγονός δεν εξαρτάται από το παρελθόν.

6. Μοντελοποίηση δεδομένων εισόδου

6.1 Ανάλυση

Το δεδομένα που συγκεντρώθηκαν από τις μετρήσεις ψηφιοποιήθηκαν και εισήχθησαν στο λογισμικό Microsoft Office Excel. Τα δεδομένα αυτά ήταν σε πρωτογενή μορφή με αποτέλεσμα την ανάγκη για ανάλυση και επεξεργασία τους.

6.2 Διαχωρισμός δεδομένων σε κατηγορίες

Αρχικά τα δεδομένα διαχωρίστηκαν σύμφωνα με τις ημέρες που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις. Οι ημέρες καταγραφής ήταν συνολικά έξι και άρα δημιουργήθηκαν έξι φύλλα Excel με τα αντίστοιχα δεδομένα. Σε κάθε φύλλο οι μετρήσεις συνδέθηκαν με:

- Τις καιρικές συνθήκες που επικρατούσαν τη δεδομένη στιγμή:
 - Ξηρές
 - Υγρές
 - Συνδυασμός
- Τα φορτηγά που πραγματοποίησαν την κάθε διαδρομή:
 - Λευκό
 - Κόκκινο
 - Πορτοκαλί (μόνο πρώτη ημέρα μέτρησης)
- Τον φορτωτή που έκανε την κάθε φόρτωση:
 - CAT 972M
 - CAT 980C
 - CAT 980F
- Τις κουβαδιές που πραγματοποιήθηκαν στην κάθε φόρτωση:
 - Τρεις έως έξι (3-6)
- Οποιαδήποτε παρατήρηση διέκρινε ο παρατηρητής, όπως:
 - Καθυστέρηση λόγω βλάβης
 - Καθυστέρηση λόγω λανθασμένου χειρισμού φορτωτή
 - Καθυστέρηση λόγω λανθασμένου χειρισμού φορτηγού
 - Χρήση υδραυλικής σφύρας
 - Αλλαγή μετώπου φόρτωσης
 - Φόρτωση από δυο μέτωπα/σημεία
 - Οποιαδήποτε άλλη παρατήρηση συμπεριφοράς εκτός του συνηθισμένου.

Έτσι τα υπολογιστικά φύλλα Excel είχαν παρόμοια μορφή με αυτή που παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2: Δείγμα από το υπολογιστικό φύλλο Excel

ΣΥΝΘΗΚΕΣ	ΒΡΟΧΗ					
ΦΟΡΤΩΤΗΣ	ΦΟΡΤΗΓΟ	ΑΦΙΞΗ	ΑΡΧΗ ΜΑΝΟΥΒΡΑΣ	ΑΡΧΗ ΦΟΡΤΩΣΗΣ	ΤΕΛΟΣ ΦΟΡΤΩΣΗΣ	ΚΟΥΒΑΔΙΕΣ
972M	ΚΟΚΚΙΝΟ	7:38:50	7:38:50	7:39:16	7:41:42	4.00
972M	ΛΕΥΚΟ	7:44:25	7:44:25	7:44:50	7:48:35	6.00

6.3 Επεξεργασία

Σε αυτό το βήμα τα δεδομένα προετοιμάστηκαν με στόχο τη μετατροπή τους σε κατάλληλη μορφή ώστε να εισαχθούν στο πρόγραμμα προσομοίωσης Rockwell Arena.

6.3.1 Μετατροπές – Υπολογισμοί

Αρχικά πραγματοποιήθηκαν ορισμένες πράξεις μεταξύ των μετρήσεων, με σκοπό τον υπολογισμό της διάρκειας των τμημάτων του κύκλου φόρτωσης - μεταφοράς (διάρκεια αναμονής, διάρκεια φόρτωσης, διάρκεια εκκένωσης, κ.ά.). Πιο συγκεκριμένα, οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν ήταν σε μορφή χρονικών στιγμών, καθώς καταγράφονταν σύμφωνα με τις ενδείξεις του ρολογιού. Για τη χρήση αυτών των μετρήσεων στα παρακάτω βήματα επεξεργασίας ήταν αναγκαίο να μετατραπούν σε χρονικές διάρκειες, με την παρακάτω διαδικασία, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 3, π.χ. (Αφιξη στη θέση φόρτωσης = 7:17:00) – (Αρχή μανούβρας = 7:17:25) → (Διάρκεια αναμονής = 0:00:25).

Πίνακας 3: Δείγμα από τις μετατροπές στο υπολογιστικό φύλλο Excel

ΑΦΙΞΗ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΑΝΑΜΟΝΗΣ	ΑΡΧΗ ΜΑΝΟΥΒΡΑΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΜΑΝΟΥΒΡΑΣ	ΑΡΧΗ ΦΟΡΤΩΣΗΣ
7:17:00	0:00:25	7:17:25	0:00:15	7:17:40
7:17:00	0:04:20	7:21:20	0:00:47	7:22:07

Έπειτα τα δεδομένα συγκεντρώθηκαν σε ένα ενιαίο φύλλο Excel και ομαδοποιήθηκαν σύμφωνα με:

- Τις καιρικές συνθήκες:
 - Ξηρές
 - Υγρές
 - Συνδυασμός
- Το φορτηγό που πραγματοποίησε τη διαδρομή:

- Λευκό
- Κόκκινο
- Πορτοκαλί
- Τη διάρκεια του χρόνου που αναφερόταν η μέτρηση:
 - Διάρκεια αναμονής
 - Διάρκεια μανούβρας
 - Διάρκεια φόρτωσης
 - Διάρκεια μεταφοράς έμφορτο
 - Διάρκεια μανούβρας εκκένωση
 - Διάρκεια εκκένωσης
 - Διάρκεια επιστροφής κενό
 - Διάρκεια κύκλου

Πίνακας 4: Δείγμα από την κατηγοριοποίηση στο ενιαίο υπολογιστικό φύλλο Excel

ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΑΝΑΜΟΝΗΣ		
ΞΗΡΕΣ	ΥΓΡΕΣ	ΜΑΖΙ

Τα δεδομένα αυτά είχαν τη μορφή ω:λλ:δδ. Για την περαιτέρω επεξεργασία τους μετατράπηκαν σε μορφή δεκαδικού αριθμού π.χ. από 00:07:57 σε 7,95 και ταξινομήθηκαν με αύξοντα αριθμό. Έπειτα ακολούθησε ο υπολογισμός της αθροιστικής συχνότητας για κάθε αριθμό, που ήταν και το πρώτο βήμα για τη στατιστική επεξεργασία που θα ακολουθούσε.

Πίνακας 5: Δείγμα από την μετατροπή των τιμών στο ενιαίο υπολογιστικό φύλλο Excel

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ (MIN)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ
0:00:00	0.00	0.006
0:00:01	0.02	0.012
0:00:02	0.03	0.018
0:00:02	0.03	0.024
0:00:03	0.05	0.030
0:00:03	0.05	0.036
0:00:03	0.05	0.041
0:00:03	0.05	0.047
0:00:04	0.07	0.053
0:00:05	0.08	0.059
0:00:05	0.08	0.065
0:00:05	0.08	0.071

6.3.2 Στατιστική μοντελοποίηση δεδομένων

Στο πρόγραμμα προσομοίωσης εισάγονται δεδομένα υπό τη μορφή στατιστικών κατανομών. Επομένως, στα υπάρχοντα δεδομένα έπρεπε να προσαρμοστεί μια κατάλληλη θεωρητική κατανομή που θα τα αντιπροσωπεύει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο.

Η κατανομή που αρχικά προσαρμόστηκε στα δεδομένα ήταν η θεωρητική κατανομή Erlang. Η επιλογή αυτή της κατανομής πραγματοποιήθηκε διότι συνηθίζεται να χρησιμοποιείται σε μελέτες που αφορούν τους χρόνους αναμονής σε συστήματα ουράς, δηλαδή σε συστήματα του ίδιου τύπου με αυτό που μελετάται στην παρούσα εργασία.

Προτού όμως προσαρμοστεί η κατανομή σε όλο το πλήθος των δεδομένων, πραγματοποιήθηκε μια δοκιμαστική προσαρμογή σε ένα δείγμα αυτών. Σε αυτή τη διαδικασία υπολογίστηκαν οι παράμετροι της Erlang, k και λ , και έπειτα επαληθεύτηκε η καταλληλότητά της με τη δημιουργία ορισμένων διαγραμμάτων, όπως P-P Plot και Q-Q Plot. Στη διαδικασία της επαλήθευσης παρατηρήθηκε πως η κατανομή Erlang δεν αντιπροσωπεύει αυτά τα δεδομένα. Πιο συγκεκριμένα, στα διαγράμματα που δημιουργήθηκαν, οι τιμές της εμπειρικής κατανομής δεν ακολουθούσαν τις τιμές της προσαρμοσμένης θεωρητικής κατανομής. Έτσι αποφασίστηκε να πραγματοποιηθεί μια νέα δοκιμή, αυτή τη φορά με την προσαρμογή της θεωρητικής κατανομής Γάμμα. Η κατανομή Erlang άλλωστε είναι μια ειδική περίπτωση της κατανομής Γάμμα.

Η θεωρητική κατανομή Γάμμα είναι μια συνεχής κατανομή που περιγράφει τον χρόνο που χρειάζεται για να συμβεί ένα γεγονός, όταν τα γεγονότα συμβαίνουν με μια σταθερή ταχύτητα και ανεξάρτητα μεταξύ τους. Γι' αυτό το λόγο κρίθηκε ότι θα ήταν η αμέσως επόμενη κατάλληλη κατανομή για τη μοντελοποίηση των δεδομένων.

Για την προσαρμογή της κατανομής ήταν απαραίτητο να υπολογιστούν οι παράμετροι της, α και β . Η επαλήθευση της καταλληλότητας της κατανομής πραγματοποιήθηκε και πάλι με τη δημιουργία ορισμένων διαγραμμάτων, όπως P-P Plot και Q-Q Plot. Στη διαδικασία της επαλήθευσης παρατηρήθηκε πως η κατανομή Γάμμα αντιπροσωπεύει επαρκώς τα δεδομένα. Πιο συγκεκριμένα, στα διαγράμματα που δημιουργήθηκαν, οι τιμές της εμπειρικής κατανομής ακολουθούσαν τις τιμές της προσαρμοσμένης θεωρητικής κατανομής. Έτσι ξεκίνησε η διαδικασία προσαρμογής της Γάμμα κατανομής σε όλο το πλήθος των δεδομένων.

Στο πρόγραμμα Excel η συνάρτηση της Γάμμα είναι η εξής:

GAMMA.DIST(x;άλφα;βήτα;αθροιστική)

Η σύνταξη της συνάρτησης **GAMMA.DIST** περιλαμβάνει τα παρακάτω ορίσματα:

- **X**: Υποχρεωτικό. Η τιμή της μεταβλητής, για την οποία θα υπολογιστεί η τιμή της συνάρτησης κατανομής.
- **Άλφα**: Υποχρεωτικό. Μια παράμετρος της κατανομής.
 - Για τον υπολογισμό της παραμέτρου **Άλφα** απαραίτητος είναι ο υπολογισμός του **μέσου όρου (mean)** καθώς και της **διακύμανσης (variance)** για κάθε ομάδα δεδομένων. Ο μέσος όρος υπολογίζεται αυτόματα από το Excel με τη σχέση:

$$\text{AVERAGE}(\text{αριθμός1}; [\text{αριθμός2}]; \dots)$$

και η διακύμανση με τη σχέση:

$$\text{VAR.S}(\text{αριθμός1}; [\text{αριθμός2}]; \dots).$$

Η σχέση για τον υπολογισμό της παραμέτρου Άλφα είναι:

$$\alpha = \frac{\text{Mean}^2}{\text{Variance}}$$

- **Βήτα**: Υποχρεωτικό. Μια παράμετρος της κατανομής. Αν βήτα = 1, η συνάρτηση **GAMMA.DIST** επιστρέφει την τυπική κατανομή γάμμα.
 - Αφού για τον υπολογισμό της παραμέτρου Άλφα έχουν υπολογιστεί ο μέσος όρος και η διακύμανση, τότε για την παράμετρο Βήτα χρειάζεται απλά η εφαρμογή της παρακάτω σχέσης:

$$b = \frac{\text{Variance}}{\text{Mean}}$$

- **Αθροιστική**: Υποχρεωτικό. Μια λογική τιμή που καθορίζει το είδος της συνάρτησης. Εάν το όρισμα αθροιστική είναι TRUE, η συνάρτηση **GAMMA.DIST** επιστρέφει την τιμή της συνάρτησης αθροιστικής κατανομής. Εάν είναι FALSE, επιστρέφει την τιμή της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας.
Η αθροιστική συχνότητα είχε ήδη υπολογιστεί για κάθε μέτρηση στην αρχή της διαδικασίας.

Υπολογίζοντας τα απαραίτητα ορίσματα για τον ορισμό της κατανομής Γάμμα στο πρόγραμμα, ακολούθησε η σύνδεσή τους με τις μετρήσεις. Πιο συγκεκριμένα κάθε τιμή μέτρησης ήταν συνδεδεμένη με:

- την τιμή αθροιστικής συχνότητας και με
- την τιμή της συνάρτησης Γάμμα σύμφωνα με τις παραμέτρους Άλφα και Βήτα της κάθε ομάδας,

όπως παρουσιάζεται και στον Πίνακα 6.

Πίνακας 6: Δείγμα από την προσαρμογή της Γάμμα κατανομής στις τιμές των μετρήσεων στο ενιαίο υπολογιστικό φύλλο Excel

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ (MIN)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	ΓΑΜΜΑ(x;a;b)	x
0:00:00	0.00	0.0417	0.000000000000000000	0.0000
0:00:10	0.17	0.0833	0.15914118313321000	0.1550
0:00:13	0.22	0.1250	0.29295645009738200	0.3100

Έπειτα για κάθε ομάδα μετρήσεων υπολογίστηκαν τα παρακάτω μέτρα περιγραφικής στατιστικής, που βοήθησαν στην ανάλυση των δεδομένων και στην περαιτέρω επαλήθευση της καταλληλότητας της Γάμμα κατανομής:

- Ο δειγματικός μέσος (sample mean/arithmetical mean/average)
 - Εκτιμά τη μέση τιμή μ στον πληθυσμό
 - Για συμμετρικές (ή σχεδόν συμμετρικές) κατανομές, ο μέσος είναι σημείο του άξονα συμμετρίας (ή πολύ κοντά σε αυτόν).
- Το εύρος (range), R, των τιμών του δείγματος
 - Η διαφορά της ελάχιστης Minimum παρατήρησης από τη μέγιστη Maximum παρατήρηση
- Μέγιστη και ελάχιστη τιμή (Maximum, Minimum) του δείγματος.
- Τη δειγματική διασπορά (sample variance)
 - Όταν η διασπορά είναι μεγάλη, υπάρχουν τιμές τις μεταβλητής αρκετά απομακρυσμένες από το μέσο
- Μέτρα Σχετικής Θέσης

Τα τεταρτημόρια (quartiles) ενός δείγματος ή ενός πληθυσμού είναι εκείνες οι τιμές που χωρίζουν το δείγμα (αντίστοιχα τον πληθυσμό) σε τέσσερα ισοπληθή μέρη.

- 1^ο τεταρτημόριο ή Q₁: Στο 25% του δείγματος (αντίστοιχα) του πληθυσμού οι τιμές της μεταβλητής είναι μικρότερες από το Q₁, ενώ στο υπόλοιπο 75% μεγαλύτερες από το Q₁.
- 2^ο τεταρτημόριο ή Q₂: Στο 50% του δείγματος (αντίστοιχα) του πληθυσμού οι τιμές της μεταβλητής είναι μικρότερες από το Q₂, ενώ στο υπόλοιπο 50% είναι μεγαλύτερες.
- 3^ο τεταρτημόριο ή Q₃: Στο 75% του δείγματος (αντίστοιχα) του πληθυσμού οι τιμές της μεταβλητής είναι μικρότερες από το Q₃, ενώ στο υπόλοιπο 25% είναι μεγαλύτερες.
- Το ενδοτεταρτημοριακό εύρος IQR (Interquartile Range)
 - $IQR = Q_3 - Q_1$
 - Περιέχει το 50% των κεντρικών παρατηρήσεων.
 - Μικρό ενδοτεταρτημοριακό εύρος, σημαίνει μικρή μεταβλητότητα των δεδομένων.
- Ο δείκτης ασυμμετρίας γ (Skewness)
 - Είναι μέτρο της ασυμμετρίας μιας κατανομής.
- Ο δείκτης κύρτωσης α (kurtosis)
 - Συγκρίνει την «οξύτητα» της κατανομής με αυτήν της Κανονικής Κατανομής.

Πίνακας 7: Δείγμα των μέτρων περιγραφικής στατιστικής από το υπολογιστικό φύλλο Microsoft Office Excel

ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΑΝΑΜΟΝΗΣ				
ΥΠΡΕΣ				
Mean	Variance	a	beta	alpha
0.931	0.832761171	1.041386885	0.894240184	1
Min	Max	25%	50%	75%
0.000	3.47	0.266666667	0.708333333	1.125
Range	IQR	Kurtosis	Skewness	
3.467	0.858333333	1.755397813	1.551741964	

Αφού ολοκληρώθηκε η επεξεργασία των δεδομένων και προσαρμόστηκε η θεωρητική κατανομή Γάμμα, το υπολογιστικό φύλλο Microsoft Office Excel είχε την εξής δομή (βλ. Πίνακα 8):

Πίνακας 8: Δείγμα των δεδομένων από το υπολογιστικό φύλλο Microsoft Office Excel.

ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΑΝΑΜΟΝΗΣ				
ΥΓΡΕΣ				
Mean	Variance	a	beta	alpha
0.931	0.832761171	1.041386885	0.894240184	1
Min	Max	25%	50%	75%
0.000	3.47	0.266666667	0.708333333	1.125
Range	IQR	Kurtosis	Skewness	
3.467	0.858333333	1.755397813	1.551741964	
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ (MIN)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	ΓΑΜΜΑ(x;a;b)	x
0:00:00	0.00	0.0417	0.0000000000000000	0.0000
0:00:10	0.17	0.0833	0.15914118313321000	0.1550
0:00:13	0.22	0.1250	0.29295645009738200	0.3100
0:00:13	0.22	0.1667	0.40547619715559000	0.4650
0:00:13	0.22	0.2083	0.50008941854110500	0.6200
0:00:16	0.27	0.2500	0.57964577993528400	0.7750
0:00:16	0.27	0.2917	0.64654144785142100	0.9300
0:00:18	0.30	0.3333	0.70279126002889700	1.0850
0:00:24	0.40	0.3750	0.75008941054542900	1.2400
0:00:27	0.45	0.4167	0.78986047742874800	1.3950
0:00:34	0.57	0.4583	0.82330232967378500	1.5500
0:00:42	0.70	0.5000	0.85142220598638100	1.7050
0:00:43	0.72	0.5417	0.87506705191303000	1.8600
0:00:45	0.75	0.5833	0.89494902908391100	2.0150
0:00:50	0.83	0.6250	0.91166696488479000	2.1700
0:00:50	0.83	0.6667	0.92572438860277200	2.3250
0:00:55	0.92	0.7083	0.93754469727846900	2.4800
0:01:06	1.10	0.7500	0.94748390804651600	2.6350
0:01:08	1.13	0.7917	0.95584138105352600	2.7900
0:01:24	1.40	0.8333	0.96286883591819700	2.9450
0:02:07	2.12	0.8750	0.96877793330128800	3.1000
0:02:38	2.63	0.9167	0.97374664993558500	3.2550
0:02:41	2.68	0.9583	0.97792463912604600	3.4100
0:03:28	3.47	1.0000	0.98143773817362000	3.5650

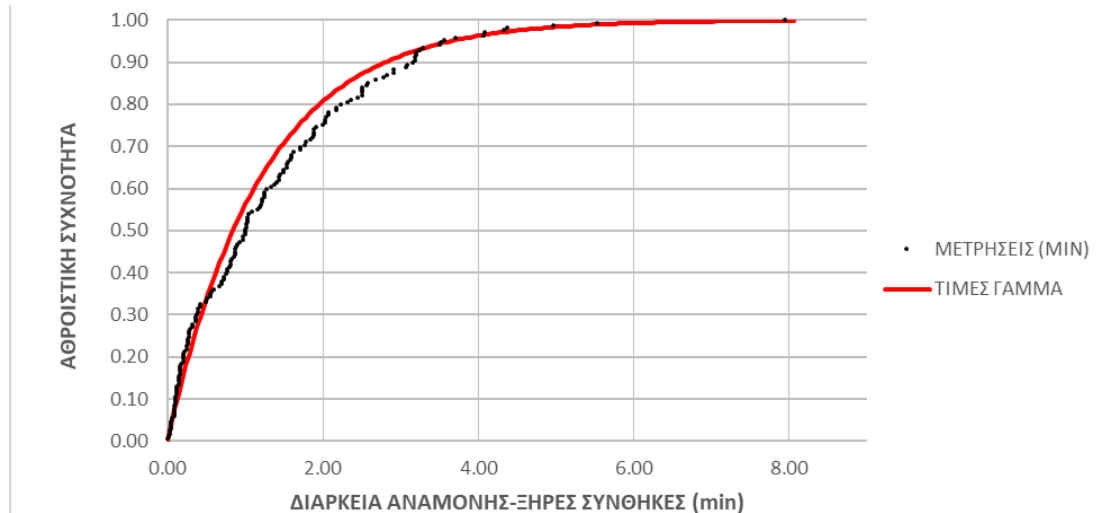
6.4 Διαγράμματα

Για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την προσαρμογή της Γάμμα κατανομής στις μετρήσεις υλοποιήθηκαν ορισμένα διαγράμματα, τα οποία παρουσιάζονται και αναλύονται στις παρακάτω παραγράφους.

6.4.1 Κατανομή

Σε αυτό το διάγραμμα προβάλλονται οι πραγματικές μετρήσεις και τα αποτελέσματα από τη θεωρητική κατανομή Gamma. Ο άξονας x ταυτίζεται με την ομάδα που έχει επιλεγεί για τη δημιουργία αυτού του γραφήματος, π.χ. Διάρκεια μεταφοράς έμφορτο – Ξηρές συνθήκες. Ο άξονας y ταυτίζεται με τις αντίστοιχες τιμές της αθροιστικής συχνότητας. Η επαλήθευση πραγματοποιείται αναλύοντας αν οι τιμές από τις μετρήσεις ακολουθούν την καμπύλη της θεωρητικής κατανομής σε όλο το πεδίο ορισμού. Στα παρακάτω διάγραμμα παρατηρείται πως οι τιμές των μετρήσεων ακολουθούν τις τιμές

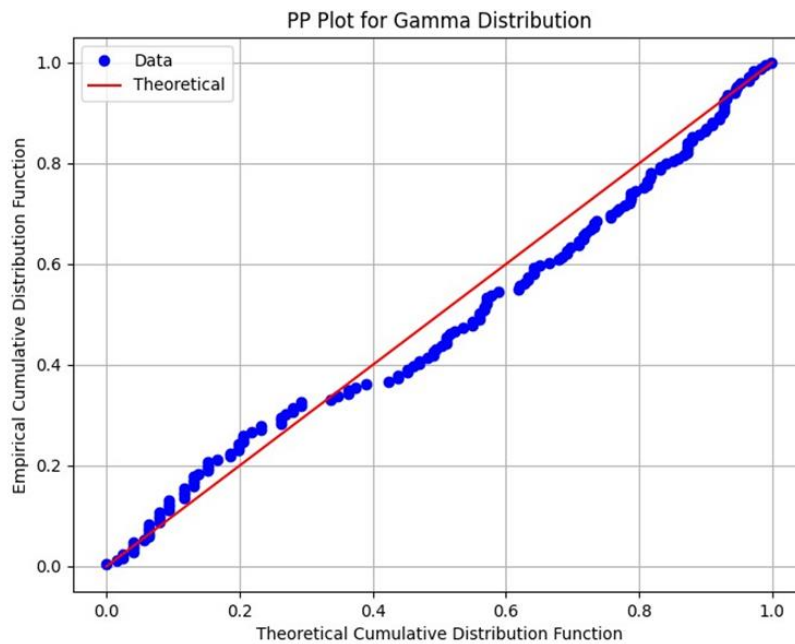
της προσαρμοσμένης θεωρητικής κατανομής Γάμμα στο μεγαλύτερο τμήμα της καμπύλης.



Εικόνα 6: Παράδειγμα διαγράμματος κατανομής

6.4.2 Διάγραμμα P-P Plot

Σε ένα διάγραμμα P-P Plot πραγματοποιείται η σύγκριση της αθροιστικής πυκνότητας των πραγματικών μετρήσεων με την αθροιστική πυκνότητα της θεωρητικής κατανομής. Έτσι στον άξονα x σχηματίζεται η παρατηρούμενη αθροιστική συνάρτηση πιθανότητας και στον άξονα y η αναμενόμενη αθροιστική συνάρτηση πιθανότητας. Αν όλες οι τιμές ακολουθούν τη διαγώνιο τότε ακολουθούν και τη θεωρητική κατανομή Γάμμα.

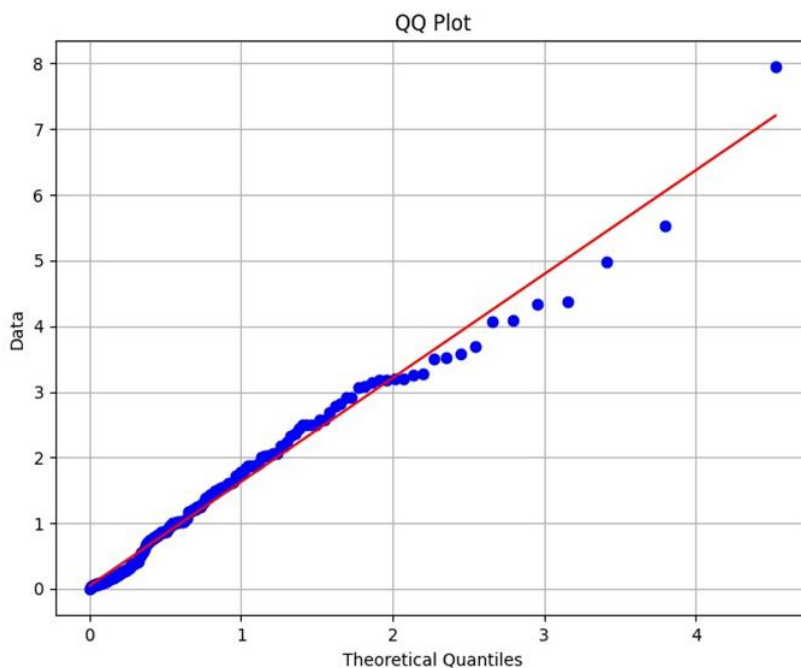


Εικόνα 7: Παράδειγμα PP Plot

Για τη δημιουργία αυτών των διαγραμμάτων χρησιμοποιήθηκε η γλώσσα προγραμματισμού Python. Ο κώδικας που συντάχθηκε συμπεριλάμβανε τις τιμές της κάθε ομάδας δεδομένων και τις παραμέτρους που είχαν υπολογιστεί. Εξαγόμενο προϊόν του κώδικα ήταν το γράφημα. Για κάθε ομάδα δεδομένων συντάχθηκε και διαφορετικός κώδικας προσαρμοσμένος στις τιμές και τις παραμέτρους. Έτσι συνολικά συντάχθηκαν 48 κώδικές και δημιουργήθηκαν 48 P-P Plot διαγράμματα.

6.4.3 Διάγραμμα Q-Q Plot

Σε ένα διάγραμμα Q-Q Plot πραγματοποιείται η σύγκριση των τιμών των πραγματικών μετρήσεων με αυτές των τιμών της θεωρητικής κατανομής. Αν όλες οι τιμές ακολουθούν τη διαγώνιο $y = x$ τότε ακολουθούν και την θεωρητική κατανομή Γάμμα.



Εικόνα 8: Παράδειγμα Q-Q Plot

Για τη δημιουργία αυτών των διαγραμμάτων χρησιμοποιήθηκε και πάλι η γλώσσα προγραμματισμού Python. Για κάθε ομάδα δεδομένων συντάχθηκε και διαφορετικός κώδικας προσαρμοσμένος στις τιμές και τις παραμέτρους. Έτσι συνολικά συντάχθηκαν 48 κώδικές και δημιουργήθηκαν 48 Q-Q Plot διαγράμματα.

6.5 Προετοιμασία δεδομένων για εισαγωγή στο πρόγραμμα

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν στο πεδίο, διαμορφώθηκαν και κατηγοριοποιήθηκαν με σκοπό την εισαγωγή τους στο λογισμικό προσομοίωσης. Πιο συγκεκριμένα, η

κατηγοριοποίηση αυτή σχεδιάστηκε ώστε το σύστημα να χωριστεί σε τμήματα χρονικών διαρκειών σύμφωνα με το κάθε διακριτό γεγονός που πραγματοποιούταν στο σύστημα φόρτωσης – μεταφοράς του λατομείου. Στις χρονικές αυτές διάρκειες εφαρμόστηκε η θεωρητική κατανομή Γάμμα με σκοπό την εύρεση των δύο παραμέτρων Άλφα και Βήτα, που θα τις αντιπροσώπευε. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιήθηκε με γνώμονα ότι στο λογισμικό προσομοίωσης εισάγονται δεδομένα θεωρητικών στατιστικών κατανομών που αντιπροσωπεύουν το κάθε γεγονός που πραγματοποιείται στο σύστημα.

Αφού λοιπόν υπολογίστηκαν όλες οι παράμετροι για κάθε κατηγορία/τμήμα και επαληθεύτηκαν μέσω των διαγραμμάτων, τα δεδομένα ήταν έτοιμα για την αξιοποίησή τους στο πρόγραμμα προσομοίωσης.

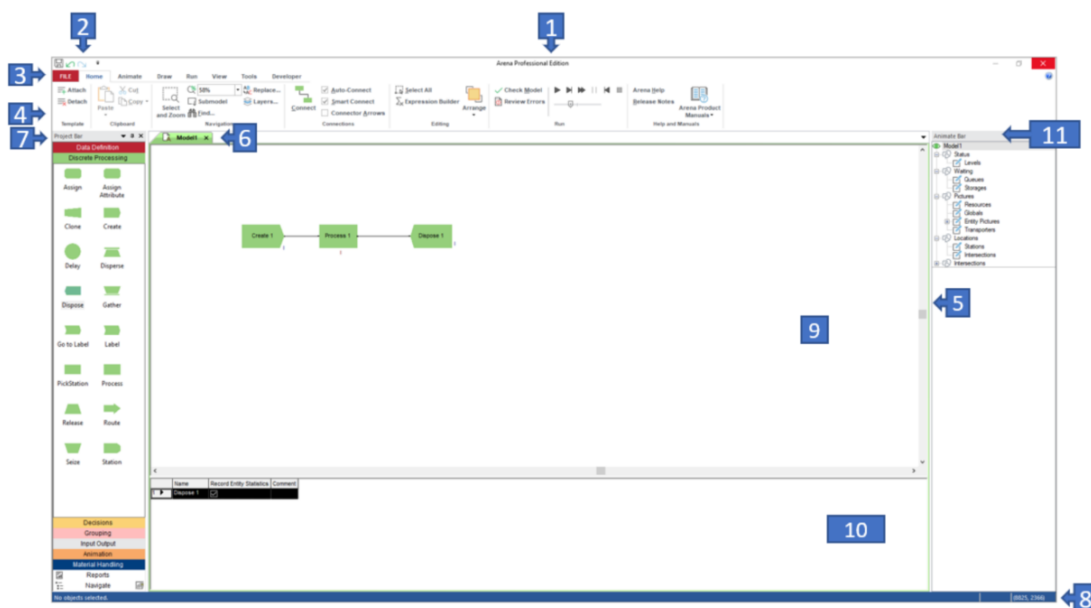
7. Περιβάλλον προσομοίωσης Rockwell Arena

7.1 Γενικά

Το Arena είναι ένα λογισμικό προσομοίωσης της εταιρείας Rockwell Automation. Βασίζεται στη γλώσσα προγραμματισμού Siman, ενώ προσφέρει τη δυνατότητα της ενσωμάτωσης γλωσσών προγραμματισμού γενικού σκοπού, όπως η Microsoft Visual Basic. Στο Arena πραγματοποιείται η κατασκευή του μοντέλου προσομοίωσης, εισάγοντας τα modules, μέσα από τα οποία επιτυγχάνεται η παροχή εναλλακτικών δομικών μονάδων προσομοίωσης και ανάλυσης. Τα modules συνδυάζονται με ενώσεις με σκοπό την αναπαράσταση του συστήματος. Παράλληλα υπάρχει η δυνατότητα δισδιάστατης και τρισδιάστατης δυναμικής απεικόνισης του συστήματος (animation), ανάλυσης δεδομένων (input analyzer) και ανάλυσης αποτελεσμάτων (process analyzer).

7.2 Περιβάλλον εργασίας προγράμματος Arena

Τα κύρια σημεία που εμφανίζονται αρχικά στον χρήστη είναι τα παρακάτω (βλ. Εικόνα 9):



Εικόνα 9: Περιβάλλον εργασίας προγράμματος Rockwell Arena

1. Title Bar

Εμφανίζει την έκδοση του Arena που χρησιμοποιείται. Περιλαμβάνει επίσης τα κουμπιά Minimize, Restore, και Close.

2. Quick Access Toolbar

Εδώ βρίσκονται οι εντολές που χρησιμοποιούνται συχνά όπως, Save, Undo, Redo, και Run. Στο τέλος του Quick Access Toolbar υπάρχει ένα αναπτυσσόμενο μενού όπου υπάρχει η δυνατότητα προσαρμογής προσθέτοντας άλλες εντολές.

3. File Tab

Με την επιλογή αυτής της καρτέλας εμφανίζονται εντολές που επηρεάζουν το ίδιο το αρχείο, όπως New, Open, Save As, Print και Close.

4. Ribbon

Οι εντολές που χρειάζονται για τη δημιουργία ενός μοντέλου βρίσκονται εδώ. Υπάρχουν καρτέλες στο επάνω μέρος και εντολές σε κάθε καρτέλα. Το εμφανιζόμενο μενού αλλάζει ανάλογα με το μέγεθος της οθόνης. Η εφαρμογή συμπιέζει το μενού αλλάζοντας τη διάταξη των ελέγχων για να προσαρμοστεί σε μικρότερες οθόνες ή διαστάσεις εφαρμογής.

5. Multiple Document Workspace (MDW)

Το Multiple Document Workspace περιλαμβάνει μια ή περισσότερες ομάδες. Κάθε ομάδα μπορεί να περιλαμβάνει μία ή περισσότερες καρτέλες. Οι καρτέλες χρησιμοποιούνται για να εμφανίσουν ένα από τα πολλά παράθυρα που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία, την επεξεργασία και την εκτέλεση μοντέλων ή για τη δημιουργία προτύπων.

6. MWT (Model Window Tab)

Το MWT, εμφανίζεται σε μια ομάδα καρτελών και χρησιμοποιείται για τη δημιουργία και την επεξεργασία ενός μοντέλου. Περιλαμβάνει δύο κύριες περιοχές. Ο χώρος εργασίας του μοντέλου εμφανίζει όλα τα γραφικά του μοντέλου, συμπεριλαμβανομένου του διαγράμματος ροής της διαδικασίας, της κίνησης και άλλων γραφικών στοιχείων. Η προβολή φύλλου εργασίας ενός

παραθύρου μοντέλου εμφανίζει τα αντίστοιχα δεδομένα του μοντέλου, όπως χρόνοι, κόστη και άλλες παραμέτρους.

7. Project Bar

Το project bar παρέχει έναν μηχανισμό για την εμφάνιση των πινάκων που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία μοντέλου, του πίνακα αναφορών που χρησιμοποιείται για την εκκίνηση αναφορών, και του πίνακα πλοήγησης που χρησιμοποιείται για την εύκολη πλοήγηση σε διάφορα επίπεδα προβολής και ιεραρχικά επίπεδα οποιουδήποτε παραθύρου μοντέλου ή σχεδίου.

8. Status Bar

Εμφανίζει πληροφορίες σχετικά με το παράθυρο εργασίας.

9. Model Workspace

Περιλαμβάνει όλα τα γραφικά του μοντέλου, συμπεριλαμβανομένου του διαγράμματος ροής της διαδικασίας, της κίνησης και άλλων γραφικών στοιχείων.

10. Spreadsheet View

Εμφανίζει τα δεδομένα του μοντέλου, όπως χρόνοι, κόστη και άλλες παραμέτρους.

11. Animate Bar

Το animate bar παρέχει έναν μηχανισμό για την εμφάνιση της τρέχουσας κατάστασης των αντικειμένων του μοντέλου που μπορεί να είναι κινούμενα. Η μπάρα εμφανίζει ένα δενδροειδές περιβάλλον που οργανώνει τους τύπους αντικειμένων κίνησης σε πέντε ομάδες: Κατάσταση, Αναμονή, Εικόνες, Τοποθεσίες και Διαδρομές.

Οι κατηγορίες που βρίσκονται στο **Project bar** επιγραμματικά είναι οι εξής:

- The Data Definition panel

- The Discrete Processing panel
- The Decisions panel
- The Grouping panel
- The Input Output panel
- The Animation panel
- The Material Handling panel

Τα modules που χρησιμοποιούνται στην παρούσα διπλωματική εργασία ανήκουν στις κατηγορίες **Data Definition panel**, **Discrete Processing panel** και **Decisions panel** και αναφέρονται παρακάτω:

Data Definition panel

- Attribute Module
- Entity Module
- Resource Module
- Variable Module

Discrete Processing panel

- Create Module
- Assign Module
- Assign Attribute Module
- Process Module
- Seize Module
- Delay Module
- Release Module

Decisions panel

- Decide Module

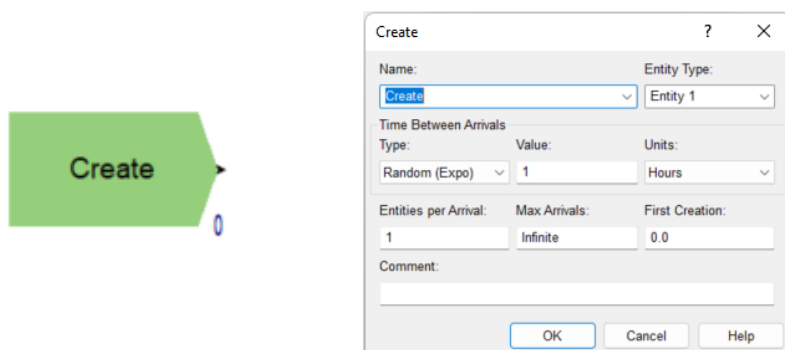
Το μεγαλύτερο τμήμα της οθόνης αφορά το μοντέλο, στο οποίο πραγματοποιείται η εργασία, και χωρίζεται σε δύο τμήματα: Flowchart View και Spreadsheet View. Στο πρώτο εμφανίζεται διαγραμματικά το μοντέλο και διακρίνονται όλα τα δομικά στοιχεία που εισάγει ο χρήστης, οι μεταξύ τους σύνδεσμοι και γραφικά στοιχεία που έχουν δημιουργηθεί από τον μελετητή (διαγράμματα, animation κ.ά.).

Κάνοντας διπλό κλικ σε οποιοδήποτε module εμφανίζεται ένα πλαίσιο διαλόγου με τις βασικές επιλογές για το στοιχείο αυτό. Στο κάτω μέρος της οθόνης βρίσκεται το spreadsheet view. Εκεί υπάρχουν ομαδοποιημένες όλες οι παράμετροι και επιλογές για κάθε δομικό στοιχείο του μοντέλου, τις οποίες ο χρήστης μπορεί να τροποποιήσει ανά πάσα στιγμή. Ο μελετητής μπορεί μέσα από σχετική επιλογή να ορίσει αν θα βλέπει μία ή και τις δύο οπτικές γωνίες (View > Split Screen). Αν και ο τρόπος εργασίας ανάγεται πάντα στις προτιμήσεις του χρήστη, ενδείκνυται η παράλληλη χρήση και των δύο οπτικών γωνιών (flowchart και spreadsheet). Τέλος, στο κατώτερο μέρος της οθόνης βρίσκεται πάντα η Status Bar. Εκεί απεικονίζονται ποικίλες πληροφορίες, ανάλογα με το τι συμβαίνει την τρέχουσα στιγμή στο πρόγραμμα. Τέτοιες μπορεί να είναι οι συντεταγμένες θέσης του κέρσορα του ποντικιού ή ο χρόνος και ο αριθμός επαναλήψεων στην περίπτωση που το μοντέλο εκτελείται.

7.3 Modules

7.3.1 Create module

Βασικό στοιχείο κάθε μοντέλου, το module Create φροντίζει για τη δημιουργία μιας οντότητας. Στο μενού επιλογών αυτού ο χρήστης μπορεί να ορίσει το όνομα του στοιχείου – το οποίο εμφανίζεται πάντα στο κέντρο του σχήματος που το απεικονίζει – καθώς και τον τύπο της οντότητας που γεννιέται. Κατόπιν, στο σημείο Time Between Arrivals ο χρήστης μπορεί να ορίσει με λεπτομέρεια τη χρονική περίοδο μεταξύ της δημιουργίας οντοτήτων. Αυτή μπορεί να είναι βάση προγράμματος, πιθανότητας, σταθερή ή και τυχαία (θεωρητική κατανομή). Η επιλογή εξαρτάται από τα στοιχεία που έχουν συλλεχθεί για την εν λόγω μελέτη, αλλά πάντα υπόκειται και στην κρίση του μελετητή.



Εικόνα 10: Create module και οι αντίστοιχες επιλογές

7.3.2 Entity Module



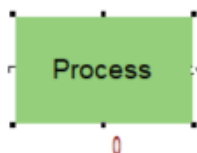
Με την καταχώρηση στοιχείων στο Create module το Arena δημιουργεί αυτόματα μια οντότητα με το όνομα που προσδιορίζει ο χρήστης. Επιλέγοντας το στοιχείο “Entity” στο Basic Process Panel, παρουσιάζονται στο κάτω μέρος της οθόνης (Spreadsheet View) όλες οι επιλογές της οντότητας. Εκεί ο χρήστης μπορεί να καθορίσει τον τύπο της οντότητας και την εικόνα με την οποία αναπαρίσταται γραφικά όταν το μοντέλο εκτελείται, αλλά και να εισάγει στοιχεία κόστους, αν το απαιτεί η μελέτη.

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

Εικόνα 11: Entity module και οι αντίστοιχες επιλογές

7.3.3 Process Module

Το Process module αντιπροσωπεύει κάθε διεργασία που πραγματοποιείται στο πραγματικό σύστημα και περιλαμβάνει τους πόρους (Resources) που χρησιμοποιούνται, την ουρά αναμονής και την καθυστέρηση της οντότητας μέχρι η τελευταία να εξυπηρετηθεί. Ο χρήστης στο σημείο αυτό καθορίζει τη λογική που διέπει την αλληλεπίδραση της οντότητας με τους διαθέσιμους πόρους. Παράλληλα ορίζει τη διάρκεια της διεργασίας. Οι επιλογές του χρήστη είναι οι θεωρητικές κατανομές καθώς και η επιλογή της δημιουργίας μιας νέας έκφρασης Στο πεδίο των πόρων (Resources) επιλέγονται οι πόροι που θα εξυπηρετήσουν την οντότητα, ο τύπος και η ποσότητα από τον κάθε ένα.



Process ? X

Name: Type:

Logic:

Action:

Delay Type: Units: Allocation:

Minimum: Value (Most): Maximum:

Report Statistics

Comment:

Εικόνα 12: Process module και οι αντίστοιχες επιλογές

7.3.4 Resource Module



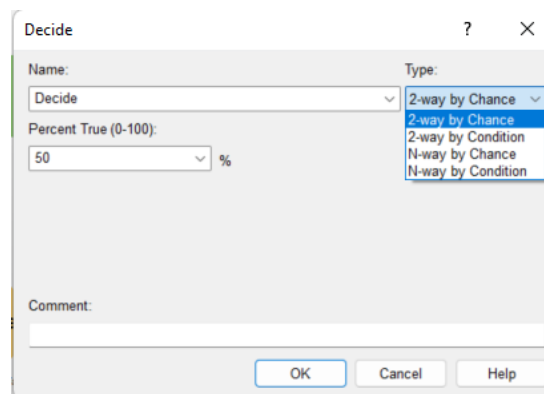
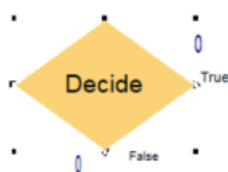
Από το στοιχείο αυτό μπορεί ο χρήστης να ελέγξει τις παραμέτρους που σχετίζονται με τους πόρους (Resources) του συστήματος. Επιλέγεται αν η διαθεσιμότητά τους είναι σταθερό μέγεθος ή μεταβλητή βάσει προγράμματος και υπάρχει η δυνατότητα του ορισμού πιθανών βλαβών. Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα ο χρήστης να εισάγει στοιχεία κόστους αν το απαιτεί η μελέτη.

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

Εικόνα 13: Resource module και οι αντίστοιχες επιλογές

7.3.5 Decide module

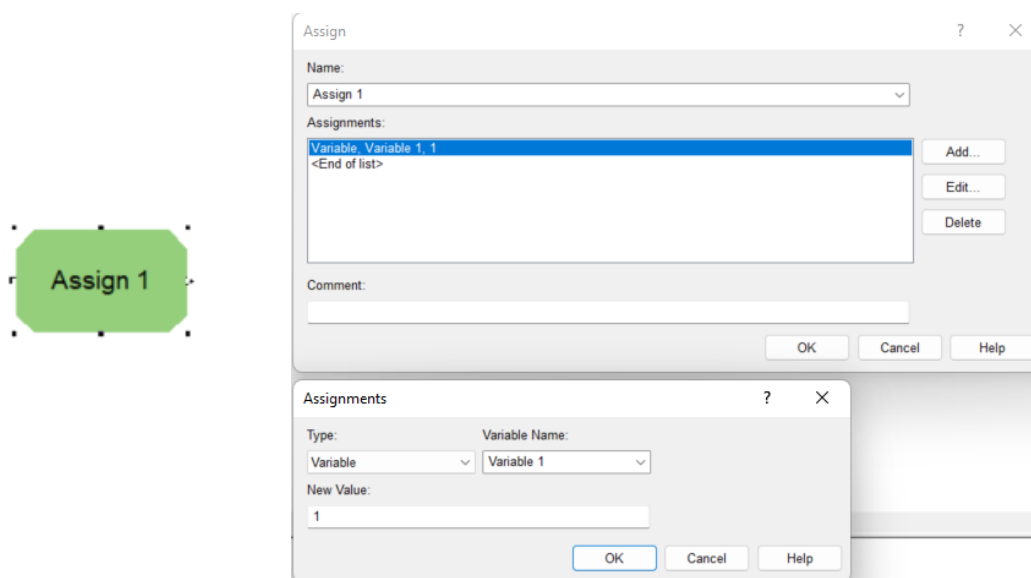
Το Decide module επιτρέπει τη μοντελοποίηση επιλογών, πρόκειται δηλαδή για μια διακλάδωση στο διάγραμμα ροής, είτε αυτές είναι τυχαίες, είτε όχι. Ο χρήστης ορίζει τον αριθμό εξόδων και τον κανόνα της επιλογής. Ο κανόνας μπορεί να είναι βάσει τύχης (chance) ή συνθήκης. Στην πρώτη περίπτωση εισάγει την πιθανότητα % για κάθε έκβαση, ενώ στην τελευταία καλείται να ορίσει τη συνθήκη, και την έκβαση για κάθε αποτέλεσμα αυτής.



Εικόνα 14: Decide module και οι αντίστοιχες επιλογές

7.3.6 Assign module

Το Assign module είναι αυτό που επιτρέπει στον χρήστη να τροποποιήσει μεταβλητές, ιδιότητες και γενικότερα τις διάφορες τιμές και παραμέτρους του συστήματος, αντικαθιστώντας την προηγούμενη τιμή με μια καινούρια. Εξαιρετικά σημαντικό σε κάθε μοντέλο.



Εικόνα 15: Assign και οι αντίστοιχες επιλογές

7.3.7 Variables module

Μέσα από το Variable module ελέγχονται οι τιμές των μεταβλητών που έχουν οριστεί στο σύστημα.



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

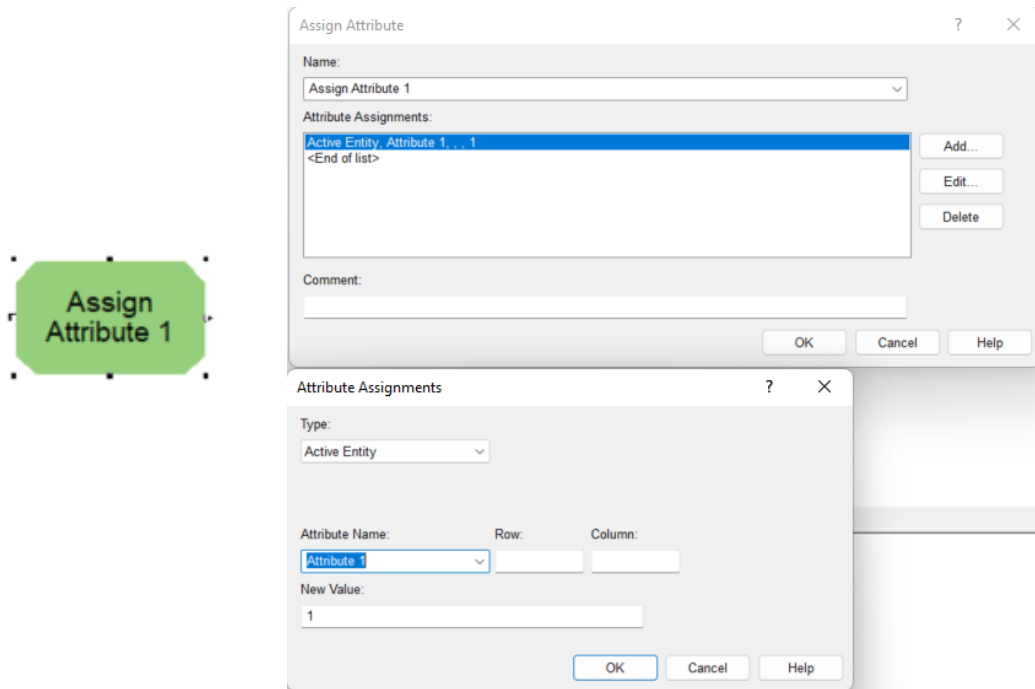
Εικόνα 16: Variables module και οι αντίστοιχες επιλογές

7.3.8 Assign Attribute Module

Μέσω του Assign attribute module πραγματοποιούνται οι εξής διαδικασίες:

- Ανάθεση αρχικών τιμών σε μεταβλητές
- Ανάθεση χαρακτηριστικών οντοτήτων:
Αυτό περιλαμβάνει την αλλαγή των ιδιοτήτων μιας οντότητας μέσα από διάφορα στάδια, ή την αλλαγή της κατάστασης ενός προϊόντος σε περίπτωση επιθεώρησης.
- Ανάθεση τύπου οντοτήτων
- Ανάθεση εικόνας οντοτήτων ή άλλων μεταβλητών του συστήματος

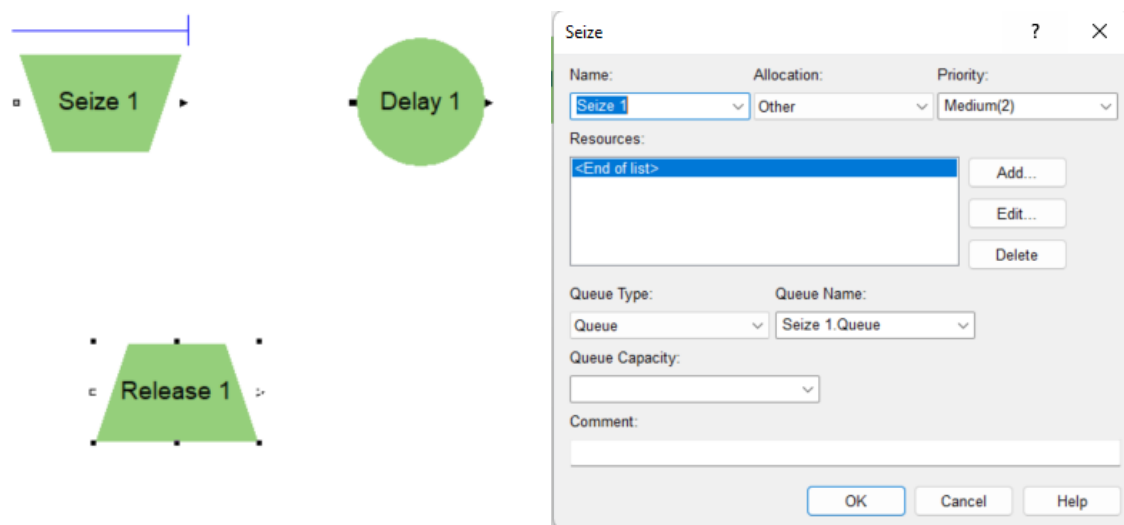
Μπορούν να γίνουν πολλαπλές αναθέσεις με ένα μόνο module ανάθεσης. Για παράδειγμα, μια συνδυαστική χρήση των παραπάνω μπορεί να πραγματοποιηθεί για προσωρινές οντότητες, όπως η αναγνώριση μιας οντότητας ως προς το χαρακτηριστικό, τον τύπο και την εικόνα της.

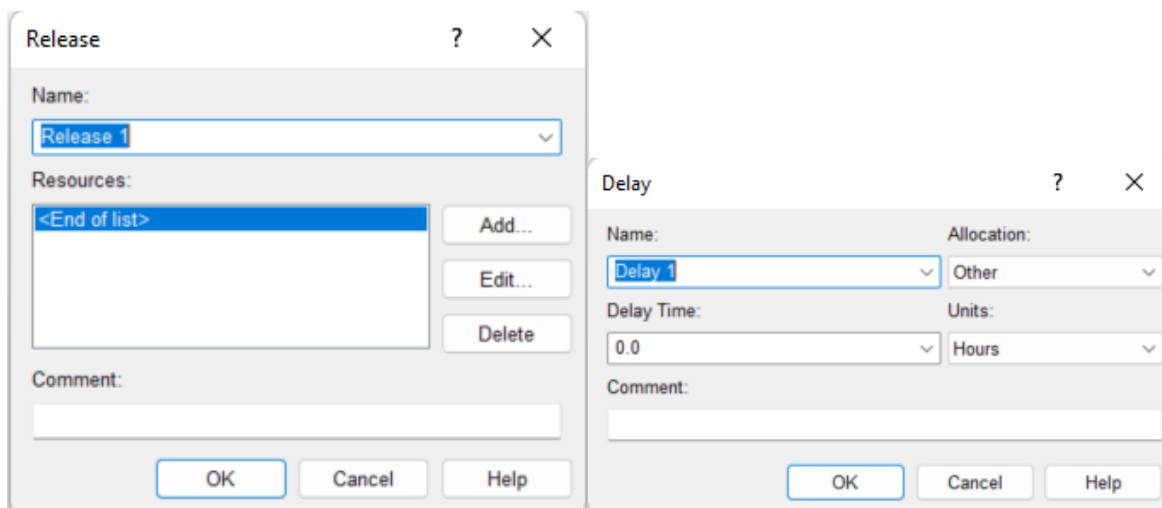


Εικόνα 17: Assign Attribute module και οι αντίστοιχες επιλογές

7.3.9 Seize, Delay και Release Modules

Το Delay module αναλαμβάνει την «καθυστέρηση» μιας οντότητας που εισέρχεται σε αυτό. Ο χρόνος της καθυστέρησης αυτής μπορεί να είναι μια σταθερά ή να υπακούει σε κάποια στατιστική κατανομή. Τα στοιχεία Seize και Release επιτρέπουν την μοντελοποίηση της «δέσμευσης» και «αποδέσμευσης» ενός, ή και περισσότερων πόρων. Μια ακολουθία modules με τη σειρά Seize – Delay – Release απεικονίζει πλήρως τη λειτουργία ενός Process module.

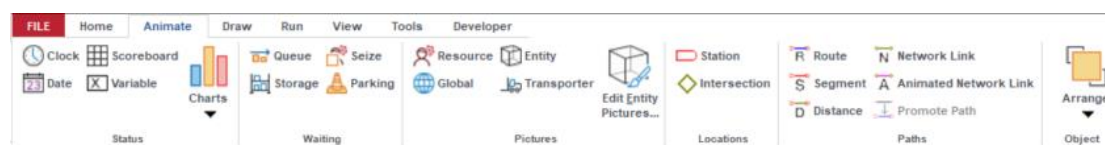




Εικόνα 18: Seize, Delay και Release modules και οι αντίστοιχες επιλογές

7.4 Animation

Το Arena παρέχει στο χρήστη μια πληθώρα επιλογών και δυνατοτήτων σχετικά με την οπτική αναπαράσταση στοιχείων του μοντέλου όταν αυτό εκτελείται. Τα γραφικά, αλλά και τα διάφορα γραφήματα έχουν ως πρωταρχικό στόχο την ευκολότερη κατανόηση του μοντέλου από τα άτομα στα οποία απευθύνεται η μελέτη. Μπορούν επίσης να βοηθήσουν σημαντικά στη διαπίστωση της προγραμματιστικά σωστής λειτουργίας του μοντέλου (verification & validation). Πρόσβαση στις σχετικές επιλογές παρέχεται από τη γραμμή εργαλείων Animation. Ο μελετητής μπορεί από εκεί να τροποποιήσει την εμφάνιση των ουρών, των οντοτήτων, να δημιουργήσει γραφήματα ποικίλων ειδών, να μοντελοποιήσει συστήματα μεταφοράς αγαθών και πρώτων υλών (transporters, conveyors), ακόμα και να εισάγει κάποιο ρολόι στο μοντέλο που δείχνει το πέρασμα του χρόνου, καθώς αυτό εκτελείται. Το πρόγραμμα παρέχει αρκετά έτοιμα σχέδια προς χρήση σε οργανωμένες «βιβλιοθήκες» (picture libraries), που επιπλέον τροποποιούνται για να καλύψουν τις ανάγκες κάθε μοντέλου.



Εικόνα 19: Animation tab και επιλογές

7.5 Εκτέλεση προγράμματος

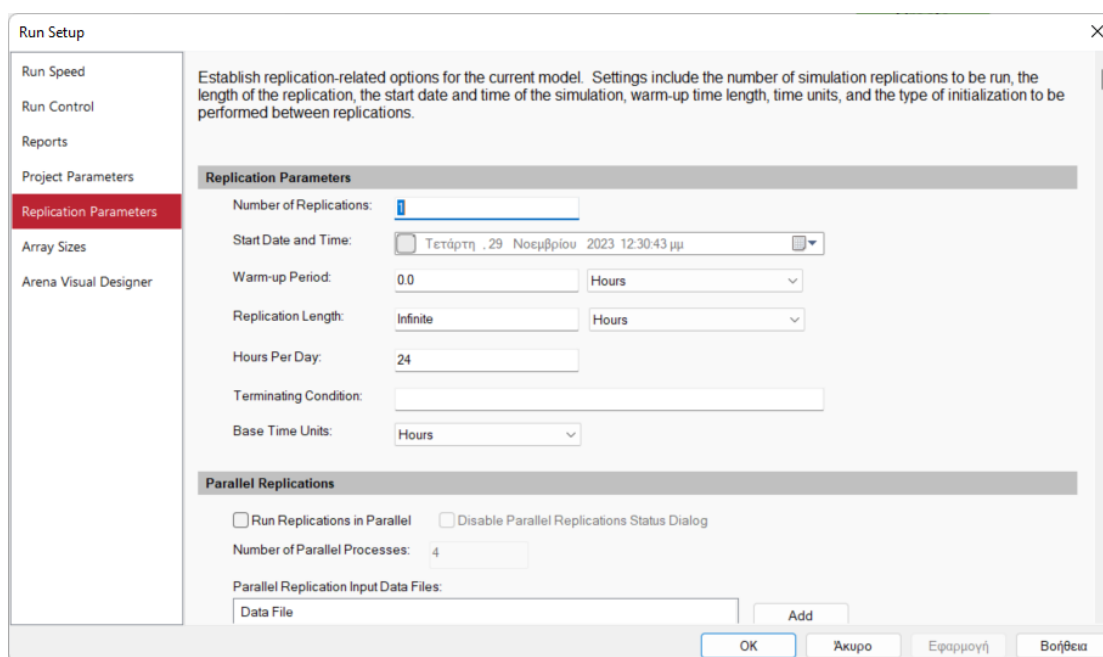
Όλες οι επιλογές γύρω από την εκτέλεση του πειράματος και των επαναλήψεων βρίσκονται στο μενού Run του Arena. Ο αναλυτής μπορεί από εδώ να ορίσει τη διάρκεια κάθε «εκτέλεσης», τον αριθμό των επαναλήψεων που θα γίνουν, αλλά και να

κάνει τις απαραίτητες ρυθμίσεις για τη σωστή λειτουργία του μοντέλου, όπως οι μονάδες χρόνου και η συνθήκη τερματισμού των επαναλήψεων. Ακολουθεί μια πιο αναλυτική περιγραφή των διαθέσιμων επιλογών στο υπομενού αυτό. Στην καρτέλα Project Parameters ο χρήστης μπορεί να εισάγει στοιχεία όπως τίτλος μελέτης και περιγραφή αυτής, καθώς και το όνομα του αναλυτή. Παράλληλα μπορούν να επιλεγθούν τα στατιστικά αποτελέσματα που θα εξαχθούν στην αναφορά μετά την εκτέλεση του μοντέλου (ουρές, κόστη, διεργασίες κ.ά.).



Εικόνα 20: Run tab και επιλογές

Στην καρτέλα Replication Parameters, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τον αριθμό των επαναλήψεων. Επίσης εντοπίζεται μια σειρά επιλογών που αφορούν την εκτέλεση του πειράματος: μονάδες χρόνου, περίοδος «αρχικοποίησης» της εκτέλεσης και χρονική διάρκεια επανάληψης, καθώς και η επιλογή συγκεκριμένης ώρας και ημερομηνίας αναφοράς για την εκτέλεση του μοντέλου. Σημειώνεται ότι η χρησιμότητα της περιόδου αρχικοποίησης της εκτέλεσης (warm-up period) έγκειται στην χρήση και εκκαθάριση με το πέρας αυτής της περιόδου των στατιστικών συσσωρευτών και μετρητών, αφήνοντας την επίδραση τυχόν άτυπων αρχικών συνθηκών να εξαφανιστεί σταδιακά.



Εικόνα 21: Run set up και επιλογές

Η συνθήκη τερματισμού (Terminating Condition) επιτρέπει στον χρήστη να καθορίσει πολύπλοκους ή και ανεξαρτήτως χρόνου κανόνες τερματισμού. Είναι βασικό συστατικό της μοντελοποίησης ο σχεδιασμός του τρόπου που λήγει μια επανάληψη και ο μελετητής πρέπει πάντα να δίνει ιδιαίτερη προσοχή στη θέσπιση των κανόνων τερματισμού. Αξίζει η αναφορά στην επιλογή Run Speed που επιτρέπει στον χρήστη τη μεταβολή του χρονικού πολλαπλασιαστή του προγράμματος κατά την εκτέλεση ενός μοντέλου. Μειώνοντας την ταχύτητα αυτή διευκολύνεται η αντίληψη των γραφικών και γραφημάτων που παρουσιάζονται κατά τη διάρκεια των εκτελέσεων.

Αφού ολοκληρωθεί η βασική δομή του μοντέλου, ελέγχεται η δομική του ακεραιότητα. Το Arena εκτελεί αυτόματα τον έλεγχο αυτό την πρώτη φορά που ο χρήστης επιχειρεί να τρέξει ένα μοντέλο, ενώ υπάρχει συνεχώς η δυνατότητα να το επαναλάβει πατώντας Run → Check Model. Αν υπάρχουν σφάλματα, το πρόγραμμα τα εντοπίζει και ενημερώνει το χρήστη σχετικά, ενώ παρέχει και βοήθεια για την επίλυσή τους. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή και ως debugging.

Στην εργαλειοθήκη Run Interaction βρίσκονται τα πλήκτρα ελέγχου της εκτέλεσης του πειράματος. Ο χρήστης μπορεί να εκκινήσει τις επαναλήψεις, να παύσει την εξέλιξη ανά πάσα στιγμή και να τερματίσει την εκτέλεση πρόωρα. Παράλληλα έχει την επιλογή σύροντας το δείκτη να αυξήσει ή να μειώσει την ταχύτητα, ενώ πριν την έναρξη μπορεί να επιλέξει την άμεση έκδοση της αναφοράς αποτελεσμάτων, αποφεύγοντας το animation.

7.6 Ανάλυση Δεδομένων

7.6.1 Input analyzer



Εικόνα 22:
Input analyzer

Αποτελεί συνοδευτικό πρόγραμμα στο πακέτο λογισμικού προσομοίωσης Arena και η λειτουργία του αφορά την παροχή βοήθειας στο χρήστη. Αναλαμβάνει την προσαρμογή των δεδομένων σε κατανομές, καθώς και τον έλεγχο αυτής μέσω σχετικών τεστ. Ο χρήστης μπορεί να προσδιορίσει συγκεκριμένες κατανομές και να ζητήσει από το Input Analyzer να επιλέξει τις ορθότερες παραμέτρους αυτών ή, εναλλακτικά, ο χρήστης μπορεί να ζητήσει την επιλογή και της κατανομής και των παραμέτρων αυτής. Το Input Analyzer είναι συμβατό με όλες της κατανομές που χρησιμοποιεί το Arena και τις παραμέτρους τους.

7.6.2 Process Analyzer

Το Arena έρχεται με ένα ακόμα εργαλείο, το Process Analyzer (PAN), το οποίο βοηθάει τον χρήστη στα εξής:

- Πρακτική και εύκολη αλλαγή μεταβλητών του μοντέλου για την απεικόνιση διαφορετικών σεναρίων. Υπό κανονικές συνθήκες, οι αλλαγές σε ένα μοντέλο και η όλη διεργασία αποθήκευσης ξεχωριστών αρχείων για κάθε σενάριο είναι διαδικασία επίπονη και σχολιοτενής.
- Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων με στατιστικά έγκυρες μεθόδους, ώστε να διαγνωσθούν αδυναμίες και πλεονεκτήματα σε κάθε περίπτωση, καθώς και αναπαράσταση των αποτελεσμάτων με χρήση γραφημάτων.



**Process
Analyzer**

Εικόνα 23:
Process Analyzer

Το PAN χρησιμοποιεί αρχεία Arena με την κατάληξη «.pan». Τα αρχεία αυτά δημιουργούνται αυτόματα την πρώτη φορά που εκτελείται έλεγχος του μοντέλου. Ένα σενάριο για το Process Analyzer είναι ο συνδυασμός ενός τέτοιου αρχείου με μια σειρά τιμών για τον έλεγχο εισόδων (controls) και μια ομάδα μεταβλητών απόκρισης εξόδου (responses). Μια συλλογή από τέτοια σενάρια αποτελεί ένα PAN project, και αποθηκεύεται σε ξεχωριστά αρχεία με την κατάληξη «.pan». Ο ορισμός των controls γίνεται από τις υπάρχουσες μεταβλητές και τους πόρους του μοντέλου (variables & resources). Η επιλογή των αποκρίσεων εξόδου γίνεται από τα αποτελέσματα του μοντέλου (responses), όπως αυτά διαμορφώνονται από το Arena. Αφού ο χρήστης ορίσει τις μεταβλητές εισόδου και τα αποτελέσματα που θα μελετηθούν το PAN εκτελεί το μοντέλο και υπολογίζει τα ζητούμενα για κάθε σενάριο. Έτσι για παράδειγμα μπορεί να μελετηθεί η επίδραση της αλλαγής του αριθμού υπαλλήλων που εξυπηρετούν, των μηχανημάτων που είναι διαθέσιμα σε ένα σύστημα κ.ά.



Εικόνα 24: Tools Tab

8. Μοντέλο προσομοίωσης λατομείου στη Βοιωτία

8.1 Στόχοι της προσομοίωσης

Η παρούσα μελέτη αφορά στην ανάλυση του κύκλου φόρτωσης και μεταφοράς του εξορυγμένου πετρώματος σε λατομείο στην ευρύτερη περιοχή της Βοιωτίας και στην ανάπτυξη ρεαλιστικού μοντέλου προσομοίωσης με στόχο τη βελτιστοποίηση του χρόνου κύκλου και απώτερο σκοπό την αύξηση της παραγωγής και τον έλεγχο του κόστους.

8.2 Ανάπτυξη του μοντέλου

Κύριο μέλημα για τη δημιουργία του μοντέλου είναι η ανάλυση του συστήματος. Το σύστημα που αναλύεται παρακάτω αντιπροσωπεύει την κυκλική κίνηση δύο φορτηγών στο εσωτερικό οδικό δίκτυο από το σημείο φόρτωσης στο σημείο εκφόρτωσης και αντιστρόφως. Στην πρώτη θέση πραγματοποιείται η φόρτωση των φορτηγών οχημάτων με τη βοήθεια ελαστικοφόρου φορτωτή. Η κίνηση των φορτηγών οχημάτων μεταξύ των δύο θέσεων πραγματοποιείται σε χωμάτινο δρόμο διπλής κατεύθυνσης, ενώ στις θέσεις αυτές τα οχήματα φορτώνονται ή εκκενώνουν το υλικό με σειρά προτεραιότητας FIFO.

8.3 Παραδοχές

Για την εφαρμογή του μοντέλου στο πρόγραμμα προσομοίωσης έγιναν ορισμένες παραδοχές για σκοπούς διευκόλυνσης της διαδικασίας:

- Το φορτίο των δύο φορτηγών ορίστηκε στους 30-36 τόνους για το λευκό φορτηγό και 25-27 για το κόκκινο, σύμφωνα με τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην γεφυροπλάστιγγα εντός του λατομείου κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.
- Οποιοσδήποτε καθυστερήσεις που προέρχονται από βλάβες του μηχανολογικού εξοπλισμού και έχουν μεγάλη απόκλιση από τις συνήθεις καθυστερήσεις δεν συμπεριλαμβάνονται στα δεδομένα εισόδου.
- Ο μηχανολογικός εξοπλισμός και τα χαρακτηριστικά του παραμένουν σταθερά.
- Οι καιρικές συνθήκες χωρίζονται σε ξηρές (ηλιοφάνεια) και υγρές (βροχόπτωση)
- Οι ημέρες λειτουργίας του λατομείου ορίζονται σε 210 το χρόνο σύμφωνα με τους καθαρούς χρόνους λειτουργίας του λατομείου για το έτος 2022.

8.4 Δομή του μοντέλου

8.4.1 Οντότητες (Entities)

Οντότητες του συγκεκριμένου συστήματος ορίστηκαν δύο φορητά αυτοκίνητα, το λευκό και το κόκκινο. Το λευκό φορητό ονομάστηκε στο σύστημα *White Truck* και το κόκκινο φορητό *Red Truck*. Οι δυο αυτές οντότητες δημιουργούνται με την έναρξη της προσομοίωσης, αλληλοεπιδρούν με το σύστημα και κινούνται σε αυτό μέχρι και τη λήξη της. Στη γραφική αναπαράσταση φαίνονται ως κόκκινες κουκίδες όταν έχουν φορτίο (έμφορτο) και πράσινες όταν δεν έχουν (κενό).

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

Εικόνα 25: Entity Tab με πληροφορίες για τις οντότητες του μοντέλου

8.4.2 Πόροι (Resources)

Ως πόροι του συγκεκριμένου συστήματος ορίστηκαν η θέση φόρτωσης και η θέση εκκένωσης. Η θέση φόρτωσης ονομάστηκε ως *LOADING* και η θέση εκκένωσης ως *DUMPING*. Οι πόροι στο σύστημα δεσμεύονται από τις οντότητες για τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο που ορίζεται.

Όλοι οι πόροι του συστήματος είναι ορισμένοι και καταγεγραμμένοι στο module “Resources” του Basic Process Panel με fixed capacity = 1, δηλαδή ο φορτωτής δεσμεύεται από ένα φορητό αυτοκίνητο τη φορά.

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

Εικόνα 26: Resources tab με πληροφορίες για τους πόρους του μοντέλου

8.4.3 Μεταβλητές (Variables)

Οι μεταβλητές του συστήματος είναι οι παρακάτω:

- *TOTAL PRODUCTION*: Αντιπροσωπεύει τη συνολική παραγωγή του συστήματος σε τόνους για τον χρόνο που προσομοιώνεται.
- *TONS PER HOUR*: Αντιπροσωπεύει τη μέση ωριαία παραγωγή του συστήματος σε τόνους.
- *WHITE TRUCKS*: Αντιπροσωπεύει την κατηγορία των φορητών με τα ίδια χαρακτηριστικά με το λευκό φορητό του συστήματος.

- *RED TRUCKS*: Αντιπροσωπεύει την κατηγορία των φορτηγών με τα ίδια χαρακτηριστικά με το κόκκινο φορτηγό του συστήματος.
- *TONS PER DAY*: Αντιπροσωπεύει τη μέση ημερήσια παραγωγή του συστήματος σε τόνους.
- *TONS PER MONTH*: Αντιπροσωπεύει τη μέση μηνιαία παραγωγή του συστήματος.
- *LoadedTrucksEnRoute*: Αντιπροσωπεύει τα φορτωμένα με υλικό φορτηγά που έχουν εισέρθει στο εσωτερικό οδικό δίκτυο και κινούνται από τη θέση φόρτωσης προς τη θέση εκκένωσης.
- *LoadedLeadingTruckExitTime*: Αντιπροσωπεύει τη χρονική στιγμή εξόδου του φορτωμένου με υλικό φορτηγού που προπορεύεται στο εσωτερικό οδικό δίκτυο.
- *LoadedFollowingTruckExitTime*: Αντιπροσωπεύει τη χρονική στιγμή εξόδου του φορτωμένου με υλικό φορτηγού που ακολουθεί το προπορευόμενο φορτηγό στο εσωτερικό οδικό δίκτυο.
- *EmptyTrucksEnRoute*: Αντιπροσωπεύει τα άδεια από υλικό φορτηγά που έχουν εισέρθει στο εσωτερικό οδικό δίκτυο και κινούνται από τη θέση εκκένωσης προς τη θέση φόρτωσης.
- *EmptyLeadingTruckExitTime*: Αντιπροσωπεύει τη χρονική στιγμή εξόδου του άδειου από υλικό φορτηγού που προπορεύεται στο εσωτερικό οδικό δίκτυο.
- *EmptyFollowingTruckExitTime*: Αντιπροσωπεύει τη χρονική στιγμή εξόδου του άδειου από υλικό φορτηγού που ακολουθεί το προπορευόμενο φορτηγό στο εσωτερικό οδικό δίκτυο.

	Name	Rows	Columns	Data Type	Clear Option	File Name	Initial Values	Report Statistics	Comment
1	TOTAL PRODUCTION			Real	System		0 rows	<input type="checkbox"/>	
2	TONS PER HOUR			Real	System		0 rows	<input type="checkbox"/>	
3	WHITE TRUCKS			Real	System		1 rows	<input type="checkbox"/>	
4	RED TRUCKS			Real	System		1 rows	<input type="checkbox"/>	
5	TONS PER DAY			Real	System		0 rows	<input type="checkbox"/>	
6	TONS PER MONTH			Real	System		0 rows	<input type="checkbox"/>	
7	LoadedTrucksEnRoute			Real	System		0 rows	<input type="checkbox"/>	
8	LoadedLeadingTruckExitTime			Real	System		0 rows	<input type="checkbox"/>	
9	LoadedFollowingTruckExitTime			Real	System		0 rows	<input type="checkbox"/>	
10	EmptyTrucksEnRoute			Real	System		0 rows	<input type="checkbox"/>	
11	EmptyLeadingTruckExitTime			Real	System		0 rows	<input type="checkbox"/>	
12	EmptyFollowingTruckExitTime			Real	System		0 rows	<input type="checkbox"/>	

Εικόνα 27: Variables Tab με πληροφορίες για τις μεταβλητές του μοντέλου

8.4.4 Assign

Τα Assign modules που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο είναι τα παρακάτω:

- *AddingToProductionDry*: Αντιπροσωπεύει τον υπολογισμό της παραγωγής.
- *Assign Entity Picture White Truck*: Αντιπροσωπεύει τη σύνδεση της οντότητας με το όνομα White Truck με μια εικόνα που θα εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.
- *Assign Entity Picture Red Truck*: Αντιπροσωπεύει τη σύνδεση της οντότητας με το όνομα Red Truck με μια εικόνα που θα εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.
- *EnterLoadedRoute*: Αντιπροσωπεύει την είσοδο του κάθε φορτηγού/οντότητας στη διαδρομή προς τη θέση εκκένωσης.
- *SampleLoadedWhiteTruck*: Αντιπροσωπεύει τη δειγματοληψία της διάρκειας της διαδρομής που πραγματοποιεί το White Truck.
- *SampleLoadedRedTruck*: Αντιπροσωπεύει τη δειγματοληψία της διάρκειας της διαδρομής που πραγματοποιεί το φορτωμένο Red Truck.
- *UpdateLoadedTruckPosition*: Αντιπροσωπεύει τον προσδιορισμό της θέσης στη διαδρομή από τη θέση φόρτωσης στη θέση εκκένωσης κάθε οντότητας.
- *ComputeLoadedWhiteExitTime*: Αντιπροσωπεύει τον προσδιορισμό της χρονικής στιγμής εξόδου του φορτωμένου White Truck από τη διαδρομή.
- *SetLeadingLoadedTruck*: Αντιπροσωπεύει τη συνέχεια της πορείας του φορτωμένου προπορευόμενου φορτηγού στη διαδρομή.
- *SetFollowingLoadedTruck*: Αντιπροσωπεύει τη συνέχεια της πορείας του φορτωμένου φορτηγού που ακολουθεί στη διαδρομή.
- *PreventLoadedTakeover*: Αντιπροσωπεύει την αποφυγή της προσπέρασης μεταξύ των φορτωμένων φορτηγών εντός της διαδρομής.
- *SetLoadedTravelDuration*: Αντιπροσωπεύει τον υπολογισμό της χρονικής διάρκειας παραμονής των φορτωμένων φορτηγών στη διαδρομή.
- *ComputeLoadedRedExitTime*: Αντιπροσωπεύει τον προσδιορισμό της χρονικής στιγμής εξόδου του Red Truck από τη διαδρομή.
- *ExitLoadedRoute*: Αντιπροσωπεύει την έξοδο του φορτωμένου φορτηγού από τη διαδρομή.
- *EnterEmptyRoute*: Αντιπροσωπεύει την είσοδο του άδειου φορτηγού στη διαδρομή.
- *SampleEmptyWhiteTruck*: Αντιπροσωπεύει τη δειγματοληψία της διάρκειας της διαδρομής που πραγματοποιεί το άδειο White Truck.

- *SampleEmptyRedTruck*: Αντιπροσωπεύει τη δειγματοληψία της διάρκειας της διαδρομής που πραγματοποιεί το άδειο Red Truck.
- *UpdateEmptyTruckPosition*: Αντιπροσωπεύει τον προσδιορισμό της θέσης στη διαδρομή από τη θέση εκκένωσης στη θέση φόρτωσης κάθε οντότητας.
- *ComputeEmptyWhiteExitTime*: Αντιπροσωπεύει τον προσδιορισμό της χρονικής στιγμής εξόδου του άδειου White Truck από τη διαδρομή.
- *SetLeadingEmptyTruck*: Αντιπροσωπεύει τη συνέχεια της πορείας του άδειου προπορευόμενου φορτηγού στη διαδρομή.
- *SetFollowingEmptyTruck*: Αντιπροσωπεύει τη συνέχεια της πορείας του άδειου φορτηγού που ακολουθεί στη διαδρομή.
- *PreventEmptyTakeover*: Αντιπροσωπεύει την αποφυγή της προσπέρασης μεταξύ των άδειων φορτηγών εντός της διαδρομής.
- *SetEmptyTravelDuration*: Αντιπροσωπεύει τον υπολογισμό της χρονικής διάρκειας παραμονής των άδειων φορτηγών στη διαδρομή.
- *ComputeEmptyRedExitTime*: Αντιπροσωπεύει τον προσδιορισμό της χρονικής στιγμής εξόδου του άδειου Red Truck από τη διαδρομή.
- *ExitEmptyRoute*: Αντιπροσωπεύει την έξοδο του άδειου φορτηγού από τη διαδρομή.

	Name	Assignments	Comment
1	AddingToProductionDry	4 rows	
2	Assign Entity Picture White Truck	1 rows	
3	Assign Entity Picture Red Truck	1 rows	
4	EnterLoadedRoute	1 rows	
5	SampleLoadedWhiteTruck	1 rows	
6	SampleLoadedRedTruck	1 rows	
7	UpdateLoadedTruckPosition	1 rows	
8	ComputeLoadedWhiteExitTime	1 rows	
9	SetLeadingLoadedTruck	1 rows	
10	SetFollowingLoadedTruck	1 rows	
11	PreventLoadedTakeover	1 rows	
12	SetLoadedTravelDuration	2 rows	
			13
			14
			15
			16
			17
			18
			19
			20
			21
			22
			23
			24
			25

Εικόνα 28: Assign Attributes Tab με πληροφορίες για τα assign attributes του μοντέλου

8.4.5 Attributes

Οι ιδιότητες/χαρακτηριστικά των οντοτήτων του συστήματος είναι οι παρακάτω:

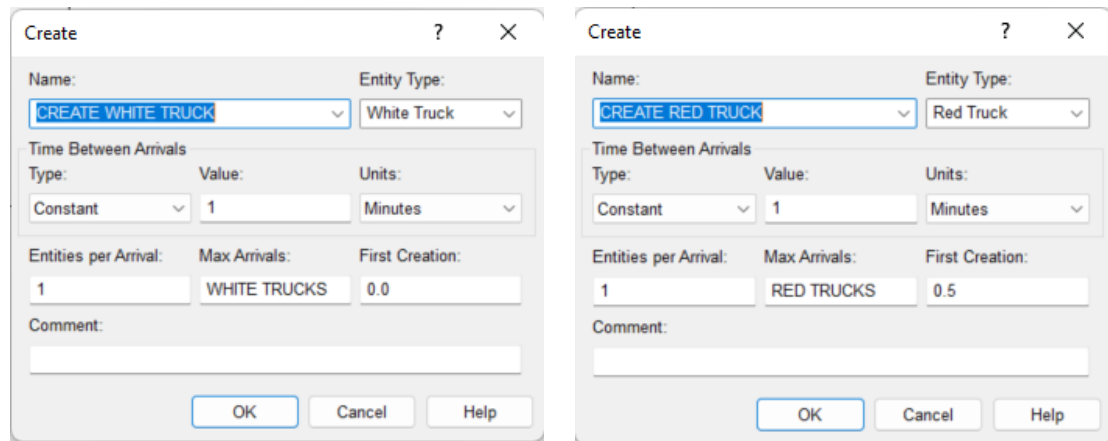
- *PAYLOAD Red Truck*: Αντιπροσωπεύει το τρέχον ωφέλιμο φορτίο του κόκκινου φορτηγού
- *PAYLOAD White Truck*: Αντιπροσωπεύει το τρέχον ωφέλιμο φορτίο του λευκού φορτηγού
- *LoadedTravelDuration*: Αντιπροσωπεύει τη διάρκεια κίνησης του φορτωμένου με υλικό φορτηγού
- *LoadedTruckPosition*: Αντιπροσωπεύει τη θέση του φορτωμένου με υλικό φορτηγού που βρίσκεται εντός του εσωτερικού οδικού δικτύου
- *LoadedExitTime*: Αντιπροσωπεύει τη χρονική στιγμή εξόδου του φορτωμένου με υλικό φορτηγού από το εσωτερικό οδικό δίκτυο
- *EmptyTravelDuration*: Αντιπροσωπεύει τη διάρκεια κίνησης του άδειου από υλικό φορτηγού
- *EmptyTruckPosition*: Αντιπροσωπεύει τη θέση του κάθε άδειου από υλικό φορτηγού που βρίσκεται εντός του εσωτερικού οδικού δικτύου
- *EmptyExitTime*: Αντιπροσωπεύει τη χρονική στιγμή εξόδου του άδειου από υλικό φορτηγού από το εσωτερικό οδικό δίκτυο

	Name	Rows	Columns	Data Type	Initial Values	Comment
1	PAYLOAD Red Truck	1	1	Real	1 rows	
2	PAYLOAD White Truck	1	1	Real	1 rows	
3	LoadedTravelDuration			Real	0 rows	
4	LoadedTruckPosition			Real	0 rows	
5	LoadedExitTime			Real	0 rows	
6	EmptyTravelDuration			Real	0 rows	
7	EmptyTruckPosition			Real	0 rows	
8	EmptyExitTime			Real	0 rows	

Εικόνα 29: Assign Tab με πληροφορίες για τα attributes του μοντέλου

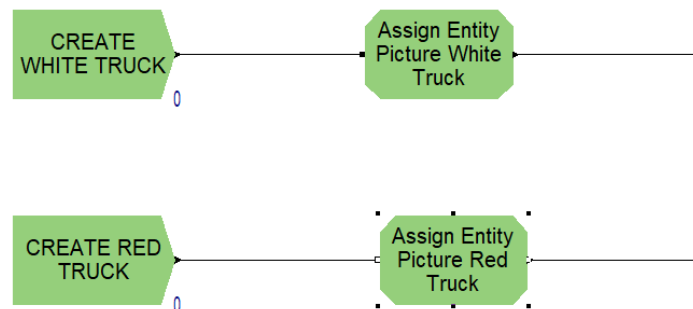
8.4.6 Ανάλυση του μοντέλου

Το μοντέλο ξεκινάει με τη χρήση δύο create modules που βρίσκονται παράλληλα το ένα με άλλο. Το πρώτο ονομάζεται *CreateWhiteTruck* και το δεύτερο *CreateRedTruck*. Μέσω αυτών των δύο δημιουργούνται οι δύο οντότητες του συστήματος *White Truck* και *Red Truck* με χρονική διαφορά 0,5 min.



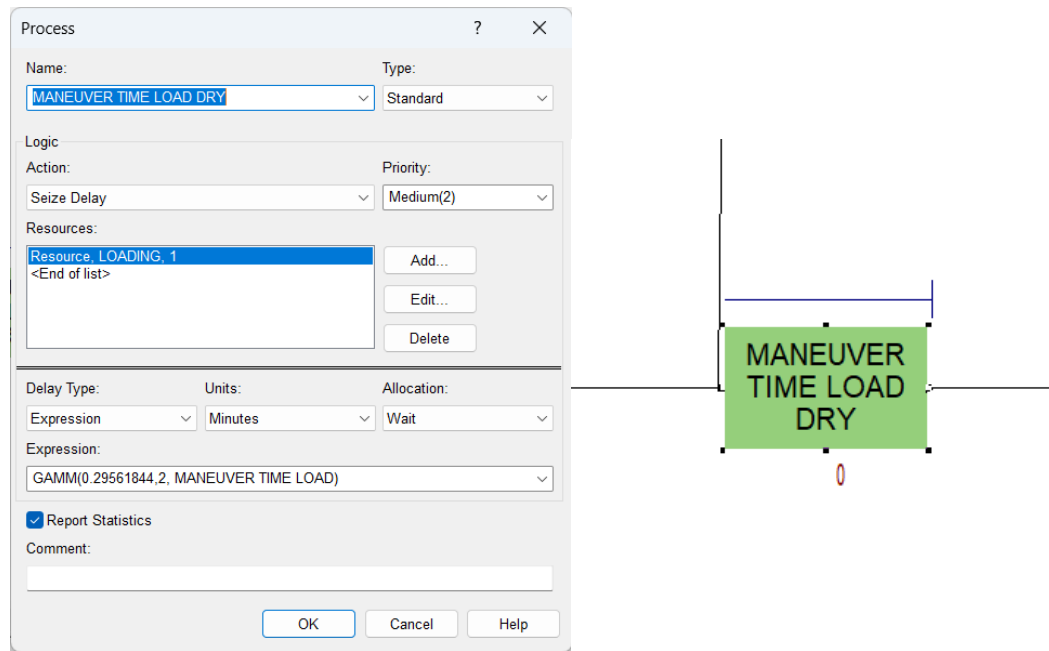
Εικόνα 30: Create Tab με τα χαρακτηριστικά της κάθε οντότητας. Δεξιά για το Red Truck και αριστερά για το White Truck

Στη συνέχεια το κάθε create module συνδέεται με ένα assign module. Πιο συγκεκριμένα, το *CreateWhiteTruck* συνδέεται με το *AssignEntityPictureWhiteTruck* και το *CreateRedTruck* συνδέεται με το *AssignEntityPictureRedTruck*. Αυτά τα modules δίνουν στις οντότητες το χαρακτηριστικό να παρουσιάζονται γραφικά στο σύστημα ως κίτρινη σφαίρα για το *White Truck* και ως κόκκινη σφαίρα για το *Red Truck* με σκοπό τη διάκριση τους στο σύστημα κατά τη διάρκεια της γραφικής αναπαράστασης.

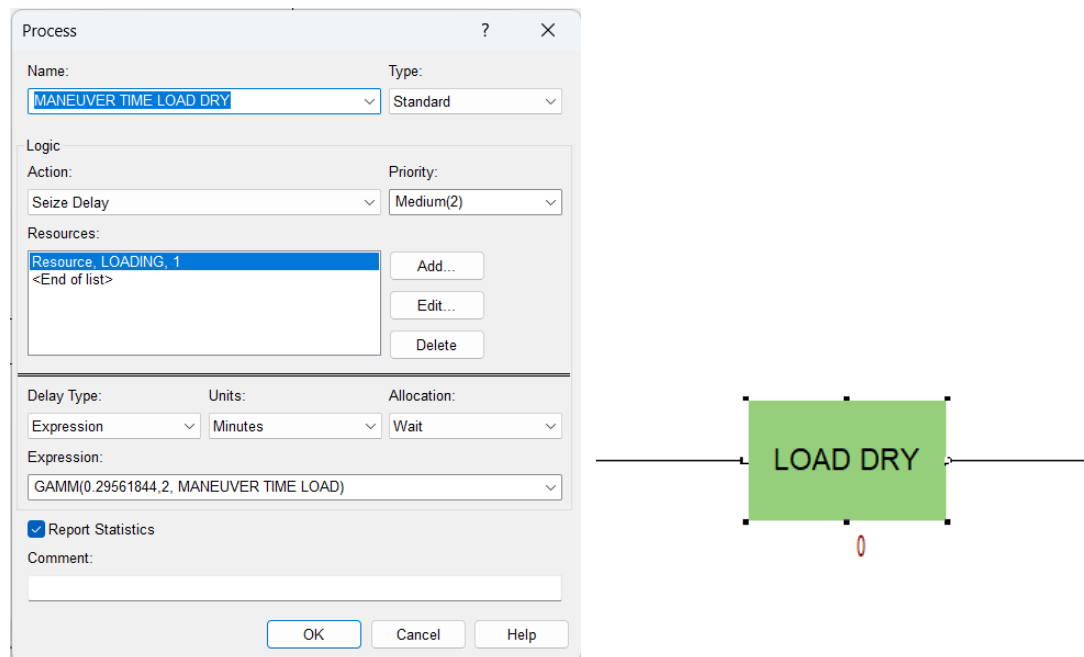


Εικόνα 31: Σύνδεση των Create modules με τα Assign modules

Στη συνέχεια οι οντότητες εισέρχονται στο σύστημα, όπου συνδέονται με ένα process module με την ιδιότητα *seize delay*, το οποίο αντιπροσωπεύει το χρόνο που τα φορτηγά εκτελούν μανούβρα ώστε να τοποθετηθούν στη θέση φόρτωσης. Το module αυτό ονομάζεται *ManueverTimeLoadDry* και δεσμεύει το resource *LOADING*, καθώς για να ξεκινήσει η μανούβρα πρέπει να ελευθερωθεί ο φορτωτής.



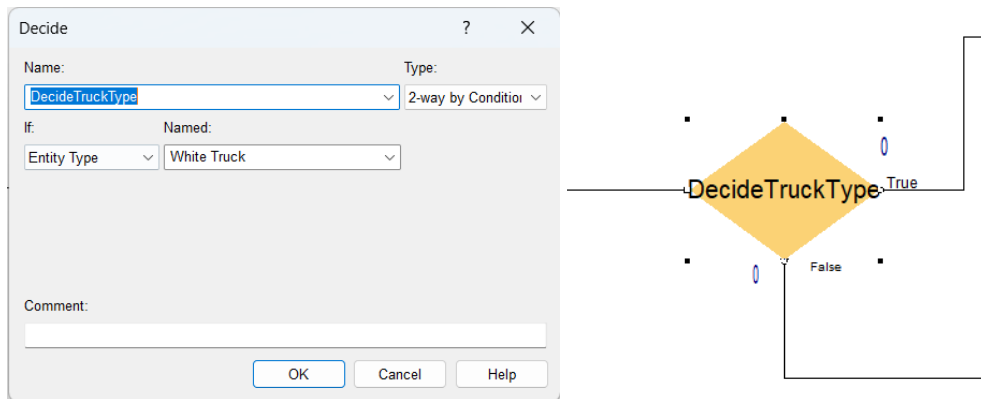
Εικόνα 32: Δεξιά το Process module Maneuver Time Load Dry και Αριστερά το παράθυρο με τα χαρακτηριστικά του Έπειτα ακολουθεί ακόμα ένα process module με την ιδιότητα delay - release, το οποίο αντιπροσωπεύει τη φόρτωση των φορητών. Το module αυτό ονομάζεται LoadDry, ενώ και αυτό δεσμεύει το resource LOADING, καθώς υπάρχει μόνο ένας φορτωτής.



Εικόνα 33: Δεξιά το Process module Load Dry και Αριστερά το παράθυρο με τα χαρακτηριστικά του

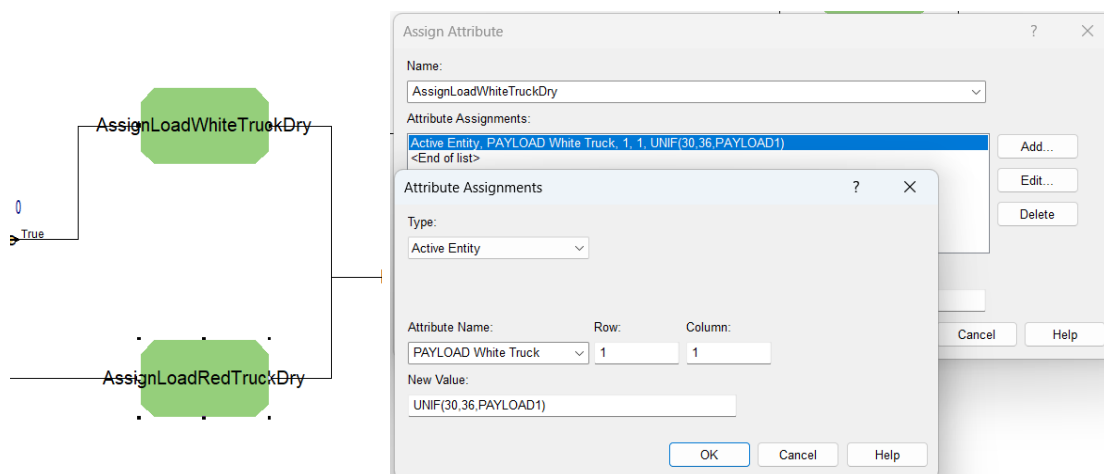
Μετά τη φόρτωση στο μοντέλο ακολουθεί ένα module Decide με το όνομα *DesideTruckType* και ιδιότητα 2-way by condition, το οποίο διαχωρίζει αν η οντότητα

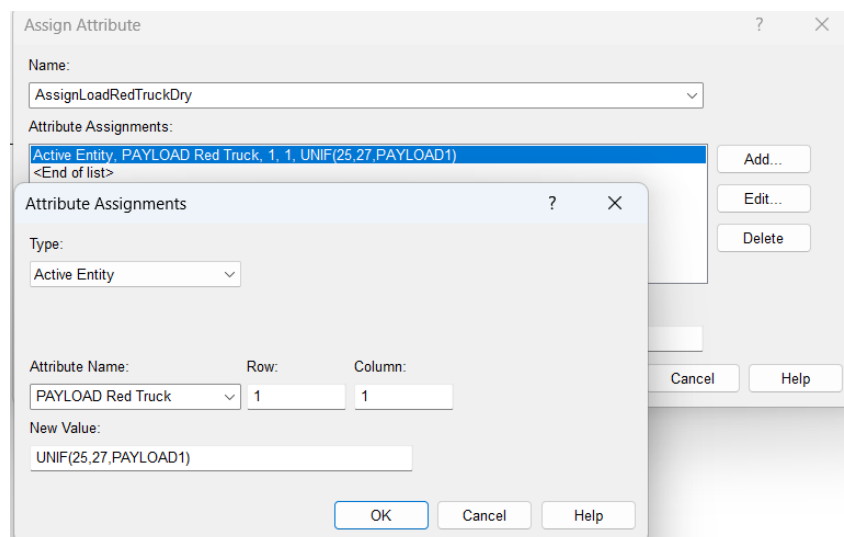
που εισέρχεται σε αυτό είναι το White Truck (True - πάνω τμήμα) ή Red Truck (False - κάτω τμήμα).



Εικόνα 34: Δεξιά το Decide module Decide Truck Type και Αριστερά το παράθυρο με τα χαρακτηριστικά του

Στο πάνω τμήμα χρησιμοποιείται ένα module Assign Attribute με το όνομα *AssignLoadWhiteTruckDry* και στο κάτω τμήμα πάλι ένα module Assign Attribute με το όνομα *AssignLoadRedTruckDry*. Μέσω αυτών η κάθε οντότητα ανάλογα με το όνομά της λαμβάνει και το attribute που της αναλογεί που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι το *PAYLOAD*, δηλαδή το ωφέλιμο φορτίο του κάθε φορτηγού. Ως φορτία έχουν επιλεγθεί 30-36tn για το White Truck και 25-27tn για το Red Truck.





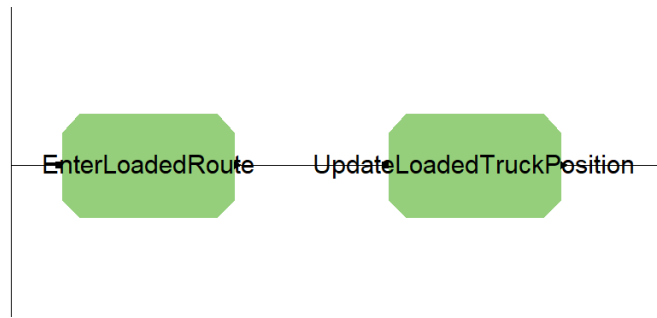
Εικόνα 35: Αριστερά πάνω τα Assign Attribute Modules AssignLoadWhiteTruckDry και AssignLoadRedTruckDry.

Δεξιά πάνω και Κάτω, τα παράθυρα με τα χαρακτηριστικά τους

Από τη στιγμή που τα φορτηγά έχουν φορτωθεί με υλικό στη θέση φόρτωσης ακολουθεί η κίνησή τους στο εσωτερικό οδικό δίκτυο μέχρι τη θέση εκκένωσης. Ο δρόμος αυτός είναι διπλής κατεύθυνσης, ενώ δεν επιτρέπονται προσπεράσεις. Αναλύοντας τα δεδομένα, παρατηρήθηκε πως το ένα φορτηγό διανύει τη διαδρομή σε λιγότερο χρόνο από το άλλο. Έτσι θεωρητικά θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί προσπέραση. Για να αποφευχθεί αυτό δημιουργήθηκε ένα σύμπλεγμα από modules το οποίο αναλύεται παρακάτω.

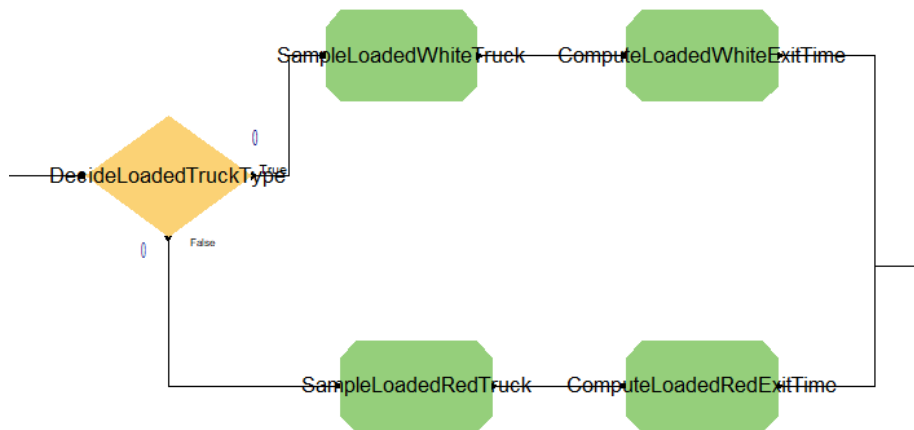
Σύμπλεγμα modules με σκοπό την αποφυγή προσπέρασης μεταξύ των φορτηγών

Αρχικά εισάχθηκε ένα Assign module με το όνομα *EnterLoadedRoute*, το οποίο αντιπροσωπεύει την είσοδο του κάθε φορτηγού/οντότητας στη διαδρομή προς τη θέση εκκένωσης μέσω της μεταβλητής *LoadedTrucksEnRoute*. Έτσι κάθε φορά που εισέρχεται μια οντότητα στη διαδρομή θα προστίθεται στη μεταβλητή αυτή. Ακολουθεί ακόμα ένα Assign module με το όνομα *UpdateLoadedTruckPosition*, το οποίο προσδίδει την ιδιότητα *LoadedTrucksEnRoute* στην κάθε οντότητα. Δηλαδή κάθε οντότητα λαμβάνει τον αριθμό ένα ή δύο ανάλογα με τη θέση που έχει στη διαδρομή.



Εικόνα 36: Σύνδεση Assign module EnterLoadedRoute με Assign module UpdateLoadedTruckPosition

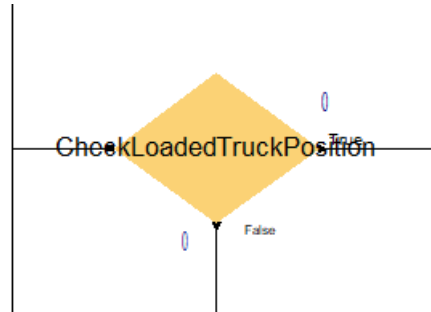
Στη συνέχεια τοποθετείται ένα Decide module με το όνομα *DecideLoadedTruckType* και ιδιότητα 2-way by condition, το οποίο διαχωρίζει αν η οντότητα είναι το White Truck (True - πάνω τμήμα) ή Red Truck (False – κάτω τμήμα). Ανάλογα με το όνομα της κάθε οντότητας το module Decide συνδέεται με ένα Assign module με όνομα *SampleLoadedWhiteTruck* ή *SampleLoadedRedTruck*, με το οποίο προσδιορίζεται η ιδιότητα της διάρκειας της διαδρομής (*LoadedTravelDuration*) που πραγματοποιεί το κάθε φορτηγό. Κάθε ένα module συνδέεται με ένα Assign module με όνομα *ComputeLoadedWhiteExitTime* ή *ComputeLoadedRedExitTime*, μέσω του οποίου προσδίδεται το χαρακτηριστικό της χρονικής στιγμής εξόδου (*LoadedExitTime*) του φορτηγού από τη διαδρομή.



Εικόνα 37: Σύνδεση του Decide module *DecideLoadedTruckType* με τα Assign modules *SampleLoadedWhiteTruck* και *SampleLoadedRedTruck*. Σύνδεση του κάθε ένα module με ένα Assign module με όνομα *ComputeLoadedWhiteExitTime* και *ComputeLoadedRedExitTime* αντίστοιχα.

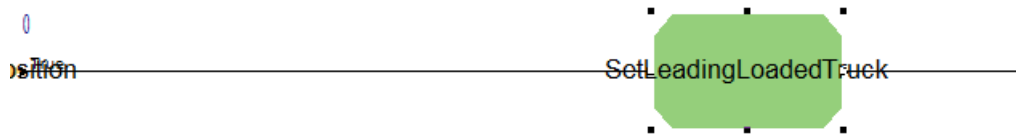
Τα δυο αυτά Modules συνδέονται ξανά με ένα decide module με το όνομα *CheckLoadedTruckPosition*, στο οποίο διαχωρίζονται οι οντότητες σύμφωνα με το

attribute *LoadedTruckPosition*, δηλαδή τη θέση που έχουν στη διαδρομή. Αν προπορεύεται η οντότητα πηγαίνει στον άνω κλάδο (True), ενώ αν ακολουθεί πηγαίνει στον κάτω (False).



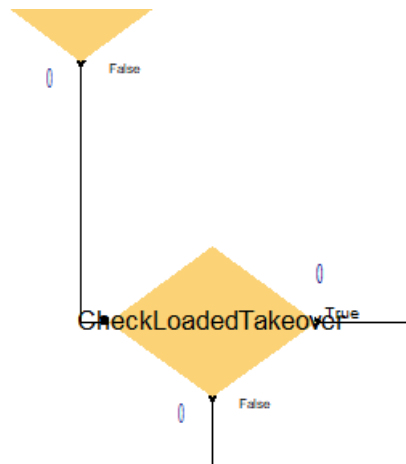
Εικόνα 38: Decide module *CheckLoadedTruckPosition*

Ο άνω κλάδος συνδέεται με ένα Assign module με όνομα *SetLeadingLoadedTruck*, με το οποίο η μεταβλητή *LoadedLeadingTruckExitTime* παίρνει την τιμή *LoadedExitTime*. Αυτό σημαίνει ότι αν το φορτηγό προπορεύεται συνεχίζει κανονικά την πορεία του, αφού δεν υπάρχει η δυνατότητα προσπέρασης.



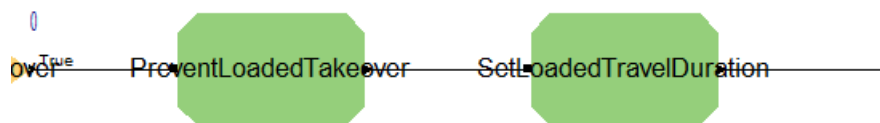
Εικόνα 39: Assign module *SetLeadingLoadedTruck*

Ο κάτω κλάδος συνδέεται με ακόμα ένα Decide module με το όνομα *CheckLoadedTakeover*, το οποίο διαχωρίζει τις οντότητες σύμφωνα με τη χρονική στιγμή εξόδου του ουραγού φορτηγού από τη διαδρομή (*LoadedExitTime*). Αν η χρονική στιγμή αυτή είναι νωρίτερα από τη χρονική στιγμή εξόδου του προπορευόμενου φορτηγού (*LoadedLeadingTruckExitTime*), τότε η οντότητα οδηγείται στον άνω κλάδο.



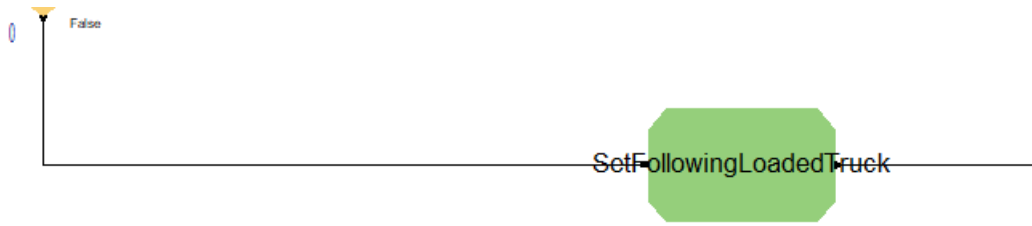
Εικόνα 40: Decide module CheckLoadedTakeover

Ο άνω κλάδος συνδέεται με ένα Assign module με όνομα *PreventLoadedTakeover* με το οποίο αποφεύγεται η προσπέραση προσθέτοντας 0.5min στο φορτηγό που ακολουθεί, δηλαδή η μεταβλητή *LoadedFollowingTruckExitTime* ισούται πια με *LoadedLeadingTruckExitTime* + 0.5, που αντιστοιχεί σε μια αποδεκτή απόσταση ασφαλείας μεταξύ των φορτηγών. Ακολουθεί ένα Assign module με το όνομα *SetLoadedTravelDuration*, στο οποίο περιέχονται δύο λειτουργίες. Η πρώτη αφορά στην τιμή της ιδιότητας *LoadedTravelDuration*, που ισούται πια με *LoadedFollowingTruckExitTime* – *TNOW*, δηλαδή η διάρκεια του χρόνου κίνησης του φορτηγού που ακολουθεί ισούται με τη νέα χρονική στιγμή εξόδου από τη διαδρομή μείον τη χρονική στιγμή της προσομοίωσης. Η δεύτερη αφορά στη σύνδεση της ιδιότητας *LoadedExitTime* με τη *LoadedFollowingTruckExitTime*.



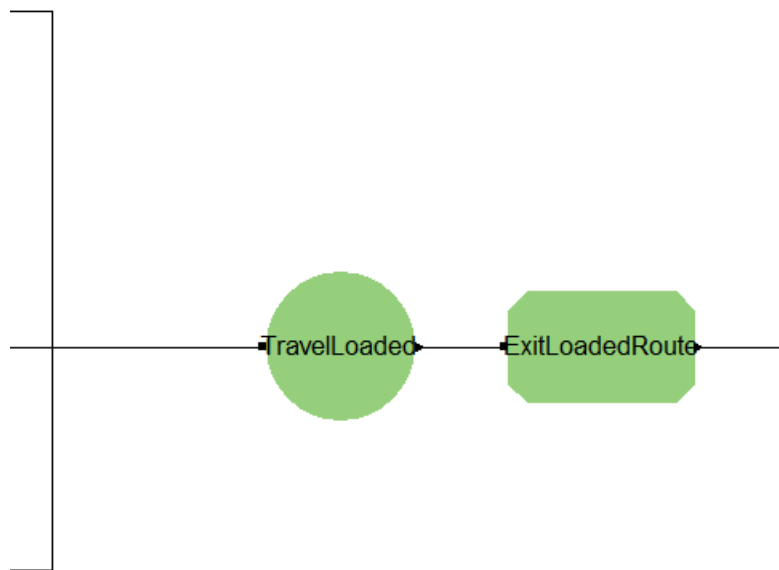
Εικόνα 41: Σύνδεση Assign module *PreventLoadedTakeover* με *SetLoadedTravelDuration*

Ο κάτω κλάδος συνδέεται με ένα Assign module με το όνομα *SetFollowingLoadedTruck*, με το οποίο συνδέεται η ιδιότητα *LoadedExitTime* με τη *LoadedFollowingTruckExitTime*. Στην ουσία, αφού έχει αποφευχθεί η προσπέραση, η οντότητα διατηρεί το χρόνο που χρειάζεται για να βγει από τη διαδρομή.



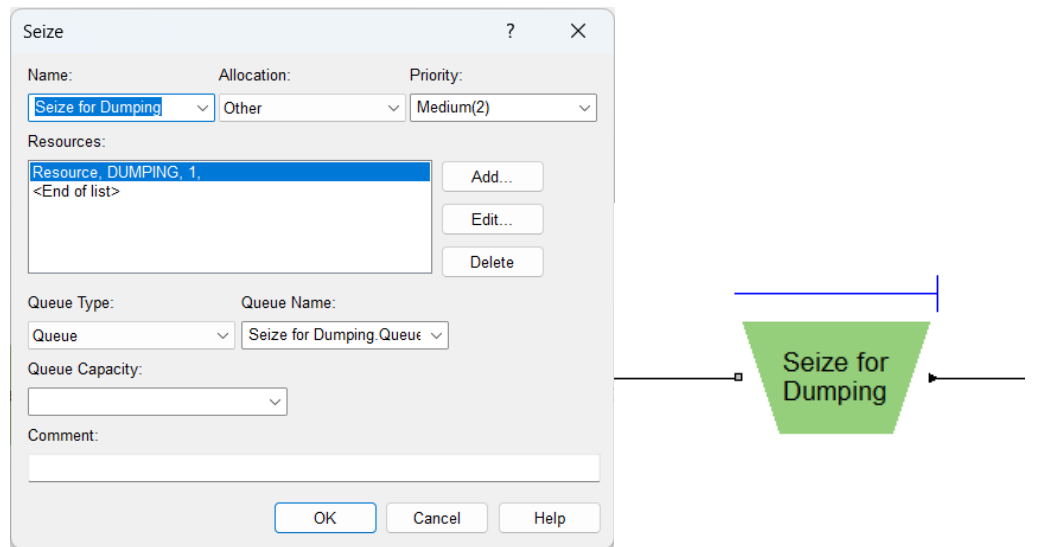
Εικόνα 42: Assign module *SetFollowingLoadedTruck*

Η διαδρομή τελειώνει με τη χρήση δύο module ένα Delay και ένα Assign. Το module Delay με όνομα *TravelLoaded* συνδέεται με τα τρία modules *SetLeadingLoadedTruck*, *SetLoadedTravelDuration* *SetFollowingLoadedTruck* και λαμβάνει την τιμή που έχει υπολογιστεί στα προηγούμενα module, δηλαδή *LoadedTravelDuration*. Το module Assign με όνομα *ExitLoadedRoute* αντιπροσωπεύει την έξοδο της οντότητας από τη διαδρομή με την αλλαγή της μεταβλητής *LoadedTrucksEnRoute* σε *LoadedTrucksEnRoute - 1*.



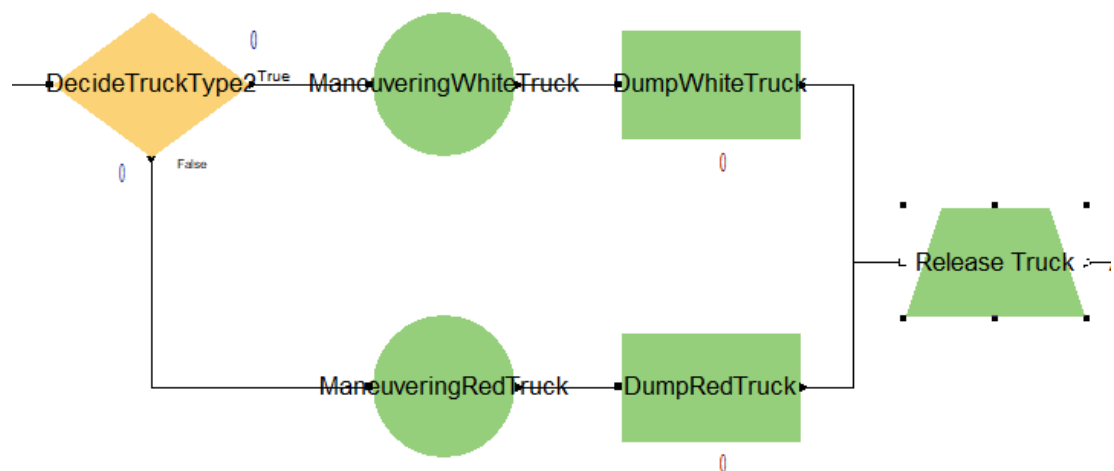
Εικόνα 43: Σύνδεση Delay module *TravelLoaded* με Assign module *ExitLoadedRoute*

Αφού οι οντότητες εξέλθουν από τη διαδρομή πηγαίνουν σε ένα Seize module με το όνομα *Seize for Dumping*. Σε αυτό το module οι οντότητες δεσμεύουν το resource *DUMPING*.



Εικόνα 44: Δεξιά το Seize module *Seize for Dumping* και Αριστερά το παράθυρο με τα χαρακτηριστικά του

Εν συνεχεία ακολουθεί ένα module *Decide* με το όνομα *DecideTruckType 2* και με την ιδιότητα *2-way by condition*, το οποίο διαχωρίζει αν η οντότητα που εισέρχεται σε αυτό είναι το *White Truck* (True - πάνω τμήμα) ή *Red Truck* (False - κάτω τμήμα). Κάθε τμήμα συνδέεται με ένα module *Delay* με ονόματα *ManeuveringWhiteTruck* και *ManeuveringRedTruck* που αντιπροσωπεύει το χρόνο που τα φορτηγά εκτελούν μανούβρα ώστε να τοποθετηθούν στη θέση εκκένωσης. Στη συνέχεια κάθε ένα από αυτά συνδέεται με τη σειρά του με ένα *Process* module με την ιδιότητα *Delay* και ονόματα *DumpWhiteTruck* και *DumpRedTruck*. Αυτά τα δύο Modules αντιπροσωπεύουν την εκκένωση του φορτίου από τα φορτηγά και συνδέονται με ένα *Release* module με όνομα *Release Truck*. Στο Module οι οντότητες αυτό αποδεσμεύουν το resource *DUMPING*.



Εικόνα 45: Σύμπλεγμα modules που αντιπροσωπεύουν την θέση εκκένωσης

Έπειτα ακολουθεί ένα Assign module με όνομα *AddingToProductionDry* που περιέχει τρεις λειτουργίες:

- $TONS\ PER\ HOUR = TOTAL\ PRODUCTION * 60 / TFIN$

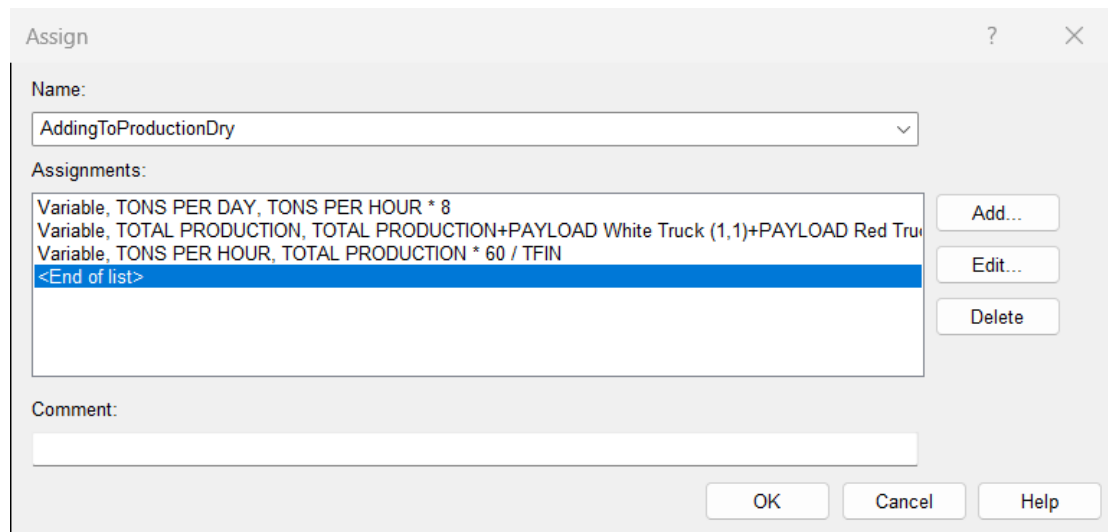
Αντιπροσωπεύει την ωριαία παραγωγή, που ισούται με τη συνολική παραγωγή επί εξήντα λεπτά δια τον τελικό χρόνο προσομοίωσης

Το *TFIN* δίνει τα ορθά αποτελέσματα αφού ολοκληρωθεί η προσομοίωση και όχι κατά τη διάρκεια αυτής.
- $TONS\ PER\ DAY = TONS\ PER\ HOUR * 8$

Αντιπροσωπεύει την ημερήσια παραγωγή, που ισούται με την ωριαία παραγωγή επί 8 ώρες.

Σε αυτή την εξίσωση κρύβεται πάλι το *TFIN* με αποτέλεσμα οι τιμές να είναι ορθές μόνο στο τέλος της προσομοίωσης.
- $TOTAL\ PRODUCTION = TOTAL\ PRODUCTION + PAYLOADWhiteTruck(1,1) + PAYLOADRedTruck(1,1)$

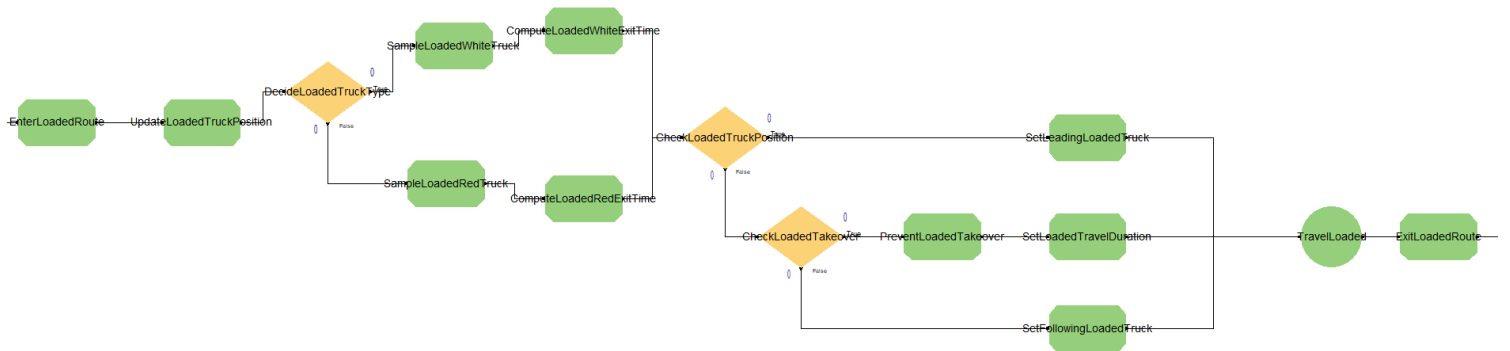
Αντιπροσωπεύει τη συνολική παραγωγή τη στιγμή του υπολογισμού, που ισούται με τη συνολική παραγωγή που είχε υπολογιστεί προηγουμένως συν το φορτίο από κάθε οντότητα που διέρχεται.



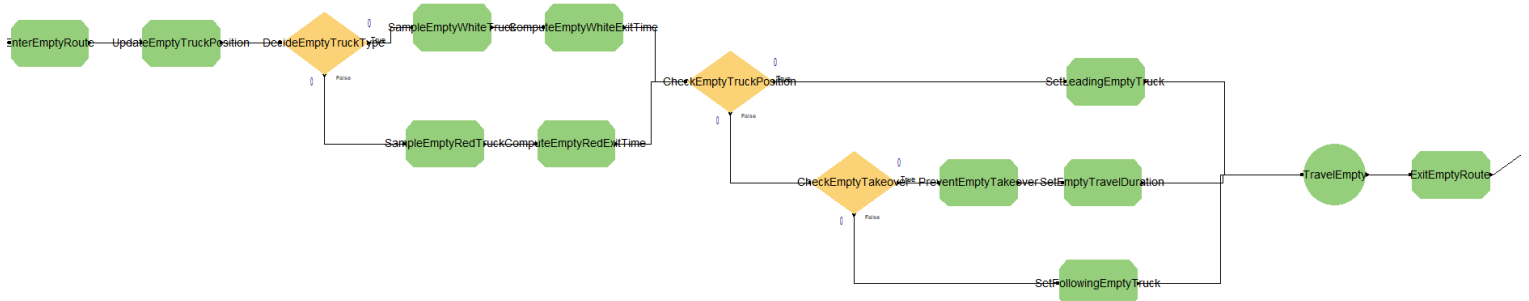
Εικόνα 46: Παράθυρο Assign module *AddingToProductionDry* με τα Assignments που περιέχει

Με το παραπάνω Module συνδέεται ένα Decide module με το όνομα *DecideTruckType* 3 και με την ιδιότητα 2-way by condition, το οποίο διαχωρίζει αν η οντότητα που εισέρχεται σε αυτό είναι το White Truck (True - πάνω τμήμα) ή Red Truck (False –

κάτω τμήμα). Κάθε τμήμα συνδέεται με ένα module Assign με ονόματα *AssignZeroPayloadWhiteTruck* και *AssignZeroPayloadRedTruck*. Μέσω αυτών των modules αντιπροσωπεύεται η εκκένωση του φορτίου των φορτηγών, ώστε το νέο φορτίο τους να είναι μηδέν. Τέλος, τα δύο αυτά modules συνδέονται με ένα σύμπλεγμα modules ίδιο με αυτό που αναλύθηκε παραπάνω με τις μόνες διαφορές τους να είναι τα ονόματα των Modules (Load → Empty) και τα δεδομένα του χρόνου κίνησης των φορτηγών. Αυτό το σύμπλεγμα αντιπροσωπεύει τη διαδρομή των φορτηγών από τη θέση εκκένωσης στη θέση φόρτωσης. Το σύστημα κλείνει με τη σύνδεση του τελευταίου module του συμπλέγματος *ExitEmptyRoute* με το module *ManeuverTimeLoadDry*.



Εικόνα 47: Σύμπλεγμα modules με σκοπό την αποφυγή προσπέρασης μεταξύ των φορτηγών (έμφορτο)



Εικόνα 48: Σύμπλεγμα modules με σκοπό την αποφυγή προσπέρασης μεταξύ των φορτηγών (κενό)

8.5 Επαλήθευση και επικύρωση του μοντέλου

Αφού ολοκληρώθηκε η βασική δομή του μοντέλου, ελέγχθηκε η δομική του ακεραιότητα. Ο έλεγχος αυτός πραγματοποιήθηκε την πρώτη φορά που έτρεξε το μοντέλο πατώντας Run → Check Model. Κατά τη διάρκεια των δοκιμών παρουσιάστηκαν ορισμένα σφάλματα, τα οποία εντοπίστηκαν από το πρόγραμμα. Με τη βοήθεια του λογισμικού όμως, το οποίο υπέδειξε τα σημεία που χρειαζόταν παρέμβαση, τα προβλήματα επιλύθηκαν και το μοντέλο εκτελέστηκε κανονικά.

8.6 Παράμετροι προσομοίωσης

Με την επαλήθευση και επικύρωση του μοντέλου επιλέχθηκαν στο toolbar (Run→Set up) οι εξής παράμετροι της προσομοίωσης (Replication parameters):

- Number of Replications → 10, με σκοπό να συγκλίνουν οι τιμές στο ρεαλιστικό αποτέλεσμα.
- Warm-up Period → 10 Hours, προκειμένου να εξαλειφθούν τα μεταβατικά φαινόμενα.
- Replication Length → 210 Days, οι ημέρες λειτουργίας του λατομείου ετησίως.
- Hours Per Day → 8, οι ώρες λειτουργίας του λατομείου ημερησίως.
- Base Time Units → Minutes.

8.7 Υγρές συνθήκες

Μετά την ολοκλήρωση του αρχικού μοντέλου δημιουργήθηκε ένα νέο μοντέλο, βασισμένο στη δομή του αρχικού και προσαρμοσμένο στα δεδομένα που είχαν καταγραφεί τις ημέρες όπου υπήρξε βροχόπτωση στο λατομείο. Ακολούθησαν τα ίδια βήματα για την επαλήθευση του, και το μοντέλο εκτελέστηκε κανονικά.

9. Αποτελέσματα προσομοίωσης

Σκοπός της δημιουργίας των παραπάνω μοντέλων προσομοίωσης ήταν η επιλογή του κατάλληλου πλήθους και είδους φορτηγών αυτοκινήτων με σκοπό την επίτευξη του μέγιστου δυνατού ρυθμού παραγωγής, σε συνδυασμό με τη μέγιστη χρησιμοποίηση του φορτωτή και του τροφοδότη, αποφεύγοντας τις πολλαπλές καθυστερήσεις. Για την επιλογή του κατάλληλου συνδυασμού των παραπάνω δημιουργήθηκαν διάφορα σενάρια στο Process Analyzer.

9.1 Σενάρια

Με την ολοκλήρωση και την αποθήκευση των μοντέλων, επιλέχθηκε στο λογισμικό η εφαρμογή Process Analyzer. Στα σενάρια στο Process Analyzer εισήχθησαν τα αποθηκευμένα μοντέλα προσομοίωσης και στη συνέχεια επιλέχθηκαν τα κατάλληλα controls και τα κατάλληλα responses. Δηλαδή, έγινε επιλογή των δεδομένων που θα εισάγονται και θα επηρεάζουν κάποιο χαρακτηριστικό του συστήματος (controls), καθώς και επιλογή των αποτελεσμάτων που θα εμφανίζονται (responses).

Ως controls επιλέχθηκαν τα:

- White truck → Πλήθος λευκών φορτηγών αυτοκινήτων
- Red truck → Πλήθος κόκκινων φορτηγών αυτοκινήτων

Και ως responses επιλέχθηκαν τα:

- Tons per hour → Ρυθμός παραγωγής (t/h)
- Total Production → Συνολική παραγωγή ανά έτος (t)
- Utilization of Loading → Χρησιμοποίηση Φορτωτή
- Utilization of Dumping → Χρησιμοποίηση Θέσης Εκκένωσης
- Loading Queue Waiting Time → Διάρκεια αναμονής στη Θέση Φόρτωσης (s)
- Dumping Queue Waiting Time → Διάρκεια αναμονής στη Θέση Εκκένωσης (s)

Scenario Properties				Controls		Responses						
S	Name	Program File	Reps	RED TRUCKS	WHITE TRUCKS	TONS PER HOUR	TOTAL PRODUCTION	LOADING Utilization	DUMPING Utilization	Seize for Dumping Queue WaitingTime	ManeuverTimeLoad Dry.Queue.Waiting Time	MANEUVER TIME LOAD WET.Queue.Waiting Time

Εικόνα 49: Κατηγορίες απαντήσεων των Σεναρίων που εξετάζονται

Συνολικά δημιουργήθηκαν 10 σενάρια. Τα σενάρια 1-4 επιλέχθηκαν από το μοντέλο με τις ξηρές συνθήκες και τα σενάρια 5-8 με τις υγρές συνθήκες. Στο πρώτο και στο πέμπτο σενάριο επιλέχθηκε ένα φορτηγό από την κάθε κατηγορία. Στο δεύτερο και στο

έκτο σενάριο δύο κόκκινα φορτηγά και ένα λευκό. Στο τρίτο και στο έβδομο σενάριο επιλέχθηκαν δύο λευκά φορτηγά και ένα κόκκινο, ενώ στο τέταρτο και στο όγδοο δύο κόκκινα και δυο λευκά. Επιπλέον εξετάστηκαν και δύο πρόσθετα σενάρια 9 και 10, ένα από κάθε συνθήκη, στα οποία επιλέχθηκαν δέκα κόκκινα και δέκα λευκά φορτηγά, με σκοπό να βρεθεί η μέγιστη δυνατή ωριαία παραγωγή του συστήματος. Οι επιλογές παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Εικόνα 50).

	Scenario Properties				Controls	
	S	Name	Program File	Reps	RED TRUCKS	WHITE TRUCKS
1		Scenario 1	1 : model-6	10	1.0000	1.0000
2		Scenario 2	1 : model-6	10	2.0000	1.0000
3		Scenario 3	1 : model-6	10	1.0000	2.0000
4		Scenario 4	1 : model-6	10	2.0000	2.0000
5		Scenario 5 W	1 : model-6	10	1.0000	1.0000
6		Scenario 6 W	1 : model-6	10	2.0000	1.0000
7		Scenario 7 W	1 : model-6	10	1.0000	2.0000
8		Scenario 8 W	1 : model-6	10	2.0000	2.0000
9		Scenario 9	1 : model-6	10	10.0000	10.0000
10		Scenario 10 W	1 : model-6	10	10.0000	10.0000

Εικόνα 50: Σενάρια 1-10 με τα χαρακτηριστικά τους

Στη συνέχεια επιλέχθηκαν και τα δέκα σενάρια και έτρεξαν το ένα μετά το άλλο, δίνοντας τα αποτελέσματα σύμφωνα με τα επιλεγμένα responses. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα.

	Scenario Properties				Controls		Responses						
	S	Name	Program File	Reps	RED TRUCKS	WHITE TRUCKS	TONS PER HOUR	TOTAL PRODUCTION	LOADING Utilization	DUMPING Utilization	Seize for Dumping.Queue.WaitingTime	ManeuverTimeLoad Dry.Queue.Waiting Time	MANEUVER TIME LOAD WET.Queue.Waiting Time
1		Scenario 1	1 : model-6	10	1.0000	1.0000	361.460	607252.954	0.711	0.344	0.010	0.252	---
2		Scenario 2	1 : model-6	10	2.0000	1.0000	469.964	789540.154	0.963	0.474	0.023	1.276	---
3		Scenario 3	1 : model-6	10	1.0000	2.0000	508.993	855108.416	0.964	0.458	0.017	1.314	---
4		Scenario 4	1 : model-6	10	2.0000	2.0000	507.980	853406.142	1.000	0.484	0.024	4.381	---
5		Scenario 5	1 : model-6	10	1.0000	1.0000	349.111	586506.225	0.759	0.333	0.004	---	0.237
6		Scenario 6	1 : model-6	10	2.0000	1.0000	437.587	735146.327	0.991	0.442	0.008	---	1.728
7		Scenario 7	1 : model-6	10	1.0000	2.0000	473.650	795731.728	0.991	0.427	0.006	---	1.768
8		Scenario 8	1 : model-6	10	2.0000	2.0000	459.636	772187.767	1.000	0.438	0.009	---	5.495
9		Scenario 9	1 : model-6	10	10.0000	10.0000	508.084	853580.751	1.000	0.484	0.026	60.116	---
10		Scenario 10	1 : model-6	10	10.0000	10.0000	459.626	772171.529	1.000	0.438	0.009	---	67.108

Εικόνα 51: Πίνακας αποτελεσμάτων προσομοίωσης για τα Σενάρια 1-10

9.2 Συγκρίσεις σεναρίων - Παρατηρήσεις

9.2.1 Ξηρές vs Υγρές συνθήκες

Παρατηρείται πως και στα τέσσερα ζεύγη σεναρίων η ωριαία παραγωγή είναι μειωμένη στην περίπτωση των υγρών συνθηκών. Το συμπέρασμα αυτό είναι λογικό, αφού με τη βροχή η κίνηση των μηχανημάτων είναι περιορισμένη, ενώ παράλληλα το υλικό γίνεται πιο βαρύ. Από την άλλη πλευρά παρατηρείται πως η χρησιμοποίηση (utilization) του φορτωτή στη θέση φόρτωσης είναι μεγαλύτερη στις υγρές συνθήκες, ενώ αντίθετα η χρησιμοποίηση (utilization) στη θέση εκκένωσης είναι μεγαλύτερη στις ξηρές συνθήκες. Επιπλέον, σημαντικές αυξήσεις παρατηρούνται στον χρόνο αναμονής στη θέση φόρτωσης. Παράλληλα παρατηρείται πως οι ωριαίες παραγωγές ακολουθούν παρόμοιες μεταβολές ανά ζεύγη σεναρίων (ξηρές – υγρές συνθήκες).

9.2.2 Σενάριο 1/5 vs Σενάριο 2/6

Με την προσθήκη ενός επιπλέον κόκκινου φορτηγού παρατηρείται ότι:

- Η ωριαία παραγωγή αυξήθηκε περίπου κατά 100τ.
- Η χρησιμοποίηση του φορτωτή αυξήθηκε περίπου κατά 25%.
- Η χρησιμοποίηση της θέσης εκκένωσης αυξήθηκε περίπου κατά 10%.
- Ο χρόνος αναμονής στη θέση φόρτωσης αυξήθηκε περίπου κατά 1 λεπτό

9.2.3 Σενάριο 1/5 vs Σενάριο 3/7

Με την προσθήκη ενός επιπλέον λευκού φορτηγού παρατηρείται ότι:

- Η ωριαία παραγωγή αυξήθηκε περίπου κατά 140τ.
- Η χρησιμοποίηση του φορτωτή αυξήθηκε περίπου κατά 25%.
- Η χρησιμοποίηση της θέσης εκκένωσης αυξήθηκε περίπου κατά 15%.
- Ο χρόνος αναμονής στη θέση φόρτωσης αυξήθηκε περίπου κατά 1 λεπτό

9.2.4 Σενάριο 2/6 vs Σενάριο 3/7

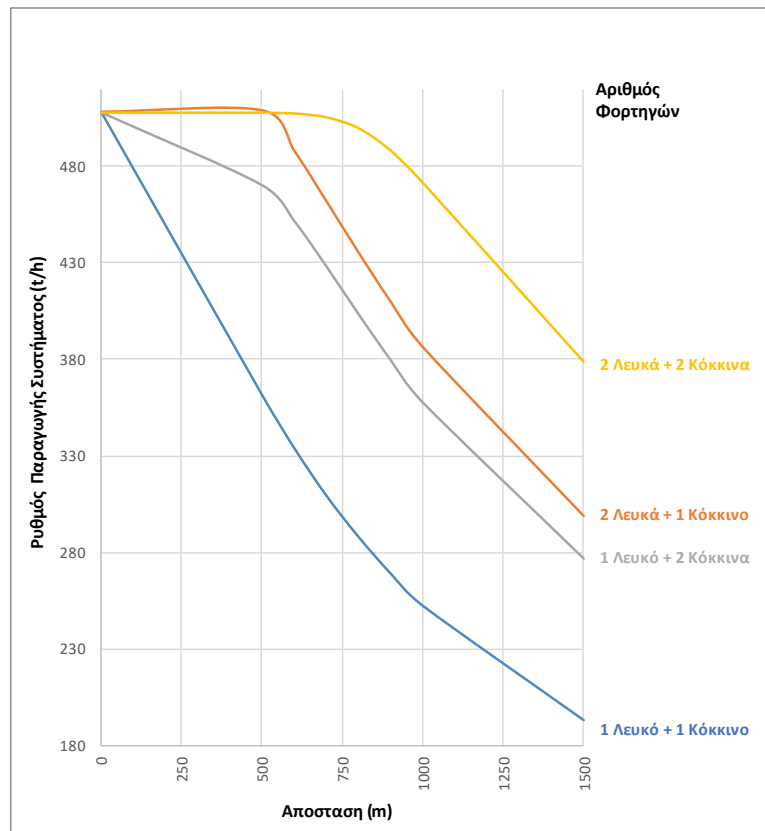
Παρατηρείται πως η προσθήκη ενός λευκού φορτηγού αυξάνει περισσότερο την ωριαία παραγωγή σε σχέση με την προσθήκη ενός κόκκινου φορτηγού. Η χρησιμοποίηση του φορτωτή παρουσιάζει την ίδια αύξηση, η χρησιμοποίηση της θέσης εκκένωσης αυξάνεται λιγότερο στην περίπτωση προσθήκης κόκκινου φορτηγού, ενώ ο χρόνος αναμονής στη θέση φόρτωσης αυξάνεται σχεδόν το ίδιο και στις δύο περιπτώσεις.

9.2.5 Σενάριο 4/8

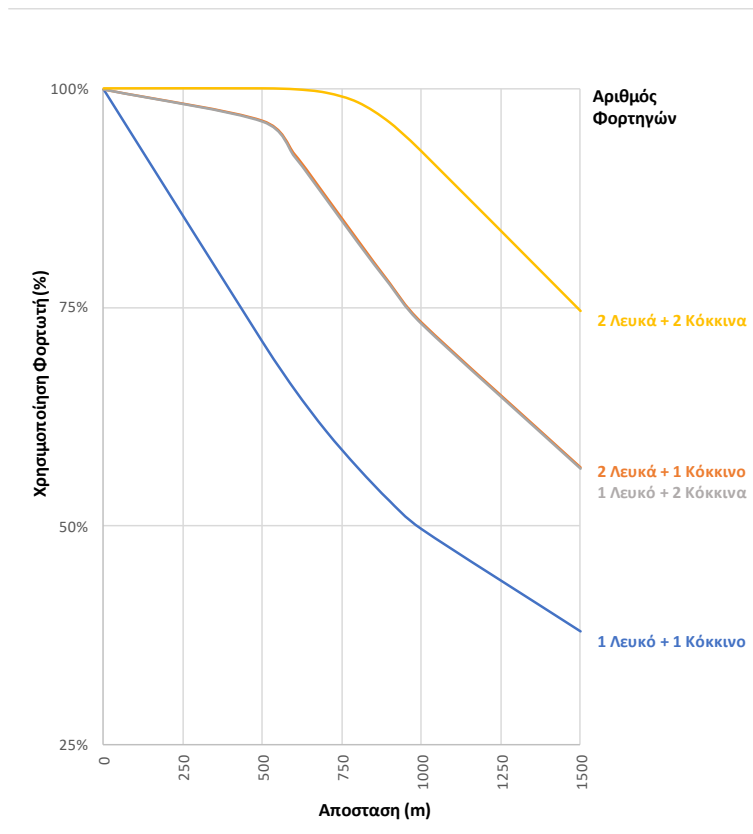
Η προσθήκη δύο φορτηγών, ένα από κάθε κατηγορία, παρουσιάζει μικρή μείωση στην ωριαία παραγωγή σε σχέση με το Σενάριο 3 και 5. Παράλληλα, παρουσιάζει μικρή αύξηση στη χρησιμοποίηση του φορτωτή, η οποία είναι ασήμαντη μπροστά στην αύξηση κατά τρία λεπτά της μέσης διάρκειας αναμονής των φορτηγών στη θέση φόρτωσης. Επομένως το σενάριο αυτό απορρίπτεται ως αναποτελεσματικό.

10. Εφαρμογή αποτελεσμάτων προσομοίωσης - Προβλέψεις

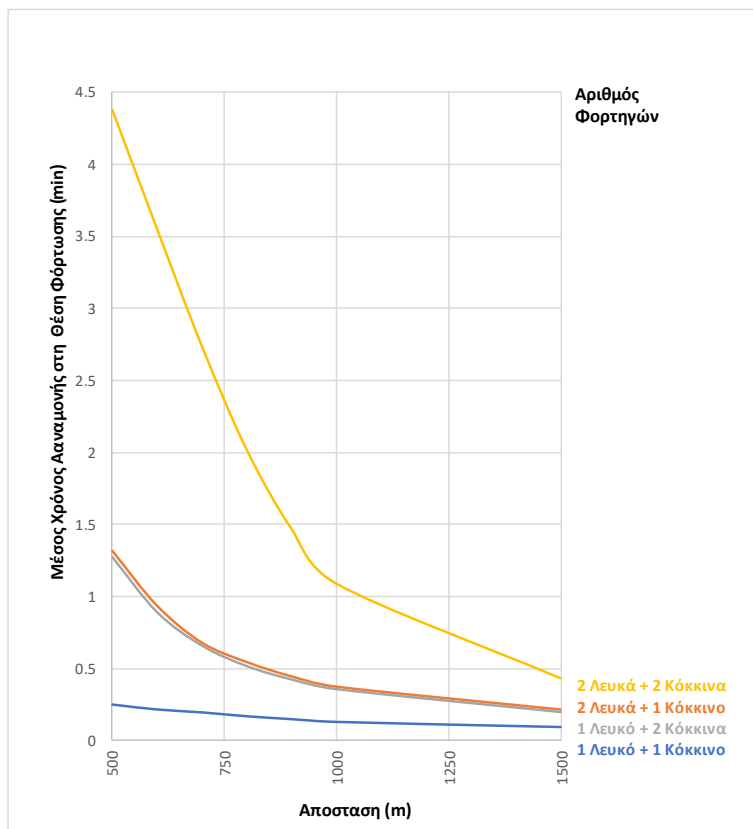
Το σύστημα που μοντελοποιήθηκε στην παρούσα εργασία μελετήθηκε μέχρι τώρα με σταθερό μέγεθος την απόσταση της θέσης φόρτωσης από τη θέση εκκένωσης. Σε μία εκμετάλλευση όμως η απόσταση αυτή μεταβάλλεται, καθώς αλλάζουν τα μέτωπα εξόρυξης. Στα παρακάτω διαγράμματα εξετάζεται ο ωριαίος ρυθμός παραγωγής, η χρησιμοποίηση του φορτωτή, καθώς και ο χρόνος αναμονής των φορτηγών στη θέση φόρτωσης σε σχέση με την απόσταση που διανύουν τα φορτηγά. Μέσω αυτών των διαγραμμάτων φανερώνονται οι οριακές τιμές που καθιστούν αναγκαία την προσθήκη επιπλέον φορτηγού/ών.



Διάγραμμα 3: Ρυθμός παραγωγής συστήματος vs Απόσταση θέσης φόρτωσης – θέσης εκκένωσης για διαφορετικό συνδυασμό φορτηγών



Διάγραμμα 4: Χρησιμοποίηση Φορτωτή vs Απόσταση θέσης φόρτωσης – θέσης εκκένωσης για διαφορετικό συνδυασμό φορτηγών



Διάγραμμα 5: Μέσος χρόνος αναμονής των φορτηγών στη θέση φόρτωσης vs Απόσταση θέσης φόρτωσης – θέσης εκκένωσης για διαφορετικό συνδυασμό φορτηγών

11. Συμπεράσματα - Προτάσεις

Η προσομοίωση του λατομείου μέσω της εφαρμογής Arena απέφερε αποτελέσματα τα οποία ανάγονται στον αρχικό στόχο της διπλωματικής εργασίας, δηλαδή τη βελτιστοποίηση της διάρκειας του κύκλου των φορτηγών αυτοκινήτων και άρα την αύξηση της παραγωγής. Πιο συγκεκριμένα τα ευρήματα είναι τα παρακάτω:

- Η προσθήκη ενός φορτηγού με τα χαρακτηριστικά του ήδη υπάρχοντος λευκού φορτηγού στο στόλο της εταιρείας, θα αποφέρει σημαντική αύξηση στο ρυθμό παραγωγής (510 tn/ώρα από 350 tn/ώρα). Στην περίπτωση αυτή η χρησιμοποίηση του φορτωτή θα είναι κοντά στο 100% και οι καθυστερήσεις θα είναι σχεδόν μηδενικές. Το ζήτημα σε αυτή την περίπτωση είναι πως η μέγιστη δυναμικότητα του συγκροτήματος θραύσης - κοσκίνησης είναι αρκετά χαμηλή για να υποστηρίξει αυτή την αύξηση στην παραγωγή (350tn/ώρα). Επομένως μία κίνηση από την εταιρεία θα ήταν η αλλαγή του υπάρχοντος τροφοδότη με έναν μεγαλύτερο και η προσαρμογή του συμπλέγματος θραύσης - κοσκίνησης στον νέο μέγιστο ρυθμό παραγωγής.
- Καθώς το μέτωπο της εξόρυξης μεταβάλλεται, αλλάζει και η απόσταση της θέσης φόρτωσης από τη θέση εκκένωσης. Σύμφωνα με τα διαγράμματα 3, 4 και 5, όταν η απόσταση είναι μέχρι και 700m, τα δύο φορτηγά είναι αρκετά για να καλύψουν τη δυναμικότητα των 300-350 tn/ώρα. Όταν η απόσταση φτάσει στα 700m τότε η προσθήκη ενός τρίτου φορτηγού καθίσταται αναγκαία για να επανέλθει ο ωριαίος ρυθμός παραγωγής των 350 tn/ώρα. Ταυτόχρονα, τότε θα αυξηθεί και η χρησιμοποίηση του φορτωτή αφού θα αυξηθούν τα δρομολόγια, ενώ παράλληλα θα αυξηθούν ελάχιστα οι καθυστερήσεις. Αν η απόσταση ξεπεράσει τα 1300m, τότε απαιτούνται δύο επιπλέον φορτηγά αυτοκίνητα.

Το μοντέλο που αναπτύχθηκε για τις ανάγκες της διπλωματικής εργασίας είναι μια επαρκώς ρεαλιστική αναπαράσταση της λειτουργίας του συστήματος φόρτωσης - μεταφοράς στο λατομείο. Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν όμως περιέχουν το ανθρώπινο σφάλμα, έτσι τα αποτελέσματα αποτελούν μια εκτίμηση των ενεργειών που θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν από την εταιρεία. Μια πιο ολοκληρωμένη έρευνα θα είχε την εξής δομή και χαρακτηριστικά:

- Διάρκεια καταγραφής των δεδομένων τουλάχιστον 100 ημέρες. Τα δεδομένα θα προέρχονται από μετρήσεις που θα έχουν πραγματοποιηθεί σε όλες τις

πιθανές καιρικές συνθήκες που επικρατούν στο λατομείο κατά τη διάρκεια του έτους.

- Τοποθέτηση επί των φορητών και του φορτωτή GPS trackers οι οποίοι θα μεταδίδουν ακριβή δεδομένα. Ταυτόχρονα, τοποθέτηση καμερών σε σταθερά σημεία, καθώς και σε φορητά και φορτωτή, που θα μεταδίδουν την κατάσταση στο πεδίο.
- Τοποθέτηση επί των φορητών και του φορτωτή συσκευών καταγραφής κατανάλωσης καυσίμου, οι οποίες θα καταγράφουν τις καταναλώσεις. Μέσω αυτών θα προκύπτουν τα σημεία λειτουργίας που η κατανάλωση καυσίμου κάθε μηχανήματος μεγιστοποιείται, με σκοπό τη λήψη κατάλληλων μέτρων για τη μείωση τους. Π.χ. μέγιστη κατανάλωση στη θέση εκκένωσης → διαμόρφωση του χώρου με σκοπό τη μείωση των περιττών κινήσεων.
- Ανάλυση της κοκκομετρίας μετά από κάθε ανατίναξη και σε κάθε μέτωπο με σκοπό την εύρεση της βέλτιστης κοκκομετρίας για τη πιο γρήγορη φόρτωση και μεταφορά του υλικού.
- Ανάλυση του οδικού δικτύου (κλίσεις, στροφές, κ.ά.) του λατομείου με σκοπό την εύρεση πιθανών καθυστερήσεων που προέρχονται από αυτό.
- Τέλος, πραγματοποίηση οικονομοτεχνικής ανάλυσης των ροών της εταιρείας, έτσι ώστε τα αποτελέσματα να στοχεύουν όχι μόνο στην αύξηση της παραγωγής αλλά στην αύξηση του οικονομικού αποτελέσματος.

Βιβλιογραφία

- Thompson, S. K. (2012). *Sampling* (3rd Edition). Hoboken, NJ: John Wiley and Sons.
- Carmichael, D. G. (1987, January 1). *Engineering Queues in Construction and Mining*.
- Χαλκιάς, Μ., Λάλου, Π., & Μανωλέσου, Α. (2015). *Μεθοδολογία έρευνας και εισαγωγή στη Στατιστική Ανάλυση Δεδομένων με το IBM SPSS STATISTICS*

Παράρτημα 1: Δεδομένα μετρήσεων

ΦΟΡΤΩΤΗΣ	ΦΟΡΤΩΤΗΣ	ΑΦΗΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΑΝΑΜΟΝΗΣ	ΑΡΧΗ ΜΑΝΟΒΡΑΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΜΑΝΟΒΡΑΣ	ΑΡΧΗ ΦΟΡΤΩΣΗΣ	ΤΕΛΟΣ ΦΟΡΤΩΣΗΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΦΟΡΤΩΣΗΣ	ΚΟΥΒΑΔΕΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΚΙΝΗΣΗ + ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ ΦΟΡΤΗΓΟΥ	ΣΧΟΛΙΑ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΚΥΚΛΟΥ	ΚΥΚΛΟΙ/ΩΡΑ
1	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	7:11:44	0:00:33	7:12:17	0:00:21	7:12:38	7:14:34	0:01:56	4:00	0:08:34	0:08:14	100.00
2	972M	ΛΕΥΚΟ, ΑΣΟΝΙΚΟ	7:14:40	0:00:00	7:14:40	0:00:43	7:15:23	7:17:41	0:02:18	5:00	0:08:44	0:08:45	100.00
3	972M	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	7:18:11	0:00:00	7:18:11	0:00:43	7:18:54	7:20:50	0:01:56	4:00	0:08:25	0:11:04	100.00
4	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	7:19:58	0:00:52	7:20:50	0:00:29	7:21:19	7:23:10	0:01:51	4:00	0:08:19	0:11:31	100.00
5	972M	ΛΕΥΚΟ, ΑΣΟΝΙΚΟ	7:23:25	0:00:00	7:23:25	0:00:41	7:24:06	7:26:45	0:02:39	5:00	0:07:37	0:10:57	100.00
6	972M	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	7:29:15	0:00:00	7:29:15	0:00:42	7:29:57	7:31:40	0:01:43	4:00	0:06:38	0:09:03	100.00
7	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	7:31:29	0:00:24	7:31:53	0:00:26	7:32:19	7:34:13	0:01:54	4:00	0:07:37	0:10:21	100.00
8	972M	ΛΕΥΚΟ, ΑΣΟΝΙΚΟ	7:34:22	0:00:46	7:35:08	0:00:23	7:35:31	7:37:59	0:02:28	5:00	0:06:26	0:10:03	100.00
9	972M	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	7:38:58	0:00:12	7:39:10	0:00:29	7:39:39	7:40:45	0:01:06	4:00	0:07:60	0:09:27	100.00
10	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	7:41:50	0:00:10	7:42:00	0:00:30	7:42:30	7:44:25	0:01:55	4:00	0:09:13	0:11:48	100.00
11	972M	ΛΕΥΚΟ, ΑΣΟΝΙΚΟ	7:44:25	0:00:15	7:44:40	0:00:45	7:45:25	7:47:50	0:02:25	5:00	0:08:20	0:11:45	100.00
12	972M	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	7:47:45	0:00:15	7:48:00	0:00:40	7:48:40	7:50:28	0:01:48	4:00	0:10:57	0:13:40	100.00
13	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	7:53:38	0:00:00	7:53:38	0:00:22	7:54:00	7:55:57	0:01:57	4:00	0:08:22	0:10:41	100.00
14	972M	ΛΕΥΚΟ, ΑΣΟΝΙΚΟ	7:56:10	0:00:05	7:56:15	0:00:25	7:56:40	7:58:35	0:01:55	6:00	0:07:22	0:11:27	100.00
15	972M	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	8:01:25	0:00:00	8:01:25	0:00:50	8:02:15	8:04:09	0:01:54	4:00	0:10:18	0:13:02	100.00
16	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	8:04:19	0:00:00	8:04:19	0:00:28	8:04:47	8:06:43	0:01:56	4:00	0:10:44	0:13:08	100.00
17	972M	ΛΕΥΚΟ, ΑΣΟΝΙΚΟ	8:07:37	0:00:00	8:07:37	0:00:33	8:08:10	8:11:10	0:03:00	5:00	0:08:38	0:12:11	100.00
18	972M	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	8:11:27	0:00:03	8:11:30	0:00:26	8:11:56	8:14:56	0:03:00	4:00	0:09:00	0:11:18	100.00
19	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	8:17:27	0:00:00	8:17:27	0:00:23	8:17:50	8:19:40	0:01:50	4:00	0:07:55	0:10:08	100.00
20	972M	ΛΕΥΚΟ, ΑΣΟΝΙΚΟ	8:19:48	0:00:12	8:20:00	0:00:27	8:20:27	8:23:17	0:02:50	6:00	0:08:21	0:11:50	100.00
21	972M	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	8:25:45	0:00:00	8:25:45	0:00:22	8:26:07	8:28:20	0:02:13	4:00	0:08:55	0:11:30	100.00
22	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	8:27:35	0:01:00	8:28:35	0:00:25	8:29:00	8:30:55	0:01:55	3:00	0:08:20	0:11:40	100.00
23	972M	ΛΕΥΚΟ, ΑΣΟΝΙΚΟ	8:31:38	0:00:00	8:31:38	0:00:28	8:32:06	8:34:37	0:02:31	5:00	0:08:56	0:11:55	100.00
24	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	8:37:15	0:00:00	8:37:15	0:01:00	8:38:15	8:40:18	0:02:03	4:00	0:08:44	0:11:47	100.00
25	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	8:39:15	0:00:00	8:39:15	0:00:30	8:40:57	8:43:13	0:02:16	4:00	0:08:57	0:12:55	100.00
26	972M	ΛΕΥΚΟ, ΑΣΟΝΙΚΟ	8:43:07	0:00:07	8:43:40	0:00:30	8:44:10	8:46:43	0:02:33	4:00	0:08:52	0:12:02	100.00
27	972M	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	8:49:02	0:00:00	8:49:02	0:00:35	8:49:37	8:51:47	0:02:10	4:00	0:08:37	0:11:22	100.00
28	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	8:52:10	0:00:00	8:52:10	0:00:23	8:52:33	8:54:27	0:01:54	4:00	0:10:56	0:13:13	100.00
29	972M	ΛΕΥΚΟ, ΑΣΟΝΙΚΟ	8:52:45	0:00:09	8:52:54	0:00:27	8:53:21	8:59:40	0:06:19	5:00	0:08:00	0:14:55	100.00
30	972M	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	9:00:24	0:00:00	9:00:24	0:00:24	9:00:48	9:03:24	0:02:36	4:00	0:09:46	0:12:46	100.00
31	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	9:05:23	0:00:00	9:05:23	0:00:20	9:05:43	9:09:06	0:03:23	5:00	0:09:08	0:12:59	100.00
32	972M	ΛΕΥΚΟ, ΑΣΟΝΙΚΟ	9:07:40	0:00:30	9:10:10	0:00:22	9:10:32	9:13:43	0:03:11	7:00	0:16:35	0:20:35	100.00
33	972M	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	9:13:10	0:01:13	9:14:23	0:00:24	9:14:47	9:17:10	0:02:23	5:00	0:06:26	0:10:26	100.00
34	972M	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	9:23:36	0:00:00	9:23:36	0:00:23	9:23:59	9:26:16	0:02:17	5:00	0:06:58	0:09:38	100.00
35	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	9:28:15	0:02:10	9:30:25	0:00:40	9:31:05	9:33:40	0:02:35	4:00	0:05:47	0:11:12	100.00
36	972M	ΛΕΥΚΟ, ΑΣΟΝΙΚΟ	9:30:18	0:03:42	9:34:00	0:00:27	9:34:27	9:37:20	0:02:53	5:00	0:06:49	0:12:51	100.00
37	972M	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	9:33:14	0:00:22	9:33:36	0:00:28	9:33:15	9:40:15	0:07:00	4:00	0:08:20	0:14:31	100.00
38	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	9:39:27	0:01:03	9:40:30	0:00:20	9:40:50	9:43:22	0:02:32	5:00	0:07:26	0:11:21	100.00
39	972M	ΛΕΥΚΟ, ΑΣΟΝΙΚΟ	9:43:09	0:00:34	9:43:43	0:00:35	9:44:18	9:46:57	0:02:39	5:00	0:07:20	0:11:08	100.00
40	972M	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	9:46:45	0:00:40	9:47:25	0:00:27	9:47:52	9:49:54	0:02:02	4:00	0:10:21	0:13:30	100.00
41	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	9:50:48	0:00:00	9:50:48	0:00:23	9:51:11	9:53:52	0:02:41	5:00	0:10:43	0:13:47	100.00
42	972M	ΛΕΥΚΟ, ΑΣΟΝΙΚΟ	9:54:17	0:00:03	9:54:20	0:00:25	9:54:45	9:56:19	0:01:34	6:00	0:11:23	0:14:16	100.00
43	972M	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	10:00:15	0:00:00	10:00:15	0:00:22	10:00:37	10:02:47	0:02:10	4:00	0:11:49	0:14:21	100.00
44	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	10:04:35	0:00:00	10:04:35	0:00:25	10:05:00	10:07:34	0:02:34	5:00	0:09:24	0:12:23	100.00
45	972M	ΛΕΥΚΟ, ΑΣΟΝΙΚΟ	10:08:33	0:00:10	10:08:43	0:00:24	10:09:07	10:10:23	0:01:16	6:00	0:09:23	0:15:53	100.00
46	972M	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	10:14:36	0:00:06	10:14:42	0:00:20	10:15:06	10:17:38	0:02:32	5:00	0:09:47	0:07:39	100.00
47	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	10:20:58	0:00:00	10:20:58	0:00:33	10:21:31	10:20:00	0:01:29	4:00	0:06:26	0:09:26	100.00
48	972M	ΛΕΥΚΟ, ΑΣΟΝΙΚΟ	10:21:26	0:00:12	10:21:38	0:00:20	10:21:58	10:25:00	0:03:02	6:00	0:07:39	0:10:53	100.00
49	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	10:26:26	0:00:04	10:26:30	0:00:20	10:26:50	10:29:45	0:02:55	5:00	0:08:13	0:11:32	100.00
50	972M	ΛΕΥΚΟ, ΑΣΟΝΙΚΟ	10:32:19	0:00:00	10:32:19	0:00:18	10:32:37	10:35:47	0:03:10	6:00	0:10:33	0:14:01	100.00
51	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	10:37:58	0:00:00	10:37:58	0:00:21	10:38:19	10:41:15	0:02:56	5:00	0:09:42	0:12:59	100.00
52	972M	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	10:41:15	0:00:00	10:41:15	0:00:30	10:42:45	10:45:45	0:03:00	5:00	0:09:42	0:16:49	100.00
53	972M	ΛΕΥΚΟ, ΑΣΟΝΙΚΟ	10:46:20	0:00:05	10:46:25	0:00:23	10:46:48	10:50:39	0:03:51	6:00	0:07:36	0:11:55	100.00
54	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	10:50:57	0:00:03	10:51:00	0:00:28	10:51:28	10:55:06	0:03:38	5:00	0:09:28	0:13:37	100.00
55	972M	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	10:55:55	0:00:00	10:55:55	0:00:27	10:56:22	10:58:57	0:02:35	5:00	0:09:23	0:12:25	100.00
56	972M	ΛΕΥΚΟ, ΑΣΟΝΙΚΟ	10:58:15	0:00:52	10:59:07	0:00:38	10:59:45	11:02:38	0:02:43	5:00	0:08:19	0:12:32	100.00
57	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	11:04:34	0:00:00	11:04:34	0:00:19	11:04:53	11:07:42	0:02:49	5:00	0:06:48	0:09:56	100.00
58	972M	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	11:09:20	0:00:00	11:09:20	0:00:33	11:09:53	11:10:20	0:00:27	6:00	0:08:36	0:10:16	100.00
59	972M	ΛΕΥΚΟ, ΑΣΟΝΙΚΟ	11:10:47	0:00:03	11:10:50	0:01:52	11:12:42	11:15:34	0:02:52	5:00	0:08:48	0:13:25	100.00
60	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	11:14:30	0:01:37	11:16:07	0:00:36	11:16:43	11:19:24	0:02:41	5:00	0:07:53	0:12:47	100.00
61	972M	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	11:20:36	0:00:00	11:20:36	0:00:27	11:21:03	11:23:27	0:02:24	5:00	0:09:07	0:11:58	100.00
62	972M	ΛΕΥΚΟ, ΑΣΟΝΙΚΟ	11:24:22	0:00:09	11:24:31	0:00:18	11:24:49	11:27:38	0:02:39	5:00	0:07:57	0:11:03	100.00
63	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	11:27:17	0:00:24	11:27:41	0:00:31	11:28:12	11:30:52	0:02:40	5:00	0:13:08	0:16:49	100.00
64	972M	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	11:33:34	0:00:00	11:33:34	0:00:29	11:33:03	11:35:28	0:02:25	6:00	0:11:49	0:14:43	100.00
65	972M	ΛΕΥΚΟ, ΑΣΟΝΙΚΟ	11:35:25	0:00:19	11:35:44	0:01:01	11:36:						

ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΛΑΤΟΜΕΙΟΥ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΑΛΙΝΩΝ

ΦΟΡΤΩΤΗΣ	ΦΟΡΤΩΣ	ΑΦΙΞΗ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΑΝΑΜΟΝΗΣ	ΑΡΧΗ ΜΑΝΟΥΒΡΑΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΜΑΝΟΥΒΡΑΣ	ΑΡΧΗ ΦΟΡΤΩΣ	ΤΕΛΟΣ ΦΟΡΤΩΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΦΟΡΤΩΣ	ΚΟΥΒΑΔΕΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΚΙΝΗΣΗΣ + ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ ΦΟΡΤΩΤΗ	ΣΧΟΛΙΑ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΥΚΑΟΥ	ΥΚΑΟΥ/ΩΡΑ	ΦΘΕΛΙΜΟ ΦΟΡΤΩ
1	980F	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:00:25	7:17:20	0:00:15	7:17:40	7:21:03	0:03:23	6:00	0:06:35	ΕΝΔΕΙΞΗ ΠΑ ΔΙΑΡΡΗ ΠΑΡΑΦΩΤΟΥ ΣΤΩΝ 972Μ	0:10:38	1:00:00	5:64
2	980F	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:04:20	7:21:20	0:00:47	7:22:07	7:24:57	0:02:50	5:00	0:08:00		0:15:57	1:00:00	3:76
3	980C	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:07:57	7:24:57	0:00:41	7:25:38	7:27:38	0:02:00	5:00	0:08:50		0:19:28	1:00:00	3:08
4	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:00:17	7:27:38	0:00:26	7:28:21	7:31:58	0:03:37	6:00	0:06:27	ΕΠΙΣΚΕΥΗ 972Μ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ	0:10:47	1:00:00	5:56
5	972M	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:00:00	7:32:57	0:00:38	7:33:35	7:36:33	0:02:58	5:00	0:07:15		0:10:51	1:00:00	5:53
6	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:00:11	7:36:39	0:01:26	7:38:05	7:40:53	0:02:48	5:00	0:06:02	ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΟΓΚΩΝ ΣΤΕ ΑΛΛΟ ΣΗΜΕΙΟ ΠΙΟ ΔΙΠΛΑ	0:10:27	1:00:00	5:74
7	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:00:41	7:40:25	0:00:33	7:41:25	7:44:27	0:03:02	5:00	0:06:34		0:11:16	1:00:00	5:33
8	972M	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:00:44	7:44:32	0:00:58	7:45:30	7:47:32	0:02:02	4:00	0:06:42		0:10:26	1:00:00	5:75
9	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:00:51	7:46:55	0:00:28	7:48:14	7:50:16	0:02:02	4:00	0:06:30		0:09:51	1:00:00	6:09
10	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:00:52	7:50:33	0:00:29	7:51:02	7:53:51	0:02:49	4:00	0:05:45		0:09:55	1:00:00	6:05
11	972M	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:00:00	7:54:14	0:00:32	7:54:46	7:56:52	0:02:06	4:00	0:06:36		0:09:14	1:00:00	6:50
12	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:00:16	7:57:02	0:00:31	7:57:33	7:59:35	0:02:02	4:00	0:06:13		0:09:07	1:00:00	6:64
13	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:00:00	7:59:36	0:00:01	8:00:37	8:03:35	0:02:58	5:00	0:06:20	ΛΑΞΤΙΚΟ	0:09:20	1:00:00	6:88
14	972M	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:00:16	8:03:44	0:00:46	8:04:30	8:06:39	0:02:09	4:00	0:15:41		0:18:52	1:00:00	2:18
15	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:01:10	8:06:58	0:00:41	8:07:39	8:09:57	0:02:18	4:00	0:15:26		0:19:35	1:00:00	3:06
16	972M	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:00:00	8:22:20	0:00:40	8:23:00	8:25:12	0:02:12	4:00	0:05:58	ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΟΓΚΩΝ ΣΤΕ ΑΛΛΟ ΣΗΜΕΙΟ ΠΙΟ ΔΙΠΛΑ	0:06:50	1:00:00	6:79
17	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:00:00	8:25:23	0:01:06	8:26:29	8:28:40	0:02:11	4:00	0:05:35	ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΟΓΚΩΝ ΣΤΕ ΑΛΛΟ ΣΗΜΕΙΟ ΠΙΟ ΔΙΠΛΑ	0:08:52	1:00:00	6:77
18	972M	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:00:00	8:31:10	0:00:28	8:31:38	8:35:04	0:03:26	5:00	0:05:49		0:09:43	1:00:00	6:17
19	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:00:58	8:35:13	0:00:34	8:35:47	8:38:14	0:02:27	4:00	0:05:37		0:09:36	1:00:00	6:25
20	972M	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:00:00	8:40:53	0:00:33	8:41:26	8:43:50	0:02:24	4:00	0:05:53		0:08:58	1:00:00	6:79
21	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:00:09	8:43:51	0:00:26	8:44:26	8:47:14	0:02:48	4:00	0:05:52		0:09:15	1:00:00	6:49
22	972M	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:00:00	8:49:43	0:00:30	8:50:13	8:52:30	0:02:17	4:00	0:05:43		0:08:30	1:00:00	7:06
23	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:00:00	8:53:06	0:01:33	8:54:39	8:57:00	0:02:21	4:00	0:05:48		0:09:42	1:00:00	6:19
24	972M	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:00:00	8:58:13	0:00:27	8:58:40	9:01:39	0:02:59	5:00	0:06:06		0:09:32	1:00:00	6:29
25	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:00:48	9:02:48	0:00:24	9:03:12	9:06:00	0:02:48	5:00	0:08:06		0:11:18	1:00:00	5:31
26	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:00:00	9:06:57	0:00:53	9:07:50	9:10:51	0:03:01	5:00	0:06:29		0:09:19	1:00:00	6:44
27	972M	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:00:45	9:07:45	0:00:39	9:11:15	9:14:29	0:03:15	4:00	0:12:16		0:13:10	1:00:00	5:56
28	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:00:31	9:14:37	0:00:24	9:15:01	9:17:29	0:02:28	4:00	0:06:20		0:09:30	1:00:00	6:32
29	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:02:04	9:18:20	0:00:28	9:18:48	9:21:24	0:02:36	5:00	0:05:50		0:10:58	1:00:00	5:47
30	972M	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:00:42	9:21:37	0:00:29	9:22:06	9:24:09	0:02:03	4:00	0:06:34		0:09:48	1:00:00	6:12
31	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:00:46	9:23:36	0:00:28	9:24:22	9:27:03	0:02:13	4:00	0:06:05		0:09:32	1:00:00	6:29
32	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:00:00	9:27:14	0:00:45	9:27:59	9:30:34	0:02:35	5:00	0:06:07		0:09:27	1:00:00	6:35
33	972M	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:00:43	9:30:43	0:01:10	9:31:53	9:34:12	0:02:19	4:00	0:14:06		0:13:37	1:00:00	3:41
34	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:01:05	9:34:13	0:00:52	9:35:05	9:37:16	0:02:11	4:00	0:13:08		0:17:16	1:00:00	3:47
35	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:00:44	9:36:41	0:00:39	9:37:25	9:38:04	0:03:06	5:00	0:12:45		0:17:14	1:00:00	3:48
36	972M	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:00:00	9:48:20	0:00:33	9:48:53	9:51:49	0:02:56	5:00	0:07:23		0:10:52	1:00:00	5:52
37	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:01:36	9:50:24	0:00:27	9:52:27	9:54:46	0:02:19	4:00	0:06:22		0:10:44	1:00:00	5:59
38	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:01:15	9:55:55	0:00:28	9:56:38	9:58:43	0:02:05	5:00	0:16:25		0:21:13	1:00:00	2:83
39	972M	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:00:00	9:59:12	0:00:35	9:59:47	10:02:05	0:02:18	3:00	0:16:31		0:19:24	1:00:00	3:09
40	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:00:58	10:01:08	0:00:58	10:02:26	10:04:43	0:02:11	4:00	0:27:31		0:31:06	1:00:00	3:93
41	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:00:00	10:15:08	0:00:24	10:15:32	10:19:30	0:03:58	5:00	0:15:04	ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΟΓΚΩΝ ΣΤΕ ΑΛΛΟ ΣΗΜΕΙΟ ΠΙΟ ΔΙΠΛΑ	0:19:26	1:00:00	3:09
42	972M	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:00:56	10:18:36	0:00:40	10:19:32	10:23:12	0:03:00	5:00	0:15:56		0:20:32	1:00:00	2:92
43	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:00:00	10:32:14	0:00:26	10:32:40	10:35:48	0:03:08	5:00	0:07:28		0:11:02	1:00:00	5:44
44	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:01:43	10:34:34	0:00:31	10:36:48	10:40:00	0:03:12	5:00	1:02:58	ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΣΤΩΝ ΣΠΑΣΤΗΡΑ ΛΟΓΩ ΛΕΙΤΟΥΡΚΟΚΚΟΥ ΥΑΛΙΟΥ	1:08:24	1:00:00	0:88
45	972M	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:01:12	10:40:20	0:00:37	10:40:57	10:44:10	0:03:13	4:00	1:02:33		1:07:35	1:00:00	0:89
46	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:00:37	10:43:16	0:00:52	10:45:19	10:48:43	0:03:24	5:00	0:09:29		1:04:38	1:00:00	0:87
47	980C	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:00:00	11:42:58	0:00:00	11:42:58	11:45:07	0:02:09	4:00	0:06:23	ΑΛΛΑΓΗ ΣΗΜΕΙΟΥ ΦΟΡΤΩΣΗΣ (ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΟ)	0:13:37	1:00:00	4:43
48	980C	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:03:31	11:50:14	0:00:49	11:51:03	11:53:52	0:02:49	4:00	0:06:09		0:13:18	1:00:00	4:51
49	980C	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:02:55	11:55:15	0:00:20	11:55:44	11:58:44	0:03:09	4:00	0:06:02	ΪΗ ΚΟΥΒΑΔΙΑ ΑΠΟ ΣΗΜΕΙΟ ΜΕ ΛΕΙΤΟΥΡΚΟΚΚΟ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΙΠΕΣ ΑΠΟ ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΟ	0:12:26	1:00:00	4:83
50	980C	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:02:27	11:58:50	0:01:03	12:00:00	12:03:15	0:03:15	5:00	0:06:15	ΪΗ ΚΟΥΒΑΔΙΑ ΑΠΟ ΣΗΜΕΙΟ ΜΕ ΛΕΙΤΟΥΡΚΟΚΚΟ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΙΠΕΣ ΑΠΟ ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΟ	0:13:00	1:00:00	4:62
51	980C	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:04:05	12:00:01	0:00:35	12:00:41	12:06:36	0:01:55	4:00	0:06:14	ΪΗ ΚΟΥΒΑΔΙΑ ΑΠΟ ΣΗΜΕΙΟ ΜΕ ΛΕΙΤΟΥΡΚΟΚΚΟ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΙΠΕΣ ΑΠΟ ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΟ	0:12:49	1:00:00	4:68
52	980C	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:02:55	12:04:46	0:00:25	12:08:06	12:11:21	0:03:15	5:00	0:06:17	ΪΗ ΚΟΥΒΑΔΙΑ ΑΠΟ ΣΗΜΕΙΟ ΜΕ ΛΕΙΤΟΥΡΚΟΚΚΟ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΙΠΕΣ ΑΠΟ ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΟ	0:12:47	1:00:00	4:69
53	980C	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:02:30	12:09:30	0:00:33	12:12:33	12:15:23	0:02:50	5:00	0:06:17	ΪΗ ΚΟΥΒΑΔΙΑ ΑΠΟ ΣΗΜΕΙΟ ΜΕ ΛΕΙΤΟΥΡΚΟΚΚΟ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΙΠΕΣ ΑΠΟ ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΟ	0:11:10	1:00:00	5:37
54	980C	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:03:17	12:12:50	0:00:53	12:16:07	12:19:35	0:03:28	5:00	0:06:26	ΪΗ ΚΟΥΒΑΔΙΑ ΑΠΟ ΣΗΜΕΙΟ ΜΕ ΛΕΙΤΟΥΡΚΟΚΚΟ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΙΠΕΣ ΑΠΟ ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΟ	0:13:11	1:00:00	4:55
55	980C	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:03:09	12:17:33	0:00:36	12:21:18	12:23:16	0:01:58	4:00	0:05:58	ΪΗ ΚΟΥΒΑΔΙΑ ΑΠΟ ΣΗΜΕΙΟ ΜΕ ΛΕΙΤΟΥΡΚΟΚΚΟ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΙΠΕΣ ΑΠΟ ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΟ	0:11:41	1:00:00	5:14
56	980C	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:02:49	12:20:40	0:01:00	12:24:29	12:27:11	0:02:42	6:00	0:05:34	ΪΗ ΚΟΥΒΑΔΙΑ ΑΠΟ ΣΗΜΕΙΟ ΜΕ ΛΕΙΤΟΥΡΚΟΚΚΟ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΙΠΕΣ ΑΠΟ ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΟ	0:12:05	1:00:00	4:97
57	980C	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:01:15	12:26:01	0:01:19	12:28:35	12:30:49	0:02:14	4:00	0:06:51	ΪΗ ΚΟΥΒΑΔΙΑ ΑΠΟ ΣΗΜΕΙΟ ΜΕ ΛΕΙΤΟΥΡΚΟΚΚΟ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΙΠΕΣ ΑΠΟ ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΟ	0:11:39	1:00:00	5:15
58	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:01:46	12:29:14	0:00:52	12:31:52	12:34:04	0:02:12	4:00	0:04:56	ΑΛΛΑΓΗ ΣΗΜΕΙΟΥ ΦΟΡΤΩΣΗΣ (ΛΕΙΤΟΥΡΚΟΚΚΟ)	0:09:46	1:00:00	6:14
59	980C	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΞΟΝΙΚΟ	0:00:16	12:32:45	0:00:26	12:33:27	12:37:20	0:03:53	6:00	0:05:24		0:09:59	1:00:00	6:01
60	97													

ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΛΑΤΟΜΕΙΟΥ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΑΙΚΩΝ

ΦΟΡΤΩΤΗ	ΦΟΡΤΩ	ΑΦΗΣ ΑΠΟΘΕΣΗ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΑΝΑΜΟΝΗΣ	ΑΡΧΗ ΜΑΝΩΒΡΑΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΜΑΝΩΒΡΑΣ	ΑΡΧΗ ΦΟΡΤΩΣΗΣ	ΑΡΧΗ ΤΕΤΑΡΤΗΣ	ΧΡΟΝΟΣ ΦΟΡΤΩΣΗΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΕΜΦΟΡΤΟ	ΑΦΗΣ ΑΠΟΘΕΣΗ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΜΑΝΩΒΡΑΣ ΑΠΟΘΕΣΗ	ΑΡΧΗ ΑΠΟΘΕΣΗ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΑΠΟΘΕΣΗΣ	ΑΡΧΗ ΕΠΙΣΤΡΩΣΗΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΚΙΝΗΣΗΣ ΕΠΙΣΤΡΩΣΗΣ ΚΕΝΟ	ΚΟΥΒΑΔΙΣ	ΣΧΟΛΙΑ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΚΥΚΛΟΥ	ΚΥΚΛΟΣ/ΩΡΑ	
1	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	7:20:12	0:00:02	7:22:14	0:00:31	7:22:45	0:00:15	7:22:45	0:00:32	7:29:24	0:00:32	7:29:56	0:00:56	7:30:52	0:01:53	5		0:12:33	4.78
2	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	7:32:45	0:00:00	7:32:45	0:00:31	7:33:16	7:36:13	0:02:57	0:02:06	7:38:19	0:00:35	7:38:54	0:00:51	7:39:45	0:01:53	5		0:08:53	6.75
3	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	7:41:38	0:00:00	7:41:38	0:00:22	7:42:00	7:45:26	0:03:26	0:02:21	7:47:47	0:00:33	7:48:20	0:00:53	7:49:13	0:01:54	6		0:09:29	6.33
4	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	7:51:07	0:00:00	7:51:07	0:00:53	7:52:00	7:55:26	0:03:26	0:02:32	7:57:58	0:00:37	7:58:35	0:00:55	7:59:30	0:01:49	6		0:10:12	5.88
5	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	8:01:19	0:00:00	8:01:19	0:00:31	8:01:50	8:04:46	0:02:56	0:02:04	8:06:50	0:00:53	8:15:43	0:00:51	8:16:34	0:01:56	5		0:17:11	3.49
6	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	8:18:30	0:00:00	8:18:30	0:00:48	8:19:18	8:22:57	0:03:39	0:02:16	8:25:47	0:00:34	8:25:47	0:00:47	8:26:34	0:02:56	6	ΑΝΑΜΟΝΗ ΣΤΟ ΧΩΡΟ ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΑΠΟ ΤΗ ΤΡΟΦΟΔΟΤΗ	0:11:00	5.45
7	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	8:29:30	0:00:00	8:30:00	0:00:40	8:30:40	8:34:40	0:04:00	0:02:48	8:36:58	0:00:32	8:37:30	0:01:22	8:38:52	0:03:37	6	ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΠΕΤΡΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΡΟΜΟ	0:10:59	5.46
8	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	8:40:29	0:00:00	8:40:29	0:03:26	8:43:55	8:46:55	0:03:00	0:02:08	8:49:03	0:00:34	8:49:37	0:00:58	8:50:35	0:01:52	5		0:11:58	5.01
9	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	8:52:27	0:00:00	8:52:27	0:00:28	8:52:55	8:55:57	0:03:02	0:02:08	8:58:05	0:00:32	8:58:37	0:01:06	8:59:43	0:05:22	5		0:12:38	4.75
10	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	9:05:05	0:00:00	9:05:05	0:00:26	9:05:31	9:08:35	0:03:04	0:02:32	9:11:07	0:00:50	9:20:57	0:01:31	9:22:28	0:01:40	5	ΙΑΝ ΠΕΤΡΕΣ ΣΤΗΝ ΕΚΚΕΝΩΣΗ ΑΚΡΙΒΩΣ ΠΡΙΝ ΤΟΝ ΤΡΟΦΟ	0:19:03	3.15
11	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	9:24:08	0:00:00	9:24:08	0:00:32	9:24:40	9:27:43	0:03:03	0:02:04	9:29:47	0:00:37	9:30:24	0:00:55	9:31:19	0:02:41	5	ΑΝΑΜΟΝΗ - ΚΑΘΑΡΙΣΜΑ ΣΤΗΜΕΙΟΥ ΜΕ ΦΟΡΤΩΤΗ	0:09:52	6.08
12	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	9:34:00	0:00:17	9:34:17	0:00:48	9:35:05	9:38:53	0:03:48	0:01:49	9:44:29	0:01:21	9:45:50	0:01:53	9:46:43	0:01:53	5		0:13:43	4.37
13	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	9:47:43	0:00:00	9:47:43	0:00:27	9:48:10	9:52:09	0:03:59	0:02:19	9:54:28	0:00:32	9:55:00	0:01:15	9:56:15	0:02:37	6		0:11:09	5.38
14	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	9:58:52	0:00:06	9:59:21	0:00:29	10:00:33	10:03:28	0:02:55	0:01:28	10:05:28	0:00:32	10:06:20	0:00:32	10:06:52	0:03:35	5		0:09:35	6.26
15	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	10:08:27	0:00:12	10:08:39	0:00:27	10:09:06	10:12:40	0:03:34	0:02:30	10:15:00	0:00:34	10:15:34	0:00:54	10:16:28	0:01:51	6		0:09:52	6.08
16	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	10:18:19	0:00:00	10:18:19	0:00:23	10:18:42	10:22:09	0:03:27	0:02:51	10:25:00	0:00:35	10:25:35	0:01:18	10:26:53	0:02:20	5		0:10:54	5.50
17	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	10:29:13	0:00:00	10:29:13	0:00:24	10:29:37	10:32:33	0:02:56	0:02:17	10:34:50	0:00:36	10:35:26	0:00:58	10:36:24	0:01:50	5		0:09:01	6.65
18	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	10:38:14	0:00:00	10:38:14	0:00:28	10:38:42	10:41:54	0:03:12	0:02:15	10:44:09	0:00:34	10:44:43	0:01:02	10:45:45	0:01:39	5		0:09:10	6.55
19	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	10:47:24	0:00:00	10:47:24	0:00:20	10:47:44	10:50:36	0:02:52	0:02:18	10:52:54	0:00:35	10:53:29	0:01:16	10:54:45	0:01:55	5		0:09:16	6.47
20	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	10:56:40	0:01:36	10:58:16	0:00:43	10:58:59	11:01:54	0:02:55	0:02:24	11:04:18	0:00:37	11:04:55	0:00:49	11:05:44	0:01:56	5		0:11:00	5.45
21	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	11:07:40	0:00:50	11:08:30	0:00:49	11:09:19	11:12:52	0:03:33	0:02:11	11:15:03	0:00:57	11:20:10	0:01:04	11:21:14	0:01:41	6		0:15:15	3.99
22	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	11:22:05	0:00:00	11:22:05	0:00:31	11:22:36	11:26:44	0:04:08	0:02:29	11:28:57	0:01:33	11:29:27	0:01:33	11:31:01	0:01:54	5		0:10:54	5.41
23	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	11:33:04	0:00:00	11:33:04	0:00:31	11:33:35	11:38:19	0:04:44	0:02:11	11:40:30	0:01:07	11:40:30	0:01:07	11:46:07	0:02:00	5	ΑΝΑΜΟΝΗ ΣΤΗΝ ΑΠΟΘΕΣΗ	0:15:03	3.99
24	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	11:48:07	0:00:25	11:48:32	0:00:28	11:49:00	11:52:38	0:03:38	0:02:20	11:54:58	0:00:32	11:55:30	0:01:06	11:56:36	0:01:52	5	ΚΑΘΕΣ	0:10:21	5.80
25	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	11:58:28	0:00:22	11:58:50	0:00:47	11:59:37	12:03:14	0:03:37	0:02:35	12:05:49	0:00:34	12:06:23	0:00:54	12:07:17	0:02:02	5		0:10:51	5.53
26	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	12:09:19	0:00:00	12:09:19	0:00:31	12:09:50	12:13:38	0:03:48	0:02:07	12:15:45	0:00:50	12:21:35	0:00:52	12:22:27	0:01:48	5		0:14:56	4.02
27	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	12:24:15	0:00:00	12:24:15	0:00:24	12:24:39	12:27:50	0:03:11	0:02:10	12:30:00	0:00:35	12:36:35	0:00:51	12:37:26	0:01:42	5	ΑΝΑΜΟΝΗ ΣΤΗΝ ΑΠΟΘΕΣΗ	0:14:53	4.03
28	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	12:39:08	0:00:00	12:39:08	0:00:22	12:39:30	12:42:49	0:03:19	0:01:24	12:54:13	0:00:31	12:54:44	0:01:01	12:55:45	0:01:44	4		0:18:21	3.27
29	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	12:57:29	0:00:00	12:57:29	0:00:11	13:00:00	13:04:30	0:04:30	0:01:24	13:06:53	0:00:32	13:07:23	0:00:53	13:08:06	0:01:06	6	ΖΥΓΙΣΜΑ	0:12:13	4.91
30	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	13:09:42	0:00:00	13:09:42	0:00:28	13:10:10	13:13:06	0:02:54	0:02:32	13:15:31	0:00:32	13:16:03	0:00:52	13:16:55	0:01:48	5		0:09:01	6.65
31	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	13:18:43	0:00:00	13:18:43	0:00:30	13:19:13	13:22:16	0:03:03	0:02:11	13:24:27	0:00:33	13:25:00	0:00:52	13:25:52	0:01:42	6		0:08:31	6.78
32	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	13:27:34	0:00:00	13:27:34	0:00:22	13:27:56	13:31:11	0:03:15	0:02:09	13:33:20	0:03:03	13:36:23	0:00:54	13:37:17	0:01:33	5		0:11:16	5.33
33	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	13:38:50	0:00:00	13:38:50	0:00:27	13:39:17	13:42:47	0:03:30	0:02:13	13:45:00	0:00:39	13:52:49	0:01:06	13:53:55	0:01:59	5		0:17:04	3.52
34	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	13:55:54	0:00:00	13:55:54	0:00:50	13:56:44	13:59:39	0:02:55	0:02:11	14:01:50	0:00:35	14:07:29	0:01:03	14:08:32	0:02:14	4	ΑΝΑΜΟΝΗ ΣΤΗΝ ΑΠΟΘΕΣΗ	0:14:52	4.04
35	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	14:10:46	0:00:00	14:10:46	0:00:36	14:11:22	14:14:50	0:03:28	0:02:10	14:17:00	0:00:31	14:17:31	0:01:04	14:18:35	0:02:09	5	ΑΝΑΜΟΝΗ ΣΤΗΝ ΑΠΟΘΕΣΗ	0:09:58	6.02
36	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	14:20:44	0:00:00	14:20:44	0:00:35	14:21:19	14:24:37	0:03:18	0:02:34	14:27:11	0:00:36	14:27:47	0:00:53	14:28:40	0:01:50	5		0:09:46	6.14
37	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	14:30:30	0:00:00	14:30:30	0:00:23	14:30:53	14:33:46	0:02:53	0:02:34	14:36:20	0:00:36	14:36:54	0:00:59	14:37:53	0:01:59	5		0:09:22	6.41
38	972M	ΛΕΥΚΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	14:39:52	0:00:00	14:39:52	0:00:25	14:40:17	14:43:32	0:03:15	0:03:30	14:47:22	0:00:32	14:47:54	0:00:58	14:48:52		5			

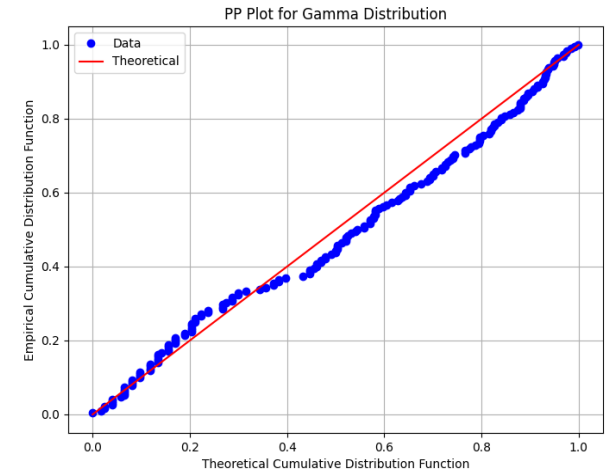
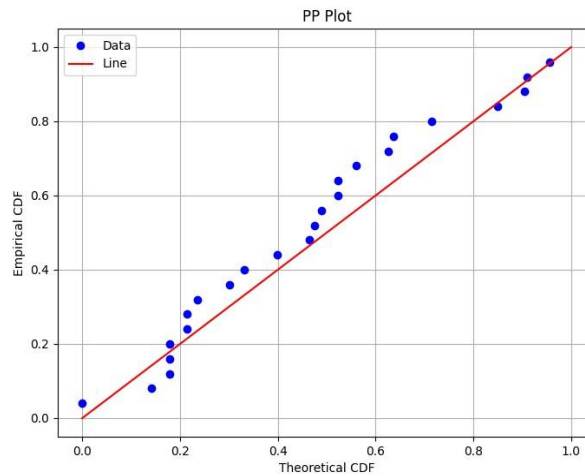
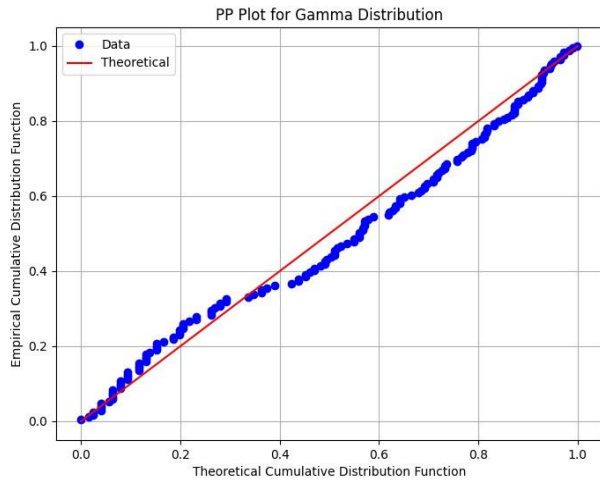
Εικόνα 54: Δεδομένα τρίτης ημέρας μετρήσεων

1	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	7:20:51	0:00:00	7:20:51	0:00:29	7:21:20	7:24:11	0:02:51	0:02:54	7:27:05	0:00:40	7:27:45	0:01:02	7:28:47	0:01:39	5.00		0:09:35	10.000	6.26
2	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	7:30:26	0:00:00	7:30:26	0:00:24	7:30:50	7:34:55	0:04:05	0:02:38	7:37:33	0:00:30	7:38:00	0:01:30	7:39:30	0:01:33	5.00		0:10:37	10.000	5.65
3	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	7:41:03	0:00:05	7:41:08	0:00:34	7:41:42	7:44:18	0:02:36	0:02:40	7:46:58	0:00:41	7:47:39	0:01:00	7:48:39	0:01:38	4.00		0:09:14	10.000	6.50
4	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	7:50:17	0:01:33	7:51:50	0:00:28	7:52:18	7:55:17	0:02:59	0:02:57	7:58:14	0:00:28	7:58:42	0:01:06	7:59:48	0:01:47	4.00		0:11:18	10.000	5.31
5	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	8:01:35	0:02:04	8:03:39	0:00:29	8:04:08	8:07:16	0:03:08	0:02:51	8:10:07	0:00:30	8:10:37	0:01:03	8:11:40	0:01:48	5.00		0:11:53	10.000	5.05
6	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	8:13:28	0:01:53	8:15:21	0:00:31	8:15:52	8:19:49	0:03:57	0:02:53	8:22:42	0:00:24	8:23:06	0:01:06	8:24:12	0:01:43	5.00		0:12:27	10.000	4.82
7	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	8:25:55	0:01:55	8:27:50	0:00:28	8:28:18	8:31:32	0:03:14	0:02:54	8:34:29	0:00:24	8:34:53	0:01:17	8:36:10	0:01:25	5.00		0:11:40	10.000	5.14
8	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	8:37:35	0:02:03	8:39:38	0:00:40	8:40:18	8:43:41	0:03:23	0:02:39	8:46:20	0:00:26	8:46:46	0:03:14	8:50:00	0:01:05	5.00		0:13:30	10.000	4.44
9	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	8:51:05	0:00:00	8:51:05	0:01:06	8:52:11	8:55:56	0:03:45	0:00:23	8:58:28	0:00:23	8:58:51	0:01:03	8:59:54	0:02:04	4.00		0:10:53	10.000	5.51
10	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	9:01:58	0:00:00	9:01:58	0:00:30	9:02:28	9:05:48	0:03:20	0:02:57											

ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΛΑΤΟΜΕΙΟΥ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΑΛΙΚΩΝ

ΦΟΡΤΩΤΗΣ	ΦΟΡΤΗΘ	ΩΡΕΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΑΝΑΜΟΝΗΣ	ΑΡΧΗ ΜΑΝΟΥΒΡΑΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΜΑΝΟΥΒΡΑΣ	ΑΡΧΗ ΦΟΡΤΩΣΗΣ	ΤΕΛΟΣ ΦΟΡΤΩΣΗΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΦΟΡΤΩΣΗΣ	ΚΟΥΒΑΔΙΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΚΙΝΗΣΗΣ + ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ ΦΟΡΤΗΘΥ	ΣΧΟΛΙΑ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΚΥΚΛΟΥ	ΚΥΚΛΟΙ/ΩΡΑ		
1	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	7:38:50	0:00:00	7:38:50	0:00:26	7:39:16	7:41:42	0:02:26	4.00	0:06:08	ΑΝΑΜΟΝΗ ΦΟΡΤΩΤΗ ΜΕ ΑΝΑΣΗΚΩΜΕΝΟ ΚΑΘΩ ΦΟΡΤΩΜΕΝΟ	0:09:00	1:00:00	6.67
2	972M	ΛΕΥΚΟ, 4ΑΕΟΝΙΚΟ	7:44:25	0:00:00	7:44:25	0:00:25	7:44:50	7:48:35	0:03:45	6.00	0:05:37	1Η ΚΟΥΒΑΔΙΑ ΑΠΟ ΣΗΜΕΙΟ ΜΕ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΟ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΙΠΕΣ ΑΠΟ ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΟ	0:09:47	1:00:00	6.13
3	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	7:47:50	0:01:24	7:49:14	0:00:28	7:49:42	7:53:06	0:03:24	5.00	0:05:47		0:11:03	1:00:00	5.43
4	972M	ΛΕΥΚΟ, 4ΑΕΟΝΙΚΟ	7:54:12	0:00:00	7:54:12	0:00:30	7:54:42	7:58:26	0:03:44	6.00	0:05:30	1Η ΚΟΥΒΑΔΙΑ ΑΠΟ ΣΗΜΕΙΟ ΜΕ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΟ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΙΠΕΣ ΑΠΟ ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΟ	0:09:44	1:00:00	6.16
5	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	7:58:53	0:00:00	7:58:53	0:01:13	8:00:06	8:03:04	0:02:58	4.00	0:05:30	1Η ΚΟΥΒΑΔΙΑ ΑΠΟ ΣΗΜΕΙΟ ΜΕ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΟ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΙΠΕΣ ΑΠΟ ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΟ	0:09:41	1:00:00	6.20
6	972M	ΛΕΥΚΟ, 4ΑΕΟΝΙΚΟ	8:03:56	0:00:10	8:04:06	0:01:15	8:05:21	8:08:34	0:03:13	6.00	0:06:36		0:11:14	1:00:00	5.34
7	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	8:08:34	0:00:13	8:08:47	0:00:31	8:09:18	8:12:10	0:02:52	5.00	0:10:32		0:14:08	1:00:00	4.25
8	972M	ΛΕΥΚΟ, 4ΑΕΟΝΙΚΟ	8:15:10	0:00:00	8:15:10	0:00:50	8:16:00	8:19:47	0:03:47	6.00	0:07:09		0:11:46	1:00:00	5.10
9	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	8:22:42	0:00:00	8:22:42	0:00:18	8:23:00	8:26:17	0:03:17	5.00	0:10:58		0:14:33	1:00:00	4.12
10	972M	ΛΕΥΚΟ, 4ΑΕΟΝΙΚΟ	8:26:56	0:00:00	8:26:56	0:00:24	8:27:20	8:30:30	0:03:10	5.00	0:11:17		0:14:51	1:00:00	4.04
11	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	8:37:15	0:00:00	8:37:15	0:00:19	8:37:34	8:40:46	0:03:12	5.00	0:16:02		0:19:33	1:00:00	3.07
12	972M	ΛΕΥΚΟ, 4ΑΕΟΝΙΚΟ	8:41:47	0:00:16	8:42:03	0:00:25	8:42:28	8:47:18	0:04:50	7.00	0:13:52	ΑΝΑΜΟΝΗ ΦΟΡΤΗΘΥ - ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΟΓΚΟΥ ΜΕ ΦΟΡΤΩΤΗ	0:19:23	1:00:00	3.10
13	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	8:56:48	0:02:38	8:59:26	0:00:18	8:59:44	9:02:44	0:03:00	4.00	0:07:55	ΑΝΑΜΟΝΗ ΦΟΡΤΩΤΗ ΜΕ ΑΝΑΣΗΚΩΜΕΝΟ ΚΑΘΩ ΦΟΡΤΩΜΕΝΟ	0:13:51	1:00:00	4.33
14	972M	ΛΕΥΚΟ, 4ΑΕΟΝΙΚΟ	9:01:10	0:02:07	9:03:17	0:00:43	9:04:00	9:07:04	0:03:04	5.00	0:06:33		0:12:27	1:00:00	4.82
15	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	9:10:39	0:00:00	9:10:39	0:01:21	9:12:00	9:15:28	0:03:28	6.00	0:08:47		0:13:36	1:00:00	4.41
16	972M	ΛΕΥΚΟ, 4ΑΕΟΝΙΚΟ	9:13:37	0:03:28	9:17:05	0:00:39	9:17:44	9:21:37	0:03:53	5.00	0:05:53		0:13:53	1:00:00	4.32
17	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	9:24:15	0:00:00	9:24:15	0:00:53	9:25:08	9:27:58	0:02:50	4.00	0:05:47		0:09:30	1:00:00	6.32
18	972M	ΛΕΥΚΟ, 4ΑΕΟΝΙΚΟ	9:27:30	0:00:50	9:28:20	0:01:25	9:29:45	9:33:13	0:03:28	5.00	0:06:17		0:12:00	1:00:00	5.00
19	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	9:33:45	0:00:00	9:33:45	0:00:47	9:34:32	9:38:29	0:03:57	5.00	0:05:42		0:10:26	1:00:00	5.75
20	972M	ΛΕΥΚΟ, 4ΑΕΟΝΙΚΟ	9:39:30	0:00:00	9:39:30	0:00:46	9:40:16	9:43:55	0:03:39	5.00	0:06:09		0:10:34	1:00:00	5.68
21	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	9:44:11	0:00:43	9:44:54	0:01:04	9:45:58	9:47:30	0:01:32	4.00	0:06:45		0:10:04	1:00:00	5.96
22	972M	ΛΕΥΚΟ, 4ΑΕΟΝΙΚΟ	9:50:04	0:00:00	9:50:04	0:00:36	9:50:40	9:53:35	0:02:55	4.00	0:06:23		0:09:54	1:00:00	6.06
23	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	9:54:15	0:00:55	9:55:10	0:00:34	9:55:44	9:59:01	0:03:17	4.00	0:15:29		0:20:15	1:00:00	2.96
24	972M	ΛΕΥΚΟ, 4ΑΕΟΝΙΚΟ	9:59:58	0:00:00	9:59:58	0:00:36	10:00:34	10:05:05	0:04:31	5.00	0:14:02		0:19:09	1:00:00	3.13
25	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	10:14:30	0:00:00	10:14:30	0:00:45	10:15:15	10:18:04	0:02:49	5.00	0:10:46		0:14:20	1:00:00	4.19
26	972M	ΛΕΥΚΟ, 4ΑΕΟΝΙΚΟ	10:19:07	0:00:00	10:19:07	0:00:33	10:19:40	10:23:20	0:03:40	6.00	0:11:59		0:16:12	1:00:00	3.70
27	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	10:28:50	0:00:34	10:29:24	0:00:29	10:29:53	10:33:00	0:03:07	4.00	0:05:50		0:10:00	1:00:00	6.00
28	972M	ΛΕΥΚΟ, 4ΑΕΟΝΙΚΟ	10:35:19	0:00:00	10:35:19	0:00:24	10:35:43	10:38:34	0:02:51	5.00	0:07:12		0:10:27	1:00:00	5.74
29	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	10:38:50	0:00:18	10:39:08	0:00:32	10:39:40	10:43:29	0:03:49	5.00	0:05:59		0:10:38	1:00:00	5.64
30	972M	ΛΕΥΚΟ, 4ΑΕΟΝΙΚΟ	10:45:46	0:00:00	10:45:46	0:00:27	10:46:13	10:49:43	0:03:30	5.00	0:05:39		0:09:36	1:00:00	6.25
31	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	10:49:28	0:00:42	10:50:10	0:00:30	10:50:40	10:53:52	0:03:12	5.00	0:19:48	ΖΥΓΙΣΗ	0:24:12	1:00:00	2.48
32	972M	ΛΕΥΚΟ, 4ΑΕΟΝΙΚΟ	10:55:22	0:00:00	10:55:22	0:00:26	10:55:48	10:59:43	0:03:55	5.00	0:06:04		0:10:25	1:00:00	5.76
33	972M	ΛΕΥΚΟ, 4ΑΕΟΝΙΚΟ	11:05:47	0:00:00	11:05:47	0:00:31	11:06:18	11:10:14	0:03:56	6.00	0:05:29		0:09:56	1:00:00	6.04
34	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	11:13:40	0:00:24	11:14:04	0:00:29	11:14:33	11:17:58	0:03:25	5.00	0:06:20		0:10:38	1:00:00	5.64
35	972M	ΛΕΥΚΟ, 4ΑΕΟΝΙΚΟ	11:15:43	0:02:41	11:18:24	0:00:46	11:19:10	11:22:58	0:03:48	5.00	0:07:13		0:14:28	1:00:00	4.15
36	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	11:24:18	0:00:27	11:24:45	0:00:33	11:25:18	11:28:21	0:03:03	5.00	0:06:35		0:10:38	1:00:00	5.64
37	972M	ΛΕΥΚΟ, 4ΑΕΟΝΙΚΟ	11:30:11	0:00:00	11:30:11	0:00:30	11:30:41	11:34:20	0:03:39	6.00	0:05:55		0:10:04	1:00:00	5.96
38	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	11:34:56	0:00:00	11:34:56	0:00:50	11:35:46	11:38:00	0:02:14	4.00	0:06:15		0:09:19	1:00:00	6.44
39	972M	ΛΕΥΚΟ, 4ΑΕΟΝΙΚΟ	11:40:15	0:00:13	11:40:28	0:00:57	11:41:25	11:44:30	0:03:05	5.00	0:20:34	ΚΑΘΥΣΤΕΡΙΣΗ ΣΤΟΝ ΤΡΟΦΟΔΟΤΗ ΛΟΓΟ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΟΥ ΥΑΛΙΚΟΥ (ΛΑΣΤΗ)	0:24:49	1:00:00	2.42
40	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	11:44:15	0:01:08	11:45:23	0:00:25	11:45:48	11:49:04	0:03:16	5.00	0:23:07		0:27:56	1:00:00	2.15
41	972M	ΛΕΥΚΟ, 4ΑΕΟΝΙΚΟ	12:05:04	0:00:00	12:05:04	0:00:24	12:05:28	12:09:40	0:04:12	6.00	0:11:05	ΖΥΓΙΣΗ	0:15:41	1:00:00	3.83
42	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	12:12:11	0:00:00	12:12:11	0:00:21	12:12:32	12:15:05	0:02:33	4.00	0:12:25		0:15:19	1:00:00	3.92
43	972M	ΛΕΥΚΟ, 4ΑΕΟΝΙΚΟ	12:20:45	0:00:00	12:20:45	0:00:23	12:21:08	12:24:18	0:03:10	4.00	0:09:12		0:12:45	1:00:00	4.71
44	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	12:27:30	0:00:00	12:27:30	0:00:27	12:27:57	12:32:00	0:04:03	6.00	0:07:39		0:12:09	1:00:00	4.94
45	972M	ΛΕΥΚΟ, 4ΑΕΟΝΙΚΟ	12:33:30	0:00:00	12:33:30	0:00:24	12:33:54	12:36:30	0:02:36	4.00	0:06:34		0:09:34	1:00:00	6.27
46	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	12:39:39	0:00:00	12:39:39	0:00:21	12:40:00	12:42:40	0:02:40	5.00	0:06:35		0:09:36	1:00:00	6.25
47	972M	ΛΕΥΚΟ, 4ΑΕΟΝΙΚΟ	12:43:04	0:00:00	12:43:04	0:00:26	12:43:30	12:45:55	0:02:25	4.00	0:05:53		0:08:44	1:00:00	6.87
48	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	12:49:15	0:00:00	12:49:15	0:00:25	12:49:40	12:52:33	0:02:53	5.00	0:06:15	ΑΝΑΜΟΝΗ ΦΟΡΤΩΤΗ ΜΕ ΑΝΑΣΗΚΩΜΕΝΟ ΚΑΘΩ ΦΟΡΤΩΜΕΝΟ	0:09:33	1:00:00	6.28
49	972M	ΛΕΥΚΟ, 4ΑΕΟΝΙΚΟ	12:51:48	0:00:50	12:52:38	0:00:24	12:53:02	12:55:55	0:02:53	5.00	0:05:42	ΑΝΑΜΟΝΗ ΦΟΡΤΩΤΗ ΜΕ ΑΝΑΣΗΚΩΜΕΝΟ ΚΑΘΩ ΦΟΡΤΩΜΕΝΟ	0:09:49	1:00:00	6.11
50	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	12:58:48	0:00:00	12:58:48	0:00:33	12:59:21	13:02:22	0:03:01	5.00	0:11:26		0:15:00	1:00:00	4.00
51	972M	ΛΕΥΚΟ, 4ΑΕΟΝΙΚΟ	13:01:37	0:01:06	13:02:43	0:00:27	13:03:10	13:06:18	0:03:08	5.00	0:15:58		0:20:39	1:00:00	2.91
52	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	13:13:48	0:00:00	13:13:48	0:00:28	13:14:16	13:17:12	0:02:56	5.00	0:08:42	ΑΝΑΜΟΝΗ ΦΟΡΤΩΤΗ ΜΕ ΑΝΑΣΗΚΩΜΕΝΟ ΚΑΘΩ ΦΟΡΤΩΜΕΝΟ	0:12:06	1:00:00	4.96
53	972M	ΛΕΥΚΟ, 4ΑΕΟΝΙΚΟ	13:22:16	0:00:00	13:22:16	0:00:22	13:22:38	13:25:19	0:02:41	4.00	0:05:26	ΑΝΑΜΟΝΗ ΦΟΡΤΩΤΗ ΜΕ ΑΝΑΣΗΚΩΜΕΝΟ ΚΑΘΩ ΦΟΡΤΩΜΕΝΟ	0:08:29	1:00:00	7.07
54	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	13:25:54	0:00:00	13:25:54	0:00:26	13:26:20	13:29:17	0:02:57	5.00	0:07:16		0:10:39	1:00:00	5.63
55	972M	ΛΕΥΚΟ, 4ΑΕΟΝΙΚΟ	13:30:45	0:00:00	13:30:45	0:00:23	13:31:08	13:34:07	0:02:59	5.00	0:10:21		0:13:53	1:00:00	4.32
56	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	13:36:33	0:00:00	13:36:33	0:00:23	13:36:56	13:40:36	0:03:40	6.00	0:06:48		0:10:51	1:00:00	5.53
57	972M	ΛΕΥΚΟ, 4ΑΕΟΝΙΚΟ	13:44:38	0:00:00	13:44:38	0:00:21	13:44:59	13:47:58	0:02:59	5.00	0:14:02	ΑΝΑΜΟΝΗ ΦΟΡΤΩΤΗ ΜΕ ΑΝΑΣΗΚΩΜΕΝΟ ΚΑΘΩ ΦΟΡΤΩΜΕΝΟ	0:17:22	1:00:00	3.45
58	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	13:47:24	0:00:45	13:48:09	0:00:27	13:48:36	13:52:20	0:03:44	6.00	0:13:03		0:17:59	1:00:00	3.34
59	972M	ΛΕΥΚΟ, 4ΑΕΟΝΙΚΟ	14:02:00	0:00:00	14:02:00	0:00:22	14:02:22	14:05:24	0:03:02	5.00	0:11:31	ΑΝΑΜΟΝΗ ΦΟΡΤΩΤΗ ΜΕ ΑΝΑΣΗΚΩΜΕΝΟ ΚΑΘΩ ΦΟΡΤΩΜΕΝΟ	0:14:55	1:00:00	4.02
60	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	14:05:23	0:00:16	14:05:39	0:00:36	14:06:15	14:09:42	0:03:27	5.00	0:10:33		0:14:52	1:00:00	4.04
61	972M	ΛΕΥΚΟ, 4ΑΕΟΝΙΚΟ	14:16:55	0:00:00	14:16:55	0:00:20	14:17:15	14:20:15	0:03:00	5.00	0:06:14	ΑΝΑΜΟΝΗ ΦΟΡΤΩΤΗ ΜΕ ΑΝΑΣΗΚΩΜΕΝΟ ΚΑΘΩ ΦΟΡΤΩΜΕΝΟ	0:09:34	1:00:00	6.27
62	972M	ΚΟΚΚΙΝΟ, ΖΑΣΟΝΙΚΟ	14:20:15	0:00:13	14:20:28	0:00:27	14:20:55	14:23:53	0:02:58	5.00	0:				

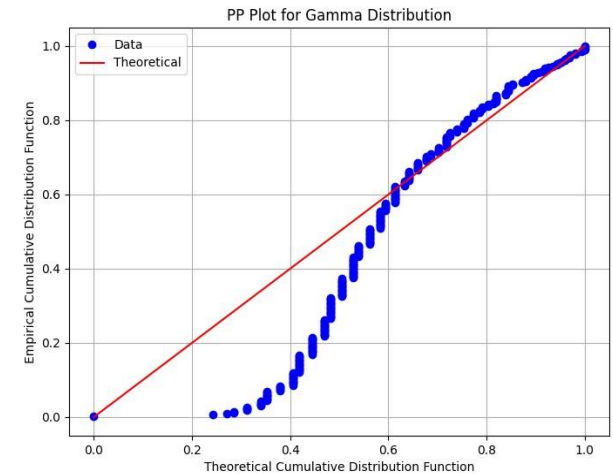
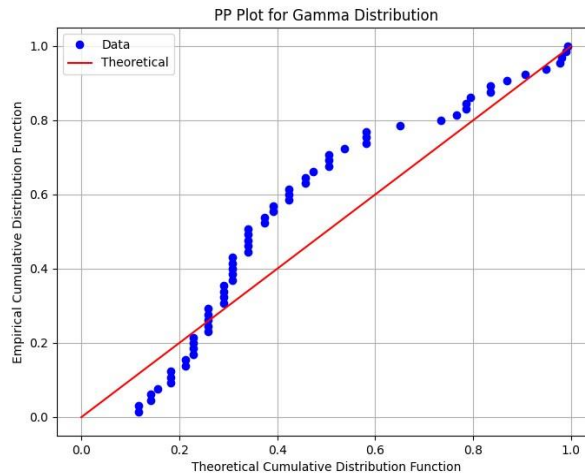
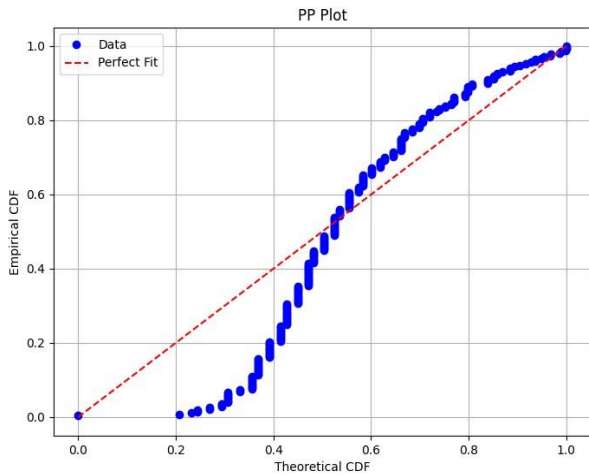
Παράρτημα 3: P-P Plots



Διάγραμμα 6: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΑΝΑΜΟΝΗΣ-ΞΗΡΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Διάγραμμα 7: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΑΝΑΜΟΝΗΣ- ΥΓΡΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Διάγραμμα 8: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΑΝΑΜΟΝΗΣ ΞΗΡΕΣ + ΥΓΡΕΣ

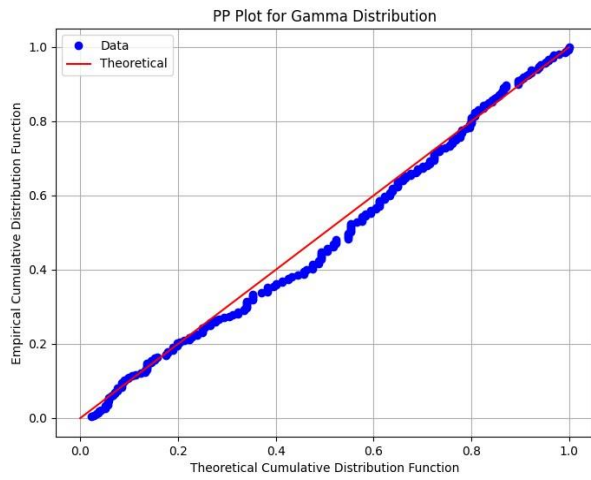


Διάγραμμα 9: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΜΑΝΟΥΒΡΑΣ ΞΗΡΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

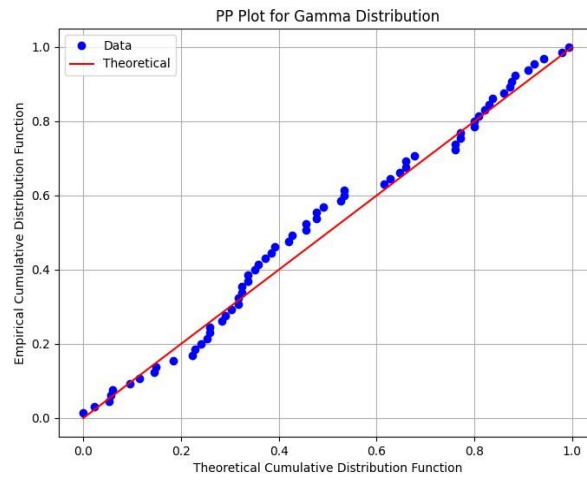
Διάγραμμα 10: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΜΑΝΟΥΒΡΑΣ ΥΓΡΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Διάγραμμα 11: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΜΑΝΟΥΒΡΑΣ ΞΗΡΕΣ + ΥΓΡΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

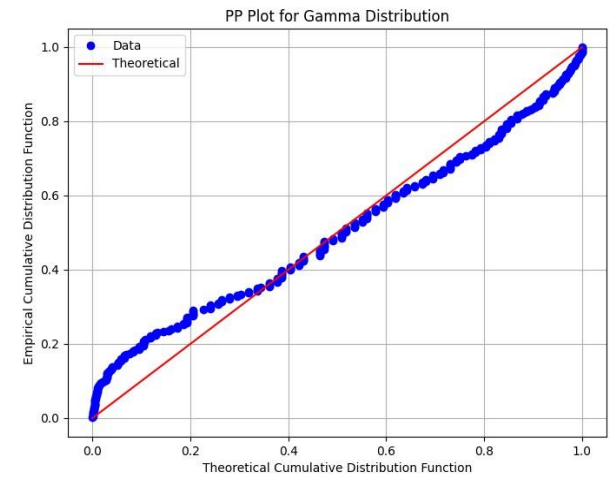
ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΛΑΤΟΜΕΙΟΥ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ



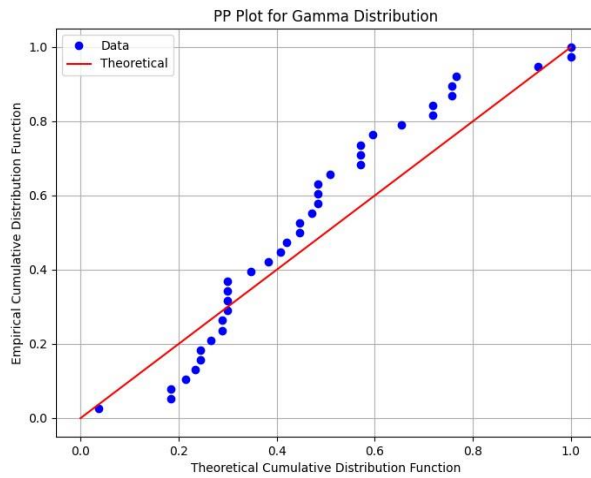
Διάγραμμα 12: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΦΟΡΤΩΣΗΣ ΞΗΡΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ



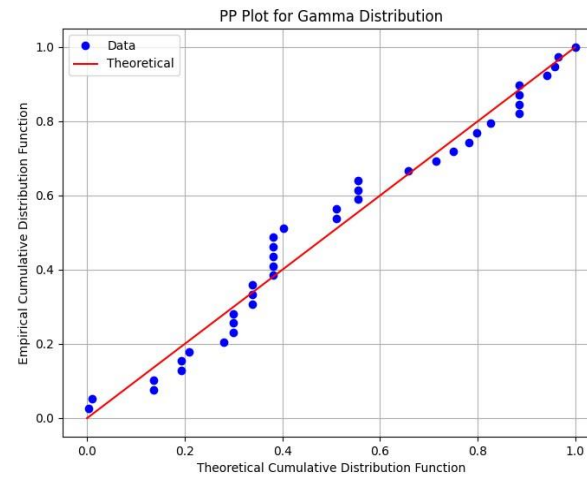
Διάγραμμα 13: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΦΟΡΤΩΣΗΣ ΥΓΡΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ



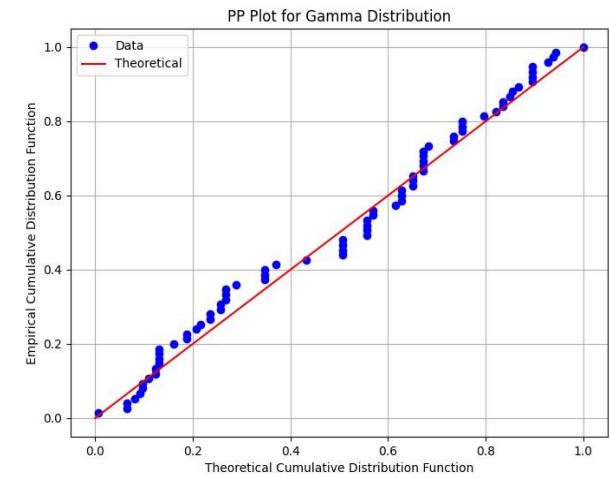
Διάγραμμα 14: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΦΟΡΤΩΣΗΣ ΞΗΡΕΣ + ΥΓΡΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ



Διάγραμμα 15: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΕΜΦΟΡΤΟ ΛΕΥΚΟ ΚΟΚΚΙΝΟ

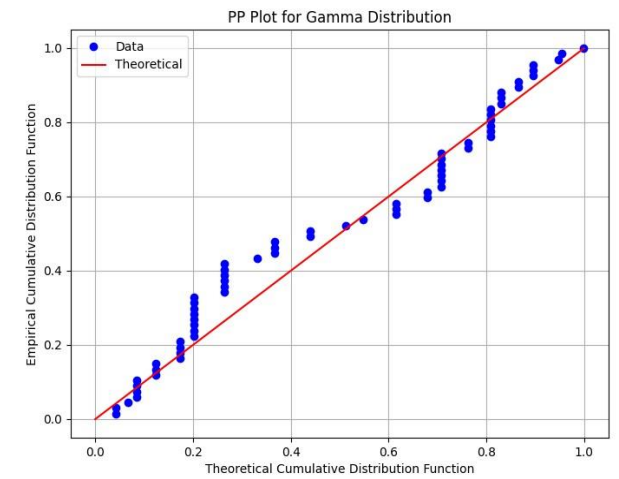
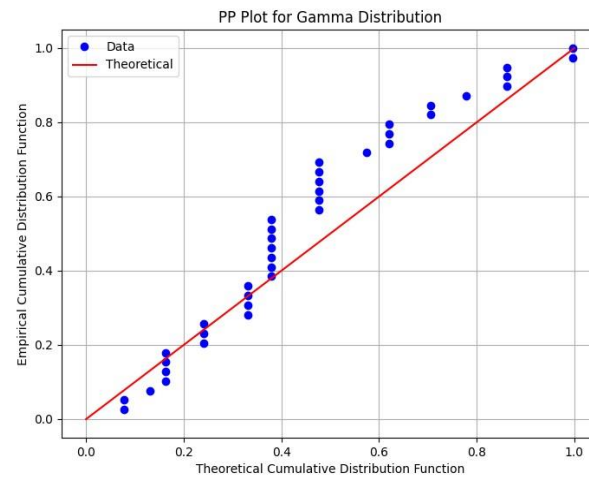
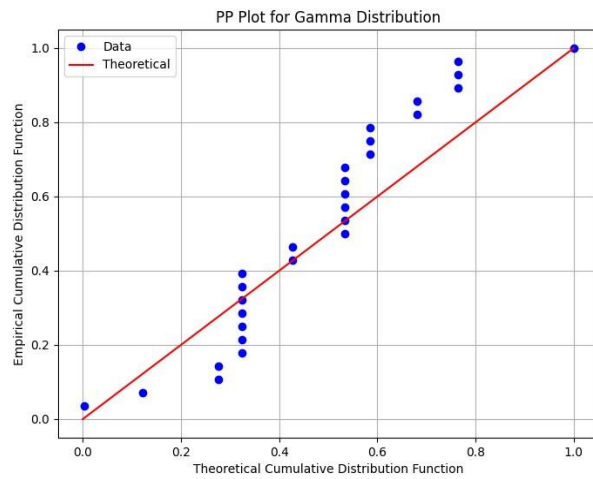


Διάγραμμα 16: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΕΜΦΟΡΤΟ ΚΟΚΚΙΝΟ



Διάγραμμα 17: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΕΜΦΟΡΤΟ ΛΕΥΚΟ +

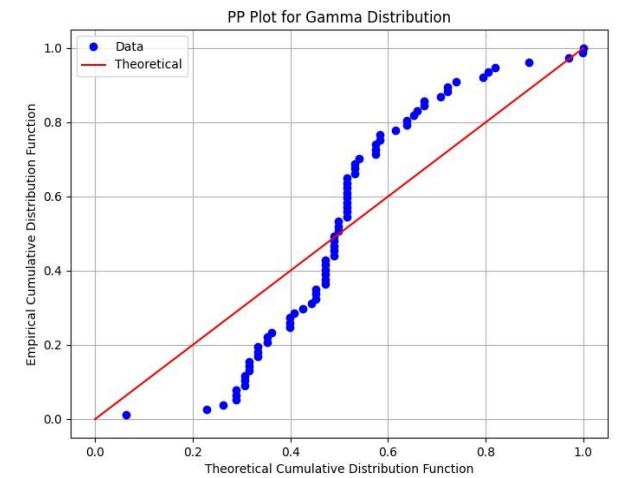
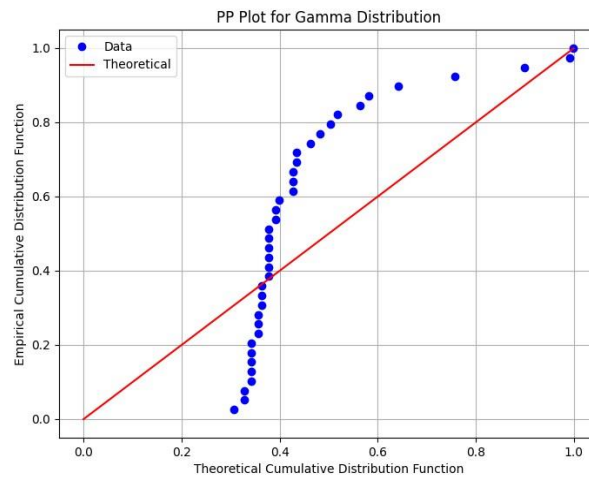
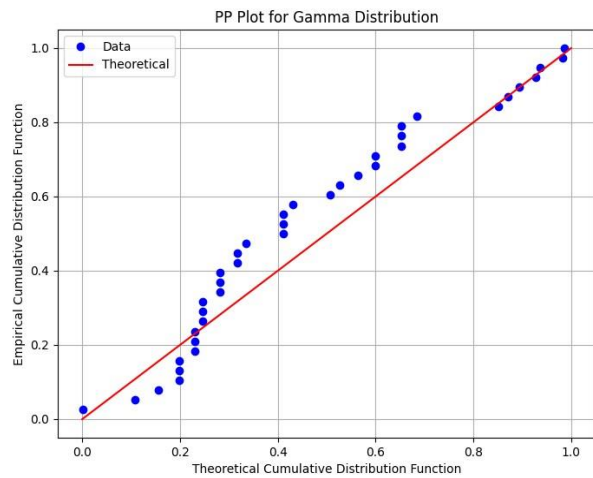
ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΛΑΤΟΜΕΙΟΥ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ



Διάγραμμα 18: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΜΑΝΟΥΒΡΑΣ ΑΠΟΘΕΣΗ ΛΕΥΚΟ ΚΟΚΚΙΝΟ

Διάγραμμα 19: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΜΑΝΟΥΒΡΑΣ ΑΠΟΘΕΣΗ ΚΟΚΚΙΝΟ

Διάγραμμα 20: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΜΑΝΟΥΒΡΑΣ ΑΠΟΘΕΣΗ ΛΕΥΚΟ +

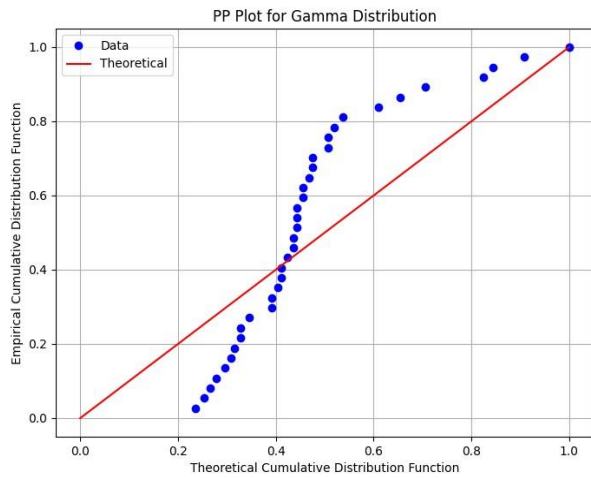


Διάγραμμα 21: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΛΕΥΚΟ + ΚΟΚΚΙΝΟ ΚΟΚΚΙΝΟ

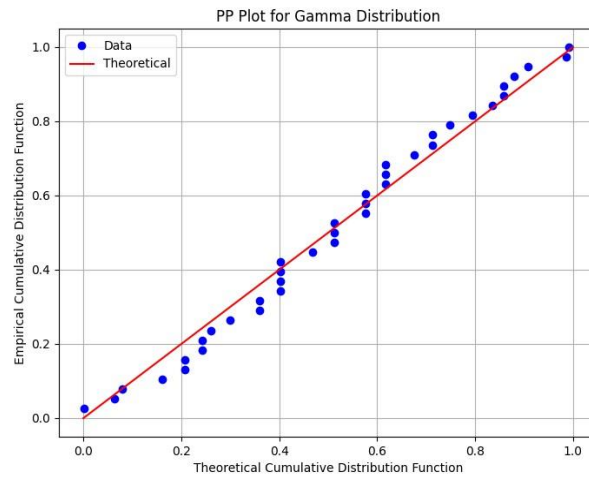
Διάγραμμα 22: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΛΕΥΚΟ + ΚΟΚΚΙΝΟ

Διάγραμμα 23: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΛΕΥΚΟ +

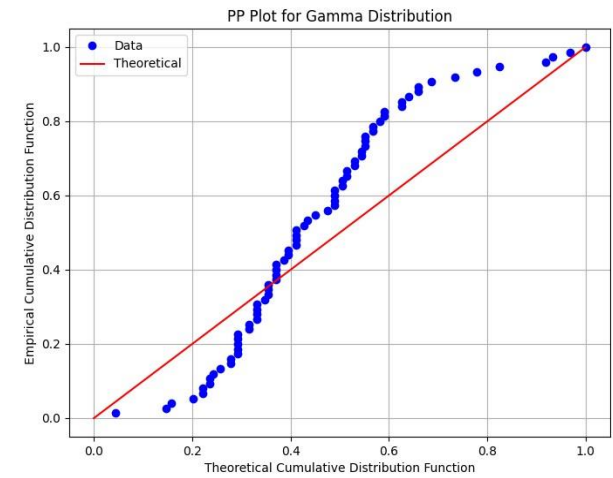
ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΛΑΤΟΜΕΙΟΥ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ



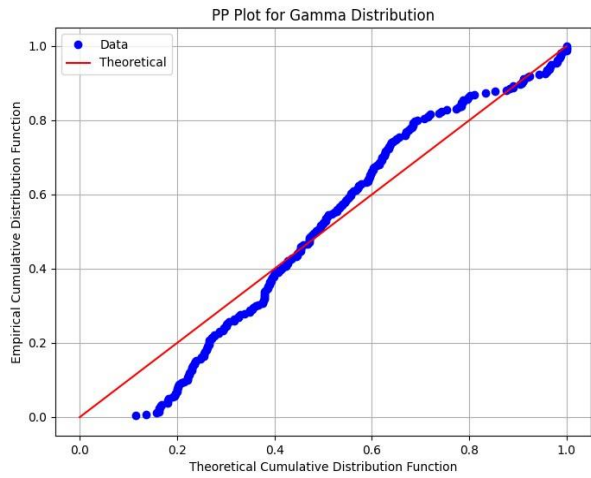
Διάγραμμα 24: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΕΠΙΣΤΡΟΦΗΣ ΚΕΝΟ ΛΕΥΚΟ ΚΟΚΚΙΝΟ



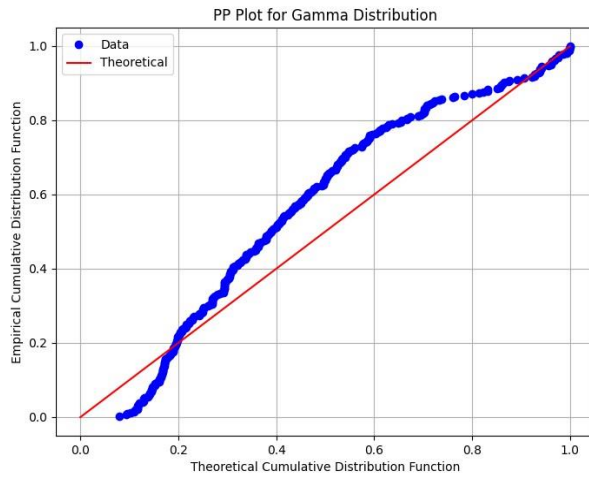
Διάγραμμα 25: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΕΠΙΣΤΡΟΦΗΣ ΚΕΝΟ ΚΟΚΚΙΝΟ



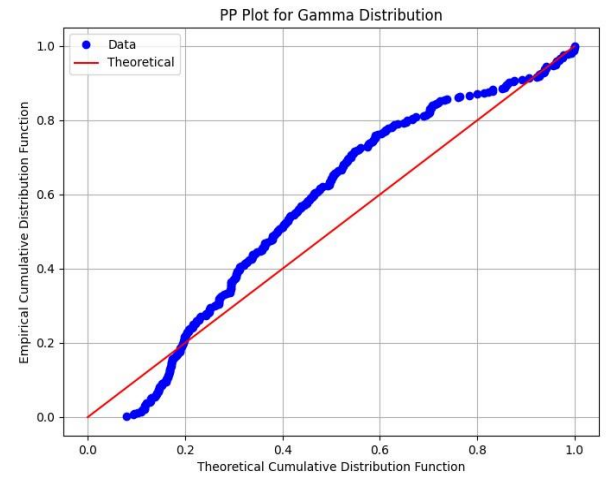
Διάγραμμα 26: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΕΠΙΣΤΡΟΦΗΣ ΚΕΝΟ ΛΕΥΚΟ +



Διάγραμμα 27: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΚΥΚΛΟΥ ΞΗΡΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

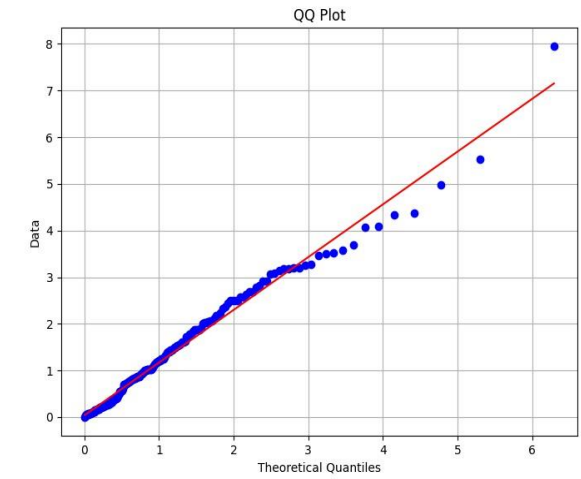
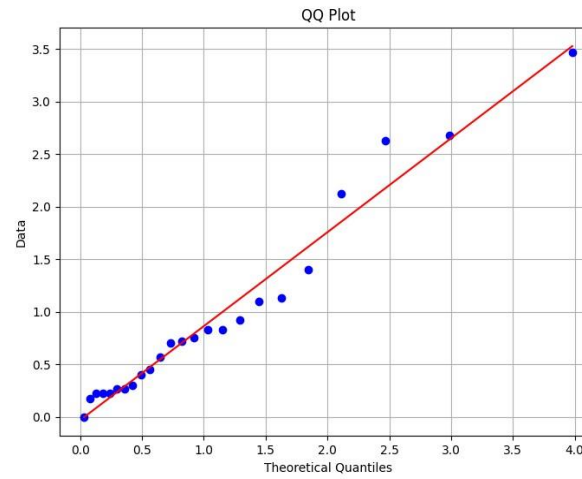
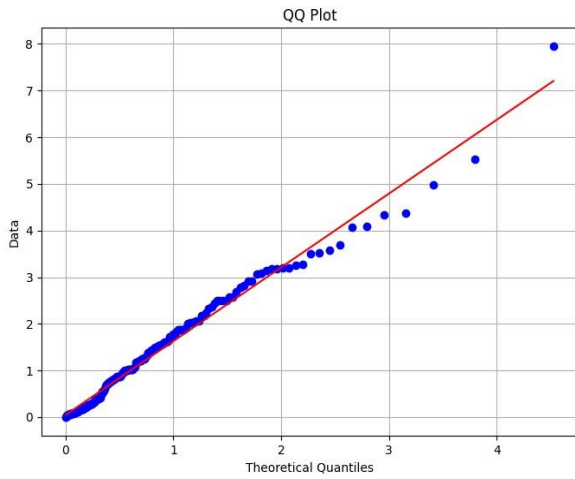


Διάγραμμα 28: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΚΥΚΛΟΥ ΥΓΡΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ



Διάγραμμα 29: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΚΥΚΛΟΥ ΞΗΡΕΣ + ΥΓΡΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

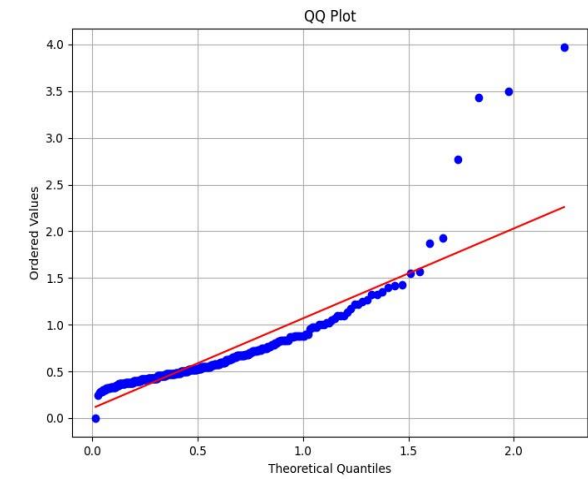
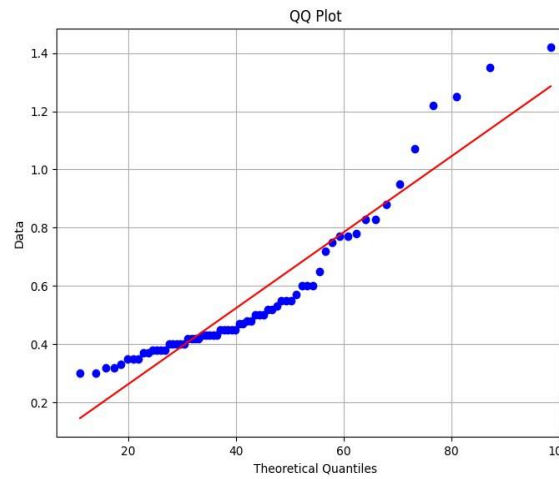
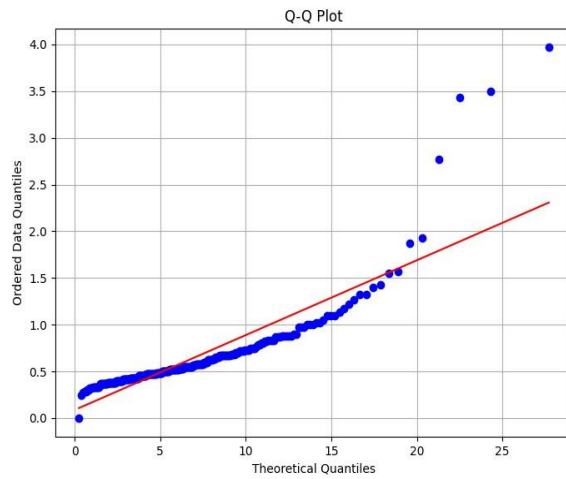
Παράρτημα 4: Q-Q Plots



Διάγραμμα 30: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΑΝΑΜΟΝΗΣ-ΞΗΡΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Διάγραμμα 31: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΑΝΑΜΟΝΗΣ-ΥΓΡΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Διάγραμμα 32: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΑΝΑΜΟΝΗΣ-ΞΗΡΕΣ + ΥΓΡΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

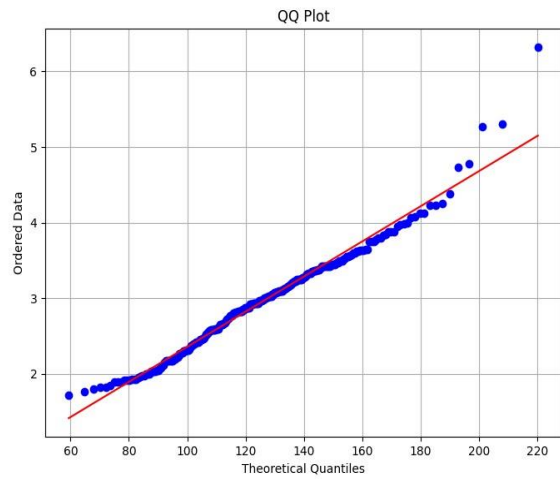


Διάγραμμα 33: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΜΑΝΟΥΒΡΑΣ ΞΗΡΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

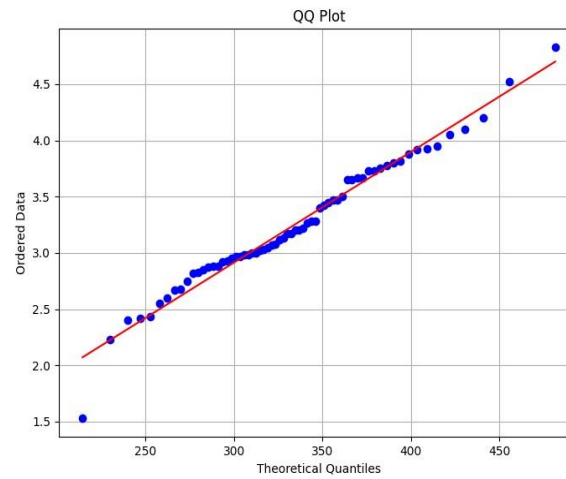
Διάγραμμα 34: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΜΑΝΟΥΒΡΑΣ ΥΓΡΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Διάγραμμα 35: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΜΑΝΟΥΒΡΑΣ ΞΗΡΕΣ + ΥΓΡΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

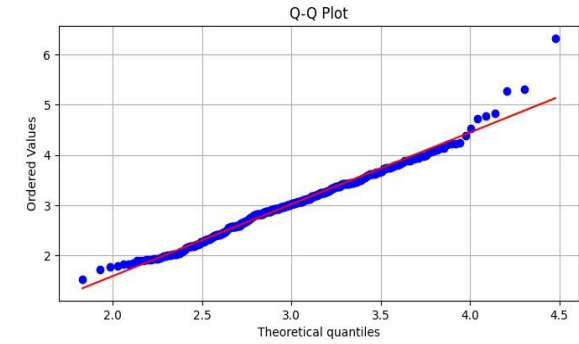
ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΛΑΤΟΜΕΙΟΥ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ



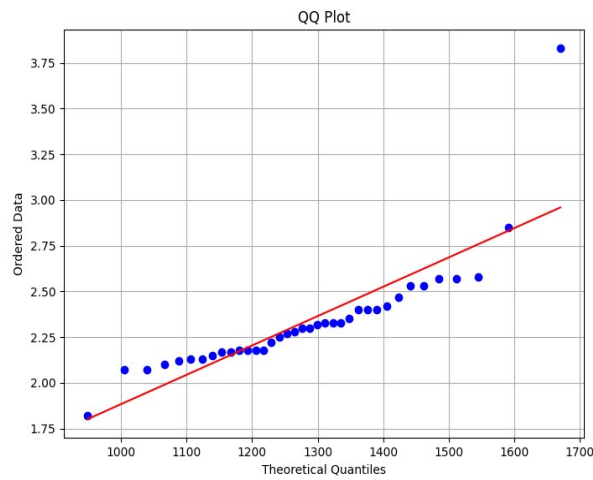
Διάγραμμα 36: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΦΟΡΤΩΣΗΣ ΞΗΡΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ



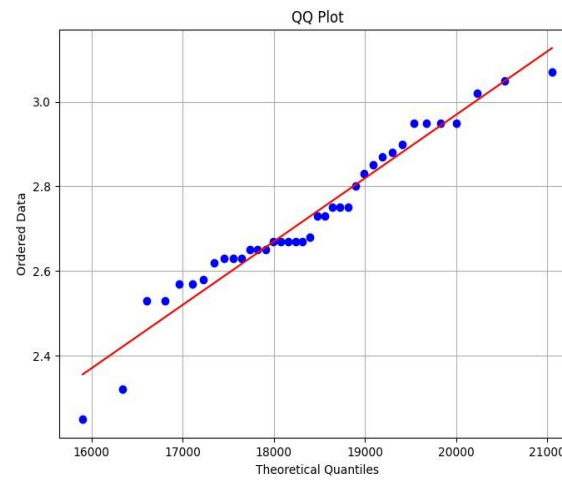
Διάγραμμα 37: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΦΟΡΤΩΣΗΣ ΥΓΡΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ



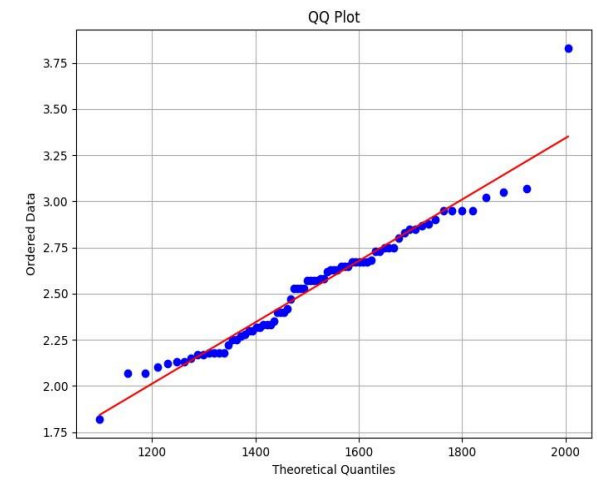
Διάγραμμα 38: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΦΟΡΤΩΣΗΣ ΞΗΡΕΣ + ΥΓΡΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ



Διάγραμμα 39: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΕΜΦΟΡΤΟ ΛΕΥΚΟ

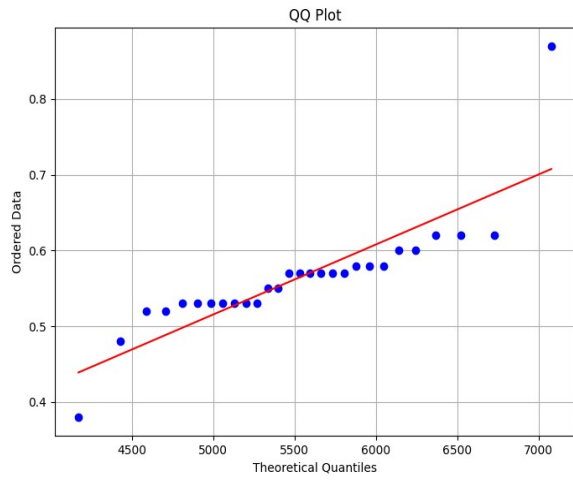


Διάγραμμα 40: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΕΜΦΟΡΤΟ ΚΟΚΚΙΝΟ

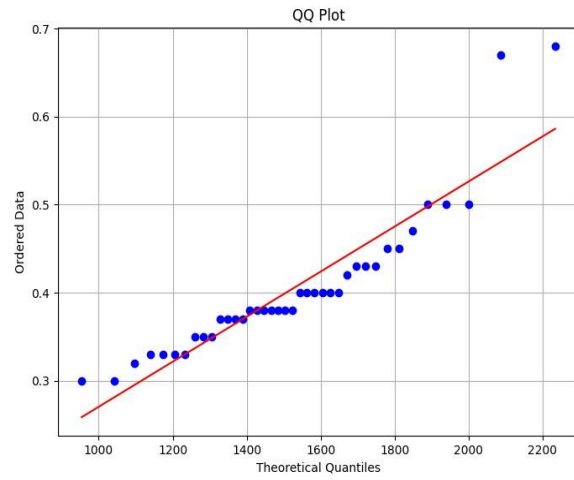


Διάγραμμα 41: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΕΜΦΟΡΤΟ ΛΕΥΚΟ + ΚΟΚΚΙΝΟ

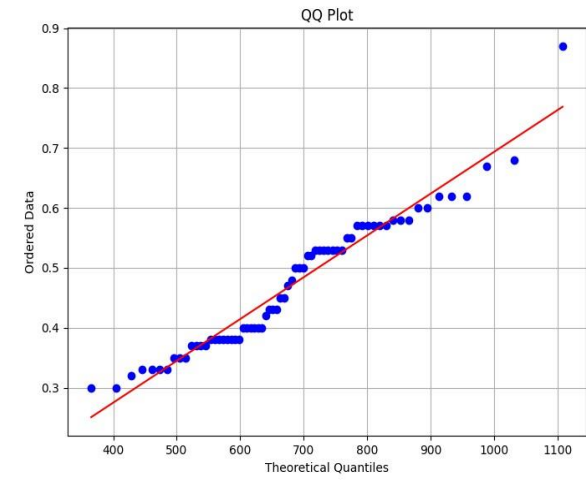
ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΛΑΤΟΜΕΙΟΥ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ



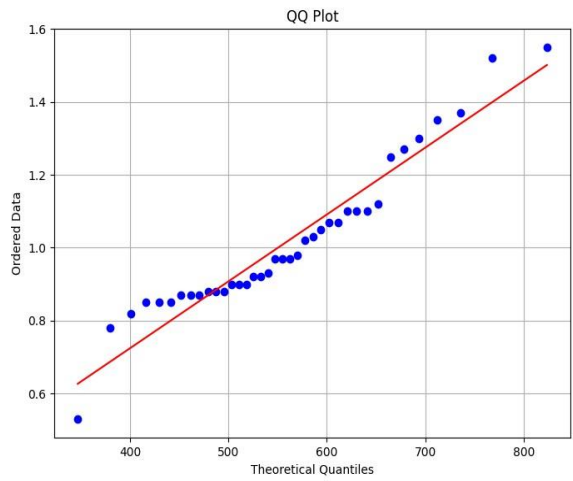
Διάγραμμα 42: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΜΑΝΟΥΒΡΑΣ ΑΠΟΘΕΣΗ ΛΕΥΚΟ



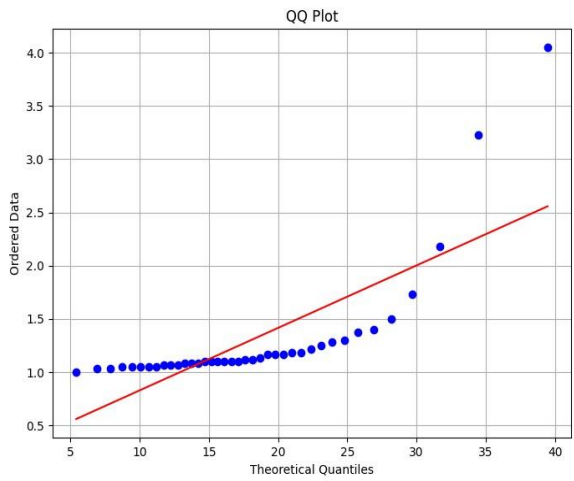
Διάγραμμα 43: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΜΑΝΟΥΒΡΑΣ ΑΠΟΘΕΣΗ ΚΟΚΚΙΝΟ



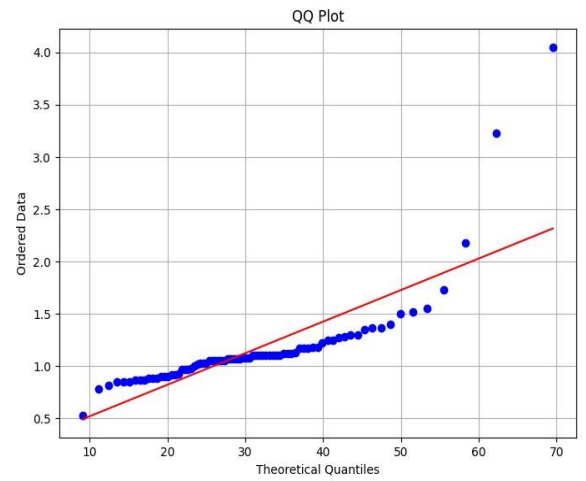
Διάγραμμα 44: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΜΑΝΟΥΒΡΑΣ ΑΠΟΘΕΣΗ ΛΕΥΚΟ + ΚΟΚΚΙΝΟ



Διάγραμμα 45: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΛΕΥΚΟ

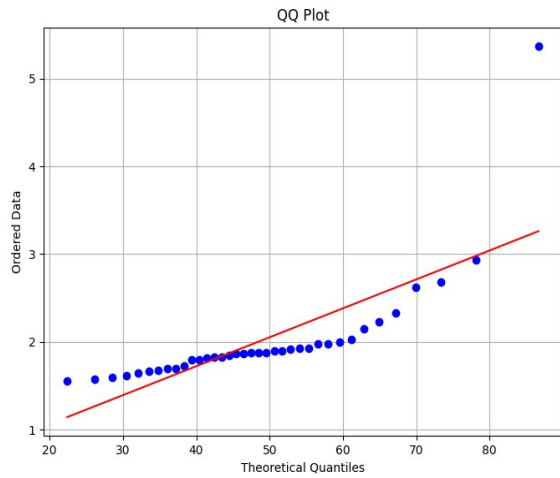


Διάγραμμα 46: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΚΟΚΚΙΝΟ

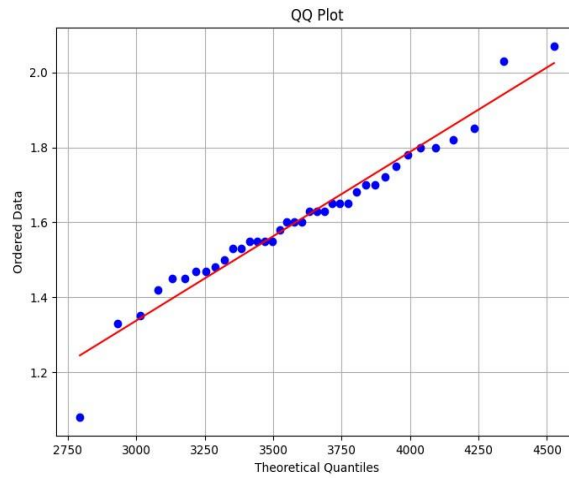


Διάγραμμα 47: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΛΕΥΚΟ + ΚΟΚΚΙΝΟ

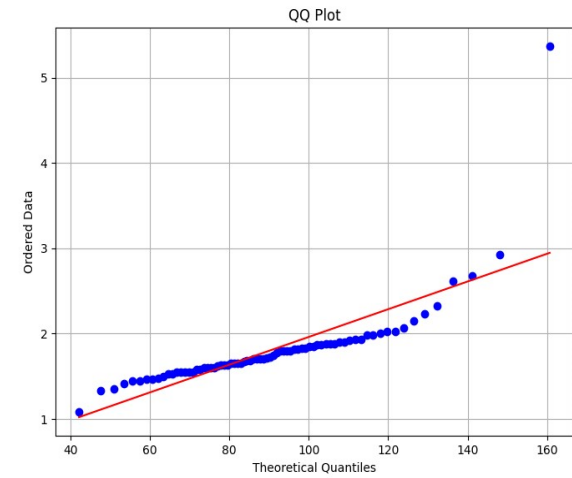
ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΛΑΤΟΜΕΙΟΥ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ



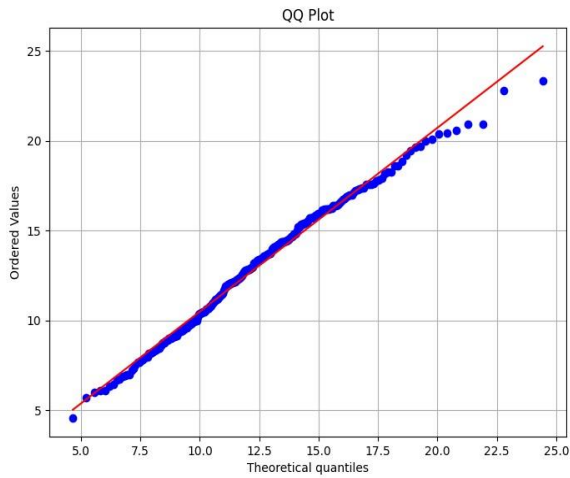
Διάγραμμα 48: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΕΠΙΣΤΡΟΦΗΣ ΚΕΝΟ ΛΕΥΚΟ



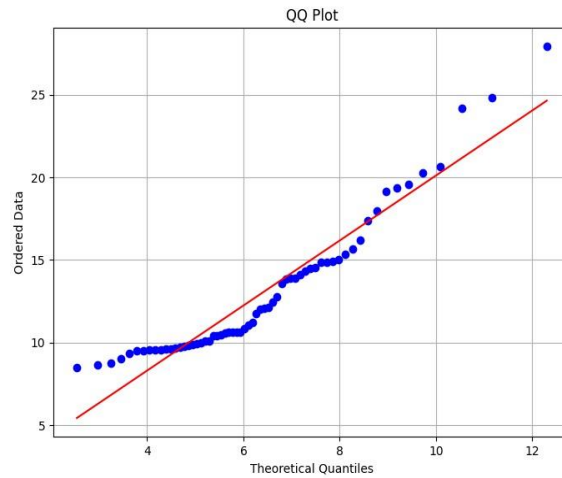
Διάγραμμα 49: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΕΠΙΣΤΡΟΦΗΣ ΚΕΝΟ ΚΟΚΚΙΝΟ



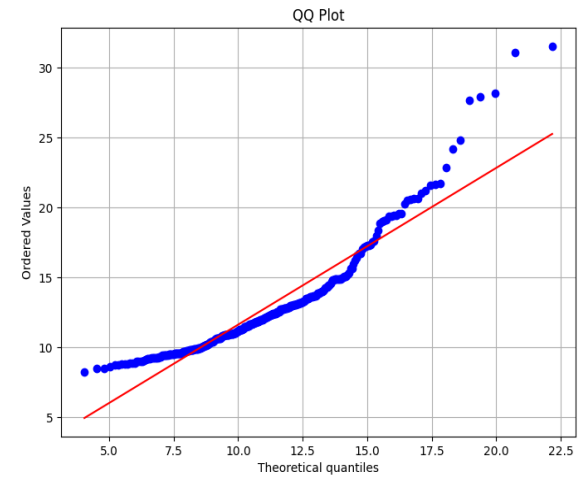
Διάγραμμα 50: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΕΠΙΣΤΡΟΦΗΣ ΚΕΝΟ ΛΕΥΚΟ + ΚΟΚΚΙΝΟ



Διάγραμμα 51: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΚΥΚΛΟΥ ΞΗΡΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

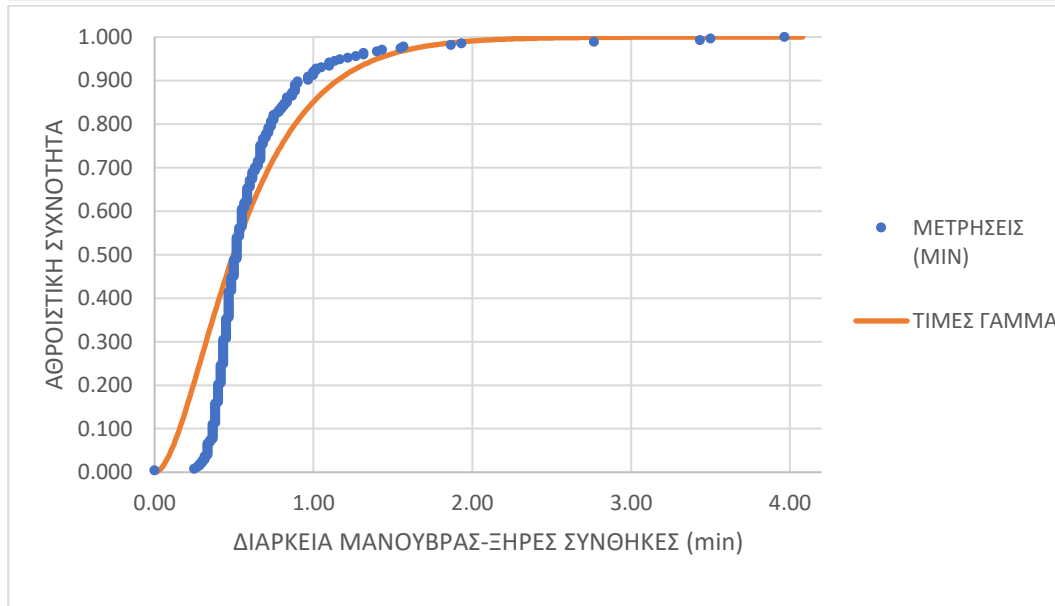
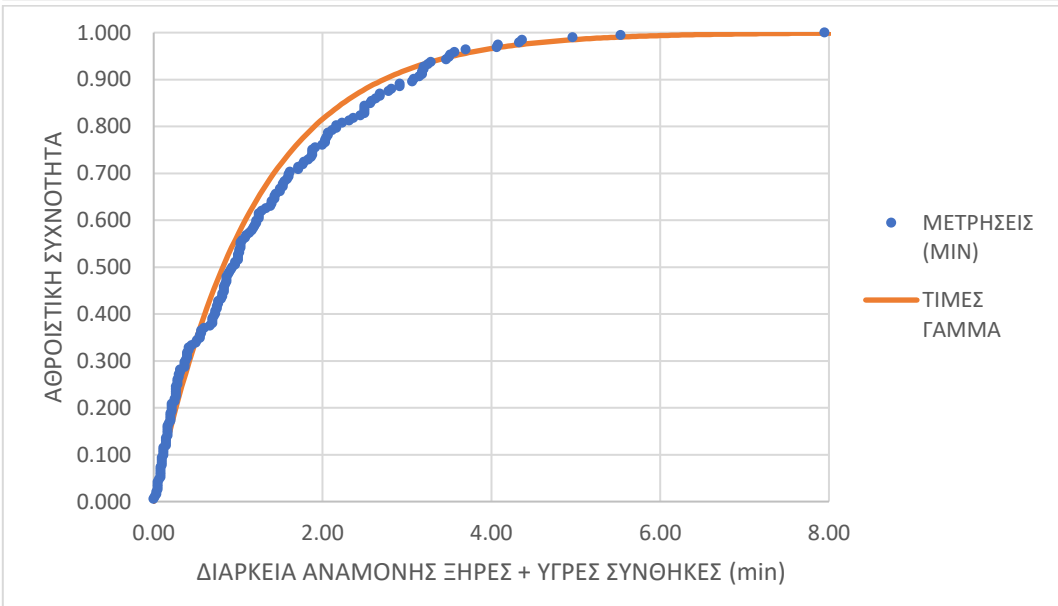
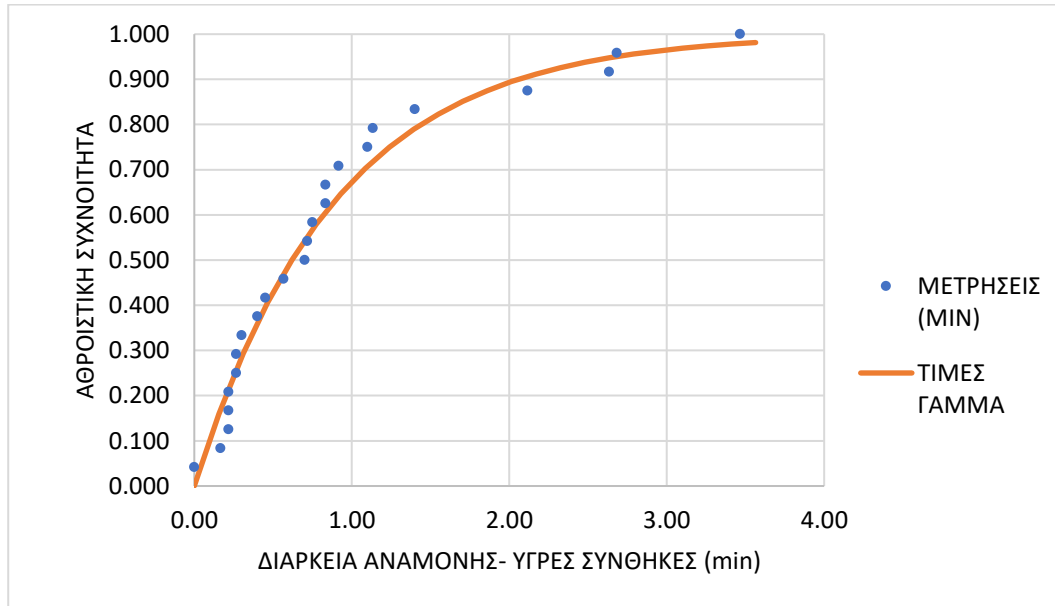
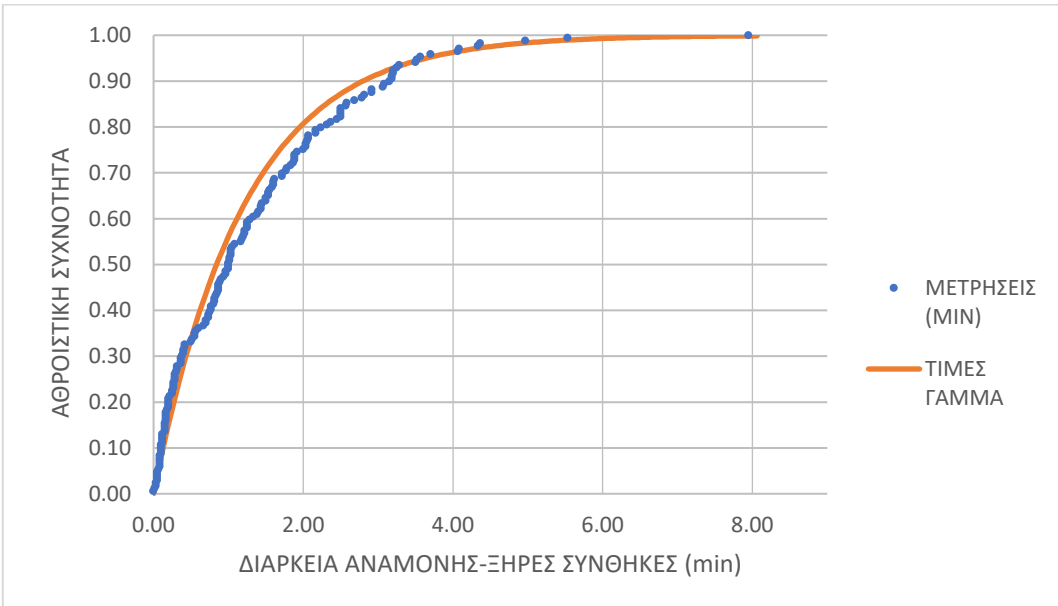


Διάγραμμα 52: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΚΥΚΛΟΥ ΥΓΡΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

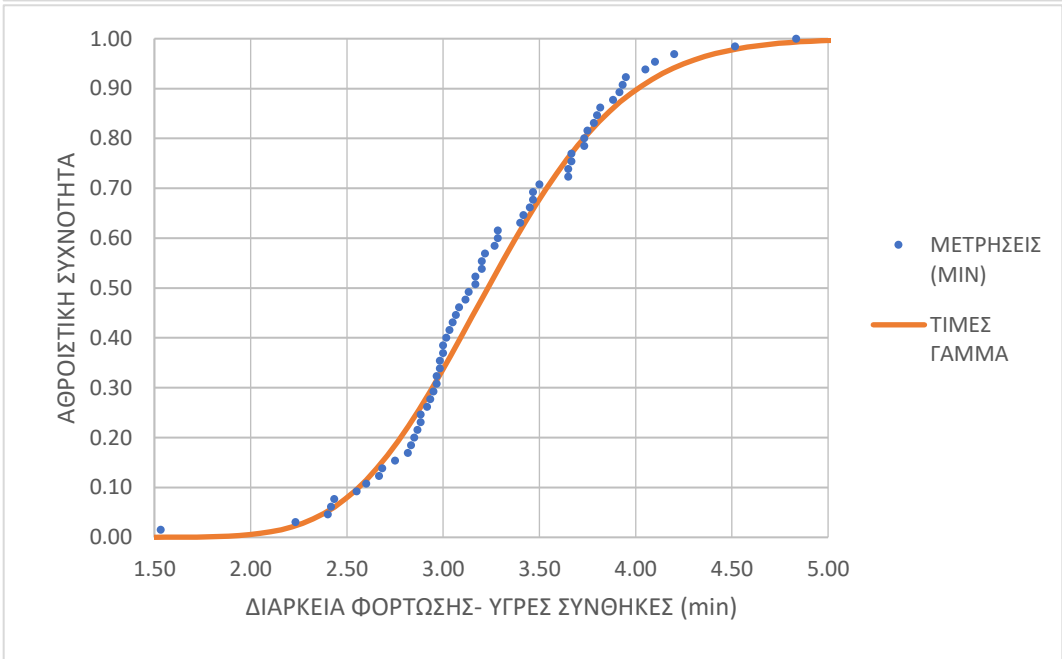
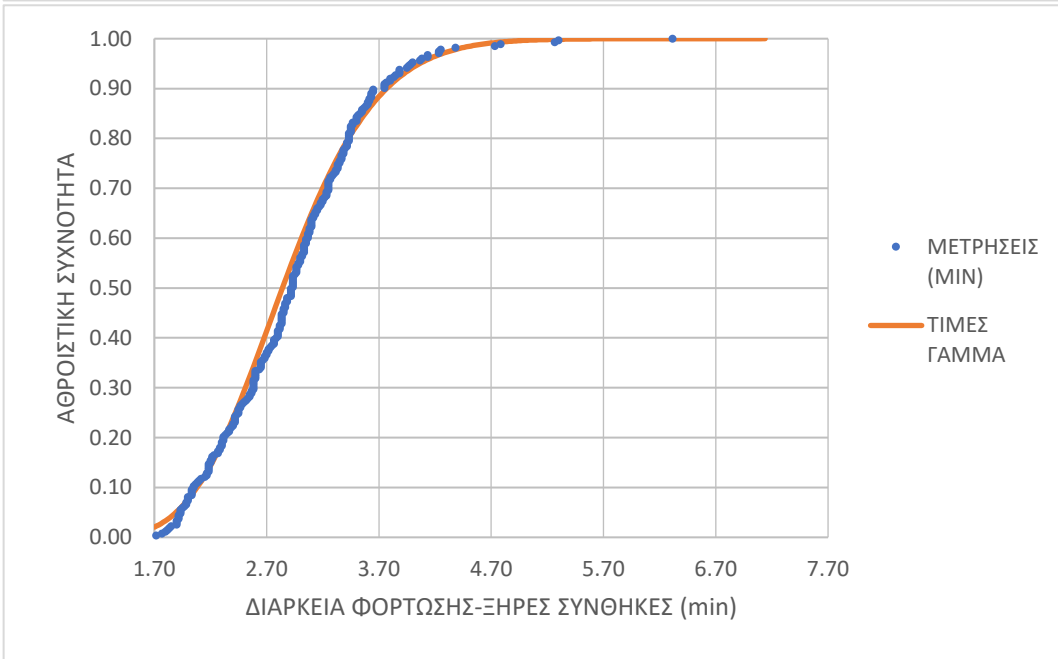
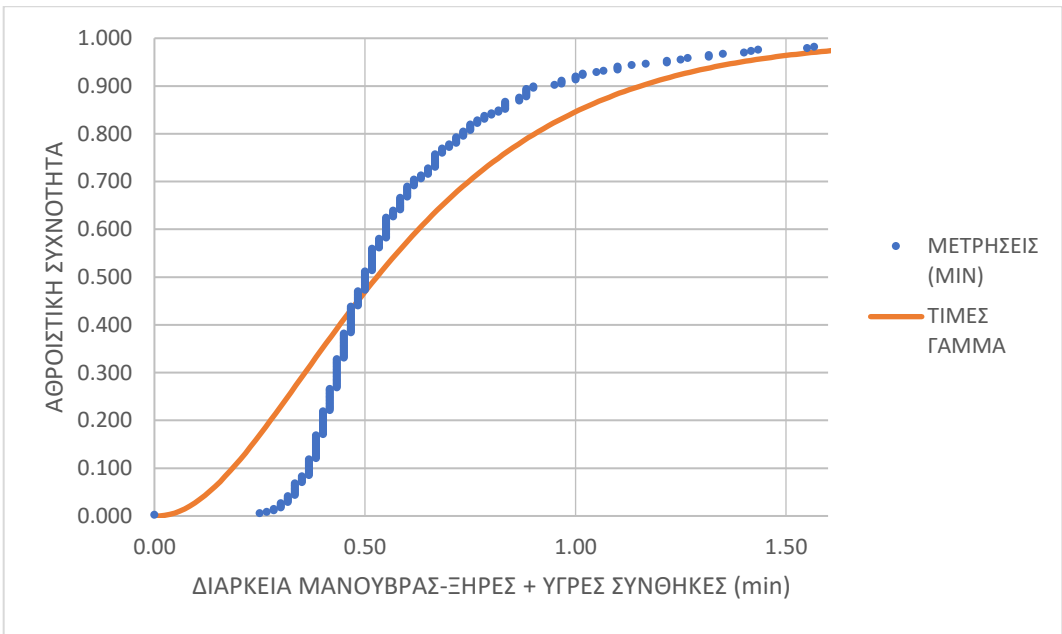
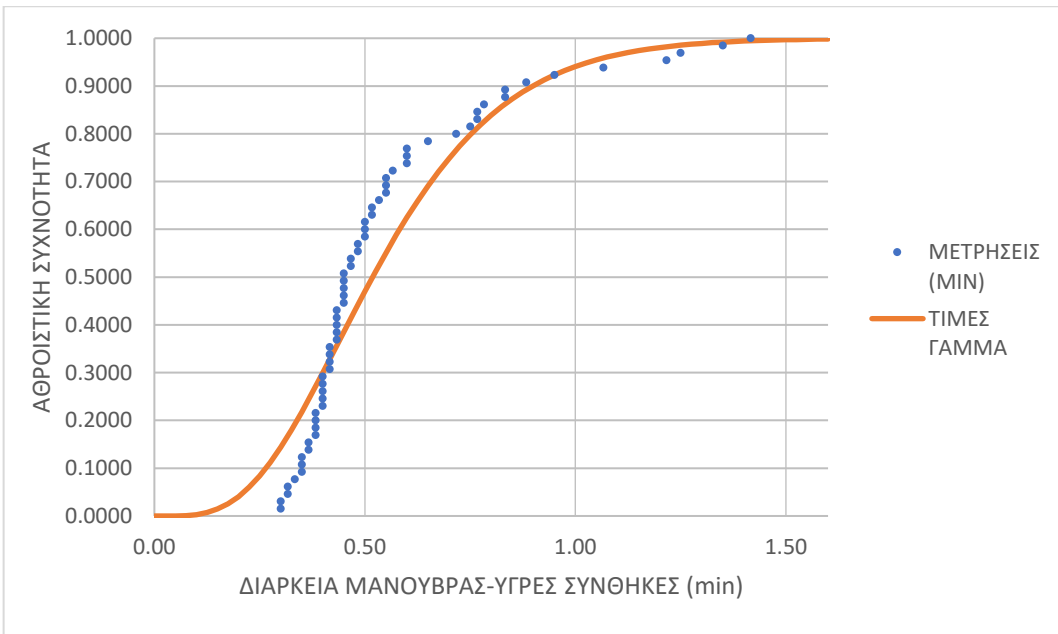


Διάγραμμα 53: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΚΥΚΛΟΥ ΞΗΡΕΣ + ΥΓΡΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

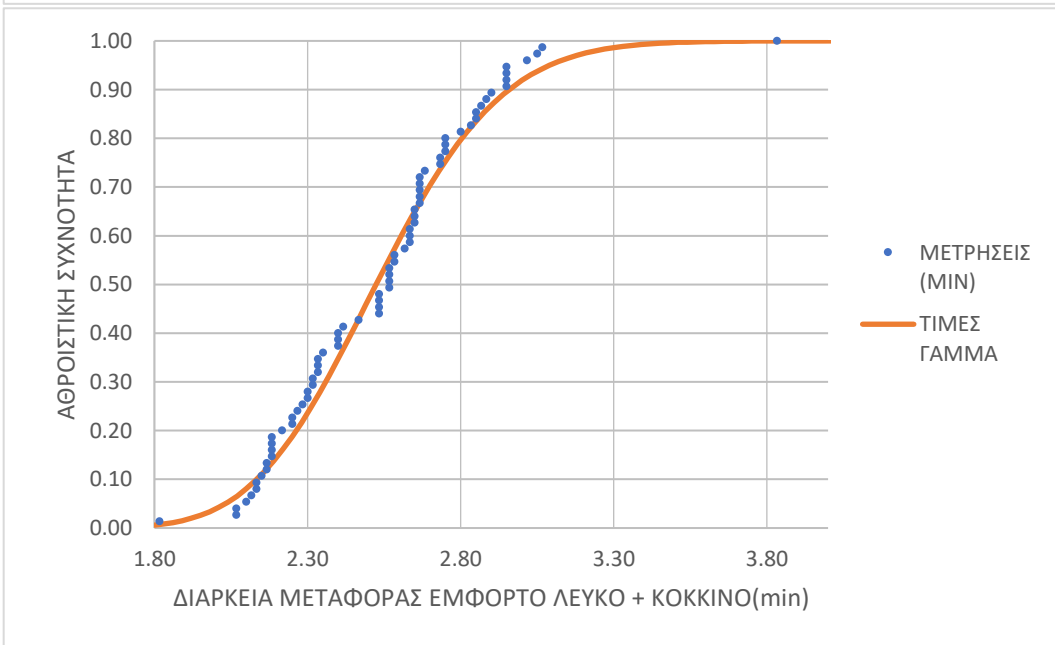
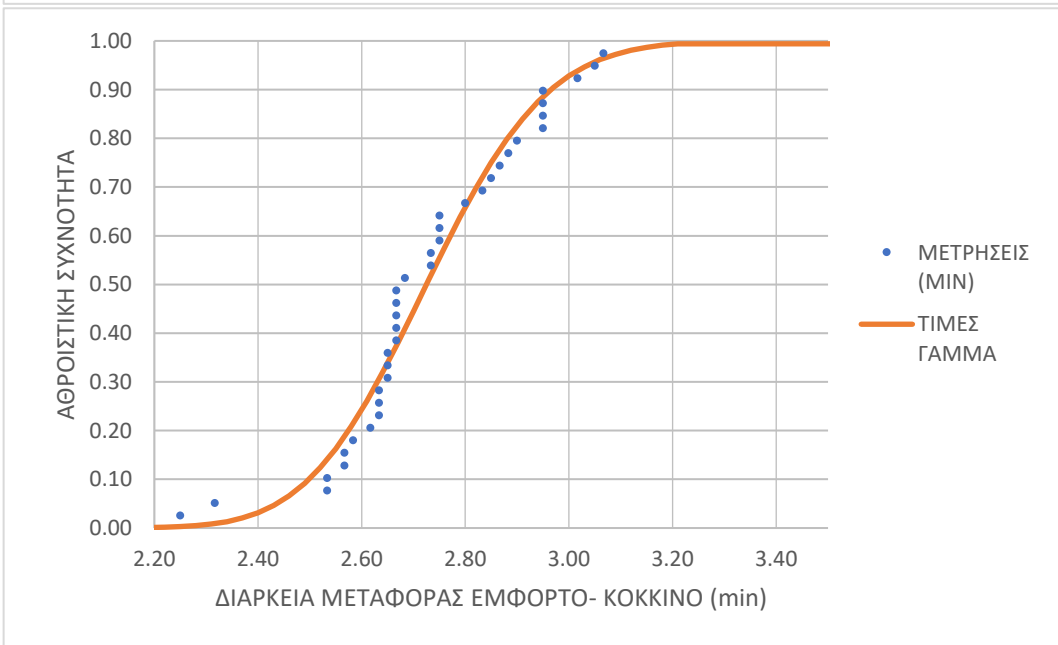
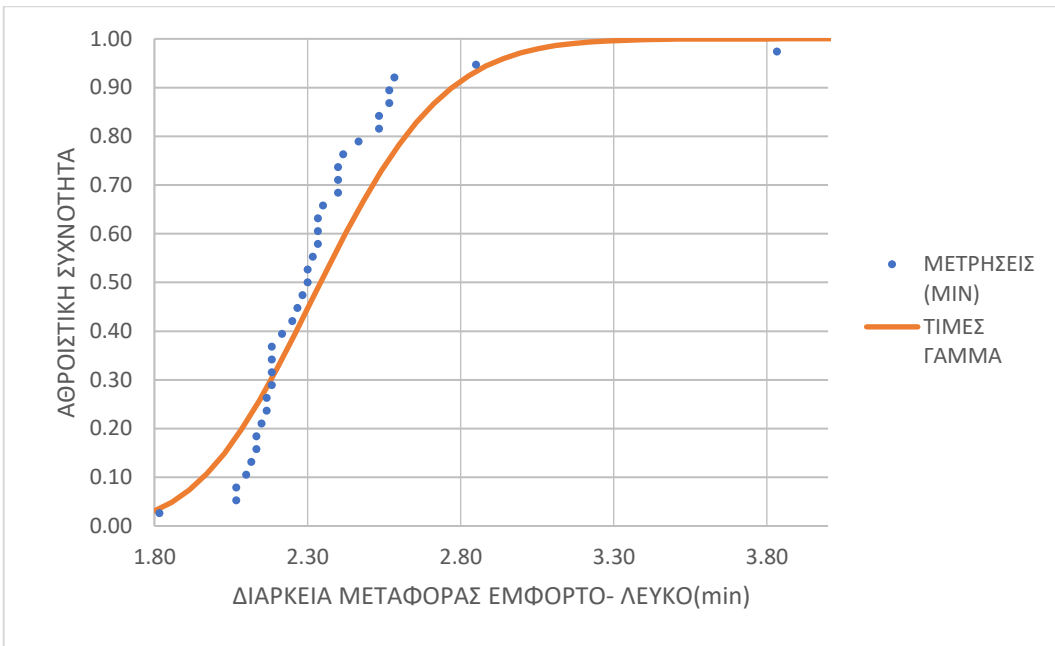
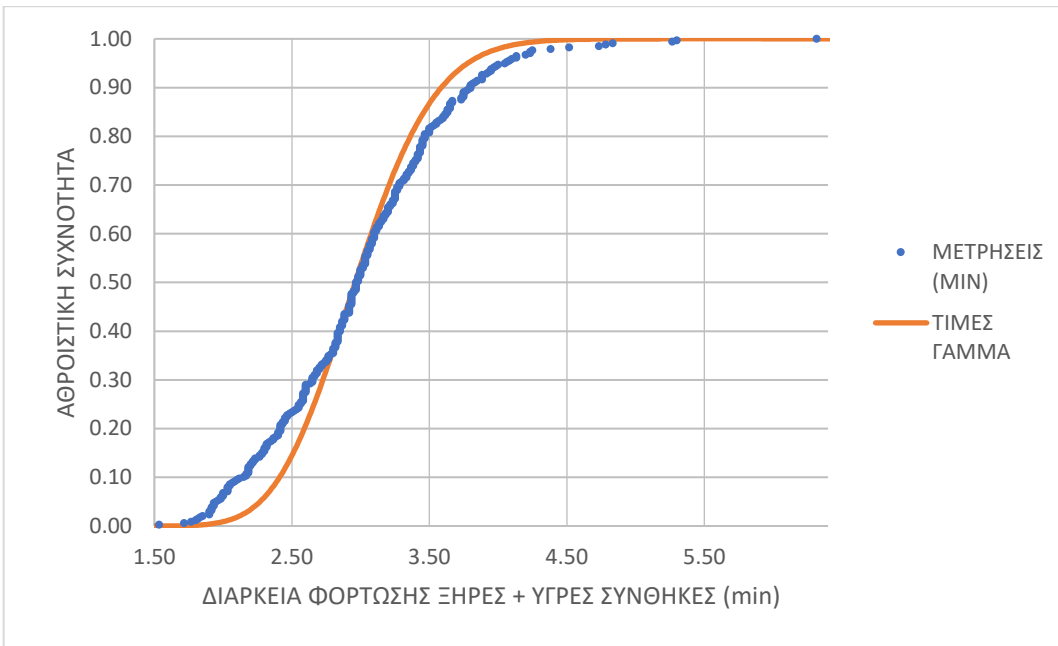
Παράρτημα 5: Κατανομές



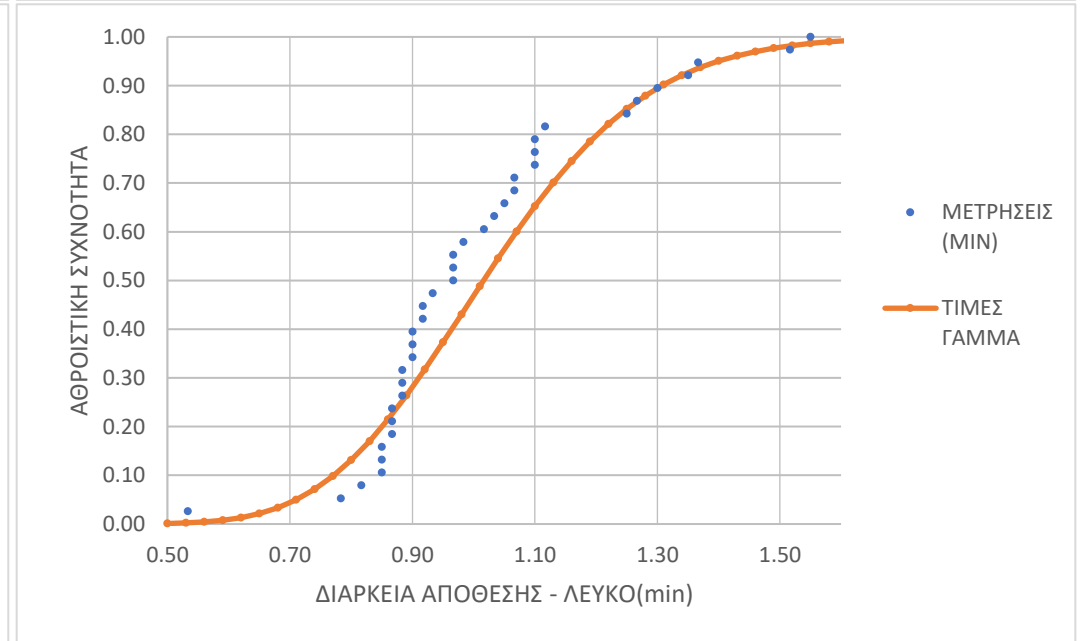
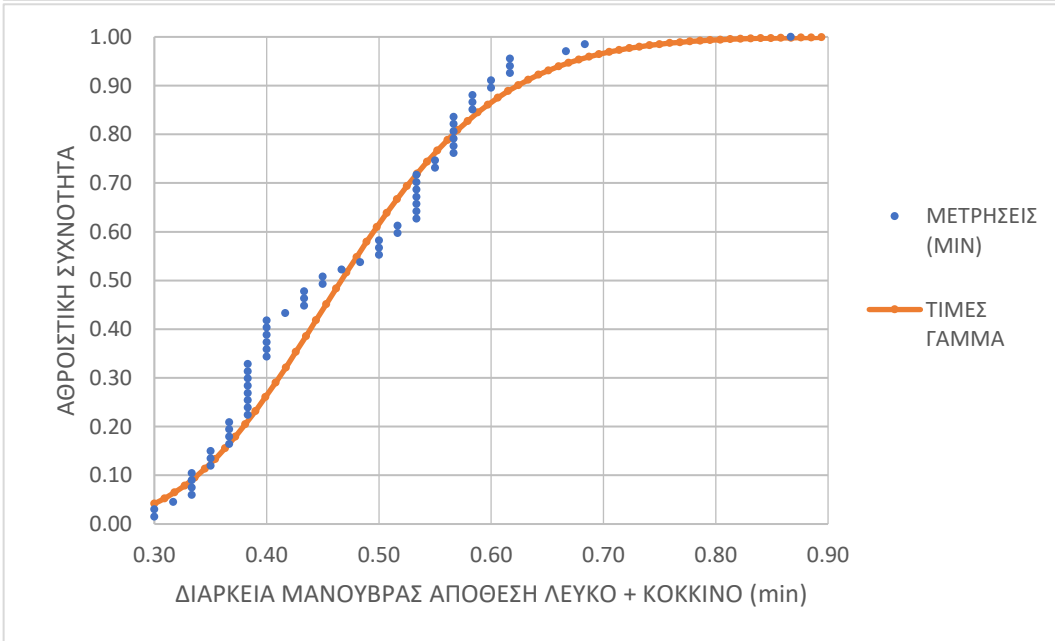
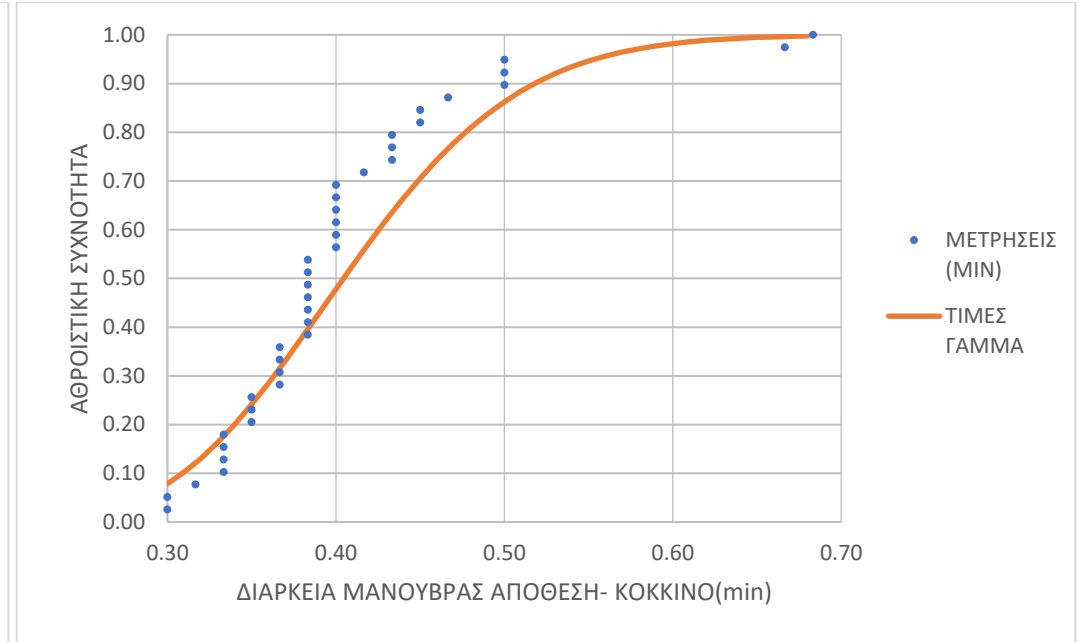
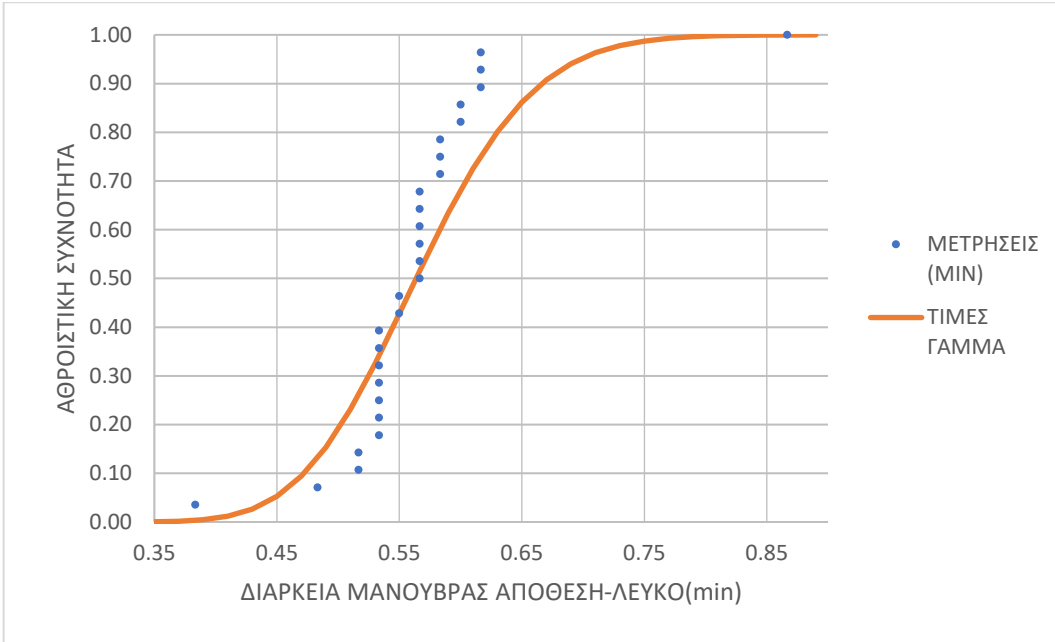
ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΛΑΤΟΜΕΙΟΥ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ



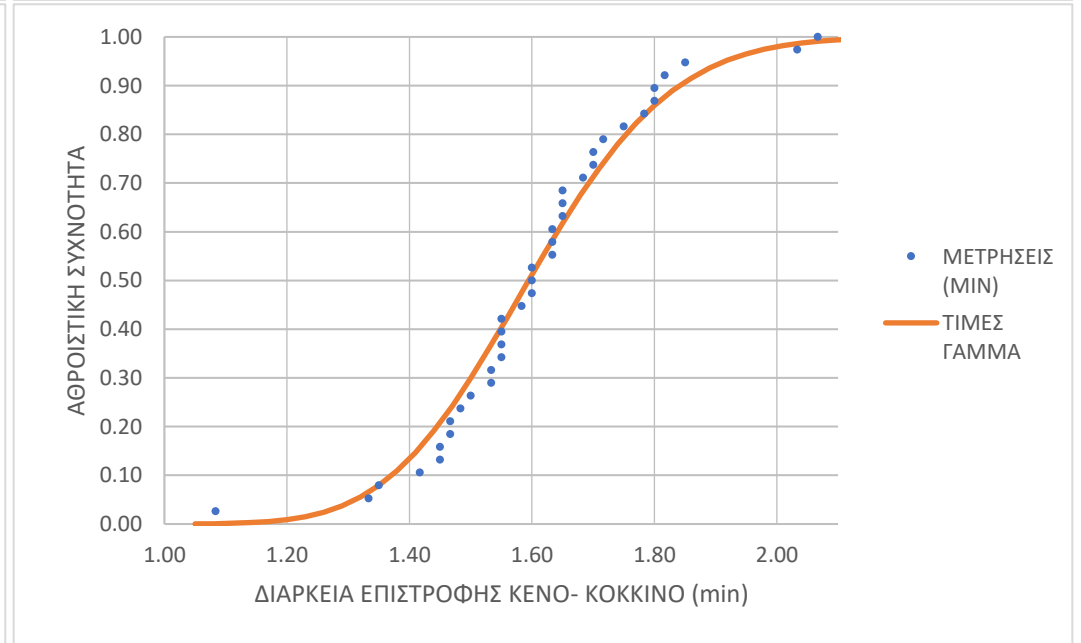
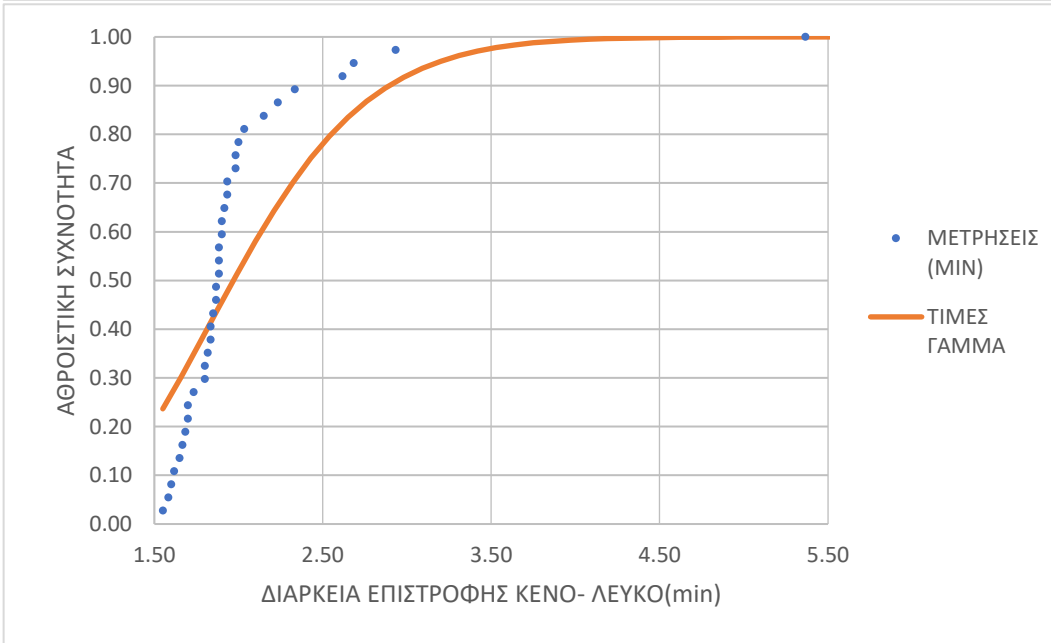
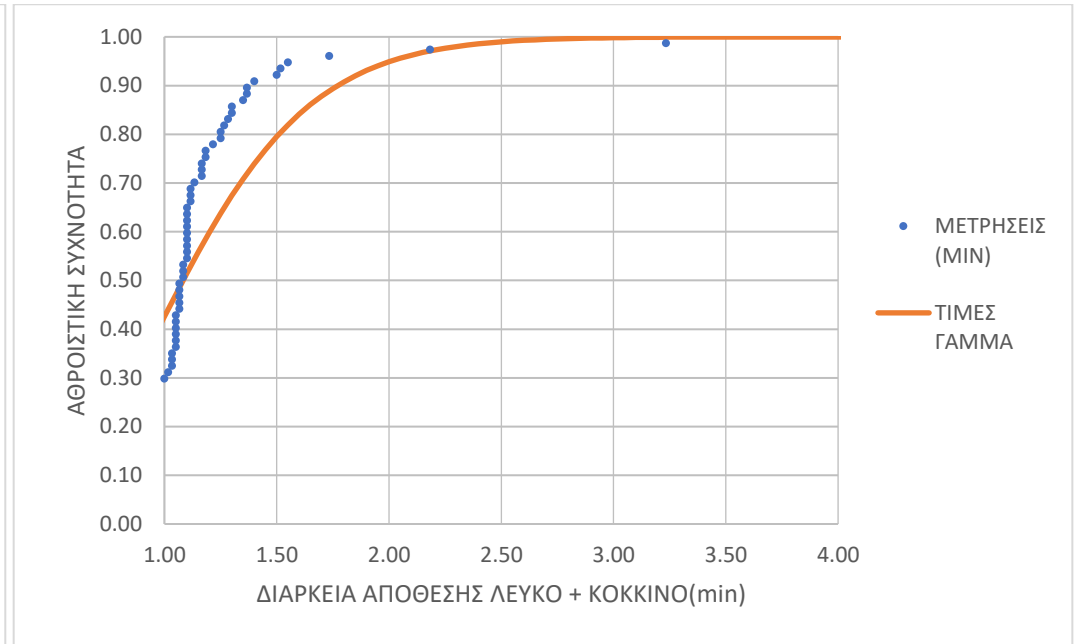
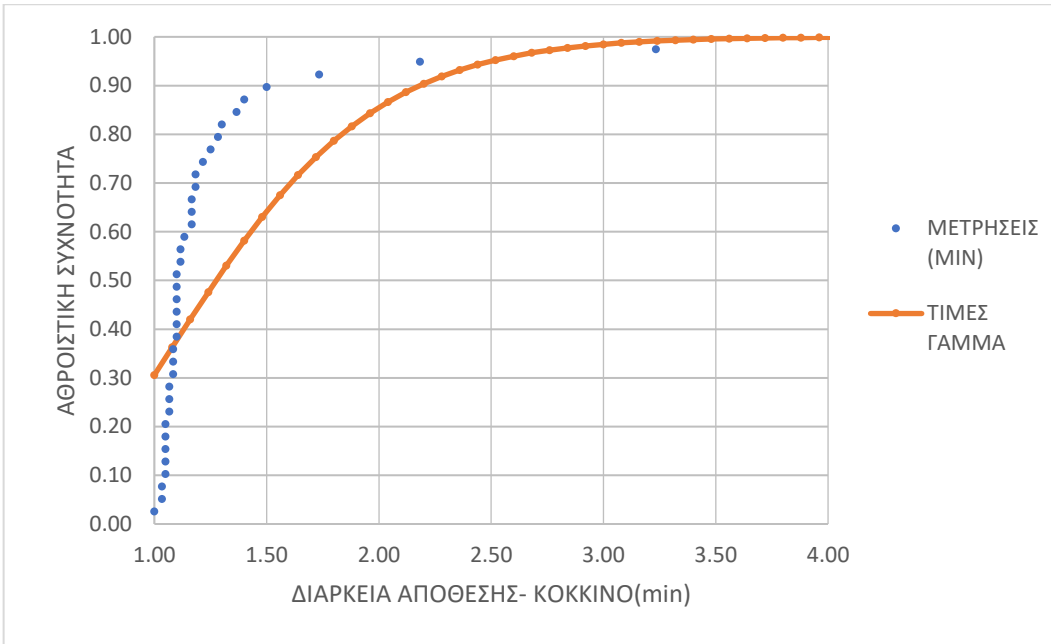
ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΛΑΤΟΜΕΙΟΥ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ



ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΛΑΤΟΜΕΙΟΥ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ



ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΛΑΤΟΜΕΙΟΥ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ



ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΛΑΤΟΜΕΙΟΥ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

