



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

Πανεπιστήμιο Αιγαίου
Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών e-MBA
Τμήμα Διοίκηση Επιχειρήσεων
Κατεύθυνση Διοικητική Επιστήμη

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*Διοικητική επιστήμη στην πράξη: Εφαρμογές της διοικητικής
επιστήμης στη λήψη επιχειρηματικών αποφάσεων.
Μελέτη περίπτωσης ΣΤΑ.ΣΥ. (METRO) Α.Ε.*

POST GRADUATE THESIS

*Management science in practice: Applications of management
science in business decision making.
Case study STA.SY. (METRO) S.A.*

ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΡΙΑΣ/NAME OF STUDENT

Κωνσταντούλα Γυφτάκη
Konstantoula Gyftaki

ΟΝΟΜΑ ΕΙΣΗΓΗΤΗ/NAME OF THE SUPERVISOR

Μιχαήλ Βιδάλης
Michael Vidalis

ΧΙΟΣ/ΧΙΟΣ 2019



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

Πανεπιστήμιο Αιγαίου

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών e-MBA

Τμήμα Διοίκηση Επιχειρήσεων

Κατεύθυνση Διοικητική Επιστήμη

POST GRADUATE THESIS

***Management science in practice: Applications of management
science in business decision making.***

Case study STA.SY. (METRO) S.A.

KONSTANTOULA GYFTAKI

17004

gyf_dina@hotmail.com

FIRST SUPERVISOR

MICHAEL VIDALIS

XIOS 2019

Δήλωση περί λογοκλοπής

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ενυπογράφως ότι είμαι αποκλειστική συγγραφέας της παρούσας διπλωματικής εργασίας, για την ολοκλήρωση της οποίας κάθε βοήθεια είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται λεπτομερώς στην εργασία αυτή. Έχω αναφέρει πλήρως και με σαφείς αναφορές όλες τις πηγές χρήσης δεδομένων, απόψεων, θέσεων και προτάσεων, ιδεών και λεκτικών αναφορών, είτε κατά κυριολεξία είτε βάσει επιστημονικής παράφρασης. Αναλαμβάνω την προσωπική και ατομική ευθύνη ότι σε περίπτωση αποτυχίας στην υλοποίηση των ανωτέρω δηλωθέντων στοιχείων, είμαι υπόλογη έναντι λογοκλοπής, γεγονός που σημαίνει αποτυχία στη διπλωματική μου εργασία και κατά συνέπεια αποτυχία απόκτησης Τίτλου Σπουδών, πέραν των λοιπών συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων. Δηλώνω, συνεπώς, ότι αυτή η διπλωματική εργασία προετοιμάστηκε και ολοκληρώθηκε από εμένα προσωπικά και αποκλειστικά και ότι αναλαμβάνω πλήρως όλες τις συνέπειες του νόμου στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί διαχρονικά ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει, διότι είναι προϊόν λογοκλοπής άλλης πνευματικής ιδιοκτησίας.

Κωνσταντούλα Γυφτάκη

Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας τη συγγραφή της διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου που μου στάθηκε στο δύσκολο και επίπονο αυτό έργο. Τέλος, ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή μου, τον κο Βιδάλη Μιχαήλ, ο οποίος υπήρξε υπομονετικός και ακούραστος συνοδοιπόρος μου στο ερευνητικό αυτό ταξίδι. Τους ευχαριστώ όλους.

Αφιερώσεις

Την παρούσα διατριβή την αφιερώνω στο σύζυγό μου Χρήστο και στα παιδιά μου Ανδρέα και Άγγελο.

Περίληψη

Η Διοικητική επιστήμη μελετά ανθρώπινες οργανώσεις με ισχυρούς διοικητικούς δεσμούς και περικλείει στο εσωτερικό της πολλούς τομείς. Ένας από αυτούς είναι η ανάπτυξη και η εφαρμογή μοντέλων και εννοιών που δρουν υποστηρικτικά σε θέματα διαχείρισης και επίλυσης προβλημάτων στους σταθμούς του Μετρό. Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι η αποτύπωση και η ανάλυση μιας σιδηροδρομικής γραμμής του Μετρό Αττικής. Αναλυτικότερα, στόχοι της συγκεκριμένης μελέτης είναι η πιστή περιγραφή και αναπαράσταση της πραγματικότητας σχετικά με κάποια μεγέθη του Μετρό και η έρευνα του κατά πόσο οι ελέγξιμες μεταβλητές (χρόνος, υλικοτεχνική υποδομή κ.λπ.) επηρεάζουν την καλή λειτουργία του μέσου αυτού. Πρόκειται για ποιοτική έρευνα και συγκεκριμένα για μελέτη περίπτωσης. Για τη συλλογή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν οι ερευνητικοί μέθοδοι της προσομοίωσης, της στατιστικής τεχνικής, της δειγματοληψίας, των τεστ και των αυτο-αναφορών, αξιοποιώντας ταυτόχρονα τις θεωρίες των ουρών αναμονής και της προσομοίωσης. Η ανάλυση των δεδομένων βασίστηκε στην ερμηνευτική ανάλυση και στην ομαδοποίηση των κατηγοριοποιημένων τμημάτων. Τα αποτελέσματα της έρευνας θα συμβάλλουν στην καλύτερη λειτουργία του Μετρό, παρέχοντας στους χρήστες του περισσότερες διευκολύνσεις και στην εταιρεία επιλογές για καλύτερη διαχείριση των πόρων που διαθέτει με το μικρότερο κόστος.

Λέξεις κλειδιά: Διαχείριση, συστήματα μεταφοράς, Μετρό, Αθήνα, θεωρία ουρών αναμονής, θεωρία προσομοίωσης.

Abstract

The science of Management studies human organizations with strong administrative ties and encompasses within many areas. One of them is the development and implementation of models and concepts that act in support of problem management and problem solving at metro stations. The purpose of this research is the mapping and analysis of a railway line of Attica Metro. In more detail, the objectives of this study are the faithful description and representation of the reality regarding some sizes of the metro and the investigation of whether the controllable variables (time, logistical infrastructure, etc.) affect the good Operation of this instrument. This is qualitative research and in particular a case study. The data collection used the research methods of simulation, statistical technique, sampling, tests and self-reports, while utilizing theories of queues and simulation. Data analysis was based on interpretative analysis and grouping of categorized segments. The results of the research will contribute to the better functioning of the Metro, providing its users with more facilities and in the company options for better management of resources at the lowest cost.

Key words: Management, transport systems, Metro, Athens, queue theory, simulation theory.

Πίνακας περιεχομένων

Δήλωση περί λογοκλοπής.....	iv
Ευχαριστίες.....	vi
Αφιερώσεις	viii
Περίληψη	x
Abstract.....	xii
Πίνακας Εικόνων	xvii
Πίνακας Διαγραμμάτων	xx
Πίνακας Πινάκων.....	xxi
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	xxii
ΠΡΩΤΟ ΜΕΡΟΣ - ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	1
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή στη Διοικητική Επιστήμη	1
1.1. Η Διοικητική επιστήμη	1
1.2. Η λήψη αποφάσεων και επίλυση προβλημάτων	5
1.3. Τα επίπεδα λήψης μιας απόφασης.....	7
Κεφάλαιο 2. Εισαγωγή στα Δημόσια Συστήματα Μεταφοράς.....	10
2.1. Ιστορικό	10
2.2. Περιγραφή των δομικών στοιχείων	11
2.2.1. Επιβίβαση και αποβίβαση επιβατών.....	11
2.2.2. Κατανομή επιβατών στην πλατφόρμα	12
2.2.3. Στοιχεία κόστους και αποδοτικότητας του Μετρό	13
2.2.4. Προδιαγραφές μοντέλου και δεδομένα της έρευνας των Quddus, Harris και Graham	14
2.3. Ανάλυση της σημαντικότητας του κάθε στοιχείου στην αποδοτική λειτουργία	15
2.4. Παρόμοιες έρευνες	19
ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ-ΠΡΑΚΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	21

Κεφάλαιο 3. Εργαλεία Μεθοδολογίας ανάλυσης Δημόσιων Μεταφορικών Συστημάτων.....	21
3.1. Θεωρία των ουρών αναμονής: ορισμός και χαρακτηριστικά.....	21
3.1.1. Ρυθμός άφιξης.....	22
3.1.2. Ρυθμός εξυπηρέτησης.....	23
3.1.3. Αριθμός servers.....	25
3.1.4. Πληροφορία για τον πληθυσμό.....	26
3.1.5. Προτεραιότητα.....	26
3.1.6. Δείκτες απόδοσης ουράς αναμονής.....	27
3.2. Θεωρία της προσομοίωσης.....	31
Κεφάλαιο 4. Μελέτη Περίπτωσης: Το Μετρό της Αθήνας.....	36
4.1. Ιστορική αναδρομή.....	36
4.1.1. Η περίοδος από το 1950-2000.....	36
4.1.2. Η περίοδος από το 2000-2018.....	36
4.1.3. Η περίοδος από το 2018 έως και σήμερα.....	37
4.2. Προβλήματα και σπουδαιότητα του Μετρό της Αθήνας.....	37
4.3. Στοιχεία της παρούσας εργασίας.....	38
4.3.1. Περιγραφή.....	38
Κεφάλαιο 5. Ανάλυση Προσομοιωτικού Μοντέλου.....	40
Κεφάλαιο 6. Εκτέλεση Προσομοιωτικού Μοντέλου σε Σταθμούς του Μετρό-Συμπεράσματα.....	62
6.1. Σενάριο 1ο : Εκτέλεση προσομοιωτικού μοντέλου με σταθερό ρυθμό άφιξης επιβατών ($\lambda=10$ επιβάτες /λεπτό).....	64
6.1.1. Χρονο-απόσταση μεταξύ συρμών 10 λεπτών (Time between Trains).....	64
6.1.2. Χρονο-απόσταση μεταξύ συρμών 7 λεπτών.....	67
6.1.3. Χρονο-απόσταση μεταξύ συρμών 5 λεπτών.....	69
6.1.4. Συμπεράσματα σεναρίου.....	71
6.2. Σενάριο 2ο: Εκτέλεση προσομοιωτικού μοντέλου με τυχαίο ρυθμό άφιξης επιβατών σε κάθε σταθμό (Poisson).....	73

6.3. Σενάριο 3ο: Εκτέλεση προσομοιωτικού μοντέλου με διαφορετική δυναμικότητα συρμού (Capacity).....	75
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	80
Βιβλιογραφία	82

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1. Προσομοίωση τριών σταθμών του Μετρό της Αθήνας.	40
Εικόνα 2. Το αρχικό module create.	40
Εικόνα 3. Οι πληροφορίες του αρχικό module.	41
Εικόνα 4. Εικονίδιο Variable.	41
Εικόνα 5. Όλες οι μεταβλητές μας.	41
Εικόνα 6. Η τιμή της χρονο-απόστασης.	42
Εικόνα 7. Delay module.	42
Εικόνα 8. Module Variable “Time to station”.	42
Εικόνα 9. Οι τιμές του “Time to station”.	42
Εικόνα 10. Αριθμός επιβατών που θα επιβιβαστούν στο συρμό.	43
Εικόνα 11. Αριθμός επιβατών που περιμένουν στην αποβάθρα.	43
Εικόνα 12. Επιλέγοντας τύπο κατανομής.	44
Εικόνα 13. Επιλογή της κατάλληλης κατανομής.	44
Εικόνα 14. Στο module Variables.	44
Εικόνα 15. Προσδιορισμός αριθμού επιβατών που θα επιβιβαστούν στο συρμό.	45
Εικόνα 16. Decide module (Σημείο απόφασης).	45
Εικόνα 17. Αριθμός των αναμενόντων επιβατών στο σταθμό 1 είναι μικρότερος της δυναμικότητας του συρμού.	46
Εικόνα 18. Οι επιβάτες που περιμένουν.	46
Εικόνα 19. Αριθμός αναμενόντων επιβατών ίσος με τους επιβάτες που επιβιβάστηκαν στο συρμό.	46
Εικόνα 20. Νέα τιμή Waiting Passengers ίση με το μηδέν.	47
Εικόνα 21. Modules assign.	47
Εικόνα 22. Passengers on platform 1.	47
Εικόνα 23. Αριθμός επιβατών που επιβιβάστηκαν στο συρμό ίσος με το Capacity.	48
Εικόνα 24. Αριθμός επιβατών που επιβιβάστηκαν στο συρμό= με Waiting passenger.	48
Εικόνα 25. Module record.	48
Εικόνα 26. Καρτέλα Record.	49
Εικόνα 27. Καταγραφή στατιστικών στοιχείων πληρότητας σταθμού 1.	49
Εικόνα 28. Module Delay.	49
Εικόνα 29. Modules Variables- Χρονο-αποστάσεις μεταξύ σταθμών.	50
Εικόνα 30. Assign module “Disembark at station 2”.	50
Εικόνα 31. Αριθμός εξερχομένων επιβατών από το συρμό στο σταθμό 2.	50
Εικόνα 32. Decide module “Embark at station 2”.	51
Εικόνα 33. Decide modules (Σημείο απόφασης).	51
Εικόνα 34. Επιβίβαση όλων των αναμενόντων επιβατών στο συρμό.	52
Εικόνα 35. Αριθμός επιβατών στο συρμό.	52
Εικόνα 36. Συνολικός αριθμός επιβατών στο συρμό.	52
Εικόνα 37. Αριθμός επιβατών σε αναμονή.	53

Εικόνα 38.Αριθμός επιβατών σε αναμονή Embarking passengers + Capacity – Passengers on boards.	53
Εικόνα 39. Αριθμός αναμενόντων επιβατών Embarking passengers + Capacity – Passengers on boards.	53
Εικόνα 40. Αριθμός αναμενόντων επιβατών Waiting Passengers(2) – Capacity + Passengers on board.	54
Εικόνα 41. Αριθμός επιβατών στο συρμό ίσος με το Capacity.....	54
Εικόνα 42. Module “Record Occurancy at S2”.....	54
Εικόνα 43. Καρτέλα Record.....	55
Εικόνα 44. Καταγραφή στατιστικών στοιχείων πληρότητας σταθμού 2.....	55
Εικόνα 45. Module Delay “Time from station 2 to station 3”.....	55
Εικόνα 46. Module variables ”Time from station 2 to station 3”.....	56
Εικόνα 47. Assign module “ Arrival at station 3”.....	56
Εικόνα 48. Αριθμός εξερχομένων επιβατών από το συρμό στο σταθμό 3.....	56
Εικόνα 49. Decide module -σημείο απόφασης του σταθμού 3.....	57
Εικόνα 50. Καρτέλα Decide.....	57
Εικόνα 51. Συνολικός αριθμός επιβατών στο συρμό.....	58
Εικόνα 52. Αριθμός επιβατών που επιβιβάστηκαν στο συρμό.....	58
Εικόνα 53. Τιμή επιβατών που παρέμειναν στην αποβάθρα χωρίς να επιβιβαστούν.....	59
Εικόνα 54. Αριθμός επιβατών στο συρμό ίσος με το Capacity.....	59
Εικόνα 55. Module “Record Occurancy at S3”.....	59
Εικόνα 56. Delay module “Time from station 3 to terminal”.....	60
Εικόνα 57. Module variables ”Time from station 3 to station 4”.....	60
Εικόνα 58. Module Record ” Terminal station”.....	60
Εικόνα 59. Dispose module.....	61
Εικόνα 60. Modules Variable “Passenger Arrivals “.....	62
Εικόνα 61. Modules Variable “Capacity“.....	62
Εικόνα 62. Modules Variable “ Time to station “.....	63
Εικόνα 63. Επιλογές εκτέλεσης μοντέλου προσομοίωσης.....	63
Εικόνα 64. Επιλογή ταχύτητας εκτέλεσης μοντέλου προσομοίωσης.....	64
Εικόνα 65. Modules Assign “Station 1”-Καταχώρηση σταθερού ρυθμού άφιξης.....	65
Εικόνα 66. Modules Variable –Καταχώρηση χρονο-απόστασης 10 λεπτών.....	65
Εικόνα 67. Έναρξη προσομοίωσης.....	65
Εικόνα 68. Στιγμιότυπο άφιξης επιβατών στο σταθμό 1.....	66
Εικόνα 69. Ολοκλήρωση εκτέλεσης προσομοιωτικού μοντέλου.....	66
Εικόνα 70. Αναφορά αποτελεσμάτων αριθμού επιβατών (Passengers)-Δρομολογίων (Trains) του σεναρίου 1.1.....	66
Εικόνα 71. Αναφορά αποτελεσμάτων Σεναρίου 1.1.....	67
Εικόνα 72. Modules Variable –Καταχώρηση χρονο-απόστασης 7 λεπτών.....	68
Εικόνα 73. Αναφορά αποτελεσμάτων (Σεναρίου 1.2) αριθμού επιβατών (Passengers) –Δρομολογίων (Trains).....	68

Εικόνα 74. Αναφορά αποτελεσμάτων Σεναρίου 1.2.	69
Εικόνα 75. Modules Variable –Καταχώρηση χρονο-απόστασης 5 λεπτών.	69
Εικόνα 76. Αναφορά αποτελεσμάτων (Σεναρίου 1.3) αριθμού επιβατών (Passengers) –Δρομολογίων (Trains).....	70
Εικόνα 77. Αναφορά αποτελεσμάτων Σεναρίου 1.3.	70
Εικόνα 78. Modules Assign “Station 1”-Καταχώρηση ρυθμού άφιξης με κατανομή Poisson.	73
Εικόνα 79. Αναφορά αποτελεσμάτων αριθμού επιβατών (Passengers) –Δρομολογίων (Trains) Σεναρίου 2.....	74
Εικόνα 80. Αναφορά αποτελεσμάτων Σεναρίου 2.	74
Εικόνα 81. Modules Variable – Καταχώρηση αριθμού capacity=250.	75
Εικόνα 82. Αναφορά αποτελεσμάτων Σεναρίου 3.1.	76
Εικόνα 83. Modules Variable – Καταχώρηση νέου αριθμού capacity=300.....	76
Εικόνα 84. Αναφορά αποτελεσμάτων Σεναρίου 3.2	77
Εικόνα 85. Modules Variable – Καταχώρηση νέου αριθμού capacity=350.....	77
Εικόνα 86. Αναφορά αποτελεσμάτων Σεναρίου 3.3.	78

Πίνακας Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1. Σχέση χρονο-απόστασης – δρομολογίων.....	71
Διάγραμμα 2. Σχέση χρονο-απόστασης – Number of Passengers at Sn.....	72
Διάγραμμα 3. Σχέση χρονο-απόστασης – Occypancy at Sn.....	72
Διάγραμμα 4. Σχέση Capacity – Number of passengers at Sn.....	79
Διάγραμμα 5. Σχέση Capacity – Occypancy at Sn.....	79

Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 1. Τύποι προσομοίωσης στη μεταφορά.	34
Πίνακας 2. Εναλλακτικά σενάρια με ανεξάρτητη μεταβλητή τη χρονο-απόσταση.	71
Πίνακας 3. Εναλλακτικά σενάρια με ανεξάρτητη μεταβλητή τον αριθμό των επιβατών.....	78

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Το αντικείμενο που πραγματεύεται η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή είναι η αποτύπωση και η ανάλυση των πραγματικών συνθηκών μιας ενδεικτικής σιδηροδρομικής γραμμής του δικτύου Μετρό της Αθήνας.

Η παρούσα διατριβή είναι χωρισμένη σε δύο μέρη. Το πρώτο μέρος αφορά στο θεωρητικό πλαίσιο, όπου αναλύεται το θεωρητικό υπόβαθρο στο οποίο βασίστηκε το παρόν πόνημα. Η επισκόπηση αυτή λαμβάνει χώρα στα δύο πρώτα κεφάλαια.

Το πρώτο κεφάλαιο πραγματοποιεί μια εισαγωγή στη Διοικητική επιστήμη. Συγκεκριμένα, γίνεται ανασκόπηση στις βασικές θεωρίες της Διοικητικής επιστήμης, αναφέρονται τα στοιχεία που αφορούν στη λήψη αποφάσεων για την επίλυση διαφόρων επιχειρησιακών προβλημάτων και περιγράφονται τα επίπεδα λήψης αποφάσεων σε έναν επιχειρηματικό οργανισμό.

Το δεύτερο κεφάλαιο ασχολείται με τα δημόσια συστήματα μεταφοράς. Αναλυτικότερα, γίνεται μια σύντομη ιστορική αναφορά στα δημόσια αυτά συστήματα, αναλύονται τα δομικά στοιχεία του μέσου αυτού (π.χ. επιβίβαση, αποβίβαση επιβατών, κατανομή επιβατών στην πλατφόρμα, στοιχεία κόστους κ.α.) και παρουσιάζονται προσεγγίσεις και πορίσματα παρόμοιων ερευνών.

Το δεύτερο μέρος της εργασίας περιλαμβάνει το ερευνητικό κομμάτι, όπου γίνεται λόγος για τα εργαλεία της μεθοδολογίας ανάλυσης, πραγματοποιείται σύντομη πλην όμως περιεκτική ιστορική αναδρομή του Μετρό της Αθήνας, περιγράφεται το προσομοιωτικό μοντέλο και η διεξαγωγή της έρευνας. Επιπλέον, διεξέρχεται την παρουσίαση των δεδομένων της έρευνας και τα συμπεράσματα που προέκυψαν από το συσχετισμό αυτών με το θεωρητικό πλαίσιο.

Ειδικότερα, στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το πρακτικό μέρος, το οποίο αναφέρεται στις ουρές αναμονής-ορισμός, χαρακτηριστικά- και σε παραμέτρους όπως ρυθμός άφιξης, ρυθμός εξυπηρέτησης, αριθμός servers, δείκτες απόδοσης ουρών αναμονής. Επιπροσθέτως, επιχειρείται η ενσωμάτωση στοιχείων της θεωρίας της Προσομοίωσης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη, πλην όμως περιεκτική, ιστορική αναδρομή στο Μετρό της Αττικής από το 1950 έως και σήμερα, αναδεικνύονται τα

προβλήματα και η σπουδαιότητα του εν λόγω μέσου μεταφοράς και περιγράφονται στοιχεία απαραίτητα για την κατανόηση της εργασίας.

Στα κεφάλαια που ακολουθούν, το πέμπτο και το έκτο, γίνεται περιγραφή, ανάλυση και περιγραφική εκτέλεση του Προσομοιωτικού μοντέλου, το οποίο βασίζεται στο λογισμικό Arena -Student edition. Τέλος, γίνεται η συνόψιση των συμπερασμάτων της έρευνας, σε σχέση με το θεωρητικό και ερευνητικό πλαίσιο που αναπτύχθηκε στα προηγούμενα. Έπειτα, ακολουθεί η βιβλιογραφία, η οποία για ευκολότερη πλοήγηση του αναγνώστη είναι χωρισμένη σε ελληνόγλωσση και ξενόγλωσση. Το πρότυπο σύνταξης αναφορών και παραπομπών που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία, τόσο για τις παρενθετικές παραπομπές όσο και για τις βιβλιογραφικές, είναι το σύστημα Harvard.

ΠΡΩΤΟ ΜΕΡΟΣ - ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή στη Διοικητική Επιστήμη

1.1. Η Διοικητική επιστήμη

Η Διοικητική επιστήμη (Management science) έχει ως αντικείμενό της την επίλυση προβλημάτων και τη λήψη αποφάσεων. Ειδικότερα, ερευνά ανθρώπινες οργανώσεις με ισχυρούς διοικητικούς δεσμούς, τη διοίκηση, την οικονομία, τις επιχειρήσεις, τη μηχανική και τη διαχείριση συμβουλών. Διαφαίνεται, λοιπόν, ότι το επιστημονικό της πεδίο είναι ευρύ, γεγονός που καθιστά επιτακτική ανάγκη τη διεπιστημονική προσέγγιση. Στη μεθοδολογική της φαρέτρα εμπερικλείει ποικίλες αρχές, στρατηγικές και αναλυτικές μεθόδους, οι οποίες περιλαμβάνουν επιστημονικές έρευνες, μαθηματικά μοντέλα, στατιστικούς και αριθμητικούς αλγορίθμους. Απώτερος σκοπός όλων των παραπάνω είναι η βελτίωση της ικανότητας ενός οργανισμού να εκδίδει ορθολογικές και ακριβείς αποφάσεις διαχείρισης σε πολύπλοκα προβλήματα, επιλέγοντας κάθε φορά την καλύτερη δυνατή λύση. Οι αρχές, οι μέθοδοι και οι στρατηγικές αυτές έχουν εφαρμογή και στον τομέα των επιχειρήσεων, βοηθώντας τους διοικούντες να επιτύχουν τους στόχους τους (Golub, 2007).

Η επιστήμη της Διοίκησης περικλείει στο εσωτερικό της πολλούς τομείς. Ένας από αυτούς είναι η ανάπτυξη και η εφαρμογή μοντέλων και εννοιών που δρουν υποστηρικτικά σε θέματα διαχείρισης και επίλυσης προβλημάτων. Τα μοντέλα λειτουργούν ως μέσα υποστασιοποίησης των θεμάτων και των προβλημάτων που ανακύπτουν. Αποτελούν, δηλαδή, την οδό δια της οποίας τα εκάστοτε προβλήματα από «εν δυνάμει» και αόριστες έννοιες μετατρέπονται σε «εν ενεργεία» και συγκεκριμένες. Για την οπτική τους αποτύπωση συνήθως χρησιμοποιούνται μαθηματικοί τύποι και παραστάσεις, ενώ δεν αποκλείεται και η περίπτωση να εκφράζονται και με

υπολογιστικές, οπτικές ή λεκτικές αναπαραστάσεις¹. Ένας άλλος τομέας είναι ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη νέων και καλύτερων μοντέλων οργανωτικής αριστείας.

Η διαχείριση της επιστημονικής έρευνας μπορεί να γίνει σε τρία επίπεδα². Το πρώτο και βασικότερο επίπεδο είναι του σχεδιασμού, το οποίο χωρίζεται σε τρεις κλάδους: στην πιθανότητα, στη βελτιστοποίηση και στη δυναμική θεωρία των συστημάτων. Το επόμενο επίπεδο είναι της μοντελοποίησης και αφορά στην κατασκευή μοντέλων, στην ανάλυση τους σε μαθηματική βάση, στη συλλογή και ανάλυση δεδομένων, στην εφαρμογή μοντέλων στους υπολογιστές, στην επίλυση των προβλημάτων που αναδύονται και στον πειραματισμό με αυτά. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι όλα αυτά αποτελούν μέρος της επιστημονικής έρευνας στο επίπεδο μοντελοποίησης. Το εν λόγω επίπεδο είναι κατά κύριο λόγο καθοριστικό και οδηγείται κυρίως από τις στατιστικές μεθόδους και την οικονομετρία. Τελευταίο είναι το επίπεδο της εφαρμογής. Σε αυτό, όπως και σε κάθε άλλο κλάδο της μηχανικής και της οικονομίας, καταβάλλεται προσπάθεια τα μοντέλα να έχουν πρακτικό αντίκτυπο στην κοινωνία, να υπηρετούν το σκοπό για τον οποίο κατασκευάστηκαν και να αποτελέσουν το εφαλτήριο για μελλοντικές αλλαγές.

Καθήκον του διοικητικού επιστήμονα είναι να χρησιμοποιεί ορθολογικές, συστηματικές και επιστημονικές τεχνικές για την κατανόηση και την ενημέρωση των εκάστοτε προβλημάτων καθώς και για τη διασφάλιση της βέλτιστης απόφασης. Οι τεχνικές διαχείρισης της επιστήμης δεν περιορίζονται στις επιχειρηματικές εφαρμογές. Αντιθέτως, μπορούν να εφαρμοστούν στον τομέα της δημόσιας διοίκησης, σε στρατιωτικές, ιατρικές, φιλανθρωπικές, πολιτικές και κοινωνικές ομάδες. Σύγχρονες μελέτες, όπως αυτή του καθηγητή Μητρόπουλου (2007), τονίζουν ότι στη διοικητική επιστήμη το ζήτημα της λήψης αποφάσεων αποτελεί σημαντική προϋπόθεση για μια εταιρεία. Στην ουσία η λήψη αποφάσεων δεν είναι τίποτε άλλο παρά η διαδικασία εκείνη, κατά την οποία αυτός ή αυτοί που παίρνουν τις αποφάσεις επιλέγουν την κατάλληλη ή την πιο συμφέρουσα από τις διαθέσιμες εναλλακτικές.

Κομβικό σημείο στην επιλογή μιας απόφασης είναι το αρχικό στάδιο. Σε αυτό ο υπεύθυνος για τη λήψη της απόφασης πρέπει να σκεφτεί ποια από όλες τις αποφάσεις είναι η ιδανικότερη και η ορθότερη. Αφού αναλύσει όλα τα δεδομένα, επιλέγει την -

¹ What is Management Science? University of Cambridge 2008.

² What is Management Science Research? University of Cambridge 2009. Αναρτήθηκε 5 June 2009.

κατ' αυτόν- σωστότερη απόφαση. Με τη διαδικασία ανάλυσης των αποφάσεων ο λήπτης εξετάζει την ορθότητα της απόφασής του, ώστε σε περίπτωση που χρήζει περαιτέρω βελτίωσης να το επανεξετάσει. Στο στάδιο αυτό εντάσσεται και το γεγονός ότι στην ανάλυση των αποφάσεων που γίνεται, εξετάζονται και οι παράγοντες που κάθε φορά οδηγούν στη συγκεκριμένη απόφαση (Golub, 2007).

Για να λάβει μια επιχείρηση ή ένας οργανισμός τις ανάλογες αποφάσεις, κρίνεται απαραίτητο οι διοικούντες να έχουν οριοθετήσει την πορεία που θα ακολουθήσει η επιχείρηση ή οργανισμός στο μέλλον, δηλαδή να υπάρχει μια προοπτική ή αλλιώς μια επιλογή στρατηγικής. Ορίζοντας τη στρατηγική επιλογή, αναφερόμαστε σε διαδικασία, δια μέσου της οποίας τα στελέχη μιας επιχείρησης ή ενός οργανισμού επιλέγουν-αποφασίζουν ποια συγκεκριμένη επιλογή θα προτιμήσουν από τις διαθέσιμες εναλλακτικές λύσεις. Μπορούν να υπάρχουν διάφορες μέθοδοι, για να αποφασιστεί η τελική επιλογή. Οι διευθυντές και οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων λαμβάνουν υπόψη τους το εξωτερικό και το εσωτερικό περιβάλλον, προτού το μειώσουν σε ένα³.

Η αρχική διαδικασία περιλαμβάνει την πλήρη αναγνώριση του προβλήματος. Όταν πλέον η εικόνα του προβλήματος καταστεί σαφής, ακολουθεί η διαδικασία της σύνταξης διαφόρων λύσεων. Στη συνέχεια εμφανίζεται η διαδικασία στρατηγικής επιλογής, κατά την οποία λαμβάνεται η απόφαση για την τελική επιλογή, ενώ οι υπεύθυνοι της επιχείρησης ή του οργανισμού έχοντας υπόψη τις διάφορες παραμέτρους οριοθετούν τις νέες αποφάσεις. Οι παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη είναι πολλές, όπως για παράδειγμα η εφικτότητα, η σύνεση, η συναίνεση, η αποδοχή κ.λπ. Οι στρατηγικές επιλογές αποτελούν μέρος των μεγαλύτερων στρατηγικών πολιτικών της εταιρείας. Ως εκ τούτου, δίνεται σημαντική έμφαση σε αυτούς και οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων τούς ακολουθούν με επιμέλεια, προτού καταλήξουν σε μια τελική στρατηγική επιλογή. Σε ορισμένες περιπτώσεις ο μέτοχος της πλειοψηφίας χρησιμοποιεί την επιρροή του για την τελική στρατηγική επιλογή που ωφελεί τους στόχους του.

Η έννοια της διοικητικής επιστήμης είναι μια έννοια προσανατολισμένη στην πράξη, που έχει απήχηση στην κοινωνική επιστήμη (Whitley, 2000). Η τελευταία

³ <https://www.mbaskool.com/business-concepts/marketing-and-strategy-terms/16694-strategic-choice.html> [ημερομηνία πρόσβασης 12/2018].

περιλαμβάνει τη θεωρία και την έρευνα σε οργανισμούς και ανθρώπους, αφού εξετάζει τις ανθρώπινες συμπεριφορές εργαζομένων, διοικητικών στελεχών και πελατών. Σχετίζεται με τους εργαζόμενους και τις οργανώσεις (π.χ. τις χαρακτηριστικές ιδιότητές τους, διάφορες επεξεργασίες δεδομένων), καθώς επίσης και σε εργαλεία που βασίζονται σε αποδεικτικά στοιχεία τα οποία είναι η ουσία της ανθρώπινης γνώσης. Ασχολείται με τις καθημερινές ανάγκες του ανθρώπου και μετρά την αντίληψη και την ικανότητά του να προσαρμόζεται στις εκάστοτε συνθήκες. Τα παραπάνω είναι τα εργαλεία μέτρησης τα οποία μπορούν να ανιχνεύσουν, ενώ οι άνθρωποι αντλούν δεδομένα από την εμπειρία ή από τη μαρτυρία που τους παρέχουν οι άλλοι. Ο Davenport και οι συνεργάτες του (2006) αναφέρουν ότι από προσωπική πείρα τα αποδεικτικά στοιχεία και οι μαρτυρίες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη διαχειριστική πρακτική. Το ίδιο όμως ισχύει και στην ανάλυση των επιχειρηματικών δεδομένων κατά τη λήψη διαχειριστικών αποφάσεων (Davenport, 2006. Pfeffer & Sutton, 2006).

Η διαχείριση που βασίζεται σε αποδεικτικά στοιχεία περιλαμβάνει τη χρήση επιστημονικών και αποδεικτικών στοιχείων σε τοπικό επίπεδο. Το πρώτο, για όσους δεν είναι εξοικειωμένοι, είναι δύσκολο στην πρόσβαση, μιας και μέχρι στιγμής τα στοιχεία διοικητικής επιστήμης σπάνια οργανώνονται με έναν τρόπο που επιτρέπει στους υποψήφιους χρήστες να γνωρίζουν τι περιέχουν τα συγκεκριμένα στοιχεία. Η επιστήμη αναζητά γενικές γνώσεις και ερμηνείες που κάνουν χρήσιμες προβλέψεις για μια κοινή πραγματικότητα, με τρόπο που μπορεί να αναπαραχθεί (Bogen & Woodward, 2008). Ορισμένοι πιστεύουν ότι ο επιθυμητός ρυθμός της εργασιακής ζωής των ανθρώπων αλλά και οι συμπεριφορές τους μέσα σε μια επιχείρηση μπορεί να θεωρηθούν τόσο προφανείς, ώστε δεν απαιτείται εμπειρική μελέτη. Αυτός είναι ένας λόγος, για τον οποίο δεν έχουν διεξαχθεί τυχαίοποιημένες ελεγχόμενες δοκιμές, και κυρίως στοχευμένες μελέτες, για να εξακριβωθεί αν όλα όσα υποστηρίζει η επιστήμη της διοίκησης αληθεύουν ή όχι (Smith & Pell 2003).

Οι περισσότεροι λόγοι όμως δεν είναι τόσο προφανείς. Σύμφωνα με τον Merton (1987), το πρώτο βήμα της επιστήμης είναι η δημιουργία ενός σημαντικού και δυνητικού φαινόμενο, το οποίο με τη σειρά του μέσω της παρατήρησης θα οδηγήσει στη διατύπωση μιας θεωρίας. Στη διοικητική επιστήμη, για παράδειγμα, η περιγραφική έρευνα έχει εντοπίσει την ύπαρξη προβλημάτων εργασιακής φύσεως και μη που αντιμετωπίζουν οι επιχειρήσεις και οι εργαζόμενοι (Hochschild, 1997; Perlow, 1997).

Στη συνέχεια η διατυπωθείσα θεωρία μπορεί να δοκιμαστεί για να αποδώσει ορισμένες παρατηρούμενες κανονικότητες, όπως π.χ. «Γιατί οι επιτυχημένοι εργαζόμενοι που διαπραγματεύονται ειδικά τις ρυθμίσεις για τη διαχείριση των συγκρούσεων εργασίας/οικογένειας θα μπορούσαν στη συνέχεια να επιβιώσουν σε ένα ιδιαίτερα δύσκολο περιβάλλον εργασίας;» (Hornung, Rousseau & Gleser, 2008).

Κατά τη διάρκεια της θεωρίας της ανάπτυξης, των δοκιμών και της συστηματικής συσσώρευσης εμπειρικών μελετών, οι παρατηρήσεις αποτελούν την απόδειξη για την αξιολόγηση της αξίας της θεωρίας. Η αξιολόγηση των αποδεικτικών στοιχείων βασίζεται στη δομή ισχύος. Για να αποδειχθεί ένα φαινόμενο δυνητικά πραγματικό και ουσιαστικό, σημαίνει ότι οι τακτικές που χρησιμοποιούν οι επιστήμονες για να το εντοπίσουν είναι έγκυρες. Για παράδειγμα η οργανωτική δέσμευση από την πλευρά των εργαζομένων έχει διαμορφωθεί με πολλούς διαφορετικούς τρόπους, αλλά κυρίως ως ψυχολογική προσκόλληση στον οργανισμό. Για να το καταστήσει πραγματικό και ουσιαστικό το συγκεκριμένο φαινόμενο, οι υποτιθέμενες παρατηρήσεις της δέσμευσης πρέπει να είναι σύμφωνες με την αντίληψη του εργαζόμενου και να συνδέονται με την ψυχολογική συσχέτιση (εμφάνιση χαρακτηριστικά προσκόλλησης όπως αποδοχή του στόχου της επιχείρησης και την επιθυμία τους να παραμείνουν) (Morrow, 1993).

1.2. Η λήψη αποφάσεων και επίλυση προβλημάτων

Η διοικητική επιστήμη περιλαμβάνει όλες τις παραπάνω διαδικασίες, ώστε να οδηγηθούμε στη λήψη μιας απόφασης. Ο Μελιούνης (2015) επισημαίνει ότι το αποτέλεσμα της λήψης μιας απόφασης δεν είναι πάντα θετικό, παρά το γεγονός ότι έχει ακολουθηθεί σωστά η σειρά των συγκεκριμένων ενεργειών που χρειάζεται να γίνουν. Το συγκεκριμένο ζήτημα είναι συνέπεια δύο κυρίως παραγόντων. Ο πρώτος παράγοντας είναι το ρίσκο που περιέχει κάθε απόφαση, καθώς η αβεβαιότητα για τις μελλοντικές εξελίξεις επηρεάζει το αποτέλεσμα της λήψης. Ο δεύτερος παράγοντας είναι οι προσωπικές αξίες εκείνου ή εκείνων που λαμβάνουν τις αποφάσεις, μιας και οι εν λόγω διαφέρουν από άτομο σε άτομο (Μελιούνης, 2015).

Ο Harrison (1999) αναφέρει ότι η διαδικασία λήψης μιας απόφασης αποτελεί κύριο στοιχείο της διοικητικής λειτουργίας κάθε επιχείρησης. Η ικανότητα των στελεχών για τη λήψη ορθών αποφάσεων είναι ένα κριτήριο επιλογής για το αν ένα

στέλεχος είναι αποδοτικό ή όχι. Οι κύριοι άξονες μελέτης αναφέρονται σε τρεις κατηγορίες:

1. στη διαδικασία που πραγματοποιείται για τη λήψη της απόφασης,
2. στην περιγραφή του στελέχους που λαμβάνει την εκάστοτε απόφαση και
3. στη συγκεκριμένη απόφαση, την οποία περιγράφει.

Ο Simon (1997) αναφέρει ότι το κυριότερο πρόβλημα που παρουσιάζεται κατά τη διαδικασία λήψης των αποφάσεων δεν εντοπίζεται στη διαδικασία της επιλογής των διαθέσιμων λύσεων, αλλά στον καθορισμό του τι πρέπει να γίνει στη συγκεκριμένη περίπτωση. Την παραπάνω διαπίστωση ενισχύει το γεγονός ότι για την εύρυθμη λειτουργία ενός οργανισμού όλα τα επίπεδα της διοικητικής ιεραρχίας έχουν πρωτεύοντα και καθοριστικό ρόλο. Τα χαμηλότερα διοικητικά επίπεδα εκτελούν τις εντολές και τις αποφάσεις, ενώ τα υψηλότερα ορίζουν τις αποφάσεις (Simon, 1997).

Ο Pettigrew (2014) αναφέρει ότι η διαδικασία που αφορά στη λήψη των αποφάσεων και τα στελέχη που τις λαμβάνουν πρέπει να αναπτύξουν τους μηχανισμούς εκείνους, οι οποίοι μεταξύ άλλων θα μπορέσουν να διευρύνουν την επικοινωνία μεταξύ των οργάνων που αποφασίζουν και των οργάνων που τις εκτελούν. Για το λόγο αυτό, όταν λαμβάνονται αποφάσεις, πρέπει να γίνονται απόλυτα κατανοητές από τα χαμηλότερα διοικητικά κλιμάκια, καθώς σε διαφορετική περίπτωση τα αποτελέσματα δεν θα συνάδουν με τους στόχους που έχουν οριστεί. Άλλωστε αφού η διοικητική διαδικασία θεωρείται μία ομαδική διαδικασία, τότε κρίνεται απαραίτητος ο συντονισμός μεταξύ των εργαζομένων που απαρτίζουν έναν οργανισμό, προκειμένου όχι μόνο να υιοθετηθούν οι κατάλληλες αποφάσεις, αλλά και να εκτελεστούν (Pettigrew, 2014).

Ο Huber ήδη από το 1986 είχε αναφερθεί σε μια σημαντική παρατήρηση· ότι υπάρχει η τάση της ταύτισης των εννοιών της λήψης αποφάσεων με την επίλυση των προβλημάτων. Βέβαια, οι παραπάνω διαδικασίες δεν είναι ταυτόσημες. Αναλυτικότερα, οι αποφάσεις είναι καλό να ληφθούν και να πραγματοποιηθούν σε περίοδο που η διοίκηση της επιχείρησης δεν αντιμετωπίζει κάποιο πρόβλημα προς επίλυση. Επιπρόσθετα, τα προβλήματα λύνονται καλύτερα και αρτιότερα, όταν δεν εκκρεμεί η λήψη κάποιας απόφασης. Για τη διαδικασία λήψης μιας απόφασης πρέπει να ληφθούν υπόψη δύο θέματα, τα οποία χρειάζεται να συγκλίνουν ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα. Το πρώτο θέμα εντοπίζεται στο ίδιο το πρόβλημα, για την

λύση του οποίου μπορεί να ληφθούν περισσότερες από μία αποφάσεις. Το δεύτερο θέμα εντοπίζεται στην ενέργεια που πρέπει να δαπανήσουν οι ιθύνοντες για να λυθεί το πρόβλημα και να εξομαλυνθεί η αιτία που προκάλεσε την εκκίνηση της παραπάνω διαδικασίας για τη λήψη της απόφασης (Bakke, 2013). Επίσης, ο ίδιος μελετητής αναφέρει ότι η διαφορά που υπάρχει ανάμεσα στη λήψη μιας απόφασης και στην επίλυση ενός προβλήματος έγκειται στο ότι η πρώτη είναι ενέργεια που απαιτεί κρίση, ενώ η δεύτερη είναι διαδικασία που δεν απαιτεί κάποια ενέργεια (Bakke, 2013).

1.3. Τα επίπεδα λήψης μιας απόφασης

Η λήψη μιας απόφασης λαμβάνει χώρα σε διάφορα επίπεδα και αφορά στη διοικητική διαδικασία στο σύνολό της. Αποτελείται από πολλά επίπεδα. Το πρώτο επίπεδο καλείται ατομικό και περιλαμβάνει όλες εκείνες τις ενέργειες που κάνει ένα άτομο, ώστε να ικανοποιήσει τις επιθυμίες του. Το επόμενο είναι το ομαδικό, ακολουθεί το οργανωσιακό και τέλος υπάρχει και το μετά-οργανωσιακό.

Όλα τα επίπεδα έχουν ορισμένα κοινά στοιχεία, όπως για παράδειγμα η μεταφορά εισροών, δηλαδή δεδομένων πάνω στα οποία θα βασιστούν οι υπεύθυνοι για να λάβουν μια απόφαση. Αυτές οι εισροές αναφέρονται σε πληροφορίες του εξωτερικού περιβάλλοντος που εισρέουν προς τα μέσα, αλλά και στα δεδομένα που απορρέουν από το εσωτερικό περιβάλλον προς το εξωτερικό. Επιπλέον, οι εισροές και οι εκροές συναντώνται σε όλα τα επίπεδα της διοικητικής ιεραρχίας, πράγμα που σημαίνει ότι όλα τα παραπάνω επίπεδα οφείλουν να συνεργάζονται και να έχουν άμεση σχέση μεταξύ τους.

Το ατομικό επίπεδο, ως προς τη λήψη μιας απόφασης, είναι αυτό που έχει μελετηθεί εκτενέστερα. Σε πολλές περιπτώσεις έχουν παρατηρηθεί κοινά χαρακτηριστικά -όπως και διαφορές- στον τρόπο με τον οποίο κάθε άνθρωπος οδηγείται στη λήψη μιας απόφασης. Τα περισσότερα άτομα, για να πάρουν μια απόφαση, επιδιώκουν να έχουν στη διάθεσή τους μεγάλο όγκο διαθέσιμων πληροφοριών, με αποτέλεσμα να υπάρχει καθυστέρηση στη όλη διαδικασία. Γεγονός, πάντως, είναι ότι οι άνθρωποι παρουσιάζουν απροθυμία να ελέγξουν ξανά τις αρχικές αποφάσεις τους, ακόμα και αν τα δεδομένα έχουν αλλάξει. Βέβαια, έχει παρατηρηθεί ότι οι αποφάσεις που λαμβάνονται από τα αρμόδια άτομα μπορούν να χαρακτηριστούν

και ως πρώιμες, με την έννοια ότι οι τελευταίοι δεν έχουν λάβει υπόψη τους και στο βαθμό που πρέπει όλες τις διαθέσιμες εναλλακτικές λύσεις.

Τα άτομα, για την επίλυση των προβλημάτων τους, δείχνουν ότι επιλέγουν τις τεχνικές εκείνες που δεν τους προκαλούν μεγάλη πίεση. Η συμπεριφορά που φαίνεται ότι ακολουθείται, και αφορά στη λήψη των αποφάσεων και στην επίλυση των προβλημάτων, αφορμάται από τη δοκιμαστική λύση και την αναζήτηση αντίστοιχων πληροφοριών, τροποποιώντας την αρχική επιλογή τους. Κατά τον Saaty (2008), η διαδικασία αυτή δεν σταματά στο σημείο αυτό, αλλά συνεχίζει έως ότου κατανοήσει ο λήπτης της απόφασης ότι έχει επέλθει ισορροπία μεταξύ των προσδοκώμενων και των πιθανολογούμενων αποτελεσμάτων.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, διαπιστώνουμε ότι τα άτομα επιλέγουν να χρησιμοποιούν στρατηγικές και τεχνικές επίλυσης με απλές διαδικασίες, θέλοντας να καταλήξουν στα αναμενόμενα αποτελέσματα. Πάντως, στο συγκεκριμένο πεδίο της ατομικής λήψης αποφάσεων υπάρχουν προβλήματα που αναφέρονται στην έλλειψη πληροφόρησης, στα προβλήματα χρόνου και κόστους αλλά και στους περιορισμούς που υπάρχουν σχετικά με τις ψυχολογικές και τις ποικίλες ανθρώπινες συμπεριφορές (Harrison, 1999).

Αποτελεί κοινό τόπο το γεγονός ότι οι άνθρωποι, με το να γίνονται μέλη μιας ομάδας, επιδιώκουν να καλύψουν διάφορες ανάγκες τους. Στην προσπάθειά τους αυτή συχνά παραμερίζουν τις προσωπικές τους ανάγκες και φιλοδοξίες, προκειμένου η ομάδα που αντιπροσωπεύουν να πετύχει τους στόχους της (Fisher, 2009). Το να γίνονται όμως μέλη μιας ομάδας, δεν καθιστά την ομαδική λήψη αποφάσεων καλύτερη από την ατομική ούτε συνεπάγεται ότι η ομαδική απόφαση μπορεί να εκπληρώσει αρτιότερα τους στόχους που έχει η ομάδα. Βέβαια, σε ομαδικό επίπεδο υπάρχει καλύτερο επίπεδο πληροφόρησης και γνώσης, που σημαίνει ότι η ανάλυση των δεδομένων είναι σωστότερη και αρτιότερη. Επιπλέον, υπάρχει ανοιχτή συζήτηση για το συγκεκριμένο θέμα, με αποτέλεσμα να γίνεται πιο εύκολη η ανακάλυψη των αιτιών, η ανάλυση των συνεπειών και η ανάλυση των διαθέσιμων εναλλακτικών λύσεων. Στον αντίποδα, υπάρχουν και αρνητικά στοιχεία, όπως η δυσκολία που μπορεί να συναντήσουν οι ομάδες από τη μελέτη πολιτικών ή άλλων διαδικασιών, η ολιγωρία σε διάφορες λειτουργίες (π.χ. πρέπει πρώτα να ακουστούν όλες οι απόψεις και κατόπιν να ληφθεί απόφαση) και η έλλειψη πρωτοβουλιών. Οι ομάδες περισσότερο αντιδρούν και

ανταποκρίνονται εκ των υστέρων σε καταστάσεις παρά πρωτοπορούν ή αναλαμβάνουν από μόνες τους πρωτοβουλίες.

Σαφώς, τα επίπεδα της λήψης αποφάσεων δεν εξαντλούνται στο συγκεκριμένο σημείο. Επιπρόσθετα, αυτό που στη συγκεκριμένη κατηγορία αποκαλείται ομάδα, μπορεί να χαρακτηριστεί ως μια ξεχωριστή οντότητα μέσα σε ένα ευρύτερο κοινωνικό σύνολο που αποκαλείται επιχείρηση (Harrison, 1999).

Κεφάλαιο 2. Εισαγωγή στα Δημόσια Συστήματα Μεταφοράς

2.1. Ιστορικό

Ο Afaq και οι συνεργάτες του (2016) αναφέρουν χαρακτηριστικά ότι ένας σταθμός μεταφοράς με Μετρό είναι ένα λειτουργικό σύστημα που αποτελείται από μια μεγάλη γκάμα πλαισίου υποδομών, εγκαταστάσεων και προσωπικού, τα οποία παρέχουν συλλογικά υπηρεσίες προς τους επιβάτες.

Οι μεγάλες επιχειρήσεις, για να καλύψουν τη μεγάλη ζήτηση των επιβατών για ταξίδια, οφείλουν να δημιουργούν ξεχωριστούς διαδρόμους μεταφοράς. Οι συγκεκριμένοι διάδρομοι στους σταθμούς του Μετρό, οι οποίοι ειρήσθω εν παρόδω αποτελούν τον πιο αποτελεσματικό και πιο φιλικό προς τους επιβάτες τρόπο εξυπηρέτησης, πρέπει να χρησιμοποιούν υψηλή απόδοση μεταφοράς, γεγονός που συνεπάγεται υψηλή χωρητικότητα χρηστών. Ένας αποτελεσματικός τρόπος εξυπηρέτησης είναι να μπορεί ο συρμός να εξασφαλίσει τη μεταφορά αμαξιδίων που στην συγκεκριμένη περίπτωση λειτουργούν σε χωριστή γραμμή του Μετρό, αναπτύσσουν μεγάλη ταχύτητα και παρουσιάζουν υψηλή συχνότητα της προσφερόμενης υπηρεσίας. Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι στοιχεία του Μετρό, όπως και του Μετρό του Rapid Transit στο Παρίσι.

Οι προσπάθειες για την επίτευξη και τη διατήρηση ενός συγκεκριμένου σταθμού έχουν να κάνουν με τη λειτουργία της γραμμής του Μετρό, που παρουσιάζει μεγάλη χωρητικότητα στα ειδικά διαμορφωμένα βαγόνια της. Ακόμα, το επίπεδο εξυπηρέτησης οδηγεί στην ανάγκη να εξεταστεί μια μεγάλη ποικιλία προβλημάτων, όπως ο σχεδιασμός του ίδιου του Μετρό και των σταθμών που το απαρτίζουν. Επιπλέον, απαραίτητο στοιχείο κρίνεται μια ανάλυση των σταθμών ή των γραμμών, που έχουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά απόδοσης με βάση την προσομοίωση της κατάστασης των επιβατών και γενικότερα τη διαδικασία επιβίβασης σε όλους τους υπάρχοντες σταθμούς (Krstanoski, 2014). Για την υπερφαλάγγιση των παραπάνω προβλημάτων, κρίνεται απαραίτητη η ανάλυσή τους έχοντας καλύτερη γνώση της συμπεριφοράς των επιβατών στην πλατφόρμα του σταθμού, τους όρους διανομής μεταξύ των αμαξοστοιχιών και άλλα δευτερεύοντα στοιχεία όπως ο σχεδιασμός του ίδιου του συρμού (π.χ. των παραθύρων που υπάρχουν, των εισόδων και εξόδων από το μετρό κ.ά.). Τέλος, όπως αναφέρει και ο καθηγητής Krstanoski (2014), το εν λόγω

πρόβλημα δεν έχει μελετηθεί επαρκώς, καθώς υπάρχουν περιορισμένες έρευνες σχετικά με αυτό αλλά και με τις λύσεις που μπορεί να δοθούν.

2.2. Περιγραφή των δομικών στοιχείων

2.2.1. Επιβίβαση και αποβίβαση επιβατών

Οι διαδικασίες της επιβίβασης και της αποβίβασης των επιβατών στο σταθμό του Μετρό έχουν σημαντικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα. Δεδομένου ότι τα συστήματα του Μετρό χρησιμοποιούν σταθμούς με πλήρως ελεγχόμενη πρόσβαση, οι επιβάτες που έρχονται σε έναν σταθμό πληρώνουν το εισιτήριό τους πριν εισέλθουν στις πλατφόρμες επιβίβασης. Κατά συνέπεια, η ίδια η διαδικασία πληρωμής δεν επηρεάζει τη διαδικασία επιβίβασης και αποβίβασης. Μετά την είσοδο στην πληρωμένη περιοχή, οι χρήστες διέλευσης τοποθετούνται οι ίδιοι κατά μήκος της πλατφόρμα και περιμένουν τον επόμενο συρμό.

Η θέση που επιλέγεται από κάθε άτομο εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Οι τακτικοί χρήστες διαμετακόμισης ενδεχομένως να λαμβάνουν υπόψη τους τη θέση που θα έχουν κατά την έξοδο στην πλατφόρμα του σταθμού προορισμού τους. Η θέση που επιλέγει ο επιβάτης για το αυτοκίνητό του σχετίζεται άμεσα με τη θέση του στην πλατφόρμα, αφού πρόκειται για δύο διαφορετικές παραμέτρους της ίδιας μετακίνησης. Επίσης, από την εμπειρία τους μπορεί να έχουν παρατηρήσει ότι τα σταθμευμένα αυτοκίνητα είναι συνήθως περισσότερα στις πολυσύχναστες οδούς. Εξαιτίας της διαπίστωσής τους αυτής, οι ίδιοι προτιμούν να τοποθετούν το όχημά τους σε χώρο που θεωρούν ότι θα έχει λιγότερο κόσμο (Krstanoski, 2014). Βέβαια, όταν δεν υπάρχει επαρκής χρόνος, για να περπατήσει κάποιος κατά μήκος της πλατφόρμας, αυτό θα το κάνουν μόνο όσοι στέκονται στην έξοδο της πόρτας και που τους οδηγεί γρήγορα στο όχημά τους.

Άλλοι χρήστες απλά μένουν κοντά στην έξοδο, για να αποφύγουν επιπλέον περπάτημα στην πλατφόρμα. Μερικοί άνθρωποι επέλεξαν τη συγκεκριμένη θέση, λαμβάνοντας υπόψη τους την πολυπλοκότητα της πλατφόρμας. Αυτοί προτιμούν περιοχές, στις οποίες αισθάνονται ότι στέκονται πιο άνετα. Τέλος, υπάρχει μια ομάδα επιβατών που είτε εκ προθέσεως δεν επιλέγουν κάποια συγκεκριμένη θέση, είτε η επιλογή τους επηρεάζεται από άλλους τυχαίους παράγοντες (π.χ. η συνάντηση ενός

φίλου) είτε ακόμα επιλέγουν τη θέση τους θέλοντας να αποφύγουν το συνωστισμό των ανθρώπων γενικότερα.

Αποτέλεσμα όλων των προαναφερθέντων παραγόντων είναι η κατανομή των επιβατών, κατά μήκος του σταθμού ή της πλατφόρμας, να λαμβάνει μια διάχυτη μορφή, σε όλο το μήκος της πλατφόρμας, με πυκνότητες που αλλάζουν και που έχουν επηρεαστεί σε κάποιο βαθμό από τη θέση του σταθμού και πολύ περισσότερο από τη θέση που βρίσκεται η έξοδος. Εξαιρέσεις μπορεί να βρεθούν σε μερικά αυτοματοποιημένα συστήματα του Μετρό, τα οποία έχουν σημάνσεις στην πλατφόρμα. Στους σταθμούς αυτούς ορίζονται συγκεκριμένες θέσεις, έτσι ώστε οι επιβάτες να σχηματίζουν γραμμές σε αυτά τα σημεία (π.χ. ο σταθμός του BART στο Σαν Φρανσίσκο).

Ο αριθμός των επιβατών κατά μήκος της πλατφόρμας καθορίζει τον αριθμό επιβίβασής τους ανά πόρτα. Τέλος, ένας άλλος σημαντικός παράγοντας, που επηρεάζει αυτόν τον αριθμό, είναι το πλήθος των διαθέσιμων και λειτουργικών θυρών ανά έξοδο.

2.2.2. Κατανομή επιβατών στην πλατφόρμα

Η κατανομή των επιβατών στην πλατφόρμα επιβίβασης-αποβίβασης καθορίζεται από τον αριθμό τους, χωρίς να λαμβάνουν υπόψη τον αριθμό των επιβατών που διακινούνται σε κάθε πόρτα. Αυτό σημαίνει ότι οι ίδιοι παράγοντες που επηρεάζουν την κατανομή των επιβατών, επηρεάζουν την κατανομή της απόστασης. Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι επιβάτες που έρχονται από ένα συγκεκριμένο σταθμό επιβιβάζονται σε διαφορετικούς σταθμούς, συμπεραίνουμε ότι η μοντελοποίηση του συγκεκριμένου ζητήματος θα εξαρτηθεί τόσο από τη συμπεριφορά των επιβατών όσο και από τα στοιχεία σχεδιασμού του εν λόγω συστήματος.

Η συγκεκριμένη συλλογιστική (υπόθεση) μπορεί να οδηγήσει σε μια διαισθητική αντίληψη, ότι δηλαδή η ανομοιογένεια του αριθμού των επιβατών ανά πόρτα πιθανόν να είναι αποτέλεσμα τυχαίων διακυμάνσεων μιας διαφορετικής ομοιόμορφης κατανομής. Υπάρχει όμως και η περίπτωση στην οποία οι περισσότεροι προηγούμενοι σταθμοί έχουν ένα σχέδιο που προκαλεί την ίδια άνιση κατανομή, ακόμα κι αν πρόκειται για σταθμό αποβίβασης με μία μόνο έξοδο. Επιπλέον, σημαντικός αριθμός επιβατών επιλέγει να αποβιβαστεί σε συγκεκριμένες εξόδους, λόγω ενός συγκεκριμένου φαινομένου, όπως λόγω χάρη το ότι έχει σταθμεύσει το αυτοκίνητό

του κοντά στην έξοδο του Μετρό. Ο αριθμός των επιβατών που αποβιβάζονται σε μία έξοδο είναι επίσης μια τυχαία μεταβλητή, αλλά εξαρτάται από τον αριθμό των επιβατών που αναλογικά μπαίνουν σε κάποιον συρμό. Επίσης, πρέπει να συνυπολογιστεί ότι ο αριθμός των επιβατών που επιβιβάζονται και αποβιβάζονται σε κάθε συρμό σχετίζεται άμεσα με τον αριθμό των επιβατών που μετακινούνται σε ετήσια βάση.

2.2.3. Στοιχεία κόστους και αποδοτικότητας του Μετρό

Η διάρθρωση του κόστους των κύριων σιδηροδρομικών βιομηχανιών έτυχε μεγάλης προσοχής στην ακαδημαϊκή βιβλιογραφία (Dodgson 1985, Freeman et al 1985, McGeehan 1993, Oum & Yu 1994, Cowie & Riddington 1996, Wunsch 1996, Tretheway et al 1997, Cantos et al., 1999, Oum et al 1999, Cantos et al., 2002). Η έρευνα κατέδειξε τη μεγάλη διακύμανση της αποδοτικότητας σχετικά με το κόστος της παραγωγικότητας, που συχνά υπάρχει σε ένα δείγμα σιδηροδρομικών επιχειρήσεων, και έχει αναπτύξει προσεγγίσεις κόστους και λειτουργίας για την ανάλυση των παραγόντων που στηρίζουν αυτή τη διακύμανση.

Ένα σημαντικό θέμα στη βιβλιογραφία, σχετικά με την αποδοτικότητα των σιδηροδρόμων, είναι το κατά πόσον οι δομές κόστους υπόκεινται σε αποδόσεις σε μια συγκεκριμένη κλίμακα ή όχι. Οι συγκεκριμένες κλίμακες περιγράφουν τη σχέση μεταξύ όλων των εισροών και της συνολικής κλίμακας των λειτουργιών, συμπεριλαμβανομένης της εξόδου και του μεγέθους του δικτύου. Επιπλέον, περιγράφουν τη σχέση μεταξύ εισροών και εξόδων με το σιδηροδρομικό δίκτυο, που διατηρείται σταθερό. Τα στοιχεία των ερευνών δείχνουν ότι υπάρχει σχετική σταθερότητα στις κοστολογικές μεταβλητές του συστήματος, λόγω της διαμόρφωσης του παγίου κόστους στη σιδηροδρομική βιομηχανία και σε μια σειρά ημι-σταθερών δαπανών που δεν διαφέρουν αναλογικά από την παραγωγή. Υπάρχουν λιγότερες συνεκτικές αποδείξεις για την ύπαρξη οικονομικής κλίμακας, αν και η άποψη της πλειονότητας είναι ότι οι σιδηρόδρομοι λειτουργούν υπό σταθερές αποδόσεις σε δοσμένη κλίμακα. Σχετικά με τη δομή του κόστους των Μετρό, οι μελέτες είναι ελάχιστες (Graham et al., 2003).

Οι λειτουργίες των σταθμών μπορούν να αποτελέσουν σημαντική πηγή αύξησης της αποδοτικότητας, παράγοντας που αναφέρεται στις λειτουργίες του Μετρό.

Οι σταθμοί πρέπει να παραμείνουν στελεχωμένοι και λειτουργικοί με όλο τον απαιτούμενο ενεργειακό πόρο, καθ' όλη τη διάρκεια των ωρών λειτουργίας του Μετρό. Επιπλέον, το κόστος μπορεί να διαφέρει σημαντικά από τον ένα σταθμό στο άλλο, λόγω της φύσης της μηχανικής, του βάθους του σταθμού, του μέγεθος και των διαστάσεων του, της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας κ.ο.κ. Επομένως, μπορούμε να αντιληφθούμε ότι το κόστος λειτουργίας των σταθμών είναι εν μέρη σταθερό και ποικίλλει ανάλογα με τη διακίνηση του συστήματος. Ως εκ τούτου, μπορεί να συμβάλει στην αύξηση της αποδοτικότητας των συρμών.

Οι Quddus, Harris και Graham το 2015 ανέπτυξαν ένα οικονομετρικό μοντέλο, έγκυρο και σταθμισμένο, για να αναλύσουν τη διακύμανση του κόστους λειτουργίας των σταθμών. Τα δεδομένα τους τα συνέλεξαν από 83 σταθμούς, από 13 συστήματα Μετρό από όλο τον κόσμο, για την εκτίμηση των κύριων οδηγών κόστους.

2.2.4. Προδιαγραφές μοντέλου και δεδομένα της έρευνας των Quddus, Harris και Graham

1) Στοιχεία μοντέλου

Τα διαθέσιμα στοιχεία για την ανάλυση της περιγραφής περιείχαν το συνολικό λειτουργικό κόστος κάθε σταθμού και μια σειρά χαρακτηριστικών σταθμών που συλλέχθηκαν από συνολικά 13 συστήματα Μετρό. Συγκεκριμένα, οι σταθμοί ήταν του Μόντρεαλ, του Μπουένος Άιρες, του Δουβλίνου, της Γλασκώβης, το MTR του Χονγκ Κονγκ, το KCR του Χονγκ Κονγκ, της Λισαβόνας, του Λονδίνου, της Νάπολης, του Σάο Πάολο, της Σγκαπούρης, της Ταϊπέι και του Τορόντο.

Η ανάλυση που αναπτύσσεται παρακάτω υποβαθμίζει το συνολικό λειτουργικό κόστος έναντι των χαρακτηριστικών του κάθε σταθμού, για να καθορίσει το ρόλο που διαδραματίζει στην επίδραση της διακύμανσης του κόστους.

2) Ανάλυση του μοντέλου

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι ο Quddus και η ομάδα του δεν υιοθετούν μια συμβατική προσέγγιση σχετικά με τη λειτουργία του κόστους. Οι συγγραφείς δεν έχουν δεδομένα που αφορούν στις τιμές των παραγόντων· επομένως, δεν μπορούμε να υπολογίσουμε τη λειτουργία του κόστους. Βέβαια, από την έρευνά τους αναδύθηκαν δύο σημαντικά στοιχεία. Το πρώτο ήταν ότι τα λειτουργικά έξοδα ενός συγκεκριμένου σταθμού αντιπροσωπεύουν μόνο ένα μικρό κλάσμα του συνολικού κόστους

λειτουργίας του Μετρό και το δεύτερο ότι οι μεμονωμένοι σταθμοί δεν μπορούν να θεωρηθούν κατάλληλες μονάδες για τη λήψη αποφάσεων σχετικά με το κόστος. Για παράδειγμα, οι χειριστές του Μετρό δεν απαιτούν συντελεστές εισροών σε επίπεδο σταθμού, σύμφωνα με τις τιμές, αλλά κάνουν ορθολογικές αποφάσεις σχετικά με το κόστος και τις λειτουργίες του συστήματος στο σύνολό του. Επιπλέον, θα ήταν λάθος να αποδίδονται συγκεκριμένες παραδοχές που οφείλονται σε μεμονωμένους σταθμούς, για παράδειγμα, προδίδοντας μία συμπεριφορά που ελαχιστοποιεί το κόστος.

3) Που οφείλεται η αποδοτικότητα του Μετρό

Ένα σύστημα αποδοτικότητας του Μετρό δεν μπορεί να επιδιώξει να διατηρήσει ένα καθορισμένο επίπεδο απόδοσης του σταθμού σε ολόκληρο το σύστημα. Ωστόσο, δεδομένου του συνολικού κόστους, δύναται να επιτρέψει διαφορές στην αποτελεσματικότητα επίτευξης ορισμένων ευρύτερων στόχων, οι οποίοι σχετίζονται με το κατάλληλο επίπεδο παραγωγής του συστήματος. Από την άποψη αυτή, είναι κυρίως ο τρόπος με τον οποίο τα χαρακτηριστικά του σταθμού χρησιμεύουν, για να επηρεάσουν το συνολικό κόστος που ενδιαφέρει στην παρούσα ανάλυση.

Βέβαια, ένα σημαντικό ζήτημα σχετίζεται με την έλλειψη στοιχείων για τις τιμές των παραγόντων, διότι αυτό θα είναι ασφαλώς σημαντικό για τον καθορισμό του κόστους των σταθμών. Για να ελέγξουμε αυτές τις παραληφθείσες μεταβλητές, τις οποίες δεν μπορούμε να παρατηρήσουμε, υπολογίζουμε το μοντέλο κόστους λειτουργίας του σταθμού με ένα σύνολο εικονικών μεταβλητών για τα ορισμένα συστήματα του Μετρό. Υποθέτουμε ότι αυτά τα στοιχεία θα καταγράψουν μη παρατηρημένες συγκεκριμένες επιδράσεις του συστήματος, συμπεριλαμβανομένων των τιμών των συντελεστών.

2.3. Ανάλυση της σημαντικότητας του κάθε στοιχείου στην αποδοτική λειτουργία

Σύμφωνα με τον Kittelson (Board T. R. of Sciences Engineering and Medicine, 2003), είναι σημαντικό να μελετηθεί ο μέσος χρόνος που θα χρησιμοποιηθούν οι εγκαταστάσεις από τους επιβάτες ή να μελετηθεί ο μέσος χρόνος που έχει ένας επιβάτης στην διάθεσή του για να περιμένει τον συρμό. Σημαντικό ρόλο στην προσπάθεια αυτή έχουν τα διάφορα εγχειρίδια χωρητικότητας της διαμετακόμισης και της ποιότητας εξυπηρέτησης του Μετρό (Board T. R. of Sciences Engineering and Medicine, 2003). Συνακόλουθα, στο παραπάνω έργο συνεισφέρουν οι εγκαταστάσεις εξυπηρέτησης των

σταθμών, οι οποίες μετρούν την άφιξη των επιβατών και το χρόνο εξυπηρέτησης τους (Board T. R. of Sciences Engineering and Medicine, 2003).

Για τα συγκεκριμένα εγχειρίδια χωρητικότητας, οι εγκαταστάσεις εξυπηρέτησης χρησιμοποιούνται ως *συστήματα αναμονής*. Υπάρχει μια νέα τεχνική, που λαμβάνει υπόψη της την τυχαία κατάσταση στη διαδικασία άφιξης των επιβατών αλλά και τις εγκαταστάσεις εξυπηρέτησης τους. Στη μελέτη που εκπόνησαν οι Afaq κ.α., το 2016, περιόρισαν το εύρος της μελέτης τους, καλύπτοντας μόνο την περίπτωση των σταθμών διαμετακόμισης του Μετρό. Στο Μετρό οι *σταθμοί διαμετακόμισης* είναι σημεία σύνδεσης μεταξύ αφίξεων και αναχωρήσεων. Οι συγκεκριμένοι σταθμοί πρέπει να εξασφαλίσουν μια εύκολη μετάβαση από ένα σύστημα συνεχών αφίξεων (που είναι η ροή επιβατών) σε ένα σύστημα διακριτών αναχωρήσεων (που είναι τα προγραμματισμένα δρομολόγια από τα τρένα) (Afaq et al, 2016). Χρησιμοποίησαν ένα μοντέλο προσομοίωσης και phase-type (PH) κατανομή, έχοντας στόχο την αξιολόγηση της απόδοσης και τη βέλτιστη διαμόρφωση του σταθμού διαμετακόμισης (Afaq et al, 2016).

Είναι σημαντικό να αναφερθεί στο σημείο αυτό ότι στο παρελθόν έχουν πραγματοποιηθεί μελέτες με τη χρήση και των δύο μεθόδων· δηλαδή μελέτες που αναφέρονται στα πρότυπα αναμονής και στις *τεχνικές προσομοίωσης*. Ο σκοπός τους ήταν να αξιολογήσουν την απόδοση και να βελτιστοποιήσουν τις εγκαταστάσεις εξυπηρέτησης στους σταθμούς διέλευσης του Μετρό. Ο Jiang και οι συνεργάτες τους το 2013 (2013b) χρησιμοποίησαν για πρώτη φορά την εγκατάσταση του πεζόδρομου του σταθμού Μετρό ως σύστημα αναμονής με τη διαδικασία της άφιξης των επιβατών. Για να εξάγουν τα συμπεράσματά τους, προχώρησαν στην παρουσίαση της κατανομής άφιξης με βάση την εκθετική κατανομή και το χρόνο υπηρεσίας (Jiang et al, 2013b).

Ο Ying με την ομάδα του ανέπτυξε ένα μοντέλο προσομοίωσης, χρησιμοποιώντας παραμέτρους όπως το εισιτήριο του Μετρό, για να μελετήσει τις αντιδράσεις των επιβατών (Ying et al, 2014). Τέλος, οι Jiang και Lin το 2013 ανέπτυξαν ένα Discrete-Event, δηλαδή ένα Μοντέλο Προσομοίωσης (DES), για την αξιολόγηση της απόδοσης και τη βελτιστοποίηση των μηχανημάτων αυτόματης πώλησης εισιτηρίων των σταθμών (Jiang & Lin, 2013).

Κανένας από τους ερευνητές μέχρι τώρα δεν θεωρούσε ότι η προσέγγιση DES (Discrete-Event), που είναι βασισμένη στην κατανομή PH, μπορεί να φέρει

αποτελέσματα στους σταθμούς διαμετακόμισης. Επομένως, μια καλή λύση είναι η μοντελοποίηση και ανάλυση του σταθμού του Μετρό με τη μέθοδο DES. Σύμφωνα με τον Banks (2010), η μέθοδος DES μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αξιολόγηση δυναμικών μοντέλων, που αφορούν στα συστήματα στα οποία η χρονολογική σειρά των συμβάντων αντιπροσωπεύουν τη λειτουργία του εκάστοτε συστήματος. Βέβαια, χρειάζεται να αναφέρουμε ότι το λογισμικό SimEvents προσφέρει μια ολοκληρωμένη ρύθμιση για μοντελοποίηση των δυναμικών συστημάτων, που περιέχουν διακριτά γεγονότα και διακριτά και συνεχόμενα χρονικά διαστήματα. Με το SimEvents η ανάπτυξη ενός μοντέλου DES για την προσομοίωση της ροής των επιβατών των διαδρόμων του σταθμού του Μετρό είναι εφικτή, προκειμένου να υπάρχει η αναμενόμενη αξιολόγηση της απόδοσης.

Ο Afaq κ.α. (2016), σχετικά με την ανάπτυξη του συγκεκριμένου μοντέλου DES του σταθμού διέλευσης του Μετρό με τη χρήση του PH, διαπίστωσαν ότι υπάρχουν διαφορές ανάμεσα στο συγκεκριμένο μοντέλο και την εφαρμογή παρόμοιων μοντέλων χωρίς τις συγκριμένες παραμέτρους. Επίσης, από τις παρατηρήσεις τους σε πολλές περιπτώσεις σταθμών Μετρό, επισήμαναν ότι *ουρές επιβατών* εμφανίζονται συνήθως σε περιπτώσεις που υπάρχουν ανεπαρκείς πόροι σε σταθμούς μετεπιβίβασης. Στην υπηρεσία εγκατάστασης του Μετρό -όπως αυτή εκφράζεται στις εγκαταστάσεις εξυπηρέτησης εισιτηρίων, στους ανελκυστήρες, στα κλιμακοστάσια, στους διαδρόμους, στις κυλιόμενες σκάλες, στην πλατφόρμα κ.λπ.-, οι σταθμοί έχουν συχνά πεπερασμένη χωρητικότητα. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι υπάρχει περιορισμένος διαθέσιμος χώρος ή περιορισμένος αριθμός εγκαταστάσεων για τους επιβάτες, ώστε να λάβουν αντίστοιχες υπηρεσίες και να εξυπηρετηθούν (Khattak et al, 2016).

Τέλος, ένα ακόμη μοντέλο που έχει χρησιμοποιηθεί σε αυτό το πεδίο είναι το μοντέλο του Reijnders κ.α. (2015). Ένα θετικό στοιχείο θεωρείται το γεγονός ότι το συγκεκριμένο μοντέλο, δηλαδή η χρήση του PH, έχει ανοίξει καινούριους δρόμους για την έρευνα και αποτελεί μια καινοτομία στον τομέα της κυκλοφορίας και της μεταφοράς. Οι Reijnders κ.α. (2015) πρότειναν μια μεθοδολογία για την κατασκευή ενός στοχαστικού μοντέλου απόδοσης για το κοινό μεταφοράς, μέσω του συστήματος κατανομής PH. Το εξαρτώμενο αναλυτικό μοντέλο για τον σταθμό του Μετρό, που περιλαμβάνει παράγοντες όπως η διάβαση πεζών, είναι περίπλοκο. Η λύση της κλειστής φόρμας, για την αξιολόγηση της απόδοσης, απαιτεί

κάποια προηγμένη μελέτη, που θα περιλαμβάνει στοχαστικές διαδικασίες και αριθμητικές αναλύσεις σχετικές με την επίλυση προβλημάτων.

1) Μοντέλο του Xu

Υπάρχουν πολλές παράμετροι που οδηγούν τους αναλυτές να μελετήσουν τη μοντελοποίηση των σταθμών του Μετρό. Ανάλογα με τα στοιχεία που συνέλεξε ο κάθε ερευνητής, διεκπεραιώνει και την αντίστοιχη έρευνα. Έτσι, λοιπόν, οι Xu et al, το 2014, ανέλυσαν το Μετρό ως μια δεδομένη κατάσταση που εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, αλλά κυρίως από το δίκτυο αναμονής (Xu et al, 2014).

2) Μοντέλο του Gruz

Ενδιαφέρουσα είναι η έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τον Gruz και τους συνεργάτες του το 2005, οι οποίοι δημιούργησαν ένα μοντέλο εντελώς διαφορετικό από τα προηγούμενα, καθώς εξαρτιόταν από την κατάσταση της ροής των πεζών στους διαδρόμους του Μετρό. Το μοντέλο τους αυτό το χρησιμοποίησαν σε πολλούς σταθμούς και διαδρόμους, για να μπορέσουν να καταλάβουν καλύτερα την αποτελεσματικότητά του (Gruz et al, 2005).

3) Μοντέλο του Jiang

Με βάση την παραπάνω έρευνα, ο Jiang με την ομάδα του δημιούργησαν το 2015 ένα μοντέλο προσομοίωσης, που εξαρτάται από το πλάτος του διαδρόμου το οποίο κάθε φορά είναι διαφορετικό. Θέλοντας να καταλάβουν τη μέθοδο βελτιστοποίησης των υπηρεσιών του Μετρό, προσπάθησαν έχοντας ως δεδομένο το πλάτος του κάθε διαδρόμου να οριοθετήσουν τη βελτιστοποίησή του. Για τη συγκεκριμένη μέθοδο έχουν χρησιμοποιηθεί *κανονικές κατανομές*, οι οποίες ταιριάζουν με τη διαδικασία άφιξης των επιβατών και την καταγραφή των υπηρεσιών του Μετρό (Jiang & Lin, 2013).

4) Γενικές παρατηρήσεις από τα προηγούμενα μοντέλα

Από την ανασκόπηση της μελέτης προηγμένων στοχαστικών διεργασιών, διαπιστώθηκε ότι οι κατανομές φάσεων Phase-Type distribution (PH) έχουν αντικαταστήσει το μοντέλο που χρησιμοποιεί την εκθετική κατανομή σε διάφορα πεδία, συμπεριλαμβανομένων των συστημάτων αναμονής, των διαδικασιών παραγωγής και των συστημάτων επικοινωνίας (Hu et al, 2013). Θεωρητικά, μπορεί να ταιριάζει σε οποιαδήποτε θετικό τυχαίο αριθμό απείρων, που είχε ως αποτέλεσμα την εμφάνιση ευρέων μοντέλων αναμονής που βασίζονται σε PH (Alfa & Zhao, 2000).

2.4. Παρόμοιες έρευνες

Με το συγκεκριμένο πρόβλημα έχουν ασχοληθεί και άλλοι ερευνητές. Μια τέτοια έρευνα είναι αυτή των Szplett & Wirasinghe (1984a, 1984b), οι οποίοι διερεύνησαν τις ώρες της αμαξοστοιχίας και τους επιβάτες επιβίβασης και αποβίβασης σε συγκεκριμένους σταθμούς στο Κάλγκαρι του Καναδά. Η έρευνά τους περιλάμβανε μια εκτεταμένη ανάλυση της διανομής, για την οποία χρησιμοποίησαν τη μεθοδολογία κατανομής των επιβατών μεταξύ των θυρών του τρένου ως συνάρτηση του σταθμού του Μετρό και του σχεδιασμού της πλατφόρμας μεταφοράς. Τα αποτελέσματα της ανάλυσής τους δείχνουν ότι ανάλογα με τη θέση της πλατφόρμας επηρεάζεται σημαντικά η κατανομή των επιβατών στους συρμούς. Ο σταθμός με μόνο μία έξοδο ή είσοδο στο τέλος της πλατφόρμας προκαλεί μεγάλη συγκέντρωση των επιβατών κοντά στη έξοδο ή είσοδο. Αυτή η κατανομή επιβατών βρέθηκε να ακολουθεί μια αρνητική εκθετική κατανομή (Szplett & Wirasinghe 1984a, 1984b). Ένας σταθμός με πολλές πλατφόρμες, που αναλογικά έχει και πολλές εισόδους, οδηγεί σε πιο ομοιόμορφη διανομή των επιβατών και μοντελοποιείται με την κανονική κατανομή.

Μια άλλη μελέτη, που αναφέρεται στο χρόνο παραμονής στο σταθμό και στην κατανομή των επιβατών στην πλατφόρμα του σταθμού, έγινε στο Πανεπιστήμιο του Τορόντο από τον Mogi το 1988. Αναλυτικότερα, ο ερευνητής θέλησε να εξετάσει το χρόνο που οι επιβάτες παραμένουν στην πλατφόρμα, καθώς και τον τρόπο κατανομής τους πάνω στην πλατφόρμα. Ωστόσο, από την έρευνά του δεν κατέστη δυνατό να διαπιστωθούν οι παράγοντες που επηρεάζουν τα συγκεκριμένα μεγέθη μελέτης. Ο ερευνητής, με βάση τα αποτελέσματα του χρόνου παραμονής και της εφαρμογής του μοντέλου προσομοίωσης που ανέπτυξε ως μέρος της συγκεκριμένης έρευνας, κατέληξε ότι εάν υπήρχε ομοιόμορφη κατανομή των επιβατών στην πλατφόρμα, τότε ο χρόνος παραμονής τους θα ήταν κατά 15 περίπου δευτερόλεπτα συντομότερος (Mogi, 1988).

Ο Krstanoski το 1996, σε έρευνα που πραγματοποίησε, περιέγραψε ένα μοντέλο που χρησιμοποίησε για την κατανομή των επιβατών μεταξύ των θυρών των τρένων του Μετρό τα δεδομένα, τα οποία συνέλεξε από το σταθμό του Μετρό Bloor στο Τορόντο του Καναδά. Αυτά τα δεδομένα υψηλής ποιότητας χρησιμοποίησε για να οικοδομήσει ένα μοντέλο προσομοίωσης της συμπεριφοράς των επιβατών στην πλατφόρμα του σταθμού και αργότερα για να μοντελοποιήσει τους χρόνους παραμονής στο σταθμό και τη λειτουργία του Μετρό σε όλους τους σταθμούς (Krstanoski, 1996).

Σε νεότερη έρευνα του (Krstanoski, 2014) βιντεοσκοπήσε τις εισόδους των συρμών του ίδιου σταθμού για δύο ώρες, ούτως ώστε να συλλέξει τα δεδομένα που αφορούσαν στην κατανομή και στην είσοδο των επιβατών από κάθε θύρα σε κάθε συρμό. Τα αποτελέσματα της έρευνάς του απέδειξαν ότι η μέθοδός του μπορεί να έχει θετικά στοιχεία σε ό,τι αφορά τη μελέτη της κατανομής των επιβατών στους συρμούς. Επιπλέον, ο ερευνητής κατέληξε ότι υπάρχει ξεκάθαρη εξάρτηση της κατανομής των επιβατών ανά θύρα του συρμού από τη θέση της εισόδου της πλατφόρμας και των σημείων εξόδου (Krstanoski, 2014). Το σχετικό τμήμα, που αναφέρεται στη μοντελοποίηση της κατανομής των επιβατών μεταξύ των θυρών των τρένων, παρουσιάζεται από τον ίδιο συγγραφέα σε άλλο άρθρο του.

Μια από τις πιο πρόσφατες μελέτες στον τομέα αυτό είναι η έρευνα του Wu και των συνεργατών του, το 2012. Στο πόνημά τους, με βάση τα δεδομένα που συνέλεξαν σε σταθμό του μετρό στο Beijing, πρότειναν ένα μοντέλο το οποίο περιγράφει την κατανομή επιβατών μεταξύ των θυρών των τρένων πριν από την άφιξη της αμαξοστοιχίας στο σταθμό. Τα στοιχεία που χρησιμοποίησαν για την κατασκευή του μοντέλου τα συνέλεξαν με χειροκίνητη μέτρηση και βιντεοσκοπήση (Wu et al., 2012).

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ-ΠΡΑΚΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Κεφάλαιο 3. Εργαλεία Μεθοδολογίας ανάλυσης Δημόσιων Μεταφορικών Συστημάτων

Στο σημείο αυτό της ανασκόπησης θα αναφερθούμε στα θεωρητικά εργαλεία που θα χρησιμοποιηθούν και στην ανάλυσή τους. Αναλυτικότερα, γίνεται ιδιαίτερη αναφορά σε δύο συγκεκριμένα εργαλεία-μεθοδολογίες, τη θεωρία των ουρών και τη μεθοδολογία της προσομοίωσης.

3.1. Θεωρία των ουρών αναμονής: ορισμός και χαρακτηριστικά

Η θεωρία των ουρών αναμονής παίζει τεράστιο ρόλο στην επίλυση και αποτροπή λειτουργικών σημείων συμφόρησης και αποτυχιών παροχής υπηρεσιών στην οργάνωση. Βέβαια, οι παρατηρήσεις δείχνουν ότι η ανάλυση Queuing μπορεί να γίνει εξαιρετικά περίπλοκη και δυσκίνητη. Ως εκ τούτου, οι περισσότεροι επιχειρηματίες, έχοντας συνειδητοποιήσει τη χρησιμότητά τους στη διαχείριση των κινήσεών τους σε σχέση με την υποστήριξη του πελάτη και την παροχή υπηρεσιών, επιθυμούν πλέον τις απλουστευμένες εφαρμογές του στην καθημερινή λειτουργία των εργασιών τους (Fakokunde, 2017). Η συγκεκριμένη θεωρία, πάντως, εξακολουθεί να θεωρείται σημαντικό εργαλείο αναπαράστασης μοντελοποίησης ενός σταθμού επιβίβασης, καθώς οι επιβάτες που βρίσκονται σε αυτόν αναμένουν για κάποιο χρονικό διάστημα έως ότου εξυπηρετηθούν. Η αβεβαιότητα των συστημάτων, η ζήτηση και η εξυπηρέτησή της αποτελούν σημαντικά στοιχεία που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό της δυναμικότητας παραγωγικών συστημάτων (Παππής, 2008).

Η ουρά, σύμφωνα με τον Sharma (2009), σχηματίζεται σε οποιοδήποτε σημείο, όταν ένας πελάτης (ανθρώπινη ή φυσική οντότητα) που απαιτεί εξυπηρέτηση αναγκάζεται να περιμένει, διότι ο αριθμός των πελατών υπερβαίνει την ικανότητα των εγκαταστάσεων εξυπηρέτησης ή όταν οι εγκαταστάσεις εξυπηρέτησης δεν λειτουργούν αποτελεσματικά και διαρκούν περισσότερο χρόνο από αυτόν που προβλέπεται για την εξυπηρέτηση ενός πελάτη. Επίσης, οι ουρές που αναφέρονται ως αναμονή σε γενικές γραμμές είναι συνήθεις καταστάσεις που συμβαίνουν στην καθημερινή ζωή (Sharma,

2009). Η αναμονή αυτή σχετίζεται με το γεγονός ότι η εκδήλωση της ζήτησης είναι τυχαία, γεγονός που επηρεάζει και την εξυπηρέτησή της, η οποία μπορεί κι αυτή με τη σειρά της να είναι τυχαία (Παπλής, 2008).

Οι ουρές συναντώνται καθημερινά σε στάσεις λεωφορείων, τράπεζες, σούπερ μάρκετ, πάρκα, αποθήκες, αεροδρόμια, κλινικές, σταθμούς ανεφοδιασμού, φανάρια κ.ά. Σε ορισμένες περιπτώσεις οι εμπλεκόμενοι πελάτες δεν είναι άνθρωποι, αλλά φυσικές οντότητες ή παραγγελίες που πρέπει να εκτελεστούν, όπως φορτηγά που περιμένουν να γεμίσουν, εισερχόμενες κλήσεις που αναμένουν να απαντηθούν, οχήματα που περιμένουν πλήσιμο αυτοκινήτων κ.λπ. Όλες αυτές οι δραστηριότητες πρέπει να λειτουργούν ομαλά και αποτελεσματικά.

Η θεωρία των ουρών είναι μια μαθηματική προσέγγιση στην ανάλυση της αναμονής των γραμμών, με απεριόριστες εφαρμογές στις λειτουργίες εξυπηρέτησης. Είναι ένας κλάδος της επιστήμης της διαχείρισης, που επιτρέπει στον αναλυτή να περιγράψει και να κατανοήσει τη συμπεριφορά ενός συστήματος που αντικατοπτρίζεται στα λειτουργικά χαρακτηριστικά του (Awodun & Jongbo, 2010). Μπορεί να εφαρμοστεί σε καταστάσεις, στις οποίες είναι δυνατόν να προβλεφθεί με ακρίβεια ο χρόνος-ρυθμός αφίξεων πελατών και ο χρόνος-το ποσοστό υπηρεσίας που τους παρέχεται. Η θεωρία των ουρών χρησιμοποιεί τα μαθηματικά μοντέλα και μέτρα απόδοσης, για να αξιολογήσει και να βελτιώσει τη ροή των πελατών, μέσω ενός συστήματος αναμονής (Prabhu, 1997. Gorney, 1981). Η θεωρία των ουρών αναμονής, έχει χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν για την αξιολόγηση παρόμοιων εργασιών όπως το πρόγραμμα εργασίας, το εργασιακό περιβάλλον, ο χρόνος αναμονής για την εξυπηρέτηση του πελάτη, αλλά και γενικότερα το περιβάλλον αναμονής όλων των πελατών (Ronald and James, 2001).

3.1.1. Ρυθμός άφιξης

Οι αφίξεις των επιβατών μπορούν να περιγραφούν ποικιλοτρόπως. Αρχικά, περιγράφονται με την κατανομή της διακριτής τυχαίας μεταβλητής «αριθμός αφίξεων στη μονάδα του χρόνου», ενώ είναι δυνατόν η μέτρηση αυτή να γίνει και μέσω της κατανομής της συνεχούς τυχαίας μεταβλητής «χρόνος μεταξύ διαδοχικών αφίξεων». Μπορεί να γίνονται είτε κατά μονάδα είτε κατά ομάδες, ενώ ο μεταξύ τους χρόνος ενδέχεται να είναι είτε σταθερός είτε να μεταβάλλεται σύμφωνα με κάποια στατιστική

κατανομή (Παππής, 2008). Οι ουρές των πελατών τις περισσότερες φορές διαμορφώνονται, όταν φθάνουν οι πελάτες σε ένα συγκεκριμένο σημείο και η αρμόδια προς εξυπηρέτησή τους υπηρεσία είναι συνήθως απασχολημένη (Awodun & Jongbo, 2010). Κατάσταση κατά την οποία οι εγκαταστάσεις παροχής υπηρεσιών είναι περιορισμένες και δεν ικανοποιούν τις απαιτήσεις εξυπηρέτησης που πραγματοποιούνται επάνω σε αυτές, φέρνουν σημεία συμφόρησης και στη συνέχεια δημιουργούν ουρά ή γραμμή αναμονής (Aminu, 2000).

Οι πελάτες που φθάνουν στο σταθμό εξυπηρέτησης αναμένεται να προσεγγίσουν το σύστημα υπηρεσιών και να περιμένουν την υπηρεσία, ανεξαρτήτως του αριθμού των πελατών που βρίσκονται ήδη στην ουρά. Σύμφωνα με τους Davis και Heinete (1994), ένας πελάτης που δεν είναι ικανοποιημένος με την ουρά αναμονής αρνείται να συμμετάσχει και μπορεί να επιστρέψει αργότερα ή ακόμα και να φύγει, ενώ ένας απογοητευμένος πελάτης παρόλο που εισέρχεται στην ουρά και περιμένει για κάποιο διάστημα μετά από κάποια ώρα είναι κουρασμένος και ανυπόμονος. Οι πελάτες που μετακινούνται συνεχώς από μια ουρά και πηγαίνουν σε άλλη, ελπίζοντας να λάβουν μια υπηρεσία πιο γρήγορα, ονομάζονται jockeying (Davis & Heinete, 1994). Όσον αφορά την κατανομή που ακολουθείται στα συστήματα αναμονής, αυτή εξαρτάται από συγκεκριμένες μεταβλητές. Για παράδειγμα, στην περίπτωση της κατανομής Poisson οι αφίξεις ορίζονται από συγκεκριμένα γεγονότα που συμβαίνουν σπανίως ή με μικρή συχνότητα. Αντίθετα, η κατανομή Erlang λαμβάνει υπόψη της και παραμέτρους που περιορίζουν το βαθμό της αβεβαιότητας του χρόνου εξυπηρέτησης (Παππής, 2008).

3.1.2. Ρυθμός εξυπηρέτησης

Η δυναμικότητα των συστημάτων αναμονής στις περισσότερες περιπτώσεις είναι δυνατό να μετρηθεί, είτε με βάση το πλήθος των παράλληλων σταθμών εξυπηρέτησης της ζήτησης είτε με βάση το μέσο ρυθμό εξυπηρέτησης των πελατών. Η εξυπηρέτηση της ζήτησης μπορεί να περιγραφεί, είτε μέσω της κατανομής της διακριτής τυχαίας μεταβλητής «αριθμός εξυπηρετήσεων στη μονάδα του χρόνου» είτε μέσω της κατανομής της συνεχούς τυχαίας μεταβλητής «χρονική διάρκεια εξυπηρέτησης». Μπορεί να γίνεται συνεχώς ή σε συγκεκριμένα και προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα, με τη διάρκειά της να παραμένει σταθερή ή να μεταβάλλεται (Παππής, 2008).

Σύμφωνα με τον Michael (2001), σε περιπτώσεις που οι δυνατότητες είναι περιορισμένες και δεν μπορεί να ικανοποιηθεί η ζήτηση που υπάρχει, στα σημεία που περιμένουν οι πελάτες δημιουργείται συμφόρηση και εκδηλώνεται ως ουρά των πελατών. Αλλά και όταν η υπηρεσία εξυπηρέτησης είναι μικρή, θα προκύψουν επίσης ουρές (Aremu, 2005). Με βάση τα παραπάνω, οι ελλείψεις για την αναμονή των επισκεπτών οφείλονται ιδιαίτερα σε καταστάσεις όπου οι αφίξεις μπορούν να προβλεφθούν και η εξυπηρέτηση να γίνει σταθερή. Ομοίως, ο Trueman (1977) και οι Slack, Chambers και Johnston (2012) αναλύουν διάφορες μορφές ουρών αναμονής, δηλώνοντας ότι οι ουρές σχηματίζονται όταν οι μονάδες που λαμβάνουν κάποιο είδος υπηρεσίας δεν μπορούν να εξυπηρετηθούν αμέσως.

Οι σειρές αναμονής εξελίχθηκαν, επειδή η υπηρεσία προς τον πελάτη δεν μπορεί να παραδοθεί με το που ο πελάτης φτάσει στο σημείο εξυπηρέτησης (Vohra, 2007). Σύμφωνα με τους Slack, Chambers και Johnston (2012) η έλλειψη επαρκούς διευκόλυνσης και εξυπηρέτησης, θα προκαλούσε τη δημιουργία θέσεων αναμονής πελατών. Ο μόνος τρόπος για να ικανοποιηθεί η ζήτηση υπηρεσιών με ευκολία, σύμφωνα με το Vohra (2007), είναι να αυξηθεί η ικανότητα εξυπηρέτησης και (εάν είναι δυνατό) να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα της υφιστάμενης χωρητικότητας.

Αυτό μπορεί να έχει σχέση με το πρόβλημα αναμονής των πελατών. Συγκεκριμένα, ο Ashley το 2000 ανέφερε ότι το πρόβλημα αναμονής προκύπτει κυρίως, λόγω της οικονομικής εκτίμησης. Πρόκειται, λοιπόν, για μια σπάνια κατάσταση, κατά την οποία το κόστος της υπηρεσίας αποδεικνύει ότι ΔΕΝ μπορούν να προσφερθούν αρκετές εγκαταστάσεις εξυπηρέτησης, έτσι ώστε να μην υπάρχει η εν λόγω αναμονή. Αυτή η κατάσταση που έρχεται στο μυαλό του μελετητή, είναι αυτή της αυτοεξυπηρέτησης. Προβλήματα μπορεί να συμβούν ακόμα και αν το σύστημα εξυπηρέτησης παρέχει υπηρεσίες με ταχύτερο ρυθμό από το ρυθμό άφιξης του πελάτη, πράγμα που σημαίνει ότι οι συγκεκριμένες υπηρεσίες -παρόλο που δρουν γρηγορότερα από το αναμενόμενο- μπορεί να παρουσιάζουν τρωτά σημεία (Ashley, 2000).

Ο Stevenson (2009) πρόσθεσε ότι ο υψηλός βαθμός μεταβλητότητας, που παρουσιάζεται συνήθως από τα πρότυπα εξυπηρέτησης και άφιξης, μπορεί να προκαλέσει υπερβολική επιβάρυνση του συστήματος εγκατάστασης, γεγονός που διαφέρει από τις περιπτώσεις κατά τις οποίες σχηματίζεται ουρά λόγω προγραμματισμένων αφίξεων. Σε αυτή την περίπτωση -της υπερβολικής επιβάρυνσης-

οι γραμμές αναμονής μπορούν να σχηματιστούν στο σημείο, που οι αφίξεις και η εξυπηρέτηση δεν μπορούν πλέον να προγραμματιστούν και να κρατηθούν σταθερές, με αποτέλεσμα η εγκατάσταση να καθίσταται ανεπαρκής. Το εν λόγω συμβαίνει, διότι οι γραμμές αναμονής εμφανίζονται συνήθως στο τέλος κάθε μήνα με πολύ κόσμο στις περισσότερες εγκαταστάσεις, λόγω του τεράστιου όγκου των μετακινήσεων κατά τη διάρκεια της παραπάνω περιόδου. Οι καθυστερήσεις αυτές συμβαίνουν, επειδή δεν είναι δυνατό να προβλεφθεί η συμπεριφορά των πελατών κατά τη διάρκεια των περιόδων αυτών (Stevenson, 2009).

3.1.3. Αριθμός servers

Ένα σύστημα εξυπηρέτησης μπορεί να αποτελείται, είτε από έναν σταθμό (server) όπου κάθε φορά εξυπηρετείται ένας πελάτης είτε από πολλούς οι οποίοι έχουν παράλληλη λειτουργία και συνεπώς εξυπηρετούν περισσότερους πελάτες κάθε φορά. Η εξυπηρέτηση είναι δυνατό να γίνεται σε ένα ή σε περισσότερα στάδια (Παπής, 2008).

Οι James και Benson (1988) στις δικές τους συνεισφορές θεώρησαν ότι η δημιουργία γραμμών αναμονής (ουρές) συμβαίνει κάθε φορά που η ζήτηση μιας συγκεκριμένης υπηρεσίας υπερβαίνει την προσφορά της. Μάλιστα, εξέφρασαν ότι αν αναπτυχθούν μεγάλες ουρές σε μια συγκεκριμένη κατάσταση (π.χ. στις στάσεις του Τραμ ή του Μετρό), ίσως είναι μια ένδειξη ότι δεν παρέχονται επαρκείς υπηρεσίες. Οι μελετητές διατύπωσαν την άποψη πως το να μην αναπτύσσονται ουρές, μπορεί να αποτελεί ένδειξη ότι παρέχονται πάρα πολλές υπηρεσίες σε σχέση με την αναμενόμενη ζήτηση. Οποιαδήποτε περίπτωση από τις δύο παραπάνω, μπορεί να αποδειχθεί δαπανηρή για τον πάροχο των υπηρεσιών (James & Benson, 1988). Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω, συμπεραίνουμε ότι οι ουρές αναμονής είναι αναπόφευκτες και οφείλονται στους ακόλουθους λόγους (Fakokunde, 2017):

1. στις μονάδες που φθάνουν σε μια εγκατάσταση για να λάβουν ένα συγκεκριμένο τύπο υπηρεσίας, αλλά δεν μπορούν να εξυπηρετηθούν αμέσως. Σε αυτήν την περίπτωση, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί η ροή της κυκλοφορίας. Αυτός είναι ο λόγος του μέσου ρυθμού άφιξης προς τον μέσο ρυθμό εξυπηρέτησης. Συνήθως, υποθέτουμε ότι η ροή της κυκλοφορίας μιας ουράς είναι κακή,

2. όταν ο ρυθμός εξυπηρέτησης είναι μικρότερος από το ρυθμό άφιξης,
3. στην τυχαία ταχύτητα άφιξης και εξυπηρέτησης,
4. όταν η ζήτηση για μια υπηρεσία εξυπηρέτησης υπερβαίνει την προσφορά.
5. σε προσωρινή ή μόνιμη καταστροφή ή απόσυρση εγκαταστάσεων εξυπηρέτησης,
6. σε περιπτώσεις προτίμησης συγκεκριμένης υπηρεσίας εξυπηρέτησης και
7. στη θέση των υπαλλήλων εξυπηρέτησης.

3.1.4. Πληροφορία για τον πληθυσμό

Ο αριθμός των πελατών που πρέπει να εξυπηρετηθούν μπορεί να είναι διαφορετικών μεγεθών, ανάλογα με την περίπτωση. Η περιγραφή των συστημάτων αναμονής γίνεται συνήθως με τη βοήθεια του τύπου $(a/b/c):(d/e/f)$. Στον τύπο αυτό με a συμβολίζεται η κατανομή των αφίξεων, με b η κατανομή των εξυπηρετήσεων, με c το πλήθος των σταθμών που εξυπηρετούν παράλληλα, με d ο κανόνας προτεραιότητας στην εξυπηρέτηση των πελατών, με e η χωρητικότητα του χώρου αναμονής (αν εφαρμόζεται) και με f το μέγεθος του πληθυσμού των εξυπηρετούμενων. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλα σύμβολα, ανάλογα με την περίπτωση και τις υφιστάμενες ανάγκες (Παπής, 2008).

3.1.5. Προτεραιότητα

Για την επιλογή του πελάτη που θα εξυπηρετηθεί κάθε φορά, υπάρχουν συγκεκριμένοι κανόνες που τίθενται σε εφαρμογή. Στις περισσότερες περιπτώσεις ισχύουν κάποιοι από τους παρακάτω κανόνες (Παπής, 2008):

- ο πρώτος που θα φτάσει στο σταθμό εξυπηρέτησης, εξυπηρετείται πρώτος (FIFO: First In First Out),
- ο τελευταίος που θα φτάσει εξυπηρετείται πρώτος (LIFO: Last In Last Out),
- τυχαίος τρόπος επιλογής (SIRO: Service in Random Order),
- επιλογή με βάση κάποιο νόμο προτεραιότητας (Priority Selection Rule), για παράδειγμα προτεραιότητα στην εξυπηρέτηση των πιο σοβαρών ή επειγόντων περιπτώσεων.

Όταν υπάρχουν παράλληλοι σταθμοί εξυπηρέτησης, οι κανόνες προτεραιότητας μπορεί να είναι πιο σύνθετοι. Πολλές φορές η σειρά της εξυπηρέτησης

εξαρτάται από τις προτιμήσεις και τις επιλογές του πελάτη, ο οποίος έχει τη δυνατότητα να μετακινηθεί στις ουρές, να διαλέξει σταθμό εξυπηρέτησης και γενικώς να καθορίσει (σε κάποιο βαθμό) την προτεραιότητα. Επιπλέον, είναι δυνατό οι σταθμοί να μην εξυπηρετούν συνεχώς, αλλά εκ περιτροπής (Παπής, 2008).

3.1.6. Δείκτες απόδοσης ουράς αναμονής

Η απόδοση των συστημάτων ουράς αναμονής σχετίζεται άμεσα με την επάρκεια και την ικανότητα του συστήματος αναμονής να εξυπηρετεί τους πελάτες του. Περιγράφεται με ένα σύνολο από δείκτες που σχετίζονται με τα δεδομένα του συστήματος αυτού, δηλαδή την κατανομή των αφίξεων, την κατανομή του χρόνου εξυπηρέτησης, το πλήθος των σταθμών εξυπηρέτησης κ.ο.κ. Μεταξύ αυτών των δεικτών, σημαντική θέση κατέχουν οι εξής:

- ο δείκτης P_n , ο οποίος περιγράφει την πιθανότητα ύπαρξης πελατών που αναμένουν να εξυπηρετηθούν ή εξυπηρετούνται σε μία δεδομένη στιγμή t ,
- ο δείκτης P_0 , που δηλώνει την πιθανότητα να μην υπάρχει κάποιος πελάτης στο σύστημα σε μια δεδομένη στιγμή t ,
- ο L , που είναι ο μέσος αριθμός πελατών που υπάρχουν στο σύστημα κατά τη στιγμή t ,
- ο L_q , που αντιπροσωπεύει το μέσο αριθμό πελατών στην ουρά κατά τη στιγμή t ,
- ο W , που αντιστοιχεί στο μέσο χρόνο που αναμένεται ένας πελάτης να παραμείνει στην ουρά και
- ο ρ , που αναφέρεται στο βαθμό απασχόλησης του συστήματος.

Το σύνολο των προαναφερθέντων δεικτών μπορεί να εκφραστεί ως συνάρτηση των παραμέτρων του συγκεκριμένου συστήματος, δηλαδή των εξής:

- λ , που αντικατοπτρίζει τον μέσο ρυθμό αφίξεων,
- μ , που αντιπροσωπεύει τον μέσο ρυθμό εξυπηρέτησεων ανά σταθμό εξυπηρέτησης,
- s , που αναφέρεται στο πλήθος των σταθμών εξυπηρέτησης με την ίδια δυναμικότητα που λειτουργούν παράλληλα,
- m , δηλαδή τη μέγιστη χωρητικότητα του συστήματος και

- σ, την τυπική απόκλιση της κατανομής των χρόνων ανάμεσα στις διαδοχικές αφίξεις ή του χρόνου εξυπηρέτησης των πελατών.

Τέλος, οι δείκτες του συστήματος σχετίζονται άμεσα με το κόστος λειτουργίας των συστημάτων, όπου:

- $K_e(s)$ είναι το κόστος εξυπηρέτησης και
- $K_a(s)$ το κόστος αναμονής.

Σε γενικές γραμμές, η βελτιστοποίηση των συστημάτων αναμονής, εκεί όπου υπάρχει ένας σταθμός εξυπηρέτησης, σχετίζεται συνήθως με τον προσδιορισμό της δυναμικότητας αυτού του σταθμού, ώστε το κόστος λειτουργίας του συστήματος να βρίσκεται στο ελάχιστο δυνατό επίπεδο (Παπής, 2008). Η δομή των συστημάτων των ουρών αναμονής τις περισσότερες φορές παρουσιάζεται ως μέτρηση της αποτελεσματικότητας ενός συστήματος, λαμβάνοντας υπόψη τον αριθμό των πελατών στο σύστημα και στις ουρές, του μέσου χρόνου που οι πελάτες ξοδεύουν στο σύστημα και της πιθανότητας το σύστημα να είναι απασχολημένο ή αδρανές. Συνήθως, αυτό συνεπάγεται χρήση υπολογιστικών αριθμών, ώστε να καταλήξουμε σε καλά υπολογισμένες πράξεις χωρίς προσφυγή στο κόστος λειτουργίας του συστήματος (Stevenson, 2009).

Με αυτόν τον τρόπο σε οργανισμούς που οι πελάτες ανέμεναν μόνο λίγα λεπτά της ώρας στο σύστημα και υπολογίστηκαν μόνο αυτά, προκειμένου να φανεί η άμεση εξυπηρέτησή τους, αποτελούν εσφαλμένα κριτήρια για την ομαλή λειτουργία και την αποτελεσματικότητά τους. Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό για τους επιχειρηματίες, τα διευθυντικά στελέχη και τους άλλους διαχειριστές συστημάτων να προσμετρούν το κόστος παροχής ενός δεδομένου επιπέδου, την ικανότητα εξυπηρέτησης έναντι του δυνητικού κόστους και την αναμονή της πελατείας τους προκειμένου να εξυπηρετηθούν από τη συγκεκριμένη υπηρεσία (Fakokunde, 2002. Aremu, 2005. Stevenson, 2009).

Με βάση τα παραπάνω, η δομή του συστήματος της ουράς αναμονής που παρουσίασε ο Prabhu (1997) ήταν πιο σχετική και κατάλληλη, καθώς παρουσίαζε τα χαρακτηριστικά των ακόλουθων στοιχείων: την άφιξη, το χρόνο αναμονής, την τεχνική εξυπηρέτησης και τη διάρθρωση του κόστους. Η διαδικασία άφιξης, σύμφωνα με τον Prabhu (1997), είναι ο τρόπος με τον οποίο οι πελάτες εισέρχονται στο σύστημα για

την παροχή υπηρεσιών. Επιπροσθέτως, αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο οι πελάτες εμφανίζονται στην υπηρεσία εξυπηρέτησης (Awodun and Jongbo, 2000). Ο αριθμός των δυνητικών πελατών μπορεί να είναι πεπερασμένος ή άπειρος, ενώ το σχέδιο άφιξης μπορεί να είναι είτε τυχαίο είτε προκαθορισμένο (Daellenbach and George, 1978).

Η ανάλυση των ουρών που εξετάζονται είναι αυτή του άπειρου πληθυσμού, μιας και στις περισσότερες περιπτώσεις ο ρυθμός άφιξης μπορεί να μην προσδιορίζεται και να μην είναι σταθερός. Συνεπώς, ο ρυθμός άφιξης θα μπορούσε να θεωρηθεί τυχαίος. Συνήθως ένας πληθυσμός χαρακτηρίζεται ως άπειρος, όταν ο ρυθμός άφιξης των μελλοντικών πελατών δεν επηρεάζεται από τον αριθμό των πελατών που βρίσκονται ήδη στην ουρά αναμονής. Στις περιπτώσεις που οι αφίξεις είναι τυχαίες, απαιτείται στον τύπο της πιθανότητας να περιγράφονται συγκεκριμένα οι χρόνοι μεταξύ των αφίξεων. Παρουσιάζονται δε και οι περιπτώσεις, που ενώ ένας πελάτης αποφασίζει να περιμένει υπομονετικά, ανεξαρτήτως του αριθμού των ατόμων μέχρι την εξυπηρέτησή του, ένας άλλος πελάτης μπορεί να είναι ανυπόμονος και να αναζητήσει γρήγορη εξυπηρέτηση. Για αυτό και υπάρχουν ποικίλες συμπεριφορές σχετικά με το εν λόγω θέμα, συμπεριφορές που εντοπίστηκαν από τον Sharma (2009).

Η *συνεργασία* των υπαλλήλων εξυπηρέτησης μπορεί να συμβάλλει στη μείωση του συνολικού χρόνου αναμονής. Η *πειθαρχία της ουράς* αναφέρεται σε μεγέθη και σε καταστάσεις που πρέπει να οριοθετηθούν, ώστε να υπάρχει καλύτερη εξυπηρέτηση. Αναφέρεται, ακόμα, στη σειρά ή στον τρόπο με τον οποίο εξυπηρετούνται οι πελάτες στην ουρά. Μπορεί να είναι σε πρώτη προτεραιότητα, μπορεί να υπάρχει τυχαία εξυπηρέτηση ή να υπάρχει προτεραιότητα των συγκεκριμένων υπηρεσιών βάσει ορισμένων χαρακτηριστικών, όπως περιστάσεις και καταστάσεις έκτακτης ανάγκης (Daellenbach & George, 1978).

Οι περιπτώσεις άμεσης εξυπηρέτησης είναι πολύ συνηθισμένες στα περισσότερα σύγχρονα συστήματα παροχής υπηρεσιών π.χ. τραπεζών, σούπερ μάρκετ, εστιατορίων και νοσοκομείων. Επιπλέον, η πειθαρχία στην προτεραιότητα μπορεί να ανασυγκροτηθεί σε δύο καταστάσεις, την προληπτική και τη μη προληπτική. Η προληπτική πειθαρχία επιτρέπει στις μονάδες να διακόπτουν για κάποιο λόγο τη συνέχεια της εξυπηρέτησης των πελατών που ήδη λαμβάνουν κάποια υπηρεσία. Αντίθετα, η μη προληπτική πειθαρχία της ουράς οργανώνει την ουρά με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε η μονάδα με την υψηλότερη βαθμολογία προτεραιότητας να εξυπηρετείται

εις βάρος των άλλων. Τέλος, μπορεί να υπάρξουν προσπάθειες κάποιων πελατών να αποφύγουν τους κανόνες που διέπουν τις διαδικασίες παροχής υπηρεσιών (Vohra, 2007).

Με βάση την παραπάνω συλλογιστική, οι υπεύθυνοι τήρησης των κανονισμών πρέπει να εξασφαλίσουν την κατάλληλη παρακολούθηση της περιοχής αναμονής, για να αποτρέψουν πράξεις όπως προστριβές από ορισμένους πελάτες για εξασφάλιση καλύτερης θέσης στην ουρά αναμονής. Ο μηχανισμός εξυπηρέτησης που οφείλουν να ακολουθήσουν περιγράφει τον τρόπο εξυπηρέτησης του πελάτη. Η διευκόλυνση εξυπηρέτησης μπορεί να αποτελείται από μία ή περισσότερες καταστάσεις. Μπορούν να λειτουργούν είτε παράλληλα, οπότε η άφιξη πρέπει να διέρχεται από ένα κανάλι, είτε σε σειρά, οπότε η άφιξη πρέπει να περάσει από σειρά καναλιών πριν εκτελεστεί. Η απόφαση για τη δομή και τη φύση των ουρών θα ήταν ελλιπής, αν δεν λαμβάναμε υπόψη μας την πιθανότητα κατανομής των δεδομένων προϊόντων υπηρεσίας (Griffin, 1978).

Ο χρόνος εξυπηρέτησης του σταθμού του Τραμ ή του Μετρό μπορεί να είναι σταθερός ή τυχαίος με γνωστή την κατανομή του χρόνου υπηρεσίας. Σύμφωνα με τον Vohra (2007), σε ένα σύστημα υπηρεσιών υπάρχουν δύο πτυχές που οφείλουν να εξετάσουν οι υπεύθυνοι:

1. τη δομή του συστήματος υπηρεσιών και
2. την ταχύτητα εξυπηρέτησης.

Η δομική περιγραφή του συστήματος υπηρεσιών σημαίνει ότι υπάρχουν συγκεκριμένες εγκαταστάσεις εξυπηρέτησης. Υπάρχει μια ενιαία υπηρεσία εξυπηρέτησης, πολλαπλές και παράλληλες εγκαταστάσεις με ενιαία ουρά και σειρά. Σε ένα σύστημα αναμονής η ταχύτητα με την οποία παρέχεται η υπηρεσία μπορεί να εκφράζεται με δύο τρόπους - όπως ο ρυθμός εξυπηρέτησης και ο χρόνος που δαπανάται για τη συγκεκριμένη υπηρεσία. Το ποσοστό εξυπηρέτησης περιγράφει τον αριθμό των πελατών που εξυπηρετούνται σε συγκεκριμένο χρόνο. Η συγκεκριμένη υπηρεσία επισημαίνει το χρονικό διάστημα που απαιτείται για την εξυπηρέτηση των πελατών. Τα ποσοστά εξυπηρέτησης και ο χρόνος εξυπηρέτησης είναι αντιστρόφως ανάλογα, ενώ το καθένα από αυτά αρκεί για να υποδείξει την ικανότητα της εγκατάστασης. Κατά τον προσδιορισμό ενός συγκεκριμένου επιπέδου δυναμικότητας της λειτουργίας, ο υπεύθυνος πρέπει να προσδιορίσει το κόστος και είτε να αυξήσει το ποσοστό

εξυπηρέτησης είτε να μειώσει το χρόνο που δαπανάται για τη συγκεκριμένη υπηρεσία (Vohra, 2007).

Η δομή του κόστους καθορίζει την πληρωμή που πραγματοποιεί ο πελάτης και τα διάφορα λειτουργικά έξοδα του συστήματος. Ο στόχος της διαχείρισης της γραμμής αναμονής είναι ουσιαστικά η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους, που συνεπάγεται την ορθή λειτουργία του συστήματος. Ο υπεύθυνος, ενώ προσπαθεί να απομακρύνει το χρόνο αδράνειας, πρέπει να εξισορροπήσει το κόστος προσφοράς μιας αποδεκτής τιμής υπηρεσίας με το κόστος των πελατών για το χρόνο αναμονής τους. Σύμφωνα με τον Sharma (2009), όσο περισσότερο αυξάνεται η χωρητικότητα, τόσο λιγότεροι πελάτες αναμονής υπάρχουν, ο απαιτούμενος για εξυπηρέτηση χρόνος λιγοστεύει και φυσικά μειώνεται το κόστος (Sharma, 2009).

Είναι σημαντικό για την παραπάνω ανάλυση να εντοπιστούν τα επίπεδο ικανότητας της εξυπηρέτησης, στα οποία το κόστος θα ελαχιστοποιηθεί. Ως βέλτιστο επίπεδο χωρητικότητας (TC) αναγνωρίζεται από τον Sharma (2009) αυτό που ελαχιστοποιεί το άθροισμα των δύο εξόδων. Έτσι:

$$TC = \text{κόστος αναμονής του πελάτη} + \text{κόστος εξυπηρέτησης}.$$

Η ανάλυση του κόστους περιλαμβάνει τη χρήση των ρητών μα και των σιωπηρών επιλογών του κόστους (Aremu, 2005). Τα μοντέλα της ουράς αναμονής, που περιορίζουν την ανάλυση των γραμμών αναμονής για τη χρήση του ρητού κόστους, δεν είναι αρκετά εκτεταμένα και εμφανίζονται λιγότερο ικανοποιητικά. Τα βασικά στοιχεία που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι τα υποτιθέμενα στοιχεία κόστους, όπως οι απογοητεύσεις, η πλήξη, ο ερεθισμός, η απώλεια ανθρώπινων ωρών και ο σχετικός κίνδυνος που προκύπτει από την αναμονή σε σειρά (Olaitan, Bojerenu & Onyebuchi, 2015).

3.2. Θεωρία της προσομοίωσης

Με τον όρο *προσομοίωση* αναφερόμαστε σε μια κατά προσέγγιση απομίμηση της λειτουργίας μιας διαδικασίας ή ενός συστήματος. Η πράξη της προσομοίωσης απαιτεί πρώτα ένα μοντέλο που αναπτύσσεται. Αυτό το μοντέλο είναι μια καλά καθορισμένη περιγραφή του προσομοιωμένου θέματος και αντιπροσωπεύει τα βασικά χαρακτηριστικά του, όπως η συμπεριφορά, οι λειτουργίες του, οι αφηρημένες ή

φυσικές του ιδιότητες. Το μοντέλο αντιπροσωπεύει το ίδιο το σύστημα, ενώ η προσομοίωση αντιπροσωπεύει τη λειτουργία του με την πάροδο του χρόνου (Banks et al., 2001).

Η προσομοίωση χρησιμοποιείται σε πολλά περιβάλλοντα, όπως η προσομοίωση της τεχνολογίας για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης, η τεχνική ασφάλειας, η δοκιμή, η εκπαίδευση και τα βιντεοπαιχνίδια. Συχνά, τα πειράματα ηλεκτρονικών υπολογιστών λειτουργούν ως μέσο για τη μελέτη μοντέλων προσομοίωσης. Η προσομοίωση χρησιμοποιείται μαζί με την επιστημονική μοντελοποίηση των φυσικών συστημάτων ή των ανθρώπινων συστημάτων, προκειμένου να αποκτήσουν «διορατικότητα» στη λειτουργία τους (Sokolowski & Banks, 2009). Επιπλέον, η συγκεκριμένη μέθοδος μπορεί να αποτελέσει το όχημα δια του οποίου θα αναδυθούν τα πιθανά πραγματικά αποτελέσματα των εναλλακτικών συνθηκών και των τρόπων δράσης. Τέλος, η προσομοίωση χρησιμοποιείται στην περίπτωση που το πραγματικό σύστημα δεν μπορεί να εμπλακεί, επειδή μπορεί να μην είναι προσπελάσιμο ή μπορεί να είναι επικίνδυνο ή απαράδεκτο να εμπλακεί ή έχει σχεδιαστεί αλλά δεν έχει ακόμη κατασκευαστεί ή απλώς δεν υπάρχει στην ολοκληρωμένη του μορφή (Cayurci, 2013)

Καίρια ζητήματα στην προσομοίωση είναι η απόκτηση έγκυρων πηγών και πληροφοριών σχετικά με την επιλογή βασικών χαρακτηριστικών και συμπεριφορών, η χρήση απλοποιημένων προσεγγίσεων και παραδοχών στο πλαίσιο της προσομοίωσης και η πιστότητα και εγκυρότητα των αποτελεσμάτων της. Οι διαδικασίες και τα πρωτόκολλα για την επαλήθευση και την επικύρωση του μοντέλου είναι ένα συνεχές πεδίο ακαδημαϊκής μελέτης, βελτίωσης, έρευνας και ανάπτυξης σε τεχνολογίες ή πρακτικές προσομοίωσης, ιδίως στον τομέα των ηλεκτρονικών υπολογιστών (Zahraee et al., 2010). Η προσομοίωση της κυκλοφορίας ή των συστημάτων μεταφοράς είναι η μαθηματική μοντελοποίηση των παραπάνω συστημάτων (π.χ. διασταυρώσεις αυτοκινητοδρόμων, αρτηριακές διαδρομές, κυκλικές διασταυρώσεις, συστήματα κεντρικών δικτύων κ.λπ.). Μέσω της εφαρμογής λογισμικού ηλεκτρονικών υπολογιστών, επιτυγχάνεται μια καλύτερη σχεδίαση και εν τέλει μια καλύτερη απόδοση του κάθε μοντέλου (Sokolowski & Banks, 2009)

Η προσομοίωση των συστημάτων μεταφοράς, ξεκίνησε πριν από 40 χρόνια και είναι ένας σημαντικός τρόπος δράσης στον τομέα της κυκλοφοριακής μηχανικής και

του σχεδιασμού μεταφορών στη σημερινή κοινωνία. Διάφορα εθνικά και τοπικά πρακτορεία μεταφοράς, ακαδημαϊκά ιδρύματα και συμβουλευτικές εταιρείες χρησιμοποιούν την εξομοιωτική αυτή πρακτική, για να βοηθήσουν στη διαχείριση των δικτύων μεταφοράς (Khizir & Graham, 2016). Η προσομοίωση στη μεταφορά είναι σημαντική, καθώς μπορεί:

- να μελετήσει πολύπλοκα μοντέλα με αριθμητικούς υπολογισμούς,
- να χρησιμοποιηθεί για πειραματικές μελέτες,
- να μελετήσει λεπτομερείς σχέσεις που ενδεχομένως να αλλοιωθούν στην αριθμητική διαδικασία και
- να παράγει ελκυστικές οπτικές επιδείξεις σημερινών και μελλοντικών σεναρίων.

Για να αντιληφθούμε πλήρως την τεχνική αυτή, είναι σημαντικό να κατανοήσουμε την έννοια της *κατάστασης του συστήματος*, η οποία είναι ένα σύνολο μεταβλητών που περιέχει αρκετές πληροφορίες για να περιγράψει την εξέλιξη του συστήματος με την πάροδο του χρόνου. Η κατάσταση του συστήματος μπορεί να είναι είτε διακριτή είτε συνεχής. Τα μοντέλα προσομοίωσης της κυκλοφορίας, ταξινομούνται σύμφωνα με τον διακριτό και συνεχή χρόνο, την κατάσταση και το χώρο (Laval, 2016).

Τα συγκεκριμένα μοντέλα είναι χρήσιμα για μικροσκοπικές και μακροσκοπικές προοπτικές. Η προσομοίωση μπορεί να εφαρμοστεί τόσο στον προγραμματισμό των μεταφορών, όσο και στο σχεδιασμό και τις λειτουργίες μεταφοράς. Στον προγραμματισμό των μεταφορών, τα μοντέλα προσομοίωσης αξιολογούν τις επιπτώσεις των περιφερειακών προτύπων αστικής ανάπτυξης στην απόδοση της υποδομής των μεταφορών (πίν. 1). Οι οργανισμοί περιφερειακού προγραμματισμού χρησιμοποιούν αυτά τα μοντέλα για να αξιολογήσουν τα σενάρια που ενδεχομένως υπάρχουν στην περιοχή, προκειμένου να βοηθήσουν στην ανάπτυξη διαφόρων πολιτικών που οδηγούν σε πιο βιώσιμα ταξίδια (Leemis & Park, 2006)

Πίνακας 1. Τύποι προσομοίωσης στη μεταφορά.

Types Of Simulation In Transportation				
Time	State	Space		
		Continuous	Discrete	N/A
Continuous	Disc.	Real Transportation Systems * Traffic flow, pedestrians Dynamic traffic assignment		Discrete Event Systems * queueing inventory manufacturing
	Cont.	PDE Traffic flow models Pedestrian models		ODE vehicle motion car suspension queueing (fluid approx)
Discrete	Disc.		Cellular Automata * Traffic, pedestrians Land use Urban sprawl Random Number Generation	Discrete Event Simulation * queueing inventory manufacturing
	Cont.	Car-following models * Microscopic traffic flow models *	Numerical PDE methods Godunov, Variational	Numerical ODE methods Euler, Runga-Kutta time-series * ARIMA
N/A	Disc. or Cont.	Monte Carlo method * : use of pseudo-random number Simulation of static probabilistic problems Integration, Optimization		Econometric models trip generation, distribution, modal split Optimization static traffic assignment

Πηγή: Jorge Laval - http://en.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Contact_us/Photo_submission

Η μοντελοποίηση των λειτουργιών του συστήματος μεταφοράς και του σχεδιασμού επικεντρώνεται σε μικρότερη κλίμακα, όπως ένας διάδρομος των αυτοκινητοδρόμων. Οι τύποι λωρίδων, το χρονοδιάγραμμα των σημάτων και άλλες ερωτήσεις σχετικά με την κίνηση διερευνώνται για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας του τοπικού συστήματος. Ενώ ορισμένα μοντέλα προσομοίωσης είναι εξειδικευμένα για να μοντελοποιούν είτε λειτουργίες είτε σχεδιασμό συστήματος, ορισμένα άλλα μοντέλα έχουν την ικανότητα να μοντελοποιούν και τα δύο σε κάποιο βαθμό. Είτε πρόκειται για σχεδιασμό είτε για λειτουργίες συστημάτων, οι προσομοιώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μια ποικιλία τρόπων μεταφοράς (Chapra & Canale, 2006).

Ο Κουικόγλου (2002) αναφέρει για την προσομοίωση ότι υπάρχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Για τα πλεονεκτήματα τονίζει τα εξής:

- είναι μια περιγραφική διαδικασία που δεν χρησιμοποιεί ιδιαίτερους κανόνες και πρακτικές,
- αυτός που λαμβάνει τις αποφάσεις συμμετέχει διαρκώς και άμεσα,
- για τη χρησιμοποίηση συγκεκριμένου μοντέλου δεν χρειάζονται ιδιαίτερες γνώσεις και αντιλήψεις,

- η προσομοίωση επιτρέπει τη μελέτη πολύπλοκων καταστάσεων που σε διαφορετική περίπτωση θα ήταν ακατόρθωτο να μελετηθούν με άλλες τεχνικές,
- τα αποτελέσματά της είναι άμεσα και ορατά και
- όταν θα δημιουργηθεί το μοντέλο της προσομοίωσης, ο λήπτης αποφάσεων μπορεί εύκολα να εξετάσει όλες τις εναλλακτικές λύσεις που γνωρίζει, να δει άλλες πρακτικές και βελτιώσεις και τέλος να κάνει κάποια ανάλυση ευαισθησίας.

Για τα μειονεκτήματα μπορούμε να σημειώσουμε τα παρακάτω:

- για την κατασκευή του μοντέλου προσομοίωσης απαιτούνται συχνά πολυδάπανες και χρονοβόρες διαδικασίες,
- οι λύσεις και οι απαντήσεις σε μια κατηγορία ερωτημάτων δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πανάκεια για όλες τις υπόλοιπες καταστάσεις. Αυτό συμβαίνει, διότι για τη δημιουργία ενός συγκεκριμένου μοντέλου χρησιμοποιούνται συγκεκριμένες μεταβλητές και χαρακτηριστικά που ανήκουν σε ένα ιδιαίτερο και μοναδικό πρόβλημα και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε άλλα παρόμοια προβλήματα,
- η προσομοίωση ως λύση σε προβλήματα δεν μπορεί από μόνη της να εγγυηθεί τη βέλτιστη λύση. Αυτό οφείλεται στο ότι η προσομοίωση είναι μια μέθοδος δοκιμής και λάθους που μπορεί να συγκρίνει διαφορετικές πολιτικές, οι οποίες αν δεν μελετηθούν τα κατάλληλα σενάρια δεν θα βρεθούν ικανοποιητικές λύσεις και
- τέλος η μέθοδος της προσομοίωσης χρησιμοποιείται πολύ εύκολα από τον υπεύθυνο λήψης μιας απόφασης, με αποτέλεσμα οι καλύτερες λύσεις που προτείνονται από άλλες μεθόδους τις περισσότερες φορές να παραλείπονται.

Κεφάλαιο 4. Μελέτη Περίπτωσης: Το Μετρό της Αθήνας

4.1. Ιστορική αναδρομή

4.1.1. Η περίοδος από το 1950-2000

Η πρώτη απόπειρα δημιουργίας ενός δικτύου του Μετρό ξεκίνησε από τον Μπίρη Κώστα στη δεκαετία του 1950, ενώ μέσα στην επόμενη δεκαετία ολοκληρώθηκε η πρόταση κατασκευής. Ο πρωθυπουργός Παπανδρέου Γεώργιος το 1963 παρήγγειλε στο μελετητή Σμιθ μια ολοκληρωμένη μελέτη για το σχεδιασμό της πρωτεύουσας, ενώ στην περίοδο της Επταετίας, περίπου το 1970, παραγγέλθηκε και μια δεύτερη πρόταση-μελέτη σχεδιασμού η οποία ολοκληρώθηκε το 1974. Το 1981 η τότε κυβέρνηση αποφάσισε να παγώσει το συγκεκριμένο έργο, αλλά το 1985 ξανα-εντάχθηκε στις προτεραιότητες της. Το 1991 η κυβέρνηση το επανέφερε στο προσκήνιο, αναθέτοντάς το σε ανάδοχο κατασκευής νέων τμημάτων του Μετρό. Δημιουργήθηκαν δυο γραμμές με 21 σταθμούς (Αττικό Μετρό, 2013):

1. η γραμμή 2 που περιλάμβανε τη διαδρομή Σεπόλια-Δάφνη και
2. η γραμμή 3 που περιλάμβανε τη διαδρομή Σύνταγμα-Εθνική Άμυνα.

Με την αλλαγή της διεύθυνσης του έργου στην εταιρεία «Αττικό Μετρό Α.Ε.» και την ανάδοχη υποστήριξη από την εταιρεία «Ολυμπιακό Μετρό» άρχισαν οι τμηματικές παραδόσεις σταθμών. Συγκεκριμένα, παραδόθηκαν τμήματα μέχρι και το Νοέμβριο του 1999, ενώ τα εγκαίνια μεταφέρθηκαν για τον επόμενο χρόνο.

4.1.2. Η περίοδος από το 2000-2018

Στην αρχή της χιλιετίας πραγματοποιήθηκαν τα εγκαίνια του Μετρό με την ταυτόχρονη δημιουργία δύο νέων γραμμών· Σεπόλια-Σύνταγμα και Σύνταγμα-Εθνική Άμυνα. Από το 2007 και έπειτα ολοκληρώθηκε η γραμμή 3 μέχρι το Αιγάλεω, ενώ το 2009 παρουσιάστηκε πλάνο για μελλοντικές επεκτάσεις του έργου, όπως την επέκταση της γραμμής 3 και το 2011τη συγχώνευση των αστικών συγκοινωνιών της Αθήνας με το Μετρό. Το 2013 ολοκληρώθηκε η επέκταση της γραμμής 2 και το 2014 παρουσιάστηκε η χάραξη της γραμμής 4, η οποία δημοπρατήθηκε το 2017.

4.1.3. Η περίοδος από το 2018 έως και σήμερα

Το τελευταίο διάστημα έχουν πραγματοποιηθεί και προγραμματιστεί τα εξής:

1. επέκταση της γραμμής 3 που περιλαμβάνει επέκτασή της προς Νίκαια και Δημοτικό θέατρο Πειραιά,
2. δημιουργία της γραμμής 4, που περιλαμβάνει το δρομολόγιο από το Άλσος Βεΐκου μέχρι το Γουδί,
3. επέκταση της γραμμής 2 από τμήμα της Ανθούπολης προς το Ίλιον και
4. υπάρχει ο σχεδιασμός της γραμμής 5, η οποία θα περιλαμβάνει δρομολόγιο από την Ακαδημία μέχρι τον Ευαγγελισμό, με κοινό τμήμα εξυπηρέτησης της γραμμής 4 που θα επεκταθεί μέχρι το Παγκράτι και το Βύρωνα.

4.2. Προβλήματα και σπουδαιότητα του Μετρό της Αθήνας

Παρ' όλα τα προβλήματα που κατά καιρούς είχαν δημιουργηθεί, όπως η χρόνια καθυστέρηση λόγω δικαστικών επιλοκών για την επέκταση της γραμμής 2⁴ του Μετρό ή η καθυστέρηση της δημοπράτησης της γραμμής 4 για περίπου 1 χρόνο, τα οφέλη από τη λειτουργία και χρήση του Μετρό είναι τεράστια. Το Μετρό της Αθήνας είναι ένα συνονθύλευμα αστικών σιδηροδρόμων της Αττικής και αφορά σε υπόγειους, επίγειους και υπέργειους σταθμούς επιβίβασης. Είναι το μοναδικό δίκτυο Μετρό στην Ελλάδα και εξυπηρετεί περίπου 4.000.000 ανθρώπους. Συνδέεται με το Τραμ και τον προαστιακό σιδηρόδρομο, εξυπηρετώντας με τον τρόπο αυτό ένα μεγάλο μέρος του λεκανοπεδίου της Αττικής. Επιπλέον, έχει πρόσβαση από τη μία πλευρά του στο Διεθνές Αεροδρόμιο Αθηνών «Ελευθέριος Βενιζέλος» και από την άλλη στο λιμάνι του Πειραιά.

Συνολικά αποτελείται από 3 γραμμές με 61 σταθμούς, ενώ το συγκεκριμένο Μετρό είναι το δεύτερο καλύτερο στις χώρες των Βαλκανίων μετά από το Μετρό της Κωνσταντινούπολης. Καταλαβαίνει κανείς από τα παραπάνω ότι το υπό μελέτη μέσο έχει συμβάλει τα μέγιστα στην αποσυμφόρηση του κέντρου των Αθηνών, αλλά και των γύρω περιοχών. Επιπρόσθετα, με ένα μικρό τίμημα εισιτηρίου οι πολίτες κυκλοφορούν με σιγουριά και ασφάλεια σε ολόκληρη σχεδόν την περιοχή της

⁴ Η δικαστική διαμάχη αφορούσε σε μία εταιρεία εκ των υπεργολάβων που είχε αναλάβει το έργο και συγκεκριμένα στη Siemens. Τελικά το έργο παραδόθηκε στο τέλος του 2013.

⁵ <http://www.ypodomes.com/index.php/alles-ypodomes/ endiaferouses-eidiseis/item/42912-to-metro-athinas-stin-17i-thesi-se-oli-tin-evropi>.

πρωτεύουσας, ενώ στα μελλοντικά σχέδια του έργου είναι η εξυπηρέτηση ακόμα περισσότερων περιοχών του λεκανοπεδίου της Αττικής.

Τα οφέλη της χρήσης του Μετρό έχουν και οικολογικό χαρακτήρα, αφού οι πολίτες δεν χρησιμοποιούν σε μεγάλο βαθμό για τις μετακινήσεις τους τα δικά τους οχήματα, που σημαίνει ότι οι εκπομπές καυσαερίων έχουν μειωθεί σε μεγάλο βαθμό σε σχέση με τις χρονιές πριν από τη χρησιμοποίησή του. Το γεγονός δε, ότι έχουν ενσωματωθεί όλες οι υπόλοιπες συγκοινωνίες των Αθηνών στο Μετρό, προσφέρει ολοκληρωμένη και σίγουρη εξυπηρέτηση σε όλους τους κατοίκους. Τέλος σε πολλούς σταθμούς του Μετρό παρουσιάζονται εκθέσεις και μουσικά έργα, τα οποία μπορεί να τα παρακολουθήσει ο καθένας. Ως εκ τούτου, οι υπεύθυνοι του έργου συνεισφέρουν στο γενικό καλό των ανθρώπων, καθώς με τον τρόπο αυτό βοηθάνε τους πολίτες να αποκτήσουν καλλιτεχνική συνείδηση.

4.3. Στοιχεία της παρούσας εργασίας

4.3.1. Περιγραφή

Μία γραμμή του Μετρό περιλαμβάνει συρμούς δεδομένης χωρητικότητας σε επιβάτες, οι οποίοι ξεκινούν σε τακτά προγραμματισμένα διαστήματα από την αφετηρία και διατρέχουν ένα πλήθος σταθμών. Ο αριθμός των σταθμών είναι δεδομένος π.χ. 20 σταθμοί στη γραμμή 2. Οι χρόνοι άφιξης στους σταθμούς είναι δεδομένοι (σταθερός ο χρόνος διάνυσης της απόστασης από το σταθμό i στο σταθμό $i+1$. Μπορεί να είναι διαφορετικοί π.χ. Σύνταγμα - Πανεπιστήμιο 2', Ομόνοια - Βικτώρια 4').

Σε κάθε σταθμό, εκτός του τελευταίου, μπαίνει ένας αριθμός επιβατών. Ο αριθμός αυτός συμβολίζεται ως $X(t)$, είναι τυχαία μεταβλητή και επηρεάζεται τόσο από το χρόνο που μεσολαβεί μεταξύ της αναχώρησης 2 διαδοχικών συρμών (π.χ. ανά 10') όσο και από την ώρα της ημέρας· δηλαδή άλλη κατανομή έχει στις 8 π.μ. και άλλη στις 8 μ.μ. Η κατανομή της εισόδου επιβατών θα καθοριστεί έπειτα από μελέτη. Θα πρέπει να είναι διακριτή π.χ. Poisson με μέσο ρυθμό $\lambda(t)$ που θα τον αλλάζουμε όσο προχωράει το t . Σε κάθε σταθμό, εκτός του πρώτου, βγαίνει ένας αριθμός επιβατών που είναι τυχαία μεταβλητή $Y(t)$, η οποία επηρεάζεται από το σταθμό και από την ώρα της ημέρας.

Σκοπός είναι να προσδιορίσουμε πόσο καλά δουλεύει ένα συγκεκριμένο πρόγραμμα αναχωρήσεων. Τα μέτρα απόδοσης είναι:

1. πληρότητα του συρμού,
2. μέσος χρόνος αναμονής επιβατών ανά σταθμό,
3. μέσο μήκος ουράς ανά σταθμό και
4. σύνολο διακινούμενων επιβατών ανά συρμό, όπου θα αθροίζονται μόνο οι εισερχόμενοι και θα βγαίνει ο μέσος όρος των διακινούμενων επιβατών.

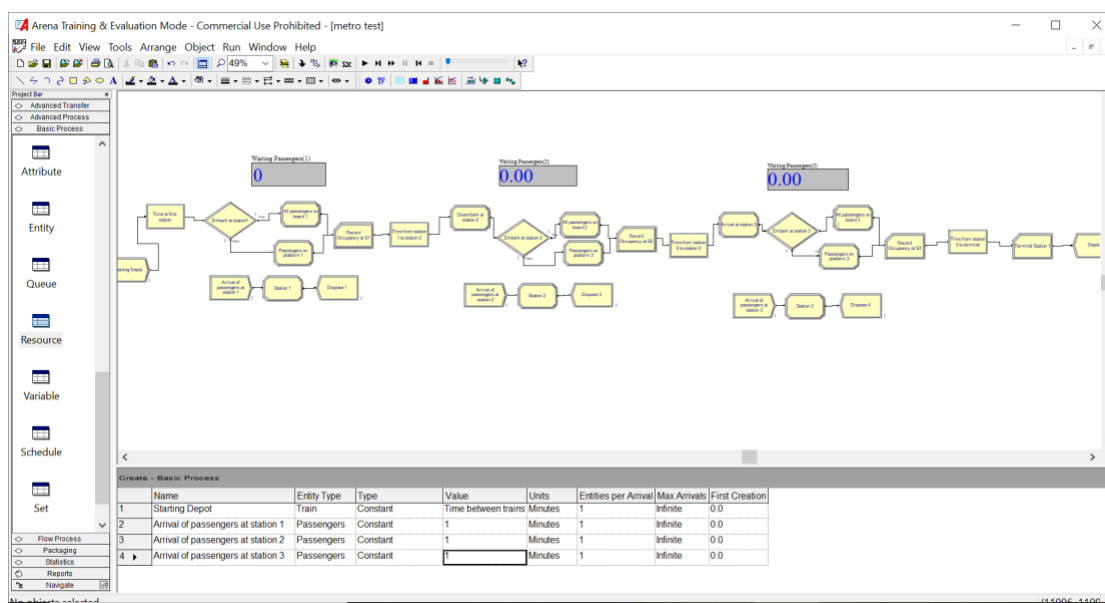
Παραδοχές:

1. Οι χρόνοι αναχώρησης και άφιξης των συρμών ανά σταθμό είναι ντετερμινιστικοί.
2. Τυχαιότητα υπάρχει στις αφίξεις των επιβατών στην αποβάθρα κάθε σταθμού (εισερχόμενοι επιβάτες) μέχρι να έρθει ο επόμενος συρμός και στον αριθμό των εξερχομένων επιβατών ανά σταθμό. Οι κατανομές αυτές θα είναι διακριτές, διαφορετικές ανά σταθμό, ανά ώρα και ίσως ανά μήνα.

Κεφάλαιο 5. Ανάλυση Προσομοιωτικού Μοντέλου

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλυθεί ένα μοντέλο λογισμικού Arena για τρεις σταθμούς του Μετρό. Η έκδοση που θα χρησιμοποιηθεί είναι η ‘Student Edition’, η οποία είναι δωρεάν έκδοση για φοιτητές που έρχονται πρώτη φορά σε επαφή με το λογισμικό και αποτελεί εφαρμογή για μη εμπορική χρήση. Το Arena είναι ένα λογισμικό προσομοίωσης διακριτών γεγονότων που αναπτύχθηκε από το Systems Modeling και αποκτήθηκε από τη Rockwell Automation το 2000. Στο Arena ο χρήστης δημιουργεί ένα μοντέλο προσομοίωσης τοποθετώντας modules (πλαίσια διαφορετικών σχημάτων) που αντιπροσωπεύουν διαφορετικές διαδικασίες ή λογική. Τα modules συνδέονται μεταξύ τους με γραμμές και αποδίδουν την αναπαράσταση του συστήματος για μοντελοποίηση και προσομοίωση.

Στην εικόνα που ακολουθεί (εικ. 1) παρουσιάζεται ο τρόπος που έχει σχεδιαστεί το προσομοιωτικό μοντέλο τριών σταθμών του Μετρό της Αθήνας και στη συνέχεια ακολουθεί η ανάλυση του.



Εικόνα 1. Προσομοίωση τριών σταθμών του Μετρό της Αθήνας.

Το αρχικό *module* είναι ένα *module create* (Δημιουργία) με το όνομα *Starting Depot* (εικ. 2). Σε αυτό το *module* γεννιούνται οι οντότητες συρμού.



Εικόνα 2. Το αρχικό *module create*.

Οι πληροφορίες και οι τιμές που υπάρχουν σε αυτό είναι (εικ. 3):

- *Name* (Ονομασία): *Starting Depot*.
- *Entity type* (Τύπος οντότητας συρμός): *Train*.
- *Time Between Arrivals* (Ενδιάμεσος χρόνος μεταξύ δύο διαδοχικών δρομολογίων): *Constant*.
- Η τιμή βρίσκεται στη μεταβλητή *Time between Trains* και είναι ίση με 10 (μονάδα χρόνου τα λεπτά). Αυτή η τιμή μπορεί να αλλάξει π.χ. *Time between Trains = 5* (λεπτά).

Εικόνα 3. Οι πληροφορίες του αρχικό module.

Στο Μενού των εργαλειοθηκών *Basic Process* επιλέγουμε το εικονίδιο *Variable* (εικ. 4). Κάνουμε διπλό κλικ και εμφανίζονται όλες οι μεταβλητές (εικ. 5).



Variable

Εικόνα 4. Εικονίδιο Variable.

Variable - Basic Process									
	Name	Comment	Rows	Columns	Data Type	Clear Option	File Name	Initial Values	Report Statistics
1	Waiting Passengers		3		Real	System		0 rows	<input type="checkbox"/>
2	Capacity				Real	System		1 rows	<input type="checkbox"/>
3	Time between trains				Real	System		1 rows	<input type="checkbox"/>
4	Time to station		4		Real	System		4 rows	<input type="checkbox"/>
5	Passenger Arrivals		3		Real	System		3 rows	<input type="checkbox"/>

Εικόνα 5. Όλες οι μεταβλητές μας.

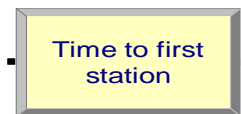
Στη συνέχεια πατάμε στο κελί 1 rows κι εμφανίζεται η τιμή 10 (εικ. 6). Εδώ μπορούμε να κάνουμε την αλλαγή κι αντί για 10, να θέσουμε νέα τιμή π.χ. το 5 λεπτά μεταξύ των αναχωρήσεων των συρμών.

	10

Εικόνα 6. Η τιμή της χρονο-απόστασης.

Οι συρμοί που φθάνουν κάθε φορά είναι ένας και ο αριθμός τους απεριόριστος. Εδώ μπορεί να μπει περιορισμός· ο μέγιστος αριθμός συρμών-δρομολογίων να είναι συγκεκριμένος π.χ. 100 συρμοί-δρομολόγια ανά ημέρα ξεκινούν από το *Starting Depot* (Ανθούπολη). Ο 1ος συρμός ξεκινά τη χρονική στιγμή 0.0 (5.30 το πρωί).

Το 2ο *module* είναι ένα *Delay module* με όνομα *Time to first Station* (εικ. 7).



Εικόνα 7. Delay module.

Αν το *Depot* ταυτίζεται με το *Station 1*, τότε αυτός ο χρόνος τίθεται ίσος με μηδέν. Στην περίπτωση που είναι διαφορετικά σημεία, τότε ο χρόνος αυτός είναι διαφορετικός από μηδέν. Η τιμή βρίσκεται στη μεταβλητή *Time to first station* και είναι στο *module variables* στη μεταβλητή *Time to station* που περιλαμβάνει 4 τιμές (εικ. 8-9):

1. το χρόνο από το *Depot* στο *station 1* (με τιμή ίση με 0 λεπτά),
2. το χρόνο από το *station 1* στο *station 2* (με τιμή ίση με 1 λεπτό),
3. το χρόνο από το *station 2* στο *station 3* (με τιμή ίση με 2,1 λεπτά),
4. το χρόνο από το *station 3* στο *Depot* (με τιμή ίση με 1,3 λεπτά).

Επεμβαίνοντας σε αυτές τις τιμές, αλλάζουμε τους χρόνους κατά το δοκούν.

Variable - Basic Process									
	Name	Comment	Rows	Columns	Data Type	Clear Option	File Name	Initial Values	Report Statistics
1	Waiting Passengers		3		Real	System		0 rows	<input type="checkbox"/>
2	Capacity				Real	System		1 rows	<input type="checkbox"/>
3	Time between trains				Real	System		1 rows	<input type="checkbox"/>
4	Time to station		4		Real	System		4 rows	<input type="checkbox"/>
5	Passenger Arrivals		3		Real	System		3 rows	<input type="checkbox"/>

Εικόνα 8. Module Variable “Time to station”.

Initial Values	
1	0
2	1
3	2.1
4	1.3

Εικόνα 9. Οι τιμές του “Time to station”.

Κατά την άφιξη στο σταθμό 1, μία κρίσιμη παράμετρος είναι ο αριθμός των επιβατών που θα επιβιβαστούν στο συρμό. Αυτό επηρεάζεται από δύο μεταβλητές· τον αριθμό των επιβατών που περιμένουν στην αποβάθρα του σταθμού 1 (ομοίως στους σταθμούς 2 και 3) με όνομα *Waiting Passengers* και αρχική τιμή 0.0 και από τη δυναμικότητα του συρμού (*Capacity*) που στη συγκεκριμένη έρευνα έχει τεθεί ίση με 300 επιβάτες (εικ. 10).

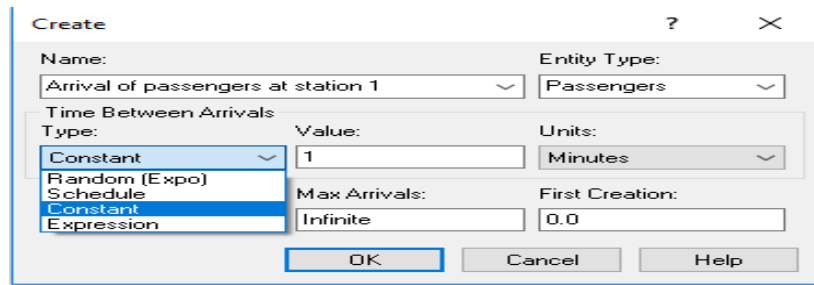
Variable - Basic Process										
	Name	Comment	Rows	Columns	Data Type	Clear Option	File Name	Initial Values	Report Statistics	
1	Waiting Passengers		3		Real	System		0 rows	<input type="checkbox"/>	Initial Values 1 0.0 2 0.0 3 0.0
2	Capacity				Real	System		1 rows	<input type="checkbox"/>	
3	Time between trains				Real	System		1 rows	<input type="checkbox"/>	
4	Time to station		4		Real	System		4 rows	<input type="checkbox"/>	
5	Passenger Arrivals		3		Real	System		3 rows	<input type="checkbox"/>	

Εικόνα 10. Αριθμός επιβατών που θα επιβιβαστούν στο συρμό.

Ο αριθμός των επιβατών που περιμένουν στην αποβάθρα του σταθμού 1 δημιουργείται στο *module: Create* → *Arrival of passengers at station 1* (εικ. 11). Σε αυτό το *module* γεννιούνται οι οντότητες επιβάτες *passengers*.

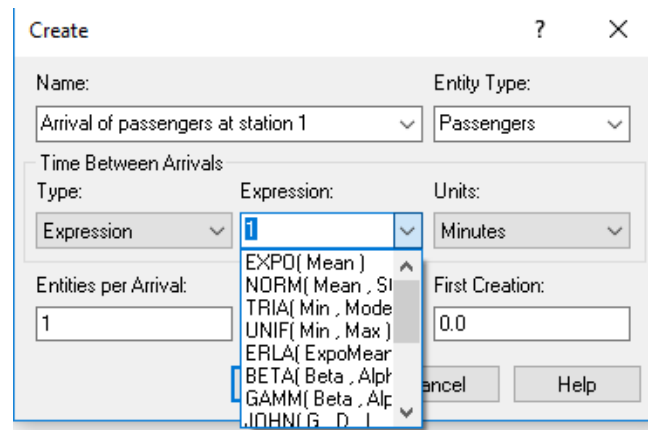
Εικόνα 11. Αριθμός επιβατών που περιμένουν στην αποβάθρα.

Κάθε επιβάτης μπαίνει στο σταθμό αποβάθρα 1 με ενδιάμεσους χρόνους αφίξεων σταθερούς και ίσους με 1 λεπτό. Εδώ αυτή η τιμή θα αλλάξει. Θα γίνει τυχαία μεταβλητή επιλέγοντας από το μενού την επιλογή *Expression* (εικ. 12).



Εικόνα 12. Επιλέγοντας τύπο κατανομής.

Στη συνέχεια μετά την επιλογή *Expression* επιλέγουμε την κατάλληλη κατανομή από τις διαθέσιμες: εκθετική, κανονική, τριγωνική κ.λπ. (εικ. 13).



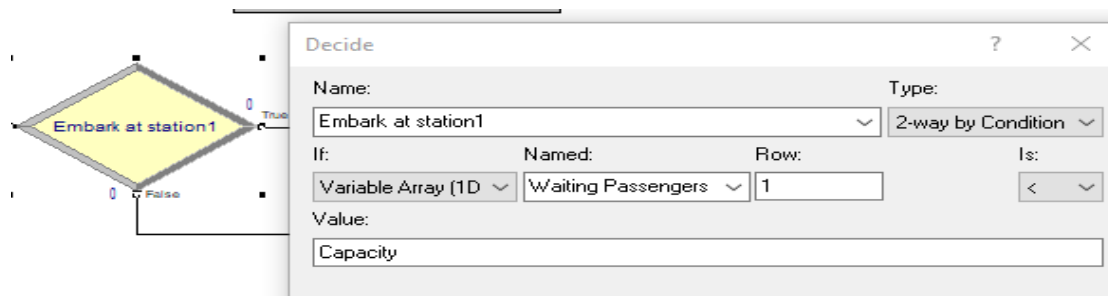
Εικόνα 13. Επιλογή της κατάλληλης κατανομής.

Μετά το *module Arrival of passengers at station1* ακολουθεί το *module Assign* με ονομασία *Station 1* (εικ. 14). Σε αυτό προσδιορίζεται ο αριθμός των επιβατών που περιμένουν στο σταθμό 1 [Waiting passenger, 1 (στη σειρά 1 από τις 3)]. Η τιμή που λαμβάνει είναι ίση με τον αριθμό των υπαρχόντων επιβατών *Waiting passenger (1)* + τον αριθμό των επιβατών που ήρθαν, σύμφωνα με την κατανομή Poisson για το χρονικό διάστημα *Passengers Arrivals (1)*. Στο *module Variables* υπάρχει η μεταβλητή *Passengers Arrivals* με 3 τιμές (τους μέσους ρυθμούς προσέλευσης επιβατών στους σταθμούς 1,2 και 3 αντίστοιχα).

Variable - Basic Process											
	Name	Comment	Rows	Columns	Data Type	Clear Option	File Name	Initial Values	Report Statistics	Initial Values	
1	Waiting Passengers		3		Real	System		0 rows	<input type="checkbox"/>		
2	Capacity				Real	System		1 rows	<input type="checkbox"/>		
3	Time between trains				Real	System		1 rows	<input type="checkbox"/>	1	3
4	Time to station		4		Real	System		4 rows	<input type="checkbox"/>	2	4
5	Passenger Arrivals		3		Real	System		3 rows	<input type="checkbox"/>	3	1

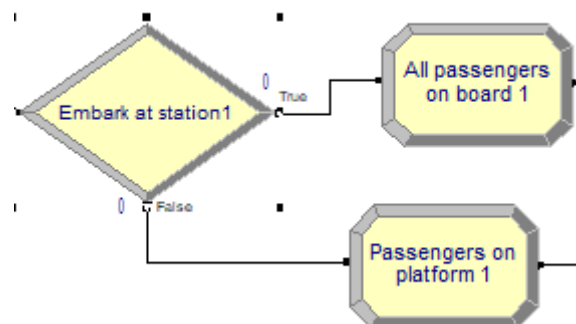
Εικόνα 14. Στο module Variables.

Κατά την άφιξη στο σταθμό 1 μία κρίσιμη παράμετρος είναι ο αριθμός των επιβατών που θα επιβιβαστούν στο συρμό (εικ. 15). Αυτός επηρεάζεται από δύο μεταβλητές: τον αριθμό των επιβατών που περιμένουν στην αποβάθρα του σταθμού 1 (ομοίως στους σταθμούς 2 και 3) με όνομα *Waiting Passengers* και αρχική τιμή 0.0 και από τη δυναμικότητα του συρμού (*Capacity*) που στη συγκεκριμένη έρευνα είναι ίση με 300 επιβάτες. Άρα θα πρέπει να γίνει ένας έλεγχος μεταξύ των τιμών δύο μεταβλητών: αριθμός των αναμενόντων επιβατών και της δυναμικότητας του συρμού.



Εικόνα 15. Προσδιορισμός αριθμού επιβατών που θα επιβιβαστούν στο συρμό.

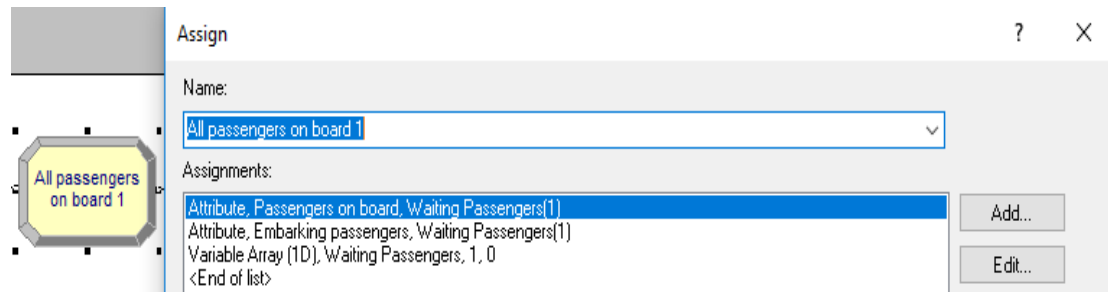
Στο *Decide module*, σημείο απόφασης, τίθεται το ερώτημα: «ο αριθμός των αναμενόντων επιβατών στο σταθμό 1 είναι μικρότερος της δυναμικότητας του συρμού; Αν ναι, όλοι οι αναμένοντες επιβάτες στο σταθμό 1 θα επιβιβαστούν;». Αν όχι – δηλαδή οι αναμένοντες επιβάτες στο σταθμό 1 είναι περισσότεροι της δυναμικότητας του συρμού- τότε ένα μέρος θα επιβιβαστεί στο συρμό (ίσο με το *Capacity* του συρμού) κι ένα άλλο μέρος θα παραμείνει στην αποβάθρα. Ο αριθμός των επιβατών που θα επιβιβαστούν στο συρμό θα είναι ίσος με τη διαφορά των μεταβλητών *Waiting Passengers (1)-Capacity* (εικ. 16).



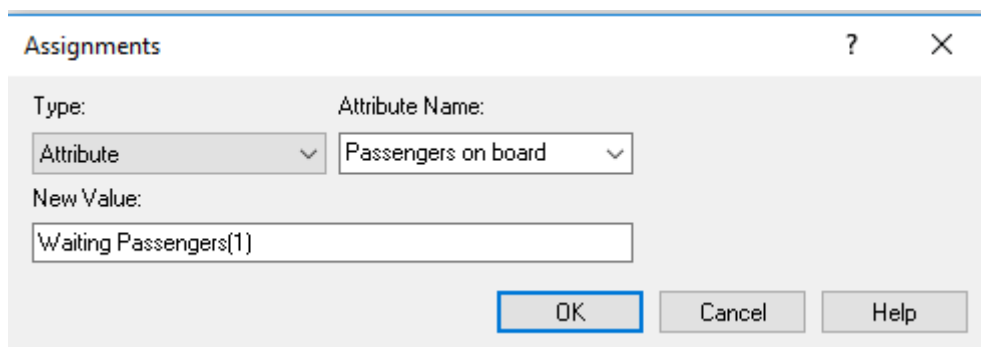
Εικόνα 16. Decide module (Σημείο απόφασης).

Αν ο αριθμός των αναμενόντων επιβατών στο σταθμό 1 είναι μικρότερος της δυναμικότητας του συρμού, τότε όλοι οι αναμένοντες επιβάτες στο σταθμό 1 θα επιβιβαστούν. Αυτό μεταφράζεται ως εξής: *module Assign* με όνομα *All Passengers*

on Board 1. Η τιμή της μεταβλητής *Passengers on Board* (Αριθμός Επιβαινόντων στο συρμό) τίθεται ίση με τον αριθμό των επιβατών που περίμεναν στην αποβάθρα 1 (*Waiting Passengers(1)*) (εικ. 17-18).

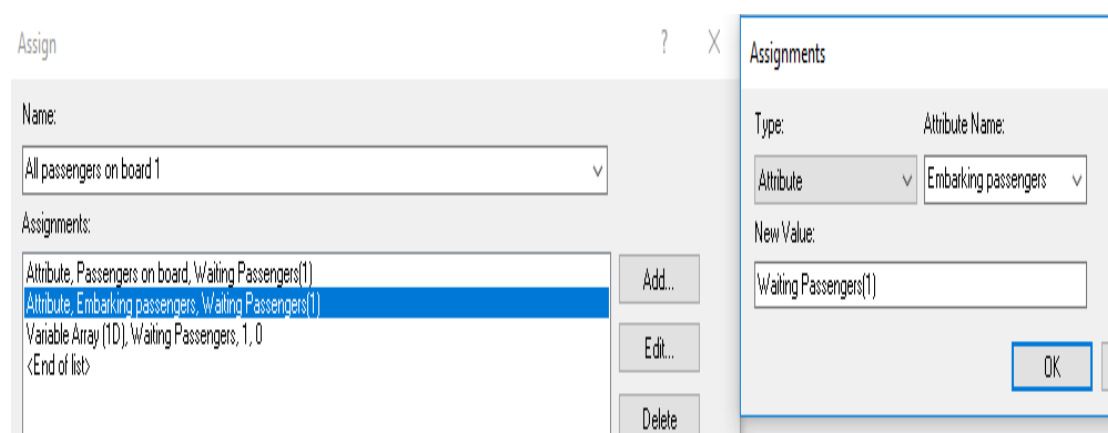


Εικόνα 17. Αριθμός των αναμενόντων επιβατών στο σταθμό 1 είναι μικρότερος της δυναμικότητας του συρμού.



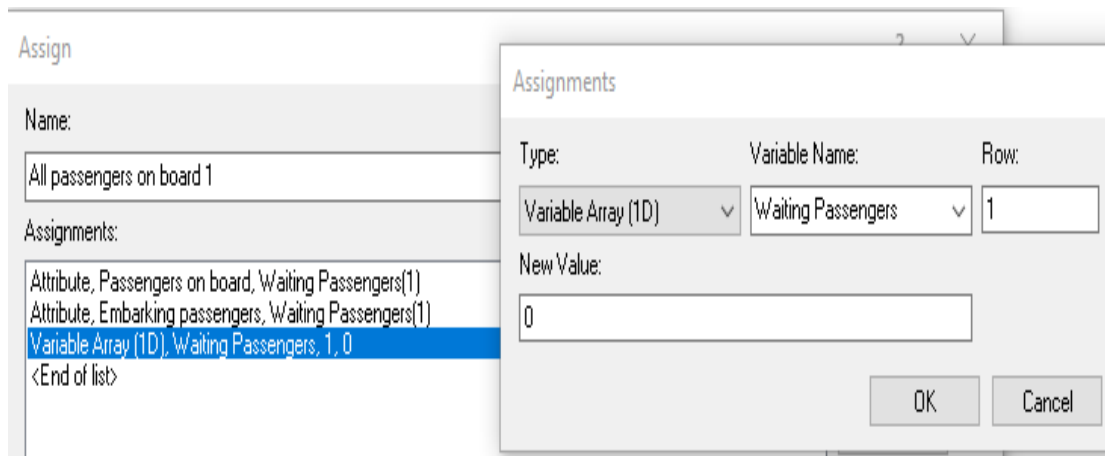
Εικόνα 18. Οι επιβάτες που περιμένουν.

Ο αριθμός των επιβατών που επιβιβάστηκαν στο σταθμό 1 *Embarking Passengers* παίρνει τη νέα τιμή ίση με τον αριθμό των επιβατών που περίμεναν στην αποβάθρα 1 (*Waiting Passengers(1)*) (εικ. 19).



Εικόνα 19. Αριθμός αναμενόντων επιβατών ίσος με τους επιβάτες που επιβιβάστηκαν στο συρμό.

Ο αριθμός των επιβατών που περιμένουν στην αποβάθρα 1, *Waiting Passengers(1)*, γίνεται ίσος με μηδέν (εικ. 20).



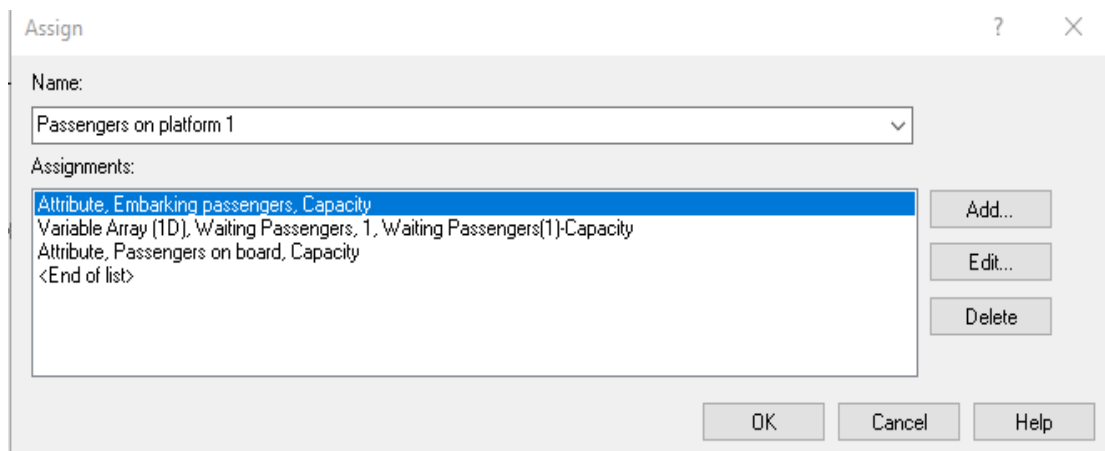
Εικόνα 20. Νέα τιμή *Waiting Passengers* ίση με το μηδέν.

Αν ο αριθμός των αναμενόντων επιβατών στο σταθμό 1 είναι μεγαλύτερος της δυναμικότητας του συρμού, τότε όλοι οι αναμένοντες επιβάτες στο σταθμό 1 ΔΕΝ θα επιβιβαστούν. Θα μείνουν επιβάτες στην αποβάθρα 1 (εικ. 21).



Εικόνα 21. Modules assign.

Κάνοντας διπλό κλικ εμφανίζεται το πλαίσιο της εικόνας 22.



Εικόνα 22. Passengers on platform 1.

Γίνονται οι εξής αντιστοιχίσεις (εικ. 23): Στο χαρακτηριστικό (*Attribute*) Αριθμός επιβατών που επιβιβάστηκαν (*Embarking passengers*) τίθεται τιμή ίση με τη δυναμικότητα του συρμού (όσοι χωρούν).

Εικόνα 23. Αριθμός επιβατών που επιβιβάστηκαν στο συρμό ίσος με το Capacity.

Ο αριθμός των επιβατών που παραμένουν στην αποβάθρα -γιατί δεν χωρούν- λαμβάνει τη νέα τιμή $Waiting\ Passengers(1) - Capacity$ (εικ. 24).

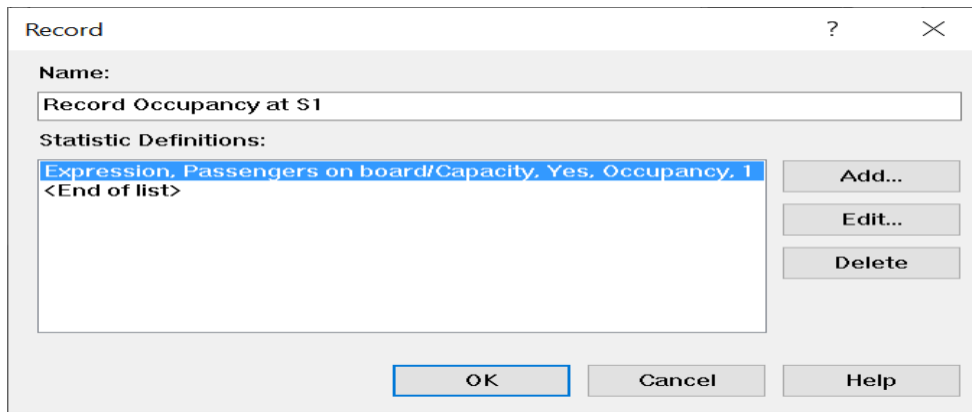
Εικόνα 24. Αριθμός επιβατών που επιβιβάστηκαν στο συρμό= με *Waiting passenger*

Το επόμενο *module* ονομάζεται *Record Occupancy at S1* (εικ. 25).



Εικόνα 25. Module record.

Αυτή η ενότητα χρησιμοποιείται για τη συλλογή στατιστικών στοιχείων στο μοντέλο προσομοίωσης και συγκεκριμένα για το βαθμό πληρότητας των σταθμών (εικ. 26-27).

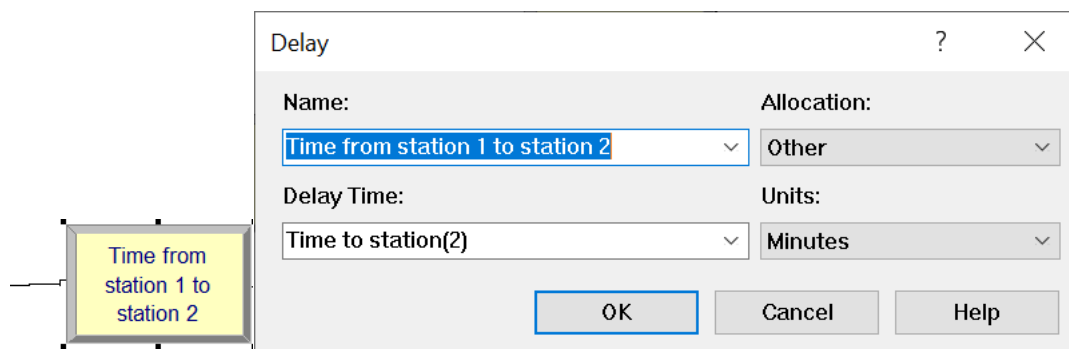


Εικόνα 26. Καρτέλα Record.

Record - Basic Process		
	Name	Statistic Definitions
1	Record Occupancy at S1	1 rows
2	Record Occupancy at S2	1 rows
3	Record Occupancy at S3	1 rows
4	Terminal Station 1	1 rows

Εικόνα 27. Καταγραφή στατιστικών στοιχείων πληρότητας σταθμού 1.

Το επόμενο *module* είναι ένα *Delay module* με όνομα *Time from station 1 to station 2* (εικ. 28).



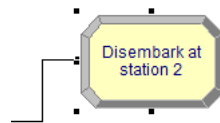
Εικόνα 28. Module Delay.

Η τιμή βρίσκεται στη μεταβλητή *Time from station 1 to station 2* στο *module Variables* και είναι ο χρόνος που διανύει ο συρμός από το σταθμό 1 στο σταθμό 2 (εικ. 29).

Delay - Advanced Process				
	Name	Allocation	Delay Time	Units
1	Time to first station	Other	Time to station(1)	Minutes
2	Time from station 1 to station 2	Other	Time to station(2)	Minutes
3	Time from station 2 to station 3	Other	Time to station(3)	Minutes
4	Time from station 3 to terminal	Other	Time to station(4)	Minutes

Εικόνα 29. Modules Variables- Χρονο-αποστάσεις μεταξύ σταθμών.

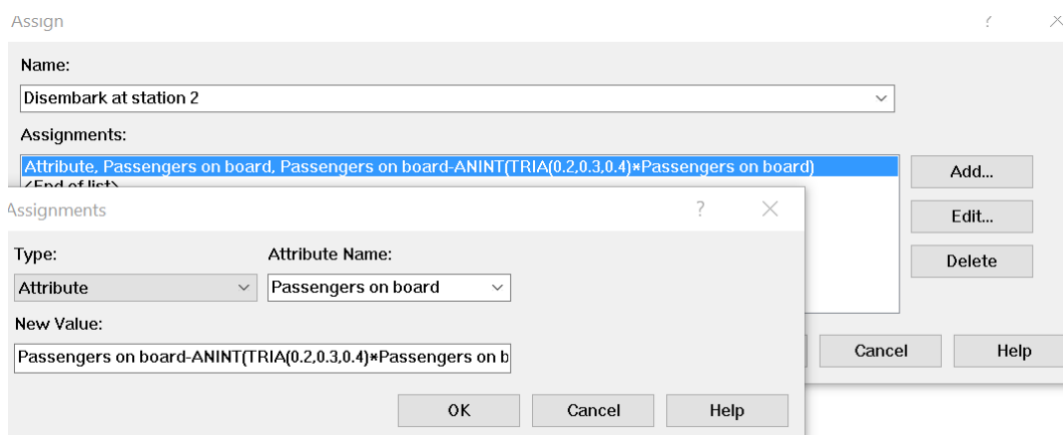
Κατά την άφιξη του συρμού στο σταθμό 2 στο *Assign module* με όνομα *Disembark at station 2* σημειώνεται ο αριθμός των επιβατών που θα αποβιβασθούν από το συρμό στο σταθμό 2 (εικ. 30).



Assign - Basic Process		
	Name	Assignments
2	Passengers on platform 1	3 rows
3	Station 1	1 rows
4	All passengers on board 2	3 rows
5	Passengers on platform 2	3 rows
6	Disembark at station 2	1 rows
7	Station 2	1 rows

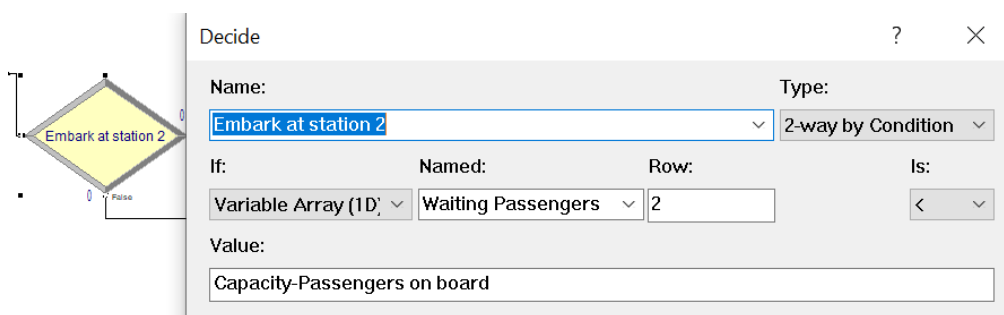
Εικόνα 30. Assign module “Disembark at station 2”.

Κλικάροντας το *module Disembarkat station 2* δύο φορές μας εμφανίζεται η παρακάτω εικόνα (εικ. 31). Ο αριθμός των επιβατών που αποβιβάζονται από το συρμό στο σταθμό 2 δίνεται από τη σχέση $Passengers\ on\ board-ANINT(TRIA(0.2,0.3,0.4)*Passengers\ onboard)$. Αυτό σημαίνει ότι το ποσοστό των επιβατών που εξέρχεται από το συρμό κυμαίνεται από 20% έως 40%, με μέγιστη τιμή 30%. Ο αριθμός των εξερχόμενων επιβατών στρογγυλοποιείται σε ακέραια τιμή.



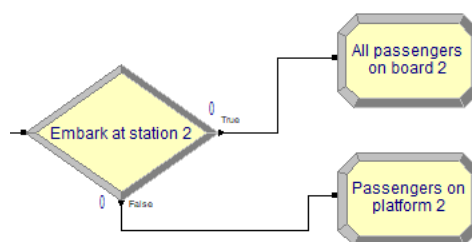
Εικόνα 31. Αριθμός εξερχομένων επιβατών από το συρμό στο σταθμό 2.

Μία κρίσιμη παράμετρος στο σταθμό 2 είναι ο αριθμός των επιβατών που θα επιβιβασθούν στο συρμό. Αυτός επηρεάζεται από τον αριθμό των επιβατών που περιμένουν στην αποβάθρα του σταθμού 2 με όνομα *Waiting Passengers* και τη δυναμικότητα του συρμού (*Capacity*), όπου (σε αντίθεση με το σταθμό 1) υπάρχουν ήδη επιβάτες στο συρμό από το σταθμό 1 και συνεχίζουν για επόμενο σταθμό (εικ. 32). Επομένως, η νέα δυναμικότητα του συρμού θα είναι $Capacity - Passengers\ on\ board$. Άρα, θα πρέπει να γίνει ένας έλεγχος μεταξύ των τιμών μεταβλητών: του αριθμού των επιβατών που αναμένουν για επιβίβαση (*Waiting Passengers*) και της δυναμικότητας του συρμού.



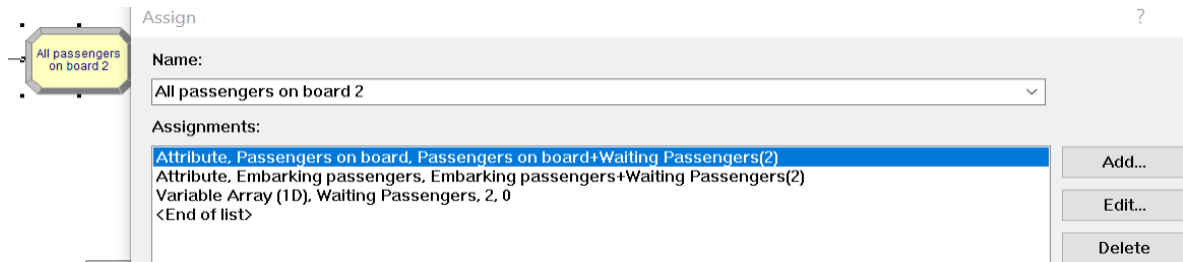
Εικόνα 32. Decide module ‘Embark at station 2’ .

Στο *Decide module* (Σημείο Απόφασης) τίθεται το ερώτημα: «ο αριθμός των αναμενόντων επιβατών στο σταθμό 2 είναι μικρότερος της νέας δυναμικότητας του συρμού;» (εικ. 33).



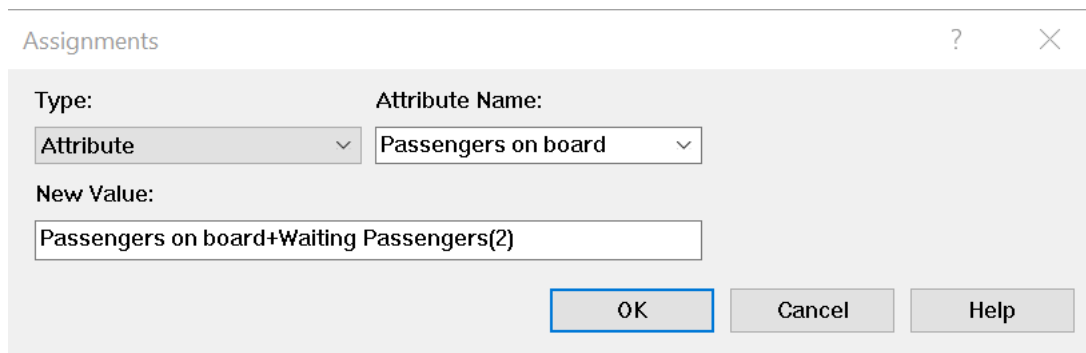
Εικόνα 33. Decide modules (Σημείο απόφασης)

Αν ναι, όλοι οι αναμένοντες επιβάτες στο σταθμό 2 θα επιβιβαστούν. Αυτό μεταφράζεται ως εξής (εικ. 34): *module Assign* με όνομα *All Passengers on Board 2*.



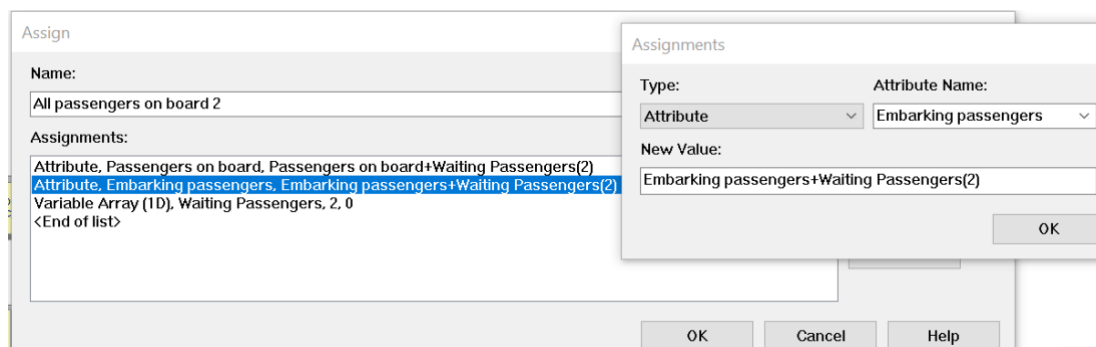
Εικόνα 34. Επιβίβαση όλων των αναμενόντων επιβατών στο συρμό.

Ο αριθμός των επιβατών που επιβιβάστηκαν στο σταθμό 2 *Passengers on board* παίρνει νέα τιμή ίση με τον αριθμό των επιβατών που υπήρχαν ήδη στο συρμό (*Passengers on board*) συν το αριθμό που περίμεναν στην αποβάθρα 2 (*Waiting Passengers(2)*) (εικ. 35).



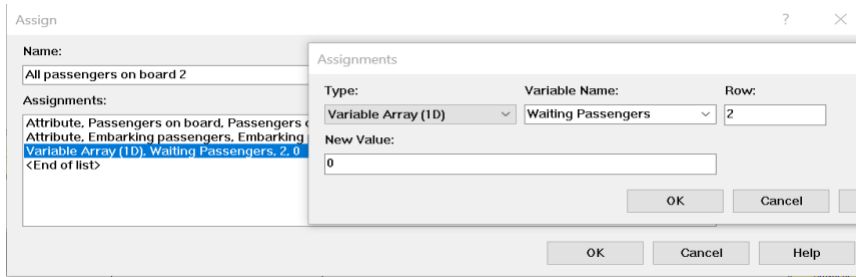
Εικόνα 35. Αριθμός επιβατών στο συρμό.

Ο αριθμός των επιβατών που επιβιβάστηκαν από το σταθμό 2, *Embarking Passengers*, λαμβάνει νέα τιμή ίση με τον αριθμό των επιβατών που περίμεναν στην αποβάθρα 2 (*Waiting Passengers(2)*)+ *Embarking Passengers* (εικ. 36).



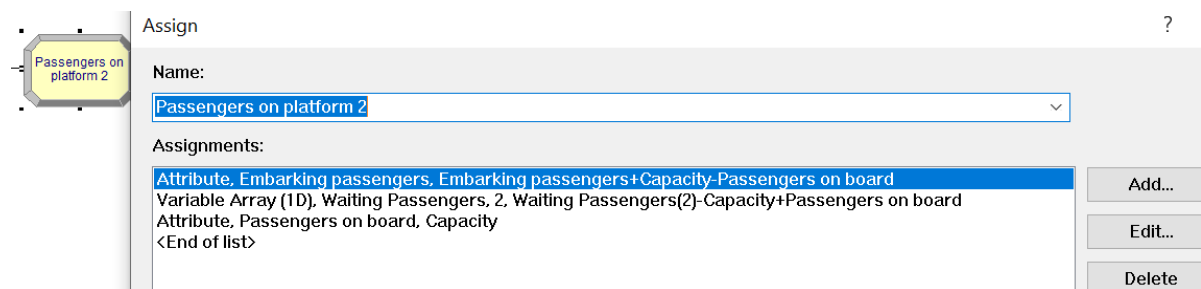
Εικόνα 36. Συνολικός αριθμός επιβατών στο συρμό.

Ο αριθμός των επιβατών που περιμένουν στην αποβάθρα του σταθμού 2 (*Waiting Passengers(2)*) γίνεται ίσος με μηδέν (εικ. 37).



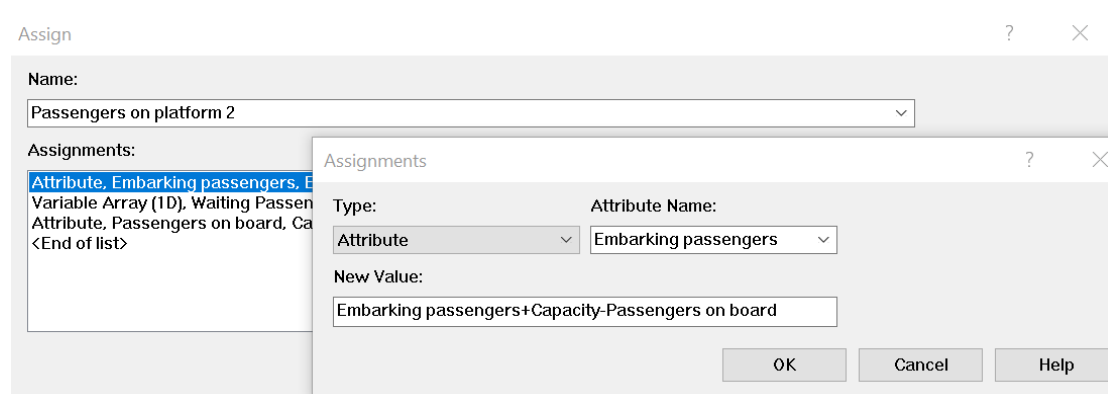
Εικόνα 37. Αριθμός επιβατών σε αναμονή.

Στην περίπτωση που οι αναμένοντες επιβάτες στο σταθμό 2 είναι περισσότεροι της δυναμικότητας του συρμού, ένα μέρος θα επιβιβαστεί στο συρμό (ίσο με το Capacity του συρμού-Passengers on board) κι ένα άλλο μέρος θα παραμείνει στην αποβάθρα. Ο αριθμός των επιβατών που θα μείνουν στην αποβάθρα θα είναι ίσος με τη διαφορά των μεταβλητών $Waiting\ Passengers(2) - Capacity + Passengers\ on\ board$ (εικ. 38).



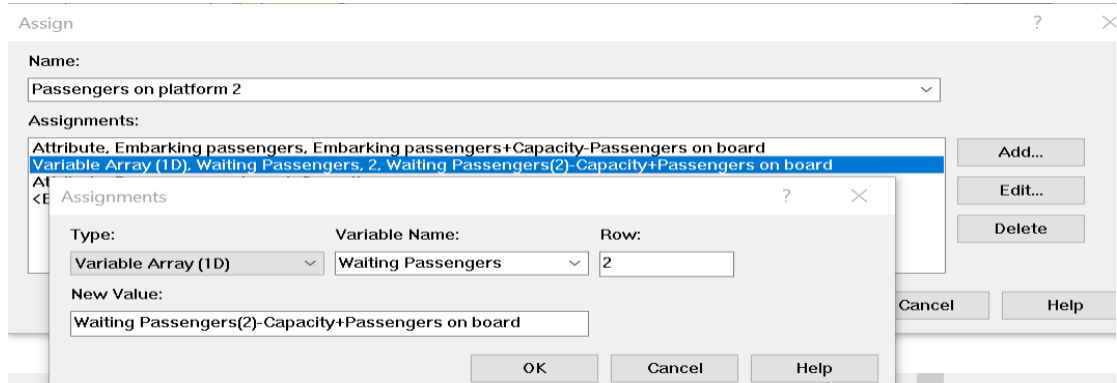
Εικόνα 38. Αριθμός επιβατών σε αναμονή $Embarking\ passengers + Capacity - Passengers\ on\ boards$.

Στο χαρακτηριστικό Attribute ο αριθμός επιβατών που επιβιβάστηκαν στο συρμό (*Embarking passengers*) τίθεται ίσος με $Embarking\ passengers + Capacity - Passengers\ on\ boards$ (εικ. 39).



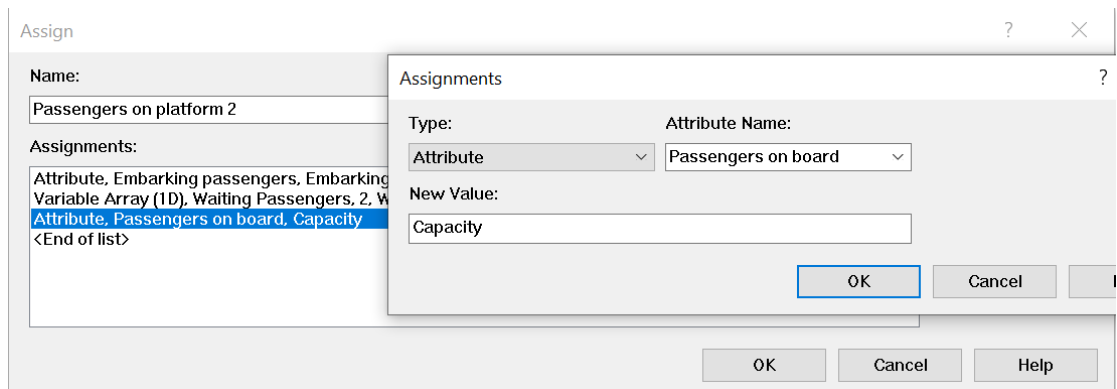
Εικόνα 39. Αριθμός αναμενόντων επιβατών $Embarking\ passengers + Capacity - Passengers\ on\ boards$.

Ο αριθμός των επιβατών που παραμένουν στην αποβάθρα -επειδή δεν χωρούν- παίρνει τη νέα τιμή $Waiting\ Passengers(2) - Capacity + Passengers\ on\ board$. (εικ. 40).



Εικόνα 40. Αριθμός αναμενόντων επιβατών $Waiting\ Passengers(2) - Capacity + Passengers\ on\ board$.

Ο αριθμός των επιβατών στο συρμό παίρνει τιμή ίση με το $Capacity$, τη δυναμικότητα του συρμού (εικ. 41).



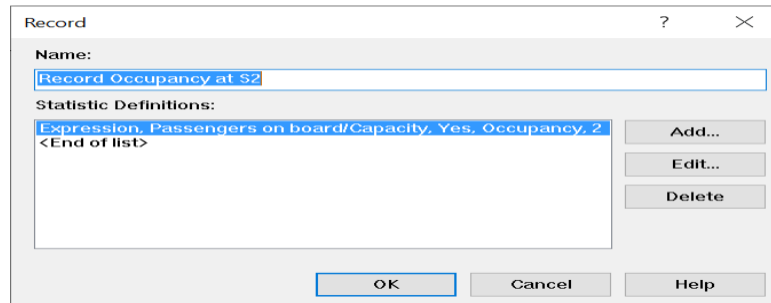
Εικόνα 41. Αριθμός επιβατών στο συρμό ίσος με το $Capacity$.

Κατά την εκκίνηση του συρμού από το σταθμό 2 στο σταθμό 3, εμφανίζεται το παρακάτω *module* με την ονομασία *Record Occupancy at S2* (εικ. 42).



Εικόνα 42. Module “Record Occupancy at S2”.

Στο μοντέλο προσομοίωσης συλλέγονται στατιστικά στοιχεία για το βαθμό πληρότητας του σταθμού 2. Κάνοντας διπλό κλικ εμφανίζεται το παρακάτω εικονίδιο (εικ. 43-44).

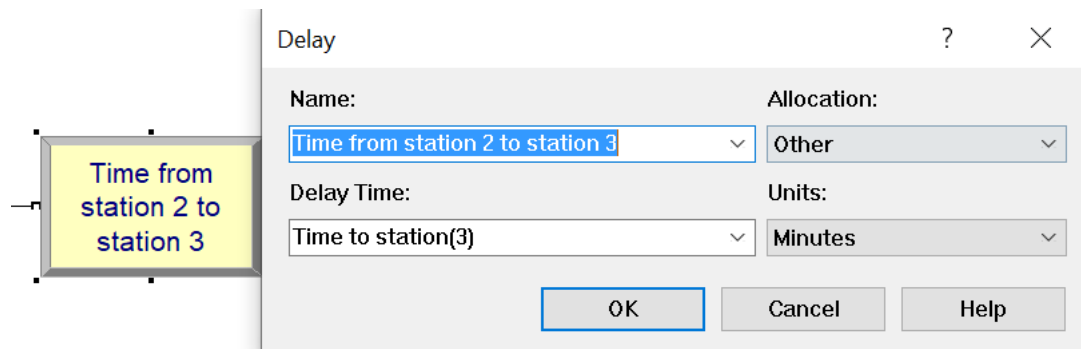


Εικόνα 43. Καρτέλα Record.

Record - Basic Process		
	Name	Statistic Definitions
1	Record Occupancy at S1	1 rows
2	Record Occupancy at S2	1 rows
3	Record Occupancy at S3	1 rows
4	Terminal Station 1	1 rows

Εικόνα 44. Καταγραφή στατιστικών στοιχείων πληρότητας σταθμού 2.

Το επόμενο module είναι ένα *Delay module* με όνομα *Time from station 2 to station 3* (εικ. 45).



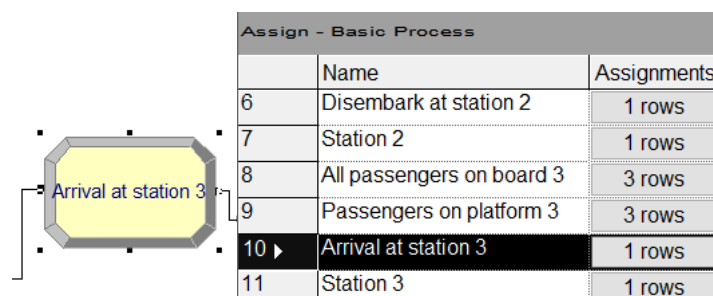
Εικόνα 45. Module Delay “Time from station 2 to station 3”.

Στο παρακάτω *module variables* η τιμή βρίσκεται στη μεταβλητή *Time from station 2 to station 3* και είναι ο χρόνος που διανύει ο συρμός από το σταθμό 2 στο σταθμό 3 (εικ. 46).

Delay - Advanced Process				
	Name	Allocation	Delay Time	Units
1	Time to first station	Other	Time to station(1)	Minutes
2	Time from station 1 to station 2	Other	Time to station(2)	Minutes
3	Time from station 2 to station 3	Other	Time to station(3)	Minutes
4	Time from station 3 to terminal	Other	Time to station(4)	Minutes

Εικόνα 46. Module variables "Time from station 2 to station 3".

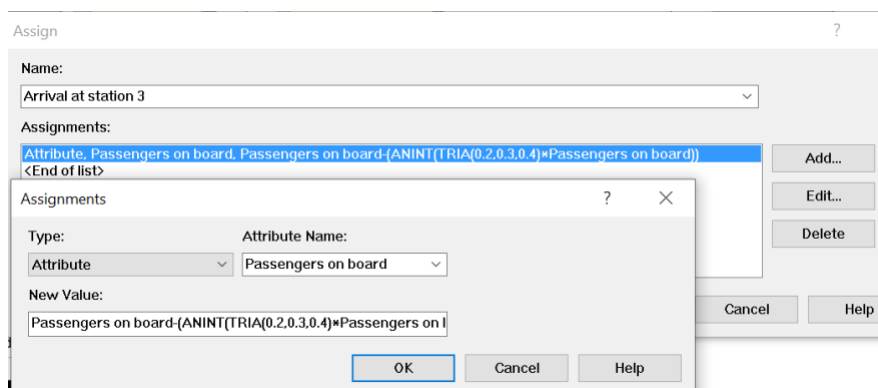
Κατά την άφιξη του συρμού στο σταθμό 3 στο *Assign module* με όνομα *Arrival at station 3* σημειώνεται ο αριθμός των επιβατών που θα αποβιβασθούν από το συρμό στο σταθμό 3 (εικ. 47).



Assign - Basic Process		
	Name	Assignments
6	Disembark at station 2	1 rows
7	Station 2	1 rows
8	All passengers on board 3	3 rows
9	Passengers on platform 3	3 rows
10	Arrival at station 3	1 rows
11	Station 3	1 rows

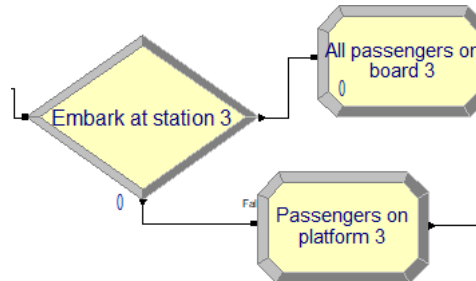
Εικόνα 47. Assign module "Arrival at station 3".

Κλικάροντας το *module Assign module Arrival at station 3* δύο φορές μας εμφανίζεται η παρακάτω εικόνα (εικ. 48). Ο αριθμός των επιβατών που αποβιβάζονται από το συρμό στο σταθμό 3 δίνεται από τη σχέση $Passengers\ on\ board - ANINT(TRIA(0.2,0.3,0.4) * Passengers\ on\ board)$, το οποίο σημαίνει ότι το ποσοστό των επιβατών που εξέρχεται από το συρμό κυμαίνεται από 20% έως 40%, με μέγιστη τιμή 30%. Ο αριθμός των εξερχόμενων επιβατών στρογγυλοποιείται σε ακέραια τιμή.



Εικόνα 48. Αριθμός εξερχόμενων επιβατών από το συρμό στο σταθμό 3.

Στο *Decide module* -σημείο απόφασης του σταθμού 3- τίθεται και πάλι το ερώτημα εάν ο αριθμός των αναμενόντων επιβατών στο σταθμό 3 είναι μικρότερος της νέας δυναμικότητας του συρμού (εικ. 49).

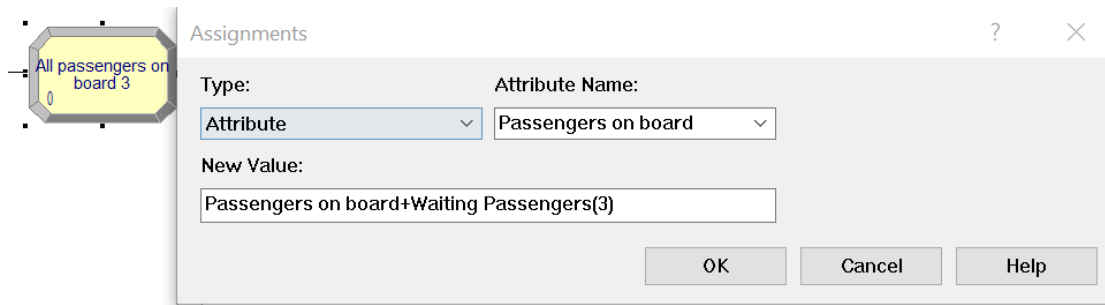


Εικόνα 49. Decide module -σημείο απόφασης του σταθμού 3.

Ο αριθμός των επιβατών που θα επιβιβασθούν στο συρμό επηρεάζεται από τον αριθμό των επιβατών που περιμένουν στην αποβάθρα του σταθμού 3 με όνομα *Waiting Passengers* και τη δυναμικότητα του συρμού (*Capacity – Passengers on board*). Επομένως, θα πρέπει να γίνει ένας έλεγχος μεταξύ των εξής μεταβλητών: τον αριθμό των επιβατών που αναμένουν για επιβίβαση (*Waiting Passengers*) και της δυναμικότητας του συρμού (εικ. 50).

Εικόνα 50. Καρτέλα Decide.

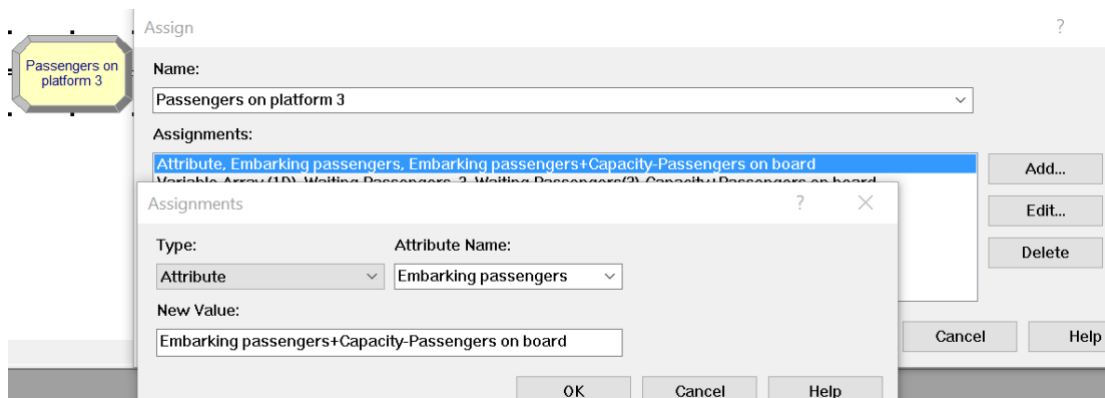
Αν ο αριθμός των αναμενόντων επιβατών στο σταθμό 3 είναι μικρότερος της δυναμικότητας του συρμού, τότε όλοι οι αναμένοντες επιβάτες στο σταθμό 3 θα επιβιβαστούν. Στο *module Assign* με όνομα *All Passengers on Board 3* η τιμή της μεταβλητής «Αριθμός επιβαινόντων στο συρμό» (*Passengers on Board*) τίθεται ίση με τον αριθμό των επιβατών που περίμεναν στην αποβάθρα του σταθμού 3 (*Waiting Passengers 3*) συν τους ήδη επιβαίνοντες στο συρμό από τους προηγούμενους σταθμούς 1&2 (*Passengers on board*) (εικ. 51).



Εικόνα 51. Συνολικός αριθμός επιβατών στο συρμό.

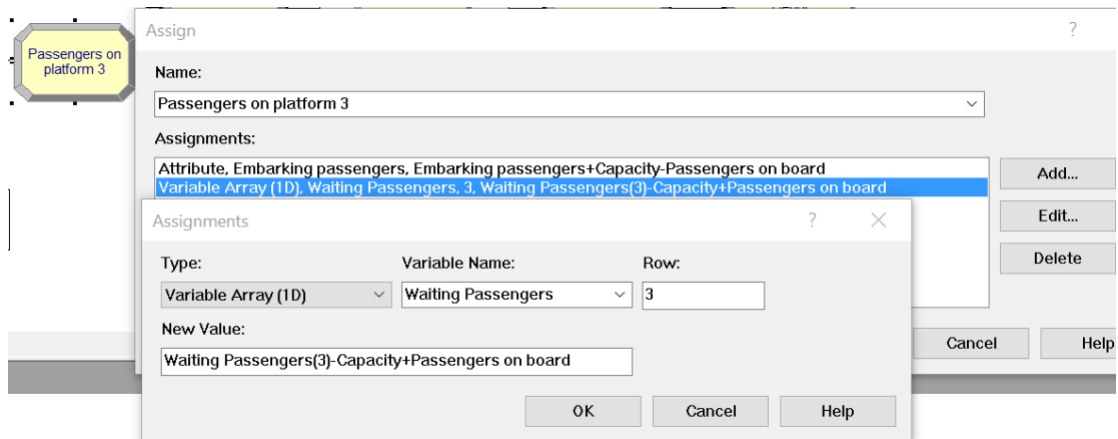
Ο αριθμός των επιβατών που περιμένουν στην αποβάθρα του σταθμού 3 (*Waiting Passengers(3)*) γίνεται ίσος με μηδέν.

Στην περίπτωση που δεν επιβιβάστηκαν όλοι οι επιβάτες της αποβάθρας του σταθμού 3 στο συρμό, τότε κάνοντας διπλό κλικ στο στοιχείο *Attribute* βλέπουμε ότι η νέα τιμή των επιβατών που επιβιβάστηκαν στο συρμό γίνεται ίση με *Embarking Passengers + Capacity – Passengers on board* (εικ. 52).



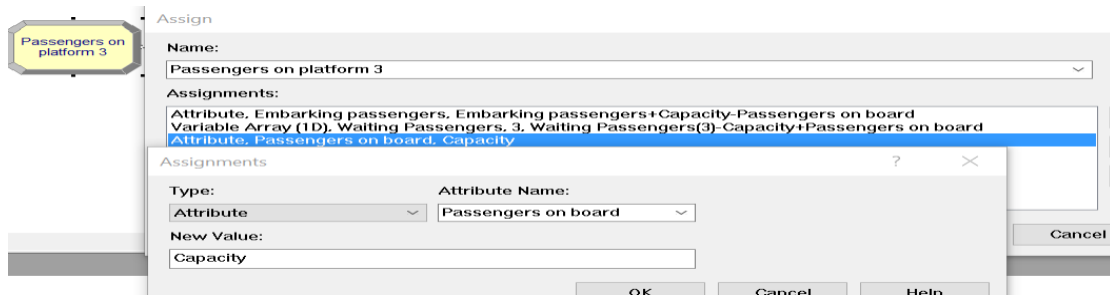
Εικόνα 52. Αριθμός επιβατών που επιβιβάστηκαν στο συρμό.

Κάνοντας διπλό κλικ στο επόμενο στοιχείο, το *Variable Array*, μας ανοίγει η παρακάτω εικόνα (εικ. 53), η οποία δείχνει την τιμή των επιβατών που παρέμειναν στην αποβάθρα χωρίς να επιβιβαστούν στο συρμό που παίρνει νέα τιμή ίση με *Embarking Passengers* (τους επιβάτες που επιβιβάστηκαν στο συρμό από το σταθμό 3) + *Capacity* (δυναμικότητα συρμού) – *Passengers on board* (τους ήδη υπάρχοντες επιβάτες στο συρμό από προηγούμενους σταθμούς).



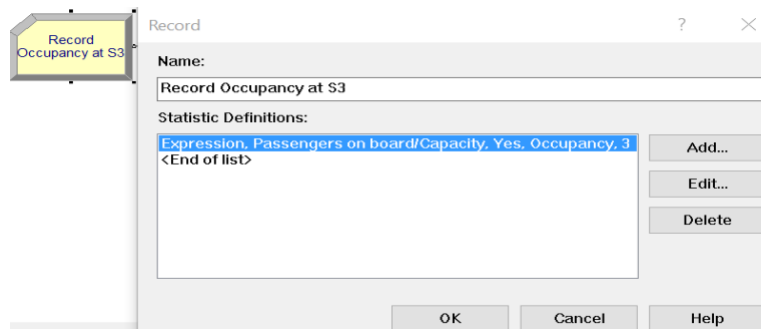
Εικόνα 53. Τιμή επιβατών που παρέμειναν στην αποβάθρα χωρίς να επιβιβαστούν.

Ο αριθμός των επιβατών στο συρμό παίρνει τιμή ίση με το *Capacity*, τη δυναμικότητα του συρμού (εικ. 54).



Εικόνα 54. Αριθμός επιβατών στο συρμό ίσος με το *Capacity*.

Κατά την εκκίνηση του συρμού και την έξοδο του από το σταθμό 3, υπάρχει ένα *module record*. Σε αυτό συλλέγονται ξανά στατιστικά στοιχεία για τον αριθμό των επιβατών που επιβιβάστηκαν στο συρμό -δια μέσου του *Capacity* του συρμού- από το σταθμό 3 για τον τερματικό και στέλνονται στο μοντέλο προσομοίωσης. Κάνοντας διπλό κλικ, εμφανίζεται το παρακάτω εικονίδιο (εικ. 55).



Εικόνα 55. Module “Record Occupancy at S3”.

Στο επόμενο *Delay module*, με το όνομα *Time from station 3 to terminal*, και στο *module variables* βρίσκεται η τιμή της μεταβλητής *Time from station 3 to terminal*. Σε αυτό υπάρχει ο χρόνος που χρειάζεται ο συρμός, για να διανύσει την απόσταση μεταξύ σταθμού 3 και τερματικό (εικ. 56-57).

Εικόνα 56. Delay module “Time from station 3 to terminal”.

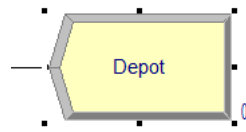
Delay - Advanced Process				
	Name	Allocation	Delay Time	Units
1	Time to first station	Other	Time to station(1)	Minutes
2	Time from station 1 to station 2	Other	Time to station(2)	Minutes
3	Time from station 2 to station 3	Other	Time to station(3)	Minutes
4 ▶	Time from station 3 to terminal	Other	Time to station(4)	Minutes

Εικόνα 57. Module variables “Time from station 3 to station 4”.

Το προτελευταίο *module* είναι ένα *record module* με την ονομασία *Terminal station*. Πρόκειται για έναν τερματικό σταθμό και έχουμε μόνο επιβίβαση επιβατών (εικ. 58).

Εικόνα 58. Module Record “Terminal station”.

Το τελευταίο *module* είναι ένα *dispose module* με το όνομα *Depot* και είναι το τελικό σημείο στο μοντέλο προσομοίωσης για τις οντότητες (εικ. 59).



Εικόνα 59. Dispose module.

Κεφάλαιο 6. Εκτέλεση Προσομοιωτικού Μοντέλου σε Σταθμούς του Μετρό-Συμπεράσματα

Στην προηγούμενη ενότητα έγινε περιγραφή του μοντέλου και των μεταβλητών του. Έχοντας λοιπόν κατασκευάσει το μοντέλο, θα «τρέξουμε»-δοκιμάσουμε κάποια σενάρια στα οποία θα ελέγξουμε τις μεταβλητές (χρονο-απόσταση, ρυθμό άφιξης επιβατών κ.α.) και τις επιδράσεις τους στα δρομολόγια (Trains), στο βαθμό πληρότητας του κάθε σταθμού (Occupancy at Sn όπου n=1,2,3) και στον αριθμό επιβατών του κάθε σταθμού (Number of Passengers at Sn).

Στο Μενού των εργαλειοθηκών *Basic Process* επιλέγουμε το εικονίδιο *Variable*. Κάνοντας διπλό αριστερό κλικ, εμφανίζονται όλες οι μεταβλητές και καταχωρούμε τα εξής ως σταθερές μεταβλητές:

- το συνολικό μέσο ρυθμό άφιξης των επιβατών σε κάθε σταθμό στην μεταβλητή *Passenger Arrivals* $\{\lambda = 10 \text{ επιβάτες /λεπτό}\}$ (εικ. 60),

Variable - Basic Process									
	Name	Comment	Rows	Columns	Data Type	Clear Option	File Name	Initial Values	Report Statistics
1	Waiting Passengers		3		Real	System		0 rows	Initial Values
2	Capacity				Real	System		1 rows	
3	Time between trains				Real	System		1 rows	
4	Time to station		4		Real	System		4 rows	1 10
5	Passenger Arrivals		3		Real	System		3 rows	2 10
									3 10

Εικόνα 60. Modules Variable “Passenger Arrivals”.

- τη χωρητικότητα του συρμού στην μεταβλητή *Capacity* {300 επιβάτες} (εικ. 61),

Variable - Basic Process									
	Name	Comment	Rows	Columns	Data Type	Clear Option	File Name	Initial Values	Initial Values
1	Waiting Passengers		3		Real	System		0 rows	
2	Capacity				Real	System		1 rows	200

Εικόνα 61. Modules Variable “Capacity”.

- και το χρόνο μεταξύ των σταθμών (*Time to station*) 1min , 2,1min και 1,3 min αντίστοιχα (εικ. 62).

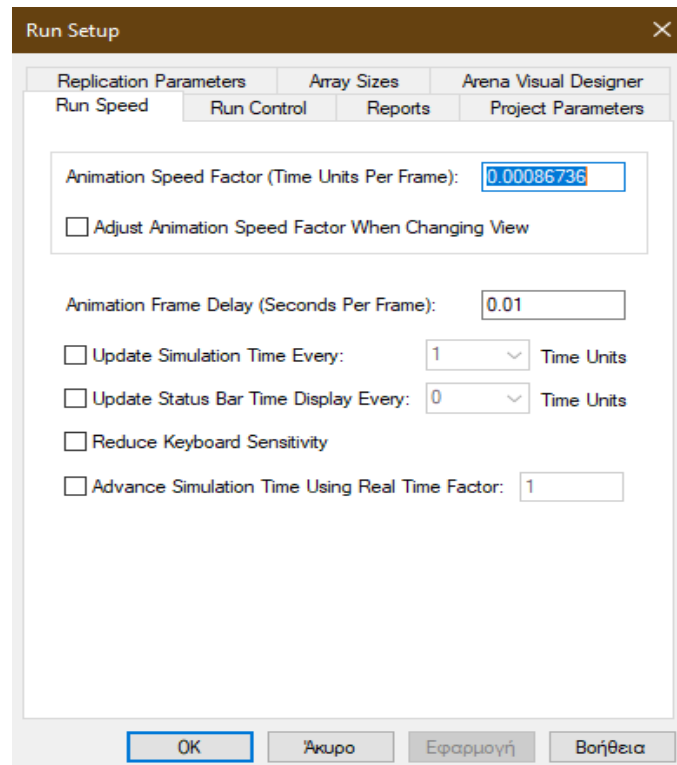
Variable - Basic Process										
	Name	Comment	Rows	Columns	Data Type	Clear Option	File Name	Initial Values	Initial Values	
1	Waiting Passengers		3		Real	System		0 rows		
2	Capacity				Real	System		1 rows		
3	Time between trains				Real	System		1 rows	1	0
4	Time to station		4		Real	System		4 rows	2	1
5	Passenger Arrivals		3		Real	System		1 rows	3	2.1
									4	1.3

Εικόνα 62. Modules Variable “ Time to station “.

Στη συνέχεια στο μενού *Run*, το οποίο αποτελεί βασικό μενού καθώς δίνεται η εντολή για την εκτέλεση του προσομοιωτικού μοντέλου, επιλέγουμε *Run Setup* (εικ. 63). Στο υπο-μενού *Replication Parameters* επιλέγουμε την εκτέλεση του προσομοιωτικού μοντέλου για 365 ημέρες (*Replication Length*) και για 19 ώρες (*Hours Per day*) που αντιστοιχούν στις ώρες λειτουργίας του δικτύου του Μετρό ημερησίως.

Εικόνα 63. Επιλογές εκτέλεσης μοντέλου προσομοίωσης.

Η ταχύτητα εκτέλεσης του προσομοιωτικού μοντέλου επιλέγεται στην καρτέλα *Run Speed* (εικ. 64).



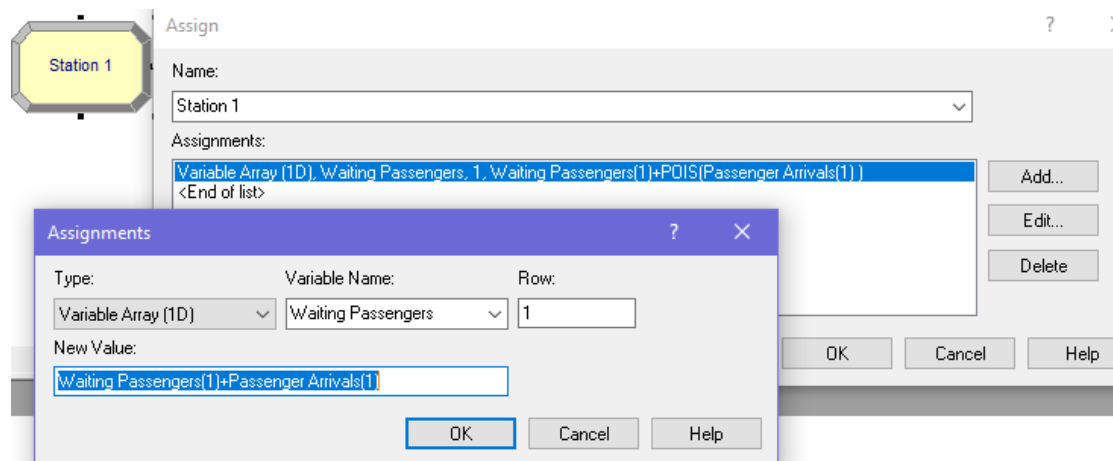
Εικόνα 64. Επιλογή ταχύτητας εκτέλεσης μοντέλου προσομοίωσης.

6.1. Σενάριο 1ο : Εκτέλεση προσομοιωτικού μοντέλου με σταθερό ρυθμό άφιξης επιβατών ($\lambda=10$ επιβάτες /λεπτό)

Με δεδομένο ότι η ανεξάρτητη μεταβλητή θα είναι η χρονο-απόσταση, θα τρέξουμε το μοντέλο μας σε χρονο-αποστάσεις μεταξύ των συρμών 10 λεπτών ,7 λεπτών και 5 λεπτών της ώρας. Με τον τρόπο αυτό θα απαντήσουμε στο ερώτημα «τι συμβαίνει όταν αλλάζει η χρονο-απόσταση με σταθερό ρυθμό άφιξης επιβατών : στα δρομολόγια (*Trains*), στο βαθμό πληρότητας του κάθε σταθμού (*Occurance at Sn όπου $n=1,2,3$*) και στον αριθμό επιβατών του κάθε σταθμού (*Number of Passengers at Sn*);».

6.1.1. Χρονο-απόσταση μεταξύ συρμών 10 λεπτών (*Time between Trains*)

Στο *modules Assign "Station 1"* κλικάροντας δύο φορές εμφανίζεται η παρακάτω εικόνα. Στην επιλογή *Edit* καταχωρούμε *New Value: Waiting Passengers (1)+ Passenger Arrivals (1)* (ομοίως για Station 1 και station 2). Η τιμή που λαμβάνει είναι ίση με τον αριθμό των υπαρχόντων επιβατών -*Waiting passenger (1)*- συν τον αριθμό των επιβατών που ήρθαν (*Passengers Arrivals (1)*), σύμφωνα με την ομοιόμορφη κατανομή, για το χρονικό διάστημα 10 λεπτών (εικ. 65-66).

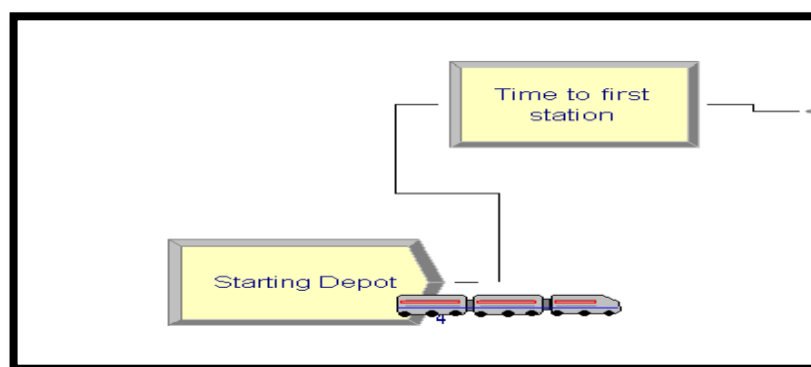


Εικόνα 65. Modules Assign “Station 1”-Καταχώρηση σταθερού ρυθμού άφιξης.

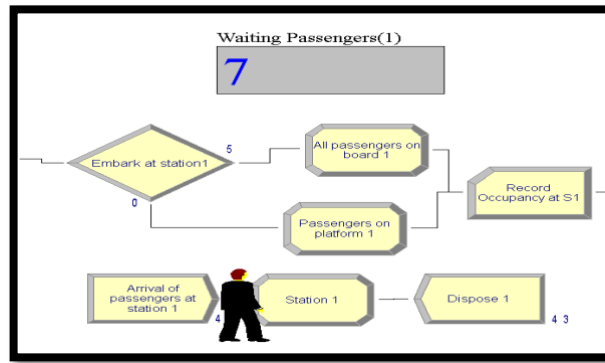
Variable - Basic Process								Initial Values	
	Name	Comment	Rows	Columns	Data Type	Clear Option	File Name	Initial Values	
1	Waiting Passengers		3		Real	System		0 rows	
2	Capacity				Real	System		1 rows	10
3	Time between trains				Real	System		1 rows	
4	Time to station		4		Real	System		4 rows	

Εικόνα 66. Modules Variable –Καταχώρηση χρονο-απόστασης 10 λεπτών.

Το μοντέλο είναι πλέον έτοιμο για εκτέλεση. Δίνοντας την εντολή *Go* από το μενού *Run*, ξεκινά η προσομοίωση. Οι παρακάτω εικόνες αποτελούν στιγμιότυπα από την έναρξη της προσομοίωσης (εικ. 67- 68).

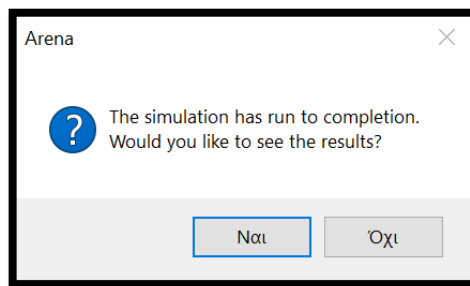


Εικόνα 67. Έναρξη προσομοίωσης.



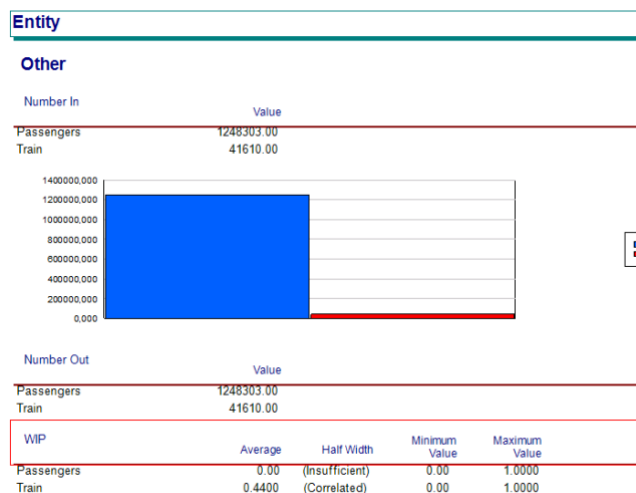
Εικόνα 68. Στιγμιότυπο άφιξης επιβατών στο σταθμό 1.

Όταν τελειώσει η εκτέλεση του προσομοιωτικού μοντέλου εμφανίζεται στην οθόνη το παράθυρο της εικόνας 69, το οποίο ενημερώνει ότι η προσομοίωση ολοκληρώθηκε. Ταυτόχρονα, στο παράθυρο προβάλλεται η ερώτηση για την εμφάνιση των αποτελεσμάτων.



Εικόνα 69. Ολοκλήρωση εκτέλεσης προσομοιωτικού μοντέλου.

Εάν γίνει κλικ στο «Ναι», δημιουργείται η παρακάτω έγγραφη αναφορά αποτελεσμάτων (εικ. 70).



Εικόνα 70. Αναφορά αποτελεσμάτων αριθμού επιβατών (Passengers)-Δρομολογίων (Trains) του σεναρίου 1.1.

Η παραπάνω εικόνα αποτελεί αναφορά αποτελεσμάτων για τον αριθμό των επιβατών και τον αριθμό των συρμών (δρομολόγια). Σε χρονικό διάστημα ενός έτους (365 ημέρες) και λειτουργίας 19 ωρών ημερησίως πραγματοποιήθηκαν 41.610 δρομολόγια, εξυπηρετώντας 1.248.303 επιβάτες, με χρήση 44% της διαθεσιμότητας του στόλου των συρμών.

Στην εικόνα που ακολουθεί (εικ. 71) παρουσιάζεται αναλυτικά ο αριθμός των επιβατών και η πληρότητα του κάθε σταθμού. Στο σταθμό S1 η μέση τιμή αναμονής σε 10λεπτη χρονο-απόσταση είναι 50 επιβάτες, με ελάχιστη τιμή 0 και μέγιστη τιμή 110 επιβάτες. Στο σταθμό S2 η μέση τιμή αναμονής είναι 50 επιβάτες, με ελάχιστη τιμή 0 και μέγιστη τιμή 110 επιβάτες. Στο σταθμό S3 η μέση τιμή αναμονής είναι 46 επιβάτες, με ελάχιστη τιμή 0 και μέγιστη τιμή 100 επιβάτες. Ο βαθμός πληρότητας του σταθμού S1 είναι 33%, του S2 57% και του S3 73%.

User Specified				
Tally				
Expression	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Total passengers per train	299.99	(Correlated)	50.0000	320.00
Time Persistent				
Time Persistent	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Number of passengers at S1	50.3812	(Correlated)	0.00	110.00
Number of passengers at S2	50.3814	(Correlated)	0.00	110.00
Number of Passengers at S3	45.9996	(Correlated)	0.00	100.00
Usage				
None	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Occupancy at S1	0.3333	(Correlated)	0.00	0.3667
Occupancy at S2	0.5665	0,000131006	0.03333333	0.6367
Occupancy at S3	0.7299	0,000280040	0.1567	0.8067

Εικόνα 71. Αναφορά αποτελεσμάτων Σεναρίου 1.1.

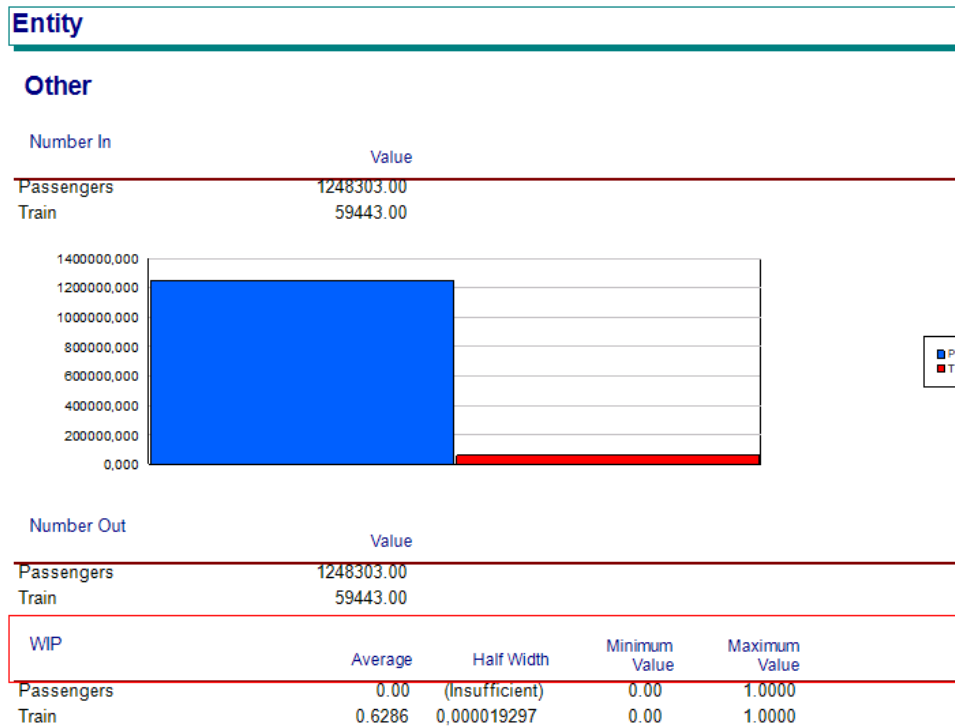
6.1.2. Χρονο-απόσταση μεταξύ συρμών 7 λεπτών

Στη συνέχεια, με τον ίδιο ρυθμό άφιξης επιβατών μειώνουμε την χρονο-απόσταση μεταξύ των συρμών στα 7 λεπτά στο *module variable* και από το μενού *Run* τρέχουμε και πάλι το μοντέλο μας, διατηρώντας τις υπόλοιπες μεταβλητές σταθερές (εικ. 72).

Variable - Basic Process								Initial Values	
	Name	Comment	Rows	Columns	Data Type	Clear Option	File Name	Initial Values	Re
1	Waiting Passengers		3		Real	System		0 rows	<input type="checkbox"/>
2	Capacity				Real	System		1 rows	<input type="checkbox"/>
3	Time between trains				Real	System		1 rows	<input type="checkbox"/>
4	Time to station		4		Real	System		4 rows	<input type="checkbox"/>
5	Passenger Arrivals		3		Real	System		3 rows	<input type="checkbox"/>

Εικόνα 72. Modules Variable –Καταχώρηση χρονο-απόστασης 7 λεπτών.

Διαπιστώνουμε, σύμφωνα με τα δεδομένα, ότι σε χρονο-απόσταση 7 λεπτών μεταξύ των συρμών πραγματοποιήθηκαν 59.443 δρομολόγια. Οι επιβάτες που εξυπηρετήθηκαν ήταν 1.248.303 με το 63% της διαθεσιμότητας του στόλου των συρμών, όπως απεικονίζονται στην παρακάτω αναφορά αποτελεσμάτων (εικ. 73-74).



Εικόνα 73. Αναφορά αποτελεσμάτων (Σεναρίου 1.2) αριθμού επιβατών (Passengers) –Δρομολογίων (Trains).

User Specified

Tally

Expression	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Total passengers per train	210.00	0,005672088	50.0000	230.00

Time Persistent

Time Persistent	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Number of passengers at S1	35.3609	(Correlated)	0.00	80.0000
Number of passengers at S2	35.3616	(Correlated)	0.00	80.0000
Number of Passengers at S3	30.9998	0,000853258	0.00	70.0000

Usage

None	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Occupancy at S1	0.2333	0,000008334	0.00	0.2667
Occupancy at S2	0.3966	0,000072255	0.03333333	0.4667
Occupancy at S3	0.5110	0,000164647	0.1567	0.5633

Εικόνα 74. Αναφορά αποτελεσμάτων Σεναρίου 1.2.

Στο σταθμό S1 η μέση τιμή αναμονής σε 7λεπτη χρονο-απόσταση είναι 36 επιβάτες, με ελάχιστη τιμή 0 και μέγιστη τιμή 108 επιβάτες. Στο σταθμό S2 η μέση τιμή αναμονής είναι 36 επιβάτες, με ελάχιστη τιμή 0 και μέγιστη τιμή 80 επιβάτες. Στο σταθμό S3 μέση τιμή αναμονής είναι 31 επιβάτες, με ελάχιστη τιμή 0 και μέγιστη τιμή 80 επιβάτες. Η βαθμός πληρότητας του σταθμού S1 είναι 23% , του S2 40% και του S3 51%.

6.1.3. Χρονο-απόσταση μεταξύ συρμών 5 λεπτών

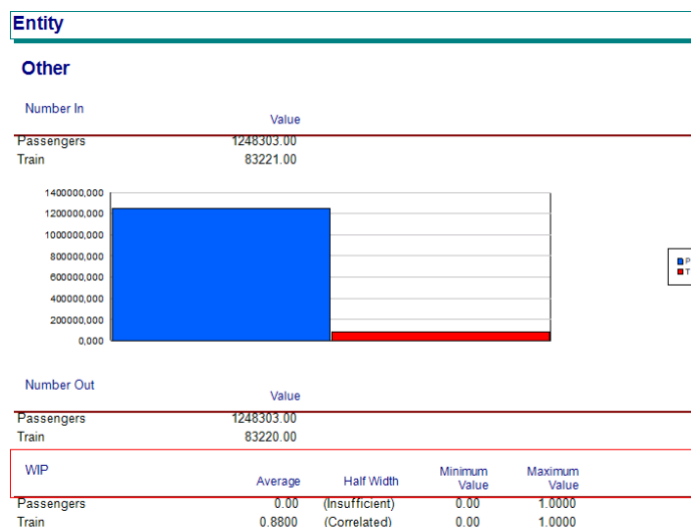
Τέλος, με τον ίδιο ρυθμό άφιξης επιβατών και τις υπόλοιπες μεταβλητές σταθερές μειώνουμε τη χρονο-απόσταση μεταξύ των συρμών στα 5 λεπτά και από το μενού Run τρέχουμε και πάλι το μοντέλο μας (εικ. 75).

Variable - Basic Process								Initial Values	
	Name	Comment	Rows	Columns	Data Type	Clear Option	File Name	Initial Values	
1	Waiting Passengers		3		Real	System		0 rows	
2	Capacity				Real	System		1 rows	5
3	▶ Time between trains				Real	System		1 rows	
4	Time to station		4		Real	System		4 rows	
5	Passenger Arrivals		3		Real	System		3 rows	

Εικόνα 75. Modules Variable –Καταχώρηση χρονο-απόστασης 5 λεπτών.

Σε χρονο-απόσταση 5 λεπτών μεταξύ των συρμών πραγματοποιήθηκαν 83.221 δρομολόγια, εξυπηρετώντας 1.248.303 επιβάτες, με τα ποσοστά της πληρότητας των

συρμών να κυμαίνονται στα 88%, δεδομένα που απεικονίζονται στην παρακάτω αναφορά αποτελεσμάτων (εικ. 76-77).



Εικόνα 76. Αναφορά αποτελεσμάτων (Σεναρίου 1.3) αριθμού επιβατών (Passengers) –Δρομολογίων (Trains).

User Specified

Tally

Expression	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Total passengers per train	150.00	(Correlated)	50.0000	160.00

Time Persistent

Time Persistent	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Number of passengers at S1	26.0775	(Correlated)	0.00	50.0000
Number of passengers at S2	26.0790	(Correlated)	0.00	60.0000
Number of Passengers at S3	20.9999	(Correlated)	0.00	50.0000

Usage

None	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Occupancy at S1	0.1667	(Correlated)	0.00	0.2000
Occupancy at S2	0.2833	0,000050019	0.03333333	0.3267
Occupancy at S3	0.3650	0,000100697	0.1567	0.4067

Εικόνα 77. Αναφορά αποτελεσμάτων Σεναρίου 1.3.

Στο σταθμό S1 η μέση τιμή αναμονής ορίζεται σε 5λεπτη χρονο-απόσταση είναι 26 επιβάτες, με ελάχιστη τιμή 0 και μέγιστη τιμή 83 επιβάτες. Στο σταθμό S2 η μέση τιμή αναμονής είναι 26 επιβάτες με ελάχιστη τιμή 0 και μέγιστη τιμή 87 επιβάτες. Στο σταθμό S3 η μέση τιμή αναμονής είναι 21 επιβάτες με ελάχιστη τιμή 0 και μέγιστη τιμή 109 επιβάτες. Η βαθμός πληρότητας του σταθμού S1 είναι 17%, του S2 28% και του S3 37%.

Με βάση τα εναλλακτικά σενάρια που εκτελεστήκαν, με ανεξάρτητη μεταβλητή τη χρονο-απόσταση, προκύπτει ο παρακάτω πίνακας (πίν. 2):

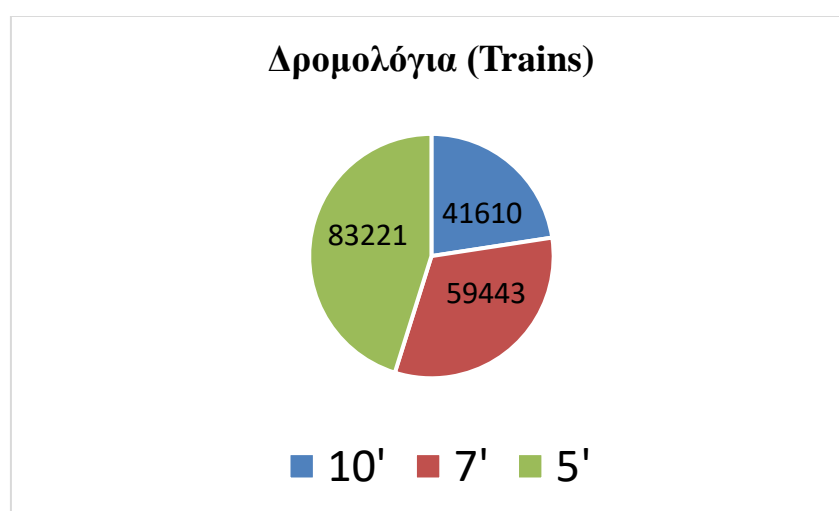
Πίνακας 2. Εναλλακτικά σενάρια με ανεξάρτητη μεταβλητή τη χρονο-απόσταση.

Χρονο-απόσταση	10	7	5
Trains	41610	59443	83221
Number of passengers at S1	50	36	26
Number of passengers at S2	50	36	26
Number of passengers at S3	46	31	21
Occypancy at S1	0,5	0,35	0,25
Occypancy at S2	0,85	0,59	0,43
Occypancy at S3	1	0,77	0,55

6.1.4. Συμπεράσματα σεναρίου

Από τον παραπάνω πίνακα διαπιστώνουμε ότι:

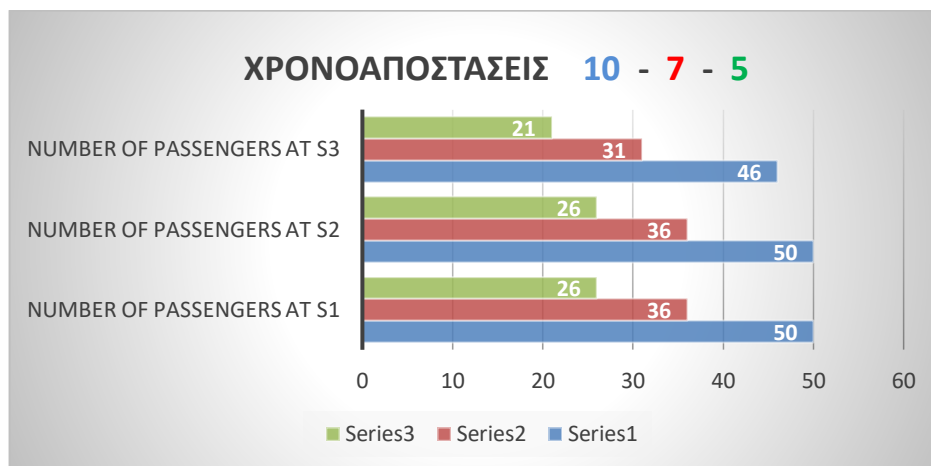
- Υπάρχει μια αντιστρόφως ανάλογη σχέση ανάμεσα στη χρονο-απόσταση και στον αριθμό των δρομολογίων. Όσο μειώνεται η τιμή της χρονο-απόστασης, τόσο αυξάνεται ο αριθμός των δρομολογίων, που σημαίνει ότι τα δρομολόγια εκτελούνται με μεγαλύτερη συχνότητα (διάγρ. 1).



Διάγραμμα 1. Σχέση χρονο-απόστασης – δρομολογίων.

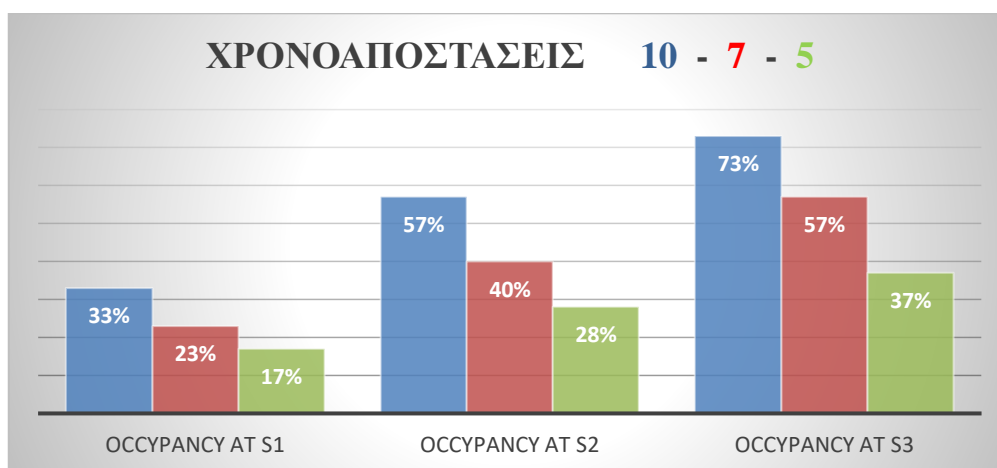
- Η σχέση ανάμεσα στη μεταβλητή της χρονο-απόστασης και στις μεταβλητές του αριθμού επιβατών ανά σταθμό (αναμονή) είναι ανάλογη, καθώς όσο

μειώνεται η χρονο-απόσταση μειώνεται και η αναμονή των επιβατών στις αποβάθρες (διάγρ. 2).



Διάγραμμα 2. Σχέση χρονο-απόστασης – Number of Passengers at Sn.

3. Η σχέση ανάμεσα στη μεταβλητή της χρονο-απόστασης και στο βαθμό πληρότητας του κάθε σταθμού είναι ανάλογη, μιας και όσο μειώνεται η χρονο-απόσταση μειώνεται και η αναμονή των επιβατών στις αποβάθρες (διάγρ. 3).

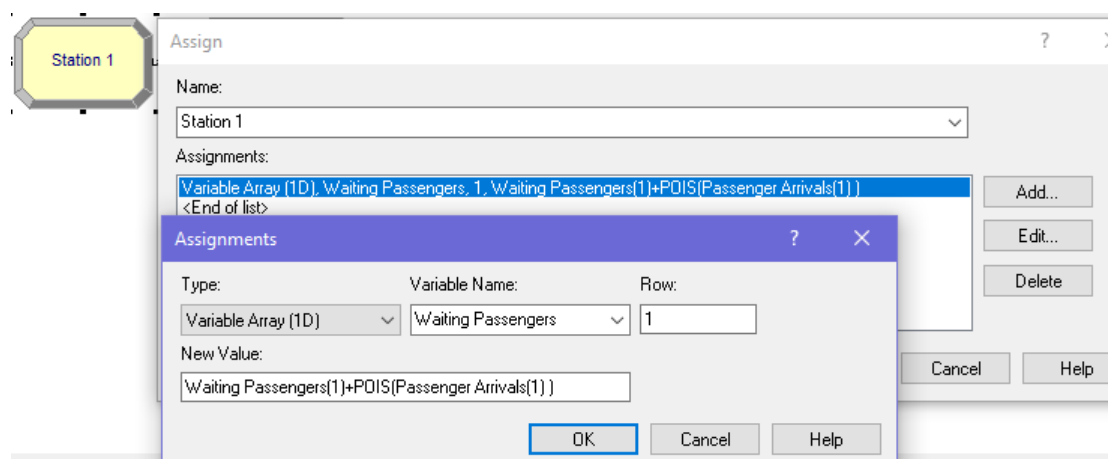


Διάγραμμα 3. Σχέση χρονο-απόστασης – Occypancy at Sn.

6.2. Σενάριο 2: Εκτέλεση προσομοιωτικού μοντέλου με τυχαίο ρυθμό άφιξης επιβατών σε κάθε σταθμό (Poisson)

Στα προηγούμενο σενάριο θεωρήσαμε ότι ο ρυθμός άφιξης επιβατών ήταν σταθερός και ίσος με $\lambda=10$ επιβάτες/λεπτό και στους 3 σταθμούς του Μετρό. Τώρα θα θεωρήσουμε ότι ο ρυθμός άφιξης επιβατών *Passengers Arrivals* σε κάθε σταθμό είναι τυχαίος, με κατανομή *Poisson* $\lambda=10$ επιβάτες /λεπτό. Το μοντέλο θα τρέξει με τις ίδιες παραμέτρους που επιλέξαμε στο Σενάριο 1 και για χρονο-απόσταση μεταξύ συρμών θα επιλέξουμε τα 10 λεπτά.

Στο *modules Assign* “*Station 1*” πατώντας δύο φορές εμφανίζεται η παρακάτω εικόνα και στην επιλογή *Edit* καταχωρούμε *New Value: Waiting Passengers (1) + Pois (Passenger Arrivals(1))* (ομοίως και για *Station 1, station2*). Η τιμή που βάζουμε είναι ίση με τον αριθμό των υπάρχοντων επιβατών *Waiting passenger (1)* συν τον αριθμό των επιβατών που ήρθαν *Passengers Arrivals (1)* με *Poisson* κατανομή για το χρονικό διάστημα των 10 λεπτών (εικ. 78).



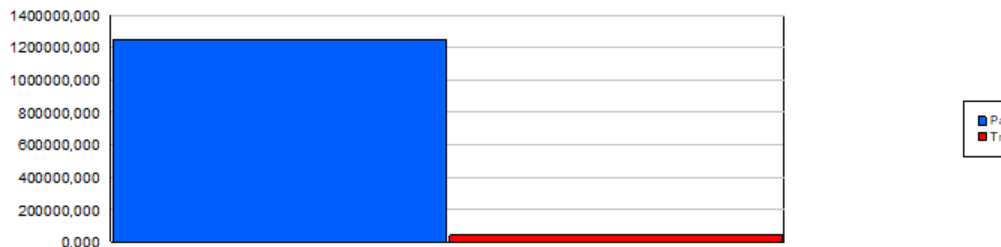
Εικόνα 78. Modules Assign “Station 1”-Καταχώρηση ρυθμού άφιξης με κατανομή Poisson.

Μετά την εκτέλεση του μοντέλου, έχουμε την παρακάτω αναφορά αποτελεσμάτων (εικ. 79-80):

Entity

Other

Number In	Value
Passengers	1248303.00
Train	41610.00



Number Out	Value
Passengers	1248303.00
Train	41610.00

WIP	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Passengers	0.00	(Insufficient)	0.00	1.0000
Train	0.4400	(Correlated)	0.00	1.0000

Εικόνα 79. Αναφορά αποτελεσμάτων αριθμού επιβατών (Passengers) –Δρομολογίων (Trains) Σεναρίου 2.

User Specified

Tally

Expression	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Total passengers per train	299.96	0,165968074	61.0000	377.00

Time Persistent

Time Persistent	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Number of passengers at S1	50.3956	(Correlated)	0.00	143.00
Number of passengers at S2	50.3490	(Correlated)	0.00	145.00
Number of Passengers at S3	46.0166	0,048856589	0.00	144.00

Usage

None	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Occupancy at S1	0.3333	0,000266877	0.00	0.4767
Occupancy at S2	0.5665	0,000480529	0.03000000	0.7667
Occupancy at S3	0.7299	0,000434949	0.1967	0.9733

Εικόνα 80. Αναφορά αποτελεσμάτων Σεναρίου 2.

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα και συγκρίνοντάς τα με τα αποτελέσματα του σεναρίου 1, με 10λεπτη χρονο-απόσταση μεταξύ συρμών, συμπεραίνουμε ότι η τυχαιότητα -αύξηση της μεταβλητότητας- σε βάθος χρόνου δεν επηρεάζει τα μέτρα

απόδοσης. Το σύστημα μας είναι ευσταθές και συμπεριφέρεται το ίδιο, είτε με σταθερούς ρυθμούς άφιξης είτε με τυχαιότητα.

6.3. Σενάριο 3ο: Εκτέλεση προσομοιωτικού μοντέλου με διαφορετική δυναμικότητα συρμού (Capacity)

Στις γραμμές του Μετρό τρέχουν καθημερινά 3 διαφορετικοί τύποι συρμών. Σειράς I που είναι γαλλικής προέλευσης, σειράς II τα οποία είναι κορεάτικης προέλευσης και σειράς III ,με διαφορετική δυναμικότητα-χωρητικότητα επιβατών το καθένα. Σε αυτό το σενάριο θα εκτελέσουμε το μοντέλο χρησιμοποιώντας τη διαφορετική δυναμική του κάθε τύπου συρμού, απαντώντας στο ερώτημα τι γίνεται όταν αλλάζει το *Capacity* του συρμού στο βαθμό πληρότητας του κάθε σταθμού (*Occupancy at Sn* όπου $n=1,2,3$) και στον αριθμό επιβατών του κάθε σταθμού (*Number of Passengers at Sn*).

Αρχικά θα θεωρήσουμε ότι ο ρυθμός άφιξης είναι σταθερός και ίσος με 10επιβάτες /λεπτό, η χρονο-απόσταση μεταξύ των συρμών είναι 10 λεπτά. Το προσομοιωτικό μοντέλο θα τρέξει 3 φορές, έχοντας ως βάση αναφοράς τις παραπάνω μεταβλητές σταθερές, αλλάζοντας όμως το *Capacity* του συρμού.

- Capacity = 250 επιβάτες

Στο modules *Variable* δεξιά στο Μενού Εργαλειοθήκης αλλάζουμε το *Capacity* του συρμού σε 250 και παίρνουμε την παρακάτω αναφορά αποτελεσμάτων (εικ. 81-82):

Variable - Basic Process									Initial Values	
	Name	Comment	Rows	Columns	Data Type	Clear Option	File Name	Initial Values		
1	Waiting Passengers		3		Real	System		0 rows		
2	Capacity				Real	System		1 rows	250	
3	Time between trains				Real	System		1 rows		
4	Time to station		4		Real	System		4 rows		
5	Passenger Arrivals		3		Real	System		1 rows		

Εικόνα 81. Modules Variable – Καταχώρηση αριθμού capacity=250.

User Specified

Tally

Expression	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Total passengers per train	299.96	0,165965801	61.0000	370.00

Time Persistent

Time Persistent	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Number of passengers at S1	50.3956	(Correlated)	0.00	143.00
Number of passengers at S2	50.3490	(Correlated)	0.00	145.00
Number of Passengers at S3	46.1687	0,047304741	0.00	146.00

Usage

None	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Occupancy at S1	0.4000	0,000320253	0.00	0.5720
Occupancy at S2	0.6798	0,000576634	0.03600000	0.9200
Occupancy at S3	0.8759	0,000521936	0.2360	1.0000

Εικόνα 82. Αναφορά αποτελεσμάτων Σεναρίου 3.1.

Στο σταθμό S1 η μέση τιμή αναμονής είναι 10λεπτη χρονο-απόσταση, με σταθερό ρυθμό άφιξης επιβατών είναι 50 επιβάτες, με ελάχιστη τιμή 0 και μέγιστη τιμή 143 επιβάτες. Στο σταθμό S2 η μέση τιμή αναμονής είναι 50 επιβάτες, με ελάχιστη τιμή το 0 και μέγιστη τιμή τους 145 επιβάτες. Στο σταθμό S3 μέση τιμή αναμονής ορίζουμε 46 επιβάτες, με ελάχιστη τιμή 0 και μέγιστη τιμή 146 επιβάτες. Ο βαθμός πληρότητας του σταθμού S1 είναι 40% , του S2 68% και του S3 88% (εικ. 83).

- Capacity = 300 επιβάτες

Variable - Basic Process									Initial Values	
	Name	Comment	Rows	Columns	Data Type	Clear Option	File Name	Initial Values		
1	Waiting Passengers		3		Real	System		0 rows		
2	Capacity				Real	System		1 rows	300	
3	Time between trains				Real	System		1 rows		
4	Time to station		4		Real	System		4 rows		
5	Passenger Arrivals		3		Real	System		1 rows		

Εικόνα 83. Modules Variable – Καταχώρηση νέου αριθμού capacity=300.

Στο σταθμό S1 η μέση τιμή αναμονής ορίζεται σε 10λεπτη χρονο-απόσταση και ο σταθερός ρυθμός άφιξης των επιβατών ορίζεται στους 50 επιβάτες, με ελάχιστη τιμή 0 και μέγιστη τιμή 143 επιβάτες. Στο σταθμό S2 η μέση τιμή αναμονής είναι 50 επιβάτες, με ελάχιστη τιμή 0 και μέγιστη τιμή 145 επιβάτες. Στο σταθμό S3 η μέση τιμή αναμονής

είναι 46 επιβάτες, με ελάχιστη τιμή 0 και μέγιστη τιμή 144 επιβάτες. Ο βαθμός πληρότητας του σταθμού S1 είναι 33% , του S2 57% και του S3 73% (εικ. 84).

Tally				
Expression	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Total passengers per train	299.96	0,165968074	61.0000	377.00

Time Persistent				
Time Persistent	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Number of passengers at S1	50.3956	(Correlated)	0.00	143.00
Number of passengers at S2	50.3490	(Correlated)	0.00	145.00
Number of Passengers at S3	46.0166	0,048856589	0.00	144.00

Usage				
None	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Occupancy at S1	0.3333	0,000266877	0.00	0.4767
Occupancy at S2	0.5665	0,000480529	0.03000000	0.7667
Occupancy at S3	0.7299	0,000434949	0.1967	0.9733

Εικόνα 84. Αναφορά αποτελεσμάτων Σεναρίου 3.2

- Capacity = 350 επιβάτες (εικ. 85-86).

Variable - Basic Process								Initial Values	
	Name	Comment	Rows	Columns	Data Type	Clear Option	File Name	Initial Values	
1	Waiting Passengers		3		Real	System		0 rows	
2	▶ Capacity				Real	System		1 rows	350
3	Time between trains				Real	System		1 rows	
4	Time to station		4		Real	System		4 rows	
5	Passenger Arrivals		3		Real	System		1 rows	

Εικόνα 85. Modules Variable – Καταχώρηση νέου αριθμού capacity=350.

Tally				
Expression	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Total passengers per train	299.96	0,165968074	61.0000	377.00
Time Persistent				
Time Persistent	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Number of passengers at S1	50.3956	(Correlated)	0.00	143.00
Number of passengers at S2	50.3490	(Correlated)	0.00	145.00
Number of Passengers at S3	46.0166	0,048856589	0.00	144.00
Usage				
None	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Occupancy at S1	0.2857	0,000228752	0.00	0.4086
Occupancy at S2	0.4856	0,000411882	0.02571429	0.6571
Occupancy at S3	0.6257	0,000372814	0.1686	0.8343

Εικόνα 86. Αναφορά αποτελεσμάτων Σεναρίου 3.3.

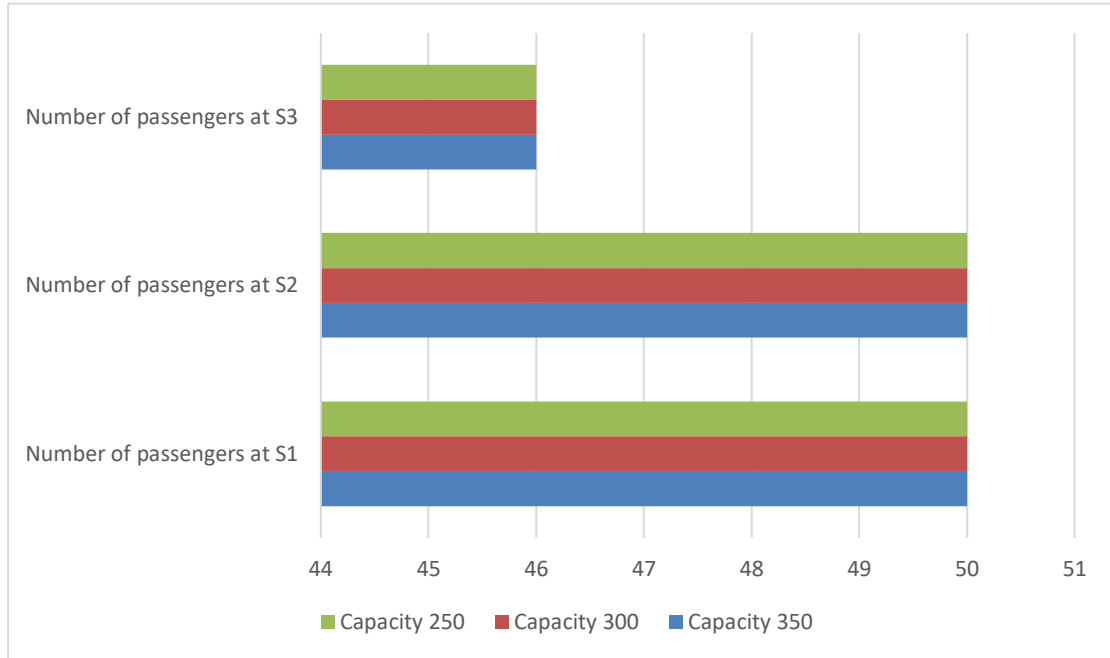
Στο σταθμό S1 η μέση τιμή αναμονής είναι 10λεπτη χρονο-απόσταση, με σταθερό ρυθμό άφιξης επιβατών 50, με ελάχιστη τιμή επιβατών 0 και μέγιστη τιμή 143. Στο σταθμό S2 η μέση τιμή αναμονής ορίζεται 50 επιβάτες, με ελάχιστη τιμή 0 και μέγιστη τιμή 145επιβάτες. Στο σταθμό S3 η μέση τιμή αναμονής είναι 46 επιβάτες, με ελάχιστη τιμή το 0 και με μέγιστη τιμή τους 144 επιβάτες. Ο βαθμός πληρότητας του σταθμού S1 είναι 26% , του S2 49% και του S3 63%. Με βάση το παραπάνω σενάριο προκύπτει ο κάτωθι πίνακας (πίν. 3):

Πίνακας 3. Εναλλακτικά σενάρια με ανεξάρτητη μεταβλητή τον αριθμό των επιβατών.

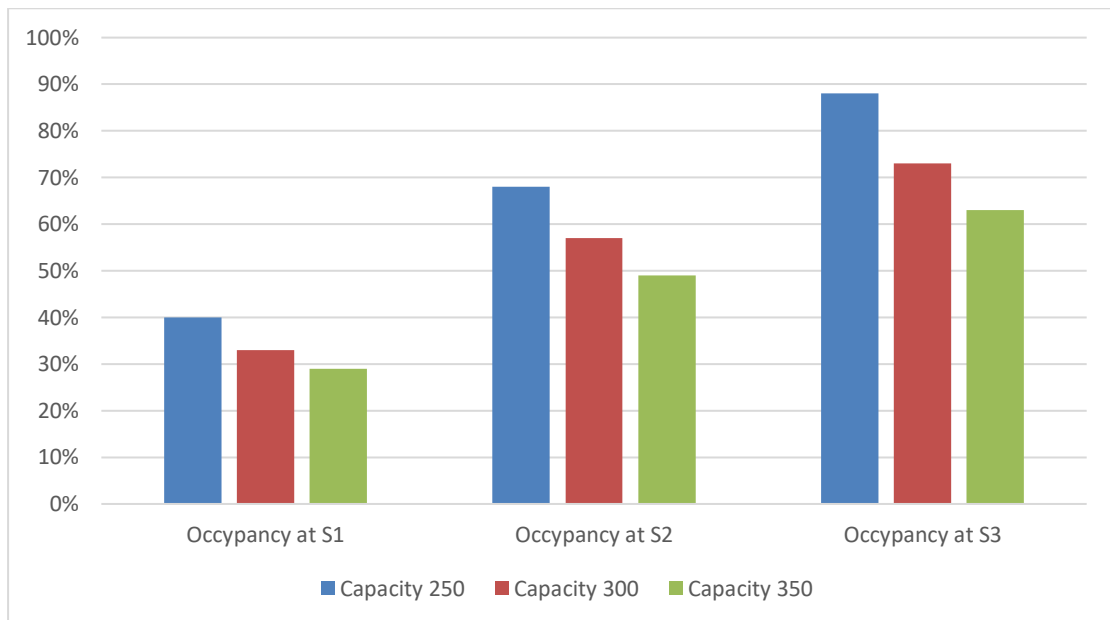
Capacity	250	300	350
Number of passengers at S1	50	50	50
Number of passengers at S2	50	50	50
Number of passengers at S3	46	46	46
Occypancy at S1	40%	33%	29%
Occypancy at S2	68%	57%	49%
Occypancy at S3	88%	73%	63%

Παρατηρώντας, ερμηνεύοντας και αναλύοντας τον παραπάνω πίνακα (πίν. 3), διακρίνουμε ότι ο αριθμός των επιβατών που αναμένουν στην αποβάθρα των σταθμών δεν επηρεάζεται από τη δυναμική του συρμού. Αντιθέτως, επηρεάζεται ο βαθμός

πληρότητας του σταθμού, καθώς το *Capacity* αυξάνεται ενώ ο βαθμός πληρότητας μειώνεται. Αυτό σημαίνει ότι όσο περισσότεροι επιβάτες επιβιβάζονται στο συρμό, τόσο λιγότεροι επιβάτες παραμένουν στην αποβάθρα (διάγρ. 4-5).



Διάγραμμα 4. Σχέση Capacity – Number of passengers at Sn.



Διάγραμμα 5. Σχέση Capacity – Occypancy at Sn.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή δημιουργήθηκε και παρουσιάστηκε το προσομοιωτικό μοντέλο Arena (student Edition). Στο μοντέλο έγινε αποτύπωση και ανάλυση των ελέγξιμων μεταβλητών, όπως χρονο-απόσταση, *capacity* (χωρητικότητα συρμού), ρυθμός άφιξης επιβατών. Επίσης, μελετήθηκε το αν οι ελέγξιμες αυτές πηγές επηρεάζουν την καλή λειτουργία του συστήματος του Μετρό και με ποιον τρόπο· δηλαδή αριθμός δρομολογίων, αριθμός επιβατών ανά σταθμό, βαθμός πληρότητας κάθε σταθμού και χρόνος αναμονής στις αποβάθρες.

Διαπιστώθηκε ότι:

1. Υπάρχει μια αντιστρόφως ανάλογη σχέση ανάμεσα στη χρονο-απόσταση και στον αριθμό των δρομολογίων. Όσο μειώνεται η τιμή της χρονο-απόστασης, τόσο αυξάνεται ο αριθμός των δρομολογίων, που σημαίνει ότι τα δρομολόγια εκτελούνται με μεγαλύτερη συχνότητα.
2. Η σχέση ανάμεσα στη μεταβλητή της χρονο-απόστασης και στις μεταβλητές του αριθμού επιβατών ανά σταθμό (αναμονή) είναι ανάλογη, καθώς όσο μειώνεται η χρονο-απόσταση μειώνεται και η αναμονή των επιβατών στις αποβάθρες.
3. Η σχέση ανάμεσα στη μεταβλητή της χρονο-απόστασης και στο βαθμό πληρότητας του κάθε σταθμού είναι ανάλογη, μιας και ανάλογα με το πόσο μειώνεται η χρονο-απόσταση μειώνεται και η αναμονή των επιβατών στις αποβάθρες.
4. Η τυχαιότητα -αύξηση της μεταβλητότητας- σε βάθος χρόνου δεν επηρεάζει τα μέτρα απόδοσης. Το σύστημα μας είναι ευσταθές και συμπεριφέρεται το ίδιο, είτε με σταθερούς ρυθμούς άφιξης είτε με τυχαιότητα.
5. Κάθε φορά που το *Capacity* (χωρητικότητα συρμού) αυξάνεται, ο βαθμός πληρότητας των σταθμών μειώνεται· δηλαδή όσοι περισσότεροι επιβάτες επιβιβάζονται στο συρμό, τόσο λιγότεροι επιβάτες παραμένουν στην αποβάθρα.

Τα συμπεράσματα της ανάλυσης θεωρούνται πρωτόλεια, με την έννοια ότι δεν προχωρούν την ανάλυση των σεναρίων σε βάθος, δεδομένου ότι η ανάλυση έγινε μόνο σε 3 σταθμούς του Μετρό. Βέβαια, το παρόν μοντέλο αποτελεί εργαλείο σχεδιασμού και ανάλυσης σε ερωτήματα *what-if* σχετικά με τη λειτουργία μιας γραμμής Μετρό,

εφόσον πρώτα παραμετροποιηθεί· δηλαδή προσαρμοστούν οι μεταβλητές του μοντέλου σε εκείνες του πραγματικού συστήματος υπό μελέτη.

Σε συνέχεια αυτής της ερευνάς θα μπορούσαμε να επεκτείνουμε το σύνολο του δείγματος-σταθμών Μετρό της Αθήνας, για να διαπιστώσουμε αν τα αποτελέσματά της σχετίζονται με αυτά της παρούσας έρευνας. Μια επίσης σπουδαία μελέτη θα μπορούσε να αποτελέσει η συγκριτική μελέτη σταθμών Μετρό ανάμεσα σε χώρες της Ευρώπης ή σε σταθμούς Μετρό της Αθήνας και σε σταθμούς Μετρό από όλον τον κόσμο. Τα συμπεράσματα αυτής πιθανόν να φέρουν στην επιφάνεια προβλήματα στη λήψη αποφάσεων των ιθυνόντων του Μετρό της Αθήνας ή να αποτελέσει το εφαλτήριο για ανεύρεση νέων λύσεων σε διοικητικής φύσης προβλήματα.

Βιβλιογραφία

Ελληνόγλωσση

- Αττικό Μετρό, 2013. Τα έργα σε λειτουργία: Τεχνικά Στοιχεία, Αττικό Μετρό Α.Ε. Ανακτήθηκε από <https://www.ametro.gr/page/default.asp?la=1&id=600> [προσπελάστηκε στις 15 Σεπ. 2013].
- Golub, A-L., 2007. *Ορθολογική λήψη αποφάσεων: Μια ολοκληρωμένη προσέγγιση* (2η Έκδ.), Μητρόπουλος Ι. (Επιμ.). Αθήνα: Gotsis.
- Κουικόγλου, Β., 2002. *Προσομοίωση: Σημειώσεις μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης*. Ανακτήθηκε από http://www.mie.uth.gr/ekp_yliko/simulation.pdf
- Παππής, Κ., 2008. *Διοίκηση παραγωγής: Ο σχεδιασμός παραγωγικών συστημάτων* (2η Έκδ.). Αθήνα: Σταμούλης.

Ξενόγλωσση

- Adam, Jr., & Ebert, R. J., 2001. *Production and Operation Management: Concept, Models and Behavior* (5th Ed.). New Delhi: Prentice Hall of India.
- Afaq, K., Jiang, Y., Hu, L., & Zhu, J., 2016. Modeling and Simulation of Metro Transit Station Walkway as a State-dependent Queuing System based on the Phase-Type Distribution. *International Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 5(5), pp. 103-111.
- Aitken, Brian, J., & Harrison, A., 1999. Do Domestic Firms Benefit from Direct Foreign Investment? Evidence from Venezuela. *American Economic Review*, 89 (3), pp. 605-618.
- Alfa, A.S. & Zhao, Y. Q., 2000. Overload analysis of the PH/PH/1/K queue and the queue of M/G/1/K type with verylarge K. *Asian Pacific Journal of Operational Research*, 17, pp. 122-136.
- Aminu, Y.A., 2000. *Operation Research Techniques (for Science and Management)*. Ilorin, Nigeria: Mata Leadership Publications.
- Aremu, M. A., 2005. Managing Queues to enhance Customers` Satisfaction in Nigerian Banking Industry. *The Nigerian Academic Forum, A Multidisciplinary Journal of the National Association of Academics (N.A.A)*, 9(1), pp. 25-36.
- Ashley, D. W., 2000. *Introduction to Waiting Line Models*. Ανακτήθηκε 20/02/2013 από <http://www.google.com>.
- Awodun, M. O. , & Jongbo, C. O., 2010. *Basic Operations Research*. Lagos: Pumark Nigeria Limited (Educational Publishers).
- Bakke, D., 2013. *The decision maker: Unlock the potential of everyone in your organization, one decision at a time*. Seattle, WA: Pear Press.
- Banks, J., 2010. *Discrete-event System Simulation*. 2010: Prentice Hall.
- Banks, J., Carson, Nelson, B., & Nicol, D., 2010. *Discrete-Event System Simulation*. (5η Έκδ.) Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Board T. R. of Sciences Engineering and Medicine, 2013. *Transit Capacity and Quality of Service Manual*, (3th Ed.). Edited by I. Kittelson & Associates et al. Washington, DC: The National Academies Press.
- Bogen, J., & Woodward, J., 2008. Data and phenomena. *Synthese*, 79, pp. 393-472.

- Cantos, P., Pastor, J., & Serrano, L., 1999. Productivity, efficiency and technical change in the European railways: a non-parametric approach, *Transportation*, 26, pp. 337-357.
- Cantos, P., Pastor, J., & Serrano, L., 2002. Cost and revenue inefficiencies in the European railways, *International Journal of Transport Economics*, 29, pp. 279-308.
- Cayirci, E., 2013. Modeling and simulation as a cloud service: a survey. *In Simulation Conference (WSC)*, 2013 Winter, pp. 389-400.
- Chapra, S. C., & Canale, R. P., 2006. *Numerical methods for engineers*. Boston: McGraw-Hill.
- Child, J., 1997. Strategic Choice in the Analysis of Action, Structure, Organizations and Environment: Retrospect and Prospect. *Organization Studies*. 18 (1), pp.43-76.
- Cowie, J., & Riddington, G., 1996. Measuring the efficiency of European railways. *Applied Economics*, 28, pp. 1027-1035.
- Cruz, F.R.B., MacGregor S., & Medeiros, R. O., 2005. An M/G/C/C state-dependent network simulation model. *Computers & Operations Research*, 32(4): pp. 919-941.
- Daellenbach, A., & George, J. A., 1978. *Introduction to Operations Research Techniques*. Boston: Allyn and Bacon Inc.
- Davenport, R., 2006. Competing on Analytics Article (PDF Available). *Harvard business review*, 84(1), pp. 98-107, 134.
- Davis, M. N., & Heinete, J., 1994. Understanding the Role of the Customer and Operation for better Queue Management. *International Journal of Operations and Production Management in Hospital Pharmacy*. 36(3), pp. 21-34.
- Dodgson, J. S., 1985. A survey of recent developments in the measurement of rail total factor productivity, in Button, K. J., and Pitfield, D.E. (eds). *International Railway Economics*. Aldershot: Gower.
- Fakokunde, T. O., 2017. *Production and Operations Management: A Basic Course*. Lagos: Clincard Dimension.
- Fisher, E., 2009. Motivation and Leadership in Social Work Management: A Review of Theories and Related Studies. *Administration in Social Work*, 33, pp. 347-367.
- Freeman, K. D., Oum, T. H., Tretheway, M. W. , & Waters, W. G., 1985. The total factor productivity of the Canadian Class I railways: 1956 – 1981. *Logistics and Transportation Review*, 21, pp. 249-276.
- Graham, D. J., Couto, A., Adeney, W.E, & Glaister, S., 2003. Economies of scale and density in urban rail transport: effects on productivity. *Transportation Research*, 39, pp. 443-458.
- Gorney, L., 1981. *Queuing Theory: A Problem Solving Approach*. New York: Petrocoili Books Inc.
- Griffin, W., 1978. *Queuing: Basic Theory and Applications*. Ohio: Grid.
- Cruz, F. R. B., J., MacGregor, S., & Medeiros, R. O., 2005. An M/G/C/C state-dependent network simulation model. *Computers & Operations Research*, 32(4), pp. 919-941.
- James, T., & Benson, P. G., 1988. *Statistics for Business and Economics*, (4th Ed.). San Francisco: Dellen Publishing Co.
- Jiang, Y., & Lin, X., 2013. Simulation and Optimization of the Ticket Vending Machine Configuration in Metro Stations Based on Anylogic Software. *ICTE*, 25(2), pp. 754-760.

- Jiang, Y., Lu, H., Juanxiu, Z., & Yanru, C., 2013b. PH fitting of the arrival interval distribution of the passenger flow on urban rail transit stations. *Applied Mathematics and Computation*, 225, pp. 158-170.
- Jorge, L., 2016. *Lecture Notes on Traffic Simulation*. Georgia Institute of Technology.
- Harrison, F., 1999. *The managerial decision-making process*, (54th Ed.). Boston: Houghton Mifflin.
- Hannagan, T., 1995. *Management Concept and Practices*. London: Pitman Publishing.
- Hu, L., et. al., 2013. Hybrid of the scatter search, improved adaptive genetic, and expectation maximization algorithms for phase-type distribution fitting. *Applied Mathematics and Computation*, 219(10), pp. 5495-5515.
- Huber, G. P., & McDaniel, R. R., 1986. The decision-making paradigm of organizational design. *Management Science*, 32(5), pp. 572-589.
- Krstanoski, N., 1996. *Rapid transit line performance analysis: A stochastic approach*. A dissertation in Systems Engineering. USA: University of Pennsylvania.
- Krstanoski, N., 2014. Modelling passenger distribution on metro station platform. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 4(4), pp. 456-465.
- Leemis, L. M., & Park, S. K., 2006. *Discrete-event simulation: A first course*. Upper Saddle River, N.J.: Pearson Prentice Hall.
- Mahmud, K., & Town, G., 2016. "A review of computer tools for modeling electric vehicle energy requirements and their impact on power distribution networks. *Applied Energy*. 172, pp. 337-359.
- McGeehan, H., 1993. Railway costs and productivity growth: the case of the Republic of Ireland, 1973-1983. *Journal of Transport Economics and Policy*, 27, pp. 19-32.
- Merton, R., 1987. A Simple Model of Capital Market Equilibrium with Incomplete Information. *The Journal of Finance*, 42(3), pp. 483-510.
- Michael, K., 2001. *Service on Call*. Banking Technology News Service Network.
- Mori, B., 1988. *A study of the dwell time at urban rail transit stations*. Master Thesis. Department of Civil Engineering University of Toronto.
- Morrow, P., 1993. *The Theory and Measurement of Work Commitment*. JAI Press, Greenwich.
- Olaitan, R., Bojerenu, M., & Onyebuchi, J., 2015. Cost Efficiency of Nigerian Banks: An Empirical Analysis. *International Journal of Development Strategies in Humanities, Management and Social Sciences*, 5(1), pp. 48-62.
- Oum, T., & Yu, C, 1994. Economic efficiency of railways and implications for public policy: a comparative study of OECD countries railways. *Journal of Transport Economics and Policy*, 28, pp. 121-138.
- Oum, T., Waters, W., & Yu, C., 1999. A survey of productivity measurement and efficiency in rail transport. *Journal of Transport Economics and Policy*, 33, pp. 9-42.
- Prabhu, N. U., 1997. *Foundations of Queuing Theory*. New York: Huwer Academic Publishers.
- Petty, K., Mahoney, W., Cowie, J., Dumont, A., & Myers, W., 2007. Providing Winter Road Maintenance Guidance: An Update of the Federal Highway Administration Maintenance Decision Support System (MDSS). *7th International Symposium on Snow Remova Transportation Research Board*.
- Pettigrew, R., 2014. Accuracy, Risk, and the Principle of Indifference. *Philosophy and Phenomenological Research*, 92(1), pp. 35-59.
- Pfeffer, J., & Sutton, R. I., 2006. Profiting from evidence-based management. *Strategy & Leadership*, 34(2), pp.35-42.

- Pisano, P., Stern, A., & Mahoney, W., 2005. The U.S Federal Highway Administration Winter Road Maintenance Decision Support System (MDSS) Project: Overview and Results. *21st International Conference on Interactive Information Processing Systems (IIPS) for Meteorology, Oceanography, and Hydrology*, San Diego, CA., Amer. Meteor. Soc.
- Quddus, M., Harris, N., & Graham, D., 2007. Metro Station Operating Costs: An Econometric Analysis. *Journal of Public Transportation*, 10(2), pp. 93-107.
- Reijsbergen, D., Gilmore, S., & Hillston, J., 2015. Patch-based Modelling of City-centre Bus Movement with Phase-type Distributions. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, 310, pp. 157-177.
- Ronald, A. & James, P. W., 2001. Queuing Theory and Customers Satisfaction: A Review of Terminology, Trends, and Applications to Pharmacy Practice. *Hospital Pharmacy*, 36(3), pp. 275-279.
- Saaty, T., (2008) Decision making with the analytic hierarchy process Int. J. Services Sciences, Vol. 1, No. 1, 2008
- Seth, L., & Petty, K., 2014. *The use of metro (model of the environment and temperature of the roads) in roadway operation decision support systems*.
- Sharma, J. K., 2009. *Operations Research: Theory and Applications*, (4th Ed.). New Delhi: Macmillian Publishers India Ltd.
- Simon, H. A., 1997. *Administrative behavior: A study of decision-making processes in administrative organizations*, (4th Ed.). New York: Free Press.
- Slack, N., Chambers, S., & Johnston, R., 2012. *Operations Management*, (6th Ed.). Essex: Pearson Education Limited.
- Sokolowski, J. A., Banks, C. M., 2009. *Principles of Modeling and Simulation*. Hoboken, NJ: Wiley.
- Stevenson, W. J., 2009. *Operations Management*, (10th Ed.). New York: McGrawhill and Irwin.
- Szplett, D., Wirasinghe, S. C., 1984a. An Investigation of Passenger Interchange and Train Standing Time at LRT Stations: (i) Alighting, Boarding and Platform Distribution of Passengers. *Journal of Advanced Transportation*, 18(1), pp. 1-12.
- Szplett, D., Wirasinghe, S. C., 1984b. An Investigation of Passenger Interchange and Train Standing Time at LRT Stations: (ii) Estimation of standing Time. *Journal of Advanced Transportation*, 18(1) pp.13-24.
- Tretheway, M. W., Waters W. G., & Fok, A. K., 1997. The total factor productivity of the Canadian railways, 1956-91. *Journal of Transport Economics and Policy*, 31, pp. 93-113.
- Trueman, R. E., 1977. *An Introduction to Quantitative Methods for Decision Making*, (2nd Ed). New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Vohra, N. D., 2007. *Quantitative Techniques in Management* (3rd Ed.). New Delhi, India: Tata McGraw-Hill Publishing Company Ltd.
- Weihrich, H., Cannice, M. V., & Koontz, H., 2011. *Management: A Global Entrepreneurial Perspective* (13th edition). New Delhi: Tata McGraw- Hill Education Private Ltd.
- Whitley, R., 2000. The Institutional Structuring of Innovation Strategies: Business Systems, Firm Types and Patterns of Technical Change in Different Market Economies. *Sage Journal*, 21(5). pp. 855-886.
- Wild, R., 1980. *Production and Operations Management: Principles and Techniques*. London: Cassell.

- Woodward, J., 2000. Data, phenomena, and reliability. *Philosophy of Science*, 67, pp. S163–S179.
- Wunsch, P., 1996. Cost and productivity of major urban transit systems in Europe. *Journal of Transport Economics and Policy*, 30, pp. 171-186.
- Wu, Y., Rong, J., Wei, Z., & Liu, X., 2012. Modeling Passenger Distribution on Subway Station Platform prior to the Arrival of Trains. *Transportation Research Board Annual Meeting 2012*, Paper #12.
- Xu, X., Liu, J., Li, H., & Hu, J., 2014. Analysis of metro transit station Capacity with the use of queueing theory. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 38, pp. 28-43.
- Ying, H., Fengjin, Y., & ShouWen, J., 2014. “Queueing theory based simulation and optimization of ticket office”. In *Advanced Research and Technology in Industry Applications (WARTIA)*, Work shop.
- Zahraee, A. H., Szewczyk, J., Paik, J.K., Guillaume, M., 2010. Robotic hand-held surgical device: evaluation of end-effector's kinematics and development of proof-of-concept prototypes. *Proceedings of the 13th International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention*, Beijing, China.

Διαδικτυακή

http://www.mie.uth.gr/ekp_yliko/simulation.pdf

http://en.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Contact_us/Photo_submission

http://www.ypodomes.com/index.php/alles-ypodomes/endiaferouses_eidiseis/item/429-12-to-metro-athinas-stin-17i-thesi-se-oli-tin-evropi

<https://www.mbaskool.com/business-concepts/marketing-and-strategy-terms/16694-strategic-choice.html> [ημερομηνία πρόσβασης 12/2018].

What is Management Science Research? University of Cambridge 2008. Αναρτήθηκε 5 June 2009

What is Management Science? Lancaster University, 2008. Αναρτήθηκε στις 5 June 2008