



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΤΑΘΜΟΥ ΔΙΟΔΙΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

υπό

ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΓΕΡΟΘΑΝΑΣΗ

Διπλωματούχου Ηλεκτρολόγου Μηχανικού & Μηχανικού Υπολογιστών

Επιβλέπων καθηγητής:

Δρ. ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ ΚΟΥΚΟΥΜΙΑΛΟΣ

Μεταπτυχιακή Εργασία

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των
απαιτήσεων για την απόκτηση του
Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης

Βόλος, 2025

© 2025 Δημήτριος Γεροθανάσης

Η έγκριση της μεταπτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων)	Δρ. Στυλιανός Κουκούμιαλος Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
---------------------------------	---

Δεύτερος Εξεταστής	Δρ. Γιώργος Λυμπερόπουλος Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
--------------------	--

Τρίτος Εξεταστής	Δρ. Δημήτριος Παντελής Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
------------------	---

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας, αισθάνομαι την ανάγκη να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσοι συνέβαλαν, άμεσα ή έμμεσα, στην πραγματοποίηση αυτής της επιστημονικής διαδρομής.

Πρώτα απ' όλα, οφείλω ιδιαίτερη ευγνωμοσύνη στον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Στυλιανό Κουκούμιαλο, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, την επιστημονική του γνώση και τη συνεχή καθοδήγηση και υποστήριξη. Η συμβολή του ήταν καθοριστική τόσο στην ακαδημαϊκή μου εξέλιξη όσο και στην επιτυχή ολοκλήρωση της εργασίας αυτής.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά τα μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής, Καθηγητές κ.κ. Γιώργο Λυμπερόπουλο και Δημήτριο Παντελή, για τον χρόνο που διέθεσαν, την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου, καθώς και για τις εύστοχες παρατηρήσεις και εποικοδομητικές τους υποδείξεις, οι οποίες συνέβαλαν ουσιαστικά στη βελτίωσή της.

Τέλος, είμαι ευγνώμων στους γονείς μου, για την ολόψυχη αγάπη και υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια. Αφιερώνω αυτή την εργασία στην γυναίκα μου Βιβή και στον γιο μας, που ήρθε στον κόσμο στις 24 Μαρτίου 2025, χαρίζοντάς μας ανείπωτη χαρά.

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΤΑΘΜΟΥ ΔΙΟΔΙΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Δημήτριος Γεροθανάσης

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 2025

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Στυλιανός Κουκούμιαλος,

Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στην αξιολόγηση της λειτουργικής απόδοσης του μετωπικού σταθμού διοδίων Κλειδίου με χρήση προσομοίωσης. Οι σταθμοί διοδίων, αποτελούν σημεία πιθανής κυκλοφοριακής συμφόρησης, καθώς η διαδικασία είσπραξης τελών μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τη ροή της κυκλοφορίας. Στο πλαίσιο της σύμβασης παραχώρησης, ο δημόσιος διαχειριστής απαιτεί από τον παραχωρησιούχο την τήρηση δεικτών αποδοτικότητας. Ωστόσο, δεν υπάρχει πάντα ένα ενοποιημένο σύστημα αξιολόγησης της λειτουργικής απόδοσης των σταθμών διοδίων. Για το λόγο αυτό, αναπτύχθηκε μια μεθοδολογική διαδικασία που περιλαμβάνει τη συλλογή και ανάλυση κυκλοφοριακών δεδομένων, τη δημιουργία μοντέλου προσομοίωσης στο λογισμικό Arena, την επαλήθευση των αποτελεσμάτων του μοντέλου, καθώς και την αξιολόγηση της λειτουργικής απόδοσης μέσω βασικών δεικτών (χρόνος εξυπηρέτησης, χρόνος αναμονής, μήκος ουράς, επίπεδο εξυπηρέτησης). Η μελέτη περίπτωσης του σταθμού διοδίων Κλειδίου ανέδειξε ότι, με βάση τα τρέχοντα δεδομένα κυκλοφορίας, ο σταθμός λειτουργεί ικανοποιητικά, καθώς η παρατηρούμενη ροή παραμένει χαμηλότερη από τη δυναμικότητα του συστήματος. Ωστόσο, η ανάλυση μελλοντικών σεναρίων δείχνει ότι η εφαρμογή τεχνολογιών ελεύθερης ροής (free-flow) ή άλλων εναλλακτικών παρεμβάσεων θα μπορούσε να προσφέρει σημαντικά οφέλη στους χρήστες, μειώνοντας τον χρόνο διέλευσης και βελτιώνοντας την απόδοση του συστήματος.

EVALUATION OF OPERATIONAL PERFORMANCE OF A TOLL PLAZA USING SIMULATION

Dimitrios Gerothanasis

Department of Mechanical Engineering, University of Thessaly, 2025

Supervisor: Dr Stilianos Koukoumialos

Professor of Department of Mechanical Engineering, University of Thessaly

Abstract

This thesis focuses on the evaluation of the operational performance of the Kleidi toll plaza using simulation. Toll plazas represent potential traffic bottlenecks, as the toll collection process can negatively impact traffic flow. Within the framework of the concession agreement, the public authority requires the concessionaire to comply with performance indicators. However, there is not always a unified system in place for assessing the operational performance of toll plazas. For this reason, a comprehensive methodological procedure was developed, which includes the collection and analysis of traffic data, the creation of a simulation model in the Arena software, the verification of the model results, and the evaluation of operational performance through key indicators (service time, waiting time, queue length, level of service). The case study of the Kleidi toll plaza demonstrated that, based on the current traffic data, the plaza operates satisfactorily, as the observed flow remains below the system's capacity. However, the analysis of future scenarios indicates that the implementation of free-flow technologies or other alternative interventions could offer significant benefits to users by reducing the crossing time and improving the system's overall performance.

Πίνακας Περιεχομένων

1	Εισαγωγή.....	1
1.1	Στόχοι	1
1.2	Δομή της εργασίας.....	1
2	Το σύστημα των διοδίων	3
2.1	Σταθμοί διοδίων	3
2.1.1	Σταθμοί διοδίων	3
2.1.2	Συστήματα συλλογής διοδίων.....	5
2.1.3	Τύποι και διαμορφώσεις σταθμών διοδίων	6
2.1.4	Διατάξεις πυλών σταθμών διοδίων.....	8
2.2	Μέθοδοι συλλογής διοδίων.....	10
2.2.1	Χειροκίνητη Συλλογή Διοδίων (Manual Toll Collection - MTC)	11
2.2.2	Ηλεκτρονική Συλλογή Διοδίων (Electronic Toll Collection - ETC)	11
2.2.3	Συνδυασμένα Συστήματα (Hybrid Tolling)	13
2.2.4	Τεχνολογικές Τάσεις και Μελλοντικές Εξελίξεις	14
2.2.5	Σύγκριση Μεθόδων ως προς την Απόδοση	15
2.2.6	Επιπτώσεις στην κυκλοφορία και το περιβάλλον	16
2.3	Μεταβλητές που σχετίζονται με τους σταθμούς διοδίων	16
2.3.1	Αφίξεις οχημάτων.....	16
2.3.2	Ποσοστό επιλογής καμπινών	19
2.3.3	Χρόνος μετακίνησης	20
2.3.4	Χρόνος εξυπηρέτησης	22
2.4	Παράμετροι απόδοσης των σταθμών διοδίων	23
2.4.1	Μέσος χρόνος καθυστέρησης ανά όχημα.....	23
2.4.2	Μήκος ουράς οχημάτων.....	24
2.4.3	Βαθμός χρήσης καμπινών	24
2.4.4	Ροή οχημάτων ανά λωρίδα (Throughput)	24
2.4.5	Χρόνος εξυπηρέτησης (Service time)	24
2.4.6	Επίπεδο εξυπηρέτησης (LOS)	25
2.4.7	Αξιοπιστία συστήματος & ποσοστό σφαλμάτων	25
3	Μοντελοποίηση προσομοίωσης	26
3.1	Ο προσομοιωτής Arena	26
3.2	Προτεινόμενη μεθοδολογική διαδικασία	28
3.3	Βήμα I - Χαρακτηρισμός του σταθμού διοδίων και ανάλυση δεδομένων	28
3.4	Βήμα II - Μοντελοποίηση του σταθμού διοδίων με προσομοίωση	30
3.4.1	Δημιουργία του μοντέλου προσομοίωσης στο Arena	31
3.4.2	Μέρος 1 ^ο - Είσοδος των οχημάτων στο σταθμό διοδίων	36
3.4.3	Μέρος 2 ^ο - Επιλογή καμπίνας διοδίων βάσει του τύπου είσπραξης	37
3.4.4	Μέρος 3 ^ο - Μετακίνηση των οχημάτων στις καμπίνες πληρωμής.....	38
3.4.5	Μέρος 4 ^ο - Διαδικασία πληρωμής και έξοδος των οχημάτων από το σταθμό διοδίων	40
3.4.6	Αρχείο αναφοράς της προσομοίωσης.....	41
3.5	Βήμα III - Επαλήθευση και βαθμονόμηση του μοντέλου προσομοίωσης	43
3.5.1	Επαλήθευση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης.....	43
3.5.2	Βαθμονόμηση του μοντέλου	43
3.5.3	Ανάλυση των αποτελεσμάτων	44
3.6	Βήμα IV – Αξιολόγηση των λειτουργικών αποδόσεων του σταθμού διοδίων.....	44
3.6.1	Αξιολόγηση της λειτουργικής απόδοσης του σταθμού διοδίων.....	44

3.6.2	Καθορισμός μελλοντικών σεναρίων με προβλέψεις κυκλοφορίας	45
3.6.3	Προοπτικές εφαρμογής εναλλακτικών παρεμβάσεων	45
4	Μελέτη περίπτωσης.....	47
4.1	Η εταιρεία Αυτοκινητόδρομος Αιγαίου Α.Ε.	47
4.2	Μετωπικός σταθμός διοδίων Κλειδίου.....	53
4.3	Βήμα Ι - Χαρακτηρισμός του σταθμού διοδίων Κλειδίου και ανάλυση δεδομένων.....	53
4.3.1	Συλλογή δεδομένων	55
4.3.2	Αφίξεις οχημάτων.....	57
4.3.3	Ποσοστό επιλογής καμπινών	61
4.3.4	Χρόνος μετακίνησης	64
4.3.5	Χρόνος εξυπηρέτησης – Service Time	66
4.4	Βήμα ΙΙ - Μοντελοποίηση του σταθμού διοδίων Κλειδίου με προσομοίωση.....	69
4.4.1	Δεδομένα εισόδου στο μοντέλο προσομοίωσης	69
4.4.2	Μοντέλο προσομοίωσης στο Arena	69
4.4.3	Αποτελέσματα της προσομοίωσης.....	70
4.5	Βήμα ΙΙΙ - Επαλήθευση και βαθμονόμηση του μοντέλου προσομοίωσης	71
4.5.1	Επαλήθευση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης.....	71
4.5.2	Βαθμονόμηση του μοντέλου	72
4.5.3	Ανάλυση των αποτελεσμάτων	72
4.5.4	Αξιολόγηση της λειτουργικής απόδοσης του σταθμού διοδίων Κλειδίου	75
4.5.5	Καθορισμός μελλοντικών σεναρίων με προβλέψεις κυκλοφορίας	77
4.5.6	Προοπτικές εφαρμογής εναλλακτικών παρεμβάσεων	85
5	Συμπεράσματα	88

Παράρτημα 90

1.	Δεδομένα κυκλοφορίας από τον Ιανουάριο του 2010 έως τον Δεκέμβριο του 2024, για το μετωπικό σταθμό Κλειδίου, ανά κατεύθυνση.	90
2.	Μηνιαία δεδομένα κυκλοφορίας, για το μετωπικό σταθμό Κλειδίου, για το έτος 2024.....	91
3.	Μηνιαία δεδομένα κυκλοφορίας, για το μετωπικό σταθμό Κλειδίου, για το έτος 2024, στη νότια κατεύθυνση, ανά κατηγορία οχήματος.	91
4.	Ημερήσια δεδομένα κυκλοφορίας, για το μετωπικό σταθμό Κλειδίου, για τον Αύγουστο 2024, στη νότια κατεύθυνση.	92
5.	Ωριαία δεδομένα κυκλοφορίας, για το μετωπικό σταθμό Κλειδίου, για τον Αύγουστο 2024, στη νότια κατεύθυνση.	92
6.	Ωριαία δεδομένα κυκλοφορίας, για το μετωπικό σταθμό Κλειδίου, για τον Αύγουστο 2024, στη νότια κατεύθυνση, για τα οχήματα Κατηγορίας 1.	93
7.	Ωριαία δεδομένα κυκλοφορίας, για το μετωπικό σταθμό Κλειδίου, για τον Αύγουστο 2024, στη νότια κατεύθυνση, για τα οχήματα Κατηγορίας 2.	93
8.	Ωριαία δεδομένα κυκλοφορίας, για το μετωπικό σταθμό Κλειδίου, για τον Αύγουστο 2024, στη νότια κατεύθυνση, για τα οχήματα Κατηγορίας 3.	94
9.	Ωριαία δεδομένα κυκλοφορίας, για το μετωπικό σταθμό Κλειδίου, για τον Αύγουστο 2024, στη νότια κατεύθυνση, για τα οχήματα Κατηγορίας 4.	94

10.	Δεδομένα επιλογής καμπίνων για την περίοδο κυκλοφοριακής αιχμής (10:00 – 15:00), για τον μετωπικό σταθμό Κλειδίου, για τον Αύγουστο 2024, στη νότια κατεύθυνση, για τα οχήματα Κατηγορίας
1.	95
11.	Δεδομένα επιλογής καμπίνων για την περίοδο κυκλοφοριακής αιχμής (10:00 – 15:00), για τον μετωπικό σταθμό Κλειδίου, για τον Αύγουστο 2024, στη νότια κατεύθυνση, για τα οχήματα Κατηγορίας
2.	96
12.	Δεδομένα επιλογής καμπίνων για την περίοδο κυκλοφοριακής αιχμής (10:00 – 15:00), για τον μετωπικό σταθμό Κλειδίου, για τον Αύγουστο 2024, στη νότια κατεύθυνση, για τα οχήματα Κατηγορίας
3.	97
13.	Δεδομένα επιλογής καμπίνων για την περίοδο κυκλοφοριακής αιχμής (10:00 – 15:00), για τον μετωπικό σταθμό Κλειδίου, για τον Αύγουστο 2024, στη νότια κατεύθυνση, για τα οχήματα Κατηγορίας
4.	98
14.	Αποτελέσματα προσομοίωσης υφιστάμενου σεναρίου (με χρόνο προθέρμανσης 0 λεπτά). 99
15.	Αποτελέσματα προσομοίωσης μελλοντικού σεναρίου..... 109
16.	Αποτελέσματα προσομοίωσης μελλοντικού σεναρίου με εναλλακτική διαμόρφωση καμπινών. 118

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 129

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2.1 Μετωπικός σταθμός διοδίων Κλειδίου	4
Εικόνα 2.2 Τυπική διαμόρφωση μετωπικού σταθμού διοδίων	7
Εικόνα 2.3 Τυπική διαμόρφωση πλευρικού σταθμού διοδίων	7
Εικόνα 2.4 Διάταξη πυλών σταθμού διοδίων: μια συστοιχία σε έναν άξονα	9
Εικόνα 2.5 Διάταξη πυλών σταθμού διοδίων: δύο συστοιχίες σε δύο άξονες	9
Εικόνα 2.6 Διάταξη πυλών σταθμού διοδίων: τρεις συστοιχίες σε τρεις άξονες.....	10
Εικόνα 2.7 Ηλεκτρονική λωρίδα συλλογής διοδίων - ETC	12
Εικόνα 2.8 Σύστημα διοδίων ελεύθερης ροής.....	13
Εικόνα 2.9 Μετωπικός σταθμός διοδίων Ελευσίνας Πάσχα 2025.....	25
Εικόνα 3.1 Τυπική δομή μετωπικού σταθμού διοδίων συμβάσεων παραχώρησης	29
Εικόνα 3.2 Διάγραμμα ροής του μοντέλου προσομοίωσης στο Arena.....	34
Εικόνα 3.3 Μέρος 1 ^ο του μοντέλου προσομοίωσης	36
Εικόνα 3.4 Μέρος 2 ^ο του μοντέλου προσομοίωσης	37
Εικόνα 3.5 Μέρος 3 ^ο του μοντέλου προσομοίωσης	39
Εικόνα 3.6 Μέρος 4 ^ο του μοντέλου προσομοίωσης	40
Εικόνα 3.7 Ρύθμιση των παραμέτρων της προσομοίωσης.....	42
Εικόνα 4.1 Χάρτης της παραχώρησης της Αυτοκινητόδρομος Αιγαίου Α.Ε.	49
Εικόνα 4.2 Εξέλιξη της κυκλοφορίας στους σταθμούς διοδίων στη νότια κατεύθυνση - Αθήνα	51
Εικόνα 4.3 Εξέλιξη της κυκλοφορίας στους σταθμούς διοδίων στη βόρεια κατεύθυνση – Θεσσαλονίκη	51
Εικόνα 4.4 Ετήσια συνολική κυκλοφορία στους 5 σταθμούς διοδίων ανά κατεύθυνση	52
Εικόνα 4.5 Ετήσια κυκλοφορία στον σταθμό διοδίων του Κλειδίου ανά κατεύθυνση.....	52
Εικόνα 4.6 Τοποθεσία του μετωπικού σταθμού διοδίων Κλειδίου	53
Εικόνα 4.7 Διαμόρφωση της νότιας κατεύθυνσης του σταθμού διοδίων Κλειδίου	54
Εικόνα 4.8 Διάταξη των λωρίδων του σταθμού διοδίων Κλειδίου κατά την πρωινή αιχμή	54
Εικόνα 4.9 Τρόποι πληρωμής και κατηγορίες οχημάτων	56
Εικόνα 4.10 Μηνιαία κυκλοφορία του σταθμού διοδίων Κλειδίου για το έτος 2024	57
Εικόνα 4.11 Μηνιαία κυκλοφορία του σταθμού διοδίων Κλειδίου στη νότια κατεύθυνση για το έτος 2024	58
Εικόνα 4.12 Ημερήσια κυκλοφορία του σταθμού διοδίων Κλειδίου ανά κατηγορία οχήματος για τον Αύγουστο 2024 στη νότια κατεύθυνση.....	58
Εικόνα 4.13 Μέση ωριαία κυκλοφορία του σταθμού διοδίων Κλειδίου ανά κατηγορία οχήματος για τον Αύγουστο 2024 στη νότια κατεύθυνση	60

Εικόνα 4.14 Υπηρεσιακή λωρίδα (service lane) διέλευσης οχημάτων	62
Εικόνα 4.15 Μέγιστο επιτρεπόμενο όριο ταχύτητας κατά την είσοδο στο σταθμό διοδίων	65
Εικόνα 4.16 Προσαρμογή κατανομής για τον χρόνο εξυπηρέτησης ελαφρών οχημάτων.....	67
Εικόνα 4.17 Προσαρμογή κατανομής για τον χρόνο εξυπηρέτησης βαρέων οχημάτων	68
Εικόνα 4.18 Μοντέλο προσομοίωσης στο Arena για το σταθμό διοδίων Κλειδίου	70

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1 Σύγκριση μεθόδων συλλογής διοδίων	15
Πίνακας 2.2 Μέθοδοι μέτρησης χρόνου εξυπηρέτησης	22
Πίνακας 2.3 Ενδεικτικοί χρόνοι εξυπηρέτησης ανά τύπο οχήματος	23
Πίνακας 3.1 Arena modules	34
Πίνακας 4.1 Ετήσια κίνηση διοδίων ανά κατεύθυνση κυκλοφορίας	50
Πίνακας 4.2 Μέσοι ωριαίοι κυκλοφοριακοί όγκοι του σταθμού διοδίων Κλειδίου ανά κατηγορία οχήματος για τον Αύγουστο 2024 στη νότια κατεύθυνση	59
Πίνακας 4.3 Μέσοι ωριαίοι κυκλοφοριακοί όγκοι στην περίοδο αιχμής	60
Πίνακας 4.4 Άθροισμα αφίξεων ανά κατηγορία οχήματος στην περίοδο αιχμής	61
Πίνακας 4.5 Κατανομή πιθανότητας ανά κατηγορία οχήματος για το χρόνο μεταξύ των αφίξεων	61
Πίνακας 4.6 Ποσοστό επιλογής καμπινών ανά τύπο είσπραξης	63
Πίνακας 4.7 Ποσοστό επιλογής καμπινών ανά κατηγορία οχήματος	63
Πίνακας 4.8 Χρόνος μετακίνησης ανά τύπο καμπίνας	66
Πίνακας 4.9 Χρόνος εξυπηρέτησης ανά τύπο οχήματος (ελαφρά και βαρέα).....	67
Πίνακας 4.10 Μεταβλητές εισόδου του μοντέλου προσομοίωσης	69
Πίνακας 4.11 Σύγκριση των αποτελεσμάτων με τα πραγματικά δεδομένα	71
Πίνακας 4.12 Σύγκριση των αποτελεσμάτων με τα πραγματικά δεδομένα	72
Πίνακας 4.13 Αποτελέσματα Entities Arena	72
Πίνακας 4.14 Χρόνοι εξυπηρέτησης, αναμονής και μετακίνησης ανά κατηγορία οχήματος	73
Πίνακας 4.15 Χρόνοι εξυπηρέτησης, αναμονής και μετακίνησης για ελαφρά και βαρέα οχήματα ...	73
Πίνακας 4.16 Χρόνοι αναμονής και μήκη ουρών ανά καμπίνα διοδίων.....	74
Πίνακας 4.17 Ποσοστά χρησιμοποίησης πόρων ανά καμπίνα διοδίων.....	75
Πίνακας 4.18 Μέσος χρόνος καθυστέρησης ανά κατηγορία οχήματος	76
Πίνακας 4.19 Παράγοντες επέκτασης της κυκλοφορίας ανά κατηγορία οχήματος	78
Πίνακας 4.20 Μέσος ετήσιος ρυθμός αύξησης της κυκλοφορίας στην περίοδο αιχμής	79
Πίνακας 4.21 Υπολογισμός CAGR για τα έτη 2021-2024 για τον μήνα Αύγουστο στην περίοδο αιχμής	79
Πίνακας 4.22 Μελλοντικές προβλέψεις κυκλοφορίας για τον μήνα Αύγουστο στην περίοδο αιχμής	80
Πίνακας 4.23 Μεταβλητές εισόδου του μοντέλου προσομοίωσης για το μελλοντικό σενάριο προσομοίωσης για το έτος 2038	80
Πίνακας 4.24 Αποτελέσματα προσομοίωσης μελλοντικού σεναρίου Αύγουστου 2038	82
Πίνακας 4.25 Μέσος χρόνος καθυστέρησης ανά κατηγορία οχήματος	82

Πίνακας 4.26 Αποτελέσματα προσομοίωσης μελλοντικού σεναρίου Αύγουστου 2038 με εναλλακτική διαμόρφωση καμπινών	84
Πίνακας 4.27 Μέσοι συνολικοί χρόνοι καθυστέρησης.....	85
Πίνακας 4.28 Μέσος συνολικός χρόνος παραμονής σταθμό διοδίων	86

1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται πληροφορίες εισαγωγικού χαρακτήρα που δίνουν το κίνητρο και το υπόβαθρο αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας.

1.1 Στόχοι

Ο κύριος στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η αξιολόγηση της λειτουργικής απόδοσης των σταθμών διοδίων και των προοπτικών εφαρμογής ή μη, εναλλακτικών παρεμβάσεων στο σύστημα. Για το σκοπό αυτό αναπτύχθηκε μια μεθοδολογική διαδικασία για την αξιολόγηση της λειτουργικής απόδοσης με χρήση της τεχνικής της διακριτής προσομοίωσης μέσω του λογισμικού Arena, που περιλαμβάνει:

- τη συλλογή και ανάλυση κυκλοφοριακών δεδομένων,
- τη δημιουργία μοντέλου προσομοίωσης ενός σταθμού διοδίων,
- την ανάλυση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης,
- την αξιολόγηση της λειτουργικής απόδοσης του σταθμού μέσω βασικών δεικτών όπως το μέσο μήκος ουράς, ο χρόνος καθυστέρησης κ.λπ.

Η εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογικής διαδικασίας μπορεί να χρησιμεύσει ως πρακτικός οδηγός για τους παραχωρησιούχους όταν πρόκειται να αξιολογήσουν τις λειτουργικές αποδόσεις των σταθμών διοδίων στους δρόμους υπό την εκμετάλλευσή τους. Επίσης, μπορεί να συμβάλει στη διαμόρφωση μιας σαφέστερης εικόνας για την τρέχουσα κατάσταση λειτουργίας των σταθμών τους, καθώς και για τις δυνατότητες βελτίωσης της απόδοσής τους.

1.2 Δομή της εργασίας

Το υπόλοιπο αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας χωρίζεται σε τρεις ενότητες που καταλαμβάνουν τα Κεφάλαιο 2 - 5, αντίστοιχα. Συγκεκριμένα:

Στο Κεφάλαιο 2, περιγράφεται το θεωρητικό υπόβαθρο και το πλαίσιο του συστήματος διοδίων. Παρουσιάζονται οι τύποι και διαμορφώσεις σταθμών διοδίων, οι

διαθέσιμες μέθοδοι συλλογής τελών (χειροκίνητη, ηλεκτρονική κ.λπ). Επίσης, αναλύονται οι βασικές μεταβλητές που σχετίζονται με τους σταθμούς (αφίξεις οχημάτων, χρόνοι εξυπηρέτησης, ποσοστά επιλογής καμπινών κ.λπ.) και οι παράμετροι απόδοσης (χρόνος καθυστέρησης, επίπεδο εξυπηρέτησης κ.λπ).

Στο Κεφάλαιο 3, αναπτύσσεται η προτεινόμενη μεθοδολογική διαδικασία που βασίζεται στη διακριτή προσομοίωση και στοχεύει στην αξιολόγηση της λειτουργικής απόδοσης των σταθμών διοδίων. Παρουσιάζεται το λογισμικό Arena, περιγράφονται τα βήματα της μοντελοποίησης, και εξηγούνται οι μέθοδοι επαλήθευσης και ανάλυσης των αποτελεσμάτων.

Στο Κεφάλαιο 4, παρουσιάζεται η μελέτη περίπτωσης για τον μετωπικό σταθμό διοδίων Κλειδίου. Γίνεται λεπτομερής ανάλυση των δεδομένων εισόδου της προσομοίωσης βάση των δεδομένων κυκλοφορίας της παραχωρησιούχου εταιρείας, περιγράφεται η δημιουργία του μοντέλου προσομοίωσης του σταθμού στο Arena και αξιολογείται η λειτουργική απόδοση του σταθμού από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Επιπλέον, εξετάζονται τα σενάρια μελλοντικής κυκλοφορίας και οι πιθανές εναλλακτικές παρεμβάσεις.

Τα τελικά συμπεράσματα της μεταπτυχιακής εργασίας και κατευθύνσεις για περαιτέρω έρευνα παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 5.

2 Το σύστημα των διοδίων

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται περιγραφή του σχεδιασμού ενός σταθμού διοδίων. Αναλύονται δηλαδή, οι πιθανοί τύποι σταθμών διοδίων, οι μέθοδοι συλλογής των διοδίων, οι τύποι συστημάτων συλλογής, οι διατάξεις των πυλών ενός σταθμού όπως επίσης και οι ενδεδειγμένες θέσεις εγκατάστασης του. Επίσης γίνεται μια αναφορά στις παραμέτρους που προσδιορίζουν τον βαθμό εξυπηρέτησης των χρηστών στη λειτουργία ενός σταθμού διοδίων και τέλος παρουσιάζεται η χρησιμότητα της προσομοίωσης στον σχεδιασμό ενός σταθμού διοδίων.

2.1 Σταθμοί διοδίων

2.1.1 Σταθμοί διοδίων

Η επιβολή διοδίων αποτελεί πρακτική με μακρά ιστορία, που χρονολογείται ήδη από την αρχαιότητα. Ήδη από τη ρωμαϊκή εποχή, δρόμοι όπως η Via Appia χρηματοδοτούνταν μέσω χρεώσεων διέλευσης. Στον Μεσαίωνα, οι φεουδάρχες επέβαλλαν τέλη διέλευσης σε εμπορικές οδούς και γέφυρες, πρακτική που υιοθετήθηκε αργότερα και από εθνικά κράτη για τη χρηματοδότηση δημόσιων έργων υποδομής. Σήμερα, η συλλογή διοδίων χρησιμοποιείται ευρέως ως εργαλείο χρηματοδότησης αυτοκινητοδρόμων μέσω Συμπράξεων Δημόσιου και Ιδιωτικού Τομέα (ΣΔΙΤ), αλλά και ως μέσο διαχείρισης της κυκλοφορίας. Ένας σταθμός διοδίων περιλαμβάνει ολόκληρη την περιοχή όπου η ροή των οχημάτων παρεμποδίζεται από την εγκατάσταση του σταθμού. Η περιοχή αυτή αποτελείται από τα σημεία πλάτυνσης και στένωσης του οδοστρώματος καθώς και όλα τα τεχνικά – κατασκευαστικά έργα εντός αυτής.

Οι σταθμοί διοδίων κατασκευάζονται γενικά σε οδούς ταχείας κυκλοφορίας με αδιάλειπτη ροή κυκλοφορίας υψηλής ταχύτητας. Ωστόσο, λόγω του ίδιου του σχεδιασμού τους, δημιουργούν διακοπές στη ροή των οχημάτων και αποτελούν δυνητικά σημεία συμφόρησης με επιβράδυνση, επιτάχυνση και μερικές φορές ουρές. Οι βασικές αρχές που διέπουν τον σχεδιασμό περιλαμβάνουν τεχνικά, λειτουργικά και περιβαλλοντικά κριτήρια, τα οποία λαμβάνονται υπόψη κατά την επιλογή της θέσης, της γεωμετρίας και της τεχνολογικής υποδομής του σταθμού.

Κάθε σταθμός διοδίων έχει ένα μοναδικό σχεδιασμό που αντανακλά, εκτός από τα τοπικά χαρακτηριστικά, λειτουργικούς παράγοντες που χαρακτηρίζουν κάθε παραχωρησιούχο. Αυτά τα χαρακτηριστικά των σταθμών διοδίων καθορίζονται ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες της κυκλοφορίας και τον τύπο της οδού στην οποία βρίσκονται. Ένας σταθμός διοδίων αποτελείται από δομές, συνήθως θαλάμους ή φυσικά εμπόδια, οι οποίες αλληλεπιδρούν με τα οχήματα που διέρχονται από αυτούς. Αυτές οι αλληλεπιδράσεις είναι απαραίτητες για τη διεξαγωγή της διαδικασίας χρέωσης των τελών η οποία μπορεί να είναι χειροκίνητη, αυτόματη ή ηλεκτρονική.

Πρωταρχικός στόχος του σχεδιασμού ενός σταθμού είναι η ελαχιστοποίηση της καθυστέρησης των οχημάτων και η αποφυγή συμφόρησης, μέσω της επαρκούς χωρητικότητας των λωρίδων διοδίων, της εργονομικής τοποθέτησης των ταμείων και της δυνατότητας διαχωρισμού μεταξύ συμβατικών και ηλεκτρονικών συναλλαγών. Η ασφάλεια των χρηστών διασφαλίζεται με την κατάλληλη σήμανση, τον φωτισμό, καθώς και την πρόβλεψη ασφαλούς περιοχής επιβράδυνσης και επιτάχυνσης πριν και μετά τον σταθμό.

Επιπλέον, λαμβάνονται υπόψη οι προβλέψεις μελλοντικής κυκλοφορίας, ώστε να εξασφαλίζεται η βιωσιμότητα και η ευελιξία του σχεδιασμού σε βάθος χρόνου. Η επιλογή μεταξύ μετωπικού ή πλευρικού σταθμού εξαρτάται από τη γεωμετρία του δρόμου, το σύστημα χρέωσης που εφαρμόζεται (κλειστό ή ανοιχτό), και τις ιδιαιτερότητες της περιοχής (όπως εγγύτητα σε κόμβους ή οικισμούς). Τέλος, η ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών, όπως το σύστημα ηλεκτρονικής αναγνώρισης πομποδεκτών χρησιμοποιώντας την τεχνολογία RFID, αποτελεί βασική παράμετρο σχεδιασμού, καθώς διευκολύνει τη διαχείριση των ροών και βελτιώνει την εμπειρία του χρήστη.



Εικόνα 2.1 Μετωπικός σταθμός διοδίων Κλειδίου

2.1.2 Συστήματα συλλογής διοδίων

Τα συστήματα συλλογής διοδίων μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις κύριες κατηγορίες: ανοιχτό, κλειστό, μεικτό και ηλεκτρονικό σύστημα ελεύθερης ροής (Free Flow). Κάθε σύστημα παρουσιάζει διαφορετικά λειτουργικά χαρακτηριστικά, τεχνικές απαιτήσεις, κόστη και επιπτώσεις στην κυκλοφορία.

Το ανοιχτό σύστημα (open toll system) βασίζεται στη χρέωση ενός σταθερού ποσού ανά διέλευση από σταθμό, ανεξάρτητα από την απόσταση που διανύεται. Χρησιμοποιείται ευρέως σε περιφερειακές οδούς και σε οδικά τμήματα περιορισμένου μήκους, ενώ η Ελλάδα το έχει εφαρμόσει στο παρελθόν σε αρκετά σημεία (π.χ. παραδοσιακοί σταθμοί διοδίων στην ΠΑΘΕ πριν την αναβάθμιση του δικτύου). Τα βασικά πλεονεκτήματα είναι η ευκολία εγκατάστασης, το χαμηλό λειτουργικό κόστος και η απλότητα για τους οδηγούς. Ωστόσο, μειονεκτεί ως προς τη δικαιοσύνη της χρέωσης, καθώς δεν λαμβάνει υπόψη τη χιλιομετρική χρήση και οδηγεί σε πιθανή επιβάρυνση των οδηγών μικρών αποστάσεων και ως προς τη δημιουργία συμφόρησης στους σταθμούς.

Αντιθέτως, το κλειστό σύστημα (closed toll system) στηρίζεται στην καταγραφή της εισόδου και της εξόδου του οχήματος στον αυτοκινητόδρομο. Ο οδηγός πληρώνει με βάση τη διανυθείσα απόσταση. Στην Ελλάδα, εφαρμόζεται στους περισσότερους σύγχρονους αυτοκινητόδρομους (π.χ. Ολυμπία Οδός, Ιονία Οδός, Αυτοκινητόδρομος Αιγαίου), που διαθέτουν σταθμούς εισόδου-εξόδου. Το πλεονέκτημα αυτού του συστήματος είναι η δικαιότερη και πιο αναλογική τιμολόγηση, ωστόσο απαιτεί σημαντικές υποδομές – όπως σταθμούς εισόδου και εξόδου, εξοπλισμό καταγραφής και επεξεργασίας δεδομένων – γεγονός που συνεπάγεται υψηλό αρχικό κόστος εγκατάστασης και αυξημένες λειτουργικές απαιτήσεις. Παράλληλα, για την αποφυγή συμφόρησης στα σημεία πληρωμής, έχει γίνει σταδιακή ενσωμάτωση ηλεκτρονικών μέσων, όπως πομποδέκτες RFID (e-PASS, Olympia Pass, eway), ενώ έχουν θεσπιστεί μειωμένες τιμές για συνδρομητές.

Το μεικτό σύστημα (hybrid system) συνδυάζει στοιχεία και των δύο προηγούμενων. Συναντάται σε δίκτυα που περιλαμβάνουν τόσο τμήματα με ελεγχόμενη είσοδο/έξοδο όσο και τμήματα με απλό σταθερό σύστημα χρέωσης. Τέτοια συστήματα χρησιμοποιούνται στη Γαλλία και την Ιταλία, ενώ στις ΗΠΑ εφαρμόζονται σε πολιτείες όπως η Νέα Υόρκη και το Τέξας. Παρόλο που προσφέρει ευελιξία και προσαρμοστικότητα, δυσχεραίνει την κατανόηση του κόστους από τους χρήστες και επιβαρύνει τη λειτουργική διαχείριση.

Η σύγχρονη τάση διεθνώς προσανατολίζεται προς το σύστημα ελεύθερης ροής (Free Flow Tolling ή All-Electronic Tolling). Σε αυτό, δεν υπάρχουν σημεία στάσης – η διέλευση καταγράφεται μέσω αισθητήρων, καμερών αναγνώρισης πινακίδων (ANPR) ή πομποδεκτών RFID και η πληρωμή γίνεται αυτόματα ή μεταγενέστερα. Τέτοια συστήματα εφαρμόζονται ήδη σε χώρες όπως η Πορτογαλία (Via Verde), η Νορβηγία (AutoPASS), η Σουηδία (Stockholm Congestion Tax), και σε πολιτείες των ΗΠΑ όπως το Κολοράντο και η Καλιφόρνια. Στην Ελλάδα, τέτοια εφαρμογή δοκιμάζεται πιλοτικά στην Αττική Οδό και στο μέλλον σχεδιάζεται η πλήρης εφαρμογή σε νέες υποδομές. Το μοντέλο αυτό μειώνει τις καθυστερήσεις, βελτιώνει την κυκλοφοριακή ροή, ελαχιστοποιεί τις εκπομπές ρύπων και μειώνει το λειτουργικό κόστος. Ωστόσο, δημιουργεί προκλήσεις σχετικά με την προστασία προσωπικών δεδομένων, την τεχνική διαλειτουργικότητα και την ανάγκη για ευρεία υιοθέτηση τεχνολογίας από το σύνολο των χρηστών.

Συμπερασματικά, η επιλογή του κατάλληλου τύπου συστήματος συλλογής διοδίων εξαρτάται από παράγοντες όπως το μήκος του οδικού άξονα, το επίπεδο κυκλοφορίας, η τεχνολογική ωριμότητα του φορέα λειτουργίας και οι περιβαλλοντικές συνθήκες. Η απόφαση αυτή πρέπει να λαμβάνει υπόψη όχι μόνο τεχνικοοικονομικά κριτήρια αλλά και κοινωνικούς και περιβαλλοντικούς στόχους.

2.1.3 Τύποι και διαμορφώσεις σταθμών διοδίων

Η μορφή ενός σταθμού διοδίων, εξαρτάται από διάφορους παράγοντες που σχετίζονται με τη γεωμετρία του οδικού δικτύου, τις κυκλοφοριακές συνθήκες, την εφαρμοζόμενη στρατηγική τιμολόγησης (ανοιχτή, κλειστή, μεικτή), καθώς και τις τεχνολογικές δυνατότητες και στόχους της διαχειριστικής αρχής ή της παραχωρησιούχου εταιρείας. Οι βασικοί τύποι διαμόρφωσης περιλαμβάνουν τους μετωπικούς σταθμούς (mainline toll plazas), όπου όλοι οι χρήστες του δρόμου υποχρεούνται να σταματήσουν για πληρωμή και τους πλευρικούς σταθμούς (ramp toll plazas), που βρίσκονται στις εισόδους ή εξόδους αυτοκινητοδρόμων.

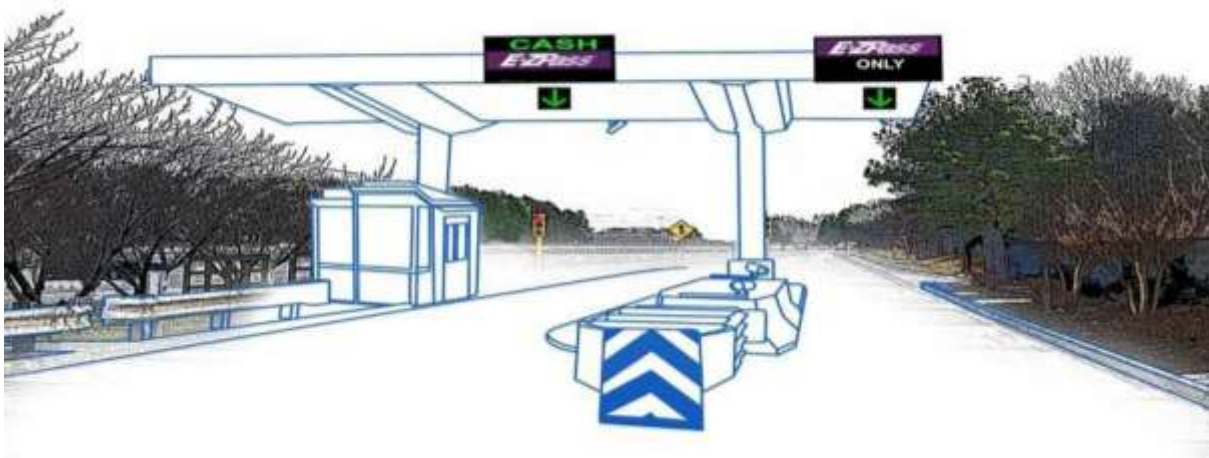
Οι μετωπικοί σταθμοί είναι τοποθετημένοι εγκάρσια στον κύριο άξονα κυκλοφορίας του αυτοκινητοδρόμου και υποχρεώνουν όλα τα διερχόμενα οχήματα να σταματήσουν ή να μειώσουν ταχύτητα για την πληρωμή διοδίων, είτε με φυσική παρουσία είτε μέσω συστημάτων αυτόματης αναγνώρισης (π.χ. πομποδέκτες, ANPR). Χρησιμοποιούνται κυρίως σε κλειστά ή μεικτά συστήματα διοδίων, όπου απαιτείται ενιαία είσπραξη για όλους τους

χρήστες του αυτοκινητοδρόμου σε συγκεκριμένα σημεία, εξασφαλίζοντας έτσι τον πλήρη έλεγχο των διερχόμενων οχημάτων.



Εικόνα 2.2 Τυπική διαμόρφωση μετωπικού σταθμού διοδίων

Αντίθετα, οι πλευρικοί σταθμοί εφαρμόζονται σε ανοιχτά συστήματα χρέωσης, όπου η είσπραξη γίνεται κατά την είσοδο ή έξοδο του οχήματος από τον αυτοκινητόδρομο, παρέχοντας μεγαλύτερη ευελιξία στην τοποθέτηση και επιτρέποντας πιο στοχευμένη τιμολόγηση. Επιπλέον, η ύπαρξη κόμβων, τοπικών εξυπηρετήσεων ή παράπλευρου οδικού δικτύου επηρεάζει την απόφαση για την υιοθέτηση πλευρικών σταθμών, ενώ σε περιπτώσεις έντονης κυκλοφορίας ή διασυννοριακών αξόνων, οι μετωπικοί σταθμοί μπορεί να θεωρούνται πιο λειτουργικοί και αποτελεσματικοί.



Εικόνα 2.3 Τυπική διαμόρφωση πλευρικού σταθμού διοδίων

Η επιλογή μεταξύ των δύο τύπων εξαρτάται από τη δομή του οδικού δικτύου, την τοπογραφία, την ύπαρξη παραπλεύρων ή τοπικών οδών, αλλά και από τη διαχείριση της ροής της κυκλοφορίας. Σε περιοχές με έντονο κυκλοφοριακό φόρτο ή όπου δεν είναι εφικτή η ελεγχόμενη είσοδος/έξοδος, οι μετωπικοί σταθμοί θεωρούνται πιο κατάλληλοι, καθώς παρέχουν καλύτερο έλεγχο και διευκολύνουν την εφαρμογή σύνθετων τιμολογιακών πολιτικών. Αντίθετα, οι πλευρικοί σταθμοί παρέχουν μεγαλύτερη ευελιξία στον σχεδιασμό, επιτρέποντας την αποφυγή συμφόρησης στα κύρια σημεία διέλευσης, αλλά παρουσιάζουν αυξημένες απαιτήσεις σε αριθμό σταθμών, λόγω της ανάγκης κάλυψης πολλών εισόδων και εξόδων.

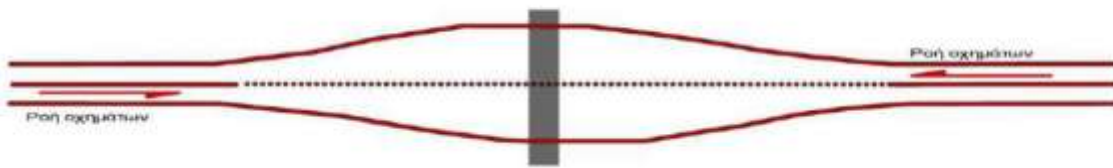
2.1.4 Διατάξεις πυλών σταθμών διοδίων

Η διάταξη των πυλών σε έναν σταθμό διοδίων αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την αποδοτική λειτουργία του, τη διαχείριση της κυκλοφορίας και την ελαχιστοποίηση των καθυστερήσεων. Οι γεωμετρικές και λειτουργικές επιλογές που αφορούν τη διαρρύθμιση των θυρίδων πληρωμής σχετίζονται άμεσα με τον κυκλοφοριακό φόρτο, την αναλογία ροής ανά κατεύθυνση, καθώς και το ποσοστό χρήσης ηλεκτρονικών συστημάτων πληρωμής. Στους αυτοκινητόδρομους με ροή και προς τις δύο κατευθύνσεις, οι διατάξεις των σταθμών μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις βασικούς τύπους, ανάλογα με τον αριθμό των συστοιχιών και των αξόνων που χρησιμοποιούνται.

2.1.4.1 Συστοιχία με έναν άξονα

Στην απλούστερη διάταξη, όλες οι πύλες είναι ευθυγραμμισμένες κατά μήκος ενός κοινού άξονα. Αυτού του τύπου η διάταξη παρέχει τη μέγιστη ευελιξία, καθώς επιτρέπει τη δυναμική κατανομή των ενδιάμεσων θυρίδων ανάλογα με τη ζήτηση ανά κατεύθυνση. Για παράδειγμα, κατά τις ώρες αιχμής σε μία μόνο κατεύθυνση (π.χ. είσοδος σε πόλη τα πρωινά), οι ενδιάμεσες πύλες μπορούν να προσαρμοστούν ώστε να εξυπηρετούν κυρίως τη συγκεκριμένη ροή.

Η λύση αυτή είναι οικονομικά αποδοτική, καθώς περιορίζει το μήκος και την πολυπλοκότητα των εγκαταστάσεων, ωστόσο απαιτεί συστήματα καθοδήγησης (σήμανση, φώτα LED, πινακίδες μεταβλητών μηνυμάτων) για τη σωστή κατεύθυνση των οχημάτων στις διαθέσιμες λωρίδες. Είναι κατάλληλη για σταθμούς με ασύμμετρη κυκλοφορία ή με έντονη διακύμανση ροής στη διάρκεια της ημέρας ή της εβδομάδας.

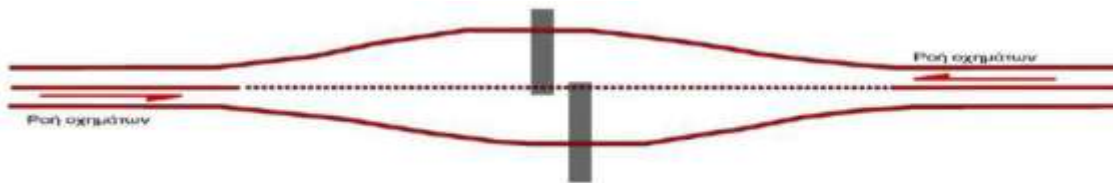


Εικόνα 2.4 Διάταξη πυλών σταθμού διοδίων: μια συστοιχία σε έναν άξονα

2.1.4.2 Συστοιχίες σε δύο άξονες (μία ανά κατεύθυνση)

Σε αυτή τη διάταξη, οι πύλες κατανέμονται σε δύο ανεξάρτητες συστοιχίες, κάθε μία εκ των οποίων εξυπηρετεί αποκλειστικά μία κατεύθυνση κυκλοφορίας. Η λύση αυτή θεωρείται ιδανική όταν η ροή είναι περίπου ισομερής (50%-50%) και δεν απαιτείται δυναμική μετατόπιση λωρίδων.

Η ανεξαρτησία των συστοιχιών μειώνει τις πιθανότητες σύγχυσης ή ατυχημάτων που μπορεί να προκύψουν από τη μετατόπιση λωρίδων μεταξύ αντίθετων ροών. Επιπλέον, προσφέρει ευκολότερο σχεδιασμό των προσβάσεων και εξόδων από τον σταθμό, αλλά απαιτεί μεγαλύτερο πλάτος εγκατάστασης και, ενδεχομένως, αυξημένο κόστος κατασκευής.

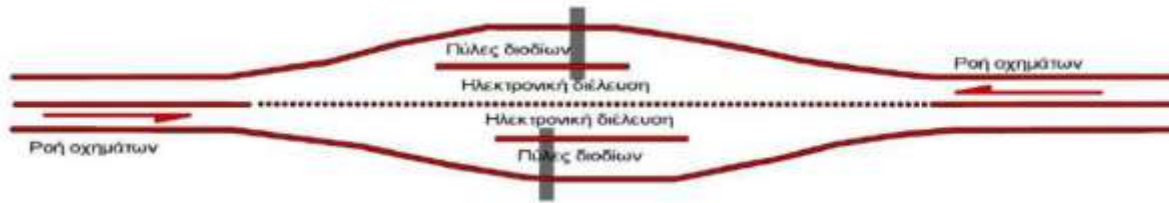


Εικόνα 2.5 Διάταξη πυλών σταθμού διοδίων: δύο συστοιχίες σε δύο άξονες

2.1.4.3 Συστοιχίες σε τρεις άξονες

Η πιο σύνθετη διάταξη περιλαμβάνει τρεις παράλληλους άξονες πυλών: δύο για τις σταθερές ροές ανά κατεύθυνση και έναν ενδιάμεσο άξονα, που μπορεί να προσαρμόζεται ανάλογα με τις κυκλοφοριακές συνθήκες. Η κεντρική συστοιχία μπορεί να λειτουργήσει: είτε ως ευέλικτη ζώνη ροής, αλλάζοντας κατεύθυνση ανάλογα με τις ανάγκες (reversible lanes), είτε να προοριστεί αποκλειστικά για ηλεκτρονική πληρωμή, όπως RFID, αναγνώριση πινακίδων ή άλλες τεχνολογίες AVI (Automatic Vehicle Identification).

Η διάταξη αυτή προσφέρει υψηλή λειτουργική απόδοση και εξυπηρετεί ιδιαίτερα σταθμούς με αυξημένο όγκο κυκλοφορίας και πολύπλοκες απαιτήσεις ροής, όπως είναι οι σταθμοί κοντά σε μεγάλες αστικές περιοχές ή σε κόμβους σύνδεσης με άλλους άξονες.



Εικόνα 2.6 Διάταξη πυλών σταθμού διοδίων: τρεις συστοιχίες σε τρεις άξονες

2.1.4.4 Κοινά Τεχνικά Στοιχεία Σταθμού

Ανεξαρτήτως διάταξης, κάθε σταθμός διοδίων περιλαμβάνει τα εξής βασικά τεχνικά στοιχεία:

- νησίδες εκδοτηρίων: βρίσκονται υπερυψωμένες, με στηθαία ασφαλείας και προσκρουστήρες απορρόφησης ενέργειας, για την προστασία προσωπικού και εξοπλισμού,
- θάλαμοι πληρωμής: εξοπλισμένοι με χειροκίνητα ή αυτόματα συστήματα είσπραξης, ανάλογα με το μοντέλο λειτουργίας (παραδοσιακό, mixed, fully automated).
- στέγαστρο (canopy): καλύπτει τις θυρίδες και λειτουργεί τόσο προστατευτικά για τους χρήστες, όσο και ως βάση για ηλεκτρονικό εξοπλισμό (κάμερες, αναγνώστες RFID, φωτεινές πινακίδες, σηματοδότες),
- σύστημα διαχείρισης λωρίδων: περιλαμβάνει φωτεινές ενδείξεις (πράσινο/κόκκινο), δυναμική σήμανση και αισθητήρες παρουσίας για την κατεύθυνση των οχημάτων και την πρόληψη συμφόρησης.

2.2 Μέθοδοι συλλογής διοδίων

Η συλλογή διοδίων αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα της διαχείρισης και χρηματοδότησης των οδικών υποδομών. Η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη πολλών διαφορετικών μεθόδων συλλογής διοδίων, οι οποίες διαφέρουν ως προς τον βαθμό αυτοματοποίησης, την αποτελεσματικότητα, τον εξοπλισμό που απαιτείται, αλλά και την εμπειρία του χρήστη. Ανάλογα με το τεχνολογικό επίπεδο και τις ανάγκες του κάθε δικτύου, εφαρμόζονται διαφορετικά μοντέλα συλλογής. Η παρούσα ενότητα εξετάζει τις κύριες μεθόδους συλλογής διοδίων, τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους, τους χρόνους εξυπηρέτησης, καθώς και τις συνέπειες στην απόδοση και τη βιωσιμότητα των οδικών μεταφορών.

Οι μέθοδοι συλλογής διοδίων διακρίνονται κυρίως σε χειροκίνητες και ηλεκτρονικές, ανάλογα με το επίπεδο αυτοματοποίησης και τεχνολογίας. Ακολουθεί μια συνοπτική παρουσίαση των βασικών μεθόδων:

2.2.1 Χειροκίνητη Συλλογή Διοδίων (Manual Toll Collection - MTC)

Η χειροκίνητη μέθοδος είναι η πλέον παραδοσιακή μορφή συλλογής διοδίων και βασίζεται στη φυσική παρουσία εισπράκτορα ή/και χρήσης μηχανημάτων αυτόματης πληρωμής. Ο οδηγός σταματά στην είσοδο του σταθμού διοδίων, καταβάλλει το αντίτιμο και λαμβάνει απόδειξη πληρωμής. Η πληρωμή μπορεί να γίνει με μετρητά σε υπάλληλο, με κάρτα (POS) ή μέσω αυτόματων μηχανημάτων πληρωμής (APM) με μετρητά ή κάρτα.

Πλεονεκτήματα:

- ευκολία χρήσης για περιστασιακούς χρήστες,
- δεν απαιτείται τεχνολογικός εξοπλισμός από την πλευρά του οδηγού.

Μειονεκτήματα:

- υψηλό λειτουργικό κόστος λόγω του προσωπικού,
- καθυστερήσεις και κυκλοφοριακή συμφόρηση, ειδικά σε ώρες αιχμής,
- αυξημένος χρόνος διέλευσης και περιβαλλοντική επιβάρυνση λόγω στάσης οχημάτων.

2.2.2 Ηλεκτρονική Συλλογή Διοδίων (Electronic Toll Collection - ETC)

Η ηλεκτρονική συλλογή διοδίων περιλαμβάνει τη χρήση τεχνολογικών μέσων για την αυτόματη αναγνώριση και χρέωση του οχήματος χωρίς την ανάγκη στάσης. Ανάλογα με το επίπεδο αυτοματοποίησης και την αρχιτεκτονική του συστήματος, υπάρχουν διάφορες υποκατηγορίες:

2.2.2.1 Αυτόματη Αναγνώριση Οχήματος – AVI (Automatic Vehicle Identification)

Η τεχνολογία AVI χρησιμοποιεί RFID πομποδέκτες (on-board units ή tags) που τοποθετούνται στο όχημα. Καθώς το όχημα πλησιάζει την καμπίνα, το σύστημα αναγνωρίζει τον πομποδέκτη, χρεώνει τον λογαριασμό του χρήστη και ανοίγει αυτόματα η μπάρα χωρίς να απαιτείται στάση.

Πλεονεκτήματα:

- σημαντική μείωση χρόνου αναμονής,
- μείωση λειτουργικού κόστους,
- μικρότερη περιβαλλοντική επιβάρυνση.

Μειονεκτήματα:

- Απαιτείται εξοπλισμός (on-board unit) και προεγγραφή από τον χρήστη,
- υψηλό κόστος εγκατάστασης και συντήρησης του συστήματος,
- κίνδυνος μη αναγνώρισης λόγω τεχνικής βλάβης



Εικόνα 2.7 Ηλεκτρονική λωρίδα συλλογής διοδίων - ETC

2.2.2.2 Ελεύθερη Ροή (Free Flow ή Open Road Tolling)

Στην πλήρως αυτόματη μορφή του, το σύστημα βασίζεται σε κάμερες αναγνώρισης πινακίδων (ANPR) ή/και σε αισθητήρες για την καταγραφή και ταυτοποίηση των διερχόμενων οχημάτων χωρίς φυσική παρουσία σταθμού. Η χρέωση γίνεται είτε μέσω πομποδέκτη είτε με βάση τον αριθμό κυκλοφορίας.

Πλεονεκτήματα:

- μηδενική ανάγκη στάσης ή επιβράδυνσης του οχήματος,
- μεγιστοποίηση ροής και χωρητικότητας.

Μειονεκτήματα:

- ενδεχόμενα σφάλματα λόγω της εξάρτησης από την ποιότητα αναγνώρισης πινακίδων,
- απαιτεί αυστηρή βάση δεδομένων για επιβολή χρέωσης



Εικόνα 2.8 Σύστημα διοδίων ελεύθερης ροής

2.2.3 Συνδυασμένα Συστήματα (Hybrid Tolling)

Σε πολλές περιπτώσεις εφαρμόζονται υβριδικά συστήματα, όπου παρέχεται δυνατότητα επιλογής μεταξύ χειροκίνητης και ηλεκτρονικής μεθόδου πληρωμής, με στόχο την εξυπηρέτηση διαφορετικών ομάδων χρηστών. Παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών βρίσκουμε σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες, όπως και στην Ελλάδα, όπου σταθμοί διοδίων υποστηρίζουν ταυτόχρονα πομποδέκτες (π.χ. , eway, e-PASS, Olympia Pass) και συμβατική πληρωμή.

Πλεονέκτηματα:

- δευκόλυνση μεταβατικής περιόδου από παραδοσιακά σε αυτόματα συστήματα.

2.2.4 Τεχνολογικές Τάσεις και Μελλοντικές Εξελίξεις

Η ραγδαία εξέλιξη των ψηφιακών τεχνολογιών επιφέρει σημαντικές αλλαγές και στο πεδίο της συλλογής διοδίων. Πέρα από τα κλασικά ηλεκτρονικά συστήματα, νέες τεχνολογίες προωθούν καινοτόμες λύσεις που εστιάζουν στη βελτιστοποίηση της εμπειρίας του χρήστη, στη μείωση του κόστους υποδομής και στην ενσωμάτωση με ευρύτερα συστήματα μεταφορών και διακυβέρνησης.

2.2.4.1 Χρέωση βάσει διανυόμενης απόστασης (*distance-based tolling*)

Μέσω της χρήσης GPS και τηλεματικών συστημάτων, γίνεται δυνατός ο υπολογισμός διοδίων ανάλογα με την πραγματική απόσταση που διανύει ένα όχημα στον αυτοκινητόδρομο. Αυτό το μοντέλο υιοθετείται ήδη σε χώρες όπως η Γερμανία και η Τσεχία, ειδικά για βαρέα οχήματα. Το σύστημα είναι πιο δίκαιο, καθώς αντικαθιστά τη χρέωση ανά σταθμό με ένα δυναμικό και ευέλικτο μοντέλο κοστολόγησης.

2.2.4.2 *Mobile tolling* και πληρωμές μέσω *smartphone*

Οι φορητές εφαρμογές για κινητά τηλέφωνα επιτρέπουν στους χρήστες να διαχειρίζονται την πληρωμή διοδίων σε πραγματικό χρόνο, χωρίς πομποδέκτες ή φυσικές κάρτες. Μέσω της γεωεντοπισμένης αναγνώρισης (*geo-fencing*), το σύστημα καταγράφει τη χρήση του δρόμου και πραγματοποιεί αυτόματη χρέωση στον χρήστη. Η λύση αυτή περιορίζει τα λειτουργικά κόστη και προσφέρει μέγιστη ευελιξία.

2.2.4.3 Ενσωμάτωση σε έξυπνες πόλεις (*Smart Cities Integration*)

Τα μελλοντικά συστήματα συλλογής διοδίων αναμένεται να είναι πλήρως ενοποιημένα με τις πλατφόρμες μεταφορών των έξυπνων πόλεων, επιτρέποντας συνδυαστική χρήση μέσων (*intermodality*), διαχείριση κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο, καθώς και περιβαλλοντική χρέωση (π.χ. υψηλότερα διόδια σε ώρες αιχμής ή για ρυπογόνα οχήματα). Έτσι, ενισχύεται η βιώσιμη κινητικότητα και μειώνεται το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των μεταφορών.

2.2.4.4 Τεχνητή Νοημοσύνη και Big Data

Η ανάλυση μεγάλου όγκου δεδομένων και η χρήση αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης επιτρέπουν δυναμική προσαρμογή των διοδίων, πρόβλεψη συμφόρησης και εξυπνότερη κατανομή των πόρων. Τα συστήματα αυτά είναι σε πιλοτικό στάδιο σε πολλές χώρες, με υποσχόμενα αποτελέσματα.

2.2.5 Σύγκριση Μεθόδων ως προς την Απόδοση

Η αξιολόγηση της αποδοτικότητας των μεθόδων συλλογής διοδίων βασίζεται σε τέσσερις βασικές παραμέτρους: χρόνο εξυπηρέτησης, ροή οχημάτων ανά ώρα, κόστος εγκατάστασης και κόστος λειτουργίας. Η παρακάτω συγκριτική ανάλυση παρέχει μια συνοπτική αλλά ουσιαστική εικόνα της αποτελεσματικότητας κάθε μεθόδου.

Μέθοδος	Χρόνος Εξυπηρέτησης	Ροή Οχημάτων/ώρα	Κόστος Εγκατάστασης	Κόστος Λειτουργίας
Χειροκίνητη	12–18 sec	~300	Χαμηλό	Υψηλό
Ηλεκτρονική με RFID (AVI)	3–5 sec	~1000	Μέσο	Μέσο
Ελεύθερη Ροή (Free Flow)	<1 sec	>2000	Υψηλό	Χαμηλό

Πίνακας 2.1 Σύγκριση μεθόδων συλλογής διοδίων

Η χειροκίνητη μέθοδος εμφανίζει τον μεγαλύτερο χρόνο εξυπηρέτησης και συνεπώς τη χαμηλότερη ικανότητα ροής οχημάτων. Παρότι το αρχικό κόστος εγκατάστασης είναι μικρό, το κόστος λειτουργίας αυξάνεται δραστικά λόγω των αναγκών σε ανθρώπινο δυναμικό και συντήρηση.

Η τεχνολογία AVI, με τη χρήση RFID πομποδεκτών, προσφέρει έναν καλό συνδυασμό απόδοσης και κόστους. Επιτρέπει σημαντική βελτίωση στη ροή οχημάτων και στον χρόνο εξυπηρέτησης, με μέτριο επενδυτικό και λειτουργικό κόστος.

Η μέθοδος ελεύθερης ροής, παρότι απαιτεί σημαντικές επενδύσεις σε υποδομές και λογισμικό, προσφέρει μακροπρόθεσμα τη μεγαλύτερη απόδοση. Επιτρέπει τη διέλευση άνω των 2.000 οχημάτων ανά ώρα ανά λωρίδα και περιορίζει στο ελάχιστο τις καθυστερήσεις και την ανάγκη για ανθρώπινη παρέμβαση.

Συνεπώς, η επιλογή μεθόδου εξαρτάται από το κυκλοφοριακό φορτίο, τους διαθέσιμους πόρους και τον βαθμό ψηφιακής ωριμότητας του συστήματος.

2.2.6 Επιπτώσεις στην κυκλοφορία και το περιβάλλον

Οι διαφορετικές μέθοδοι συλλογής διοδίων έχουν άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις στην κυκλοφοριακή απόδοση, την οδική ασφάλεια και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των μεταφορών.

Η ελεύθερη ροή (Free Flow) συμβάλλει σημαντικά στη μείωση των εκπομπών ρύπων, με μελέτες να δείχνουν μείωση έως και 30% σε σύγκριση με τα παραδοσιακά συστήματα που απαιτούν πλήρη στάση των οχημάτων. Η συνεχής ροή κυκλοφορίας μειώνει τη χρήση καυσίμου και περιορίζει τις εκπομπές CO₂ και NOx.

Επιπλέον, η μείωση του χρόνου εξυπηρέτησης έχει άμεση συσχέτιση με τη μείωση της συμφόρησης, ιδιαίτερα σε ώρες αιχμής. Αυτό συνεπάγεται μικρότερες ουρές, λιγότερες καθυστερήσεις και υψηλότερο επίπεδο εξυπηρέτησης προς τον χρήστη.

Αξιοσημείωτη είναι και η βελτίωση της οδικής ασφάλειας. Όσο λιγότερες είναι οι στάσεις και τα ξεκινήματα κοντά σε σταθμούς διοδίων, τόσο μειώνεται ο κίνδυνος ατυχημάτων λόγω αιφνίδιας επιβράδυνσης ή λανθασμένων αλλαγών λωρίδας.

Τέλος, η εξοικονόμηση ανθρώπινων και ενεργειακών πόρων μέσω αυτοματισμού βελτιώνει τη βιωσιμότητα του συστήματος. Η μακροπρόθεσμη στρατηγική επιλογή συστημάτων υψηλής αυτοματοποίησης ενισχύει την αποδοτικότητα του δικτύου και εναρμονίζεται με τις αρχές της πράσινης και έξυπνης κινητικότητας.

2.3 Μεταβλητές που σχετίζονται με τους σταθμούς διοδίων

Στα επόμενα υποκεφάλαια παρουσιάζονται οι κύριες μεταβλητές που σχετίζονται με τους σταθμούς διοδίων, οι οποίες χρησιμοποιούνται στο μοντέλο προσομοίωσης της προτεινόμενης μεθοδολογικής διαδικασίας.

2.3.1 Αφίξεις οχημάτων

Η μοντελοποίηση της άφιξης οχημάτων αποτελεί κρίσιμο στοιχείο στη διαμόρφωση αξιόπιστων και ρεαλιστικών μοντέλων προσομοίωσης για συστήματα διοδίων, καθώς καθορίζει τη βασική δυναμική εισροής στο σύστημα. Όπως αναφέρεται στη βιβλιογραφία, η άφιξη των οχημάτων, ή αλλιώς η λογική δημιουργίας των οντοτήτων (vehicles arrival logic), μπορεί να διαμορφωθεί σύμφωνα με δύο βασικές μεθοδολογικές προσεγγίσεις: ντετερμινιστική (deterministic) και στοχαστική (stochastic).

2.3.1.1 Ντετερμινιστική Προσέγγιση (Deterministic Headways)

Στη ντετερμινιστική προσέγγιση, το χρονικό διάστημα μεταξύ διαδοχικών οχημάτων, γνωστό ως *headway*, παραμένει σταθερό και υπολογίζεται άμεσα από τη ζήτηση κυκλοφορίας. Δηλαδή, το κάθε όχημα φτάνει στο σύστημα ανά ίσα χρονικά διαστήματα, χωρίς καμία τυχαία διακύμανση.

Η σχέση που χρησιμοποιείται είναι η εξής:

$$h = \frac{60}{q}$$

όπου:

- h = headway (σε λεπτά ανά όχημα),
- q = κυκλοφοριακή ροή (σε οχήματα ανά ώρα ανά λωρίδα).

Αυτή η προσέγγιση ενδείκνυται σε ιδεατές ή θεωρητικές συνθήκες κυκλοφορίας και χρησιμοποιείται κυρίως για τη μελέτη σεναρίων με σταθερή και ομοιόμορφη ροή, όπως σε δοκιμές χωρητικότητας ή υπολογισμούς θεωρητικής απόδοσης.

2.3.1.2 Στοχαστική Προσέγγιση (Stochastic Headways)

Στον πραγματικό κόσμο, οι αφίξεις των οχημάτων σπάνια είναι ομοιόμορφες. Αντιθέτως, εμφανίζουν στοχαστική συμπεριφορά, γεγονός που καθιστά απαραίτητη την προσέγγιση με τυχαίες κατανομές πιθανότητας.

Στη στοχαστική προσέγγιση της κυκλοφοριακής ροής, τα χρονικά διαστήματα μεταξύ διαδοχικών αφίξεων οχημάτων (γνωστά ως *headways*) δεν είναι σταθερά, αλλά ακολουθούν μια συνάρτηση κατανομής πιθανότητας. Αυτή η προσέγγιση είναι πιο ρεαλιστική, καθώς αναπαριστά τη φυσική αβεβαιότητα και μεταβλητότητα των αφίξεων στην κυκλοφορία.

Μία από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες κατανομές για τον headway σε μοντέλα προσομοίωσης είναι η εκθετική κατανομή (exponential distribution). Η συγκεκριμένη κατανομή χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση του χρόνου μεταξύ δύο τυχαίων γεγονότων, όπως για παράδειγμα οι αφίξεις οχημάτων σε έναν σταθμό διοδίων, σε ένα σημείο μέτρησης ή σε μια ουρά εξυπηρέτησης.

Εάν ο χρόνος μεταξύ διαδοχικών γεγονότων, (π.χ. αφίξεων) είναι εκθετικά κατανομημένος, τότε ο αριθμός των γεγονότων που πραγματοποιούνται εντός ενός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος ακολουθεί κατανομή Poisson.

Αυτό σημαίνει ότι:

- οι αφίξεις είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους,
- ο μέσος ρυθμός αφίξεων (λ) παραμένει σταθερός στο χρόνο,
- το μοντέλο είναι ιδανικό για συστήματα εξυπηρέτησης μαζικής εισροής, όπως σταθμούς διοδίων, κόμβους, ή συστήματα αστικής κυκλοφορίας.

Η στοχαστική headway είναι βασική σε προσομοιώσεις διακριτών συμβάντων (Discrete Event Simulation), καθώς επιτρέπει την αναπαράσταση της πραγματικής κυκλοφοριακής συμπεριφοράς και της τυχαίας φύσης της ροής. Η εκθετική κατανομή χρησιμοποιείται συνήθως για τις διελεύσεις ελαφρών οχημάτων χωρίς προκαθορισμένο ρυθμό και όπου η παρουσία συμφόρησης προκαλεί ακανόνιστες αφίξεις.

Η γενική μορφή της πυκνότητας πιθανότητας της εκθετικής κατανομής είναι:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

όπου:

- t = χρόνος μέχρι την επόμενη άφιξη,
- λ = μέσος ρυθμός αφίξεων (σε οχήματα ανά μονάδα χρόνου),
- $\frac{1}{\lambda}$ = μέσο headway (μέσο χρονικό διάστημα μεταξύ αφίξεων).

Στο Arena Simulation Software, η εκθετική κατανομή χρησιμοποιείται συχνά για να μοντελοποιήσει τον χρόνο μεταξύ αφίξεων (interarrival time) όταν οι αφίξεις ακολουθούν Poisson διαδικασία, δηλαδή τυχαίες αφίξεις με σταθερό μέσο ρυθμό. Η εκθετική κατανομή δηλώνεται με την εντολή:

EXPO (μέση_τιμή)

όπου:

- μέση_τιμή= είναι ο μέσος χρόνος μεταξύ αφίξεων (δηλαδή $\frac{1}{\lambda}$)

Για παράδειγμα αν έχουμε ροή 600 οχημάτων ανά ώρα, τότε:

- $\lambda=600 \text{ veh/h}=10 \text{ veh/min}$
- $\frac{1}{\lambda}=0,1 \text{ min}=6 \text{ sec}$

Άρα στο Arena αν γράψουμε EXPO(0.1) δηλώνουμε ότι ο μέσος χρόνος μεταξύ αφίξεων είναι 0,1 λεπτά.

2.3.2 Ποσοστό επιλογής καμπινών

Η επιλογή λωρίδας διοδίων ανάλογα με τον τύπο της είσπραξης, αποτελεί μια κρίσιμη μεταβλητή στα μοντέλα προσομοίωσης της λειτουργίας των σταθμών διοδίων, καθώς επηρεάζει άμεσα τη ροή των οχημάτων, τον χρόνο εξυπηρέτησης και τη συνολική απόδοση του συστήματος. Το ποσοστό επιλογής τύπου καμπίνας (χειροκίνητης ή ηλεκτρονικής) εξαρτάται κυρίως από έναν κανόνα λήψης απόφασης, ο οποίος βασίζεται στην κατηγορία του οχήματος, τα χαρακτηριστικά της ροής και την πιθανότητα προτίμησης ενός τύπου καμπίνας έναντι ενός άλλου (π.χ ETC – Electronic Toll Collection).

Η χρήση τέτοιων πιθανοτήτων επιλογής υποστηρίζεται ευρέως στη διεθνή βιβλιογραφία ως μέθοδος αναπαράστασης της συμπεριφοράς οδηγού υπό καθεστώς εναλλακτικών επιλογών. Για παράδειγμα, φορτηγά οχήματα είναι πιο πιθανό να επιλέγουν χειροκίνητες καμπίνες, ενώ ελαφρά οχήματα που διαθέτουν πομποδέκτη RFID τείνουν να κατευθύνονται προς τις καμπίνες ETC.

Μόλις επιλεγεί ο τύπος της καμπίνας, το σύστημα εφαρμόζει έναν αλγόριθμο επιλογής της βέλτιστης λωρίδας μεταξύ των διαθέσιμων, με βάση κριτήρια ελαχιστοποίησης. Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης, ως κύρια κριτήρια λήφθηκαν υπόψη τα εξής:

- ο αριθμός οχημάτων που βρίσκονται ήδη σε ουρά αναμονής σε κάθε καμπίνα (queue length),
- ο αριθμός οχημάτων που κατευθύνονται προς κάθε καμπίνα (vehicles en route),
- ο αριθμός κατελημμένων πόρων εξυπηρέτησης, δηλαδή αν η καμπίνα είναι ενεργή ή κενή.

Η παραπάνω προσέγγιση ευθυγραμμίζεται με τις μεθόδους που περιγράφονται σε σύγχρονες μελέτες βελτιστοποίησης της λειτουργίας σταθμών διοδίων μέσω προσομοίωσης διακριτών συμβάντων. Ο τελικός στόχος είναι η βελτίωση της κατανομής των ροών και η ελαχιστοποίηση καθυστερήσεων, διασφαλίζοντας έτσι μεγαλύτερη λειτουργική αποδοτικότητα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι σε περιβάλλον ελεύθερης ροής (free-flow), όπου δεν υπάρχουν φυσικές καμπίνες/θάλαμοι εξυπηρέτησης, η διαδικασία επιλογής λωρίδας καθίσταται περιττή. Η χρέωση διέλευσης γίνεται μέσω αυτόματων ηλεκτρονικών συστημάτων αναγνώρισης, επιτρέποντας τη συνεχή ροή χωρίς στάσεις και συνεπώς χωρίς ουρές.

Η ενσωμάτωση αυτών των δυναμικών μεταβλητών στο μοντέλο προσομοίωσης παρέχει μια ρεαλιστική και αξιόπιστη προσέγγιση για την αξιολόγηση της λειτουργικής συμπεριφοράς των σταθμών διοδίων, αποτελώντας αναπόσπαστο εργαλείο για τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων βελτιστοποίησης.

2.3.3 Χρόνος μετακίνησης

Ο χρόνος μετακίνησης ή χρόνος διαδρομής αναφέρεται στη χρονική διάρκεια που απαιτείται για να διασχίσει ένα όχημα ή οντότητα ολόκληρη την περιοχή του σταθμού διοδίων, από τη στιγμή εισόδου στο σύστημα έως την πλήρη αποχώρησή του. Στη διάρκεια αυτή, το όχημα ενδέχεται να κινηθεί παράλληλα ή πλάγια προς τις καμπίνες εξυπηρέτησης, κατά τη φάση της ευθυγράμμισης με τη λωρίδα επιλογής.

Η εκτίμηση του χρόνου μετακίνησης έχει σημασία τόσο για την αξιολόγηση της απόδοσης του σταθμού διοδίων, όσο και για την πρόβλεψη καθυστερήσεων, ιδιαίτερα σε σενάρια με διαφορετικούς τύπους εξυπηρέτησης (χειροκίνητη/ηλεκτρονική). Η περιοχή που λαμβάνεται υπόψη σε αυτή τη μέτρηση περιλαμβάνει τα σημεία έναρξης διαπλάτυνσης (divergence) και λήξης στένωσης (convergence) των λωρίδων κυκλοφορίας, τα οποία οριοθετούν τη γεωμετρική έκταση επιρροής του σταθμού.

Για την ακριβή καταγραφή του χρόνου μετακίνησης, οι μετρήσεις θα πρέπει να πραγματοποιούνται:

- εκτός των ωρών αιχμής ή
- σε συνθήκες ελεύθερης ροής (free flow conditions),

ώστε να αποφευχθεί η επίδραση των ουρών και των καθυστερήσεων στην εκτίμηση της καθαρής μετακίνησης. Σε διαφορετική περίπτωση, η εμπλοκή του οχήματος σε διαδικασία εξυπηρέτησης ή αναμονής θα παραποιούσε τον πραγματικό χρόνο μετακίνησης.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τον χρόνο μετακίνησης είναι:

- η μέθοδος πληρωμής: η επιλογή ηλεκτρονικής πληρωμής (AVI, RFID, e-pass) οδηγεί σε χαμηλότερους χρόνους διαδρομής σε σύγκριση με τη χειροκίνητη πληρωμή, λόγω της αποφυγής στάσης,
- η κατηγορία του οχήματος: ο χρόνος διαδρομής τείνει να είναι μικρότερος για ελαφρά οχήματα και μεγαλύτερος για βαρέα φορτηγά, λόγω διαφορετικής επιτάχυνσης και χειρισμού.

- η διάταξη του σταθμού διοδίων: η γεωμετρία, ο αριθμός των λωρίδων, η θέση των καμπινών είσπραξης και η ύπαρξη οδηγών καθοδήγησης επηρεάζουν την ταχύτητα διέλευσης.

Υπάρχουν τρεις διακριτοί τύποι προφίλ ταχύτητας, οι οποίοι σχετίζονται άμεσα με το είδος της μεθόδου συλλογής διοδίων και επηρεάζουν καθοριστικά τον συνολικό χρόνο μετακίνησης των οχημάτων στη ζώνη του σταθμού διοδίων. Τα προφίλ αυτά συνδέονται με τις εξής περιπτώσεις:

2.3.3.1 Λωρίδα Χειροκίνητης Συλλογής Διοδίων (Manual Toll Collection)

Στην περίπτωση της χειροκίνητης πληρωμής, το όχημα επιβραδύνει μέχρι τα 0 km/h προκειμένου να ολοκληρώσει τη διαδικασία πληρωμής στο σταθμό. Αυτό μπορεί να σημαίνει είτε πλήρη ακινητοποίηση, είτε απλώς σημαντική μείωση ταχύτητας κοντά στο σημείο εξυπηρέτησης. Η συμπεριφορά αυτή εισάγει καθυστέρηση και ουρά, ειδικά σε ώρες αιχμής.

2.3.3.2 Λωρίδα Ηλεκτρονικής Συλλογής Διοδίων (Electronic Toll Collection - ETC)

Σε λωρίδες ηλεκτρονικής χρέωσης (π.χ. e-PASS, RFID), η είσπραξη γίνεται χωρίς να απαιτείται στάση, όμως τα οχήματα οφείλουν να επιβραδύνουν σε περίπου 20-30 km/h, προκειμένου να διευκολυνθεί η ασφαλής ανάγνωση του πομποδέκτη και η ενεργοποίηση της μπάρας (όπου υπάρχει). Αυτός ο τύπος είναι ημιαυτόματος και προσφέρει σημαντικά χαμηλότερο χρόνο διαδρομής σε σχέση με τη χειροκίνητη καμπίνα.

2.3.3.3 Συστήματα Ελεύθερης Ροής (Free-flow Tolling)

Στα συστήματα ανοιχτής ροής (Open Tolling ή All Electronic Tolling - AET), δεν υπάρχει καμία παρέμβαση στην ταχύτητα του οχήματος. Η χρέωση γίνεται εξ αποστάσεως, εν κινήσει, και επομένως δεν απαιτείται καμία επιβράδυνση. Το όχημα διατηρεί τη συνήθη ταχύτητα πορείας, σύμφωνα με τα όρια της οδού.

Η διαφοροποίηση των προφίλ ταχύτητας είναι απαραίτητη για την ακριβή εκτίμηση καθυστερήσεων, την προβλεψιμότητα συμφόρησης, αλλά και για την ανάλυση επεμβάσεων (όπως η προσθήκη καμπινών ETC ή η μετάβαση σε σύστημα ελεύθερης ροής). Από τη βιβλιογραφία, σε σχετική μελέτη προσδιορίζονται τα ανώτατα και κατώτατα όρια τιμών επιτάχυνσης για ταχύτητες από 0 έως 120 km/h, τα οποία μπορούν να ενσωματωθούν ως

παράμετροι προσομοίωσης για ρεαλιστική αναπαράσταση του χρόνου μετακίνησης σε λογισμικά όπως το Arena

2.3.4 Χρόνος εξυπηρέτησης

Ο χρόνος εξυπηρέτησης (service time) αναφέρεται στη χρονική διάρκεια που απαιτείται για την ολοκλήρωση της συναλλαγής μεταξύ οχήματος και σταθμού διοδίων, από τη στιγμή που το όχημα φτάνει στην καμπίνα των διοδίων έως την αποχώρησή του. Η μεταβλητή αυτή είναι καθοριστικής σημασίας για την εκτίμηση της ικανότητας διέλευσης (throughput) και της απόδοσης (performance) ενός σταθμού διοδίων και μετριέται σε εξυπηρετούμενα οχήματα στη μονάδα του χρόνου (vehicles per hour-vph).

2.3.4.1 Μέθοδοι Μέτρησης Χρόνου Εξυπηρέτησης

Στη βιβλιογραφία έχουν προταθεί διάφορες μεθοδολογίες για την αποτίμηση του χρόνου εξυπηρέτησης, οι οποίες διαφέρουν ως προς το σημείο αναφοράς και την παρουσία ή απουσία ουράς αναμονής:

Μελέτη	Μέθοδος Μέτρησης
Lin & Su (1994)	Χρόνος μεταξύ της θέσης πληρωμής και της διέλευσης του πίσω άξονα του οχήματος από γραμμή αναφοράς.
Araújo (2001)	Με ουρά: χρόνος μεταξύ διαδοχικών καθόδων μπάρας. Χωρίς ουρά: από τη στάση στην καμπίνα έως την κάθοδο της μπάρας.
Oliveira (2004)	Παρόμοια μέθοδος με Araújo – κάθοδος μπάρας ως τελικό σημείο.
Inácio et al. (2016)	Από την έναρξη της συναλλαγής με τον υπάλληλο έως την πλήρη διέλευση του οχήματος από την καμπίνα.

Πίνακας 2.2 Μέθοδοι μέτρησης χρόνου εξυπηρέτησης

Ορισμένες μέθοδοι που χρησιμοποιούν την κάθοδο της μπάρας ως τελικό σημείο ενδέχεται να υπερεκτιμούν τον χρόνο εξυπηρέτησης, καθώς η μπάρα μπορεί να παραμείνει ανοικτή λόγω ανίχνευσης του επόμενου οχήματος μέσω αισθητήρων παρουσίας. Για τον λόγο αυτό, προτείνεται η μέτρηση με βάση τη θέση πληρωμής και την τελική διέλευση του άξονα.

2.3.4.2 Διακύμανση ανά κατηγορία οχήματος

Ο χρόνος εξυπηρέτησης διαφέρει σημαντικά ανάλογα με την κατηγορία του οχήματος, καθώς:

- τα μεγαλύτερα οχήματα έχουν χαμηλότερη επιτάχυνση, μεγαλύτερο μήκος και δυσκολία στην επικοινωνία με την καμπίνα (ιδίως σε χειροκίνητες συναλλαγές,
- ο μέσος χρόνος εξυπηρέτησης για ελαφρά οχήματα κυμαίνεται από 12 έως 19 δευτερόλεπτα, ενώ για βαρέα μπορεί να ξεπερνά τα 30 δευτερόλεπτα.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται ενδεικτικοί χρόνοι εξυπηρέτησης ανά τύπο οχήματος, από τη βιβλιογραφία:

Μελέτη	Ελαφρά Οχήματα (sec)	Βαρέα Οχήματα (sec)
Araujo (2001)	18,9	30,2
Leitao (2007)	12,1	—
Alvarenga (2010)	12,8	19,1

Πίνακας 2.3 Ενδεικτικοί χρόνοι εξυπηρέτησης ανά τύπο οχήματος

Τέλος ο χρόνος εξυπηρέτησης επηρεάζεται από ανθρώπινους και μη παράγοντες. Για παράδειγμα όσον αφορά την κατηγορία οχήματος, τα ΙΧ εξυπηρετούνται γρηγορότερα από φορτηγά λόγω ευελιξίας και θέσης οδηγού, ενώ για τον τρόπο πληρωμής, η ηλεκτρονική μειώνει σημαντικά τον χρόνο (π.χ. RFID, κάρτα). Ακόμη, ο χρόνος εξυπηρέτησης μπορεί να επηρεαστεί από την ροή κυκλοφορίας, διότι σε περίοδο αιχμής, οι οδηγοί τείνουν να ενεργούν ταχύτερα λόγω πίεσης της ουράς. Επίσης η τιμή του διοδίου μπορεί να μειώσει τον χρόνο πληρωμής, λόγω απουσίας ανάγκης για ρέστα σε περίπτωση συναλλαγής με μετρητά.

2.4 Παράμετροι απόδοσης των σταθμών διοδίων

2.4.1 Μέσος χρόνος καθυστέρησης ανά όχημα

Ο μέσος χρόνος καθυστέρησης ανά όχημα αποτελεί βασικό δείκτη της λειτουργικής αποδοτικότητας ενός σταθμού διοδίων. Μετρά τον συνολικό χρόνο που ένα όχημα παραμένει στον χώρο του σταθμού από τη στιγμή που σταματά μέχρι να εξέλθει μετά την πληρωμή. Οι καθυστερήσεις μπορεί να οφείλονται σε ουρές, αργή εξυπηρέτηση ή τεχνικές δυσλειτουργίες. Στοχεύουμε σε ελαχιστοποίηση του χρόνου αυτού, ιδιαίτερα σε ώρες αιχμής, για να διασφαλίζεται ομαλή ροή κυκλοφορίας.

2.4.2 Μήκος ουράς οχημάτων

Το μήκος της ουράς των οχημάτων που περιμένουν να εξυπηρετηθούν αποτελεί άμεσο μέτρο της συμφόρησης και του κορεσμού. Η αύξηση του μήκους υποδηλώνει προβλήματα στη χωρητικότητα του σταθμού, είτε λόγω υψηλού κυκλοφοριακού φόρτου είτε λόγω ανεπαρκούς αριθμού λωρίδων. Η συνεχής παρακολούθηση του μήκους ουράς επιτρέπει τον εντοπισμό περιόδων με υψηλή συμφόρηση και βοηθά στη λήψη διορθωτικών μέτρων, όπως η ανακατανομή καμπινών είσπραξης..

2.4.3 Βαθμός χρήσης καμπινών

Ο βαθμός χρήσης καμπινών δείχνει την κατανομή της κυκλοφορίας μεταξύ των διαθέσιμων καμπινών. Μια μη ισόρροπη χρήση μπορεί να οδηγήσει σε συμφόρηση σε ορισμένες λωρίδες, ενώ άλλες παραμένουν υποχρησιμοποιημένες. Η καλή διαχείριση κατευθυντικών πινακίδων, ο εργονομικός σχεδιασμός και η ενημέρωση των οδηγών συμβάλλουν στη βελτιστοποίηση της κατανομής της κυκλοφορίας.

2.4.4 Ροή οχημάτων ανά λωρίδα (Throughput)

Η ροή οχημάτων ανά λωρίδα είναι ο αριθμός οχημάτων που μπορούν να εξυπηρετηθούν ανά ώρα από κάθε λωρίδα διοδίων. Αποτελεί σημαντικό ποσοτικό κριτήριο της απόδοσης, καθώς δείχνει την πραγματική δυνατότητα εξυπηρέτησης του σταθμού. Οι χειροκίνητες λωρίδες έχουν σημαντικά μικρότερη ικανότητα (300–400 οχήματα/ώρα) σε σχέση με τις αυτόματες ή τις ηλεκτρονικές (έως και 1200+ οχήματα/ώρα). Η αξιολόγηση της ροής βοηθά στην επιλογή του κατάλληλου συστήματος διοδίων.

2.4.5 Χρόνος εξυπηρέτησης (Service time)

Ο χρόνος εξυπηρέτησης είναι ο ατομικός χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωση της διαδικασίας πληρωμής για κάθε όχημα. Περιλαμβάνει τον χρόνο προσέγγισης, συναλλαγής και αποχώρησης. Είναι κρίσιμος παράγοντας, καθώς επηρεάζει άμεσα την καθυστέρηση και το μήκος ουράς. Η μείωσή του μπορεί να επιτευχθεί με αυτοματοποίηση, χρήση ηλεκτρονικών συστημάτων και εργονομικό σχεδιασμό των σταθμών.

2.4.6 Επίπεδο εξυπηρέτησης (LOS)

Το Επίπεδο Εξυπηρέτησης (Level of Service - LOS) είναι μια σύνθετη ποιοτική αξιολόγηση που συνδυάζει καθυστέρηση, συμφόρηση, ευκολία πλοήγησης και συνολική εμπειρία του χρήστη. Κατηγοριοποιείται από A (άριστη λειτουργία, μηδενικές καθυστερήσεις) έως F (κορεσμός και χαμηλή αποδοτικότητα). Το LOS χρησιμοποιείται ευρέως σε μελέτες μεταφορών και αποτελεί δείκτη για την ανάγκη επέμβασης ή αναβάθμισης του σταθμού.

2.4.7 Αξιοπιστία συστήματος & ποσοστό σφαλμάτων

Η αξιοπιστία του συστήματος αφορά τη σταθερότητα λειτουργίας και το ποσοστό σφαλμάτων ή τεχνικών προβλημάτων που παρατηρούνται. Περιλαμβάνει τη λειτουργικότητα των συστημάτων πληρωμής (π.χ. αποτυχία ανάγνωσης RFID), τις διακοπές λειτουργίας, καθώς και την ανάγκη ανθρώπινης παρέμβασης. Ένα αξιόπιστο σύστημα διοδίων μειώνει την καθυστέρηση και αυξάνει την εμπιστοσύνη των χρηστών, ειδικά σε συστήματα χωρίς επαφή ή με αυτόματη χρέωση.



Εικόνα 2.9 Μετωπικός σταθμός διοδίων Ελευσίνας Πάσχα 2025

3 Μοντελοποίηση προσομοίωσης

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης και με σκοπό την επίτευξη των στόχων της παρούσας εργασίας, το επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζει τη μεθοδολογική διαδικασία που προτείνεται για την παρούσα εργασία, η οποία επιτρέπει την αξιολόγηση της επιχειρησιακής απόδοσης των σταθμών διοδίων και τον εντοπισμό της ανάγκης (ή μη) εφαρμογής εναλλακτικών παρεμβάσεων στο σύστημα.

3.1 Ο προσομοιωτής Arena

Το λογισμικό προσομοίωσης Arena είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο για προσομοίωση διακριτών γεγονότων στον κόσμο και οι έννοιες της προσομοίωσης γίνονται κατανοητές μέσω μιας απλής προσέγγισης μοντελοποίησης με διαγράμματα ροής. Το Arena είναι το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε στο μοντέλο προσομοίωσης που περιλαμβάνεται στη μεθοδολογική διαδικασία που προτείνεται στην παρούσα εργασία.

Το Arena διαθέτει ένα ολοκληρωμένο γραφικό περιβάλλον και λειτουργίες για στατιστική ανάλυση, μοντελοποίηση διαδικασιών, κινούμενες εικόνες και ανάλυση αποτελεσμάτων. Επιπλέον, η δωρεάν έκδοση του Arena Student παρέχει τις ίδιες λειτουργίες με την έκδοση Professional, με περιορισμούς μόνο στο μέγεθος του μοντέλου που μπορεί να δημιουργηθεί.

Το Arena είναι ένα ισχυρό εργαλείο για την ανάλυση σεναρίων και την προσομοίωση διαδικασιών. Καθώς αυξάνεται η πολυπλοκότητα, η τυχαιότητα γίνεται βασικό στοιχείο για την κατανόηση της απόδοσης του συστήματος. Μέσω της χρήσης διαγραμμάτων ροής, είναι πολύ πιο εύκολο να μοντελοποιήσουμε έργα, οπότε δεν χρειάζεται να γράφουμε γραμμές (προγραμματισμένου) κώδικα.

Το Arena αποτελεί ένα από τα πιο διαδεδομένα και αξιόπιστα λογισμικά προσομοίωσης διακριτών συμβάντων (discrete-event simulation), το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως σε εφαρμογές που σχετίζονται με τη μελέτη και ανάλυση πολύπλοκων συστημάτων, όπως οι σταθμοί διοδίων. Τα βασικά πλεονεκτήματα που προσφέρει συνοψίζονται στα εξής:

- Φιλικό και διαισθητικό περιβάλλον εργασίας: το Arena διαθέτει γραφική διεπαφή χρήστη που βασίζεται σε τεχνικές drag-and-drop, γεγονός που καθιστά τη δημιουργία μοντέλων εύκολη και προσβάσιμη, ακόμα και για χρήστες με περιορισμένη εμπειρία στον προγραμματισμό.

- Δυνατότητα αποτύπωσης πολύπλοκων διαδικασιών: το λογισμικό επιτρέπει την αναλυτική μοντελοποίηση και αποτύπωση δυναμικών συστημάτων με ποικίλες αλληλεπιδράσεις και ροές, γεγονός που το καθιστά ιδανικό εργαλείο για την προσομοίωση καταστάσεων όπως η λειτουργία και εξυπηρέτηση σε σταθμούς διοδίων.
- Ευελιξία στη διαμόρφωση σεναρίων: παρέχεται η δυνατότητα προσαρμογής παραμέτρων, εισαγωγής δεδομένων και δημιουργίας εναλλακτικών σεναρίων, προσφέροντας ένα ευρύ φάσμα επιλογών για τη μελέτη διαφορετικών επιχειρησιακών στρατηγικών.
- Αξιόπιστη στατιστική ανάλυση: το Arena υποστηρίζει την παραγωγή λεπτομερών αναφορών, στατιστικών δεικτών και γραφικών απεικονίσεων, διευκολύνοντας την αξιολόγηση της απόδοσης του υπό εξέταση συστήματος με επιστημονική τεκμηρίωση.
- Ευρεία αποδοχή στον βιομηχανικό και ακαδημαϊκό χώρο: το Arena αποτελεί καθιερωμένο εργαλείο στον χώρο των μεταφορών, της βιομηχανίας και της εφοδιαστικής αλυσίδας, γεγονός που ενισχύει την αξιοπιστία και την πρακτική του εφαρμοσιμότητα.
- Δυνατότητα διασύνδεσης με άλλα λογισμικά: υπάρχει υποστήριξη για εισαγωγή και εξαγωγή δεδομένων από προγράμματα όπως το Microsoft Excel ή την Access, επιτρέποντας την ολοκληρωμένη διαχείριση και αξιοποίηση δεδομένων εισόδου και εξόδου.

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα του Arena είναι η δυνατότητα δημιουργίας προτύπων (templates), δηλαδή μιας συλλογής από αντικείμενα και/ή εργαλεία μοντελοποίησης, τα οποία επιτρέπουν στον χρήστη να περιγράψει τη συμπεριφορά της υπό μελέτη διαδικασίας μέσω απαντήσεων σε προκαθορισμένες ερωτήσεις, χωρίς την ανάγκη προγραμματισμού, με έναν οπτικό και διαδραστικό τρόπο. Μέσω της χρήσης εξατομικευμένων προτύπων, το Arena μπορεί εύκολα να μετατραπεί σε έναν εξειδικευμένο προσομοιωτή, κατάλληλο για εφαρμογή σε διάφορους τομείς όπως: μηχανική, μεταφορές, βιομηχανική παραγωγή, κ.ά.

3.2 Προτεινόμενη μεθοδολογική διαδικασία

Η μεθοδολογική διαδικασία που προτείνεται για την παρούσα εργασία, η οποία καθιστά δυνατή την αξιολόγηση των λειτουργικών αποδόσεων των σταθμών διοδίων και τον εντοπισμό της ανάγκης εφαρμογής (ή μη) εναλλακτικών παρεμβάσεων στο σύστημα, αποτελείται από μια σειρά σταδίων, που αντιπροσωπεύονται από πέντε βήματα, τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω:

- **Βήμα I** - Χαρακτηρισμός του σταθμού διοδίων και ανάλυση δεδομένων.
- **Βήμα II** - Μοντελοποίηση του σταθμού διοδίων με προσομοίωση.
- **Βήμα III** - Επαλήθευση και βαθμονόμηση του μοντέλου προσομοίωσης.
- **Βήμα IV** – Αξιολόγηση των λειτουργικών αποδόσεων του σταθμού διοδίων.

Η προτεινόμενη μεθοδολογική διαδικασία έχει τη δυνατότητα να εφαρμοστεί στον κλάδο των αυτοκινητοδρόμων με διόδια υπό παραχώρηση. Ελπίζεται ότι η προτεινόμενη μεθοδολογική διαδικασία μπορεί να χρησιμεύσει ως πρακτικός οδηγός για τους παραχωρησιούχους όταν πρόκειται να αξιολογήσουν τις λειτουργικές αποδόσεις των σταθμών διοδίων στους δρόμους υπό την εκμετάλλευσή τους. Η διαδικασία αυτή εστιάζει στο στόχο της έρευνας και εφαρμόζει τις σχετικές διαδικασίες για την αξιολόγηση των λειτουργικών αποδόσεων των σταθμών διοδίων και των προοπτικών εφαρμογής (ή μη) εναλλακτικών παρεμβάσεων στο σύστημα. Επίσης παρέχει ευελιξία, δεδομένου ότι επιτρέπει στον παραχωρησιούχο να υιοθετήσει, για παράδειγμα, μια διαφορετική τεχνική μοντελοποίησης από αυτή που εξετάζεται στην παρούσα εργασία. Παρακάτω αναλύονται τα διάφορα στάδια της μεθοδολογικής διαδικασίας που προτείνεται.

3.3 Βήμα I - Χαρακτηρισμός του σταθμού διοδίων και ανάλυση δεδομένων

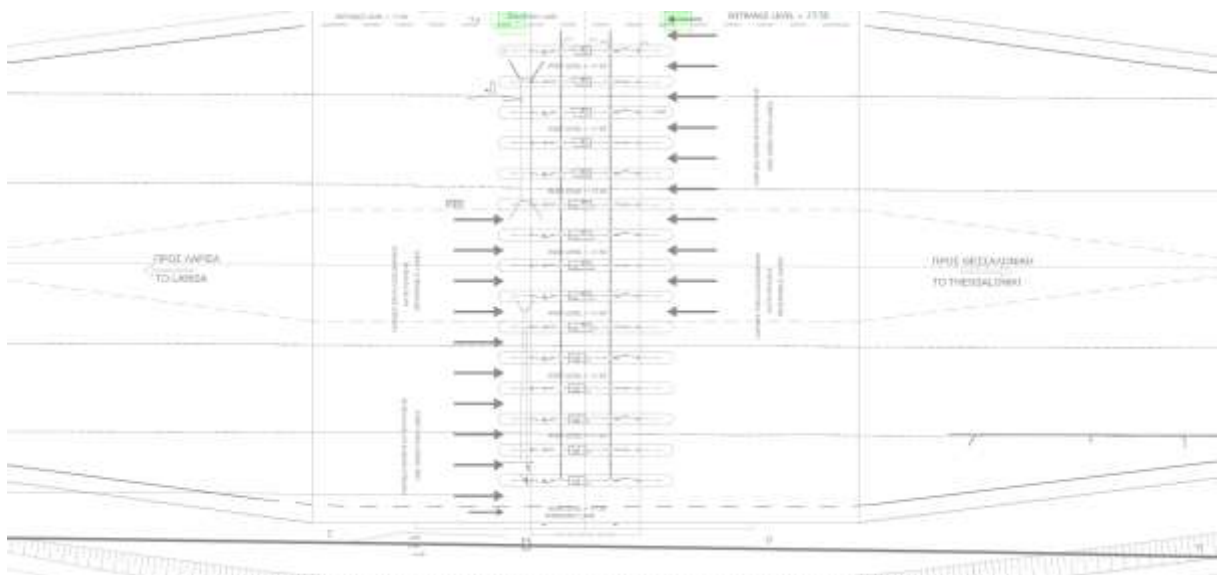
Αυτό το βήμα στοχεύει στον χαρακτηρισμό του σταθμού διοδίων και στην αναγνώριση της τοποθεσίας όπου θα εφαρμοστεί η μεθοδολογία. Για τον σκοπό αυτό, είναι απαραίτητη η συλλογή, η κατηγοριοποίηση και η ανάλυση δεδομένων, με σκοπό την εξαγωγή των δεδομένων εισόδου (input) για το μοντέλο προσομοίωσης και των δεδομένων εξόδου (output) που θα χρησιμοποιηθούν για τη επαλήθευση και βαθμονόμηση του, όπως παρουσιάζονται στο επόμενο στάδιο. Το βήμα αυτό αποσκοπεί στον πλήρη χαρακτηρισμό του σταθμού διοδίων και στην επιτόπια αναγνώριση της περιοχής μελέτης, προκειμένου να

διαμορφωθεί ένας πιο στοχευμένος σχεδιασμός των μεθόδων που θα χρησιμοποιηθούν με σκοπό τη βέλτιστη αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων.

Θα πρέπει να συλλεχθούν προκαταρκτικές πληροφορίες σχετικές με τα δεδομένα εισόδου του μοντέλου προσομοίωσης. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στα βασικά χαρακτηριστικά του σταθμού διοδίων, όπως είναι: η γεωμετρική διαμόρφωση, ο αριθμός των διαθέσιμων λωρίδων, οι τρόποι πληρωμής, η χωρητικότητα, και άλλες κρίσιμες παράμετροι.

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα, καθίσταται δυνατή η αναπαράσταση της δομής του υπό εξέταση σταθμού, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επαλήθευση του μοντέλου προσομοίωσης, καθώς και για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων μέσω εργαλείων οπτικοποίησης και animation. Τα εργαλεία αυτά επιτρέπουν την απεικόνιση της σχέσης μεταξύ των οντοτήτων και των δραστηριοτήτων που περιλαμβάνονται στο μοντέλο. Επιπλέον, οι δυνατότητες animation μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ποικίλους τρόπους, όπως η παρακολούθηση μεταβλητών, η απεικόνιση της απασχόλησης των πόρων ή άλλων παραμέτρων του συστήματος.

Στην Εικόνα 3.1 απεικονίζεται ένα παράδειγμα δομής σταθμού διοδίων που χρησιμοποιείται συνήθως σε συμβάσεις παραχώρησης αυτοκινητοδρόμων.



Εικόνα 3.1 Τυπική δομή μετωπικού σταθμού διοδίων συμβάσεων παραχώρησης

Η εικόνα δείχνει ότι μπορεί να υπάρχουν (ή και όχι) διαφορετικά δεδομένα εισόδου για την τροφοδότηση του μοντέλου προσομοίωσης, ιδίως ως προς τα διαφορετικά χαρακτηριστικά που συναντώνται σε κάθε κατεύθυνση κυκλοφορίας. Λαμβάνοντας υπόψη

αυτό, η προτεινόμενη μεθοδολογική διαδικασία λαμβάνει υπόψη τη μοντελοποίηση προσομοίωσης μιας κατεύθυνσης κυκλοφορίας κάθε φορά.

Το στάδιο της συλλογής δεδομένων πρέπει να αποτελείται από το προηγούμενο στάδιο που αφορά τις προκαταρκτικές πληροφορίες, τη συλλογή δεδομένων στο πεδίο και τη συλλογή με βάση τα αρχεία της παραχωρησιούχο εταιρείας. Θα πρέπει να συλλεχθούν δεδομένα εισόδου για την τροφοδότηση του μοντέλου προσομοίωσης, ιδίως για την απόκτηση των μεταβλητών που σχετίζονται με τους σταθμούς διοδίων (αφίξεις οχημάτων, χρόνοι εξυπηρέτησης, ποσοστό επιλεγμένων καμπινών και χρόνοι μετακίνησης). Επίσης θα πρέπει να συλλεχθούν δεδομένα σχετικά με τα φυσικά χαρακτηριστικά του σταθμού διοδίων, τα δεδομένα κυκλοφοριακής ζήτησης, τη συγκεκριμένη διαμόρφωση του σταθμού κ.λπ.

Με την τυποποίηση και την κωδικοποίηση των πληροφοριών που λαμβάνονται από το στάδιο της συλλογής δεδομένων, η ταξινόμηση σε πίνακες διευκολύνει την ανάγνωση και την ανάλυση τους. Σε αυτό το στάδιο επίσης, εξάγονται οι μεταβλητές που σχετίζονται με τις λωρίδες διοδίων, οι οποίες αποτελούν δεδομένα σχετικά με το σύστημα που πρέπει να προστεθούν στο μοντέλο προσομοίωσης. Για τις μεταβλητές αυτές χρησιμοποιούνται στατιστικές κατανομές, οι οποίες παράγονται από τη συγκέντρωση δεδομένων σχετικά με την παράμετρο που πρόκειται να εισαχθεί.

3.4 Βήμα II - Μοντελοποίηση του σταθμού διοδίων με προσομοίωση

Το βήμα αυτό αποσκοπεί στον καθορισμό των σεναρίων για την προσομοίωση της υφιστάμενης κατάστασης, τα οποία θα αναλυθούν μέσω της προσομοίωσης με τη χρήση του Arena. Στη συνέχεια, λαμβάνονται εκτιμήσεις της απόδοσης του μοντέλου προσομοίωσης, οι οποίες θα επαληθευτούν ως συνεπείς (ή όχι) στο επόμενο βήμα.

Οι μελέτες προσομοίωσης διεξάγονται γενικά για περιορισμένο χρονικό διάστημα ή για ένα σύνολο πανομοιότυπων περιόδων. Στην παρούσα μελέτη, ορίζονται σενάρια για την υφιστάμενη κατάσταση, τα οποία διακρίνονται ανάλογα με την κατεύθυνση της κυκλοφορίας και για τα οποία μπορούν να γίνουν εκτιμήσεις σχετικά με τις αποδόσεις του σταθμού. Η επιλογή των σεναρίων προσομοίωσης πρέπει να λαμβάνει υπόψη τη μέση ροή οχημάτων που παρατηρείται στις περιόδους μέγιστης ζήτησης, ιδίως για τους σταθμούς διοδίων, όταν η αυξημένη ζήτηση οδηγεί σε ουρές.

Για τα σενάρια αυτά, και ανάλογα με την κατεύθυνση της κυκλοφορίας, τα δεδομένα του συστήματος πρέπει να αναλύονται για την αντίστοιχη περίοδο αιχμής και για αρχή, για χρόνο προθέρμανσης (warm-up) στο Arena 0 λεπτών. Η επιλογή του αριθμού των επαναλήψεων και του χρόνου προθέρμανσης για προσομοίωση σταθμού διοδίων εξαρτάται από το σκοπό (π.χ. μέσοι χρόνοι εξυπηρέτησης, ουρές), τα δεδομένα (π.χ. μέγεθος του δείγματος, ακρίβεια των δειγμάτων) και το επιθυμητό επίπεδο ακρίβειας (π.χ. αποδεκτό σφάλμα $\pm 1\%$ – 2%). Στην παρούσα μελέτη κρίθηκε απαραίτητο να πραγματοποιηθούν τουλάχιστον 5 επαναλήψεις, ώστε να διασφαλιστεί η αξιοπιστία των μέτρων αποδόσεων του σταθμού. Τα μέτρα αυτά θα εκφράζονται ως ο μέσος όρος των δειγμάτων, παρέχοντας μια αντιπροσωπευτική εικόνα της προσομοίωσης, ενώ ταυτόχρονα αντιμετωπίζεται το πρόβλημα της έλλειψης ανεξαρτησίας ανάμεσα στις διαδοχικές προσομοιώσεις.

Η επιλογή των σεναρίων προσομοίωσης πρέπει να λαμβάνει υπόψη τη μέση ροή οχημάτων που παρατηρείται στις περιόδους μέγιστης ζήτησης ιδίως για τους σταθμούς διοδίων, όταν η αυξημένη ζήτηση οδηγεί σε ουρές. Επιπλέον, κατά τη διαμόρφωση αυτών των σεναρίων, όλα τα δεδομένα που προέκυψαν στα προηγούμενα βήματα πρέπει να ενσωματωθούν στο σύστημα.

3.4.1 Δημιουργία του μοντέλου προσομοίωσης στο Arena

Σε μια προσομοίωση, κατασκευάζεται ένα λογικομαθηματικό μοντέλο που αναπαριστά τη δυναμική του υπό μελέτη συστήματος. Το μοντέλο αυτό συνήθως ενσωματώνει παραμέτρους όπως χρόνοι, αποστάσεις, διαθέσιμοι πόροι και άλλες κρίσιμες μεταβλητές λειτουργίας. Για την κατασκευή του μοντέλου προσομοίωσης χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Arena, έκδοση 14.0. Το Arena προσφέρει ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον που συνδυάζει λογική μοντελοποίησης ενσωματώνοντας παράλληλα ισχυρά εργαλεία στατιστικής ανάλυσης και αξιοποιώντας πλήρως τις δυνατότητες του λειτουργικού περιβάλλοντος των Windows.

Η διαδικασία μοντελοποίησης, δηλαδή η μεταφορά της λειτουργίας του συστήματος στο περιβάλλον του Arena, πραγματοποιείται μέσω της δημιουργίας διαγράμματος ροής, το οποίο αποτελείται από γεωμετρικά σχήματα που αναπαριστούν διαδικασίες, σημεία λήψης αποφάσεων, σημεία έναρξης και τερματισμού διαδικασιών κ.ά. Στο Arena, τα σχήματα αυτά αναπαριστώνται από τα λεγόμενα modules (μονάδες), τα οποία διακρίνονται σε δύο βασικούς τύπους:

- στις μονάδες διαγράμματος ροής (flowchart modules): που καθορίζουν τη δυναμική του συστήματος,
- στις μονάδες δεδομένων (data modules): προσδιορίζουν τις ιδιότητες των στοιχείων του συστήματος.

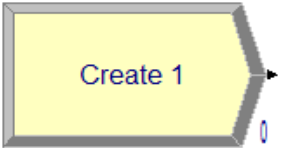
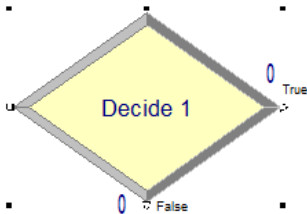
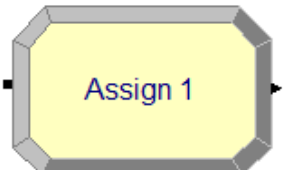
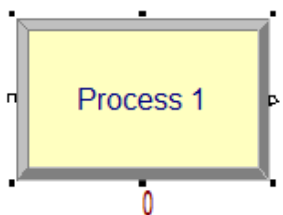
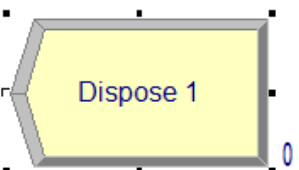
Κατά την κατασκευή του διαγράμματος ροής, η προσέγγιση επικεντρώνεται στο δυναμικό μέρος του συστήματος, δηλαδή στα στοιχεία που κινούνται μέσα σε αυτό – στην περίπτωση των σταθμών διοδίων, πρόκειται για τα οχήματα. Στο μοντέλο ενσωματώνονται δεδομένα εισόδου, τα οποία περιγράφουν τη σχέση μεταξύ των οντοτήτων και των δραστηριοτήτων, συμπεριλαμβάνοντας χαρακτηριστικά (attributes) και μεταβλητές (variables) σχετικές με το λειτουργικό προφίλ των σταθμών διοδίων. Τα χαρακτηριστικά έχουν σταθερές, προκαθορισμένες τιμές, όπως το συνολικό μήκος της περιοχής του σταθμού ή ο αριθμός και ο τύπος των καμπινών. Οι μεταβλητές, αντίθετα, συνήθως σχετίζονται με χρονικές διαστάσεις και υπόκεινται σε στοχαστικές διακυμάνσεις, για τις οποίες συνιστάται η χρήση στατιστικών κατανομών.

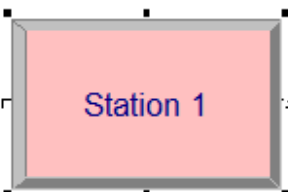
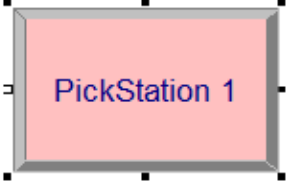
Στο Arena μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε μέσες τιμές είτε στοχαστικά δεδομένα που ακολουθούν κατανομές πιθανότητας, οι οποίες προσδιορίζονται με βάση πραγματικά δεδομένα. Οι κατανομές αυτές προκύπτουν μέσω της συλλογής και ανάλυσης δεδομένων, τα οποία ομαδοποιούνται και απεικονίζονται σε ιστόγραμμα. Στη συνέχεια, εφαρμόζεται η καταλληλότερη στατιστική κατανομή για την αναπαράσταση του φαινομένου.

Η διαδικασία αυτή διευκολύνεται σημαντικά μέσω του εργαλείου Input Analyzer του Arena, το οποίο επιτρέπει την εκτίμηση της ποιότητας προσαρμογής της κάθε κατανομής στα δεδομένα. Επιπλέον, παρέχει τη δυνατότητα σύγκρισης μεταξύ διαφορετικών συναρτήσεων κατανομής και οπτικοποίησης των μεταβολών σε παραμέτρους της ίδιας κατανομής.

Συνδυάζοντας τα δεδομένα και το λογικομαθηματικό μοντέλο, προκύπτει μια αξιόπιστη υπολογιστική αναπαράσταση του συστήματος. Η ύπαρξη αυτού του μοντέλου καθιστά δυνατή την εκτέλεση πολλαπλών σεναρίων προσομοίωσης, τα οποία επιτρέπουν την εξαγωγή αποτελεσμάτων που αποτυπώνουν τη συμπεριφορά του συστήματος με υψηλό βαθμό πιστότητας στην πραγματικότητα.

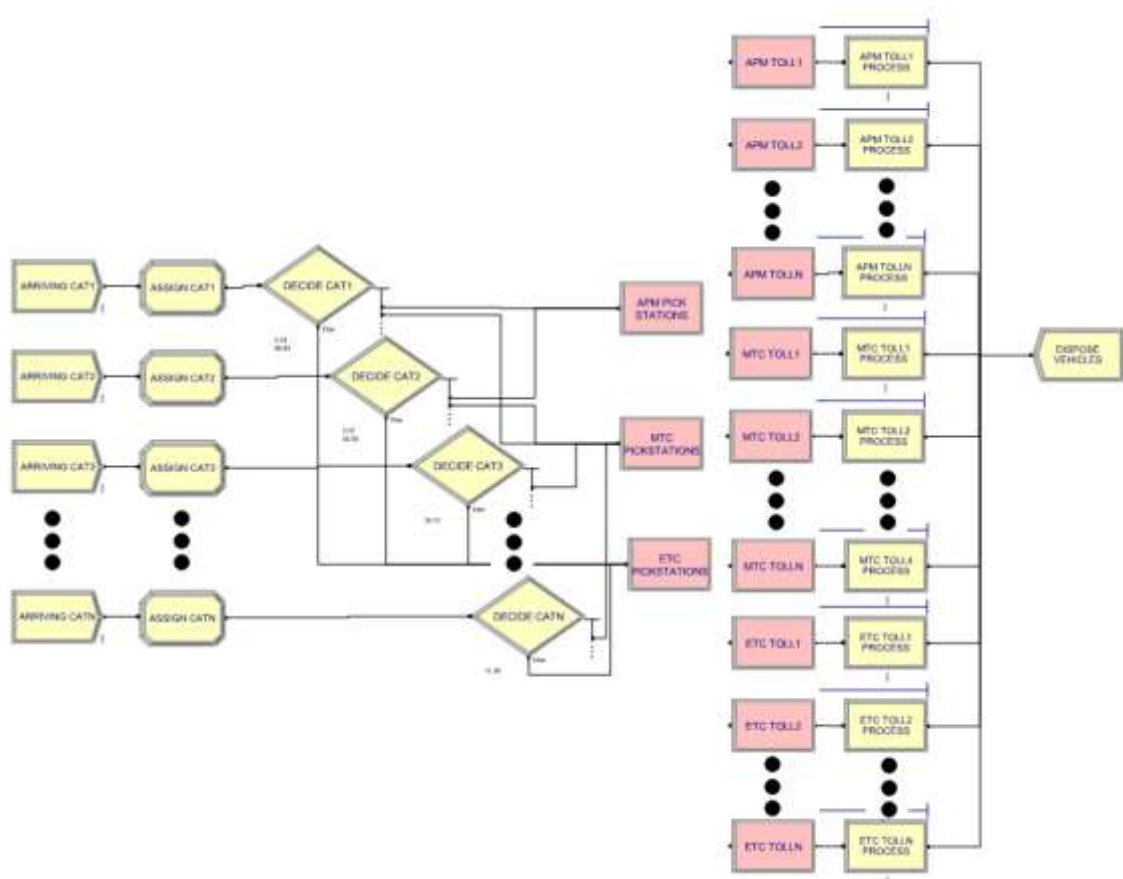
Πριν από την ανάλυση του διαγράμματος ροής που χρησιμοποιήθηκε για τη μοντελοποίηση του σταθμού διοδίων, είναι σημαντικό να παρουσιαστούν τα επιμέρους στοιχεία του μοντέλου, όπως αναφέρονται στον Πίνακα 3.1.

Στοιχείο	Arena module	Λειτουργία
Create		Το στοιχείο αυτό αντιπροσωπεύει το σημείο εκκίνησης των οντοτήτων μέσα στο μοντέλο προσομοίωσης. Οι οντότητες δημιουργούνται είτε με βάση τη ροή των οχημάτων ανά ώρα είτε ανά καθορισμένο χρονικό διάστημα μεταξύ αφίξεων. Ο τύπος της οντότητας καθορίζεται στο συγκεκριμένο module.
Decide		Το στοιχείο αυτό επιτρέπει διαδικασίες λήψης απόφασης εντός του συστήματος. Περιλαμβάνει επιλογές για λήψη αποφάσεων βάσει συνθηκών (π.χ. αν η οντότητα είναι όχημα ή φορτηγό) ή βάσει πιθανοτήτων (π.χ. 90% αληθές, 10% ψευδές). Οι συνθήκες βασίζονται σε τιμές χαρακτηριστικών, μεταβλητών, τον τύπο οντότητας ή σε εκφράσεις.
Assign		Το στοιχείο αυτό χρησιμοποιείται για την ανάθεση νέων τιμών σε μεταβλητές, χαρακτηριστικά οντοτήτων, στατιστικές μεταβλητές ή άλλες παραμέτρους του συστήματος.
Process		Αποτελεί τον βασικό μηχανισμό επεξεργασίας στο σύστημα προσομοίωσης. Οι επιλογές περιλαμβάνουν δυνατότητα αναμονής, εξυπηρέτησης ή περιορισμού βάσει διαθέσιμων πόρων. Ο χρόνος που αφιερώνεται στην επεξεργασία μπορεί να προσδιοριστεί ως σταθερά ή ως μεταβλητή κατανομή.
Dispose		Αντιπροσωπεύει το τελικό σημείο για τις οντότητες στο μοντέλο. Τα στατιστικά δεδομένα της οντότητας μπορούν να καταγραφούν πριν αυτή αποβληθεί από το σύστημα.

Station		Ορίζει έναν σταθμό στο σύστημα, είτε ως φυσική είτε ως λογική τοποθεσία όπου συμβαίνει επεξεργασία. Συνδέεται με στατιστικά στοιχεία που καταγράφουν χρόνους αναμονής ή μετακίνησης για κάθε οντότητα στον συγκεκριμένο σταθμό.
PickStation		Επιτρέπει στην οντότητα να επιλέξει ένας από τους διάφορους διαθέσιμους σταθμούς. Η επιλογή μπορεί να βασίζεται σε λογική, τιμή μεταβλητής ή ακόμα και σε τυχαία επιλογή.

Πίνακας 3.1 Arena modules

Το γενικό διάγραμμα ροής που υλοποιήθηκε στο Arena, για την αναπαράσταση της διαδικασίας μοντελοποίησης της λειτουργίας ενός σταθμού διοδίων, παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.2.



Εικόνα 3.2 Διάγραμμα ροής του μοντέλου προσομοίωσης στο Arena.

Το μοντέλο προσομοίωσης χωρίστηκε σε τέσσερα επιμέρους λειτουργικά μέρη, τα οποία περιγράφονται ως εξής:

- Μέρος 1^ο: είσοδος των οχημάτων στο σταθμό διοδίων.
- Μέρος 2^ο: επιλογή καμπίνας διοδίων βάσει του τύπου είσπραξης.
- Μέρος 3^ο: μετακίνηση των οχημάτων στις καμπίνες πληρωμής.
- Μέρος 4^ο: διαδικασία πληρωμής και έξοδος των οχημάτων από το σταθμό διοδίων.

Διαπιστώνεται ότι το διάγραμμα ροής που δημιουργήθηκε στο λογισμικό Arena και παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.2 είναι συμβατό με διάφορες διαμορφώσεις σταθμών διοδίων, καθώς διαθέτει υψηλό βαθμό ευελιξίας ως προς βασικές παραμέτρους του συστήματος. Ενδεικτικά, μπορεί να προσαρμοστεί στον αριθμό των κατηγοριών οχημάτων, στον αριθμό του τύπου λωρίδας ανάλογα με τον τύπο είσπραξης, καθώς και σε άλλα χαρακτηριστικά του εκάστοτε σταθμού.

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι, για τη λειτουργία του διαγράμματος ροής, ορισμένα δεδομένα του συστήματος, όπως ο χρόνος μεταξύ αφίξεων, ο χρόνος εξυπηρέτησης και το ποσοστό επιλογής λωρίδας, εισάγονται αρχικά σε ηλεκτρονικό υπολογιστικό φύλλο (Excel). Σκοπός της διαδικασίας αυτής είναι η οργάνωση των συλλεχθέντων δεδομένων, η παραγωγή των μεταβλητών που χαρακτηρίζουν το υπό μελέτη σύστημα και τέλος η εισαγωγή τους στο Arena, ώστε να υποστηριχθεί αποτελεσματικά η διαδικασία μοντελοποίησης μέσω προσομοίωσης.

Στο πλαίσιο του προτεινόμενου μοντέλου προσομοίωσης, επιλεγμένα δεδομένα που αφορούν τη λειτουργία του συστήματος καταχωρούνται σε ένα ηλεκτρονικό υπολογιστικό φύλλο (Excel), με στόχο τη διασύνδεση των συλλεγμένων πληροφοριών και την παραγωγή βασικών μεταβλητών εισόδου. Οι μεταβλητές αυτές υπολογίζονται ανά κατηγορία οχήματος (βάσει τύπου και αριθμού αξόνων) και ακολουθούν στατιστική επεξεργασία με χρήση κατάλληλων κατανομών πιθανότητας, πριν την εισαγωγή τους στο λογισμικό προσομοίωσης Arena για την υποστήριξη της διαδικασίας μοντελοποίησης.

Σύμφωνα με τη διαμόρφωση του προτεινόμενου διαγράμματος ροής, τρεις κρίσιμες μεταβλητές εισόδου προσδιορίζονται και καταγράφονται στο υπολογιστικό φύλλο για κάθε κατηγορία οχήματος, συγκεκριμένα:

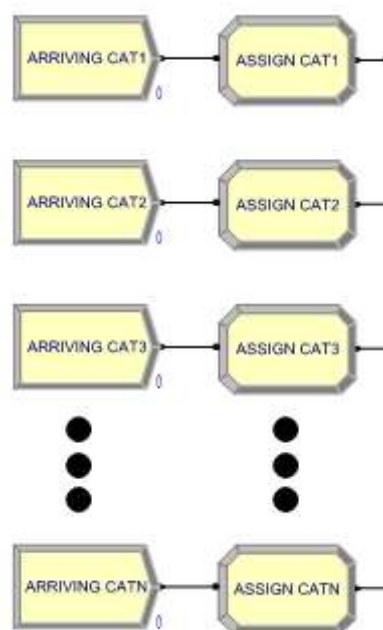
- ο χρόνος μεταξύ διαδοχικών αφίξεων οχημάτων στην είσοδο του συστήματος (σε λεπτά ανά όχημα),
- ο χρόνος εξυπηρέτησης σε κάθε καμπίνα διοδίων (σε δευτερόλεπτα ανά όχημα),
- το ποσοστό της επιλογής μεταξύ καμπινών ανάλογα με τον τύπο είσπραξης και της κατηγορίας οχήματος (σε ποσοστιαίες μονάδες).

Ακολουθεί η αναλυτική παρουσίαση των τεσσάρων επιμέρους λειτουργικών ενοτήτων του διαγράμματος ροής, οι οποίες υλοποιήθηκαν στο Arena για την αναπαράσταση της λειτουργίας του σταθμού διοδίων στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας.

3.4.2 Μέρος 1^ο - Είσοδος των οχημάτων στο σταθμό διοδίων

Το συγκεκριμένο μέρος συνιστά το σημείο εκκίνησης της προσομοιωτικής διαδικασίας, καθώς επιτρέπει την οργανωμένη μεταφορά των δεδομένων από το αρχείο εισόδου στο περιβάλλον του Arena, αντιστοιχίζοντας τις τιμές των βασικών μεταβλητών σε λίστες χαρακτηριστικών (Attributes) ή σε εναλλακτικές δομές δεδομένων που υποστηρίζουν την αναλυτική περιγραφή της λειτουργίας του συστήματος.

Το Μέρος 1^ο αποσκοπεί στην είσοδο των οχημάτων στο σταθμό διοδίων. Αυτό πραγματοποιείται μέσω της δημιουργίας οντοτήτων (οχημάτων) από τις μονάδες τύπου Create στο Arena. Ο αριθμός των Create modules που χρησιμοποιούνται, εξαρτάται άμεσα από τον αριθμό των κατηγοριών οχημάτων που έχουν οριστεί στο μοντέλο, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.3



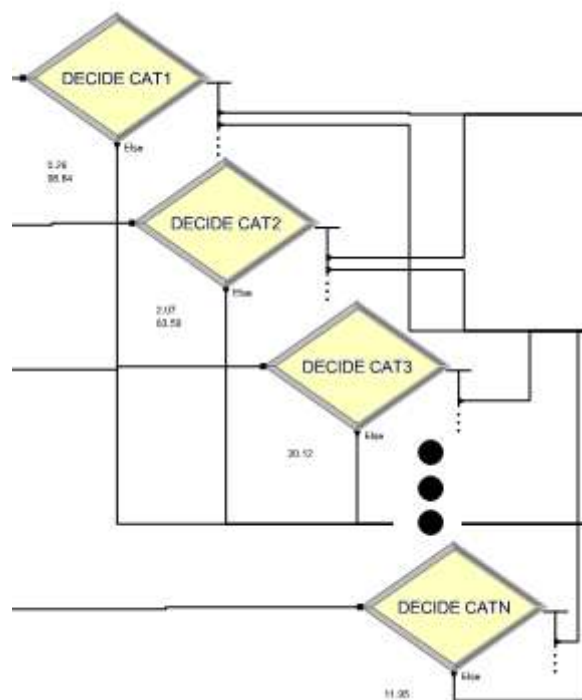
Εικόνα 3.3 Μέρος 1^ο του μοντέλου προσομοίωσης

Για κάθε κατηγορία ορισμένη από τον τύπο του οχήματος, δημιουργείται ξεχωριστή μονάδα Create, στην οποία καθορίζεται η κατάλληλη στατιστική κατανομή για το χρόνο μεταξύ των αφίξεων (interarrival time), εκφρασμένο σε λεπτά ανά όχημα. Οι κατανομές αυτές προέρχονται από τα δεδομένα εισόδου του συστήματος και εφαρμόζονται μέσω της

επιλογής Expression – EXPO (Mean) στο Arena, επιτρέποντας τον ακριβή έλεγχο της ροής εισόδου κάθε κατηγορίας οχήματος στο προσομοιωτικό μοντέλο. Η υλοποίηση αυτής της διαδικασίας εξασφαλίζει την ορθολογική αναπαράσταση της κυκλοφοριακής ροής και αποτελεί βασικό βήμα για τη ρεαλιστική απεικόνιση της λειτουργίας του σταθμού διοδίων στο περιβάλλον του Arena.

3.4.3 Μέρος 2^ο - Επιλογή καμπίνας διοδίων βάσει του τύπου είσπραξης

Το Μέρος 2^ο επικεντρώνεται στη μετακίνηση των οντοτήτων (οχημάτων) από το αρχικό σημείο δημιουργίας προς το σημείο επιλογής των καμπινών πληρωμής (χειροκίνητες, ηλεκτρονικές, μέσω μηχανήματος αυτόματης πληρωμής) του σταθμού διοδίων. Η διαδικασία υλοποιείται μέσω μονάδων τύπου Decide στο Arena, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 3.4.



Εικόνα 3.4 Μέρος 2^ο του μοντέλου προσομοίωσης

Με τη χρήση ενός module λήψης απόφασης τύπου Decide στο Arena, καθορίζεται η επιλογή του τύπου της καμπίνας που θα χρησιμοποιήσει κάθε οντότητα (οχήμα) ως τυχαία επιλογή από πολλαπλές επιλογές με καθορισμένες πιθανότητες. Για κάθε κατηγορία οχήματος η απόφαση της επιλογής υλοποιείται μέσω ενός Decide module N-way By Chance, στο οποίο:

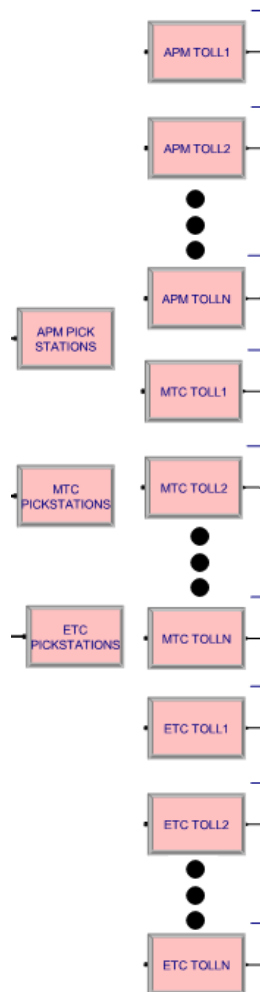
- καταχωρείται το ποσοστό επιλογής καμπίνας μέσω μηχανήματος αυτόματης πληρωμής APM,
- καταχωρείται το ποσοστό επιλογής καμπίνας χειροκίνητης πληρωμής MTC,
- ως ELSE υπολογίζεται αυτόματα το ποσοστό επιλογής καμπίνας ηλεκτρονικής πληρωμής ETC.

Με τον τρόπο αυτό, κάθε οντότητα "κουβαλά" το δικό της ποσοστό επιλογής καμπίνας, επιτρέποντας στο Arena να προσομοιώσει με ακρίβεια την πραγματική συμπεριφορά των οχημάτων στο σταθμό διοδίων. Η μεθοδολογία αυτή εξασφαλίζει ότι η απόφαση επιλογής είναι εξατομικευμένη ανά όχημα και ανταποκρίνεται στις κατανομές προτιμήσεων που έχουν προκύψει από την ανάλυση των δεδομένων του συστήματος.

3.4.4 Μέρος 3^ο - Μετακίνηση των οχημάτων στις καμπίνες πληρωμής

Σε αυτό το μέρος, κάθε οντότητα μεταφέρεται σε συγκεκριμένο Station (σταθμό), με καθορισμένο χρόνο μετακίνησης (Route time), ο οποίος ενσωματώνεται στον συνολικό χρόνο παραμονής στο σύστημα. Ο χρόνος μετακίνησης αντανακλά την απόσταση και τις συνθήκες κυκλοφορίας από το σημείο εισόδου μέχρι το σημείο πληρωμής (καμπίνα διοδίων) και από εκεί μέχρι το σημείο εξόδου από το σταθμό.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, παράγοντες όπως η κατηγορία του οχήματος και οι διαφορετικές μέθοδοι πληρωμής επιδρούν στις ταχύτητες κυκλοφορίας και κατ' επέκταση, στους χρόνους μετακίνησης. Παρόλα αυτά, στο παρόν μοντέλο προσομοίωσης, για λόγους απλοποίησης, λαμβάνεται υπόψη μόνο η διαφοροποίηση του χρόνου καθυστέρησης σε συνάρτηση με τη μέθοδο πληρωμής (χειροκίνητη ή ηλεκτρονική), χωρίς περαιτέρω εξειδίκευση ανά τύπο οχήματος.



Εικόνα 3.5 Μέρος 3^ο του μοντέλου προσομοίωσης

Αρχικά, μέσω ενός PickStation module για κάθε τύπο καμπίνας, πραγματοποιείται η επιλογή της βέλτιστης καμπίνας με δυναμικά κριτήρια, όπως:

- ο αριθμός οχημάτων σε κάθε ουρά,
- ο αριθμός οχημάτων σε κάθε διαδρομή πρόσβασης,
- η διαθεσιμότητα βάσει της κατάληψης των διαθέσιμων πόρων (εισπράκτορες, μηχανήματα).

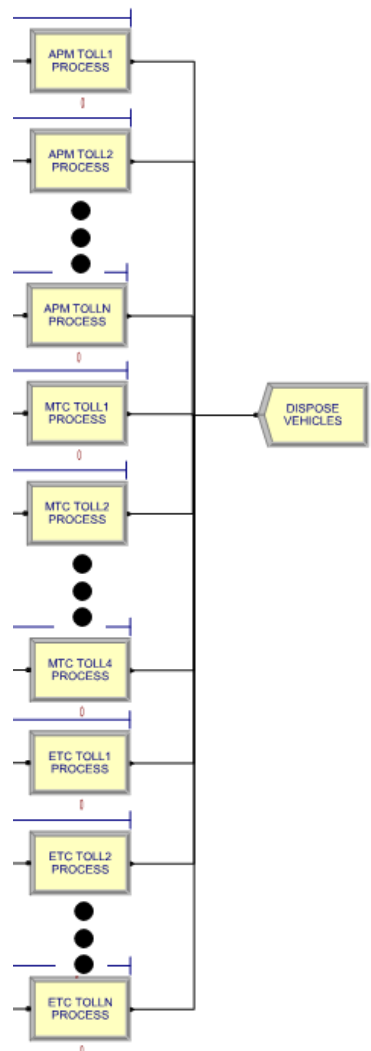
Στο PickStation module επίσης ορίζεται ο χρόνος μετακίνησης (Route Time). Ο χρόνος αυτός μπορεί να οριστεί ως σταθερή τιμή ή ως συνάρτηση.

Μόλις ολοκληρωθεί η διαδικασία της επιλογής καμπίνας, το όχημα μετακινείται στο Station module (καμπίνα) που επιλέχθηκε, όπου γίνεται και η στατιστική καταγραφή. Έπειτα, ακολουθεί η διαδικασία της πληρωμής του διοδίου, που θα εξεταστεί στο επόμενο υποκεφάλαιο. Η διαδικασία αυτή αναπαριστά το κύριο στάδιο επεξεργασίας της εξυπηρέτησης στο σύστημα προσομοίωσης και είναι κρίσιμη για τη ρεαλιστική αποτύπωση

των ουρών, των χρόνων αναμονής και της απόδοσης του σταθμού διοδίων. Το μοντέλο επιτρέπει την παράλληλη λειτουργία πολλαπλών καμπινών, αναπαριστώντας τη δυναμική ροή των οχημάτων χωρίς περιορισμούς σε φυσικούς πόρους και χωρίς αναμονή σε ουρές, γεγονός που αυξάνει την ακρίβεια και τη ρεαλιστικότητα της προσομοίωσης της λειτουργίας των σταθμών διοδίων.

3.4.5 Μέρος 4^ο - Διαδικασία πληρωμής και έξοδος των οχημάτων από το σταθμό διοδίων

Το 4^ο και τελευταίο μέρος αφορά τη διαδικασία τη διέλευσης της οντότητας (οχήματος) από την επιλεγμένη καμπίνα διοδίων και τη διαδικασία της εξυπηρέτησης της, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 3.6.



Εικόνα 3.6 Μέρος 4^ο του μοντέλου προσομοίωσης

Στο προτεινόμενο μοντέλο προσομοίωσης κάθε οντότητα εισέρχεται σε ένα Process module, το οποίο προσομοιώνει την εξυπηρέτηση σε μία από τις διαθέσιμες καμπίνες. Το Process module λειτουργεί σε λογική Seize-Delay-Release:

- Seize: Δέσμευση ενός διαθέσιμου πόρου (Resource), που αντιπροσωπεύει τον εισπράκτορα στις καμπίνες χειροκίνητης είσπραξης MTC, το μηχάνημα αυτόματης πληρωμής στις καμπίνες APM και το σύστημα ηλεκτρονικής χρέωσης στις καμπίνες ETC.
- Delay: Αναμονή για χρονικό διάστημα που αντιστοιχεί στον χρόνο εξυπηρέτησης (service time), όπως είχε προηγουμένως αποδοθεί στην οντότητα.
- Release: Απελευθέρωση του πόρου μετά την ολοκλήρωση της εξυπηρέτησης.

Με την ολοκλήρωση της πληρωμής στην καμπίνα βάσει της επιλεγμένης μεθόδου πληρωμής, κάθε οντότητα προωθείται σε ένα Dispose module που αναπαριστά την έξοδο του οχήματος από το σταθμό διοδίων και εν τέλει από το μοντέλο της προσομοίωσης. Στο στάδιο αυτό, καταγράφονται τα στατιστικά στοιχεία της οντότητας πριν από την απομάκρυνσή της, ώστε να συμπεριληφθούν στα αποτελέσματα της προσομοίωσης

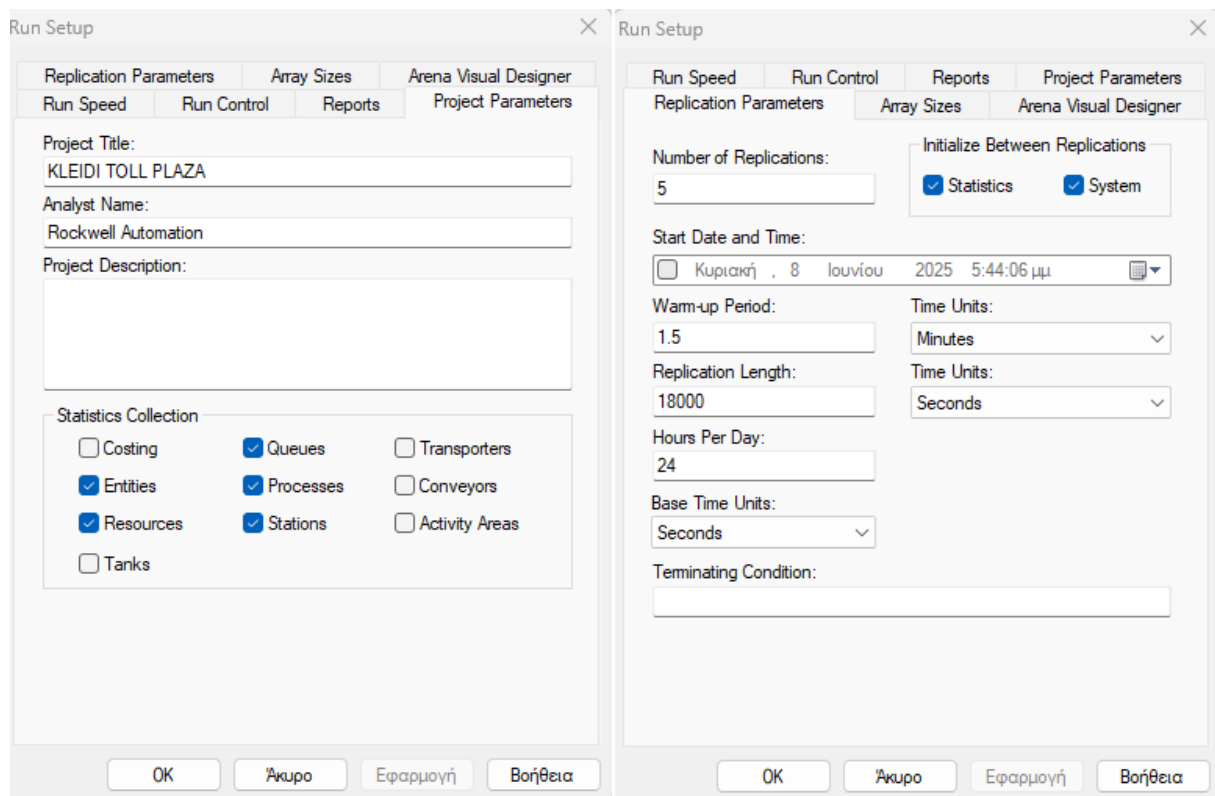
Στα Process modules των καμπινών ETC ορίζεται μόνο ένας σταθερός χρόνος καθυστέρησης (Delay) της τάξης του ενός δευτερολέπτου, ο οποίος προσομοιώνει τη χρονική διάρκεια της αυτόματης αναγνώρισης, εξόφλησης και καθυστέρησης που προκαλείται από την άνοδο και κάθοδο της μπάρας διοδίων στη λωρίδα. Αντίθετα στις καμπίνες APM και MTC ανατίθεται ο χρόνος εξυπηρέτησης, εκφρασμένος σε δευτερόλεπτα ανά όχημα, βάσει στατιστικής κατανομής που προκύπτει από τα δεδομένα εισόδου. Η σωστή επιλογή της καμπίνας και η χρήση φυσικών πόρων (Resources) είναι κρίσιμη για την ακριβή αναπαράσταση των αναμονών, της απόδοσης και της συνολικής αποδοτικότητας του σταθμού διοδίων.

3.4.6 Αρχείο αναφοράς της προσομοίωσης

Με την εκτέλεση της προσομοίωσης στο Arena, συλλέγονται αυτόματα στατιστικά στοιχεία για διάφορα κρίσιμα μεγέθη του συστήματος, όπως:

- ο χρόνος παραμονής των οχημάτων στο σύστημα και στην ουρά,
- το πλήθος οχημάτων σε κάθε ουρά αναμονής,
- τα ποσοστά χρησιμοποίησης πόρων (καμπίνες διοδίων),
- το πλήθος εξυπηρετούμενων οχημάτων κατά την περίοδο αιχμής.

Η παραμετροποίηση των στατιστικών συλλογής γίνεται μέσω της φόρμας ρυθμίσεων (Run Setup – Project Parameters), όπως φαίνεται στη Εικόνα 3.7. Εκεί επιλέγεται η συλλογή στατιστικών για Entities (οντότητες), Queues (ουρές), Processes (διαδικασίες) και Resources (πόρους). Επίσης επιλέγεται η διάρκεια της προσομοίωσης (Replication Length), ο αριθμός των επαναλήψεων (Number of Replications) και ο χρόνος προθέρμανσης (Warm-up Period).



Εικόνα 3.7 Ρύθμιση των παραμέτρων της προσομοίωσης

Το παραγόμενο αναλυτικό αρχείο αναφοράς στο τέλος κάθε εκτέλεσης παρέχει:

- μέσους χρόνους εξυπηρέτησης, αναμονής και συνολικής παραμονής στο σύστημα ανά κατηγορία οχήματος,
- μέσα μήκη ουρών ανά τύπο καμπίνας και μέθοδο πληρωμής,
- ποσοστά χρήσης των ανθρώπινων πόρων (εισπράκτορες) στις χειροκίνητες καμπίνες κατά τη διάρκεια της περιόδου αιχμής και μηχανημάτων ή συστημάτων είσπραξης στους άλλους τύπους καμπινών.

Η λειτουργική απόδοση του σταθμού δεν υπολογίζεται αυτόματα μέσω του Arena και απαιτεί πρόσθετη ανάλυση βάσει κριτηρίων που ορίζονται στη βιβλιογραφία.

3.5 Βήμα III - Επαλήθευση και βαθμονόμηση του μοντέλου προσομοίωσης

Το βήμα αυτό αποσκοπεί στην επαλήθευση της συνέπειας του μοντέλου προσομοίωσης μέσω της σύγκρισης των εκτιμήσεων απόδοσης του μοντέλου με τις αντίστοιχες εκτιμήσεις που προκύπτουν από τα καταγεγραμμένα δεδομένα της παραχωρησιούχου εταιρείας. Σε περίπτωση που οι εκτιμήσεις του μοντέλου προσομοίωσης δεν συμφωνούν με τις πραγματικές εκτιμήσεις, καθίσταται αναγκαία η βαθμονόμηση του μοντέλου. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει την εκ νέου εκτέλεση σεναρίων προσομοίωσης για το ίδιο πλαίσιο ανάλυσης, μεταβάλλοντας την τιμή του χρόνου προθέρμανσης (warm-up time), με σκοπό τη μείωση του μέσου σφάλματος και την επίτευξη μέγιστης συνέπειας των αποτελεσμάτων. Αφού επιτευχθεί η συνέπεια των δεδομένων, τα επιμέρους αποτελέσματα που εξάγονται από τις αναφορές του λογισμικού θα αναλυθούν και στη συνέχεια θα ελεγχθούν ως προς τη συμμόρφωση με το επίπεδο εξυπηρέτησης στο επόμενο βήμα.

3.5.1 Επαλήθευση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης

Το στάδιο αυτό περιλαμβάνει έναν μηχανισμό λήψης απόφασης, ο οποίος εξετάζει κατά πόσο οι εκτιμήσεις απόδοσης του μοντέλου προσομοίωσης είναι συνεπείς, δηλαδή αν συμφωνούν με τις πραγματικές εκτιμήσεις της παραχωρησιούχου εταιρείας. Συγκεκριμένα, συγκρίνονται τα αποτελέσματα του μοντέλου προσομοίωσης με τις καταγεγραμμένες τιμές ώστε να διαπιστωθεί η εγκυρότητα του μοντέλου.

Οι βασικές μεταβλητές που συγκρίνονται σε αυτό το στάδιο είναι:

- η μέση ροή οχημάτων ανά ώρα,
- το μέσο μήκος ουράς,
- ο μέσος χρόνος παραμονής των οχημάτων στην ουρά.

3.5.2 Βαθμονόμηση του μοντέλου

Σε περίπτωση που οι εκτιμήσεις του μοντέλου δεν είναι συνεπείς με τις πραγματικές εκτιμήσεις που παρέχονται από την παραχωρησιούχο εταιρεία, απαιτείται επανεκκίνηση της διαδικασίας, βαθμονόμηση του μοντέλου και στη συνέχεια συνέχιση της προσομοίωσης. Συγκεκριμένα, για την υλοποίηση της βαθμονόμησης, οι εκτιμήσεις απόδοσης θα πρέπει να προκύψουν από πολλαπλές εκτελέσεις του σεναρίου αιχμής, μεταβάλλοντας τον χρόνο προθέρμανσης ανά 30 δευτερόλεπτα, μέχρι να επιτευχθεί το μικρότερο μέσο σφάλμα και η απαιτούμενη συνέπεια των αποτελεσμάτων.

3.5.3 Ανάλυση των αποτελεσμάτων

Μόλις επιβεβαιωθεί η συνέπεια των εκτιμήσεων του μοντέλου προσομοίωσης σε σχέση με τις πραγματικές εκτιμήσεις, ακολουθεί η ανάλυση αποτελεσμάτων που λαμβάνονται από το μοντέλο προσομοίωσης. Τα αποτελέσματα αυτά, αν και θεωρούνται ενδιάμεσα, προέρχονται από τις τελικές αναφορές του λογισμικού προσομοίωσης και θα αξιολογηθούν στο επόμενο βήμα ως προς την ικανοποίηση των μέτρων απόδοσης που διαμορφώνουν το επίπεδο εξυπηρέτησης του σταθμού.

3.6 Βήμα IV – Αξιολόγηση των λειτουργικών αποδόσεων του σταθμού διοδίων

Σκοπός αυτού του βήματος είναι ο έλεγχος των αποτελεσμάτων του μοντέλου προσομοίωσης σε σχέση με τα μέτρα απόδοσης των σταθμών διοδίων που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Συγκεκριμένα, μέτρα απόδοσης όπως ο χρόνος παραμονής στο σύστημα ή στην ουρά και το μήκος της ουράς, μπορούν να λειτουργήσουν ως δείκτες για τον προσδιορισμό του επιπέδου εξυπηρέτησης. Επίσης εξετάζεται κατά πόσο η ροή οχημάτων είναι μικρότερη (ή όχι) από τη δυναμικότητα του συστήματος, ώστε να διαπιστωθεί εάν απαιτούνται εναλλακτικές παρεμβάσεις στο σύστημα ή διαμόρφωση νέων σεναρίων με προβλέψεις μελλοντικής κυκλοφορίας.

3.6.1 Αξιολόγηση της λειτουργικής απόδοσης του σταθμού διοδίων

Το στάδιο αυτό βασίζεται στη βιβλιογραφική ανασκόπηση που αφορά τη μέτρηση του επιπέδου εξυπηρέτησης σε σταθμούς διοδίων και λειτουργεί υποστηρικτικά στο επόμενο βήμα, όπου εξετάζεται εάν τα αποτελέσματα του μοντέλου προσομοίωσης ανταποκρίνονται στα αποδεκτά επίπεδα εξυπηρέτησης. Τα μέτρα απόδοσης που προκύπτουν από την προσομοίωση αναλύονται, προκειμένου να προσδιοριστεί το επίπεδο εξυπηρέτησης για κάθε εξεταζόμενο σενάριο.

Το στάδιο αυτό περιλαμβάνει έναν κανόνα απόφασης, μέσω του οποίου αξιολογείται αν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης ικανοποιούν τα κριτήρια του επιθυμητού επιπέδου εξυπηρέτησης. Συγκεκριμένα, εξετάζεται εάν η κυκλοφοριακή ροή είναι μικρότερη από τη χωρητικότητα του συστήματος. Σε αυτή την περίπτωση, το σύστημα θεωρείται ότι λειτουργεί ομαλά, χωρίς να απαιτείται άμεση παρέμβαση. Επίσης εξετάζονται ο μέσος χρόνος καθυστέρησης ανά όχημα και το μέσο μήκος της ουράς, ως παράμετροι απόδοσης της εξυπηρέτησης του σταθμού.

3.6.2 Καθορισμός μελλοντικών σεναρίων με προβλέψεις κυκλοφορίας

Αν διαπιστωθεί ότι ο σταθμός διοδίων λειτουργεί αποδοτικά στο εκάστοτε σενάριο, δεν είναι απαραίτητη η άμεση υλοποίηση εναλλακτικών παρεμβάσεων. Ωστόσο, είναι σκόπιμος ο καθορισμός μελλοντικών σεναρίων προσομοίωσης, με βάση προβλέψεις κυκλοφορίας που προκύπτουν από υπάρχοντα δεδομένα ή από ιστορικά δεδομένα οδών με παρόμοια χαρακτηριστικά. Όταν τα σενάρια αφορούν μελλοντικές συνθήκες κυκλοφορίας, το μοντέλο αναπροσαρμόζεται τροποποιώντας είτε τη ροή αφίξεων είτε τα χρονικά διαστήματα μεταξύ αφίξεων, με στόχο την πρόβλεψη του μελλοντικού επιπέδου εξυπηρέτησης και τη διατήρηση της επιχειρησιακής αποτελεσματικότητας του σταθμού.

Στην περίπτωση μελλοντικών σεναρίων, η πρόβλεψη των επιπέδων εξυπηρέτησης λειτουργεί προληπτικά, προσφέροντας τη δυνατότητα έγκαιρης προσαρμογής του συστήματος στις μελλοντικές κυκλοφοριακές απαιτήσεις. Για τα σενάρια αυτά, θα εκτιμηθούν τα μελλοντικά μέτρα απόδοσης του σταθμού π.χ. στο τέλος της περιόδου παραχώρησης ή όταν η ροή προσεγγίσει τη μέγιστη χωρητικότητα του συστήματος.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η προσομοίωση δεν αποτελεί εργαλείο πρόβλεψης του μέλλοντος, αλλά εργαλείο πρόβλεψης της συμπεριφοράς ενός συστήματος. Παρόλα αυτά, το παρόν στάδιο θεωρείται κρίσιμο για τον στρατηγικό σχεδιασμό, καθώς συμβάλλει σε πιο αποδοτική διαχείριση από πλευράς φορέων μεταφορών και παραχωρησιούχων.

3.6.3 Προοπτικές εφαρμογής εναλλακτικών παρεμβάσεων

Αν το επίπεδο εξυπηρέτησης που προκύπτει από το μοντέλο προσομοίωσης καταδεικνύει ότι η κυκλοφορία είναι ίση ή υπερβαίνει τη χωρητικότητα του συστήματος, τότε ο σταθμός διοδίων θεωρείται ότι λειτουργεί υπό κορεσμένες συνθήκες. Σε αυτές τις περιπτώσεις, παρατηρείται σημαντική συμφόρηση, με συνεχή σχηματισμό ουρών και δυσκολία στους ελιγμούς των οχημάτων κοντά στους θαλάμους πληρωμής.

Ως εκ τούτου, καθίσταται απαραίτητη η εφαρμογή εναλλακτικών παρεμβάσεων και η δημιουργία νέων σεναρίων προσομοίωσης, σύμφωνα με τις εναλλακτικές επιλογές που παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 2. Ενδεικτικά, οι εναλλακτικές παρεμβάσεις που μπορούν να εξεταστούν περιλαμβάνουν:

- αύξηση της χωρητικότητας με την προσθήκη νέων καμπινών πληρωμής,
- μεικτό σύστημα χειροκίνητης είσπραξης και συστήματος ελεύθερης ροής (free-flow).

- εφαρμογή πλήρους συστήματος free-flow.

Καθώς οι διάφορες παρεμβάσεις μπορεί να έχουν διαφορετικό αντίκτυπο, είτε σε επίπεδο εξυπηρέτησης, είτε σε οικονομικό κόστος, είτε σε λειτουργική ευκολία, η τελική επιλογή εναπόκειται στον διαχειριστικό φορέα ή τον παραχωρησιούχο. Η επιλογή βασίζεται σε συγκεκριμένα κριτήρια αξιολόγησης, όπως η χωρητικότητα, η οικονομική αποδοτικότητα και η βιωσιμότητα της παρέμβασης.

Με αυτόν τον τρόπο, η παρούσα φάση αναδεικνύει τη συμβολή της προτεινόμενης μεθοδολογικής διαδικασίας στην υποστήριξη στρατηγικών αποφάσεων και εμπλουτίζει τις διαθέσιμες προσεγγίσεις ανάλυσης. Το επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζει την εφαρμογή της διαδικασίας σε μια συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης.

4 Μελέτη περίπτωσης

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο, δημιουργήθηκε μια μεθοδολογική διαδικασία για την αξιολόγηση των λειτουργικών αποδόσεων των σταθμών διοδίων, χρησιμοποιώντας την τεχνική της προσομοίωσης και συγκρίνοντας τα αποτελέσματά της με τα μέτρα απόδοσης των σταθμών διοδίων που έχουν βρεθεί στη βιβλιογραφία, ιδίως για το επίπεδο εξυπηρέτησης. Για το σκοπό αυτό, είναι απαραίτητο να εφαρμοστεί η προτεινόμενη μεθοδολογική διαδικασία σε μια μελέτη περίπτωσης.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε ως μελέτη περίπτωσης ένας από τους πέντε μετωπικούς σταθμούς διοδίων της παραχώρησης του αυτοκινητοδρόμου της ΠΑΘΕ στο τμήμα «Μαλιακός – Κλειδί». Το κριτήριο απόφασης που υιοθετήθηκε για την επιλογή του σταθμού διοδίων προς ανάλυση, βασίστηκε σε αυτόν με τη μεγαλύτερη κυκλοφοριακή ροή.

4.1 Η εταιρεία Αυτοκινητόδρομος Αιγαίου Α.Ε.

Η Αυτοκινητόδρομος Αιγαίου Ανώνυμος Εταιρεία Παραχώρησης για τον Αυτοκινητόδρομο ΠΑΘΕ Τμήμα «Μαλιακός – Κλειδί» ιδρύθηκε στις 12 Ιουνίου του 2007 με έδρα τη Λάρισα. Αποκλειστικός σκοπός της εταιρείας είναι η μελέτη, κατασκευή, χρηματοδότηση, λειτουργία, συντήρηση και εκμετάλλευση του αυτοκινητοδρόμου Μαλιακός - Κλειδί (του αυτοκινητοδρόμου δηλαδή που ξεκινά από τον κόμβο Ραχών και καταλήγει στον κόμβο Κλειδίου) και όλων των βοηθητικών έργων και σχετικών δραστηριοτήτων.

Η Αυτοκινητόδρομος Αιγαίου Α.Ε. συστάθηκε με αποκλειστικό αντικείμενο τη σύναψη σύμβασης με το Ελληνικό Δημόσιο ως Εταιρεία Παραχώρησης. Η σύμβαση παραχώρησης υπογράφηκε στις 28 Ιουνίου 2007 με το ελληνικό δημόσιο για την «Μελέτη, Κατασκευή, Χρηματοδότηση, Λειτουργία, Συντήρηση και Εκμετάλλευση» του αυτοκινητοδρόμου τμήμα ΠΑΘΕ Μαλιακός – Κλειδί» και κυρώθηκε με τον Νόμο Ν. 3605/08.08.2007. Η έναρξη παραχώρησης έλαβε χώρα την 5η Μαρτίου 2008 και δύο εβδομάδες αργότερα, στις 20 Μαρτίου 2008 το έργο παραδόθηκε στην Αυτοκινητόδρομος Αιγαίου Α.Ε. οπότε και ξεκίνησε η διαχείριση της λειτουργίας του Αυτοκινητοδρόμου Τμήμα ΠΑΘΕ Μαλιακός – Κλειδί. Μετά την επιτυχή κατάληξη των διαπραγματεύσεων, την 28.11.2013 ο παραχωρησιούχος και το Ελληνικό Δημόσιο υπέγραψαν τη συμφωνία τροποποίησης της σύμβασης παραχώρησης (C3A) η οποία κυρώθηκε με το Ν. 4219/2013 (ΦΕΚ Α' 269/11.12.2013). Ως ημερομηνία έναρξης ισχύος τροποποίησης ορίστηκε η 17.12.2013. Η διάρκεια της παραχώρησης είναι 30

χρόνια από την ημερομηνία έναρξης παραχώρησης. Με το πέρας της περιόδου παραχώρησης, η Αυτοκινητόδρομος Αιγαίου Α.Ε. υποχρεούται να παραδώσει τον αυτοκινητόδρομο στο Δημόσιο σε πλήρη λειτουργία.

Η Αυτοκινητόδρομος Αιγαίου Α.Ε. διαχειρίζεται το τμήμα του αυτοκινητόδρομου της ΠΑΘΕ από τις Ράχες του νομού Φθιώτιδας (Χ.Θ. 242+079) έως το Κλειδί Ημαθίας (Χ.Θ. 471+470), συνόλου 229,40 χιλιομέτρων και το τμήμα της Π.Ε.Ο. από τον Ι/Κ Ευαγγελισμού έως τον Ι/Κ Λεπτοκαρυάς, συνόλου 34,30 χιλιομέτρων. Το έργο περιλαμβάνει την μελέτη, κατασκευή, χρηματοδότηση, λειτουργία, συντήρηση και εκμετάλλευση των παραπάνω τμημάτων. Ειδικότερα:

- ανακατασκευή και αναβάθμιση του υφιστάμενου αυτοκινητόδρομου και τμήματος της Παλαιάς Εθνικής Οδού, συνολικού μήκους 229,40 χλμ. (από τις Ράχες του νομού Φθιώτιδος έως το Κλειδί του νομού Ημαθίας),
- κατασκευή νέου τμήματος αυτοκινητόδρομου μήκους 24,50 χλμ. από τον Ευαγγελισμό του νομού Λάρισας έως τη Σκοτίνα του νομού Πιερίας, το οποίο περιλαμβάνει μεταξύ άλλων 3 δίδυμες σήραγγες και 19 δίδυμες γέφυρες. Η κατασκευή των νέων τμημάτων ολοκληρώθηκε τον Μάρτιο του 2017 και δόθηκε στην κυκλοφορία στις 07/04/2017,
- κατασκευή και λειτουργία 5 νέων σταθμών εξυπηρέτησης αυτοκινητιστών,
- κατασκευή 3 νέων κόμβων, τον βόρειο κόμβο Κατερίνης, τον κόμβο Κορινού, τον κόμβο Αιγινίου,
- εγκατάσταση πλήρως εξοπλισμένου κέντρου διαχείρισης αυτοκινητόδρομου για τη λειτουργία:
 - των 3 σηράγγων και της υπόγειας διάβασης κατερίνης, συνολικού μήκους 11,8 χλμ.
 - του ανοιχτού αυτοκινητόδρομου συνολικού μήκους 217,6 χλμ.
 - της παλιάς εθνικής οδού, μήκους 34,3 χλμ. (από τον Ι/Κ Ευαγγελισμού έως τον Ι/Κ Λεπτοκαρυάς),
- εγκατάσταση 2 πλήρως εξοπλισμένων και στελεχωμένων κέντρων λειτουργίας & συντήρησης και 2 τεχνικών βάσεων για τη συντήρηση του αυτοκινητόδρομου και της παλαιάς εθνικής οδού, σύμφωνα με τις διεθνείς προδιαγραφές ασφάλειας,
- εγκατάσταση και λειτουργία σύγχρονων σταθμών διοδίων για τη συμβατική εκμετάλλευση της οδού.

Στην Εικόνα 4.1 απεικονίζεται ο χάρτης του οδικού άξονα της παραχώρησης της Αυτοκινητόδρομος Αιγαίου Α.Ε., ο οποίος περιλαμβάνει τους 5 μετωπικούς σταθμούς διοδίων .



Εικόνα 4.1 Χάρτης της παραχώρησης της Αυτοκινητόδρομος Αιγαίου Α.Ε.

Προκειμένου να εξεταστεί η εξέλιξη της κυκλοφορίας στους μετωπικούς σταθμούς διοδίων, χρησιμοποιήθηκαν πληροφορίες που παρασχέθηκαν από τη Αυτοκινητόδρομος Αιγαίου Α.Ε. και αφορούν δεδομένα κυκλοφορίας για τους 5 μετωπικούς σταθμούς διοδίων, για την περίοδο από το 2010 έως το 2024, και για τις δύο κατευθύνσεις κυκλοφορίας, ως εξής:

- **Νότια Κατεύθυνση:** προς Αθήνα, από το Κλειδί Ημαθίας (Χ.Θ 471+470) έως τις Ράχες του νομού Φθιώτιδας (Χ.Θ. 242+079).
- **Βόρεια Κατεύθυνση:** προς Θεσσαλονίκη, από τις Ράχες (Χ.Θ. 242+079) έως το Κλειδί Ημαθίας (Χ.Θ 471+470).

Τα κυκλοφοριακά δεδομένα επεξεργάστηκαν και για τις δύο κατευθύνσεις κυκλοφορίας, με σκοπό την εξαγωγή του κυκλοφοριακού φόρτου για κάθε σταθμό διοδίων. Το **Παράρτημα 1 – Δεδομένα κυκλοφορίας από τον Ιανουάριο του 2010 έως τον Δεκέμβριο του 2024** παρουσιάζει τους ενοποιημένους ετήσιους κυκλοφοριακούς φόρτους από τον Ιανουάριο του 2010 έως τον Δεκέμβριο του 2024 για τους 5 μετωπικούς σταθμούς διοδίων. Ο Πίνακας 4.1 παρουσιάζει τα ετήσια κυκλοφοριακά δεδομένα για κάθε σταθμό διοδίων, και για τις δύο κατευθύνσεις, κατά τη διάρκεια της υπό εξέταση περιόδου.

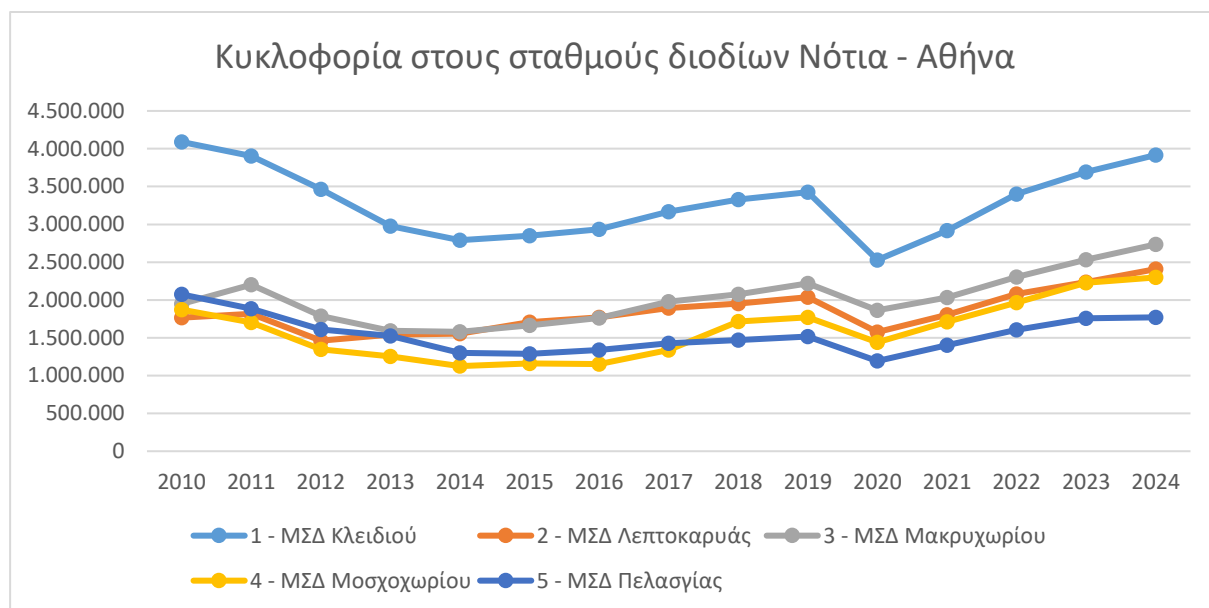
Κατεύθυνση	Σταθμός Διοδίων	2010	2011	2012	2013	2014
Νότια Αθήνα	1 - ΜΣΔ Κλειδιού	4.089.599	3.905.875	3.463.872	2.975.794	2.789.456
	2 - ΜΣΔ Λεπτοκαρυάς	1.766.183	1.817.384	1.462.357	1.542.424	1.556.401
	3 - ΜΣΔ Μακρυχωρίου	1.947.515	2.203.482	1.788.215	1.593.535	1.578.822
	4 - ΜΣΔ Μοσχοχωρίου	1.872.433	1.703.006	1.345.746	1.255.069	1.125.773
	5 - ΜΣΔ Πελασγίας	2.073.509	1.885.564	1.611.684	1.525.141	1.299.225
	ΣΥΝΟΛΟ	11.751.249	11.517.322	9.673.886	8.893.976	8.351.691
Βόρεια Θεσσαλονίκη	1 - ΜΣΔ Κλειδιού	4.131.018	3.950.257	3.511.431	2.988.119	2.794.323
	2 - ΜΣΔ Λεπτοκαρυάς	1.516.885	1.749.816	1.310.559	1.521.422	1.552.563
	3 - ΜΣΔ Μακρυχωρίου	2.067.847	2.299.001	1.889.774	1.680.854	1.643.172
	4 - ΜΣΔ Μοσχοχωρίου	1.988.597	1.744.057	1.365.871	1.271.999	1.121.172
	5 - ΜΣΔ Πελασγίας	2.080.391	1.898.552	1.624.202	1.527.541	1.286.365
	ΣΥΝΟΛΟ	11.784.738	11.641.683	9.701.837	8.989.935	8.397.595

Κατεύθυνση	Σταθμός Διοδίων	2015	2016	2017	2018	2019
Νότια Αθήνα	1 - ΜΣΔ Κλειδιού	2.851.131	2.936.789	3.167.417	3.326.532	3.424.971
	2 - ΜΣΔ Λεπτοκαρυάς	1.707.283	1.768.981	1.892.964	1.951.125	2.035.130
	3 - ΜΣΔ Μακρυχωρίου	1.664.031	1.759.971	1.977.268	2.076.454	2.218.435
	4 - ΜΣΔ Μοσχοχωρίου	1.162.143	1.151.974	1.339.618	1.716.732	1.771.448
	5 - ΜΣΔ Πελασγίας	1.287.140	1.339.384	1.428.308	1.471.815	1.518.159
	ΣΥΝΟΛΟ	8.673.743	8.959.115	9.807.592	10.544.676	10.970.162
Βόρεια Θεσσαλονίκη	1 - ΜΣΔ Κλειδιού	2.853.156	2.962.550	3.171.762	3.332.917	3.439.158
	2 - ΜΣΔ Λεπτοκαρυάς	1.658.819	1.720.961	1.813.889	1.886.997	1.968.756
	3 - ΜΣΔ Μακρυχωρίου	1.739.393	1.821.007	2.094.803	2.160.853	2.279.415
	4 - ΜΣΔ Μοσχοχωρίου	1.144.324	1.136.750	1.353.445	1.697.715	1.782.169
	5 - ΜΣΔ Πελασγίας	1.285.228	1.336.622	1.421.169	1.469.099	1.508.106
	ΣΥΝΟΛΟ	8.680.920	8.977.890	9.855.068	10.547.581	10.977.604

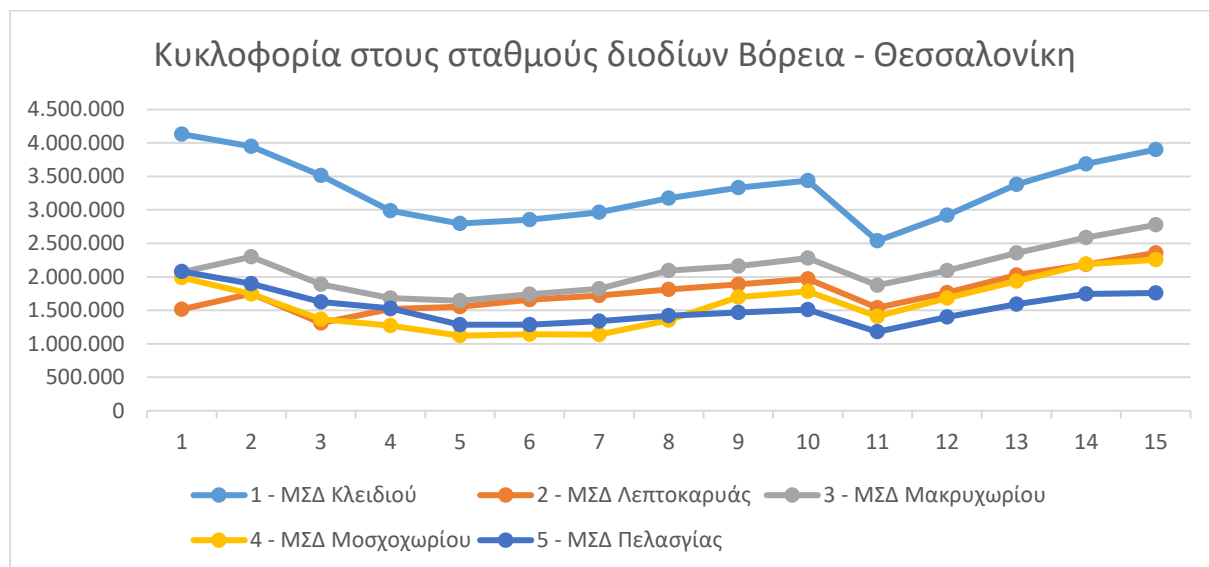
Κατεύθυνση	Σταθμός Διοδίων	2020	2021	2022	2023	2024
Νότια Αθήνα	1 - ΜΣΔ Κλειδιού	2.529.158	2.917.847	3.400.568	3.691.671	3.918.242
	2 - ΜΣΔ Λεπτοκαρυάς	1.576.664	1.805.862	2.080.072	2.235.225	2.408.014
	3 - ΜΣΔ Μακρυχωρίου	1.863.592	2.031.165	2.302.408	2.533.306	2.734.976
	4 - ΜΣΔ Μοσχοχωρίου	1.440.929	1.712.741	1.964.900	2.226.839	2.297.840
	5 - ΜΣΔ Πελασγίας	1.193.089	1.400.869	1.606.323	1.758.208	1.769.009
	ΣΥΝΟΛΟ	8.605.452	9.870.505	11.356.293	12.447.272	13.130.105
Βόρεια Θεσσαλονίκη	1 - ΜΣΔ Κλειδιού	2.537.497	2.921.345	3.381.212	3.686.284	3.900.906
	2 - ΜΣΔ Λεπτοκαρυάς	1.541.356	1.764.285	2.026.981	2.182.190	2.358.439
	3 - ΜΣΔ Μακρυχωρίου	1.871.461	2.093.209	2.358.002	2.584.113	2.776.499
	4 - ΜΣΔ Μοσχοχωρίου	1.408.035	1.684.017	1.937.817	2.190.432	2.253.990
	5 - ΜΣΔ Πελασγίας	1.178.807	1.401.878	1.592.973	1.746.618	1.758.389
	ΣΥΝΟΛΟ	8.537.156	9.864.734	11.296.985	12.389.637	13.048.223

Πίνακας 4.1 Ετήσια κίνηση διοδίων ανά κατεύθυνση κυκλοφορίας

Αντίστοιχα οι Εικόνες 4.2 και 4.3 απεικονίζουν την ετήσια εξέλιξη της ροής της κυκλοφορίας κατά την περίοδο που αναλύθηκε (Ιανουάριος 2010 έως Δεκέμβριος 2024) για τους 5 σταθμούς διοδίων, στη νότια και βόρεια κατεύθυνση, αντίστοιχα.



Εικόνα 4.2 Εξέλιξη της κυκλοφορίας στους σταθμούς διοδίων στη νότια κατεύθυνση - Αθήνα



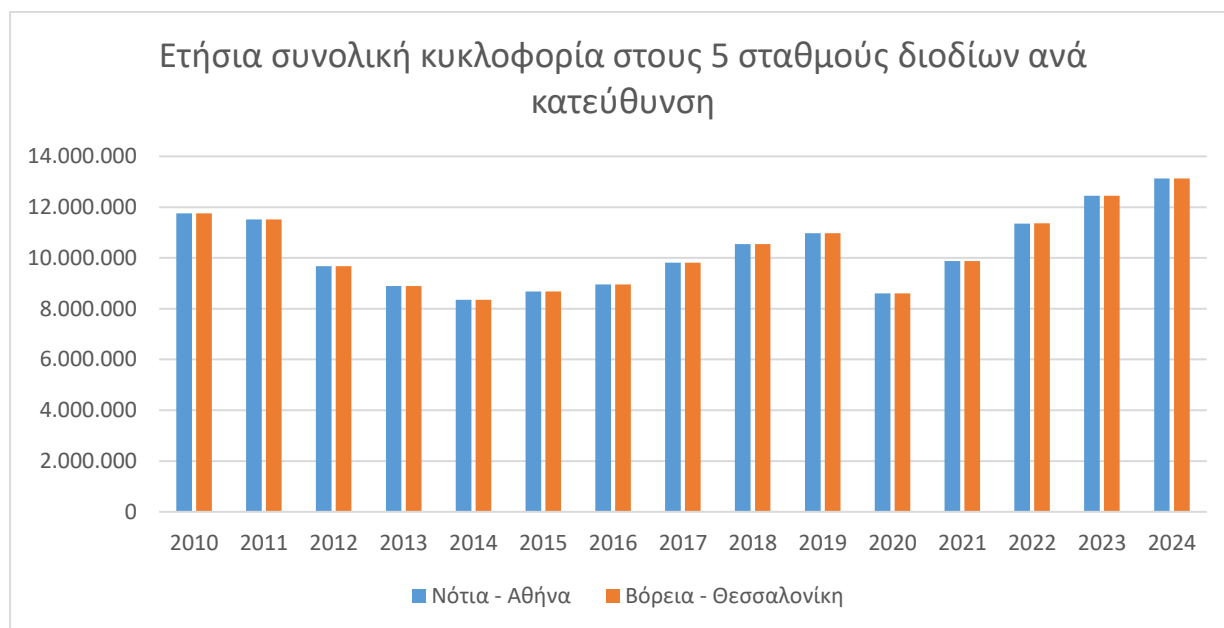
Εικόνα 4.3 Εξέλιξη της κυκλοφορίας στους σταθμούς διοδίων στη βόρεια κατεύθυνση – Θεσσαλονίκη

Φαίνεται ότι ο μετωπικός σταθμός διοδίων του Κλειδιού έχει τη μεγαλύτερη ροή κυκλοφορίας και στις δύο κατευθύνσεις και αυτός ήταν ο σταθμός διοδίων που επιλέχθηκε για τη μελέτη περίπτωσης στην παρούσα εργασία.

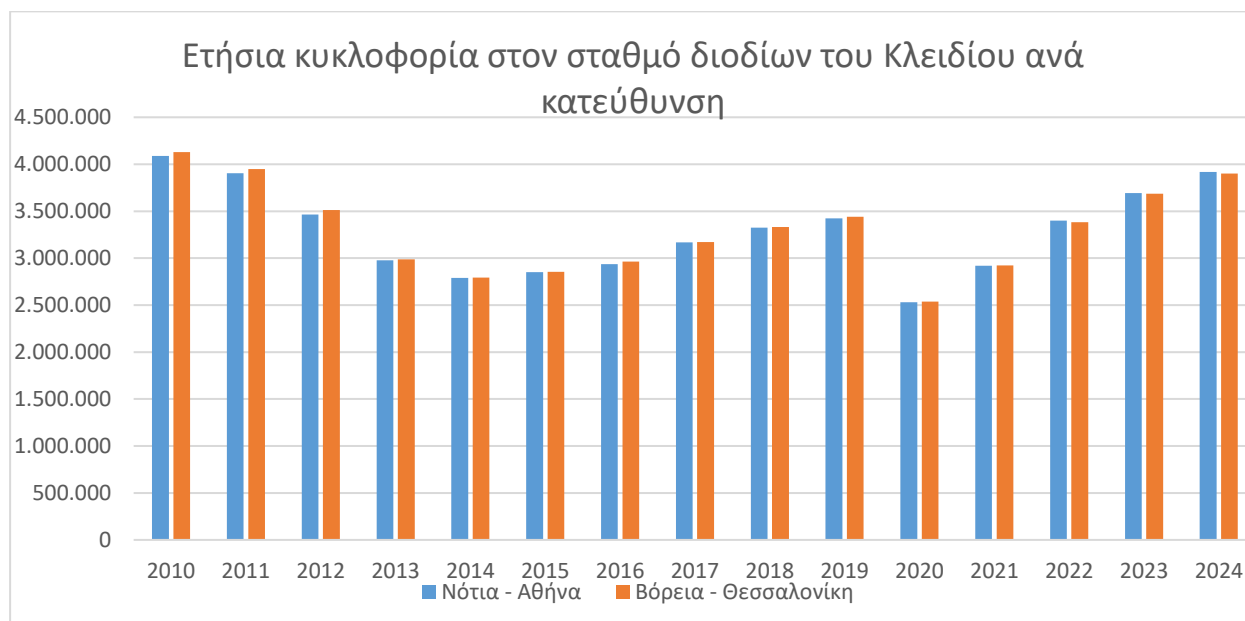
Σύμφωνα με την Εικόνα 4.4, παρατηρείται ότι οι κυκλοφοριακοί φόρτοι στους 5 σταθμούς διοδίων είναι σχεδόν ταυτόσημοι και στις δύο κατευθύνσεις κυκλοφορίας. Η

Εικόνα 4.5 δείχνει ότι, για τον σταθμό διοδίων του Κλειδίου, η κυκλοφορία μπορεί να χαρακτηριστεί ως «εκκρεμές» ρεύμα κυκλοφορίας, καθώς οι ροές είναι παρόμοιες και στις δύο κατευθύνσεις, γεγονός που υποδηλώνει ότι η πλειονότητα των χρηστών πραγματοποιεί τόσο τη μετάβαση όσο και την επιστροφή εντός της ίδιας χρονικής περιόδου.

Ως εκ τούτου, επιλέχθηκε η ανάλυση μόνο μίας κατεύθυνσης κυκλοφορίας στη μελέτη περίπτωσης, δεδομένου ότι το κυκλοφοριακό ρεύμα είναι εκκρεμές.



Εικόνα 4.4 Ετήσια συνολική κυκλοφορία στους 5 σταθμούς διοδίων ανά κατεύθυνση



Εικόνα 4.5 Ετήσια κυκλοφορία στον σταθμό διοδίων του Κλειδίου ανά κατεύθυνση

4.2 Μετωπικός σταθμός διοδίων Κλειδιού

Σημειώνεται ότι, στο τμήμα του αυτοκινητοδρόμου που εξετάζουμε, η νότια κατεύθυνση εκτείνεται από Κλειδί Ημαθίας (Χ.Θ 471+470) έως τις Ράχες του νομού Φθιώτιδας (Χ.Θ. 242+079). Το Κλειδί ανήκει στο νομό Ημαθίας, βρίσκεται όμως πολύ κοντά στα σύνορα του νομού Πιερίας και στα σύνορα του νομού Θεσσαλονίκης. Επίσης εξυπηρετεί την ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης και αποτελεί αφετηρία για τη συντομότερη διαδρομή για τη μετακίνηση από την Θεσσαλονίκη στην Αθήνα.

Για την κατεύθυνση αυτή της κυκλοφορίας και λαμβάνοντας υπόψη τον μετωπικό σταθμού διοδίων Κλειδιού ως μελέτη περίπτωσης, παρουσιάζουμε την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογικής διαδικασίας, η οποία αποτελείται από μια σειρά σταδίων, που αντιπροσωπεύονται από 5 βήματα, όπως φαίνεται παρακάτω.

4.3 Βήμα Ι - Χαρακτηρισμός του σταθμού διοδίων Κλειδιού και ανάλυση δεδομένων



Εικόνα 4.6 Τοποθεσία του μετωπικού σταθμού διοδίων Κλειδιού

Ο μετωπικός σταθμός Κλειδιού φαίνεται στην εικόνα 4.6. Σύμφωνα με αυτήν, παρατηρείται ότι η περιοχή παρεμβολής στη ροή των οχημάτων που δημιουργείται από την εγκατάσταση του σταθμού διοδίων έχει μήκος περίπου 500 μέτρα. Η περιοχή αυτή περιλαμβάνει τα σημεία πλάτυνσης και στένωσης του οδικού άξονα.

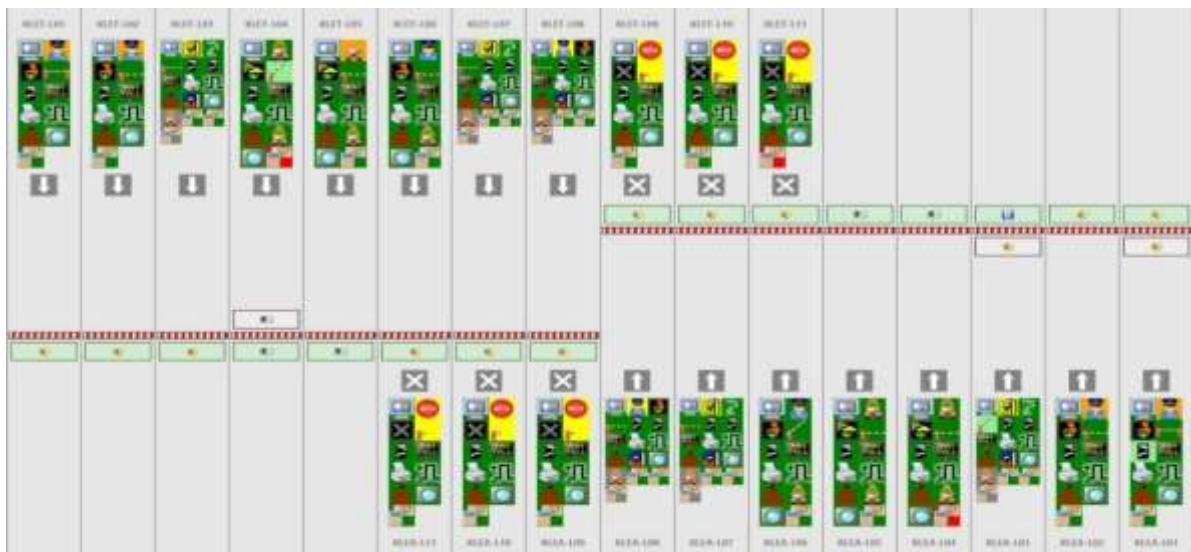
Στη νότια κατεύθυνση – Αθήνα, υπάρχουν 11 διαθέσιμες λωρίδες, 3 εκ των οποίων είναι αναστρέψιμες, δηλαδή εξυπηρετούν και τις δύο κατευθύνσεις. Από αυτές, 2 λωρίδες

είναι με καμπίνες με αυτόματα μηχανήματα πληρωμής APM και 2 ηλεκτρονικές λωρίδες ETC στις οποίες δεν απαιτείται να βρίσκεται κάποιος εισπράκτορας. Στην Εικόνα 4.7 απεικονίζεται η διαμόρφωση της νότιας κατεύθυνσης προς Αθήνα του σταθμού διοδίων Κλειδίου, όπως αποτυπώθηκε τον Αύγουστο του 2023.



Εικόνα 4.7 Διαμόρφωση της νότιας κατεύθυνσης του σταθμού διοδίων Κλειδίου

Αξίζει να σημειωθεί ότι όλες οι χειροκίνητες λωρίδες του σταθμού διοδίων του Κλειδίου λειτουργούν με χειροκίνητο τρόπο πληρωμής, δηλαδή απαιτείται αλληλεπίδραση μεταξύ οδηγών και εισπρακτόρων, με στάση του οχήματος, και οι συναλλαγές πραγματοποιούνται αποκλειστικά με μετρητά ή κάρτα.



Εικόνα 4.8 Διάταξη των λωρίδων του σταθμού διοδίων Κλειδίου κατά την πρωινή αιχμή

Βάσει των στοιχείων που παρουσιάστηκαν στο Πίνακα 2.1, η ωριαία ικανότητα του σταθμού διοδίων, στη νότια κατεύθυνση, μπορεί να εκτιμηθεί έως και 3.600 οχήματα ανά ώρα. Βάσει των στοιχείων κυκλοφορίας, διαπιστώθηκε ότι ο σταθμός διοδίων του Κλειδίου παρουσιάζει κυκλοφοριακή αιχμή στη νότια κατεύθυνση μεταξύ 10:00 και 15:00. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, 8 λωρίδες είναι συνήθως διαθέσιμες, εκ των οποίων: 4 είναι χειροκίνητης είσπραξης και λειτουργούν με εισπράκτορα, 2 λειτουργούν με μηχανήματα αυτόματης πληρωμής APM και 2 λωρίδες είναι ηλεκτρονικής είσπραξης. Η Εικόνα 4.8 παρουσιάζει τη διαμόρφωση του σταθμού διοδίων της Κλειδίου και τη σχετική διάταξη των λωρίδων κατά την κυκλοφοριακή αιχμή.

4.3.1 Συλλογή δεδομένων

Για τη δημιουργία της βάσης δεδομένων, αναφορικά με τη νότια κατεύθυνση, συλλέχθηκαν πληροφορίες από διάφορες πηγές δεδομένων. Οι κυριότερες από αυτές περιλαμβάνουν:

- επιτόπια επίσκεψη στον σταθμό διοδίων του Κλειδίου,
- φωτογραφίες από την Google,
- πληροφορίες που παρασχέθηκαν από την εταιρεία Αυτοκινητόδρομος Αιγαίου Α.Ε., που συμπεριλαμβάνουν:
 - i. ετήσια δεδομένα κυκλοφορίας για τον σταθμό διοδίων του κλειδίου (2010–2024),
 - ii. ημερήσια δεδομένα κυκλοφορίας για το έτος 2024,
 - iii. ωριαία δεδομένα κυκλοφορίας για το μήνα Αύγουστο (2021-2024),
 - iv. βιντεοσκοπήσεις στον σταθμό διοδίων του Κλειδίου.

Συμπληρωματικές πληροφορίες από την επίσημη ιστοσελίδα της Αυτοκινητόδρομος Αιγαίου Α.Ε. (www.aegeanmotorway.gr) και του φορέα «ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΥΠΟΔΟΜΕΣ και ΟΔΟΙ ΜΕ ΔΙΟΔΙΑ», με διακριτικό τίτλο HELLASTRON- HELLENIC ASSOCIATION of TOLL ROAD NETWORK, όπως:

- i. εκθέσεις βιώσιμης ανάπτυξης,
- ii. εκθέσεις εταιρικής υπευθυνότητας,
- iii. στατιστικά στοιχεία HELLASTRON.

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν στο προηγούμενο στάδιο υποβλήθηκαν σε επεξεργασία, με σκοπό την εξαγωγή μεταβλητών σχετικών με τους σταθμούς διοδίων, όπως:

- αφίξεις οχημάτων,

- ποσοστό επιλογής καμπινών,
- χρόνος μετακίνησης,
- χρόνος εξυπηρέτησης.

Οι μεταβλητές αυτές πρέπει να συσχετιστούν με την κατηγοριοποίηση των οχημάτων. Για τον σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκε η ίδια ταξινόμηση οχημάτων που ισχύει στη συμπράττουσα παραχώρηση του αυτοκινητόδρομου και αναλύεται παρακάτω:

- Κατηγορία 1: δίκυκλα και τρίκυκλα οχήματα.
- Κατηγορία 2: ελαφρά οχήματα με ή χωρίς ρυμουλκούμενο και ύψος μέχρι 2,20μ.
- Κατηγορία 3: οχήματα με ή χωρίς ρυμουλκούμενο, με δύο ή τρεις άξονες και ύψος μεγαλύτερο από 2,20μ.
- Κατηγορία 4: οχήματα με ή χωρίς ρυμουλκούμενο, με τέσσερις ή περισσότερους άξονες και ύψος μεγαλύτερο από 2,20μ.

Τρόποι Πληρωμής			
 Με Πομποδέκτη	 Κάρτα/ Μετρητά σε μηχάνημα	 Μετρητά σε εισπράκτορα	 Κάρτα σε εισπράκτορα
Κατηγορία Οχήματος			
 1	 2	 3	 4

Εικόνα 4.9 Τρόποι πληρωμής και κατηγορίες οχημάτων

Στην Εικόνα 4.9 απεικονίζεται η κατηγοριοποίηση οχημάτων που χρησιμοποιείται στη σύμβαση παραχώρησης του αυτοκινητόδρομου της Αυτοκινητόδρομος Αιγαίου Α.Ε. και οι διαθέσιμοι τρόποι πληρωμής στους σταθμούς διοδίων της.

Τα επόμενα υποκεφάλαια παρουσιάζουν την καταγραφή και ανάλυση των δεδομένων κάθε μεταβλητής που σχετίζεται με το σταθμό διοδίων που θα μελετηθεί.

4.3.2 Αφίξεις οχημάτων

Για τον υπολογισμό της μεταβλητής του χρόνου μεταξύ αφίξεων των οχημάτων (interarrival time) στην είσοδο του συστήματος, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα κυκλοφορίας από τον σταθμό διοδίων του Κλειδίου για την περίοδο από το 2010 έως το 2024.

Επιλέχθηκε η χρήση των δεδομένων κυκλοφορίας για το έτος 2024, καθώς αποτελούν τα πιο πρόσφατα διαθέσιμα στοιχεία. Στη συνέχεια, τα δεδομένα κυκλοφορίας του έτους 2024 επεξεργάστηκαν με στόχο την εξαγωγή μηνιαίων κυκλοφοριακών δεδομένων σύμφωνα με τις κατηγορίες οχημάτων, όπως παρουσιάζεται στο **Παράρτημα 2 - Μηνιαία δεδομένα κυκλοφορίας, για το μετωπικό σταθμό Κλειδίου, για το έτος 2024**.

Η Εικόνα 4.10 παρουσιάζει τη μηνιαία κυκλοφορία στο σταθμό διοδίων του Κλειδίου για το έτος 2024. Από τα στοιχεία παρατηρούμε ότι ο μήνας με την μεγαλύτερη κυκλοφοριακή ροή είναι ο μήνας Αύγουστος με 922.793 διελεύσεις οχημάτων και στις δύο κατευθύνσεις.



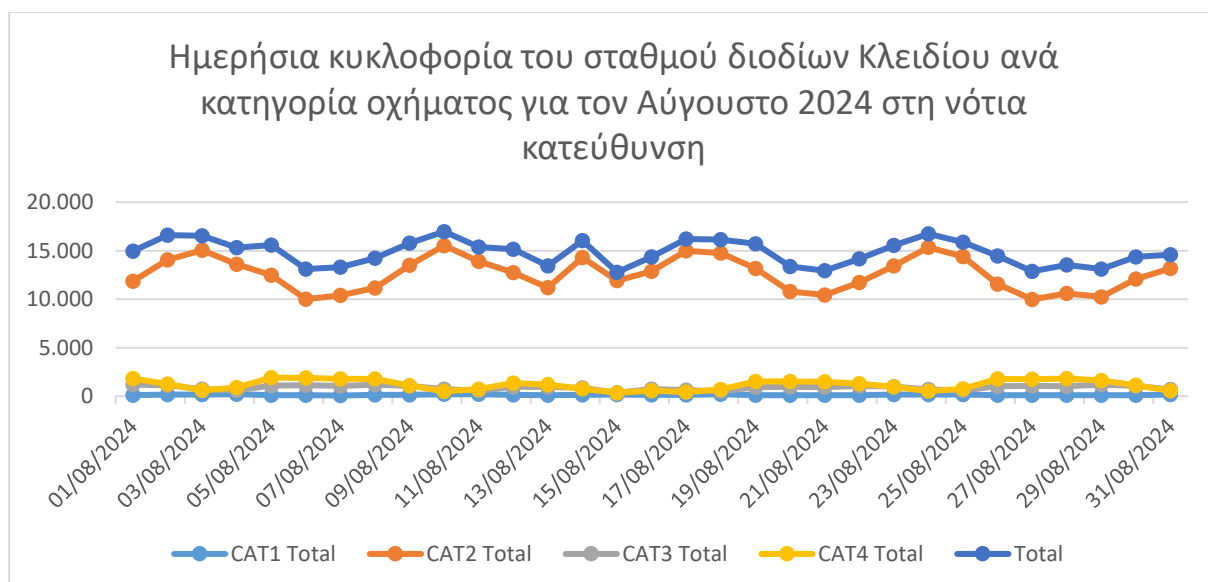
Εικόνα 4.10 Μηνιαία κυκλοφορία του σταθμού διοδίων Κλειδίου για το έτος 2024



Εικόνα 4.11 Μηνιαία κυκλοφορία του σταθμού διοδίων Κλειδίου στη νότια κατεύθυνση για το έτος 2024

Από την Εικόνα 4.11 παρατηρείται ότι η μεγαλύτερη κυκλοφοριακή ροή στη νότια κατεύθυνση σημειώθηκε τον Αύγουστο του 2024, με συνολικό αριθμό 459.163 οχημάτων.

Στη συνέχεια θα αναλυθούν τα ημερήσια κυκλοφοριακά δεδομένα για τον Αύγουστο του 2024 τα οποία παρουσιάζονται στο **Παράρτημα 4 - Ημερήσια δεδομένα κυκλοφορίας, για το μετωπικό σταθμό Κλειδίου, για τον Αύγουστο 2024, στη νότια κατεύθυνση.**



Εικόνα 4.12 Ημερήσια κυκλοφορία του σταθμού διοδίων Κλειδίου ανά κατηγορία οχήματος για τον Αύγουστο 2024 στη νότια κατεύθυνση

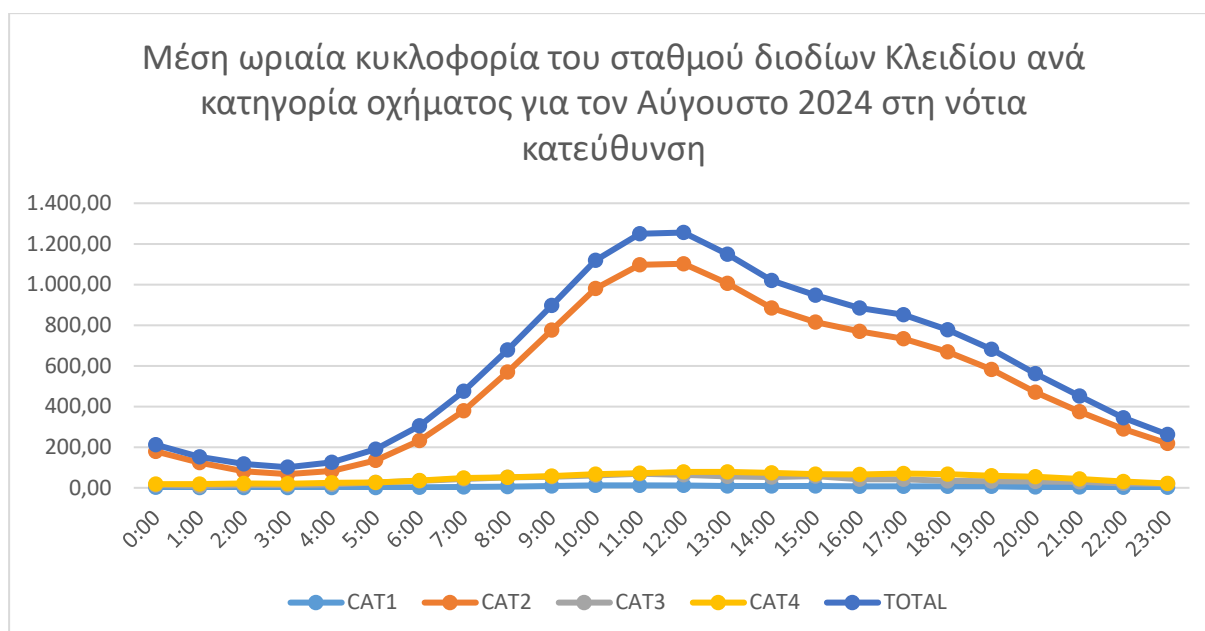
Η Εικόνα 4.12 απεικονίζει τους ημερήσιους κυκλοφοριακούς όγκους του σταθμού διοδίων του Κλειδίου, με κατεύθυνση προς νότο, ανά κατηγορία οχήματος για το μήνα Αύγουστο του 2024. Από την εικόνα παρατηρείται ότι ο μεγαλύτερος ημερήσιος όγκος κυκλοφορίας σημειώθηκε στις 10 Αυγούστου 2024 (Σάββατο), με συνολικό αριθμό 16.972 οχημάτων. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι μελέτες προσομοίωσης συνήθως πραγματοποιούνται σε περιορισμένο χρονικό διάστημα ή σε ένα σύνολο από πανομοιότυπες χρονικές περιόδους. Έτσι, αποφασίστηκε να ληφθούν υπόψη τα δεδομένα κυκλοφορίας όλων των ημερών του μήνα Αυγούστου 2024 (Εικόνα 4.12), με στόχο να εξαχθεί ένας μέσος ωριαίος όγκος κυκλοφορίας που να αντιπροσωπεύει καλύτερα τη χρονική περίοδο αιχμής προς τη νότια κατεύθυνση (**Παράρτημα 5 -Ωριαία δεδομένα κυκλοφορίας, για το μετωπικό σταθμό Κλειδίου, για τον Αύγουστο 2024, στη νότια κατεύθυνση**).

Ο Πίνακας 4.2 παρουσιάζει τους μέσους ωριαίους κυκλοφοριακούς όγκους για τη για όλες τις ώρες τις ημέρας, για όλες τις ημέρες του Αυγούστου 2024, ανάλογα με την κατηγοριοποίηση των οχημάτων για το σταθμό διοδίων του Κλειδίου στη νότια κατεύθυνση.

	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00
CAT1	83	48	32	12	12	40	80	121	179	275	353	354
CAT2	5.532	3.824	2.515	2.091	2.588	4.193	7.189	11.744	17.663	24.054	30.407	34.017
CAT3	411	300	400	418	544	836	1059	1362	1598	1700	1.866	2.148
CAT4	562	570	690	617	753	836	1.112	1.493	1.576	1.775	2.072	2.241
TOTAL	6.588	4.742	3.637	3.138	3.897	5.905	9.440	14.720	21.016	27.804	34.698	38.760
AVG	213	153	117	101	126	190	305	475	678	897	1.119	1.250

	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
CAT1	359	276	268	259	212	214	214	215	154	140	88	71
CAT2	34.173	31.177	27.415	25.278	23.867	22.732	20.735	18.034	14.602	11.606	8.979	6.783
CAT3	1.976	1.764	1.632	1.792	1308	1289	1082	1020	970	890	667	611
CAT4	2.424	2.429	2.289	2.070	2.040	2.161	2.060	1.837	1.671	1.361	961	663
TOTAL	38.932	35.646	31.604	29.399	27.427	26.396	24.091	21.106	17.397	13.997	10.695	8.128
AVG	1.256	1.150	1.019	948	885	851	777	681	561	452	345	262

Πίνακας 4.2 Μέσοι ωριαίοι κυκλοφοριακοί όγκοι του σταθμού διοδίων Κλειδίου ανά κατηγορία οχήματος για τον Αύγουστο 2024 στη νότια κατεύθυνση



Εικόνα 4.13 Μέση ωριαία κυκλοφορία του σταθμού διοδίων Κλειδίου ανά κατηγορία οχήματος για τον Αύγουστο 2024 στη νότια κατεύθυνση

Αντίστοιχα η Εικόνα 4.13 απεικονίζει την εξέλιξη της κυκλοφορίας αυτής μέσω γραφήματος. Από την εικόνα παρατηρείται ότι η περίοδος αιχμής στη νότια κατεύθυνση σημειώθηκε μεταξύ 10:00 και 15:00, με μέσο ωριαίο όγκο 1.159 οχήματα. Το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα υιοθετήθηκε ως περίοδος αναφοράς για το μοντέλο προσομοίωσης.

Στη συνέχεια, προσδιορίστηκαν οι μέσοι ωριαίοι κυκλοφοριακοί όγκοι για τη χρονική περίοδο αιχμής (10:00-15:00), για όλες τις ημέρες του Αυγούστου 2024, ανάλογα με την κατηγοριοποίηση των οχημάτων στη νότια κατεύθυνση, όπως παρουσιάζεται παρακάτω.

Κατηγορία	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00
CAT1	11	11	12	9	9
CAT2	981	1.097	1.102	1.006	884
CAT3	60	69	64	57	53
CAT4	67	72	78	78	74
TOTAL	1.119	1.250	1.256	1.150	1.019

Πίνακας 4.3 Μέσοι ωριαίοι κυκλοφοριακοί όγκοι στην περίοδο αιχμής

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η εκθετική κατανομή αποτελεί μία από τις πλέον χρησιμοποιούμενες κατανομές σε μοντέλα προσομοίωσης, με κύρια χρήση τη μοντελοποίηση του χρόνου μεταξύ δύο οποιωνδήποτε γεγονότων, ανεξάρτητων μεταξύ τους, όπως για παράδειγμα οι χρόνοι μεταξύ αφίξεων οντοτήτων σε ένα σύστημα. Θεωρώντας ως περίοδο αιχμής το διάστημα 10:00 – 15:00 (συνολική διάρκεια: 5 ώρες = 300 λεπτά), θα

υπολογίσουμε τον μέσο χρόνο μεταξύ αφίξεων (interarrival time) για κάθε κατηγορία οχήματος συνολικά για το διάστημα αυτό.

Βήμα 1: Άθροισμα αφίξεων ανά κατηγορία οχήματος

Αρχικά υπολογίζεται ο συνολικός αριθμός αφίξεων ανά κατηγορία οχήματος για την περίοδο των 5 ωρών (300 λεπτών).

	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	TOTAL
CAT1	11	11	12	9	9	52
CAT2	981	1.097	1.102	1.006	884	5.071
CAT3	60	69	64	57	53	303
CAT4	67	72	78	78	74	370
TOTAL	1.119	1.250	1.256	1.150	1.019	5.796

Πίνακας 4.4 Άθροισμα αφίξεων ανά κατηγορία οχήματος στην περίοδο αιχμής

Βήμα 2: Υπολογισμός Interarrival Time (300 λεπτά)

Στη συνέχεια, ακολουθώντας τις βασικές αρχές μοντελοποίησης αφίξεων σε στοχαστικά συστήματα εξυπηρέτησης, εκτιμήθηκε ο χρόνος μεταξύ διαδοχικών αφίξεων (Interarrival Time) για κάθε κατηγορία οχήματος. Δεδομένου ότι το συνολικό εξεταζόμενο χρονικό διάστημα είναι 300 λεπτά, η μέση τιμή interarrival υπολογίζεται διαιρώντας τον χρόνο αυτό με το πλήθος των αφίξεων ανά κατηγορία.

$$Interarrival\ Time = \frac{300}{\text{Πλήθος Οχημάτων}}$$

Κατηγορία	Οχήματα	Interarrival Time (min/όχημα)	Συνάρτηση Arena
CAT1	52	5,7764	EXPO(5.7764)
CAT2	5.071	0,0592	EXPO(0.0592)
CAT3	303	0,9908	EXPO(0.9908)
CAT4	370	0,8119	EXPO(0.8119)

Πίνακας 4.5 Κατανομή πιθανότητας ανά κατηγορία οχήματος για το χρόνο μεταξύ των αφίξεων

Έτσι, ο Πίνακας 4.5 παρουσιάζει, για τη χρονική περίοδο αιχμής που αναλύθηκε, τον χρόνο μεταξύ αφίξεων των οχημάτων και την αντίστοιχη κατανομή πιθανότητας που θα χρησιμοποιηθεί στη προσομοίωση στο Arena.

4.3.3 Ποσοστό επιλογής καμπινών

Για τον υπολογισμό της μεταβλητής του ποσοστού επιλογής καμπινών (MTC, ETC και APM), χρησιμοποιήθηκαν τα ημερήσια δεδομένα κυκλοφορίας του σταθμού διοδίων του Κλειδίου για το έτος 2024.

Τα δεδομένα που ελήφθησαν είναι διαχωρισμένα σύμφωνα με τον τύπο είσπραξης:

- MTC – Manual Toll Collection – χειροκίνητη είσπραξη διοδίου,
- ETC – Electronic Toll Collection – ηλεκτρονική είσπραξης διοδίου,
- APM – Automatic Payment Machine – είσπραξη με μέσω αυτόματου μηχανήματος πληρωμής,
- EX – απαλλασσόμενα οχήματα και παραβιάσεις.

Σύμφωνα με τη σύμβαση παραχώρησης - άρθρο 25.4 «Απαλλαγή από Διόδια», θα έχουν ελεύθερη διέλευση από τον σταθμό διοδίων και εξαιρούνται της υποχρέωσης καταβολής διοδίων, οι εξής κατηγορίες οχημάτων:

- οχήματα ανήκοντα στην υπηρεσία ή σε εκπροσώπους της,
- αστυνομικά οχήματα, οχήματα πυροσβεστικής υπηρεσίας και ασθενοφόρα,
- οχήματα ανήκοντα στις Ένοπλες Δυνάμεις,
- οχήματα του παραχωρησιούχου, του κατασκευαστή και του υπεύθυνου λειτουργίας, εφόσον κινούνται στο ΚΕΠ για τους σκοπούς εκτέλεσης της Σύμβασης,
- οχήματα που ανήκουν κατά πλήρη κυριότητα και χρησιμοποιούνται από άτομα με Αναπηρίες (ΑμεΑ) ή αναπήρους πολέμου για την μεταφορά τους όταν αυτοί επιβαίνουν στο όχημα και φέρουν Δελτίο Στάθμευσης Α.Μ.Α. ή Δελτίο ειδικής ταυτότητας αναπήρου πολέμου.

Τα απαλλασσόμενα οχήματα πρέπει να διέρχονται από ειδικές υπηρεσιακές λωρίδες, όπου και λαμβάνουν άδεια διέλευσης, όπως δείχνει και η σήμανση της Εικόνας 4.14.



Εικόνα 4.14 Υπηρεσιακή λωρίδα (service lane) διέλευσης οχημάτων

Τα δεδομένα κυκλοφορίας του σταθμού διοδίων Κλειδίου επεξεργάστηκαν με σκοπό την απόκτηση του ποσοστού επιλογής καμπινών σύμφωνα με τις κατηγορίες οχημάτων και τον τύπο είσπραξης. Για τον σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια κριτήρια που εφαρμόστηκαν για τον υπολογισμό του χρόνου μεταξύ αφίξεων, όπως παρουσιάζεται στα Παραρτήματα 10,11,12,&13 -Δεδομένα επιλογής καμπινών για την περίοδο κυκλοφοριακής αιχμής (10:00 – 15:00), για τον μετωπικό σταθμό Κλειδίου, για τον Αύγουστο 2024, στη νότια κατεύθυνση.

Ο Πίνακας 4.6 παρουσιάζει τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τη μεταβλητή του ποσοστού επιλογής καμπινών, σύμφωνα με την ταξινόμηση των οχημάτων και τον τύπο είσπραξης.

	CAT1	CAT2	CAT3	CAT4	TOTAL	%
MTC	1.531	99.313	2.742	1.358	104.944	58,42
ETC	14	53.628	6.362	10.010	70.014	38,97
APM	4	3.239	0	0	3.243	1,81
EX	61	1.009	282	87	1.439	0,80

Πίνακας 4.6 Ποσοστό επιλογής καμπινών ανά τύπο είσπραξης

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η παραχωρησιούχος εταιρεία του αυτοκινητοδρόμου δεν λαμβάνει υπόψη τα δεδομένα παραβάσεων, στους ενοποιημένους μηνιαίους πίνακες συνολικής κίνησης κυκλοφορίας.

Ως εκ τούτου, και λαμβάνοντας υπόψη ότι το ποσοστό των παραβάσεων και των απαλλασσόμενων διελεύσεων αντιστοιχεί μόλις στο 0,80% του συνόλου, το ποσοστό αυτό αποκλείστηκε από τον υπολογισμό της μεταβλητής ποσοστού επιλογής λωρίδας.

Συνεπώς, ο Πίνακας 4.7 παρουσιάζει τα αποτελέσματα της μεταβλητής ποσοστού επιλογής καμπινών, σύμφωνα με την ταξινόμηση των οχημάτων και τον τύπο είσπραξης, χωρίς τα δεδομένα παραβίασης.

	CAT1	CAT2	CAT3	CAT4
MTC	1.531	99.313	2.742	1.358
ETC	14	53.628	6.362	10.010
APM	4	3.239	0	0
TOTAL	1.549	156.180	9.104	11.368
MTC%	98,84%	63,59%	30,12%	11,95%
ETC%	0,90%	34,34%	69,88%	88,05%
APM%	0,26%	2,07%	0,00%	0,00%

Πίνακας 4.7 Ποσοστό επιλογής καμπινών ανά κατηγορία οχήματος

Αξίζει να σημειωθεί, ότι οι καμπίνες APM είναι διαθέσιμες μόνο για τις κατηγορίες οχημάτων 1 και 2, ενώ παρατηρούμε ότι για τις κατηγορίες 3 και 4 (φορτηγά και λεωφορεία) προτιμάται η χρήση καμπινών ηλεκτρονικής πληρωμής ETC. Αυτό οφείλεται στους εξής παράγοντες:

- στην υψηλή διείσδυση ETC (Ποσοστό Συναλλαγών με Ηλεκτρονικό Πομποδέκτη), η οποία βρίσκεται στο 49,0% για την Αυτοκινητόδρομος Αιγαίου Α.Ε.,
- οι κατηγορίες 3 και 4 αφορούν κυρίως επαγγελματικά οχήματα που ανήκουν σε εταιρείες, οι οποίες προτιμούν τις συναλλαγές με ηλεκτρονική τιμολόγηση αντί της χρήσης μετρητών,
- ο χρόνος εξυπηρέτησης και η φθορά που προκαλείται από την επιβράδυνση και ακινητοποίηση του οχήματος είναι μεγαλύτερα στα βαριά οχήματα.
- στα εκπτωτικά προγράμματα, όπως το SmartTruck, με το οποίο παρέχεται έκπτωση 7% σε όλες τις διελεύσεις των συνδρομητών eway από όλους τους μετωπικούς σταθμούς διοδίων του Αυτοκινητόδρομου Αιγαίου από την πρώτη διέλευση.

4.3.4 Χρόνος μετακίνησης

Για τον υπολογισμό της μεταβλητής του χρόνου μετακίνησης χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, ώστε να υπολογιστούν οι μέσοι χρόνοι επιβράδυνσης (από την είσοδο στο σύστημα μέχρι τη στιγμή που το όχημα φτάνει σε κάποια καμπίνα διοδίων) και επιτάχυνσης (από την έξοδο του οχήματος από κάποια καμπίνα μέχρι τη στιγμή της εξόδου από το σύστημα).

Δεδομένα από βιντεοσκοπήσεις στον σταθμό διοδίων του Κλειδίου δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν διότι δεν καταγράφουν πλήρως τη διέλευση των οχημάτων σε όλη την περιοχή του σταθμού. Ως εκ τούτου, και βάσει του Cunha (2007), επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί μέση επιτάχυνση $1,04 \text{ m/s}^2$ για τον υπολογισμό των χρόνων μετακίνησης αυτής της μελέτης περίπτωσης. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η περιοχή παρέμβασης στη ροή των οχημάτων λόγω της εγκατάστασης των καμπινών είσπραξης έχει μήκος περίπου 500 μέτρα, περιλαμβάνοντας τα σημεία πλάτυνσης και στένωσης του σταθμού.

Η ταχύτητα ροής των οχημάτων έξω από τα όρια του σταθμού είναι 60 km/h (μέγιστο επιτρεπόμενο όριο), όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 4.15.



Εικόνα 4.15 Μέγιστο επιτρεπόμενο όριο ταχύτητας κατά την είσοδο στο σταθμό διοδίων

Ο σταθμός διοδίων του Κλειδίου περιλαμβάνει χειροκίνητες καμπίνες με εισπράκτορα, καμπίνες με μηχανήματα αυτόματης πληρωμής - APM και ηλεκτρονικές καμπίνες ETC. Στις δύο πρώτες, τα οχήματα κινούνται προς την καμπίνα για να πραγματοποιήσουν την πληρωμή του τέλους, μειώνοντας την ταχύτητά τους μέχρι τα 0 km/h. Αντίθετα, στις καμπίνες ETC, τα οχήματα διέρχονται μέσω ειδικών καμπινών ηλεκτρονικής είσπραξης, επιβραδύνοντας σε ταχύτητες περίπου από 20 έως 40 km/h, με την ταχύτητα των 40 km/h να αποτελεί το μέγιστο συνιστώμενο όριο από την παραχωρησιούχο εταιρεία του αυτοκινητοδρόμου. Με βάση αυτά, τα αποτελέσματα για τη μεταβλητή χρόνου μετακίνησης, ανάλογα με τον τύπο της καμπίνας, λαμβάνοντας υπόψη:

- η απόσταση σταθμού είναι 500 μέτρα,
- το όριο ταχύτητας για την είσοδο/έξοδο είναι 60 km/h,
- στις λωρίδες ETC το όχημα επιβραδύνει σε 30 km/h,

ο χρόνος που προκύπτει είναι:

Τμήμα	Χρόνος (s)
Χρόνος Μετακίνησης – ETC 60→30→60 σε 200/100/200 m	
Επιβράδυνση (60→30, 200m)	8,01
Σταθερή ταχύτητα (30km/h, 100m)	12
Επιτάχυνση (30→60, 200m)	8,01
Σύνολο	28,03

Χρόνος Μετακίνησης MTC/APM - 60→0→60 σε 500 m	
Επιβράδυνση (60→0, 250m)	21,93
Επιτάχυνση (0→60, 250m)	21,93
Σύνολο	43,85

Πίνακας 4.8 Χρόνος μετακίνησης ανά τύπο καμπίνας

Από τον Πίνακα 4.8, παρατηρείται ότι οι τιμές του χρόνου μετακίνησης λαμβάνουν υπόψη τους τρεις τύπους είσπραξης που ισχύουν στο σταθμό διοδίων του Κλειδίου. Βάσει του προτεινόμενου μοντέλου προσομοίωσης, οι συγκεκριμένες τιμές εισάγονται ως σταθερές παράμετροι στους χρόνους μετακίνησης (Route time), μέσω των λειτουργικών μονάδων Pick Station στο περιβάλλον προσομοίωσης Arena, αναλόγως με τον τύπο της επιλεγείσας καμπίνας (MTC, APM, ETC).

4.3.5 Χρόνος εξυπηρέτησης – Service Time

Για τον υπολογισμό της μεταβλητής του χρόνου εξυπηρέτησης των οχημάτων στις λωρίδες διοδίων, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τις κάμερες των λωρίδων στον σταθμό διοδίων του Κλειδίου, κατά το χρονικό διάστημα 10:00 έως 11:00, στις 5 Ιουνίου 2025.

Τα δεδομένα των βιντεοσκοπήσεων καταχωρήθηκαν σε ηλεκτρονικό φύλλο εργασίας, με σκοπό τη συγχώνευση των συλλεχθέντων πληροφοριών και τη δημιουργία της μεταβλητής του χρόνου εξυπηρέτησης (service time). Στα δεδομένα αυτά οι ακραίες τιμές (outliers) αποκλείστηκαν από το δείγμα. Με στόχο την αύξηση του μεγέθους του δείγματος και την κάλυψη όλων των κατηγοριών οχημάτων, τα δεδομένα ομαδοποιήθηκαν σε δύο βασικές κατηγορίες: ελαφρά και βαρέα οχήματα, σύμφωνα με την παρακάτω ταξινόμηση:

Ελαφρά οχήματα: IX επιβατικά αυτοκίνητα (οχήματα κατηγορίας M1).Μοτοσικλέτες (κατηγορία L), οχήματα τύπου van ή ελαφρά φορτηγά (κατηγορία N1), που έχουν μικρό μεικτό βάρος (συνήθως κάτω από 3,5 τόνους), οχήματα με μικρό ρυμουλκούμενο (τροχόσπιτο, ρυμουλκούμενο με μικρό αριθμό αξόνων, χαμηλού βάρους).

Βαρέα οχήματα: φορτηγά (κατηγορίας N2 ή N3, συνήθως άνω των 3,5 τόνων), λεωφορεία, βαριά οχήματα με ρυμουλκούμενο (π.χ. νταλίκες, ρυμουλκούμενα με περισσότερους άξονες), οχήματα με πολλές θέσεις επιβατών (π.χ. τουριστικά λεωφορεία, λεωφορεία ΚΤΕ).

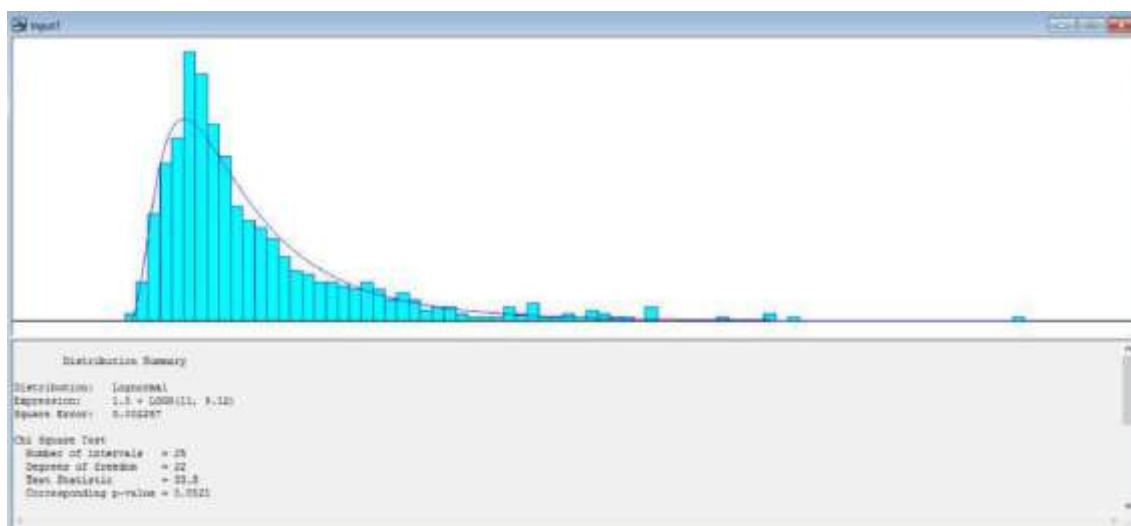
Με βάση αυτή την κατηγοριοποίηση, τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τη μεταβλητή χρόνος εξυπηρέτησης, ανά κατηγορία (ελαφρά και βαρέα οχήματα), παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.9

Τύπος οχήματος	Πλήθος	Μέσος όρος (δευτ.)	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	Τυπική απόκλιση	Σφάλμα
Ελαφρά	666	13	2	77	9	0,7
Βαρέα	32	25	5	78	19	6,6
Σύνολο	698	13	2	78	10	0,7

Πίνακας 4.9 Χρόνος εξυπηρέτησης ανά τύπο οχήματος (ελαφρά και βαρέα)

Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκε το Input Analyzer, εφαρμογή του λογισμικού προσομοίωσης Arena, α τη δημιουργία αξιόπιστης μεταβλητής προσομοίωσης, τα δεδομένα εισήχθησαν στο εργαλείο Input Analyzer του λογισμικού Arena, το οποίο εφαρμόζει μεθόδους στατιστικής προσαρμογής με κριτήρια όπως, Chi-square test, Kolmogorov–Smirnov test και μέσο τετραγωνικό σφάλμα (MSE)

Για τα ελαφρά οχήματα, η Εικόνα 4.16 παρουσιάζει τα αποτελέσματα που δημιουργήθηκαν από το Input Analyzer.

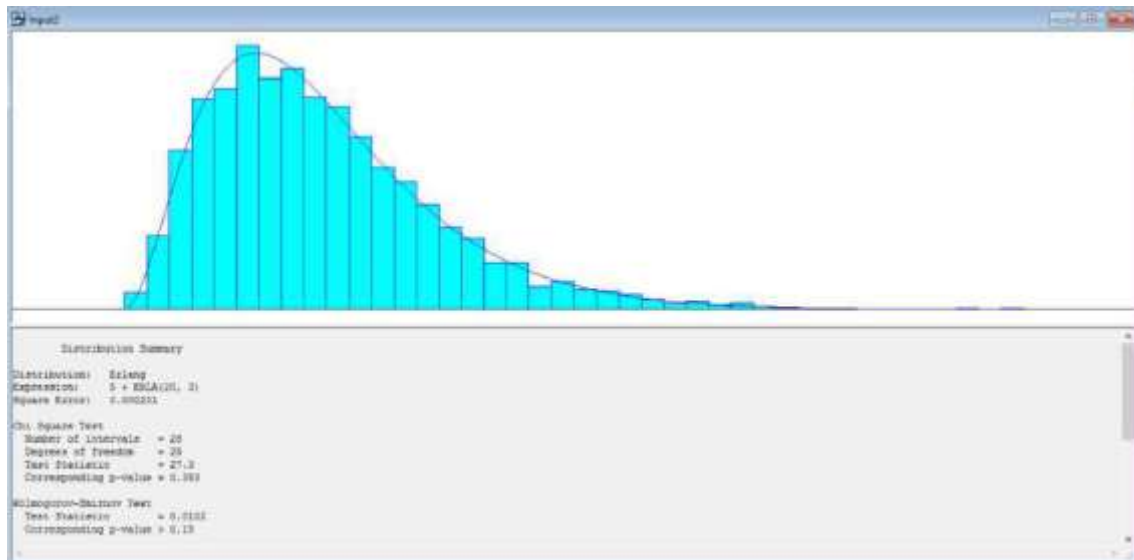


Εικόνα 4.16 Προσαρμογή κατανομής για τον χρόνο εξυπηρέτησης ελαφρών οχημάτων

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της εφαρμογής, για τα ελαφρά οχήματα:

- Η κατανομή που προσαρμόζεται καλύτερα στα δεδομένα είναι Lognormal.
- Η καμπύλη της κατανομής Lognormal επικαλύπτει ικανοποιητικά το ιστόγραμμα των δεδομένων.
- Η δοκιμή χ^2 με 22 βαθμούς ελευθερίας απέδωσε τιμή $\chi^2 = 33,8$, γεγονός που θεωρείται αποδεκτό για την προσαρμογή.

Το αποτέλεσμα της δοκιμής προσαρμογής δείχνει η κατανομή πιθανότητας για το χρόνο εξυπηρέτησης των ελαφρών οχημάτων είναι: **1,5 + LOGN(11, 9.12)**. Η πρόσθεση σταθερής τιμής 1,5 δευτερολέπτου αντανακλά ενδεχομένως το ελάχιστο απαιτούμενο λειτουργικό διάστημα εξυπηρέτησης.



Εικόνα 4.17 Προσαρμογή κατανομής για τον χρόνο εξυπηρέτησης βαρέων οχημάτων

Για τα βαρέα οχήματα, τα αποτελέσματα του Input Analyzer (Εικόνα 4.17) κατέδειξαν ότι η κατανομή Erlang παρέχει την καλύτερη προσαρμογή στα καταγεγραμμένα δεδομένα του χρόνου εξυπηρέτησης. Η κατανομή αυτή επιλέγεται συχνά σε περιπτώσεις όπου η χρονική διάρκεια προκύπτει από το άθροισμα k εκθετικών διαδικασιών ίδιου ρυθμού (π.χ. διαδοχικά βήματα εξυπηρέτησης). Τα αποτελέσματα ελέγχου του Input Analyzer, που προέκυψαν είναι τα εξής:

- Κατανομή: Erlang
- Παράμετροι: ERLA(20, 3)
- Μετατόπιση (offset): +5 sec
- Τετραγωνικό σφάλμα: 0,00021
- Chi-square test: $\chi^2 = 27,3$ με $p\text{-value} = 0,33$
- Kolmogorov–Smirnov test: $p\text{-value} > 0,15$

Η συνάρτηση που τελικά υιοθετήθηκε στο Arena για τη μεταβλητή του χρόνου εξυπηρέτησης των βαρέων οχημάτων είναι: **5 + ERLA(20, 3)**. Η χρήση της κατανομής Erlang θεωρείται κατάλληλη καθώς προσφέρει σταθερότερη παραλλαγή από την απλή εκθετική, ιδιαίτερα όταν η διαδικασία εξυπηρέτησης ακολουθεί διακριτά και επαναλαμβανόμενα στάδια, όπως συμβαίνει συχνά με τα βαρέα οχήματα που απαιτούν περισσότερους χειρισμούς ή έλεγχο.

4.4 Βήμα II - Μοντελοποίηση του σταθμού διοδίων Κλειδίου με προσομοίωση

Ο καθορισμός των σεναρίων προσομοίωσης της υφιστάμενης κατάστασης βασίστηκε κυρίως στην επεξεργασία των δεδομένων της μεταβλητής των αφίξεων οχημάτων. Διαπιστώθηκε ότι η περίοδος κυκλοφοριακής αιχμής, με κατεύθυνση προς το νότο, σημειώνεται μεταξύ 10:00 και 15:00 το πρωί, με μέσο ωριαίο όγκο 1.159 οχημάτων, ο οποίος και υιοθετήθηκε ως χρονικό διάστημα για τη μοντελοποίηση μέσω προσομοίωσης.

4.4.1 Δεδομένα εισόδου στο μοντέλο προσομοίωσης

Η επιλογή αυτού του σεναρίου βασίστηκε στη μέση ροή κυκλοφορίας που παρατηρείται κατά τις περιόδους μέγιστης ζήτησης της οδού. Στην περίπτωση του σταθμού διοδίων του Κλειδίου, οι περίοδοι αυτές εντοπίστηκαν κατά τον μήνα Αύγουστο του 2024. Για το σενάριο αυτό, χρησιμοποιήθηκαν όλα τα δεδομένα του συστήματος που συλλέχθηκαν στο Βήμα Ι – Χαρακτηρισμός του σταθμού διοδίων Κλειδίου και ανάλυση των δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά ενσωματώθηκαν στο προτεινόμενο μοντέλο προσομοίωσης, με στόχο την όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστική αναπαράσταση της συμπεριφοράς του συστήματος.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τρεις μεταβλητές του συστήματος καταχωρήθηκαν σε ηλεκτρονικό υπολογιστικό φύλλο και στη συνέχεια εισάγονται στο μοντέλο προσομοίωσης, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.10. Αυτές οι μεταβλητές, χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα του συστήματος για την ανάλυση της περιόδου αιχμής στο πλαίσιο του παρόντος σεναρίου.

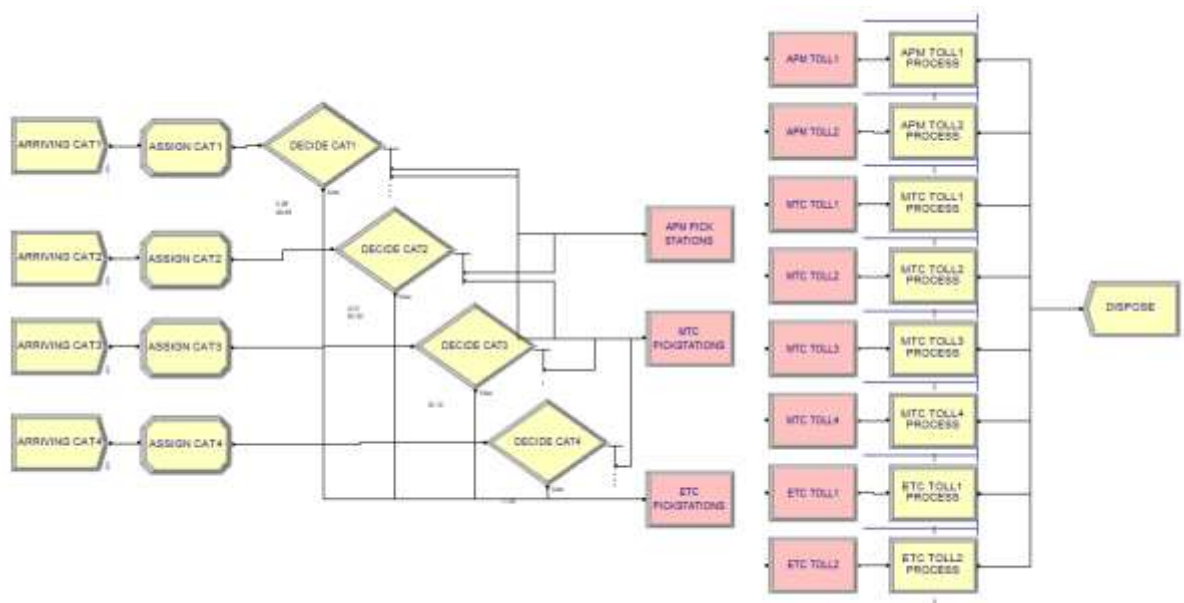
Κατηγορία οχήματος	Χρόνος μεταξύ των αφίξεων (λεπτά ανά όχημα)	Χρόνος εξυπηρέτησης (δευτερόλεπτα ανά όχημα)	Ποσοστό επιλογής καμπινών (%)		
			MTC	ETC	APM
CAT1	EXPO(5.7764)	1.5 + LOGN(11, 9.12)	98,84%	0,90%	0,26%
CAT2	EXPO(0.0592)	1.5 + LOGN(11, 9.12)	63,59%	34,34%	2,07%
CAT3	EXPO(0.9908)	5 + ERLA(20, 3)	30,12%	69,88%	0,00%
CAT4	EXPO(0.8119)	5 + ERLA(20, 3)	11,95%	88,05%	0,00%

Πίνακας 4.10 Μεταβλητές εισόδου του μοντέλου προσομοίωσης

4.4.2 Μοντέλο προσομοίωσης στο Arena

Με βάση το διάγραμμα ροής που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο και σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν μέχρι στιγμής, το διάγραμμα ροής που χρησιμοποιήθηκε

στο λογισμικό Arena για την αναπαράσταση της διαδικασίας μοντελοποίησης της λειτουργίας του συστήματος στον σταθμό διοδίων Κλειδίου παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.18.



Εικόνα 4.18 Μοντέλο προσομοίωσης στο Arena για το σταθμό διοδίων Κλειδίου

Για το συγκεκριμένο σενάριο, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του συστήματος για τη χρονική περίοδο αιχμής που αναλύθηκε (10:00 έως 15:00) και, ως αρχικό βήμα της προσομοίωσης, ορίστηκε χρόνος προθέρμανσης (warm-up) ίσος με 0 (μηδέν) λεπτά και 5 επαναλήψεις (replications). Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρουσιάζονται στην επόμενη υποενότητα.

4.4.3 Αποτελέσματα της προσομοίωσης

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του σταθμού διοδίων του Κλειδίου, με, για το υφιστάμενο σενάριο, παρατίθενται στο **Παράρτημα 14 – Αποτελέσματα προσομοίωσης υφιστάμενου σεναρίου (με χρόνο προθέρμανσης 0 λεπτά)**. Τα συλλεγμένα δεδομένα αποτελούν αναφορά εξόδου της προσομοίωσης και περιλαμβάνουν στατιστικά στοιχεία που αφορούν τις οντότητες (οχήματα), τις ουρές και τους διαθέσιμους πόρους (καμπίνες διοδίων).

Πριν από την ανάλυση των αποτελεσμάτων, παρατίθενται οι βασικές εκτιμήσεις που προέκυψαν από το μοντέλο προσομοίωσης, οι οποίες στη συνέχεια θα συγκριθούν με τα δεδομένα της παραχωρησιούχου εταιρείας, προκειμένου να αξιολογηθεί η αξιοπιστία και συνέπεια του μοντέλου προσομοίωσης.

Για το συγκεκριμένο σενάριο, οι κυριότερες εκτιμήσεις είναι οι εξής:

- μέσος κυκλοφοριακός φόρτος: 1.149 οχήματα ανά ώρα,
- μέσο μήκος ουράς: 3,5 μέτρα ($\approx 0,7$ οχήματα στην ουρά),
- μέσος χρόνος αναμονής στην ουρά: 10-15 (s) δευτερόλεπτα.

Με μια γρήγορη εκτίμηση παρατηρείται ότι, η ροή είναι καλή για τις αυτόματες (APM, ETC) καμπίνες με σχεδόν μηδενικές καθυστερήσεις. Οι χειροκίνητες (MTC) έχουν αναμονή αλλά σε αποδεκτά επίπεδα (< 20 δευτερόλεπτα).

4.5 Βήμα III - Επαλήθευση και βαθμονόμηση του μοντέλου προσομοίωσης

4.5.1 Επαλήθευση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης

Οι εκτιμήσεις απόδοσης βασίστηκαν στα δεδομένα που συλλέχθηκαν από την εταιρεία Αυτοκινητόδρομος Αιγαίου Α.Ε. Για το υφιστάμενο σενάριο, παρατηρήθηκε μέσος κυκλοφοριακός φόρτος κατά την περίοδο αιχμής (10:00–15:00) ίσος με 1.159 οχήματα/ώρα, στη νότια κατεύθυνση.

Σε πολλές χώρες, το αποδεκτό μήκος ουράς θεωρείται γύρω στα 150-200 μέτρα (ή περίπου 20-30 οχήματα). Στην Ελλάδα δεν υπάρχει πάντα συγκεκριμένος κανόνας, αλλά η πρακτική (και οι μελέτες σχεδίασης) χρησιμοποιούν παρόμοιες τιμές. Δεν δόθηκαν συγκεκριμένα στοιχεία για τα πραγματικά μεγέθη των ουρών κατά τις ώρες αιχμής, ούτε ήταν δυνατό να προσδιοριστούν από κάποια άλλη πληροφορία π.χ. βιντεοσκοπήσεις.

Είναι συνεπείς οι εκτιμήσεις;

Σε αυτό το στάδιο, εφαρμόστηκε κανόνας απόφασης προκειμένου να αξιολογηθεί η συνέπεια των αποτελεσμάτων του μοντέλου προσομοίωσης. Οι βασικές συγκρίσιμες εκτιμήσεις παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Εκτίμηση	Προσομοίωση	Πραγματική	Μέσο σφάλμα
Ροή οχημάτων (10:00 - 15:00)	5.745	5.796	
Ροή οχημάτων (οχ./ώρα)	1.149	1.159	0,86%
Μήκος ουράς (μέτρα)	0,5 – 0,7 οχήματα $\approx 3,5m$	–	–
Χρόνος αναμονής στην ουρά (s)	10-15 (s)	–	–

Πίνακας 4.11 Σύγκριση των αποτελεσμάτων με τα πραγματικά δεδομένα

Από τον Πίνακα 4.11 παρατηρείται ότι μόνο η ροή οχημάτων μπορούσε να συγκριθεί με πραγματικά δεδομένα, και προέκυψε μέσο σφάλμα 0,86%. Ωστόσο, αξίζει να δοκιμαστεί η διαδικασία της βαθμονόμησης του μοντέλου. Έτσι πραγματοποιήθηκαν νέες εκτελέσεις της

προσομοίωσης, μεταβάλλοντας τον χρόνο προθέρμανσης (warm-up), προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί το σφάλμα.

4.5.2 Βαθμονόμηση του μοντέλου

Διενεργήθηκαν 5 εκτελέσεις του ίδιου σεναρίου, μεταβάλλοντας το warm-up κατά 30 δευτερόλεπτα τη φορά. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στον Πίνακα 4.12.

Εκτέλεση Σεναρίου	Χρόνος προθέρμανσης (min)	Ροή οχημάτων (οχ./ώρα) Προσομοίωση	Ροή οχημάτων (οχ./ώρα) Πραγματική	Μέσο σφάλμα
1	0	1.149	1.159	0,86%
2	0,5	1.149	1.159	0,88%
3	1	1.147	1.159	1,02%
4	1,5	1.145	1.159	1,17%
5	2	1.143	1.159	1,35%

Πίνακας 4.12 Σύγκριση των αποτελεσμάτων με τα πραγματικά δεδομένα

Παρατηρείται ότι η πρώτη και η δεύτερη εκτέλεση είναι εκείνες που παρουσιάζουν το μικρότερο μέσο σφάλμα στην εκτίμηση της ροής οχημάτων ανά ώρα, με καλύτερη την πρώτη με 0,86% . Ως εκ τούτου, επιλέχθηκε η προσομοίωση με 0 λεπτά χρόνο προθέρμανσης και η ανάλυση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης πραγματοποιείται στο επόμενο στάδιο.

4.5.3 Ανάλυση των αποτελεσμάτων

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του σταθμού διοδίων Κλειδίου, στη νότια κατεύθυνση, για το υφιστάμενο σενάριο και με χρόνο προθέρμανσης 0 λεπτά, (βρίσκονται στο Παράρτημα 14), συνολικά, καταγράφηκαν 5.744 οχήματα στην περίοδο αιχμής (10:00 – 15:00) και ο Πίνακας 4.13 απεικονίζει την κατανομή κάθε κατηγορίας οχημάτων σε αυτό το σενάριο.

Κατηγορία οχήματος	Entity Number In (Arena)	Entity Number Out (Arena)	Ροή οχημάτων (10:00 - 15:00) Πραγματική
CAT1	53	53	52
CAT2	5.056	5.041	5.071
CAT3	285	284	303
CAT4	366	366	370
Σύνολο (οχήματα)	5.760	5.744	5.796

Πίνακας 4.13 Αποτελέσματα Entities Arena

Από τα αποτελέσματα παρατηρείται ότι τα επιβατηγά αυτοκίνητα (CAT2) αποτελούν την πλειονότητα, με ποσοστό 87,76% του συνόλου των οχημάτων κατά την αναλυθείσα περίοδο αιχμής. Παρατηρείτε επίσης ότι ένας μικρός αριθμός οχημάτων, που φαίνεται από τη διαφορά Number In – Number Out, έχει «εγκλωβιστεί» μέσα στο σύστημα, δηλαδή δεν πρόλαβαν να φτάσουν στο Dispose module.

Στη συνέχεια ο Πίνακας 4.14 παρουσιάζει τα αποτελέσματα για τον χρόνο εξυπηρέτησης, τον χρόνο αναμονής στην ουρά, τον χρόνο μετακίνησης και τον συνολικό χρόνο στο σύστημα, για το σταθμό διοδίων ανά κατηγορία οχήματος.

Κατηγορία οχήματος	Αριθμός οχημάτων	Χρόνος εξυπηρέτηση (s)	Χρόνος αναμονής (s)	Χρόνος μετακίνησης (s)	Συνολικός χρόνος (s)
CAT1	54	12,46	13,98	43,49	69,94
CAT2	5041	8,62	8,22	38,49	55,32
CAT3	284	20,08	4,18	32,90	57,16
CAT4	366	8,20	1,43	29,83	39,46

Πίνακας 4.14 Χρόνοι εξυπηρέτησης, αναμονής και μετακίνησης ανά κατηγορία οχήματος

Σύμφωνα με τα δεδομένα του Πίνακα 4.14, οι μέσοι χρόνοι εξυπηρέτησης, αναμονής στην ουρά, μετακίνησης και συνολικός χρόνος στο σύστημα σταθμισμένοι με βάση τον αριθμό των οχημάτων για κάθε κατηγορία είναι, αντίστοιχα: 9,20, 7,64, 37,71 και 54,54 δευτερόλεπτα.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι μέσοι συνολικοί χρόνοι στο σύστημα διαφέρουν ανάλογα με την κατηγορία οχήματος. Τα βαρέα οχήματα έχουν λίγο υψηλότερο μέσο χρόνο εξυπηρέτησης (13,4 δευτερόλεπτα) αλλά πολύ μικρότερο μέσο χρόνο αναμονής (2,6 δευτερόλεπτα) . Αντίθετα, τα ελαφριά οχήματα έχουν λίγο χαμηλότερο χρόνο εξυπηρέτησης αλλά μεγαλύτερη αναμονή (8,3 δευτερόλεπτα). Ο συνολικός χρόνος παραμονής στο σύστημα είναι πιο μεγάλος για τα ελαφριά (55,5 s).

Κατηγορία	Χρόνος εξυπηρέτησης (s)	Χρόνος αναμονής (s)	Χρόνος μετακίνησης (s)	Συνολικός χρόνος (s)
Ελαφρά	8,66	8,28	38,54	55,47
Βαρέα	13,39	2,63	31,17	47,19

Πίνακας 4.15 Χρόνοι εξυπηρέτησης, αναμονής και μετακίνησης για ελαφρά και βαρέα οχήματα

Όσον αφορά τις ουρές που σχηματίζονται στον σταθμό διοδίων, ο Πίνακας 4.16 παρουσιάζει τον μέσο και μέγιστο χρόνο αναμονής σε κάθε ουρά, καθώς και τον μέσο και

μέγιστο αριθμό οχημάτων (οντοτήτων) σε κάθε ουρά, ανάλογα με τον αριθμό και τον τύπο της καμπίνας.

Καμπίνα	Οχήματα	Αναμονή AVG (s)	Μέγιστη αναμονή (s)	Μήκος Ουράς AVG (οχήματα)	Μέγιστο μήκος ουράς (οχήματα)
APM1	105	0,89	51,59	0,0052	2
APM2	0	0,00	0,00	0,0000	0
ETC1	2211	0,07	3,00	0,0089	3
ETC2	18	0,05	0,99	0,0000	1
MTC1	926	15,07	207,54	0,7758	7
MTC2	886	12,79	205,67	0,6301	7
MTC3	818	12,73	183,48	0,5785	6
MTC4	779	10,25	228,20	0,4450	6

Πίνακας 4.16 Χρόνοι αναμονής και μήκη ουρών ανά καμπίνα διοδίων

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι στις χειροκίνητες καμπίνες (MTC1 έως MTC4), ο μέσος χρόνος αναμονής στην ουρά κυμαίνεται μεταξύ 10,25 – 15,07 δευτερολέπτων ενώ η μέγιστη τιμή αναμονής φτάνει έως και 228 δευτερόλεπτα (3,8 λεπτά). Επιπλέον, ο μέσος αριθμός οχημάτων σε αναμονή (μήκος ουράς) είναι από 0,445 έως 0,77 οχήματα (λιγότερο από 1 όχημα), με μέγιστο μήκος ουράς 6-7 οχήματα. Αυτό υποδηλώνει ότι, παρόλο που η μέση αναμονή είναι μικρή, σε περιόδους αιχμής μπορεί να υπάρξει σημαντική καθυστέρηση. Αντίθετα, οι αυτόματες (APM) και οι ETC καμπίνες λειτουργούν σχεδόν χωρίς καθυστερήσεις, με μηδενικό ή αμελητέο χρόνο αναμονής.

Στη συνέχεια θα εξετάσουμε τα ποσοστά χρησιμοποίησης των πόρων, τα αποτελέσματα των οποίων φαίνονται στον Πίνακα 4.17. Οι χειροκίνητες καμπίνες (MTC1-MTC4) παρουσιάζουν υψηλά ποσοστά χρήσης. Η MTC1 έχει το υψηλότερο ποσοστό (74,35%) και εξυπηρετεί 927 οχήματα. Οι υπόλοιπες (MTC2, MTC3, MTC4) βρίσκονται κοντά, με 69,83%, 66,86% και 62,64% αντίστοιχα. Αυτό υποδηλώνει ότι οι χειροκίνητες καμπίνες είναι ο κύριος πόλος εξυπηρέτησης στον σταθμό, πιθανώς λόγω μεγαλύτερης διαθεσιμότητας ή προτίμησης από τους οδηγούς.

Καμπίνα	Οχήματα	Ποσοστό χρησιμοποίησης
APM1	105	7,48%
APM2	0	0,01%
ETC1	2211	12,29%
ETC2	18	0,10%
MTC1	927	74,35%
MTC2	887	69,83%

MTC3	818	66,86%
MTC4	779	62,64%

Πίνακας 4.17 Ποσοστά χρησιμοποίησης πόρων ανά καμπίνα διοδίων

Αξίζει να σημειωθεί ότι στο μοντέλο προσομοίωσης χρησιμοποιήθηκε χρόνος εξυπηρέτησης 1 δευτερολέπτο για τις καμπίνες ETC, μόνο για να αναπαρασταθεί το άνοιγμα της μπάρας, όταν στην πραγματικότητα δεν υπάρχει πόρος ή ανθρώπινη παρέμβαση. Επομένως, παρά τα χαμηλά ποσοστά που καταγράφηκαν, δεν αναμένεται να υπάρχει ποσοστό απασχόλησης των εισπρακτόρων σε αυτές τις καμπίνες. Τέλος στις καμπίνες APM εξυπηρετήθηκαν σαφώς λιγότερα οχήματα.

4.5.4 Αξιολόγηση της λειτουργικής απόδοσης του σταθμού διοδίων Κλειδίου

Για την αξιολόγηση της λειτουργικής απόδοσης του σταθμού διοδίων Κλειδίου, στο υφιστάμενο σενάριο για την περίοδο αιχμής, θα χρησιμοποιηθούν τα μέτρα απόδοσης σταθμών διοδίων που αναφέρονται στο Κεφάλαιο 2. Τα μέτρα αυτά λειτουργούν ως εργαλείο, κατά το οποίο εξετάζεται εάν τα αποτελέσματα του μοντέλου προσομοίωσης πληρούν (ή όχι) το επιθυμητό επίπεδο εξυπηρέτησης. Συγκεκριμένα εξετάζονται τα παρακάτω:

4.5.4.1 Μέσο μήκος της ουράς

Είναι ένα από τα πιο σημαντικά μέτρα απόδοσης σε συστήματα εξυπηρέτησης, όπως τα διόδια, τα καταστήματα ή οποιοδήποτε σύστημα ουράς. Ουσιαστικά, μετράει τον μέσο αριθμό πελατών (π.χ., οχημάτων, ανθρώπων) που περιμένουν σε μια ουρά σε μια δεδομένη χρονική περίοδο. Δείχνει πόσο "μεγάλη" είναι συνήθως η ουρά. Όσο μεγαλύτερο το μέσο μήκος ουράς, τόσο περισσότερη συμφόρηση και αναμονή βιώνουν οι χρήστες. Αντίθετα, ένα χαμηλό μέσο μήκος υποδηλώνει αποτελεσματικότερη εξυπηρέτηση. Στο υφιστάμενο σενάριο της προσομοίωσης, το μέσο μήκος ουράς όλων των καμπινών ισούται:

$$\text{Μέσο μήκος ουράς} = \frac{2,4435}{8} = 0,3054 \text{ οχήματα}$$

Η παρατηρούμενη διακύμανση του μέσου μήκους ουράς ανά καμπίνα αποκαλύπτει σημαντικές διαφορές ως προς την αποδοτικότητα των διαφόρων τύπων καμπινών. Συγκεκριμένα, οι αυτόματες καμπίνες (APM1, APM2, ETC1, ETC2) εμφανίζουν σχεδόν αμελητέο μέσο μήκος ουράς, γεγονός που αποδεικνύει την αποτελεσματικότητα της

τεχνολογίας στη μείωση των καθυστερήσεων. Από την άλλη πλευρά, οι χειροκίνητες καμπίνες (MTC1–MTC4) παρουσιάζουν εμφανώς μεγαλύτερα μήκη ουράς (έως 0,7758 οχήματα), κάτι που υποδηλώνει περιορισμένη ικανότητα διαχείρισης αιχμών και υψηλότερο φόρτο. Το συνολικό μέσο μήκος ουράς όλων των καμπινών ανέρχεται σε 0,3054 οχήματα, τιμή που καταδεικνύει πως, αν και το σύστημα λειτουργεί γενικά αποτελεσματικά, οι χειροκίνητες καμπίνες παραμένουν ο κύριος περιοριστικός παράγοντας. Ο σταθμός συνολικά αποδίδει καλά, ειδικά χάρη στις αυτόματες καμπίνες, οι οποίες σχεδόν εξαλείφουν την αναμονή.

4.5.4.2 Μέσος χρόνος καθυστέρησης ανά όχημα

Η συγκεκριμένη κατάσταση αντιστοιχεί στον μέσο χρόνο παραμονής στο σύστημα, που προκύπτει ως άθροισμα του χρόνου εξυπηρέτησης και του χρόνου αναμονής στην ουράς και εκφράζει το πόσο συνολικά καθυστερεί το όχημα για την πληρωμή.

Κατηγορία οχήματος	Χρόνος εξυπηρέτησης (s)	Χρόνος αναμονής (s)	Μέσος χρόνος καθυστέρησης (s)
CAT1	12,46	13,98	26,44
CAT2	8,62	8,22	16,84
CAT3	20,08	4,18	24,26
CAT4	8,2	1,43	9,63

Πίνακας 4.18 Μέσος χρόνος καθυστέρησης ανά κατηγορία οχήματος

Η κατηγορία CAT4 έχει τον μικρότερο μέσο χρόνο καθυστέρησης (9,63 s), πράγμα που δείχνει πολύ καλή ροή για αυτήν την κατηγορία. Η CAT2 επίσης έχει ικανοποιητική απόδοση με 16,84 s μέσο χρόνο καθυστέρησης. Η CAT1 και ιδιαίτερα η CAT3 έχουν λίγο μεγαλύτερες καθυστερήσεις, ειδικά η CAT1 με 26,44 s. Ο σταθμός φαίνεται να λειτουργεί αρκετά καλά για τα περισσότερα οχήματα.

4.5.4.3 Ροή οχημάτων ανά λωρίδα (throughput)

Το throughput εκφράζει τον ρυθμό διέλευσης οχημάτων ανά ώρα (οχήματα/ώρα) από έναν σταθμό διοδίων ή από μεμονωμένες λωρίδες εξυπηρέτησης. Ουσιαστικά, μετράει πόσα οχήματα εξυπηρετούνται σε μια δεδομένη χρονική περίοδο και δείχνει την αποδοτικότητα της υποδομής. Στην πράξη, το throughput αντικατοπτρίζει: το φόρτο εργασίας που μπορεί να διαχειριστεί ο σταθμός χωρίς καθυστερήσεις, την ικανότητα των λωρίδων (καμπινών) να εξυπηρετούν την κυκλοφορία σε περιόδους αιχμής και τη διαχείριση της κυκλοφορίας σε

σχέση με τη διαθέσιμη χωρητικότητα. Είναι κρίσιμο μέγεθος σε αξιολογήσεις επιπέδου εξυπηρέτησης, καθώς σχετίζεται άμεσα με τον λόγο όγκος / χωρητικότητα (V/C). Όσο υψηλότερο το throughput (χωρίς να υπερβαίνει τη χωρητικότητα), τόσο καλύτερη η αποδοτικότητα και το επίπεδο εξυπηρέτησης του σταθμού.

Η αξιολόγηση της ροής οχημάτων ανά λωρίδα (throughput) βασίστηκε στην πραγματική μέτρηση της περιόδου 10:00–15:00, όπου συνολικά 5.796 οχήματα εξυπηρετήθηκαν από τον σταθμό. Αυτό αντιστοιχεί σε μέσο ρυθμό 1.160 οχημάτων ανά ώρα, με τον υπολογισμό να γίνεται βάσει του συνολικού αριθμού οχημάτων που διήλθαν (5.796) δια του συνολικού χρόνου παρατήρησης (5 ώρες). Ο σταθμός του Κλειδίου, εφοδιασμένος με 8 λωρίδες (2 APM, 2 ETC και 4 MTC), διαθέτει θεωρητική χωρητικότητα 3.600 οχημάτων ανά ώρα (600 οχήματα/ώρα από APM, 1.800 οχήματα/ώρα από ETC και 1.200 οχήματα/ώρα από MTC). Το γεγονός ότι η πραγματική ροή κατά την περίοδο αιχμής αποτελεί μόλις το 32% της συνολικής χωρητικότητας, αποδεικνύει πως η λειτουργία του σταθμού είναι ιδιαίτερα ομαλή και αποδοτική, κατατάσσοντας τη ροή στο υψηλό επίπεδο εξυπηρέτησης και επιβεβαιώνοντας την απουσία συμφόρησης ή περιορισμών.

4.5.5 Καθορισμός μελλοντικών σεναρίων με προβλέψεις κυκλοφορίας

Διαπιστώθηκε ότι ο σταθμός διοδίων του Κλειδίου βρίσκεται σε καλή κατάσταση λειτουργίας στο υφιστάμενο σενάριο, που αφορά τον Αύγουστο του 2024. Κατά την περίοδο αυτή, τα μέτρα απόδοσης έδειξαν ότι η ροή των οχημάτων ήταν μικρότερη από την ικανότητα εξυπηρέτησης του σταθμού, γεγονός που σημαίνει ότι δεν υπάρχει ανάγκη για άμεση υλοποίηση εναλλακτικών παρεμβάσεων στο σύστημα. Ωστόσο, ορίστηκαν μελλοντικά σενάρια με βάση προβολές της κυκλοφορίας, οι οποίες βασίζονται στα υπάρχοντα δεδομένα, ώστε να προβλεφθεί το μελλοντικό επίπεδο εξυπηρέτησης του σταθμού.

Ο Πίνακας 4.19 παρουσιάζει τα υφιστάμενα δεδομένα κυκλοφορίας του σταθμού διοδίων Κλειδίου για τα έτη 2010-2024, στη νότια κατεύθυνση ανά κατηγορία οχήματος, καθώς και τους αντίστοιχους παράγοντες επέκτασης της κυκλοφορίας.

Year	Trans CAT1	Expansion Factor CAT1	Trans CAT2	Expansion Factor CAT2	Trans CAT3	Expansion Factor CAT3	Trans CAT4	Expansion Factor CAT4
2010	32.476	41,54%	3.441.370	-7,54%	291.597	2,10%	324.156	17,36%
2011	45.968	-8,86%	3.181.745	-11,93%	297.728	-12,03%	380.434	-5,92%
2012	41.895	-49,76%	2.802.177	-13,07%	261.899	-14,00%	357.901	-17,99%
2013	21.049	-23,92%	2.436.003	-6,56%	225.222	-3,33%	293.520	-4,76%

2014	16.015	-0,22%	2.276.169	1,48%	217.712	6,35%	279.560	5,07%
2015	15.979	6,16%	2.309.898	2,91%	231.532	-3,51%	293.722	8,72%
2016	16.964	3,94%	2.377.071	7,72%	223.415	7,09%	319.339	9,58%
2017	17.632	1,99%	2.560.573	4,04%	239.265	8,85%	349.947	9,77%
2018	17.983	6,44%	2.663.977	2,63%	260.440	5,38%	384.132	3,42%
2019	19.142	-29,66%	2.734.089	-30,63%	274.462	-18,76%	397.278	-0,32%
2020	13.465	13,47%	1.896.694	16,24%	222.985	11,81%	396.014	13,28%
2021	15.279	17,39%	2.204.660	19,65%	249.312	11,21%	448.596	4,21%
2022	17.936	17,42%	2.637.880	10,14%	277.264	7,89%	467.488	-0,31%
2023	21.061	25,79%	2.905.428	5,46%	299.151	6,64%	466.031	9,14%
2024	26.493		3.064.097		319.019		508.633	

Πίνακας 4.19 Παράγοντες επέκτασης της κυκλοφορίας ανά κατηγορία οχήματος

Ο παράγοντας επέκτασης (expansion factor) υπολογίζεται ως το ποσοστό μεταβολής του ετήσιου όγκου κυκλοφορίας σε σύγκριση με το προηγούμενο έτος και εκφράζει τον μέσο ετήσιο ρυθμός αύξησης της κυκλοφορίας.

$$Expansion\ Factor = \left(\frac{Τρέχων\ έτος}{Προηγούμενο\ έτος} - 1 \right) \times 100\%$$

Στον Πίνακα 4.20 παρουσιάζονται τα δεδομένα κυκλοφορίας από τον Ιανουάριο του 2024 έως τον Δεκέμβριο του 2024, καθώς και οι παράγοντες επέκτασης της κυκλοφορίας για κάθε έτος και ανά κατηγορία οχήματος. Επιλέχθηκε να μην χρησιμοποιηθούν στην προσομοίωση του μελλοντικού σεναρίου, τα ετήσια δεδομένα, καθώς παρατηρούνται σημαντικές μειώσεις στους ρυθμούς, εξαιτίας της οικονομικής κρίσης και της πανδημίας COVID-19 που επηρέασαν τους δείκτες αυτούς. Βάσει των στόχων της παρούσας εργασίας, που εξετάζει τα μέτρα απόδοσης του σταθμού διοδίων Κλειδίου σε περιόδους υψηλής κυκλοφοριακής συμφόρησης, θα υπολογιστούν οι προβολές της κυκλοφορίας στην ίδια περίοδο αιχμής που εξετάστηκε στο υφιστάμενο σενάριο.

Έτσι λοιπόν από την ανάλυση των ωριαίων δεδομένων κυκλοφορίας για τον μήνα Αύγουστο για τα έτη 2021,2022,2023 και 2024, εξήχθησαν οι μέσοι όροι των διελεύσεων ανά κατηγορία οχήματος στην περίοδο αιχμής (10:00 – 15:00) για το σταθμό διοδίων Κλειδίου στη νότια Κατεύθυνση. Στη συνέχεια υπολογίστηκε ο μέσος ετήσιος ρυθμός αύξησης της κυκλοφορίας στην περίοδο αιχμής για κάθε κατηγορία οχήματος και τα αποτελέσματα συνοψίζονται στον Πίνακα 4.20.

10:00-15:00 AVG 08	Trans CAT1	Expansion Factor CAT1	Trans CAT2	Expansion Factor CAT2	Trans CAT3	Expansion Factor CAT3	Trans CAT4	Expansion Factor CAT4
2021	1.147	6,36%	135.662	0,96%	7.593	8,46%	10.064	12,02%

2022	1.220	27,30%	136.966	10,43%	8.235	13,28%	11.274	1,59%
2023	1.553	3,67%	151.251	3,93%	9.329	0,61%	11.453	0,02%
2024	1.610		157.189		9.386		11.455	

Πίνακας 4.20 Μέσος ετήσιος ρυθμός αύξησης της κυκλοφορίας στην περίοδο αιχμής

Για τον υπολογισμό των προβλέψεων κυκλοφορίας χρησιμοποιούνται οι growth rates (ρυθμοί αύξησης) και ειδικά ο CAGR -Compound Annual Growth Rate (Μέσος Ετήσιος Ρυθμός Αύξησης). Ο ετήσιος ρυθμός αύξησης (Annual Growth Rate) δείχνει το ποσοστό μεταβολής ενός μεγέθους από τη μία χρονιά στην επόμενη δηλαδή περιγράφει πόσο αυξήθηκε ή μειώθηκε το μέγεθος (π.χ. διελεύσεις κλπ.) από ένα έτος στο επόμενο, εκφρασμένο σε ποσοστό.

Ετήσιος Ρυθμός Αύξησης (Annual Growth Rate):

$$Annual\ Growth\ Rate\ (\%) = \left(\frac{Τιμή\ (έτος\ N)}{Τιμή\ (έτος\ N - 1)} - 1 \right) \times 100$$

Ο μέσος ετήσιος ρυθμός ανάπτυξης (CAGR) δείχνει το μέσο ποσοστό αύξησης ενός μεγέθους (π.χ. διελεύσεις κλπ.) κατά την περίοδο από την αρχική χρονιά έως την τελική χρονιά (π.χ. 2021–2024) και δίνει μια συνολική εικόνα μακροπρόθεσμης τάσης, ανεξάρτητα από αυξομειώσεις ενδιάμεσα.

Ο CAGR (Compound Annual Growth Rate):

$$CAGR = \left(\frac{Τελική\ Τιμή}{Αρχική\ Τιμή} \right)^{\frac{1}{Αριθμός\ Ετών}} - 1$$

Για την πρόβλεψη μιας μελλοντικής τιμής, γνωρίζοντας το CAGR και την τελευταία διαθέσιμη τιμή, ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$Μελλοντική\ Τιμή = Τελευταία\ Τιμή \times (1 + CAGR)^{Αριθμός\ Ετών}$$

Κατηγορία	Αρχική Τιμή 2021	Τελική Τιμή 2024	CAGR
CAT1	1.147	1.610	11,97%
CAT2	135.662	157.189	5,03%
CAT3	7.593	9.386	7,32%
CAT4	10.064	11.455	4,41%

Πίνακας 4.21 Υπολογισμός CAGR για τα έτη 2021-2024 για τον μήνα Αύγουστο στην περίοδο αιχμής

Έχοντας υπολογίσει τον CAGR, στη συνέχεια θα υπολογιστεί η προβολή της κυκλοφορίας, ανά έτος και ανά κατηγορία οχήματος, έως το έτος 2038 που αποτελεί το τέλος

της σύμβασης παραχώρησης της Αυτοκινητόδρομος Αιγαίου Α.Ε.. Στον Πίνακα 4.22, απεικονίζονται οι μελλοντικές προβλέψεις.

Year	Projected CAT1	Projected CAT2	Projected CAT3	Projected CAT4
2024	1.610	157.189	9.386	11.455
2025	1.803	165.096	10.073	11.960
2026	2.019	173.400	10.810	12.488
2027	2.260	182.122	11.602	13.038
2028	2.531	191.283	12.451	13.613
2029	2.834	200.904	13.362	14.214
2030	3.173	211.010	14.341	14.840
2031	3.553	221.623	15.390	15.495
2032	3.978	232.771	16.517	16.178
2033	4.454	244.479	17.726	16.892
2034	4.987	256.777	19.023	17.637
2035	5.584	269.693	20.416	18.414
2036	6.252	283.258	21.910	19.227
2037	7.001	297.506	23.514	20.074
2038	7.839	312.471	25.235	20.960

Πίνακας 4.22 Μελλοντικές προβλέψεις κυκλοφορίας για τον μήνα Αύγουστο στην περίοδο αιχμής

Όπως και στο υφιστάμενο σενάριο, χρησιμοποιήθηκε η εκθετική κατανομή (EXPO) για τον υπολογισμό των χρόνων μεταξύ των αφίξεων. Για το μελλοντικό σενάριο, λήφθηκαν υπόψη όλα τα δεδομένα του συστήματος που προέκυψαν από το Βήμα Ι – Χαρακτηρισμός του σταθμού διοδίων και ανάλυση δεδομένων, με εξαίρεση τη μεταβλητή των αφίξεων, η οποία αναπροσαρμόστηκε στις μελλοντικές τιμές. Αυτά τα δεδομένα ενσωματώθηκαν στο ίδιο μοντέλο προσομοίωσης που χρησιμοποιήθηκε και στο υφιστάμενο σενάριο, με την ίδια διαμόρφωση του σταθμού. Τα δεδομένα που αφορούν τις μεταβλητές εισόδου για τη προσομοίωση του μελλοντικού σεναρίου στο Arena, βρίσκονται στον παρακάτω πίνακα.

Κατηγορία οχήματος	Χρόνος μεταξύ των αφίξεων (λεπτά ανά όχημα)	Χρόνος εξυπηρέτησης (δευτερόλεπτα ανά όχημα)	Ποσοστό επιλογής καμπινών (%)		
			MTC	ETC	APM
CAT1	EXPO(1.1864)	1.5 + LOGN(11, 9.12)	98,84%	0,90%	0,26%
CAT2	EXPO(0.0298)	1.5 + LOGN(11, 9.12)	63,59%	34,34%	2,07%
CAT3	EXPO(0.3685)	5 + ERLA(20, 3)	30,12%	69,88%	0,00%
CAT4	EXPO(0.4437)	5 + ERLA(20, 3)	11,95%	88,05%	0,00%

Πίνακας 4.23 Μεταβλητές εισόδου του μοντέλου προσομοίωσης για το μελλοντικό σενάριο προσομοίωσης για το έτος 2038

4.5.5.1 Προσομοίωση της κυκλοφορίας για το έτος 2038.

Η αξιολόγηση της λειτουργικής απόδοσης του σταθμού Κλειδίου για το 2038 στηρίχθηκε στα αποτελέσματα του μοντέλου προσομοίωσης από το Arena που από το Arena που βρίσκονται στο **Παράρτημα 15. Αποτελέσματα προσομοίωσης μελλοντικού σεναρίου** και συγκρίθηκε με τα δεδομένα της περιόδου αιχμής (10:00–15:00) της μελλοντικής πρόβλεψης της κυκλοφορίας.

Αποτελέσματα Entities Arena			
Κατηγορία οχήματος	Entity Number In (Arena)	Entity Number out (Arena)	Ροή οχημάτων (10:00 - 15:00) Πραγματική
CAT1	247	173	253
CAT2	10.035	7.990	10.080
CAT3	830	749	814
CAT4	685	661	676
Σύνολο (οχήματα)	11.797	9.573	11.823

Χρόνοι εξυπηρέτησης, αναμονής και μετακίνησης ανά κατηγορία οχήματος					
Κατηγορία οχήματος	Αριθμός οχημάτων	Χρόνος εξυπηρέτηση (s)	Χρόνος αναμονής (s)	Χρόνος μετακίνησης (s)	Συνολικός χρόνος (s)
CAT1	173	12,04	2.700,93	43,60	2.756,56
CAT2	7.990	7,59	1.504,29	37,06	1.548,94
CAT3	749	15,62	610,13	31,65	657,40
CAT4	661	6,72	250,73	29,46	286,91

Χρόνοι αναμονής και μήκη ουρών ανά καμπίνα διοδίων					
Καμπίνα	Αριθμός οχημάτων	Αναμονή AVG (s)	Μέγιστη αναμονή (s)	Μήκος Ουράς AVG (οχήματα)	Μέγιστο μήκος ουράς (οχήματα)
APM1	203	1,05	45,09	0	2
APM2	1	0,00	0,00	0	0
ETC1	4.445	0,16	4,29	0	5
ETC2	168	0,09	2,31	0	3
MTC1	1.192	2.747,45	6.042,40	268	569
MTC2	1.177	2.763,38	5.873,02	267	568
MTC3	1.179	2.812,24	5.563,27	267	569
MTC4	1.207	2.721,81	5.995,09	267	569

Χρησιμοποίηση πόρων ανά καμπίνα διοδίων		
Καμπίνα	Οχήματα	Ποσοστό χρησιμοποίησης
APM1	203	14,20%
APM2	1	0,11%
ETC1	4445	24,70%
ETC2	168	0,94%

MTC1	1193	99,73%
MTC2	1178	99,67%
MTC3	1180	99,72%
MTC4	1208	99,65%

Πίνακας 4.24 Αποτελέσματα προσομοίωσης μελλοντικού σεναρίου Αύγουστου 2038

Από τα αποτελέσματα παρατηρείται ότι συνολικά, 11.823 οχήματα διήλθαν από τον σταθμό, εκ των οποίων τα 9.573 καταγράφηκαν ως εξυπηρετηθέντα στην προσομοίωση. Η διαφορά μεταξύ πραγματικής και προσομοιωμένης ροής ενδέχεται να σχετίζεται με παραμέτρους του μοντέλου (π.χ. ουρές, «εγκλωβισμένα οχήματα» στο σύστημα κ.λπ.).

Για το μέσο χρόνο καθυστέρησης ανά κατηγορία οχήματος, τα δεδομένα δείχνουν πολύ υψηλούς χρόνους αναμονής για τις κατηγορίες οχημάτων που εξυπηρετούνται από τις χειροκίνητες καμπίνες. Ειδικότερα:

Κατηγορία Οχήματος	Χρόνος Εξυπηρέτησης (s)	Χρόνος Αναμονής (s)	Συνολικός Χρόνος (s)
CAT1	12,04	2.700,93	2.756,56
CAT2	7,59	1.504,29	1.548,94
CAT3	15,62	610,13	657,4
CAT4	6,72	250,73	286,91

Πίνακας 4.25 Μέσος χρόνος καθυστέρησης ανά κατηγορία οχήματος

Είναι εμφανές ότι οι κατηγορίες CAT1 και CAT2 αντιμετωπίζουν σημαντικές καθυστερήσεις, κυρίως λόγω της μεγάλης συμφόρησης στις χειροκίνητες καμπίνες (MTC). Η CAT4 έχει τον χαμηλότερο μέσο συνολικό χρόνο (286,91 s), ενώ η CAT1 καταγράφει τον υψηλότερο (2.756,56 s).

Για το μέσο μήκος ουράς, τα αποτελέσματα δείχνουν εξαιρετικά έντονη συμφόρηση στις χειροκίνητες καμπίνες (MTC1–MTC4), με μέσο μήκος 267–268 οχήματα. Αντίθετα, οι αυτόματες καμπίνες (APM1, APM2, ETC1, ETC2) παρουσιάζουν σχεδόν μηδενικό μέσο μήκος ουράς. Αυτό το χάσμα τονίζει την αναποτελεσματικότητα των χειροκίνητων καμπινών υπό υψηλό φόρτο και την αποτελεσματικότητα των αυτόματων συστημάτων. Αν αθροίσουμε τα μήκη ουράς και το διαιρέσουμε με τον συνολικό αριθμό καμπινών, το μέσο μήκος ουράς όλων των καμπινών είναι περίπου 134 οχήματα, γεγονός που καταδεικνύει σοβαρή συμφόρηση στις MTC καμπίνες.

Η θεωρητική χωρητικότητα εξαρτάται από τις καμπίνες και παραμένει ίδια με το έτος 2024 επειδή δεν άλλαξε η διαμόρφωση των καμπινών του σταθμού. Κατά την περίοδο αιχμής (10:00–15:00), τα οχήματα που εξυπηρετήθηκαν βάσει της προσομοίωσης είναι 9.573 ενώ τα

πραγματικά 11.823. Το μέσο throughput του σταθμού υπολογίζεται στα 1.915 οχήματα/ώρα (9.573 οχήματα / 5 ώρες). Η πραγματική εκμετάλλευση είναι 53%, δηλαδή ο σταθμός λειτούργησε στο 53% της μέγιστης χωρητικότητάς του. Συνολικά, 2.250 οχήματα (περίπου 19%) δεν εξυπηρετήθηκαν στην περίοδο αιχμής. Αυτό αντανακλά την αδυναμία των χειροκίνητων καμπινών να ανταποκριθούν στις αιχμές ζήτησης, παρά το ότι οι αυτόματες καμπίνες είχαν διαθέσιμη δυναμικότητα.

Η αξιολόγηση της λειτουργικής απόδοσης του σταθμού Κλειδίου για το έτος 2038 κατέδειξε σημαντική υστέρηση στις χειροκίνητες καμπίνες (MTC), οι οποίες παρουσίασαν υπερβολικά μήκη ουρών (μέσος όρος 267–268 οχήματα) και εξαιρετικά μεγάλους χρόνους αναμονής (έως 2.700 δευτερόλεπτα). Αυτά τα ευρήματα αναδεικνύουν την ανάγκη για ριζική αναδιάρθρωση της διαμόρφωσης των καμπινών του σταθμού, προκειμένου να επιτευχθεί πιο ομαλή ροή, καλύτερο επίπεδο εξυπηρέτησης και συνολική αποδοτικότητα του σταθμού. Στη συνέχεια θα εξεταστεί το μελλοντικό σενάριο του 2038 με εναλλακτική διαμόρφωση των καμπινών.

4.5.5.2 Προσομοίωση της κυκλοφορίας για το έτος 2038 με εναλλακτική διαμόρφωση καμπινών

Στο δεύτερο σενάριο, προσομοιώθηκε η ίδια περίοδος αιχμής (10:00–15:00) με νέα διαμόρφωση καμπινών, η οποία περιλάμβανε 9 χειροκίνητες (MTC), 1 αυτόματη (APM) και 1 ηλεκτρονική (ETC) καμπίνα. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης από το Arena που βρίσκονται στο **Παράρτημα 16. Αποτελέσματα προσομοίωσης μελλοντικού σεναρίου με εναλλακτική διαμόρφωση καμπινών**, έδειξαν σαφή βελτίωση σε όλους τους δείκτες απόδοσης. Ο Πίνακας 4.26 συνοψίζει τα αποτελέσματα που θα χρησιμοποιηθούν, για την ανάλυση των μέτρων απόδοσης του εναλλακτικού σεναρίου.

Αποτελέσματα Entities Arena			
Κατηγορία οχήματος	Entity Number In (Arena)	Entity Number out (Arena)	Ροή οχημάτων (10:00 - 15:00) Πραγματική
CAT1	246	244	253
CAT2	10.089	10.055	10.080
CAT3	812	809	814
CAT4	674	672	676
Σύνολο (οχήματα)	11.821	11.780	11.823
Χρόνοι εξυπηρέτησης, αναμονής και μετακίνησης ανά κατηγορία οχήματος			

Κατηγορία οχήματος	Αριθμός οχημάτων	Χρόνος εξυπηρέτηση (s)	Χρόνος αναμονής (s)	Χρόνος μετακίνησης (s)	Συνολικός χρόνος (s)
CAT1	244	12,85	9,41	43,68	65,93
CAT2	10.055	8,57	6,25	38,45	53,26
CAT3	809	20,16	3,31	32,76	56,23
CAT4	672	8,68	1,42	29,92	40,02
Χρόνοι αναμονής και μήκη ουρών ανά καμπίνα διοδίων					
Καμπίνα	Αριθμός οχημάτων	Αναμονή AVG (s)	Μέγιστη αναμονή (s)	Μήκος Ουράς AVG (οχήματα)	Μέγιστο μήκος ουράς (οχήματα)
APM1	207	2,07	75,92	0	3
ETC1	4.596	0,17	4,74	0	5
MTC1	752	8,76	188,17	0	4
MTC2	721	8,57	179,65	0	4
MTC3	703	7,13	230,57	0	4
MTC4	666	7,50	256,19	0	4
MTC5	805	9,79	190,33	0	4
MTC6	775	9,64	243,61	0	4
MTC7	826	10,91	208,83	0	5
MTC8	847	11,81	272,68	0	5
MTC9	881	11,95	244,98	0	5
Χρησιμοποίηση πόρων ανά καμπίνα διοδίων					
Καμπίνα	Οχήματα	Ποσοστό χρησιμοποίησης			
APM1	207	14,96%			
ETC1	4596	25,53%			
MTC1	752	61,76%			
MTC2	722	60,89%			
MTC3	703	58,03%			
MTC4	667	55,83%			
MTC5	805	66,07%			
MTC6	775	64,51%			
MTC7	827	68,88%			
MTC8	848	70,90%			
MTC9	822	72,80%			

Πίνακας 4.26 Αποτελέσματα προσομοίωσης μελλοντικού σεναρίου Αύγουστου 2038 με εναλλακτική διαμόρφωση καμπινών

Η προσθήκη επιπλέον χειροκίνητων καμπινών (από 4 σε 9) είχε ουσιαστικό αντίκτυπο στη συνολική λειτουργική απόδοση του σταθμού Κλειδίου. Συγκρίνοντας τα δεδομένα του νέου σεναρίου με τα προηγούμενα, παρατηρείται σημαντική βελτίωση σε όλα τα μέτρα απόδοσης.

Για τη ροή οχημάτων (Throughput) η προσομοίωση δείχνει ότι σχεδόν όλα τα οχήματα που κατέφθασαν (11.821), εξυπηρετήθηκαν (11.780), γεγονός που καταδεικνύει ότι το νέο σύστημα λειτουργεί με σχεδόν καθολική εξυπηρέτηση. Το μέσο Throughput έφτασε τα 2.356 οχήματα/ώρα (11.780 / 5 ώρες), δηλαδή σχεδόν το 65% της θεωρητικής χωρητικότητας (3.600 οχήματα/ώρα), επιβεβαιώνοντας την επάρκεια της νέας διάταξης.

Οι μέσοι συνολικοί χρόνοι καθυστέρησης μειώθηκαν δραστικά για όλες τις κατηγορίες οχημάτων σε σύγκριση με το προηγούμενο σενάριο. Αυτή η βελτίωση επιβεβαιώνει την αποτελεσματικότητα της αύξησης των MTC καμπινών. Ενδεικτικά:

Κατηγορία Οχήματος	Μέσος Συνολικός Χρόνος Καθυστερήσης 4MTC - 2APM - 2ETC	Μέσος Συνολικός Χρόνος Καθυστερήσης 9MTC - 1APM - 1ETC
CAT1	2.756 s	65,9 s
CAT2	1.548 s	53,3 s
CAT3	657 s	56,2 s
CAT4	286 s	40 s

Πίνακας 4.27 Μέσοι συνολικοί χρόνοι καθυστέρησης

Όσον αφορά το μέσο μήκος ουράς, όλες οι καμπίνες (συμπεριλαμβανομένων των 9 MTC) κατέγραψαν μηδενικό. Αυτό σημαίνει ότι η προσθήκη MTC καμπινών είχε άμεσο αποτέλεσμα, απορρόφησε τη ζήτηση και εξάλειψε πλήρως τη συμφόρηση που παρατηρούνταν με την προηγούμενη διαμόρφωση.

Η προσθήκη νέων χειροκίνητων καμπινών (MTC) βελτίωσε θεαματικά τη λειτουργική απόδοση του σταθμού Κλειδίου, εξαλείφοντας τις ουρές και μειώνοντας τους χρόνους καθυστέρησης σε όλα τα επίπεδα. Η συνολική εικόνα υποδηλώνει ένα υψηλό επίπεδο εξυπηρέτησης, που μπορεί να ανταποκριθεί σε μελλοντική αύξηση της κυκλοφορίας χωρίς σοβαρούς περιορισμούς. Το παράδειγμα αυτό τεκμηριώνει τη σημασία της κατάλληλης ανακατανομής καμπινών, ενισχύοντας τις MTC όπου απαιτείται, ώστε να επιτυγχάνεται αποτελεσματική και αποδοτική εξυπηρέτηση για όλα τα οχήματα.

4.5.6 Προοπτικές εφαρμογής εναλλακτικών παρεμβάσεων

Η προσομοίωση του σεναρίου κυκλοφορίας για το έτος 2038, με τη διατήρηση της διαμόρφωσης καμπινών όπως αυτή του 2024 (4 MTC - 2 APM - 2 ETC), ανέδειξε τις χειρότερες τιμές στους δείκτες λειτουργικής απόδοσης. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκαν υπερβολικοί χρόνοι αναμονής και μήκη ουράς, ιδίως για τις κατηγορίες οχημάτων που εξυπηρετούνται αποκλειστικά από τις χειροκίνητες καμπίνες (CAT1, CAT2).

Ωστόσο, στην προσομοίωση με εναλλακτική διαμόρφωση (9 MTC - 1 APM - 1 ETC), η λειτουργική απόδοση του σταθμού βελτιώθηκε θεαματικά. Οι ουρές ουσιαστικά εκμηδενίστηκαν και το επίπεδο εξυπηρέτησης παρέμεινε υψηλό ακόμη και με αυξημένη κυκλοφοριακή ζήτηση. Συνεπώς, εκτιμάται ότι το σύστημα λειτουργεί σε ικανοποιητικό επίπεδο και ότι η κατάσταση αυτή θα συνεχίσει να είναι αποδεκτή έως και το τέλος της περιόδου παραχώρησης, χωρίς να καθίσταται απαραίτητη η άμεση εφαρμογή ριζικών παρεμβάσεων.

Παρά ταύτα, στο πλαίσιο διερεύνησης εναλλακτικών σεναρίων και για λόγους σύγκρισης, εξετάστηκε η επίδοση του συστήματος διοδίων σε περίπτωση υιοθέτησης τεχνολογίας ελεύθερης ροής (free-flow). Ωστόσο, και μόνο για λόγους σύγκρισης σεναρίων, υπολογίστηκε ο μέσος συνολικός χρόνος διέλευσης από τον σταθμό διοδίων του Κλειδίου σε περίπτωση που η χρέωση πραγματοποιούνταν μέσω τεχνολογίας ελεύθερης ροής (free-flow). Ανάμεσα στις δυνατές εναλλακτικές παρεμβάσεις, επιλέχθηκε η μέθοδος διοδίων free-flow, καθώς προσφέρει τη μεγαλύτερη επιχειρησιακή δυνατότητα εκτέλεσης χρεώσεων χωρίς στάση. Για τον σκοπό αυτό, λήφθηκε υπόψη:

- το μήκος του σταθμού διοδίων (500 μέτρα) και
- το όριο ταχύτητας εκτός της περιοχής διοδίων (120 km/h),

προκειμένου να υπολογιστεί ο χρόνος που απαιτείται για να διανυθεί η απόσταση αυτή με σταθερή ταχύτητα, δηλαδή ο χρόνος διέλευσης από την περιοχή αν η χρέωση εφαρμοζόταν με τεχνολογία free-flow.

Ο Πίνακας 4.28 παρουσιάζει τα αποτελέσματα που προέκυψαν για το σενάριο free-flow καθώς και τη σύγκριση των σεναρίων με βάση τον μέσο συνολικό χρόνο παραμονής στον σταθμό διοδίων.

Κατηγορία οχήματος	Μέσος συνολικός χρόνος παραμονής σταθμό διοδίων (s)			
	Υφιστάμενο σενάριο 2024	Μελλοντικό σενάριο 2038 (εναλλακτική διαμόρφωση)	Σύστημα με free-flow	Διαφορά με 2024
CAT1	69,94	65,93	15	54,94
CAT2	55,32	53,26	15	40,32
CAT3	57,16	56,23	15	42,16
CAT4	39,46	40,02	15	24,46

Πίνακας 4.28 Μέσος συνολικός χρόνος παραμονής σταθμό διοδίων

Η υιοθέτηση της τεχνολογίας free-flow οδηγεί σε εντυπωσιακή μείωση του χρόνου διέλευσης.

- Για το υφιστάμενο σενάριο (2024), η μέση μείωση ανέρχεται σε 43 δευτερόλεπτα, ποσοστό περίπου 72%.

- Για το μελλοντικό σενάριο (2038 – νέα διάταξη), η μέση μείωση είναι πάνω από 41 δευτερόλεπτα, δηλαδή 71% περίπου.

Τα ποσοστά αυτά επιβεβαιώνουν την εξαιρετική επιχειρησιακή αποδοτικότητα που προσφέρει το σύστημα free-flow έναντι των συμβατικών μεθόδων χρέωσης. Από την άλλη πλευρά, για την επιτυχή εφαρμογή και λειτουργία ενός συστήματος διοδίων ανοικτού τύπου (free-flow), είναι απαραίτητο να εξεταστούν τα κόστη εγκατάστασης που συνδέονται με την τεχνολογία αυτή, καθώς και να διασφαλιστεί η αποτελεσματική επιτήρηση για την αντιμετώπιση πιθανών παραβιάσεων του συστήματος.

5 Συμπεράσματα

Τα προγράμματα παραχώρησης αυτοκινητοδρόμων ξεκίνησαν τη δεκαετία του 2000, ως εναλλακτική λύση στην έλλειψη κρατικών πόρων για τη συντήρηση, αναβάθμιση και επέκταση του εθνικού οδικού δικτύου. Η επέκταση αυτών των προγραμμάτων συνοδεύτηκε από τη συνεχή εγκατάσταση σταθμών διοδίων, παράλληλα με τη ραγδαία αύξηση του στόλου οχημάτων. Παρότι συνέβαλαν ουσιαστικά στη βελτίωση της λειτουργίας και της κατάστασης των οδών, τα προγράμματα παραχώρησης συχνά επικρίθηκαν λόγω της είσπραξης διοδίων σε καθορισμένα σημεία του δρόμου.

Οι σταθμοί διοδίων εμπεριέχουν πολυάριθμα στοιχεία, όπως προσωπικό είσπραξης, υποστηρικτικές ομάδες, εγκαταστάσεις λειτουργίας και συντήρησης κ.ά. Συχνά, αποτελούν σημεία συμφόρησης, λόγω της άμεσης αλληλεπίδρασης με τον χρήστη κατά την είσπραξη. Στο πλαίσιο μιας παραχώρησης, αναμένεται από την παραχωρησιούχο εταιρεία να συμμορφώνεται με τα επιχειρησιακά πρότυπα απόδοσης που προβλέπονται στη σύμβαση, εξασφαλίζοντας επαρκές επίπεδο εξυπηρέτησης. Παράλληλα, επισημαίνεται η ανάγκη για περισσότερες μελέτες και δεδομένα που θα επιτρέψουν αποτελεσματικότερη διαχείριση από τους φορείς μεταφορών και τους χρήστες.

Στη Ελλάδα, δεν εφαρμόζονται σε όλες τις παραχωρήσεις μετρήσεις επιχειρησιακής απόδοσης που να σχετίζονται με τους σταθμούς διοδίων. Επιπλέον, δεν υπάρχει σχετική βιβλιογραφία που να ασχολείται με τις εν λόγω υποδομές. Γι' αυτό προτάθηκε η ανάπτυξη μιας μεθοδολογικής διαδικασίας για την αξιολόγηση της απόδοσης ενός σταθμού διοδίων και για την εκτίμηση της αναγκαιότητας εναλλακτικών παρεμβάσεων. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει μοντελοποίηση μέσω προσομοίωσης και σύγκριση των αποτελεσμάτων με δείκτες απόδοσης που προτείνονται στη βιβλιογραφία, με έμφαση στο επίπεδο εξυπηρέτησης. Η θεωρητική βάση που αναπτύχθηκε αποτέλεσε πυλώνα για τον σχεδιασμό του προτεινόμενου πλαισίου, το οποίο μπορεί να εφαρμοστεί σε παραχωρημένους αυτοκινητόδρομους και να αποτελέσει πρακτικό οδηγό για τις παραχωρησιούχες εταιρείες. Τυχόν περιορισμοί ή σημεία προς βελτίωση παρατίθενται στη συνέχεια.

Σκοπός είναι τα αποτελέσματα να αξιοποιηθούν ως εργαλεία διαχείρισης από τους αρμόδιους φορείς για τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων. Για την εφαρμογή της της

μεθοδολογίας, πραγματοποιήθηκε μελέτη περίπτωσης στη νότια κατεύθυνση του μετωπικού σταθμού διοδίων Κλειδίου.

Για λόγους συγκριτικής αξιολόγησης, υπολογίστηκε ο μέσος χρόνος διέλευσης αν εφαρμοζόταν σύστημα διοδίων τύπου free-flow. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στο σενάριο του 2024, το free-flow θα μείωνε τον χρόνο κατά 72%, ενώ στο σενάριο του 2038, η μείωση θα ήταν 71%.

Άρα, η χρήση συστήματος διοδίων free-flow αποτελεί την αποδοτικότερη επιλογή από άποψη λειτουργικής απόδοσης, ωστόσο, η εφαρμογή του απαιτεί:

- ανάλυση κόστους της εγκατάστασης,
- μηχανισμούς ελέγχου παραβάσεων.
- λύσεις για χειροκίνητη είσπραξη με μετρητά ή κάρτα.

Συστάσεις για μελλοντική έρευνα

Για την περαιτέρω αξιοποίηση και βελτίωση της παρούσας εργασίας, προτείνονται οι εξής μελλοντικές κατευθύνσεις:

- εφαρμογή της προσομοίωσης σε άλλο λογισμικό, για διασταύρωση αποτελεσμάτων και μελέτη της συμπεριφοράς διαφορετικών στοιχείων του μοντέλου,
- εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας σε άλλους σταθμούς διοδίων, σε διαφορετική εταιρεία παραχώρησης, για συγκριτική αξιολόγηση.
- σύγκριση της ίδιας μελέτης με τον αντίθετο κλάδο κυκλοφορίας και με άλλους σταθμούς της ίδιας παραχώρησης,
- ενσωμάτωση στο διάγραμμα ροής της προσομοίωσης μεταβλητής χρόνου μετακίνησης ανάλογα με την κατηγορία οχήματος,
- εκπόνηση μελέτης ανάλυσης κόστους-οφέλους για τις εναλλακτικές παρεμβάσεις με βάση χωρητικότητα, κόστος ή άλλα κριτήρια,
- συσχέτιση των επιχειρησιακών μετρήσεων απόδοσης με οικονομικούς και περιβαλλοντικούς δείκτες,
- εκπόνηση ανάλυσης συνολικού κόστους διοδίου, συμπεριλαμβανομένων: του κόστους αναμονής στην ουρά, του κόστους καυσίμου και του κόστους ρύπανσης (εκπομπές ρύπων).

Παράρτημα

1. Δεδομένα κυκλοφορίας από τον Ιανουάριο του 2010 έως τον Δεκέμβριο του 2024, για το μετωπικό σταθμό Κλειδίου, ανά κατεύθυνση.

Year	Toll Station	Direction	Total	Year	Toll Station	Direction	Total	Year	Toll Station	Direction	Total	Year	Toll Station	Direction	Total
2010	Leptokarya FTP	Athens	1.766.183	2018	Leptokarya FTP	Athens	1.951.125	2010	Kleidi FTP	Thessaloniki	4.131.018	2018	Leptokarya FTP	Thessaloniki	1.886.997
2010	Moschochori FTP	Athens	1.872.433	2018	Moschochori FTP	Athens	1.716.732	2010	Pelasia FTP	Thessaloniki	2.080.391	2018	Kleidi FTP	Thessaloniki	3.332.917
2010	Pelasia FTP	Athens	2.073.509	2018	Makrychori FTP	Athens	2.076.454	2010	Moschochori FTP	Thessaloniki	1.988.597	2018	Pelasia FTP	Thessaloniki	1.469.099
2010	Makrychori FTP	Athens	1.947.515	2018	Kleidi FTP	Athens	3.326.532	2010	Leptokarya FTP	Thessaloniki	1.516.885	2018	Moschochori FTP	Thessaloniki	1.697.715
2010	Kleidi FTP	Athens	4.089.599	2018	Pelasia FTP	Athens	1.471.815	2010	Makrychori FTP	Thessaloniki	2.067.847	2018	Makrychori FTP	Thessaloniki	2.160.853
2011	Makrychori FTP	Athens	2.203.482	2019	Makrychori FTP	Athens	2.218.435	2011	Moschochori FTP	Thessaloniki	1.744.057	2019	Pelasia FTP	Thessaloniki	1.508.106
2011	Moschochori FTP	Athens	1.703.006	2019	Moschochori FTP	Athens	1.771.448	2011	Leptokarya FTP	Thessaloniki	1.749.816	2019	Kleidi FTP	Thessaloniki	3.439.158
2011	Leptokarya FTP	Athens	1.817.384	2019	Pelasia FTP	Athens	1.518.159	2011	Kleidi FTP	Thessaloniki	3.950.257	2019	Makrychori FTP	Thessaloniki	2.279.415
2011	Kleidi FTP	Athens	3.905.875	2019	Kleidi FTP	Athens	3.424.971	2011	Pelasia FTP	Thessaloniki	1.898.552	2019	Moschochori FTP	Thessaloniki	1.782.169
2011	Pelasia FTP	Athens	1.885.564	2019	Leptokarya FTP	Athens	2.035.130	2011	Makrychori FTP	Thessaloniki	2.299.001	2019	Leptokarya FTP	Thessaloniki	1.968.756
2012	Kleidi FTP	Athens	3.463.872	2020	Moschochori FTP	Athens	1.440.929	2012	Kleidi FTP	Thessaloniki	3.511.431	2020	Kleidi FTP	Thessaloniki	2.537.497
2012	Moschochori FTP	Athens	1.345.746	2020	Makrychori FTP	Athens	1.863.592	2012	Moschochori FTP	Thessaloniki	1.365.871	2020	Pelasia FTP	Thessaloniki	1.178.807
2012	Leptokarya FTP	Athens	1.462.357	2020	Kleidi FTP	Athens	2.529.158	2012	Makrychori FTP	Thessaloniki	1.889.774	2020	Moschochori FTP	Thessaloniki	1.408.035
2012	Makrychori FTP	Athens	1.788.215	2020	Pelasia FTP	Athens	1.193.089	2012	Leptokarya FTP	Thessaloniki	1.310.559	2020	Leptokarya FTP	Thessaloniki	1.541.356
2012	Pelasia FTP	Athens	1.611.684	2020	Leptokarya FTP	Athens	1.576.664	2012	Pelasia FTP	Thessaloniki	1.624.202	2020	Makrychori FTP	Thessaloniki	1.871.461
2013	Moschochori FTP	Athens	1.255.069	2021	Makrychori FTP	Athens	2.031.165	2013	Leptokarya FTP	Thessaloniki	1.521.422	2021	Kleidi FTP	Thessaloniki	2.921.345
2013	Leptokarya FTP	Athens	1.542.424	2021	Pelasia FTP	Athens	1.400.869	2013	Makrychori FTP	Thessaloniki	1.680.854	2021	Makrychori FTP	Thessaloniki	2.093.209
2013	Kleidi FTP	Athens	2.975.794	2021	Moschochori FTP	Athens	1.712.741	2013	Kleidi FTP	Thessaloniki	2.988.119	2021	Leptokarya FTP	Thessaloniki	1.764.285
2013	Makrychori FTP	Athens	1.593.535	2021	Leptokarya FTP	Athens	1.805.862	2013	Pelasia FTP	Thessaloniki	1.527.541	2021	Pelasia FTP	Thessaloniki	1.401.878
2013	Pelasia FTP	Athens	1.525.141	2021	Kleidi FTP	Athens	2.917.847	2013	Moschochori FTP	Thessaloniki	1.271.999	2021	Moschochori FTP	Thessaloniki	1.684.017
2014	Leptokarya FTP	Athens	1.556.401	2022	Makrychori FTP	Athens	2.302.408	2014	Kleidi FTP	Thessaloniki	2.794.323	2022	Pelasia FTP	Thessaloniki	1.592.973
2014	Kleidi FTP	Athens	2.789.456	2022	Pelasia FTP	Athens	1.606.323	2014	Pelasia FTP	Thessaloniki	1.286.365	2022	Kleidi FTP	Thessaloniki	3.381.212
2014	Makrychori FTP	Athens	1.578.822	2022	Moschochori FTP	Athens	1.964.900	2014	Leptokarya FTP	Thessaloniki	1.552.563	2022	Makrychori FTP	Thessaloniki	2.358.002
2014	Moschochori FTP	Athens	1.125.773	2022	Leptokarya FTP	Athens	2.080.072	2014	Makrychori FTP	Thessaloniki	1.643.172	2022	Moschochori FTP	Thessaloniki	1.937.817
2014	Pelasia FTP	Athens	1.299.225	2022	Kleidi FTP	Athens	3.400.568	2014	Moschochori FTP	Thessaloniki	1.121.172	2022	Leptokarya FTP	Thessaloniki	2.026.981
2015	Kleidi FTP	Athens	2.851.131	2023	Makrychori FTP	Athens	2.533.306	2015	Kleidi FTP	Thessaloniki	2.853.156	2023	Makrychori FTP	Thessaloniki	2.584.113
2015	Makrychori FTP	Athens	1.664.031	2023	Pelasia FTP	Athens	1.758.208	2015	Moschochori FTP	Thessaloniki	1.144.324	2023	Pelasia FTP	Thessaloniki	1.746.618
2015	Leptokarya FTP	Athens	1.707.283	2023	Moschochori FTP	Athens	2.226.839	2015	Pelasia FTP	Thessaloniki	1.285.228	2023	Leptokarya FTP	Thessaloniki	2.182.190
2015	Moschochori FTP	Athens	1.162.143	2023	Leptokarya FTP	Athens	2.235.225	2015	Makrychori FTP	Thessaloniki	1.739.393	2023	Kleidi FTP	Thessaloniki	3.686.284
2015	Pelasia FTP	Athens	1.287.140	2023	Kleidi FTP	Athens	3.691.671	2015	Leptokarya FTP	Thessaloniki	1.658.819	2023	Moschochori FTP	Thessaloniki	2.190.432
2016	Kleidi FTP	Athens	2.936.789	2024	Pelasia FTP	Athens	1.769.009	2016	Kleidi FTP	Thessaloniki	2.962.550	2024	Pelasia FTP	Thessaloniki	1.758.389
2016	Leptokarya FTP	Athens	1.768.981	2024	Leptokarya FTP	Athens	2.408.014	2016	Leptokarya FTP	Thessaloniki	1.720.961	2024	Makrychori FTP	Thessaloniki	2.776.499
2016	Pelasia FTP	Athens	1.339.384	2024	Makrychori FTP	Athens	2.734.976	2016	Pelasia FTP	Thessaloniki	1.336.622	2024	Moschochori FTP	Thessaloniki	2.253.990
2016	Makrychori FTP	Athens	1.759.971	2024	Moschochori FTP	Athens	2.297.840	2016	Makrychori FTP	Thessaloniki	1.821.007	2024	Kleidi FTP	Thessaloniki	3.900.906
2016	Moschochori FTP	Athens	1.151.974	2024	Kleidi FTP	Athens	3.918.242	2016	Moschochori FTP	Thessaloniki	1.136.750	2024	Leptokarya FTP	Thessaloniki	2.358.439
2017	Pelasia FTP	Athens	1.428.308	2025	Moschochori FTP	Athens	3.937	2017	Kleidi FTP	Thessaloniki	3.171.762	2025	Pelasia FTP	Thessaloniki	3.135
2017	Makrychori FTP	Athens	1.977.268	2025	Kleidi FTP	Athens	7.329	2017	Moschochori FTP	Thessaloniki	1.353.445	2025	Leptokarya FTP	Thessaloniki	4.544
2017	Leptokarya FTP	Athens	1.892.964	2025	Leptokarya FTP	Athens	4.378	2017	Pelasia FTP	Thessaloniki	1.421.169	2025	Makrychori FTP	Thessaloniki	5.163
2017	Moschochori FTP	Athens	1.339.618	2025	Pelasia FTP	Athens	3.101	2017	Makrychori FTP	Thessaloniki	2.094.803	2025	Moschochori FTP	Thessaloniki	3.904
2017	Kleidi FTP	Athens	3.167.417	2025	Makrychori FTP	Athens	4.793	2017	Leptokarya FTP	Thessaloniki	1.813.889	2025	Kleidi FTP	Thessaloniki	7.861

2. Μηνιαία δεδομένα κυκλοφορίας, για το μετωπικό σταθμό Κλειδίου, για το έτος 2024.

Interval : Monthly
Toll Stations : Κλειδί FTP

Year	Month	Toll Station	Transactions									Total
			MTC	APM	MTC+ APM	POS	ETC	GRITS	Payment Violations	Technical Violations	Exemptions	
2024	1	Κλειδί FTP	144.114	9.645	153.759	70.053	155.922	118.097	95	597	4.713	503.236
2024	2	Κλειδί FTP	133.270	8.382	141.652	64.620	157.397	111.296	87	579	5.986	481.617
2024	3	Κλειδί FTP	160.988	11.645	172.633	82.586	170.601	140.235	137	755	5.555	572.502
2024	4	Κλειδί FTP	154.933	9.408	164.341	79.180	172.736	127.104	97	679	5.744	549.881
2024	5	Κλειδί FTP	196.076	12.965	209.041	104.102	179.123	152.980	94	563	5.398	651.301
2024	6	Κλειδί FTP	243.579	15.841	259.420	115.970	185.596	158.067	138	1.829	4.801	725.821
2024	7	Κλειδί FTP	310.033	20.767	330.800	140.999	201.971	182.580	117	1.008	5.301	862.776
2024	8	Κλειδί FTP	354.894	24.860	379.754	155.993	182.172	197.418	105	1.012	6.339	922.793
2024	9	Κλειδί FTP	254.360	16.502	270.862	118.573	187.070	159.440	77	853	8.348	745.223
2024	10	Κλειδί FTP	180.453	14.086	194.539	95.561	193.421	159.405	57	685	7.925	651.593
2024	11	Κλειδί FTP	143.540	11.578	155.118	75.718	174.769	133.512	63	576	7.628	547.384
2024	12	Κλειδί FTP	157.783	13.279	171.062	92.339	174.981	158.925	44	550	7.120	605.021
			2.434.023	168.958	2.602.981	1.195.694	2.135.759	1.799.059	1.111	9.686	74.858	7.819.148

3. Μηνιαία δεδομένα κυκλοφορίας, για το μετωπικό σταθμό Κλειδίου, για το έτος 2024, στη νότια κατεύθυνση, ανά κατηγορία οχήματος.

Interval : Monthly
Toll Stations : Κλειδί FTP

Year	Month	Toll Station	Direction	Toll Category	Transactions									Total
					MTC	APM	MTC+ APM	POS	ETC	GRITS	Payment Violations	Technical Violations	Exemptions	
2024	1	Κλειδί FTP	Athens	CAT1	123	0	123	162	4	1	1	38	0	329
2024	1	Κλειδί FTP	Athens	CAT2	65.590	5.035	70.625	31.228	45.620	43.266	26	118	1.567	192.450
2024	1	Κλειδί FTP	Athens	CAT3	3.471	0	3.471	888	10.543	6.161	3	101	692	21.859
2024	1	Κλειδί FTP	Athens	CAT4	2.813	0	2.813	2.380	21.737	11.691	15	60	118	38.814
2024	2	Κλειδί FTP	Athens	CAT1	332	2	334	314	7	1	3	38	3	700
2024	2	Κλειδί FTP	Athens	CAT2	60.251	4.271	64.522	28.351	44.773	37.524	15	97	1.820	177.102
2024	2	Κλειδί FTP	Athens	CAT3	3.648	0	3.648	896	10.788	6.339	11	64	782	22.518
2024	2	Κλειδί FTP	Athens	CAT4	2.849	0	2.849	2.448	22.840	12.448	11	53	394	41.044
2024	3	Κλειδί FTP	Athens	CAT1	665	12	677	722	21	5	4	84	3	1.516
2024	3	Κλειδί FTP	Athens	CAT2	73.938	5.934	79.872	36.492	51.173	50.897	32	137	1.741	220.344
2024	3	Κλειδί FTP	Athens	CAT3	4.014	0	4.014	1.182	11.247	7.179	12	109	734	24.477
2024	3	Κλειδί FTP	Athens	CAT4	2.825	0	2.825	2.454	22.715	12.863	21	50	292	41.220
2024	4	Κλειδί FTP	Athens	CAT1	836	3	839	995	23	4	2	102	3	1.968
2024	4	Κλειδί FTP	Athens	CAT2	71.250	4.921	76.171	34.564	49.469	42.562	18	117	1.847	204.748
2024	4	Κλειδί FTP	Athens	CAT3	4.979	0	4.979	1.624	12.544	7.751	9	52	774	27.733
2024	4	Κλειδί FTP	Athens	CAT4	3.065	0	3.065	2.836	25.428	14.072	17	60	270	45.748
2024	5	Κλειδί FTP	Athens	CAT1	1.264	6	1.270	1.398	24	13	5	95	6	2.811
2024	5	Κλειδί FTP	Athens	CAT2	89.574	6.729	96.303	45.484	54.653	57.845	20	97	1.838	256.240
2024	5	Κλειδί FTP	Athens	CAT3	5.436	0	5.436	1.977	12.080	7.473	6	30	729	27.731
2024	5	Κλειδί FTP	Athens	CAT4	2.839	0	2.839	2.656	22.713	12.904	11	36	187	41.268
2024	6	Κλειδί FTP	Athens	CAT1	2.038	7	2.045	1.901	45	19	14	189	2	4.215
2024	6	Κλειδί FTP	Athens	CAT2	114.987	8.073	123.060	51.228	56.731	59.425	15	634	1.553	292.646
2024	6	Κλειδί FTP	Athens	CAT3	5.705	0	5.705	2.269	12.300	7.590	8	45	749	28.666
2024	6	Κλειδί FTP	Athens	CAT4	2.891	0	2.891	2.935	24.002	13.105	25	59	90	43.107
2024	7	Κλειδί FTP	Athens	CAT1	1.566	7	1.573	1.661	53	5	5	177	2	3.476
2024	7	Κλειδί FTP	Athens	CAT2	147.739	9.974	157.713	62.514	60.989	68.311	20	236	1.725	351.508
2024	7	Κλειδί FTP	Athens	CAT3	6.109	0	6.109	2.436	13.239	8.360	9	48	802	31.003
2024	7	Κλειδί FTP	Athens	CAT4	3.221	0	3.221	3.021	26.832	14.890	23	63	138	48.188
2024	8	Κλειδί FTP	Athens	CAT1	1.735	14	1.749	2.095	36	17	4	154	4	4.059
2024	8	Κλειδί FTP	Athens	CAT2	168.000	11.384	179.384	69.384	58.447	81.479	24	209	2.271	391.198
2024	8	Κλειδί FTP	Athens	CAT3	5.802	0	5.802	2.234	11.539	7.252	7	55	754	27.843
2024	8	Κλειδί FTP	Athens	CAT4	2.322	0	2.322	2.242	20.400	11.109	8	78	103	36.263
2024	9	Κλειδί FTP	Athens	CAT1	1.486	11	1.507	1.859	30	16	5	144	4	3.581
2024	9	Κλειδί FTP	Athens	CAT2	111.766	8.610	120.376	50.650	56.293	59.552	22	165	3.123	290.181
2024	9	Κλειδί FTP	Athens	CAT3	6.477	0	6.477	2.361	12.276	7.491	5	47	845	29.502
2024	9	Κλειδί FTP	Athens	CAT4	2.832	0	2.832	2.579	24.638	13.313	7	81	151	43.601
2024	10	Κλειδί FTP	Athens	CAT1	912	8	920	1.309	24	9	1	107	4	2.374
2024	10	Κλειδί FTP	Athens	CAT2	80.994	7.475	88.469	40.708	56.736	57.550	15	118	2.958	246.554
2024	10	Κλειδί FTP	Athens	CAT3	5.047	0	5.047	1.840	12.831	7.943	5	41	861	28.568
2024	10	Κλειδί FTP	Athens	CAT4	2.759	0	2.759	2.671	26.812	14.628	2	77	126	47.075
2024	11	Κλειδί FTP	Athens	CAT1	363	4	367	555	8	2	1	64	0	997
2024	11	Κλειδί FTP	Athens	CAT2	64.305	6.388	70.693	32.358	50.361	46.146	7	115	2.797	202.477
2024	11	Κλειδί FTP	Athens	CAT3	3.977	0	3.977	1.340	11.756	7.180	5	57	851	25.166
2024	11	Κλειδί FTP	Athens	CAT4	2.448	0	2.448	2.478	24.688	13.962	14	71	158	43.799
2024	12	Κλειδί FTP	Athens	CAT1	165	0	165	286	1	2	0	32	1	487
2024	12	Κλειδί FTP	Athens	CAT2	73.509	7.008	80.517	41.640	54.640	58.907	11	138	2.796	238.649
2024	12	Κλειδί FTP	Athens	CAT3	3.505	0	3.505	1.215	11.637	7.091	2	53	650	24.153
2024	12	Κλειδί FTP	Athens	CAT4	2.223	0	2.223	2.258	21.333	12.506	14	62	112	38.508

4. Ημερήσια δεδομένα κυκλοφορίας, για το μετωπικό σταθμό Κλειδίου, για τον
Αύγουστο 2024, στη νότια κατεύθυνση.

Date	CAT1 Total	CAT2 Total	CAT3 Total	CAT4 Total	Total
01/08/2024	106	11.847	1.177	1.819	14.949
02/08/2024	155	14.050	1.128	1.259	16.592
03/08/2024	172	15.050	718	584	16.524
04/08/2024	212	13.617	605	892	15.326
05/08/2024	102	12.480	1.093	1.908	15.583
06/08/2024	107	9.993	1.125	1.871	13.096
07/08/2024	71	10.399	1.073	1.774	13.317
08/08/2024	122	11.144	1.181	1.769	14.216
09/08/2024	140	13.488	1.060	1.085	15.773
10/08/2024	201	15.530	731	510	16.972
11/08/2024	200	13.901	551	718	15.370
12/08/2024	120	12.731	953	1.364	15.168
13/08/2024	103	11.192	944	1.193	13.432
14/08/2024	148	14.285	856	762	16.051
15/08/2024	153	11.927	357	346	12.783
16/08/2024	150	12.886	743	577	14.356
17/08/2024	139	14.982	639	447	16.207
18/08/2024	187	14.772	511	685	16.155
19/08/2024	86	13.184	922	1.530	15.722
20/08/2024	86	10.798	946	1.532	13.362
21/08/2024	93	10.420	940	1.496	12.949
22/08/2024	109	11.711	1.067	1.281	14.168
23/08/2024	166	13.436	991	967	15.560
24/08/2024	158	15.348	703	520	16.729
25/08/2024	153	14.397	589	747	15.886
26/08/2024	89	11.550	1.017	1.791	14.447
27/08/2024	99	9.981	1.048	1.754	12.882
28/08/2024	89	10.604	1.039	1.807	13.539
29/08/2024	93	10.243	1.176	1.607	13.119
30/08/2024	98	12.084	1.054	1.114	14.350
31/08/2024	152	13.168	706	554	14.580
				TOTAL	459.163

5. Ωριαία δεδομένα κυκλοφορίας, για το μετωπικό σταθμό Κλειδίου, για τον
Αύγουστο 2024, στη νότια κατεύθυνση.

Date	00:00:00	01:00:00	02:00:00	03:00:00	04:00:00	05:00:00	06:00:00	07:00:00	08:00:00	09:00:00	10:00:00	11:00:00	12:00:00	13:00:00	14:00:00	15:00:00	16:00:00	17:00:00	18:00:00	19:00:00	20:00:00	21:00:00	22:00:00	23:00:00
01/08/2024	3	0	4	0	0	2	3	2	0	9	8	6	13	4	5	6	2	6	9	11	8	2	4	1
02/08/2024	1	0	2	0	2	2	5	5	5	8	9	8	6	9	7	8	11	12	12	13	9	9	7	5
03/08/2024	2	8	1	0	0	3	5	2	7	8	14	18	13	15	13	10	5	11	10	7	9	8	2	1
04/08/2024	1	3	4	4	1	2	5	9	10	26	19	34	18	13	6	6	10	12	7	4	3	9	4	2
05/08/2024	6	3	2	1	2	0	4	2	1	3	8	10	4	6	5	10	4	4	7	5	7	2	5	1
06/08/2024	0	0	0	1	1	0	3	5	1	7	18	3	9	4	10	20	2	2	3	5	6	5	2	
07/08/2024	0	1		0	0	0	1	1	0	8	4	7	5	5	5	5	5	3	7	6	1	3	2	2
08/08/2024	3	2	0	0	0	0	4	4	9	12	14	6	9	5	5	6	7	4	9	8	9	4	4	2
09/08/2024	1	0	1	0	0	1	4	1	11	3	11	6	10	9	11	8	11	8	12	14	5	6	0	3
10/08/2024	2	0	3	1	0	5	4	6	6	12	20	24	13	22	13	9	7	6	10	14	3	6	9	6
11/08/2024	9	4	1	1	0	3	1	5	4	25	18	23	15	19	14	9	17	3	10	7	3	7	0	2
12/08/2024	4	0	1	0	1	1	4	7	5	10	6	14	14	5	10	6	6	3	4	5	6	4	3	1
13/08/2024	0	0	0	1	0	2	2	2	7	7	8	4	14	14	5	4	4	3	4	2	4	2	4	10
14/08/2024	2	3	2	0	0	2	1	8	2	6	9	8	12	9	15	8	6	10	9	13	13	6	2	2
15/08/2024	5	2	4	1	0	1	5	5	4	17	12	21	19	10	10	6	6	4	5	5	4	2	2	3
16/08/2024	1	1	0	1	0	1	2	6	4	13	17	7	17	12	11	9	5	9	10	4	8	6	2	4
17/08/2024	2	4	0	0	0	0	1	4	10	9	11	8	12	9	7	7	8	3	16	9	5	7	4	3
18/08/2024	2	3	2	0	0	1	4	1	14	13	24	13	12	14	7	13	16	14	9	7	13	1	4	0
19/08/2024	2	1	1	1	1	3	1	5	6	5	9	5	6	8	6	1	1	9	2	4	3	3	3	0
20/08/2024	1	1	0	0	0	0	0	3	10	1	10	14	11	4	8	5	2	0	7	1	5	1	0	
21/08/2024	0	0	0	0	0	2	0	2	2	6	6	4	6	16	10	4	8	3	10	1	2	3	2	
22/08/2024	2	3	1	0	0	2	1	1	8	9	9	11	15	11	5	10	4	5	5	4	2	5	1	2
23/08/2024	4	2	2	0	0	2	1	8	5	9	11	12	13	7	15	3	12	8	12	12	4	18	5	1
24/08/2024	3	2		0	0	0	6	9	7	9	22	7	11	12	9	12	12	9	6	5	7	6	4	0
25/08/2024	2	0	1	0	1	2	3	3	12	12	10	20	20	6	10	12	11	12	5	1	2	1	4	3
26/08/2024	7	0	0	0	0	0	3	1	6	3	7	12	7	6	5	5	4	4	3	9	2	2	0	3
27/08/2024	2	1	0	0	2	0	0	3	6	12	6	8	8	5	4	2	6	9	5	9	3	5	1	2
28/08/2024	2	1	0	0	0	0	5	0	5	4	8	13	9	5	7	11	4	4	3	4	1	0	2	2
29/08/2024	1	0	0	0	0	2	1	3	4	5	7	8	7	10	8	6	6	7	3	2	1	0	3	
30/08/2024	0	0	0	0	0	1	0	4	5	4	4	10	10	3	10	15	6	8	2	4	3	2	3	5
31/08/2024	13	3	0	0	1	0	1	4	3	6	15	10	21	9	6	17	6	13	8	4	9	1	1	0
Transactions	83	48	32	12	12	40	80	121	179	275	353	354	359	276	268	259	212	214	214	215	154	140	88	71

6. Ωριαία δεδομένα κυκλοφορίας, για το μετωπικό σταθμό Κλειδίου, για τον
Αύγουστο 2024, στη νότια κατεύθυνση, για τα οχήματα Κατηγορίας 1.

Date	00:00:00	01:00:00	02:00:00	03:00:00	04:00:00	05:00:00	06:00:00	07:00:00	08:00:00	09:00:00	10:00:00	11:00:00	12:00:00	13:00:00	14:00:00	15:00:00	16:00:00	17:00:00	18:00:00	19:00:00	20:00:00	21:00:00	22:00:00	23:00:00
01/08/2024	3	0	4	0	0	2	3	2	0	9	8	6	13	4	5	6	2	6	9	11	6	2	4	1
02/08/2024	1	0	2	0	2	2	5	5	5	8	9	8	6	9	7	8	11	12	12	13	9	9	7	5
03/08/2024	2	8	1	0	0	3	5	2	7	8	14	18	13	15	13	10	5	11	10	7	9	8	2	1
04/08/2024	1	3	4	4	1	2	5	9	10	26	19	34	18	13	6	6	10	12	7	4	3	9	4	2
05/08/2024	6	3	2	1	2	0	4	2	1	3	8	10	4	6	5	10	4	4	7	5	7	2	5	1
06/08/2024	0	0	0	1	1	0	3	5	1	7	18	3	9	4	10	20	2	2	3	5	6	5	2	
07/08/2024	0	1		0	0	0	1	1	0	8	4	7	5	5	5	5	3	7	6	1	3	2	2	
08/08/2024	3	2	0	0	0	0	4	4	9	12	14	6	9	5	5	6	7	4	9	8	9	4	4	2
09/08/2024	1	0	1	0	0	1	4	1	11	3	11	6	10	9	11	8	11	8	12	14	5	6	0	3
10/08/2024	2	0	3	1	0	5	4	6	6	12	20	24	13	22	13	9	7	6	10	14	3	6	9	6
11/08/2024	9	4	1	1	0	3	1	5	4	25	18	23	15	19	14	9	17	3	10	7	3	7	0	2
12/08/2024	4	0	1	0	1	1	4	7	5	10	6	14	14	5	10	6	6	3	4	5	6	4	3	1
13/08/2024	0	0	0	1	0	2	2	2	7	7	8	4	14	14	5	4	4	3	4	2	4	2	4	10
14/08/2024	2	3	2	0	0	2	1	8	2	6	9	8	12	9	15	8	6	10	9	13	13	6	2	2
15/08/2024	5	2	4	1	0	1	5	5	4	17	12	21	19	10	10	6	6	4	5	5	4	2	2	3
16/08/2024	1	1	0	1	0	1	2	6	4	13	17	7	17	12	11	9	9	9	10	4	8	6	2	4
17/08/2024	2	4	0	0	0	0	1	4	10	9	11	8	12	9	7	7	8	3	16	9	5	7	4	3
18/08/2024	2	3	2	0	0	1	4	1	14	13	24	13	12	14	7	13	16	14	9	7	13	1	4	0
19/08/2024	2	1	1	1	1	1	3	1	5	6	5	9	5	6	8	6	1	1	9	2	4	3	3	0
20/08/2024	1	1	0	0	0	0	0	3	10	1	10	14	11	4	8	5	2	2	0	7	1	5	1	0
21/08/2024	0	0	0	0	0	2	0	2	2	6	6	4	6	6	16	10	4	8	3	10	1	2	3	2
22/08/2024	2	3	1	0	0	2	1	1	8	3	8	11	15	11	5	10	4	5	5	4	2	5	1	2
23/08/2024	4	2	2	0	0	2	1	8	5	9	11	12	13	7	15	3	12	8	12	12	4	18	5	1
24/08/2024	3	2		0	0	0	6	9	7	9	22	7	11	12	9	12	12	9	6	5	7	6	4	0
25/08/2024	2	0	1	0	1	2	3	3	12	12	10	20	20	6	10	12	11	12	5	1	2	1	4	3
26/08/2024	7	0	0	0	0	0	3	1	6	3	7	12	7	6	5	5	4	4	3	9	2	2	0	3
27/08/2024	2	1	0	0	2	0	0	3	6	12	6	8	8	5	4	2	6	9	5	9	3	5	1	2
28/08/2024	2	1	0	0	0	0	5	0	5	4	8	13	9	5	7	11	4	4	3	4	1	0	2	2
29/08/2024	1	0	0	0	0	2	1	3	4	5	7	8	7	10	8	6	8	6	7	3	2	1	0	3
30/08/2024	0	0	0	0	0	1	0	4	5	4	4	10	10	3	10	15	6	8	2	4	3	2	3	5
31/08/2024	13	3	0	0	1	0	1	4	3	6	15	10	21	9	6	17	6	13	8	4	9	1	1	0
Transactions	83	48	32	12	12	40	80	121	179	275	353	354	359	276	268	259	212	214	214	215	154	140	88	71

7. Ωριαία δεδομένα κυκλοφορίας, για το μετωπικό σταθμό Κλειδίου, για τον
Αύγουστο 2024, στη νότια κατεύθυνση, για τα οχήματα Κατηγορίας 2.

Date	00:00:00	01:00:00	02:00:00	03:00:00	04:00:00	05:00:00	06:00:00	07:00:00	08:00:00	09:00:00	10:00:00	11:00:00	12:00:00	13:00:00	14:00:00	15:00:00	16:00:00	17:00:00	18:00:00	19:00:00	20:00:00	21:00:00	22:00:00	23:00:00
01/08/2024	179	102	77	71	80	133	251	441	616	694	845	882	943	868	765	731	754	691	633	578	450	440	346	277
02/08/2024	177	145	88	74	113	158	299	442	617	726	834	941	998	955	879	841	860	1.012	1.096	887	766	517	397	228
03/08/2024	176	163	108	89	132	170	276	482	677	989	1.301	1.433	1.412	1.244	1.039	932	873	803	661	572	529	428	313	248
04/08/2024	200	178	82	91	117	162	240	364	603	998	1.358	1.453	1.408	1.154	900	768	735	655	523	446	374	316	258	234
05/08/2024	149	104	81	76	113	210	315	474	633	747	929	910	836	988	839	779	823	749	685	673	560	356	257	194
06/08/2024	137	79	47	52	74	103	257	365	523	702	748	789	840	788	648	676	622	568	461	438	366	320	228	162
07/08/2024	129	93	59	53	83	120	238	393	559	703	806	775	741	722	719	731	605	670	554	508	383	345	230	180
08/08/2024	141	100	76	57	57	111	207	353	556	722	816	989	872	845	685	725	680	631	588	521	456	335	318	203
09/08/2024	183	117	94	61	82	120	232	381	572	718	899	900	937	910	871	876	937	912	992	862	680	500	366	246
10/08/2024	183	159	115	105	112	183	297	500	678	1.051	1.366	1.509	1.402	1.400	1.145	981	840	775	637	655	461	406	330	240
11/08/2024	226	169	106	84	97	151	257	396	646	999	1.411	1.552	1.542	1.215	992	733	694	614	487	426	380	339	263	212
12/08/2024	151	118	85	73	86	185	296	452	593	817	1.102	1.188	1.093	1.028	986	872	738	660	559	486	440	333	273	207
13/08/2024	151	92	66	42	65	117	195	347	522	735	856	950	989	927	793	696	655	608	569	538	411	372	267	229
14/08/2024	517	210	87	62	73	102	217	358	493	788	894	1.149	1.155	1.060	976	1.093	889	885	912	770	630	466	376	213
15/08/2024	200	119	94	61	63	131	201	300	571	978	1.251	1.400	1.557	1.084	748	528	452	434	412	392	328	233	227	163
16/08/2024	132	128	62	65	69	124	181	318	492	744	1.016	1.116	1.104	1.005	911	891	810	780	764	694	503	418	336	223
17/08/2024	185	124	108	69	99	131	241	392	647	897	1.305	1.450	1.481	1.326	1.103	964	845	746	703	556	533	403	357	317
18/08/2024	254	180	116	77	84	144	199	404	551	904	1.240	1.356	1.539	1.258	1.115	938	906	864	690	593	484	372	286	218
19/08/2024	180	147	89	74	105	172	292	442	640	810	962	1.124	1.163	1.005	1.024	925	823	712	658	571	492	328	241	205
20/08/2024	129	100	51	72	75	116	210	311	501	710	771	925	864	871	792	787	704	593	527	523	413	331	241	181
21/08/2024	138	72	48	57	50	111	187	296	520	618	712	898	896	868	770	671	694	652	588	482	368	345	233	146
22/08/2024	134	90	50	42	73	131	225	371	532	706	867	952	1.090	917	822	794	731	701	590	506	402	355	264	366
23/08/2024	199	97	72	52	72	98	201	323	513	716	873	957	1.029	1.035	926	938	919	981	906	773	686	473	371	222
24/08/2024	190	116	117	85	91	149	277	404	612	900	1.233	1.539	1.477	1.280	1.228	972	1.023	990	706	567	496	436	293	267
25/08/2024	216	198	127	128	94	145	190	320	543	815	1.181	1.405	1.534	1.391	1.087	940	887	784	671	561	409	313	278	270
26/08/2024	225	116	90	73	109	171	264	416	540	649	783	1.026	992	866	833	799	737	688	540	452	423	327	257	174
27/08/2024	110	74	56	54	56	115	190	346	550	660	713	818	776	762	708	680	602	591	502	460	405	320	253	180
28/08/2024	108	104	47	47	62	111	205	392	563	637	762	881	806	760	753	639	596	689	708	715	335	293	243	148
29/08/2024	163	100	66	46	70	97	183	324	540	579	721	812	779	754	666	693	662	690	641	489	392	355	223	198
30/08/2024	186	100	57	40	49	107	170	301	529	599	713	797	797	808	817	842	916	900	1.002	802	607	482	340	203
31/08/2024	164	130	94	59	83	115	196	336	531	743	1.039	1.141	1.211	1.173	963	933	855	884	768	518	440	354	294	229
Transactions	5,532	3,824	2,515	2,091	2,588	4,193	7,189	11,374	17,663	24,054	30,490	34,017	34,173	31,177	27,415	25,278	23,867	22,732	20,735	18,034	14,602	11,606	8,979	6,793

8. Ωριαία δεδομένα κυκλοφορίας, για το μετωπικό σταθμό Κλειδίου, για τον
Αύγουστο 2024, στη νότια κατεύθυνση, για τα οχήματα Κατηγορίας 3.

Date	00:00:00	01:00:00	02:00:00	03:00:00	04:00:00	05:00:00	06:00:00	07:00:00	08:00:00	09:00:00	10:00:00	11:00:00	12:00:00	13:00:00	14:00:00	15:00:00	16:00:00	17:00:00	18:00:00	19:00:00	20:00:00	21:00:00	22:00:00	23:00:00
01/08/2024	17	15	15	11	23	24	56	65	71	63	79	90	83	86	71	91	62	40	42	42	40	36	28	27
02/08/2024	15	9	16	20	18	39	41	60	66	79	71	90	67	69	66	75	61	49	51	45	35	30	23	33
03/08/2024	7	11	10	10	17	28	31	27	34	68	54	60	62	48	37	40	26	28	17	27	21	19	14	22
04/08/2024	7	7	15	8	8	10	13	32	38	47	38	32	45	35	28	27	29	25	24	24	32	40	18	23
05/08/2024	18	8	19	18	19	40	46	41	69	65	66	76	71	72	47	81	48	63	53	44	37	41	30	21
06/08/2024	20	13	16	14	20	37	43	68	75	63	88	79	78	65	70	83	46	56	36	27	42	41	25	19
07/08/2024	16	14	7	33	35	25	43	63	50	53	74	78	66	62	71	76	45	54	46	45	38	31	31	15
08/08/2024	18	15	12	14	18	31	55	71	72	72	69	105	91	67	63	82	54	54	39	45	41	31	39	23
09/08/2024	9	9	22	14	14	40	45	49	64	65	71	77	68	72	66	83	65	41	43	30	31	28	27	27
10/08/2024	12	8	11	12	20	20	28	36	49	57	54	63	49	45	31	49	29	32	24	28	24	14	16	20
11/08/2024	9	5	8	1	5	9	10	30	28	46	36	45	31	32	34	28	21	33	22	31	23	24	16	24
12/08/2024	15	8	10	19	15	26	42	57	63	61	60	81	64	63	51	63	45	37	33	38	33	31	27	11
13/08/2024	12	14	6	12	19	27	42	52	68	73	56	79	70	64	46	44	53	42	26	26	34	29	31	19
14/08/2024	9	12	15	8	22	24	31	39	48	57	76	61	73	48	52	45	54	34	50	23	25	21	17	12
15/08/2024	9	3	7	10	11	7	7	14	17	21	19	23	21	15	16	32	19	18	19	21	14	14	10	10
16/08/2024	13	6	20	15	15	19	30	36	34	46	43	48	51	44	47	49	40	39	28	31	32	19	21	17
17/08/2024	12	10	12	11	11	21	21	28	26	52	62	63	56	32	45	32	20	21	24	22	16	22	9	21
18/08/2024	11	4	7	8	3	4	13	28	31	32	29	48	40	35	30	26	21	13	23	24	21	22	19	19
19/08/2024	20	10	12	10	20	26	29	40	51	41	57	77	55	52	58	63	50	59	46	31	39	33	25	18
20/08/2024	9	8	13	17	18	26	41	43	69	55	73	70	70	66	58	48	49	59	32	29	27	23	29	14
21/08/2024	15	8	13	14	24	33	23	30	55	52	57	78	83	57	58	64	41	56	39	32	32	42	18	16
22/08/2024	17	7	14	16	18	32	45	48	65	58	79	87	78	81	61	70	49	52	47	52	27	16	21	
23/08/2024	13	11	18	16	20	35	38	51	43	60	57	73	76	71	66	69	46	40	39	31	44	33	16	25
24/08/2024	9	9	12	14	15	36	36	31	46	45	58	56	45	41	34	32	28	32	22	21	23	11	15	
25/08/2024	12	8	11	9	9	9	16	26	37	35	44	42	38	40	36	36	22	17	25	21	31	29	15	21
26/08/2024	17	8	19	13	21	24	34	44	64	58	65	92	69	69	60	70	55	60	34	29	37	35	23	17
27/08/2024	13	11	11	14	21	51	43	54	64	65	56	79	79	68	68	68	43	47	39	41	37	34	21	21
28/08/2024	11	13	12	13	13	32	26	52	48	62	68	78	86	67	75	76	43	53	40	47	35	39	24	26
29/08/2024	15	12	16	14	25	41	60	66	63	48	77	96	81	84	77	83	59	50	50	44	37	33	25	20
30/08/2024	15	13	14	21	26	28	43	53	53	55	67	74	73	69	84	68	50	57	34	36	40	33	27	21
31/08/2024	16	11	7	9	21	32	28	28	36	46	63	58	57	45	26	39	31	32	23	32	24	13	16	13
Transactions	411	300	400	418	544	836	1059	1362	1598	1700	1866	2148	1976	1764	1632	1792	1308	1289	1082	1020	970	890	667	611

9. Ωριαία δεδομένα κυκλοφορίας, για το μετωπικό σταθμό Κλειδίου, για τον
Αύγουστο 2024, στη νότια κατεύθυνση, για τα οχήματα Κατηγορίας 4.

Date	00:00:00	01:00:00	02:00:00	03:00:00	04:00:00	05:00:00	06:00:00	07:00:00	08:00:00	09:00:00	10:00:00	11:00:00	12:00:00	13:00:00	14:00:00	15:00:00	16:00:00	17:00:00	18:00:00	19:00:00	20:00:00	21:00:00	22:00:00	23:00:00
01/08/2024	26	21	23	36	43	51	68	72	74	76	102	105	124	114	117	107	108	135	109	118	74	60	43	13
02/08/2024	27	17	40	27	33	29	46	57	49	50	58	80	81	85	72	83	73	81	77	59	60	29	24	22
03/08/2024	12	14	23	21	23	12	10	31	24	43	29	34	33	33	25	24	31	24	17	28	30	15	31	17
04/08/2024	15	15	10	15	8	14	26	28	52	36	37	53	81	70	45	30	25	26	31	31	55	102	59	28
05/08/2024	25	35	34	26	47	38	50	77	68	90	96	136	124	142	102	117	103	121	120	114	91	71	51	30
06/08/2024	24	23	29	26	41	29	47	81	85	95	118	108	131	131	124	106	108	120	115	90	102	70	44	24
07/08/2024	23	21	25	29	32	35	57	79	78	83	83	98	120	96	111	111	98	126	114	111	104	74	30	36
08/08/2024	24	30	35	28	38	46	65	87	77	93	102	95	119	113	116	99	90	113	118	78	91	60	32	20
09/08/2024	17	19	27	17	32	29	43	48	41	68	81	74	72	69	81	60	78	54	52	36	34	26	19	8
10/08/2024	7	11	17	23	11	6	18	23	25	28	25	30	21	29	24	20	21	26	24	25	21	30	25	20
11/08/2024	12	12	11	8	7	12	21	20	45	21	32	30	50	50	39	55	38	31	19	40	48	44	37	36
12/08/2024	21	21	22	32	39	32	51	50	65	71	76	97	84	85	107	75	87	76	74	55	50	47	34	13
13/08/2024	17	20	25	18	26	25	40	69	65	55	90	87	72	98	75	74	67	57	43	43	48	35	22	22
14/08/2024	7	23	20	15	19	25	30	52	45	50	72	55	51	37	44	50	36	26	26	19	25	13	13	9
15/08/2024	12	6	4	6	7	13	9	12	8	14	10	18	17	30	21	20	18	15	15	17	12	17	26	19
16/08/2024	11	10	18	10	10	10	17	30	23	39	40	46	49	39	41	27	9	31	19	30	20	18	8	11
17/08/2024	13	10	10	6	9	9	10	18	18	12	29	20	28	23	19	21	15	27	37	22	30	31	14	17
18/08/2024	13	7	4	13	10	11	17	23	35	34	44	42	42	49	38	22	18	30	32	34	42	61	40	24
19/08/2024	30	25	36	28	27	42	47	69	54	75	85	95	109	106	102	98	88	100	75	87	50	36	43	23
20/08/2024	17	25	29	28	29	23	39	64	60	62	93	94	118	101	96	102	93	99	105	86	73	44	31	21
21/08/2024	28	22	31	20	20	27	47	69	67	87	98	87	96	111	106	86	88	87	79	81	54	48	35	22
22/08/2024	21	17	21	18	21	43	35	37	54	60	78	76	69	92	69	73	85	102	96	65	56	42	32	19
23/08/2024	26	23	25	17	22	21	27	28	45	59	62	57	74	76	57	46	46	77	51	48	30	24	16	10
24/08/2024	4	13	16	12	10	15	17	17	26	27	32	24	34	29	23	20	27	27	38	28	26	18	18	19
25/08/2024	13	11	6	8	9	20	20	27	26	31	34	43	55	55	38	29	32	39	28	36	57	64	47	19
26/08/2024	22	27	40	27	45	41	68	55	75	70	77	93	126	107	130	112	131	105	122	101	81	51	43	34
27/08/2024	28	18	24	24	32	45	39	56	59	111	102	118	148	119	105	107	136	92	115	87	70	55	37	28
28/08/2024	23	23	31	19	38	37	54	65	85	77	91	120	98	125	131	109	104	126	116	95	95	66	41	38
29/08/2024	16	27	21	22	36	43	50	75	70	70	97	108	99	110	108	93	94	92	111	99	53	48	37	28
30/08/2024	14	9	15	25	22	3	36	30	48	53	52	69	82	68	77	84	67	63	71	55	53	62	31	12
31/08/2024	14	15	18	13	7	6	14	26	26	36	30	36	31	28	32	27	30	25	27	21	27	31	17	1
Transactions	562	570	690	617	753	836	1,112	1,493	1,576	1,775	2,072	2,241	2,424	2,429	2,289	2,070	2,040	2,161	2,060	1,837	1,671	1,361	961	663

10. Δεδομένα επιλογής καμπίνων για την περίοδο κυκλοφοριακής αιχμής (10:00 – 15:00), για τον μετωπικό σταθμό Κλειδίου, για τον Αύγουστο 2024, στη νότια κατεύθυνση, για τα οχήματα Κατηγορίας 1.

CAT1 MTC											
10:00		11:00		12:00		13:00		14:00		TOTAL	
Date	MTC	POS	MTC	POS	MTC	POS	MTC	POS	MTC	POS	TOTAL
01/08/2024	0	2	5	1	3	8	2	4	1	34	
02/08/2024	4	5	4	3	4	1	3	6	2	5	37
03/08/2024	9	5	10	8	8	4	8	7	5	8	72
04/08/2024	14	3	20	10	5	12	7	6	2	3	82
05/08/2024	4	2	6	2	2	2	1	4	3	2	28
06/08/2024	10	8	2	1	3	6	1	3	4	5	43
07/08/2024	3	1	5	1	2	3	2	3	4	1	25
08/08/2024	6	8	2	4	2	7	1	3	2	3	38
09/08/2024	8	3	2	4	3	7	5	4	5	6	47
10/08/2024	9	11	10	12	8	5	8	13	5	8	89
11/08/2024	8	8	11	11	6	9	12	5	5	9	84
12/08/2024	3	3	8	6	5	8	4	1	3	7	48
13/08/2024	9	3	2	2	10	4	2	11	0	5	44
14/08/2024	0	7	3	3	6	6	3	2	8	6	44
15/08/2024	5	7	7	13	8	9	4	6	2	8	69
16/08/2024	4	12	4	3	10	6	4	7	4	7	61
17/08/2024	4	7	4	3	6	6	4	5	2	4	45
18/08/2024	11	13	2	11	3	8	2	12	3	3	68
19/08/2024	3	6	1	4	3	3	4	4	4	1	33
20/08/2024	2	8	5	9	6	5	3	0	2	4	44
21/08/2024	3	3	3	1	2	4	3	1	5	9	34
22/08/2024	4	4	5	6	7	5	4	7	1	4	47
23/08/2024	6	5	4	8	6	7	3	4	7	8	58
24/08/2024	9	10	2	4	4	7	1	9	5	4	55
25/08/2024	2	7	14	3	11	6	2	4	0	10	59
26/08/2024	3	4	9	2	4	3	4	2	2	2	35
27/08/2024	4	2	2	6	4	4	4	1	1	2	30
28/08/2024	4	4	8	4	3	6	1	4	5	2	41
29/08/2024	3	4	6	2	2	5	4	6	5	2	39
30/08/2024	2	2	5	5	3	7	1	2	1	9	37
31/08/2024	6	9	6	4	7	14	6	3	3	3	61
TOTAL MTC										1.531	

CAT1 ETC											
10:00		11:00		12:00		13:00		14:00		TOTAL	
Date	ETC	GRITS	ETC	GRITS	ETC	GRITS	ETC	GRITS	ETC	GRITS	TOTAL
01/08/2024	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
02/08/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03/08/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04/08/2024	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
05/08/2024	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	2
06/08/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07/08/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08/08/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09/08/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10/08/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11/08/2024	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
12/08/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13/08/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14/08/2024	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	2
15/08/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16/08/2024	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
17/08/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18/08/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19/08/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20/08/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21/08/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
22/08/2024	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2
23/08/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24/08/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25/08/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26/08/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
27/08/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28/08/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29/08/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30/08/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31/08/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL ETC										14	

CAT1 STC						
Date	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	TOTAL
01/08/2024	0	0	0	0	0	0
02/08/2024	0	0	0	0	0	0
03/08/2024	0	0	0	0	0	0
04/08/2024	0	0	0	0	0	0
05/08/2024	1	1	0	0	0	2
06/08/2024	0	0	0	0	0	0
07/08/2024	0	0	0	0	0	0
08/08/2024	0	0	0	0	0	0
09/08/2024	0	0	0	0	0	0
10/08/2024	0	0	0	0	0	0
11/08/2024	0	0	0	0	0	0
12/08/2024	0	0	0	0	0	0
13/08/2024	0	0	0	1	0	1
14/08/2024	0	1	0	0	0	1
15/08/2024	0	0	0	0	0	0
16/08/2024	0	0	0	0	0	0
17/08/2024	0	0	0	0	0	0
18/08/2024	0	0	0	0	0	0
19/08/2024	0	0	0	0	0	0
20/08/2024	0	0	0	0	0	0
21/08/2024	0	0	0	0	0	0
22/08/2024	0	0	0	0	0	0
23/08/2024	0	0	0	0	0	0
24/08/2024	0	0	0	0	0	0
25/08/2024	0	0	0	0	0	0
26/08/2024	0	0	0	0	0	0
27/08/2024	0	0	0	0	0	0
28/08/2024	0	0	0	0	0	0
29/08/2024	0	0	0	0	0	0
30/08/2024	0	0	0	0	0	0
31/08/2024	0	0	0	0	0	0
TOTAL STC						4

CAT1 SERVICE LANE														
10:00			11:00			12:00			13:00			14:00		
Date	Payment Violation s	Technical Violations	Exemptio ns	Payment Violation s	Technical Violations	Exemptio ns	Payment Violation s	Technical Violation s	Exemptio ns	Payment Violation s	Technical Violation s	Exemptio ns	Payment Violation s	Technical Violation s
01/08/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02/08/2024	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
03/08/2024	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
04/08/2024	1	1	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05/08/2024	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06/08/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
07/08/2024	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08/08/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
09/08/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10/08/2024	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0
11/08/2024	0	1	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0
12/08/2024	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
13/08/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14/08/2024	0	1	0	0	1	0	0	0	0	3	0	0	1	0
15/08/2024	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
16/08/2024	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
17/08/2024	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
18/08/2024	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
19/08/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
20/08/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0
21/08/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0
22/08/2024	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
23/08/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24/08/2024	0	3	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0
25/08/2024	0	1	0	1	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0
26/08/2024	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27/08/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
28/08/2024	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
29/08/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
30/08/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31/08/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL SL													61	

11. Δεδομένα επιλογής καμπίνων για την περίοδο κυκλοφοριακής αιχμής (10:00 – 15:00), για τον μετωπικό σταθμό Κλειδίου, για τον Αύγουστο 2024, στη νότια κατεύθυνση, για τα οχήματα Κατηγορίας 2.

CAT1 MTC												CAT1 ETC											
10:00		11:00		12:00		13:00		14:00		TOTAL		10:00		11:00		12:00		13:00		14:00		TOTAL	
Date	MTC	POS	MTC	POS	MTC	POS	MTC	POS	MTC	POS	TOTAL	Date	ETC	GRITS	ETC	GRITS	ETC	GRITS	ETC	GRITS	ETC	GRITS	TOTAL
01/08/2024	362	135	403	162	461	163	411	165	348	151	2,761	01/08/2024	111	183	96	152	115	139	116	144	125	121	1,302
02/08/2024	390	132	447	158	502	185	476	177	387	161	3,015	02/08/2024	106	177	122	177	125	183	128	164	145	183	1,510
03/08/2024	614	214	650	248	649	277	593	236	488	209	4,178	03/08/2024	169	303	196	337	181	303	155	260	137	205	2,246
04/08/2024	732	205	741	245	775	226	615	197	450	171	4,357	04/08/2024	121	294	164	302	134	270	136	204	107	168	1,900
05/08/2024	427	151	401	174	345	155	441	175	410	142	2,821	05/08/2024	95	212	94	193	102	175	111	156	124	135	1,397
06/08/2024	376	119	380	136	376	168	344	142	281	107	2,428	06/08/2024	72	147	91	149	109	144	120	155	129	102	1,218
07/08/2024	389	123	313	148	318	141	321	130	295	138	2,317	07/08/2024	92	170	104	176	108	151	116	120	118	135	1,290
08/08/2024	457	132	469	181	404	143	378	162	291	113	2,730	08/08/2024	109	186	118	201	134	166	128	161	119	138	1,460
09/08/2024	434	132	404	168	427	144	363	171	334	157	2,734	09/08/2024	98	206	117	182	134	204	129	212	155	202	1,639
10/08/2024	610	238	700	271	638	264	648	275	547	225	4,416	10/08/2024	165	353	177	359	173	324	176	291	138	235	2,391
11/08/2024	751	194	810	235	780	281	597	226	425	160	4,459	11/08/2024	123	340	147	359	152	328	124	264	100	203	2,140
12/08/2024	567	163	619	192	501	150	481	184	483	171	3,511	12/08/2024	94	251	101	240	103	200	111	197	130	183	1,610
13/08/2024	438	123	468	140	459	96	382	174	318	132	2,730	13/08/2024	90	175	97	190	141	208	115	161	132	167	1,476
14/08/2024	390	157	516	190	518	197	415	209	352	187	3,131	14/08/2024	108	192	123	265	128	257	163	236	190	210	1,872
15/08/2024	635	187	674	226	797	258	539	226	357	155	4,054	15/08/2024	126	285	159	337	144	352	89	217	82	145	1,936
16/08/2024	476	174	520	183	431	212	384	203	383	172	3,138	16/08/2024	88	234	97	268	123	291	117	249	131	195	1,793
17/08/2024	604	218	672	239	691	278	603	252	502	209	4,268	17/08/2024	114	343	127	397	118	385	136	324	126	253	2,323
18/08/2024	591	212	630	226	714	284	558	231	456	229	4,131	18/08/2024	97	329	130	363	137	390	126	332	129	282	2,315
19/08/2024	475	162	515	187	524	198	431	172	443	198	3,305	19/08/2024	83	203	100	277	118	275	127	218	138	222	1,761
20/08/2024	402	120	442	132	384	162	393	157	364	136	2,692	20/08/2024	80	146	101	222	98	194	103	195	123	143	1,405
21/08/2024	313	126	415	159	392	157	357	164	324	135	2,542	21/08/2024	74	164	92	209	90	232	126	152	115	165	1,459
22/08/2024	381	145	474	164	492	226	388	156	336	142	2,904	22/08/2024	85	216	76	201	96	212	101	218	129	179	1,513
23/08/2024	360	158	422	177	412	190	412	181	347	181	2,840	23/08/2024	93	220	93	234	116	268	151	257	158	220	1,811
24/08/2024	569	206	703	269	618	301	577	231	577	237	4,288	24/08/2024	136	318	142	418	167	381	132	334	127	275	2,430
25/08/2024	557	186	621	232	706	287	568	257	497	211	4,122	25/08/2024	102	330	158	384	140	394	124	341	119	252	2,344
26/08/2024	361	130	483	167	452	195	364	171	352	155	2,830	26/08/2024	81	181	92	234	96	199	105	194	122	167	1,471
27/08/2024	366	108	392	158	377	122	345	122	331	117	2,438	27/08/2024	84	149	85	170	100	167	117	168	112	127	1,279
28/08/2024	321	150	393	159	370	152	304	124	317	151	2,441	28/08/2024	85	171	90	196	83	167	123	177	130	137	1,359
29/08/2024	293	133	346	139	335	123	273	143	237	120	2,142	29/08/2024	82	169	96	180	106	160	113	162	129	142	1,339
30/08/2024	286	133	317	140	298	140	319	166	287	141	2,227	30/08/2024	100	167	94	203	100	210	111	185	150	202	1,522
31/08/2024	458	153	477	207	533	218	504	232	371	210	3,363	31/08/2024	121	292	144	303	152	299	138	292	131	245	2,117
TOTAL MTC											99.313	TOTAL ETC											53.628

CAT1 STC						CAT1 SERVICE LANE																		
Date	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	TOTAL	Date	Payment Violation s	Technical Violations	Exemption s	Payment Violation s	Technical Violations	Exemption s	Payment Violation s	Technical Violation s	Exemption s	Payment Violation s	Technical Violation s	Exemption s	Payment Violation s	Technical Violation s	Exemption s	TOTAL	
01/08/2024	46	66	63	25	18	218	01/08/2024	0	0	8	0	0	3	0	0	2	0	0	7	0	0	0	2	22
02/08/2024	23	32	0	0	0	55	02/08/2024	0	1	5	0	1	4	0	0	3	0	1	9	0	0	0	3	27
03/08/2024	0	0	0	0	0	0	03/08/2024	1	0	0	0	0	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	5
04/08/2024	5	0	0	0	0	5	04/08/2024	0	0	1	0	0	1	0	0	3	0	1	1	0	2	2	11	
05/08/2024	43	44	51	95	24	257	05/08/2024	0	0	1	0	0	4	0	0	8	0	1	9	0	0	0	4	27
06/08/2024	28	27	38	22	25	140	06/08/2024	0	0	6	0	1	5	0	2	4	0	1	4	0	0	0	4	27
07/08/2024	26	26	17	26	27	122	07/08/2024	0	0	6	0	1	7	0	1	5	0	0	9	0	0	0	5	34
08/08/2024	29	16	19	11	22	97	08/08/2024	0	0	3	1	1	2	0	1	5	0	0	5	0	0	0	2	20
09/08/2024	22	25	25	28	14	114	09/08/2024	0	0	7	0	0	4	0	1	2	0	0	7	0	0	1	8	30
10/08/2024	0	0	0	0	0	0	10/08/2024	0	0	0	0	0	2	0	0	3	0	2	8	0	0	0	0	15
11/08/2024	0	0	0	0	13	13	11/08/2024	0	0	3	0	0	1	0	0	1	0	0	4	0	0	0	1	10
12/08/2024	23	34	41	52	14	164	12/08/2024	0	1	3	0	0	2	0	2	6	0	0	3	0	0	0	5	22
13/08/2024	26	50	68	89	38	271	13/08/2024	0	0	4	0	0	5	4	5	8	0	1	5	0	1	5	38	
14/08/2024	45	53	44	32	26	200	14/08/2024	0	1	1	0	0	2	0	0	11	0	0	5	0	1	10	31	
15/08/2024	13	0	0	0	5	18	15/08/2024	0	0	5	0	0	4	0	0	6	0	0	13	0	0	0	4	32
16/08/2024	39	42	41	41	27	190	16/08/2024	0	0	5	0	0	6	0	0	6	0	1	10	0	1	2	31	
17/08/2024	20	0	0	0	0	20	17/08/2024	0	0	6	0	3	12	0	3	6	0	0	11	0	3	10	54	
18/08/2024	0	0	0	0	8	8	18/08/2024	0	0	11	0	0	7	0	2	12	0	1	10	0	0	1	10	54
19/08/2024	34	39	38	44	9	164	19/08/2024	0	2	3	0	0	6	0	1	9	0	1	12	0	2	12	48	
20/08/2024	19	25	22	17	18	101	20/08/2024	0	0	4	0	0	3	0	0	4	0	2	4	1	0	0	7	25
21/08/2024	28	19	17	21	23	109	21/08/2024	0	0	6	0	0	4	0	2	6	0	0	8	0	0	0	8	34
22/08/2024	27	29	59	47	21	183	22/08/2024	0	0	13	0	0	8	0	1	4	0	1	6	0	1	14	48	
23/08/2024	33	24	37	26	16	136	23/08/2024	0	0	9	0	1	6	0	1	5	0	3	5	0	0	0	5	35
24/08/2024	0	0	0	0	9	9	24/08/2024	0	0	4	0	2	5	0	0	10	1	1	4	0	0	0	3	30
25/08/2024	0	0	0	0	0	0	25/08/2024	0	0	6	0	0	10	0	1	6	0	0	11	0	0	0	8	42
26/08/2024	23	411																						

12. Δεδομένα επιλογής καμπίνων για την περίοδο κυκλοφοριακής αιχμής (10:00 – 15:00), για τον μετωπικό σταθμό Κλειδίου, για τον Αύγουστο 2024, στη νότια κατεύθυνση, για τα οχήματα Κατηγορίας 3.

CAT1 MTC										
Date	10:00		11:00		12:00		13:00		14:00	
	MTC	POS	MTC	POS	MTC	POS	MTC	POS	MTC	POS
01/08/2024	16	4	21	3	15	4	20	7	17	3
02/08/2024	19	3	15	4	11	3	15	7	17	9
03/08/2024	14	9	12	7	21	10	17	7	6	2
04/08/2024	13	5	7	3	9	9	7	8	13	2
05/08/2024	14	5	10	3	15	3	15	3	3	6
06/08/2024	16	5	14	7	14	5	21	3	16	5
07/08/2024	16	1	18	4	10	3	13	3	12	3
08/08/2024	11	1	18	6	15	9	13	5	9	4
09/08/2024	12	10	11	4	16	4	11	5	19	2
10/08/2024	15	6	18	10	9	6	14	8	10	5
11/08/2024	13	5	6	6	15	1	9	0	8	5
12/08/2024	11	5	12	6	13	9	18	6	13	6
13/08/2024	10	2	14	7	15	4	14	3	10	0
14/08/2024	17	3	12	1	11	4	11	4	12	5
15/08/2024	7	1	3	4	3	2	3	2	5	3
16/08/2024	6	2	5	3	8	7	12	4	15	8
17/08/2024	16	7	13	9	14	10	9	2	18	8
18/08/2024	9	2	13	3	12	9	8	6	8	8
19/08/2024	9	3	12	2	9	5	11	6	16	3
20/08/2024	15	5	9	5	12	4	13	1	14	2
21/08/2024	8	3	15	2	17	4	21	1	14	3
22/08/2024	9	8	17	2	17	4	27	8	10	3
23/08/2024	6	6	13	3	9	10	15	7	13	6
24/08/2024	16	5	12	5	10	4	7	4	7	4
25/08/2024	14	5	12	9	13	3	14	8	8	6
26/08/2024	12	3	16	11	17	8	12	3	12	6
27/08/2024	8	5	9	3	19	3	7	7	12	7
28/08/2024	10	4	15	3	14	8	17	5	12	3
29/08/2024	22	6	18	1	17	4	22	6	15	3
30/08/2024	19	2	11	4	13	8	10	6	20	6
31/08/2024	19	5	14	4	10	11	15	3	7	5
TOTAL MTC										2.742

CAT1 ETC										
Date	10:00		11:00		12:00		13:00		14:00	
	ETC	GRITS	ETC	GRITS	ETC	GRITS	ETC	GRITS	ETC	GRITS
01/08/2024	39	19	45	20	38	21	38	17	35	10
02/08/2024	24	24	47	22	36	15	32	12	29	10
03/08/2024	19	12	24	17	15	16	18	5	18	11
04/08/2024	15	5	14	7	14	13	14	5	5	8
05/08/2024	27	19	42	16	33	17	39	13	24	10
06/08/2024	44	22	35	20	48	10	29	8	34	14
07/08/2024	32	25	30	25	34	17	32	8	36	18
08/08/2024	40	17	52	27	35	27	32	15	34	14
09/08/2024	25	17	36	26	28	17	44	8	31	10
10/08/2024	19	14	24	11	19	15	17	5	12	3
11/08/2024	13	4	22	8	9	6	11	11	8	8
12/08/2024	29	14	41	20	21	20	25	11	25	7
13/08/2024	26	16	36	21	30	19	37	6	24	10
14/08/2024	42	14	29	16	34	23	21	9	25	9
15/08/2024	8	3	10	6	10	5	6	2	5	3
16/08/2024	25	9	28	11	18	15	21	6	17	6
17/08/2024	17	14	19	11	17	13	11	7	11	8
18/08/2024	11	6	17	15	7	12	8	8	6	7
19/08/2024	24	20	45	16	19	22	27	6	32	6
20/08/2024	33	19	34	21	44	8	31	15	37	6
21/08/2024	21	25	37	23	38	19	26	7	33	6
22/08/2024	40	21	38	26	34	20	34	9	36	6
23/08/2024	24	21	32	19	30	22	30	17	35	10
24/08/2024	21	16	26	12	17	14	15	15	12	9
25/08/2024	13	11	12	9	11	10	13	4	12	10
26/08/2024	28	20	42	19	25	18	32	18	32	9
27/08/2024	19	24	41	23	40	16	38	14	38	10
28/08/2024	32	20	37	18	41	22	28	16	49	8
29/08/2024	33	14	42	33	39	20	38	16	39	15
30/08/2024	26	19	35	22	35	16	42	11	37	14
31/08/2024	20	18	21	18	23	11	18	9	7	7
TOTAL ETC										6.362

CAT1 STC						
Date	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	TOTAL
01/08/2024	0	0	0	0	0	0
02/08/2024	0	0	0	0	0	0
03/08/2024	0	0	0	0	0	0
04/08/2024	0	0	0	0	0	0
05/08/2024	0	0	0	0	0	0
06/08/2024	0	0	0	0	0	0
07/08/2024	0	0	0	0	0	0
08/08/2024	0	0	0	0	0	0
09/08/2024	0	0	0	0	0	0
10/08/2024	0	0	0	0	0	0
11/08/2024	0	0	0	0	0	0
12/08/2024	0	0	0	0	0	0
13/08/2024	0	0	0	0	0	0
14/08/2024	0	0	0	0	0	0
15/08/2024	0	0	0	0	0	0
16/08/2024	0	0	0	0	0	0
17/08/2024	0	0	0	0	0	0
18/08/2024	0	0	0	0	0	0
19/08/2024	0	0	0	0	0	0
20/08/2024	0	0	0	0	0	0
21/08/2024	0	0	0	0	0	0
22/08/2024	0	0	0	0	0	0
23/08/2024	0	0	0	0	0	0
24/08/2024	0	0	0	0	0	0
25/08/2024	0	0	0	0	0	0
26/08/2024	0	0	0	0	0	0
27/08/2024	0	0	0	0	0	0
28/08/2024	0	0	0	0	0	0
29/08/2024	0	0	0	0	0	0
30/08/2024	0	0	0	0	0	0
31/08/2024	0	0	0	0	0	0
TOTAL STC						0

CAT1 SERVICE LANE														
10:00			11:00			12:00			13:00			14:00		
Date	Payment Violation s	Technical Violations	Exemptio ns	Payment Violation s	Technical Violations	Exemptio ns	Payment Violation s	Technical Violation s	Exemptio ns	Payment Violation s	Technical Violation s	Exemptio ns	TOTAL	
01/08/2024	0	0	2	0	0	1	0	0	5	0	0	4	1	
02/08/2024	0	0	1	0	0	2	0	0	2	0	0	0	2	
03/08/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
04/08/2024	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	
05/08/2024	0	0	1	0	0	5	0	0	3	0	2	0	4	
06/08/2024	0	0	1	0	0	3	0	0	1	0	4	0	1	
07/08/2024	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	6	0	2	
08/08/2024	0	0	0	0	1	1	0	0	5	0	2	0	2	
09/08/2024	0	0	7	0	0	0	0	0	3	0	4	0	1	
10/08/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
11/08/2024	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	2	
12/08/2024	0	0	1	0	0	2	0	0	5	0	3	0	0	
13/08/2024	0	0	2	0	0	1	1	0	1	0	4	0	1	
14/08/2024	0	0	0	0	0	3	0	0	1	0	3	0	1	
15/08/2024	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
16/08/2024	0	0	1	0	0	1	0	0	3	0	1	0	1	
17/08/2024	0	1	7	0	0	1	0	0	2	0	3	0	0	
18/08/2024	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	5	0	1	
19/08/2024	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	2	0	1	
20/08/2024	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	3	0	3	
21/08/2024	0	0	0	0	0	1	0	0	4	0	2	0	0	
22/08/2024	0	0	1	0	0	4	0	0	3	0	3	0	1	
23/08/2024	0	0	0	0	0	7	0	0	6	0	2	0	2	
24/08/2024	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	
25/08/2024	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	
26/08/2024	0	0	2	0	0	4	0	0	1	0	4	0	1	
27/08/2024	0	0	0	0	0	3	0	0	1	0	2	0	1	
28/08/2024	0	0	2	0	0	2	0	0	1	0	1	0	3	
29/08/2024	0	0	2	0	0	2	0	0	1	0	2	0	5	
30/08/2024	0	0	1	0	2	0	0	0	1	0	0	0	1	
31/08/2024	0	0	1	0	0	1	0	0	2	0	0	0	4	
TOTAL SL													282	

CAT1 MTC											CAT1 ETC												
10-00		11-00				13-00				14-00		10-00		11-00				13-00				14-00	
Date	MTC	POS	MTC	POS	MTC	POS	MTC	POS	MTC	POS	ETC	GRITS	ETC	GRITS	ETC	GRITS	ETC	GRITS	ETC	GRITS	TOTAL		
01/08/2024	5	3	6	4	12	9	3	3	7	5	8	6	28	65	38	78	26	69	33	491			
02/08/2024	3	0	3	7	6	5	4	2	1	5	36								24	332			
03/08/2024	1	3	3	1	0	1	0	5	1	7	22								10	130			
04/08/2024	0	2	0	3	4	8	3	6	5	4	35								20	251			
05/08/2024	6	1	5	9	8	14	3	9	14	4	74								26	523			
06/08/2024	7	11	7	6	5	10	5	2	9	2	64								75	38	546		
07/08/2024	9	6	9	6	6	6	9	5	13	6	75								24	427			
08/08/2024	7	7	8	5	9	6	1	6	5	8	61								74	29	476		
09/08/2024	7	2	3	4	7	31	5	5	2	4	63								18	331			
10/08/2024	1	1	5	3	0	0	0	4	4	4	20								17	8			
11/08/2024	1	3	0	2	1	4	3	4	3	2	23								13	178			
12/08/2024	3	6	4	11	6	5	4	2	6	11	58								21	59	29		
13/08/2024	5	6	6	7	6	1	4	10	3	4	52								31	41	25		
14/08/2024	5	4	4	8	3	0	2	0	1	3	30								12	28	12		
15/08/2024	2	1	3	0	2	2	1	5	0	3	19								6	8	10		
16/08/2024	0	2	5	2	3	1	1	2	2	1	22								9	29	9		
17/08/2024	1	2	1	2	0	3	2	1	5	5	21								8	10	8		
18/08/2024	1	4	1	2	3	1	0	4	7	1	24								17	17	13		
19/08/2024	2	6	4	5	8	4	5	5	5	5	50								26	67	27		
20/08/2024	5	5	2	6	9	4	3	3	8	6	51								64	30	48		
21/08/2024	4	3	8	5	7	6	12	1	10	7	63								32	57	32		
22/08/2024	3	6	2	4	8	6	6	1	5	3	44								19	59	26		
23/08/2024	4	0	3	1	2	5	3	1	4	3	26								17	34	16		
24/08/2024	3	1	0	1	4	2	0	3	0	4	18								10	15	11		
25/08/2024	4	0	2	3	5	1	3	4	3	2	27								11	21	12		
26/08/2024	6	6	12	5	8	4	6	2	7	6	62								30	62	37		
27/08/2024	3	4	6	9	6	11	10	6	8	5	68								37	61	44		
28/08/2024	6	10	9	9	9	2	7	6	9	9	73								50	25	68		
29/08/2024	7	4	5	8	5																		

14. Αποτελέσματα προσομοίωσης υφιστάμενου σεναρίου (με χρόνο προθέρμανσης 0 λεπτά).

9:53:54μμ	Category Overview	Ιούλιος 7, 2025
Values Across All Replications		
KLEIDI TOLL PLAZA		
Replications: 5	Time Units: Seconds	
Key Performance Indicators		
System	Average	
Number Out	5,745	
Model Filename: C:\Users\admin\Desktop\ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ_ΕΡΓΑΣΙΑ\ΓΕΡΟΘΑΝΑΣΗΣ\ARENA.C Page 1 of 10		

KLEIDI TOLL PLAZA

Replications: 5 Time Units: Seconds

Entity**Time**

VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CAT1	12.4641	1,82	11.0734	14.1283	1.0000	40.78
CAT2	8.6158	0,22	8.4143	8.7924	1.0000	254.
CAT3	20.0759	2,37	17.5317	22.2166	1.0000	186.
CAT4	8.1979	0,96	7.6075	9.3798	1.0000	163.

NVA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CAT1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.
CAT2	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.
CAT3	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.
CAT4	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.

Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CAT1	13.9845	9,87	4.3746	23.8066	0.00	177.
CAT2	8.2165	0,97	7.0615	9.1053	0.00	228.
CAT3	4.1829	0,51	3.6923	4.7764	0.00	140.
CAT4	1.4265	0,75	0.6491	2.2145	0.00	115.

Transfer Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CAT1	43.4926	0,31	43.2415	43.8500	28.0300	43.85
CAT2	38.4922	0,14	38.3737	38.6718	28.0300	43.85
CAT3	32.8988	0,44	32.2744	33.1209	28.0300	43.85
CAT4	29.8332	0,28	29.6037	30.1272	28.0300	43.85

Other Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CAT1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.
CAT2	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.
CAT3	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.
CAT4	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.

Total Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CAT1	69.9412	11,70	58.9878	81.7849	29.0300	254.
CAT2	55.3245	1,12	53.8496	56.0561	29.0300	298.
CAT3	57.1576	2,74	53.7810	59.6838	29.0300	237.
CAT4	39.4576	1,94	37.8976	41.7215	29.0300	276.

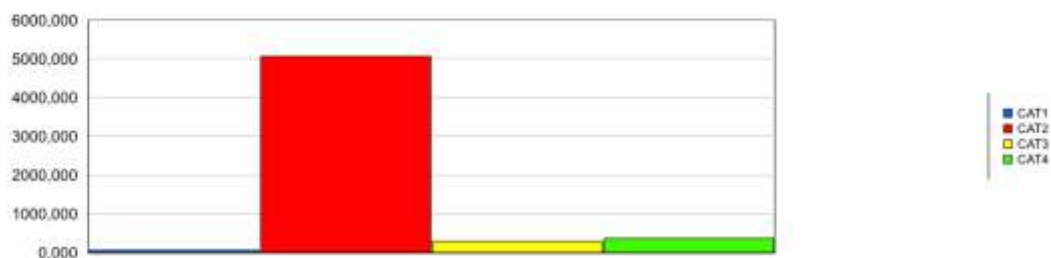
Other

KLEIDI TOLL PLAZA

Replications: 5 Time Units: Seconds

Entity**Other**

Number In	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
CAT1	53.6000	2,57	51.0000	56.0000
CAT2	5056.60	81,52	4962.00	5125.00
CAT3	285.00	9,54	276.00	294.00
CAT4	366.40	25,66	341.00	384.00



Number Out	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
CAT1	53.6000	2,57	51.0000	56.0000
CAT2	5041.60	86,42	4937.00	5110.00
CAT3	284.00	10,24	273.00	293.00
CAT4	366.00	25,15	341.00	382.00

WIP	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CAT1	0.2087	0,04	0.1671	0.2499	0.00	3.00
CAT2	15.5260	0,57	14.8004	15.9285	0.00	39.00
CAT3	0.9039	0,06	0.8594	0.9720	0.00	6.00
CAT4	0.8020	0,05	0.7335	0.8481	0.00	6.00

KLEIDI TOLL PLAZA

Replications: 5 Time Units: Seconds

Process**Time per Entity**

VA Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
APM TOLL1 PROCESS	12.9034	1,78	11.4272	15.0140	2.5830	146.
APM TOLL2 PROCESS	2.4322	4,67	0.00	8.5465	0.00	8.54
ETC TOLL1 PROCESS	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.00
ETC TOLL2 PROCESS	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.00
MTC TOLL1 PROCESS	14.4480	0,74	13.9095	15.4615	2.0738	157.
MTC TOLL2 PROCESS	14.1762	0,84	13.3600	14.9716	2.0792	170.
MTC TOLL3 PROCESS	14.7135	0,42	14.2477	15.0899	2.2984	161.
MTC TOLL4 PROCESS	14.4672	0,77	13.5718	15.1295	2.1308	254.

Wait Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
APM TOLL1 PROCESS	0.8887	0,39	0.4635	1.2047	0.00	51.59
APM TOLL2 PROCESS	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.
ETC TOLL1 PROCESS	0.07243686	0,01	0.06797531	0.08122982	0.00	3.00
ETC TOLL2 PROCESS	0.05124088	0,04	0.00	0.0936	0.00	0.98
MTC TOLL1 PROCESS	15.0723	2,25	12.6570	17.6755	0.00	207.
MTC TOLL2 PROCESS	12.7824	2,48	10.0204	14.5854	0.00	205.
MTC TOLL3 PROCESS	12.7390	2,41	11.3087	16.1390	0.00	183.
MTC TOLL4 PROCESS	10.2557	2,43	6.9853	11.5980	0.00	228.

Total Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
APM TOLL1 PROCESS	13.7921	1,96	11.8907	16.1481	2.5830	146.
APM TOLL2 PROCESS	2.4322	4,67	0.00	8.5465	0.00	8.54
ETC TOLL1 PROCESS	1.0724	0,01	1.0680	1.0812	1.0000	4.00
ETC TOLL2 PROCESS	1.0512	0,04	1.0000	1.0936	1.0000	1.98
MTC TOLL1 PROCESS	29.5203	2,93	26.5665	33.1370	2.3418	221.
MTC TOLL2 PROCESS	26.9586	3,30	23.3804	29.4801	2.0792	236.
MTC TOLL3 PROCESS	27.4525	2,68	25.8912	31.2289	2.2984	210.
MTC TOLL4 PROCESS	24.7228	3,15	20.5572	26.7275	2.1308	254.

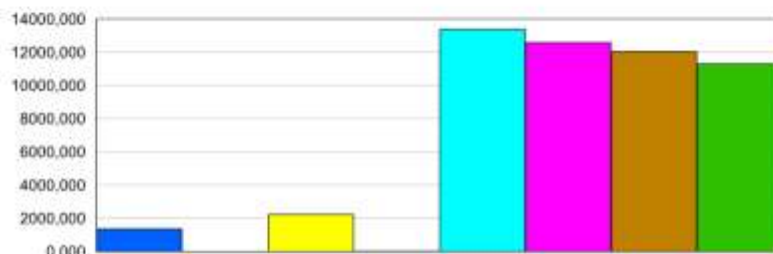
Accumulated Time

KLEIDI TOLL PLAZA

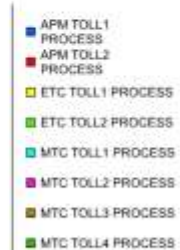
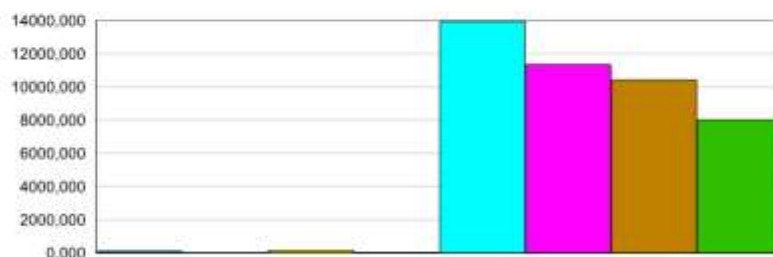
Replications: 5 Time Units: Seconds

Process**Accumulated Time**

Accum VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
APM TOLL1 PROCESS	1346.17	29.99	1318.11	1376.22
APM TOLL2 PROCESS	2.4322	4.67	0.00	8.5465
ETC TOLL1 PROCESS	2211.40	56.13	2152.00	2268.00
ETC TOLL2 PROCESS	18.0000	7.50	12.0000	27.0000
MTC TOLL1 PROCESS	13375.92	464.99	12842.76	13745.28
MTC TOLL2 PROCESS	12561.22	701.16	11609.82	13048.89
MTC TOLL3 PROCESS	12028.82	252.35	11668.74	12161.81
MTC TOLL4 PROCESS	11271.28	676.09	10368.88	11722.15



Accum Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
APM TOLL1 PROCESS	92.7969	42.21	55.1588	139.75
APM TOLL2 PROCESS	0.00	0.00	0.00	0.00
ETC TOLL1 PROCESS	160.24	16.25	147.57	182.20
ETC TOLL2 PROCESS	1.0045	0.93	0.00	1.8729
MTC TOLL1 PROCESS	13937.77	1.772,04	11998.79	15713.54
MTC TOLL2 PROCESS	11325.24	2.157,54	8707.77	12922.64
MTC TOLL3 PROCESS	10407.40	1.854,52	9189.75	12943.51
MTC TOLL4 PROCESS	7999.81	1.955,64	5336.79	9056.86

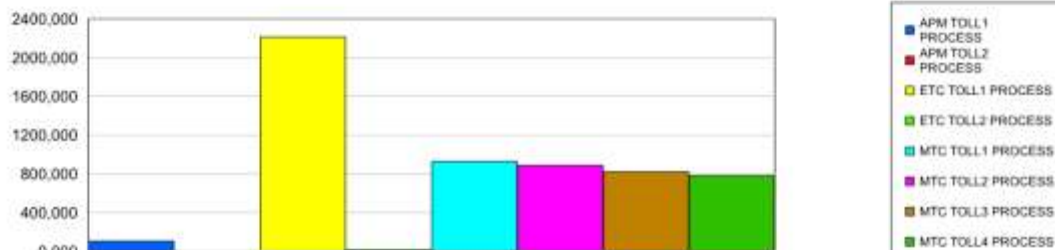
**Other**

KLEIDI TOLL PLAZA

Replications: 5 Time Units: Seconds

Process**Other**

Number In	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
APM TOLL1 PROCESS	105.40	15,27	90.0000	119.00
APM TOLL2 PROCESS	0.4000	0,68	0.00	1.0000
ETC TOLL1 PROCESS	2211.80	56,40	2152.00	2269.00
ETC TOLL2 PROCESS	18.0000	7,50	12.0000	27.0000
MTC TOLL1 PROCESS	928.40	41,90	891.00	962.00
MTC TOLL2 PROCESS	887.60	29,44	858.00	912.00
MTC TOLL3 PROCESS	818.80	35,32	779.00	852.00
MTC TOLL4 PROCESS	780.00	16,00	764.00	796.00



Number Out	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
APM TOLL1 PROCESS	105.40	15,27	90.0000	119.00
APM TOLL2 PROCESS	0.4000	0,68	0.00	1.0000
ETC TOLL1 PROCESS	2211.40	56,13	2152.00	2268.00
ETC TOLL2 PROCESS	18.0000	7,50	12.0000	27.0000
MTC TOLL1 PROCESS	926.60	41,58	889.00	960.00
MTC TOLL2 PROCESS	886.40	29,70	857.00	912.00
MTC TOLL3 PROCESS	818.00	34,88	779.00	851.00
MTC TOLL4 PROCESS	779.00	15,23	764.00	794.00

KLEIDI TOLL PLAZA

Replications: 5 Time Units: Seconds

Queue**Time**

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
APM TOLL1	0.8887	0,39	0.4635	1.2047	0.00	51.59
PROCESS.QUEUE						
APM TOLL2	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.
PROCESS.QUEUE						
ETC TOLL1 PROCESS.QUEUE	0.07242430	0,01	0.06794536	0.08122982	0.00	3.00
ETC TOLL2 PROCESS.QUEUE	0.05124088	0,04	0.00	0.0936	0.00	0.98
MTC TOLL1	15.0726	2,26	12.6682	17.7114	0.00	207.
PROCESS.QUEUE						
MTC TOLL2	12.7872	2,49	10.0089	14.6174	0.00	205.
PROCESS.QUEUE						
MTC TOLL3	12.7336	2,40	11.3066	16.1226	0.00	183.
PROCESS.QUEUE						
MTC TOLL4	10.2505	2,42	6.9853	11.5829	0.00	228.
PROCESS.QUEUE						

Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
APM TOLL1	0.00515538	0,00	0.00306438	0.00776389	0.00	2.00
PROCESS.QUEUE						
APM TOLL2	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.
PROCESS.QUEUE						
ETC TOLL1 PROCESS.QUEUE	0.00890219	0,00	0.00819825	0.01012214	0.00	3.00
ETC TOLL2 PROCESS.QUEUE	0.00005580	0,00	0.00	0.00010405	0.00	1.00
MTC TOLL1	0.7758	0,10	0.6689	0.8777	0.00	7.00
PROCESS.QUEUE						
MTC TOLL2	0.6301	0,12	0.4840	0.7203	0.00	7.00
PROCESS.QUEUE						
MTC TOLL3	0.5785	0,10	0.5105	0.7192	0.00	6.00
PROCESS.QUEUE						
MTC TOLL4	0.4450	0,11	0.2965	0.5034	0.00	6.00
PROCESS.QUEUE						

KLEIDI TOLL PLAZA

Replications: 5 Time Units: Seconds

Resource**Usage**

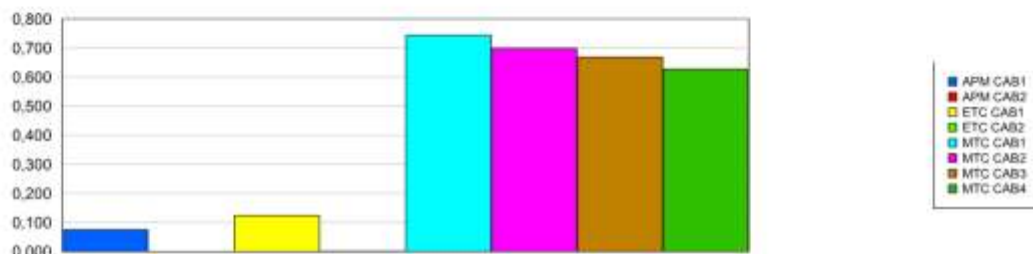
Instantaneous Utilization						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
APM CAB1	0.07478720	0,00	0.07322847	0.07645685	0.00	1.00
APM CAB2	0.00013512	0,00	0.00	0.00047481	0.00	1.00
ETC CAB1	0.1229	0,00	0.1196	0.1260	0.00	1.00
ETC CAB2	0.00100000	0,00	0.00066667	0.00150000	0.00	1.00
MTC CAB1	0.7435	0,03	0.7140	0.7641	0.00	1.00
MTC CAB2	0.6983	0,04	0.6462	0.7254	0.00	1.00
MTC CAB3	0.6686	0,01	0.6483	0.6762	0.00	1.00
MTC CAB4	0.6264	0,04	0.5760	0.6516	0.00	1.00
Number Busy						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
APM CAB1	0.07478720	0,00	0.07322847	0.07645685	0.00	1.00
APM CAB2	0.00013512	0,00	0.00	0.00047481	0.00	1.00
ETC CAB1	0.1229	0,00	0.1196	0.1260	0.00	1.00
ETC CAB2	0.00100000	0,00	0.00066667	0.00150000	0.00	1.00
MTC CAB1	0.7435	0,03	0.7140	0.7641	0.00	1.00
MTC CAB2	0.6983	0,04	0.6462	0.7254	0.00	1.00
MTC CAB3	0.6686	0,01	0.6483	0.6762	0.00	1.00
MTC CAB4	0.6264	0,04	0.5760	0.6516	0.00	1.00
Number Scheduled						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
APM CAB1	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.00
APM CAB2	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.00
ETC CAB1	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.00
ETC CAB2	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.00
MTC CAB1	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.00
MTC CAB2	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.00
MTC CAB3	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.00
MTC CAB4	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.00

KLEIDI TOLL PLAZA

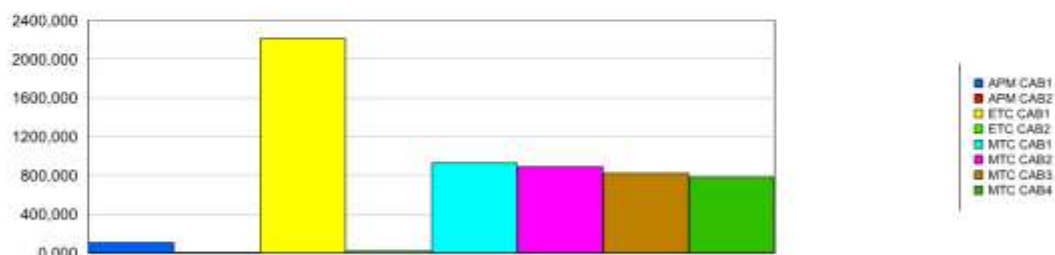
Replications: 5 Time Units: Seconds

Resource**Usage**

Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
APM CAB1	0.07478720	0,00	0.07322847	0.07645685
APM CAB2	0.00013512	0,00	0.00	0.00047481
ETC CAB1	0.1229	0,00	0.1196	0.1260
ETC CAB2	0.00100000	0,00	0.00066667	0.00150000
MTC CAB1	0.7435	0,03	0.7140	0.7641
MTC CAB2	0.6983	0,04	0.6462	0.7254
MTC CAB3	0.6686	0,01	0.6483	0.6762
MTC CAB4	0.6264	0,04	0.5760	0.6516



Total Number Seized	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
APM CAB1	105.40	15,27	90.0000	119.00
APM CAB2	0.4000	0,68	0.00	1.0000
ETC CAB1	2211.80	56,40	2152.00	2269.00
ETC CAB2	18.0000	7,50	12.0000	27.0000
MTC CAB1	927.60	41,58	890.00	961.00
MTC CAB2	887.20	29,37	858.00	912.00
MTC CAB3	818.80	35,32	779.00	852.00
MTC CAB4	779.80	15,61	764.00	795.00



KLEIDI TOLL PLAZA

Replications: 5 Time Units: Seconds

Station**Other**

Number Entities Transferring	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
APM TOLL1	0.2573	0,04	0.2193	0.2899	0.00	4.00
APM TOLL2	0.00097444	0,00	0.00	0.00243611	0.00	1.00
ETC TOLL1	3.4460	0,09	3.3511	3.5358	0.00	13.00
ETC TOLL2	0.02803000	0,01	0.01868667	0.04204500	0.00	2.00
MTC TOLL1	2.2643	0,10	2.1721	2.3447	0.00	6.00
MTC TOLL2	2.1650	0,07	2.0920	2.2242	0.00	7.00
MTC TOLL3	1.9975	0,08	1.9047	2.0784	0.00	6.00
MTC TOLL4	1.9022	0,04	1.8661	1.9391	0.00	7.00

15. Αποτελέσματα προσομοίωσης μελλοντικού σεναρίου.

11:46:06μμ	Category Overview	Ιούνιος 10, 2025
Values Across All Replications		
KLEIDI TOLL PLAZA		
Replications: 5	Time Units: Seconds	
Key Performance Indicators		
System	Average	
Number Out	9,574	
Model Filename: C:\Users\admin\Desktop\ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ_ΕΡΓΑΣΙΑ\FINAL\ARENA DOE\2.FUT Page 1 of 9		

KLEIDI TOLL PLAZA

Replications: 5 Time Units: Seconds

Entity**Time**

VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CAT1	12.0389	0,87	11.3003	13.1868	1.0000	70.23
CAT2	7.5897	0,11	7.4685	7.7147	1.0000	218.
CAT3	15.6199	1,67	13.7830	17.5676	1.0000	230.
CAT4	6.7180	0,89	5.9346	7.5228	1.0000	245.

NVA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CAT1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.
CAT2	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.
CAT3	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.
CAT4	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.

Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CAT1	2700.93	104,96	2617.06	2841.22	0.00	5894.
CAT2	1504.29	84,05	1443.53	1616.53	0.00	6042.
CAT3	610.13	75,35	548.80	694.92	0.00	5951.
CAT4	250.73	27,99	214.48	276.65	0.00	5815.

Transfer Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CAT1	43.5956	0,18	43.4495	43.7580	28.0300	43.85
CAT2	37.0567	0,15	36.9256	37.1987	28.0300	43.85
CAT3	31.6518	0,34	31.3941	32.0881	28.0300	43.85
CAT4	29.4639	0,15	29.3017	29.5842	28.0300	43.85

Other Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CAT1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.
CAT2	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.
CAT3	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.
CAT4	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.

Total Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CAT1	2756.57	104,36	2672.71	2896.00	29.0300	5947.
CAT2	1548.94	83,94	1488.21	1661.09	29.0300	6094.
CAT3	657.40	76,98	595.60	744.58	29.0300	6050.
CAT4	286.91	28,81	249.71	313.76	29.0300	5961.

Other

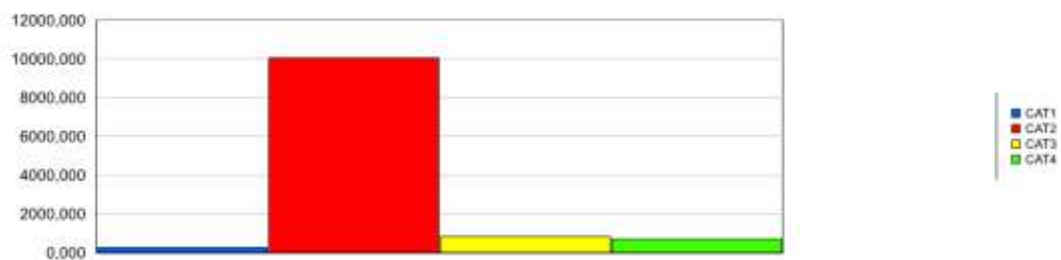
Values Across All Replications

KLEIDI TOLL PLAZA

Replications: 5 Time Units: Seconds

Entity**Other**

Number In	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
CAT1	247.80	28,26	232.00	287.00
CAT2	10035.20	188,69	9853.00	10174.00
CAT3	830.00	20,55	805.00	849.00
CAT4	685.60	49,45	644.00	742.00



Number Out	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
CAT1	173.00	24,78	158.00	207.00
CAT2	7990.60	179,53	7808.00	8187.00
CAT3	749.00	18,25	729.00	767.00
CAT4	661.80	47,24	622.00	714.00

WIP	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CAT1	37.6868	3,40	35.7258	42.4665	0.00	88.00
CAT2	1008.21	66,05	948.39	1083.55	0.00	2142.00
CAT3	40.1594	4,37	36.0278	45.1562	0.00	102.00
CAT4	13.8007	1,71	11.9696	15.3579	0.00	33.00

KLEIDI TOLL PLAZA

Replications: 5 Time Units: Seconds

Process**Time per Entity**

VA Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
APM TOLL1 PROCESS	12.5242	1,10	11.1756	13.3537	2.2509	68.46
APM TOLL2 PROCESS	9.8907	3,47	5.2347	12.5748	4.8190	23.73
ETC TOLL1 PROCESS	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.00
ETC TOLL2 PROCESS	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.00
MTC TOLL1 PROCESS	15.0608	0,45	14.6227	15.5305	2.1966	189.
MTC TOLL2 PROCESS	15.2216	0,44	14.8439	15.5960	2.1483	245.
MTC TOLL3 PROCESS	15.2055	0,62	14.6279	15.8683	2.0792	209.
MTC TOLL4 PROCESS	14.8495	0,53	14.4565	15.5393	2.0821	230.

Wait Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
APM TOLL1 PROCESS	1.0535	0,29	0.7885	1.2652	0.00	45.09
APM TOLL2 PROCESS	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.
ETC TOLL1 PROCESS	0.1649	0,01	0.1523	0.1754	0.00	4.29
ETC TOLL2 PROCESS	0.0928	0,06	0.05327037	0.1701	0.00	2.30
MTC TOLL1 PROCESS	2745.04	136,25	2629.52	2903.10	0.00	6042.
MTC TOLL2 PROCESS	2760.91	244,47	2568.70	3031.91	0.00	5839.
MTC TOLL3 PROCESS	2810.01	219,17	2603.09	3067.83	0.00	5563.
MTC TOLL4 PROCESS	2719.40	189,15	2615.24	2983.70	0.00	5960.

Total Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
APM TOLL1 PROCESS	13.5777	1,33	11.9994	14.6057	2.2509	86.65
APM TOLL2 PROCESS	9.8907	3,47	5.2347	12.5748	4.8190	23.73
ETC TOLL1 PROCESS	1.1649	0,01	1.1523	1.1754	1.0000	5.29
ETC TOLL2 PROCESS	1.0928	0,06	1.0533	1.1701	1.0000	3.30
MTC TOLL1 PROCESS	2760.10	136,43	2644.14	2918.02	6.1327	6051.
MTC TOLL2 PROCESS	2776.13	244,88	2583.54	3047.44	3.2160	5878.
MTC TOLL3 PROCESS	2825.22	219,61	2617.72	3083.35	2.7669	5569.
MTC TOLL4 PROCESS	2734.25	189,59	2629.84	2999.24	3.3529	6003.

Accumulated Time

KLEIDI TOLL PLAZA

Replications: 5 Time Units: Seconds

Process**Accumulated Time**

Accum VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
APM TOLL1 PROCESS	2555.08	497,22	1955.74	2925.65
APM TOLL2 PROCESS	18.9800	15,23	5.2347	37.7244
ETC TOLL1 PROCESS	4445.20	123,33	4360.00	4599.00
ETC TOLL2 PROCESS	168.40	27,17	134.00	194.00
MTC TOLL1 PROCESS	17944.28	7,76	17935.91	17953.22
MTC TOLL2 PROCESS	17913.97	43,92	17866.86	17946.30
MTC TOLL3 PROCESS	17915.30	48,71	17871.50	17953.19
MTC TOLL4 PROCESS	17914.87	40,75	17865.36	17940.47



Accum Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
APM TOLL1 PROCESS	214.01	63,60	144.15	263.17
APM TOLL2 PROCESS	0.00	0,00	0.00	0.00
ETC TOLL1 PROCESS	733.65	63,76	664.35	806.86
ETC TOLL2 PROCESS	15.8690	10,08	7.1382	29.2504
MTC TOLL1 PROCESS	3271056.99	152.404,62	3202065.09	3489528.39
MTC TOLL2 PROCESS	3246651.24	202.244,35	3105556.14	3498826.01
MTC TOLL3 PROCESS	3309625.79	183.750,77	3180980.51	3534142.18
MTC TOLL4 PROCESS	3279527.75	145.906,63	3179787.25	3443193.40

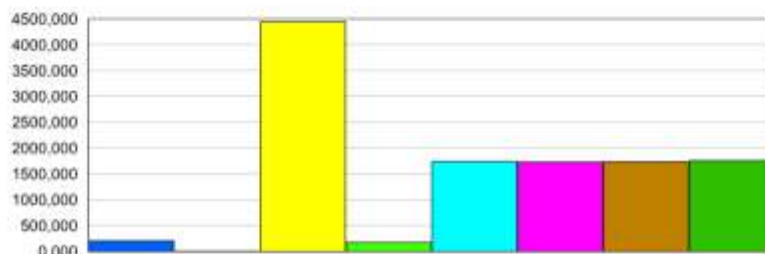
**Other**

KLEIDI TOLL PLAZA

Replications: 5 Time Units: Seconds

Process**Other**

Number In	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
APM TOLL1 PROCESS	203.40	27,07	175.00	233.00
APM TOLL2 PROCESS	1.8000	1,04	1.0000	3.0000
ETC TOLL1 PROCESS	4445.60	123,76	4360.00	4600.00
ETC TOLL2 PROCESS	168.40	27,17	134.00	194.00
MTC TOLL1 PROCESS	1741.40	32,36	1717.00	1772.00
MTC TOLL2 PROCESS	1728.00	29,99	1710.00	1770.00
MTC TOLL3 PROCESS	1728.80	45,32	1688.00	1768.00
MTC TOLL4 PROCESS	1756.60	35,45	1723.00	1801.00



Number Out	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
APM TOLL1 PROCESS	203.20	26,98	175.00	233.00
APM TOLL2 PROCESS	1.8000	1,04	1.0000	3.0000
ETC TOLL1 PROCESS	4445.20	123,33	4360.00	4599.00
ETC TOLL2 PROCESS	168.40	27,17	134.00	194.00
MTC TOLL1 PROCESS	1192.00	35,15	1156.00	1227.00
MTC TOLL2 PROCESS	1177.40	34,46	1147.00	1209.00
MTC TOLL3 PROCESS	1179.20	47,02	1131.00	1222.00
MTC TOLL4 PROCESS	1207.20	42,06	1154.00	1241.00

KLEIDI TOLL PLAZA

Replications: 5 Time Units: Seconds

Queue**Time**

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
APM TOLL1	1.0523	0,29	0.7885	1.2652	0.00	45.09
PROCESS.QUEUE						
APM TOLL2	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.
PROCESS.QUEUE						
ETC TOLL1 PROCESS.QUEUE	0.1649	0,01	0.1523	0.1754	0.00	4.29
ETC TOLL2 PROCESS.QUEUE	0.0928	0,06	0.05327037	0.1701	0.00	2.30
MTC TOLL1	2747.45	136,49	2631.71	2905.62	0.00	6042.
PROCESS.QUEUE						
MTC TOLL2	2763.38	244,41	2571.38	3034.37	0.00	5873.
PROCESS.QUEUE						
MTC TOLL3	2812.24	219,14	2605.28	3069.99	0.00	5563.
PROCESS.QUEUE						
MTC TOLL4	2721.81	189,31	2617.36	2986.31	0.00	5995.
PROCESS.QUEUE						

Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
APM TOLL1	0.01188963	0,00	0.00800857	0.01462053	0.00	2.00
PROCESS.QUEUE						
APM TOLL2	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.
PROCESS.QUEUE						
ETC TOLL1 PROCESS.QUEUE	0.04075858	0,00	0.03690840	0.04482537	0.00	5.00
ETC TOLL2 PROCESS.QUEUE	0.00088161	0,00	0.00039657	0.00162502	0.00	3.00
MTC TOLL1	268.05	16,73	253.72	286.64	0.00	569.
PROCESS.QUEUE						
MTC TOLL2	267.84	16,76	253.49	286.52	0.00	568.
PROCESS.QUEUE						
MTC TOLL3	267.59	16,74	253.28	286.26	0.00	569.
PROCESS.QUEUE						
MTC TOLL4	267.28	16,78	252.94	286.06	0.00	569.
PROCESS.QUEUE						

KLEIDI TOLL PLAZA

Replications: 5 Time Units: Seconds

Resource**Usage**

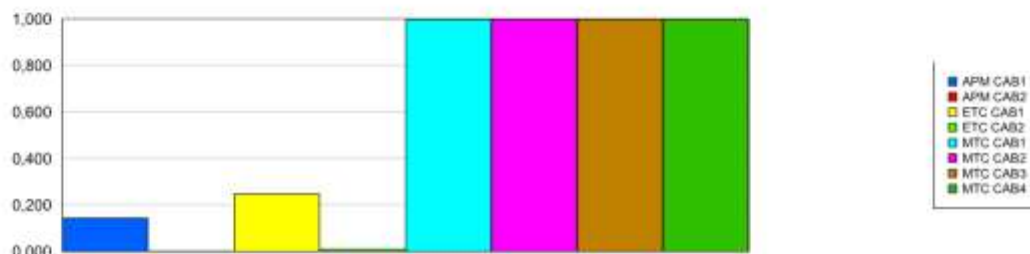
Instantaneous Utilization						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
APM CAB1	0.1420	0.03	0.1087	0.1625	0.00	1.00
APM CAB2	0.00105445	0.00	0.00029081	0.00209580	0.00	1.00
ETC CAB1	0.2470	0.01	0.2422	0.2555	0.00	1.00
ETC CAB2	0.00935556	0.00	0.00744444	0.01077778	0.00	1.00
MTC CAB1	0.9973	0.00	0.9968	0.9976	0.00	1.00
MTC CAB2	0.9967	0.00	0.9948	0.9976	0.00	1.00
MTC CAB3	0.9972	0.00	0.9966	0.9976	0.00	1.00
MTC CAB4	0.9965	0.00	0.9945	0.9971	0.00	1.00
Number Busy						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
APM CAB1	0.1420	0.03	0.1087	0.1625	0.00	1.00
APM CAB2	0.00105445	0.00	0.00029081	0.00209580	0.00	1.00
ETC CAB1	0.2470	0.01	0.2422	0.2555	0.00	1.00
ETC CAB2	0.00935556	0.00	0.00744444	0.01077778	0.00	1.00
MTC CAB1	0.9973	0.00	0.9968	0.9976	0.00	1.00
MTC CAB2	0.9967	0.00	0.9948	0.9976	0.00	1.00
MTC CAB3	0.9972	0.00	0.9966	0.9976	0.00	1.00
MTC CAB4	0.9965	0.00	0.9945	0.9971	0.00	1.00
Number Scheduled						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
APM CAB1	1.0000	0.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.00
APM CAB2	1.0000	0.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.00
ETC CAB1	1.0000	0.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.00
ETC CAB2	1.0000	0.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.00
MTC CAB1	1.0000	0.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.00
MTC CAB2	1.0000	0.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.00
MTC CAB3	1.0000	0.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.00
MTC CAB4	1.0000	0.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.00

KLEIDI TOLL PLAZA

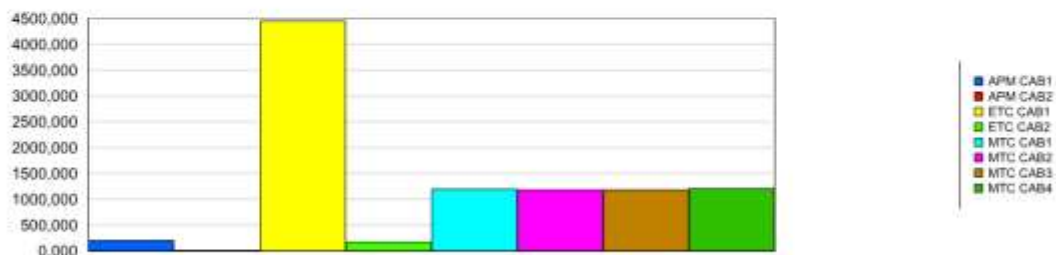
Replications: 5 Time Units: Seconds

Resource**Usage**

Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
APM CAB1	0.1420	0,03	0.1087	0.1625
APM CAB2	0.00105445	0,00	0.00029081	0.00209580
ETC CAB1	0.2470	0,01	0.2422	0.2555
ETC CAB2	0.00935556	0,00	0.00744444	0.01077778
MTC CAB1	0.9973	0,00	0.9968	0.9976
MTC CAB2	0.9967	0,00	0.9948	0.9976
MTC CAB3	0.9972	0,00	0.9966	0.9976
MTC CAB4	0.9965	0,00	0.9945	0.9971



Total Number Seized	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
APM CAB1	203.40	27,07	175.00	233.00
APM CAB2	1.8000	1,04	1.0000	3.0000
ETC CAB1	4445.60	123,76	4360.00	4600.00
ETC CAB2	168.40	27,17	134.00	194.00
MTC CAB1	1193.00	35,15	1157.00	1228.00
MTC CAB2	1178.40	34,46	1148.00	1210.00
MTC CAB3	1180.20	47,02	1132.00	1223.00
MTC CAB4	1208.20	42,06	1155.00	1242.00



16. Αποτελέσματα προσομοίωσης μελλοντικού σεναρίου με εναλλακτική διαμόρφωση καμπινών.

12:06:56πμ	Category Overview	Ιούνιος 11, 2025
Values Across All Replications		
KLEIDI TOLL PLAZA		
Replications: 5	Time Units: Seconds	
Key Performance Indicators		
System	Average	
Number Out	11,782	
Model Filename: C:\Users\admin\Desktop\ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ_ΕΡΓΑΣΙΑ\FINAL\ARENA DOE\3.FUT Page 1 of 11		

KLEIDI TOLL PLAZA

Replications: 5 Time Units: Seconds

Entity**Time**

VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CAT1	12.8464	0,98	11.7621	13.5487	1.0000	75.10
CAT2	8.5682	0,14	8.4430	8.6924	1.0000	153.
CAT3	20.1575	1,78	18.8724	22.3737	1.0000	245.
CAT4	8.6823	0,76	8.0325	9.4596	1.0000	218.

NVA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CAT1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.
CAT2	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.
CAT3	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.
CAT4	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.

Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CAT1	9.4102	1,69	7.6675	10.7558	0.00	227.
CAT2	6.2495	0,50	5.7982	6.7646	0.00	272.
CAT3	3.3089	0,41	2.9743	3.7534	0.00	208.
CAT4	1.4212	0,42	1.1868	1.9798	0.00	150.

Transfer Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CAT1	43.6773	0,21	43.4263	43.8500	28.0300	43.85
CAT2	38.4470	0,10	38.3081	38.5080	28.0300	43.85
CAT3	32.7648	0,43	32.3982	33.2849	28.0300	43.85
CAT4	29.9158	0,16	29.7743	30.0535	28.0300	43.85

Other Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CAT1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.
CAT2	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.
CAT3	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.
CAT4	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.

Total Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CAT1	65.9338	1,51	64.6425	67.7754	29.0300	278.
CAT2	53.2646	0,63	52.5493	53.6773	29.0300	337.
CAT3	56.2312	2,58	54.2449	59.4120	29.0300	343.
CAT4	40.0193	1,18	39.0367	41.4928	29.0300	301.

Other

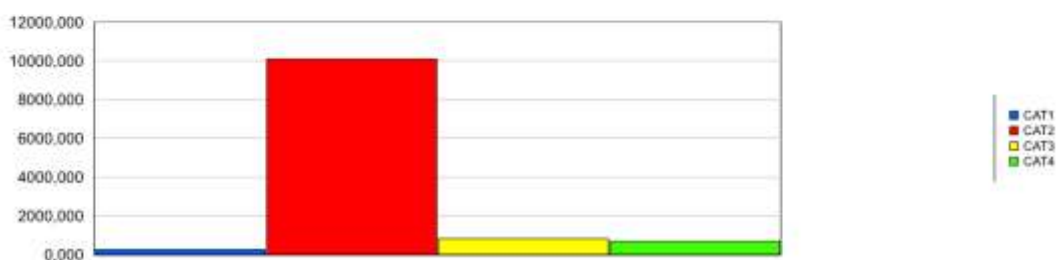
Values Across All Replications

KLEIDI TOLL PLAZA

Replications: 5 Time Units: Seconds

Entity**Other**

Number In	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
CAT1	246.00	22,84	226.00	276.00
CAT2	10089.00	33,98	10060.00	10126.00
CAT3	812.60	45,03	759.00	860.00
CAT4	674.00	48,16	622.00	725.00



Number Out	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
CAT1	244.80	22,58	224.00	274.00
CAT2	10055.40	34,83	10024.00	10095.00
CAT3	809.60	44,89	757.00	858.00
CAT4	672.40	46,62	622.00	722.00

WIP	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
CAT1	0.9000	0,10	0.8076	1.0154	0.00	6.00
CAT2	29.8253	0,43	29.3645	30.1715	0.00	56.00
CAT3	2.5395	0,24	2.3485	2.8424	0.00	10.00
CAT4	1.5000	0,12	1.3924	1.6050	0.00	9.00

KLEIDI TOLL PLAZA

Replications: 5 Time Units: Seconds

Process**Time per Entity**

VA Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
APM TOLL1 PROCESS	12.9295	0,66	12.3631	13.5520	2.2984	99.
ETC TOLL1 PROCESS	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.00
MTC TOLL1 PROCESS	14.7729	0,93	13.9352	15.9773	1.9898	155.
MTC TOLL2 PROCESS	15.1873	0,60	14.6782	15.9887	2.3076	195.
MTC TOLL3 PROCESS	14.8485	0,42	14.2759	15.0985	2.0738	213.
MTC TOLL4 PROCESS	15.0491	0,75	14.3005	15.8397	2.2541	219.
MTC TOLL5 PROCESS	14.7698	0,58	14.3737	15.5710	2.1034	200.
MTC TOLL6 PROCESS	14.9780	0,48	14.5669	15.4979	2.0064	218.
MTC TOLL7 PROCESS	14.9402	0,58	14.4349	15.4237	2.0928	203.
MTC TOLL8 PROCESS	15.0506	0,38	14.5861	15.3645	2.1044	186.
MTC TOLL9 PROCESS	14.8522	0,60	14.3399	15.3859	2.0775	245.

Wait Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
APM TOLL1 PROCESS	2.0748	0,45	1.4870	2.3979	0.00	75.92
ETC TOLL1 PROCESS	0.1707	0,01	0.1616	0.1824	0.00	4.74
MTC TOLL1 PROCESS	8.7692	1,90	7.3246	11.3476	0.00	188.
MTC TOLL2 PROCESS	8.5759	1,18	7.7202	10.2106	0.00	179.
MTC TOLL3 PROCESS	7.1005	0,42	6.5952	7.5473	0.00	230.
MTC TOLL4 PROCESS	7.4890	1,35	5.8628	8.6748	0.00	256.
MTC TOLL5 PROCESS	9.7929	1,37	8.6330	11.5815	0.00	190.
MTC TOLL6 PROCESS	9.6386	1,10	8.6414	10.7228	0.00	243.
MTC TOLL7 PROCESS	10.9111	2,38	8.9697	13.6033	0.00	208.
MTC TOLL8 PROCESS	11.8133	1,69	9.9113	13.2397	0.00	272.
MTC TOLL9 PROCESS	11.9537	2,10	9.8430	14.1267	0.00	244.

Total Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
APM TOLL1 PROCESS	15.0043	1,05	13.8672	15.8825	2.2984	99.
ETC TOLL1 PROCESS	1.1707	0,01	1.1616	1.1824	1.0000	5.74
MTC TOLL1 PROCESS	23.5421	2,82	21.2598	27.3249	1.9898	222.
MTC TOLL2 PROCESS	23.7632	1,78	22.3983	26.1993	2.4108	220.
MTC TOLL3 PROCESS	21.9490	0,80	20.8711	22.6080	2.0738	269.
MTC TOLL4 PROCESS	22.5381	2,08	20.1633	24.5145	2.2541	272.
MTC TOLL5 PROCESS	24.5627	1,87	23.2985	27.1525	2.2234	233.
MTC TOLL6 PROCESS	24.6166	1,44	23.4137	26.2207	2.0064	258.
MTC TOLL7 PROCESS	25.8514	2,93	23.4965	29.0270	2.0928	265.
MTC TOLL8 PROCESS	26.8639	2,06	24.4974	28.5179	2.1044	299.
MTC TOLL9 PROCESS	26.8058	2,68	24.1829	29.4819	2.0775	254.

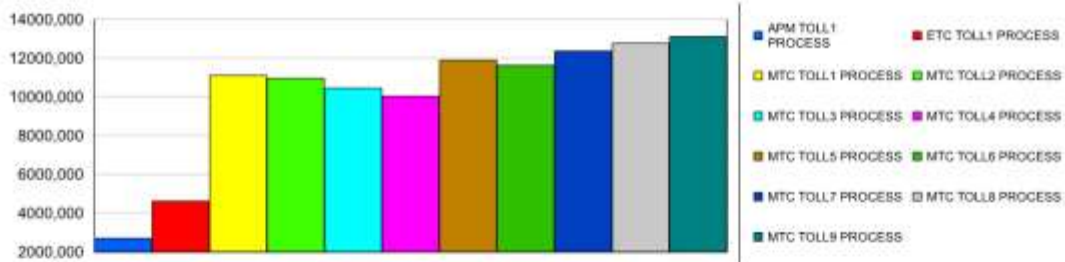
Accumulated Time

KLEIDI TOLL PLAZA

Replications: 5 Time Units: Seconds

Process**Accumulated Time**

Accum VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
APM TOLL1 PROCESS	2683.82	350.99	2324.26	2994.98
ETC TOLL1 PROCESS	4596.00	6.97	4592.00	4605.00
MTC TOLL1 PROCESS	11098.97	408.16	10799.75	11599.55
MTC TOLL2 PROCESS	10951.69	417.37	10450.86	11351.98
MTC TOLL3 PROCESS	10438.26	144.67	10292.95	10589.41
MTC TOLL4 PROCESS	10028.16	490.84	9466.94	10517.56
MTC TOLL5 PROCESS	11881.21	215.88	11700.19	12084.38
MTC TOLL6 PROCESS	11607.60	361.35	11318.46	11917.86
MTC TOLL7 PROCESS	12349.75	408.20	11923.19	12699.63
MTC TOLL8 PROCESS	12747.26	255.24	12514.89	12936.74
MTC TOLL9 PROCESS	13092.82	354.53	12733.82	13416.55

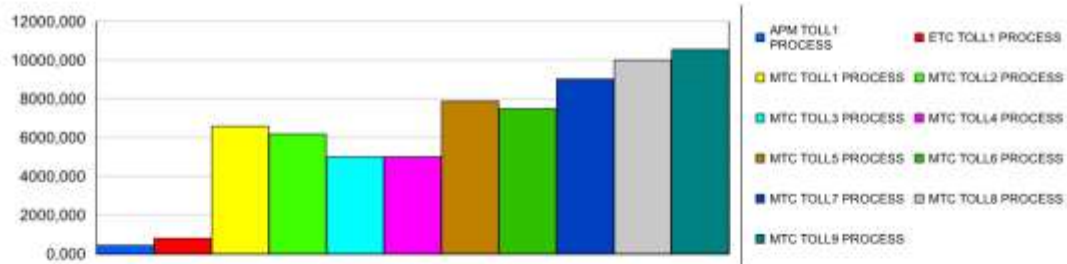


KLEIDI TOLL PLAZA

Replications: 5 Time Units: Seconds

Process**Accumulated Time**

Accum Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
APM TOLL1 PROCESS	427.82	88,13	350.94	515.04
ETC TOLL1 PROCESS	784.71	47,00	744.34	837.69
MTC TOLL1 PROCESS	6575.71	1.243,88	5676.59	8238.35
MTC TOLL2 PROCESS	6181.67	804,25	5496.75	7249.50
MTC TOLL3 PROCESS	4990.38	225,75	4755.14	5222.75
MTC TOLL4 PROCESS	4990.74	898,68	3881.19	5760.08
MTC TOLL5 PROCESS	7863.02	811,42	7113.58	8813.50
MTC TOLL6 PROCESS	7469.90	848,54	6645.21	8245.84
MTC TOLL7 PROCESS	9004.29	1.804,07	7471.75	10964.26
MTC TOLL8 PROCESS	9992.55	1.233,94	8503.90	11121.36
MTC TOLL9 PROCESS	10528.53	1.712,19	8740.56	12276.13

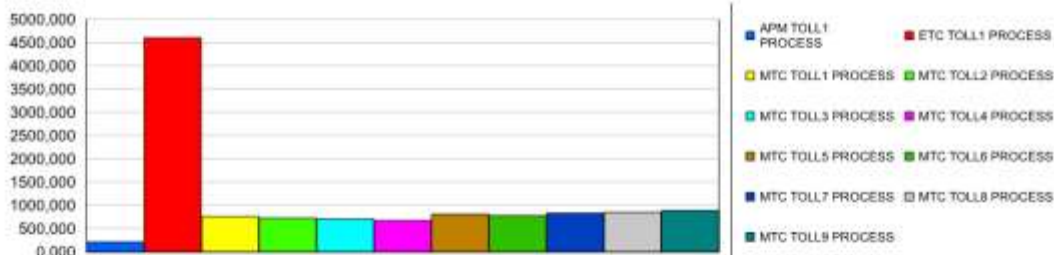
**Other**

KLEIDI TOLL PLAZA

Replications: 5 Time Units: Seconds

Process**Other**

Number In	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
APM TOLL1 PROCESS	208.00	26,23	188.00	236.00
ETC TOLL1 PROCESS	4596.40	7,27	4592.00	4605.00
MTC TOLL1 PROCESS	753.00	22,77	729.00	776.00
MTC TOLL2 PROCESS	722.40	14,60	711.00	739.00
MTC TOLL3 PROCESS	704.00	16,63	688.00	721.00
MTC TOLL4 PROCESS	668.40	8,31	663.00	679.00
MTC TOLL5 PROCESS	806.60	32,15	762.00	824.00
MTC TOLL6 PROCESS	775.80	7,37	769.00	782.00
MTC TOLL7 PROCESS	828.80	15,93	810.00	845.00
MTC TOLL8 PROCESS	848.80	25,04	817.00	866.00
MTC TOLL9 PROCESS	883.80	13,35	870.00	895.00



Number Out	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
APM TOLL1 PROCESS	207.60	25,81	188.00	236.00
ETC TOLL1 PROCESS	4596.00	6,97	4592.00	4605.00
MTC TOLL1 PROCESS	752.00	23,73	726.00	775.00
MTC TOLL2 PROCESS	721.20	14,83	710.00	738.00
MTC TOLL3 PROCESS	703.20	17,01	687.00	721.00
MTC TOLL4 PROCESS	666.40	8,54	661.00	678.00
MTC TOLL5 PROCESS	805.00	31,86	761.00	824.00
MTC TOLL6 PROCESS	775.00	7,02	769.00	781.00
MTC TOLL7 PROCESS	826.80	17,68	806.00	845.00
MTC TOLL8 PROCESS	847.20	24,48	816.00	865.00
MTC TOLL9 PROCESS	881.80	13,38	869.00	894.00

KLEIDI TOLL PLAZA

Replications: 5 Time Units: Seconds

Queue**Time**

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
APM TOLL1	2.0727	0,45	1.4870	2.3979	0.00	75.92
PROCESS.QUEUE						
ETC TOLL1 PROCESS.QUEUE	0.1707	0,01	0.1616	0.1824	0.00	4.74
MTC TOLL1	8.7647	1,90	7.3207	11.3320	0.00	188.
PROCESS.QUEUE						
MTC TOLL2	8.5735	1,17	7.7308	10.1962	0.00	179.
PROCESS.QUEUE						
MTC TOLL3	7.1325	0,44	6.5952	7.5434	0.00	230.
PROCESS.QUEUE						
MTC TOLL4	7.4967	1,32	5.9200	8.6618	0.00	256.
PROCESS.QUEUE						
MTC TOLL5 PROCESS.Queue	9.7887	1,37	8.6330	11.5717	0.00	190.
MTC TOLL6 PROCESS.Queue	9.6383	1,09	8.6455	10.7228	0.00	243.
MTC TOLL7 PROCESS.Queue	10.9096	2,39	8.9647	13.6272	0.00	208.
MTC TOLL8 PROCESS.Queue	11.8070	1,70	9.8998	13.2594	0.00	272.
MTC TOLL9 PROCESS.Queue	11.9475	2,08	9.8689	14.1105	0.00	244.

Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
APM TOLL1	0.02395770	0,01	0.01949654	0.02956413	0.00	3.00
PROCESS.QUEUE						
ETC TOLL1 PROCESS.QUEUE	0.04360393	0,00	0.04135208	0.04653841	0.00	5.00
MTC TOLL1	0.3664	0,07	0.3156	0.4628	0.00	4.00
PROCESS.QUEUE						
MTC TOLL2	0.3439	0,04	0.3067	0.4027	0.00	4.00
PROCESS.QUEUE						
MTC TOLL3	0.2788	0,01	0.2642	0.2904	0.00	4.00
PROCESS.QUEUE						
MTC TOLL4	0.2799	0,05	0.2201	0.3200	0.00	4.00
PROCESS.QUEUE						
MTC TOLL5 PROCESS.Queue	0.4378	0,05	0.3952	0.4899	0.00	4.00
MTC TOLL6 PROCESS.Queue	0.4154	0,05	0.3698	0.4581	0.00	4.00
MTC TOLL7 PROCESS.Queue	0.5057	0,10	0.4154	0.6190	0.00	5.00
MTC TOLL8 PROCESS.Queue	0.5561	0,07	0.4755	0.6195	0.00	5.00
MTC TOLL9 PROCESS.Queue	0.5859	0,09	0.4896	0.6820	0.00	5.00

KLEIDI TOLL PLAZA

Replications: 5 Time Units: Seconds

Resource**Usage**

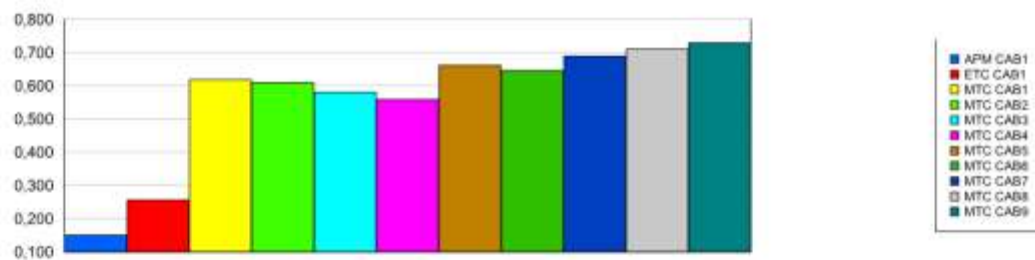
Instantaneous Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
APM CAB1	0.1496	0.02	0.1291	0.1688	0.00	1.00
ETC CAB1	0.2553	0.00	0.2551	0.2558	0.00	1.00
MTC CAB1	0.6176	0.02	0.6002	0.6485	0.00	1.00
MTC CAB2	0.6089	0.02	0.5811	0.6309	0.00	1.00
MTC CAB3	0.5803	0.01	0.5718	0.5892	0.00	1.00
MTC CAB4	0.5583	0.03	0.5262	0.5849	0.00	1.00
MTC CAB5	0.6607	0.01	0.6509	0.6714	0.00	1.00
MTC CAB6	0.6451	0.02	0.6293	0.6621	0.00	1.00
MTC CAB7	0.6888	0.02	0.6705	0.7060	0.00	1.00
MTC CAB8	0.7090	0.01	0.6968	0.7189	0.00	1.00
MTC CAB9	0.7280	0.02	0.7078	0.7467	0.00	1.00
Number Busy	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
APM CAB1	0.1496	0.02	0.1291	0.1688	0.00	1.00
ETC CAB1	0.2553	0.00	0.2551	0.2558	0.00	1.00
MTC CAB1	0.6176	0.02	0.6002	0.6485	0.00	1.00
MTC CAB2	0.6089	0.02	0.5811	0.6309	0.00	1.00
MTC CAB3	0.5803	0.01	0.5718	0.5892	0.00	1.00
MTC CAB4	0.5583	0.03	0.5262	0.5849	0.00	1.00
MTC CAB5	0.6607	0.01	0.6509	0.6714	0.00	1.00
MTC CAB6	0.6451	0.02	0.6293	0.6621	0.00	1.00
MTC CAB7	0.6888	0.02	0.6705	0.7060	0.00	1.00
MTC CAB8	0.7090	0.01	0.6968	0.7189	0.00	1.00
MTC CAB9	0.7280	0.02	0.7078	0.7467	0.00	1.00
Number Scheduled	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
APM CAB1	1.0000	0.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.00
ETC CAB1	1.0000	0.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.00
MTC CAB1	1.0000	0.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.00
MTC CAB2	1.0000	0.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.00
MTC CAB3	1.0000	0.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.00
MTC CAB4	1.0000	0.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.00
MTC CAB5	1.0000	0.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.00
MTC CAB6	1.0000	0.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.00
MTC CAB7	1.0000	0.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.00
MTC CAB8	1.0000	0.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.00
MTC CAB9	1.0000	0.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.00

KLEIDI TOLL PLAZA

Replications: 5 Time Units: Seconds

Resource**Usage**

Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
APM CAB1	0.1496	0,02	0.1291	0.1688
ETC CAB1	0.2553	0,00	0.2551	0.2558
MTC CAB1	0.6176	0,02	0.6002	0.6485
MTC CAB2	0.6089	0,02	0.5811	0.6309
MTC CAB3	0.5803	0,01	0.5718	0.5892
MTC CAB4	0.5583	0,03	0.5262	0.5849
MTC CAB5	0.6607	0,01	0.6509	0.6714
MTC CAB6	0.6451	0,02	0.6293	0.6621
MTC CAB7	0.6888	0,02	0.6705	0.7060
MTC CAB8	0.7090	0,01	0.6968	0.7189
MTC CAB9	0.7280	0,02	0.7078	0.7467

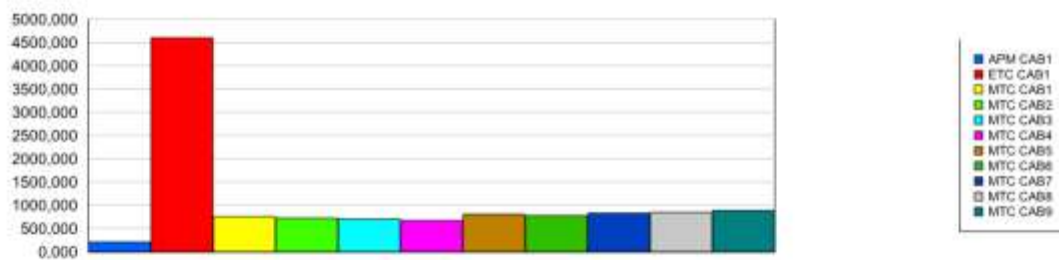


KLEIDI TOLL PLAZA

Replications: 5 Time Units: Seconds

Resource**Usage**

Total Number Seized	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
APM CAB1	207.80	26,02	188.00	236.00
ETC CAB1	4596.20	7,10	4592.00	4605.00
MTC CAB1	752.60	23,60	727.00	776.00
MTC CAB2	722.20	14,83	711.00	739.00
MTC CAB3	703.80	16,50	688.00	721.00
MTC CAB4	667.40	8,54	662.00	679.00
MTC CAB5	805.80	31,63	762.00	824.00
MTC CAB6	775.80	7,37	769.00	782.00
MTC CAB7	827.60	17,28	807.00	845.00
MTC CAB8	848.20	24,48	817.00	866.00
MTC CAB9	882.80	13,38	870.00	895.00



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Rockwell Automation. (2022). Arena Simulation Software Product Overview. Διαθέσιμο στο: <https://www.arenasimulation.com>
- [2] Kelton, W. D., Sadowski, R. P., & Swets, N. B. (2014). Simulation with Arena (6η έκδ.). McGraw-Hill.
- [3] Altiok, T., & Melamed, B. (2007). Simulation Modeling and Analysis with ARENA. Elsevier Academic Press.
- [4] Robinson, S. (2014). Simulation: The Practice of Model Development and Use. Wiley.
- [5] Button, K. (2010). Transport Economics. Edward Elgar Publishing.
- [6] Small, K. A., & Verhoef, E. T. (2007). The Economics of Urban Transportation. Routledge.
- [7] Vickrey, W. (1992). Principles of Efficient Congestion Pricing. Columbia University Press.
- [8] Rastorfer, R. (2004). Toll Plaza Concepts. ASCE Fall Conference, Houston.
- [9] Gallagher, R., & Worrall, L. (2005). Road Pricing: Theory and Practice. Journal of Transport Economics and Policy.
- [10] Klodzinski, J., & Al-Deek, H. (2002). New Methodology for Evaluating a Toll Plaza's Level of Service. ITE Journal, 72(2).
- [11] Bonin, C. F., Nassi, C. D., & Ribeiro, C. S. (2021). Toll Plaza Simulation and Service Time Estimation. Transportes, 29(3).
- [12] European Commission (EC). (2020). Study on Road Charging Interoperability. Brussels.
- [13] Federal Highway Administration (FHWA). (2017). Tolling Operations and Practices Manual. U.S. Department of Transportation.
- [14] OECD/ITF. (2018). The Shared-Use City: Managing the Curb. International Transport Forum
- [15] Toll Road News. (2012). World Tolling Review.
- [16] Cunha, A. B. (2007). Avaliação do impacto da medida de desempenho no equivalente veicular de caminhões. Dissertação de mestrado. (Μεταπτυχιακή εργασία). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.
- [17] Santos, T. S. (2017). Procedimento metodológico para avaliação de desempenho de praças de pedágio com uso de simulação. (Μεταπτυχιακή εργασία). Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- [18] Ξυπολιάς, Δ. Α. (2018). Σταθμοί Διοδίων & Σταθμοί Εξυπηρέτησης Αυτοκινητιστών (Σ.Ε.Α.) (Διπλωματική εργασία). Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών.
- [19] Μπούκη, Σ. (2007). Ηλεκτρονική Συλλογή Διοδίων Αυτοκινητοδρόμων (Διπλωματική εργασία). (Μεταπτυχιακή εργασία) Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών & Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών.
- [20] Μουριάδου, Γ. (2009). Ανάπτυξη ενός προσαρμοστικού αλγορίθμου για τον έλεγχο κυκλοφορίας σε περιοχές ραμπών εισόδου σε αυτοκινητόδρομο (Μεταπτυχιακή εργασία). Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης.

- [21] Καχριμανίδης, Ε. (2015). Παράμετροι επιλογής διαδρομής σε υπεραστικές οδούς (Διπλωματική εργασία). Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών.
- [22] Σπηλιοπούλου, Α. (2007). Έλεγχος Ροής Οχημάτων σε περιοχή Διοδίων Αυτοκινητοδρόμου (Διπλωματική εργασία). Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης.
- .