

**ΤΙΤΛΟΣ**

**«Διαχείριση της Κυκλοφορίας ως Υπηρεσία με την Εφαρμογή  
Συνεργατικών Ευφυών Συστημάτων Μεταφορών»**

**ΑΚΡΩΝΥΜΙΟ: CTMaas**

**Παραδοτέο**

**Π4.1: Αποτελέσματα μελέτης περίπτωσης και αξιολόγησης**

<b>Αρ. Παραδοτέου</b>	Π4.1
<b>Ενότητα Εργασίας</b>	Μελέτη περίπτωσης και αξιολόγησης
<b>Υπεύθυνος Φορέας</b>	ΕΚΕΤΑ-ΙΜΕΤ
<b>Είδος Παραδοτέου</b>	Τελικό
<b>Παράδοση</b>	M18
<b>Σύντομη Περιγραφή</b>	Περιγραφή και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την εφαρμογή των υπηρεσιών της πλατφόρμας CTMaas στην πόλη της Θεσσαλονίκης.
<b>Έναρξη Προγράμματος, Διάρκεια</b>	8 Οκτωβρίου 2021, 18 Μήνες
<b>Φορείς</b>	ΕΚΕΤΑ-ΙΜΕΤ, Κυκλοφοριακή Τεχνική Α.Ε.
<p><i>Η εργασία υλοποιήθηκε στο πλαίσιο της Δράσης «Επενδυτικά Σχέδια Καινοτομίας» της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας, και συγχρηματοδοτήθηκε από το Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης (ΕΤΠΑ) της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) και την Ελλάδα στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Κεντρική Μακεδονία 2014-2020».</i>  <i>(Κωδικός πράξης: ΚΜΡ6-0204048   Κωδικό MIS: 5136509)</i></p>	

30 Σεπτεμβρίου 2023

Ιούλιος 2023



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Ταμείο  
Περιφερειακής Ανάπτυξης

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ  
Ε.Π. Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας



ΕΣΠΑ  
2014-2020  
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ –  
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΒΙΩΣΙΜΗΣ  
ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ  
ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

**Λίστα συγγραφέων**

#	Όνοματεπώνυμο	Αρχικά	Φορέας	e-mail
1	Μπουτοβίνας Αντώνης	Μ.Α	ΕΚΕΤΑ-ΙΜΕΤ	<a href="mailto:anmpout@certh.gr">anmpout@certh.gr</a>
2	Πετκάνη Βικτωρία (contributor)	Σ.Κ.	ΕΚΕΤΑ-ΙΜΕΤ	<a href="mailto:vpetkani@certh.gr">vpetkani@certh.gr</a>
3	Τζανής Δημήτριος (contributor)	Σ.Μ.	ΕΚΕΤΑ-ΙΜΕΤ	<a href="mailto:dtzanis@certh.gr">dtzanis@certh.gr</a>
4	Κώση Αρετή (contributor)	Κ.Α.	ΕΚΕΤΑ-ΙΜΕΤ	<a href="mailto:akotsi@certh.gr">akotsi@certh.gr</a>
5	Μητσάκης Ευάγγελος (contributor)	Μ.Ε.	ΕΚΕΤΑ-ΙΜΕΤ	<a href="mailto:emit@certh.gr">emit@certh.gr</a>
6	Κλήμη Βασιλεία	Κ.Β.	ΕΚΕΤΑ-ΙΜΕΤ	<a href="mailto:vklimi@certh.gr">vklimi@certh.gr</a>
7	Παναγιωτίδης Ιωάννης	Π.Ι.	Κυκλοφοριακή ή Τεχνική Α.Ε.	<a href="mailto:johnpanagiotidis@gmail.com">johnpanagiotidis@gmail.com</a>
8	Λαζαρίδης Μιλτιάδης	Λ.Μ.	Κυκλοφοριακή ή Τεχνική Α.Ε.	<a href="mailto:lazaridismiltiadis@yahoo.gr">lazaridismiltiadis@yahoo.gr</a>
9	Καλιμπάνης Δημήτριος	Κ.Δ.	Κυκλοφοριακή ή Τεχνική Α.Ε.	<a href="mailto:dkaltibanis@traffictech.gr">dkaltibanis@traffictech.gr</a>
10	Αδαμόπουλος Παναγιώτης	Α.Π.	Κυκλοφοριακή ή Τεχνική Α.Ε.	<a href="mailto:pan.adamo94@gmail.com">pan.adamo94@gmail.com</a>
11	Καλιμπάνη Κλαίρη	Κ.Κ.	Κυκλοφοριακή ή Τεχνική Α.Ε.	<a href="mailto:klerikaltibani@traffictech.gr">klerikaltibani@traffictech.gr</a>
12	Νέστωρας Εμμανουήλ	Ν.Ε.	Κυκλοφοριακή ή Τεχνική Α.Ε.	<a href="mailto:nestoras@traffictech.gr">nestoras@traffictech.gr</a>
13	Τζιώγας Χαράλαμπος	Τ.Χ.	Κυκλοφοριακή ή Τεχνική Α.Ε.	<a href="mailto:tziogas.babis@gmail.com">tziogas.babis@gmail.com</a>

**Πίνακας αλλαγών**

#	Έκδοση	Ημερομηνία	Αλλαγές	Status
1	0.1	21/08/2023	Πίνακας περιεχομένων	Draft
2	1.0	30/09/2023	Τελική έκδοση	Final

## Κατάλογος όρων και συντομογραφιών

Συντομογραφία	Ορισμός
C-ITS	Cooperative Intelligent Transport Systems
GDPR	Γενικός Κανονισμός Προστασίας Προσωπικών Δεδομένων
GP	Green Priority
IVS	In-Vehicle Signage
RHW	Road Hazard Warning
RWW	Road Works Warning
SUMO	Simulation of Urban Mobility
UAV	Unmanned Aerial Vehicle (Μη-Επανδρωμένο Εναέριο Όχημα)

## Περίληψη

Το παραδοτέο Π4.1 Μελέτη περίπτωσης και αξιολόγησης έχει ως αντικείμενο την αξιολόγηση της πλατφόρμας CTMaaS η οποία υλοποιήθηκε και δοκιμάστηκε πιλοτικά στο οδικό δίκτυο της Θεσσαλονίκης. Το παραδοτέο περιλαμβάνει την περιγραφή της περιοχής μελέτης, στην οποία και εφαρμόστηκαν οι υπηρεσίες της πλατφόρμας CTMaaS, τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την αξιολόγηση του συστήματος και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από αυτήν. Τα αποτελέσματα περιλαμβάνουν τον υπολογισμό δεικτών που αφορούν στο πραγματικό οδικό δίκτυο, σε δίκτυο περιβάλλοντος προσομοίωσης, σε ελέγχους επαλήθευσης, καθώς επίσης και σε δεδομένα που συλλέχθηκαν από Μη-Επανδρωμένα Εναέρια Οχήματα (UAV).



## Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη.....	4
1. Εισαγωγή .....	9
1.2 Δομή παραδοτέου .....	9
2. Μελέτη περίπτωσης.....	10
3. Μεθοδολογία Αξιολόγησης.....	11
3.1 Χρήση Mobile App.....	11
3.2 Περιβάλλον προσομοίωσης .....	11
3.3 Ηλεκτρικό όχημα .....	12
3.4 Δεδομένα από Μη-Επανδρωμένα Εναέρια Οχήματα (UAV) .....	12
4. Αποτελέσματα .....	14
4.1 Χρήση Mobile App.....	14
4.2 Προσομοίωση υπηρεσιών C-ITS σε αυτοκινητόδρομο .....	15
4.2.1 Υπηρεσία Green Priority σε στόλο αστικών λεωφορείων .....	15
4.2.2 Υπηρεσίες Road Hazard Warning, Road Works Warning, In-Vehicle Signage .....	24
4.3 Ηλεκτρικό όχημα .....	32
4.4 Δεδομένα από μη Επανδρωμένα Οχήματα (UAV) .....	34
4.5 Ικανοποίηση λειτουργικών απαιτήσεων - Functional evaluation.....	38
5. Μελέτη Επιπτώσεων Προστασίας Δεδομένων .....	39



## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Αντικείμενα οδικού δικτύου κωδικοποιημένα στο λογισμικό SUMO.....	15
Πίνακας 2: Αντικείμενα οδικού δικτύου κωδικοποιημένα στο λογισμικό SUMO.....	25
Πίνακας 3: Αποτελέσματα 1 <sup>ης</sup> δοκιμής ηλεκτρικού οχήματος.....	33
Πίνακας 4: Αποτελέσματα 1 <sup>ης</sup> δοκιμής ηλεκτρικού οχήματος – αντίθετη κατεύθυνση.....	33
Πίνακας 5: Αποτελέσματα 2 <sup>ης</sup> δοκιμής ηλεκτρικού οχήματος.....	34
Πίνακας 6: Αποτελέσματα 2 <sup>ης</sup> δοκιμής ηλεκτρικού οχήματος – αντίθετη κατεύθυνση.....	34

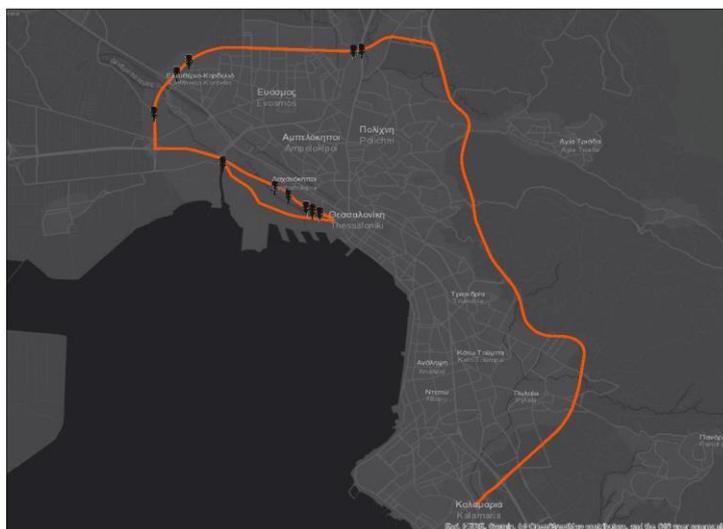
## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Χωροθέτηση μελέτης περίπτωσης εφαρμογής του συστήματος CTMaaS .....	9
Εικόνα 2: Μεγέθη δεδομένων baseline και treatment από τους χρήστες του Mobile App.....	14
Εικόνα 3: Οδικό δίκτυο περιοχής μελέτης για την υπηρεσία Green Priority στο λογισμικό SUMO .....	15
Εικόνα 4: Μέση ταχύτητα (σύνολο οχημάτων) με και χωρίς την υπηρεσία Green Priority – Σενάριο Βάσης.....	17
Εικόνα 5: Μέσος χρόνος διαδρομής (σύνολο οχημάτων) με και χωρίς την υπηρεσία Green Priority – Σενάριο Βάσης .....	18
Εικόνα 6: Μέσοι χρόνοι διαδρομής αστικών λεωφορείων – Σενάριο Βάσης.....	18
Εικόνα 7: Μέση ταχύτητα (σύνολο οχημάτων) με και χωρίς την υπηρεσία Green Priority – 1 <sup>ο</sup> Εναλλακτικό Σενάριο .....	19
Εικόνα 8: Μέσος χρόνος διαδρομής (σύνολο οχημάτων) με και χωρίς την υπηρεσία Green Priority – 1 <sup>ο</sup> Εναλλακτικό Σενάριο .....	19
Εικόνα 9: Μέσοι χρόνοι διαδρομής αστικών λεωφορείων – 1 <sup>ο</sup> Εναλλακτικό Σενάριο .....	20
Εικόνα 10: Μέση ταχύτητα (σύνολο οχημάτων) με και χωρίς την υπηρεσία Green Priority – 2 <sup>ο</sup> Εναλλακτικό Σενάριο .....	20
Εικόνα 11: Μέσος χρόνος διαδρομής (σύνολο οχημάτων) με και χωρίς την υπηρεσία Green Priority – 2 <sup>ο</sup> Εναλλακτικό Σενάριο .....	21
Εικόνα 12: Μέσοι χρόνοι διαδρομής – 2 <sup>ο</sup> Εναλλακτικό Σενάριο .....	21
Εικόνα 13: Μέση ταχύτητα (σύνολο οχημάτων) με και χωρίς την υπηρεσία Green Priority – 3 <sup>ο</sup> Εναλλακτικό Σενάριο .....	22
Εικόνα 14: Μέσος χρόνος διαδρομής (σύνολο οχημάτων) με και χωρίς την υπηρεσία Green Priority – 3 <sup>ο</sup> Εναλλακτικό Σενάριο .....	22
Εικόνα 15: Μέσοι χρόνοι διαδρομής αστικών λεωφορείων – 3 <sup>ο</sup> Εναλλακτικό Σενάριο .....	23
Εικόνα 16: Μέσοι χρόνοι διαδρομής για διαφορετικές διαδρομές και διαφορετικά είδη οχημάτων .....	23
Εικόνα 17: Οδικό δίκτυο περιοχής μελέτης στο περιβάλλον SUMO .....	25
Εικόνα 18: Μέση ταχύτητα δικτύου με και χωρίς την υπηρεσία RHW .....	27
Εικόνα 19: Αριθμός συγκρούσεων με και χωρίς την υπηρεσία RHW.....	27
Εικόνα 20: Χρόνος διαδρομής με και χωρίς την υπηρεσία RHW .....	27
Εικόνα 21: Μέση ταχύτητα δικτύου με και χωρίς την υπηρεσία IVS .....	28
Εικόνα 22: Αριθμός συγκρούσεων με και χωρίς την υπηρεσία IVS.....	28
Εικόνα 23: Χρόνος διαδρομής με και χωρίς την υπηρεσία IVS.....	29
Εικόνα 24: Μέση ταχύτητα δικτύου με και χωρίς την υπηρεσία RWW .....	29
Εικόνα 25: Αριθμός συγκρούσεων με και χωρίς την υπηρεσία RWW.....	30
Εικόνα 26: Χρόνος διαδρομής με και χωρίς την υπηρεσία RWW .....	30
Εικόνα 27: Μέση ταχύτητα στο δίκτυο με και χωρίς την υπηρεσία RHW – Ακίνητοποιημένο όχημα.....	31
Εικόνα 28: Αριθμός συγκρούσεων με και χωρίς την υπηρεσία RHW – Ακίνητοποιημένο όχημα .....	31

Εικόνα 29: Χρόνος διαδρομής με και χωρίς την υπηρεσία RHW – Ακινητοποιημένο όχημα ..	31
Εικόνα 30: Interface της πλατφόρμας ΚΡΗΠΙΣ.....	32
Εικόνα 31: Προέλευση – προορισμός ηλεκτρικού οχήματος στη Δυτική είσοδο της Θεσσαλονίκης.....	32
Εικόνα 32: Προέλευση – προορισμός ηλεκτρικού οχήματος στην Περιφερειακή οδό.....	33
Εικόνα 33: Κόμβος Εθνικής Αντιστάσεως – Μαρίνου Αντύπα, Πρωινή αιχμή .....	35
Εικόνα 34: Κόμβος Εθνικής Αντιστάσεως – Μαρίνου Αντύπα, Απογευματινή αιχμή .....	35
Εικόνα 35: Κόμβος Εθνικής Αντιστάσεως – Περικλέους, Πρωινή αιχμή .....	36
Εικόνα 36: Κόμβος Εθνικής Αντιστάσεως – Περικλέους, Απογευματινή αιχμή .....	36
Εικόνα 37: Κόμβος Εθνικής Αντιστάσεως – Εσωτερική Περιφερειακή, Πρωινή αιχμή .....	36
Εικόνα 38: Κόμβος Εθνικής Αντιστάσεως – Εσωτερική Περιφερειακή, Απογευματινή αιχμή. ....	37
Εικόνα 39: Κόμβος ΕΟ Θεσ/νίκης Μουδανίων – Έξοδος Mediteranean Cosmos, Φόρτος οχημάτων .....	37
Εικόνα 40: Κόμβος ΕΟ Θεσ/νίκης Μουδανίων – Έξοδος Mediteranean Cosmos, Φόρτος Οχημάτων ανά λωρίδα κίνησης .....	37
Εικόνα 41: Κόμβος ΕΟ Θεσ/νίκης Μουδανίων – Έξοδος Mediteranean Cosmos, Ταχύτητα κίνησης οχημάτων ανά λωρίδα κίνησης .....	38

## 1. Εισαγωγή

Το παρόν παραδοτέο Π4.1 Μελέτη περίπτωσης και αξιολόγησης εντάσσεται στην Ενότητα Εργασίας 4: Μελέτη Περίπτωσης & Αξιολόγηση η οποία αποσκοπεί στο σχεδιασμό, στην οργάνωση και στην υλοποίηση μιας περίπτωσης εφαρμογής της πλατφόρμας CTMaaS σε πραγματικές συνθήκες εντός της περιοχής που απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα. Η ΕΕ 4 ασχολείται και με την αξιολόγηση του τελικού συστήματος με τη χρήση κατάλληλων δεικτών αξιολόγησης. Η αξιολόγηση νοείται τόσο σε όρους διαπίστωσης της λειτουργικής συνέχειας του συστήματος και της ικανοποίησης των λειτουργικών απαιτήσεων που προσδιορίστηκαν στο πλαίσιο των ΕΕ1 και ΕΕ3 (functional verification), όσο και σε όρους αξιολόγησης των απόλυτων αποτελεσμάτων του ως προς τη διαχείριση της κυκλοφορίας (validation). Οι δράσεις που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο της ΕΕ4 και οδήγησαν στην ολοκλήρωση του παραδοτέου αφορούν στην προετοιμασία της μελέτης περίπτωσης και της μεθοδολογίας αξιολόγησης και στον υπολογισμό αποτελεσμάτων.



Εικόνα 1: Χωροθέτηση μελέτης περίπτωσης εφαρμογής του συστήματος CTMaaS

### 1.2 Δομή παραδοτέου

Τα επόμενα κεφάλαια περιλαμβάνουν τον προσδιορισμό της μελέτης περίπτωσης, την περιγραφή της μεθοδολογίας αξιολόγησης που χρησιμοποιήθηκε, την παρουσίαση των αποτελεσμάτων από την εφαρμογή της πλατφόρμας CTMaaS στην περιοχή μελέτης και ελέγχους για την ικανοποίηση των λειτουργικών απαιτήσεων του συστήματος.

## 2. Μελέτη περίπτωσης

Όσον αφορά στη γεωγραφική κάλυψη της μελέτης περίπτωσης, αυτή περιλαμβάνει τα ακόλουθα τμήματα του οδικού δικτύου της Θεσσαλονίκης, όπως αυτά ορίστηκαν στην τεχνική περιγραφή του έργου:

- Περιφερειακή (Άγιος Ιωάννης έως την ζεύξη με την Εσωτερική Περιφερειακή)
- Εσωτερική Περιφερειακή
- Δυτική Είσοδος

Οι περιπτώσεις χρήσης που περιλαμβάνονται στη μελέτη περίπτωσης αφορούν στις υπηρεσίες C-ITS που παρέχονται από την πλατφόρμα CTMaaS και αφορούν τόσο στη διαχείριση φωτεινών σηματοδοτών όσο και στις υπηρεσίες για περιβάλλον αυτοκινητόδρομων:

- Green Priority (GP)
- Road Works Warning (RWW)
- Road Hazard Warning (RHW)
- In-Vehicle Signage (IVS)

Η μελέτη περίπτωσης περιλαμβάνει την πιλοτική εφαρμογή των υπηρεσιών σε πραγματικό οδικό δίκτυο και σε περιβάλλον προσομοίωσης. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκαν δοκιμές ηλεκτροκίνητου οχήματος διασυνδεδεμένου με το σύστημα CTMaaS καθώς και συλλογή και ανάλυση δεδομένων από μη Μη-Επανδρωμένα Εναέρια Οχήματα (UAV) στο οδικό δίκτυο της Θεσσαλονίκης.

### 3. Μεθοδολογία Αξιολόγησης

#### 3.1 Χρήση Mobile App

Στο πλαίσιο αξιολόγησης της πλατφόρμας CTMaaS, πραγματοποιήθηκαν διαδρομές με τη χρήση της εφαρμογής από οδηγούς οχημάτων (ΙΧ) στο δίκτυο της Θεσσαλονίκης. Οι διαδρομές αφορούσαν σε διαμπερείς κινήσεις κατά μήκος της Εσωτερικής Περιφερειακής οδού. Οι διαδρομές πραγματοποιήθηκαν σε 2 διαφορετικές περιόδους:

- Την περίοδο baseline, κατά την οποία οι οδηγοί δε λάμβαναν C-ITS μηνύματα από το Mobile App της πλατφόρμας, και
- Την περίοδο treatment, κατά την οποία οι οδηγοί λάμβαναν C-ITS μηνύματα από το Mobile App.

Σκοπός ήταν να πραγματοποιηθεί σύγκριση μεταξύ συγκεκριμένων δεικτών προκειμένου να αξιολογηθούν οι διαφορές με τη χρήση της εφαρμογής και τη λήψη των C-ITS μηνυμάτων. Οι δείκτες που υπολογίστηκαν τόσο για την περίοδο baseline όσο και για την περίοδο treatment είναι οι παρακάτω:

- Μέση ταχύτητα (Average Speed) - km/h
- Ελάχιστη ταχύτητα (Minimum Speed) - km/h
- Μέγιστη ταχύτητα (Maximum Speed) - km/h
- Μέση επιτάχυνση (Average Acceleration)  $m/s^2$
- Μέση επιβράδυνση (Average Deceleration) -  $m/s^2$

Συνολικά συμμετείχαν 4 οδηγοί στην πραγματοποίηση των διαδρομών και τα δεδομένα που συλλέγονταν περιλάμβαναν την ταχύτητα και τη θέση του οχήματος ανά δευτερόλεπτο.

#### 3.2 Περιβάλλον προσομοίωσης

Στο πλαίσιο μελέτης και αξιολόγησης των υπηρεσιών C-ITS (Green Priority, Road Works Warnings, Road Hazard Warnings, In-Vehicle Signage) πραγματοποιήθηκε η αξιολόγησή τους μέσω προσομοίωσης με τη χρήση του λογισμικού μικροσκοπικής προσομοίωσης κυκλοφοριακής ροής SUMO (Simulation of Urban Mobility)<sup>1,2</sup>. Το

Το λογισμικό μικροσκοπικής προσομοίωσης κυκλοφοριακής ροής SUMO δίνει τη δυνατότητα μικροσκοπικής και πολυτροπικής προσομοίωσης της κυκλοφορίας σε οδικά δίκτυα. Το SUMO διατίθεται με δωρεάν άδεια χρήσης και αποτελεί λογισμικό ανοικτού κώδικα (open source). Μέσω του λογισμικού δίνεται η δυνατότητα στους χρήστες να προσομοιώσουν μία δεδομένη ζήτηση της κυκλοφορίας σε ένα συγκεκριμένο οδικό δίκτυο. Επιπλέον, οι χρήστες του έχουν τη δυνατότητα τόσο του ορισμού όσο και της παρακολούθησης πλήθους χαρακτηριστικών της

<sup>1</sup> "Microscopic Traffic Simulation using SUMO"; Pablo Alvarez Lopez, Michael Behrisch, Laura Bieker-Walz, Jakob Erdmann, Yun-Pang Flötteröd, Robert Hilbrich, Leonhard Lücken, Johannes Rummel, Peter Wagner, and Evamarie Wießner. IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC), 2018.

<sup>2</sup> <https://sumo.dlr.de>

κυκλοφορίας. Το λογισμικό SUMO χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για μικροσκοπική (microscopic) προσομοίωση της κυκλοφορίας. Η μικροσκοπική προσομοίωση της κυκλοφορίας ορίζεται ως εξής: κάθε μεμονωμένο όχημα έχει ορισθεί με σαφήνεια, έχει δική του διαδρομή και κινείται μεμονωμένα εντός του οδικού δικτύου.

Το λογισμικό προσομοίωσης SUMO περιλαμβάνει όλες τις εφαρμογές και λειτουργικές δυνατότητες που απαιτούνται για την προετοιμασία και εκτέλεση μίας κυκλοφοριακής προσομοίωσης, περιλαμβάνοντας το δίκτυο με τα χαρακτηριστικά του, τις διαδρομές και τους φόρτους. Επιπλέον, το συγκεκριμένο λογισμικό διαθέτει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά ως προς τα χαρακτηριστικά και τις δυνατότητες προσομοίωσης της κυκλοφορίας:

- Χωρικά συνεχής και χρονικά διακριτή κίνηση των οχημάτων.
- Διαφορετικά είδη οχημάτων.
- Δρόμους πολλαπλών λωρίδων με δυνατότητα αλλαγής λωρίδων.
- Προγράμματα σηματοδότησης και διαφορετικούς κανόνες κίνησης των οχημάτων.
- Γρήγορο γραφικό περιβάλλον χρήστη (User Interface).
- Διαχείριση δικτύου με περισσότερα από 10.000 οδικά τμήματα.
- Ταχεία εκτέλεση προσομοίωσης.
- Διαλειτουργικότητα με άλλες εφαρμογές κατά την εκτέλεση.
- Εξαγωγή αποτελεσμάτων ανά οδικό τμήμα, ανά όχημα ή ανά ανιχνευτή.
- Διατροφικές μετακινήσεις ανά άτομο.
- Δυνατότητα εισαγωγής οδικών δικτύων από άλλα λογισμικά.

### 3.3 Ηλεκτρικό όχημα

Όσον αφορά στη διερεύνηση των δυνατοτήτων και των προοπτικών που προκύπτουν από τη διασύνδεση ηλεκτρικών οχημάτων με την πλατφόρμα CTMaaS, εκτελέστηκαν δοκιμές στην πλατφόρμα ΚΡΗΠΙΣ – Electric Vehicle Routing (<https://kripisrouting.imet.certh.gr/>), η οποία δίνει τη δυνατότητα υπολογισμού μεγεθών όταν τα ηλεκτρικά οχήματα πραγματοποιούν διαδρομές στο οδικό δίκτυο.

### 3.4 Δεδομένα από Μη-Επανδρωμένα Εναέρια Οχήματα (UAV)

Για τη συλλογή δεδομένων και τον υπολογισμό κυκλοφοριακών μεγεθών με χρήση Μη-Επανδρωμένων Εναέριων Οχημάτων (UAV) επιλέχθηκαν οι εξής τέσσερις ισόπεδοι κόμβοι στην οδικό δίκτυο της ανατολικής Θεσσαλονίκης:

1. Εθνικής Αντιστάσεως - Μαρίνου Αντύπα
2. Εθνικής Αντιστάσεως - Περικλέους
3. Εθνικής Αντιστάσεως - Εσωτερική Περιφεριακή
4. Εθνική Οδός Θεσσαλονίκης Μουδανίων - Έξοδος Mediterranean Cosmos

Για τη συλλογή των δεδομένων εκτελέστηκαν λήψεις διάρκειας 15 λεπτών σε δύο περιόδους. Η πρώτη περίοδος αφορά στην πρωινή αιχμή (διάστημα 8-9 π.μ.), ενώ η δεύτερη περίοδος στην απογευματινή αιχμή (διάστημα 5-6 μ.μ.).

Εφόσον ολοκληρώθηκε η διαδικασία συλλογής δεδομένων, ακολούθησε η επεξεργασία τους με σκοπό τον υπολογισμό κυκλοφοριακών φόρτων. Αρχικά έγινε η καταμέτρηση των οχημάτων που διέρχονται από κάθε πρόσβαση κατά την διάρκεια του video και στην συνέχεια ανάγοντας το αποτέλεσμα για όλη τη διάρκεια της κάθε περιόδου αιχμής προέκυψε η τελική τιμή του κυκλοφοριακού φόρτου για κάθε πρόσβαση.

Εκτός της απόλυτης τιμής του κυκλοφοριακού φόρτου υπολογίστηκε η σύνθεση της κυκλοφορίας

- Ι.Χ
- Ελαφρά εμπορευματικά οχήματα
- Βαρέα εμπορευματικά οχήματα
- Ταξί

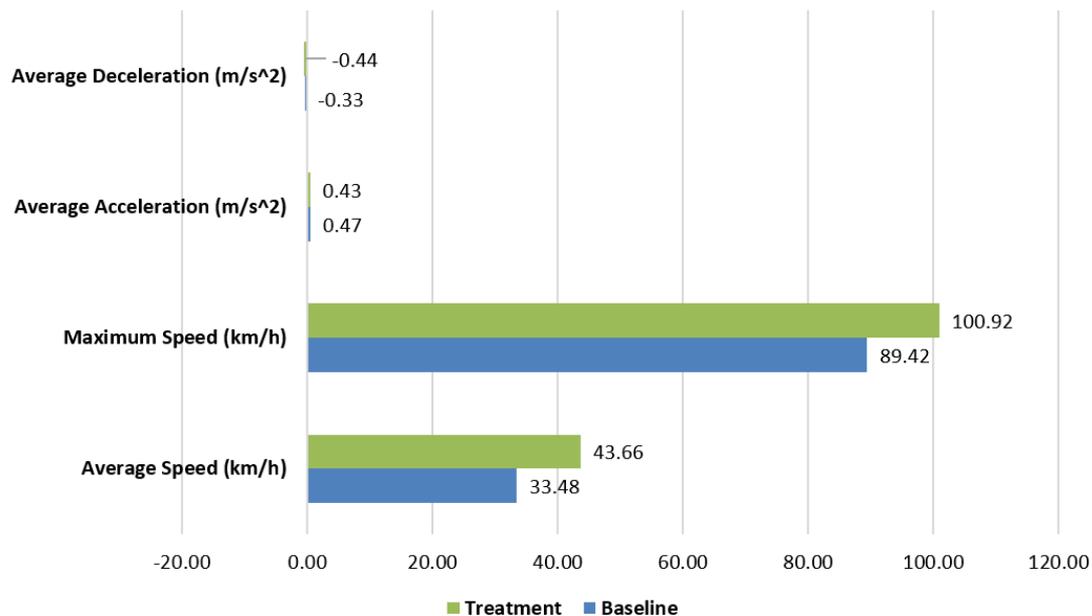
αλλά και το ποσοστό των οχημάτων που εκτελεί κάθε πιθανή επιτρεπόμενη στρέφουσα κίνηση για κάθε πρόσβαση.

Κατά την επεξεργασία των δεδομένων για τον κόμβο Εθνική Οδός Θεσσαλονίκης Μουδανίων - Έξοδος Mediterranean Cosmos πέραν του κυκλοφοριακού φόρτου και της σύνθεσης της κυκλοφορίας υπολογίστηκαν επιπλέον η μέση ταχύτητα και η ένταση της κυκλοφορίας για κάθε λωρίδα κάθε πρόσβασης. Για τον υπολογισμό της μέσης ταχύτητας υπολογίστηκε το μέσο χρονικό διάστημα που απαιτείται για να διασχίσουν τα οχήματα κάθε λωρίδας το γνωστού μήκους οδικό τμήμα που απεικονίζεται στο βίντεο. Για τον υπολογισμό της έντασης της κυκλοφορίας μετρήθηκε ο αριθμός των οχημάτων που διέρχονται από κάθε λωρίδα κάθε πρόσβασης. Τα τελικά αποτελέσματα αποδίδονται σε σκαριφήματα των κόμβων και οι τιμές των υπολογισθέντων μεγεθών δίνονται αριθμητικά για κάθε πρόσβαση στο κεφάλαιο 4.

## 4. Αποτελέσματα

### 4.1 Χρήση Mobile App

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των δεδομένων που συλλέχθηκαν από τους 4 χρήστες του Mobile App παρουσιάζονται παρακάτω. Στο διάγραμμα παρουσιάζονται οι συνολικές μέσες τιμές που προέκυψαν από όλους τους χρήστες για τον κάθε μέγεθος που αξιολογήθηκε κατά την περίοδο baseline και treatment αντίστοιχα.



Εικόνα 2: Μεγέθη δεδομένων baseline και treatment από τους χρήστες του Mobile App

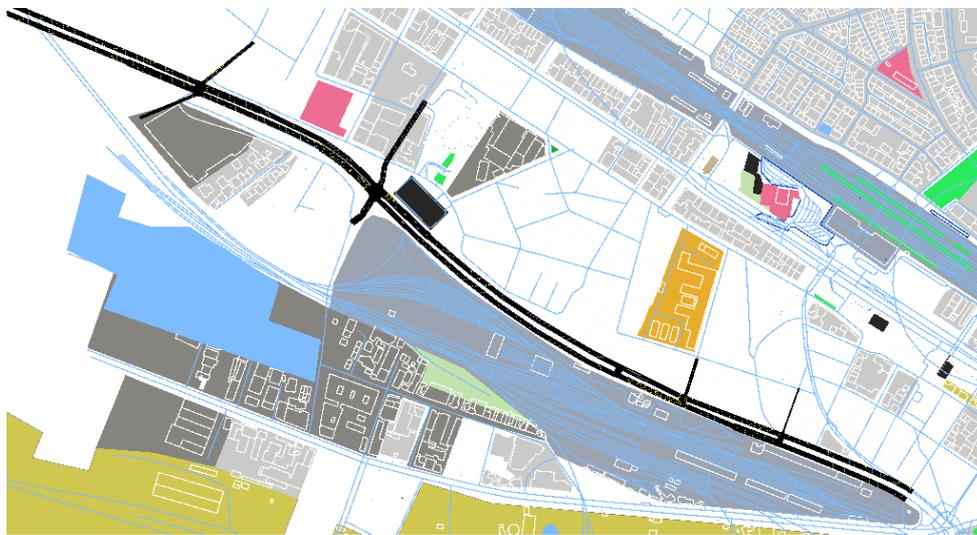
Όπως παρατηρείται στο διάγραμμα, κατά την περίοδο treatment παρατηρήθηκε αύξηση στη μέση ταχύτητα των οχημάτων και στη μέγιστη μέση ταχύτητά τους συγκριτικά με την περίοδο baseline. Αυτή η αύξηση μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι οι χρήστες ένιωθαν καλύτερα ενημερωμένοι για την κατάσταση του δικτύου μέσω των μηνυμάτων που λάμβαναν κάτι το οποίο αντικατοπτρίζεται και από τα παρόμοια μέσα μεγέθη της μέσης επιτάχυνσης και μέσης επιβράδυνσης. Οι χρήστες δηλαδή είχαν πιο ομαλές αυξομειώσεις στην ταχύτητα κάτι το οποίο συνεισφέρει στην ασφάλεια και στην οδηγική άνεση. Κατά τη διάρκεια της treatment περιόδου στάλθηκαν συνολικά στους χρήστες 422 C-ITS μηνύματα, 89 εκ των οποίων αφορούσαν σε ενημερώσεις για τις οδικές συνθήκες και 333 σε ενημερώσεις για κλειστό δρόμο.

## 4.2 Προσομοίωση υπηρεσιών C-ITS σε αυτοκινητόδρομο

### 4.2.1 Υπηρεσία Green Priority σε στόλο αστικών λεωφορείων

Στο πλαίσιο της μελέτης και της αξιολόγησης της υπηρεσίας Green Priority μέσω προσομοίωσης δημιουργήθηκαν δύο διαφορετικά οδικά δίκτυα:

1. Το πρώτο οδικό δίκτυο καλύπτει τον άξονα του Παλαιού Σταθμού από το ύψος του Υπεραστικού Σταθμού Λεωφορείων ΚΤΕΛ Θεσσαλονίκης «Μακεδονία» μέχρι τη διασταύρωση της οδού Παλαιού Σταθμού με τις οδούς 26<sup>ης</sup> Οκτωβρίου, Πολυτεχνείου και Καρατάσου (κόμβος Δικαστηρίων). Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζεται το οδικό δίκτυο της περιοχής μελέτης, όπως δημιουργήθηκε στο λογισμικό μικροσκοπικής προσομοίωσης κυκλοφοριακής ροής SUMO.



Εικόνα 3: Οδικό δίκτυο περιοχής μελέτης για την υπηρεσία Green Priority στο λογισμικό SUMO

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα στοιχεία του κυκλοφοριακού μοντέλου και πιο συγκεκριμένα, ο αριθμός των αντικειμένων του οδικού δικτύου (π.χ. οδικά τμήματα, κόμβοι) που έχουν κωδικοποιηθεί στο λογισμικό SUMO και τα χαρακτηριστικά που αυτά φέρουν.

Πίνακας 1: Αντικείμενα οδικού δικτύου κωδικοποιημένα στο λογισμικό SUMO

Αντικείμενο	Αριθμός	Χαρακτηριστικά
Οδικά τμήματα (edges)	27	Γεωμετρικά χαρακτηριστικά (θέση στο δίκτυο, από – προς αριθμό κόμβου), λειτουργικά χαρακτηριστικά (αριθμός λωρίδων κυκλοφορίας, όρια ταχύτητας, κατεύθυνση κυκλοφορίας, μεταφορικά μέσα στα οποία επιτρέπεται η χρήση, ύπαρξη λεωφορειολωρίδας κ.α.)
Κόμβοι (nodes)	20	Γεωμετρικό χαρακτηριστικό (θέση στο δίκτυο X, Y συντεταγμένες), λειτουργικό χαρακτηριστικό (είδος ελέγχου: σηματοδοτούμενος κόμβος, κόμβος στον οποίον υπάρχει κάθετη σήμανση, κυκλικός κόμβος, κόμβος με προτεραιότητα κ.α.)

Επιπλέον των ανωτέρω στοιχείων, επισημαίνεται ότι συνολικά στο δίκτυο υπάρχουν 5 σηματοδοτούμενοι κόμβοι. Οι κόμβοι αυτοί είναι οι ακόλουθοι:

1. Παλαιού Σταθμού – Καβακίων
2. Παλαιού Σταθμού – Βουτηρά
3. Παλαιού Σταθμού – Πίψου (πεζοφάναρο)
4. Παλαιού Σταθμού – Κωλέττη
5. Παλαιού Σταθμού – Δάφνης

Στόχος της μελέτης στο δίκτυο της Δυτικής Εισόδου είναι η αξιολόγηση της υπηρεσίας Green Priority σε ειδική κατηγορία οχημάτων. Πιο συγκεκριμένα, η ειδική κατηγορία στην παρούσα περίπτωση είναι τα αστικά λεωφορεία και συγκεκριμένα τα αστικά λεωφορεία που εκτελούν το δρομολόγιο της Γραμμής 12 με αφετηρία τα Κ.Τ.Ε.Λ. Θεσσαλονίκης (Μακεδονία) και προορισμό την Κάτω Τούμπα. Τα αστικά λεωφορεία αποτελούν ένα δυνητικό χρήστη της πλατφόρμας CTMaas δεδομένου ότι πρόκειται για τη διαχείριση στόλου.

Η προσομοίωση της κυκλοφορίας προέκυψε ύστερα από ανάλυση των κυκλοφοριακών μεγεθών (π.χ. φόρτοι, ταχύτητες) με σκοπό την εκλογή της πιο αντιπροσωπευτικής περιόδου εντός μία τυπικής ημέρας. Αναλυτικότερα, η προσομοίωση πραγματοποιείται για την απογευματινή περίοδο και συγκεκριμένα για το χρονικό διάστημα από 17:00 μέχρι 18:00. Για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα πραγματοποιούνται 6 αναχωρήσεις αστικών λεωφορείων για τη Γραμμή 12 από την αφετηρία τους.

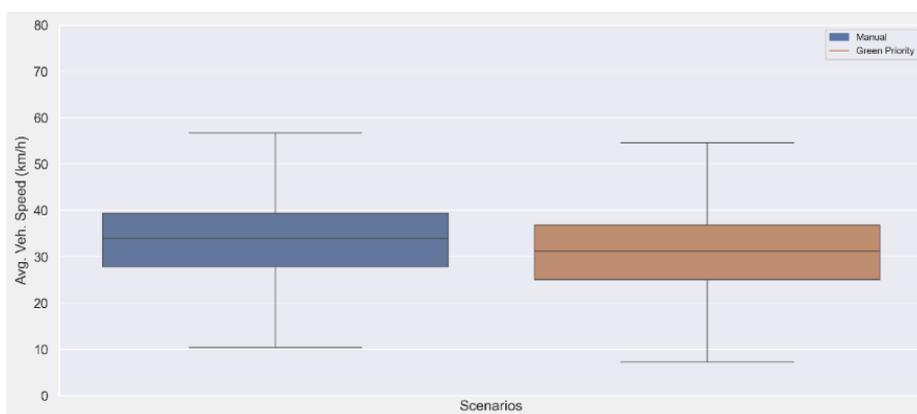
Με σκοπό την αξιολόγηση της υπηρεσίας Green Priority σε ειδικά οχήματα πραγματοποιήθηκαν διαφορετικές προσομοιώσεις ως προς το μέγεθος του φόρτου με το οποίο φορτίζεται το οδικό δίκτυο της Δυτικής Εισόδου. Τα σενάρια που αξιολογήθηκαν ως προς το φόρτο των οχημάτων που διέρχονται από το οδικό δίκτυο της Δυτικής Εισόδου είναι τα ακόλουθα:

- Σενάριο Βάσης: τυπικός φόρτος, όπως προέκυψε από την ανάλυση των διαθέσιμων φόρτων.
- 1<sup>ο</sup> Εναλλακτικό Σενάριο: αύξηση του τυπικού φόρτου κατά 50% (σε όλα τα οχήματα εκτός του αριθμού των αστικών λεωφορείων).
- 2<sup>ο</sup> Εναλλακτικό Σενάριο: αύξηση του τυπικού φόρτου κατά 75% (σε όλα τα οχήματα εκτός του αριθμού των αστικών λεωφορείων).
- 3<sup>ο</sup> Εναλλακτικό Σενάριο: αύξηση του τυπικού φόρτου κατά 100% (σε όλα τα οχήματα εκτός του αριθμού των αστικών λεωφορείων).

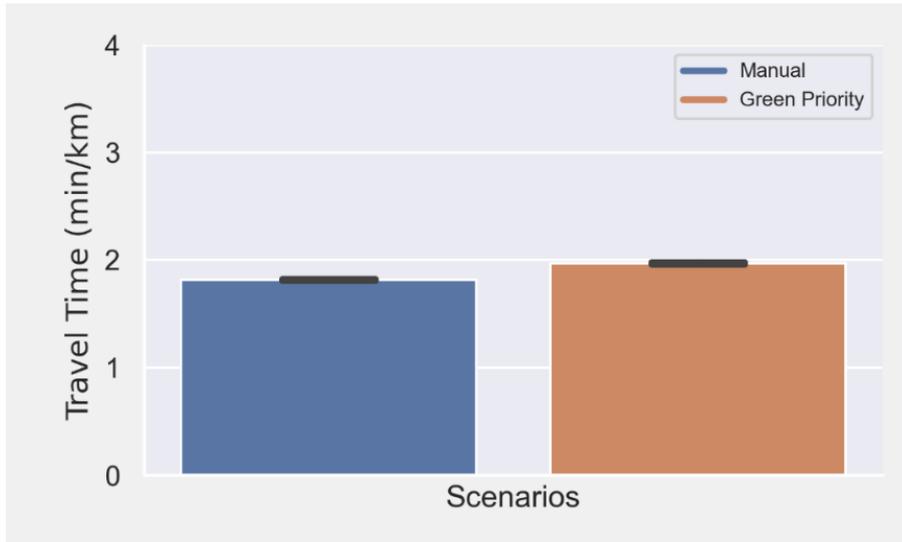
Για κάθε ένα από τα σενάρια που παρουσιάζονται ανωτέρω αξιολογήθηκε ο χρόνος διαδρομής που απαιτείται για τα αστικά λεωφορεία να διασχίσουν το οδικό δίκτυο της Δυτικής Εισόδου που εξετάζεται, χωρίς και με την παροχή της υπηρεσίας Green Priority. Επιπλέον, εξετάστηκε και ο χρόνος διαδρομής που απαιτείται από τα οχήματα των υπόλοιπων κατευθύνσεων ώστε να διασχίσουν το ανωτέρω δίκτυο.

#### 4.2.1.1 Σενάριο Βάσης

Στα δύο πρώτα γραφήματα παρουσιάζεται η μέση ταχύτητα κίνησης των οχημάτων στην περίπτωση που δεν παρέχεται η υπηρεσία C-ITS (“Manual”) και στην περίπτωση που παρέχεται (“Green Priority”). Τα δύο πρώτα διαγράμματα αναφέρονται στο σύνολο των διαμπερών κινήσεων του οδικού δικτύου της Δυτικής Εισόδου και συγκεκριμένα στο σύνολο των οχημάτων που κινούνται είτε από τον κόμβο των Δικαστηρίων προς την Εθνική Οδό ΠΑΘΕ είτε στο σύνολο των οχημάτων που κινούνται από την Εθνική Οδό ΠΑΘΕ προς το κέντρο της Θεσσαλονίκης. Οι δύο αυτές κινήσεις φαίνεται ότι στις περιπτώσεις που δεν παρέχεται η υπηρεσία C-ITS η μέση ταχύτητα κίνησης είναι μεγαλύτερη και αντίστοιχα ο μέσος χρόνος διαδρομής είναι μικρότερος. Το αντίθετο παρατηρείται στο σενάριο κατά το οποίο η υπηρεσία C-ITS παρέχεται στα αστικά λεωφορεία. Αυτό συμβαίνει διότι τα αστικά λεωφορεία διακόπτουν την διαμπερή κίνηση (εισέρχονται στο οδικό δίκτυο από κάθετο άξονα) με αποτέλεσμα να παρατηρούνται οι ανωτέρω μειώσεις στην ταχύτητα κίνησης και οι αυξήσεις στο χρόνο διαδρομής.

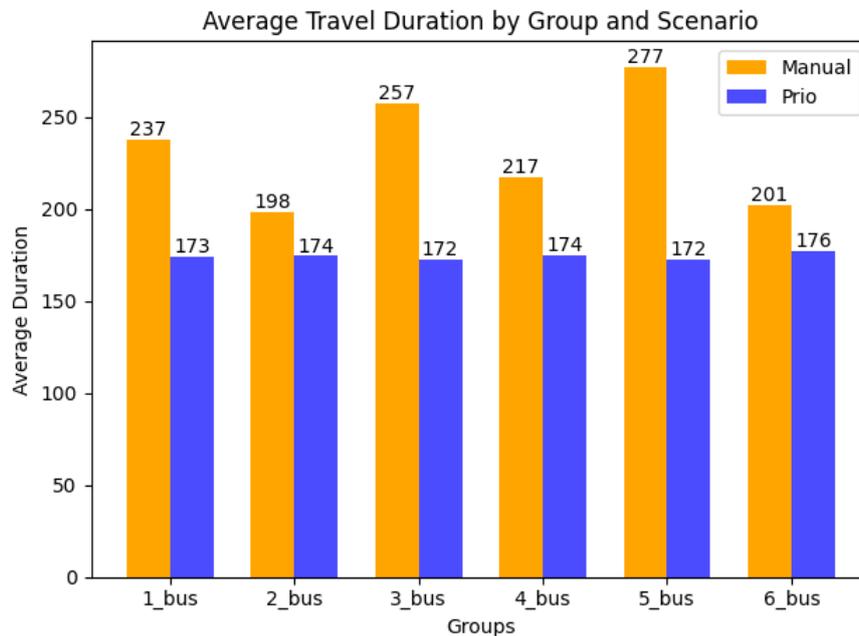


Εικόνα 4: Μέση ταχύτητα (σύνολο οχημάτων) με και χωρίς την υπηρεσία Green Priority – Σενάριο Βάσης



Εικόνα 5: Μέσος χρόνος διαδρομής (σύνολο οχημάτων) με και χωρίς την υπηρεσία Green Priority – Σενάριο Βάσης

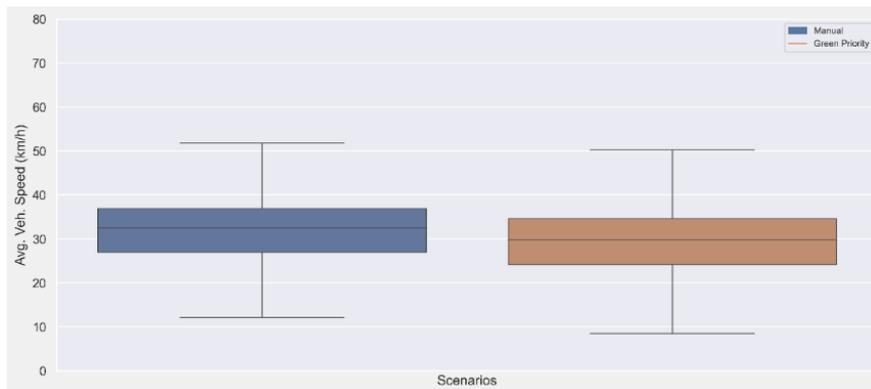
Αντίστοιχα, το ίδιο συμβαίνει και στο τρίτο γράφημα όπου παρουσιάζεται ο μέσος χρόνος διαδρομής σε κάθε περίπτωση. Στο τρίτο γράφημα παρατηρείται ότι όταν παρέχεται στα αστικά λεωφορεία η υπηρεσία C-ITS ο χρόνος διαδρομής και των έξι (6) λεωφορείων είναι παραπλήσιος χωρίς διακυμάνσεις ενώ στην αντίθετη περίπτωση ο χρόνος διαδρομής τους, εντός του εξεταζόμενου οδικού δικτύου μεταβάλλεται.



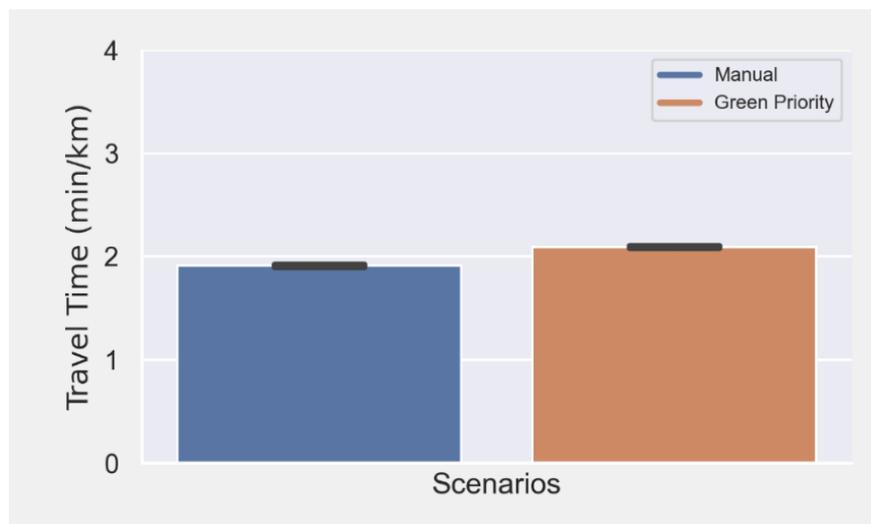
Εικόνα 6: Μέσοι χρόνοι διαδρομής αστικών λεωφορείων – Σενάριο Βάσης

4.2.1.2 1<sup>ο</sup> Εναλλακτικό Σενάριο

Στο 1<sup>ο</sup> Εναλλακτικό Σενάριο, όπου έχουμε αύξηση του τυπικού φόρτου των οχημάτων (εκτός λεωφορείων) κατά 50%, παρατηρείται ομοίως ότι χωρίς την υπηρεσία GP οι μέσες ταχύτητες είναι μεγαλύτερες και οι μέσοι χρόνοι διαδρομής είναι μικρότεροι, ενώ το αντίθετο συμβαίνει στην περίπτωση που παρέχεται η υπηρεσία. Τα συγκεκριμένα μεγέθη οφείλονται και στη διαμετρική κίνηση των αστικών λεωφορείων που διακόπτει τη διαμετρική κίνηση.

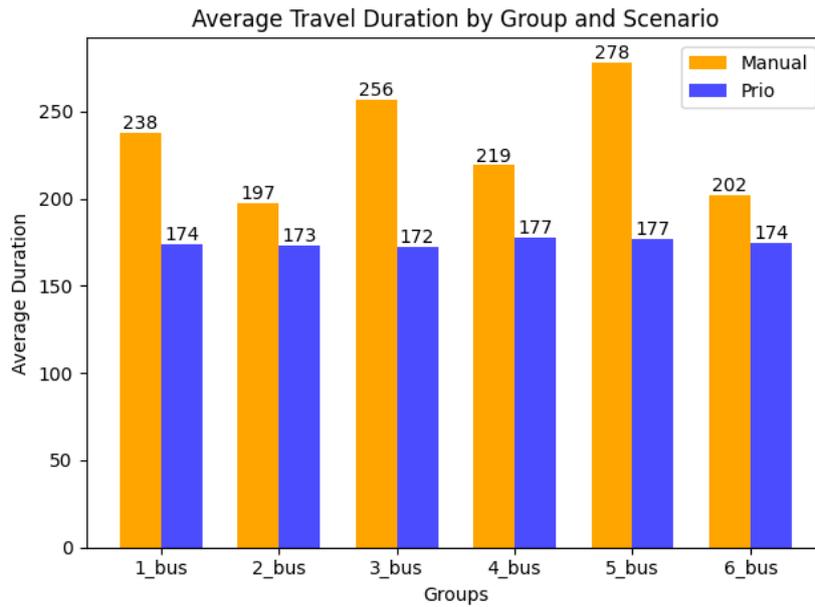


Εικόνα 7: Μέση ταχύτητα (σύνολο οχημάτων) με και χωρίς την υπηρεσία Green Priority – 1<sup>ο</sup> Εναλλακτικό Σενάριο



Εικόνα 8: Μέσος χρόνος διαδρομής (σύνολο οχημάτων) με και χωρίς την υπηρεσία Green Priority – 1<sup>ο</sup> Εναλλακτικό Σενάριο

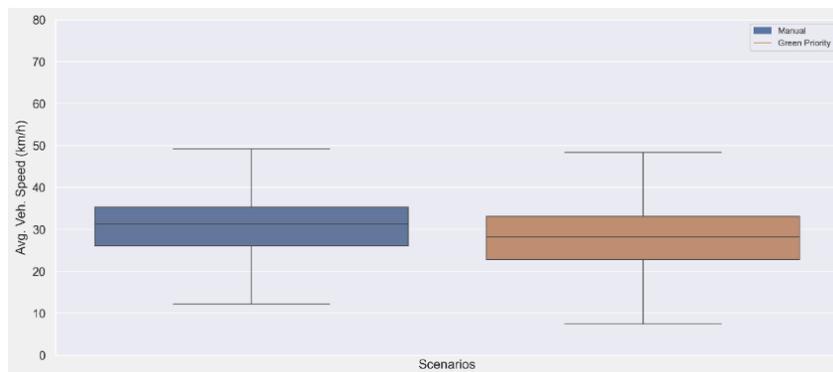
Όσον αφορά στους μέσους χρόνους διαδρομής των αστικών λεωφορείων, παρατηρείται πάλι ομοιότητα στους χρόνους των 6 λεωφορείων με την υπηρεσία GP, ενώ οι διακυμάνσεις είναι πολύ μεγαλύτερες χωρίς την υπηρεσία.



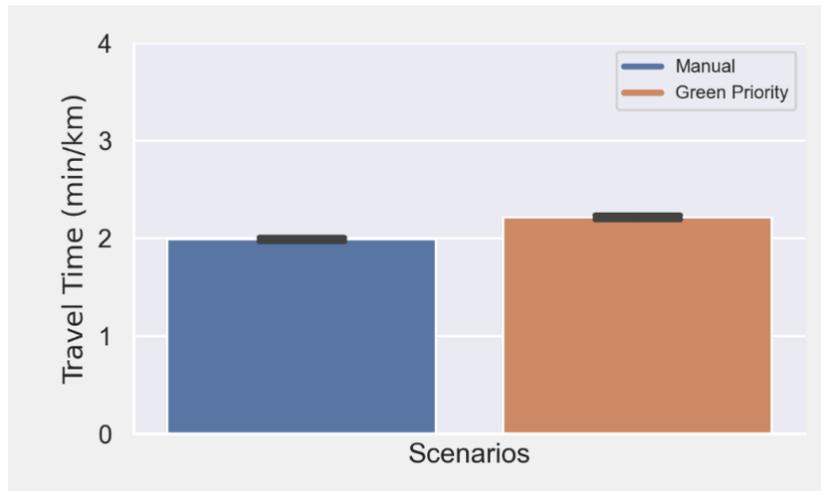
Εικόνα 9: Μέσοι χρόνοι διαδρομής αστικών λεωφορείων – 1<sup>ο</sup> Εναλλακτικό Σενάριο

#### 4.2.1.3 2<sup>ο</sup> Εναλλακτικό Σενάριο

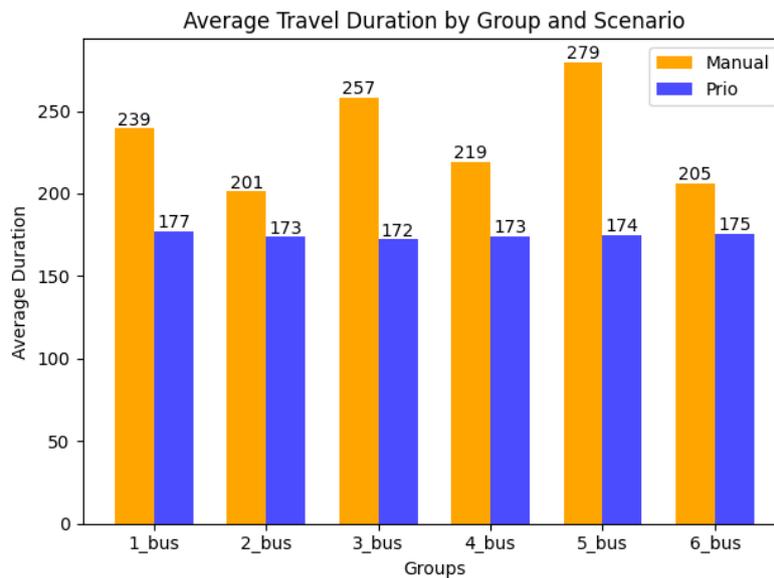
Αντίστοιχα μεγέθη μέσης ταχύτητας και μέσω χρόνων διαδρομής προέκυψαν και για το 2<sup>ο</sup> Εναλλακτικό Σενάριο, στο οποίο ο τυπικός φόρτος των οχημάτων αυξήθηκε κατά 75%. Ενώ το ίδιο ισχύει και για τις διακυμάνσεις των χρόνων διαδρομής των 6 αστικών λεωφορείων χωρίς και με την υπηρεσία GP.



Εικόνα 10: Μέση ταχύτητα (σύνολο οχημάτων) με και χωρίς την υπηρεσία Green Priority – 2<sup>ο</sup> Εναλλακτικό Σενάριο



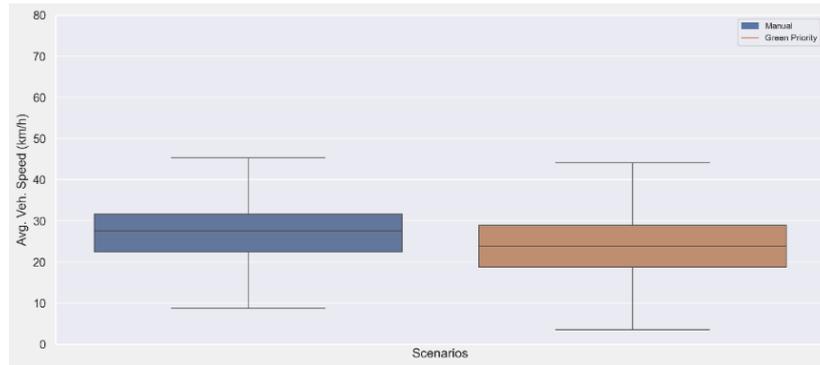
Εικόνα 11: Μέσος χρόνος διαδρομής (σύνολο οχημάτων) με και χωρίς την υπηρεσία Green Priority – 2<sup>ο</sup> Εναλλακτικό Σενάριο



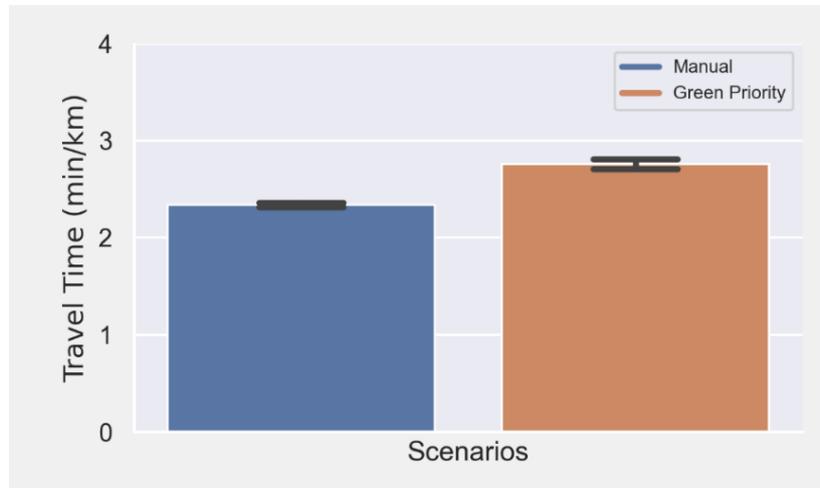
Εικόνα 12: Μέσοι χρόνοι διαδρομής – 2<sup>ο</sup> Εναλλακτικό Σενάριο

#### 4.2.1.4 3<sup>ο</sup> Εναλλακτικό Σενάριο

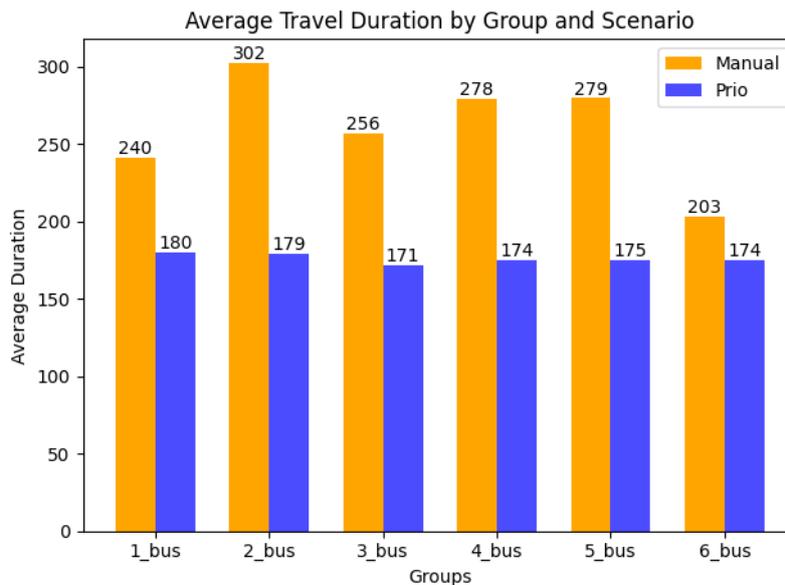
Αντίστοιχα και τα αποτελέσματα για το 3<sup>ο</sup> Εναλλακτικό Σενάριο με αύξηση τυπικού φόρτου 100% προκύπτουν παρόμοια με τα προηγούμενα σενάρια.



Εικόνα 13: Μέση ταχύτητα (σύνολο οχημάτων) με και χωρίς την υπηρεσία Green Priority – 3<sup>ο</sup> Εναλλακτικό Σενάριο

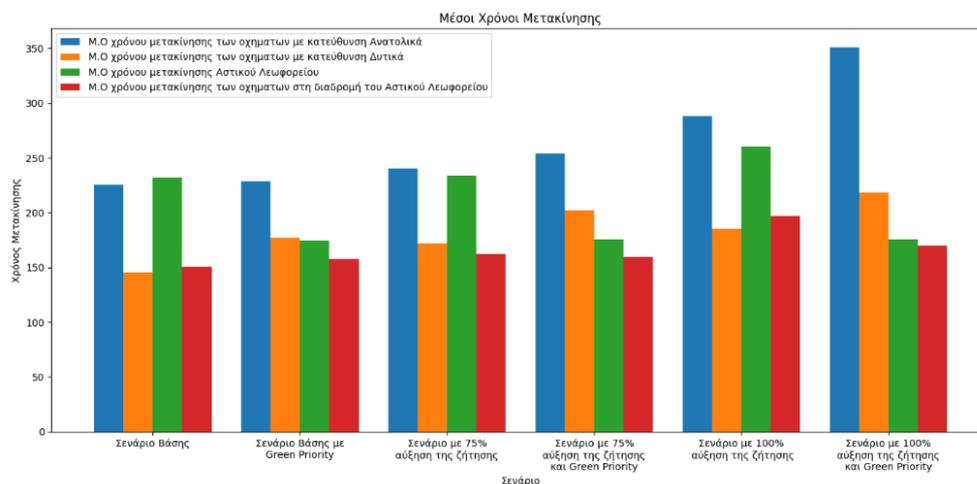


Εικόνα 14: Μέσος χρόνος διαδρομής (σύνολο οχημάτων) με και χωρίς την υπηρεσία Green Priority – 3<sup>ο</sup> Εναλλακτικό Σενάριο



Εικόνα 15: Μέσοι χρόνοι διαδρομής αστικών λεωφορείων – 3<sup>ο</sup> Εναλλακτικό Σενάριο

#### 4.2.1.5 Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα



Εικόνα 16: Μέσοι χρόνοι διαδρομής για διαφορετικές διαδρομές και διαφορετικά είδη οχημάτων

Στο ανωτέρω διάγραμμα παρουσιάζονται οι μέσοι χρόνοι διαδρομής για διαφορετικές διαδρομές και διαφορετικά είδη οχημάτων. Πιο συγκεκριμένα:

- Με μπλε χρώμα παρουσιάζεται ο μέσος χρόνος διαδρομής όλων των οχημάτων που κινούνται από την Εθνική Οδό ΠΑΘΕ προς τον κόμβο των Δικαστηρίων (κατεύθυνση Ανατολικά).
- Με πορτοκαλί χρώμα ο μέσος χρόνος διαδρομής όλων των οχημάτων που κινούνται από το κόμβο των Δικαστηρίων προς την Εθνική Οδό ΠΑΘΕ (κατεύθυνση Δυτικά).

- Με πράσινο χρώμα παρουσιάζεται ο μέσος χρόνος διαδρομής των αστικών λεωφορείων που διασχίζουν το οδικό δίκτυο αναφοράς.
- Με κόκκινο χρώμα παρουσιάζεται ο χρόνος διαδρομής των υπόλοιπων οχημάτων που ακολουθούν τη διαδρομή των αστικών λεωφορείων.

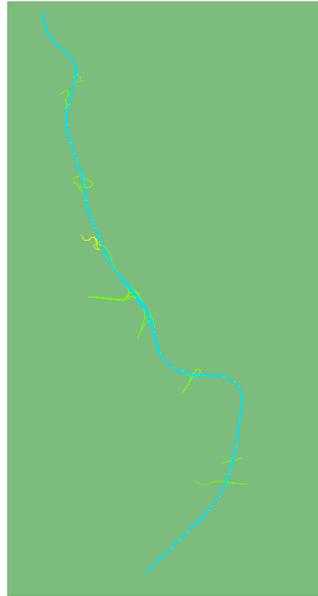
Επιπλέον, στο διάγραμμα παρουσιάζονται οι μέσοι χρόνοι διαδρομής τόσο για το σενάριο βάσης όσο και για το 2<sup>ο</sup> και 3<sup>ο</sup> εναλλακτικό σενάριο (με αύξηση 75% και 100% του τυπικού φόρτου).

Αυτό που παρατηρείται συνολικά στο ανωτέρω διάγραμμα είναι ότι ο μέσος χρόνος διαδρομής των αστικών λεωφορείων για κάθε ένα από τα τρία σενάρια στα οποία παρέχεται η υπηρεσία είναι σταθερός και παρουσιάζει ελάχιστες μεταβολές. Αυτό σημαίνει ότι μία τέτοια υπηρεσία εξασφαλίζει τη συνέπεια και την αξιοπιστία των αστικών συγκοινωνιών καθώς ο χρόνος διαδρομής τους παραμένει ίδιος, παρ' όλη την 100% αύξηση του φόρτου που παρατηρείται στο οδικό δίκτυο της περιοχής μελέτης. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι στο εξεταζόμενο οδικό δίκτυο αναφοράς δεν υπάρχουν συγκεκριμένες λωρίδες για την εξυπηρέτηση των αστικών λεωφορείων.

Τέλος, αυτό που παρατηρείται από το διάγραμμα είναι ότι η παροχή της υπηρεσίας στα αστικά λεωφορεία επηρεάζει τις δύο διαμπερείς κινήσεις καθώς ο χρόνος διαδρομής τους αυξάνεται σε σχέση με τα σενάρια στα οποία δεν παρέχεται η υπηρεσία. Αυτό είναι λογικό, καθώς στα λεωφορεία παρέχεται προτεραιότητα μέσω της αλλαγής του προγράμματος στους φωτεινούς σηματοδότες.

#### 4.2.2 Υπηρεσίες Road Hazard Warning, Road Works Warning, In-Vehicle Signage

Το δεύτερο οδικό δίκτυο καλύπτει την Περιφερειακή Οδό Θεσσαλονίκης από τη συμβολή της με την οδό Εθνικής Αντιστάσεως (κόμβος Περιφερειακής) μέχρι το ύψος του Στρατιωτικού Νοσοκομείου 424 και του Νοσοκομείου Παπαγεωργίου. Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζεται το οδικό δίκτυο της περιοχής μελέτης, όπως δημιουργήθηκε στο λογισμικό μικροσκοπικής προσομοίωσης κυκλοφοριακής ροής SUMO.



Εικόνα 17: Οδικό δίκτυο περιοχής μελέτης στο περιβάλλον SUMO

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα στοιχεία του κυκλοφοριακού μοντέλου και πιο συγκεκριμένα, ο αριθμός των αντικειμένων του οδικού δικτύου (οδικά τμήματα, κόμβοι, κ.α.) που έχουν κωδικοποιηθεί στο λογισμικό SUMO και τα χαρακτηριστικά που αυτά φέρουν.

Πίνακας 2: Αντικείμενα οδικού δικτύου κωδικοποιημένα στο λογισμικό SUMO

Αντικείμενο	Αριθμός	Χαρακτηριστικά
Οδικά τμήματα (edges)	145	Γεωμετρικά χαρακτηριστικά (θέση στο δίκτυο, από – προς αριθμό κόμβου), λειτουργικά χαρακτηριστικά (αριθμός λωρίδων κυκλοφορίας, όρια ταχύτητας, κατεύθυνση κυκλοφορίας, μεταφορικά μέσα στα οποία επιτρέπεται η χρήση, ύπαρξη λεωφορειολωρίδας κ.α.)
Κόμβοι (nodes)	116	Γεωμετρικό χαρακτηριστικό (θέση στο δίκτυο X, Y συντεταγμένες), λειτουργικό χαρακτηριστικό (είδος ελέγχου: σηματοδοτούμενος κόμβος, κόμβος στον οποίον υπάρχει κάθετη σήμανση, κυκλικός κόμβος, κόμβος με προτεραιότητα κ.α.)

Στόχος της μελέτης στο δίκτυο της Περιφερειακής Οδού Θεσσαλονίκης είναι η αξιολόγηση των υπηρεσιών (C-ITS) που παρέχει η πλατφόρμα CTMaas για περιβάλλον αυτοκινητοδρόμων. Πιο συγκεκριμένα οι υπηρεσίες που αξιολογήθηκαν είναι:

- Road Hazard Warning (RHW): Η υπηρεσία προειδοποιεί τους οδηγούς που κινούνται στον άξονα της Περιφερειακής Οδού Θεσσαλονίκης για ύπαρξη εμποδίου επί της οδού, ακινητοποιημένου οχήματος, ή επικίνδυνων καιρικών συνθηκών.
- Road Works Warning (RWW): Η υπηρεσία προειδοποιεί τους οδηγούς που κινούνται στον άξονα της Περιφερειακής Οδού Θεσσαλονίκης για την ύπαρξη έργων κατά μήκος της οδού και για το ποια λωρίδα είναι κλειστή.

- In-Vehicle Signage (IVS): η υπηρεσία προειδοποιεί τους οδηγούς για ύπαρξη απρόσμενης ουράς οχημάτων που κινούνται με χαμηλή ταχύτητα (Shockwave Damping).

Στο πλαίσιο της αξιολόγησης των ανωτέρω υπηρεσιών πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις των ακόλουθων κυκλοφοριακών συνθηκών:

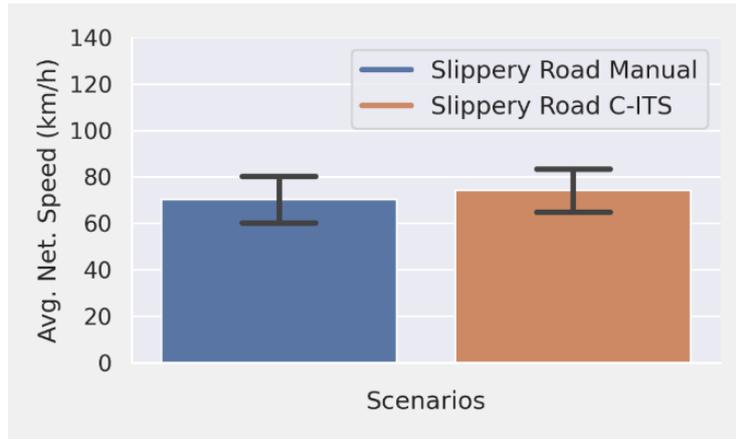
1. Ολισθηρό οδόστρωμα σε συγκεκριμένο οδικό τμήμα της Περιφερειακής Οδού Θεσσαλονίκης.
2. Ουρά οχημάτων, τα οποία κινούνται σε συγκεκριμένο οδικό τμήμα της Περιφερειακής Οδού Θεσσαλονίκης με μειωμένη ταχύτητα.
3. Κλειστή δεξιά λωρίδα σε συγκεκριμένα οδικά τμήματα της Περιφερειακής Οδού Θεσσαλονίκης λόγω εκτέλεσης οδικών εργασιών.
4. Σταματημένο όχημα στη δεξιά λωρίδα συγκεκριμένου οδικού τμήματος της Περιφερειακής Οδού Θεσσαλονίκης.

Στα ανωτέρω τέσσερα (4) σενάρια πραγματοποιήθηκε προσομοίωση των κυκλοφοριακών συνθηκών τόσο χωρίς όσο και με τη χρήση των C-ITS υπηρεσιών. Για κάθε ένα από τα τέσσερα (4) σενάρια που παρουσιάζονται ανωτέρω αξιολογήθηκαν

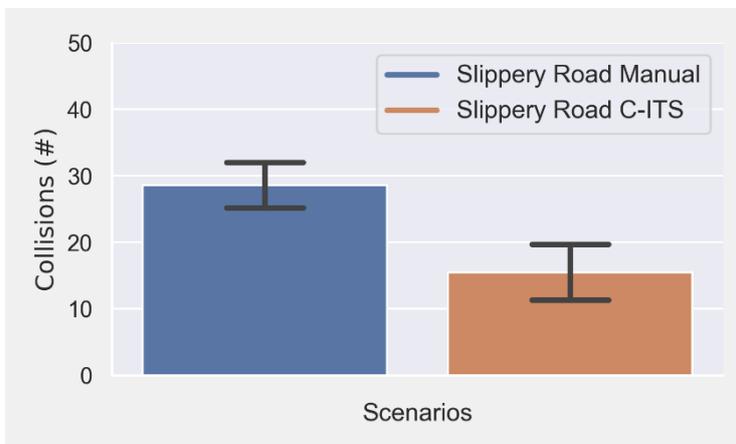
- Η μέση ταχύτητα κίνησης των οχημάτων.
- Ο αριθμός των συγκρούσεων μεταξύ των οχημάτων.
- Ο αριθμός των οχημάτων που διέσχισαν το οδικό τμήμα της Περιφερειακής Οδού Θεσσαλονίκης.
- Ο μέσος χρόνος διαδρομής που απαιτείται ώστε τα οχήματα να διασχίσουν το οδικό δίκτυο της Περιφερειακής Οδού Θεσσαλονίκης που εξετάζεται.

#### 4.2.2.1 1<sup>ο</sup> Σενάριο: RHW - Ολισθηρό Οδόστρωμα

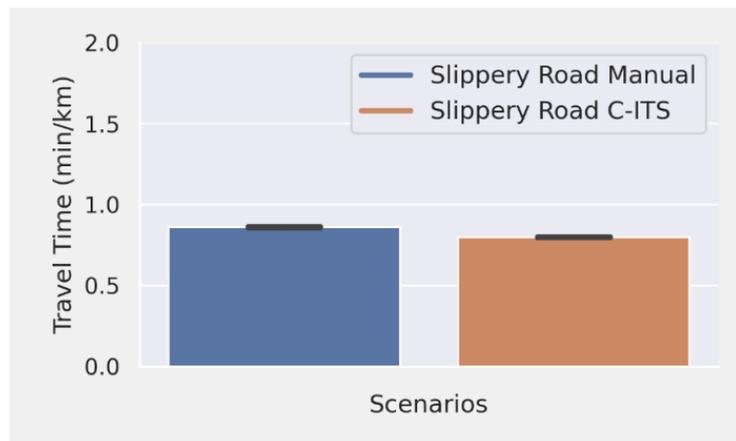
Στο σενάριο όπου αξιολογήθηκε η περίπτωση της παροχής ενημέρωσης για ολισθηρότητα του οδοστρώματος με την υπηρεσία RHW, παρατηρήθηκε ότι δεν υπήρξαν ιδιαίτερες διαφορικές στη μέση ταχύτητα των οχημάτων στο δίκτυο, ωστόσο ο αριθμός των συγκρούσεων μειώθηκε σημαντικά στην περίπτωση που παρέχεται η υπηρεσία C-ITS. Αντίστοιχα με την ταχύτητα, και ο χρόνος διαδρομής δεν έδειξε σημαντικές διακυμάνσεις.



Εικόνα 18: Μέση ταχύτητα δικτύου με και χωρίς την υπηρεσία RHW



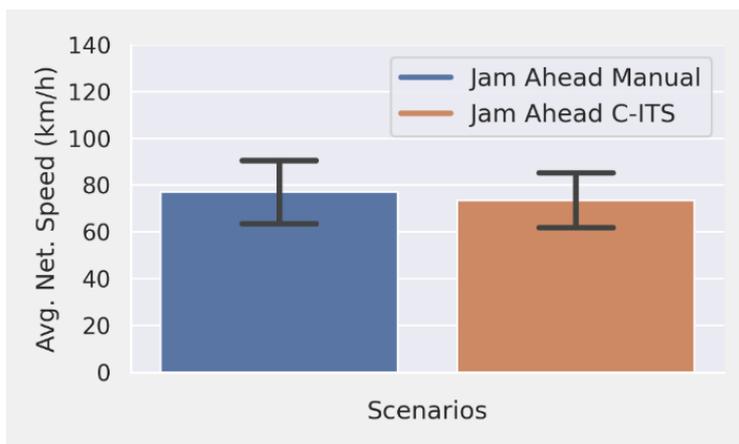
Εικόνα 19: Αριθμός συγκρούσεων με και χωρίς την υπηρεσία RHW



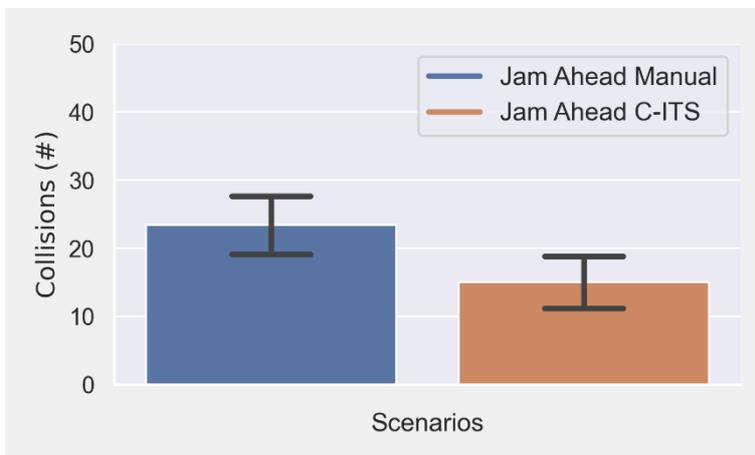
Εικόνα 20: Χρόνος διαδρομής με και χωρίς την υπηρεσία RHW

4.2.2.2 2<sup>ο</sup> Σενάριο: IVS - Ουρά οχημάτων κινούμενα με χαμηλή ταχύτητα

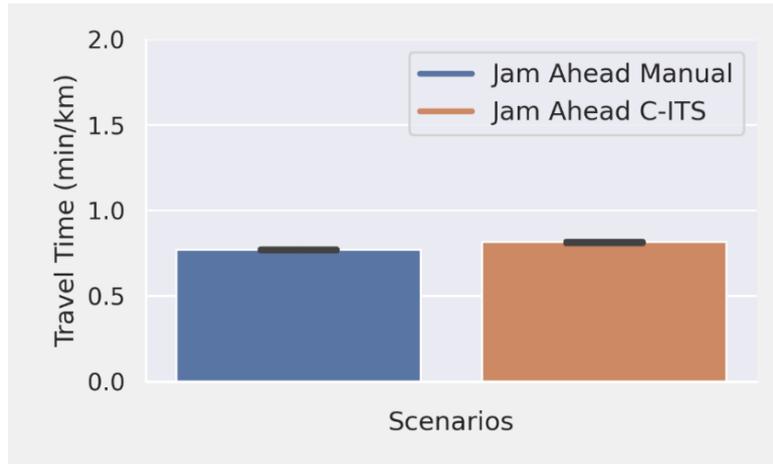
Στο σενάριο όπου αξιολογήθηκε η περίπτωση της παροχής ενημέρωσης για ουρά οχημάτων κινούμενων με χαμηλή ταχύτητα με την υπηρεσία IVS, παρατηρήθηκε ότι η μέση ταχύτητα των οχημάτων είναι χαμηλότερη όταν παρέχεται η υπηρεσία και αντίστοιχα αυξάνεται ο χρόνος διαδρομής. Όσον αφορά στον αριθμό των συγκρούσεων, αυτός μειώθηκε κατά πολύ στο σενάριο όπου παρέχεται η C-ITS υπηρεσία. Όσον αφορά στο χρόνο διαδρομής, υπήρξε μια μικρή αύξηση όπως αναμενόταν και από τη μείωση των ταχυτήτων.



Εικόνα 21: Μέση ταχύτητα δικτύου με και χωρίς την υπηρεσία IVS



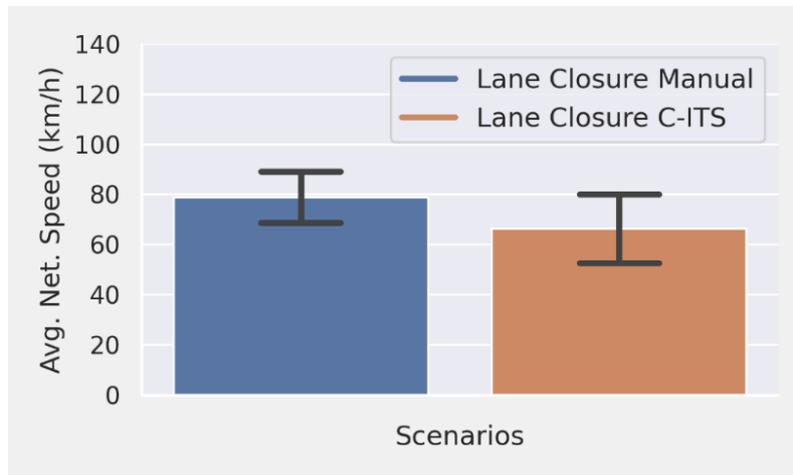
Εικόνα 22: Αριθμός συγκρούσεων με και χωρίς την υπηρεσία IVS



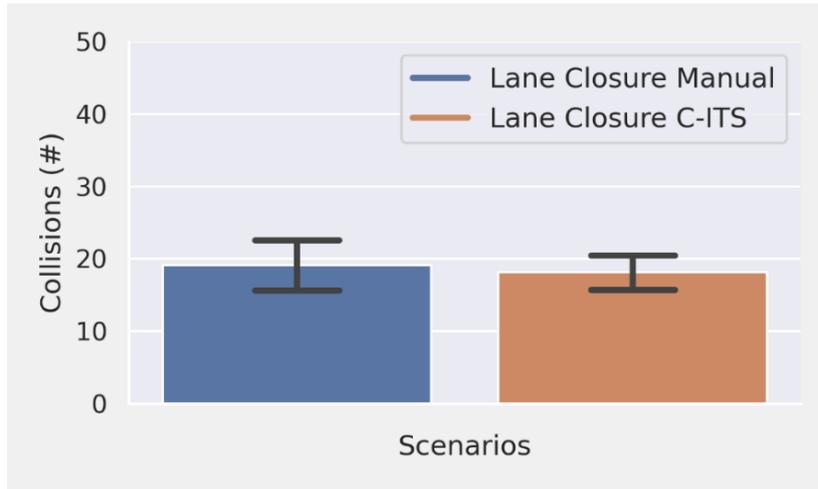
Εικόνα 23: Χρόνος διαδρομής με και χωρίς την υπηρεσία IVS

4.2.2.3 3<sup>ο</sup> Σενάριο: RWW - Κλειστή δεξιά λωρίδα λόγω οδικών έργων

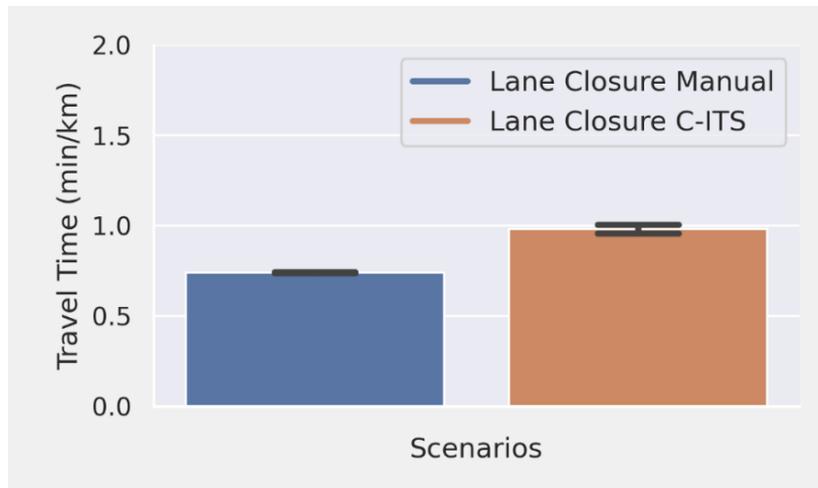
Στο σενάριο όπου αξιολογήθηκε η περίπτωση της παροχής ενημέρωσης για κλειστή λωρίδα λόγω οδικών έργων με την υπηρεσία RWW, παρατηρήθηκε ότι η μέση ταχύτητα των οχημάτων μειώνεται όταν παρέχεται η υπηρεσία, αντίστοιχα ο χρόνος διαδρομής αυξάνεται και επίσης παρατηρείται μείωση στον αριθμό των συγκρούσεων. Συμπεραίνεται ότι η υπηρεσία μπορεί να συνεισφέρει επομένως στην αύξηση της οδικής ασφάλειας και στην πρόληψη των ατυχημάτων.



Εικόνα 24: Μέση ταχύτητα δικτύου με και χωρίς την υπηρεσία RWW



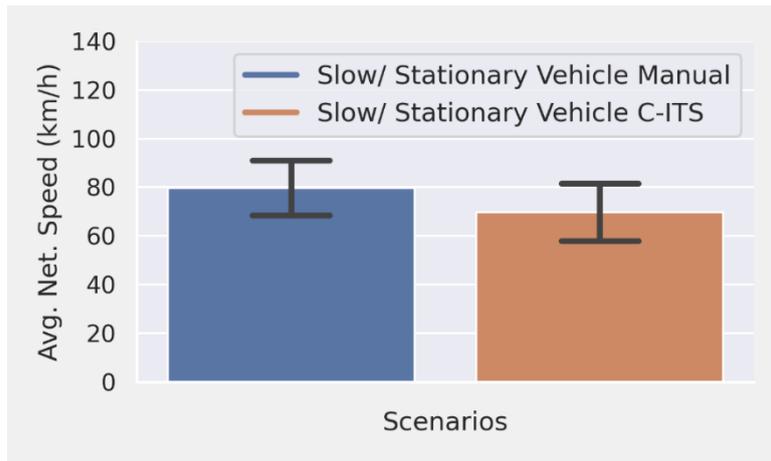
Εικόνα 25: Αριθμός συγκρούσεων με και χωρίς την υπηρεσία RWW



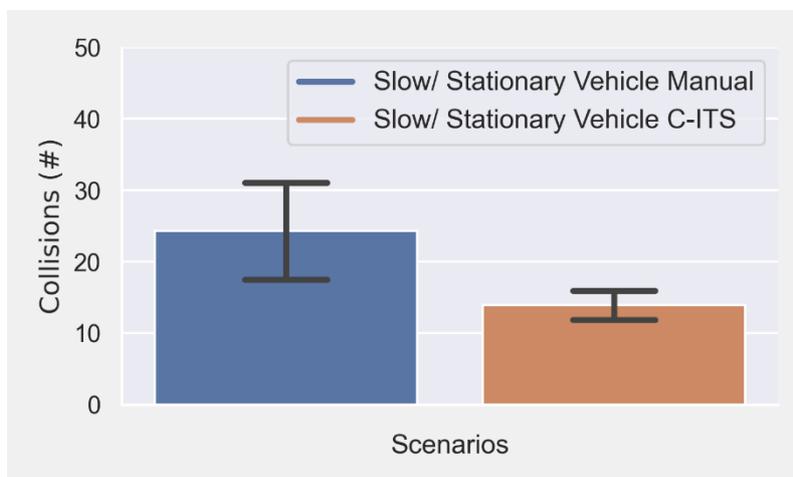
Εικόνα 26: Χρόνος διαδρομής με και χωρίς την υπηρεσία RWW

#### 4.2.2.4 4<sup>ο</sup> Σενάριο: RHW - Ακίνητοποιημένο όχημα στη δεξιά λωρίδα

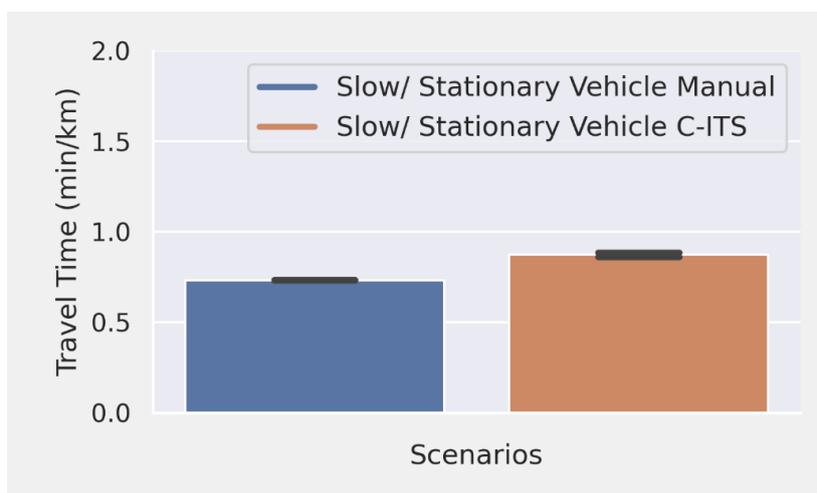
Στο σενάριο όπου αξιολογήθηκε η περίπτωση της παροχής ενημέρωσης για ακίνητοποιημένο όχημα με την υπηρεσία RHW, παρατηρήθηκε ότι η μέση ταχύτητα των οχημάτων στο δίκτυο μειώνεται όταν παρέχεται η υπηρεσία, ενώ συνεπακόλουθα αυξάνεται ο χρόνος διαδρομής. Όσον αφορά στον αριθμό των συγκρούσεων, η μείωση είναι σημαντική στο σενάριο όπου παρέχεται στους οδηγούς C-ITS μήνυμα, ενώ ο χρόνος διαδρομής αυξήθηκε δεδομένης και της μείωσης στην ταχύτητα των οχημάτων.



Εικόνα 27: Μέση ταχύτητα στο δίκτυο με και χωρίς την υπηρεσία RHW – Ακίνητοποιημένο όχημα



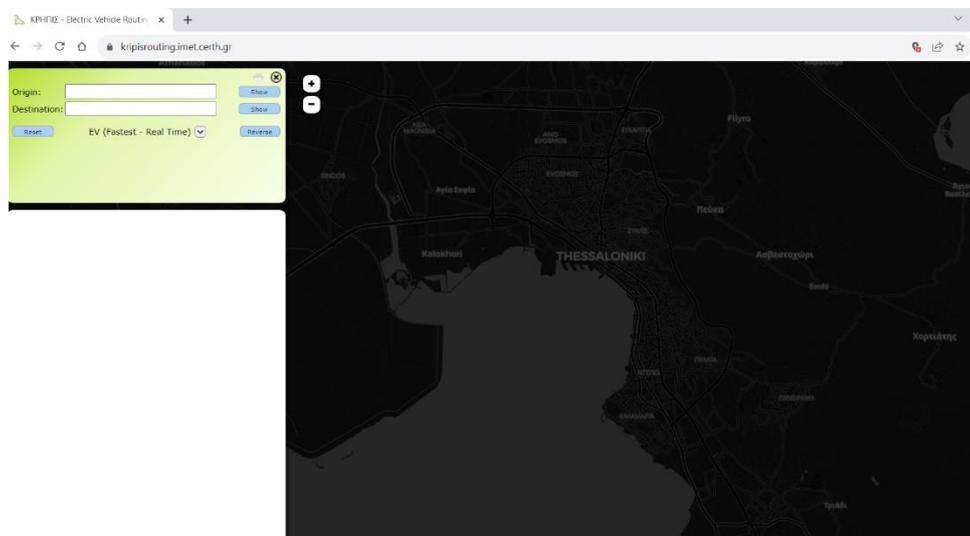
Εικόνα 28: Αριθμός συγκρούσεων με και χωρίς την υπηρεσία RHW – Ακίνητοποιημένο όχημα



Εικόνα 29: Χρόνος διαδρομής με και χωρίς την υπηρεσία RHW – Ακίνητοποιημένο όχημα

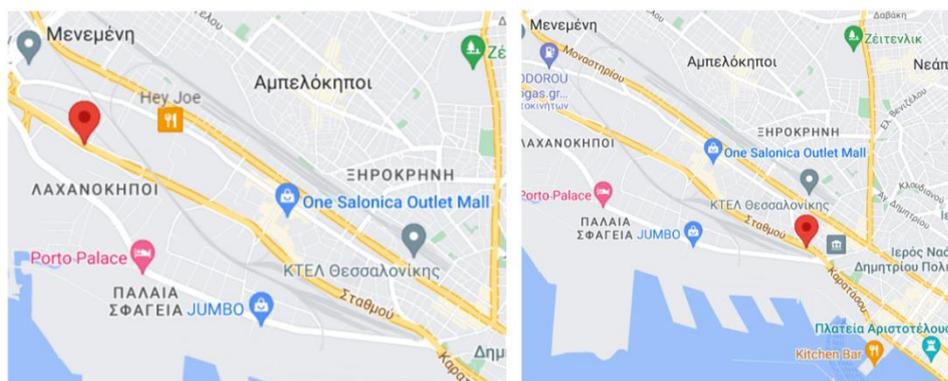
### 4.3 Ηλεκτρικό όχημα

Οι δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στην πλατφόρμα ΚΡΗΠΙΣ περιλαμβάνουν διαδρομές που εκτέλεσε ηλεκτροκίνητο όχημα σε τμήμα του δικτύου της περιοχής μελέτης λαμβάνοντας υπόψη και την παροχή C-ITS μηνυμάτων μέσω του Mobile App στο όχημα. Οι διαδρομές που ελέγχθηκαν αφορούν τη Δυτική είσοδο της πόλης της Θεσσαλονίκης και την Περιφερειακή οδό, οδικά τμήματα που χρησιμοποιήθηκαν και για τις προσομοιώσεις. Με βάση τα σημεία προέλευσης-προορισμού που εισάγονται στο interface της πλατφόρμας ΚΡΗΠΙΣ δίνεται η δυνατότητα να υπολογιστούν για το ηλεκτρικό όχημα και για 4 διαφορετικούς τύπους διαδρομών, δηλαδή ταχύτερη με βάση τις τρέχουσες κυκλοφοριακές συνθήκες, ταχύτερη με βάση συνθήκες ελεύθερης ροής, συντομότερη χιλιομετρικά, οικονομικότερη όσον αφορά στην κατανάλωση, ο χρόνος ταξιδιού και η κατανάλωση.



Εικόνα 30: Interface της πλατφόρμας ΚΡΗΠΙΣ

Η πρώτη διαδρομή που ελέγχθηκε έχει αφητηρία και προορισμό τα σημεία της οποίας παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 31: Προέλευση – προορισμός ηλεκτρικού οχήματος στη Δυτική είσοδο της Θεσσαλονίκης

Στον πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της δοκιμής.

Πίνακας 3: Αποτελέσματα 1<sup>ης</sup> δοκιμής ηλεκτρικού οχήματος

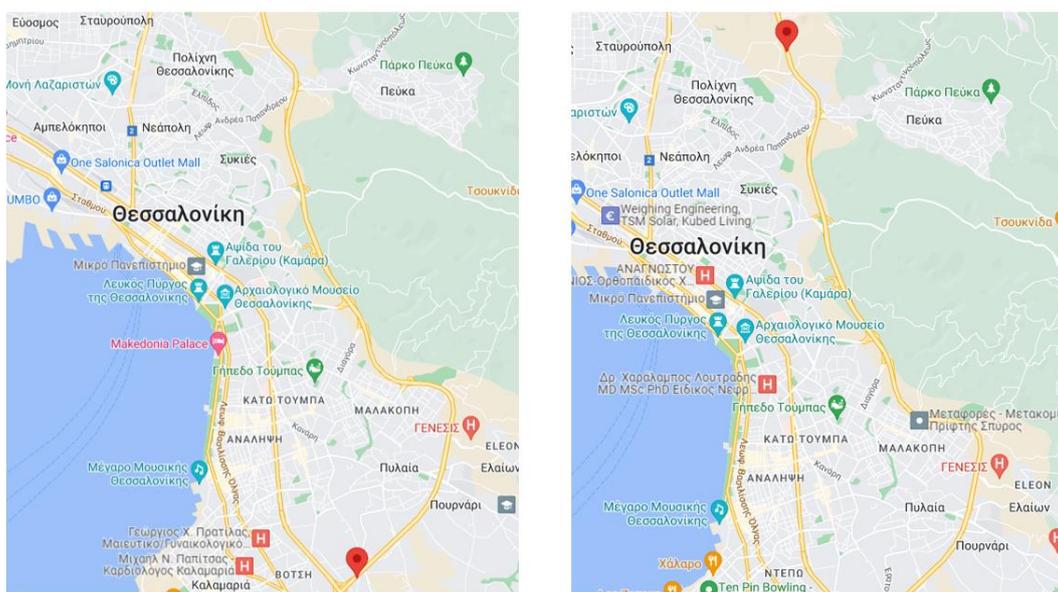
Διαδρομή	Fastest – Real Time	Fastest – Free Flow	Shortest	Less Consumption
Χιλιομετρική απόσταση	4.53 km	4.53 km	4.13 km	4.21 km
Χρόνος ταξιδιού	3 min	3 min	7 min	7 min
Κατανάλωση	0.49 kWh	0.49 kWh	0.53 kWh	0.45 kWh

Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε επίσης και για την αντίθετη κατεύθυνση δίνοντας τα ακόλουθα αποτελέσματα.

Πίνακας 4: Αποτελέσματα 1<sup>ης</sup> δοκιμής ηλεκτρικού οχήματος – αντίθετη κατεύθυνση

Διαδρομή	Fastest – Real Time	Fastest – Free Flow	Shortest	Less Consumption
Χιλιομετρική απόσταση	2.25 km	2.25 km	2.25 km	2.25 km
Χρόνος ταξιδιού	2 min	2 min	2 min	2 min
Κατανάλωση	0.50 kWh	0.47 kWh	0.47 kWh	0.47 kWh

Η δεύτερη διαδρομή που ελέγχθηκε έχει αφητηρία και προορισμό τα σημεία της οποίας παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 32: Προέλευση – προορισμός ηλεκτρικού οχήματος στην Περιφερειακή οδό

Στον πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της δοκιμής.

Πίνακας 5: Αποτελέσματα 2<sup>ης</sup> δοκιμής ηλεκτρικού οχήματος

Διαδρομή	Fastest – Real Time	Fastest – Free Flow	Shortest	Less Consumption
Χιλιομετρική απόσταση	15.0 km	14.9 km	12.9 km	12.9 km
Χρόνος ταξιδιού	14 min	15 min	16 min	16 min
Κατανάλωση	2.61 kWh	2.61 kWh	1.87 kWh	1.86 kWh

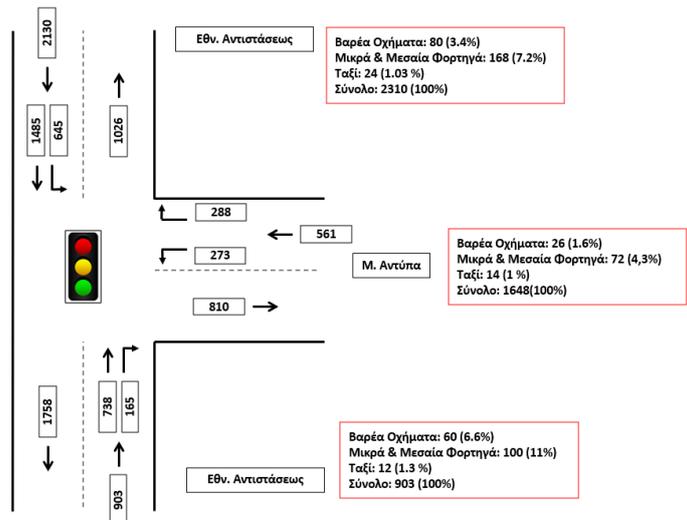
Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε επίσης και για την αντίθετη κατεύθυνση δίνοντας τα ακόλουθα αποτελέσματα.

Πίνακας 6: Αποτελέσματα 2<sup>ης</sup> δοκιμής ηλεκτρικού οχήματος – αντίθετη κατεύθυνση

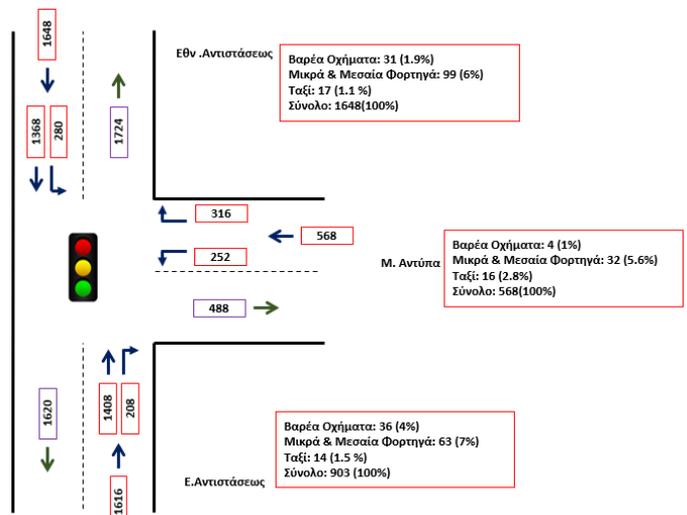
Διαδρομή	Fastest – Real Time	Fastest – Free Flow	Shortest	Less Consumption
Χιλιομετρική απόσταση	11.5 km	11.5 km	11.5 km	11.5 km
Χρόνος ταξιδιού	9 min	9 min	9 min	9 min
Κατανάλωση	1.99 kWh	1.99 kWh	1.91 kWh	1.91 kWh

#### 4.4 Δεδομένα από μη Επανδρωμένα Οχήματα (UAV)

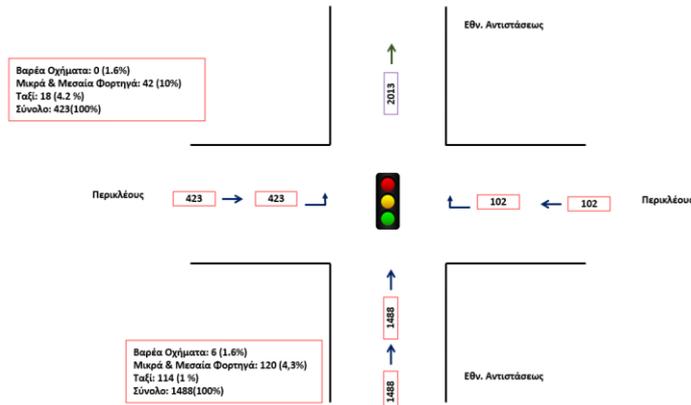
Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των δεδομένων στους 4 κόμβους της περιοχής μελέτης. Στα σκαριφήματα των κόμβων παρουσιάζονται οι αριθμοί των οχημάτων σε κάθε λωρίδα και σε κάθε κίνηση που παρατηρήθηκαν τις ώρες της πρωινής και της απογευματινής αιχμής αντίστοιχα και η σύνθεση της κυκλοφορίας όσον αφορά σε οχήματα στόλων βαρέων οχημάτων, μεσαίων και μικρών φορτηγών και ταξί.



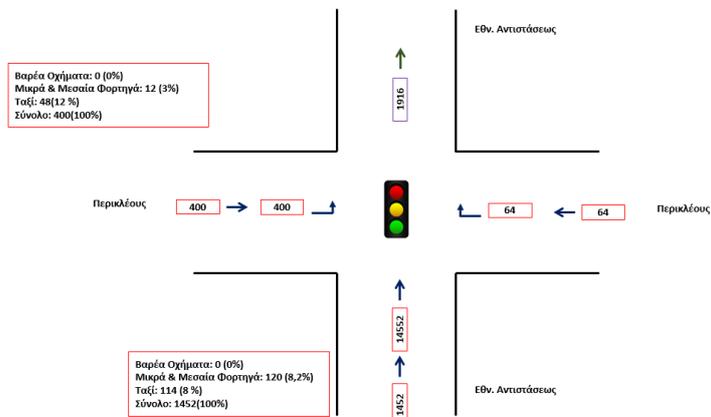
Εικόνα 33: Κόμβος Εθνικής Αντιστάσεως – Μαρίνου Αντύπα, Πρωινή αιχμή



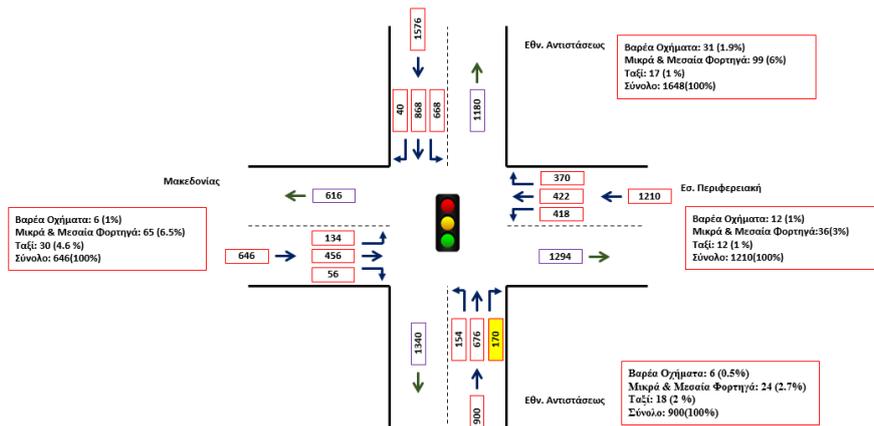
Εικόνα 34: Κόμβος Εθνικής Αντιστάσεως – Μαρίνου Αντύπα, Απογευματινή αιχμή



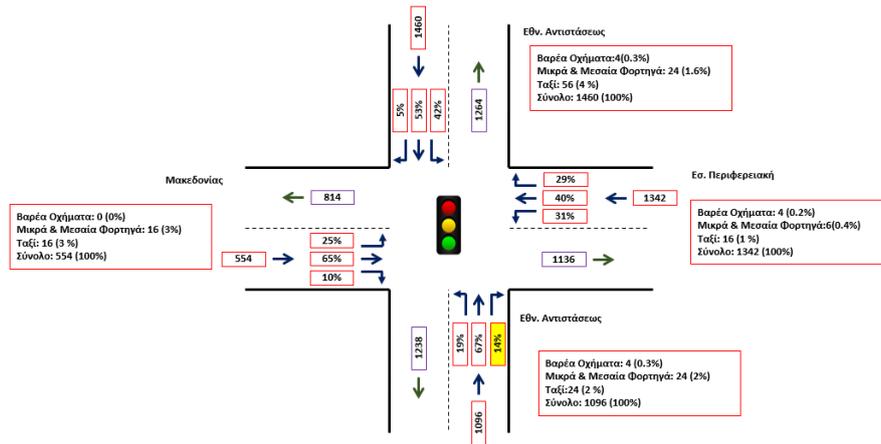
Εικόνα 35: Κόμβος Εθνικής Αντιστάσεως – Περικλέους, Πρωινή αιχμή



Εικόνα 36: Κόμβος Εθνικής Αντιστάσεως – Περικλέους, Απογευματινή αιχμή



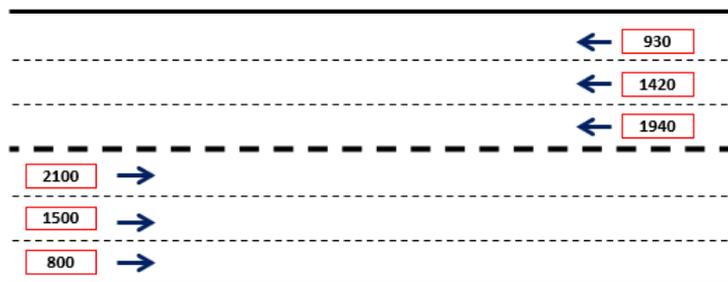
Εικόνα 37: Κόμβος Εθνικής Αντιστάσεως – Εσωτερική Περιφερειακή, Πρωινή αιχμή



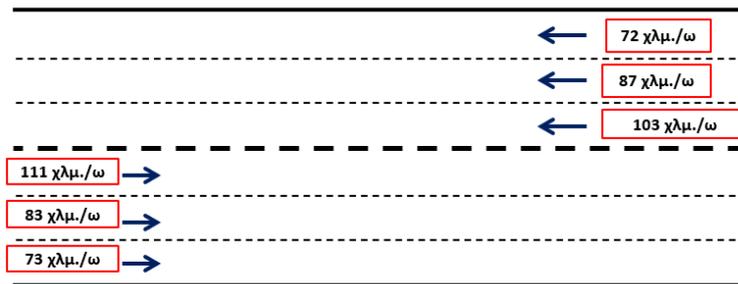
Εικόνα 38: Κόμβος Εθνικής Αντιστάσεως – Εσωτερική Περιφερειακή, Απογευματινή αιχμή



Εικόνα 39: Κόμβος ΕΟ Θεσ/νίκης Μουδανίων – Έξοδος Mediterranean Cosmos, Φόρτος οχημάτων



Εικόνα 40: Κόμβος ΕΟ Θεσ/νίκης Μουδανίων – Έξοδος Mediterranean Cosmos, Φόρτος Οχημάτων ανά λωρίδα κίνησης



Εικόνα 41: Κόμβος ΕΟ Θεσ/νίκης Μουδανίων – Έξοδος Mediterranean Cosmos, Ταχύτητα κίνησης οχημάτων ανά λωρίδα κίνησης

Με βάση τα δεδομένα που συλλέχθηκαν συμπεραίνεται ότι τα ποσοστά οχημάτων στόλων είναι συγκριτικά χαμηλά σε σχέση με το ποσοστό οχημάτων ΙΧ το οποίο αποτελεί και το μεγαλύτερο όλων. Ωστόσο στους συγκεκριμένους κόμβους θα μπορούσαν να εφαρμοσθούν οι υπηρεσίες C-ITS της πλατφόρμας CTMaaS οι οποίες σχετίζονται με τη διαχείριση φωτεινών σηματοδοτών προκειμένου να βελτιστοποιηθούν οι συνθήκες όσον αφορά στους χρόνους διαδρομών των στόλων.

#### 4.5 Ικανοποίηση λειτουργικών απαιτήσεων - Functional evaluation

Για την ικανοποίηση των λειτουργικών απαιτήσεων της πλατφόρμας CTMaaS ακολουθήθηκε η τυπική διαδικασία αξιολόγησης λογισμικού η οποία περιλαμβάνει:

- Τον προσδιορισμό της λειτουργικότητας της πλατφόρμας.
- Τον προσδιορισμό των δεδομένων εισόδου.
- Τον προσδιορισμό της εξόδου του συστήματος.
- Την εκτέλεση περιπτώσεων δοκιμής.
- Τη σύγκριση των πραγματικών και των αναμενόμενων αποτελεσμάτων.

Λήφθηκαν υπόψιν όλες οι περιπτώσεις οι οποίες είναι κρίσιμες για τις προκλήσεις που μπορεί να επιλυθούν από την πλατφόρμας κατά την αξιολόγηση της λειτουργικότητας. Οι λειτουργικές δοκιμές που εκτελέστηκαν διασφαλίζουν την ομαλή λειτουργία του συστήματος και όλες είχαν θετικό αποτέλεσμα. Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν χειροκίνητα και λεπτομέρειες για αυτές βρίσκονται στο παραδοτέο Π2.2: Έλεγχος και ενοποίηση συστήματος.

## 5. Μελέτη Επιπτώσεων Προστασίας Δεδομένων

Στο παρόν παραδοτέο ενσωματώνεται η Μελέτης Επιπτώσεων Προστασίας Δεδομένων (Data Protection Impact Assessment - DPIA) η οποία ασχολείται με θέματα διαχείρισης νομικών και ηθικών θεμάτων και διασφαλίζει τη συμφωνία του έργου και των τεχνολογικών λύσεων που αναπτύχθηκαν με τις απαιτήσεις του Γενικού Κανονισμού Προστασίας Προσωπικών Δεδομένων (GDPR). Η Μελέτη Επιπτώσεων Προστασίας Δεδομένων περιλαμβάνει τα νομοθετικά πλαίσια που διέπουν τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση και τη λειτουργία της πλατφόρμας CTMaaS. Αναλύονται λεπτομερώς τα είδη των δεδομένων που χρησιμοποιούνται, ο τρόπος συλλογής τους και η διαχείρισή τους μετά το πέρας των διαφόρων λειτουργιών (διατήρηση, αποθήκευση και διαγραφή). Τέλος, αναφέρεται κι η Ευρωπαϊκή νομοθεσία που καλύπτει το έργο.

Η δοκιμή της πλατφόρμας CTMaaS με πραγματικούς χρήστες καθιστά ιδιαίτερα σημαντική της διασφάλιση της τήρησης του απορρήτου των δεδομένων των χρηστών. Η διαχείριση των δεδομένων των χρηστών έγινε με βάση την Οδηγία για την Προστασία Δεδομένων 95/46/ΕΚ της Ευρωπαϊκής Επιτροπής ([https://www.dpa.gr/sites/default/files/2020-05/CELEX\\_31995L0046\\_EL\\_TXT.pdf](https://www.dpa.gr/sites/default/files/2020-05/CELEX_31995L0046_EL_TXT.pdf)) που αφορά στην «προστασία των ατόμων έναντι της επεξεργασίας δεδομένων προσωπικού χαρακτήρα και την ελεύθερη κυκλοφορία των σχετικών δεδομένων».

Οι εταίροι του έργου CTMaaS επιβεβαιώνουν ότι τα ηθικά πρότυπα και οι κατευθυντήριες γραμμές της Οδηγίας για την Προστασία Δεδομένων 95/46/ΕΚ εφαρμόζονται αυστηρά, ανεξάρτητα από τη δραστηριότητα και τον τρόπο διεξαγωγής της. Το έργο CTMaaS δεν περιλαμβάνει ηθικά ζητήματα πέρα από αυτά που συνήθως συνδέονται με την επιστημονική εργασία γενικά. Οι εταίροι εξασφάλισαν υψηλή διαφάνεια στην επεξεργασία των δεδομένων και τη συμμόρφωση με την εθνική και ευρωπαϊκή νομοθεσία. Όλα τα δεδομένα για σκοπούς αξιολόγησης αποθηκεύτηκαν κεντρικά από το ΕΚΕΤΑ-ΙΜΕΤ βάσει της εμπειρίας που διαθέτει στη διαχείριση δεδομένων στο πλαίσιο ερευνητικών ευρωπαϊκών έργων.

Ο σχεδιασμός της πλατφόρμας CTMaaS έγινε με γνώμονα την προστασία της ιδιωτικής ζωής και εφαρμόστηκαν μέτρα και διαδικασίες για τον περιορισμό και τον έλεγχο της διαρροής πληροφοριών σύμφωνα με την εθνική και κοινοτική νομοθεσία. Ειδικότερα, τα δεδομένα δεν αναφέρονται ποτέ στην ταυτότητα μεμονωμένων προσώπων, γεγονός που εγγυάται την προστασία της ιδιωτικής ζωής. Η νομοθεσία, τα πρότυπα και οι βέλτιστες πρακτικές για την προστασία δεδομένων εφαρμόστηκαν στη συλλογή, αποθήκευση, προστασία, διατήρηση και καταστροφή των δεδομένων.

Τα δεδομένα της πλατφόρμας CTMaaS αφορούν κυρίως σε δεδομένα οχημάτων (ταχύτητα, θέση) τα οποία δεν αποθηκεύονται αποθηκεύονται ως ανώνυμα στοιχεία. Η ανωνυμοποίηση ή η ψευδωνυμοποίηση είναι ένας τρόπος αποτροπής παραβιάσεων των κανόνων απορρήτου και προστασίας δεδομένων. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν χρησιμοποιήθηκαν μόνο για σκοπούς αξιολόγησης της πλατφόρμας CTMaaS. 9