

Οικονομοτεχνική Ανάλυση Βιωσιμότητας για την Ηλεκτροκίνηση στην Περιφέρεια Αττικής

Βιργινία Πετράκη¹, Παναγιώτης Παπαντωνίου², Χριστίνα Γονίδη³, Γιώργος Γιαννής⁴

¹ Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
E-mail: vpetraki@mail.ntua.gr

² Τμήμα Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής
E-mail: ppapant@uniwa.gr

³ Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
E-mail: cgonidi@mail.ntua.gr

³ Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
E-mail: geyannis@central.ntua.gr

Περίληψη

Η κατανάλωση ενέργειας και η εκπομπή ρύπων αυξάνεται εκθετικά σε παγκόσμιο επίπεδο. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η οικονομοτεχνική διερεύνηση της μερικής αντικατάστασης του συμβατικού υπηρεσιακού στόλου οχημάτων της Περιφέρειας Αττικής, με αμιγώς ηλεκτροκίνητο όπως και της εγκατάστασης σταθμών φόρτισης. Για τον σκοπό αυτό, αναπτύσσονται τρία σενάρια που διαχωρίζονται βάσει της κατανομής του νέου ηλεκτροκίνητου στόλου σε επιβατικά, φορτηγά και μηχανήματα έργου, ενώ για κάθε σενάριο υπολογίζεται το κόστος επένδυσης. Στη συνέχεια, εκτιμάται η ετήσιο οικονομικό όφελος για την Περιφέρεια για κάθε σενάριο σε χρονικό ορίζοντα 15 ετών, όσον αφορά στην κατανάλωση καυσίμου, στη συντήρηση, στα τέλη κυκλοφορίας, στις εκπομπές ρύπων. Μέσω του δείκτη εσωτερικής απόδοσης (IRR) εκτιμάται σε βάθος 15ετίας η οικονομική βιωσιμότητα του σχεδίου, για κάθε σενάριο. Από την ανάλυση προκύπτει ότι το σενάριο που η Περιφέρεια προμηθεύεται όλους τους τύπους ηλεκτρικών οχημάτων, παρουσιάζει την υψηλότερη απόδοση και επομένως αποτελεί το οικονομικά πιο βιώσιμο σενάριο για την Περιφέρεια.

Λέξεις κλειδιά: ηλεκτροκίνηση, Περιφέρεια Αττικής, υπηρεσιακός στόλος οχημάτων, σενάρια, οικονομοτεχνική ανάλυση, βιωσιμότητα, δείκτης εσωτερικής απόδοσης

1. Εισαγωγή

Η κατανάλωση ενέργειας και η εκπομπή αερίων ρύπων αυξάνεται εκθετικά σε παγκόσμιο επίπεδο, με τον τομέα των μεταφορών να παίζει καθοριστικό ρόλο στο εν λόγω φαινόμενο. Ο Ευρωπαϊκός τομέας μεταφορών πέτυχε σημαντικές μειώσεις στις εκπομπές σημαντικών ατμοσφαιρικών ρύπων κυρίως λόγω της εφαρμογής προτύπων εκπομπών, προώθησης εναλλακτικών καυσίμων και μέτρων αποφυγής των μεταφορών (EEA, 2016). Ωστόσο, οι εκπομπές από τον τομέα των μεταφορών δεν μειώθηκαν σημαντικά ώστε να περιοριστούν οι περιβαλλοντικές και κλιματικές επιπτώσεις στην Ευρώπη. Εντός των τριών τελευταίων χρόνων, η εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου από τον τομέα των μεταφορών έχει αυξηθεί παραμένοντας σημαντική πηγή εκπομπών αιρούμενων σωματιδίων (PM), διοξειδίου του αζώτου (NO₂) και κυκλοφοριακού θορύβου (EEA, 2018). Συγκεκριμένα, στην Ευρωπαϊκή Ένωση, ο τομέας μεταφορών κατέχει το μεγαλύτερο μερίδιο στην κατανάλωση ενέργειας (33%, το έτος 2015) και αποτελεί τον δεύτερο κατά σειρά παράγοντα που συμβάλλει καθοριστικά στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (~29%, το έτος 2015) (EC, 2017; 2018).

Η ηλεκτροκινητικότητα, με την ευρύτερη έννοια, αποτελεί κατασταλακτικό παράγοντα για την οικοδόμηση βιώσιμων συστημάτων μεταφορών σε αστικές περιοχές. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει προσδιορίσει την ηλεκτροκινητικότητα, στο ευρύτερο πλαίσιο της βιώσιμης κινητικότητας, ως μία από τις προτεραιότητες με σκοπό την απαλλαγή των μεταφορών από τις ανθρακούχες εκπομπές (EC, 2016; ACEA, 2018, 2020). Θεωρείται βασικός μεσολαβητής για την απεξάρτηση του συστήματος μεταφορών από τα ορυκτά καύσιμα (Hawkins et al., 2012; Nordelöf et al., 2014; Grea and Lehmann, 2015; Pollák et al., 2021), εφόσον η ηλεκτρική ενέργεια έχει τη δυνατότητα να αυξήσει την ενεργειακή απόδοση των μηχανοκίνητων οχημάτων και να συμβάλει παράλληλα στη μείωση του CO₂ που προκαλείται από τις οδικές μεταφορές. Έως το έτος 2050 επιδιώκεται η εξάλειψη των συμβατικών οχημάτων στα αστικά κέντρα, η μείωση κατά 60% των εκπομπών CO₂ όπως και η συγκρίσιμη μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα. Συνεπώς, η ηλεκτροκίνηση αποτελεί το μέλλον στην κίνηση οχημάτων και ιδίως αυτών που δραστηριοποιούνται στα αστικά κέντρα.

Η παραγωγή, η πώληση και η χρήση ηλεκτροκίνητων οχημάτων έχει ήδη ξεκινήσει στην Ευρώπη ενώ ο δείκτης διείσδυσης τους αυξάνεται σταδιακά τα τελευταία χρόνια. Ειδικότερα, η μεγαλύτερη αύξηση πωλήσεων σημειώθηκε το έτος 2017 καθώς οι πωλήσεις αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων (BEV) διπλασιάστηκαν συγκριτικά με το προηγούμενο έτος ενώ όσον αφορά τα plug-in υβριδικά οχήματα η αντίστοιχη αύξηση στις πωλήσεις ήταν 35% (Europe Environment Agency, 2018). Το έτος 2017, τα Η/Ο αποτελούσαν το 1,5% όλων των επιβατικών αυτοκινήτων που πωλήθηκαν σε ολόκληρη την Ευρωπαϊκή Ένωση. Με αυτόν τον ρυθμό, το μερίδιο αγοράς των Η/Ο θα είναι 3,9% έως το 2025 και 5,4% έως το 2030. Παρά τα πλεονεκτήματά τους, ο αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων στην Ευρώπη είναι ακόμη περιορισμένος ενώ λαμβάνονται διάφορα μέτρα από τα μέλη της ΕΕ για την αύξηση του στόλου των φιλικών προς το περιβάλλον αυτοκινήτων (Cansino et al., 2018).

Τα ηλεκτρικά οχήματα είναι αρκετές χιλιάδες ευρώ πιο ακριβά από τους συμβατικούς ομολόγους τους. Ωστόσο, οι βελτιώσεις στην τεχνολογία της μπαταρίας των ηλεκτρικών οχημάτων συνεχίζουν να μειώνουν την τιμή τους και να αυξάνουν το εύρος οδήγησης. Όσον αφορά στο λειτουργικό κόστος των ηλεκτρικών οχημάτων παρατηρείται να είναι σημαντικά

χαμηλότερο από ό,τι για τα συμβατικά οχήματα, λόγω μειωμένων δαπανών καυσίμων, χαμηλότερης συντήρησης και άλλων οικονομικών οφελών (δηλαδή μείωση τελών και άλλα κυβερνητικά κίνητρα) (TfL). Η αντικατάσταση συμβατικών οχημάτων με ηλεκτρικά απαιτεί λεπτομερή μελέτη, λαμβάνοντας υπόψη το συνολικό κόστος ζωής του στόλου.

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η οικονομοτεχνική ανάλυση της αντικατάστασης μέρους του υφιστάμενου υπηρεσιακού συμβατικού στόλου οχημάτων της Περιφέρειας Αττικής, με ηλεκτροκίνητο στόλο όπως και της ανάλογης εγκατάστασης σταθμών φόρτισης. Για το σκοπό αυτό, παρουσιάζονται τα τρία υπό εξέταση σενάρια που διαχωρίζονται όσον αφορά στην κατανομή του προς προμήθεια ηλεκτροκίνητου στόλου και πραγματοποιείται υπολογισμός της ετήσιας και συνολικής οικονομικής ωφέλειας που προκύπτει από τις προτεινόμενες δράσεις. Τέλος, υπολογίζεται ο δείκτης εσωτερικής απόδοσης (IRR) μέσω του οποίου εκτιμάται σε βάθος δεκαπενταετίας η οικονομική βιωσιμότητα του συνολικού σχεδίου, για κάθε εναλλακτικό σενάριο εφαρμογής των δράσεων. Τα αποτελέσματα της εν λόγω μελέτης θα οδηγήσουν στην πρόκριση του σεναρίου εφαρμογής με την υψηλότερη απόδοση και θα αναδείξουν το όφελος του σχεδίου δράσης για την ηλεκτροκίνηση στην Περιφέρεια Αττικής, γεγονός που μπορεί να αποτελέσει πρότυπο και για άλλες Περιφέρειες και Δήμους στην μετάβαση της χώρας στην ηλεκτροκίνηση.

2. Η Περιφέρεια Αττικής

Στον παρόν κεφάλαιο αναλύεται και παρουσιάζεται η υφιστάμενη κατάσταση της Περιφέρειας Αττικής ως γεωγραφική αλλά και ως διοικητική μονάδα. Πιο συγκεκριμένα, για την Περιφέρεια Αττικής ως γεωγραφική μονάδα παρουσιάζονται στοιχεία όσον αφορά στα δημογραφικά χαρακτηριστικά, στα κυκλοφορούντα οχήματα, στις χρήσεις γης, στην οδική ασφάλεια, στην κυκλοφορία και στο περιβάλλον ενώ ως διοικητική μονάδα παρουσιάζονται στοιχεία σχετικά με τον υπηρεσιακό στόλο οχημάτων και την κυκλοφορία τους.

2.1 Η Περιφέρεια Αττικής ως Γεωγραφική μονάδα

Η Περιφέρεια Αττικής αποτελεί μία από τις 13 περιφέρειες της Ελλάδας, βρίσκεται στο ανατολικό άκρο της Στερεάς Ελλάδας, και καλύπτει περίπου 3.808 τ.χλμ. Περιλαμβάνει το Νομό Αττικής, έχει έδρα την Αθήνα και συνιστάται από 8 Περιφερειακές Ενότητες. Αποτελεί την πρώτη σε πληθυσμό και πιο πυκνοκατοικημένη περιφέρεια, αφού σε αυτήν ανήκει το πολεοδομικό συγκρότημα της Αθήνας, συγκεντρώνοντας το 35% του πληθυσμού της χώρας, δηλαδή 3.828.434 κατοίκους (ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2011).

Αναφορικά με τα κυκλοφορούντα οχήματα στην Αττική το έτος 2019, τα επιβατικά οχήματα αντιστοιχούσαν στο 69% του συνολικού στόλου οχημάτων στην Αττική, ακολουθούν τα δίκυκλα με 24%, τα φορτηγά με 7% και τέλος τα λεωφορεία με 0,3%. Η συνεχής αύξηση του στόλου των οχημάτων σε συνδυασμό με τη μείωση των νέων εγγραφών οδηγεί σε αυτοκίνητα παλιάς τεχνολογίας με αποτέλεσμα ο στόλος των οχημάτων να μην ανανεώνεται γεγονός που οδηγεί σε γερασμένο στόλο οχημάτων στην Αττική. Η Περιφερειακή Ενότητα που της αναλογεί το μεγαλύτερο ποσοστό οδικών ατυχημάτων που καταγράφηκαν στην Αττική το έτος 2019, είναι η Π.Ε. Κεντρικού Τομέα Αθηνών (31%). Τα λιγότερα οδικά ατυχήματα έλαβαν

χώρα στην Π.Ε. Δυτικής Αττικής και στην Π.Ε. Νήσων στην οποία συνέβησαν 17 οδικά ατυχήματα (ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2021).

Σχετικά με το περιβάλλον, πάνω από το 70% των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου προέρχονται από τις οδικές μεταφορές και αποδίδονται στα τροχοφόρα. Οι υπόλοιπες εκπομπές προέρχονται κατά κύριο λόγο από τη ναυτιλία και τις αεροπορικές μεταφορές. Η διαχρονική εξέλιξη των τιμών ατμοσφαιρικών ρύπων (2004-2018) δείχνει ότι, παρόλο που υπάρχουν αυξομειώσεις των μέσων ετήσιων τιμών ρύπανσης από χρόνο σε χρόνο, υπάρχει τάση πτωτική ή τάση σταθεροποίησης, ανάλογα με το ρύπο (ΥΠ.ΕΝ., 2020). Η εξέλιξη αυτή μπορεί να αποδοθεί, κυρίως στην τεχνολογική αναβάθμιση του στόλου των Ι.Χ. αυτοκινήτων και των ΜΜΜ, στην εφαρμογή του μέτρου της Κάρτας Ελέγχου Καυσαερίων, στα μέτρα ελέγχου εκπομπής ρύπων από διάφορες πηγές, στη χρήση καυσίμων με καλύτερες τεχνικές προδιαγραφές, κ.α.

Αναφορικά με τις υποδομές της ηλεκτροκίνησης, σύμφωνα με το Ελληνικό Ινστιτούτο Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων (ΕΛ.ΙΝ.Η.Ο) στην Περιφέρεια Αττικής λειτουργούν 78 σταθμοί φόρτισης Η/Ο δημόσιας πρόσβασης. Οι περισσότεροι σταθμοί φόρτισης Η/Ο έχουν εγκατασταθεί στις Περιφερειακές Ενότητες Βορείου (22%) και Νοτίου Τομέα Αθηνών (22%). Ακολουθούν οι Περιφερειακές Ενότητες Κεντρικού Τομέα Αθηνών (19%) και Ανατολικής Αττικής (19%). Στην Περιφερειακή Ενότητα Νήσων έχει εγκατασταθεί ένας σταθμός φόρτισης Η/Ο και βρίσκεται στο νησί των Κυθήρων.

2.2 Η Περιφέρεια Αττικής ως Διοικητική μονάδα

Στον παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται στοιχεία σχετικά με τον υπηρεσιακό στόλο οχημάτων της Περιφέρειας Αττικής όπως διατέθηκαν από τη Διεύθυνση Διαχείρισης Μητροπολιτικών Υποδομών (Τμήμα Εξοπλισμού και Διαχείρισης) και από τη Διεύθυνση Διοικητικών Υπηρεσιών (Τμήμα Κίνησης Οχημάτων).

Πιο συγκεκριμένα, τα εν λόγω δεδομένα είναι απαραίτητα για τις αναλύσεις που θα ακολουθήσουν και αφορούν σε χαρακτηριστικά και προδιαγραφές του υφιστάμενου στόλου υπηρεσιακών οχημάτων (πχ. τύπος οχήματος, χρονολογία 1^{ης} εγγραφής, τύπος καυσίμου), τέλη κυκλοφορίας, κυκλοφοριακά δεδομένα υπηρεσιακού στόλου (πχ. οχηματοχιλιόμετρα, βάρδιες, κόστος για τη συντήρηση του υπηρεσιακού στόλου όπως και επιπλέον έξοδα για την λειτουργία του υφιστάμενου υπηρεσιακού στόλου (πχ. ενοικίαση μηχανημάτων έργου σε περίπτωση βλάβης οχήματος και έκτακτης ανάγκης).

Ο στόλος οχημάτων της Περιφέρειας Αττικής, πραγματοποιεί δρομολόγια με σκοπό την κάλυψη των αναγκών διαφόρων υπηρεσιών όλων των Περιφερειακών Ενοτήτων της. Πιο συγκεκριμένα, για κάθε υπηρεσιακό όχημα γνωστοποιήθηκαν οι εξής μεταβλητές:

- Είδος οχήματος: επιβατικό, φορτηγό, μηχανήμα έργου
- Τύπος επιβατικού (station wagon, sedan, SUV, Hatchback, MPV, passenger Van)
- Τύπος φορτηγού (ανατρεπόμενο, μη ανατρεπόμενο, με λεπίδα απαχίων. &αλατιέρα, καδοφόρο, βυτιοφόρο ύδατος, ημιρυμουκλόμενο και απορριματοφόρο)
- Τύπος μηχανήματος έργου (σάρωθρο, εκχιονιστικό, τσάπα, φορτωτής κλπ.)
- Εργοστάσιο κατασκευής
- Μοντέλο οχήματος

- Φορολογήσιμοι Ίπποι
- Κυβικά
- Ημερομηνία 1ης άδειας κυκλοφορίας
- Είδος Καυσίμου (βενζίνη, πετρέλαιο)
- Χιλιομετρική ένδειξη οχήματος
- Τέλη κυκλοφορίας για το έτος 2020 είτε για το 2021
- Περιφερειακή Ενότητα στην οποία ανήκει το εν λόγω όχημα

Στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζεται η κατανομή του υπηρεσιακού στόλου οχημάτων αναλόγως το είδος του οχήματος όπως δηλώθηκε από την Περιφέρεια Αττικής.

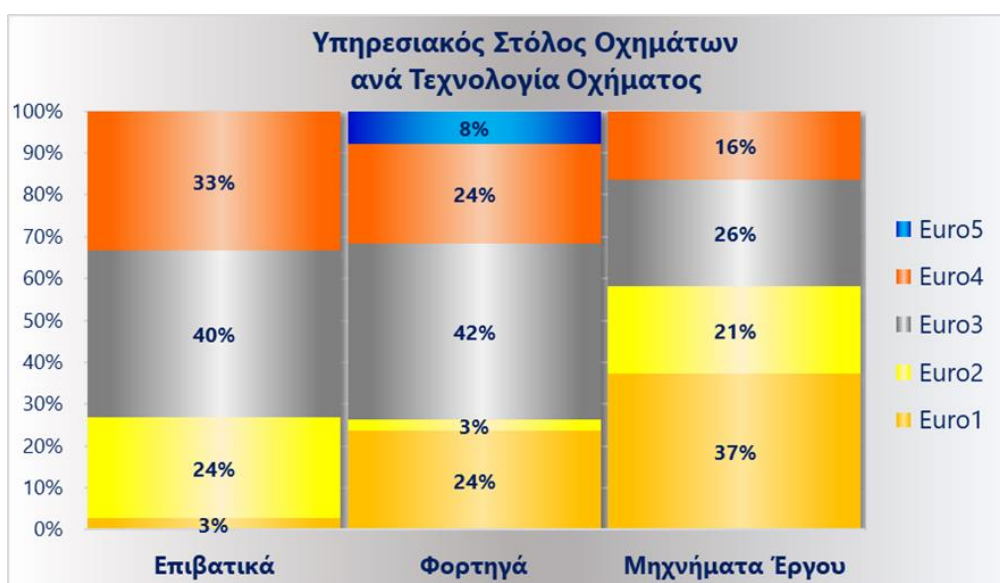


Σχήμα 1: Υπηρεσιακός στόλος οχημάτων Περιφέρειας Αττικής ανά κατηγορία οχήματος (Πηγή: Περιφέρεια Αττικής, Επεξεργασία: ΕΜΠ)

Ο υπηρεσιακός στόλος οχημάτων της Περιφέρειας αποτελείται κυρίως από επιβατικά οχήματα (55%), από φορτηγά οχήματα (20%) καθώς και από μηχανήματα έργου (25%) όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα. Επίσης, σημειώνεται ότι στον Κεντρικό Τομέα Αθηνών και στην Διεύθυνση Διαχείρισης Μητροπολιτικών Υποδομών αντιστοιχεί ο μεγαλύτερος αριθμός επιβατικών οχημάτων με τη Διεύθυνση Διαχείρισης Μητροπολιτικών Υποδομών να διαθέτει παράλληλα τον μεγαλύτερο συνολικά στόλο οχημάτων. Επίσης, παρατηρείται ότι μηχανήματα έργου βρίσκονται στη διάθεση κατά κύριο λόγο της Π.Ε. Δυτικής Αττικής (13), της Π.Ε. Ανατολικής Αττικής (9) και της τη Διεύθυνση Διαχείρισης Μητροπολιτικών Υποδομών (24). Τέλος, η Π.Ε. Νοτίου Τομέα Αθηνών, Δυτικού Τομέα Αθηνών και Πειραιώς έχουν υπό την κατοχή τους μόνο επιβατικά οχήματα. Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζεται ο υπηρεσιακός στόλος οχημάτων της Περιφέρειας Αττικής ανά τεχνολογία οχήματος.

Από το Σχήμα 2, παρατηρείται ότι κατά κύριο λόγο ο υπηρεσιακός στόλος οχημάτων της Περιφέρειας, είναι παλιάς τεχνολογίας (Euro1-Euro3). Συγκεκριμένα, το 67% των επιβατικών οχημάτων, το 69% των φορτηγών οχημάτων και το 84% των μηχανημάτων έργου είναι τεχνολογίας Euro3 ή και παλαιότερης. Αναφορικά με το καύσιμο κίνησης είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ο στόλος επιβατικών υπηρεσιακών οχημάτων αποτελείται από βενζινοκίνητα οχήματα ενώ η συντριπτική πλειοψηφία του στόλου φορτηγών οχημάτων και μηχανημάτων έργων αποτελείται από πετρελαιοκίνητα οχήματα (93%).

Λαμβάνοντας υπόψη την ημερομηνία πρώτης κυκλοφορίας του κάθε οχήματος όπως και την χιλιομετρική ένδειξη την αντίστοιχη ημερομηνία καταγραφής, προκύπτουν τα μέσα ετήσια οχηματοχιλιόμετρα που διανύει το κάθε όχημα. Συγκεκριμένα, προκύπτει ότι κατά μέσο όρο ένα υπηρεσιακό επιβατικό όχημα τύπου “station” διανύει περίπου 8.000 οχηματοχιλιόμετρα το έτος. Όσον αφορά στα φορτηγά οχήματα, παρατηρείται πως τα φορτηγά τύπου “ανοικτό μη ανατρεπόμενο” αξιολογούνται σε μεγαλύτερο βαθμό, διανύοντας κατά μέσο όρο το έτος 7.000 οχηματοχιλιόμετρα, σε σχέση με τους υπόλοιπους τύπους φορτηγών που ενδεχομένως να χρησιμοποιούνται κατά περίπτωση (π.χ. ανοικτό ανατρεπόμενο με λεπίδα αποχιον. & αλατιέρα).



***Σχήμα 2:** Υπηρεσιακός στόλος οχημάτων της Περιφέρειας Αττικής ανά Περιφερειακή Ενότητα και τεχνολογία οχήματος (Πηγή: Περιφέρεια Αττικής, Επεξεργασία: ΕΜΠ)*

3. Μεθοδολογία

Για την επίτευξη του σκοπού της παρούσας εργασίας, αναπτύσσονται εναλλακτικά σενάρια σύνθεσης του υπηρεσιακού στόλου οχημάτων της Περιφέρειας Αττικής. Για κάθε σενάριο υπό εξέταση εκτιμώνται οι οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την προμήθεια ηλεκτροκίνητου υπηρεσιακού στόλου οχημάτων από την Περιφέρεια Αττικής, με χρονικό ορίζοντα 15 ετών (2021-2035). Συγκεκριμένα, αναλύονται και παρουσιάζονται οι επιπτώσεις στους παρακάτω τομείς: Τέλη Κυκλοφορίας, Συντήρηση Οχημάτων (service), Κατανάλωση Καυσίμου, Μηχανήματα Έργου Έκτακτης Ανάγκης και Περιβάλλον.

Κατόπιν υπολογίζεται το κόστος επένδυσης που καλείται να καλύψει η Περιφέρεια Αττικής για την προμήθεια ηλεκτροκίνητου στόλου υπηρεσιακών οχημάτων σε κάθε σενάριο. Τέλος, πραγματοποιείται η ανάλυση του κόστους-ωφέλειας για την προμήθεια υπηρεσιακών ηλεκτρικών οχημάτων από την Περιφέρεια Αττικής με την μέθοδο του Δείκτη Εσωτερικής Απόδοσης (IRR), με σκοπό την ανάδειξη του οικονομικά πιο βιώσιμου σεναρίου υπό εξέταση.

3.1 Ανάπτυξη σεναρίων

Στο πλαίσιο της μελέτης βιωσιμότητας για την μερική αντικατάσταση του υφιστάμενου υπηρεσιακού συμβατικού στόλου οχημάτων της Περιφέρειας Αττικής με ηλεκτροκίνητο, αναπτύσσονται και παρουσιάζονται εναλλακτικά σενάρια. Ανώτερος στόχος της ανάπτυξης σεναρίων είναι η σύγκρισή τους με το βασικό σενάριο και σε τελικό στάδιο η επιλογή και εφαρμογή του πιο βιώσιμου σεναρίου για την Περιφέρεια Αττικής σε βάθος χρόνου. Πιο συγκεκριμένα, αναλύονται τρία σενάρια που διαφοροποιούνται βάσει της κατανομής ηλεκτρικών οχημάτων, που πρόκειται να προμηθευτεί η Περιφέρεια Αττικής, λαμβάνοντας υπόψη τρεις τύπους αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων: Επιβατικά οχήματα, Φορτηγά οχήματα και Μηχανήματα έργου.

Το Βασικό Σενάριο αποτυπώνει την υφιστάμενη κατάσταση του στόλου υπηρεσιακών οχημάτων της Περιφέρειας Αττικής, δηλαδή χωρίς την προμήθεια ηλεκτρικών οχημάτων και εγκατάστασης σταθμών φόρτισης. Το Σενάριο 1 αντιπροσωπεύει την περίπτωση που η Περιφέρεια Αττικής πρόκειται να προμηθευτεί μόνο έναν τύπο ηλεκτρικών οχημάτων, και συγκεκριμένα πενταθέσια επιβατικά αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα. Το Σενάριο 2 αντιπροσωπεύει την περίπτωση που η Περιφέρεια Αττικής πρόκειται να προμηθευτεί μόνο επιβατικά και φορτηγά αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα. Τέλος, το Σενάριο 3 αντιπροσωπεύει την περίπτωση που η Περιφέρεια Αττικής πρόκειται να προμηθευτεί και τους τρεις τύπους οχημάτων υπό εξέταση. Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά τα σενάρια που εξετάζονται.

Ο αριθμός σημείων φόρτισης προκύπτει συνυπολογίζοντας τον αριθμό ηλεκτρικών οχημάτων προς προμήθεια σε κάθε σενάριο υπό εξέταση. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 2014/94/ΕΕ, ο επαρκής μέσος αριθμός σημείων επαναφόρτισης θα πρέπει να αντιστοιχεί ενδεικτικά σε τουλάχιστον ένα σημείο επαναφόρτισης ανά 10 αυτοκίνητα, λαμβανομένων υπόψη του τύπου των οχημάτων, της τεχνολογίας φόρτισης και των διαθέσιμων ιδιωτικών σημείων επαναφόρτισης. Ωστόσο, για να μπορεί να υποστηρίξει ως υποδομή και μελλοντικά ηλεκτρικά οχήματα της Περιφέρειας Αττικής ορίζεται η εγκατάσταση μια θέσης φόρτισης ανά 3 ηλεκτρικά υπηρεσιακά οχήματα.

Επίσης, πραγματοποιείται η παραδοχή ότι πρόκειται να αντικατασταθούν τα παλαιότερης τεχνολογίας υπηρεσιακά οχήματα, βάση της χρονολογίας πρώτης εγγραφής τους, με τα ανάλογα αμιγώς ηλεκτροκίνητα οχήματα ίδιου τύπου από κάθε οχήματος υπό εξέταση (επιβατικά, φορτηγά, μηχανήματα έργου). Επομένως, από τον παραπάνω πίνακα παρατηρείται ότι ο συνολικός αριθμός υπηρεσιακών οχημάτων παραμένει ίδιος (137 οχήματα) σε κάθε σενάριο υπό εξέταση.

Πίνακας 1: Σύνοψη Σεναρίων

	Τύπος Οχήματος	Κωδικός	S0	S1	S2	S3
Συμβατικός Στόλος	Επιβατικό - 5θέσιο	C1	100	32	70	86
	Επιβατικό - 9θέσιο	C2	4	4	0	0
	Φορτηγό	C3	22	22	2	2
	Σάρωθρο	C4	5	5	5	0
	Εκχιονιστικό	C5	6	6	6	0

Αμιγώς Ηλεκτρικός Στόλος	Επιβατικό - 5θέσιο	E1	0	68	30	14
	Επιβατικό - 9θέσιο	E2	0	0	4	4
	Φορτηγό	E3	0	0	20	20
	Σάρωθρο	E4	0	0	0	5
	Εκχιονιστικό	E5	0	0	0	6
Σταθμός Φόρτισης		CS	0	21	17	15
Συμβατικός Στόλος			137	69	83	88
Ηλεκτροκίνητος Στόλος			0	68	54	49
Στόλος Οχημάτων			137	137	137	137

3.2 Οικονομικά Οφέλη

Στο πλαίσιο της μελέτης βιωσιμότητας διερευνώνται και αναλύονται οι οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη μελλοντική μερική αντικατάσταση του συμβατικού υπηρεσιακού στόλου οχημάτων της Περιφέρειας Αττικής με αμιγώς ηλεκτροκίνητα οχήματα, σε χρονικό ορίζοντα μελέτης 15 ετών. Πιο συγκεκριμένα, για κάθε σενάριο παρουσιάζεται η μεθοδολογία και οι παραδοχές για των υπολογισμό των επιπτώσεων στους παρακάτω τομείς: Τέλη Κυκλοφορίας, Συντήρηση Οχημάτων (service), Κατανάλωση Καυσίμου, Μηχανήματα Έργου Έκτακτης Ανάγκης και Περιβάλλον.

3.2.1 Τέλη Κυκλοφορίας

Οι οικονομικές επιπτώσεις στην Περιφέρειας Αττικής από τα τέλη κυκλοφορίας επηρεάζεται από την κατηγορία και την τεχνολογία των υπηρεσιακών οχημάτων. Για τον υπολογισμό των τελών κυκλοφορίας που καταβάλλονται στο βασικό Σενάριο S0 δηλαδή, για τον υφιστάμενο στόλο υπηρεσιακών οχημάτων, αξιολογούνται τα τέλη κυκλοφορίας ανά όχημα που πληρώθηκαν για το έτος 2020 είτε για το έτος 2021, όπως γνωστοποιήθηκαν από την Περιφέρεια Αττικής για κάθε όχημα.

Για τον υπολογισμό των τελών κυκλοφορίας στα S1-S3 λαμβάνεται υπόψη ότι ο ηλεκτροκίνητος στόλος πρόκειται να αντικαταστήσει τον ανάλογο υφιστάμενο συμβατικό παλαιότερης τεχνολογίας με αποτέλεσμα την αφαίρεση των τελών κυκλοφορίας των προς απόσυρση οχημάτων. Επίσης, λαμβάνεται υπόψη ότι τα ηλεκτροκίνητα επιβατικά οχήματα απαλλάσσονται των τελών κυκλοφορίας ενώ για τα ηλεκτροκίνητα φορτηγά οχήματα και μηχανήματα έργου δεν υφίσταται απαλλαγή τελών.

3.2.2 Κατανάλωση Καυσίμου

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζει το λειτουργικό κόστος ενός στόλου οχημάτων είναι η κατανάλωση καυσίμου. Η κατανάλωση καυσίμου εκφράζεται ως το καύσιμο σε λίτρα που απαιτείται για να διανύσει ένα όχημα μια μονάδα απόστασης (λίτρα /100χλμ.). Ακολούθως, παρουσιάζονται οι μαθηματικοί τύποι που αξιοποιήθηκαν για την εκτίμηση του κόστους από την κατανάλωση καυσίμου ενός συμβατικού και ενός ηλεκτρικού οχήματος.

$$\text{Κόστος Κατανάλωσης Καυσίμου} = \left(\frac{\text{€}}{\text{λίτρο καυσίμου}} \right) \times \text{Οχηματοχιλιόμετρα} \times \left(\frac{\text{λίτρα καυσίμου}}{\text{οχηματοχιλιόμετρο}} \right) \quad (1)$$

$$\text{Κόστος Κατανάλωσης ΗΛ. Ενέργειας} = \left(\frac{\text{€}}{\text{kWh}}\right) \times \text{Οχηματοχιλιόμετρα} \times \left(\frac{\text{kWh}}{\text{οχηματοχιλιόμετρο}}\right) \quad (2)$$

Για τον υπολογισμό της κατανάλωσης βενζίνης και πετρελαίου $\left(\frac{\text{λίτρα καυσίμου}}{\text{οχηματοχιλιόμετρο}}\right)$ αξιοποιήθηκαν ως δεδομένα ο κατασκευαστής και το μοντέλο οχήματος καθώς και η ημερομηνία 1ης άδειας κυκλοφορίας, ώστε να καταγραφεί η κατανάλωση καυσίμου όπως έχει δηλωθεί σε κύκλο NEDC εφόσον το μεγαλύτερο μέρος του συμβατικού υπηρεσιακού στόλου είναι παλιάς τεχνολογίας (<Euro3). Για την καλύτερη προσέγγιση της οικονομίας καυσίμου στις πραγματικές συνθήκες, οι καταναλώσεις καυσίμων υπολογισμένες σε NEDC, αυξήθηκαν κατά 21% με σκοπό την αναγωγή τους σε κύκλο WLTP (Tsiakmakis et al., 2017).

Για την εκτίμηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από τον αμιγώς ηλεκτροκίνητο στόλο, υπολογίστηκαν για κάθε τύπο ηλεκτρικού οχήματος (E1-E5) μία μέση κατανάλωση, αξιοποιώντας την κατανάλωση ηλεκτρικών οχημάτων σε κύκλο WLTP με τεχνικές προδιαγραφές όμοιες με τα προς προμήθεια Η/Ο. Επομένως, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του στόλου υπολογίζεται ως το γινόμενο της μέσης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ανά τύπο οχήματος με τον αντίστοιχο ηλεκτροκίνητο στόλο προς προμήθεια ανά τύπο οχήματος.

Για τον υπολογισμό του ετήσιου κόστους από την κατανάλωση καυσίμου και ηλεκτρικής ενέργειας, λαμβάνεται υπόψη ότι η τιμή της βενζίνης ανέρχεται στα 1,6 €/λίτρο, του πετρελαίου κίνησης στα 1,29 €/λίτρο και της ηλεκτρικής ενέργειας στα 0,164 €/kWh (GlobalPetrolPrices; Eurostat 2021). Επίσης, γίνεται η παραδοχή με βάση προβλέψεις που έχουν πραγματοποιηθεί στις τιμές καυσίμων και ηλεκτρικής ενέργειας στις ΗΠΑ και στο Ηνωμένο Βασίλειο (UK Department for Business, Energy and Industrial Strategy; U.S. Energy Information Administration), ότι η τιμή των καυσίμων κίνησης αυξάνονται ετησίως κατά 1,5% ενώ της ηλεκτρικής ενέργειας κατά 0,5%.

3.2.3 Συντήρηση Οχήματος

Για τον υπολογισμό το ετήσιου κόστους συντήρησης του υπηρεσιακού στόλου οχημάτων της Περιφέρειας Αττικής, θεωρείται ένα μέσο ετήσιο κόστος συντήρησης αναλόγως του τύπου υπηρεσιακού οχήματος, όπως έχει δηλωθεί κατά προσέγγιση από τη Διεύθυνση Μητροπολιτικών Υποδομών της Περιφέρειας. Ο υπολογισμός του μέσου ετήσιου κόστους συντήρησης των ηλεκτρικών οχημάτων προς προμήθεια πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπόψη την παραδοχή ότι το κόστος συντήρησης ενός αμιγώς ηλεκτρικού οχήματος συγκριτικά με ενός όμοιας κατηγορίας συμβατικού και κλάσης Euro 4 είναι κατά 90% χαμηλότερο την πρώτη δεκαετία.

3.2.4 Μηχανήματα Έργου Έκτακτης Ανάγκης

Λαμβάνοντας υπόψη ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των μηχανημάτων έργου που διαθέτει η Περιφέρεια Αττικής είναι παλιάς τεχνολογίας, κάποιες μέρες του έτους τίθενται εκτός λειτουργίας λόγω τεχνικών βλαβών. Επομένως, σε πολλές περιπτώσεις όπως για παράδειγμα σε ακραίες καιρικές συνθήκες (πχ. χιονόπτωση) παρουσιάζεται η ανάγκη κάλυψης συγκεκριμένων υπηρεσιών για λογαριασμό της Περιφέρειας Αττικής, από εξωτερικό συνεργάτη μέσω της ενοικίασης κυρίως μηχανημάτων έργου (εκχιονιστικά, αλατιέρες).

3.2.5 Περιβάλλον

Τα στοιχεία που ελέγχονται για τη διερεύνηση των επιπτώσεων στην ατμόσφαιρα από πολιτικές μεταφορών είναι οι επιπτώσεις στην υγεία (PM), ζημιές σε κτίρια και υλικά (NO_x, SO₂) και επιπτώσεις στο οικοσύστημα και τη βιοποικιλότητα (NO_x, SO₂, NH₃). Για τον υπολογισμό των επιπτώσεων στο περιβάλλον πρέπει να ληφθεί υπόψη το οικονομικό κόστος λόγω της κλιματικής αλλαγής. Λαμβάνοντας υπόψη τις μεταφορές, οι κύριες εκπομπές θερμοκηπίου είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), οξείδιο του αζώτου (N₂O) και μεθάνιο (CH₄) (Sartori et al., 2014).

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα Ευρωπαϊκά Πρότυπα Εκπομπών ρύπων “Euro” επιβάλλουν στα συμβατικά οχήματα τα όρια εκπομπής ρύπων που εκείνα δεν πρέπει να υπερβαίνουν. Συγκεκριμένα, καθορίζονται τα κατώτατα όρια εκπομπών NO_x (οξείδια αζώτου), CO (μονοξείδιο του άνθρακα), μικρο-σωματίδια (PM) και άκαυστων υδρογονάνθρακων. Αντίθετα, οι κανονισμοί δεν θέτουν όρια στις εκπομπές του CO₂.

Για τον υπολογισμό του περιβαλλοντικού οφέλους που προκαλείται από την επιμέρους αντικατάσταση του συμβατικού υπηρεσιακού στόλου οχημάτων από ηλεκτροκίνητο, λαμβάνονται υπόψη ο στόλος οχημάτων ανά κατηγορία οχήματος (C1-C5, E1-E5) και σενάριο, τα ετήσια οχηματοχιλιόμετρα, το κοινωνικό κόστος του κάθε ρύπου υπό εξέταση και τα γραμμάρια εκπομπής αερίου ρύπου ανά οχηματοχιλιόμετρο (γρ./ οχημ-χλμ). Οι αέριοι ρύποι που διερευνώνται στην παρούσα μελέτη βιωσιμότητας είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), τα οξείδια του αζώτου (NO_x), και το υποξείδιο του αζώτου (N₂O).

Αρχικά, εκτιμήθηκε η μέση εκπομπή CO₂ για κάθε τύπο και τεχνολογία (Euro standard) οχήματος υπό εξέταση, έχοντας καταγράψει τις εκπομπές (γρ. CO₂/ οχημ-χλμ) για τα περισσότερα μοντέλα υπηρεσιακών συμβατικών οχημάτων σε κύκλο NEDC. Στη συνέχεια, συλλέχθηκαν και καταγράφηκαν οι μέσες εκπομπές για τους ρύπους NO_x και N₂O, για κάθε κατηγορία και τεχνολογία οχήματος υπό εξέταση (Ευρωπαϊκή Περιβαλλοντική Υπηρεσία, 2019). Λαμβάνοντας υπόψη τα ετήσια οχηματοχιλιόμετρα που διανύονται από κάθε τύπο οχήματος, τον στόλο σε κάθε Σενάριο και τις εκπομπές αερίων ρύπων (γρ. ρύπου/ οχημ-χλμ), προκύπτουν οι αέριοι ρύποι που εκπέμπονται ανά έτος (τόνοι/ έτος) σε κάθε σενάριο.

Αξιοποιώντας το μοναδιαίο κόστος των ρύπων (€/ τόνο) (AEA Technology, 2005) υπολογίζεται το τελικό ετήσιο κόστος (€/ έτος) σε κάθε σενάριο, που προκαλείται από την εκπομπή αερίων ρύπων και αερίων θερμοκηπίου λόγω των υπηρεσιακών οχημάτων.

3.3 Θεωρητικό Υπόβαθρο

Η ηλεκτροκίνηση είναι ένα αρκετά πρόσφατο φαινόμενο με αποτέλεσμα η σκοπιμότητα και η βιωσιμότητά της να χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό αβεβαιότητας. Με το απαιτούμενο αρχικό κόστος του ηλεκτρικού οχήματος να είναι σημαντικά υψηλότερο συγκριτικά με το αντίστοιχο ενός συμβατικού οχήματος, η πραγματοποίηση μίας επένδυσης για την προμήθεια ηλεκτροκίνητου στόλου οχημάτων, απαιτεί περαιτέρω διερεύνηση.

Με σκοπό την ανάδειξη του οικονομικά πιο βιώσιμου σεναρίου υπό εξέταση για την προμήθεια υπηρεσιακού ηλεκτροκίνητου στόλου από την Περιφέρεια Αττικής, αξιοποιήθηκε η μέθοδος του Δείκτη Εσωτερικής Απόδοσης (IRR). Η εν λόγω μεθοδολογία συμβάλλει στον υπολογισμό της απόδοσης ενός επενδυτικού προγράμματος

Προκειμένου να εφαρμοστεί η μέθοδος του Δείκτη Εσωτερικής Απόδοσης πρέπει όλες οι χρηματικές ροές να αναχθούν στη χρονική στιγμή $t=0$. Για την αναγωγή απαιτείται η χρήση του επιτοκίου της αγοράς σύμφωνα με τον τύπο: $V_t = \frac{V_T}{(1+i)^T}$, όπου T η χρονική απόσταση από το $t=0$ και i το επιτόκιο. Χρησιμοποιώντας αυτό τον τύπο ανάγονται όλα τα κόστη (C) και ωφέλειες (B) στο χρόνο $t=0$, και ορίζεται η καθαρή παρούσα αξία NPV (Net Present Value) ως η διαφορά μεταξύ της ανηγμένης ωφέλειας και του ανηγμένου κόστους.

$$NPV = \sum_{t=0}^{t=n} \frac{B_t}{(1+i)^t} + \sum_{t=0}^{t=n} \frac{C_t}{(1+i)^t} \quad (3)$$

Δεδομένου ότι το επιτόκιο αποτελεί μια πρόβλεψη του μέλλοντος αρκετά επισφαλής για μεγάλες επενδύσεις, προτιμάται η αναζήτηση του δείκτη IRR. Σύμφωνα με την μέθοδο του Δείκτη Εσωτερικής Απόδοσης, αναζητείται ο δείκτης IRR για τον οποίο η καθαρή παρούσα αξία, δηλαδή η διαφορά μεταξύ της ανοιγμένης ωφέλειας (B) και του ανοιγμένου κόστους (C) στη διάρκεια ζωής του αντίστοιχου επενδυτικού προγράμματος (t), μηδενίζεται, με βάση την μαθηματική σχέση που ακολουθεί.

$$B - C = \sum_{t=0}^{t=n} \frac{B_t}{(1+IRR)^t} + \sum_{t=0}^{t=n} \frac{C_t}{(1+IRR)^t} = 0 \quad (4)$$

Με στόχο την καλύτερη κατανόηση της επιρροής ορισμένων μεταβλητών παραμέτρων στην τιμή του δείκτη εσωτερικής απόδοσης (IRR) υπολογίζεται και σχολιάζεται η ευαισθησία του δείκτη ως προς την μεταβολή ενός ή και περισσότερων παραμέτρων που ορίζονται στο πλαίσιο της μελέτης βιωσιμότητας.

4. Αποτελέσματα

4.1 Κόστος Επένδυσης

Για τον υπολογισμό του κόστους επένδυσης σε κάθε εναλλακτικό σενάριο, για την προμήθεια ηλεκτροκίνητου στόλου οχημάτων από την Περιφέρεια Αττικής, πραγματοποιείται αναλυτική επιμέτρηση του κόστους της επένδυσης τόσο όσον αφορά στο αρχικό κόστος προμήθειας όσο και στο ετήσιο κόστος διαχείρισης και λειτουργίας του συστήματος ηλεκτροκίνησης. Συγκεκριμένα, εκτιμώνται τα εξής:

- Κόστος αγοράς αμιγώς ηλεκτροκίνητου στόλου οχημάτων
- Κόστος εγκατάστασης θέσεων φόρτισης του ηλεκτρικού στόλου οχημάτων προς προμήθεια
- Κόστος για την χρήση λογισμικού με σκοπό την ομαλή λειτουργία των σταθμών φόρτισης και την διαχείριση του ηλεκτροκίνητου υπηρεσιακού στόλου οχημάτων

Για την εκτίμηση του κόστους αγοράς ηλεκτροκίνητου στόλου οχημάτων, συγκεντρώθηκαν μοντέλα αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων που διατίθενται στην ελληνική αγορά, για κάθε κατηγορία οχήματος υπό εξέταση και με όμοια λειτουργικά χαρακτηριστικά με τα προς προμήθεια ηλεκτρικά οχήματα. Για τα εν λόγω μοντέλα Η/Ο καταγράφηκε η λιανική τιμή τους μετά φόρων και υπολογίστηκε η μέση τιμή αγοράς για την κάθε κατηγορία οχήματος υπό εξέταση όπως φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 2: Μέσο κόστος αγοράς αμιγώς ηλεκτροκίνητου οχήματος ανά τύπο οχήματος

Τύπος Οχήματος	Μέσο Κόστος
E1	€ 25.000
E2	€ 50.000
E3	€ 60.000
E4	€ 160.000
E5	€ 320.000

Όσον αφορά στο κόστος για την εγκατάσταση των απαιτούμενων σταθμών για τη φόρτιση του ηλεκτροκίνητου στόλου οχημάτων προς προμήθεια σε κάθε σενάριο υπό εξέταση, λήφθηκε υπόψη ότι το κόστος για την εγκατάσταση ενός σταθμού φόρτισης ανέρχεται στις 2.000 €. Επιπλέον, το κόστος αγοράς και χρήσης λογισμικού λειτουργίας λαμβάνεται υπόψη ότι ανέρχεται στις 12.000 € ανά έτος και θέση φόρτισης. Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζεται αναλυτικά ο υπολογισμός του κόστους επένδυσης για κάθε σενάριο υπό εξέταση.

Πίνακας 3: Κόστη επένδυσης ανά Σενάριο

Έτος	S1	S2	S3
Ηλεκτρικά Οχήματα			
E1	€ 1.700.000	€ 750.000	€ 350.000
E2	€ -	€ 200.000	€ 200.000
E3	€ -	€ 1.200.000	€ 1.200.000
E4	€ -	€ -	€ 800.000
E5	€ -	€ -	€ 1.920.000
Αγορά ηλεκτρικών οχημάτων	€ 1.700.000	€ 2.150.000	€ 4.470.000
Θέσεις Φόρτισης Η/Ο			
Εγκατάσταση Σταθμών Φόρτισης	€ 42.000	€ 34.000	€ 30.000
Λογισμικό Λειτουργίας	€ 252.000	€ 204.000	€ 180.000
Σύνολο	€ 1.994.000	€ 2.388.000	€ 4.680.000

Συνολικά, το υψηλότερο κόστος επένδυσης για την προμήθεια και λειτουργία ηλεκτροκίνητου στόλου υπηρεσιακών οχημάτων από την Περιφέρεια Αττικής, παρατηρείται στο S3 λόγω του υψηλού κόστους των μηχανημάτων έργου και ανέρχεται στα 4.680.000 €. Το χαμηλότερο κόστος επένδυσης παρατηρείται στο S1, δηλαδή στο σενάριο που η Περιφέρεια Αττικής προμηθεύεται μόνον ηλεκτροκίνητα επιβατικά και είναι σχεδόν υπο-διπλάσιο του S3.

4.2 Δείκτης Εσωτερικής Απόδοσης

Για την ανάλυση λαμβάνεται υπόψη το κόστος της επένδυσης όπως υπολογίστηκε για κάθε σενάριο υπό εξέταση. Επίσης, λαμβάνονται υπόψη τα ετήσια οικονομικά οφέλη για την επόμενη 15ετία, από την κατανάλωση καυσίμου, τα τέλη κυκλοφορίας, την συντήρηση των οχημάτων και των μηχανημάτων έργου έκτακτης ανάγκης. Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του δείκτη εσωτερικής απόδοσης IRR του κάθε σεναρίου υπό εξέταση, όπως και ο δείκτης IRR για κάθε Σενάριο.

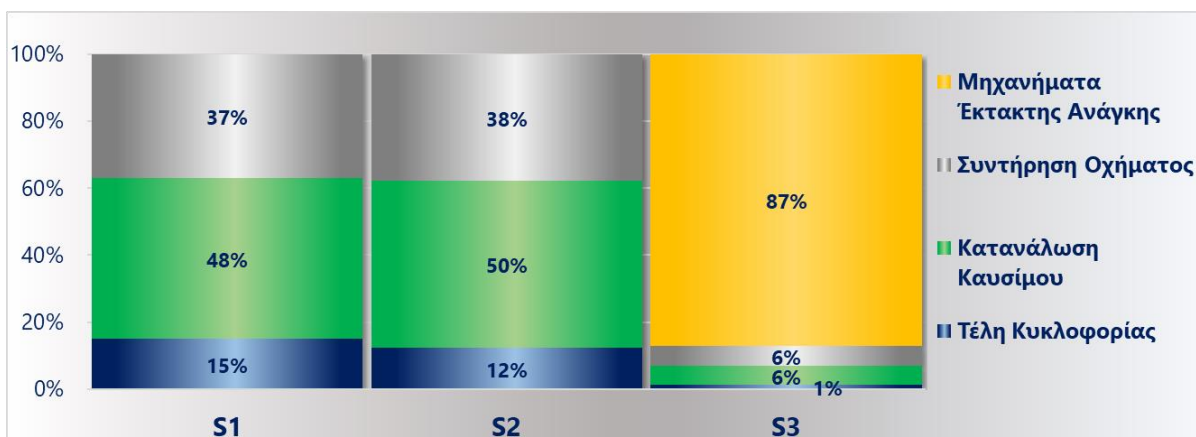
Από τον πίνακα 4 προκύπτει ότι το σενάριο S3 είναι το οικονομικά πιο βιώσιμο για την Περιφέρεια Αττικής συγκριτικά με τα υπόλοιπα σενάρια υπό εξέταση, εφόσον εμφανίζει τον

υψηλότερο δείκτη IRR=15,5% επομένως και την υψηλότερη απόδοση. Συγκεκριμένα, στο Σενάριο S3 η Περιφέρεια Αττικής πρόκειται να προμηθευτεί όλους τους τύπους ηλεκτρικών οχημάτων υπό εξέταση, δηλαδή επιβατικά και φορτηγά αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα όπως και αμιγώς ηλεκτρικά μηχανήματα έργου. Σύμφωνα με το Διάγραμμα το σημαντικότερο οικονομικό όφελος στο S3 δημιουργείται λόγω της προμήθειας καινούριων μηχανημάτων έργου και κυρίως ηλεκτροκίνητων εκχιονιστικών, με αποτέλεσμα την αποφυγή του ετήσιου κόστους ενοικίασης μηχανημάτων έργου από εξωτερικό συνεργάτη.

Επίσης, παρατηρείται η οικονομική βιωσιμότητα του σεναρίου S1 κατά το οποίο η Περιφέρεια πρόκειται να προμηθευτεί ένα τύπο ηλεκτρικών οχημάτων και πιο συγκεκριμένα 68 πενταθέσια αμιγώς ηλεκτρικά επιβατικά οχήματα. Το σημαντικότερο οικονομικό όφελος προέρχεται από το κόστος της κατανάλωσης καυσίμου και ακολουθεί το οικονομικό όφελος από την συντήρηση οχημάτων. Το μικρότερο όφελος προέρχεται από τα τέλη κυκλοφορίας των υπηρεσιακών οχημάτων (15%).

Πίνακας 4: Οικονομοτεχνική ανάλυση της προμήθειας υπηρεσιακών ηλεκτρικών οχημάτων από την Περιφέρεια Αττικής μέσω του δείκτη IRR

	S1	S2	S3
Κόστος Επένδυσης	-1.994.000	-2.388.000	-4.680.000
Έτος	Οφέλη (€/ έτος)		
2021	129.135 €	110.127 €	810.331 €
2022	131.362 €	112.075 €	811.049 €
2023	131.362 €	112.075 €	811.779 €
2024	132.502 €	113.072 €	812.520 €
2025	133.660 €	114.085 €	813.273 €
2026	143.880 €	123.131 €	822.132 €
2027	145.074 €	124.176 €	822.908 €
2028	146.287 €	125.236 €	823.697 €
2029	147.518 €	126.314 €	824.498 €
2030	148.769 €	127.408 €	825.311 €
2031	169.289 €	144.003 €	840.357 €
2032	170.580 €	145.131 €	841.196 €
2033	171.890 €	146.277 €	842.049 €
2034	173.221 €	147.441 €	842.914 €
2035	174.573 €	148.623 €	843.720 €
Σύνολο	2.249.102 €	1.919.174 €	12.387.734 €
IRR	1,5%	-2,5%	15,5%



Σχήμα 3: Οικονομικό όφελος ανά σενάριο και ανά δείκτη υπό εξέταση

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται διαφορετικές τιμές του δείκτη IRR με βάση την ευαισθησία που εμφανίζει απέναντι σε ορισμένες παραμέτρους υπό εξέταση. Αξιοποιώντας το δείκτη IRR που υπολογίστηκε για το οικονομικά πιο βιώσιμο σενάριο S3, προκύπτει η ευαισθησία ως προς το ποσοστό ετήσιας αύξησης της τιμής βενζίνης και της ηλεκτρικής ενέργειας, όπως φαίνεται στον πίνακα 5. Ομοίως προκύπτει η ευαισθησία του δείκτη IRR ως προς την τιμή απόκτησης αμιγώς ηλεκτροκίνητων επιβατικών οχημάτων και μηχανημάτων έργου τύπου εκχιονιστικό. Τα αποτελέσματα της εν λόγω ανάλυσης ευαισθησίας παρουσιάζονται στον πίνακα 6.

Όπως προκύπτει από τον πίνακα 5 η τιμή του IRR αυξάνεται καθώς αυξάνεται το ποσοστό ετήσιας αύξησης της τιμής της βενζίνης ενώ μειώνεται καθώς αυξάνεται το ποσοστό ετήσιας αύξησης της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος, όπως προκύπτει από τον πίνακα 6 η τιμή του IRR αυξάνεται καθώς μειώνονται οι τιμές αγοράς ηλεκτροκίνητων οχημάτων. Κάτι τέτοιο ενδεχομένως να παρατηρείται εφόσον το κόστος επένδυσης μειώνεται με τα οικονομικά οφέλη να παραμένουν σταθερά.

Πίνακας 5: Ανάλυση ευαισθησίας δείκτη IRR ως προς το ποσοστό ετήσιας μεταβολής της τιμής των καυσίμων κίνησης

Ετήσια μεταβολή τιμής ηλ. ενέργειας	Ετήσια μεταβολή τιμής βενζίνης					
	-0,1%	-0,05%	0,05%	0,1%	0,15%	0,2%
-0,1%	15,0%	15,0%	15,7%	15,7%	15,7%	15,7%
-0,05%	15,0%	15,0%	15,7%	15,7%	15,7%	15,7%
0,05%	14,8%	14,8%	15,4%	15,5%	15,5%	15,5%
0,1%	14,8%	14,8%	15,4%	15,5%	15,5%	15,5%
0,15%	14,8%	14,8%	15,4%	15,5%	15,5%	15,5%
0,2%	14,8%	14,8%	15,4%	15,4%	15,5%	15,5%

Πίνακας 6: Ανάλυση ευαισθησίας δείκτη IRR ως προς την τιμή απόκτησης ηλεκτροκίνητων οχημάτων

Κόστος_Ηλ. Επιβατικά (€)	Κόστος_Ηλ. Εκχιονιστικά (€)				
	200.000 €	250.000 €	320.000 €	370.000 €	420.000 €
10.000 €	20,5%	18,6%	16,5%	15,1%	13,9%
15.000 €	20,0%	18,3%	16,1%	14,8%	13,6%
25.000 €	19,2%	17,5%	15,5%	14,2%	13,1%
35.000 €	18,4%	16,8%	14,9%	13,7%	12,6%
45.000 €	17,6%	16,1%	14,3%	13,1%	12,1%

5. Συμπεράσματα

Η ανάλυση των οικονομικών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την μελλοντική προμήθεια αμιγώς ηλεκτροκίνητου υπηρεσιακού στόλου οχημάτων από την Περιφέρεια Αττικής και την αντίστοιχη απομάκρυνση συμβατικών παλιάς τεχνολογίας υπηρεσιακών οχημάτων αφενός αναδεικνύει τα συγκριτικά οφέλη κάθε δείκτη υπό εξέταση αφετέρου οδηγεί τελικά στον υπολογισμό του δεικτών εσωτερικής απόδοσης της επένδυσης για κάθε σενάριο υπό εξέταση. Σε αυτό το πλαίσιο οι δείκτες που εξετάστηκαν περιλαμβάνουν τα τέλη κυκλοφορίας, την κατανάλωση καυσίμου, τη συντήρηση οχήματος τα μηχανήματα έργου έκτακτης και το Περιβαλλοντικό Όφελος

Όσον αφορά στα τέλη κυκλοφορίας το μικρότερο οικονομικό όφελος παρουσιάζεται στο σενάριο S3 στο οποίο πραγματοποιείται προμήθεια όλων των εξεταζόμενων τύπων αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων (επιβατικών, φορτηγών και μηχανημάτων έργου). Ωστόσο, στο σενάριο S1 η Περιφέρεια προβλέπεται να έχει το διπλάσιο οικονομικό όφελος όσον αφορά στα τέλη κυκλοφορίας σε σχέση με το S3. Ενδεχομένως, κάτι τέτοιο να παρατηρείται εφόσον στο S3 ο στόλος υπηρεσιακών οχημάτων αποτελείται από λιγότερα ηλεκτροκίνητα επιβατικά οχήματα συγκριτικά με τα S1 και S2, με αποτέλεσμα η Περιφέρεια να επωφελείται σε μικρότερο βαθμό από τα μηδενικά τέλη που η Κυβέρνηση προβλέπει για τα ηλεκτρικά επιβατικά οχήματα.

Σχετικά με την κατανάλωση καυσίμου, στο σενάριο S1 παρατηρείται το υψηλότερο οικονομικό όφελος για την Περιφέρεια Αττικής το οποίο δικαιολογείται από το γεγονός ότι στο S1 ένα σημαντικό ποσοστό (68%) των παλαιότερων συμβατικών επιβατικών αντικαθίσταται με νέο αμιγώς ηλεκτροκίνητο. Το υψηλότερο οικονομικό όφελος από την συντήρηση οχημάτων εμφανίζεται στο σενάριο S1 ενώ το χαμηλότερο παρατηρείται στο S3. Ενδεχομένως, κάτι τέτοιο να αιτιολογείται από το γεγονός ότι στο S1 παραπάνω από τον μισό στόλο παλαιών συμβατικών επιβατικών αντικαθίσταται με νέο αμιγώς ηλεκτροκίνητο ενώ στα υπόλοιπα υπό εξέταση σενάρια η ανανέωση του στόλου είναι συγκριτικά πιο περιορισμένη.

Επιπλέον, οικονομικό όφελος από την ετήσια ενοικίαση μηχανημάτων έργου εμφανίζεται μόνο στο S3 εφόσον τα μηχανήματα έργου αντικαθίστανται με ηλεκτροκίνητα μόνο στο εν λόγω σενάριο ενώ, στα υπόλοιπα σενάρια υπό εξέταση ο συμβατικός στόλος μηχανημάτων έργου δεν ανανεώνεται. Το οικονομικό όφελος από την αποφυγή του ετήσιου κόστους ενοικίασης μηχανημάτων έργου από εξωτερικό συνεργάτη είναι και το πιο καθοριστικό για το S3 εφόσον σε βάθος δεκαπενταετίας αποτελεί το μεγαλύτερο ποσοστό των οικονομικών οφελών.

Από τον υπολογισμό του δείκτη εσωτερικής απόδοσης IRR για τα τρία σενάρια δράσεων υπό εξέταση προκύπτει ότι το σενάριο S3 είναι το οικονομικά πιο βιώσιμο για την Περιφέρεια Αττικής συγκριτικά με τα υπόλοιπα, εφόσον εμφανίζει τον υψηλότερο συντελεστή $IRR=15,5\%$ και επομένως την υψηλότερη απόδοση. Συγκεκριμένα, στο Σενάριο S3 η Περιφέρεια Αττικής πρόκειται να προμηθευτεί όλους τους τύπους ηλεκτρικών οχημάτων υπό εξέταση, και πιο συγκεκριμένα επιβατικά και φορτηγά αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα όπως και αμιγώς ηλεκτρικά μηχανήματα έργου. Το σημαντικότερο οικονομικό όφελος στο S3 δημιουργείται λόγω της προμήθειας καινούριων μηχανημάτων έργου και κυρίως ηλεκτροκίνητων εκχιονιστικών, με αποτέλεσμα την αποφυγή του ετήσιου κόστους ενοικίασης μηχανημάτων έργου από εξωτερικό συνεργάτη.

Επιπρόσθετα, οι αναλύσεις ευαισθησίας, αναδεικνύουν την ευαισθησία που παρουσιάζει ο δείκτης εσωτερική απόδοσης σε βασικές παραμέτρους όπως η ετήσια μεταβολή της τιμής καυσίμου και ηλεκτρικής ενέργειας και του κόστους αγοράς ηλεκτροκίνητου στόλου οχημάτων. Τα αποτελέσματα των εν λόγω αναλύσεων αναδεικνύουν ότι και σε ακραίες μεταβολές αυτών των τιμών σε χρονικό ορίζοντα δεκαπενταετίας, ο δείκτης εσωτερικής απόδοσης παραμένει θετικός εξασφαλίζοντας τη βιωσιμότητα της επένδυσης.

Από την εν λόγω έρευνα αναδεικνύονται οι ευκαιρίες και τα οφέλη που μπορεί να δημιουργήσει και να προσφέρει αντίστοιχα η σταδιακή μετάβαση στην ηλεκτροκίνηση της Περιφέρειας Αττικής. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων επιβεβαιώνουν την αρχική υπόθεση ότι οι επιπτώσεις σε περίπτωση αντικατάστασης μέρους του στόλου των οχημάτων της Περιφέρειας Αττικής με ηλεκτρικά στην οικονομία και το περιβάλλον είναι θετικές και οι εν λόγω επένδυση εγγυημένη όπως αποδεικνύεται από τα αποτελέσματα του δείκτη εσωτερική απόδοσης IRR.

Η ύπαρξη σαφούς νομοθετικού πλαισίου αποτελεί τη βάση για τον ενεργειακό μετασχηματισμό προς την ηλεκτροκίνηση. Επιπρόσθετα η Τοπική Αυτοδιοίκηση, με επιστημονικά ορθές και χωρίς καθυστερήσεις ενέργειες, πρέπει να αποτελέσει την αιχμή του δόρατος για το επόμενο βήμα στην ηλεκτροκίνηση. Σε αυτό το πλαίσιο η Περιφέρεια Αττικής με την υλοποίηση ενός βιώσιμου και ρεαλιστικού σχεδίου δράσης θα αποτελέσει την πρώτη περιφέρεια που θα δείξει το δρόμο στον ενεργειακό μετασχηματισμό στις μετακινήσεις.

6. Αναφορές-Βιβλιογραφία

- Eurostat, Statistical Books, 2016 edition, Urban Europe — statistics on cities, towns and suburbs.
- de Almeida Guimarães, V., Junior, I.C.L. and da Silva, M.A.V., 2018. Evaluating the sustainability of urban passenger transportation by Monte Carlo simulation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 93, pp.732-752.
- Litman, T. and Burwell, D., 2006. Issues in sustainable transportation. *International Journal of Global Environmental Issues*, 6(4), pp.331-347.
- Santos, A.S. and Ribeiro, S.K., 2013. The use of sustainability indicators in urban passenger transport during the decision-making process: the case of Rio de Janeiro, Brazil. *Current opinion in environmental sustainability*, 5(2), pp.251-260.
- Gallo, M. and Marinelli, M., 2020. Sustainable mobility: A review of possible actions and policies. *Sustainability*, 12(18), p.7499.

- Shatanawi, M., Abdelkhalek, F. and Mészáros, F., 2020. Urban Congestion Charging Acceptability: An International Comparative Study. *Sustainability*, 12(12), p.5044.
- Jakobsson, C.; Fujii, S.; Gärling, T. Determinants of private car users' acceptance of road pricing. *Transp. Policy* 2000, 7, 153–158.
- Schade, J.; Schlag, B. Acceptability of urban transport pricing strategies. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 2003, 6, 45–61.
- Shoup, D. (2005), *The High Cost of Free Parking*, Planners Press, American Planning Association.
- Russo, A., van Ommeren, J. and Dimitropoulos, A., 2019. The environmental and welfare implications of parking policies, OECD Environment Working Paper
- Liu, C.; Zheng, Z. Public Acceptance towards Congestion Charge: A Case Study of Brisbane. *Procedia Soc. Behav. Sci.* 2013, 96, 2811–2822.
- Hao, X.; Sun, X.; Lu, J. The Study of Differences in Public Acceptability Towards Urban Road Pricing. *Procedia Soc. Behav. Sci.* 2013, 96, 433–441.
- Schuitema, G., Steg, L. and Forward, S., 2010. Explaining differences in acceptability before and acceptance after the implementation of a congestion charge in Stockholm. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 44(2), pp.99-109.
- Eliasson, J. & Jonsson, L., 2011. The unexpected“yes”’: Explanatory factors behind the positive attitudes to congestion charges in Stockholm. *Transport Policy*, 18(4),636–647.
- Hensher, D.A.; Li, Z. Referendum voting in road pricing reform: A review of the evidence. *Transp. Policy* 2013, 25, 186–197.
- Authority-ELSTAT, H.S., 2011. Digital library (ELSTAT).
- Ministry of Environment, Energy and Climate Change, 2014. 6th national communication and 1st biennial report under the united nations framework convention on climate change.
- Authority-ELSTAT, H.S., 2018. Digital library (ELSTAT).
- Ministry of Environment, Energy and Climate Change, 2018, Emissions gas stations mapsportal.yopen.gr/layers/geonode:stations
- Washington S.P., Karlaftis M.G., Mannering, F. (2010). *Statistical and econometric methods for transportation data analysis*. Chapman &Hall/CRC.