

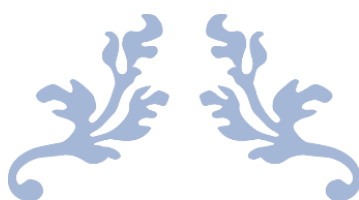


Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών – Μηχανικών  
Γεωπληροφορικής

Τομέας Έργων Υποδομής και Αγροτικής Ανάπτυξης

Εργαστήριο Συγκοινωνιακής Τεχνικής



---

**ΒΕΛΤΙΣΤΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ  
ΣΤΑΘΜΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ  
ΣΕ ΧΩΡΟΥΣ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ**

---

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



**ΧΑΡΑΛΑΜΠΙΑ ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΗ**

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2022

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : ΚΕΠΑΠΤΣΟΓΛΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ,  
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ

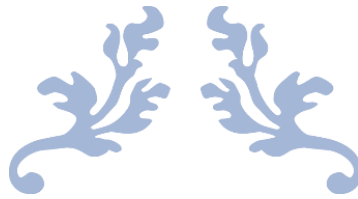




National Technical University of Athens

School of Rural, Surveying & Geoinformatics  
Engineering

Department of Infrastructure and Rural Planning  
Laboratory of Transportation



---

# **OPTIMAL DESIGN AND ALLOCATION OF CHARGING INFRASTRUCTURE IN PARKING LOTS**

---

DIPLOMA THESIS



**CHARALAMPIA KARAGIANNI**

ATHENS, JUNE 2022

SUPERVISOR: DR. KONSTANTINOS KEPAPTSOGLU, ASSOCIATE  
PROFESSOR

## Ευχαριστίες

Ευχαριστώ θερμά τον Αναπληρωτή Καθηγητή της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του ΕΜΠ, Κ. Κεραπτσόγλου Κωνσταντίνο, για τη βοήθεια που παρείχε στην εκπόνηση της παρούσας εργασίας. Η υποστήριξή του σε επιστημονικά θέματα, η πολύτιμη καθοδήγηση και το κλίμα συνεργασίας που διαμόρφωσε αποτέλεσαν τις βασικές συνιστώσες για την ολοκλήρωση της.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα και την Μεταδιδακτορική Ερευνήτρια της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του ΕΜΠ, Κα. Χριστίνα Ηλιοπούλου, η οποία με τη μεγάλη εμπειρία της πάνω σε τεχνικά ζητήματα και ιδιαίτερα στο αντικείμενο της εργασίας παρείχε πολύτιμες συμβουλές σε καίρια σημεία της.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένεια και τους φίλους μου για την αμείωτη συμπαράσταση τους καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας καθώς και στα φοιτητικά μου χρόνια.



## Περίληψη

Η συμβολή της ηλεκτροκίνησης στην μετάβαση προς ένα ενεργειακά ουδέτερο σύστημα μεταφορών είναι σημαντική. Με γνώμονα τις τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα των μεταφορών και τη διαθεσιμότητα του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας σχεδόν παντού, τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν αποδειχθεί ως η πιο πολλά υποσχόμενη λύση για την αύξηση της ενεργειακής ασφάλειας και κατά συνέπεια για την αποδέσμευση των μεταφορών από τους ορυκτούς πόρους.

Παρά την έντονη εμφάνιση των ηλεκτρικών οχημάτων στην αγορά, μικρό ποσοστό οδηγών τα επιλέγει, για λόγους δυσπιστίας που αφορούν κυρίως την εμβέλεια των οχημάτων αυτών. Για να γίνει επιτυχής η ανάπτυξη των ηλεκτρικών οχημάτων, κρίνεται απαραίτητη η ανάπτυξη των υποδομών φόρτισης σε δημόσιες ή ιδιωτικές ιδιοκτησίες.

Στην παρούσα εργασία γίνεται προσπάθεια ένταξης των υποδομών φόρτισης σε υπάρχοντες χώρους στάθμευσης, δίνοντας τη δυνατότητα στους οδηγούς να φορτίζουν το όχημά τους τις ώρες που αυτό είναι σταθμευμένο. Θέλοντας να γίνει προώθηση της ηλεκτροκίνησης, η εγκατάσταση υποδομών φόρτισης εντός του χώρου στάθμευσης συνεπάγεται και αποκλεισμό ορισμένων οδηγών συμβατικών οχημάτων από αυτό, διαθέτοντας έναν αριθμό θέσεων αποκλειστικά και μόνο για κάτοχους ηλεκτρικών οχημάτων. Για την υλοποίηση ενός τέτοιου έργου, σημαντική είναι η ανάλυση βιωσιμότητας αυτού, θέλοντας το ποσοστό των μη εξυπηρετούμενων οδηγών να μην υπερβαίνει το κόστος για τη μετατροπή των θέσεων σε ηλεκτρικές.

Το μοντέλο που αναπτύχθηκε ορίζει τον αριθμό των θέσεων που πρέπει να διαθέτουν φορτιστές καθώς και τον αριθμό θέσεων εμβέλειας του κάθε φορτιστή. Για την επίλυση του προβλήματος βελτιστοποίησης, εφαρμόστηκε ένα γραμμικό μοντέλο με σκοπό τη μεγιστοποίηση των κερδών από τις θέσεις στάθμευσης ανά κατηγορία, καθώς και την ελαχιστοποίηση του κόστους χωροθέτησης υποδομών φόρτισης.

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου ανέδειξαν τον ακριβή αριθμό των φορτιστών καθώς και τον απαραίτητο αριθμό θέσεων που οφείλει να εξυπηρετεί ο κάθε φορτιστής. Γίνεται εφαρμογή δυο σεναρίων εγκατάστασης φορτιστών ίσης ισχύος αλλά διαφορετικής εμβέλειας, έτσι ώστε να ελεγχθεί η οικονομικά αποδοτικότερη λύση. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται για έναν ενδεικτικό χώρο στάθμευσης 996 θέσεων.

Με την εργασία αυτή γίνεται ουσιαστικά προσπάθεια δημιουργίας μιας μεθοδολογίας σχεδιασμού και ανάπτυξης των υποδομών φόρτισης σε χώρους στάθμευσης παρέχοντας την υπηρεσία φόρτισης στους οδηγούς, οι οποίοι θα αποτελούν στο μέλλον αναπόσπαστο κομμάτι του αστικού περιβάλλοντος.

**Λέξεις-Κλειδιά:** Ηλεκτρικά οχήματα, θέσεις στάθμευσης, υποδομές φόρτισης, ποσοστό απόρριψης οδηγών, μεγιστοποίηση κέρδους, κόστος χωροθέτησης υποδομών φόρτισης, πρόβλημα βελτιστοποίησης.



## Abstract

The contribution of electrification to the transition to an energy-neutral transport system is significant. In the light of technological developments in the field of transport and the availability of the electricity system almost everywhere, electric vehicles (EVs) have proven to be the most promising solution for increasing energy security and consequently for the release of transport from mineral resources.

Despite the strong appearance of electric vehicles in the market, a small percentage of drivers choose them, for reasons of distrust that mainly concern the range of these vehicles. In order to promote the development of electric vehicles, it is considered necessary to develop charging infrastructure in public or private properties.

In the present dissertation, an attempt is made to integrate the charging infrastructure in existing parking spaces, enabling drivers to charge their vehicle during the hours it is parked. In order to promote e-mobility, the installation of charging infrastructure in the parking lot implies the exclusion of some drivers of conventional vehicles from it, having a number of seats exclusively for owners of electric vehicles. For the implementation of such a project, it is important to analyze its viability, wanting the percentage of non-serviced drivers not to exceed the cost of converting the seats into electric ones.

The developed model defines the number of parking spaces that will be provided with chargers, as well as the number of range positions of each charger. To solve the optimization problem, a linear model was implemented in order to maximize profit from parking spaces per category and at the same time minimize the cost of charging infrastructure.

The results of the application of the model showed the exact number of chargers as well as the necessary number of parking spaces that each charger must serve. Two installation scenarios, considering homogeneous and non-homogeneous chargers, are implemented, in order to test the most cost-effective solution. The results are presented for an indicative parking space of 996 places.

This work is essentially an attempt to create a methodology for the design and development of charging infrastructure in parking lots, providing the charging service to drivers, who will be an integral part of the urban environment in the future.

**Keywords:** Electric vehicles, parking spaces, charging infrastructure, driver rejection rate. profit maximization, cost of loading infrastructure location, optimization problem.





## Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες .....	i
Περίληψη.....	iii
Abstract .....	v
Κεφάλαιο 1 <sup>ο</sup> : Εισαγωγή .....	1
1.1. Η έννοια της στάθμευσης στις ευρωπαϊκές πόλεις.....	1
1.2. Ερευνητικός στόχος διπλωματικής εργασίας.....	3
1.3. Δομή διπλωματικής εργασίας.....	3
Κεφάλαιο 2 <sup>ο</sup> : Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας.....	5
2.1. Πολιτικές και μέτρα διαχείρισης της στάθμευσης .....	5
2.2. Επίδραση ηλεκτρικών οχημάτων στο οδικό δίκτυο .....	9
2.3. Μετατροπή θέσεων στάθμευσης συμβατικών οχημάτων σε ηλεκτρικές .....	11
2.4. Καταλληλότητα θέσεων των σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων.....	12
2.5. Σύνοψη Ανασκόπησης βιβλιογραφίας .....	14
Κεφάλαιο 3 <sup>ο</sup> : Θεωρητικό Υπόβαθρο.....	15
3.1. Ανάλυση Χώρων Στάθμευσης.....	15
3.1.1. Σημασία και Χαρακτηριστικά της Στάθμευσης .....	15
3.1.2. Ανάγκη Δημιουργίας Χωρών Στάθμευσης.....	18
3.1.3. Κατηγορίες Χώρων Στάθμευσης.....	19
3.1.4. Μελέτες διαχείρισης και οργάνωσης της στάθμευσης.....	20
3.1.5. Προσέγγιση Οικονομικής Βιωσιμότητας Χωρών Στάθμευσης.....	23
3.2. Η ηλεκτροκίνηση ως επιλογή μετακίνησης στις σύγχρονες πόλεις .....	26
3.3. Ανάλυση χωροθέτησης εγκαταστάσεων .....	29
3.4. Χωροθέτηση-κατανομή θέσεων στάθμευσης και σταθμών επαναφόρτισης.....	30
Κεφάλαιο 4 <sup>ο</sup> : Προσέγγιση και Μεθοδολογία Επίλυσης του μαθηματικού μοντέλου .....	34
4.1. Προσέγγιση του προβλήματος .....	34
4.2. Περιγραφή Παραμέτρων και Συμβολισμοί .....	36
4.3. Ανάλυση Προσφοράς-Ζήτησης Χώρου Στάθμευσης.....	39
4.4. Οι οικονομικές παράμετροι που επηρεάζουν το μοντέλο .....	43
4.5. Διατύπωση Τελικού μοντέλου.....	47
4.5.1. Καθορισμός Αντικειμενικής συνάρτησης .....	47
4.5.2. Περιορισμοί.....	48
Κεφάλαιο 5ο: Εφαρμογή τελικού μοντέλου.....	53
5.1. Διαμόρφωση σεναρίων.....	53

5.2.	Δεδομένα επίλυσης.....	53
5.3.	Απαιτήσεις του προβλήματος.....	61
5.4.	Περιβάλλον επίλυσης.....	61
5.5.	Αριθμητικά αποτελέσματα.....	62
5.5.1.	Παρουσίαση Αποτελεσμάτων Σεναρίου 1 χωροθέτησης 2 θέσεων στάθμευσης ανα φορτιστή 63	
5.5.2.	Παρουσίαση Αποτελεσμάτων Σεναρίου 2 χωροθέτησης 4 θέσεων ανα φορτιστή .....	66
5.5.3.	Σύγκριση Αποτελεσμάτων .....	69
5.6.	Ανάλυση Ευαισθησίας.....	71
5.6.1.	Μεταβολή του ρυθμού άφιξης των οχημάτων .....	71
5.6.2.	Μεταβολή του ποσοστού διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων στην αγορά.....	73
5.6.3.	Μεταβολή της ισχύος των φορτιστών προς εγκατάσταση .....	74
5.6.4.	Μεταβολή της χωρητικότητας της μπαταρίας.....	76
5.6.5.	Μεταβολή του ωριαίου κόστους του κομίστρου.....	77
5.6.6.	Μεταβολή του ποσοστού απόρριψης <i>RR1</i> και <i>RR2</i> .....	78
5.6.7.	Μεταβολή του ποσοστού διείσδυσης <i>RR2</i> με ταυτόχρονη αύξηση του ρυθμού άφιξης 80	
5.6.8.	Μεταβολή του χρόνου παραμονής των συμβατικών οχημάτων .....	81
	Κεφάλαιο 6 <sup>ο</sup> : Συμπεράσματα και Προτάσεις για περαιτέρω Έρευνα .....	83
6.1.	Συμπεράσματα.....	83
6.2.	Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	84
	Βιβλιογραφία.....	86

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1: ΜΕΤΡΑ ΠΑΡΟΧΗΣ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΙΜΗΣ ΤΟΥ ΑΓΑΘΟΥ.....	6
ΕΙΚΟΝΑ 2: ΜΕΤΡΑ ΠΑΡΟΧΗΣ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΤΙΜΗ ΤΟΥ ΑΓΑΘΟΥ ΑΥΤΟΥ.....	7
ΕΙΚΟΝΑ 3:ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΘΕΣΕΩΝ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΣΤΑΘΜΩΝ ΕΠΑΝΑΦΟΡΤΙΣΗΣ ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟ Η ΥΠΑΙΘΡΙΟ ΧΩΡΟ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ .....	33
ΕΙΚΟΝΑ 4:ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΘΕΣΕΙΣ ΕΜΒΕΛΕΙΑΣ ΤΟΥΣ.....	37
ΕΙΚΟΝΑ 5: ΚΟΣΤΟΣ ΕΝΟΣ ΤΥΠΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΦΟΡΤΙΣΗΣ.....	45
ΕΙΚΟΝΑ 6:ΔΕΙΚΤΗΣ ΙΔΙΟΚΤΗΣΙΑΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ (1991 – 2006) EUROSTAT.....	56
ΕΙΚΟΝΑ 7:ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΙΒΑΤΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ ΑΝΑ 1000 ΚΑΤΟΙΚΟΥΣ, ΣΕ ΕΥΡΩΠΑΪΚΕΣ ΧΩΡΕΣ ΚΑΙ ΠΟΛΕΙΣ(EUROSTAT,2003).....	57
ΕΙΚΟΝΑ 8:ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΣΟΥ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ΜΟΝΑΧΟ ΠΡΙΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΖΩΝΗΣ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΚΑΤΟΙΚΟΥΣ(HARTMUT H.T (1991)).....	58
ΕΙΚΟΝΑ 9:ΤΥΠΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ OPEN SOLVER.....	62
ΕΙΚΟΝΑ 10:ΤΕΛΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 1.....	65
ΕΙΚΟΝΑ 11:ΤΕΛΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΘΕΣΕΩΝ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 1.....	65
ΕΙΚΟΝΑ 12:ΤΕΛΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 2.....	68
ΕΙΚΟΝΑ 13:ΤΕΛΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΘΕΣΕΩΝ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 2.....	68
ΕΙΚΟΝΑ 14:ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΑΣΙΚΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ.....	70
ΕΙΚΟΝΑ 15:ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΚΕΡΔΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ 1 ΚΑΙ 2.....	70
ΕΙΚΟΝΑ 16: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΑΦΙΞΗΣ.....	72
ΕΙΚΟΝΑ 17:ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΤΟΥ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ.....	74
ΕΙΚΟΝΑ 18:ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΤΩΝ ΦΟΡΤΙΣΤΩΝ.....	75
ΕΙΚΟΝΑ 19: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΤΗΣ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ.....	76
ΕΙΚΟΝΑ 20: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΩΡΙΑΙΟ ΚΟΜΙΣΤΡΟ.....	78
ΕΙΚΟΝΑ 21: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΟΡΡΙΨΗΣ RR2.....	79
ΕΙΚΟΝΑ 22: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΑΠΟΡΡΙΨΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΑΦΙΞΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....	81
ΕΙΚΟΝΑ 23:ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΠΑΡΑΜΟΝΗΣ ΤΩΝ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΧΩΡΟ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ.....	82

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1:ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΘΟΛΙΚΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ.....	21
ΠΙΝΑΚΑΣ 2:ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΜΕΛΕΤΗΣ ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑΣ.....	22
ΠΙΝΑΚΑΣ 3:ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΑΠΟΦΑΣΗΣ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	38
ΠΙΝΑΚΑΣ 4:ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΒΑΔΙΣΜΑΤΟΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟ ΣΚΟΠΟ ΤΟΥ ΤΑΞΙΔΙΟΥ (ΣΕ ΜΕΤΡΑ).....	54
ΠΙΝΑΚΑΣ 5:ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΒΑΔΙΣΜΑΤΟΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟΝ ΤΥΠΟ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ (ΣΕ ΜΕΤΡΑ).....	54
ΠΙΝΑΚΑΣ 6:ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΥΤΟΝΟΜΙΑ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΑΓΟΡΑ.....	55
ΠΙΝΑΚΑΣ 7:ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΘΟΔΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ.....	59
ΠΙΝΑΚΑΣ 8:ΑΡΧΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ 1ΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ.....	63
ΠΙΝΑΚΑΣ 9:ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 1ΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ.....	64
ΠΙΝΑΚΑΣ 10:ΑΡΧΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ 2ΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ.....	66
ΠΙΝΑΚΑΣ 11:ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 2ΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ.....	67
ΠΙΝΑΚΑΣ 12:ΚΑΘΑΡΗ ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ ΚΕΡΔΩΝ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 1.....	69
ΠΙΝΑΚΑΣ 13:ΚΑΘΑΡΗ ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ ΚΕΡΔΩΝ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 2.....	69
ΠΙΝΑΚΑΣ 14:ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΡΥΘΜΟ ΑΦΙΞΗΣ.....	72
ΠΙΝΑΚΑΣ 15:ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ.....	73
ΠΙΝΑΚΑΣ 16:ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΓΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΙΣΧΥΟΣ ΦΟΡΤΙΣΤΩΝ.....	74
ΠΙΝΑΚΑΣ 17: ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ.....	76
ΠΙΝΑΚΑΣ 18: ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΩΡΙΑΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΤΟΥ ΚΟΜΙΣΤΡΟΥ.....	77

ΠΙΝΑΚΑΣ 19: ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΑΠΟΡΡΙΨΗΣ.....	79
ΠΙΝΑΚΑΣ 20: ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΑΦΙΕΗΣ .....	80
ΠΙΝΑΚΑΣ 21: ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΧΡΟΝΟΥ ΠΑΡΑΜΟΝΗΣ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΧΩΡΟ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ.....	82



## Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> : Εισαγωγή

### 1.1. Η έννοια της στάθμευσης στις ευρωπαϊκές πόλεις

Οι έντονοι και συνεχείς ρυθμοί ζωής καθιστούν τις μετακινήσεις αναπόσπαστο τμήμα της ζωής των ανθρώπων. Με την ολοένα και περισσότερο αυξανόμενη χρήση των οδικών υποδομών, πολλοί συγκοινωνιολόγοι αλλά και μελετητές ερευνούν τα συστήματα μεταφορών. Σύμφωνα με τον Φραντζεσκάκη (Φραντζεσκάκης, 2002) ως συστήματα μεταφορών θεωρούνται τα οχήματα κάθε τύπου, τα δίκτυα μεταφορών όπου κινούνται τα οχήματα καθώς και οι τερματικές εγκαταστάσεις που εξυπηρετούν τα οχήματα κατά τη στάθμευση τους.

Η μικρή, αλλά συνεχής αύξηση του πληθυσμού παγκοσμίως, όσο και Ευρωπαϊκά, σε συνδυασμό με την αύξηση του δείκτη ιδιοκτησίας Ι.Χ. αναδεικνύουν το πρόβλημα της αύξησης του απόλυτου αριθμού των οχημάτων στο οδικό δίκτυο. Αξιοσημείωτο είναι να αναφερθεί πως, ενώ η ζήτηση για μετακινήσεις αυξάνεται, οι θέσεις στάθμευσης παραμένουν υπό φυσιολογικές συνθήκες σταθερές. Επομένως αυξάνεται η δυσκολία εύρεσης κενής θέσης στάθμευσης. Οι θέσεις εκτός και επί της οδού καταλαμβάνονται πιο γρήγορα από τον ήδη μεγαλύτερο αριθμό των οδηγών, με αποτέλεσμα ένα μεγαλύτερο (σε σχέση με πριν) ποσοστό τους να υποχρεώνεται να αναζητά περισσότερη ώρα κενή θέση επιβαρύνοντας περαιτέρω την κυκλοφοριακή λειτουργία του τοπικού οδικού δικτύου.

Είναι λοιπόν σαφές, ότι το προαναφερθέν πρόβλημα υπάρχει στις σύγχρονες ευρωπαϊκές πόλεις και αποτελεί την γενεσιουργό αιτία και άλλων προβλημάτων. Οι κυκλοφοριακές επιπτώσεις αφορούν την αύξηση του μέσου χρόνου αναμονής και διαδρομής του οδηγού και την επιβάρυνση του τοπικού δικτύου σε επίπεδο κυκλοφοριακού συστήματος. Ακόμη προκύπτουν περιβαλλοντικές επιπτώσεις οι οποίες είναι απόρροια της έντονης κυκλοφοριακής συμφόρησης που επεκτείνεται όσο ο οδηγός αναζητά θέση στάθμευσης.

Οι αρνητικές συνέπειες του βασισμένου σε ορυκτά καύσιμα-συστήματος μεταφορών γίνονται περισσότερο από οπουδήποτε αλλού εμφανείς στις μεγάλες πόλεις. Η καθημερινότητα χαρακτηρίζεται από συνθήκες αυξημένης ατμοσφαιρικής ρύπανσης, κυκλοφοριακής συμφόρησης και ηχορύπανσης λόγω της υπερίσχυσης των ΙΧ έναντι των υπολοίπων μέσων. Και ενώ αναζητούνται τρόποι προς ένα πιο βιώσιμο περιβαλλοντικά σύστημα, φαίνεται πως οι ίδιες οι πόλεις υφίστανται μια μεταμόρφωση με την εισαγωγή των τεχνολογιών επικοινωνιών και πληροφορικής δίνοντας έμφαση στα «έξυπνα» συστήματα μετακίνησης εντός αυτών, που κύριο σκοπό έχουν την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών προβλημάτων. Στην ίδια λογική αναζήτησης «έξυπνων» λύσεων κινούνται και οι μελέτες ανάπτυξης σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων. Η ηλεκτροκίνηση αποτελεί σημαντικό εργαλείο για την προσαρμογή των μετακινήσεων στα σύγχρονα δεδομένα. Σύμφωνα με τις προβλέψεις του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας (International Energy Agency (IEA)), οι πωλήσεις των ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να φτάσουν περισσότερες από 100 εκατομμύρια πωλήσεις το χρόνο παγκοσμίως μέχρι το 2050.

Η αντικατάσταση του συμβατικού στόλου οχημάτων με ηλεκτροκίνητα έχει απασχολήσει ιδιαίτερα τους συγκοινωνιολόγους. Για την προώθηση και ενίσχυση της αγοράς των ηλεκτρικών οχημάτων, σκόπιμη είναι μια προεργασία και προετοιμασία του οδικού δικτύου με τις κατάλληλες υποδομές φόρτισης. Η υποδομή φόρτισης αποτελεί ίσως το σημαντικότερο παράγοντα που θα οδηγήσει έναν οδηγό στην αντικατάσταση του συμβατικού οχήματός του με ηλεκτρικό. Τα δίκτυα ανεφοδιασμού για τη βενζινοκίνηση παρέχουν την ασφάλεια στους οδηγούς ότι υπάρχει εντός της εμβέλειας χρήσης του οχήματος ένας σταθμός ανεφοδιασμού. Το αίσθημα αυτό θα πρέπει να υπάρχει και στους χρήστες των ηλεκτρικών οχημάτων, αφού τα οχήματα τους έχουν το μειονέκτημα της μικρότερης ακτίνας κίνησης σε σχέση με τα συμβατικά.

Η παρούσα εργασία ασχολείται με την αναβάθμιση ανοιχτών ή και κλειστών χώρων στάθμευσης εγκαθιστώντας υποδομές φόρτισης. Ο χρόνος στάθμευσης ενός οχήματος μπορεί να συνδυαστεί με το χρόνο επαναφόρτισης του. Θέλοντας ο χώρος να γίνει ελκυστικός απέναντι στους χρήστες ηλεκτρικών οχημάτων, δίνονται κίνητρα στους οδηγούς αυτών. Κρίνεται σκόπιμη η εξυπηρέτηση του μεγαλύτερου ποσοστού των οδηγών αυτών ( αν όχι όλο το ποσοστό), ενώ η τιμή χρέωσης για τις υπηρεσίες στάθμευσης και φόρτισης οφείλει να είναι ελκυστική. Η ελκυστικότητα ενός χώρου στάθμευσης μπορεί να παρατηρηθεί από τη μεριά του ιδιοκτήτη του χώρου, ο οποίος επιθυμεί την μεγιστοποίηση των κερδών του και από τη μεριά των οδηγών, οι οποίοι θέλουν να εξυπηρετηθούν έχοντας τη βέλτιστη ποιότητα στην πιο προσιτή τιμή. Στην εργασία γίνεται προσπάθεια ικανοποίησης και των δυο πλευρών, μεγιστοποιώντας τα κέρδη του χώρου στάθμευσης και ελαχιστοποιώντας το ποσοστό των μη εξυπηρετούμενων οδηγών ηλεκτρικών οχημάτων.

Τα δυο ερωτήματα που γεννιούνται από τη μεριά του χειριστή του χώρου για την αξιολόγηση του έργου αυτού είναι τα εξής:

Πώς ο αριθμός των φορτιστών και οι τιμές φόρτισης επηρεάζουν την επένδυση ενός διαχειριστή χώρου στάθμευσης;

Πώς πρέπει ένας χειριστής πάρκινγκ να καθορίσει τον αριθμό των φορτιστών και την τιμή χρέωσης, ώστε να μεγιστοποιήσει την κερδοφορία του δεδομένου έργου;

Στα παραπάνω ερωτήματα απαντά η παρούσα εργασία, χωροθετώντας σταθμούς φόρτισης εντός του χώρου στάθμευσης ώστε να καλύπτουν τον μέγιστο δυνατό αριθμό ηλεκτρικών οχημάτων και ταυτόχρονα μειώνοντας το λειτουργικό κόστος αυτών. Μέσω της διαδικασίας αυτής, επιτυγχάνεται η ορθή αξιοποίηση των χώρων στάθμευσης και η ενίσχυση της ηλεκτροκίνησης.



## 1.2. Ερευνητικός στόχος διπλωματικής εργασίας

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η κατάστρωση ενός μοντέλου μεγιστοποίησης του κέρδους ενός χώρου στάθμευσης με δυνατότητες φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων προσφέροντας κίνητρα χρήσης έναντι βενζινοκίνητων. Σε πολλές έρευνες έχει γίνει χωροθέτηση υποδομών φόρτισης ανάλογα τη ζήτηση και το βαθμό διεύθυνσης των ηλεκτρικών οχημάτων στην αγορά. Η πρωτοτυπία της μεθοδολογίας αυτής έγκειται στο ότι γίνεται διαφοροποίηση των θέσεων εντός του χώρου, περιορίζοντας τον αριθμό των συμβατικών οχημάτων που διεκδικούν μια θέση στάθμευσης ενώ ταυτόχρονα γίνεται προσπάθεια επίτευξης του μέγιστου κέρδους από μεριάς χειριστή του χώρου και της μέγιστης προσέλκυσης οδηγών ηλεκτρικού τύπου οχήματος. Η διαδικασία εύρεσης γίνεται μέσω ενός γραμμικού μοντέλου που λαμβάνει υπόψιν τους οικονομικούς αλλά και κοινωνικούς παράγοντες, όπως την αξία εσόδων - εξόδων αλλά και την εξυπηρέτηση πρωτίστως των ηλεκτρικών οχημάτων. Η παροχή ενέργειας για την τροφοδότηση των ηλεκτρικών οχημάτων θα παρέχεται δωρεάν, με τον οδηγό να πληρώνει μόνο το κόμιστρο για την υπηρεσία στάθμευσης. Στόχος είναι η ικανοποίηση τόσο του χειριστή του χώρου στάθμευσης μεγιστοποιώντας το κέρδος της επιχείρησης καθώς και η μόνιμη εξασφάλιση θέσεων στάθμευσης για τους κάτοχους ηλεκτρικών οχημάτων, στα πλαίσια της ενίσχυσης της ηλεκτροκίνησης.

## 1.3. Δομή διπλωματικής εργασίας

Στο κείμενο που ακολουθεί έχει αποτυπωθεί η διαδικασία με την οποία προσεγγίζεται το θέμα της βελτιστοποίησης της χωροθέτησης των θέσεων στάθμευσης εντός ενός υπάρχοντος χώρου στάθμευσης. Η διάταξη των θεματικών ενοτήτων είναι η εξής:

Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί το εισαγωγικό κεφάλαιο της εργασίας, στο οποίο γίνεται μια συνοπτική περιγραφή της αξίας της στάθμευσης στα αστικά κέντρα καθώς και αναφορά στο αντικείμενο και δομή αυτής.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται επιστημονικές μελέτες που ασχολούνται με τις πολιτικές χώρων στάθμευσης που έχουν εφαρμοστεί ή πρόκειται να υλοποιηθούν με στόχο τις βιώσιμες μεταφορές, ενώ αναλύονται η επίδραση των ηλεκτρικών οχημάτων στο οδικό δίκτυο, η κατάλληλη χωροθέτηση των σταθμών φόρτισης καθώς και η βέλτιστη μετατροπή θέσεων στάθμευσης συμβατικών οχημάτων σε ηλεκτρικές.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται μια εκτενής ανάλυση των χαρακτηριστικών της στάθμευσης γενικά, δίχως την διαφοροποίηση των οχημάτων, αναλύοντας τις πολιτικές διαχείρισης της στάθμευσης και ορθής οργάνωσης αυτής για την προώθηση των βιώσιμων μεταφορών. Στη συνέχεια παρέχονται πληροφορίες σχετικά με την ηλεκτροκίνηση, ενώ για την συνύπαρξη συμβατικών και ηλεκτρικών οχημάτων σε έναν χώρο στάθμευσης, κρίσιμη είναι η εκ των προτέρων αξιολόγηση και ανάλυση της χωροθέτησης των θέσεων αυτών, συγκρίνοντας την

προτεινόμενη λύση με την υφιστάμενη κατάσταση με στόχο την επιλογή της βέλτιστης χωροθέτησης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο προσεγγίζεται το πρόβλημα και παρουσιάζεται η μεθοδολογία επίλυσης. Πραγματοποιείται ανάλυση του μοντέλου ζήτησης της στάθμευσης που εφαρμόστηκε, ενώ ολοκληρώνεται η προσέγγιση του προβλήματος μέσω της αναφοράς των οικονομικών παραμέτρων που το επηρεάζουν. Στο επόμενο υποκεφάλαιο, γίνεται η τελική διατύπωση του μοντέλου μεγιστοποίησης κέρδους, αναλύοντας την αντικειμενική συνάρτηση αλλά και τους περιορισμούς που διαμορφώθηκαν προκειμένου να επιλεγούν οι βέλτιστες θέσεις ηλεκτρικών οχημάτων. Τέλος, γίνεται παρουσίαση των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο καθώς και των συμβολισμών αυτών.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται η εφαρμογή του μαθηματικού μοντέλου σε ένα χώρο στάθμευσης 996 θέσεων εφαρμόζοντας δυο διαφορετικά σενάρια με σκοπό να διερευνηθεί η αποτελεσματικότητα του. Αρχικά γίνεται αρχικοποίηση των παραμέτρων του μοντέλου και παρουσίαση των αποτελεσμάτων, ενώ στη συνέχεια γίνεται ανάλυση της ευαισθησίας των παραμέτρων με σκοπό την διερεύνηση του βαθμού επιρροής της κάθε παραμέτρου στο τελικό αποτέλεσμα. Τέλος, συνοψίζονται τα αποτελέσματα και προτείνεται η βέλτιστη λύση.

Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας, διατυπώνονται τα τελικά συμπεράσματα που προέκυψαν και προτείνονται περαιτέρω περιοχές μελέτης και εφαρμογής του προβλήματος βελτιστοποίησης.

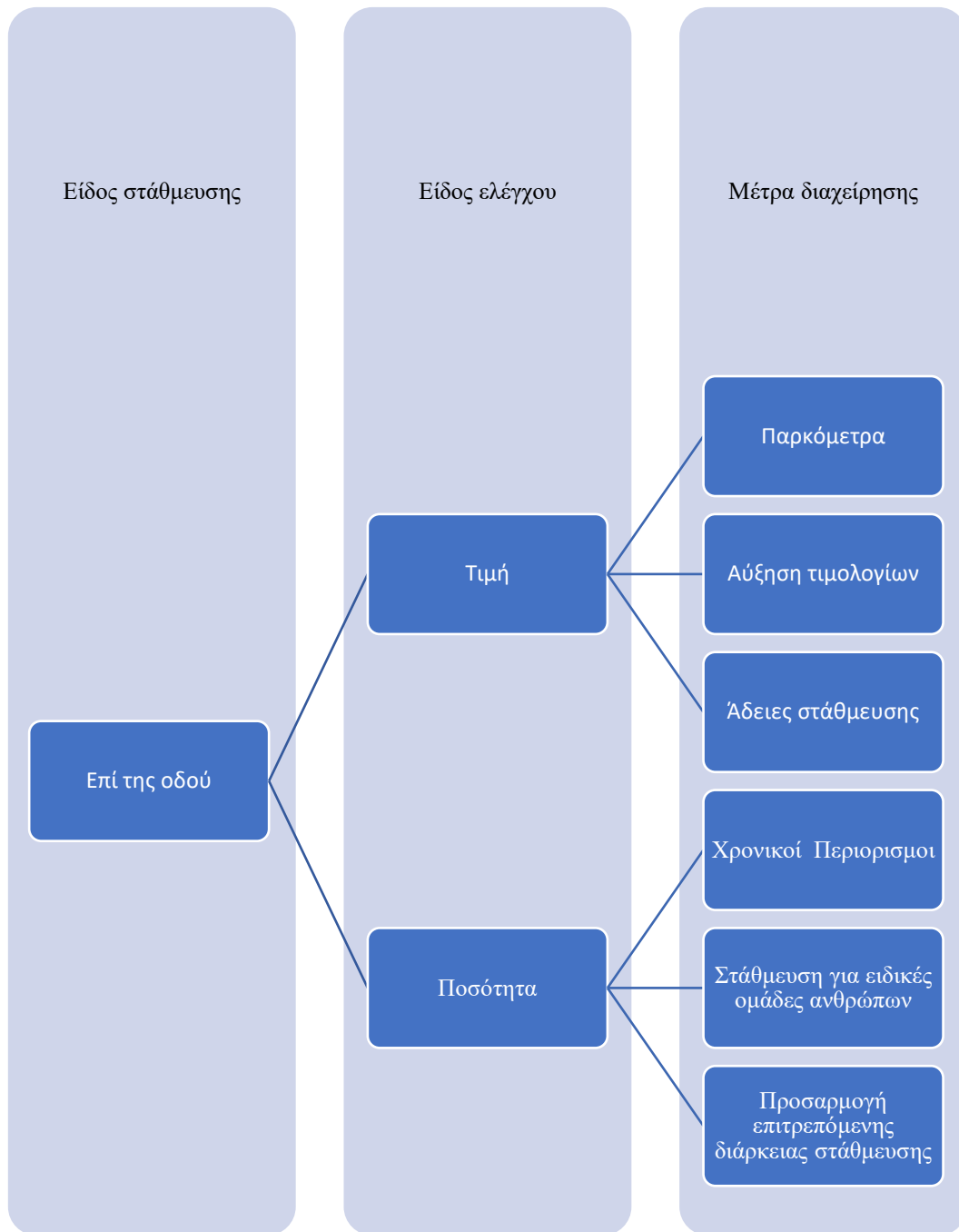
## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>: Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας

### 2.1. Πολιτικές και μέτρα διαχείρισης της στάθμευσης

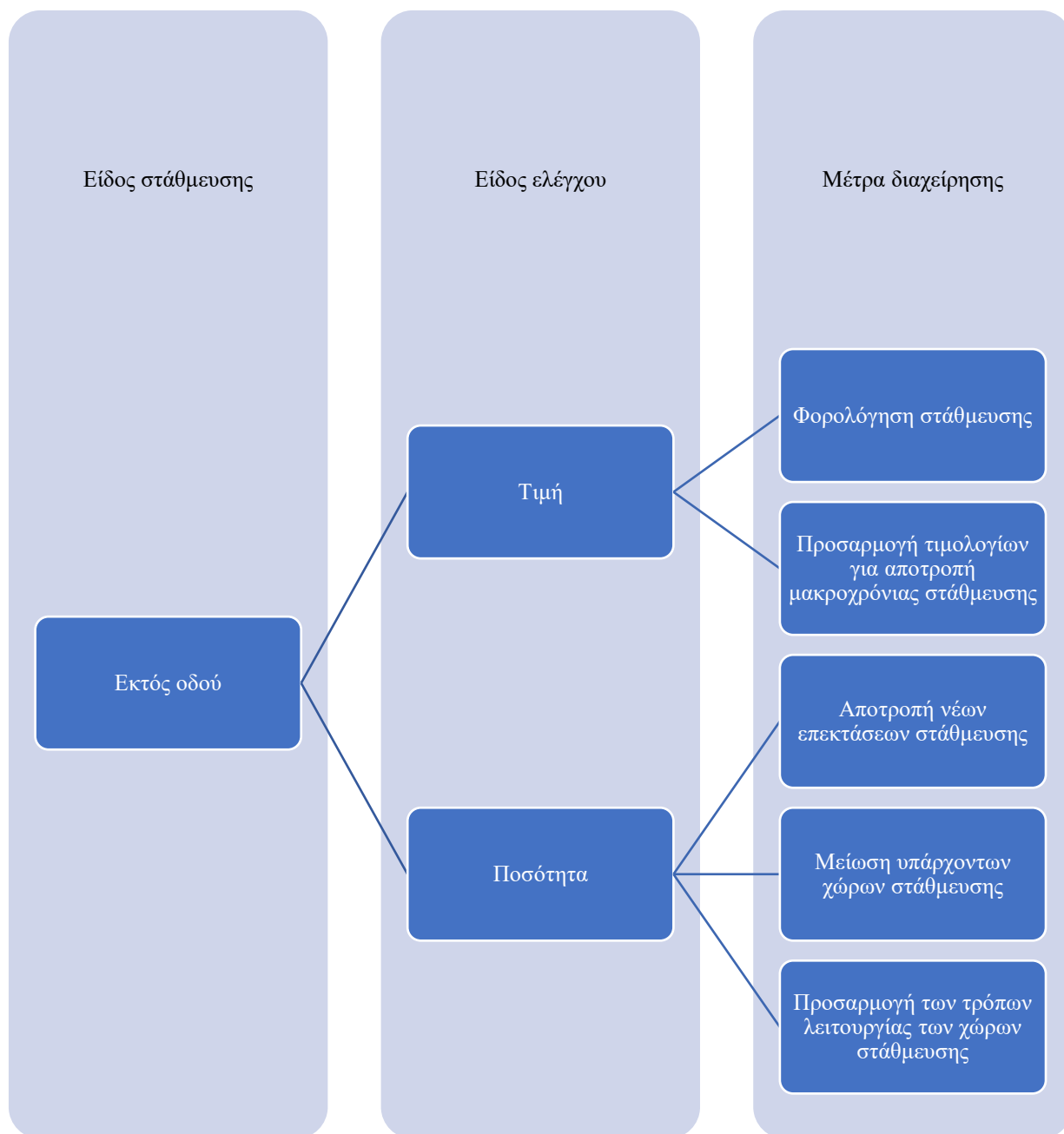
Με βασικό στόχο την ανάπτυξη ενός ορθολογικού συστήματος αστικών μεταφορών και την βελτίωση των κυκλοφοριακών συνθηκών, πολλά μέτρα διαχείρισης των θέσεων στάθμευσης έχουν προταθεί. Πολλά από αυτά είτε έχουν ήδη υλοποιηθεί, είτε αποτελούν προτάσεις για μελλοντικές βελτιώσεις. Τέτοιες πολιτικές αποσκοπούν στην αξιοποίηση όλων των θέσεων στάθμευσης (εκτός και επί της οδού) και αποβλέπουν στην αποθάρρυνση της χρησιμοποίησης του επιβατικού αυτοκινήτου, ιδιαίτερα για μετακινήσεις για εργασία.

Ξεκινώντας από το 1950 η πολιτική στάθμευσης περιορίζονταν στο να αποτρέπει τους οδηγούς από την κοινωνικά μη αποδεκτή συνήθεια να σταθμεύουν πάνω στους δρόμους (Buchanan, 1958). Αργότερα μέσα στην ίδια δεκαετία, οι πολιτικοί άρχισαν να αναζητούν τρόπους διαχείρισης της στάθμευσης συνολικά επί και εκτός του δρόμου. Αυτό οδήγησε στην δημιουργία πολιτικών χρέωσης στάθμευσης και επιπλέον νέων μορφών ελέγχου στάθμευσης. Σχεδιάστηκε επίσης καινούργια τροπολογία για να επιβάλλει καλύτερα την πειθαρχία στην συμπεριφορά στάθμευσης. Αργότερα κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1980, ο ρόλος της πολιτικής στάθμευσης ήταν να ανταποκριθεί στο αυξανόμενο ενδιαφέρον να διατηρηθεί η οικονομική βιωσιμότητα περιοχών με εμπορικό ενδιαφέρον (8. Polak, 1990).

Στις μέρες μας πολιτική στάθμευσης εξακολουθεί να λειτουργεί μέσα από τον έλεγχο της ποσότητας του χώρου στάθμευσης αλλά και της τιμής του. Σε αυτό το σημείο, σκόπιμη είναι η αναφορά στο γεγονός ότι όπως κάθε άλλη πολιτική, μία πολιτική στάθμευσης θα πρέπει πριν την υλοποίησή της να συζητηθεί με το κοινό, έτσι ώστε το κέρδος του τοπικού φορέα από τα κέρδη στάθμευσης να εξισορροπείται με το κέρδος του κοινού. Στα παρακάτω διαγράμματα δίνονται ορισμένα μέτρα για την παροχή στάθμευσης αλλά και για τον έλεγχο της τιμής του αγαθού αυτού.



Εικόνα 1: Μέτρα παροχής στάθμευσης και έλεγχος τιμής του αγαθού



Εικόνα 2: Μέτρα παροχής στάθμευσης και τιμή του αγαθού αυτού

Ολοκληρώνοντας με τις πολιτικές στάθμευσης και την επίδραση τους στην κοινωνική πολιτική, σκόπιμη είναι η αναφορά στην έρευνα των Mc Schane και Mayer (1982) όπου ταξινομούν τις στρατηγικές διαχείρισης στάθμευσης σύμφωνα με τα είδη του ελέγχου που ασκούν. Τα τέσσερα είδη ελέγχου που αναφέρονται αφορούν την τιμή στάθμευσης, την πρόσβαση στάθμευσης, την κατανομή των χώρων στάθμευσης και την παροχή στάθμευσης.

Υπάρχουν αρκετά διαφορετικά είδη μέτρων στάθμευσης που σχετίζονται με την τιμή. Δύο κύριες κατηγορίες αυτών των μέτρων που εφαρμόζονται σε ευρύτερες περιοχές είναι η φορολογία στάθμευσης και οι πρόσθετες επιβαρύνσεις. Η φορολογία στάθμευσης είναι μία από

τις τεχνικές που στοχεύει στην απόδοση των δαπανηθέντων εξόδων για την μετακίνηση των οχημάτων από το κέντρο της πόλης. Οποιαδήποτε αύξηση στην φορολογία στάθμευσης σημαίνει μεγαλύτερη χρέωση στάθμευσης και σημαντική επίδραση στις αποφάσεις μετακίνησης των οδηγών. Ένας ακόμη τρόπος ελέγχου της τιμής στάθμευσης είναι η πρόσθετη επιβάρυνση στάθμευσης. Αυτό είναι ένα επιπρόσθετο τέλος στην υπάρχουσα χρέωση στάθμευσης. Οι πρόσθετες επιβαρύνσεις στάθμευσης στοχεύουν σε συγκεκριμένες ομάδες. Συνεπώς μπορούν να έχουν πιο σημαντική επίδραση στην συμπεριφορά των ταξιδιωτών απ' ό,τι οι γενικές αυξήσεις τιμών. Για παράδειγμα, οι πρόσθετες αυξήσεις στάθμευσης μπορούν να εφαρμοστούν σε χώρους στάθμευσης πάνω στο δρόμο που είναι είτε δωρεάν είτε με παρκόμετρο. Άλλες τεχνικές ελέγχου της τιμής στάθμευσης περιλαμβάνουν γενικά αυξήσεις τιμών στους ιδιωτικούς χώρους στάθμευσης ή τοποθέτηση παρκόμετρων με περιορισμούς στάθμευσης στην διάρκεια παραμονής.

Ο έλεγχος πρόσβασης στη στάθμευση αποτελεί άλλο ένα μέτρο διαχείρισης της, σύμφωνα με το οποίο θέτει προτεραιότητες όσον αφορά την πρόσβαση σε χώρους στάθμευσης. Οι άδειες στάθμευσης στους κατοίκους μιας περιοχής, είναι μια συνηθισμένη στρατηγική, η οποία εφαρμόζεται για να μειωθεί η στάθμευση από άτομα εκτός την περιοχής που εισέρχονται για λόγους εμπορικών δραστηριοτήτων κυρίως. Οι άδειες στάθμευσης μπορούν επίσης να έχουν ως αποτέλεσμα την αποτροπή συγκέντρωσης του όγκου των αυτοκινήτων σε μια περιοχή. Αυτό επιτυγχάνεται, καθώς υφίστανται χρονικοί περιορισμοί σε θέσεις που δεν ανήκουν σε κάτοικους. Άλλα μέτρα ελέγχου πρόσβασης στάθμευσης περιλαμβάνουν τον περιορισμό χρήσης των εγκαταστάσεων. Τέτοιοι περιορισμοί είναι οι χρονικοί περιορισμοί χρήσης των υπάρχοντων εγκαταστάσεων, προνομιακή στάθμευση οχημάτων μεγάλου όγκου, έκδοση αδειών στάθμευσης εμπόρων και άλλα.

Κατά την εφαρμογή ελέγχου στην κατανομή των χώρων στάθμευσης, γίνεται δημιουργία σχεδίων, σύμφωνα με τα οποία οι οδηγοί θα μπορούν να σταθμεύουν τα αυτοκίνητά τους και μετά να χρησιμοποιούν κάποιο συγκοινωνιακό μέσο. Για την υλοποίηση αυτού, τα πιο κρίσιμα συμπληρωματικά μέτρα είναι η προτεραιότητα στα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς. Προτείνεται η δημιουργία των χώρων στάθμευσης στην άκρη της πόλης έτσι ώστε να αποτρέπει τις μετακινήσεις από το σπίτι στη δουλειά με τελικό προορισμό την εμπορική περιοχή του κέντρου (Bixby, 1989).

Τέλος, οι πολιτικές στάθμευσης στοχεύουν στον έλεγχο της παρεχόμενης στάθμευσης. Η πιο ευρύτατα διαδεδομένη στρατηγική είναι η απαγόρευση στάθμευσης στους δρόμους. Αυτή συνδέεται πιο άμεσα με τη δυνατότητα βελτίωσης της ροής της κυκλοφορίας στους δρόμους της πόλης παρά με την μείωση των διαθέσιμων χώρων στάθμευσης στα αστικά κέντρα.

Σε αυτό το πλαίσιο οι Gkini et al. (2018) πρότειναν ένα διεπίπεδο μοντέλο χωροθέτησης θέσεων στάθμευσης επί της οδού, λαμβάνοντας υπόψη την επίπτωση στην κυκλοφορία.

Μια ακόμα προσέγγιση αποτελεί ο περιορισμός της φυσιολογικής αύξησης των χώρων στάθμευσης. Με αυτό τον τρόπο η εξάπλωση της στάθμευσης μπορεί να ελεγχθεί και να αυξηθεί το μερίδιο της βραχυχρόνιας στάθμευσης σε σχέση με την μακροχρόνια. Άλλα μέτρα της συνολικής παροχής στάθμευσης περιλαμβάνουν την μείωση της δημόσιας επένδυσης στάθμευσης στα αστικά κέντρα και τις βραχυχρόνιες εκμισθώσεις δημόσιων εγκαταστάσεων.

Όλες οι παραπάνω στρατηγικές έχουν άμεσες συνέπειες στους οδηγούς καθώς και έμμεσες συνέπειες σε ομάδες όπως οι τοπικοί έμποροι των εμπορικών περιοχών.

Έχοντας αναφερθεί διεξοδικά στις πολιτικές διαχείρισης της μη διαφοροποιημένης στάθμευσης, στο επόμενο υποκεφάλαιο γίνεται ανάλυση της επίδρασης των ηλεκτρικών οχημάτων στο οδικό δίκτυο και κατά συνέπεια στη στάθμευση.

## 2.2. Επίδραση ηλεκτρικών οχημάτων στο οδικό δίκτυο

Σύμφωνα με τους (Jun Yang, 2020) η ζήτηση για φόρτιση καθορίζεται πρωτίστως από τη διαδρομή του ταξιδιού και τη λογική συμπεριφορά των χρηστών στις επιλογές ταξιδιού. Στο έγγραφο αναλύονται οι απαιτήσεις φόρτισης, βάση των αποφάσεων των χρηστών και των χαρακτηριστικών οδήγησης των οχημάτων ανάλογα με τον χρόνο και τη διαδρομή του ταξιδιού. Τα συμπεράσματα που εξάγονται αναφέρονται στη συμπεριφορά και τη ζήτηση φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων. Αναφέρεται πως καθώς μειώνεται το ποσοστό κατοχής ηλεκτρικών οχημάτων, μειώνεται και ο ρυθμός ταξιδιού, οι ημερήσιες συχνότητες φόρτισης και η ζήτηση φόρτισης τους ενώ ο χρόνος έναρξης φόρτισης και η μέγιστη ισχύς φόρτισης σε διαφορετικούς χρόνους θα είναι σταθερή. Συνοψίζοντας, όσο οι βαθμοί λογικής των χρηστών αυξάνονται, ο χρόνος έναρξης φόρτισης και ο μέγιστος χρόνος ισχύος φόρτισης καθυστερούν και η ημερήσια ζήτηση φόρτισης μειώνεται.

Η μελέτη του (Devellder N. S., 2017) επικεντρώνεται στη μελέτη της ευελιξίας φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων και διερευνά το αν υπάρχουν μοτίβα για την αξιοποίησή της. Η ευελιξία του ηλεκτρικού οχήματος, υποδεικνύει σε ποιο βαθμό το φορτίο φόρτισης του οχήματος μπορεί να συνδυαστεί με τα φορτία φόρτισης άλλων δραστηριοτήτων που επίσης χρειάζονται το δίκτυο. Στην έρευνα μελετάται η αξιοποίηση των χαρακτηριστικών της ευελιξίας με βάση τα δεδομένα που προκύπτουν από 390.000 φορτίσεις. Ένα ηλεκτρικό όχημα δεν είναι απαραίτητο να είναι πλήρως φορτισμένο για να διανύσει ορισμένα χιλιόμετρα. Οι μελετητές ανέλυσαν τις ώρες άφιξης/αναχώρησης, τα χαρακτηριστικά φόρτισης κάθε τύπου οχήματος καθώς και την επίδραση των καθημερινών και εποχιακών αλλαγών στα χαρακτηριστικά αυτά με βάση την ώρα άφιξης, διαμονής και αδράνειας. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν ομαδοποίησαν τις φορτίσεις σε τρεις κατηγορίες: φόρτιση κοντά στο σπίτι, φόρτιση κοντά στην εργασία και φόρτιση σε υποδομές στάθμευσης με δημόσιους φορτιστές. Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι για φόρτιση στους χώρους στάθμευσης (62,86% των φορτίσεων που μελετήθηκαν) οι αφίξεις είναι διάσπαρτες όλη την ημέρα και ο μέσος όρος αδράνειας είναι περίπου 48 λεπτά, ενώ για φόρτιση κοντά στην εργασία (27,84%) οι ώρες άφιξης είναι 6-9 π.μ. ο χρόνος παραμονής λιγότερος από 9 ώρες και ο μέσος όρος αδράνειας είναι 5,5 ώρες και γι' αυτό η φόρτιση γίνεται κατά τη διάρκεια της ημέρας. Για φόρτιση κοντά στο σπίτι (9,3%) οι ώρες άφιξης είναι το βράδυ και ο μέσος όρος των ωρών αδράνειας είναι 10 ώρες, ενώ η φόρτιση γίνεται το βράδυ. Σε αυτή την κατηγορία οι ώρες παραμονής και αδράνειας είναι περισσότερες τα σαββατοκύριακα. Ολοκληρώνεται η έρευνα με την θεώρηση πως όσες φορτίσεις πραγματοποιούνται κοντά στην εργασία, και άρα υποθετικά τις πρωινές ώρες, πρέπει να

καλύπτουν την ανάγκη του οχήματος για απογευματινή ή βραδινή φόρτιση. Ακόμα, όσες πραγματοποιούνται κοντά στο σπίτι, άρα υποθετικά τις απογευματινές ώρες, πρέπει να εξασφαλίζουν το να μην υπάρξει ανάγκη για βραδινή φόρτιση ενώ τέλος όσες φορτίσεις πραγματοποιούνται στους χώρους στάθμευσης, πρέπει επίσης κατά κύριο λόγο να καλύπτουν την ζήτηση για απογευματινή φόρτιση.

Βάσει της ερευνάς των (Xiaolin Ge, 2020) η κατανομή πρόβλεψης για τα φορτία φόρτισης λαμβάνει υπόψη τα διαφορετικά χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς φόρτισης και τη χωροχρονική σύνδεση μεταξύ των ηλ.οχημάτων και των σταθμών φόρτισης. Αρχικά δημιουργεί ένα μοντέλο πρόβλεψης της ζήτησης της φόρτισης χρησιμοποιώντας τη μαθηματική μέθοδο βελτιωμένου τυχαίου δάσους (IRF), τον αλγόριθμο αρμονίας (AHS) για την αναζήτηση και την αρχή ελαχίστου σφάλματος. Ακόμα, προτείνει μία bottom-up μέθοδο για πρόβλεψη χωρικής και χρονικής κατανομής της φόρτισης των EV και τέλος χρησιμοποιεί μια παράλληλη υπολογιστική μέθοδο με παραλληλισμό δεδομένων για βελτιωμένη αποτελεσματικότητα των παραπάνω. Η μελέτη καταλήγει ότι η συγκεκριμένη μέθοδος, σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους, όχι μόνο μπορεί να βελτιώσει την ακρίβεια της πρόβλεψης του συνολικού φορτίου φόρτισης, αλλά και να επιτύχει την χωρική και χρονική κατανομή του φορτίου φόρτισης.

Ολοκληρώνοντας με τα μοντέλα πρόβλεψης της ζήτησης των ηλεκτρικών οχημάτων, οι (Xianqiang Ren, 2019) ορίζουν ένα μοντέλο τοποθεσιών σταθμών φόρτισης (Location model) για την ελαχιστοποίηση των συνολικών κοινωνικών δαπανών μέσω ενός γενικού αλγορίθμου. Κατασκευάζεται ένα σύστημα αξιολόγησης βάσει πέντε παραγόντων που επηρεάζουν τη θέση χωροθέτησης όπως το κόστος γης, το κόστος κατασκευής, η ροή οδικής κυκλοφορίας, οι συνθήκες δικτύου και το γύρω περιβάλλον. Βάσει αυτών, διεξάγεται μια ποσοτική επεξεργασία σε ποιοτικούς δείκτες εφαρμόζοντας τη γκρι διαδικασία λήψης αποφάσεων και τη γκρι διαδικασία λήψης αποφάσεων στόχου, καθώς παράγεται το βέλτιστο αποτέλεσμα λήψης αποφάσεων. Η γκρι διαδικασία λήψης αποφάσεων είναι ένας κλάδος εφαρμοσμένων μαθηματικών για τη μελέτη φαινομένων με εν μέρει σαφείς και ασαφείς πληροφορίες και με κάποια αβεβαιότητα. Η γκρι λήψη αποφάσεων πραγματοποιείται όταν το μοντέλο λήψης αποφάσεων περιέχει γκρι περιοχές (ορίζονται ως μαύρες αυτές χωρίς καθόλου πληροφορίες, ως λευκές αυτές με τέλει πληροφορίες και ως γκρι οι ενδιάμεσες μη εξιδανικευμένες περιοχές) ή όταν το συνηθισμένο μοντέλο λήψης αποφάσεων και το γκρι μοντέλο συνδέονται, εστιάζοντας στην επιλογή ερευνητικού σχήματος. Πιο συγκεκριμένα η έρευνα, αναλύει τους σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στην πόλη Ναντζίνγκ στην Κίνα. Συμπεραίνει ότι μέχρι το τέλος του 2017, περισσότερα από 20.000 νέα EV είχαν κυκλοφορήσει σε ολόκληρη την πόλη, έχοντας αυξηθεί σε σχέση με το 2015 και το 2016. Για την τροφοδοσία τους, εφαρμόστηκε ένα πλαίσιο παροχής ηλεκτρικού ρεύματος στο ηλεκτρικά δίκτυο της πόλης. Αυτό το δίκτυο διανομής ισχύος ανταποκρίθηκε πλήρως στις απαιτήσεις φόρτισης του Nanjing, και γι' αυτό η εργασία επιλέγει το Ναντζίνγκ ως ερευνητικό αντικείμενο με σημαντική ρεαλιστική σημασία ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μελλοντικό σχεδιασμό σταθμών φόρτισης που επηρεάζουν τη θέση, προκύπτουν διαφορετικά αποτελέσματα αξιολόγησης της τοποθεσίας και γι' αυτό το λόγο επιλέγονται η γκρι διαδικασία λήψης αποφάσεων και η γκρι διαδικασία λήψης αποφάσεων στόχου για να προσδιορίσουν το πιο ικανοποιητικό ερευνητικό σχήμα. Μετά από υπολογισμούς και την εφαρμογή των παραπάνω συμπεραίνεται ότι στην



περιοχή του Ναντζίνγκ ο ιδανικός αριθμός σταθμών φόρτισης είναι 7, οι οποίοι κατανέμονται στις ιδανικές τοποθεσίες σύμφωνα με τις οδηγίες των αποτελεσμάτων.

### 2.3. Μετατροπή θέσεων στάθμευσης συμβατικών οχημάτων σε ηλεκτρικές

Οι χώροι στάθμευσης παρέχουν την τέλεια ευκαιρία για επαναφόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων, δεδομένου ότι τα αυτοκίνητα είναι σταθμευμένα για δυνητικά μεγάλο χρονικό διάστημα. Ως εκ τούτου, η ιδέα της μετατροπής χώρων στάθμευσης σε σταθμούς φόρτισης έχει λάβει μεγάλη προσοχή τα τελευταία χρόνια.

Σύμφωνα με το άρθρο των (Faddel S. A.-A. A., 2017) προτείνεται ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης το οποίο στοχεύει στη μεγιστοποίηση του κέρδους του χειριστή του χώρου στάθμευσης ικανοποιώντας παράλληλα τις απαιτήσεις φόρτισης των ιδιοκτητών ηλεκτρικών οχημάτων. Για τη διαχείριση του χρόνου φόρτισης χρησιμοποιήθηκαν χρονοδιαγράμματα φόρτισης για την αγορά ενέργειας της επόμενης ημέρας. Έτσι, εξισορροπείται οποιαδήποτε απόκλιση από το χρονοδιάγραμμα της επόμενης ημέρας στην αγορά. Λαμβάνονται υπόψη οι αβεβαιότητες των κερδών που οφείλονται στις διακυμάνσεις των τιμών της αγοράς καθώς και όσες σχετίζονται με την κινητικότητα των EV, όπως η ζήτηση για στάθμευση σε χώρους των ηλεκτρικών οχημάτων, οι αρχικές και τελικές καταστάσεις φόρτισης και ο χρόνος αναχώρησής τους. Επιπλέον, διερευνάται η επίδραση της απόδοσης φόρτισης βάσει την ισχύ των εγκατεστημένων φορτιστών εντός του parking. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν ότι ο προτεινόμενος αλγόριθμος βελτιστοποίησης οδηγεί σε υψηλότερα πραγματοποιημένα κέρδη από αυτά του ντετερμινιστικού αλγόριθμου αναφοράς προσφέροντας υψηλή κερδοφορία ακόμη και με υψηλά επίπεδα αβεβαιότητας.

Οι (Faddel S. E. A., 2018) στην ερευνά τους εφάρμοσαν ένα διεπίπεδο πρόβλημα βελτιστοποίησης πολλαπλών στόχων Pareto το οποίο ελέγχει τη βέλτιστη κατανομή και μέγεθος ενός γκαράζ στάθμευσης ηλεκτρικών οχημάτων. Το πρόβλημα βελτιστοποίησης προσπαθεί να μεγιστοποιήσει τα κέρδη του επενδυτή του χώρου στάθμευσης, καθώς και να ελαχιστοποιήσει τις απώλειες και τις αποκλίσεις τάσης για τον διαχειριστή του συστήματος διανομής ενέργειας. Η ταυτόχρονη αντιμετώπιση αυτών των αντικρουόμενων στόχων θα έχει ως αποτέλεσμα ένα σύνολο λύσεων Pareto. Χρησιμοποιήθηκε ένα κριτήριο λήψης αποφάσεων που βασίζεται σε στατιστικά στοιχεία για να αποφασιστεί η βέλτιστη θέση και το μέγεθος του γκαράζ στάθμευσης. Τα αποτελέσματα έδειξαν τις διαφορετικές τιμές που θα μπορούσαν να προκληθούν κατά την αντιμετώπιση αυτών των αντιφατικών στόχων, δίχως να θεωρηθεί κάποια λύση ως βέλτιστη σε σχέση με την άλλη.

Στην ερευνά των (M.Moradijuz, 2013) χρησιμοποιείται μια διαδικασία αναλυτικής ιεραρχίας για να καθοριστούν οι βέλτιστοι συντελεστές στάθμευσης για κάθε στόχο στο πρόβλημα πολλαπλών στόχων. Σε αυτή την προσέγγιση, η αξιοπιστία του συστήματος διανομής ενέργειας και οι απώλειες ισχύος μαζί με το κόστος επένδυσης λαμβάνονται υπόψη στο πρόβλημα βελτιστοποίησης. Αυτό το πρόβλημα βελτιστοποίησης επιλύεται χρησιμοποιώντας τη μέθοδο γενετικού αλγόριθμου. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων δείχνουν ότι το οικονομικό

ζήτημα της εγκατάστασης χώρων στάθμευσης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως η διαθεσιμότητα ηλεκτρικών οχημάτων καθώς και η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας. Αποδεικνύεται ότι λαμβάνοντας αρκετά κίνητρα για τους ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων, η βέλτιστη τοποθέτηση και το μέγεθος των χώρων στάθμευσης έχει οικονομικό όφελος για τις εταιρείες συστημάτων διανομής ενέργειας ενώ παράλληλα η βέλτιστη κατανομή των χώρων στάθμευσης μπορεί να βελτιώσει το προφίλ τάσης του συστήματος διανομής.

Οι (Neyestani N., 2014) ανέπτυξαν ένα διεπίπεδο πρόβλημα για τον προσδιορισμό της βέλτιστης τοποθεσίας ενός χώρου στάθμευσης. Ειδικότερα, το βέλτιστο κέρδος του χώρου στάθμευσης ορίζεται στο πρώτο στάδιο, ενώ η βέλτιστη κατανομή και διαστασιολόγηση επιτυγχάνεται στο δεύτερο στάδιο. Τα έσοδα ενός χώρου στάθμευσης με δυνατότητα φόρτισης μπορούν να μεγιστοποιηθούν κατά την ορθή κατανομή των θέσεων και της ενέργειας που θα δοθεί στα οχήματα όταν βέβαια ελέγχονται οι παράμετροι του προβλήματος με κριτήρια αξιοπιστίας. Η παραπάνω εργασία δεν εξετάζει τη σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των αριθμό συμβατικών θέσεων στάθμευσης και θέσεων στάθμευσης με δυνατότητα φόρτισης κατά τον καθορισμό του κέρδους ενός χειριστή χώρων στάθμευσης αφού μόνο υπηρεσίες χρέωσης φόρτισης λαμβάνονται υπόψιν.

Ένα μαθηματικό μοντέλο που λαμβάνει υπόψιν τις προτιμήσεις των ιδιοκτητών ηλεκτρικών οχημάτων προτάθηκε από τους (Amini, 2014). Το μοντέλο χρησιμοποιήθηκε ώστε να διερευνήσει το πρόβλημα κατανομής των χώρων στάθμευσης με δυνατότητα φόρτισης σε ένα δίκτυο, αντιμετωπίζοντας μόνο την τεχνική πτυχή του προβλήματος και αγνοώντας τις οικονομικές πτυχές του έργου. Για την επίτευξη της καλύτερης κατανομής χώρων στάθμευσης χρησιμοποιήθηκε ένας γενετικός αλγόριθμος ο οποίος έχει τη δυνατότητα να εκτελεστεί έτσι ώστε να επιτευχθεί βελτίωση της αξιοπιστίας του δικτύου.

#### 2.4. Καταλληλότητα θέσεων των σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων

Η εργασία των Csaba et al. (2019) επικεντρώνεται στη ζήτηση εντός της πόλης και στις χρήσεις γης που είναι το κλειδί για τη διαχείριση της ζήτησης. Η βασική ιδέα είναι ότι συνιστάται η κατανομή σταθμών φόρτισης σε περιοχές όπου η προθυμία χρήσης ηλεκτρικών οχημάτων (EV) είναι υψηλή και σε δημόσιους χώρους στάθμευσης όπου οι χρήστες αυτοκινήτων σταθμεύουν συχνά. Έτσι, μπορούν να φορτίσουν το όχημα ταυτόχρονα. Κατά συνέπεια, στόχος είναι να αναπτυχθεί μια μέθοδος εντοπισμού σταθμού φόρτισης για να προσδιορισθούν οι πιο ευνοϊκές περιοχές για χρήση EV και τοποθεσίες για φορτιστές με έμφαση στις χρήσεις γης λαμβάνοντας υπόψη τις παραμέτρους που επηρεάζουν τη στάθμευση (π.χ. υπηρεσίες, πληθυσμός, τύπος κατοικημένης περιοχής). Οι μελέτες εξέτασαν διάφορες πτυχές του τομέα των μεταφορών. Αυτές οι μελέτες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν περαιτέρω: μοντέλα ζήτησης βάσει σημείων ή φόρτου. Στην περίπτωση μοντέλων ζήτησης βάσει φόρτου (FCLM), η ζήτηση δίνεται με τη μορφή πινάκων προέλευσης-προορισμού (OD) και ο στόχος είναι να εξυπηρετήσει όσο το δυνατόν περισσότερο φόρτο OD (Huang et al., 2016; Xi et al., 2013). Με βάση το FCLM, οι Hess et al. (2012) μοντελοποίησαν τις κινήσεις του οχήματος και περιέγραψαν τη ζήτηση με

τη μέση εμβέλεια, τη χωρητικότητα της μπαταρίας για τη δημιουργία εφικτών διαδρομών. Χρησιμοποίησαν τα υπάρχοντα πρατήρια καυσίμων ως υποψήφιας τοποθεσίες. Δεδομένου ότι η συγκέντρωση της χωρητικότητας φόρτισης μπορεί να αυξήσει το συνολικό μήκος των παρακάμψεων, δεν είναι απαραίτητο να περιοριστεί το σύνολο των υποψηφίων τοποθεσιών σε πρατήρια καυσίμων. Με άλλα λόγια, η αποκέντρωση της τοποθεσίας φόρτισης είναι πιο κατάλληλη μέθοδος. Οι He et al. (2015) εκπόνησαν ένα μοντέλο ισορροπίας δικτύου για να προσδιορίσουν τη θέση των σταθμών φόρτισης σε αστικές περιοχές. Οι Alhazmi et al. (2017) επέκτειναν το FCLM με το εύρος υπηρεσιών των σταθμών φόρτισης. Το μειονέκτημα της εφαρμογής του FCLM είναι ότι απαιτεί τεράστιο όγκο δεδομένων σχετικά με τις συνθήκες ταξιδιού. Ωστόσο, σήμερα, τα συστήματα παρακολούθησης οχημάτων είναι ευρέως διαδεδομένα, επομένως τα δεδομένα κίνησης σε πραγματικό χρόνο ενδέχεται να είναι διαθέσιμα. Οι Cai et al. (2014), Shahraki et al. (2015) και οι Yin και Zhao (2016) ανέλυσαν τις τροχιές σε πραγματικό χρόνο που συγκεντρώθηκαν από ένα σύστημα παρακολούθησης οχημάτων. Οι Huang et al. (2016) παρουσίασαν μια μέθοδο γεωγραφικής τμηματοποίησης. Σε περίπτωση χρήσης FCLM, ένας πίνακας O-D καταγράφεται, εάν υπάρχει, ένας καλός συνδυασμός κόμβων όπου το όχημα δεν μένει ποτέ από ενέργεια. Τα μοντέλα με βάση τα σημεία υποθέτουν ότι η ζήτηση συγκεντρώνεται σε σημεία. Το μειονέκτημα της προσέγγισης είναι ότι αγνοεί τις χωρικές ιδιότητες της ζήτησης. Οι Ip και Liu (2010) χρησιμοποίησαν μια ιεραρχική ανάλυση για να μετατρέψουν την κυκλοφορία σε ένα πλέγμα. Οι Ge et al. (2011) πρότειναν μια παρόμοια μέθοδο κατανομής πλέγματος και έλαβαν υπόψη την πυκνότητα της κυκλοφορίας και την απώλεια του χρήστη στο δρόμο για το σταθμό φόρτισης. Το κύριο μειονέκτημα αυτών των μεθόδων είναι ότι η ζήτηση φόρτισης σχετίζεται με την κίνηση. Ωστόσο, η απώλεια χρόνου λόγω φόρτισης είναι χαμηλότερη όταν το αυτοκίνητο είναι ήδη σε θέση στάθμευσης. Οι Frade et al. (2011) καθόρισαν τη ζήτηση φόρτισης κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας για κάθε συγκρότημα κατοικιών σε μια αστική περιοχή. Οι Chen et al. (2013) πρότειναν τη βέλτιστη θέση των σταθμών φόρτισης χρησιμοποιώντας μικτό προγραμματισμό. Συνέδεσαν τη ζήτηση φόρτισης με τη ζήτηση στάθμευσης, η οποία είναι συνάρτηση διαφόρων μεταβλητών, όπως η πυκνότητα απασχόλησης, η χρέωση στάθμευσης, ο αριθμός των κοντινών στάσεων λεωφορείων. Οι Andrenacci et al. (2016) επικεντρώθηκαν στις συνθήκες στάθμευσης. Χρησιμοποίησαν μια ανάλυση πλέγματος για τη βέλτιστη ανάπτυξη σταθμών φόρτισης στους προορισμούς των μετακινήσεων I.X. σε αστικές περιοχές. Ωστόσο, η διάρκεια στάθμευσης δεν ελήφθη υπόψη. Ομοίως, οι Zhu et al. (2016) ανέπτυξαν δίκτυο φορτιστών κοντά στους χώρους στάθμευσης ελαχιστοποιώντας το άθροισμα του κόστους εγκατάστασης και του κόστους ταξιδιού των χρηστών EV. Οι Shirmohammadli and Vallée (2017) εστίασαν στο χώρο στάθμευσης αξιολογώντας τις δυνατότητες των κοντινών εγκαταστάσεων στη βάση διαφόρων παραγόντων. Οι Gavranović et al. (2014) παρουσίασαν ένα μοντέλο για να προτείνουν τοποθεσίες εγκατάστασης λαμβάνοντας υπόψη τον πληθυσμό.

## 2.5. Σύνοψη Ανασκόπησης βιβλιογραφίας

Από τις παραπάνω παραγράφους γίνεται αντιληπτό πως η ζήτηση για φόρτιση επηρεάζεται πρωτίστως από τον βαθμό της διείσδυσης και τη ζήτηση των ηλεκτρικών οχημάτων στην αγορά. Αναλύοντας τα χαρακτηριστικά και την αυτονομία των ηλεκτρικών οχημάτων, μπορεί να επιτευχθεί η σωστή οργάνωση και χωροθέτηση των υποδομών φόρτισης στο οδικό δίκτυο και συγκεκριμένα σε χώρους στάθμευσης με ανοιχτή προσέλευση. Κυρίως στόχοι της χωροθέτησης και διαχείρισης της φόρτισης αποτελούν τόσο η προσέλκυση νέων οδηγών για αγορά ηλεκτρικού οχήματος, όσο και η μεγιστοποίηση του κέρδους των φορέων διαχείρισης των υποδομών. Στην παρούσα εργασία δίνεται μεγαλύτερη έμφαση στην μεγιστοποίηση του κέρδους του χώρου στάθμευσης μέσω της δυνατότητας ταυτόχρονης στάθμευσης και φόρτισης του οχήματος. Παρ' όλ' αυτά, για την μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα του χώρου, είναι απαραίτητη η ικανοποίηση των οδηγών, όπου και λήφθηκε υπόψιν προσπαθώντας να διατηρηθούν τα επίπεδα απόρριψης αυτών σε χαμηλά επίπεδα.

## Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>: Θεωρητικό Υπόβαθρο

### 3.1. Ανάλυση Χώρων Στάθμευσης

#### 3.1.1. Σημασία και Χαρακτηριστικά της Στάθμευσης

Το φαινόμενο της στάθμευσης αποτελεί ένα διαχρονικά εξελισσόμενο ζήτημα που επηρεάζει όχι μόνο την ποιότητα της μεταφοράς, αλλά και την προσβασιμότητα και την λειτουργικότητα κάθε πιθανού προορισμού κυρίως στον κεντρικό αστικό τομέα. Η καθολική εδραίωση του αυτοκίνητου ως μέσου μεταφοράς για τις αστικές μετακινήσεις ανάγει το ζήτημα της στάθμευσης σε μείζον αντικείμενο ενδιαφέροντος για τους σχεδιαστές συστημάτων μεταφορών αλλά και για τις τοπικές αρχές που επωμίζονται την ευθύνη της εύρυθμης λειτουργίας του οδικού δικτύου.

Ένα όχημα εκτός του χρόνου οδήγησης του, περνά τις περισσότερες ώρες του σταθμευμένο. Η στάθμευση είναι τμήμα των μετακινήσεων και, γενικότερα, του συστήματος μεταφορών. Επομένως, τα χαρακτηριστικά της είναι συνάρτηση παραγόντων τόσο δημογραφικών (πληθυσμός, δείκτης ιδιοκτησίας αυτοκίνητου, μέσο κατά κεφαλήν εισόδημα κ.λπ.), όσο και ποιοτικών (τρόπος ζωής, χρήσεις γης κ.λπ.).

Η σημασία της στάθμευσης φαίνεται τόσο από τον χώρο που διατίθεται γι' αυτήν όσο και από το χρόνο που το αυτοκίνητο βρίσκεται σε στάθμευση σε σχέση με το χρόνο κίνησης του. Για τη στάθμευση ενός επιβατικού αυτοκινήτου χρειάζεται επιφάνεια περίπου 25τ.μ., συμπεριλαμβανομένων και των χώρων που είναι απαραίτητοι για πρόσβαση και ελιγμούς, ενώ η διάρκεια που παραμένει σταθμευμένο ένα όχημα, καλύπτει πάνω από το 90% του συνολικού χρόνου ζωής του (Φραντζεσκάκης, 2002)). Για την εξεύρεση μιας θέσης στάθμευσης, ο οδηγός καλείται να διανύσει μεγάλες αποστάσεις έως ότου να βρει μια θέση κοντά στον προορισμό του και σε λογική τιμή. Το αντίτιμο έναντι του οποίου προσφέρεται το αγαθό της στάθμευσης είναι ένας από τους λόγους που ωθεί τον οδηγό στην εύρεση θέσης στάθμευσης εκτός των χώρων στάθμευσης. Οι υψηλές τιμές των αντιτίμων σε κλειστούς χώρους στάθμευσης αποθαρρύνει τους πιθανούς χρήστες και τους οδηγεί σε ευρύτερη αναζήτηση θέσης με αποτέλεσμα να επιβαρύνεται το οδικό δίκτυο και να εντείνεται η κυκλοφοριακή συμφόρηση μιας και η ταχύτητα των οδηγών προς εύρεση θέσης στάθμευσης είναι χαμηλή. Αντίστοιχα, χώροι που παρέχουν θέσεις στάθμευσης με χαμηλότερο αντίτιμο ή και δωρεάν φτάνουν τη μέγιστη χωρητικότητα τους πολύ γρήγορα και πολλές φορές παρατηρείται υπερεκμετάλλευση των θέσεων αυτών, μη αποφέροντας το επιθυμητό κέρδος. Ως απόρροια αυτών προκύπτει πως η κατάλληλη αυξομείωση του αντιτίμου είναι ένα μέτρο πολιτικής στάθμευσης που μπορεί να επιφέρει την επιθυμητή διαχείριση του ζητήματος της στάθμευσης, ειδικότερα σε κεντρικές περιοχές μεγάλων αστικών κέντρων. Ολοκληρώνοντας με τη σημασία της στάθμευσης, σημαντική είναι η αναφορά μας στην ασφάλεια που πρέπει να παρέχεται στο σταθμευμένο όχημα. Ο οδηγός σταθμεύοντας σε μια θέση όπου πληροί τις προδιαγραφές μιας «ασφαλούς θέσης στάθμευσης» νιώθει προστασία και πρόκειται να χρησιμοποιήσει για περισσότερες ώρες τη θέση μη επιβαρύνοντας τη κυκλοφορία.

Όπως διαφαίνεται, η στάθμευση είναι ένα ζήτημα πολλών παραμέτρων με πολλές προεκτάσεις. Οι ορισμοί και συμβολισμοί των κυριότερων χαρακτηριστικών στάθμευσης, όπως καθορίζονται σε σχετική έρευνα του Εθνικού Μετσόβιου Πανεπιστημίου (ΕΜΠ) αναφέρονται από τον Φραντζεσκάκη (Φραντζεσκάκης, 2002) ως εξής:

- **Μέγεθος χώρου στάθμευσης**

Στο μέγεθος του χώρου εισάγεται ο αριθμός των οχημάτων που μπορεί να εξυπηρετήσει.

- **Προσφορά θέσεων στάθμευσης P (Parking Supply).**

Ορίζεται ως ο αριθμός των νόμιμων θέσεων στάθμευσης σε μια περιοχή ή σε ένα χώρο στάθμευσης. Ονομάζεται και ως η χωρητικότητα στάθμευσης ενός χώρου και χαρακτηρίζεται ως Ιδιωτική (Private) αν διατίθεται μόνο για τους χώρους που προβλέπεται να εξυπηρετήσει (π.χ. κάτοικοι, υπάλληλοι ή επισκέπτες των χώρων αυτών) ή ως Δημόσια (Public) αν διατίθεται για το ευρύ κοινό, με ή χωρίς πληρωμή.

- **Ζήτηση θέσεων στάθμευσης Z (Parking demand).**

Ορίζεται ως ο αριθμός των οχημάτων των οποίων επιθυμούν να σταθμεύσουν σε μια περιοχή ή ένα χώρο στάθμευσης κατά τη διάρκεια μιας ορισμένης χρονικής περιόδου. Συνήθως διακρίνεται σε μικρής διάρκειας (short term) όταν η διάρκεια είναι μικρότερη από δύο ή τρεις ώρες (π.χ. επισκέπτες, πελάτες) και μεγάλης διάρκειας (long term) όταν η διάρκεια είναι μεγαλύτερη (π.χ. εργαζόμενοι, κάτοικοι). Για την διατήρηση μιας μέσης τιμής της ζήτησης μπορεί να προστεθεί και τρίτη κατηγορία μέσης διάρκειας (medium term), συνήθως για διάρκεια από τρεις έως πέντε ώρες.

- **Ισοζύγιο στάθμευσης.**

Θεωρείται η διαφορά μεταξύ της προσφοράς και της ζήτησης, μετρημένη σε θέσεις στάθμευσης. Διακρίνεται σε περίσσεια θέσεων στάθμευσης P-Z ( $P > Z$ ) (Parking surplus) και σε έλλειψη θέσεων στάθμευσης Z-P ( $Z > P$ ) (Parking deficiency).

- **Συνολικός χρόνος στάθμευσης T.**

Ο συνολικός χρόνος στάθμευσης όλων των οχημάτων που σταθμεύουν σε ένα χώρο στάθμευσης σε μία χρονική περίοδο  $\Delta t$ .

- **Όγκος στάθμευσης M (Parking volume).**

Ο συνολικός αριθμός οχημάτων που σταθμεύουν σε μια περιοχή ή χώρο στάθμευσης κατά τη διάρκεια μιας ορισμένης χρονικής περιόδου, συνήθως ενός εικοσιτετράωρου.

- **Συσσώρευση στάθμευσης A (Parking accumulation).**

Ο συνολικός αριθμός των οχημάτων που σταθμεύουν σε μια περιοχή, σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή  $t$ .

- **Μέγιστη συσσώρευση  $\max A$ .**

Η μέγιστη τιμή της συσσώρευσης σε μια περίοδο  $\Delta t$  ( $\max A < P$ ).

- **Διάρκεια στάθμευσης D (Parking duration).**

Η χρονική διάρκεια κατά την οποία ένα όχημα παραμένει στη θέση στάθμευσης.

- **Μέση διάρκεια στάθμευσης D.**

Η μέση διάρκεια στάθμευσης όλων των οχημάτων που στάθμευσαν σε μια περιοχή ή χώρο στάθμευσης σε μια περίοδο  $\Delta t$ .

- **Εναλλαγή στάθμευσης E (Parking turnover).**

Ο αριθμός των διαφορετικών οχημάτων που σταθμεύουν σε μια θέση στάθμευσης σε μια ορισμένη χρονική περίοδο, συνήθως ενός 24ωρου. Μπορεί να εκφράζει το ρυθμό χρησιμοποίησης ενός χώρου στάθμευσης. Η εναλλαγή στάθμευσης εκφράζεται σε φορές ανά θέση π.χ. για ένα εικοσιτετράωρο ο ρυθμός εναλλαγής είναι 3 φορές για μια θέση ή 2.2 φορές κατά μέσον όρο ανά θέση στάθμευσης.

- **Τέλος στάθμευσης (Parking fee).**

Το κόμιστρο που καταβάλλεται για στάθμευση ενός αυτοκινήτου σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα.

- **Απόσταση βαδίσματος (Walking distance).**

Η απόσταση που διανύει ένας οδηγός ή επιβάτης ενός σταθμευμένου αυτοκινήτου πεζός από τη θέση στάθμευσης μέχρι την πλησιέστερη έξοδο από το χώρο στάθμευσης.

- **Σκοπός μετακίνησης (Trip purpose).**

Ο σκοπός για τον οποίο γίνεται η μετακίνηση. Συνήθως διακρίνεται στους παρακάτω βασικούς σκοπούς μετακίνησης όπως εργασία, υποθέσεις, αγορές, κοινωνικά-αναψυχή, εκπαίδευση και λοιπούς.

- **Κατανομή διάρκειας στάθμευσης.**

Κατανομή όλων των σταθμεύσεων που έγιναν σε μια περιοχή ή χώρο στάθμευσης σε μία χρονική περίοδο, συνήθως ένα 24ωρο, ανάλογα με τη διάρκεια κάθε στάθμευσης. Μπορεί να αναφέρεται σε διάφορες κατηγορίες χρηστών (π.χ. νόμιμη/ παράνομη στάθμευση, διάφοροι σκοποί μετακίνησης κλπ.).

- **Συντελεστής διεϊσδυσης (Σ.Δ.):**

Αναφέρεται ως το σύνολο των οχημάτων που είναι ηλεκτρικά σε σχέση με το σύνολο των συμβατικών οχημάτων. Παίρνει τιμές από 0 έως 1. Σύμφωνα με την ποσότητα των ηλεκτρικών αυτοκινήτων που κυκλοφορούν αυτή τη στιγμή στην Ελλάδα η τιμή του συντελεστή είναι στο 0,07 αφού τα ηλεκτρικά οχήματα είναι πολύ λιγότερα σε σχέση με τα συμβατικά αυτοκίνητα.

- **Συντελεστής Φόρτισης (Σ.Φ.)**

Περιγράφει την ποσότητα των ηλεκτρικών οχημάτων που πρόκειται να χρησιμοποιήσουν δημόσια υποδομή φόρτισης. Σαν συντελεστής είναι αυθαίρετος όμως η έννοια του είναι

σημαντική από την άποψη του ότι μέσω αυτού μπορεί να εκτιμηθεί ο αριθμός των υποδομών ώστε να καλύπτει επαρκώς τη ζήτηση. Παίρνει τιμές από 0 έως 1.

### 3.1.2. Ανάγκη Δημιουργίας Χωρών Στάθμευσης

Οι προσφερόμενες θέσεις στάθμευσης, ειδικότερα στα κέντρα των μεγάλων πόλεων, είναι σε κάθε περίπτωση λίγες για να καλύψουν την ολοένα αυξανόμενη, σύμφωνα με την άνοδο του δείκτη ιδιοκτησίας Ι.Χ. οχημάτων, ζήτηση για στάθμευση. Η ανεξέλεγκτη συσσώρευση οχημάτων σε περιοχές πολλών δραστηριοτήτων και η υπερφόρτωση των οδικών δικτύων των αστικών κέντρων προκαλούν βαριές συνέπειες στην κυκλοφορία. Οι δυσμενείς προεκτάσεις της δύσκολης και χρονοβόρας ανεύρεσης θέσης στάθμευσης είναι πολλές στους οδηγούς, στους πεζούς αλλά και στο περιβάλλον προκαλώντας ψυχική επιφόρτιση, όχληση - οπτική και ακουστική - στους οδηγών και τους πεζούς, ενώ μπορεί να προκαλέσει αύξηση των ατυχημάτων και καθυστέρηση της περάτωσης των δραστηριοτήτων των μετακινούμενων. Τα προαναφερθέντα ήταν αρκετά ώστε να προκαλέσουν το ενδιαφέρον πολλών φορέων της κοινωνίας (στην Ελλάδα αυτό έγινε πριν 35 χρόνια και το 1985 ιδρύθηκε Ειδική Υπηρεσία Δημοσίων Έργων Σταθμών Αυτοκινήτων- Ε. Υ. Δ. Ε. - Σ. Α.) όπως την πολιτεία, τη τοπική αυτοδιοίκηση, τις επιστημονικές κοινότητες, ακόμα και μεγάλες εταιρείες και τοπικούς επιχειρηματίες, αφού κάθε υπαρκτή ανάγκη δημιουργεί ευκαιρίες εκμετάλλευσής της με σκοπό το κέρδος.

Καθώς είναι μαθηματικά αδύνατο να ικανοποιηθεί στο σύνολό της η ζήτηση για στάθμευση και αφού κατανοήθηκε ότι το θέμα της στάθμευσης έχει πολλές προεκτάσεις, η αντιμετώπισή του διεθνώς γίνεται μέσω της συσχέτισής του με άλλα ζητήματα και παραμέτρους, όπως της γενικότερης διαχείρισης της κυκλοφορίας σε μεγάλα αστικά κέντρα, της αποθάρρυνσης της χρήσης του Ι.Χ. αυτοκινήτου με την παράλληλη βελτίωση των δημόσιων συγκοινωνιών, τις πολιτικές αποκέντρωσης στις οποίες μπορεί να στοχεύουν οι Δήμοι, τη διαχείριση των υφιστάμενων θέσεων στάθμευσης βάσει μελέτης και προηγούμενης εμπειρίας, την κατασκευή δημόσιων- ιδιωτικών σταθμών αυτοκινήτων κ.ά. Η ανάγκη για θέσεις στάθμευσης, που δημιουργήθηκε έντονη με την αύξηση του αριθμού των κυκλοφορόντων οχημάτων, ειδικότερα στην Ελλάδα, οδήγησε στη σποραδική δημιουργία χώρων αποκλειστικά για στάθμευση, όχι απαραίτητα από κρατικό φορέα αλλά κυρίως από ιδιώτες επιχειρηματίες. Με βάση και την εμπειρία του εξωτερικού, κυρίως μετά το 1991, οι συγκοινωνιολόγοι εκπονούσαν μελέτες με στόχο τη σωστή επιλογή των σημείων στα οποία θα δημιουργούνταν πολυώροφοι σταθμοί αυτοκινήτων για την κάλυψη της ζήτησης. Τέτοιοι σταθμοί οχημάτων χρηματοδοτούνταν κυρίως από ιδιώτες επιχειρηματίες που εκμεταλλεύονταν το σταθμό για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα μετά την κατασκευή του, η λεγομένη σύμβαση παραχώρησης.

Όπως αναφέρθηκε και στο αρχικό κεφάλαιο της εργασίας, οι χώροι στάθμευσης εξυπηρετούν κυρίως βενζινοκίνητα οχήματα, μιας και αποτελούν το πιο διαδεδομένο μέσο μετακίνησης αλλά παράλληλα και το πιο ρυπογόνο. Η αντικατάσταση των συμβατικών αυτοκινήτων από αμιγώς ηλεκτρικά ή και υβριδικά αυτοκίνητα παρουσιάζει προφανή περιβαλλοντικά



πλεονεκτήματα, ιδιαίτερα όταν για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται καθαρές μορφές ενέργειας. Για την προώθηση της ηλεκτροκίνησης καταβάλλονται ιδιαίτερες προσπάθειες ώστε να ακολουθήσουμε τις εξελίξεις ενσωματώνοντας σχετικούς Νόμους και διατάξεις που αφορούν το θέμα της ηλεκτροκίνησης (Knoflacher, 2006). Στην παρούσα εργασία γίνεται μια προσπάθεια προώθησης του τομέα μέσω της εξασφάλισης θέσεων στάθμευσης εντός ιδιωτικών χώρων δημόσιας πρόσβασης. Είναι σημαντικό να δοθούν επιχειρηματικά και οικονομικά κίνητρα και στους πιθανούς αγοραστές ηλεκτρικών οχημάτων αλλά και στους παρόχους υπηρεσιών ώστε όλη αυτή η διαδικασία να επιταχυνθεί. Στο επόμενο υποκεφάλαιο δίνεται η κατηγοριοποίηση των χώρων στάθμευσης, ενώ στη συνέχεια αναλύονται οι μελέτες διαχείρισης που υλοποιούνται καθώς και η οικονομική προσέγγιση των χώρων στάθμευσης αναλύοντας τα οφέλη αλλά και τους πιθανούς κίνδυνους μετατροπής ενός καθαρά συμβατικού χώρου στάθμευσης, σε χώρο με δυνατότητα προσέλκυσης ηλεκτρικών οχημάτων.

### 3.1.3. Κατηγορίες Χώρων Στάθμευσης

Οι κατηγορίες στις οποίες μπορούν να διακριθούν οι χώροι στάθμευσης κατηγοριοποιούνται βάσει:

- της θέσης τους μέσα στον οικιστικό ιστό: Χώρους επί της οδού και χώρους εκτός της οδού, δηλαδή χώροι που βρίσκονται εντός του οδικού δικτύου των αστικών κέντρων (συνήθως δίπλα από το πεζοδρόμιο) και χώροι που βρίσκονται εκτός του οδικού δικτύου (π.χ. ειδικά δομήματα). Ειδικότερα, οι χώροι στάθμευσης επί της οδού μπορούν να διαιρεθούν περαιτέρω ανάλογα με το αν ελέγχεται η στάθμευση ή όχι. Μπορούν να διαιρεθούν με τη σειρά τους σε χώρους χωρίς περιορισμό (unrestricted) και σε χώρους με περιορισμό (restricted). Προχωρώντας, μπορούμε να διακρίνουμε τους τελευταίους σε ελεγχόμενους με παρκόμετρο (meter controlled) και σε ελεγχόμενους από την αστυνομία (police controlled), οι οποίοι αστυνομεύονται σύμφωνα με τις ενδείξεις των απαγορευτικών ή περιοριστικών πινακίδων (Faddel S. A.-A. A., 2017). Οι χώροι στάθμευσης εκτός οδού οι οποίοι πληρούν κάποιες συγκεκριμένες προϋποθέσεις ονομάζονται και σταθμοί αυτοκινήτων και υποδιαιρούνται σε στεγασμένους και σε υπαίθριους. Ως στεγασμένος σταθμός αυτοκινήτων χαρακτηρίζεται μια εγκατάσταση η οποία περιλαμβάνει στεγασμένο χώρο ωφέλιμης επιφάνειας άνω των 100 τ.μ. ο οποίος είναι κλειστός ή μερικώς ανοικτός και χρησιμοποιείται για στάθμευση κάποιων ωρών ή και ημερών.. Ως υπαίθριος χώρος στάθμευσης χαρακτηρίζεται ο ακάλυπτος χώρος ο οποίος χρησιμοποιείται για στάθμευση κάποιων ωρών ή και ημερών.
- του ιδιοκτησιακού καθεστώτος τους: Δημόσιους, δηλαδή χώροι στάθμευσης οι οποίοι ανήκουν σε κάποιο δημόσιο φορέα (π.χ. δήμο, κοινότητα) και εξυπηρετούν τους πολίτες της περιοχής οι οποίοι κάνουν χρήση ενός τέτοιου χώρου με ή χωρίς αντίτιμο. Ιδιωτικούς, δηλαδή χώροι οι οποίοι δημιουργήθηκαν από ιδιώτες με σκοπό το οικονομικό κέρδος, είτε ιδιωτικοί χώροι στάθμευσης διαφόρων εταιρειών ή

καταστημάτων οι οποίοι προορίζονται για την εξυπηρέτηση του προσωπικού και των πελατών τους.

- του τρόπου εξυπηρέτησης: Στάθμευση με αυτοεξυπηρέτηση, δηλαδή η στάθμευση του οχήματος διενεργείται από τους ίδιους τους οδηγούς. Στάθμευση από υπαλλήλους, δηλαδή η στάθμευση των οχημάτων γίνεται αποκλειστικά από τους υπαλλήλους της επιχείρησης.
- της θέσης τους σε σχέση με την επιφάνεια του εδάφους: Υπόγειους, ισόγειους και υπέργειους
- του αριθμού των ορόφων τους: Μονώροφους και πολυώροφους. Οι τελευταίοι διακρίνονται ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης των ορόφων σε σταθμούς αυτοκινήτων με ράμπες (ramp garages), με κεκλιμένα επίπεδα (sloping floor garages) και με μηχανικά μέσα (mechanized garages). (Φτεργιώτης, 2010)
- της ύπαρξης ή μη τεχνολογικής υποστήριξης: Χώρους στάθμευσης με ή χωρίς μηχανικά μέσα.

### 3.1.4. Μελέτες διαχείρισης και οργάνωσης της στάθμευσης

Το πρώτο στάδιο υλοποίησης για τη σωστή χωροθέτηση και σχεδιασμό ενός χώρου στάθμευσης αποτελούν η γνώση των χαρακτηριστικών της στάθμευσης και των βασικών αρχών που διέπουν τις ορθές πολιτικές στάθμευσης (Litman, 2006). Οι μελέτες στάθμευσης ορίζουν την τελική χωροθέτηση, το σχεδιασμό και την κατασκευή χώρων στάθμευσης σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική ενότητα. Η εκπόνηση μελετών διαφέρει ανάλογα το είδος του χώρου προς υλοποίηση όπως για παράδειγμα η μελέτη για μεγάλες γεωγραφικές ενότητες και η μελέτη για μεμονωμένους χώρους στάθμευσης.

Οι μελέτες στάθμευσης σε περιοχές χωρίζονται στις παρακάτω δύο κατηγορίες μελετών όπως αναφέρει και ο (Φραντζεσκάκης, 2002):

#### 1) Οι καθολικές μελέτες.

Ως καθολικές μελέτες θεωρούνται εκείνες κατά τις οποίες γίνεται μελέτη σχεδιασμού και οργάνωσης της στάθμευσης σε επίπεδο πόλης ή πολεοδομικού συγκροτήματος. Για την εκπόνησή τους απαιτείται διεξοδική συγκέντρωση και ανάλυση στοιχείων, όπως είναι οι συνεντεύξεις με οδηγούς από τις οποίες προκύπτουν οι πραγματικές ανάγκες στάθμευσης, η υφιστάμενη κατάσταση στάθμευσης, οι χρήσεις γης κ.α. (Φραντζεσκάκης, 2002)).

Το περιεχόμενο τέτοιων ειδών μελετών παρουσιάζεται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 1:Στοιχεία καθολικών μελετών

<b>ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b>	<b>ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ</b>	<b>ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ</b>
Υπάρχουσα προσφορά στάθμευσης Απογραφή χώρων στάθμευσης	Καθορισμός τόπων προορισμού με βάση έρευνες μετακινήσεων	Σχεδιασμός πολιτικής στάθμευσης
Λεπτομερή στοιχεία για χρήση χώρων στάθμευσης Συσώρευση Εναλλαγή	Εκτίμηση ζήτησης (Υπάρχουσας – Μελλοντικής)	Διατύπωση προγράμματος στάθμευσης Αριθμός Θέσεων Στάθμευσης Είδος Θέσεων (Σταθμοί, Παρκόμετρα)
Υφιστάμενη κατάσταση λειτουργίας της προσφοράς Ιδιοκτησία και εκμετάλλευση Τέλη Στάθμευσης		Κόστος εφαρμογής και οικονομική ανάλυση - Δαπάνες (Κατασκευής Λειτουργίας) - Εισπράξεις
Προσδιορισμός ζήτησης στάθμευσης Διάρκεια στάθμευσης Σκοπό μετακίνησης Απόσταση βαδίσματος		Πρόγραμμα τρόπου εφαρμογής Οργάνωση φορέων Καθιέρωση κινήτρων

## 2) Οι περιορισμένες μελέτες.

Βάσει των καθολικών μελετών εξετάζονται και οι περιορισμένες μελέτες, οι οποίες αποτελούν μια απλουστευμένη διαδικασία λήψης αποφάσεων (Παπαγιάννης, 2006).

## 3) Μελέτες μεμονωμένων χώρων στάθμευσης

Ως μελέτες μεμονωμένων χώρων στάθμευσης ονομάζονται εκείνες που πραγματοποιούνται με σκοπό το καθορισμό της σωστής θέσης, μεγέθους και γενικής διάταξης του χώρου. Στις συγκεκριμένες μελέτες λαμβάνονται υπόψιν διάφορα μέτρα και νομοθεσίες, τα οποία αφορούν ζητήματα πολεοδομικού, κυκλοφοριακού, θεσμικού ή νομικού χαρακτήρα. Ολοκληρώνονται μελετώντας τη συνολική αξιολόγηση της επένδυσης και αν τελικά είναι βιώσιμη η επιλογή σχεδιασμού ενός τέτοιου έργου.

Οι μελέτες των μεμονωμένων χώρων στάθμευσης διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

### α) Τεχνικοοικονομικές μελέτες σκοπιμότητας της επένδυσης

Ως τεχνικοοικονομικές μελέτες σκοπιμότητας της επένδυσης θεωρούνται εκείνες σύμφωνα με τις οποίες πραγματοποιείται μια συνολική ανάλυση των χωρικών, συγκοινωνιακών δεδομένων καθώς και των δεδομένων της στάθμευσης μιας περιοχής και εξετάζεται η σκοπιμότητα δημιουργίας χώρου στάθμευσης σε αυτήν. Σύμφωνα με τον (Φραντζεσκάκης, 2002) είναι απαραίτητη η ορθή ταξινόμηση των χώρων στάθμευσης, έτσι ώστε να γίνεται εφικτή η στάθμευση για όλα τα είδη των μέσων μεταφοράς. Η διαδικασία αυτή της ταξινόμησης

εξαρτάται από την τεχνικό-οικονομική μελέτη σκοπιμότητας όπου γίνεται προσπάθεια εύρεσης των διάφορων παραμέτρων που συνδέονται με μία καλή απόδοση της μελέτης σκοπιμότητας. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τον (Φραντζεσκάκης, 2002) μια ολοκληρωμένη μελέτη σκοπιμότητας μελετά τις ακόλουθες παραμέτρους:

Πίνακας 2:Παράμετροι μελέτης σκοπιμότητας

προσφορά	ζήτηση	εναλλαγή	έλλειψη
περίσσεια	συσσώρευση στάθμευσης	διάρκεια και ενδεχόμενο τέλος στάθμευσης	σκοπός μετακίνησης

Σκοπός μίας τέτοιας μελέτης είναι ο καθορισμός του τρόπου με τον οποίο θα επηρεαστούν τα κέρδη του συγκεκριμένου χώρου στάθμευσης από τον ανταγωνισμό. Ο ανταγωνισμός προκύπτει είτε από την ύπαρξη άλλων ιδιωτικών χώρων στάθμευσης που βρίσκονται κοντά στην περιοχή, είτε λόγω των προτιμήσεων των οδηγών που δεν επιθυμούν να σταθμεύουν στο συγκεκριμένο χώρο στάθμευσης(στάθμευση πι της οδού, χαμηλότερο ωριαίο κόμιστρο). Μια από τις εξίσου σημαντικές παραμέτρους του ανταγωνισμού είναι οι συνθήκες ασφαλείας για τα σταθμευμένα αυτοκίνητα. Ολοκληρώνοντας την μελέτη, ελέγχονται δυο βασικοί παράμετροι που χαρακτηρίζουν έναν χώρο στάθμευσης. Αυτοί είναι το μέγεθος της αγοράς που μπορεί να απορροφήσει ο συγκεκριμένος χώρος στάθμευσης και τα αναμενόμενα έσοδα από αυτόν. Η σύγκριση αυτών των εσόδων με τα αναμενόμενα έξοδα που πρόκειται να έχει η επένδυση, μπορεί τελικά να δώσει τα κατάλληλο χρηματοδοτικό σχήμα.

Η διαδικασία προσδιορισμού του κέρδους καταλήγει στην συνολική αξιολόγηση της επένδυσης που καθορίζεται από έναν εσωτερικό βαθμό απόδοσης (IRR). Η διαδικασία αυτή μπορεί να υπολογίσει την εσωτερική απόδοση της επένδυσης και αν τελικά είναι βιώσιμη και σωστή η επιλογή σχεδιασμού ενός τέτοιου έργου.

#### β) Οι μελέτες των κτιριακών εγκαταστάσεων

Η μελέτη κατασκευής ενός χώρου στάθμευσης αυτοκινήτων εκπονείται, σε γενικές γραμμές, όπως και μια αντίστοιχη μελέτη ενός οποιουδήποτε κτιρίου. Η θέση, το μέγεθος και η γενική διάταξη του χώρου έχουν ήδη καθοριστεί κατά το στάδιο της τεχνικοοικονομικής μελέτης και σύμφωνα με τα δεδομένα της επιλεγμένης λύσης, καταρτίζεται η προμελέτη του έργου στην οποία οριστικοποιούνται η διάταξη και οι διαστάσεις του κτιρίου και ακολουθεί η οριστική μελέτη. Τέλος, τόσο η προμελέτη όσο και η οριστική μελέτη απαιτούν τη συνεργασία διάφορων ερευνητών και ειδικοτήτων όπως του αρχιτέκτονα, του πολιτικού μηχανικού, του μηχανολόγου-ηλεκτρολόγου και συγκοινωνιολόγου. (Φραντζεσκάκης, 2002).

Ολοκληρώνοντας με τις μελέτες σχεδιασμού, η δημιουργία ενός χώρου στάθμευσης από την αρχική διατύπωση του ζητήματος μέχρι και την τελική υλοποίηση και κατασκευή του αποτελεί μια χρονοβόρα και δύσκολη διαδικασία, η οποία όμως είναι απαραίτητη για την βέλτιστη λύση του προβλήματος της στάθμευσης. Ο σημαντικότερος παράγοντας για τη διεξαγωγή μελετών εγκαταστάσεων χώρων στάθμευσης είναι ο σαφής προσδιορισμός της γεωγραφικής διάστασης η οποία θα μελετηθεί. Βάση αυτού του προσδιορισμού καθορίζονται με ευκρίνεια οι

προβληματικές σε στάθμευση περιοχές, η ζήτηση στάθμευσης και η υφιστάμενη προσφορά της εξεταζόμενης περιοχής και στη συνέχεια οροθετούνται οι στόχοι για την κάλυψη της εκτιμώμενης ζήτησης για στάθμευση. Ένας δεύτερος παράγοντας που επηρεάζει το σχεδιασμό των μελετών είναι η χρονική διάρκεια των ερευνών. Όσο πιο μεγάλο είναι το χρονικό διάστημα στο οποίο διεξάγονται οι έρευνες για τη συλλογή στοιχείων τόσο πιο εμπειριστατωμένα θα είναι και τα συμπεράσματα τα οποία θα προκύψουν από αυτές (Φραντζεσκάκης, 2002).

### 3.1.5. Προσέγγιση Οικονομικής Βιωσιμότητας Χωρών Στάθμευσης

Για την πραγματοποίηση οποιουδήποτε έργου, σκόπιμη είναι η μελέτη και αξιολόγηση του, η οποία θα δίνει απαντήσεις στα ερωτήματα του γιατί να πραγματοποιηθεί το έργο τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή και ποια θα είναι τα λειτουργικά και τεχνικά χαρακτηριστικά του (JURICA BABIC, 2018). Ο απώτερος στόχος κατά την διαδικασία υλοποίησης ενός έργου είναι η αύξηση της οικονομικής ευημερίας, η οποία πραγματοποιείται με την κατανάλωση ή τη χρήση περισσότερων αγαθών και υπηρεσιών. Κατά την μελέτη σκοπιμότητας ενός έργου δίνεται μεγάλη σημασία στα σχέδια επένδυσης, γιατί αυτά αποτελούν τους κεντρικούς αγωγούς της αύξησης και ροής των αγαθών και υπηρεσιών, επομένως και της οικονομικής ευημερίας.

Ως επενδυτικό σχέδιο ορίζεται μια πολυσύνθετη δραστηριότητα, κατά την οποία ένας επιχειρηματικός φορέας (επενδυτής) μέσα από μια σειρά από καλά σχεδιασμένες αποφάσεις και ενέργειες δημιουργεί μια νέα μονάδα ή επεκτείνει μια υφιστάμενη, αξιοποιώντας τους διαθέσιμους πόρους με συγκεκριμένο χρόνο ζωής που παράγει αγαθά και υπηρεσίες, στα οποία υπάρχει ζήτηση.

Οι προαναφερθέντες πόροι που χρησιμοποιούνται είναι οι εισροές ή αλλιώς κόστος της επένδυσης. Οι παραγόμενες υπηρεσίες αποτελούν τις εκροές ή ωφέλειες της επένδυσης. Ως βασική μεγέθη ενός σχεδίου επένδυσης θεωρούνται τα έξοδα και τα έσοδα του έργου, τα οποία αποτελούν και το βασικό κριτήριο αξιολόγησης μιας επένδυσης.

Ως έξοδα ορίζονται τα άμεσα και έμμεσα κόστη του σχεδίου επένδυσης. Το άμεσο κόστος φανερώνει τη δαπάνη οικονομικών πόρων για τη δημιουργία του σχεδίου επένδυσης καθώς και τη παραγωγική λειτουργία του (το λειτουργικό κόστος του). Το έμμεσο κόστος φανερώνει τις αρνητικές δευτερογενείς επιπτώσεις (αρνητικές διαχύσεις), που προκύπτουν από το σχέδιο επένδυσης (π.χ. αλλοίωση του φυσικού περιβάλλοντος, καταστροφή αρχαιολογικών χώρων κ.α.).

Ως έσοδα ορίζονται οι άμεσες και έμμεσες ωφέλειες του σχεδίου επένδυσης. Ως άμεσες ωφέλειες χαρακτηρίζονται όλα τα έσοδα από την πώληση και αξιοποίηση των αγαθών και υπηρεσιών που παράγει εάν σχέδιο επένδυσης. Οι έμμεσες ωφέλειες περιλαμβάνουν όλες τις θετικές αναπτυξιακές επιδράσεις (θετικές διαχύσεις), όπως για παράδειγμα τη χρησιμοποίηση των παραγόμενων αγαθών και υπηρεσιών για την ανάπτυξη άλλων δραστηριοτήτων, την τεχνική πρόοδο της από τη αξιοποίηση προχωρημένης τεχνολογίας κλπ. (Θεοφανίδης, 2002).

Έχοντας αναλύσει τις έννοιες ενός επενδυτικού πλάνου, σειρά έχει η αξιολόγηση του. Όπως προαναφέραμε, η επένδυση οφείλει να μεγιστοποιεί την οικονομική ευημερία. Η αξιολόγηση, λοιπόν, ενός έργου γίνεται από την πλευρά του επενδυτικού φορέα (ιδιωτική-χρηματική αξιολόγηση) και από την πλευρά της εθνικής οικονομίας ή του κοινωνικού συνόλου (Κοινωνική-Οικονομική Αξιολόγηση).

Στην ιδιωτική -χρηματική αξιολόγηση εξετάζεται το αν η επένδυση απέφερε χρηματικό κέρδος στον επιχειρηματία-επενδυτή για την πρωτοβουλία και το ρίσκο που πήρε και για τα κεφάλαια τα οποία διέθεσε. Σκοπός είναι πάντα η ιδιωτική αποδοτικότητα, δηλαδή το αν και κατά πόσο είναι κερδοφόρο για την επιχείρηση ή τον επενδυτικό φορέα. Γίνεται βάσει των τιμών που ισχύουν την συγκεκριμένη χρονική περίοδο στην αγορά και στηρίζεται στις ταμειακές ροές των σχεδίων επένδυσης.

Στην κοινωνική – οικονομική αξιολόγηση εξετάζεται το αν οι διαθέσιμοι πόροι χρησιμοποιήθηκαν στην καλύτερη εναλλακτική χρήση τους για την κοινωνία καθώς και το αν ικανοποιήθηκαν οι στόχοι του κοινωνικού συνόλου, όπως την παραγωγή κοινωνικά επιθυμητών αγαθών, την ορθή κατανομή των πόρων για μακροβιότητα κ.α. η αξιολόγηση γίνεται βάσει των τιμών της αγοράς αλλά με άλλες εκτιμώμενες τιμές με τη χρήση εθνικών παραμέτρων.

Έχοντας αναλύσει τα χαρακτηριστικά των επενδυτικών σχεδίων, μπορούν να αναφερθούν πιο συγκεκριμένα τα βασικά δεδομένα στα οποία στηρίζεται η ανάλυση βιωσιμότητας ενός χώρου στάθμευσης. Βασικά κριτήρια αποτελούν το κόστος κατασκευής και συντήρησης των υποδομών εντός του χώρου, το χρηματοδοτικό σχήμα για την υλοποίηση του έργου, τα αναμενόμενα έσοδα και οι αναμενόμενες δαπάνες λειτουργίας του. Συγκεκριμένα, η περιοχή μελέτης που εξετάζεται στην παρούσα εργασία αφορά έναν υπάρχον χώρο στάθμευσης οπού θα παραχωρήσει έναν αριθμό θέσεων του σε ηλεκτρικά οχήματα. Για την βέλτιστη προσέγγιση αυτών, σκόπιμη είναι η εγκατάσταση υποδομών φόρτισης, ώστε να μπορεί το όχημα να καλύψει πλήρως τις ανάγκες του. Η αγορά και συντήρηση των υποδομών φόρτισης αποτελεί ένα μεγάλο κόστος για το χώρο στάθμευσης, το οποίο ο επενδυτικός φορέας οφείλει να αποσβέσει σε πάροδο ενός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος λειτουργίας. Κατά την υλοποίηση του μαθηματικού μοντέλου, θα ληφθούν υπόψιν τα κόστη αλλά και τα έσοδα από το διαχωρισμό των θέσεων στάθμευσης. Για τη σύγκριση των εσόδων και εξόδων τη νέου έργου θα χρησιμοποιηθεί και το ποσοστό απόρριψης των συμβατικών οχημάτων λόγω μη εύρεσης διαθέσιμης θέσης.

Οι ωφέλειες και οι δαπάνες αναφέρονται σε όλη την οικονομική ζωή του έργου. Για την αξιολόγηση, λοιπόν, για μια μακρά περίοδο εκμετάλλευσης, θα ληφθεί υπόψιν η σε συνάρτηση με το χρόνο απομείωσης αξία του χρήματος. Τα ποσά θα εκφράζονται σε σταθερές τιμές αναγόμενες στο αρχικό έτος της επένδυσης(έτος αναφοράς). Η διαδικασία αυτή ονομάζεται επικαιροποίηση ωφελειών και δαπανών, ενώ γίνεται μέσω του ανατοκισμού χρησιμοποιώντας ως επιτόκιο αναγωγής το ευκαιριακό κόστος του χρήματος. Η επένδυση θα αξιολογηθεί σε βάθος 10 ετών, και για την υλοποίηση της θα εφαρμοστεί το μαθηματικό μοντέλο της εργασίας για την μεγιστοποίηση του καθαρού κέρδους (Εισροές – Εκροές).

Για τη μελέτη της οικονομικής βιωσιμότητας του έργου, υπολογίζεται η παρούσα αξία των εσόδων και εξόδων με σημείο αναφοράς το έτος αγοράς των φορτιστών. Συνήθως, η

πραγματική διάρκεια ζωής των σταθμών φόρτισης είναι τα 10 χρόνια, για αυτό και η περίοδος αν τοκισμού για τον έλεγχο βιωσιμότητας της επένδυσης θεωρείται  $n=10$ . Δεδομένου πως το μεγαλύτερο μέρος των δαπανών πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του χώρου στάθμευσης, τα αντίστοιχα ποσά των εσόδων και εξόδων πρέπει να προσαρμοστούν ανάλογα με τον αν τοκισμό. Συγκεκριμένα, για τον υπολογισμό της μελλοντικής χρηματοοικονομικής αξίας χρησιμοποιείται ο παρακάτω τύπος:

$$P = A * (1 + i_{eff})^{-n}$$

Όπου  $P$  η αξία στο έτος αναφοράς,  $A$  η μελλοντική αξία,  $i_{eff}$  το ετήσιο επιτόκιο και  $n$  ο αριθμός των περιόδων(ετών) αν τοκισμού.

Το ετήσιο επιτόκιο υπολογίζεται βάσει του επίσημου επιτοκίου και του πληθωρισμού:

$$i_{eff} = \frac{1 + i}{1 + i_{inf}} - 1$$

Όπου  $i$  το επίσημο επιτόκιο που ισούται με 10% (Εθνική Τράπεζα της Ελλάδος) και  $i_{inf}$  ο πληθωρισμός. Στην Ελλάδα ο πληθωρισμός είναι 2% σύμφωνα με (Trading Economics, n.d.).

Ως εκ τούτου, τα έσοδα από την υπηρεσία στάθμευσης, τα χαμένα κέρδη από της μη εξυπηρετούμενους οδηγούς καθώς και τα έξοδα συντήρησης κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του έργου υπολογίζονται ως εξής:

Παρούσα Αξία εσόδων συμβατικών οχημάτων:  $I_{q_1}' = I_{q_1} * (1 + i_{eff})^{-n}$

Παρούσα Αξία εσόδων ηλεκτρικών οχημάτων:  $I_{q_2}' = I_{q_2} * (1 + i_{eff})^{-n}$

Παρούσα Αξία χαμένων εσόδων συμβατικών οχημάτων:  $I'_{RR_1} = I_{RR_1} * (1 + i_{eff})^{-n}$

Παρούσα Αξία χαμένων εσόδων ηλεκτρικών οχημάτων:

$$I_{RR_2}' = I_{RR_2} * (1 + i_{eff})^{-n}$$

Παρούσα Αξία κόστους αγοράς και εγκατάστασης φορτιστών:

$$C_{φορτιστη}' = C_{φορτιστη} * (1 + i_{eff})^{-n}$$

Παρούσα Αξία κόστους συντήρησης φορτιστών:

$$C_{συντηρησης}' = C_{συντηρησης} * (1 + i_{eff})^{-n}$$

Παρούσα Αξία κόστους ενέργειας:

$$C_{ενεργειας}' = C_{ενεργειας} * (1 + i_{eff})^{-n}$$

### 3.2. Η ηλεκτροκίνηση ως επιλογή μετακίνησης στις σύγχρονες πόλεις

Η στροφή προς την πράσινη οικονομία μοιάζει αναγκαία για την συνέχιση της οικονομικής ανάπτυξης τον 21ο αιώνα. Με τον όρο πράσινη οικονομία ορίζεται η οικονομία όπου η κοινωνία χρησιμοποιεί αποδοτικά τους πόρους, βελτιώνοντας την ανθρώπινη ευημερία σε μια κοινωνία χωρίς αποκλεισμούς ενώ παράλληλα διαφυλάσσει τα φυσικά συστήματα που μας συντηρούν (Περιβάλλοντος, 2020). Ακόμη και από τον ορισμό γίνεται αντιληπτό πως η ενέργεια αποτελεί βασικό πεδίο μεταρρυθμίσεων σε αυτή την προσπάθεια. Η μείωση της ενέργειας που καταναλώνεται αλλά και η αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων που την τροφοδοτούν από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι απαραίτητη. Στην ΕΕ οι συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με το 1990 έχουν μειωθεί σχεδόν σε κάθε οικονομικό τομέα (Roser, 2016). Το μεγαλύτερο ποσοστό των εκπεμπόμενων εκ των μεταφορών ρύπων οφείλεται στις οδικές μετακινήσεις με ποσοστό 71% το 2018, ωστόσο αυτό αναμένεται να ανατραπεί τα επόμενα χρόνια καθώς ο ρυθμός απεξάρτησης αυτών από των άνθρακα είναι ταχύτερος από άλλους κλάδους μεταφορών, κατά βάση λόγω του σχεδιαζόμενου εξηλεκτρισμού τους. Την μεγαλύτερη αύξηση στην εκπομπή ρύπων στο διάστημα 1990-2018 κατείχε η αεροπορία με 118.5%, καθώς οι πτήσεις χαμηλού κόστους αύξησαν σημαντικά τα αεροπορικά ταξίδια εντός της ηπείρου. Δεν είναι λίγες οι περιπτώσεις που ακόμη και για εγχώριες μετακινήσεις, η αεροπορική επιλογή είναι η πιο οικονομική. Τα αεροπορικά ταξίδια μειώθηκαν κατακόρυφα το 2020 λόγω των περιορισμών στις μετακινήσεις που επέφερε η πανδημία της covid-19. Οι διεθνείς θαλάσσιες μεταφορές αύξησαν τους ρύπους τους κατά 35.9%, ενώ η εγχώρια ναυσιπλοΐα τις μείωσε κατά 26%. Τέλος στις σιδηροδρομικές μεταφορές οι ρύποι μειώθηκαν κατά 66%, καθώς το μεγαλύτερο μέρος του δικτύου έχει εξηλεκτιστεί, καθιστώντας το τρένο, το πιο «πράσινο» μέσο μεταφοράς αυτή την στιγμή. Παρ' ότι λοιπόν η Ευρώπη αποτελεί πρωτοπόρο παγκοσμίως στην ανάπτυξη υποδομών, οι ρύποι από τον τομέα των μετακινήσεων άρχισαν να μειώνονται μόλις το 2007 ενώ παραμένουν υψηλότεροι από τους αντίστοιχους του 1990.

Οι μεταβολές στους ρυθμούς της καθημερινότητας επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τις μετακινήσεις. Στα μεγάλα αστικά κέντρα, οι μετακινήσεις είχαν ταυτιστεί, τις προηγούμενες δεκαετίες, με την χρήση αυτοκινήτων εσωτερικής καύσης, έναν παράγοντα κυκλοφοριακής συμφόρησης και παραγωγής μεγάλων ποσοτήτων GHG επιδεινώνοντας σημαντικά την ποιότητα ζωής στις πυκνές πληθυσμιακές συγκεντρώσεις. Για τον λόγο αυτό, η αστική κινητικότητα αποτελεί πεδίο μεγάλης έρευνας και εφαρμογής διαφόρων πολιτικών. Οικονομικές μελέτες καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι το κόστος της κυκλοφοριακής συμφόρησης για την κοινωνία είναι υψηλό ενώ οικονομικά εκτιμάται σε 270 δισεκατομμύρια ευρώ ετησίως στην ΕΕ (Foundation, 2020). Συμπερασματικά, προκύπτει πως όσο ομαλότερη είναι η αστική κυκλοφορία, τόσο αυξάνονται οι πιθανότητες οικονομικής ανάπτυξης της. Μια ελεύθερη ροή κυκλοφορίας μπορεί να αυξήσει την παραγωγή έως και κατά 30% σε περιοχές με έντονη κυκλοφοριακή συμφόρηση.

Η απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα στις μεταφορές με την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και την υιοθέτηση από τους πολίτες συνηθειών, που εναρμονίζονται με τα πλαίσια της βιώσιμης κινητικότητας θεωρείται απαραίτητη στον σύγχρονο συγκοινωνιακό σχεδιασμό. Η βιώσιμη κινητικότητα μπορεί να οριστεί ως το σύστημα μεταφορών που παρέχει τα μέσα και τις



δυνατότητες ικανοποίησης των οικονομικών, περιβαλλοντικών και κοινωνικών αναγκών αποτελεσματικά και δίκαια, ενώ ταυτόχρονα ελαχιστοποιεί τις αρνητικές συνέπειες και το αντίστοιχο κόστος τους, στις διάφορες χωροχρονικές κλίμακες. Πρόκειται λοιπόν για ένα σύστημα που ανταποκρίνεται στις ανάγκες της κοινωνίας και στοχεύει την αξιοποίηση της παρούσας κατάστασης για το μέλλον.

Προσπάθειες για την επίτευξη λειτουργίας ενός τέτοιου συστήματος γίνονται με την εφαρμογή μέτρων πολιτικής μετακίνησης και χρήσης γης. Η προώθηση του περπατήματος, του ποδηλάτου και γενικότερα της ανάπτυξης μιας νέας ιεραρχίας όσον αφορά τις μετακινήσεις μπορεί να επιτευχθεί μέσω της ορθής ανακατανομής του χώρου προς όφελος των ΜΜΜ. Στόχος της βιώσιμης κινητικότητας είναι η εξισορρόπηση χρήσης και η ιεραρχική δομή των μέσων μεταφοράς, σύμφωνα με την οποία οι πεζοί, τα ποδήλατα προηγούνται σε σχέση με τα αλλά μέσα και γίνεται προσπάθεια διασφάλισης λογικών χρόνων μετακίνησης σε ένα αξιόπιστο σύστημα μεταφορών βασισμένο πάντα στις αρχές που διέπουν την βιώσιμη κινητικότητα. Η εφαρμογή ελεγχόμενης στάθμευσης και αστικών διοδίων μπορεί να διαμορφώσει τη βιώσιμη συμπεριφορά των πολιτών. Όσον αφορά την σωστή χρήση γης, η μείωση αποστάσεων μπορεί να ωφελήσει στην προώθηση της βιώσιμης κινητικότητας. Στόχος είναι η διαμόρφωση πόλεων που εκ της δομής τους θα ευνοούν την υιοθέτηση πρακτικών βιώσιμης κινητικότητας από τους κατοίκους τους. Παρέμβαση εδώ μπορεί να υλοποιηθεί με την ορθή χωρομέτρηση των κατοικιών σε σχέση με τα ΜΜΜ και την αύξηση της πυκνότητας δόμησης. Να σημειωθεί πως δεν προτείνεται η απαγόρευση της χρήσης ιδιωτικού οχήματος, αλλά ο σχεδιασμός πόλεων που θα αποθαρρύνει την ασύστολη χρήση του.

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε πως η χρήση του Ι.Χ. οφείλει να μειωθεί σε ένα σύστημα βιώσιμης κινητικότητας. Παρόλα αυτά, όσον αφορά τα ηλεκτρικά οχήματα, τα περιβαλλοντικά τους οφέλη στην ποιότητα μιας πόλης είναι σημαντικά. Η ανάπτυξη ωστόσο της ηλεκτροκίνησης μόνο δεν μπορεί να λύσει το πρόβλημα στο σύνολό του. Έρευνες έχουν δείξει πως η αντικατάσταση του υπάρχοντος στόλου οχημάτων εσωτερικής καύσης από ηλεκτρικά στο προσεχές μέλλον θα είχε μάλλον αρνητικά αποτελέσματα για τις πόλεις και την κυκλοφορία σε αυτές. Πέρα από το χαμηλό λειτουργικό κόστος, οι τεχνολογική πρόοδος πρόκειται σύντομα να καταστήσει τις μπαταρίες που εξασφαλίζουν υψηλή αυτονομία στα η/ο σημαντικά φθηνότερες. Έτσι η απόκτηση και η οικονομικότερη κυκλοφορία των οχημάτων, αναμένεται να αυξήσει την οδήγηση. Κάτι τέτοιο θα επιβαρύνει με ακόμη περισσότερη συμφόρηση τα ήδη κορεσμένα αστικά κέντρα, αυξάνοντας τον χρόνο μετακίνησης με μηχανοκίνητα μέσα. Μια τέτοια κατάσταση αφαιρεί από την προσπελασιμότητα της πόλης, δυσχεραίνοντας την επικοινωνία των πληθυσμών, αυξάνοντας τις κοινωνικές ανισότητες.

Μια νέα απελευθέρωση στις μετακινήσεις των Ι.Χ. θα ενίσχυε την αστική διάχυση, λόγω της επιθυμίας των οδηγών να εκμεταλλευτούν το χαμηλό κόστος των ηλεκτρικών οχημάτων. Ωστόσο η ηλεκτροκίνηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο προς την αντίθετη κατεύθυνση. Η εγκαθίδρυση του ηλεκτροκίνητου ως ένα μέσου μεταφορών μεγαλύτερης συλλογικότητας μπορεί να αποσυνδέσει τον σημερινό κάτοικο των πόλεων από την σημερινή σχέση του με την ιδιοκτησία οχήματος, και να συμβάλει ουσιαστικά στην ανάπτυξη πιο συμπαγών αστικών μορφών. Οι συγκοινωνιακές ανάγκες είναι τόσο μεγάλες που οι προαναφερθείσες πρακτικές θα πρέπει να λειτουργήσουν συμπληρωματικά μεταξύ τους. Η μείωση των μετακινήσεων και η αύξηση της συμμετοχής των ΜΜΜ είναι αναγκαία. Ωστόσο

η χρήση μηχανοκίνητων μέσων δεν γίνεται να εξαλειφθεί, τόσο για τις δυνατότητες πρόσβασης που προσφέρει όσο και για οικονομικούς λόγους. Τα οχήματα εναλλακτικών καυσίμων έχουν την δυνατότητα να διατηρήσουν σε μεγάλο βαθμό την άνεση και την αυτονομία κινήσεων που προσφέρουν τα συμβατικά οχήματα, μειώνοντας ωστόσο την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου και αναβαθμίζοντας τον περιβαλλοντικό χαρακτήρα των αστικών κέντρων.

Συνεπώς σήμερα η επίδραση των οδικών μεταφορών στην κλιματική αλλαγή είναι ένα σημαντικό ζήτημα που προσελκύει την προσοχή των ερευνητών. Η επιθυμία για μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης, που σχετίζεται με τις μεταφορές, οδήγησε σε καθαρές και ενεργειακά αποδοτικές τεχνολογίες, την οδήγηση με υβριδικές ή ηλεκτρικές μονάδες μπαταρίας. Οι 2 κατηγορίες ηλεκτρικών οχημάτων είναι: τα Ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας (BEV) ή αλλιώς αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα που χρησιμοποιούν για την κίνηση τους μόνο ηλεκτρικούς κινητήρες αντί για κινητήρες εσωτερικής καύσης και τα Υβριδικά Ηλεκτρικά οχήματα (HEV) που είναι συνδυασμός βενζινοκίνητου ή πετρελαιοκίνητου οχήματος με ηλεκτρικό. Η χρήση υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων και ιδιαίτερα ηλεκτρικών οχημάτων μπαταρίας (Electric Vehicles, EV) μειώνει τις εκπομπές αερίων ρύπων σε αρκετές ευρωπαϊκές χώρες (Skrcucany et al., 2017; Canals et al., 2016). Παρά τα εξαιρετικά πλεονεκτήματα των ηλεκτρικών οχημάτων, άλλα μειονεκτήματα εξακολουθούν να θεωρούνται σημαντικό εμπόδιο (Knez et al., 2014). Εκτός από οικονομικά ζητήματα όπως η υψηλή τιμή αγοράς, η έλλειψη ενός δικτύου κατάλληλων υποδομών για φόρτιση είναι το σημαντικότερο πρόβλημα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η διάδοση της αγοράς ηλεκτρικών οχημάτων είναι χαμηλότερη από τις προσδοκίες. Χωρίς μια μαζική αγορά, δεν αναμένεται να πραγματοποιηθούν ολοκληρωμένες εγκαταστάσεις υποδομών για τις αντίστοιχες φορτίσεις. Ως εκ τούτου, η θέση ενός δημόσιου προσβάσιμου σταθμού φόρτισης έχει σημαντική επιρροή στην εξάπλωση των ηλεκτρικών οχημάτων.

Διακρίνουμε τους τύπους ζήτησης για φόρτιση με βάση τον χρόνο και τον τόπο που προκύπτει η ζήτηση αυτή:

- Απαίτηση μεταξύ πόλεων: κατά τη διάρκεια ταξιδιού μεγάλων αποστάσεων.
- Ενδοκοινοτική ζήτηση: στο τέλος διαδρομών μικρών αποστάσεων.

Η κύρια διαφορά μεταξύ των τύπων ζήτησης σχετικά με τη φόρτιση είναι το κίνητρο. Σε περίπτωση διαδρομών μεγάλων αποστάσεων, ο οδηγός πρέπει να διακόψει τη διαδρομή για να φορτίσει το όχημα. Έτσι, το κίνητρο της ζήτησης μεταξύ των πόλεων είναι αποκλειστικά η φόρτιση. Σε περίπτωση ταξιδιού μικρής απόστασης, το όχημα μπορεί να φορτιστεί στο τέλος του ταξιδιού. Έτσι, η επιτυχία της φόρτισης εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του χώρου στάθμευσης. Οι διαφορετικές απαιτήσεις φόρτισης απαιτούν διαφορετικές προσεγγίσεις εντοπισμού σταθμού φόρτισης.

### 3.3. Ανάλυση χωροθέτησης εγκαταστάσεων

Η χωροθέτηση εγκαταστάσεων είναι ένα από τα πιο συνηθισμένα και ιδιαίτερα σημαντικά προβλήματα που καλούνται να αντιμετωπίσουν σήμερα οι επιστήμες της Λήψης Αποφάσεων. Η τοποθεσία που θα επιλεγεί για την δημιουργία μία εγκατάστασης είναι πολύ σημαντική, γιατί καθορίζει την βέλτιστη παροχή υπηρεσιών για τις οποίες σχεδιάστηκε η εγκατάσταση αυτή. Τα οφέλη που απορρέουν από την χωροθέτηση εγκαταστάσεων είναι πολλά και για αυτό το λόγο έχουν πραγματοποιηθεί πολλές μελέτες τα τελευταία χρόνια, οι οποίες αφορούν την ανάπτυξη και την βελτιστοποίηση των υπό σχεδιασμό δικτύων (Kluse & Drexl, 2005). Επομένως, η σημασία της σωστής επιλογής της βέλτιστης τοποθεσίας για την εγκατάσταση μίας λειτουργικής μονάδας ασκεί καθοριστικό ρόλο στην μετέπειτα πορεία και λειτουργία της. Οι εγκαταστάσεις χωροθετούνται με τέτοιο τρόπο, ώστε να ικανοποιούν την ζήτηση, τον ανεφοδιασμό, την κάλυψη περιοχών ή ακόμη και να αλληλοεπιδρούν με την ύπαρξη άλλων εγκαταστάσεων (Klose & Drexl, 2005). Πιο συγκεκριμένα, η επιλογή της βέλτιστης θέσης μίας εγκατάστασης γίνεται μετά από προσεκτική μελέτη, καθώς εξετάζεται μεν μεμονωμένα κάθε εγκατάσταση ως προς τα λειτουργικά της χαρακτηριστικά, σχετίζεται δε και με την ανάπτυξη και τον σχεδιασμό ευρύτερων συστημάτων με βάση την κατανομή των πόρων του συστήματος που εξυπηρετεί. Οι πόροι του συστήματος αποτελούν τα σταθερά σημεία του συστήματος, όπου ανάλογα με το πρόβλημα, αντιπροσωπεύουν άλλες εγκαταστάσεις, αγορές ή μία ή περισσότερες εγκαταστάσεις που πρόκειται να χωροθετηθούν – όπως στην παρούσα μελέτη η χωροθέτηση των φορτιστών – (Plastria, 1995). Ο γενικευμένος όρος, ο οποίος περιγράφει αυτή την διαδικασία αναζήτησης θέσεων για εγκαταστάσεις μέσα σε δίκτυα εξυπηρέτησης είναι: προβλήματα χωροθέτησης – κατανομής (location – allocation problems). Σε τέτοιου είδους προβλήματα ζητείται η χωροθέτηση κέντρων εξυπηρέτησης σε συγκεκριμένο χώρο, με τρόπο τέτοιο, ώστε να καλύπτεται η ζήτηση στον χώρο αυτό με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Ωστόσο, η επιλογή της βέλτιστης τοποθεσίας για την εγκατάσταση μίας λειτουργικής μονάδας, πέραν όλων όσων προαναφέρθηκαν, γίνεται και μέσω μίας πληθώρας κριτηρίων, τα οποία ποικίλουν ανάλογα με το είδος της μονάδας που θα εγκατασταθεί και τις ανάγκες που παρουσιάζει. Στον τομέα των μεταφορών, οι βασικότεροι στόχοι ενός προβλήματος βελτιστοποίησης αποτελούν η μείωση του κόστους μετακίνησης και ταυτόχρονα, η αύξηση της ποσότητας των αγαθών που μεταφέρονται μέσω του δικτύου που μελετάται, όπως και η εξοικονόμηση χρόνου. Από τον ορισμό της χωροθέτησης εγκαταστάσεων προκύπτουν τέσσερα συστατικά που χαρακτηρίζουν τα προβλήματα χωροθέτησης:

1. οι «πελάτες» (customers), οι οποίοι θεωρούνται ότι έχουν τοποθετηθεί σε συγκεκριμένα σημεία του χώρου, έχουν συγκεκριμένη κατανομή και παρουσιάζουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά.
2. οι «μονάδες» ή «εγκαταστάσεις» (facilities) που θα χωροθετηθούν.
3. ο «χώρος» (space) στον οποίο βρίσκονται οι πελάτες και οι μονάδες εγκαταστάσεις που θα χωροθετηθούν.
4. μια «μετρική» (metric), η οποία υποδεικνύει τις αποστάσεις ή τον χρόνο που απαιτείται ανάμεσα στους πελάτες και τις μονάδες-εγκαταστάσεις.

Με μια πιο απλουστευμένη ερμηνεία, θα μπορούσε κανείς να πει ότι επιτυχής επίλυση ενός προβλήματος χωροθέτησης, σημαίνει ότι έχει βρεθεί και επιλεγθεί η καλύτερη τοποθεσία σε

έναν ορισμένο γεωγραφικό χώρο για την τοποθέτηση μιας ή περισσότερων μονάδων με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, ικανοποιώντας συγκεκριμένα κριτήρια και στόχους που αφορούν κυρίως την επιτυχημένη παροχή υπηρεσιών σε καταναμημένους πελάτες. Το πρόβλημα της χωροθέτησης εγκαταστάσεων αντιμετωπίζεται με την διατύπωση και την επίλυση ενός μαθηματικού μοντέλου, το οποίο θα περιλαμβάνει μία σειρά από μεταβλητές, περιορισμούς και μία αντικειμενική συνάρτηση. Απώτερος στόχος είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους μετακίνησης. Η ανάπτυξη μαθηματικών προτύπων και αλγορίθμων τοποθέτησης εγκαταστάσεων κάθε τύπου σε χωρικό ή γεωγραφικό περιβάλλον αναφέρεται ως ανάλυση χωροθέτησης – location analysis.

Η χωροθέτηση εγκαταστάσεων αποτελεί ένα πολυδιάστατο πρόβλημα του οποίου η μεθοδολογική προσέγγιση ποικίλει ανάλογα με τις ανάγκες που παρουσιάζει κάθε πρόβλημα. Η μεθοδολογία που θα εφαρμοστεί καθορίζει την βέλτιστη τοποθεσία των λειτουργικών μονάδων βάσει ορισμένων χωρικά καταναμημένων προϋποθέσεων, οι οποίες αφορούν χαρακτηριστικά του 'χώρου' ή του 'περιβάλλοντος', τα οποία αποτελούν το χωρικό σύστημα ζήτησης υπηρεσιών. Κατόπιν επιλέγονται τα κατάλληλα σημεία μέσω κάποιων συγκεκριμένων μετρήσιμων κριτηρίων. Η επίλυση των μοντέλων χωροθέτησης καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τα κριτήρια που έχουν επιλεγεί, όπως και από την αντικειμενική συνάρτηση που θα χρησιμοποιηθεί, η οποία έχει ως στόχο, όπως προαναφέρθηκε, την βελτιστοποίηση αυτών των κριτηρίων. Κάθε πρόβλημα χωροθέτησης είναι δυνατόν να αντιμετωπιστεί με διάφορους τρόπους, οπότε και μεταβάλλονται οι τρόποι επίλυσης τους λόγω των διαφορετικών κάθε φορά μαθηματικών προτύπων χωροθέτησης – κατανομής που εφαρμόζονται κάθε φορά. Υπάρχει, βέβαια, ένα γενικότερο μεθοδολογικό πλαίσιο, το οποίο βρίσκει εφαρμογή στα περισσότερα προβλήματα χωροθέτησης, και συνοψίζεται στα ακόλουθα βήματα (Rahman and Smith, 2000):

- Κατανόηση και καθορισμός του προβλήματος.
- Εννοιολογική και ποσοτική ανάπτυξη του αντίστοιχου μαθηματικού μοντέλου.
- Ανάλυση του μοντέλου.
- Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων αυτού.
- Εκτέλεση των αποτελεσμάτων.

### 3.4. Χωροθέτηση-κατανομή θέσεων στάθμευσης και σταθμών επαναφόρτισης

Η αντικατάσταση των συμβατικών αυτοκινήτων που λειτουργούν με μηχανές εσωτερικής καύσης από αμιγώς ηλεκτρικά ή και υβριδικά αυτοκίνητα παρουσιάζει προφανή περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα, ιδιαίτερα όταν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται καθαρές μορφές ενέργειας και επιπρόσθετα δοθούν καταλυτικά επιχειρηματικά και οικονομικά κίνητρα ώστε όλη αυτή η διαδικασία να επιταχυνθεί.

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται επιστημονικές μελέτες που ασχολούνται με τις πολιτικές χώρων στάθμευσης που έχουν εφαρμοστεί ή πρόκειται να υλοποιηθούν με στόχο τις βιώσιμες

μεταφορές, ενώ αναλύονται η επίδραση των ηλεκτρικών οχημάτων στο οδικό δίκτυο καθώς και η βέλτιστη μετατροπή και χωρομέτρηση θέσεων στάθμευσης συμβατικών οχημάτων σε ηλεκτρικές.

Το πρόβλημα της χωροθέτησης εγκαταστάσεων αποτελεί ένα πρόβλημα που καλείται να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά ο κλάδος της επιχειρησιακής ερευνάς. Η σημασία της ορθής επιλογής της βέλτιστης τοποθεσίας για μια εγκατάσταση λειτουργικής μονάδας ασκεί καθοριστικό ρόλο στην μετέπειτα πορεία και λειτουργία της. Οι εγκαταστάσεις χωροθετούνται με τέτοιο τρόπο ώστε να ικανοποιούν τη ζήτηση, τον ανεφοδιασμό, την κάλυψη γης και την αλληλεπίδραση με τις υπάρχουσες εγκαταστάσεις. Πιο συγκεκριμένα, η επιλογή της βέλτιστης θέσης γίνεται μετά από προσεκτική μελέτη καθώς πρώτα εξετάζεται μεμονωμένα κάθε εγκατάσταση και έπειτα σχετίζεται με τον σχεδιασμό και ανάπτυξη των ευρύτερων συστημάτων. Ο γενικευμένος όρος, ο οποίος περιγράφει τη διαδικασία αυτή είναι πρόβλημα χωροθέτησης-κατανομής (location-allocation problem). Στην κατηγορία αυτή ανήκουν και τα προβλήματα κάλυψης (Covering Problems). Σε τέτοιου είδους προβλήματα ζητείται η χωροθέτηση του ελάχιστου αριθμού κέντρων εξυπηρέτησης ώστε να καλύπτεται η ζήτηση στον χώρο με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Ένα άλλο μοντέλο χωροθέτησης που καλύπτει το ζητούμενο της παρούσας εργασίας, είναι το πρόβλημα σταθερού κόστους (Fixed Charge Location Problem) σύμφωνα με το οποίο γίνεται ελαχιστοποίηση στα συνολικά κόστη εγκατάστασης και μεταφοράς. Σ' αυτό το πλαίσιο, καθορίζεται ο βέλτιστος αριθμός εγκαταστάσεων και τοποθεσιών τους, καθώς επίσης και οι αναθέσεις της ζήτησης σε κάθε εγκατάσταση (Toregas, 1971).

Ωστόσο, η επιλογή της βέλτιστης θέσης για μια εγκατάσταση γίνεται και μέσω μιας πληθώρας κριτηρίων, τα οποία ποικίλουν ανάλογα το είδος της μονάδας και τις ανάγκες που παρουσιάζει. Στον τομέα των μεταφορών συγκεκριμένα, οι βασικοί στόχοι ενός προβλήματος βελτιστοποίησης είναι η μείωση του κόστους μετακίνησης και η αύξηση της ποσότητας των αγαθών που μεταφέρονται μέσω του δικτύου. Το πρόβλημα της Χωροθέτησης εγκαταστάσεων αντιμετωπίζεται με τη διατύπωση και επίλυση ενός μαθηματικού μοντέλου, το οποίο περιλαμβάνει διαφορετικές μεταβλητές, περιορισμούς και μια αντικειμενική συνάρτηση.

Το πρόβλημα της μαθηματικής θεμελίωσης χωροθέτησης και κατανομής έγινε από τον Fermat (1601-1655) και η πρώτη εφαρμογή του από τον Weber (1909) για τη χωροθέτηση καταστημάτων και αποθηκών μιας επιχείρησης έτσι, ώστε να ελαχιστοποιείται το συνολικό κόστος μεταφοράς των προϊόντων της (Falvo Maria Carmen, 2014).

Η γενική διατύπωση του προβλήματος χωροθέτησης δίνεται στη συνέχεια:

« Με δεδομένο ένα χωρικό σύστημα ζήτησης, να χωροθετηθούν κέντρα παροχής υπηρεσιών και να διαστασιολογηθεί ο χώρος ως προς αυτά τα κέντρα, κατά τον "καλύτερο δυνατό τρόπο", ο οποίος επιτυγχάνεται μέσω της βελτιστοποίησης μιας αντικειμενικής συνάρτησης, όπου μεγιστοποιείται το κέρδος ή ελαχιστοποιείται το χαμένο όφελος από τη χρησιμοποίηση των εν λόγω κέντρων εξυπηρέτησης ».

Τα μοντέλα χωροθέτησης γενικά είναι δύσκολα ως προς την επίλυση τους. Η επίλυση τους καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τα κριτήρια που έχουν επιλεγεί εξ αρχής, όπως και από την αντικειμενική συνάρτηση που χρησιμοποιείται με στόχο την βελτιστοποίηση των επιλεγμένων

κριτήριων. Καθοριστικής σημασίας είναι επίσης ο διαχωρισμός των αναγκών μεταξύ δημοσίων και ιδιωτικών φορέων. Στον ιδιωτικό τομέα, σκοπός είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους ή η μεγιστοποίηση του κέρδους τα οποία μπορεί να αναφέρονται τόσο σε χρηματικό ποσό όσο σε χρόνο και απόσταση. Αντίθετα στον δημόσιο τομέα, αντικειμενικός σκοπός είναι η μεγιστοποίηση του κοινωνικού οφέλους.

Με δεδομένα τα παραπάνω, αντικείμενο της εργασίας αποτελεί ο προσδιορισμός των θέσεων των σταθμών επαναφόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων σε χώρο στάθμευσης και των θέσεων στάθμευσης των οχημάτων που θα εξυπηρετούνται από τους σταθμούς αυτούς. Για τον προσδιορισμό αυτό, είναι αναγκαίο να οριστούν κάποια κριτήρια. Τα κριτήρια αυτά, επιλέγονται με τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερο εύρος παραγόντων που επηρεάζουν την κατανομή αυτή. Η χωροθέτηση των σταθμών φόρτισης μπορεί να ενταχθεί στο πλαίσιο των προβλημάτων υποδομής ανεφοδιασμού καυσίμων.

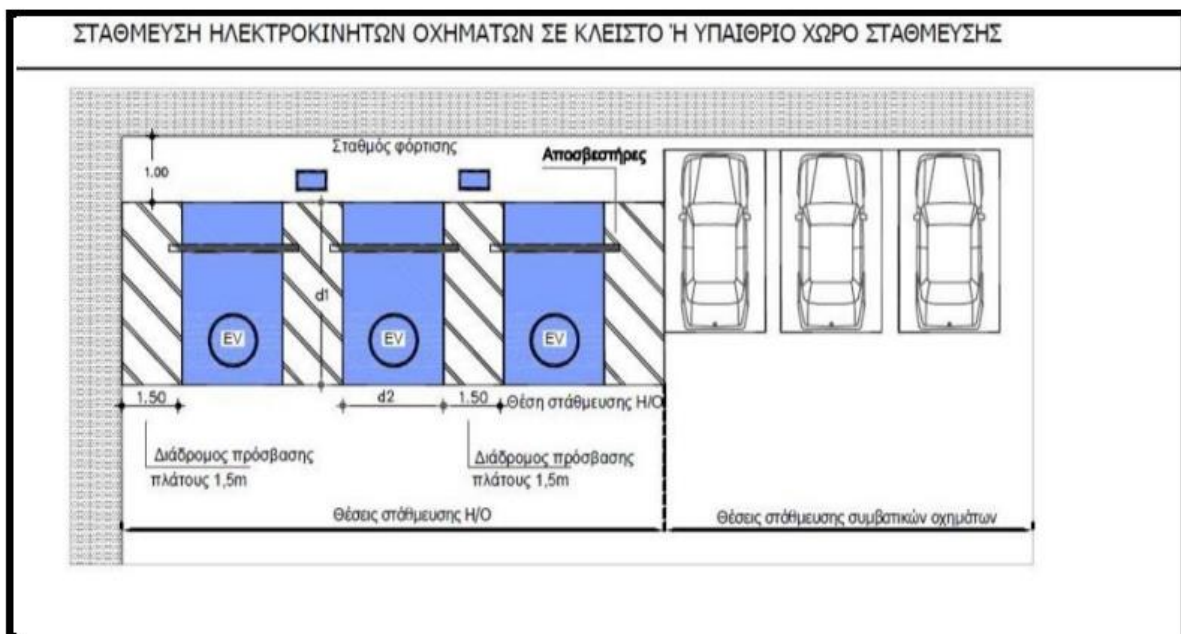
Πολλά κριτήρια έχουν χρησιμοποιηθεί ανά τακτά χρονικά διαστήματα για την επιλογή των κατάλληλων θέσεων σταθμών και θέσεων στάθμευσης ηλεκτρικών οχημάτων. Μερικά από τα κριτήρια που έχουν ληφθεί υπόψιν σε υπάρχουσες έρευνες είναι η πυκνότητα πληθυσμού, οι αποστάσεις περπατήματος από πλησιέστερα σημεία ενδιαφέροντος, η πυκνότητα ελεγχόμενων θέσεων στάθμευσης, οι σταθμοί MMM, τα πρατήρια βενζίνης και οι αξίες γης. Στην παρούσα εργασία, οι θέσεις επαναφόρτισης θα βρίσκονται οριοθετημένα σε συγκεκριμένους χώρους στάθμευσης, οπότε τα κριτήρια επιλογής δεν θα είναι σε μεγάλο βαθμό κριτήρια χωρικού και περιβαλλοντικού χαρακτήρα αλλά κριτήρια κοινωνικού χαρακτήρα.

Αρχικά, βασικό παράγοντα στην επιλογή θέσης αποτελεί η ζήτηση για φόρτιση που έχει κάθε περιοχή. Η ζήτηση αυτή προσδιορίζεται από ένα πλήθος παραγόντων, με κυριότερους αυτούς του εισοδήματος των οδηγών, τις προτιμήσεις στάθμευσης, της κατοχής ή μη οχήματος και ακόμα και του μορφωτικού επιπέδου τους. Επιπρόσθετα, είναι σημαντικό η χωροθέτηση να γίνει βάσει πληρότητας των χώρων στάθμευσης. Η εγκατάσταση και συντήρηση ενός σταθμού φόρτισης απαιτεί ένα σημαντικό ποσό, στο οποίο οφείλει να γίνει απόσβεση, μιας και η ηλεκτρική ενέργεια που παρέχεται σε αυτούς είναι ιδιωτικού φορέα και όπως αναφέρθηκε παραπάνω, στόχος του είναι η μεγιστοποίηση του κέρδους. Ο αναφερόμενος χώρος στάθμευσης αξιολογείται και από πλευράς δημοσίου και ιδιωτικού φορέα, αφού ευθύνη για αυτόν φέρουν και οι δυο. Η εγκατάσταση σε υπάρχοντες χώρους στάθμευσης αποτελεί ιδανική λύση και για λόγους προσβασιμότητας. Η φόρτιση αποτελεί μια χρονοβόρα διαδικασία, με αποτέλεσμα όσο μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού διέρχεται στα σημεία αυτά, τόσο μεγαλύτερος είναι και ο αριθμός των οχημάτων με ανάγκη φόρτισης και παράλληλης στάθμευσης.

Η διαδικασία προσδιορισμού του κατάλληλου αριθμού σταθμών φόρτισης αλλά και η εύρεση της βέλτιστης τοποθεσίας τους αποτελεί μια πολύ σημαντική διαδικασία, λόγω του ότι το κόστος των σταθμών είναι πολύ μεγάλο και για την εγκατάστασή τους πρέπει να πληρούνται ορισμένες τεχνικές απαιτήσεις για την σύνδεση του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι προϋποθέσεις για την εγκατάσταση των υποδομών συνοψίζονται παρακάτω (Jakob, 2020):

- I. Όπως και στην χωροθέτηση δημοσίων σταθμών φόρτισης, το μέγεθος μιας εγκατάστασης πρέπει να συμβαδίζει με τη ζήτηση του χώρου στάθμευσης. Ανάλογα τον βαθμό διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων στην αγορά αλλά και την χωρητικότητα του χώρου, επιλέγεται ο βέλτιστος αριθμός και θέση των υποδομών.
- II. Η χρονική διάρκεια παραμονής ενός οχήματος στη θέση στάθμευσης αποτελεί σημαντική πληροφορία, εφόσον μέσω αυτού προκύπτει ο δείκτης εναλλαγής κάθε θέσης και υπολογίζεται η απαιτούμενη ενέργεια που θα δοθεί στα οχήματα.
- III. Η τιμολογιακή πολιτική που ακολουθεί κάθε χώρος στάθμευσης οφείλει να συμβάλει στην μέγιστη αξιοποίηση των υποδομών, αλλά να μην αποτελεί αποτρεπτικό παράγοντα στην προσέλκυση νέων οδηγών. Όπως σε όλα τα έργα, έτσι και σε ένα χώρο στάθμευσης στόχος είναι η οικονομική και κοινωνική ευημερία.

Ολοκληρώνοντας με την χωροταξική θέση εγκατάστασης των ηλεκτρικών οχημάτων, δίνεται μια ενδεικτική χωροθέτηση θέσεων στάθμευσης και σταθμών επαναφόρτισης σε κλειστό ή υπαίθριο χώρο στάθμευσης:



Εικόνα 3: Ενδεικτική χωροθέτηση θέσεων στάθμευσης και σταθμών επαναφόρτισης σε κλειστό ή υπαίθριο χώρο στάθμευσης

## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>: Προσέγγιση και Μεθοδολογία Επίλυσης του μαθηματικού μοντέλου

### 4.1. Προσέγγιση του προβλήματος

Στη διεθνή βιβλιογραφία έχει αναπτυχθεί πλήθος μεθοδολογιών για την μετατροπή συμβατικών θέσεων στάθμευσης σε θέσεις με δυνατότητα επαναφόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων. Ορισμένες από αυτές της μεθοδολογίες χρησιμοποιούν δεδομένα ζήτησης και προσφοράς ενώ άλλες εστιάζουν σε περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά κριτήρια. Η ανάπτυξη και επέκταση της ηλεκτροκίνησης θα πρέπει να είναι το επόμενο τεχνολογικό βήμα ως της την απεξάρτηση από της ορυκτούς πόρους, και για αυτό χρειάζεται προγραμματισμό και καλά σχεδιασμένες κινήσεις.

Ορισμένες από τις ενέργειες αυτές έχουν ήδη υλοποιηθεί ή πρόκειται να υλοποιηθούν. Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η υλοποίηση μιας κατάλληλης υποδομή φόρτισης που θα επιτρέπει στους ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων να φορτίζουν τις μπαταρίες του οχήματος τους χωρίς να ανησυχούν για τη διαθεσιμότητα σταθμών φόρτισης. Κάθε χώρος στάθμευσης, λοιπόν, μπορεί να αποτελέσει έναν δυνητικό χώρο στάθμευσης και παράλληλης φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων. Σαφώς, τέτοια μοντέλα οφείλουν να ελέγχονται ως προς την κερδοφορίας τους.

Το πρόβλημα των θέσεων στάθμευσης ηλεκτρικών οχημάτων και φόρτισης αυτών απασχολεί ιδιαίτερα τους μηχανικούς σχεδιασμού τα τελευταία χρόνια. Το πρόβλημα της κατανομής – χωροθέτησης ανήκει στην κατηγορία των προβλημάτων, για τα οποία η χωρική διάσταση διαδραματίζει σημαντικό ρόλο. Ως χωρική διάσταση λαμβάνουμε υπόψιν την χωροθέτηση υπηρεσιών, την γεωγραφική αναδιοργάνωση της συστήματος παροχής υπηρεσιών καθώς και τη χωροθέτηση εγκαταστάσεων. Με δεδομένο πως οι σταθμοί που θα παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια στα οχήματα θα είναι δημόσιοι, θεωρούμε λειτουργίες φόρτισης στην παρούσα εργασία τις φορτίσεις τύπου 3 ή 4.

Κάθε σταθμός φόρτισης διαθέτει έναν συγκεκριμένο αριθμό θέσεων φόρτισης, τις οποίες το ηλεκτρικό όχημα έχει την δυνατότητα να σταθμεύσει και να συνδεθεί με το δίκτυο προκειμένου να γεμίσει τη μπαταρία του. Παράλληλα, κάθε σταθμός φόρτισης διαθέτει συγκεκριμένο ποσοστό ενέργειας που μπορεί να εξυπηρετήσει ένα επιθυμητό αριθμό ηλεκτρικών οχημάτων. Για τον κάθε σταθμό θα θεωρήσουμε έναν συγκεκριμένο βαθμό εξυπηρέτησης, ο οποίος ορίζεται ως η δυνατότητα του κάθε σταθμού να εξυπηρετήσει ένα ποσοστό οχημάτων με τρόπο τέτοιο ώστε να φορτιστεί το καθένα με την απαραίτητη ενέργεια που χρειάζεται για να πραγματοποιήσει τις διαδρομές του.

Εκτός από το ενδιαφέρον απέναντι στην χωροθέτηση των σταθμών φόρτισης, κύρια εστία της εργασίας αποτελεί η μεγιστοποίηση του κέρδους του συστήματος στάθμευσης. Κατά την διαδικασία εισαγωγής φορτιστών και περιορισμού ορισμένων θέσεων στάθμευσης μόνο για ηλεκτρικά οχήματα, ο διαχειριστής του χώρου στάθμευσης πρέπει να λάβει υπόψη τον αντίκτυπο αυτών. Εάν ο υπεύθυνος λήψης αποφάσεων αρχίσει να μετατρέπει περισσότερες θέσεις στάθμευσης σε θέσεις στάθμευσης με δυνατότητα φόρτισης από το ποσοστό διείσδυσης



των ηλεκτρικών στην αγορά (και κατ' επέκταση της ζήτησης αυτών για στάθμευση), τότε τα έσοδα από την υπηρεσία φόρτισης θα παραμείνουν αμετάβλητα αφού η ζήτηση για την υπηρεσία φόρτισης έχει ήδη ικανοποιηθεί και το κόστος του χώρου στάθμευσης θα αυξηθεί. Από την άλλη πλευρά, αυτές οι νέες θέσεις στάθμευσης δεν μπορούν πλέον να χρησιμοποιηθούν από συμβατικά οχήματα οπότε τα έσοδα από την υπηρεσία στάθμευσης αρχίζουν να μειώνονται. Αυτό συμβαίνει επειδή τα συμβατικά αρχίζουν να ανταγωνίζονται για θέσεις στάθμευσης, οι οποίες είναι πλέον λιγότερο διαθέσιμες.

Με βάση τα παραπάνω το πρόβλημα διατυπώνεται ως εξής:

**Σε ένα χώρο στάθμευσης να βρεθεί ο απαραίτητος αριθμός των σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων καθώς και η εμβέλειά τους ώστε το σύστημα να επιτυγχάνει την μεγιστοποίηση του κέρδους.**

Απαραίτητη για τη σωστή λειτουργία και βιωσιμότητα του χώρου στάθμευσης παίζει ρόλο η εφαρμογή μιάς ορθολογικής τιμολόγησης που εξαρτάται από ορισμένες παραμέτρους. Στην παρούσα διπλωματική εργασία καταstrώνεται ένα μοντέλο βελτιστοποίησης που χρησιμοποιεί ως δεδομένα της τιμές των κομίστρων για στάθμευση σε ωριαία βάση καθώς και το κόστος εγκατάστασης των σταθμών φόρτισης. Να σημειωθεί πως με τον περιορισμό των θέσεων στάθμευσης, ένα ποσοστό των οχημάτων που εισέρχονται στον χώρο δεν εξυπηρετούνται με αποτέλεσμα να τον εγκαταλείπουν. Στη συνέχεια της εργασίας υπολογίζεται το ποσοστό αυτό απόρριψης και λαμβάνεται υπόψιν ως χαμένο κέρδος του συστήματος.

Προτού πραγματοποιηθεί η ανάλυση των βασικών παραμέτρων και οι συμβολισμοί τους που χρησιμοποιούνται για την εύρεση της βέλτιστης λύσης, κρίνεται χρήσιμο να αναφερθεί η βασική δομή που κατέχουν όλα τα μοντέλα χωροθέτησης, ανεξαρτήτως χρήσης.

Η βασική δομή που κατέχουν όλα τα μοντέλα βελτιστοποίησης περιλαμβάνει τα παρακάτω (Balinski, 1965):

#### Αντικειμενική συνάρτηση

Κάθε μοντέλο περιλαμβάνει μια ή περισσότερες αντικειμενικές συναρτήσεις, οι οποίες επιδιώκεται να ελαχιστοποιηθούν ή να μεγιστοποιηθούν. Κάθε αντικειμενική συνάρτηση εκφράζει τα κριτήρια που πρέπει να βελτιστοποιηθούν για την επιλογή της τοποθεσίας των κέντρων εξυπηρέτησης και για το λόγο αυτό, αποτελεί το μέτρο σύγκρισης για τις διαφορετικές επιλογές που αποτιμώνται και συγκρίνονται. Συνήθως, τα χαρακτηριστικά που βελτιστοποιούνται είναι η απόσταση, ο χρόνος μετακίνησης και το κόστος. Ακόμη, είναι απαραίτητο να επισημανθεί ότι είναι δυνατό δύο διαφορετικές αντικειμενικές συναρτήσεις να έχουν την ίδια βέλτιστη λύση, γιατί το σημείο αυτό προσδιορίζεται ακριβώς από το σύνολο των περιορισμών. Τέλος, αναφέρεται ότι η περίπτωση ανυπαρξίας αντικειμενικής συνάρτησης συνεπάγεται την εύρεση απλώς εφικτής και όχι βέλτιστης λύσης.

#### Σύνολο εφικτών λύσεων

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η προσέγγιση ενός προβλήματος βελτιστοποίησης προϋποθέτει την επιλογή ενός συνόλου υποψήφιων θέσεων για τις μονάδες εξυπηρέτησης με βάση ορισμένες προϋποθέσεις. Το σύνολο εφικτών λύσεων, λοιπόν, αφορά το σύνολο των εφικτών τοποθεσιών για την τοποθέτηση των κέντρων εξυπηρέτησης έτσι ώστε οι εφικτές

περιοχές να πληρούν κάποιες προϋποθέσεις. Από αυτές τις εφικτές θέσεις θα βρεθεί η βέλτιστη λύση που θα ικανοποιεί όλους τους περιορισμούς και θα βελτιστοποιεί την αντικειμενική συνάρτηση.

### Περιορισμοί

Κάθε αντικειμενική συνάρτηση συνοδεύεται από τους περιορισμούς της. Οι περιορισμοί αποτελούν κάποιες συνθήκες που σχηματίζονται ανάλογα με τις απαιτήσεις του προβλήματος και πρέπει να συμπεριληφθούν στο μοντέλο χωροθέτησης και να ικανοποιούνται κατά τη βέλτιστη λύση του. Οι περιορισμοί προκύπτουν από διάφορους παράγοντες, όπως για παράδειγμα από παράγοντες τοπολογίας, οικονομικούς παράγοντες και, γενικά, από ένα σύνολο πολύπλοκων παραγόντων που εξαρτώνται από τη φύση του εκάστοτε προβλήματος. Ορισμένοι κοινοί τύποι περιορισμών που εφαρμόζονται στα μοντέλα χωροθέτησης είναι οι περιορισμοί τοποθεσίας, οι περιορισμοί κάλυψης, οι περιορισμοί ικανοποίησης της ζήτησης και οι περιορισμοί μέγιστου αριθμού κέντρων εξυπηρέτησης.

## 4.2. Περιγραφή Παραμέτρων και Συμβολισμοί

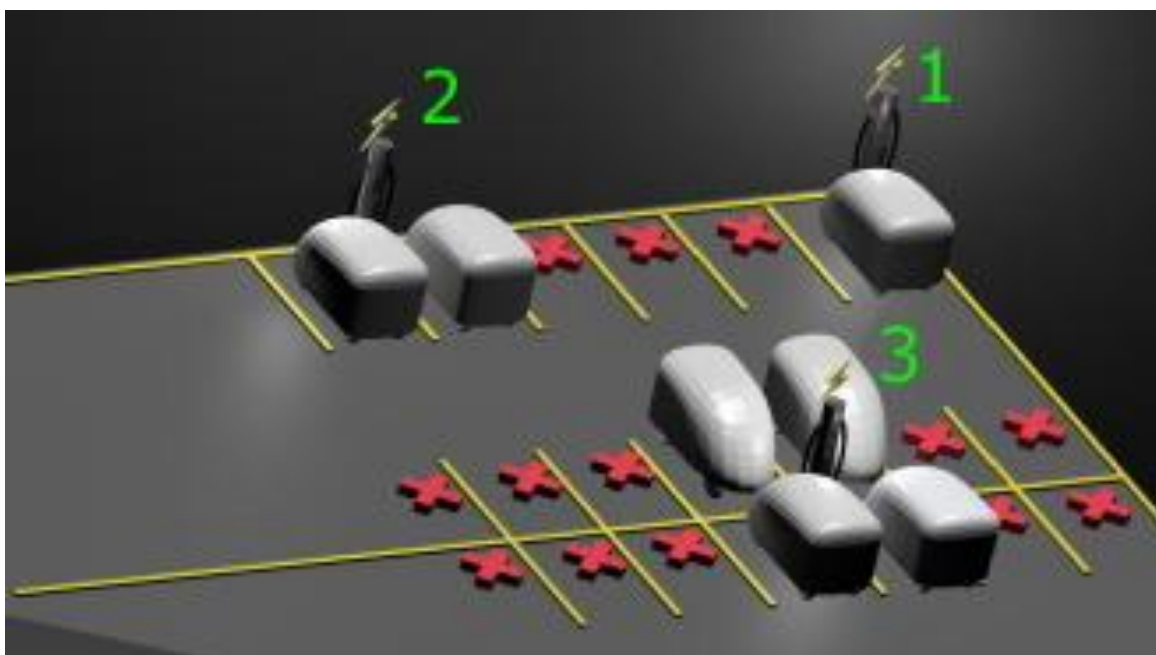
Μετά την ανάλυση της βασικής δομής των μοντέλων βελτιστοποίησης, σκόπιμη είναι η αρχικοποίηση των παραμέτρων και οι συμβολισμοί αυτών για την καλύτερη κατανόηση του προβλήματος. Η προσέγγιση που γίνεται θεωρεί έναν υπάρχον χώρο στάθμευσης σε πολυσύχναστη περιοχή ως περιοχή μελέτης. Ο χώρος αντιστοιχεί σε ένα σύνολο  $K$  θέσεων στάθμευσης και το κόστος στάθμευσης ανα ώρα είναι  $c$ . Ο πληθυσμός ζήτησης αποτελείται από συμβατικά και ηλεκτροκίνητα οχήματα,  $q_1$  και  $q_2$  αντίστοιχα. Εφόσον παρέχεται η δυνατότητα φόρτισης, ένας αριθμός θέσεων συμβατικών οχημάτων θα δοθεί σε κάτοχους ηλεκτρικών,  $K_e$ . Επομένως, οι εναπομένουσες θέσεις στάθμευσης είναι  $K_c = K - K_e$ .

Για να μοντελοποιηθεί η περιοχή μελέτης, ο χώρος στάθμευσης χωρίζεται σε κελιά, δημιουργώντας ένα πλέγμα. Κάθε κελί του κανάβου αντιπροσωπεύει ένα σημείο  $i, j$  όπου  $i$  και  $j$  η κατά μήκος και κατά πλάτος διάσταση μιας θέσης στάθμευσης αντίστοιχα. Το κάθε κελί του κανάβου θα αποτελεί μια θέση στάθμευσης η οποία θα πρέπει να χαρακτηριστεί ως θέση για ηλεκτρικά ή συμβατικά οχήματα.

Ουσιαστικά στο χώρο του μοντέλου εισέρχονται οχήματα με ένα ρυθμό άφιξης  $\rho_1$  και  $\rho_2$  αντίστοιχα μέχρις ότου να φτάσει ο χώρος στάθμευσης τη μέγιστη χωρητικότητα του (δηλ. το μέγεθος του). Αφού περάσει ο μέσος χρόνος στάθμευσης για ένα όχημα, αυτό αποχωρεί από το parking και αφήνει την θέση του στο επόμενο που θα εισέλθει. Το κάθε parking εξυπηρετεί συνολικά έναν αριθμό οχημάτων. Τα ηλεκτρικά οχήματα αυτά προκύπτουν από τον συντελεστή διείσδυσης  $r$  της εκάστοτε χώρας, όπου θεωρείται και το ποσοστό των ηλεκτρικών οχημάτων που καταφθάνουν στο σταθμό.

Για την εγκατάσταση των φορτιστών στις θέσεις στάθμευσης θα επιλεγεί ο βέλτιστος και πιο οικονομικός τρόπος. Οι φορτιστές ανάλογα με τον αριθμό των ακροδεκτών που διαθέτουν μπορούν να φορτίσουν πάνω από ένα όχημα. Στο παρακάτω σχήμα δίνονται τρεις τυπικές

θέσεις σταθμού φόρτισης και η εμβέλεια τους. Η εγκατάσταση στις ακριανές θέσεις του χώρου καθιστά δυνατή τη φόρτιση μόνο ενός οχήματος, ενώ η εγκατάσταση κατά μήκος μιας πλευράς του χώρου καθιστά δυνατή τη φόρτιση δυο οχημάτων ταυτόχρονα. Ο τρίτος τρόπος, παρ' όλ' αυτά φαίνεται πιο αποδοτικός με την εγκατάσταση των σταθμών φόρτισης αναμεσα στις θέσεις στάθμευσης ώστε να υπάρχει η δυνατότητα ταυτόχρονης φόρτισης τεσσάρων οχημάτων. Στην παρούσα εργασία θα υπολογιστεί, ωστόσο, η πραγματική βέλτιστη λύση για την εγκατάσταση των φορτιστών.



Εικόνα 4:Χωροθέτηση υποδομών φόρτισης σε σχέση με τις θέσεις εμβέλειάς τους

Ανάλογα το ποσοστό διείσδυσης και την χωρητικότητα του εκάστοτε χώρου στάθμευσης, ο τρόπος τοποθέτησης μπορεί να ποικίλει. Η αύξηση των ακροδεκτών σε κάθε υποδομή φόρτισης ανεβάζει σημαντικά το κόστος καθεμίας, οπότε χρειάζεται μεγάλη προσοχή και προμελέτη για τη χωροθέτηση τους.

Χάριν απλοποίησης στην παρούσα εργασία θεωρείται ότι μπορεί να γίνει εγκατάσταση φορτιστών με δύο ή και τέσσερις ακροδέκτες όπως συμβαίνει και με τους δημόσιους. Ο αριθμός των φορτιστών, λοιπόν, διαιρείται με το 2 ή 4 αντίστοιχα και στο τέλος με στρογγυλοποίηση προς τα πάνω υπολογίζεται ο αριθμός των φορτιστών.

Πέραν των παραμέτρων του προβλήματος, σειρά έχει ο καθορισμός των μεταβλητών απόφασης. Ως μεταβλητές απόφασης λαμβάνονται οι  $x_i$  και  $y_i$  οι οποίες είναι δυαδικές και ορίζουν αντίστοιχα:

- Η μεταβλητή  $x_i$  παίρνει την τιμή 1 αν γίνει μετατροπή της θέσης συμβατικού οχήματος σε ηλεκτρικού, διαφορετικά λαμβάνει την τιμή 0.
- Η μεταβλητή  $y_i$  παίρνει την τιμή 1 αν γίνει χωροθέτηση φορτιστή στη θέση στάθμευσης ηλεκτρικού οχήματος, διαφορετικά λαμβάνει την τιμή 0.

Στον πίνακα που ακολουθεί, δίνονται οι παράμετροι και οι μεταβλητές απόφασης που χρησιμοποιούνται στο ακόλουθο μαθηματικό μοντέλο:

Πίνακας 3: Παράμετροι και μεταβλητές απόφασης μαθηματικού μοντέλου

<b>Παράμετροι:</b>	
Χωρητικότητα χώρου στάθμευσης	$K$
Θέσεις στάθμευσης για συμβατικά οχήματα	$K_c$
Θέσεις στάθμευσης με δυνατότητα φόρτισης	$K_e$
Αριθμός συμβατικών οχημάτων	$Q_1$
Αριθμός ηλεκτρικών οχημάτων	$Q_2$
Ο ρυθμός άφιξης των ηλεκτρικών οχημάτων στην διάρκεια της ώρας.	$\lambda$
Ο ρυθμός εξυπηρέτησης/αναχώρησης των ηλεκτρικών οχημάτων	$\mu$
Κόστος θέσης συμβατικού οχήματος ανά ώρα	$C_c$
Κόστος θέσης ηλεκτρικού οχήματος	$C_e$
Κόστος φορτιστή	$C_{charger}$
Κόστος εγκατάστασης	$C_I$
Κόστος συντήρησης	$C_S$
Κόστος ενέργειας	$C_E$
Αναλογία ηλεκτρικών οχημάτων εντός της ζήτησης κυκλοφορίας που εισέρχονται στο χώρο (ποσοστό διείσδυσης)	$r$
Ποσοστό απόρριψης συμβατικών οχημάτων	$RR_1$
Ποσοστό απόρριψης ηλεκτρικών οχημάτων	$RR_2$
Ρυθμός άφιξης/αναχώρησης	$\rho$
Ρυθμός εναλλαγής	$N$
Μέσος χρόνος κατάληψης μιας θέσης ανά ημέρα	$T$
$SOC_{MIN}$	Η ελάχιστη επιτρεπόμενη στάθμη της μπαταρίας
$SOC_{MAX}$	Η μέγιστη επιτρεπόμενη στάθμη της μπαταρίας
Χωρητικότητα μπαταρίας	$BC$
Η ενέργεια του ηλεκτρικού οχήματος αναχωρώντας από τον χώρο στάθμευσης	$E$

Μεταβλητές απόφασης	
$x_i$	$= \begin{cases} 0, & \text{θέση στάθμευσης συμβατικού οχήματος} \\ 1, & \text{θέση στάθμευσης ηλεκτρικού οχήματος} \end{cases}$
$y_i$	$= \begin{cases} 0, & \text{θέση χωρίς φορτιστή} \\ 1, & \text{θέση με φορτιστή} \end{cases}$

### 4.3. Ανάλυση Προσφοράς-Ζήτησης Χώρου Στάθμευσης

Ένας χώρος στάθμευσης διαθέτει θέσεις προς ενοικίαση ανά ώρα, οι οποίες οφείλουν να είναι ελκυστικές προς τους οδηγούς ώστε να επιτύχει το μέγιστο δυνατό κέρδος σε βάθος χρόνου. Μια ανάλυση της προσφοράς και της ζήτησης για τους χώρους στάθμευσης στοχεύει στον προσδιορισμό του μεριδίου της αγοράς που είναι διατεθειμένο να «νοικιάσει» το συγκεκριμένο προϊόν.

Στο τρίτο κεφάλαιο του θεωρητικού υποβάθρου δοθήκαν οι εννοιές της προσφοράς και της ζήτησης για στάθμευση, οι οποίοι δίνονται και παρακάτω για υπενθύμιση (Φραντζεσκάκης, 2002):

Ως **προσφορά στάθμευσης** ορίζεται ο αριθμός των νόμιμων θέσεων στάθμευσης που βρίσκονται επί την οδό και της χώρους στάθμευσης εκτός οδού (στεγασμένοι, υπαίθριοι, ιδιωτικοί, δημόσιοι). Οι ιδιωτικοί χώροι στάθμευσης είναι προσβάσιμοι μόνο από μια συγκεκριμένη κατηγορία ατόμων, για παράδειγμα ένα ιδιωτικό πάρκινγκ της καταστήματος το οποίο είναι προσβάσιμο μόνο από της εργαζομένους του. Αντίθετα, της δημόσιος χώρος στάθμευσης είναι προσβάσιμος από όλο το κοινό ανεξάρτητα από την ύπαρξη χρέωσης για τη χρήση του.

Ως **ζήτηση στάθμευσης** ορίζεται το άθροισμα των οδηγών που επιθυμούν να σταθμεύσουν σε μια συγκεκριμένη περιοχή, για μια ορισμένη χρονική περίοδο. Πρακτικά υπολογίζεται ως το άθροισμα των νόμιμα ή παράνομα σταθμευμένων οχημάτων παρά την οδό και της διάφορους χώρους στάθμευσης εκτός οδού.

Η προσφορά και η ζήτηση επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από γεωγραφικούς αλλά και πληθυσμιακούς παράγοντες, ωστόσο, επηρεάζουν ο καθένας με τον δικό του τρόπο τα χαρακτηριστικά της στάθμευσης.

Ο **πληθυσμός της πόλης** είναι ένα ακόμα κριτήριο, το οποίο επηρεάζει σημαντικά τη ζήτηση. Στη σημερινή εποχή η χρήση του επιβατικού ΙΧ είναι πολύ διαδεδομένη καθώς, της είδαμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, στην Ελλάδα κυκλοφορούν περίπου 5 εκατομμύρια αυτοκίνητα (δηλαδή ένα επιβατικό ΙΧ ανά δύο άτομα). Επομένως, είναι λογικό να υποθέσουμε πως όσο μεγαλύτερος είναι ο πληθυσμός μιας πόλης τόσο περισσότερα είναι τα οχήματα που βρίσκονται σε κυκλοφορία και τόσο μεγαλύτερες είναι οι ανάγκες για χώρους στάθμευσης. Ένα ακόμη στοιχείο του πληθυσμού το οποίο είναι αρκετά κρίσιμο είναι αυτό του εισοδήματος. Είναι

αρκετά ξεκάθαρο πως το εισόδημα να είναι στενά συνδεδεμένο με τον δείκτη ιδιοκτησίας ΙΧ, καθώς βλέπουμε ότι όσο μεγαλώνει το εισόδημα της πληθυσμού, μεγαλώνει και ο συγκεκριμένος δείκτης. Στην Ελλάδα τα τελευταία χρόνια λόγω της οικονομικής κρίσης ο δείκτης της φαίνεται να είναι στάσιμος σε αντίθεση με της προηγούμενες δεκαετίες όπου ο δείκτης είχε ανοδική πορεία.

Ο όρος **χρήση γης** περιγράφει την κύρια λειτουργία της οικοπέδου ή της οικοδομικού τετραγώνου ή ακόμα και μιας περιοχής. Οι της γης μιας περιοχής παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της ζήτησης για χώρους στάθμευσης. Κάποιες της γης, της είναι για παράδειγμα το λιανικό εμπόριο, προσελκύουν μεγαλύτερο μέρος της ζήτησης σε σχέση με κάποιες της (βέβαια αυτό της φορές συμβαίνει μόνο συγκεκριμένες ώρες της ημέρας). Από την άλλη μεριά της υπάρχει πολύ μεγάλη διακύμανση στη ζήτηση κατά τη διάρκεια του εικοσιτετράωρου, αναλόγως πάντα και με την κάθε κατηγορία χρήσης γης. Ο χρόνος δηλαδή είναι της ακόμα σημαντικός παράγοντας που επιδρά στη ζήτηση, ο οποίος θα συζητηθεί περαιτέρω και στη συνέχεια.

Επίσης, ο **παράγοντας του χρόνου** επηρεάζει σε αρκετά μεγάλο βαθμό το μέγεθος και την κατανομή της ζήτησης για χώρους στάθμευσης κατά τη διάρκεια του εικοσιτετράωρου, μια κατανομή η οποία είναι στενά συνδεδεμένη με της της γης. Προφανώς, κατά της βραδινές ή της πολύ πρωινές ώρες η ζήτηση για στάθμευση εντοπίζεται κατά πολύ μεγάλο ποσοστό σε περιοχές κατοικίας. Κατά τη διάρκεια της ημέρας της η ζήτηση φαίνεται να μετατοπίζεται κατά ένα πολύ μεγάλο μέρος σε διάφορες της της γης, κυρίως στα εμπορικά καταστήματα, εστιατόρια και αναψυκτήρια.

Στον τομέα των υποδομών, η **θέση του χώρου στάθμευσης** καθορίζει εκ των προτέρων το μέγεθος της ζήτησης που πρόκειται να έχει. Αυτή η θέση δεν μπορεί να είναι μακριά από τον τελικό προορισμό των ατόμων που εξυπηρετεί καθώς κατά αυτόν τον τρόπο η ζήτηση θα μεταφερθεί σε διαφορετικό χώρο στάθμευσης, πιο κοντινό. Επομένως, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η ζήτηση έχει αυξομειώσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας σε κάθε σημείο της πόλης και πως υπάρχουν κάποιες χρονικές περιόδους-ώρες αιχμής κατά της οποίες η ζήτηση φτάνει στο μέγιστο και κάποιες της που πέφτει στο ελάχιστο.

Ολοκληρώνοντας με τα χαρακτηριστικά που επηρεάζουν τη ζήτηση, να αναφερθεί η σύνδεση του **τέλους στάθμευσης** και της **αστυνόμευσης** σε αυτήν.

Η τιμή του κομίστρου και η ζήτηση για στάθμευση είναι μεγέθη αντιστρόφως ανάλογα, σε συνάρτηση πάντα με την τοποθεσία του σταθμού και τη δυνατότητα εξυπηρέτησης της περιοχής από εναλλακτικά μέσα. Επίσης η δυνατότητα ανεύρεσης θέσης στάθμευσης επί της οδού επηρεάζει τη διάθεση του οδηγού να χρησιμοποιήσει τον σταθμό αυτοκινήτου, ανεξαρτήτως τέλους στάθμευσης.

Τέλος, τα χαρακτηριστικά της στάθμευσης επηρεάζονται από τον βαθμό που οι αρμόδιες Αρχές επεμβαίνουν και ρυθμίζουν τη στάθμευση. Τέτοια ρύθμιση γίνεται συνήθως με τη συχνή ενημέρωση των κανονισμών στάθμευσης, όπως και με την κατάλληλη αστυνόμευση που θα εξασφαλίζει τη σωστή εφαρμογή τους.

Για τον προσδιορισμό της ζήτησης εν συναρτήσει των παραπάνω παραγόντων υπολογίζεται και ο συντελεστής εναλλαγής του χώρου στάθμευσης  $\frac{Q}{day}$ . Ο συντελεστής αυτός εκφράζει τον αριθμό των θέσεων ανα μετακίνηση ατόμου με Ι.Χ με προορισμό το κέντρο ενδιαφέροντος. Όταν είναι γνωστός ο συνολικός αριθμός των μετακινήσεων προς τη περιοχή ενδιαφέροντος μιας πόλης και η κατανομή του στους διάφορους τρόπους μετακίνησης, οι σημερινές και μελλοντικές ανάγκες στάθμευσης μπορούν να εκτιμηθούν κατά προσέγγιση με τη χρησιμοποίηση του συντελεστή αυτού.

Προκύπτει, λοιπόν, ο συντελεστής από τη παρακάτω σχέση (Smith W. and Associates και Υπουργείο Δημοσίων Έργων, 1973):

$$\frac{Q}{day} = \frac{d * r * s * c}{(o * e)}$$

Όπου: d : το τμήμα των συνολικών μετακινήσεων μιας ημέρας προς και από το κέντρο, κατά τις ώρες αιχμής. Για τις ΗΠΑ λαμβάνεται ίσος με 0,70. Για την Αθήνα, όπου υπάρχει μεγαλύτερη κίνηση κατά τις πρωινές και απογευματινές ώρες, ο συντελεστής αυτός προκύπτει ίσος με 0,62 (Φραντζεσκάκης, 2002)

r : λόγος της συσσώρευσης στάθμευσης κατά την ώρα αιχμής, προς το συνολικό αριθμό σταθμεύσεων της ημέρας. Ο λόγος αυτός κυμαίνεται στις ΗΠΑ από 0,14 για τις μικρές πόλεις έως 0,54 για τις μεγάλες.

s : συντελεστής εποχιακής διακύμανσης, s = 1,0 - 1,1 για τις ΗΠΑ.

c : συντελεστής θέσης, που εκφράζει το γεγονός της άνισης γεωγραφικής κατανομής των αναγκών στάθμευσης c = 1,0 - 1,1 για τις ΗΠΑ.

μέση πλήρωση των επιβατικών αυτοκινήτων. Στις ΗΠΑ συντελεστής αυτός λαμβάνεται συνήθως ίσος προς 1,5. Στην Ελλάδα είναι μεγαλύτερος και εκτιμάται σε 1,8.

e : συντελεστής χρησιμοποίησης του χώρου. Στις ΗΠΑ ο συντελεστής αυτός λαμβάνεται ίσος με 0,85.

Για τη καλύτερη περιγραφή του μοντέλου που δημιουργήθηκε, χρειάστηκε να οριστούν πρώτα κάποιες από τις βασικές παραμέτρους του προβλήματος. Ο εξεταζόμενος χώρος στάθμευσης θεωρείται πως εξυπηρετεί μια αστική περιοχή, ενώ βρίσκεται κοντά σε εμπορικούς δρόμους και οι εναλλαγές στη στάθμευση είναι αυξημένες. Έτσι, παρουσιάζεται αρχικά η χωρητικότητα K που θα διαθέτει ο χώρος στάθμευσης, ενώ στη συνέχεια, ορίζεται ο αριθμός των θέσεων που δεσμεύονται για κάθε κατηγορία οχήματος στο χώρο αυτό. Ανάλογα με το συνολικό αριθμό των διαθέσιμων θέσεων σε κάθε χώρο, προκύπτουν και οι θέσεις που θα δεσμευτούν για κάθε κατηγορία αντίστοιχα. Όπως είναι λογικό, ο βαθμός διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων επηρεάζει κυρίως τον αριθμό των θέσεων αυτών εντός του χώρου. Θέλοντας να γίνει προώθηση της ηλεκτροκίνησης, παρέχεται όσο το δυνατόν μεγαλύτερος αριθμός θέσεων στα ηλεκτρικά, προσπαθώντας βέβαια να διατηρηθούν τα επίπεδα απόρριψης συμβατικών οχημάτων σε λογικά πλαίσια. Ο αριθμός των συμβατικών θέσεων θα είναι αρκετά μεγαλύτερος σε σχέση με της ηλεκτρικές θέσεις, της είναι λογικό αφού ο βαθμός διείσδυσης αυτών είναι σε χαμηλά επίπεδα ακόμα. Όσον αφορά τον συμβολισμό, παρουσιάζονται με Kc οι θέσεις που θα

δεσμευτούν ως θέσεις συμβατικών οχημάτων εντός του χώρου στάθμευσης και με Key οι θέσεις με δυνατότητα φόρτισης, όπου ουσιαστικά είναι K- Kc θέσεις. Οι θέσεις Ke είναι προστασίες μόνο από ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων ενώ οι Kc θέσεις προστασίες τόσο από συμβατικά όσο και από ηλεκτρικά οχήματα.

Είναι λογικό οι οδηγοί q2 να προτιμούν να σταθμεύσουν σε θέση με δυνατότητα φόρτισης. Καταφθάνουν, λοιπόν, με ρυθμό λ2 έως ότου οι θέσεις καλυφθούν πλήρως. Όταν όλες οι Ke είναι κατειλημμένες τότε οι οδηγοί q2 εισέρχονται στο παρκινγκ με ρυθμό άφιξης ίσο με λ1 όπως οι κάτοχοι συμβατικού οχήματος ώσπου να καλυφθούν και οι Kc θέσεις.

Όσον αφορά στην απελευθέρωση μιας θέσης στάθμευσης, θεωρείται ότι ανά πάσα στιγμή μπορεί να φύγει οποιοσδήποτε πελάτης από οποιοδήποτε θέση στάθμευσης. Θεωρείται ότι ο χρόνος κατά τον οποίο μια θέση είναι κατειλημμένη, είναι μια τυχαία μεταβλητή που ακολουθεί την εκθετική κατανομή με παράμετρο  $\mu$ . Συνεπώς, ο ρυθμός απελευθέρωσης μιας θέσης σε οποιοδήποτε χώρο στάθμευσης είναι  $\mu_1$  και  $\mu_2$  αντίστοιχα.

Για τον υπολογισμό των απαραίτητων θέσεων φόρτισης, πρέπει να ληφθεί υπόψη και ο αριθμός των οχημάτων που δεν θα μπορέσουν να εξυπηρετηθούν. Η εξυπηρέτηση του μέγιστου αριθμού οχημάτων δεν μπορεί οικονομικά να υφίσταται, οπότε παρατηρείται συχνά οι θέσεις φόρτισης να είναι κατειλημμένες και άρα τα οχήματα να εγκαταλείπουν το χώρο. Η περίπτωση αυτή ονομάζεται συμφόρηση. Επομένως το ποσό της διεκπεραιωμένης κίνησης θα είναι μικρότερο από αυτό της προσφερόμενης και θα ισχύει:

*Διεκπεραιωμένη Κίνηση = Προσφερόμενη Κίνηση – Απώλειες*

Το ποσοστό των οχημάτων που δεν εξυπηρετείται θα αναφέρεται στη συνέχεια ως ποσοστό απόρριψης του συστήματος:

$$RR = \frac{\text{Κίνηση που προσφέρθηκε} - \text{Κίνηση που εξυπηρετήθηκε}}{\text{Κίνηση που προσφέρθηκε}},$$

όπου ως ποσοστό χαμένων οχημάτων θα θεωρείται στην εργασία το ποσοστό απόρριψης οχημάτων  $RR_1$  και  $RR_2$ . Ορίζοντας τα δυο αυτά ποσοστά, προκύπτει:

$$RR_1 = \frac{q_1 - \frac{Q_1}{day} * \sum (1 - x)}{q_1} * 100\%$$

(1)

$$RR_2 = \frac{q_2 - \frac{Q_2}{day} * \sum (x)}{q_2} * 100\%$$

(2)



## 4.4. Οι οικονομικές παράμετροι που επηρεάζουν το μοντέλο

### 4.4.1. Έσοδα

Για την βιωσιμότητα και οικονομική αποδοτικότητα του χώρου στάθμευσης λαμβάνονται υπόψιν τα έσοδα από την υπηρεσία στάθμευσης. Για την υπηρεσία στάθμευσης αλλά και φόρτισης τα τέλη εξαρτώνται από:

α) το ποσό που είναι διατεθειμένοι να πληρώνουν εκείνοι που σταθμεύουν. Το ποσό αυτό εξαρτάται από τη σχέση προσφοράς και ζήτησης καθώς και από τα τέλη στάθμευσης που έχουν καθοριστεί από γειτονικούς ανταγωνιστικούς χώρους στάθμευσης. Θεωρώντας πως ο ρυθμός αφίξεων μεταβάλλεται εντός της ημέρας θα χρησιμοποιηθεί μια μέση τιμή για τον αριθμό των οδηγών που φτάνουν στο σταθμό ωριαία ίσος με 400 οχήματα/ώρα σύμφωνα με (Jurica Babica, 2022). Η περιοχή μελέτης αφορά πληθυσμό 3.000.000 ατόμων εξετάζοντας παράγοντες όπως την αποδεκτή απόσταση βαδίσματος που είναι διατεθειμένοι να διανύσουν οι οδηγοί μετά την στάθμευση του οχήματός τους, τον βαθμό ιδιοκτησίας Ι.Χ. καθώς και τον ελάχιστο χρόνο που παραμένουν σταθμευμένα τα οχήματα εντός του χώρου. Ο ρυθμός αυτός αφίξεων αφορά το συνολικό αριθμό δίχως διαφοροποίηση συμβατικών και ηλεκτρικών οχημάτων.

Β) Οι συνολικές δαπάνες δημιουργίας, λειτουργίας και συντήρησης του χώρου στάθμευσης. Οι δαπάνες αυτές αυξάνονται εγγύτερα της το κέντρο της πόλης κυρίως εξαιτίας της αύξησης του κόστους γης. Οι δαπάνες μεταβάλλονται ανάλογα με το βαθμό εξυπηρέτησης που προσφέρει ο χώρος στάθμευσης.

Γ) Η πολιτική λειτουργίας του χώρου στάθμευσης. Αν ο χώρος ανήκει σε ιδιώτη είναι επιθυμητή η μεγιστοποίηση του κέρδους και επομένως ο καθορισμός των μέγιστων τελών στάθμευσης που εξασφαλίζουν μια ικανοποιητική πληρότητα στο χώρο. Αν ο χώρος ανήκει σε Δημόσιο Φορέα, τότε βασικό κριτήριο καθορισμού των τελών στάθμευσης αποτελεί πέρα από την κατά το δυνατό αύξηση του κέρδους η γενικότερη συγκοινωνιακή πολιτική. Στην περίπτωση της, ο καθορισμός χαμηλών χρεώσεων για της κάτοχους ηλεκτρικών οχημάτων κρίνεται αναγκαίος, ώστε σε συνδυασμό με το τέλος φόρτισης, το συνολικό κόστος του οδηγού να μην υπερβαίνει το επιθυμητό για αυτόν. Να σημειωθεί πως η πολιτική στάθμευσης που προτείνεται, στοχεύει στην εξυπηρέτηση πρωτίστως των κατόχων ηλεκτρικών οχημάτων.

Κατά τον υπολογισμό των παραπάνω οικονομικών μετρήσεων, ο διαχειριστής του χώρου στάθμευσης πρέπει να λάβει υπόψη τον αντίκτυπο της εισαγωγής φορτιστών. Εάν ο υπεύθυνος λήψης αποφάσεων αρχίσει να μετατρέπει επιπλέον θέσεις στάθμευσης σε θέσεις στάθμευσης με δυνατότητα φόρτισης, τότε τα έσοδα από την υπηρεσία φόρτισης θα παραμείνουν αμετάβλητα επειδή η ζήτηση για την υπηρεσία φόρτισης έχει ήδη ικανοποιηθεί. Από την άλλη πλευρά, αυτές οι νέες θέσεις στάθμευσης δεν μπορούν πλέον να χρησιμοποιηθούν από συμβατικά. Ως αποτέλεσμα, τα έσοδα από την υπηρεσία στάθμευσης αρχίζουν να μειώνονται. Αυτό συμβαίνει επειδή τα ηλεκτρικά και μη που δεν χρησιμοποιούν την υπηρεσία φόρτισης αρχίζουν να ανταγωνίζονται για θέσεις στάθμευσης, οι οποίες είναι πλέον λιγότερο διαθέσιμες.

Για την αρχικοποίηση, λοιπόν, των παραμέτρων οικονομικού ενδιαφέροντος θεωρούμε μια σταθερή ωριαία τιμή χρέωσης για στάθμευση των συμβατικών οχημάτων  $c_c$ , και αντίστοιχα

$c_e$  για τα ηλεκτρικά οχήματα. Θεωρώντας τη δυαδική μεταβλητή  $x_i$ , όπου παίρνει τιμές 0 και 1 ανάλογα με το αν η θέση στάθμευσης θα ικανοποιήσει συμβατικό ή ηλεκτρικό όχημα αντίστοιχα, υπολογίζεται και το κέρδος του χώρου στάθμευσης από αυτή:

$$\text{Έσοδα συμβατικών οχημάτων: } Iq_1 = \sum_{t=1}^T (1 - x_i) * c_e * T_1 * \frac{Q_1}{day} \quad (3)$$

$$\text{Έσοδα ηλεκτρικών οχημάτων: } Iq_2 = \sum_{t=1}^T (x_i * c_c) * T_2 * \frac{Q_2}{day} \quad (4)$$

Το συνολικό κέρδος του χώρου ανέρχεται στο παρακάτω σύνολο και ζητείται η μεγιστοποίηση αυτού:

$$\Sigma I = Iq_1 + Iq_2 = \sum_{t=1}^T (x_i * c_c) * T_2 * \frac{Q_2}{day} + \sum_{t=1}^T (1 - x_i) * c_e * T_1 * \frac{Q_1}{day} \quad (5)$$

#### 4.4.2. Έξοδα

Τα έξοδα του χώρου στάθμευσης προκύπτουν από τα κόστη λειτουργίας και συντήρησης των θέσεων στάθμευσης και τα κόστη των υποδομών φόρτισης. Θεωρώντας πως ο χώρος στάθμευσης προϋπήρχε δεν υπάρχει λόγος να χρησιμοποιηθεί το κόστος κατασκευής κάθε θέσης και το κόστος αγοράς της γης. Για τα λειτουργικά έξοδα του χώρου θεωρείται μια μέση τιμή αναμεσα στα 450\$-1000\$ ανα θέση (Nygaard, 2012). Για λόγους απλοποίησης θα χρησιμοποιηθεί μια μέση τιμή στα 650ευρω ανα θέση στάθμευσης. Όσον αφορά το κόστος των υποδομών φόρτισης, αν και με μια πρώτη ματιά τα κόστη αγγίζουν πολύ υψηλά ποσά, σημαντική είναι η παρατήρηση της αξίας τους σε βάθος χρόνου. Τα έξοδα δηλαδή που θα διατεθούν για τις υποδομές φόρτισης ελέγχονται βάσει των αποσβέσεων που θα κάνουν κατά τα χρονιά λειτουργίας του σταθμού. Ως εκ τούτου, απαιτούνται οικονομικά αποδοτικές λύσεις, για να διασφαλιστεί μία μελλοντική επένδυση σε σταθμούς φόρτισης.

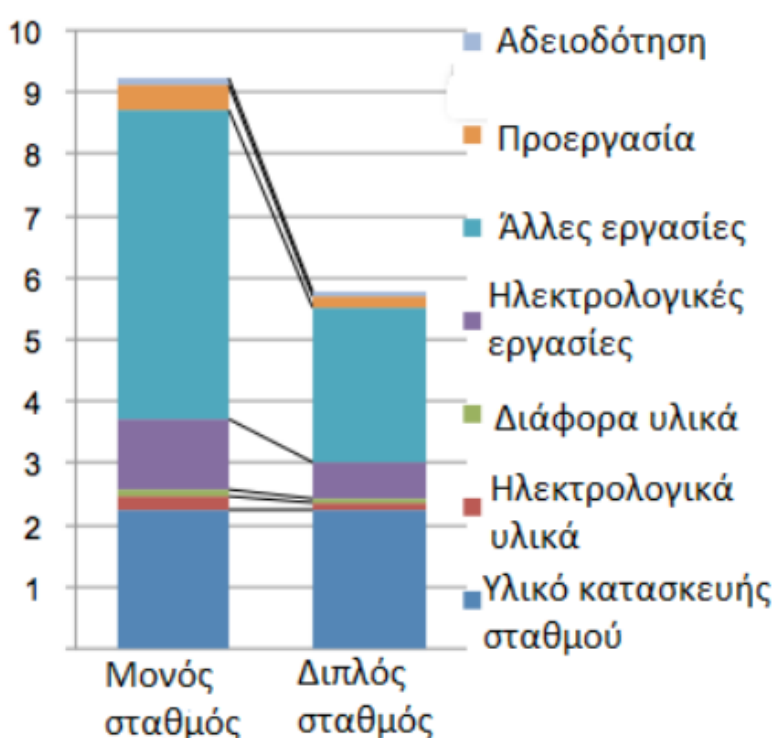
Σε γενικές γραμμές, οι φορτιστές, που εγκαθίστανται σε δημόσιους χώρους ή της αυτοί που θα επιλεγθούν για το χώρο στάθμευσης είναι ακριβότεροι από της οικιακούς. Μάλιστα, το κόστος ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο της εγκατάστασης, δηλαδή αν πρόκειται για φορτιστές που είναι όρθιοι σε βάση στήριξης ή που τοποθετούνται απλά επάνω σε τοίχο. Το κόστος εξαρτάται ακόμα από το πλήθος των φορτιστών, καθώς της και από τα τεχνικά χαρακτηριστικά των σταθμών, της για παράδειγμα την εγκατεστημένη ισχύ της. Όρθιοι φορτιστές, με έναν ρευματοδότη, κοστίζουν γύρω στα 2000€ ενώ το ποσό αυτό ανεβαίνει εάν διαθέτουν επιπλέον χαρακτηριστικά, της LCD οθόνες, ή οθόνες επαφής, συστήματα επικοινωνίας και παρακολούθησης δεδομένων. Επιπλέον, σε αντίθεση με της οικιακούς φορτιστές, όπου ο της ο φορτιστής αποτελεί το κυρίαρχο κόστος, το 60 – 80% του συνολικού κόστους της δημόσιους

σταθμούς φόρτισης, αποτελεί το κόστος εγκατάστασης. Μάλιστα, η απόσταση του πίνακα ασφαλειών από τον σταθμό, που συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 15 και 30 μέτρα, είναι συχνά ο πιο σημαντικός παράγοντας για τον προσδιορισμό του κόστους εγκατάστασης.

Το κόστος του σταθμού φόρτισης, μπορεί τυπικά να χωριστεί της εξής κατηγορίες:

1. Κόστος αγοράς του σταθμού φόρτισης, καθώς και άλλων λοιπών υλικών
2. Κόστος του ηλεκτρολόγου εγκαταστάτη και άλλων εργασιών
3. Οι εργατοώρες του ηλεκτρολόγου που δαπανά για προετοιμασία, πριν έρθει στον χώρο εγκατάστασης
4. Το κόστος της δανειοδότησης.

Κόστος σε χιλιάδες δολάρια



Εικόνα 5: Κόστος ενός τυπικού σταθμού φόρτισης

Η εγκατάσταση σταθμών με πολλούς ρευματοδότες ενσωματωμένους μειώνει κατά πολύ το κόστος ανά φορτιστή. Στην περίπτωση αυτή, το κόστος περιορίζεται κυρίως γιατί ανοίγεται στο έδαφος ένα ενιαίο όρυγμα για την εγκατάσταση όλων των καλωδίων του συνόλου των παρακείμενων σταθμών. Ο πίνακας ασφαλειών και τα καλώδια που τροφοδοτούν τέτοιους σταθμούς κοστίζουν πιο ακριβά, λόγω μεγαλύτερων διατομών καλωδίων και μεγέθους ασφαλειών. Το επιπλέον αυτό κόστος της εξοικονομείται από την ανάγκη τοποθέτησης λιγότερων φορτιστών. Τέλος, αν συμπεριληφθεί και το κόστος συντήρησης από μία τέτοια επένδυση, τότε ένα γενικό συμπέρασμα επί των οικονομικών, συνοψίζεται στα παρακάτω (Castellano Johnathan, 2015):

- Το κόστος αγοράς ενός φορτιστή κυμαίνεται αναμεσα στα 500€-7000€. Θα θεωρηθεί μια κατά προσέγγιση τιμή στα 6.000€ με ένα καλώδιο σύνδεσης στο δίκτυο.
- Το κόστος εξοπλισμού αφορά τα καλώδια που απαιτούνται για τη σύνδεση των οχημάτων στην παροχή. Κάθε καλώδιο είναι της τάξεως των 1500€.
- Το κόστος εγκατάστασης, το οποίο εξαρτάται από την τοποθεσία και από το ήδη υπάρχον δίκτυο, είναι του εύρους των 600€ με 10.000€. Για την εργασία θα θεωρηθεί η τιμή των 3.000€.
- Το κόστος συντήρησης, καθορίζεται ανάλογα με την τιμολογιακή πολιτική. Αν οι φορτιστές διαθέτουν σύνδεση Wi-Fi τότε το ετήσιο τέλος δικτύου είναι της τάξεως των 100-900€. Για λόγους απλοποίησης θεωρείται στα 200€ ανα φορτιστή ετησίως.

Εφόσον αναφέρθηκαν τα κόστη αγοράς και εγκατάστασης, σημαντική είναι η ανασκόπηση του κόστους της ενέργειας που καταναλώνεται. Εάν υποθέσουμε πως οι φορτιστές παρέχουν ισχύ 12 ώρες την ημέρα, για 7 μέρες την εβδομάδα, τότε, με συνολική εγκατεστημένη ισχύ ίση με τον αριθμό των φορτιστών επί την ισχύ του καθενός, τα ηλεκτρικά οχήματα, θα καταναλώναν:

$$E = \sum P * 52weeks = \sum P * 52 * 7 * 12kWh/ετος$$

Με ισχύουσα τιμή ενέργειας στα 0,312€/kWh (Ευρωπαϊκός Χάρτης Τιμών Ηλεκτρισμού της Αγοράς Επόμενης Ημέρας, 2022) η καταναλισκόμενη αυτή ενέργεια προκύπτει:

$$C_E = E \cdot 0,312€/kWh$$

Έχοντας επισημάνει τα έξοδα του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας, εγκατάστασης και συντήρησης των σταθμών φόρτισης, σημαντική είναι η επισήμανση του χαμένου κέρδους από τη μη εξυπηρέτηση ορισμένων οχημάτων. Για την λογική διατύπωση του χαμένου αριθμού οχημάτων θα χρησιμοποιηθεί το ποσοστό απόρριψης (rejection rate), σύμφωνα με το οποίο υπολογίζεται ο αριθμός των οχημάτων ανα κατηγορία που δεν κατάφεραν να βρουν θέση στάθμευσης εντός λογικού χρόνου διαιρεμένος με τον αριθμό των οχημάτων ανα κατηγορία που εξυπηρετήθηκαν. Θέλοντας να γίνει προώθηση της χρήσης της ηλεκτροκίνησης, θεωρούμε πως οι θέσεις με δυνατότητα φόρτισης καλύπτουν το μεγαλύτερο ποσοστό της ζήτησης των ηλεκτρικών οχημάτων. Αυτό αποδεικνύει πως το χαμένο κέρδος προέρχεται κυρίως από της μη ικανοποιημένους κάτοχους συμβατικών οχημάτων.

Για την αρχικοποίηση, λοιπόν, των παραμέτρων υπολογισμού των εξόδων θεωρείται  $c_{charger}$  το κόστος του σταθμού φόρτισης,  $c_c$  και  $c_e$  το κόμιστρο που θα πληρώνουν ανά ώρα οι οδηγοί συμβατικών και ηλεκτρικών οχημάτων αντίστοιχα. Το χαμένο κέρδος ανά κατηγορία υπολογίζεται μέσω της συνάρτησης:

$$C_{RR} = Q_i \cdot RR_i \cdot C \cdot T€$$

,όπου  $Q_i$  ο αριθμός των οχημάτων που φτάνουν στο χώρο ανά κατηγορία με  $i=1,2$

$RR_i$  το ποσοστό απόρριψης ανά κατηγορία με  $i=1,2$

C το κόμιστρο

Και T ο μέσος χρόνος παραμονής του οχήματος στη θέση.

Για την κατανομή του κόστους της θέσεις στάθμευσης, εισάγεται μια νέα δυαδική μεταβλητή  $y_i$  όπου παίρνει τις τιμές 1 και 0 ανάλογα με το αν η θέση προσφέρει τη δυνατότητα φόρτισης ή όχι.

Τα συνολικά έξοδα, λοιπόν, του χώρου στάθμευσης τα οποία οφείλουν να ελαχιστοποιηθούν στην παρούσα εργασία είναι:

$$\begin{aligned} \sum C &= C_{\Sigma} + C_{φορτ.} + C_{RR_1} + C_{RR_2} + C_E + C_I \\ &= (650 * K + 200 * \Sigma(y)) + \sum y_i * c_{charger} + (q_1 * RR_1 \\ &* c_c * T_1 + q_2 * RR_2 * c_e * T_2) * 365 + E \cdot 0,312 + 1500 \\ &* (1 \text{ ή } 3) \end{aligned}$$

(6)

#### 4.5. Διατύπωση Τελικού μοντέλου

Στην ενότητα αυτή γίνεται η διατύπωση του προβλήματος, του οποίου βασικός στόχος είναι η μεγιστοποίηση των εσοδών από τις θέσεις στάθμευσης και η βέλτιστη εγκατάσταση σταθμών φόρτισης. Η αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος, ουσιαστικά ο στόχος της, είναι η μεγιστοποίηση του συνολικού ετήσιου κέρδους του χώρου στάθμευσης κάτω από τη παραδοχή ότι ελαχιστοποιούνται τα ποσοστά απόρριψης οποιασδήποτε κατηγορίας. Εφόσον έχει γίνει η αναφορά στις προδιαγραφές που πρέπει να πληρούνται για την μέγιστη εξυπηρέτηση των χρηστών του συστήματος στάθμευσης, σειρά έχει ο καθορισμός των παραμέτρων και των μεταβλητών απόφασης.

##### 4.5.1. Καθορισμός Αντικειμενικής συνάρτησης

Βάσει, λοιπόν, όλων των προαναφερθέντων, η μαθηματική διατύπωση του προβλήματος βελτιστοποίησης θα γίνει σύμφωνα με την αντικειμενική συνάρτηση. Το πρόβλημα της πολυκριτηριακής βελτιστοποίησης περιγράφεται από την ακόλουθη εξίσωση κέρδους:

$$\max\left(\sum_i (I'_{q1} + I'_{q2}) - \sum (C_{\text{φορτ.}} + C_{RR1} + C_{RR2} + C_I + C_E + C_\Sigma)\right)$$

(7)

Οι επιμέρους όροι της αντικειμενικής συνάρτησης αφορούν το άθροισμα των εσοδών του χώρου στάθμευσης από τους οδηγούς συμβατικού οχήματος και των εσοδών από τους οδηγούς ηλεκτρικού οχήματος μείον τα χαμένα έσοδα των οδηγών που δεν κατάφεραν να διεκδικήσουν μια θέση στάθμευσης εντός του χώρου συν το κόστος των φορτιστών που χωροθετήθηκαν. Η αναγωγή των τιμών έγινε σε περίοδο ενός χρόνου (365 ημερών) ώστε οι τιμές να είναι ίδιας τάξης μεγέθους.

#### 4.5.2. Περιορισμοί

Η παραπάνω αντικειμενική συνάρτηση υπόκειται στους ακόλουθους περιορισμούς:

##### Περιορισμός 1

$$y_i \leq x_i$$

(8)

Ο πρώτος περιορισμός ορίζει πως για κάθε θέση ηλεκτρικού φορτιστή πρέπει να υπάρχει τουλάχιστον μια θέση στάθμευσης ενός ηλεκτρικού οχήματος.

##### Περιορισμός 2

$$2 * \sum y_i \geq \sum x_{i_i}$$

(9)

Ο δεύτερος περιορισμός ορίζει τον αριθμό των φορτιστών βάσει των αριθμών των θέσεων στάθμευσης ηλεκτρικών οχημάτων. Για κάθε θέση φορτιστή, δίνεται η δυνατότητα φόρτισης δυο θέσεων ηλεκτρικών οχημάτων. Η ποσότητα των φορτιστών, δηλαδή, οφείλει να μην ξεπερνά τον αριθμό των προσφερόμενων θέσεων εντός του χώρου στάθμευσης.

Για την υλοποίηση της κατανομής φορτιστών με εμβέλεια 4 θέσεων, ο περιορισμός αυτός ορίστηκε ως:

$$4 * \sum y_i \geq \sum x_{i_i}$$

(10)

### Περιορισμός 3

$$\Sigma y \leq \Sigma x_{i_i}$$

( 11)

Ο τρίτος περιορισμός έγκειται στην ανάγκη εξυπηρέτησης του μεγαλύτερου ποσοστού των ηλεκτρικών οχημάτων στον χώρο στάθμευσης. Επειδή δεν είναι δυνατή η εγκατάσταση απεριόριστου αριθμού φορτιστών λόγω μεγάλου κόστους εγκατάστασης και συντήρησης τους και σε συνέχεια του παραπάνω περιορισμού, θεωρείται πως το σύνολο των φορτιστών είναι μικρότερο από το σύνολο των θέσεων ηλεκτρικών οχημάτων.

### Περιορισμός 4

$$\sum_i x_i \leq \frac{\lambda_2}{\mu_2} \cdot Q_2$$

( 12)

Ο περιορισμός αυτός καθιστά τις θέσεις των ηλεκτρικών οχημάτων ανάλογα με τον ρυθμό άφιξης και αναχώρησης αυτών. Πάρα το ότι είναι επιθυμητό να εξυπηρετηθεί όλη η ζήτηση των  $Q_2$ , σε περιπτώσεις μεγάλης διεισδυσης αυτών στην αγορά, στόχος είναι η ελαχιστοποίηση των απωλειών τους.

$$\sum_i (1 - x_i) \leq \frac{\lambda_1}{\mu_1} \cdot Q_1$$

( 13)

Ομοίως ο ίδιος περιορισμός για τις θέσεις των συμβατικών οχημάτων.

### Περιορισμός 5

$$\sum_i x_i \geq (1 - RR_2) * \left(\frac{Q_2}{N}\right)$$

( 14)

$$\sum_i (1 - x_i) \geq (1 - RR_1) * \left(\frac{Q_1}{N}\right)$$

( 15)

Οι περιορισμοί αυτοί ορίζονται ως το ανώτερο όριο των θέσεων ηλεκτρικών και συμβατικών αντίστοιχα εντός του χώρου, όπου πρέπει να υπερβαίνουν το γινόμενο των εισαχθέντων οχημάτων επί το βαθμό εξυπηρέτησης που πρέπει να επιτυγχάνει ο χώρος στάθμευσης.

### Περιορισμός 6

$$RR_2 = 0$$

( 16)

$$RR_1 \geq 0$$

( 17)

$$RR_1, RR_2 \geq 0$$

( 18)

Οι περιορισμοί των ποσοστών απόρριψης οφείλουν να μένουν σε χαμηλά επίπεδα. Λόγω του ότι ο αριθμός των οχημάτων που επιθυμούν να σταθμεύσουν επηρεάζουν άμεσα από τα ποσοστά αυτά, δεν θα προστεθεί περιορισμός για το ποσοστό απόρριψης των συμβατικών οχημάτων. Επιπλέον ο περιορισμός των μη αρνητικών τιμών έγκειται στο ότι δεν υφίσταται αρνητικό ποσοστό απόρριψης. Ο περιορισμός που μπορεί να υλοποιηθεί για το ποσοστό των συμβατικών είναι πως πρέπει να είναι τουλάχιστον μεγαλύτερος ή ίσος του ποσοστού απόρριψης ηλεκτρικών οχημάτων.

### Περιορισμός 7

$$x_{i,j} + x_{i+1,j} \geq y_{i,j} + y_{i+1,j}$$

( 19)

$$x_{i,j} + x_{i,j+1} \geq y_{i,j} + y_{i,j+1}$$

( 20)

Οι παραπάνω περιορισμοί ορίζουν πως ανα δυο θέσεις κάθετα και οριζόντια στον πίνακα κελίων (χώρος στάθμευσης), οι φορτιστές πρέπει να είναι λιγότεροι ή ίσοι από τον αριθμό των θέσεων.

Ομοίως για την χωροθέτηση φορτιστή εμβέλειας 4 θέσεων οι παραπάνω περιορισμοί έγιναν:

$$x_{i,j} + x_{i+1,j} + x_{i,j+1} + x_{i+1,j+1} \geq y_{i,j} + y_{i,j+1} + y_{i+1,j} + y_{i+1,j+1}$$

( 21)



## Περιορισμός 8

$$\circ \mathbf{y}_{i,j} + \mathbf{y}_{i,j+1} \geq \mathbf{x}_{i,j+1}$$

( 22 )

$$\circ \mathbf{y}_{i,j} + \mathbf{y}_{i,j+1} \geq \mathbf{x}_{i,j}$$

( 23 )

$$\blacksquare \mathbf{y}_{i,j} + \mathbf{y}_{i+1,j} \geq \mathbf{x}_{i,j}$$

( 24 )

$$\blacksquare \mathbf{y}_{i,j} + \mathbf{y}_{i+1,j} \geq \mathbf{x}_{i+1,j}$$

( 25 )

Τέλος, οι περιορισμοί αυτοί ορίζουν το άλλο άκρο της ανισότητας του προηγούμενου περιορισμού, θέτοντας πως μια θέση ηλεκτρικού οχήματος πρέπει να καλύπτεται από τουλάχιστον έναν φορτιστή.

Ομοίως για την περίπτωση των 4 θέσεων:

$$\circ \mathbf{y}_{i,j} + \mathbf{y}_{i,j+1} + \mathbf{y}_{i+1,j} + \mathbf{y}_{i+1,j+1} \geq \mathbf{x}_{i,j}$$

( 26 )

$$\circ \mathbf{y}_{i,j} + \mathbf{y}_{i,j+1} + \mathbf{y}_{i+1,j} + \mathbf{y}_{i+1,j+1} \geq \mathbf{x}_{i,j+1}$$

( 27 )

$$\circ \mathbf{y}_{i,j} + \mathbf{y}_{i,j+1} + \mathbf{y}_{i+1,j} + \mathbf{y}_{i+1,j+1} \geq \mathbf{x}_{i+1,j+1}$$

( 28 )

$$\circ \mathbf{y}_{i,j} + \mathbf{y}_{i,j+1} + \mathbf{y}_{i+1,j} + \mathbf{y}_{i+1,j+1} \geq \mathbf{x}_{i+1,j}$$

( 29 )

## Περιορισμός 9

$$\mathbf{K}_{\text{εξωτερικό}} \geq \mathbf{K}_{\text{εσωτερικό}}$$

( 30 )

Ο περιορισμός αυτός χρησιμοποιείται για την εγκατάσταση φορτιστών στο σενάριο 1. Οι θέσεις περιμετρικά του χώρου στάθμευσης είναι πιο πιθανό να καλύπτονται από βλάστηση ή και σκέπαστρα για την καλύτερη εξυπηρέτηση των οδηγών ηλεκτρικών οχημάτων. Προφανώς στην περίπτωση του σεναρίου 2 δεν εφαρμόζεται μιας και το αποτέλεσμα που θα πρόκυπτε θα ήταν όμοιο του πρώτου σεναρίου.

### Περιορισμός 10

$$x_i \in \{0, 1\}$$

(31)

$$y_i \in \{0, 1\}$$

(32)

Οι περιορισμοί αυτοί ορίζουν τις μεταβλητές θέσεων  $Q_2$  και φορτιστων αντιστοιχα ως δυαδικες.

Όσον αφορά τις τιμές που έλαβαν οι παράμετροι του μαθηματικού μοντέλου, αυτές τέθηκαν βάσει αυτών που αναγράφονται στην σχετική βιβλιογραφία αλλά, και βάσει ορισμένων από τις υποθέσεις που προαναφέρθηκαν.

### Περιορισμός 11

$$E \leq SOC_{max} * BC$$

(33)

Ο περιορισμός εξασφαλίζει την προστασία της ζωής της μπαταρίας περιορίζοντας την ενέργεια μετά την αναχώρηση από το χώρο από το να μην ξεπεράσει την μέγιστη επιτρεπόμενη στάθμη, η οποία ισούται με 80 %.

### Περιορισμός 12

$$E \geq SOC_{min} * BC$$

(34)

Ο περιορισμός εξασφαλίζει την προστασία της ζωής της μπαταρίας περιορίζοντας την ενέργεια μετά την αναχώρηση από το χώρο από το να μην είναι πιο χαμηλή από την ελάχιστη επιτρεπόμενη στάθμη, η οποία ισούται με 20 %.

## Κεφάλαιο 5ο: Εφαρμογή τελικού μοντέλου

### 5.1. Διαμόρφωση σεναρίων

Για την εφαρμογή του μοντέλου βελτιστοποίησης δημιουργήθηκαν δυο χώροι στάθμευσης ίσης χωρητικότητας στο Excel. Θέλοντας να ελεγχθεί η αποδοτικότητα του μοντέλου, υλοποιήθηκαν δυο διαφορετικά σενάρια που αφορούν την εμβέλεια κάθε φορτιστή. Συγκεκριμένα στο 1<sup>ο</sup> σενάριο έγινε η παραδοχή εγκατάστασης τουλάχιστον ενός φορτιστή ανα δυο θέσεις φόρτισης, ενώ στο 2<sup>ο</sup> σενάριο η παραδοχή εγκατάστασης ενός φορτιστή με εμβέλεια τεσσάρων θέσεων φόρτισης. Τα σενάρια αυτά αποσκοπούν στην αξιολόγηση των εσόδων και εξόδων κάθε περίπτωσης, ώστε να γίνει η τελική επιλογή της βέλτιστης χωροθέτησης των θέσεων φόρτισης.

### 5.2. Δεδομένα επίλυσης

Η συλλογή των δεδομένων επίλυσης περιλαμβάνει δεδομένα τα οποία πρόκειται να χρησιμοποιηθούν ως δεδομένα εισόδου στο μοντέλο βελτιστοποίησης. Λήφθηκαν από την σχετική βιβλιογραφία και καθώς το μοντέλο αναπτυσσόταν κατέστη σαφές και ποια δεδομένα εισόδου απαιτούνται. Στη συνέχεια, θα γίνει αναφορά στα δεδομένα που παρέχονται για το συγκεκριμένο χώρο στάθμευσης, και στις απαιτήσεις του προβλήματος τόσο για τις τιμές των μεταβλητών όσο και για την διαμόρφωση των διάφορων εξισώσεων του μαθηματικού μοντέλου για την επίλυση του προβλήματος.

Αρχικά, ως δεδομένα του προβλήματος θεωρούνται η χωρητικότητα του χώρου στάθμευσης  $K$  θέσεων όπου διαθέτει θέσεις στάθμευσης μόνο για συμβατικά οχήματα. Οι θέσεις εντός του χώρου θα συμβολίζονται με  $K_c$  και  $K_e$  ανάλογα την κατηγορία του οχήματος που θα εξυπηρετούν. Κάθε οδηγός, εφόσον έχει εισέλθει και σταθμεύσει στο χώρο στάθμευσης καλείται να πληρώσει το αντίστοιχο ωριαίο κόμιστρο της κατηγορίας που ανήκει, όπου  $C_c$  για τα συμβατικά οχήματα και  $C_e$  για τα ηλεκτρικά. Επίσης γνωστός θεωρείται ο αριθμός των οχημάτων που καταφτάνουν στην είσοδο του χώρου, θεωρώντας έναν συντελεστή διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων  $\gamma$  ανάλογο με το βαθμό εισχώρησης των ηλεκτροκίνητων στην ελληνική αγορά. Σύμφωνα με εκτιμήσεις από (ΣΕΑΑ, 2022) τα επαναφορτιζόμενα BEV – PHEV ανήλθαν στο 6,9% επί των συνολικών ταξινομήσεων το 2021 έναντι 2,6% το 2020 και 0,5% το 2019, κυρίως λόγω της υιοθέτησης κινήτρων από πλευράς της Πολιτείας.

Σε απόλυτα νούμερα, το 2021 ταξινομήθηκαν 6.967 επαναφορτιζόμενα αυτοκίνητα έναντι 2.135 το 2020 (2.178 ηλεκτρικά έναντι 679 το 2020 και 190 το 2019 και 4.789 υβριδικά έναντι 1.456 το 2020 και 290 το 2019). Για λόγους απλοποίησης θεωρείται το ποσοστό διείσδυσης ίσο με 10%.

Στο σημείο αυτό σκόπιμη είναι η αναφορά της περιοχής επιρροής του χώρου στάθμευσης. Για να οριστεί η περιοχή επιρροής ενός χώρου στάθμευσης πρέπει να είναι γνωστή η μέγιστη αποδεκτή απόσταση βαδίσματος που είναι διατεθειμένοι να διανύσουν οι οδηγοί μετά την στάθμευση του οχήματός τους. Η απόσταση βαδίσματος είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που επιδρά στην επιλογή του χώρου στάθμευσης, καθώς όσο μικρότερη γίνεται αυτή η απόσταση τόσο ελκυστικότερος γίνεται και ο χώρος στάθμευσης. Ενδεικτικά, σύμφωνα με (Highway Research Board, 1971) παρουσιάζονται οι πίνακες με τις αποδεκτές αποστάσεις βαδίσματος.

Πίνακας 4: Μέσος όρος απόστασης βαδίσματος ανάλογα με το σκοπό του ταξιδιού (σε μέτρα)

Πληθυσμός Αστικής Περιοχής	Σκοπός Ταξιδιού				
	Ψώνια	Προσωπική Δουλειά	Εργασία	Άλλο	Μ.Ο.
10.000-25.000	61	61	82	58	66
25.000-50.000	85	73	122	64	86
50.000-100.000	106	88	125	79	100
100.000-250.000	143	119	152	103	129
250.000-500.000	174	137	204	116	158
500.000-1.000.000	170	180	198	152	175

Πίνακας 5: Μέσος όρος απόστασης βαδίσματος ανάλογα με τον τύπο του χώρου στάθμευσης (σε μέτρα)

Πληθυσμός Αστικής Περιοχής	Τύπος Χώρου Στάθμευσης			
	Επί της οδού	Υπαίθριοι Χώροι Στάθμευσης (εκτός οδού)	Στεγασμένοι Χώροι Στάθμευσης (εκτός οδού)	Μ.Ο.
10.000-25.000	64	64	-	64
25.000-50.000	76	107	30	71
50.000-100.000	85	116	73	91
250.000-500.000	113	165	101	126
500.000-1.000.000	119	232	213	188

Για τον υπολογισμό του βέλτιστου αριθμού, λοιπόν, θα θεωρηθεί μια αστική περιοχή της τάξεως των 50.000 κατοίκων, με περιοχή εξυπηρέτησης να ορίζεται η περιοχή σε ακτίνα 300μετρων από το χώρο στάθμευσης. Θεωρώντας πως ο μέσος άνθρωπος διανύει 4500m. κάθε ώρα, διανύει τα 300 μέτρα σε περίπου 4 λεπτά, χρόνος ιδιαίτερα ικανοποιητικός (Xianqiang Ren, 2019).

Δεδομένες, λοιπόν, θεωρούνται οι τιμές των ρυθμών άφιξης των συμβατικών και ηλεκτρικών οχημάτων ενώ γίνεται μια θεώρηση για το μέσο χρόνο στάθμευσης αυτών και ευκολά προκύπτει μέσω αυτού ο ρυθμός εναλλαγής των διαφορετικών οχημάτων που σταθμεύουν σε μια συγκεκριμένη θέση κατά τη διάρκεια μιας ορισμένης χρονικής περιόδου( θεωρείται διάστημα μιας ημέρας). Ο χρόνος στάθμευσης των ηλεκτρικών οχημάτων θεωρείται ο χρόνος φόρτισης τους (γίνεται στρογγυλοποίηση του χρόνου φόρτισης προς τα πάνω). Για το ρυθμό αφίξεων των ηλεκτρικών οχημάτων χρησιμοποιήθηκε η έρευνα του Gnann, et al., 2018 που πραγματοποιήθηκε σε Σουηδία και Νορβηγία και έδειξε ότι κατά μέσο όρο πραγματοποιούνται 11,07 και 38,7 φορτίσεις την εβδομάδα αντίστοιχα. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται η μέση τιμή εμβέλειας χωρίς να περιλαμβάνεται το όχημα Tesla το οποίο θεωρείται ότι δεν αντιπροσωπεύει τον μέσο χρήστη.

Πίνακας 6:Χωρητικότητα και αυτονομία οχημάτων στην αγορά

ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ(Kw)	ΑΥΤΟΝΟΜΙΑ(km)
BMW i3(2016)	33	300
Nissan Leaf	30	200
Tesla Model S	90	509
Smart Fortwo ED	17,6	145
Mitsubishi iMiEV	16	128
Chevy Volt(PHEV)	16	64
Toyota Prius(PHEV)	4,4	18

Οπότε καταλήγουμε σε μία μέση εμβέλεια 200 km. Θεωρείται της ότι κάθε οδηγός βρίσκεται στο παράθυρο στάθμης μπαταρίας 20% με 80%, δηλαδή δεν αφήνει τη μπαταρία του να πέσει κάτω από το 20% και φορτίζει το όχημα έως το 80% της χωρητικότητάς της. Με χρήση της της υπόθεσης η μέση εμβέλεια οχήματος υπολογίζεται ως εξής:

$$0,20*200=40 \text{ km}$$

$$0,80*238=160 \text{ km}$$

Η μέση εμβέλεια, λοιπόν, προκύπτει 120 km.

Γίνεται η υπόθεση μέσης χρήσης του οχήματος στα 25 km / ημέρα άρα κάθε όχημα χρειάζεται φόρτιση ανά:  $120/25= 4,8$  μέρες.

Ο πραγματικός χρόνος φόρτισης που θεωρείται εντός του χώρου είναι οι 12 ώρες αρά ο ωριαίος ρυθμός αφίξεων για κάθε όχημα προκύπτει:

$$\lambda_2 = \frac{1}{4,8 \cdot 12} = 0,017 \text{ φορτίσεις/όχημα/ώρα.}$$

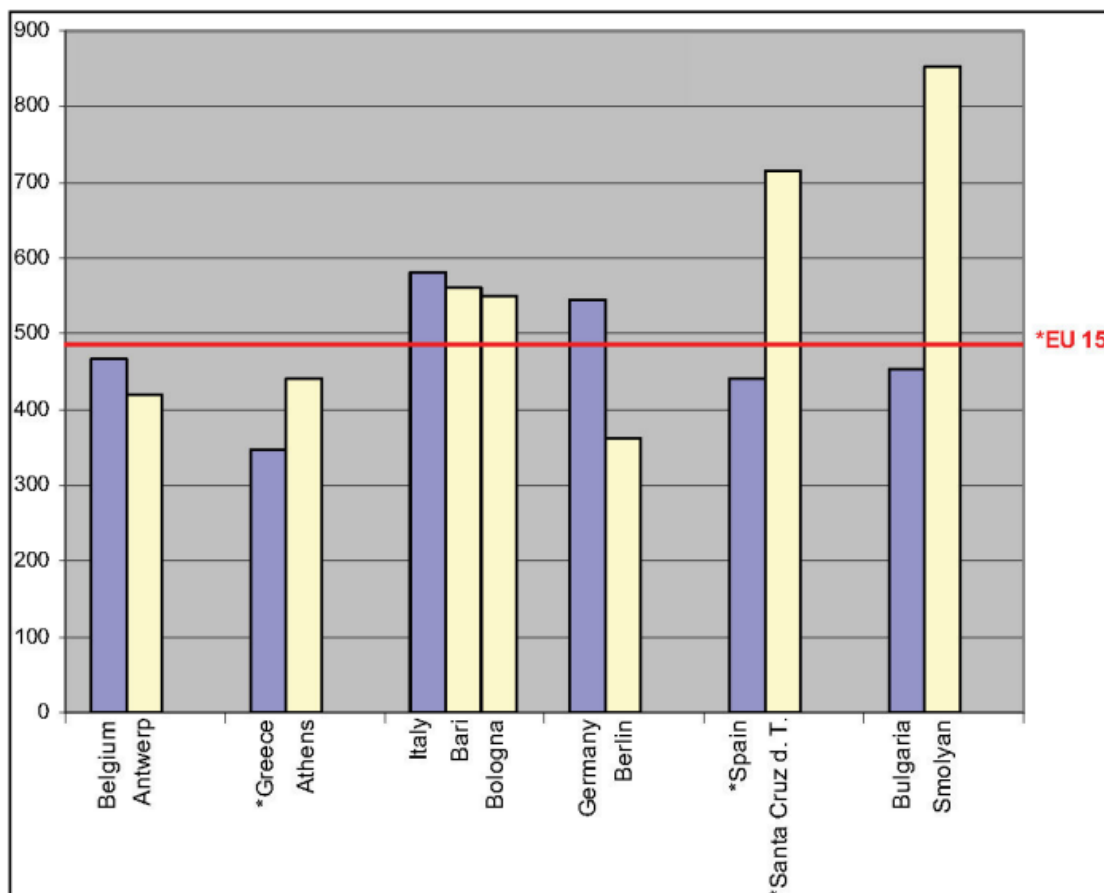
Το ποσοστό διείσδυσης των οχημάτων βρίσκεται ακόμα σε αρχικό στάδιο στις ελληνικές πόλεις, όμως προβλέπεται αύξηση αυτού μέσα στα επόμενα χρόνια. Ένας μέσος όρος για το 2022 είναι της τάξεως του 8% σε σχέση με άλλες ευρωπαϊκές χώρες που ήταν κοντά στο 20% (Φωτεινος, 2022). Για το λόγο αυτό και θα χρησιμοποιηθεί το 10% ως ενδεικτικό ποσοστό για τον βαθμό διείσδυσης στην αγορά, αρα και στον χώρο στάθμευσης. Θεωρείται, λοιπόν, μια περιοχή επιρροής του χώρου, στάθμευσης γύρω από αυτόν με πληθυσμό στους 50.000-60.000 κάτοικους. Ο προσδιορισμός των κάτοχων συμβατικών οχημάτων που θα επιλέξουν το συγκεκριμένο χώρο στάθμευσης δύσκολα επιλέγεται, αφού ο ανταγωνισμός είναι μεγάλος. Για τον προσδιορισμό αυτό θα ληφθεί υπόψιν το ποσοστό κατοχής ιδιωτικών οχημάτων βάσει EUROSTAT (2003). Ο δείκτης ιδιοκτησίας αυτοκινήτου, μέσα σε μια δεκαπενταετία έχει αυξηθεί από 172 μονάδες επιβατικών αυτοκινήτων ανά 1000 κάτοικους, σε 407. Πρόκειται για μια αύξηση της τάξεως του 237%, τη στιγμή που ο διαθέσιμος χώρος για στάθμευση έχει παραμείνει πρακτικά ο ίδιος.



Εικόνα 6: Δείκτης ιδιοκτησίας αυτοκινήτου στην Ελλάδα (1991 – 2006) Eurostat

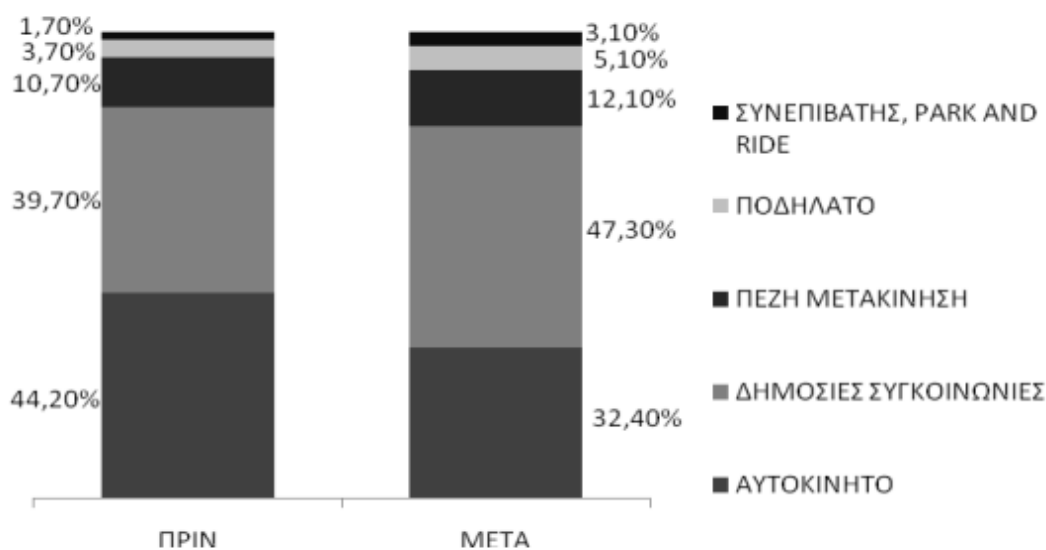
Αξιόλογη κρίνεται και η σύγκριση των τιμών των δεικτών του δείκτη της Ελλάδας με τους δείκτες άλλων χωρών. Όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα, ο αριθμός των επιβατικών οχημάτων ανά 1000 κάτοικους, είναι μεγαλύτερος στις μεγάλες πόλεις σε σχέση με το σύνολο της χώρας στην Ελλάδα και σε άλλες δυο χώρες. Τέτοια αποτελέσματα πιθανώς υποδεικνύουν τον βαθμό εναλλακτικών μέσων μεταφοράς σε μια πόλη αλλά και τις συνήθειες των κατοίκων.

Για παράδειγμα, στο Βερολίνο το ποσοστό είναι αρκετά χαμηλό με αποτέλεσμα να θεωρείται περισσότερο αναπτυγμένο το δίκτυο Μέσων Μαζικής Μεταφοράς και η ποδηλατική συνείδηση σε σχέση με την Αθήνα και τις άλλες πόλεις.



Εικόνα 7: Αριθμός επιβατικών αυτοκινήτων ανά 1000 κάτοικους, σε ευρωπαϊκές χώρες και πόλεις (Eurostat, 2003)

Με δεδομένο, λοιπόν, πως ανα 1000 κατοίκους αντιστοιχούν 500 οχήματα, θεωρείται πως για περιοχή επιρροής με πληθυσμού περίπου 50.000 κατοίκων αντιστοιχούν 25.000 οχήματα. Παρά την κατοχή οχημάτων, ημερησίως δεν είναι σίγουρο πως κινούνται όλα τα οχήματα. Ο λόγος αυτός προκύπτει λόγω της χρήσης εναλλακτικών τρόπων μετακίνησης, όπως των Μέσων Μαζικής Μεταφοράς, της πεζής μετακίνησης, της ομαδικής χρήσης αυτοκινήτων (Car pooling) και της χρήσης ταξί. Στο παρακάτω διάγραμμα δίνεται η θεωρία του Hartmut (1991), όπου στο πλαίσιο αυτής της μελέτης δίνεται το ποσοστό των μετακινούμενων που κατευθύνονται προς το κέντρο του Μόναχο. Αριστερά, παρουσιάζονται τα ποσοστά χρήσης των μέσων μεταφοράς πριν την εφαρμογή των πολιτικών διαχείρισης της στάθμευσης σε μεγάλες πόλεις της Γερμανίας, ενώ στα δεξιά τα ποσοστά έπειτα την εφαρμογή. Το ποσοστό των μετακινούμενων που εργάζονταν στο Μόναχο και προτιμούσαν τη μετάβαση εκεί με αυτοκίνητο, πριν την εφαρμογή του μέτρου ήταν 44,2% και μετά 32,4%. Γενικά, ο καταμερισμός στους εναλλακτικούς τρόπους μετακίνησης (modal share), επηρεάστηκε όπως απεικονίζεται παρακάτω:



Εικόνα 8:Επίλογή μέσου εργαζομένων στο Μόναχο πριν και μετά την εφαρμογή ζώνης στάθμευσης για τους κάτοικους(Hartmut H.T (1991))

Θεωρώντας πως εφαρμόζονται μέτρα και πολιτικές στάθμευσης στα αστικά κέντρα, υπολογίζεται:

$$25.000 \cdot 0,324 = 8.100 \text{ οχήματα εν κινήσει καθημερινά}$$

$$8.100 / 24 = 337,5 \text{ οχήματα εν κινήσει ωριαία}$$

Θα θεωρηθεί, λοιπόν, μια τιμή γύρω στα 400 οχήματα, δίχως την θεώρηση της διαφορετικής ζήτησης ανα ώρες της ημέρας, Επειδή ο ακριβής προσδιορισμός του φόρτου που επισκέπτεται καθημερινά το χώρο στάθμευσης ξεφεύγει από το ερευνητικό πλαίσιο της εργασίας, λαμβάνεται ως παραδοχή η τιμή των 400 οχημάτων συνολικά την ώρα που επιθυμούν να σταθμεύσουν σε αυτόν. Ωστόσο, τα ηλεκτρικά οχήματα είναι πολύ πιθανό να επιλέξουν το συγκεκριμένο χώρο στάθμευσης, οπότε από το ποσοστό διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων στο 10% προκύπτει έναν ρυθμό άφιξης τελικά 40 οδηγών ανα ώρα. Οι σταθμοί φόρτισης που θα εγκατασταθούν, θα εξυπηρετούν τους εργαζόμενους αλλά και επισκέπτες (επιτρέπεται η μικρής και μακράς διάρκειας στάθμευση). Σε κάθε περίπτωση, ο μέσος χρόνος στάθμευσης δεν αναμένεται να είναι λιγότερος από 1 ώρα και περισσότερος από 9 ώρες, καθώς τόσο είναι κατά μέσο όρο, το χρονικό διάστημα παραμονής των εργαζομένων ενώ δεν υπάρχει λόγος να εκτιμηθεί η παραμονή των επισκεπτών κάτω της μιας ώρας μιας και ακόμα και οι οδηγοί ηλεκτρικών οχημάτων απαιτούν περισσότερο χρόνο για επαναφόρτιση του οχήματος τους. Για τους σκοπούς της εργασίας και θεωρώντας πως ο χώρος δέχεται οχήματα για ολιγόωρη στάθμευση προκύπτει ένας μέσος όρος στις 3 ώρες (Richardson A. , 1974).

Λόγω της μετατροπής ορισμένων θέσεων σε ηλεκτρικές και τον αποκλεισμό των συμβατικών οχημάτων από αυτές, υπολογίζεται το ποσοστό απόρριψης των δυο κατηγοριών,  $RR_1$  για τα συμβατικά και  $RR_2$  για τα ηλεκτρικά, προσπαθώντας να καλύψουμε πλήρως τη ζήτηση για στάθμευση των ηλεκτρικών και να μειώσουμε όσο το δυνατόν γίνεται τα μη εξυπηρετούμενα οχήματα. Η συνολική ισχύς των φορτιστών είναι γνωστή εφόσον θα χρησιμοποιηθούν



φορτιστές Mode 3 (AC) ώστε να εξασφαλίζονται της οι απαραίτητες διατάξεις προστασίας ηλεκτρικού δικτύου-οχήματος και επικοινωνίας μεταξύ της. Μέσω της ισχύς των φορτιστών, θα υπολογιστεί και ο βαθμός εξυπηρέτησης ανα ώρα της κάθε θέσης στάθμευσης.

Η χωρητικότητα της μπαταρίας ενός πλήρως φορτισμένου ηλεκτρικού αυτοκινήτου είναι περίπου 30 kWh, παρέχοντας αυτονομία περίπου για 160 χιλιόμετρα. Τα υβριδικά οχήματα έχουν χωρητικότητα περίπου 3 έως 5 kWh, παρέχοντας αυτονομία περίπου 20 έως 40 χιλιόμετρα. Επομένως, λόγω της περιορισμένης αυτονομίας, θα πρέπει ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο να φορτίζει τουλάχιστον μία φορά την ημέρα, ανάλογα βέβαια και με τις ανάγκες ενός οδηγού τέτοιου οχήματος. Οπότε, εξυπηρετεί συνήθως, να φορτίζουν οι οδηγοί τα ηλεκτρικά τους οχήματα κάθε βράδυ, ξεκινώντας την κάθε ημέρα πλήρως φορτισμένα. Για μία φόρτιση μέχρι τα 7.4 kW, οι κατασκευαστές αυτοκινήτων έχουν δημιουργήσει έναν φορτιστή μπαταρίας εντός του αυτοκινήτου. Στη περίπτωση αυτή, χρησιμοποιείται ένα καλώδιο φόρτισης για να συνδεθεί με το ηλεκτρικό δίκτυο για την παροχή 230 V AC. Εάν είναι επιθυμητή ταχύτερη φόρτιση, όπως για παράδειγμα 22 kW, ή ακόμα 43 kW και άνω, οι κατασκευαστές επέλεξαν δύο λύσεις:

- Ενσωματωμένος φορτιστής στο όχημα, με σκοπό να δίνει 3 – 43 kW στα 230 V μονοφασικό ή 400 V τριφασικό.
- Εξωτερικός φορτιστής, ο οποίος μετατρέπει το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές και φορτίζει το όχημα στα 50 kW ή ακόμα περισσότερο στα 120 – 135 kW.

Ο χρόνος φόρτισης  $t$  φόρτισης (h) για ένα ηλεκτρικό όχημα, υπολογίζεται από την σχέση:

$$t_{\text{φορτισης}} = \frac{E_{\text{συσσωρευτη}}}{P_{\text{φορτισης}}}$$

με την προϋπόθεση πως είναι γνωστά τόσο η χωρητικότητα του συσσωρευτή Εφόρτισης του ηλεκτρικού οχήματος (kWh), όσο και η ισχύς φόρτισης P φόρτισης του χρησιμοποιούμενου σταθμού φόρτισης του ηλεκτρικού οχήματος (kW). Ο χρόνος της διάρκειας φόρτισης των συσσωρευτών των ηλεκτρικών οχημάτων κατά Mode 1, 2, 3 και 4 σε σχέση με την απαιτούμενη ισχύ του συστήματος φόρτισης, καθώς και με το ρεύμα ηλεκτροδότησης, έχει τους αντίστοιχους χαρακτηρισμούς που περιγράφονται αναλυτικά στον παρακάτω Πίνακα.

Πίνακας 7:Χαρακτηριστικά μεθόδων φόρτισης

Τύπος φόρτισης	Χρόνος φόρτισης(ώρες)	Αυτονομία(km)	Ισχύς(kWh)	Τάση(V)	Μέγιστο Ρεύμα(A)
Mode 1	2-3	100	11	400(3Φ)	16
	6-8	100	3,7	230(1Φ)	16
Mode 2	1-2	100	22	400(3Φ)	32
	3-4	100	7,4	230(1Φ)	32
Mode 3	20-30ΛΕΠΤΑ	100	43	400(3Φ)	63
Mode 4	20-30 ΛΕΠΤΑ	100	50	400-500DC	100-125
	10	100	120	300-500DC	300-350

Όσον αφορά τα δεδομένα της παρούσας εργασίας, ο χώρος στάθμευσης είναι ένας χώρος ανοικτός για το κοινό, με ελεγχόμενη πρόσβαση, 24 ώρες το εικοσιτετράωρο για 7 ημέρες την εβδομάδα. Οι σταθμοί φόρτισης που θα εγκατασταθούν, θα εξυπηρετούν τους εργαζόμενους αλλά και επισκέπτες (επιτρέπεται η μικρής και μακράς διάρκειας στάθμευση). Σε κάθε περίπτωση, ο μέσος χρόνος στάθμευσης δεν αναμένεται να είναι λιγότερος από 1 ώρα και περισσότερος από 9 ώρες, καθώς τόσο είναι κατά μέσο όρο, το χρονικό διάστημα παραμονής των εργαζομένων ενώ δεν υπάρχει λόγος να εκτιμηθεί η παραμονή των επισκεπτών κάτω της μιας ώρας μιας και ακόμα και οι οδηγοί ηλεκτρικών οχημάτων απαιτούν περισσότερο χρόνο για επαναφόρτιση του οχήματος τους. Για τους σκοπούς της εργασίας και θεωρώντας πως ο χώρος δέχεται οχήματα και για ολιγόωρη στάθμευση προκύπτει ένας μέσος όρος στις 3 ώρες (Richardson A. , 1974).

Οι σταθμοί φόρτισης, που θα επιλεγθούν, θα πρέπει:

1. Να έχουν εγκατεστημένη ισχύ περίπου έως 22 kW έκαστος, και να εξεταστεί ενδελεχώς η επάρκεια των υποσταθμών (Υ/Σ) μέσης προς χαμηλή τάση.
2. Να πληρούν το ΦΕΚ 50/Β 2015 και το ΦΕΚ 204/Β/04-06-2019, να παρέχουν δηλαδή φόρτιση με Mode 3 (AC) και Mode 4(AC) ώστε να εξασφαλίζεται η προστασία και ασφάλεια του ηλεκτρικού δικτύου και του οχήματος.
3. Να διαθέτουν πολλαπλούς ρευματοδότες, τουλάχιστον 2 αν θέση, ώστε να παρέχουν ταυτόχρονα ενέργεια σε πολλά ηλεκτρικά οχήματα, κάτι το οποίο εξυπηρετεί από άποψη εξοικονόμησης χώρου εγκατάστασης και κατ' επέκταση πόρων.

Το γεγονός του ότι οι σταθμοί βρίσκονται σε πολύ κοντινή απόσταση από τις θέσεις στάθμευσης που παρέχουν εμβέλεια αποτελεί θετικό στοιχείο, καθώς δεν απαιτούνται πολυδάπανα έργα ηλεκτρολογικής εγκατάστασης, ούτε χρειάζεται να ληφθούν κατάλληλα μέτρα για τα φαινόμενα πτώσης τάσης, λόγω νέων γραμμών που θα χρειάζονταν. Ο υπολογισμός του συνολικού φορτίου ισχύς των υποδομών εξαρτάται από τον αριθμό των σταθμών, άρα και των σημείων φόρτισης που θα επιλεγθούν, και από τις απαιτήσεις ισχύος του κάθε σταθμού.

Όσον αφορά την σύνδεση των υποδομής επαναφόρτισης με το δίκτυο διανομής ενέργειας , η σύνδεση θα είναι σε κάθε περίπτωση υπόγεια. Η υποδομή επαναφόρτισης θα τροφοδοτείται είτε αποκλειστικά από υπόγειο δίκτυο είτε από τον πλησιέστερο στύλο εναέριου δικτύου του ΔΕΔΔΗΕ μέσω υπογείου καλωδίου. Αποκλειστικά για περιπτώσεις δημοσίως προσβάσιμων δημόσιων χώρων, για παροχές ηλεκτροδότησης έως 55kVA, θα πρέπει να προβλέπεται επαρκής χώρος για εγκατάσταση της μετρητικής διάταξης και διασφάλιση της πρόσβασης του προσωπικού του ΔΕΔΔΗΕ σε αυτή.

### 5.3. Απαιτήσεις του προβλήματος

Για τη δημιουργία του μοντέλου, κρίσιμη είναι η αναφορά στις προδιαγραφές που πρέπει να πληρούνται για την μέγιστη εξυπηρέτηση των χρηστών του συστήματος στάθμευσης.

1. Τα ηλεκτρικά οχήματα θα έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά, με μπαταρίες ίσης χωρητικότητας και ίδιες επιδόσεις.
2. Οι εγκατεστημένοι φορτιστές θα παρέχουν δυνατότητα φόρτισης στα οχήματα που βρίσκονται στις περιμετρικές θέσεις από αυτούς.
3. Η ενέργεια που θα λαμβάνουν κατά την φόρτιση τους θα είναι ανάλογη της διάρκειας της φόρτισης.
4. Οι φορτιστές που θα χωροθετηθούν θα είναι ίσης ισχύος.
5. Ο ρυθμός άφιξης των συμβατικών και ηλεκτρικών οχημάτων θεωρείται γνωστός.
6. Το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας (State of Charge) θα κυμαίνεται μεταξύ 20 και 80% προκειμένου να διασφαλιστεί η σωστή λειτουργία της σε όλη την διάρκεια της ζωής της.
7. Ο Χρόνος παραμονής των συμβατικών οχημάτων στις θέσεις είναι γνωστός.
8. Η ισχύς των μονάδων φόρτισης θα πληρούν όλες τις διατάξεις προστασίας, δηλαδή το Mode 3 και θα παρέχουν ισχύ  $P=22$  kW. Έκαστος, ενώ θεωρείται πως το υπάρχον δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας υποστηρίζει τα νέα φορτία.

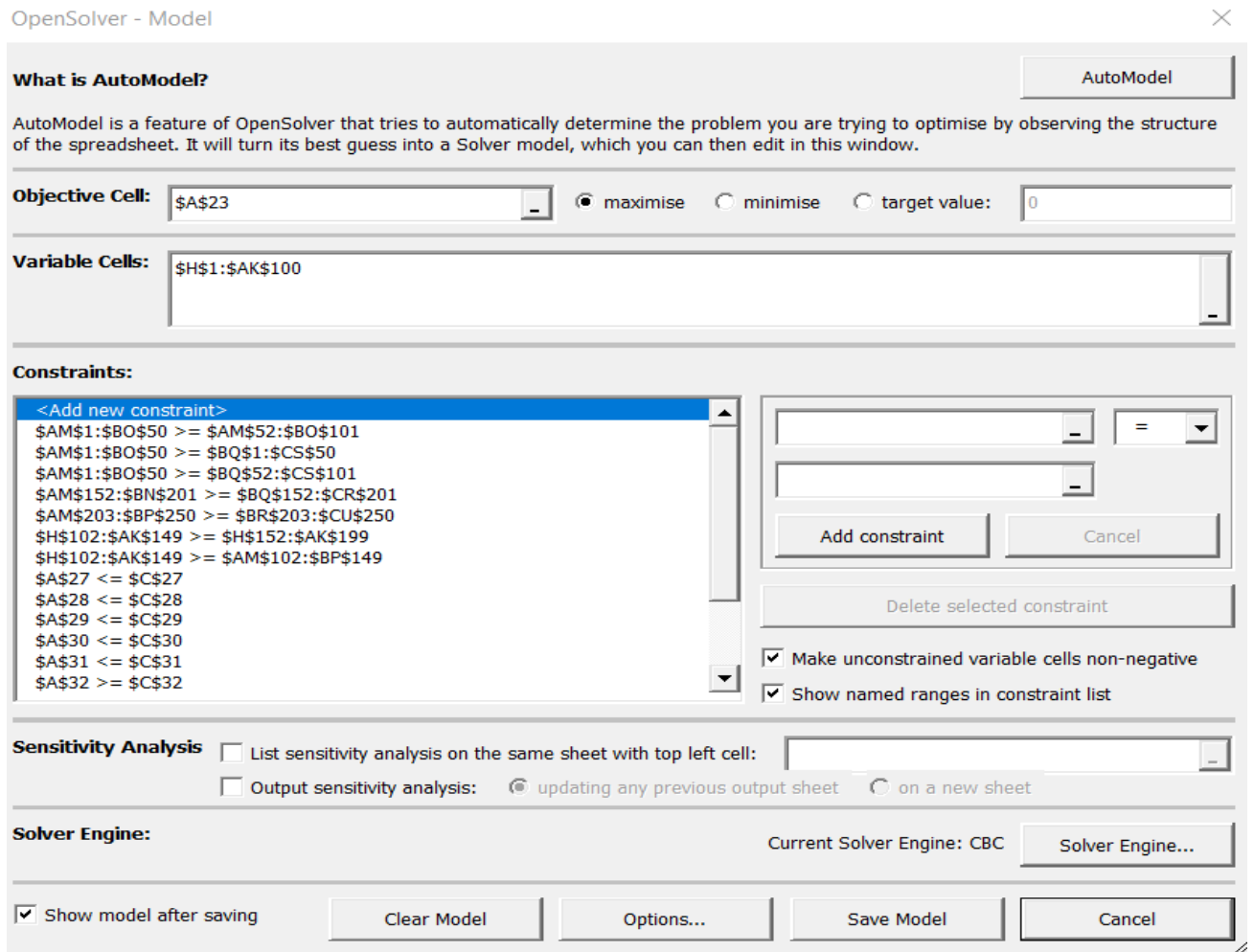
### 5.4. Περιβάλλον επίλυσης

Για την επίλυση του προβλήματος γραμμικού προγραμματισμού επιλέχθηκε το εργαλείο βελτιστοποίησης Open Solver. Το εργαλείο επίλυσης Open Solver αποτελεί μια νέα βελτιωμένη έκδοση του προσθετού εργαλείου (add-in tool) Solver της Microsoft Excel.

Το Solver της Microsoft Excel δίνει τη δυνατότητα επίλυσης προβλημάτων βελτιστοποίησης σε υπολογιστικά φύλλα του Excel. Αποτελεί ένα ιδιαίτερα εύχρηστο και λειτουργικό εργαλείο όπου η λύση που παρέχει είναι υψηλής ακρίβειας. Πάρα την ευκολία στη χρήση του, το λογισμικό δεν μπορεί να χειριστεί πάνω από διακόσιες μεταβλητές, κάτι το οποίο κρινόταν αναγκαίο για την επίλυση του προβλήματος Χωροθέτησης της εργασίας. Την ανεπάρκεια αυτή καταργεί το πρόσθετο εργαλείο του Open Solver.

Το εργαλείο βελτιστοποίησης αυτό του Excel παρέχει τη δυνατότητα επίλυσης μοντέλων γραμμικού και ακέραιου προγραμματισμού με το λογισμικό βελτιστοποίησης CBC. Το CBC έχει αναπτυχθεί ως COIN-OR (Computational Infrastructure for OR) και πρόκειται για ανοιχτού κώδικα λογισμικό.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η τυπική μορφή περιβάλλοντος του συγκεκριμένου λογισμικού:



Εικόνα 9: Τυπική μορφή περιβάλλοντος Open Solver

## 5.5. Αριθμητικά αποτελέσματα

Η επίλυση του προβλήματος βελτιστοποίησης πραγματοποιήθηκε σε δυο χώρους στάθμευσης ίσης χωρητικότητας 996 θέσεων. Οι παράμετροι αρχικοποιήθηκαν βάσει ορισμένων παραδοχών που αναλύονται στη συνέχεια.

### 5.5.1. Παρουσίαση Αποτελεσμάτων Σεναρίου 1 χωροθέτησης 2 θέσεων στάθμευσης ανα φορτιστή

Πίνακας 8: Αρχικοποίηση παραμέτρων 1ου σεναρίου

Περιγραφή παραμέτρου	Συμβολισμός	Τιμή	Μονάδες
Αριθμός συμβατικών οχημάτων	$Q_1$	8640	Οχήματα/μέρα
Αριθμός ηλεκτρικών οχημάτων	$Q_2$	960	Οχήματα/μέρα
Ο ρυθμός άφιξης των συμβατικών οχημάτων στην διάρκεια μίας ώρας.	$\lambda_1$	270	Οχήματα/ώρα
Ο ρυθμός άφιξης των ηλεκτρικών οχημάτων στην διάρκεια μίας ώρας.	$\lambda_2$	30	Οχήματα/ώρα
Ο ρυθμός εξυπηρέτησης των συμβατικών οχημάτων	$\mu_1$	0,33	Οχήματα/ώρα
Ο ρυθμός εξυπηρέτησης των ηλεκτρικών οχημάτων	$\mu_2$	0,33	Οχήματα/ώρα
Κόστος θέσης συμβατικού οχήματος ανα ώρα	$C_c$	4	€
Κόστος θέσης ηλεκτρικού οχήματος	$C_e$	4	€
Κόστος αγοράς φορτιστή	$C_{charger}$	7.500	€
Κόστος εγκατάστασης	$C_I$	3.000	€
Κόστος συντήρησης	$C_S$	200+650	€/Θέση
Κόστος ενέργειας	$C_E$	0,312	€/kW
Αναλογία ηλεκτρικών οχημάτων εντός της ζήτησης κυκλοφορίας που εισέρχονται στο χώρο (ποσοστό διείσδυσης)	$r$	10%	
Μέγιστο ποσοστό απόρριψης συμβατικών οχημάτων	$RR_1$	-	
Μέγιστο ποσοστό απόρριψης ηλεκτρικών οχημάτων	$RR_2$	0,0	
Μέσος χρόνος κατάληψης μιας θέσης συμβατικών ανα ημέρα	$T_1$	3	ώρες

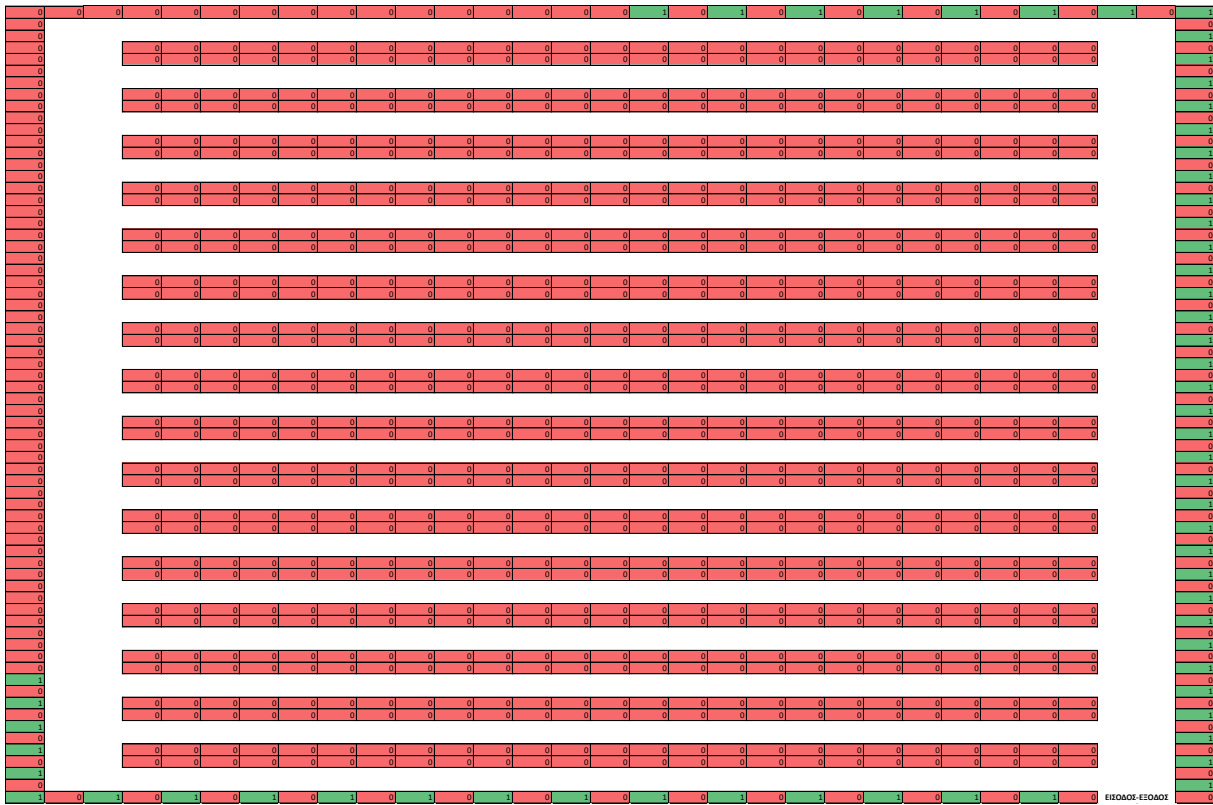
Μέσος χρόνος κατάληψης μιας θέσης ηλεκτρικών αναημέρα	$T_2$	3	ώρες
Η ελάχιστη επιτρεπόμενη στάθμη της μπαταρίας	SOCmin	20% = 0.2	
Η μέγιστη επιτρεπόμενη στάθμη της μπαταρίας	SOCmax	80% = 0.8	
Ετήσιο επιτόκιο	$i_{eff}$	0,078431373	

Βάσει των παραπάνω παραδοχών ο αριθμός των θέσεων στάθμευσης και ο αριθμός των φοριστών εντός του σταθμού είναι:

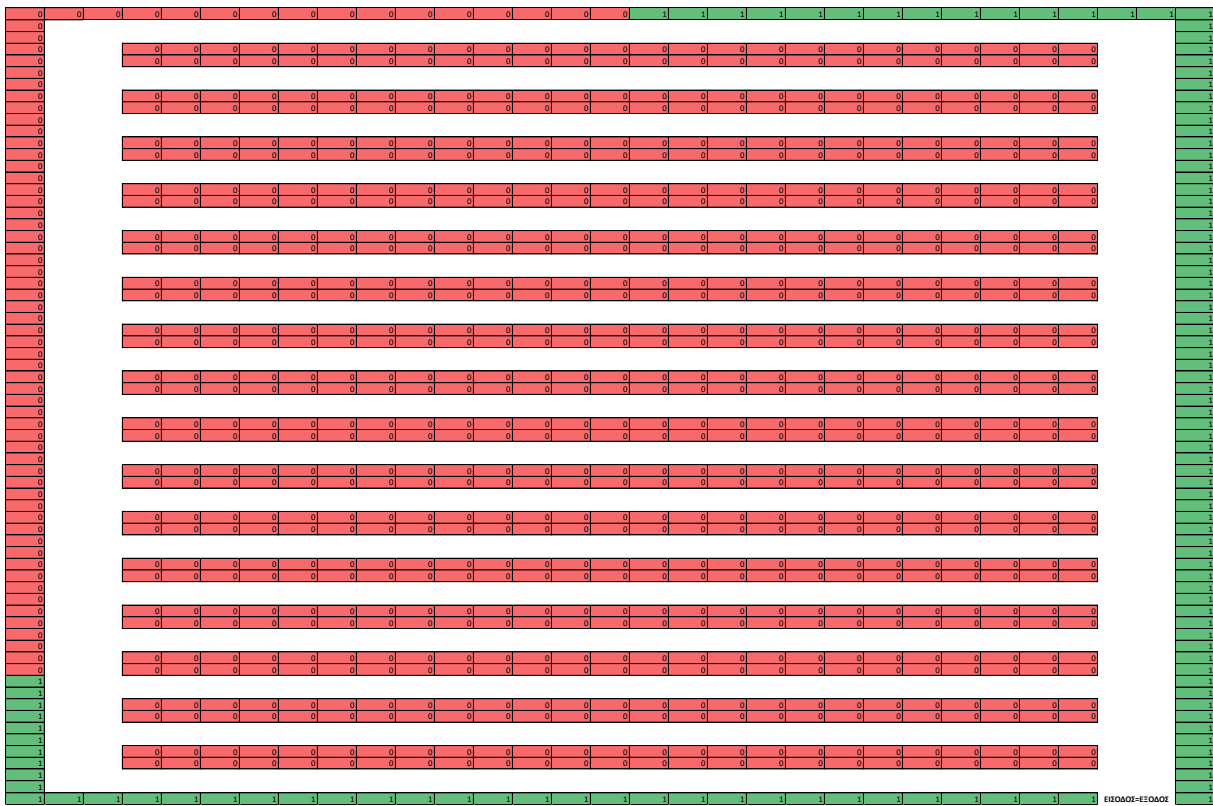
Πίνακας 9: Αποτελέσματα 1ου σεναρίου

Αριθμός φορτιστών	Αριθμός θέσεων στάθμευσης ηλεκτρικών οχημάτων	Αριθμός θέσεων συμβατικών οχημάτων	Συνολικά Κέρδη(€)
60	120	876	20.191.178,35 €

Η κατανομή των θέσεων ηλεκτρικών οχημάτων ακολούθησε μια τυχαία κατανομή στο χώρο αφού κάθε θέση έχει την ίδια βαρύτητα. Κατά την ανάλυση ευαισθησίας ο χώρος διαμορφώθηκε διαφορετικά με την αλλαγή κάθε παραμέτρου. Εφόσον ο κάθε φορτιστής παρέχει μόνο σε δυο οχήματα δυνατότητα φόρτισης, δόθηκε προτεραιότητα στις ακριανές θέσεις του παρκινγκ για χωροθέτηση εφόσον σε έναν ανοιχτό χώρο στάθμευσης θα καλύπτονται από σκέπαστρο ή διαφορά δέντρα ευνοώντας τις θέσεις αυτές. Παρακάτω δίνεται η περιοχή μελέτης όπως αποτυπώθηκε μετά την εξαγωγή του αποτελέσματος. Με κόκκινο χρώμα παρουσιάζονται οι θέσεις συμβατικών οχημάτων ενώ με πράσινο οι θέσεις εγκατάστασης υποδομών φόρτισης με τις αντίστοιχες θέσεις εμβέλειάς τους.



Εικόνα 10:Τελικό μοντέλο χωροθέτησης υποδομών φόρτισης Σεναρίου 1



Εικόνα 11:Τελικό μοντέλο θέσεων στάθμευσης Σεναρίου 1

### 5.5.2. Παρουσίαση Αποτελεσμάτων Σεναρίου 2 χωροθέτησης 4 θέσεων αναφοριστή

Η αρχικοποίηση των μεταβλητών στο παρόν σενάριο δίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 10: Αρχικοποίηση παραμέτρων 2ου σεναρίου

Περιγραφή παραμέτρου	Συμβολισμός	Τιμή	Μονάδες
Αριθμός συμβατικών οχημάτων	$Q_1$	8640	Οχήματα
Αριθμός ηλεκτρικών οχημάτων	$Q_2$	960	οχήματα
Ο ρυθμός άφιξης των συμβατικών οχημάτων στην διάρκεια μίας ώρας.	$\lambda_1$	270	Οχήματα/ώρα
Ο ρυθμός άφιξης των ηλεκτρικών οχημάτων στην διάρκεια μίας ώρας.	$\lambda_2$	30	Οχήματα/ώρα
Ο ρυθμός εξυπηρέτησης των συμβατικών οχημάτων	$\mu_1$	0,33	
Ο ρυθμός εξυπηρέτησης των ηλεκτρικών οχημάτων	$\mu_2$	0,2	
Κόστος θέσης συμβατικού οχήματος ανα ώρα	$C_c$	4	€
Κόστος θέσης ηλεκτρικού οχήματος	$C_e$	4	€
Κόστος φορτιστή	$C_{charger}$	10.500	€
Κόστος εγκατάστασης	$C_I$	3.000	€
Κόστος συντήρησης	$C_S$	650+200	€/Θέση
Κόστος ενέργειας	$C_E$	0,312	€/kW
Αναλογία ηλεκτρικών οχημάτων εντός της ζήτησης κυκλοφορίας που εισέρχονται στο χώρο (ποσοστό διεϊσδυσης)	$r$	10%	
Μέγιστο ποσοστό απόρριψης συμβατικών οχημάτων	$RR_1$	-	
Μέγιστο ποσοστό απόρριψης ηλεκτρικών οχημάτων	$RR_2$	0	



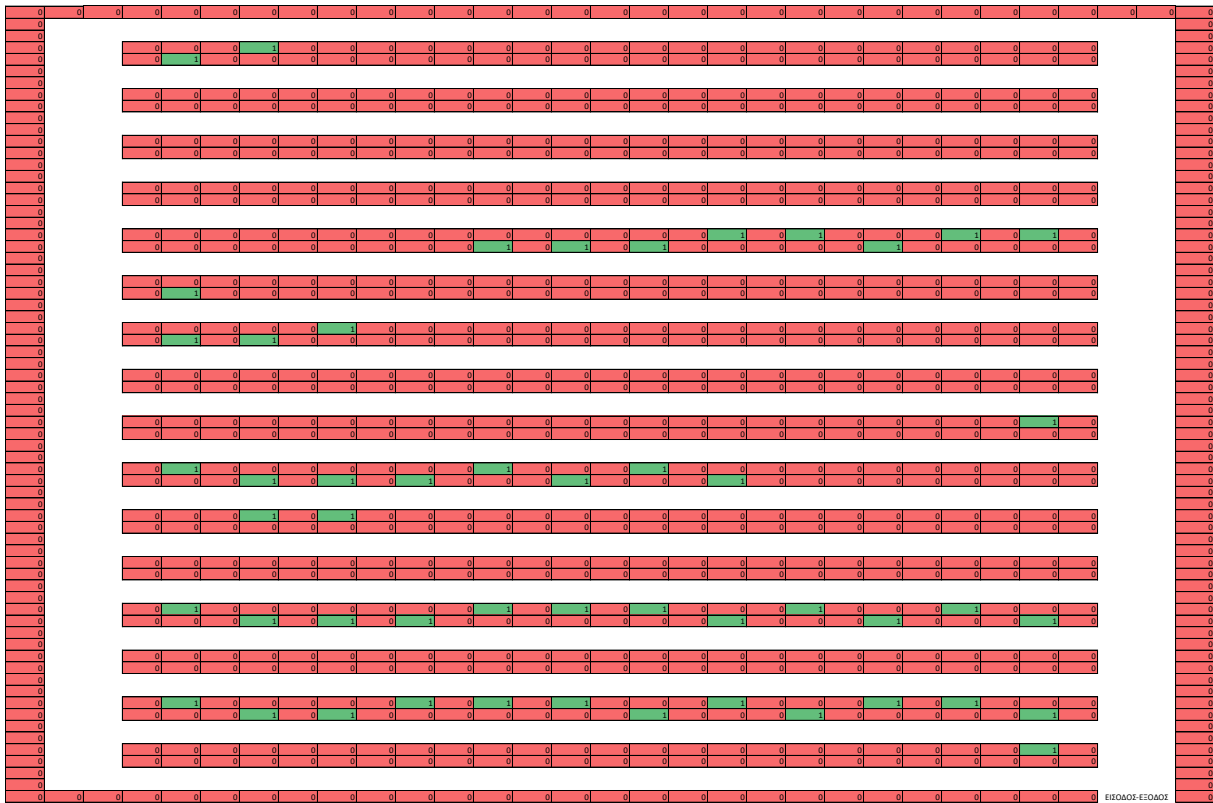
Μέσος χρόνος κατάληψης μιας θέσης συμβατικών ανα ημέρα	$T_1$	3	ώρες
Μέσος χρόνος κατάληψης μιας θέσης ηλεκτρικών ανα ημέρα	$T_2$	5	ώρες
SOC <sub>min</sub>	Η ελάχιστη επιτρεπόμενη στάθμη της μπαταρίας	20% = 0.2	
SOC <sub>max</sub>	Η μέγιστη επιτρεπόμενη στάθμη της μπαταρίας	80% = 0.8	

Βάσει των παραπάνω παραδοχών ο αριθμός των θέσεων στάθμευσης και ο αριθμός των φορτιστών εντός του σταθμού είναι:

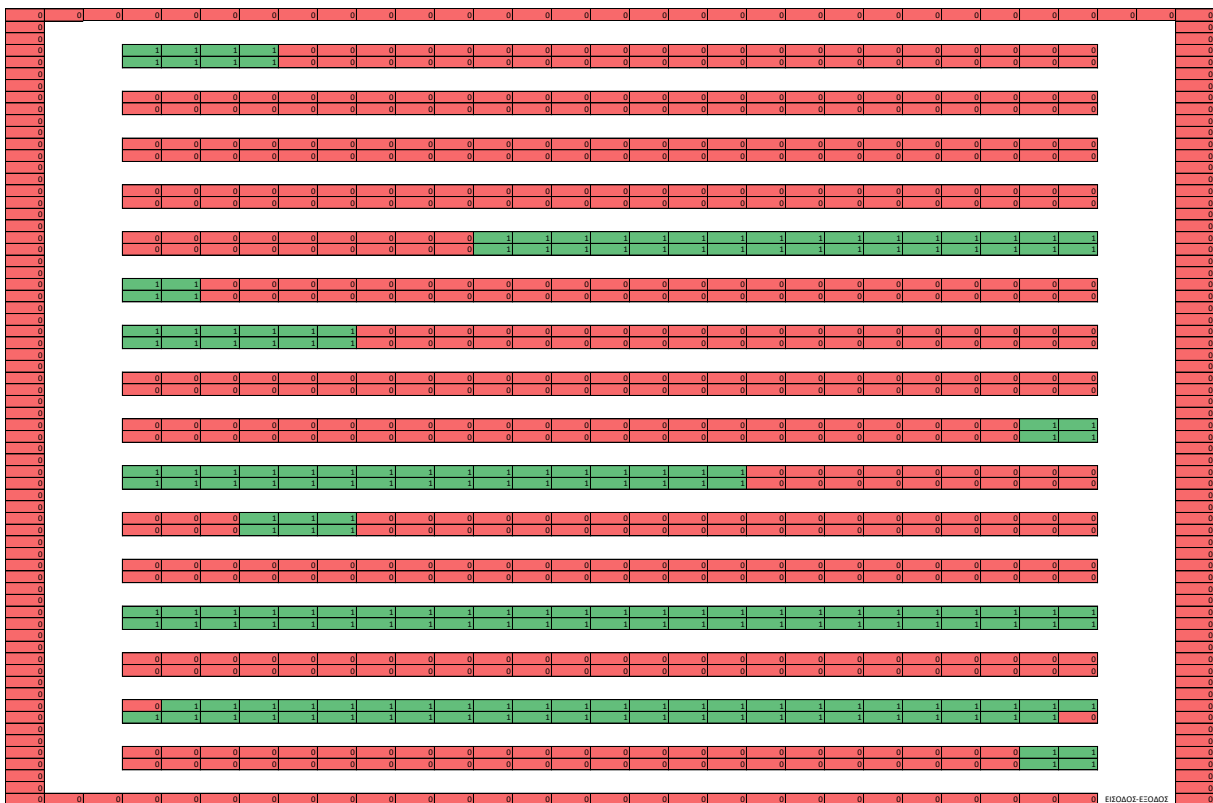
Πίνακας 11:Αποτελέσματα 2ου σεναρίου

Αριθμός φορτιστών	Αριθμός θέσεων στάθμευσης ηλεκτρικών οχημάτων	θέσεων	Αριθμός θέσεων στάθμευσης συμβατικών οχημάτων	θέσεων	Συνολικά Κέρδη(€)
50	200		796		18.613.811,92 €

Η κατανομή των θέσεων ηλεκτρικών οχημάτων ακολούθησε και σε αυτήν την περίπτωση μια τυχαία κατανομή στο χώρο αφού κάθε θέση έχει την ίδια βαρύτητα. Παρακάτω δίνεται η περιοχή μελέτης όπως αποτυπώθηκε μετά την εξαγωγή του αποτελέσματος. Με κόκκινο χρώμα παρουσιάζονται οι θέσεις συμβατικών οχημάτων ενώ με πράσινο οι θέσεις εγκατάστασης υποδομών φόρτισης με τις αντίστοιχες θέσεις εμβέλειας τους.



Εικόνα 12: Τελικό μοντέλο χωροθέτησης υποδομών φόρτισης Σεναρίου 2



Εικόνα 13: Τελικό μοντέλο χωροθέτησης θέσεων στάθμευσης Σεναρίου 2

### 5.5.3. Σύγκριση Αποτελεσμάτων

Αρχικά πρέπει να αναφερθεί πως τα αποτελέσματα της επίλυσης των σεναρίων είναι τα βέλτιστα σύμφωνα με την αντικειμενική συνάρτηση και τους περιορισμούς που τέθηκαν.

Συγκρίνοντας τους δυο χώρους στάθμευσης παρατηρείται πως το μέγιστο κέρδος προκύπτει κατά την εφαρμογή του σεναρίου 1. Στο παρακάτω πίνακα δίνονται οι τιμές της παρούσας αξίας εσόδων και εξόδων για το κάθε σενάριο.

Πίνακας 12: Καθαρή Παρούσα Αξία Κερδών Σεναρίου 1

#### ΚΑΘΑΡΗ ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ ΕΣΟΔΩΝ-ΕΞΟΔΩΝ 1<sup>ΟΥ</sup> ΣΕΝΑΡΙΟΥ

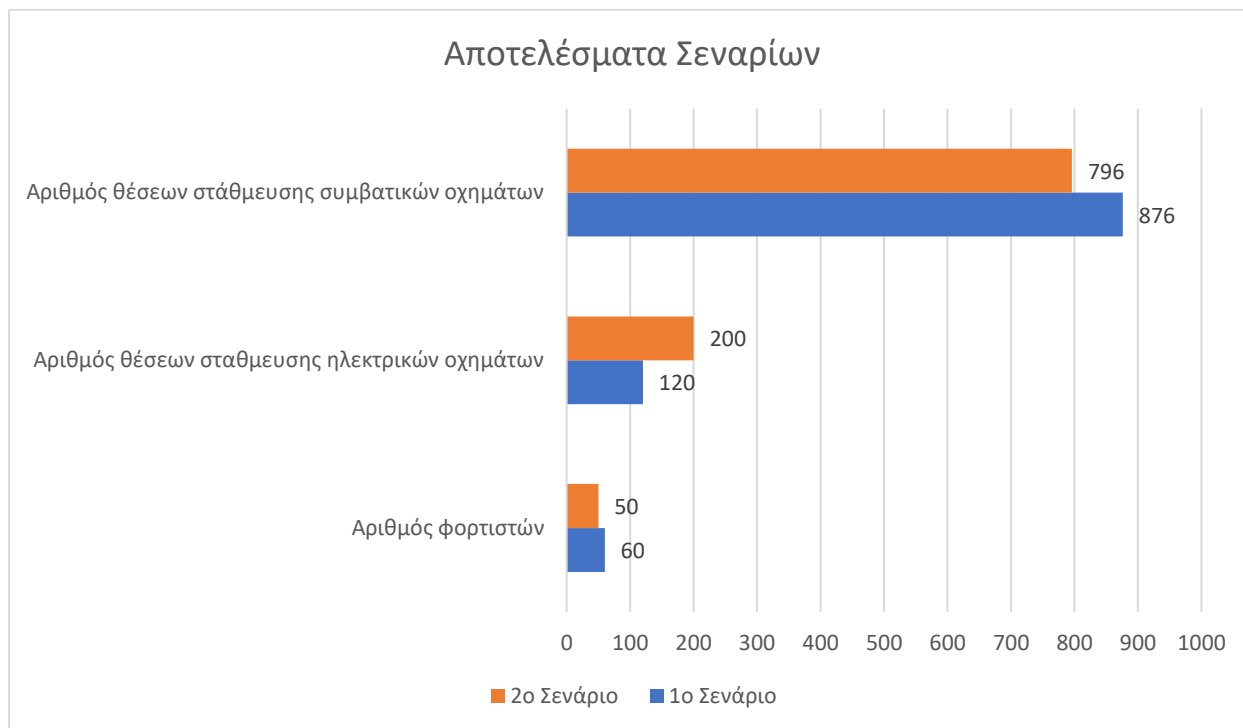
ΕΣΟΔΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ	14.425.905,06 €
ΕΣΟΔΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ	10.491.567,32 €
ΚΟΣΤΟΣ ΑΠΟΡ. ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ	3.359.457,34 €
ΚΟΣΤΟΣ ΑΠΟΡ. ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ	- €
ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ	211.488,80 €
ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	309.901,59 €
ΚΟΣΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	845.446,29 €
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΚΑΘΑΡΑ ΚΕΡΔΗ</b>	<b>20.191.178,35</b>

Πίνακας 13: Καθαρή Παρούσα Αξία Κερδών Σεναρίου 2

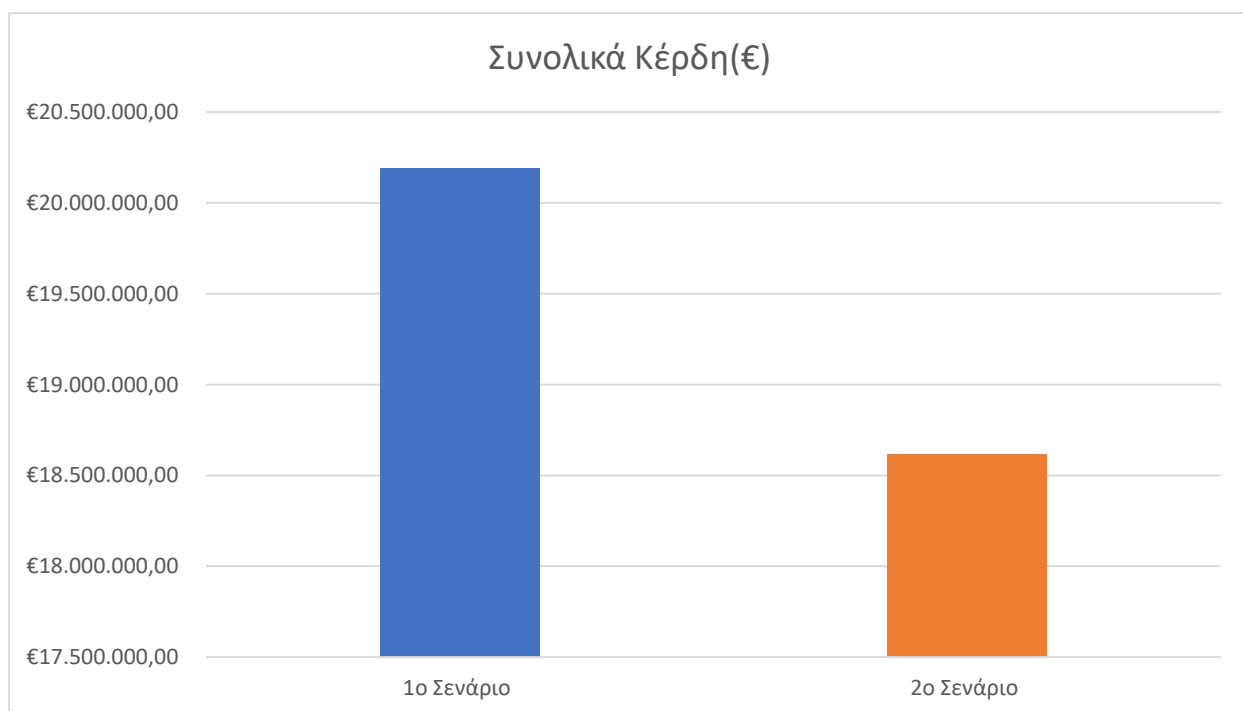
#### ΚΑΘΑΡΗ ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ ΕΣΟΔΩΝ-ΕΞΟΔΩΝ 2<sup>ΟΥ</sup> ΣΕΝΑΡΙΟΥ

ΕΣΟΔΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ	13.108.470,81 €
ΕΣΟΔΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ	11.440.119,98 €
ΚΟΣΤΟΣ ΑΠΟΡ. ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ	4.676.891,60 €
ΚΟΣΤΟΣ ΑΠΟΡ. ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ	-0,00 €
ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ	246.736,94 €
ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	306.611,77 €
ΚΟΣΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	704.538,57 €
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΚΑΘΑΡΑ ΚΕΡΔΗ</b>	<b>18.613.811,92 €</b>

Όσον αφορά τον αριθμό των φορτιστών και των θέσεων στάθμευσης, τα παρακάτω γραφήματα συνοψίζουν τα αποτελέσματα δίνονται παρακάτω:



Εικόνα 14: Αποτελέσματα Βασικών Σεναρίων



Εικόνα 15: Συνολικά Κέρδη Σεναρίων 1 και 2

## 5.6. Ανάλυση Ευαισθησίας

Στο παρόν υποκεφάλαιο θα πραγματοποιηθεί μία ανάλυση ευαισθησίας προκειμένου να αναλυθεί το πως επηρεάζει η αλλαγή των αρχικών τιμών των παραμέτρων του προβλήματος την υλοποίηση του έργου. Άλλωστε, η ποιότητα της λύσης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις παραδοχές που έχουν πραγματοποιηθεί για τις τιμές των παραμέτρων του μαθηματικού μοντέλου. Στη συνέχεια, λοιπόν, θα πραγματοποιηθεί ανάλυση των επιπτώσεων από την μεταβολή των τιμών των ακόλουθων παραμέτρων:

- (i) Ο ρυθμός άφιξης συμβατικών και ηλεκτρικών οχημάτων στον χώρο
- (ii) Το ποσοστό διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων στην αγορά
- (iii) Η ισχύς των φορτιστών προς εγκατάσταση
- (iv) Η χωρητικότητα μπαταρίας ηλεκτρικών οχημάτων
- (v) Το ωριαίο κόστος του κομίστρου
- (vi) Ο δείκτης απόρριψης των συμβατικών και ηλεκτρικών οχημάτων

Όπως θα γίνει φανερό και στην συνέχεια, δεν θα μεταβάλλονται μεμονωμένα μόνο οι τιμές των παραπάνω παραμέτρων. Θα εξεταστεί το πως επηρεάζεται η κατανομή φορτιστών μεταβάλλοντας ταυτόχρονα μεγέθη που αλληλεξαρτώνται (όπως ο μέσος χρόνος παραμονής των οχημάτων με την ισχύ των φορτιστών).

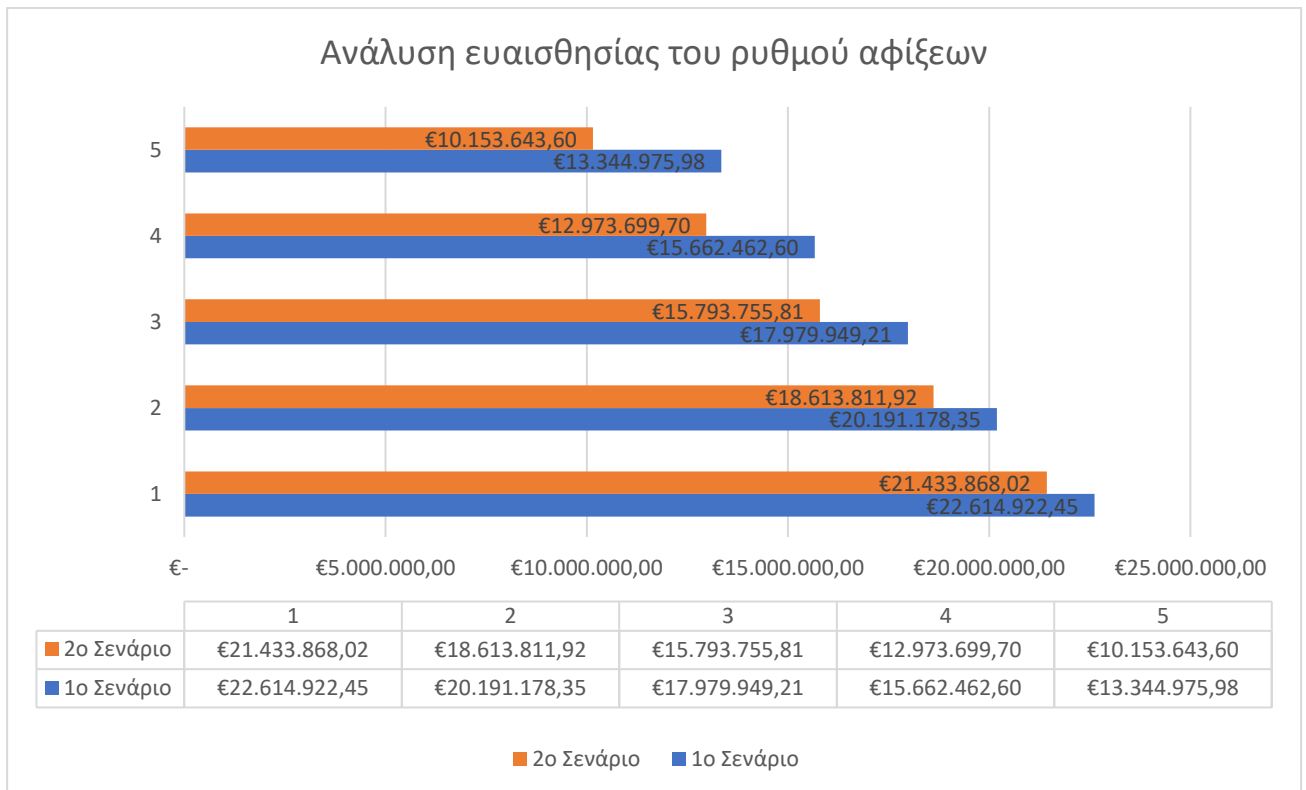
### 5.6.1. Μεταβολή του ρυθμού άφιξης των οχημάτων

Αρχικά, θα ελεγχθεί το πόσο μεταβάλλει τα αποτελέσματα του αρχικού σεναρίου η μεταβολή του ρυθμού άφιξης των οχημάτων στο σταθμό ημερησίως. Η αύξηση του αριθμού των οχημάτων θα προκαλέσει και αύξηση των ποσοστών απόρριψης. Ο ρυθμός άφιξης των συμβατικών οχημάτων θα λάβει πιθανές τιμές ανάλογα το χώρο του parking και της προσβασιμότητας του, ενώ για το ρυθμό άφιξης των ηλεκτρικών, το ποσοστό διείσδυσης του θα παραμείνει σταθερό. Παρακάτω δίνεται η ανάλυση ευαισθησίας των δυο διαφορετικών σεναρίων με τις εξής μεταβολές:

- ❖ Μείωση του ρυθμού άφιξης κατά 5%
- ❖ Αύξηση του ρυθμού άφιξης κατά 10%
- ❖ Αύξηση του ρυθμού άφιξης κατά 20%
- ❖ Αύξηση του ρυθμού άφιξης κατά 30%

Πίνακας 14: Ανάλυση ευαισθησίας για τον ρυθμό άφιξης

	Ρυθμός άφιξης $\lambda_1$	Ρυθμός άφιξης $\lambda_2$	Αριθμός φορτιστών $\Sigma(y_i)$	Αριθμός θέσεων $K_e$	Συνολικά Κέρδη
<b>1° Σενάριο</b>	324	36	54	108	22.614.922,45 €
	360	40	60	120	20.191.178,35 €
	396	44	66	132	17.979.949,21 €
	432	48	72	144	15.662.462,60 €
	468	52	78	156	13.344.975,98 €
<b>2° Σενάριο</b>	324	36	45	180	21.433.868,02 €
	360	40	50	200	18.613.811,92 €
	396	44	55	220	15.793.755,81 €
	432	48	60	240	12.973.699,70 €
	468	52	65	260	10.153.643,60 €



Εικόνα 16: Διάγραμμα ανάλυσης ευαισθησίας του ρυθμού άφιξης

Παρατηρείται ξεκάθαρα πως με την αύξηση του ρυθμού άφιξης στο σταθμό, το κέρδος αυτού μειώνεται σημαντικά από το ποσοστό απόρριψης των οχημάτων που δεν μπορούν να σταθμεύσουν. Κατά την αύξηση του ρυθμού άφιξης, παρατηρείται επίσης πως τα κέρδη των δυο σεναρίων διαφοροποιούνται περισσότερο, με το σενάριο 1 να φαίνεται πιο ελκυστικό.

### 5.6.2. Μεταβολή του ποσοστού διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων στην αγορά

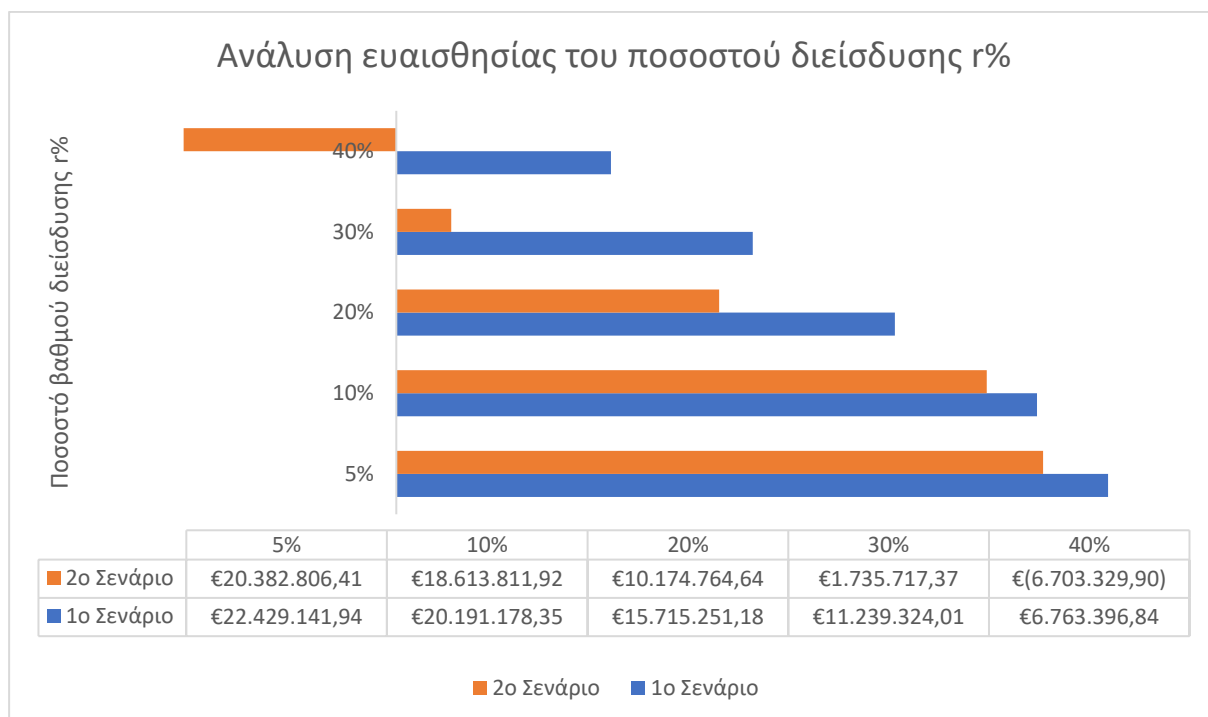
Διατηρώντας την αρχική τιμή του ρυθμού άφιξης σταθερό, γίνεται η διερεύνηση των επιπτώσεων του ποσοστού διείσδυσης στον καταμερισμό των θέσεων στάθμευσης και των υποδομών φόρτισης.

Τα ποσά στα οποία θα μεταβληθεί το  $r$  είναι: 5% , 20%, 30%,40% με αρχική τιμή το 10%. Παρατηρείται σημαντική μείωση του κέρδους λόγω ποσοστού απόρριψης αλλά και αύξησης του κόστους για εγκατάσταση νέων υποδομών με αποτέλεσμα να μην είναι κερδοφόρος ο χώρος στάθμευσης δίχως την απόρριψη ορισμένων ηλεκτρικών οχημάτων ή την εγκατάσταση πιο οικονομικών σταθμών φόρτισης.

Τα αποτελέσματα δίνονται στον ακόλουθο πίνακα και διάγραμμα:

Πίνακας 15:Ανάλυση ευαισθησίας για το ποσοστό διείσδυσης

	Ποσοστό διείσδυσης	Αριθμός φορτιστών $\sum(y_i)$	Αριθμός θέσεων $K_e$	Συνολικά Κέρδη
<b>1° Σενάριο</b>	5%	30	60	22.429.141,94 €
	10%	60	120	20.191.178,35 €
	20%	120	240	15.715.251,18 €
	30%	180	360	11.239.324,01 €
	40%	240	480	6.763.396,84 €
<b>2° Σενάριο</b>	5%	10	40	20.382.806,41 €
	10%	50	200	18.613.811,92 €
	20%	100	400	10.174.764,64 €
	30%	150	600	1.735.717,37 €
	40%	200	800	-6.703.329,90 €



Εικόνα 17: Διάγραμμα ανάλυσης ευαισθησίας του ποσοστού διείδυσης

### 5.6.3. Μεταβολή της ισχύος των φορτιστών προς εγκατάσταση

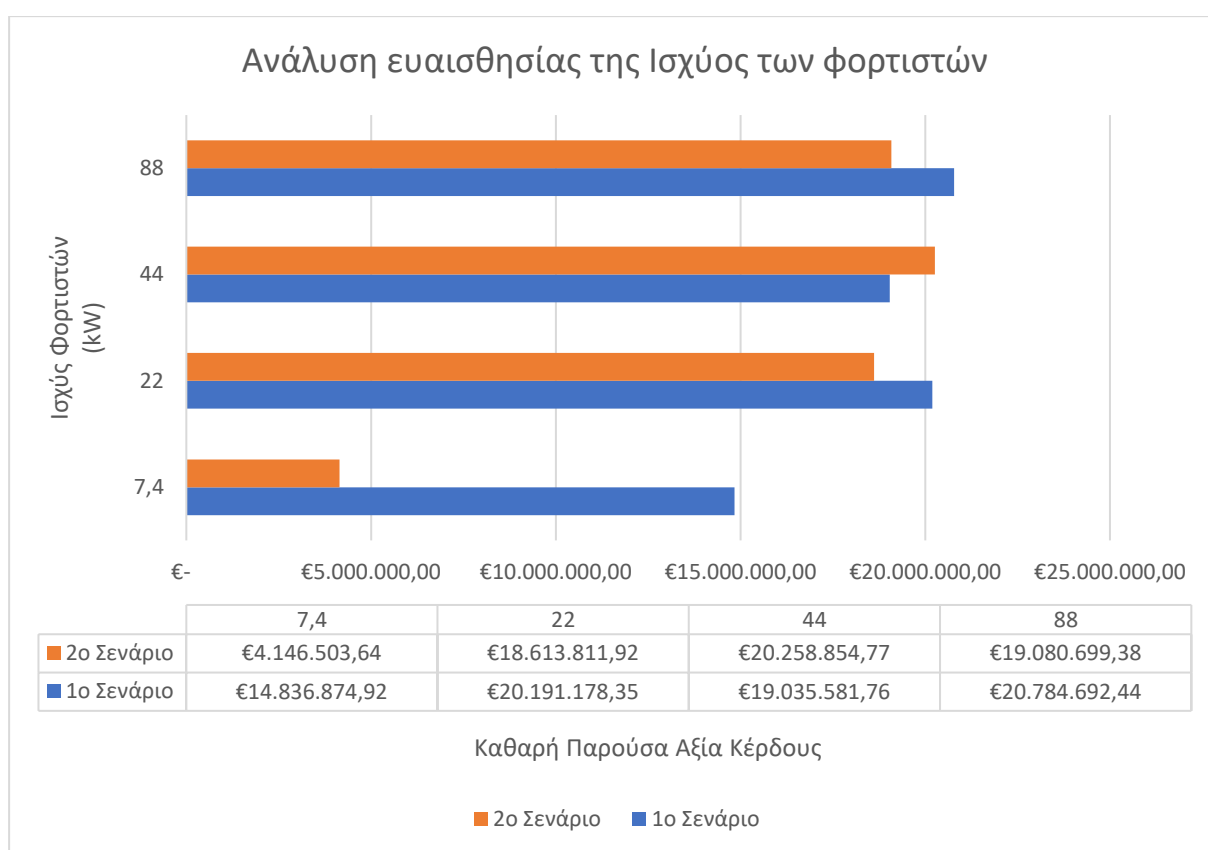
Για την ανάλυση ευαισθησίας του μοντέλου μεταβάλλοντας την ισχύ των υποδομών προς εγκατάσταση χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές 3,7Kw, 14,4 Kw και 44 Kw με αρχική τιμή την 22 Kw. Στον πίνακα δίνονται και οι τιμές των χρόνων παραμονής των οχημάτων σε κάθε θέση. Να σημειωθεί πως ο χρόνος παραμονής των οχημάτων στις  $K_c$  παραμένει σταθερός.

Πίνακας 16: Ανάλυση ευαισθησίας για μεταβολή ισχύος φορτιστών

	Ισχύς Φορτιστή	Αριθμός φορτιστών $\Sigma(y_i)$	Αριθμός θέσεων $K_e$	Συνολικό Κέρδος
<b>1° Σενάριο</b>	7,4	140	280	14.836.874,92 €
	22	60	120	20.191.178,35 €
	44	40	80	19.599.212,62 €



	88	20	40	20.784.692,44 €
<b>2ο Σενάριο</b>	7,4	130	520	4.146.503,64 €
	22	50	200	18.613.811,92 €
	44	30	120	20.258.854,77 €
	88	20	80	19.080.699,38 €



*Εικόνα 18: Διαγράμμα ανάλυσης ευαισθησίας της ισχύος των φορτιστών*

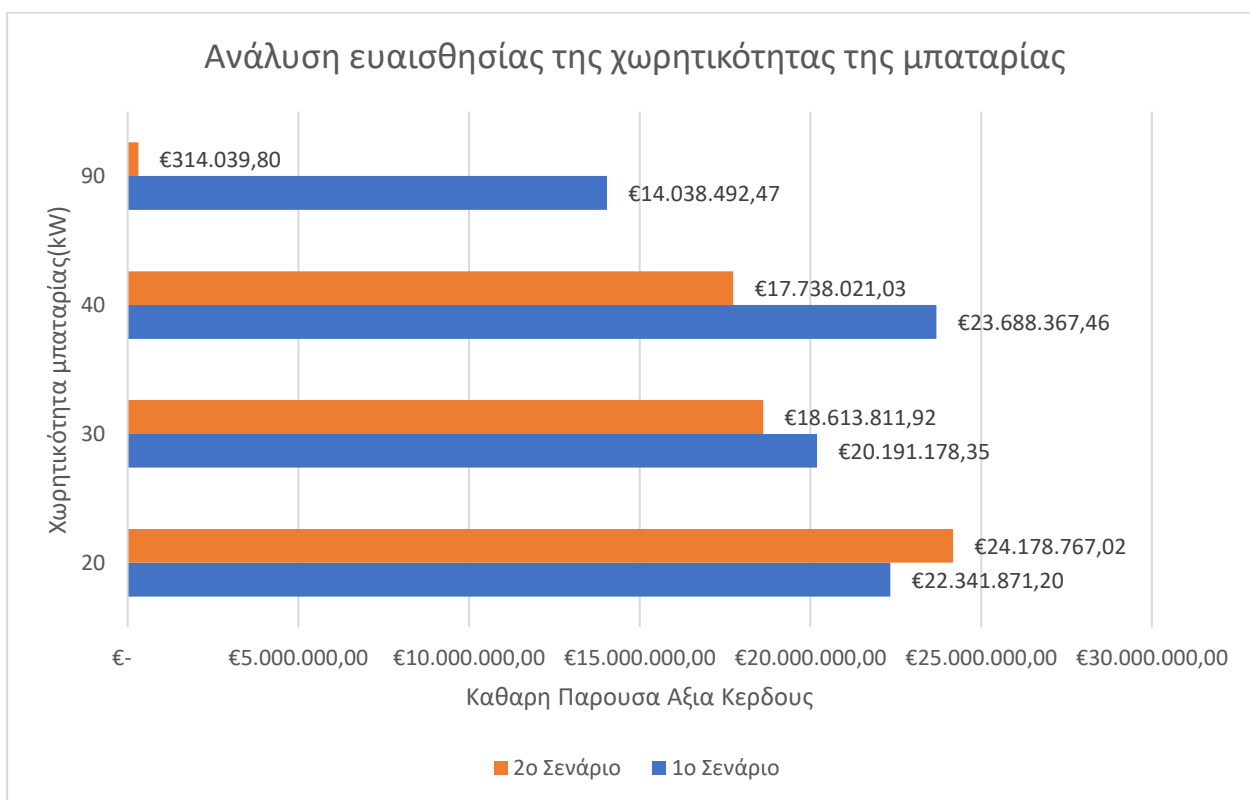
Στο διάγραμμα παρατηρείται πως ενώ οι φορτιστές δυο θέσεων δίνουν γενικά μεγαλύτερες τιμές κέρδους όσο αυξάνεται η συνολική ισχύς, κατά την εισαγωγή φορτιστών 44Kw η απόδοση είναι καλύτερη με εγκατάσταση φορτιστών τεσσάρων ακροδεκτών. Το πολύ χαμηλό κέρδος, επίσης, κατά την τροφοδότηση με 7,4 Kw των φορτιστών 4 ακροδεκτών φαίνεται λογικό, μιας και ο χρόνος παραμονής στο σταθμό αυξάνεται ραγδαία και απαιτούνται περισσότεροι φορτιστές για την ικανοποίηση του επιβατικού κοινού.

#### 5.6.4. Μεταβολή της χωρητικότητας της μπαταρίας

Για την ανάλυση ευαισθησίας σχετικά με την χωρητικότητα κάθε μπαταρίας οχήματος χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές 20, 30, 40 και 90Kw. Παρατηρείται για άλλη μια φορά μια καθοδική τάση κατά την αύξηση της παραμέτρου. Παρατηρείται πως για χωρητικότητα μπαταρίας κάτω των 20kW οι σταθμοί τεσσάρων ακροδεκτών είναι πιο κερδοφόροι.

Πίνακας 17: Ανάλυση ευαισθησίας για την χωρητικότητα μπαταρίας οχήματος

	BC(Kw)	Αριθμός φορτιστών $\Sigma(y_i)$	Αριθμός θέσεων $K_e$	Συνολικό Κέρδος
<b>1<sup>ο</sup> Σενάριο</b>	20	40	80	22.341.871,20 €
	30	60	120	20.191.178,35 €
	40	60	120	23.688.367,46 €
	90	140	280	14.038.492,47 €
<b>2<sup>ο</sup> Σενάριο</b>	20	30	120	24.178.767,02 €
	30	50	200	18.613.811,92 €
	40	60	240	17.738.021,03 €
	90	140	560	314.039,80 €



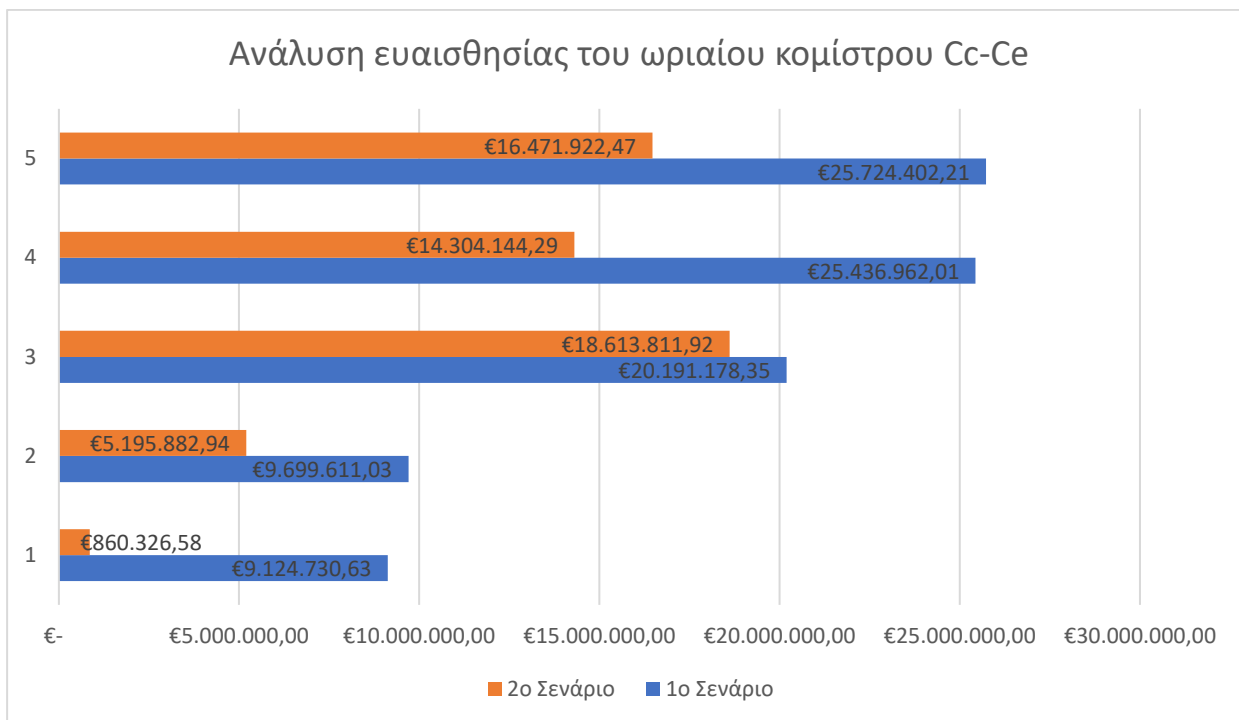
Εικόνα 19: Διάγραμμα ανάλυσης ευαισθησίας της χωρητικότητας της μπαταρίας

### 5.6.5. Μεταβολή του ωριαίου κόστους του κομίστρου

Με στόχο την μεγιστοποίηση του κέρδους των χώρων στάθμευσης η τιμή για το ωριαίο κόμιστρο λήφθηκε ώστε να προσελκύει παράλληλα τους οδηγούς, ειδικότερα των ηλεκτρικών οχημάτων και να προσφέρει κερδοφορία στο χώρο χωρίς να γίνεται υπερεκμετάλλευσή του.. Για την ανάλυση ευαισθησίας της τιμής αυτής μεταβλήθηκαν εξίσου οι δυο παράμετροι  $C_c$  και  $C_e$ .

Πίνακας 18: Ανάλυση ευαισθησίας για το ωριαίο κόστος του κομίστρου

	$C_c$	$C_e$	Αριθμός φορτιστών $\Sigma(y_i)$	Αριθμός θέσεων $K_e$	Συνολικό Κέρδος
<b>1° Σενάριο</b>	0	4	60	120	9.124.730,63 €
	4	0	60	120	9.699.611,03 €
	4	4	60	120	20.191.178,35 €
	4	6	60	120	25.436.962,01 €
	6	4	60	120	25.724.402,21 €
<b>2° Σενάριο</b>	0	4	80	320	860.326,58 €
	4	0	80	320	5.195.882,94 €
	4	4	50	200	18.613.811,92 €
	4	6	80	320	14.304.144,29 €
	6	4	80	320	16.471.922,47 €



*Εικόνα 20: Διάγραμμα ανάλυσης ευαισθησίας για το ωριαίο κόμιστρο*

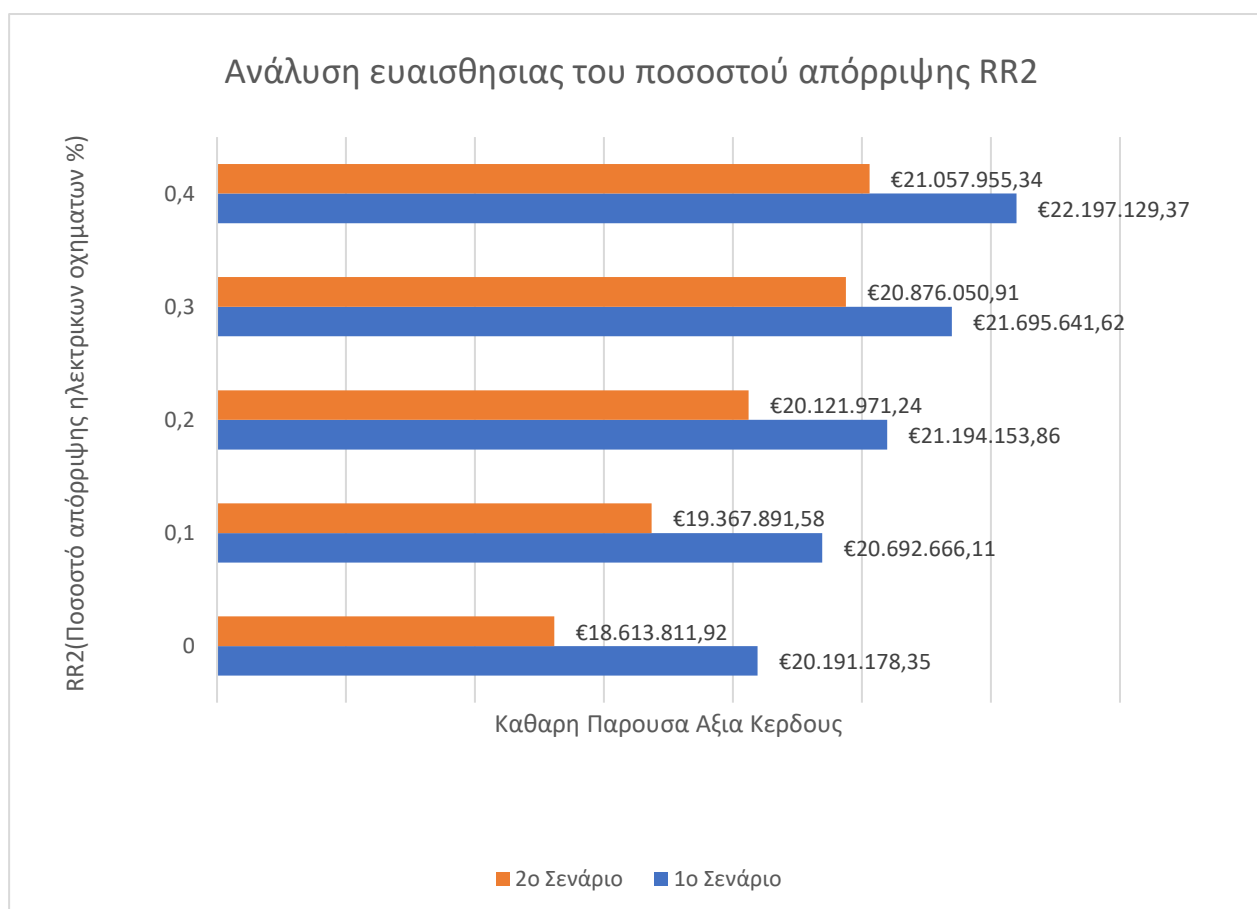
Όπως είναι λογικό με την αύξηση του κομίστρου το κέρδος αυξάνεται. Ενδιαφέρον προκαλεί το αποτέλεσμα του μηδενικού κομίστρου για τα ηλεκτρικά οχήματα, αφού δεν ζημιώνει το χώρο μέσα στα 10 χρόνια λειτουργίας του. Βέβαια να σημειωθεί πως δεν ωφέλιμη από οικονομικής άποψης μια κίνηση ελεύθερης στάθμευσης εντός του χώρου.

### 5.6.6. Μεταβολή του ποσοστού απόρριψης $RR_1$ και $RR_2$

Για την ανάλυση της ευαισθησίας του προβλήματος αναφορικά με το ποσοστό απόρριψης των ηλεκτρικών οχημάτων χρησιμοποιήθηκαν ως ανώτερες τιμές στον περιορισμό του ποσοστού οι τιμές 0,1 , 0,2 , 0,3 και 0,4. με αρχική το 0.

Πίνακας 19: Ανάλυση ευαισθησίας ποσοστού απόρριψης

	$RR_2$	Αριθμός φορτιστών $\sum(y_i)$	Αριθμός θέσεων $K_e$	Συνολικό Κέρδος
<b>1<sup>ο</sup> Σενάριο</b>	0	60	120	20.191.178,35 €
	0,1	54	108	20.692.666,11 €
	0,2	48	96	21.194.153,86 €
	0,3	42	84	21.695.641,62 €
	0,4	36	72	22.197.129,37 €
<b>2<sup>ο</sup> Σενάριο</b>	0	50	200	18.613.811,92 €
	0,1	45	180	19.367.891,58 €
	0,2	40	160	20.121.971,24 €
	0,3	35	140	20.876.050,91 €
	0,4	30	120	21.057.955,34 €



Εικόνα 21: Διάγραμμα ανάλυσης ευαισθησίας για το ποσοστό απόρριψης  $RR_2$

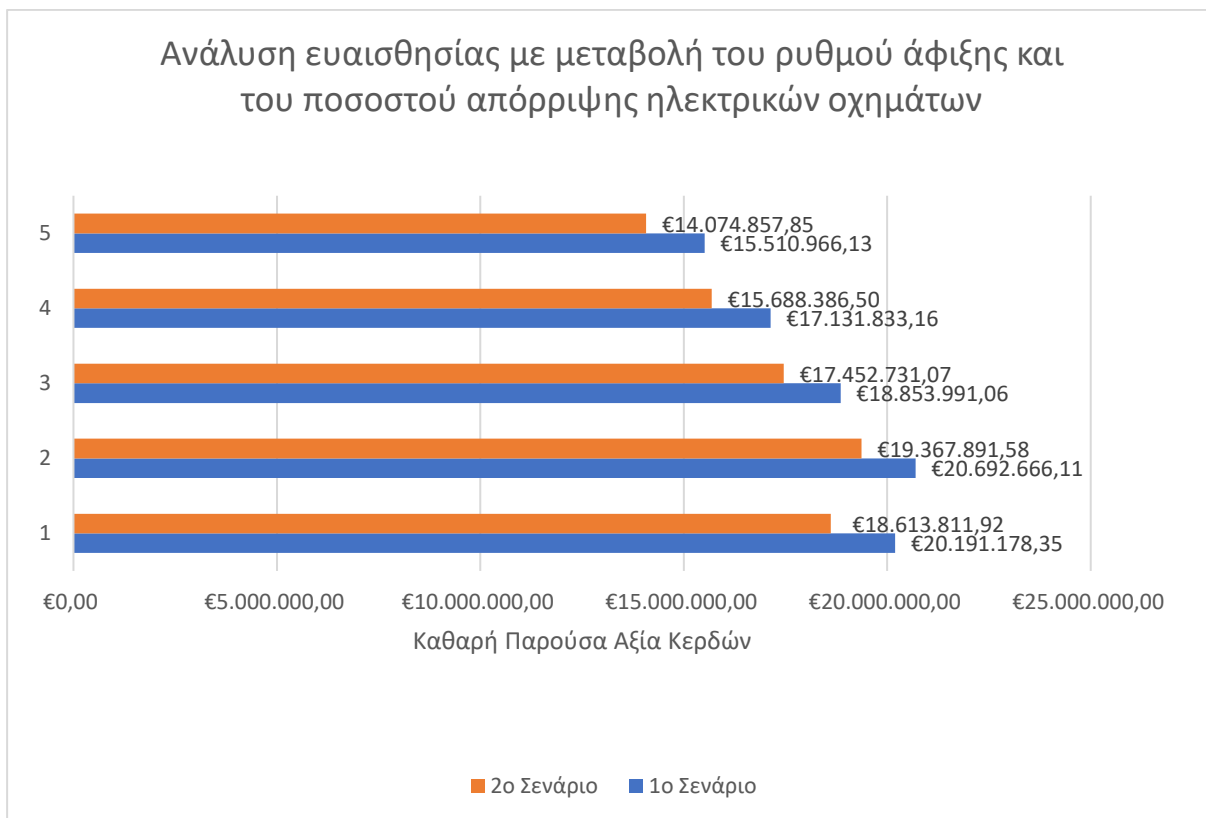
Αυξάνοντας το όριο του ποσοστού απόρριψης των ηλεκτρικών οχημάτων, παρατηρείται και για τα δυο σενάρια μια αύξηση του ετήσιου κέρδους, με τις τιμές του 1<sup>ου</sup> σεναρίου ξανά να υπερσχύουν σε σχέση με αυτές του 2<sup>ου</sup>. Η παραχώρηση περισσότερων θέσεων στάθμευσης σε κάτοχους συμβατικών οχημάτων σίγουρα αυξάνει τα ετήσια έσοδα του χώρου, οπότε για τη βέλτιστη συνύπαρξη των δυο τύπων οχημάτων ωφέλιμος είναι ο καθορισμός του βέλτιστου ποσοστού απόρριψης ηλεκτρικών οχημάτων, που όμως δεν διερευνάται στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας.

### 5.6.7. Μεταβολή του ποσοστού διείσδυσης $RR_2$ με ταυτόχρονη αύξηση του ρυθμού άφιξης

Σύμφωνα με τις προηγούμενες αναλύσεις ευαισθησίας για την κάθε παράμετρο ξεχωριστά προέκυψε από τη μια πως η αύξηση του ρυθμού άφιξης χωρίς την απόρριψη ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να αποβεί μοιραία από οικονομικής άποψης. Από την άλλη μεριά, η αύξηση του ποσοστού απόρριψης δεν έδειξε κάποια σημαντική διαφορά, δίνοντας το ίδιο συνολικό κέρδος κατά αύξηση του βαθμού 10%. Αυξάνοντας σταδιακά και τις δυο παραμέτρους προκύπτει:

Πίνακας 20: Ανάλυση ευαισθησίας κατά την μεταβολή του ποσοστού διείσδυσης και του ρυθμού άφιξης

	Αύξηση του ρυθμού άφιξης	RR2	Αριθμός φορτιστών $\sum(y_i)$	Αριθμός θέσεων $K_e$	Συνολικό Κέρδος
<b>1<sup>ο</sup> Σενάριο</b>	400	0	60	120	20.191.178,35 €
	400	0,1	54	108	20.692.666,11 €
	440	0,2	53	106	18.853.991,06 €
	480	0,3	51	101	17.131.833,16 €
	520	0,4	47	94	15.510.966,13 €
<b>2<sup>ο</sup> Σενάριο</b>	400	0	50	200	18.613.811,92 €
	400	0,1	45	180	19.367.891,58 €
	440	0,2	44	176	17.452.731,07 €
	480	0,3	42	168	15.688.386,50 €
	520	0,4	39	156	14.074.857,85 €



Εικόνα 22: Διάγραμμα ανάλυσης ευαισθησίας κατά την μεταβολή του ποσοστού απόρριψης και του ρυθμού άφιξης οχημάτων

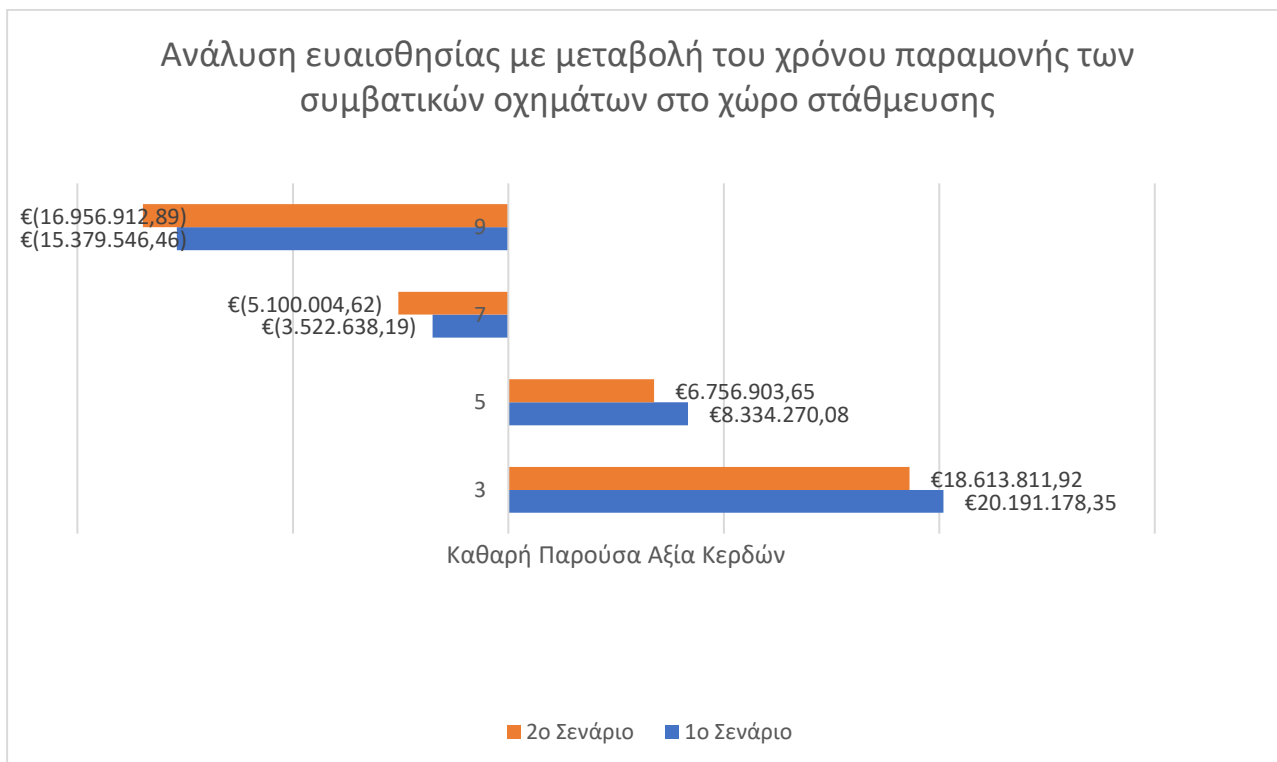
Κατά την ταυτόχρονη αύξηση, λοιπόν, των δυο παραμέτρων τα συνολικά κέρδη χωροθέτησης διαφοροποιημένων φορτιστών μειώνονται πιο γρήγορα σε σχέση με την χωροθέτηση του πρώτου σεναρίου. Συνδυάζοντας τα δεδομένα του με τους πίνακες των μεμονωμένων αυξήσεων, φαίνεται πως ο ρυθμός αφίξεων επηρεάζει πολύ περισσότερο το κέρδος του σταθμού.

#### 5.6.8. Μεταβολή του χρόνου παραμονής των συμβατικών οχημάτων

Η τελευταία παράμετρος που θα αναλυθεί ώστε να ερευνηθεί η επίδραση της στο μοντέλο είναι ο χρόνος παραμονής των συμβατικών οχημάτων στο σταθμό. Παρατηρείται πως με την αύξηση των ωρών παραμονής των συμβατικών οχημάτων στο σταθμό, ο ρυθμός απόρριψης αυξάνεται ραγδαία με το ποσοστό των μη εξυπηρετούμενων οδηγών να αυξάνεται και ο χώρος στάθμευσης να παρουσιάζει ζημία σε παραμονές άνω των 5 ωρών.

Πίνακας 21: Πίνακας μεταβολής χρόνου παραμονής συμβατικών οχημάτων στο χώρο στάθμευσης

	Χρόνος Παραμονής T1	Αριθμός φορτιστών	Αριθμός θέσεων	Συνολικό Κέρδος
<b>1ο Σενάριο</b>	3	60	120	20.191.178,35 €
	5	60	120	8.334.270,08 €
	7	60	120	- 3.522.638,19 €
	9	60	120	- 15.379.546,46 €
<b>2ο Σενάριο</b>	3	50	200	18.613.811,92 €
	5	50	200	6.756.903,65 €
	7	50	200	- 5.100.004,62 €
	9	50	200	- 16.956.912,89 €



Εικόνα 23: Διάγραμμα ανάλυσης ευαισθησίας κατά την μεταβολή του χρόνου παραμονής των συμβατικών οχημάτων στο χώρο στάθμευσης



## Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>: Συμπεράσματα και Προτάσεις για περαιτέρω Έρευνα

### 6.1. Συμπεράσματα

Ολοκληρώνοντας την παρούσα διπλωματική εργασία, προκύπτει το συμπέρασμα ότι η ηλεκτροκίνηση είναι ένας ταχύτατα αναπτυσσόμενος κλάδος που ασκεί μεγάλη επιρροή στον τομέα των μεταφορών. Τα οφέλη της μετάβασης από τα οχήματα εσωτερικής καύσης στα ηλεκτρικά είναι πολλά και στο μέλλον πρόκειται να είναι και πιο φανερά. Συνεπώς, η μελέτη των ηλεκτρικών οχημάτων αλλά και η μελέτη των υποδομών τους, είναι άξια προσοχής και γι' αυτό αποτέλεσε το αντικείμενο της παρούσας εργασίας. Μια επένδυση σε υποδομές φόρτισης σίγουρα αποτελεί ένα σημαντικό και οικονομικό κόστος, οπότε για να προβεί ο επενδυτής στην χρηματοδότηση του έργου, οφείλει να ελέγξει την οικονομική αποδοτικότητα του.

Προσφέροντας την υπηρεσία φόρτισης με μηδενικό κόστος, προκύπτει πως ο διαχειριστής ενός χώρου στάθμευσης μπορεί να επιτύχει την αύξηση των καθαρών ετήσιων κερδών του και την προσέλκυση περισσότερων οδηγών. Στην Ελλάδα, αν και δεν είναι αντιπροσωπευτικό παράδειγμα της προώθησης της ηλεκτροκίνησης σε σχέση με την υπόλοιπη Ευρώπη, υπάρχουν διάφορα προγράμματα επιδοτήσεων από το υπ. Περιβάλλοντος και Ενέργειας που δίνουν ώθηση στην ηλεκτροκίνηση. Συνεπώς, όσο τα οφέλη χρήσης και αγοράς των ηλεκτρικών οχημάτων αυξάνονται, τόσο πιο ελκυστικά θα είναι στους οδηγούς, με αποτέλεσμα σε πάροδο μερικών χρόνων το ποσοστό διείσδυσης αυτών να πλησιάζει το ποσοστό κατοχής συμβατικών οχημάτων. Για την εξυπηρέτηση, λοιπόν, των οδηγών αυτών και για την ενίσχυση της αυτονομίας τους εκτελέστηκε το μοντέλο βελτιστοποίησης της παρούσας εργασίας.

Η διπλωματική εργασία εστίασε στην μεγιστοποίηση του κέρδους ενός υπάρχοντος χώρου στάθμευσης μέσω της εύρεσης της βέλτιστης χωροθέτησης θέσεων συμβατικών και ηλεκτρικών οχημάτων, δίνοντας τη δυνατότητα επαναφόρτισης μέσω νέων σταθμών που θα εγκατασταθούν. Τα αποτελέσματα φανερώνουν ότι παρά το μεγάλο κόστος εγκατάστασης υποδομών φόρτισης, το συνολικό όφελος από τη λειτουργία του χώρου σε βάθος 10 ετών είναι υψηλό. Το μαθηματικό μοντέλο εφαρμόστηκε σε δυο χώρους στάθμευσης ίσης χωρητικότητας μεταβάλλοντας την εμβέλεια των φορτιστών και διατηρώντας σταθερή την προσφερόμενη ισχύ (Εμβέλεια φόρτισης δυο θέσεων και τεσσάρων θέσεων αντίστοιχα). Το κόστος και ο χρόνος παραμονής στο σταθμό είναι τα κύρια χαρακτηριστικά που διαφέρουν στο κάθε σενάριο Χωροθέτησης φορτιστή. Οι πίνακες εσόδων και εξόδων των αρχικών σεναρίων παρουσίασαν σημαντική διαφορά μεταξύ τους, με την χωροθέτηση φορτιστών εμβείας δυο θέσεων να προσφέρουν μεγαλύτερο κέρδος σε βάθος 10ετίας σε σχέση με τους φορτιστές εμβείας τεσσάρων θέσεων. Το μεγάλο κόστος αγοράς σε συνδυασμό με το χαμηλό ποσοστό διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων στην αγορά καθιστά το φορτιστή εμβείας τεσσάρων θέσεων λιγότερο αποδοτικό για ένα χώρο στάθμευσης. Τα αποτελέσματα κρίνονται αναμενόμενα, αν αναλογιστούμε την χαμηλή ζήτηση σε φορτιστές με παροχή μεγαλύτερης των 22Kw (σύμφωνα με την Ένωση Ευρωπαϊών Κατασκευαστών Αυτοκινήτων (ACEA, 2022) οι γρήγοροι φορτιστές διατίθενται σε ποσοστό 11,1% επί του συνόλου του δικτύου υποδομών φόρτισης στην Ευρώπη).

Αναλύοντας τα αποτελέσματα από την μεταβολή των παραμέτρων και δημιουργώντας διαγράμματα, γίνεται φανερό πως η κύρια παράμετρος που επηρεάζει την κερδοφορία ενός χώρου στάθμευσης είναι ο ρυθμός άφιξης των οδηγών. Κατά την εγκατάσταση περισσότερων φορτιστών από τους αναγκαίους, το λειτουργικό κόστος θα ισοπεδώσει τα έσοδα από τη στάθμευση με αποτέλεσμα την ταυτόχρονη δημιουργία ζημιά και την δυσαρέσκεια των μη εξυπηρετούμενων οδηγών. Κρίνεται αναγκαίο, λοιπόν, ο έλεγχος των διελεύσεων από και προς τους χώρους στάθμευσης για την καλύτερη διαχείριση και λειτουργία του. Μια σημαντική παρατήρηση είναι ότι καθώς το ποσοστό διείσδυσης αυτών θα αυξάνεται μέσα στα χρόνια, το ποσοστό απόρριψης τους από μεικτούς χώρους στάθμευσης δεν γίνεται να παραμείνει μηδενικό. Για την ομαλή λειτουργία ενός μεικτού χώρου στάθμευσης απαιτείται η εξασφάλιση ισορροπίας τόσο των συμβατικών όσο και των ηλεκτρικών οχημάτων διότι κυρίως στόχος είναι η μεγιστοποίηση του κέρδους.

Ολοκληρώνοντας με την εργασία, προκύπτει το συμπέρασμα πως το ζήτημα της στάθμευσης αποτελεί και θα συνεχίσει να αποτελεί μείζον πρόβλημα για κάθε κατηγορία οχήματος. Η βέλτιστη διαχείριση των υποδομών στάθμευσης οφείλει να συμβαδίζει με τις νέες τεχνολογίες και να προσφέρει το κατάλληλο περιβάλλον συνύπαρξης όλων των μέσων μεταφοράς. Επομένως η αντιμετώπιση του προβλήματος της στάθμευσης οφείλει να είναι πολύπλευρη, παρέχοντας ένα ολοκληρωμένο σχέδιο στάθμευσης συνδυάζοντας διαφορετικές πολιτικές ενίσχυσης των μετακινούμενων με εναλλακτικά μέσα μεταφοράς.

## 6.2. Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας έγιναν αρκετές παραδοχές και εκτιμήσεις για την ένταξη της υπηρεσίας φόρτισης σε ένα χώρο στάθμευσης. Όπως αρκετές άλλες μελέτες, έτσι και η συγκεκριμένη μελέτη δεν μπορεί να καλύψει πλήρως τους στόχους και τις απαιτήσεις του προβλήματος βελτιστοποίησης κατανομής των ηλεκτρικών οχημάτων.

Το πλεονέκτημα της παρούσας μελέτης έγκειται στην ευελιξία που παρουσιάζουν οι μεταβλητές απόφασης, οπότε μπορεί να γίνει η βάση για περαιτέρω λύσεις. Ορισμένες παραδοχές, όπως η εγκατάσταση φορτιστών ίσης ισχύος στο χώρο θα μπορούσε να αντικατασταθεί από εγκατάσταση φορτιστών διαφορετικής ισχύος, παρέχοντας τη δυνατότητα στον οδηγό να επιλέξει τη μέθοδο που επιθυμεί ανάλογα το διαθέσιμο χρόνο του. Μια τέτοια παραδοχή συνοδεύεται από πιο περίπλοκες εξισώσεις, εφόσον απαιτεί νέες μελέτες συμπεριφοράς για την κατανόηση των προτιμήσεων των οδηγών όσον αφορά τον χρόνο στάθμευσης, την επιθυμητή κατάσταση φόρτισης και την προθυμία πληρωμής για τις νέες υπηρεσίες. Ένας εύκολος τρόπος εκτίμησης των προτιμήσεων αυτών θα ήταν η δημιουργία ενός ερωτηματολογίου.

Όσον αφορά την πολιτική τιμολόγησης που ακολουθήθηκε στην εργασία, το ωριαίο κόμιστρο παρέμεινε σταθερό, ενώ δεν δόθηκε τιμολογιακή πολιτική για την υπηρεσία φόρτισης. Το παράδειγμα της εργασίας αφορά έναν χώρο στάθμευσης μεγάλης χωρητικότητας και μεγάλης επίσκεψιμότητας, γεγονός που καθιστά το κόστος της ενέργειας διαχειρίσιμο. Η μη τιμολόγηση

της φόρτισης, αν και υφίσταται για λόγους προώθησης της ηλεκτροκίνησης, δεν μπορεί να διατηρηθεί για λόγους καθαρά οικονομικής βιωσιμότητας.

Ολοκληρώνοντας, όσον αφορά την επέκταση του προβλήματος θα μπορούσε κάλλιστα να δοθεί μια ανάλυση οικονομικής βιωσιμότητας του χώρου στάθμευσης παραθέτοντας συγκεκριμένα μοντέλα υποδομών στάθμευσης και αναλυτικοί δείκτες ώστε να επιλεγεί ο βέλτιστος αριθμός των φορτιστών. Επιπροσθέτως θα μπορούσε να γίνει μελέτη της παρεχόμενης ισχύος των υποδομών φόρτισης μέσω της τεχνολογίας Vehicle to Grid (V2G), ώστε να λειτουργεί το δίκτυο ηλεκτροδότησης ως μονάδα προσωρινής αποθήκευσης ενέργειας. Μια τέτοια λειτουργία επωφελή το δίκτυο καθώς θα μπορεί ο χειρίστης του χώρου στάθμευσης να αγοράσει την ηλεκτρική ενέργεια όταν οι τιμές της αγοράς είναι χαμηλές και να την χρησιμοποιήσει κατά την φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων στις ώρες αιχμής, αυξάνοντας έτσι την κερδοφορία του χώρου και μειώνοντας την υψηλή τάση κατά τις ώρες αιχμής.

Οι μελέτες πάνω στο θέμα της ανάπτυξης της ηλεκτροκίνησης όλο και αυξάνονται και σε συνδυασμό με τις νέες τεχνολογίες, πρόκειται να φανούν σε μεγαλύτερο βαθμό τα περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη της στα επόμενα χρόνια. Προτείνοντας ιδέες για την ανάπτυξη της απαιτούμενης υποδομής φόρτισης και, ως εκ τούτου, προωθώντας την ηλεκτροκίνηση, οι ερευνητές συμβάλλουν έμμεσα στη μείωση των εκπομπών  $CO_2$ , κάτι που είναι φυσικά επωφελές για τον πλανήτη και τους ανθρώπους του. Οι ιδέες και το πλαίσιο της εργασίας υποδεικνύουν πώς θα γίνει αυτό δημιουργώντας παράλληλα οικονομική αξία και κέρδος.

## Βιβλιογραφία

- 01, E. I. (2019). Αγωγήμο σύστημα φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος Μέρος 1 : Γενικές απαιτήσεις.
8. Polak, J. V. (1990). 'Broadcast Parking Information: Behavioural Impacts and Design Requirements. *Transportation and Research Record*, σσ. 36-44.
- Amini, M. I. (2014). Allocation of electric vehicles' parking lots in distribution network. *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference*, σσ. 1-5.
- AVERE. (2020). *The European Association for Electromobility*.
- Balinski, M. (1965). Integer Programming: Methods, Uses, Computation. *Management Science*, 12, σσ. 253-313.
- Barkenbus, J. N. (2020, Ιουλίου 6). Prospects for Electric Vehicles.
- Castellano Johnathan, S. M. (2015). Costs Associated With Non-Residential Electric Vehicle Supply Equipment: Factors to consider in the implementation of electric vehicle charging stations. Στο M. C. Smith, *New West Technologies, LLC, Department of Energy*.
- COST. (Αύγουστος 2005). Πολιτικές στάθμευσης και οι επιπτώσεις για την κινητικότητα και την (τοπική) οικονομία. Τεχνική Επιτροπή Μεταφορών, Δράση 342,.
- David G. Victor, F. W. (2019). Accelerating the low carbon transition. .
- Departure, S. (2022, Μάιος 8). *How far are countries burning through natural resources*. Ανάκτηση από <https://www.crisismonitor.gr/2018/12/03/aytes-einai-oi-10-chores-poy-paragoyn-to-perissotero-petrelaio/>.
- Desjardins, J. (2020). *Visual Capitalist*. Ανάκτηση από <https://www.bankingnews.gr/index.php?id=421708>.
- Develder, N. S. (2017). Quantitative analysis of electric vehicle flexibility: A data-driven approach. *Electrical Power and Energy Systems*.
- Develder, N. S. (2017). Quantitative analysis of electric vehicle flexibility: A data-driven approach. *Electrical Power and Energy Systems*.
- Faddel S., A.-A. A. (2017). Fuzzy Optimization for the Operation of Electric Vehicle Parking Lots. *Electric Power Systems Research*, 166-174.
- Faddel S., E. A. (2018). Bilayer multi-objective optimal allocation and sizing of electric vehicle parking garage. *IEEE Transactions on Industry Applications*, σσ. 1992-2001.
- Falvo Maria Carmen, D. S. (2014). "EV Charging Stations and Modes: International Standards". *International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion*.
- Foundation, E. L. (2020). Air pollution 'still harming Europeans' health'.
- Jakob, M. M. (2020, Μάιος). Optimal parking occupancy with and without differentiated parking: A macroscopic analysis. *ETH Library*.
- Jun Yang, F. W. (2020). Charging demand analysis framework for electric vehicles considering the. *Electrical Power and Energy Systems*, σ. 105952.

- JURICA BABIC, A. C. (2018). Evaluating Policies for Parking Lots Handling Electric Vehicles. *IEEE*.
- Jurica Babica, A. C. (2022). A data-driven approach to managing electric vehicle charging infrastructure in parking lots. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*.
- Knoflachner, H. (2006). A new way to organize parking: the key to a successful sustainable transport system for the future . *SAGE JOURNALS*.
- Litman, T. (2006). Parking Management. *Victoria Transport Policy Institute*.
- M.Moradijoz, M. M. (2013). A multi-objective optimization problem for allocating parking lots. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, σσ. 115-122.
- Neyestani N., D. M.-K. (2014). Allocation of plug-in vehicles' parking lots in distribution systems considering network-constrained objectives. *IEEE Trans. Power Syst.*, σσ. 2643-2656.
- Nygaard, N. D. (2012). Parking structure technical report: challenges, opportunities and best practices. . *MTC Smart Growth Technical Assistance, Parking Reform Campaign*.
- recharge. (2022). *Τύποι Συνδέσμων / Βύσματα*. Ανάκτηση από <https://www.recharge.gr/plug-port/>.
- Richardson, D. B. (2013). Electric vehicles and the electric grid: A review of modeling approaches, impacts, and renewable energy integration. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Richardson, A. (1974). An improved parking duration study method. *Australian Road Research Board Conference*, σσ. 397 - 413.
- Roser, H. R. (2016). Emissions by Sector. Our World in Data.
- Smith W. and Associates και Υπουργείο Δημοσίων Έργων, Τ. Κ. (1973). «Μελέτη Κυκλοφορίας και Μεταφορών Περιοχής Αθηνών/Αττικής».
- Toregas, C. S. (1971). The location of emergency service facilities. *Operations Research* 19, σσ. 1363-1373.
- wiki, E. I. (2022). *Electric Vehicle and EV charging fundamentals*. Ανάκτηση από [https://www.electrical-installation.org/enwiki/Electric\\_Vehicle\\_and\\_EV\\_charging\\_fundamentals](https://www.electrical-installation.org/enwiki/Electric_Vehicle_and_EV_charging_fundamentals).
- Xianqiang Ren, H. Z. (2019). Location of electric vehicle charging stations: A perspective using the *Energy*.
- Xiaolin Ge, L. S. (2020). Data-driven spatial-temporal prediction of electric vehicle load profile. *Electric Power Systems Research*.
- Yang Jie, J. D. (2017). "A data-driven optimization-based approach for siting and sizing of electric taxi charging stations", . *Transportation Research Part C*, σσ. 462-477.
- Αυτοκινήτων, Έ. Ε. (2022). *ACEA*.
- ΕΛ.ΙΝ.Η.Ο, Ε. Ι. (2020). <https://www.heliev.gr/>. Ανάκτηση από Μερικές πληροφορίες για τη φόρτιση του ηλεκτρικού σας αυτοκινήτου.

- Ενεργεια, Ρ. Α. (2022). *Ευρωπαϊκός Χάρτης Τιμών Ηλεκτρισμού της Αγοράς Επόμενης Ημέρας*. Ανάκτηση από <https://www.rae.gr/map-graph/>.
- Θεοφανίδης, Σ. (2002). *Εγχειρίδιο Αξιολόγησης Επενδυτικών Σχεδίων*. . Παπαζήση.
- Μενεγάτος, Η. (2017). *Σχέδιο Ανάπτυξης Δικτύου Σταθμών Φόρτισης σε Δημόσιους Χώρους*. ΔΕΔΔΗΕ, Αθήνα.
- Μιχάλης, Α. (2022). *“Ηλεκτρικά αυτοκίνητα και φόρτιση: Το μέλλον της αυτοκίνησης και όλα όσα πρέπει να γνωρίζετε - Kafkas BlogKafkas Blog,”* . Ανάκτηση από <http://blog.kafkas.gr/ηλεκτρικά-αυτοκίνητα-και-φόρτιση-το-μ/> .
- Παπαγιάννης, Ν. (2006). *Αξιολόγηση και Χωροθέτηση Χώρων Στάθμευσης: Η περίπτωση της Θεσσαλονίκης (΄Β Δημοτικό Διαμέρισμα)*.
- Περιβάλλοντος, Ε. Ο. (2020). *Η οικονομία: αποδοτική από πλευράς πόρων, πράσινη και κυκλική*.
- ΣΕΑΑ. (2022). <https://www.capital.gr/oikonomia/3637583/i-ilektrokinisi-kerdizei-edafos-stin-elliniki-agera-autokinitou>.
- Φραντζεσκάκης, Ι. Μ.-Λ. (2002). *Στάθμευση*. 2η.
- Φωτεινός, Φ. (2022, Μάιος 31). <https://www.capital.gr/oikonomia/3637583/i-ilektrokinisi-kerdizei-edafos-stin-elliniki-agera-autokinitou>. Ανάκτηση από Η ηλεκτροκίνηση κερδίζει "έδαφος" στην ελληνική αγορά αυτοκινήτου.