



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ Μ/Υ**  
**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ**  
**ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**  
**ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**  
**«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»**



## **Διπλωματική Εργασία**

**Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και  
δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης**

**ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΣ**

**Επιβλέπων: Χρυσόστομος Δούκας**  
**Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π**

**Οκτώβριος, 2021**

Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου  
πρόβλεψης χώρου φόρτισης

Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου  
πρόβλεψης χώρου φόρτισης

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης  
ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία  
μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης**

**ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΣ**

**Οκτώβριος, 2021**

Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου  
πρόβλεψης χώρου φόρτισης

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....	5
Περίληψη .....	9
Abstract.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή.....	15
1.1 Είδη ηλεκτρικών οχημάτων.....	15
1.1.1 Αμιγώς Ηλεκτρικά Οχήματα Μπαταρίας (BEV) .....	16
1.1.2 Υβριδικά Ηλεκτρικά Οχήματα (HEV) .....	17
1.1.3. Plug-in Υβριδικά Ηλεκτρικά Οχήματα (PHEV) .....	18
1.1.4 Ηλεκτρικά οχήματα κυψελών καυσίμου (FCEV) .....	18
1.1.5 Ηλεκτρικά Οχήματα Διευρυμένου Εύρους (E-REV).....	19
1.1.6 Συγκεντρωτικός πίνακας χαρακτηριστικών ηλεκτρικών οχημάτων .....	20
1.2 Σταθμοί φόρτισης .....	21
1.2.1 Είδη φόρτισης.....	21
1.3 Χώροι φόρτισης.....	22
1.3.1 Οικιακοί φορτιστές .....	22
1.3.2 Ιδιωτικοί χώροι φόρτισης με ιδιωτική πρόσβαση .....	24
1.3.3 Ιδιωτικοί χώροι φόρτισης με δημόσια πρόσβαση .....	24
1.3.4 Δημόσιοι χώροι φόρτισης.....	24
1.4 Τύποι καλωδίων και ζευκτών φόρτισης .....	25
1.4.1 Πίνακας με τα βασικά χαρακτηριστικά των τύπων των ζευκτών .....	27
1.5 Νομοθετικό-Φορολογικό Πλαίσιο.....	28
1.6 Οφέλη της Ηλεκτροκίνησης – Περιβαλλοντικά και Οικονομικά .....	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Η κατάσταση στην αγορά των Ηλεκτρικών Οχημάτων.....	31
2.1 Διείσδυση των EVs στην ευρωπαϊκή αγορά .....	31
2.1.1 Μερίδιο των ηλεκτρικών οχημάτων στην αγορά .....	32
2.1.2 Σταθμοί φόρτισης ανά την Ευρώπη .....	35
2.1.3 Φορολογικά και Οικονομικά οφέλη για την απόκτηση Ηλεκτρικών Οχημάτων .....	36
2.2 Η αγορά των Ηλεκτρικών Οχημάτων στην Ελλάδα .....	37
2.2.1 Πολιτικό πλαίσιο και Φορολογικά κίνητρα .....	38
2.2.3 Δείκτης Ετοιμότητας Ελλάδας 2019– 2021 (EV Readiness Index).....	43
2.3 Η αγορά των Ηλεκτρικών Οχημάτων στην Ουγγαρία .....	47
2.3.1 Εθνικό Πολιτικό Πλαίσιο (NPF) .....	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Μέθοδοι και τεχνικές πρόβλεψης .....	53

Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης	
3.1 Λογιστική παλινδρόμηση (Logistic regression).....	53
3.2 Μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης (Support Vector Machines) .....	56
3.3 Δέντρα αποφασεων (Decision trees) .....	59
3.4 Νευρωνικά δίκτυα .....	62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Ανασκόπηση συναφούς βιβλιογραφίας.....	65
4.1 A statical analysis of EV charging behavior in the UK.....	65
4.2 Charging demand analysis framework for electric vehicles considering the bounded rationality behavior of users .....	65
4.3 The potential and economics of EV smart charging: A case study in Shanghai ....	66
4.4 Statistical Representation of EV Charging: Real Data Analysis and Applications	66
4.5 Estimating the Charging Profile of Individual Charge Sessions of Electric Vehicles in The Netherlands.....	67
4.6 Future standard and fast charging infrastructure planning: An analysis of electric vehicle charging behavior.....	68
4.7 Quantitive analysis of electric vehicle flexibility: A data-driven approach .....	68
4.8 Data-driven spatial-temporal prediction of electric vehicle load profile considering charging behavior. ....	69
4.9 Location of electric vehicle charging stations: A perspective using the grey decision-making model. ....	70
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Παρουσίαση αποτελεσμάτων .....	73
5.1 Διαγράμματα ομαδοποίησης και συσχέτισης δεδομένων .....	73
5.2 Αποτελέσματα μοντέλου πρόβλεψης .....	88
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	93
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	97
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....	99

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Το εσωτερικό ενός BEV .....	16
Εικόνα 1.2: Το εσωτερικό ενός HEV .....	17
Εικόνα 1.3:Το εσωτερικό ενός FCEV .....	19
Εικόνα 1.4: Το εσωτερικό ενός E-REV .....	20
Εικόνα 1.5: Η πρίζα Type 2.....	26
Εικόνα 1.6: Πρίζες Type 2 και καλώδιο.....	26
Εικόνα 1.7: Εικονική αναπαράσταση ζευκτών .....	27
Εικόνα 2.1: Μερίδιο οχημάτων μη συμβατικού καυσίμου στην Ευρώπη σύμφωνα με τη ACEA .....	33

Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

Εικόνα 2.2: Ποσοστά των Ηλεκτρικών Οχημάτων στην Ευρώπη σύμφωνα με την ACEA .....	35
Εικόνα 2.3: Σημεία φόρτισης στην Ευρώπη το 2019 σύμφωνα με την ACEA.....	36
Εικόνα 2.4: Φορολογικές απαλλαγές σύμφωνα με την ACEA .....	37
Εικόνα 2.5: Ενδεικτικός χάρτης σημείων φόρτισης 2020- Πηγή: ΕΛ.ΙΝ.Η.Ο .....	38
Εικόνα 2.6: Ανάλυση βαθμολογίας EV Readiness 2021 – LeasePlan .....	46
Εικόνα 3.1: Απεικόνιση γραμμικώς διαχωριζόμενων δεδομένων.....	58
Εικόνα 3.2: Απεικόνιση τρόπου διαχείρισης μη γραμμικά διαχωριζόμενων δεδομένων	59
Εικόνα 3.3: Τυπική απεικόνιση δέντρου αποφάσεων .....	61
Εικόνα 3.4: Απεικόνιση του κρυμμένου στρώματος ενός feed-forward νευρωνικού δικτύου.....	63

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1: Σύγκριση ηλεκτρικών οχημάτων .....	21
Πίνακας 1.2: Σύγκριση των τρόπων οικιακής φόρτισης .....	24
Πίνακας 1.3: Χαρακτηριστικά ζευκτών .....	27
Πίνακας 1.4: Πίνακας ζευκτών.....	27
Πίνακας 2.1: Πίνακας προβλέψεων AVERE .....	31
Πίνακας 2.2: Πίνακας τάσεων σύμφωνα με στοιχεία της European Automobile Manufactures Association (ACEA).....	32
Πίνακας 2.3: Πίνακας τάσεων σύμφωνα με στοιχεία της ACEA .....	32
Πίνακας 2.4: Συνολικός Πίνακας Δείκτη Ετοιμότητας.....	43
Πίνακας 2.5: Επί μέρους πίνακας δείκτη ωριμότητας αγοράς EV .....	44
Πίνακας 2.6: Επί μέρους πίνακας δείκτη ωριμότητας υποδομών φόρτισης .....	45
Πίνακας 2.7: Επί μέρους πίνακας συνολικού κόστους χρήσης.....	46
Πίνακας 2.8: Σύγκριση των δύο χωρών .....	47
Πίνακας 2.9: Σύγκριση Ελλάδας-Ουγγαρίας-Ευρώπης .....	51
Πίνακας 5.1: Confusion Matrix του μοντέλου πρόβλεψης που χρησιμοποιήθηκε .....	90

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 2.1: Σύγκριση στόχου NPF και πραγματικού αριθμού σταθμών φόρτισης για το 2020.....	48
Διάγραμμα 3.1: Η συνάρτηση λογιστικής παλινδρόμησης, με $\beta_0 + \beta_1 \cdot x$ στον οριζόντιο άξονα και $\pi(x)$ στον κατακόρυφο άξονα. ....	55
Διάγραμμα 5.1: Μέση καταναλισκόμενη ενέργεια ανά σταθμό .....	74
Διάγραμμα 5.2: Μέση καταναλισκόμενη ενέργεια ανά σταθμό .....	74
Διάγραμμα 5.3: Μέσος χρόνος φόρτισης ανά σταθμό .....	75
Διάγραμμα 5.4: Μέσος χρόνος φόρτισης ανά σταθμό .....	75
Διάγραμμα 5.5: Μέση καταναλισκόμενη ενέργεια ανά είδος χώρου.....	76
Διάγραμμα 5.6: Μέσος χρόνος φόρτισης ανά είδος χώρου.....	77
Διάγραμμα 5.7: Μέσος χρόνος φόρτισης ανά είδος χώρου.....	77
Διάγραμμα 5.8: Μέσος χρόνος φόρτισης ανά ώρα έναρξης .....	78
Διάγραμμα 5.9: Συχνότητα εμφάνισης ώρας έναρξης .....	79
Διάγραμμα 5.10: Συνολικός χρόνος φόρτισης ανά ώρα έναρξης.....	79

Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

Διάγραμμα 5.11: Μέσος χρόνος φόρτισης ανά ημέρα .....	80
Διάγραμμα 5.12: Συνολικός χρόνος φόρτισης ανά ημέρα .....	81
Διάγραμμα 5.13: Μέση καταναλισκόμενη ενέργεια φόρτισης ανά ημέρα .....	81
Διάγραμμα 5.14: Συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια φόρτισης ανά ημέρα.....	82
Διάγραμμα 5.15: Συχνότητα φορτίσεων σε εμπορικά κέντρα ανά ημέρα .....	83
Διάγραμμα 5.16: Συχνότητα φορτίσεων σε ξενοδοχεία ανά ημέρα.....	83
Διάγραμμα 5.17: Συχνότητα φορτίσεων σε εστιατόρια ανά ημέρα .....	84
Διάγραμμα 5.18: Συχνότητα φορτίσεων σε λοιπούς χώρους ανά ημέρα .....	84
Διάγραμμα 5.19: Heatmap φόρτισης ανά ημέρα και είδος χώρου .....	85
Διάγραμμα 5.20: Συχνότητα φορτίσεων σε εμπορικά κέντρα ανά ώρα.....	86
Διάγραμμα 5.21: Συχνότητα φορτίσεων σε ξενοδοχεία ανά ώρα .....	86
Διάγραμμα 5.22: Συχνότητα φορτίσεων σε εστιατόρια ανά ώρα.....	87
Διάγραμμα 5.23: Συχνότητα φορτίσεων σε λοιπούς χώρους ανά ώρα .....	87
Διάγραμμα 5.24: Τιμές και τυπικές αποκλίσεις των υπολοίπων κάθε μεταβλητής ανά μεταβλητή απόκρισης.....	89



## Περίληψη

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι τόσο η βιβλιογραφική παρουσίαση του τρόπου λειτουργίας των Ηλεκτρικών Οχημάτων και της κατάστασης που επικρατεί στην αγορά, όσο και η ανάλυση των δεδομένων από σταθμούς φόρτισης, οι οποίοι θα μπορούσαν να δώσουν χρήσιμα συμπεράσματα για τις συνήθειες των οδηγών ως προς τη διαδικασία της φόρτισης σε σταθμούς με δημόσια πρόσβαση (τόσο ιδιωτικής, όσο και δημόσιας ιδιοκτησίας). Για το σκοπό αυτό, γίνεται επεξεργασία διάφορων δεδομένων με τη βοήθεια της γλώσσας προγραμματισμού R από σταθμούς φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων στην Ουγγαρία, μετά από φιλτράρισμα του dataset για τη διατήρηση μόνο δεδομένων που έχουν λογικές τιμές. Η επεξεργασία αυτή δίνει αποτελέσματα ως προς τον χρόνο φόρτισης και την ποσότητα του φορτίου που καταναλώνεται ανάλογα με την ημέρα, την ώρα έναρξης της φόρτισης για τα διάφορα είδη χώρων που εδρεύει ο κάθε φορτιστής, αλλά και ως προς τις τεχνικές λεπτομέρειες του. Παρατηρείται από την ανάλυση αυτή ότι ο χρόνος που παραμένει ένα όχημα στον σταθμό φόρτισης εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από την ώρα έναρξης, ενώ αντίθετα δεν υπάρχει τόσο μεγάλη εξάρτηση από την ημέρα που εκτελείται η διαδικασία. Στη συνέχεια, δημιουργείται μία δυαδική μεταβλητή (χώροι ιδιωτικής και δημόσιας ιδιοκτησίας), η οποία ακολουθεί διωνυμική κατανομή, προκειμένου να εφαρμοστεί ένα μοντέλο λογιστικής παλινδρόμησης που να προβλέπει ανάλογα με τα δεδομένα που παρέχονται σε ποια κατηγορία χώρου είναι πιθανότερο να βρίσκεται το όχημα. Τα δεδομένα που επηρεάζουν τη συγκεκριμένη πρόβλεψη είναι η κατανάλωση ενέργειας ανά σταθμό, η ημέρα που πραγματοποιείται η φόρτιση, η ώρα έναρξης και ο συνολικός χρόνος φόρτισης ανά σταθμό.

Λέξεις κλειδιά: ηλεκτρικά οχήματα, σταθμοί φόρτισης, στατιστική ανάλυση, μοντέλα πρόβλεψης

Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου  
πρόβλεψης χώρου φόρτισης

## **Abstract**

The aim of this Diploma Thesis is both the bibliographic presentation of the operation of Electric Vehicles and the situation prevailing in the market, as well as the analysis of data from charging stations, which could give useful conclusions about the habits of drivers in terms of charging process at stations with public access (both private and publicly owned). For this purpose, various data from charging stations of Electric Vehicles in Hungary are processed with the help of the R programming language, after filtering the dataset to preserve only data that have reasonable values. This treatment gives results in terms of charging time and the amount of load consumed, depending on the day and the start time of charging for the different types of areas where each charger is located, but also in terms of the technical details of each one. It is observed from this analysis that the time that a vehicle remains at the charging station depends to a large extent on the starting time, while on the contrary there is not so much dependence on the day the procedure is performed. Then, a binary variable (private and public property areas) is created, which follows a binomial distribution, in order to apply a logistic regression model that predicts depending on the data provided in which category of space the vehicle is most likely to be located. The data that affect this forecast are the power consumption per station, the day of charging, the start time and the total charging time per station.

Keywords: electric vehicles, charging stations, statistical analysis, forecast models

Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου  
πρόβλεψης χώρου φόρτισης

## Ευχαριστίες

Με την περάτωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας κλείνει πιθανότατα ένας μεγάλος κύκλος της ζωής μου, αυτός της ακαδημαϊκής μου πορείας. Θέλω, λοιπόν, να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε ανθρώπους που συνέβαλαν ο καθένας από την πλευρά του στο αποτέλεσμα αυτό.

Αρχικά, ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα της παρούσας εργασίας, αναπληρωτή καθηγητή Δρ. Χρυσόστομο Δούκα για την ανάθεση του θέματος αυτής.

Επίσης, ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στον Χρήστο Στεφανάτο, συμφοιτητή μου στο προπτυχιακό της σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ, ο οποίος μου παρείχε πολύτιμα δεδομένα και πληροφορίες, συμβάλλοντας ουσιαστικά στην υλοποίηση της εργασίας αυτής.

Ένα τεράστο ευχαριστώ θέλω να εκφράσω στην Δρ. Κρυσταλλένια Δρόσου, η οποία παρά το εξαιρετικά φορτωμένο πρόγραμμά της, βρήκε χρόνο να με βοηθήσει στην εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής εργασίας. Μου παρείχε απλόχερα τις γνώσεις της, όχι μόνο λύνοντας τις απορίες που μου δημιουργούνταν κατά την ενασχόληση μου με την εκμάθηση των μεθόδων πρόβλεψης, αλλά και βοηθώντας με να χαράξω μία κατεύθυνση πάνω στις μεθόδους και τα μοντέλα που εφάρμοσα στην εργασία. Δεν μπορώ να βρω λόγια, ώστε να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου για την αρωγή της, αφού χωρίς εκείνη το αποτέλεσμα δε θα ήταν το ίδιο. Κρυσταλλένια, σε ευχαριστώ από καρδιάς.

Τέλος, ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στην οικογένεια μου, για την ηθική και υλική υποστήριξη για την περάτωση του συνόλου των σπουδών μου.

Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου  
πρόβλεψης χώρου φόρτισης

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:

### Εισαγωγή

#### 1.1 Είδη ηλεκτρικών οχημάτων

Ήδη από τα τέλη της προηγούμενης δεκαετίας η τεχνολογία των ηλεκτρικών οχημάτων (Electric Vehicles – EV) καταλαμβάνει όλο και μεγαλύτερο μέρος της αγοράς των χειρσαίων μεταφορών στις ανεπτυγμένες χώρες. Αυτό οφείλεται σε πολλούς παράγοντες, οι οποίοι θα αναλυθούν σε επόμενα κεφάλαια της παρούσας εργασίας. Αρχικά όμως πρέπει να δοθεί ένας ορισμός για το τι θεωρείται ηλεκτρικό όχημα και πόσα διαφορετικά είδη υπάρχουν.

Ο όρος «ηλεκτρικό όχημα» αναφέρεται σε οποιοδήποτε όχημα χρησιμοποιεί ηλεκτροκινητήρες ως μέσο παραγωγής ισχύος. Τα ηλεκτρικά οχήματα (EV) μπορούν να λειτουργούν είτε αμιγώς με ηλεκτροκινητήρα είτε σε συνδυασμό με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Η Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή όρισε ότι τα οχήματα που χρησιμοποιούν δύο (ή περισσότερα) είδη παραγωγής ενέργειας μπορούν να ονομάζονται Υβριδικά Ηλεκτρικά Οχήματα (HEV), όταν τουλάχιστον μία από τις πηγές ενέργειας είναι η ηλεκτρική. Αυτός ο ορισμός καθιστά δυνατούς πολλούς συνδυασμούς υβριδικών οχημάτων, όπως τον συνδυασμό κινητήρα εσωτερικής καύσης και μπαταρίας, μπαταρίας και σφονδύλου, μπαταρίας και πυκνωτή, μπαταρίας και κυψέλης καυσίμου, καθώς και άλλους.

Αναλυτικότερα, τα οχήματα που συνδυάζουν ηλεκτρικό κινητήρα και μηχανή εσωτερικής καύσης ονομάζονται συνήθως απλώς «Υβριδικά Οχήματα (HEV)» όταν η μπαταρία του ηλεκτροκινητήρα επαναφορτίζεται αποκλειστικά από την κίνηση του οχήματος, ενώ καλούνται «Plug-in Υβριδικά Οχήματα (PHEV)» όταν η μπαταρία μπορεί να επαναφορτιστεί και από εξωτερική πηγή παροχής ηλεκτρικής ενέργειας (πρίζα). Επιπλέον, υπάρχουν οχήματα τα οποία συνδυάζουν Ηλεκτρικό κινητήρα και κυψέλες καυσίμου (FCEV) και άλλα που υποβοηθούνται από άλλα μέσα (πχ πυκνωτές ή μικρούς κινητήρες εσωτερικής καύσης) προκειμένου να έχουν αυξημένο εύρος λειτουργίας (E-REV). Συνεπώς, σύμφωνα με τα παραπάνω προκύπτουν οι παρακάτω κατηγορίες Ηλεκτρικών Οχημάτων:

- 1) Αμιγώς Ηλεκτρικά Οχήματα Μπαταρίας (BEV)
- 2) Υβριδικά Ηλεκτρικά Οχήματα (HEV)
- 3) Plug-in Υβριδικά Ηλεκτρικά Οχήματα (PHEV)
- 4) Ηλεκτρικά Οχήματα Κυψελών Καυσίμου (FCEV)
- 5) Ηλεκτρικά Οχήματα Διευρυμένου Εύρους (E-REV)

### 1.1.1 Αμιγώς Ηλεκτρικά Οχήματα Μπαταρίας (BEV)

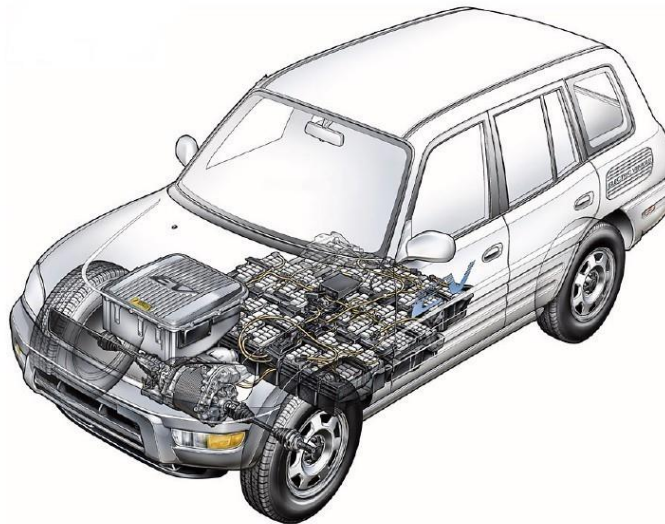
Τα Αμιγώς Ηλεκτρικά Οχήματα Μπαταρίας (Battery Electric Vehicles) αποθηκεύουν ηλεκτροχημική ενέργεια στις μπαταρίες τους και εκπέμπουν μηδενικούς ρύπους. Η ισχύς της μπαταρίας τους χρησιμοποιείται για τη λειτουργία του ηλεκτρικού κινητήρα και όλων των ηλεκτρονικών συσκευών. Κινούνται αποκλειστικά με την ηλεκτρική ενέργεια των συσσωρευτών και δεν έχουν εφεδρική πηγή καυσίμου. Φορτίζουν κυρίως από το δίκτυο αλλά και εκμεταλλευόμενα την αναγεννητική πέδηση, που είναι η χρησιμοποίηση μέρους της θερμότητας που παράγεται κατά το φρενάρισμα, για την επαναφόρτιση της μπαταρίας. Επομένως, το εύρος τέτοιων οχημάτων εξαρτάται άμεσα από τη χωρητικότητα της μπαταρίας τους. Μόλις αυτή εξαντληθεί, η φόρτιση της διαρκεί πολύ περισσότερο συγκριτικά με τον ανεφοδιασμό ενός συμβατικού οχήματος.

#### Πλεονεκτήματα

- Χρήση ανανεώσιμης μορφής ενέργειας
- Μηδενικές εκπομπές καυσαερίων
- Ανακυκλώσιμη ενέργεια μέσω της αναγεννητικής πέδησης
- Χαμηλό κόστος
- Ήσυχη λειτουργία
- Ασφάλεια λόγω αντικατάστασης του πετρελαίου με ηλεκτρική ενέργεια

#### Μειονεκτήματα

- Μικρή αυτονομία
- Ανάγκη εξέλιξης της τεχνολογίας των μπαταριών
- Ανάγκη αύξησης του αριθμού των δημοσίων σημείων φόρτισης

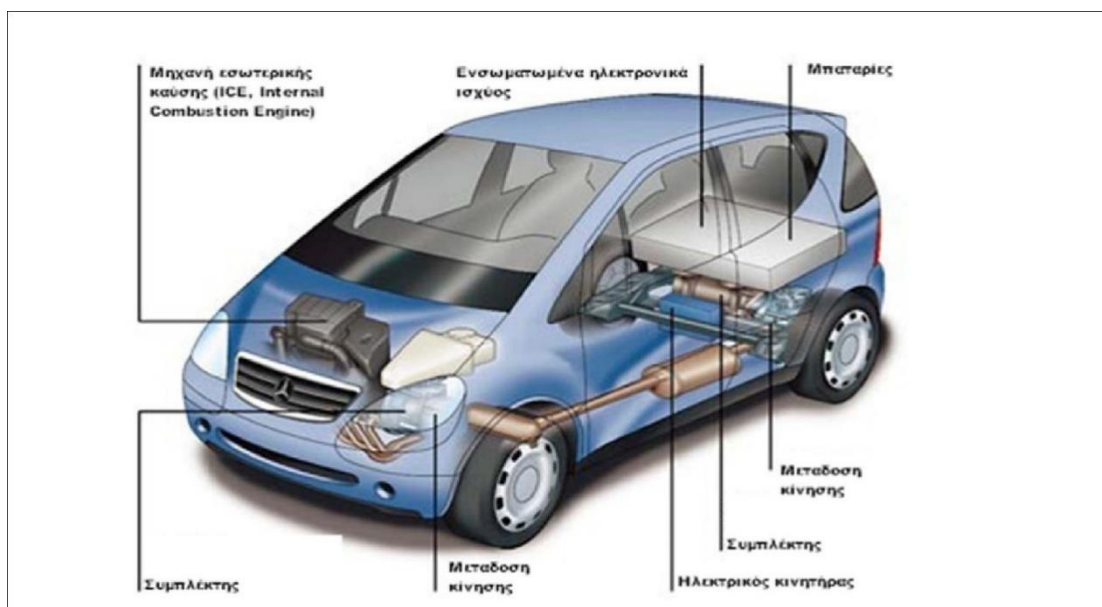


Εικόνα 1.1: Το εσωτερικό ενός BEV (Πηγή: ΕΛ.ΙΝ.Η.Ο)



### 1.1.2 Υβριδικά Ηλεκτρικά Οχήματα (HEV)

Ένα συμβατικό αυτοκίνητο κινείται από έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης και ένα αμιγώς ηλεκτρικό όχημα από έναν ηλεκτροκινητήρα. Ένα Υβριδικό Ηλεκτρικό Όχημα (HEV) χρησιμοποιεί έναν συνδυασμό και των δύο. Κατά τη μετακίνηση χρησιμοποιεί τον κινητήρα εσωτερικής καύσης ή λειτουργεί παράλληλα με τον ηλεκτροκινητήρα, μειώνοντας σημαντικά την κατανάλωση καυσίμου, εξοικονομώντας ενέργεια ή ακόμα και ανακτώντας ενέργεια σε συγκεκριμένες συνθήκες (πχ εκκίνηση, φρενάρισμα, ακινητοποίηση, ρολάρισμα κτλ). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η οικονομία και η αποδοτικότητα του καυσίμου να είναι σαφώς μεγαλύτερη. Πιο συγκεκριμένα, κάθε φορά που ο οδηγός επιταχύνει από στάση, και με ταχύτητα έως και 25 χλμ./ώρα περίπου, τα υβριδικά αυτοκίνητα κινούνται με τη χρήση του ηλεκτροκινητήρα (που παίρνει ενέργεια από μπαταρία). Αυτός είναι ένας από τους λόγους που τα υβριδικά αυτοκίνητα είναι αποδοτικά κατά την οδήγηση στην πόλη. Σε συνθήκες οδήγησης με σταθερή ταχύτητα (πχ αυτοκινητόδρομος), τα υβριδικά κινούνται από τον κινητήρα εσωτερικής καύσης, αφού αυτός είναι ο πιο αποδοτικός και ασφαλής τρόπος. Όταν συμβαίνει αυτό, ο κινητήρας μπορεί να τροφοδοτεί με ενέργεια τη γεννήτρια, κάτι το οποίο επιτρέπει στην μπαταρία να φορτίζεται για μετέπειτα χρήση. Σε μία άλλη συνθήκη, αυτή της επιτάχυνσης με το πεντάλ του γκαζιού στο τέρμα, ο κινητήρας και ο ηλεκτροκινητήρας λειτουργούν παράλληλα μεταφέροντας τη μέγιστη δυνατή ισχύ στους τροχούς. Αυτό συμβαίνει χάρις στο σύστημα μετάδοσης, το οποίο συνδυάζει και προσφέρει τη ροπή κάθε κινητήριας μονάδας την ίδια στιγμή. Κατά το φρενάρισμα ή την απομάκρυνση του ποδιού του οδηγού από το πεντάλ του γκαζιού στα HEV ενεργοποιείται ένα σύστημα το οποίο αποκαλείται «έξυπνο σύστημα αναγεννητικής πέδησης».



Εικόνα 1.2: Το εσωτερικό ενός HEV (Πηγή ΕΛ.ΙΝ.Η.Ο.)

## Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

Τα υβριδικά οχήματα κάνουν δύο πράγματα: Δεν παρέχουν ενέργεια στους τροχούς και χρησιμοποιούν την δύναμη των τροχών, ενώ γυρίζουν, για να ανακτήσουν ενέργεια ενώ το αυτοκίνητο επιβραδύνει. Αυτή η διαδικασία παράγει ηλεκτρισμό, που με τη σειρά του φορτίζει τη μπαταρία για μετέπειτα χρήση. Επιπρόσθετα, Κάθε φορά που ο οδηγός το πεντάλ του φρένου με πρόθεση να ακινητοποιηθεί το αυτοκίνητο, τα υβριδικά απενεργοποιούν πλήρως τον κινητήρα εσωτερικής καύσης και τον ηλεκτροκινητήρα. Η ισχύς της μπαταρίας φροντίζει για τη λειτουργία όλων των υπόλοιπων συστημάτων (πχ ραδιόφωνο, φώτα κτλ). Αξίζει να σημειωθεί ότι ένα υβριδικό αυτοκίνητο εκπέμπει σημαντικά λιγότερους ρύπους από την μηχανή εσωτερικής καύσης, σε σχέση με ένα συμβατικό αυτοκίνητο.

### 1.1.3. Plug-in Υβριδικά Ηλεκτρικά Οχήματα (PHEV)

Τα plug-in υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (PHEV) έχουν πολλές ομοιότητες με τα υβριδικά οχήματα που περιγράφηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, αλλά και μία σημαντική διαφορά: Ένα υβριδικό όχημα δεν έχει υποδοχή για να φορτίσει με βύσμα τη μπαταρία του. Αναπαράγει την ενέργεια χρησιμοποιώντας τον κινητήρα εσωτερικής καύσης ή με τη βοήθεια του έξυπνου συστήματος ανάκτησης ενέργειας. Ένα plug-in υβριδικό προσφέρει επιπλέον τη δυνατότητα φόρτισης από εξωτερική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας και έχει μεγαλύτερη χωρητικότητα μπαταρίας. Αυτό αυξάνει την αυτονομία του με αποκλειστική χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας περίπου στα 50 χιλιόμετρα.

#### Πλεονεκτήματα

- Χρήση ανανεώσιμης μορφής ενέργειας.
- Ανακυκλώσιμη ενέργεια μέσω του αναγεννητικού φρεναρίσματος.
- Βελτιωμένη αποδοτικότητα και επίδοση.
- Δυνατότητα σύνδεσης με το δίκτυο.
- Μειωμένη κατανάλωση και εκπομπές καυσαερίων.

#### Μειονεκτήματα

- Μεγάλο κόστος, τόσο αρχικό, όσο και στην αντικατάσταση των μπαταριών.
- Επιπλέον βάρος.
- Δυσχέρεια στην εύρεση ανταλλακτικών (μπαταρίες, κινητήρες, ηλεκτρονικά ισχύος).

### 1.1.4 Ηλεκτρικά οχήματα κυψελών καυσίμου (FCEV)

Ηλεκτρικά οχήματα κυψελών καυσίμου ονομάζονται τα EV που κινούνται με την ηλεκτρική ενέργεια που παράγει η μονάδα ενεργειακών στοιχείων τους (Fuel Cells). Μέσω των κυψελών καυσίμου (Fuel Cells), οι οποίες χρησιμοποιούν το υδρογόνο και το οξυγόνο είτε από τον αέρα, είτε από την διάσπαση του νερού, τροφοδοτούν τον ηλεκτροκινητήρα. Με αυτό τον τρόπο δεν εκπέμπονται ρύποι και από την εξάτμιση βγαίνει καθαρό νερό.

Ειδικότερα, η κυψέλη καυσίμου αποτελεί μια συσκευή η οποία μετατρέπει την χημική ενέργεια που παράγεται από το καύσιμο σε ηλεκτρική μέσω μιας χημικής αντίδρασης

## Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

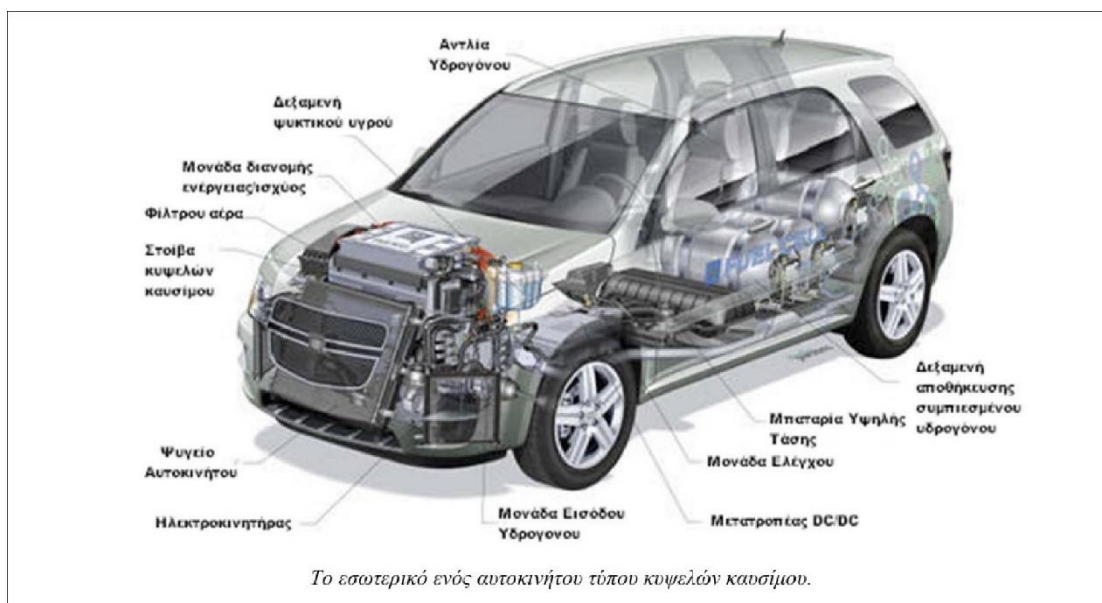
είτε με οξυγόνο, είτε με άλλο μέσο οξείδωσης. Όλες οι κυψέλες καυσίμων αποτελούνται από τρία μέρη: έναν ηλεκτρολύτη, μια άνοδο, και μια κάθοδο. Οι κυψέλες καυσίμου σε σχέση με τις συμβατικές μπαταρίες χρειάζονται μια συνεχή πηγή καυσίμου και οξυγόνου για να λειτουργήσουν, όμως έχουν την δυνατότητα να παράγουν συνεχώς ηλεκτρική ενέργεια εφόσον τροφοδοτούνται. Ωστόσο, η απαιτούμενη υποδομή για τη διανομή του υδρογόνου, η επί του οχήματος αποθήκευση του και οι απώλειες μετατροπής αποτελούν σημαντικά προβλήματα.

### Πλεονεκτήματα

- Χρήση ανανεώσιμης μορφής ενέργειας (το υδρογόνο).
- Συγκριτικά απλούστερη η κυψέλη υδρογόνου.
- Μηδενικές εκπομπές αερίων (μόνο υδρατμί).
- Ήσυχη λειτουργία.
- Ανεπηρέαστα από υψηλές θερμοκρασίες και διάβρωση.

### Μειονεκτήματα

- Το υδρογόνο είναι ιδιαίτερα εύφλεκτο.
- Μεγάλο κόστος εξαγωγής και αποθήκευσης του υδρογόνου σε δεξαμενές.
- Επιπλέον βάρος και όγκος.



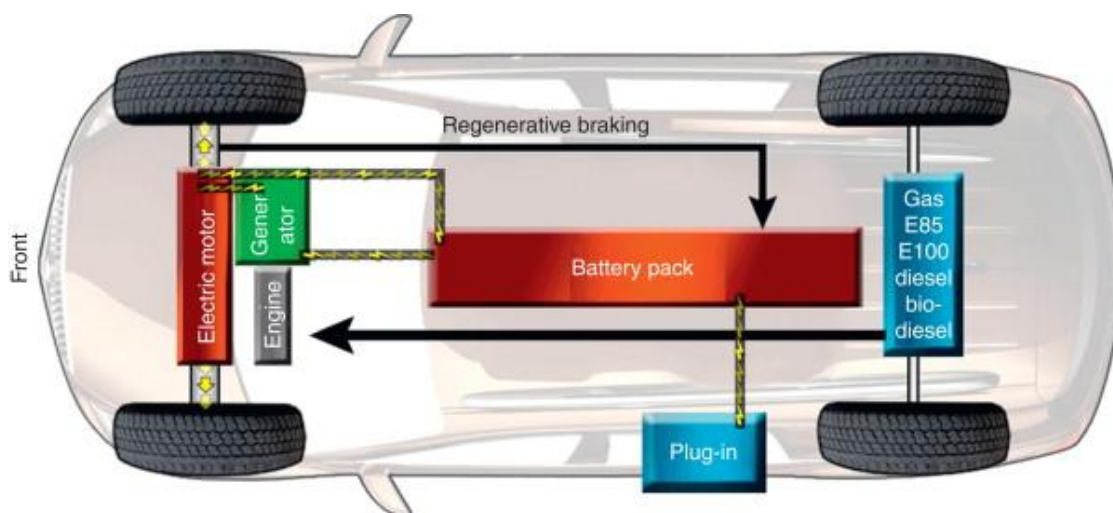
Εικόνα 1.3: Το εσωτερικό ενός FCEV (Πηγή ΕΛ.ΙΝ.Η.Ο)

### 1.1.5 Ηλεκτρικά Οχήματα Διευρυμένου Εύρους (E-REV)

Τα Ηλεκτρικά Οχήματα Διευρυμένου Εύρους (Extended-Range Electric Vehicles) λειτουργούν όπως τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας ως προς την μονάδα ισχύος που τροφοδοτεί την κίνηση του οχήματος, αφού αυτή επιτυγχάνεται αποκλειστικά με την ενέργεια που μεταφέρεται στους τροχούς από τον ηλεκτροκινητήρα. Ωστόσο, υπάρχει

## Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

και μία μικρή μηχανή εσωτερικής καύσης, η οποία λειτουργεί ως γεννήτρια και (σε συνδυασμό με την αναγεννητική πέδηση) φορτίζει την μπαταρία του ηλεκτρικού οχήματος, με αποτέλεσμα να αυξάνει το εύρος κίνησης του οχήματος από τα περίπου 60 χλμ. που μπορεί να αποδώσει μπαταρία από μόνη της, στα 370 χλμ. Η μηχανή αυτή είναι σαφώς μικρότερη από την ΜΕΚ ενός υβριδικού οχήματος και λειτουργεί σε σταθερές στροφές με υψηλή απόδοση, αφού δεν καλείται να παραλάβει φορτία που σχετίζονται με την κίνηση του οχήματος, παρά μόνο με τη φόρτιση της μπαταρίας.



Εικόνα 1.4: Το εσωτερικό ενός E-REV (Πηγή ΕΛ.ΙΝ.Η.Ο)

### 1.1.6 Συγκεντρωτικός πίνακας χαρακτηριστικών ηλεκτρικών οχημάτων

Είδος EV	Εσωτερικές Διατάξεις	Πηγές Ενέργειας	Χαρακτηριστικά	Μειονεκτήματα
<b>BEV</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ηλεκτρικός κινητήρας</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μπαταρίες</li> <li>• Υπερπυκνωτές</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Καθόλου ρύπανση</li> <li>• Εξάρτηση από το είδος της μπαταρίας που χρησιμοποιείται</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Τιμή και χωρητικότητα μπαταρίας</li> <li>• Διάρκεια φόρτισης</li> <li>• Διαθεσιμότητα σταθμών φόρτισης</li> </ul>
<b>HEV</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ηλεκτρικός κινητήρας</li> <li>• Κινητήρας εσωτερικής καύσης</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μπαταρίες</li> <li>• Υπερπυκνωτές</li> <li>• Κινητήρας εσωτερικής καύσης</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ελάχιστη ρύπανση</li> <li>• Μεγάλο εύρος</li> <li>• Αντλεί ισχύ και από το καύσιμο και ηλεκτρικά</li> <li>• Περίπλοκη δομή με μηχανικό και ηλεκτρικό μέρος</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Διαχείριση των πηγών ενέργειας</li> <li>• Ανάγκη βελτιστοποίησης του μεγέθους της μπαταρίας</li> </ul>

Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

FCEV	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ηλεκτρικός κινητήρας</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Κυψέλες καυσίμου</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ελάχιστη ρύπανση</li> <li>• Υψηλή αποδοτικότητα</li> <li>• Δεν εξαρτάται από την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Κόστος των κυψελών καυσίμου</li> <li>• Διαθεσιμότητα των εγκαταστάσεων καυσίμου</li> </ul>
------	--	--	--	---

Πίνακας 1.1: Σύγκριση ηλεκτρικών οχημάτων

## 1.2 Σταθμοί φόρτισης

Η διάδοση και η απρόσκοπτη χρήση των EV δεν θα μπορούσε να γίνει χωρίς την ανάπτυξη των απαραίτητων υποδομών φόρτισης, τόσο δημόσιων όσο και ιδιωτικών. Τα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και οι διαθέσιμες τεχνολογίες έχουν καταστήσει τη διαδικασία αυτή πολύ εύκολη και προσιτή.

Με τον όρο σταθμός φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος ονομάζεται η μηχανή που παρέχει ηλεκτρική ενέργεια για την επαναφόρτιση του EV. Οι σταθμοί φόρτισης είναι συμβατοί με καθιερωμένα πρότυπα από τη Διεθνή Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (IEC). Τα πρότυπα αυτά, αφορούν το χρόνο λειτουργίας των οχημάτων, τη διαθέσιμη αυτονομία τους, την τεχνολογία των συσσωρευτών τους και τον χρόνο φόρτισής τους, στοιχείο που κάνει και την πιο σημαντική διαφορά.

### 1.2.1 Είδη φόρτισης

Η σύνδεση του ηλεκτρικού οχήματος στους σταθμούς φόρτισης μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με επαγωγική (ασύρματη) είτε με ενσύρματη σύνδεση. Στην περίπτωση της τελευταίας, η σύνδεση γίνεται μέσω ηλεκτροφόρων αγωγών (καλωδίων). Αυτή η μέθοδος είναι και η πιο συνηθισμένη καθώς είναι απλή και ήδη γνώριμη στον χρήστη, αφού είναι παρόμοια διαδικασία με τη σύνδεση οποιασδήποτε άλλης συσκευής στο ηλεκτρικό δίκτυο. Από την άλλη πλευρά κατά τη διάρκεια της επαγωγικής σύνδεσης, η σύνδεση για τη μεταφορά μεγάλων ποσών ισχύος μεταξύ του δικτύου και της μπαταρίας του EV γίνεται μέσω επαγωγών και όχι με απευθείας αγωγούς. Ο τρόπος αυτός διευκολύνει τον χρήστη καθώς όχι μόνο απλοποιεί τη διαδικασία φόρτισης εφόσον δεν χρησιμοποιούνται καλώδια, αλλά τον προστατεύει επίσης από κάθε είδους κίνδυνο σχετικό με αυτά. Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα της υπόγειας τοποθέτησης του φορτιστή με αποτέλεσμα, αυτός να μην επιβαρύνεται από τις δυσμενείς καιρικές συνθήκες. Οι σταθμοί φόρτισης ανεξαρτήτως ενσύρματης ή ασύρματης τεχνολογίας χωρίζονται περαιτέρω στους σταθμούς ημιταχείας φόρτισης με AC (μονοφασική ή τριφασική) παροχή και στους σταθμούς ταχείας φόρτισης με κατά κύριο λόγο DC παροχή.

Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

#### **1.2.1.1 Ημιταχεία φόρτιση-Μονοφασική AC παροχή**

230V/16A-3,7 kW, 17 ώρες η διάρκεια φόρτισης, για το πλέον σύνηθες μέγεθος μπαταρίας που είναι 64 kWh.

230V/32A-7,4 kW, περίπου 9 ώρες η διάρκεια φόρτισης, για το ίδιο μέγεθος μπαταρίας.

#### **1.2.1.2 Ημιταχεία φόρτιση-Τριφασική AC παροχή**

400V/16A-11 kW, περίπου 6 ώρες η διάρκεια φόρτισης (για τις 64 kWh).

400V/32A-22 kW, περίπου 3 ώρες η διάρκεια φόρτισης.

Η AC παροχή των σταθμών ημιταχείας φόρτισης είναι αντίστοιχη της παροχής εναλλασσόμενου ρεύματος για την ηλεκτροδότηση οικιακών συσκευών. Είναι η βασική και η πιο ευρέως διαδεδομένη εναλλακτική φόρτισης των EV εκτός κατοικίας.

#### **1.2.1.3 Ταχεία φόρτιση -DC παροχή**

Σε αυτούς τους σταθμούς ταχείας φόρτισης η τροφοδοσία γίνεται με συνεχές ρεύμα το οποίο δίνει τη δυνατότητα μεταφοράς πολύ υψηλής ισχύος, ώστε να επιτυγχάνεται μικρή διάρκεια φόρτισης. Τέτοιοι σταθμοί, προσφέρονται για μια ολιγόλεπτη στάση, περίπου 45 λεπτών, προκειμένου ο χρήστης να επαναφορτίσει πολύ γρήγορα ένα μεγάλο ποσοστό των μπαταριών του ηλεκτρικού οχήματός του. Αυτοί συναντώνται σε Σ.Ε.Α. στους αυτοκινητοδρόμους, σε χώρους στάθμευσης μεγάλων εμπορικών πολυκαταστημάτων (malls), αλλά και αλλού.

### **1.3 Χώροι φόρτισης**

Οι χώροι φόρτισης χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τους οικιακούς, όπου κάθε ιδιοκτήτης EV μπορεί στο σπίτι του να φορτίσει το όχημα του και τους κοινόχρηστους, που βρίσκονται σε μεγάλα πολυκαταστήματα, σε χώρους στάθμευσης (ιδιωτικούς και δημόσιους) και ως επί το πλείστον χρησιμοποιούν τεχνολογίες ταχείας ή ημιταχείας φόρτισης.

#### **1.3.1 Οικιακοί φορτιστές**

Σε αυτή την κατηγορία φορτιστών η φόρτιση γίνεται με πολύ βραδύ ρυθμό. Γιαυτό το λόγο είναι πολύ συχνό φαινόμενο η φόρτιση στους οικιακούς φορτιστές να γίνεται κατά τη διάρκεια της νύχτας. Αυτό οφείλεται σε δύο λόγους: ο πρώτος είναι ότι κατά τη διάρκεια της νύχτας το όχημα χρησιμοποιείται λιγότερο, οπότε υπάρχει περισσότερος χρόνος για συνεχόμενη, χωρίς διακοπή φόρτιση και ο δεύτερος ότι οι περισσότεροι πάροχοι ηλεκτρικής ενέργειας έχουν χαμηλότερες χρεώσεις ανά kWh κατά τη διάρκεια της νύχτας (νυχτερινό τιμολόγιο). Οι δύο υποκατηγορίες των οικιακών φορτιστών είναι οι εξής:

##### **A) Φορητοί φορτιστές (με πρίζα schuko)**

Ο τρόπος αυτός πραγματοποιεί αγωγήμη σύνδεση του ηλεκτρικού αυτοκινήτου σε παροχή εναλλασσόμενου ρεύματος με χρήση συνήθους οικιακού τύπου ρευματοδότη

## Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

προς την πλευρά της ηλεκτρικής παροχής (πρίζα schuko), μονοφασικής ή τριφασικής σύνδεσης και με αξιοποίηση των αγωγών των φάσεων, του ουδέτερου και της γείωσης προστασίας.

Η διαδικασία της φόρτισης του οχήματος από την πρίζα schuko απαιτεί μεγάλη διάρκεια καθώς η ταχύτητα φόρτισης είναι περιορισμένη συνήθως στα 2,6 kW, γεγονός που οδηγεί σε πολύωρη (>10 ώρες) φόρτιση του ηλεκτρικού οχήματος, αναλόγως του μοντέλου και της χωρητικότητας των μπαταριών του. Ακόμα ένα χαρακτηριστικό του συγκεκριμένου τρόπου φόρτισης που αξίζει να σημειωθεί είναι ότι απαιτεί την παρουσία προστατευτικής διάταξης ισοζυγισμού έντασης RCD (Residual Current Device) προς την πλευρά της παροχής. Όταν η παρουσία μιας τέτοιας διάταξης δεν εξασφαλίζεται από την ισχύουσα σε κάθε χώρα νομοθεσία, ο τρόπος φόρτισης δεν συνιστάται.

### **B) Επιτοίγιοι φορτιστές (WallBoxes)**

Αντίστοιχα, αυτός ο τρόπος χρησιμοποιεί φορτιστή ο οποίος συνήθως είναι επιτοίχιου τύπου και στην Ευρωπαϊκή Ένωση απαιτεί απευθείας καλωδίωση με τον ηλεκτρολογικό πίνακα. Πραγματοποιεί απ' ευθείας αγωγή σύνδεση του ηλεκτρικού αυτοκινήτου σε παροχή εναλλασσόμενου ρεύματος με αξιοποίηση ειδικής μόνιμης ηλεκτρικής παροχής (καλώδιο), εφοδιασμένης με μονάδα εποπτείας για ασφαλή διαχείρισης της φόρτισης, επί της οποίας και συνδέεται ο αγωγός σημάτων επικοινωνίας του οχήματος.

Ο οικιακός σταθμός φόρτισης επικοινωνεί με το ηλεκτρικό όχημα κατά την διάρκεια φόρτισης, αυξάνοντας την ασφάλεια φόρτισης και την προστασία της μπαταρίας. Μία πλήρης επαναφόρτιση μπορεί να διαρκέσει κατά μέσο όρο από 3,5 μέχρι 7 ώρες αναλόγως του τύπου του οχήματος και η μέγιστη ταχύτητα φόρτισης φτάνει στα 22 kW, άρα συμπεραίνεται ότι αυτός ο τρόπος φόρτισης είναι πιο γρήγορος από τον πρώτο τρόπο.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του καθενός από τους δύο τρόπους οικιακής φόρτισης που αναλύθηκαν προηγουμένως:

	<b>Πλεονεκτήματα</b>	<b>Μειονεκτήματα</b>
<b>Πρίζα schuko</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Εξαιρετικός εφεδρικός φορτιστής, συμβατός με οποιαδήποτε οικιακή πρίζα</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Ανεπάρκεια ασφάλειας λόγω χρήσης απλών πριζών τοίχου</li><li>Η αργή ταχύτητα φόρτισης μπορεί να είναι ανεπαρκής για να φτάσει στην πλήρη φόρτιση κατά την διάρκεια της εργάσιμης ημέρας</li></ul>

<b>Σταθμός φόρτισης επιτοίχιου τύπου</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ο γρηγορότερος τρόπος για οικιακή φόρτιση</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Οι χρόνοι φόρτισης του παραμένουν στην κατηγορία της βραδείας φόρτισης</li></ul>
--	---	--

Πίνακας 1.2: Σύγκριση των τρόπων οικιακής φόρτισης

### 1.3.2 Ιδιωτικοί χώροι φόρτισης με ιδιωτική πρόσβαση

Πρόκειται για φορτιστές που βρίσκονται σε χώρους με πρόσβαση από συγκεκριμένους χρήστες (π.χ. ιδιωτικοί χώροι στάθμευσης εταιριών με πρόσβαση μόνο για τους εργαζόμενους). Παρέχουν συνήθως δυνατότητα τόσο ημιταχείας, όσο και ταχείας φόρτισης. Σε αυτούς τους σταθμούς η φόρτιση συχνά διαρκεί μεγάλο χρονικό διάστημα, αφού τα οχήματα παραμένουν σταθμευμένα καθόλη τη διάρκεια του εργασιακού χρόνου.

### 1.3.3 Ιδιωτικοί χώροι φόρτισης με δημόσια πρόσβαση

Οι χώροι αυτοί (π.χ. πάρκινγκ εμπορικών καταστημάτων, ιδιωτικοί χώροι ελεγχόμενης στάθμευσης) παρέχουν δημόσιους φορτιστές ταχείας ή ημιταχείας φόρτισης. Η πρόσβαση είναι ελεύθερη για όλους τους χρήστες με κόστος που εξαρτάται από τον χρόνο χρήσης του φορτιστή. Στην περίπτωση της ημιταχείας φόρτισης, οι σταθμοί παρέχουν εναλλασσόμενο (AC) ρεύμα, και φορτίζουν με ισχύ φόρτισης από 3,7kW έως 22kW. Μία πλήρης φόρτιση μπορεί να διαρκέσει από 1 έως 7 ώρες, αναλόγως των χαρακτηριστικών του οχήματος. Αντίστοιχα, στην περίπτωση της ταχείας φόρτισης, παρέχεται είτε συνεχές (DC) ρεύμα έως 150 kW, είτε εναλλασσόμενο (AC) με ισχύ έως 44kW, η πλήρης φόρτιση μπορεί να διαρκέσει από 20 έως 45 λεπτά.

### 1.3.4 Δημόσιοι χώροι φόρτισης

Οι χώροι αυτοί παρέχουν φορτιστές και των δύο τύπων (ταχείας/ημιταχείας φόρτισης) και είναι ελεύθεροι για του χρήστες των χώρων στους οποίους είναι εγκατεστημένοι. Βρίσκονται συνήθως σε μεγάλα δημοτικά πάρκινγκ ή δημόσιους δρόμους. Στην Ελλάδα τον τελευταίο χρόνο έχει καταστεί υποχρεωτική η εκπόνηση του Σχεδίου Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων (ΣΦΗΟ) από τους Δήμους, με το οποίο εξασφαλίζουν τη χωροθέτηση επαρκούς αριθμού δημοσίας προσβάσιμων σημείων φόρτισης και θέσεων στάθμευσης εντός των διοικητικών τους ορίων.

Συμπερασματικά, οι χώροι φόρτισης με δημόσια πρόσβαση παρέχουν ως επί το πλείστον ταχύτερες μεθόδους φόρτισης, με δεδομένο ότι τα οχήματα παραμένουν στους σταθμούς αυτούς για λιγότερο χρόνο, ωστόσο οι μέθοδοι ταχείας φόρτισης δεν συνιστάται να



Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

χρησιμοποιείται συχνά στο ίδιο όχημα, αφού φθείρει την μπαταρία του οχήματος και μειώνει τη διάρκεια ζωής της.

#### 1.4 Τύποι καλωδίων και ζευκτών φόρτισης

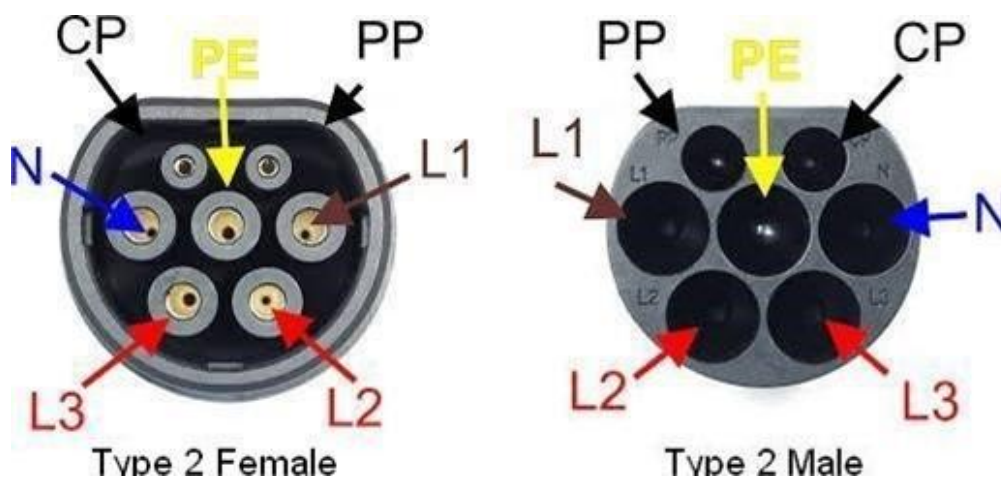
Κατά την ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης τα τελευταία χρόνια, έχουν εμφανιστεί πρότυπα τα οποία καθορίζουν τις προδιαγραφές των καλωδίων και των πριζών φόρτισης ανάλογα με τη γεωγραφική περιοχή, και τις απαιτήσεις του εκάστοτε ηλεκτρικού δικτύου. Πιο συγκεκριμένα, οι τύποι πριζών (charging sockets) μπορούν να χωριστούν στις εξής 4 βασικές κατηγορίες:

- Type 1 – Μονοφασικός σύνδεσμος (με βάση το πρότυπο SAE J1772/2009), που εφαρμόζεται ευρέως στις αγορές της Βορείου Αμερικής και της Ασίας.
- Type 2 – Μονοφασικός ή Τριφασικός σύνδεσμος (με βάση το πρότυπο VDE-AR-E 2623-2-2) που καλύπτει την Ευρωπαϊκή αγορά καθώς και χώρες της Νοτίου Αμερικής.
- Type 3 – Μονοφασικός ή Τριφασικός σύνδεσμος όμοιος του Type 2, ο οποίος συνοδεύεται από προστατευτικά κλείστρα ασφαλείας.
- Type 4 – Σύνδεσμοι που χρησιμοποιούνται για υπερταχεία DC φόρτιση και ανάλογα με την προέλευση του ηλεκτρικού οχήματος, υπάρχει το βύσμα CHAdeMO ή και CCS (Combined Charging System).

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση από τον Ιανουάριο του 2013 για τη φόρτιση ηλεκτρικών αυτοκινήτων χρησιμοποιούνται κυρίως οι σύνδεσμοι Type 2 στην εναλλασσόμενη / AC φόρτιση και CCS 2 για συνεχούς ρεύματος/ DC φόρτιση (συνδυασμός Type 2 με ακροδέκτες συνεχούς ρεύματος).

Το βύσμα Type 2 έχει κυκλικό σχήμα αποτελούμενο συνολικά από επτά επαφές. Οι συγκεκριμένες επαφές περιέχουν το σύνολο των ηλεκτρικών φάσεων (L1, L2, L3), τους αγωγούς ουδετέρωσης (N) και γείωσης (PE), καθώς και δύο επαφές (PP, CP) μέσω των οποίων επιτυγχάνεται η επικοινωνία του σταθμού με το αυτοκίνητο.

Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης



Εικόνα 1.5: Η πρίζα Type 2 (Πηγή: blinkcharging.gr)

Οι σταθμοί φόρτισης διαθέτουν θηλυκό βύσμα Type 2 (είτε με τη μορφή πρίζας είτε με ενσωματωμένο καλώδιο) ενώ τα αυτοκίνητα είναι εξοπλισμένα με μια τυποποιημένη είσοδο Type 2 αρσενικό βύσμα. Έτσι λοιπόν, στην περίπτωση που ο σταθμός δεν διαθέτει το δικό του ενσωματωμένο καλώδιο, ο οδηγός θα πρέπει να συνδέσει στην υποδοχή ένα ξεχωριστό καλώδιο (Type 2 Female-Type 2 Male) για την έναρξη της φόρτισης.



Εικόνα 1.6: Πρίζες Type 2 και καλώδιο (Πηγή: blinkcharging.gr)

Η διαδικασία φόρτισης είναι παρόμοια και για την περίπτωση της υπερταχείας φόρτισης με συνεχές ρεύμα (DC), με τη μόνη διαφορά να βρίσκεται στα βύσματα φόρτισης που χρησιμοποιούνται.

Συνολικά, υπάρχουν τρία βύσματα για φόρτιση στο συνεχές ρεύμα. Το CCS 1 που συναντάται κυρίως στην Αμερική. Το CHAdeMO χρησιμοποιείται κυρίως στην Ασία, υπάρχει όμως και στην Ευρώπη. Και το βύσμα CCS 2 (συνδυασμός Type 2 με ακόμα δύο επαφές).

Το CCS 2 μάλιστα αναμένεται να κυριαρχήσει τα επόμενα χρόνια, καθώς από το 2014 υπάρχει σχετική οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης ώστε να αντικαταστήσει πλήρως το CHAdeMO, που ίσχυε μέχρι τώρα σε πολλά οχήματα.

#### 1.4.1 Πίνακας με τα βασικά χαρακτηριστικά των τύπων των ζευκτών

Τύπος ζεύκτη	Αυστηρά μονοφασικό	Ταχεία φόρτιση DC	Ισχύς εξόδου (kW)
SAE J1772	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ναι</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Όχι</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1,9, 19</li> </ul>
Mennekes (VDE - AR - E 2623-2-2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Όχι</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Όχι</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3,10,20,30,43</li> </ul>
TEPCO/JARI	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ναι</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ναι</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 50</li> </ul>

Πίνακας 1.3: Χαρακτηριστικά ζευκτών

#### 1.4.2 Συνοπτικός πίνακας με τις ονομασίες των ζευκτών

<b>Τύπος 1 / J1772</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Το βύσμα Τύπου 1 χρησιμοποιείται για την φόρτιση AC αυτοκινήτων</li> </ul>
<b>Τύπος 2 / IEC 62196</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αποτελεί το κοινό πρότυπο πρίζας για όλους τους σταθμούς κανονικής φόρτισης στην ΕΕ. Επίσης το αντίστοιχο βύσμα Τύπου 2 χρησιμοποιείται για φόρτιση με εναλλασσόμενο ρεύμα (AC)</li> </ul>
<b>Combo / CCS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Το βύσμα COMBO 2 χρησιμοποιείται σε σταθμούς DC για την ταχυφόρτιση αυτοκινήτων</li> </ul>
<b>CHAdeMO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Το βύσμα CHAdeMO χρησιμοποιείται για την ταχυφόρτιση αυτοκινήτων</li> </ul>

Πίνακας 1.4: Πίνακας ζευκτών



Εικόνα 1.7: Εικονική αναπαράσταση ζευκτών

## 1.5 Νομοθετικό-Φορολογικό Πλαίσιο

Τα τελευταία χρόνια, καθώς η εποχή των μηχανών εσωτερικής καύσης φαίνεται να οδεύει προς το τέλος της, η ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης αποτελεί βασικό στόχο της Ευρωπαϊκής Ένωσης αλλά και της Ελλάδας. Η καινοτομία στην τεχνολογία των μπαταριών και η περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση συντελούν ώστε η αγορά της ηλεκτρικής αυτοκίνησης να κερδίζει όλο και μεγαλύτερο έδαφος, και τα πλεονεκτήματά της να γίνονται πλέον ευρέως αισθητά. Αρκετά κράτη-μέλη της ΕΕ δίνουν κίνητρα για την αγορά ηλεκτρικών οχημάτων και παρέχουν φορολογικές ελαφρύνσεις, ενώ κάποια άλλα αν και δεν παρέχουν χρηματικές επιδοτήσεις, «ανταμείβουν» τους χρήστες με διευκολύνσεις όπως μηδενικά τέλη κυκλοφορίας, δωρεάν παρκάρισμα στις πόλεις και άλλα.

Η Ελλάδα παρόλο που ακόμα δεν βρίσκεται υψηλά στην λίστα με τις χώρες που είναι καλύτερα προετοιμασμένες για τη μετάβαση στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, καταβάλλει μεγάλες προσπάθειες για την προώθηση της ηλεκτροκίνησης. Αποτέλεσμα αυτής της προσπάθειας είναι και το Σχέδιο Νόμου: «Μετάβαση στην κινητικότητα χαμηλών καυσίμων: Μέτρα προώθησης και εφαρμογής της ηλεκτροκίνησης». Κεντρικός στόχος του σχεδίου είναι μέχρι το 2025 να έχουν πραγματοποιηθεί 24.036 πωλήσεις ηλεκτρικών οχημάτων και μέχρι το 2030 ένα στα τρία νέα αυτοκίνητα που πωλούνται να είναι ηλεκτρικό. Ακόμα, οι βασικοί άξονες του σχεδίου είναι οι εξής:

- i. Οικολογικό bonus για την επιβράβευση της αντικατάστασης παλαιών οχημάτων με νέα ηλεκτρικά οχήματα.
- ii. Δράσεις ενίσχυσης για την αγορά ηλεκτρικών οχημάτων
- iii. Ενεργοποίηση του προγράμματος «**Κινούμαι ηλεκτρικά**» - 100 εκατομμύρια ευρώ για την αγορά κα μίσθωση ηλεκτρικών οχημάτων κατά την περίοδο 2020-2021.

Η φορολογία και το νομοθετικό πλαίσιο που αφορά τα ηλεκτρικά οχήματα, τους χρήστες τους αλλά και γενικότερα την ηλεκτροκίνηση θα μελετηθεί περαιτέρω σε επόμενο κεφάλαιο.

## 1.6 Οφέλη της Ηλεκτροκίνησης – Περιβαλλοντικά και Οικονομικά

Η μετάβαση προς τεχνολογίες περισσότερο φιλικές προς το περιβάλλον, και συγκεκριμένα η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας αντί για ορυκτά ρυπογόνα καύσιμα συντελεί στο να περιοριστεί ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος των τελευταίων και να προληφθεί όσο είναι εφικτό η κλιματική αλλαγή. Η βελτίωση, μέσω της ηλεκτροκίνησης, του τομέα των μεταφορών αποτελεί σημαντική βλέψη, καθώς οι μεταφορές είναι υπεύθυνες διεθνώς για το ένα τρίτο της τελικής κατανάλωσης ενέργειας και το ένα πέμπτο εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Τα οφέλη της ηλεκτροκίνησης εκτός από περιβαλλοντικά είναι και οικονομικά αφού συνοδεύεται από χαμηλότερο κόστος ενέργειας, συντήρησης και μετακίνησης. Το κόστος φόρτισης ενός ηλεκτρικού

## Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

οχήματος αντιστοιχεί περίπου στο ένα τρίτο ανά χιλιόμετρο, σε σύγκριση με το κόστος σε βενζίνη για το ίδιο όχημα. Ακόμα, ένα EV έχει μικρότερη ανάγκη για σέρβις από ένα συμβατικό. Η κύρια συντήρηση που χρειάζεται είναι ο έλεγχος των φρένων, των ελαστικών και των αναρτήσεων του. Επίσης, άλλο ένα ωφέλιμο χαρακτηριστικό των ηλεκτρικών αυτοκινήτων είναι η απουσία δαπανηρών συστημάτων εξάτμισης, εκκίνησης του κινητήρα, έγχυσης καυσίμου κι άλλων. Τέλος, τα κέρδη μόνο από την εξοικονόμηση καυσίμου για μέση κάλυψη απόστασης 15.000 χιλιομέτρων ετησίως, μπορούν να ανέλθουν στα 800 ευρώ.

Συνοπτικά, σύμφωνα με το Σχέδιο Νόμου:

- Η ηλεκτροκίνηση εξοικονομεί 18 δις. Ευρώ ετησίως στην ΕΕ από τη μείωση των ορυκτών καυσίμων και άλλα 6 δις. Ευρώ από την εισαγωγή πετρελαίου.
- Ένα ηλεκτρικό λεωφορείο εξοικονομεί 200 βαρέλια πετρελαίου ετησίως, ενώ ένα ηλεκτρικό Ι.Χ. 1300 λίτρα ορυκτού καυσίμου.
- Ο τομέας των μεταφορών ευθύνεται για το 20% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου
- Ανανεώνοντας τον στόλο των οχημάτων στην Ελλάδα συμμετέχουμε στον Ευρωπαϊκό στόχο μείωσης του CO<sub>2</sub> κατά 170 εκατομμύρια τόνους έως το 2030.
- Αντικαθιστώντας ένα συμβατικό όχημα με ηλεκτρικό συντελείται εξοικονόμηση 2,5 τόνων CO<sub>2</sub> ετησίως.

Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου  
πρόβλεψης χώρου φόρτισης

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:

### Η κατάσταση στην αγορά των Ηλεκτρικών Οχημάτων

#### 2.1 Διείσδυση των EVs στην ευρωπαϊκή αγορά

Η ανάγκη για μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των οχημάτων στην Ευρώπη έχει οδηγήσει την ΕΕ στην επιβολή υψηλών προστίμων προς τις αυτοκινητοβιομηχανίες αν εκείνες δεν συμμορφωθούν με τα πρότυπα που έχουν οριστεί από αυτή για την προστασία του περιβάλλοντος. Η κατάσταση αυτή οδηγεί τις ίδιες τις εταιρίες να στραφούν προς την ηλεκτροκίνηση, η οποία φυσικά υποστηρίζεται σθεναρά και από τα κράτη-μέλη της ΕΕ μέσω οικονομικών και φορολογικών κινήτρων.

Η ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης, εκτός των οικονομικών κινήτρων, βασίζεται και στην ύπαρξη κατάλληλων υποδομών για την υποστήριξή της. Υπό αυτό το πρίσμα, ενώ η κάθε χώρα έχει νομοθετήσει σημαντικά οικονομικά κίνητρα για την αγορά οχημάτων με μηδενικές ή χαμηλές εκπομπές ρύπων, κάποιες προωθούν ήδη καλύτερα τα ηλεκτρικά οχήματα και είναι πιο έτοιμες για έναν γενικότερο εξηλεκτρισμό των μεταφορών.

Το πλήθος, η τοποθεσία και τα είδη των σταθμών φόρτισης των EV, καθώς και η σωστή ενημέρωση των χρηστών τους για αυτά, είναι βασικά ζητήματα. Μελέτες με βάση τον δείκτη EV Readiness Index 2020, που είναι μια ολοκληρωμένη ανάλυση της ετοιμότητας 22 ευρωπαϊκών χωρών για τη μετάβαση στην ηλεκτροκίνηση, δείχνουν ότι οι πιο προετοιμασμένες χώρες είναι η Νορβηγία, η Ολλανδία και το Ηνωμένο Βασίλειο. Οι χώρες αυτές αποτελούν τις πιο ώριμες αγορές ηλεκτρικών αυτοκινήτων χάρη σε μια σταθερή αύξηση αδειών ηλεκτρικών αυτοκινήτων και την αυξημένη διαθεσιμότητα υποδομών φόρτισης. Η προώθηση της ηλεκτροκίνησης έχει αναπτυχθεί σε υψηλό επίπεδο, ώστε τα κυβερνητικά-οικονομικά κίνητρα δεν είναι πια απαραίτητα και σιγά σιγά σταθεροποιούνται.

Ταυτόχρονα, οι προσπάθειες των υπόλοιπων ευρωπαϊκών χωρών είναι εξίσου αξιοσημείωτες. Συνολικά στην Ευρώπη στα τέλη του 2020 το 5,7% όλων των πρόσφατα ταξινομημένων αυτοκινήτων ήταν ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Ο αριθμός τους αυξήθηκε κατά 60% μεταξύ του 2018 και του 2019, ενώ ακόμα σημειώθηκε αύξηση της τάξης του 73% στους δημόσιους σταθμούς φόρτισης καθώς υπάρχουν πάνω από 4.000 σημεία ταχείας φόρτισης.

Εκτιμήσεις σύμφωνα με την AVERE - The European Association for Electromobility για το 2020

<b>Εκτιμώμενα ηλεκτρικά επιβατικά αυτοκίνητα στο δρόμο στην Ευρώπη</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 2.166.931</li></ul>
<b>Δημόσια σημεία φόρτισης EV στην Ευρώπη</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 271.337</li></ul>

Πίνακας 2.1: Πίνακας προβλέσεων AVERE

### 2.1.1 Μερίδιο των ηλεκτρικών οχημάτων στην αγορά

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται οι πωλήσεις των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην Ευρωπαϊκή αγορά κατά τα έτη 2014-2019 σύμφωνα με στοιχεία της European Automobile Manufacturers Association και το ποσοστιαίο μερίδιο αυτών στις συνολικές πωλήσεις οχημάτων σε αυτή.

Είδη οχημάτων	2014	2015	2016	2017	2018	2019
<b>Ηλεκτρικά μπαταρίας (BEV)</b>	37,517	59,165	63,479	97,667	147,428	284,812
<b>Plug-in υβριδικά (PHEV)</b>	32,441	88,862	92,155	120,416	152,830	174,103
<b>Ηλεκτρικά φορτιζόμενα<sup>1</sup></b>	69,958	148,027	155,634	218,083	300,258	458,915
<b>Υβριδικά (HEV)</b>	176,525	218,755	278,729	426,769	598,462	896,785
<b>Κυψελών καυσίμου (FCEV)</b>	38	176	123	253	266	535

Πίνακας 2.2: Πίνακας τάσεων σύμφωνα με στοιχεία της European Automobile Manufacturers Association (ACEA)

Είδη οχημάτων	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Διαφορά 2014-2019
<b>Ηλεκτρικά μπαταρίας (BEV)</b>	0,3%	0,70%	0,60%	0,80%	1,00%	1,10%	+0,80%
<b>Plug-in υβριδικά (PHEV)</b>	0,30%	0,40%	0,40%	0,60%	1,00%	1,90%	+1,6%
<b>Ηλεκτρικά φορτιζόμενα<sup>1</sup></b>	0,60%	1,10%	1,10%	1,50%	2,00%	3,00%	+2,4%
<b>Υβριδικά (HEV)</b>	1,40%	1,60%	1,90%	2,80%	4,00%	5,90%	+4,50%
<b>Κυψελών καυσίμου (FCEV)</b>	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,04%	+0,04%

Πίνακας 2.3: Πίνακας τάσεων σύμφωνα με στοιχεία της ACEA

<sup>1</sup> Στα Ηλεκτρικά Φορτιζόμενα Οχήματα περιλαμβάνονται τα Ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας (BEV) και τα υβριδικά plug-in (PHEV)

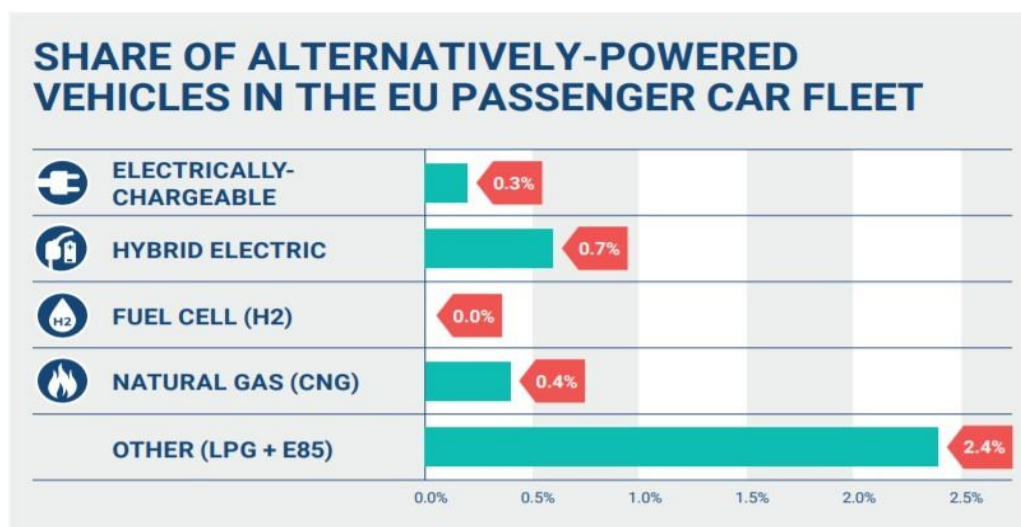


## Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

Από τον πρώτο πίνακα παρατηρείται ότι οι πωλήσεις νέων Ηλεκτρικά Φορτιζόμενων Οχημάτων αυξήθηκαν κατά περίπου 390 χιλιάδες στη διάρκεια αυτών των πέντε ετών, των Υβριδικών Οχημάτων κατά περίπου 720 χιλιάδες, ενώ σημαντική αύξηση παρατηρείται για τα Οχήματα Κυψελών Καυσίμου ιδιαίτερα από το 2016 στο 2017 και από το 2018 στο 2019, που και στις δύο περιπτώσεις ο αριθμός των νέων πωλήσεων τους διπλασιάστηκε.

Ο δεύτερος από τους ανωτέρω πίνακες φανερώνει πως το μερίδιο των Ηλεκτρικά Φορτιζόμενων Οχημάτων στις νέες πωλήσεις αυξήθηκε κατά 2,4% κατά το διάστημα 2014 – 2019 και αυτό των Υβριδικών Οχημάτων κατά 4,5% το ίδιο διάστημα. Για τα Οχήματα Κυψελών Καυσίμου, ωστόσο, παρατηρείται ότι το ποσοστό εισχώρησης τους στην αγορά της ΕΕ είναι πάρα πολύ μικρό, σχεδόν αμελητέο (0,04%). Επιπλέον, στον ίδιο πίνακα παρουσιάζονται και τα απόλυτα ποσοστά, από τα οποία αξιοσημείωτα είναι αυτά του 2019 που για τα Ηλεκτρικά Φορτιζόμενα Οχήματα είναι 3% της συνολικής αγοράς νέων οχημάτων και για τα Υβριδικά 5,9%.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η γενικότερη διείσδυση των οχημάτων με εναλλακτικό τρόπο παραγωγής ισχύος (ηλεκτρικά, φυσικού αερίου, κ.α.). Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα στοιχεία της ACEA για τη συνολική κατανομή αυτού τους είδους των οχημάτων στους δρόμους της Ευρώπης.



Εικόνα 2.1: Μερίδιο οχημάτων μη συμβατικού καυσίμου στην Ευρώπη σύμφωνα με τη ACEA

Το συμπέρασμα που εξάγεται από την παραπάνω εικόνα είναι πως τα οχήματα που χρησιμοποιούν LPG (υγροποιημένο πεπιεσμένο αέριο) έχουν εισχωρήσει σε αξιοπρόσεκτο βαθμό (2,4%) στο συνολικό στόλο οχημάτων της Γηραιάς Ηπείρου. Αυτό εν πολλοίς οφείλεται και στο γεγονός ότι είναι εύκολο να μετατραπούν σε οχήματα που χρησιμοποιούν LPG τα οχήματα που εκ κατασκευής χρησιμοποιούσαν συμβατικά καύσιμα (βενζίνη, πετρέλαιο) για την κίνηση τους. Κάτω από 1% του συνολικού στόλου αποτελούν οι υπόλοιπες κατηγορίες οχημάτων που χρησιμοποιούν εναλλακτικά καύσιμα.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι χώρες με τους μεγαλύτερους, αλλά και τους μικρότερους αριθμούς πωλήσεων ηλεκτρικών οχημάτων σύμφωνα με τα στοιχεία της ACEA και σε

Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

παρένθεση το ποσοστό που αυτό αντιστοιχεί στις συνολικές πωλήσεις νέων οχημάτων για το 2019.

### **Ηλεκτρικά Φορτιζόμενα Οχήματα (ECV)**

#### Χώρες με το μεγαλύτερο αριθμό πωλήσεων ECV

1. Γερμανία: 108.629 (3,0%)
2. Ηνωμένο Βασίλειο: 72.766 (3,1%)
3. Ολλανδία: 66.801 (15,0%)

#### Χώρες με το μικρότερο αριθμό πωλήσεων ECV

1. Εσθονία: 97 (0,3%)
2. Λετονία: 102 (0,5%)
3. Λιθουανία: 162 (0,4%)

### **Υβριδικά Ηλεκτρικά Οχήματα (HEV)**

#### Χώρες με το μεγαλύτερο αριθμό πωλήσεων HEV

1. Γερμανία: 193.902 (5,4%)
2. Ηνωμένο Βασίλειο: 156.178 (6,8%)
3. Ιταλία: 109.789 (5,7%)

#### Χώρες με το μικρότερο αριθμό πωλήσεων HEV

1. Λετονία: 1.468 (7,5%)
2. Βουλγαρία: 1.975 (4,8%)
3. Σλοβενία: 2.002 (2,8%)

### **Ηλεκτρικά Οχήματα Κυψελών Καυσίμου- FCEV**

#### Χώρες με το μεγαλύτερο αριθμό πωλήσεων FCEV

1. Γερμανία: 210 (0%)
2. Ολλανδία: 156 (0%)
3. Ηνωμένο Βασίλειο: 68 (0%)

Παρακάτω παρουσιάζεται συγκεντρωτικά για κάθε χώρα της ΕΕ το ποσοστό των εναλλακτικών οχημάτων που κυκλοφορούσαν στους δρόμους τους για το 2019 σύμφωνα με τα στοιχεία της ACEA.

## Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

**MARKET SHARE OF ALTERNATIVELY-POWERED CARS, BY COUNTRY**

	AT	BE	BG	CZ	DK	EE	FI	FR	DE	GR	HU	IE
ECVs	3.5%	3.2%	0.6%	0.5%	4.2%	0.3%	6.9%	2.8%	3.0%	0.4%	1.9%	4.1%
HEVs	4.4%	3.2%	4.8%	3.1%	4.4%	8.1%	13.6%	4.8%	5.4%	5.8%	5.8%	8.7%
FCEVs	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
NGVs	0.1%	0.6%	1.1%	0.7%	0.0%	2.1%	1.9%	0.0%	0.2%	1.4%	0.0%	0.0%
OTHER	0.0%	0.0%	4.3%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.4%	0.2%	0.6%	0.0%	0.0%

	IT	LV	LT	NL	PL	PT	RO	SK	SI	ES	SE	GB
ECVs	0.9%	0.5%	0.4%	15.0%	0.5%	5.7%	0.9%	0.4%	0.9%	1.4%	11.3%	3.1%
HEVs	5.7%	7.5%	7.3%	6.5%	7.0%	4.2%	4.6%	4.2%	2.8%	8.6%	8.5%	6.8%
FCEVs	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
NGVs	2.0%	0.1%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.4%	1.5%	0.0%
OTHER	7.1%	0.6%	0.0%	0.1%	1.5%	0.9%	0.9%	0.2%	0.1%	1.6%	0.2%	0.0%

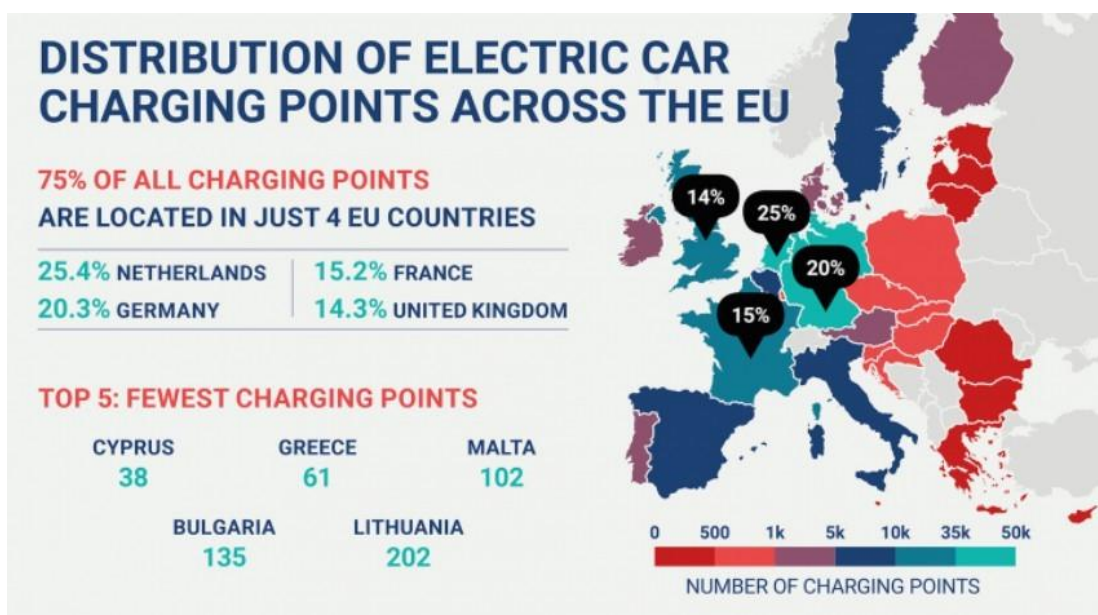
ECVs = ELECTRICALLY-CHARGEABLE VEHICLES  
 HEVs = HYBRID ELECTRIC VEHICLES  
 FCEVs = FUEL CELL ELECTRIC VEHICLES  
 NGVs = NATURAL GAS VEHICLES (CNG)  
 OTHER = OTHER ALTERNATIVELY-POWERED VEHICLES (LPG + E85)

Εικόνα 2.2: Ποσοστά των Ηλεκτρικών Οχημάτων στην Ευρώπη σύμφωνα με την ACEA

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό πως μόλις σε 6 κράτη-μέλη της ΕΕ τα Ηλεκτρικά Φορτιζόμενα Οχήματα έχουν πάνω από 3,5% στο συνολικό μερίδιο της αγοράς. Μάλιστα, 11 από αυτά έχουν ποσοστό μικρότερο του 1%. Από την άλλη πλευρά, τα Υβριδικά Οχήματα κατέχουν υπερδιπλάσιο ποσοστό στην αγορά του αυτοκινήτου στην ΕΕ σε σχέση με τα ECV. Ειδικότερα μεταξύ των ηλεκτρικών οχημάτων, τα Υβριδικά κατέχουν το 66.1% της αγοράς. Επιπλέον, αποτελούν πάνω από το 50% των συνολικών οχημάτων εναλλακτικής ισχύος που πωλούνται στην Ευρώπη (τα οχήματα που χρησιμοποιούν LPG ως επί το πλείστον μετατρέπονται εκ των υστέρων).

### 2.1.2 Σταθμοί φόρτισης ανά την Ευρώπη

Σύμφωνα με έρευνα της ACEA (European Automobile Manufacturers Association-Ευρωπαϊκή Ένωση Κατασκευαστών Αυτοκινήτων) παρά την μεγάλη ανάπτυξη στις πωλήσεις ηλεκτρικών οχημάτων, οι διαθέσιμες υποδομές φόρτισης για αυτά στην ΕΕ εξακολουθούν να μην ανταποκρίνονται στις πραγματικές ανάγκες και παραμένουν άνισα κατανομημένες στα κράτη-μέλη. Η έρευνα δείχνει ότι οι πωλήσεις των EV στην Ευρωπαϊκή Ένωση αυξήθηκαν κατά 110% τα τελευταία τρία χρόνια. Ωστόσο, κατά την ίδια περίοδο, ο αριθμός των σημείων φόρτισης αυξήθηκε μόλις κατά 58% (κάτω από 200.000) απόδειχνοντας ότι οι επενδύσεις σε υποδομές δεν συμβαδίζουν με τις αυξημένες πωλήσεις ηλεκτρικών οχημάτων. Πράγματι, από την ανάλυση προκύπτει ότι μόλις 1 στα 7 σημεία φόρτισης στην ΕΕ είναι ταχείας φόρτισης, καθώς μόνο 28.586 σημεία φόρτισης είναι κατάλληλα για αυτό το είδος φόρτισης (με χωρητικότητα  $\geq 22\text{kW}$ ), ενώ τα μη ταχείας φόρτισης («κανονικά») σημεία (<math>22\text{kW}</math>) αντιπροσωπεύουν τη πλειοψηφία (171.239). Πολλά από τα λεγόμενα «κανονικά» σημεία φόρτισης που περιλαμβάνονται στις στατιστικές της ΕΕ είναι πρίζες κοινής χαμηλής χωρητικότητας που δεν είναι κατάλληλες για φόρτιση οχημάτων με ικανοποιητική ταχύτητα.



Εικόνα 2.3: Σημεία φόρτισης στην Ευρώπη το 2019 σύμφωνα με την ACEA

Από την παραπάνω εικόνα που βασίζεται στα στατιστικά δεδομένα της ACEA για το 2019 γίνεται πρόδηλο ότι περισσότερο από το 75% όλων των σημείων φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων στην ΕΕ βρίσκεται μόνο σε 4 χώρες. Πιο συγκεκριμένα, το 25,4% των συνολικών (199.825) σημείων φόρτισης στην Ευρωπαϊκή Ένωση βρίσκεται στην Ολλανδία (50.824), το 20,3% στη Γερμανία (40.517), το 15,2% στη Γαλλία (30.367) και το 14,2% στο Ηνωμένο Βασίλειο (28.538), το οποίο μάλιστα δεν ανήκει πλέον στην Ένωση. Αντίθετα, παρατηρείται ότι στο Ανατολικό κομμάτι της ΕΕ, από τον Βορρά έως και τον Νότο, συμπεριλαμβανομένης και της Ελλάδας, είναι εγκατεστημένοι οι λιγότεροι σταθμοί φόρτισης. Αυτό δείχνει ότι σε αυτές τις χώρες η έννοια της Ηλεκτροκίνησης είναι ακόμα νωπή και πρέπει να γίνουν σημαντικά βήματα προκειμένου να μπουν στη συνείδηση του καταναλωτή. Γιατί χωρίς αύξηση των πωλήσεων των EVs, δεν θα ακολουθήσει και αύξηση των σταθμών φόρτισης.

### 2.1.3 Φορολογικά και Οικονομικά οφέλη για την απόκτηση Ηλεκτρικών Οχημάτων

Οι περισσότερες χώρες της ΕΕ προσφέρουν οικονομικά και φορολογικά οφέλη, προκειμένου να διευκολύνουν και να δώσουν κίνητρο για την αγορά νέων Ηλεκτρικών Οχημάτων. Κάποια από τα οφέλη αφορούν την απόκτηση EV, κάποια άλλα την κατοχή (πχ μέσω μίσθωσης), ενώ άλλα απευθύνονται αποκλειστικά σε εταιρικά αυτοκίνητα. Παρακάτω παρουσιάζονται με τι είδους οφέλη πριμοδοτεί κάθε κράτος-μέλος της ΕΕ τα Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα.

## Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

TAX BENEFITS FOR ELECTRIC CARS			
	Acquisition	Ownership	Company car
AUSTRIA	✓	✓	✓
BELGIUM	✓	✓	✓
BULGARIA	✗	✓	✗
CROATIA	✓	✓	✗
CYPRUS	✓	✓	✗
CZECH REPUBLIC	✓	✓	✗
DENMARK	✓	✓	✓
ESTONIA	✗	✗	✗
FINLAND	✓	✓	✗
FRANCE	✓	✗	✓
GERMANY	✓	✓	✓
GREECE	✓	✓	✓
HUNGARY	✓	✓	✓
IRELAND	✓	✓	✓
ITALY	✗	✓	✗
LATVIA	✓	✓	✓
LITHUANIA	✗	✗	✗
LUXEMBOURG	✗	✗	✗
MALTA	✓	✓	✗
NETHERLANDS	✓	✓	✓
POLAND	✓	✗	✗
PORTUGAL	✓	✗	✗
ROMANIA	✗	✓	✗
SLOVAKIA	✓	✓	✗
SLOVENIA	✓	✓	✗
SPAIN	✓	✓	✗
SWEDEN	✗	✓	✓
UNITED KINGDOM	✓	✓	✓

Εικόνα 2.4: Φορολογικές απαλλαγές σύμφωνα με την ACEA

Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι μόλις 10 κράτη παρέχουν και τα τρία είδη των φορολογικών κινήτρων για την ενίσχυση της απορρόφησης των Ηλεκτρικών Αυτοκινήτων από την αγορά. Ένα από αυτά είναι και η Ελλάδα. Η πλειονότητα των κρατών προσφέρει κίνητρα σε μία ή δύο από τις πιθανές κατηγορίες.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα κράτη-μέλη που χορηγούν τα μεγαλύτερα ποσά για την αγορά Ηλεκτρικά Φορτιζόμενων Οχημάτων (ECV):

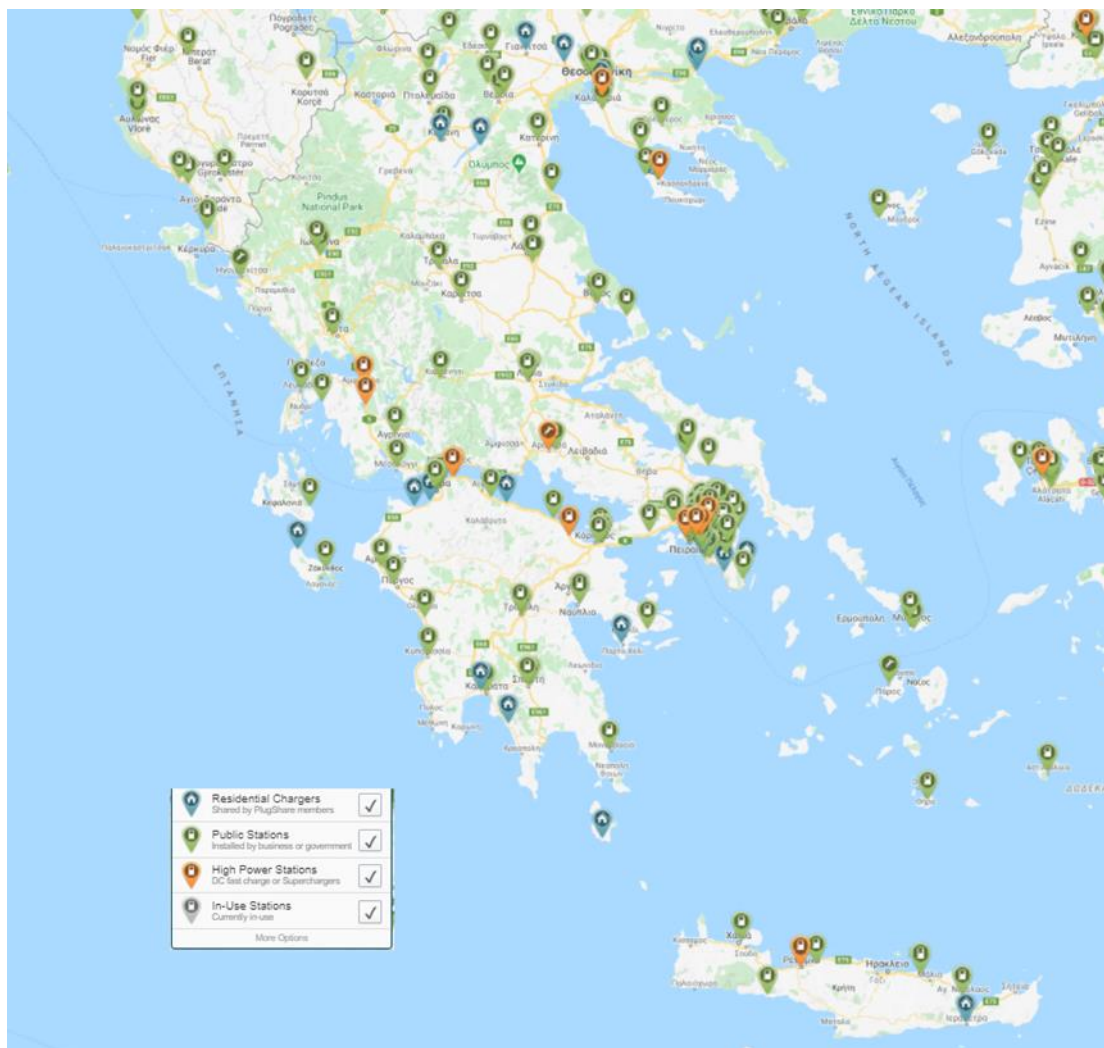
1. Ρουμανία (έως και €11,500)
2. Κροατία (έως και €9,200)
3. Γερμανία (έως και €9,000)
4. Πολωνία (έως και €8,350)
5. Σλοβακία (έως και €8,000)
6. Σλοβενία (έως και €7,500)
7. Ουγγαρία (έως και €7,350)
8. Γαλλία (έως και €7,000)
9. Ελλάδα (έως και €6,500)
10. Ιταλία (έως και €6,000)

## 2.2 Η αγορά των Ηλεκτρικών Οχημάτων στην Ελλάδα

Οι πρώτες πωλήσεις Ηλεκτρικών Οχημάτων άρχισαν να γίνονται στην Ελλάδα το 2012, ενώ οι πρώτες υποδομές φόρτισης εγκαταστάθηκαν το 2014. Παρόλα αυτά, η χρήση και η αγορά ηλεκτρικών οχημάτων βρίσκεται ακόμα σε πολύ πρώιμο στάδιο, συγκριτικά με άλλες Ευρωπαϊκές χώρες. Ωστόσο, από το 2020 και μετά σημειώνεται ταχύτερη ανάπτυξη της συγκεκριμένης αγοράς στη χώρα. Με βάση τα στοιχεία του EAFO (European Alternative Fuels Observatory) ο συνολικός αριθμός ηλεκτρικών οχημάτων ήταν 3.135 και ο συνολικός αριθμός υποδομών φόρτισης 334.

## Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

Στην ακόλουθη εικόνα παρουσιάζονται ορισμένοι σταθμοί φόρτισης σύμφωνα με στοιχεία του ΕΛ.ΙΝ.Η.Ο.



Εικόνα 2.5: Ενδεικτικός χάρτης σημείων φόρτισης 2020- Πηγή: ΕΛ.ΙΝ.Η.Ο<sup>2</sup>

### 2.2.1 Πολιτικό πλαίσιο και Φορολογικά κίνητρα

Κάθε κράτος-μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης υποβάλλει στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή (European Commission) το τριετές του Εθνικό Πολιτικό Πλαίσιο (National Policy Framework – NPF) για την υποστήριξη των εναλλακτικών καυσίμων. Το τελευταίο υποβληθέν πλαίσιο της Ελλάδας περιελάμβανε τα ακόλουθα δύο σενάρια για την ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης.

Σενάριο Α (σενάριο αναφοράς): Σύμφωνα με αυτό το σενάριο, το 2030 το ποσοστό διείσδυσης των Ηλεκτρικά Φορτιζόμενων Οχημάτων θα ανέρχεται σε 24,1% επί των νέων ταξινομήσεων, το οποίο μεταφράζεται σε 66.371 οχήματα.

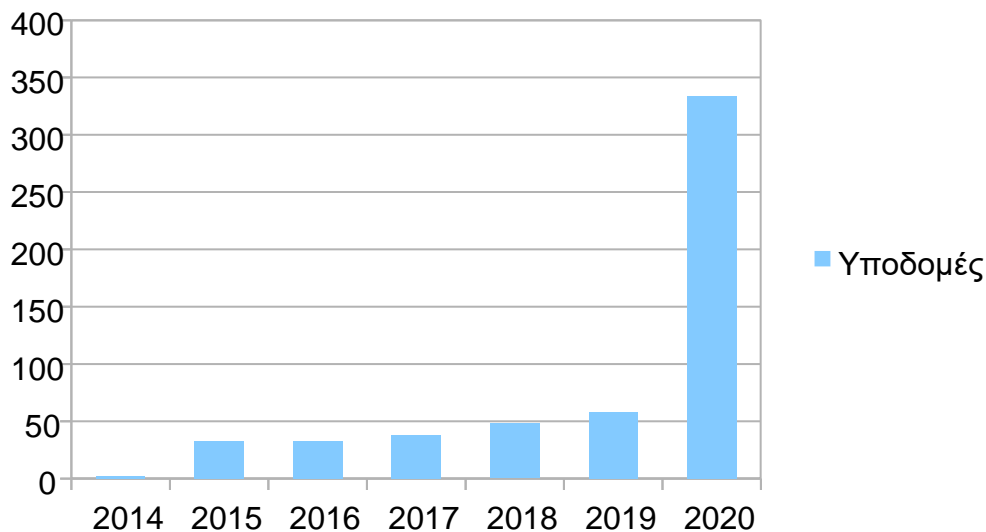
Σενάριο Β (εμπροσθοβαρές σενάριο με οικονομική ανάπτυξη και αυξημένα μέτρα προώθησης): Με αυτό το σενάριο, το ποσοστό διείσδυσης των Ηλεκτρικά Φορτιζόμενων Οχημάτων κατά το 2030 θα ανέρχεται σε 30% επί των συνολικών νέων πωλήσεων

## Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

οχημάτων. Με αυτή την εκδοχή, ο αριθμός των Ηλεκτρικά Φορτιζόμενων Οχημάτων θα ανέρχεται σε 82.422.

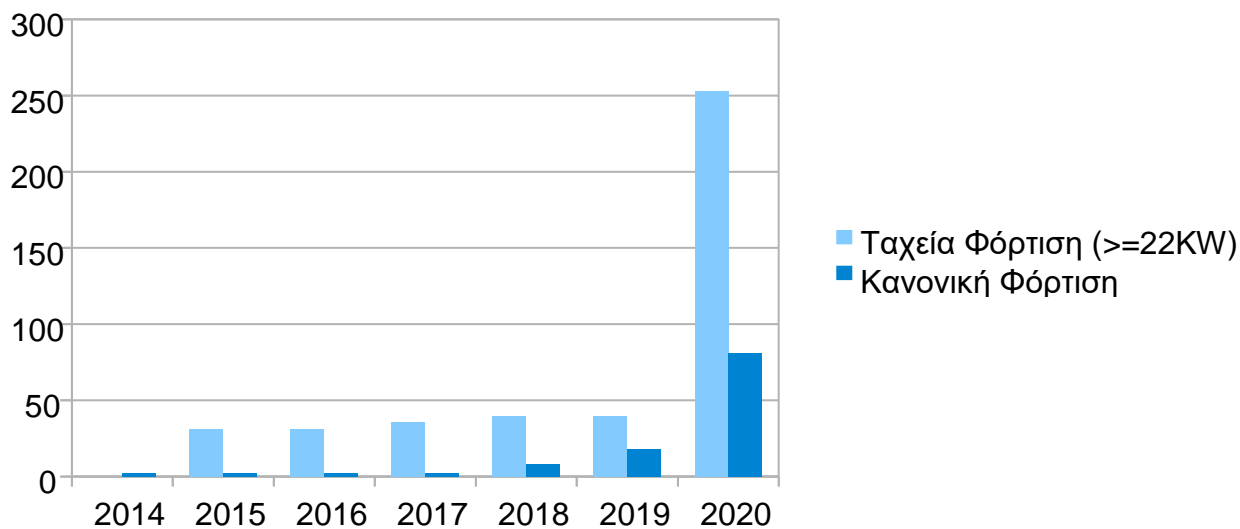
Συνολικά η ανάπτυξη των ηλεκτρικών οχημάτων και των σημείων φόρτισης ανά τα χρόνια με βάση το NPF απεικονίζεται στα παρακάτω διαγράμματα:

### Συνολικός αριθμός υποδομών φόρτισης EV



*Μέγιστο 2020: 334 σταθμοί φόρτισης*

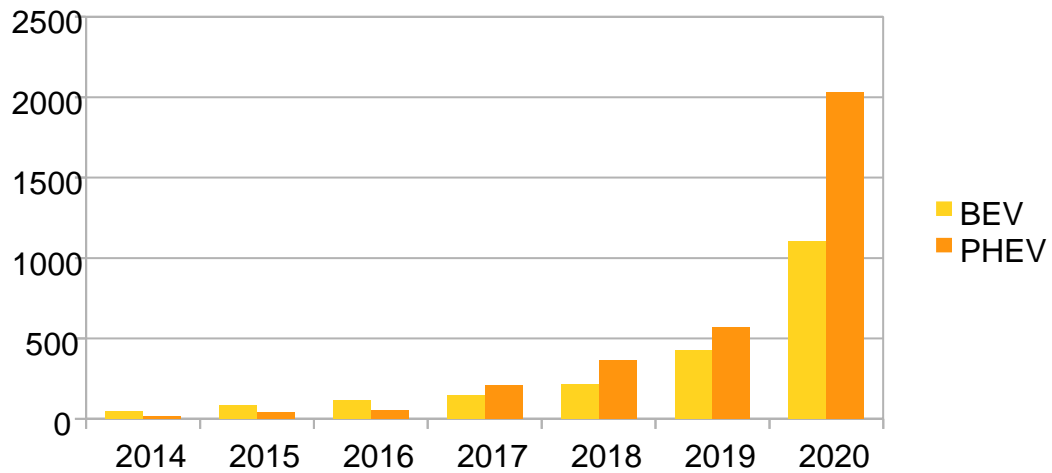
### Συνολικός αριθμός σημείων κανονικής και ταχείας φόρτισης



*Μέγιστο Ταχείας Φόρτισης: 253 σημεία φόρτισης, Μέγιστο Κανονικής Φόρτισης: 81 σημεία φόρτισης*

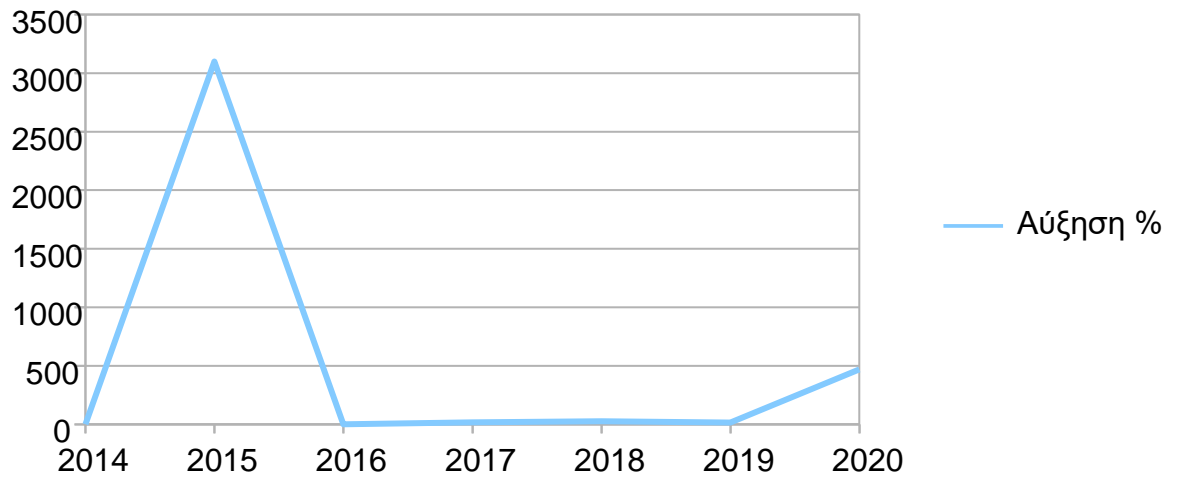
Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

Συνολικός αριθμός επιβατικών BEV/PHEV



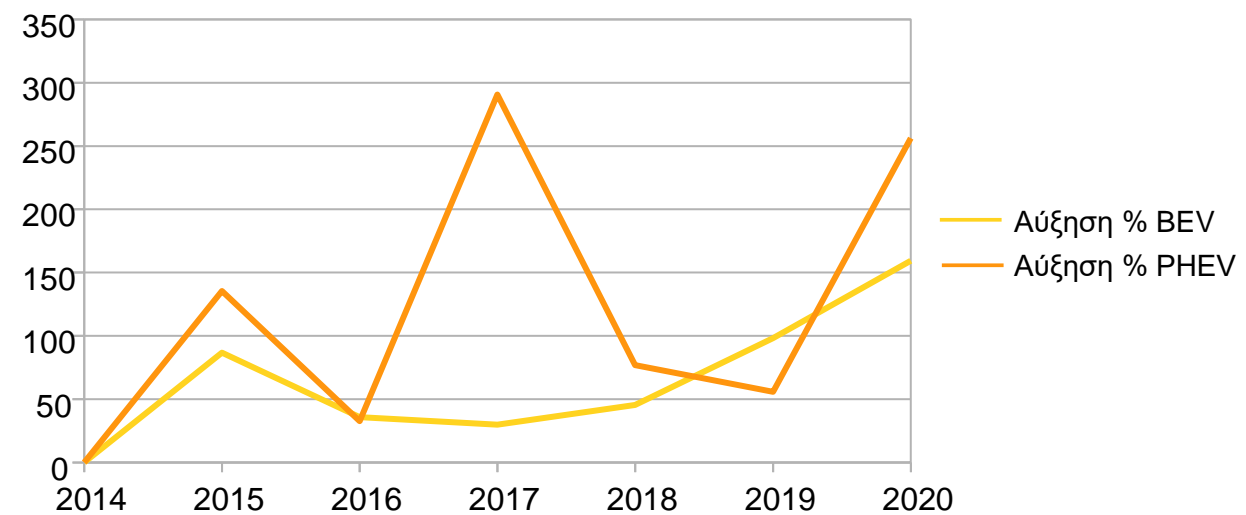
Μέγιστο 2020: 1.104 BEV, 2.031 PHEV

Αύξηση σταθμών φόρτισης



Μέγιστο 2020: 467,3 %

Αύξηση επιβατικών οχημάτων BEV/PHEV



Μέγιστο 2020: 159,2 % BEV, 256,3 % PHEV



## Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενως, στην Ελλάδα έχουν θεσπιστεί τόσο οικονομικά (επιδοτήσεις αγοράς), όσο και φορολογικά κίνητρα για την διευκόλυνση της ανάπτυξης της αγοράς των ηλεκτρικών αυτοκινήτων.

Όπως αναγράφεται στο άρθρο 7 του ΦΕΚ Β 3323/ 07.08.2020 – «ΚΙΝΟΥΜΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ» το ύψος των οικονομικών ενισχύσεων (οικολογικό bonus για την αγορά νέου οχήματος, επιδότησης αγοράς «έξυπνου» οικιακού σημείου επαναφόρτισης και επιδότησης μέσω της απόσυρσης) ανά κατηγορία ωφελούμενου/τελικού αποδέκτη και ανά όχημα καθορίζεται παρακάτω ως εξής:

### Κατηγορία Α (φυσικά πρόσωπα):

i) Για ηλεκτρικά οχήματα με Λιανική Τιμή Προ Φόρων (Λ.Τ.Π.Φ.) έως 50.000€ το οικολογικό bonus ανέρχεται:

α) σε ποσοστό 20% επί της Λ.Τ.Π.Φ. για οχήματα αξίας έως 30.000€, με μέγιστο ποσό τις έξι χιλιάδες ευρώ (6.000€).

β) σε ποσοστό 15% επί της Λ.Τ.Π.Φ. για οχήματα αξίας από 30.001€ έως 50.000€, με μέγιστο ποσό τι έξι χιλιάδες ευρώ (6.000€).

ii) Για ηλεκτρικά δίκυκλα ή τρίκυκλα το οικολογικό bonus ανέρχεται σε ποσοστό 20% επί της αξίας αγοράς προ Φ.Π.Α., με μέγιστο ποσό τα οκτακόσια ευρώ (800€).

iii) Για ηλεκτρικά ποδήλατα το οικολογικό bonus ανέρχεται σε ποσοστό 40% επί της αξίας αγοράς προ Φ.Π.Α., με μέγιστο ποσό τα οκτακόσια ευρώ (800€).

Η απόσυρση οχήματος ή δίκυκλου/τρικύκλου (εξαιρουμένων των ποδηλάτων) επιβραβεύεται με ποσό ίσο με χίλια ευρώ (1.000€) και τετρακόσια ευρώ (400€), αντίστοιχα και είναι προαιρετική.

Η αγορά «έξυπνου» οικιακού σημείου επαναφόρτισης Η/Ο επιδοτείται με ποσό συνολικού ύψους πεντακοσίων ευρώ (500€) και είναι προαιρετική. Σε περίπτωση που η τιμή αγοράς του «έξυπνου» σημείου επαναφόρτισης Η/Ο είναι μικρότερη των 500,00€ προ ΦΠΑ, το ποσό της επιδότησης ισούται με το ποσό της τιμής αγοράς προ ΦΠΑ.

### Κατηγορία Β (ΕΔΧ – ΤΑΞΙ):

Για αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα Ε.Δ.Χ.-ΤΑΞΙ με Λιανική Τιμή Προ Φόρων (Λ.Τ.Π.Φ.) έως 50.000€, το οικολογικό bonus ανέρχεται σε ποσοστό 25% επί της Λ.Τ.Π.Φ., με μέγιστο ποσό τις οκτώ χιλιάδες ευρώ (8.000€) και τις δέκα χιλιάδες πεντακόσια ευρώ (10.500€), αθροίζοντας το ποσό της υποχρεωτικής απόσυρσης παλαιού οχήματος ύψους δύο χιλιάδων πεντακοσίων ευρώ (2.500€).

Για υβριδικά οχήματα εξωτερικής φόρτισης και εκπομπών ρύπων έως 50gr CO<sub>2</sub>/km με Λιανική Τιμή Προ Φόρων (Λ.Τ.Π.Φ.) έως 50.000€, το οικολογικό bonus ανέρχεται σε ποσοστό 15% επί της Λ.Τ.Π.Φ., με μέγιστο ποσό τις πέντε χιλιάδες πεντακόσια ευρώ (5.500€) και τις οκτώ χιλιάδες ευρώ (8.000€), αθροίζοντας το ποσό της υποχρεωτικής απόσυρσης παλαιού οχήματος ύψους δύο χιλιάδων πεντακοσίων ευρώ (2.500€).

Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

Κατηγορία Γ (Νομικά πρόσωπα):

Για αμιγώς ηλεκτρικά επιβατικά και επαγγελματικά οχήματα με Λιανική Τιμή Προ Φόρων (Λ.Τ.Π.Φ.) έως 50.000€, το οικολογικό bonus ανέρχεται σε ποσοστό 15% επί της Λ.Τ.Π.Φ., με μέγιστο ποσό τις πέντε χιλιάδες πεντακόσια ευρώ (5.500€).

Για υβριδικά επαγγελματικά ηλεκτρικά οχήματα εξωτερικής φόρτισης μέγιστης μάζας έως 3,5 τόνους (N1/Van) και εκπομπών ρύπων έως 50gr CO<sub>2</sub>/km με Λιανική Τιμή Προ Φόρων (Λ.Τ.Π.Φ.) έως 50.000€, το οικολογικό bonus ανέρχεται σε ποσοστό 15% επί της Λ.Τ.Π.Φ., με μέγιστο ποσό τις τέσσερις χιλιάδες ευρώ (4.000€).

Για ηλεκτρικά δίκυκλα ή τρίκυκλα το οικολογικό bonus ανέρχεται σε ποσοστό 20% επί της αξίας αγοράς προ Φ.Π.Α., με μέγιστο ποσό τα οκτακόσια ευρώ (800€).

Η αντικατάσταση οχήματος ή και δίκυκλου/τρικύκλου (εξαιρουμένων των ποδηλάτων) επιβραβεύεται με συνολικό ποσό ύψους χιλίων ευρώ (1.000€) και τετρακοσίων ευρώ (400€) αντίστοιχα και είναι προαιρετική.

Τα φορολογικά κίνητρα για τους κατόχους οχημάτων μηδενικών ή εξαιρετικά χαμηλών (έως 50 gr CO<sub>2</sub>/χλμ) ρύπων είναι εξίσου σημαντικά για την ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης με τις επιδοτήσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω και αναγράφονται στα Κεφάλαιο Γ του Ν. 4710/2020 (ΦΕΚ Α 142/ 23.07.2020) στα ακόλουθα άρθρα:

Άρθρο 6: «Απαλλαγές από το εισόδημα για δαπάνες ή παραχώρηση οχήματος μηδενικών ή χαμηλών ρύπων έως 50 γρ. CO<sub>2</sub> /χλμ»

Άρθρο 7: «Προσαυξημένη έκπτωση για συγκεκριμένες δαπάνες οχημάτων μηδενικών ή χαμηλών ρύπων που αφορούν στους εργαζόμενους, τις επιχειρήσεις και την προστασία του περιβάλλοντος»

Άρθρο 9: «Εξαίρεση αγοράς αυτοκινήτου μηδενικών ρύπων από την ετήσια αντικειμενική δαπάνη και δαπάνη απόκτησης περιουσιακών στοιχείων»

Στα άρθρα αυτά περιγράφονται τα εξής κίνητρα:

- Η δαπάνη αγοράς ή/και μίσθωσης ηλεκτρικού οχήματος έως 40.000 ευρώ είναι προσαυξημένη κατά 50% και μειώνει το φορολογητέο εισόδημα.
- Για τα υβριδικά οχήματα εξωτερικής φόρτισης εκπομπών έως 50grCO<sub>2</sub>/km ο συντελεστής θα είναι 30% .
- Η δαπάνη αγοράς και εγκατάστασης φορτιστών στους χώρους των επιχειρήσεων είναι προσαυξημένη κατά 30% και μειώνει το φορολογητέο εισόδημα.
- Η δαπάνη αγοράς και εγκατάστασης δημόσια προσβάσιμων σημείων φόρτισης είναι προσαυξημένη κατά 50% και μειώνει το φορολογητέο εισόδημα, ενώ ειδικά για τα νησιά ο συντελεστής διαμορφώνεται στο 70% .

Άλλο ένα κίνητρο που ωφελεί την ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης (αν και όχι φοροαπαλλακτικό) είναι η δωρεάν στάθμευση για τα EV. Σύμφωνα με το Άρθρο 1 του ΦΕΚ Β 5570:

## Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

Από την 1η Ιανουαρίου 2021 έως την 31η Δεκεμβρίου 2022, εντός των διοικητικών ορίων των Οργανισμών Τοπικής Αυτοδιοίκησης Α΄ βαθμού όπου υπάρχουν θέσεις ελεγχόμενης στάθμευσης με πληρωμή, τα Η/Ο (ηλεκτρικά οχήματα) μηδενικών ή χαμηλών ρύπων έως 50 gr CO<sub>2</sub>/χλμ. απαλλάσσονται από την καταβολή τέλους στάθμευσης. Οι περιορισμοί ως προς τη διάρκεια της στάθμευσης συνεχίζουν να ισχύουν για Η/Ο μηδενικών ή χαμηλών ρύπων έως 50 gr CO<sub>2</sub>/χλμ. .

### 2.2.3 Δείκτης Ετοιμότητας Ελλάδας 2019– 2021 (EV Readiness Index)

Ο δείκτης EV Readiness Index που αναφέρθηκε και στην παράγραφο 2.1 (ο οποίος καταρτίστηκε από την εταιρία μίσθωσης οχημάτων LeasePlan) είναι μία ολοκληρωμένη ανάλυση ετοιμότητας 22 ευρωπαϊκών χωρών για τη μετάβαση στην Ηλεκτροκίνηση. Ο δείκτης βασίζεται σε τρεις παράγοντες: την ωριμότητα της αγοράς ηλεκτρικών αυτοκινήτων, τη διαθεσιμότητα υποδομών φόρτισης και τα κυβερνητικά κίνητρα για την αγορά ηλεκτρικών αυτοκινήτων ανά χώρα.

Στους επόμενους πίνακες θα γίνει παρουσίαση και σύγκριση του δείκτη αυτού και των επί μέρους συνιστωσών του για την Ελλάδα για το 2018 και για το 2020, όπως παρουσιάστηκαν από τη LeasePlan στις αρχές του επόμενου από το μελετώμενο έτος (2019 και 2021 αντίστοιχα).

Στον πρώτο πίνακα παρουσιάζονται η συνολική βαθμολογία του δείκτη και τα τελικά αποτελέσματα της κάθε επί μέρους συνιστώσας, ενώ στους επόμενους τρεις περιγράφεται αναλυτικά το πως προκύπτει η βαθμολογία της κάθε μίας από αυτές.

	<b>Ελλάδα 2018</b>	<b>Ελλάδα 2020</b>
<b>Συνολική βαθμολογία</b>	13	16
<b>Ωριμότητα αγοράς E.V.</b>	3	3
<b>Ωριμότητα υποδομών φόρτισης</b>	2	1
<b>Συνολικό κόστος χρήσης</b>	8	12

Πίνακας 2.4: Συνολικός Πίνακας Δείκτη Ετοιμότητας

	<b>Ελλάδα 2018</b>	<b>Ελλάδα 2020</b>
<b>Πληθυσμός</b>	10.722.287	10.722.287
<b>Άδειες E.V.</b>	341	882
<b>E.V. ανά κάτοικο</b>	0,03	0,08
<b>Βαθμολογία E.V. ανά πληθυσμό</b>	1	1
<b>Άδειες αυτοκινήτων με κινητήρες εσωτερικής καύσης</b>	92.772	51.198
<b>Μερίδιο αγοράς E.V.</b>	0,37%	1,69%

Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

<b>Βαθμολογία μεριδίου αγοράς E.V.</b>	1	0
<b>Πωλήσεις B.E.V. (Leaseplan)</b>	152	292
<b>Ποσοστό % των B.E.V.</b>	45,00%	33%
<b>Βαθμός μεριδίου των αμιγώς E.V.</b>	1	0

Πίνακας 2.5: Επί μέρους πίνακας δείκτη ωριμότητας αγοράς EV

	<b>Ελλάδα 2018</b>	<b>Ελλάδα 2020</b>
<b>Αριθμός συνολικών Κοινόχρηστων τοποθεσιών φόρτισης</b>	51	199
<b>Αριθμός κοινόχρηστων τοποθεσιών φόρτισης για κανονική ταχύτητα φόρτισης</b>	40	118
<b>Αριθμός κοινόχρηστων τοποθεσιών φόρτισης για γρήγορη ταχύτητα φόρτισης</b>	18	81
<b>Αριθμός τοποθεσιών φόρτισης ανά κάτοικο</b>	0	0,02
<b>Βαθμολογία σημείων φόρτισης ανά πληθυσμό</b>	0	0
<b>Αριθμός σταθμών ανά καταχωρημένο E.V.</b>	0,15	0,226

Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

<b>Βαθμολογία σταθμών φόρτισης ανά E.V.</b>	1	1
<b>Ποσοστό τοποθεσιών γρήγορης φόρτισης</b>	35,30%	40,7%
<b>Σταθμοί ταχείας φόρτισης ανά km αυτοκινητόδρομου</b>	-	0,0386
<b>Βαθμολογία ποσοστού τοποθεσιών ταχείας φόρτισης</b>	1	0

Πίνακας 2.6: Επί μέρους πίνακας δείκτη ωριμότητας υποδομών φόρτισης

	<b>Ελλάδα 2018</b>	<b>Ελλάδα 2020</b>
<b>Επιδότησεις αγοράς</b>	x	Εξαιρετικά
<b>Φορολογικά οφέλη ταξινόμησης</b>	✓	Καλά
<b>Φορολογικά οφέλη ιδιοκτησίας</b>	✓	Κανένα
<b>Φορολογικά οφέλη εταιρείας</b>	✓	Εξαιρετικά
<b>Οφέλη ΦΠΑ</b>	x	Κανένα
<b>Άλλα οικονομικά οφέλη</b>	✓	Καλά
<b>Τοπικά κίνητρα</b>	✓	Καλά
<b>Κίνητρα υποδομής</b>	x	Καλά
<b>Επιπτώσεις στη φορολογία οδηγού</b>	0,00%	0,00%
<b>Βαθμολογία κινήτρων φορολογίας οδηγού</b>	5	5
<b>Τιμή ανά λίτρο βενζίνης</b>	-	1,46 €
<b>Μέση τιμή καυσίμου ανά 100 km</b>	-	7,30 €
<b>Μέση τιμή kWh ηλ. ενέργειας</b>	-	0,17 €

## Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

<b>Μέση τιμή ηλ. ενέργειας ανά 100 km</b>	-	3,03 €
<b>Δείκτης τιμής ενέργειας</b>	-	41%
<b>Βαθμολογία τιμών ενέργειας</b>	-	3
<b>Δείκτης ενοικιάσεων</b>	-	141%
<b>Δείκτης ενοικιάσεων συμπερ. τιμών καυσίμων/ηλ. ενέργειας</b>	-	113%
<b>Βαθμολογία ενοικίασης</b>	-	0

Πίνακας 2.7: Επί μέρους πίνακας συνολικού κόστους χρήσης

Ο τρόπος βαθμολόγησης για το 2020 (EV Readiness 2021) παρουσιάζεται στην Παρακάτω εικόνα:

### Επεξήγηση κλίμακας βαθμολογίας



Εικόνα 2.6: Ανάλυση βαθμολογίας EV Readiness 2021 – LeasePlan

## 2.3 Η αγορά των Ηλεκτρικών Οχημάτων στην Ουγγαρία

Με δεδομένο ότι το dataset, πάνω στο οποίο βασίζονται τα αποτελέσματα που θα παρουσιαστούν σε επόμενο κεφάλαιο της παρούσας Διπλωματικής εργασίας, αφορούν την Ουγγαρία, είναι χρήσιμο να αναλυθεί το πλαίσιο της αγοράς των EV και στη χώρα αυτή.

Η Ουγγαρία είναι μια Ευρωπαϊκή χώρα παρόμοια με την Ελλάδα σε επίπεδο πληθυσμού και έκτασης. Παρ' όλα αυτά όσον αφορά την ηλεκτροκίνηση είναι πιο προχωρημένη, και γι' αυτό αποτελεί ένα καλό μέτρο σύγκρισης και αξίζει να μελετηθεί, ώστε να μπορέσει να προβλεφθεί ένα αντίστοιχο μοτίβο ανάπτυξης και για την Ελλάδα. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται κάποια συγκριτικά στοιχεία ανάμεσα στις δύο χώρες.

Χώρα	Πληθυσμός	Έκταση	EV Readiness Index 2020 της χώρας για τα ηλεκτρικά οχήματα
Ουγγαρία	9.769.526	93,03 km <sup>2</sup>	22
Ελλάδα	10.722.287	132,96 km <sup>2</sup>	16

Πίνακας 2.8: Σύγκριση των δύο χωρών

### 2.3.1 Εθνικό Πολιτικό Πλαίσιο (NPF)

Το Εθνικό Πολιτικό Πλαίσιο θέτει έναν φιλόδοξο στόχο έως το 2030 για την ηλεκτροκίνηση. Η Ουγγαρία υποστηρίζει ήδη τη διάδοση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στις οδικές μεταφορές με ένα ευρύ φάσμα ενεργειών. Όμως, εφαρμόζοντας πρόσθετα μέτρα ο αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων δύναται να αυξηθεί πάνω από μισό εκατομμύριο έως το 2030. Ακόμα, φαίνεται ότι η ηλεκτρική ενέργεια θα τροφοδοτήσει την πλειονότητα των επιβατικών αυτοκινήτων και επιπλέον για το ίδιο χρονικό όριο, ο αριθμός των συνοδευτικών σημείων φόρτισης θα αυξηθεί επίσης σημαντικά και θα ξεπεράσει τις 50.000.

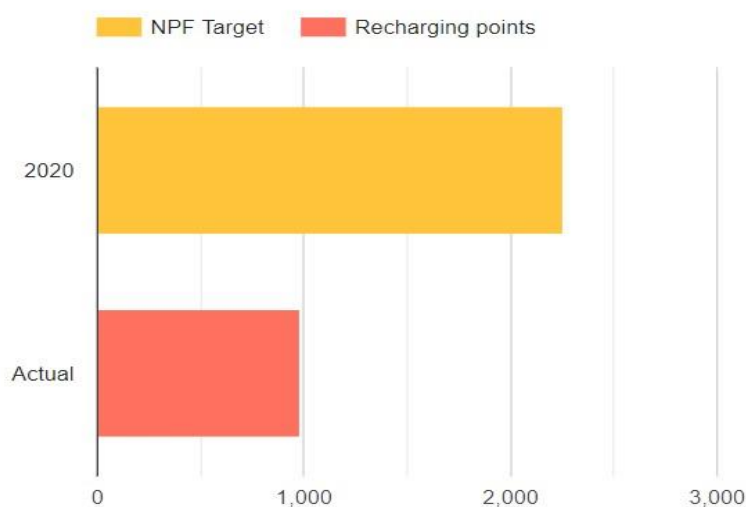
Τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν αναγνωριστεί ως βασικό εργαλείο για την επίτευξη των στόχων της Ουγγαρίας σχετικά με τη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου, την ανανεώσιμη ενέργεια και την ενεργειακή απόδοση, καθώς η χώρα εξαρτάται λιγότερο από την εισαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ότι στις εισαγωγές ορυκτών καυσίμων. Τα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία σε βάση δεξαμενής-τροχού παρέχουν τη μόνη εναλλακτική λύση μηδενικών εκπομπών σε σχέση με τους συμβατικούς κινητήρες. Επιπλέον, οι ηλεκτρικοί κινητήρες προκαλούν ελάχιστη ηχορύπανση, είναι πολύ πιο αποδοτικοί από εκείνους που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα και χρειάζονται λιγότερη συντήρηση με αποτέλεσμα να μειώνουν τα λειτουργικά κόστη. Ωστόσο, μικρός

## Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

παραμένει ακόμα ο αριθμός των EV σε κυκλοφορία εξαιτίας του υψηλού τους κόστους και της χαμηλής τους εμβέλειας. Βέβαια, καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται, ο αριθμός αυτός αυξάνεται. Συγκεκριμένα, μεταξύ 2016 και 2018 το πλήθος των EV υπερδιπλασιάστηκε κάθε χρόνο. Το 2018 τα BEV(Ηλεκτρικά Οχήματα Μπαταρίας)και τα Plug-in HEV (Υβριδικά Plug-in) αυξήθηκαν σε 9240, και αποτελούσαν το 0,21% των συνολικών οχημάτων της Ουγγαρίας, ενώ το ποσοστό πωλήσεων των ηλεκτρικών οχημάτων ξεπέρασε το 1,5%.

Ακόμα, προβλέπεται αύξηση της ζήτησης των EV μιας και η τιμή των μπαταριών μειώνεται, ενώ η χωρητικότητά τους αυξάνεται. Σύμφωνα με ένα σενάριο (σενάριο WEM) το 2030 ο αριθμός των EV θα φτάσει τις 420.000, ενώ με ένα δεύτερο(WAM)θα ξεπεράσει το μισό εκατομμύριο. Τέλος, τα ταξίδια μεγάλων αποστάσεων είναι η μεγαλύτερη πρόκληση για την ηλεκτροκίνηση των οδικών μεταφορών, για αυτό τον λόγο το μερίδιο των ηλεκτρικών οχημάτων στην αγορά θα είναι οριακό για το μεγαλύτερο μέρος της δεκαετίας. Ωστόσο, αναμένουμε γρήγορη αύξηση του πλήθους τους μετά το 2025 φθάνοντας τις 9000 μονάδες στο σενάριο WEM και 16000 στο σενάριο WAM.

Παρακάτω παρουσιάζεται ο στόχος του NPF της Ουγγαρίας ως προς τους σταθμούς φόρτισης έως το 2020 και ο πραγματικός αριθμός αυτών.



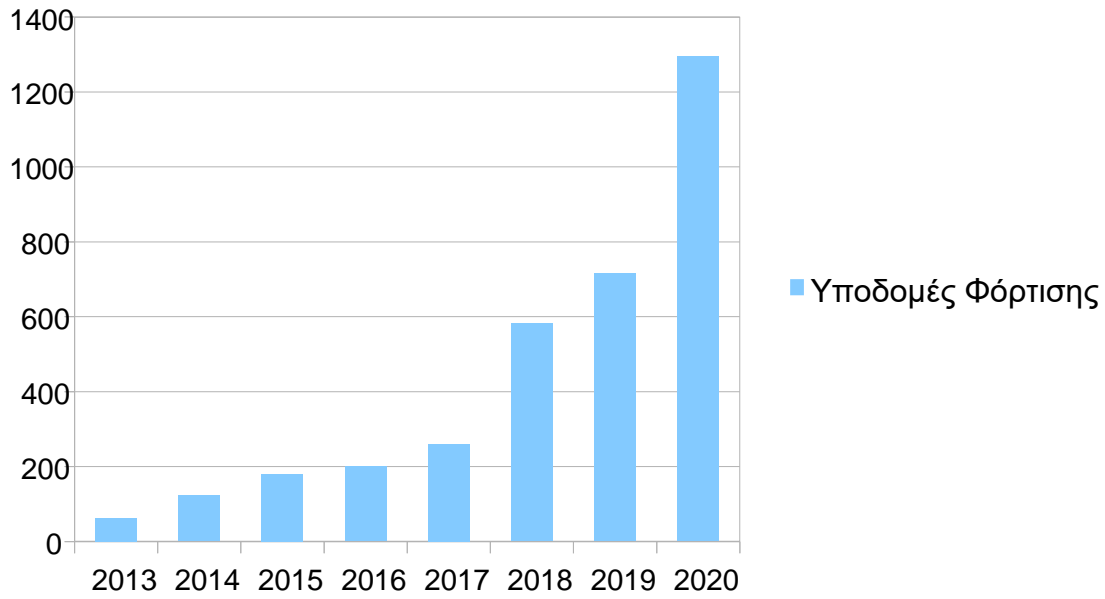
Διάγραμμα 2.1: Σύγκριση στόχου NPF και πραγματικού αριθμού σταθμών φόρτισης για το 2020

Ακολούθως παρουσιάζονται ορισμένα γενικά στοιχεία για τα ηλεκτρικά οχήματα στην Ουγγαρία και τις υποδομές φόρτισής τους από το 2013 έως το 2020.



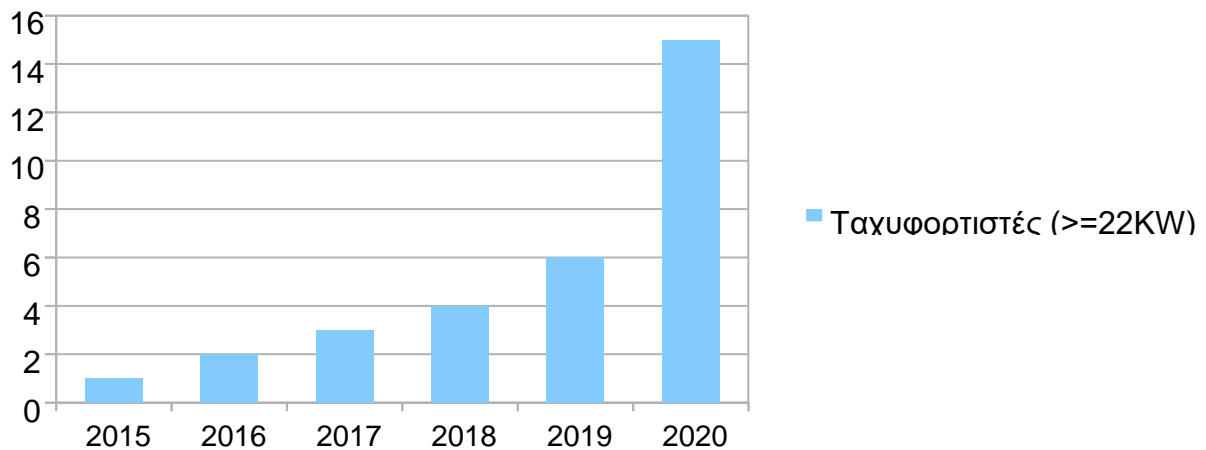
Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

Συνολικός αριθμός υποδομών φόρτισης EV



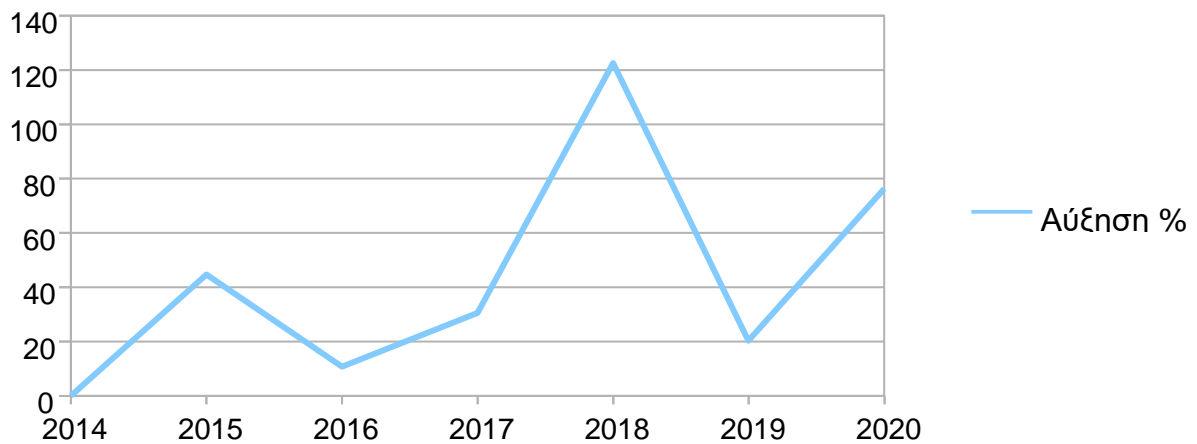
Μέγιστο 2020: 1.295 σημεία φόρτισης

Αριθμός ταχυφορτιστών EV ανά 100 χλμ αυτοκινητόδρομου (>= 22KW)



Μέγιστο 2020: 15 ταχυφορτιστές

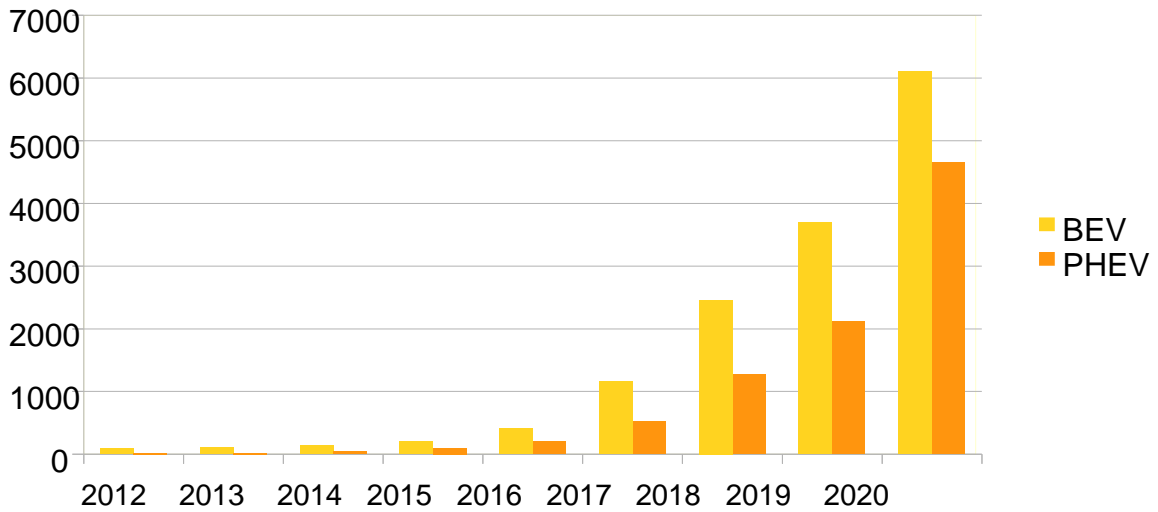
Αύξηση σταθμών φόρτισης EV



Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

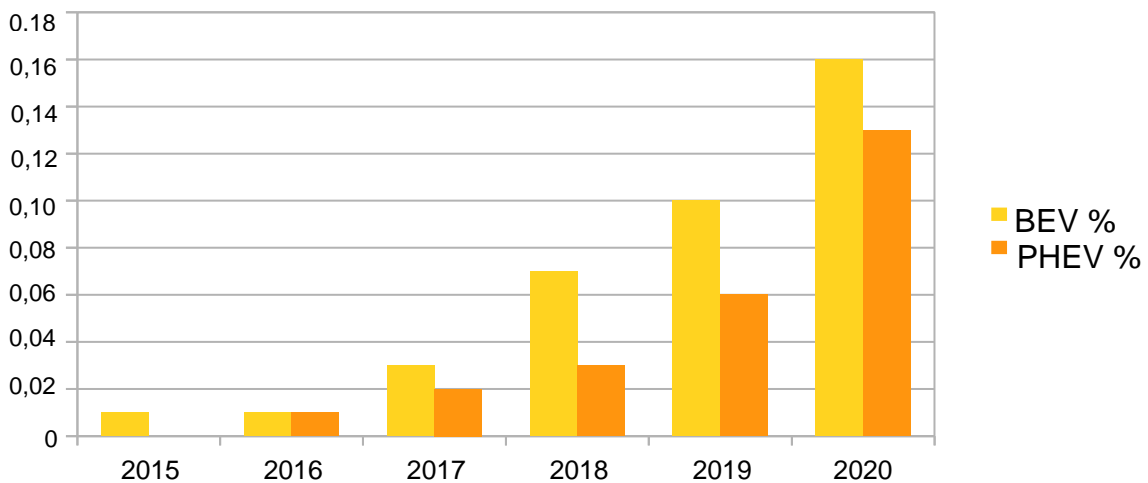
Μέγιστο 2018: 122,6 %

Συνολικός αριθμός BEV/PHEV σε κυκλοφορία



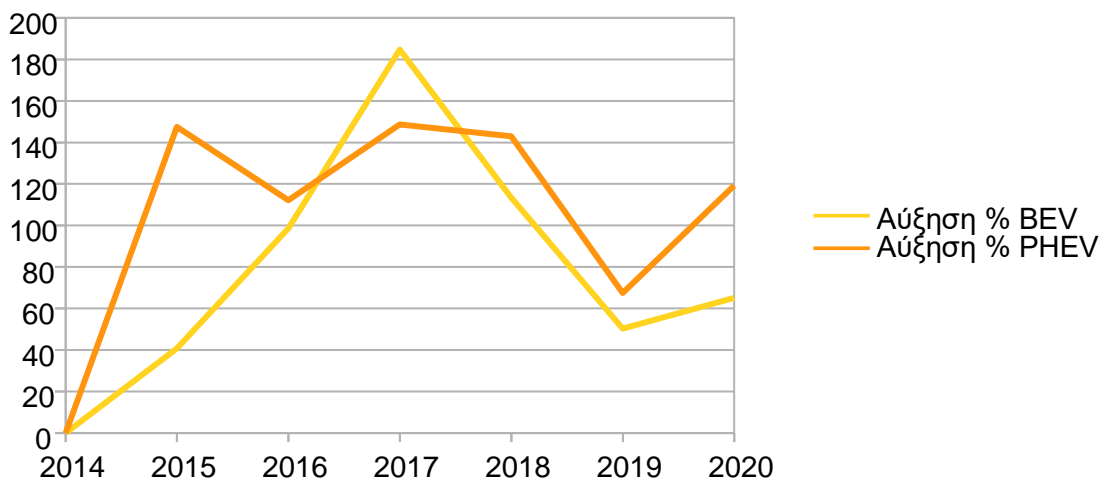
Μέγιστο 2020: 6.101 BEV, 4.652 PHEV

Ποσοστό επιβατικών οχημάτων BEV/PHEV στο σύνολο των οχημάτων



Μέγιστο 2020: 0,16 % BEV, 0,13 % PHEV

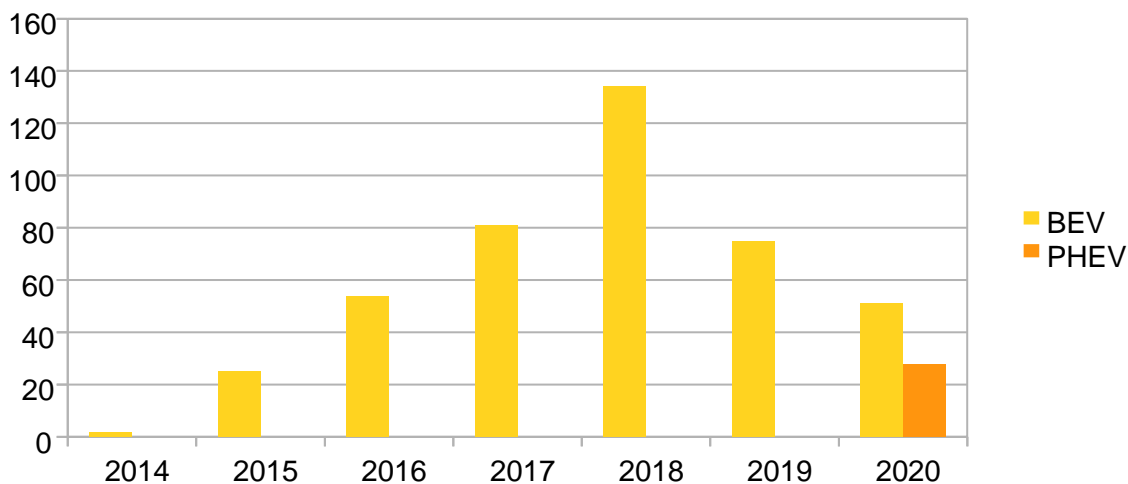
Αύξηση συνολικών επιβατικών αυτοκινήτων



Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

Μέγιστο: 184,7 % BEV, 148,6 % PHEV

Αριθμός νέων καταχωρήσεων ελαφρών επαγγελματικών αυτοκινήτων BEV/PHEV



Μέγιστο 2018: 134 BEV, Μέγιστο 2020: 28 PHEV

Επιπλέον, στην αγορά της Ουγγαρίας έχουν αρχίσει να διατίθενται και Ηλεκτρικά Οχήματα άνω των 3,5 τόνων τόσο για τη μεταφορά επιβατών (λεωφορεία), όσο και για τη μεταφορά εμπορευμάτων (φορτηγά).

Πιο συγκεκριμένα, έχουν ταξινομηθεί από το 2016 και μετά 56 λεωφορεία (με 33 από αυτά να ταξινομούνται το 2016 και 12 το 2017) και ένα φορτηγό το 2019. Όλα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας (BEV).

Τέλος, παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον ακόλουθο πίνακα οι αριθμοί των Ηλεκτρικά Φορτιζόμενων Οχημάτων και των σταθμών φόρτισης για την ΕΕ, την Ελλάδα και την Ουγγαρία.

	Ευρωπαϊκή Ένωση	Ελλάδα	Ουγγαρία
<b>Σύνολο ECV (BEV+PHEV)</b>	2.111.414	3.135	10.753
<b>Σταθμοί Φόρτισης</b>	224.538	334	1.295

Πίνακας 2.9: Σύγκριση Ελλάδας-Ουγγαρίας-Ευρώπης

Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου  
πρόβλεψης χώρου φόρτισης

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:

### Μέθοδοι και τεχνικές πρόβλεψης

Οι μέθοδοι πρόβλεψης βρίσκουν σήμερα πολλές εφαρμογές σε ιατρικές διαγνώσεις, στο marketing και αλλού και αποτελούν αντικείμενο μελέτης για τη στατιστική, τη μηχανική μάθηση και βέβαια το data mining. Υπάρχουν δυο βασικές κατηγορίες μεθόδων. Οι μέθοδοι για μάθηση με επίβλεψη (supervised learning) και χωρίς επίβλεψη (unsupervised learning). Στην πρώτη κατηγορία, οι ομάδες ταξινόμησης είναι εκ των προτέρων γνωστές και το πραγματικό αποτέλεσμα κάθε υποδείγματος είναι επίσης γνωστό. Επομένως, είναι δυνατό να μετράμε το βαθμό αξιοπιστίας σε μη χρησιμοποιημένα για τη διαμόρφωση της αντίληψης δεδομένα ή υποκείμενα, ανάλογα με το βαθμό αποδοχής της περιγραφής. Στις μεθόδους χωρίς επίβλεψη δεν παρέχεται κάποια εμπειρία στον αλγόριθμο μάθησης, πρέπει να βρει την δομή των δεδομένων εισόδου. Η μάθηση χωρίς επίβλεψη μπορεί να είναι αυτοσκοπός (ανακαλύπτοντας κρυμμένα μοτίβα σε δεδομένα) ή μέσο για ένα τέλος (χαρακτηριστικό της μάθησης). Η τυπική προσέγγιση που χρησιμοποιούν οι τεχνικές πρόβλεψης είναι η δημιουργία ενός μοντέλου μέσω της αξιολόγησης του συνόλου δεδομένων εκπαίδευσης και η εφαρμογή του μοντέλου σε νέα δεδομένα. Οι πιο κοινές τεχνικές είναι τα δέντρα αποφάσεων (decision trees), τα νευρωνικά δίκτυα (Neural Networks), οι μηχανές διανυσματικής υποστήριξης (Support Vector Machines), η λογιστική παλινδρόμηση (logistic regression) και τα Bayesian Network Models που θα αναλυθούν στις ακόλουθες παραγράφους.

#### 3.1 Λογιστική παλινδρόμηση (Logistic regression)

Μία ευρέως χρησιμοποιούμενη τακτική για την ταξινόμηση υποδειγμάτων σε κλάσεις είναι η παλινδρόμηση. Με τη χρήση μοντέλων παλινδρόμησης επιτυγχάνουμε τη διαμέριση του χώρου σε περιοχές, δηλαδή σε κλάσεις ισοδυναμίας, και επιπλέον καθιστούμε εύκολη την πρόβλεψη της τάξης μελλοντικών υποδειγμάτων. Έτσι λοιπόν, μπορούμε να εφαρμόσουμε οποιαδήποτε τεχνική παλινδρόμησης, όπως απλή ή πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση, μη γραμμική ή λογαριθμική παλινδρόμηση, για την ταξινόμηση υποδειγμάτων σε κλάσεις. Η γραμμική παλινδρόμηση χρησιμοποιείται για να προσεγγίσει τη σχέση μεταξύ μίας συνεχούς μεταβλητής απόκρισης και ενός συνόλου ανεξάρτητων επεξηγηματικών (predictor) μεταβλητών.

Υπάρχουν όμως περιπτώσεις όπου η μεταβλητή απόκρισης δεν είναι συνεχής αλλά κατηγορική (categorical). Για τις περιπτώσεις αυτές η γραμμική παλινδρόμηση δεν είναι κατάλληλη, όμως ο αναλυτής μπορεί να χρησιμοποιήσει μία ανάλογη μέθοδο, τη λογιστική παλινδρόμηση, η οποία έχει αρκετά κοινά σημεία με τη γραμμική παλινδρόμηση. Η λογιστική παλινδρόμηση αναφέρεται σε μεθόδους που περιγράφουν τη σχέση μεταξύ μίας κατηγορικής μεταβλητής απόκρισης και ενός συνόλου

## Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

επεξηγηματικών μεταβλητών. Το μοντέλο πρόβλεψης που εφαρμόζεται στην παρούσα διπλωματική εργασία βασίζεται μόνο στη λογιστική παλινδρόμηση για δυαδικές μεταβλητές, δηλαδή την περίπτωση όπου η μεταβλητή απόκρισης έχει μόνο δύο κατηγορίες. Η περίπτωση όπου η μεταβλητή απόκρισης έχει περισσότερες από δύο κατηγορίες είναι εκτός των σκοπών της παρούσας εργασίας και δε θα την εξετάσουμε. Αναφορικά με τη διωνυμική κατανομή, η έννοια της παρουσιάζεται παρακάτω.

Σε πολλές εφαρμογές η εξαρτημένη μεταβλητή παίρνει δυο μόνο τιμές, οι οποίες αντιστοιχούν σε δύο ενδεχόμενα. Για παράδειγμα, το αν ο ασθενής ζει ή απεβίωσε, το αν ο άνεργος βρίσκει εργασία ή όχι, το αν ραγίζει ή αντέχει το δοκάρι. Οι τιμές της μεταβλητής αποτελούν μια αυθαίρετη κωδικοποίηση των δύο ενδεχομένων, συνήθως 0 και 1.

Εάν ορίσουμε την τιμή  $y = 1$  ως «επιτυχία» και την τιμή  $y = 0$  ως «αποτυχία», τότε η  $y$  είναι τιμή μεταβλητής της κατανομής Bernoulli, δηλαδή  $y \sim B(p)$ , με μέση τιμή  $E(y) = p$  και διασπορά  $V(y) = p \cdot (1 - p)$ .

Γενικεύοντας σε μια σειρά από  $n$  επαναλήψεις (δηλαδή πραγματοποιήσεων των ενδεχομένων), ορίζουμε την μεταβλητή:

$$y = \text{αριθμός επιτυχιών σε } n \text{ επαναλήψεις}$$

Υπό την υπόθεση ότι η πιθανότητα επιτυχίας  $p$  είναι ίδια σε κάθε δοκιμή και οι δοκιμές είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους, τότε ισχύει η Διωνυμική (binomial) κατανομή:

$$y \sim b(n, p)$$

Με συνάρτηση πυκνότητας:

$$f(y) = \binom{n}{y} p^y (1 - p)^{n-y}, y = 0, 1, 2, \dots, n$$

όπου:

$p$  η πιθανότητα επιτυχίας η οποία είναι παράμετρος της κατανομής.

Η Διωνυμική κατανομή αποτελεί τη βασική κατανομή για την περιγραφή και ανάλυση μιας μεταβλητής αυτής της φύσης. Η μέση τιμή της  $y$  είναι ίση με  $E(y) = np$  και η διασπορά με  $V(y) = np(1 - p)$ . Στην ειδική περίπτωση που  $n = 1$  μιλάμε για δυαδικά δεδομένα, αλλιώς για διωνυμικά δεδομένα.

Ας δούμε τώρα πως δημιουργείται η γραμμή της λογιστικής παλινδρόμησης. Θεωρούμε τη δεσμευμένη μέση τιμή της  $Y$  δεδομένου ότι  $X = x$ , την οποία συμβολίζουμε με  $E(Y | x)$ . Αυτή η τιμή εκφράζει την αναμενόμενη τιμή της μεταβλητής απόκρισης για δοθείσα τιμή της επεξηγηματικής μεταβλητής. Υπενθυμίζουμε ότι στη γραμμική παλινδρόμηση θεωρούμε τη μεταβλητή απόκρισης ως τυχαία μεταβλητή που ορίζεται από τη σχέση:

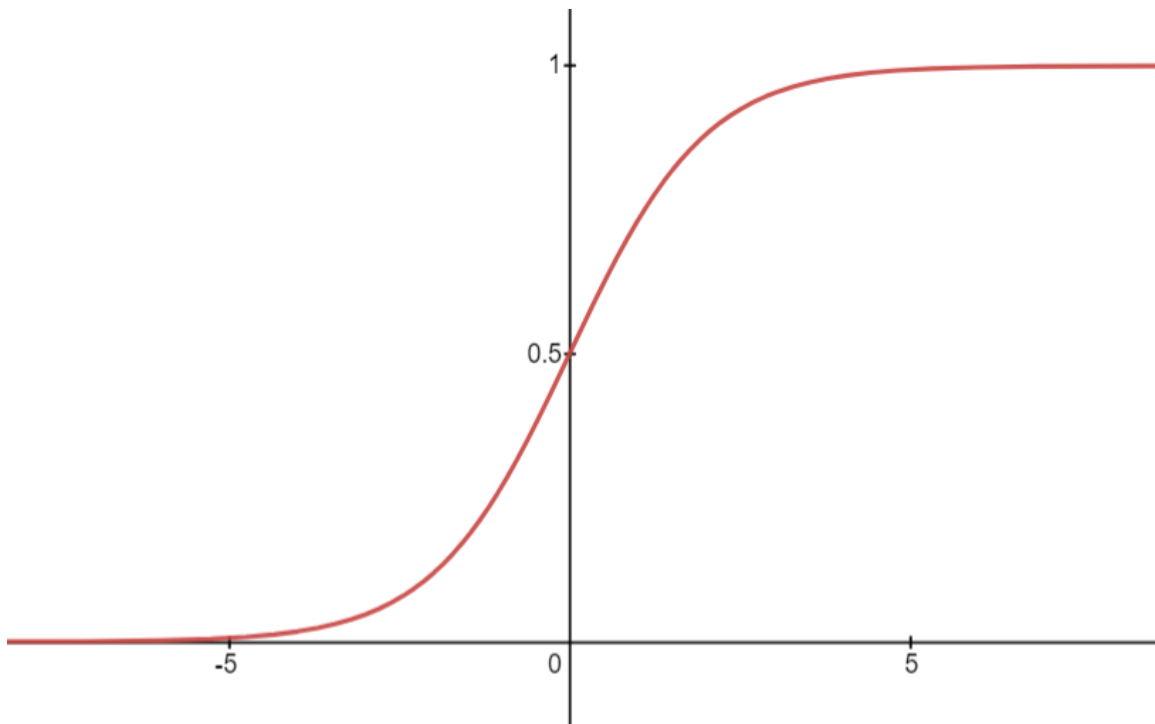
$$Y = b_0 + b_1 \cdot x + \varepsilon$$

Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

Επομένως, καθώς το σφάλμα έχει μηδενική μέση τιμή, έχουμε για τη γραμμική παλινδρόμηση και τις πιθανές τιμές να βρίσκονται πάνω σε ολόκληρο τον άξονα των πραγματικών αριθμών.

Η δεσμευμένη μέση τιμή για τη λογιστική παλινδρόμηση, η οποία συμβολίζεται με  $\pi(x)$  αντί για  $E(Y | x)$ , έχει διαφορετική μορφή από ότι στη γραμμική παλινδρόμηση και συγκεκριμένα ορίζεται από τη σχέση:

$$\pi(x) = \frac{e^{b_0+b_1 \cdot x}}{1+e^{b_0+b_1 \cdot x}} \quad (3.1)$$



Διάγραμμα 3.1: Η συνάρτηση λογιστικής παλινδρόμησης, με  $\beta_0 + \beta_1 \cdot x$  στον οριζόντιο άξονα και  $\pi(x)$  στον κατακόρυφο άξονα.

Οι καμπύλες που προκύπτουν από την (3.1) ονομάζονται σιγμοειδείς καθώς έχουν το σχήμα ενός S και επομένως είναι μη γραμμικές, όπως παρουσιάζεται και στο διάγραμμα 3.1. Η λογιστική παλινδρόμηση έχει επιλεγεί για να μοντελοποιήσει διχοτομικά δεδομένα γιατί είναι ευέλικτη και εύκολη στην ερμηνεία. Η ελάχιστη τιμή για το  $\pi(x)$  λαμβάνεται στο  $\lim_{x \rightarrow -\infty} \frac{e^{b_0+b_1 \cdot x}}{1+e^{b_0+b_1 \cdot x}} = 0$ , ενώ η μέγιστη στο  $\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{e^{b_0+b_1 \cdot x}}{1+e^{b_0+b_1 \cdot x}} = 1$ .

Επομένως το  $\pi(x)$  μπορεί να θεωρηθεί ως η πιθανότητα να εμφανιστεί ένα θετικό αποτέλεσμα (για παράδειγμα ασθένεια) για τις εγγραφές με  $X = x$ , με  $0 \leq \pi(x) \leq 1$ , και  $1 - \pi(x)$  μπορεί να θεωρηθεί ως η πιθανότητα να μην εμφανιστεί ένα θετικό αποτέλεσμα για αυτές τις εγγραφές.

Τα μοντέλα της λογιστικής παλινδρόμησης είναι συχνά αρκετά ακριβή. Μπορούν να χειριστούν συμβολικά και αριθμητικά πεδία εισόδου. Μπορούν επίσης να δώσουν προβλεπόμενες πιθανότητες για όλες τις κατηγορίες-στόχους, έτσι ώστε μία δεύτερη καλύτερη εικασία μπορεί εύκολα να εντοπιστεί. Τα λογιστικά μοντέλα είναι πιο

αποτελεσματικά όταν τα μέλη της ομάδας είναι πραγματικά κατηγορηματικά πεδία. Αν τα μέλη της ομάδας βασίζονται στις τιμές ενός πεδίου συνεχούς κλίμακας (για παράδειγμα, υψηλό δείκτη νοημοσύνης (IQ) σε σχέση με χαμηλό IQ), θα πρέπει να κάνουμε χρήση της γραμμικής παλινδρόμησης ώστε να επωφεληθούμε από την υψηλότερη πληροφορία που προσφέρει όλο το φάσμα των τιμών. Τα λογιστικά μοντέλα μπορούν επίσης να εκτελέσουν αυτόματη επιλογή πεδίων, αν και άλλες προσεγγίσεις, όπως τα μοντέλα των δέντρων ή η επιλογή μεταβλητών (Feature selection) μπορεί να το κάνει αυτό πιο γρήγορα για μεγάλα σύνολα δεδομένων. Τέλος, δεδομένου ότι τα λογιστικά μοντέλα είναι καλύτερα κατανοητά από πολλούς αναλυτές και οι επιστήμονες στον τομέα του data mining, μπορούν να χρησιμοποιηθούν από κάποιους ως βασική γραμμή έναντι όποιων άλλων τεχνικών μοντελοποίησης μπορούν να συγκριθούν.

### 3.2 Μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης (Support Vector Machines)

Οι μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης (SVMs) είναι μία ομάδα αλγορίθμων επιτηρούμενης μάθησης που αρχικά χρησιμοποιήθηκαν για την κατηγοριοποίηση ενώ αργότερα εφαρμόστηκαν και σε προβλήματα παλινδρόμησης. Αναπτύχθηκαν για πρώτη φορά από τον Vapnik και τους συνεργάτες τους στο AT&T Bell Labs το 1992. Απέσπασαν γρήγορα το ενδιαφέρον καθώς παρουσίασαν μεγάλη ικανότητα γενίκευσης σε σχέση με άλλες παραδοσιακές μεθόδους ταξινόμησης. Η SVM τεχνική βασίζεται στην στατιστική θεωρία της μάθησης και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη μελλοντικών δεδομένων. Εκπαιδεύεται από την επίλυση ενός περιορισμένου προβλήματος ταξινόμησης και υλοποιεί τη χαρτογράφηση των συντελεστών παραγωγής σε ένα υψηλό τρισδιάστατο χώρο χρησιμοποιώντας ένα σύνολο μη γραμμικών βασικών συναρτήσεων. Οι μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης έχουν εφαρμογές σε διάφορους τομείς. Ενδεικτικά αναφέρονται οι εξής: αναγνώριση προτύπων, βιοπληροφορική, ιατρική διάγνωση και χρηματοοικονομικά. Η βασική ιδέα της κατασκευής τους στηρίζεται στην αρχή ελαχιστοποίησης του κατασκευαστικού ρίσκου (SRM) που έχει αποδειχθεί πως υπερτερεί έναντι της παραδοσιακής ελαχιστοποίησης του εμπειρικού ρίσκου (ERM) στην οποία στηρίζονται τα νευρωνικά δίκτυα. Η κατηγοριοποίηση των δεδομένων στηρίζεται στην εύρεση ενός βέλτιστου υπερεπιπέδου που διαχωρίζει τα δεδομένα δημιουργώντας το μέγιστο περιθώριο. Στην περίπτωση που ο γραμμικός διαχωρισμός είναι αδύνατος, γίνεται χρήση κατάλληλων απεικονίσεων που μεταφέρουν το σύνολο των δεδομένων σε μεγαλύτερη διάσταση ώστε να επιτευχθεί τελικά ο διαχωρισμός τους. Οι μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης λειτουργούν ως μία από τις καλύτερες προσεγγίσεις για τη μοντελοποίηση δεδομένων. Συνδυάζουν τον γενικευμένο έλεγχο ως μία τεχνική για τον έλεγχο των διαστάσεων. Η SVM είναι ένα παράδειγμα μάθησης με πλήρη επίβλεψη. Γνωστές ετικέτες βοηθάνε στην αναφορά εάν το σύστημα εκτελείται σε σωστό δρόμο ή όχι. Αυτή η πληροφορία παραπέμπει σε μια επιθυμητή απάντηση, είτε αφορά στην επικύρωση της ακρίβειας του συστήματος, ή στη χρησιμοποίηση για να μάθει το σύστημα να ενεργεί σωστά. Ένα βήμα για την SVM ταξινόμηση περιλαμβάνει την αναγνώριση, κάτι το οποίο είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με τις γνωστές κατηγορίες. Αυτό ονομάζεται επιλογή χαρακτηριστικών ή εξαγωγή



## Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

χαρακτηριστικών. Η δυνατότητα επιλογής και της SVM ταξινόμησης έχει από κοινού χρήση, ακόμη και όταν η πρόβλεψη των άγνωστων δειγμάτων δεν είναι απαραίτητη. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προσδιορίσει τα βασικά σύνολα που εμπλέκονται στις διεργασίες για διάκριση μεταξύ των τάξεων. Η χαρτογράφηση του πυρήνα παρέχει μια κοινή βάση για τα περισσότερα από τα συνηθισμένα απασχολούμενα αρχιτεκτονικά μοντέλα, που επιτρέπει τις συγκρίσεις που πρέπει να εκτελεστούν. Η ικανότητα γενίκευσης της χρήσης των SVM σε μη γραμμικά δεδομένα στηρίζεται στο τέχνασμα του πυρήνα (kernel trick). Κάθε μηχανή διανυσμάτων υποστήριξης είναι ένας δυαδικός ταξινομητής, έχει δηλαδή τη δυνατότητα κατηγοριοποίησης σε δύο κλάσεις. Η απλούστερη μορφή επίλυσης ενός προβλήματος πρόβλεψης είναι η δυαδική κατηγοριοποίηση (binary classification), όπου πρέπει να γίνει ένας διαχωρισμός σε αντικείμενα που ανήκουν σε μία από δύο κατηγορίες οι οποίες συμβολίζονται με θετικό (+1) ή αρνητικό (-1) πρόσημο. Οι SVMs χρησιμοποιούν για την επίλυση αυτού του προβλήματος:

α) διαχωρισμό δεδομένων με μεγάλο περιθώριο (large margin separation) και

β) πράξεις στο επίπεδο των kernels (πυρήνων) (kernel functions).

Εάν οι κλάσεις είναι περισσότερες, τότε κρίνεται απαραίτητη η χρήση περισσότερων μηχανών διανυσμάτων υποστήριξης και η εφαρμογή διάφορων τεχνικών που θα αναλυθούν. Συγκεκριμένα για τις χρήσεις της SVM μεθόδου για τη δυαδική ταξινόμηση ακολουθείται η ακόλουθη διαδικασία.

Θεωρούμε ένα σύνολο δεδομένων  $(x_i, y_i)$  με  $i = 1, 2, \dots, n$ , όπου  $x_i \in R^p$  και  $y_i \in \{-1, +1\}$ , ώστε:

$$y_i = \begin{cases} +1, & \text{εάν η παρατήρηση } x_i \text{ ανήκει στην πρώτη κλάση} \\ -1, & \text{εάν η παρατήρηση } x_i \text{ ανήκει στη δεύτερη κλάση} \end{cases}, i = 1, 2, \dots, n$$

Στόχος είναι η εύρεση ενός ταξινομητή γενικής μορφής  $y = f(x, \alpha)$ , όπου  $\alpha$  η παράμετρος της συνάρτησης έτσι ώστε:

$$f(x_i, \alpha) \begin{cases} > 0, & y_i = +1 \\ < 0, & y_i = -1 \end{cases}$$

Μία ακόμη κατηγοριοποίηση που αφορά τη μέθοδο των μηχανών διανυσματικής υποστήριξης έχει να κάνει με το είδος των δεδομένων ως εξής:

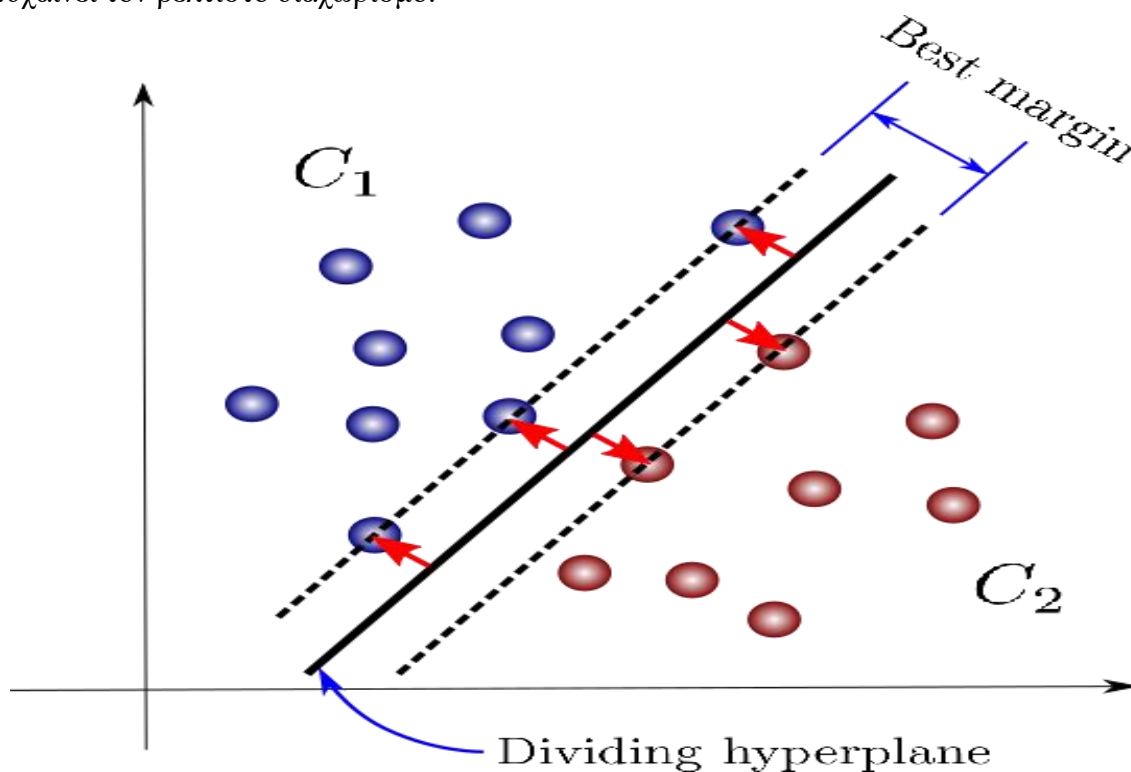
### ι) Γραμμικά διαχωρισιμα δεδομένα

Το σύνολο των δεδομένων  $D = \{\frac{x_i y_i}{x_i} \in R^p, y_i \in \{-1, +1\}, i = 1, 2, \dots, n\}$  είναι γραμμικά διαχωρίσιμο. Ανάλογα με τον χώρο στον οποίο βρίσκονται οι παρατηρήσεις διαχωρίζονται ως εξής:

- από ένα σημείο στον μονοδιάστατο χώρο
- από μία ευθεία γραμμή στον δισδιάστατο χώρο
- από ένα επίπεδο στον τρισδιάστατο χώρο
- από ένα υπερεπίπεδο (hyperplane) σε μεγαλύτερες διαστάσεις.

## Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

Παρατηρώντας την παρακάτω εικόνα του δισδιάστατου χώρου δεδομένων, είναι φανερό πως το δείγμα εκπαίδευσης είναι δυνατόν να διαχωριστεί από διάφορες ευθείες. Η ευθεία που πετυχαίνει την ασφαλέστερη κατηγοριοποίηση είναι αυτή που απέχει περισσότερο από τα στοιχεία των δύο κλάσεων (μαύρη γραμμή). Άρα, το πρόβλημα που πρέπει να αντιμετωπιστεί είναι η εύρεση της ευθείας ή του υπερεπιπέδου γενικότερα που πετυχαίνει τον βέλτιστο διαχωρισμό.



Εικόνα 3.1: Απεικόνιση γραμμικώς διαχωριζόμενων δεδομένων

Μία τέτοια υπερεπιφάνεια απόφασης περιγράφεται από την εξίσωση:

$$\mathbf{w}^T \mathbf{x} + b = 0 \quad (3.1)$$

όπου  $\mathbf{w} = (w_1, w_2, \dots, w_n)$  το διάνυσμα βαρών που είναι κάθετο στο υπερεπίπεδο,  $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  το διάνυσμα εισόδου και  $b$  το κατώφλι.

### ii) Μη γραμμικά διαχωρίσιμα δεδομένα

Στην προηγούμενη περίπτωση του τέλει γραμμικού διαχωρισμού, οι περιορισμοί του προβλήματος βελτιστοποίησης εξασφάλιζαν τη σωστή κατηγοριοποίηση όλων των παρατηρήσεων. Στην πράξη, όμως, αυτό είναι σπάνια εφικτό. Σε πολλές εφαρμογές τα αντικείμενα δεν είναι γραμμικώς διαχωρίσιμα ή ακόμη και αν είναι, συχνά προτιμάται η επιλογή ενός μεγαλύτερου περιθωρίου επιτρέποντας σε κάποιες παρατηρήσεις να βρίσκονται μέσα σε αυτό ή ακόμη και να ταξινομηθούν λανθασμένα. Προκειμένου να επεκταθεί η μεθοδολογία SVM για να διαχειριστεί τα δεδομένα που δεν είναι πλήρως γραμμικά διαχωρίσιμα, θα χαλαρώσουμε τους περιορισμούς (3.1) για να επιτρέπουν τα ελαφρώς μη ταξινομημένα σημεία. Αυτό γίνεται με την εισαγωγή μιας θετικής χαλαρής μεταβλητής  $\xi_i$  με  $i = 1, 2, \dots, n$  ως εξής:

Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

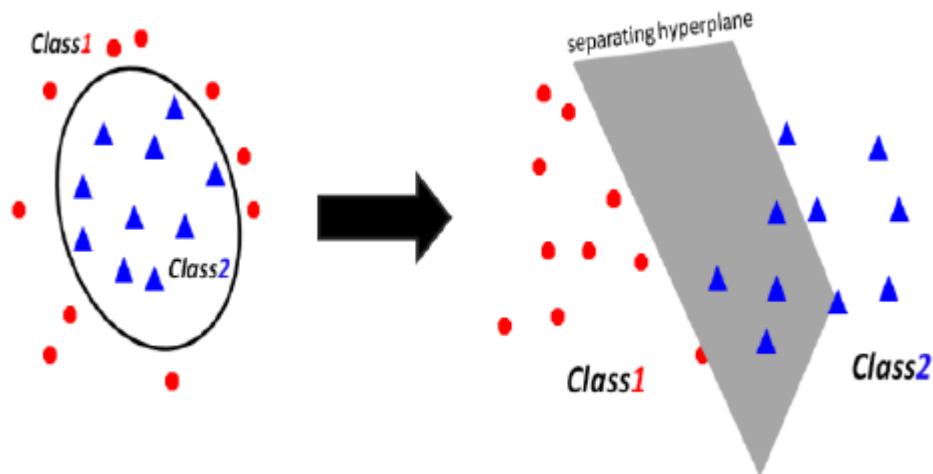
$$\mathbf{w}^T \mathbf{x} + b \geq +1 - \xi_i, \quad \text{για } y_i = +1 \quad (3.2. a)$$

$$\mathbf{w}^T \mathbf{x} + b \geq +1 - \xi_i, \quad \text{για } y_i = -1 \quad (3.2. b)$$

$$\xi_i \geq 0 \quad \forall i$$

Αυτές οι εξισώσεις μπορούν να συνδυαστούν ως εξής:

$$y_i(\mathbf{x}_i \cdot \mathbf{w} + b) - 1 + \xi_i \geq 0, \quad \text{όπου } \xi_i \geq 0 \quad \forall i$$



Εικόνα 3.2: Απεικόνιση τρόπου διαχείρισης μη γραμμικά διαχωριζόμενων δεδομένων

### 3.3 Δέντρα αποφάσεων (Decision trees)

Ένα δέντρο απόφασης είναι ένα εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων που χρησιμοποιεί ένα δέντρο που μοιάζει με γραφική παράσταση ή το μοντέλο των αποφάσεων και των πιθανών συνεπειών τους, συμπεριλαμβανομένων των αποτελεσμάτων ενός τυχαίου γεγονότος, το κόστος των πόρων και τη χρησιμότητα. Είναι ένας τρόπος για να παρουσιάσουμε έναν αλγόριθμο. Τα δέντρα αποφάσεων, που χρησιμοποιούνται στη στατιστική, στην εξόρυξη δεδομένων και στη μηχανική μάθηση, χρησιμοποιούν ένα δέντρο απόφασης ως προγνωστικό μοντέλο το οποίο χαρτογραφεί τις παρατηρήσεις σχετικά με ένα αντικείμενο σε συμπεράσματα σχετικά με την τιμή στόχο του αντικειμένου. Περισσότερα περιγραφικά ονόματα για τέτοια μοντέλα δέντρων είναι: δέντρα ταξινόμησης ή δέντρα παλινδρόμησης. Το δέντρο απόφασης είναι ένας γράφος με την κλασική δενδρική δομή, όπου διακρίνουμε: (α) έναν αρχικό κόμβο, τη ρίζα, (β) τους εσωτερικούς κόμβους και (γ) τους εξωτερικούς κόμβους, τα φύλλα. Σε κάθε κόμβο (εσωτερικό ή εξωτερικό) εκτός της ρίζας εισέρχεται μια κατευθυνόμενη ακμή από έναν άλλο κόμβο. Σε κάθε εσωτερικό κόμβο αντιστοιχεί ένα χαρακτηριστικό που χρησιμοποιείται για περαιτέρω διαχωρισμό του δέντρου. Στις ακμές που εξέρχονται από τη ρίζα ή κάθε εσωτερικό κόμβο, αντιστοιχεί μια συνθήκη ελέγχου με βάση το διαχωριστικό χαρακτηριστικό. Σε αυτές τις δομές δέντρων, τα «φύλλα» αντιπροσωπεύουν ετικέτες και τα «κλαδιά» αποτελούν συνδέσμους χαρακτηριστικών (features) που οδηγούν σε αυτές τις ετικέτες κατηγορίας. Η διαδικασία κατασκευής ενός δέντρου απόφασης είναι επαναληπτική και μπορεί να περιγραφεί συνοπτικά ως

## Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

ακολουθώς: Αρχικά, επιλέγουμε ένα χαρακτηριστικό, το οποίο αναφέρεται στη ρίζα του δέντρου, και, στη συνέχεια, κατασκευάζουμε μια ακμή και έναν κόμβο για καθεμία από τις διακριτές τιμές του χαρακτηριστικού. Αυτά τα δύο βήματα επαναλαμβάνονται συνεχώς, μέχρις ότου όλα τα χαρακτηριστικά να εισαχθούν στους κόμβους του δέντρου.

Τα βασικά πλεονεκτήματα της ανάλυσης των δένδρων αποφάσεων είναι:

(Α) Αποτελεί τον καλύτερο τρόπο περιγραφής του προβλήματος γιατί παρουσιάζει κάθε ενέργεια (απόφαση), καθώς και τις αντίστοιχες δεδομένες εκβάσεις με σαφήνεια και απλότητα. Έτσι, έχουμε μια βάση για συζήτηση με σκοπό τη λήψη απόφασης καλύτερης ποιότητας (Χατζόγλου, 1994).

(Β) Το μοντέλο του δέντρου αποφάσεων διακρίνεται για τη δυνατότητα προσαρμογής στις μεταβαλλόμενες συνθήκες του περιβάλλοντος. Ειδικότερα, διευκολύνει τη διενέργεια πειραματισμών ή την εκτέλεση τυχόν άλλων δραστηριοτήτων, καθώς και την προσθήκη άλλων πιθανών εκβάσεων (καταστάσεων της φύσης) κάτω από το φως νέων πληροφοριών.

(Γ) Διευκολύνει τον εντοπισμό των ευαίσθητων σημείων των διαφόρων ενεργειών (στρατηγικών) που χρειάζονται ιδιαίτερη προσοχή και αντιμετώπιση. Μ' αυτόν τον τρόπο συμβάλλει στην άσκηση «διοίκησης με βάση τις εξαιρέσεις».

(Δ) Βελτιώνει σημαντικά τις αναλυτικές ικανότητες της διοίκησης που αποφασίζει, καθώς και τη δυνατότητα συστηματοποίησης της σκέψης της με αποτέλεσμα να οδηγείται στη λήψη ορθολογικών αποφάσεων.

(Ε) Η τεχνική αυτή επιδέχεται επεξεργασία από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή.

(ΣΤ) Πρόκειται για μία τεχνική που μπορεί εύκολα να κατανοηθεί και να εφαρμοστεί σε πολλά και ποικίλα προβλήματα από οποιοδήποτε διοικητικό φορέα.

(Ζ) Τα δέντρα αποφάσεων αναγκάζουν τους αναλυτές να μελετήσουν τη σειρά των αποφάσεων. Πολύ εύκολα μπορεί κάποιος να εξακριβώσει ότι μια συνθήκη δεν μπορεί να υπάρξει παρά μόνο εάν υπάρχει ήδη κάποια άλλη συνθήκη και έχει διευθετηθεί με μια απόφαση. Έτσι καθορίζουμε ακόμη και τον χρόνο και την σειρά που θα λάβει χώρα κάθε συνθήκη και θα ληφθεί κάθε απόφαση.

Κάθε δένδρο αποφάσεων διαμορφώνεται σύμφωνα με το συγκεκριμένο πρόβλημα στο οποίο αναφέρεται και αποτελεί μια απεικόνισή του. Γι' αυτό το λόγο δεν είναι δυνατόν να δώσουμε ένα γενικό παράδειγμα «δένδρου αποφάσεων». Μπορούμε όμως να έχουμε μερικές κατευθυντήριες γραμμές που βοηθούν σημαντικά στην κατασκευή δένδρου αποφάσεων. Τα βασικά στοιχεία του δένδρου αποφάσεων είναι:

1. □ = Σημείο λήψης αποφάσεων, συνήθως μετά από μια έκβαση ή από μια απόφαση.
2. □ — = Κλώνος ο οποίος εμφανίζει την εναλλακτική στρατηγική που μπορεί να επιλεγεί στο συγκεκριμένο σημείο απόφασης.
3. Ο = Κόμβος δυνατών εκβάσεων, συνήθως μετά από κάθε στρατηγική ή μετά από προηγούμενη έκβαση.

## Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

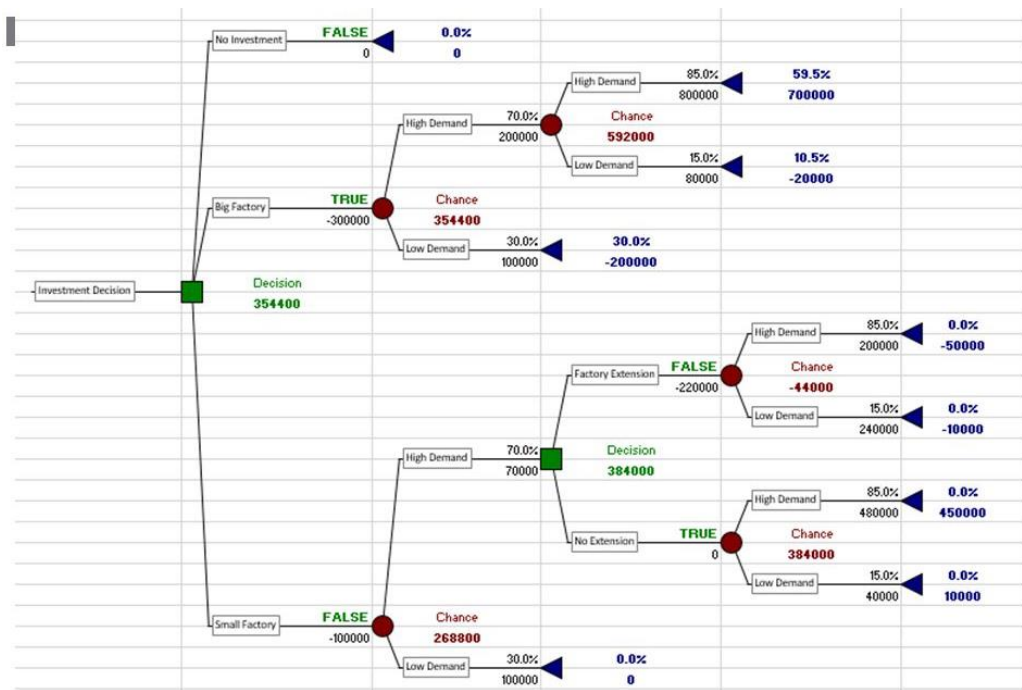
4. Ο — = Κλώνος πιθανής έκβασης ο οποίος μπορεί και εμφανίζει μια κατάσταση της φύσης που μπορεί να εμφανισθεί στο συγκεκριμένο κόμβο δυνατών εκβάσεων.

5. ◀ = Σημείο πέρατος.

6. A = Αξία που αντιστοιχεί σε κάθε κλώνο απόφασης ή δυνατής έκβασης.

7. P = Πιθανότητα εμφάνισης μιας κατάστασης.

Η διαμόρφωση κάθε δένδρου αποφάσεων αρχίζει από τα αριστερά προς τα δεξιά με ένα σημείο λήψης αποφάσεων. Αφού «λήψη αποφάσεων» σημαίνει η επιλογή που γίνεται μεταξύ δύο τουλάχιστον εναλλακτικών λύσεων, είναι ευνόητο ότι το δένδρο αρχίζει με δύο τουλάχιστον βασικούς «κλώνους» (δηλαδή μία διακλάδωση). Ύστερα ακολουθείται κάθε ένας από τους αρχικούς κλώνους και σημειώνονται με τη μορφή πάλι διακλαδώσεων οι δυνατές εκβάσεις, σε συνέχεια οι ενέργειες που μπορούν να γίνουν κ.ο.κ. Πάνω στον κλώνο κάθε ενέργειας ή κλώνο πιθανής έκβασης, σημειώνεται το αποτέλεσμά της. Επίσης, γράφονται οι πιθανότητες εμφάνισης των διαφόρων καταστάσεων τα φύσης (εκβάσεων). Όταν το δένδρο είναι έτοιμο γίνεται ο έλεγχος των εγγραφών και τέλος, μετά από προσεκτική μελέτη των δεδομένων, περιορίζονται, όσο είναι δυνατόν, οι διαστάσεις του δένδρου (δηλαδή οι διακλαδώσεις).



Εικόνα 3.3: Τυπική απεικόνιση δέντρου αποφάσεων

Στην εικόνα 3.1 παρουσιάζεται ένα τυπικό σχήμα δέντρου αποφάσεων με τους κόμβους αποφάσεων και τους κλάδους που οδηγούν, τις πιθανότητες κάθε ενδεχομένου και τα τελικά αποτελέσματα.

### 3.4 Νευρωνικά δίκτυα

Νευρωνικό δίκτυο ονομάζεται ένα κύκλωμα διασυνδεδεμένων νευρώνων. Στην περίπτωση βιολογικών νευρώνων, πρόκειται για ένα τμήμα νευρικού ιστού. Στην περίπτωση τεχνητών νευρώνων, πρόκειται για ένα αφηρημένο αλγοριθμικό κατασκεύασμα το οποίο εμπίπτει στον τομέα της υπολογιστικής νοημοσύνης, όταν στόχος του νευρωνικού δικτύου είναι η επίλυση κάποιου υπολογιστικού προβλήματος, ή της υπολογιστικής νευροεπιστήμης, όταν στόχος είναι η υπολογιστική προσομοίωση της λειτουργίας των βιολογικών νευρωνικών δικτύων με βάση κάποιο μαθηματικό μοντέλο τους. Το νευρωνικό δίκτυο είναι ένα δίκτυο από απλούς υπολογιστικούς κόμβους (νευρώνες, νευρώνια), διασυνδεδεμένους μεταξύ τους. Είναι εμπνευσμένο από το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα (ΚΝΣ), το οποίο προσπαθεί να προσομοιώσει.

Οι νευρώνες είναι τα δομικά στοιχεία του δικτύου. Κάθε τέτοιος κόμβος δέχεται ένα σύνολο αριθμητικών εισόδων από διαφορετικές πηγές (είτε από άλλους νευρώνες, είτε από το περιβάλλον), επιτελεί έναν υπολογισμό με βάση αυτές τις εισόδους και παράγει μία έξοδο. Η εν λόγω έξοδος είτε κατευθύνεται στο περιβάλλον, είτε τροφοδοτείται ως είσοδος σε άλλους νευρώνες του δικτύου. Υπάρχουν τρεις τύποι νευρώνων: οι νευρώνες εισόδου, οι νευρώνες εξόδου και οι υπολογιστικοί νευρώνες ή κρυμμένοι νευρώνες. Οι νευρώνες εισόδου δεν επιτελούν κανέναν υπολογισμό, μεσολαβούν απλώς ανάμεσα στις περιβαλλοντικές εισόδους του δικτύου και στους υπολογιστικούς νευρώνες. Οι νευρώνες εξόδου διοχετεύουν στο περιβάλλον τις τελικές αριθμητικές εξόδους του δικτύου. Οι υπολογιστικοί νευρώνες πολλαπλασιάζουν κάθε είσοδό τους με το αντίστοιχο συναπτικό βάρος και υπολογίζουν το ολικό άθροισμα των γινομένων. Το άθροισμα αυτό τροφοδοτείται ως όρισμα στη συνάρτηση ενεργοποίησης, την οποία υλοποιεί εσωτερικά κάθε κόμβος. Η τιμή που λαμβάνει η συνάρτηση για το εν λόγω όρισμα είναι και η έξοδος του νευρώνα για τις τρέχουσες εισόδους και βάρη.

Εάν  $x_{ki}$  είναι η  $i$ -οστή είσοδος του  $k$  νευρώνα,  $w_{ki}$ : το  $i$ -οστό συναπτικό βάρος του  $k$  νευρώνα και  $\varphi(\cdot)$  η συνάρτηση ενεργοποίησης του νευρωνικού δικτύου, τότε η έξοδος – του  $y_k$  του  $k$  νευρώνα δίνεται από την εξίσωση:

$$y_k = \varphi \left( \sum_{i=0}^N x_{ki} w_{ki} \right)$$

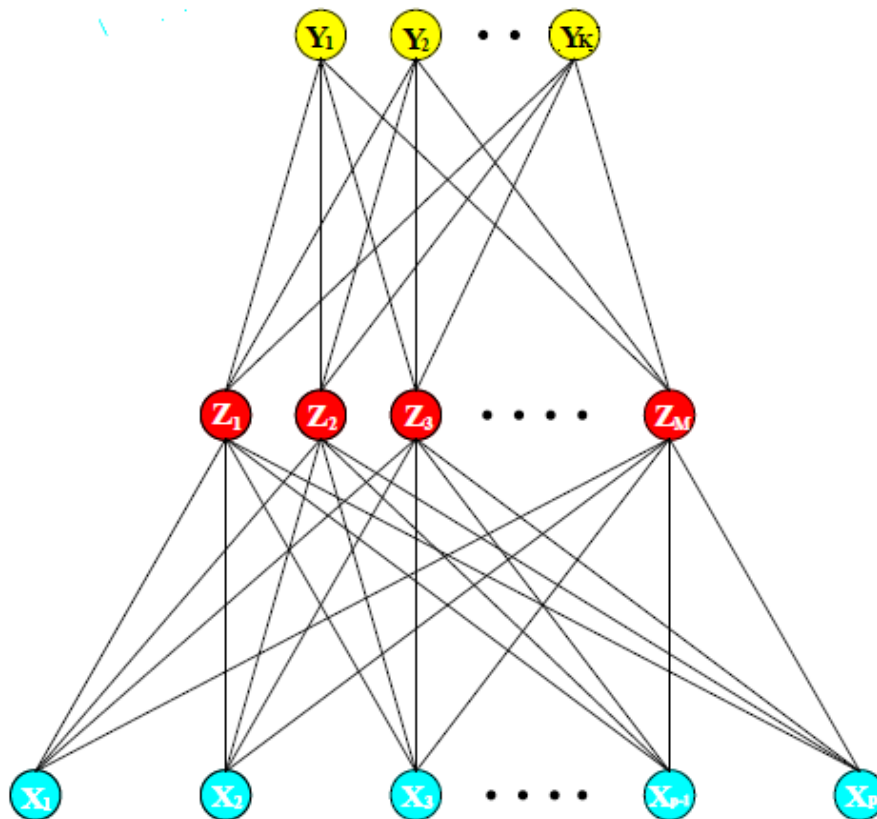
Στον  $k$ -οστό νευρώνα υπάρχει ένα συναπτικό βάρος  $w_{k0}$  με ιδιαίτερη σημασία, το οποίο καλείται πόλωση (bias) ή κατώφλι (threshold). Η τιμή της εισόδου του είναι πάντα η μονάδα,  $x_{k0} = 1$ . Εάν το συνολικό άθροισμα από τις υπόλοιπες εισόδους του νευρώνα είναι μεγαλύτερο από την τιμή αυτή, τότε ο νευρώνας ενεργοποιείται. Εάν είναι μικρότερο, τότε ο νευρώνας παραμένει ανενεργός. Η συνάρτηση ενεργοποίησης μπορεί να είναι βηματική (step transfer function), γραμμική (linear transfer function), μη γραμμική (non-linear transfer function), στοχαστική (stochastic transfer function).

Όπως είναι φανερό, οι αριθμοί οι οποίοι συναποτελούν το διάνυσμα εισόδου (κάθε στοιχείο του διανύσματος τροφοδοτείται κατά τη λειτουργία του δικτύου σε έναν νευρώνα εισόδου), αλλά και οι αριθμοί οι οποίοι συναποτελούν το διάνυσμα εξόδου

## Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

(κάθε στοιχείο του οποίου εμφανίζεται, μετά το πέρας του ολικού υπολογισμού, σε έναν νευρώνα εξόδου), περιγράφουν χαρακτηριστικά του προς επίλυση προβλήματος. Συνήθως αυτό που μας ενδιαφέρει είναι το δίκτυο να απεικονίζει με ορθό τρόπο διανύσματα εισόδου σε κατάλληλα διανύσματα εξόδου, το πρόβλημα δηλαδή είναι η υλοποίηση μίας συνάρτησης πολλαπλών μεταβλητών, κατά κανόνα περίπλοκης και με άγνωστο ακριβή τύπο. Τέτοιες απεικονίσεις έχουν εφαρμογή σε ποικιλία τομέων της επιστήμης και της τεχνολογίας, αφού λειτουργούν ως αριθμητικά μοντέλα για πολλά διαφορετικά ζητήματα. Το ίδιο δίκτυο μπορεί να υλοποιήσει άπειρες διαφορετικές απεικονίσεις, μία για κάθε διαφορετική επιλογή συνόλου συναπτικών βαρών.

Το κύριο χαρακτηριστικό των νευρωνικών δικτύων είναι η εγγενής ικανότητα μάθησης. Ως μάθηση μπορεί να οριστεί η σταδιακή βελτίωση της ικανότητας του δικτύου να επιλύει κάποιο πρόβλημα (π.χ. η σταδιακή προσέγγιση μίας συνάρτησης). Η μάθηση επιτυγχάνεται μέσω της εκπαίδευσης, μίας επαναληπτικής διαδικασίας σταδιακής προσαρμογής των παραμέτρων του δικτύου (συνήθως των βαρών και της πόλωσής του) σε τιμές κατάλληλες ώστε να επιλύεται με επαρκή επιτυχία το προς εξέταση πρόβλημα. Αφού ένα δίκτυο εκπαιδευτεί, οι παράμετροί του συνήθως «παγώνουν» στις κατάλληλες τιμές και από εκεί κι έπειτα είναι σε λειτουργική κατάσταση. Το ζητούμενο είναι το λειτουργικό δίκτυο να χαρακτηρίζεται από μία ικανότητα γενίκευσης: αυτό σημαίνει πως δίνει ορθές εξόδους για εισόδους καινοφανείς και διαφορετικές από αυτές με τις οποίες εκπαιδεύτηκε.



Εικόνα 3.4: Απεικόνιση του κρυμμένου στρώματος ενός feed-forward νευρωνικού δικτύου

Τα τελευταία χρόνια έχει υπάρξει μία έκρηξη ενδιαφέροντος για τα νευρωνικά δίκτυα καθώς εφαρμόζονται με μεγάλη επιτυχία σε ένα ασυνήθιστα μεγάλο φάσμα τομέων της

## Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

επιστήμης και της τεχνολογίας, όπως τα χρηματοοικονομικά, η ιατρική, η επιστήμη μηχανικού, η γεωλογία, η φυσική, η ρομποτική, η επεξεργασία σήματος κτλ. Στην πραγματικότητα, τα νευρωνικά δίκτυα εισάγονται οπουδήποτε τίθεται θέμα πρόβλεψης, ταξινόμησης ή ελέγχου. Η σαρωτική αυτή επιτυχία, μπορεί να αποδοθεί σε δύο βασικά στοιχεία: την ισχύ και την ευχρηστία.

Μια από τις πιο βασικές ιδιότητες των Νευρωνικών Δικτύων είναι η ικανότητά τους για εκπαίδευση. Η εκπαίδευση αυτή επιτυγχάνεται μέσω της ανταλλαγής τιμών και βαρών, που αποσκοπεί στη βαθμιαία σύλληψη της πληροφορίας η οποία στη συνέχεια θα είναι διαθέσιμη προς ανάκτηση. Υπάρχουν, βέβαια, πολλοί αλγόριθμοι που η εφαρμογή τους έχει στόχο την προσαρμογή των τιμών των βαρών ενός Τεχνητού Νευρωνικού Δικτύου. Όλες οι μέθοδοι μάθησης μπορούν να καταταχτούν σε δύο κατηγορίες: τη μάθηση με επίβλεψη (supervised learning) και τη μάθηση χωρίς επίβλεψη (unsupervised learning). Οι δύο αυτές μέθοδοι παρουσιάζονται παρακάτω:

**Μάθηση με επίβλεψη:** Η μάθηση αυτή είναι μια διαδικασία η οποία συνδυάζει έναν εξωτερικό εκπαιδευτή και τη συνολική ή γενικευμένη πληροφορία. Κάποιες από τις μεθόδους οι οποίες συγκαταλέγονται σε αυτή την κατηγορία είναι η μάθηση με διόρθωση σφάλματος, η στοχαστική μάθηση.

**Μάθηση χωρίς επίβλεψη:** Οι αλγόριθμοι της εν λόγω μάθησης αναφέρονται ως αυτό-οργανώμενοι (self-organized) και είναι διαδικασίες οι οποίες δεν απαιτούν να είναι παρών ένας «εξωτερικός» δάσκαλος ή επιβλέπων. Βασίζονται, μάλιστα, μόνο σε τοπική πληροφορία καθ' όλη τη διάρκεια της εκπαίδευσης του Τεχνητού Νευρωνικού Δικτύου. Οι συγκεκριμένοι αλγόριθμοι οργανώνουν τα δεδομένα και ανακαλύπτουν τις σημαντικές συλλογικές ιδιότητες.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:

### Ανασκόπηση συναφούς βιβλιογραφίας

Το συγκεκριμένο κεφάλαιο αφορά στη βιβλιογραφική ανασκόπηση, που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας και περιλαμβάνει διεθνείς έρευνες το αντικείμενο των οποίων παρουσιάζει συνάφεια με αυτό της παρούσας Εργασίας. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται επιστημονικές εργασίες που ασχολούνται με την επίδραση των ηλεκτρικών οχημάτων στο σύγχρονο τρόπο ζωής. Παρακάτω περιγράφονται συνοπτικά οι σχετικές έρευνες, οι μέθοδοι ανάλυσης που ακολουθήθηκαν, καθώς και τα αποτελέσματα που προέκυψαν

#### 4.1 A statical analysis of EV charging behavior in the UK

Σκοπός της έρευνας του Jairo Quiros-Tortos et al.,2015 είναι η κατανόηση της συμπεριφοράς φόρτισης των χρηστών των EV στο Ηνωμένο Βασίλειο το 2013-2014. Πραγματοποιείται μια μακροσκοπική ανάλυση για να διαπιστωθεί ο αντίκτυπος της φόρτισης των EV στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα στο δείγμα των 68000 φορτίσεων, για κάθε μία μετριέται:

- Η ώρα έναρξης της φόρτισης
- Η ώρα λήξης της φόρτισης
- Η αρχική κατάσταση φόρτισης
- Η τελική κατάσταση φόρτισης

Από τις συναρτήσεις κατανομής πιθανότητας (PDF) των παραπάνω δημιουργούνται στοχαστικά, ρεαλιστικά και λεπτομερή προφίλ για την επαρκή μοντελοποίηση της ζήτησης φόρτισης των EV. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι :

Το 70% των EV χρειάζονται φόρτιση μία φορά την ημέρα ανεξαρτήτως καθημερινής ή σαββατοκύριακου, αντίθετα η ώρα έναρξης φόρτισης είναι διαφορετική αναλόγως την ημέρα. Ακόμα η πρώτη σύνδεση για φόρτιση (αρχική κατάσταση φόρτισης SOC) συνήθως συμβαίνει όταν η SOC είναι ανάμεσα στο 25% και 75%. Περίπου το 65% των EV τελειώνουν την φόρτισή τους με πλήρη μπαταρία, αντίθετα η δεύτερη σύνδεση για φόρτιση συμβαίνει σε μεγαλύτερη SOC όμως τα EVs αποσυνδέονται νωρίτερα από την πλήρη τους φόρτιση.

#### 4.2 Charging demand analysis framework for electric vehicles considering the bounded rationality behavior of users

Το άρθρο των JunYang, Fuzhang και JunYan, που δημοσιεύτηκε το 2020 προτείνει ένα αναλυτικό πλαίσιο για τη ζήτηση φόρτισης των EV, το οποίο τονίζει ότι η ζήτηση φόρτισης καθορίζεται πρωτίστως από τη διαδρομή του ταξιδιού και τη λογική

## Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

συμπεριφορά των χρηστών στις επιλογές ταξιδιού. Αναλύονται οι απαιτήσεις φόρτισης των EV, βάση των αποφάσεων των χρηστών και των χαρακτηριστικών οδήγησης των οχημάτων ανάλογα με τον χρόνο και τον χώρο του ταξιδιού. Μελέτες σχετικά με τη ζήτηση φόρτισης των EV παρέχουν δεδομένα για την υποστήριξη του σχεδιασμού εγκαταστάσεων φόρτισης, την βελτιστοποίηση του φορτίου δικτύου, καθώς επίσης και για την ασφαλή και σταθερή λειτουργία του συστήματος ισχύος. Τα συμπεράσματα που εξάγονται είναι:

Η συμπεριφορά και η ζήτηση φόρτισης των EV επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες με αποτέλεσμα μεγάλες διαφορές υπό διάφορες συνθήκες. Ακόμα καθώς μειώνεται το ποσοστό κατοχής EV, 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 νωρίτερα. Επιπλέον καθώς οι δυνατότητες εξυπηρέτησης των σταθμών φόρτισης μειώνονται, ο ρυθμός ταξιδιού και η ζήτηση φόρτισης μειώνονται επίσης, παρ' όλα αυτά οι ημερήσιες συχνότητες φόρτισης αυξάνονται. Ταυτόχρονα, ο χρόνος έναρξης φόρτισης και η μέγιστη ισχύς φόρτισης σε διαφορετικούς χρόνους καθυστερούν. Τέλος όσο οι βαθμοί λογικής των χρηστών αυξάνονται, ο χρόνος έναρξης φόρτισης και ο μέγιστος χρόνος ισχύος φόρτισης των EV καθυστερούν και η ημερήσια ζήτηση φόρτισης μειώνεται.

### **4.3 The potential and economics of EV smart charging: A case study in Shanghai**

Η μελέτη του Liu Jian et al.,2018 διεξάγει μια έρευνα σχετικά με τις συμπεριφορές φόρτισης τεσσάρων τύπων EV στη Σαγκάη και αξιολογεί το δυναμικό χωρητικότητας και το κόστος της έξυπνης φόρτισης EV. Διαπιστώνει ότι τα ιδιωτικά και εμπορικά EV θα μπορούσαν να προσφέρουν μεγαλύτερη έξυπνη φόρτιση από εκείνη των ηλεκτρικών λεωφορείων και ταξί.

### **4.4 Statistical Representation of EV Charging: Real Data Analysis and Applications**

Η ανάλυση που δημοσιεύθηκε από τον Jairo Quiros-Tortos et al.,2018 προτείνει τη χρήση συναρτήσεων πυκνότητας πιθανότητας βασισμένων σε Gaussian Mixture Models (GMMs) για να διερευνήσει τις εξής βασικές μετρήσεις φόρτισης των EV:

- Αριθμό φορτίσεων ανά ημέρα
- Ώρα έναρξης φόρτισης
- Αρχική/Τελική κατάσταση φόρτισης
- Ποσοστό φόρτισης

Σκοπός είναι η δημιουργία ρεαλιστικών προφίλ ώστε να διεξαχθούν συμπεράσματα από μεγάλες έρευνες που κατανοούν την στοχαστική φύση της φόρτισης των EV, μίας και οι μελέτες που στηρίζονται σε ταξιδιωτικές έρευνες ή σε έρευνες μικρότερης κλίμακας δεν μπορούν πια να παράξουν λεπτομερή μοντέλα. Πιο συγκεκριμένα το άρθρο αναλύει δεδομένα από 221 EVs σε βάθος 2 χρόνων. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η χρήση ρεαλιστικών προφίλ αποφεύγει υποτιμήσεις ή υπερεκτιμήσεις έτσι, εξασφαλίζεται ο καλύτερος σχεδιασμός και η καλύτερη λειτουργία των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας. Ακόμα, συμπεραίνεται ότι τα EV φορτίζονται παραπάνω από μία φορά την ημέρα, οποιαδήποτε στιγμή της. Κατά κύριο λόγο φορτίζονται όταν η μπαταρία είναι στο 25%-75% και 7 στα 10 φορτίζονται πλήρως.

#### **4.5 Estimating the Charging Profile of Individual Charge Sessions of Electric Vehicles in The Netherlands**

Η έρευνα του Jerome Jacob Mies et al.,2018 επικεντρώνεται στη βελτιστοποίηση του συστήματος φόρτισης των EV μελετώντας τους ρεαλιστικούς παράγοντες που την επηρεάζουν. Εξετάζονται πραγματικά δεδομένα κοινόχρηστων σημείων AC φόρτισης στην Ολλανδία και παρουσιάζεται η βελτιστοποιημένη ανάλυση των προφίλ που προκύπτουν.

Αρχικά έχει παρατηρηθεί ότι η δραστηριότητα φόρτισης είναι υψηλότερη το απόγευμα με ώρα αιχμής περίπου στις 18:00. Γίνεται λοιπόν η υπόθεση ότι η ταυτόχρονη φόρτιση την ώρα αιχμής επηρεάζει αρνητικά το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας λόγω μεγάλης ζήτησης και επιπρόσθετου φορτίου. Παρ' όλα αυτά τα αποτελέσματα της έρευνας, συγκεκριμένα για την Ολλανδία, δείχνουν ότι η ταχύτητα φόρτισης είναι υψηλότερη όταν το EV φορτίζει κατά το χρόνο αιχμής, με εκτιμώμενο αποτέλεσμα θετικής επιρροής της μεγάλης ζήτησης στη μέση ταχύτητα φόρτισης (εκφρασμένο σε W): 65 W στην περίπτωση που το όχημα φορτίζει πλήρως μεταξύ 17.00-21.00. Ωστόσο, κι' άλλες μεταβλητές επηρεάζουν την ταχύτητα και τον συνολικό χρόνο φόρτισης όπως:

- Η θερμοκρασία : Η θερμοκρασία της μπαταρίας επηρεάζει το προφίλ φόρτισης επειδή η μπαταρία δεν μπορεί να φορτιστεί αποτελεσματικά σε πολύ χαμηλές ή πολύ υψηλές εξωτερικές θερμοκρασίες. Η φόρτιση των περισσότερων μπαταριών περιορίζεται στους 5 – 45 βαθμούς Κελσίου για γρήγορη φόρτιση.
- Η ώρα της ημέρας (ημέρα νύχτα): Από τη μία πλευρά, ο ρυθμός απώλειας ισχύος κατά τη φόρτιση των EV είναι υψηλότερος την ημέρα (10:00 – 21:00) από ότι τη νύχτα (21:00–06:00) οπότε τη νύχτα μπορεί να έχουμε υψηλότερες ταχύτητες. Από την άλλη πλευρά όμως, το επίπεδο της τάσης την νύχτα είναι αρκετά χαμηλό και αυτό έχει αρνητικό αντίκτυπο στη φόρτιση. Η έρευνα δείχνει ότι ένα δείγμα EV φορτίζουν περίπου 10% πιο αργά γύρω στις 05:00 από ότι κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Συμπερασματικά τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την περαιτέρω ανάπτυξη ενός μοντέλου που προβλέπει και περιλαμβάνει τους πιο

Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

σημαντικούς πραγματικούς παράγοντες επιρροής των προφίλ φόρτισης των EV, όπως η πτώση και η θερμοκρασία της μπαταρίας, οι εποχές και τα σημεία φόρτισης.

#### **4.6 Future standard and fast charging infrastructure planning: An analysis of electric vehicle charging behavior.**

Η μελέτη του Patrick Morrissey et al., 2016 έχει σκοπό την κατανόηση της συμπεριφοράς φόρτισης των μέχρι τώρα χρηστών EV στην Ευρώπη όσον αφορά τη τοποθεσία φόρτισης, την ποσότητα ενέργειας που απαιτούν οι χρήστες, την διάρκεια φόρτισης και τον επιλεχθέντα τρόπο φόρτισης. Η μελέτη πραγματοποιείται στην Ιρλανδία (2012-2015) και αναλύει δεδομένα για οικιακή χρήση και για κοινόχρηστους σταθμούς φόρτισης (απλούς και ταχείας φόρτισης). Σχετικά με την οικιακή χρήση τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι χρήστες προτιμούν να φορτίζουν το απόγευμα σπίτι τους κατά την περίοδο της υψηλότερης ζήτησης ηλεκτρικού δικτύου.

Αντίστοιχα, για τις ανάγκες της μελέτης παρακολούθηθηκαν και αναλύθηκαν ξεχωριστά 711 κοινόχρηστοι σταθμοί φόρτισης, τοποθετημένοι σε χώρους στάθμευσης αυτοκινήτων, εκ των οποίων οι 83 ήταν γρήγορης φόρτισης (DC, 3Φ) και οι υπόλοιποι απλοί (AC, 3Φ). Οι τιμές κατανάλωσης φόρτισης ήταν υψηλότερες για τις υποδομές γρήγορης φόρτισης, με μέση κατανάλωση 8,32 kWh σε σύγκριση με τα 6,8 kWh των απλών. Επίσης η διάρκεια της φόρτισης δεν ξεπερνούσε τις 3 ώρες.

Ακόμα, η μελέτη εμπεριέχει διαγράμματα μερικών σταθμών φόρτισης για να παρουσιάσει μια οπτική περιγραφή των δεδομένων. Μαθηματικά αυτό επιτυγχάνεται είτε με Διατεταρτημοριακού εύρους αναλύσεις (Interquartilerange (IQR) σε ορισμένες μεταβλητές των δεδομένων είτε με στατιστικές αναλύσεις (Ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) και δοκιμές t) ως μέσο ποσοτικοποίησης των πιθανών διαφορών μεταξύ περιπτώσεων χρήσης των σταθμών φόρτισης.

#### **4.7 Quantitative analysis of electric vehicle flexibility: A data-driven approach**

Σκοπός της έρευνας του N. Sadeghianpourhamami et al., 2018 είναι να μελετήσει την ευελιξία φόρτισης των EV, να γνωστοποιήσει τα οφέλη της και να ερευνήσει 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. Για τα EV δεν είναι πάντα αναγκαία η πλήρης φόρτιση, γιατί μπορούν να φορτίζουν κάθε φορά ανάλογα με το επίπεδο που καλύπτει το επόμενο ταξίδι τους, ώστε να μην δημιουργούν πρόβλημα στο υπόλοιπο δίκτυο τις ώρες αιχμής. Άρα η ευελιξία των ηλεκτρικών οχημάτων υποδεικνύει σε ποιο βαθμό το φορτίο φόρτισής τους, μπορεί να συντονιστεί με τη ζήτηση του δικτύου για άλλες λειτουργίες.

Στην έρευνα μελετάται η αξιοποίηση των χαρακτηριστικών της ευελιξίας με βάση τα δεδομένα που προκύπτουν από 390.000 φορτίσεις.

## Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

Πιο συγκεκριμένα, ορίζονται οι τύποι της συμπεριφορά φόρτισης των EV, ομαδοποιώντας τους συνδυασμούς ώρας άφιξης/αναχώρησης, αναλύονται τα χαρακτηριστικά φόρτισης κάθε τύπου συμπεριφοράς και διερευνάται η επίδραση των καθημερινών και εποχιακών αλλαγών στα χαρακτηριστικά αυτά με βάση την ώρα άφιξης, διαμονής και αδράνειας.

Η έρευνα καταλήγει σε τρεις κατηγορίες τύπων φόρτισης: φόρτιση κοντά στο σπίτι, φόρτιση κοντά στην εργασία και φόρτιση σε υποδομές στάθμευσης με δημόσιους φορτιστές. Αντίστοιχα, για την ανάλυση των χαρακτηριστικών του κάθε τύπου συγκρίνονται οι διαφορές τους κατά τη διάρκεια της εβδομάδας και των σαββατοκύριακων.

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 φόρτισης γίνεται κατά τη διάρκεια της ημέρας. Για αυτές τις δύο κατηγορίες τα σαββατοκύριακα οι ώρες παραμονής και αδράνειας είναι λιγότερες.

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.

Συνολικά για τις κατηγορίες: οι ώρες άφιξης είναι νωρίτερα την άνοιξη και το καλοκαίρι, ωστόσο, οι εποχές δεν έχουν ουσιαστικό αντίκτυπο στις ώρες παραμονής και αδράνειας.

Στη συνέχεια, με δεδομένα τα παραπάνω συμπεράσματα, η έρευνα αναλύει την ευελιξία των EV μελετώντας πώς η ενέργεια φόρτισης μπορεί να «μετατοπιστεί» αλλάζοντας τις ώρες φόρτισης, για να διευκολυνθεί ο συγχρονισμός του φορτίου.

Καταλήγει ότι τις καθημερινές πρέπει να γίνουν μεγαλύτερες μετατοπίσεις από τις πρωινές ώρες φόρτισης προς τις απογευματινές και ομοίως, μεγαλύτερες μετατοπίσεις προς το Σάββατο σε σύγκριση με την Κυριακή.

Αντίστοιχα, όσον αφορά τα μέρη των φορτίσεων, συμπεραίνει ότι 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 ανάγκη για απογευματινή φόρτιση.

### **4.8 Data-driven spatial-temporal prediction of electric vehicle load profile considering charging behavior.**

Η έρευνα του XiaolinGe et al.,2020 προτείνει μια χωρική-χρονική κατανομή πρόβλεψης για τα φορτία φόρτισης των EV, η οποία λαμβάνει υπόψη τα διαφορετικά χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς φόρτισης και τη χωροχρονική σύνδεση μεταξύ των EV 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.

#### **4.9 Location of electric vehicle charging stations: A perspective using the grey decision-making model.**

Το άρθρο του Xianqiang et al., 2019 ορίζει αρχικά ,ένα μοντέλο τοποθεσιών σταθμών φόρτισης (Location model) για την ελαχιστοποίηση των συνολικών κοινωνικών δαπανών μέσω ενός γενικού αλγορίθμου. Στη συνέχεια, κατασκευάζει ένα σύστημα αξιολόγησης βάσει πέντε παραγόντων που επηρεάζουν τη θέση: κόστος γης, κόστος κατασκευής, ροή οδικής κυκλοφορίας, συνθήκες δικτύου και το γύρω περιβάλλον. Τέλος, διεξάγει ποσοτική επεξεργασία σε ποιοτικούς δείκτες εφαρμόζοντας τη γκρι διαδικασία λήψης αποφάσεων και τη γκρι διαδικασία λήψης αποφάσεων στόχου, καθώς παράγει 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. Σύμφωνα με την γκριζα πρόβλεψη μπορούμε να βρούμε το νόμο της ανάπτυξης του συστήματος, και να κάνουμε μια επιστημονική ποσοτική πρόβλεψη για το μέλλον του συστήματος. Η γκριζα λήψη αποφάσεων πραγματοποιείται όταν το μοντέλο λήψης αποφάσεων περιέχει γκρι περιοχές (ορίζονται ως μαύρες αυτές χωρίς καθόλου πληροφορίες, ως λευκές αυτές με τέλειες 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 EV στην πόλη Ναντζίνγκ της Κίνας. 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 συμπεριλαμβανομένου ενός πλέγματος διπλού βρόχου 500 KV, ενός πλέγματος διπλού βρόχου 220 kV νότια και βόρεια του ποταμού Yangtze, ένα δίκτυο ακτινοβολίας 110 KV και ένα δίκτυο 10 KV στην αστική περιοχή. Αυτό το δίκτυο διανομής ισχύος μπορεί να ανταποκριθεί 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.

## Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

Για τον προσδιορισμό των θέσεων των σταθμών φόρτισης, του Location Model μέσω του παραπάνω αλγορίθμου, κατασκευάζεται η εξής Αντικειμενική Συνάρτηση:  $\min TC = C1 + C2 + C3$ ,  $N=5$  μέχρι  $N=10$

- C1: Ετήσιο κόστος κατασκευής σταθμού φόρτισης
- C2: Ετήσιο κόστος λειτουργίας σταθμού φόρτισης
- C3: Άμεσο και Έμμεσο κόστος χρήστη για φόρτιση
- N : Ο αριθμός των σταθμών φόρτισης

Η έρευνα καταλήγει ότι βάση των διαφορετικών παραγόντων 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 Ναντζινγκ ο ιδανικός αριθμός σταθμών φόρτισης είναι 7, οι οποίοι κατανέμονται στις ιδανικές τοποθεσίες σύμφωνα με τις οδηγίες των αποτελεσμάτων.

Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου  
πρόβλεψης χώρου φόρτισης



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5:

### Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των δεδομένων του dataset καθώς και η διαδικασία που ακολουθήθηκε και τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από το μοντέλο πρόβλεψης που δημιουργήθηκε. Στα δεδομένα από τους σταθμούς φόρτισης παρέχονται οι εξής σημαντικές πληροφορίες: η ταυτότητα του φορτιστή σε κάθε σημείο φόρτισης («chargeboxid»), η ταυτότητα του σημείου φόρτισης («idtag»), ο χρόνος που ξεκινάει και τελειώνει η φόρτιση («start/stop time»), η ενέργεια στην αρχή και στο τέλος της φόρτισης («start/stop value») και η κατηγορία του μέρους που βρίσκεται το σημείο φόρτισης («idiothta»), η οποία είναι ανάμεσα σε ξενοδοχείο, εμπορικό κέντρο, εστιατόριο και λοιπούς χώρους. Σε παρένθεση αναφέρεται ο τρόπος με τον οποίο ονομάζεται η κάθε στήλη στο αρχείο το οποίο εισήχθη στο σύστημα προς επεξεργασία. Τα δεδομένα αναλύθηκαν με τη βοήθεια της γλώσσας προγραμματισμού R και από τα δεδομένα διατηρήθηκαν για την ανάλυση μόνο όσα είχαν λογικές τιμές και μπορούσαν να προσφέρουν σε αυτή χρήσιμα συμπεράσματα. Τα λογικά αυτά δεδομένα είναι: ο χρόνος φόρτισης ανά σταθμό να είναι μεγαλύτερος από 5 λεπτά (ώστε να μην επηρεάσουν τα αποτελέσματα μετρήσεις που διακόπηκαν γρήγορα) και μην ξεπερνάει τα 500 λεπτά (προκειμένου να μην υπολογιστούν δεδομένα από σταθμούς στους οποίους «ξεχάστηκε» το όχημα στον φορτιστή). Αντίστοιχα, για τη συνολική ενέργεια που καταναλώνεται διατηρούνται προς επεξεργασία μόνο οι γραμμές που παρουσιάζουν μη αρνητική τιμή. Οι κώδικες σε γλώσσα R με τους οποίους έγιναν οι αναλύσεις των δύο τμημάτων της παρούσας Διπλωματικής εργασίας παρουσιάζονται στο Παράρτημα με τα αντίστοιχα σχόλια για την επεξήγηση των βημάτων που πραγματοποιούνται κάθε φορά.

#### 5.1 Διαγράμματα ομαδοποίησης και συσχέτισης δεδομένων

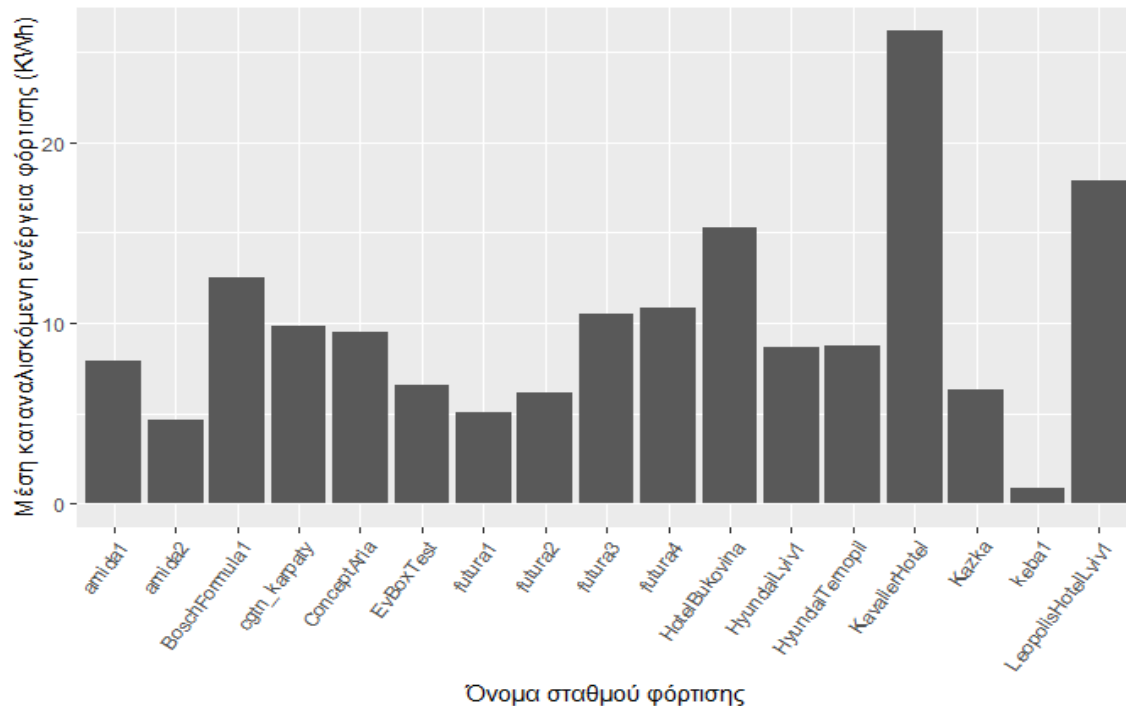
Από την επεξεργασία και την ανάλυση των δεδομένων σε πρώτο επίπεδο προέκυψαν χρήσιμα συμπεράσματα ως προς τις συνήθειες των οδηγών για τη φόρτιση των οχημάτων τους σε σταθμούς με δημόσια πρόσβαση (δημόσιας ή ιδιωτικής ιδιοκτησίας), αλλά και στατιστικά στοιχεία για τη συχνότητα επίσκεψης και τις δυνατότητες του κάθε φορτιστή. Κατά το πρώτο στάδιο της ανάλυσης πραγματοποιήθηκε ομαδοποίηση και συσχέτιση των δεδομένων με διαφορετικό κριτήριο κάθε φορά και οι συγκρίσεις των αποτελεσμάτων που εξήχθησαν από αυτές παρουσιάζονται στα ακόλουθα διαγράμματα ταξινομημένες βάση το εκάστοτε κριτήριο. Για την απεικόνιση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιούνται βασικά στοιχεία περιγραφικής στατιστικής και συγκεκριμένα ιστογράμματα (bar charts) και θερμογράμματα (heat maps). Για λόγους πληρότητας περιγράφονται συνοπτικά τα δύο αυτά στοιχεία.

Το **ιστόγραμμα** είναι γραφική απεικόνιση στατιστικών συχνοτήτων περιοχών τιμών ενός μεγέθους. Σχηματίζεται από παρακείμενα ορθογώνια. Η επιφάνεια κάθε ορθογωνίου είναι μέτρο της συχνότητας εμφάνισης της συγκεκριμένης περιοχής τιμών ενώ το ύψος του ισούται με το λόγο της συχνότητας προς το εύρος των τιμών που αντιπροσωπεύει το ορθογώνιο.

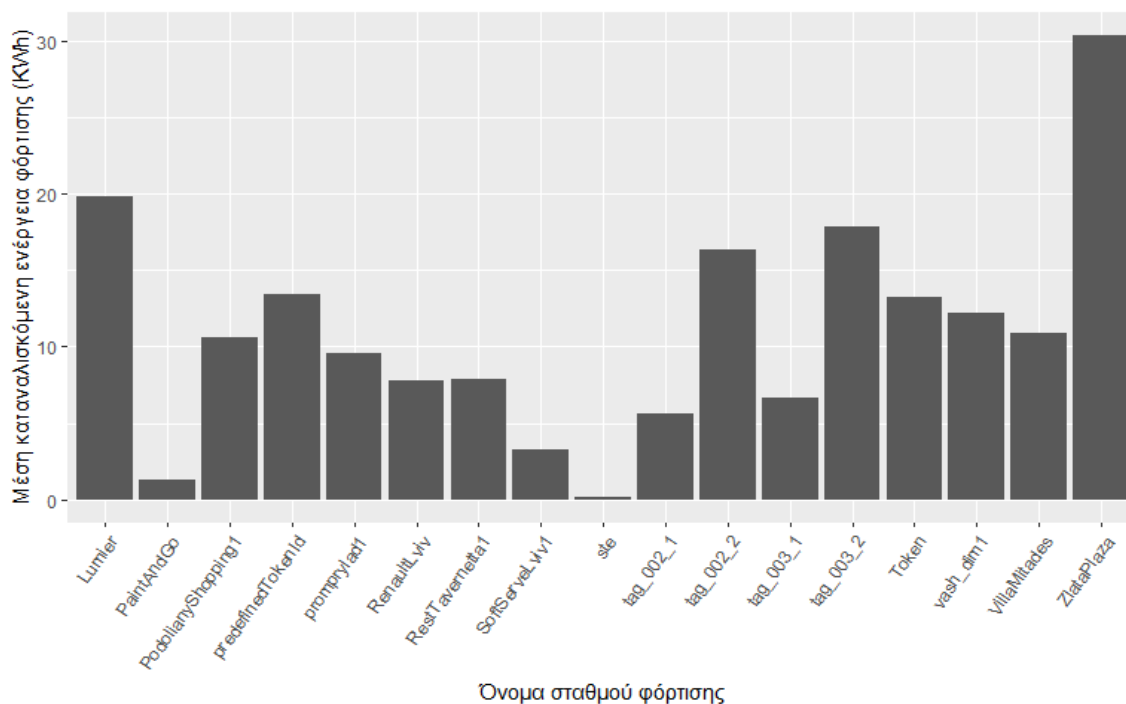
## Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

Το **θερμόγραμμα** είναι μια τεχνική οπτικοποίησης δεδομένων που δείχνει το μέγεθος ενός φαινομένου ως χρώμα σε δύο διαστάσεις. Η διακύμανση του χρώματος μπορεί να είναι απόχρωση ή ένταση, δίνοντας προφανείς οπτικές ενδείξεις στον αναγνώστη σχετικά με το πώς το φαινόμενο συγκεντρώνεται ή ποικίλλει στο χώρο

Αρχικά, παρουσιάζεται στα επόμενα δύο διαγράμματα η ενέργεια που καταναλώνει κάθε Ηλεκτρικό Όχημα σε κάθε έναν από τα σημεία φόρτισης («idtag») του μελετώμενου dataset.



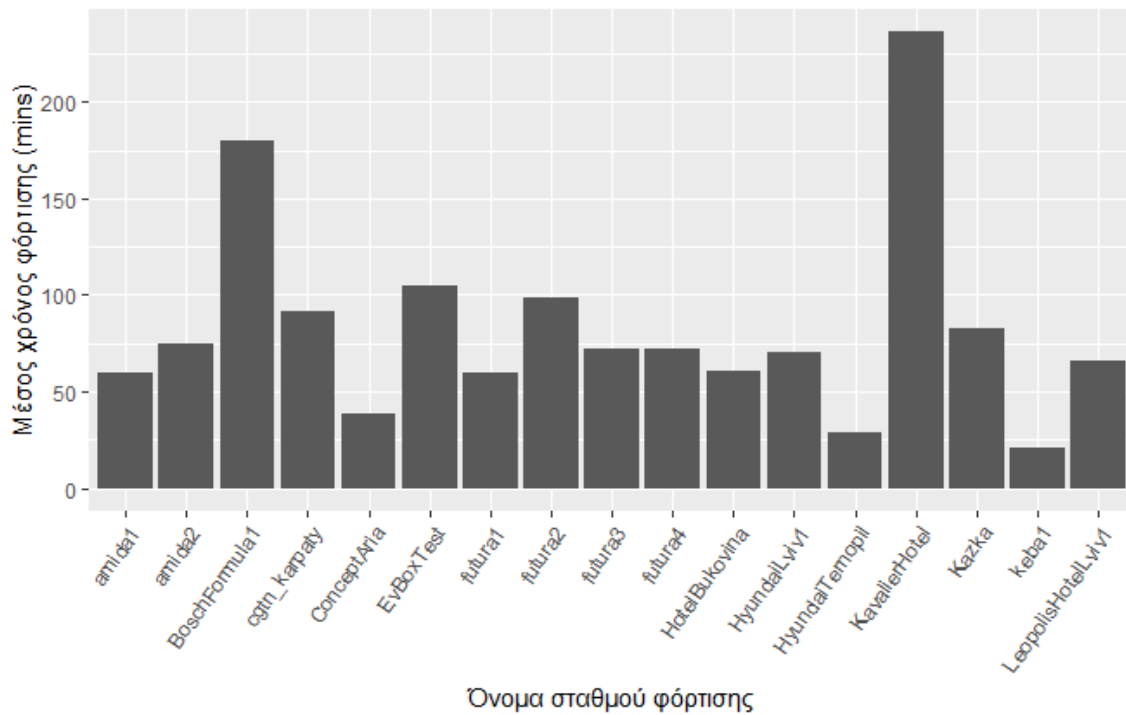
Διάγραμμα 5.1: Μέση καταναλισκόμενη ενέργεια ανά σταθμό



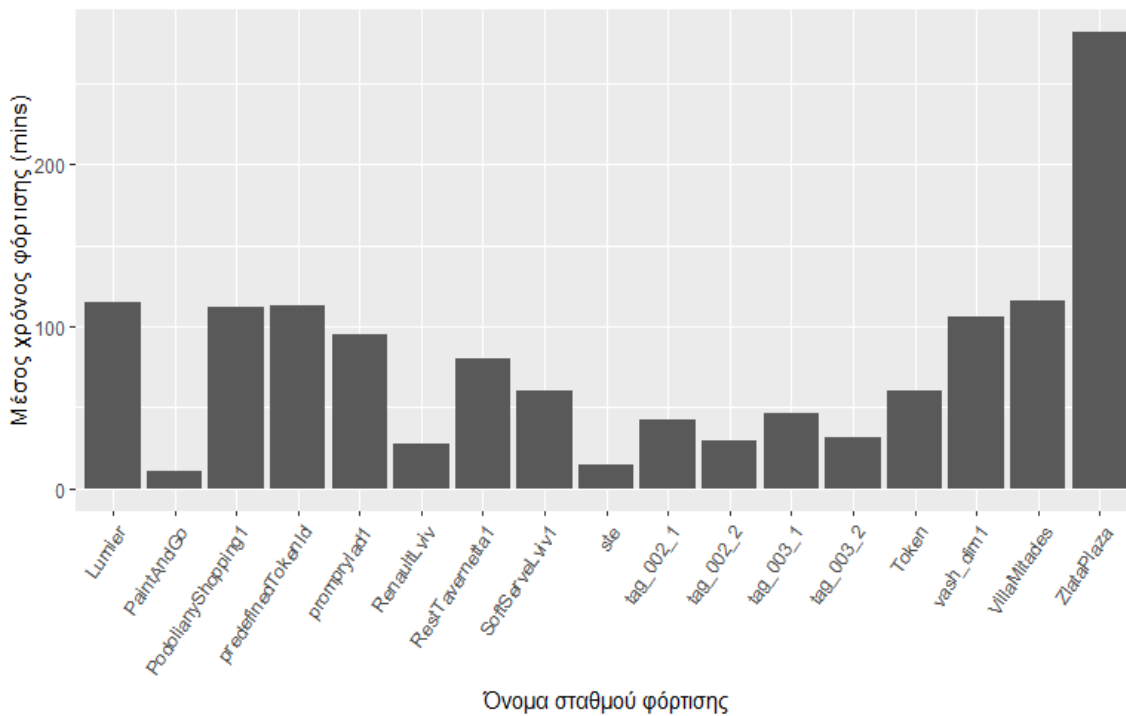
Διάγραμμα 5.2: Μέση καταναλισκόμενη ενέργεια ανά σταθμό

Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

Ενώ στη συνέχεια ακολουθεί η παρουσίαση του μέσου χρόνου που παραμένει κάθε όχημα συνδεδεμένο στον καθένα από τους παραπάνω φορτιστές.



Διάγραμμα 5.3: Μέσος χρόνος φόρτισης ανά σταθμό

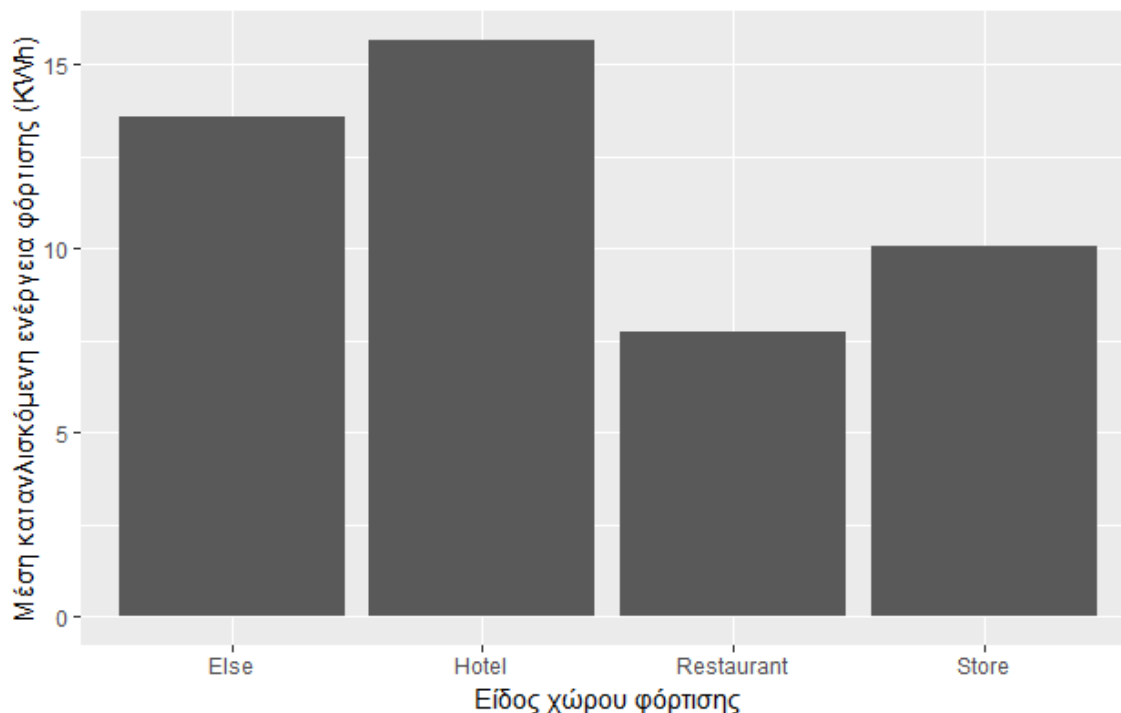


Διάγραμμα 5.4: Μέσος χρόνος φόρτισης ανά σταθμό

## Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

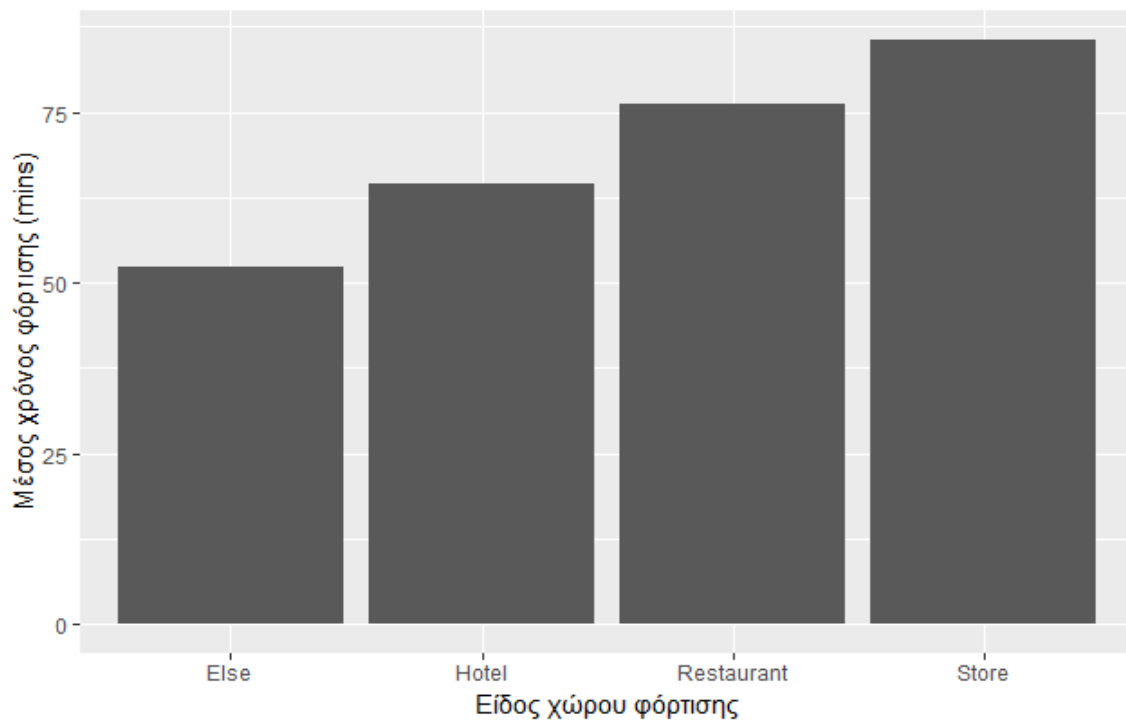
Από τα Διαγράμματα 5.1 και 5.2 παρατηρούμε ότι οι σταθμοί στους οποίους καταναλώνεται η περισσότερη ενέργεια ανά φορτιζόμενο όχημα είναι οι «ZlataPlaza» και «KavalierHotel» στους οποίους καταναλώνεται ενέργεια της τάξης των 25 – 30 kWh ανά όχημα, ενώ αντίθετα αυτοί στους οποίους καταναλώνεται η λιγότερη ενέργεια είναι ο «ste», ο «PaintAndGo» και ο «keba1» που καταναλώνεται κατά μέσο όρο λιγότερη από 1 kWh. Από τα Διαγράμματα 5.3 και 5.4 φαίνεται ότι οι σταθμοί στους οποίους το κάθε όχημα παραμένει για μεγαλύτερο χρόνο κατά μέσο όρο είναι και σε αυτή την περίπτωση οι «ZlataPlaza» και «KavalierHotel» με μέσο χρόνο παραμονής της τάξης των 230 – 280 min με αντίθετη σειρά κατάταξης ωστόσο, γεγονός που προφανώς οφείλεται στην ταχύτητα φόρτισης που μπορεί να παρέχει ο κάθε φορτιστής. Αντίστοιχα, οι μικρότεροι χρόνοι παραμονής ανά όχημα σε κάθε φόρτιση παρατηρούνται ξανά στους σταθμούς «PaintAndGo» και «ste». Προφανώς ο «keba1» (που ενώ καταναλώνεται παρόμοιο ποσό ενέργειας όπως στους δύο προαναφερθέντες, χρησιμοποιείται για περισσότερο χρόνο) έχει μικρότερη ταχύτητα φόρτισης. Οι παραπάνω παρατηρήσεις είναι χρήσιμες για τους ιδιοκτήτες των σταθμών προκειμένου να προσαρμόσουν τις τιμές χρέωσης της φόρτισης είτε για να προσελκύσουν περισσότερους πελάτες στους σταθμούς με τη μικρότερη ζήτηση είτε για να αποκομίσουν μεγαλύτερα κέρδη από αυτούς που έχουν αρκετή κατανάλωση ενέργειας.

Παρακάτω, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ομαδοποίηση των φορτιστών ανάλογα με το είδος του χώρου στον οποίο εδρεύουν (ξενοδοχείο, εμπορικό κέντρο, εστιατόριο ή άλλο) ως προς το μέσο φορτίο που καταναλώνεται ανά χώρο, το μέσο χρόνο παραμονής του ηλεκτρικού οχήματος στους φορτιστές αυτών των χώρων και τη μέση ισχύ που μπορούν να παρέχουν οι φορτιστές στον κάθε έναν από τους χώρους αυτούς.

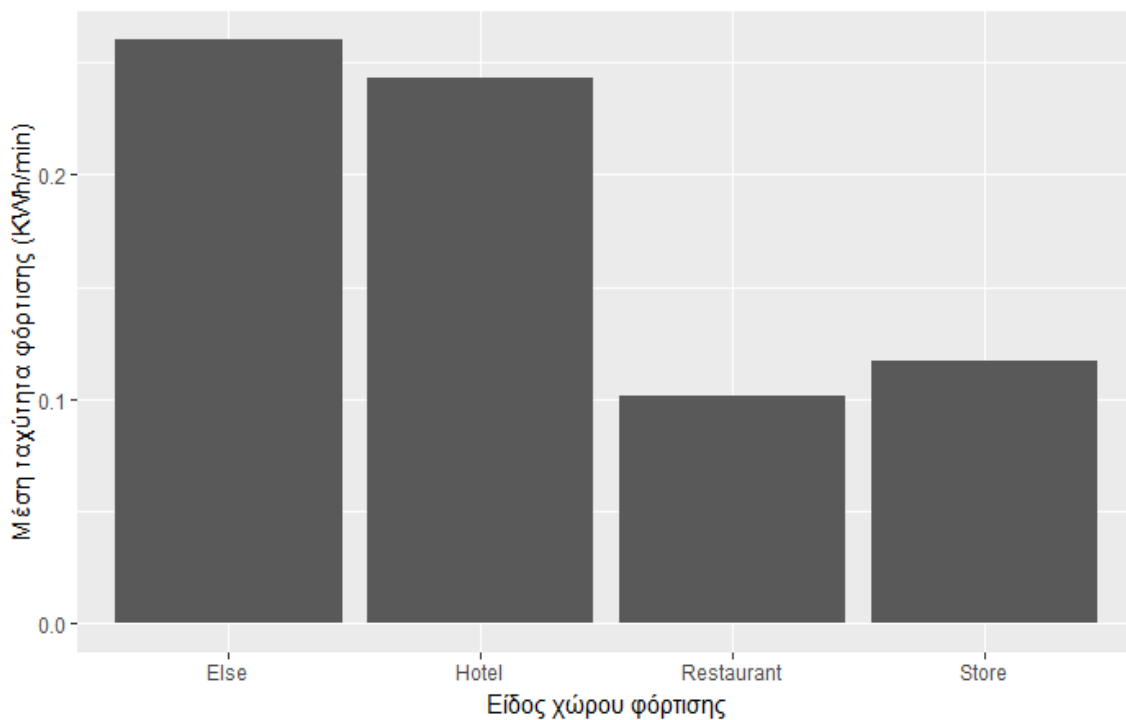


Διάγραμμα 5.5: Μέση καταναλισκόμενη ενέργεια ανά είδος χώρου

Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης



Διάγραμμα 5.6: Μέσος χρόνος φόρτισης ανά είδος χώρου



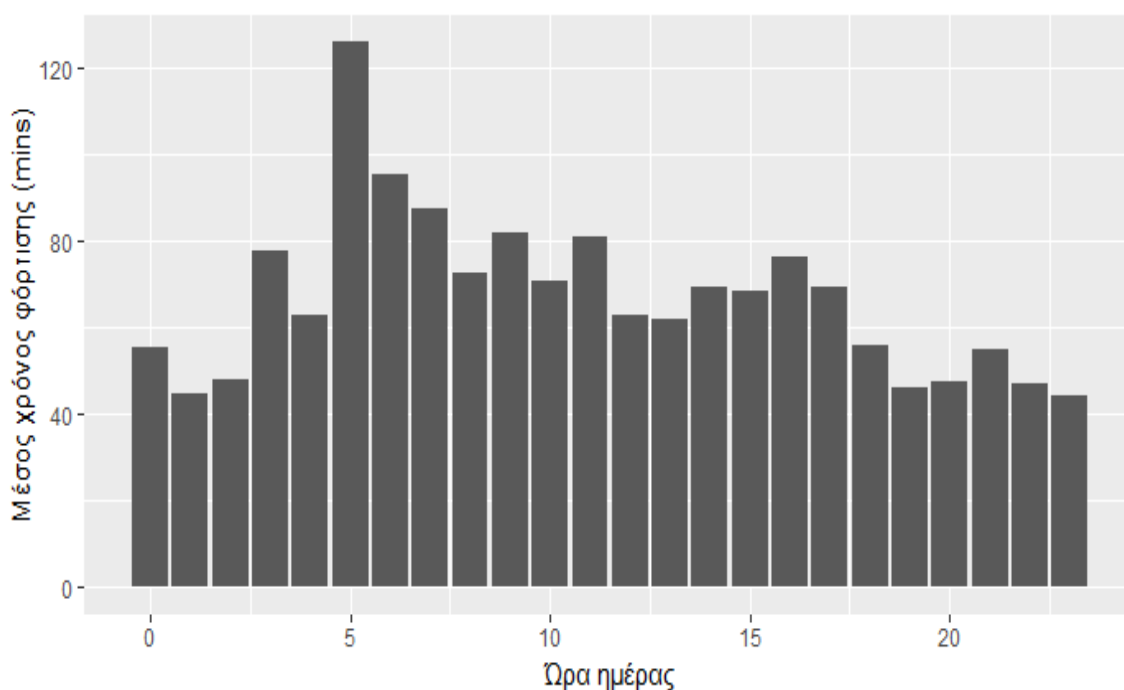
Διάγραμμα 5.7: Μέσος χρόνος φόρτισης ανά είδος χώρου

Από τα Διαγράμματα 5.5 – 5.7 εξάγουμε το συμπέρασμα ότι το κάθε είδος χώρου έχει αρκετά διαφορετικά χαρακτηριστικά ως προς τις συνήθειες των οδηγών που επιλέγουν τον κάθε ένα από αυτά για τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων τους. Ως προς τη μέση

## Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

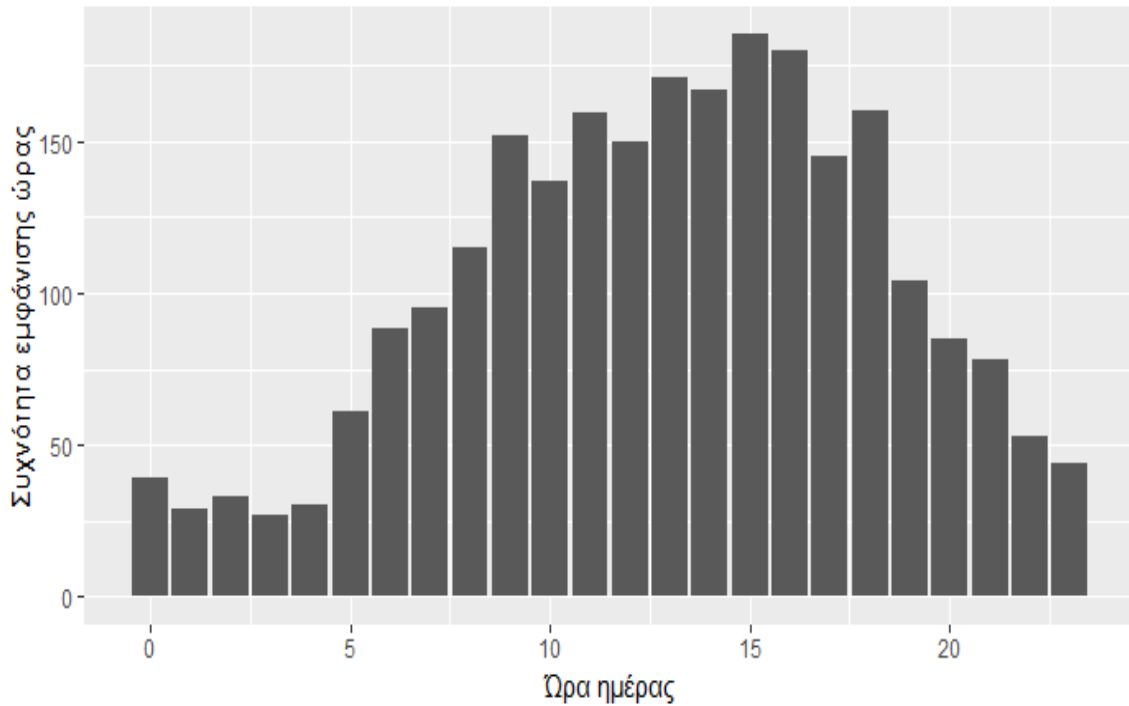
ενέργεια που καταναλώνεται από κάθε όχημα ανά φόρτιση, η μέγιστη τιμή παρατηρείται στους φορτιστές των ξενοδοχείων και είναι της τάξης των 16 KWh, ενώ η ελάχιστη στα εστιατόρια της τάξης των 8 KWh. Στα εμπορικά κέντρα η μέση ενέργεια που καταναλώνεται ανά φόρτιση είναι περίπου 10 KWh και στους λοιπούς χώρους στους οποίους υπάρχουν φορτιστές είναι περίπου 14 KWh. Ως προς το μέσο χρόνο παραμονής των οχημάτων στον φορτιστή του κάθε χώρου, η μέγιστη τιμή παρατηρείται στα εμπορικά κέντρα και είναι της τάξης των 85 λεπτών ανά φόρτιση, ενώ η ελάχιστη τιμή παρατηρείται στους λοιπούς χώρους και είναι της τάξης των 52 λεπτών. Στα εστιατόρια ο χρόνος παραμονής στους φορτιστές είναι περίπου 75 λεπτά και στα ξενοδοχεία περίπου 65. Οι παραπάνω παρατηρήσεις εξηγούν τις τιμές που παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 5.7, στο οποίο φαίνεται ότι οι λοιποί χώροι έχουν τους σταθμούς με τη μεγαλύτερη ταχύτητα φόρτισης (ισχύ), η οποία είναι της τάξης των 0,26 KWh/min ή 15 KW. Στον αντίποδα, τα εστιατόρια έχουν τους φορτιστές με την μικρότερη ισχύ και είναι της τάξης των 0,1 KWh/min ήτοι 6 KW. Αυτό εύκολα μπορεί να διαπιστωθεί και από τα Διαγράμματα 5.5 και 5.6, αφού τα εστιατόρια έχουν το μικρότερο ποσό καταναλισκόμενης ενέργειας φόρτισης, αλλά τον δεύτερο μεγαλύτερο χρόνο παραμονής ανά όχημα, ενώ αντίθετα οι λοιποί χώροι στους οποίους υπάρχουν φορτιστές, κατέχουν το δεύτερο μεγαλύτερο ποσό από άποψη ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται σε αυτούς και τον μικρότερο χρόνο παραμονής των οχημάτων σε αυτούς. Η ισχύς του φορτιστή είναι ο λόγος της ενέργειας που παρέχει προς τον χρόνο.

Ακολούθως, ομαδοποιήθηκαν τα δεδομένα ανάλογα με την ώρα έναρξης της διαδικασίας φόρτισης, προκειμένου να αντληθούν συμπεράσματα για το πόσο παραμένει ένα όχημα στον σταθμό φόρτισης κατά μέσο ανάλογα με την ώρα έναρξης, το ποια ώρα είναι συνηθέστερο να εκκινεί αυτή η διαδικασία, αλλά και τον συνολικό χρόνο που παραμένουν τα οχήματα στους σταθμούς φόρτισης για κάθε ώρα έναρξης. Αυτά τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα Διαγράμματα 5.8 – 5.10.

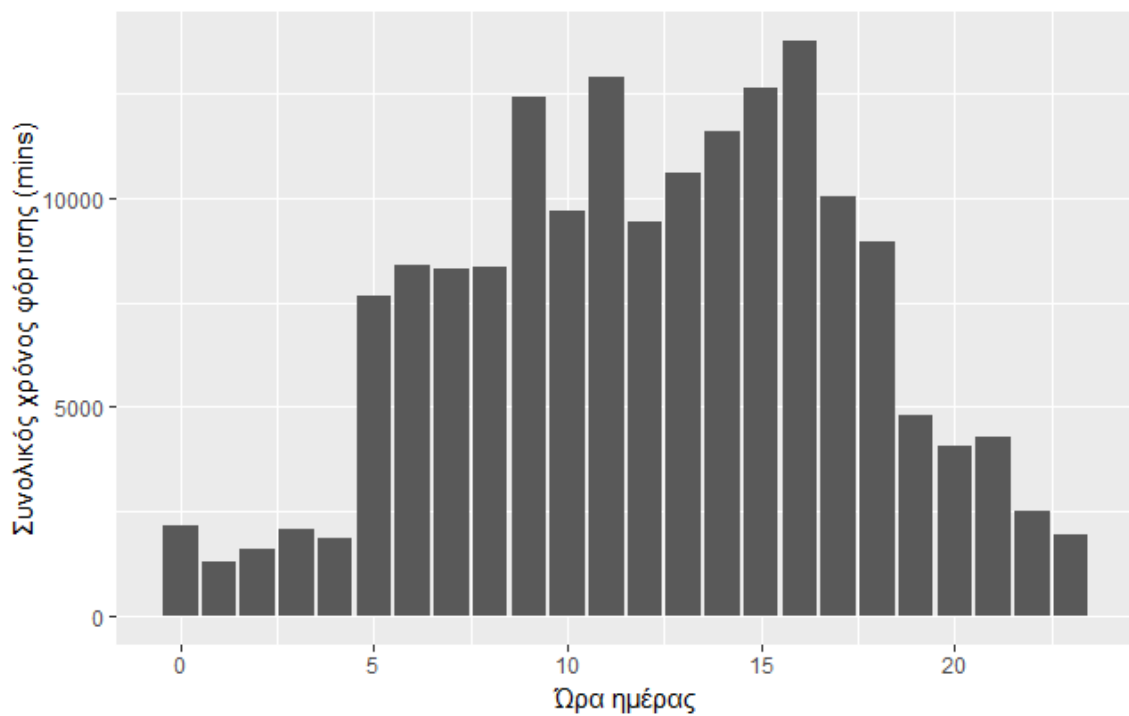


Διάγραμμα 5.8: Μέσος χρόνος φόρτισης ανά ώρα έναρξης

Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης



Διάγραμμα 5.9: Συχνότητα εμφάνισης ώρας έναρξης



Διάγραμμα 5.10: Συνολικός χρόνος φόρτισης ανά ώρα έναρξης

Στο διάγραμμα 5.8 παρουσιάζεται ο μέσος όρος της διάρκειας φόρτισης συναρτήσει της ώρας έναρξης της φόρτισης. Η μέγιστη τιμή του μέσου όρου εμφανίζεται όταν η φόρτιση ξεκινάει στις 5 π.μ. και είναι της τάξης των 125 min ανά φόρτιση. Αυτό πιθανότατα οφείλεται στο γεγονός ότι πολύ εργαζόμενοι ξεκινούν για τη δουλειά του περίπου στις 7 – 7:30 π.μ., συνεπώς προγραμματίζουν να ξεκινήσει η φόρτιση των οχημάτων τους περίπου 2 ώρες πριν (με τη βοήθεια ηλεκτρονικών μέσων ή των εργαζόμενων στους

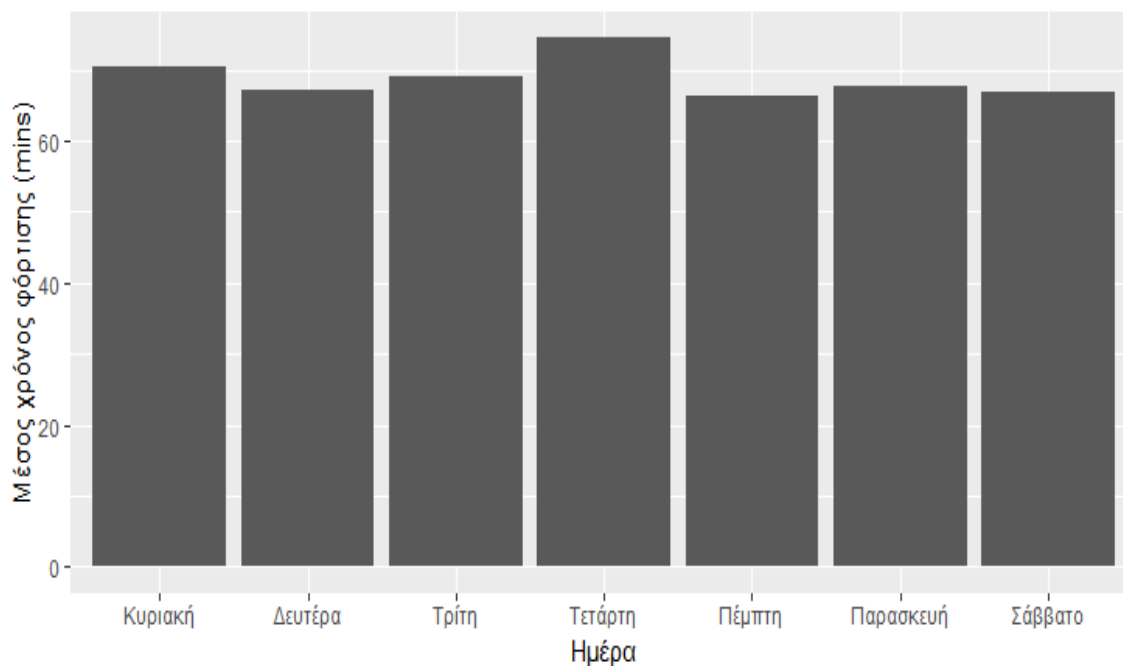
## Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

χώρους φόρτισης). Τις υπόλοιπες ώρες οι φορτίσεις είναι της τάξης των 40 – 80 min. Η ερμηνεία που δίνεται σε αυτό είναι ότι αυτές τις ώρες οι ιδιοκτήτες των οχημάτων φορτίζουν τα οχήματά τους όση ώρα παραμένουν στον χώρο που εδρεύει ο σταθμός (πχ εμπορικό κέντρο), αφού η περισσότερες από αυτές τις ώρες είναι εργάσιμες για τους χώρους αυτούς.

Στο Διάγραμμα 5.9 παρουσιάζεται το πόσο συχνά επιλέγεται η κάθε μία από τις 24 της ημέρας ως ώρα έναρξης της φόρτισης. Το συχνότερο φαινόμενο είναι η φόρτιση να ξεκινάει στις 3 μμ και στις 4 μμ, αφού εμφανίστηκαν αυτές οι δύο ώρες από περίπου 185 φορές στο υπάρχον dataset. Αυτό πιθανότατα οφείλεται στο γεγονός ότι εκείνη την ώρα οι χώροι τους οποίους μελετήσαμε (εστιατόρια, εμπορικά κέντρα) έχουν την περισσότερη επισκεψιμότητα, συνεπώς είναι και μεγαλύτερος ο αριθμός των κατόχων Ηλεκτρικών Οχημάτων που βρίσκονται εκεί και θέλουν να φορτίσουν τα οχήματά τους κατά τη χρονική διάρκεια της παραμονής τους. Φυσικά η μικρότερη συχνότητα έναρξης φορτίσεων παρατηρείται στις πρώτες μεταμεσονύχτιες ώρες, για ευνόητους λόγους.

Στο Διάγραμμα 5.10 παρουσιάζεται ο συνολικός χρόνος που παραμένουν τα οχήματα στους σταθμούς φόρτισης συναρτήσει της ώρας έναρξης. Είναι ουσιαστικά το γινόμενο της συχνότητας εμφάνισης της κάθε ώρας με τον μέσο όρο παραμονής στους σταθμούς για την ώρα αυτή. Την περισσότερη ώρα παραμένουν στους φορτιστές τα οχήματα που ξεκινούν την φόρτισή τους στις 4 μ.μ. με τον συνολικό χρόνο να είναι της τάξης των 18000 min. Αυτό πιθανότατα οφείλεται στο γεγονός ότι πολλοί εργαζόμενοι σχολούν εκείνη την ώρα, με αποτέλεσμα να επισκέπτονται τους χώρους που υπάρχουν σταθμοί φόρτισης για λόγους αναψυχής έχοντας αρκετό χρόνο διαθέσιμο για να παραμείνουν εκεί. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι ενώ στις 5 π.μ. προκύπτει ο μεγαλύτερος μέσος όρος χρόνου φόρτισης, στον συνολικό χρόνο είναι σχετικά χαμηλά συγκριτικά με άλλες ώρες της ημέρας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι εκείνη την ώρα είναι λίγα τα οχήματα τα οποία ξεκινούν τη φόρτισή τους.

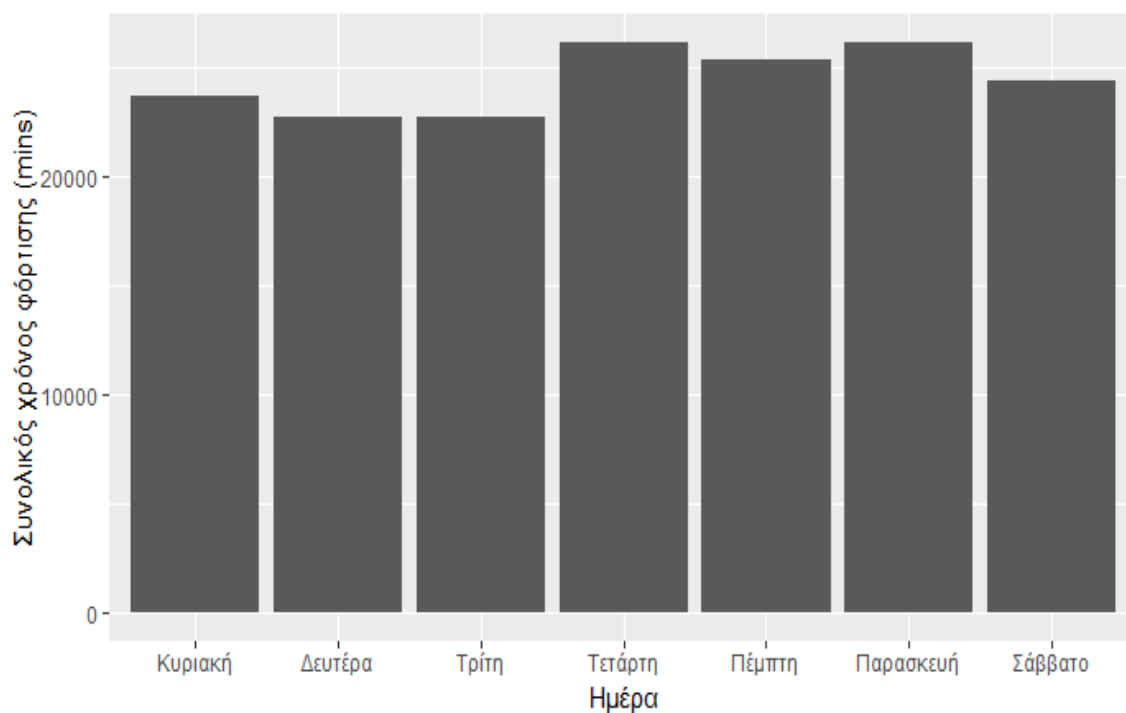
Στη συνέχεια, στα διαγράμματα 5.11 και 5.12 παρουσιάζονται ο μέσος και ο συνολικός χρόνος φόρτισης αντίστοιχα ανά ημέρα.



Διάγραμμα 5.11: Μέσος χρόνος φόρτισης ανά ημέρα

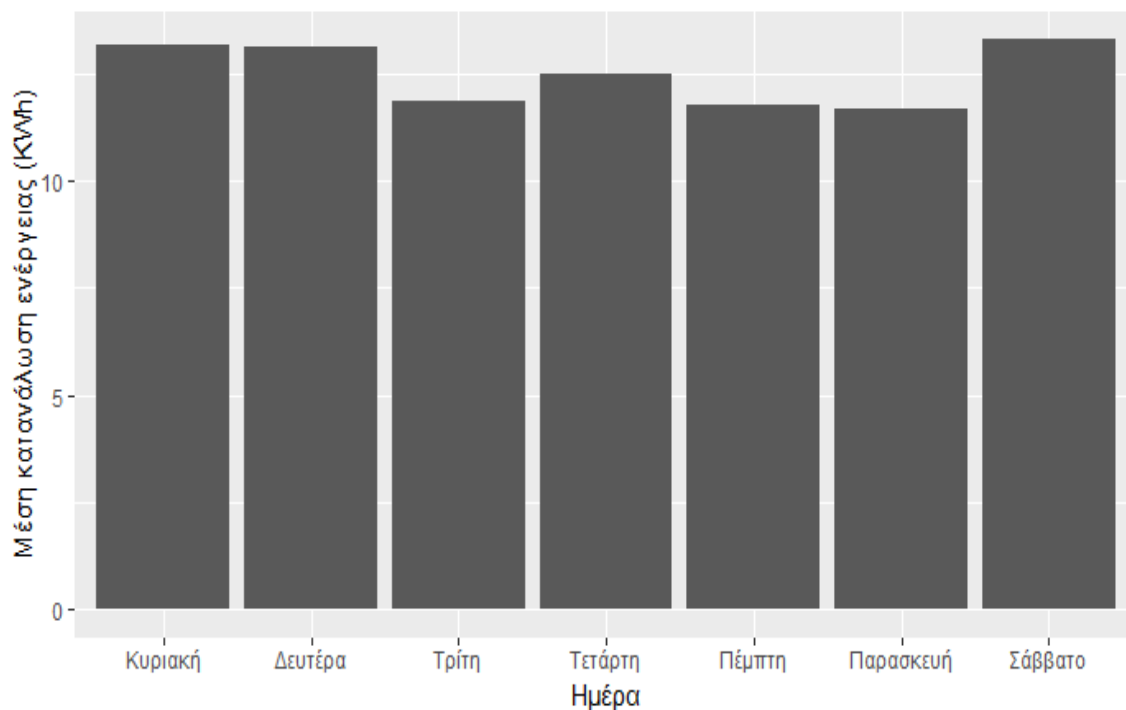


Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης



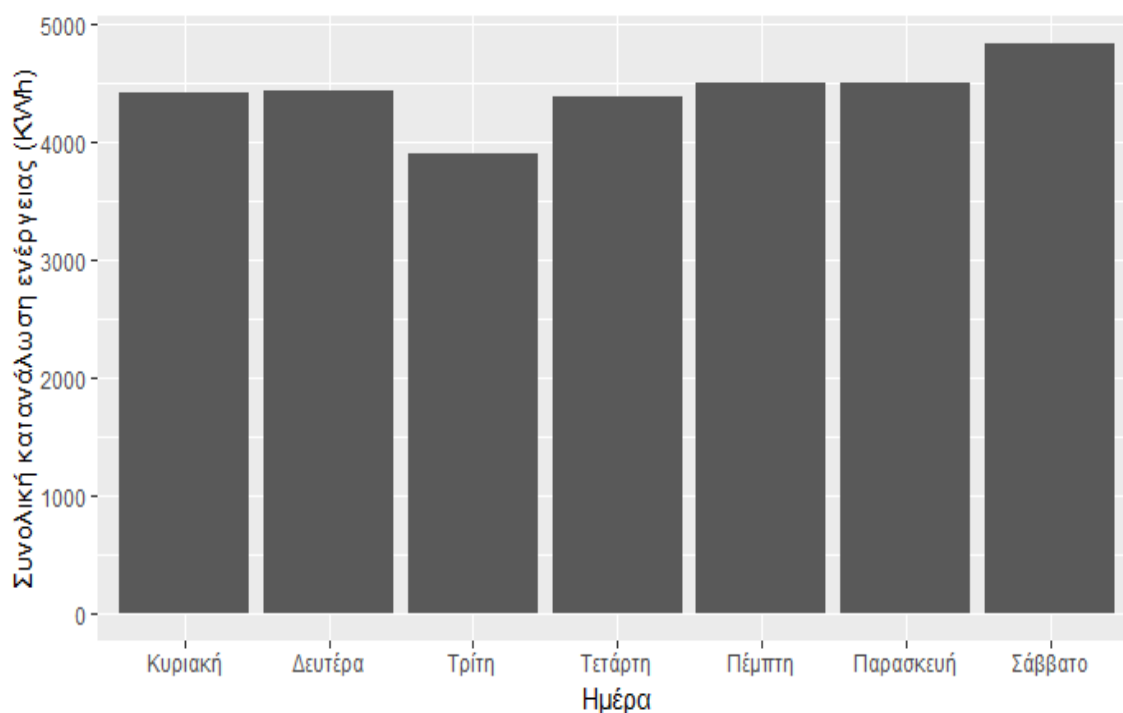
Διάγραμμα 5.12: Συνολικός χρόνος φόρτισης ανά ημέρα

Ενώ στα διαγράμματα 5.13 και 5.14 που ακολουθούν παρουσιάζονται το μέσο και το συνολικό ποσό ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται ανά φόρτιση για κάθε ημέρα αντίστοιχα.



Διάγραμμα 5.13: Μέση καταναλισκόμενη ενέργεια φόρτισης ανά ημέρα

## Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης



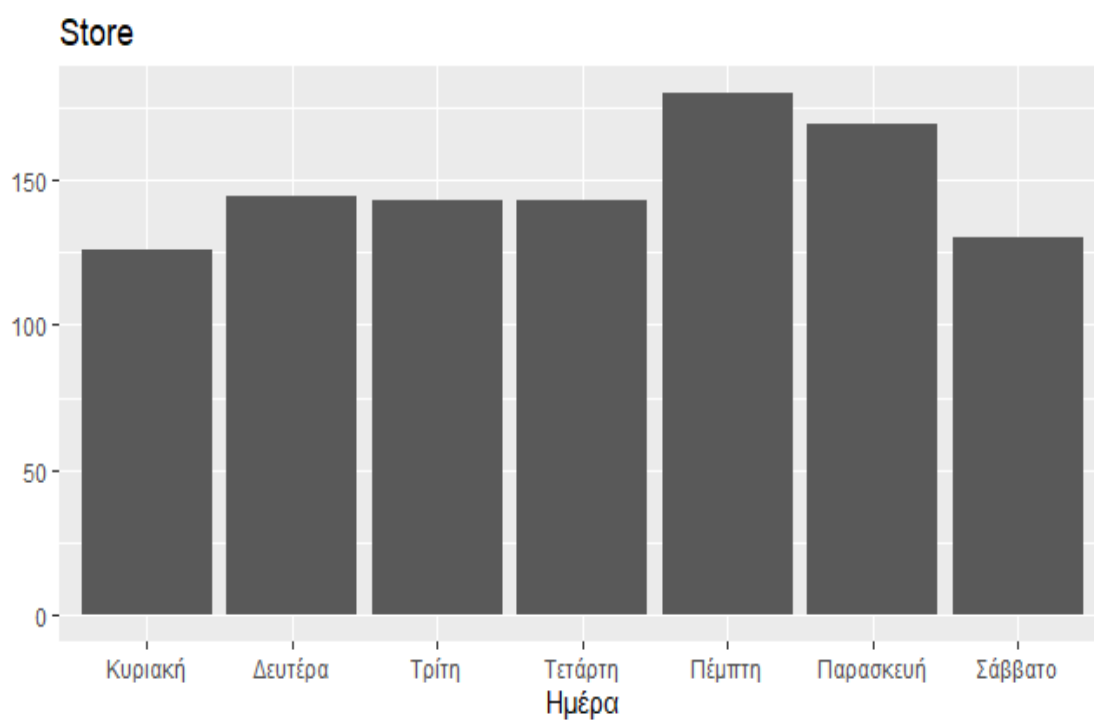
Διάγραμμα 5.14: Συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια φόρτισης ανά ημέρα

Από το πρώτο εκ των τεσσάρων παραπάνω διαγραμμάτων προκύπτει ότι την Τετάρτη παρατηρείται ο μεγαλύτερος μέσος όρος χρόνου φόρτισης και είναι της τάξης των 75 λεπτών. Από το δεύτερο προκύπτει ότι τόσο η Τετάρτη όσο και η Παρασκευή έχουν τον μεγαλύτερο συνολικό χρόνο φόρτισης, ο οποίος κυμαίνεται στα 26100 λεπτά. Αυτό καταδεικνύει ότι την Παρασκευή γίνονται περισσότερες φορτίσεις σε σχέση με την Τετάρτη. Το ίδιο ισχύει και για τις υπόλοιπες ημέρες που έχουν χαμηλότερο μέσο όρο χρόνου, αλλά παρεμφερή συνολικό χρόνο φορτίσεων.

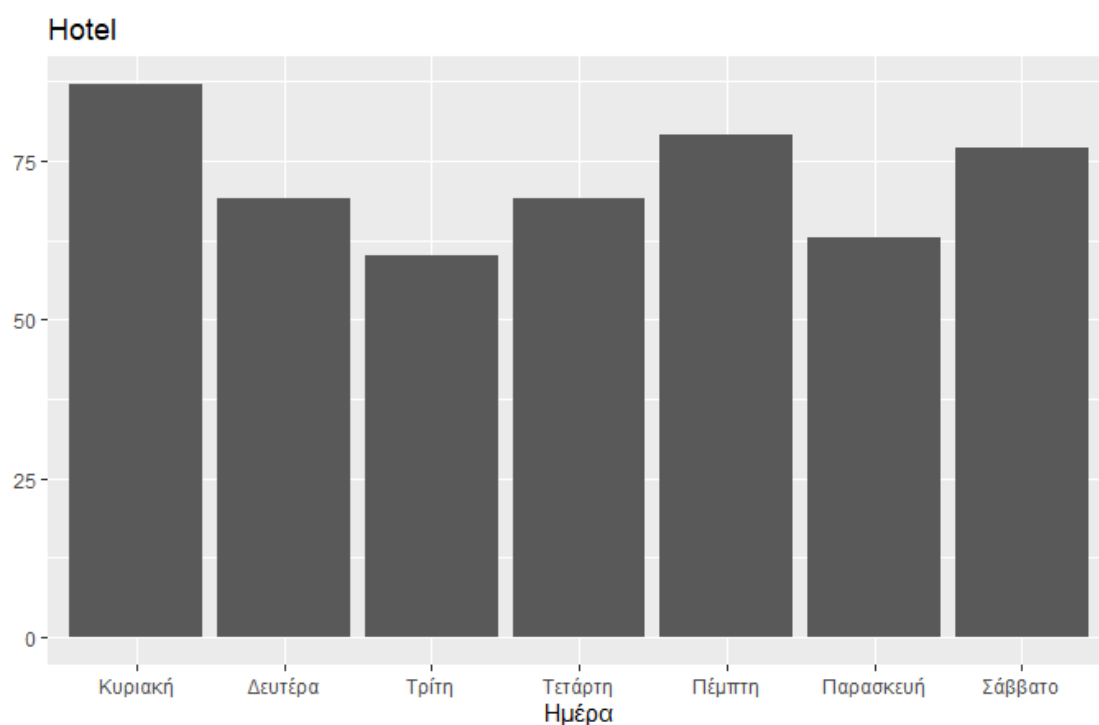
Από το διάγραμμα 5.13 προκύπτει ότι το Σάββατο, την Κυριακή και τη Δευτέρα παρατηρείται παρόμοια μέση κατανάλωση ενέργειας, της τάξης των 14 KWh για κάθε μία από αυτές τις ημέρες. Από το διάγραμμα 5.14, ωστόσο, προκύπτει ότι το Σάββατο υπάρχει μακράν η μεγαλύτερη συνολική κατανάλωση, της τάξης 4,8 MWh, γεγονός που καταδεικνύει ότι το Σάββατο λαμβάνει χώρα ο μεγαλύτερος συνολικός αριθμός φορτίσεων, γεγονός που δικαιολογείται απόλυτα από το είδος των χώρων που εδρεύουν οι φορτιστές, οι οποίοι είναι χώροι αναψυχής και έχουν μεγαλύτερη επισκεψιμότητα τα Σάββατα.

Ως προς την επισκεψιμότητα, που αναφέρθηκε προηγουμένως, θα παρουσιαστούν στα διαγράμματα 5.15 – 5.19 οι συχνότητες των φορτίσεων που λαμβάνουν χώρα σε κάθε ένα από τα είδη των χώρων για κάθε μέρα της εβδομάδας, δηλαδή το πόσες φορές ένα ηλεκτρικό όχημα χρησιμοποίησε τους φορτιστές που βρίσκονται εγκατεστημένοι στα εμπορικά κέντρα, στα ξενοδοχεία, στα εστιατόρια και τους λοιπούς χώρους που υπάρχουν στο μελετώμενο dataset.

Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

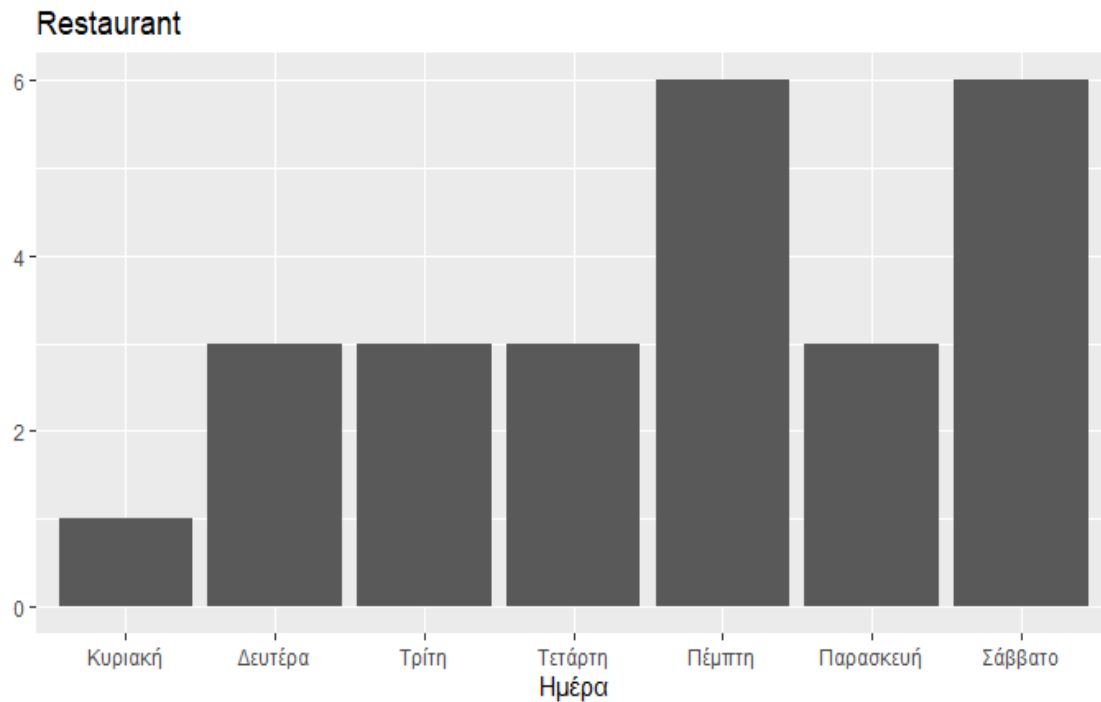


Διάγραμμα 5.15: Συχνότητα φορτίσεων σε εμπορικά κέντρα ανά ημέρα

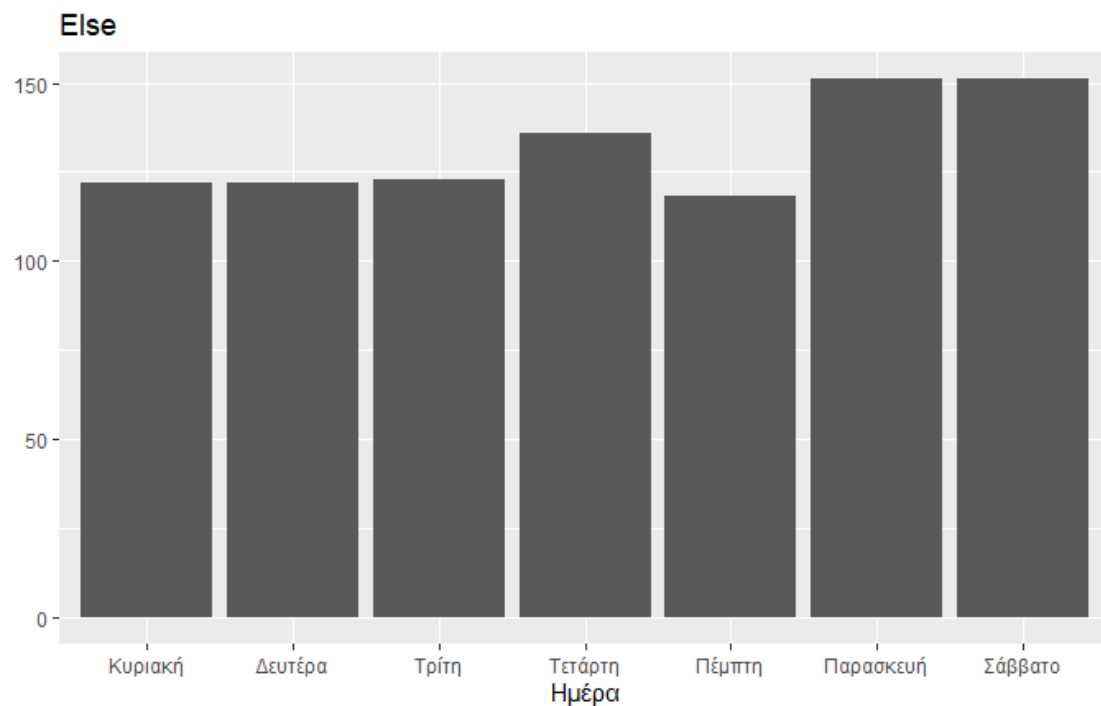


Διάγραμμα 5.16: Συχνότητα φορτίσεων σε ξενοδοχεία ανά ημέρα

Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης



Διάγραμμα 5.17: Συχνότητα φορτίσεων σε εστιατόρια ανά ημέρα



Διάγραμμα 5.18: Συχνότητα φορτίσεων σε λοιπούς χώρους ανά ημέρα

Στο διάγραμμα 5.15 παρουσιάζεται η συχνότητα με την οποία χρησιμοποιούνται οι σταθμοί φόρτισης στα εμπορικά κέντρα για κάθε ημέρα της εβδομάδας. Το αποτέλεσμα που προκύπτει από αυτό το διάγραμμα είναι ότι η μεγαλύτερη συχνότητα στους σταθμούς φόρτισης των εμπορικών κέντρων παρατηρείται την Πέμπτη και είναι της τάξης των 180 φορτίσεων.

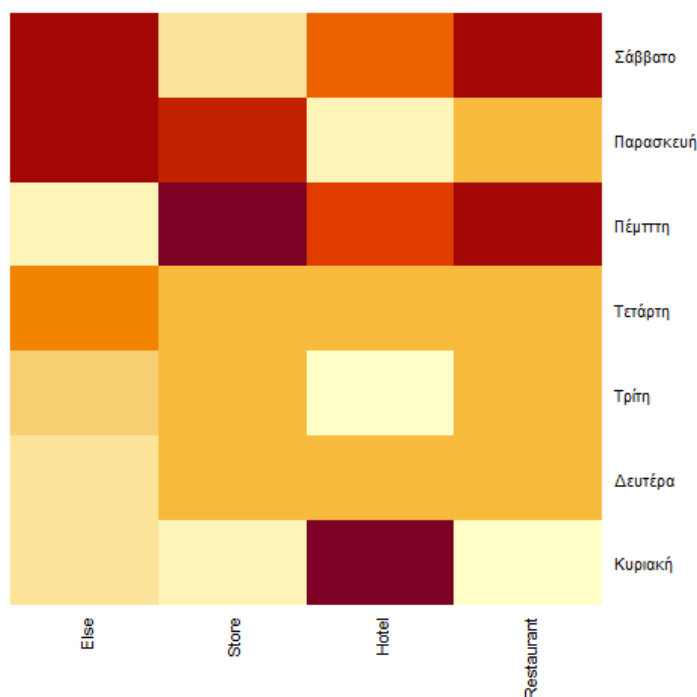
## Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

Στο διάγραμμα 5.16 παρουσιάζεται η συχνότητα με την οποία χρησιμοποιούνται οι σταθμοί φόρτισης στα ξενοδοχεία. Η μέγιστη τιμή σε αυτή την περίπτωση παρατηρείται τις Κυριακές, με 87 φορτίσεις. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ως επί το πλείστον τα ξενοδοχεία αξιοποιούνται τις μη εργάσιμες μέρες, όπως οι Κυριακές.

Στα εστιατόρια, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 5.17, δεν υπάρχουν αρκετές φορτίσεις στους σταθμούς που βρίσκονται σε αυτά. Χαρακτηριστικό είναι ότι ο μέγιστος αριθμός φορτίσεων παρατηρείται την Πέμπτη και την Κυριακή και είναι 6 φορτίσεις κάθε μία από αυτές τις μέρες.

Στο τελευταίο από τα παραπάνω διαγράμματα παρουσιάζεται η συχνότητα φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στους σταθμούς φόρτισης των λοιπών χώρων. Εκεί το μέγιστο παρατηρείται την Παρασκευή και το Σάββατο με περίπου 150 φορτίσεις συνολικά για κάθε μία από αυτές τις μέρες.

Τα παραπάνω δεδομένα παρουσιάζονται συγκριτικά μεταξύ των χώρων στο heatmap του διαγράμματος 5.18.

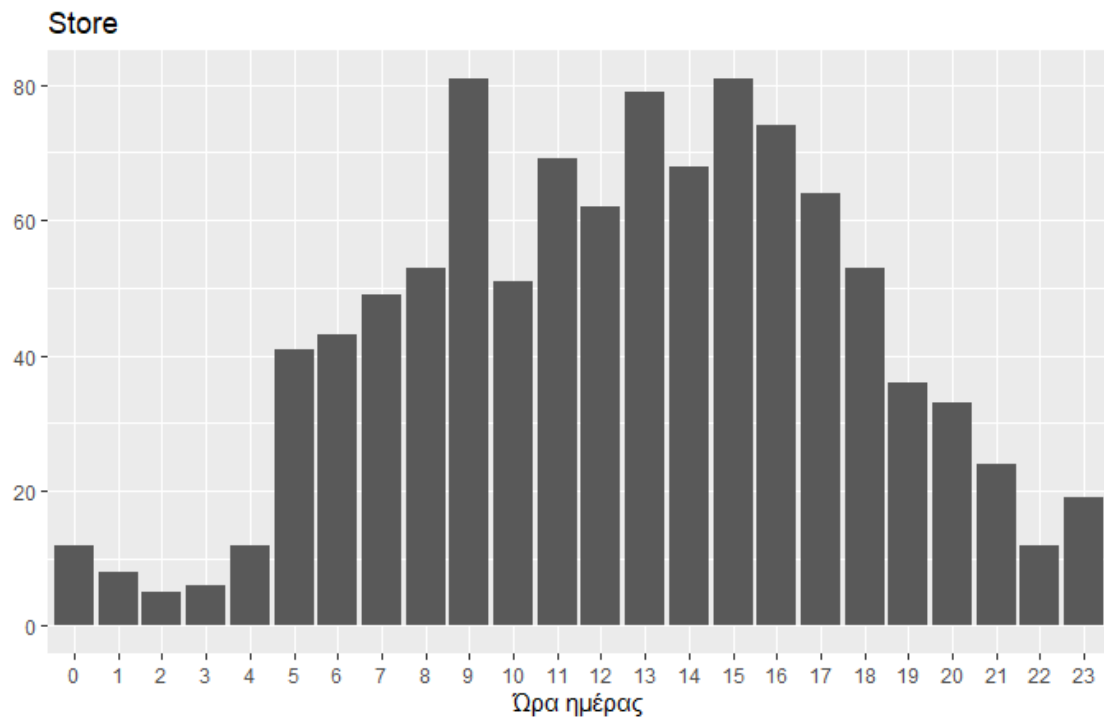


Διάγραμμα 5.19: Heatmap φόρτισης ανά ημέρα και είδος χώρου

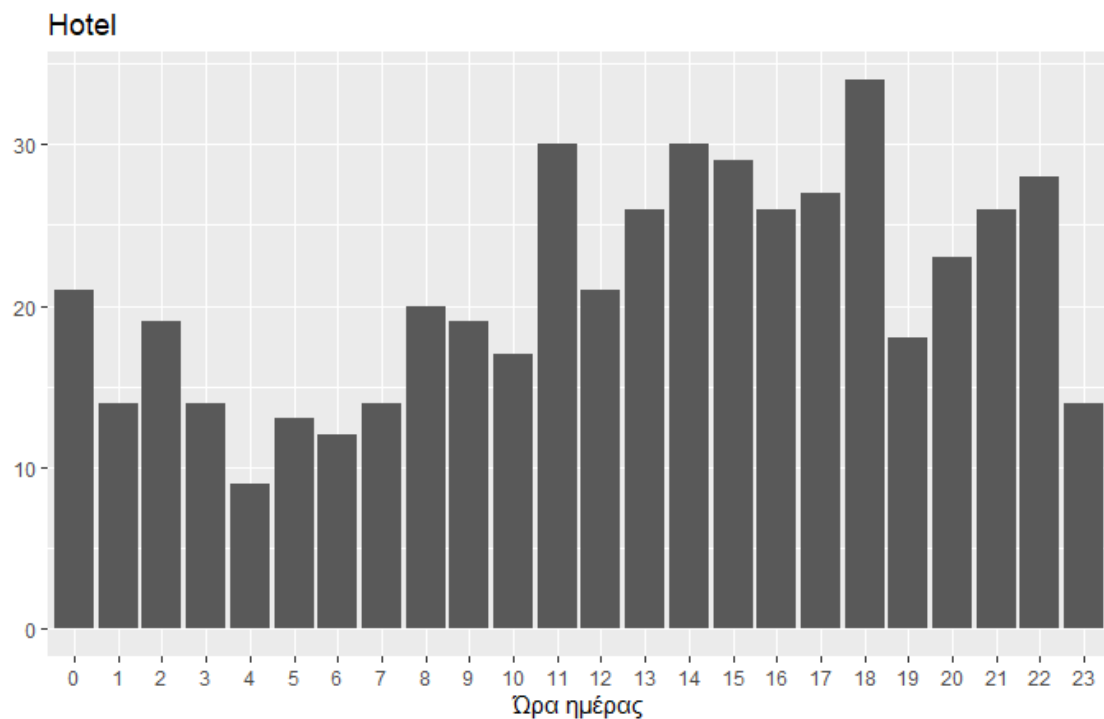
Συγκεντρώνοντας όλους τους χώρους σε ένα διάγραμμα για να παρατηρηθεί η συχνότητα προσέγγισής τους για φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων ανάλογα με την ημέρα της εβδομάδας, γίνεται αντιληπτό ότι προς το τέλος της εβδομάδας παρατηρείται αύξηση της επισκεψιμότητας σε όλους τους χώρους, συγκριτικά με αυτή που παρατηρείται από Δευτέρα έως και Τετάρτη.

## Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

Κλείνοντας το πρώτο μέρος της ανάλυσης των δεδομένων, παρουσιάζονται στα διαγράμματα 5.20 – 5.23 οι ώρες της ημέρας συναρτήσει της συχνότητας χρήσης των σταθμών φόρτισης για κάθε έναν από τους μελετώμενους χώρους.

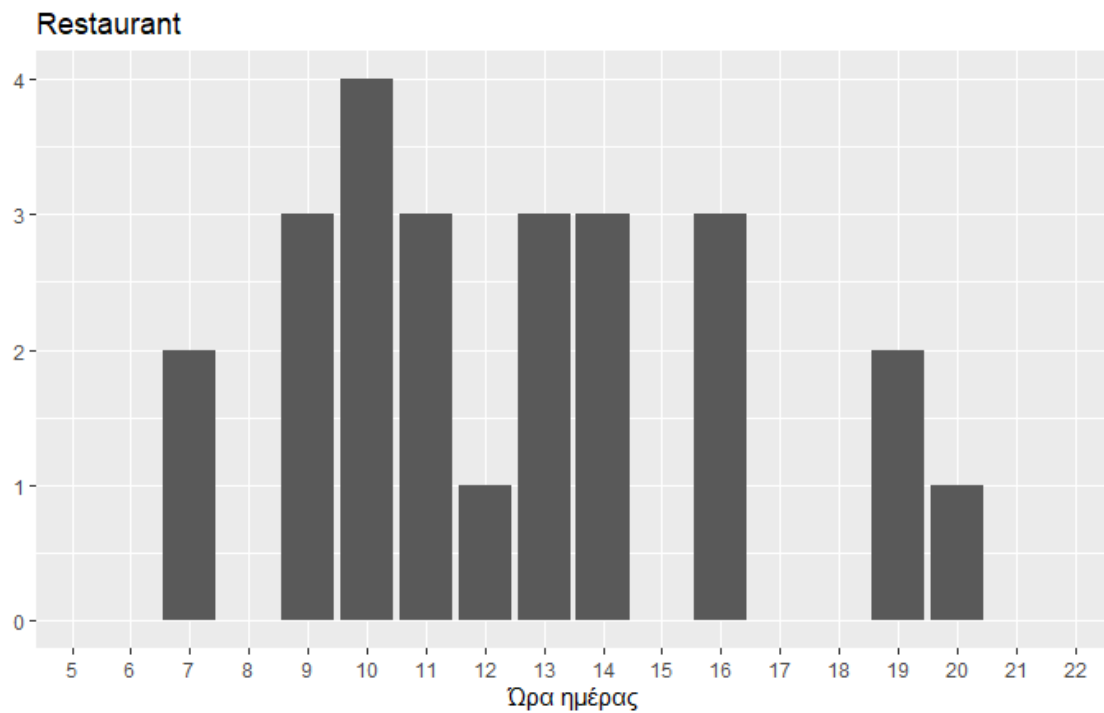


Διάγραμμα 5.20: Συχνότητα φορτίσεων σε εμπορικά κέντρα ανά ώρα

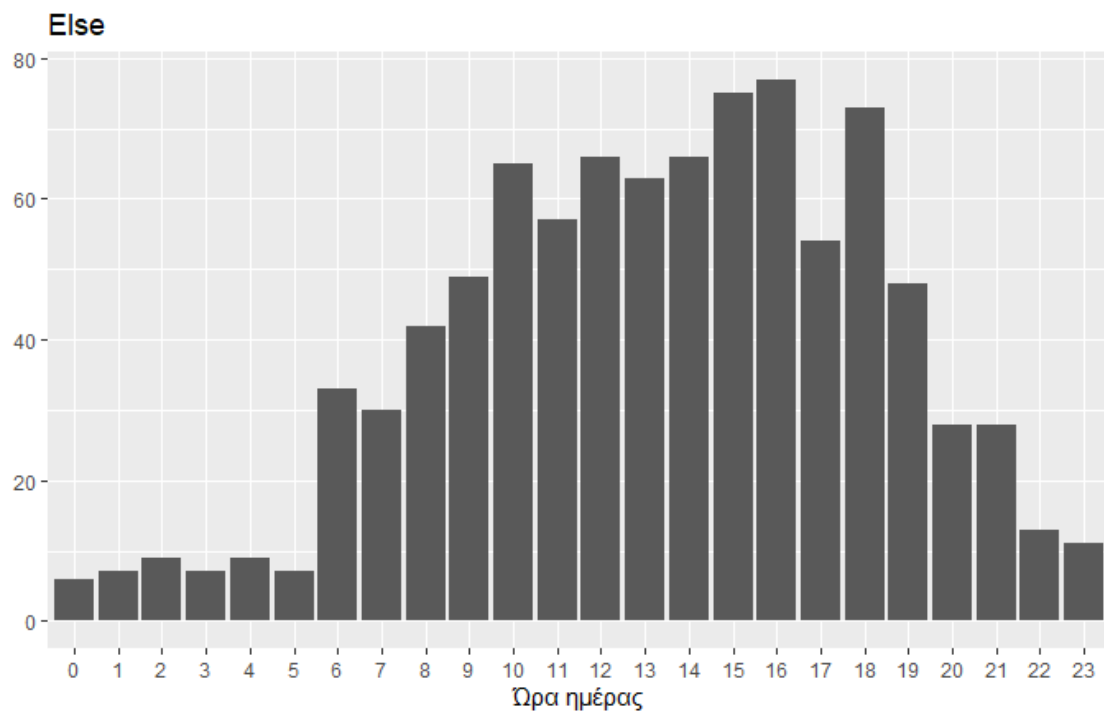


Διάγραμμα 5.21: Συχνότητα φορτίσεων σε ξενοδοχεία ανά ώρα

Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης



Διάγραμμα 5.22: Συχνότητα φορτίσεων σε εστιατόρια ανά ώρα



Διάγραμμα 5.23: Συχνότητα φορτίσεων σε λοιπούς χώρους ανά ώρα

Στο διάγραμμα 5.20 παρουσιάζεται η συχνότητα φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στα εμπορικά κέντρα για κάθε ώρα της ημέρας. Όπως αναμενόταν, οι μεγαλύτερες τιμές παρουσιάζονται τις εργάσιμες ώρες, με μέγιστο τις 81 φορτίσεις που παρατηρούνται στις 9 π.μ. και στις 3 μ.μ.. Αντίθετα, οι μικρότερες τιμές εμφανίζονται κατά τις νυχτερινές ώρες με ελάχιστο τις 4 φορτίσεις που είχαν ώρα έναρξης τις 2 π.μ..

## Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

Στο διάγραμμα 5.21 παρουσιάζεται η συχνότητα με την οποία αξιοποιούνται οι φορτιστές που εδρεύουν σε ξενοδοχεία. Σε αυτή την περίπτωση παρατηρείται μεγαλύτερη διακύμανση μεταξύ των ωρών της ημέρας στις οποίες εκκινεί η φόρτιση, αφού παρατηρούνται μεγάλες τιμές σε διάφορες ώρες τόσο της ημέρας, όσο και της νύχτας, γεγονός που εξηγείται από το γεγονός ότι σε ένα ξενοδοχείο υπάρχει κινητικότητα καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Η μέγιστη τιμή παρατηρείται στις 6 μ.μ., ενώ η ελάχιστη στις 4 π.μ..

Στο διάγραμμα 5.22 παρουσιάζεται η κατανομή των φορτίσεων από τις λίγες μετρήσεις που είναι διαθέσιμες σε χώρους εστιατορίων. Το χρονικό εύρος που παρατηρούνται μετρήσεις είναι από τις 7 π.μ. έως τις 10 μ.μ., γεγονός αναμενόμενο από τη φύση της λειτουργίας των εστιατορίων. Μέγιστη τιμή παρατηρείται στις 10 π.μ., με 4 μετρήσεις, αλλά το δείγμα είναι πολύ μικρό για να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα.

Τέλος, στο διάγραμμα 5.23 παρουσιάζεται η συχνότητα με την οποία επισκέπτονται οι κάτοχοι ηλεκτρικών οχημάτων τους λοιπούς χώρους που υπάρχουν σταθμοί φόρτισης. Σε αυτούς τους χώρους παρατηρείται έντονη κινητικότητα τις εργάσιμες ώρες, με μέγιστη τιμή τις 77 φορτίσεις που παρατηρούνται στις 6 μ.μ. και ελάχιστη τιμή τις 7 φορτίσεις που παρατηρούνται τα μεσάνυχτα και τις πρώτες πρωινές ώρες. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι πρόκειται για δημόσιους σταθμούς φόρτισης, τους οποίους χρησιμοποιούν πολλοί εργαζόμενοι πολίτες κατά τις εργάσιμες ώρες, τόσο για να επισκεφθούν διάφορα καταστήματα είτε πηγαίνοντας στην εργασία τους. Αυτό ακριβώς το συμπέρασμα αποτελεί την βάση της ανάλυσης που θα ακολουθήσει στην επόμενη παράγραφο, στην οποία θα παρουσιαστεί ένα μοντέλο πρόβλεψης του είδους του χώρου που εδρεύει ο φορτιστής.

## 5.2 Αποτελέσματα μοντέλου πρόβλεψης

Από τα δεδομένα που δημιουργήθηκαν μετά την επεξεργασία του dataset θεωρήθηκαν ως σημαντικότερα η κατανάλωση ενέργειας, ο χρόνος φόρτισης και η ημέρα που πραγματοποιήθηκε η φόρτιση, ενώ από αυτά που προϋπήρχαν η ώρα έναρξης και ο χώρος που βρίσκεται ο φορτιστής. Αρχική πρόθεση της έρευνας ήταν να γίνει ένα μοντέλο πρόβλεψης, στο οποίο ως έξοδος θα ήταν η κατανάλωση της ενέργειας ανά συνθήκη, ωστόσο παρατηρήθηκε ότι οι τιμές που προκύπτουν στην κατανομή της κατανάλωσης δεν έχουν κανονικότητα, συνεπώς η δημιουργία ενός τέτοιου μοντέλου ξεφεύγει από τα πλαίσια της παρούσας Διπλωματικής εργασίας.

Για τον λόγο αυτό, δημιουργήθηκε μία δυαδική μεταβλητή, σχετική με το είδος του χώρου φόρτισης ως εξής:

**Ιδιωτικό περιβάλλον:** οι σταθμοί που βρίσκονται σε εστιατόρια, εμπορικά κέντρα και ξενοδοχεία θεωρήθηκε ότι ανήκουν σε ιδιωτικούς χώρους

**Δημόσιο περιβάλλον:** οι σταθμοί που βρίσκονται σε λοιπούς χώρους θεωρήθηκε ότι ανήκουν σε δημόσιους χώρους (π.χ. δημόσια παρκινγκ).



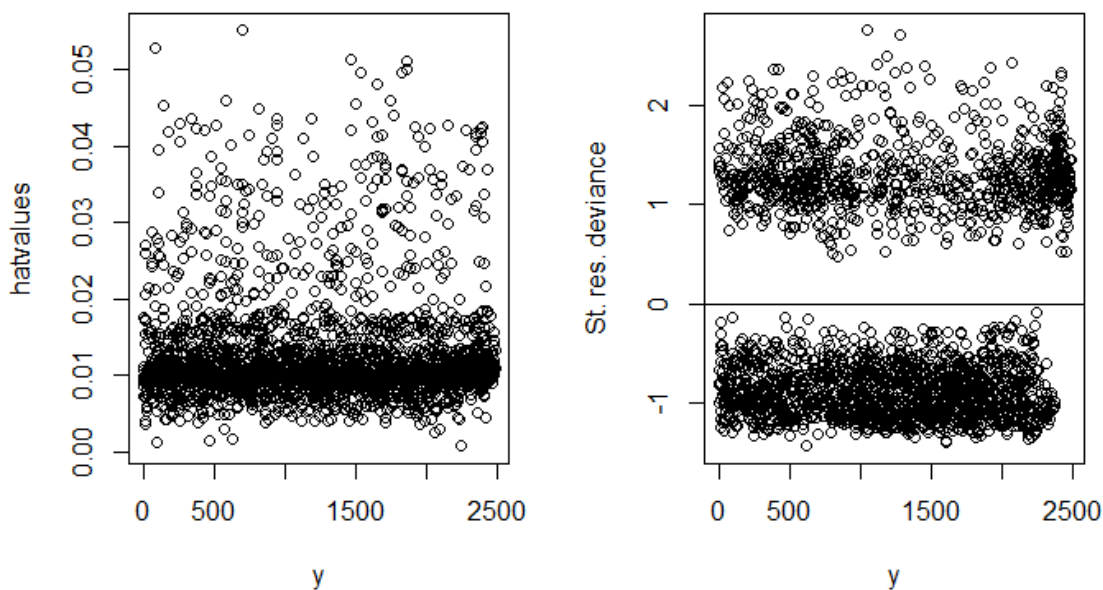
## Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

Δημιουργήσαμε μία μεταβλητή, η οποία ονομάστηκε  $y$ , και παίρνει δύο τιμές. Η τιμή 1 αναφέρεται στην περίπτωση που το περιβάλλον φόρτισης είναι δημόσιος χώρος και 0 στην περίπτωση που είναι ιδιωτικός.

Η ιδιότητα λοιπόν αυτή μελετήθηκε ως προς την κατανάλωση, τον χρόνο φόρτισης, την ώρα έναρξης και την ημέρα που πραγματοποιήθηκε η φόρτιση. Η μέθοδος πρόβλεψης η οποία χρησιμοποιήθηκε είναι αυτή της λογιστικής παλινδρόμησης, η οποία ταιριάζει με δεδομένα που ακολουθούν διωνυμική κατανομή, όπως αυτά που μελετήθηκαν.

### Έλεγχος υπολοίπων

Στο πρώτο στάδιο της ανάλυσης, μετά την επιλογή της μεθόδου, έγινε έλεγχος των υπολοίπων προκειμένου να επαληθευτεί το γεγονός ότι όντως η επιλογή της μεθόδου ήταν κατάλληλη. Παρακάτω παρουσιάζονται στο διάγραμμα 5.24 η τιμή και η τυπική απόκλιση των υπολοίπων για τις διάφορες μεταβλητές που συμμετέχουν στο μοντέλο για κάθε μία από τις μεταβλητές απόκρισης  $y$ .



Διάγραμμα 5.24: Τιμές και τυπικές αποκλίσεις των υπολοίπων κάθε μεταβλητής ανά μεταβλητή απόκρισης

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι τα υπόλοιπα δεν ακολουθούν κάποια συγκεκριμένη κατανομή σε καμία από τις δύο περιπτώσεις, συνεπώς ορθώς επιλέχθηκε το συγκεκριμένο μοντέλο για την πρόβλεψη των δεδομένων.

Μετά από αυτή την επαλήθευση, το επόμενο στάδιο της ανάλυσης είναι η υλοποίηση του μοντέλου. Για τον σκοπό αυτό δημιουργούνται δύο ομάδες δεδομένων. Τα δεδομένα εκπαίδευσης (train set) του μοντέλου και τα δεδομένα ελέγχου (test set). Το train set αποτελεί το 80% των αρχικών δεδομένων του dataset που χρησιμοποιείται για τη μέθοδο της πρόβλεψης, ενώ το υπόλοιπο 20% χρησιμοποιείται προκειμένου να γίνει ο έλεγχος

## Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

της εγκυρότητας του μοντέλου, προκειμένου να διαπιστωθεί αν μπορεί να εφαρμοστεί και σε άγνωστα δεδομένα και να προβλέψει την τιμή που θα έχουν αυτά.

Εκπαιδύεται, λοιπόν, το μοντέλο στα δεδομένα του train set και από αυτή τη διαδικασία προκύπτουν οι συντελεστές των μεταβλητών που εισάγονται ως δεδομένα στο μοντέλο πρόβλεψης (χρόνος φόρτισης, κατανάλωση ενέργειας, ώρα έναρξης φόρτισης, ημέρα φόρτισης) προκειμένου αυτό να αποκριθεί το είδος του χώρου στον οποίο βρίσκεται ο σταθμός φόρτισης. Στη συνέχεια, χρησιμοποιούνται αυτοί οι συντελεστές στα δεδομένα του test set και προκύπτει μία τιμή για την μεταβλητή  $y$ . Στο σημείο αυτό διακρίνονται δύο περιπτώσεις: η τιμή της απόκρισης του μοντέλου στο test set να είναι μεγαλύτερη από 0,5 και η τιμή της απόκρισης να είναι μικρότερη ή ίση του 0,5. Στην πρώτη περίπτωση, αποδίδουμε την τιμή 1 στην μεταβλητή απόκρισης, ενώ στη δεύτερη την τιμή 0, προκειμένου να μπορεί να γίνει σύγκριση με την τιμή που έχει η μεταβλητή  $y$  στο test set για τις ίδιες μεταβλητές εισόδου και να διαπιστωθεί η ακρίβεια και η αποτελεσματικότητα της μεθόδου πρόβλεψης που ακολουθήθηκε.

Με δεδομένα τα παραπάνω εκτελείται ο αλγόριθμος που υλοποιεί το μοντέλο σε γλώσσα R και προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας (Confusion Matrix) που παρουσιάζει το πόσα από τα αποτελέσματα που προκύπτουν ταυτίζονται με τα πραγματικά και πόσα όχι. Ως «θετικό» ορίζεται η περίπτωση στην οποία η μεταβλητή απόκρισης  $y$ , λαμβάνει την τιμή 1, δηλαδή είναι δημόσιος χώρος φόρτισης και ως «αρνητικό» η περίπτωση που λαμβάνει την τιμή 0, δηλαδή πρόκειται για ιδιωτικό χώρο.

Από το μοντέλο πρόβλεψης που εφαρμόστηκε προκύπτει ο ακόλουθος Confusion Matrix:

	<b>ΘΕΤΙΚΟ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ</b>	<b>ΑΡΝΗΤΙΚΟ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ</b>
<b>ΘΕΤΙΚΟ ΣΤΑ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ</b>	62	122
<b>ΑΡΝΗΤΙΚΟ ΣΤΑ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ</b>	0	312

Πίνακας 5.1: Confusion Matrix του μοντέλου πρόβλεψης που χρησιμοποιήθηκε

Στον Confusion Matrix διακρίνονται 4 περιπτώσεις:

- i) Αληθώς θετικό (True Positive): Η τιμή που προκύπτει από την πρόβλεψη λαμβάνει την τιμή 1 (δημόσιος χώρος) και στα αλήθεια ο χώρος στον οποίο βρίσκεται το όχημα είναι δημόσιος.
- ii) Ψευδώς θετικό (False Positive): Η τιμή που προκύπτει από την πρόβλεψη λαμβάνει την τιμή 1, ενώ στην πραγματικότητα πρόκειται για φόρτιση σε ιδιωτικό χώρο.

Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

iii) Αληθώς αρνητικό (True Negative): Η τιμή που προκύπτει από την πρόβλεψη λαμβάνει την τιμή 0 (ιδιωτικός χώρος) και στα αλήθεια ο χώρος στον οποίο βρίσκεται το όχημα είναι ιδιωτικός.

iv) Ψευδώς αρνητικό (False Negative): Η τιμή που προκύπτει από την πρόβλεψη λαμβάνει την τιμή 0, ενώ στην πραγματικότητα πρόκειται για φόρτιση σε δημόσιο χώρο.

Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι οι τιμές που έχουν ορθό αποτέλεσμα είναι αυτές που βρίσκονται στη διαγώνιο του πίνακα. Συνεπώς, η ακρίβεια (accuracy) του μοντέλου προκύπτει από το λόγο του αθροίσματος των στοιχείων της διαγωνίου προς το άθροισμα όλων των στοιχείων του πίνακα. Αν οριστούν ως  $a$  και  $d$  τα στοιχεία της διαγωνίου και  $b, c$  τα άλλα δύο στοιχεία του πίνακα, τότε ο μαθηματικός τύπος της ακρίβειας του μοντέλου είναι ο ακόλουθος:

$$acc = \frac{a + d}{a + b + c + d}$$

Στην περίπτωση του μοντέλου που εφαρμόστηκε στην παρούσα εργασία προκύπτει ότι η ακρίβεια του είναι της τάξης του **75,4%**.

Το αποτέλεσμα αυτό κρίνεται επαρκές προκειμένου να γίνει ικανοποιητική πρόβλεψη δεδομένων. Κατ' επέκταση, μπορούν να γίνουν δοκιμές σε τυχαία δεδομένα και να διαπιστωθεί με τις συνθήκες που θα δοκιμαστούν σε ποιον χώρο αναμένεται να πραγματοποιείται η φόρτιση.

Πριν από αυτό όμως, πρέπει να διαπιστωθεί ποιες μεταβλητές είναι σημαντικές προκειμένου να παραμετροποιηθούν και να γίνουν οι δοκιμές με τυχαίες τιμές αυτών ως είσοδο στο μοντέλο. Για επίπεδο σημαντικότητας 0,1% οι μόνες μεταβλητές οι οποίες επηρεάζουν το αποτέλεσμα είναι η ενέργεια που καταναλώνεται και ο χρόνος που διαρκεί η φόρτιση. Για το λόγο αυτό το τελικό μοντέλο πρόβλεψης υλοποιήθηκε λαμβάνοντας υπόψη μόνο αυτούς τους δύο παράγοντες.

Γενικεύοντας την εξίσωση (3.1) της παραγράφου 3.1 προκύπτει η ακόλουθη σχέση:

$$y = \frac{e^{b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2}}{1 + e^{b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2}} \quad (5.1)$$

στο μοντέλο που εφαρμόστηκε ισχύει:

$y$  η τιμή της μεταβλητής απόκρισης που προκύπτει από το μοντέλο της λογιστικής παλινδρόμησης,  $b_0$  ο αρχικός όρος του μοντέλου,  $x_1$  η ενέργεια που καταναλώνεται (σε KWh),  $x_2$  ο χρόνος που διαρκεί η φόρτιση (σε min) και  $b_1$  και  $b_2$  οι συντελεστές των αντίστοιχων μεγεθών, όπως αυτοί υπολογίστηκαν στο μοντέλο.

Οι τιμές των συντελεστών είναι:

$$b_0 = -0,179$$

$$b_1 = 0,043$$

$$b_2 = -0,014$$

Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

Με βάση τα παραπάνω μπορεί να εφαρμοστεί πλέον το μοντέλο της πρόβλεψης και για τυχαία δεδομένα χρόνου φόρτισης και κατανάλωσης ενέργειας.

#### Παράδειγμα εφαρμογής 1

Έστω  $x_1 = 10 \text{ KWh}$  και  $x_2 = 65 \text{ min}$ . Τότε η μεταβλητή παίρνει την τιμή:

$$y = \frac{e^{-0,179+0,043 \cdot 10-0,014 \cdot 65}}{1 + e^{-0,179+0,043 \cdot 10-0,014 \cdot 65}} \Rightarrow$$
$$y = 0,341 \rightarrow y = 0$$

Άρα για τις παραπάνω τιμές εισόδου, το μοντέλο προβλέπει ότι η συγκεκριμένη φόρτιση γίνεται σε ιδιωτικό χώρο.

#### Παράδειγμα εφαρμογής 2

Έστω

Έστω  $x_1 = 22 \text{ KWh}$  και  $x_2 = 50 \text{ min}$ . Τότε η μεταβλητή παίρνει την τιμή:

$$y = \frac{e^{-0,179+0,043 \cdot 22-0,014 \cdot 50}}{1 + e^{-0,179+0,043 \cdot 22-0,014 \cdot 50}} \Rightarrow$$
$$y = 0,52 \rightarrow y = 1$$

Άρα για τις παραπάνω τιμές εισόδου, το μοντέλο προβλέπει ότι η συγκεκριμένη φόρτιση γίνεται σε ιδιωτικό χώρο.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή του μοντέλου με τις πραγματικές ταχύτητες φόρτισης, όπως αυτές παρουσιάζονται στο διάγραμμα 5.7 παρατηρείται ότι αυτά ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα, αφού οι λοιποί χώροι παρουσιάζουν ταχύτητες φόρτισης της τάξης των 0,3 KWh/min και μεγαλύτερες, ενώ οι άλλες τρεις κατηγορίες (οι οποίες για το μοντέλο πρόβλεψης θεωρήθηκαν ιδιωτικοί χώροι) έχουν μέση ταχύτητα φόρτισης της τάξης των 0,1 kWh/min.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6:

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας όσα έχουν ειπωθεί στα προηγούμενα κεφάλαια, συνάγεται 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 ποικίλα. Συνεπώς, η μελέτη των ηλεκτρικών οχημάτων (EV) αλλά και η μελέτη των υποδομών τους, είναι άξια προσοχής και γι' αυτό αποτέλεσε το αντικείμενο της παρούσας εργασίας, τα βασικά σημεία της οποίας, αξίζουν να ανακεφαλαιωθούν.

Ο όρος «ηλεκτρικό όχημα» (Electric Vehicle) αναφέρεται σε οποιοδήποτε όχημα χρησιμοποιεί ηλεκτροκινητήρες ως μέσο προώθησης. Οι κύριες κατηγορίες ηλεκτρικών οχημάτων είναι οι εξής:

1. Ηλεκτρικό όχημα μπαταρίας (BEV): Ηλεκτρικός κινητήρας, Μπαταρίες
2. Υβριδικό ηλεκτρικό όχημα (HEV): Ηλεκτρικός και κινητήρας εσωτερικής καύσης, Μπαταρίες, Υπερπυκνωτές
3. Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV) : Ηλεκτρικός και κινητήρας εσωτερικής καύσης, Μπαταρίες, Υπερπυκνωτές
4. Ηλεκτρικό όχημα κυψελών καυσίμου (FCEV) : Ηλεκτρικός κινητήρας, Κυψέλες καυσίμου
5. Extended-Range Electric Vehicle (EREV): Ηλεκτρικός και κινητήρας εσωτερικής καύσης, Μπαταρίες, Υπερπυκνωτές

Αντίστοιχα, οι κύριες κατηγορίες των σημείων φόρτισης είναι οι:

- i) Σταθμοί ημιταχείας φόρτισης που παρέχουν AC ρεύμα
- ii) Σταθμοί ταχείας φόρτισης που παρέχουν AC ρεύμα, εφόσον το επιτρέπει το όχημα
- iii) Σταθμοί ταχείας φόρτισης που παρέχουν DC ρεύμα

Η φόρτιση στους σταθμούς πραγματοποιείται με ζεύκτες που έχουν θεσπιστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Ακόμα, η φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε οικιακά με εγκατάσταση ειδικού εξοπλισμού στην κατοικία, είτε σε δημόσιο χώρο επιλέγοντας ιδιωτικό ή δημόσιο πάροχο.

Όπως έχει αναφερθεί, στην Ελλάδα η χρήση και η αγορά ηλεκτρικών οχημάτων βρίσκεται ακόμα σε πρώιμο στάδιο, σε σύγκριση με άλλες χώρες της Ευρώπης, αφού για το 2020 τα συνολικά ηλεκτρικά οχήματα ήταν 3.135 και τα σημεία φόρτισης, μόλις 334. Παρόλα αυτά, δίνονται σημαντικά κρατικά κίνητρα για την υποστήριξη της ηλεκτροκίνησης όπως χρηματικές επιδοτήσεις, δωρεάν στάθμευση και μηδενικά τέλη κυκλοφορίας. Για να γίνει καλύτερα αντιληπτή η εφαρμογή της ηλεκτροκίνησης, μέρος της εργασίας αποτέλεσε η έρευνα της αγοράς ηλεκτρικών οχημάτων στην Ουγγαρία. Η

## Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

Ουγγαρία είναι μια Ευρωπαϊκή χώρα παρόμοια με την Ελλάδα σε επίπεδο πληθυσμού και έκτασης και γι' αυτό αποτελεί ένα καλό μέτρο σύγκρισης. Έχει αναπτύξει περισσότερο την ηλεκτροκίνηση και μπορεί να “προσομοιώσει” την μελλοντική εικόνα της Ελλάδας. Συνεπώς, τα επόμενα χρόνια, αναμένουμε η ανάπτυξη των ηλεκτρικών οχημάτων στη χώρα μας να ακολουθήσει μια ανοδική πορεία, και οι αριθμοί των EV και των σταθμών φόρτισης να φτάσουν νούμερα, τουλάχιστον αντίστοιχα με αυτά που καταγράφηκαν στην Ουγγαρία το 2020. Συγκεκριμένα, περιμένουμε περίπου τετραπλάσια αύξηση των επιβατικών ηλεκτρικών οχημάτων αλλά και ανάλογη αύξηση των σταθμών φόρτισης. Ενδεικτικά, ο αριθμός μόνο των ταχυφοριστών στην Ελλάδα μελλοντικά θα μπορούσε να πλησιάσει τον αντίστοιχο της Ουγγαρίας και από 81 που είναι τώρα, να τετραπλασιαστεί στους 300. Ακόμα, ακολουθώντας το μοντέλο προόδου της Ουγγαρίας προβλέπουμε για την Ελλάδα ότι στον τομέα των μεταφορών, τουλάχιστον μέχρι το 2030, θα έχουν εισχωρήσει σε ικανοποιητικό βαθμό και τα ηλεκτροκίνητα φορτηγά και λεωφορεία. Τέλος, αναμένουμε συνολικά μεγαλύτερη εξοικείωση με την ηλεκτροκίνηση που συνεπάγεται χαμηλότερα κόστη ηλεκτρικών οχημάτων και εγκατάσταση υποδομών φόρτισης σε πολυσύχναστα και πιο καθημερινής χρήσης σημεία.

Στη συνέχεια της εργασίας, παρουσιάστηκαν κάποιες βασικές μέθοδοι πρόβλεψης δεδομένων, τόσο γραμμικών, όσο και (κυρίως) μη γραμμικών με έμφαση στη λογιστική παλινδρόμηση και στις μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης (SVM). Η πρώτη χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία του μοντέλου που αναπτύσσεται στην παρούσα εργασία και η δεύτερη θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στα υπάρχοντα δεδομένα σε μελλοντική ερευνητική προσπάθεια.

Τα δεδομένα πάνω στα οποία πραγματοποιήθηκε η επεξεργασία στη γλώσσα R έδωσαν κάποια χρήσιμα συμπεράσματα και πληροφορίες ως προς τις συνήθειες των οδηγών και τις δυνατότητες που παρουσιάζουν οι σταθμοί φόρτισης ανάλογα με το είδος του χώρου στον οποίο βρίσκονται. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι παρατηρήθηκε συχνότερη χρήση των σταθμών κατά τις εργάσιμες ώρες με μέγιστο τις 79 εμφανίσεις που παρατηρήθηκαν για ώρα έναρξης στις 15:00 και μέγιστο συνολικό χρόνο φόρτισης για μία συγκεκριμένη ώρα έναρξης τα 18000 περίπου λεπτά που καταγράφονται όταν η φόρτιση ξεκινάει στις 16:00. Ένα άλλο αξιοσημείωτο συμπέρασμα που προκύπτει αφορά την ταχύτητα φόρτισης (ισχύ) ανά είδος χώρου τοποθέτησης του φορτιστή. Τη μέγιστη μέση ισχύ την παρουσιάζουν οι φορτιστές που βρίσκονται στους «λοιπούς χώρους» του dataset και είναι της τάξης των 0,265 KWh/min (16 KW), ενώ η ελάχιστη τιμή του συγκεκριμένου μεγέθους παρατηρείται στα εστιατόρια και είναι της τάξης των 0,1 KWh/min (6 KW). Άλλο ένα ενδιαφέρον αποτέλεσμα που προκύπτει από την επεξεργασία και την ομαδοποίηση των δεδομένων είναι ποιες μέρες παρατηρείται η μέγιστη κινητικότητα στους σταθμούς φόρτισης συνολικά, αλλά και ανά είδος χώρου. Στο σύνολο των φορτιστών, μέγιστη κατανάλωση ενέργειας παρατηρείται το Σάββατο με 4750 KWh. Στους φορτιστές που εδρεύουν σε ξενοδοχεία η μέγιστη επισκεψιμότητα παρατηρείται την Κυριακή με 87 εμφανίσεις και ως προς την έναρξη της φόρτισης η συχνότερη ώρα επίσκεψης είναι στις 18:00 με 34 εμφανίσεις, σε αυτούς που βρίσκονται σε εμπορικά κέντρα η μέγιστη επισκεψιμότητα παρατηρείται την Πέμπτη με 185

## Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

εμφανίσεις και ως προς την έναρξη της φόρτισης η συχνότερη ώρα επίσκεψης είναι στις 9:00 και στις 15:00 με 81 εμφανίσεις, σε αυτούς που βρίσκονται σε εστιατόρια η μέγιστη επισκεψιμότητα παρατηρείται την Πέμπτη και το Σάββατο με 6 εμφανίσεις και ως προς την έναρξη της φόρτισης η συχνότερη ώρα επίσκεψης είναι στις 10:00 με 4 εμφανίσεις και σε αυτούς που βρίσκονται στους «λοιπούς χώρους» η μέγιστη επισκεψιμότητα παρατηρείται την Παρασκευή και το Σάββατο με 151 εμφανίσεις και ως προς την έναρξη της φόρτισης η συχνότερη ώρα επίσκεψης είναι στις 16:00 με 77 εμφανίσεις.

Αφού ολοκληρώθηκε η ανάλυση των δεδομένων και η απεικόνισή τους με μεθόδους περιγραφικής στατιστικής, δημιουργήθηκε ένα μοντέλο πρόβλεψης του χώρου φόρτισης με τη μέθοδο της λογιστικής παλινδρόμησης, το οποίο δέχεται ως είσοδο μία τιμή καταναλισκόμενης ενέργειας και μία τιμή χρόνου φόρτισης και επιστρέφει το αν το περιβάλλον φόρτισης είναι δημόσιο ή ιδιωτικό, σύμφωνα με τη θεώρηση ότι τα εστιατόρια, τα ξενοδοχεία και τα εμπορικά κέντρα αποτελούν ιδιωτικά περιβάλλοντα φόρτισης και οι λοιποί χώροι δημόσια.

Ως πρόταση για μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να αποτελέσει η πρόβλεψη της συγκεκριμένης μεταβλητής με κάποια άλλη μέθοδο, όπως οι μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης (SVM) ή η δημιουργία μοντέλου τέτοιου, το οποίο θα μπορεί να δίνει ως έξοδο την κατανάλωση ενέργειας που αναμένεται να πραγματοποιηθεί σε κάθε φόρτιση.

Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου  
πρόβλεψης χώρου φόρτισης



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. J. Quirós-Tortós, L. F. Ochoa and B. Lees, "A statistical analysis of EV charging behavior in the UK," 2015 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Latin America (ISGT LATAM), Montevideo, Uruguay, 2015, pp. 445-449, doi: 10.1109/ISGT-LA.2015.7381196.
2. Yang, J., Wu, F., Yan, J., Lin, Y., Zhan, X., Chen, L., Liao, S., Xu, J. and Sun, Y., 2020. Charging demand analysis framework for electric vehicles considering the bounded rationality behavior of users. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 119, p.105952.
3. Jian, L., Yongqiang, Z. and Hyoungmi, K., 2018. The potential and economics of EV smart charging: A case study in Shanghai. *Energy Policy*, 119, pp.206-214.
4. J. Quirós-Tortós, A. N. Espinosa, L. F. Ochoa and T. Butler, "Statistical Representation of EV Charging: Real Data Analysis and Applications," 2018 Power Systems Computation Conference (PSCC), Dublin, Ireland, 2018, pp. 1-7, doi: 10.23919/PSCC.2018.8442988.
5. Mies, J., Helmus, J. and van den Hoed, R., 2018. Estimating the Charging Profile of Individual Charge Sessions of Electric Vehicles in The Netherlands. *World Electric Vehicle Journal*, 9(2), p.17.
6. Sadeghianpourhamami, N., Refa, N., Strobbe, M. and Develder, C., 2018. Quantitative analysis of electric vehicle flexibility: A data-driven approach. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 95, pp.451-462.
7. Morrissey, P., Weldon, P. and O'Mahony, M., 2016. Future standard and fast charging infrastructure planning: An analysis of electric vehicle charging behaviour. *Energy Policy*, 89, pp.257-270.
8. Ge, X., Shi, L., Fu, Y., Muyeen, S., Zhang, Z. and He, H., 2020. Data-driven spatial-temporal prediction of electric vehicle load profile considering charging behavior. *Electric Power Systems Research*, 187, p.106469.
9. Ren, X., Zhang, H., Hu, R. and Qiu, Y., 2019. Location of electric vehicle charging stations: A perspective using the grey decision-making model. *Energy*, 173, pp.548-553.
10. Un-Noor, F., Padmanaban, S., Mihet-Popa, L., Mollah, M. and Hossain, E., 2017. A Comprehensive Study of Key Electric Vehicle (EV) Components, Technologies, Challenges, Impacts, and Future Direction of Development. *Energies*, 10(8), p.1217.
11. Boser, Guyon, Vapnik, A Training Algorithm for Optimal Margin Classifiers, 1992

12. IEA. 2021. *Global EV Outlook 2020 – Analysis - IEA*.  
<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>
13. Eafo.eu. 2021. *Home / EAFO*.  
<https://eafo.eu/>
14. Avere.org. 2021. *AVERE – The European Association for Electromobility*.  
<https://www.aveer.org/>
15. Acea.be. 2021. *ACEA - European Automobile Manufacturers' Association*.  
<https://www.acea.be/>
16. ΕΛ.ΙΝ.Η.Ο. 2021. *ΕΛ.ΙΝ.Η.Ο – Ελληνικό Ινστιτούτο Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων ΕΛ.ΙΝ.Η.Ο*. <https://www.heliev.gr/>
17. Gov.gr. 2021. *Φύλλα Εφημερίδας της Κυβέρνησης (ΦΕΚ) - Gov.gr*.  
<https://www.gov.gr/arxes/oloi-foreis/ethniko-tupographeio/phulla-ephemeridas-tes-kuberneses-phek>
18. Plugshare.com. 2021. `{{ ngMeta['og:title'] }}`.  
<https://www.plugshare.com/>
19. Fortizo.gr. 2021. *Fortizo*.  
<https://fortizo.gr/>
20. LeasePlan. 2021. *Fleet Management Company | Vehicle Fleet Leasing Solutions*.  
<https://www.leaseplan.com/en-us/>
21. RStudio. *RStudio Team (2020). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston*,  
<http://www.rstudio.com/>
22. Iec.ch. 2021. *Homepage | IEC*.  
<https://www.iec.ch/homepage>

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Στο Παράρτημα παρουσιάζεται ο κώδικας σε γλώσσα R που συντάχθηκε τόσο για την ανάλυση και την οπτικοποίηση των δεδομένων που υπήρχαν στο αρχικό dataset, όσο και για τη δημιουργία του μοντέλου πρόβλεψης και είναι ο ακόλουθος:

```
data <- read.csv("data.csv")
library(hms)
library(lubridate)
library(DT)
library(dplyr)
library(ggplot2)
library(plyr)
library("magrittr")
library(ggpubr)
library('recipes')

#ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

stime <- ymd_hms(data$start_timestamp)
endtime <- ymd_hms(data$stop_timestamp)
difftm <- round(difftime(endtime,stime,units = "mins",tz = "UTC"),2)
difvl <- data$stop_value - data$start_value
data$difftm <- difftm
data$difvl <- difvl/1000
#διατήρηση μόνο "λογικών" δεδομένων
log_data <- (data[(data$difftm>5) & (data$difftm<500) & (data$difvl>0),])
log_data <- log_data[c(-2),]

#οπτικοποίηση ανάλογα με τη ενεργεια που καταναλώνεται
#κατηγοριοποίηση δεδομένων με βάση το όνομα
tag_sum <- aggregate(log_data, by = list(log_data$id_tag), FUN = mean)
tag <- (tag_sum[,c(-3,-5,-6,-8,-10,-11,-12)])
names(tag)[1] <- "tag_id"

ggplot(head(tag,17))+aes(x=tag_id,y=difvl)+geom_bar(stat="identity")+
theme(axis.text.x=element_text(angle = 55,vjust = 1,hjust = 1)) + xlab("Όνομα σταθμού
φόρτισης")+
ylab("Μέση καταναλισκόμενη ενέργεια φόρτισης (KWh)")

ggplot(tail(tag,17))+aes(x=tag_id,y=difvl)+geom_bar(stat="identity")+
theme(axis.text.x=element_text(angle = 55,vjust = 1,hjust = 1)) + xlab("Όνομα σταθμού
φόρτισης")+
ylab("Μέση καταναλισκόμενη ενέργεια φόρτισης (KWh)")

#κατηγοριοποίηση δεδομένων με βάση το είδος του χώρου
idiothta_sum <- aggregate(log_data, by = list(log_data$idiothta), FUN = mean)
```

Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

```
idiothta <- idiothta_sum[,c(-3,-5,-6,-8,-10,-11,-12)]  
names(idiothta)[1] <- "idiothta"
```

```
ggplot(idiothta)+aes(x=idiothta,y=difv1)+geom_bar(stat="identity")+  
  theme(axis.text.x=element_text(angle = 0,vjust = 2,hjust = 0.5)) + xlab("Είδος χώρου  
φόρτισης")+  
  ylab("Μέση καταναλισκόμενη ενέργεια φόρτισης (KWh)")
```

```
#οπτικοποίηση ανάλογα με το χρόνο φόρτισης  
#κατηγοριοποίηση δεδομένων με βάση το όνομα  
ggplot(head(tag,17))+aes(x=tag_id,y=diftm)+geom_bar(stat="identity")+  
  theme(axis.text.x=element_text(angle = 55,vjust = 1,hjust = 1)) + xlab("Όνομα σταθμού  
φόρτισης")+  
  ylab("Μέσος χρόνος φόρτισης (mins)")
```

```
ggplot(tail(tag,17))+aes(x=tag_id,y=diftm)+geom_bar(stat="identity")+  
  theme(axis.text.x=element_text(angle = 55,vjust = 1,hjust = 1)) + xlab("Όνομα σταθμού  
φόρτισης")+  
  ylab("Μέσος χρόνος φόρτισης (mins)")
```

```
#κατηγοριοποίηση δεδομένων με βάση το είδος του χώρου  
ggplot(idiothta)+aes(x=idiothta,y=diftm)+geom_bar(stat="identity")+  
  theme(axis.text.x=element_text(angle = 0,vjust = 2,hjust = 0.5)) + xlab("Είδος χώρου  
φόρτισης")+  
  ylab("Μέσος χρόνος φόρτισης (mins)")
```

```
#κατηγοριοποίηση δεδομένων με βάση την ώρα της ημέρας  
log_sttime <- ymd_hms(log_data$start_timestamp)  
log_endtime <- ymd_hms(log_data$stop_timestamp)  
log_data$hrs <- hour(log_sttime)  
num_hrs<-table(log_data$hrs)  
sttime <- aggregate(log_data[,c(-2,-4,-5,-7,-9,-10,-11,-14)], by = list(log_data$hrs), FUN  
= mean)  
names(sttime)[1] <- "hour"  
sttime$count <- num_hrs  
sttime$hour[sttime$hour >23] <- c(0)
```

```
ggplot(sttime)+aes(x=hour,y=diftm)+geom_bar(stat="identity")+  
  theme(axis.text.x=element_text(angle = 0,vjust = 2,hjust = 0.5)) + xlab("Ωρα ημέρας")+  
  ylab("Μέσος χρόνος φόρτισης (mins)")
```

```
ggplot(sttime)+aes(x=hour,y=count)+geom_bar(stat="identity")+  
  theme(axis.text.x=element_text(angle = 0,vjust = 2,hjust = 0.5)) + xlab("Ωρα ημέρας")+  
  ylab("Συχνότητα εμφάνισης ώρας")
```

```
#Συνολική ώρα φόρτισης ανά ώρα ημέρας
```

Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

```
sttime_tot <- aggregate(log_data[,c(-2,-4,-5,-7,-9,-10,-11,-14,-15)], by = list(log_data$hrs), FUN = sum)
names(sttime_tot)[1] <- "hour"
```

```
ggplot(sttime_tot)+aes(x=hour,y=diftm)+geom_bar(stat="identity")+
  theme(axis.text.x=element_text(angle = 0,vjust = 2,hjust = 0.5)) + xlab("Ωρα ημέρας")+
  ylab("Συνολικός χρόνος φόρτισης (mins)")
```

```
#κατηγοριοποίηση δεδομένων με βάση την ημέρα
log_data$day <- wday(ymd_hms(log_data$start_timestamp),label = TRUE, abbr = FALSE)
dayt <- aggregate(log_data[,c(-2,-4,-5,-7,-9,-10,-11,-14,-15)],by = list(log_data$day), FUN = sum)
names(dayt)[1] <- "days"
```

```
#μέσος χρόνος ημέρας ανά σταθμό
dayt$meantime <- dayt$diftm/table(log_data$day)
dayt$meanenergy <- dayt$difvl/table(log_data$day)
```

```
ggplot(dayt)+aes(x=days,y=diftm)+geom_bar(stat="identity")+
  theme(axis.text.x=element_text(angle = 0,vjust = 2,hjust = 0.5)) + xlab("Ημέρα")+
  ylab("Συνολικός χρόνος φόρτισης (mins)")
```

```
ggplot(dayt)+aes(x=days,y=meantime)+geom_bar(stat="identity")+
  theme(axis.text.x=element_text(angle = 0,vjust = 2,hjust = 0.5)) + xlab("Ημέρα")+
  ylab("Μέσος χρόνος φόρτισης (mins)")
```

```
ggplot(dayt)+aes(x=days,y=difvl)+geom_bar(stat="identity")+
  theme(axis.text.x=element_text(angle = 0,vjust = 2,hjust = 0.5)) + xlab("Ημέρα")+
  ylab("Συνολική κατανάλωση ενέργειας (KWh)")
```

```
ggplot(dayt)+aes(x=days,y=meanenergy)+geom_bar(stat="identity")+
  theme(axis.text.x=element_text(angle = 0,vjust = 2,hjust = 0.5)) + xlab("Ημέρα")+
  ylab("Μέση κατανάλωση ενέργειας (KWh)")
```

```
#οπτικοποίηση ανάλογα με την ταχύτητα φόρτισης
#κατηγοριοποίηση δεδομένων με βάση το είδος του χώρου
idiothta$speed <-idiothta$difvl/as.numeric(idiothta$diftm)
```

```
ggplot(idiothta)+aes(x=idiothta,y=speed)+geom_bar(stat="identity")+
  theme(axis.text.x=element_text(angle = 0,vjust = 2,hjust = 0.5)) +
  xlab("Είδος χώρου φόρτισης") + ylab("Μέση ταχύτητα φόρτισης (KWh/min)")
```

```
#κατηγοριοποίηση δεδομένων με βάση το είδος του φορτιστή
charge_id_sum <- aggregate(log_data, by = list(log_data$charge_box_id), FUN = mean)
charge_id <- charge_id_sum[,c(-3,-5,-6,-8,-10,-11,-12,-16)]
names(charge_id)[1] <- "charge_id"
```

Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

```
charge_id$speed <- charge_id$difv1/as.numeric(charge_id$diftm)

ggplot(charge_id)+aes(x=charge_id,y=speed)+geom_bar(stat="identity")+
  theme(axis.text.x=element_text(angle = 55,vjust = 1,hjust = 1)) +
  xlab("Ταυτότητα φορτιστή")+ ylab("Μέση ταχύτητα φόρτισης (KWh/min)")

#υποπίνακες όλων των δεδομένων ανά κατηγορία χώρου
ld_else <- log_data[log_data$idiothta=="Else",]
else_idtag <- aggregate(ld_else[,c(12,13)], by = list(ld_else$id_tag), FUN = sum)
names(else_idtag)[1] <- "tag_id"
else_idtag$freq <- table(ld_else$id_tag)

ld_rest <- log_data[log_data$idiothta=="Restaurant",]
rest_idtag <- aggregate(ld_rest[,c(12,13)], by = list(ld_rest$id_tag), FUN = sum)
names(rest_idtag)[1] <- "tag_id"
rest_idtag$freq <- table(ld_rest$id_tag)

ld_hotel <- log_data[log_data$idiothta=="Hotel",]
hotel_idtag <- aggregate(ld_hotel[,c(12,13)], by = list(ld_hotel$id_tag), FUN = sum)
names(hotel_idtag)[1] <- "tag_id"
hotel_idtag$freq <- table(ld_hotel$id_tag)

ld_Store <- log_data[log_data$idiothta=="Store",]
store_idtag <- aggregate(ld_Store[,c(12,13)], by = list(ld_Store$id_tag), FUN = sum)
names(store_idtag)[1] <- "tag_id"
store_idtag$freq <- table(ld_Store$id_tag)

#οπτικοποίηση ανά ημέρα για κάθε είδος χώρου
day_freq <- data.frame(table(ld_else$day))
colnames(day_freq) [1:2] <- c("day","Else")
day_rfr <- day_freq
day_rfr$Else <- round((day_freq$Else/sum(day_freq$Else))*100,2)
day_freq$Store <- table((ld_Store$day))
day_rfr$Store <- round((day_freq$Store/sum(day_freq$Store))*100,2)
day_freq$Hotel <- table((ld_hotel$day))
day_rfr$Hotel <- round((day_freq$Hotel/sum(day_freq$Hotel))*100,2)
day_freq$Restaurant <- table((ld_rest$day))
day_rfr$Restaurant <- round((day_freq$Restaurant/sum(day_freq$Restaurant))*100,2)

ggplot(day_freq)+aes(x=day,y=Else)+geom_bar(stat="identity")+
  theme(axis.text.x=element_text(angle = 0,vjust = 1,hjust = 0.5)) +
  xlab("Ημέρα")+ ylab(" ") + ggtitle("Else")

ggplot(day_freq)+aes(x=day,y=Store)+geom_bar(stat="identity")+
  theme(axis.text.x=element_text(angle = 0,vjust = 1,hjust = 0.5)) +
  xlab("Ημέρα")+ ylab(" ") + ggtitle("Store")
```

Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

```
ggplot(day_freq)+aes(x=day,y=Restaurant)+geom_bar(stat="identity")+  
  theme(axis.text.x=element_text(angle = 0,vjust = 1,hjust = 0.5)) +  
  xlab("Ημέρα")+ ylab(" ") + ggtitle("Restaurant")
```

```
ggplot(day_freq)+aes(x=day,y=Hotel)+geom_bar(stat="identity")+  
  theme(axis.text.x=element_text(angle = 0,vjust = 1,hjust = 0.5)) +  
  xlab("Ημέρα")+ ylab(" ") + ggtitle("Hotel")
```

#οπτικοποίηση ανά ώρα για κάθε είδος χώρου

```
hr_freq <- data.frame(table(ld_else$hrs))  
colnames(hr_freq) [1:2] <- c("hrs","Else")  
hr_freq$Store <- table(ld_Store$hrs)  
hr_freq$Hotel <- table(ld_hotel$hrs)  
hr_freq$Restaurant <- 0
```

```
res1 <- data.frame(table(ld_rest$hrs))  
for (i in 1:24) {  
  for (j in 1:nrow(res1)) {  
    if (hr_freq$hrs [i] == res1$Var1 [j]) {  
      hr_freq$Restaurant[i] <- res1$Freq [j]  
    }  
  }  
}
```

```
ggplot(hr_freq)+aes(x=hrs,y=Else)+geom_bar(stat="identity")+  
  theme(axis.text.x=element_text(angle = 0,vjust = 1,hjust = 0.5)) +  
  xlab("Ωρα ημέρας")+ ylab(" ") + ggtitle("Else")
```

```
ggplot(hr_freq)+aes(x=hrs,y=Store)+geom_bar(stat="identity")+  
  theme(axis.text.x=element_text(angle = 0,vjust = 1,hjust = 0.5)) +  
  xlab("Ωρα ημέρας")+ ylab(" ") + ggtitle("Store")
```

```
ggplot(hr_freq [6:23,])+aes(x=hrs,y=Restaurant)+geom_bar(stat="identity")+  
  theme(axis.text.x=element_text(angle = 0,vjust = 1,hjust = 0.5)) +  
  xlab("Ωρα ημέρας")+ ylab(" ") + ggtitle("Restaurant")
```

```
ggplot(hr_freq)+aes(x=hrs,y=Hotel)+geom_bar(stat="identity")+  
  theme(axis.text.x=element_text(angle = 0,vjust = 1,hjust = 0.5)) +  
  xlab("Ωρα ημέρας")+ ylab(" ") + ggtitle("Hotel")
```

```
day_freq1 <- data.frame(table(ld_else$day[(ld_else$hrs > 6) & (ld_else$hrs < 23)]))  
rownames(day_freq1) <- day_freq1[,1]  
day_freq1$Store <- table(ld_Store$day[(ld_Store$hrs > 6) & (ld_Store$hrs < 23)])  
day_freq1 <- day_freq1[,-1]  
names(day_freq1)[1] <- "Else"  
day_freq1$Hotel <- table(ld_hotel$day[(ld_hotel$hrs > 6) & (ld_hotel$hrs < 23)])  
day_freq1$Restaurant <- table(ld_rest$day[(ld_rest$hrs > 6) & (ld_rest$hrs < 23)])
```

Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

```
rownames(day_freq) <- day_freq[,1]
day_freq <- day_freq[,-1]

day_freq2 <- day_freq - day_freq1
day_freq2 <- day_freq2[,c(-2,-4,-6)]
colnames(day_freq2)[2:4]<- c("Store","Hotel","Restaurant")

dayfreq <- data.matrix(day_freq)
dayfreq1 <- data.matrix(day_freq1)
dayfreq2 <- data.matrix(day_freq2)
heatmap(dayfreq, Colv = NA, Rowv = NA, scale="column" ,cexRow = 0.80,
        cexCol = 0.80,main = "Heatmap ημέρας ανά χώρο φόρτισης")

#ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ
dataset <-
data.frame(log_data$id_tag,log_data$idiothta,log_data$diftm,log_data$difvl,log_data$hrs,log_data$day)
colnames(dataset) <- c("id_tag","idiothta","diftm","difvl","hrs","day")
dataset <- na.omit(dataset)
idiothta <- dataset$idiothta
id_tag <- dataset$id_tag
diftm <-dataset$diftm
diftm <- as.numeric(diftm) #numeric
difvl <- dataset$difvl #numeric
hrs <- dataset$hrs
day <- dataset$day

#κατηγοριοποίηση της y - idiothta σε 1 (else, public), 0 (store, restaurant, hotel,private/non-public)
i=0
y=0
for (i in 1:length(idiothta))
{
  if (idiothta[i] == "Else"){
    y[i]<-1}
  else {
    y[i] <- 0
  }
}
y=as.factor(y)
day=as.factor(day)
hrs=as.factor(hrs)

fit<-glm(y~diftm+difvl+hrs+day,family=binomial)
summary(fit)
1-pchisq(fit$deviance,fit$df.residual)
```



Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης

```
#έλεγχος υπολοίπων
res.pearson <-residuals(fit,type="pearson")
stand.pearson.residuals<-res.pearson/(sqrt(1-hatvalues(fit)))
res.deviance<-residuals(fit,type="deviance")
stand.res.deviance<-rstandard(fit)
par(mfrow=c(1,2))
id=1:length(y)
plot(id, res.deviance/(sqrt(1-hatvalues(fit))), ylab="St. res. deviance", xlab = "y")
abline(h=0)
#Για τα σημεία επιρροής
plot(id,hatvalues(fit),xlab = "y", ylab = "hatvalues")

datasetanalysis <-data.frame(y=y,difv1=difv1,diftm=diftm)
library(caret)
sample_n(datasetanalysis, 3)
# Split the data into training and test set
set.seed(123)
training.samples <- datasetanalysis$y %>%
  createDataPartition(p = 0.8, list = FALSE)
train.data <- datasetanalysis[training.samples, ]
test.data <- datasetanalysis[-training.samples, ]
# Fit the model
model <- glm( y ~., data = train.data, family = binomial)
# Summarize the model
summary(model)
# Make predictions
probabilities <- model %>% predict(test.data, type = "response")
predicted.classes <- ifelse(probabilities > 0.5, "1", "0")
# Model accuracy
accuracy=mean(predicted.classes == test.data$y)
Error_rate = 1 - accuracy
observed.classes <- test.data$y
accuracy <- mean(observed.classes == predicted.classes)
accuracy

table(observed.classes,predicted.classes)
head(probabilities)
```