



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**Προοπτικές ηλεκτροκίνησης
με μεγάλη διείσδυση ΑΠΕ στην Ελλάδα**

Διπλωματική Εργασία

Λαγός Δημήτριος

Επιβλέποντες:

Ριζιώτης Βασίλειος, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Κάραλης Γεώργιος Ε.ΔΙ.Π.

Αθήνα

Φεβρουάριος 2019

Περίληψη

Η κλιματική αλλαγή είναι ο βασικότερος παράγοντας που επιτάσσει τον άμεσο ανασχεδιασμό της ενεργειακής πολιτικής σε παγκόσμια κλίμακα. Η κατασπατάληση των ορυκτών αποθεμάτων και η ρύπανση του αέρα, στρέφουν το ενδιαφέρον σε περιβαλλοντικά φιλικούς και ενεργειακά αυτόνομους τρόπους ανάπτυξης. Στον τομέα των μεταφορών, μία ρεαλιστική εναλλακτική έναντι των μηχανών εσωτερικής καύσης αποτελεί το ηλεκτρικό αυτοκίνητο, που αναπτύσσεται ταχύτατα τα τελευταία χρόνια. Ακόμα, με ορίζοντα την πράσινη ανάπτυξη, η ηλεκτροπαραγωγή οφείλει να απεξαρτηθεί από τις μονάδες καύσης λιγνίτη, φυσικού αερίου και πετρελαίου, και να στραφεί στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, των οποίων το διαθέσιμο δυναμικό είναι πλούσιο στη χώρα μας.

Η παρούσα διπλωματική εργασία μελετά τις προοπτικές της ένταξης του ηλεκτρικού αυτοκινήτου στην Ελληνική αγορά, παράλληλα με την ανάπτυξη ενός ηλεκτροπαραγωγικού μοντέλου που στηρίζεται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, με συνδυασμένη χρήση της αποθηκευτικής μεθόδου της αντλησιοταμίευσης. Η διερεύνηση πραγματοποιείται μέσω της υπόθεσης εναλλακτικών σεναρίων διεύθυνσης της ηλεκτροκίνησης και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ελληνικό ηλεκτρικό σύστημα, με ορίζοντα τα έτη αναφοράς 2030 και 2050.

Το ηλεκτρικό σύστημα της χώρας προσομοιώνεται με κατάλληλο λογισμικό και εκτιμάται η τελική διαμόρφωση της ζήτησης ηλεκτρικού φορτίου μετά την ένταξη των ηλεκτροκίνητων οχημάτων και η συνεισφορά όλων των μονάδων επί της παραγόμενης ενέργειας. Η αντλησιοταμίευση χρησιμοποιείται κυρίως για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας που απορρίπτεται από το σύστημα. Παράλληλος στόχος είναι ο περιορισμός της συνεισφοράς των λιγνιτικών μονάδων στην ηλεκτροπαραγωγή, ενώ οι ευέλικτες μονάδες φυσικού αερίου και πετρελαίου αποτελούν σταθεροποιητικό παράγοντα του συστήματος.

Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα αξιολογούνται με οικονομικά και περιβαλλοντικά κριτήρια, υπολογίζοντας τη διαφορά ετήσιων δαπανών κατανάλωσης και εκπομπών CO₂ που προκύπτουν από τη χρήση ηλεκτροκίνητων οχημάτων.

Σκοπός της εργασίας είναι η εκτίμηση της μεταβολής τόσο της συνολικής ετήσιας όσο και της ωριαίας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, λόγω των απαιτήσεων φόρτισης συσσωρευτών που συνεπάγεται η οδήγηση ηλεκτρικών αυτοκινήτων μέσω της προσομοίωσης του ελληνικού ηλεκτρικού συστήματος με μεγάλη διεύθυνση ΑΠΕ συνδυασμένη με αντλησιοταμίευση για την υποστήριξη των ηλεκτρικών οχημάτων.

Abstract

Climate change is the key factor for immediate global energy policy redesign. Waste of mineral reserves and air pollution are pointing the interest on environmental friendly and energy-independent modes of development. In the field of transport, a realistic alternative to internal combustion engines is the electric car, which has been growing rapidly in recent years. Moreover, in the context of green growth, power generation must be decommissioned by lignite, gas and oil plants and turn to renewable energy sources, which have rich capacity available in our country.

This diploma thesis examines the prospects for the integration of the electric car in the Greek market, along with the development of a renewable energy based model, combined with the storage method of pumping. The investigation is carried out through the hypothesis of alternative scenarios of penetration of electrification and renewable energies into the Greek electric system, defining as reference years 2030 and 2050.

The country's electric system is simulated by appropriate software and the final configuration of the demand for electric charge after the integration of electric vehicles and the contribution of all units on the energy production is estimated. Pumping is used to reduce the amount of wind energy discharged from the system. Parallel goal is to limit the contribution of lignite units to electricity generation, while flexible gas and oil plants are a stabilizing factor in the system.

Results are then assessed by economic and environmental criteria, calculating the difference between the annual energy consumption and CO₂ emissions resulting from the use of electric vehicles.

The purpose of this work is to estimate the change in annual electricity consumption on an hourly basis, due to the accumulator charge requirements involved in driving electric cars and the development of an ecological and secure electric power system to support electric vehicles.

Περιεχόμενα

Εισαγωγή	9
Κεφάλαιο 1. Διεθνής και Ευρωπαϊκή πολιτική για την ηλεκτροκίνηση	100
1.1 Η ηλεκτροκίνηση σε παγκόσμιο επίπεδο	100
1.1.1 Σημερινή κατάσταση της ηλεκτροκίνησης.....	100
1.1.2 Μείγμα ηλεκτροπαραγωγής.....	111
1.1.3 Στόχοι	122
1.2 Η ηλεκτροκίνηση στην Ευρώπη.....	133
1.2.1 Σημερινή κατάσταση της ηλεκτροκίνησης.....	133
1.2.2 Μείγμα ηλεκτροπαραγωγής.....	14
1.2.3 Στόχοι	15
Κεφάλαιο 2. Ηλεκτροκίνηση και ενεργειακός σχεδιασμός της Ελλάδας.....	18
2.1 Σημερινή κατάσταση.....	18
2.1.1 Ηλεκτροκίνηση.....	18
2.1.2 Ενεργειακό σύστημα	19
2.2 Ενεργειακός Σχεδιασμός.....	20
2.2.1 Εξέλιξη έως το 2030.....	20
2.2.2 Εξέλιξη έως το 2050.....	22
2.2.3 Σχολιασμός των στόχων για την ηλεκτροκίνηση	23
2.2.4 Προκλήσεις λόγω της μεγαλύτερης διείσδυσης των ΑΠΕ στο δίκτυο	25
Κεφάλαιο 3. Ηλεκτρικό αυτοκίνητο	26
3.1 Ιστορική εξέλιξη.....	26
3.1.1 Πρώτη εμφάνιση ηλεκτροκίνητου αυτοκινήτου	26
3.1.2 Άνοδος και γρήγορη πτώση.....	27
3.1.3 Το ηλεκτρικό αυτοκίνητο ξανά στο προσκήνιο	28
3.2 Τύποι ηλεκτρικών αυτοκινήτων.....	28
3.2.1 Επαναφορτιζόμενα από το δίκτυο υβριδικά αυτοκίνητα P.H.E.V	29
3.2.2 Ηλεκτρικά αυτοκίνητα με συσσωρευτές και ηλεκτροπαραγωγική μονάδα E.R.E.V.....	30
3.2.3 Ηλεκτρικά αυτοκίνητα με συσσωρευτές που επαναφορτίζονται από το δίκτυο B.E.V.....	32
3.2.4 Ηλεκτρικά αυτοκίνητα με κυψέλες καυσίμου F.C.E.V.....	33
3.3 Συσσωρευτές και αυτονομία	35
3.3.1 Τύποι συσσωρευτών και σύγκριση χαρακτηριστικών	35
3.3.2 Κόστος συσσωρευτών τα τελευταία χρόνια	37
3.3.3 Αυτονομία και επιθυμητή αυτονομία	38
3.4 Φόρτιση των συσσωρευτών	39
3.4.1 Τρόποι φόρτισης.....	39
3.4.2 Ρευματοδότες και βύσματα	41
3.4.3 Η ισχύς των φορτιστών και οι χρόνοι φόρτισης.....	42
3.5 Οικονομία.....	44
3.6 Η προοπτική επέκτασης της ηλεκτροκίνησης σε όλους τους κλάδους των μεταφορών.....	45

3.6.1 Ηλεκτροκίνηση στις δημόσιες μεταφορές.....	45
3.6.2 Ηλεκτροκίνηση στις θαλάσσιες μεταφορές-Cold Ironing.....	47
3.6.3 Ηλεκτροκίνηση στις εναέριες μεταφορές.....	47
3.6.4 Έξυπνα Δίκτυα-Smart Grids.....	48
Κεφάλαιο 4. Μεθοδολογία.....	50
4.1 Εναλλακτικά σενάρια μελέτης.....	50
4.2 Ετήσια χρονοσειρά ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας.....	53
4.3 Προσομοίωση παραγωγής αιολικών και φωτοβολταϊκών.....	54
4.4 Ανάλυση μοντέλου προσομοίωσης.....	57
4.4.1 Μέθοδος εισαγωγής μονάδων ηλεκτροπαραγωγής.....	57
4.4.2 Παραδοχές.....	59
4.5 Βασικοί υπολογισμοί προσομοίωσης.....	60
4.6 Εφαρμογή της αντλησιοταμίευσης για αύξηση της εγκατάστασης αιολικών και φωτοβολταϊκών.....	63
4.7 Ένταξη του ηλεκτρικού αυτοκινήτου στο υπολογιστικό μοντέλο.....	65
4.7.1 Παραδοχές-Εκτιμήσεις.....	65
4.7.1.1 Μεταβολή συνολικού αριθμού επιβατικών αυτοκινήτων για τα εξεταζόμενα έτη.....	65
4.7.1.2 Μέση κατανάλωση ενέργειας ηλεκτρικού αυτοκινήτου.....	68
4.7.1.3 Ημερήσιο μοντέλο χρήσης αυτοκινήτου ιδιωτικής χρήσης.....	68
4.7.1.4 Εκτίμηση της ημερήσιας καμπύλης φόρτισης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων.....	69
4.7.2 Υπολογισμός της νέας συνολικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας.....	700
4.8 Δείκτες αξιοπιστίας.....	71
4.8.1 Δείκτης αναμενόμενης απώλειας φορτίου.....	71
4.8.2 Δείκτης αναμενόμενης μη τροφοδοτούμενης ενέργειας.....	72
Κεφάλαιο 5. Αποτελέσματα προσομοίωσης.....	73
5.1 Έτος 2030.....	73
5.1.1 Ρεαλιστικό σενάριο.....	73
5.1.2 Ενδιάμεσο σενάριο.....	76
5.1.3 Αισιόδοξο σενάριο.....	79
5.1.4 Σύνοψη έτους 2030.....	82
5.2 Έτος 2050.....	83
5.2.1 Ρεαλιστικό σενάριο.....	83
5.2.2 Ενδιάμεσο σενάριο.....	86
5.2.3 Αισιόδοξο σενάριο.....	89
5.2.4 Σύνοψη έτους 2050.....	92
5.3 Ανάλυση ευαισθησίας - Ποσοστό στιγμιαίας διείσδυσης αιολικών.....	93
5.4 Θεωρητικό σενάριο.....	95
5.6 Καμπύλες διάρκειας ζήτησης.....	98
5.6.1 Έτος 2030.....	98
5.6.2 Έτος 2050.....	100
5.6.3 Θεωρητικό σενάριο.....	101
5.6.4 Σχολιασμός.....	102

Κεφάλαιο 6. Ετήσια εξοικονόμηση δαπανών κατανάλωσης και εκπομπών CO ₂	103
6.1 Ετήσια εξοικονόμηση δαπανών κατανάλωσης	103
6.1.1 Αντικατάσταση βενζινοκίνητου με ηλεκτρικό αυτοκίνητο σήμερα.....	105
6.1.2 Συνολική ετήσια εξοικονόμηση δαπανών κατανάλωσης για κάθε σενάριο μελέτης	106
6.2 Διαφορά εκπομπών CO ₂	113
Συμπεράσματα	118
Βιβλιογραφία	1200

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2.1: Χάρτης σημείων φόρτιση[21].	24
Εικόνα 2.2 Ενδεικτικός αριθμός σημείων φόρτισης ανά πόλη[7].	24
Εικόνα 3.1: Flocken Elektrowagen, 1888 (reconstruction, 2011)[24].	26
Εικόνα 3.2: La Jamais Contente - Mondial de l'Automobile de Paris 2014[25].	26
Εικόνα 3.3: Τα μοντέλα E800, Bicini και Miner της «ENFIELD NEORION E.Π.Ε.»[26].	27
Εικόνα 3.4: Στοιχειώδη μέρη ενός P.H.E.V[29].	29
Εικόνα 3.5: Καταστάσεις λειτουργίας ενός P.H.E.V[27].	29
Εικόνα 3.6: Στοιχειώδη μέρη ενός E.R.E.V[29].	31
Εικόνα 3.7: Στοιχειώδη μέρη ενός B.E.V[29].	32
Εικόνα 3.8: Στοιχειώδη μέρη ενός F.C.E.V[29].	33
Εικόνα 3.9: Mode1[44].	40
Εικόνα 3.10: Mode2[44].	40
Εικόνα 3.11: Mode3[44].	40
Εικόνα 3.12: Mode4[44].	41
Εικόνα 3.13: Υποδοχή και βύσμα Τύπου 1[44].	41
Εικόνα 3.14: Υποδοχή και βύσμα Τύπου 2[44].	41
Εικόνα 3.15: Υποδοχή και ακροσύνδεσμος τύπου IEK 62196-Type 2[44].	42
Εικόνα 3.16: Ακροσύνδεσμος τύπου Combo 2 (IEK 62196-3)[44].	42
Εικόνα 3.17: Θεματικοί άξονες του προγράμματος ELIPTIC[46].	46
Εικόνα 3.18: Cold Ironing[48].	47
Εικόνα 3.19: Smart Charging[51].	49
Εικόνα 4.1: Επιλογή σημείων παραγωγής χρονοσειρών ανέμου μέσω του μεσοκλιματικού μοντέλου[53].	55

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1: Απαγόρευση κυκλοφορίας συμβατικών οχημάτων σε κάθε χώρα και αντίστοιχο έτος[14].	16
Πίνακας 1.2: Απαγόρευση κυκλοφορίας συμβατικών οχημάτων σε κάθε πόλη και αντίστοιχο έτος[14].	17
Πίνακας 2.1: Ποσοτικοί στόχοι μείωσης των εθνικών εκπομπών ορισμένων ατμοσφαιρικών ρύπων για την περίοδο 2020-2029 και για το έτος 2030 σε σχέση με το έτος 2005[19].	20
Πίνακας 3.1: Καταστάσεις λειτουργίας ενός P.H.E.V. για διαφορετικούς τύπους οδήγησης[27].	30
Πίνακας 3.2: Χαρακτηριστικά Mitsubishi Outlander PHEV 2108[28].	30
Πίνακας 3.3: Χαρακτηριστικά Chevrolet Volt 2108[28].	31
Πίνακας 3.4: Χαρακτηριστικά Nissan Leaf 2108[31].	33

Πίνακας 3.5: Χαρακτηριστικά Honda Clarity 2108[34].....	34
Πίνακας 3.6: Συγκριτική παρουσίαση των τεσσάρων τύπων συσσωρευτών EV[36].	37
Πίνακας 3.7: Τύποι και χρόνος φόρτισης[44].	43
Πίνακας 4.1: Συνοπτική παρουσίαση των εναλλακτικών σεναρίων μελέτης για κάθε έτος.....	52
Πίνακας 5.1: Τιμές ζήτησης.....	73
Πίνακας 5.2: Στοιχεία μονάδων ηλεκτροπαραγωγής.	76
Πίνακας 5.3: Τιμές ζήτησης.....	77
Πίνακας 5.4: Στοιχεία μονάδων ηλεκτροπαραγωγής.	78
Πίνακας 5.5: Τιμές ζήτησης.....	79
Πίνακας 5.6: Στοιχεία μονάδων ηλεκτροπαραγωγής.	81
Πίνακας 5.7: Σύνοψη έτους 2030.	82
Πίνακας 5.8: Τιμές ζήτησης.....	83
Πίνακας 5.9: Στοιχεία μονάδων ηλεκτροπαραγωγής.	85
Πίνακας 5.10: Τιμές ζήτησης.....	86
Πίνακας 5.11: Στοιχεία μονάδων ηλεκτροπαραγωγής.	88
Πίνακας 5.12: Τιμές ζήτησης.....	89
Πίνακας 5.13: Στοιχεία μονάδων ηλεκτροπαραγωγής.	91
Πίνακας 5.14: Σύνοψη έτους 2050.	93
Πίνακας 5.15: Αποτελέσματα ανάλυσης ευαισθησίας ποσοστού στιγμιαίας διείσδυσης αιολικών.....	94
Πίνακας 5.16: Τιμές ζήτησης.....	95
Πίνακας 5.17: Στοιχεία μονάδων ηλεκτροπαραγωγής.	97
Πίνακας 6.1: Μείωση εκπομπών CO ₂ στις ιδιωτικές μεταφορές από το ηλεκτρικό αυτοκίνητο ανά σενάριο.	115
Πίνακας 6.2: Μείωση εκπομπών CO ₂ από την μείωση της ηλεκτροπαραγωγής των λιγνιτικών μονάδων ανά σενάριο.....	115
Πίνακας 6.3: Μείωση εκπομπών CO ₂ από την μείωση της ηλεκτροπαραγωγής των μονάδων ΦΑ και πετρελαίου ανά σενάριο.	115
Πίνακας 6.4: Συνολική μείωση εκπομπών CO ₂ από EV, λιγνιτικά, ΦΑ και πετρέλαιο και ποσοστό μείωσης σε σχέση με το 2005 ανά σενάριο.	Error! Bookmark not defined. 16

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1.1: Αριθμός EV ανά χώρα παγκοσμίως[1].	10
Σχήμα 1.2: Παγκόσμιο μείγμα ηλεκτροπαραγωγής για το έτος 2018 [3].	11
Σχήμα 1.3: Παγκόσμια εγκατάσταση ΑΠΕ, 2007-2017[3].	Error! Bookmark not defined.
Σχήμα 1.4: Εναλλακτικά σενάρια ηλεκτροκίνησης για το 2030[1].....	12
Σχήμα 1.5: Εκπομπές CO ₂ το έτος 2030 για κάθε σενάριο[1].....	12

Σχήμα 1.6: Πωλήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων τα τελευταία έτη στην Ευρώπη[1]..	13
Σχήμα 1.7: Αριθμός πωλήσεων στην Ευρώπη και στον κόσμο 2017[7][8].	13
Σχήμα 1.8: Εγκατεστημένη ισχύς ανά τύπο καυσίμου στην Ευρωπαϊκή Ένωση[11].	14
Σχήμα 1.9: Συνεισφορά ΑΠΕ στην Ευρώπη[9].	15
Σχήμα 2.1: Ποσοστό (%) στο Σύνολο της Εγκατεστημένης Ισχύος στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα ανά Καύσιμο[17].	19
Σχήμα 2.2: Εξέλιξη της καθαρής παραγωγής και των εισαγωγών ηλεκτρικής ενέργειας έως το έτος 2030 σε GW[19].	21
Σχήμα 2.3: Εξέλιξη της καθαρής παραγωγής και των εισαγωγών ηλεκτρικής ενέργειας έως το έτος 2030 σε ποσοστά επί της συνολικής διάθεσης ηλεκτρικής ενέργειας[19].	22
Σχήμα 3.1: Πτώση της τιμής των συσσωρευτών Li-Ion και εκτιμώμενη πτώση τα προσεχή έτη[42].	38
Σχήμα 3.2: Η επιθυμητή αυτονομία κατά ποσοστό απαντήσεων στην έρευνα του Auto list[43].	39
Σχήμα 4.1: Ετήσια χρονοσειρά ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας για το έτος 2015[53].	53
Σχήμα 4.2: Ετήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας ως συνάρτηση της ζήτησης αιχμής[53].	54
Σχήμα 4.3: Ετήσια χρονοσειρά και καμπύλη διάρκειας παραγόμενης ενέργειας από αιολικά[53].	56
Σχήμα 4.4: Ετήσια χρονοσειρά και καμπύλη διάρκειας παραγόμενης ενέργειας από φωτοβολταϊκά[53].	56
Σχήμα 4.5: Αδιάστατη καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας (αδιαστατοποιημένη με την ονομαστική ισχύ της)[53].	60
Σχήμα 4.6: Αριθμός επιβατικών αυτοκινήτων ανά έτος, περίοδος 1985-2017.[58] ...	64
Σχήμα 4.7: Ποσοστιαία μεταβολή του αριθμού των επιβατικών αυτοκινήτων ανά έτος, περίοδος 1985-2017.[58]	66
Σχήμα 4.8: Εκτιμώμενος αριθμός επιβατικών αυτοκινήτων ανά έτος, περίοδος 2017-2050.	67
Σχήμα 4.9: Μεταβολή αριθμού επιβατικών αυτοκινήτων ανά έτος, περίοδος 1987-2050.	68
Σχήμα 4.10: Ωριαία κατανομή φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων κατά την διάρκεια ενός τυπικού εικοσιτετράωρου ως εκατοστιαίο ποσοστό του συνολικού αριθμού τους[61].	69
Σχήμα 4.11: Κατανομή φορτίσεων όπως εισάχθηκε στο αναλυτικό εργαλείο.	70
Σχήμα 5.1: Ετήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και συνιστώσες της.	74
Σχήμα 5.2: Ημερήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και συνιστώσες της για την 1 ^η Φεβρουαρίου.	74
Σχήμα 5.3: Συνεισφορά μονάδων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.	75
Σχήμα 5.4: Ετήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και συνιστώσες της.	77
Σχήμα 5.5: Ημερήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και συνιστώσες της για την 1 ^η Φεβρουαρίου.	77
Σχήμα 5.6: Συνεισφορά μονάδων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.	78
Σχήμα 5.7: Ετήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και συνιστώσες της.	80

Σχήμα 5.8: Ημερήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και συνιστώσες της για την 1 ^η Φεβρουαρίου.....	80
Σχήμα 5.9: Συνεισφορά μονάδων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.....	81
Σχήμα 5.10: Ετήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και συνιστώσες της.	83
Σχήμα 5.11: Ημερήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και συνιστώσες της για την 1 ^η Φεβρουαρίου.....	84
Σχήμα 5.12: Συνεισφορά μονάδων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.....	85
Σχήμα 5.13: Ετήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και συνιστώσες της.	87
Σχήμα 5.14: Ημερήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και συνιστώσες της για την 1 ^η Φεβρουαρίου.....	87
Σχήμα 5.15: Συνεισφορά μονάδων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.....	88
Σχήμα 5.16: Ετήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και συνιστώσες της.	90
Σχήμα 5.17: Ημερήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και συνιστώσες της για την 1 ^η Φεβρουαρίου.....	90
Σχήμα 5.18: Συνεισφορά μονάδων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.....	83
Σχήμα 5.19: Επίδραση της μεταβολής του ποσοστού στιγμιαίας διείσδυσης (δ) των αιολικών.....	86
Σχήμα 5.20: Ετήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και συνιστώσες της.	96
Σχήμα 5.21: Ημερήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και συνιστώσες της για την 1 ^η Φεβρουαρίου.....	96
Σχήμα 5.22: Συνεισφορά μονάδων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.....	97
Σχήμα 5.23: Καμπύλη διάρκειας ζήτησης Ρεαλιστικό σενάριο 2030	98
Σχήμα 5.24: Καμπύλη διάρκειας ζήτησης Ενδιάμεσο σενάριο 2030	99
Σχήμα 5.25: Καμπύλη διάρκειας ζήτησης Αισιόδοξο σενάριο 2030.	99
Σχήμα 5.26: Καμπύλη διάρκειας ζήτησης Ρεαλιστικό σενάριο 2050	100
Σχήμα 5.27: Καμπύλη διάρκειας ζήτησης Ενδιάμεσο σενάριο 2050	100
Σχήμα 5.28: Καμπύλη διάρκειας ζήτησης Αισιόδοξο σενάριο 2050	101
Σχήμα 5.29: Καμπύλη διάρκειας ζήτησης Θεωρητικό σενάριο	101
Σχήμα 6.1: Διακύμανση της τιμής της βενζίνης (€/L) τα τελευταία οκτώ χρόνια στην Ελλάδα[67].	104
Σχήμα 6.2: Διακύμανση της τιμής της kWh σε λεπτά του €, το διάστημα 2010-2017 στην Ελλάδα[68].....	104
Σχήμα 6.3: Διαφορά ετήσιων δαπανών κατανάλωσης σε συνάρτηση με την κατανάλωση (L/km) και την τιμή της kWh.	105
Σχήμα 6.4: Διαφορά ετήσιων δαπανών κατανάλωσης σε συνάρτηση με την κατανάλωση βενζινοκίνητου (L/km) και την κατανάλωση ηλεκτροκίνητου (kWh/km).	106
Σχήμα 6.5: Διαφορά ετήσιων δαπανών κατανάλωσης Ρεαλιστικό σενάριο 2030.....	107
Σχήμα 6.6: Διαφορά ετήσιων δαπανών κατανάλωσης Ενδιάμεσο σενάριο 2030.	108
Σχήμα 6.7: Διαφορά ετήσιων δαπανών κατανάλωσης Αισιόδοξο σενάριο 2030.....	109
Σχήμα 6.8: Διαφορά ετήσιων δαπανών κατανάλωσης Ρεαλιστικό σενάριο 2050.....	110
Σχήμα 6.9: Διαφορά ετήσιων δαπανών κατανάλωσης Ενδιάμεσο σενάριο 2050.	111
Σχήμα 6.11: Διαφορά ετήσιων δαπανών κατανάλωσης Αισιόδοξο σενάριο 2050....	112
Σχήμα 6.12: Διαφορά ετήσιων δαπανών κατανάλωσης Θεωρητικό σενάριο.	113

Εισαγωγή

Η παγκόσμια ενεργειακή πολιτική και η πολιτική διαχείρισης των φυσικών πόρων βρίσκονται στο κατώφλι μιας ριζικής αναδιαμόρφωσης. Η επερχόμενη μεταβολή οφείλεται στην περιβαλλοντική κρίση και τις διευρυμένες συνέπειές της, όπως και στην προβλεπόμενη εξάντληση των φυσικών ορυκτών αποθεμάτων. Η επιτακτική ανάγκη μείωσης της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων σε συνδυασμό με την ανάγκη χρήσης νέων συστημάτων παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας, αυτοματοποιημένων και εύκολα ελεγχόμενων, επηρεάζουν αναπόφευκτα έναν από τους πλέον ενεργοβόρους κλάδους, αυτόν των μεταφορών. Η ηλεκτροκίνηση, που συνίσταται στην διευρυμένη χρήση ηλεκτρικών αυτοκινήτων, αποτελεί μια από τις πιο ουσιαστικές και ρεαλιστικές προοπτικές μιας ανάπτυξης φιλικής με το περιβάλλον. Φυσικά, η φόρτιση των μπαταριών ενός ηλεκτροκίνητου στόλου αναμένεται να δημιουργήσει μία αυξημένη ζήτηση σε ηλεκτροπαραγωγή, η οποία οφείλει να καλυφθεί με χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, διαφορετικά θα πρόκειται απλώς για τοπική μετακύλιση της ρύπανσης. Ακόμα, με τη μεγάλη διείσδυση των ΑΠΕ στο εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο θα αυξηθεί η αστάθεια του συστήματος, επομένως κρίνεται αναγκαίο να αναπτυχθούν αξιόπιστες μέθοδοι αποθήκευσης ενέργειας.

Στις παραπάνω προκλήσεις προστίθενται οι εγγενείς παροντικοί περιορισμοί που σχετίζονται με το ηλεκτρικό αυτοκίνητο. Η μικρή ακόμα αυτονομία σε σχέση με τα αντίστοιχα συμβατικά οχήματα, το μεγάλο κόστος, η ανυπαρξία υποδομών φόρτισης και ο μεγάλος χρόνος φόρτισης είναι μερικές από τις αδυναμίες που δεν επιτρέπουν μία άμεση ένταξη του εν λόγω προϊόντος στην αγορά σε ικανοποιητικό βαθμό. Ωστόσο τα αναμενόμενα οφέλη από τη χρήση του ηλεκτρικού οχήματος και η τεχνολογική ανάπτυξη που πρόκειται να λάβει χώρα, στρέφουν ήδη το ενδιαφέρον της παγκόσμιας αγοράς προς αυτή την κατεύθυνση. Η σημαντική μείωση των εκπομπών ρύπων στον τομέα των μεταφορών και η μεγάλη ένταξη ΑΠΕ στο σύστημα ηλεκτροπαραγωγής, θα συνθέσουν ένα νέο ενεργειακό μοντέλο, οικολογικό και οικονομικά βιώσιμο.

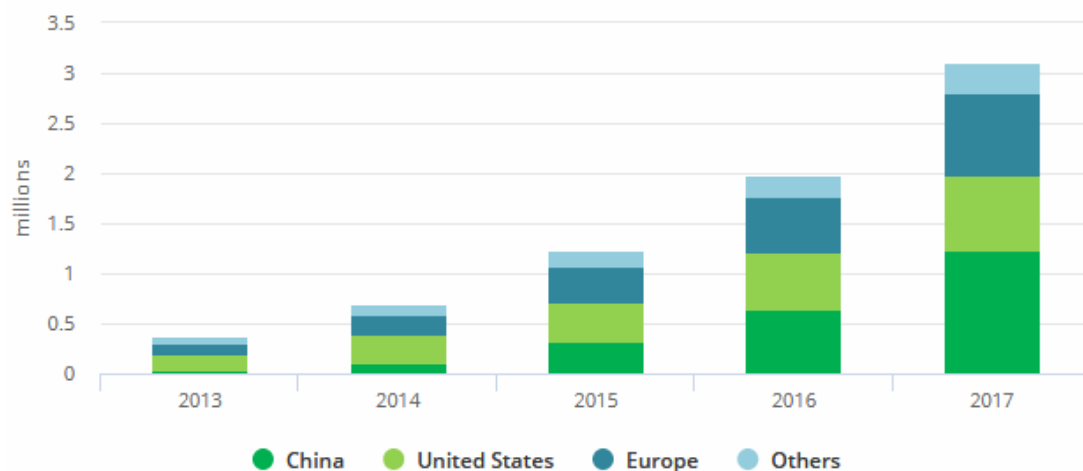
Κεφάλαιο 1. Διεθνής και Ευρωπαϊκή πολιτική για την ηλεκτροκίνηση

Τα τελευταία χρόνια η διεθνής στροφή προς την ηλεκτροκίνηση είναι ορατή, όπως αποδεικνύουν οι αριθμοί που αναφέρονται στη χρήση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων παγκοσμίως, αλλά και οι σχετικές πολιτικές και οι στόχοι των κρατών. Παράλληλα, τα συνολικά ποσά εγκατεστημένης ενέργεια σε ανανεώσιμες πηγές βαίνουν αυξανόμενα, συντελώντας στην παραγωγή καθαρής ενέργειας[1]. Η Κίνα, η Αμερική και η Ευρώπη ενθαρρύνουν την ανάπτυξη του ηλεκτρικού αυτοκινήτου, και επιβάλλουν συγκεκριμένες πολιτικές ένταξης ΑΠΕ στα κράτη τους[1][2]. Ο μακροπρόθεσμος στόχος παραμένει ο περιορισμός εκπομπών αέριων ρύπων, η ελάττωση της συνεισφοράς των θερμικών σταθμών στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και η ηλεκτροκίνηση στον τομέα των μεταφορών με ορίζοντα την πράσινη ανάπτυξη και την οικονομική βιωσιμότητα.

1.1 Η ηλεκτροκίνηση σε παγκόσμιο επίπεδο

1.1.1 Σημερινή κατάσταση της ηλεκτροκίνησης

Η επιταχυνόμενη ανάπτυξη των υποδομών και της τελικής χρήσης του ηλεκτρικού αυτοκινήτου σε παγκόσμια κλίμακα είναι εμφανής. Το 2017 αποτέλεσε έτος με ρεκόρ πωλήσεων, καθώς σημειώθηκαν περισσότερες από ένα εκατομμύριο πωλήσεις οχημάτων, οι μισές από τις οποίες πραγματοποιήθηκαν στην Κίνα. Ο συνολικός αριθμός ηλεκτρικών αυτοκινήτων σε κυκλοφορία ξεπέρασε τα τρία εκατομμύρια, επέκταση της τάξης του 50% σε σχέση με το 2016. Τα δεδομένα αποτυπώνονται στο παρακάτω Σχήμα 1.1[1].

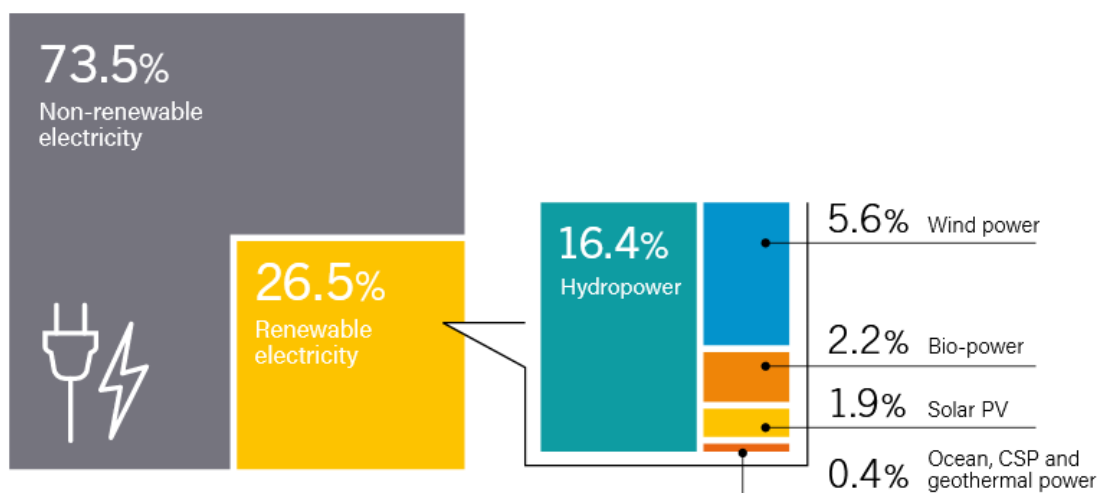


Σχήμα 1.1: Αριθμός EV ανά χώρα παγκοσμίως[1].

Τα κράτη που κρατούν τα πρωτεία στην ηλεκτροκίνηση είναι η Νορβηγία όπου το 39% των πωληθέντων αυτοκινήτων για το 2017 ήταν ηλεκτροκίνητα, ακολουθεί η Ισλανδία με 11.7% και η Σουηδία με 6.3%[1].

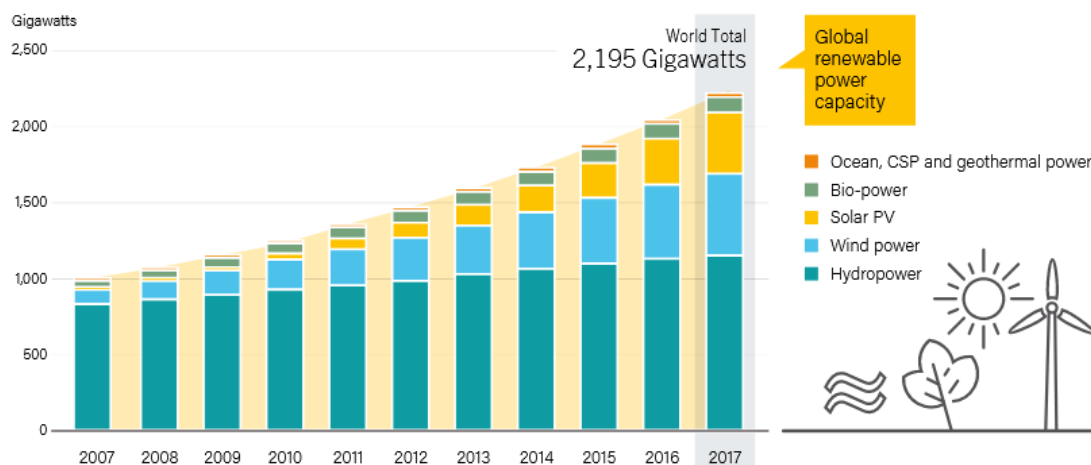
1.1.2 Μείγμα ηλεκτροπαραγωγής

Η παγκόσμια παραγωγή ενέργειας το έτος 2018 παρουσιάζει μεγάλη εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα. Η επάρκεια σε ενέργεια εξασφαλίζεται με την αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως αιολικών, φωτοβολταϊκών, βιομάζας και υδροηλεκτρικών, και θερμικών μονάδων όπως ανθρακικών, πετρελαϊκών, πυρηνικών και φυσικού αερίου [3].



Σχήμα 1.2: Παγκόσμιο μείγμα ηλεκτροπαραγωγής για το έτος 2018 [3].

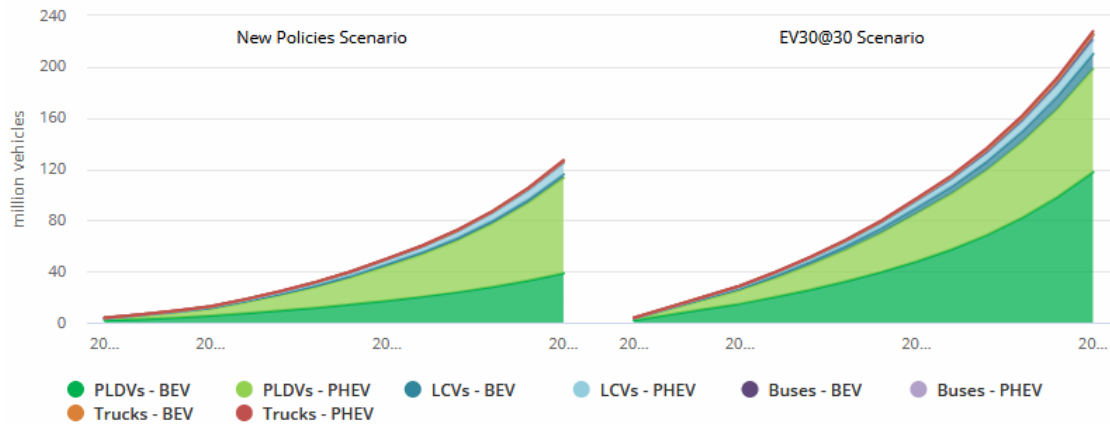
Το 2017 ήταν η χρονιά με τις περισσότερες νέες εγκαταστάσεις ΑΠΕ, σε σχέση με τα προηγούμενα έτη. Εγκαταστάθηκαν συνολικά 178 GW παγκοσμίως, αυξάνοντας τη συνολική εγκατεστημένη ισχύ των ΑΠΕ κατά 9% σε σχέση με το 2016. Τα αιολικά και φωτοβολταϊκά καλύπτουν το 55% των νέων εγκαταστάσεων ισχύος. Συγκριτικά, το έτος αυτό οι επενδύσεις στις δύο αυτές τεχνολογίες, ξεπέρασαν τις αντίστοιχες σε σταθμούς καύσης ορυκτών καυσίμων και πυρηνικών αθροισμένων[3][4].



Σχήμα 1.3: Παγκόσμια εγκατάσταση ΑΠΕ, 2007-2017[3].

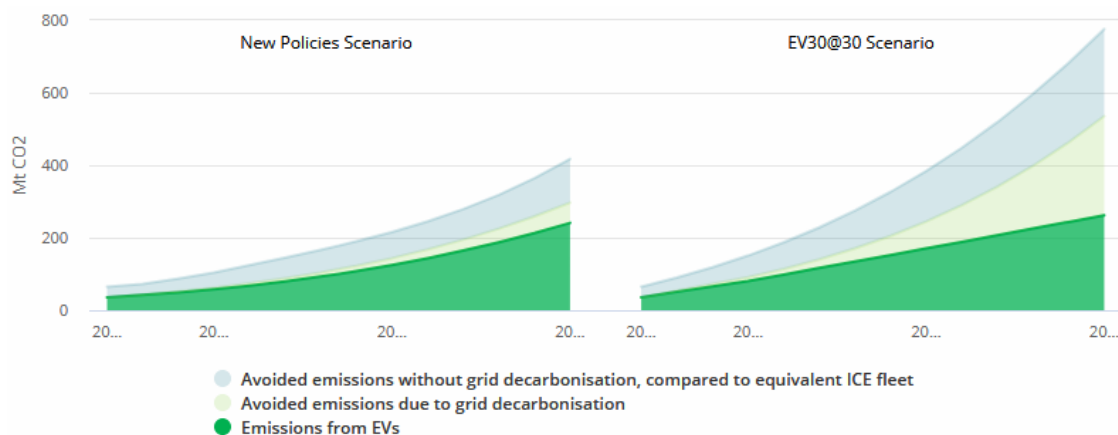
1.1.3 Στόχοι

Ο στόχος για το 2030 είναι ο αριθμός των ηλεκτρικών αυτοκινήτων να ανέρχεται σε 125 εκατομμύρια σύμφωνα με το New Policies Scenario του ΙΕΑ. Εναλλακτικό σενάριο περαιτέρω κάλυψης περιβαλλοντικών στόχων και ενεργειακής ευστάθειας, αποτελεί το EV30@30 Scenario, σύμφωνα με το οποίο ο αριθμός αυτός διαμορφώνεται σε 220 εκατομμύρια έως το 2030[1].



Σχήμα 1.4: Εναλλακτικά σενάρια ηλεκτροκίνησης για το 2030[1].

Η προώθηση της ηλεκτροκίνησης αναμένεται να συνεισφέρει ουσιαστικά στην μείωση των εκπομπών CO₂ και να αποτελέσει μέρος της λύσης του οικολογικού προβλήματος. Κάθε ένα από τα σενάρια που αποτυπώθηκαν παραπάνω ακολουθείται από μία αντίστοιχη αναμενόμενη μείωση των εκπομπών CO₂. Ενδεικτικό είναι το ακόλουθο διάγραμμα για τα δύο προτεινόμενα σενάρια[1].

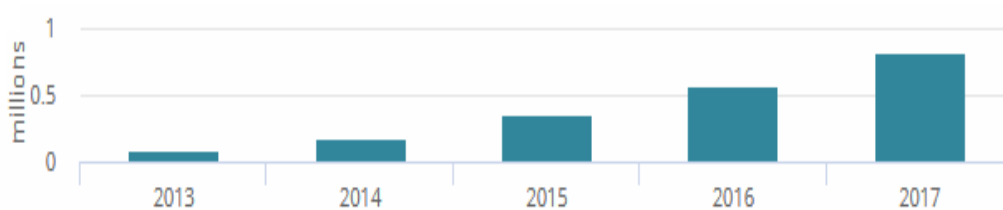


Σχήμα 1.5: Εκπομπές CO₂ το έτος 2030 για κάθε σενάριο[1].

1.2 Η ηλεκτροκίνηση στην Ευρώπη

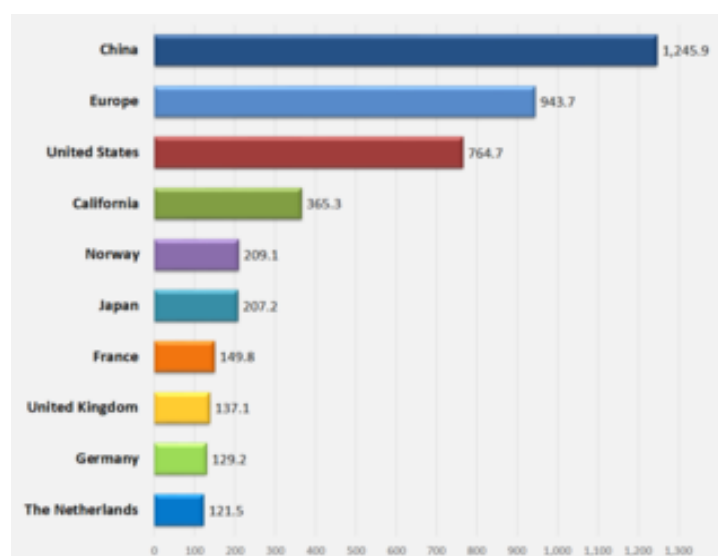
1.2.1 Σημερινή κατάσταση της ηλεκτροκίνησης

Στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης παρατηρείται σημαντική ένταξη ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην αγορά, παρά τα μικρά ποσοστά πωλήσεων σε σχέση με τα συμβατικά αυτοκίνητα. Στο Σχήμα 1.6 αποτυπώνονται ο συνολικός αριθμός ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην Ευρώπη τα τελευταία έτη[5].



Σχήμα 1.6: Αριθμός ηλεκτρικών αυτοκινήτων τα τελευταία έτη στην Ευρώπη[1].

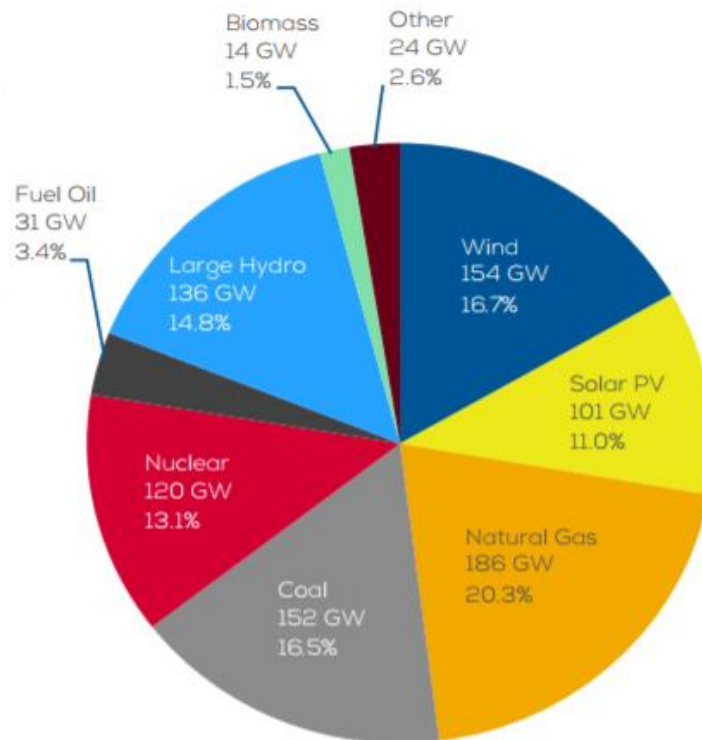
Όπως φαίνεται και στο ακόλουθο Σχήμα 1.7, ο συνολικός αριθμός ηλεκτρικών αυτοκινήτων για το έτος 2017 στην Ευρώπη ανήλθε σε 943,7 χιλιάδες, ενώ 260 χιλιάδες ήταν οι νέες πωλήσεις. Το νούμερο αυτό τοποθετεί την Ευρώπη στη δεύτερη θέση σε πωλήσεις παγκοσμίως μετά την Κίνα με 1245,9 χιλιάδες, ενώ ακολουθούν οι Ηνωμένες Πολιτείες με 764,7 χιλιάδες[8]. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η περίπτωση της Νορβηγίας, με ποσοστό 39% των πωλήσεων του 2017 να είναι ηλεκτρικά αυτοκίνητα, καθιστώντας την πρωτοπόρα παγκοσμίως στην εν λόγω αγορά[6].



Σχήμα 1.7: Αριθμός ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην Ευρώπη και στον κόσμο 2017[7][8].

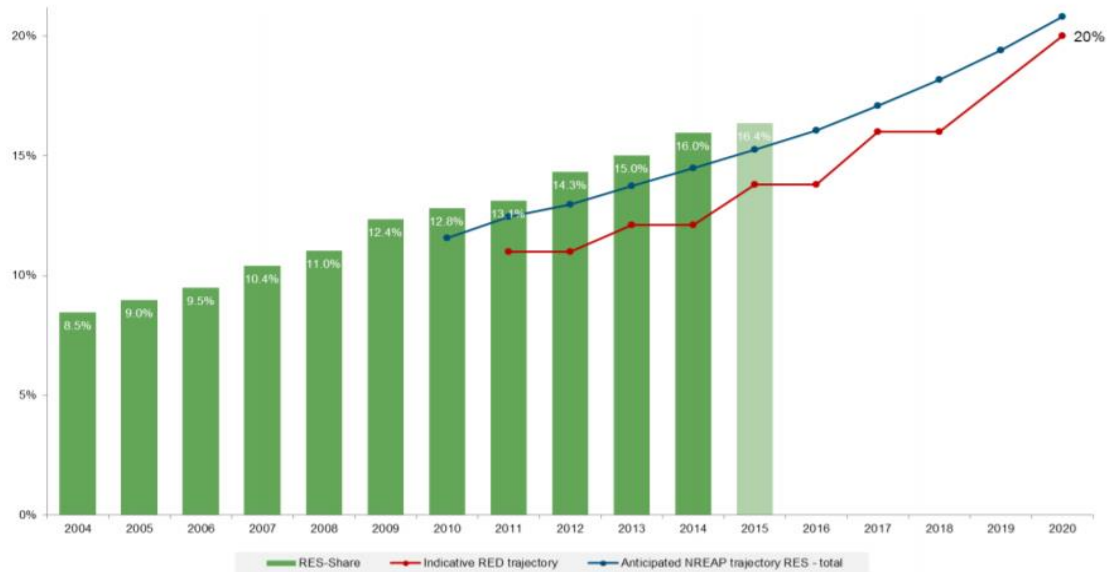
1.2.2 Μείγμα ηλεκτροπαραγωγής

Η ανάπτυξη των ΑΠΕ στην Ευρώπη είναι ιδιαίτερα υψηλή μέχρι σήμερα και έχει καταφέρει να υπερκεράσει τα ποσοστά που είχαν τεθεί ως στόχοι, κυρίως όσον αφορά στην ηλεκτροπαραγωγή. Όπως φαίνεται και στα Σχήματα 1.8 και 1.9, το 2013-2014 το ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ στην τελική συνολική κατανάλωση ήταν 15,5%, σε σχέση με το 12,1% που είχε τεθεί ως στόχος για αυτό το έτος. Το αντίστοιχο ποσοστό του 2015 ήταν 16,4%, ενώ ο στόχος για το έτος αυτό ήταν 13,8%[9][10]. Είναι φανερό ότι η πραγματικότητα ξεπέρασε τις προσδοκίες διείσδυσης των ΑΠΕ στην ευρωπαϊκή ηλεκτροπαραγωγή.



Σχήμα 1.8: Εγκατεστημένη ισχύς ανά τύπο καυσίμου στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 2017[11].

Όσον αφορά στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, οι στόχοι έχουν επίσης υπερκαλυφθεί, σε σχέση με εκείνους που τέθηκαν στο NREAP (National Renewable Energy Action Plan), καθώς το ποσοστό συνεισφοράς τους το 2015 ήταν 28.3%. Τα Υδροηλεκτρικά έργα παράγουν το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας από όλες τις ανανεώσιμες μορφές. Οι εγκαταστάσεις τους σε Σουηδία, Γαλλία, Ιταλία, Αυστρία και Ισπανία καλύπτουν το 70% της Υδροηλεκτρικής ενέργειας της Ευρώπης. Η αιολική ενέργεια προσφέρει στο ένα τρίτο της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμα, ενώ το διάστημα 2004-2015 έχει τετραπλασιαστεί. Τα χερσαία αιολικά πάρκα έχουν επιτύχει να συμβαδίζουν με την προσδοκώμενη ανάπτυξή τους, όμως τα θαλάσσια αιολικά πάρκα δεν έχουν επιτύχει την επιθυμητή επέκτασή τους, σύμφωνα με το NREAP, κυρίως εξαιτίας του υψηλού κόστους επένδυσής τους και της δυσκολίας σύνδεσης με το δίκτυο[9]. Το 2016 αναπτύχθηκαν και συνδέθηκαν με το δίκτυο, αιολικά έργα συνολικής ονομαστικής ισχύος 12.5 GW, τα 10.9 GW εγκαταστάθηκαν στην ξηρά και τα 1.56 GW στην θάλασσα[11].



Σχήμα 1.9: Συνεισφορά ΑΠΕ στην Ευρώπη[9].

1.2.3 Στόχοι











Η προσπάθεια πρόληψης της κλιματικής αλλαγής έχει ξεκινήσει από το 1991, μέσω πρωτοβουλιών της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, σχετικά με τη μείωση του διοξειδίου του άνθρακα. Το 2009 ορίστηκε το σύνολο των μέτρων που έπρεπε να υιοθετηθούν, μέχρι το 2020, προκειμένου να περιοριστεί η αύξηση της θερμοκρασίας στους 2 °C. Οι οδηγίες, που δόθηκαν το 2009, έχουν χρονικό ορίζοντα το 2020 και προβλέπουν πως πρέπει το 20% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές, να υπάρξει μείωση κατά 20% στις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με το 1990, να βελτιωθεί η ενεργειακή απόδοση και να γίνει εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας κατά 20%. Οι επιμέρους στοχεύσεις για κάθε κράτος σύμφωνα με την ευρωπαϊκή οδηγία ποικίλλουν ανάλογα με την υφιστάμενη κατάσταση του και τις δυνατότητες που υπάρχουν για περαιτέρω ανάπτυξη. Επίσης, το 2011 η Ευρωπαϊκή Ένωση δημοσίευσε τον Οδικό Χάρτη για την Ενέργεια με ορίζοντα το 2050, στον οποίο προβλέπεται, μεταξύ άλλων στόχων, η μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου κατά 80% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990, η συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών στην τελική κατανάλωση ενέργειας τουλάχιστον κατά 55% και στην ηλεκτροπαραγωγή κατά 60%, προκειμένου να διασφαλιστεί η βιωσιμότητα του ενεργειακού συστήματος[12].

Στην Ευρώπη ο τομέας των μεταφορών οφείλει να αναδιαμορφωθεί. Παρά τις πρόσφατες τεχνολογικές βελτιώσεις, ο τομέας αυτός είναι υπεύθυνος για το ένα τέταρτο περίπου των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) στην Ευρώπη, συμβάλλοντας στο κλιματική αλλαγή. Οι εκπομπές από τροχοφόρα οχήματα, επίσης συμβάλλουν στη συγκέντρωση υψηλών συγκεντρώσεων αερίων ρύπων σε πολλές από τις πόλεις της Ευρώπης, με αποτέλεσμα να μην ανταποκρίνονται στα πρότυπα ποιότητας του αέρα που τίθενται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) και τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (ΠΟΥ). Η ΕΕ έχει δεσμευτεί να λάβει μέτρα για τον περιορισμό

των εκπομπών άνθρακα, προσβλέποντας σε ένα μέλλον με καθαρότερες πόλεις και καλύτερη ποιότητα ζωής για τους κατοίκους τους. Για να επιτευχθεί αυτή η μετάβαση, έχει καθοριστεί αριθμός μελλοντικών στόχων για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που οφείλονται στις μεταφορές. Οι στόχοι μείωσης είναι σχεδιασμένοι έτσι ώστε να συμβάλουν στον γενικό στόχο της ΕΕ να μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά 80-95% έως το 2050. Στη Λευκή Βίβλο για τις Μεταφορές (Transport White Paper) που συντάχτηκε το 2011 (EC, 2011), η Ευρωπαϊκή Επιτροπή περιέγραψε ένα χάρτη πορείας για να πραγματοποιηθεί, έως το 2050, μείωση 60% σε εκπομπές αερίων GHG σε σύγκριση με αυτές του 1990[13]. Η Λευκή Βίβλος δείχνει πώς η μετάβαση σε ένα πιο βιώσιμο σύστημα μεταφορών είναι υλοποιήσιμη και πως η εξάρτηση από το πετρέλαιο για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών στην Ευρώπη μπορεί να μειωθεί. Επιπλέον, περιγράφει τους στόχους για ένα ανταγωνιστικό και αποτελεσματικό από άποψη πόρων σύστημα μεταφορών, με σημεία αναφοράς όπως:

- μείωση κατά το ήμισυ της χρήσης συμβατικά τροφοδοτούμενων αυτοκινήτων στις αστικές μεταφορές μέχρι το 2030 και στη σταδιακή κατάργησή τους εξ ολοκλήρου στις πόλεις έως 2050
- καθορισμός απαίτησης 40% για τη χρήση καυσίμων με χαμηλές εκπομπές άνθρακα στην αεροπορία
- μετατροπή των οδικών μεταφορών εμπορευμάτων σε άλλες μορφές μεταφοράς, 30% έως το 2030 και 50% μέχρι το 2050, για αποστάσεις άνω των 300 km[13].

Οι στόχοι που τίθενται για την ηλεκτροκίνηση θα πραγματοποιηθούν μέσα από πολιτικές ενθάρρυνσης της αγοράς για την ενσωμάτωσή τους. Κάποιες χώρες έχουν ήδη ανακοινώσει την επικείμενη λήψη δραστικών μέτρων απαγόρευσης της κυκλοφορίας αυτοκινήτων τροφοδοτούμενων με ορυκτά καύσιμα σε ορίζοντα δεκαετίας ή και συντομότερα. Το μέτρο αυτό αναμένεται να συνεισφέρει δραστικά στην προσπάθεια δημιουργίας ενός ηλεκτροκίνητου στόλου και στην μείωση της μόλυνσης του αέρα, ιδιαίτερα στις μεγάλες ευρωπαϊκές πόλεις. Ακολουθούν πίνακες με τις επερχόμενες απαγορεύσεις κυκλοφορίας στις χώρες και τις πόλεις της Ευρώπης.

Country	Ban announcement	Ban commences	Scope
 Denmark	2018	2035	Gasoline and diesel
 France	2017	2040	Gasoline and diesel
 Germany	2016	2050	Combustion engine
 Ireland	2018	2030	Gasoline and diesel
 Netherlands	2017	2030	Emission vehicles
 Norway	2016	2025	Gasoline and diesel
 Portugal	2010	Ongoing	Incentives
 Spain	2017	2040	Non-electric
 Sweden	2018	2030	Gasoline and diesel
 United Kingdom	2017	2040	Gasoline and diesel

Πίνακας 1.1: Απαγόρευση κυκλοφορίας συμβατικών οχημάτων σε κάθε χώρα και αντίστοιχο έτος[14].

City or territory	Country	Ban announcement	Ban commences	Scope
Athens	 Greece	2016	2025	Diesel
Barcelona	 Spain	2017	2030	Gasoline or Diesel
Brussels	 Belgium	2018	2025	Gasoline or Diesel
Copenhagen	 Denmark	2017	2030	Gasoline or Diesel
Hamburg	 Germany	2018	2018	Diesel
Heidelberg	 Germany	2017	2030	Gasoline or Diesel
London	 United Kingdom	2017	2030	Gasoline or Diesel
Madrid	 Spain	2016	2025	Diesel
Milan	 Italy	2017	2030	Gasoline or Diesel
Oslo	 Norway	2016	2019	Gasoline and Diesel
Oxford	 United Kingdom	2017	2020	Gasoline and Diesel
Paris	 France	2016	2025	Diesel
Rome	 Italy	2018	2024	Diesel

Πίνακας 1.2: Απαγόρευση κυκλοφορίας συμβατικών οχημάτων σε κάθε πόλη και αντίστοιχο έτος[14].

Κεφάλαιο 2. Ηλεκτροκίνηση και ενεργειακός σχεδιασμός της Ελλάδας

2.1 Σημερινή κατάσταση

2.1.1 Ηλεκτροκίνηση

Η ελληνική αγορά εμφανίζει ακόμα εμπόδια στην ενσωμάτωση ενός ηλεκτροκίνητου στόλου σε σημαντικό βαθμό. Οι δυσμενείς συνθήκες που επέφερε η οικονομική κρίση στερούν από τους περισσότερους χρήστες οχημάτων ιδιωτικής χρήσης τη δυνατότητα συσσώρευσης του απαιτούμενου κεφαλαίου για την αγορά ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου. Το υψηλό κόστος που διατηρούν ακόμα τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, καθώς η παραγωγή τους παραμένει περιορισμένη, δεν τα καθιστά προσιτά τη δεδομένη στιγμή, λαμβάνοντας υπόψη τις δυνατότητες της συγκεκριμένης αγοράς. Ακόμα, οι υποδομές φόρτισης δεν παρουσιάζουν ικανοποιητική ανάπτυξη, προσθέτοντας έναν επιπλέον αποτρεπτικό παράγοντα στους εν δυνάμει ενδιαφερόμενους. Η χρήση ενός ηλεκτρικού οχήματος με τις παρούσες υποδομές θα περιοριζόταν αποκλειστικά μέσα στην πόλη. Επιπλέον, για να έχει ουσιαστικά αποτελέσματα η αντικατάσταση των σημερινών οχημάτων με ηλεκτροκίνητα, θα έπρεπε εκείνα να διεισδύσουν και στο κομμάτι των ταξί και των Μέσων Μαζικής Μεταφοράς, το οποίο αποτελεί το πιο γηρασμένο και ρυπογόνο τμήμα του στόλου.

Οι παραπάνω παράγοντες συντρέχουν ώστε ο συνολικός αριθμός των ηλεκτροκίνητων οχημάτων που έχουν ταξινομηθεί στη χώρα από το 2013 να είναι μόλις 468, από τα οποία τα 182 είναι αμιγώς ηλεκτρικά και τα 286 υβριδικά αυτοκίνητα. Το 2017 στη χώρα μας ταξινομήθηκαν 32 αμιγώς ηλεκτρικά και 76 ηλεκτρικά υβριδικά οχήματα. Το έτος αυτό η αγορά κινήθηκε ελάχιστα προς τα πάνω, καθώς το μερίδιο αγοράς αυξήθηκε από 0,06% σε 0,19%, σύμφωνα με πρόσφατη μελέτη του Ινστιτούτου Ενέργειας Νοτιοανατολικής Ευρώπης (IENE) για τις προοπτικές των ηλεκτρικών οχημάτων[15]. Τα νούμερα αυτά, σε σχέση με τα αντίστοιχα που αναφέρονται σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες, είναι ιδιαίτερα χαμηλά. Αποτυπώνεται όμως, μια στροφή των καταναλωτών προς τα υβριδικά αυτοκίνητα με ηλεκτρική ενέργεια, τα οποία αντιπροσώπευαν το 80,1% των συνολικών πωλήσεων ηλεκτρικών οχημάτων. Αυτή η στροφή αποδίδεται στα νέα μοντέλα που εισήχθησαν στην ελληνική αγορά, το 2017, κυρίως από τις BMW και Volkswagen, παρέχοντας τη δυνατότητα για 20-50 χλμ. ηλεκτρικής οδήγησης.

Σημεία φόρτισης

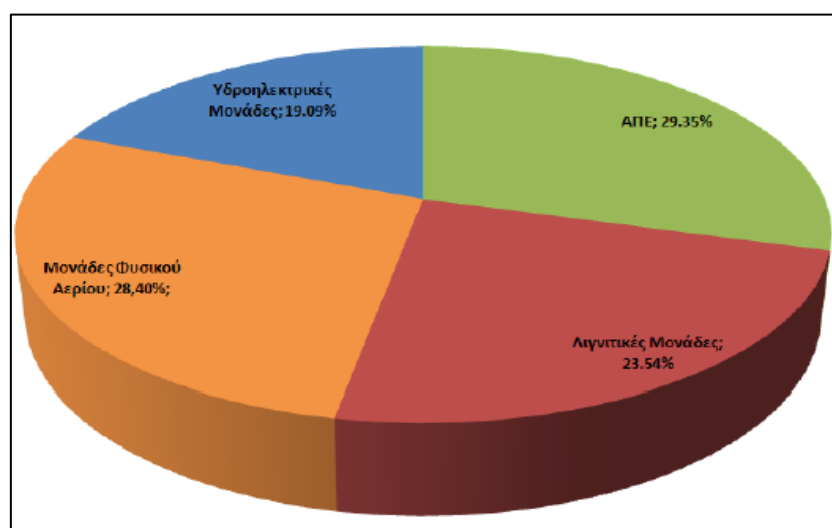
Το δίκτυο των σημείων φόρτισης βρίσκεται σε στάδιο πρώιμης ανάπτυξης στην Ελλάδα. Σήμερα οι δημόσιοι προσβάσιμοι σταθμοί φόρτισης δεν ξεπερνούν τους 50. Είναι χαρακτηριστικό ότι η Ελλάδα μαζί με την Πορτογαλία βρίσκονται μεταξύ εκείνων που δεν συμμετέχουν στην ένωση των ομίλων Volkswagen, Daimler, BMW και Ford, που σχεδιάζουν να κατασκευάσουν το δικό τους δίκτυο 400 υπερσύγχρονων σταθμών επαναφόρτισης σε ευρωπαϊκούς αυτοκινητοδρόμους.

2.1.2 Ενεργειακό σύστημα

Η παραγωγή ενέργειας στην Ελλάδα βασίζεται στην κατανάλωση ορυκτών καυσίμων. Ο λιγνίτης αποτελεί το εγχώριο καύσιμο, το οποίο προσφέρει μερική αυτονομία στη χώρα και σταθεροποιεί το σύστημά της. Οι εισαγωγές καυσίμων είναι μεγάλες (φυσικό αέριο, πετρελαιοειδή) αυξάνοντας την αβεβαιότητα στον ανεφοδιασμό και στη διαμόρφωση μελλοντικών ενεργειακών πολιτικών. Η αύξηση του ποσοστού διείσδυσης των ΑΠΕ στο σύστημα είναι απαραίτητη, ιδιαίτερα με την προοπτική ανοικοδόμησης ενός αυτόνομου και ευσταθούς δικτύου ηλεκτροπαραγωγής, που να δύναται να υποστηρίξει την αυξημένη ζήτηση σε ηλεκτρική ενέργεια που θα επιφέρει η ένταξη του ηλεκτρικού αυτοκινήτου στην αγορά.

Το ηλεκτρικό σύστημα της Ελλάδας παρουσιάζει την ιδιομορφία ότι αποτελείται από το ηπειρωτικό διασυνδεδεμένο σύστημα και από τα μη διασυνδεδεμένα συστήματα των νησιών. Η τροφοδότηση του διασυνδεδεμένου δικτύου στηρίζεται κυρίως στην παραγωγή τάσης από λιγνιτικούς σταθμούς και σταθμούς καύσης φυσικού αερίου. Τα τελευταία χρόνια οι μονάδες φυσικού αερίου κερδίζουν έδαφος περιορίζοντας τη χρήση του λιγνίτη. Ενδεικτικά, το 2012 οι λιγνιτικοί σταθμοί κατείχαν στο μείγμα της ηλεκτροπαραγωγής το 56% και οι σταθμοί φυσικού αερίου συνδυασμένου κύκλου το 18%[16], ενώ το 2017 σημειώθηκε αύξηση του μεριδίου του φυσικού αερίου στο ενεργειακό μείγμα. Η συμμετοχή του φυσικού αερίου το 2017, καλύπτει το 35-40% της παραγωγής, επιτυγχάνοντας τη μείωση της συνεισφοράς των λιγνιτικών μονάδων[17].

Αναλυτικότερα για το έτος 2017, όσον αφορά το διασυνδεδεμένο δίκτυο, η εγκατεστημένη ισχύς των λιγνιτικών μονάδων ανέρχεται στα 3912 MW, των μονάδων φυσικού αερίου 4657.6 MW, των υδροηλεκτρικών 3172.7 MW και των ανανεώσιμων πηγών 4878.9 MW, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1[17].



Σχήμα 2.1: Ποσοστό (%) στο Σύνολο της Εγκατεστημένης Ισχύος στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα ανά Καύσιμο[17].

Στο μη διασυνδεδεμένο κομμάτι του συστήματος, δηλαδή στα αυτόνομα ηλεκτρικά συστήματα των νησιών, η ηλεκτρική ενεργειακή επάρκεια εξασφαλίζεται με τη λειτουργία τοπικών θερμικών σταθμών παραγωγής, οι οποίοι λειτουργούν με καύσιμο πετρέλαιο, βαρύ (μαζούτ) ή και ελαφρύ (ντίζελ), και τους σταθμούς ΑΠΕ (αιολικούς και φωτοβολταϊκούς). Η διασύνδεση των νησιών με το ηπειρωτικό σύστημα ηλεκτροπαραγωγής είναι μια ενέργεια υψηλής έντασης κεφαλαίου, και αυτός είναι ο λόγος που δεν έχει πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα[18]. Στο μέλλον όμως, η διασύνδεση οφείλει να περατωθεί, προκειμένου να μειωθεί η εξάρτηση από τα πετρελαιοειδή, ενώ ταυτόχρονα να αυξηθούν οι εγκατεστημένες ΑΠΕ στις περιοχές αυτές.

2.2 Ενεργειακός Σχεδιασμός

2.2.1 Εξέλιξη έως το 2030

Εκπομπές σωματιδίων

Ο Εθνικός Ενεργειακός Σχεδιασμός για το έτος 2018, περιλαμβάνει ένα σύνολο από ποσοτικούς στόχους και πολιτικές συμβατές με τις ευρωπαϊκές οδηγίες, με στόχο την αντιμετώπιση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής με συγκεκριμένους κλιματικούς στόχους μέχρι το έτος 2050 και την ανάπτυξη ενός μακροπρόθεσμου σχεδίου για την ενέργεια και το περιβάλλον. Στον Πίνακα 2.1 που ακολουθεί αποτυπώνεται μια ποσοτικοποίηση των στόχων για τη μείωση των εκπομπών αερίων σε σχέση με το έτος 2005[19].

Ατμοσφαιρικοί ρύποι	Ποσοστό μείωσης εκπομπών σε σχέση με το έτος 2005	
	Περίοδος 2020-2029	2030
Διοξειδίου του θείου (SO ₂)	31%	55%
Οξειδίων του αζώτου (NO _x)	54%	62%
Πτητικών οργανικών ενώσεων εκτός του μεθανίου (NMVOC)	74%	88%
Αμμωνίας (NH ₃)	7%	10%
Λεπτών αιωρούμενων σωματιδίων (ΑΣ _{2,5})	35%	50%

Πίνακας 2.1: Ποσοτικοί στόχοι μείωσης των εθνικών εκπομπών ορισμένων ατμοσφαιρικών ρύπων για την περίοδο 2020-2029 και για το έτος 2030 σε σχέση με το έτος 2005[19].

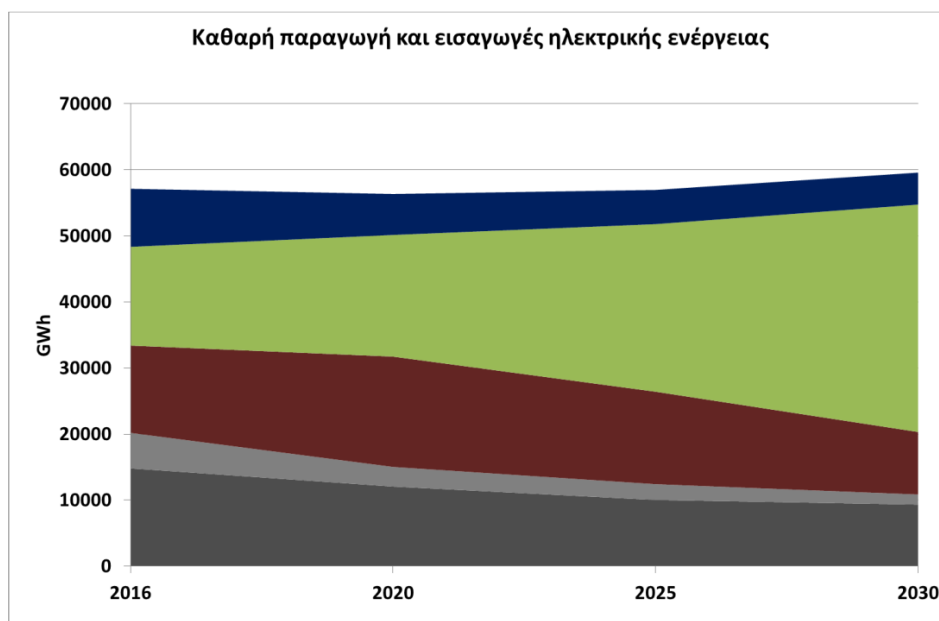
Ηλεκτρικό αυτοκίνητο

Σχετικά με την ηλεκτροκίνηση, ο στόχος που τίθεται για το έτος 2030 προβλέπει την ένταξη του ηλεκτρικού αυτοκινήτου σε ποσοστό 10% επί του συνολικού στόλου. Σε απόλυτα νούμερα, και δεδομένου του σημερινού αριθμού των αυτοκινήτων που κινούνται σε όλη τη χώρα, ο οποίος είναι 5.235.928 οχήματα, υπολογίζεται ότι ο

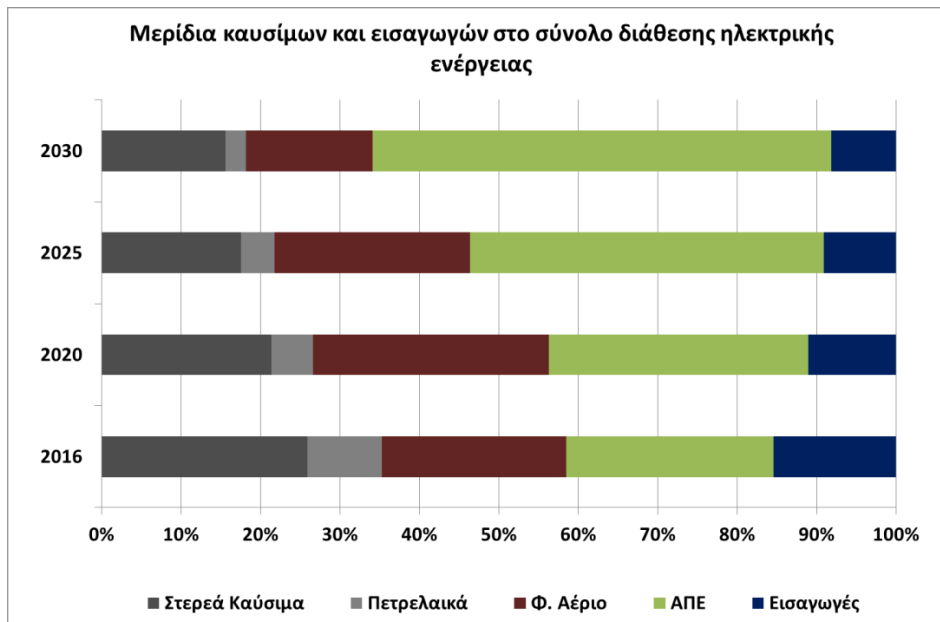
επιθυμητός αριθμός ηλεκτρικών οχημάτων το 2030 ξεπερνά το μισό εκατομμύριο[19]. Το νούμερο αυτό κρίνεται ως ιδιαίτερα υψηλό και η στόχευση ως φιλόδοξη για λόγους που θα αναφερθούν εκτενέστερα στη συνέχεια.

ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή

Η διείσδυση των ΑΠΕ στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προβλέπεται για το έτος 2030 να ανέλθει σε ποσοστό συνεισφοράς 55%, ενώ το αντίστοιχο σημερινό ποσοστό κυμαίνεται στο 18%. Για να επιτευχθεί το παραπάνω προβλέπεται σταδιακή μείωση της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος σε λιγνιτικά κατά 1,6 GW και της ισχύος των θερμικών σταθμών με καύσιμο το πετρέλαιο κατά 1,1 GW. Η μείωση αυτή θα πραγματοποιηθεί ταυτόχρονα με την αύξηση της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος σε ΑΠΕ, οι οποίες θα κληθούν να καλύψουν τις απαιτήσεις σε ενέργεια που θα προκύψουν. Συγκεκριμένα, τίθεται ως στόχος η περαιτέρω εγκατάσταση 9,1 GW σε ανανεώσιμα, από τα οποία το 90% θα αξιοποιηθεί σε φωτοβολταϊκά και αιολικά πάρκα. Το Σχήμα 2.2 που ακολουθεί αναπαριστά την επιθυμητή συνεισφορά των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή μέχρι το έτος 2030 και τα ενδιάμεσα έτη, σε ενεργειακά μεγέθη και σε ποσοστώσεις[19].



Σχήμα 2.2: Εξέλιξη της καθαρής παραγωγής και των εισαγωγών ηλεκτρικής ενέργειας έως το έτος 2030 σε GW[19].



Σχήμα 2.3: Εξέλιξη της καθαρής παραγωγής και των εισαγωγών ηλεκτρικής ενέργειας έως το έτος 2030 σε ποσοστά επί της συνολικής διάθεσης ηλεκτρικής ενέργειας[19].

2.2.2 Εξέλιξη έως το 2050

Εκπομπές σωματιδίων

Η μελέτη για το 2050 εξετάζει τρία διαφορετικά σενάρια, το Σενάριο Υφιστάμενων πολιτικών (συντηρητική υλοποίηση των πολιτικών για την ενέργεια και το περιβάλλον), το Σενάριο Μέτρων Μεγιστοποίησης ΑΠΕ (διείσδυση ΑΠΕ έως και 100% στην ηλεκτροπαραγωγή και μείωση των εκπομπών του διοξειδίου 60-70%) και το Σενάριο Περιβαλλοντικών Μέτρων Ελαχίστου Κόστους (η συνεισφορά και ανάπτυξη κάθε πηγής ενέργειας οριοθετείται από την πολιτική ελαχίστου κόστους). Η εξέταση των τριών σεναρίων απέδειξε πως εάν εφαρμοστεί το πρώτο σενάριο οι προβλεπόμενοι στόχοι δεν θα μπορέσουν να επιτευχθούν, σε αντίθεση με τα άλλα δυο σενάρια υλοποίησης[12].

Σχετικά με τις εκπομπές σωματιδίων προβλέπεται η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 60-70 % έως το 2050 ως προς το 2005, ώστε να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής[12].

Ηλεκτρικό αυτοκίνητο

Οι μακροπρόθεσμοι στόχοι για την ηλεκτροκίνηση με ορίζοντα το έτος 2050 καθορίζουν ότι το μερίδιο του ηλεκτρισμού στις επιβατικές μεταφορές μικρής απόστασης θα ανέρχεται στο 45% και θα σημειωθεί σημαντική αύξηση στα μέσα σταθερής τροχιάς. Το συγκεκριμένο ενεργειακό πλάνο προσβλέπει στην στελέχωση ενός κατά το ήμισυ ηλεκτροκίνητου στόλου έως το εν λόγω έτος αναφοράς, που ερμηνεύεται σε πλήθος τριών περίπου εκατομμυρίων ηλεκτροκίνητων οχημάτων[19].

ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή

Οι στόχοι για τις ΑΠΕ για το 2050 περιλαμβάνουν τα παρακάτω βασικά σημεία[20]:

- Ποσοστό 85-100% ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ και εδραίωση των ανανεώσιμων πηγών ως βασικό παραγωγό ενέργειας.
- Συνολική διείσδυση ΑΠΕ σε ποσοστό 60-70% στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας μέχρι το 2050.
- Σημαντικά βελτιωμένη ενεργειακή απόδοση για το σύνολο του κτιριακού αποθέματος και μεγάλη διείσδυση των εφαρμογών ΑΠΕ στον κτιριακό τομέα.
- Ανάπτυξη μονάδων αποκεντρωμένης παραγωγής και έξυπνων δικτύων.

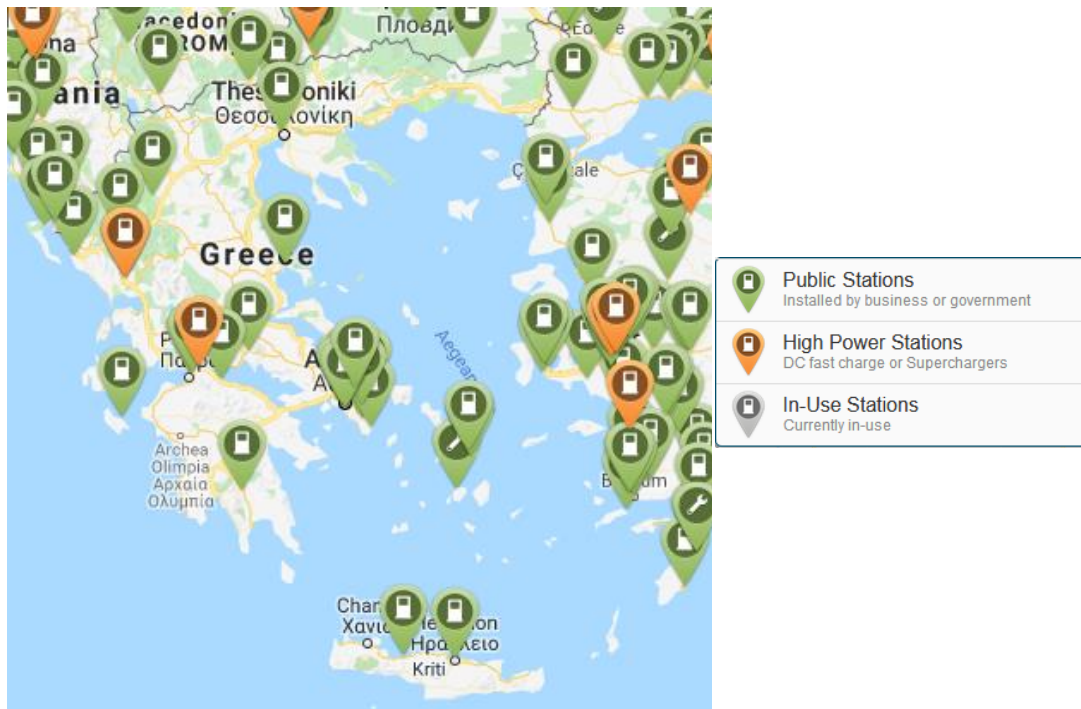
Ο σχεδιασμός του ενεργειακού συστήματος έχει κεντρική κατεύθυνση την αιεφόρο ανάπτυξη και προστασία του περιβάλλοντος καθώς και την προστασία και το όφελος του τελικού καταναλωτή. Οι βασικοί άξονες του σχεδιασμού είναι η μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενη ενέργεια, η οποία προκαλεί αστάθεια στο σύστημα, και η ενίσχυση των ανανεώσιμων πηγών. Η επίτευξη περιβαλλοντικών και ενεργειακών στόχων, δεν πρέπει να πραγματοποιηθεί εις βάρος της εθνικής οικονομίας, επομένως σε όλες τις μελέτες βασικό ρόλο διαδραματίζουν τα δεδομένα της οικονομίας[12].

2.2.3 Σχολιασμός των στόχων για την ηλεκτροκίνηση

Όπως αναφέρθηκε ο Εθνικός Ενεργειακός Σχεδιασμός στοχοθετεί για το 2030 την διείσδυση του ηλεκτρικού αυτοκινήτου σε ποσοστό 10% επί του συνολικού στόλου, το οποίο προσεγγιστικά ερμηνεύεται σε πλέον του μισού εκατομμυρίου οχήματα. Η στόχευση αυτή κρίνεται ως ιδιαίτερα φιλόδοξη από τη σκοπιά ενός συνόλου τεχνολογικών και οικονομικών παραγόντων. Τα στοιχεία και οι υπολογισμοί που ακολουθούν αποτελούν προϊόν συνέντευξης που πραγματοποιήθηκε με τον κ. Γεώργιο Αγερίδη, Διευθυντή της Διεύθυνσης Ενεργειακής Αποδοτικότητας στο Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ) και πρώην Πρόεδρο του ΕΛ.ΙΝ.Η.Ο. (Ελληνικό Ινστιτούτο Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων)[74].

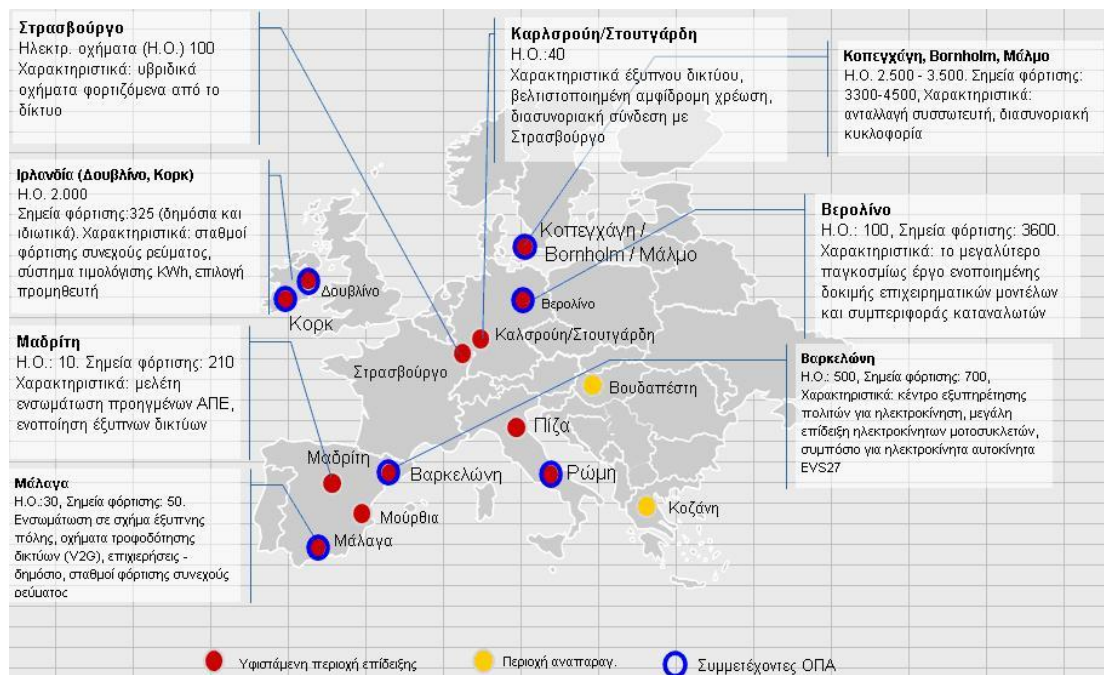
Αρχικά, ο σημερινός αριθμός των ηλεκτροκίνητων αυτοκινήτων στην Ελλάδα δεν ξεπερνά τα 500 οχήματα. Η επέκταση του ηλεκτροκίνητου στόλου σε 500.000 οχήματα σε ορίζοντα δεκαετίας, θα σήμαινε κατά μέσο όρο ετήσιες πωλήσεις 50.000 ηλεκτρικών οχημάτων, τη στιγμή που το 2017, έτος ρεκόρ σε πωλήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων, ο αντίστοιχος αριθμός ήταν της τάξης των 100 αυτοκινήτων. Είναι φανερό ότι το κόστος απόκτησης ενός ηλεκτροκίνητου αυτοκινήτου παραμένει αποθαρρυντικό ή και αποτρεπτικό για τον μέσο έλληνα οδηγό, δεδομένης της οικονομικής δυσμένειας που επικρατεί στον τομέα κατανάλωσης αγαθών τα τελευταία χρόνια στη χώρα.

Εν συνεχεία, γίνεται εύκολα αντιληπτό το γεγονός ότι η υποστήριξη ενός τέτοιου στόλου προϋποθέτει ένα ικανό δίκτυο φόρτισης. Το ελληνικό δίκτυο φόρτισης, όπως εμφανίζεται και στο Σχήμα 2.4, βρίσκεται ακόμα σε πρώιμο στάδιο και δε θα μπορούσε να καλύψει τις απαιτήσεις τέτοιας ποσότητας οχημάτων.



Εικόνα 2.1: Χάρτης σημείων φόρτισης[21].

Σήμερα στην χώρα λειτουργούν περί τα 50 σημεία φόρτισης για 500 ηλεκτρικά οχήματα, ενώ για παράδειγμα στην Βαρκελώνη λειτουργούν 700 σημεία φόρτισης για τον ίδιο αριθμό οχημάτων. Χρειάζεται, επομένως, μια συστηματική εγκατάσταση υποδομών που θα πραγματοποιείται παράλληλα με την αύξηση του αριθμού των οχημάτων, ή θα προηγείται αυτής.



Εικόνα 2.2 Ενδεικτικός αριθμός σημείων φόρτισης ανά πόλη[7].

Ένας τελευταίος, αλλά ιδιαίτερα ουσιαστικός περιορισμός σε σχέση με την αύξηση του ηλεκτροκίνητου στόλου, είναι το γεγονός πως η παγκόσμια και ευρωπαϊκή κίνηση της αγοράς σε σχέση με το ηλεκτρικό αυτοκίνητο μαρτυρούν ότι ακόμα και αν οι προηγούμενοι προβληματισμοί δεν υπήρχαν και η Ελλάδα παρουσίαζε ζήτηση 50.000 ηλεκτρικών αυτοκινήτων σε κάθε ένα από τα επόμενα έτη, πιθανότατα οι αυτοκινητοβιομηχανίες δεν θα ήταν προετοιμασμένες να καλύψουν μια τέτοια απροσδόκητα υψηλή ζήτηση.

Ο σχεδιασμός του 2050 κρίνεται επίσης ως φιλόδοξος, με βάση τους ίδιους ακριβώς περιορισμούς.

2.2.4 Προκλήσεις λόγω της μεγαλύτερης διείσδυσης των ΑΠΕ στο δίκτυο

Οι προκλήσεις που σχετίζονται με τη μεγάλη διείσδυση των ΑΠΕ στο Ελληνικό δίκτυο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έχουν μελετηθεί στον οδικό χάρτη για το 2050 του Υπουργείου Ενέργειας. Πρωτεύοντα στόχο αποτελεί η αποφυγή της αποσταθεροποίησης της συχνότητας της παραγόμενης τάσης. Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο απαιτείται συνεχής και ευέλικτη παρέμβαση των συμβατικών μονάδων, αλλά και των μονάδων αποθήκευσης και παραγωγής ενέργειας. Απαραίτητη κρίνεται η αποθήκευση ενέργειας, χρησιμοποιώντας μεθόδους όπως η αντλησιοταμίευση. Ο τρόπος διαχείρισης ενέργειας και ο έλεγχος του ενεργειακού συστήματος καλούνται να αναδιαμορφωθούν με βάση τα νέα δεδομένα εισαγωγής των ΑΠΕ. Η αύξηση της ονομαστικής ισχύος των αιολικών έχει ως συνέπεια την μεγαλύτερη απόρριψη αιολικής ενέργειας. Το ποσοστό της ενέργειας που απορρίπτεται, δεν θα πρέπει να υπερβαίνει κάποιο όριο, διότι οι παραγωγοί λαμβάνουν αποζημίωση για την απορριπτόμενη ενέργεια, κατά συνέπεια το κόστος της αιολικής ενέργειας θα αυξηθεί σημαντικά για τους καταναλωτές. Το σύστημα μεταφοράς και διανομής ενέργειας δε θα μείνει ανεπηρέαστο, καθώς θα πρέπει να ενισχυθούν οι γραμμές και οι υποσταθμοί του. Ο έλεγχος του συστήματος χρήζει βελτιστοποίησης, μέσω συνεχών προσομοιώσεων, ώστε να εξασφαλισθεί ικανοποιητική πρόβλεψη της σταχαστικότητας των μονάδων ΑΠΕ[16].

Κεφάλαιο 3. Ηλεκτρικό αυτοκίνητο

3.1 Ιστορική εξέλιξη

Το ηλεκτρικό αυτοκίνητο έχει αρχίσει να αποκτά ευρεία ζήτηση τα τελευταία χρόνια, ωστόσο η εμφάνισή του χρονολογείται στις αρχές του 19^{ου} αιώνα. Οι ετήσιες πωλήσεις ηλεκτρικών οχημάτων παρουσιάζουν σαφή ανοδική τάση, και η ανασκόπηση της ιστορίας της εξέλιξής του παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, σε μια περίοδο που πιθανώς προηγείται της μαζικής ενσωμάτωσής του στις μεταφορές.

3.1.1 Πρώτη εμφάνιση του ηλεκτροκίνητου αυτοκινήτου

Η σύλληψη της ιδέας της κατασκευής ενός οχήματος στο οποίο η ισχύς για την κίνηση των τροχών θα παράγεται από ενσωματωμένο ηλεκτροκινητήρα, που θα τροφοδοτείται από επίσης ενσωματωμένη στο όχημα μπαταρία, προέκυψε στο ξεκίνημα της δεκαετίας του 1800. Η κατασκευή του είναι αποτέλεσμα ταυτόχρονων ανεξάρτητων μελετών από Ούγγρους, Ολλανδούς, Αμερικανούς και Βρετανούς κυρίως επιστήμονες. Μεταξύ των ετών 1832-1839 ο Σκοτσέζος χημικός Robert Anderson κατασκευάζει το πρώτο πρώιμης μορφής ηλεκτροκίνητο καροτσάκι, ενώ το 1834 ο Thomas Davenport από τις Ηνωμένες Πολιτείες, παρουσιάζει αντίστοιχο αμαξίδιο, που κινείται σε κυκλικές ηλεκτροδοτούμενες ράγες[22][23].



(Δεξιά) Εικόνα 3.1: Flocken Elektrowagen, 1888 (reconstruction, 2011)[24].
(Αριστερά) Εικόνα 3.2: La Jamais Contente - Mondial de l'Automobile de Paris 2014[25].

Τα πρώτα πρακτικά ηλεκτρικά αυτοκίνητα που εισάγονται στην αγορά εμφανίζονται στα τέλη του ίδιου αιώνα. Το 1888 ο Γερμανός μηχανικός Andreas Flocken επινοεί το πρώτο τετράτροχο ηλεκτροκίνητο όχημα και το 1897 εισάγεται στην πόλη της Νέας Υόρκης το πρώτο εμπορικό ηλεκτροκίνητο ταξί. Στη Γαλλία, μία από τις πρωτοπόρες χώρες που προώθησαν το ηλεκτρικό αυτοκίνητο, το 1899 κατασκευάζεται για πρώτη φορά ηλεκτροκίνητο όχημα που φτάνει την ταχύτητα των 100 χιλιομέτρων την ώρα, με το όνομα «La Jamais Contente» (Ποτέ Ικανοποιημένη). Το επόμενο έτος τα ηλεκτροκίνητα οχήματα κατακτούν την αγορά των Ηνωμένων Πολιτειών στις πωλήσεις οδικών οχημάτων[22][23].

Η ύπαρξη ηλεκτροκίνητων αυτοκινήτων στην Ελλάδα ξεκίνησε πριν από 45 χρόνια στη Σύρο. Η εταιρία «ENFIELD AUTOMOTIVE Ltd» με έδρα το Λονδίνο,

ειδικεύονταν στη σχεδίαση και κατασκευή ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Το 1972 εξαγοράστηκε από τους αδελφούς Γουλανδρή, οι οποίοι τη μετονόμασαν σε «ENFIELD NEORION Ε.Π.Ε.» και μετέφεραν τη γραμμή παραγωγής σε τμήμα των Ναυπηγείων Σύρου[26].

Παράχθηκαν τρία μοντέλα, βασισμένα στο αγγλικό E465 [26]:

- το E8000, ένα διθέσιο με μέγιστη ταχύτητα 65χλμ/ώρα και αυτονομία μικρότερη από 100χλμ.
- το Bicini, ένα τετραθέσιο αλουμινένιο τζιπ, με 65χλμ/ώρα τελική ταχύτητα και 110-130χλμ αυτονομία,
- και το κλειστό βαν Miner.



Εικόνα 3.3: Τα μοντέλα E800, Bicini και Miner της «ENFIELD NEORION Ε.Π.Ε.»[26].

Και τα τρία πουλήθηκαν σε μικρές ποσότητες στην Αγγλία και στη Σουηδία. Η μονάδα σταμάτησε την παραγωγή και έκλεισε το 1975[26].

3.1.2 Άνοδος και γρήγορη πτώση

Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα το ηλεκτρικό αυτοκίνητο γνωρίζει μια ραγδαία αποδοχή, που μπορεί να χαρακτηριστεί και ως χρυσή εποχή, με αποκορύφωμα το έτος 1912, όταν οι πωλήσεις αγγίζουν για πρώτη φορά στην ιστορία των αριθμό των 30.000. Το ηλεκτροκίνητο όχημα υπερτερούσε τη δεδομένη χρονική στιγμή σε σχέση με τις υπόλοιπες επιλογές, που ήταν το ατμοκίνητο όχημα, το οποίο απαιτούσε χρόνο εκκίνησης έως και 45 λεπτά, και το βενζινοκίνητο όχημα με δυσκολία στην αλλαγή ταχυτήτων, χειροκίνητο στρόφαλο απαραίτητο για την εκκίνηση, δύσχρηστο για πολλούς και πολύ θορυβώδες. Σε αντιπαραβολή, το ηλεκτρικό αυτοκίνητο δεν ήταν θορυβώδες, ήταν εύκολο στην οδήγηση και μη ρυπογόνο[23].

Η πρώτη περίοδος της ακμής επρόκειτο να τελειώσει τόσο σύντομα όσο και άδοξα, αφού το βενζινοκίνητο αυτοκίνητο, ήδη είχε κατασκευαστεί το Ford Model T από το 1908, επιτύγχανε οικονομία στην αγορά και ενσωμάτωσε ηλεκτρική μίζα για εύκολη εκκίνηση. Στη συνέχεια το ενδιαφέρον προσανατολίστηκε στα οχήματα με μηχανές εσωτερικής καύσης, με το ηλεκτρικό αυτοκίνητο να τίθεται στο περιθώριο[23].

Ακολούθησε μια περίοδος ιδιαίτερα χαμηλής ζήτησης για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, με αποτέλεσμα μέχρι το 1930 να έχουν σχεδόν εκλείψει από τους δρόμους. Ωστόσο, οι αυξήσεις στις τιμές των πετρελαιοειδών και η εντεινόμενη ατμοσφαιρική ρύπανση άρχισαν να αυξάνουν σταδιακά το ενδιαφέρον για την ηλεκτροκίνηση στις μεταφορές

μέσα στις πόλεις στα μέσα του 20^{ου} αιώνα, όπου και επανεκκίνησε η περιορισμένη παραγωγή και μελέτη πάνω στις δυνατότητες της εν λόγω τεχνολογίας.

3.1.3 Το ηλεκτρικό αυτοκίνητο ξανά στο προσκήνιο

Η κλιματική αλλαγή, η περιβαλλοντική κρίση και η απομύζηση των φυσικών πόρων έστρεψε ξανά το ενδιαφέρον των κυβερνήσεων και των αυτοκινητοβιομηχανιών παγκοσμίως προς το ηλεκτρικό αυτοκίνητο, με αφετηρία τη δεκαετία του 1990. Η τεχνολογική βελτιστοποίηση που έχει πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα σε ζητήματα όπως η αυτονομία, οι επιδόσεις σε ισχύ και η ταχύτητα φόρτισης είναι αξιοσημείωτη και αποτυπώνεται στην παγκόσμια αύξηση της ζήτησης. Η δημιουργία υβριδικών αυτοκινήτων, με ταυτόχρονη χρήση μηχανής εσωτερικής καύσης και ηλεκτροκινητήρα, που μπορεί να τροφοδοτείται από επαναφορτιζόμενη μπαταρία ή να αντλεί ενέργεια από την πρώτη μηχανή, αποτέλεσε ένα ενδιάμεσο βήμα το οποίο ξεπερνά τις προσωρινές αδυναμίες των αμιγώς ηλεκτροκίνητων οχημάτων, αξιοποιώντας τα πλεονεκτήματά τους. Η μείωση του κόστους των ηλεκτρικών αυτοκινήτων πρόκειται να δημιουργήσει νέες δυνατότητες ενσωμάτωσης, ενώ στο μέλλον η ηλεκτροκίνηση, όπως διαφαίνεται από κρατικούς και διεθνείς σχεδιασμούς, αναμένεται να αποτελέσει την κινητήρια δύναμη για τις περισσότερες μεταφορές, ιδιαίτερα στα αστικά κέντρα.

3.2 Τύποι ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Με τον γενικό όρο ηλεκτρικό όχημα μπορεί να γίνει αναφορά στα μεταφορικά μέσα σταθερής τροχιάς (τρένα, μετρό), τα συνδεδεμένα οχήματα (τρόλεϊ) και τα οχήματα με πλήρη ελευθερία κίνησης. Διεθνώς, οι φράσεις «ηλεκτροκίνηση» και «ηλεκτρικά αυτοκίνητα», αναφέρονται στην τρίτη κατηγορία οχημάτων που είναι:

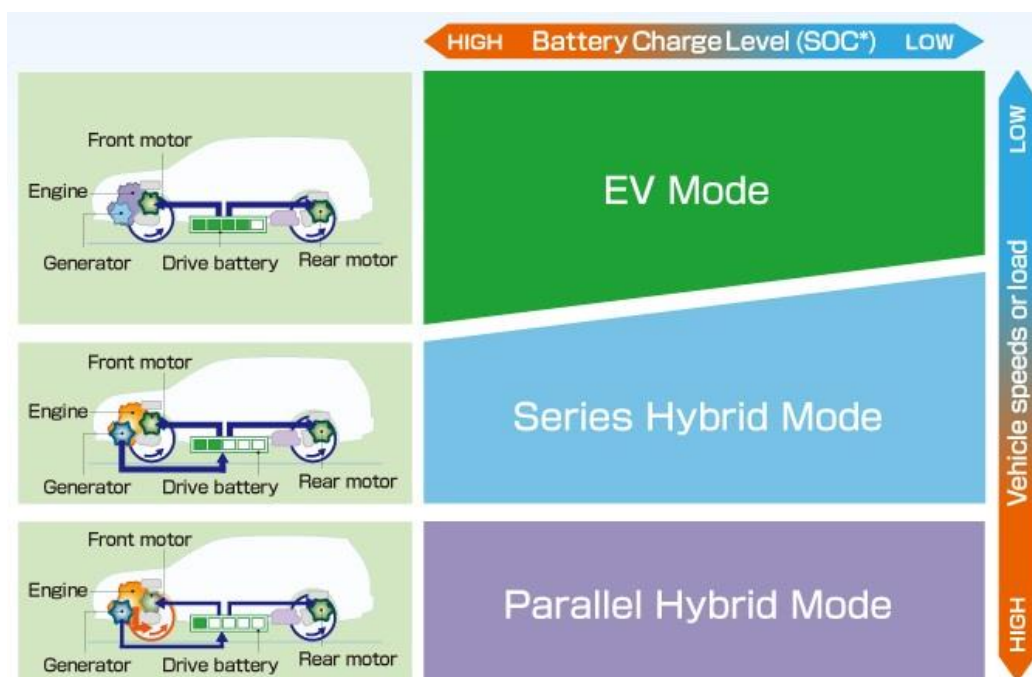
- Τα επαναφορτιζόμενα από το δίκτυο υβριδικά αυτοκίνητα P.H.E.V. (Plug-in Hybrid Electric Vehicle).
- Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα με συσσωρευτές και ηλεκτροπαραγωγική μονάδα E.R.E.V. (Extended Range Electric Vehicle).
- Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα με συσσωρευτές που επαναφορτίζονται από το δίκτυο B.E.V. (Battery Electric Vehicles).
- Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα με κυψέλες καυσίμου F.C.E.V. (Fuel Cells Electric Vehicles).

3.2.1 Επαναφορτιζόμενα από το δίκτυο υβριδικά αυτοκίνητα P.H.E.V



Εικόνα 3.4: Στοιχειώδη μέρη ενός P.H.E.V[29].

Τα επαναφορτιζόμενα από το δίκτυο ηλεκτρικά αυτοκίνητα είναι σήμερα λειτουργικά, άνετα και αξιόπιστα. Περιλαμβάνουν μπαταρία αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, ηλεκτροκινητήρα και μηχανή εσωτερικής καύσης (Μ.Ε.Κ.), που συνήθως λειτουργεί με καύσιμο Diesel ή φυσικό αέριο CNG. Η χρήση τους βασίζεται στον συνδυασμό τριών καταστάσεων λειτουργίας ανάλογα με τις απαιτήσεις τις οδήγησης.



Εικόνα 3.5: Καταστάσεις λειτουργίας ενός P.H.E.V[27].

Όταν το όχημα κινείται με χαμηλές έως και μέσες ταχύτητες η κίνηση παρέχεται από τον ηλεκτροκινητήρα ο οποίος αντλεί ενέργεια από την μπαταρία. Καθώς η ενέργεια της μπαταρίας εξαντλείται η Μ.Ε.Κ. ενεργοποιείται αυτόματα, τροφοδοτώντας με ενέργεια τον ηλεκτροκινητήρα που κινεί τους τροχούς. Όταν οι ταχύτητες είναι μεγάλες και οι στροφές υψηλές, το όχημα μπαίνει σε λειτουργία παράλληλης αξιοποίησης του ηλεκτροκινητήρα και της Μ.Ε.Κ. για την μετάδοση κίνησης στους τροχούς, προκειμένου να καλυφθούν οι αυξημένες ανάγκες. Ακόμα, όταν το όχημα επιβραδύνεται, ο ηλεκτροκινητήρας πραγματοποιεί την αντίστροφη λειτουργία, αντλώντας ενέργεια από τους τροχούς και επαναφορτίζοντας την μπαταρία. Τα αυτοκίνητα αυτά, συνήθως μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αμιγώς ηλεκτρικά για ένα εύρος αποστάσεων εντός πόλης (50χλμ)[27].

	Motor	Engine	Situation
EV Mode	Drive	Not Used	City driving
Series Mode	Drive	Power Generation	Uphill/Acceleration
Parallel Mode	Drive	Drive+Power Generation	Highway driving

Πίνακας 3.1: Καταστάσεις λειτουργίας ενός P.H.E.V. για διαφορετικούς τύπους οδήγησης[27].

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η επισκόπηση μερικών βασικών χαρακτηριστικών ενός από τα κορυφαία σε πωλήσεις P.H.E.V. των τελευταίων ετών σε Ευρώπη και Αμερική του Mitsubishi Outlander.

Mitsubishi Outlander PHEV 2018		
Μέγιστη ταχύτητα		177 kmh
0-100		10.5 s
Ισχύς		120 kW
Αυτονομία	Λειτουργία EV	50 km
	Συνδυασμένη Λειτουργία	600 km
Κατανάλωση	EV	17 kWh/100km
	ΜΕΚ (ΦΑ)	5.4 l/100km
Εκπομπές CO2		40 g/km
Τιμή (από)		39.900€

Πίνακας 3.2: Χαρακτηριστικά Mitsubishi Outlander PHEV 2108[28].

3.2.2 Ηλεκτρικά αυτοκίνητα με συσσωρευτές και ηλεκτροπαραγωγική μονάδα E.R.E.V.

Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα με συσσωρευτές και ηλεκτροπαραγωγική μονάδα, όπως γίνεται αντιληπτό από την ονομασία τους, διαθέτουν συσσωρευτή ενέργειας (μπαταρία) και μηχανή εσωτερικής καύσης, που χρησιμοποιείται ως βοηθητική μονάδα προκειμένου να αυξάνει την εμβέλεια οδήγησης χωρίς να απαιτείται φόρτιση. Η Μ.Ε.Κ. λειτουργεί και παρέχει ενέργεια σε μια ηλεκτρική γεννήτρια που στη

συνέχεια τροφοδοτεί το σύστημα μετάδοσης της κίνησης στους τροχούς. Ο συγκεκριμένος τύπος οχήματος, αξιοποιεί σε πρώτη φάση την ενέργεια που παρέχεται από τον συσσωρευτή ενέργειας, επιτυγχάνοντας μηδενικές εκπομπές σωματιδίων και οικονομικότερη οδήγηση, ενώ όταν το απόθεμα της μπαταρίας τείνει να εξαντληθεί, θέτει σε λειτουργία τη βοηθητική μονάδα αυξάνοντας την εμβέλεια της οδήγησης. Αρκετά από αυτά τα οχήματα έχουν τη δυνατότητα σύνδεσης στο δίκτυο για τη φόρτιση των μπαταριών τους[30].



Εικόνα 3.6: Στοιχειώδη μέρη ενός E.R.E.V[29].

Ένα E.R.E.V. σύγχρονης τεχνολογίας είναι το Chevrolet Volt 2018 και τα χαρακτηριστικά του παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 3.2.

Chevrolet Volt EREV 2018		
Μέγιστη ταχύτητα		157 kmh
0-100		8.8 s
Ισχύς		111 kW
Αυτονομία	Λειτουργία EV	85 km
	Συνδυασμένη Λειτουργία	607 km
Κατανάλωση	EV	16,5 kWh/100km
	ΜΕΚ (ΦΑ)	5.5-5.6 L/100km
Εκπομπές CO2		27 g/km
Τιμή (από)		34.095€

Πίνακας 3.3: Χαρακτηριστικά Chevrolet Volt 2108[28].

3.2.3 Ηλεκτρικά αυτοκίνητα με συσσωρευτές που επαναφορτίζονται από το δίκτυο B.E.V.

Το ηλεκτρικό αυτοκίνητο με μπαταρία (BEV) ή αμιγώς ηλεκτρικό ή καθαρό ηλεκτρικό αυτοκίνητο αποτελεί έναν τύπο ηλεκτρικού οχήματος (EV) που χρησιμοποιεί χημική ενέργεια αποθηκευμένη σε επαναφορτιζόμενες μπαταρίες. Τα BEV χρησιμοποιούν ηλεκτρικούς κινητήρες αντί για κινητήρες εσωτερικής καύσης για πρόωση. Αντλούν όλη την απαιτούμενη ισχύ για τη λειτουργία τους από συστοιχίες μπαταριών και συνεπώς δεν έχουν μηχανισμό εσωτερικής καύσης, κυψέλη καυσίμου ή δεξαμενή καυσίμου[29].



Εικόνα 3.7: Στοιχειώδη μέρη ενός B.E.V[29].

Αν και τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα συχνά αποδίδουν καλή επιτάχυνση και έχουν γενικά αποδεκτή τελική ταχύτητα, η χαμηλότερη ειδική ενέργεια των διαθέσιμων μπαταριών σε σύγκριση με τους κινητήρες που καταναλώνουν ορυκτά καύσιμα, έχει ως αποτέλεσμα τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα να χρειάζονται μπαταρίες που καταλαμβάνουν αρκετά μεγάλο μέρος της μάζας του οχήματος, και παρόλα αυτά προσφέρουν μικρή αυτονομία μεταξύ δύο διαδοχικών φορτίσεων. Η επαναφόρτιση μπορεί επίσης να απαιτήσει σημαντικό χρονικό διάστημα. Ωστόσο, για μικρές μετακινήσεις, όπως εκείνες εντός των πόλεων, που δεν απαιτούν ενδιάμεση επαναφόρτιση, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα αποτελούν πρακτικές και οικονομικές μορφές μεταφοράς, ενώ η φόρτισή τους μπορεί να πραγματοποιηθεί τις νυχτερινές ώρες.

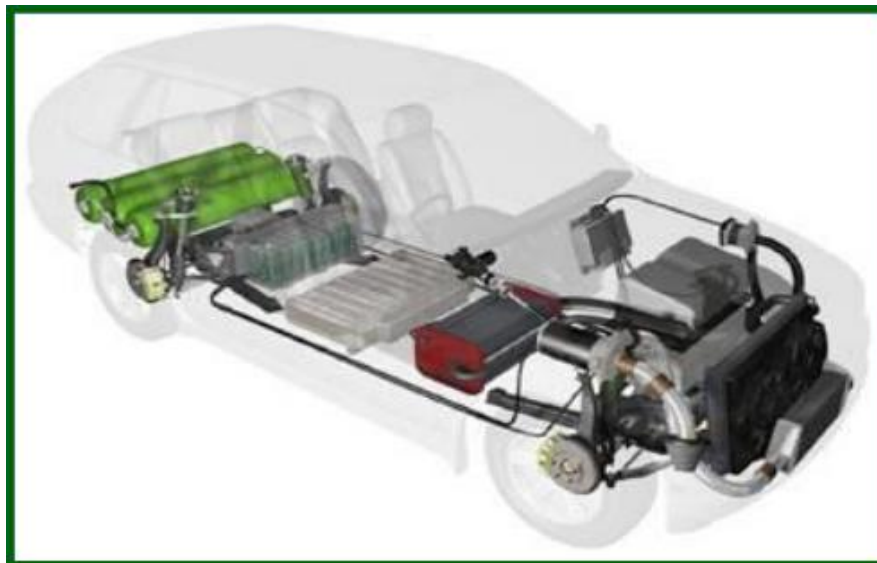
Το μοντέλο Nissan Leaf είναι το κορυφαίο σε πωλήσεις αμιγώς ηλεκτροκίνητο αυτοκίνητο στην Ευρώπη. Ακολουθούν τα χαρακτηριστικά των επιδόσεών του στον Πίνακα 3.3.

Nissan Leaf BEV 2018	
Μέγιστη ταχύτητα	155 kmh
0-100	8.0 s
Ισχύς	110 kW
Αυτονομία	243 km
Κατανάλωση	16,5 kWh/100km
Εκπομπές CO2	0 g/km
Τιμή (από)	32.900€

Πίνακας 3.4: Χαρακτηριστικά Nissan Leaf 2108[31].

3.2.4 Ηλεκτρικά αυτοκίνητα με κυψέλες καυσίμου F.C.E.V.

Το όχημα κυψελών καυσίμου (FCV) ή το ηλεκτρικό όχημα κυψελών καυσίμου (FCEV) αποτελεί έναν τύπο ηλεκτρικού οχήματος που χρησιμοποιεί μια κυψέλη καυσίμου αντί για μπαταρία, ή σε συνδυασμό με μπαταρία ή υπερπυκνωτή, για να τροφοδοτεί τον ηλεκτροκινητήρα του. Οι κυψέλες καυσίμου παράγουν ηλεκτρική ενέργεια για να τροφοδοτήσουν τον κινητήρα, χρησιμοποιώντας οξυγόνο από τον αέρα και συμπιεσμένο υδρογόνο. Η λειτουργία τους στηρίζεται στο γεγονός ότι η αντίστροφη δράση της ηλεκτρόλυσης παράγει ηλεκτρική ενέργεια από την ηλεκτροχημική σύνθεση υδρογόνου και οξυγόνου με ταυτόχρονη παραγωγή καθαρού νερού. Τα περισσότερα οχήματα με κυψέλες καυσίμου ταξινομούνται ως οχήματα με μηδενικές εκπομπές, που εκπέμπουν μόνο νερό και θερμότητα. Σε σύγκριση με τα οχήματα εσωτερικής καύσης, τα οχήματα υδρογόνου συγκεντρώνουν ρύπους στο στάδιο της παραγωγής του υδρογόνου, καθώς το υδρογόνο προέρχεται συνήθως από αναμορφωμένο φυσικό αέριο. Η μεταφορά και αποθήκευση υδρογόνου μπορεί επίσης να δημιουργήσει ρύπους[32].



Εικόνα 3.8: Στοιχειώδη μέρη ενός F.C.E.V[29].

Μέχρι και το 2017, υπήρχε περιορισμένη υποδομή σε σταθμούς ανεφοδιασμού υδρογόνου, ενδεικτικά υπήρχαν μόλις 36 σταθμοί διαθέσιμοι δημοσίως για αυτοκίνητα στις ΗΠΑ, αλλά προγραμματίζονται περισσότεροι σταθμοί υδρογόνου, ιδιαίτερα στην Καλιφόρνια. Στην Ιαπωνία και στην Ευρώπη υπάρχουν ορισμένοι δημόσιοι σταθμοί ανεφοδιασμού υδρογόνου και προγραμματίζονται νέοι σταθμοί[32].

Ακόμα, υπάρχει αμφιβολία για το κατά πόσο το υδρογόνο θα είναι αποτελεσματικό σε επιδόσεις και οικονομικά αποδοτικό για τα αυτοκίνητα, σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες μηδενικών εκπομπών. Σήμερα οι κυριότερες μέθοδοι παραγωγής υδρογόνου είναι η ηλεκτρόλυση ύδατος με χρήση ηλεκτρικής ενέργειας και ο θερμικός ανασχηματισμός ορυκτού ή άλλης μορφής καυσίμου (Βιομάζα, Κάρβουνο, Φυσικό αέριο, Αιθανόλη, Πετρέλαιο κ.λπ.) Και για τις δύο αυτές μεθόδους παραγωγής υδρογόνου, οι οποίες χρησιμοποιούνται σε βιομηχανική κλίμακα επί ένα σχεδόν αιώνα, τα καταγραφόμενα στοιχεία επιβεβαιώνουν ενεργειακές αποδόσεις μεταξύ 44% και 72%. Εάν στον μέσο όρο του 58% συνυπολογιστεί και η απώλεια συμπίεσης/υγροποίησης και διανομής του υδρογόνου η απόδοση κυμαίνεται περί το 50%[33].

Παρόλα αυτά τα οχήματα υδρογόνου μπορούν να ικανοποιήσουν μεταφορικές ανάγκες γεωγραφικών περιοχών ή ειδικών προδιαγραφών οι οποίες είναι αδύνατο να εξυπηρετηθούν με ηλεκτρικά οχήματα με συσσωρευτές. Επιπλέον, συσσωρευτές εξελίσσονται ταχύτατα αλλά τα βασικά τους μειονεκτήματα, που είναι το μεγάλο βάρος και όγκος αλλά και το υψηλό κόστος τους, σε συνδυασμό με τους μεγάλους χρόνους επαναφόρτισης, συνεχίζουν να αποτελούν αρνητικά χαρακτηριστικά στα οποία το υδρογόνο φαίνεται να δίνει απαντήσεις, έστω και με τα μειονεκτήματα που προαναφέρθηκαν[33].

Honda Clarity Fuel Cell 2018	
Μέγιστη ταχύτητα	160 kmh
0-100	9.5 s
Ισχύς	103 kW
Αυτονομία	589 km
Κατανάλωση	1.11kgH/100km
Εκπομπές CO2	0 g/km
Τιμή (από)	48.324

Πίνακας 3.5: Χαρακτηριστικά Honda Clarity 2108[34].

3.3 Συσσωρευτές και αυτονομία

3.3.1 Τύποι συσσωρευτών και σύγκριση χαρακτηριστικών

Οι συσσωρευτές ή μπαταρίες ιόντων λιθίου (Li-Ion) αντιπροσωπεύουν σήμερα την πιο χρησιμοποιούμενη τεχνολογία στα ηλεκτρικά οχήματα. Χάρη στην υψηλή ενεργειακή πυκνότητα και την αυξημένη ισχύ ανά μονάδα μάζας, επιτρέπουν την ανάπτυξη ορισμένων τύπων μπαταριών με μειωμένο βάρος και διαστάσεις σε ανταγωνιστικές τιμές.

Σύμφωνα με μελέτες [35], αυτή η τεχνολογία επιτυγχάνει το βέλτιστο συνδυασμό ταχύτητας φόρτισης και βάρους, ικανοποιώντας μία από τις πιο σημαντικές συνθήκες για μια μπαταρία που χρησιμοποιείται στην βιομηχανία ηλεκτρικών οχημάτων, η οποία διευκόλυνε την αντικατάσταση των υβριδικών μπαταριών νικελίου-μετάλλου (Ni-MH). Ένα άλλο πλεονέκτημα του συγκεκριμένου τύπου συσσωρευτών, είναι ότι δεν χάνουν τη μέγιστη ενεργειακή χωρητικότητά τους, μετά από αρκετές φορτίσεις και εκφορτίσεις, γεγονός που αυξάνει το χρόνο ζωής τους.

Το μειονέκτημα των μπαταριών Li-Ion είναι η υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας τους, η οποία θα μπορούσε να επηρεάσει τις ενεργειακές τους επιδόσεις, τη διάρκεια ζωής τους και την ασφάλεια κατά τη χρήση τους. Κρίνεται απαραίτητη η ύπαρξη συστήματος παρακολούθησης και ελέγχου της θερμοκρασίας εντός των κυψελών αποθήκευσης. Εκτός από τα μειονεκτήματα που οφείλονται στη θερμοκρασία εκμετάλλευσης, υπάρχουν επίσης προβλήματα που συνδέονται με το υψηλό κόστος παραγωγής, τη δυνατότητα ανακύκλωσης των μπαταριών που δεν χρησιμοποιούνται και τις υποδομές επαναφόρτισης[36].

Στις αρχές του 2000, οι Ni-MH μπαταρίες αντιπροσώπευαν την πιο προηγμένη τεχνολογία που χρησιμοποιήθηκε σε υβριδικά και ηλεκτρικά οχήματα, και δικαίως θεωρείται το πρώτο βήμα για την επίτευξη της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται σήμερα.

Σε σύγκριση με τις διαθέσιμες μπαταρίες εκείνη την εποχή, δηλαδή τις μπαταρίες νικελίου καδμίου Ni-Cd και μολύβδου-οξέος Lead-Acid, η τεχνολογία Ni-MH πληρούσε τις απαιτήσεις προκειμένου να εισαχθεί στην αυτοκινητοβιομηχανία. Το πλεονέκτημά της ήταν ότι παρείχε υψηλή ενεργειακή πυκνότητα και ισχύ, επιτρέποντας την αυτονομία της για περισσότερα από 300 km, παρέχοντας μπαταρίες με 70 Wh/kg ειδική ισχύ. Επιπλέον, αυτές οι μπαταρίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν με επιτυχία σε συστήματα πρόωσης εξοπλισμένα με ηλεκτροκινητήρες 320 V AC, ή 180 V DC, και παρουσιάζουν αυξημένο κύκλο ζωής (έως 80% βάθος εκφόρτισης). Άλλα πλεονεκτήματα ήταν η ικανότητα τους να αντλούν ενέργεια από την πέδηση του οχήματος, μπορούσαν να κατασκευαστούν από ανανεώσιμα υλικά, παρείχαν εξαιρετικές θερμικές ιδιότητες (θερμοκρασία λειτουργίας από - 30°C έως + 70°C), ασφάλεια φόρτισης και αποφόρτισης [37][38]. Σήμερα η τεχνολογία αυτή συνεχίζει να βρίσκει πεδίο εφαρμογής, παρέχοντας αρκετά χιλιόμετρα αυτονομίας, με παράδειγμα το μοντέλο GM EV1 με αυτονομία 280 km, τείνει ωστόσο να ξεπεραστεί

καθώς οι μπαταρίες αυτές έχουν αρκετό βάρος, ενώ τα τελευταία χρόνια το ερευνητικό ενδιαφέρον έχει στραφεί σε άλλες τεχνολογίες.

Οι συσσωρευτές Na-NiCl₂, επίσης γνωστοί ως μπαταρίες ZEBRA (Zeolite Battery Research Africa), αξιοποιήθηκαν εξοπλίζοντας μερικά αυτοκίνητα και λεωφορεία που χρησιμοποιούνται στις αστικές δημόσιες συγκοινωνίες [39]. Αυτοί οι τύποι μπαταριών είναι ιδιαίτερος αξιοσημείωτοι για την αυξημένη πυκνότητα ενέργειας (90-120 WH/kg) που παρουσιάζουν, και επίσης λόγω χαμηλότερης τιμής σε σύγκριση με άλλες υπάρχουσες τεχνολογίες. Άλλα πλεονεκτήματά τους είναι: παρουσιάζουν αντίσταση στην υπερφόρτιση και την υπερεκφόρτισή τους, έχουν αυξημένο κύκλο ζωής και προσαρμοστικότητα ως προς τις συνθήκες λειτουργίας τους, που επιτρέπει τη χρήση τους σε σκληρές συνθήκες περιβάλλοντος, καθώς οι επιδόσεις τους δε επηρεάζονται από τις χαμηλές θερμοκρασίες.

Οι συσσωρευτές αυτοί έχουν πολύ μικρό μέγεθος και δουλεύουν σε υψηλές θερμοκρασίες (270°C-350°C), ενώ η συνεχής χρήση του ηλεκτρικού οχήματος που τις φέρει είναι απαραίτητη προκειμένου να αποφεύγεται η ψύξη του ηλεκτρολύτη. Σε περίπτωση που το αυτοκίνητο δεν χρησιμοποιείται, η θερμοκρασία της μπαταρίας πρέπει να διατηρείται σταθερή μέσω ενός εξωτερικού συστήματος θέρμανσης, το οποίο καταναλώνει 90Wh από την μπαταρία. Εάν αυτό δε συμβεί, χρειάζονται 12 έως 15 ώρες για να ξεπαγώσουν την μπαταρία και να την επαναφέρουν στις λειτουργικές της παραμέτρους [40].

Αν και οι μπαταρίες Li-Ion βρίσκονται τώρα σε προχωρημένο στάδιο ανάπτυξης, αυτός ο τύπος μπαταρίας δεν μπορεί να ικανοποιήσει ακόμα τα αιτήματα που σχετίζονται με το ηλεκτρικό αυτοκίνητο, ειδικά ως προς την αυτονομία, καθιστώντας απαραίτητη την εξεύρεση νέων τεχνολογιών που μπορούν να προσφέρουν υψηλή χωρητικότητα αποθήκευσης ενέργειας, με αυξημένη διάρκεια ζωής. Ένας άλλος τύπος τεχνολογίας, δηλαδή η μπαταρία λιθίου-θείου (Li-S), έχει κεντρίσει το ενδιαφέρον της ερευνητικής κοινότητας, κυρίως λόγω της αυξημένης θεωρητικής ειδικής ενέργειας (2500 Wh/kg), καθώς και της θεωρητικής ειδικής χωρητικότητάς της (1672 mAh/kg), κάνοντάς την ανταγωνιστική σε σχέση με την τεχνολογία που χρησιμοποιείται σήμερα, και πιθανώς αποτελεί μια βιώσιμη λύση για την μελλοντική διάδοση της ηλεκτροκίνησης. Προς το παρόν, λόγω της μειωμένης διάρκειας ζωής και της ικανότητας κατακράτησης ενέργειας, η χρήση αυτού του τύπου μπαταρίας είναι περιορισμένη [41].

Σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε [36] σε εικονικό ηλεκτρικό όχημα, το οποίο προσομοιώθηκε μέσω του λογισμικού AVL Cruise, με βάση τις κατασκευαστικές παραμέτρους του ηλεκτρικού VW E-Golf, αξιολογούνται οι διαφορές ως προς την αυτονομία και τις επιδόσεις αυτών των τεσσάρων τύπων μπαταριών. Τα αποτελέσματα της μελέτης παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.5.

Name	Value for Battery Type				Unit
	Li-Ion	Na-NiCl ₂	Ni-MH	Li-S	
Stored Energy	24.2	24.2	24.2	24.2	kWh
Electrical Consumption (AVL Cruise)	14.7	12.6	15.8	17.2	kWh/100km
Electrical Vehicle Autonomy (AVL Cruise)	165	192	153	140	km
Total Output Energy	6826	5927	7006	7979	kJ
Total Input Energy	184	222	184	159	kJ
Mass of Battery	318	457	534	173	kg
Battery Price	300	500	400	250	€

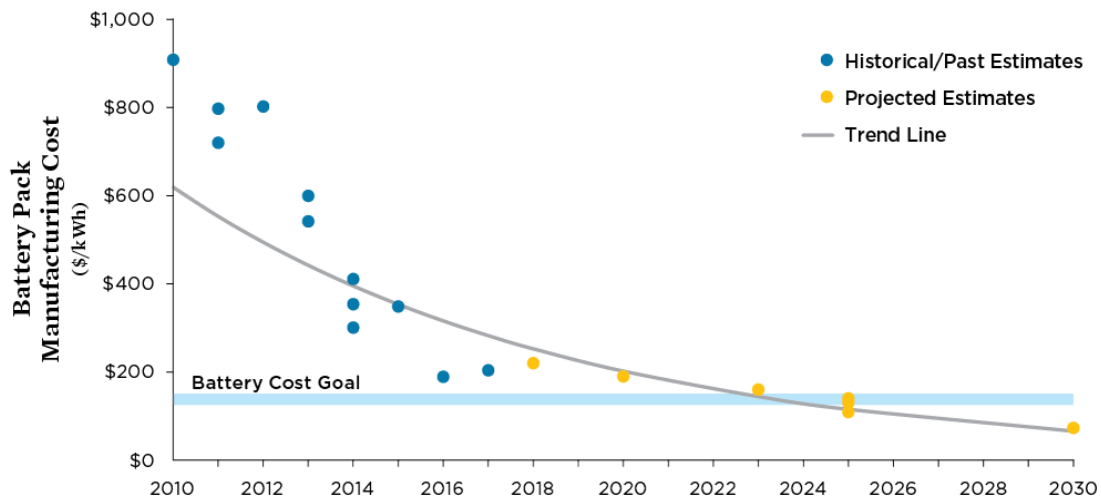
Πίνακας 3.6: Συγκριτική παρουσίαση των τεσσάρων τύπων συσσωρευτών EV[36].

Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα, οι συσσωρευτές Na-NiCl₂ αποτελούν τη βέλτιστη επιλογή από πλευράς ενεργειακής κατανάλωσης, αλλά παρουσιάζουν το μειονέκτημα της ρευστοποίησης του ηλεκτρολύτη σε καταστάσεις μη χρήσης του οχήματος. Οι μπαταρίες Ni-MH, παρόλο που έχουν αποδεκτή ενεργειακή κατανάλωση, εξακολουθούν να έχουν μεγάλο βάρος και η τεχνολογία τους μπορεί να χαρακτηριστεί ξεπερασμένη. Αντιθέτως, οι μπαταρίες Li-S, παρόλο που έχουν τη μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση, αποτελούν μελλοντικό πεδίο μελέτης, καθώς έχουν ιδιαίτερα χαμηλό βάρος, αυξημένη χωρητικότητα και χαμηλή τιμή, σε συνάρτηση με το μικρό διάστημα της τεχνολογικής ανάπτυξής τους. Τέλος, οι μπαταρίες Li-Ion αποτελούν τη βέλτιστη επιλογή με τα σημερινά δεδομένα, συνδυάζοντας μικρό βάρος, συνεχώς μειούμενη τιμή, αυξανόμενο κύκλο ζωής και χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση[36].

3.3.2 Κόστος συσσωρευτών τα τελευταία χρόνια

Η τιμή των μπαταριών ιόντων λιθίου μειώθηκε απότομα καθώς η κλίμακα παραγωγής τους έχει αυξηθεί και οι κατασκευαστές έχουν αναπτύξει πιο οικονομικά αποδοτικές μεθόδους.

Όταν οι πρώτες συσκευές μαζικής κατανάλωσης εισήχθησαν το 2010 στην αγορά, οι μπαταρίες τους κοστίζουν περίπου 1.000 δολάρια ανά κιλοβατώρα (kWh). Το 2017, το πακέτο μπαταριών Model 3 της Tesla κόστιζε 190 δολάρια ανά kWh και το πακέτο μπαταριών Chevrolet Bolt της General Motors κόστιζε περίπου 205 δολάρια ανά kWh. Τα νούμερα αυτά αντιπροσωπεύουν μια πτώση πάνω από 70% στην τιμή ανά kWh μέσα σε 6 χρόνια. Η κίνηση αυτή φαίνεται στο Σχήμα 3.1[42].



Σχήμα 3.1: Πτώση της τιμής των συσσωρευτών Li-Ion και εκτιμώμενη πτώση τα προσεχή έτη[42].

3.3.3 Αυτονομία και επιθυμητή αυτονομία

Η αυτονομία ενός ηλεκτροκίνητου οχήματος αποτελεί έναν από τους βασικούς παράγοντες επιλογής ή απόρριψής του από έναν εν δυνάμει αγοραστή. Παρότι τα 100-150 km είναι υπεραρκετά για την κάλυψη των καθημερινών αναγκών, ειδικά αν πρόκειται για μετακινήσεις εντός πόλης, πολλοί οδηγοί δεν αρκούνται, ιδίως εάν συνηθίζουν την γρήγορη οδήγηση ή αντιμετωπίζουν ακραίες θερμοκρασίες, που μπορούν να επηρεάσουν την αυτονομία σε ποσοστό 30% ή και περισσότερο[43].

Σήμερα στην αγορά υπάρχει ευρεία διαθεσιμότητα μοντέλων, που καλύπτουν μεγάλο φάσμα απαιτήσεων σε αυτονομία. Η Tesla προσφέρει στα οχήματά της αυτονομία μεγαλύτερη από 300 km. Η βασική έκδοση του Tesla Model 3 υπόσχεται αυτονομία 220 μιλίων (350 km) με εναλλακτική λύση για το ενισχυμένης αυτονομίας μοντέλο τα 310 μίλια (500 km). Η Chevrolet με το μοντέλο της Bolt EV, σύμφωνα με τη μικτή αξιολόγηση EPA, φτάνει στα 238 μίλια (380 km). Με εξαίρεση τις δύο αυτές εταιρίες, οι υπόλοιποι κατασκευαστές προσφέρουν μέγιστη αυτονομία 200 km, όπως τα Volkswagen e-Golf και Hyundai Ioniq Electric (μοντέλα του 2017). Η Nissan επιχειρεί τη διεύρυνση σε ένα ενδιάμεσο επίπεδο αυτονομίας 200-300 km. Γενικά, η μέση αυτονομία τοποθετείται περί τα 280 km[31].

Στοιχεία ληφθέντα από περίπου 14.500 ερωτηθέντες κατά τη χρονική περίοδο από Οκτωβρίου 2016 μέχρι Ιουλίου 2017 κατέδειξαν ότι η αυτονομία ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου αποτελεί τον βασικότερο παράγοντα για την επιλογή αγοράς του, σύμφωνα με ποσοστό 34,2 % των ερωτηθέντων[43].

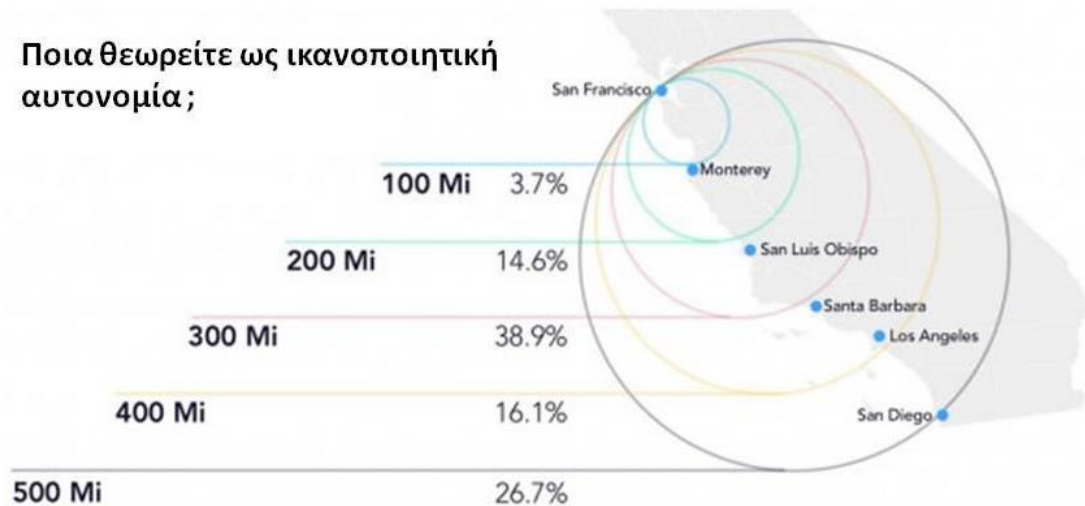
Δεύτερος κατά σειρά παράγων επιλογής αναδείχθηκε το κόστος, με ποσοστό 24,5% , τρίτος η ανεπάρκεια του δικτύου φόρτισης με ποσοστό 16,7% και τέταρτος ο χρόνος επαναφόρτισης με ποσοστό 9,5%. Τελευταίοι παράγοντες αναδείχθηκαν η οικολογική επίδραση των συσσωρευτών, το κόστος συντήρησης και η απουσία θορύβου κατά τη λειτουργία[43].

Στο Σχήμα 3.2 αποτυπώνεται η επιθυμητή αυτονομία κατά ποσοστό απαντήσεων στην έρευνα του Auto list (14.500 ερωτηθέντες, Δημοσίευση τον Αύγουστο του 2017)[43].

Η Επιθυμητή αυτονομία ενός ηλεκτροκίνητου αυτοκινήτου

57% των ερωτηθέντων δεν θα δίσταζαν να αγοράσουν ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο εάν η αυτονομία του έφτανε τα 500 χλμ. Η αύξηση της αυτονομίας από τα 400 χλμ στα 500 χλμ προσέθεσε ποσοστό περίπου 30%.

Ποια θεωρείτε ως ικανοποιητική αυτονομία;



Σχήμα 3.2: Η επιθυμητή αυτονομία κατά ποσοστό απαντήσεων στην έρευνα του Auto list[43].

Από τα στοιχεία της έρευνας προκύπτει ότι το 57,2% των ερωτηθέντων που απάντησαν ότι μια αυτονομία της τάξης των 300 Mi ή περίπου 480 km είναι ικανοποιητική, μπορεί να καλυφθεί ως προς τη συγκεκριμένη παράμετρο με μία από τις υπάρχουσες επιλογές ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην αγορά. Το ένα τέταρτο περίπου των ερωτηθέντων (26,7%) θέτει απαιτήσεις που απέχουν ακόμα από την πραγματικότητα, 500 Mi (800 km), ενώ το 16,1% που απαιτεί 400 Mi (640 km) ίσως καλυφθεί μέσα στα επόμενα χρόνια.

3.4 Φόρτιση των συσσωρευτών

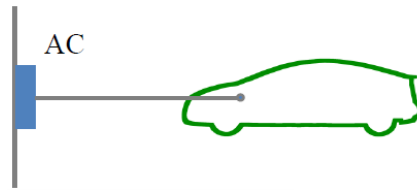
3.4.1 Τρόποι φόρτισης

Η Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (IEC) έχει καθιερώσει τέσσερις τυποποιημένους τρόπους οι οποίοι αποτελούν τις κύριες μεθόδους φόρτισης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Η θεώρηση καθενός από τους τέσσερις αυτούς τρόπους παρατίθεται στη συνέχεια[44].

Mode1 – (AC) Βραδεία φόρτιση από ρευματοδότη γενικής χρήσεως.

Ο πρώτος τύπος φόρτισης πραγματοποιείται με κοινό ρευματοδότη οικιακού τύπου, εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) και με καλώδιο ελεύθερο και από τις δύο άκρες. Δεν

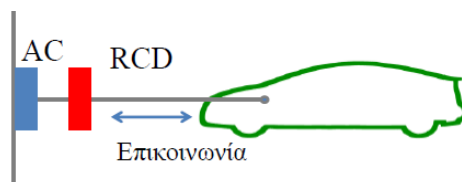
υπάρχει διάταξη προστασίας κατά της ηλεκτροπληξίας (RCD) επί του καλωδίου, ενώ δεν υπερβαίνονται τα 16A και τα 250V σε μονοφασική ή τα 400V σε τριφασική παροχή.



Εικόνα 3.9: Mode1[44].

Mode2 –(AC) Βραδεία φόρτιση από ρευματοδότη γενικής χρήσεως με διάταξη προστασίας κατά της ηλεκτροπληξίας (RCD) επί του καλωδίου.

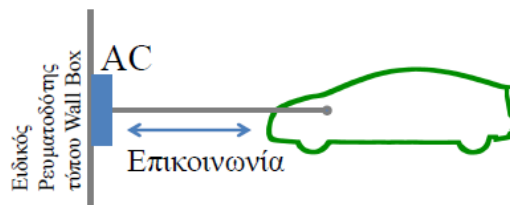
Ο δεύτερος τύπος φόρτισης χρησιμοποιεί επίσης κοινό ρευματοδότη, οικιακού τύπου, εναλλασσόμενου ρεύματος (AC), με καλώδιο ελεύθερο και από τις δύο άκρες. Σε αυτή την περίπτωση το καλώδιο σύνδεσης του οχήματος με τον ρευματοδότη διαθέτει διάταξη προστασίας κατά της ηλεκτροπληξίας τύπου RCD, ενώ δεν υπερβαίνονται τα 32A και τα 250V σε μονοφασική ή τα 400V σε τριφασική παροχή.



Εικόνα 3.10: Mode2[44].

Mode3 – (AC) Από βραδεία έως και ημι-ταχεία φόρτιση από ειδικό ρευματοδότη.

Αυτός ο τύπος χρησιμοποιεί ειδικό ρευματοδότη για φόρτιση ηλεκτρικού αυτοκινήτου (μπορεί να έχει και τη μορφή Wall Box). Διαθέτει καλώδιο ελεύθερο από τη μία ή και τις δύο άκρες και παρέχει λειτουργίες ελέγχου και προστασίας κατά της ηλεκτροπληξίας μόνιμα ενσωματωμένες στον ρευματοδότη, εξασφαλίζοντας επικοινωνία μεταξύ οχήματος και ρευματοδότη. Επιτρέπει ταχύτερες φορτίσεις από Mode1 και 2 ανάλογα με τη σύνδεση στο δίκτυο και την ισχύ του φορτιστή του οχήματος.

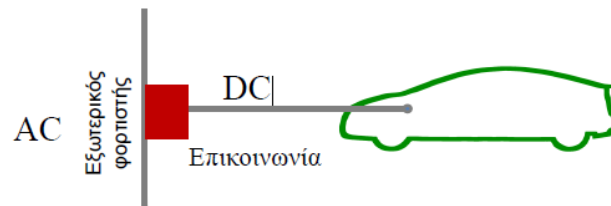


Εικόνα 3.11: Mode3[44].

Mode4 – (DC) Ταχεία/Υπερταχεία φόρτιση από εξωτερικό φορτιστή που παρέχει συνεχές ρεύμα

Στη μέθοδο αυτή το εναλλασσόμενο ρεύμα AC μετατρέπεται σε συνεχές ρεύμα DC στον εξωτερικό φορτιστή. Το συνεχές ρεύμα παρέχεται στους συσσωρευτές του οχήματος απευθείας από τον εξωτερικό φορτιστή και υπάρχει συνεχής επικοινωνία

μεταξύ του εξωτερικού φορτιστή και του οχήματος για τον πλήρη έλεγχο της φόρτισης και για προστασία κατά της ηλεκτροπληξίας. Επιτυγχάνονται πολύ γρήγορες φορτίσεις, ανάλογα με την ισχύ του εξωτερικού φορτιστή (από 40 kW έως και 350 kW).



Εικόνα 3.12: Mode4[44].

3.4.2 Ρευματοδότες και βύσματα

- Παροχή εναλλασσόμενου ρεύματος AC

Διάφοροι τύποι ρευματοδοτών και ρευματοληπτών (βύσματα) χρησιμοποιούνται σήμερα για τη φόρτιση τύπου Mode1 έως και Mode3 με εναλλασσόμενο ρεύμα, όπως είναι οι οικιακού τύπου πρίζες και φις, οι βιομηχανικού τύπου πρίζες και φις και επίσης οι τύπου SAE J1772 πρίζες και φις, οι οποίες χρησιμοποιούνται κυρίως στη Βόρειο Αμερική και την Ιαπωνία και αναφέρονται ως πρίζες/φις Τύπου 1. Στην Ευρώπη χρησιμοποιούνται οι τύπου IEC 62196-2 πρίζες και φις (Τύπου 2) ως τυποποιημένοι σύνδεσμοι φόρτισης με εναλλασσόμενο ρεύμα αλλά σε μερικές εφαρμογές και με συνεχές ρεύμα μέχρι 140 A κατά μέγιστο. Υποδοχή και βύσμα Τύπου 1 εικονίζονται στην Εικόνα 3.10 και Τύπου 2 στην Εικόνα 3.11[44][45].



Εικόνα 3.13: Υποδοχή και βύσμα Τύπου 1[44].



Εικόνα 3.14: Υποδοχή και βύσμα Τύπου 2[44].

- Παροχή συνεχούς ρεύματος DC

Για την ταχεία και υπερταχεία φόρτιση Mode4 (DC), διατίθενται δύο ειδών σύνδεσμοι: οι σύνδεσμοι τύπου CHAdeMO, που σχεδιάστηκαν στην Ιαπωνία και χρησιμοποιούνται ευρύτατα τόσο εκεί όσο και στην Αμερική, αλλά περιορισμένα και στην Ευρώπη, και οι σύνδεσμοι τύπου 2 και τύπου 2 Combo, που σχεδιάστηκαν στην Ευρώπη και φαίνεται να επικρατούν. Ο σύνδεσμος τύπου 2 Combo βασίζεται μεν στον σύνδεσμο Τύπου 2 αλλά διαθέτει και δύο πρόσθετες επαφές που επιτρέπουν την ταχεία φόρτιση με συνεχές ρεύμα υψηλής έντασης (200 A). Βύσματα για φόρτιση Mode 4 (DC) φαίνονται στην επόμενη εικόνα[44].



Εικόνα 3.15: Υποδοχή και ακροσύνδεσμος τύπου IEC 62196-Τυπε 2[44].



Εικόνα 3.16: Ακροσύνδεσμος τύπου Combo 2 (IEC 62196-3)[44].

3.4.3 Η ισχύς των φορτιστών και οι χρόνοι φόρτισης

Οι επί του οχήματος φορτιστές συνήθως είναι ισχύος 3,5 ή 7kW, χαρακτηριστικό που προδικάζει και το χρόνο φόρτισης των συσσωρευτών τους. Οι φορτιστές ισχύος 3,5kW επιτρέπουν τη σύνδεση σε μια οικιακού τύπου μονοφασική ηλεκτρική παροχή 230V προστατευμένη με ασφάλεια 16A. Η επαναφόρτιση ενός αυτοκινήτου με συσσωρευτή χωρητικότητας 16kWh θα απαιτήσει περίπου 6 ώρες. Εάν ο συσσωρευτής είναι χωρητικότητας 24kWh θα χρειαστούν 8 ώρες[44][45].

Εάν η επί του οχήματος συσκευή φόρτισης είναι ισχύος 7kW τότε μπορεί να συνδεθεί σε μονοφασική ηλεκτρική παροχή 230V προστατευμένη με ασφάλεια 32A. Οι χρόνοι φόρτισης μειώνονται σημαντικά σε 3 έως 4 ώρες για πλήρη φόρτιση αυτοκινήτου με συσσωρευτή 16kWh και σε 4 έως 5 ώρες για αυτοκίνητο με συσσωρευτή 24kWh[44].

Μερικά ηλεκτρικά αυτοκίνητα προσφέρονται με ισχυρότερους φορτιστές ισχύος 21kW οι οποίοι μπορούν να συνδεθούν σε κοινόχρηστες ή δημόσιες ηλεκτρικές παροχές φόρτισης τριφασικές 400V. Η επαναφόρτιση με τέτοια ισχύ απαιτεί περίπου 1 έως 1,5 ώρα[45].

Τα σύγχρονα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έχουν τη δυνατότητα απ' ευθείας σύνδεσής τους (με παράκαμψη του επί του οχήματος φορτιστή) με εξωτερική συσκευή ταχείας φόρτισης η οποία παρέχει συνεχές ρεύμα με ισχύ από 50kW έως 120kW (προσφάτως ανακοινώθηκε η εφαρμογή ακόμα και 350kW). Η επαναφόρτιση μπορεί να επιτευχθεί σε χρόνο από 20 έως 40 λεπτά της ώρας[45].

Η πρόσφατη συνεργασία μεταξύ του BMW Group, της Daimler AG, της Ford Motor Company και του Volkswagen Group με την Audi και την Porsche ονομάστηκε σχέδιο IONITY και σκοπός της είναι να εγκατασταθεί ένα δίκτυο ισχυρότατων και αξιόπιστων φορτιστών υπερταχείας φόρτισης κατά μήκος των μεγάλων οδικών αξόνων της Ευρώπης. Αυτοί οι σταθμοί φόρτισης θα είναι ευκολόχρηστοι και θα παρέχουν επαναφόρτιση σε πολύ μικρούς χρόνους λόγω της μεγάλης ισχύος τους που θα φτάνει τα 350kW. Σαν αποτέλεσμα το δίκτυο IONITY θα επιτρέπει στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα να κινούνται σε μεγάλες αποστάσεις με τρόπο εύκολο και ευχάριστο για τους ιδιοκτήτες τους[44].

Τρόπος Φόρτισης	Mode 1 110 η 220V (~1,4-3 kW)	Modes 2-3 220 V (~7,2 kW)	Mode 4 DC 400 V (50 kW) Ταχεία	Mode 4 DC 400 V (140 kW) Tesla	Mode 4 DC 400 V (350 kW) * Υπερταχεία
Περιγραφή του τρόπου φόρτισης	Η παροχή αυτή είναι μια κοινή οικιακή παροχή	Πιο ισχυρή από Mode 1 Είναι η συνήθης περίπτωση	Συνεχές ρεύμα απευθείας στο όχημα Σε 20 λεπτά προσθέτει 70-100 χλμ αυτόνομια	Διατίθεται μόνο για Tesla Είναι η ταχύτερη εν χρήσει φόρτιση	Θα είναι η ταχύτερη φόρτιση που θα διατίθεται σε σχέση με όλες τις άλλες
Πρόσθεση αυτονομίας για 1 ώρα φόρτισης	5 – 15 χλμ	25 - 40 χλμ	160 χλμ	530 χλμ	1250 χλμ
Χρόνος φόρτισης για 320 χλμ	40 - 25 ώρες	8 ώρες	2 ώρες	40 λεπτά	15 λεπτά

* Εκτιμήσεις βασισμένες σε θεωρητικούς υπολογισμούς

Πίνακας 3.7: Τύποι και χρόνος φόρτισης[44].

Ασύρματη (Wireless) ή Επαγωγική (Inductive) Φόρτιση

Η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να διαβιβασθεί είτε μέσω αγωγού (Conductive Mode) είτε μέσω επαγωγικού ζεύγους (Inductive Mode). Για τη φόρτιση των ηλεκτρικών

αυτοκινήτων χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά επαγωγικό ζεύγος από την General Motors, στο ιστορικό της ηλεκτρικό αυτοκίνητο EV1, στο οποίο ο αγωγός φόρτισης δεν συνδεόταν με τον φορτιστή του αυτοκινήτου μέσω ηλεκτρικών επαφών αλλά μέσω πηνίων. Τη διάταξη αυτή την είχε κατασκευάσει η Hughes Electronics και στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε από την Chevrolet αλλά και από την Toyota[44].

Αργότερα εφαρμόστηκαν περισσότερο προηγμένες λύσεις επαγωγικής φόρτισης στις οποίες το ηλεκτρικό αυτοκίνητο σταθμεύει πάνω από έναν επαγωγέα εγκιβωτισμένο στο δάπεδο του χώρου φόρτισης, η οποία και αρχίζει αυτόματα χωρίς ο οδηγός να κάνει την παραμικρή ενέργεια. Η ισχύς φόρτισης έφτασε μέχρι τα 6,6 kW με τάση να ανεβεί στα 10 kW[44].

Περισσότερο προηγμένες εφαρμογές δοκίμασαν ακόμα και τη δυναμική επαγωγική φόρτιση, η οποία φορτίζει το ηλεκτρικό αυτοκίνητο «εν κινήσει» καθώς περνά πάνω από εγκιβωτισμένους στο οδόστρωμα ειδικούς επαγωγείς με τη μορφή ράβδων ή άλλων σχημάτων.

Η επαγωγική φόρτιση δεν έχει βρει ακόμα ευρύτερη εφαρμογή στην ηλεκτροκίνηση για οικονομολογικούς λόγους, αλλά χρησιμοποιείται ήδη σε ειδικές εφαρμογές κυρίως ηλεκτροκινήτων μέσων μαζικής μεταφοράς.

3.5 Οικονομία

Οι υπολογισμοί που πραγματοποιούνται στη συνέχεια αναφέρονται σε οικονομικά μεγέθη που ισχύουν κατά την περίοδο του Ιανουαρίου 2019.

Σήμερα ένα οικονομικό αμιγώς ηλεκτρικό αυτοκίνητο ξεκινά από περίπου 23.487€ (Citroen C-Zero) και έχει κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας 270 Wh/mi, δηλαδή περίπου 167,7 Wh/km. Αν υποθεθεί ότι ένα επιβατικό αυτοκίνητο ιδιωτικής χρήσης διανύει καθημερινά 55 km, και κατά συνέπεια 20.075 km ετησίως, τότε η κατανάλωσή του σε kWh θα ισούται με 3.354 ετησίως. Αν το κόστος διαμορφώνεται σε 0,2€/kWh, που είναι σύμφωνο με τη σημερινή τιμή της για μέσες έως μεγάλες καταναλώσεις, προκύπτει ένα κόστος 670,8€ κάθε χρόνο για τις μετακινήσεις.

Αντίστοιχα, ένα από τα οικονομικότερα βενζινοκίνητα, το Dacia Sandero με κατανάλωση 0,051 l/km και αρχική τιμή 9.490€, το οποίο διανύει τον ίδιο αριθμό km ετησίως, δηλαδή 20.075 km, καταναλώνει 1023,8 λίτρα βενζίνης. Η σημερινή (29/01/2019) τιμή της βενζίνης κυμαίνεται σε 1,509 €/l, επομένως το ετήσιο κόστος για τις μετακινήσεις σε αυτή την περίπτωση θα ανερχόταν σε 1544,95€.

Προκύπτει μια διαφορά 874,15€, που αντιπροσωπεύει τον ετήσιο περιορισμό των δαπανών για τις μετακινήσεις που προσφέρει το ηλεκτροκίνητο όχημα. Η μηνιαία εξοικονόμηση ανέρχεται σε 72,85€.

Ακόμα, δεδομένης της διαφοράς στην τιμή αγοράς των δύο οχημάτων που φτάνει τα 13.997€, θα αρκούσαν 16 χρόνια για την απόσβεση της επιπλέον δαπάνης για την αγορά του ηλεκτρικού οχήματος. Ο χρονικός αυτός ορίζοντας είναι αρκετός σε σύγκριση με τον χρόνο αντικατάστασης ενός αυτοκινήτου και αυτό οφείλεται στις υψηλές αρχικές τιμές που ακόμα διατηρούν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, λόγω της περιορισμένης παραγωγής τους.

3.6 Η προοπτική επέκτασης της ηλεκτροκίνησης σε όλους τους κλάδους των μεταφορών

3.6.1 Ηλεκτροκίνηση στις δημόσιες μεταφορές

Η ηλεκτροκίνηση βρίσκει εφαρμογή σε ευρύ φάσμα μεταφορών και δεν αποτελεί λύση μόνο για τα επιβατικά αυτοκίνητα ιδιωτικής χρήσης. Τα μέσα μαζικής μεταφοράς, τα τραίνα, τα λεωφορεία και τα ταξί, είναι ένα τμήμα του συνολικού στόλου των οχημάτων που καθημερινά βρίσκεται σε λειτουργία για μεγάλο χρονικό διάστημα, διανύοντας μεγάλες αποστάσεις, και σε συνδυασμό με το γεγονός ότι τα συγκεκριμένα οχήματα αποτελούν το πιο γηρασμένο κομμάτι του στόλου, η κυκλοφορία τους κοστίζει σε υψηλές ποσότητες ατμοσφαιρικών ρύπων. Όπως είναι γνωστό, η ηλεκτροκίνηση εφαρμόζεται ήδη σε ένα τμήμα των δημόσιων μεταφορών, όπως είναι το μετρό, ο αστικός σιδηρόδρομος, τα τραμ και τα τρόλεϊ. Η περαιτέρω εξάπλωση της ηλεκτροκίνησης σε αυτό πεδίο είναι βασικής σημασίας, παράλληλα με την ένταξη του ηλεκτρικού αυτοκινήτου στην αγορά, προκειμένου να μειωθούν οι εκπομπές ρύπων στα αστικά κέντρα.

"Factor 100": Σύγκριση των πλεονεκτημάτων από την ηλεκτροκίνηση λεωφορείων και αυτοκινήτων.

Σήμερα στην Ευρώπη το 90% των λεωφορείων χρησιμοποιούν για καύσιμο Diesel. Δεδομένου ότι τα σωματίδια (PM10 και PM2,5) και ακόμη περισσότερο, οι εκπομπές NO₂ είναι περισσότερες για τους κινητήρες ντίζελ από ότι για τους βενζινοκινητήρες, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των πετρελαιοκινητήρων πρέπει να ληφθούν υπόψη μαζί με την καθαρή κατανάλωση καυσίμου που εκλύει CO₂. Ένα λεωφορείο ντίζελ 18 μέτρων είναι εξοπλισμένο με κινητήρα που αποδίδει 200-300 kW και έχει κατανάλωση καυσίμου 50-55 λίτρα ντίζελ/100 χιλιόμετρα. Τα αστικά λεωφορεία λειτουργούν καθημερινά έως και 16 ώρες. Ένα λεωφορείο 18 m σε αστική λειτουργία καταναλώνει περίπου 40.000 λίτρα ντίζελ ετησίως. Με βάση την καθαρή κατανάλωση καυσίμου, ένα αστικό λεωφορείο 18 μέτρων έχει περίπου 80 φορές υψηλότερες εκπομπές CO₂ από ότι ένα αυτοκίνητο, αλλά εξακολουθεί να παρουσιάζει πολύ καλύτερη αναλογία CO₂/επιβάτη. Λαμβάνοντας υπόψη τις συνολικές επιπτώσεις, θα χρειαστούν περίπου 100 ηλεκτρικά αυτοκίνητα για να επιτευχθεί η ίδια περιβαλλοντική ανακούφιση, όπως μπορεί να αποκτηθεί από ένα ηλεκτρικό λεωφορείο μήκους 18 μ.[46]. Θα ήταν επομένως περιβαλλοντικά και κοινωνικά ωφέλιμη, η εστίαση στην ηλεκτροκίνηση των αστικών λεωφορείων, ακόμα και με επιδοτήσεις 100 φορές υψηλότερες σε σχέση με τα αυτοκίνητα.

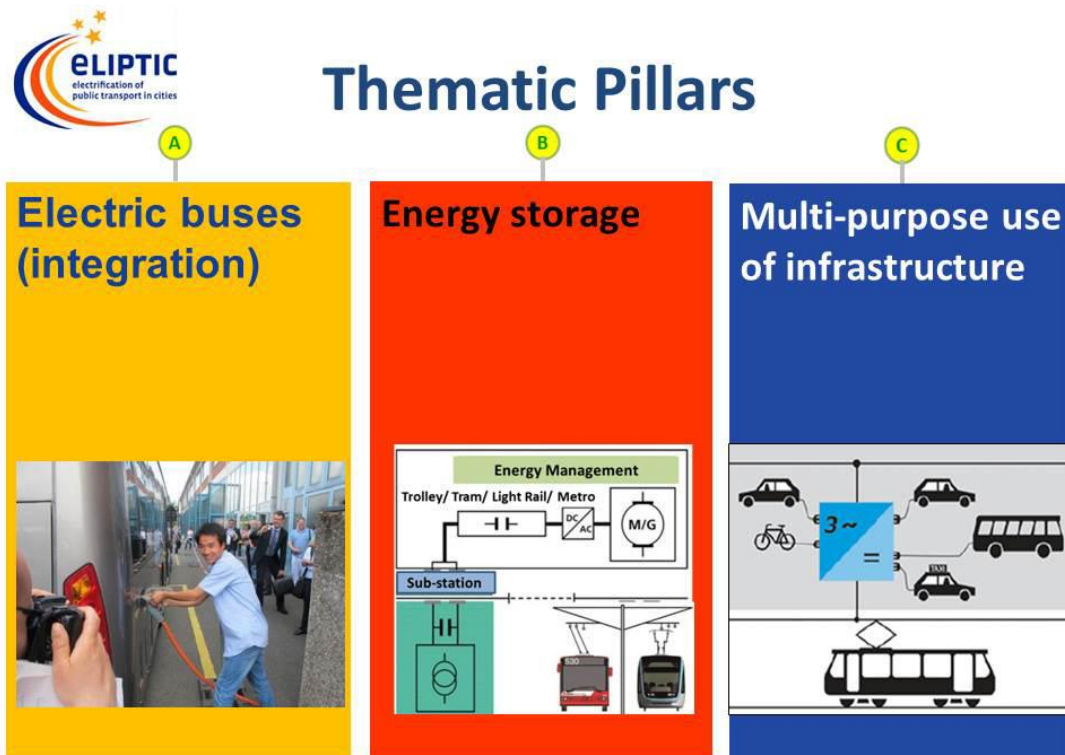
Το πρόγραμμα ELIPTIC

Το ELIPTIC (Electrification of public transport in cities-Ηλεκτροκίνηση των μέσων μαζικής μεταφοράς στις πόλεις) είναι ένα ευρωπαϊκό πρόγραμμα στο πλαίσιο του προγράμματος «Ορίζοντας 2020» (Horizon 2020), που εφαρμόστηκε από τον Ιούνιο του 2015 έως τον Μάιο του 2018 (36 μήνες)[46]. Το πρόγραμμα ELIPTIC απέδειξε πως μπορούν να εξοικονομηθούν οικονομικοί πόροι και ενέργεια με την ηλεκτροδότηση των δημόσιων συγκοινωνιών και τη βελτιστοποίηση της χρήσης της υπάρχουσας υποδομής και του τροχαίου υλικού, μέσω της ανάπτυξης νέων μοντέλων χρήσης και επιχειρηματικών πλάνων.

Το ELIPTIC υποστηρίζει τις ηλεκτρικές δημόσιες μεταφορές σε πολιτικό επίπεδο και συμβάλλει στην ανάπτυξη πολιτικής υποστήριξης για την ηλεκτροδότηση δημόσιων συγκοινωνιών σε ολόκληρη την Ευρώπη.

Οι τρεις θεματικοί τεχνολογικοί άξονες του προγράμματος είναι[46]:

1. Ασφαλής ενσωμάτωση των ηλεκτρονικών λεωφορείων στην υφιστάμενη ηλεκτρική υποδομή:
 - Επαναφόρτιση ηλεκτρονικών λεωφορείων "καθ' οδόν" (π.χ. τρόλεϊ που λειτουργούν σε υποδομή τραμ) ή σε συγκεκριμένα σημεία (αμιγώς ηλεκτρικά ή υβριδικά λεωφορεία που θα φορτίζονται αντλώντας ενέργεια από δίκτυα τρόλεϊ, τραμ ή μετρό).
 - Αναβάθμιση των δικτύων τρόλεϊ με ηλεκτρικά λεωφορεία με μπαταρίες ή υβριδικά τρόλεϊ (αντικατάσταση λεωφορείου ντίζελ).
 - Τεχνολογία αυτόματης καλωδίωσης/αποκαλωδίωσης (λειτουργία τρόλεϊ χωρίς ηλεκτροφόρες ράγες).
2. Δημιουργία δημόσιων σταθμών αποθήκευσης-ανταλλαγής ενέργειας, ως υποδομή για τα ηλεκτροκίνητα μέσα.
3. Εξασφάλιση ουσιαστικής υποδομής φόρτισης και δικτύου που θα υποστηρίζει και τα ιδιωτικά οχήματα.



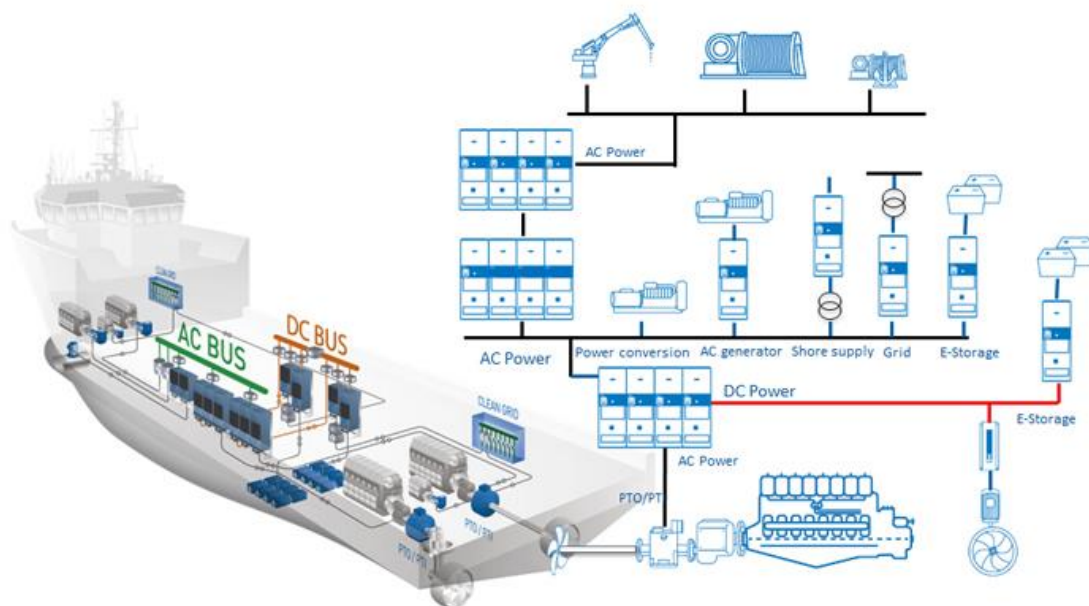
Εικόνα 3.17: Θεματικοί άξονες του προγράμματος ELIPTIC[46].

3.6.2 Ηλεκτροκίνηση στις θαλάσσιες μεταφορές-Cold Ironing

Η τεχνολογία Cold Ironing αναφέρεται στην τροφοδότηση πλοίων με ηλεκτρική ενέργεια, κατά τη διάρκεια της προσάραξής τους στο λιμάνι. Οι θαλάσσιες μετακινήσεις δαπανούν υπέρογκα ποσά ενέργειας και ρυπαίνουν την ατμόσφαιρα και τους ωκεανούς.

Από την στιγμή που ο US EPA (United States Environmental Protection Agency) πρότεινε τη χρήση αυστηρότερων προτύπων για τη λειτουργία των κινητήρων και την κατανάλωση καυσίμων όσον αφορά στα πλοία των ΗΠΑ, εκκίνησε η συζήτηση σχετικά με τους τρόπους συμμόρφωσης σε αυτούς τους νέους κανόνες ελέγχου των εκπομπών. Η χρήση τεχνικών Cold Ironing για την τροφοδοσία σκαφών, δίνει τη δυνατότητα στις κύριες και βοηθητικές μηχανές εσωτερικής καύσης και γεννήτριες να κλείσουν, μειώνοντας τις εκπομπές κοντά στο μηδέν[47].

Οι εταιρίες ABB, Siemens, Cavotec, Sam Electronics, Terasaki, Patton & Cooke εργάζονται τα τελευταία χρόνια πάνω στο κομμάτι του Cold Ironing, με στόχο να αποτελέσει μια υλοποιήσιμη και βιώσιμη επιλογή για το άμεσο μέλλον[47].



Εικόνα 3.18: Cold Ironing[48].

3.6.3 Ηλεκτροκίνηση στις εναέριες μεταφορές

Η Ευρωπαϊκή πολιτική προσανατολίζεται στην εύρεση οικολογικής λύσης και για τις αερομεταφορές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το ACARE (Advisory Council for Aeronautics Research in Europe-Συμβουλευτικό Συμβούλιο για την Αεροναυτική Έρευνα στην Ευρώπη), το οποίο ξεκίνησε το 2001 θέτοντας ορισμένους περιβαλλοντικούς στόχους μέσω του προγράμματος Flightpath 2050, τους οποίους επιδιώκει να επιτύχει μέσω ερευνητικών έργων, έως το έτος 2050[49].

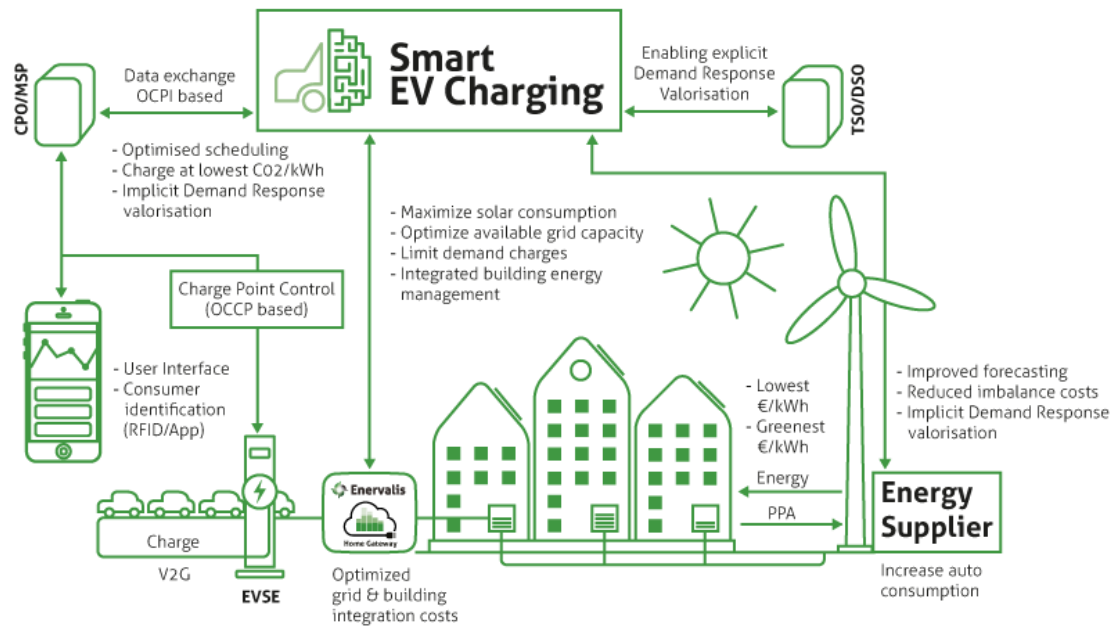
Η τεχνολογική πρόοδος ως προς την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών παραμένει σε πρωταρχικό στάδιο. Η Siemens έχει ήδη αναπτύξει έναν νέο τύπο ηλεκτρικού κινητήρα που, με βάρος ακριβώς πενήντα κιλά, παρέχει συνεχή παραγωγή περίπου δύο χιλιάδων κιλοβάτ - πέντε φορές περισσότερο από κινητήρες αντίστοιχου βάρους - χρησιμοποιώντας ένα σύστημα υβριδικής-ηλεκτρικής πρόωσης. Αυτό αποτελεί ένα ουσιαστικό βήμα, όχι όμως ικανοποιητικό μέχρι στιγμής, καθώς η απαιτούμενη ισχύς κυμαίνεται από 2-5 MW. Ωστόσο, η επένδυση εταιριών όπως η Siemens και η Rolls-Royce στην κατασκευή υβριδικών ηλεκτρικών αεροπλάνων, όπως το E-Fan X project, αποτελούν ρεαλιστικό δείκτη ότι η ηλεκτροκίνηση θα βρει εφαρμογή και στις εναέριες μεταφορές[49].

3.6.4 Έξυπνα Δίκτυα-Smart Grids

Ο όρος έξυπνο δίκτυο αναφέρεται γενικά σε ένα σύνολο τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται με σκοπό να προσαρμόσουν το σύστημα διανομής ενέργειας στις ανάγκες του 21^{ου} αιώνα, εφαρμόζοντας εξειδικευμένο λογισμικό και αυτόματο έλεγχο. Η ύπαρξη τέτοιων συστημάτων καθίσταται δυνατή μέσω των τεχνολογιών αμφίδρομης ψηφιακής επικοινωνίας και της επεξεργασίας των συναλλασσόμενων πληροφοριών από λογισμικά που χρησιμοποιούνται εδώ και χρόνια στη βιομηχανία. Αυτές οι μέθοδοι αρχίζουν να βρίσκουν εφαρμογή στα ηλεκτρικά δίκτυα, από τις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και τα αιολικά πάρκα μέχρι τους καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας σε σπίτια και επιχειρήσεις. Προσφέρουν πολλά οφέλη στις επιχειρήσεις κοινής ωφελείας και στους καταναλωτές, ενώ ως επί το πλείστον συνεισφέρουν σε μεγάλες βελτιώσεις στην ενεργειακή αποδοτικότητα και αξιοπιστία του ηλεκτρικού δικτύου[50].

Το ζήτημα του έξυπνου δικτύου έχει άμεση σύνδεση με την επέκταση της εγκατάστασης ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή και την ένταξη του ηλεκτρικού αυτοκινήτου στις μετακινήσεις. Εγγυάται την βελτιστοποίηση στην διανομή της ενέργειας και στην σταθερότητα-αξιοπιστία του συστήματος, μέσα από παρακολούθηση και μέτρηση της κατανάλωσης σε βιομηχανικό και οικιακό επίπεδο. Η τεχνολογία του Demand Side Management συνεισφέρει σε αυτή την κατεύθυνση μέσω συστημάτων παρακολούθησης, εξισορρόπησης και εξορθολογισμού της ενεργειακής παραγωγής και κατανάλωσης[50][51].

Όσον αφορά στο ηλεκτρικό αυτοκίνητο, αναπτύσσονται μέθοδοι έξυπνης φόρτισης-smart charging, όπου το σύστημα διαθέτει λογισμικό που αποθηκεύει στη μνήμη του τη συμπεριφορά φόρτισης του οδηγού και σε συνάρτηση με την ενεργειακή ανάγκη του οχήματος, την διαθεσιμότητα του δικτύου και τον εκτιμώμενο χρόνο παραμονής του αυτοκινήτου επιλέγει αυτόματα τη στιγμή εκκίνησης ή παύσης και το ρυθμό της φόρτισης[51].



Εικόνα 3.19: Smart Charging[51].

Μια ακόμα αναπτυσσόμενη τεχνολογία είναι το σύστημα Vehicle to Grid (V2G), το οποίο δίνει τη δυνατότητα αξιοποίησης του αποθηκευτικού χώρου των μπαταριών των ηλεκτρικών αυτοκινήτων ως αποθήκη ενέργειας του δικτύου, επιτρέποντας στους οδηγούς να συναλλάσσουν ενέργεια, φορτίζοντας τα οχήματά τους όταν εξαντλούνται τα αποθέματά τους ή παρέχοντας ενέργεια στο δίκτυο όταν υπάρχει η αντίστροφη ανάγκη. Σε συνδυασμό με λογισμικό που παρέχεται σε συσκευές καθημερινής χρήσης των οδηγών (smart phone, PC), γίνεται εφικτή η συνεργασία οδηγών-πάροχων ενέργειας και η από κοινού διαχείριση του συνολικού αποθηκευτικού χώρου των μπαταριών τους, αποκτώντας ανταγωνιστική ισχύ στην αγορά[51].

Κεφάλαιο 4. Μεθοδολογία

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η προσομοίωση του ελληνικού ηλεκτρικού συστήματος, υποθέτοντας την ένταξη του ηλεκτρικού αυτοκινήτου, μεγάλη διείσδυση ΑΠΕ και αποθήκευση ενέργειας με χρήση αντλησιοταμίευσης. Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η μελέτη, εξετάζονται εναλλακτικά σενάρια που παρουσιάζονται παρακάτω. Οι υπολογισμοί που πραγματοποιήθηκαν, βασίστηκαν στα δεδομένα και τις παραδοχές που αναφέρονται στη συνέχεια.

4.1 Εναλλακτικά σενάρια μελέτης

Συνολικά μελετώνται τρία εναλλακτικά σενάρια, με χρονικό ορίζοντα το 2030 και το 2050. Η επιλογή του 2050 ως έτους αναφοράς στηρίζεται στο γεγονός ότι η Ευρωπαϊκή Επιτροπή στη Λευκή Βίβλο για τις Μεταφορές και στον Οδικό Χάρτη για την Ενέργεια, αλλά και το Ελληνικό κράτος στον Εθνικό Ενεργειακό Σχεδιασμό, αντιμετωπίζουν το έτος αυτό ως ορίζοντα επίτευξης συγκεκριμένων στόχων που θα συντελέσουν την πράσινη ανάπτυξη. Οι στόχοι αυτοί σχετίζονται με τον περιορισμό των εκπομπών ρύπων, την ηλεκτροκίνηση στις μεταφορές και την εγκατάσταση ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή. Ακόμα, το έτος 2030 τίθεται από τους προαναφερθέντες φορείς ως κομβικό έτος κάλυψης ενδιάμεσων στόχων, βασικών για την περαιτέρω εξέλιξη[10][12][13][19][20].

Οι παράμετροι σύμφωνα με τις οποίες διαμορφώνονται τα εναλλακτικά σενάρια είναι τρεις:

1. Το ποσοστό διείσδυσης της ηλεκτροκίνησης στις ιδιωτικές μεταφορές, που εκφράζεται με το ποσοστό επί του συνολικού αριθμού των επιβατικών αυτοκινήτων που θα έχουν αντικατασταθεί με ηλεκτρικά.
2. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς σε ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή.
3. Η συνεισφορά των λιγνιτικών μονάδων στην ηλεκτροπαραγωγή.

Η λογική με την οποία διαμορφώθηκαν τα τρία εναλλακτικά σενάρια για κάθε έτος συνίσταται στην υπόθεση ενός απαισιόδοξου ή ρεαλιστικού, ενός ενδιάμεσου και ενός αισιόδοξου σεναρίου.

Σχετικά με την ηλεκτροκίνηση, ο στόχος που τίθεται από τον ενεργειακό σχεδιασμό για το 2030 είναι το ποσοστό αντικατάστασης των συμβατικών οχημάτων με ηλεκτροκίνητα να φτάσει το 10%, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για το 2050 είναι 45%[19]. Τα νούμερα αυτά, για λόγους που έχουν ήδη αναλυθεί, εκτιμώνται ως αισιόδοξα και έτσι καθορίζουν τα δύο σενάρια μέγιστης διείσδυσης για τα δύο έτη αναφοράς αντίστοιχα. Τα υπόλοιπα σενάρια για κάθε έτος αποτελούν πιο συγκρατημένες εκτιμήσεις, που λαμβάνουν υπόψη σημερινά δεδομένα, όπως οι πωλήσεις ανά έτος των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην Ελλάδα, οι τιμές των ηλεκτρικών αυτοκινήτων και η ποσοτική παραγωγή τους από της

αυτοκινητοβιομηχανίες. Έτσι, για το 2030 μελετώνται σενάρια ηλεκτροκίνησης του στόλου σε ποσοστά 1%, 5% και 10% και για το 2050 10%, 25% και 45%.

Όσον αφορά στις ΑΠΕ, ο Εθνικός Ενεργειακός Σχεδιασμός προβλέπει συνολική εγκατάσταση αιολικών περί τα 7 GW μέχρι το 2030[19]. Με βάση το σκεπτικό που αναπτύχθηκε παραπάνω, αυτό το ποσό ένταξης καθορίζει το αισιόδοξο σενάριο για το συγκεκριμένο έτος, ενώ τα δύο εναλλακτικά προβλέπουν 4 GW και 5 GW αντίστοιχα. Τα σενάρια μελέτης για το 2050 διερευνούν την εγκατάσταση 7 GW, 10 GW και 16 GW. Θεωρείται ότι η εγκατάσταση αιολικών και φωτοβολταϊκών μονάδων παρουσιάζει την ίδια ακριβώς αύξηση, έτσι για κάθε εναλλακτικό σενάριο τα συνολικά GW ένταξης φωτοβολταϊκών ταυτίζονται με τα αντίστοιχα των αιολικών.

Τέλος, πρωτεύουσα σημασία κατέχει η μείωση της συνεισφοράς των λιγνιτικών μονάδων στην ηλεκτροπαραγωγή. Με βάση τους στόχους που έχουν τεθεί[19], τα διερευνώμενα ποσοστά συμμετοχής των μονάδων αυτών στην ηλεκτροπαραγωγή διαμορφώνονται από το λιγότερο στο περισσότερο αισιόδοξο ως 32%, 26%, 14,3% για το έτος 2030 και 16,5%, 6,3% και 0,1% για το 2050 αντίστοιχα.

Συνοπτική παρουσίαση των εναλλακτικών σεναρίων μελέτης για κάθε έτος

Έτος αναφοράς 2030

- *Ρεαλιστικό σενάριο*

Ποσοστό αντικατάστασης αυτοκινήτων ιδιωτικής χρήσης από ηλεκτροκίνητα: 1%

Εγκατεστημένη ισχύς αιολικών και φωτοβολταϊκών: 4 + 4 GW

Ποσοστό συμμετοχής λιγνιτικών μονάδων στην ηλεκτροπαραγωγή: 32%

- *Ενδιάμεσο σενάριο*

Ποσοστό αντικατάστασης αυτοκινήτων ιδιωτικής χρήσης από ηλεκτροκίνητα: 5%

Εγκατεστημένη ισχύς αιολικών και φωτοβολταϊκών: 5 + 5 GW

Ποσοστό συμμετοχής λιγνιτικών μονάδων στην ηλεκτροπαραγωγή: 26%

- *Αισιόδοξο σενάριο*

Ποσοστό αντικατάστασης αυτοκινήτων ιδιωτικής χρήσης από ηλεκτροκίνητα: 10%

Εγκατεστημένη ισχύς αιολικών και φωτοβολταϊκών: 7 + 7 GW

Ποσοστό συμμετοχής λιγνιτικών μονάδων στην ηλεκτροπαραγωγή: 14,3%

Έτος αναφοράς 2050

- *Ρεαλιστικό σενάριο*

Ποσοστό αντικατάστασης αυτοκινήτων ιδιωτικής χρήσης από ηλεκτροκίνητα: 10%

Εγκατεστημένη ισχύς αιολικών και φωτοβολταϊκών: 7 + 7 GW

Ποσοστό συμμετοχής λιγνιτικών μονάδων στην ηλεκτροπαραγωγή: 16,5%

- *Ενδιάμεσο σενάριο*

Ποσοστό αντικατάστασης αυτοκινήτων ιδιωτικής χρήσης από ηλεκτροκίνητα: 25%

Εγκατεστημένη ισχύς αιολικών και φωτοβολταϊκών: 10 + 10 GW

Ποσοστό συμμετοχής λιγνιτικών μονάδων στην ηλεκτροπαραγωγή: 6,3%

- *Αισιόδοξο σενάριο*

Ποσοστό αντικατάστασης αυτοκινήτων ιδιωτικής χρήσης από ηλεκτροκίνητα: 45%

Εγκατεστημένη ισχύς αιολικών και φωτοβολταϊκών: 16 + 16 GW

Ποσοστό συμμετοχής λιγνιτικών μονάδων στην ηλεκτροπαραγωγή: 0,1%

Έτος αναφοράς Σενάριο	2030		
	Ρεαλιστικό	Ενδιάμεσο	Αισιόδοξο
Ηλεκτροκίνηση	1%	5%	10%
Wind, PV (GW)	4+4	5+5	7+7
Λιγνιτικά	32%	26%	14,3%

Έτος αναφοράς Σενάριο	2050		
	Ρεαλιστικό	Ενδιάμεσο	Αισιόδοξο
Ηλεκτροκίνηση	10%	25%	45%
Wind, PV (GW)	7+7	10+10	16+16
Λιγνιτικά	16,5%	6,3%	0,1%

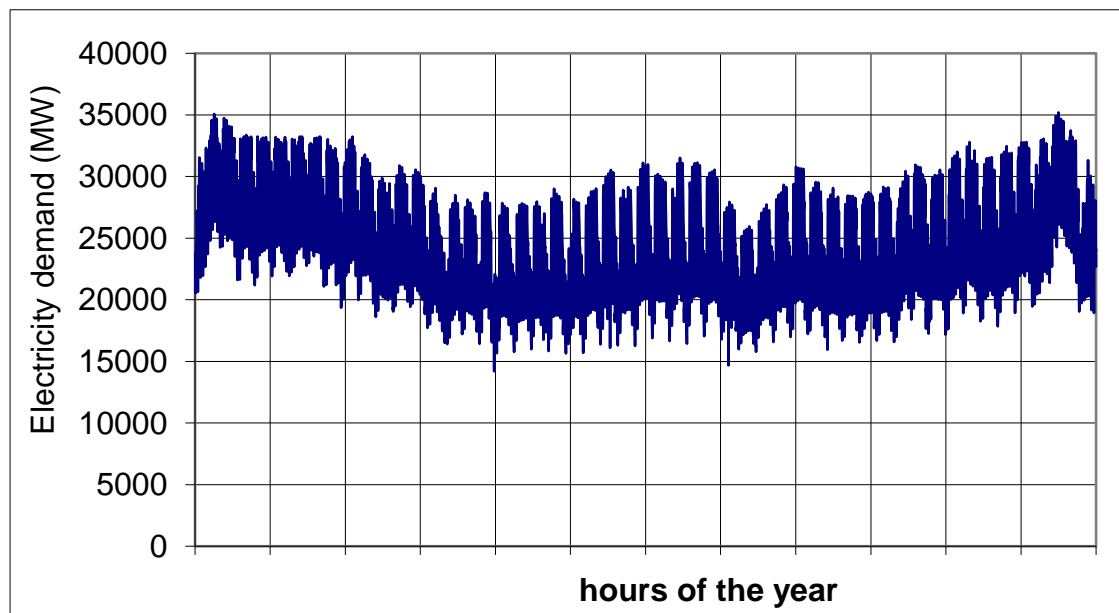
Πίνακας 4.1: Συνοπτική παρουσίαση των εναλλακτικών σεναρίων μελέτης για κάθε έτος.

Η προσομοίωση και ανάλυση του ελληνικού δικτύου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας πραγματοποιήθηκε με χρήση του λογισμικού που διαμορφώθηκε από τον Robel Berhane Habtemariam, για το China-EU Institute for Clean And Renewable Energy, με τη βοήθεια του Pengxing Yi και του Γεώργιου Κάραλη, τον Νοέμβριο του 2016. Η λειτουργία του περιγράφεται στο άρθρο με τίτλο Investigation On Development of Wind and PV Power with Hydro Pumped Storage to Increase Renewable Energy Penetration: A comparative Analysis of Taiwan and Greece[53]. Το μοντέλο αυτό υπέστη επεξεργασία προκειμένου να εκτιμηθεί εκ νέου η διαμόρφωση της ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια μετά την ένταξη του ηλεκτρικού αυτοκινήτου σε διαφορετικά ποσοστά επί του συνολικού στόλου.

4.2 Ετήσια χρονοσειρά ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας

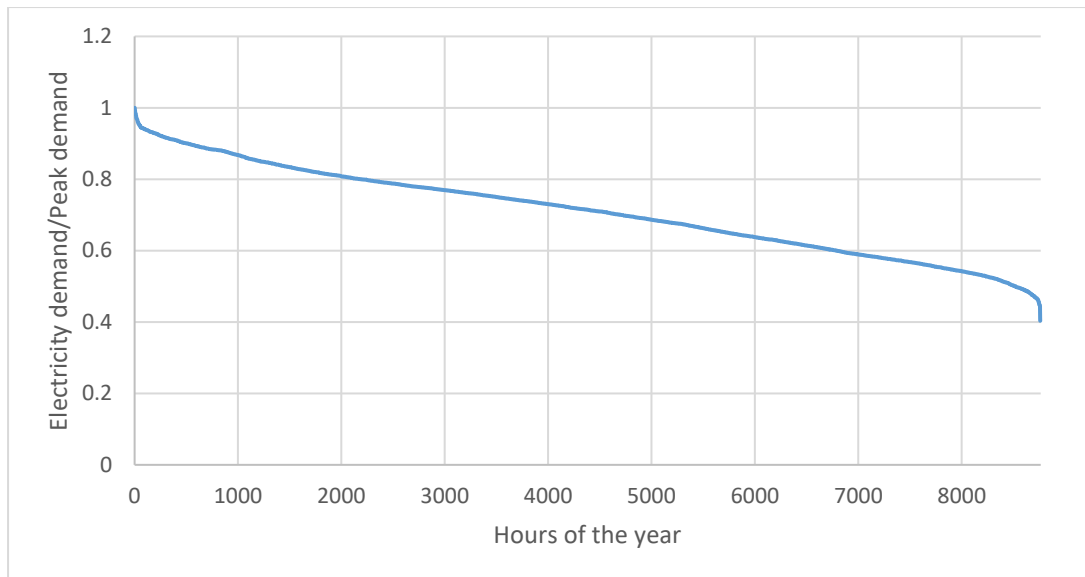
Η ανάλυση βασίζεται σε ωριαίες χρονοσειρές ζήτησης του 2006, με καταγεγραμμένη ετήσια ενέργεια και ζήτηση αιχμής 49 TWh και 9,3 GW αντίστοιχα. Οι ωριαίες τιμές ζήτησης του έτους 2020, που θεωρείται ως η σημερινή κατάσταση, υπολογίστηκαν υποθέτοντας αύξηση 8% σε σχέση με τις τιμές του 2006. Αντίστοιχα, για την εύρεση των τιμών του 2030 υποτέθηκε αύξηση 5% σε σχέση με το 2020, και για το 2050 αύξηση 5% σε σχέση με το 2030.

Οι λόγοι που χρησιμοποιούνται τα ετήσια στοιχεία του 2006 είναι δύο. Πρώτον, εκείνη τη στιγμή δεν είχαν εγκατασταθεί ακόμα φωτοβολταϊκά. Η καταναμεμημένη παραγωγή φωτοβολταϊκών είναι πάντα συνδεδεμένη στο δίκτυο χαμηλής τάσης και παρέχει τοπική κατανάλωση, περιπλέκοντας την καταγραφή της πραγματικής ζήτησης φορτίου. Δεύτερον, υπάρχει μια ταυτόχρονη χρονοσειρά της ταχύτητας του ανέμου σε ολόκληρη την επικράτεια για το τρέχον έτος. Το σχήμα 4.1 παρουσιάζει την ετήσια χρονοσειρά ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας για το έτος 2015[53].



Σχήμα 4.1: Ετήσια χρονοσειρά ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας για το έτος 2015[53].

Στο Σχήμα 4.2 παρουσιάζεται η ετήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας ως συνάρτηση της αιχμής της ζήτησης για το έτος 2015 (baseline scenario)[53]. Όπως φαίνεται από το σχήμα, η ελάχιστη ζήτηση φτάνει περίπου στο 40% της ετήσιας ζήτησης αιχμής και τη μισή σχεδόν διάρκεια του έτους ξεπερνά το 65 % της μέγιστης ζήτησης. Τα σενάρια ζήτησης του 2015 (baseline scenario)[53], του 2030 (national target scenario)[53] και του 2050 (global ambitious target scenario) καταρτίθηκαν με βάση τις τιμές του 2006, την καμπύλη του σχήματος 4.2 και εκτιμήσεις για τις τιμές της συνολικής ζήτησης και της ζήτησης αιχμής των ετών αναφοράς, με βάση τους κρατικούς και διεθνείς ενεργειακούς σχεδιασμούς[53].



Σχήμα 4.2: Ετήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας ως συνάρτηση της ζήτησης αιχμής[53].

4.3 Προσομοίωση παραγωγής αιολικών και φωτοβολταϊκών

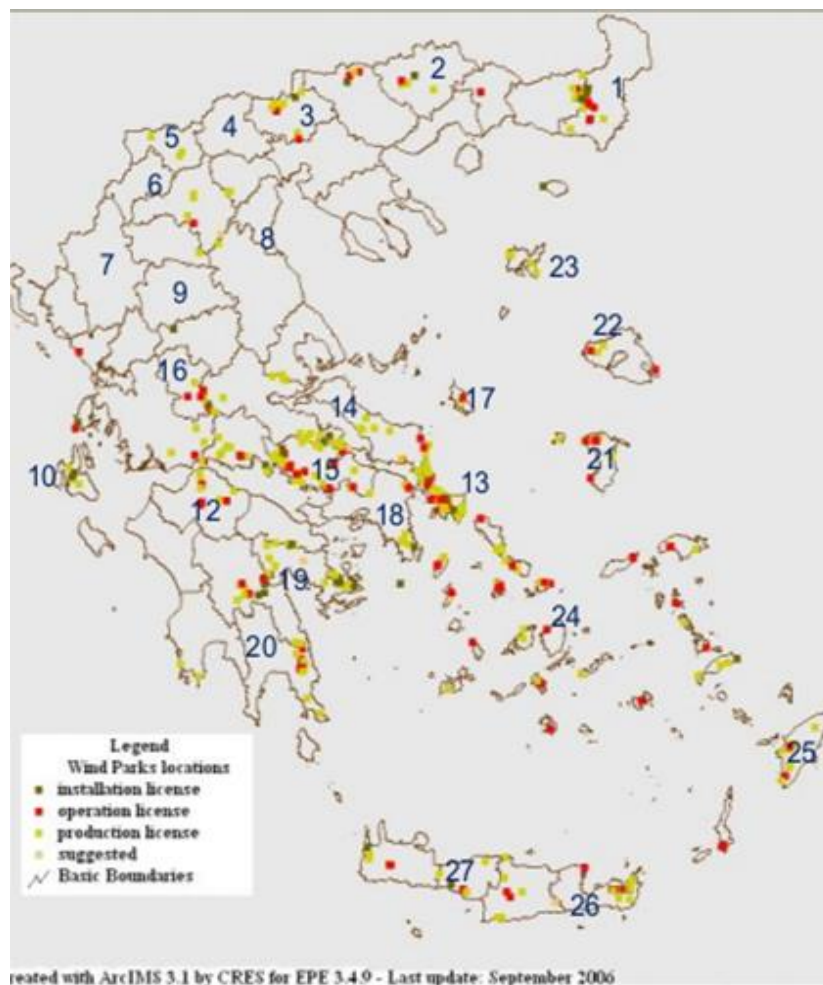
Για την εξαγωγή πληροφοριών σχετικά με τις δυνατότητες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αιολικών και φωτοβολταϊκών στις επιλεγμένες περιοχές χρησιμοποιήθηκε μοντέλο Αριθμητικής Πρόβλεψης Καιρικών συνθηκών (Numerical Weather Prediction-NWP). Προκειμένου να συμπεριληφθεί το φαινόμενο της χωρικής διασποράς στην παραγωγή ενέργειας των αιολικών και φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων, έχουν ληφθεί υπόψη ενδεικτικά σημεία ανά την επικράτεια της χώρας. Με σκοπό την παραγωγή αξιόπιστων δεδομένων, χρησιμοποιείται το μοντέλο μεσοκλιματικής πρόβλεψης COAMPS που αναπτύχθηκε στο US Naval Research Laboratory[53].

Το COAMPS είναι ένα τρισδιάστατο μοντέλο που έχει χρησιμοποιηθεί για επιχειρησιακές προβλέψεις από το 1996, σε ευρύ φάσμα ερευνητικών προγραμμάτων, τόσο για εξιδανικευμένες όσο και για πραγματικές προσομοιώσεις, ενώ προσφέρει τη δυνατότητα καθορισμού των δεδομένων που επεξεργάζεται. Το λογισμικό αριθμητικής πρόβλεψης εκτελεί χρονική ολοκλήρωση του αριθμητικού και φυσικού μοντέλου. Το ατμοσφαιρικό μοντέλο χρησιμοποιεί οποιοδήποτε αριθμό ενσωματωμένων πλεγμάτων για να επιτύχει υψηλή ανάλυση για μια δεδομένη περιοχή. Το COAMPS εφαρμόζεται σε υψηλή ανάλυση 3 χιλιομέτρων για την προσομοίωση του πεδίου ανέμου πάνω από την Ελλάδα, πραγματοποιώντας πρόβλεψη για τις επόμενες 24 ώρες. Τα αποτελέσματα ανά ώρα του μοντέλου αποθηκεύονται, ενώ αναλύονται και επεξεργάζονται οι παράμετροι που σχετίζονται με την παραγωγή της αιολικής ενέργειας (θερμοκρασία, χαρακτηριστικά της ταχύτητας ανέμου, πίεση).

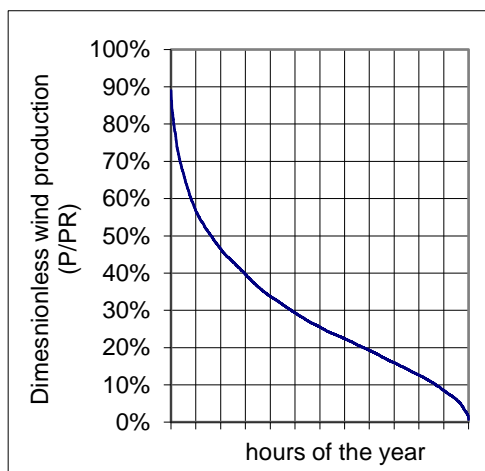
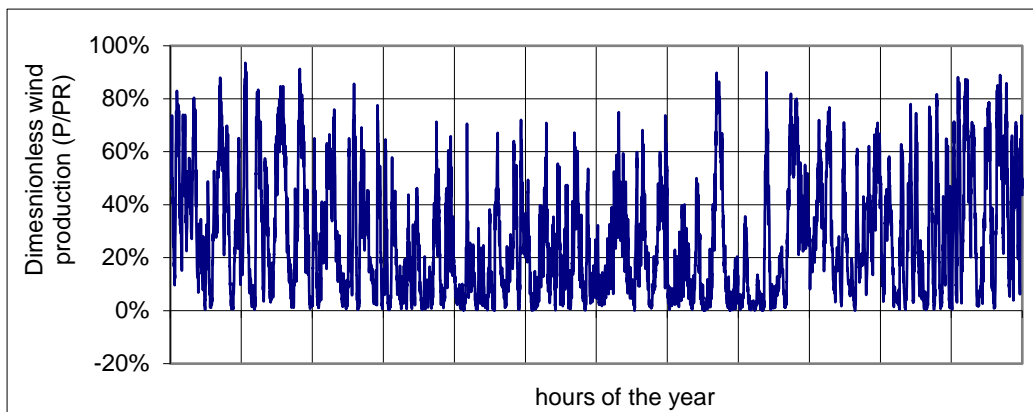
Πραγματοποιήθηκε συστηματική εφαρμογή του COAMPS, με κατάλληλη προσαρμογή των αριθμητικών παραμέτρων και επίλυση για ένα έτος, με σκοπό την παροχή μιας ολοκληρωμένης προσέγγισης για την εκτίμηση του αιολικού και του ηλιακού δυναμικού της χώρας. Η υψηλή ανάλυση των 3 χιλιομέτρων ενσωματώνει περιοχές με πλούσιο αιολικό δυναμικό, για πιθανή μελλοντική ανάπτυξη αιολικών πάρκων. Η συστηματική εφαρμογή του συγκεκριμένου αναλυτικού εργαλείου από τις

αρχές του 2015, κάνοντας χρήση προβλέψεων ανέμου από λειτουργικά μοντέλα πρόγνωσης καιρού που παρασχέθηκαν από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία και μετρήσεις ανέμου από μετεωρολογικούς ιστούς, είχαν ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη και την εμπλουτισμό μιας βάσης δεδομένων αιολικής ενέργειας. Τα αποτελέσματα του COAMPS, δηλαδή η πρόβλεψη για τις επόμενες 24 ώρες, καταγράφεται ωριαία στη βάση δεδομένων, για όλο το έτος 2015. Η βάση δεδομένων αποσκοπεί να εξαγάγει τις απαιτούμενες χρονοσειρές ταχύτητας ανέμου, ταυτόχρονα για κάθε περιοχή εντός της ευρύτερης επικράτειας της μελέτης. Παρόλο που τα μεσοκλιματικά μοντέλα παρέχουν σχετικά λογικές διακυμάνσεις θερμοκρασίας και ανέμου σε διαφορετικούς τόπους, δεν είναι σε θέση να προβλέψουν τους τοπικούς ανέμους ή την επιτάχυνση του ανέμου σε σύνθετο έδαφος. Ωστόσο, η παραμέληση των τοπικών ανέμων και της επιτάχυνσης του ανέμου είναι μια μάλλον προσεγγιστική υπόθεση, αφού ο άνεμος σε διαφορετικούς τόπους είναι στην πραγματικότητα λιγότερο συνεκτικός από την εικόνα που παρουσιάζουν τα μοντέλα της NWP[53].

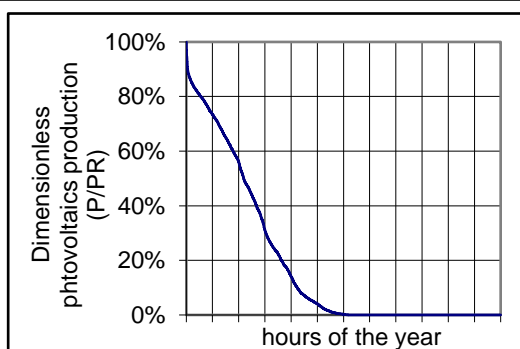
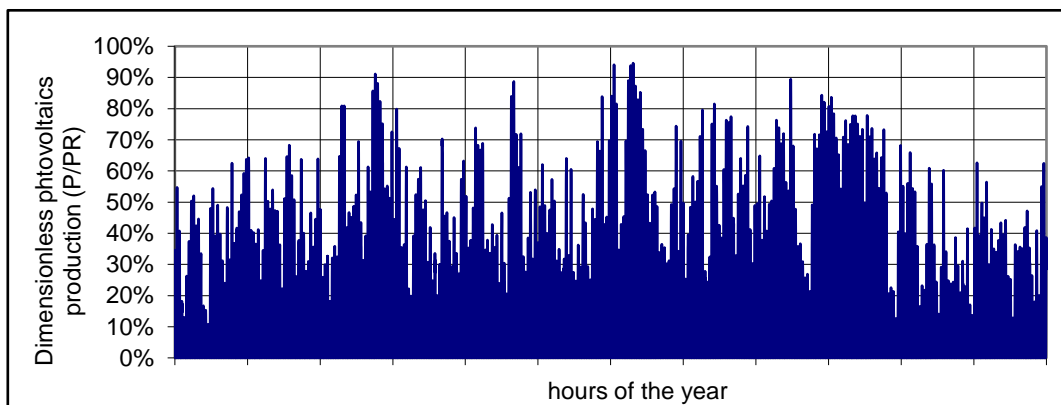
Με βάση τις υπάρχουσες τοποθεσίες αιολικών πάρκων, επιλέχθηκαν 27 τοποθεσίες για ολόκληρη την επικράτεια της Ελλάδας, οπότε αναπτύσσεται ο ίδιος αριθμός φωτοβολταϊκών. Για αυτές τις τοποθεσίες παράγονται χρονοσειρές ανεμολογικών δεδομένων και ηλιακής ακτινοβολίας. Η γεωγραφική διασπορά της αιολικής και φωτοβολταϊκής χωρητικότητας στην αθροιστική ισχύ εξόδου αναλύθηκε για επιλεγμένα σημεία ανάπτυξης[53].



Εικόνα 4.1: Επιλογή σημείων παραγωγής χρονοσειρών ανέμου μέσω του μεσοκλιματικού μοντέλου[53].



Σχήμα 4.3: Ετήσια χρονοσειρά και καμπύλη διάρκειας παραγόμενης ενέργειας από αιολικά[53].



Σχήμα 4.4: Ετήσια χρονοσειρά και καμπύλη διάρκειας παραγόμενης ενέργειας από φωτοβολταϊκά[53].

4.4 Ανάλυση μοντέλου προσομοίωσης

Το μοντέλο που χρησιμοποιείται είναι σε θέση να παρουσιάσει έναν ισολογισμό της ωριαίας ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια και της παραγωγής των αιολικών, των φωτοβολταϊκών, των συμβατικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής (τόσο ευέλικτων όσο και μη ευέλικτων μονάδων) και των μονάδων υδροηλεκτρικής ενέργειας. Πρόκειται για ένα μοντέλο κατασκευασμένο σε υπολογιστικά φύλλα EXCEL, βελτιστοποιημένο από αλγόριθμο με μακροεντολές. Ο κύριος στόχος της προσομοίωσης είναι η εκτίμηση της συμβολής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (κυρίως αιολική και φωτοβολταϊκή ενέργεια, αλλά εξίσου εφαρμοστέα και για άλλες ΑΠΕ) που μπορούν να ενταχθούν στο σύστημα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.

Για την αξιόπιστη και ασφαλή λειτουργία του συστήματος, η προσομοίωση εξετάζει τη λειτουργία του ελληνικού δικτύου ηλεκτροπαραγωγής σε σταθερή κατάσταση, συνυπολογίζοντας όλα τα ειδικά χαρακτηριστικά της ζήτησης, του ανέμου, των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων, των υδροηλεκτρικών σταθμών, των τεχνικών χαρακτηριστικών των συμβατικών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής, όπως και τους τεχνικούς περιορισμούς όλων των μονάδων. Για την εφαρμογή της μεθοδολογίας είναι απαραίτητο να καθοριστεί εξ αρχής ο επιθυμητός αριθμός ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων σε λειτουργία. Με την αύξηση της διείσδυσης των αιολικών και των φωτοβολταϊκών στο σύστημα τροφοδοσίας της χώρας, είναι σαφές ότι οι κανόνες διαχείρισης και οι επιχειρησιακές αρχές θα διαφέρουν από την τρέχουσα πρακτική.

4.4.1 Μέθοδος εισαγωγής μονάδων ηλεκτροπαραγωγής

Η ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως τα αιολικά και τα φωτοβολταϊκά, στο ηλεκτρικό σύστημα, είναι ένα δύσκολο έργο λόγω του στοχαστικού τους χαρακτήρα. Για το βέλτιστο αποτέλεσμα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα προηγμένο εργαλείο προσομοίωσης όπως η προσομοίωση Monte Carlo [54]. Στο χρησιμοποιούμενο λογισμικό, δόθηκε μεγαλύτερη προσοχή στην εξοικονόμηση ενέργειας και την προστασία του περιβάλλοντος, με σκοπό να προταθεί ένα βελτιωμένο μοντέλο σε σχέση με τους συμβατικούς κανόνες διαχείρισης. Κατά συνέπεια, οι μονάδες με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και λιγότερες εκπομπές έχουν προτεραιότητα στην ένταξή τους στο δίκτυο, ώστε να απορροφώνται από το σύστημα τροφοδοσίας. Θεωρητικά, οι αιολικές και οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις πρέπει να εισάγονται κατά προτεραιότητα, εκτός εάν η ασφαλής λειτουργία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας επιβάλλει περιορισμούς και οδηγεί σε υποχρεωτική περικοπή. Λόγω της κατανεμημένης φύσης της ηλεκτροπαραγωγής και του κόστους της περικοπής, η παραγόμενη ενέργεια από φωτοβολταϊκούς σταθμούς απορροφάται κατά προτεραιότητα. Η απόρριψη της ενέργειας των αιολικών εξαρτάται από τις παραμέτρους που θα καθοριστούν από τον χειριστή του προγράμματος.

Για τους σκοπούς της ένταξης των συμβατικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, καθορίζονται δύο βασικές κατηγορίες συμβατικών μονάδων: ευέλικτες μονάδες (μονάδες μέγιστου φορτίου) και μη ευέλικτες μονάδες (μονάδες βασικού φορτίου). Η πρώτη κατηγορία αποτελείται από αεριοστροβίλους και γεννήτριες ντίζελ και η δεύτερη περιλαμβάνει μονάδες παραγωγής λιγνίτη. Το 70% και το 50% είναι τα τεχνικά ελάχιστα που χαρακτηρίζουν τις μη ευέλικτες και τις ευέλικτες μονάδες αντίστοιχα.

Με δεδομένα τα προαναφερθέντα, στην προσομοίωση το σύστημα τροφοδοσίας θα απορροφήσει την παραγόμενη ισχύ σύμφωνα με την παρακάτω σειρά (σειρά ένταξης μονάδων ηλεκτροπαραγωγής):

1. Φωτοβολταϊκά
2. Ελάχιστη ένταξη μη ευέλικτων μονάδων (Λιγνιτικοί σταθμοί)
3. Ελάχιστη ένταξη ευέλικτων μονάδων (Σταθμοί φυσικού αερίου και πετρελαίου)
4. Αιολικά
5. Υδροηλεκτρικά
6. Αντλησιοταμίευση
7. Περαιτέρω ένταξη μη ευέλικτων μονάδων (Λιγνιτικοί σταθμοί)
8. Περαιτέρω ένταξη ευέλικτων μονάδων (Σταθμοί φυσικού αερίου και πετρελαίου).

Ο αριθμός των μονάδων βάσης (λιγνιτικά) που πρόκειται να δεσμευτούν καθορίζεται από την αναμενόμενη χαμηλότερη ζήτηση της επόμενης εβδομάδας. Οι μονάδες αιχμής (ΦΑ και πετρέλαιο) χαρακτηρίζονται από την ικανότητά τους να παρέχουν γρήγορη ανταπόκριση. Ο καθορισμός του αριθμού των μονάδων αιχμής που πρέπει να δεσμευτούν σχετίζεται με την αναμενόμενη μεταβλητότητα της ζήτησης και την προβλεπόμενη μεταβλητότητα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ για τις επόμενες ώρες. Όσο μεγαλύτερη είναι η αναμενόμενη διακύμανση της ζήτησης ή της ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τόσο μεγαλύτερη δέσμευση μονάδων μέγιστου φορτίου απαιτείται προκειμένου να διασφαλιστεί η ισορροπία και η ασφάλεια του συστήματος ισχύος και η ταχεία ανταπόκριση της προσφοράς ώστε να ικανοποιήσει τη ζήτηση.

Ένας άλλος τύπος ανανεώσιμης ενέργειας είναι η υδροηλεκτρική, η οποία εισάγεται στο μοντέλο με ειδικό τρόπο προκειμένου να μεγιστοποιηθούν τα οφέλη για το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Η παραγωγή των υδροηλεκτρικών και αντλησιοταμιευτικών έργων πρέπει να προσαρμοστεί κατάλληλα όχι μόνο σύμφωνα με την αιχμή της ζήτησης, αλλά και με τη μεταβλητότητα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, δεδομένου ότι η απόρριψη της αιολικής ενέργειας μπορεί να συμβεί σε στιγμές χαμηλής ζήτησης ή σε υψηλές ταχύτητες ανέμου. Κατά τη διάρκεια των περιόδων χαμηλής ζήτησης, οι μονάδες αντλησιοταμίευσης απενεργοποιούνται. Κατά τη διάρκεια των περιόδων αιχμής της ζήτησης, εάν υπάρχει πλεόνασμα αιολικής ενέργειας, οι μονάδες αυτές μπορεί να μειώσουν τη λειτουργία τους εξοικονομώντας νερό για περιόδους αιχμής ζήτησης με χαμηλό αέρα. Με αυτό

τον τρόπο οι αιολικοί σταθμοί μπορούν να εξοικονομήσουν νερό στις δεξαμενές των αντλησιοταμιευτικών σταθμών και η υδροηλεκτρική παραγωγή δεν θα περιορίσει την απορρόφηση της αιολικής ενέργειας.

Η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας δεν πρέπει να απειλεί τη σταθερότητα και την αξιοπιστία του συνολικού συστήματος. Προκειμένου να διασφαλιστεί αυτό, τίθεται ένα δυναμικό όριο που σχετίζεται με την επιτρεπόμενη στιγμιαία διείσδυση της αιολικής ενέργειας. Αυτό συμβαίνει για να προβλεφθεί μια ενδεχόμενη απότομη πτώση ή αύξηση του ανέμου σε όλους τους αιολικούς σταθμούς. Σε μικρότερα συστήματα, όπως η Ταϊβάν, η συνολική απώλεια αιολικής ενέργειας μπορεί να οφείλεται σε ξαφνική πτώση ανέμου ή ξαφνική καταιγίδα σε όλους τους αιολικούς σταθμούς με ταχύτητες ανέμου που ξεπερνούν τα όρια λειτουργίας των στροβίλων. Στη Δανία, στο παρελθόν έχει συμβεί σε μερικές ώρες όλη η παραγωγή αιολικής ενέργειας να χαθεί λόγω καταιγίδας. Σε άλλες περιπτώσεις, όπως και στην Ελλάδα που αποτελεί το υπό μελέτη σύστημα, λόγω της σύνθετης μορφολογίας του εδάφους, οι ριπές ανέμου ή η ηρεμία θεωρούνται ακόμη λιγότερο πιθανό να συναντήσουν ταυτόχρονα όλες τις ανεμογεννήτριες. Επιπλέον, σε περίπτωση ευρείας χωρικής διασποράς, τα αιολικά πάρκα συνδέονται σε διαφορετικές γραμμές, οπότε είναι επίσης απίθανη η συνολική απώλεια αιολικής ενέργειας που προκαλείται από μερική αστοχία δικτύου. Παρόλα αυτά στο χρησιμοποιούμενο μοντέλο, για να εξασφαλιστεί η ασφάλεια του δικτύου, η τιμή της επιτρεπόμενης στιγμιαίας διείσδυσης της αιολικής ενέργειας ορίζεται στο 40-60% της συνολικής ζήτησης.

Η διασύνδεση του συστήματος ηλεκτροπαραγωγής με γειτονικές χώρες έχει μικρή χωρητικότητα και επιπλέον η ενεργειακή αυτονομία αποτελεί επιθυμητή συνθήκη για τη χώρα. Επομένως, στην παρούσα ανάλυση, το σύστημα ισχύος της Ελλάδας αντιμετωπίζεται ως ένα απομονωμένο σύστημα ισχύος. Η μεθοδολογία παρέχει αποτελέσματα και συμπεράσματα σχετικά με το ετήσιο ενεργειακό μείγμα, την συμβολή της αιολικής ενέργειας και την ετήσια ποσότητα της απορριπτόμενης αιολικής ενέργειας.

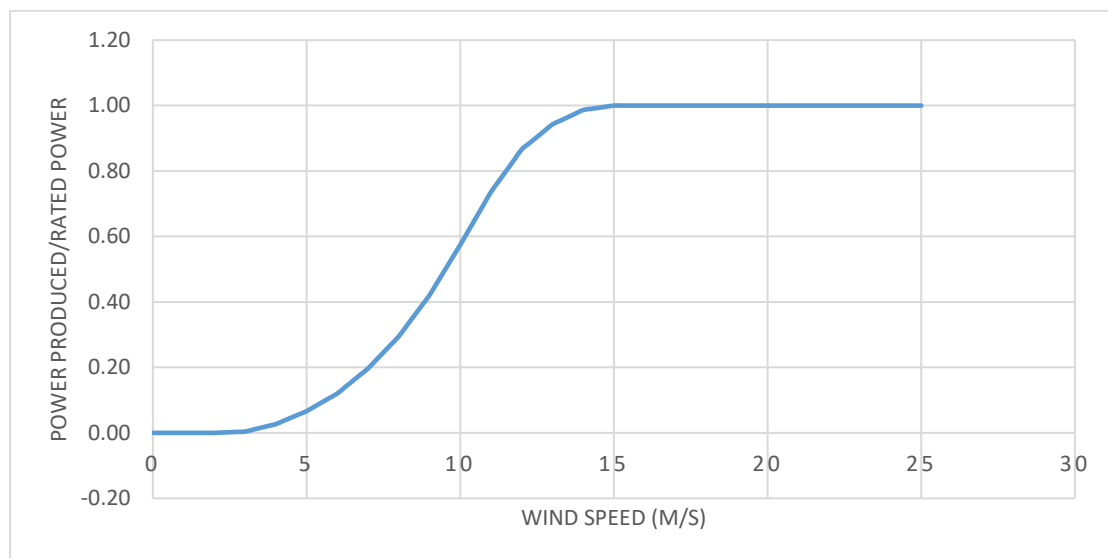
4.4.2 Παραδοχές

Η προσομοίωση εφαρμόζεται στο πλαίσιο των ακόλουθων υποθέσεων:

- Η προσομοίωση αφορά ολόκληρο το σύστημα ισχύος, οπότε βασίζεται στην υπόθεση ότι το σύστημα τροφοδοσίας ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα έχει επαρκή ικανότητα μεταφοράς σε όλη τη χώρα (διασύνδεση νησιών).
- Σύμφωνα με την προσομοίωση, θεωρείται ότι ο διαχειριστής του συστήματος είναι ικανός να χρησιμοποιεί συστηματικά τα μοντέλα που αφορούν στη ζήτηση, στα αιολικά και τα φωτοβολταϊκά. Η μεταβλητότητα και η διαθεσιμότητα αυτών των εισροών θεωρούνται επίσης προβλέψιμες.
- Έχει γίνει η παραδοχή ότι η ονομαστική ισχύς των μη ευέλικτων και των ευέλικτων μονάδων είναι 300 MW και 200 MW αντίστοιχα, με σκοπό να απλοποιηθεί η προσομοίωση.

- Η ετήσια ζήτηση φορτίου για τα σενάρια μελέτης (σενάριο εθνικών στόχων για το 2030 και σενάριο φιλόδοξων στόχων για το 2050) και βασικό σενάριο για το 2015 καθορίζονται στους υφιστάμενους και μελλοντικούς στόχους.
- Η ισχύς παραγωγής αιολικής ενέργειας υπολογίζεται λαμβάνοντας μια τυπική καμπύλη αδιάστατης ισχύος. Αυτή η καμπύλη ισχύος έχει ταχύτητα ένταξης και ταχύτητα αποκοπής 3,3 m/s και 25 m/s αντίστοιχα. Η ονομαστική ισχύς επιτυγχάνεται στα 14,8 m/s.
- Οι ετήσιες χρονοσειρές ταχύτητας του ανέμου συσχετίζονται στη συνέχεια με την καμπύλη ισχύος με ελαφρούς συντελεστές διόρθωσης και προσδιορίζεται η αδιάστατη ισχύς εξόδου κάθε τοποθεσίας. Η ωριαία παραγωγή αιολικής ενέργειας υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη ότι η συνολική εγκατεστημένη ισχύς αιολικής ενέργειας κατανέμεται συστηματικά σε όλα τα αιολικά πάρκα.

Όλες οι παραδοχές στηρίζονται σε συντηρητικές μελλοντικές εκτιμήσεις και θέτουν ως προτεραιότητα την ασφάλεια και την ευστάθεια του συστήματος.



Σχήμα 4.5: Αδιάστατη καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας (αδιαστατοποιημένη με την ονομαστική ισχύ της)[53].

4.5 Βασικοί υπολογισμοί προσομοίωσης

Βήμα 1: Παραγωγή ΦΒ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η ισχύς από τα Φ/Β απορροφάται άμεσα από το σύστημα τροφοδοσίας. Αυτό σημαίνει ότι κάθε ωριαία τιμή παραγόμενης ισχύος από Φ/Β αφαιρείται από την κανονική ζήτηση ηλεκτρικού ρεύματος και έχει ως αποτέλεσμα το υπολειπόμενο φορτίο (φορτίο μείον την παραγωγή ΦΒ).

$$L_{load_residual}(t) = L_l(t) - P_{pv}(t) \quad (1)$$

Όπου $L_{load_residual}(t)$ = ωριαίο υπολειπόμενο φορτίο, $L_l(t)$ = ωριαίο φορτίο ζήτησης, $P_{pv}(t)$ = ωριαία παραγόμενη ισχύς Φ/Β.

Βήμα 2: Καθορισμός του αριθμού των μη ευέλικτων μονάδων που θα δεσμευτούν

Ο αριθμός των μη ευέλικτων μονάδων, $N_{nf}(t)$, καθορίζεται σε ωριαία βάση για να καλύψει το καθορισμένο σε κάθε σενάριο ποσοστό του ελάχιστου φορτίου των επόμενων 14 ημερών.

$$N_{nf}(t) = L_{min_load_residual}(t) / P_{rated_non-flexible} \quad (2)$$

Όπου $L_{min_load_residual}(t)$ είναι η ελάχιστη τιμή του $L_{load_residual}(t)$ για τις επόμενες 14 ημέρες, δηλαδή το ελάχιστο φορτίο των επόμενων 14 ημερών.

$P_{rated_non-flexible}$ είναι η ονομαστική ισχύς των μη ευέλικτων μονάδων.

Κατά συνέπεια, η ενέργεια που καλούνται να παρέχουν στο σύστημα οι μη ευέλικτες μονάδες υπολογίζεται ως:

$$P_{non-flexible} = g_{nf} * N_{nf}(t) * P_{rated_non-flexible} \quad (3)$$

Όπου g_{nf} είναι το ελάχιστο τεχνικό όριο λειτουργίας των μη ευέλικτων μονάδων, που ισούται με 70%.

Βήμα 3: Καθορισμός του αριθμού των ευέλικτων μονάδων που θα δεσμευτούν

Ο αριθμός των ευέλικτων μονάδων σε λειτουργία, $N_{GT}(t)$, προσδιορίζεται σε ωριαία βάση ώστε να καλυφθεί η μεταβλητότητα στις τιμές της ωριαίας ζήτησης και της παραγωγής αιολικής ενέργειας των επομένων 24 ωρών.

$$N_{GT} = 2 * \left(\sqrt{\sigma_{Lres}^2 + \sigma_{W_PRD}^2} \right) * (1/P_{Rated_flexible_NG}) \quad (4)$$

Ο συντελεστής 2 είναι συντελεστής αξιοπιστίας και σχετίζεται με τη μεταβλητότητα του ανέμου τις επόμενες 24 ώρες.

Κατόπιν υπολογίζεται το τεχνικό ελάχιστο των ευέλικτων μονάδων:

$$P_{flexible} = g_f * N_{GT} * P_{Rated_flexible} \quad (5)$$

Όπου g_f είναι το ελάχιστο τεχνικό όριο λειτουργίας των ευέλικτων μονάδων που ισούται με 50%.

Βήμα 4: Ικανότητα του συστήματος να απορροφήσει την αιολική ενέργεια

Η μέγιστη παραγωγή αιολικής ενέργειας που μπορεί να απορροφηθεί με ασφάλεια, $P_{w_ABS,uplim}(t)$, προσδιορίζεται ως:

$$P_{w_ABS,uplim}(t) = \min \{ \delta * L_{load}, L_{residual} - P_{flexible}(t) - P_{non-flexible} \} \quad (6)$$

Όπου δ , είναι το ανώτατο όριο στιγμιαίας διείδυσης αιολικών σε συνάρτηση με το μέγιστο φορτίο $L_{residual}$.

Βήμα 5: Απορρόφηση και περικοπή αιολικής ενέργειας

Η πραγματική απορροφόμενη αιολική ενέργεια, P_{w_actual} , και η απορριπτόμενη αιολική ενέργεια $P_{w_rejected}$ υπολογίζονται ως:

$$P_{w_actual} = \min \{P_{w_ABS,uplim}(t), P_{w_avail}\} \quad (7)$$

$$P_{w_rejected} = P_{w_avail} - P_{w_ABS,uplim}(t) \quad (8)$$

Βήμα 6: Υδροηλεκτρική ενέργεια και Αντλησιοταμίευση

Η συμβολή των μονάδων υδροηλεκτρικής ενέργειας και αντλησιοταμίευσης προορίζεται να καλύψει το φορτίο αιχμής, όπως και οι ευέλικτες μονάδες, και υπολογίζεται ως ακολούθως:

$$P_{Hydro_cont}(t) = L_{load_residual}(t) - P_{non-flexible}(t) - P_{w_ABS,uplim}(t) \quad (9)$$

Το υπολειπόμενο φορτίο από τις υδροηλεκτρικές μονάδες συμβολίζεται ως $L_{hydro_residual}$ και υπολογίζεται από την σχέση (9) αφαιρώντας την πραγματική ικανότητα υδροηλεκτρικής παραγωγής και αντλησιοταμίευσης ($P_{Hydro_actual}(t)$).

$$L_{hydro_residual} = P_{Hydro_cont}(t) - P_{Hydro_actual}(t) \quad (10)$$

Εάν το $L_{hydro_residual}$ είναι μεγαλύτερο από το μηδέν, η ενέργεια καλύπτεται από τις μη ευέλικτες μονάδες, που σημαίνει ότι οι μη ευέλικτες μονάδες πρέπει να παράγουν πάνω από τα τεχνικά τους ελάχιστα ($P_{above_techmin_nf}(t)$).

$$P_{above_techmin_nf}(t) = \min \{ L_{hydro_residual}; (1-g_{nf}) * N_{nf}(t) * P_{rated_non-flexible} \} \quad (11)$$

Αν το $L_{hydro_residual}$ μείον το $P_{above_techmin_nf}(t)$ γίνει μεγαλύτερο από το μηδέν, και πάλι η πλεονάζουσα ενέργεια θα καλυφθεί από τις ευέλικτες μονάδες.

$$P_{flexible_above}(t) = L_{hydro_residual} - P_{above_techmin_nf}(t) \quad (12)$$

Βήμα 7: Ενεργειακό ισοζύγιο

Σε αυτή τη φάση η προσομοίωση είναι σε θέση να προσδιορίσει:

- την ετήσια ενεργειακή συνεισφορά των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (αιολική και ηλιακή ενέργεια)
- την ετήσια ενέργεια από τον άνεμο και την ηλιακή ακτινοβολία
- και το ετήσιο ενεργειακό μείγμα ολόκληρου του συστήματος ισχύος.

4.6 Εφαρμογή της αντλησιοταμίευσης για αύξηση της εγκατάστασης αιολικών και φωτοβολταϊκών

Η αντλησιοταμίευση εφαρμόζεται εδώ και δεκαετίες. Πριν από την εμφάνιση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, μεγάλες υδροηλεκτρικές αποθήκες αξιοποιήθηκαν αντλώντας νερό κατά τη διάρκεια περιόδων χαμηλής ζήτησης, χρησιμοποιώντας μηχανές αντίστροφης υδροηλεκτρικής ενέργειας και αποθήκευαν πλεονάζουσα ενέργεια από θερμοηλεκτρικούς σταθμούς, την οποία απέδιδαν σε περιόδους υψηλής ζήτησης. Σήμερα, η ίδια κυκλική λειτουργία χρησιμοποιείται για την αποθήκευση ενέργειας από μονάδες που παρουσιάζουν μεταβλητότητα, όπως τα αιολικά και τα φωτοβολταϊκά.

Το 2015 η συνολική εγκατεστημένη ισχύς σε υδροηλεκτρικές μονάδες και σε μονάδες αντλησιοταμίευσης ήταν 3396 MW και 699 MW αντίστοιχα [55]. Η μέθοδος αποθήκευσης ενέργειας με χρήση υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων είναι ένα αξιόπιστο μέσο αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, και δύναται να παρέχει μεγάλη χωρητικότητα. Η υποδομή των εν λόγω εγκαταστάσεων χρησιμοποιείται ως βάση για την εφαρμογή της παρούσας ανάλυσης, όσον αφορά στο σχεδιασμό της χωρητικότητας των δεξαμενών και τη διαθεσιμότητα νερού. Η άνω δεξαμενή έχει σχεδιαστεί υποθετικά για να δέχεται νερό για λειτουργία 2 έως 3 ημερών. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για χρήση γίνεται από υδραυλικούς στρόβιλους που πραγματοποιούν αποτελεσματική και αποδοτική μετατροπή.

Ωστόσο, λόγω της μη προβλεψιμότητας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η λειτουργία της υδροηλεκτρικής αποθήκευσης που εφαρμόζεται για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και για τους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς είναι διαφορετική. Προηγούμενες μελέτες σχετικά με την αντλησιοταμίευση έχουν εξηγήσει λεπτομερώς τη λειτουργία αυτή [56][57].

Παρακάτω παρουσιάζεται η εφαρμογή της υδροηλεκτρικής αποθήκευσης για την εκμετάλλευση της πλεονάζουσας ενέργειας που προέρχεται από τον άνεμο και τα φωτοβολταϊκά. Ο γενικός στόχος είναι να δημιουργηθούν τρόποι για την αύξηση της διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.

Περιγραφή του προβλήματος και μέθοδος επίλυσης

Για κάθε ένα από τα εξεταζόμενα σενάρια, εφαρμόζεται μια τεχνική ανάλυση και παρουσιάζονται τα αποτελέσματά της. Στην ανάλυση αυτή θεωρείται ότι χρησιμοποιούνται αντλητικές μονάδες χωρητικότητας 200 MW. Σε κάποιες χρονικές στιγμές όλες οι μονάδες μπορεί να λειτουργούν ως αντλίες σταθερής ταχύτητας, ενώ σε άλλες στιγμές μία αντλητική μονάδα επιτρέπεται να λειτουργεί ως αντλία μεταβλητής ταχύτητας. Το πλεονέκτημα που προσφέρει η ύπαρξη μίας αντλίας μεταβλητής ταχύτητας είναι η αύξηση της χρήσης της πλεονάζουσας ενέργειας, εάν αυτό είναι δυνατόν.

Η βασική λειτουργία αποθήκευσης της υδροηλεκτρικής αντλίας εισάγεται ως εξής:

Για κάθε χρονική βαθμίδα (1 ώρα) οι παροχές των υδροστρόβιλων και των αντλιών υπολογίζονται χρησιμοποιώντας τις σχέσεις (13) και (14).

$$Q_P = \frac{\eta_P P_P}{\rho g H} \quad (13)$$

$$Q_T = \frac{P_T}{\eta_T \rho g H} \quad (14)$$

- Στην παρούσα ανάλυση εξετάζονται υδροηλεκτρικοί στρόβιλοι ισχύος 350 MW, με συνολική μέση απόδοση $\eta_T = 0,9$ και αντλίες συνολικής μέσης απόδοσης $\eta_P = 0,8$.
- Η είναι το συνολικό διαθέσιμο ύψος στήλης ύδατος, το οποίο υποτίθεται ότι είναι 500 μέτρα.
- Οι υδροστρόβιλοι τίθενται σε λειτουργία όταν η άνω δεξαμενή έχει τουλάχιστον το 50% της συνολικής χωρητικότητά της και λειτουργούν μόνο εντός των καθορισμένων ωρών λειτουργίας.
- Το χρονικό διάστημα αποθήκευσης νερού είναι 36 ώρες.
- Για κάθε χρονικό βήμα υπολογισμού η διαθέσιμη ισχύς για άντληση υπολογίζεται από την πλεονάζουσα αιολική ενέργεια και την ισχύ των Φ/Β.
- Παραβλέπονται οι απώλειες γραμμικής ροής για τους υδροστρόβιλους και τις αντλίες, καθώς και οι απώλειες σωλήνων.

Με βάση τον παραπάνω σχεδιασμό και τις παραδοχές, υπολογίζεται η συνολική πλεονάζουσα ενέργεια από μεταβλητές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που θα μπορούσε να αξιοποιηθεί για άντληση. Τα αποτελέσματα καθορίζονται από την ενέργεια που επιλέγεται να απορροφηθεί από τους σταθμούς άντλησης και τελικά προκύπτει ο βαθμός αξιοποίησής τους.

4.7 Ένταξη του ηλεκτρικού αυτοκινήτου στο υπολογιστικό μοντέλο

Η παρούσα μελέτη βασίζεται στη χρήση ενός έτοιμου υπολογιστικού μοντέλου ανάλυσης του ελληνικού ηλεκτρικού συστήματος, το οποίο έχει υποστεί επεξεργασία με σκοπό την εισαγωγή του ηλεκτρικού αυτοκινήτου. Η απορρόφηση ηλεκτρικών οχημάτων από την ελληνική αγορά αναμένεται να προκαλέσει μια αύξηση στην συνολική κατανάλωση ενέργειας της χώρας, η οποία εξαρτάται από το ποσοστό διείσδυσής τους επί του συνολικού στόλου των οχημάτων. Προκειμένου να εκτιμηθεί η ωριαία μεταβολή των τιμών της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια ενός έτους για κάθε εναλλακτικό σενάριο μελέτης, πραγματοποιήθηκε ένα σύνολο παραδοχών και προσεγγίσεων που αναλύονται παρακάτω.

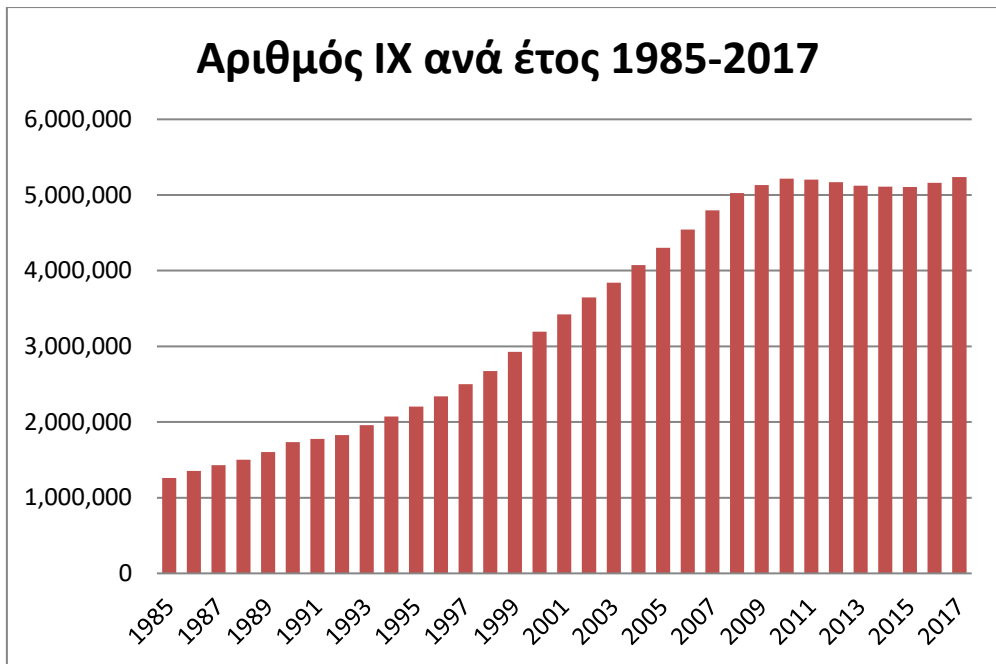
4.7.1 Παραδοχές-Εκτιμήσεις

4.7.1.1 Μεταβολή συνολικού αριθμού επιβατικών αυτοκινήτων για τα εξεταζόμενα έτη

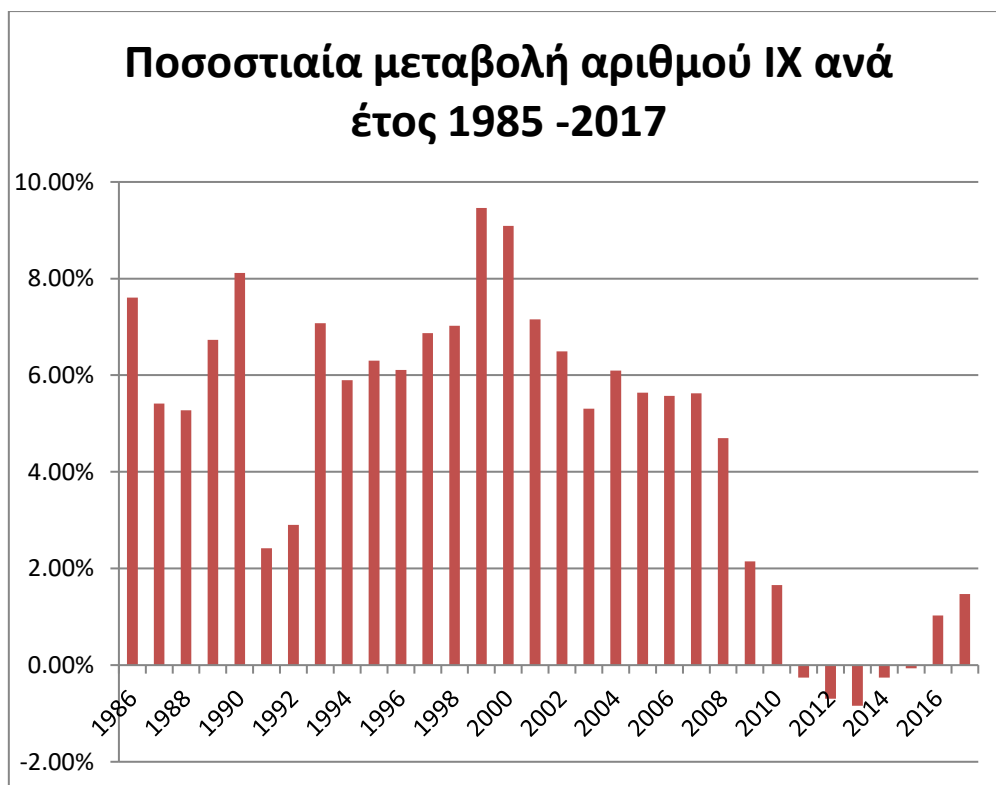
Αναλυτικά στοιχεία για την μεταβολή του αριθμού των επιβατικών αυτοκινήτων ιδιωτικής χρήσης στην Ελλάδα από το 1985 έως και το 2017 παρέχονται από την Ελληνική Στατιστική Αρχή. Το έτος 2017, ο στόλος της χώρας αριθμούσε 5.235.928 επιβατικά αυτοκίνητα. Ο αντίστοιχος αριθμός για το 2007, 10 χρόνια πριν, ήταν 4.798.530, για το 1997 ήταν 2.500.099, ενώ για το 1987 ήταν 1.428.546 αυτοκίνητα. Πιο συγκεκριμένα την περίοδο 1987-1997, ο στόλος παρουσίασε αύξηση της τάξης του 75,01%, με μέσο ποσοστό αύξησης ανά έτος 5,74%, και την περίοδο 1997-2007 αύξηση 91,93%, με μέσο ποσοστό αύξησης ανά έτος 6,76%.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η τελευταία διαθέσιμη για μελέτη δεκαετία, δηλαδή η περίοδος 2007-2017. Σε αυτό το χρονικό διάστημα παρουσιάστηκε αύξηση του στόλου σε ποσοστό μόλις 9,12%, με μέσο ποσοστό ανά έτος 1,32%, ενώ για 5 έτη (2011-2015) ο στόλος παρουσίαζε μείωση του συνολικού αριθμού του. Με αυτό τον τρόπο γίνεται ξεκάθαρη η επίδραση της οικονομικής κρίσης στην μεταβολή του συνολικού αριθμού των επιβατικών αυτοκινήτων, αφού η περίοδος μείωσης του αριθμού αυτού ή σχετικά μικρής αύξησης του ταυτίζεται με την γενικότερη περίοδο μείωσης των εισοδημάτων και της κατανάλωσης αγαθών.

Τα αναλυτικά στοιχεία για τα αναφερόμενα έτη παρουσιάζονται στα Σχήματα 4.6 και 4.7 που ακολουθούν.



Σχήμα 4.6: Αριθμός επιβατικών αυτοκινήτων ανά έτος, περίοδος 1985-2017.[58]

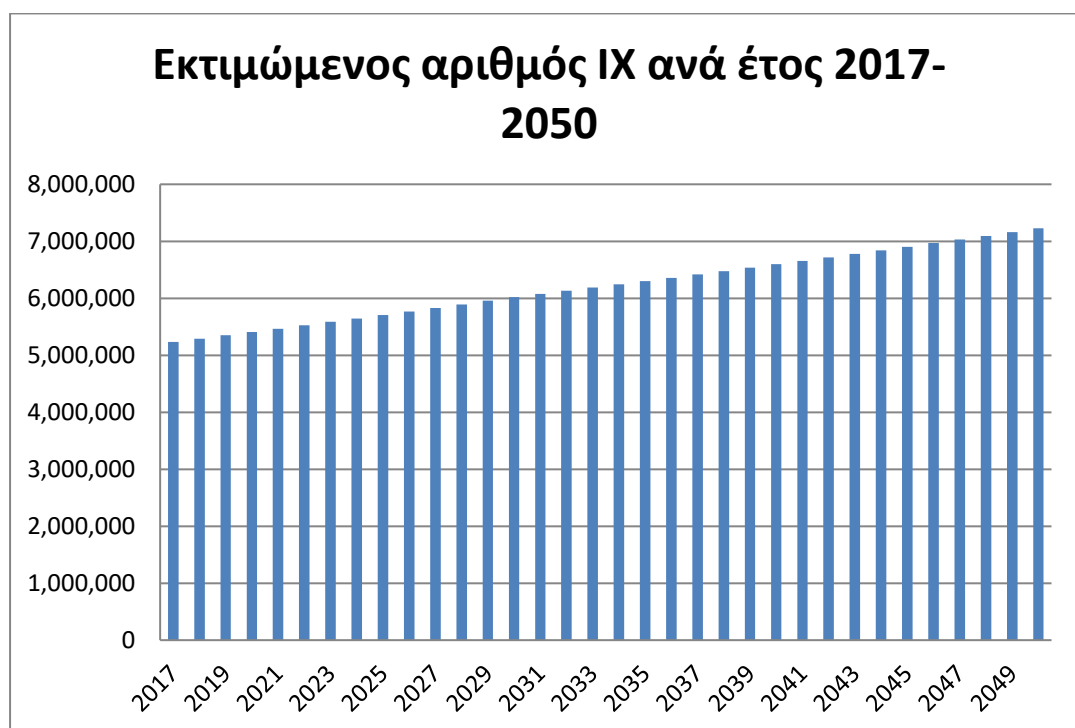


Σχήμα 4.7: Ποσοστιαία μεταβολή του αριθμού των επιβατικών αυτοκινήτων ανά έτος, περίοδος 1985-2017.[58]

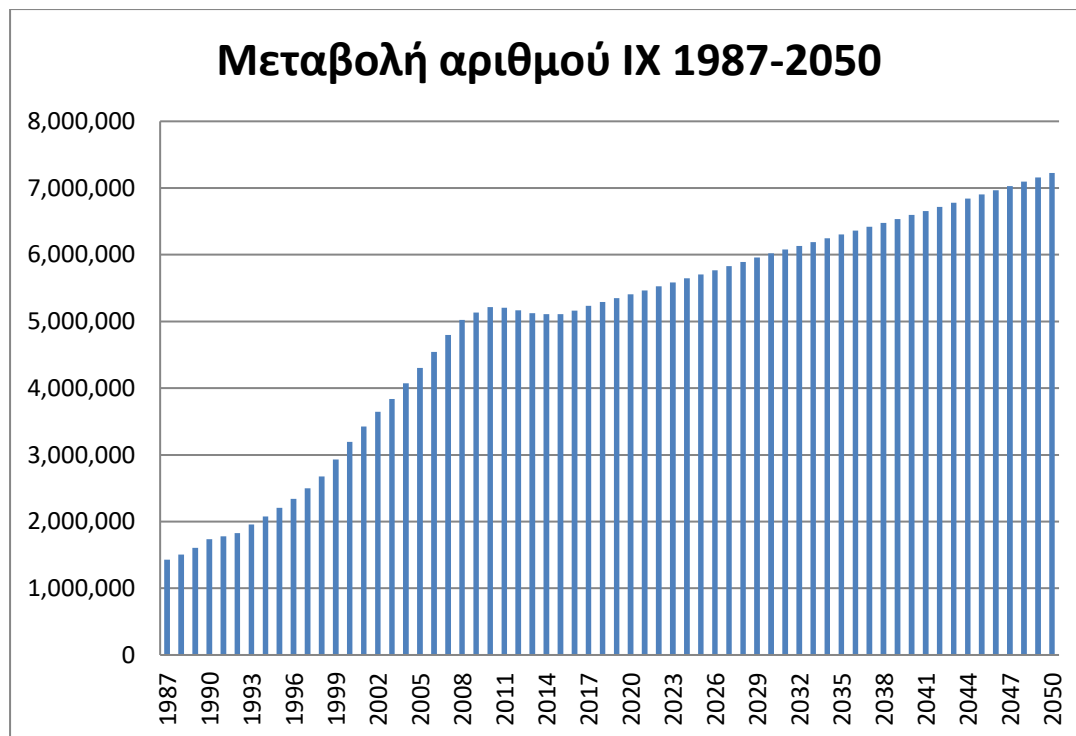
Με βάση τα παραπάνω δεδομένα εκτιμάται η μεταβολή του συνολικού αριθμού των επιβατικών αυτοκινήτων ιδιωτικής χρήσης τα προσεχή έτη. Θεωρείται ότι το ποσοστό της αύξησης του στόλου με ορίζοντα το έτος 2030, δηλαδή σε 13 έτη από το 2017 για το οποίο διατίθενται δεδομένα, δεν θα παρουσιάζει μεγάλη απόκλιση από το ποσοστό που σημειώθηκε την τελευταία δεκαετία (2007-2017). Έτσι, εκτιμάται ότι ο στόλος

θα αυξηθεί σε ποσοστό 15% στο εν λόγω χρονικό πλαίσιο. Αυτό συνεπάγεται μέσο ποσοστό αύξησης κάθε έτους της τάξης του 1,08%. Ο ρυθμός αύξησης του στόλου θεωρείται ότι θα παρουσιάσει μικρή ανοδική τάση σε σχέση με την προηγούμενη δεκαετία, καθώς όπως υποδεικνύουν τα τελευταία δύο έτη, 2016 και 2017, αποκαθίσταται μια μικρή αυξητική τάση, σε αντίθεση με την περίοδο της ύφεσης. Με αυτή την εκτίμηση, ο αριθμός των αυτοκινήτων για το 2030 υπολογίζεται στα 6.021.317.

Υπολογίζοντας με χρονικό ορίζοντα το 2050, εκτιμάται αύξηση του στόλου σε σχέση με το έτος 2030 της τάξης του 20%, με μέσο ποσοστό αύξησης ανά έτος 0,92%. Οι ελαφρώς μειωμένες εκτιμήσεις σε σχέση με το διάστημα 2017-2030, βασίζονται στην υπόθεση ότι, δεδομένου του δημογραφικού ζητήματος της χώρας, η απορρόφηση αυτοκινήτων από την ελληνική αγορά θα υποστεί έναν σχετικό κορεσμό. Τα πρώτα 20 έτη που παρουσιάζονται (1987-2007), ο συνολικός αριθμός των οχημάτων παρουσίασε μεγάλη άνοδο, από 1.428.546 σε 4.798.530. Αντίθετα την δεκαετία 2007-2017 κυμάνθηκε από 4.798.530 σε 5.235.928. Έτσι, εκτιμάται ο συνολικός αριθμός οχημάτων το έτος 2050 να ανέρχεται σε 7.225.581.



Σχήμα 4.8: Εκτιμώμενος αριθμός επιβατικών αυτοκινήτων ανά έτος, περίοδος 2017-2050.



Σχήμα 4.9: Μεταβολή αριθμού επιβατικών αυτοκινήτων ανά έτος, περίοδος 1987-2050.

4.7.1.2 Μέση κατανάλωση ενέργειας ηλεκτρικού αυτοκινήτου

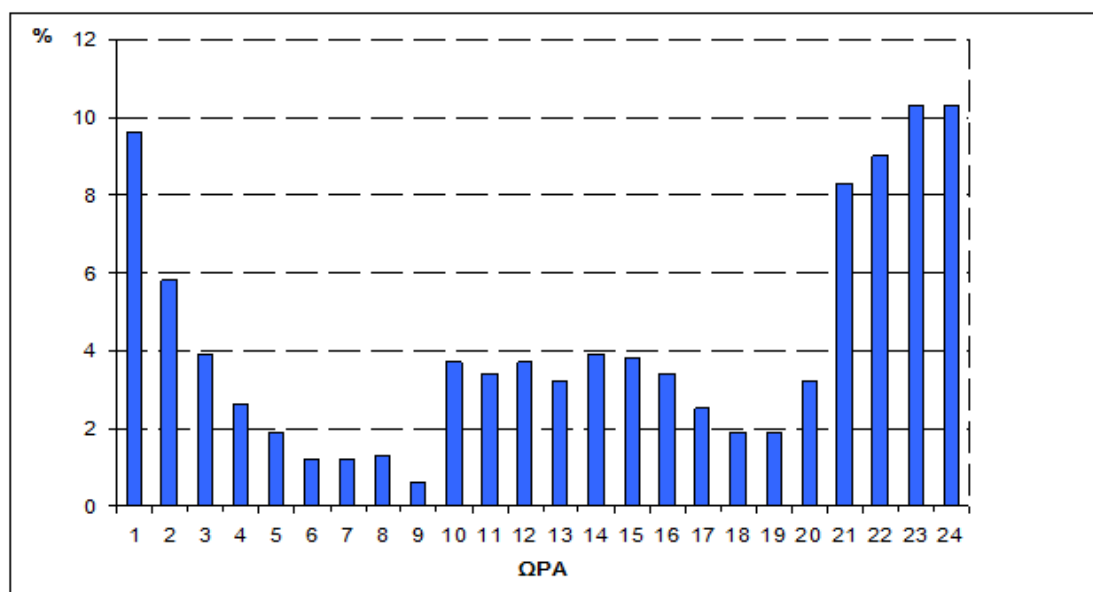
Σήμερα η μέση κατανάλωση ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου υπολογίζεται στις 287 Wh/mi ή στις 0,178 kWh/km. Όπως έχει αναφερθεί ήδη, τα τελευταία χρόνια η τεχνολογία των συσσωρευτών των ηλεκτρικών αυτοκινήτων γνωρίζει ταχεία ανάπτυξη, όσο η απορρόφηση του ηλεκτρικού αυτοκινήτου από τη διεθνή αγορά αυξάνεται. Με μια συντηρητική μελλοντική εκτίμηση θεωρείται ότι η μέση κατανάλωση ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου το 2030 θα φτάνει στις 0,173 kWh/km και το 2050 στις 0,16 kWh/km. Είναι πιθανό οι πραγματικές τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα των συσσωρευτών να ξεπεράσουν τις εκτιμήσεις αυτές, ωστόσο στην παρούσα μελέτη γίνεται προσπάθεια κατάρτισης ρεαλιστικών υποθέσεων και αποφεύγονται πολύ αισιόδοξες εκτιμήσεις.

4.7.1.3 Ημερήσιο μοντέλο χρήσης αυτοκινήτου ιδιωτικής χρήσης

Η ημερήσια κίνηση όλων των οχημάτων λαμβάνεται ίση με 55 χιλιόμετρα, που σημαίνει συνολική ετήσια κίνηση ίση με 20.000 χιλιόμετρα. Ο αριθμός αυτός είναι συμβατός με προηγούμενες αντίστοιχες μελέτες, όπως η Τεχνική Έκθεση που καταρτίστηκε το 2012 από το Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής με τίτλο Διερεύνηση τρόπων ανάπτυξης και διείσδυσης των ηλεκτροκίνητων οχημάτων στην Ελλάδα[60].

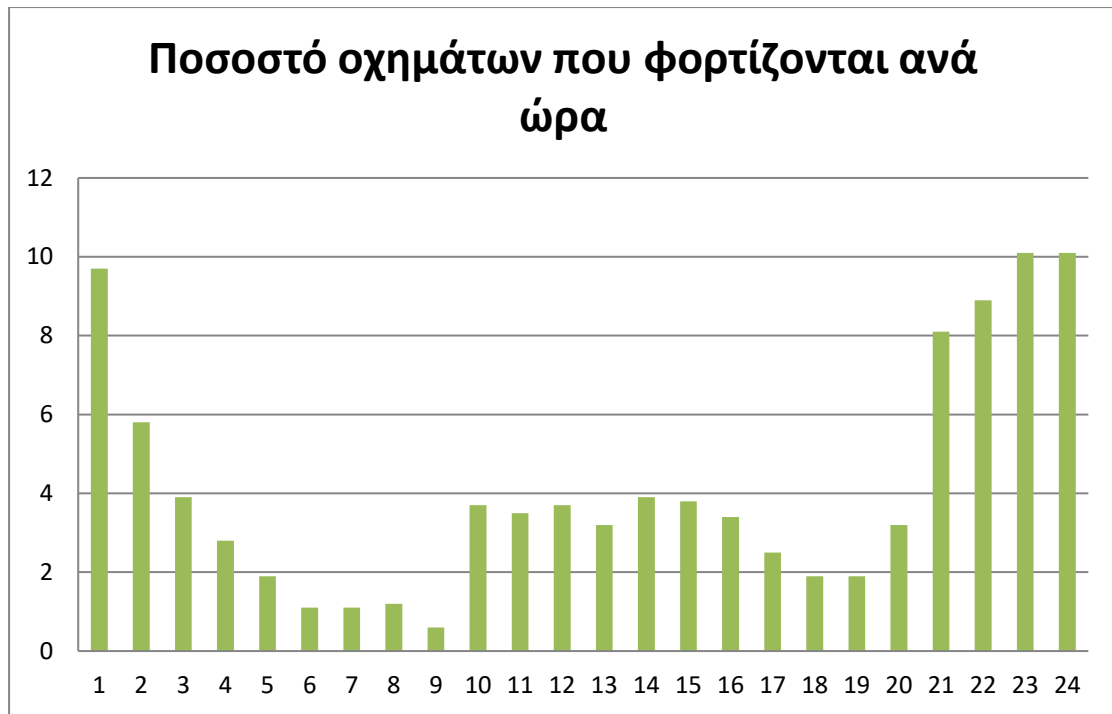
4.7.1.4 Εκτίμηση της ημερήσιας καμπύλης φόρτισης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Για την εκτίμηση της ημερήσιας καμπύλης φόρτισης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί ο αριθμός οχημάτων που θα φορτίζονται κατά τη διάρκεια όλων των ωρών του εικοσιτετράωρου στα διαθέσιμα σημεία φόρτισης τους. Σχετικές δημοσκοπικές έρευνες που πραγματοποιήθηκαν σε διάφορες χώρες (π.χ. Ιταλία) έχουν δείξει ότι ένα βασικό κριτήριο αγοράς ηλεκτρικού αυτοκινήτου είναι η ιδιοκτησία χώρου στάθμευσης στις κατοικίες διότι η φόρτιση θα είναι εύκολη κατά τη διάρκεια της νύκτας όταν τα οχήματα δεν θα χρησιμοποιούνται και το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας αναμένεται να είναι μικρότερο [61]. Αυτά τα αποτελέσματα φαίνονται παραστατικά στο ραβδόγραμμα του Σχήματος 4.9 το οποίο δείχνει ότι το 64% των οχημάτων αναμένεται να φορτίζεται κατά τη διάρκεια των ωρών της νύκτας (8 βράδυ έως 8 πρωί) όταν οι ιδιοκτήτες των οχημάτων έχουν επιστρέψει στις οικίες τους και παραμένουν σε αυτές μέχρι το πρωί της επόμενης ημέρας. Επίσης, ένα σημαντικό μέρος των οχημάτων (περίπου 26%) αναμένεται να φορτίζεται κατά τη διάρκεια της ημέρας (από 10 πρωί έως 5 απόγευμα) σε άλλα σημεία φόρτισης που μπορεί να είναι κοινόχρηστα σημεία φόρτισης ή άλλα σημεία φόρτισης (π.χ. οικίες, χώροι εργασίας, κλπ.).



Σχήμα 4.10: Ωριαία κατανομή φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων κατά την διάρκεια ενός τυπικού εικοσιτετράωρου ως εκατοστιαίο ποσοστό του συνολικού αριθμού τους[61].

Τα αποτελέσματα της παραπάνω μελέτης εισήχθησαν στο χρησιμοποιούμενο μοντέλο και προέκυψε η κατανομή του σχήματος 4.10.



Σχήμα 4.11: Κατανομή φορτίσεων όπως εισάχθηκε στο αναλυτικό εργαλείο.

4.7.2 Υπολογισμός της νέας συνολικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας

Βήμα 1: Υπολογισμός αριθμού ηλεκτρικών αυτοκινήτων για κάθε σενάριο μελέτης

Ο αριθμός των ηλεκτρικών αυτοκινήτων N_{EV} προκύπτει για κάθε σενάριο μελέτης ως το γινόμενο του ποσοστού διείσδυσης π_{δ} των ηλεκτρικών οχημάτων επί του εκτιμώμενου συνολικού αριθμού οχημάτων για κάθε έτος N_{IX} :

$$N_{EV} = N_{IX} * \pi_{\delta} \quad (1)$$

Βήμα 2: Εύρεση μέσης κατανάλωσης ανά ημέρα

Η μέση κατανάλωση κάθε ηλεκτρικού αυτοκινήτου ανά ημέρα $C_{mid/EV}$ προκύπτει ως το γινόμενο της μέσης κατανάλωσης C_{mid} που έχει εκτιμηθεί για κάθε έτος μελέτης σε kWh/km και του συνολικού αριθμού km που διανύει κάθε όχημα ανά ημέρα, που έχει τεθεί ως 55km:

$$C_{mid/EV} = C_{mid} * 55km \quad (2)$$

Βήμα 3: Εύρεση συνολικά απαιτούμενης ενέργειας ανά ημέρα

Η συνολικό ηλεκτρικό φορτίο που απαιτείται κάθε ημέρα $L_{tot,EV}$ για την επαναφόρτιση του ηλεκτροκίνητου στόλου ευρίσκεται ως το γινόμενο του συνολικού N_{EV} αριθμού των ηλεκτροκίνητων αυτοκινήτων επί την ημερήσια κατανάλωσή τους $C_{mid/EV}$:

$$L_{tot,EV} = N_{EV} * C_{mid/EV} \quad (3)$$

Βήμα 4: Υπολογισμός ωριαίας απαιτούμενης ενέργειας

Οι ωριαίες τιμές της ενέργειας που απαιτείται για την επαναφόρτιση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων $L_{tot,EV}(t)$ υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας το ολικό απαιτούμενο φορτίο ανά ημέρα $L_{tot,EV}$ με τα ωριαία ποσοστά φόρτισης των οχημάτων $\pi_{ch}(t)$ που αντλούνται από την καμπύλη του σχήματος 4.10:

$$L_{tot,EV}(t) = L_{tot,EV} * \pi_{ch}(t) \quad (4)$$

Βήμα 5: Καθορισμός της συνολικής ωριαίας ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας

Το συνολικό απαιτούμενο φορτίο μετά την ένταξη του ηλεκτρικού αυτοκινήτου στο σύστημα υπολογίζεται αθροίζοντας τις ωριαίες τιμές της ζήτησης που προϋπήρχαν της ένταξής του με τις ολικές ωριαίες τιμές ηλεκτρικής ζήτησης που οφείλονται στο ηλεκτρικό αυτοκίνητο:

$$L_{tot}(t) = L_l(t) + L_{tot,EV}(t) \quad (5)$$

4.8 Δείκτες αξιοπιστίας

4.8.1 Δείκτης αναμενόμενης απώλειας φορτίου

Ο δείκτης της αναμενόμενης απώλειας φορτίου (LOLE- Loss of Load Expectations) είναι ο αναμενόμενος αριθμός των χρονικών περιόδων (ώρες), κατά την διάρκεια των οποίων η διαθέσιμη παραγωγή ισχύος είναι μικρότερη από την αντίστοιχη ζήτηση του φορτίου [62]. Ο δείκτης αυτός εκφράζει και ποσοτικοποιεί το βαθμό αξιοπιστίας του συστήματος και την ασφάλεια στον εφοδιασμό του. Είναι αποτέλεσμα πιθανοτικών μεθόδων και μπορεί να μεταβληθεί ανάλογα με τα τυχαία συμβάντα που λαμβάνουν χώρα και με τις συνθήκες που τελικά επικρατούν στο εξεταζόμενο σύστημα. Είναι σημαντικό να τονιστεί, πως οι χρονικές περίοδοι που προσδιορίζονται από αυτόν τον δείκτη δεν είναι απαραίτητα οι περίοδοι που θα σημειωθεί διακοπή ρεύματος, αλλά είναι αυτές κατά τις οποίες θα πρέπει να ληφθούν μέτρα για την αποφυγή της διακοπής του ρεύματος[12].

Τα κράτη της Ευρωπαϊκής Ένωσης στις μελέτες επάρκειας ισχύος που πραγματοποιούν, συμπεριλαμβάνουν στις μετρήσεις τους και το δείκτη αυτό, έχοντας ως σημείο αναφοράς μία μέγιστη επιτρεπτή τιμή του [63]. Η επιτρεπόμενη αυτή τιμή κυμαίνεται μεταξύ των 3 ωρών έως 8 ωρών[12][64].

4.8.2 Δείκτης αναμενόμενης μη τροφοδοτούμενης ενέργειας

Ο δείκτης αναμενόμενης μη τροφοδοτούμενης ενέργειας (EUE- Expected Energy Unserved) εκφράζει το μέγεθος της ζητούμενης ηλεκτρικής ενέργειας που δεν μπορεί να καλυφθεί από την παραγωγή της και εκφράζεται σε MWh. Ομοίως με τον δείκτη της αναμενόμενης απώλειας φορτίου, εκφράζει την αξιοπιστία και την ασφάλεια του συστήματος, επομένως εξετάζεται στις μελέτες επάρκειας των κρατών[12].

Τονίζεται ότι το χρησιμοποιούμενο μοντέλο ανάλυσης του ελληνικού ηλεκτρικού συστήματος πραγματοποιεί την εισαγωγή των ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων στο σύστημα κατά τέτοιο τρόπο ώστε οι τιμές και των δύο προαναφερθέντων δεικτών αξιοπιστίας να είναι μηδενικές, πράγμα που αποτελεί ιδανική συνθήκη. Ωστόσο, οι τιμές τους θα αναφέρονται παρακάτω για λόγους πληρότητας.

Κεφάλαιο 5. Αποτελέσματα προσομοίωσης

Στις ενότητες που ακολουθούν παρατίθενται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που πραγματοποιήθηκε με βάση τη μεθοδολογία που αναλύθηκε. Για κάθε ένα από τα εναλλακτικά σενάρια μελέτης παρουσιάζονται κατά σειρά:

1. Εκτίμηση της μεταβολής της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας λόγω της ένταξης του ηλεκτρικού αυτοκινήτου.
2. Συνεισφορά κάθε τύπου ενέργειας στην συνολική τελική ηλεκτροπαραγωγή και δείκτες αποτελεσματικότητας.
3. Μέγιστες τιμές ηλεκτροπαραγωγής λιγνιτικών σταθμών και μονάδων φυσικού αερίου και πετρελαίου.
4. Επισκόπηση της αντλησιοταμιευτικής λειτουργίας.

5.1 Έτος 2030

5.1.1 Ρεαλιστικό σενάριο

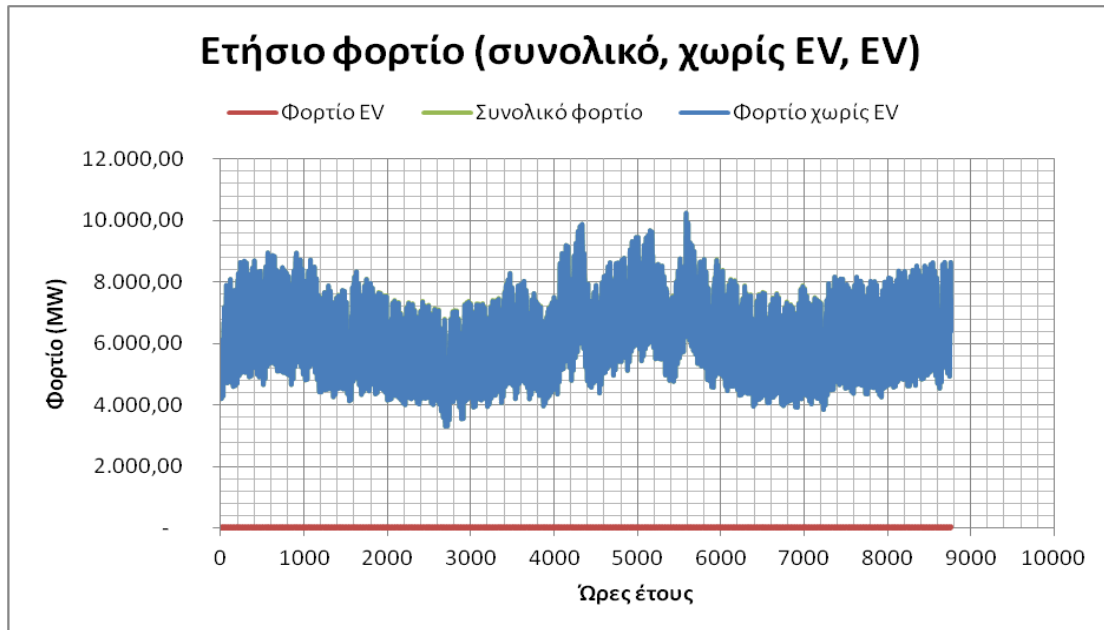
- Ποσοστό αντικατάστασης αυτοκινήτων ιδιωτικής χρήσης από ηλεκτροκίνητα: 1%
Αριθμός ηλεκτρικών αυτοκινήτων: 60.213
- Εγκατεστημένη ισχύς αιολικών: 4 GW
- Εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών: 4 GW
- Ποσοστό συμμετοχής λιγνιτικών μονάδων στην ηλεκτροπαραγωγή: 32%
- Ποσοστό διείσδυσης αιολικών: $\delta=40\%$.

Μεταβολή στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας λόγω του ηλεκτρικού αυτοκινήτου

Ετήσια κατανάλωση	55,75	TWh
Αιχμή ζήτησης	10271,39	MW
Μέσο ετήσιο φορτίο	6364,31	MW
Ελάχιστη ζήτηση	3323,51	MW
Load factor	0,62	

Πίνακας 5.1: Τιμές ζήτησης.

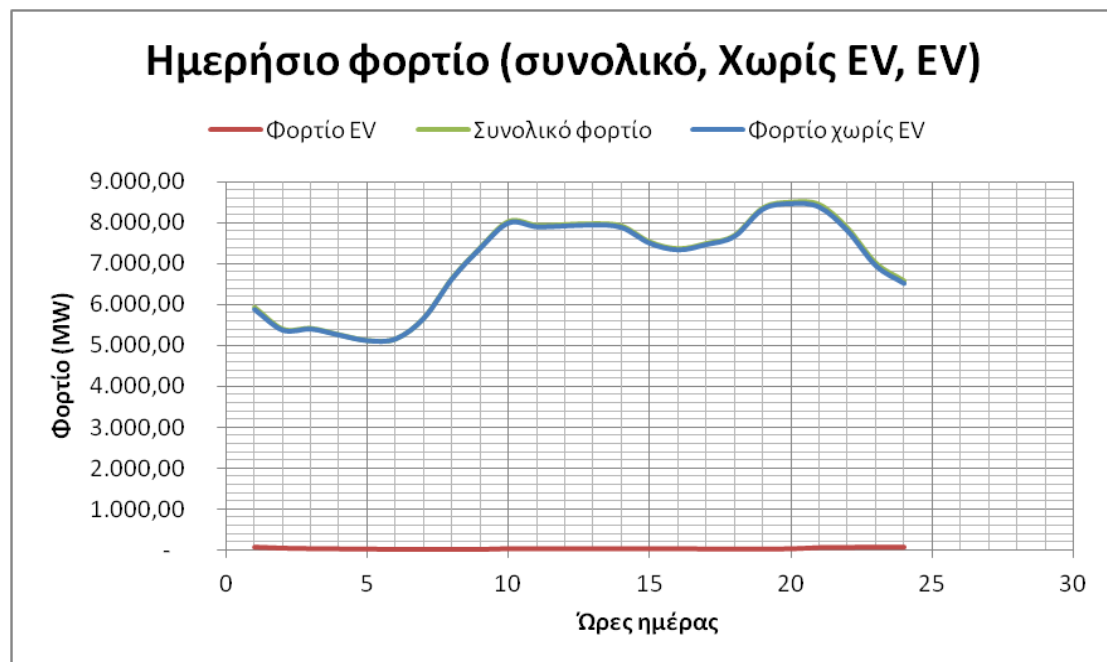
Στο διάγραμμα του Σχήματος 5.1 εμφανίζεται η ετήσια συνολική ζήτηση, η ζήτηση πριν την ένταξη του ηλεκτρικού αυτοκινήτου και η ζήτηση που οφείλεται στο ηλεκτρικό αυτοκίνητο.



Σχήμα 5.1: Ετήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και συνιστώσες της.

Συνολικό ετήσιο φορτίο: 55,75 TWh
 Ετήσιο φορτίο χωρίς EV: 55,54 TWh
 Ετήσιο φορτίο EV: 0,209 TWh
 Ποσοστό αύξησης ετήσιου φορτίου: 0,38%

Στο διάγραμμα του Σχήματος 5.2 παρουσιάζεται η κατανομή της συνολικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας και των συνιστωσών αυτής για μια τυπική ημέρα του έτους, για την οποία επιλέχθηκε η 1^η Φεβρουαρίου.



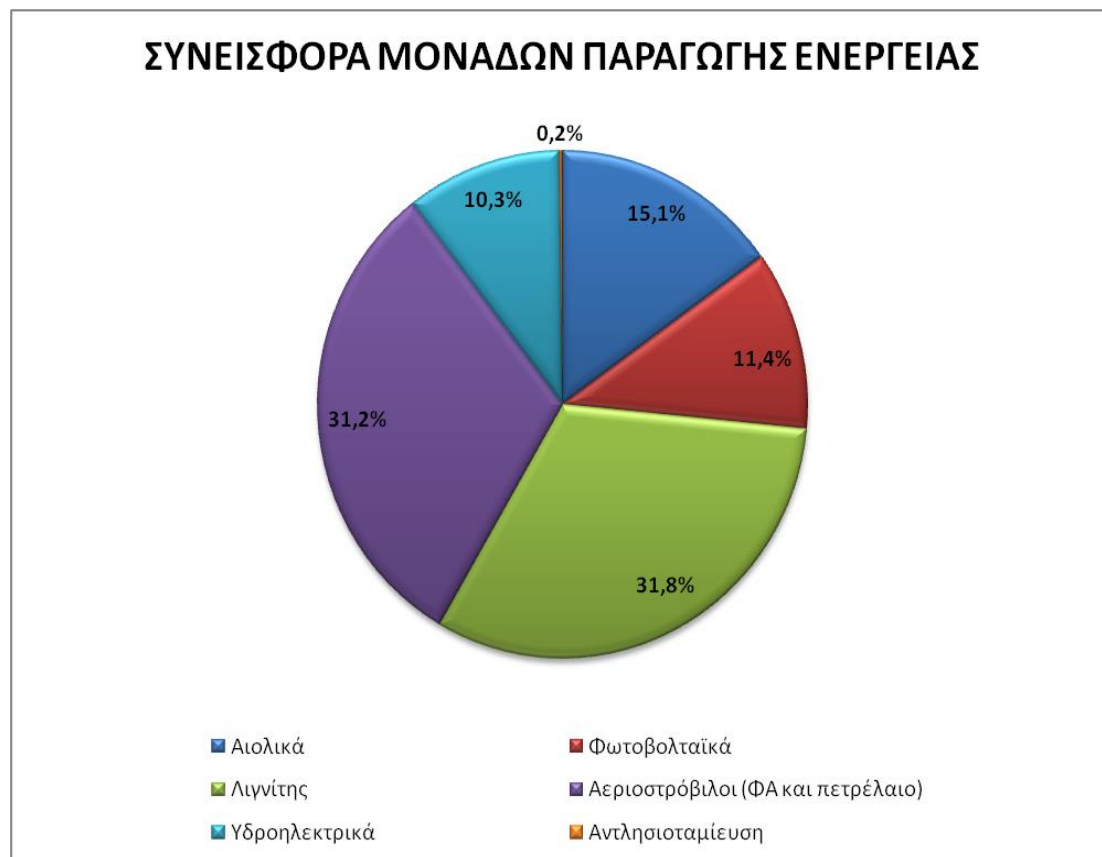
Σχήμα 5.2: Ημερήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και συνιστώσες της για την 1^η Φεβρουαρίου.

Συνολικό ημερήσιο φορτίο: 152,74 GWh
 Ημερήσιο φορτίο χωρίς EV: 152,17 GWh
 Ημερήσιο φορτίο EV: 0,57 GWh
 Ποσοστό αύξησης ημερήσιου φορτίου: 0,38%
 Μέσο στιγμιαίο φορτίο EV: 23,87 MW

Στα δύο παραπάνω διαγράμματα η συνολική ζήτηση σχεδόν ταυτίζεται με την ζήτηση πριν την ένταξη του ηλεκτρικού αυτοκινήτου. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ότι το ποσοστό ένταξης των ηλεκτρικών οχημάτων στον συνολικό στόλο παραμένει μικρό και η μεταβολή στο συνολικό απαιτούμενο ηλεκτρικό φορτίο είναι πολύ μικρή (0,38%). Γι αυτό και στο διάγραμμα της ημερήσιας ζήτησης δεν δύνανται να εμφανιστούν οι διακυμάνσεις της ζήτησης της ηλεκτροκίνησης, οι οποίες είναι πολύ μικρές σε σχέση με τις συνολικές απαιτήσεις ενέργειας.

Ακόμα, το φορτίο που απαιτείται για την κάλυψη των αναγκών των ηλεκτρικών οχημάτων, αποτυπώνεται στο διάγραμμα των ετήσιων καταναλώσεων σαν μια ευθεία γραμμή. Αυτό συμβαίνει γιατί το μοντέλο φόρτισης ανά 24ωρο θεωρείται ότι δεν μεταβάλλεται, αλλά παρουσιάζει την ίδια ακριβώς συμπεριφορά για κάθε ημέρα του έτους.

Συνεισφορά μονάδων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας



Σχήμα 5.3: Συνεισφορά μονάδων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

	Εγκ.Ισχύς (MW)	Παραγωγή (TWh)	Συνεισφορά (%)	CF ή LF
Αιολικά	4000	8,43	15,1%	24%
Φωτοβολταϊκά	4000	6,37	11,4%	18%
Λιγνίτης	3000	17,75	31,8%	68%
Αεριοστρόβιλοι (ΦΑ και πετρέλαιο)	3202,3	17,37	31,2%	62%
Υδροηλεκτρικά	3500	5,72	10,3%	19%
Αντλησιοταμίευση	1150	0,11	0,2%	1%

Πίνακας 5.2: Στοιχεία μονάδων ηλεκτροπαραγωγής.

Ήδη από αυτό το σενάριο ηλεκτροπαραγωγής παρουσιάζεται σημαντική αύξηση της συνεισφοράς των ΑΠΕ στην συνολική παραγωγή ενέργειας. Αυτό οφείλεται στην περαιτέρω εγκατάσταση μονάδων ανανεώσιμων και στο μοντέλο ένταξης των διαφόρων μονάδων στο σύστημα .

Μέγιστη στιγμιαία διείσδυση λιγνιτικών σταθμών και σταθμών Φυσικού αερίου και πετρελαίου

Max λιγνιτικά: 3000 MW

Max ΦΑ και πετρέλαιο: 3202,3 MW

Ποσοστό της ελάχιστης ζήτησης που είναι επιθυμητό να καλύπτουν τα λιγνιτικά: 60%

Αντλησιοταμίευση

Εγκατεστημένη ισχύς: 1 στρόβιλος ισχύος 350 MW και 4 αντλίες συνολικής ισχύος 800 MW

Ποσοστό απορριπτόμενης αιολικής ενέργειας: 2%

Ενέργεια που παράγεται από υδροστρόβιλους: 114,63 GWh

Ποσοστό της απορριπτόμενης ενέργειας που ανακτάται: 66%

CF στρόβιλων: 4%

CF αντλητικής εγκατάστασης: 2%

Οι συντελεστές φορτίου παρουσιάζουν πολύ χαμηλές τιμές, αλλά το ποσοστό της απορριπτόμενης ενέργειας που ανακτάται είναι ικανοποιητικό, καθώς αποτελεί τα 2/3 της ενέργειας που περικόπτεται.

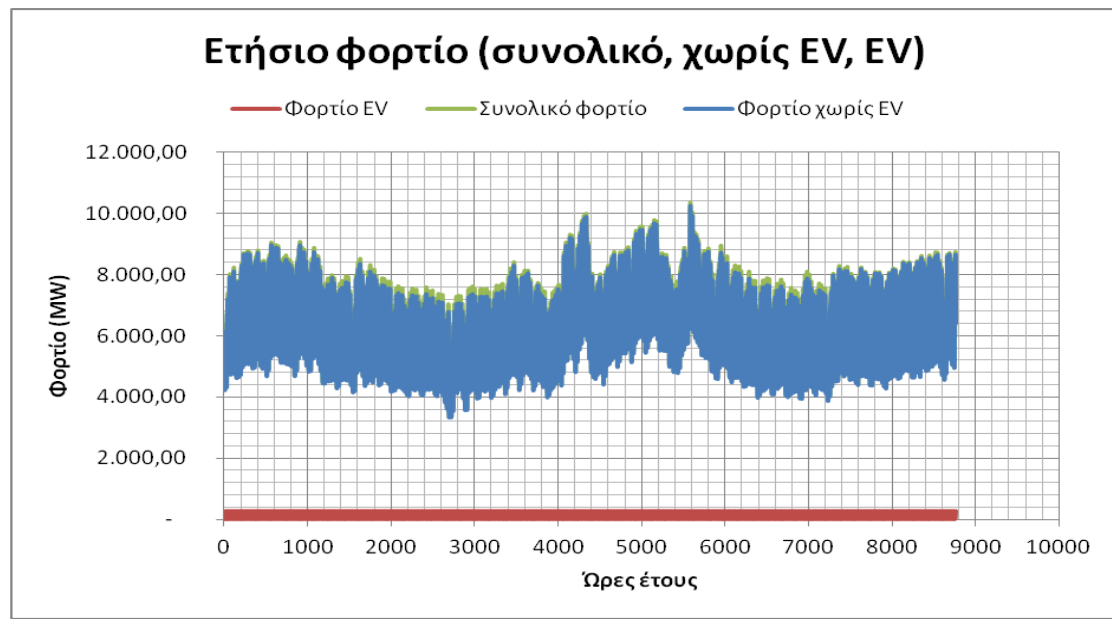
5.1.2 Ενδιάμεσο σενάριο

- Ποσοστό αντικατάστασης αυτοκινήτων ιδιωτικής χρήσης από ηλεκτροκίνητα: 5%
Αριθμός ηλεκτρικών αυτοκινήτων: 301.066
- Εγκατεστημένη ισχύς αιολικών: 5 GW
- Εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών: 5 GW
- Ποσοστό συμμετοχής λιγνιτικών μονάδων στην ηλεκτροπαραγωγή: 26%
- Ποσοστό διείσδυσης αιολικών: $\delta=40\%$.

Μεταβολή στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας λόγω του ηλεκτρικού αυτοκινήτου

Ετήσια κατανάλωση	56,59	TWh
Αιχμή ζήτησης	10360,77	MW
Μέσο ετήσιο φορτίο	6459,79	MW
Ελάχιστη ζήτηση	3348,72	MW
Load factor	0,62	

Πίνακας 5.3: Τιμές ζήτησης.



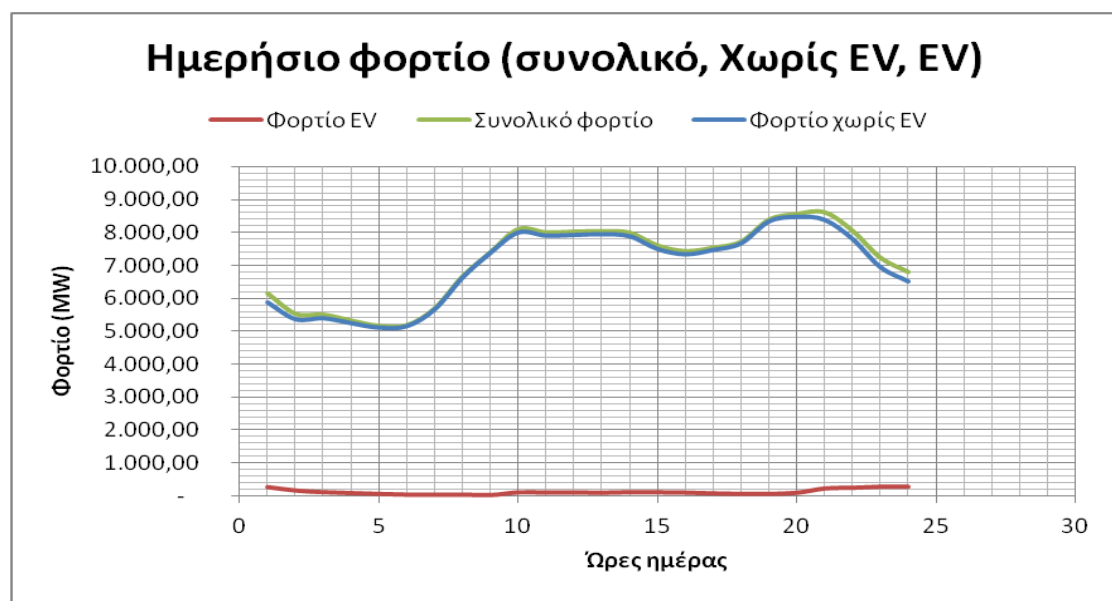
Σχήμα 5.4: Ετήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και συνιστώσες της.

Συνολικό ετήσιο φορτίο: 56,59 TWh

Ετήσιο φορτίο χωρίς EV: 55,54 TWh

Ετήσιο φορτίο EV: 1,05 TWh

Ποσοστό αύξησης ετήσιου φορτίου: 1,88%

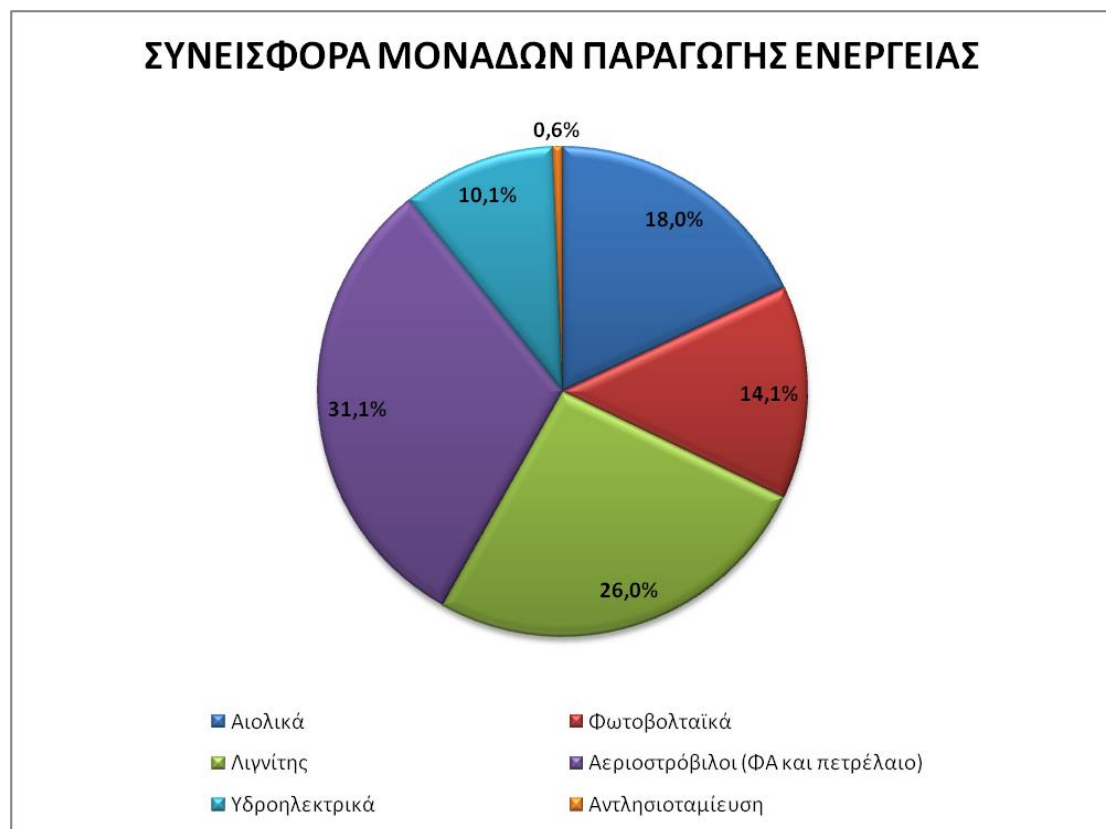


Σχήμα 5.5: Ημερήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και συνιστώσες της για την 1^η Φεβρουαρίου.

Συνολικό ημερήσιο φορτίο: 155,04 GWh
 Ημερήσιο φορτίο χωρίς EV: 152,17 GWh
 Ημερήσιο φορτίο EV: 2,86 GWh
 Ποσοστό αύξησης ημερήσιου φορτίου: 1,88%
 Μέσο στιγμιαίο φορτίο EV: 119,36 MW

Σε αυτή την περίπτωση η συνεισφορά της ζήτησης λόγω του ηλεκτρικού αυτοκινήτου έχει μόλις αρχίσει να γίνεται αισθητή, αποτελώντας σχεδόν το 1% (0,88%) του συνολικού φορτίου. Κατά τη διάρκεια του 24ώρου, προκαλεί μία μικρή αύξηση ζήτησης κατά τις νυχτερινές ώρες.

Συνεισφορά μονάδων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας



Σχήμα 5.6: Συνεισφορά μονάδων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

	Εγκ.Ισχύς (MW)	Παραγωγή (TWh)	Συνεισφορά (%)	CF ή LF
Αιολικά	5000	10,21	18,0%	23%
Φωτοβολταϊκά	5000	7,97	14,1%	18%
Λιγνίτης	3000	14,73	26,0%	56%
Αεριοστρόβιλοι (ΦΑ και πετρέλαιο)	3418,8	17,61	31,1%	59%
Υδροηλεκτρικά	3500	5,72	10,1%	19%
Αντλησιοταμίευση	1900	0,36	0,6%	2%

Πίνακας 5.4: Στοιχεία μονάδων ηλεκτροπαραγωγής.

Καθώς η διείσδυση των ΑΠΕ μεγαλώνει, παρατηρείται μικρή αύξηση της μέγιστης στιγμιαίας διείσδυσης των σταθμών ΦΑ και πετρελαίου, ενώ η συνολική τους ηλεκτροπαραγωγή παραμένει σχεδόν σταθερή. Αυτό συμβαίνει γιατί οι ευέλικτες μονάδες καλούνται να παρέχουν ασφάλεια στο σύστημα, προβλέποντας ενδεχόμενη απώλεια ενέργειας, κυρίως λόγω των αιολικών, από μία απρόσμενη καιρική συνθήκη.

Μέγιστη στιγμιαία διείσδυση λιγνιτικών σταθμών και σταθμών Φυσικού αερίου και πετρελαίου

Max λιγνιτικά: 3000 MW

Max ΦΑ και πετρέλαιο: 3418,8 MW

Ποσοστό της ελάχιστης ζήτησης που είναι επιθυμητό να καλύπτουν τα λιγνιτικά: 60%

Αντλησιοταμίευση

Εγκατεστημένη ισχύς: 2 στρόβιλοι συνολικής ισχύος 700 MW και 6 αντλίες συνολικής ισχύος 1200 MW

Ποσοστό απορριπτόμενης αιολικής ενέργειας: 5%

Ενέργεια που παράγεται από υδροστροβίλους: 356,9 GWh

Ποσοστό της απορριπτόμενης ενέργειας που ανακτάται: 65%

CF στροβίλων: 6%

CF αντλητικής εγκατάστασης: 5%

Η συνολικά παραγόμενη ενέργεια από την αντλησιοταμίευση τριπλασιάζεται, καλύπτοντας το ίδιο ποσοστό απορριπτόμενης ενέργειας με το προηγούμενο σενάριο. Οι συντελεστές φορτίου βελτιώνονται, ωστόσο διατηρούν χαμηλές τιμές.

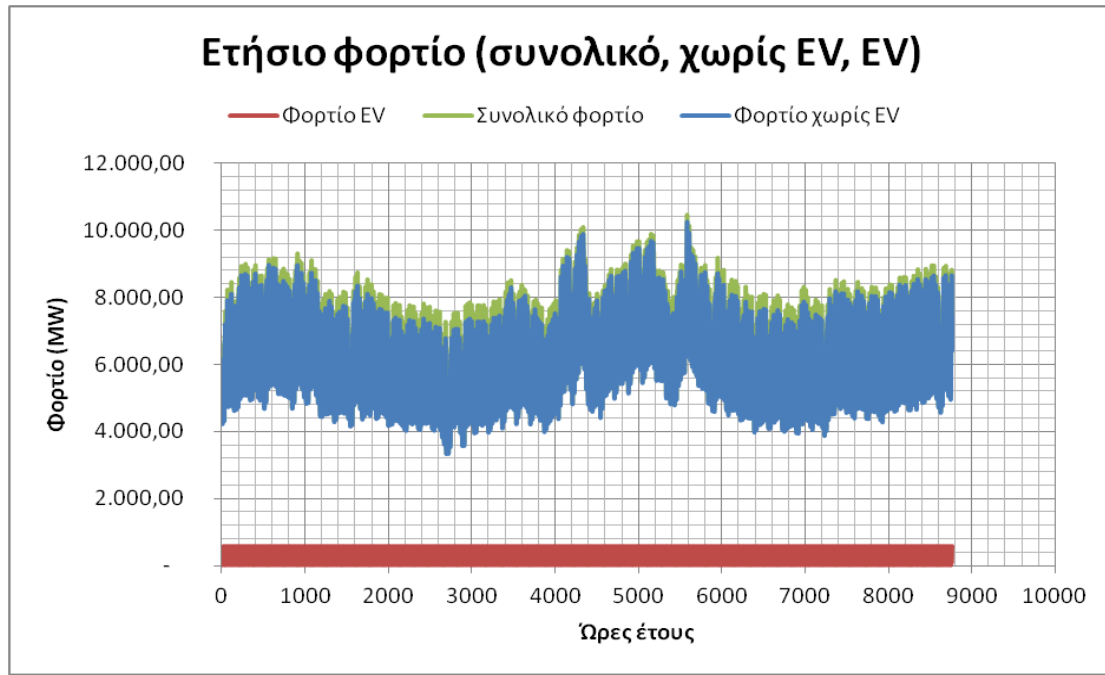
5.1.3 Αισιόδοξο σενάριο

- Ποσοστό αντικατάστασης αυτοκινήτων ιδιωτικής χρήσης από ηλεκτροκίνητα: 10%
Αριθμός ηλεκτρικών αυτοκινήτων: 602.132
- Εγκατεστημένη ισχύς αιολικών: 7 GW
- Εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών: 7 GW
- Ποσοστό συμμετοχής λιγνιτικών μονάδων στην ηλεκτροπαραγωγή: 14,3%
- Ποσοστό διείσδυσης αιολικών: $\delta=40\%$.

Μεταβολή στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας λόγω του ηλεκτρικού αυτοκινήτου

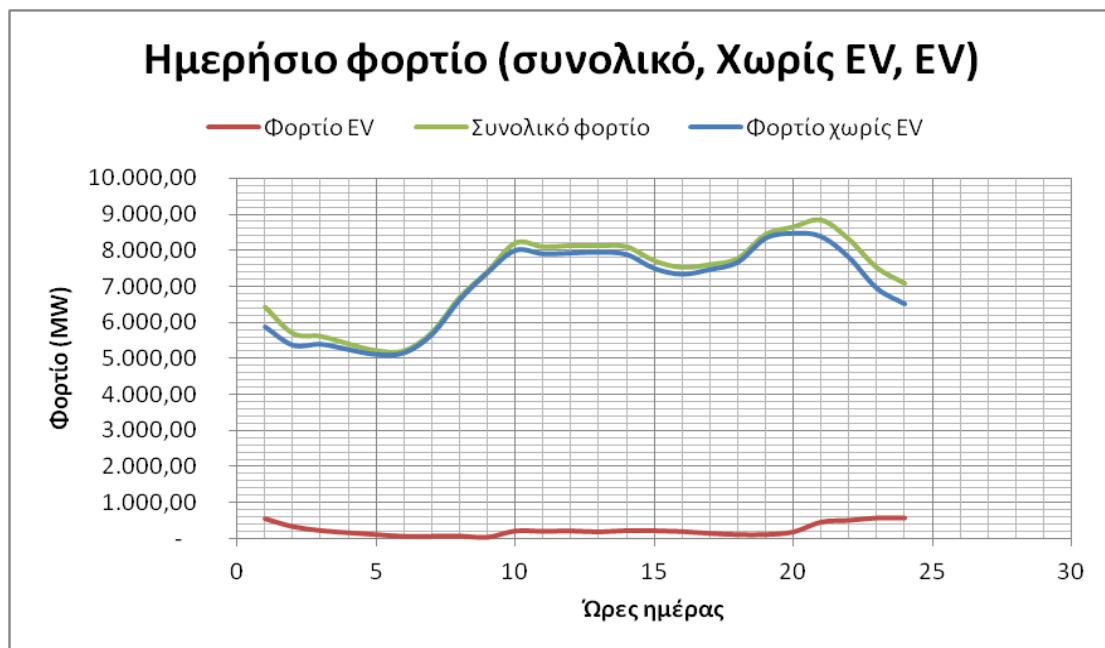
Ετήσια κατανάλωση	57,63	TWh
Αιχμή ζήτησης	10472,49	MW
Μέσο ετήσιο φορτίο	6579,15	MW
Ελάχιστη ζήτηση	3380,23	MW
Load factor	0,63	

Πίνακας 5.5: Τιμές ζήτησης.



Σχήμα 5.7: Ετήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και συνιστώσες της.

Συνολικό ετήσιο φορτίο: 57,63 TWh
 Ετήσιο φορτίο χωρίς EV: 55,54 TWh
 Ετήσιο φορτίο EV: 2,09 TWh
 Ποσοστό αύξησης ετήσιου φορτίου: 3,77%

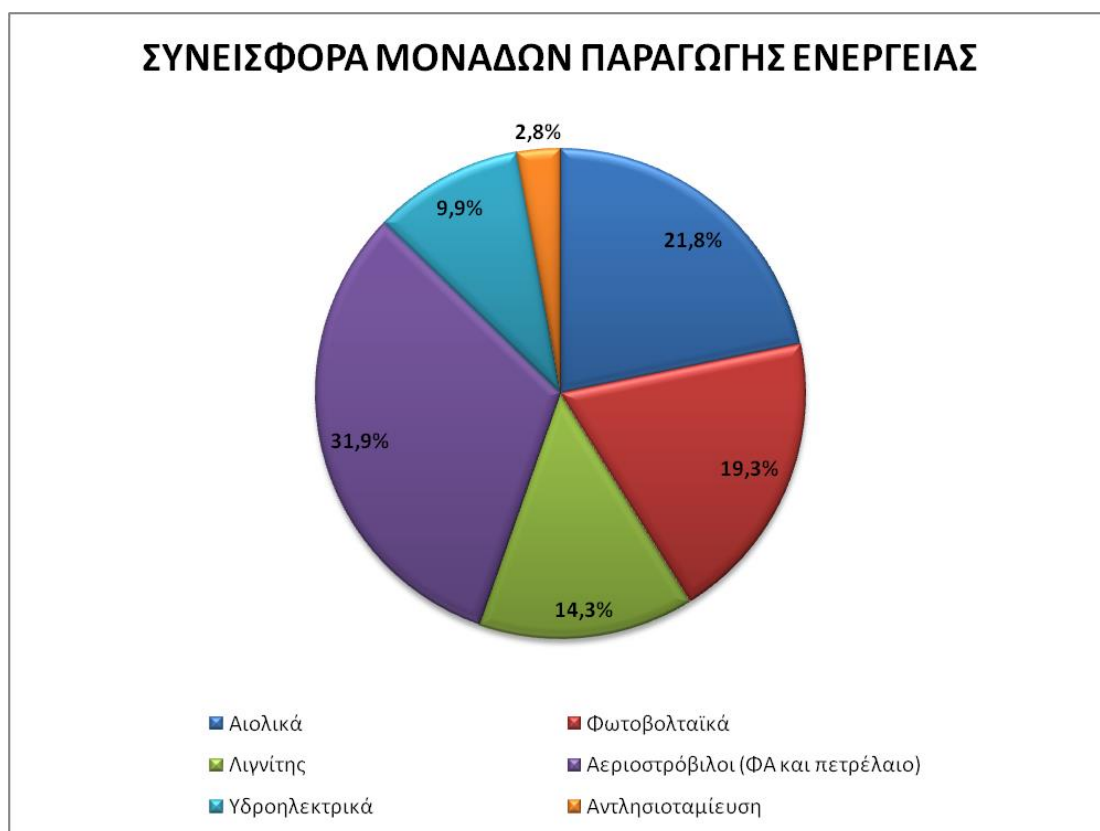


Σχήμα 5.8: Ημερήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και συνιστώσες της για την 1^η Φεβρουαρίου.

Συνολικό ημερήσιο φορτίο: 157,9 GWh
 Ημερήσιο φορτίο χωρίς EV: 152,17 GWh
 Ημερήσιο φορτίο EV: 5,73 GWh
 Ποσοστό αύξησης ημερήσιου φορτίου: 3,77%
 Μέσο στιγμιαίο φορτίο EV: 238,72 MW

Πλέον η συνολική ζήτηση αρχίζει να επηρεάζεται, τόσο σε ετήσια όσο και σε ημερήσια, αλλά και σε ωριαία βάση από τις ανάγκες των ηλεκτρικών οχημάτων.

Συνεισφορά μονάδων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας



Σχήμα 5.9: Συνεισφορά μονάδων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

	Εγκ.Ισχύς (MW)	Παραγωγή (TWh)	Συνεισφορά (%)	CF ή LF
Αιολικά	7000	12,55	21,8%	20%
Φωτοβολταϊκά	7000	11,15	19,3%	18%
Λιγνίτης	2700	8,22	14,3%	35%
Αεριοστρόβιλοι (ΦΑ και πετρέλαιο)	3845,6	18,37	31,9%	55%
Υδροηλεκτρικά	3500	5,72	9,9%	19%
Αντλησιοταμίευση	2500	1,64	2,8%	7%

Πίνακας 5.6: Στοιχεία μονάδων ηλεκτροπαραγωγής.

Η μέγιστη στιγμιαία ισχύς και η συνολική ετήσια ισχύς που παρέχεται από ευέλικτες μονάδες φυσικού αερίου και πετρελαίου συνεχίζει να αυξάνεται, παράλληλα με την μεγαλύτερη ένταξη αιολικών και φωτοβολταϊκών.

Μέγιστη στιγμιαία διείσδυση λιγνιτικών σταθμών και σταθμών Φυσικού αερίου και πετρελαίου

Max λιγνιτικά: 2700 MW

Max ΦΑ και πετρέλαιο: 3845,6 MW

Ποσοστό της ελάχιστης ζήτησης που είναι επιθυμητό να καλύπτουν τα λιγνιτικά: 60%

Αντλησιοταμίευση

Εγκατεστημένη ισχύς: 2 στρόβιλοι συνολικής ισχύος 700 MW και 9 αντλίες συνολικής ισχύος 1800 MW

Ποσοστό απορριπτόμενης αιολικής ενέργειας: 17%

Ενέργεια που παράγεται από υδροστροβίλους: 1,64 TWh

Ποσοστό της απορριπτόμενης ενέργειας που ανακτάται: 65%

CF στροβίλων: 27%

CF αντλητικής εγκατάστασης: 14%

Οι συντελεστές φορτίου παρουσιάζουν αρκετά βελτιωμένες τιμές, ενώ η παραγόμενη ενέργεια από την αντλησιοταμίευση έχει αυξηθεί σημαντικά.

5.1.4 Σύνοψη έτους 2030

Η μεταβολή της συνολικής ζήτησης ηλεκτρικού φορτίου παραμένει περιορισμένη και για τα τρία σενάρια μελέτης που αναφέρονται στο έτος 2030. Τα μικρά ποσοστά ένταξης ηλεκτρικών οχημάτων δεν αναμένεται να δημιουργήσουν μεγάλη επιβάρυνση στο δίκτυο, ακόμα και στην περίπτωση της αισιόδοξης πρόβλεψης που στηρίζεται στον ενεργειακό σχεδιασμό.

Η αύξηση των εγκατεστημένων ΑΠΕ περιορίζει την λειτουργία των συμβατικών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής. Στο αισιόδοξο σενάριο η μέγιστη στιγμιαία ισχύς των λιγνιτικών μειώνεται σε 2700 MW, σε σχέση με τα δύο προηγούμενα σενάρια που ήταν 3000 MW. Ωστόσο, η μέγιστη στιγμιαία ισχύς των μονάδων φυσικού αερίου και πετρελαίου αυξάνεται, καθώς οι μονάδες αυτές εξασφαλίζουν την ευστάθεια του συστήματος.

Η αποθήκευση ενέργειας με χρήση αντλησιοταμίευσης συνεισφέρει στο σύστημα, καθώς ένα μεγάλο ποσό της απορριπτόμενης ενέργειας των αιολικών, τελικά επιστρέφει και αξιοποιείται από το σύστημα.

2030				
	Σενάριο	Ρεαλιστικό	Ενδιάμεσο	Αισιόδοξο
	Συνολική Ετήσια κατανάλωση TWh	55,75	56,59	57,63
	Ετήσια κατανάλωση EV TWh	0,209	1,05	2,09
CF	Αιολικά	24%	23%	20%
	Φωτοβολταϊκά	18%	18%	18%
	Λιγνίτης	68%	56%	35%
	Αεριοστροβίλοι (ΦΑ και πετρέλαιο)	62%	59%	55%
	Υδροηλεκτρικά	19%	19%	19%
	Αντλησιοταμίευση	1%	2%	7%
Pmax (MW)	Λιγνίτης	3.000	3.000	2.700
	Αεριοστροβίλοι (ΦΑ και πετρέλαιο)	3.202,3	3418,8	3845,6
	EUE (MWh)	0	0	0
	LOLE (hrs)	0	0	0

Πίνακας 5.7: Σύνοψη έτους 2030.

5.2 Έτος 2050

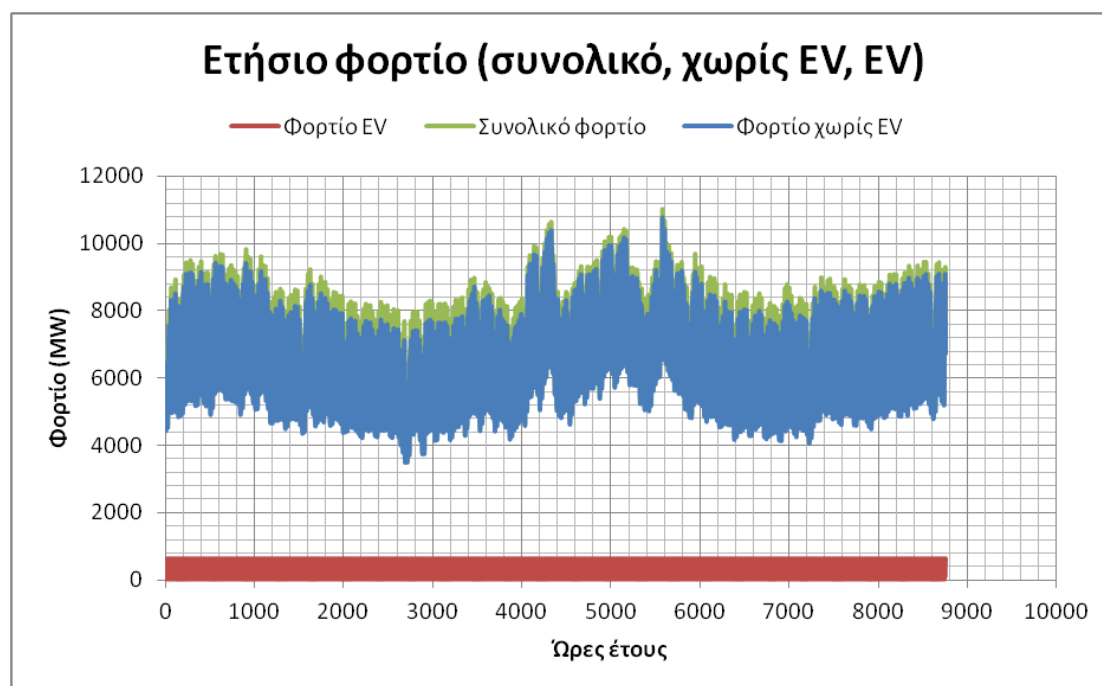
5.2.1 Ρεαλιστικό σενάριο

- Ποσοστό αντικατάστασης αυτοκινήτων ιδιωτικής χρήσης από ηλεκτροκίνητα: 10%
Αριθμός ηλεκτρικών αυτοκινήτων: 722.558
- Εγκατεστημένη ισχύς αιολικών: 7 GW
- Εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών: 7 GW
- Ποσοστό συμμετοχής λιγνιτικών μονάδων στην ηλεκτροπαραγωγή: 16,5%
- Ποσοστό διείσδυσης αιολικών: $\delta=40\%$.

Μεταβολή στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας λόγω του ηλεκτρικού αυτοκινήτου

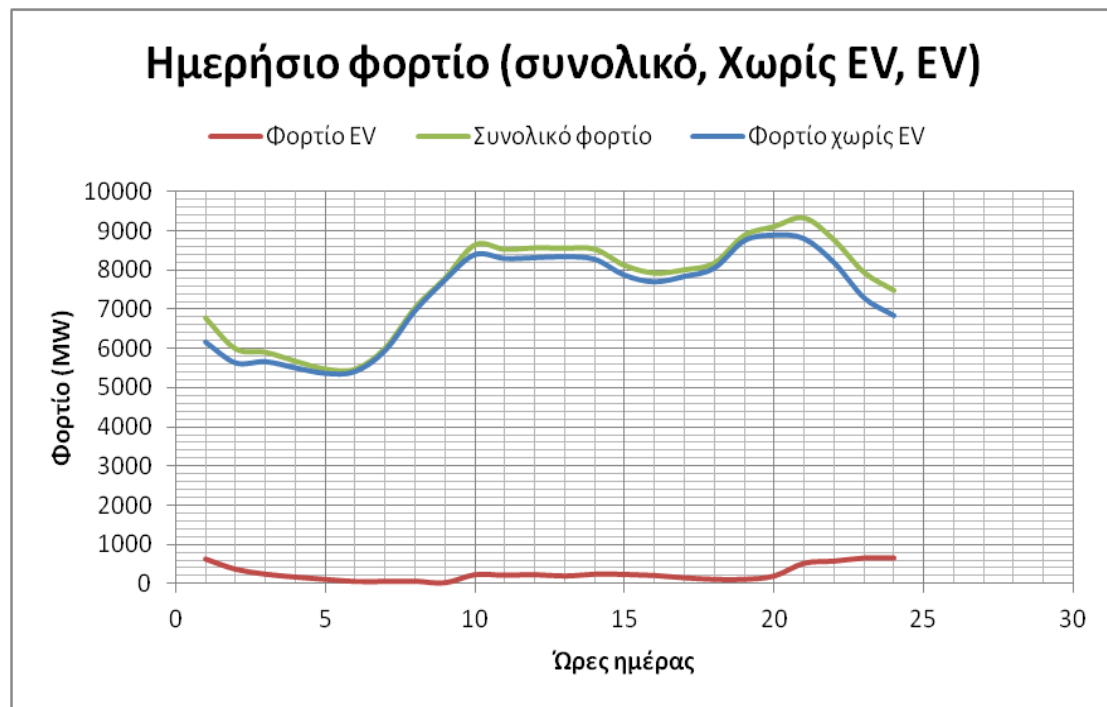
Ετήσια κατανάλωση	60,64	TWh
Αιχμή ζήτησης	11009,48	MW
Μέσο ετήσιο φορτίο	6922,39	MW
Ελάχιστη ζήτηση	3553,01	MW
Load factor	0,63	

Πίνακας 5.8: Τιμές ζήτησης.



Σχήμα 5.10: Ετήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και συνιστώσες της.

Συνολικό ετήσιο φορτίο: 60,64 TWh
 Ετήσιο φορτίο χωρίς EV: 58,32 TWh
 Ετήσιο φορτίο EV: 2,32 TWh
 Ποσοστό αύξησης ετήσιου φορτίου: 3,98%



Σχήμα 5.11: Ημερήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και συνιστώσες της για την 1^η Φεβρουαρίου.

Συνολικό ημερήσιο φορτίο: 166,14 GWh

Ημερήσιο φορτίο χωρίς EV: 159,78 GWh

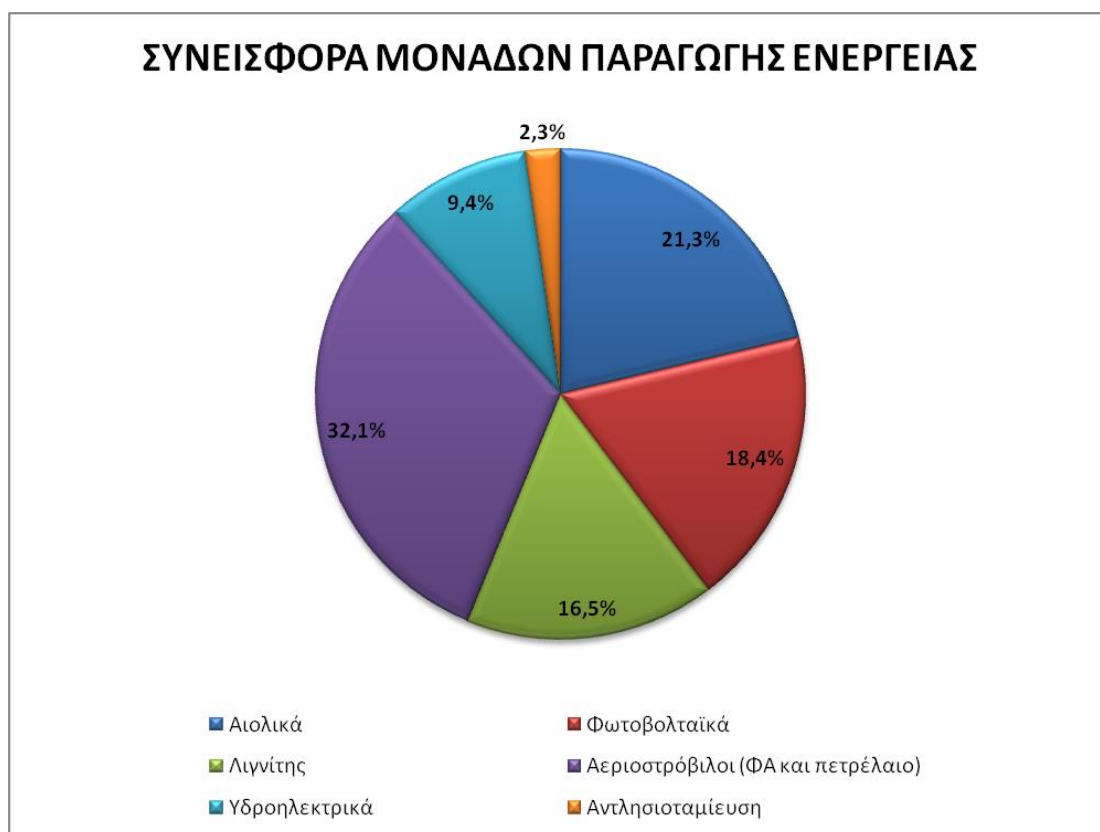
Ημερήσιο φορτίο EV: 6,36 GWh

Ποσοστό αύξησης ημερήσιου φορτίου: 3,98%

Μέσο στιγμιαίο φορτίο EV: 264,94 MW

Η διαφορά αυτού του σεναρίου μελέτης σε σχέση με το αισιόδοξο σενάριο του 2030, παρότι υποτίθεται το ίδιο ποσοστό ένταξης ηλεκτρικών αυτοκινήτων και η ίδια εγκατάσταση ΑΠΕ, είναι ότι το 2050 παρουσιάζει πιο αυξημένες τιμές ηλεκτρικής κατανάλωσης και ακόμα, καθώς ο συνολικός αριθμός των οχημάτων του ελληνικού στόλου αναμένεται να αυξηθεί, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα είναι επίσης περισσότερα σε αριθμό, παρά το γεγονός ότι το ποσοστό ένταξής τους παραμένει ίδιο. Οι ελαφρώς αυξημένες τιμές της ζήτησης παρουσιάστηκαν στα δύο προηγούμενα διαγράμματα.

Συνεισφορά μονάδων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας



Σχήμα 5.12: Συνεισφορά μονάδων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

	Εγκ.Ισχύς (MW)	Παραγωγή (TWh)	Συνεισφορά (%)	CF ή LF
Αιολικά	7000	12,91	21,3%	21%
Φωτοβολταϊκά	7000	11,15	18,4%	18%
Λιγνίτης	2700	10,01	16,5%	42%
Αεριοστρόβιλοι (ΦΑ και πετρέλαιο)	4007,3	19,45	32,1%	55%
Υδροηλεκτρικά	3500	5,72	9,4%	19%
Αντλησιοταμίευση	2500	1,40	2,3%	6%

Πίνακας 5.9: Στοιχεία μονάδων ηλεκτροπαραγωγής.

Μέγιστη στιγμιαία διείσδυση λιγνιτικών σταθμών και σταθμών Φυσικού αερίου και πετρελαίου

Max λιγνιτικά: 2700 MW

Max ΦΑ και πετρέλαιο: 4007,3 MW

Ποσοστό της ελάχιστης ζήτησης που είναι επιθυμητό να καλύπτουν τα λιγνιτικά: 60%

Η εγκατάσταση μονάδων φυσικού αερίου και πετρελαίου διατηρεί αυξημένη τιμή, η συνεισφορά της αντλησιοταμίευσης μεγαλώνει, ενώ ο συντελεστής φορτίου των αιολικών φθίνει με την αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος τους.

Αντλησιοταμίευση

Εγκατεστημένη ισχύς: 2 στρόβιλοι συνολικής ισχύος 700 MW και 9 αντλίες συνολικής ισχύος 1800 MW

Ποσοστό απορριπτόμενης αιολικής ενέργειας: 14%

Ενέργεια που παράγεται από υδροστροβίλους: 1,4 TWh

Ποσοστό της απορριπτόμενης ενέργειας που ανακτάται: 65%

CF στροβίλων: 23%

CF αντλητικής εγκατάστασης: 12%

Η παραγόμενη ενέργεια από τους στροβίλους καλύπτει ικανοποιητικό ποσοστό της απορριπτόμενης ενέργειας, και οι τιμές των συντελεστών φορτίων των στροβίλων και της αντλητικής εγκατάστασης παρουσιάζουν σχετικά ικανοποιητικές τιμές.

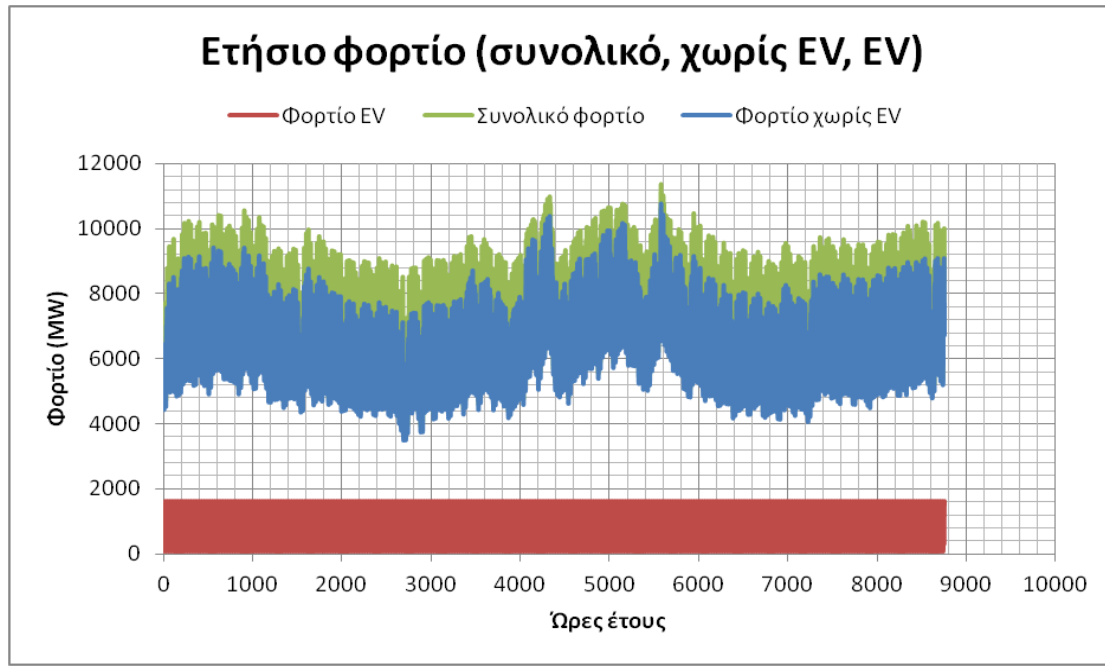
5.2.2 Ενδιάμεσο σενάριο

- Ποσοστό αντικατάστασης αυτοκινήτων ιδιωτικής χρήσης από ηλεκτροκίνητα: 25%
Αριθμός ηλεκτρικών αυτοκινήτων: 1.806.395
- Εγκατεστημένη ισχύς αιολικών: 10 GW
- Εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών: 10 GW
- Ποσοστό συμμετοχής λιγνιτικών μονάδων στην ηλεκτροπαραγωγή: 6,3%
- Ποσοστό διείσδυσης αιολικών: $\delta=50\%$.

Μεταβολή στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας λόγω του ηλεκτρικού αυτοκινήτου

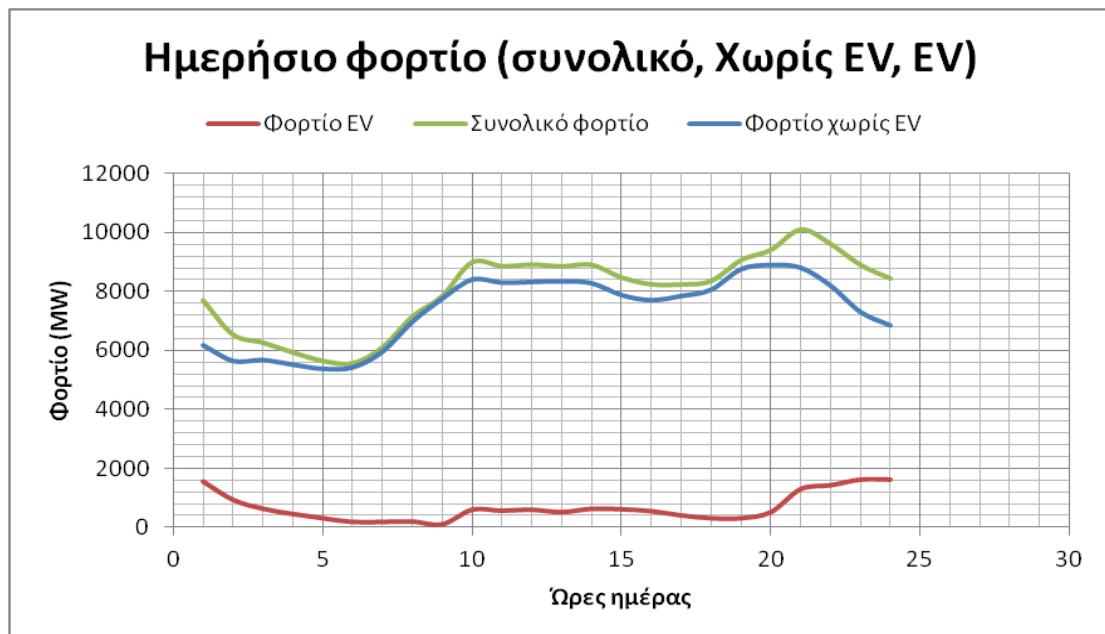
Ετήσια κατανάλωση	64,12	TWh
Αιχμή ζήτησης	11381,46	MW
Μέσο ετήσιο φορτίο	7319,80	MW
Ελάχιστη ζήτηση	3657,93	MW
Load factor	0,64	

Πίνακας 5.10: Τιμές ζήτησης.



Σχήμα 5.13: Ετήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και συνιστώσες της.

Συνολικό ετήσιο φορτίο: 64,12 TWh
 Ετήσιο φορτίο χωρίς EV: 58,32 TWh
 Ετήσιο φορτίο EV: 5,8 TWh
 Ποσοστό αύξησης ετήσιου φορτίου: 9,95%

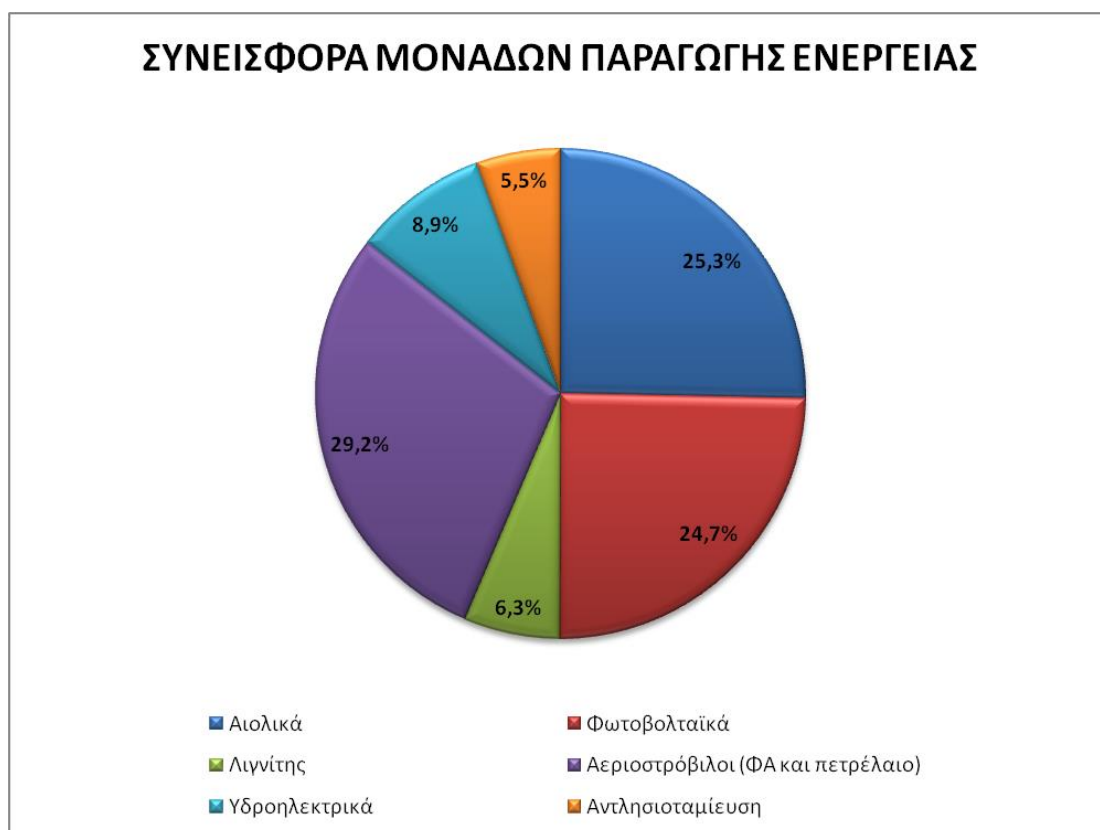


Σχήμα 5.14: Ημερήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και συνιστώσες της για την 1^η Φεβρουαρίου.

Συνολικό ημερήσιο φορτίο: 175,68 GWh
 Ημερήσιο φορτίο χωρίς EV: 159,78 GWh
 Ημερήσιο φορτίο EV: 15,9 GWh
 Ποσοστό αύξησης ημερήσιου φορτίου: 9,95%
 Μέσο στιγμιαίο φορτίο EV: 662,34 MW

Η συνεισφορά του ηλεκτρικού αυτοκινήτου στην τελική κατανάλωση ενέργειας, σε αυτή την περίπτωση μελέτης, είναι σημαντική. Σχεδόν το 10% (9,95%) της συνολικής ζήτησης φορτίου οφείλεται σε φορτίσεις συσσωρευτών, ενώ το ετήσιο, το ημερήσιο και το στιγμιαίο φορτίο παρουσιάζουν αυξημένες τιμές.

Συνεισφορά μονάδων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας



Σχήμα 5.15: Συνεισφορά μονάδων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

	Εγκ.Ισχύς (MW)	Παραγωγή (TWh)	Συνεισφορά (%)	CF ή LF
Αιολικά	10000	16,31	25,3%	19%
Φωτοβολταϊκά	10000	15,93	24,7%	18%
Λιγνίτης	2400	4,08	6,3%	19%
Αεριοστρόβιλοι (ΦΑ και πετρέλαιο)	4476,3	18,80	29,2%	48%
Υδροηλεκτρικά	3500	5,72	8,9%	19%
Αντλησιοταμίευση	4050	3,57	5,5%	10%

Πίνακας 5.11: Στοιχεία μονάδων ηλεκτροπαραγωγής.

Η συμμετοχή των λιγνιτικών μονάδων καλύπτει ένα πολύ μικρό κομμάτι της τελικής παραγωγής ενέργειας, μόλις το 6,3%. Η ποσοστιαία συνεισφορά των σταθμών φυσικού αερίου και πετρελαίου είναι ελαφρώς μειωμένη, αλλά η αύξηση της συνολικής κατανάλωσης συνεπάγεται την αυξημένη εγκατάστασή τους. Οι μονάδες ΑΠΕ καλύπτουν το 64,5% της συνολικής ηλεκτροπαραγωγής.

Μέγιστη στιγμιαία διείσδυση λιγνιτικών σταθμών και σταθμών Φυσικού αερίου και πετρελαίου

Max λιγνιτικά: 2400 MW

Max ΦΑ και πετρέλαιο: 4476,3 MW

Ποσοστό της ελάχιστης ζήτησης που είναι επιθυμητό να καλύπτουν τα λιγνιτικά: 60%

Αντλησιοταμίευση

Εγκατεστημένη ισχύς: 3 στρόβιλοι συνολικής ισχύος 1050 MW και 15 αντλίες συνολικής ισχύος 3000 MW

Ποσοστό απορριπτόμενης αιολικής ενέργειας: 24%

Ενέργεια που παράγεται από υδροστροβίλους: 3,57 TWh

Ποσοστό της απορριπτόμενης ενέργειας που ανακτάται: 65%

CF στροβίλων: 39%

CF αντλητικής εγκατάστασης: 19%

Το ποσοστό απορριπτόμενης αιολικής ενέργειας λαμβάνει σχετικά υψηλή τιμή, όπως και η παραγόμενη ενέργεια από τους υδροστροβίλους. Το ποσοστό της απορριπτόμενης ενέργειας που ανακτάται διατηρείται σταθερό, κοντά στα 2/3, αυξάνοντας την εγκατάσταση των αντλησιοταμιευτικών έργων. Οι τιμές των συντελεστών φορτίων είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικές.

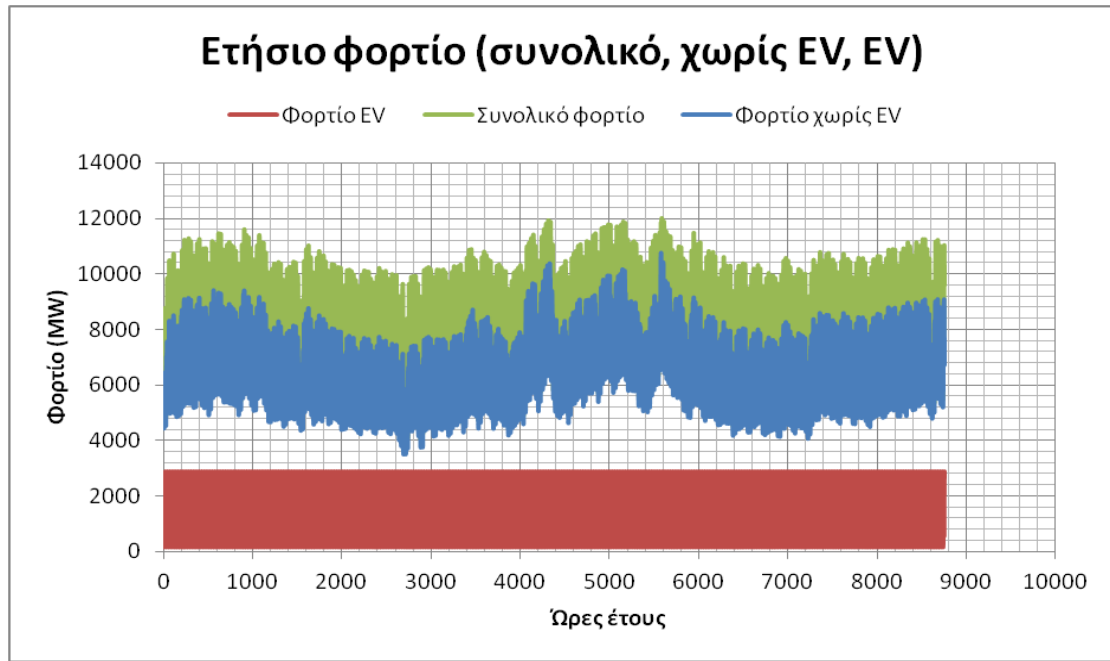
5.2.3 Αισιόδοξο σενάριο

- Ποσοστό αντικατάστασης αυτοκινήτων ιδιωτικής χρήσης από ηλεκτροκίνητα: 45%
Αριθμός ηλεκτρικών αυτοκινήτων: 602.132
- Εγκατεστημένη ισχύς αιολικών: 16 GW
- Εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών: 16 GW
- Ποσοστό συμμετοχής λιγνιτικών μονάδων στην ηλεκτροπαραγωγή: 0,1%
- Ποσοστό διείσδυσης αιολικών: $\delta=60\%$.

Μεταβολή στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας λόγω του ηλεκτρικού αυτοκινήτου

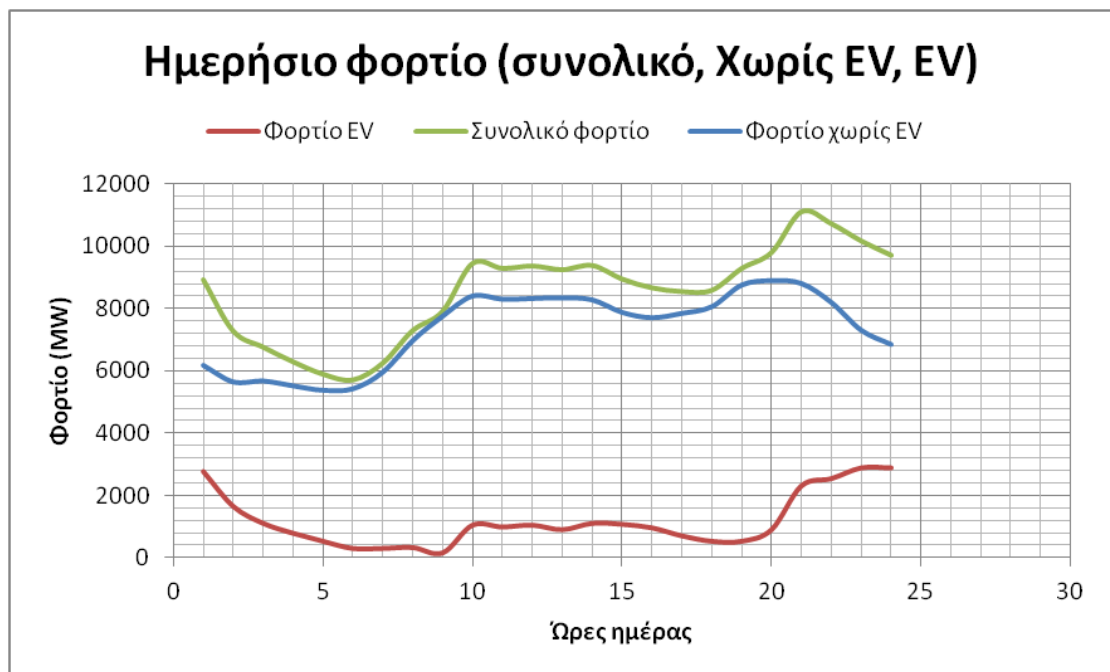
Ετήσια κατανάλωση	68,76	TWh
Αιχμή ζήτησης	12026,28	MW
Μέσο ετήσιο φορτίο	7849,68	MW
Ελάχιστη ζήτηση	3797,82	MW
Load factor	0,65	

Πίνακας 5.12: Τιμές ζήτησης.



Σχήμα 5.16: Ετήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και συνιστώσες της.

Συνολικό ετήσιο φορτίο: 68,76 TWh
 Ετήσιο φορτίο χωρίς EV: 58,32 TWh
 Ετήσιο φορτίο EV: 10,44 TWh
 Ποσοστό αύξησης ετήσιου φορτίου: 17,91%

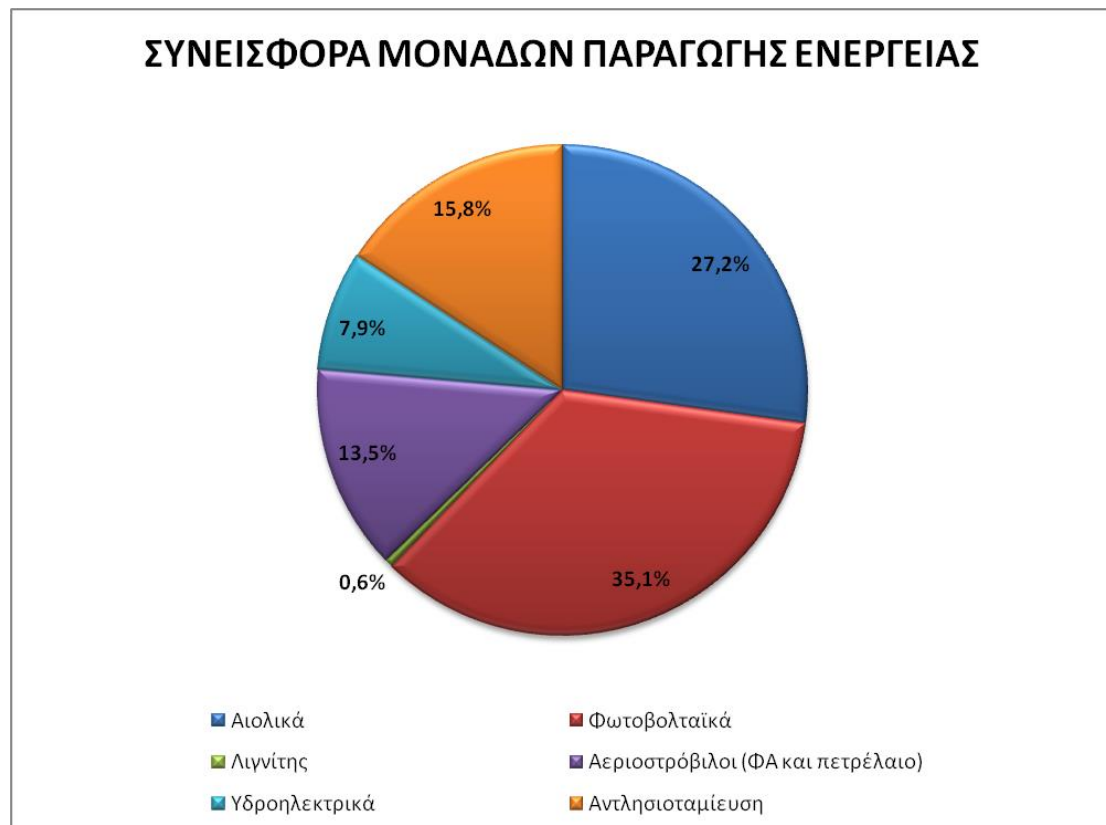


Σχήμα 5.17: Ημερήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και συνιστώσες της για την 1^η Φεβρουαρίου.

Συνολικό ημερήσιο φορτίο: 188,34 GWh
 Ημερήσιο φορτίο χωρίς EV: 159,78 GWh
 Ημερήσιο φορτίο EV: 28,61 GWh
 Ποσοστό αύξησης ημερήσιου φορτίου: 17,91%
 Μέσο στιγμιαίο φορτίο EV: 1.192,22 MW

Σε αυτό το σενάριο μελέτης η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από ηλεκτρικά αυτοκίνητα συνεισφέρει στην συνολική κατανάλωση σε ποσοστό 17,91%. Η επίδραση των φορτίσεων σε ημερήσια κλίμακα επηρεάζει υπολογίσιμα το προφίλ της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, δημιουργώντας αιχμές ζήτησης της νυχτερινές ώρες, με κορύφωση στις 21.00 και αυξημένες τιμές μέχρι και τη 1.00.

Συνεισφορά μονάδων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας



Σχήμα 5.18: Συνεισφορά μονάδων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

	Εγκ.Ισχύς (MW)	Παραγωγή (TWh)	Συνεισφορά (%)	CF ή LF
Αιολικά	16000	19,75	27,2%	14%
Φωτοβολταϊκά	16000	25,49	35,1%	18%
Λιγνίτης	900	0,41	0,6%	5%
Αεριοστρόβιλοι (ΦΑ και πετρέλαιο)	3800,0	9,83	13,5%	30%
Υδροηλεκτρικά	3500	5,72	7,9%	19%
Αντλησιοταμίευση	7400	11,47	15,8%	18%

Πίνακας 5.13: Στοιχεία μονάδων ηλεκτροπαραγωγής.

Οι λιγνιτικές μονάδες έχουν μηδαμινή συνεισφορά σε αυτό το ηλεκτροπαραγωγικό μοντέλο. Το 85,9% της κατανάλωσης καλύπτεται με τη χρήση ανανεώσιμων μονάδων. Η μεγάλη διείσδυση των αιολικών προκαλεί διευρυμένη χρήση αναστρέψιμων υδροηλεκτρικών μονάδων, ώστε να αξιοποιείται ικανοποιητικό

ποσοστό της απορριπτόμενης ενέργειας. Η αθροιστική συνεισφορά αντλησιοταμίευσης και υδροηλεκτρικών φτάνει στο 23,7%.

Μέγιστη στιγμιαία διείσδυση λιγνιτικών σταθμών και σταθμών Φυσικού αερίου και πετρελαίου

Max λιγνιτικά: 900 MW

Max ΦΑ και πετρέλαιο: 3.800 MW

Ποσοστό της ελάχιστης ζήτησης που είναι επιθυμητό να καλύπτουν τα λιγνιτικά: 60%

Αντλησιοταμίευση

Εγκατεστημένη ισχύς: 4 στρόβιλοι συνολικής ισχύος 1400 MW και 30 αντλίες συνολικής ισχύος 6000 MW

Ποσοστό απορριπτόμενης αιολικής ενέργειας: 43%

Ενέργεια που παράγεται από υδροστροβίλους: 11,43 TWh

Ποσοστό της απορριπτόμενης ενέργειας που ανακτάται: 62%

CF στροβίλων: 93%

CF αντλητικής εγκατάστασης: 30%

Η απορριπτόμενη αιολική ενέργεια, αποτελώντας το 43% της συνολικής ενέργειας, παρουσιάζει ιδιαίτερα αυξημένη τιμή. Η αντλησιοταμίευση παράγει 11,43 TWh ενέργειας ετησίως, με ικανοποιητικό ποσοστό ανάκτησης της απορριπτόμενης ενέργειας, 62%. Οι συντελεστές φόρτισης στροβίλων και αντλητικής εγκατάστασης είναι πολύ αυξημένοι.

Η συνολική εγκατάσταση 7,4 GW αντλησιοταμιευτικών έργων κρίνεται ως πολύ δύσκολα πραγματοποιήσιμη για τα δεδομένα της χώρας, ίσως και ανεδαφική. Ωστόσο η ανάγκη αποθήκευσης ενέργειας στο παρών σενάριο είναι υπαρκτή, ώστε να μειώνεται η ενέργεια των αιολικών που τελικά δεν χρησιμοποιείται. Έτσι, σε αυτή την περίπτωση ίσως χρειαστεί και ο διαμοιρασμός της αποθηκευόμενης ενέργειας σε αντιστρέψιμα υδροηλεκτρικά έργα και σε συσσωρευτές (μπαταρίες) ενέργειας.

5.2.4 Σύνοψη έτους 2050

Το πρώτο από τα διερευνώμενα σενάρια, με το πιο εύκολα πραγματοποιήσιμο ποσοστό ένταξης του ηλεκτρικού αυτοκινήτου της τάξης του 10%, παρουσιάζει μικρή μεταβολή στην κατανάλωση ενέργειας. Το ενδιάμεσο σενάριο, με διείσδυση 25%, εμφανίζει συνεισφορά της ηλεκτροκίνησης στην τελική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας 10%. Το τρίτο σενάριο, με ένταξη 45%, παρουσιάζει εμφανή συμβολή του ηλεκτρικού αυτοκινήτου στη διαμόρφωση του συνολικού απαιτούμενου φορτίου. Σε ημερήσια βάση δημιουργούνται αιχμές κατά τις βραδινές ώρες, που πρέπει να καλυφθούν από το σύστημα ηλεκτροπαραγωγής. Σε αυτό το στόχο, αναμένεται να συνδράμει και η αποθήκευση ενέργειας σε υδροηλεκτρικούς σταθμούς, που θα αξιοποιείται κατά τις αιχμές του φορτίου τις νυχτερινές ώρες.

Η ένταξη των λιγνιτικών μονάδων κυμαίνεται από σχετικά χαμηλή, 16,5% στο ρεαλιστικό σενάριο, πολύ χαμηλή, 6,3% στο ενδιάμεσο σενάριο και σχεδόν

αμελητέα, 0,6% στο αισιόδοξο σενάριο. Οι μονάδες φυσικού αερίου και πετρελαίου παρουσιάζουν ελαφρώς μειούμενα ποσοστά συμμετοχής στην τελική ηλεκτροπαραγωγή, ωστόσο η συνολική εγκατεστημένη ισχύς τους αυξάνεται.

Οι ΑΠΕ, σταδιακά στα τρία σενάρια, αποσπούν τη μερίδα του λέοντος αναφορικά με την ηλεκτροπαραγωγή. Παρόλα αυτά, η σημαντική επέκταση της εγκατάστασης αιολικών, προκαλεί αύξηση της απορριπτόμενης ενέργειας (έως και 43% της συνολικής στο αισιόδοξο σενάριο) και μείωση του συντελεστή φορτίου της εν λόγω ενέργειας.

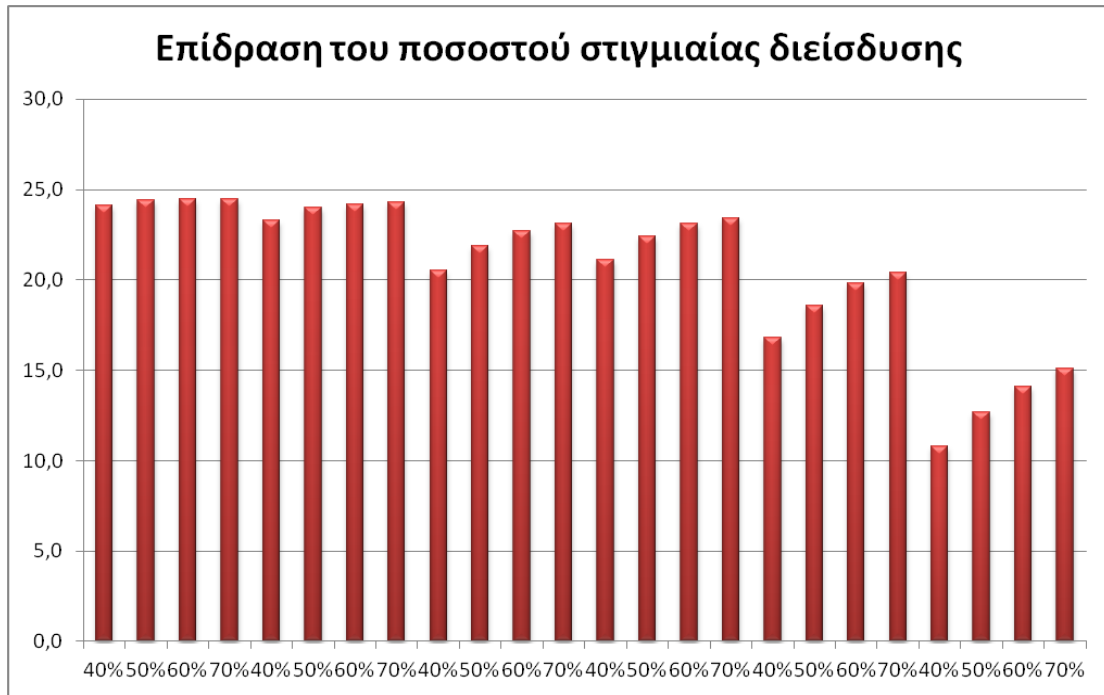
Πολύ σημαντικό μέρος της ενέργειας που απορρίπτεται, επιστρέφει και τελικά αξιοποιείται από το σύστημα μέσω της αντλιοταμίευσης. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η κάλυψη αιχμών ζήτησης του συστήματος. Το ποσοστό της απορριπτόμενης ενέργειας που ανακτάται διατηρείται σταθερό περί τα 2/3 της απορριπτόμενης ενέργειας, αυξάνοντας τη συνολική εγκατάσταση σε αντλιοσταμειωτικά έργα, φτάνοντας στα 7.400 MW εγκατεστημένα στο αισιόδοξο σενάριο. Όπως αναφέρθηκε, η εγκατεστημένη ισχύς αυτή κρίνεται ως πολύ υψηλή για την Ελλάδα και πιθανώς ένα τέτοιο σενάριο μπορεί να υποστηριχθεί με ταυτόχρονη χρήση συσσωρευτών ενέργειας.

2050				
	Σενάριο	Ρεαλιστικό	Ενδιάμεσο	Αισιόδοξο
	Συνολική Ετήσια κατανάλωση TWh	60,64	64,12	69,76
	Ετήσια κατανάλωση EV TWh	2,32	5,8	10,44
CF	Αιολικά	21%	19%	14%
	Φωτοβολταϊκά	18%	18%	18%
	Λιγνίτης	42%	19%	5%
	Αεριοστρόβιλοι (ΦΑ και πετρέλαιο)	55%	48%	30%
	Υδροηλεκτρικά	19%	19%	19%
	Αντλιοσταμείωση	6%	10%	18%
Pmax (MW)	Λιγνίτης	2.700	2.400	900
	Αεριοστρόβιλοι (ΦΑ και πετρέλαιο)	4.007,3	4.476,3	3800,0
	EUE (MWh)	0	0	0
	LOLE (hrs)	0	0	0

Πίνακας 5.14: Σύνοψη έτους 2050.

5.3 Ανάλυση ευαισθησίας - Ποσοστό στιγμιαίας διείσδυσης αιολικών

Καθώς αυξάνεται η εγκατεστημένη ισχύς των αιολικών, και λαμβάνοντας υπόψη τη διασπορά των αιολικών πάρκων πάνω στην επιφάνεια της χώρας, είναι οπωσδήποτε επιθυμητή η αύξηση της διείσδυσής τους στο ηλεκτροπαραγωγικό σύστημα. Η μείωση των ενταγμένων λιγνιτικών μονάδων, σε συνδυασμό με την εκτεταμένη χρήση ευέλικτων μονάδων φυσικού αερίου και πετρελαίου, και φυσικά με την παράλληλη χρήση της αντλιοσταμείωσης, μπορούν να δώσουν λύση, κάνοντας το σύστημα πιο ευέλικτο.



Σχήμα 5.19: Επίδραση της μεταβολής του ποσοστού στιγμιαίας διείσδυσης (δ) των αιολικών.

		δ	P(MW)	E(TWh)	C.F.(%)
2030	Ρεαλιστικό	40%	4	8,43	24,1
		50%	4	8,54	24,4
		60%	4	8,58	24,5
		70%	4	8,58	24,5
	Ενδιάμεσο	40%	5	10,21	23,3
		50%	5	10,49	24,0
		60%	5	10,6	24,2
		70%	5	10,64	24,3
	Αισιόδοξο	40%	7	12,55	20,5
		50%	7	13,44	21,9
		60%	7	13,92	22,7
		70%	7	14,15	23,1
2050	Ρεαλιστικό	40%	7	12,91	21,1
		50%	7	13,74	22,4
		60%	7	14,16	23,1
		70%	7	14,34	23,4
	Ενδιάμεσο	40%	10	14,73	16,8
		50%	10	16,31	18,6
		60%	10	17,32	19,8
		70%	10	17,9	20,4
	Αισιόδοξο	40%	16	15,14	10,8
		50%	16	17,79	12,7
		60%	16	19,75	14,1
		70%	16	21,13	15,1

Πίνακας 5.15: Αποτελέσματα ανάλυσης ευαισθησίας ποσοστού στιγμιαίας διείσδυσης αιολικών.

Η επίδραση της μεταβολής του ποσοστού διείσδυσης των αιολικών δ στην παραγόμενη ενέργεια και κατά συνέπεια στον συντελεστή φορτίου των αιολικών είναι εμφανής. Όσο αυξάνεται το ποσοστό διείσδυσης, μειώνεται η αιολική ενέργεια που απορρίπτεται.

Οι τιμές του θεωρητικού συντελεστή εκμεταλευσιμότητας που θεωρούνται αποδεκτές κυμαίνονται μεταξύ 25% και 35%[65], επομένως ο πραγματικός συντελεστής πρέπει να είναι όσο μεγαλύτερος γίνεται ώστε να προσεγγίζει τον θεωρητικό. Με βάση τις παραπάνω τιμές, που προέκυψαν από τη συγκριτική μελέτη όλων των διερευνώμενων σεναρίων, οι καταλληλότερες τιμές του συντελεστή εκμεταλευσιμότητας των αιολικών προκύπτουν για τη χαμηλότερη δυνατή εγκατεστημένη ισχύ τους. Ακόμα, όπως ήταν αναμενόμενο, παρουσιάζει τάση αύξησης σε συνάρτηση με την αύξηση του ποσοστού διείσδυσης για κάθε εναλλακτικό σενάριο, ενώ η κορυφαία τιμή του εμφανίζεται για τη μέγιστη δυνατή διείσδυση σε κάθε περίπτωση.

5.4 Θεωρητικό σενάριο

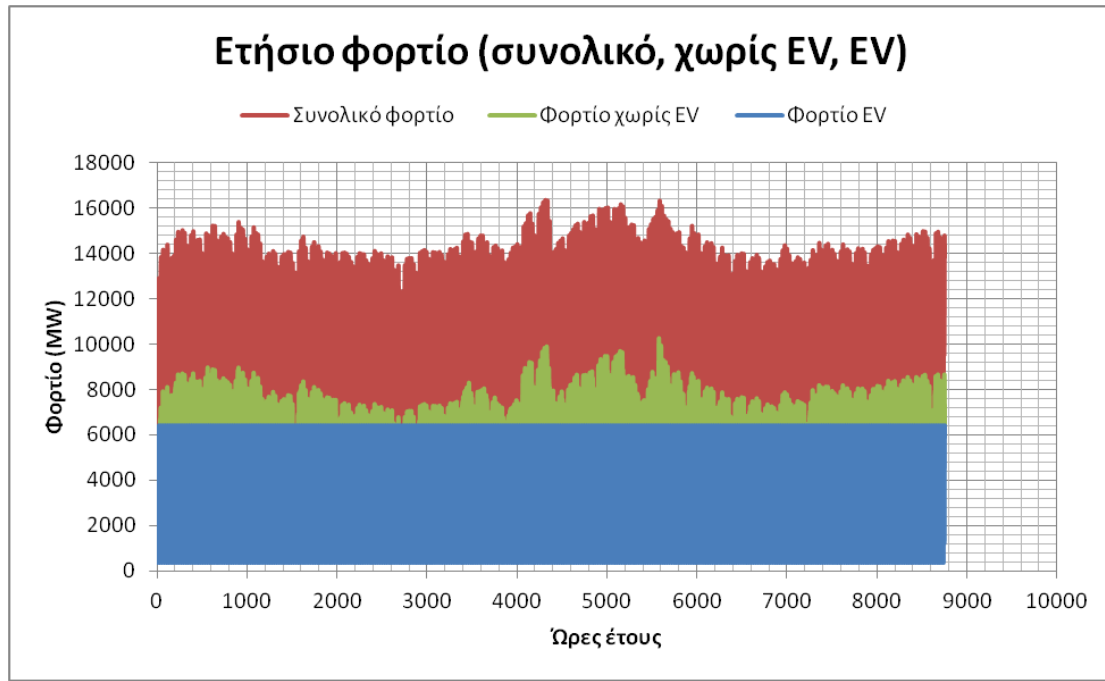
Για το θεωρητικό αυτό σενάριο οι τιμές της ζήτησης λαμβάνονται κατά 10% αυξημένες σε σχέση με τις τιμές του 2050, και ο συνολικός αριθμός των οχημάτων του ελληνικού στόλου κατά 30% αυξημένος σε σχέση με την τιμή του 2030.

- *Ποσοστό αντικατάστασης αυτοκινήτων ιδιωτικής χρήσης από ηλεκτροκίνητα: 100%*
Αριθμός ηλεκτρικών αυτοκινήτων: 7.827.712
- *Εγκατεστημένη ισχύς αιολικών: 22 GW*
- *Εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών: 22 GW*
- *Ποσοστό συμμετοχής λιγνιτικών μονάδων στην ηλεκτροπαραγωγή: 0%*
- *Ποσοστό διείσδυσης αιολικών: $\delta=60\%$.*

Μεταβολή στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας λόγω του ηλεκτρικού αυτοκινήτου

Ετήσια κατανάλωση	89,29	TWh
Αιχμή ζήτησης	16889,41	MW
Μέσο ετήσιο φορτίο	10193,36	MW
Ελάχιστη ζήτηση	4589,10	MW
Load factor	0,60	

Πίνακας 5.16: Τιμές ζήτησης.



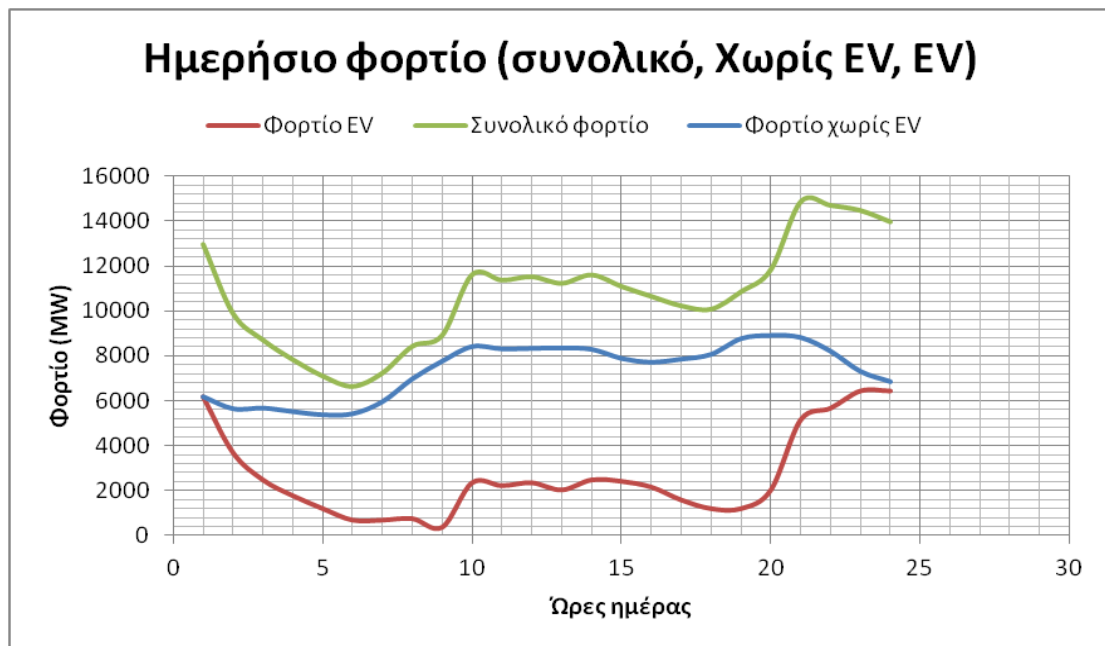
Σχήμα 5.20: Ετήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και συνιστώσες της.

Συνολικό ετήσιο φορτίο: 89,29 TWh

Ετήσιο φορτίο χωρίς EV: 64,15 TWh

Ετήσιο φορτίο EV: 53,14 TWh

Ποσοστό αύξησης ετήσιου φορτίου: 43,11%



Σχήμα 5.21: Ημερήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και συνιστώσες της για την 1η Φεβρουαρίου.

Συνολικό ημερήσιο φορτίο: 244,64 GWh

Ημερήσιο φορτίο χωρίς EV: 175,76 GWh

Ημερήσιο φορτίο EV: 68,88 GWh

Ποσοστό αύξησης ημερήσιου φορτίου: 43,11%

Μέσο στιγμιαίο φορτίο EV: 2.870,16 MW

Στο θεωρητικό αυτό σενάριο ο ηλεκτροκίνητος στόλος είναι υπεύθυνος για τη μισή (43,11%) της συνολικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Η συνολική ζήτηση είναι ιδιαίτερα υψηλή, συγκριτικά με τα σημερινά δεδομένα, ενώ το προφίλ της ζήτησης είναι σαφώς επηρεασμένο από την κατανομή των φορτίσεων μέσα στη μέρα.

Συνεισφορά μονάδων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας



Σχήμα 5.22: Συνεισφορά μονάδων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

	Εγκ.Ισχύς (MW)	Παραγωγή (TWh)	Συνεισφορά (%)	CF ή LF
Αιολικά	22000	25,13	26,1%	13%
Φωτοβολταϊκά	22000	35,05	36,4%	18%
Λιγνίτης	0	0,00	0,0%	-
Αεριοστρόβιλοι (ΦΑ και πετρέλαιο)	5200,0	12,75	13,2%	28%
Υδροηλεκτρικά	3500	5,72	5,9%	19%
Αντλησιοταμίευση	12100	17,64	18,3%	17%

Πίνακας 5.17: Στοιχεία μονάδων ηλεκτροπαραγωγής.

Εδώ οι λιγνιτικές μονάδες έχουν απενεργοποιηθεί πλήρως, ενώ το 86,8% της παραγωγής οφείλεται σε ΑΠΕ. Ο συντελεστής φορτίου των αιολικών είναι αρκετά χαμηλός. Ακόμα, η εγκατεστημένη ισχύς των σταθμών φυσικού αερίου και πετρελαίου παρουσιάζει μεγάλη αύξηση, σε αντίθεση με το ποσοστό συμμετοχής τους στην συνολική ηλεκτροπαραγωγή, που παρουσιάζει σαφή πτώση. Η αντλησιοταμίευση κατέχει κομβικό ρόλο, εκμεταλλευόμενη σημαντικό μέρος από τα μεγάλα ποσά αιολικής ενέργειας που περικόπτονται.

Μέγιστη στιγμιαία διείσδυση λιγνιτικών σταθμών και σταθμών Φυσικού αερίου και πετρελαίου

Max λιγνιτικά: 0 MW

Max ΦΑ και πετρέλαιο: 5.200 MW

Ποσοστό της ελάχιστης ζήτησης που είναι επιθυμητό να καλύπτουν τα λιγνιτικά: 0%

Αντλησιοταμίευση

Εγκατεστημένη ισχύς: 6 στρόβιλοι συνολικής ισχύος 2100 MW και 50 αντλίες συνολικής ισχύος 10.000 MW

Ποσοστό απορριπτόμενης αιολικής ενέργειας: 43%

Ενέργεια που παράγεται από υδροστροβίλους: 17,64 TWh

Ποσοστό της απορριπτόμενης ενέργειας που ανακτάται: 64%

CF στροβίλων: 96%

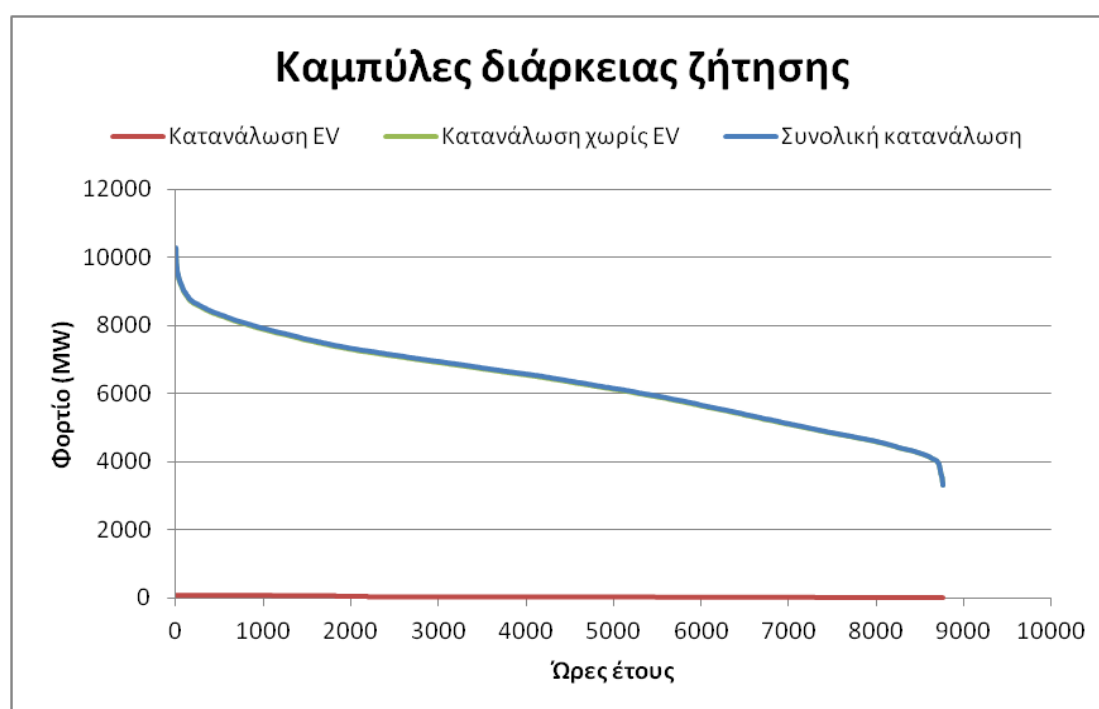
CF αντλητικής εγκατάστασης: 28%

Το ποσοστό της αιολικής ενέργειας που απορρίπτεται έχει υψηλή τιμή. Οι υδροστροβίλοι παράγουν μεγάλα ποσά ενέργειας, με συντελεστή φορτίου 96%, που σημαίνει ότι λειτουργούν σχεδόν σε μόνιμη βάση. Έτσι επιτυγχάνεται η ανάκτηση του 64% της απορριπτόμενης ενέργειας, δηλαδή 17.64 TWh. Και σε αυτή την περίπτωση θα ήταν απαραίτητη η εύρεση εναλλακτικού τρόπου αποθήκευσης ενέργειας, όπως οι συσσωρευτές, καθώς τα 12,1 GW αντλησιοταμίευσης είναι πολύ υψηλά για τα δεδομένα του Ελληνικού συστήματος.

5.6 Καμπύλες διάρκειας ζήτησης

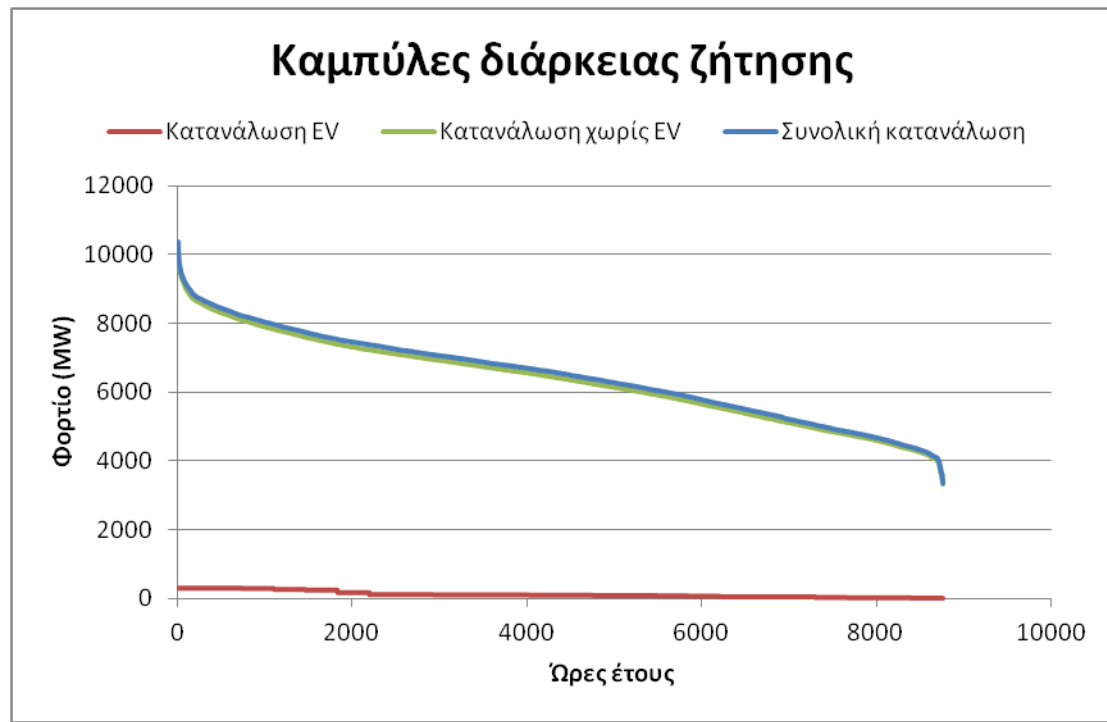
5.6.1 Έτος 2030

Ρεαλιστικό σενάριο



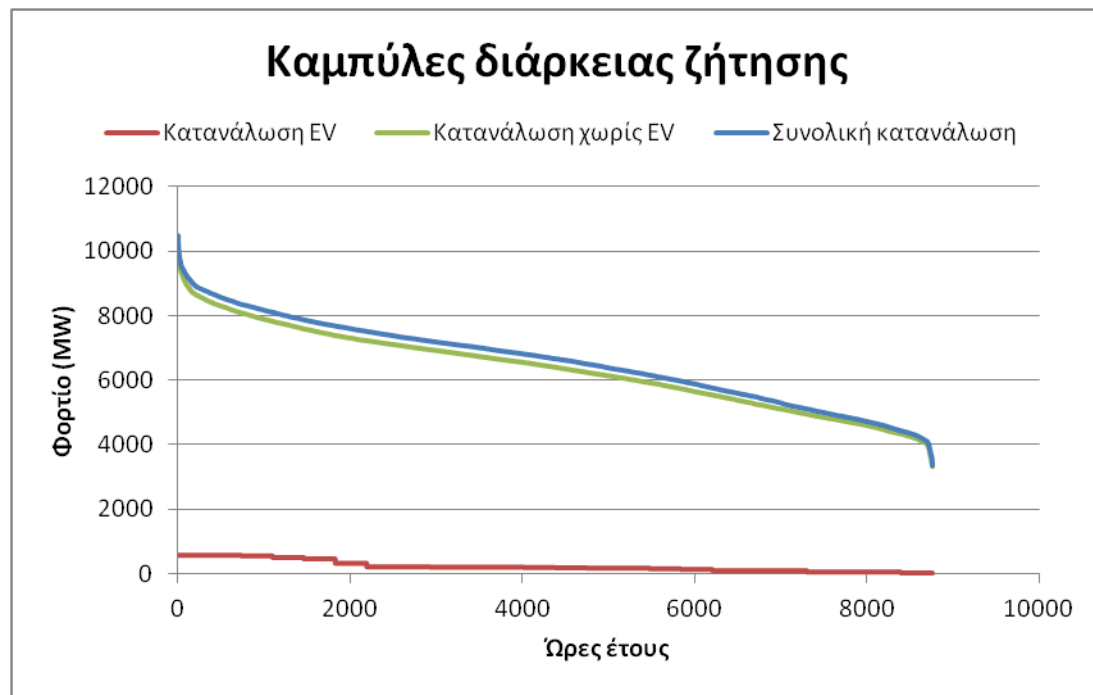
Σχήμα 5.23: Καμπύλη διάρκειας ζήτησης Ρεαλιστικό σενάριο 2030.

Ενδιάμεσο σενάριο



Σχήμα 5.24: Καμπύλη διάρκειας ζήτησης Ενδιάμεσο σενάριο 2030.

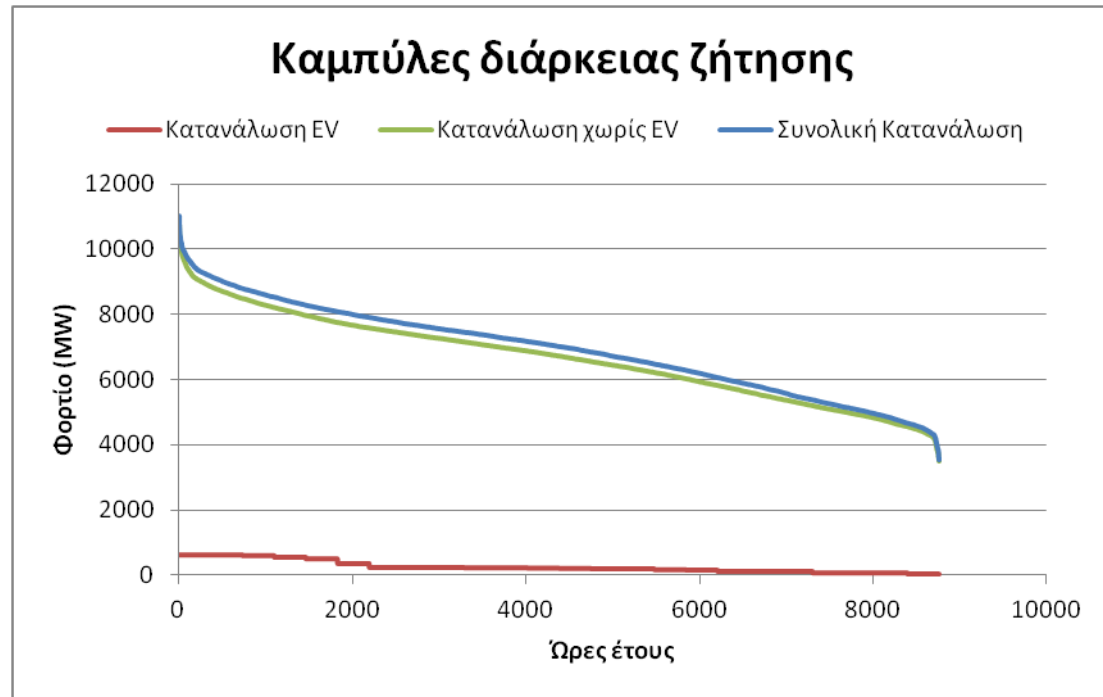
Αισιόδοξο σενάριο



Σχήμα 5.25: Καμπύλη διάρκειας ζήτησης Αισιόδοξο σενάριο 2030.

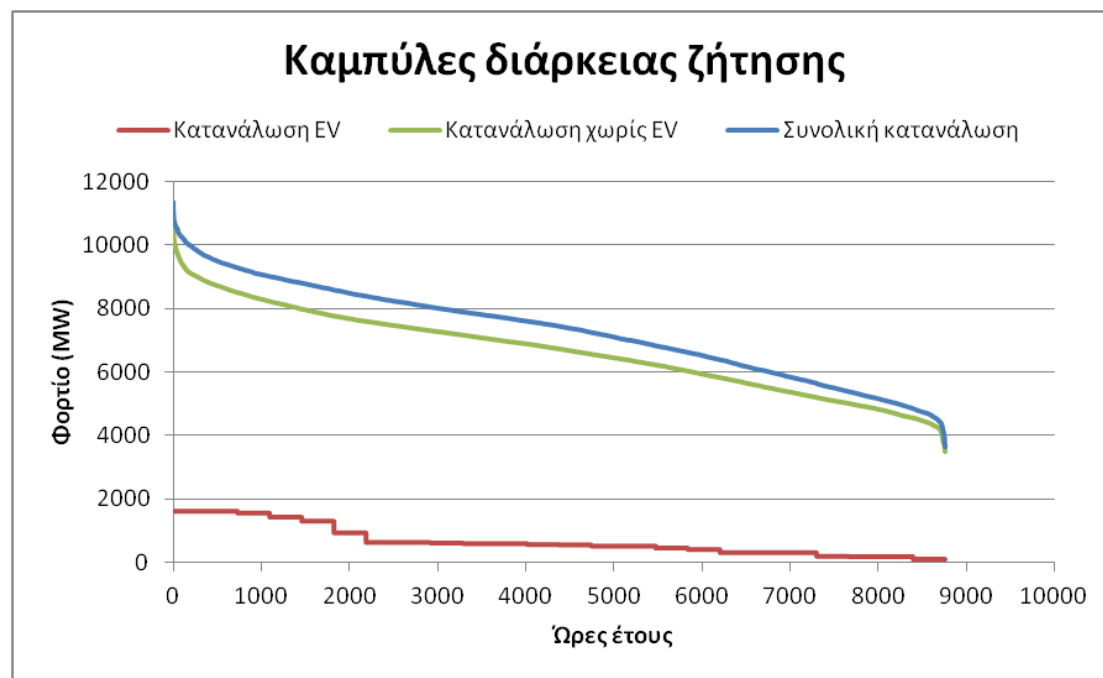
5.6.2 Έτος 2050

Ρεαλιστικό σενάριο



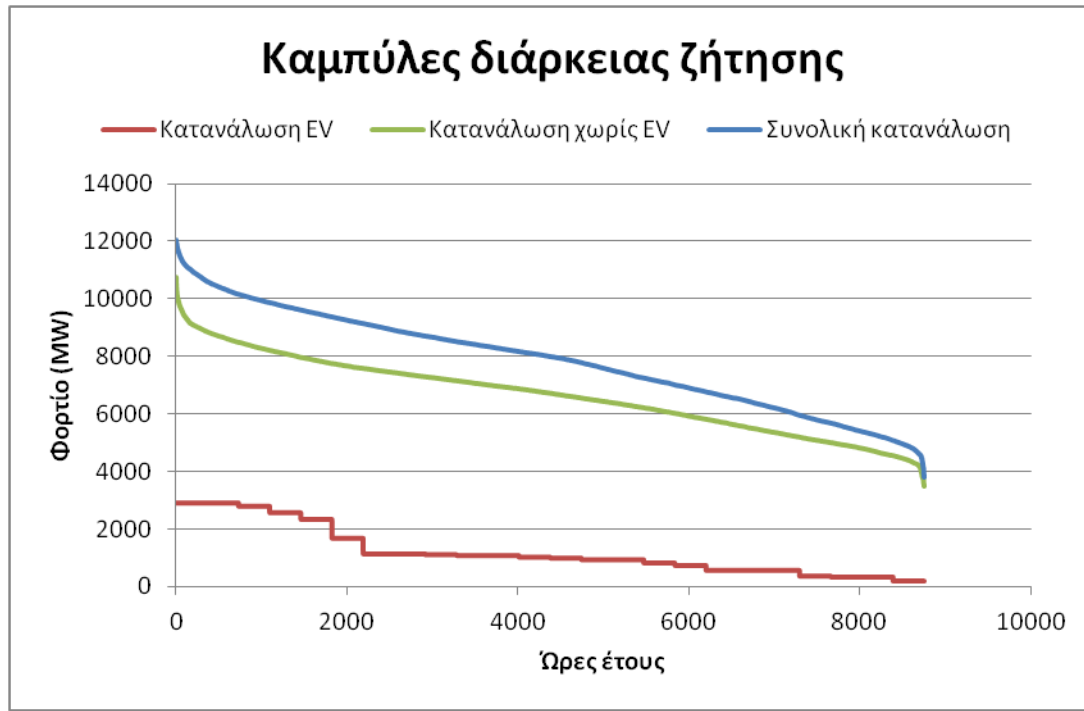
Σχήμα 5.26: Καμπύλη διάρκειας ζήτησης Ρεαλιστικό σενάριο 2050.

Ενδιάμεσο σενάριο



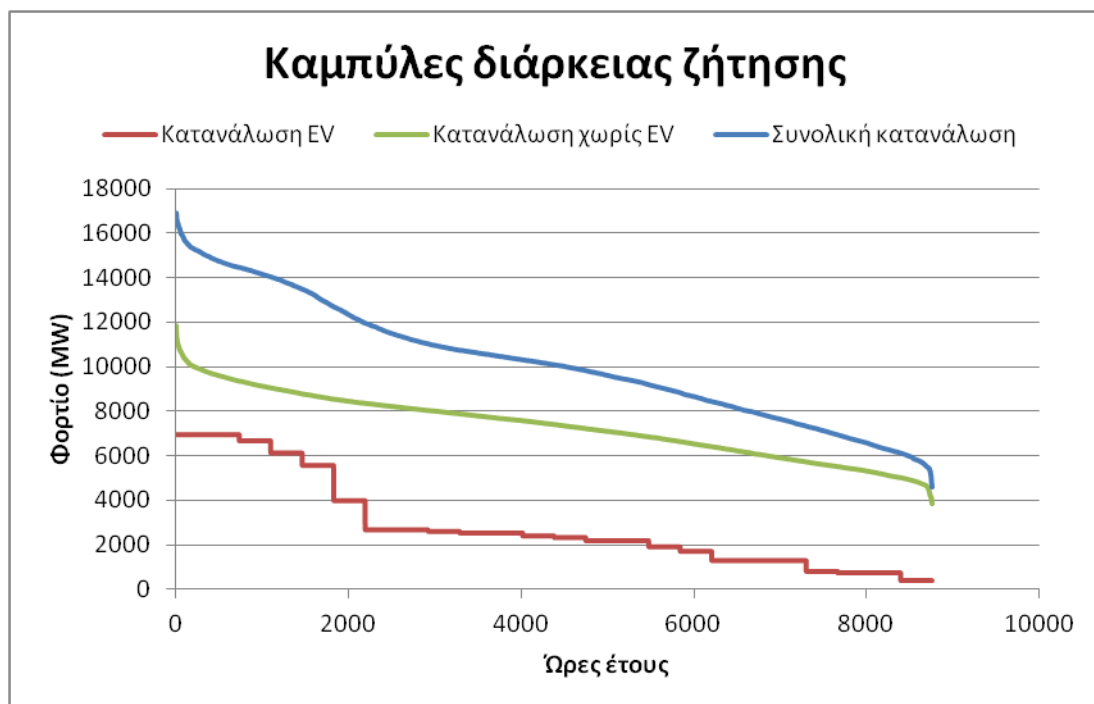
Σχήμα 5.27: Καμπύλη διάρκειας ζήτησης Ενδιάμεσο σενάριο 2050.

Αισιόδοξο σενάριο



Σχήμα 5.28: Καμπύλη διάρκειας ζήτησης Αισιόδοξο σενάριο 2050.

5.6.3 Θεωρητικό σενάριο



Σχήμα 5.29: Καμπύλη διάρκειας ζήτησης Θεωρητικό σενάριο.

5.6.4 Σχολιασμός

Οι καμπύλες διάρκειας της ζήτησης παρουσιάζουν σχετική ομοιογένεια. Όπως δείχνει και ο συντελεστής φορτίου, που ξεκινά από 0,62 στο Ρεαλιστικό σενάριο του 2030 και αυξάνεται σταδιακά μέχρι την τιμή 0,65 στο Αισιόδοξο σενάριο του 2050, το μέσο ετήσιο φορτίο μένει σχεδόν σταθερό στα 2/3 του φορτίου αιχμής.

Οι διακυμάνσεις της ζήτησης για τα τρία σενάρια που αναφέρονται στο έτος 2030 δεν είναι μεγάλες. Το συνολικό φορτίο λαμβάνει στιγμιαίες τιμές περί τα 3-10 GW. Οι αιχμές της ζήτησης είναι 10271,39 MW, 10360,77 MW, 10472,49 MW, παρουσιάζοντας μικρή σταδιακή αύξηση, ανάλογα με το ποσοστό εισαγωγής του ηλεκτρικού αυτοκινήτου, 1%, 5%, 10% αντίστοιχα. Το ποσοστό συνεισφοράς της ηλεκτροκίνησης στην τελική ζήτηση λαμβάνει τιμές 0,38%, 1,88% και 3,77% για κάθε μία από τις παραπάνω περιπτώσεις.

Όσον αφορά στο έτος 2050, οι μεταβολή της ζήτησης χωρίς την προσθήκη του ηλεκτρικού αυτοκινήτου, δηλαδή η αύξηση κατά 5% σε σχέση με τις τιμές του 2030, δημιουργεί μικρή αύξηση των συνολικών τιμών που αποτυπώνονται στις παραπάνω καμπύλες. Οι διακυμάνσεις του συνολικού ετήσιου φορτίου είναι πιο έντονες καθώς αυξάνεται η ένταξη ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Για τα τρία εξεταζόμενα σενάρια, με ποσοστά ηλεκτροκίνησης του στόλου 10%, 25% και 45%, παρουσιάζονται αιχμές ζήτησης ηλεκτρικού φορτίου 11009,48 MW, 11381,46 MW, 12026,28 MW, και ποσοστά συμβολής του ηλεκτρικού αυτοκινήτου στην τελική ζήτηση 3,98%, 9,95% και 17,91% αντίστοιχα. Στο Ρεαλιστικό και το Ενδιάμεσο σενάριο η ζήτηση κυμαίνεται από σχεδόν 3,5 GW έως και 11 GW, ενώ στο αισιόδοξο σενάριο, η μεγάλη ένταξη ηλεκτρικών οχημάτων επηρεάζει την καμπύλη, μετατοπίζοντάς την στο εύρος 4-12 GW.

Τα αποτελέσματα είναι πολύ διαφοροποιημένα για το θεωρητικό σενάριο, όπου υποτέθηκε εξ ολοκλήρου ηλεκτροκίνητος στόλος. Το συνολικό απαιτούμενο στιγμιαίο φορτίο κυμαίνεται στο εύρος 5-17 GW. Η αιχμή της ζήτησης έχει τιμή 16889,41 GW και ο ηλεκτροκίνητος στόλος καταναλώνει το 43,11% της συνολικά παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Κεφάλαιο 6. Ετήσια εξοικονόμηση δαπανών κατανάλωσης και εκπομπών CO₂

Τα βασικά κριτήρια αντικατάστασης των συμβατικών αυτοκινήτων με ηλεκτροκίνητα είναι κατά κύριο λόγο περιβαλλοντικά και οικονομικά. Ένα αμιγώς ηλεκτροκίνητο αυτοκίνητο έχει μηδενικές εκπομπές αέριων ρύπων, καθώς η παραγωγή της ενέργειας δεν είναι αποτέλεσμα μιας διαδικασίας καύσης. Το ίδιο συμβαίνει και με ένα υβριδικό ηλεκτρικό αυτοκίνητο, για το διάστημα που δεν αξιοποιεί την μηχανή εσωτερικής καύσης που διαθέτει. Στο δεύτερο μέρος αυτού του κεφαλαίου εκτιμάται η μείωση των εκπομπών του βασικού ρυπαντή, που είναι το CO₂, με την σταδιακή ένταξη του ηλεκτρικού αυτοκινήτου στον ελληνικό στόλο.

Ένας δείκτης για την εκτίμηση της οικονομικότητας του ηλεκτρικού αυτοκινήτου είναι η διαφορά των ετήσιων δαπανών κατανάλωσης ενέργειας που προκύπτει από την αντικατάσταση των συμβατικών αυτοκινήτων με ηλεκτρικά. Σε αντίστοιχη μελέτη που πραγματοποιήθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής για την οικονομική αξιολόγηση της χρήσης του ηλεκτρικού αυτοκινήτου, εξάγεται το συμπέρασμα ότι ανάλογα με τις διακυμάνσεις στην τιμή της βενζίνης και στο να η φόρτιση πραγματοποιείται σε ώρες αιχμής ή όχι, η επιλογή ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου μπορεί να οδηγήσει στην εξοικονόμηση έως και \$2500 ετησίως[66].

6.1 Ετήσια εξοικονόμηση δαπανών κατανάλωσης

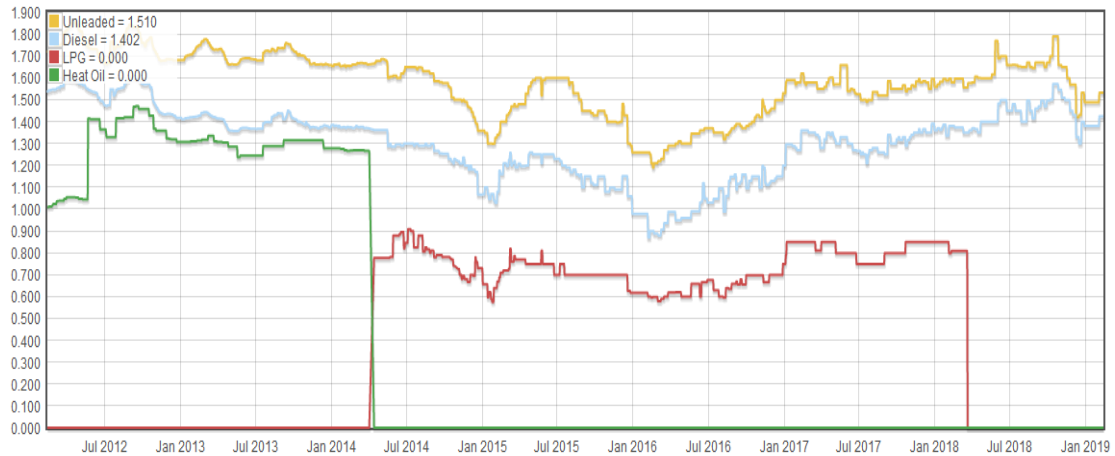
Στην ανάλυση που ακολουθεί εκτιμάται η ετήσια οικονομική διαφορά στις δαπάνες κατανάλωσης που προκύπτουν από την αντικατάσταση ενός βενζινοκίνητου με ένα ηλεκτρικό όχημα, σε συνάρτηση με τις μεταβολές στις τιμές της βενζίνης (€/L) και της ηλεκτρικής ενέργειας (€/kWh), και στις καταναλώσεις των βενζινοκίνητων (L/km) και των ηλεκτροκίνητων οχημάτων (kWh/km).

Στο Σχήμα 6.1 αποτυπώνεται η διακύμανση της τιμής της βενζίνης τα τελευταία οκτώ χρόνια στην Ελλάδα. Το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 1,2 €/L έως 1,8 €/L, ενώ η σημερινή μέση τιμή της ανέρχεται στα 1,531 €/L[67]. Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης, το εύρος κύμανσης της τιμής της βενζίνης σε ορίζοντα τριακονταετίας (2050) λήφθηκε από 1 €/L έως 2,5 €/L, ώστε να καλυφθούν όσο το δυνατόν περισσότερες πιθανές εξελίξεις στην διακύμανση της τιμής του εν λόγω καυσίμου, δεδομένης της εξάντλησης των αποθεμάτων του. Η μέση σημερινή τιμή λήφθηκε 1,5 €/L.

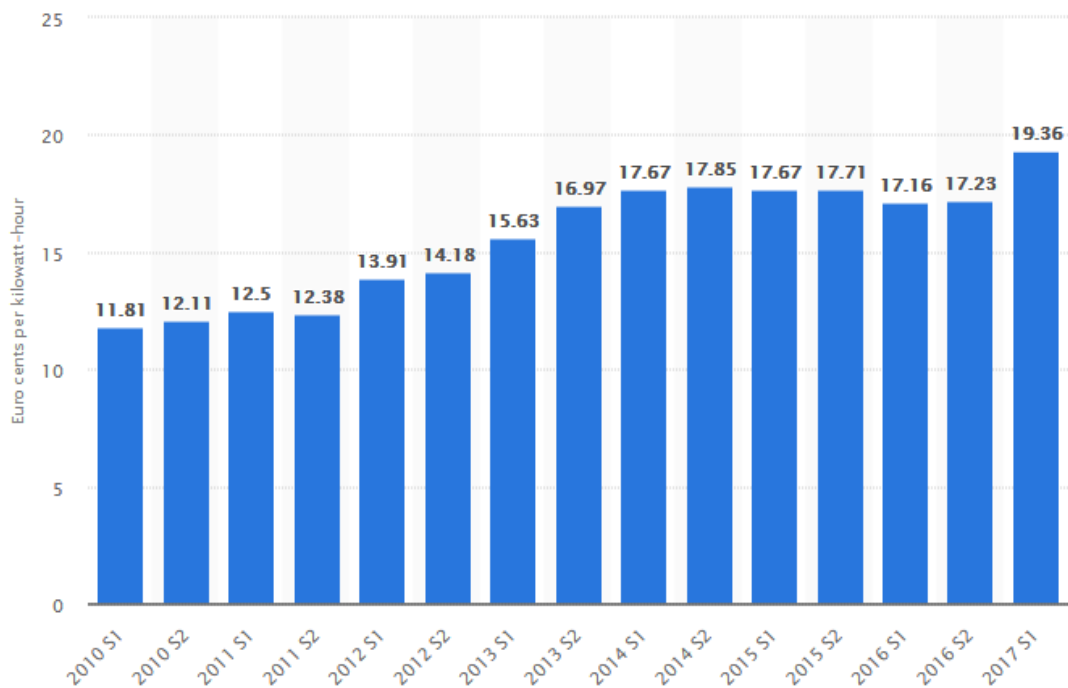
Αντίστοιχα, η μέση τιμή της kWh ηλεκτρικής ενέργειας κυμάνθηκε από 11.81 έως και 19,36 λεπτά του ευρώ, στο διάστημα 2010-2017[68], όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6.2, ενώ η σημερινή μέση τιμή της υπολογίζεται στα 0,1866 €/kWh[69]. Για την συγκεκριμένη ανάλυση μελετήθηκε εύρος τιμών kWh από 0,1 € έως 0,3 €, και σημερινή τιμή της στα 0,2 €.

Οι τιμές καταναλώσεων για τα βενζινοκίνητα αυτοκίνητα εκτιμήθηκαν από 0,05 L/km μέχρι 0,1 L/km (5-10 L/100km), ενώ για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα οι μέσες καταναλώσεις λήφθηκαν ίδιες σύμφωνα με τις θεωρήσεις των τριών σεναρίων

μελέτης (2019-0,178 kWh/km, 2030-0,173 kWh/km, 2050-0,16 kWh/km) και για εύρος κατανάλωσης λήφθηκε 0,14-0,22 kWh/km σύμφωνα με τα δεδομένα της αγοράς σήμερα.



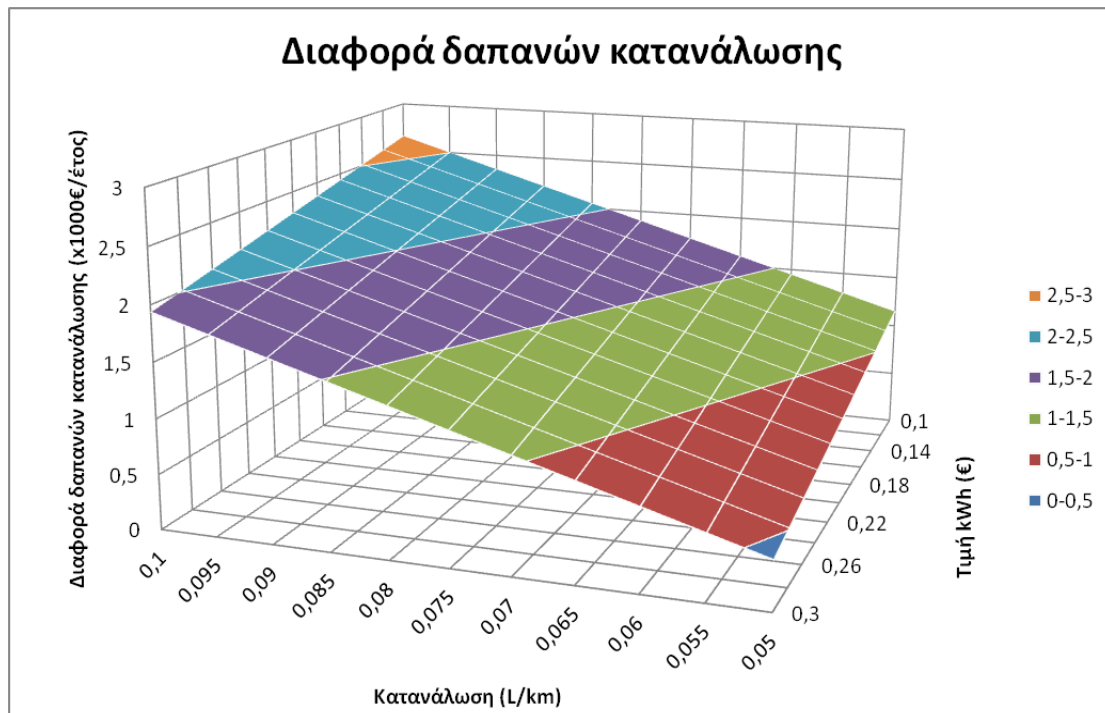
Σχήμα 6.1: Διακύμανση της τιμής της βενζίνης (€/L) τα τελευταία οκτώ χρόνια στην Ελλάδα[67].



Σχήμα 6.2: Διακύμανση της τιμής της kWh σε λεπτά του €, το διάστημα 2010-2017 στην Ελλάδα[68].

6.1.1 Αντικατάσταση βενζινοκίνητου με ηλεκτρικό αυτοκίνητο σήμερα

Αρχικά εκτιμάται το συνολικό ετήσιο οικονομικό όφελος από την αντικατάσταση ενός συμβατικού οχήματος σύμφωνα με τις υφιστάμενες συνθήκες κατανάλωσης οχημάτων και τιμών καυσίμων και ηλεκτρικής ενέργειας. Στο Σχήμα 6.3 παρουσιάζεται η μεταβολή της διαφοράς αυτής σε συνάρτηση με την κατανάλωση (L/km) και την τιμή της kWh, με δεδομένη τη σημερινή τιμή της βενζίνης στα 1,5 €/L.

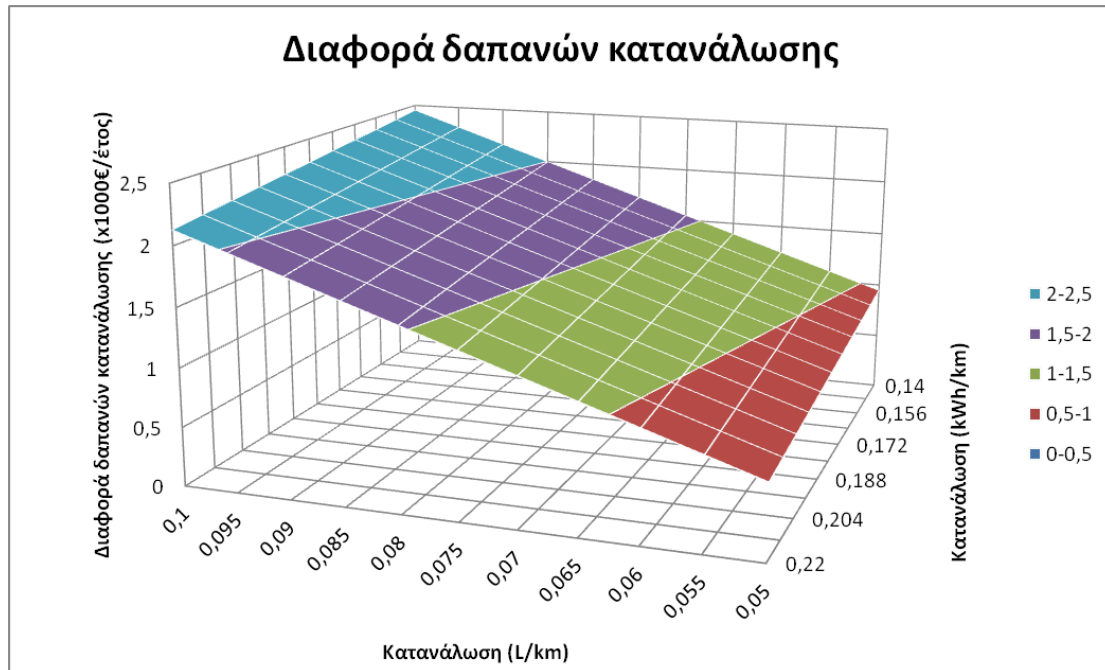


max	2.654 €
min	434 €
today	1.243 €

Σχήμα 6.3: Διαφορά ετήσιων δαπανών κατανάλωσης σε συνάρτηση με την κατανάλωση (L/km) και την τιμή της kWh.

Όπως φαίνεται, το ετήσιο όφελος μπορεί να ανέλθει στα 2.654 € ετησίως, στην περίπτωση αντικατάστασης ενός βενζινοκίνητου οχήματος υψηλής κατανάλωσης 10 L/100km, αν πραγματοποιηθεί πτώση της τιμής της kWh και η φόρτιση πραγματοποιείται αυστηρά εκτός ωρών αιχμής. Με τη σημερινή μέση τιμή της kWh και για αντικατάσταση ενός οχήματος μέσης κατανάλωσης 6,5 L/100km, προκύπτει διαφορά 1.243 € ετησίως.

Τα αποτελέσματα του Σχήματος 6.3, εξάχθηκαν υποθέτοντας τις σημερινές τιμές βενζίνης και ηλεκτρικής ενέργειας (1,5 €/L, 0,2 €/kWh), εναλλάσσοντας τις τιμές καταναλώσεων των δύο οχημάτων προς αντικατάσταση.



max	2.449 €
min	622 €
today	1.235 €

Σχήμα 6.4: Διαφορά ετήσιων δαπανών κατανάλωσης σε συνάρτηση με την κατανάλωση βενζινοκίνητου (L/km) και την κατανάλωση ηλεκτροκίνητου (kWh/km).

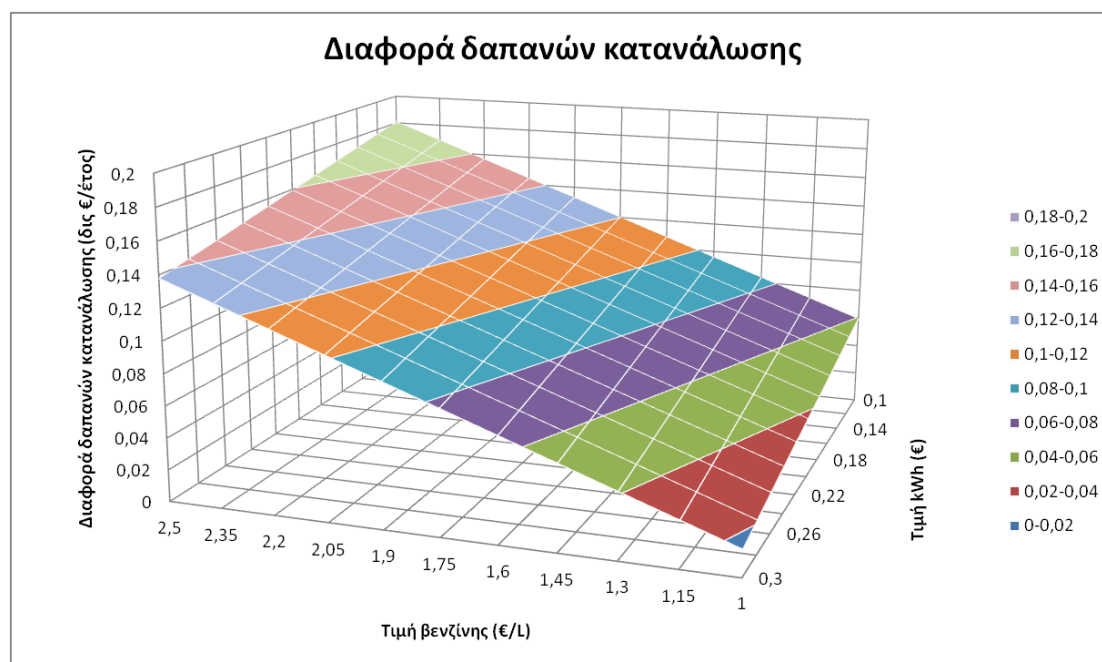
Σε αυτή την περίπτωση, αν ένα βενζινοκίνητο υψηλής κατανάλωσης αντικατασταθεί με ένα ηλεκτροκίνητο χαμηλής κατανάλωσης, το ετήσιο όφελος μπορεί να φτάσει στα 2.449 €. Ωστόσο, με την αντικατάσταση δύο οχημάτων μέσης κατανάλωσης κάθε τύπου, δηλαδή ενός βενζινοκίνητου με 6,5 L/100km και ενός ηλεκτροκίνητου με 0,18 kWh/km, προκύπτει ετήσια εξοικονόμηση 1.235 €.

6.1.2 Συνολική ετήσια εξοικονόμηση δαπανών κατανάλωσης για κάθε σενάριο μελέτης

Ακολουθεί η εκτίμηση του συνολικού οικονομικού οφέλους για την ελληνική αγορά σε δαπάνες ιδιωτικών μεταφορών, από τη διείσδυση του ηλεκτρικού αυτοκινήτου. Το συνολικό ποσό εκφράζεται σε δισεκατομμύρια ευρώ και καθορίζεται από το ποσοστό στο οποίο η ηλεκτροκίνηση συμμετέχει στις μεταφορές.

6.1.2.1 Έτος 2030

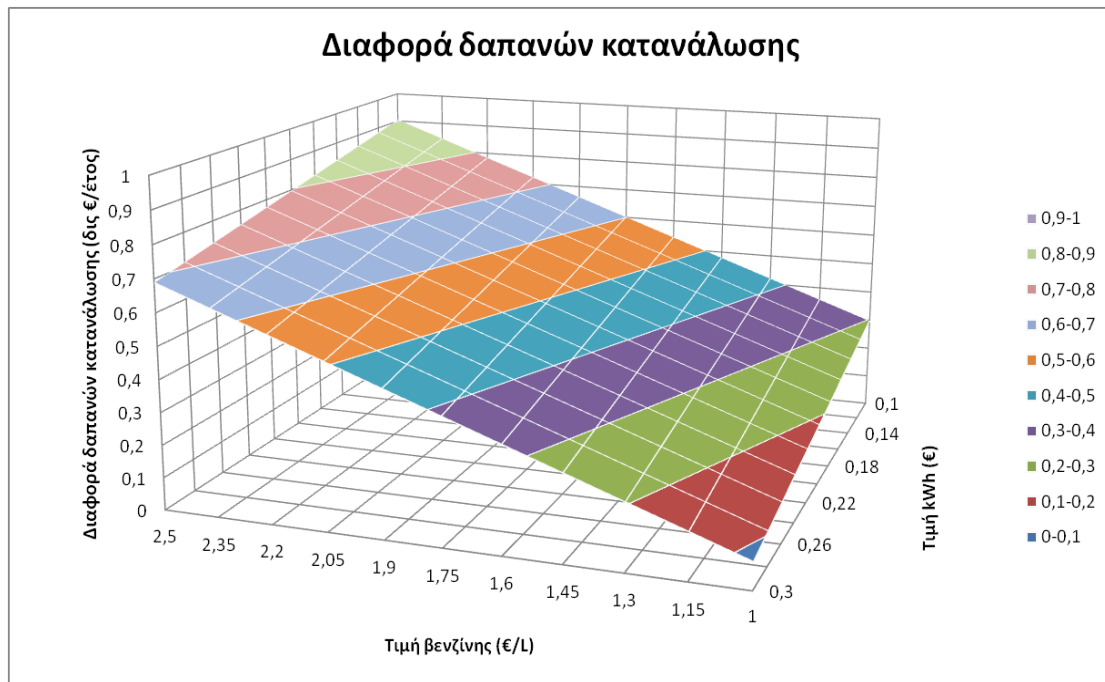
Ρεαλιστικό σενάριο



max	0,1810	δισ €
min	0,0205	δισ €
today	0,0784	δισ €

Σχήμα 6.5: Διαφορά ετήσιων δαπανών κατανάλωσης Ρεαλιστικό σενάριο 2030.

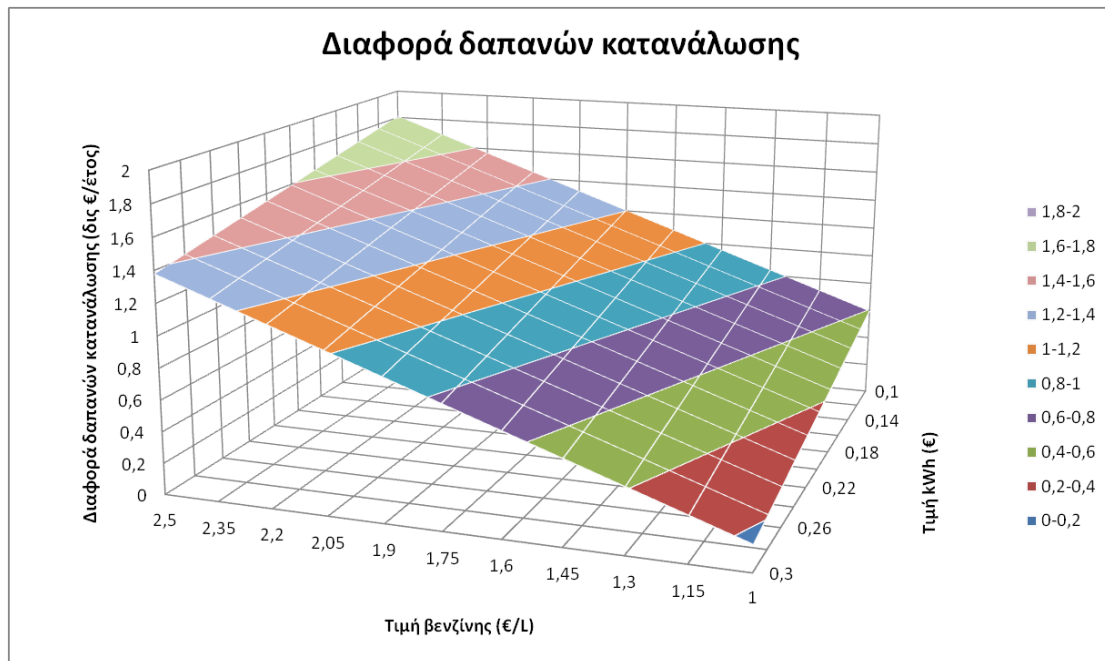
Στο Ρεαλιστικό σενάριο του έτους 2030 η ηλεκτροκίνηση διεισδύει σε ποσοστό 1% επί του συνολικού στόλου των οχημάτων και όπως είναι λογικό το οικονομικό όφελος από τις καταναλώσεις σε καύσιμα παραμένει περιορισμένο, ακόμα και σε ακραία περίπτωση ανόδου της τιμής της βενζίνης με ταυτόχρονη πτώση της τιμής της kWh.

Ενδιάμεσο σενάριο

max	0,9048	δισ €
min	0,0822	δισ €
today	0,3920	δισ €

Σχήμα 6.6: Διαφορά ετήσιων δαπανών κατανάλωσης Ενδιάμεσο σενάριο 2030.

Καθώς το ποσοστό διείσδυσης του ηλεκτρικού αυτοκινήτου αυξάνεται, ανάλογα αυξάνεται και το οικονομικό όφελος, διατηρώντας ωστόσο ακόμα χαμηλές τιμές.

Αισιόδοξο σενάριο

max	1,810	δισ €
min	0,164	δισ €
today	0,784	δισ €

Σχήμα 6.7: Διαφορά ετήσιων δαπανών κατανάλωσης Αισιόδοξο σενάριο 2030.

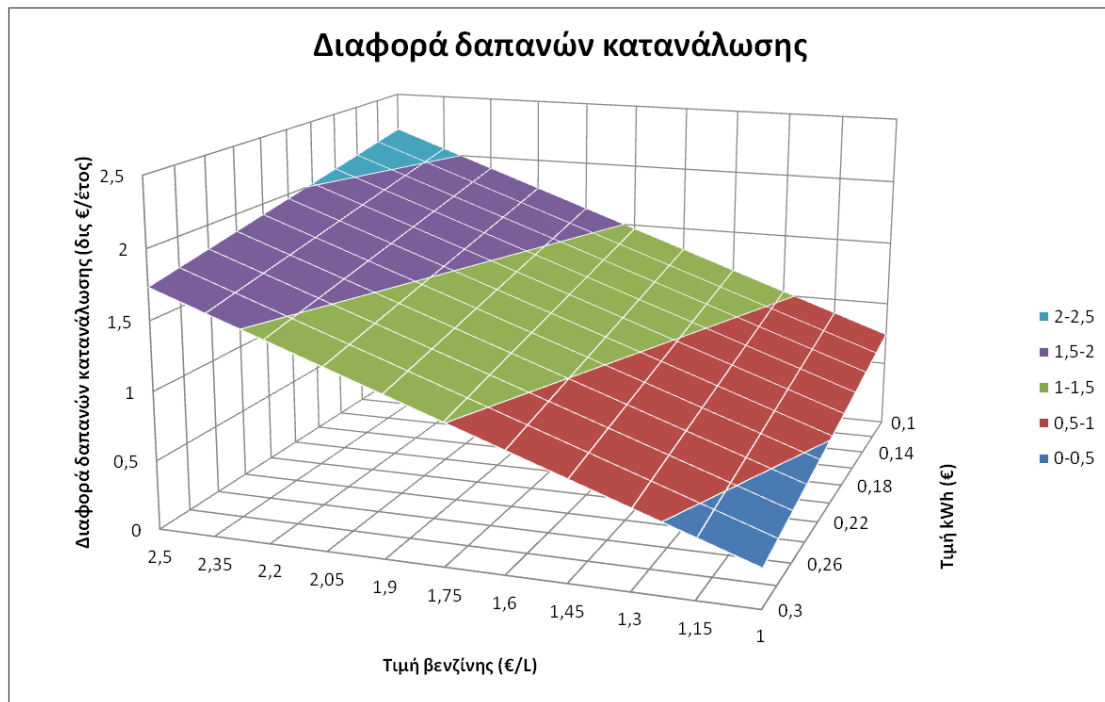
Σε αυτή την περίπτωση, με βάση τις σημερινές τιμές της βενζίνης και της ηλεκτρικής ενέργειας, η ελληνική αγορά μπορεί να εξοικονομήσει 784 εκατομμύρια ευρώ ετησίως, με χρήση ηλεκτρικών αυτοκινήτων σε ποσοστό 10% των μεταφορών.

Σύνοψη έτους 2030

Καθώς το ποσοστό ένταξης του ηλεκτρικού αυτοκινήτου ανέρχεται σε κάθε εναλλακτικό σενάριο μελέτης του έτους 2030, από 1% σε 5% και 10%, το συνολικό ετήσιο όφελος, με βάση τα σημερινά δεδομένα τιμών καυσίμων, μεταβάλλεται από 78,4 σε 392 και 784 εκατομμύρια ευρώ αντίστοιχα. Οι μεταβολές στις τιμές βενζίνης και ηλεκτρικής ενέργειας ασκούν σημαντική επιρροή στα οικονομικά κέρδη, αυξάνοντάς τα έως και 150%.

6.1.2.2 Έτος 2050

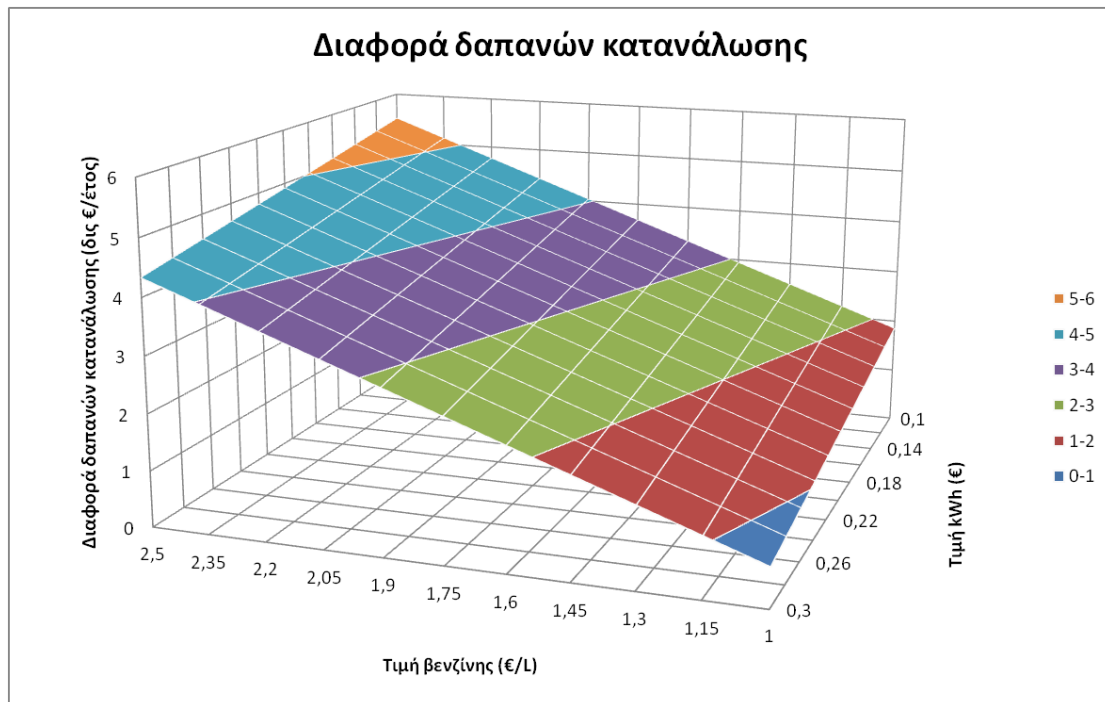
Ρεαλιστικό σενάριο



max	2,198	δισ €
min	0,276	δισ €
today	0,993	δισ €

Σχήμα 6.8: Διαφορά ετήσιων δαπανών κατανάλωσης Ρεαλιστικό σενάριο 2050.

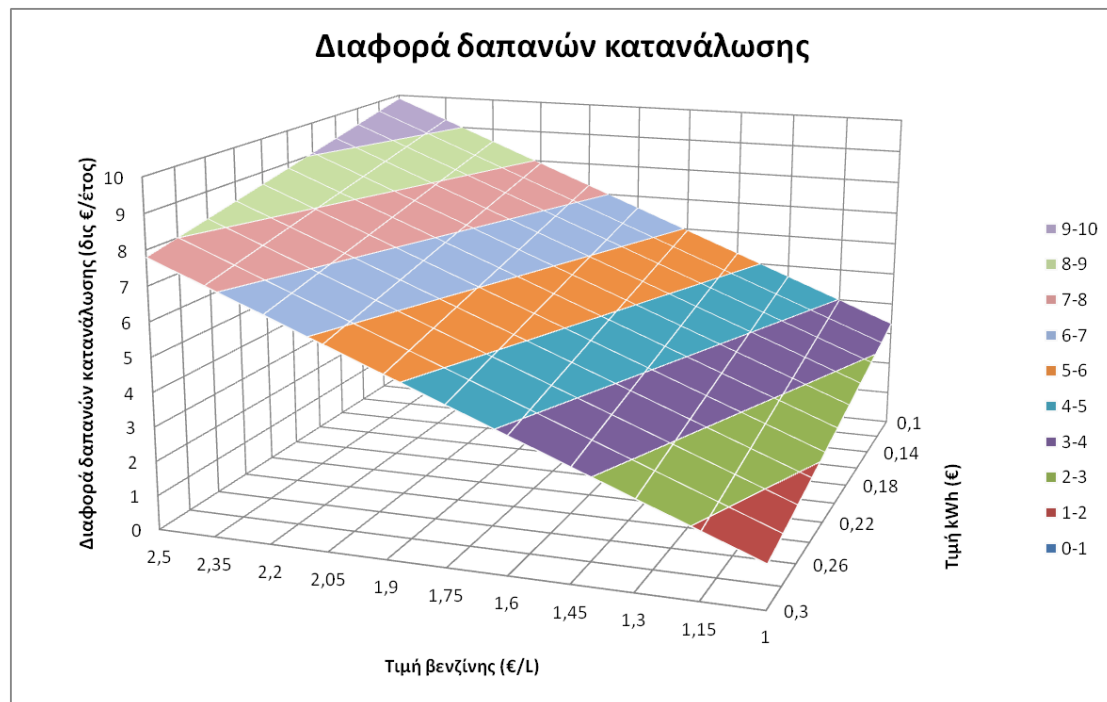
Η διαφορά δαπανών κατανάλωσης που προκύπτει για το παρόν σενάριο διαφέρει σε σχέση με το Αισιόδοξο σενάριο του 2030 πάρα το κοινό ποσοστό ηλεκτροκίνησης 10%, καθώς ο συνολικός αριθμός του ελληνικού στόλου μεγαλώνει, όπως και τα ηλεκτροκίνητα οχήματα. Το οικονομικό όφελος κυμαίνεται από 0,276 έως 2,198 δισεκατομμύρια ευρώ, ενώ με τις σημερινές τιμές ανέρχεται στα 993 εκατομμύρια, δηλαδή σχεδόν 1 δισεκατομμύριο ευρώ.

Ενδιάμεσο σενάριο

max	5,494	δισ €
min	0,689	δισ €
today	2,484	δισ €

Σχήμα 6.9: Διαφορά ετήσιων δαπανών κατανάλωσης Ενδιάμεσο σενάριο 2050.

Το ποσοστό ένταξης 25% της ηλεκτροκίνησης αυξάνει σημαντικά το οικονομικό όφελος από δαπάνες κατανάλωσης. Με βάση της σημερινές τιμές βενζίνης και ηλεκτρικής ενέργειας υπολογίζεται στα 2,484 δισεκατομμύρια ευρώ.

Αισιόδοξο σενάριο

max	9,889	δισ €
min	1,240	δισ €
today	4,471	δισ €

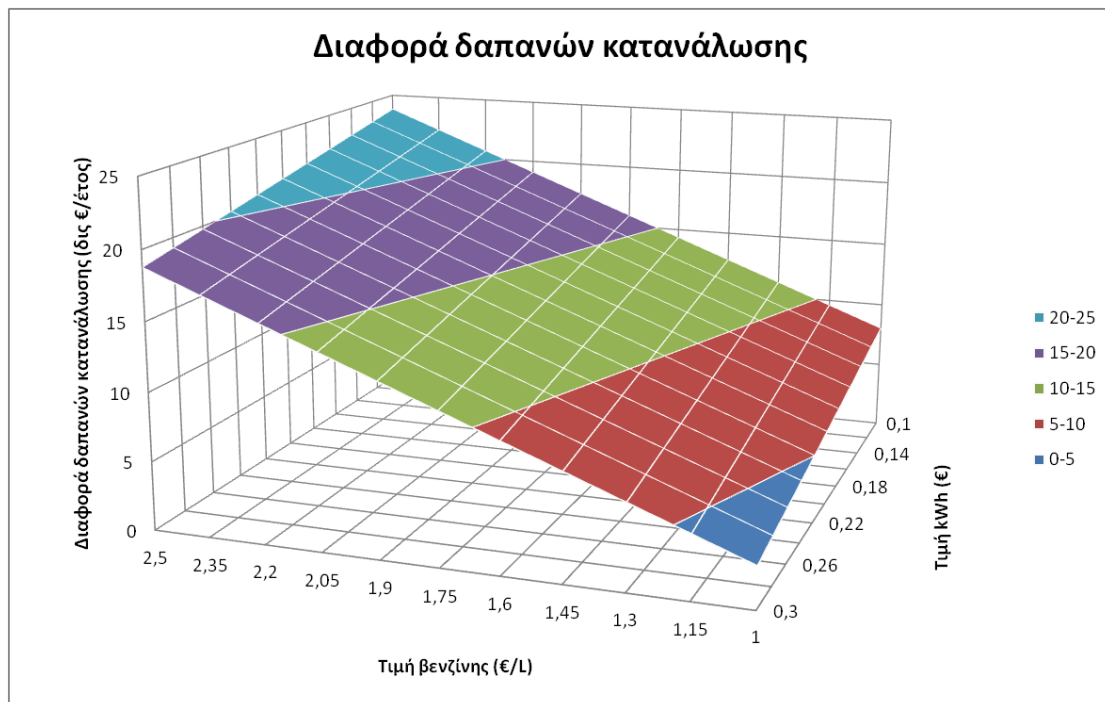
Σχήμα 6.11: Διαφορά ετήσιων δαπανών κατανάλωσης Ενδιάμεσο σενάριο 2050.

Σε αυτή την περίπτωση, και με την υπόθεση μεγάλης αύξησης τιμής της βενζίνης και μείωση της τιμής της kWh, η διαφορά των δαπανών κατανάλωσης αγγίζει σχεδόν τα 10 (9,889) δισεκατομμύρια ευρώ, ενώ με βάση της σημερινές τιμές ανέρχεται στα 4,471 δισεκατομμύρια.

Σύνοψη έτους 2050

Στα σενάρια μελέτης του έτους 2050, και ιδιαίτερα στο Ενδιάμεσο και το Αισιόδοξο σενάριο, που το ποσοστό ένταξης της ηλεκτροκίνησης είναι σχετικά υψηλό, είναι εμφανής η οικονομικότητα του ηλεκτρικού αυτοκινήτου στις δαπάνες κατανάλωσης. Τα ετήσια οφέλη είναι της τάξης των δισεκατομμυρίων, ενώ στο Αισιόδοξο σενάριο μπορεί να ανέλθει και στα 10 σχεδόν δισεκατομμύρια, με της κατάλληλες υποθέσεις μεταβολών στις τιμές βενζίνης και ηλεκτρικής ενέργειας.

6.1.2.3 Θεωρητικό σενάριο



max	23,807	δισ €
min	2,986	δισ €
today	10,764	δισ €

Σχήμα 6.12: Διαφορά ετήσιων δαπανών κατανάλωσης Ενδιάμεσο σενάριο 2050.

Στο θεωρητικό σενάριο τα δεδομένα αλλάζουν αισθητά, με την διαφορά δαπανών κατανάλωσης να ξεκινά από 2,99 και να φτάνει μέχρι 23,81 δισεκατομμύρια ευρώ. Με βάση τις σημερινές τιμές της αγοράς και για 100% ηλεκτροκίνηση ενός αυξημένου αριθμητικά στόλου, θα εξοικονομούσαν ετησίως περί τα 10,76 δισεκατομμύρια ευρώ.

6.2 Διαφορά εκπομπών CO₂

Για κάθε εναλλακτικό σενάριο μελέτης εκτιμάται η μείωση σε εκπομπές του βασικού αερίου ρυπαντή CO₂. Υπολογίζεται η μείωση των εκπομπών λόγω της χρήσης ηλεκτρικών αυτοκινήτων και λόγω της μείωσης της συνεισφοράς των λιγνιτικών σταθμών και των μονάδων φυσικού αερίου και πετρελαίου στην ηλεκτροπαραγωγή.

Στους υπολογισμούς που ακολουθούν θεωρήθηκε ότι οι εκπομπές CO₂ για τα βενζινοκίνητα οχήματα ανέρχονταν σε 170 g/km το έτος 2005[70] και σε 120 g/km, σύμφωνα με τη σημερινή τιμή[71], τα επόμενα έτη. Υπολογίζεται η αντίστοιχη ποσότητα εκπομπών για την περίπτωση μη ένταξης του ηλεκτρικού αυτοκινήτου σε κάθε σενάριο, και οι συνολικές εκπομπές από το σύνολο του στόλου.

Για τον υπολογισμό των εκπομπών των λιγνιτικών λήφθηκε υπόψη μία τυπική μονάδα με εκπομπές 1,5 ton/MWh και για τις μονάδες φυσικού αερίου και πετρελαίου υποτέθηκαν μέσες εκπομπές 0,5 ton/MWh[72].

Οι τιμές που προκύπτουν συγκρίνονται σε κάθε περίπτωση με τις αντίστοιχες τιμές του έτους 2005. Το έτος αυτό σημειώθηκε ρεκόρ σε εκπεμπόμενους ρύπους, με ετήσιες εκπομπές CO₂ 98,675 Mt, με αποτέλεσμα ο ενεργειακός σχεδιασμός να θέτει στόχους μείωσης εκπομπών λαμβάνοντας ως έτος αναφοράς το 2005[19]. Τα στοιχεία για την ηλεκτροπαραγωγή του 2005 λήφθηκαν από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή[73].

Έτος Σενάριο	2005	2030			2050			Θεωρητικό
		Ρεαλιστικό	Ενδιάμεσο	Αισιόδοξο	Ρεαλιστικό	Ενδιάμεσο	Αισιόδοξο	
Αριθμός οχημάτων	4073511	6021317	6021317	6021317	7225580	7225580	7225580	7827712
Ποσοστό ηλεκτροκίνησης	-	1%	5%	10%	10%	25%	45%	100%
Αριθμός EV	-	60213	301066	602132	722558	1806395	3251511	7827712
km/ημέρα για κάθε όχημα	55	55	55	55	55	55	55	55
km/έτος για κάθε όχημα	20075	20075	20075	20075	20075	20075	20075	20075
Συνολικά EV km/έτος	-	1,209E+09	6,044E+09	1,209E+10	1,451E+10	3,626E+10	6,527E+10	1,5714E+11
Εκπομπές CO ₂ (g/km) συμβ.οχημάτων	170	120	120	120	120	120	120	120
Κέρδος εκπομπών CO ₂ (Mt) λόγω EV	-	0,15	0,73	1,45	1,74	4,35	7,83	18,86
Συνολικές εκπομπές CO ₂ (Mt)	13,90	14,36	13,78	13,05	15,67	13,05	9,57	0,00
Μείωση εκπομπών CO ₂ από 2005 (Mt)		-0,46	0,12	0,85	-1,76	0,85	4,33	13,90

Πίνακας 6.1: Μείωση εκπομπών CO₂ στις ιδιωτικές μεταφορές από το ηλεκτρικό αυτοκίνητο ανά σενάριο.

Έτος Σενάριο	2005	2030			2050			Θεωρητικό
		Ρεαλιστικό	Ενδιάμεσο	Αισιόδοξο	Ρεαλιστικό	Ενδιάμεσο	Αισιόδοξο	
Λιγνιτικά (TWh)	31,98	17,75	14,73	8,22	10,01	4,08	0,41	0
CO ₂ (ton/MWh)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Συνολικές εκπομπές CO ₂ (Mt)	47,97	26,63	22,10	12,33	15,02	6,12	0,62	0,00
Μείωση εκπομπών CO ₂ από 2005 (Mt)		21,34	25,87	35,64	32,95	41,85	47,35	47,97

Πίνακας 6.2: Μείωση εκπομπών CO₂ από την μείωση της ηλεκτροπαραγωγής των λιγνιτικών μονάδων ανά σενάριο.

Έτος Σενάριο	2005	2030			2050			Θεωρητικό
		Ρεαλιστικό	Ενδιάμεσο	Αισιόδοξο	Ρεαλιστικό	Ενδιάμεσο	Αισιόδοξο	
ΦΑ και πετρέλαιο (TWh)	15,52	17,37	17,61	18,37	19,45	18,8	9,83	12,75
CO ₂ (ton/MWh)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Συνολικές εκπομπές CO ₂ (Mt)	7,76	8,69	8,81	9,19	9,73	9,40	4,92	6,38
Μείωση εκπομπών CO ₂ από 2005 (Mt)		-0,93	-1,05	-1,43	-1,97	-1,64	2,84	1,38

Πίνακας 6.3: Μείωση εκπομπών CO₂ από την μείωση της ηλεκτροπαραγωγής των μονάδων ΦΑ και πετρελαίου ανά σενάριο.

Έτος Σενάριο	2005	2030			2050			Θεωρητικό
		Ρεαλιστικό	Ενδιάμεσο	Αισιόδοξο	Ρεαλιστικό	Ενδιάμεσο	Αισιόδοξο	
Συνολικές εκπομπές CO ₂ (Mt) ΙΧ	13,90	14,36	13,78	13,05	15,67	13,05	9,57	0,00
Συνολικές εκπομπές CO ₂ (Mt) Λιγνιτικών	47,97	26,63	22,10	12,33	15,02	6,12	0,62	0,00
Συνολικές εκπομπές CO ₂ (Mt) ΦΑ & Πετρ.	7,76	8,69	8,81	9,19	9,73	9,40	4,92	6,38
Συνολική μείωση εκπομπών από 2005		19,96	24,95	35,06	29,22	41,05	54,52	63,25
Ποσοστό μείωσης των αντίστοιχων εκπομπών του 2005		28,66%	35,83%	50,35%	41,97%	58,96%	78,31%	90,84%
Ποσοστό μείωσης επί των συνολικών εκπομπών του 2005		20,22%	25,28%	35,53%	29,61%	41,60%	55,25%	64,10%

Πίνακας 6.4: Συνολική μείωση εκπομπών CO₂ από EV, λιγνιτικά, ΦΑ και πετρέλαιο και ποσοστό μείωσης σε σχέση με το 2005 ανά σενάριο.

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.1, στα ρεαλιστικά σενάρια μελέτης τόσο του 2030 όσο και του 2050, σημειώνεται μικρή αύξηση της συνολικά εκπεμπόμενης ποσότητας CO₂, παρά τη σημαντική μείωση του ρυθμού εκπομπής των βενζινοκίνητων, σε σχέση με το 2005. Αυτό συμβαίνει γιατί η αύξηση του αριθμού των οχημάτων είναι μεγάλη και το ποσοστό ηλεκτροκίνησης παραμένει μικρό.

Το ποσό των εξοικονομούμενων ρύπων λόγω της ένταξης του ηλεκτρικού αυτοκινήτου στην αγορά αρχικά είναι μικρό, ενώ ιδιαίτερα στα δύο τελευταία σενάρια του 2050 παρουσιάζει αυξημένες τιμές. Οι εκπομπές CO₂ μειώνονται σε όλα τα σενάρια εκτός των δύο ρεαλιστικών, παρά τη μεγάλη αύξηση του στόλου των οχημάτων.

Όσον αφορά στα λιγνιτικά, η μείωση των εκπομπών είναι πολύ σημαντική σε σχέση με την τιμή του 2005. Ήδη από το ρεαλιστικό σενάριο του 2030 οι εκπομπές μειώνονται στους 26,63 Mto έναντι των 47,97 Mto. Στα υπόλοιπα σενάρια η μείωση των εκπομπών από τους λιγνιτικούς σταθμούς είναι ανάλογη της μείωσης της συνεισφοράς των πρώτων στην ηλεκτροπαραγωγή. Στο Ενδιάμεσο και Αισιόδοξο σενάριο του 2050, οι τιμές διαμορφώνονται στους 6,12 και 0,62 Mto αντίστοιχα, πολύ χαμηλές τιμές συγκριτικά με τα σημερινά δεδομένα.

Η παραγωγή CO₂ από τις μονάδες φυσικού αερίου και πετρελαίου, με εξαίρεση το Αισιόδοξο σενάριο του 2050, παρουσιάζει μικρή αύξηση, όπως και η συνολικά παραγόμενη ενέργεια από αυτές τις μονάδες. Οι ευέλικτες μονάδες, όπως έχει επισημανθεί, λειτουργούν υποστηρικτικά στις μονάδες των ανανεώσιμων, των οποίων η παραγωγή ενέργειας παρουσιάζει στοχαστικότητα, ώστε να εξασφαλίζεται η σταθερότητα του συστήματος. Ωστόσο, η αύξηση των εκπομπών είναι μικρή, ενώ στο Αισιόδοξο σενάριο του 2050, αλλά και στο θεωρητικό σενάριο, παρουσιάζεται περιορισμένη εξοικονόμηση εκπομπών, σε σχέση με το έτος 2005.

Οι συνολικός περιορισμός των εκπομπών λόγω των ιδιωτικών μεταφορών και της ηλεκτροπαραγωγής ανέρχεται σε ποσοστό 28,66%, 35,83% και 50,35% για τα τρία διερευνώμενα σενάρια του έτους 2030, σε σχέση με τους εκπεμπόμενους ρύπους από αυτούς τους τομείς το 2005. Ο αντίστοιχος στόχος για αυτό το έτος είναι μείωση των εκπομπών κατά 43%[19], το οποίο υπερκαλύπτεται μόνο με το αισιόδοξο σενάριο, όσον αφορά τις εκπομπές των συγκεκριμένων τομέων. Οι περιορισμένες εκπομπές σε αυτούς τους τομείς αποκρυσταλλώνονται σε πτώση των συνολικών εκπομπών σε σχέση με το έτος 2005 σε ποσοστό 20,22%, 25,28% και 35,53% για κάθε σενάριο του 2030 αντίστοιχα.

Η στοχοθεσία για τις εκπομπές το έτος 2050 δεν περιλαμβάνει συγκεκριμένα ποσοστά μείωσης επί των τιμών του 2005. Παρόλα αυτά η μείωση σε εκπομπές για τα σενάρια του 2050 έχει ιδιαίτερα αυξημένες τιμές: 41,97%, 58,96% και 78,31% επί των αντίστοιχων εκπομπών των ιδιωτικών μεταφορών και της ηλεκτροπαραγωγής το 2005. Τα ποσοστά σε σχέση με τις συνολικές εκπομπές του 2005 διαμορφώνονται ως 29,61%, 41,6% και 55,25% αντίστοιχα.

Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία διερευνήθηκε η ένταξη του ηλεκτρικού αυτοκινήτου στην ελληνική αγορά, με ταυτόχρονη αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και αποθήκευση ενέργειας μέσω αντλησιοταμίευσης. Η μελέτη στηρίχθηκε στην υπόθεση διαφορετικών σεναρίων μελέτης για τα έτη αναφοράς 2030 και 2050. Παρακάτω ακολουθούν τα συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν από την αξιολόγηση των εναλλακτικών σεναρίων.

Για το έτος 2030, εξετάζονται τα σενάρια διείσδυσης της ηλεκτροκίνησης σε ποσοστά 1%, 5% και 10% του στόλου, με αντίστοιχη αύξηση των εγκατεστημένων αιολικών και φωτοβολταϊκών μονάδων σε 4, 5 και 7 GW. Και στις τρεις περιπτώσεις, οι ενεργειακές απαιτήσεις της επαναφόρτισης των συσσωρευτών των ηλεκτρικών αυτοκινήτων συνεισφέρουν σε μικρό βαθμό στη διαμόρφωση της τελικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, με το ποσοστό να κυμαίνεται από 0,38% σε 1,88% και 3,77%. Ο συντελεστής φορτίου παρουσιάζει πολύ μικρή αύξηση, της τάξης του 1%, και δεν αυξάνονται σημαντικά οι αιχμές της ζήτησης από τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα.

Η συμβολή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην ηλεκτροπαραγωγή είναι σημαντική, φτάνοντας σε ποσοστό 51%, ενώ οι ανάγκες αποθήκευσης ενέργειας αυξάνονται όπως και η χρήση της αντλησιοταμίευσης. Η εγκατεστημένη ισχύς των λιγνιτικών μονάδων μειώνεται, αλλά η αξιοποίηση μονάδων φυσικού αερίου και πετρελαίου παραμένει αυξημένη, προκειμένου να εξασφαλίζεται η ασφάλεια του συστήματος.

Τα αθροισμένα ετήσια οικονομικά οφέλη από τις δαπάνες κατανάλωσης για της μεταφορές για όλο το στόλο δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερα υψηλές τιμές, προσεγγίζοντας το 1 δισεκατομμύριο ευρώ στο τρίτο σενάριο, λαμβάνοντας υπόψη τις σημερινές τιμές της βενζίνης και της ηλεκτρικής ενέργειας. Η οικονομία σε εκπομπές CO₂ στις μεταφορές παραμένει περιορισμένη, ωστόσο η εγκατάσταση ΑΠΕ και η αποφυγή χρήσης λιγνιτικών μειώνουν σημαντικά της συνολικές εκπομπές.

Τα σενάρια που αναφέρονται στο έτος 2050, προβλέπουν ηλεκτροκίνηση του στόλου σε ποσοστά 10%, 25% και 45%. Στην πρώτη περίπτωση, η συμμετοχή του ηλεκτροκίνητου στόλου στη συνολική κατανάλωση ενέργειας αποτελεί μόλις το 3,98%, ενώ αυξάνεται σημαντικά με την αύξηση του ποσοστού ηλεκτροκίνησης σε 9,95% και 17,91%. Στα δύο τελευταία σενάρια, και ιδίως στο Αισιόδοξο σενάριο με 45% ηλεκτροκίνηση, παρατηρούνται το προφίλ της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας δε μένει ανεπηρέαστο, σημειώνοντας αιχμές ζήτησης από τις 20.00 μέχρι και τη 01.00, ενώ σχετική αύξηση των τιμών σημειώνεται και τις ώρες του μεσημεριού. Ο συντελεστής φορτίου ανέρχεται μέχρι την τιμή 65%.

Η εγκατάσταση αιολικών και φωτοβολταϊκών για κάθε σενάριο είναι 7 GW, 10 GW και 16 GW. Σταδιακά, η ηλεκτροπαραγωγή εξασφαλίζεται κυρίως από ΑΠΕ, το ποσοστό συμμετοχής τους στο αισιόδοξο σενάριο φτάνει στο 85,9%. Η μεγάλη

διείσδυση των ανανεώσιμων, και ιδίως των αιολικών, επιφέρει μεγάλα ποσά απορριπτόμενης ενέργειας και επιτάσσεται η αποθήκευσή της. Η αντλησιοταμίευση παίζει πολύ σημαντικό ρόλο σε αυτή την κατεύθυνση, ωστόσο μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι σε ένα σενάριο ένταξης όπως το Αισιόδοξο σενάριο του 2050, αυτός ο τύπος αποθήκευσης δε θα επαρκούσε, καθώς οι δυνατότητες της χώρας δεν επιτρέπουν την ανάπτυξη συνολικής εγκατεστημένης ισχύος αντλησιοταμίευσης ίσης με αυτή που απαιτείται σε μία τέτοια περίπτωση. Σε αυτές τα συνθήκες, θα ήταν απαραίτητη η εξασφάλιση εναλλακτικών τρόπων αποθήκευσης ενέργειας. Ένας από αυτούς τους τρόπους θα μπορούσε να είναι και η αποθήκευση ενέργειας στους συσσωρευτές των αυτοκινήτων, κατά τις ώρες που αυτά παραμένουν αδρανή.

Στα παραπάνω σενάρια, παρατηρείται σταδιακά η εξάλειψη της χρήσης των λιγνιτικών μονάδων, που συνεισφέρουν σε κάθε περίπτωση σε ποσοστά 16,5%, 6,3% και τέλος μόλις σε 0,6%. Η παραγωγή ενέργειας από μονάδες φυσικού αερίου και πετρελαίου διατηρείται σχεδόν σταθερή στα δύο πρώτα σενάρια, παρά την αύξηση του συνολικού απαιτούμενου φορτίου, ενώ στο Αισιόδοξο σενάριο περιορίζεται σχεδόν στο μισό σε σχέση με τις προηγούμενες τιμές της.

Η ελληνική αγορά υπολογίζεται ότι μπορεί να ωφεληθεί από 1 έως 5 δισεκατομμύρια ευρώ από την ένταξη του ηλεκτρικού αυτοκινήτου στα δεδομένα ποσοστά του στόλου. Οι μεταβολές στις τιμές της βενζίνης και της ηλεκτρικής ενέργειας, αναμένεται να αυξήσουν ακόμα περισσότερο αυτή τη διαφορά, προσθέτοντας επιπλέον κέρδος από την κατανάλωση των οχημάτων

Οι εκπεμπόμενοι αέριοι ρύποι CO₂ που εξοικονομούνται είναι αρκετοί, δεδομένης της υποτιθέμενης αύξησης του συνολικού στόλου των οχημάτων, αλλά και της μεγάλης διείσδυσης του ηλεκτρικού αυτοκινήτου. Στο Ενδιάμεσο και στο Αισιόδοξο σενάριο μάλιστα, παρατηρείται και μείωση των εκπομπών σε σχέση με το έτος 2005, με διαφορές 0,85 και 4,33 Mto σε κάθε σενάριο. Οι εκπομπές που αποφεύγονται λόγω της μειωμένης χρήσης του λιγνίτη και των ευέλικτων μονάδων είναι ιδιαίτερα αυξημένες, ενώ η μείωση των εκπομπών λόγω ιδιωτικών μετακινήσεων και ηλεκτροπαραγωγής μειώνονται σε ποσοστά 29,61%, 41,6% και 55,25% για τα τρία σενάρια μελέτης.

Βιβλιογραφία

- [1] "Strong policy and falling battery costs drive another record year for electric cars", International Energy Agency, 30 May 2018.
- [2] C. Klessmann, A. Held, M. Rathmann and M. Ragwitz, "Status and perspectives of renewable energy policy and deployment in the European Union—What is needed to reach the 2020 targets? ", *Energy policy*, vol. 39, no. 12, pp. 7637-7657, 2011.
- [3] *Renewables 2018, Global Status Report*, A comprehensive annual overview of the state of renewable energy, Paris: REN21 Secretariat.
- [4] "Global plug-in vehicles sales for 2017 – Final results", [Online] [Available: <http://www.ev-volumes.com/country/total-world-plug-in-vehicle-volumes/>] [Accessed: January 2019].
- [5] "Electric Vehicles", European Commission, 2018.
- [6] *Electric Vehicles in Europe*, European Environment Agency, Copenhagen, 2016.
- [7] Cobb, Jeff, "The World Just Bought Its Two-Millionth Plug-in Car", HybridCars.com, 2017-01-16.
- [8] International Energy Agency (IEA), Clean Energy Ministerial, and Electric Vehicles Initiative (EVI), "Global EV Outlook 2017: Two million and counting", (June 2017).
- [9] "Report for the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions," European Commission, Brussels, 2017.
- [10] European Environment Agency, "Renewable energy in Europe 2017," Office of the European Union, Luxembourg, 2017.
- [11] "Wind in power-2016 European statistics," WindEurope, 2017.
- [12] Άννα Διανέλλου, Μεγάλη Διείσδυση Αιολικών και Φωτοβολταϊκών στο ελληνικό ηλεκτρικό σύστημα με συνδυασμένη χρήση αντλησιοταμίευσης, Διπλωματική Εργασία, Αθήνα, Οκτώβριος 2017.
- [13] *Electric vehicles in Europe*, European Environment Agency, Copenhagen, 2016.
- [14] *Survey of Global Activity to Phase Out Internal Combustion Engine Vehicles*, Isabella Burch and Jock Gilchrist, September 2018, Center for climate protection.
- [15] Ινστιτούτο Ενέργειας Νοτιοανατολικής Ευρώπης (IENE), [Online] [Available: <https://www.iene.gr>] [Accessed: January 2018]

- [16] Επιτροπή Εθνικού Ενεργειακού Σχεδιασμού, «Εθνικός Ενεργειακός σχεδιασμός-Οδικός Χάρτης για το 2050,» Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, Αθήνα, 2012.
- [17] «Μηνιαίο Δελτίο Συστήματος Συναλλαγών ΗΕΠ», Λειτουργός της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας ΑΕ, Αθήνα, 2017.
- [18] «Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας,» Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας Ρ.Α.Ε., 2017. [Online] [Available: http://www.rae.gr/site/categories_new/electricity/market/mdn.csp] [Accessed: January 2019].
- [19] Εθνικός Ενεργειακός Σχεδιασμός, Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Αθήνα, Νοέμβριος 2018
- [20] «Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας,» 3 April 2012. [Online] [Available: <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=785&sni%5B524%5D=1756&language=el-GR>] [Accessed: January 2019].
- [21] Ελληνικό Ινστιτούτο Ηλεκτρικών Οχημάτων (ΕΛ.ΙΝ.Η.Ο.) [Online] [Available: <http://www.heliev.gr>] [Accessed: January 2019].
- [22] « Tracking Clean Energy Progress », I.E.A., 2013.
- [23] U.S. Department of Energy. [Online] [Available: <https://www.energy.gov>] [Accessed: January 2019].
- [24] Flocken Baujahr 1888, Andreas Flocken Coburg, eines der ältesten Elektrofahrzeuge Deutschlands oder der Welt. Inh. Franz Haag, Mitglied RCC e.V., Wikipedia Commons, 10 September 2011.
- [25] La Jamais Contente présentée lors du mondial de l'automobile de Paris 2014, Wikipedia Commons, 2 October 2014.
- [26] «Η ηλεκτροκίνηση σήμερα στην Ελλάδα και στον κόσμο», Γιώργος Αγερίδης, Ημερίδα για την Παγκόσμια Ημέρα Περιβάλλοντος, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας –Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας, Θεσσαλονίκη, 5 Ιουνίου 2018.
- [27] Mitsubishi Motors, [Online] [Available: www.mitsubishi-motors.com] [Accessed: January 2019].
- [28] BBC Top Gear, [Online] [Available: www.topgear.com/car-reviews] [Accessed: January 2019].
- [29] Γιώργος Αγερίδης, Επισκόπηση των τεχνολογιών ηλεκτροκίνησης, I.E.N.E. – 2ο Energy Tech Forum Αθήνα, 24 Νοεμβρίου 2017.
- [30] Harrop, Peter, "Hybrid vehicle range extenders: goodbye pistons". IDTechEx. Retrieved, 2015-05-18.

- [31] Electric Vehicle Database, [Online] [Available: <https://ev-database.org/car/1106/Nissan-Leaf>] [Accessed: January 2019].
- [32] "How Do Hydrogen Fuel Cell Vehicles Work?", Union of Concerned Scientists, [Online]. [Available: <https://www.ucsusa.org/clean-vehicles/electric-vehicles/how-do-hydrogen-fuel-cells-work#.XE96l2mxXIV>]. [Accessed January 2019].
- [33] Διονύσιος Νέγκας, Ηλεκτροκίνηση με Ενεργειακά Στοιχεία Υδρογόνου. Συγκρίσεις και Προοπτικές, Εκδήλωση Ι.Δ.Ε.Ε.Α – Νοέμβριος 2018.
- [34] Honda. [Online] [Available: <https://automobiles.honda.com/clarity-fuel-cell>] [Accessed January 2019].
- [35] T. G. Goonan, Lithium use in batteries, U.S. Geological Survey, 2012.
- [36] C.Iclodean, B.Varga, N.Burnete, D.Cimerdean and B.Jurchiș, Comparison of Different Battery Types for Electric Vehicles, 2017, IOP.
- [37] D. Linden, T.B. Reddy, 2002, Handbook of batteries, third edition (McGraw Hill)
- [38] D. Linden, T.B. Reddy, 2010, Linden's Handbook of batteries, fourth edition (McGraw Hill)
- [39] T.M. O’Sullivan, C.M. Bingham, R.E. Clark, 2006, Zebra battery technologies for all electric smart car (SPEEDAM 2006) p. 6
- [40] Meridian, 2005, The Sodium Nickel Chloride “Zebra” Battery, Meridian International Research.
- [41] D. Aurbach, E. Pollak, R. Elazari, G. Salitra, C.S. Kelley, J. Affinito, 2009, On the Surface Chemical Aspects of Very High Energy Density, Rechargeable Li–Sulfur Batteries (Journal of the Electrochemical Society, vol 156, issue 8) p. A694.
- [42] Union of Concerned Scientists [Online]
[Available: <https://www.ucsusa.org/clean-vehicles/electric-vehicles/electric-cars-battery-life-materials-cost#.XFAzgWmxXIU>] [Accessed: January 2019]
- [43] Ελληνικό Ινστιτούτο Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων-ΕΛ.ΙΝ.Η.Ο., Η επιθυμητή αυτονομία, Πηγή: John Voelcker, 24 Αυγούστου 2017. [Online] [Available: <http://www.heliev.gr/wp-content/uploads/2017/11/H-επιθυμητή-αυτονομία.pdf>] [Accessed: January 2019].
- [44] Τρόποι φόρτισης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, Διονύσιος Νέγκας, Ημερίδα ΙΔΕΕΑ, 16 Νοεμβρίου 2017.
- [45] Τα Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα και ο ανεφοδιασμός τους με Ηλεκτρική Ενέργεια, Διονύσιος Νέγκας, ΕΛ.ΙΝ.Η.Ο. – Σεπτέμβριος 2011.

- [46] Electrification of public transport in cities (Horizon 2020 ELIPTIC Project), Michael Glotz-Richter, Hendrik Koch, ELIPTIC project coordination, April 18 2016, Bremen.
- [47] A Cold Ironing Study on Modern Ports, Implementation and Benefits Thriving for Worldwide Ports, Papatsoglou g. Theodoros, School of Naval Architecture & Marine Engineering National Technical University of Athens, 2012.
- [48] [Online] [Available: <http://drives.danfoss.de/industries/marine-and-offshore/hybrid-propulsion-solutions/#/>] [Accessed: January 2018].
- [49] The challenges and benefits of the electrification of aircraft, James Domone, Atkins, SNC-Lavalin Group, June 2108.
- [50] Optimal Charging and Discharging for Multiple PHEVs with Demand Side Management in Vehicle-to-Building, Hung Khanh Nguyen, Ju Bin Song, Journal of Communications and Networks, December 2012.
- [51] Introduction to Smart Grid, Department of Electrical & Computer Engineering Texas Tech University, Spring 2012.
- [52] [Online] [Available: <https://www.enervalis.com/smart-ev-charging/>] [Accessed: January 2018].
- [53] Robel Berhane Habtemariam, "Investigation On Development of Wind and PV Power with Hydro Pumped Storage to Increase Renewable Energy Penetration: A comparative Analysis of Taiwan and Greece", China-EU Institute for Clean And Renewable Energy, November 30, 2016.
- [54] G. Caralis, D. Diakoulaki, P. Yang et al., "Profitability of wind energy investments in China using a Monte Carlo approach for the treatment of uncertainties," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 40, pp. 224-236, 2014.
- [55] International Hydropower Association, Hydropower Status Report 2016.
- [56] A. J.S., and P. D.E., "Simulation and size optimization of a pumped-storage power plant for the recovery of wind-farms rejected energy," Renewable Energy, vol. 33, pp. 1685-1694.
- [57] S. A. John, and E. P. Dimitris, "Pumping station design for a pumped-storage wind-hydro power plant," ScienceDirect Energy Conversion and Management,, vol. 48, pp. 3009 - 30017, 2007.
- [58] Ελληνική Στατιστική Αρχή, Αυτοκίνητα και μοτοσυκλέτες που κυκλοφορούσανστην Ελλάδα (Ιανουάριος 1985- Ιανουάριος 2017), [Online] [Available: <http://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SME18/->] [Accessed: January 2019].

- [59] Electric Vehicles Database, [Online] [Available: <https://ev-database.uk/cheatsheet/energy-consumption-electric-car>] [Accessed: January 2019].
- [60] Διερεύνηση τρόπων ανάπτυξης και διείσδυσης των ηλεκτροκίνητων οχημάτων στην Ελλάδα, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής με τίτλο, Αθήνα, 2012.
- [61] G. Mauri, P. Gramatica, E. Fasciolo, S. Fratti, "The Impact of RV's Recharging on the Planning of a Typical Italian Urban Area", CIGRE Symposium, Paper 143, Bologna, Italy, September 2011.
- [62] Ε. Ν. Διαλυνας, Αξιοπιστία συστημάτων παραγωγής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, 2007.
- [63] "European Union Emissions Trading Scheme - legal point of view," 21 May 2017. [Online]. Available: <https://www.emissions-euets.com/internal-electricity-market-glossary/450-loss-of-load-expectation-lole>. [Accessed July 2017].
- [64] European Commission, "Interim Report of the Sector Inquiry on Capacity Mechanisms," European Commission, Brussels, 2016.
- [65] Α. Ζερβός, «Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας,» Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2008.
- [66] Jeffrey R Lidicker, Timothy Lipman, Susan A. Shaheen, Economic Assessment of Electric-Drive Vehicle Operation in California and the United States, January 2010, Transportation Sustainability Research Center, University of California, Berkeley.
- [67] [Online] [Available: www.mylpg.eu/stations/greece/prices] [Accessed: January 2019].
- [68] [Online] [Available: www.statista.com/statistics/418083/electricity-prices-for-households-in-greece] [Accessed: January 2019].
- [69] Eurostat, [Online] [Available: ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity_price_statistics] [Accessed: January 2019].
- [70] Michel Comes, Eckard Helmers, Critical evaluation of the European diesel car boom - global comparison, environmental effects and various national strategies, 22 June 2013, Environmental Sciences Europe.
- [71] European Environmental Agency, No improvements on average CO2 emissions from new cars in 2017, 23 Apr 2018. [Online] [Available: www.eea.europa.eu/highlights/no-improvements-on-average-co2] [Accessed: January 2019].
- [72] Joint Research Centre, "Energy Technology Reference Indicator projections for 2010-2050," European Union, Luxembourg, 2014.

[73] Ευρωπαϊκή Επιτροπή, [Online] [Available: ec.europa.eu/competition/antitrust/cases/dec_docs/38700/38700_516_3.pdf] [Accessed: January 2019].

[74] Γεώργιος Αγερίδης, Διευθυντής της Διεύθυνσης Ενεργειακής Αποδοτικότητας στο Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ) και πρώην Πρόεδρος του ΕΛ.ΙΝ.Η.Ο. (Ελληνικό Ινστιτούτο Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων).