



# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών: "Διαχείριση και Ενεργειακή Βελτιστοποίηση Συστημάτων"

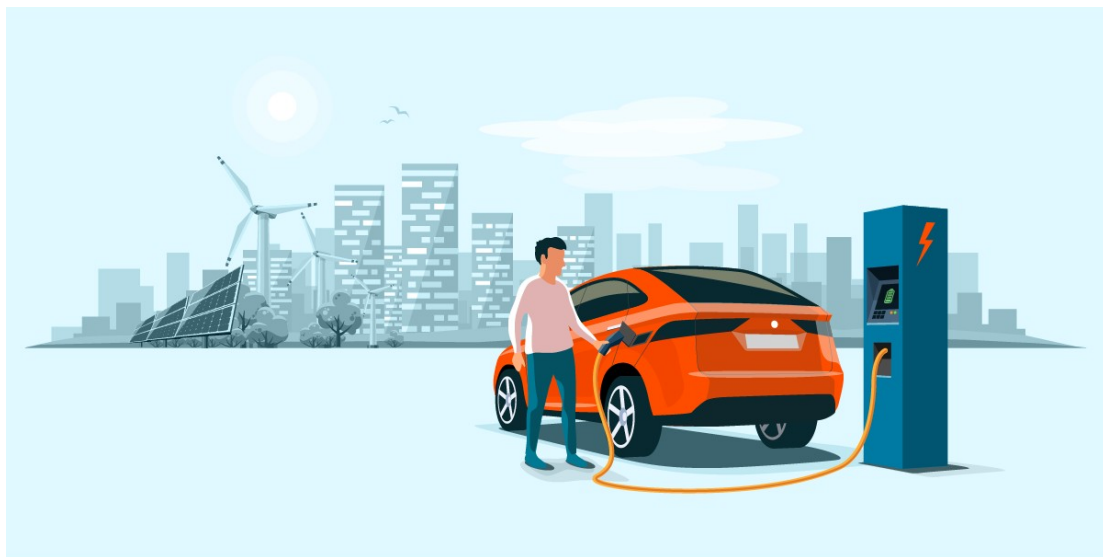
## ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

### Επίδραση της Ηλεκτροκίνησης στο Δίκτυο Ηλεκτρικής Ενέργειας και στη διείσδυση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (RES)

της

Λυμπεροπούλου Θ. Παναγιώτας

(AM 78)



Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Παντελής Μαλατέστας

Σεπτέμβριος 2022



## **Ευχαριστίες**

Πρώτα από όλους θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα Καθηγητή μου Δρ. Παντελή Μαλατέστα για την συνεχή καθοδήγηση και επίβλεψη της διπλωματικής μου. Η ηθική και επιστημονική του βοήθεια, η αμέριστη στήριξη καθώς και η εμπιστοσύνη που επέδειξε στο πρόσωπό μου όλα αυτά τα χρόνια, με βοήθησαν καθοριστικά στην εξέλιξη μου.

Τέλος, οι μεγαλύτερες ευχαριστίες δεν θα μπορούσαν παρά να αποδοθούν στην οικογένειά μου, για την κάθε είδους υποστήριξη που μου παρείχε και παρέχει, καθ' όλη τη διάρκεια των προπτυχιακών και μεταπτυχιακών σπουδών μου και συνεχίζει να παρέχει απλόχερα.

*Η σελίδα παραμένει κενή σκόπιμα*

# Επιτροπή Εξέτασης

**1. Ονοματεπώνυμο**

**2. Ονοματεπώνυμο**

**3. Ονοματεπώνυμο**

Συγγερίδου Ολυμπιάδα

Λέκτορας

## **ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Παναγιώτα Λυμπεροπούλου του Θεοφάνη, με αριθμό μητρώου 78, μεταπτυχιακή φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Η δηλούσα,

Παναγιώτα Λυμπεροπούλου  
Ηλεκτρολόγος Μηχανικός Τ.Ε

<i>ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:</i>	Επίδραση της Ηλεκτροκίνησης στο Δίκτυο Ηλεκτρικής Ενέργειας και στη διείσδυση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (RES)
<i>ΦΟΙΤΗΤΗΣ:</i>	Παναγιώτα Λυμπεροπούλου Α.Μ:78
<i>ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:</i>	Παντελής Μαλατέστας, Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών
<i>ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ:</i>	2021-2022

### **Σύνοψη**

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι να κατανοηθούν καλύτερα οι επιπτώσεις που σχετίζονται με το αυξανόμενο μερίδιο των ηλεκτρικών οχημάτων στο σύστημα ισχύος για διαφορετικές στρατηγικές φόρτισης. Σε χαμηλό βαθμό διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων, δεν απαιτείται διαχείριση φορτίου και, επομένως, στοχευμένα μέτρα. Μια αυξανόμενη διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων απαιτεί την εισαγωγή σχημάτων διαχείρισης φορτίου, τα οποία ενδέχεται να απαιτούν προσαρμογή των υφιστάμενων πολιτικών. Τέτοιες πολιτικές θα μπορούσαν ενδεχομένως να διευκολύνουν την εισαγωγή χρονικά μεταβαλλόμενων τιμολογίων που παρέχουν κίνητρα για μια τροποποιημένη συμπεριφορά φόρτισης. Οι ανταγωνιστικές αγορές και τα κίνητρα χρέωσης με έξυπνο τρόπο θα μπορούν να αναιρέσουν τις αρνητικές επιπτώσεις του πρόσθετου φορτίου και να διευκολύνουν την ενσωμάτωση των χρονομεταβλητών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, λόγω της ευελιξίας που παρέχεται από τους συσσωρευτές.

### **Λέξεις Κλειδιά :**

Φόρτιση Ηλεκτρικών Οχημάτων, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

<i>POST-GRADUATE THESIS:</i>	EV charging strategies and their effect on Power Grids and Renewable Energy Sources (RES) Utilization
<i>STUDENT:</i>	Panagiota Lymperopoulou ID:78
<i>SUPERVISOR:</i>	Pantelis Malatestas, Professor, School of Electrical and Electronic Engineering
<i>ACADEMIC YEAR:</i>	2021-2022

### **Summary**

Aim of this work is to better understand the implications related to the increasing share of electric vehicles in the power system under different charging strategies. At low EV penetration, load management and therefore targeted measures are not required. An increasing penetration of electric vehicles requires the introduction of load management schemes, which may require adaptation of existing policies. Such policies could potentially facilitate the introduction of time-varying tariffs that provide incentives for a modified charging behavior. Competitive markets and smart charging incentives will be able to offset the negative effects of additional load and facilitate the integration of time-varying renewables, due to the flexibility provided by battery storage.

### **Keywords :**

Electric Vehicles, Charging, Renewable Energy Sources



## Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	13
1.1 Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας	14
1.1.1 Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας	15
1.1.2 Μεταφορά Ηλεκτρικής Ενέργειας	16
1.1.3 Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας	16
1.1.4 Υποσταθμοί και Γραμμές Μεταφοράς	17
1.1.5 Φορτία Συστημάτων Διανομής	18
1.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)	24
1.2.1 Αιολική Ενέργεια	24
1.2.2 Ηλιακή Ενέργεια	25
1.2.3 Αποθήκευση Ηλεκτρικής Ενέργειας και ΑΠΕ	26
1.3 Ηλεκτρικά Οχήματα	27
1.3.1 Πρόβλεψη Διείσδυσης Ηλεκτρικών Οχημάτων	28
1.4 Σκοπός και Δομή της Εργασίας	29
2. Ηλεκτρικά οχήματα και ρυθμιστικό πλαίσιο	31
2.1 Χαρακτηριστικά Φόρτισης	32
2.1.1 Φόρτιση με Αγωγήμη Σύνδεση	34
2.1.2 Ασύρματη Φόρτιση (Επαγωγικά)	35
2.2 Ρυθμιστικό Πλαίσιο Φόρτισης	39
3. Φόρτιση Ηλεκτρικών Οχημάτων και Ελληνικό Δίκτυο Ηλεκτρικής Ενέργειας	45
3.2 Επίδραση της μεθόδου φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων στην καμπύλη ζήτησης του συστήματος	48
3.3 Μελέτες επίδρασης της φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο διανομής	54
3.4 Μελέτη επίδρασης της φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στο ευρωπαϊκό ΣΗΕ	70

3.4.1 Αξιολόγηση στρατηγικών φόρτισης για το 2030	75
3.4.2 Αξιολόγηση στρατηγικών φόρτισης για το 2050	82
4 Συμπεράσματα και Προτάσεις Βελτιστοποίησης Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων	92
4.1 Στόχος και συμπεράσματα	92
4.2 Περιορισμοί της μελέτης και προτάσεις μελλοντικής έρευνας	97
5 Βιβλιογραφία	99

## Περίληψη

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι να κατανοηθούν καλύτερα οι επιπτώσεις που σχετίζονται με το αυξανόμενο μερίδιο των ηλεκτρικών οχημάτων στο σύστημα ισχύος για διαφορετικές στρατηγικές φόρτισης. Σε χαμηλό βαθμό διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων, δεν απαιτείται διαχείριση φορτίου και, επομένως, στοχευμένα μέτρα. Μια αυξανόμενη διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων απαιτεί την εισαγωγή σχημάτων διαχείρισης φορτίου, τα οποία ενδέχεται να απαιτούν προσαρμογή των υφιστάμενων πολιτικών. Τέτοιες πολιτικές θα μπορούσαν ενδεχομένως να διευκολύνουν την εισαγωγή χρονικά μεταβαλλόμενων τιμολογίων που παρέχουν κίνητρα για μια τροποποιημένη συμπεριφορά φόρτισης. Οι ανταγωνιστικές αγορές και τα κίνητρα χρέωσης με έξυπνο τρόπο θα μπορούν να αναιρέσουν τις αρνητικές επιπτώσεις του πρόσθετου φορτίου και να διευκολύνουν την ενσωμάτωση των χρονομεταβλητών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, λόγω της ευελιξίας που παρέχεται από τους συσσωρευτές.

Από την ανάλυση προέκυψε ότι η εξυπηρέτηση του επιπρόσθετου φορτίου των ηλεκτρικών οχημάτων έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους λειτουργίας του συστήματος. Η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την εξυπηρέτηση του φορτίου των ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να περιορίσει σημαντικά το περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Όσον αφορά την ανάλυση του συστήματος μεταφοράς αποδεικνύεται ότι είναι αρκετά στιβαρό ώστε να μην δημιουργούνται λειτουργικά προβλήματα από την εξυπηρέτηση του επιπρόσθετου φορτίου των ηλεκτρικών οχημάτων, ανεξαρτήτως της στρατηγικής φόρτισης και του επιπέδου διείσδυσης τους. Όσον αφορά στην ανάλυση των δικτύων διανομής Μ.Τ. είναι εμφανές ότι κάθε δίκτυο διανομής έχει τη δυνατότητα ενσωμάτωσης ενός μέγιστου αριθμού ηλεκτρικών οχημάτων, πέραν του οποίου παραβιάζεται ένας ή περισσότεροι λειτουργικοί περιορισμοί του δικτύου (θερμικά όρια γραμμών, φόρτιση μετασχηματιστών, μέγιστη διακύμανση τάσης κτλ). Τέλος, και δεδομένου ότι η βελτιστοποίηση της συμπεριφοράς φόρτισης βάσει αμιγώς της τιμής ηλεκτρικής ενέργειας συνεπάγεται τον κίνδυνο καταστάσεων αυξημένης καταπόνησης για τα δίκτυα διανομής και μεταφοράς, τα οφέλη από την έξυπνη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων πρέπει να αντιπαραβάλλονται με τις σχετικές απαιτήσεις ενίσχυσης του δικτύου και να αντικατοπτρίζονται ουσιαστικά στην τιμολόγηση.

## **Abstract**

Aim of this work is to better understand the implications related to the increasing share of electric vehicles in the power system under different charging strategies. At low EV penetration, load management and therefore targeted measures are not required. An increasing penetration of electric vehicles requires the introduction of load management schemes, which may require adaptation of existing policies. Such policies could potentially facilitate the introduction of time-varying tariffs that provide incentives for a modified charging behavior. Competitive markets and smart charging incentives will be able to offset the negative effects of additional load and facilitate the integration of time-varying renewables, due to the flexibility provided by battery storage.

From the analysis, it emerged that serving the additional load of electric vehicles results in an increase of the system's operating costs. Incorporating renewable energy sources to serve the electric vehicle load can significantly reduce the environmental footprint. Regarding the analysis of the transmission system, it is shown to be robust enough to not create operational problems from serving the additional load of electric vehicles, regardless of their charging strategy and penetration level. Regarding the analysis of the distribution networks of Medium Voltage, it is obvious that each distribution network has the possibility of integrating a maximum number of electric vehicles, beyond which one or more operational constraints of the network are violated (thermal limits of lines, transformer loading, maximum voltage variation, etc.). Finally, and given that optimizing charging behavior based purely on the price of electricity carries the risk of overstressed conditions for distribution and transmission networks, the benefits of smart EV charging must be weighed against the associated network reinforcement requirements and reflected essentially in pricing.

# 1. Εισαγωγή

Ο πρωταρχικός στόχος της ελληνικής ενεργειακής πολιτικής είναι η βιώσιμη και αειφόρος ανάπτυξη του ενεργειακού τομέα από το στάδιο της παραγωγής έως την τελική χρήση, προστατεύοντας ταυτόχρονα το περιβάλλον και συμβάλλοντας στην αντιμετώπιση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής. Η χώρα συμμετέχει δυναμικά στη διεθνή προσπάθεια για τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, το μεγαλύτερο μέρος των οποίων προέρχεται από τον ενεργειακό τομέα.

Παράλληλα, βασικός στόχος είναι η διαφύλαξη και διαχείριση των ενεργειακών πόρων κατά τρόπο που να διασφαλίζεται η ομαλή, αδιάλειπτη και αξιόπιστη κάλυψη των εγχώριων ενεργειακών αναγκών, καθώς και η πρόσβαση όλων των καταναλωτών (πολίτες, επιχειρήσεις και φορείς του δημόσιου τομέα) σε προσιτή και ασφαλή ενέργεια. Η επίτευξη του στόχου αυτού σχετίζεται με την εξασφάλιση των ενεργειακών πόρων, μέσω της διαφοροποίησης των πηγών και των ροών ενέργειας, καθώς και την εκμετάλλευση των εγχώριων πηγών ενέργειας, προκειμένου να μειωθεί η ενεργειακή εξάρτηση της χώρας, να εξασφαλιστεί ο εφοδιασμός της εγχώριας αγοράς και να προστατευθούν οι καταναλωτές σε περίπτωση διαταραχής εφοδιασμού και έκτακτης ανάγκης.

Η Ελλάδα διέρχεται ένα στάδιο αναδιάρθρωσης του ενεργειακού τομέα, προσβλέποντας στην ανάπτυξη και λειτουργία ανταγωνιστικών και οικονομικά βιώσιμων αγορών ενέργειας, οι οποίες οφείλουν να λειτουργούν με τρόπο ώστε να προσφέρουν ανταγωνιστικές και διαφανείς τιμές ενεργειακών προϊόντων και υπηρεσιών στους καταναλωτές. Επιπρόσθετα, σε ένα ευρωπαϊκό και διεθνές περιβάλλον απανθρακοποίησης, η μετάβαση σε ένα ενεργειακό σύστημα με χαμηλότερη ένταση άνθρακα, θα ενισχύσει την ανταγωνιστικότητα της ελληνικής οικονομίας, ενώ παράλληλα θα δώσει τη δυνατότητα σε νέες ενεργειακές τεχνολογίες να διεισδύσουν με ανταγωνιστικό τρόπο στην αγορά ενέργειας, παρέχοντας ευκαιρίες για καινοτόμες επενδύσεις και δραστηριότητες. Η μετάβαση αυτή στοχεύει στο μετασχηματισμό του ενεργειακού συστήματος, εξασφαλίζοντας βιώσιμα αποτελέσματα για το περιβάλλον και την ελληνική κοινωνία.

Η αναδιάρθρωση και μετάβαση του ενεργειακού τομέα, στο πλαίσιο των δεσμεύσεων και των στόχων που πηγάζουν από τη Συμφωνία των Παρισίων είναι άρρηκτα συνδεδεμένα και με τους Παγκόσμιους Στόχους για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη (ΣΒΑ). Ο ενεργειακός τομέας αποτελεί έναν από τους βασικότερους πυλώνες για τη διαμόρφωση και άσκηση πολιτικών στο πλαίσιο της αναπτυξιακής στρατηγικής της χώρας για την επόμενη δεκαετία.

Ριζικές τομές αναμένονται να γίνουν στον τομέα της διάθεσης ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα, καθώς επιδιώκεται το μερίδιο των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) στην παραγωγή ηλεκτρισμού να αυξηθεί σημαντικά και να αντικαταστήσει σταδιακά τη χρήση ορυκτών καυσίμων. Οι πολιτικές που πρόκειται να υιοθετηθούν, έχουν ως

στόχο να επιτύχουν την ένταξη των ΑΠΕ στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας με ανταγωνιστικό τρόπο, με ταυτόχρονη μείωση της εξόρυξης και της χρήσης του λιγνίτη για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Αντίστοιχα, στον τομέα των μεταφορών, η διείσδυση, μέσω μεταφοράς που χρησιμοποιούν εναλλακτικά καύσιμα και ηλεκτρική ενέργεια, η ραγδαία μείωση της μοναδιαίας κατανάλωσης ενέργειας ανά τύπο οχήματος, η διείσδυση των βιοκαυσίμων δεύτερης γενιάς, ο πλήρης εξηλεκτρισμός των σιδηροδρομικών υποδομών, καθώς και η αύξηση της συμμετοχής των μέσων μεταφοράς σταθερής τροχιάς στο μεταφορικό έργο, θα μεταβάλουν πλήρως, έως το τέλος της επόμενης δεκαετίας, την τεχνολογική διάρθρωση και μείγμα καυσίμων στον τομέα των μεταφορών.

Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, σε όλους τους τομείς κατανάλωσης, αποτελεί το μεγαλύτερο στοίχημα και πρόκληση για τις δημόσιες πολιτικές που θα υλοποιηθούν κατά την επόμενη δεκαετία και ως εκ τούτου αποτελεί απόλυτη και οριζόντια προτεραιότητα σε όλο το εύρος και μείγμα των πολιτικών και μέτρων που θα υιοθετηθούν. Η επίτευξη εξοικονόμησης ενέργειας, μέσω βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης έχει άμεσες επιπτώσεις, στον τρόπο που καταναλώνεται η ενέργεια, στις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται, στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των καταναλωτών, ενώ έχει κομβική συνεισφορά στη βελτίωση της ανταγωνιστικότητας κάθε κλάδου οικονομικής δραστηριότητας.

## **1.1 Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας**

Ως σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΗΕ) χαρακτηρίζεται το σύνολο των εγκαταστάσεων και των μέσων που χρησιμοποιούνται για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε περιοχές εξυπηρέτησης. Αποτελείται από σταθμούς παραγωγής, υποσταθμούς ανύψωσης και υποβίβασης τάσης όπως επίσης και γραμμές μεταφοράς και διανομής. Η λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος, αποσκοπεί στην εξυπηρέτηση διαφόρων ειδών καταναλωτών οι οποίοι είναι αναγκαίο να τροφοδοτούνται ανάλογα με τις ανάγκες ζήτησής τους.

Η ομαλή και σωστή λειτουργία ενός ΣΗΕ προϋποθέτει ασφάλεια του συστήματος, σταθερότητα σε συχνότητα και τάση και κυρίως υψηλή αξιοπιστία στην τροφοδότηση με το μικρότερο δυνατό κόστος και απώλειες. Επιπρόσθετα, δεδομένης της συνεχούς χρονικής μεταβολής της ζήτησης ισχύος, το σύστημα θα πρέπει να ικανοποιεί συνεχώς την μεταβολή αυτή και να είναι ευέλικτο και αποδοτικό σε τυχόν απρόβλεπτους παράγοντες.

Τα ΣΗΕ είναι ιδιαίτερα πολύπλοκα. Προκειμένου να αναλυθούν, τα διακρίνουμε σε υποσυστήματα, κυρίως με γνώμονα την τάση λειτουργίας σε κάθε περίπτωση. Πρόκειται για τρεις ξεχωριστές λειτουργίες: την Παραγωγή, τη Μεταφορά και τη Διανομή.

### 1.1.1 Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας

Το σύστημα παραγωγής, αποτελεί το πρώτο συστατικό τμήμα ενός ΣΗΕ. Περιλαμβάνει το σύνολο των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και τους υποσταθμούς ανύψωσης της τάσης που είναι απαραίτητοι για τη μεταφορά του ρεύματος υπό υψηλή (110-220 kV) και υπερυψηλή τάση (220-750 kV). Στους σταθμούς παραγωγής επιτυγχάνεται η μετατροπή των πρωτογενών ενεργειακών πόρων (πχ λιγνίτη, φυσικό αέριο, ηλιακή ή αιολική ενέργεια κλπ) σε δευτερογενή μορφή ενέργειας, τον ηλεκτρισμό.

Το σύνολο της ηλεκτρικής ενέργειας που παρέχεται στον καταναλωτή προέρχεται κυρίως από *θερμοηλεκτρικούς σταθμούς* με την καύση ορυκτών καυσίμων (άνθρακας, λιγνίτης, πετρέλαιο, φυσικό αέριο), από *υδροηλεκτρικούς σταθμούς* με τη ροή ή την πτώση των υδάτων, από *πυρηνικούς σταθμούς* με την πυρηνική σχάση (ουράνιο, θόριο, πλουτώνιο) και τα τελευταία χρόνια με μεγαλύτερη ένταση από *σταθμούς ανανεώσιμων πηγών ενέργειας*, όπως ο άνεμος (αιολική ενέργεια), τα θαλάσσια κύματα, η ηλιακή ενέργεια, η γεωθερμία, η βιομάζα κτλ.

Οι μονάδες ανάλογα με τον τρόπο προγραμματισμού της λειτουργίας τους χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Μονάδες βάσης
- Μονάδες αιχμής

**Μονάδες βάσης** είναι μονάδες που προγραμματίζονται να λειτουργούν κατά την διάρκεια ενός 24ώρου χωρίς να διακόπτουν την λειτουργία τους. Είναι μονάδες μεγάλης ισχύος που έχουν συνήθως μεγάλο βαθμό απόδοσης και χαμηλό κόστος ηλεκτροπαραγωγής. Εξαιτίας του μεγέθους τους οι μονάδες βάσης χρειάζονται πολλές ώρες για να τεθούν από την κατάσταση αδράνειας, σε λειτουργία. Το μεγαλύτερο ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα σύστημα παράγεται από μονάδες βάσης. Βασικό χαρακτηριστικό των μονάδων αυτών είναι ότι η παραγόμενη ισχύς δεν πρέπει να παρουσιάζει μεγάλες αυξομειώσεις, όπως παρουσιάζει η ισχύς που παράγεται για παράδειγμα από την αιολική ενέργεια. Αξιοποιούν συχνά φθηνό καύσιμο (λιγνίτης, μαζούτ) ενώ έχουν ακριβό κόστος εγκατάστασης.

Από την άλλη πλευρά οι **μονάδες αιχμής** βρίσκονται σε πλήρη αντι-διαστολή με τις μονάδες βάσης. Είναι μικρές μονάδες που σκοπό έχουν την παραγωγή ισχύος σε συνθήκες πολύ μεγάλης ζήτησης. Οι μονάδες αιχμής μπορεί να λειτουργούν πολύ λίγες ώρες το χρόνο και γι αυτό το λόγο κατασκευάζονται με σχετικά χαμηλό βαθμό απόδοσης (20% - 30%) έτσι ώστε να παραμένει χαμηλό το κόστος αγοράς τους, ενώ παράλληλα απαιτούν μικρό χώρο εγκατάστασης. Βασικό χαρακτηριστικό των μονάδων αιχμής είναι ότι μπορούν να συνδεθούν εύκολα και γρήγορα στο δίκτυο και να παράσχουν την απαιτούμενη ισχύ μέσα σε χρόνο λίγων λεπτών.

### 1.1.2 Μεταφορά Ηλεκτρικής Ενέργειας

Με τον όρο μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας εννοούμε το σύνολο των διαδικασιών λειτουργίας και ελέγχου των εγκαταστάσεων και των μέσων που χρησιμοποιούνται για την μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από την έξοδο των σταθμών παραγωγής, σε κεντρικά σημεία του δικτύου, τους υποσταθμούς. Η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες ποσότητες από τα εργοστάσια παραγωγής προς τις περιοχές κατανάλωσης γίνεται με τις γραμμές υψηλής και υπερυψηλής τάσης. Η διατήρηση της υψηλής τάσης στο σύστημα μεταφοράς, εξυπηρετεί στην μείωση των απωλειών των γραμμών, καθώς επίσης επιτρέπει αυξημένες δυνατότητες μεταφοράς ισχύος. Στα τριφασικά συστήματα η ροή της ενέργειας είναι συνεχής και κάνει τη λειτουργία τους πολύ πιο ομαλή και αποδοτική απ' ό,τι θα ήταν αν η ροή ήταν παλλόμενη όπως συμβαίνει στα μονοφασικά. Τα τριφασικά συστήματα τάσεων πρέπει να είναι συμμετρικά, με ίσα τα μεγέθη των τριών φάσεων και γωνιακές αποκλίσεις  $120^\circ$  μεταξύ τους. Τα δίκτυα μεταφοράς είναι δυνατόν να τροφοδοτούν απευθείας καταναλωτές υψηλής τάσης, ενώ ταυτόχρονα μπορούν να διασυνδέσουν και γειτονικά ΣΗΕ. Παράλληλα θα πρέπει να παρέχουν σταθερή (ή σχεδόν σταθερή) τάση και συχνότητα. Η συχνότητα λειτουργίας των επιμέρους συστημάτων (παραγωγής, μεταφοράς, διανομής) θα πρέπει να είναι ίδια για να διασφαλίζεται η ομαλή διασύνδεσή τους.

### 1.1.3 Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η διανομή είναι συνήθως μία διαφορετική λειτουργία, η οποία σχεδιάζεται και αναπτύσσεται ανεξάρτητα και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής και των καταναλωτών, τους οποίους εξυπηρετεί.

Με τον όρο διανομή ηλεκτρικής ενέργειας εννοούμε το σύνολο των διαδικασιών λειτουργίας και ελέγχου με τις οποίες η ηλεκτρική ενέργεια διανέμεται στους καταναλωτές. Τα δίκτυα διανομής περιλαμβάνουν τις γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω των οποίων αυτή φτάνει στους καταναλωτές και τους υποσταθμούς υποβιβασμού της τάσης, οι οποίοι την συνδέουν με το σύστημα μεταφοράς.

Τα δίκτυα διανομής διακρίνονται, ανάλογα με την τάση λειτουργίας τους σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Τα **δίκτυα μέσης τάσης** (10 – 30 kV) που μεταφέρουν την ηλεκτρική ενέργεια από τους υποσταθμούς μεταφοράς στους υποσταθμούς διανομής
- Τα **δίκτυα χαμηλής τάσης** (400 V) που μεταφέρουν την ηλεκτρική ενέργεια από τους υποσταθμούς διανομής στους καταναλωτές.

Οι γραμμές μεταφοράς στη μέση τάση έχουν τρεις αγωγούς φάσεων (όπως και στην υψηλή), με τις γραμμές της χαμηλής τάσης να διαθέτουν επιπλέον έναν, τον ουδέτερο. Σημαντικό είναι το γεγονός και ότι οι απώλειες ενέργειας στο επίπεδο της



διανομής είναι περίπου διπλάσιες απ' ότι στο επίπεδο της μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Ανάλογα με την κατασκευή τους, τα δίκτυα διανομής διακρίνονται σε *εναέρια* και σε *υπόγεια*. Τα εναέρια δίκτυα είναι περισσότερο διαδεδομένα και χρησιμοποιούνται κατά κόρον κυρίως γιατί είναι λιγότερο δαπανηρά από τα υπόγεια, ενώ ταυτόχρονα η αποκατάσταση τυχόν βλάβης είναι λιγότερο χρονοβόρα και περίπλοκη. Παρόλα αυτά η χρήση υπογείων δικτύων διανομής παρατηρείται σε αστικά κέντρα κυρίως για λόγους ασφάλειας (απόσταση καλωδίων από τα κτίρια) αλλά και αισθητικής.

Τα δίκτυα διανομής φτάνουν μέχρι το μετρητή της παρεχόμενης στον καταναλωτή ενέργειας. Μετά τον μετρητή αρχίζει η εσωτερική ηλεκτρική εγκατάσταση, που περιλαμβάνει το εσωτερικό δίκτυο διανομής και τις συσκευές κατανάλωσης. Τα σημεία κατανάλωσης, τα οποία περιλαμβάνουν φορτία ζήτησης του δικτύου, δηλαδή τους καταναλωτές, διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες: *τους καταναλωτές μέσης τάσης και τους καταναλωτές χαμηλής τάσης*. Οι καταναλωτές χαμηλής τάσης αντιπροσωπεύουν την πλειονότητα των φορτίων ενός συστήματος, ενώ σε εκείνους της μέσης τάσης ανήκουν καταναλωτές με υψηλά φορτία ζήτησης (βιομηχανίες, παραγωγικές μονάδες κ.α.) που συνήθως διαθέτουν δικό τους υποσταθμό υποβιβασμού της τάσης.

#### **1.1.4 Υποσταθμοί και Γραμμές Μεταφοράς**

Οι υποσταθμοί αποτελούν βασικούς κόμβους του δικτύου παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Πρόκειται για ηλεκτρικές εγκαταστάσεις που μετασχηματίζουν την τάση, κυρίως με την λειτουργία κατάλληλων μετασχηματιστών. Ανάλογα με την τάση τροφοδοσίας τους χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: *τους υποσταθμούς μεταφοράς και τους υποσταθμούς διανομής*.

▪ **Υποσταθμοί Μεταφοράς:** Βρίσκονται στο δίκτυο μεταφοράς ενός ΣΗΕ και ανάλογα με τη λειτουργία τους διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

◆ *Υποσταθμοί Ανύψωσης:* Είναι εγκατεστημένοι κοντά σε σταθμούς παραγωγής, με σκοπό την ανύψωση της τάσης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να μεταφερθεί προς κατανάλωση με τις λιγότερες δυνατές απώλειες. Η ανύψωση που πραγματοποιείται είναι της τάξης αρκετών kV (από 10-30 kV μέσης τάσης, σε τιμές υψηλών τάσεων 110-220 kV ή υπερυψηλών 220-750 kV).

◆ *Υποσταθμοί Υποβιβασμού:* Αποτελούν τους ενδιάμεσους κόμβους μεταξύ δικτύων μεταφοράς και δικτύων διανομής. Ρόλος τους είναι να υποβιβάζουν τις υψηλές και υπερυψηλές τιμές των τάσεων σε τιμές μέσης τάσης.

◆ *Υποσταθμοί Ζεύξεως:* Είναι υπεύθυνοι για την ζεύξη των γραμμών μεταφοράς, χωρίς να συμβαίνει απαραίτητα κάποιος μετασχηματισμός στην τάση.

▪ **Υποσταθμοί Διανομής:** Είναι εγκατεστημένοι στο δίκτυο διανομής και

υποβιβάζουν την μέση τάση (10-30 kV) σε τάση κατανάλωσης (400 V).

Ένα ΣΗΕ μπορεί να ενωθεί και να λειτουργήσει με άλλα αντίστοιχα συστήματα μέσω κατάλληλων γραμμών μεταφοράς. Οι γραμμές αυτές μπορεί να είναι είτε εναλλασσόμενου (AC) είτε συνεχούς (DC) ρεύματος κάτι που καθορίζεται κυρίως από την απόσταση που καλείται να καλύψει η εκάστοτε γραμμή. Οι εναλλασσόμενες τάσεις μπορούν να ανυψωθούν εύκολα και με μεγάλο βαθμό απόδοσης σε υψηλές τάσης μεταφοράς και να υποβιβαστούν στην τάση λειτουργίας του πελάτη με την ίδια ευκολία. Επίσης οι γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος των σταθμών παραγωγής μπορούν να παράγουν τάσεις υψηλότερες από τις παραγόμενες σε σχέση με τις γεννήτριες συνεχούς ρεύματος. Συνοψίζοντας λοιπόν το εναλλασσόμενο ρεύμα πλεονεκτεί στην παραγωγή και διανομή, αλλά το συνεχές ρεύμα έχει το πλεονέκτημα στην μεταφορά.

Σημειώνεται ότι η δομή του συστήματος επηρεάζεται σημαντικά από:

- ✓ Το μέγεθος της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας.
- ✓ Τη χρονική της μεταβολή κατά την διάρκεια του 24ώρου.
- ✓ Τη χωροταξική της κατανομή.

### 1.1.5 Φορτία Συστημάτων Διανομής

Η ηλεκτρική ενέργεια, από το σημείο που θα παραχθεί μέχρι το σημείο που θα καταναλωθεί βρίσκεται σε μία συνεχή ροή και επειδή δεν μπορεί εύκολα να αποθηκευτεί, πρέπει να παράγεται ακριβώς την στιγμή που καταναλώνεται. Για τον λόγο αυτό η ισχύς των εγκαταστάσεων παραγωγής, μεταφοράς και διανομής, που πρέπει να είναι διαθέσιμες κάθε στιγμή, καθορίζεται από την συνολική μέγιστη ζήτηση ηλεκτρικής ισχύος.

Στα Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ) το φορτίο ενός καταναλωτή ή μίας ομάδας καταναλωτών μεταβάλλεται συνεχώς. Κάθε φορά που ένας λαμπτήρας ή μία ηλεκτρική συσκευή ενεργοποιείται ή απενεργοποιείται, το φορτίο της αντίστοιχης γραμμής διανομής αλλάζει. Τα φορτία των ΔΔΗΕ μεταβάλλονται, επειδή οι ανθρώπινες δραστηριότητες ακολουθούν ημερήσιες, εβδομαδιαίες και μηνιαίες κυκλικές μεταβολές. Η ζήτηση ποικίλλει ανάλογα με την ημέρα, την ώρα, την εποχή και τις καιρικές συνθήκες. Σε γενικές γραμμές οι παράγοντες που επηρεάζουν τη ζήτηση του φορτίου είναι αρκετοί και σχετίζονται κυρίως με την ανθρώπινη δραστηριότητα αλλά ταυτόχρονα διαφοροποιούνται και από τους κοινωνικούς και οικονομικούς παράγοντες που διέπουν τη ζωή των κατοίκων μιας συγκεκριμένης περιοχής.

Τα φορτία ταξινομούνται σε κατηγορίες με όμοια χαρακτηριστικά. Οι πιο συνηθισμένες κατηγορίες είναι τα οικιακά, τα εμπορικά και τα βιομηχανικά φορτία. Η ζήτηση του φορτίου είναι γενικά υψηλότερη κατά τη διάρκεια της ημέρας και νωρίς

το απόγευμα, όταν τα βιομηχανικά και εμπορικά φορτία είναι υψηλά, και χαμηλότερη από αργά το βράδυ έως νωρίς το πρωί, όταν οι περισσότεροι άνθρωποι κοιμούνται. Στα οικιακά φορτία, η αιχμή παρουσιάζεται συνήθως νωρίς το βράδυ, ενώ στα εμπορικά φορτία τις μεσημεριανές ώρες. Στη βιομηχανική κατηγορία, το φορτίο είναι χαμηλό νωρίς το πρωί, στη συνέχεια αυξάνεται και διατηρείται περίπου σταθερό μέχρι το απόγευμα, οπότε και μειώνεται σημαντικά, καθώς μειώνεται ή σταματά η βιομηχανική δραστηριότητα.

Σημαντικό να τονιστεί στο σημείο αυτό είναι ότι οι καταναλωτές της ίδιας κατηγορίας (οικιακοί, εμπορικοί, βιομηχανικοί) δεν ζητούν ταυτόχρονα το μέγιστο φορτίο τους, δηλαδή παρατηρείται **ετεροχρονισμός**, με αποτέλεσμα το συνολικό μέγιστο φορτίο μιας κατηγορίας να είναι μικρότερο από το άθροισμα των επιμέρους μέγιστων φορτίων των καταναλωτών της κατηγορίας αυτής. Το γεγονός αυτό, που είναι χαρακτηριστικό γνώρισμα κάθε κατηγορίας φορτίων, εκφράζεται με τον αντίστοιχο συντελεστή ετεροχρονισμού. Επίσης το φαινόμενο του ετεροχρονισμού παρατηρείται και μεταξύ των μέγιστων φορτίων των επιμέρους κατηγοριών, με αποτέλεσμα το συνολικό μέγιστο φορτίο του συστήματος να είναι μικρότερο από το άθροισμα των μέγιστων φορτίων των επιμέρους κατηγοριών.

Για να προγραμματιστεί η λειτουργία των εγκαταστάσεων ενός συστήματος είναι απαραίτητη να προβλεφθεί και η ζήτηση της κατανάλωσης. Αυτό επιτυγχάνεται με τη μελέτη των καμπυλών φορτίου. Οι συνηθέστερες από αυτές είναι η *χρονολογική καμπύλη φορτίου* και η *καμπύλη διάρκειας φορτίου*.

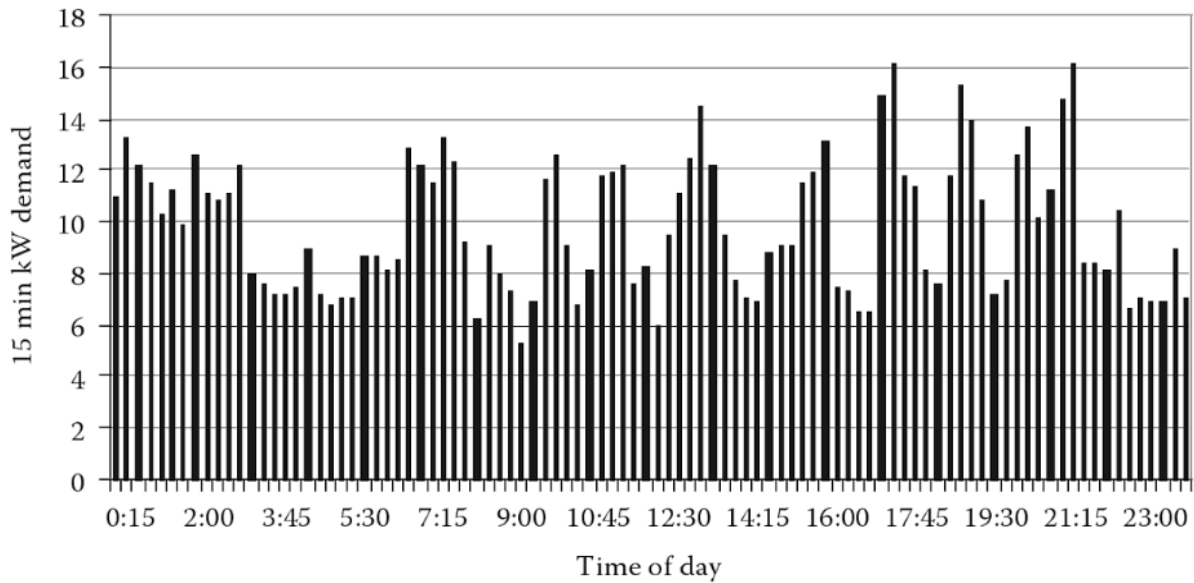
Η μεταβολή της ζήτησης των καταναλωτών συναρτήσει του χρόνου ονομάζεται **χρονολογική καμπύλη φορτίου**. Ο χρόνος μέσα στον οποίο μεταβάλλεται η ζήτηση και επομένως εξελίσσεται η χρονολογική καμπύλη φορτίου μπορεί να είναι 24 ώρες, ένας μήνας, ένα έτος κτλ.

Η **καμπύλη διάρκειας φορτίου** παριστάνει τα φορτία κατά την θεωρούμενη περίοδο, διατεταγμένα κατά φθίνουσα σειρά μεγέθους και προκύπτουν από τις αντίστοιχες χρονολογικές καμπύλες. Ο άξονας των χρόνων στην περίπτωση αυτή απεικονίζει τη χρονική διάρκεια που η ζήτηση είναι ίση με την αντίστοιχη συγκεκριμένη τιμή ισχύος ή την ξεπερνά.

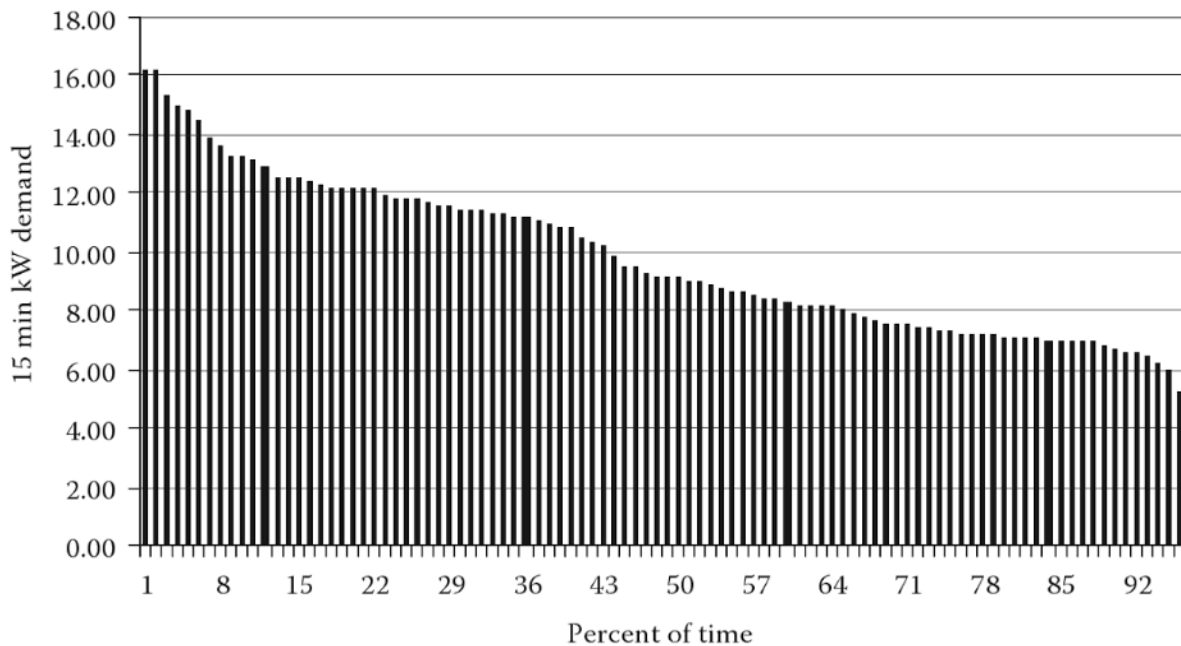
Η **Εικόνα 1.1** απεικονίζει μία τυπική χρονολογική καμπύλη φορτίου ενός καταναλωτή κατά την διάρκεια μιας μέρας. Ο κάθετος άξονας αναφέρεται στις τιμές σε (kW) του καταναλισκόμενου φορτίου ενώ ο οριζόντιος άξονας αφορά τις χρονικές στιγμές κατά την διάρκεια της μέρας που αυτό παρατηρήθηκε. Γίνονται εμφανείς οι απότομες μεταβολές του φορτίου, αποτέλεσμα απόλυτα λογικό καθώς πρόκειται για την συμπεριφορά ενός μόνο καταναλωτή. Ταυτόχρονα η δειγματοληψία έχει πραγματοποιηθεί με περίοδο 15 λεπτών γεγονός που ενισχύει ακόμα περισσότερο τις απότομες αυτές μεταβολές

Η **Εικόνα 1.2** αναφέρεται στην καμπύλη διάρκειας φορτίου του παραπάνω καταναλωτή. Τα φορτία στον κάθετο άξονα είναι διατεταγμένα κατά φθίνουσα

σειρά όπως ορίζει η συγκεκριμένη καμπύλη ενώ ο οριζόντιος άξονας αναφέρεται στο ποσοστό χρόνου που η ζήτηση είναι ίση ή μεγαλύτερη από την αντίστοιχη τιμή ισχύος.



**Εικόνα 1.1** Τυπική χρονολογική καμπύλη φορτίου ενός καταναλωτή κατά την διάρκεια μιας μέρας



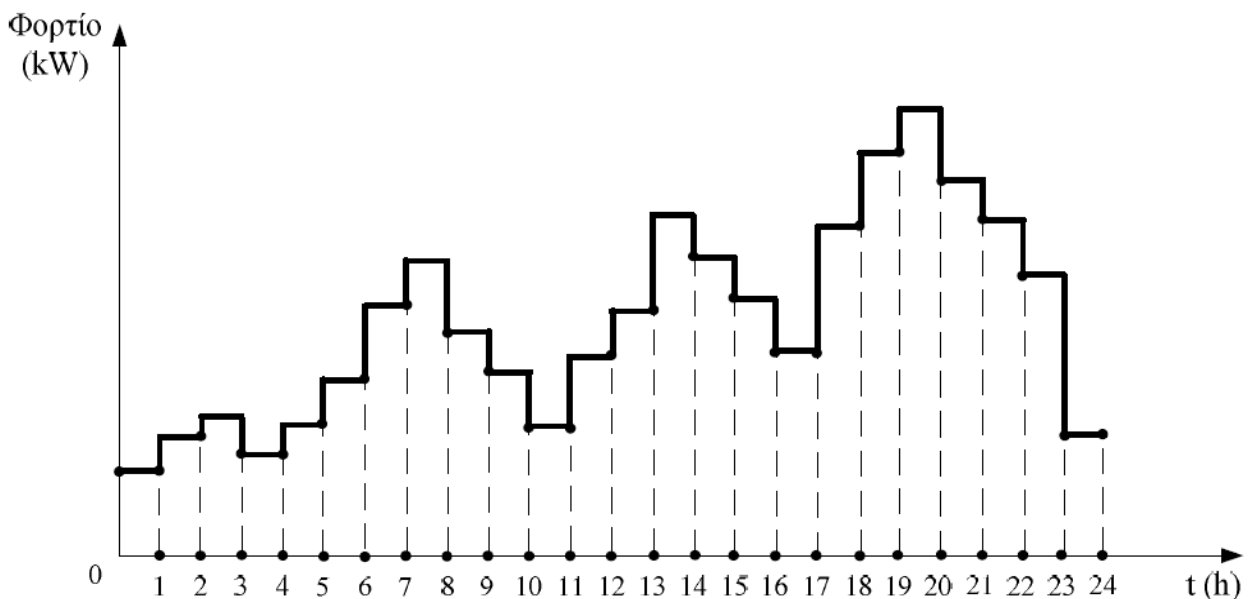
**Εικόνα 1.2** Καμπύλη διάρκειας φορτίου του παραπάνω καταναλωτή

Οι παραπάνω καμπύλες φορτίου εμφανίζουν κάποια πολύ ενδιαφέροντα τεχνικά χαρακτηριστικά τα οποία και παρουσιάζονται αναλυτικά στην συνέχεια.

## Καμπύλη Φορτίου

Για να κατασκευαστεί η καμπύλη φορτίου, θα πρέπει η καμπύλη του στιγμιαίου φορτίου να χωριστεί σε ίσα χρονικά διαστήματα και σε κάθε χρονικό διάστημα να υπολογιστεί η μέση τιμή του φορτίου. Για παράδειγμα, τα χρονικά αυτά διαστήματα μπορούν να έχουν διάρκεια 15 λεπτά ή 30 λεπτά ή μία ώρα, οπότε για να κατασκευαστεί η ημερήσια καμπύλη φορτίου (24 ώρες) απαιτούνται 96 ή 48 ή 24 μέσες τιμές του φορτίου, αντίστοιχα. Όσο πιο μικρό είναι το χρονικό διάστημα τόσο πιο ακριβής είναι η τιμή του φορτίου. Η διαδικασία αυτή για την κατασκευή της καμπύλης φορτίου είναι παρόμοια με την αριθμητική ολοκλήρωση.

Στην **Εικόνα 1.3** φαίνεται η ημερήσια (εικοσιτετράωρη) καμπύλη φορτίου ενός καταναλωτή, όπου τα ευθύγραμμα τμήματα που είναι παράλληλα στον άξονα του χρόνου αναπαριστούν τη μέση τιμή του φορτίου σε κάθε χρονικό διάστημα. Η ημερήσια καμπύλη φορτίου της εικόνας αυτής αποτελείται από 24 επίπεδα φορτίου, ένα για κάθε μία ώρα του 24ώρου, το οποίο σημαίνει ότι για την κατασκευή της συγκεκριμένης καμπύλης φορτίου έχουν επιλεγεί 24 ίσα χρονικά διαστήματα διάρκειας μίας ώρας το καθένα.



**Εικόνα 1.3** Ημερήσια (24h) χρονολογική καμπύλη φορτίου ενός καταναλωτή

## Φορτίο Αιχμής

Όπως φαίνεται από την καμπύλη φορτίου της **Εικόνας 1.7**, στη διάρκεια του εικοσιτετράωρου, υπάρχει σημαντική μεταβολή στη ζήτηση του φορτίου. Αιχμή φορτίου,  $P_A$  (kW), είναι η μέγιστη ζήτηση φορτίου που εμφανίζεται σε μία συγκεκριμένη καμπύλη φορτίου. Για παράδειγμα, στην συγκεκριμένη καμπύλη φορτίου η αιχμή φορτίου εμφανίζεται στο χρονικό διάστημα από την ώρα 19:00 έως την ώρα 20:00.

## Φορτίο Βάσης

Η ελάχιστη ζήτηση ηλεκτρικής ισχύος κατά την διάρκεια μιας δεδομένης περιόδου  $T$  ονομάζεται φορτίο βάσης  $P_B$  (kW). Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η ελάχιστη τιμή ζήτησης φορτίου παρατηρείται τις πρώτες πρωινές ώρες της μέρας και συγκεκριμένα στο χρονικό διάστημα από 00:00 έως 01:00.

## Ζήτηση Ενέργειας

Η ζήτηση ενέργειας  $E$  (kWh), είναι ίση με το εμβαδόν της καμπύλης φορτίου που σχηματίζεται μεταξύ της καμπύλης και του άξονα του χρόνου. Δηλαδή, η ζήτηση ενέργειας είναι η συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια κατά τη διάρκεια της περιόδου φορτίου.

## Μέσο Φορτίο

Το μέσο φορτίο  $P_\mu$  (kW), ορίζεται ως:  $P_\mu = E/T$ , δηλαδή το μέσο φορτίο είναι ίσο με τον λόγο της ζήτησης ενέργειας  $E$  (kWh), προς την περίοδο του φορτίου  $T$  (h).

## Μέσος Χρόνος Φορτίου

Ο μέσος χρόνος φορτίου  $T_A$  (h), υπολογίζεται ως ακολούθως:  $T_A = E/P_A$ , δηλαδή ο μέσος χρόνος φορτίου είναι ίσος με τον λόγο της ζήτησης ενέργειας  $E$  (kWh), προς την αιχμή του φορτίου  $P_A$  (kW).

## Συντελεστής Φορτίου

Ο συντελεστής φορτίου  $\Sigma\Phi$ , υπολογίζεται ως εξής:  $\Sigma\Phi = P_\mu/P_A$ , δηλαδή ο συντελεστής φορτίου είναι ίσος με τον λόγο του μέσου φορτίου,  $P_\mu$  (kW), προς την αιχμή του φορτίου,  $P_A$  (kW). Ο συντελεστής φορτίου δίνει μία ένδειξη για το πόσο καλά χρησιμοποιείται το δίκτυο μίας ηλεκτρικής εταιρίας. Έτσι, για μία ηλεκτρική εταιρία, ο βέλτιστος συντελεστής φορτίου είναι ίσος με ένα, επειδή το ηλεκτρικό δίκτυο έχει σχεδιαστεί για να εξυπηρετεί την αιχμή φορτίου. Οι ηλεκτρικές εταιρίες χρεώνουν τους βιομηχανικούς καταναλωτές που έχουν χαμηλό συντελεστή ισχύος. Με τον τρόπο αυτό, παρέχουν κίνητρο στους βιομηχανικούς καταναλωτές να αυξήσουν το συντελεστή φορτίου τους.

## Συντελεστής Ζήτησης

Ο συντελεστής ζήτησης  $\Sigma Z$ , ενός καταναλωτή υπολογίζεται ως:  $\Sigma Z = P_A/P_{εγκ}$ , δηλαδή ο συντελεστής ζήτησης του καταναλωτή είναι ίσος με τον λόγο της αιχμής του φορτίου,  $P_A$  (kW), προς το συνολικά συνδεδεμένο φορτίο  $P_{εγκ}$  (kW), όπου  $P_{εγκ}$  είναι το άθροισμα της συνολικής ονομαστικής ισχύος όλων των ηλεκτρικών συσκευών του καταναλωτή.

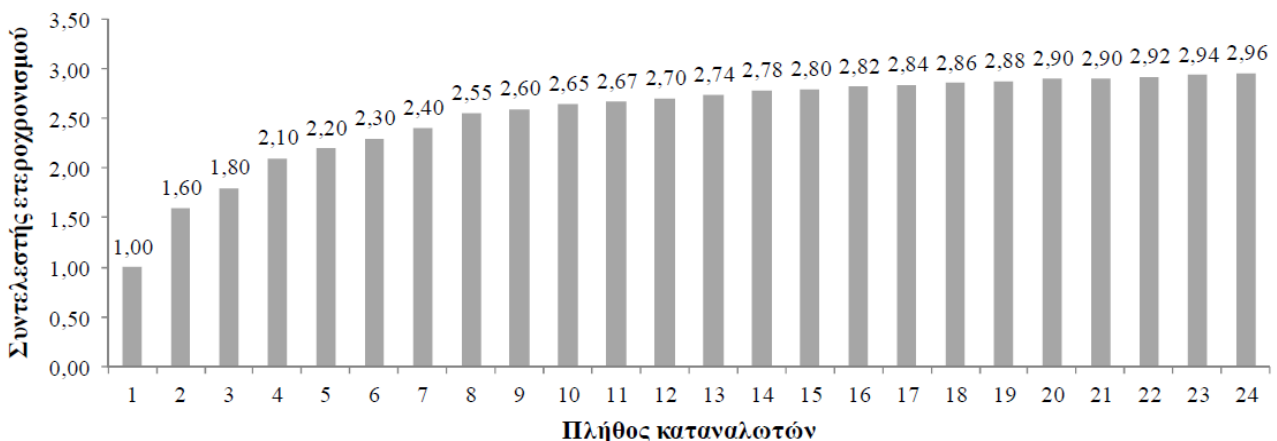
Ο συντελεστής ζήτησης δίνει μία ένδειξη του ποσοστού των ηλεκτρικών συσκευών που είναι σε λειτουργία τη χρονική στιγμή που λαμβάνει χώρα η αιχμή φορτίου του καταναλωτή.

## Συντελεστής Χρησιμοποίησης

Ο συντελεστής χρησιμοποίησης  $\Sigma X$ , μιας ηλεκτρικής συσκευής (για παράδειγμα, ενός μετασχηματιστή ή μίας γραμμής διανομής) είναι ίσος με τον λόγο της αιχμής του φορτίου προς την ονομαστική ισχύ της ηλεκτρικής συσκευής.  $\Sigma X = \frac{P_A}{P_{nom}}$ . Ο συντελεστής χρησιμοποίησης δίνει μία ένδειξη του πόσο καλά χρησιμοποιείται η ονομαστική ισχύς μίας ηλεκτρικής συσκευής.

## Συντελεστής Ετεροχρονισμού

Ο συντελεστής ετεροχρονισμού  $\Sigma E$ , μίας ομάδας  $N$  φορτίων υπολογίζεται ακολούθως:  $\Sigma E = \frac{P_N}{P_A} = \frac{\sum P_{Ai} N_i}{P_A} \geq 1,00$ , δηλαδή ο συντελεστής ετεροχρονισμού είναι ίσος με τον λόγο του αθροίσματος της αιχμής του φορτίου κάθε ενός από τα  $N$  φορτία προς την αιχμή φορτίου της ομάδας των  $N$  φορτίων. Στη παραπάνω σχέση  $P_{Ai}$  (kW) είναι η αιχμή του φορτίου  $i$ ,  $P_N$  (kW) είναι το άθροισμα των αιχμών φορτίου των  $N$  φορτίων και  $P_A$  (kW) είναι η αιχμή φορτίου της ομάδας των  $N$  φορτίων. Επειδή η αιχμή φορτίου καθενός από τα  $N$  φορτία λαμβάνει χώρα διαφορετική χρονική στιγμή σε σχέση με τη χρονική στιγμή που λαμβάνει χώρα η συνολική αιχμή φορτίου της ομάδας των  $N$  φορτίων, προκύπτει ότι:  $P_N \geq P_A$ , δηλαδή  $\Sigma E \geq 1,00$ .



Στην **Εικόνα 1.4** φαίνεται ο συντελεστής ετεροχρονισμού σε σχέση με το πλήθος των καταναλωτών. Οι τιμές αυτές του συντελεστή ετεροχρονισμού έχουν προκύψει με βάση μελέτη για συγκεκριμένους καταναλωτές. Η χρησιμότητα του συντελεστή ετεροχρονισμού είναι η ακόλουθη. Γνωρίζοντας την τιμή του συντελεστή ετεροχρονισμού της ομάδας των  $N$  φορτίων καθώς και την αιχμή φορτίου  $P_{Ai}$  καθενός από τα  $i$  φορτία της ομάδας των  $N$  φορτίων, τότε η αιχμή φορτίου  $P_A$  της ομάδας των  $N$  φορτίων υπολογίζεται ως ακολούθως:  $P_A = \frac{P_N}{\Sigma E} = \frac{\sum P_{Ai} N_i}{\Sigma E}$

## Συντελεστής Ταυτοχρονισμού

Ο συντελεστής ταυτοχρονισμού  $\Sigma T$ , μίας ομάδας  $N$  φορτίων υπολογίζεται ακολούθως:  $\Sigma T = \frac{P_A}{P_N} = \frac{P_A}{\sum P_{Ai} N_i} = \frac{1}{\Sigma E}$ , δηλαδή ο συντελεστής ταυτοχρονισμού

είναι το αντίστροφο του συντελεστή ετεροχρονισμού. Γνωρίζοντας την τιμή του συντελεστή ταυτοχρονισμού της ομάδας των  $N$  φορτίων και την αιχμή φορτίου  $P_{Ai}$  καθενός από τα  $i$  φορτία της ομάδας των  $N$  φορτίων, τότε η αιχμή φορτίου  $P_A$  της ομάδας των  $N$  φορτίων υπολογίζεται ως ακολούθως:  $P_A = \Sigma T \cdot \Sigma P_{Ai} N_i = 1$ .

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι μεγαλύτερες μεταβολές του φορτίου εμφανίζονται στο επίπεδο του ατομικού καταναλωτή, ενώ οι μεταβολές του φορτίου είναι μικρότερες στο επίπεδο της γραμμής διανομής και ακόμα μικρότερες σε επίπεδο υποσταθμών υποβίβασης υψηλής τάσης σε μέση τάση. Η μελέτη των φορτίων είναι καθοριστικός παράγοντας για τη σχεδίαση και ανάπτυξη ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Η ακρίβεια της πρόβλεψης των φορτίων, τόσο βραχυπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια, με την χρησιμοποίηση σύγχρονων μεθόδων μαθηματικής ανάλυσης και ψηφιακής επεξεργασίας δεδομένων.

## 1.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)

### 1.2.1 Αιολική Ενέργεια

Η αιολική ενέργεια αποτελεί τον στυλοβάτη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και αποτελεί σήμερα μια ελκυστική λύση στο πρόβλημα της ηλεκτροπαραγωγής. Το «καύσιμο» είναι άφθονο, αποκεντρωμένο και δωρεάν. Δεν εκλύονται αέρια και άλλοι ρύποι, και οι επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι μικρές σε σύγκριση με τα εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα. Επίσης, τα οικονομικά οφέλη μιας περιοχής από την ανάπτυξη της αιολικής βιομηχανίας είναι αξιοσημείωτα.

Παρόλα αυτά όμως οι ανεμογεννήτριες μπορεί να προκαλέσουν τραυματισμούς ή θανατώσεις πουλιών (κυρίως αποδημητικών) ενώ ταυτόχρονα η δημιουργία αιολικών πάρκων προκαλεί οπτική επιβάρυνση του περιβάλλοντος. Σε κάθε περίπτωση, πριν τη δημιουργία ενός αιολικού πάρκου ή και οποιασδήποτε εγκατάστασης ΑΠΕ θα πρέπει να έχει προηγηθεί Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ). Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας και την αυστηρότερη επιλογή του τόπου εγκατάστασης (π.χ. πλωτές πλατφόρμες σε ανοικτή θάλασσα) τα παραπάνω προβλήματα, αλλά και ο θόρυβος από τη λειτουργία των μηχανών, έχουν σχεδόν λυθεί.

Η εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής γίνεται με τη χρήση των ανεμογεννητριών. Η μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια, αποτελεί την αρχή λειτουργίας μιας Α/Γ. Ο άνεμος εισέρχεται στην διάταξη περιστρέφοντας τα πτερύγια, τα οποία είναι συνδεδεμένα με ένα περιστρεφόμενο άξονα (δρομέας). Στη συνέχεια, η χαμηλή ταχύτητα περιστροφής του δρομέα από τον άνεμο αυξάνεται μέσω του κιβωτίου ταχυτήτων. Το κιβώτιο συνδέεται με έναν



άξονα μεγάλης ταχύτητας περιστροφής ο οποίος κινεί μια γεννήτρια, μετατρέποντας πλέον την ενέργεια σε ηλεκτρική. Διατάξεις φρένων (δισκόφρενα) είναι εγκατεστημένες στο σύστημα, με στόχο τον περιορισμό των υψηλών ταχυτήτων περιστροφής των πτερυγίων για την προστασία της Α/Γ. Ειδικοί μετατροπείς ρεύματος (DC/AC, AC/DC/AC), ανάλογα με τις ανάγκες της διάταξης παρεμβάλλονται πριν την διοχέτευση της ενέργειας στο δίκτυο.

## 1.2.2 Ηλιακή Ενέργεια

Η ενέργεια που προέρχεται από τον ήλιο και φτάνει στη γη, με διάφορες μορφές όπως το φως και η θερμότητα χαρακτηρίζεται ως ηλιακή ενέργεια. Πρόκειται για μια μορφή ενέργειας στην οποία οφείλεται η ύπαρξη του ανθρώπου και γενικότερα η ζωή πάνω στον πλανήτη Γη. Είναι πρακτικά ανεξάντλητη, αφού προέρχεται από τον ήλιο, και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν περιορισμοί χώρου και χρόνου για την εκμετάλλευσή της. Η ηλιακή ενέργεια είναι πρωτογενής, ήπια και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας η οποία έμμεσα δίνει γένεση σε άλλες τρεις ήπιες και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας την υδραυλική (υδατοπτώσεις), την αιολική (ενέργεια του ανέμου) και την ενέργεια της βιομάζας (ενέργεια από φυτά). Η γη δέχεται τεράστιες ποσότητες ηλιακής ενέργειας καθημερινά, η οποία φτάνει σχεδόν αμετάβλητη στο ανώτατο στρώμα της ατμόσφαιρας του πλανήτη Γη, με την προσπίπτουσα στο έδαφος ακτινοβολία να διαφέρει ανάλογα με την εποχή, την ώρα και τις καιρικές συνθήκες. Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας έχει γνωρίσει ραγδαία ανάπτυξη τον 21<sup>ο</sup> αιώνα και διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες:

- ο τα παθητικά ηλιακά συστήματα
- ο τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα
- ο τα φωτοβολταϊκά συστήματα

Η λειτουργία των **παθητικών** και των **ενεργητικών** ηλιακών συστημάτων βασίζεται στην θερμότητα που εκπέμπεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας και χρησιμοποιείται σε συστήματα ψύξης και θέρμανσης.

Από την άλλη πλευρά, **τα φωτοβολταϊκά συστήματα** μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Αποτελούν μια ιδιαίτερα ανεπτυγμένη τεχνολογία ΑΠΕ, συμβάλλοντας στην συνολική παραγωγή συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο περιγράφεται ως η πόλωση των ηλεκτρικών φορτίων που συμβαίνει σε συγκεκριμένα υλικά όταν αυτά εκτεθούν σε φωτεινή ακτινοβολία. Κάτι τέτοιο παρατηρείται στα ηλιακά στοιχεία που ανήκουν στην ομάδα των ημιαγωγών καθώς και στις τεχνητές ημιαγωγικές διατάξεις. Τα ηλιακά στοιχεία είναι δίοδοι ημιαγωγού με την μορφή ενός δίσκου (δηλαδή η ένωση p-n εκτείνεται σε όλο το πλάτος του δίσκου) που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία. Κάθε φωτόνιο της ακτινοβολίας με ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού, έχει την δυνατότητα να απορροφηθεί από ένα χημικό δεσμό και να ελευθερώσει ένα

ηλεκτρόνιο. Δημιουργείται, όσο διαρκεί η ακτινοβολήση, μία περίσσεια από ζεύγη φορέων (ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές) πέρα από τις συγκεντρώσεις που αντιστοιχούν στις συνθήκες ισορροπίας. Οι φορείς αυτοί, καθώς κυκλοφορούν στο στερεό και εφόσον δεν επανασυνδεθούν με φορείς αντίθετου πρόσημου, μπορεί να βρεθούν στην περιοχή της ένωσης p-n οπότε θα δεχθούν την επίδραση του ενσωματωμένου της ηλεκτροστατικού πεδίου. Έτσι τα ελεύθερα ηλεκτρόνια εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου n και οι οπές εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου p, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μία **διαφορά δυναμικού** ανάμεσα στους ακροδέκτες των δύο τμημάτων της διόδου. Δηλαδή, η διάταξη αποτελεί μία πηγή ηλεκτρικού ρεύματος που διατηρείται όσο διαρκεί η πρόσπτωση των ηλιακών φωτός πάνω στην επιφάνεια του στοιχείου. Η εκδήλωση της διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στις δύο όψεις του φωτιζόμενου δίσκου, η οποία αντιστοιχεί σε ορθή πόλωση της διόδου, ονομάζεται **φωτοβολταϊκό φαινόμενο**. Η αποδοτική λειτουργία των ηλιακών φωτοβολταϊκών στοιχείων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στηρίζεται στην πρακτική εκμετάλλευση του παραπάνω φαινομένου.

### 1.2.3 Αποθήκευση Ηλεκτρικής Ενέργειας και ΑΠΕ

Οι επενδύσεις στην αποθήκευση ενέργειας είναι κομβικές για τον στόχο της απανθρακοποίησης του ηλεκτρικού συστήματος και την περαιτέρω διεύρυνση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Και αυτό διότι η παραγωγή των ΑΠΕ είναι στοχαστική, οπότε οι μονάδες αποθήκευσης μπορούν να απορροφήσουν την περίσσεια παραγωγή ΑΠΕ, η οποία στη συνέχεια αξιοποιείται από το σύστημα όταν υπάρχει έλλειψη. Με τα συστήματα αποθήκευσης, θα μπορούν στο μέλλον οι ΑΠΕ να μετατρέπονται σε μονάδες βάσης, δηλαδή σε μονάδες που θα καλύπτουν βασικά φορτία του συστήματος. Η αποθήκευση της ενέργειας προς άμεση χρήση ως ηλεκτρική γίνεται με τους ακόλουθους τρόπους:

#### 1. Δυναμική Ενέργεια

- Άντληση νερού (pumped hydro storage)
- Συμπύεση αερίων (compressed gas)
- Ελατήρια (springs)

#### 2. Κινητική Ενέργεια

- Σφόνδυλοι (flywheels)

#### 3. Χημική Ενέργεια

- Συνθετικά καύσιμα (από τον γαιάνθρακα, υγρά και αέρια, και από τη βιομάζα)
- Ηλεκτροχημικές ενεργειακές πηγές (Συσσωρευτές-batteries, Υδρογόνο - υγρό ή αέριο-, στοιχεία καυσίμων - fuel cells)

#### 4. Ηλεκτρομαγνητικά πεδία

- Μαγνητικά πεδία (υπεραγωγή πηνία εμβαπτισμένα σε υγρό ήλιο υπό κενό – superconducting magnetic energy storage, προβληματική η διατήρηση των χαμηλών θερμοκρασιών)

- Ηλεκτρικά πεδία (υπερ-πυκνωτές από άνθρακα κ.α., advanced electrochemical capacitors)

### 1.3 Ηλεκτρικά Οχήματα

Η παγκόσμια ανησυχία για ζητήματα που αφορούν το περιβάλλον, όπως η έντονη αύξηση των αέριων ρύπων και του φαινομένου του θερμοκηπίου σε συνδυασμό με την έλλειψη των ορυκτών καυσίμων έδωσε ώθηση στην υιοθέτηση εναλλακτικών μέσων μεταφοράς φιλικότερων προς το περιβάλλον. Ιδανική λύση στο ζήτημα των μεταφορών αποτελούν τα ηλεκτρικά οχήματα.

Οι πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις στο χώρο των συσσωρευτών ενίσχυσαν την ανταγωνιστικότητα των ηλεκτροκίνητων οχημάτων ωθώντας την προσοχή των κυβερνήσεων και των αυτοκινητοβιομηχανιών προς το τομέα αυτό. Ωστόσο, χρειάζονται αρκετές ακόμα προσπάθειες ώστε τα ηλεκτρικά οχήματα να γίνουν μέρος της καθημερινότητάς μας. Η έλλειψη κατάλληλων υποδομών και συγκεκριμένου ρυθμιστικού πλαισίου για την διασύνδεση των ηλεκτρικών οχημάτων στο ηλεκτρικό δίκτυο είναι τα σημαντικότερα εμπόδια. Ο βαθμός στον οποίο τα ηλεκτρικά οχήματα θα επιβαρύνουν το ηλεκτρικό δίκτυο εξαρτάται από το πλήθος των οχημάτων που συνδέονται στο κάθε σημείο του ηλεκτρικού δικτύου, καθώς επίσης και από την ισχύ και τη χρονική περίοδο στην οποία τα ηλεκτρικά οχήματα φορτίζονται από αυτό.

Τα πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών τρόπων μετακίνησης, είναι:

- *Ο περιορισμός της ζήτησης πετρελαίου* στον τομέα των μεταφορών, μειώνοντας με τον τρόπο αυτό την ενεργειακή εξάρτηση κυρίως από τις χώρες της μέσης ανατολής και τη Ρωσία. Έτσι μειώνεται σημαντικά το κόστος της καθημερινής χρήσης ενός οχήματος, καθώς τα τελευταία χρόνια η τιμή του πετρελαίου έχει παρουσιάσει πολύ ανοδικές τάσεις.
- *Δεν εκπέμπουν ρυπογόνα αέρια*, επομένως δε συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Μελέτες έχουν δείξει πως οι ρύποι που δημιουργούνται κατά την ηλεκτροπαραγωγή για τη φόρτιση των συσσωρευτών των ηλεκτρικών οχημάτων, είναι μειωμένοι κατά 2/3 σε σχέση με εκείνους των συμβατικών οχημάτων. Επίσης, αξίζει να αναφερθεί πως τα επίπεδα της ηχορύπανσης κατά τη λειτουργία ενός ηλεκτρικού οχήματος, είναι πολύ μικρότερα από εκείνα κατά τη λειτουργία ενός κινητήρα εσωτερικής καύσης.
- Μέσω της χρήσης ηλεκτρικών οχημάτων *αυξάνεται η ενεργειακή απόδοση*, καθώς οι υπάρχοντες ηλεκτροκινητήρες αποδίδουν πάνω από το 85% της χημικής ενέργειας η οποία βρίσκεται αποθηκευμένη στους συσσωρευτές τους για την κίνηση των τροχών, σε αντίθεση με τις μηχανές εσωτερικής καύσης που μετατρέπουν μόνο το 20-30% της ενέργειας που είναι αποθηκευμένη στη βενζίνη.
- Ένα ηλεκτρικό όχημα έχει πολύ μικρότερο σύστημα ηλεκτρικής κίνησης διότι λειτουργεί σε *υψηλότερες στροφές* από ότι ένας βενζινοκινητήρας - μπορεί να φτάσει και έως τις 18.000 στροφές/λεπτό. Ακόμα ένα σημαντικό πλεονέκτημα

αποτελεί η αύξηση της ενεργητικής ασφάλειας από το γεγονός πως τα ηλεκτρικά οχήματα επιτυγχάνουν *μέγιστη ροπή* από την ακινησία έως και το μέγιστο όριο τάσης του κινητήρα και σταθερή ισχύ στη συνέχεια. Τέλος, είναι σημαντικά μεγαλύτερη η αξιοπιστία και η διάρκεια ζωής τους και εξαιρετικά μειωμένο το κόστος συντήρησής τους.

Ωστόσο, τα ηλεκτρικά οχήματα χαρακτηρίζονται και από αρκετούς περιορισμούς που προκαλούν επιφυλάξεις στους καταναλωτές σχετικά με την καθημερινή χρήση τους:

- Το βασικότερο μειονέκτημα των ηλεκτρικών οχημάτων αποτελεί η *αυτονομία* τους, καθώς με κάθε κύκλο φόρτισης της μπαταρίας τους μπορούν να διανύσουν περιορισμένη χιλιομετρική απόσταση. Κατά το παρελθόν ένα ηλεκτρικό όχημα χρειαζόταν κάθε 60 χιλιόμετρα επαναφόρτιση, ενώ στις μέρες μας τα σύγχρονα μοντέλα παρουσιάζουν αυτονομία ταξιδιού που φτάνει τα 250 χιλιόμετρα στα αυτοκίνητα πόλης και τα 550 χιλιόμετρα αντίστοιχα σε οχήματα μεγάλης ισχύος.
- Σημαντικό εμπόδιο στην εξάπλωση της χρήσης των ηλεκτρικών οχημάτων αποτελεί ο *μεγάλος χρόνος επαναφόρτισης* τους, που συνήθως φτάνει τις 6 ώρες για μια πλήρη επαναφόρτιση. Αξίζει βέβαια να αναφερθεί πως αρκετά σύγχρονα μοντέλα μπορούν να φορτίσουν κατά το 80% της μπαταρίας τους σε χρόνο περίπου μισής ώρας.
- Τα ηλεκτρικά οχήματα παρουσιάζουν υψηλές δαπάνες κατασκευής, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα την *υψηλή τιμή* πώλησής τους. Η χαμηλή ζήτηση, που προκαλείται από τα χαμηλά ποσοστά διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων μέχρι σήμερα, όπως είναι λογικό οδηγεί στην διατήρηση σε υψηλά επίπεδα της τιμής τους.
- Ο *όγκος και το βάρος των συσσωρευτών* ενός ηλεκτρικού οχήματος είναι ένα ακόμα κομμάτι που θα πρέπει να βελτιωθεί τα επόμενα χρόνια, καθώς οι συστοιχίες μπαταριών είναι βαριές και καταλαμβάνουν σημαντικό χώρο στο όχημα. Ακόμα στον όγκο των συσσωρευτών, πρέπει να προστεθεί και ο όγκος των εγκατεστημένων συστημάτων ασφαλείας που αφορούν την προστασία από την εκδήλωση πυρκαγιάς στις μπαταρίες είτε λόγω βραχυκυκλώματος, είτε λόγω υπερθέρμανσης.

### **1.3.1 Πρόβλεψη Διείσδυσης Ηλεκτρικών Οχημάτων**

Η τεχνολογική εξέλιξη στον τομέα των ηλεκτρονικών ισχύος και των μπαταριών προμηνύει ότι η βιομηχανία των ηλεκτρικών οχημάτων θα έχει μια αξιοσημείωτη επίδραση στην παγκόσμια αγορά αυτοκινήτου. Τα επόμενα είκοσι χρόνια ο αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά σε σχέση με σήμερα.

Ταυτόχρονα, στα δίκτυα διανομής θα λάβουν χώρα σημαντικές αλλαγές, οι οποίες, σε μεγάλο βαθμό, θα αποτελούν τις απαραίτητες λύσεις στις νέες προκλήσεις που επιβάλλουν η διανεμημένη παραγωγή (ΑΠΕ) και τα ηλεκτρικά οχήματα. Σύγχρονα συστήματα διαχείρισης του δικτύου διανομής και άλλο λογισμικό κέντρων ελέγχου

ενέργειας είναι αναγκαία για να ξεκλειδώσουν τα πλεονεκτήματα από την αυξημένη ανάπτυξη των αισθητήρων και του υλικού ελέγχου. Τα αυτόματα συστήματα ανίχνευσης και απομόνωσης σφαλμάτων και αποκατάστασης της λειτουργίας του συστήματος και τα αυτόματα συστήματα ελέγχου της τάσης και της άεργου ισχύος απαιτούν σύγχρονο υλικό και λογισμικό, αλλά προσφέρουν ως αντάλλαγμα σημαντικά πλεονεκτήματα.

Αν οι ρυθμιστικές αρχές και οι ηλεκτρικές εταιρίες δώσουν κατάλληλα κίνητρα για τη φόρτιση, ώστε ως επί το πλείστον να μην συμπίπτει με την αιχμή φορτίου του συστήματος, τότε τα ηλεκτρικά οχήματα θα βελτιώνουν τον συντελεστή φορτίου του συστήματος και δεν θα προκαλούν δύσκολα διαχειρίσιμες καταστάσεις για το ηλεκτρικό δίκτυο. Διαφορετικά, η ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων θα απαιτεί περισσότερες επενδύσεις σε εξοπλισμό και μια ευρεία αναδιαστασιολόγηση του συστήματος. Η ανάγκη για σημαντική αύξηση της παραγωγής ενέργειας είναι δεδομένη, καθώς όλη η χημική ενέργεια που σήμερα μεταφέρεται με αγωγούς, τανκερς και βυτιοφόρα, πλέον θα παρέχεται από το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

Δίνεται λοιπόν έμφαση στην όσο το δυνατόν πιο ομαλή ένταξη των ηλεκτρικών οχημάτων από τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας. Η έμφαση αυτή γίνεται ολοένα και πιο δαπανηρή, σε ένα περιβάλλον με ραγδαίες τεχνολογικές εξελίξεις που προσφέρουν δυνατότητες για σημαντική αύξηση της απόδοσης. Οι ρυθμιστικές αρχές θα πρέπει να σχεδιάσουν μηχανισμούς για την κατανομή των χρηματοοικονομικών κινδύνων για καινοτόμες επενδύσεις που στοχεύουν στην αύξηση της απόδοσης του συστήματος, καθώς και μηχανισμούς που θα διασφαλίζουν ότι τα αποτελέσματα των καινοτόμων επενδύσεων μοιράζονται με τους καταναλωτές.

## **1.4 Σκοπός και Δομή της Εργασίας**

Ο στόχος της εργασίας αυτής είναι να κατανοηθούν καλύτερα οι επιπτώσεις που σχετίζονται με το αυξανόμενο μερίδιο των ηλεκτρικών οχημάτων για το σύστημα ισχύος. Διαφορετικές στρατηγικές φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων αξιολογούνται ως προς τις επιπτώσεις στο σύστημα ισχύος.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή σε θεμελιώδεις έννοιες και ορισμούς, ώστε ο αναγνώστης να είναι εξοικειωμένος με την ορολογία και το θεωρητικό υπόβαθρο.

Στο δεύτερο κεφάλαιο της εργασίας αναφέρεται στα ηλεκτρικά οχήματα και το ρυθμιστικό πλαίσιο της φόρτισής τους.

Το τρίτο κεφάλαιο αποτελεί το κύριο σώμα της εργασίας, και αφορά στην σύνδεση μεταξύ της φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων και την επίδραση που αυτή έχει στο Ελληνικό Δίκτυο Ηλεκτρικής Ενέργειας.

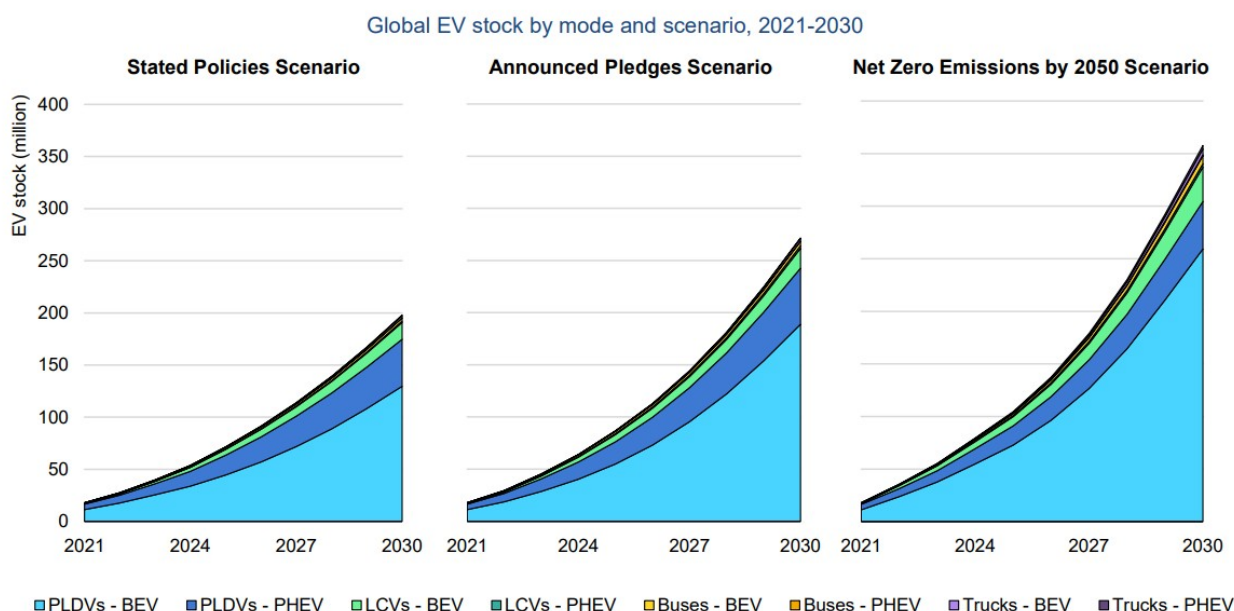
Στο τέταρτο κεφάλαιο περιλαμβάνει τα συμπεράσματα και ορισμένες προκύπτουσες

προτάσεις βελτιστοποίησης της Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων.  
Τέλος ακολουθεί η σχετική βιβλιογραφία.

## 2. Ηλεκτρικά οχήματα και ρυθμιστικό πλαίσιο

Λίγοι τομείς σχετιζόμενοι με την καθαρή ενέργεια είναι τόσο δυναμικοί όσο η αγορά ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Οι πωλήσεις ηλεκτρικών οχημάτων (EVs) διπλασιάστηκαν το 2021 σε σχέση με το προηγούμενο έτος σε νέο ρεκόρ 6,6 εκατομμυρίων. Το 2022, μόλις 120.000 ηλεκτρικά αυτοκίνητα πουλήθηκαν παγκοσμίως. Το 2021, περισσότερα από αυτά πωλούνται κάθε εβδομάδα. Σχεδόν το 10% των παγκόσμιων πωλήσεων αυτοκινήτων ήταν ηλεκτρικά το 2021, τέσσερις φορές το μερίδιο αγοράς το 2019. Αυτό οδήγησε τον συνολικό αριθμό ηλεκτρικών αυτοκινήτων στους δρόμους του κόσμου σε περίπου 16,5 εκατομμύρια, τριπλάσιο από το ποσό το 2018. Οι παγκόσμιες πωλήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων διατηρήθηκαν σημειώνοντας μεγάλη άνοδο το 2022, με 2 εκατομμύρια πωλήσεις το πρώτο τρίμηνο, αύξηση 75% από την ίδια περίοδο του 2021.

Η επιτυχία των EV καθοδηγείται από πολλούς παράγοντες. Η διαρκής υποστήριξη της πολιτικής είναι ο κύριος πυλώνας. Οι δημόσιες δαπάνες για επιδοτήσεις και κίνητρα για ηλεκτρικά οχήματα σχεδόν διπλασιάστηκαν το 2021 σε σχεδόν 30 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ. Ένας αυξανόμενος αριθμός χωρών έχουν δεσμευτεί να καταργήσουν σταδιακά τους κινητήρες εσωτερικής καύσης ή να έχουν φιλόδοξους στόχους ηλεκτροκίνησης οχημάτων για τις επόμενες δεκαετίες. Εν τω μεταξύ, πολλές αυτοκινητοβιομηχανίες έχουν σχέδια να ηλεκτροδοτήσουν τους στόλους τους που υπερβαίνουν τους στόχους πολιτικής. Τέλος, πέντε φορές περισσότερα νέα μοντέλα EV ήταν διαθέσιμα το 2021 σε σχέση με το 2015, αυξάνοντας την ελκυστικότητα για τους καταναλωτές. Ο αριθμός των μοντέλων EV που διατίθενται στην αγορά είναι περίπου 450.

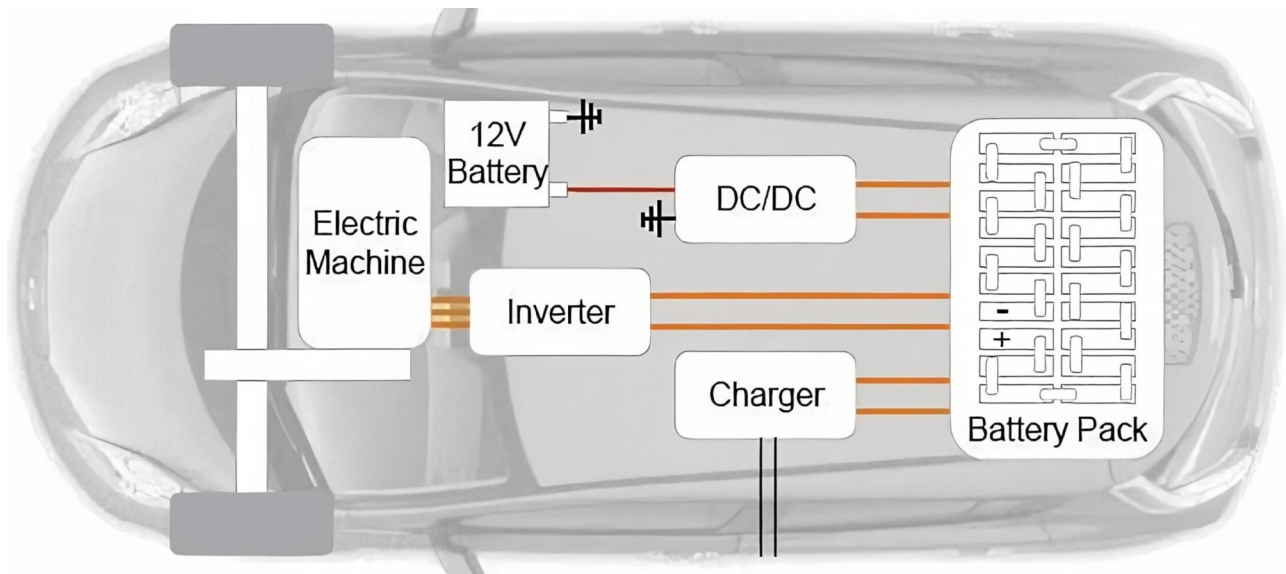


IEA. All rights reserved

**Εικόνα 2.1** Πρόβλεψη παγκόσμιας αύξησης ηλεκτρικών οχημάτων από την διεθνή επιτροπή ενέργειας (IEA).

## 2.1 Χαρακτηριστικά Φόρτισης

Το κύριο στοιχείο που διαφοροποιεί τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα από τα υβριδικά είναι η απουσία μηχανής εσωτερικής καύσης. Η ενέργεια του οχήματος προέρχεται από καθαρά ηλεκτρική πηγή και η κίνηση του οχήματος βασίζεται αποκλειστικά σε έναν ή περισσότερους ηλεκτρικούς κινητήρες. Στην **Εικόνα 2.2** παρουσιάζεται ένα απλουστευμένο διάγραμμα των κύριων λειτουργικών τμημάτων ενός ηλεκτρικού οχήματος.



**Εικόνα 2.2** Διάγραμμα στοιχείων ισχύος τυπικού ηλεκτρικού οχήματος.

Ένα από τα βασικότερα μέρη του Ηλεκτρικού Οχήματος, αν όχι το βασικότερο, είναι η συστοιχία ηλεκτροχημικών συσσωρευτών. Οι ηλεκτροχημικοί συσσωρευτές μετατρέπουν την χημική ενέργεια σε ηλεκτρική. Αυτό επιτυγχάνεται με την ύπαρξη δύο διαφορετικών στοιχείων, την *άνοδο* και την *κάθοδο*, που αντιδρούν μέσα σε έναν ηλεκτρολύτη. Τα στοιχεία αυτά ανταλλάσσουν ηλεκτρόνια, τα οποία κινούμενα δίνουν το απαιτούμενο ηλεκτρικό ρεύμα. Τα τελευταία χρόνια επενδύονται σημαντικά κεφάλαια και παρουσιάζεται παγκοσμίως έντονη επιστημονική δραστηριότητα για τη βελτίωση των χαρακτηριστικών υφιστάμενων τύπων συσσωρευτών ή/και την επινόηση νέων.

Στην κατασκευή οποιουδήποτε οχήματος τόσο ο όγκος όσο και η μάζα αποτελούν παράγοντες, που ελέγχονται αυστηρά, και επιδιώκεται η βέλτιστη αξιοποίησή τους. Στόχος είναι η ευρεία παραγωγή συσσωρευτών με μικρότερο κόστος, μεγαλύτερη χωρητικότητα και ισχύ, καθώς και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Η ανοχή σε ακραίες συνθήκες λειτουργίας είναι επίσης απαραίτητο χαρακτηριστικό, καθώς πρέπει να



εξασφαλισθεί η ομαλότητα σε μεγάλο εύρος συνθηκών. Η αντοχή στους κύκλους φόρτισης-αποφόρτισης που υποδεικνύει πόσες φορές μπορεί να γίνει αυτός ο κύκλος χωρίς να πέσει σε μη αποδεκτά επίπεδα η απόδοση της μπαταρίας είναι επίσης πολύ σημαντική. Παρόλα αυτά θα πρέπει όλα τα παραπάνω να επιτευχθούν στα πλαίσια ενός αποδεκτού κόστους. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια σημαντική μείωση στο κόστος της μπαταρίας με παράλληλη αύξηση της πυκνότητας ενέργειας, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα την αυξημένη αυτονομία των ηλεκτρικών οχημάτων με πιο προσιτό κόστος.

Σήμερα, υπάρχουν διαφορετικές τεχνολογίες μπαταριών που είναι εμπορικά διαθέσιμες. Η κύρια τεχνολογία συσσωρευτών για την αποθήκευση ενέργειας στα ηλεκτρικά οχήματα είναι οι συσσωρευτές Λιθίου-Ιόντος (Lithium-Ion). Οι συσσωρευτές αυτής της τεχνολογίας εφαρμόζονται σήμερα ευρέως και σε πολλές ηλεκτρονικές συσκευές με άριστη αποδοτικότητα. Η εφαρμογή σε ηλεκτρικά οχήματα είναι ιδιαίτερα ελκυστική, αφού διαθέτουν υψηλή πυκνότητα ενέργειας ανά μονάδα μάζας και όγκου, προσφέροντας έτσι ιδιαίτερα αυξημένη αυτονομία. Πιο συγκεκριμένα, οι συγκεκριμένες μπαταρίες παρουσιάζουν περίπου 2-3 φορές μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα από άλλες τεχνολογίες μπαταριών (300Wh/kg ή 100Wh/kg). Η διάρκεια ζωής των μπαταριών αυτών ανέρχεται στους 1000 πλήρεις κύκλους λειτουργίας. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά καθιστούν την τεχνολογία αυτή ιδανική για εφαρμογές όπως τα ηλεκτρικά οχήματα, επιτρέποντας μεγαλύτερη αυτονομία οδήγησης συγκριτικά με τη τεχνολογία μολύβδου-οξέος. Ωστόσο, το υψηλό κόστος των μπαταριών αυτού του τύπου είναι ένα σημαντικό αρνητικό στοιχείο μιας και το αρχικό κεφάλαιο επένδυσης σε ηλεκτρικό όχημα αυξάνεται σημαντικά συγκριτικά με το κόστος του αντίστοιχου συμβατικού οχήματος. Το 2007, το κόστος των συγκεκριμένων συσσωρευτών ήταν περίπου 1500 \$/kWh, ενώ το 2020 είχε μειωθεί σημαντικά (100\$/kWh).

Η ανάπτυξη κατάλληλων υποδομών φόρτισης είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που θα δώσει ώθηση στην αγορά των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Η επάρκεια του δικτύου ηλεκτρικής φόρτισης εξαρτάται από τρεις παραμέτρους:

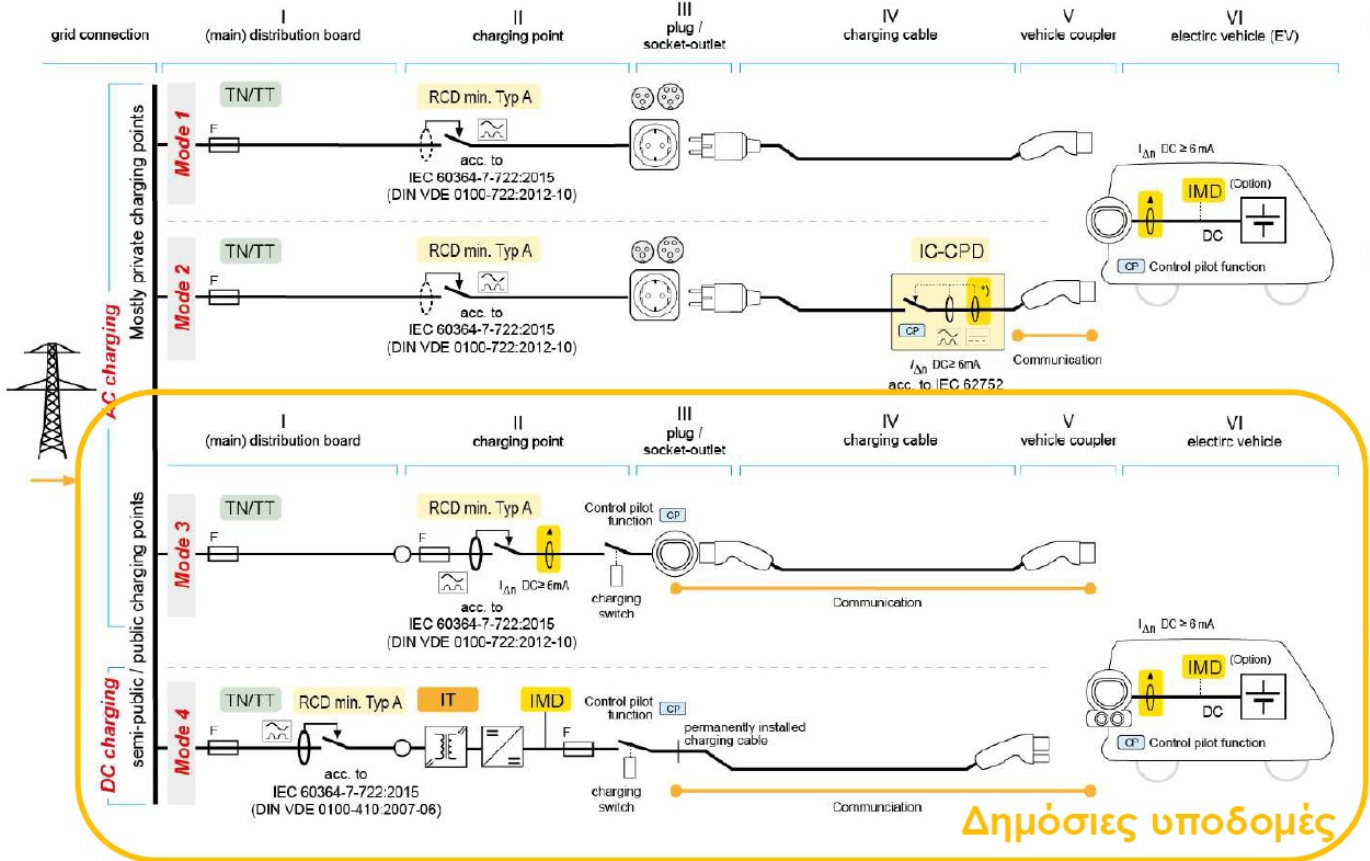
- Τον κατάλληλο αριθμό φορτιστών
- Την κατάλληλη τοποθεσία εγκατάστασης των φορτιστών
- Τον απαιτούμενο χρόνο φόρτισης

Ο αριθμός και η τοποθεσία εγκατάστασης των σταθμών φόρτισης απαιτεί ένα οργανωμένο στρατηγικό πλάνο που θα λαμβάνει υπόψη του τόσο τις ανάγκες και συνήθειες των οδηγών, όσο και την επάρκεια των υποδομών ηλεκτρικής ενέργειας, ώστε να μην διαταράσσεται βραχυπρόθεσμα η ομαλή λειτουργία του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας (υπερφορτίσεις, μεγάλες πτώσεις τάσεως). Όσον αφορά τον χρόνο φόρτισης, είναι αδύνατη σήμερα η μείωσή του σε επίπεδα αντίστοιχα του χρόνου ανατροφοδότησης των συμβατικών αυτοκινήτων

Οι υποδομές φόρτισης διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες: την αγωγήμη φόρτιση και την ασύρματη (επαγωγική) φόρτιση.

## 2.1.1 Φόρτιση με Αγωγήμη Σύνδεση

Η φόρτιση αυτού του τύπου απαιτεί τη σύνδεση των ηλεκτρικών οχημάτων σε κατάλληλο ηλεκτρικό εξοπλισμό, με επαφές που πρέπει να συνδεθούν άμεσα αγωγήμα μεταξύ τους. Ανάλογα με το επίπεδο ισχύος φόρτισης, οι μέθοδοι φόρτισης διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες σύμφωνα με το πρότυπο IEC 81851-1.



Πηγή: Overview of charging modes and protective measures, Bender Benelux B.V.

**Εικόνα 2.3** Μέθοδοι φόρτισης κατά IEC 81851-1.

- Επίπεδο 1 (Mode 1):** Αυτός είναι ο πιο απλός τρόπος φόρτισης που απαιτεί τη σύνδεση του αυτοκινήτου σε μονοφασική ή τριφασική παροχή εναλλασσόμενου ρεύματος ισχύος μέχρι 11kW, η οποία μπορεί να είναι και ένας συμβατικός οικιακός ρευματοδότης. Στην Αμερική, όπως ορίζεται και από το πρότυπο SAE J1772, η μέγιστη ισχύς μονοφασικής φόρτισης είναι 1,92kW (καθώς η ονομαστική τιμή της τάσης είναι 110-120V και το ονομαστικό ρεύμα είναι 16A). Στην Ευρώπη, όπου οι ρευματοδότες έχουν τάση 220-230V, η αντίστοιχη μέγιστη μονοφασική ισχύς είναι 3,2kW. Τα περισσότερα ηλεκτρικά οχήματα διαθέτουν ένα κατάλληλο καλώδιο φόρτισης που παρέχεται με την αγορά τους με αποτέλεσμα να μην απαιτείται επιπλέον εξοπλισμός για τη φόρτισή τους. Ο χρόνος φόρτισης σε τέτοιες υποδομές φόρτισης είναι μεγάλος (μπορεί να ξεπεράσει και τις δώρες μια πλήρη φόρτιση) και χρησιμοποιούνται μόνο για οικιακή φόρτιση. Στην μέθοδο αυτή δεν υπάρχει δυνατότητα επικοινωνίας, ελέγχου και προστασίας, καθώς

ουσιαστικά πρόκειται για απευθείας σύνδεση και ως εκ τούτου και δεν συνίσταται.

- **Επίπεδο 2 (Mode 2):** Μονοφασική ή τριφασική φόρτιση με ονομαστικό ρεύμα φόρτισης μέχρι 32A και μέγιστη ισχύς 22kW. Για τη φόρτιση αυτή, ο οικιακός ρευματοδότης δεν επαρκεί και απαιτείται συγκεκριμένη υποδομή φόρτισης. Η μέγιστη ισχύς των υποδομών αυτών μπορεί φτάσει την τιμή των 19,2kW με μέγιστο ρεύμα 80A, σύμφωνα με το πρότυπο SAE J1772. Ο απαιτούμενος χρόνος φόρτισης στο επίπεδο 2 είναι μειωμένος κατά 50% συγκριτικά με τον αντίστοιχο του επιπέδου 1. Ενσωματώνει δε ειδική συσκευή και λογισμικό προστασίας και επικοινωνίας στο καλώδιο, χωρίς όμως δυνατότητα ελέγχου ροής ισχύος (αυτή ελέγχεται από το φορτιστή του οχήματος). Η μέθοδος αυτή συναντάται σχεδόν στο σύνολο των ιδιωτικών σημείων φόρτισης.
- **Επίπεδο 3 (Mode 3):** Το επίπεδο αυτό αφορά στην κανονική ή ταχεία φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων (< 1ώρα) με τριφασική παροχή ηλεκτρικού ρεύματος. Σε αυτό το επίπεδο φόρτισης, το ονομαστικό εναλλασσόμενο ρεύμα φόρτισης είναι 63A επιτρέποντας μεταφερόμενη ισχύ ίση με 43.5kW. Οι φορτιστές αυτοί είναι μόνιμα διασυνδεδεμένοι με το δίκτυο και διαθέτουν επικοινωνία με το ηλεκτρικό όχημα, διατάξεις προστασίας και έλεγχο της ροής ισχύος φόρτισης. Η μέθοδος αυτή αφορά κυρίως δημόσιους σταθμούς φόρτισης.
- **Επίπεδο 4 (Mode 4):** Το επίπεδο αυτό αφορά στην ταχεία ή υπερταχεία φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων (< 1ώρα) με συνεχές ρεύμα (DC) ισχύος από 38-400kW. Οι φορτιστές συνεχούς ρεύματος είναι αρκετά σύνθετοι μιας και απαιτούν την ενσωμάτωση του μετατροπέα εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) σε συνεχές (DC) στις υποδομές φόρτισης. Το κόστος αυτών των υποδομών φόρτισης είναι πολύ υψηλό και μπορεί να φτάσει τις μερικές δεκάδες χιλιάδες ευρώ. Οι φορτιστές αυτοί είναι μόνιμα διασυνδεδεμένοι με το δίκτυο και διαθέτουν επικοινωνία με το ηλεκτρικό όχημα, διατάξεις προστασίας και έλεγχο της ροής ισχύος φόρτισης. Η μέθοδος αυτή αφορά κυρίως δημόσιους σταθμούς φόρτισης, ειδικά σε αυτοκινητοδρόμους.

Οι ακροδέκτες φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων όπως προβλέπονται από το πρότυπο IEC 62196 παρουσιάζονται στην εικόνα 2.4.

### 2.1.2 Ασύρματη Φόρτιση (Επαγωγικά)

Μια ιδιαίτερα υποσχόμενη μέθοδος ταχείας φόρτισης είναι η επαγωγική φόρτιση. Η επαγωγική φόρτιση επιτρέπει την ασύρματη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ισχύος μεταξύ του ηλεκτρικού δικτύου και της μπαταρίας του ηλεκτρικού οχήματος. Το όχημα αρχίζει να φορτίζει όταν τοποθετηθεί πάνω από τον φορτιστή. Ο συγκεκριμένος τρόπος φόρτισης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων απαλλάσσει τον

οδηγό από τη χρήση καλωδίων απλοποιώντας τη διαδικασία της φόρτισης. Οι επαγωγικοί σταθμοί φόρτισης εξαλείφουν επίσης κάθε είδους κίνδυνο σχετικό με τη χρήση καλωδίων, όπως η χρήση φθαρμένων καλωδίων ή η χρήση καλωδίων σε βροχερό ή χιονισμένο περιβάλλον. Επιπλέον το επαγωγικό σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ισχύος είναι τοποθετημένο υπογείως, εξασφαλίζοντας τη μη έκθεσή του σε άσχημες καιρικές συνθήκες, συμβάλλοντας παράλληλα και στην αποφυγή βανδαλισμών, όπως η κλοπή του καλωδίου φόρτισης.

**Ελάχιστες απαιτήσεις Οδηγίας AFID για σημεία φόρτισης μετά την 18.11.2017**

■ **Mode 3**

**Type 2 (IEC 62196-2)**

✓ Κανονική ή ταχεία φόρτιση

✓ 1Φ / 3Φ AC φόρτιση



■ **Mode 4**

**Combo 2 (IEC 62196-3)**

✓ Ταχεία ή υπερ-ταχεία φόρτιση

✓ DC φόρτιση



**Type 1 (J1772)**

✓ Κανονική φόρτιση

✓ 1Φ AC φόρτιση



**CHAdeMO**

✓ Ταχεία ή υπερ-ταχεία φόρτιση

✓ DC φόρτιση



**Σημεία φόρτισης χαμηλής ισχύος έως 3.7 kVA μπορεί να διαθέτουν και συνήθεις ή βιομηχανικού τύπου 1Φ ρευματοδότες 16 A**

**Εικόνα 2.4** Τύποι ρευματοδοτών κατά IEC 62196.

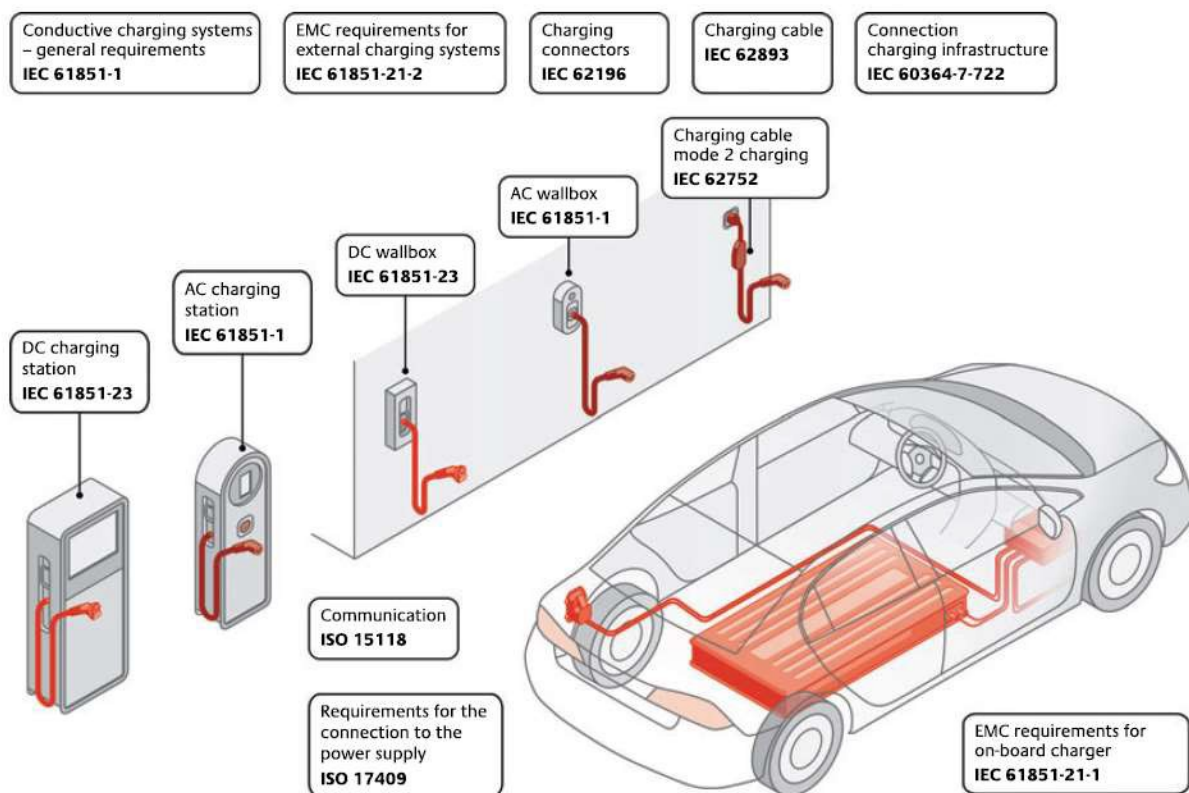
Τα συστήματα που φορτίζουν με τον τρόπο αυτό μεταφέρουν εναλλασσόμενη ισχύ με μαγνητική ζεύξη ενός πρωτεύοντος πηνίου στην πλευρά της παροχής και ενός δευτερεύοντος από την πλευρά του οχήματος, χρησιμοποιώντας έναν υψίσυχο μετασχηματιστή. Επειδή η μπαταρία του οχήματος μπορεί να φορτιστεί μόνο με DC ρεύμα, το εναλλασσόμενο ρεύμα στην έξοδο του δευτερεύοντος πηνίου ανορθώνεται πριν εισέλθει στη μπαταρία. Οι φορτιστές αυτού του τύπου διατηρούν το μεγαλύτερο μέρος του κυκλώματος φόρτισης εκτός του οχήματος και επικοινωνούν με τη μπαταρία μέσω υπέρυθρων ή ραδιοσυχνοτήτων.

Πέραν της στατικής επαγωγικής (ασύρματης) φόρτισης, υπάρχει και η δυναμική φόρτιση όπου η ενέργεια φόρτισης μεταφέρεται στο όχημα καθώς αυτό κινείται. Στη δυναμική φόρτιση δεν απαιτείται η επαφή του οχήματος με τις λωρίδες, αφού επιτρέπεται η ύπαρξη ενός διάκενου αέρος. Με τη χρήση αυτή της τεχνολογίας τα

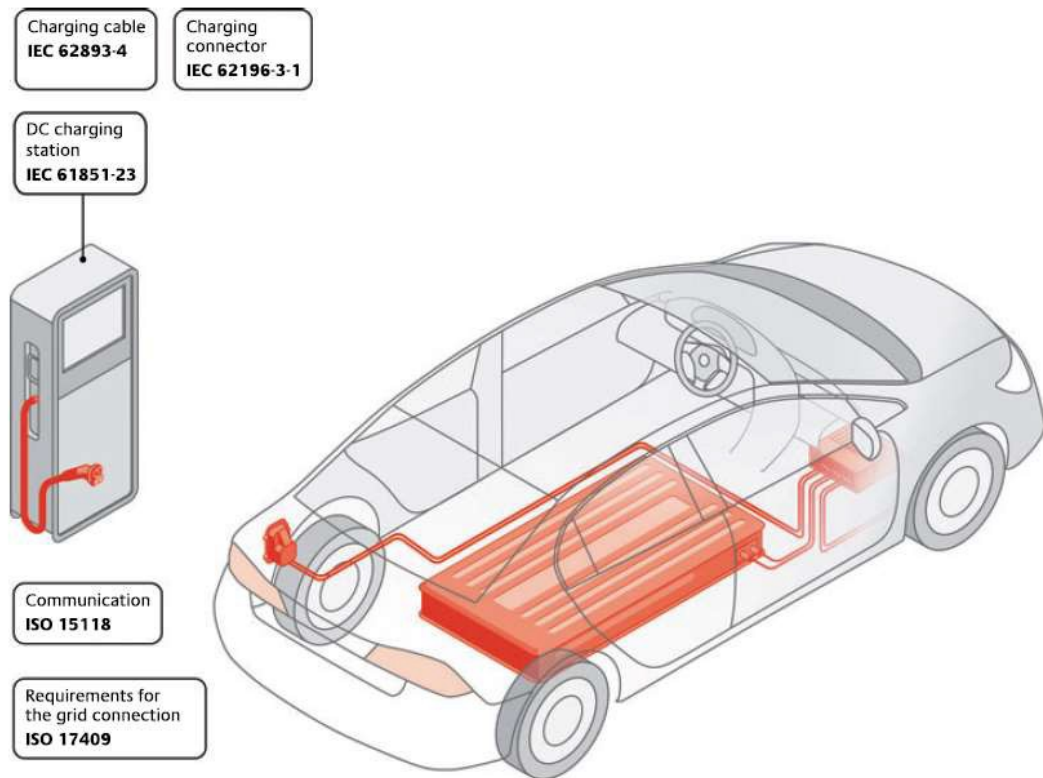
ηλεκτρικά οχήματα είναι ικανά να φορτίζουν την μπαταρία τους σε διάφορα σημεία κατά τη διάρκεια του ταξιδιού τους, μειώνοντας την ανάγκη να σταματούν σε σταθμούς φόρτισης.

Η δυναμική φόρτιση, επομένως δύναται να επιλύσει επιτυχώς τα όποια προβλήματα σχετίζονται με την περιορισμένη ικανότητα των ηλεκτρικών οχημάτων για κάλυψη μεγάλων αποστάσεων. Μάλιστα η ικανότητα φόρτισης σε πολλαπλά σημεία κατά τη διάρκεια μιας διαδρομής επιτρέπει τη χρήση μπαταριών μικρότερης χωρητικότητας, συμβάλλοντας έτσι σε σημαντική μείωση του κόστους των ηλεκτρικών οχημάτων. Από την άλλη πλευρά οι υποδομές είναι εξαιρετικά ακριβές και απαιτούν ευρείας κλίμακας εργασίες, γεγονός που καθιστά αμφίβολη την μελλοντική επικράτησή τους.

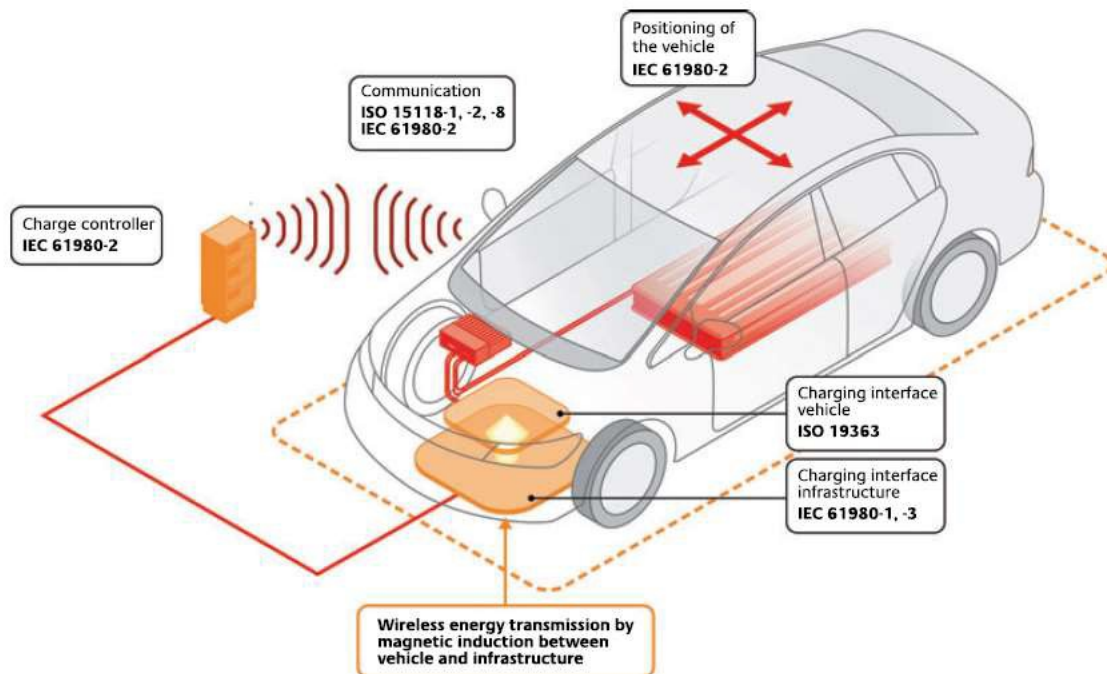
Η στρατηγική ανάπτυξης των σημείων φόρτισης μέχρι το 2020 περιελάμβανε ανάπτυξη όσο το δυνατόν ευρύτερου δικτύου φορτιστών AC και DC μέχρι 50kW, για επιτάχυνση της ύπαρξης αναγκαίων υποδομών που θα υποστηρίξουν τη διάδοση των ηλεκτρικών οχημάτων. Σταδιακά θα αναπτυχθούν και φορτιστές μέχρι 400kW οι οποίοι θα καταστήσουν εφικτή τη φόρτιση κατά το ταξίδι σε χρόνο κάτω της μισής ώρας.



**Εικόνα 2.5** Τυποποιήσεις για ενσύρματους AC φορτιστές (αγωγή σύνδεση).



**Εικόνα 2.6** Τυποποιήσεις για ενσύρματους DC φορτιστές (αγωγή σύνδεση).



**Εικόνα 2.7** Τυποποιήσεις για ασύρματους φορτιστές (επαγωγική σύνδεση).

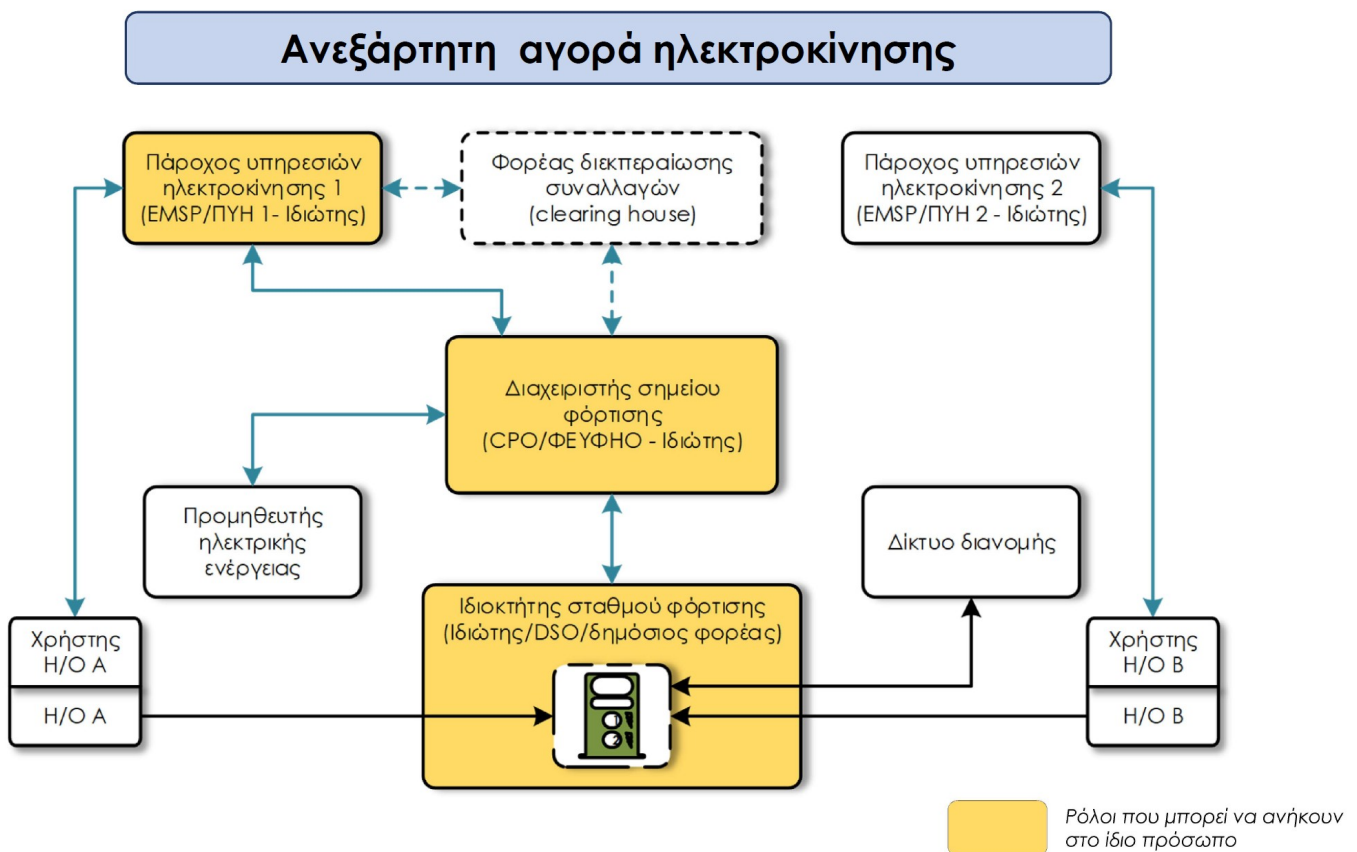
## 2.2 Ρυθμιστικό Πλαίσιο Φόρτισης

Παγκοσμίως έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα ανάπτυξης υποδομών επαναφόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων:

- Μοντέλο ανεξάρτητης αγοράς: Στο μοντέλο αυτό η ιδιοκτησία & ανάπτυξη υποδομών φόρτισης γίνεται από ιδιωτικούς φορείς, μέσω ελεύθερης και ανταγωνιστικής αγοράς. Οι ιδιωτικοί αυτοί φορείς εκμεταλλεύονται τους σταθμούς τους, παρέχοντας και τις υπηρεσίες ηλεκτροκίνησης στους πελάτες τους.
- Μοντέλο διαχειριστή (DSO model): Ο διαχειριστής του ηλεκτρικού δικτύου διανομής έχει στην ιδιοκτησία του και αναπτύσει τους σταθμούς φόρτισης. Η εκμετάλλευσή τους γίνεται είτε από τον ίδιο τον διαχειριστή είτε από ιδιώτες με μίσθωση.
- Μοντέλο διαγωνισμού και παραχώρησης: Στο μοντέλο αυτό υπάρχει κεντρικός σχεδιασμός του δικτύου φόρτισης με χωροθέτηση σταθμών. Στη συνέχεια ιδιωτικοί φορείς (κατ' εξαίρεση και δημόσιοι) αναλαμβάνουν την ανάπτυξη των σταθμών και έχουν την ιδιοκτήσια τους, διενεργούν την εκμετάλλευση και παρέχουν υπηρεσίες ηλεκτροκίνησης στους πελάτες τους.
- Υβριδικά μοντέλα: Συνδυασμός στοιχείων περισσότερων του ενός μοντέλου.

Στα ανωτέρω μοντέλα μια ουσιώδης και καίρια παράμετρος είναι κατά πόσον η ελεύθερη ανάπτυξη ή ο κεντρικός σχεδιασμός είναι η βέλτιστη πρακτική. Στην περίπτωση της ελεύθερης ανάπτυξης προωθείται ο ανταγωνισμός και έχουμε βελτιστοποίηση λύσεων από πλευράς κόστους και λειτουργικότητας υποδομών. Επίσης, έχουμε ευέλικτη ανάπτυξη υποδομών, με προσαρμογή στις εξελισσόμενες ανάγκες που προκύπτουν από την υψηλότερη διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων. Ελοχεύει όμως ο κίνδυνος άνιση κατανομής του δικτύου φόρτισης και ο περιορισμός τους σε "εμπορικά" ωφέλιμες περιοχές. Ο κεντρικός σχεδιασμός από την άλλη εξασφαλίζει οργανωμένη ανάπτυξη του δικτύου φόρτισης διευκολύνοντας σημαντικά την αρχική εγκατάσταση υποδομών στο πρώιμο στάδιο ανάπτυξης της αγοράς (μοντέλο DSO). Αρχικά προσφέρει επιλογή λύσεων χαμηλού κόστους για τελικό χρήστη. Όμως οι αυξημένες ανάγκες υποστήριξης σχεδιασμού, η δεσμευτική ανάπτυξη υποδομών, η μειωμένη ευελιξία προσαρμογής σε εξελισσόμενες ανάγκες, η έλλειψη ανταγωνισμού, ο κίνδυνος υποβέλτιστων λύσεων, και οι καθυστερήσεις λόγω ανάγκης για διενέργεια διαγωνισμών, έχουν περιορίσει την εφαρμογή του σε συγκεκριμένες περιπτώσεις και ιδιαίτερα σε πρώιμα στάδια ανάπτυξης του δικτύου. Στην ευρωπαϊκή πραγματικότητα σήμερα το πλέον κυρίαρχο μοντέλο είναι αυτό της ανεξάρτητης αγοράς. Οι Γερμανία, Γαλλία, Ολλανδία, Σουηδία, Ηνωμένο Βασίλειο, Ιταλία κ.α. το έχουν υιοθετήσει εξαρχής και αποκλειστικά, ενώ στην Πολωνία παρότι αποτελεί το κύριο υιοθετημένο μοντέλο, σε περιπτώσεις μη επίτευξης στόχων επιτρέπεται στον DSO η ανάπτυξη σημείων φόρτισης και διαχειριστές τους για ένα

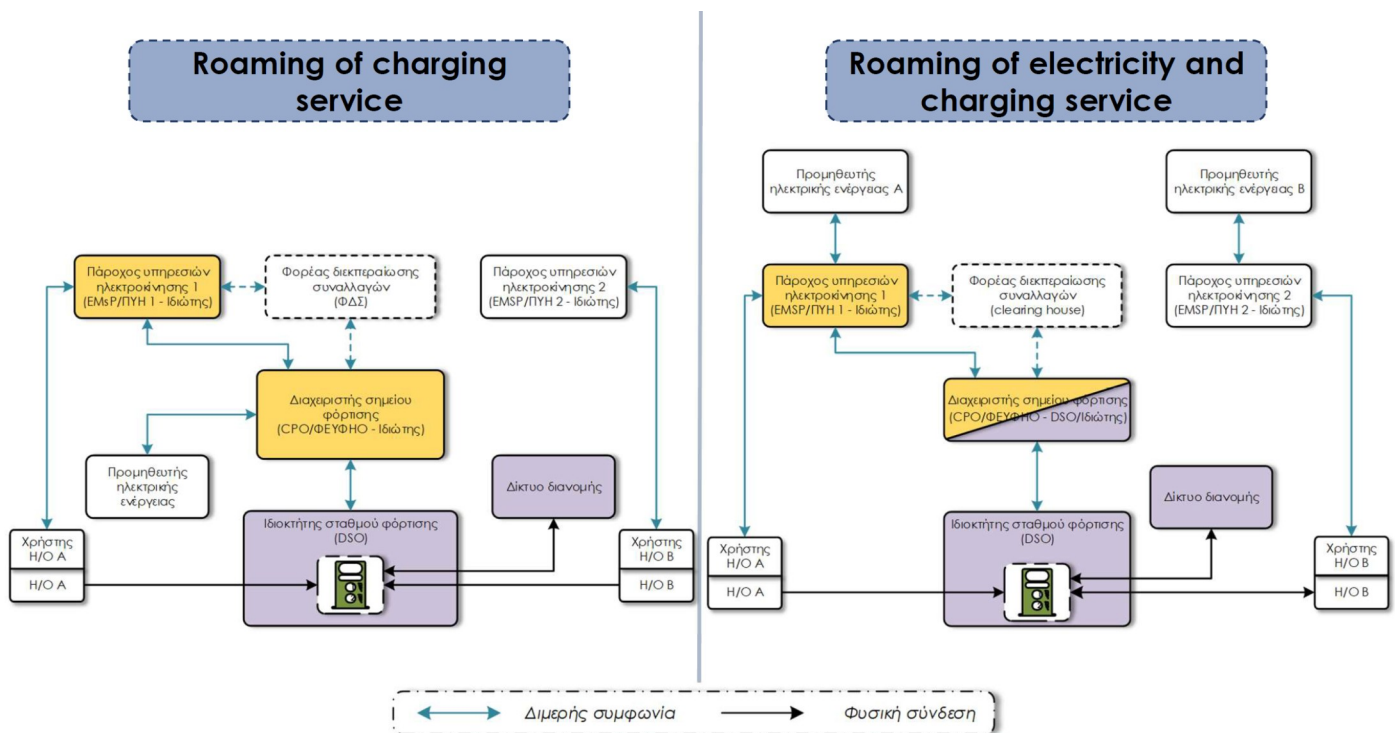
έτος αναλαμβάνει κάποιος προμηθευτής ηλεκτρικής ενέργειας. Το μοντέλο διαγωνισμού και παραχώρησης έχει υιοθετηθεί σε μεμονωμένες πόλεις όπως το Άμστερνταμ, Χάγη, Ρότερνταμ, Ουτρέχτη, Βερολίνο, όπου διεξάγονται δημόσιοι διαγωνισμοί ανάπτυξης και η λειτουργία σταθμών φόρτισης. Ομοίως στη Νορβηγία από το 2011 διεξάγονται δημόσιοι διαγωνισμοί για εγκατάσταση ταχυφορτιστών κατά μήκος του οδικού δικτύου και από το 2009 δίνονται κρατικές επιχορηγήσεις για ανάπτυξη σημείων φόρτισης. Το μοντέλο DSO υιοθετήθηκε από λίγες χώρες, σε πρώιμο στάδιο και πιλοτικά όπως στην Ιρλανδία, μέσω θυγατρικής του DSO με αρχικά δωρεάν υπηρεσίες και προδιαγραφές για μελλοντική μετάβαση σε αγορά κατόπιν εμφάνισης ενδιαφέροντος τρίτων. Επίσης στην Ιταλία, όπου πιλοτικά υιοθετήθηκε το μοντέλο περί το 2010 αλλά έχει πλέον εγκαταλειφθεί. Τέλος στο Λουξεμβούργο υφίσταται και σήμερα κεντρικός ρόλος του DSO σε ανάπτυξη και διαχείριση υποδομών, όμως αυτό θεωρείται μια ιδιάζουσα περίπτωση.



**Εικόνα 2.8** Σχηματική απεικόνιση των σχέσεων των εμπλεκόμενων στο μοντέλο της ανεξάρτητης αγοράς φόρτισης.

Συνέπεια των ανωτέρω, νέοι ρόλοι συμμετεχόντων στη νέα αυτή αγορά έχουν αναδυθεί, οι οποίοι είναι αναγκαίο να εμπλακούν με τους παραδοσιακούς φορείς της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να υλοποιηθούν οι νέες υπηρεσίες φόρτισης.





**Εικόνα 2.8** Σχηματική απεικόνιση των σχέσεων των εμπλεκόμενων στο μοντέλο του Διαχειριστή (DSO).

Τέσσερις νέοι φορείς ηλεκτροκίνησης προβλέπονται σύμφωνα με την νεοεισαχθείσα νομολογία της Ελλάδος: οι Φορείς Εκμετάλλευσης Υποδομών Φόρτισης Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων (ΦΕΥΦΗΟ), οι Φορείς Σωρευτικής Εκπροσώπησης Φορτίου Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων (Φ.Ο.Σ.Ε.Φ.Η.Ο.), οι Πάροχοι Υπηρεσιών Ηλεκτροκίνησης (ΠΥΗ) και ο Φορέας Διεκπαιράιωσης Συναλλαγών (ΦΔΣ).

- **Φ.Ε.Υ.Φ.Η.Ο. (CPO):** Κατ'αρχήν μπορεί να είναι οποιαδήποτε ατομική επιχείρηση ή νομικό πρόσωπο εγγεγραμμένο στο Γενικό Εμπορικό Μητρώο (Γ.Ε.ΜΗ.), με σκοπό την εκμετάλλευση υποδομών φόρτισης. Παρέχει τις υπηρεσίες επαναφόρτισης σε χρήστες ηλεκτρικών οχημάτων (H/O) και είναι υπεύθυνος για την άρτια τεχνική συντήρηση των υποδομών φόρτισης, τη διασφάλιση της διαθεσιμότητας και της ασφαλούς λειτουργίας των σημείων επαναφόρτισης, καθώς και την εποπτεία και τον έλεγχο αυτών μαζί με την παροχή των αναγκών στοιχείων και δεδομένων στο Μητρώο, που δημιουργείται για τον σκοπό αυτό. Οι Φ.Ε.Υ.Φ.Η.Ο. λειτουργούν υποχρεωτικά ηλεκτρονικές πλατφόρμες για την εποπτεία και τον έλεγχο των υποδομών επαναφόρτισης και πληροφοριακά συστήματα διαχείρισης των συλλεγόμενων πληροφοριών. Στα δημόσια προσβάσιμα σημεία επαναφόρτισης, την εκμετάλλευση των σημείων επαναφόρτισης αναλαμβάνει ένας Φ.Ε.Υ.Φ.Η.Ο. εντός ενός έτους από την εγκατάσταση αυτών. Έως την ανάληψη της εκμετάλλευσης αυτών από Φ.Ε.Υ.Φ.Η.Ο., τις ανωτέρω υποχρεώσεις αναλαμβάνει ο

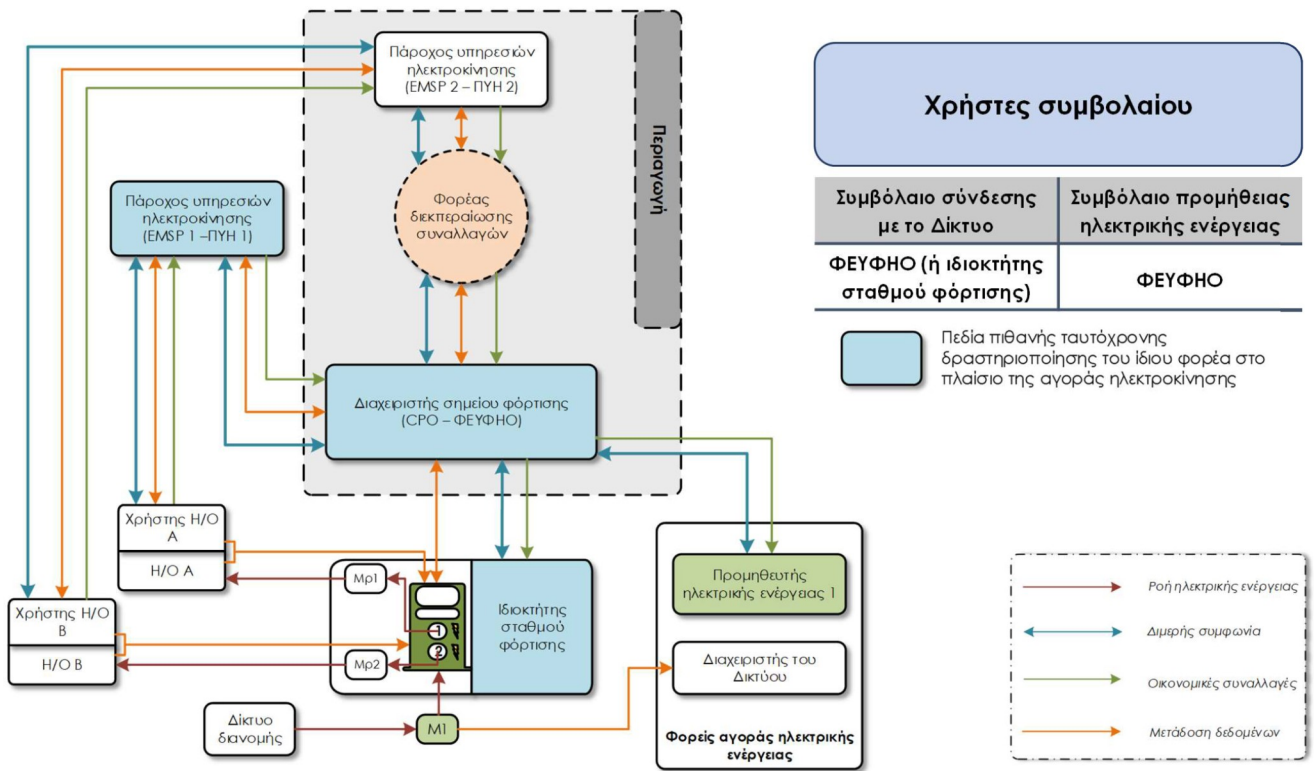
κύριος των υποδομών.».

- **Φ.Ο.Σ.Ε.Φ.Η.Ο.:** Η δεύτερη κατηγορία αφορά τον Φορέα Σωρευτικής Εκπροσώπησης Φορτίου Ηλεκτρικών Οχημάτων (Φ.Ο.Σ.Ε.Φ.Η.Ο.) που αναλαμβάνει την εκπροσώπηση του φορτίου των Ηλεκτρικών Οχημάτων στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, με την αξιοποίηση των δυνατοτήτων διαχείρισης του φορτίου μέσω συστημάτων απομακρυσμένης εποπτείας και ελέγχου των Υποδομών Φόρτισης. Σύμφωνα με το νομοσχέδιο, οι υποχρεώσεις και η λειτουργία των Φ.Ο.Σ.Ε.Φ.Η.Ο. καθορίζονται στις διατάξεις των Κανονισμών Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας, όπως ισχύει, στο μέτρο που λειτουργούν ως Φορείς Σωρευτικής Εκπροσώπησης. Πρέπει να διαθέτουν ή να έχουν εξασφαλίσει τη δυνατότητα διαχείρισης του φορτίου Η/Ο για την παροχή των υπηρεσιών τους. Μπορούν να συμβάλλονται με φορείς της αγοράς ηλεκτροκίνησης ή και απευθείας με χρήστες Ηλεκτρικών Οχημάτων ή κατόχους μη δημοσίως προσβάσιμων υποδομών φόρτισης, ώστε να διασφαλίσουν τη δυνατότητα διαχείρισης του φορτίου των συνδεδεμένων στο Δίκτυο Η/Ο, το οποίο εκπροσωπούν. Ως Φ.Ο.Σ.Ε.Φ.Η.Ο. μπορεί να δραστηριοποιούνται φορείς της αγοράς ηλεκτροκίνησης δηλαδή εταιρίες εισαγωγής ηλεκτρικών οχημάτων, οι οποίοι διαθέτουν δυνατότητα ελέγχου του φορτίου των Η/Ο συμβεβλημένων χρηστών, συμμετέχοντες στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, όπως προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και τρίτα πρόσωπα. Το νομοσχέδιο δεν αποκλείεται στο ίδιο πρόσωπο να δραστηριοποιείται συγχρόνως ως ιδιοκτήτης υποδομών φόρτισης, Φ.Ε.Υ.Φ.Η.Ο., Πάροχος Υπηρεσιών Ηλεκτροκίνησης Φ.Δ.Σ. και Φ.Ο.Σ.Ε.Φ.Η.Ο..».
- **Π.Υ.Η.:** Ο Πάροχος Υπηρεσιών Ηλεκτροκίνησης (Π.Υ.Η.) είναι φορέας που διατηρεί συμβατική σχέση τόσο με συνεργαζόμενους Φ.Ε.Υ.Φ.Η.Ο. ή Φ.Δ.Σ. όσο και με χρήστες Η/Ο, βάσει της οποίας καθορίζονται ο τρόπος τιμολόγησης των υπηρεσιών επαναφόρτισης, οι τιμές χρέωσης και οι μέθοδοι ταυτοποίησης και πληρωμής. Επιπλέον, ο Π.Υ.Η. μπορεί να παρέχει πρόσθετες υπηρεσίες σχετιζόμενες με την επαναφόρτιση, όπως εύρεση διαθέσιμων σημείων επαναφόρτισης, πλοήγηση και κράτηση θέσεων, με στόχο τη βέλτιστη εξυπηρέτηση των χρηστών.
- **Φ.Δ.Σ.:** Ο Φορέας Διεκπεραίωσης Συναλλαγών (Φ.Δ.Σ.) είναι αυτός που διευκολύνει στην ανταλλαγή στοιχείων και τη διεκπεραίωση οικονομικών συναλλαγών μεταξύ φορέων της αγοράς. Για τον σκοπό αυτό αναπτύσσει και λειτουργεί ηλεκτρονική πλατφόρμα για την ανταλλαγή δεδομένων, σε πραγματικό χρόνο ή βάσει προγραμματισμού μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων, που απαιτούνται για την υποστήριξη της απρόσκοπτης παροχής υπηρεσιών από υποδομές

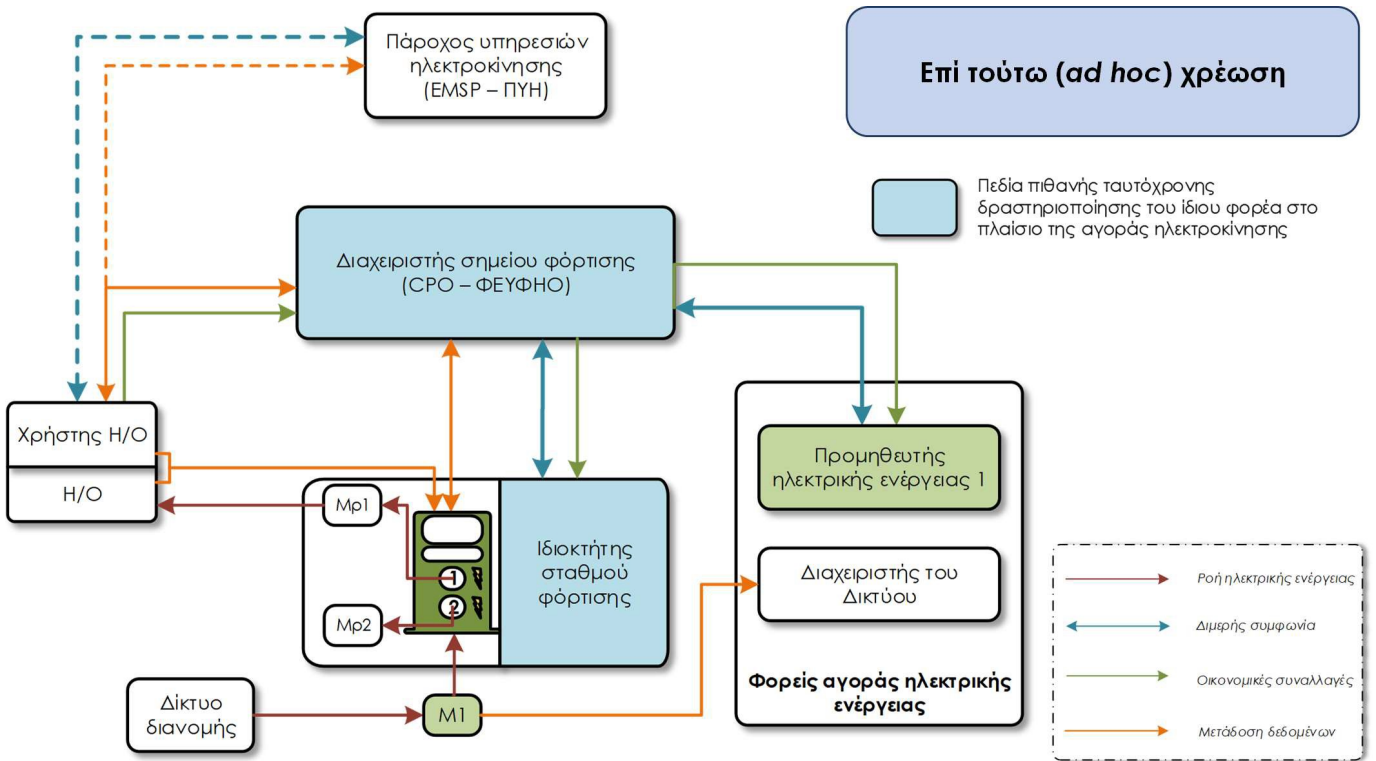
Το νομοσχέδιο καθορίζει το ρόλο του ΔΕΔΔΗΕ, ο οποίος αναλαμβάνει την υποχρέωση να συνεργάζεται κατά τρόπο που δεν εισάγει διακρίσεις με κάθε επιχείρηση η οποία έχει στην ιδιοκτησία της, αναπτύσσει, λειτουργεί ή διαχειρίζεται

σημεία επαναφόρτισης για Η/Ο, όσον αφορά, μεταξύ άλλων, τη σύνδεση με το δίκτυο διανομής. Αρμόδιο για την οργάνωση και εποπτεία της αγοράς ηλεκτροκίνησης είναι το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, σε συνεργασία με τη Ρ.Α.Ε. για θέματα αρμοδιότητάς της, το οποίο ελέγχει και την ελεύθερη και ισότιμη πρόσβαση των φορέων της αγοράς σε αυτήν.

Τέλος, δημιουργείται Μητρώο Υποδομών και Φορέων της Αγοράς Ηλεκτροκίνησης στο υπουργείο Μεταφορών με στοιχεία τόσο για τους φορείς της αγοράς όσο και για τα δημοσίως προσβάσιμα σημεία φόρτισης. Μέσω αυτού αφενός διευκολύνεται η εποπτεία της σχετικής αγοράς και αφετέρου ο πολίτης αποκτά ψηφιακή πρόσβαση στο δίκτυο φόρτισης, λαμβάνοντας ενημέρωση σε πραγματικό χρόνο μέσω του κινητού τηλεφώνου για την διαθεσιμότητα του εγγύτερου σημείου φόρτισης. Ταυτόχρονα παρέχονται σε πραγματικό χρόνο όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για το κόστος φόρτισης, την πλοήγηση σε διαθέσιμο σημείο φόρτισης, κράτηση θέσης, σύγκριση τιμών.



(α)



(β)

**Εικόνα 2.9** Μοντέλο λειτουργίας υποδομών φόρτισης και σχέσεων φορέων (α) για χρήστες συμβολαίου, (β) επί τούτω (ad hoc).

### 3 Φόρτιση Ηλεκτρικών Οχημάτων και Ελληνικό Δίκτυο Ηλεκτρικής Ενέργειας

Οι ενεργειακές ανάγκες των ηλεκτρικών οχημάτων καθορίζονται από την ημερήσια μετακίνηση τους, δηλαδή τις ημερήσιες αποστάσεις που διανύονται, και την κυκλοφοριακή συμπεριφορά του χρήστη. Η ημερήσια μετακίνηση και η κυκλοφοριακή συμπεριφορά τους δεν μπορούν να προσδιοριστούν με ντετερμινιστικό τρόπο και ως εκ τούτου ο προσδιορισμός του φορτίου φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων δεν μπορεί να γίνει με ντετερμινιστικές μεθόδους. Επιπρόσθετα, οι τεχνικές προδιαγραφές του στόλου ηλεκτρικών οχημάτων (η τεχνολογία των οχημάτων, η κατανάλωση του ανά χιλιόμετρο κτλ.), και των υποδομών φόρτισης (επίπεδο φόρτισης, απώλειες μεταφοράς ισχύος κτλ) καθορίζουν επίσης την καμπύλη της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων. Ως εκ τούτου, στην ενότητα αυτή θα αναπτυχθεί και αναλυθεί μια στοχαστική μέθοδος προσδιορισμού της ζήτησης φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων.

Η κατανομή της ζήτησης των ηλεκτρικών οχημάτων κατά τη διάρκεια της ημέρας βασίζεται στη χρονική στιγμή που το όχημα συνδέεται σε ένα σημείο φόρτισης, το χρονικό διάστημα που παραμένει διασυνδεδεμένο και τη διαθεσιμότητα των υποδομών φόρτισης (φόρτιση στο σπίτι, στο χώρο εργασίας ή σε δημόσιο χώρο). Οι παράγοντες αυτοί καθορίζουν τις μεταβολές στο ημερήσιο προφίλ ζήτησης ενός δικτύου.

Οι κύριες παράμετροι που καθορίζουν την καμπύλη ζήτησης των ηλεκτρικών οχημάτων αναλύονται στα επόμενα:

- Επίπεδο διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων
- Κατηγορίες ηλεκτρικών οχημάτων (χωρητικότητα μπαταρίας και χρήση)
- Τεχνολογίες σταθμών φόρτισης (επίπεδο 1, 2 και 3)
- Διαθεσιμότητα φόρτισης (σπίτι, σπίτι/χώρος εργασίας)
- Απώλειες φόρτισης
- Στρατηγική φόρτισης (Μη ελεγχόμενη, Ελεγχόμενη με διζωνικό τιμολόγιο, Ελεγχόμενη φόρτιση, V2G)
- Ημερήσια απόσταση που διανύεται χρονική διάρκεια σύνδεσης του οχήματος στο δίκτυο (άφιξη-αναχώρηση).

Στα επόμενα θα αναφερθούμε σύντομα στο τι συνεπάγονται και πως επηρεάζουν οι παράμετροι αυτές:

- *Επίπεδο διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων:* Ο αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων

βασίζεται στις προβλεπόμενες πωλήσεις των ηλεκτρικών οχημάτων. Υποθέτοντας ότι οι πωλήσεις οχημάτων είναι ανάλογες με τις πληθυσμιακές αλλαγές και την άνοδο του βιοτικού επιπέδου, οι μελλοντικές πωλήσεις παρουσιάζουν μία ανοδική τάση. Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που καθορίζουν τα σενάρια διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων, όπως η τεχνολογική ανάπτυξη και το κόστος των συσσωρευτών, η τιμή των συμβατικών υγρών καυσίμων, οι επενδύσεις σε υποδομές φόρτισης, οι στόχοι για μείωση της ρύπανσης κ.τ.λ..

Μέχρι σήμερα έχουν έρθει στη δημοσιότητα ποικίλες έρευνες σχετικά με τις προβλέψεις για τη διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων. Παρά τις όποιες διαφοροποιήσεις στα εκτιμώμενα ποσοστά διείσδυσης, το κοινό στοιχείο όλων των ερευνών είναι τα βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα σενάρια διείσδυσης που είναι αρκετά αισιόδοξα. Η πιο πρόσφατη έρευνα σχετικά με τα σενάρια πωλήσεων ηλεκτρικών οχημάτων δημοσιεύτηκε το 2021 από την IEA (Εικόνα 2.1).

- Κατηγορίες ηλεκτρικών οχημάτων: Τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να διαχωριστούν σε κατηγορίες ανάλογα με την τεχνολογία, τον αριθμό των τροχών που διαθέτουν και τη χρήση για την οποία προορίζονται. Η χωρητικότητα της μπαταρίας ποικίλει με την κατηγορία των οχημάτων. Ανάλογα με τον τύπο του οχήματος (PHEV ή BEV) μπορεί να κυμαίνεται από μερικές kWh μέχρι και 150kWh.
- Τεχνολογίες σταθμών φόρτισης: Η παράμετρος αυτή καθορίζει τη μέγιστη επιτρεπόμενη ανταλλαγή ισχύος μεταξύ των ηλεκτρικών οχημάτων και του ηλεκτρικού δικτύου, η οποία εξαρτάται από την ονομαστική ισχύ των υποδομών φόρτισης. Το επίπεδο φόρτισης επηρεάζει, επίσης, τη διάρκεια ενός κύκλου για την πλήρη φόρτιση της μπαταρίας. Στα επόμενα εξετάζονται τρεις διαφορετικοί τρόποι φόρτισης: απλή (επίπεδο 1), γρήγορη (επίπεδο 2) και ταχεία φόρτιση (επίπεδο 3) σύμφωνα με τα πρότυπα IEC 62196-1 και IEC 61851-1. Η επιλογή συγκεκριμένου τρόπου φόρτισης για κάθε ηλεκτρικό όχημα είναι πιθανολογική και βασίζεται στην κλάση στην οποία ανήκει.
- Διαθεσιμότητα φόρτισης: Διαφορετικά σενάρια φόρτισης θεωρούνται ανάλογα με τη διαθεσιμότητα των υποδομών για φόρτιση. Διακρίνουμε τη Φόρτιση μετά την τελευταία διαδρομή (φόρτιση στο σπίτι), όταν ένα (ιδιωτικό ή δημόσιο) σημείο φόρτισης είναι διαθέσιμο ή όταν η κατάσταση φόρτισης του συσσωρευτή είναι μικρότερη από ένα επιθυμητό. Καθώς η υιοθέτηση της ηλεκτροκίνησης στον τομέα μεταφορών παραμένει ακόμη σε αρχικό στάδιο, ο αριθμός σημείων φόρτισης αρχικά θα είναι περιορισμένος. Επομένως, οι περισσότεροι από τους ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων θα έχουν τη δυνατότητα να φορτίζουν το όχημά τους αποκλειστικά και μόνο σε οικιακό σταθμό φόρτισης. Στη φόρτιση όταν ένα (ιδιωτικό ή δημόσιο) σημείο φόρτισης είναι διαθέσιμο ο ιδιοκτήτης ηλεκτρικού οχήματος δύναται να φορτίσει το όχημά του όχι μόνο στο σπίτι του αλλά και σε διαφορετικά σημεία, όπως για παράδειγμα στον χώρο εργασίας του. Το συγκεκριμένο σενάριο απαιτεί την εγκατάσταση ενός σημαντικού αριθμού σημείων φόρτισης σε διάφορες δημόσιες και ιδιωτικές περιοχές. Καθώς δεν είναι δυνατό να προσδιοριστεί ο ακριβής αριθμός

ηλεκτρικών οχημάτων που θα φορτίζουν στο σπίτι ή στον χώρο εργασίας, υιοθετούνται διαφορετικά μοντέλα φόρτισης. Κατά τη στρατηγική φόρτισης όταν η κατάσταση φόρτισης του συσσωρευτή είναι μικρότερη από ένα επιθυμητό επίπεδο, η μέση απόσταση που μπορεί να διανύσει ένα ηλεκτρικό όχημα είναι μεγαλύτερη από 100km, σύμφωνα με τις υπάρχουσες τεχνολογίες. Όταν η ημερήσια διανυόμενη απόσταση είναι περιορισμένη, για παράδειγμα μικρότερη από 30km κυρίως σε αστικές περιοχές, ο ιδιοκτήτης του ηλεκτρικού οχήματος πιθανώς να μη φορτίζει τη μπαταρία του οχήματος καθημερινά, παρά μόνο όταν αυτός κρίνει ότι είναι αναγκαίο. Στο σενάριο αυτό, υποθέτουμε ότι ο ιδιοκτήτης του ηλεκτρικού οχήματος θα φορτίσει το όχημά του όταν η κατάσταση φόρτισής της μπαταρίας είναι μικρότερη από ένα κατώτατο όριο.

- Απώλειες φόρτισης: Η παράμετρος αυτή προσομοιώνει τις απώλειες ισχύος για τη μετατροπή της εναλλασσόμενης ισχύος του δικτύου σε συνεχή για τη φόρτιση των συσσωρευτών των ηλεκτρικών οχημάτων, λόγω της λειτουργίας των ηλεκτρονικών ισχύος. Οι απώλειες αυτές θεωρούνται ίσες με 1-5% της συνολικής ενεργειακής ζήτησης.
- Στρατηγική φόρτισης: Διαφορετικές στρατηγικές φόρτισης εξετάζονται ώστε να εξαχθούν ολοκληρωμένα συμπεράσματα σχετικά με την επίδραση της διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Στη μη ελεγχόμενη φόρτιση η διαδικασία της φόρτισης ξεκινά αμέσως μετά τη σύνδεση του ηλεκτρικού οχήματος στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Η στρατηγική αυτή αναφέρεται κυρίως στην οικιακή φόρτιση, όπου το επίπεδο φόρτισης είναι χαμηλό (επίπεδο 1) και απαιτείται μεγάλο χρονικό διάστημα για την πλήρη φόρτιση της μπαταρίας. Αν εφαρμόζεται πολύ-ζωνικό τιμολόγιο μέθοδος αυτή είναι ένας απλοποιημένος μηχανισμός της αγοράς για την έμμεση (μέσω κινήτρων) διαχείριση της κατανάλωσης. Σκοπός της στρατηγικής αυτής είναι η μετατόπιση της κατανάλωσης από τις ώρες αιχμής σε ώρες περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό επιτυγχάνεται με την υιοθέτηση διαφορετικών λιανικών τιμών αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε μια χρονική ζώνη εντός μιας ημέρας. Ο πιο απλός και πολύ-εφαρμοζόμενος μηχανισμός είναι το διζωνικό τιμολόγιο, σύμφωνα με το οποίο υπάρχουν δύο ζώνες (υψηλής και χαμηλής) χρέωσης της ενέργειας. Τέλος, Στο σενάριο ελεγχόμενης φόρτισης υιοθετείται η ιδέα της πλήρωσης των κοιλάδων που παρατηρούνται στην καμπύλη φορτίου (ομοιόμορφη κατανομή φορτίου). Αυτό επιτυγχάνεται με τη μετάθεση της φόρτισης των οχημάτων από τις ώρες αιχμής σε ώρες όπου η ζήτηση δεν είναι τόσο αυξημένη, έτσι ώστε να καλυφθεί ομοιόμορφα η κοιλότητα που δημιουργεί η καμπύλη φορτίου τις βραδινές ώρες. Η εφαρμογή της φόρτισης αυτής εξυπηρετείται από το γεγονός ότι η κινητικότητα των ηλεκτρικών οχημάτων τις ώρες αυτές είναι περιορισμένη. Μια εντελώς διαφορετική στρατηγική είναι η Vehicle-to-Grid (V2G) λειτουργία, κατά την οποία επιτρέπεται η αμφίδρομη ανταλλαγή ενέργειας μεταξύ δικτύου και ηλεκτρικού οχήματος. Στην περίπτωση αυτή το ηλεκτρικό όχημα νοείται ως μια στατική μπαταρία. Η λειτουργία αμφίδρομης ροής

ισχύος επιτρέπει την παροχή επικουρικών υπηρεσιών για την υποστήριξη της λειτουργίας του δικτύου (αποκοπή αιχμών ζήτησης, υποστήριξη συχνότητας κτλ.). Το ρυθμιστικό πλαίσιο πρέπει να επιτρέπει και να αποζημιώνει την παραπάνω υπηρεσία, ώστε να δίδονται τα αναγκαία οικονομικά κίνητρα.

- Ημερήσια διανυόμενη απόσταση: Η παράμετρος αυτή περιγράφει το μήκος της διαδρομής που καλύπτεται από ένα ηλεκτρικό όχημα μεταξύ δύο οικιακών κύκλων φόρτισης. Οι ημερήσιες διανυόμενες αποστάσεις εξαρτώνται κυρίως από τον σκοπό χρήσης των ηλεκτρικών οχημάτων. Για παράδειγμα, τις καθημερινές, τα οχήματα χρησιμοποιούνται κυρίως για εξυπηρέτηση εργασιακών αναγκών, επομένως, το προφίλ των αποστάσεων παρουσιάζει σχεδόν το ίδιο μοτίβο. Αντίθετα, τα σαββατοκύριακα/αργίες, η κινητικότητα των οχημάτων περιορίζεται κατά 25-30%, ενώ παράλληλα αυξάνονται οι διανυόμενες αποστάσεις.

### **3.2 Επίδραση της μεθόδου φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων στην καμπύλη ζήτησης του συστήματος**

Η ηλεκτροδότηση των επιβατικών οδικών μεταφορών αναμένεται να αποκτήσει σημαντική δυναμική τις επόμενες δεκαετίες, λόγω της μετάβασης προς κινητικότητα με χαμηλές εκπομπές. Η αλλαγή αυτή συνεπάγεται πρόσθετη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας από τον τομέα των μεταφορών που πρέπει να καλύψει το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Ο αυξανόμενος αριθμός ηλεκτρικών οχημάτων (EV) μπορεί όχι μόνο να αλλάξει τη συνολική ζήτηση αλλά και το σχήμα της ωριαίας καμπύλης φόρτισης του συστήματος ισχύος και να δημιουργήσει σημαντικές προκλήσεις για την υποδομή παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι μέχρι τώρα μελέτες δείχνουν ότι με τον συντονισμό της διαδικασίας χρέωσης θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί ο αντίκτυπος της ηλεκτροκίνησης του συνόλου του στόλου των αυτοκινήτων: η ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα θα μπορούσε να προσφέρει ευελιξία στο σύστημα ηλεκτροπαραγωγής και οι επενδύσεις στην αναβάθμιση των υποδομών θα μπορούσαν να ελαχιστοποιηθούν. Η έξυπνη φόρτιση των μπαταριών αυτοκινήτων θα μπορούσε να βοηθήσει στην εξομάλυνση της καμπύλης φόρτισης, η οποία με τη σειρά της μπορεί να οδηγήσει σε χαμηλότερες τιμές ηλεκτρικής ενέργειας σε σύγκριση με τη μη συντονισμένη φόρτιση.

Ο προσδιορισμός της ευελιξίας σχετικά με την χρέωση EV και οι πιθανές επιπτώσεις στο σύστημα ισχύος απαιτεί μια ολοκληρωμένη κατανόηση των σύνθετων σχέσεων καθώς και των αλληλεξαρτήσεων μεταξύ των αλλαγών στην καμπύλη φορτίου και των συνακόλουθων αλλαγών για το σύστημα ισχύος. Αυτό οδηγεί στο ερώτημα πώς αυτές οι σχέσεις και οι αλληλεξαρτήσεις μπορούν να διαμορφωθούν για να εκτιμηθεί ο αντίκτυπος στο σύστημα ισχύος. Προκειμένου να γίνει αυτό, αξιολογούνται διαφορετικές στρατηγικές χρέωσης EV για να προσδιοριστεί με ποιο τρόπο μπορούν να αποφευχθούν οι κίνδυνοι που σχετίζονται με τη διείσδυση της ηλεκτροκίνησης και να μετατραπούν σε πλεονεκτήματα του συστήματος από την άποψη των επιπτώσεων στο σύστημα ισχύος.



Στο πρώτο μέρος αυτής της ενότητας θα περιγραφούν διαφορετικά στάδια εφαρμογής έξυπνης χρέωσης που συναρτώνται με το επίπεδο ενσωμάτωσης της ενεργειακής απόδοσης στο ενεργειακό σύστημα και τις σχετικές εξελίξεις σχετικά με το τεχνολογικό και κανονιστικό πλαίσιο στον ενεργειακό τομέα. Η ένταξη των ηλεκτρικών οχημάτων κάνει επιτακτική την ανάγκη για καθιέρωση και τυποποίηση συγκεκριμένων στρατηγικών φόρτισης ανάλογα με παράγοντες όπως ο πληθυσμός της περιοχής, η εποχή, οι συνήθειες των οδηγών, κτλ., ώστε να αποφευχθούν ανεπιθύμητες παρενέργειες με όσο τον δυνατόν λιγότερες επεμβατικές αλλαγές. Η αύξηση της ζήτησης σε ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας συνεπάγεται και την αύξηση των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, όταν το ποσοστό διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων είναι ιδιαίτερα υψηλό, η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να μεταβληθεί αναλόγως με το προφίλ της ζήτησης για την πλήρη φόρτιση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Αντιθέτως η μείωση της αιχμής ζήτησης από τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων συνεισφέρει στην μείωση των αιχμών του φορτίου ενός δικτύου διανομής, στη μείωση των απωλειών των γραμμών και αυξάνει τον μέγιστο αριθμό οχημάτων που μπορούν να συνδεθούν στο δίκτυο χωρίς να απαιτούνται επενδύσεις αναβάθμισης του δικτύου. Επιπρόσθετα, για μεγάλα ποσοστά διείσδυσης η μείωση της αιχμής ζήτησης των οχημάτων σε μακροσκοπικό επίπεδο (σύστημα παραγωγής) συνεισφέρει στην οικονομικότερη λειτουργία του δικτύου ενέργειας (δεδομένου ότι απότομη αύξηση του φορτίου συνεπάγεται απότομη αύξηση των τιμών αγοράς ενέργειας).

Με βάση τα ανωτέρω, οι στρατηγικές χρέωσης, οι οποίες θα αξιολογηθούν με βάση το μοντέλο αυτής της μελέτης, προκύπτουν από τα στάδια εφαρμογής που έχουν εισαχθεί προηγουμένως. Οι τέσσερις διακριτές στρατηγικές διαφέρουν ως προς την ικανότητά τους να παρέχουν ευελιξία στο σύστημα ισχύος καθώς και στην πολυπλοκότητά τους. Η γενική προσέγγιση των στρατηγικών περιγράφεται παρακάτω:

### **Άμεση φόρτιση**

Αποτελεί τη μη σχεδιασμένη σύνδεση των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο. Αυτό σημαίνει ότι οι ιδιοκτήτες των ηλεκτρικών οχημάτων είναι ελεύθεροι να φορτίσουν τα οχήματά τους οποιαδήποτε στιγμή χωρίς κανένα είδος ελέγχου ή χωρίς να τους δοθεί κάποιο κίνητρο να φορτίσουν τα οχήματά τους σε ώρα χαμηλής ζήτησης. Η στρατηγική αυτή αναφέρεται κυρίως στην οικιακή φόρτιση, όπου το επίπεδο φόρτισης είναι χαμηλό (επίπεδο 1) και απαιτείται μεγάλο χρονικό διάστημα για την πλήρη φόρτιση της μπαταρίας. Η φόρτιση ξεκινά αυτόματα τη στιγμή που το αυτοκίνητο θα συνδεθεί στο δίκτυο μέχρι να φορτιστεί πλήρως ή ο ιδιοκτήτης να διακόψει τη φόρτιση. Σε περίπτωση που πολλοί χρήστες επιλέξουν αυτόν τον τρόπο φόρτισης ενδέχεται να υπάρξουν προβλήματα στο δίκτυο όπως πτώσεις τάσεις ή υπερφορτώσεις γραμμών.

Το επιπρόσθετο φορτίο των ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τόσο τη λειτουργία όσο και τον σχεδιασμό των υφιστάμενων δικτύων διανομής,

ειδικότερα, στην περίπτωση υψηλών επιπέδων διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων. Η μη ελεγχόμενη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων για μικρά ποσοστά διείσδυσης δεν αναμένεται να προκαλέσει αισθητές επιπτώσεις στη λειτουργία των δικτύων διανομής. Ωστόσο, η συνεχής αύξηση του στόλου των ηλεκτρικών οχημάτων και η μη υιοθέτηση μηχανισμών διαχείρισης της φόρτισης τους επιδρά σημαντικά στην αύξηση της αιχμής του φορτίου του συστήματος.

Στο σενάριο αυτό θεωρείται σταθερή τιμή ενέργειας και η χρέωση φόρτισης πραγματοποιείται αμέσως μετά την άφιξη είτε στο σπίτι τις βραδινές ώρες είτε στο γραφείο τις πρωινές ώρες. Αυτή η στρατηγική απορρέει από το συμβατικό σενάριο, καθώς δεν υπάρχει κίνητρο για τη μετατόπιση των χρόνων χρέωσης. Στην περίπτωση αυτή είναι σημαντικό να εκτιμηθεί σε ποιο βαθμό το αυξημένο φορτίο μπορεί να συμπίπτει με τις υπάρχουσες κορυφές, ειδικά τις απογευματινές ώρες. Αυτή η πιθανή σύμπτωση θα μπορούσε να οδηγήσει σε μετατόπιση της αποστολής παραγωγής ή της ποσότητας των ενισχύσεων του δικτύου.

### **Φόρτιση βασισμένη σε έλεγχο του χρόνου σύνδεσης**

Η μέθοδος αυτή είναι ένας απλοποιημένος μηχανισμός της αγοράς για την έμμεση (μέσω κινήτρων) διαχείριση της κατανάλωσης. Σκοπός της στρατηγικής αυτής είναι η μετατόπιση της κατανάλωσης από τις ώρες αιχμής σε ώρες χαμηλής κατανάλωσης. Αυτό επιτυγχάνεται με την υιοθέτηση διαφορετικών λιανικών τιμών αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε μια χρονική ζώνη εντός μιας ημέρας. Ο πιο απλός και πολύ-εφαρμοζόμενος μηχανισμός είναι το διζωνικό τιμολόγιο, σύμφωνα με το οποίο υπάρχουν δύο ζώνες (υψηλής και χαμηλής) χρέωσης της ενέργειας.

Η μετατόπιση του φορτίου από τις ώρες αιχμής στις ώρες μη αιχμής μπορεί να επιτευχθεί με ποικίλους τρόπους. Ο πιο συνηθισμένο και απλός τρόπος μετατόπισης φορτίου που υιοθετείται ευρέως είναι η δημιουργία χρονικών ζωνών όπου η ενέργεια τιμολογείται διαφορετικά, ώστε να αντικατοπτρίζεται το επίπεδο ζήτησης: υψηλό φορτίο συνεπάγεται ζώνη υψηλής τιμολόγησης της ενέργειας. Ωστόσο υιοθέτηση διζωνικού τιμολογίου δεν είναι πάντοτε επαρκής λύση, ιδιαίτερα στην περίπτωση όπου το δίκτυο είναι ήδη αρκετά επιβαρυνόμενο. Η απλή υιοθέτηση του διζωνικού τιμολογίου έχει ως αποτέλεσμα το ονομαζόμενο «payback effect», δηλαδή τη μετατόπιση του φορτίου σε μεταγενέστερες ώρες. Το «payback effect» στη περίπτωση διζωνικού τιμολογίου έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας απότομης αιχμής φορτίου κατά την έναρξη του χαμηλού τιμολογίου, η οποία μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στη λειτουργία του δικτύου.

Σύμφωνα με αυτή τη στρατηγική χρέωσης, με βάση την επιλογή του χρόνου σύνδεσης θεωρεί ότι τα σήματα σταθερής τιμής (όπως το διζωνικό τιμολόγιο) αλλάζουν τη συμπεριφορά φόρτισης του πελάτη και διευκολύνουν έτσι την ενσωμάτωση της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων στο ηλεκτρικό δίκτυο. Προκειμένου να βελτιστοποιηθούν οι απαιτήσεις των πελατών, η διαχείριση του δικτύου και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, απαιτούνται σήματα τιμών καθώς και σήματα ελέγχου. Για την προσέγγιση φόρτισης με βάση τον έλεγχο του χρόνου

σύνδεσης, απαιτείται μόνο μία επικοινωνία μιας κατεύθυνσης, από το σύστημα ισχύος προς το EV.

### **Φόρτιση με βάση μεταβολή τιμής σε πραγματικό χρόνο**

Η χρέωση που βασίζεται στην μεταβολή της τιμής χρέωσης βάσει προσφοράς και ζήτησης, η οποία συνδέεται με το Proactive Scenario, στοχεύει στην ενσωμάτωση των ΑΠΕ και την αποφυγή επαύξησης του ηλεκτρικού συστήματος παραγωγής και ενισχύσεων του δικτύου. Αυτό επιτυγχάνεται κατευθύνοντας τη φόρτιση σε περιόδους υψηλής παραγωγής από ΑΠΕ και ως εκ τούτου στην εξομάλυνση της καμπύλης φορτίου. Στο συγκεκριμένο σενάριο υιοθετείται μια πιο σύνθετη διαδικασία ελέγχου των ηλεκτρικών οχημάτων που σκοπό έχει τη μετατόπιση του φορτίου των ηλεκτρικών οχημάτων σε ώρες με χαμηλή κατανάλωση κατά τρόπο ώστε οι κοιλότητες της καμπύλης φορτίου να πληρούνται ομοιόμορφα. Η στρατηγική αυτή ελεγχόμενης φόρτισης είναι ευρέως διαδεδομένη στη βιβλιογραφία με το όνομα "valley-filling". Η πλήρωση των κοιλοτήτων της καμπύλης φορτίου με την εφαρμογή της στρατηγικής "valley-filling" έχει συνεπακόλουθο πλεονέκτημα την ελαχιστοποίηση της διακύμανσης του φορτίου. Η εφαρμογή της φόρτισης αυτής εξυπηρετείται από το γεγονός ότι η κινητικότητα των ηλεκτρικών οχημάτων τις ώρες στις οποίες το φορτίο του δικτύου παρουσιάζει πτώση (κυρίως για βραδινές ώρες) είναι περιορισμένη. Η βελτιστοποίηση μπορεί να βασίζεται σε ένα σήμα τιμής, π.χ. η ωριαία τιμή αγοράς αντικατοπτρίζεται μέσω μιας ωριαίας τιμής πραγματικού χρόνου για τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων.

### **Φόρτιση με δυναμική σύνδεση Οχήματος στο Δίκτυο (V2G)**

Επιπλέον, είναι δυνατή η προσέγγιση V2G όπως ορίζεται στο σενάριο έξυπνου δικτύου. Δίπλα στην μονοκατευθυντική φόρτιση του EV στα προηγούμενα σενάρια, αυτή η προσέγγιση επιτρέπει την εκφόρτιση της EV ως εισερχόμενης στο δίκτυο. Για την εφαρμογή αυτής της προσέγγισης, απαιτείται αμφίδρομη επικοινωνία. Ο όρος "G2V" αναφέρεται στην μεταφορά ενέργειας από το δίκτυο στα οχήματα, δηλαδή στην φόρτιση των μπαταριών τους στις περισσότερες περιπτώσεις, και συνήθως μελετάται σε πλαίσιο ενός ή πολλών σταθμών φόρτισης. Εναλλακτικά, μπορεί η φόρτιση να γίνεται μέσω οικιακής ηλεκτρικής σύνδεσης, ή ακόμα και σε κατάλληλα διαμορφωμένες θέσεις στάθμευσης. Το δίκτυο έχει τον ρόλο διαχείρισης των φορτίσεων με εξειδικευμένους αλγόριθμους, λαμβάνοντας υπόψη του τα δεδομένα και τις πληροφορίες που συλλέγει κατά τη λειτουργία του.

Έχουν αναπτυχθεί αλγόριθμοι που διαχειρίζονται το πρόγραμμα φόρτισης των οχημάτων με σκοπό την βελτιστοποίηση της απόδοσης με διάφορα κριτήρια. Οι αλγόριθμοι μπορεί να λειτουργούν έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η επιβάρυνση του δικτύου και παράλληλα οι διακυμάνσεις στην κατανάλωση ενέργειας. Εναλλακτικά ο προγραμματισμός των φορτίσεων μπορεί να γίνεται με γνώμονα την ελάχιστη οικονομική επιβάρυνση των οδηγών, καθώς οι τιμές του ηλεκτρικού ρεύματος μεταβάλλονται, ίσως ανάλογα με την ζήτηση και παραγωγή. Επίσης, το οικονομικό

κίνητρο μπορεί να περιλαμβάνει τις διαφοροποιήσεις των τιμών ανάλογα με την συμφόρηση σε κάθε σταθμό, οι οποίες γίνονται με σκοπό την δυναμική διαχείριση της ζήτησης. Αν ένας σταθμός έχει μεγάλο όγκο προσερχόμενων οχημάτων τότε μπορεί να ανεβάσει το κόστος του για να αποθαρρύνει επιπλέον οχήματα να προσέλθουν, και έτσι να προστατεύεται η ικανότητα του σταθμού να παρέχει τις υπηρεσίες του.

Με τον τρόπο αυτό φόρτισης, δημιουργείται μια οριζοντιωμένη διανεμημένη μονάδα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Τα δίκτυα ηλεκτροδότησης δεν έχουν τέτοιες υποδομές, όμως με την εισαγωγή μεγάλου αριθμού ηλεκτρικών οχημάτων αλλάζουν τα δεδομένα. Υπολογίζεται πως ένα όχημα λειτουργεί κατά μέσο όρο 4-5% του χρόνου οπότε τον υπόλοιπο είτε φορτίζει είτε παραμένει αδρανές. Οπότε το διάστημα που παραμένουν αδρανή τα οχήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν μπαταρίες του δικτύου, αποθηκεύοντας ενέργεια όταν η ζήτηση δεν είναι μεγάλη και δίνοντάς τη πίσω όταν το δίκτυο δυσκολεύεται να ικανοποιήσει τις ανάγκες των καταναλωτών. Έτσι, μπορούν να εξομαλύνονται οι διακυμάνσεις της κατανάλωσης ενέργειας, ή μπορεί η κατανάλωση να εξισορροπείται σε σχέση με την παραγωγή ενέργειας.

Εναλλακτικά, η συγκεκριμένη λειτουργία V2G μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μικρότερη κλίμακα· υποστηρικτικά σε οικίες. Και σε αυτή την περίπτωση η βασική του χρήση είναι ως μπαταρία, συγκεκριμένα, της οικίας. Έχει ιδιαίτερη αξία σε συστήματα οικιών που βασίζονται σε αυτόνομες μονάδες παραγωγής ενέργειας όπως φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτριες. Ο λόγος της σημαντικότητάς τους είναι, όπως και στο δίκτυο, ότι η παραγωγή ενέργειας από τέτοιες πηγές παρουσιάζει μεγάλες μεταβολές. Ένα ηλεκτρικό όχημα μπορεί να αποθηκεύσει ενέργεια που αρκεί για δύο μέρες λειτουργίας μίας οικίας, προσφέροντας έτσι πολύ μεγάλη ευελιξία σε τέτοιες περιπτώσεις.

Διακρίνουμε αντίστοιχα 4 σενάρια για την επιβάρυνση του Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας συνεπεία των προηγούμενων μεθόδων χρέωσης της φόρτισης:

### **Συμβατικό σενάριο**

Το σύνηθες σενάριο έχει τον χαμηλότερο βαθμό ενσωμάτωσης του φορτίου ενός ηλεκτρικού οχήματος στο ηλεκτρικό σύστημα. Ως εκ τούτου, δεν λαμβάνεται υπόψη η διαχείριση φορτίου σε αυτό το στάδιο και δεν απαιτούνται υπηρεσίες μεταξύ EV, διαχειριστή φόρτισης, και διαχειριστή του συστήματος διανομής (DSO). Αυτό σημαίνει ότι η χρέωση θεωρείται ότι θα γίνει όσο το δυνατόν νωρίτερα (κατά την άφιξή σας στο σταθμό φόρτισης) επειδή δεν παρέχονται κίνητρα για τη μετατόπιση της διαδικασίας χρέωσης. Η ενσωμάτωση του ηλεκτρικού οχήματος, το οποίο σε αυτό το στάδιο είναι πιθανό να έχει αρνητικές επιπτώσεις στο σύστημα ισχύος, πρέπει να καλυφθεί από το σύστημα ηλεκτροδότησης και την ενίσχυση του δικτύου. Καθώς δεν υπάρχει διαχείριση φορτίου σε αυτό το σενάριο, δεν θα ήταν απαραίτητη η προσαρμογή των υφιστάμενων πολιτικών.

### **Ασφαλές σενάριο**

Στο ασφαλές σενάριο, η διείσδυση στην αγορά των Η.Υ. παραμένει η ίδια με εκείνη του συμβατικού σεναρίου και η ενσωμάτωση των ΗΥ πρέπει να αντιμετωπιστεί ακόμα από το σύστημα ηλεκτροδότησης και την ενίσχυση του δικτύου. Ωστόσο, η χρήση της διαχείρισης φορτίων, υποκινώντας μικρές αλλαγές στο συμπεριφορά φόρτισης των ιδιοκτητών EV, θα πρέπει να μειώσει τις επιπτώσεις στο σύστημα ισχύος, όπως η ανάγκη για μονάδες ισχύος αιχμής και η ενίσχυση του δικτύου. Η διαχείριση φορτίου μπορεί να πραγματοποιηθεί με χρέωση χρόνου χρήσης (ToU-) (ενδεχομένως ισχύει και για τα τέλη πρόσβασης στο δίκτυο) και απαιτεί επικοινωνία μεταξύ του χειριστή της EVSE, των φορέων στόλου και του DSO. Για το ασφαλές σενάριο, οι πολιτικές πρέπει να επιτρέπουν τη δημιουργία υποδομής επικοινωνίας για την τήρηση ενός τιμολογίου ToU.

### **Προληπτικό σενάριο**

Λόγω της αυξανόμενης διείσδυσης των ΗΥ στην αγορά, η διαχείριση φορτίου χρησιμοποιείται συχνά σε αυτό το στάδιο. Καθώς υπάρχει μεγαλύτερο μερίδιο των ΗΨ και η διαχείριση του φορτίου καθίσταται όλο και πιο πολύπλοκη, δίπλα στον φορέα EVSE, η Ε.Π.Σ.Π. πρέπει να επικοινωνεί με τον ΔΔΣ. Επομένως, σε αυτό το σενάριο δεν αναμένεται κανένας ή ελάχιστο σύστημα τροφοδοσίας και ενίσχυση του δικτύου. Για το στάδιο αυτό, οι πολιτικές πρέπει να είναι και πάλι πιο ευέλικτες για να προσαρμόσουν τη συμπεριφορά χρέωσης σε διαφορετικές εφαρμογές διαχείρισης φορτίου, όπως η χρέωση σε περιόδους χαμηλών τιμών αγοράς ή ο περιορισμός του υψηλότερου φορτίου αιχμής. Η χρέωση σε στιγμές χαμηλότερων τιμών αγοράς απαιτεί την εφαρμογή ενός συστήματος τιμολόγησης για την προσαρμογή της συμπεριφοράς χρέωσης σε τιμές σε πραγματικό χρόνο (RTP).

### **Σενάριο Smart Grid**

Το σενάριο Smart Grid είναι το στάδιο με το μεγαλύτερο μερίδιο των ΗΨ που είναι ενσωματωμένο στο σύστημα ισχύος. Η κύρια διαφορά που εμφανίζεται σε αυτό το στάδιο είναι η αμφίδρομη ροή ενέργειας μεταξύ EV και δικτύου, γεγονός που συμβάλλει στην καλύτερη ενσωμάτωση των δυνατοτήτων των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) χωρίς πρόσθετη ανάγκη για επέκταση του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας και του δικτύου. Αυτή η αμφίδρομη ροή ενέργειας επιτρέπει στα ΗΥ να τροφοδοτούν την ηλεκτρική ενέργεια από την μπαταρία πίσω στο δίκτυο και είναι γνωστή ως προσέγγιση οχήματος-δικτύου (V2G). Η ανακοίνωση θα πραγματοποιηθεί αποκλειστικά μεταξύ της EVSP και της DSO, δεδομένου ότι στην παρούσα φάση υλοποίησης υπάρχει μια ανταγωνιστική αγορά αντί των συμβάσεων για την πρόσβαση στο δίκτυο. Όσον αφορά το σενάριο έξυπνου δικτύου, οι πολιτικές πρέπει να δημιουργήσουν μια ανταγωνιστική αγορά με τη δυνατότητα ενεργού ζήτησης για τη συμμετοχή της ηλεκτροκίνησης σε διάφορες αγορές λόγω της αμφίδρομης χρέωσης.

	Conventional	Safe	Proactive	Smart grid
EV market penetration	20%	20%	40%	40%
Load management	None	Soft, fleet-focused	Massive	Massive, local
Type of load management	None	On/off	On/off	Charge modulation
Power system and distribution grid expansion Non EV-related: EV-related:	Yes Yes	Yes Minimal	Minimal None	None None
Energy flow in EVs that are used to provide services	None	Grid → EV	Grid → EV	Grid ↔ EV
Authority for load management	None	EVSE Operator	EVSE Operator/ EVSP	EVSP
Tariffication scheme	None	Time-of-use	Real-time price	Competitive market

**Εικόνα 3.1** Σύνοψη σεναρίων και μεθόδων φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων

### 3.3 Μελέτες επίδρασης της φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο διανομής

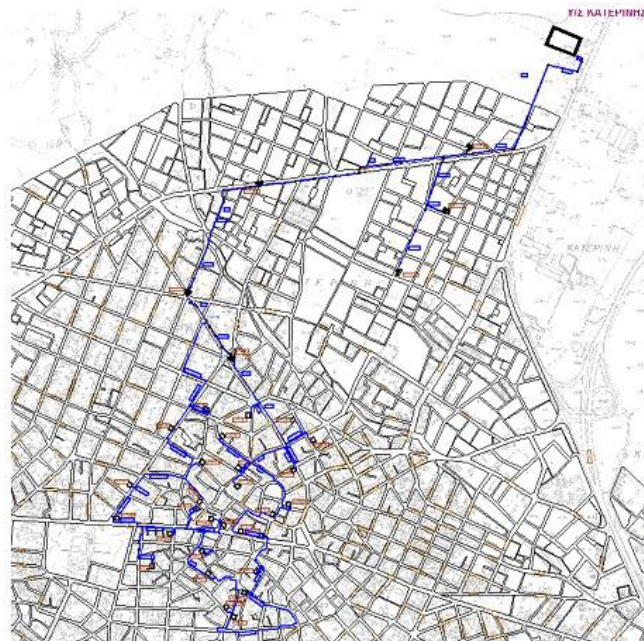
Η επίδραση της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων σε επιλεγμένα δίκτυα διανομής πραγματοποιείται αναλύοντας τη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας των δικτύων και λαμβάνοντας ως δεδομένα τις ωριαίες χρονικές σειρές φορτίου και παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Δύο ενδεικτικά δίκτυα διανομής μέσης τάσης, ένα επαρχιακό και ένα αστικό, θα εξεταστούν με σκοπό να μελετηθεί η επίδραση του επιπρόσθετου φορτίου των ηλεκτρικών οχημάτων σε δίκτυα με διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά. Τα εξεταζόμενα δίκτυα είναι μια αστική γραμμή διανομής του δικτύου της Κατερίνης και μια γραμμή διανομής μέσης τάσης του δικτύου της Ικαρίας.

#### **Αστικό δίκτυο διανομής μέσης τάσης της Κατερίνης (21kV)**

Η γραμμή διανομής που θα εξεταστεί αποτελεί τμήμα του αστικού δικτύου διανομής Μ.Τ. της Κατερίνης και παρουσιάζεται με μπλε χρώμα στην Εικόνα 3.2. Η εξεταζόμενη γραμμή διανομής περιλαμβάνει 35 υποσταθμούς φορτίου ΜΤ/ΧΤ με ονομαστική

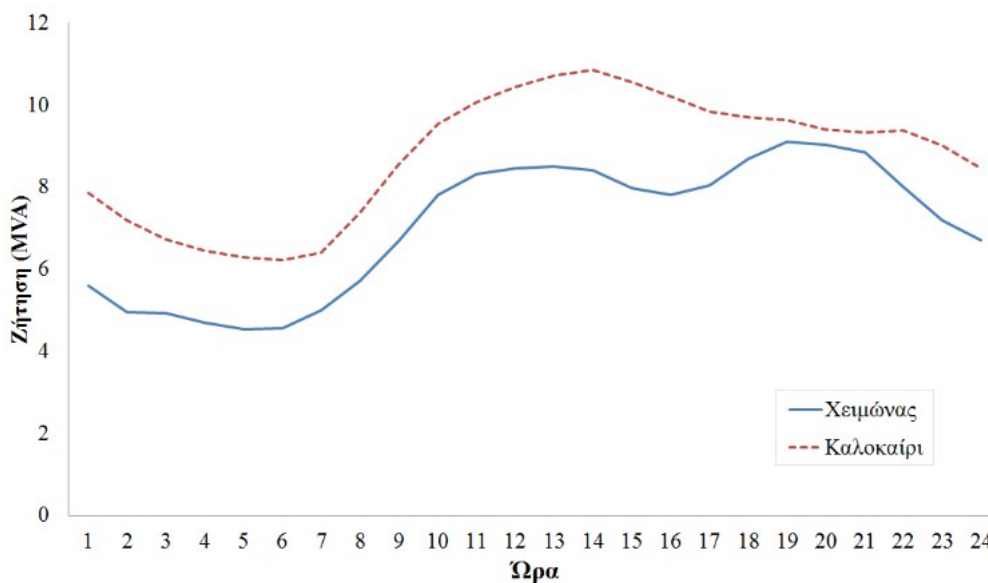
ισχύ: 3 των 160KVA, 1 των 250KVA, 3 των 400KVA, 1 των 500KVA, 22 των 630KVA, 1 των 100kVA και 4 των 1260KVA.

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς του κεντρικού μετασχηματιστή (ΥΤ/ΜΤ) της γραμμής είναι 25ΜVA.



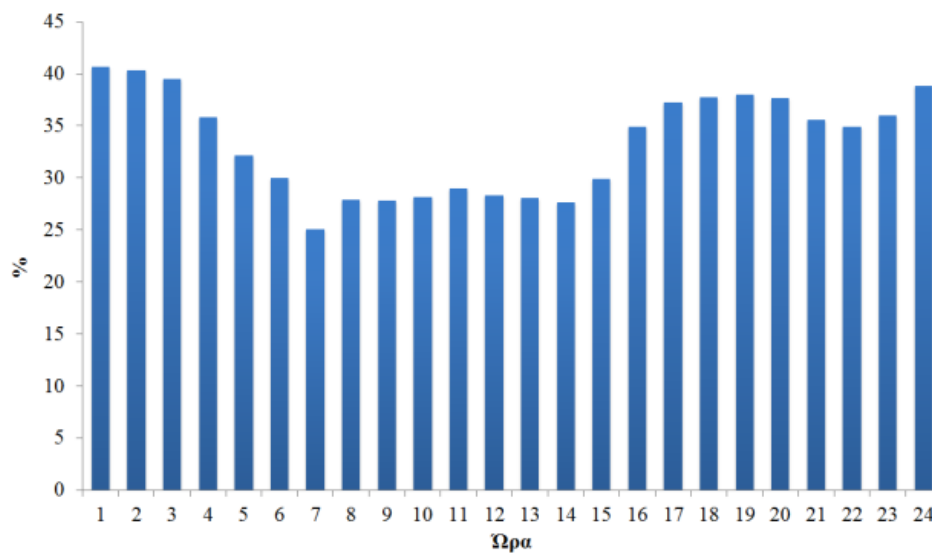
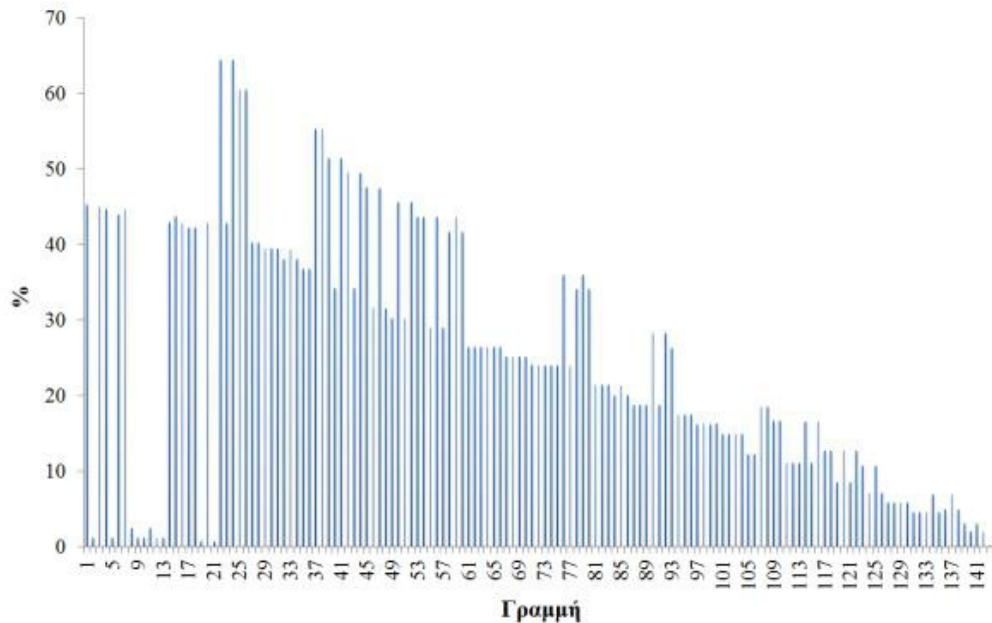
**Εικόνα 3.2** Γραμμή διανομής μέσης τάσης του δικτύου της Κατερίνης

Η Εικόνα 3.3 απεικονίζει δύο τυπικές ημερήσιες καμπύλες φορτίου του δικτύου για την καλοκαιρινή και χειμερινή περίοδο. Η αιχμή ζήτησης της γραμμής είναι 11ΜW και παρατηρείται την καλοκαιρινή περίοδο, ενώ το ελάχιστο φορτίο είναι 4.5ΜW και παρατηρείται τη χειμερινή περίοδο.



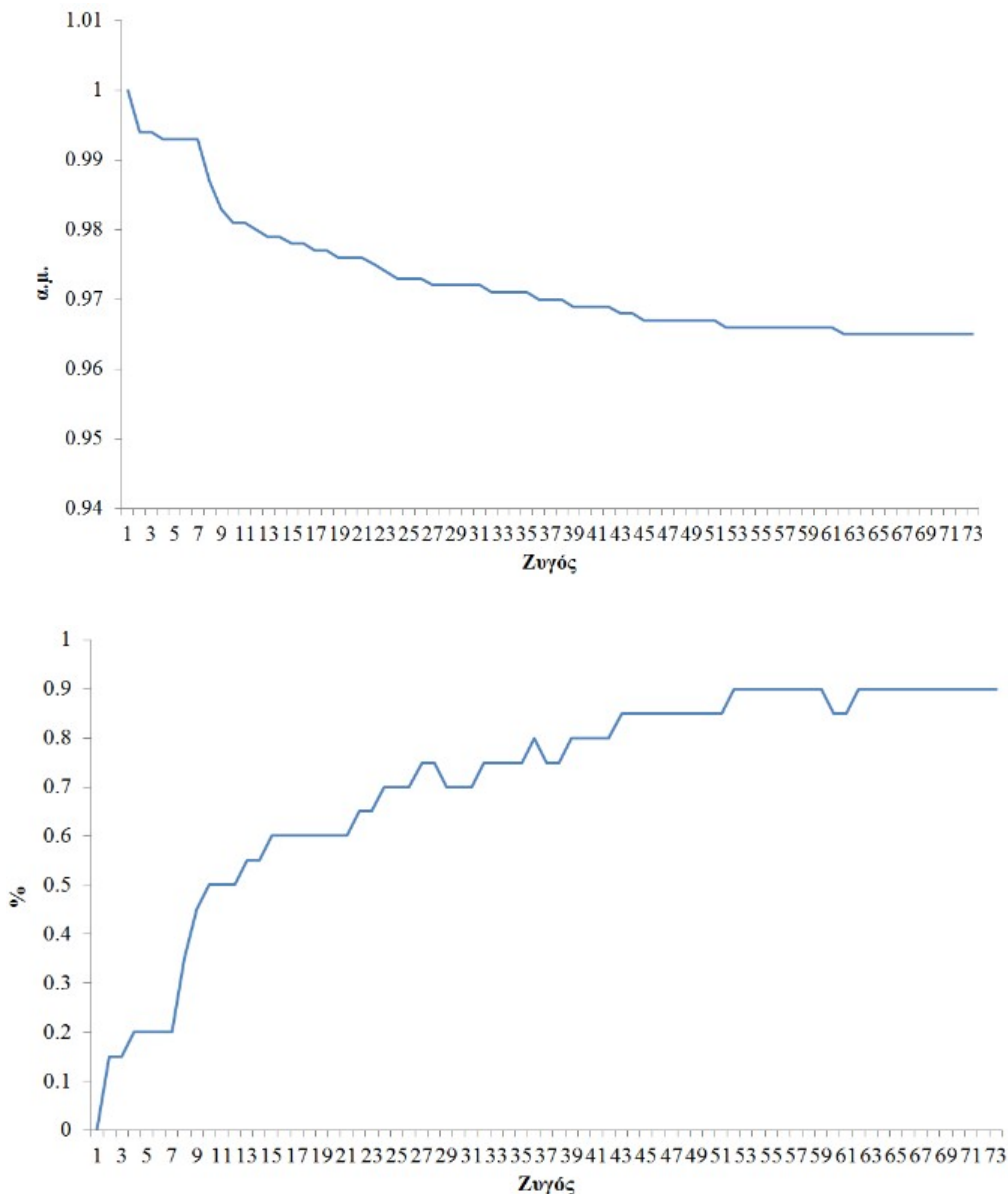
**Εικόνα 3.3** Τυπικές ημερήσιες καμπύλες του δικτύου της Κατερίνης

Η Εικόνα 3.4 απεικονίζει τη μέγιστη επιβάρυνση των στοιχείων της γραμμής διανομής, δηλαδή τη μέγιστη ποσοστιαία φόρτιση των γραμμών και τη φόρτιση του μετασχηματιστή με τη μεγαλύτερη επιβάρυνση ως ποσοστό της ονομαστικής ισχύος του, αντίστοιχα. Όσον αφορά στο προφίλ της τάσης, η ελάχιστη τιμή και η διακύμανση της τάσης ανά ζυγό απεικονίζονται στην Εικόνα 3.5. Και οι δύο παραπάνω δείκτες ποιότητας της τάσης παραμένουν εντός ρυθμιστικών ορίων.



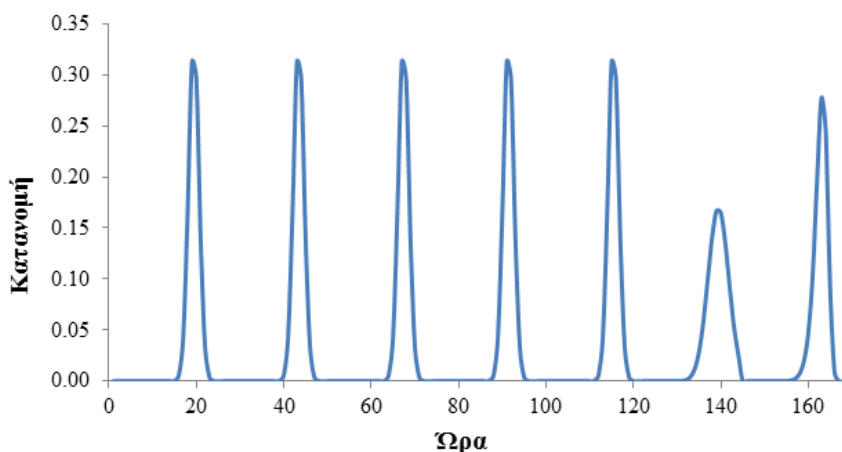
**Εικόνα 3.4** Μέγιστη ποσοστιαία φόρτιση των γραμμών της Κατερίνης και καμπύλη φόρτισης του Μ/Σ με τη μεγαλύτερη επιβάρυνση (ποσοστό της ονομαστικής ισχύος)



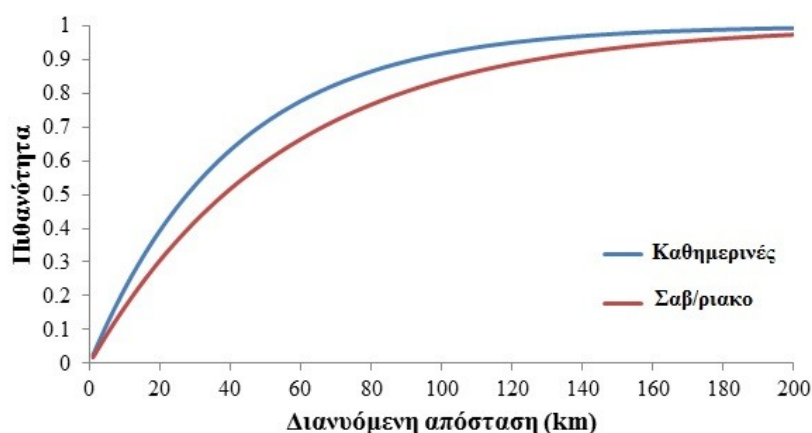


**Εικόνα 3.5** Ελάχιστη τιμή (α.μ.) και διακύμανση της τάσης (%) των ζυγών του δικτύου της Κατερίνης

Στη συνέχεια θα αναλυθεί η επίδραση του επιπρόσθετου φορτίου των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο της Κατερίνης εξετάζοντας διαφορετικές στρατηγικές φόρτισης. Βάσει των σεναρίων διείσδυσης για την ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων όπως παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 3.2, το μέγεθος του στόλου των ηλεκτρικών οχημάτων θεωρείται 1200 οχήματα (αισιόδοξο σενάριο). Ο στόλος των ηλεκτρικών οχημάτων αποτελείται μόνο από οχήματα κατηγορίας M1 με μέση κατανάλωση 0.15kWh/km, ενώ η χωρητικότητα της μπαταρίας τους είναι 24kWh. Όσον αφορά στο προφίλ μετακίνησης των ηλεκτρικών οχημάτων (ώρες άφιξης/αναχώρησης και διανυόμενη απόσταση) υιοθετήθηκαν τα προφίλ των Εικόνων 3.6 και 3.7.



**Εικόνα 3.6** Κατανομή της ώρας επιστροφής από την τελευταία διαδρομή της ημέρας

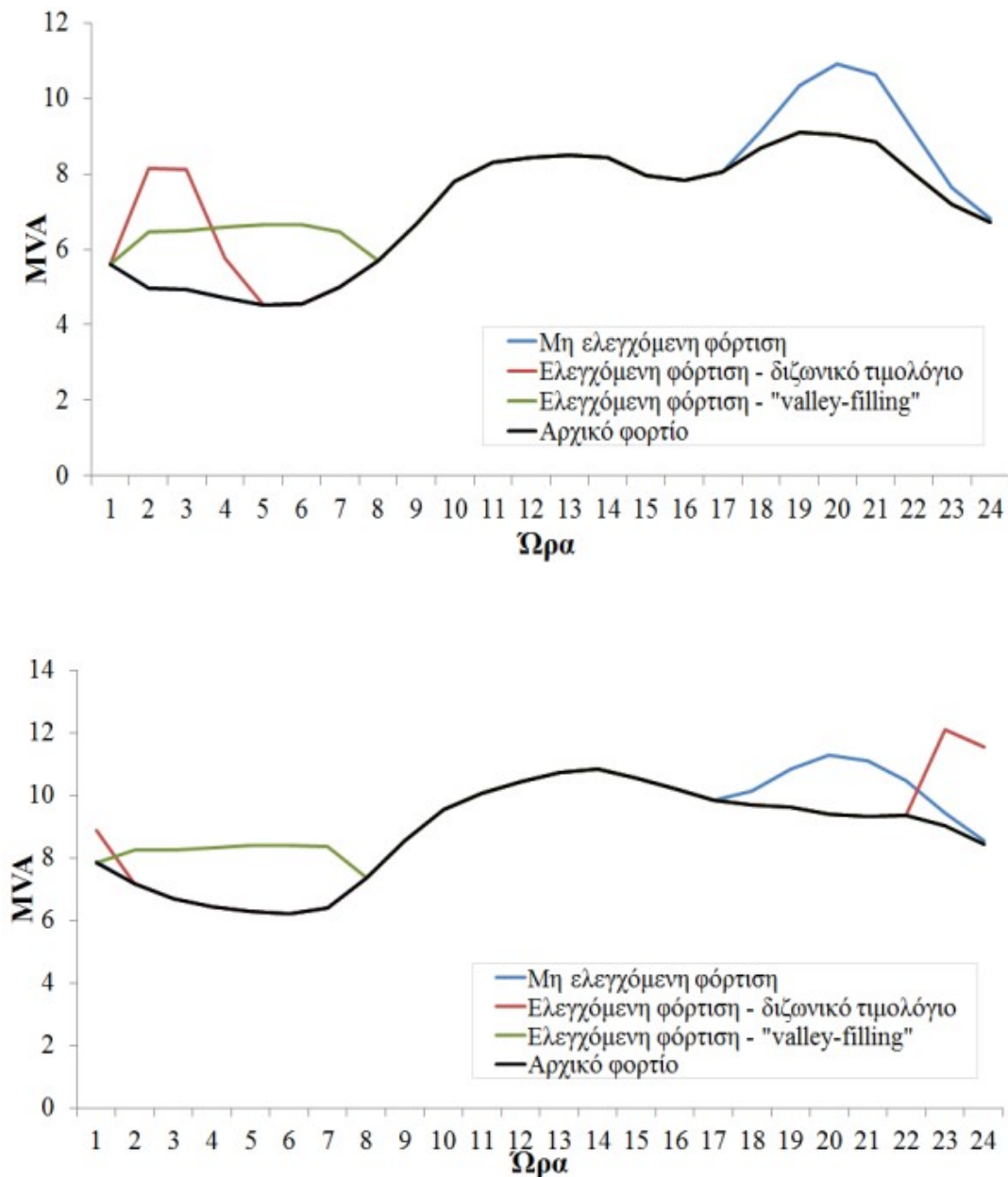


**Εικόνα 3.7** Αποστάσεις που διανύονται κάθε μέρα – Καθημερινές και Σαββατοκύριακα

Η Εικόνα 3.8 απεικονίζει τη μεταβολή της ημερήσια καμπύλης του δικτύου της Κατερίνης για μια τυπική χειμερινή και καλοκαιρινή ημέρα λαμβάνοντας υπόψη την ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων, για διαφορετικές στρατηγικές φόρτισης. Η μη ελεγχόμενη φόρτιση, όπως είναι αναμενόμενο, δημιουργεί μια νέα αιχμή ζήτησης, η οποία είτε προστίθεται στην αρχική αιχμή ζήτηση του δικτύου (χειμερινή μέρα), είτε είναι χρονικά μετατοπισμένη βάσει της ώρας άφιξης των ηλεκτρικών οχημάτων στο σπίτι (καλοκαιρινή μέρα). Η ταύτιση της αιχμής ζήτησης των ηλεκτρικών οχημάτων με την υψηλή κατανάλωση του δικτύου συντελεί σε μεγαλύτερη αύξηση (19.74%) της αιχμής της τροποποιημένης καμπύλης του δικτύου, συγκριτικά με την αύξηση αιχμής την καλοκαιρινή μέρα (3.94%). Η υιοθέτηση απλών στρατηγικών φόρτισης, όπως το διζωνικό τιμολόγιο, δεν είναι επαρκής λύση μιας και η αιχμή ζήτησης της φόρτισης που δημιουργείται λόγω του ταυτοχρονισμού της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων την ώρα έναρξης του χαμηλού τιμολογίου επιβαρύνει σημαντικά το δίκτυο. Πιο συγκεκριμένα, στην καλοκαιρινή μέρα, η αιχμή ζήτησης της τροποποιημένης καμπύλης του δικτύου στην περίπτωση της ελεγχόμενης φόρτισης μέσω διζωνικού τιμολογίου είναι αυξημένη κατά 7.2% συγκριτικά με την αντίστοιχη

αιχμή της μη ελεγχόμενης φόρτισης. Αντίθετα, στην περίπτωση της ελεγχόμενης φόρτισης "valley-filling", η ζήτηση των ηλεκτρικών οχημάτων κατανέμεται σε όλο το διαθέσιμο χρονικό διάστημα για τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων, χωρίς να μεταβάλλεται η αιχμή ζήτησης του δικτύου.

Ο Πίνακας 3.1 παρουσιάζει κάποια χαρακτηριστικά μεγέθη καμπυλών φορτίου για το δίκτυο της Κατερίνης, όπως ο συντελεστής φορτίσεως (μέσο φορτίο/μέγιστο φορτίο), ο συντελεστής ομοιομορφίας (ελάχιστο φορτίο/μέγιστο φορτίο) και η ποσοστιαία αύξηση αιχμής φορτίου.



**Εικόνα 3.8** Τροποποιημένη καμπύλη φορτίου του δικτύου της Κατερίνης για μια (α) τυπική χειμερινή και (β) καλοκαιρινή (δεξιά) ημέρα

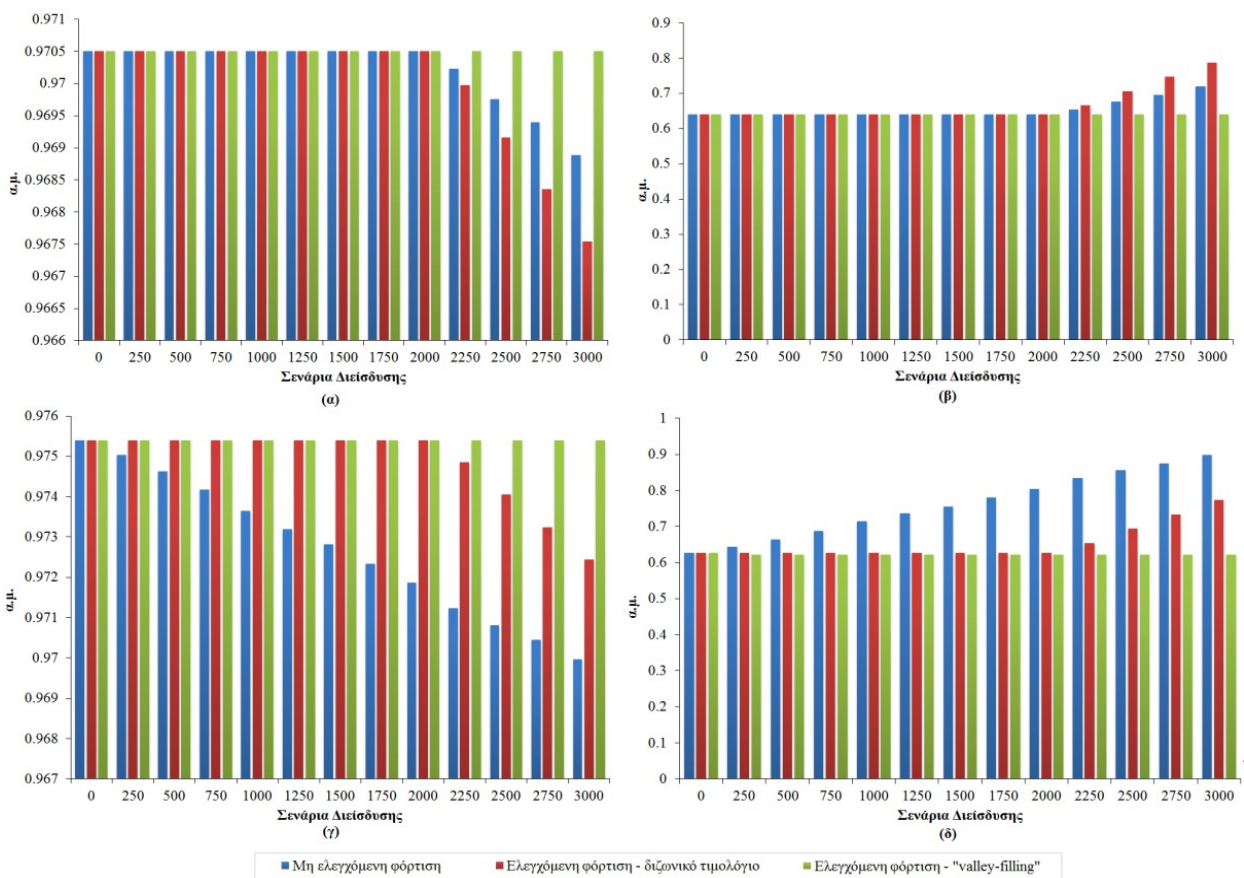
**Πίνακας 3.1** Ποιοτικοί δείκτες λειτουργίας του δικτύου της Κατερίνης με ενσωμάτωση ηλεκτρικών οχημάτων

		Συντελεστής Φορτίσεως (Load Factor)	Συντελεστής ομοιομορφίας (Uniformity factor)	Αύξηση αιχμής (%)
ΧΕΙΜΩΝΑΣ	Αρχικό Σενάριο	0.7764	0.4973	-
	Μη ελεγχόμενη φόρτιση	0.6753	0.4153	19.4%
	Ελεγχόμενη φόρτιση - διζωνικό τιμολόγιο	0.8103	0.4973	-
	Ελεγχόμενη φόρτιση – “valley-filling”	0.8252	0.6149	-
ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ	Αρχικό Σενάριο	0.8071	0.5741	-
	Μη ελεγχόμενη φόρτιση	0.8024	0.5523	3.94%
	Ελεγχόμενη φόρτιση - διζωνικό τιμολόγιο	0.7492	0.5152	11.43%
	Ελεγχόμενη φόρτιση – “valley-filling”	0.8484	0.6803	-

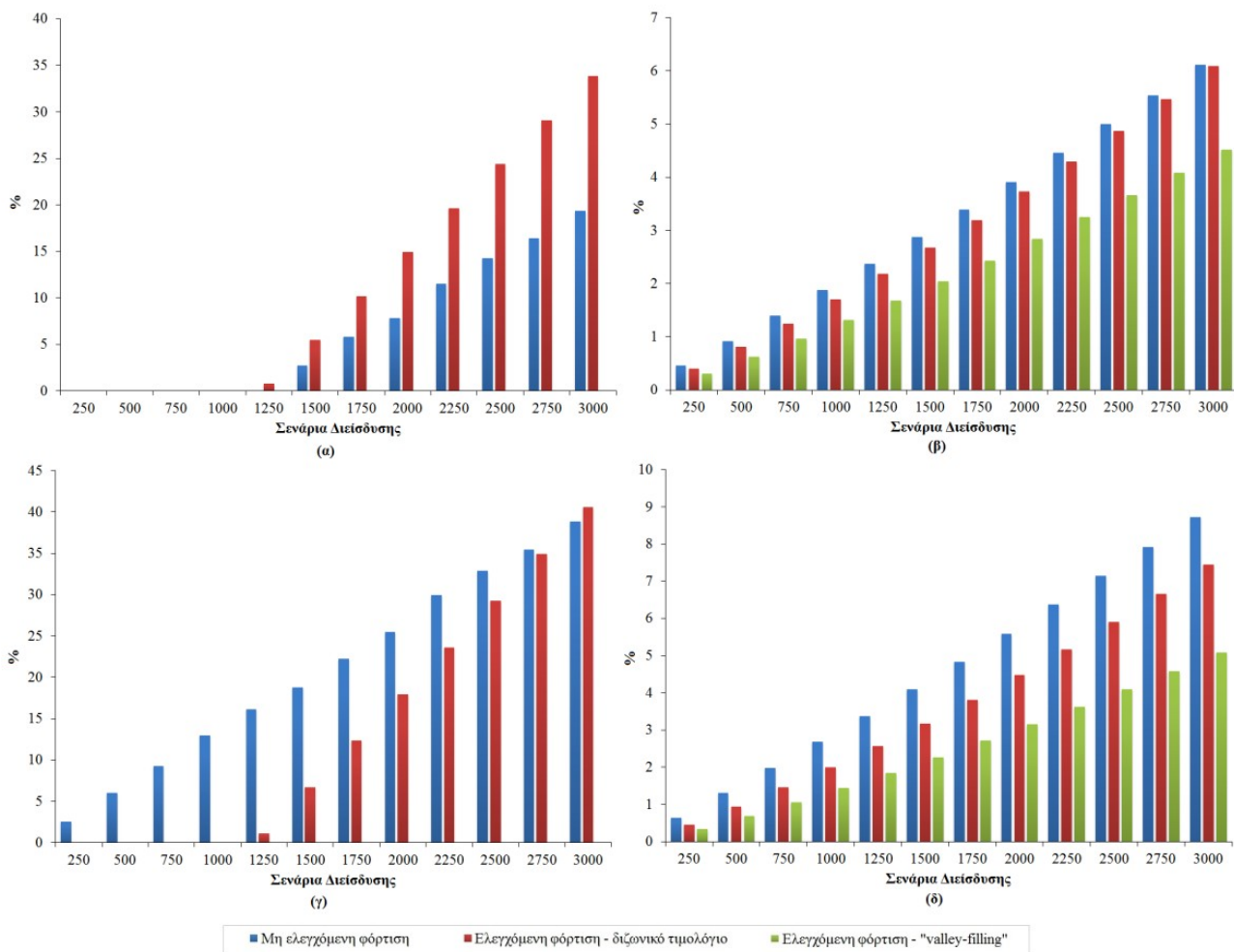
Στη συνέχεια, εξετάζεται το προφίλ της τάσης (ελάχιστη τιμή και διακύμανση της τάσης) για διαφορετικά σενάρια διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων και για διαφορετικές στρατηγικές φόρτισης (Εικόνα 2-41). Στην περίπτωση της μη ελεγχόμενης φόρτισης, όσο αυξάνεται ο αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων τόσο μειώνεται η ελάχιστη τιμή της τάσης, καθώς αυξάνεται το μέγιστο φορτίο του δικτύου. Μείωση της ελάχιστης τάσης δικτύου παρατηρείται σε υψηλότερα ποσοστά διείσδυσης (>2000 ηλεκτρικά οχήματα) και στην περίπτωση της ελεγχόμενης φόρτισης με διζωνικό τιμολόγιο. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι η αιχμή ζήτησης της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων σε υψηλά ποσοστά διείσδυσης υπερβαίνει την αρχική αιχμή ζήτησης του δικτύου. Για το λόγο αυτό, στην περίπτωση της καλοκαιρινής ημέρας, για μικρά ποσοστά διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων, η αρχική αιχμή του δικτύου δεν επηρεάζεται για καμία στρατηγική φόρτισης, ενώ για μεγάλα ποσοστά διείσδυσης η αιχμή ζήτησης λόγω ελεγχόμενης φόρτισης με διζωνικό τιμολόγιο είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη για μη ελεγχόμενη φόρτιση, που συνεπάγεται εντονότερη πτώση τάσεως. Αντίθετα, στην περίπτωση της ελεγχόμενης φόρτισης – “valley-filling”, η ομοιογενής κατανομή του φορτίου των ηλεκτρικών οχημάτων την περίοδο χαμηλής φόρτισης δεν επηρεάζει την αρχική αιχμή του δικτύου και, επομένως, ούτε και την ελάχιστη τιμή της τάσης. Όσον αφορά στη μέγιστη διακύμανση τάσης του δικτύου, που επίσης επηρεάζεται από τη μεταβολή της αιχμής του δικτύου, η υιοθέτηση ευέλικτων στρατηγικών φόρτισης βελτιώνει τον συγκεκριμένο δείκτη ποιότητας τάσης. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι τόσο η ελάχιστη τιμή όσο και η μέγιστη διακύμανση της τάσης δικτύου παραμένουν εντός ρυθμιστικών ορίων, υπό οποιοδήποτε σενάριο διείσδυσης ή στρατηγική φόρτισης.

Η Εικόνα 3.10 απεικονίζει την επιβάρυνση του δικτύου, όσον αφορά στη μέγιστη φόρτιση των γραμμών του δικτύου και τις απώλειες του δικτύου, για διαφορετικά σενάρια διείσδυσης και διαφορετικές στρατηγικές φόρτισης. Τα ποσοστά της

αύξησης των απωλειών στην Εικόνα 3.10 έχουν υπολογιστεί βάσει των απωλειών δικτύου χωρίς ηλεκτρικά οχήματα. Από τα αποτελέσματα είναι εμφανές ότι στην περίπτωση της μη ελεγχόμενης φόρτισης και στην περίπτωση της ελεγχόμενης φόρτισης με διζωνικό τιμολόγιο η φόρτιση των γραμμών αυξάνεται σημαντικά, καθώς αυξάνεται το ποσοστό διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων. Μάλιστα, στην καλοκαιρινή ημέρα, για μέση και υψηλή διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων, η ελεγχόμενη φόρτιση με διζωνικό τιμολόγιο προκαλεί μεγαλύτερη φόρτιση των γραμμών, λόγω του ταυτοχρονισμού της φόρτισης των οχημάτων, συγκριτικά με τη μη ελεγχόμενη φόρτιση. Κάτι αντίστοιχο δεν συμβαίνει στην περίπτωση της χειμερινής μέρας γιατί η καμπύλη φορτίου εμφανίζει εντονότερη κοιλάδα κατά την περίοδο χαμηλής κατανάλωσης. Σε αντίθεση με τις άλλες δύο στρατηγικές φόρτισης, στην περίπτωση της ελεγχόμενης φόρτισης "valley-filling", η μέγιστη φόρτιση του δικτύου δεν επηρεάζεται επιτρέποντας την ενσωμάτωση μεγαλύτερων ποσοστών διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο θεωρώντας τις υφιστάμενες υποδομές δικτύου. Όσον αφορά στις απώλειες του δικτύου, η αύξηση της ζήτησης του δικτύου λόγω φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων έχει ως συνέπεια την αύξηση των απωλειών του δικτύου. Ωστόσο, η υιοθέτηση ευέλικτων στρατηγικών φόρτισης μπορεί να περιορίσει την αντίστοιχη αύξηση των απωλειών του δικτύου διανομής έως και 3.7%, συγκριτικά με τη μη ελεγχόμενη φόρτιση.



**Εικόνα 3.9** Προφίλ τάσης δικτύου Κατερίνης για διαφορετικά σενάρια διείσδυσης και στρατηγικές φόρτισης: α)Ελάχιστη τάση δικτύου καλοκαίρι, β) Μέγιστη διακύμανση τάσης δικτύου καλοκαίρι, γ)Ελάχιστη τάση δικτύου χειμώνα, δ) Μέγιστη διακύμανση τάσης δικτύου χειμώνα



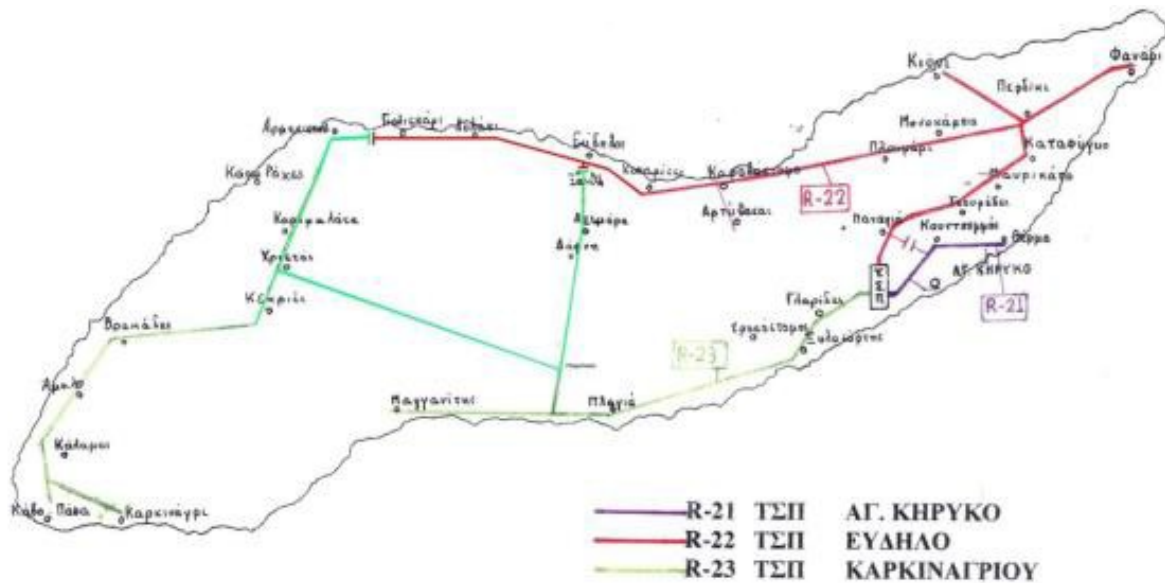
**Εικόνα 3.10** Μέγιστη φόρτιση γραμμών και απώλειες δικτύου Κατερίνης για διαφορετικά σενάρια διεξόδου και στρατηγικές φόρτισης: α) μέγιστη φόρτιση γραμμών καλοκαίρι, β) απώλειες δικτύου καλοκαίρι, γ) μέγιστη φόρτιση γραμμών χειμώνα, δ) απώλειες δικτύου χειμώνα (ποσοστά ως προς το σενάριο χωρίς ηλεκτρικά οχήματα)

### Επαρχιακό δίκτυο διανομής μέσης τάσης της Ικαρίας (15kV)

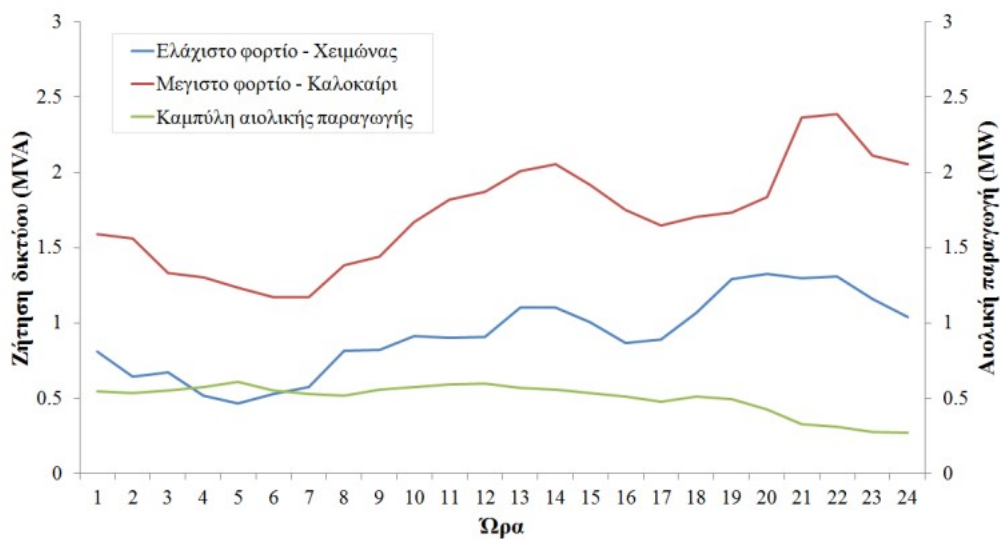
Η γραμμή διανομής που θα εξεταστεί αποτελεί τμήμα του επαρχιακού δικτύου διανομής Μ.Τ. της Ικαρίας και παρουσιάζεται με κόκκινο χρώμα στην Εικόνα 3.11. Η εξεταζόμενη γραμμή διανομής (50 χιλιομέτρων) περιλαμβάνει 57 υποσταθμούς φορτίου ΜΤ/ΧΤ με ονομαστική ισχύ: 1 των 250KVA, 5 των 160KVA, 1 των 150KVA, 8 των 100KVA, 3 των 75KVA, 29 των 50KVA, 7 των 25KVA και 1 των 15kVA.

Η Εικόνα 3.12 απεικονίζει τις ημερήσιες καμπύλες ζήτησης του δικτύου για τις περιπτώσεις μεγίστου και ελαχίστου φορτίου. Λόγω της έντονης τουριστικής ζήτησης του νησιού, παρατηρείται έντονη εποχικότητα στην καμπύλη του φορτίου. Η αιχμή της καμπύλης ζήτησης της γραμμής είναι 2.8MW και παρατηρείται το καλοκαίρι (Αύγουστος), ενώ το ελάχιστο φορτίο είναι 0.46MW και παρατηρείται το χειμώνα (Φεβρουάριο). Η Ικαρία χαρακτηρίζεται από ένα σημαντικό αιολικό

δυναμικό και η αιολική παραγωγή είναι σημαντική για την εξυπηρέτηση της ζήτησης του νησιού. Για την παρούσα μελέτη, η εγκατεστημένη ισχύς των αιολικών είναι ίση με 1MW με το ημερήσιο προφίλ παραγωγής να απεικονίζεται στην Εικόνα 3.12.



**Εικόνα 3.11** Γραμμή διανομής μέσης τάσης του δικτύου της Ικαρίας



**Εικόνα 3.12** Τυπική ημερήσια καμπύλη φορτίου του δικτύου της Ικαρίας

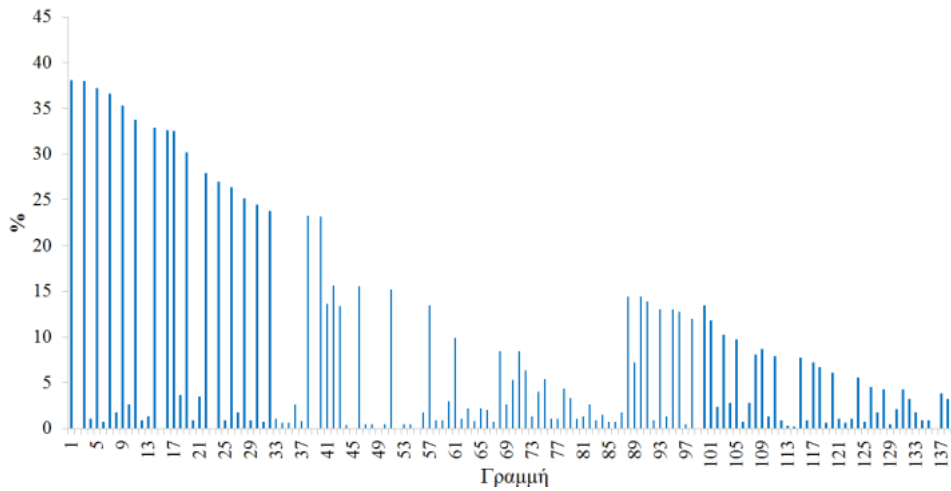
Η Εικόνα 3.13 απεικονίζει τη μέγιστη επιβάρυνση των στοιχείων της γραμμής διανομής, δηλαδή τη μέγιστη ποσοστιαία φόρτιση των γραμμών. Παρατηρούμε ότι η μέγιστη φόρτιση των γραμμών (<40%) είναι χαμηλή ακόμα και στην περίπτωση της

μέγιστης φόρτισης δικτύου. Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των γραμμών ενός επαρχιακού δικτύου διανομής είναι ότι η φόρτιση τους δεν είναι μεγάλη δεδομένου του χαμηλού φορτίου που εξυπηρετεί το δίκτυο συνολικά, ωστόσο είναι μεγάλες σε μήκος. Ως εκ τούτου, η μεταβολή του φορτίου δεν επηρεάζει τόσο τη φόρτιση των γραμμών, όσο την πτώση τάσης πάνω σε αυτές. Τα προφίλ της τάσης του δικτύου για την ελάχιστη τιμή της καθώς και για τη μέγιστη διακύμανση της, για τη περίπτωση του μεγίστου φορτίου, απεικονίζονται στην Εικόνα 3.14.

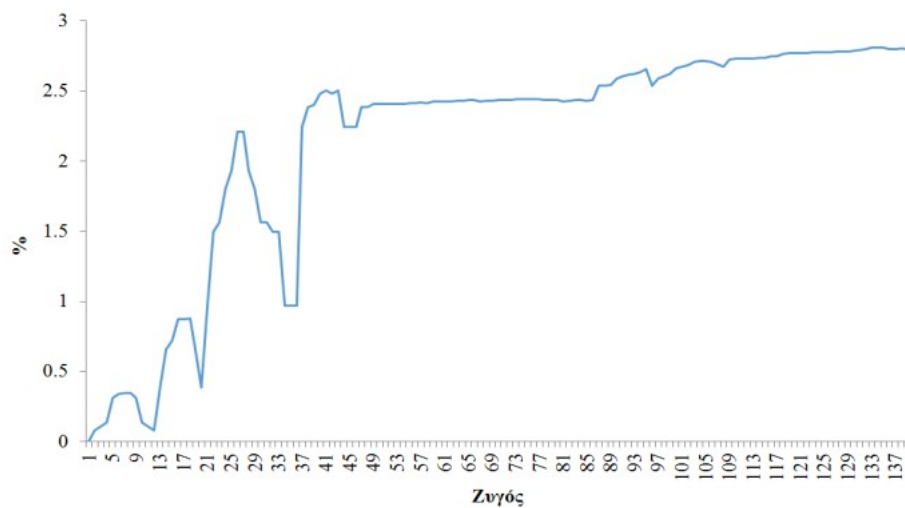
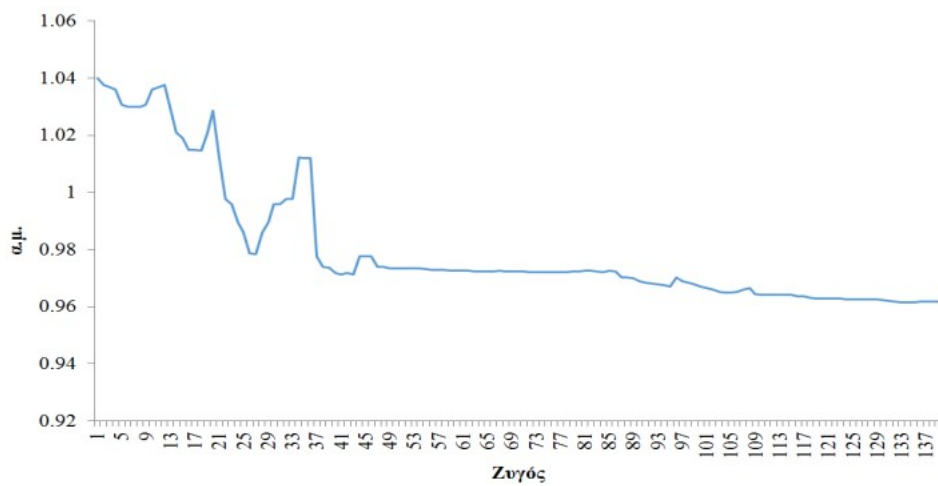
Στη συνέχεια θα αναλυθεί η επίδραση του επιπρόσθετου φορτίου των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο της Ικαρίας εξετάζοντας διαφορετικές στρατηγικές φόρτισης. Για τις ανάγκες της προσομοίωσης, το μέγεθος του στόλου των ηλεκτρικών οχημάτων είναι 300 οχήματα. Ο στόλος των ηλεκτρικών οχημάτων αποτελείται μόνο από οχήματα κατηγορίας M1 με μέση κατανάλωση 0.15kWh/km, ενώ η χωρητικότητα της μπαταρίας τους είναι 24kWh. Όσον αφορά στο προφίλ μετακίνησης των ηλεκτρικών οχημάτων (ώρες άφιξης/αναχώρησης και διανυόμενη απόσταση) υιοθετήθηκαν τα προφίλ της Εικόνας 3.6 και 3.7.

Η Εικόνα 3.15 απεικονίζει τη μεταβολή της ημερήσια καμπύλης του δικτύου της Ικαρίας για τη χειμωνιάτικη ημέρα με το ελάχιστο φορτίο λαμβάνοντας υπόψη την ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων, για διαφορετικές στρατηγικές φόρτισης. Αντίστοιχα, η μεταβολή της ημερήσια καμπύλης δικτύου για το μέγιστο φορτίο (καλοκαιρινή μέρα) απεικονίζεται στην Εικόνα 3.16. Όπως διαπιστώθηκε και στη περίπτωση της Κατερίνης, η μη ελεγχόμενη φόρτιση δημιουργεί μια νέα αιχμή ζήτησης λόγω της ταύτισης της αιχμής ζήτησης της φόρτισης με την υψηλή κατανάλωση του δικτύου. Η ποσοστιαία αύξηση της αιχμής των τροποποιημένων καμπυλών φορτίου συγκριτικά με την καμπύλη αρχικού φορτίου είναι 30.5% για το καλοκαίρι και 66.34% για το χειμώνα. Παρά το γεγονός ότι η καμπύλη ζήτησης των ηλεκτρικών οχημάτων για τη μη ελεγχόμενη φόρτιση είναι ίδια για χειμώνα και καλοκαίρι (συνολική ζήτηση 1.86MW), η επίπτωση στην καμπύλη φορτίου του δικτύου είναι εντονότερη το χειμώνα λόγω χαμηλότερης κατανάλωσης τους χειμερινούς μήνες (η ζήτηση των ηλεκτρικών οχημάτων είναι το 4.53% του ημερήσιου φορτίου για το καλοκαίρι και 8,46% για το χειμώνα). Η υιοθέτηση απλών στρατηγικών φόρτισης, όπως το διζωνικό τιμολόγιο, δεν είναι επαρκής λύση για την εποχική περίοδο χαμηλής κατανάλωσης μιας και η αιχμή ζήτησης της φόρτισης που δημιουργείται λόγω του ταυτοχρονισμού της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων την ώρα έναρξης του χαμηλού τιμολογίου επιβαρύνει σημαντικά το δίκτυο. Πιο συγκεκριμένα, στη χειμερινή μέρα, η αιχμή ζήτησης της τροποποιημένης καμπύλης του δικτύου στην περίπτωση της ελεγχόμενης φόρτισης μέσω διζωνικού τιμολογίου είναι αυξημένη κατά 20.04% συγκριτικά με την αντίστοιχη αιχμή της μη ελεγχόμενης φόρτισης. Ωστόσο, η επίπτωση της ελεγχόμενης φόρτισης με διζωνικό τιμολόγιο είναι μικρότερη συγκριτικά με την αντίστοιχη της μη ελεγχόμενης φόρτισης. Αντίθετα, στην περίπτωση της ελεγχόμενης φόρτισης “valley-filling”, η ζήτηση των ηλεκτρικών οχημάτων κατανέμεται σε όλο το διαθέσιμο χρονικό διάστημα για τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων, χωρίς να μεταβάλλεται η αιχμή ζήτησης του δικτύου.

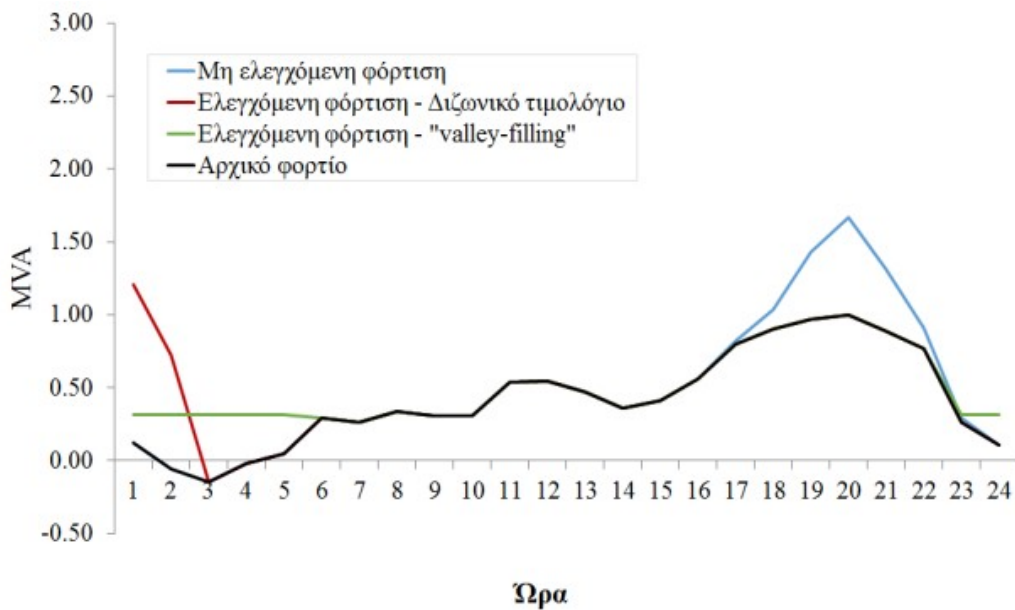




**Εικόνα 3.13** Μέγιστη ποσοστιαία φόρτιση των γραμμών της Ικαρίας



**Εικόνα 3.14** Ελάχιστη τιμή της τάσης (α.μ.) των ζυγών του δικτύου της Ικαρίας (επάνω) και Διακύμανση της τάσης (%) των ζυγών του δικτύου της Ικαρίας (ποσοστό επί της ονομαστικής ισχύος) (κάτω)



**Εικόνα 3.15** Τροποποιημένη καμπύλη φορτίου του δικτύου της Ικαρίας για το ελάχιστο φορτίο (χειμερινή μέρα)



**Εικόνα 3.16** Τροποποιημένη καμπύλη φορτίου του δικτύου της Ικαρίας για το μέγιστο φορτίο (καλοκαιρινή μέρα)

Ο Πίνακας 3.2 παρουσιάζει κάποια χαρακτηριστικά μεγέθη καμπυλών φορτίου για το δίκτυο της Ικαρίας, όπως ο συντελεστής φορτίσεως (μέσο φορτίο/μέγιστο φορτίο), ο συντελεστής ομοιομορφίας (ελάχιστο φορτίο/μέγιστο φορτίο) και η ποσοστιαία αύξηση αιχμής φορτίου. Επειδή το φορτίο του δικτύου της Ικαρίας δεν είναι ιδιαίτερα υψηλό και η φόρτιση των γραμμών είναι σχετικά χαμηλή, όπως

αποδεικνύεται από την Εικόνα 3.13, είναι σημαντικό να εξεταστούν και ορισμένα περαιτέρω λειτουργικά χαρακτηριστικά του δικτύου που αφορούν στο προφίλ τάσης. Ο Πίνακας 3.2 παρουσιάζει την επίπτωση της φόρτισης του στόλου των ηλεκτρικών οχημάτων στην ελάχιστη τιμή και στην μέγιστη διακύμανση της τάσης καθώς και τη μέγιστη φόρτιση των γραμμών του δικτύου της Ικαρίας. Από τα αποτελέσματα του πίνακα συνεπάγεται ότι η επιβάρυνση των γραμμών λόγω της απότομης αιχμής του φορτίου των ηλεκτρικών οχημάτων στις περιπτώσεις της μη ελεγχόμενης φόρτισης και ελεγχόμενη φόρτισης με διζωνικό τιμολόγιο αυξάνεται σημαντικά, ωστόσο, δεν ξεπερνά τα θερμικά όρια των γραμμών λόγω του χαμηλού αρχικού φορτίου του δικτύου της Ικαρίας. Το πρόβλημα στη λειτουργία του δικτύου εντοπίζεται στη μέγιστη διακύμανση της τάσης, η οποία στη μη ελεγχόμενη φόρτιση ξεπερνά το ρυθμιστικό όριο του 3% και στην περίπτωση της ελεγχόμενης φόρτισης με διζωνικό τιμολόγιο είναι κοντά στο άνω όριο. Ως εκ τούτου, η μέγιστη διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων καθορίζεται από τη μέγιστη διακύμανση της τάσης.

**Πίνακας 3.2** Ποιοτικοί δείκτες λειτουργίας του δικτύου της Ικαρίας με ενσωμάτωση ηλεκτρικών οχημάτων

		Συντελεστής Φορτίσεως (Load Factor)	Συντελεστής ομοιομορφίας (Uniformity factor)	Αύξηση αιχμής (%)
<b>ΧΕΙΜΩΝΑΣ</b>	Αρχικό Σενάριο	0.6914	0.3487	-
	Μη ελεγχόμενη φόρτιση	0.5000	0.2323	66,34%
	Ελεγχόμενη φόρτιση - διζωνικό τιμολόγιο	0.5266	0.2448	20.04%
	Ελεγχόμενη φόρτιση – “valley-filling”	0.7500	0.3987	-
<b>ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ</b>	Αρχικό Σενάριο	0.5845	0.2981	-
	Μη ελεγχόμενη φόρτιση	0.4764	0.2283	30.53%
	Ελεγχόμενη φόρτιση - διζωνικό τιμολόγιο	0.6076	0.2915	2.34%
	Ελεγχόμενη φόρτιση – “valley-filling”	0.6562	0.4172	-

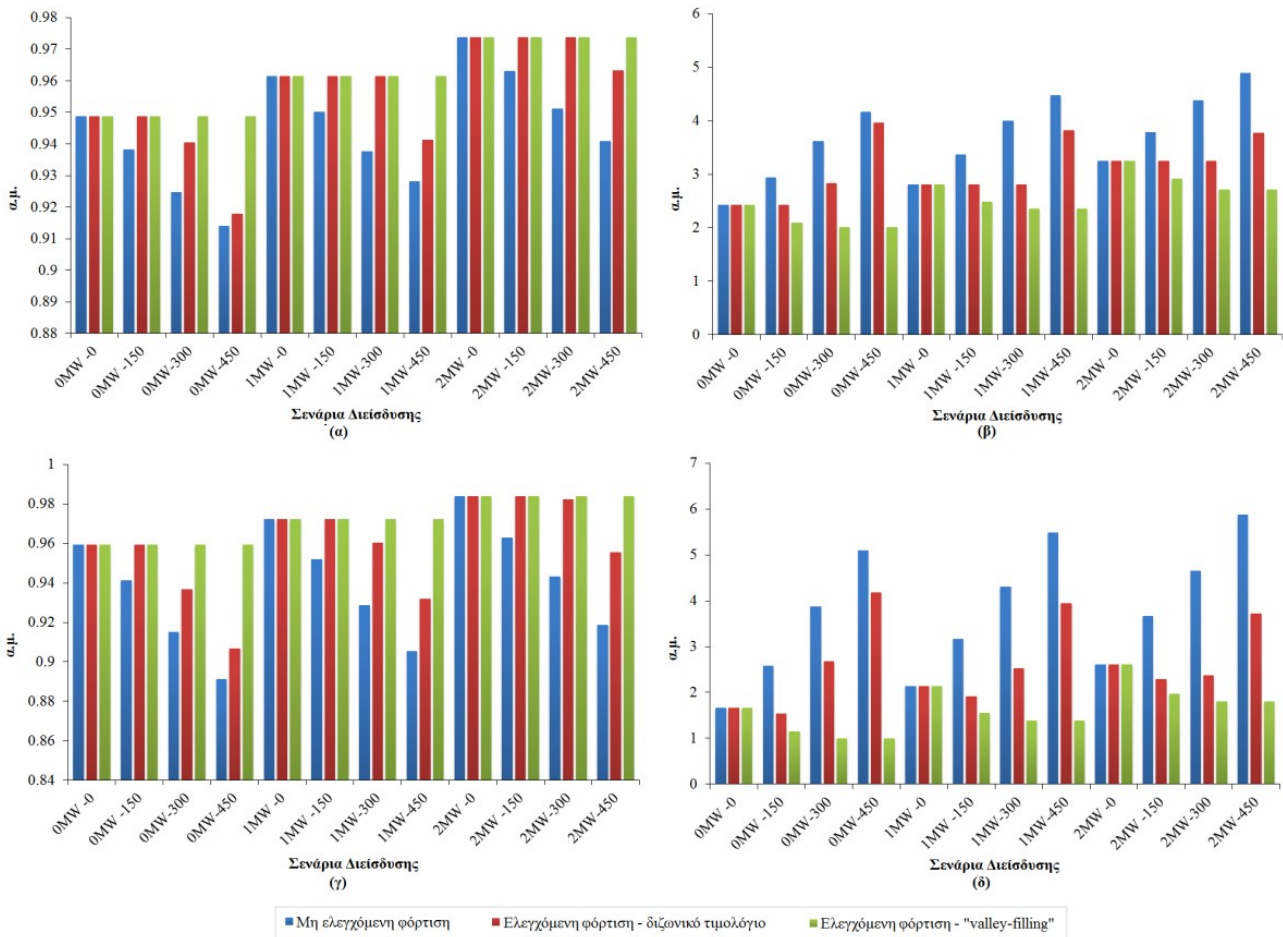
		Μέγιστη Φόρτιση Γραμμών	Ελάχιστη Τάση	Μέγιστη Διακύμανση τάσης
<b>ΧΕΙΜΩΝΑΣ</b>	Αρχικό Σενάριο	17.8	0.9723	2.14
	Μη ελεγχόμενη φόρτιση	45.5 (+155.6%)	0.93 (-4.35%)	4.35 (+103.3%)
	Ελεγχόμενη φόρτιση - διζωνικό τιμολόγιο	32.67 (83.6%)	0.96 (-1.3%)	2.52 (+17.8%)
	Ελεγχόμενη φόρτιση – “valley-filling”	17.8	0.9723	1.39 (-35.1%)
<b>ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ</b>	Αρχικό Σενάριο	38.09	0.9614	2.81
	Μη ελεγχόμενη φόρτιση	52.41 (+37.6%)	0.939 (-2.3%)	3.95 (+40.5%)
	Ελεγχόμενη φόρτιση - διζωνικό τιμολόγιο	44.28 (+16.251)	0.9612 (-0.02%)	2.82 (+0.4%)
	Ελεγχόμενη φόρτιση – “valley-filling”	38.09	0.9614	2.35 (-16.4%)

Στη συνέχεια, εξετάζεται το προφίλ της τάσης (ελάχιστη τιμή και διακύμανση της τάσης) για διαφορετικά σενάρια διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και για διαφορετικές στρατηγικές φόρτισης (Εικόνα 3.17). Η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο επαρχιακό δίκτυο της Ικαρίας έχει θετική επίπτωση όσον αφορά στην ελάχιστη τιμή της τάσης μιας και μειώνει την αιχμή του φορτίου, ενώ αρνητική επίπτωση στη διακύμανση της τάσης μιας και η έντονη αιολική παραγωγή την περίοδο χαμηλής κατανάλωσης διευρύνει την απόκλιση μεγίστου και ελαχίστου φορτίου του δικτύου. Μάλιστα, για μεγάλη διείσδυση αιολικών (2MW), η διακύμανση της τάσης είναι εκτός ρυθμιστικών ορίων (>3%). Η υιοθέτηση της μη ελεγχόμενης φόρτισης κατά την ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο της Ικαρίας έχει έντονη αρνητική επίπτωση τόσο στην ελάχιστη τιμή της τάσης όσο και στη διακύμανση της, λόγω της αύξησης της αιχμής φορτίου. Η ενσωμάτωση υψηλών ποσοστών διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων με τη στρατηγική της μη ελεγχόμενης φόρτισης, εμποδίζει την ενσωμάτωση μεγαλύτερων ποσοστών διείσδυσης αιολικής παραγωγής δημιουργώντας την ανάγκη για λήψη επιπρόσθετων μέτρων από το διαχειριστή του δικτύου για την απορρόφηση της. Όσον αφορά στη στρατηγική της ελεγχόμενης φόρτισης με διζωνικό τιμολόγιο, η στρατηγική αυτή μπορεί να θεωρηθεί αποδοτική για χαμηλά ποσοστά διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων και δεδομένου ότι το φορτίο του δικτύου δεν είναι υψηλό. Σε αντίθετη περίπτωση και ειδικότερα όταν τα ποσοστά διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων είναι υψηλά, η ελεγχόμενη φόρτιση με διζωνικό τιμολόγιο έχει ως

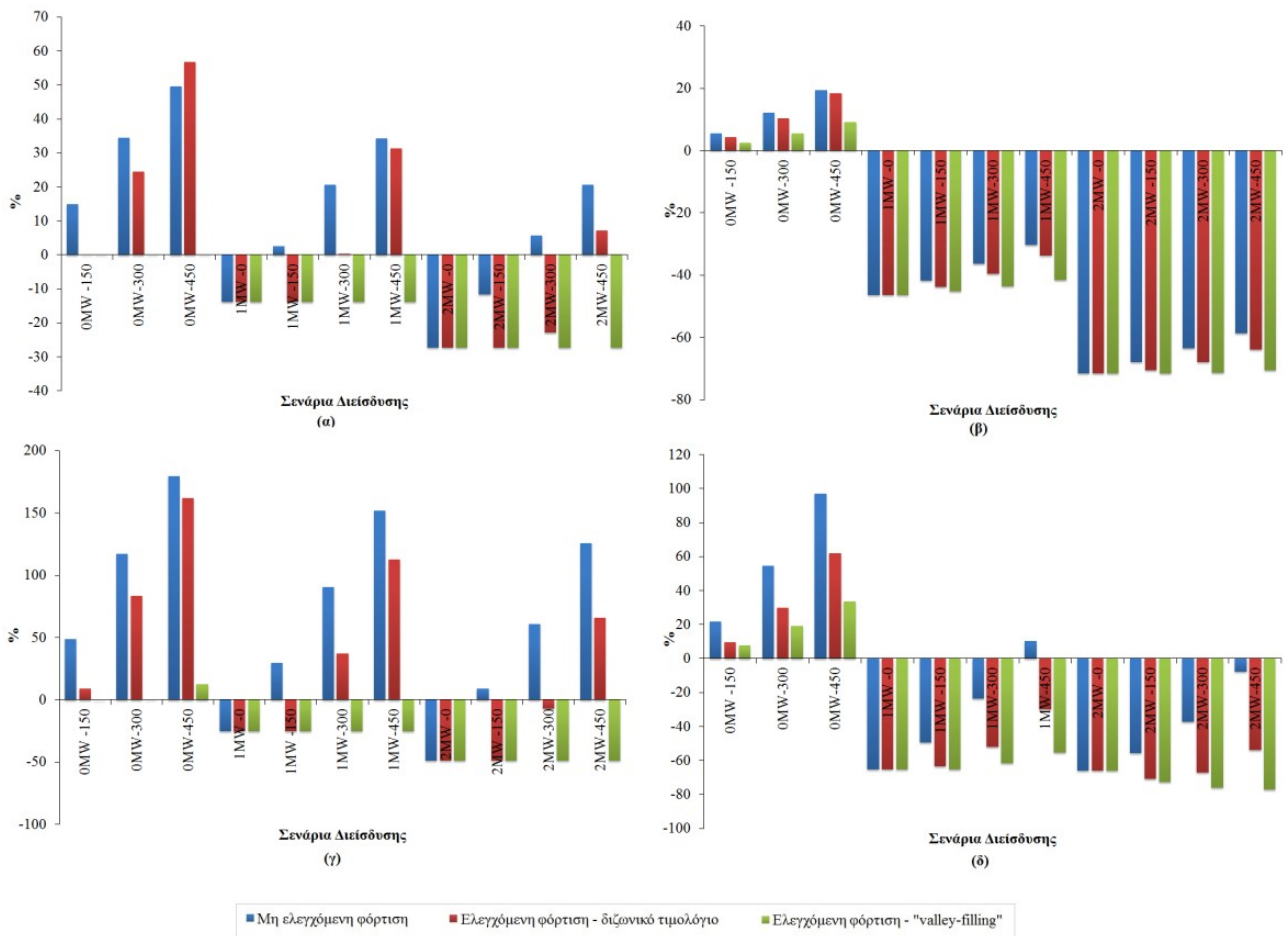
αποτέλεσμα την παραβίαση των ρυθμιστικών περιορισμών της τάσης. Αντίθετα, η υιοθέτηση πιο ευέλικτης στρατηγικής φόρτισης ("valley-filling") συνεισφέρει σημαντικά στην αποδοτικότερη λειτουργία του δικτύου. Μάλιστα είναι ιδιαίτερα σημαντικό ότι η μετατόπιση και κατανομή της ζήτησης των ηλεκτρικών οχημάτων της ώρες χαμηλής κατανάλωσης και υψηλής αιολικής παραγωγής επιτρέπει την ενσωμάτωση υψηλότερων ποσοστών αιολικής παραγωγής καθώς αυξάνεται το μέγεθος του στόλου των ηλεκτρικών οχημάτων. Η στρατηγική "valley-filling" είναι η πιο αποτελεσματική μέθοδος συγκριτικά με τις άλλες δύο στρατηγικές.

Η Εικόνα 3.18 απεικονίζει την επιβάρυνση του δικτύου, όσον αφορά στη μέγιστη φόρτιση των γραμμών και τις απώλειες του δικτύου, για διαφορετικά σενάρια διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων, αιολικής παραγωγής και διαφορετικές στρατηγικές φόρτισης. Τα ποσοστά της αύξησης των απωλειών έχουν υπολογιστεί βάσει των απωλειών δικτύου χωρίς ηλεκτρικά οχήματα και χωρίς ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Από τα αποτελέσματα στην Εικόνα 3.18 είναι προφανές ότι η ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μειώνει την επιβάρυνση των γραμμών. Ωστόσο, η ενσωμάτωση υψηλότερων ποσοστών διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων αυξάνει την επιφόρτιση των γραμμών, ειδικότερα στην περίπτωση της μη ελεγχόμενης φόρτισης, περιορίζοντας αισθητά τη θετική επίδραση της αιολικής παραγωγής. Η ελεγχόμενη φόρτιση με διζωνικό τιμολόγιο είναι αποδοτική όσο η διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων παραμένει σε χαμηλά επίπεδα. Η ελεγχόμενη

φόρτιση "valley-filling" δεν επηρεάζει σε κανένα σενάριο προσομοίωσης τη μέγιστη φόρτιση των γραμμών και αυτό γιατί το φορτίο της φόρτισης κατανέμεται κατά τη διάρκεια της περιόδου χαμηλής κατανάλωσης. Όσον αφορά στις απώλειες του δικτύου, η εξυπηρέτηση του επιπρόσθετου φορτίου των ηλεκτρικών οχημάτων από το ανάντυ δίκτυο (0MW αιολική παραγωγή) έχει ως συνέπεια την αύξηση των απωλειών του δικτύου. Η υιοθέτηση ευέλικτων στρατηγικών φόρτισης είναι ικανή να περιορίσει το ποσοστό αύξησης των απωλειών αυτών. Η αξιοποίηση της διαθέσιμης αιολικής παραγωγής από την τοπική κατανάλωση είναι πολύ σημαντική ακόμα και για υψηλά ποσοστά διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων. Η πιο αξιοσημείωτη περίπτωση είναι αυτή για μεγάλη διείσδυση αιολικής παραγωγής και χαμηλό φορτίο δικτύου (χειμερινή ημέρα). Η υιοθέτηση της ελεγχόμενης φόρτισης "valley-filling" συντελεί στην περαιτέρω μείωση των απωλειών δικτύου καθώς η διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων αυξάνει. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, το πλεόνασμα αιολικής παραγωγής τις ώρες χαμηλού φορτίου, που έχει ως αποτέλεσμα την ανάστροφη ροή ισχύος, αξιοποιείται για τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων σε τοπικό επίπεδο.



**Εικόνα 3.17** Προφίλ τάσης δικτύου Ικαρίας για διαφορετικά σενάρια διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων (0-450), ΑΠΕ (0-2MW) και στρατηγικές φόρτισης: α)Ελάχιστη τάση δικτύου καλοκαίρι, β) Μέγιστη διακύμανση τάσης δικτύου καλοκαίρι, γ)Ελάχιστη τάση δικτύου χειμώνα, δ) Μέγιστη διακύμανση τάσης δικτύου χειμώνα



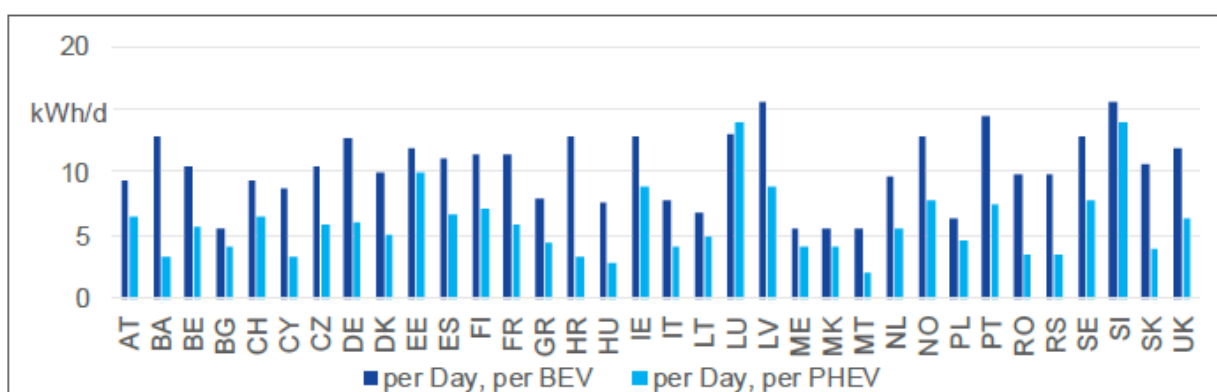
**Εικόνα 3.18** Μέγιστη φόρτιση γραμμών και απώλειες δικτύου Ικαρίας για διαφορετικά σενάρια ηλεκτρικών οχημάτων (0-450), ΑΠΕ (0-2MW) και στρατηγικές φόρτισης: α) μέγιστη φόρτιση γραμμών καλοκαίρι, β) απώλειες δικτύου καλοκαίρι, γ) μέγιστη φόρτιση γραμμών χειμώνα, δ) απώλειες δικτύου χειμώνα (ποσοστά ως προς το σενάριο χωρίς ηλεκτρικά οχήματα)

### 3.4 Μελέτη επίδρασης της φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στο ευρωπαϊκό ΣΗΕ

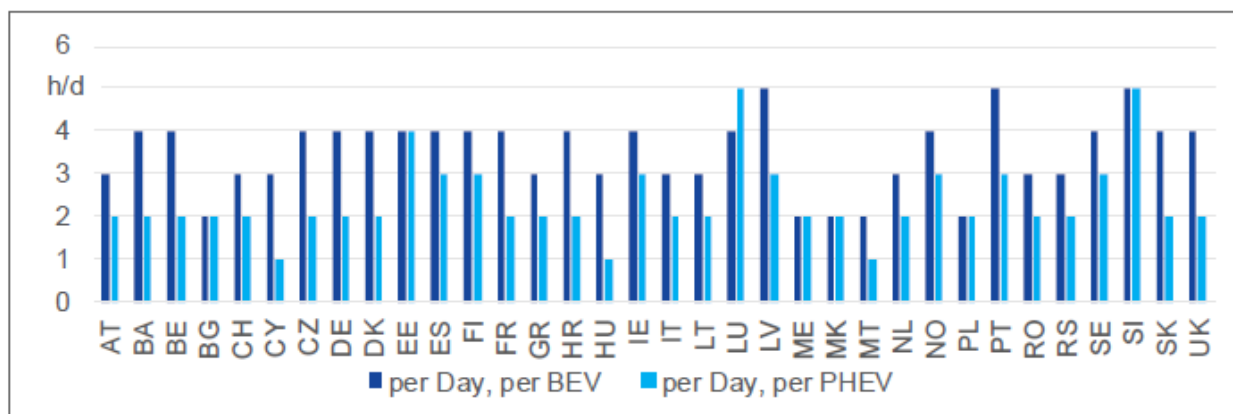
Τα δεδομένα εισόδου βασίζονται σε τρία διαφορετικά σενάρια. Αυτές οι προβλέψεις περιλαμβάνουν την ετήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας από ηλεκτρικά οχήματα και το απόθεμα οχημάτων για όλα τα κράτη μέλη της ΕΕ για δύο διαφορετικούς τύπους οχημάτων (BEV και PHEV) για τα σενάρια EUCO30 το 2030, EUCO30 το 2050 και REF16 το 2030. Τα σενάρια REF16 και EUCO30 διαφέρουν όσον αφορά το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο σύστημα ηλεκτροπαραγωγής (REF16 το 2030: 42,6%, EUCO30: 49,5% το 2030 και 64,4% το 2050) και το μερίδιο της ηλεκτρικής ενέργειας στη ζήτηση ενέργειας από επιβατικά αυτοκίνητα (<5% 2030 για

τα REF2016 και EUCO30, 34% το 2050).

Η διαφοροποίηση μεταξύ της ημέρας της εβδομάδας και της ημέρας του Σαββατοκύριακου και της χωρητικότητας χρέωσης δίνονται ανεξάρτητα από κάθε χώρα. Επιπλέον, δίδεται η χρονική μετατόπιση κάθε χώρας με την έννοια των καθημερινών ωρών εργασίας για άμεση χρέωση και το οριακό κόστος ανά χώρα και ώρα με βάση μια προσομοίωση προκαταρκτικής αναφοράς. Με βάση τα ανωτέρω, τα δεδομένα εισόδου για τη μοντελοποίηση παράγονται με τον ίδιο τρόπο για όλα τα σενάρια που δίνονται για το EUCO30 το 2030 στο εξής. Για τον προσδιορισμό της καθημερινής ζήτησης από το ηλεκτρικό όχημα μπαταρίας (BEV) και το υβριδικό ηλεκτρικό όχημα plug-in (PHEV), θεωρείται ότι μόνο το 70% του συνολικού ποσού EV συμμετέχει στο ταξίδι. Επιπλέον, υποτίθεται ότι τα μισά από τα συμμετέχοντα οχήματα χρεώνουν στο σπίτι, ενώ τα υπόλοιπα μισά φορτίζουν στην εργασία.



(α)



(β)

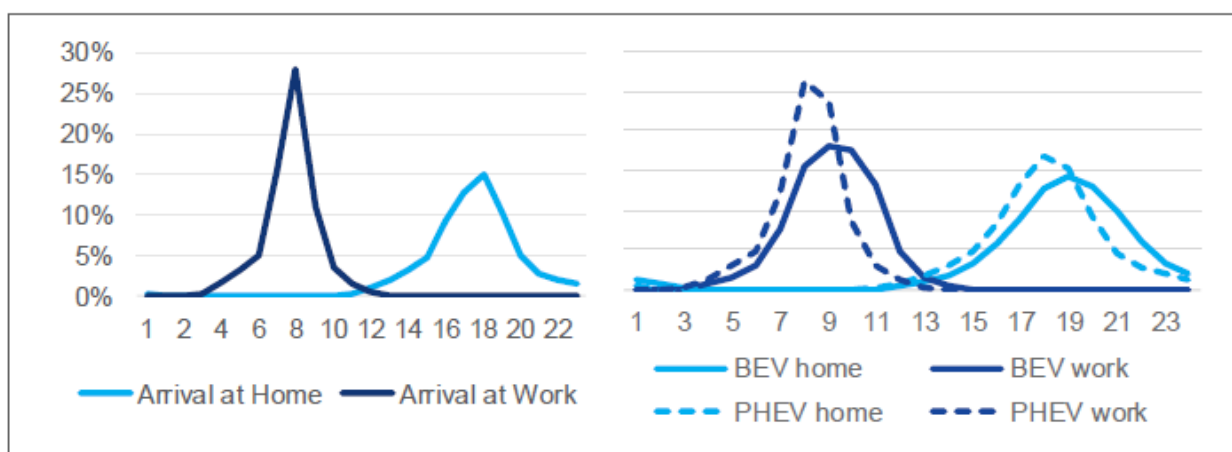
**Εικόνα 3.19** (α) Ημερήσια ζήτηση ενέργειας και (β) Ημερήσιος χρόνος φόρτισης για BEV και PHEV στο σενάριο EUCO30 το 2030

Η κατανομή των BEV και PHEV εξαρτάται από το μερίδιο κάθε τύπου οχήματος στο αντίστοιχο σενάριο. Λαμβάνοντας υπόψη τη δυνατότητα μονοφασικής φόρτισης των 3,3kW και την καθημερινή ζήτηση κατά τις εργάσιμες ημέρες που είναι τρεις φορές υψηλότερες από την ημερήσια ζήτηση κατά τις ημέρες του Σαββατοκύριακου,

η ημερήσια ζήτηση κυμαίνεται μεταξύ 5,5 και 15,6 kWh/ημέρα για BEV και μεταξύ 2,1 και 14 kWh/ημέρα για τα PHEV στο σενάριο EUCO30 το 2030, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.19(α). Για τη δεδομένη ετήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας (με βάση τα δεδομένα σεναρίων) και τη δυνατότητα μονοφασικής φόρτισης ισχύος 3,3kW, η ημερήσια διάρκεια φόρτισης (που δίνεται στην εικόνα 3.19(β)) κυμαίνεται μεταξύ δύο και πέντε ώρες για τις BEV και μία έως πέντε ώρες για τα PHEV.

Με βάση αυτές τις ημερήσιες περιόδους φόρτισης, δημιουργούνται ωριαία προφίλ φόρτισης. Στη συνέχεια, εισάγεται η σχετική μοντελοποίηση των στρατηγικών χρέωσης και τα απαιτούμενα δεδομένα εισόδου. Οι εθνικές καμπύλες φορτίου από το TYNDP 2014 του ENTSO-E ανήχθησαν σύμφωνα με την ετήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας που δόθηκε για τα σενάρια REF16 και EUCO30. Αυτό σημαίνει ότι η ζήτηση ηλεκτρικού ρεύματος που σχετίζεται με την φόρτιση ακολουθεί την ίδια ωριαία κατανομή με το συνολικό προφίλ ζήτησης, χωρίς χωριστή αναπαράσταση ενός συγκεκριμένου προτύπου χρέωσης φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων.

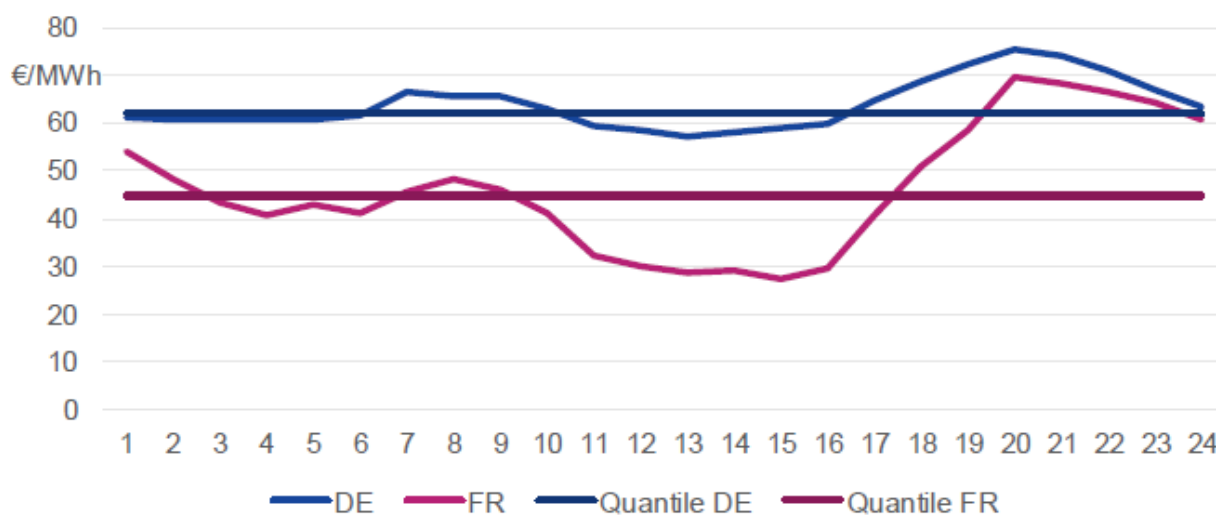
Η άμεση φόρτιση, όπως περιγράφεται στην ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, αντιπροσωπεύει φόρτιση των BEVs και PHEVs κατά την άφιξη στο σπίτι ή στην εργασία. Η προσέγγιση για την άμεση φόρτιση είναι να θεωρήσουμε την έναρξη της διαδικασίας φόρτισης κατά την ώρα άφιξης κάθε ηλεκτρικού οχήματος. Η διάρκεια φόρτισης ισούται τότε με τις ώρες φόρτισης, η οποία προκύπτει από την ημερήσια απαίτηση ανά όχημα (βλέπε Εικόνα 3.19(β)). Το αποτέλεσμα της μεθόδου είναι ένα ωριαίο προφίλ χρέωσης για κάθε χώρα ανάλογα με την ετήσια ζήτηση, τον συνολικό αριθμό ηλεκτρικών οχημάτων, το μερίδιο των BEV και PHEV καθώς και την ώρα άφιξης στην εργασία και στο σπίτι. Το προφίλ φόρτισης που προκύπτει για μία ημέρα της εβδομάδας στη Γερμανία για κάθε τύπο ηλεκτρικού οχήματος παρατίθεται στην εικόνα 3.20.



**Εικόνα 3.20** Ημερήσιες ώρες άφιξης στο σπίτι και στην εργασία (αριστερά) και προφίλ φόρτισης (δεξιά - στοιχεία Γερμανίας)



Στη φόρτιση βασισμένη σε έλεγχο του χρόνου σύνδεσης, επιλέγεται το διάστημα φόρτισης σε σταθερές προκαθορισμένες περιόδους χαμηλής χρέωσης (π.χ. διζωνικό ή νυχτερινό τιμολόγιο). Η χρέωση που βασίζεται σε αυτή τη λογική καθορίζεται από την προτιμώμενη χρέωση κατά τη διάρκεια των προκαθορισμένων στατικών περιόδων χαμηλής τιμής που παρέχονται από τα λεγόμενα τέλη χρόνου χρήσης (ToU). Στη μελέτη αυτή, οι περίοδοι ToU καθορίζονται με βάση το ωριαίο οριακό κόστος ηλεκτρικής ενέργειας στο βασικό σενάριο για κάθε χώρα. Το βασικό σενάριο είναι ένα σενάριο χωρίς καμία προσαρμογή της χρέωσης για την φόρτιση. Για τον προσδιορισμό των περιόδων ToU, οι εποχιακές και εβδομαδιαίες επιδράσεις θεωρούνται λαμβάνοντας υπόψη τη διαφοροποίηση μεταξύ καλοκαιριού και χειμώνα καθώς και ημέρας της εβδομάδας και Σαββατοκύριακου. Αρχικά καθορίζεται η μέση τιμή για κάθε ώρα μιας ημέρας για π.χ. μια ημέρα της εβδομάδας το καλοκαίρι. Χρησιμοποιώντας ως όριο το 50%, δώδεκα ώρες των ημερών ταξινομούνται ως χαμηλή τιμή και τις υπόλοιπες δώδεκα ώρες ως υψηλές τιμές. Οι προκύπτουσες μέσες τιμές για το οριακό κόστος και το όριο του 50% για Γαλλία και Γερμανία δίδονται στην εικόνα 3.21 για το σενάριο EUCO30 το 2030, ως παράδειγμα.

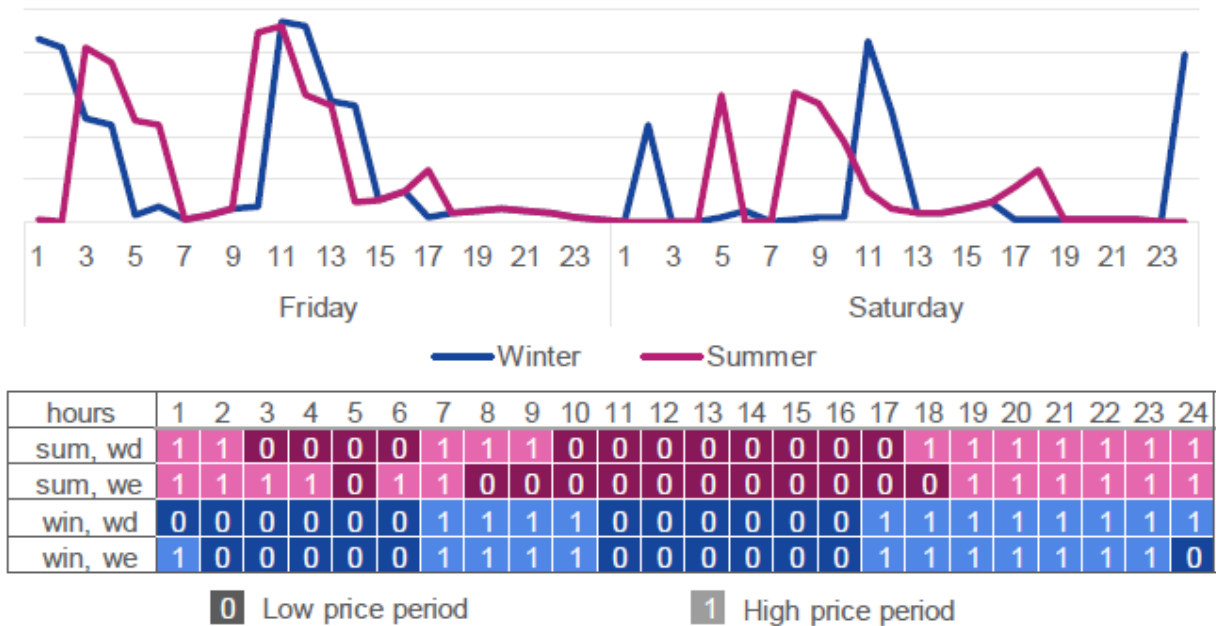


**Εικόνα 3.21** Μέσες ημερήσιες τιμές για το οριακό κόστος στο EUCO30 το 2030 για Γερμανία (DE) και Γαλλία (FR).

Αν υποθέσουμε ότι είναι πιο επιθυμητό να φορτίσουμε ένα ηλεκτρικό όχημα όσο το δυνατόν νωρίτερα και σε μια κατάσταση, όπου ο χρόνος άφιξης συμπίπτει με μια περίοδο χαμηλής τιμής, το ηλεκτρικό όχημα φορτίζεται μέχρις ότου συμπληρωθούν οι ώρες καθημερινής φόρτισης ή αρχίσει μια περίοδος υψηλής τιμής. Αν η ώρα άφιξης συμπίπτει με περίοδο υψηλών τιμών, η χρέωση αρχίζει στην επόμενη χαμηλή τιμή. Στην Εικόνα 3.22, απεικονίζεται το προφίλ χρέωσης από φόρτιση σύμφωνα με το χρόνο σύνδεσης (ToU) για τη Γαλλία ως παράδειγμα.

Λαμβάνοντας υπόψη την περίπτωση, ότι μεταξύ της άφιξης και της αναχώρησης της ενός ηλεκτρικού οχήματος, οι ώρες ημερήσιας φόρτισης υπερβαίνουν τις ώρες χαμηλών τιμών, το ηλεκτρικό όχημα πρέπει απαραίτητα να χρεώνεται και σε

περιόδους υψηλών τιμών. Με βάση το μερίδιο κάθε στρατηγικής χρέωσης, συγκεντρώνονται τα προφίλ φόρτισης του BEV και του PHEV τόσο στο σπίτι όσο και στην εργασία. Το αποτέλεσμα αυτής της επεξεργασίας δεδομένων είναι ένα ετήσιο προφίλ χρέωσης για κάθε χώρα σε ωριαία ανάλυση.



**Εικόνα 3.22** Προφίλ φόρτισης για τη Γαλλία την καλοκαιρινή και χειμερινή περίοδο στο EUCO30 το 2030

Στη φόρτιση με βάση μεταβολή τιμής σε πραγματικό χρόνο (RTP), υπάρχει προσαρμογή του χρόνου φόρτισης μέσω ενός σήματος τιμής που σε ένα σήμα που ποικίλλει ανά ώρα. Σε αντίθεση με την άμεση φόρτιση που βασίζεται σε ToU, το προφίλ φόρτισης της φόρτισης με βάση το RTP καθορίζεται ενδογενώς στο μοντέλο. Επιπλέον των δεδομένων που περιγράφονται στην ToU, πρέπει να διασφαλιστεί ότι η τιμή EV πρέπει να χρεώνεται μεταξύ της ώρας άφιξης και αναχώρησης, γεγονός που προσθέτει περιορισμό στη βελτιστοποίηση. Ο αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων που είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο εξαρτάται από τις ωριαίες σειρές ωρών άφιξης και αναχώρησης.

Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης μοντελοποίησης, ο βασικός στόχος της βελτιστοποίησης (που διαμορφώνεται ως ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους του συστήματος) είναι να διασφαλιστεί ότι η χρέωση πραγματοποιείται σε ώρες με τις χαμηλότερες τιμές της αγοράς. Καθώς οι τιμές της αγοράς συσχετίζονται με το υπολειπόμενο φορτίο, η φόρτιση αναμένεται να μετατοπιστεί σε χρόνους χαμηλού υπολειπόμενου φορτίου, μειώνοντας παράλληλα τις υπολειπόμενες μέγιστες φορτίσεις. Καθώς πρόκειται για μια βελτιστοποίηση βάσει της αγοράς, μπορεί να οδηγήσει σε πρόσθετη πίεση στο σύστημα τόσο για τη διανομή όσο και για το δίκτυο μεταφοράς. Παρόλο που η χρέωση που βασίζεται στην RTP θα μπορούσε

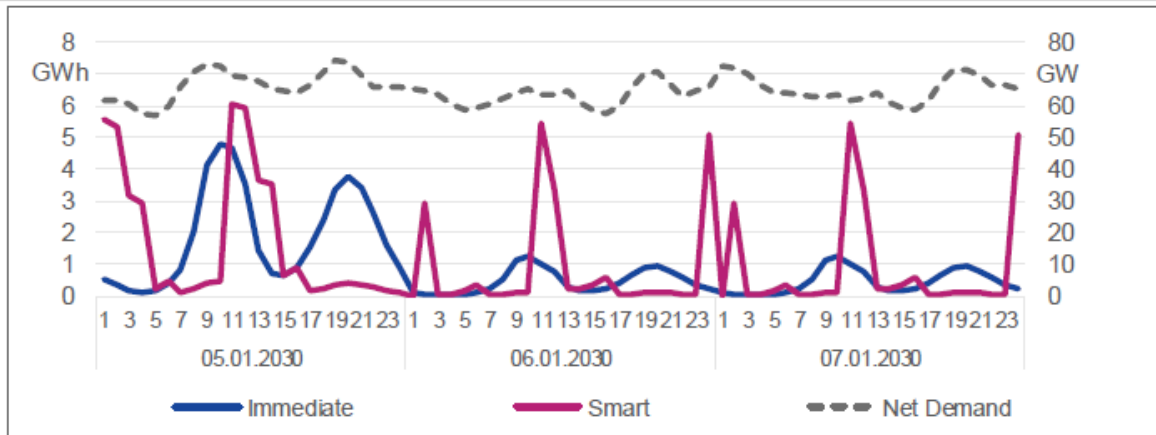
επίσης να λάβει υπόψη τους περιορισμούς που σχετίζονται με το δίκτυο, αυτό δεν εμπίπτει στο πεδίο εφαρμογής της μελέτης, διότι θα απαιτούσε λεπτομερή μοντελοποίηση της διανομής καθώς και του δικτύου μεταφοράς. Παρόλα αυτά, πραγματοποιείται μια απλοποιημένη ανάλυση της επιτρεπτής φόρτισης του δικτύου, περιορίζοντας τον αριθμό των ηλεκτρικών οχημάτων που φορτίζονται ταυτόχρονα σε μια προκαθορισμένη μέγιστη τιμή.

Λαμβανομένων υπόψη αυτών των περιορισμών, η συμπεριφορά φόρτισης καθορίζεται από μια κοινή βελτιστοποίηση της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων και την αποστολή ενεργού ισχύος από τις μονάδες παραγωγής ενέργειας. Για την ωριαία βελτιστοποίηση των προφίλ φόρτισης, υπολογίζεται ότι κάθε όχημα πρέπει να είναι πλήρως φορτισμένο πριν από την αναχώρηση. Εκτός από αυτό, θεωρείται ότι κατά τη διάρκεια του ταξιδιού κάθε όχημα εκφορτίζεται κατά ένα σταθερό ποσό ενέργειας, το οποίο δίνεται από την καθημερινή ζήτηση ανά ηλεκτρικό όχημα. Αν υπάρξει ώρα με ισοδύναμες συνθήκες αγοράς, η χρέωση πραγματοποιείται το συντομότερο δυνατόν, ώστε να αντικατοπτρίζει τις προτιμήσεις των καταναλωτών. Στην προσέγγιση φόρτισης με δυναμική σύνδεση Οχήματος στο Δίκτυο (V2G) βασίζεται στο σενάριο RTP και ως εκ τούτου οι υποθέσεις και οι περιορισμοί από το σενάριο RTP πρέπει επίσης να ληφθούν υπόψη στην προσέγγιση αυτή. Ειδικά, με την ικανότητα εκφόρτισης προς το δίκτυο, είναι σημαντικό το κάθε όχημα να βρίσκεται σε κατάσταση πλήρους φόρτισης πριν από την αναχώρηση από τον τερματικό σταθμό. Εκτός αυτού, η ικανότητα εκφόρτισης, η οποία είναι παρόμοια με την ικανότητα φόρτισης, υπολογίζεται θεωρώντας απώλειες απόδοσης κατά 20% και μέγιστη ενέργεια εκφόρτισης της μπαταρίας ίση με τη μέση ημερήσια ζήτηση.

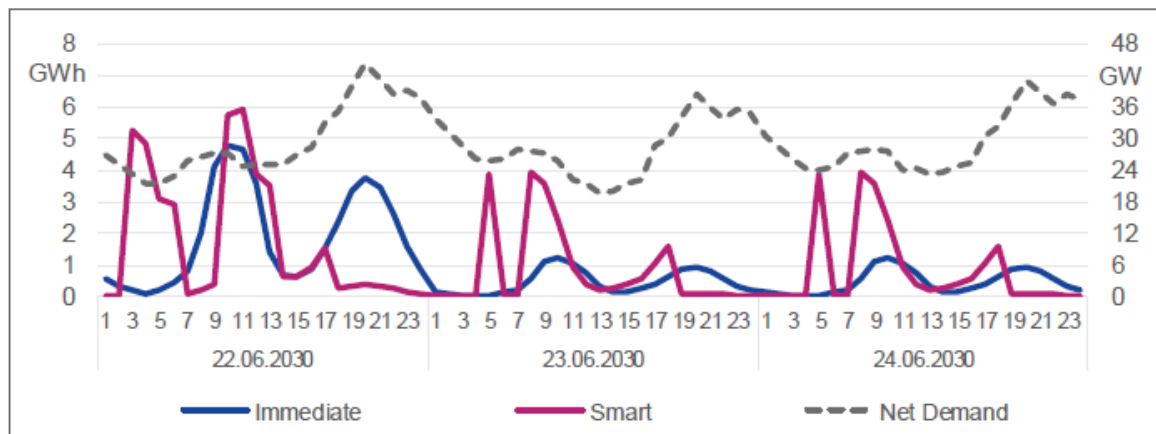
### **3.4.1 Αξιολόγηση στρατηγικών φόρτισης για το 2030**

Η Εικόνα 3.23 δείχνει τα προφίλ φόρτισης για δύο διαστήματα τριών ημερών (Παρασκευή έως Κυριακή) το χειμώνα καθώς και την καλοκαιρινή περίοδο για τα αξιολογημένα σενάρια φόρτισης. Η γκρι γραμμή είναι το υπολειπόμενο φορτίο και υποδεικνύει περιόδους χαμηλού και υψηλού υπολειπόμενου φορτίου. Η διαφορά μεταξύ της υπολειπόμενης καμπύλης φορτίου κατά τη χειμερινή και την καλοκαιρινή περίοδο είναι αποτέλεσμα της τροφοδοσίας των φωτοβολταϊκών, που δείχνει υψηλότερα επίπεδα και κλίσεις το καλοκαίρι. Οι δύο πρώτες κυματομορφές δείχνουν ότι οι κορυφές φόρτισης του άμεσου σεναρίου συμπίπτουν με τις εναπομένουσες κορυφές φορτίου, ειδικά τις βραδινές ώρες. Το σενάριο ToU αντ' αυτού, αποτρέπει τη φόρτιση τις βραδινές ώρες και οδηγεί σε μετατόπιση σε επόμενες νυχτερινές ώρες. Η καλύτερη ευθυγράμμιση με το υπολειπόμενο φορτίο επιτυγχάνεται με το σενάριο RTP, το οποίο μπορεί να παρατηρηθεί με τη μέγιστη φόρτιση στις πρωινές ώρες και τις απογευματινές ώρες τη χειμερινή περίοδο. Για το μεικτό σενάριο, πραγματοποιείται φόρτιση σε ώρες χαμηλού υπολειπόμενου φορτίου, όμως πραγματοποιείται και φόρτιση στις βραδινές ώρες με υψηλότερο υπολειπόμενο

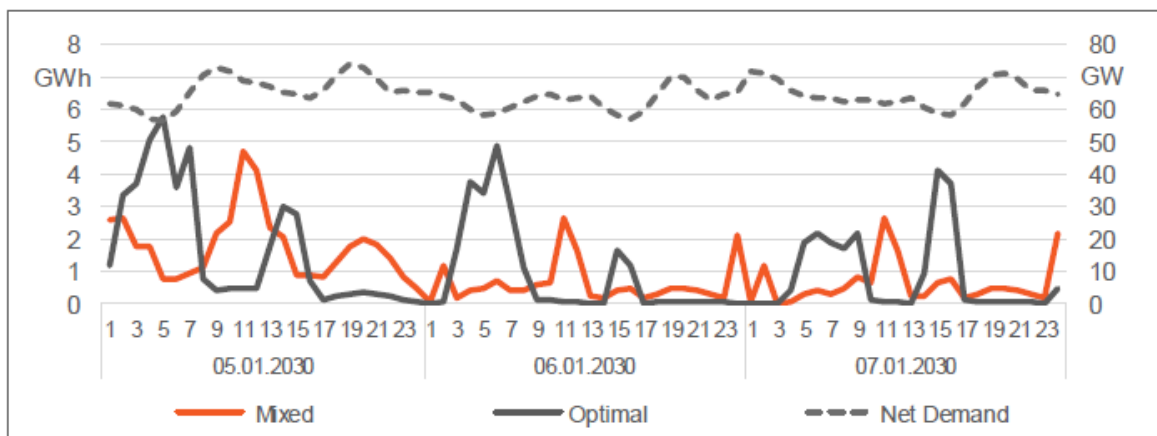
φορτίο σε σχέση με τις μεσημεριανές ώρες κατά τη χειμερινή περίοδο. Τα προφίλ φόρτισης που προκύπτουν αντανακλούν το διαφορετικό μερίδιο κάθε στρατηγικής χρέωσης. Λόγω του υψηλού μεριδίου της άμεσης συμπεριφοράς φόρτισης στο άμεσο (100%) και στο μεικτό σενάριο (50%), οι κορυφές στα προφίλ φόρτισης συμπίπτουν με τις κορυφές στο υπολειπόμενο φορτίο. Με βάση την ανάλυση των προφίλ φόρτισης που προκύπτει, η επίδραση στο σύστημα ισχύος περιγράφεται στα επόμενα.



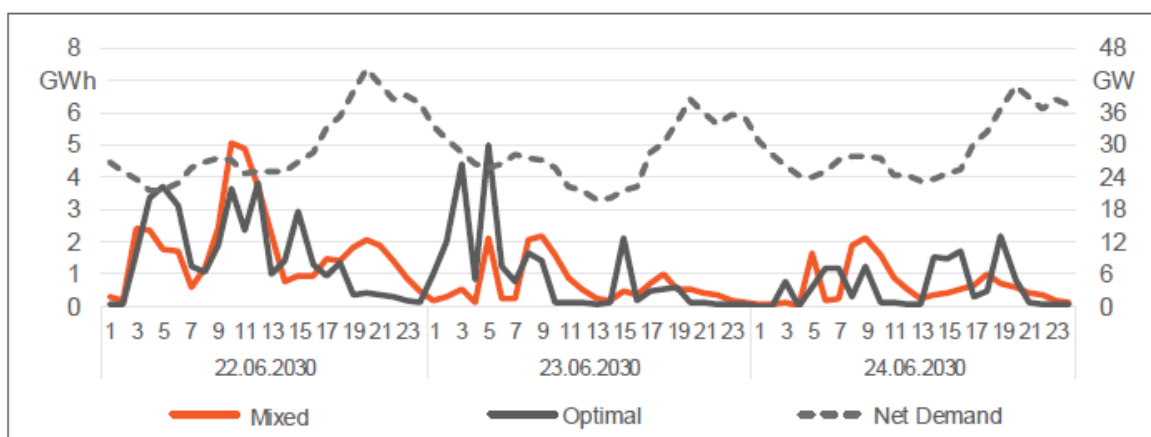
(α)



(β)



(γ)



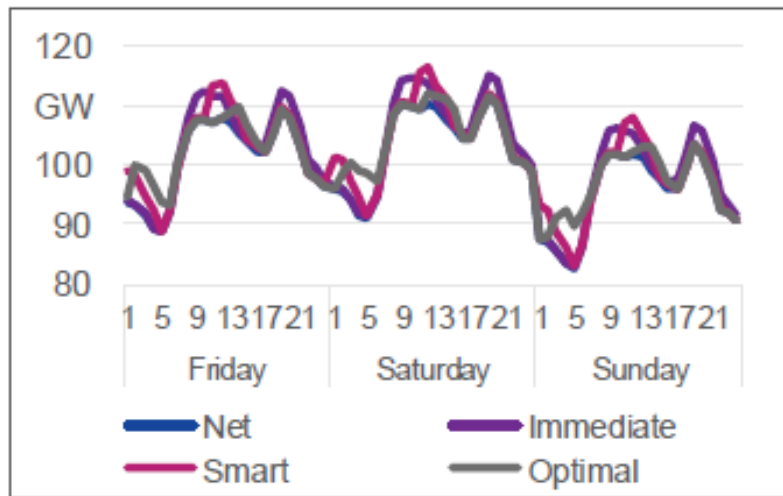
(δ)

**Εικόνα 3.23** Προφίλ φόρτισης για τη Γαλλία: (α) την καλοκαιρινή περίοδο με άμεση και ToU φόρτιση, (β) την χειμερινή περίοδο με άμεση και ToU φόρτιση, (γ) την καλοκαιρινή περίοδο με μεικτή και RTP φόρτιση, και (δ) την χειμερινή περίοδο με μεικτή και RTP φόρτιση

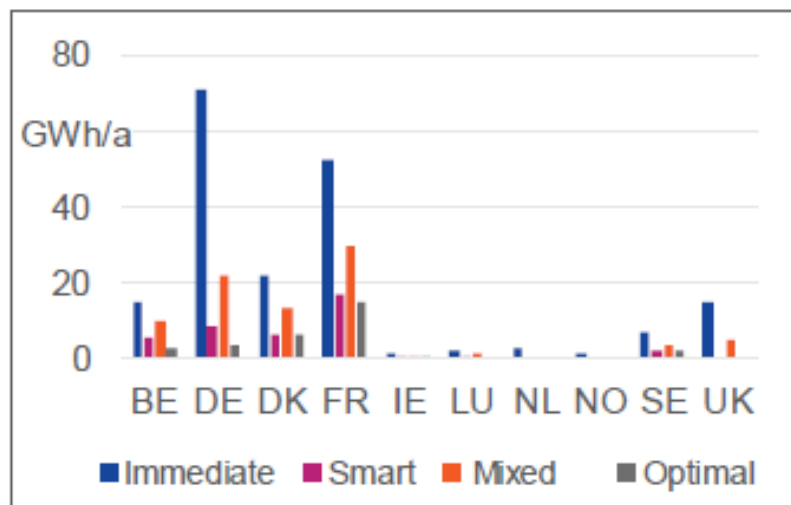
Στην εικόνα 3.24 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα αλλαγών στο συνολικό φορτίο του συστήματος στη Γαλλία για τρεις χειμερινές ημέρες (τις ίδιες ημέρες που δόθηκαν και στην εικόνα 3.23). Η γραμμή που επισημαίνεται ως net δείχνει την καμπύλη φορτίου χωρίς τη ζήτηση φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων. Στο άμεσο σενάριο, το φορτίο αιχμής το βράδυ ενισχύεται, για παράδειγμα για τη Γαλλία κατά 4 GW ή 3,7%. Η καμπύλη φορτίου του σεναρίου ToU δείχνει ότι η φόρτιση μερικώς μετατοπίζεται σε ώρες χαμηλού φορτίου, όπως στις πρώτες πρωινές ώρες του Σαββάτου, αλλά λόγω της παραδοχής ότι το 10% των ιδιοκτητών ηλεκτρικών οχημάτων φορτίζουν ακολουθώντας το άμεσο προφίλ φόρτισης, οξυμένες κορυφές εμφανίζονται επίσης τις βραδυνές ώρες. Η φόρτιση στο σενάριο RTP αποφεύγει τη χρέωση κατά τις βραδινές ώρες. Έτσι, οι πρόσθετες τοπικές κορυφές στο μεσημέρι μπορούν να εξηγηθούν από το χαμηλό υπολειπόμενο φορτίο σε αυτό το διάστημα λόγω της σχετικά υψηλής παραγωγής φωτοβολταϊκών, ειδικά στη Γαλλία.

Η αναμενόμενη ενέργεια που δεν εξυπηρετείται (EENS) είναι η ετήσια ζήτηση ενέργειας (μετρούμενη σε GWh/έτος) που αναμένεται να μην καλύπτεται από την παραγωγή (αναφέρεται επίσης ως απώλεια φορτίου). Η εικόνα 3.25 δείχνει το προσομοιωμένο EENS για επιλεγμένες χώρες με σημαντικό EENS καθώς και σημαντικές διαφορές μεταξύ των σεναρίων χρέωσης. Το υψηλότερο EENS για όλες τις χώρες προκύπτει για το άμεσο σενάριο λόγω της σύμπτωσης της κορυφής της ζήτησης με την κορυφή του προφίλ φόρτισης. Για παράδειγμα, στη Γερμανία, το EENS στο άμεσο σενάριο ισούται με 71 GWh ή μερίδιο 1-2% της συνολικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, όπερ σημαίνει ταυτόχρονα περίπου 17 ώρες με απώλεια φορτίου ανά έτος. Στο σενάριο ToU, το EENS μπορεί να μειωθεί κατά περισσότερο από 50% σε σύγκριση με την άμεση φόρτιση. Στη Γερμανία οδηγεί σε μείωση του

EENS κατά σχεδόν 80% σε σύγκριση με το άμεσο σενάριο, που αποτελεί εξαιρετικά σημαντική βελτίωση. Η φόρτιση στο σενάριο RTP οδηγεί στο χαμηλότερο EENS. Όμοια με το συμπέρασμα για το υπολειπόμενο φορτίο, το μερίδιο κάθε στρατηγικής χρέωσης είναι η πλέον καθοριστική παράμετρος για το EENS.

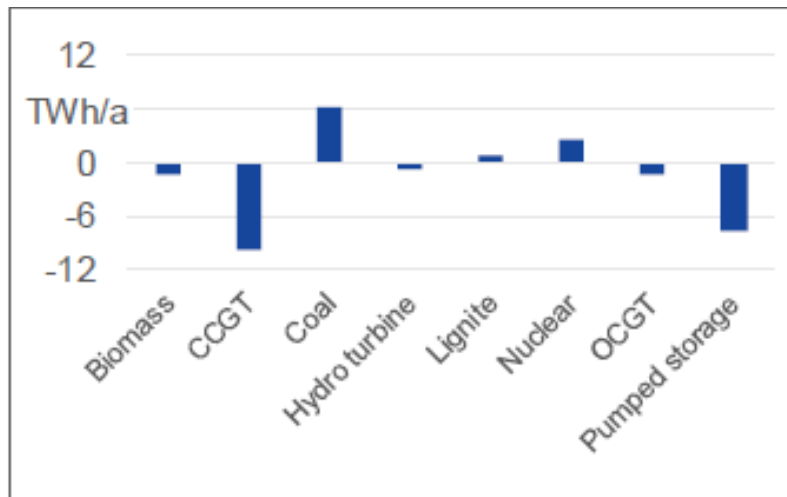


**Εικόνα 3.24** Καμπύλη φορτίου συστήματος για τη Γαλλία



**Εικόνα 3.25** Αναμενόμενη μη εξυπηρετούμενη ενέργεια ανάλογα με τη στρατηγική φόρτισης

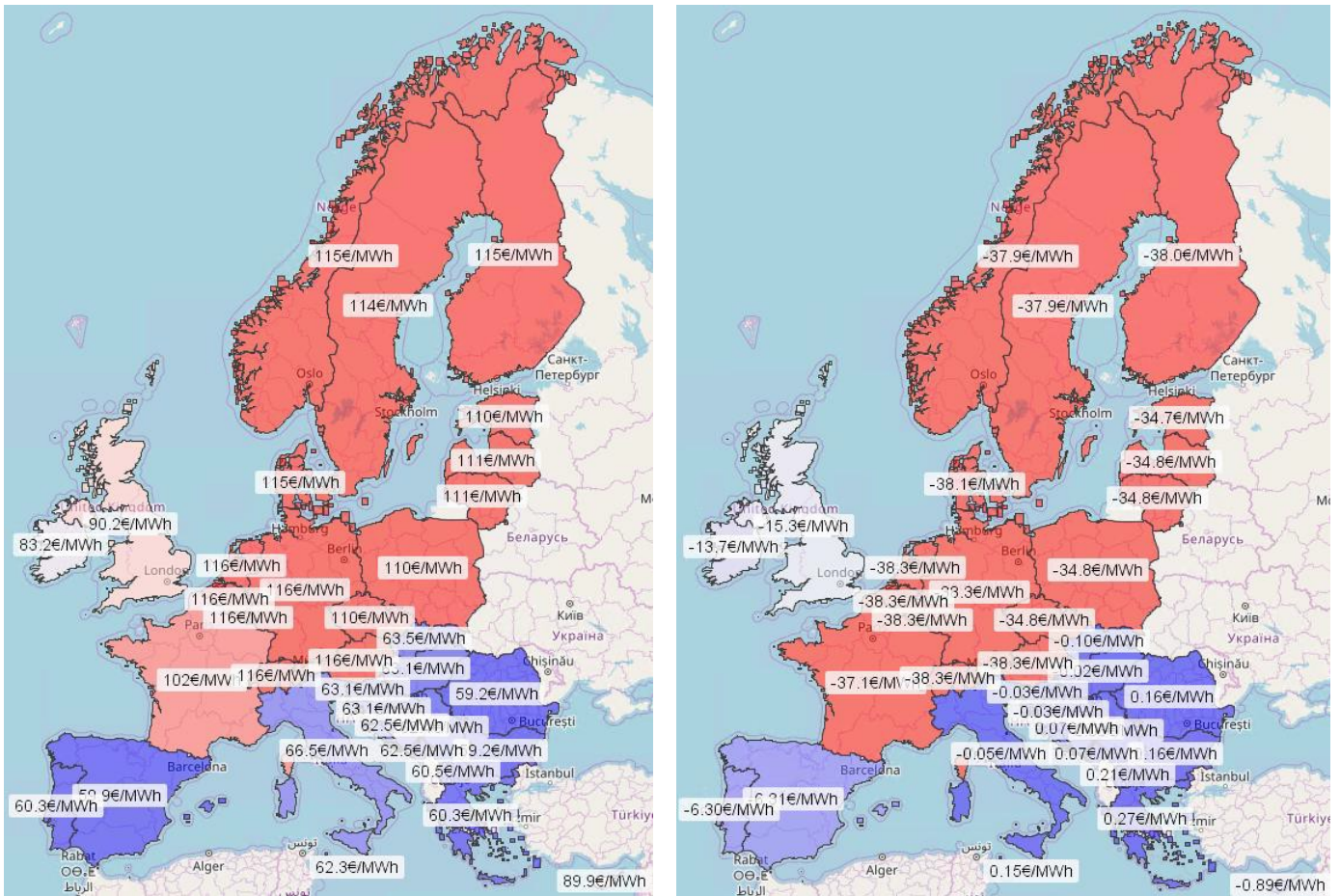
Το σχήμα 3.26 δείχνει τη συνοπτική διαφορά στην ζητούμενη παραγωγή για όλες τις χώρες της ΕΕ μεταξύ του RTP και του άμεσου σεναρίου. Λόγω της μετατόπισης της ζήτησης σε ώρες με χαμηλότερο υπολειπόμενο φορτίο στο σενάριο RTP, η ανάγκη ζήτησης από ευέλικτες μονάδες παραγωγής όπως αεριοστρόβιλοι ή αντλιοσταμειυτικά. Αυτή η διαφορά οδηγεί σε μεγαλύτερη χρησιμοποίηση σταθμών ηλεκτροπαραγωγής βασικού φορτίου, όπως πυρηνικών, άνθρακα και λιγνίτη. Ωστόσο, η επίπτωση στις εκπομπές CO<sub>2</sub> δεν είναι σημαντική.



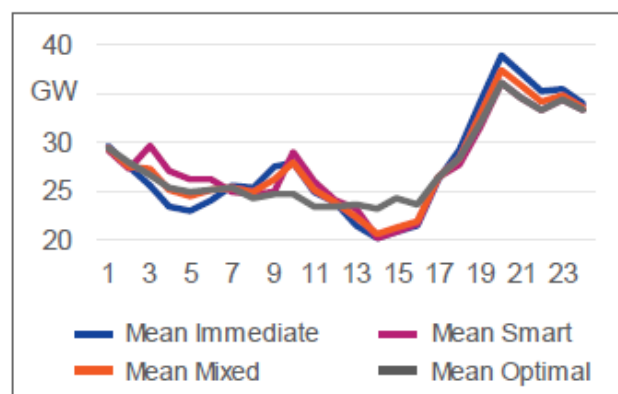
**Εικόνα 3.26** Διαφορά στην απαίτηση παραγωγής μεταξύ RTP και άμεσου σεναρίου (EE 28 χωρών)

Στην εικόνα 3.27 στα αριστερά, παρουσιάζεται το μέσο οριακό κόστος ενέργειας για κάθε χώρα στο άμεσο σενάριο. Στα δεξιά, δίνεται η διαφορά στο οριακό κόστος μεταξύ του RTP και του άμεσου σεναρίου φόρτισης. Η αλλαγή της συμπεριφοράς φόρτισης και η συνεπακόλουθη επίδραση στο μείγμα παραγωγής, συνεπάγεται μείωση του μέσου οριακού κόστους σε όλες τις χώρες της EE28 με βάση το σενάριο χρέωσης ToU κατά 13,0% και με βάση το RTP σενάριο χρέωσης κατά 22,1% σε σύγκριση με το σενάριο άμεσης φόρτισης. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι η φόρτιση που βασίζεται σε ToU και RTP να μειώσει σημαντικά τη μη εξυπηρετούμενη ενέργεια (EENS), η οποία τιμωρείται με σχετικό κόστος 15000€/Mwh. Ειδικά στην Κεντρική και Βόρεια Ευρώπη το οριακό κόστος μειώνεται σημαντικά. Η ενσωμάτωση της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων με έναν έξυπνο ή βελτιστοποιημένο τρόπο δίνει την ευκαιρία να μειωθούν σημαντικά τα συνολικά έξοδα του συστήματος ενέργειας.

Ο τελευταίος δείκτης για την εκτίμηση του αντίκτυπου των διαφορετικών σεναρίων φόρτισης στο σύστημα ισχύος είναι το υπολειπόμενο φορτίο. Στην εικόνα 3.28 δίνεται το μέσο υπολειπόμενο φορτίο των διαφορετικών σεναρίων χρέωσης σε όλες τις καλοκαιρινές ημέρες της εβδομάδας (εκτός Σαββατοκύριακου). Γενικά, το υπολειπόμενο φορτίο είναι σχετικά χαμηλό στις μεσημεριανές ώρες λόγω της μεγάλης τροφοδοσίας από φωτοβολταϊκά και σχετικά υψηλό τις βραδινές ώρες λόγω του μεγάλου μέρους των καταναλωτών που βρίσκονται στο σπίτι και ταυτόχρονα χαμηλών εισροών από τα φωτοβολταϊκά. Λαμβάνοντας υπόψη τα εκτιμώμενα σενάρια, το άμεσο σενάριο παρουσιάζει τις υψηλότερες κλίσεις λόγω της σύμπτωσης της βραδινής φόρτισης και των ταυτόχρονων μέγιστων φορτίων. Σε όλα τα σενάρια που περιλαμβάνουν φόρτιση με βάση το ToU και RTP, τα μέγιστα υπολειπόμενου φορτίου καθώς και τα ελάχιστα μπορούν να εξομαλυνθούν, αλλά το σενάριο RTP ρυθμίζει το υπολειπόμενο φορτίο με το βέλτιστο τρόπο.



**Εικόνα 3.27** Οριακό κόστος ηλεκτρικής ενέργειας για το σενάριο άμεσης φόρτισης (αριστερά) και η διαφορά κόστους όταν υιοθετείται το σενάριο RTP σύμφωνα με το EUCO30 το 2030



**Εικόνα 3.28** Μέσο υπολειπόμενο φορτίο καθημερινών το καλοκαίρι (Γαλλία)



Η άμεση φόρτιση προβαλλόμενη στο 2030, δημιουργεί μέγιστες διακυμάνσεις φορτίου λόγω της φόρτισης σε ώρες υψηλού υπολειπόμενου φορτίου (ιδίως νωρίς το βράδυ), γεγονός που συνεπάγεται κινδύνους απώλειας φορτίου, εάν δεν υπάρχει επαρκής παραγωγική ικανότητα. Από τη στιγμή της χρέωσης που βασίζεται στο χρόνο χρήσης, ο κίνδυνος της μη εξυπηρετούμενης ενέργειας μειώνεται σημαντικά, καθώς το κίνητρο για χρέωση σε χαμηλές τιμές μέσω του χρονοδιακόπτη χρήσης αποφεύγει τις πρόσθετες μέγιστες φορτίσεις που προκύπτουν από την φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων. Αυτό σημαίνει ότι το σενάριο χρέωσης χρόνου χρήσης, επιτρέπει να αποφευχθεί μια περαιτέρω αύξηση της νυκτερινής αιχμής στο υπολειπόμενο φορτίο. Επομένως, η χρήση δαπανηρών μονάδων αιχμής φορτίου μπορεί να περιοριστεί, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα χαμηλότερο οριακό κόστος (- 13%) σε σύγκριση με το άμεσο σενάριο. Ως εκ τούτου, οι αρνητικές επιπτώσεις μετριάζονται, όμως η τιμολόγηση βασιζόμενη στις τιμές σε πραγματικό χρόνο (RTP) παρέχει πρόσθετη αξία όσον αφορά τη μείωση κατά 22% του μέσου όρου του κόστους οριακής παραγωγής, η οποία πραγματοποιείται με περαιτέρω μείωση των δαπανηρών μονάδων αιχμής φορτίου και βελτιωμένης αξιοποίησης των μονάδων βάσης. Επιπλέον, το κόστος παραγωγής μπορεί να μειωθεί κατά 728,1 εκατ. € (- 1,1%) για χρέωση βάσει τιμών σε πραγματικό χρόνο σε σύγκριση με την ασυντόνιστη (άμεση) τιμολόγηση.

Πέρα από τη μείωση του κόστους σχετικά με το συνολικό σύστημα ηλεκτροπαραγωγής, παρέχονται εξοικονομήσεις και για τον ιδιοκτήτη ηλεκτρικού οχήματος, ανάλογα με τη χώρα. Για παράδειγμα, στην Ιταλία, η εξοικονόμηση για τους ιδιοκτήτες ηλεκτρικού ρεύματος αντιστοιχεί περίπου στο 13% για τη χρέωση της RTP σε σύγκριση με την άμεση χρέωση. Ο αντίκτυπος της RTP στις συνολικές εκπομπές CO<sub>2</sub> είναι αμελητέος. Δεδομένου ότι δεν είναι πιθανό όλοι οι ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων να προσαρμόσουν τη συμπεριφορά χρέωσης σε τιμές σε πραγματικό χρόνο, στην πραγματικότητα θα αναμένουμε κάποιο μεικτό σενάριο φόρτισης. Έτσι, μπορούν να αποφευχθούν οι αρνητικές επιπτώσεις στο σύστημα ισχύος εξαιτίας της ασυντόνιστης χρέωσης. Για παράδειγμα, η αναμενόμενη ενέργεια που δεν εξυπηρετείται μειώνεται σημαντικά λόγω χρέωσης με βάση την τιμή σε πραγματικό χρόνο (π.χ. Γερμανία -70% και Γαλλία -40%).

Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι μακροπρόθεσμα δεν τίθεται το ερώτημα εάν τα ηλεκτρικά οχήματα πρέπει να ενσωματωθούν με έξυπνο τρόπο (όπως προκύπτει από το σενάριο άμεσης χρέωσης υφίστανται σημαντικές δαπάνες και κίνδυνοι που σχετίζονται με την αναμενόμενη ενέργεια που δεν εξυπηρετείται), αλλά ποιος είναι ο καλύτερος τρόπος για την ενσωμάτωσή τους με τρόπο οικονομικά αποδοτικό και φιλικό προς το σύστημα.

### 3.4.2 Αξιολόγηση στρατηγικών φόρτισης για το 2050

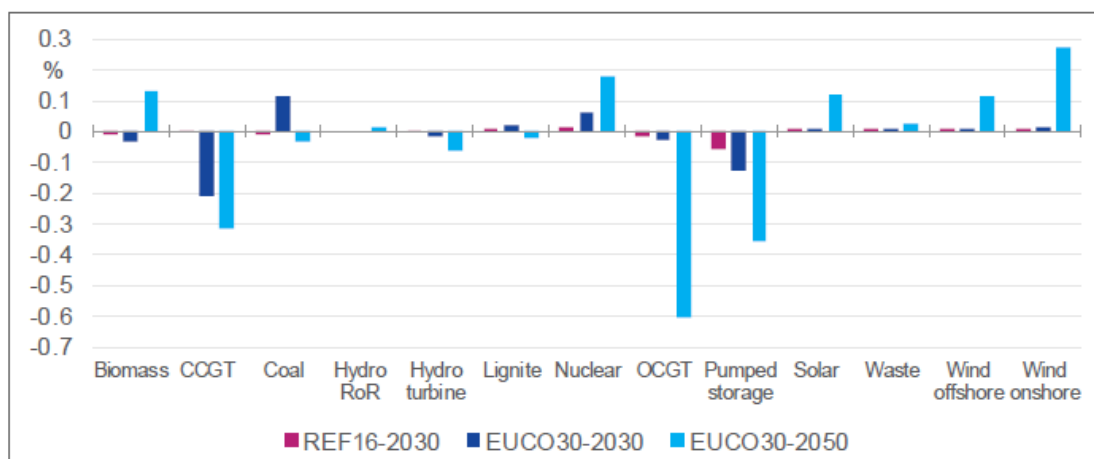
Τα κυριότερα αποτελέσματα των διαφόρων σεναρίων REF16 / EUCO30 πριν από τη βελτιστοποίηση της επιβολής τελών για τις χώρες ΕΕ-28 παρουσιάζονται στην εικόνα 3.29. Η συνολική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για τις χώρες της ΕΕ-28 στην REF16 το σενάριο 2030 ανέρχεται σε 3083 TWh, συμπεριλαμβανομένων 25 TWh ηλεκτρικής ενέργειας ενώ στο EUCO30, το σενάριο για το 2030, τα ηλεκτρικά οχήματα αυξάνουν τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας κατά 61 TWh σε 2975 TWh συνολικά. Η ενσωμάτωση της φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στο σενάριο REF16 το 2030 είναι το πιο συντηρητικό και έχει ως αποτέλεσμα το μερίδιο της ηλεκτρικής ενέργειας να είναι περίπου 1% στη ζήτηση ηλεκτρικού ρεύματος για τα επιβατικά αυτοκίνητα. Στην EUCO30 το 2050 η υψηλότερη διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων οδηγεί σε πρόσθετη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας ύψους 365 TWh (10%). Το μερίδιο της ηλεκτρικής ενέργειας στον τομέα των οδικών μεταφορών επιβατικών αυτοκινήτων αναμένεται να είναι περίπου 34%.

	Additional electricity demand by EV	Share of electricity in passenger cars energy demand	Number EV in EU28+6 countries [M.]	CO <sub>2</sub> emissions in power generation sector [Mt]	RES share in overall production [%]
REF16 2030	25 TWh 0.8%	1.4%	15	677	42.6
EUCO30 2030	61 TWh 2.1%	3.9%	36	627	49.5
EUCO30 2050	356 TWh 10.4%	34.3%	190	203	64.4

**Εικόνα 3.29** Δεδομένα σεναρίου REF16/EUCO30 για τις 28 χώρες της ΕΕ

Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> καθώς και τα μερίδια της παραγωγής Α.Π.Ε. που παρουσιάζονται στον παραπάνω πίνακα προέρχονται από την ετήσια αξιοποίηση των δυνατοτήτων παραγωγής ενέργειας του βασικού σεναρίου, χωρίς καμία προσαρμογή της χρέωσης φόρτισης. Η μείωση των εκπομπών μεταξύ 2030 και 2050 προκύπτει από την αύξηση της τιμής CO<sub>2</sub> που προβλέπεται στο σενάριο EUCO30. Το 2030, το οριακό κόστος παραγωγής είναι το χαμηλότερο για τις μονάδες παραγωγής άνθρακα που ακολουθούνται από τους αεριοστρόβιλους και τέλος από τη βιομάζα, ενώ το 2050 η βιομάζα έχει το χαμηλότερο οριακό κόστος που ακολουθείται από τους αεριοστρόβιλους και τις εγκαταστάσεις παραγωγής άνθρακα. Αυτό το φαινόμενο είναι κοινώς γνωστό ως διακόπτης καυσίμου. Λόγω του χαμηλότερου κόστους για τη χρήση μονάδων παραγωγής ενέργειας από βιομάζα και αεριοστρόβιλων αντί των σταθμών παραγωγής ενέργειας από άνθρακα, οι εκπομπές CO<sub>2</sub> στο σενάριο EUCO30 το 2050 μειώνονται σημαντικά, όπως περιγράφηκε προηγουμένως.

Στην εικόνα 3.30, ο αντίκτυπος της φόρτισης που βασίζεται στην RTP στην ζητούμενη ισχύ του σταθμού ηλεκτροπαραγωγής δίνεται από τη διαφορά παραγωγής μεταξύ του σεναρίου RTP και του βασικού σεναρίου για τα σενάρια REF16 / EUCO30 για όλες τις χώρες της ΕΕ28. Αρχικά μπορεί να φανεί ότι ο αντίκτυπος της εφαρμογής της χρέωσης με βάση το RTP συσχετίζεται με το μερίδιο της ζήτησης που προορίζεται για φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων. Ειδικά το 2050, ένα σημαντικό δυναμικό ευελιξίας για το σύστημα ενέργειας παρέχεται από το στόλο ηλεκτρικών οχημάτων.

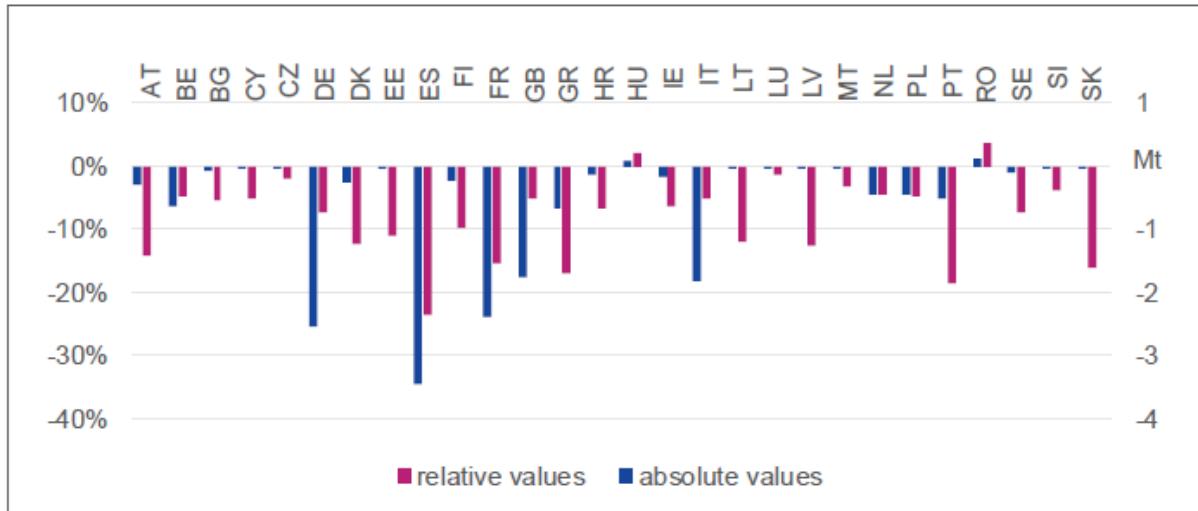


**Εικόνα 3.30** Διαφορά στην ζητούμενη παραγωγή ενέργειας μεταξύ RTP και βασικού σεναρίου κατά REF16/EUCO30 για τις 28 χώρες της ΕΕ

Η εφαρμογή της χρέωσης με βάση το RTP στο σενάριο EUCO30 το 2030 μειώνει την χρησιμοποίηση ευέλικτων σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ιδίως αεριοστρόβιλους, ενώ αυξάνεται η χρήση σταθμών ηλεκτροπαραγωγής βασικού φορτίου όπως οι σταθμοί άνθρακα και οι πυρηνικοί. Ο αντίκτυπος της τιμολόγησης του RTP στο σενάριο REF16 για το 2030 είναι ανάλογος με το EUCO30 το σενάριο του 2030, αλλά με μειωμένη χρησιμοποίηση σταθμών παραγωγής λιγνίτη και ελαφρά αύξηση της χρήσης λιγνιτικών σταθμών λόγω της ελαφρώς υψηλότερης τιμής του CO<sub>2</sub> στο σενάριο REF16. Στο σενάριο EUCO30 για το 2050 υπάρχει μια σημαντικά χαμηλότερη χρήση ευέλικτων σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία έχει ως αποτέλεσμα τη μετάβαση σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας βασικού φορτίου με χαμηλές εκπομπές CO<sub>2</sub> ή χωρίς εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, όπως η βιομάζα ή οι σταθμοί πυρηνικής ενέργειας. Η χρήση των σταθμών παραγωγής ενέργειας από άνθρακα μειώνεται.

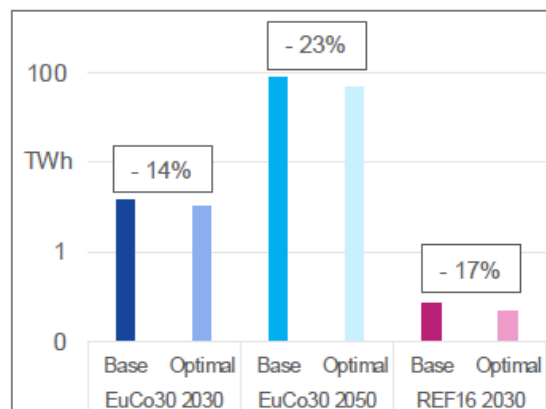
Το 2030 δεν σημειώνεται σημαντική μεταβολή των εκπομπών CO<sub>2</sub>, ενώ το 2050 οι εκπομπές CO<sub>2</sub> μπορούν να μειωθούν κατά 7,9% για τις χώρες της ΕΕ-28 λόγω της εφαρμογής χρέωσης με βάση την RTP. Η εικόνα 3.31 δείχνει αυτή τη μείωση σε μια

ανάλυση σε επίπεδο χώρας σε απόλυτες και σχετικές τιμές. Μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι σε απόλυτες τιμές, οι εκπομπές μειώνονται σημαντικά σε χώρες όπως η Ισπανία, η Γερμανία, η Γαλλία, ενώ οι σχετικές μειώσεις είναι οι σημαντικότερες στις χώρες της Νοτιοανατολικής Ευρώπης. Ο μεγαλύτερος αντίκτυπος το 2050 προκύπτει από την αύξηση της τιμής του CO<sub>2</sub> από το 2030 έως το 2050 και από το υψηλότερο δυναμικό ευελιξίας από τη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων.



**Εικόνα 3.30** Σχετική μεταβολή στις εκπομπές CO<sub>2</sub> μεταξύ του RTP και του βασικού σεναρίου στο EUCO30 το 2050 για την ΕΕ των 28 χωρών

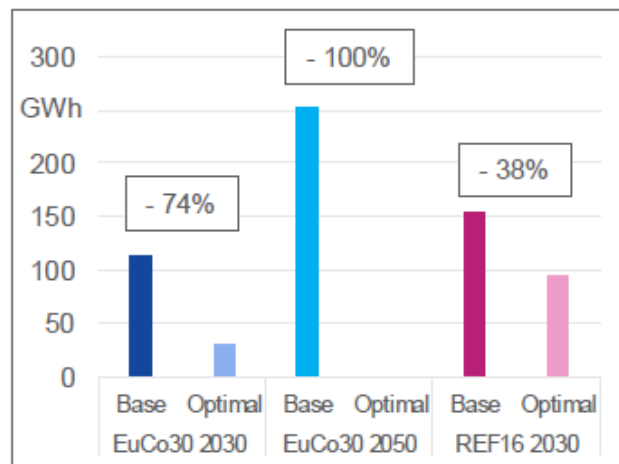
Επιπλέον, η διαφορά των εισροών ενέργειας από τις χερσαίες, υπεράκτιες και ηλιακές εγκαταστάσεις ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να εξηγηθεί από ένα μικρότερο ποσοστό περικοπής (π.χ. -23% το 2050 για την ΕΕ28) λόγω της αυξημένης χρήσης του πλεονάσματος ΑΠΕ για φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων. Η περικοπή φορτίου στα διάφορα σενάρια REF16 / EUCO30, για το σενάριο βάσης και τη φόρτιση που βασίζεται σε RTP, φαίνεται στην Εικόνα 3.31.



**Εικόνα 3.31** Περικοπή φορτίου σε διάφορα σενάρια REF16/EUCO30 λόγω φόρτισης κατά RTP για τις 28 χώρες της ΕΕ

Η απόλυτη περικοπή φορτίου το 2050 είναι σημαντικά υψηλότερη από την περικοπή στα σενάρια για το 2030, ενώ ταυτόχρονα το υψηλότερο ποσοστό μείωσης της περικοπής φορτίου λόγω της εφαρμογής χρέωσης με βάση την RTP δίνεται το 2050. Η ποσοστιαία μείωση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την δυναμική ευελιξία του στόλου ηλεκτρικών οχημάτων.

Στην Εικόνα 3.32 δίνεται η αναμενόμενη ενέργεια που δεν εξυπηρετείται, EENS, για όλα τα REF16 / EUCO30 σενάρια ως σύγκριση του σεναρίου χρέωσης RTP και του βασικού. Οι διαφορετικές γραμμές δείχνουν το άθροισμα του EENS σε όλες τις χώρες της ΕΕ28.



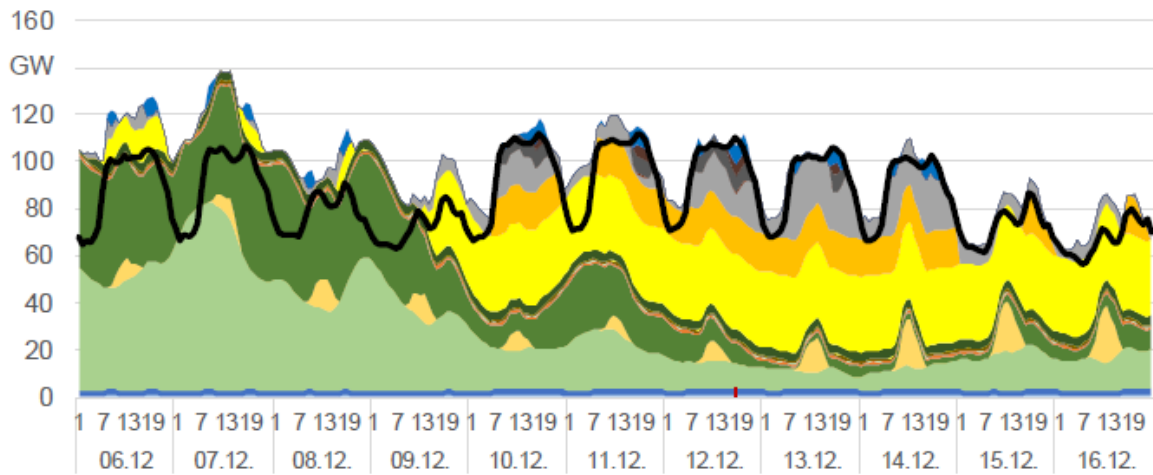
**Εικόνα 3.32** Διαφορά στην αναμενόμενη μη εξυπηρετούμενη ενέργεια EENS στα διάφορα σενάρια REF16/EUCO30 για τις 28 χώρες της ΕΕ

Το βασικό σενάριο του 2050 έχει την υψηλότερη τιμή του EENS (1-2% της ετήσιας ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας), ενώ ταυτόχρονα η εφαρμογή της φόρτισης που βασίζεται στην RTP μηδενίζει ουσιαστικά το μη εξυπηρετούμενο φορτίο EENS για αυτό το σενάριο χρέωσης. Σε αντίθεση με αυτό, μεγαλύτερη ζήτηση φόρτισης οχημάτων σημαίνει υψηλότερη ευελιξία για το σύστημα ισχύος, συνεπώς, η σχετική μείωση είναι η χαμηλότερη για το σενάριο REF16 το 2030 με ~ 15 εκατ. ηλεκτρικά οχήματα και η υψηλότερη (100%) για το σενάριο EUCO30 το 2050 με ~ 199 εκατ. ηλεκτρικά οχήματα.

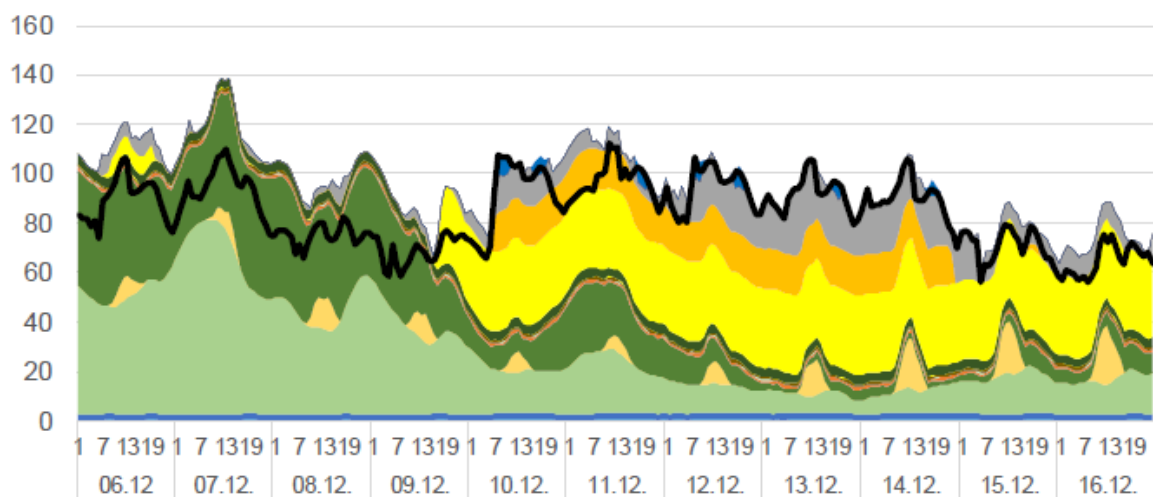
Στην εικόνα 3.33 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της αθροιστικής παραγωγής για εννέα χειμερινές ημέρες στη Γερμανία. Για το βασικό σενάριο χωρίς την συμπερίληψη φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, ακόμη και αν η τιμή του CO<sub>2</sub> έχει ως αποτέλεσμα σημαντικά υψηλότερο οριακό κόστος των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από άνθρακα, εξακολουθούν να είναι απαραίτητες για την κάλυψη της ζήτησης σε ώρες αιχμής.

Για το σενάριο χρέωσης RTP, που δίνεται στην Εικόνα 3.34, την ίδια περίοδο, δεν είναι απαραίτητη η χρήση σταθμών παραγωγής άνθρακα, ούτε καν στις ώρες αιχμής. Επιπλέον, λόγω της μετατόπισης της χρέωσης ηλεκτρικής ενέργειας,

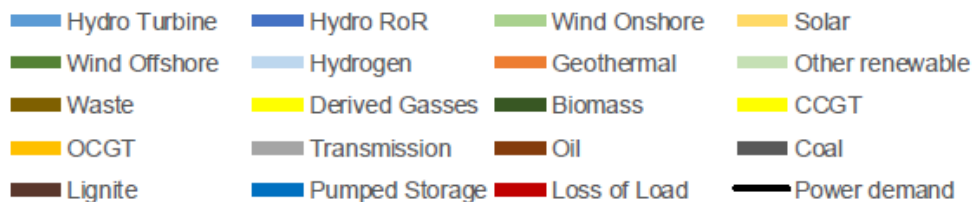
μπορούν να αποφευχθούν οι σύντομες περιόδους λειτουργίας των συμβατικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, γεγονός που είναι ευεργετικό όσον αφορά το συνολικό κόστος του συστήματος, καθώς οι βραχείες περιόδους λειτουργίας αυξάνουν το οριακό κόστος λόγω του υψηλότερου κόστους εκκίνησης των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής.



α)



(β)



**Εικόνα 3.33** Αθροιστική παραγωγή ενέργειας στη Γερμανία για το (α) βασικό σενάριο και (β) το RTP σενάριο κατά EUCO30 το 2050

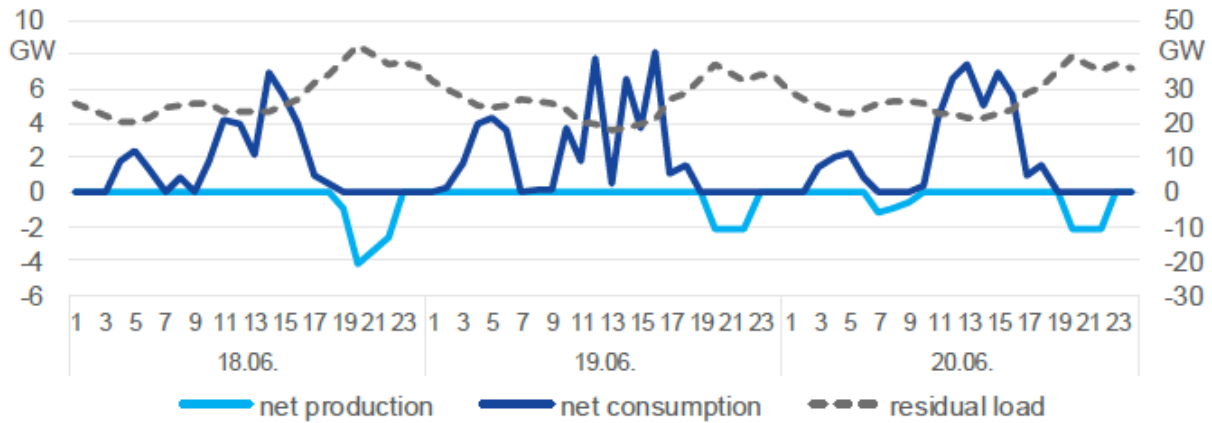
Το 2030, το βασικό φορτίο καλύπτεται κυρίως από σταθμούς παραγωγής άνθρακα, ενώ οι αεριοστρόβιλοι και η βιομάζα καλύπτουν τη ζήτηση σε ώρες μέγιστου φορτίου. Αντίθετα, η χρέωση βάσει RTP το 2050 οδηγεί άμεσα σε μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> λόγω της υψηλότερης τιμής του CO<sub>2</sub>. Η χρήση των συμβατικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την τάξη του οφέλους στα συγκεκριμένα σενάρια. Λαμβάνοντας υπόψη και άλλες μελλοντικές πτυχές, η φόρτιση με βάση το RTP έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των συχνών εκκινήσεων και στάσεων των γεννητριών ηλεκτροπαραγωγής, πράγμα που σημαίνει λιγότερη μηχανική καταπόνηση και υψηλότερη απόδοση των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Το 2030, σύμφωνα με τις προβλέψεις, τα ηλεκτρικά οχήματα θα εξακολουθήσουν να διαδραματίζουν περιορισμένο ρόλο (έως και το 2% της συνολικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στην ΕΕ). Όμως, μέχρι το 2050 η φόρτιση των οχημάτων με ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να αντιπροσωπεύει σημαντικό μερίδιο της ζήτησης ενέργειας από επιβατικά αυτοκίνητα (34%) και ένα μη αμελητέο ποσοστό της συνολικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στην ΕΕ (10%). Λαμβάνοντας υπόψη την υψηλότερη τιμή του CO<sub>2</sub> με την πάροδο του χρόνου, η μετατόπιση της ζήτησης φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων συμβαδίζει με τη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> -7,9% για τις χώρες της ΕΕ-28, καθώς η εστίαση στρέφεται σε μονάδες βιομάζας και αερίου χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα. Ταυτόχρονα, το μέσο οριακό κόστος παραγωγής για τις χώρες της ΕΕ-28 μειώνεται κατά περίπου 13% το 2050 σε σύγκριση με το βασικό σενάριο. Το μίγμα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας οδηγεί σε αυξημένη χρήση σταθμών ηλεκτροπαραγωγής χαμηλού αποτυπώματος άνθρακα. Η χρήση των μονάδων παραγωγής ενέργειας από άνθρακα μπορεί να αποφευχθεί λόγω της φόρτισης με βάση την RTP.

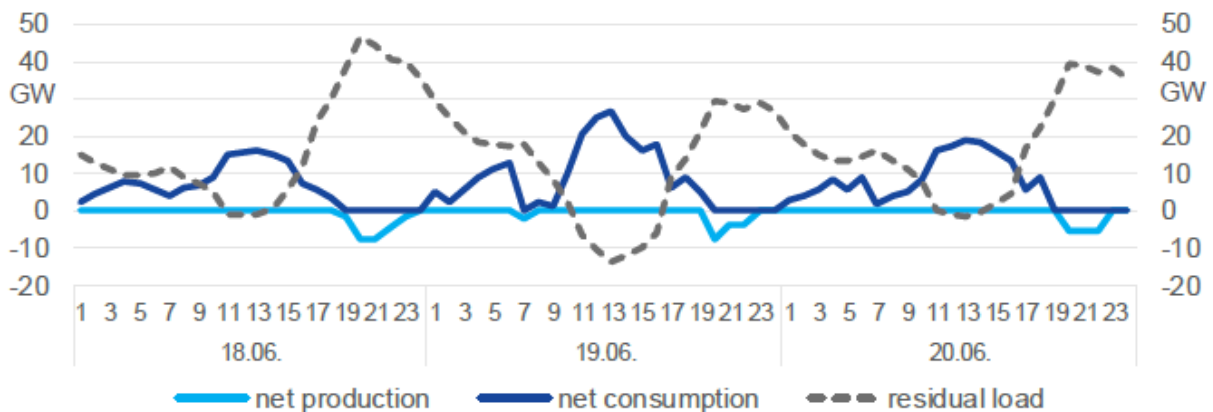
Συμπερασματικά, ένα σημαντικό δυναμικό ευελιξίας για το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας εισφέρεται από τα ηλεκτρικά οχήματα το 2050. Ο αντίκτυπος των διαφορετικών τρόπων φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας επηρεάζεται κυρίως από το μερίδιο της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας από επιβατικά αυτοκίνητα και από τη συνολική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας.

Στα επόμενα, εξετάζεται η προσέγγιση "οχήματος προς δίκτυο" (V2G) για το EUCO30 σενάριο το 2030 και 2050, προκειμένου να δούμε τις επιπτώσεις στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας και ιδιαίτερα στην ένταξη των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η προσέγγιση σύνδεσης οχήματος στο δίκτυο επιτρέπει αμφίδρομες ροές ισχύος μεταξύ του δικτύου και του ηλεκτρικού οχήματος. Στην Εικόνα 3.34, τα καθαρά προφίλ κατανάλωσης προς φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων δίδονται ως παράδειγμα για τη Γαλλία για τρεις ημέρες (Δευτέρα-Τετάρτη) το 2030 και το 2050. Αρνητική καθαρή κατανάλωση συνεπάγεται την εκφόρτιση του ηλεκτρικού οχήματος προς το δίκτυο (όχημα σε "παραγωγή" ηλεκτρικής ενέργειας). Και πάλι, το υπολειπόμενο φορτίο είναι δείκτης για τις

περιόδους φόρτισης και εκφόρτισης. Το 2030, το υπολειπόμενο φορτίο είναι θετικό σε όλες τις ώρες των ημερών (Εικόνα 3.34). Η φόρτιση και πάλι προτιμάται να λαμβάνει χώρα σε ώρες χαμηλότερου υπολειπόμενου φορτίου, ενώ η εκφόρτιση στο δίκτυο εμφανίζεται σε ώρες υψηλού υπολειπόμενου φορτίου, ειδικότερα τις απογευματινές ώρες.



**Εικόνα 3.34** Εκτίμηση προφίλ σύνδεσης οχήματος στο δίκτυο για τρεις ημέρες το καλοκαίρι του 2030 στη Γαλλία και το προκύπτον υπολειπόμενο φορτίο (δεξιά γ)

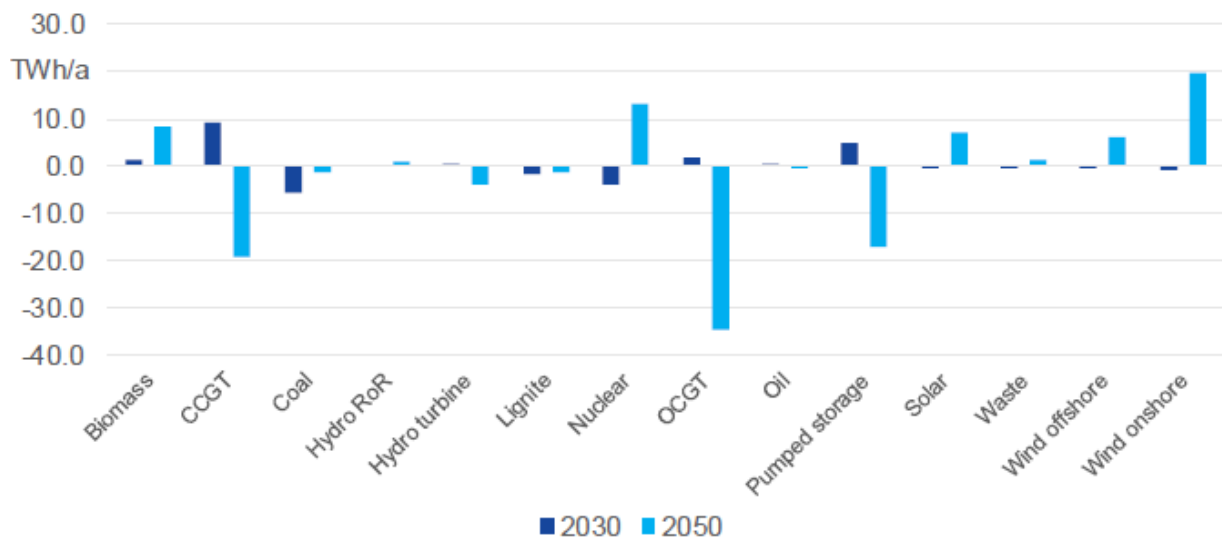


**Εικόνα 3.35** Εκτίμηση προφίλ σύνδεσης οχήματος στο δίκτυο για τρεις ημέρες το χειμώνα του 2050 στη Γαλλία, και το προκύπτον υπολειπόμενο φορτίο (δεξιά γ)

Το 2050 το υπολειπόμενο φορτίο καθίσταται αρνητικό λόγω του υψηλότερου μεριδίου των ΑΠΕ. Η συμπεριφορά φόρτισης το 2050 σε σύγκριση με το 2030 είναι καλύτερη όσον αφορά το υπολειπόμενο φορτίο, όπερ σημαίνει κατανάλωση σε περιόδους χαμηλού υπολειπόμενου φορτίου και παραγωγή σε περιόδους υψηλού που οφείλεται σε διάφορες πτυχές: (1) υπάρχει σημαντικά υψηλότερο εύρος υπολειπόμενου φορτίου (52 GW σε σύγκριση με 25 GW) στη δεδομένη περίοδο και (2) το υψηλότερο μερίδιο φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στη συνολική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας έχει ως αποτέλεσμα αυξημένο δυναμικό ευελιξίας. Δεδομένου



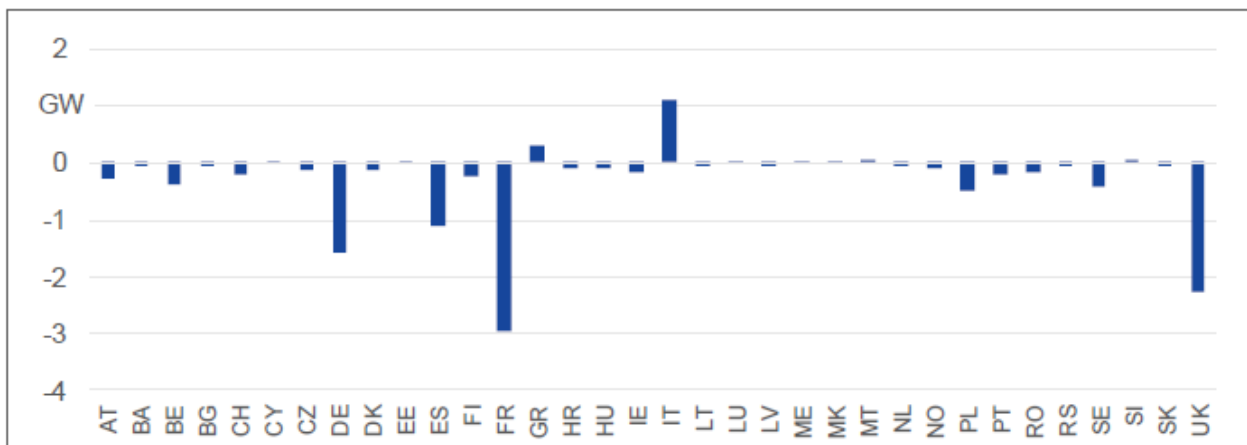
ότι το V2G βασίζεται στο σενάριο χρέωσης RTP με την επιπρόσθετη δυνατότητα εκφόρτισης του ηλεκτρικού οχήματος στο δίκτυο, η διαφορά ζήτησης παραγωγής του σεναρίου όχημα σε δίκτυο έναντι του σεναρίου χρέωσης RTP παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.36 για το 2030 και το 2050.



**Εικόνα 3.36** Διαφορά στην απαιτούμενη παραγωγή μεταξύ των σεναρίων όχημα σε δίκτυο (V2G) και χρέωση βάσει RTP για τις 28 χώρες της ΕΕ το 2030 και 2050

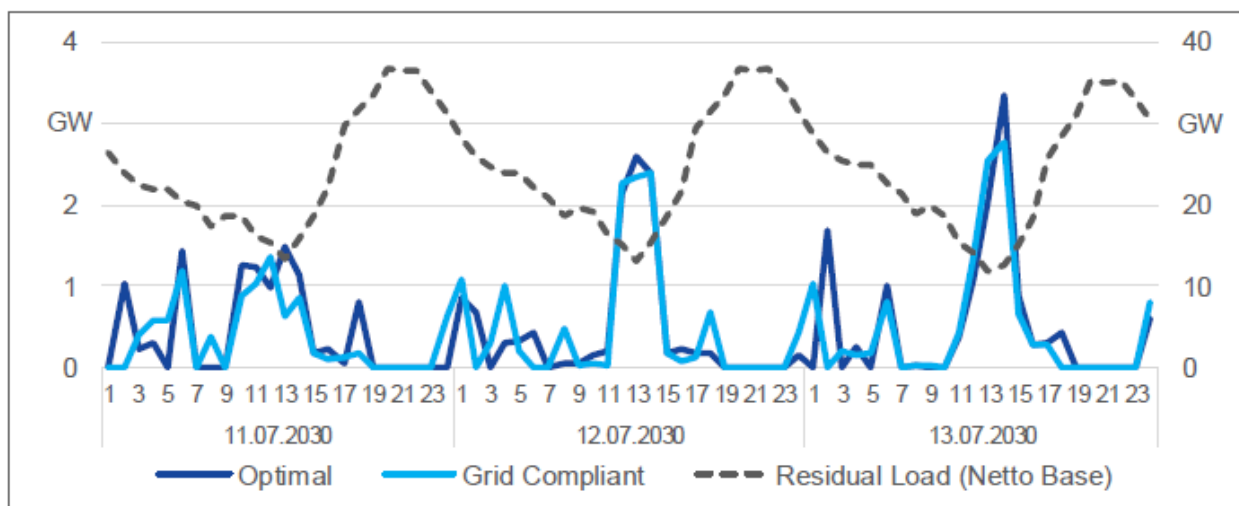
Το V2G έχει σημαντικό αντίκτυπο στο μείγμα παραγωγής. Προβλέπεται ότι θα οδηγήσει το 2030 και το 2050 σε περαιτέρω μείωση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ευέλικτες μονάδες παραγωγής ενέργειας, όπως οι αεριοστρόβιλοι. Από την άλλη πλευρά, η τροφοδοσία από σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής βασικού φορτίου καθώς και οι ΑΠΕ για την προσέγγιση V2G αυξάνεται σε σύγκριση με το σενάριο φόρτισης RTP. Το 2030, οι μονάδες βασικού φορτίου περιλαμβάνουν πυρηνικές, λιγνίτη και άνθρακα. Αντίθετα, ο μετασχηματισμός καυσίμων με βάση τις τιμές CO<sub>2</sub> οδηγεί σε αυξημένη αξιοποίηση της βιομάζας το 2050. Η επίδραση του V2G στις εκπομπές CO<sub>2</sub> στην EUCO30 το σενάριο του 2030 είναι αμελητέα, αλλά το 2050 οι εκπομπές μειώνονται κατά 2,5% για τις χώρες της ΕΕ-28 σε σύγκριση με τη χρέωση βάσει RTP. Η προκύπτουσα μείωση του οριακού κόστους είναι αμελητέα ακόμη και το 2050, αλλά ο αντίκτυπος στην περικοπή ισχύος είναι σημαντικά υψηλός (-17,7% το 2030 και -19,7% το 2050) για τις χώρες της ΕΕ-28. Έτσι, η προσέγγιση V2G διευκολύνει περαιτέρω την ενσωμάτωση των ΑΠΕ στο ηλεκτρικό σύστημα.

Η φόρτιση με το σενάριο RTP σε σύγκριση με το άμεσο σενάριο μπορεί να αυξήσει το φορτίο αιχμής του εθνικού συστήματος, διότι το πεδίο βελτιστοποίησης είναι καθαρά βασισμένο στην αγορά. Αυτό φαίνεται ιδιαίτερα για την Ιταλία στην Εικόνα 3.37. Το φορτίο αιχμής του συστήματος είναι ένας δείκτης για αυξημένη καταπόνηση των δικτύων και επομένως θα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη.



**Εικόνα 3.37** Διαφορά στο μέγιστο φορτίο μεταξύ του σεναρίου φόρτισης με χρέωση RTP και άμεσης φόρτισης κατά EUCO30 το 2030

Τα προφίλ του RTP και του σεναρίου αποφυγής αιχμής δικτύου, καθώς και το προκύπτον υπολειπόμενο φορτίο για τρεις ημέρες στην Ιταλία δίδονται στην Εικόνα 3.38. Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα αυτά, δεν είναι απαραίτητως χρήσιμη μια προσέγγιση που βασίζεται αποκλειστικά στην αγορά από την άποψη της φόρτισης δικτύου και μπορεί να μειώσει την αξιοπιστία του δικτύου, με αποτέλεσμα την ενδεχόμενη ανάγκη για ενισχύσεις ή άλλα μέτρα για την αντιμετώπιση της συμφόρησης, όπως η χρήση τιμολογιακών προϊόντων ευελιξίας από τους φορείς εκμετάλλευσης δικτύου.



**Εικόνα 3.38** Προφίλ φόρτισης οχημάτων σύμφωνα με RTP και φόρτιση βάσει αποφυγής αιχμής δικτύου στην Ιταλία

Η προσέγγιση σύνδεσης οχήματος σε δίκτυο (V2G) προσθέτει δυνατότητες αποθήκευσης στο σύστημα ισχύος και ως εκ τούτου καθιστά δυνατή την εκφόρτιση προς το δίκτυο, γεγονός που διευκολύνει την ενσωμάτωση μεταβλητών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αυτό μπορεί να παρατηρηθεί με τη μείωση της

περικοπής φορτίου (σχεδόν 20% το 2050 για τις χώρες της ΕΕ των 28). Το 2030, όπου το υπολειπόμενο φορτίο είναι θετικό σε όλες τις περιόδους, η εκφόρτωση εμφανίζεται συχνά στις απογευματινές ώρες, αλλά παρ'όλα αυτά, η μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> είναι αμελητέα. Το 2050, σε ορισμένες ώρες της ημέρας, το υπολειπόμενο φορτίο γίνεται αρνητικό. Λαμβάνοντας υπόψη το υψηλότερο εύρος υπολειπόμενου φορτίου το 2050, την υψηλή τιμή CO<sub>2</sub> και το αυξημένο δυναμικό ευελιξίας από τη διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων σε σύγκριση με το 2030, οδηγούμαστε σε μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> (-2,6% για τις χώρες της ΕΕ-28, σε σύγκριση με το σενάριο τιμών σε πραγματικό χρόνο), και στη μείωση του κόστους παραγωγής σε πραγματικό χρόνο με βάση τις τιμές το 2030 (το κόστος παραγωγής μειώνεται περαιτέρω κατά περίπου 182 εκατομμύρια € ή 0,3%). Εν ολίγοις, αυτό σημαίνει μείωση του κόστους παραγωγής κατά 910 εκατ. € για το δίκτυο μεταβαίνοντας σε φόρτιση οχήματος προς δίκτυο (V2G) με σύστημα τιμολόγησης σε πραγματικό χρόνο σε σύγκριση με την άμεση φόρτιση.

Η χρέωση βάσει τιμών σε πραγματικό χρόνο μπορεί να αυξήσει το φορτίο αιχμής σε ορισμένες χώρες, και συνεπώς να ασκήσει πίεση στα δίκτυα διανομής και μεταφοράς (π.χ. στην Ιταλία). Η φόρτιση που σέβεται την αιχμή δικτύου, η οποία περιορίζει την ταυτόχρονη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων, μπορεί να μειώσει την ανάγκη για πρόσθετες επενδύσεις ενίσχυσης των δικτύων. Ωστόσο, για ένα ισχυρό συμπέρασμα είναι απαραίτητο να εκτελεστεί ένα λεπτομερές μοντέλο δικτύου. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να εκτιμηθεί κατά πόσον είναι προτιμότερο να ενισχυθεί η χωρητικότητα του δικτύου και να επιτραπεί μια καθαρή βελτιστοποίηση βάσει της τιμής που διαμορφώνει η αγορά ή αν πρέπει να συμπεριληφθούν και οι περιορισμοί δικτύου στα χρονομεταβλητά σήματα τιμών προς τα ηλεκτρικά οχήματα που φορτίζουν.

## 4 Συμπεράσματα και Προτάσεις Βελτιστοποίησης Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων

Τα επόμενα χρόνια και δεκαετίες, ο αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων (ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία και plug-in υβριδικά οχήματα) θα αυξηθεί σημαντικά, σύμφωνα με το σενάριο EUCO30, που προβλέπει επίτευξη των ενεργειακών και κλιματικών στόχων της ΕΕ για το 2030 και ότι τα πρότυπα CO<sub>2</sub> για αυτοκίνητα και φορτηγά θα γίνουν σταδιακά πιο αυστηρά. Το σενάριο «EUCO30» έχει αναπτυχθεί για την επίτευξη όλων των στόχων του 2030 που συμφωνήθηκαν από το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο του Οκτωβρίου 2014 (τουλάχιστον 40% μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου σε σχέση με το 1990, μερίδιο 27% των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας και 30% μείωση στην κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας) και τους στόχους απαλλαγής από τις ανθρακούχες εκπομπές για το 2050, συνεχίζοντας και εντείνοντας το τρέχον μείγμα πολιτικών. Το σενάριο «EUCO» έχει αναπτυχθεί από το ICCS-E3MLab με το μοντέλο ενεργειακού συστήματος PRIMES.

Συγκεκριμένα, το απόθεμα ηλεκτρικών οχημάτων στις χώρες της ΕΕ28 θα μπορούσε να αυξηθεί από λιγότερο από 1 εκατομμύριο ηλεκτρικά αυτοκίνητα σήμερα, σε περισσότερα από 35 εκατομμύρια το 2030 και περίπου 190 εκατομμύρια το 2050. Σε αυτό το σενάριο, έως το 2050 έως το 34% της συνολικής τελικής ενεργειακής ζήτησης στις μεταφορές επιβατικών αυτοκινήτων θα μπορούσε να είναι ηλεκτρική. Η σχετική πρόσθετη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας (περίπου 356 TWh) θα αύξανε τη συνολική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στην ΕΕ κατά 10%. Η μελέτη καλύπτει μόνο επιβατικά αυτοκίνητα. Ωστόσο, η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από επιβατικά αυτοκίνητα προβλέπεται να αντιπροσωπεύει περίπου το 87% της συνολικής χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας στις οδικές μεταφορές έως το 2050. Εάν οι μπαταρίες των ηλεκτρικών οχημάτων φορτίζονται χωρίς καμία στρατηγική, αυτό μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της αναμενόμενης ενέργειας που δεν εξυπηρετείται από το σύστημα ισχύος ή στην ανάγκη για πρόσθετες μονάδες φορτίου αιχμής. Ταυτόχρονα, μια βελτιστοποιημένη στρατηγική φόρτισης μπορεί να αντιπροσωπεύει μια πρόσθετη ευελιξία για το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας και έτσι να διευκολύνει την ενσωμάτωση μεταβλητών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και να μειώσει το κόστος παραγωγής ενέργειας.

### 4.1 Στόχος και συμπεράσματα

Ο στόχος της εργασίας αυτής είναι να κατανοηθούν καλύτερα οι επιπτώσεις που σχετίζονται με το αυξανόμενο μερίδιο των ηλεκτρικών οχημάτων για το σύστημα ισχύος. Διαφορετικές στρατηγικές φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων αξιολογούνται

ως προς τις επιπτώσεις στο σύστημα ισχύος. Καθώς η ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της ΕΕ αντιπροσωπεύει ένα περίπλοκο θέμα που μπορεί να αναλυθεί υπό διάφορες πτυχές, το πεδίο εφαρμογής της μελέτης υπόκειται σε ένα σύνολο περιορισμών και απλοποιητικών παραδοχών. Για παράδειγμα, η ανάλυση εστιάζει αποκλειστικά στην αγορά της επόμενης ημέρας, χωρίς να λαμβάνει υπόψη την πιθανή αλληλεπίδραση με άλλα τμήματα της αγοράς, όπως οι ενδοημερήσιες ή οι αποθεματικές αγορές. Καθώς ο ορίζοντας προβολής της ανάλυσης διαρκεί μέχρι το έτος 2050, οι παραδοχές τεχνολογίας και συμπεριφοράς υπόκεινται σε υψηλή αβεβαιότητα. Τα μελλοντικά μοτίβα οδήγησης είναι δύσκολο να προβλεφθούν, καθώς νέες ιδέες ιδιοκτησίας και οδήγησης αυτοκινήτου (π.χ. κοινή χρήση αυτοκινήτου, αυτόνομα οχήματα) είναι πιθανό να εισέλθουν στην αγορά. Στην τρέχουσα μελέτη, θεωρείται ότι τα πρότυπα οδήγησης παραμένουν αμετάβλητα. Στο πλαίσιο των αντιλήψεων από όχημα σε δίκτυο (V2G), η τεχνολογική πρόοδος υποτίθεται ότι αντισταθμίζει τον αντίκτυπο στη γήρανση της μπαταρίας ενός αυξημένου αριθμού κύκλων φόρτισης-εκφόρτισης της μπαταρίας έως το 2030. Ταυτόχρονα, προκειμένου να ληφθούν υπόψη ψυχολογικά εμπόδια, ένας περιορισμός προστίθεται ότι τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να εγκαταλείψουν το σταθμό φόρτισης μόνο όταν η μπαταρία φορτιστεί πλήρως.

Σε χαμηλό βαθμό διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων, δεν απαιτείται διαχείριση φορτίου και, επομένως, στοχευμένες πολιτικές. Μια αυξανόμενη διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων απαιτεί την εισαγωγή σχημάτων διαχείρισης φορτίου, τα οποία ενδέχεται να απαιτούν προσαρμογή των υφιστάμενων πολιτικών. Τέτοιες πολιτικές θα μπορούσαν ενδεχομένως να διευκολύνουν την εισαγωγή χρονικά μεταβαλλόμενων τιμολογίων που παρέχουν κίνητρα για μια τροποποιημένη συμπεριφορά χρέωσης. Στη μοντελοποίηση, υποθέτοντας ότι οι ανταγωνιστικές αγορές και τα κίνητρα χρέωσης με έξυπνο τρόπο θα εισαχθούν σταδιακά, μεταξύ άλλων, σύμφωνα με τους νέους κανόνες σχεδιασμού της αγοράς που προτείνονται στο Πακέτο Καθαρής Ενέργειας, μπορούν να αποφευχθούν οι αρνητικές επιπτώσεις του πρόσθετου φορτίου και να διευκολυνθεί η ενσωμάτωση των χρονομεταβλητών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας λόγω της ευελιξίας που παρέχεται από τα ηλεκτρικά οχήματα.

Τα συμπεράσματα από την παραπάνω μελέτη και οι προτάσεις μέτρων και πολιτικών που μπορούν να υιοθετηθούν για τη βέλτιστη ένταξη και αξιοποίηση των ηλεκτρικών οχημάτων στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας συνοψίζονται παρακάτω:

1. Οι αρνητικές επιπτώσεις που προκύπτουν από τη μη συντονισμένη φόρτιση, ενώ αυξάνεται η διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να αποφευχθεί με τη θέσπιση χρονομεταβλητών τιμολογίων όπως πολυζωνικά προκαθορισμένα τιμολόγια ή διαμόρφωση της τιμής σε πραγματικό χρόνο μέσω αγοράς. Η παρούσα σύσταση ευθυγραμμίζεται πλήρως με το άρθρο 11 της προτεινόμενης

αναδιατύπωσης της οδηγίας για την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας (COM (2016) 864 τελικό / 2), επιτρέποντας στους καταναλωτές άμεση συμμετοχή στην αγορά μέσω δυναμικών συμβάσεων τιμολόγησης ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτά τα συστήματα συστήνεται να καθιερωθούν ως εξασφάλιση ότι η χωρητικότητα του συστήματος θα μπορέσει να επαρκεί όταν τα ηλεκτρικά επιβατικά αυτοκίνητα αναπτύσσονται σε μεγάλη κλίμακα.

Η μη ελεγχόμενη φόρτιση μπορεί να χαρακτηριστεί ως η χειρότερη στρατηγική φόρτισης. Στην περίπτωση αυτή, η ενεργειακή ζήτηση των οχημάτων εξαρτάται άμεσα από την ώρα επιστροφής στο σπίτι, μετά την τελευταία διαδρομή της ημέρας. Καθώς η επιστροφή στο σπίτι συνοδεύεται με αύξηση της οικιακής κατανάλωσης, η ζήτηση των οχημάτων συγχρονίζεται με την αιχμή φορτίου του συστήματος. Επομένως, η μη ελεγχόμενη φόρτιση έχει ως αποτέλεσμα την περαιτέρω επιβάρυνση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας τις ώρες αιχμής, η ένταση της οποίας εξαρτάται από το επίπεδο διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων.

Ωστόσο, η ανάπτυξη υποδομών φόρτισης στους χώρους εργασίας μπορεί να περιορίσει την επιβάρυνση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας τις ώρες αιχμής. Ένα μέρος των καθημερινών αναγκών φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων, δηλαδή η κατανάλωση της μπαταρίας για την οδήγηση από το σπίτι στη δουλειά, μπορεί να ανακτηθεί κατά τις πρωινές ώρες στον χώρο εργασίας, όταν η ζήτηση του συστήματος είναι ακόμη σχετικά χαμηλή.

Η ελεγχόμενη φόρτιση μέσω διζωνικού τιμολογίου εξυπηρετεί τη μετατόπιση της ζήτησης των ηλεκτρικών οχημάτων από ώρες υψηλού φορτίου σε ώρες με χαμηλή κατανάλωση. Ωστόσο, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η συγκεκριμένη στρατηγική φόρτισης έχει ως αποτέλεσμα την απότομη αύξηση της ζήτησης των οχημάτων τη χρονική στιγμή έναρξης της περιόδου χαμηλής τιμολόγησης, γεγονός που ενδέχεται να επηρεάσει σημαντικά την προγραμματισμένη λειτουργία του συστήματος παραγωγής.

Η ελεγχόμενη φόρτιση "valley-filling" μετατοπίζει τη ζήτηση των οχημάτων σε ώρες που η ζήτηση φορτίου είναι χαμηλή, αποτρέποντας την εμφάνιση αιχμών στην καμπύλη φορτίου του συστήματος και μειώνοντας ταυτόχρονα την ημερήσια διακύμανση του φορτίου. Τα συγκριτικά αποτελέσματα μεταξύ μη ελεγχόμενης φόρτισης και ελεγχόμενης φόρτισης "valley-filling", αποδεικνύουν την αποτελεσματικότητα της στρατηγικής "valley-filling". Αν και η στρατηγική αυτή είναι η πιο αποδοτική συγκριτικά με τις υπόλοιπες, η εφαρμογή της είναι ιδιαίτερα σύνθετη και απαιτούνται προχωρημένα μοντέλα διαχείρισης.

Από την ανάλυση της επίδρασης των ηλεκτρικών οχημάτων στο σύστημα παραγωγής προέκυψε ότι η εξυπηρέτηση του επιπρόσθετου φορτίου των ηλεκτρικών οχημάτων έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της συνολικής ετήσιας παραγωγής και συνεπώς την αύξηση του κόστους λειτουργίας του συστήματος. Η υιοθέτηση διαφορετικών στρατηγικών φόρτισης επηρεάζει σημαντικά το μείγμα παραγωγής και συνεπώς το κόστος εξυπηρέτησης του φορτίου τους. Στην περίπτωση της Ελλάδος, η υιοθέτηση μη ευέλικτων στρατηγικών φόρτισης έχει ως

συνέπεια την εξυπηρέτηση της ζήτησης των ηλεκτρικών οχημάτων από μονάδες αιχμής. Αντίθετα, η υιοθέτηση ευέλικτων στρατηγικών φόρτισης μετατοπίζει το φορτίο των ηλεκτρικών οχημάτων σε ώρες με χαμηλή κατανάλωση όπου εξυπηρετείται από μονάδες βάσης. Το κόστος παραγωγής των μονάδων αιχμής είναι υψηλότερο συγκριτικά με τις μονάδες βάσης, με αποτέλεσμα η εξυπηρέτηση της ζήτησης για φόρτιση να είναι ακριβότερη στην περίπτωση απουσίας ελεγχόμενη φόρτισης. Το μείγμα παραγωγής καθορίζει και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα του συστήματος παραγωγής. Οι μονάδες βάσης είναι πιο ρυπογόνες συγκριτικά με τις μονάδες αιχμής. Ως εκ τούτου, η υιοθέτηση ευέλικτων στρατηγικών φόρτισης από τη μια συνεισφέρει στην οικονομικότερη εξυπηρέτηση του φορτίου των ηλεκτρικών οχημάτων αλλά από την άλλη έχει αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την εξυπηρέτηση του φορτίου των ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να περιορίσει σημαντικά το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της ελεγχόμενης φόρτισης. Σε κάθε περίπτωση, τα ηλεκτρικά οχήματα δεν είναι πραγματικά μηδενικών εκπομπών ρύπων δεδομένου του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της παραγωγής που εξυπηρετεί το φορτίο τους. Η υιοθέτηση ευέλικτων στρατηγικών φόρτισης με υψηλά ποσοστά διείσδυσης ΑΠΕ μπορεί να μειώσει σημαντικά το ισοδύναμο προφίλ εκπομπών ρύπων σε επίπεδα πολύ χαμηλότερα (~60g CO<sub>2</sub>/km) των αντίστοιχων για τα συμβατικά οχήματα.

Όσον αφορά την ανάλυση του συστήματος μεταφοράς αποδεικνύεται ότι είναι αρκετά στιβαρό ώστε να μην δημιουργούνται λειτουργικά προβλήματα από την εξυπηρέτηση του επιπρόσθετου φορτίου των ηλεκτρικών οχημάτων, ανεξαρτήτως της στρατηγικής φόρτισης και του επιπέδου διείσδυσης τους. Η υιοθέτηση διαφορετικών στρατηγικών φόρτισης επηρεάζει τις ροές ισχύος πάνω στις γραμμές του συστήματος μεταφοράς, επιβαρύνοντας είτε τις διασυνδέσεις είτε τις γραμμές που ενώνουν τα κέντρα παραγωγής με τα κέντρα φορτίου, χωρίς ωστόσο να παραβιάζονται τα θερμικά όρια τους.

Όσον αφορά στην ανάλυση των δικτύων διανομής Μ.Τ. είναι εμφανές ότι κάθε δίκτυο διανομής έχει τη δυνατότητα ενσωμάτωσης ενός μέγιστου αριθμού ηλεκτρικών οχημάτων, πέραν του οποίου παραβιάζεται ένας ή περισσότεροι λειτουργικοί περιορισμοί του δικτύου (θερμικά όρια γραμμών, φόρτιση μετασχηματιστών, μέγιστη διακύμανση τάσης κτλ). Το κριτήριο για να τον προσδιορισμό της μέγιστης επιτρεπόμενης διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά του εκάστοτε δικτύου. Πιο συγκεκριμένα, τα αστικά δίκτυα διανομής είναι συνήθως πυκνά και το επίπεδο φόρτισης τους είναι υψηλό λόγω του αυξημένου πληθυσμού που εξυπηρετεί. Ως εκ τούτου, η ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων αναμένεται να επιβαρύνει περαιτέρω τη φόρτιση των υποδομών του δικτύου. Αντίθετα, τα επαρχιακά δίκτυα διανομής χαρακτηρίζονται από το μεγάλο μήκος των γραμμών τους, το οποίο συνεπάγεται μεγάλες πτώσεις τάσεις, ενώ το φορτίο που εξυπηρετούν είναι σχετικά χαμηλό. Συνεπώς, για τον προσδιορισμό του μέγιστου επιτρεπτού αριθμού ηλεκτρικών οχημάτων που μπορούν να συνδεθούν σε ένα δίκτυο χωρίς να παραβιάζονται οι

λειτουργικοί περιορισμοί των δεικτών διανομής, λαμβάνεται υπόψη η χωρητικότητα του εξοπλισμού του δικτύου στην περίπτωση αστικών δικτύων και το προφίλ της τάσης στην περίπτωση επαρχιακών δικτύων.

Όσον αφορά στις στρατηγικές φόρτισης, η υιοθέτηση ευέλικτων στρατηγικών επιτρέπει την καλύτερη αξιοποίηση της χωρητικότητας ενός δικτύου και την ενσωμάτωση μεγαλύτερων ποσοστών διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων. Επιπρόσθετα, η αύξηση του φορτίου του δικτύου λόγω της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των απωλειών του δικτύου ανεξαρτήτως υιοθετούμενης στρατηγικής.

2. Για να αξιοποιηθούν πλήρως τα οφέλη από την πρόσθετη ευελιξία του συστήματος που δημιουργείται από τα ηλεκτρικά οχήματα και να διασφαλιστεί μια ολοκληρωμένη συμμόρφωση με το σύστημα, πρέπει να δοθεί η θέση σε νέους παράγοντες, όπως aggregators που μπορούν να συνδυάσουν το μεταβαλλόμενο φορτίο πολλών ευέλικτων καταναλωτών ή και να διαμορφώνουν το τιμολόγιο σε πραγματικό χρόνο για τους ίδιους τους τελικούς πελάτες. Αυτό αντικατοπτρίζει τη σκοπιμότητα της προετοιμασίας για τους aggregators, όπως απαιτείται από τα κράτη μέλη μέσω του άρθρου 17 της προτεινόμενης αναδιατύπωσης της οδηγίας για την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.

3. Δεδομένου ότι η τιμολόγηση ηλεκτρικών οχημάτων με βάση το χρόνο χρήσης / αγοραία τιμή πραγματικού χρόνου απαιτεί επικοινωνία και ροή δεδομένων μεταξύ του καταναλωτή και των προμηθευτών ή των aggregators, καθώς και των φορέων διαχείρισης του δικτύου, είναι σημαντικό να εξασφαλιστεί ένα πλαίσιο και κάποια κοινή πρακτική για τέτοιου είδους νέες τεχνολογίες πληροφορικής, π.χ. εξασφαλίζοντας:

- την απαραίτητη τεχνολογία μετρητών ενέργειας και IT υποδομής
- τη δημιουργία ασφαλούς ανταλλαγής και αποθήκευσης δεδομένων, προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι ανησυχίες των καταναλωτών όσον αφορά την προστασία της ιδιωτικής ζωής και των δεδομένων.

Τα άρθρα 19 και 20 της προτεινόμενης αναδιατύπωσης της οδηγίας για την ηλεκτρική ενέργεια λαμβάνουν αυτή τη γραμμή ζητώντας τη συνολική εφαρμογή συστημάτων έξυπνων μετρητών που είναι συμβατά με ένα σύνολο προκαθορισμένων λειτουργιών καθώς και με συγκεκριμένα επίπεδα προστασίας του κυβερνοχώρου.

4. Η έξυπνη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων θα πρέπει τελικά όχι μόνο να θεωρηθεί ως μέσο εύλογης ενσωμάτωσης των ηλεκτρικών οχημάτων στο σύστημα ηλεκτροδότησης αλλά και ως πόρος ευελιξίας του συστήματος (π.χ. για την διείσδυση των ΑΠΕ) αξιοποιώντας της δυνατότητα χρήσης των ηλεκτρικών στηλών εγκατεστημένων σε ηλεκτρικά οχήματα ως σημαντικό δυναμικό αποθήκευσης του συστήματος. Η προετοιμασία του δρόμου για την αξιοποίηση της μπαταρίας για



υπηρεσίες συστήματος μέσω τεχνολογίας οχήματος-δικτύου (V2G) απαιτεί ειδικές λύσεις επικοινωνίας και διαχείρισης βασισμένες σε τεχνολογίες πληροφορικής καθώς και πρόσβαση για ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων ή ενδιαμέσους φορείς στις αντίστοιχες αγορές για υπηρεσίες συστήματος. Η προτεινόμενη αναδιατύπωση του κανονισμού για την ηλεκτρική ενέργεια (COM (2016) 861 τελικό / 2) υποστηρίζει αυτή την εξέλιξη ζητώντας ενισχυμένες επενδύσεις σε υποδομές που υποστηρίζουν την ενσωμάτωση της μεταβλητής και κατανεμημένης παραγωγής. Επιπλέον, ζητεί την ύπαρξη αποτελεσματικών τιμών τις ώρες εξάντλησης του δυναμικού παραγωγής, οι οποίες να ενθαρρύνουν τους συμμετέχοντες στην αγορά να είναι διαθέσιμοι όταν απαιτείται περισσότερο η ευελιξία στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.

5. Δεδομένου ότι η βελτιστοποίηση της συμπεριφοράς φόρτισης βάσει αμιγώς της τιμής ηλεκτρικής ενέργειας συνεπάγεται τον κίνδυνο καταστάσεων αυξημένης καταπόνησης για τα δίκτυα διανομής και μεταφοράς, τα οφέλη από την έξυπνη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων πρέπει να αντιπαραβάλλονται με τις σχετικές απαιτήσεις ενίσχυσης του δικτύου. Περιορισμοί σχετικοί με τις δυνατότητες και τη χωρητικότητα του δικτύου θα μπορούσαν να ληφθούν υπόψη κατά τη διάρκεια των διαφόρων χρεώσεων, π.χ. μέσω χρονομεταβλητών τελών χρήσης δικτύου. Η σχετική δυνατότητα αναφέρεται σαφώς στην προτεινόμενη αναδιατύπωση της οδηγίας για την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά η πραγματική χρήση της θα εξαρτηθεί από τις αποφάσεις των μεμονωμένων κρατών μελών.

## **4.2 Περιορισμοί της μελέτης και προτάσεις μελλοντικής έρευνας**

Στην παρούσα μελέτη, οι δυνατότητες των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής δίδονται βάσει σεναρίων REF16 / EUCO30 και δεν πραγματοποιείται βελτιστοποίηση ή μάλλον διερεύνηση νέων δυνατοτήτων, για παράδειγμα, για να αποφευχθεί η αναμενόμενη ενέργεια που δεν εξυπηρετείται. Γενικά, δεν λαμβάνεται υπόψη το κόστος για την έξυπνη ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων, αλλά προσδιορίζονται τα οφέλη της ενσωμάτωσής τους με έξυπνο τρόπο. Για την προσέγγιση αμφίδρομης σύνδεσης οχήματος σε δίκτυο (V2G), η μοντελοποίηση του ηλεκτρικού οχήματος δεν περιλαμβάνει τη γήρανση της μπαταρίας και το σχετικό κόστος που μπορεί να εμφανιστεί. Απλώς, οι απώλειες απόδοσης που σχετίζονται με τη μετατροπή λαμβάνονται υπόψη στη μοντελοποίηση. Τέλος, είναι δύσκολο να πούμε εάν τα κέρδη που σχετίζονται με το σύστημα από το όχημα σε δίκτυο είναι υψηλότερα από τα πρόσθετα κόστη που σχετίζονται με την ταχύτητα φθοράς και μείωσης της χωρητικότητας της μπαταρίας. Ως περιορισμός της ανάλυσης, επιλέγεται μια αρκετά συντηρητική προσέγγιση να μην εξεταστεί η δυνατότητα ταχείας φόρτισης στα δημόσια σημεία. Επιπλέον, σε αυτή τη μελέτη χρησιμοποιείται μια προσέγγιση βασισμένη αποκλειστικά στην τιμή του ηλεκτρισμού για τη βελτιστοποίηση της συμπεριφοράς φόρτισης και της χρήσης του δικτύου, με απλοποιημένο τρόπο, ο

οποίος περιορίζει τον ταυτοχρονισμό φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και υπόλοιπων καταναλωτών.

Καθώς η ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της ΕΕ αντιπροσωπεύει ένα πολύπλοκο θέμα που μπορεί να αναλυθεί υπό διαφορετικές απόψεις, το πεδίο εφαρμογής της μελέτης υπόκειται σε ένα σύνολο περιορισμών και απλουστεύει τις παραδοχές. Για παράδειγμα, η ανάλυση επικεντρώνεται αποκλειστικά στην αγορά της επόμενης ημέρας, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η ενδεχόμενη αλληλεπίδραση με άλλα τμήματα της αγοράς, όπως οι αγορές εντός και εκτός αγοράς. Καθώς ο ορίζοντας προβολής της ανάλυσης διαρκεί μέχρι το έτος 2050, η τεχνολογία και οι υποθέσεις συμπεριφοράς υπόκεινται σε υψηλή αβεβαιότητα. Τα μελλοντικά πρότυπα οδήγησης είναι δύσκολο να προβλεφθούν, καθώς είναι πιθανό να εισέλθουν στην αγορά νέες έννοιες ιδιοκτησίας αυτοκινήτων και οδήγησης (π.χ. κοινή χρήση αυτοκινήτων, αυτόνομα οχήματα). Σε αυτή τη μελέτη, υποτίθεται ότι τα μοτίβα οδήγησης παραμένουν αμετάβλητα.

Ως αποτέλεσμα της εμπειριστατωμένης αξιολόγησης του σεναρίου χρέωσης της RTP, θα ήταν απαραίτητο να μοντελοποιηθεί λεπτομερώς το δίκτυο μεταφοράς και διανομής για την περαιτέρω ενδελεχή ανάλυση της επίδρασης της ενσωμάτωσης (έξυπνης) EV στη χρήση και ενίσχυση του δικτύου. Με τη λεπτομερή μοντελοποίηση των τοπογραφιών του δικτύου, οι πληροφορίες σχετικά με τη φόρτιση καθώς και η πιθανή υπερφόρτωση των γραμμών και των μεγεθών τάσης μπορούν να διερευνηθούν ακόμη και σε καταστάσεις με διακοπές. Από την έρευνα αυτή, μπορεί να προκύψει η ανάγκη για ενίσχυση του δικτύου ή και επέκταση δικτύου.

Από την άποψη της αγοράς, μια κοινή συζευγμένη βελτιστοποίηση είναι απαραίτητη ώστε να διαπιστωθεί πόσο θα πρέπει να τροποποιηθεί η μέγιστη χωρητικότητα δικτύου εξαιτίας της ενσωμάτωσης των ηλεκτρικών οχημάτων. Παράλληλα με την προσέγγιση συμβατότητας με τις δυνατότητες του δικτύου και την προσέγγιση που βασίζεται στην αγορά, είναι απαραίτητη και μια προσέγγιση βέλτιστης χρήσης της μπαταρίας για να μειωθεί ο αντίκτυπος της έξυπνης χρέωσης στη γήρανση της μπαταρίας και επιπλέον να μπορεί να παροτρύνει τους ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων να αλλάξουν τη συμπεριφορά φόρτισης.

## 5 Βιβλιογραφία

- [1] EEA: Electric vehicles in Europe. Copenhagen 2016. Available at: <https://www.eea.europa.eu/publications/electric-vehicles-in-europe>
- [2] Eurelectric paper: smart charging: steering the charge, driving the change. March 2015. Available at: [http://www.eurelectric.org/media/169888/20032015\\_paper\\_on\\_smart\\_charging\\_of\\_electric\\_vehicles\\_finalpsf-2015-2301-0001-01-e.pdf](http://www.eurelectric.org/media/169888/20032015_paper_on_smart_charging_of_electric_vehicles_finalpsf-2015-2301-0001-01-e.pdf).
- [3] FP7 Plangrid EV: Distribution grid planning and operational principles for EV mass roll-out while enabling DER integration. Available at: <http://www.plangridev.eu/>.
- [4] FP7 G4V: Analysis of the impact and possibilities of a mass introduction of electric and plug-in hybrid vehicles on the electricity networks in Europe. Available at: <http://www.g4v.eu/>.
- [5] DG ENER METIS S12-S17: Impacts of policy measures. Reducing distortion, increasing flexibility and cooperation. 2016.
- [6] FP7 Green emotion: available at: [http://www.greenemotion-project.eu/upload/pdf/press/3\\_Standards\\_RallyToBrussels\\_review.pdf](http://www.greenemotion-project.eu/upload/pdf/press/3_Standards_RallyToBrussels_review.pdf).
- [7] EU Reference Scenario 2016 Energy, transport and GHG emissions Trends to 2050. Available at: <https://ec.europa.eu/energy/en/data-analysis/energy-modelling>.
- [8] French General Commission for Sustainable Development: Les véhicules électriques en perspective. Analyse coûts-avantages et demande potentielle. Available at: <http://temis.documentation.developpement-durable.gouv.fr/docs/Temis/0069/Temis-0069678/19162.pdf>. (2011).
- [9] ABB, Intel: Revolutionizing Fast Charging for Electric Vehicles. Available at: <https://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/solution-briefs/transportation-abb-terra-smart-connect-brief.pdf>.
- [10] Artelys: METIS Technical Note T1, Methodology for the integration of PRIMES scenarios into METIS. Available at: [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/integration\\_of\\_primes\\_scenarios\\_into\\_metis.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/integration_of_primes_scenarios_into_metis.pdf). 2016.
- [11] HETUS: Harmonized European Time Use Survey. Available at: <https://www.h6.scb.se/tus/tus/>.
- [12] Elpiniki A.-I. et al.: Measurement of power loss during electric vehicle charging and discharging. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544217303730>.
- [13] Jargstorf, J. et al.: Offer of secondary reserve with a pool of electric

vehicles on the German market. Available at:  
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.06.088>.

- [14] Keane, E. et al.: Potential for Electric Vehicles to Provide Power System Reserve. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=6175701>.
- [15] "Προτάσεις για τη λειτουργία της αγοράς ηλεκτροκίνησης στην Ελλάδα", Σταύρος Παπαθανασίου, Καθ. ΕΜΠ, Όλγα Σχινιά, ΥΔ ΕΜΠ, ΡΑΕ, 10/1/2019
- [16] Μελέτη Επίδρασης της Διείσδυσης των Ηλεκτρικών Οχημάτων στο Σύστημα Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας, Διπλωματική Εργασία, Αγγελική Λυδία Αντωνία Ι. Συρρή, Αθήνα, Ιούλιος 2012
- [17] "ΕΘΝΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΤΟ ΚΛΙΜΑ", Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Αθήνα, Ιανουάριος 2019
- [18] Effect of electromobility on the power system and the integration of RES S13 Report, *METIS Studies for European Commission, June 2018*
- [19] "Συμβολή στη διαχείριση των ηλεκτρικών οχημάτων για την αποδοτικότερη ενσωμάτωσή τους στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας", Διδακτορική Διατριβή, Ευάγγελος Λ. Καρφόπουλος Αθήνα, Μάρτιος 2017
- [20] "Επιπτώσεις της ηλεκτροκίνησης των οδικών μεταφορών στα δίκτυα ηλεκτροδότησης", Νίκος Χατζηαργυρίου, Επιτροπή Ενέργειας της Ακαδημίας Αθηνών
- [21] "Η Ηλεκτροκίνηση στο Ελληνικό Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας", Ιωάννης Μάργαρης, 1st EcoMobility Conference 2018, Αθήνα, 22 Μαρτίου 2018