



# ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ 'ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ-ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ'

## Διπλωματική εργασία

**Θέμα: Βραχυπρόθεσμη Πρόβλεψη Φορτίου Χαμηλής Τάσης Προμηθευτή  
Ηλεκτρικής Ενέργειας**



**Θελερίτης Γρηγόρης**

**Επιβλέπων Καθηγητής : Γεώργιος Ματσόπουλος**

**Αθήνα Φεβρουάριος 2021**



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η απελευθέρωση των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας οδήγησε στην κατάργηση των μονοπωλίων και στη δημιουργία πολλών εταιριών προμήθειας, οι οποίες συνυπάρχουν σε ένα κλίμα ανταγωνισμού με διαρκή προσπάθεια σχεδιασμού καλύτερων συστημάτων και ακριβέστερων προβλέψεων ώστε να καταφέρουν να ανταποκριθούν με επιτυχία στις απαιτήσεις των νέων αγορών. Έτσι μεγάλη μερίδα της επιστημονικής κοινότητας έστρεψε την έρευνά της στην επιστήμη των προβλέψεων, η πρόοδος της οποίας θα έφερνε καλύτερα αποτελέσματα στις εν λόγω εταιρίες.

Στην παρούσα διπλωματική γίνεται μία αναφορά στους τρόπους που μπορεί να πραγματοποιηθεί η βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου χαμηλής τάσης του δικτύου. Αναλύεται εκτενώς ένα συγκεκριμένο μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης το οποίο δοκιμάστηκε με τη χρήση πραγματικών δεδομένων της αγοράς για το διάστημα 11<sup>ο</sup> του 2018 έως 10<sup>ο</sup> του 2020. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αυτού, τα σφάλματα τα οποία προέκυψαν σε σύγκριση με το πραγματικό φορτίο χαμηλής τάσης του δικτύου και ποικίλα συμπεράσματα για την εν λόγω περίοδο και για τους τρόπους που μπορεί να αξιοποιηθεί καλύτερα το μοντέλο. Παρουσιάζονται οι παράμετροι με τη μεγαλύτερη επίδραση, ο τρόπος με τον οποίο μας δίνεται πρόσβαση σε αυτούς μέσω των διαχειριστών, καθώς και αναλυτικά στοιχεία για τους συντελεστές βαρύτητας που χρησιμοποιήθηκαν στο συγκεκριμένο μοντέλο πρόβλεψης φορτίου. Τέλος αναλύεται η επίδραση της πανδημίας στις προβλέψεις φορτίου τη χρονιά του 2020.

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος 'Τεχνοοικονομικά Συστήματα' της σχολής των Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου το ακαδημαϊκό έτος 2020-2021. Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου κ. Γεώργιο Ματσόπουλο για τη συνεργασία που είχαμε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας αλλά και των μαθημάτων του μεταπτυχιακού, καθώς και τη βοήθεια του ώστε να μπορέσει να ολοκληρωθεί το παρόν σύγγραμμα.

Εν συνεχεία θα ήθελα να ευχαριστήσω την Ηλιάννα για τη στήριξη και την υπομονή καθ' όλη τη διάρκεια της συγγραφής. Θερμές ευχαριστίες στην οικογένεια μου και τους φίλους μου για την εμπύχωση και την παρακίνηση που μου παρείχαν.

Τέλος θα ήθελα να εκφράσω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην ομάδα του Energy Department της Volton, συνεργάτες αλλά και καλούς φίλους τα τελευταία χρόνια, τον Γιώργο, τον Κυριάκο και την Ευαγγελία, για την άψογη συνεργασία αλλά και της γνώσεις που αποκτήσαμε μέσα από τη συνεργασία και την ομαδική δουλειά. Όλα αυτά δεν θα είχαν πραγματοποιηθεί εάν δεν υπήρχαν αυτοί οι άνθρωποι δίπλα μου να με παρακινούν, να με μαθαίνουν και να με στηρίζουν στο από κοινού ταξίδι μας στον κόσμο της ενέργειας.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2021

Γρηγόρης Θελερίτης

## Περιεχόμενα

1.	Εισαγωγή.....	1
1.1	Σκοπός της διπλωματικής εργασίας.....	2
2.	Δομή του υφιστάμενου μοντέλου της Ελληνικής αγοράς ενέργειας.....	3
2.1	Διαχειριστές, φορείς, ρυθμιστής της αγοράς.....	5
2.1.1.	Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ).....	5
2.1.2.	Ελληνικό Χρηματιστήριο Ενέργειας (ΕΧΕ).....	8
2.1.3.	Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ).....	8
2.1.4.	Διαχειριστής του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ).....	9
2.1.5.	Διαχειριστής Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και Εγγυήσεων Προέλευσης (ΔΑΠΕΕΠ).....	10
2.2.	Προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας, ο ρόλος τους και οι υποχρεώσεις τους στην χονδρεμπορική αγορά ενέργειας.....	12
2.3.	Πρόβλεψη φορτίου από τους προμηθευτές ενέργειας.....	14
3.	Μεθοδολογίες εκτίμησης φορτίου.....	15
3.1.	Παράγοντες που επηρεάζουν τη Ζήτηση Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	15
3.2	Χρονοσειρές – κλασικές μεθοδολογίες ανάλυσης.....	17
3.3	Στατιστικά Μοντέλα Πρόβλεψης.....	18
3.4	Τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (Artificial Neural Networks).....	20
3.5	Αξιολόγηση της ακρίβειας των προβλέψεων - τύποι σφαλμάτων.....	21
3.5.1.	Το μέσο σφάλμα (Mean Error).....	22
3.5.2.	Το μέσο απόλυτο σφάλμα (Mean Absolute Error).....	22
3.5.3.	Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (Mean Squared Error).....	23
3.5.4.	Η ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (Root Mean Squared Error).....	23
3.5.5.	Το μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα (Mean Absolute Percentage Error).....	23
3.5.6.	Το συμμετρικό μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα (Symmetric Mean Absolute Percentage Error).....	24

3.5.7.	Η διάμεσος του απόλυτου ποσοστιαίου σφάλματος (Median Absolute Percentage Error)	24
3.5.8.	Η διάμεσος του συμμετρικού απόλυτου ποσοστιαίου σφάλματος (Symmetric Median Absolute Percentage Error)	25
3.5.9.	Το μέσο απόλυτο κανονικοποιημένο σφάλμα (Mean Absolute Scaled Error)	25
4.	Βραχυπρόθεσμη Πρόβλεψη φορτίου προμηθευτή ενέργειας	26
4.1	Case Study (δεδομένα, ανάλυση μοντέλου πρόβλεψης φορτίου)	26
4.1.1	Το σύνολο του φορτίου του Ελληνικού Συστήματος	26
4.1.2.	Ζητούμενο Προμηθευτή	27
4.1.3.	Δεδομένα	28
4.2	Περιγραφή μοντέλου πρόβλεψης	29
4.3	Σύγκριση με πραγματικά στοιχεία εκκαθάρισης και εκτίμηση σφαλμάτων	32
4.3.1.	Το πραγματικό φορτίο ΧΤ Δικτύου	32
4.3.2.	Αξιολόγηση των ME και MAE	35
4.3.3.	Αξιολόγηση των MSE και RMSE	37
4.3.4.	Αξιολόγηση των MAPE και sMAPE	39
4.3.5.	Αξιολόγηση των MdAPE και sMdAPE	41
4.3.6.	Απεικόνιση και Αξιολόγηση όλων των σφαλμάτων	43
4.4.	Βελτιστοποίηση του μοντέλου πρόβλεψης φορτίου	45
5.	Συμπεράσματα	47
6.	Βιβλιογραφία	49

## Λίστα Πινάκων

- **Πίνακας 1:** Παράδειγμα πρόβλεψης φορτίου της ημέρας 2/5/2019 με ποσοστό Ex-Ante 0,01161 (24ωρη πρόβλεψη) – σελ. 31
- **Πίνακας 2:** Δημοσιοποιημένα στοιχεία του ΑΔΜΗΕ αναφορικά με το μέσο και το συνολικό φορτίο χαμηλής τάσης δικτύου ανά μήνα – σελ. 33
- **Πίνακας 3:** Υπολογισμοί των σφαλμάτων ME και MAE (μηνιαία δεδομένα) – σελ. 36
- **Πίνακας 4:** Υπολογισμοί των σφαλμάτων MSE και RMSE (μηνιαία δεδομένα) – σελ. 38
- **Πίνακας 5:** Υπολογισμοί των σφαλμάτων MAPE και sMAPE (μηνιαία δεδομένα) – σελ.40
- **Πίνακας 6:** Υπολογισμοί των σφαλμάτων MdAPE και sMdAPE (μηνιαία δεδομένα) – σελ. 42

## Λίστα Διαγραμμάτων

- **Διάγραμμα 1:** Δημοσιοποιημένα στοιχεία του ΑΔΜΗΕ αναφορικά με το μέσο φορτίο χαμηλής τάσης δικτύου ανά μήνα – σελ. 34
- **Διάγραμμα 2:** Δημοσιοποιημένα στοιχεία του ΑΔΜΗΕ αναφορικά με το συνολικό φορτίο χαμηλής τάσης δικτύου ανά μήνα – σελ. 34
- **Διάγραμμα 3:** Απεικόνιση σφαλμάτων ME – MAE – RMSE – σελ. 43
- **Διάγραμμα 4:** Απεικόνιση σφαλμάτων MAPE – sMAPE – MdAPE – sMdAPE – σελ. 44



## 1. Εισαγωγή

---

Η απελευθέρωση των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας έστρεψε το ενδιαφέρον πολλών ερευνητών στην επιστήμη των προβλέψεων, που αφορά την πρόβλεψη της ζήτησης φορτίου ηλεκτρικής ενέργειας. Η έναρξη της απελευθέρωσης των αγορών οδήγησε στην εμφάνιση νέων εταιρειών ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά και στην κατάργηση των μονοπωλίων που προϋπήρχαν. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία έντονου κλίματος ανταγωνισμού ανάμεσα στις νέες αυτές εταιρείες, οι οποίες έπρεπε να προβλέπουν σε σύντομο χρονικό διάστημα το φορτίο ηλεκτρισμού για τον σχεδιασμό των συστημάτων ενέργειας και την εκτίμηση της ασφάλειάς τους, ώστε να μπορούν να ανταποκρίνονται με επιτυχία στις απαιτήσεις της αγοράς. Ωστόσο, η απελευθέρωση των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα οδήγησε τη ΔΕΗ, τη Δημόσια Εταιρεία Ηλεκτρισμού, να χάσει το προνόμιο του μονοπωλίου στην παραγωγή, τη μεταφορά, τη διανομή και την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας ήδη από το 1999. Από τότε πολλές ιδιωτικές εταιρείες έκαναν την εμφάνισή τους στην προμήθεια Ηλεκτρικής Ενέργειας Υψηλής και Μέσης Τάσης.

Η πρόβλεψη των τιμών του ζητούμενου φορτίου είναι απαραίτητη για μια εταιρεία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για πολλούς λόγους. Πιο συγκεκριμένα, μέσα από τις εφαρμογές της πρόβλεψης του φορτίου διαπιστώνεται ότι οι εταιρείες έχουν τη δυνατότητα να αξιοποιούν την πληροφορία της πρόβλεψης, ώστε να σχεδιάζουν με τον βέλτιστο δυνατό τρόπο τον σχεδιασμό της ένταξης μονάδων παραγωγής, αλλά και για κλείνουν επικερδείς συμφωνίες ανταλλαγής ενέργειας με γειτονικά δίκτυα. Επομένως, ο οικονομικός προγραμματισμός του συστήματος παραγωγής ενέργειας αποτελεί έναν από τους σπουδαιότερους λόγους για τους οποίους μια εταιρεία χρειάζεται την πρόβλεψη φορτίου. Ένας ακόμη λόγος για τον οποίο η πρόβλεψη φορτίου είναι απαραίτητη για τις νέες εταιρείες παραγωγής ηλεκτρισμού είναι η ασφάλεια του συστήματος παραγωγής ενέργειας που προσφέρει η πρόβλεψη, καθώς προειδοποιεί για τυχόν διακυμάνσεις της ζήτησης με αποτέλεσμα να προλαμβάνονται ανεπιθύμητες καταστάσεις από τους διαχειριστές του συστήματος οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα να διορθώσουν την κατάσταση αγοράζοντας ενέργεια από γειτονικά δίκτυα ή εντάσσοντας μονάδες αιχμής. Με αυτόν τον

τρόπο η αξιοπιστία του συστήματος αυξάνεται και γίνεται καλύτερη διαχείριση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος, σημαντικό λόγο για την πρόβλεψη ζήτησης φορτίου αποτελεί η αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας που παρατηρείται τις τελευταίες δεκαετίες. Ο καταναλωτής θα πρέπει να καλύπτεται ανά πάσα στιγμή από την εταιρεία που του παρέχει ηλεκτρική ενέργεια τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά, ώστε να υπάρχει επάρκεια στη ζητούμενη ισχύ και ενέργεια. Για να γίνει αυτό εφικτό θα πρέπει να εξετάζονται οι καταναλώσεις των πελατών στη χρήση των ηλεκτρικών συσκευών, οι οποίες προέκυψαν τα τελευταία χρόνια, αλλά και οι παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση στη διάρκεια του έτους.

## 1.1 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η περιγραφή και η ανάλυση της διαδικασίας πρόβλεψης φορτίου ενός προμηθευτή ενέργειας για τους σκοπούς της δήλωσης φορτίων στην προημερήσια αγορά ενέργειας του Ελληνικού συστήματος.

Στην παρούσα εργασία γίνεται μία εισαγωγή για το ρόλο και τις υποχρεώσεις των διαχειριστών της Ελληνικής αγοράς ενέργειας και τις προβλέψεις φορτίου όπου δημοσιεύουν. Τονίζεται η ανάγκη για βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου από τους προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας και αναλύεται εκτενώς η διαδικασία της πρόβλεψης φορτίου ΧΤ για την αγορά της επόμενης ημέρας. Παρουσιάζονται οι τρόποι και τα μοντέλα βραχυπρόθεσμης πρόβλεψης που έχει στη διάθεσή της η επιστημονική κοινότητα και αναλύονται οι παράγοντες που επηρεάζουν τη ζήτηση φορτίου ηλεκτρικής ενέργειας.

Παρατίθεται η περίπτωση βραχυπρόθεσμης πρόβλεψης φορτίου με τη χρήση ενός μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης και γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων του μοντέλου με τα πραγματικά δεδομένα ζήτησης για το χρονικό διάστημα 01.2018 – 09.2020.

## 2. Δομή του υφιστάμενου μοντέλου της Ελληνικής αγοράς ενέργειας

Η Ευρωπαϊκή Ενεργειακή Ένωση ήδη από τις αρχές της δεκαετίας του 1990 αποτελεί μία από τις προτεραιότητες της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, δεδομένου ότι η αξιόπιστη, σε λογικές τιμές και με τη μικρότερη δυνατή επίπτωση στο περιβάλλον παροχή ενέργειας σε επιχειρήσεις και νοικοκυριά συνιστά καθοριστικό παράγοντα για την ευρωπαϊκή οικονομία. Στο πλαίσιο αυτό επιχειρήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση στα μέσα της δεκαετίας του 1990 η απελευθέρωση μεταξύ άλλων της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία μέχρι τότε στα περισσότερα κράτη μέλη κυριαρχείτο από τις παλαιές κρατικές μονοπωλιακές επιχειρήσεις. Στόχος ήταν το σταδιακό άνοιγμα της αγοράς στον ανταγωνισμό, διά:

- της σαφούς διάκρισης μεταξύ των ανταγωνιστικών (π.χ. προμήθεια ηλεκτρισμού σε καταναλωτές) και των μη ανταγωνιστικών (λειτουργία των δικτύων) δραστηριοτήτων,
- της υποχρέωσης των λειτουργών των μη ανταγωνιστικών δραστηριοτήτων να επιτρέπουν την πρόσβαση τρίτων στις υποδομές τους (π.χ. σύνδεση στα δίκτυα),
- απελευθέρωση της δραστηριότητας προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας (π.χ. άρση των εμποδίων δραστηριοποίησης των εναλλακτικών προμηθευτών),
- σταδιακή άρση των περιορισμών επιλογής προμηθευτή από τους καταναλωτές,
- δημιουργία ανεξαρτήτων ρυθμιστικών αρχών εποπτείας της αγοράς.

Οι ανωτέρω επί μέρους στόχοι υλοποιήθηκαν με τρεις γενιές οδηγιών, τόσο για την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, όσο και για την αγορά φυσικού αερίου. Η απελευθέρωση της ηλεκτρικής αγοράς ρυθμίστηκε με την πρώτη οδηγία 1996/92/ΕΚ, τη δεύτερη οδηγία 2003/54/ΕΚ και την τρίτη οδηγία 2009/72/ΕΚ. Οι οδηγίες αυτές ενσωματώθηκαν στο ελληνικό δίκαιο κατά βάση με τους νόμους 2773/1999, 3426/2005 και 4001/2011.

Κατόπιν τούτων το ελληνικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας έχει λάβει σήμερα την ακόλουθη μορφή, διακρινόμενο προς το παρόν στο διασυνδεδεμένο και το μη

διασυνδεδεμένο δίκτυο. Στο διασυνδεδεμένο δίκτυο τόσο η παραγωγή όσο και η προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν απολύτως ανταγωνιστικές δραστηριότητες στις οποίες συμμετέχουν παράλληλα με τη Δ.Ε.Η. Α.Ε. και άλλοι εναλλακτικοί προμηθευτές.

Μεταξύ του σκέλους της παραγωγής και του σκέλους της διανομής μεσολαβεί η εταιρεία «Ελληνικό Χρηματιστήριο Ενέργειας Α.Ε.» (ΕΧΕ), το οποίο ρυθμίζει τη λειτουργία της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας. Η Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας λειτουργεί με βάση μια δομή συγκέντρωσης (pool structure). Αυτό σημαίνει πως το σύνολο της διαθέσιμης ισχύος στη χώρα δημιουργεί μια «δεξαμενή» από την οποία προμηθεύονται όλοι συμμετέχοντες στο σκέλος της προμήθειας την ηλεκτρική ενέργεια που προμηθεύουν στους πελάτες τους - καταναλωτές.

Συνεπώς, ακόμη και οι καθετοποιημένες επιχειρήσεις όπως η Δ.Ε.Η. θα πρέπει να εγχύσουν την παραγόμενη ενέργεια στην κοινή «δεξαμενή» και εν συνεχεία να την αγοράσουν επί ίσοις όροις με τους λοιπούς εναλλακτικούς προμηθευτές, για να την προμηθεύσουν στους πελάτες τους.

Δεδομένου ότι η διαθέσιμη ισχύς, για λόγους ασφαλείας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, είναι πάντοτε μεγαλύτερη της ζητούμενης από τους τελικούς καταναλωτές και συνεπώς από τους συμμετέχοντες στο σκέλος της προμήθειας, το ΕΧΕ βάσει του Κώδικα Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας, καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο προγραμματίζονται οι ανάγκες του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, εγχέεται η ισχύς της κάθε μονάδας παραγωγής στο σύστημα και εν τέλει διαμορφώνεται η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας για τους συμμετέχοντες στην αγορά παραγωγούς και προμηθευτές. Με μια απλουστευτική προσέγγιση, μπορεί να ειπωθεί πως η αγορά λειτουργεί με βάση τον κανόνα της προσφοράς και της ζήτησης. Δηλαδή εγχέεται στο σύστημα ενέργεια παραγόμενη από τη φθηνότερη προς την ακριβότερη πηγή μέχρι να επέλθει ισορροπία με τη ζήτηση. Το σημείο αυτό ισορροπίας, όπου καλύπτεται απόλυτα η ζήτηση σε κάποια δεδομένη χρονική στιγμή διαμορφώνει εν πολλοίς την Οριακή Τιμή του Συστήματος (system marginal price – SMP), η οποία στην πραγματικότητα είναι η τιμή που ζητείται από την τελευταία μονάδα παραγωγής που εισήλθε στο σύστημα για να καλυφθεί πλήρως η ζήτηση. Στην Οριακή Τιμή

πωλούν τελικά όλοι οι παραγωγοί ανεξαρτήτως του κόστους τους ηλεκτρική ενέργεια και αντίστοιχα αυτή πληρώνουν όλοι οι προμηθευτές. Άρα σε περιόδους υψηλής ζήτησης χρειάζεται να εγχυθούν στο σύστημα ποσότητες ενέργειας από παραγωγικές μονάδες με μεγάλο κόστος με συνέπεια την άνοδο της τιμής και το αντίστροφο.

Εξαιρέση στα παραπάνω αποτελούν οι ΑΠΕ. Η κάθε στιγμή διαθέσιμη ισχύς από ΑΠΕ εγχέεται κατά προτεραιότητα στο σύστημα και λειτουργούν σε καθεστώς εγγυημένων ελάχιστων τιμών. Η κάθε μονάδα ΑΠΕ συμβάλλεται με το ΕΧΕ, το οποίο υποχρεούται να αγοράζει όλη την παραγόμενη ενέργεια σε μια προκαθορισμένη ελάχιστη τιμή. Έτσι, ο παραγωγός ΑΠΕ θα λάβει την προκαθορισμένη ελάχιστη τιμή για την παραγόμενη ενέργεια ακόμη και αν η Οριακή Τιμή του Συστήματος, κατά τα ανωτέρω, είναι χαμηλότερη. Το ΕΧΕ όμως συμμετέχει στη «δεξαμενή» της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας ως πωλητής της παραγόμενης από ΑΠΕ ενέργειας και λαμβάνει σε κάθε περίπτωση την Οριακή Τιμή, όπως όλοι οι συμμετέχοντες παραγωγοί. Η κάλυψη της διαφοράς μεταξύ της Οριακής Τιμής του Συστήματος και της εγγυημένης τιμής για τον κάθε παραγωγό ΑΠΕ προέρχεται από τα έσοδα του Ειδικού Λογαριασμού ΑΠΕ, ο οποίος χρηματοδοτείται μέσω ειδικού αναλογικού τέλους από τους καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας.

Τέλος, από τα προ αναλυθέντα αποκλίνει η λειτουργία του μη διασυνδεδεμένου συστήματος των νησιών. Τα περισσότερα νησιά σήμερα στην Ελλάδα και κυρίως στο Αιγαίο ηλεκτροδοτούνται από αυτόνομα ηλεκτρικά συστήματα με παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κατά κύριο λόγο από τοπικούς θερμικούς σταθμούς παραγωγής της ΔΕΗ Α.Ε., οι οποίοι λειτουργούν με καύσιμο πετρέλαιο, και κατά περίπου 20% από σταθμούς ΑΠΕ, αιολικούς και φωτοβολταϊκούς. Η λειτουργία και Διαχείριση της Αγοράς των μη διασυνδεδεμένων νησιών γίνεται από τον ΔΕΔΔΗΕ, βάσει του Κώδικα Διαχείρισης Ηλεκτρικών Συστημάτων Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας.

## **2.1 Διαχειριστές, φορείς, ρυθμιστής της αγοράς**

### **2.1.1. Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ)**

Η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) [6] είναι ανεξάρτητη ρυθμιστική αρχή, η οποία συστήθηκε με το ν.2773/1999, στο πλαίσιο εναρμόνισης με τις Οδηγίες 2003/54/ΕΚ και

2003/55/EK για τον ηλεκτρισμό και το φυσικό αέριο, με κύρια αρμοδιότητά της να εποπτεύει την εγχώρια αγορά ενέργειας, σε όλους τους τομείς της, εισηγούμενη προς τους αρμόδιους φορείς της Πολιτείας και λαμβάνοντας η ίδια μέτρα για την επίτευξη του στόχου της απελευθέρωσης των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου.

Με το ν. 2773/1999, και κυρίως με τις τροποποιήσεις του που ακολούθησαν, ανατέθηκαν στη ΡΑΕ αρμοδιότητες, κυρίως γνωμοδοτικές, παρακολούθησης και ελέγχου της αγοράς ενέργειας σε όλους τους τομείς, ήτοι στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικά καύσιμα, από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και φυσικό αέριο. Περαιτέρω, η ΡΑΕ ανέλαβε συγκεκριμένες αρμοδιότητες σε σχέση με την αγορά των πετρελαιοειδών.

Με την έκδοση του ν.3851/2010, επήλθαν ουσιώδεις αλλαγές σε σχέση με το υφιστάμενο νομοθετικό καθεστώς που διέπει τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, καθώς και τις αρμοδιότητες της ΡΑΕ στο πλαίσιο αυτό. Οι αλλαγές αυτές αφορούν τόσο τη διαδικασία αδειοδότησης των σταθμών ΑΠΕ, όσο και τη διαδικασία αξιολόγησης των αιτήσεων για χορήγηση άδειας παραγωγής. Ειδικότερα, όσον αφορά τη διαδικασία αδειοδότησης, η ΡΑΕ ανέλαβε πλέον αποφασιστικό ρόλο στη χορήγηση αδειών παραγωγής, με το ΥΠΕΚΑ να ασκεί τον έλεγχο της νομιμότητας των αποφάσεων της ΡΑΕ, ο οποίος έλεγχος καταργήθηκε με τις ρυθμίσεις του ν.4001/2011.

Ο ρόλος της ΡΑΕ ως εθνικής ρυθμιστικής αρχής ενέργειας αναβαθμίστηκε από το 2011 και μετά, με την επαύξηση και ενίσχυση των αποφασιστικών αρμοδιοτήτων της σχετικά με τη ρύθμιση των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου, αρμοδιοτήτων που ανατέθηκαν σε αυτήν κατ' επιταγήν της Τρίτης Ευρωπαϊκής Ενεργειακής Δέσμης, η οποία και ανάγει τις εθνικές ρυθμιστικές αρχές ενέργειας σε «εγγυητές» της εύρυθμης λειτουργίας των ενεργειακών αγορών.

Συγκεκριμένα, στις 3 Σεπτεμβρίου 2009, υιοθετήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση η λεγόμενη Τρίτη Ευρωπαϊκή Ενεργειακή Δέσμη (Third Energy Package)

Σύμφωνα με το ενωσιακό δίκαιο, οι Ευρωπαϊκοί Κανονισμοί τυγχάνουν άμεσης εφαρμογής από τα Κράτη-Μέλη, χωρίς την ανάγκη διαδικασίας ενσωμάτωσής τους στις εθνικές

νομοθεσίες. Οι συγκεκριμένοι ως άνω Κανονισμοί τέθηκαν σε ισχύ στις 3 Μαρτίου 2011. Οι Ευρωπαϊκές Οδηγίες 2009/72/ΕΚ και 2009/73/ΕΚ μεταφέρθηκαν στην ελληνική έννομη τάξη με τον Ενεργειακό Νόμο 4001/2011, ο οποίος τέθηκε σε ισχύ στις 22 Αυγούστου 2011 (ΦΕΚ Α' 179). Με το Νόμο αυτό, μεταξύ άλλων, επαναπροσδιορίστηκε η φύση και ο ρόλος της ΡΑΕ, ώστε αυτή να «...αποτελεί την εθνική ρυθμιστική αρχή σε θέματα ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου, κατά την έννοια των Οδηγιών 2009/72/ΕΚ και 2009/73/ΕΚ» (άρθρο 4 του νόμου). Σύμφωνα με τις διατάξεις του ν.4001/2011, η ΡΑΕ διαθέτει αυτοτελή νομική προσωπικότητα, καθώς και διοικητική και οικονομική αυτοτέλεια, και είναι επιφορτισμένη με νέες, σημαντικά αυξημένες, εκτελεστικές αρμοδιότητες.

Σύμφωνα με το Κεφάλαιο Γ' «Αρμοδιότητες της ΡΑΕ», του Α' Μέρους του Ενεργειακού Νόμου 4001/2011, οι κυριότερες, αποφασιστικού χαρακτήρα, αρμοδιότητες της ΡΑΕ στον ηλεκτρισμό και το φυσικό αέριο, συνοπτικά αφορούν:

- Παρακολούθηση και εποπτεία της αγοράς ενέργειας
- Προστασία των καταναλωτών
- Παρακολούθηση της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού της χώρας
- Χορήγηση αδειών
- Εποπτεία επί των Ανεξάρτητων Διαχειριστών Μεταφοράς
- Έγκριση τιμολογίων μη ανταγωνιστικών δραστηριοτήτων
- Χορήγηση εξαίρεσης από υποχρεώσεις παροχής πρόσβασης τρίτων
- Παρακολούθηση πρόσβασης στις ενεργειακές διασυνδέσεις
- Λήψη ρυθμιστικών μέτρων για την εύρυθμη λειτουργία των ενεργειακών αγορών

### **2.1.2. Ελληνικό Χρηματιστήριο Ενέργειας (EXE)**

Ο Όμιλος Χρηματιστηρίου Ενέργειας αποτελείται από το Ελληνικό Χρηματιστήριο Ενέργειας Α.Ε. (EXE Α.Ε.) [7] και την Εταιρεία Εκκαθάρισης Συναλλαγών Χρηματιστηρίου Ενέργειας Α.Ε. (ΕΕΣΧΕ Α.Ε. ή EnExClear).

Η EXE Α.Ε. ιδρύθηκε στις 18.6.2018 μετά την απόσχιση του κλάδου της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας από τη ΛΑΓΗΕ Α.Ε που ακολούθως μετονομάστηκε σε ΔΑΠΕΕΠ Α.Ε.. Με βάση την εμπειρία που έχει αποκτήσει εδώ και πάνω από μία δεκαετία λειτουργώντας με συνέχεια και συνέπεια το Σύστημα Συναλλαγών Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού, η EXE Α.Ε. ορίσθηκε από την Ελληνική Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) ως Ορισθείς Διαχειριστής Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΟΔΑΗΕ) για τη λειτουργία της Αγοράς Επόμενης Ημέρας και της Ενδοημερήσιας Αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Από την 16.3.2020 κατόπιν έγκρισης της Επιτροπής Κεφαλαιαγοράς λειτουργεί την Ενεργειακή Χρηματοπιστωτική Αγορά ως Διαχειριστής Αγοράς Παραγώγων Ενέργειας.

Η θυγατρική εταιρεία EnExClear, η οποία ιδρύθηκε στις 02.11.2018, είναι υπεύθυνη για την εκκαθάριση και το διακανονισμό των συναλλαγών της Αγοράς Επόμενης Ημέρας και Ενδοημερήσιας Αγοράς καθώς και για την εκκαθάριση των θέσεων της Αγοράς Εξισορρόπησης.

Ο Όμιλος Χρηματιστηρίου Ενέργειας έχει επίσης αναλάβει την οργάνωση και λειτουργία των Ελληνικών Αγορών Φυσικού Αερίου και της Αγοράς Περιβαλλοντικών Προϊόντων.

### **2.1.3. Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ)**

Η ΑΔΜΗΕ Α.Ε. (Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας) [8] συστάθηκε με τον Ν. 4001/2011 και οργανώθηκε και λειτουργεί ως Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς κατά τις διατάξεις της Οδηγίας 2009/72/ΕΚ της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Η Εταιρεία ασκεί τις αρμοδιότητες και εκτελεί τα καθήκοντα του Κυρίου και Διαχειριστή του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΕΣΜΗΕ), σύμφωνα με τις



διατάξεις του Ν.4001/2011, τα προβλεπόμενα στον Κώδικα Διαχείρισης του Συστήματος και την άδεια διαχείρισης του ΕΣΜΗΕ.

Η συμμόρφωση του ΑΔΜΗΕ με τις απαιτήσεις που διέπουν το μοντέλο του Ανεξάρτητου Διαχειριστή Μεταφοράς πιστοποιήθηκε από τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) τον Δεκέμβριο του 2012.

Σκοπός της Εταιρείας είναι η λειτουργία, ο έλεγχος, η συντήρηση και η ανάπτυξη του ΕΣΜΗΕ, ώστε να διασφαλίζεται ο εφοδιασμός της χώρας με ηλεκτρική ενέργεια, με τρόπο επαρκή, ασφαλή, αποδοτικό και αξιόπιστο καθώς και η λειτουργία της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας που σχετίζεται με τις εκτός του Ημερησίου Ενεργειακού Προγραμματισμού (ΗΕΠ) συναλλαγές σύμφωνα με τις αρχές της διαφάνειας, της ισότητας και του ελεύθερου ανταγωνισμού.

Ο ΑΔΜΗΕ από 20 Ιουνίου 2017 ακολουθεί το μοντέλο του ιδιοκτησιακά διαχωρισμένου Διαχειριστή (Ownership Unbundling) και είναι εναρμονισμένος πλήρως με την Οδηγία 2009/72/ΕΚ.

#### **2.1.4. Διαχειριστής του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ)**

Ο Διαχειριστής του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ ΑΕ) [9] είναι ανώνυμη εταιρεία, θυγατρική της ΔΕΗ ΑΕ, η οποία είναι και ο μοναδικός (100%) ιδιοκτήτης της. Συστάθηκε με το Νόμο 4001/2011, ο οποίος ενσωμάτωσε στην Ελληνική νομοθεσία τις διατάξεις της Οδηγίας 2009/72/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 13ης Ιουλίου 2009 «Σχετικά με τους κοινούς κανόνες για την εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και για την κατάργηση της Οδηγίας 2003/45/ΕΚ και της Οδηγίας 2009/73/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 13ης Ιουλίου 2009». Η εν λόγω Οδηγία επιβάλλει το νομικό και λειτουργικό διαχωρισμό των δραστηριοτήτων της Μεταφοράς και Διανομής από τις καθετοποιημένες ηλεκτρικές επιχειρήσεις όπως η ΔΕΗ.

Με τον παραπάνω νόμο δίδονται στη ΔΕΔΔΗΕ ΑΕ δύο διακριτές αρμοδιότητες. Αυτές που αφορούν τη Διαχείριση του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΕΔΔΗΕ) και αυτές που αφορούν τη Διαχείριση των αγορών των Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών.

Η ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε. είναι υπεύθυνος για την ανάπτυξη, τη λειτουργία και συντήρηση, υπό οικονομικούς όρους του ΕΔΔΗΕ, σύμφωνα με την Άδεια Διαχείρισης, ώστε να διασφαλίζεται η αξιόπιστη, αποδοτική και ασφαλής λειτουργία του, λαμβάνοντας τη δέουσα μέριμνα για το περιβάλλον και την ενεργειακή αποδοτικότητα, καθώς και τη διασφάλιση, κατά τον πλέον οικονομικό, διαφανή, άμεσο και αμερόληπτο τρόπο, της πρόσβασης των Χρηστών (Καταναλωτών, Παραγωγών) και των Προμηθευτών στο ΕΔΔΗΕ, προκειμένου να ασκούν τις δραστηριότητες τους.

Η δραστηριότητα διαχείρισης δικτύων διανομής είναι φυσικό μονοπώλιο στο χώρο τον οποίο εκτελείται καθώς δεν υπάρχει ανταγωνισμός. Για τον λόγο αυτό οι δραστηριότητες αυτές επιβλέπονται και ρυθμίζονται από την ανεξάρτητη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ). Η ρύθμιση γίνεται μέσω της έγκρισης του επιτρεπόμενου εσόδου της δραστηριότητας, όπου τίθενται στόχοι για τη βελτίωση τόσο της εξυπηρέτησης των πελατών, όσο και της απόδοσης της λειτουργίας της επιχείρησης, δίνοντας κίνητρα για την επίτευξή τους.

#### **2.1.5. Διαχειριστής Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και Εγγυήσεων Προέλευσης (ΔΑΠΕΕΠ)**

Ο Διαχειριστής Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και Εγγυήσεων Προέλευσης (ΔΑΠΕΕΠ ΑΕ) [10] διαχειρίζεται τις ΑΠΕ και την Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (ΣΗΘΥΑ) του Εθνικού Διασυνδεδεμένου Συστήματος, καθώς και τις Εγγυήσεις Προέλευσης ηλεκτρικής ενέργειας που έχουν παραχθεί από ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ. Είναι ο εκπλειστηριαστής των δικαιωμάτων ρύπων στην Ελλάδα, ενώ παράλληλα λειτουργεί και ως Φορέας Σωρευτικής Εκπροσώπησης (ΦΟΣΕ) παραγωγών ΑΠΕ.

Με Π.Δ. το 2000, στο πλαίσιο της απελευθέρωσης της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, συστάθηκε η ΔΕΣΜΗΕ Α.Ε., ενώ το 2012 ο ΔΕΣΜΗΕ μετονομάστηκε σε ΛΑΓΗΕ και με

εισφορά κλάδων από ΔΕΣΜΗΕ και ΔΕΗ συστάθηκε ο ΑΔΜΗΕ. Στις 18.06.2018 ολοκληρώθηκε η εισφορά κλάδου του ΛΑΓΗΕ και η σύσταση της ανώνυμης εταιρείας Ελληνικό Χρηματιστήριο Ενέργειας (ΕΧΕ Α.Ε.), στην οποία το μετοχικό κεφάλαιο ο ΔΑΠΕΕΠ συμμετέχει με ποσοστό 22%.

Ο ΔΑΠΕΕΠ στο ρόλο του αντισυμβαλλόμενου με Επενδυτές/Παραγωγούς ΑΠΕ & ΣΗΘΥΑ συνάπτει συμβάσεις Λειτουργικής Ενίσχυσης ΛΕ (Σταθερής Τιμής ΣΕΣΤ ή Διαφορικής Προσαύξησης ΣΕΔΠ) κατά τα προβλεπόμενα στο Ν.4414/2016 και είναι Διαχειριστής του Μητρώου Σταθμών ΑΠΕ/ΣΗΘΥΑ και του Μητρώου Συμβάσεων τους. Επίσης συνάπτει, διαχειρίζεται και εκκαθαρίζει Συμπληρωματικές Συμβάσεις Συναλλαγών Η/Ε Κατανεμημένων Μονάδων ΣΗΘΥΑ και είναι Διαχειριστής του Μητρώου Φορέων Πιστοποίησης, Ελέγχου και Επιθεώρησης.

Όσον αφορά στον Κανονισμό REMIT, είναι ο «Εγγεγραμμένος Μηχανισμός Αναφοράς» (RRM), με υποχρέωση υποβολής στον Οργανισμό Συνεργασίας των Ρυθμιστικών Αρχών Ενέργειας (ACER) στοιχείων συναλλαγών για τις μονάδες ΑΠΕ/ΣΗΘΥΑ.

Ως Διαχειριστής Εγγυήσεων Προέλευσης (ΕΠ) και της Αποκάλυψης του Μείγματος Προμηθευτών: είναι Φορέας Έκδοσης ΕΠ Η.Ε από ΑΠΕ/ΣΗΘΥΑ για το Διασυνδεδεμένο Σύστημα, είναι υπεύθυνος για το ενιαίο Πληροφοριακό Σύστημα, υπολογίζει το υπολειπόμενο μείγμα καυσίμων της χώρας όπως, επίσης, υπολογίζει και κοινοποιεί σε κάθε Προμηθευτή Η.Ε τη συνεισφορά κάθε ενεργειακής πηγής στο μείγμα καυσίμου του.

Ο ΔΑΠΕΕΠ είναι ο υπεύθυνος φορέας για την εκπροσώπηση των ΑΠΕ/ΣΗΘΥΑ χωρίς υποχρέωση απευθείας συμμετοχής στην αγορά Η.Ε και υποβάλλει Προσφορές Έγχυσης για την ποσότητα ενέργειας που προβλέπεται ότι θα εγχυθεί στο Σύστημα και το Δίκτυο από α) Φ/Β Στεγών, β) Μονάδες ΑΠΕ/ΣΗΘΥΑ βάσει των Συμβάσεων FiT και γ) Μονάδες ΑΠΕ/ΣΗΘΥΑ βάσει των Συμβάσεων ΛΕ Σταθερής Τιμής.

Έχει ορισθεί Φορέας Σωρευτικής Εκπροσώπησης Τελευταίου Καταφυγίου (ΦΟΣΕΤΕΚ) και εκπροσωπεί μονάδες ΑΠΕ/ΣΗΘΥΑ με υποχρέωση συμμετοχής στην αγορά Η.Ε. (ΣΕΔΠ ή ληγμένες FiT) οι οποίες αδυνατούν προσωρινά να εκπροσωπηθούν από Aggregators. Σε

κάθε περίπτωση ο ΦΟΣΕΤΕΚ δεν αποσκοπεί να λειτουργήσει ανταγωνιστικά προς τους ΦΟΣΕ που θα αναπτυχθούν, καθώς οι χρεώσεις που θα επιβάλλει καθορίζονται κανονιστικά (ΥΑ). Ο ρόλος έχει ανατεθεί στο ΔΑΠΕΕΠ έως την 31.12.2022, όπου μέχρι την έναρξη λειτουργίας των Αγορών του Target Model καλύπτει την υποχρέωση συμμετοχής στον ΗΕΠ, ενώ στη συνέχεια καλύπτει την υποχρέωση συμμετοχής στην Αγορά Επόμενης Ημέρας, στην Ενδοημερήσια και στην Αγορά Εξισορρόπησης.

Ο ΔΑΠΕΕΠ είναι ο Διαχειριστής του ΕΛΑΠΕ ως αντισυμβαλλόμενος των παραγωγών ΑΠΕ/ΣΗΘΥΑ αλλά και ως Διαχειριστής των εσόδων του Λογαριασμού, είναι Εκπλειστηριαστής (Auctioneer) του Ελληνικού Κράτους για τα δικαιώματα εκπομπής αερίων Θερμοκηπίου (CO<sub>2</sub>) και Διαχειριστής του Μηχανισμού Αντιστάθμισης (Carbon Leakage). Ο ΔΑΠΕΕΠ επίσης έχει ορισθεί ως ο φορέας υλοποίησης και διαχείρισης πληροφοριακού συστήματος για την υπαγωγή των δικαιούχων σε κατηγορία μειωμένων χρεώσεων στο «Νέο Σχήμα ETMEAP».

## **2.2. Προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας, ο ρόλος τους και οι υποχρεώσεις τους στην χονδρεμπορική αγορά ενέργειας**

Οι προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας στα πλαίσια της χονδρεμπορικής αγοράς ενέργειας μπορούν να συμμετέχουν στα πλαίσια του ΗΕΠ [11] και να υποβάλλουν:

- Δηλώσεις Φορτίου για Πελάτες οι οποίοι καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια εντός της Ελληνικής Επικράτειας, ως Εκπρόσωποι Φορτίου (υποχρεωτική υποβολή Δηλώσεων, όπως και για τους Αυτοπρομηθευόμενους Πελάτες)
- Δηλώσεις Φορτίου για Εξαγωγές ηλεκτρικής ενέργειας
- Δηλώσεις Φορτίου εκ μέρους των κατόχων άδειας παραγωγής για τις δυο περιπτώσεις που σημειώθηκαν παραπάνω
- Προσφορές Έγχυσης για Εισαγωγές Ηλεκτρικής ενέργειας

Δηλώσεις Φορτίου υποβάλλουν κατά κύριο λόγο οι Προμηθευτές [12] (κάτοχοι άδειας προμήθειας), οι Αυτοπρομηθευόμενοι Πελάτες, αλλά κι οι Παραγωγοί κι ο Διαχειριστής του

Συστήματος ενδεχομένως σε συγκεκριμένες περιπτώσεις. Όσοι υποβάλλουν στο πλαίσιο του ΗΕΠ Δηλώσεις Φορτίου σύμφωνα με τον τρόπο και τη διαδικασία που καθορίζεται από τις διατάξεις του Κώδικα ορίζονται ως Εκπρόσωποι Φορτίου». Σε κάθε περίπτωση, κατά τη συμμετοχή τους στον ΗΕΠ, οι Εκπρόσωποι Φορτίου οφείλουν να αποδεικνύουν συμμόρφωση με την Υποχρέωση Επάρκειας Ισχύος (σε αντίθετη περίπτωση όμως, δεν θίγεται το κύρος της Δήλωσης Φορτίου).

Η Δήλωση Φορτίου που αφορά μία Ημέρα Κατανομής υποβάλλεται το νωρίτερο 48 ώρες πριν και το αργότερο μέχρι τη Λήξη της Προθεσμίας Υποβολής για τη συγκεκριμένη Ημέρα Κατανομής, κι εντός του ίδιου χρονικού διαστήματος επιτρέπεται να αντικαθίσταται η αρχική Δήλωση Φορτίου έως 5 φορές. Η υποβολή ΔΦ είναι δεσμευτική για τον Εκπρόσωπο Φορτίου, ενώ σε περίπτωση εκπρόθεσμης υποβολής ή μη έγκυρης υποβολής ΔΦ, επισύρονται οι κυρώσεις παρακάτω.

Η αποδοχή των νομίμως υποβληθέντων ΔΦ γίνεται από το Διαχειριστή του Συστήματος εντός προθεσμίας μίας ώρας από την υποβολή τους και το αργότερο μέχρι 30 λεπτά από τη Λήξη της Προθεσμίας Υποβολής, κι οι Δηλώσεις Φορτίου αυτές μέχρι τη Λήξη της Προθεσμίας Υποβολής λαμβάνονται υπόψιν από το Διαχειριστή για την κατάρτιση του Προγράμματος ΗΕΠ.

Ο Συμμετέχων στο Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας που υποβάλλει Δήλωση Φορτίου η οποία μερικά ή ολικά εντάσσεται στο Πρόγραμμα ΗΕΠ υποχρεούται να καταβάλει, για κάθε Περίοδο Κατανομής, το ποσό σε Ευρώ που προκύπτει από την τιμολόγηση στην Οριακή Τιμή του Συστήματος της ποσότητας ενέργειας σε MWh η οποία εντάσσεται στο Πρόγραμμα ΗΕΠ για απορρόφηση και αντιστοιχεί σε Δηλώσεις Φορτίου που υποβάλλει ο ίδιος.

Αντίστοιχα, το συνολικό ποσό προς πληρωμή από Συμμετέχοντα για μία Ημέρα Κατανομής υπολογίζεται ως το άθροισμα των πληρωμών για τον ίδιο Συμμετέχοντα για όλες τις Περιόδους Κατανομής της υπόψη Ημέρας Κατανομής, και για όλες τις Δηλώσεις Φορτίου του Συμμετέχοντα αυτού οι οποίες εντάσσεται στο Πρόγραμμα ΗΕΠ.

### 2.3. Πρόβλεψη φορτίου από τους προμηθευτές ενέργειας

Στο σημείο αυτό πρέπει να επισημάνουμε ότι για έναν Προμηθευτή έχει κομβική σημασία η Δήλωση Φορτίου που υποβάλλει, και φυσικά αναφερόμαστε κύρια στο ποσό ενέργειας (σε MWh) το οποίο θα περιλαμβάνεται στη Δήλωση, ποσότητα ενέργειας την οποία ο Προμηθευτής θα αγοράσει από την Ημερήσια Αγορά ηλεκτρικής ενέργειας (μέσω του Διαχειριστή του Συστήματος) για να προμηθεύσει στους πελάτες του. Και φυσικά αυτό που πρέπει να έχει τη μεγαλύτερη βαρύτητα για τον Προμηθευτή είναι, όπως είναι εύλογο, η ποσότητα ενέργειας που θα αγοράσει (για να μεταπωλήσει/προμηθεύσει) την προηγούμενη της Ημέρας Κατανομής, να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στην ποσότητα που τελικά θα καταναλωθεί από τους πελάτες, τους οποίους αυτός τροφοδοτεί, την υπόψιν Ημέρα Κατανομής.

Δηλαδή ο στόχος είναι να υπάρξει μια όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστική κι αξιόπιστη Πρόβλεψη Φορτίου, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί τελικά η απόκλιση μεταξύ της ενέργειας που αγοράζει την προηγούμενη ημέρα και προπληρώνει ο Προμηθευτής, και της ενέργειας που τελικά καταμετράται στους Μετρητές που εκπροσωπεί ο εν λόγω Προμηθευτής. Διότι σε κάθε άλλη περίπτωση – είτε υποεκτίμησης είτε υπερεκτίμησης της ενέργειας που εξασφαλίζει ο Προμηθευτής για τους πελάτες του – οι οικονομικές συναλλαγές είναι πολύ πιθανό να αποβούν επιζήμιες για τον Προμηθευτή, και ως εκ τούτου να εμφανίσει «ζημία» στον οικονομικό του ισολογισμό, καλούμενος να αντιμετωπίσει χρηματικές ποινές ή και άλλου είδους κυρώσεις. Πάντως είναι σημαντικό κι απαραίτητο ο κάθε Προμηθευτής να μπορεί να έχει στη διάθεσή του μια όσο το δυνατόν καλύτερη εκτίμηση για το Φορτίο που θα απορροφηθεί από τους Πελάτες του, και βάση αυτής να καταστρώνει τη στρατηγική του. Έτσι, μπορεί να χρησιμοποιεί διάφορα μοντέλα πρόβλεψης φορτίου που να εξυπηρετούν αυτό το σκοπό.

### 3. Μεθοδολογίες εκτίμησης φορτίου

Για την ανάπτυξη κατάλληλων μεθόδων πρόβλεψης φορτίου κρίνεται αναγκαία η κατηγοριοποίηση των προβλέψεων με βάση τον χρονικό ορίζοντά τους.

Λαμβάνοντας υπόψη τον χρονικό ορίζοντα πρόβλεψης φορτίου διακρίνουμε τις ακόλουθες κατηγορίες:

- Πολύ βραχυπρόθεσμη
- Βραχυπρόθεσμη
- Μεσοπρόθεσμη
- Μακροπρόθεσμη

Η παρούσα μελέτη περιορίζεται στη βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη, η οποία συμβάλλει ουσιαστικά στην ενεργειακή διαχείριση του συστήματος. Πιο συγκεκριμένα, θα ασχοληθούμε με την πρόβλεψη ωριαίων τιμών ζήτησης φορτίου στη διάρκεια μίας ημέρας.

#### 3.1. Παράγοντες που επηρεάζουν τη Ζήτηση Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η μορφή της ζήτησης του φορτίου επηρεάζεται από ένα πλήθος παραγόντων. Οι παράγοντες αυτοί είναι οικονομικοί, εποχικοί, μετεωρολογικοί και τυχαίοι. Πιο αναλυτικά:

##### **Οικονομικοί παράγοντες:**

Οι οικονομικοί παράγοντες σχετίζονται με την οικονομική κατάσταση μιας περιοχής και με την ύπαρξη θετικού ή αρνητικού ρυθμού ανάπτυξής της. Η αλλαγή βιοτικού επιπέδου των καταναλωτών επιδρά καθοριστικά στη διαμόρφωση της ζήτησης φορτίου ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ οι αλλαγές στη σύνθεση και στο πλήθος των καταναλωτών, οι τεχνολογικές

εξελίξεις και η ανάπτυξη μιας περιοχής οδηγούν σε αντίστοιχες μεταβολές του ζητούμενου φορτίου ενέργειας.

#### **Μετεωρολογικοί παράγοντες:**

Η συμβολή των μετεωρολογικών παραγόντων στη διαμόρφωση του φορτίου ηλεκτρικής ενέργειας είναι σημαντική. Η εναλλαγή των εποχών που συνοδεύεται από την αλλαγή της θερμοκρασίας, η υγρασία, οι βροχοπτώσεις, η ηλιοφάνεια και οι άνεμοι είναι μερικοί από αυτούς τους παράγοντες. Ένα παράδειγμα επιρροής της μεταβολής της ζήτησης από μετεωρολογικό παράγοντα είναι το εξής. Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, όταν η θερμοκρασία ανεβαίνει σε υψηλά επίπεδα, παρατηρείται ότι αυξάνεται η χρήση μέσων ψύξης, ενώ κατά τους χειμερινούς μήνες αυξάνεται η χρήση μέσων θέρμανσης λόγω του κρύου.

#### **Εποχικοί παράγοντες:**

Οι εναλλαγές των εποχών μέσα στο έτος, οι ειδικές μέρες που μεταβάλλονται ανάλογα με τον τόπο και οι μεταβολές των ανθρώπινων δραστηριοτήτων συγκαταλέγονται στους εποχικούς παράγοντες. Για παράδειγμα, η διάρκεια της ημέρας επηρεάζει το επίπεδο ζήτησης του φορτίου, αν σκεφτούμε ότι τον χειμώνα οι ώρες της ημέρας μειώνονται, ενώ το καλοκαίρι αυξάνονται. Σχετικά με τις ανθρώπινες δραστηριότητες, σπουδαίο ρόλο παίζει η περιοχή, καθώς τους καλοκαιρινούς μήνες η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας μειώνεται στα αστικά κέντρα και αυξάνεται σε παραθαλάσσιες περιοχές. Τέλος, οι ειδικές μέρες (π.χ. Πάσχα, Χριστούγεννα) οδηγούν σε απότομες μεταβολές της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας.

#### **Τυχαίοι παράγοντες:**

Οι τυχαίοι παράγοντες αφορούν τυχαία γεγονότα που μπορούν να μεταβάλλουν τη ζήτηση του φορτίου (π.χ. εκλογές, εθνικές εορτές, απεργίες).



### 3.2 Χρονοσειρές – κλασικές μεθοδολογίες ανάλυσης

Οι χρονοσειρές είναι σύνολα διαδοχικών παρατηρήσεων της τιμής ενός μεγέθους. Η απόκτηση και η ανάλυσή τους αποτελούν σημαντικό μέρος της διαδικασίας της πρόβλεψης. Η παρατήρησή τους μας παρέχει πληροφορίες για την πορεία ενός μεγέθους μέσα στον χρόνο, ενώ παράλληλα προβάλλονται τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους, όπως η τυχαιότητα, η κυκλικότητα και η εποχικότητα. Τέλος, το έργο των διαχειριστών γίνεται ευκολότερο, καθώς είναι δυνατός ο εντοπισμός των ακραίων τιμών των χρονοσειρών (εκλιπούσες ή μηδενικές τιμές). Έτσι, οι ακραίες τιμές είναι εφικτό να διορθωθούν.

Για να εφαρμόσει κανείς τα μοντέλα πρόβλεψης επί μιας χρονοσειράς θα πρέπει να απομονώσει μία ή και περισσότερες από τις συνιστώσες της, πράγμα που μπορεί να επιτευχθεί με την εφαρμογή μεθόδων αποσύνθεσης. Επίσης, θα πρέπει να αναφέρουμε ότι η πολλαπλασιαστική και η προσθετική είναι οι πιο απλές διατυπώσεις αποσύνθεσης, με την πρώτη να αποτελεί το συχνότερο μοντέλο.

Όταν οι συνιστώσες της τυχαιότητας και της εποχικότητας απομονώνονται από τη χρονοσειρά, τότε προκύπτει η σειρά τάσης-κύκλου. Έπειτα, τα μοντέλα πρόβλεψης εφαρμόζονται στη σειρά τάσης-κύκλου και τα αποτελέσματα των μοντέλων πρόβλεψης εποχικοποιούνται ξανά με σκοπό να ληφθούν οι τελικές τιμές.

Η εξομάλυνση και η αποσύνθεση αποτελούν τις δυο βασικές μεθόδους παραγωγής της σειράς τάσης-κύκλου. Κατά τη διαδικασία της εξομάλυνσης, είναι δυνατό να υπολογιστούν οι δείκτες εποχικότητας των δεδομένων που χρησιμοποιούνται. Επιπλέον, μπορεί να παραχθεί η αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά έπειτα από τη διαίρεση των αρχικών δεδομένων με τους δείκτες αυτούς. Τέλος, ύστερα από την εφαρμογή των μοντέλων, οι ωριαίες προβλέψεις πρέπει να πολλαπλασιαστούν με τους αντίστοιχους δείκτες εποχικότητας, για να υπάρξει μεγαλύτερη ακρίβεια στο τελικό αποτέλεσμα.

Οι διακυμάνσεις των τιμών των δεδομένων της χρονοσειράς είναι ένα επιπλέον χαρακτηριστικό της. Οι διακυμάνσεις αυτές είναι αποτέλεσμα των ειδικών γεγονότων που συμβαίνουν κατά το χρονικό διάστημα που γίνεται η καταγραφή των δεδομένων. Η επίδραση των ειδικών γεγονότων αποτυπώνεται στη χρονοσειρά είτε λόγω περιόδων με

ασυνήθιστες τιμές είτε εξαιτίας της μεταβολής του επιπέδου προς την αρνητική ή τη θετική κατεύθυνση. Για παράδειγμα, όταν διεξάγονται οι Ολυμπιακοί αγώνες σε μια χώρα, επηρεάζεται κατά πολύ η ζήτηση ενέργειας σ' αυτήν. Επομένως, για να έχουμε ακριβείς προβλέψεις είναι απαραίτητο να αφαιρούνται οι επιδράσεις των ειδικών γεγονότων από τα in-sample δεδομένα με εξομάλυνση των τιμών.

Η επισκόπηση της χρονοσειράς ενός μεγέθους θεωρείται απαραίτητο να πραγματοποιείται πριν από την παραγωγή προβλέψεων. Κάτι τέτοιο μπορεί να επιτευχθεί με στατιστική ανάλυση της χρονοσειράς. Πιο αναλυτικά, εξετάζονται: η μέση τιμή, οι ακραίες τιμές, η διακύμανση και η τυπική απόκλιση, δηλαδή οι τιμές βασικών στατιστικών δεικτών. Έτσι, η επιλογή μοντέλου πρόβλεψης γίνεται με μεγαλύτερη ασφάλεια και σιγουριά.

Συνοψίζοντας, τα χαρακτηριστικά των χρονοσειρών ζήτησης φορτίου ηλεκτρικής ενέργειας είναι τα ακόλουθα:

- Η έντονη εποχικότητα όχι μόνο ενός είδους, λόγω του ότι οι χρονοσειρές παρουσιάζουν ημερήσια και εβδομαδιαία εποχικότητα
- Η διακύμανση των τιμών των χρονοσειρών (η μέση τιμή τους δεν είναι σταθερή)
- Η μεταβολές του ζητούμενου φορτίου με συνδυασμό με την εμφάνιση ειδικών ημερών
- Η επίδραση των καιρικών συνθηκών στη διαμόρφωση του ζητούμενου φορτίου (με βασικότερη τη θερμοκρασία)

### 3.3 Στατιστικά Μοντέλα Πρόβλεψης

Τα κυριότερα στατιστικά μοντέλα πρόβλεψης είναι τα ακόλουθα:

- **Απλοϊκή μέθοδος Naive:** Η απλοϊκή μέθοδος είναι η πιο απλή στατιστική μέθοδος και χρησιμοποιείται σαν ορόσημο σύγκρισης με τις υπόλοιπες στατιστικές

μεθόδους. Η πρόβλεψη της τιμής του υπό μελέτη μεγέθους, είναι η τιμή του μεγέθους της αμέσως προηγούμενης χρονικής περιόδου.

- **Μέθοδοι εκθετικής εξομάλυνσης:** Οι μέθοδοι εκθετικής εξομάλυνσης δίνουν μεγάλη βαρύτητα στα πιο πρόσφατα δεδομένα. Εύκολες στη χρήση και την εφαρμογή τους και με πολύ γρήγορα και ακριβή αποτελέσματα. Κυριότερες μέθοδοι εκθετικής εξομάλυνσης αποτελούν οι:
  - ✓ Απλή εκθετική εξομάλυνση σταθερού επιπέδου (*Seasonal Exponential Smoothing*)
  - ✓ Εκθετική εξομάλυνση γραμμικής τάσης (*Holt Exponential Smoothing*)
  - ✓ Εκθετική εξομάλυνση μη γραμμικής τάσης
- **Μοντέλα παλινδρόμησης:** Τα μοντέλα παλινδρόμησης ανάλογα με το πλήθος των ανεξάρτητων μεταβλητών τους διακρίνονται σε:
  - ✓ Μοντέλα απλής παλινδρόμησης
  - ✓ Μοντέλα πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης

Στα μοντέλα παλινδρόμησης συσχετίζονται οι εξαρτημένες μεταβλητές με τις ανεξάρτητες. Αναλύεται η αλληλεπίδραση της μεταβολής μίας ανεξάρτητης μεταβλητής στην εξαρτημένη μεταβλητή, ενώ το σύνολο των υπόλοιπων ανεξάρτητων μεταβλητών διατηρείται σταθερό. Εξετάζεται επίσης και η διακύμανση των τιμών που λαμβάνει η εξαρτημένη μεταβλητή γύρω από την εξίσωση παλινδρόμησης, η οποία μπορεί να περιγραφεί μέσω πιθανοτικής κατανομής.

- **Μοντέλα ARIMA:** Τα ολοκληρωμένα αυτοπαλινδρομικά μοντέλα κινητών μέσων όρων (Auto-Regressive Integrated Moving Average, ARIMA) είναι στοχαστικά μαθηματικά μοντέλα, τα οποία δίνουν μια καλή εικόνα της διαχρονικής εξέλιξης της χρονοσειράς, παράγοντας ικανοποιητικές προβλέψεις των μελλοντικών τιμών του υπό μελέτη μεγέθους. Η διαχρονική περιγραφή ενός φυσικού μεγέθους είναι συχνά

πολύ δύσκολη μέσω ντετερμινιστικού μοντέλου και ακόμη η εξάρτηση του φυσικού μεγέθους από μη ντετερμινιστικούς παράγοντες οδηγούν στην περιγραφή της διαχρονικής εξέλιξης του μεγέθους μέσω στοχαστικού μοντέλου.

### 3.4 Τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (Artificial Neural Networks)

Ως τεχνητά νευρωνικά δίκτυα ορίζουμε τα υπολογιστικά ή μαθηματικά μοντέλα, τα οποία βασίζονται στη δομή και τις αρχές λειτουργίας των βιολογικών νευρώνων. Τα δίκτυα αυτά επεξεργάζονται πληροφορίες με τη χρήση μιας συνδετικής προσέγγισης υπολογισμού και αποτελούνται από ομάδες τεχνητών νευρώνων που είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους. Ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο μεταβάλλει τη δομή του, κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσής του, με βάση τις εξωτερικές και τις εσωτερικές πληροφορίες που μπαίνουν στο σύστημα. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως το ANN παρουσιάζει δυο κοινά χαρακτηριστικά με τον ανθρώπινο εγκέφαλο. Αυτά είναι η δύναμη των συνδέσεων ανάμεσα στους νευρώνες που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση της γνώσης και ο τρόπος με τον οποίο το δίκτυο λαμβάνει γνώση από το περιβάλλον μέσω μιας διαδικασίας μάθησης.

Ο τρόπος με τον οποίο λειτουργούν τα νευρωνικά δίκτυα μοιάζει με παράλληλο και όχι σειριακό. Αυτό συμβαίνει, διότι μια εργασία διανέμεται στους επιμέρους νευρώνες του δικτύου. Τα ANN λοιπόν χαρακτηρίζονται ως συστήματα παράλληλων κατανεμημένων διεργασιών εξαιτίας της αρχιτεκτονικής των δικτύων, η οποία ωστόσο διαφέρει από την αρχιτεκτονική των παράλληλων επεξεργασιών. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να επισημανθεί ότι οι παράλληλοι επεξεργαστές ακολουθούν την πολυπλοκότητα των μηχανών von Neumann και διαθέτουν περισσότερους επεξεργαστές από τις διασυνδέσεις μεταξύ τους. Απ' την άλλη πλευρά, οι απλοί επεξεργαστές διαθέτουν μεγαλύτερο αριθμό διασυνδέσεων συγκριτικά με τους νευρώνες. Επιπλέον, στα ANN οι νευρώνες λειτουργούν ανεξάρτητα ο ένας απ' τον άλλον και δεν χρειάζονται συγχρονισμό.

Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα εμφανίζουν χαρακτηριστικά που απουσιάζουν από αρχιτεκτονικές των υπολογιστών τύπου von Neumann, εξαιτίας της μοντελοποίησής τους με βάση τον ανθρώπινο εγκέφαλο.

Τα τεχνικά νευρωνικά δίκτυα ξεκίνησαν από την αρχή της χιλιετίας να βρίσκουν εφαρμογή στη βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου. Η αρχική δομή των μοντέλων περιελάμβανε αλγόριθμους εκπαίδευσης σε παρελθοντικό χρόνο σε τρία επίπεδα, εβδομάδας, ημέρας και ώρας. Τα δεδομένα του εβδομαδιαίου επιπέδου απαρτιζόνταν από τα ωριαία φορτία και τις αντίστοιχες θερμοκρασίες της ίδιας μέρας της τελευταίας εβδομάδας, όπως και τις θερμοκρασίες της προβλεπόμενης μέρας. Το ημερήσιο επίπεδο είχε ως δεδομένα τα ωριαία φορτία και τις αντίστοιχες θερμοκρασίες της προηγούμενης μέρας και τις θερμοκρασίες της μέρας, ενώ το ωριαίο επίπεδο είχε το φορτίο, τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία της ώρας των τελευταίων τριών περασμένων ημερών, την πρόβλεψη της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας για τη συγκεκριμένη μέρα και για τον τύπο της μέρας. Ως έξοδο τα μοντέλα αυτά είχαν την 24ωρη χρονοσειρά πρόβλεψης του φορτίου της υπό εξέταση ημέρας σε δύο μορφές, με και χωρίς κανονικοποίηση. Το μέσο απόλυτο σφάλμα ήταν της τάξης των 2% - 4%.

Στο πέρας των χρόνων τα μοντέλα τεχνικών νευρωνικών δικτύων που επικράτησαν για τη βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου ήταν αυτά τα οποία προσδιόριζαν το φορτίο βάσης και την αλλαγή του φορτίου βάσης στην πορεία της τρέχουσας ημέρας. Οι δύο αυτές έξοδοι των μοντέλων συνδυάζονταν μεταξύ τους με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων με χρήση βαρών δίνοντας μεγαλύτερη σπουδαιότητα στα σφάλματα των πιο πρόσφατων φορτίων. Επίσης υπήρχε πρόβλεψη για τις ειδικές ημέρες και τις αργίες μέσω του αλγόριθμου 'Reza'.

### **3.5 Αξιολόγηση της ακρίβειας των προβλέψεων - τύποι σφαλμάτων**

Η εύρεση των σφαλμάτων που προκύπτουν απ' τις μεθόδους πρόβλεψης και η αξιολόγησή τους αποτελούν βασικό στάδιο για μια επιτυχημένη πρόβλεψη. Οι στατιστικοί δείκτες ακρίβειας προβλέψεων είναι απαραίτητο εργαλείο για την παραγωγή προβλέψεων και για την αξιολόγηση της ακρίβειας των μεθόδων. [5]

Ως σφάλμα της πρόβλεψης ορίζεται η διαφορά μεταξύ της πραγματικής και της προβλεπόμενης τιμής για μία περίοδο:

$$e_t = Y_t - F_t \quad (3.1)$$

Κατά την πρόβλεψη των τιμών ενός μεγέθους είναι δυνατόν να γίνει υπολογισμός δύο ειδών σφαλμάτων. Πριν να γίνει η καταγραφή των πραγματικών τιμών του μεγέθους για την περίοδο στην οποία αναφέρεται η πρόβλεψη, μόνο το σφάλμα του μοντέλου πρόβλεψης (in-sample error) είναι εφικτό να υπολογιστεί. Ωστόσο, ύστερα από κάποια χρονική περίοδο που είναι διαθέσιμα τα πραγματικά δεδομένα, μπορεί να υπολογιστεί τόσο το πραγματικό σφάλμα, όσο και το σφάλμα του μοντέλου πρόβλεψης (out-of-sample error). Το πραγματικό σφάλμα χρησιμοποιείται για την ακρίβεια της μεθόδου πρόβλεψης στην τελική της μορφή και επισημαίνει την ανάγκη για τροποποίηση ή όχι του μοντέλου για βελτίωση των σφαλμάτων. Τέλος, το σφάλμα του μοντέλου πρόβλεψης χρησιμεύει στην επιλογή των παραμέτρων των μοντέλων πρόβλεψης.

Παρακάτω ακολουθεί η ανάλυση των στατιστικών δεικτών σφάλματος:

### 3.5.1. Το μέσο σφάλμα (Mean Error)

Το μέσο σφάλμα (Mean Error) εκφράζει ένα μέτρο της συστηματικότητας του σφάλματος και είναι δυνατόν να υπολογιστεί με χρήση της ακόλουθης σχέσης. Αναλυτικότερα, όσο μικρότερη τιμή λαμβάνει τόσο περισσότερο τα σφάλματα χαρακτηρίζονται από τυχαιότητα. Επιπλέον, όσο η τιμή του σφάλματος απομακρύνεται από το μηδέν δημιουργείται μια τάση για αισιοδοξία των προβλέψεων για αρνητικές θετικές τιμές του σφάλματος και μια τάση για απαισιοδοξία για θετικές τιμές.

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - F_i) \quad (3.2)$$

### 3.5.2. Το μέσο απόλυτο σφάλμα (Mean Absolute Error)

Το μέσο απόλυτο σφάλμα (Mean Absolute Error) φανερώνει την ακρίβεια της μεθόδου. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του μέσου απόλυτου σφάλματος, τόσο μικρότερη είναι η ακρίβεια του μοντέλου πρόβλεψης. Ωστόσο, επειδή δεν είναι εφικτή η λήψη συγκεκριμένων πληροφοριών ο δείκτης αυτός δεν είναι πάντα κατάλληλος για χρονοσειρές ίδιας διασποράς και διαφορετικού ύψους.

$$\text{MAE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i - F_i| \quad (3.3)$$

### 3.5.3. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (Mean Squared Error)

Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (Mean Squared Error) χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των βέλτιστων παραμέτρων εξομάλυνσης και αποτελεί ένα μέτρο σύγκρισης της ακρίβειας πρόβλεψης των διαφόρων μοντέλων που χρησιμοποιούνται. Στα μεγάλα σφάλματα δίνεται μεγάλη βαρύτητα, εξαιτίας του τετραγωνισμού των σφαλμάτων. Αντίθετα, τα μικρά σφάλματα δεν επηρεάζουν τόσο έντονα το σφάλμα. Παρακάτω βλέπουμε τον τύπο υπολογισμού του:

$$\text{MSE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - F_i)^2 \quad (3.4)$$

### 3.5.4. Η ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (Root Mean Squared Error)

Επειδή το μέσο τετραγωνικό σφάλμα εκφράζεται στις μονάδες τις αρχικής χρονοσειράς υψωμένες στο τετράγωνο, υπολογίζεται η τετραγωνική ρίζα αυτού, ώστε να είναι το σφάλμα εκφρασμένο στις μονάδες της αρχικής χρονοσειράς. Τα χαρακτηριστικά της ρίζας του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (Root Mean Squared Error) παραμένουν ως και του μέσου τετραγωνικού σφάλματος.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\text{MSE}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - F_i)^2} \quad (3.5)$$

Ένα απ' τα χαρακτηριστικά των δεικτών ακρίβειας μιας μεθόδου πρόβλεψης που προαναφέρθηκαν είναι ότι εκφράζονται στις μονάδες της χρονοσειράς. Αυτό όμως θεωρείται μειονέκτημα, καθώς δυσκολεύει τη σύγκριση των διαφορετικών μεθόδων πρόβλεψης. Έτσι, χρησιμοποιούνται σφάλματα σε ποσοστιαία μορφή, όπως παρουσιάζονται παρακάτω:

### 3.5.5. Το μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα (Mean Absolute Percentage Error)

Το μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα (Mean Absolute Percentage Error) είναι από τα δύο κύρια σφάλματα που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της ακρίβειας των μοντέλων

πρόβλεψης και λαμβάνει μη αρνητικές τιμές. Ο δείκτης προτιμάται εξαιτίας της απλότητάς του σε περιπτώσεις μεγάλων θετικών τιμών των δεδομένων της χρονοσειράς. Επίσης, όταν εφαρμόζεται σε περισσότερες από μία χρονοσειρές χρησιμεύει στην αξιολόγηση της ακρίβειας μιας μεθόδου πρόβλεψης. Ωστόσο, σε χρονοσειρές διακοπτόμενης ζήτησης καταλήγει σε απροσδιοριστία και γι' αυτό εμφανίζει αδυναμία εφαρμογής.

$$\text{MAPE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Y_i - F_i|}{|Y_i|} * 100\% \quad (3.6)$$

### 3.5.6. Το συμμετρικό μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα (Symmetric Mean Absolute Percentage Error)

Το συμμετρικό μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα (Symmetric Mean Absolute Percentage Error) χρησιμοποιείται στην ανάλυση της ακρίβειας προβλέψεων κυρίως μαζί με το μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα. Επίσης, ο δείκτης δεν εμφανίζει απροσδιοριστία κατά την εφαρμογή του σε χρονοσειρές διακοπτόμενης ζήτησης. Στις περιπτώσεις έντονων διαφορών ανάμεσα στην απόλυτη ποσοστιαία τιμή σφάλματος ο δείκτης αποφεύγει τα μεγάλα σφάλματα. Το αρνητικό του χαρακτηριστικό είναι ότι δεν είναι τόσο συμμετρικός όσο παρουσιάζεται, καθώς οι αισιόδοξες προβλέψεις δεν αντιμετωπίζονται με αντίστοιχο τρόπο όπως οι απαισιόδοξες.

$$\text{sMAPE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Y_i - F_i|}{\left| \frac{Y_i + F_i}{2} \right|} * 100\% \quad (3.7)$$

### 3.5.7. Η διάμεσος του απόλυτου ποσοστιαίου σφάλματος (Median Absolute Percentage Error)

Ένα ακόμη ποσοστιαίο σφάλμα που χρησιμοποιείται είναι η διάμεσος του απόλυτου ποσοστιαίου σφάλματος (Median Absolute Percentage Error). Είναι πιο σταθερό σφάλμα απέναντι σε ανωμαλίες των τιμών της χρονοσειράς και γι' αυτό προτιμάται έναντι του MAPE. Τα σφάλματα MAPE και MdAPE έχουν το μειονέκτημα πως δεν ορίζονται για την περίπτωση μηδενικής τιμής για οποιαδήποτε χρονική περίοδο που μελετάται για την περίπτωση τιμών κοντά στο μηδέν. Τέλος, οι τιμές του MAPE είναι μεγαλύτερες από τις



αντίστοιχες τιμές του σφάλματος MdAPE (κατά την ύπαρξη πραγματικών τιμών κοντά στο μηδέν), εξαιτίας της ασύμμετρης κατανομής των τιμών του.

$$\text{MdAPE} = \text{median}(\text{APE}) = \text{median} \left( \sum_{i=1}^n \frac{|Y_i - F_i|}{|Y_i|} * 100\% \right) \quad (3.8)$$

### 3.5.8. Η διάμεσος του συμμετρικού απόλυτου ποσοστιαίου σφάλματος (Symmetric Median Absolute Percentage Error)

Για τη μείωση των προβλημάτων που προκύπτουν από πολύ μικρές τιμές των δεδομένων της χρονοσειράς χρησιμοποιείται η διάμεσος του συμμετρικού απόλυτου ποσοστιαίου σφάλματος (Symmetric Median Absolute Percentage Error). Το συμμετρικό MAPE και MdAPE δεν είναι τόσο συμμετρικό όσο φανερώνει η ονομασία του. Αυτό δίνει μικρότερη βαρύτητα στα αρνητικά σφάλματα σε αντίθεση με τα θετικά.

$$\text{sMdAPE} = \text{median} \left( \sum_{i=1}^n \frac{|Y_i - F_i|}{\left| \frac{Y_i + F_i}{2} \right|} * 100\% \right) \quad (3.9)$$

### 3.5.9. Το μέσο απόλυτο κανονικοποιημένο σφάλμα (Mean Absolute Scaled Error)

Η κατηγορία των σχετικών σφαλμάτων υπολογίζεται συγκριτικά με τη μέθοδο που επιλέγεται ως βασική. Έτσι, διευκολύνεται η βέλτιστη αντίληψη της πορείας των προβλέψεων σε σύγκριση με τις υπόλοιπες. Το μέσο απόλυτο κανονικοποιημένο σφάλμα (Mean Absolute Scaled Error), που εφαρμόστηκε, έχει σαν βάση την μέθοδο Naive και συγκρίνει την πορεία των υπόλοιπων μεθόδων που μελετώνται με αυτή. Με αυτόν τον τρόπο, μπορεί κανείς με βάση τα αποτελέσματα του σφάλματος αυτού να κατατάξει τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται.

## 4. Βραχυπρόθεσμη Πρόβλεψη φορτίου προμηθευτή ενέργειας

Όλοι οι προμηθευτές ΗΕ που συμμετέχουν στην Ελληνική αγορά ενέργειας, οφείλουν να καλύπτουν τις ανάγκες ηλεκτρικής ενέργειας του πελατολογίου τους. Αυτό επιτυγχάνεται με τη συμμετοχή του στην προημερήσια αγορά του Ελληνικού Χρηματιστηρίου Ενέργειας (EXE). Στην αγορά αυτή οι προμηθευτές δηλώνουν κάθε ημέρα για την επόμενη τις ποσότητες ενέργειας που επιθυμούν να αγοράσουν (σε ωριαία κλίμακα). Για να μπορεί να πραγματοποιηθεί όμως αυτή η πρόβλεψη του φορτίου, που χρειάζεται ο κάθε προμηθευτής, απαιτούνται μοντέλα πρόβλεψης φορτίου τα οποία θα δίδουν ικανοποιητικά αποτελέσματα καθώς πάνω από ένα όριο αποκλίσεων, οι προμηθευτές υπόκεινται σε υψηλά χρηματικά πρόστιμα.

### 4.1 Case Study (δεδομένα, ανάλυση μοντέλου πρόβλεψης φορτίου)

#### 4.1.1 Το σύνολο του φορτίου του Ελληνικού Συστήματος

Το σύνολο του φορτίου του Ελληνικού Συστήματος αποτελείται από:

- **Υψηλή Τάση (ΥΤ):** χρησιμοποιείται σε βαριές βιομηχανίες (πχ. χαλυβουργία, κλωστοϋφαντουργία). Προς το παρόν οι βιομηχανίες αυτές τροφοδοτούνται αποκλειστικά από τη ΔΕΗ. Η ΥΤ παρουσιάζει στο σύνολό της κυρίως διακύμανση ανάλογα με τον τύπο ημέρας και την ώρα της ημέρας και όχι από τη θερμοκρασία.
- **Μέση Τάση (ΜΤ):** χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις βιομηχανικής και εμπορικής χρήσης άνω των 250 kVA και είναι ανοιχτή στον ανταγωνισμό. Η ΜΤ παρουσιάζει στο σύνολό της διακύμανση ανάλογα με τον τύπο ημέρας και την ώρα της ημέρας, αλλά εξαρτάται και σε κάποιο βαθμό από τη θερμοκρασία. Η κάθε παροχή ΜΤ έχει αρκετά διαφορετικό προφίλ ανάλογα με τη δραστηριότητα της εγκατάστασης.
- **Χαμηλή Τάση (ΧΤ):** χρησιμοποιείται για Βιομηχανική και Εμπορική χρήση μέχρι 250 kVA και για Οικιακούς Πελάτες με ισχύ μικρότερη των 25 kVA. Η ΧΤ εξαρτάται από τον τύπο/ώρα ημέρας και από τη θερμοκρασία.

Το εκκαθαριζόμενο **συνολικό φορτίο** (ενέργεια) του **συστήματος** για μία δεδομένη ώρα είναι το άθροισμα ΥΤ + ΜΤ + ΧΤ (MWh).

#### 4.1.2. Ζητούμενο Προμηθευτή

Για τις ανάγκες μας, **θέλουμε να προσδιορίσουμε τα ακόλουθα μεγέθη ανά ώρα:**

- **ΜΤ εταιρίας:** Τα δεδομένα για την εκκαθαριζόμενη ενέργεια για κάθε παροχή που κατέχει η εταιρία είναι διαθέσιμα σε μορφή δεκαπεντάλεπτων καταναλώσεων, τα οποία εύκολα (με την άθροιση ανά τέσσερα) οδηγούν στον προσδιορισμό της ωριαίας κατανάλωσης. Για τα δεδομένα αυτά υπάρχει ιστορικό ωριαίων καταναλώσεων 1-2 ετών ανά παροχή, καθώς η καταμέτρηση είναι τηλεμετρούμενη<sup>1</sup>.
- **ΧΤ εταιρίας:** Καθώς στην Ελλάδα δεν έχουν εγκατασταθεί ακόμα μετρητές στην πλειονότητα της ΧΤ, έχει αποφασιστεί ανάμεσα στους διαχειριστές του Συστήματος (ΑΔΜΗΕ) και του Δικτύου (ΔΕΔΔΗΕ) ότι η εκκαθαριζόμενη ενέργεια για το σύνολο των παροχών κάθε προμηθευτή προσδιορίζεται από τον τύπο:

$$\text{Φορτίο ΧΤ εταιρίας} = \text{Ex-Ante \%} * (\text{Φορτίο Δικτύου} - \text{Φορτίο ΜΤ})^2 \quad (4.1)$$

Το ποσοστό “**εκ των προτέρων**” (Ex-Ante) είναι δεδομένο που προσδιορίζεται από τον διαχειριστή του Δικτύου και αποστέλλεται στον Προμηθευτή στα μέσα του μήνα για κάθε επόμενο μήνα. Το ποσοστό αυτό υπολογίζεται από τον ΔΕΔΔΗΕ βάσει μεθοδολογίας και είναι σταθερό για όλο το μήνα, ανεξάρτητα με το εάν μεταβληθεί ο αριθμός πελατών του Προμηθευτή. Επίσης είναι ανεξάρτητο από τις πραγματικές καταναλώσεις των πελατών.

Το «Φορτίο Δικτύου» είναι το σύνολο του Φορτίου ΜΤ + ΧΤ και η παρένθεση έχει μείνει ως κατάλοιπο γιατί μέχρι και το 2016 στον τύπο όπου Φορτίο ΜΤ υπήρχε το Φορτίο ΜΤ εναλλακτικών Προμηθευτών (πλην ΔΕΗ). Πρακτικά, επί του παρόντος η παρένθεση δίνει ουσιαστικά το φορτίο ΧΤ.

<sup>1</sup> Η τελική εκκαθαριζόμενη ποσότητα ενέργειας είναι η τηλεμετρούμενη ενέργεια επί το σταθερό ποσοστό απωλειών ΜΤ. Το πώς και εάν χρειάζεται να χειριστούμε τις απώλειες είναι κάτι που θα δούμε σε δεύτερο χρόνο.

<sup>2</sup> Και εδώ όλα τα φορτία εμπεριέχουν τις αντίστοιχες απώλειες. Οι απώλειες αναπροσαρμόζονται ανά έτος και αυτή τη στιγμή είναι 3,78% για τη ΜΤ και 13,43% για τη ΧΤ.

Η πρόβλεψη των ωριαίων φορτίων ΜΤ και ΧΤ της εταιρίας πραγματοποιείται την προηγούμενη ημέρα από την ημέρα που αφορά η επίλυση της χονδρεμπορικής αγοράς.<sup>3</sup>

#### 4.1.3. Δεδομένα

Τα δεδομένα που έχουμε στη διάθεσή μας:

1. **Πραγματικές δεκαπεντάλεπτες καταναλώσεις ΜΤ** για τους πελάτες της εταιρίας: διαθέσιμες συνήθως στο D+4, διαθέτουμε ιστορικό 1 – 2 ετών
2. **Πρόβλεψη φορτίου συστήματος από ΑΔΜΗΕ**: αποτελεί την εκτίμηση του διαχειριστή του συστήματος για το φορτίο συστήματος, διαθέσιμη στο D-1. Η εκτίμηση αυτή πραγματοποιείται από τον ΑΔΜΗΕ βάσει μοντέλων που λαμβάνουν υπόψη ημέρα/ώρα/καιρό. Το φορτίο του συστήματος διαφέρει από το συνολικό φορτίο και υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{Φορτίο Συστήματος} = \text{Συνολικό Φορτίο} - \text{ΑΠΕ Δικτύου} = \text{ΥΤ} + \text{ΜΤ} + \text{ΧΤ} - (\text{ΑΠΕ\_ΧΤ} + \text{ΑΠΕ\_ΜΤ}) \quad (4.2)$$

Αυτό συμβαίνει για το λόγο ότι ο ΑΔΜΗΕ ως διαχειριστής «βλέπει» ως φορτίο μόνο την συνολική ζήτηση/παραγωγή στα όρια του συστήματος που είναι στη δικαιοδοσία του. Ως σύστημα, χαρακτηρίζεται στο δίκτυο ΥΤ. Στο δίκτυο ΥΤ συνδέονται όλοι οι παραγωγοί ΥΤ (μονάδες + ΑΠΕ ΥΤ). Οι «καταναλώσεις» που βλέπει ο ΑΔΜΗΕ στο δίκτυο ΥΤ είναι οι πελάτες ΥΤ καθώς και η συνολική ζήτηση του συστήματος (δικτύου διανομής) που είναι συνδεδεμένο στην ΥΤ και είναι στη δικαιοδοσία του ΔΕΔΔΗΕ.

<sup>3</sup> Η βασική αγορά ενέργειας στις απελευθερωμένες αγορές είναι η προημερήσια αγορά (day ahead market) η οποία αφορά την ημέρα κατανομής (επίλυσης) D και επιλύεται στο D-1. Στην Ελλάδα η προημερήσια αγορά ενέργειας αποτελεί και την μοναδική αγορά ενέργειας στην οποία οι προμηθευτές είναι υποχρεωμένοι να πραγματοποιήσουν «δήλωση φορτίου», δηλαδή την υποβολή των ωριαίων απαιτήσεών τους σε ενέργεια για την κάλυψη του φορτίου τους (αποτελεί το αντικείμενο της πρόβλεψής μας). Μόλις οι μετρήσεις για τα φορτία συστήματος και δικτύου είναι διαθέσιμα τότε υπολογίζεται η πραγματική ποσότητα ενέργειας που αντιστοιχεί σε κάθε προμηθευτή ανά ώρα και σε περίπτωση απόκλισης εκτός ορίων, προκύπτει χρηματικό πρόστιμο.

Ο ΔΕΔΔΗΕ ως φορτίο δικτύου «βλέπει» ως ζήτηση τη συνολική ζήτηση ΧΤ + ΜΤ (ανηγμένες στο ίδιο επίπεδο τάσης με τις αντίστοιχες απώλειες) και ως παραγωγή εντός τους δικού του δικτύου την παραγωγή από ΑΠΕ στην ΧΤ και την ΜΤ (μικρά φ/β πάρκα, στέγες, μικρά υδροηλεκτρικά κτλ). Το φορτίο δικτύου και η ζήτηση που βλέπει ο ΑΔΜΗΕ από το δίκτυο διανομής επομένως δεν ταυτίζονται, καθώς πρέπει να ληφθεί υπόψη η παραγωγή ΑΠΕ στην ΧΤ και την ΜΤ. Ευτυχώς, αυτή είναι διαθέσιμη και είναι ένα ακόμα δεδομένο που έχουμε στη διάθεσή μας.

3. **Πρόβλεψη παραγωγής ΑΠΕ ΧΤ και ΜΤ** από ΑΔΜΗΕ (τύπος 4.2): αποτελεί την εκτίμηση του διαχειριστή του συστήματος για την παραγωγή ΑΠΕ ΧΤ και ΜΤ, διαθέσιμη στο D-1 (πραγματοποιείται βάσει μοντέλων)
4. **Πραγματική συνολική κατανάλωση συνόλου ΜΤ** από ΑΔΜΗΕ (τύπος 4.1): αποτελεί το σύνολο των πραγματικών δεκαπεντάλεπτων μετρήσεων κατανάλωσης στην ΜΤ (με απώλειες) και είναι διαθέσιμη στο M+1
5. **Πραγματικό φορτίο δικτύου** από ΑΔΜΗΕ (τύπος 4.1): αποτελεί την πραγματική συνολική ζήτηση ΧΤ + ΜΤ που «βλέπει» ο ΔΕΔΔΗΕ ως ζήτηση στο σύστημά του, διαθέσιμη στο M+1
6. **Πραγματικό φορτίο ΥΤ** (διαθέσιμο έμμεσα και αμφίβολο για πόσο): αποτελεί την πραγματική συνολική ζήτηση ΥΤ
7. **Πραγματικό φορτίο συστήματος** (τύπος 4.2) διαθέσιμο από τον ΑΔΜΗΕ στο M+1
8. **Ποσοστό ex ante** (τύπος 4.1), διατίθεται από τον ΔΕΔΔΗΕ στο M-1.

## 4.2 Περιγραφή μοντέλου πρόβλεψης

Κάθε ημέρα υπολογίζεται το φορτίο ΜΤ και ΧΤ για την επόμενη ημέρα ως εξής:

Για το κομμάτι της ΜΤ γίνεται χρήση του ιστορικού καταναλώσεων της κάθε παροχής που εκπροσωπείται από τον εκάστοτε προμηθευτή. Ως πρόβλεψη για την επόμενη ημέρα

συνήθως ορίζεται η 24ωρη χρονοσειρά της ίδιας ημέρας της προηγούμενης εβδομάδας. Εξαίρεση αποτελούν ειδικές ημέρες όπως αργίες εθνικές εορτές κλπ.

Για την ΧΤ επιλέχτηκε να χρησιμοποιηθεί ένα μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης (linear regression) για τον υπολογισμό του Φορτίου του Δικτύου βάσει του τύπου 2.

Οι μεταβλητές που χρησιμοποιούμε σαν input στο μοντέλο είναι οι κάτωθι:

- πρόβλεψη φορτίου ΑΔΜΗΕ (2)
- πρόβλεψη ΑΠΕ ΧΤ και ΜΤ ως άθροισμα (3)
- πραγματικό φορτίο ΥΤ (6), έχει πραγματοποιηθεί ανάλυση των δεδομένων ΥΤ από τις χρονιές 2016 και 2017 και έχουν υπολογιστεί οι μέσες τιμές ανά ημέρα/ώρα/μήνα. Συνεπώς αναλόγως την ώρα της ημέρας του μήνα που θέλουμε να προβλέψουμε χρησιμοποιούμε την αντίστοιχη μέση τιμή που έχουμε από την εν λόγω ανάλυση.

Για τον υπολογισμό του πραγματικού φορτίου δικτύου γίνεται χρήση του παρακάτω τύπου υπολογισμού:

$$\text{Πραγματικό φορτίο δικτύου} = \mathbf{a} + \mathbf{b} * (\text{πρόβλεψη φορτίου ΑΔΜΗΕ}) + \mathbf{c} * (\text{πρόβλεψη ΑΠΕ ΧΤ \& ΜΤ}) + \mathbf{d} * (\text{εκτίμηση φορτίου ΥΤ βάσει ημέρας/ώρας/μήνα}) \quad (4.3)$$

Οι μεταβλητές a, b, c, d έχουν υπολογιστεί από το regression model με τη χρήση πραγματικών δεδομένων για τις παρελθοντικές χρονιές 2016-2017. Οι τιμές τους παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα.

Μεταβλητή regression model	Τιμή μεταβλητής
<b>a</b>	221,289
<b>b</b>	0,958
<b>c</b>	1,029
<b>d</b>	- 1,016

Εφόσον υπολογιστεί το πραγματικό φορτίο δικτύου για κάθε ώρα με τον παραπάνω τύπο, το ποσοστό ex-ante είναι γνωστό (στο M-1), οπότε για την MT του τύπου 1 πρέπει αναγκαστικά να γίνει μία εκτίμηση, όπου και πάλι χρησιμοποιούμε μέση τιμή ανά ημέρα/ώρα/μήνα βάσει των στοιχείων 2014-2017.

Με αυτό τον τρόπο γίνεται ο υπολογισμός του φορτίου της ΧΤ.

Ακολουθεί ένα παράδειγμα της 24ωρης πρόβλεψης φορτίου για την ημέρα 2/5/2019 (με ένα υποτιθέμενο ποσοστό Ex-Ante 0,01161 %):

Date	Hour (EET)	Week Day	Month	HV Week Day Group	MV Week Day Group	HV Estimation	MV Estimation	Example of Supplier ExAnte	System Load Forecast	RES MV+LV Forecast	Total Network Consumption Forecast	Supplier LV Forecast w/o losses
2/5/2019	1	2	5	4	4	1.105	926	0,01161%	4.368	115	3.402	0,258
2/5/2019	2	2	5	4	4	1.127	905	0,01161%	4.017	114	3.043	0,223
2/5/2019	3	2	5	4	4	1.139	891	0,01161%	3.890	122	2.916	0,211
2/5/2019	4	2	5	4	4	1.134	887	0,01161%	3.799	114	2.827	0,202
2/5/2019	5	2	5	4	4	1.139	894	0,01161%	3.786	114	2.809	0,200
2/5/2019	6	2	5	4	4	1.139	932	0,01161%	3.893	114	2.911	0,206
2/5/2019	7	2	5	4	4	1.105	1.059	0,01161%	4.121	120	3.171	0,220
2/5/2019	8	2	5	4	4	1.077	1.264	0,01161%	4.579	260	3.782	0,263
2/5/2019	9	2	5	4	4	1.048	1.433	0,01161%	4.764	505	4.241	0,293
2/5/2019	10	2	5	4	4	997	1.510	0,01161%	4.829	774	4.632	0,326
2/5/2019	11	2	5	4	4	927	1.522	0,01161%	4.674	1.002	4.789	0,341
2/5/2019	12	2	5	4	4	911	1.515	0,01161%	4.595	1.157	4.889	0,352
2/5/2019	13	2	5	4	4	901	1.503	0,01161%	4.535	1.249	4.937	0,358
2/5/2019	14	2	5	4	4	901	1.488	0,01161%	4.464	1.279	4.899	0,356
2/5/2019	15	2	5	4	4	912	1.442	0,01161%	4.232	1.201	4.586	0,328
2/5/2019	16	2	5	4	4	911	1.367	0,01161%	4.109	1.049	4.312	0,307
2/5/2019	17	2	5	4	4	931	1.300	0,01161%	4.146	860	4.133	0,295
2/5/2019	18	2	5	4	4	940	1.256	0,01161%	4.470	602	4.169	0,304
2/5/2019	19	2	5	4	4	935	1.237	0,01161%	4.944	358	4.377	0,327
2/5/2019	20	2	5	4	4	939	1.223	0,01161%	5.381	204	4.633	0,356
2/5/2019	21	2	5	4	4	946	1.192	0,01161%	5.959	118	5.091	0,406
2/5/2019	22	2	5	4	4	971	1.096	0,01161%	6.139	115	5.235	0,432
2/5/2019	23	2	5	4	4	956	1.004	0,01161%	5.592	115	4.726	0,388
2/5/2019	24	2	5	4	4	1.046	965	0,01161%	5.106	116	4.170	0,334

**Πίνακας 1:** Παράδειγμα πρόβλεψης φορτίου της ημέρας 2/5/2019 με ποσοστό Ex-Ante 0,01161 (24ωρη πρόβλεψη)

### **4.3 Σύγκριση με πραγματικά στοιχεία εκκαθάρισης και εκτίμηση σφαλμάτων**

Βάσει του παραπάνω μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης εξάχθηκαν τα αποτελέσματα αναφορικά με την πρόβλεψη του φορτίου ΧΤ του δικτύου για το διάστημα από το Νοέμβριο 2018 έως τον Οκτώβριο του 2020 και έγινε σύγκρισή τους με τα πραγματικά δεδομένα του διαχειριστή του δικτύου (ΔΕΔΔΗΕ). Τα πραγματικά δεδομένα του φορτίου ΧΤ δημοσιοποιούνται από τον διαχειριστή του συστήματος (ΑΔΜΗΕ) μαζί με πληθώρα άλλων δεδομένων στην ηλεκτρονική πλατφόρμα 'AREVA – MMS'.

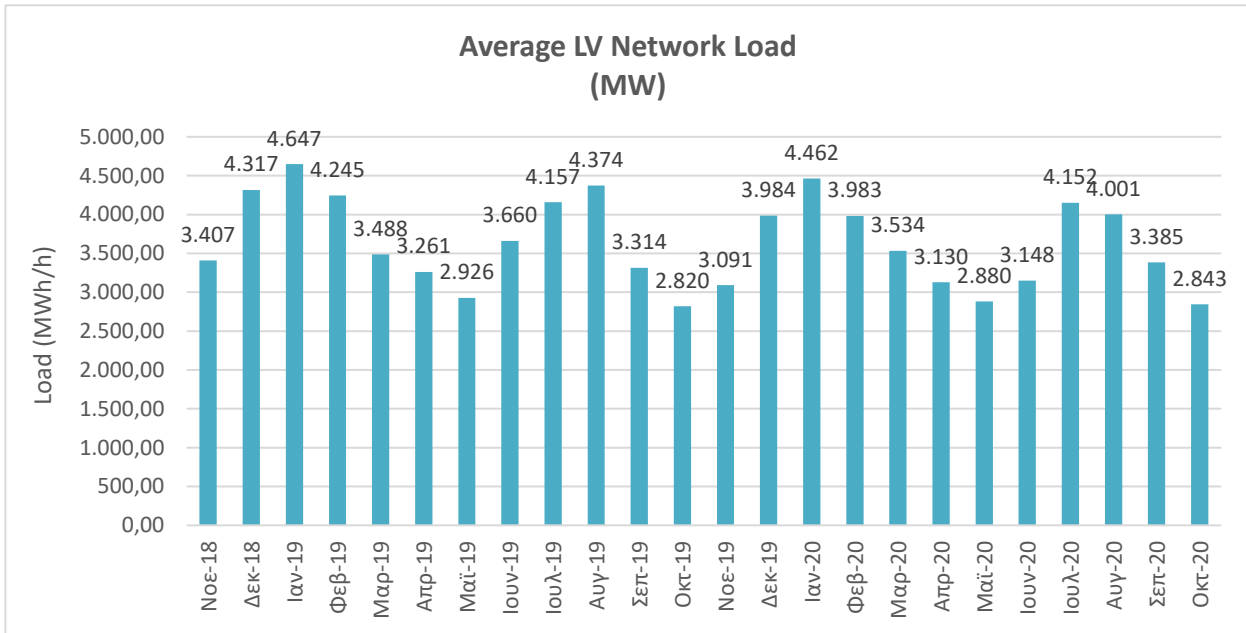
#### **4.3.1. Το πραγματικό φορτίο ΧΤ Δικτύου**

Η πρόβλεψη του φορτίου ΧΤ δικτύου πραγματοποιείται μία ημέρα πριν την ημέρα αναφοράς. Μετά το πέρας είκοσι ημερών από την ολοκλήρωση κάθε μήνα ο διαχειριστής του συστήματος (ΑΔΜΗΕ) δημοσιοποιεί τα καταμετρηθέντα φορτία στα όρια του δικτύου. Για το διάστημα που μας ενδιαφέρει τα στοιχεία που δημοσιοποίησε ο διαχειριστής φαίνονται στον παρακάτω πίνακα και στα ακόλουθα διαγράμματα.

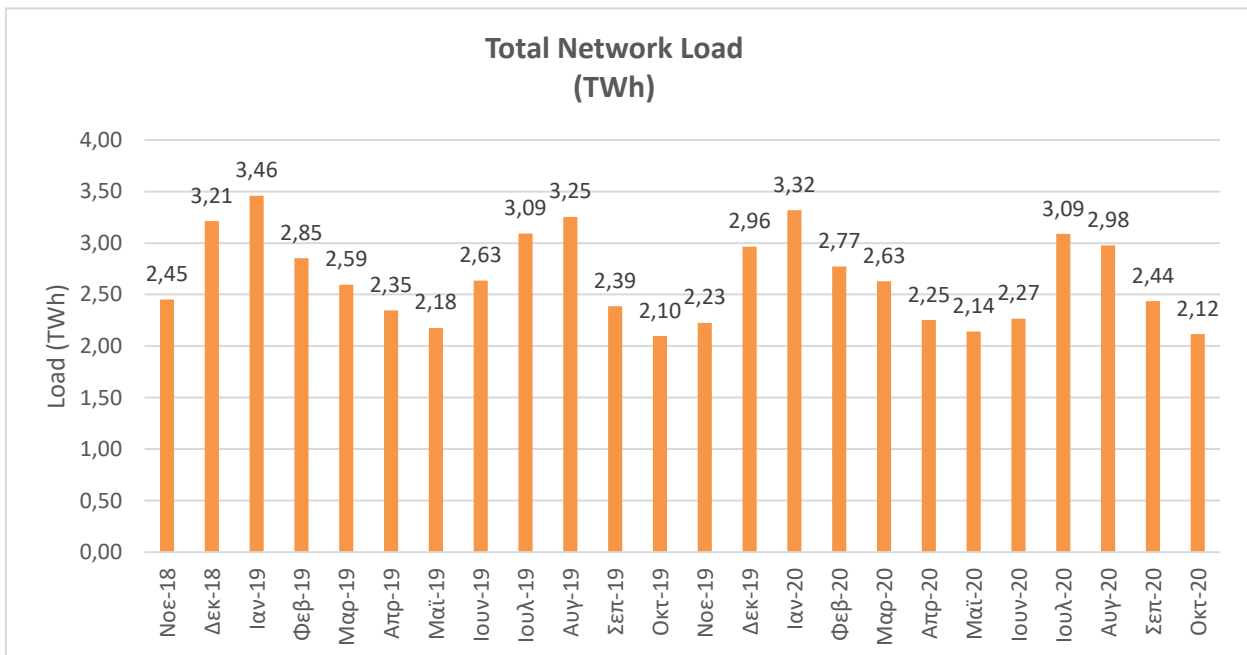


Μήνας	Average LV Network Load (MW)	Total Network Load (TWh)
Νοε-18	3.407	2,4533
Δεκ-18	4.317	3,212
Ιαν-19	4.647	3,458
Φεβ-19	4.245	2,853
Μαρ-19	3.488	2,595
Απρ-19	3.261	2,348
Μαϊ-19	2.926	2,177
Ιουν-19	3.660	2,635
Ιουλ-19	4.157	3,093
Αυγ-19	4.374	3,254
Σεπ-19	3.314	2,386
Οκτ-19	2.820	2,098
Νοε-19	3.091	2,226
Δεκ-19	3.984	2,964
Ιαν-20	4.462	3,320
Φεβ-20	3.983	2,772
Μαρ-20	3.534	2,629
Απρ-20	3.130	2,253
Μαϊ-20	2.880	2,142
Ιουν-20	3.148	2,267
Ιουλ-20	4.152	3,089
Αυγ-20	4.001	2,977
Σεπ-20	3.385	2,437
Οκτ-20	2.843	2,115
<b>Total 2-years</b>	<b>3.634</b>	<b>63,750</b>

**Πίνακας 2:** Δημοσιοποιημένα στοιχεία του ΑΔΜΗΕ αναφορικά με το μέσο και το συνολικό φορτίο χαμηλής τάσης δικτύου ανά μήνα



**Διάγραμμα 1:** Δημοσιοποιημένα στοιχεία του ΑΔΜΗΕ αναφορικά με το μέσο φορτίο χαμηλής τάσης δικτύου ανά μήνα



**Διάγραμμα 2:** Δημοσιοποιημένα στοιχεία του ΑΔΜΗΕ αναφορικά με το συνολικό φορτίο χαμηλής τάσης δικτύου ανά μήνα

Από την παρατήρηση των παραπάνω διαγραμμάτων μπορεί να γίνει αισθητή η έντονη εποχικότητα των φορτίων, με υψηλότερους μήνες σε ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας τους χειμερινούς και τους καλοκαιρινούς, εξαιτίας της ανάγκης για θέρμανση και ψύξη των νοικοκυριών. Αντίθετα τους ανοιξιάτικους και τους φθινοπωρινούς μήνες παρατηρούνται χαμηλότερα επίπεδα ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας.

Η μέση κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά μήνα θα μας χρειαστεί για να μπορέσει να συγκριθεί με τα σφάλματα της πρόβλεψης.

#### **4.3.2. Αξιολόγηση των ΜΕ και ΜΑΕ**

Αρχικά υπολογίστηκε το μέσο σφάλμα και το μέσο απόλυτο σφάλμα ανά μήνα και συνολικά για το διάστημα των δύο χρόνων. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Μήνας	Average LV Network Load (MW)	ME	MAE
Νοε-18	3.407,36	189,78	226,68
Δεκ-18	4.317,11	207,68	275,81
Ιαν-19	4.647,45	178,93	309,90
Φεβ-19	4.244,85	115,83	169,86
Μαρ-19	3.487,75	142,26	201,24
Απρ-19	3.260,69	153,29	250,25
Μαϊ-19	2.925,93	138,65	229,93
Ιουν-19	3.659,64	220,21	232,09
Ιουλ-19	4.156,96	301,11	327,51
Αυγ-19	4.373,50	184,00	242,27
Σεπ-19	3.314,28	244,92	249,50
Οκτ-19	2.820,07	214,04	233,07
Νοε-19	3.091,24	121,94	157,48
Δεκ-19	3.984,37	191,85	311,31
Ιαν-20	4.461,79	215,25	272,88
Φεβ-20	3.982,96	80,36	157,89
Μαρ-20	3.533,98	-114,63	191,46
Απρ-20	3.129,73	-258,52	291,70
Μαϊ-20	2.879,67	-203,10	249,92
Ιουν-20	3.148,28	-153,13	197,32
Ιουλ-20	4.151,73	46,59	141,48
Αυγ-20	4.001,49	109,78	245,55
Σεπ-20	3.385,35	125,02	167,61
Οκτ-20	2.843,10	81,14	132,96
<b>Total 2-years</b>	<b>3.633,72</b>	<b>105,85</b>	<b>228,23</b>

Πίνακας 3: Υπολογισμοί των σφαλμάτων ME και MAE (μηνιαία δεδομένα)

Οι Θετικές τιμές του μέσου σφάλματος υποδεικνύουν ότι οι προβλέψεις ήταν μεγαλύτερες του πραγματικού φορτίου, ενώ οι αρνητικές το αντίθετο. Οι μονάδες των ME και MAE είναι κοινές με αυτές του μέσου όρου του ωριαίου φορτίου XT (MWh/h).

Παρατηρείται ότι το μέσο απόλυτο σφάλμα εμφανίζει μεγαλύτερες τιμές από το απόλυτο σφάλμα, κάτι το οποίο ήταν εξαρχής αναμενόμενο αφού το μέσο σφάλμα ανάλογα με το αν η πρόβλεψη ήταν μεγαλύτερη ή μικρότερη από το πραγματικό φορτίο, θα εμφανίζει αντίστοιχα θετικές ή αρνητικές τιμές, άρα η συνολική τιμή του μήνα θα είναι το αλγεβρικό άθροισμα όλων των ωριαίων σφαλμάτων προς τον αριθμό των σφαλμάτων αυτών. Σε αντίθεση με το μέσο σφάλμα, το μέσο απόλυτο σφάλμα είναι ο μέσος όρος των απόλυτων τιμών της διαφοράς πρόβλεψης και πραγματικού φορτίου (πάντα θετική). Για τον παραπάνω λόγω το ME θα είναι πάντα μικρότερο ή ίσο με το MAE (η ισότητα θα παρατηρηθεί μόνο στην περίπτωση που όλες τις ώρες, η πρόβλεψη θα είναι μεγαλύτερη από το πραγματικό φορτίο ή το αντίθετο).

Οι χρεώσεις μη συμμόρφωσης που επιβάλλονται από τον διαχειριστή εστιάζουν κυρίως στις ωριαίες αποκλίσεις. Για το λόγο αυτό το μέσο απόλυτο σφάλμα είναι πολυτιμότερο για την αξιολόγηση του μοντέλου μας. Στην περίπτωση του μέσου σφάλματος συνδυασμός θετικών και αρνητικών τιμών μειώνουν την τελική τιμή του σφάλματος και αποκρύπτουν την πραγματικότητα.

#### 4.3.3. Αξιολόγηση των MSE και RMSE

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές του μέσου τετραγωνικού σφάλματος και της ρίζας του μέσου τετραγωνικού σφάλματος:

Μήνας	Average LV Network Load (MW)	MSE	RMSE
Νοε-18	3.407,36	78.284,58	279,79
Δεκ-18	4.317,11	111.540,87	333,98
Ιαν-19	4.647,45	133.797,20	365,78
Φεβ-19	4.244,85	48.648,53	220,56
Μαρ-19	3.487,75	68.941,53	262,57
Απρ-19	3.260,69	87.327,04	295,51
Μαϊ-19	2.925,93	94.551,42	307,49
Ιουν-19	3.659,64	86.260,58	293,70
Ιουλ-19	4.156,96	163.962,41	404,92
Αυγ-19	4.373,50	88.998,85	298,33
Σεπ-19	3.314,28	84.431,61	290,57
Οκτ-19	2.820,07	78.705,32	280,54
Νοε-19	3.091,24	38.741,02	196,83
Δεκ-19	3.984,37	142.877,22	377,99
Ιαν-20	4.461,79	96.500,97	310,65
Φεβ-20	3.982,96	39.701,48	199,25
Μαρ-20	3.533,98	63.705,39	252,40
Απρ-20	3.129,73	140.777,82	375,20
Μαϊ-20	2.879,67	96.625,08	310,85
Ιουν-20	3.148,28	58.212,95	241,27
Ιουλ-20	4.151,73	33.373,98	182,69
Αυγ-20	4.001,49	81.959,56	286,29
Σεπ-20	3.385,35	50.799,53	225,39
Οκτ-20	2.843,10	32.844,19	181,23
<b>Total 2-years</b>	<b>3.633,72</b>	<b>83.718,82</b>	<b>289,34</b>

**Πίνακας 4:** Υπολογισμοί των σφαλμάτων MSE και RMSE (μηνιαία δεδομένα)

Τα σφάλματα MSE και RMSE μπορούν να έχουν αποκλειστικά θετικές τιμές. Το MSE έχει μονάδες  $MWh^2$  ενώ το RMSE έχει μονάδες ίδιες με αυτές του φορτίου, δηλαδή  $MWh$ .

Η σημαντικότητα στα δύο παραπάνω σφάλματα έγκειται στο γεγονός ότι μεγιστοποιούνται οι ώρες με μεγάλα σφάλματα ενώ ελαχιστοποιούνται οι ώρες με πολύ μικρά σφάλματα. Έτσι τα δύο αυτά σφάλματα θα αυξάνονται εάν κάποιες ώρες από την χρονοσειρά της πρόβλεψης αποκλίνει αισθητά από το πραγματικό φορτίο, ενώ θα μειώνονται εάν υπάρχει μικρή απόκλιση μεταξύ πρόβλεψης και πραγματικού φορτίου.

#### **4.3.4. Αξιολόγηση των MAPE και sMAPE**

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές του μέσου απόλυτου ποσοστιαίου σφάλματος και του συμμετρικού μέσου απόλυτου ποσοστιαίου σφάλματος:

Μήνας	Average LV Network Load (MW)	MAPE	sMAPE
Νοε-18	3.407,36	6,25%	6,50%
Δεκ-18	4.317,11	6,23%	6,45%
Ιαν-19	4.647,45	6,61%	6,76%
Φεβ-19	4.244,85	3,86%	3,96%
Μαρ-19	3.487,75	5,47%	5,63%
Απρ-19	3.260,69	7,65%	7,82%
Μαϊ-19	2.925,93	8,86%	8,33%
Ιουν-19	3.659,64	5,86%	6,11%
Ιουλ-19	4.156,96	7,29%	7,63%
Αυγ-19	4.373,50	5,20%	5,36%
Σεπ-19	3.314,28	6,78%	7,07%
Οκτ-19	2.820,07	7,57%	7,92%
Νοε-19	3.091,24	4,87%	5,00%
Δεκ-19	3.984,37	7,47%	7,66%
Ιαν-20	4.461,79	5,90%	6,06%
Φεβ-20	3.982,96	3,83%	3,90%
Μαρ-20	3.533,98	5,79%	5,58%
Απρ-20	3.129,73	11,30%	10,32%
Μαϊ-20	2.879,67	10,27%	9,48%
Ιουν-20	3.148,28	6,93%	6,63%
Ιουλ-20	4.151,73	3,40%	3,43%
Αυγ-20	4.001,49	6,01%	6,11%
Σεπ-20	3.385,35	4,63%	4,78%
Οκτ-20	2.843,10	4,61%	4,75%
<b>Total 2-years</b>	<b>3.633,72</b>	<b>6,37%</b>	<b>6,40%</b>

**Πίνακας 5:** Υπολογισμοί των σφαλμάτων MAPE και sMAPE (μηνιαία δεδομένα)



Το μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα αποτελεί ένα από τα πιο διαδεδομένα σφάλματα για την απλότητά του και την αποτύπωση της αξιοπιστίας μίας πρόβλεψης. Οι τιμές που μπορεί να λάβει είναι αποκλειστικά θετικές ή μηδέν. Το συμμετρικό μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα είναι και αυτό ευρέως διαδεδομένο στην ανάλυση της ακρίβειας προβλέψεων. Στις περιπτώσεις έντονων διαφορών ανάμεσα στην απόλυτη ποσοστιαία τιμή σφάλματος, ο δείκτης αποφεύγει τα μεγάλα σφάλματα. Το αρνητικό του χαρακτηριστικό είναι ότι δεν είναι τόσο συμμετρικό όσο παρουσιάζεται, καθώς οι αισιόδοξες προβλέψεις δεν αντιμετωπίζονται με αντίστοιχο τρόπο όπως οι απαισιόδοξες.

#### 4.3.5. Αξιολόγηση των MdAPE και sMdAPE

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές της διαμέσου του απόλυτου ποσοστιαίου σφάλματος και της διαμέσου του συμμετρικού απόλυτου ποσοστιαίου σφάλματος.

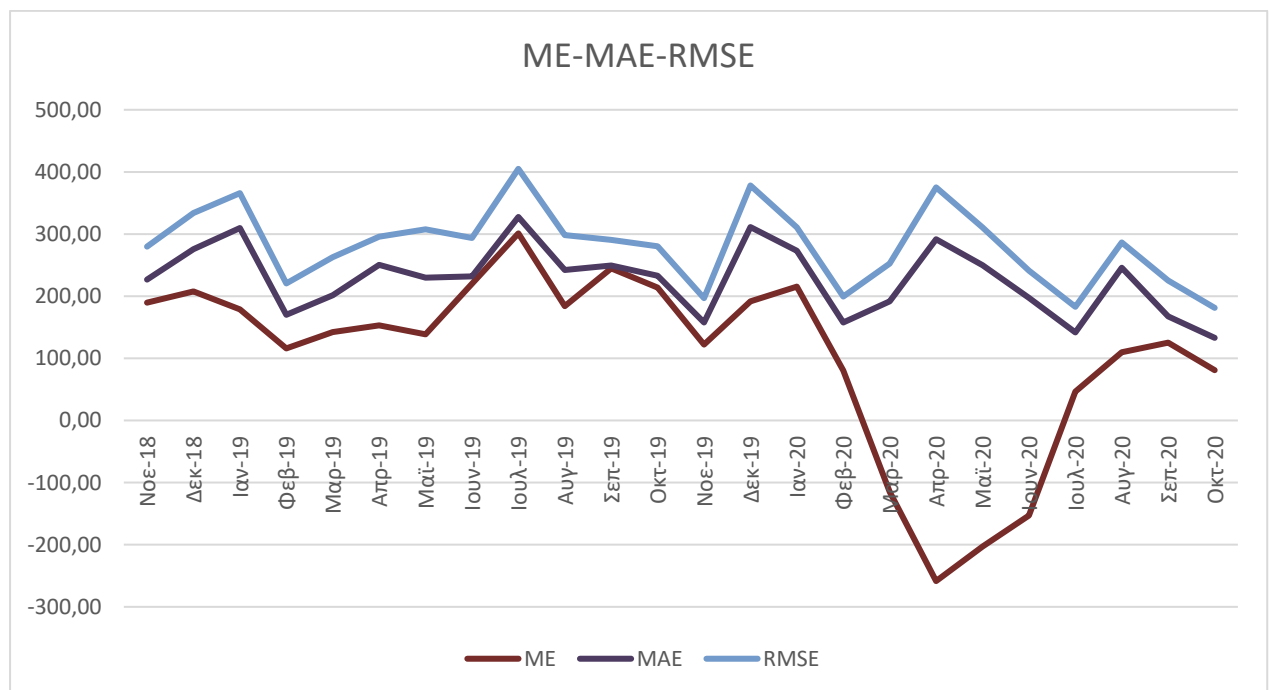
Μήνας	Average LV Network Load (MW)	MdAPE	sMdAPE
Νοε-18	3.407,36	5,75%	5,91%
Δεκ-18	4.317,11	5,44%	5,58%
Ιαν-19	4.647,45	6,36%	6,52%
Φεβ-19	4.244,85	3,35%	3,39%
Μαρ-19	3.487,75	4,56%	4,62%
Απρ-19	3.260,69	7,00%	7,18%
Μαϊ-19	2.925,93	6,68%	6,89%
Ιουν-19	3.659,64	5,35%	5,47%
Ιουλ-19	4.156,96	6,85%	7,09%
Αυγ-19	4.373,50	5,07%	5,12%
Σεπ-19	3.314,28	6,78%	7,02%
Οκτ-19	2.820,07	7,56%	7,86%
Νοε-19	3.091,24	4,35%	4,42%
Δεκ-19	3.984,37	6,93%	7,16%
Ιαν-20	4.461,79	5,99%	6,13%
Φεβ-20	3.982,96	3,33%	3,36%
Μαρ-20	3.533,98	4,31%	4,26%
Απρ-20	3.129,73	8,78%	8,51%
Μαϊ-20	2.879,67	8,10%	7,98%
Ιουν-20	3.148,28	6,23%	6,10%
Ιουλ-20	4.151,73	2,63%	2,63%
Αυγ-20	4.001,49	5,73%	5,82%
Σεπ-20	3.385,35	3,86%	3,92%
Οκτ-20	2.843,10	3,76%	3,82%
<b>Total 2-years</b>	<b>3.633,72</b>	<b>5,49%</b>	<b>5,56%</b>

**Πίνακας 6:** Υπολογισμοί των σφαλμάτων MdAPE και sMdAPE (μηνιαία δεδομένα)

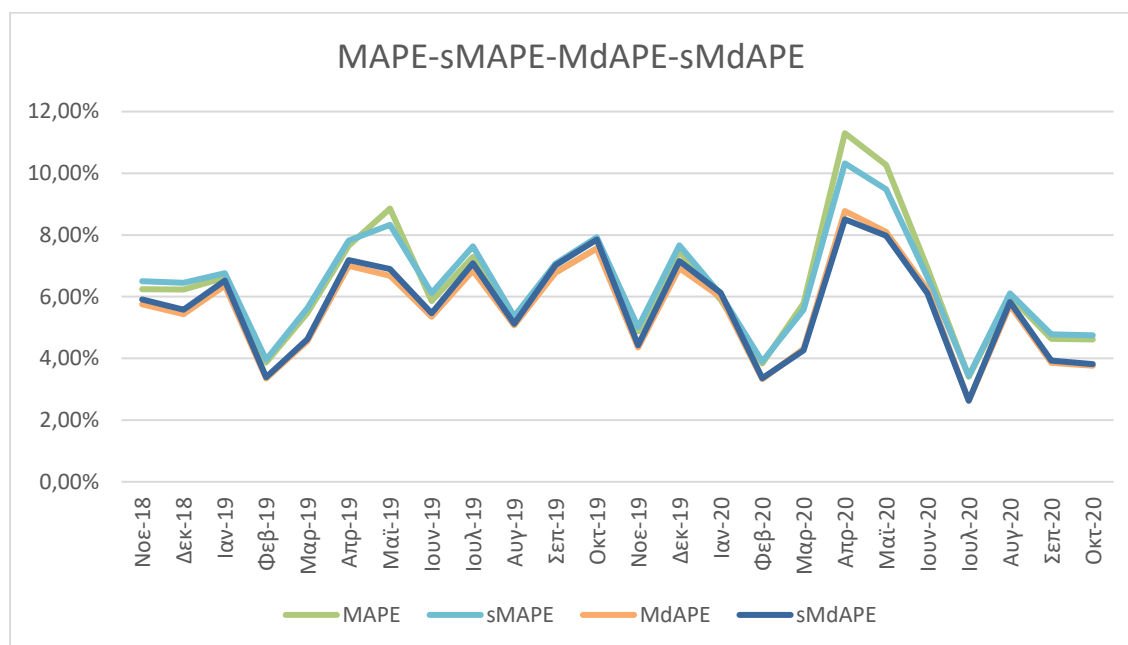
Το σφάλμα MdAPE χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη σταθερότητα απέναντι σε ανωμαλίες των τιμών της χρονοσειράς συγκριτικά με το σφάλμα MAPE και συνήθως προτιμάται σε τέτοιες περιπτώσεις. Το σφάλμα sMdAPE χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις πολύ μικρών τιμών της χρονοσειράς και δίνει επιπλέον βάρος στις θετικές τιμές σφαλμάτων σε σχέση με τις αρνητικές.

#### 4.3.6. Απεικόνιση και Αξιολόγηση όλων των σφαλμάτων

Στα παρακάτω γραφήματα απεικονίζονται το σύνολο των σφαλμάτων που αναφερθήκαμε στις προηγούμενες ενότητες.



**Διάγραμμα 3:** Απεικόνιση σφαλμάτων ME – MAE - RMSE



**Διάγραμμα 4:** Απεικόνιση σφαλμάτων MAPE – sMAPE – MdAPE - sMdAPE

Κατόπιν ανάλυσης και παρατήρησης των σφαλμάτων της χρονοσειράς πρόβλεψης του φορτίου ΧΤ, γίνεται αντιληπτή η έντονη απόκλιση της πρόβλεψης τους πρώτους μήνες της καραντίνας εξαιτίας της πανδημίας του covid-19. Τους μήνες Μάρτιο – Ιούνιο του 2020 υπήρξε στην Ελλάδα μαζική και γενικευμένη απαγόρευση λειτουργίας καταστημάτων, εστίασης, σχολείων, πολλών επιχειρήσεων και άλλων υπηρεσιών. Οι υποδομές που στέγαζαν όλα τα παραπάνω τροφοδοτούνται από παροχές μέσης και χαμηλής τάσης. Επιπλέον λόγω της δραματικής μείωσης της ζήτησης διάφορων προϊόντων τα οποία συνδέονται με την Ελληνική βιομηχανία και τις εξαγωγές, όπως πχ λατομεία μαρμάρου, μεγάλες αγροτικές και κτηνοτροφικές μονάδες, εργοστάσια επεξεργασίας αλουμινίου και άλλα, μείωσαν σε πολύ μεγάλο βαθμό την παραγωγή τους τους μήνες αυτούς. Σαν επακόλουθο υπήρξε η μεγάλη μείωση της κατανάλωσης κυρίως στη μέση και υψηλή τάση.

Το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης (linear regression) το οποίο περιεγράφηκε στην ενότητα 4.2 κάνει χρήση δεδομένων στατιστικής ανάλυσης των φορτίων μέσης και υψηλής τάσης τα οποία έχουν προκύψει από τα δεδομένα των δύο προηγούμενων χρόνων (2016-2017). Συνεπώς εξαιτίας της μεγάλης μείωσης της κατανάλωσης της μέσης και υψηλής τάσης υπάρχει μεγάλη απόκλιση στους όρους της εκτίμησης του φορτίου ΜΤ και ΥΤ οι

οποίοι πρέπει να αφαιρεθούν από την πρόβλεψη του φορτίου συστήματος του διαχειριστή. Προφανώς οι τιμές που εκτιμώνται για MT και YT είναι μεγαλύτερες από τις πραγματικές και επομένως αφού έχουν αρνητικό πρόσημο στην εξίσωση το τελικό αποτέλεσμα είναι δεδομένο πως θα είναι μικρότερο από αυτό που θα περιμέναμε αν είχαμε στοιχεία κοντά στα πραγματικά. Αυτό αποτυπώνεται και στα σφάλματα των γραφημάτων. Όπως παρατηρούμε το ME το οποίο μπορεί να πάρει και αρνητικές τιμές εμφανίζει μία πολύ μεγάλη βύθιση τους μήνες που μελετάμε. Επίσης και τα ποσοστιαία σφάλματα MAPE-sMAPE-MdAPE-sMdAPE τα οποία μπορούν να πάρουν μόνο θετικές τιμές εμφανίζουν τις μεγαλύτερες τιμές τους τους μήνες της καραντίνας.

#### 4.4. Βελτιστοποίηση του μοντέλου πρόβλεψης φορτίου

Το μοντέλο που περιεγράφηκε μπορεί να δεχτεί βελτιστοποίηση μέσω της συνεχούς παρακολούθησής του και ενημέρωσης των διαφόρων μεταβλητών του.

Αρχικά οι εκτιμήσεις MT και YT μπορούν συνεχώς (πχ σε μηνιαία βάση) να ανανεώνονται με πρόσφατα δεδομένα έτσι ώστε μία ενδεχόμενη μείωση ή αύξηση στα φορτία αυτά να αποτυπωθεί στο μοντέλο και μειωθεί η πιθανότητα απόκλισης της πρόβλεψης. Πολλές μελέτες δείχνουν ότι το φορτίο της Ελλάδας χρόνο με το χρόνο έχει μία μικρή αύξηση, συνεπώς συνεχής ανανέωση των στατιστικών αναλύσεων εκτίμησης της MT και της YT θα αποτυπώσουν αυτή την αύξηση του φορτίου. Επίσης ένα εθνικό ή παγκόσμιο γεγονός που μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τη ζήτηση του φορτίου όπως αυτό της πανδημίας θα εντοπιστεί άμεσα από την παρατήρηση των στατιστικών αναλύσεων των παρελθοντικών φορτίων MT και YT.

Σημαντική λεπτομέρεια για τη βελτιστοποίηση του μοντέλου είναι η αναπροσαρμογή των συντελεστών  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  μέσω του επανυπολογισμού αυτών με πιο πρόσφατα δεδομένα. Ενδεικτικά θα μπορούσε να γίνεται ο υπολογισμός των συντελεστών κάθε χρόνο.

Μία πρόταση που θα μπορούσε να βελτιώσει το μοντέλο σε πολύ μεγάλο βαθμό είναι η χρήση δεδομένων MT και XT της προηγούμενης εβδομάδας εφόσον αυτά είναι διαθέσιμα

από τους διαχειριστές συστήματος και δικτύου. Η χρήση πρόσφατων δεδομένων μειώνει την απόκλιση που υπάρχει στη στατιστική εκτίμηση του φορτίου MT και XT που προέρχεται από στοιχεία των προηγούμενων δύο χρόνων. Προφανώς και τα φορτία της προηγούμενης εβδομάδας (αντίστοιχης ημέρας και ώρας) θα είναι προσεγγιστικά πιο κοντά σε σχέση με αυτά προηγούμενων χρόνων. Η περίπτωση αυτή θέλει ιδιαίτερη προσοχή σε εβδομάδες που περιέχουν αργίες, όπως αυτές των Χριστουγέννων, του Πάσχα, του 15Αύγουστου και άλλες. Σε αυτές τις περιπτώσεις θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν στοιχεία αντίστοιχων ημερών αργίας προηγούμενων χρόνων.

## 5. Συμπεράσματα

Το υπό εξέταση μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης βασίζεται σε μεταβλητές οι οποίες είναι και αυτές προβλέψεις ή εκτιμήσεις. Πιο συγκεκριμένα το φορτίο συστήματος που δημοσιεύεται από το διαχειριστή του συστήματος, αποτελεί την πρόβλεψη του στηριζόμενη σε δεδομένα καιρού, τύπου ημέρας και άλλα μετεωρολογικά δεδομένα. Πιθανή απόκλιση της πρόβλεψης φορτίου συστήματος του ΑΔΜΗΕ θα οδηγήσει σε απόκλιση και στην πρόβλεψη φορτίου ΧΤ που θα έχει εν λόγω μοντέλο. Αυτό που μπορεί να περιορίσει το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης είναι συστηματικές αποκλίσεις στην πρόβλεψη του διαχειριστή. Η διόρθωση αυτών μπορεί να επιτευχθεί μέσω του συντελεστή  $b$ .

Εκτός από τη στοχαστικότητα της πρόβλεψης του ΑΔΜΗΕ υπάρχουν ακόμα δύο παράμετροι οι οποίες αποτελούν εκτίμηση βάσει στατιστικών αναλύσεων παρελθοντικών στοιχείων προηγούμενων ετών. Η εκτίμηση των καταναλώσεων της ΥΤ και της ΜΤ οι οποίες αφαιρούνται από το φορτίο του συστήματος. Η στατιστική ανάλυση προσδιορίζει τις καταναλώσεις ανά μήνα, ανά τύπο ημέρας και ανά ώρα της ΥΤ και της ΜΤ. Παρατηρείται ότι κατά τη διάρκεια ενός μήνα τα φορτία αυτά δεν διαφοροποιούνται αισθητά, παρόλα αυτά ενδέχεται να υπάρχουν μικρές αποκλίσεις οι οποίες μπορούν να επηρεάσουν την τελική μας πρόβλεψη. Παράδειγμα μπορεί να αποτελέσει μία ημέρα του καλοκαιριού με έντονο καύσωνα με μία αντίστοιχη ημέρα του ίδιου μήνα με χαμηλότερες θερμοκρασίες. Προφανώς και ιδιαίτερη μεταχείριση απαιτούν οι αργίες και οι ειδικές ημέρες. Συστηματικά σφάλματα στις στατιστικές εκτιμήσεις ΜΤ και ΥΤ ελαχιστοποιούνται μέσω του συντελεστή  $d$ .

Τελευταίος παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει την πρόβλεψη, είναι η παραγωγή ΑΠΕ δικτύου ή οποία δημοσιεύεται από τον ΑΔΜΗΕ και υπολογίζεται από τον ΔΑΠΕΕΠ. Το μεγαλύτερο ποσοστό των ΑΠΕ δικτύου αποτελούν τα φωτοβολταϊκά στέγης και δευτερευόντως η αιολική παραγωγή συνδεδεμένη στο δίκτυο ΜΤ. Η παραγωγή των φωτοβολταϊκών επηρεάζεται άμεσα από παράγοντες όπως ηλιοφάνεια και νεφοκάλυψη, ενώ των αιολικών από ανεμολογικά δεδομένα και διαφορές βαρομετρικών. Ο συγκεκριμένος παράγοντας εμφανίζει το μεγαλύτερο ποσοστό στοχαστικότητας και

παρουσιάζει τις μεγαλύτερες αποκλίσεις. Η βαρύτητα του σε σχέση με τα προηγούμενα μεγέθη είναι μικρή οπότε δεν μπορεί να επηρεάσει τόσο έντονα την τελική πρόβλεψη. Σφάλματα του συγκεκριμένου παράγοντα μειώνονται μέσω του συντελεστή  $c$ .

Χαρακτηριστικό παράδειγμα των παραπάνω παρατηρήσεων αποτελεί η περίοδος της πανδημίας το πρώτο μισό του 2020. Η καραντίνα που εφαρμόστηκε προκάλεσε μεγάλη μείωση στα φορτία μέσης και υψηλής τάσης και σαν αποτέλεσμα είχαμε τη μεγάλη απόκλιση στις προβλέψεις του φορτίου χαμηλής τάσης. Αυτό συνέβη για το λόγο του ότι οι εκτιμήσεις της μέσης και υψηλής τάσης που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο αφορούσαν παρελθοντικές χρονιές και φυσικά τα φορτία τους ήταν υψηλότερα. Σαν αποτέλεσμα είχαμε εάν μεγαλύτερο αφαιρετέο και άρα το τελικό αποτέλεσμα (φορτίο χαμηλής τάσης δικτύου) να είναι μικρότερο. Οι αποκλίσεις του μοντέλου στα ποσοστιαία σφάλματα αγγίζουν τις μέγιστες τιμές όλης της διάρκειας, τους μήνες Απρίλιο και Μάιο (μήνες της καραντίνας). Χαρακτηριστικά το MAPE ξεπερνάει το 10%, τη στιγμή που ο μέσος όρος όλων των υπόλοιπων μηνών είναι περίπου 6%.

Μία πρόταση για διόρθωση των παραπάνω μεγάλων αποκλίσεων είναι να εφαρμοστεί ένας συντελεστής μείωσης στις εκτιμήσεις μέσης και υψηλής τάσης τους μήνες όπου διήρκεσε η καραντίνα και είχαμε τη μεγάλη μείωση του φορτίου. Από μελέτες του ΑΔΜΗΕ έχει υπολογιστεί ότι η μείωση αυτή ξεπέρασε τα 10% τους μήνες χαμηλού φορτίου.



## 6. Βιβλιογραφία

---

- [1] Ειρήνη-Ελισάβετ Θεοδώρου, Διπλωματική Εργασία με θέμα 'Βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη ζήτησης φορτίου ηλεκτρικής ενέργειας και εξέταση της επίδρασης των ειδικών ημερών' Αθήνα, Οκτώβριος 2012
- [2] Παναγιώτης Γ.Λαδάς, Διπλωματική Εργασία με θέμα 'Βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη ενεργειακής ζήτησης προσεγγίσεις βασισμένες στη Μηχανική Μάθηση' Αθήνα, Οκτώβριος 2014
- [3] Χαραλάμπου Ν.Ηλία Διδακτορική Διατριβή με θέμα 'Συμβολή στη βραχυπρόθεσμη και μεσοπρόθεσμη πρόβλεψη ζήτησης ηλεκτρικού φορτίου και ενέργειας με χρήση ασαφούς λογικής' Αθήνα, Ιανουάριος 2012
- [4] Assimakopoulos V., Nikolopoulos N. (2000) 'The theta model: a decomposition approach to forecasting', International Journal of Forecasting, Vol. 16, no 4
- [5] R. J. Hyndman and A. B. Koehler, 'Another look at measures of forecast accuracy' International Journal of Forecasting, vol 22, no 4
- [6] Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας '<http://www.rae.gr>'
- [7] Ελληνικό Χρηματιστήριο Ενέργειας '<https://www.enexgroup.gr/el/home>'
- [8] Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας '<https://www.admie.gr/>'
- [9] Διαχειριστής του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας '[www.deddie.gr](http://www.deddie.gr)'
- [10] Διαχειριστής ΑΠΕ & Εγγυήσεων Προέλευσης Α.Ε '<https://www.dapeep.gr/>'
- [11] Κώδικας Διαχείρισης του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας, Έκδοση 3, ΑΔΜΗΕ, Απρίλιος 2016
- [12] Εγχειρίδιο Εκκαθάρισης Αγοράς, Έκδοση 3.1, ΑΔΜΗΕ, Ιανουάριος 2014

