



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Ανάλυση Ελληνικών Αγορών Ενέργειας και Ανάπτυξη Στρατηγικών Συμμετοχής

Διπλωματική Εργασία

Γεώργιος Εμμανουήλ Παπαθεοδώρου

Επιβλέπων: Χάρης Δούκας
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2021



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Ανάλυση Ελληνικών Αγορών Ενέργειας και Ανάπτυξη Στρατηγικών Συμμετοχής

Διπλωματική Εργασία

Γεώργιος Εμμανουήλ Παπαθεοδώρου

Επιβλέπων: Χάρης Δούκας

Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την Πέμπτη 18 Μαρτίου 2021.

.....
Ιωάννης Ψαρράς

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Δημήτριος Ασκούνης

Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Βασίλειος
Ασημακόπουλος

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2021

.....

Παπαθεοδώρου Γιώργος

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Παπαθεοδώρου Γιώργος 2021

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική, αναζητούμε στρατηγικές συμμετοχής στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας της Ελλάδας. Αρχικά, αναλύουμε την δομή αυτών οι οποίες ακολουθούν το Target Model δηλαδή το Ευρωπαϊκό πρότυπο. Συνοπτικά, οι αγορές είναι η day-ahead market, η ενδοημερήσια αγορά η οποία περιλαμβάνει τις τοπικές ενδοημερήσιες δημοπρασίες, τις συμπληρωματικές περιφερειακές ενδοημερήσιες δημοπρασίες και την συνεχή συναλλαγή, η αγορά εξισορρόπησης η οποία περιλαμβάνει την αγορά ισχύος εξισορρόπησης, την αγορά ενέργειας εξισορρόπησης και την εκκαθάριση των αποκλίσεων και τέλος η ενεργειακή χρηματοπιστωτική αγορά η οποία για την ώρα περιλαμβάνει τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης και τα δικαιώματα προαίρεσης. Όπως θα δούμε και στην συνέχεια, προκειμένου να γίνει ομαλά η μετάβαση από τον Ημερήσιο Ενεργειακό Προγραμματισμό στο Target Model, υπάρχουν κάποια μεταβατικά στάδια.

Έχοντας αναλύσει την δομή των αγορών και με στόχο να αναπτύξουμε στρατηγικές για την συμμετοχή σε αυτές, δημιουργούμε ένα χαρτοφυλάκιο βασισμένο σε πραγματικά αιολικά πάρκα. Καθώς το Target Model στην Ελλάδα μόλις ξεκίνησε να λειτουργεί και συγκεκριμένα με μεταβατικούς όρους, πρέπει να επιλέξουμε την αγορά μιας άλλης χώρας προκειμένου να εφαρμόσουμε τις στρατηγικές μας. Έτσι επιλέγουμε την αγορά της Ιρλανδίας η οποία παρουσιάζει πολλές ομοιότητες με της Ελλάδας. Τόσο για το χαρτοφυλάκιο μας όσο και για την αγορά της Ιρλανδίας, συγκεντρώσαμε όλα τα διαθέσιμα δεδομένα όπως πρόβλεψη παραγωγής, τιμές, και residual load. Καθώς οι στρατηγικές που θα αναπτύξουμε πρέπει να λαμβάνουν υπόψιν προβλέψεις τιμών και όχι πραγματικές τιμές, οφείλουμε να προβλέψουμε τις τιμές των επιλεγμένων αγορών. Καθώς αυτό δεν αποτελεί αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής, χωρίς να δώσουμε πολύ βαρύτητα, εκτελούμε κάποια μοντέλα πρόβλεψης από τα οποία υπερτερούν τα νευρωνικά δίκτυα. Ενδεικτικά για την day-ahead αγορά, πετυχαίνουμε MAE στις προβλέψεις ίσο με 5,65.

Τέλος, αναπτύξαμε τέσσερις στρατηγικές για την συμμετοχή στις αγορές. Αυτές είναι η Αφελής στρατηγική, η στρατηγική με Κλείσιμο Θέσης, η Άπληστη στρατηγική και η Άπληστη με κλείσιμο Θέσης στρατηγική. Προκειμένου να μπορέσουμε να τις συγκρίνουμε μεταξύ τους, αναπτύξαμε κάποιες μετρικές απόδοσης. Αυτές είναι η Perfect Knowledge η οποία αναπαριστά τα μέγιστα έσοδα ενός Φο.Σ.Ε. στην περίπτωση που είχε την πλήρη γνώση των αποτελεσμάτων των αγορών, η Nothing Strategy η οποία αναπαριστά τα έσοδα ενός Φο.Σ.Ε. αν δεν υπέβαλε καμία προσφορά στις αγορές και η Profit/Loss η οποία αναπαριστά την κερδοφορία του Φο.Σ.Ε.

Λέξεις κλειδιά: Φορέας Σωρευτικής Εκπροσώπησης, Target Model, Αγορές Ενέργειας, Ελληνικό Χρηματιστήριο Ενέργειας, στρατηγικές συμμετοχής σε

αγορές, αγορά επόμενης ημέρας, ενδοημερήσιας αγορά, αγορά εξισορρόπησης.

Abstract

In this thesis, we develop strategies for participating in the Greek Electricity Markets. Firstly, we analyze the structure of these markets that follow the European standard, "Target Model". These markets include the day-ahead market, the intraday market, the balancing market, and the forward market. During the transition between the old Greek model, "Daily Energy Schedule" and the Target Model there is a transitional period which is of great importance to the participants.

In order to develop the aforementioned strategies, we create a portfolio based on existing wind parks. Since the Target Model in Greece has just began, there are not enough data. So, we pick another European Country, which is Ireland because its market structure is very similar to one of Greece. Both for our portfolio and for Ireland' s markets, we gather all existing data like production forecasts, prices and residual load. Since our strategies need price forecasts and not actual forecasts, we must use forecasting models for the prices. This particular subject is not part of this thesis so we will not go deep into this.

Finally, we develop four strategies for the participation in the markets. These are the Naïve strategy, the Closing Position strategy, the Greedy strategy and the Greedy with Closing Position strategy. To compare these strategies we use the following 3 key point indicators Perfect knowledge, Nothing strategy and Profit/loss.

Keywords: Renewable Energy Sources Aggregator, Target Model, Energy Markets, Hellenic Energy Exchange, Strategies for participation in energy markets, day-ahead market, intraday market, balancing market.

Πρόλογος

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη στρατηγικών για την συμμετοχή ενός Φορέας Σωρευτικής Εκπροσώπησης στο Χρηματιστήριο Ηλεκτρικής Ενέργειας της Ελλάδας. Στο πλαίσιο αυτό, αναλύθηκε ο τρόπος λειτουργίας των αγορών, συλλέχθηκαν και παρουσιάστηκαν τα δεδομένα του χαρτοφυλακίου και των αγορών και αναπτύχθηκαν και συγκρίθηκαν μεταξύ τους κάποιες στρατηγικές.

Η διπλωματική εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2020-2021 υπό την επίβλεψη του κ. Χάρη Δούκα, καθηγητή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (Ε.Μ.Π.) της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους συναδέλφους μου για την συνεχή υποστήριξη που μου παρείχαν και ειδικά την κα. Παναγιώτα Καμπύλη και τον κ. Σπύρο Μίχα. Επίσης οφείλω να ευχαριστήσω τον κ. Δημήτρη Αγγελόπουλο για την υπομονή που έδειξε κατά την εκπόνηση της διπλωματικής μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένεια και τους φίλους μου για την στήριξή τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου στο Ε.Μ.Π.

Περιεχόμενα

Περίληψη	5
Abstract.....	7
Πρόλογος	9
Πίνακας Εικόνων	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Εισαγωγή.....	14
1.1 Εισαγωγή.....	15
1.2 Στόχος της διπλωματικής.....	16
1.3 Δομή διπλωματικής.....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Ελλάδα.....	19
2.1 Εισαγωγή.....	21
2.2 Αγορά Επόμενης Ημέρας.....	21
2.3 Ενδο-ημερήσια αγορά.....	25
2.3.1 Τοπικές ενδο-ημερήσιες δημοπρασίες	25
2.3.2 Συμπληρωματικές περιφερειακές ενδο-ημερήσιες δημοπρασίες	26
2.3.3 Συνεχής συναλλαγή	26
2.4 Αγορά εξισορρόπησης (Balancing Market)	29
2.4.1 Διαδικασία ενοποιημένου προγραμματισμού	30
2.4.2 Αγορά Ισχύος Εξισορρόπησης.....	31
2.4.3 Αγορά Ενέργειας Εξισορρόπησης	32
2.4.4 Εκκαθάριση αποκλίσεων	35
2.4.5 Λοιπές χρεώσεις.....	36
2.5 Ενεργειακή χρηματοπιστωτική αγορά	37
2.5.1 Συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης	38
2.5.2 Δικαιώματα προαίρεσης.....	39
2.5.3 Εντολές.....	39
2.5.4 Τιμή εκκαθάρισης παραγώγων.....	40
2.6 Μεταβατικό Στάδιο	41
2.6.1 Μεταβατικός Μηχανισμός Βέλτιστης Ακρίβειας Πρόβλεψης (ΜΜΒΑΠ) 41	
2.6.2 Προσαύξηση Ανάπτυξης Ετοιμότητας Συμμετοχής στην Αγορά (ΠΑΕΣΑ).....	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Δεδομένα Χαρτοφυλακίου.....	46
3.1 Εισαγωγή.....	47
3.2 Πραγματικά Δεδομένα Παραγωγής	47
3.2 Προβλέψεις Παραγωγής.....	51
3.2.1 Πρόβλεψη παραγωγής για την day-ahead αγορά.....	51
3.2.2 Πρόβλεψη παραγωγής για την LIDA 1 αγορά.....	53

3.2.3	Πρόβλεψη παραγωγής για την LIDA 2 αγορά	54
3.2.4	Πρόβλεψη παραγωγής για την LIDA 3 αγορά	56
3.2.5	Πρόβλεψη παραγωγής για την IDC αγορά	58
3.2.6	Συνολική πρόβλεψη παραγωγής Αιολικών.....	59
3.3	Backcast production forecast	62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Δεδομένα Αγοράς		63
4.1	Πραγματικά Δεδομένα Αγορών	65
4.1.1	Residual Load	65
4.1.2	Τιμές Αγορών	66
4.1.3	Περίληψη τιμών αγορών	72
4.2	Προβλέψεις τιμών	74
4.2.1	Πρόβλεψη τιμών day-ahead αγοράς	74
4.2.2	Προβλέψεις τιμών Intraday αγορών	86
4.2.3	Πρόβλεψη τιμών Imbalance αγοράς	89
4.2.4	Περίληψη προβλέψεων τιμών	89
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Στρατηγικές συμμετοχής στην αγορά		92
5.1	Εισαγωγή.....	93
5.2	Παραδοχές αγορών και ανάλυση ευαισθησίας.....	93
5.3	Μετρικές απόδοσης.....	94
5.4	Εκτέλεση στρατηγικών	95
5.4.1	Αφελής στρατηγική (Naive strategy).....	96
5.4.2	Στρατηγική κλείσιμο θέσης (Closing position strategy).....	98
5.4.3	Άπληστη στρατηγική (Greedy strategy)	99
5.4.4	Άπληστη με κλείσιμο θέσης στρατηγική (Greedy with closing position strategy).....	102
5.4.5	Strategies summary	104
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 Συμπεράσματα και προοπτικές		106
6.1	Συμπεράσματα	107
6.2	Προοπτικές.....	108
Βιβλιογραφία		109

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1: Οριακή Τιμή Συστήματος σύμφωνα με την αρχή της μεγιστοποίησης του κοινωνικού πλεονάσματος _____	22
Εικόνα 2: Βηματικά (αριστερά) και γραμμικά (δεξιά) τμήματα ωριαίων υβριδικών εντολών _____	23
Εικόνα 3: Εντολή πακέτου για την 3 ^η έως και την 7 ^η ώρα κατανομής _____	23
Εικόνα 4: Προσφορές έγχυσης και απορρόφησης ενέργειας στο βιβλίο εντολών της συνεχούς ενδοημερήσιας συναλλαγής _____	27
Εικόνα 5: Φορτίο βάσης (base load) και φορτίο αιχμής (peak load) _____	37
Εικόνα 6: Θεωρητική καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας τύπου Nordex N-43, 600kW. _____	47
Εικόνα 7: Πραγματική καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας 1 _____	48
Εικόνα 8: Παραγωγή (μπλε) και ταχύτητα του αέρα (πορτοκαλί) μιας εβδομάδας, της ανεμογεννήτριας 1 _____	49
Εικόνα 9: Πραγματική καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας 2 _____	49
Εικόνα 10: Παραγωγή (μπλε) και ταχύτητα του αέρα (πορτοκαλί) μιας εβδομάδας, της ανεμογεννήτριας 2 _____	50
Εικόνα 11: Πραγματική παραγωγή (μπλε) - πρόβλεψη παραγωγής (πορτοκαλί) πριν το κλείσιμο της day-ahead αγοράς για μια εβδομάδα του Μαΐου _____	52
Εικόνα 12: Ιστόγραμμα των σφαλμάτων μεταξύ πρόβλεψης και πραγματικής παραγωγής _____	52
Εικόνα 13: Πραγματική παραγωγή (μπλε) - πρόβλεψη παραγωγής (πορτοκαλί) πριν το κλείσιμο της LIDA 1 αγοράς για μια εβδομάδα του Μαΐου _____	53
Εικόνα 14: Ιστόγραμμα των σφαλμάτων μεταξύ πρόβλεψης και πραγματικής παραγωγής _____	54
Εικόνα 15: Πραγματική παραγωγή (μπλε) - πρόβλεψη παραγωγής (πορτοκαλί) πριν το κλείσιμο της LIDA 2 αγοράς για μια εβδομάδα του Μαΐου _____	55
Εικόνα 16: Ιστόγραμμα των σφαλμάτων μεταξύ πρόβλεψης και πραγματικής παραγωγής _____	55
Εικόνα 17: Πραγματική παραγωγή (μπλε) - πρόβλεψη παραγωγής (πορτοκαλί) πριν το κλείσιμο της LIDA 3 αγοράς για μια εβδομάδα του Μαΐου _____	56
Εικόνα 18: Ιστόγραμμα των σφαλμάτων μεταξύ πρόβλεψης και πραγματικής παραγωγής _____	57
Εικόνα 19: Πραγματική παραγωγή (μπλε) - πρόβλεψη παραγωγής (πορτοκαλί) πριν το κλείσιμο της IDC αγοράς για μια εβδομάδα του Μαΐου _____	58
Εικόνα 20: Ιστόγραμμα των σφαλμάτων μεταξύ πρόβλεψης και πραγματικής παραγωγής _____	58
Εικόνα 21: Όλες οι προβλέψεις παραγωγής καθώς και η πραγματική τιμή _____	60
Εικόνα 22: Σφάλματα όλων των προβλέψεων _____	60
Εικόνα 23: Residual Load, πραγματικά δεδομένα (μπλε) και δεδομένα προβλέψεων (πορτοκαλί) για δύο εβδομάδες του Μαΐου _____	65
Εικόνα 24: Ιστόγραμμα σφαλμάτων πρόβλεψης residual load _____	66
Εικόνα 25: Τιμή Day-ahead για δύο εβδομάδες του Μαΐου _____	67
Εικόνα 26: Ιστόγραμμα τιμών day-ahead αγοράς _____	67
Εικόνα 27: Τιμή LIDA 1 αγοράς για δύο εβδομάδες του Μαΐου _____	68
Εικόνα 28: Ιστόγραμμα τιμών LIDA 1 αγοράς _____	68
Εικόνα 29: Τιμή LIDA 2 αγοράς για δύο εβδομάδες του Μαΐου _____	69
Εικόνα 30: Ιστόγραμμα τιμών LIDA 2 αγοράς _____	69
Εικόνα 31: Τιμή LIDA 3 αγοράς για δύο εβδομάδες του Μαΐου _____	70
Εικόνα 32: Ιστόγραμμα τιμών LIDA 3 αγοράς _____	70
Εικόνα 33: Τιμή LIDA 3 αγοράς για δύο εβδομάδες του Μαΐου _____	71
Εικόνα 34: Ιστόγραμμα τιμών IDC αγοράς _____	71

Εικόνα 35: <i>Imbalance price</i> για δύο εβδομάδες του Μαΐου _____	72
Εικόνα 36: Ιστόγραμμα <i>imbalance prices</i> _____	72
Εικόνα 37: Πραγματικές τιμές <i>day-ahead</i> και προβλέψεις με την μέθοδο <i>Naive Daily</i> για δύο εβδομάδες του Μαΐου _____	75
Εικόνα 38: Ιστόγραμμα σφαλμάτων πρόβλεψης τιμής <i>day-ahead</i> με την μέθοδο <i>Naive Daily</i> _____	75
Εικόνα 39: Πραγματικές τιμές <i>day-ahead</i> και προβλέψεις με την μέθοδο <i>Naive Weekly</i> για δύο εβδομάδες του Μαΐου _____	77
Εικόνα 40: Ιστόγραμμα σφαλμάτων πρόβλεψης τιμής <i>day-ahead</i> με την μέθοδο <i>Naive Weekly</i> _____	77
Εικόνα 41: Πραγματικές τιμές <i>day-ahead</i> και προβλέψεις με την μέθοδο <i>Naive Better</i> για δύο εβδομάδες του Μαΐου _____	79
Εικόνα 42: Ιστόγραμμα σφαλμάτων πρόβλεψης τιμής <i>day-ahead</i> με την μέθοδο <i>Naive Better</i> _____	79
Εικόνα 43: Βέλτιστη παράμετρος α της μεθόδου πρόβλεψης <i>Naive</i> για κάθε ώρα της ημέρας _____	80
Εικόνα 44: Πραγματικές τιμές <i>day-ahead</i> και προβλέψεις με την μέθοδο <i>Simple Exponential Smoothing</i> για δύο εβδομάδες του Μαΐου _____	81
Εικόνα 45: Ιστόγραμμα σφαλμάτων πρόβλεψης τιμής <i>day-ahead</i> με την μέθοδο <i>Simple Exponential Smoothing</i> _____	81
Εικόνα 46: Πραγματικές τιμές <i>day-ahead</i> και προβλέψεις με την μέθοδο <i>Moving Average</i> για δύο εβδομάδες του Μαΐου _____	83
Εικόνα 47: Ιστόγραμμα σφαλμάτων πρόβλεψης τιμής <i>day-ahead</i> με την μέθοδο <i>Moving Average</i> _____	83
Εικόνα 48: Πραγματικές τιμές <i>day-ahead</i> και προβλέψεις με την μέθοδο <i>Moving Average</i> για δύο εβδομάδες του Μαΐου _____	85
Εικόνα 49: Ιστόγραμμα σφαλμάτων πρόβλεψης τιμής <i>day-ahead</i> με νευρωνικό δίκτυο τύπου <i>LSTM</i> _____	85
Εικόνα 50: Ανάλυση ευαισθησίας αφελοῦς στρατηγικής ως προς την πρόβλεψη παραγωγής. _____	97
Εικόνα 51: Ανάλυση ευαισθησίας στρατηγικής με κλείσιμο θέσης ως προς την πρόβλεψη παραγωγής. _____	99
Εικόνα 52: Ανάλυση ευαισθησίας άπληστης στρατηγικής ως προς την πρόβλεψη παραγωγής. _____	101
Εικόνα 53: Ανάλυση ευαισθησίας άπληστης στρατηγικής με κλείσιμο θέσης ως προς την πρόβλεψη παραγωγής. _____	103

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή

Ζούμε σε μια εποχή όπου τα νοικοκυριά έχουν να επιλέξουν μεταξύ διαφορετικών παρόχων ηλεκτρικής ενέργειας ανάλογα με την τιμή ή την «καθαρότητα» της ενέργειας που αυτοί προσφέρουν. Βλέπουμε τα βουνά να γεμίζουν ανεμογεννήτριες και οι πεδιάδες φωτοβολταϊκά ενώ ταυτόχρονα περιμένουμε την εκκίνηση της λειτουργίας των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας. Φυσικά, αυτά για κάποιες χώρες είναι δεδομένα εδώ και πολλά χρόνια ενώ για άλλες αποτελούν σενάριο επιστημονικής φαντασίας.

Το γεγονός του ότι η ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί αδιαμφισβήτητα ένα από τα σημαντικότερα αγαθά του πλανήτη καθώς και αναπόσπαστο κομμάτι της ζωής του ανθρώπου έχει οδηγήσει στην μεταμόρφωση ολόκληρου του κλάδου. Κυβερνήσεις στην Ελλάδα και σε όλο τον κόσμο εστιάζουν στον κλάδο της ενέργειας ώστε να διασφαλίσουν την αδιάλειπτη και οικονομικά συμφέρουσα παροχή αυτής σε όλους.

Για να μπορέσουμε να καταλάβουμε καλύτερα τον λόγο που γίνονται μεταρρυθμίσεις στον κλάδο καθώς και έννοιες όπως το Ελληνικό Χρηματιστήριο Ενέργειας και τον ρόλο του, έχει νόημα να κοιτάξουμε λίγο την ιστορία ξεκινώντας από το έτος ίδρυσης της ΔΕΗ το 1950.

Τότε η χώρα ηλεκτροδοτούταν από περίπου 400 τοπικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας και δεν υπήρχαν καθόλου δίκτυα ώστε να μεταφέρεται ενέργεια και να υπάρχει ανταγωνισμός μεταξύ αυτών. Η τιμή της ενέργειας όπως μπορούμε να φανταστούμε ήταν υψηλή και απαγορευτική για τον περισσότερο κόσμο. Μετά από εισηγήσεις μιας Αμερικάνικης εταιρείας της EBASCO, προτάθηκε η διανομή να οργανωθεί σε 5 έως 7 περιφερειακούς οργανισμούς. Μέτοχοι αυτών θα ήταν οι ιδιοκτήτες των τοπικών σταθμών παραγωγής με βάση την αξία των εγκαταστάσεών τους.

Υστερα από αντιδράσεις η κυβέρνηση ψήφισε τον Ν. 3523/1956 σύμφωνα με τον οποίο έληξαν όλες οι άδειες που αυτές οι εταιρείες είχαν και αναγκαστικά εξαγοράστηκαν από την ΔΕΗ. Ταυτόχρονα με τον ίδιο νόμο, τέθηκαν σε ισχύ ενιαία τιμολόγια –πολύ οικονομικότερα- για όλους τους καταναλωτές της χώρας. Το αποτέλεσμα: εκθετική αύξηση της ζήτησης.

Αξίζει να αναφέρουμε εδώ πως το 1963 είχαν εξαγοραστεί 406 από τις 415 τοπικές εταιρείες παραγωγής ενώ η ζήτηση είχε αυξηθεί κατά 240%. Τα επόμενα χρόνια συνεχίστηκε η αύξηση της ζήτησης και η ΔΕΗ καθώς και ο ενεργειακός κλάδος της χώρας εναρμονιζόταν όλο και περισσότερο με τα Ευρωπαϊκά πρότυπα.

Στη συνέχεια περίπου το 1990 άρχισε να εμφανίζεται η διεσπαρμένη παραγωγή δηλαδή η μικρής ισχύος παραγωγή από μονάδες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Εκτός από αυτές τις μονάδες που συνδέονταν στο δίκτυο διανομής οι καταναλωτές άρχισαν να γίνονται και παραγωγοί (prosumers) μέσω μικρών φωτοβολταϊκών στα σπίτια τους. Αυτή η μετάβαση οδήγησε σε αυξημένη πολυπλοκότητα σχετικά με την διαχείριση των δικτύων μεταφοράς και διανομής

το οποίο ήταν και το έναυσμα της ανάπτυξης έξυπνων λύσεων. Μια από αυτές είναι κατά την γνώμη πολλών και τα χρηματιστήρια ενέργειας.

Είναι λογικό πως όλα τα παραπάνω αναφέρονται μεν στην Ελλάδα αλλά αντίστοιχη πορεία ακολουθήσανε και πολλές άλλες χώρες.

1.2 Στόχος της διπλωματικής

Στόχος της διπλωματικής είναι να αναλυθεί η λειτουργία των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα και να αναπτυχθούν και αξιολογηθούν στρατηγικές για την συμμετοχή παραγωγών από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε αυτές. Αξίζει να αναφερθεί ότι μιας και η συμμετοχή στις αγορές είναι αρκετά δύσκολη διαδικασία και εμπεριέχει ρίσκο, δεν αποτελεί δραστηριότητα την οποία κάνει κάποιος μικρός παραγωγός μόνος του. Έτσι δημιουργείτε η ανάγκη για Φορείς Σωρευτικής Εκπροσώπησης (Φο.Σ.Ε.) οι οποίοι παρέχουν την υπηρεσία της εκπροσώπησης στην αγορά, σε παραγωγούς. Όλα τα σενάρια και οι στρατηγικές που θα εξεταστούν στην συνέχεια, θεωρούν ως συμμετέχοντα έναν Φο.Σ.Ε.

Κατά τη συγγραφή αυτής της διπλωματικής, στην Ελλάδα υπάρχει ο Ημερήσιος Ενεργειακός Προγραμματισμός (ΗΕΠ) μέσω του οποίου ο Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ), καταρτίζει το πρόγραμμα κατανομής δηλαδή το πόση ενέργεια θα παραχθεί και θα καταναλωθεί από τους παραγωγούς και τους καταναλωτές (προμηθευτές) αντίστοιχα. Αυτό γίνεται μέσω μιας δημοπρασίας η οποία λαμβάνει τόπο το μεσημέρι κάθε ημέρας και αναφέρεται στο πρόγραμμα κατανομής της επόμενης ημέρας. Αυτός ο τρόπος λειτουργίας της αγοράς θα αντικατασταθεί στη 1 Νοέμβρη του 2020 από τέσσερις καινούριες αγορές οι οποίες ακολουθούν το Target Model που έχει θέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση σχετικά με τις λειτουργίες των αγορών ενέργειας. Παρόλο που θα αναλυθεί η λειτουργία όλων των αγορών, οι στρατηγικές οι οποίες θα δημιουργηθούν και θα αναλυθούν λαμβάνουν υπόψιν μόνο τις τρεις από τις τέσσερις αγορές, αυτές οι οποίες επηρεάζουν την δραστηριότητα των Φο.Σ.Ε.

Προκειμένου να αναπτυχθούν και εξεταστούν οι στρατηγικές συμμετοχής στις αγορές, θα πρέπει πρώτα να κατασκευαστεί το χαρτοφυλάκιο το οποίο θα αποτελείται από αιολικά πάρκα. Τα δεδομένα των πάρκων αυτών έχουν αντληθεί από πάρκα τα οποία είναι εγκατεστημένα και λειτουργούν εδώ και χρόνια στην Ιρλανδία (ο λόγος που επιλέγουμε αιολικά πάρκα της Ιρλανδίας παρουσιάζεται στην συνέχεια). Στην συνέχεια θα χρειαστούμε κάποια δεδομένα των αγορών (για παράδειγμα τιμές, ρευστότητα, κλπ.), τα οποία όμως δεν είναι διαθέσιμα αφού οι αγορές δεν λειτουργούν ακόμη. Γι' αυτό, έχουν συλλεχθεί δεδομένα από τις αγορές της Ιρλανδίας η οποία κατά την γνώμη του συγγραφέα λειτουργεί με σχεδόν ίδιο τρόπο με αυτές της Ελλάδας. Επιπρόσθετα, το ποσοστό διείσδυσης

των ΑΠΕ στο ενεργειακό μίγμα της Ιρλανδίας είναι αντίστοιχο με αυτό της Ελλάδας.

Συνεχίζοντας, θα αναπτυχθούν στρατηγικές οι οποίες θα έχουν ως στόχο την μεγιστοποίηση του κέρδους ενός Φο.Σ.Ε. ο οποίος θα συμμετέχει στις αγορές με το προαναφερθέν χαρτοφυλάκιο. Είναι λογικό πως είναι αναγκαίο να γίνουν κάποιες παραδοχές ώστε να γίνει ευκολότερη η προσομοίωση της συμμετοχής του Φο.Σ.Ε. στις αγορές. Η προσομοίωση της συμμετοχής θα επαναληφθεί αρκετές φορές με μικρές διαφοροποιήσεις ώστε με ασφάλεια να μπορούμε να πούμε ότι η αγορά της Ελλάδας θα έχει παρόμοια συμπεριφορά με της Ιρλανδίας και οι ίδιες στρατηγικές μπορούν να εφαρμοστούν και στις δύο χώρες.

Το αποτέλεσμα της διπλωματικής θα είναι το οικονομικό αποτέλεσμα της δραστηριότητας ενός Φο.Σ.Ε. στην αγορά της Ελλάδας με διαφορετικές στρατηγικές. Τα αποτελέσματα των στρατηγικών θα συγκριθούν μεταξύ τους και ως προς το κέρδος αλλά και ως προς τις συνθήκες που αυτές είναι εφαρμόσιμες.

1.3 Δομή διπλωματικής

Στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2, περιγράφεται αναλυτικά η δομή και η λειτουργία των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας της Ελλάδας. Πιο συγκεκριμένα πρόκειται για τέσσερις αγορές οι οποίες είναι η Αγορά Επόμενης Ημέρας, η Ενδο-ημερήσια αγορά, η Αγορά Εξισορρόπησης και η Ενεργειακή Χρηματοπιστωτική Αγορά (αγορά παραγωγών). Όπως αναφέραμε προηγουμένως, αυτές οι αγορές θα ξεκινήσουν να λειτουργούν στη 1 Νοέμβρη και έχοντας ως στόχο την ομαλή μετάβαση, θα υπάρξει ένα μεταβατικό στάδιο μέχρι την πλήρη εφαρμογή όλων των λειτουργιών των καινούριων αγορών. Οι κανόνες των αγορών που εμπίπτουν στο μεταβατικό στάδιο είναι μείζονος σημασίας για τα πρώτα χρόνια του Ελληνικού Χρηματιστηρίου Ενέργειας και περιγράφονται στο τέλος του κεφαλαίου.

Στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3, αναφέρονται τα δεδομένα του χαρτοφυλακίου δηλαδή των αιολικών πάρκων που το απαρτίζουν. Παρουσιάζονται τόσο τα πραγματικά δεδομένα παραγωγής τους όσο και οι προβλέψεις για την μελλοντική παραγωγή τους. Όπως θα δούμε και στην συνέχεια, οι προσφορές των Φο.Σ.Ε. βασίζονται στις προβλέψεις της παραγωγής των πάρκων τους και όσο καλύτερες είναι αυτές, τόσο μεγαλύτερο περιθώριο κέρδους έχουν.

Στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4, αναφέρονται τα δεδομένα των αγορών της Ιρλανδίας. Αυτά περιλαμβάνουν το Residual Load καθώς και τις τιμές των επιμέρους αγορών. Το Residual Load, σύμφωνα με την βιβλιογραφία, καθορίζει την τιμή των αγορών μέχρι και 80% γι' αυτό πρόκειται για ένα μέγεθος το οποίο τόσο αυτό όσο και την πρόβλεψη του, την δημοσιεύει ο ΑΔΜΗΕ. Στο ίδιο κεφάλαιο, έχουν γίνει κάποιες απλές προβλέψεις τιμών οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν στην συνέχεια για την εκτέλεση των προσομοιώσεων.

Στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5, παρουσιάζονται κάποιες παραδοχές που θα γίνουν στις προσομοιώσεις. Στην συνέχεια παρουσιάζονται κάποιες παραμετροποιήσεις της προσομοίωσης προκειμένου να είναι δυνατή η σύγκριση των στρατηγικών ως προς τις συνθήκες που αυτές αποβαίνουν κερδοφόρες. Έπειτα, αναπτύσσονται οι στρατηγικές και εκτελούνται οι προσομοιώσεις. Οι προσομοιώσεις αυτές, εκτελούνται για όλα τα σενάρια, τις παραδοχές και τις παραμέτρους που έχουν παρουσιαστεί. Τέλος, εφόσον έχει πρώτα παρουσιαστεί ο τρόπος με τον οποίο θα συγκρίνουμε τα αποτελέσματα, γίνεται η σύγκριση και καταλήγουμε στην πιο οικονομικά συμφέρουσα στρατηγική.

Στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και οι προοπτικές που προκύπτουν από την παρούσα διπλωματική.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Ελλάδα

2.1 Εισαγωγή

Σύμφωνα με τον νόμο 4425/2016 ορίζονται τέσσερις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτές είναι οι:

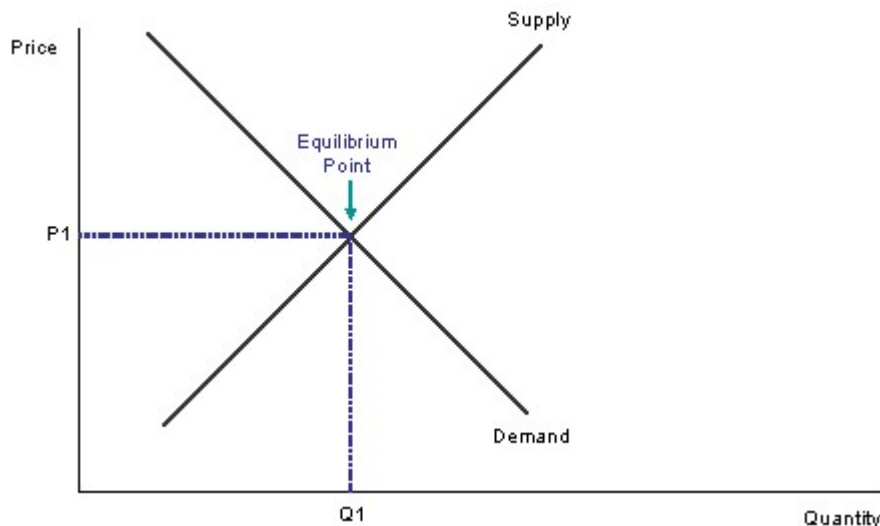
- Ενεργειακή Χρηματοπιστωτική Αγορά (Derivatives Market)
- Αγορά Επόμενης Ημέρας (Day-Ahead Market)
- Ενδο-ημερήσια αγορά (Intraday Market)
- Αγορά Εξισορρόπησης (Balancing Market)

Στην συνέχεια θα αναλύσουμε την λειτουργία των τεσσάρων αγορών και θα επικεντρωθούμε περισσότερο σε αυτές που ενδιαφέρουν τους Φορείς Σωρευτικής Εκπροσώπησης (Φο.Σ.Ε.).

2.2 Αγορά Επόμενης Ημέρας

Στην Αγορά Επόμενης Ημέρας οι συμμετέχοντες συναλλάσσουν ενέργεια που πρόκειται να παραχθεί (αν μιλάμε για παραγωγούς) ή καταναλωθεί (αν μιλάμε για προμηθευτές) την επόμενη ημέρα. Η συγκεκριμένη αγορά είναι στην ουσία μια δημοπρασία η οποία ολοκληρώνεται την προηγούμενη μέρα (d-1) από την μέρα στην οποία αναφέρονται οι προσφορές (ημέρα d). Στις περισσότερες χώρες το μεσημέρι της ημέρας d-1 έχει ολοκληρωθεί η δημοπρασία ώστε να προλάβουν οι διαχειριστές να υπολογίσουν την τιμή της αγοράς καθώς και να καταρτηθεί πρόγραμμα παραγωγής για τους παραγωγούς. Στην Ελλάδα η δημοπρασία αυτή κλείνει στις 13:00 το μεσημέρι δηλαδή μέχρι εκείνη την ώρα γίνονται αποδεκτές οι προσφορές. Σημειώνεται πως για όλους τους συμμετέχοντες η συμμετοχή στην αγορά αυτήν είναι προαιρετική με εξαίρεση τους Παραγωγούς (θερμικούς παραγωγούς), οι οποίοι πρέπει να υποβάλουν προσφορές για το σύνολο της εναπομένουσας ενέργειας τους (ενέργεια που δεν έχει πωληθεί στην αγορά παραγωγών που θα δούμε στην συνέχεια).

Σε αυτήν την αγορά αναφερόμαστε πάντα σε ωριαία διαστήματα. Με άλλα λόγια η αγορά αυτή αποτελείται από 24 προϊόντα ένα για κάθε ώρα της ημέρας (Αγοραία Χρονική Μονάδα). Φυσικά για κάθε ώρα υπολογίζεται και διαφορετική τιμή αγοράς. Αυτή υπολογίζεται σύμφωνα με την αρχή της μεγιστοποίησης του κοινωνικού πλεονάσματος. Πιο αναλυτικά συλλέγονται όλες οι προσφορές πώλησης (ή έγχυσης ενέργειας) και αγοράς (ή κατανάλωσης ενέργειας) και ταξινομούνται κατά αύξουσα και φθίνουσα σειρά αντίστοιχα. Εκεί που τέμνονται οι δύο καμπύλες προκύπτει η τιμή ισορροπίας της αγοράς (για κάθε ώρα).



Εικόνα 1: Οριακή Τιμή Συστήματος σύμφωνα με την αρχή της μεγιστοποίησης του κοινωνικού πλεονάσματος

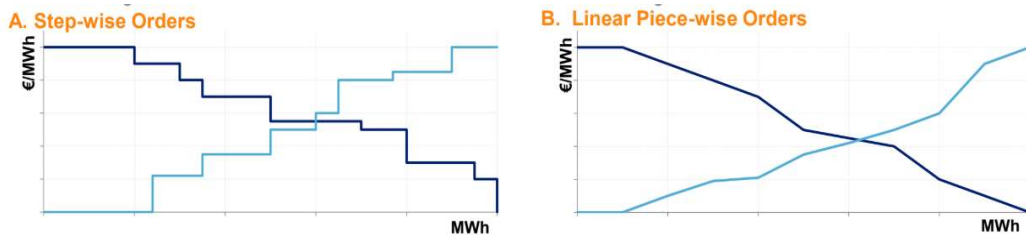
Αξίζει να σημειωθεί πως όλες οι συναλλαγές που διενεργούνται επί της Αγοράς Επόμενης Ημέρας έχουν την υποχρέωση φυσικής παράδοσης δηλαδή την πραγματική έγχυση ή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας με βάση τις προσφορές που έγιναν αποδεκτές. Είναι προφανές πως για να γίνει μια προσφορά έγχυσης αποδεκτή τότε η τιμή αυτής πρέπει να είναι χαμηλότερη από την τιμή ισορροπίας. Αντίστοιχα μια προσφορά κατανάλωσης ενέργειας πρέπει να έχει υψηλότερη τιμή για να γίνει αποδεκτή. Τονίζουμε πως ανεξαρτήτως της τιμής που έχουν συμπεριλάβει στην προσφορά τους οι συμμετέχοντες, αυτοί των οποίων οι προσφορές θα γίνουν αποδεκτές λαμβάνουν την ίδια τιμή.

Τέλος, σε περίπτωση που υπάρχουν ξεχωριστές ζώνες προσφορών όπως πχ. Στερεά Ελλάδα – Κρήτη, τότε η προσφορές αναφέρονται σε συγκεκριμένη ζώνη. Όλες οι γειτονικές ζώνες θα έχουν τις ίδιες τιμές ισορροπίας για κάθε ώρα εκτός και αν υπάρχει κάποιος τεχνικός περιορισμός ο οποίος καταπατάται. Αυτός μπορεί να είναι συμφόρηση (congestion) σε γραμμή ή κάποιο τεχνικό ελάχιστο κάποιου εργοστασίου εσωτερικής καύσης. Σε αυτήν την περίπτωση παρεμβαίνει ο διαχειριστής και παρατηρείται διαφοροποίηση των τιμών μεταξύ των ζωνών.

Εντολές

Οι τύποι εντολών που δύναται οι συμμετέχοντες να υποβάλλουν (και πάλι αναφερόμαστε για κάθε μία από τις 24 ώρες ξεχωριστά) κατά την διαδικασία διενέργειας της δημοπρασίας είναι:

- **Ωριαίες Υβριδικές Εντολές (Hourly Hybrid Orders):** Πρόκειται για βηματικά ή γραμμικά τμήματα ποσοτήτων ενέργειας με την αντίστοιχη τιμή τους.



Εικόνα 2: Βηματικά (αριστερά) και γραμμικά (δεξιά) τμήματα ωριαίων υβριδικών εντολών

- Εντολές Πακέτου (Block Orders):** Αυτές οι εντολές αποτελούνται από μια τιμή (κατώτατο όριο πώλησης αν μιλάμε για προσφορά πώλησης ενώ ανώτατο αν μιλάμε για αγοράς), μια ποσότητα ενέργειας για μια ομάδα Αγοραίων Χρονικών Μονάδων (πχ. 3-7 το πρωί) και ένα ελάχιστο ποσοστό αποδοχής. Δύναται η ποσότητα ενέργειας να μην είναι ίδια για κάθε Αγοραία Χρονική Μονάδα και είναι λογικό πως αυτή η εντολή δεν μπορεί να γίνει αποδεκτή κατά χαμηλότερο ποσοστό σε σχέση με το ελάχιστο ποσοστό αποδοχής.



Εικόνα 3: Εντολή πακέτου για την 3^η έως και την 7^η ώρα κατανομής

- Συνδεδεμένες Εντολές Πακέτου (Linked block orders):** Πρόκειται για εντολές πακέτου οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους με τρόπο τέτοιο ώστε για να γίνει αποδεκτό το πακέτο B πρέπει πρώτο να γίνει δεκτό το A. Η σχέση αυτή λέγεται γονέας – παιδί με το πακέτο A να είναι ο γονέας ενώ το B το παιδί.
- Αποκλειστική Ομάδα Εντολών Πακέτου (Exclusive group of block orders):** Πρόκειται για ένα σύνολο εντολών πακέτου των οποίων το άθροισμα των ποσοστών αποδοχής τους δεν μπορεί να ξεπερνάει την μονάδα. Με άλλα λόγια αν γίνει αποδεκτό το πακέτο A κατά ποσοστό 70% τότε το πακέτο B δεν γίνεται να γίνει αποδεκτό περισσότερο από 30%.

Υπάρχουν κάποιες εντολές οι οποίες ονομάζονται εντολές με αποδοχή τιμής και προτεραιότητα εκτέλεσης. Αυτές δεν είναι τίποτα άλλο από απλές υβριδικές εντολές ενός βήματος με τιμή ίση με την κατώτατη διοικητικά οριζόμενη τιμή αν πρόκειται για έγχυση ή την ανώτατα διοικητικά οριζόμενη τιμή αν πρόκειται για κατανάλωση. Αυτό άλλωστε είναι και λογικό μιας και όλες οι εντολές κατατάσσονται σε αύξουσα ή φθίνουσα σειρά αντίστοιχα με αποτέλεσμα αυτές που έχουν πχ την ελάχιστη διοικητικά οριζόμενη τιμή να πάνε στην αρχή της σειράς. Θα δούμε στην συνέχεια πως είναι πολύ λογικό για έναν παραγωγό να κάνει προσφορές πώλησης με τιμή ίση με το μεταβλητό του κόστος μιας και δεν θα τον συνέφερε να παράξει με τιμή χαμηλότερη από αυτήν. Από την άλλη αν η τιμή ήταν έστω και ένα ευρώ υψηλότερη τότε αυτός θα έβγαζε κέρδος. Με την ίδια λογική, οι παραγωγοί από ΑΠΕ μπορούν να βάζουν τιμή ίση με την κατώτατη διοικητικά οριζόμενη μιας και το μεταβλητό τους κόστος είναι μηδέν.

Ένα ακόμη ενδιαφέρον σημείο είναι ότι η ενέργεια που περιλαμβάνεται στις προσφορές αντιστοιχεί σε έγχυση ή κατανάλωση στο σημείο σύνδεσης με το δίκτυο. Αυτή η ενέργεια για να φτάσει μετέπειτα στον προορισμό της υπόκειται σε απώλειες τους οποίους ο διαχειριστής υπολογίζει. Ο διαχειριστής έχοντας υπολογίσει αυτές τις απώλειες, κάνει προσφορές με τιμή ίση με την διοικητικά οριζόμενη κατώτατη τιμή ώστε να καλύψει το έλλειμα ενέργειας.

2.3 Ενδο-ημερήσια αγορά

Η ενδο-ημερήσια αγορά αποτελείται από τρεις επιμέρους αγορές:

- Τις τοπικές ενδο-ημερήσιες δημοπρασίες (Local Intraday Auctions – LIDAs),
- Τις συμπληρωματικές περιφερειακές ενδο-ημερήσιες δημοπρασίες και (Complementary Regional Intraday Auctions – CRIDAs)
- Την συνεχή ενδο-ημερήσια συναλλαγή (Continuous trading – XBID)

Αξίζει να σημειωθεί πως κατά το πρώτο διάστημα λειτουργίας των αγορών ενέργειας της Ελλάδας δηλαδή από την 1^η Νοεμβρίου και για κάποιους μήνες η συνεχής ενδο-ημερήσια συναλλαγή δεν θα λειτουργεί.

2.3.1 Τοπικές ενδο-ημερήσιες δημοπρασίες

Οι τοπικές ενδο-ημερήσιες δημοπρασίες συμπεριφέρονται ακριβώς με τον ίδιο τρόπο όπως και η προ-ημερήσια αγορά δηλαδή συλλέγονται όλες οι προσφορές έγχυσης και απορρόφησης μαζί και κάποια συγκεκριμένη ώρα η αγορά κλείνει. Ύστερα υπολογίζεται η τιμή ισορροπίας πάλι με την μέθοδο της βελτιστοποίησης του κοινωνικού πλεονάσματος.

Πιο συγκεκριμένα οι τοπικές ενδο-ημερήσιες δημοπρασίες είναι τρεις (LIDA 1, LIDA 2, LIDA 3) με την πρώτη να είναι λίγες ώρες μετά το κλείσιμο της προ-ημερήσιας αγοράς. Μόλις κλείσει η πρώτη, λίγο μετά ανοίγει η δεύτερα και αντίστοιχα και η τρίτη. Κατά την πρώτη και δεύτερη τοπική ενδο-ημερήσια δημοπρασία οι συμμετέχοντες δύνανται να υποβάλουν προσφορές για οποιαδήποτε από τις 24 αγοραίες χρονικές μονάδες της επόμενης ημέρας ενώ κατά την τρίτη οι συμμετέχοντες υποβάλλουν μόνο για τις τελευταίες 12 αγοραίες χρονικές μονάδες. Υπενθυμίζουμε πως η προ-ημερήσια αγορά κλείνει στις 13:00 της προηγούμενη ημέρας από την ημέρα φυσικής παράδοσης και έτσι η πρώτη και δεύτερη τοπική ενδο-ημερήσια δημοπρασία ολοκληρώνονται και αυτές την προηγούμενη ημέρα. Παρακάτω φαίνεται το χρονοδιάγραμμα αυτών.

Πίνακας 1: Χρονικές στιγμές έναρξης και λήξης των τοπικών ενδοημερήσιων δημοπρασιών (LIDAs)

Τοπική ενδο-ημερήσια δημοπρασία	Ώρα έναρξης προσφορών	Ώρα λήξης προσφορών
LIDA 1	14:00 D-1	15:30 D-1
LIDA 2	16:30 D-1	23:00 D-1
LIDA 3	05:00 D	11:00 D

Οι εντολές που δύνανται οι συμμετέχοντες να υποβάλλουν είναι Ωριαίες Υβριδικές Εντολές κατά την προ-ημερήσια αγορά.

2.3.2 Συμπληρωματικές περιφερειακές ενδο-ημερήσιες δημοπρασίες

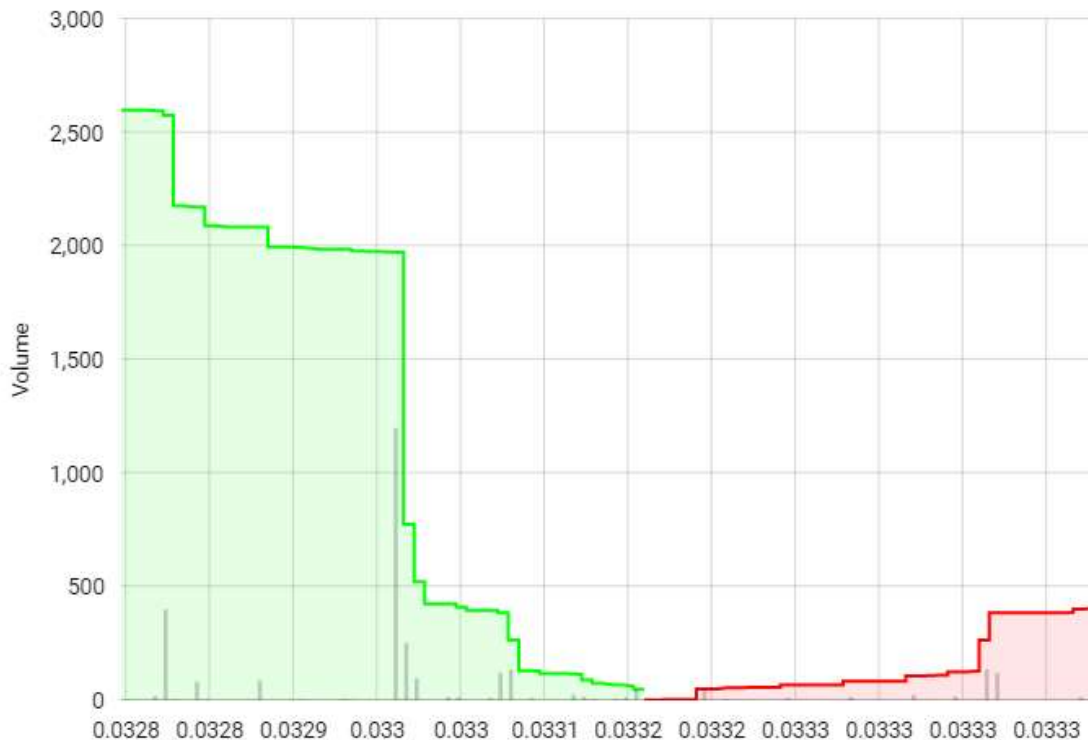
Οι συμπληρωματικές περιφερειακές ενδο-ημερήσιες δημοπρασίες λειτουργούν ακριβώς με τον ίδιο τρόπο όπως και οι τοπικές ενδο-ημερήσιες δημοπρασίες. Οι ώρες των συναλλαγών, οι αγοραίες χρονικές μονάδες καθώς και οι τύποι των εντολών είναι ίδιοι. Η μόνη διαφορά είναι πως οι περιφερειακές ενδο-ημερήσιες δημοπρασίες διενεργούνται σε μια περιφέρεια σύζευξης η οποία αποτελείται από 2 ή περισσότερες ζώνες προσφορών.

2.3.3 Συνεχής συναλλαγή

Η συνεχής συναλλαγή πρόκειται για ένα σύστημα συναλλαγών παρόμοιο με το χρηματιστήριο αξιών. Η συναλλαγές σε αυτήν την αγορά ξεκινάνε λίγο μετά το κλείσιμο της προ-ημερήσιας αγοράς και συνεχίζονται μέχρι και μια ώρα πριν την ώρα φυσικής παράδοσης. Με άλλα λόγια για την ενέργεια που θα εγχύσει ένας παραγωγός στο σύστημα από τις 14:00 μέχρι τις 15:00 μπορεί να υποβάλει προσφορές μέχρι και τις 13:00. Όπως και στις προηγούμενες αγορές, οι προσφορές που υποβάλλονται σε αυτήν την αγορά αναφέρονται σε μια ζώνη προσφορών.

Σε αντίθεση με τις προηγούμενες αγορές, η αγοραία χρονική μονάδα αυτής της αγοράς ορίζεται η μισή ώρα δηλαδή κάθε ημέρα αποτελείται από 48 αγοραίες χρονικές μονάδες. Οι συμμετέχοντες έχουν την δυνατότητα φυσικά να υποβάλλουν προσφορές και για ωριαία προϊόντα που είναι ουσιαστικά δύο αγοραίες χρονικές μονάδες μαζί αλλά και για πακέτα συνεχόμενων αγοραίων χρονικών μονάδων που μπορούν οι ίδιοι να καθορίσουν.

Αυτή η αγορά λειτουργεί με ένα βιβλίο εντολών. Σε αυτό το βιβλίο υπάρχουν καταγεγραμμένες όλες οι προσφορές έγχυσης ή αγοράς ενέργειας. Μια εντολή έγχυσης ενέργειας στα 50€/MWh σημαίνει πως ο πωλητής δέχεται να πουλήσει ενέργεια για τουλάχιστον 50€/MWh και στην περίπτωση που κάποιος αγοραστής υποβάλει εντολή αγοράς με τιμή μεγαλύτερη των 50€/MWh τότε θα εκτελεστούν και οι δύο εντολές άμεσα με τιμή ίση με την εντολή που ήταν ήδη καταγεγραμμένη στο βιβλίο, ήτοι 50€/MWh. Είναι προφανές πως δύναται να περισσέψει ενέργεια, δηλαδή ένα μέρος της ενέργειας που πουλούσε ο παραγωγός να παραμείνει στο βιβλίο προς πώληση. Από την άλλη μπορεί επίσης να μην επαρκέσει η ενέργεια του παραγωγού για την ενέργεια που απαιτεί ο αγοραστής και τότε η υπόλοιπη ενέργεια (όση ήθελε ο αγοραστής μείον αυτήν που ήδη αγόρασε) να καταγραφεί στο βιβλίο ως εντολή αγοράς με την τιμή που είχε πρωτο-ορίσει ο αγοραστής. Όλα αυτά φαίνονται καλύτερα και στο παρακάτω σχήμα όπου με πράσινο φαίνονται ταξινομημένες οι εντολές αγοράς και με κόκκινο οι εντολές πώλησης. Το κενό ανάμεσα στις δύο καμπύλες, δηλαδή οι διαφορά της φτηνότερη εντολής πώλησης με την ακριβότερη εντολή αγοράς λέγεται price spread.



Εικόνα 4: Προσφορές έγχυσης και απορρόφησης ενέργειας στο βιβλίο εντολών της συνεχούς ενδοημερήσιας συναλλαγής

Αξίζει να σημειωθεί πως η ισχύς (ενέργεια) που επιτρέπεται ένας συμμετέχοντας να διαπραγματευτεί σε αυτήν την αγορά ισούται με την διαθέσιμη ισχύ που έχει στο χαρτοφυλάκιο του μείον τυχόν ισχύ που έχει ήδη διαπραγματευτεί σε προηγούμενη χρόνο, σε αυτήν οι άλλες αγορές (πχ. προ-ημερήσια αγορά). Εκτός από αυτόν τον έλεγχο σχετικά με την διαθέσιμη ισχύ των μονάδων παραγωγής, πραγματοποιείτε έλεγχος σχετικά με το τεχνικό ελάχιστο των παραγωγικών μονάδων. Με άλλα λόγια πρέπει η ενέργεια που πουλάει ένας παραγωγός να είναι μεγαλύτερη του τεχνικού ελαχίστου της (για τις ΑΠΕ το τεχνικό ελάχιστο είναι 0).

Εντολές συνεχούς συναλλαγής

Οι εντολές που μπορούν οι συμμετέχοντες να υποβάλλουν στην συνεχή συναλλαγή είναι παρόμοιες με αυτές των χρηματιστηρίων αξιών. Πιο συγκεκριμένα υπάρχουν οι:

- **Οριακές εντολές (Regular orders):** Κανονικές εντολές πώλησης ή αγοράς, με συγκεκριμένη ποσότητα και τιμή, οι οποίες εκτελούνται σε μικρότερη ή ίση τιμή αν πρόκειται για εντολές αγοράς ή μεγαλύτερης ή ίσης αν πρόκειται για εντολές πώλησης. Είναι λογικό πως αυτές οι προσφορές μπορούν να εκτελεστούν μερικώς, δηλαδή κατά ένα ποσοστό. Επίσης αυτές οι εντολές υποστηρίζουν προδιαγραφές εκτέλεσης και προδιαγραφές εγκυρότητας. Προδιαγραφές εκτέλεσης μπορεί να είναι:

- Καμία (None – NON): Είναι η απλούστερη μορφή εντολής η οποία αν δεν αντιστοιχιστεί αμέσως (εκπληρωθεί) καταγράφεται στο βιβλίο εντολών.
- Εκτέλεση ή ακύρωση (Fill or Kill – FOK): Οι εντολές αυτές όπως δηλώνει το όνομα είτε εκτελούνται αμέσως είτε διαγράφονται (δεν καταγράφονται στο βιβλίο εντολών)
- Όλα ή τίποτα (All or None – AON): Οι εντολές αυτές δεν μπορούν να εκτελεστούν μερικώς δηλαδή πρέπει ολόκληρη η ποσότητα ενέργειας να αντιστοιχιστεί ολόκληρη σε κάποια άλλη ή άλλες εντολές.

Προδιαγραφές εγκυρότητας μπορεί να είναι:

- Εντολή συνεδρίασης (Good for session – GFS): Η εντολή αυτή εκπληρώνεται αμέσως ή καταγράφεται στο βιβλίο εντολών μέχρις ότου να λήξει η περίοδος συνεδρίασης, δηλαδή η περίοδος για την οποία παραμένει ανοιχτή η αγορά.
- Εντολή έγκυρη μέχρι ημερομηνίας (Good till date – GTD): Αυτές οι εντολές συνοδεύονται από ημερομηνία και ώρα λήξης το οποίο σημαίνει ότι αν παρέλθει αυτή η χρονική στιγμή τότε η εντολή διαγράφεται από το βιβλίο εντολών.
- **Συνδεδεμένες εντολές (Linked orders):** Όπως και στην προ-ημερήσια αγορά, δύναται να υπάρχουν συνδεδεμένες εντολές με σχέση parent-child όπου για να εκτελεστεί η εντολή child πρέπει πρώτα να έχει εκτελεστεί η εντολή parent.
- **Εντολές κρυφού όγκου (Iceberg orders):** Οι εντολές αυτές εμφανίζονται στην αγορά μόνο κατά ένα κομμάτι την φορά το οποίο πρέπει πρώτα να εκτελεστεί για να αποκαλυφθεί το επόμενο κομμάτι. Τα κρυφά κομμάτι αυτής της εντολής παραμένουν σε κάθε περίπτωση διαθέσιμα ώστε κάποια άλλη εντολή να αντιστοιχιστεί με αυτά.

2.4 Αγορά εξισορρόπησης (Balancing Market)

Η αγορά εξισορρόπησης αποτελείται από τρεις επιμέρους αγορές. Αυτές είναι:

- Η Αγορά Ισχύος Εξισορρόπησης
- Η Αγορά Ενέργειας Εξισορρόπησης
- Η Εκκαθάριση αποκλίσεων.

Τις αγορές αυτές τις διαχειρίζεται ο Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ) σε αντίθεση με όσες είδαμε ως τώρα που τις διαχειριζόταν το Ελληνικό Χρηματιστήριο Ενέργειας. Όλες οι προσφορές που γίνονται σε αυτήν την αγορά έχουν υποχρέωση της φυσικής παράδοσης δηλαδή ένας παραγωγός του οποίου έγινε αποδεκτή μια προσφορά έγχυσης ενέργειας, είναι αναγκασμένος να παράξει αυτήν την ενέργεια.

Προτού προχωρήσουμε, είναι σκόπιμο να αναφέρουμε πως στις πρώτες δύο αγορές συμμετέχουν υποχρεωτικά οι παραγωγοί από συμβατικές μονάδες (λιγνιτικές για παράδειγμα) και έχουν το δικαίωμα να συμμετέχουν και άλλες μονάδες παραγωγής ή κατανάλωσης οι οποίες μπορούν να μεταβάλλουν την παραγωγή ή κατανάλωση τους κατά βούληση. Για παράδειγμα η παραγωγή των φωτοβολταϊκών πάρκων εξαρτάται από την ηλιοφάνεια κάτι το οποίο ο άνθρωπος δεν μπορεί να ελέγξει. Αυτές οι οντότητες που παρέχουν αυτές τις υπηρεσίες λέγονται πάροχοι υπηρεσιών εξισορρόπησης (Balance Service Providers – BSP). Στην τελευταία αγορά συμμετέχουν υποχρεωτικά όλοι και χρεώνονται για τις αποκλίσεις τους από το σύνολο των προσφορών τους που έγιναν αποδεκτές σε όλες τις αγορές. Αυτές οι οντότητες λέγονται οντότητες με ευθύνη εξισορρόπησης (Balance Responsible Party – BRP).

Οι προσφορές της αγοράς εξισορρόπησης υποβάλλονται από τους συμμετέχοντες από τις 14:00 μέχρι τις 16:00 της προηγούμενης ημέρας (d-1). Μετά την λήξη της υποβολής προσφορών, ο διαχειριστής εκτελεί την διαδικασία ενοποιημένου προγραμματισμού (ΔΕΠ). Αυτή δεν είναι κάτι άλλο από την κατάρτιση ενός προγράμματος παραγωγής και κατανάλωσης το οποίο δεν παραβιάζει κανένα κανόνα του συστήματος μεταφοράς όπως πχ συμφόρηση σε κάποια γραμμή (congestion) και τον καθορισμό των μονάδων παραγωγής που θα συγχρονιστούν ή αποσυγχρονιστούν από το δίκτυο. Ο διαχειριστής, λαμβάνοντας υπόψιν τους περιορισμούς του συστήματος, τα αποτελέσματα της προ-ημερήσιας και ενδο-ημερήσιας αγοράς καθώς και τις προσφορές των αγορών εξισορρόπησης προσπαθεί ουσιαστικά να βελτιστοποιήσει την μεταφορά της ενέργειας.

Ο ρόλος των τριών αυτών αγορών είναι αποκλειστικά να διαφυλάξουν το σύστημα από τυχόν αστάθειες. Όπως ξέρουμε το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει πάντα να βρίσκεται σε ισορροπία, δηλαδή όση ενέργεια καταναλώνεται τόση να παράγεται. Είναι λογικό πως, τουλάχιστον με τα σημερινά δεδομένα, δεν γίνεται να ξέρουμε ακριβώς πόση ενέργεια καταναλώνεται κάθε δευτερόλεπτο σε όλη την χώρα. Έτσι ο διαχειριστής μετράει σε διάφορα σημεία του συστήματος μεταφοράς την συχνότητα (μέσω της οποίας διαπιστώνει τυχόν ανισότητες μεταξύ παραγωγής-κατανάλωσης) και παρεμβαίνει σε περίπτωση αστάθειας.

Όπως θα δούμε και στην συνέχεια, ανάλογα με το μέγεθος της απόκλισης μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης, ο διαχειριστής λαμβάνει κατάλληλα μέτρα. Σε κάθε περίπτωση τα μέτρα αυτά αποτελούνται από ένα σύνολο εντολών προς καταναλωτές ή παραγωγούς, να τροποποιήσουν την κατανάλωση ή την παραγωγή τους προς τα πάνω ή κάτω ανάλογα με τις ανάγκες του συστήματος. Φυσικά, οι εντολές αυτές (dispatch) απευθύνονται σε μονάδες οι οποίες μπορούν εύκολα να μεταβάλλουν την παραγωγή ή κατανάλωση τους όπως για παράδειγμα θερμοηλεκτρικά εργοστάσια ή ανεμογεννήτριες με pitch. Αυτές οι μονάδες λέγονται κατανεμόμενες ή αλλιώς dispatchable.

Είναι λογικό να αναρωτηθούμε σχετικά το πως επιλέγει ο διαχειριστής σε ποιους θα δώσει εντολές και πως θα τους αποζημιώσει. Όπως φανταζόμαστε ο διαχειριστής επιλέγει πάντα την οικονομικότερη λύση και μάλιστα το κόστος του να αποκαταστήσει την ισορροπία του συστήματος το επιμερίζει σε αυτούς που προκάλεσαν την αστάθεια. Με άλλα λόγια, ανακατανέμει τις πληρωμές από συμμετέχοντες που δεν εκπλήρωσαν τις υποχρεώσεις τους σε άλλους που συνέδραμαν στην ορθή λειτουργία του συστήματος. Οι τρεις αγορές της αγοράς εξισορρόπησης περιγράφουν όλη αυτήν την διαδικασία.

2.4.1 Διαδικασία ενοποιημένου προγραμματισμού

Η διαδικασία ενοποιημένου προγραμματισμού όπως είπαμε και προηγουμένως αποσκοπεί στην κατάρτιση ενός προγράμματος παραγωγής το οποίο θα πληροί όλους τους τεχνικούς περιορισμούς του συστήματος. Αυτή αναφέρεται στην ημέρα φυσικής παράδοσης D και συγκεκριμένα σε κάθε ένα από τα 48 μισάωρα (περίοδοι κατανομής). Η διαδικασία αυτή εκτελείται τρεις φορές (στις 17:00 της D-1 στις 00:00 της D και στις 10:30 της D) με τις πρώτες δύο να αναφέρονται και στις 48 περιόδους ενώ η τελευταία μόνο στις τελευταίες 24. Παρόλο που η ΔΕΠ εκτελείται τρεις φορές, όλες οι προσφορές (ισχύος και ενέργειας εξισορρόπησης) συλλέγονται από τις 14:00 μέχρι τις 16:00 της D-1.

Τα προϊόντα που χρησιμοποιούνται κατά την διαδικασία ενοποιημένου προγραμματισμού είναι:

- Για την αγορά ενέργειας εξισορρόπησης: ανοδική και καθοδική ενέργεια εξισορρόπησης χωρίς να γίνεται διάκριση σε χειροκίνητη ή αυτόματη
- Για την αγορά ισχύος εξισορρόπησης:
 - Ανοδική και καθοδική ΕΔΣ
 - Ανοδική και καθοδική αυτόματη ΕΑΣ
 - Ανοδική και καθοδική χειροκίνητη ΕΑΣ (εξηγούμε στην συνέχεια τα προϊόντα αυτά)

Η Εφεδρεία Διατήρησης Συχνότητας (ΕΔΣ) είναι η ενεργός ισχύς που είναι διαθέσιμη με σκοπό να διατηρήσει την συχνότητα στην ονομαστική της τιμή σε περίπτωση που εμφανιστεί αστάθεια. Συνήθως πρόκειται για ισχύ η οποία μπορεί να ενεργοποιηθεί σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα (συνήθως λιγότερο από 30 δευτερόλεπτα) και είναι η πρώτη «γραμμή άμυνας» απέναντι σε

πτώση ή αύξηση συχνότητας. Στα Αγγλικά αυτό το προϊόν λέγεται Frequency Containment Reserve (FCR).

Η Εφεδρεία Αποκατάστασης Συχνότητας (ΕΑΣ) ενεργοποιείται σε περιπτώσεις όπου η αστάθεια συνεχίζει για περισσότερο από 30 δευτερόλεπτα πράγμα το οποίο σημαίνει ότι η ΕΔΣ δεν μπόρεσε να ισορροπήσει το σύστημα. Στις περισσότερες περιπτώσεις ενεργοποιείται σε διάστημα από 30 δευτερόλεπτα μέχρι 15 λεπτά. Επίσης, η ΕΔΣ αναφέρεται σε μια μόνο περιοχή ελέγχου φορτίου-συχνότητας - περιοχή της οποίας ελέγχεται η συχνότητα από έναν ή παραπάνω μετρητές – ενώ η ΕΑΣ σε ένα πλήθος περιοχών που είναι συγχρονισμένες. Όπως μπορούμε να καταλάβουμε η διαφορά μεταξύ αυτόματης και χειροκίνητης είναι πως η μια ενεργοποιείται αυτόματα όταν απαιτείτε ενώ η άλλη χειροκίνητα. Το προϊόν αυτό στα Αγγλικά λέγεται automatic or manual Frequency Restoration Reserve (aFRR or mFRR).

Η ανοδική εφεδρεία αντιστοιχεί σε πρόθεση αύξησης της παραγόμενης ενέργειας ή μείωσης της καταναλισκόμενης ενέργειας σε σχέση πάντα με το πρόγραμμα αγοράς. Αντίστοιχα η καθοδική αντιστοιχεί σε πρόθεση μείωσης της παραγόμενης ενέργειας ή αύξησης της καταναλισκόμενης ενέργειας. Να σημειωθεί πως τόσο οι ανοδικές όσο και οι καθοδικές προσφορές πρέπει να είναι αύξουσες (δηλαδή η τιμή κάθε βήματος να είναι μεγαλύτερη από την προηγούμενη) και η τιμές πρέπει να είναι οπωσδήποτε μεγαλύτερες του μηδενός.

Ο διαχειριστής λαμβάνει από το χρηματιστήριο το Πρόγραμμα Αγοράς δηλαδή τα αποτελέσματα της προ-ημερήσιας και ενδο-ημερήσιας αγοράς και μαζί με τις προσφορές στην αγορά εξισορρόπησης και τις ανάγκες του συστήματος διενεργεί την ΔΕΠ. Αξίζει να σημειωθεί πως οι παραγωγοί από συμβατικές μονάδες έχουν την υποχρέωση να υποβάλλουν προσφορές τόσο ενέργειας όσο και ισχύος ενώ οι υπόλοιποι συμμετέχοντες έχουν απλά το δικαίωμα.

2.4.2 Αγορά Ισχύος Εξισορρόπησης

Τα προϊόντα ισχύος εξισορρόπησης για τα οποία μπορεί ένας συμμετέχον να υποβάλει προσφορά, όπως ήδη έχουμε αναφέρει, είναι:

- Ανοδική και καθοδική ΕΔΣ
- Ανοδική και καθοδική αυτόματη ΕΑΣ
- Ανοδική και καθοδική χειροκίνητη ΕΑΣ.

Η εκκαθάριση της αγοράς αυτής δηλαδή η χρέωση ή πίστωση των επικυρωμένων προσφορών παρασχεθείσας ισχύς υπολογίζεται για κάθε περίοδο εκκαθάρισης αποκλίσεων (15 λεπτά). Πρώτα υπολογίζεται η ποσότητα παρασχεθείσας ισχύς με βάση τον παρακάτω τύπο:

$$FCRQ_{e,t}^{up} = \sum_s \sum_{as} (FCRQ_{e,as,t}^{up}) * T_{e,t}^{FCR,up}$$

Όπου:

e: Οντότητα υπηρεσίας εξισορρόπησης (entity)

t: Περίοδος εκκαθάρισης αποκλίσεων

s: Το βήμα της προσφοράς ενέργειας που έγινε αποδεκτή της συγκεκριμένης οντότητας (*step*)

T: το ποσοστό της χρονικής περιόδου εκκαθάρισης αποκλίσεων κατά το οποίο η μονάδα ήταν διαθέσιμη για την παροχή ισχύος εξισορρόπησης σε πραγματικό χρόνο

Όμοια φυσικά υπολογίζεται και για τα υπόλοιπα προϊόντα aFRR, mFRR τόσο ανοδικής όσο και καθοδικής ισχύος.

Έπειτα υπολογίζεται η χρέωση ή πίστωση των οντοτήτων με βάση τον παρακάτω τύπο:

$$FCRC_{e,t}^{up} = \sum_s \sum_{as} (FCRQ_{e,as,t}^{up} * OP_{e,s,t}^{FCR,up})$$

Όπου:

OP: Η τιμή σε $\frac{\text{€}}{\text{MWh}}$ της συγκεκριμένης οντότητας για την συγκεκριμένη προσφορά που έγινε αποδεκτή

Όμοια και πάλι για τα υπόλοιπα προϊόντα.

Το άθροισμα όλων των χρεώσεων και πιστώσεων για όλες τις οντότητες και όλα τα προϊόντα καλείται στην νομοθεσία BALCAP_t.

2.4.3 Αγορά Ενέργειας Εξισορρόπησης

Η αγορά αυτή περιλαμβάνει μόνο την ανοδική και καθοδική ενέργεια εξισορρόπησης αυτόματης και χειροκίνητης ΕΑΣ.

Για την χειροκίνητη ΕΑΣ, η χρονική μονάδα είναι 15 λεπτά και οι προσφορές ενεργοποιούνται μέσω της εκτέλεσης της διαδικασίας χειροκίνητης ΕΑΣ. Η διαδικασία αυτή εκτελείται περιοδικά για κάθε χρονική μονάδα και οι συμμετέχοντες δύναται να υποβάλλουν προσφορές μέχρι 15 λεπτά πριν από αυτήν.

Ο διαχειριστής του συστήματος εκδίδει εντολές κατανομής προς τους συμμετέχοντες ανάλογα με τις προσφορές ενέργειας εξισορρόπησης που έγιναν αποδεκτές. Αυτές οι εντολές μπορεί να είναι είτε για συγχρονισμό/αποσυγχρονισμό είτε για χειροκίνητη/αυτόματη ΕΑΣ είτε για σκοπούς εκτός της εξισορρόπησης όπως για παράδειγμα η ρύθμιση της τάσης. Οι εντολές για σκοπούς εκτός της εξισορρόπησης μπορούν να είναι μόνο χειροκίνητης ΕΑΣ.

Αξίζει να σημειωθεί πως για τους παραγωγούς με συμβατικές μονάδες η υποβολή προσφορών τόσο για την χειροκίνητη όσο και την αυτόματη ΕΑΣ είναι υποχρεωτική για το σύνολο της ισχύς τους ανεξάρτητα από την ποσότητα της ισχύος εξισορρόπησης που κατακυρώθηκε στην ΔΕΠ. Αντίθετα οι υπόλοιποι

παραγωγοί είναι υποχρεωμένοι να υποβάλουν προσφορές μόνο για την ενέργεια που αντιστοιχεί στην ισχύ εξισορρόπησης που κατακυρώθηκε στην ΔΕΠ. Με άλλα λόγια αν ένα χαρτοφυλάκιο κατανεμόμενης παραγωγής έχει κατακυρώσει ανοδικά 2MW στην αγορά ισχύος εξισορρόπησης τότε αυτό μπορεί και πρέπει να προσφέρει ανοδική ενέργεια εξισορρόπησης ίση με 2MWh ανά ώρα.

Για την χειροκίνητο ΕΑΣ, ο διαχειριστής μετά την επίλυση του προβλήματος βελτιστοποίησης, εκδίδει και στέλνει στους συμμετέχοντες εντολές κατανομής με τις οποίες πρέπει να συμμορφωθούν. Για την αυτόματη ΕΑΣ, λαμβάνονται υπόψιν οι τιμές καθώς και οι ρυθμοί μεταβολής της ισχύος της κάθε μονάδας και όλη η ενέργεια αυτόματης ΕΑΣ που κατακυρώνεται, ενεργοποιείται αμέσως μέσω του μηχανισμού Αυτόματης Ρύθμισης Παραγωγής – ΑΡΠ (αυτόματη διαδικασία ελέγχου φορτίου – συχνότητας η οποία έχει ως στόχο να μειώσει το σφάλμα ελέγχου αποκατάστασης συχνότητας στο μηδέν) του διαχειριστή.

Η εκκαθάριση της αγοράς ενέργειας εξισορρόπησης γίνεται ανά 15 λεπτά και για να καταλάβουμε πως λειτουργεί, πρέπει να αναφέρουμε κάποιους συμβολισμούς που χρησιμοποιούνται από τον διαχειριστή.

$ABE_{e,t}^{mFRR,up}$: Η ανοδική ενεργοποιημένη ενέργεια εξισορρόπησης χειροκίνητης ΕΑΣ
 Δηλαδή για παραγωγούς η αύξηση της παραγωγής τους σε σχέση με το πρόγραμμα αγοράς ενώ για καταναλωτές η μείωση της κατανάλωσης τους (Activated balancing energy)

$ABE_{e,t}^{mFRR,dn}$: Η καθοδική ενεργοποιημένη ενέργεια εξισορρόπησης χειροκίνητης ΕΑΣ
 Δηλαδή για παραγωγούς η μείωση της παραγωγής τους σε σχέση με το πρόγραμμα αγοράς ενώ για καταναλωτές η αύξηση της κατανάλωσης τους (Activated balancing energy)

$AOE_{e,t}^{mFRR,up}$: Η ανοδική ενεργοποιημένη ενέργεια εξισορρόπησης χειροκίνητης ΕΑΣ για σκοπούς εκτός της εξισορρόπησης

$AOE_{e,t}^{mFRR,dn}$: Η καθοδική ενεργοποιημένη ενέργεια εξισορρόπησης χειροκίνητης ΕΑΣ για σκοπούς εκτός της εξισορρόπησης

$MS_{e,t}$: Το πρόγραμμα αγοράς (Market Schedule)

Να σημειωθεί πως η ανοδική ενέργεια λαμβάνεται πάντα με θετικό πρόσημο ενώ η καθοδική με αρνητικό.

Τελικά η επιβεβλημένη ενέργεια υπολογίζεται ως εξής:

$$INST_{e,t} = MS_{e,t} + ABE_{e,t}^{mFRR,up} + ABE_{e,t}^{mFRR,dn} + AOE_{e,t}^{mFRR,up} + AOE_{e,t}^{mFRR,dn}$$

Αν θεωρήσουμε την πραγματική μετρηθείσα ενέργεια ίση με $MQ_{e,t}$ τότε η απόκλιση μιας μονάδας παραγωγής από το πρόγραμμα αγοράς είναι:

$$IMB_{e,t} = MQ_{e,t} - MS_{e,t}$$

Ενώ για κατανεμόμενο φορτίο είναι:

$$IMB_{e,t} = MS_{e,t} - MQ_{e,t}$$

Η απόκλιση μιας μονάδας παραγωγής που παρέχει ενέργεια εξισορρόπησης χειροκίνητης ΕΑΣ ή για σκοπούς εκτός της εξισορρόπησης είναι:

$$IMBADJ_{e,t} = MS_{e,t} - INST_{e,t}$$

Ενώ για κατανεμόμενο φορτίο είναι:

$$IMBADJ_{e,t} = INST_{e,t} - MS_{e,t}$$

Η τελική απόκλιση είναι προφανές πως ισούται με:

$$FIMB_{e,t} = IMB_{e,t} - IMBADJ_{e,t}$$

Είναι λογικό πως για τις οντότητες που δεν παρέχουν υπηρεσίες εξισορρόπησης το IMBADJ ισούται με μηδέν.

Σχετικά με τον υπολογισμό της τιμής της αγοράς ενέργειας εξισορρόπησης χειροκίνητης ΕΑΣ, αυτή για ανοδική ενέργεια λαμβάνεται ίση με την μέγιστη τιμή προσφοράς που ενεργοποιήθηκε. Αντίστοιχα για καθοδική ενέργεια η τιμή λαμβάνεται ίση με την ελάχιστη τιμή προσφοράς που ενεργοποιήθηκε. Να σημειωθεί ότι προσφορές που ενεργοποιήθηκαν για σκοπούς εκτός της εξισορρόπησης εξαιρούνται από τον υπολογισμό αυτόν. Έτσι:

z: ζώνη προσφορών (αν υπάρχει συμφόρηση μεταξύ αυτών τότε καθορίζονται διαφορετικές τιμές)

$BEP_{z,t}^{up}$: Τιμή ανοδικής ενέργειας εξισορρόπησης χειροκίνητης ΕΑΣ

$BEP_{z,t}^{dn}$: Τιμή καθοδικής ενέργειας εξισορρόπησης χειροκίνητης ΕΑΣ

Άρα τελικά οι χρεώσεις και οι πιστώσεις των παρόχων υπηρεσιών εξισορρόπησης χειροκίνητης ΕΑΣ για σκοπούς εξισορρόπησης γίνεται ως εξής:

$$ABEC_{e,t}^{mFRR,up} = ABE_{e,t}^{mFRR,up} * BEP_{z,t}^{up} : \text{Χρέωση ή πίστωση για ανοδική ενέργεια εξισορρόπησης χειροκίνητης ΕΑΣ}$$

$$ABEC_{e,t}^{mFRR,dn} = ABE_{e,t}^{mFRR,dn} * BEP_{z,t}^{dn} : \text{Χρέωση ή πίστωση για καθοδική ενέργεια εξισορρόπησης χειροκίνητης ΕΑΣ}$$

Είναι εύκολο να καταλάβουμε πως για θετική τιμή εξισορρόπησης και ανοδική ενέργεια εξισορρόπησης, ο πάροχος πληρώνεται ενώ για καθοδική ενέργεια πληρώνει. Αντίθετα στην περίπτωση που η τιμή είναι αρνητική.

Οι χρεώσεις και πιστώσεις για σκοπούς εκτός της εξισορρόπησης υπολογίζονται ως εξής:

$$AOEC_{e,t}^{mFRR,up} = \sum_s (mFRRQ_{e,as,t}^{up} * OPBE_{e,s,t}^{mFRR,up})$$

Όπου:

$mFRRQ_{e,as,t}^{up}$: το τμήμα της ανοδικής χειροκίνητης ΕΑΣ σε MWh που έχει επικυρωθεί

$OPBE_{e,s,t}^{mFRR,up}$: Η τιμή σε $\frac{\text{€}}{\text{MWh}}$ της συγκεκριμένης οντότητας για την συγκεκριμένη προσφορά που έγινε αποδεκτή

Αντίστοιχα υπολογίζεται και η καθοδική χειροκίνητη ΕΑΣ.

Οι χρεώσεις ή πιστώσεις των παρόχων υπηρεσιών εξισορρόπησης αυτόματης ΕΑΣ γίνεται ως εξής:

$$ABEC_{e,t}^{aFRR,up} = ABE_{e,t}^{aFRR,up} * \max(BEP_{z,t}^{up}, OPBE_{e,s,t}^{aFRR,up})$$

Χρέωση ή πίστωση για ανοδική ενέργεια αυτόματης ΕΑΣ

$$ABEC_{e,t}^{aFRR,dn} = ABE_{e,t}^{aFRR,dn} * \min(BEP_{z,t}^{dn}, OPBE_{e,s,t}^{aFRR,dn})$$

Χρέωση ή πίστωση για καθοδική ενέργεια αυτόματης ΕΑΣ

2.4.4 Εκκαθάριση αποκλίσεων

Αυτή η αγορά δεν αποτελεί αγορά με την έννοια των αγορών που έχουμε δει ως τώρα. Οι συμμετέχοντες δεν χρειάζεται να υποβάλουν προσφορές αλλά χρεώνονται οι πιστώνονται για τις αποκλίσεις τους σε σχέση με το πρόγραμμα αγορών. Σε αυτήν την αγορά αρκεί να δούμε πως υπολογίζεται η τιμή εκκαθάρισης για να υπολογίσουμε και τις αντίστοιχες χρεώσεις και πιστώσεις.

Η τιμή της εκκαθάρισης των αποκλίσεων αντιστοιχεί στο κόστος του διαχειριστή να ισορροπήσει το σύστημα. Τελικά αυτό το κόστος επιμερίζεται σε όλες τις αποκλίσεις όλων των συμμετεχόντων. Σύμφωνα με τα παραπάνω, η τιμή αυτή υπολογίζεται ως εξής:

$$IP_t = \frac{\sum_e ABEC_{e,t}^{mFRR,main_dir} + \sum_e ABEC_{e,t}^{aFRR,main_dir}}{\sum_e ABE_{e,t}^{mFRR,main_dir} + \sum_e ABE_{e,t}^{aFRR,main_dir}}$$

Όπου «main_dir» αναφέρεται στην κυρίαρχη κατεύθυνση ενεργοποιημένης ενέργειας. Δηλαδή αν για μια περίοδο αποκλίσεων έχουν ενεργοποιηθεί και ανοδικές και καθοδικές ενέργειες εξισορρόπησης, ως κυρίαρχη κατεύθυνση (πχ. Ανοδική) ορίζεται αυτή της οποίας το άθροισμα των ενεργοποιημένων ενεργειών χειροκίνητης και αυτόματης ΕΑΣ είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο άθροισμα της άλλης κατεύθυνσης (πχ. Καθοδική).

Αξίζει να σημειωθεί πως αν για μια περίοδο εκκαθάρισης δεν ενεργοποιήθηκε ούτε ανοδική ούτε καθοδική ενέργεια εξισορρόπησης τότε η τιμή των αποκλίσεων ισούται με την αξία της αποφευχθείσας ενέργειας εξισορρόπησης. Αυτή υπολογίζεται ως η μέση τιμή της ελάχιστης ανοδικής προσφοράς και της μέγιστης καθοδικής προσφοράς τόσο για αυτόματη όσο και χειροκίνητη ΕΑΣ.

Είναι προφανές πως η τελική χρέωση ή πίστωση των συμμετεχόντων θα ισούται με την τιμή εκκαθάρισης επί την απόκλιση τους δηλαδή:

$$IMBC_{e,t} = FIMB_{e,t} * IP_t$$

2.4.5 Λοιπές χρεώσεις

Όπως είπαμε προηγουμένως ο διαχειριστής υπολογίζει τις απώλειες του συστήματος μεταφοράς και υποβάλει προσφορές αγοράς για να καλύψει αυτό το έλλειμα ενέργειας. Από αυτές τις συναλλαγές προκύπτει ένα κόστος το οποίο στην συνέχεια το επιμερίζει στους καταναλωτές ανάλογα με την απορρόφηση ενέργειας του καθενός.

Το ίδιο ακριβώς συμβαίνει για το κόστος που αναλαμβάνει ο διαχειριστής για να παρέχει στους χρήστες την ορθή και αδιάκοπη λειτουργία του συστήματος. Αυτό το κόστος δεν είναι άλλο από το κόστος παροχής ισχύος εξισορρόπησης το οποίος επιμερίζεται και πάλι στους καταναλωτές.

Όλες οι επεμβάσεις του διαχειριστή στην αγορά πρέπει να τον καθιστούν οικονομικά ουδέτερο γεγονός το οποίο σημαίνει ότι αν στο τέλος του μήνα για κάποιον λόγο ο διαχειριστής έχει κέρδος ή ζημίες, αυτές τις επιμερίζει σε όλους τους συμμετέχοντες.

Υπάρχουν και άλλες χρεώσεις που σχετίζονται με την εσφαλμένη συμμετοχή των οντοτήτων στην αγορά και την μη υποβολή ορθών προσφορών. Αυτή που αξίζει εδώ να αναλυθεί είναι η χρέωση σημαντικών συστηματικών αποκλίσεων της πραγματικής παραγωγής των χαρτοφυλακίων μη κατανεμόμενων ΑΠΕ. Με άλλα λόγια όταν η απόκλιση του αθροίσματος των επικυρωμένων προσφορών από την πραγματική παραγωγή είναι μεγαλύτερη από ένα ποσοστό τότε επιβάλλονται επιπλέον χρεώσεις.

Αυτή η χρέωση καλείται $NCBALR_{e,m}$ (όπου m ο μήνας) και επιβάλλεται όταν η απόκλιση όλου του μήνα είναι μεγαλύτερη από ένα όριο ανοχής το οποίο λέγεται $TOL_r, ADEV/RMSDEV$.

Συγκεκριμένα:

$$DEV_{e,t} = MS_{e,t} - MQ_{e,t}, \text{ η απόκλιση από το πρόγραμμα αγοράς}$$

$$ADEV_{e,m} = \sum_{t \in m} |DEV_{e,t}|, NADEV_{e,m} = \frac{ADEV_{e,m}}{\sum_{t \in m} MS_{e,t}}$$

$$RMSDEV_{e,m} = \sqrt{\sum_{t \in m} DEV_{e,t}^2}, NRMSDEV_{e,m} = \frac{RMSDEV_{e,m}}{\sqrt{\sum_{t \in m} MS_{e,t}^2}}$$

Τελικά η χρέωση είναι:

$$NCBAL_{e,m} = \max \left(\begin{array}{l} (UNCBALR_{ADEV} * ADEV_{e,m}) * (NADEV_{e,m} - TOL_{r,ADEV}) \\ (UNCBALR_{RMSDEV} * RMSDEV_{e,m}) * (NRMSDEV_{e,m} - TOL_{r,RMSDEV}) \\ 0 \end{array} \right)$$

Οι τιμές των $UNCBALR$ και TOL_r καθορίζονται για κάθε έτος από την ΠΑΕ.

2.5 Ενεργειακή χρηματοπιστωτική αγορά

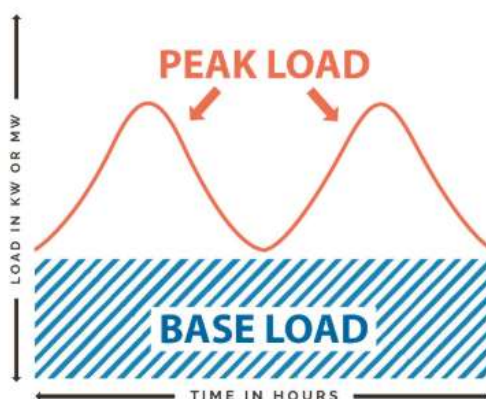
Σε αυτήν την αγορά οι συμμετέχοντες (μέλη) συναλλάσσονται επί παραγώγων τα οποία σχετίζονται με διάφορα ενεργειακά προϊόντα. Όλες οι κατακυρωμένες συναλλαγές έχουν την επιλογή της φυσικής παράδοσης (έγχυση ή απορρόφηση της ενέργειας) αλλιώς υπάγονται σε χρηματικό διακανονισμό (cash settlement).

Τα προϊόντα που αυτή την στιγμή προβλέπονται από τον κανονισμό της αγοράς είναι είτε Συμβόλαια Μελλοντικής Εκπλήρωσης – ΣΜΕ (futures) είτε Δικαιώματα Προαίρεσης (options).

Και τα δύο είδη συμβολαίων μπορούν να διακριθούν ανάλογα με το Προφίλ Φορτίου (Load profile) ή την διάρκεια παράδοσης (delivery duration).

Προφίλ φορτίου μπορεί να είναι:

- Συμβόλαια φορτίου βάσης (Baseload) δηλαδή ενέργεια η οποία θα εγχέεται ή θα απορροφάτε όλες τις ώρες της ημέρας
- Συμβόλαια φορτίου αιχμής (peakload) τα οποία αναφέρονται σε έγχυση ή απορρόφηση ενέργειας μόνο κατά τις ώρες αιχμής
- Συμβόλαια φορτίου εκτός αιχμής (offpeak) τα οποία αντίστοιχα αναφέρονται σε έγχυση ή απορρόφηση ενέργειας κατά της υπόλοιπες ώρες της ημέρας εκτός της αιχμής



Εικόνα 5: Φορτίο βάσης (base load) και φορτίο αιχμής (peak load)

Διάρκεια παράδοσης μπορεί να είναι:

- Ετήσια συμβόλαια
- Τριμηνιαία συμβόλαια
- Μηνιαία συμβόλαια

Η διάρκεια παράδοσης όπως μπορούμε να καταλάβουμε αναφέρεται στο πότε θα εγχύσουμε ή απορροφήσουμε την ενέργεια η οποία περιγράφεται στο συμβόλαιο. Επίσης, όταν ένα για παράδειγμα τριμηνιαίο συμβόλαιο φτάσει στην ώρα παράδοσης του, τότε αυτό σπάει σε τρία μηνιαία συμβόλαια. Αυτός ο μηχανισμός λέγεται καταμερισμός (cascading) και φυσικά ισχύει και για τα ετήσια συμβόλαια. Με άλλα λόγια, το συμβόλαιο που αναφέρεται στο δεύτερο

τρίμηνο του έτους 2020, θα σπάσει σε τρία μηνιαία όταν παρέλθει και η τελευταία μέρα του μήνα Μαρτίου.

Όπως συμβαίνει στις άλλες αγορές παραγώγων έτσι και σε αυτήν η ελάχιστη ποσότητα συναλλαγής είναι το ένα συμβόλαιο. Για να καταλάβουμε πως αυτό αντιστοιχίζεται σε έγχυση ή απορρόφηση ενέργειας, χρειάζεται να αναφερθούμε πάλι στο προφίλ φορτίου το οποίο ανεξάρτητα με την διάκριση του σε βάση, αιχμή και όχι αιχμή, αναφέρεται στην ουσία σε ρυθμό παράδοσης ενέργειας (delivery rate). Αυτός ο ρυθμός για την Ελληνική Ενεργειακή Αγορά Παραγώγων είναι 1MWh ανά ώρα δηλαδή κάθε ώρα θα εγχέεται ή απορροφάται 1MWh. Με άλλα λόγια αν έχουμε συνάψει 5 συμβόλαια έγχυσης ενέργεια για το φορτίο βάσης του Ιουλίου, τότε θα πρέπει να παραδίδουμε κάθε ώρα και μέρα του Ιουλίου, 5MWh.

Αξιζει να σημειωθεί πως τόσο τα δύο είδη συμβολαίων όσο και η κατηγοριοποίηση τους με βάση το φορτίο ή την διάρκεια είναι τα πρώτα προϊόντα που θα εμφανιστούν στην αγορά αυτή. Αργότερα δύναται να εμφανιστούν και άλλα τα οποία μπορεί να είναι συνδυασμός αυτών ή εντελώς καινούρια που όμως πάντα θα σχετίζονται με κάποιους δείκτες των ενεργειακών αγορών (προ-ημερήσια, ενδο-ημερήσια, εξισορρόπησης).

2.5.1 Συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης

Τα συμβόλαια αυτά ή futures όπως αλλιώς ονομάζονται, δίνουν στον αγοραστή ή πωλητή την υποχρέωση να εγχύσει ή απορροφήσει αντίστοιχα ενέργεια κατά την περίοδο παράδοσης. Δηλαδή, αν κάποιος έχει πουλήσει ή αγοράσει ένα συμβόλαιο μελλοντικής εκπλήρωσης σε κάποια τιμή, τότε αυτός υποχρεούται, μόλις λήξει το συμβόλαιο (πχ αν αναφέρεται στον μήνα Αύγουστο τότε αυτό λήγει μόλις ξεκινήσει ο Αύγουστος), να εγχύσει ή απορροφήσει αντίστοιχα την ενέργεια στην τιμή που είχε κλείσει το συμβόλαιο. Τότε, δύναται αυτός να καταβάλει τα χρήματα στον αντισυμβαλλόμενο και να εγχύσει ή απορροφήσει την ενέργεια (φυσική παράδοση) ή να εκπληρώσει το συμβόλαιο με χρηματικό διακανονισμό. Αυτό σημαίνει πως αν η τιμή ενός συμβολαίου (έγχυσης ενέργειας για παράδειγμα) κατά την λήξη του είναι μικρότερη της τιμής που αυτό αγοράστηκε τότε θα πρέπει να του καταβληθεί η διαφορά. Αν αντίθετα η τιμή είναι μεγαλύτερη τότε θα καταβληθεί σε αυτόν η διαφορά.

Αυτό πρακτικά σημαίνει πως αν έχουμε ένα συμβόλαιο έγχυσης 1MWh ανά ώρα για τον μήνα Αύγουστο το οποίο το πουλήσαμε σε τιμή που αντιστοιχεί σε 50€/MWh και η τιμή λήξης του είναι 45€/MWh τότε σε περίπτωση χρηματικού διακανονισμού θα μας καταβληθούν 5€/MWh. Με άλλα λόγια, είχαμε υπογράψει ένα συμβόλαιο το οποίο μας υποχρέωνε να πουλήσουμε ενέργεια στα 50€/MWh αλλά την στιγμή της λήξης η τιμή της ενέργειας (του συγκεκριμένου συμβολαίου) ήταν 45€/MWh. Δηλαδή πουλήσαμε ενέργεια 5€/MWh ακριβότερα απ' όσο ήταν η τιμή της. Αντίστοιχα αν η τιμή αυξηθεί τότε εμείς έχουμε χάσει την διαφορά μιας και η ενέργεια κατά την λήξη του συμβολαίου αξίζει περισσότερο.

2.5.2 Δικαιώματα προαίρεσης

Τα συμβόλαια αυτά ή *options* όπως αλλιώς ονομάζονται, σε αντίθεση με τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης δίνουν στον αγοραστή το δικαίωμα αλλά όχι την υποχρέωση να εγχύσουν ή απορροφήσουν ενέργεια στην τιμή που ορίζει το συμβόλαιο. Αυτό το δικαίωμα, συνοδεύεται με ένα κόστος το οποίο ο αγοραστής πρέπει να καταβάλει στον πωλητή.

Δηλαδή, ένας αγοραστής ενός δικαιώματος προαίρεσης από έναν πωλητή σε κάποια συγκεκριμένη τιμή κοστίζει κάποιο τίμημα το οποίο πρέπει να του καταβάλει. Αυτή η συναλλαγή, δίνει το δικαίωμα στον αγοραστή να απορροφήσει για παράδειγμα ενέργεια σε τιμή x . Αν η τιμή αυξηθεί και ξεπεράσει την συμφωνημένη τιμή και το τίμημα τότε ο αγοραστής του δικαιώματος προαίρεσης εξασκεί το δικαίωμα και έχει κέρδος. Αλλιώς αν η τιμή μειωθεί σε σχέση με την συμφωνημένη τότε αυτός δεν εξασκεί το δικαίωμα και χάνει το τίμημα. Αντίστοιχα συμβαίνει και για αγοραστή δικαιώματος προαίρεσης έγχυσης ενέργειας.

2.5.3 Εντολές

Οι εντολές που δύνανται τα μέλη να υποβάλλουν θυμίζουν πολύ αυτές της ενδο-ημερήσιας αγοράς. Οι εντολές μπορεί να είναι είτε ελεύθερες εντολές (*market order - MKT*) είτε οριακές εντολές (*limit order -LMT*). Αυτές διακρίνονται επίσης με βάση τη συνθήκη τους ή την διάρκεια τους.

Οι ελεύθερες εντολές είναι οι απλούστερες εντολές που εισάγονται στο σύστημα και δεν περιλαμβάνουν τιμή. Αυτό σημαίνει πως εκτελούνται άμεσα στην καλύτερη διαθέσιμη τιμή ή στις καλύτερες διαθέσιμες τιμές αν ο όγκος της πρώτης δεν επαρκεί για να καλύψει τον όγκο της ελεύθερης εντολής που μόλις εισάχθηκε. Αν ο όγκος της είναι μεγαλύτερος από όλες τις διαθέσιμες εντολές τότε αυτή μετατρέπεται σε οριακή εντολή με όγκο όσο περίσσεψε και τιμή ίση με την τελευταία συναλλαγή που διενεργήθηκε.

Οι οριακές εντολές περιλαμβάνουν τιμή η οποία αναφέρεται στην μέγιστη επιτρεπτή τιμή αν πρόκειται για αγορά ή στην ελάχιστη επιτρεπτή αν πρόκειται για πώληση.

Δυνατές συνθήκες (ειδικός όρος εκτέλεσης):

- Συνθήκη STOP: Οι εντολές με αυτήν την συνθήκη παραμένουν ανενεργές μέχρι η τιμή του παραγώγου να ξεπεράσει την ορισθείσα τιμή STOP. Αυτή η τιμή μπορεί να είναι είτε χαμηλότερη είτε υψηλότερη από την τιμή του παραγώγου. Συνήθως οι συμμετέχοντες, χρησιμοποιούν την χαμηλότερη STOP τιμή για να περιορίσουν τις απώλειες αν τυχόν η τιμή αρχίσει να πέφτει.
- Συνθήκη άμεση ή ακύρωση (*Immediate or cancel - IOC*): Αυτές οι εντολές αν εισαχθούν στο σύστημα και δεν εκτελεστούν αμέσως τότε

ακυρώνονται. Αν εκτελεστούν μερικώς τότε ακυρώνεται μόνο το ανεκτέλεστο μέρος τους.

- Συνθήκη εκτέλεση ή ακύρωση (Fill or kill – FOK): Πρόκειται για εντολές που επίσης ακυρώνονται αν δεν εκτελεστούν αμέσως αλλά επιπρόσθετα πρέπει να εκτελεστούν ολικώς.

Δυνατές διάρκειες (χρονικό διάστημα για το οποίο παραμένει η εντολή ενεργή):

- Εντολές ημερήσιες (Good for day – GFD): Όπως μπορούμε να καταλάβουμε αυτές μένουν ενεργές για την τωρινή συνεδρία (συνήθως μέχρι το τέλος της ημέρας).
- Εντολές έγκυρη μέχρι να ακυρωθεί (Good till cancel – GTC): Οι εντολές αυτές μένουν ενεργές μέχρι να ακυρωθούν.
- Εντολές με ημερομηνία (Good till date – GTD): Οι εντολές αυτές συνοδεύονται από μια ημερομηνία που σηματοδοτεί την λήξη τους.

2.5.4 Τιμή εκκαθάρισης παραγώγων

Όπως αναφέραμε προηγουμένως, τα ενεργειακά παράγωγα δύναται να υποβληθούν προς φυσικό διακανονισμό. Αν ο συμμετέχων επιλέξει να διακανονήσει φυσικά ένα παράγωγο τότε οφείλει να το δηλώσει στην Day-ahead αγορά. Αυτό σημαίνει πως θα πρέπει να παραδώσει ή απορροφήσει την ενέργεια που περιλαμβάνεται στο παράγωγο. Είναι προφανές πως αυτός ο μηχανισμός προστατεύει τους συμμετέχοντες των day-ahead και intraday αγορών από ακραίες τιμές (hedging).

Αν για παράδειγμα ένας παραγωγός φοβάται ότι η τιμή της day-ahead αγοράς θα είναι χαμηλή τότε μπορεί να αγοράσει ένα δικαίωμα προαίρεσης παράδοσης ενέργειας σε προκαθορισμένη τιμή. Αν όντως η τιμή πέσει τότε αυτός θα εξασκήσει το δικαίωμα που έχει αγοράσει και θα πουλήσει την ενέργεια του στην προκαθορισμένη τιμή. Την ενέργεια αυτήν θα την δηλώσει στην day-ahead αγορά προκειμένου να μην πληρωθεί εισπράξει χρήματα και από τις δύο αγορές. Στην περίπτωση που δεν πέσει η τιμή τότε αυτός δεν θα εξασκήσει το δικαίωμα και απλά θα έχει χάσει το κόστος του δικαιώματος.

Στην περίπτωση που δεν δηλωθεί ένα παράγωγο προς φυσική παράδοση τότε αυτό υποχρεωτικά υπόκειται σε χρηματικό διακανονισμό.

Όσον αφορά την ημερήσιο διακανονισμό, ο πωλητής οφείλει στον αγοραστή το ποσό κατά το οποίο η ημερήσια τιμή εκκαθάρισης υπολείπεται της ημερήσιας τιμής εκκαθάρισης της προηγούμενης ημέρας. Αν αυτή η διαφορά είναι αρνητική, τότε ο αγοραστής οφείλει αυτό το ποσό στον πωλητή. Αν αναφερόμαστε στην πρώτη ημέρα δηλαδή την ημέρα κατάρτισης της συναλλαγής τότε αντί για ημερήσια τιμή εκκαθάρισης της προηγούμενης ημέρας, λαμβάνουμε την τιμή κατάρτισης της συναλλαγής.

2.6 Μεταβατικό Στάδιο

Η μετάβαση από την παρούσα κατάσταση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας μας στην πολύπλοκη δομή (Target Model) που αναλύθηκε παραπάνω δεν είναι εύκολο έργο και γι' αυτό θα γίνει σταδιακά. Πρώτα θα ξεκινήσει η μη συζευγμένη λειτουργία της αγοράς επόμενης ημέρας (αγορά επόμενης ημέρας σε λειτουργία αποσύζευξης) μαζί με τις τοπικές ενδοημερήσιες δημοπρασίες. Στη συνέχεια, η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας μας θα ενωθεί με της Ιταλίας και έτσι θα ξεκινήσει η αγορά επόμενης ημέρας σε λειτουργία σύζευξης. Λίγο αργότερα θα ξεκινήσει η συνεχής ενδοημερήσια συναλλαγή καθώς και οι συμπληρωματικές περιφερειακές ενδοημερήσιες δημοπρασίες μεταξύ Ελλάδας και Ιταλίας. Τέλος, θα συνεχίσει η σύζευξη των αγορών της χώρας μας με αυτές των γειτονικών χωρών όπως πχ. η Βουλγαρία έως ότου να υπάρξει πλήρης Ευρωπαϊκή σύζευξη όπως άλλωστε είναι και ένας από τους στόχους του Target Model.

Είναι λογικό πως παρά την σταδιακή υλοποίηση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας με βάση το Target Model, η αγορά εξισορρόπησης θα πρέπει να λειτουργεί ανεξαρτήτων σταδίου υλοποίησης ώστε να εξασφαλίζεται η απρόσκοπτη λειτουργία του συστήματος. Σχετικά με αυτήν την αγορά, το μόνο που δεν εφαρμόζεται από την έναρξη της ενδοημερήσιας αγοράς σε λειτουργία αποσύζευξης είναι η χρέωση σημαντικών συστηματικών αποκλίσεων όπως παρουσιάστηκε στην παράγραφο 2.4.5. Αυτές οι χρεώσεις ξεκινάνε να επιβάλλονται όταν θα λειτουργεί συνεχής ενδοημερήσια συναλλαγή επαρκούς ρευστότητας και εφόσον υπάρχουν για αυτή δεδομένα τουλάχιστον ενός έτους. Μέχρι τότε, αυτές οι χρεώσεις αντικαθίστανται από τον Μεταβατικό Μηχανισμό Βέλτιστης Ακρίβειας Πρόβλεψης (ΜΜΒΑΠ).

Ένα ακόμη στοιχείο το οποίο καθιστά πιο ομαλή την μετάβαση είναι η προσαύξηση ανάπτυξης ετοιμότητας συμμετοχής στην αγορά (ΠΑΕΣΑ) η οποία δίνεται στους παραγωγούς ή τους Φο.Σ.Ε. που τους εκπροσωπούν ανάλογα με την ακρίβεια των προβλέψεων τους. Αυτή η προσαύξηση αποτελεί ένα προσωρινό μέτρο το οποίο θα ισχύσει για το πρώτο διάστημα.

2.6.1 Μεταβατικός Μηχανισμός Βέλτιστης Ακρίβειας Πρόβλεψης (ΜΜΒΑΠ)

Όπως είπαμε και προηγουμένως, ο μεταβατικός αυτός μηχανισμός επιβάλλει επιπλέον χρεώσεις στους παραγωγούς ή στους Φο.Σ.Ε που τους εκπροσωπούν όταν διαπιστώνονται μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ των προσφορών έγχυσης που αυτοί υποβάλλανε και της πραγματικής εγχυθείσας ενέργειας. Ο τρόπος υπολογισμού αυτών των χρεώσεων γίνεται ως εξής:

$$\begin{aligned} NCBAL_GRES_{p,tech,LFZ,z} &= \\ &= BAL_GRES * SUR_GRES_{tech,\mu,P_{inst},IMQ} * |MQ_{p,tech,LFZ,z,t} - DASQ_{p,tech,LFZ,z,t}| \end{aligned}$$

Όπου:

NCBAL_GRES: Η χρέωση του ΜΜΒΑΠ σε €

BAL_GRES: Η μοναδιαία χρέωση σε €/MWh απόκλισης, λόγω σημαντικών αποκλίσεων

SUR_GRES: Ο συντελεστής προσαύξησης της χρέωσης λόγω σημαντικών αποκλίσεων ο οποίος προσαρμόζεται ανάλογα με την τεχνολογία tech (Φωτοβολταϊκά ή αιολικά), τον μήνα μ, το επίπεδο εκπροσωπούμενης ισχύος P_{inst} και το επίπεδο απόκλισης $IMQ = (MQ - DASQ)$. Αν για μία περίοδο κατανομή t, η απόκλιση IMQ δεν υπερβαίνει το όριο BAL_TOL_GRES1% τότε η τιμή του συντελεστή προσαύξησης είναι μηδενική.

MQ: Η μετρηθείσα ενέργεια του χαρτοφυλακίου p ανά τεχνολογία tech, ζώνη απωλειών LFZ και λειτουργική ζώνη z.

DASQ: Η ποσότητα ενέργειας που εντάχθηκε στον ημερήσιο ενεργειακό προγραμματισμό (HEΠ).

Η χρέωση αυτή οφείλεται μόνο όταν το σύνολο των ημερών του τρέχοντα ημερολογιακού μήνα για τις οποίες έχει υπάρξει σημαντική απόκλιση τουλάχιστον για μια ώρα, έχουν ξεπεράσει τις ημέρες χάριτος. Οι ημέρες χάριτος είναι 2 κάθε μήνα αλλά ενδέχεται μελλοντικά να αλλάξουν.

Ως σημαντική απόκλιση νοείται όταν ο λόγος της απόκλισης προς την εκπροσωπούμενη ισχύ ξεπερνάει ένα όριο ανοχής BAL_TOL_GRES1%. Δηλαδή:

$$\frac{|MQ - DASQ|}{P_{inst}} > BAL_TOL_GRES1\%$$

Η τιμή της μοναδιαίας χρέωσης BAL_GRES υπολογίζεται για κάθε έτος ίση με το 50% του ετήσιο μέσου όρου της απόλυτης τιμής της διαφοράς της οριακής τιμής συστήματος από την οριακή τιμή αποκλίσεων του προηγούμενου έτους.

Οι αριθμητικές τιμές των υπολοίπων παραμέτρων φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 2: Αριθμητικές τιμές παραμέτρων υπολογισμού χρέωσης ΜΜΒΑΠ

Συντελεστής Παράμετρος	/ Τεχνολογία	Υποπερίπτωση	Αριθμητική τιμή
BAL_TOL_GRES1%	Αιολικά και Φ/Β		20
	Λοιπές ΑΠΕ		10
BAL_TOL_GRES2%	Αιολικά και Φ/Β		30
	Λοιπές ΑΠΕ		20
SUR_GRES (BAL_TOL_GRES1% < Απόκλιση <= BAL_TOL_GRES2%)	Αιολικά	0-15 MW	0,2
		15-30 MW	0,3

		30-80 MW	0,4
		>80 MW	0,5
SUR_GRES (Απόκλιση >BAL_TOL_GRES2%)		0-15 MW	0,8
		15-30 MW	0,85
		30-80 MW	0,9
		>80 MW	0,95
SUR_GRES (BAL_TOL_GRES1% < Απόκλιση <= BAL_TOL_GRES2%)	Φ/Β από 1/10 έως 30/4	0-1 MW	0,2
		1-5 MW	0,3
		>5 MW	0,4
SUR_GRES (Απόκλιση >BAL_TOL_GRES2%)		0-1 MW	0,8
		1-5 MW	0,85
		>5 MW	0,9
SUR_GRES (BAL_TOL_GRES1% < Απόκλιση <= BAL_TOL_GRES2%)	Φ/Β από 1/5 έως 30/9	0-1 MW	0,3
		1-5 MW	0,4
		>5 MW	0,5
SUR_GRES (Απόκλιση >BAL_TOL_GRES2%)		0-1 MW	0,85
		1-5 MW	0,9
		>5 MW	0,95
SUR_GRES (BAL_TOL_GRES1% < Απόκλιση <= BAL_TOL_GRES2%)	Λοιπές ΑΠΕ		0,5
SUR_GRES (Απόκλιση >BAL_TOL_GRES2%)			0,95

2.6.2 Προσαύξηση Ανάπτυξης Ετοιμότητας Συμμετοχής στην Αγορά (ΠΑΕΣΑ)

Η Προσαύξηση Ανάπτυξης Ετοιμότητας Συμμετοχής στην Αγορά, όπως αναφέραμε και προηγουμένως, δίνεται στους παραγωγούς που συμμετέχουν στην αγορά ανάλογα με την ακρίβεια των προβλέψεων τους. Σε αντίθεση με τον Μεταβατικό Μηχανισμό Βέλτιστης Ακρίβειας Πρόβλεψης, η προσαύξηση αυτή δίνεται στο τέλος κάθε μήνα και αναφέρεται στην ακρίβεια των προβλέψεων όλου του μήνα μαζί και όχι κάθε ώρας. Ο τρόπος υπολογισμού της ΠΑΕΣΑ αναλύεται παρακάτω.

Αρχικά υπολογίζεται η Ωριαία Απόκλιση Ενέργειας Συνόλου (ΩΑΕΣ) σταθμών για κάθε χαρτοφυλάκιο p ως εξής:

$$\Omega A E \Sigma_{p,tech,LFZ,z,t} = \frac{|MQ_{p,tech,LFZ,z,t} - DASQ_{p,tech,LFZ,z,t}|}{P_{inst}} * 100$$

Έπειτα υπολογίζεται το Ακραίο Ωριαίο Όριο Ποσοστιαίας Απόκλισης (ΑΩΟΠΑΣ) για το σύνολο των σταθμών του συμμετέχοντα δηλαδή ο σταθμισμένος μέσος όρος των ΑΩΟΠΑ.

$$A \Omega O \Pi A \Sigma = \frac{\sum_{tech} A \Omega O \Pi A_{tec, power_range} * Q_{tech, power_range}}{\sum_{tech} Q_{tech}}$$

Όπου $Q_{tech, power_range}$ η μηνιαία παραγόμενη ενέργεια ανά κατηγορία σταθμού όπως καθορίζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3: Τιμές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ΠΑΕΣΑ.

Κατηγορία Σταθμού	Ακραίο Ωριαίο Όριο Ποσοστιαίας Απόκλισης (ΑΩΟΠΑ)
Αιολικές εγκαταστάσεις 0-15MW	25%
Αιολικές εγκαταστάσεις >15MW	20%
ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ πλην Αιολικών Εγκαταστάσεων και σταθμών ελεγχόμενης παραγωγής 0-1MW	12%
ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ πλην Αιολικών Εγκαταστάσεων και σταθμών ελεγχόμενης παραγωγής >1MW	10%

Στην συνέχεια υπολογίζεται το ποσοστό των περιόδων κατανομής όπου η ΩΑΕΣ ξεπερνάει το Ακραίο Ωριαίο Όριο Ποσοστιαίας Απόκλισης (ΑΩΟΠΑΣ) του Συνόλου των σταθμών του συμμετέχοντα.

$$\Omega A E \Sigma_{p,tec,LFZ,z,t} > A \Omega O \Pi A_{tech,Pinst}$$

Αν το ποσοστό αυτό είναι μεγαλύτερο του Ακραιοί Μηνιαίου Ποσοστού Ωρών (ΑΜΠΩ) τότε το ποσό της προσαύξησης ισούται με μηδέν. Σε αντίθετη περίπτωση, το ποσό της προσαύξησης υπολογίζεται σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$\Pi A E \Sigma A_{p,tech,LFZ,z,\mu} = \Sigma \Pi_{tech,LFZ,z} * \sum_{t \in \mu} M Q_{p,tec,LFZ,z,t}$$

Όπου:

ΣΠ: Σταθερή προσαύξηση ανάπτυξης ετοιμότητας συμμετοχής στην αγορά σε €/MWh.

Το Ακραιοί Μηνιαίο Ποσοστό Ωρών (ΑΜΠΩ) ισούται με 30% ενώ η τιμή της Σταθερής Προσαύξησης (ΣΠ) ορίζεται ίση με:

Πίνακας 4: Τιμές Σταθερής Προσαύξησης (ΣΠ)

Από 1/10/2020 – 31/12/2020	0,5€/MWh
Από 1/1/2021 – 31/12/2021	0,25€/MWh

Σημειώνεται πως κατά την εκτέλεση των προσομοιώσεων του κεφαλαίου 6, η τιμή της σταθερής προσαύξησης έχει ληφθεί ίση με 0,5€/MWh.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Δεδομένα Χαρτοφυλακίου

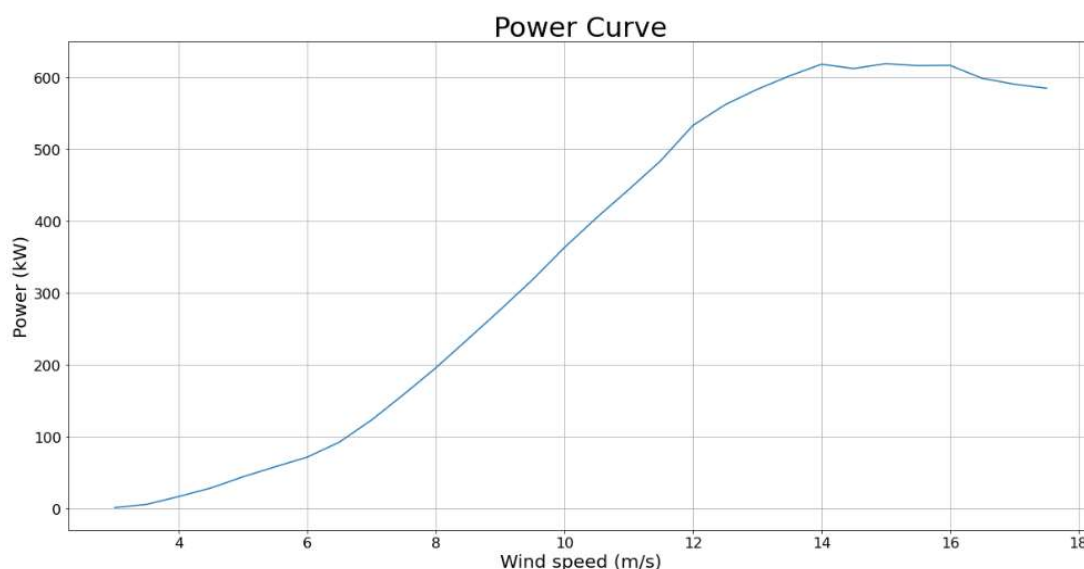
3.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα δεδομένα παραγωγής του χαρτοφυλακίου μας δηλαδή η παραγωγή των επιλεγμένων ανεμογεννητριών, η πρόβλεψη της παραγωγής τους καθώς και ο τρόπος με τον οποίο εκτιμάμε την πρόβλεψη της παραγωγής για τις χρονικές τιμές όπου δεν έχουμε δεδομένα. Όπως θα δούμε και στην συνέχεια, το χαρτοφυλάκιο μας αποτελείται από δύο αιολικά πάρκα από μια ανεμογεννήτρια το καθένα. Για αυτά τα πάρκα είχαμε στην κατοχή μας πραγματικά δεδομένα παραγωγής για όλο το έτος 2019 ενώ προβλέψεις μόνο για τρεις μήνες. Όταν αναφερόμαστε σε πρόβλεψη της παραγωγής, αναφερόμαστε σε περισσότερες από μια προβλέψεις, καθώς οφείλουμε για την επιτυχημένη συμμετοχή μας στις αγορές, να επικαιροποιούμε τις προβλέψεις μας πριν την υποβολή οποιασδήποτε προσφοράς.

3.2 Πραγματικά Δεδομένα Παραγωγής

Το χαρτοφυλάκιο μας αποτελείται από δύο αιολικά πάρκα. Παρακάτω παρουσιάζονται τα πραγματικά δεδομένα παραγωγής καθώς και οι προβλέψεις αυτών για το έτος 2019.

Και τα δύο μας πάρκα αποτελούνται από μία ανεμογεννήτρια το καθένα η οποία είναι τύπου Nordex N-43 ισχύος 600kW. Η θεωρητική καμπύλη ισχύος αυτής φαίνεται στην συνέχεια.



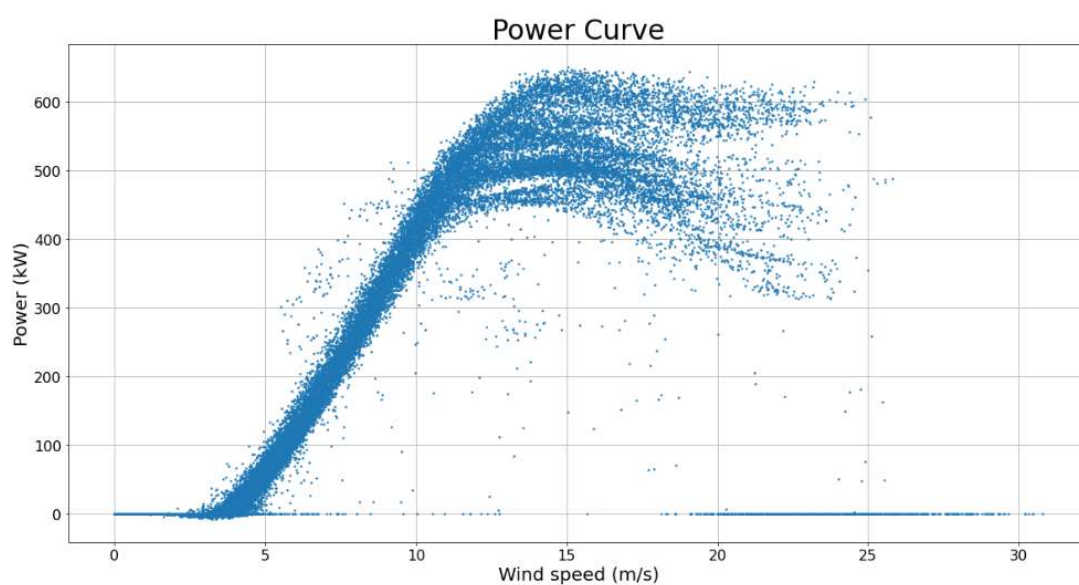
Εικόνα 6: Θεωρητική καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας τύπου Nordex N-43, 600kW.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται για τα δύο αιολικά πάρκα, οι πραγματικές καμπύλες ισχύος τους καθώς και η παραγωγή τους για δύο τυχαίες εβδομάδες του Μαΐου. Όπως θα παρατηρήσουμε, η πραγματική καμπύλη ισχύος αποκλίνει από την θεωρητική και αυτό οφείλεται σε παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η

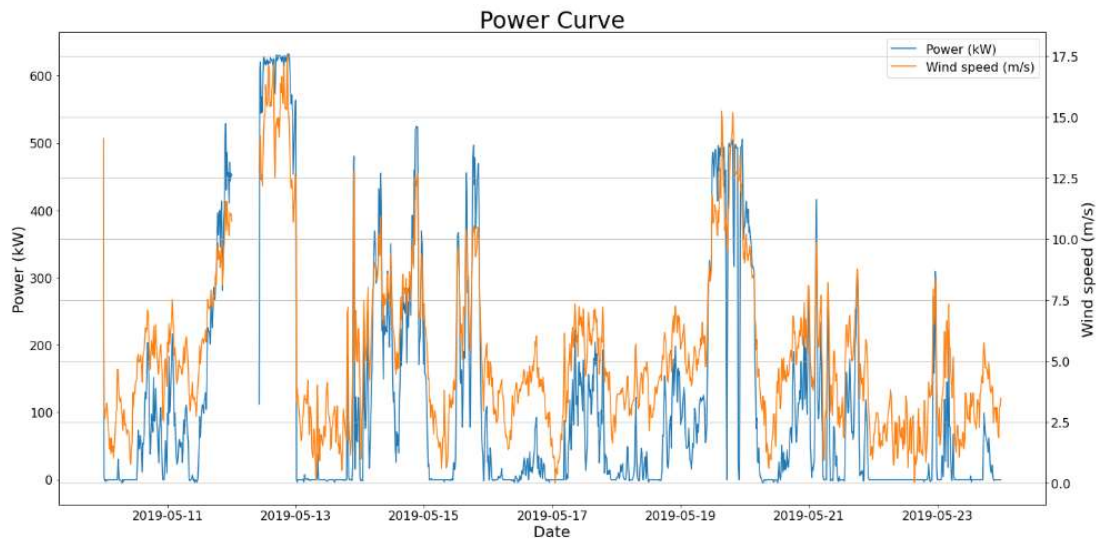
πυκνότητα του αέρα, έντομα τα οποία κολλάνε στα φτερά, κακή συντήρηση, κ.α.

Πάρκο 1

Παρακάτω βλέπουμε την πραγματική καμπύλη ισχύος καθώς και την παραγωγή του πρώτου πάρκου για δύο τυχαίες εβδομάδες του Μαΐου. Συγκεκριμένα στον πρωτεύοντα άξονα φαίνεται η ισχύς ενώ στον δευτερεύοντα άξονα η ταχύτητα του αέρα. Είναι εύκολο να παρατηρήσουμε πως η συγκεκριμένη ανεμογεννήτρια ξεκινάει να παράγει ενέργεια σε ταχύτητες ανέμου μεγαλύτερες των τεσσάρων μέτρων ανά δευτερόλεπτο (4m/s) ενώ σε καμία ταχύτητα ανέμου δεν παράγει περισσότερη από την ονομαστική της ισχύ (600kW).



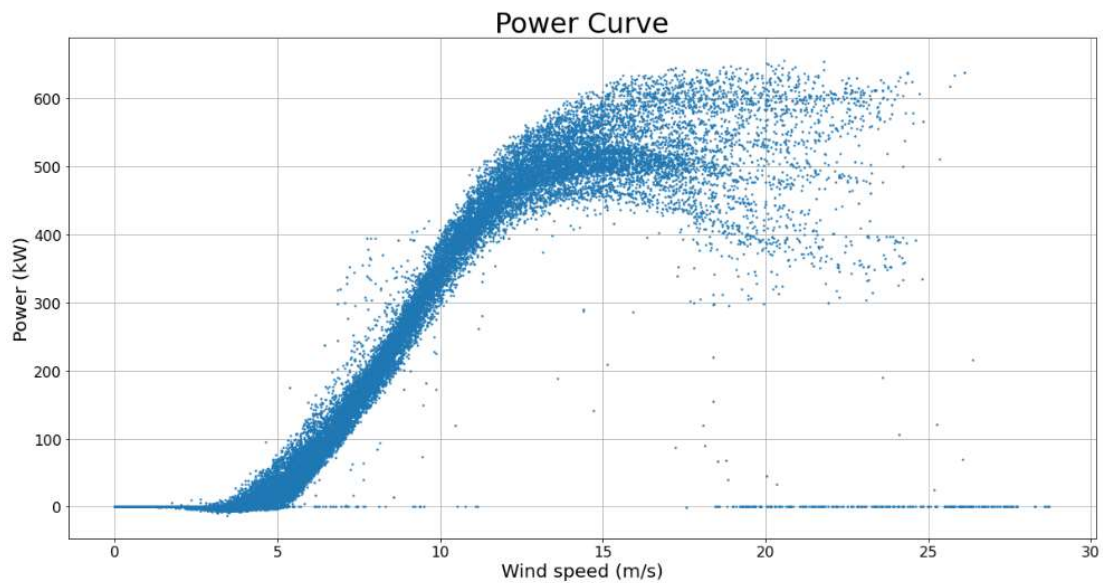
Εικόνα 7: Πραγματική καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας 1



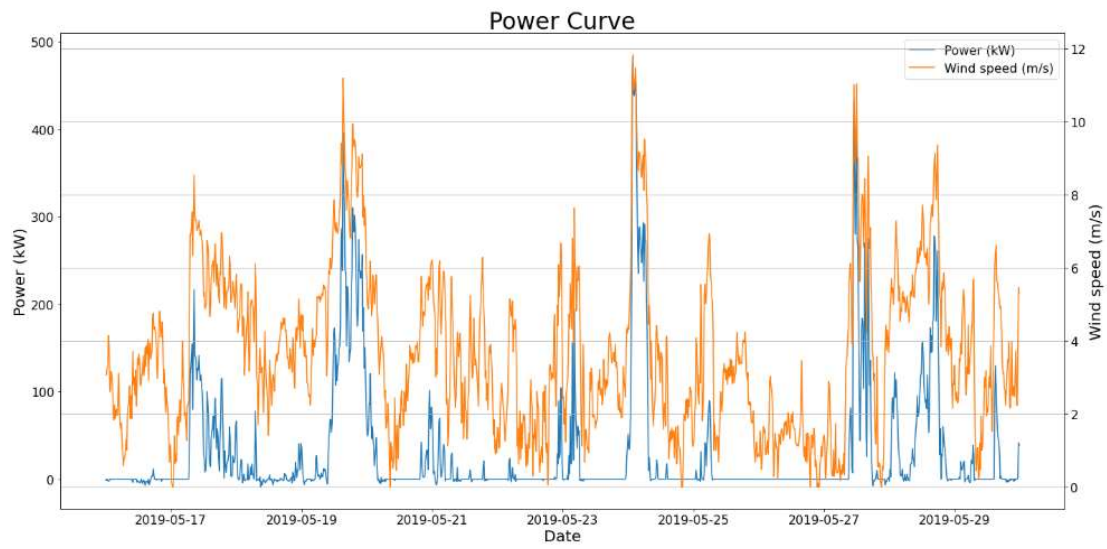
Εικόνα 8: Παραγωγή (μπλε) και ταχύτητα του αέρα (πορτοκαλί) μιας εβδομάδας, της ανεμογεννήτριας 1

Πάρκο 2

Παρακάτω βλέπουμε την πραγματική καμπύλη ισχύος καθώς και την παραγωγή του δεύτερου πάρκου για δύο τυχαίες εβδομάδες του Μαΐου



Εικόνα 9: Πραγματική καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας 2



Εικόνα 10: Παραγωγή (μπλε) και ταχύτητα του αέρα (πορτοκαλί) μιας εβδομάδας, της ανεμογεννήτριας 2

3.2 Προβλέψεις Παραγωγής

Οι προβλέψεις της παραγωγής των πάρκων έχουν ληφθεί σε πέντε διαφορετικές χρονικές στιγμές οι οποίες αναφέρονται πάντα στην ίδια χρονική στιγμή παράδοσης της ενέργειας. Αυτές είναι:

- 4 Λίγο πριν το κλείσιμο της day-ahead αγοράς,
- 5 Λίγο πριν το κλείσιμο της LIDA 1 αγοράς,
- 6 Λίγο πριν το κλείσιμο της LIDA 2 αγοράς,
- 7 Λίγο πριν το κλείσιμο της LIDA 3 αγοράς και
- 8 Λίγο πριν το κλείσιμο της intraday continuous αγοράς.

Ο λόγος που έχουν ληφθεί πέντε διαφορετικές τιμές πρόβλεψης παραγωγής είναι γιατί πριν το κλείσιμο της κάθε αγοράς πρέπει, για τις προσφορές μας, να λάβουμε υπόψιν τις αλλαγές των προβλέψεων καιρού. Με άλλα λόγια όσο πλησιάζουμε προς την ώρα παράδοσης της ενέργειας, η πρόβλεψη του καιρού και κατά συνέπεια της παραγωγής μεταβάλλεται. Οι προσφορές που κάνουμε σε κάθε αγορά πρέπει να προσαρμόζονται σε αυτήν την αλλαγή.

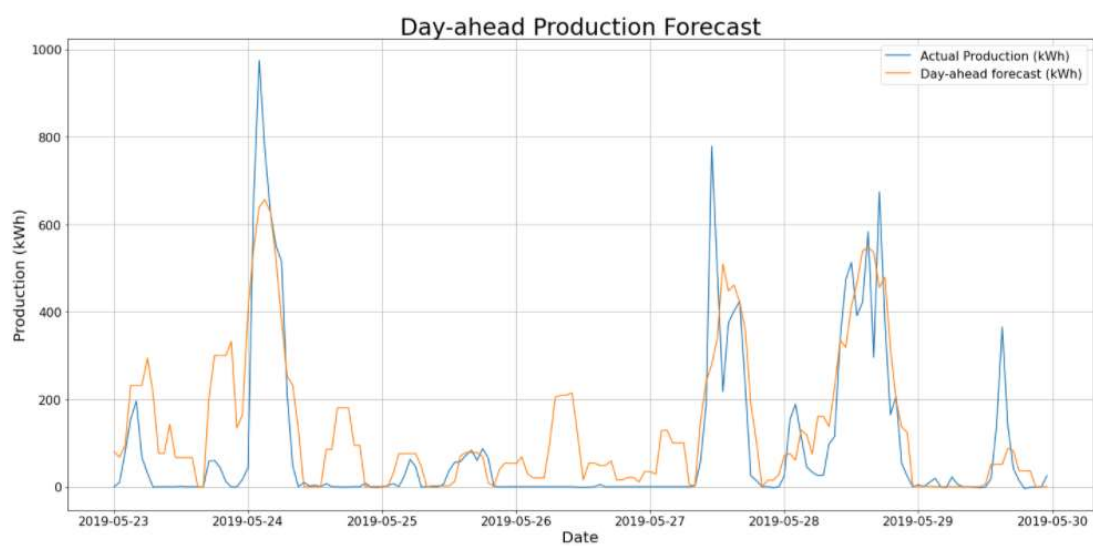
Στη συνέχεια παρουσιάζονται για κάθε μια από τις προβλέψεις τα εξής χαρακτηριστικά:

- η πρόβλεψη παραγωγής πριν το κλείσιμο της κάθε αγοράς σε σχέση με την πραγματική παραγωγή,
- τα ιστογράμματα των σφαλμάτων,
- η τυπική απόκλιση των σφαλμάτων, οι δείκτες MAE και RMSE, το μέγιστο σφάλμα και
- οι ελάχιστες, μέγιστες και μέσες τιμές των ημερήσιων, εβδομαδιαίων και μηνιαίων σφαλμάτων.

Στο τέλος παρουσιάζεται μια περίληψη των προβλέψεων μαζί με τους δείκτες και τα διαγράμματα τους.

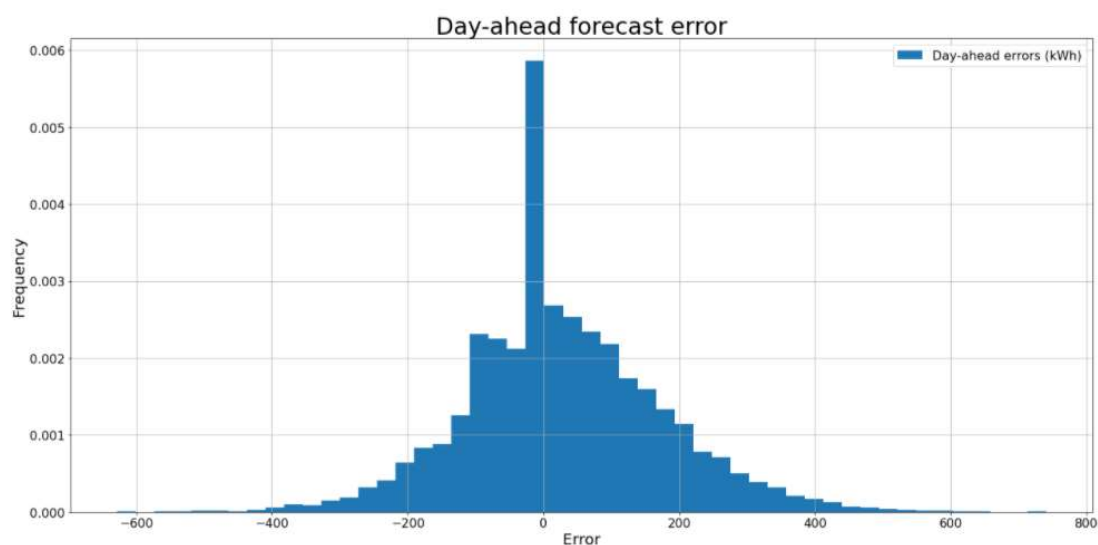
3.2.1 Πρόβλεψη παραγωγής για την day-ahead αγορά

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η πραγματική παραγωγή των πάρκων σε σύγκριση με την πρόβλεψη παραγωγής πριν το κλείσιμο της day-ahead αγοράς. Με μπλε είναι η πραγματική παραγωγή ενώ με πορτοκαλί είναι η πρόβλεψη.



Εικόνα 11: Πραγματική παραγωγή (μπλε) - πρόβλεψη παραγωγής (πορτοκαλί) πριν το κλείσιμο της day-ahead αγοράς για μια εβδομάδα του Μαΐου

Στη συνέχεια παρουσιάζεται το ιστόγραμμα των σφαλμάτων καθώς και οι δείκτες STD, MAE, RMSE και MAX.



Εικόνα 12: Ιστόγραμμα των σφαλμάτων μεταξύ πρόβλεψης και πραγματικής παραγωγής

Πίνακας 5: Δείκτες STD, MAE, RMSE και MAX για τις προβλέψεις παραγωγής της day-ahead αγοράς

STD	218,17
MAE	127,58

RMSE	220,37
MAX	1172,20

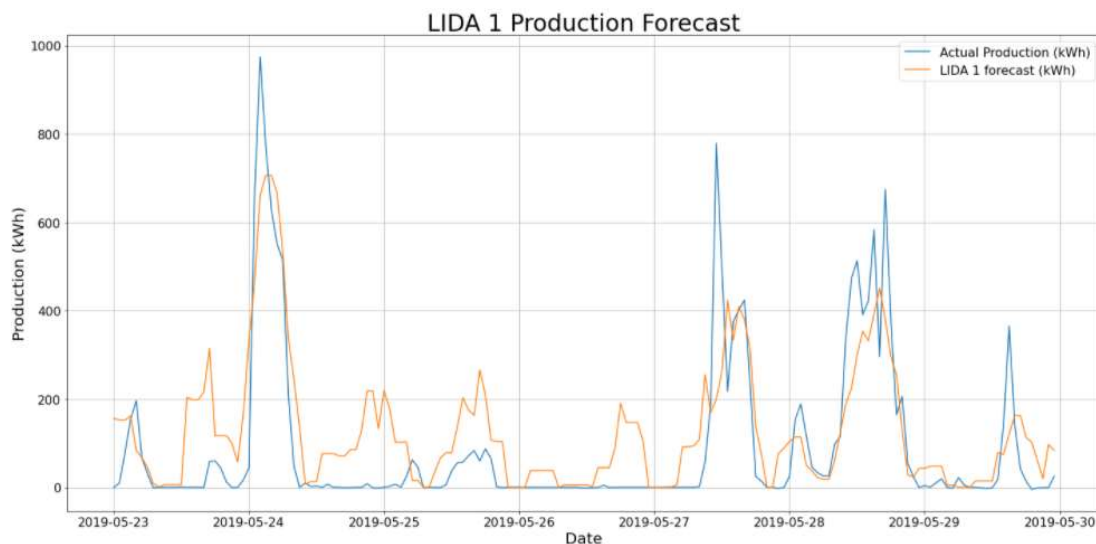
Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται για κάθε ημέρα, εβδομάδα και μήνα η ελάχιστη, μέγιστη και μέση τιμή των σφαλμάτων. Ταυτόχρονα παρουσιάζονται οι ημερομηνίες στις οποίες εμφανίζονται οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές.

Πίνακας 6: Μέγιστες, ελάχιστες και μέσες τιμές των ημερήσιων, εβδομαδιαίων και μηνιαίων δεικτών καθώς και οι ημερομηνίες που αυτοί εμφανίζονται

	MIN	MIN index	MAX	MAX index	AVERAGE
Daily Error	0,17	2019-02-22	234,36	2019-08-20	61,34
Weekly Error	0,39	2019-12-03	124,38	2019-08-20	39,39
Monthly Error	3,40	May	66,69	August	32,20

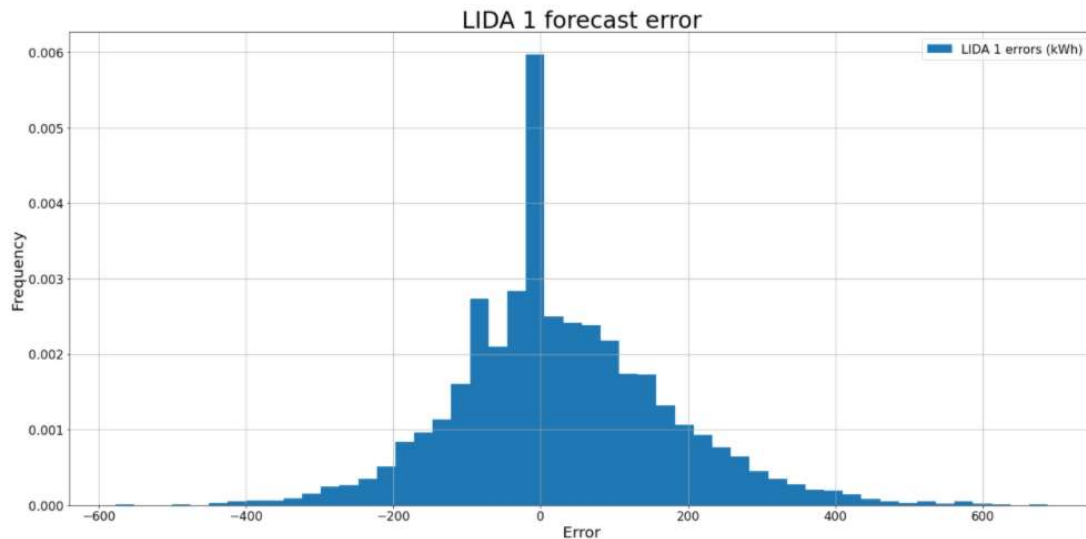
3.2.2 Πρόβλεψη παραγωγής για την LIDA 1 αγορά

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η πραγματική παραγωγή των πάρκων σε σύγκριση με την πρόβλεψη παραγωγής πριν το κλείσιμο της LIDA1 αγοράς. Με μπλε είναι η πραγματική παραγωγή ενώ με πορτοκαλί είναι η πρόβλεψη.



Εικόνα 13: Πραγματική παραγωγή (μπλε) - πρόβλεψη παραγωγής (πορτοκαλί) πριν το κλείσιμο της LIDA 1 αγοράς για μια εβδομάδα του Μαΐου

Στη συνέχεια παρουσιάζεται το ιστόγραμμα των σφαλμάτων καθώς και οι δείκτες STD, MAE, RMSE και MAX.



Εικόνα 14: Ιστόγραμμα των σφαλμάτων μεταξύ πρόβλεψης και πραγματικής παραγωγής

Πίνακας 7: Δείκτες STD, MAE, RMSE και MAX για τις προβλέψεις παραγωγής της LIDA1 αγοράς

STD	214,33
MAE	127,23
RMSE	215,38
MAX	1091,81

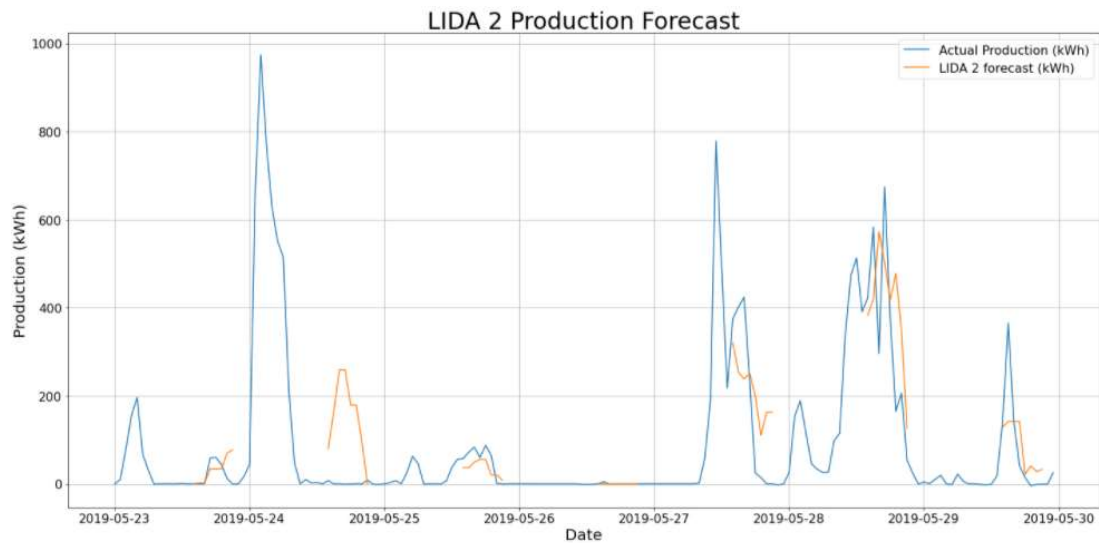
Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται για κάθε ημέρα, εβδομάδα και μήνα η ελάχιστη, μέγιστη και μέση τιμή των σφαλμάτων. Ταυτόχρονα παρουσιάζονται οι ημερομηνίες στις οποίες εμφανίζονται οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές.

Πίνακας 8: Μέγιστες, ελάχιστες και μέσες τιμές των ημερήσιων, εβδομαδιαίων και μηνιαίων δεικτών καθώς και οι ημερομηνίες που αυτοί εμφανίζονται

	MIN	MIN index	MAX	MAX index	AVERAGE
Daily Error	0,19	2019-04-29	289,65	2019-08-22	63,64
Weekly Error	2,18	2019-10-15	140,46	2019-08-20	39,54
Monthly Error	0,82	November	72,01	August	32,23

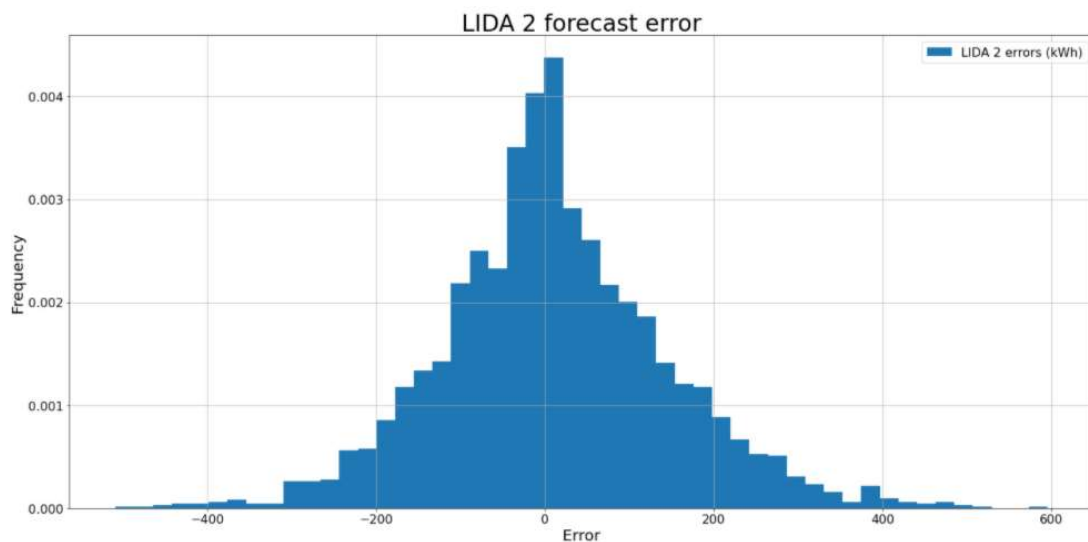
3.2.3 Πρόβλεψη παραγωγής για την LIDA 2 αγορά

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η πραγματική παραγωγή των πάρκων σε σύγκριση με την πρόβλεψη παραγωγής πριν το κλείσιμο της LIDA2 αγοράς. Με μπλε είναι η πραγματική παραγωγή ενώ με πορτοκαλί είναι η πρόβλεψη.



Εικόνα 15: Πραγματική παραγωγή (μπλε) - πρόβλεψη παραγωγής (πορτοκαλί) πριν το κλείσιμο της LIDA 2 αγοράς για μια εβδομάδα του Μαΐου

Στη συνέχεια παρουσιάζεται το ιστόγραμμα των σφαλμάτων καθώς και οι δείκτες STD, MAE, RMSE και MAX.



Εικόνα 16: Ιστόγραμμα των σφαλμάτων μεταξύ πρόβλεψης και πραγματικής παραγωγής

Πίνακας 9: Δείκτες STD, MAE, RMSE και MAX για τις προβλέψεις παραγωγής της LIDA2 αγοράς

STD | 222,18

MAE	129,97
RMSE	222,60
MAX	1203,89

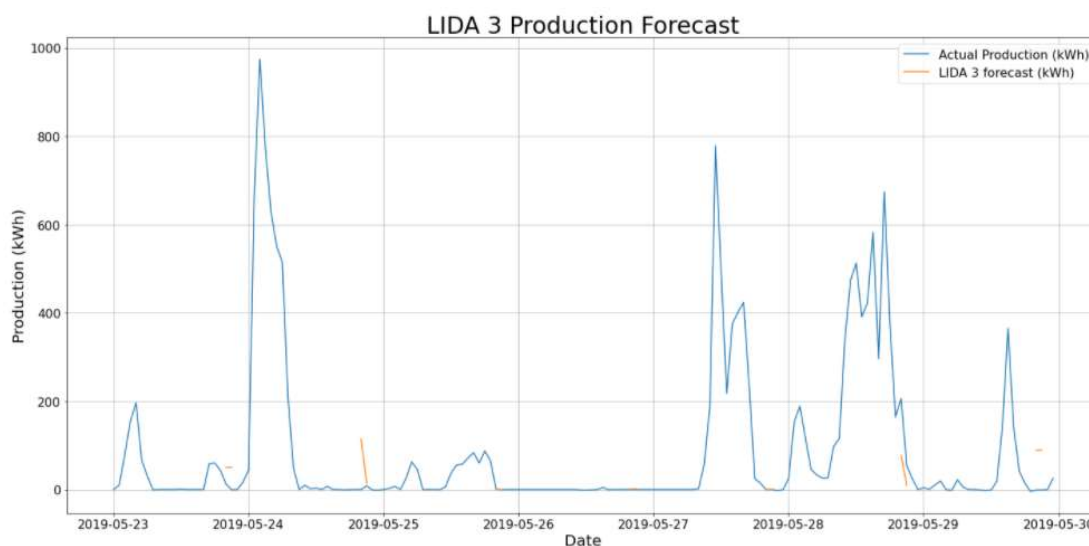
Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται για κάθε ημέρα, εβδομάδα και μήνα η ελάχιστη, μέγιστη και μέση τιμή των σφαλμάτων. Ταυτόχρονα παρουσιάζονται οι ημερομηνίες στις οποίες εμφανίζονται οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές.

Πίνακας 10: Μέγιστες, ελάχιστες και μέσες τιμές των ημερήσιων, εβδομαδιαίων και μηνιαίων δεικτών καθώς και οι ημερομηνίες που αυτοί εμφανίζονται

	MIN	MIN index	MAX	MAX index	AVERAGE index
Daily Error	0,20	2019-09-27	454,67	2019-09-10	111,40
Weekly Error	1,76	2019-01-15	135,17	2019-07-23	45,90
Monthly Error	1,96	December	65,21	August	26,71

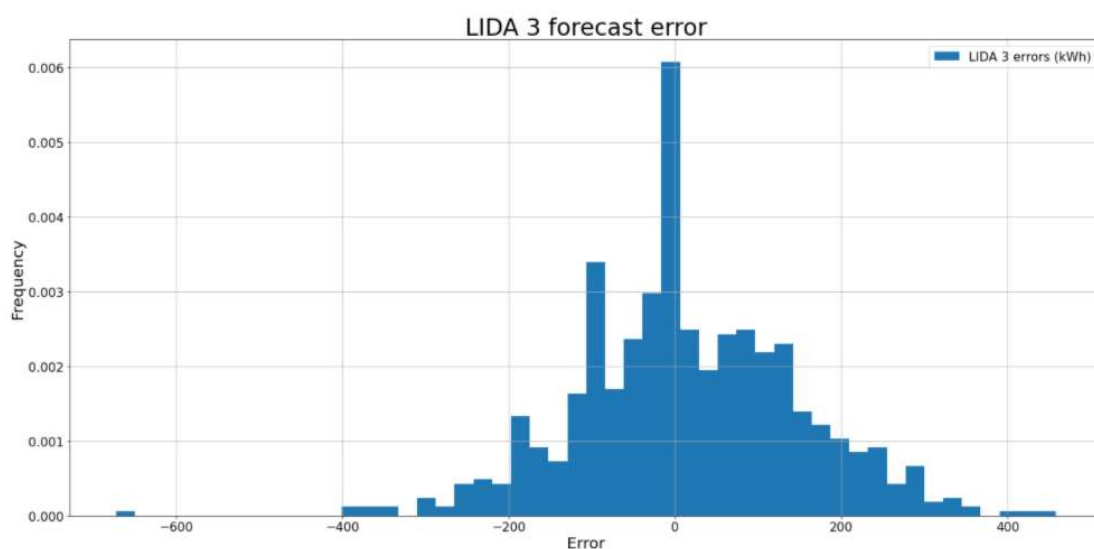
3.2.4 Πρόβλεψη παραγωγής για την LIDA 3 αγορά

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η πραγματική παραγωγή των πάρκων σε σύγκριση με την πρόβλεψη παραγωγής πριν το κλείσιμο της LIDA3 αγοράς. Με μπλε είναι η πραγματική παραγωγή ενώ με πορτοκαλί είναι η πρόβλεψη.



Εικόνα 17: Πραγματική παραγωγή (μπλε) - πρόβλεψη παραγωγής (πορτοκαλί) πριν το κλείσιμο της LIDA 3 αγοράς για μια εβδομάδα του Μαΐου

Στη συνέχεια παρουσιάζεται το ιστόγραμμα των σφαλμάτων καθώς και οι δείκτες STD, MAE, RMSE και MAX.



Εικόνα 18: Ιστόγραμμα των σφαλμάτων μεταξύ πρόβλεψης και πραγματικής παραγωγής

Πίνακας 11: Δείκτες STD, MAE, RMSE και MAX για τις προβλέψεις παραγωγής της LIDA3 αγοράς

STD	226,31
MAE	137,98
RMSE	227,91
MAX	1130,62

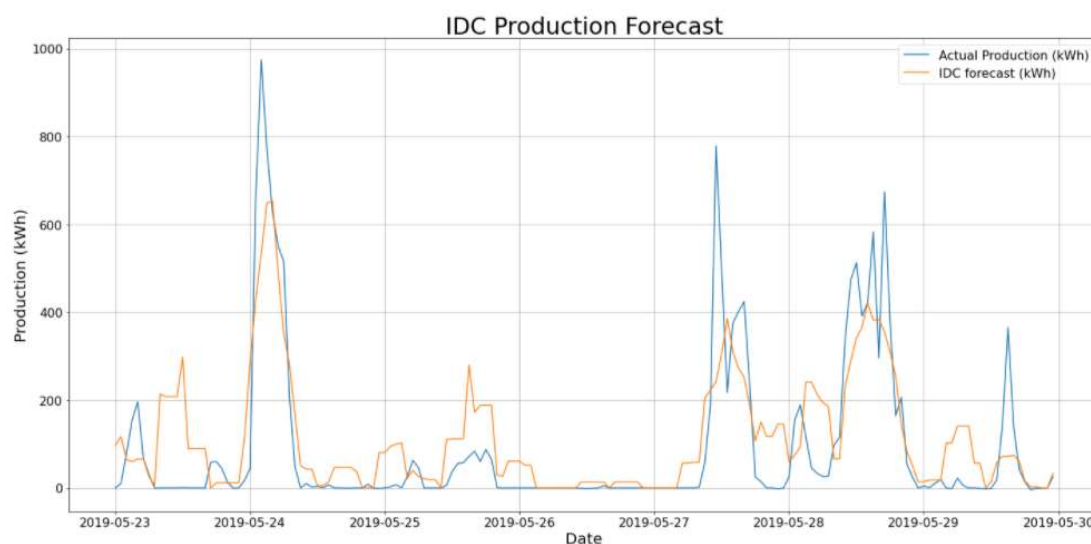
Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται για κάθε ημέρα, εβδομάδα και μήνα η ελάχιστη, μέγιστη και μέση τιμή των σφαλμάτων. Ταυτόχρονα παρουσιάζονται οι ημερομηνίες στις οποίες εμφανίζονται οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές.

Πίνακας 12: Μέγιστες, ελάχιστες και μέσες τιμές των ημερήσιων, εβδομαδιαίων και μηνιαίων δεικτών καθώς και οι ημερομηνίες που αυτοί εμφανίζονται

	MIN	MIN index	MAX	MAX index	AVERAGE
Daily Error	0,03	2019-10-01	717,66	2019-01-13	156,03
Weekly Error	3,88	2019-05-21	249,91	2019-01-08	68,39
Monthly Error	7,87	December	100,00	August	44,71

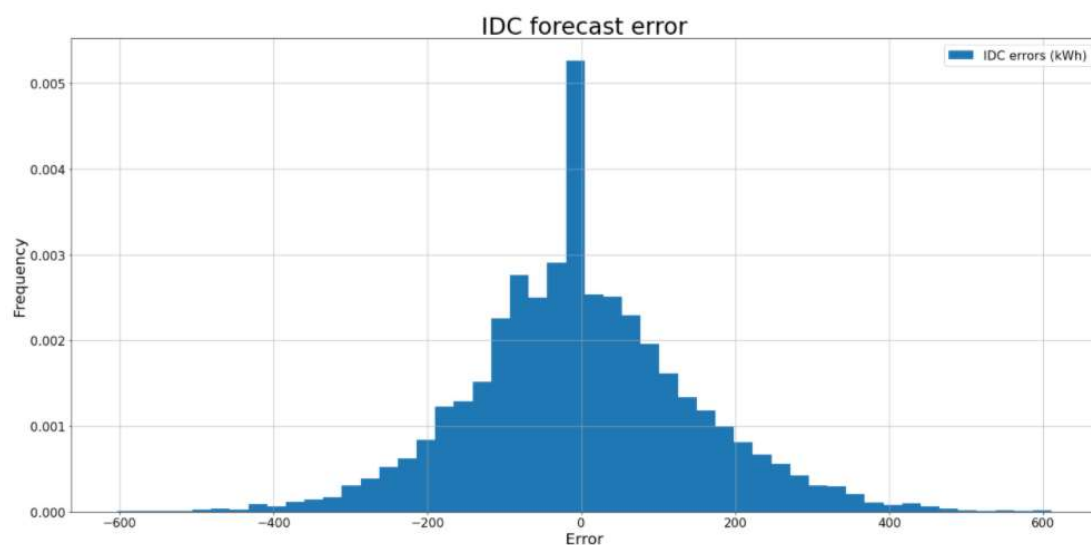
3.2.5 Πρόβλεψη παραγωγής για την IDC αγορά

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η πραγματική παραγωγή των πάρκων σε σύγκριση με την πρόβλεψη παραγωγής πριν το κλείσιμο της IDC αγοράς. Με μπλε είναι η πραγματική παραγωγή ενώ με πορτοκαλί είναι η πρόβλεψη.



Εικόνα 19: Πραγματική παραγωγή (μπλε) - πρόβλεψη παραγωγής (πορτοκαλί) πριν το κλείσιμο της IDC αγοράς για μια εβδομάδα του Μαΐου

Στη συνέχεια παρουσιάζεται το ιστόγραμμα των σφαλμάτων καθώς και οι δείκτες STD, MAE, RMSE και MAX.



Εικόνα 20: Ιστόγραμμα των σφαλμάτων μεταξύ πρόβλεψης και πραγματικής παραγωγής

Πίνακας 13: Δείκτες STD, MAE, RMSE και MAX για τις προβλέψεις παραγωγής της IDC αγοράς

STD	233,38
MAE	138,33
RMSE	233,35
MAX	1203,72

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται για κάθε ημέρα, εβδομάδα και μήνα η ελάχιστη, μέγιστη και μέση τιμή των σφαλμάτων. Ταυτόχρονα παρουσιάζονται οι ημερομηνίες στις οποίες εμφανίζονται οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές.

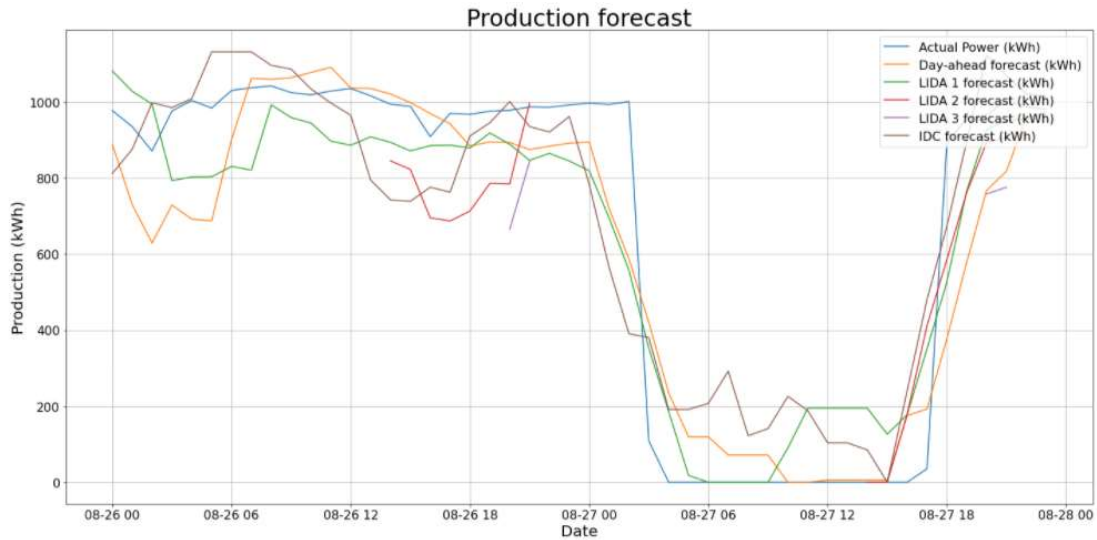
Πίνακας 14: Μέγιστες, ελάχιστες και μέσες τιμές των ημερήσιων, εβδομαδιαίων και μηνιαίων δεικτών καθώς και οι ημερομηνίες που αυτοί εμφανίζονται

	MIN	MIN index	MAX	MAX index	AVERAGE
Daily Error	0,13	2019-05-18	173,83	2019-10-27	58,19
Weekly Error	2,03	2019-06-04	86,49	2019-12-31	30,04
Monthly Error	0,09	October	38,99	August	14,10

3.2.6 Συνολική πρόβλεψη παραγωγής Αιολικών

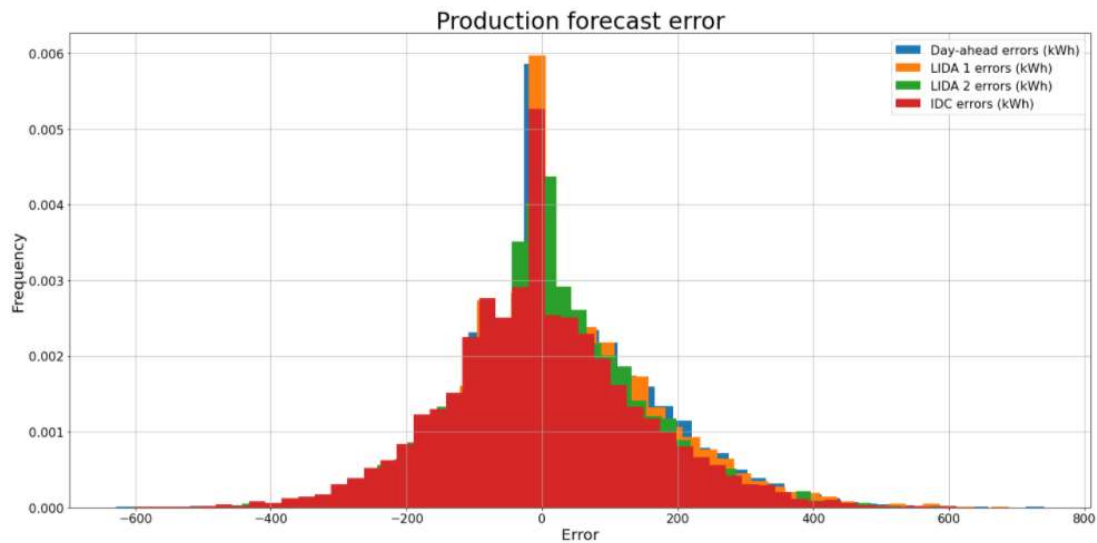
Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται για δύο τυχαίες ημέρες του Αυγούστου οι προβλέψεις παραγωγής μαζί με την πραγματική παραγωγή. Μπορούμε να διαπιστώσουμε εύκολα πως όσο πλησιάζει η ώρα πρόβλεψης στην ώρα παράδοσης της ενέργειας δεν βελτιώνεται η πρόβλεψη. Αυτό θα συνέβαινε μόνο στην περίπτωση που το μοντέλο πρόβλεψης λάμβανε υπόψιν τις live μετρήσεις παραγωγής. Αντίθετα το συγκεκριμένο μοντέλο εκπαιδεύεται μια φορά τον μήνα.

Υπενθυμίζουμε επίσης πως καθώς η LIDA2 αγορά αφορά τις ώρες 12:00-24:00 και η LIDA3 αφορά τις ώρες 18:00-24:00 στο παρακάτω διάγραμμα οι αντίστοιχες προβλέψεις έχουν τιμές μόνο στις σχετικές ώρες.



Εικόνα 21: Όλες οι προβλέψεις παραγωγής καθώς και η πραγματική τιμή

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται τα ιστογράμματα των σφαλμάτων των προβλέψεων. Δεν παρουσιάζεται το ιστογράμμα της LIDA3 πρόβλεψης καθώς η συγκεκριμένη πρόβλεψη έχει ελάχιστες τιμές και το ιστογράμμα της για έναν χρόνο δεδομένα δεν θα ήταν αντιπροσωπευτικό.



Εικόνα 22: Σφάλματα όλων των προβλέψεων

Στον παρακάτω πίνακα συγκρίνονται οι δείκτες STD, MAE, RMSE και MAX για τις 5 διαφορετικές προβλέψεις.

Πίνακας 15: Δείκτες STD, MAE, RMSE και MAX για όλες τις προβλέψεις

Production forecasts	STD	MAE	RMSE	MAX
Day-ahead	218,17	127,58	220,37	1172,20

LIDA1	214,32	127,23	215,38	1091,82
LIDA2	222,18	129,97	222,60	1203,89
LIDA3	226,314	137,98	227,91	1130,62
IDC	233,378	138,33	233,35	1203,72

3.3 Backcast production forecast

Οι προβλέψεις παραγωγής που είχαμε διαθέσιμες ήταν μόνο μερικών μηνών και για να μπορέσουμε να εκτελέσουμε τα σενάρια που θα δούμε παρακάτω χρειαζόμασταν περισσότερα δεδομένα. Έτσι κρατώντας σταθερή την κατανομή των σφαλμάτων δημιουργήσαμε παρελθοντικές προβλέψεις (Backcast) με τον αλγόριθμο που φαίνεται παρακάτω (ανά πάρκο ξεχωριστά).

Block of code:

```
1. def Backcast_function (errors):
2.
3.     population, weights = histogram(errors) #weights calculation
4.
5.     for i in range(past_values):
6.         random_imbalance = choices(population, weights)
7.
8.         for i in range(past_values): #for all past values
9.             backcast = actual_production + random_imbalance
10.            if backcast < 0: # no production
11.                backcast = 0
12.            elif backcast > 620: # maximum production
13.                backcast = 600
14.            backcasted_series.append(backcast)
15.
16.    return backcasted_series
```

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Δεδομένα Αγοράς

4.1 Πραγματικά Δεδομένα Αγορών

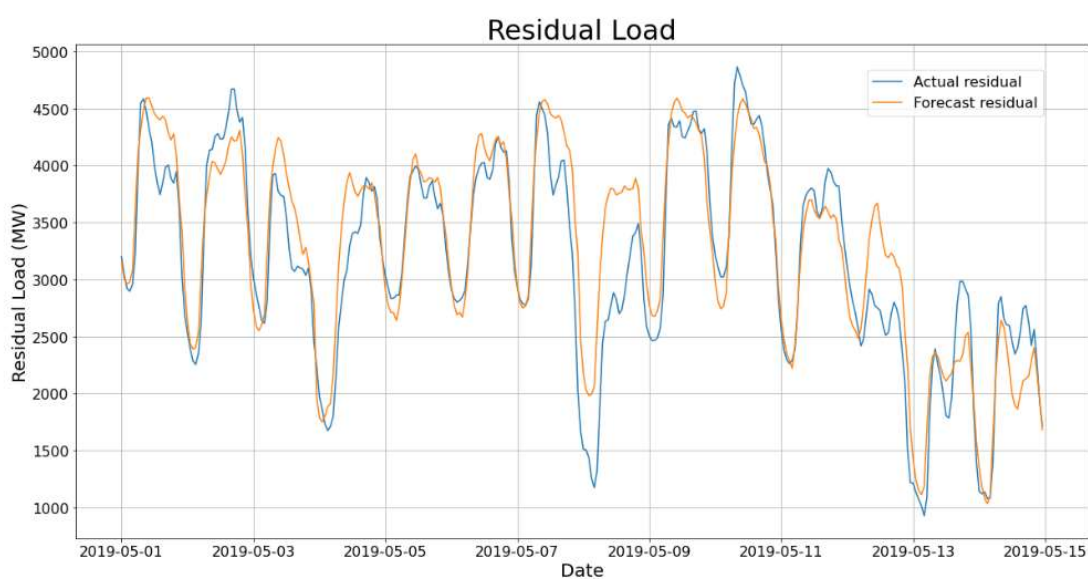
Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα πραγματικά δεδομένα των αγορών που θα χρησιμοποιήσουμε στα σενάρια των επόμενων κεφαλαίων. Αυτά περιλαμβάνουν τα εξής:

- Το residual load,
- την τιμή της day-ahead αγοράς,
- την τιμή της LIDA 1 αγοράς,
- την τιμή της LIDA 2 αγοράς,
- την τιμή της LIDA 3 αγοράς και
- την τιμή της IDC αγοράς.

4.1.1 Residual Load

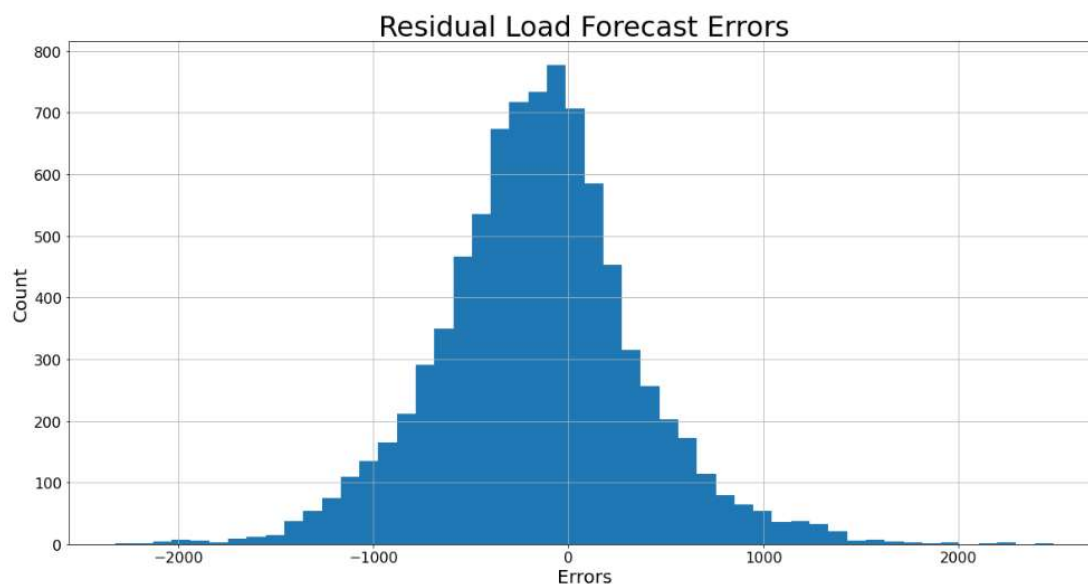
Το residual load πρόκειται για το φορτίο του συστήματος μείον την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Αυτός ο παράγοντας έχει αποδειχθεί επανειλημμένα στην βιβλιογραφία πως περιγράφει το μεγαλύτερο μέρος της τιμής των αγορών. Αυτό είναι λογικό μιας και όσο περισσότερη παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές έχουμε τόσο πέφτει το κόστος της ενέργειας. Αντίστοιχα όσο μεγαλύτερο φορτίο έχουμε τόσο ανεβαίνει το κόστος της ενέργειας. Αξίζει να θυμίσουμε εδώ πως μεγαλύτερο ή μικρότερο φορτίο οδηγεί στην ένταξη ή απένταξη σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με μεγαλύτερο ή μικρότερο μεταβλητό κόστος καυσίμου.

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η πραγματική και η προβλεπόμενη τιμή του residual load (μπλε η πραγματική τιμή ενώ πορτοκαλί η πρόβλεψη) όπως τις δημοσιεύει ο ΑΔΜΗΕ.



Εικόνα 23: Residual Load, πραγματικά δεδομένα (μπλε) και δεδομένα προβλέψεων (πορτοκαλί) για δύο εβδομάδες του Μαΐου

Παρακάτω φαίνεται το ιστόγραμμα των σφαλμάτων του residual load μαζί με τους δείκτες STD, MAE, RMSE, MAX και MAPE.



Εικόνα 24: Ιστόγραμμα σφαλμάτων πρόβλεψης residual load

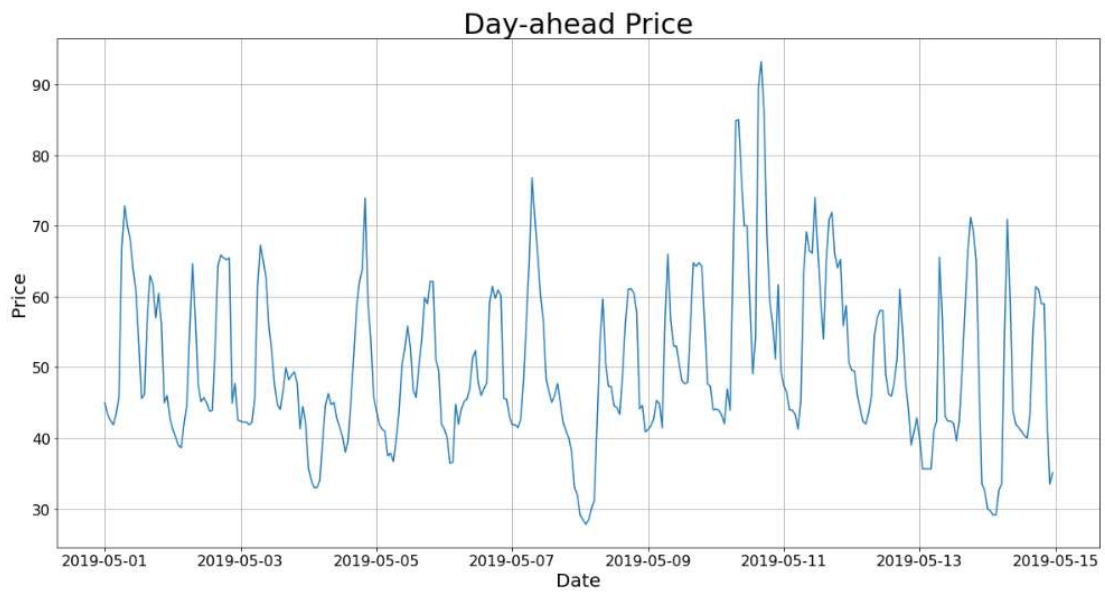
Πίνακας 16: Δείκτες STD, MAE, RMSE, MAX και MAPE για το residual load

STD	508,31
MAE	407,14
RMSE	531,60
MAX	2485,5
MAPE	20.09%

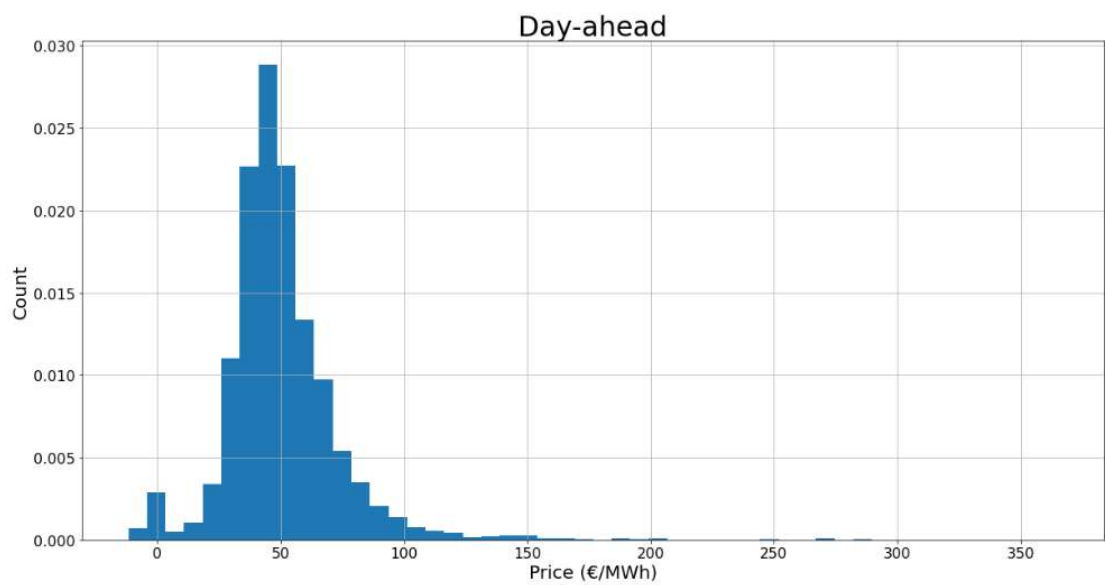
4.1.2 Τιμές Αγορών

Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε για τις 5 αγορές (Day-ahead, LIDA1, LIDA2, LIDA3, Imbalance) τις τιμές τους. Για κάθε αγορά έχουμε ένα διάγραμμα με την τιμή για δύο τυχαίες εβδομάδες, το ιστόγραμμα της τιμής, την μέση τιμή και τον δείκτη STD. Μέσω των παρακάτω διαγραμμάτων γίνεται εμφανής η περιοδική συμπεριφορά της τιμής καθώς και η εμφάνιση κάποιων ακραίων τιμών.

Τιμή Day-ahead αγοράς



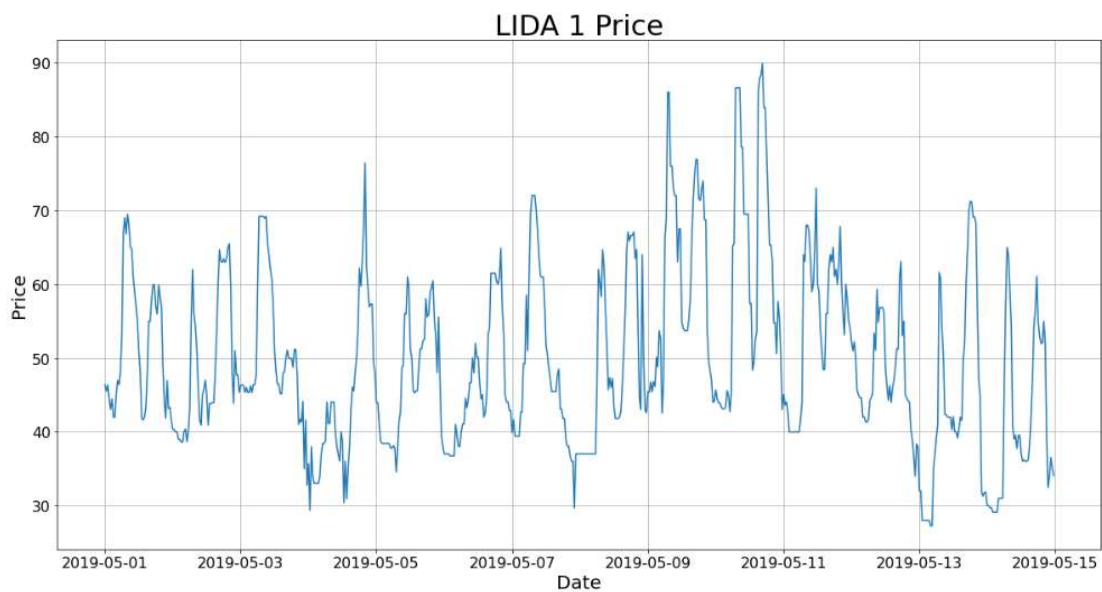
Εικόνα 25: Τιμή Day-ahead για δύο εβδομάδες του Μαΐου



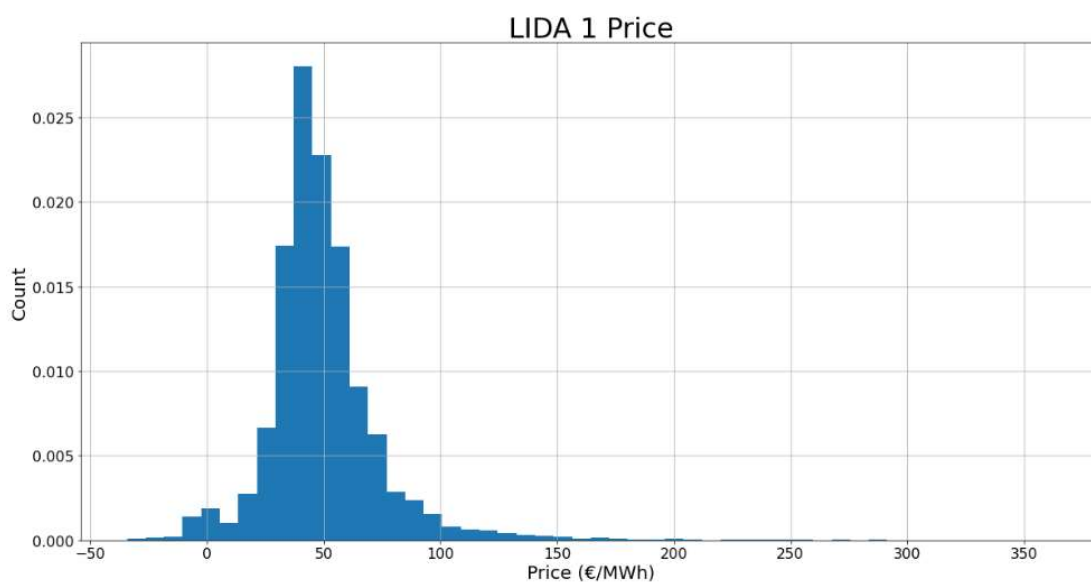
Εικόνα 26: Ιστόγραμμα τιμών day-ahead αγοράς

MEAN	50,26
STD	23,68

Τιμή LIDA 1 αγοράς



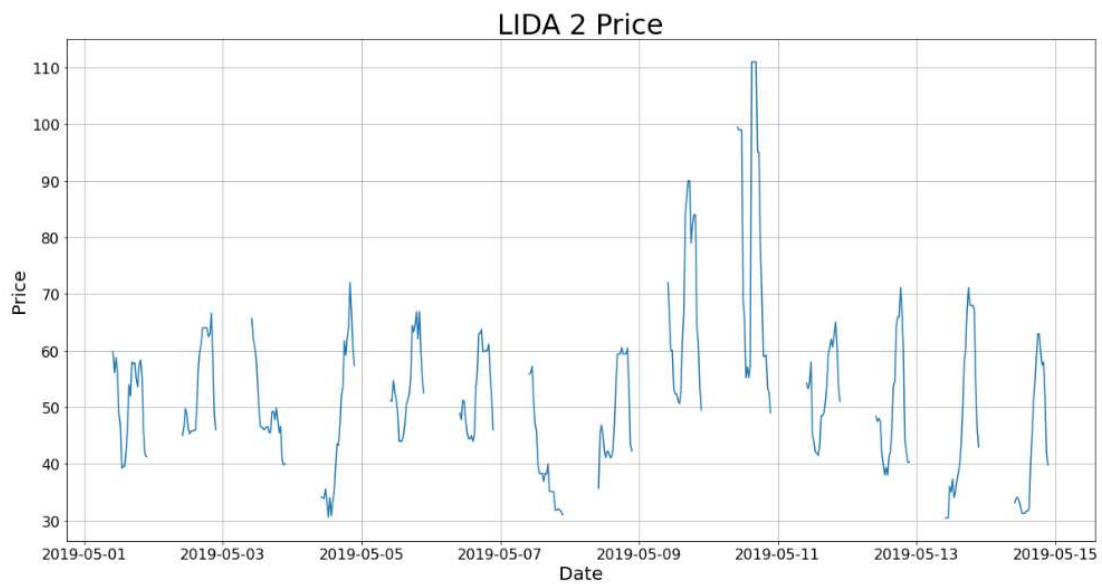
Εικόνα 27: Τιμή LIDA 1 αγοράς για δύο εβδομάδες του Μαΐου



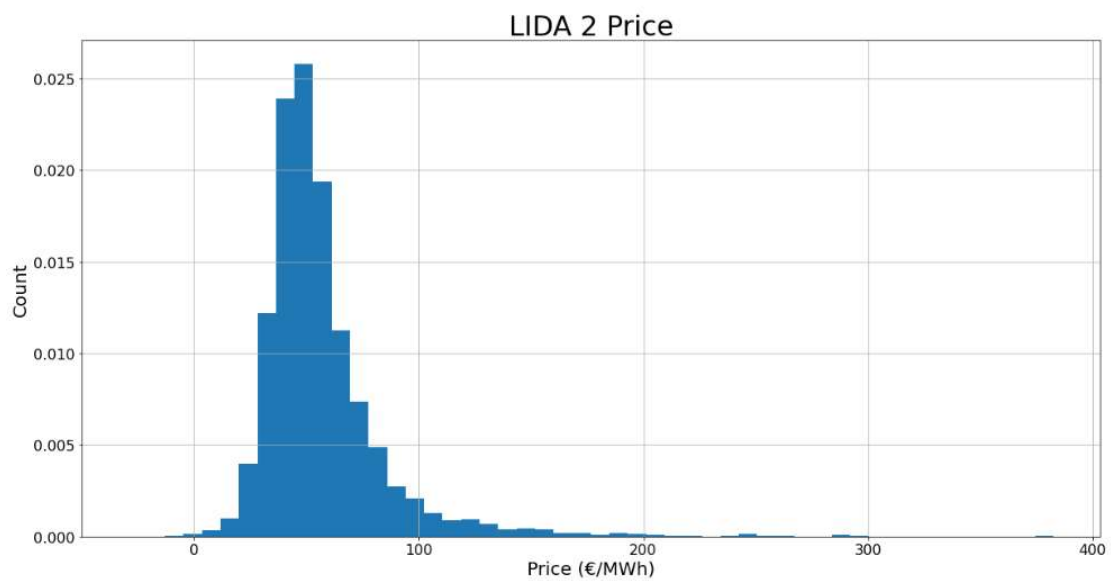
Εικόνα 28: Ιστόγραμμα τιμών LIDA 1 αγοράς

MEAN		49,64
STD		25,20

Τιμή LIDA 2 αγοράς



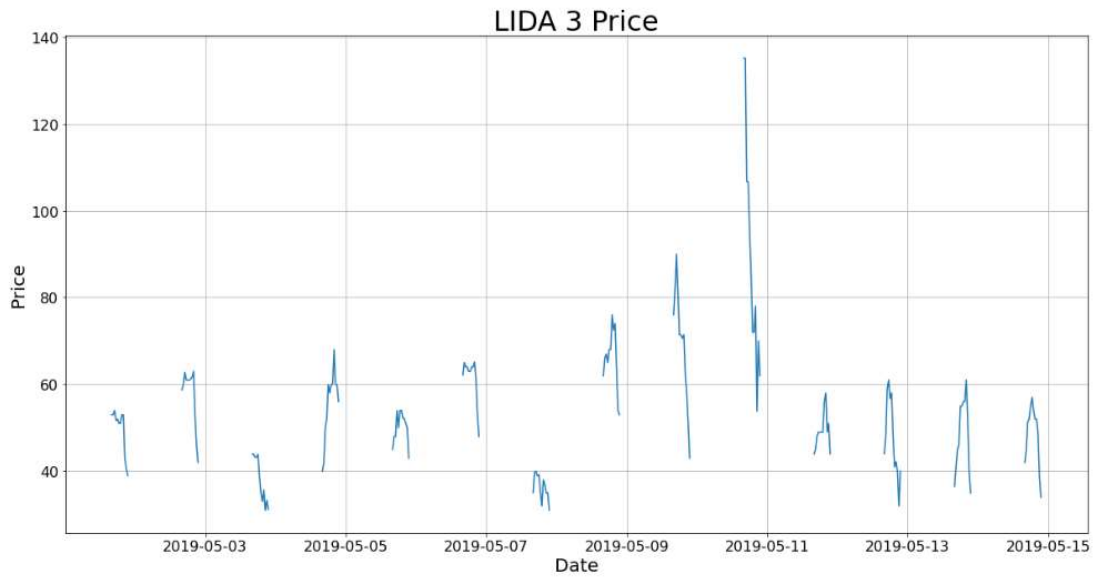
Εικόνα 29: Τιμή LIDA 2 αγοράς για δύο εβδομάδες του Μαΐου



Εικόνα 30: Ιστόγραμμα τιμών LIDA 2 αγοράς

MEAN	56,54
STD	27,56

Τιμή LIDA 3 αγοράς



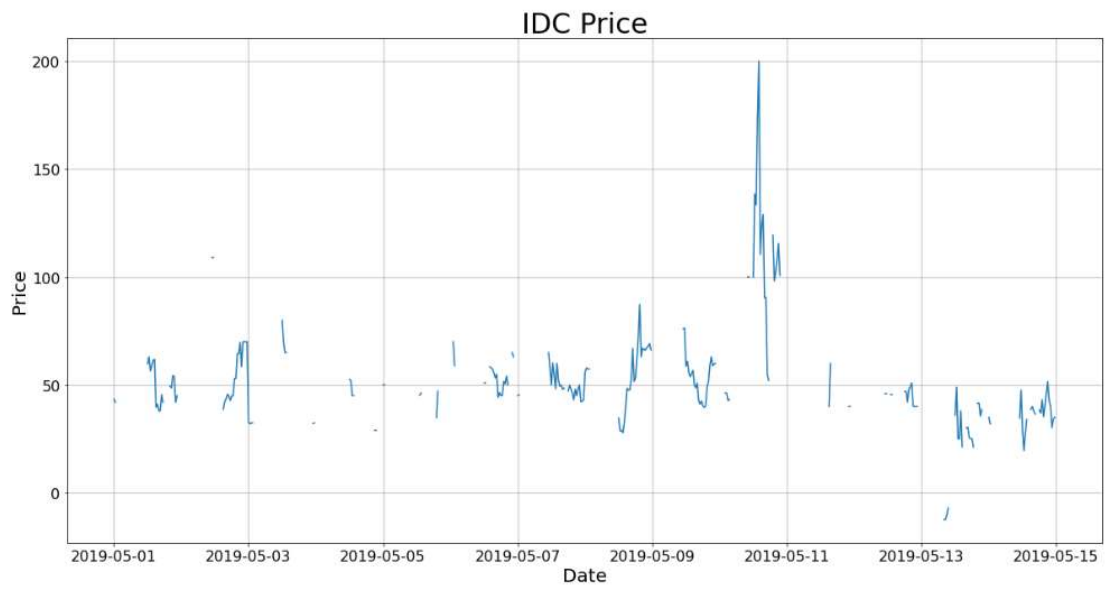
Εικόνα 31: Τιμή LIDA 3 αγοράς για δύο εβδομάδες του Μαΐου



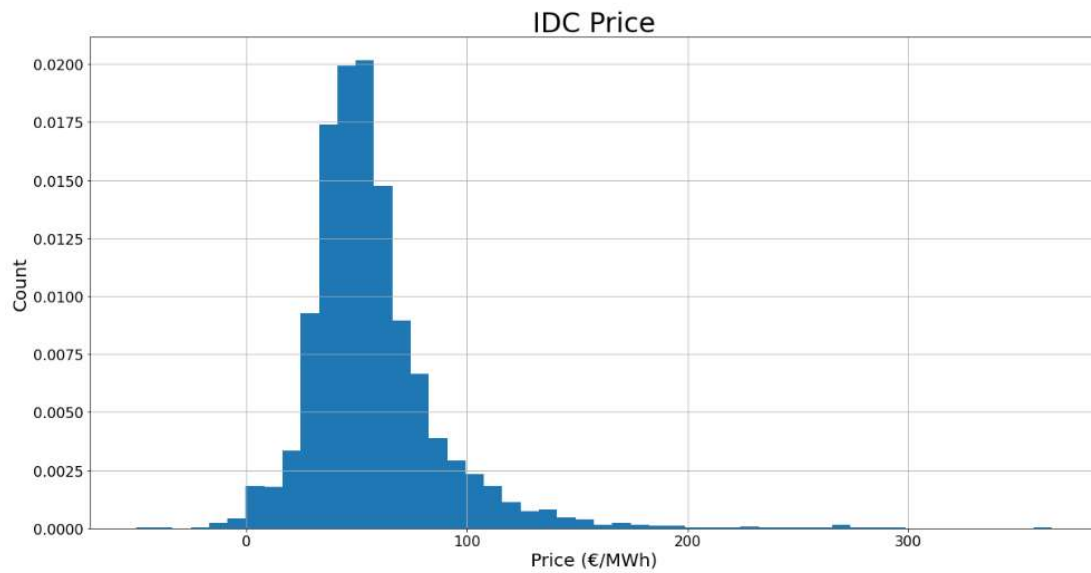
Εικόνα 32: Ιστόγραμμα τιμών LIDA 3 αγοράς

MEAN	61,49
STD	34,64

Τιμή IDC αγοράς



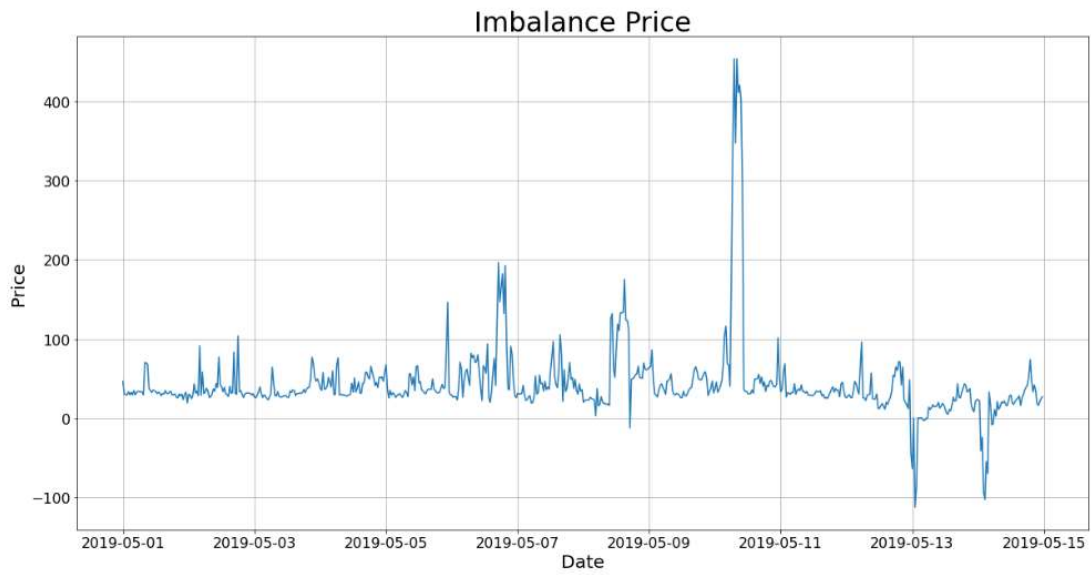
Εικόνα 33: Τιμή LIDA 3 αγοράς για δύο εβδομάδες του Μαΐου



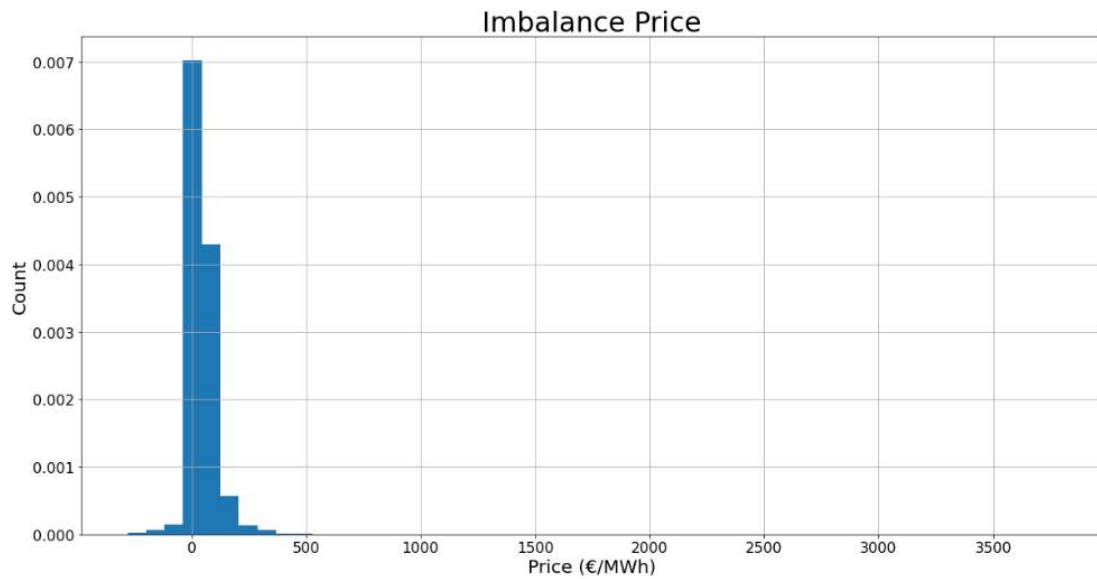
Εικόνα 34: Ιστόγραμμα τιμών IDC αγοράς

MEAN		56,76
STD		30,06

Τιμή Imbalance αγοράς



Εικόνα 35: Imbalance price για δύο εβδομάδες του Μαΐου



Εικόνα 36: Ιστόγραμμα imbalance prices

MEAN	48,29
STD	62,78

4.1.3 Περίληψη τιμών αγορών

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συνολικά οι μέσες τιμές και ο δείκτης STD για την τιμή κάθε αγοράς. Όπως παρατηρούμε, η LIDA3 τιμή έχει την

υψηλότερη τιμή ενώ η Imbalance την χαμηλότερη. Αξιοσημείωτο επίσης είναι το STD της Imbalance αγοράς το οποίο είναι σχεδόν διπλάσιο από όλες τις άλλες αγορές. Αυτό ήταν αναμενόμενο καθώς η Imbalance αγορά εξαρτάται από πάρα πολλούς παράγοντες όπως για παράδειγμα το congestion των γραμμών.

Πίνακας 17: Περίληψη τιμών αγορών (MEAN, STD)

Market prices	MEAN	STD
<i>Day-ahead</i>	50,26	23,68
<i>LIDA 1</i>	49,64	25,20
<i>LIDA 2</i>	56,54	27,56
<i>LIDA 3</i>	61,49	34,64
<i>IDC</i>	56,76	30,06
<i>Imbalance</i>	48,29	62,78

4.2 Προβλέψεις τιμών

Στη συνέχεια θα δημιουργήσουμε προβλέψεις για τις τιμές των αγορών προκειμένου να μπορούμε μετά να εφαρμόσουμε τις στρατηγικές. Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής δεν είναι η πρόβλεψη χρηματιστηριακών τιμών για αυτό θα συγκρίνουμε μεταξύ τους απλές μεθόδους.

Θα ξεκινήσουμε προβλέποντας την τιμή της day-ahead αγοράς και εφόσον εντοπίσουμε την καλύτερη μέθοδο, θα την εφαρμόσουμε και στις υπόλοιπες αγορές. Αξίζει να τονίσουμε εδώ πως η πρόβλεψη της τιμής της LIDA2 αγοράς (για παράδειγμα) δεν γίνεται μια φορά αλλά πριν το κλείσιμο κάθε αγοράς πριν από την ίδια και της ίδιας. Δηλαδή γίνεται συνολικά τρεις φορές, μια πριν το κλείσιμο της day-ahead, μια πριν το κλείσιμο της LIDA1 και μια πριν το κλείσιμο της LIDA2. Αυτό συμβαίνει γιατί πρέπει να επικαιροποιούμε τις προβλέψεις μας λαμβάνοντας υπόψιν τις τιμές των αγορών που έχουν ήδη κλείσει.

Τέλος είναι πολύ σημαντικό να αναφέρουμε πως οι προβλέψεις μας πρέπει να γίνονται ταυτόχρονα και για τις 24 ώρες της επόμενης ημέρας (12 αν πρόκειται για LIDA2 και 6 αν πρόκειται για LIDA3) καθώς οι τιμές κλειδώνουν και δημοσιεύονται ταυτόχρονα. Με άλλα λόγια δεν πρέπει να χρησιμοποιήσουμε για την πρόβλεψη της τιμής μιας ώρας την τιμή της προηγούμενης ώρας καθώς αυτή δεν θα είναι διαθέσιμη την στιγμή της πρόβλεψης.

4.2.1 Πρόβλεψη τιμών day-ahead αγοράς

Παρακάτω θα αναπτύξουμε έξι τρόπους πρόβλεψης της τιμής της day-ahead αγοράς από τους οποίους θα επιλέξουμε τον καλύτερο. Αυτοί είναι:

- Naïve daily
- Naïve weekly
- Naïve better
- Simple exponential smoothing (SES)
- Moving Average (MA)
- Long short-term memory (LSTM) Neural Network

Για κάθε μέθοδο, θα βλέπουμε ένα διάγραμμα με τις πραγματικές και τις προβλεπόμενες τιμές, το ιστόγραμμα των σφαλμάτων, τους δείκτες STD, MAE, RMSE και MAPE, τις ελάχιστες και μέγιστες τιμές των ημερήσιων, εβδομαδιαίων και μηνιαίων MAE και RMSE.

4.2.1.1 Naive daily

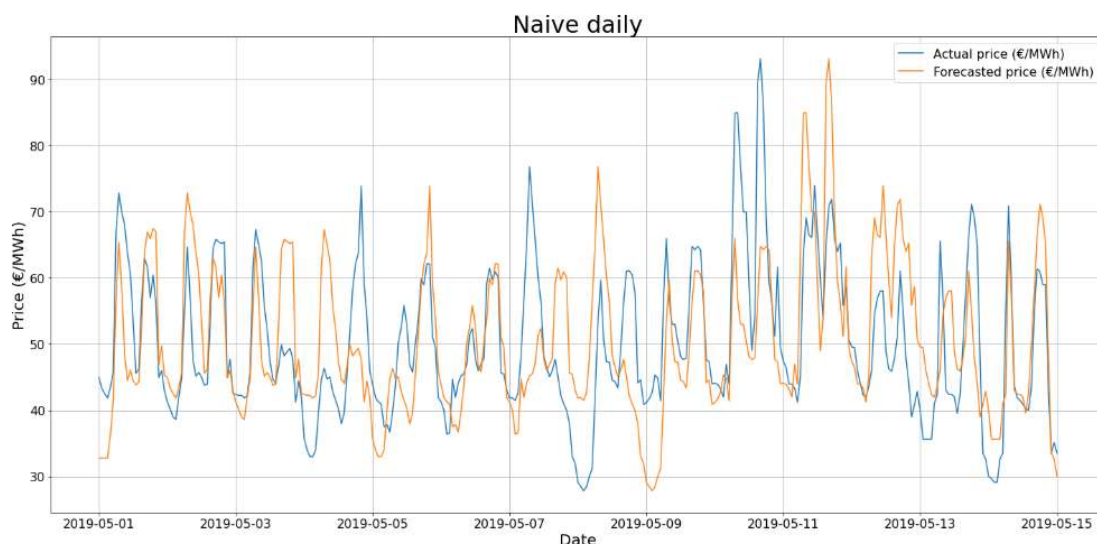
Πρόβλεψη παραγωγής με την μέθοδο Naive δηλαδή με τις τιμές των προβλέψεων να είναι ίσες με τις τιμές της προηγούμενης ημέρας. Αξίζει να θυμίσουμε ότι οι τιμές της day-ahead αγοράς καθορίζονται για κάθε ημέρα

όλες μαζί και έτσι δεν γίνεται κάθε τιμή να είναι ίση με την προηγούμενη όπως είναι σύνηθες για την πρόβλεψη Naive.

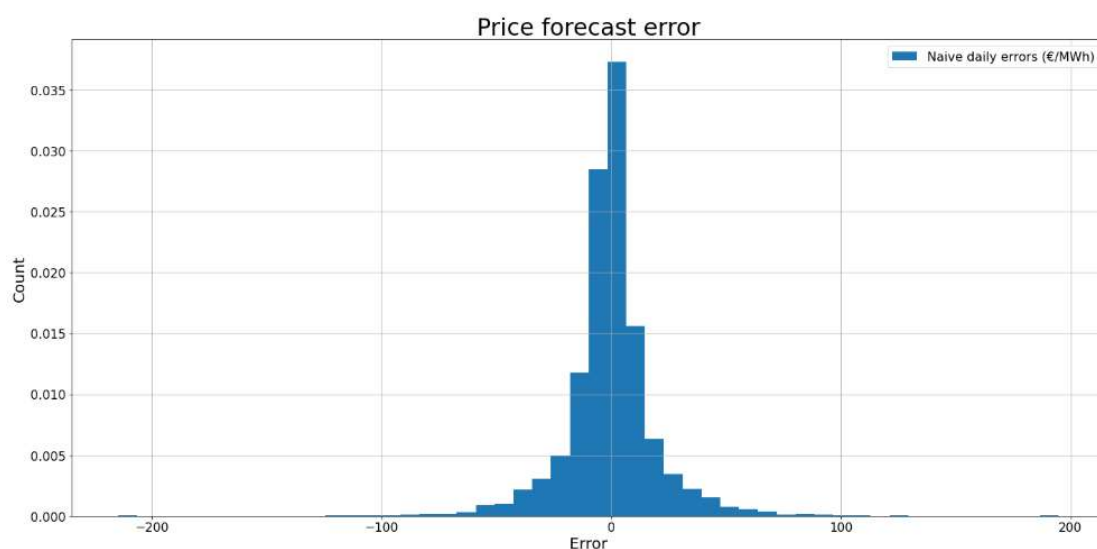
Block of code:

```
1. Day_ahead_price.shift(1, freq=dt.timedelta(days=1))
```

Τα επόμενα δύο διαγράμματα παρουσιάζουν την πρόβλεψη σε σύγκριση με την πραγματική τιμή της αγοράς καθώς και το ιστόγραμμα των σφαλμάτων.



Εικόνα 37: Πραγματικές τιμές day-ahead και προβλέψεις με την μέθοδο Naive Daily για δύο εβδομάδες του Μαΐου



Εικόνα 38: Ιστόγραμμα σφαλμάτων πρόβλεψης τιμής day-ahead με την μέθοδο Naive Daily

Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι δείκτες STD, MAE, RMSE και MAPE καθώς και οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές των ημερησίων, εβδομαδιαίων και μηνιαίων MAE και RMSE.

Πίνακας 18: Δείκτες STD, MAE, RMSE για τις προβλέψεις της τιμής της day-ahead αγοράς με την μέθοδο Naive Daily

STD	20,35
MAE	12,53
RMSE	20,35
MAPE	24,36%

Πίνακας 19: Μέγιστες και ελάχιστες τιμές των δεικτών MAE και RMSE σε ημερήσια εβδομαδιαία και μηνιαία βάση για τις προβλέψεις της τιμής της day-ahead αγοράς με την μέθοδο Naive Daily

		MIN	MIN index	MAX	MAX index
Daily	MAE	2,13	18/7/2019	51,78	8/1/2019
	RMSE	2,53	18/7/2019	73,49	8/1/2019
Weekly	MAE	4,43	14/5/2019	25,10	10/9/2019
	RMSE	6,42	14/5/2019	44,21	29/1/2019
Monthly	MAE	7,74	May	20,22	January
	RMSE	11,39	May	33,98	January

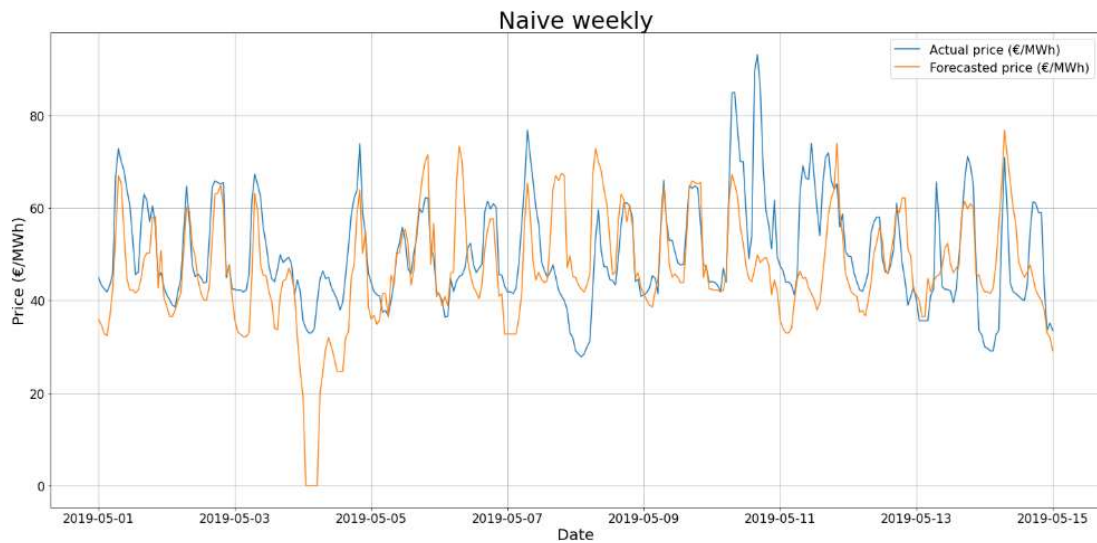
4.2.1.2 Naive weekly

Πρόβλεψη παραγωγής με την μέθοδο Naive με τις τιμές των προβλέψεων να είναι ίσες με αυτές της προηγούμενης εβδομάδας.

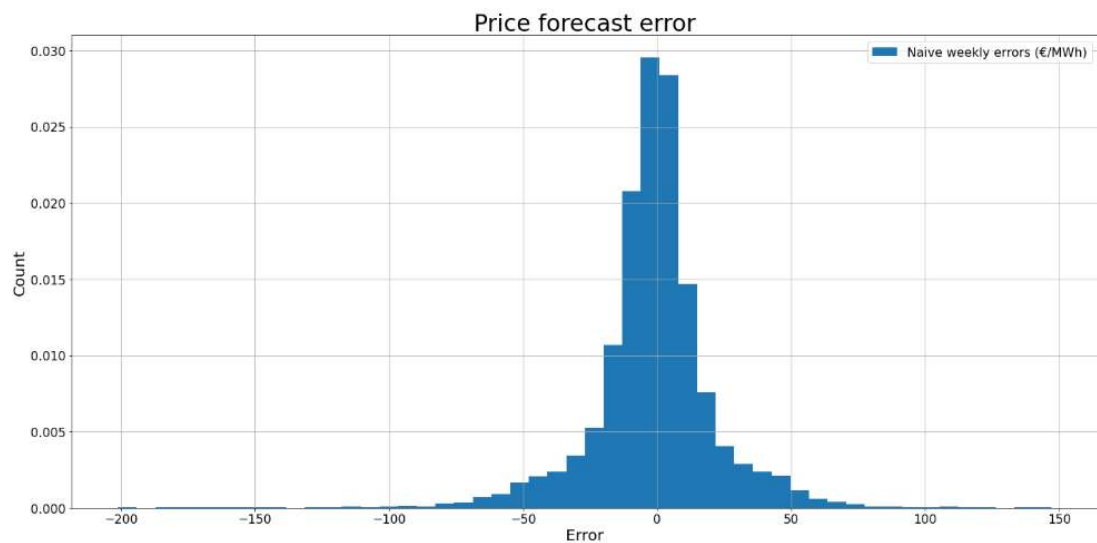
Block of code:

```
1. Day_ahead_price.shift(1, freq=dt.timedelta(days=7))
```

Τα επόμενα δύο διαγράμματα παρουσιάζουν την πρόβλεψη σε σύγκριση με την πραγματική τιμή της αγοράς καθώς και το ιστόγραμμα των σφαλμάτων.



Εικόνα 39: Πραγματικές τιμές day-ahead και προβλέψεις με την μέθοδο Naive Weekly για δύο εβδομάδες του Μαΐου



Εικόνα 40: Ιστόγραμμα σφαλμάτων πρόβλεψης τιμής day-ahead με την μέθοδο Naive Weekly

Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι δείκτες STD, MAE, RMSE και MAPE καθώς και οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές των ημερησίων, εβδομαδιαίων και μηνιαίων MAE και RMSE.

Πίνακας 20: Δείκτες STD, MAE, RMSE για τις προβλέψεις της τιμής της day-ahead αγοράς με την μέθοδο Naive Weekly

STD	22,72
MAE	14,89

RMSE	22,75
MAPE	28,86%

Πίνακας 21: Μέγιστες και ελάχιστες τιμές των δεικτών MAE και RMSE σε ημερήσια εβδομαδιαία και μηνιαία βάση για τις προβλέψεις της τιμής της day-ahead αγοράς με την μέθοδο Naive Weekly

		MIN	MIN index	MAX	MAX index
Daily	MAE	2,91	25/4/2019	54,14	15/1/2019
	RMSE	3,61	25/4/2019	76,85	15/1/2019
Weekly	MAE	4,84	31/12/2019	29,03	8/1/2019
	RMSE	6,94	31/12/2019	43,65	8/1/2019
Monthly	MAE	9,89	June	23,45	January
	RMSE	15,02	June	36,91	January

4.2.1.1 Naive better

Πρόβλεψη παραγωγής με την μέθοδο Naive μόνο που σε αυτήν την περίπτωση αν πρόκειται για Δευτέρα τότε οι τιμές αυτές ισούνται με τις τιμές της προηγούμενης Παρασκευής, αν πρόκειται για Τρίτη, Τετάρτη, Πέμπτη, Παρασκευή ή Κυριακή τότε αυτές ισούνται με τις τιμές της προηγούμενης τους μέρας και αν πρόκειται για Σάββατο τότε αυτές ισούνται με τις τιμές της προηγούμενης Κυριακής.

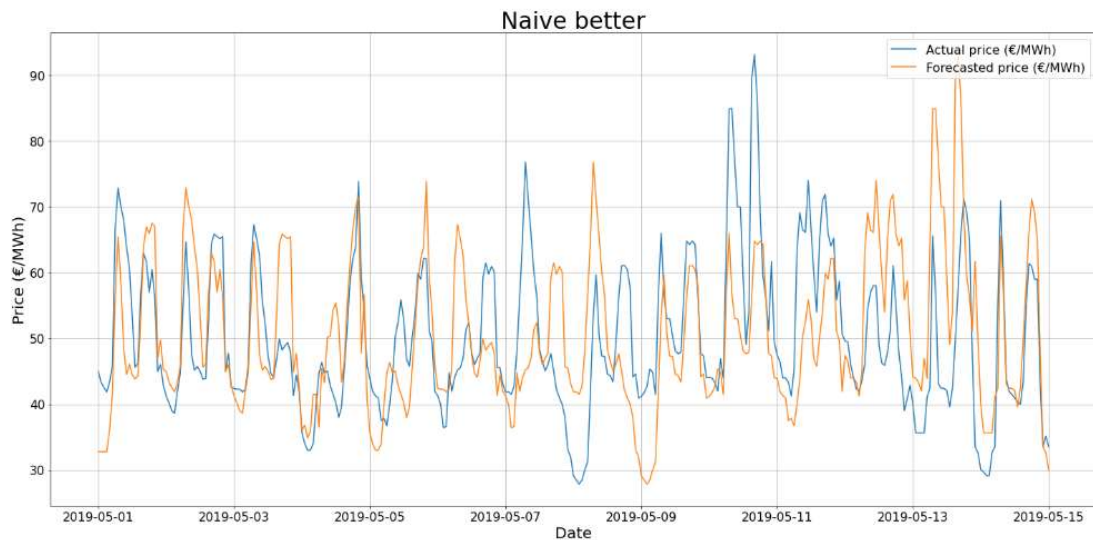
Block of code:

```

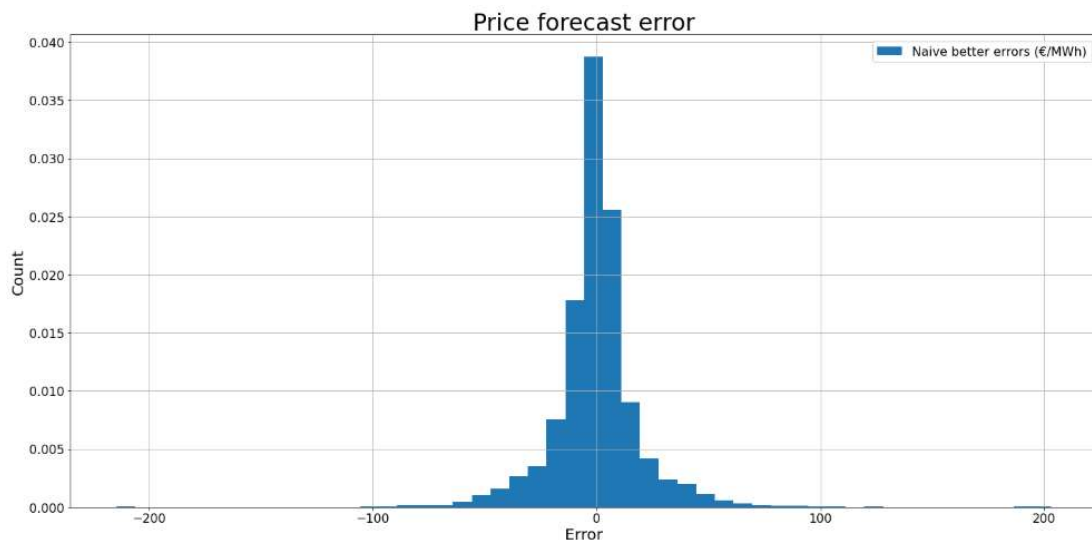
1. for i in range(len(damp)):
2.     d = damp.index[i].weekday()
3.     if d==0:
4.         damp["forecast"].iloc[i] = damp["price_eur"].iloc[i-3*24]
5.     elif d<5:
6.         damp["forecast"].iloc[i] = damp["price_eur"].iloc[i-24]
7.     elif d<6:
8.         damp["forecast"].iloc[i] = damp["price_eur"].iloc[i-6*24]
9.     else:
10.        damp["forecast"].iloc[i] = damp["price_eur"].iloc[i-24]

```

Τα επόμενα δύο διαγράμματα παρουσιάζουν την πρόβλεψη σε σύγκριση με την πραγματική τιμή της αγοράς καθώς και το ιστόγραμμα των σφαλμάτων.



Εικόνα 41: Πραγματικές τιμές day-ahead και προβλέψεις με την μέθοδο Naive Better για δύο εβδομάδες του Μαΐου



Εικόνα 42: Ιστόγραμμα σφαλμάτων πρόβλεψης τιμής day-ahead με την μέθοδο Naive Better

Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι δείκτες STD, MAE, RMSE και MAPE καθώς και οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές των ημερησίων, εβδομαδιαίων και μηνιαίων MAE και RMSE.

Πίνακας 22: Δείκτες STD, MAE, RMSE για τις προβλέψεις της τιμής της day-ahead αγοράς με την μέθοδο Naive Better

STD	20,15
MAE	12,48
RMSE	20,15
MAPE	24,54%

Πίνακας 23: Μέγιστες και ελάχιστες τιμές των δεικτών MAE και RMSE σε ημερήσια εβδομαδιαία και μηνιαία βάση για τις προβλέψεις της τιμής της day-ahead αγοράς με την μέθοδο Naive Better

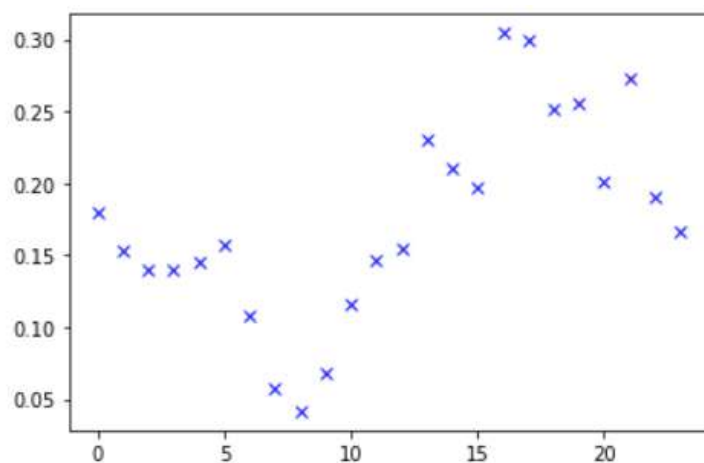
		MIN	MIN index	MAX	MAX index
Daily	MAE	2,13	18/7/2019	51,78	8/1/2019
	RMSE	2,53	18/7/2019	73,49	8/1/2019
Weekly	MAE	3,94	14/5/2019	25,08	17/12/2019
	RMSE	5,27	14/5/2019	45,50	29/1/2019
Monthly	MAE	8,20	May	19,94	January
	RMSE	12,56	May	34,43	January

4.2.1.3 Simple exponential smoothing (SES)

Πρόβλεψη τιμών της day-ahead αγοράς με την μέθοδο Simple Exponential Smoothing. Η παράμετρος α βελτιστοποιήθηκε για κάθε ώρα της ημέρας ξεχωριστά και αυτή φαίνεται παρακάτω.

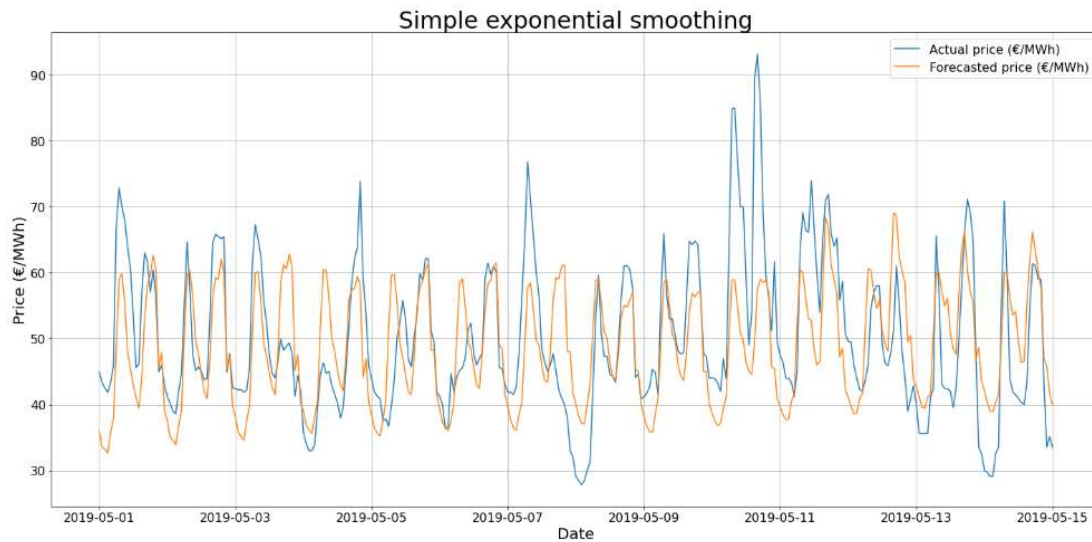
Block of code:

```
1. for j in range(0,24): #for every hour separately
2.     fit = SimpleExpSmoothing(sesact[str(j)]).fit()
```

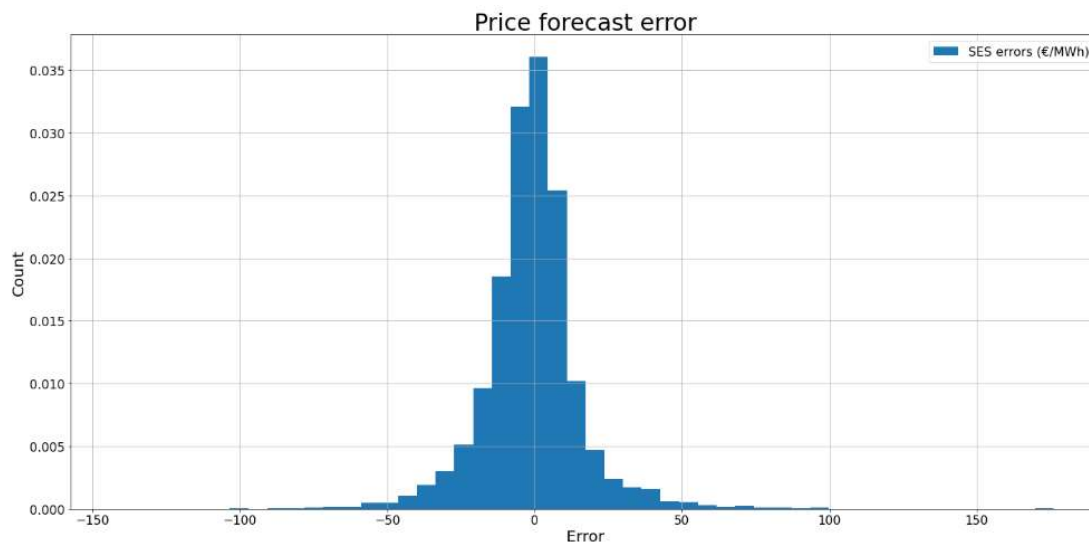


Εικόνα 43: Βέλτιστη παράμετρος α της μεθόδου πρόβλεψης Naive για κάθε ώρα της ημέρας

Τα επόμενα δύο διαγράμματα παρουσιάζουν την πρόβλεψη σε σύγκριση με την πραγματική τιμή της αγοράς καθώς και το ιστόγραμμα των σφαλμάτων.



Εικόνα 44: Πραγματικές τιμές day-ahead και προβλέψεις με την μέθοδο Simple Exponential Smoothing για δύο εβδομάδες του Μαΐου



Εικόνα 45: Ιστόγραμμα σφαλμάτων πρόβλεψης τιμής day-ahead με την μέθοδο Simple Exponential Smoothing

Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι δείκτες STD, MAE, RMSE και MAPE καθώς και οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές των ημερησίων, εβδομαδιαίων και μηνιαίων MAE και RMSE.

Πίνακας 24: Δείκτες STD, MAE, RMSE για τις προβλέψεις της τιμής της day-ahead αγοράς με την μέθοδο Simple Exponential Smoothing

STD	16,86
MAE	11,21
RMSE	16,89
MAPE	21,02%

Πίνακας 25: Μέγιστες και ελάχιστες τιμές των δεικτών MAE και RMSE σε ημερήσια εβδομαδιαία και μηνιαία βάση για τις προβλέψεις της τιμής της day-ahead αγοράς με την μέθοδο Simple Exponential Smoothing

		MIN	MIN index	MAX	MAX index
Daily	MAE	1,90	25/4/2019	42,30	13/9/2019
	RMSE	2,63	25/4/2019	55,42	30/1/2019
Weekly	MAE	4,88	14/5/2019	22,26	8/1/2019
	RMSE	6,18	14/5/2019	32,49	29/1/2019
Monthly	MAE	7,86	May	17,62	January
	RMSE	11,52	May	27,78	January

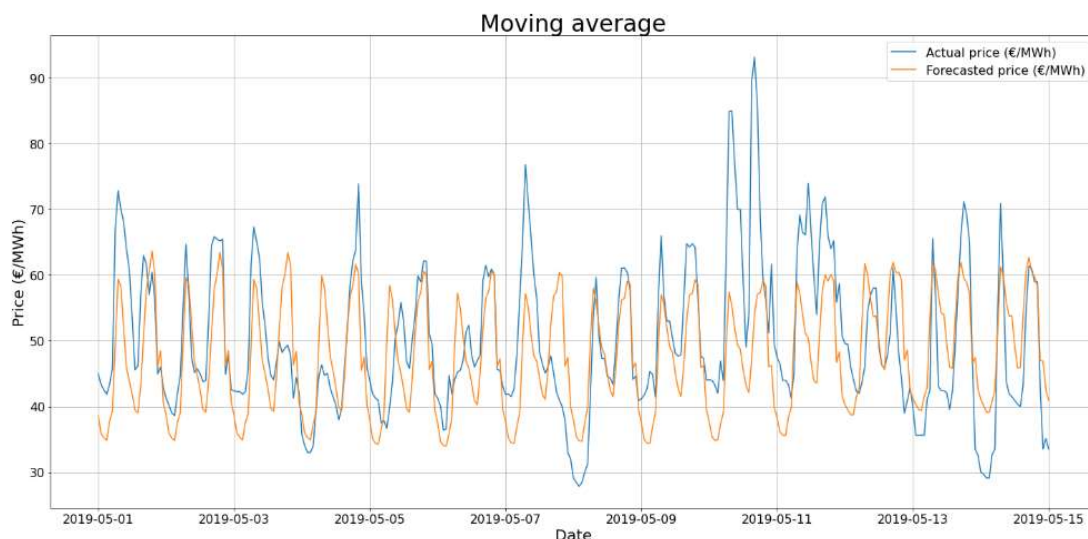
4.2.1.4 Moving average (MA)

Πρόβλεψη τιμών της day-ahead αγοράς με την μέθοδο Moving Average για διάστημα ίσο με δύο εβδομάδες. Αυτό το διάστημα φάνηκε να υπερισχύει σε σχέση με άλλα (μιας μέρας και μιας εβδομάδας).

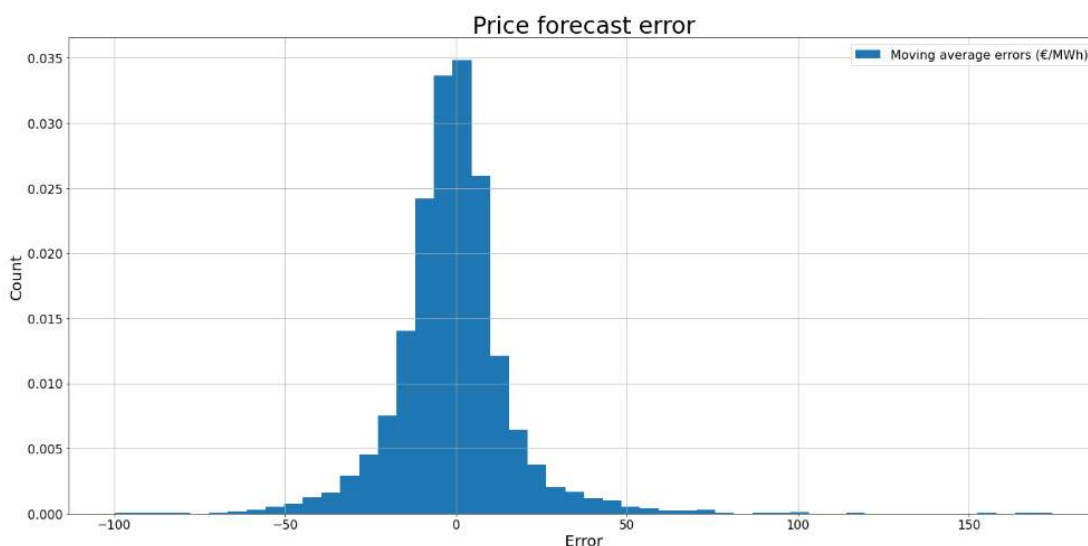
Block of code:

```
1. for j in range(0,24): #for every hour
2.     forecast = actual.rolling(14).mean()
```

Τα επόμενα δύο διαγράμματα παρουσιάζουν την πρόβλεψη σε σύγκριση με την πραγματική τιμή της αγοράς καθώς και το ιστόγραμμα των σφαλμάτων.



Εικόνα 46: Πραγματικές τιμές day-ahead και προβλέψεις με την μέθοδο Moving Average για δύο εβδομάδες του Μαΐου



Εικόνα 47: Ιστόγραμμα σφαλμάτων πρόβλεψης τιμής day-ahead με την μέθοδο Moving Average

Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι δείκτες STD, MAE, RMSE και MAPE καθώς και οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές των ημερησίων, εβδομαδιαίων και μηνιαίων MAE και RMSE.

Πίνακας 26: Δείκτες STD, MAE, RMSE για τις προβλέψεις της τιμής της day-ahead αγοράς με την μέθοδο Moving Average

STD	16,54
MAE	11,25
RMSE	16,56

MAPE | 21,65%

Πίνακας 27: Μέγιστες και ελάχιστες τιμές των δεικτών MAE και RMSE σε ημερήσια εβδομαδιαία και μηνιαία βάση για τις προβλέψεις της τιμής της day-ahead αγοράς με την μέθοδο Moving Average

		MIN	MIN index	MAX	MAX index
Daily	MAE	2,47	25/4/2019	44,70	8/12/2019
	RMSE	2,99	25/4/2019	54,50	30/1/2019
Weekly	MAE	5,20	14/5/2019	21,09	3/12/2019
	RMSE	6,45	14/5/2019	30,67	29/1/2019
Monthly	MAE	8,08	May	16,74	December
	RMSE	11,64	May	25,65	January

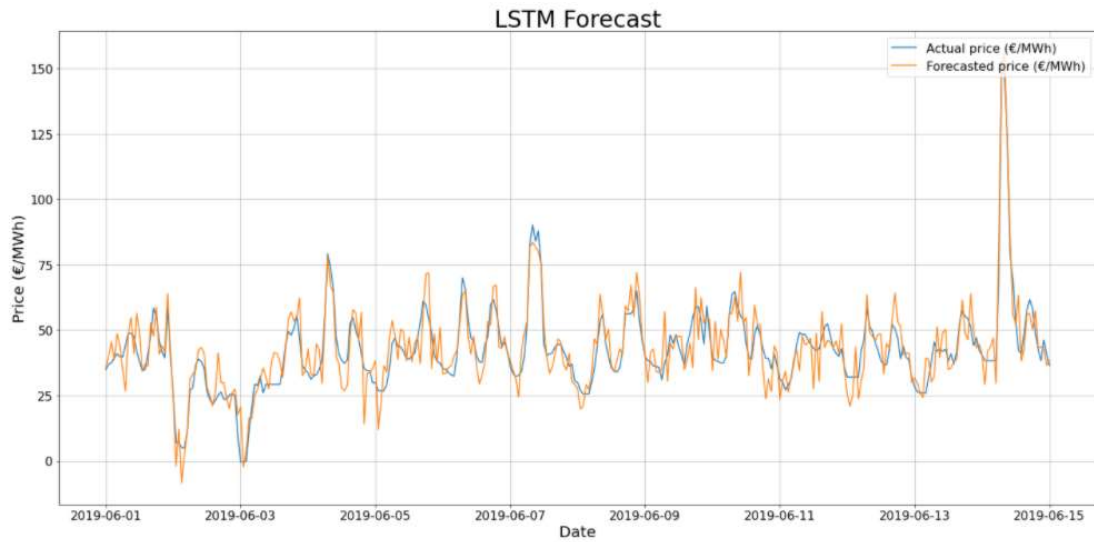
4.2.1.5 LSTM

Πρόβλεψη τιμών της day-ahead αγοράς χρησιμοποιώντας νευρωνικό δίκτυο τύπου LSTM. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπαίδευση του δικτύου είναι:

- ιστορικά δεδομένα τιμών day-ahead αγοράς,
- ιστορικά δεδομένα residual load,
- πρόβλεψη residual load,
- μήνας του έτους,
- ημέρα της εβδομάδας και
- ώρα της ημέρας

Δεν είναι στο αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας να αναλυθεί η λειτουργία του νευρωνικού δικτύου αλλά αξίζει να αναφέρουμε πως η βιβλιογραφία έχει δείξει πως τα συγκεκριμένα νευρωνικά έχουν πολύ υψηλή απόδοση στην πρόβλεψη παραμέτρων με κυκλικότητα και εποχικότητα.

Παρακάτω φαίνονται τα αποτελέσματα.



Εικόνα 48: Πραγματικές τιμές day-ahead και προβλέψεις με την μέθοδο Moving Average για δύο εβδομάδες του Μαΐου



Εικόνα 49: Ιστόγραμμα σφαλμάτων πρόβλεψης τιμής day-ahead με νευρωνικό δίκτυο τύπου LSTM

Πίνακας 28: Δείκτες STD, MAE, RMSE για τις προβλέψεις της τιμής της day-ahead αγοράς με νευρωνικό δίκτυο τύπου LSTM

STD	7,10
MAE	5,65
RMSE	7,10
MAPE	11,62%

Πίνακας 29: Μέγιστες και ελάχιστες τιμές των δεικτών MAE και RMSE σε ημερήσια εβδομαδιαία και μηνιαία βάση για τις προβλέψεις της τιμής της day-ahead αγοράς με νευρωνικό δίκτυο τύπου LSTM

		MIN	MIN index	MAX	MAX index
Daily	MAE	3,21	17/10/2019	8,33	7/9/2019
	RMSE	4,18	11/11/2019	10,41	22/9/2019
Weekly	MAE	4,72	16/4/2019	6,68	17/9/2019
	RMSE	6,07	16/4/2019	8,23	17/9/2019
Monthly	MAE	5,36	October	5,96	September
	RMSE	6,78	January	7,43	September

4.2.1.6 Day-ahead περίληψη πρόβλεψης τιμών

Παρακάτω παρουσιάζονται σωρευτικά τα αποτελέσματα των προβλέψεων της day-ahead αγοράς.

Πίνακας 30: Περίληψη προβλέψεων τιμών day-ahead αγοράς

Day-ahead market price forecasts	STD	MAE	RMSE	MAPE
Naïve daily	20,35	12,53	20,35	24,36
Naïve weekly	22,72	14,89	22,75	28,86
Naïve better	20,15	12,48	20,15	24,54
SES	16,86	11,21	16,89	21,02
Moving average	16,54	11,25	16,56	21,65
LSTM	7,10	5,65	7,10	11,62

Όπως μπορούμε εύκολα να παρατηρήσουμε το νευρωνικό δίκτυο LSTM υπερέχει όλων των απλών τεχνικών προβλέψεων. Παρ' όλο που σε καμία τεχνική ούτε στο δίκτυο LSTM έγινε σημαντική παραμετροποίηση, στο δίκτυο LSTM εισάχθηκαν περισσότεροι εξωτερικοί παράγοντες (αναφέρθηκαν προηγουμένως), το οποίο εξηγεί τα καλύτερα αποτελέσματα.

4.2.2 Προβλέψεις τιμών Intraday αγορών

Οι προβλέψεις των τιμών των ενδοημερήσιων αγορών πρέπει να ξανά-υπολογίζονται μετά την δημοσίευση των τιμών των προηγούμενων χρονικά αγορών και φυσικά να τις λαμβάνουν υπόψιν τους. Δηλαδή αν πάρουμε για παράδειγμα την LIDA 2 αγορά, η τιμή της πρέπει να υπολογίζεται μια φορά

πριν το κλείσιμο της day-ahead αγοράς, μια φορά πριν το κλείσιμο της LIDA 1 αγοράς λαμβάνοντας υπόψιν την τιμή της day-ahead αγοράς και άλλη μια πριν το κλείσιμο της ίδιας λαμβάνοντας υπόψιν τις τιμές και της day-ahead αγοράς και της LIDA 1 αγοράς. Αυτό παρουσιάζεται καλύτερα στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 31: Επανεκτέλεση προβλέψεων τιμών πριν το κλείσιμο κάθε αγοράς

Πρόβλεψη	Day-ahead	LIDA 1	LIDA 2	LIDA 3	IDC	Imbalance
Πριν το κλείσιμο της day-ahead	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Πριν το κλείσιμο της LIDA 1		✓	✓	✓	✓	✓
Πριν το κλείσιμο της LIDA 2			✓	✓	✓	✓
Πριν το κλείσιμο της LIDA 3				✓	✓	✓
Πριν το κλείσιμο της IDC					✓	✓

Σημειώνεται πως θα μπορούσε να προβλεφθεί η τιμή της Imbalance αγοράς και μετά το κλείσιμο της IDC αλλά αυτό δεν έχει νόημα καθώς δεν υπάρχει μετά επιλογή για το που θα διαπραγματευτεί την ενέργεια κάποιος συμμετέχοντας και υποχρεωτικά η εναπομένουσα ενέργεια πάει στην Imbalance αγορά.

Όλες οι παρακάτω προβλέψεις έγιναν με βάση το νευρωνικό δίκτυο LSTM το οποίο όπως είδαμε υπερσχύει των υπολοίπων μεθόδων. Όταν εκτελείτε κάποια πρόβλεψη αφού έχει κλείσει μια αγορά τότε σαν είσοδος στο νευρωνικό δίνεται επιπλέον η πραγματική τιμή όλων των προηγούμενων αγορών.

Πρόβλεψη LIDA1 Αγοράς

Πίνακας 32: MAE και RMSE πρόβλεψης τιμής LIDA 1

Πρόβλεψη	MAE	RMSE	MAPE
Πριν το κλείσιμο της day-ahead	6,52	8,16	46,11%
Πριν το κλείσιμο της LIDA 1	5,17	6,48	35,12%

Πρόβλεψη LIDA2 Αγοράς

Πίνακας 33: MAE και RMSE πρόβλεψης τιμής LIDA 2

Πρόβλεψη	MAE	RMSE	MAPE
Πριν το κλείσιμο της day-ahead	6,60	8,20	14,66%
Πριν το κλείσιμο της LIDA 1	4,74	5,94	10,17%
Πριν το κλείσιμο της LIDA 2	5,28	6,58	11,38%

Πρόβλεψη LIDA3 Αγοράς

Πίνακας 34: MAE και RMSE πρόβλεψης τιμής LIDA 3

Πρόβλεψη	MAE	RMSE	MAPE
Πριν το κλείσιμο της day-ahead	6,40	8,01	14,95%
Πριν το κλείσιμο της LIDA 1	6,40	8,02	14,83%
Πριν το κλείσιμο της LIDA 2	5,91	7,44	11,42%
Πριν το κλείσιμο της LIDA 3	4,49	5,71	10,26%

Πρόβλεψη IDC Αγοράς

Πίνακας 35: MAE και RMSE πρόβλεψης τιμής IDC

Πρόβλεψη	MAE	RMSE	MAPE
Πριν το κλείσιμο της day-ahead	7,92	9,96	1.094,59%
Πριν το κλείσιμο της LIDA 1	6,87	8,62	1.677,12%
Πριν το κλείσιμο της LIDA 2	7,89	9,88	336,73%

Πριν το κλείσιμο της LIDA 3	9,15	11,54	1.387,3%
Πριν το κλείσιμο της IDC	5,92	7,46	1.271,5%

4.2.3 Πρόβλεψη τιμών Imbalance αγοράς

Πίνακας 36: MAE και RMSE πρόβλεψης τιμής Imbalance

Πρόβλεψη	MAE	RMSE	MAPE
Πριν το κλείσιμο της day-ahead	9,90	12,42	173,88%
Πριν το κλείσιμο της LIDA 1	10,92	13,65	191,92%
Πριν το κλείσιμο της LIDA 2	9,02	11,27	185,02%
Πριν το κλείσιμο της LIDA 3	9,31	11,69	171,46%
Πριν το κλείσιμο της IDC	8,93	11,17	147,37%

4.2.4 Περίληψη προβλέψεων τιμών

Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά οι προβλέψεις τιμών της κάθε αγοράς πριν το κλείσιμο των επιμέρους αγορών. Σε κάθε πίνακα παρουσιάζεται ένας δείκτης (MAE, RMSE και MAPE) για κάθε πρόβλεψη.

Πίνακας 37: Συνοπτική παρουσίαση MAE προβλέψεων τιμών

Πρόβλεψη	Day-ahead	LIDA 1	LIDA 2	LIDA 3	IDC	Imbalance
Πριν το κλείσιμο της day-ahead	5,65	6,08	6,47	14,95	7,92	9,90
Πριν το κλείσιμο της LIDA 1		5,34	4,72	14,83	6,87	10,93

Πριν το κλείσιμο της LIDA 2			5,03	11,42	7,89	9,02
Πριν το κλείσιμο της LIDA 3				10,26	9,15	9,31
Πριν το κλείσιμο της IDC					5,92	8,93

Πίνακας 38: Συνοπτική παρουσίαση RMSE προβλέψεων τιμών

Πρόβλεψη	Day-ahead	LIDA 1	LIDA 2	LIDA 3	IDC	Imbalance
Πριν το κλείσιμο της day-ahead	7,10	7,61	8,09	8,05	9,96	12,42
Πριν το κλείσιμο της LIDA 1		6,72	5,92	7,82	8,62	13,65
Πριν το κλείσιμο της LIDA 2			6,33	7,51	9,88	11,27
Πριν το κλείσιμο της LIDA 3				5,62	11,54	11,69
Πριν το κλείσιμο της IDC					7,46	11,17

Πίνακας 39: Συνοπτική παρουσίαση MAPE προβλέψεων τιμών

Πρόβλεψη	Day-ahead	LIDA 1	LIDA 2	LIDA 3	IDC	Imbalance
Πριν το κλείσιμο της day-ahead	11,62%	46,11%	14,66%	8,05%	1.094,59%	173,88%

Πριν το κλείσιμο της LIDA 1		35,12%	10,17%	7,82%	1.677,12%	191,92%
Πριν το κλείσιμο της LIDA 2			11,38%	7,51%	3.36,73%	185,02%
Πριν το κλείσιμο της LIDA 3				5,62%	1.387,3%	171,46%
Πριν το κλείσιμο της IDC					1.271,5	147,37

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5
Στρατηγικές συμμετοχής στην αγορά

5.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο, αναλύονται κάποιες παραδοχές και κάποια σενάρια τα οποία πρέπει να κατασκευαστούν προκειμένου είναι δυνατή η ανάλυση των αγορών και η εύρεση κατάλληλων στρατηγικών συμμετοχής. Η παραδοχή που θα γίνει αφορά την συνεχή ενδοημερήσια συναλλαγή (IDC) την οποία θα πρέπει να απλοποιήσουμε ώστε να μην αναλωθούμε σε θεωρίες arbitrage και στιγμιαίων αλλαγών τιμής. Στη συνέχεια, θα αναπτύξουμε και περιγράψουμε κάποιες στρατηγικές συμμετοχής στην αγορά. Προκειμένου να μπορέσουμε να αξιολογήσουμε τις στρατηγικές θα αναπτύξουμε κάποιες μετρικές απόδοσης. Οι στρατηγικές που θα μελετήσουμε είναι:

- η αφελής στρατηγική,
- η στρατηγική κλεισίματος θέσης,
- η άπληστη στρατηγική και
- η άπληστη στρατηγική με κλείσιμο θέσης.

Κατά την εκτέλεση των στρατηγικών θα εμφανίζονται πίνακες με τα εξής στοιχεία:

- Revenue: Τα έσοδα από τις day-ahead και LIDA αγορές
- Imbalance cost: Έσοδα ή έξοδα στην imbalance αγορά (το + σημαίνει έσοδα)
- Penalties (ΜΜΒΑΠ): Οι ποινές λόγω σημαντικών αποκλίσεων μεταξύ προγράμματος αγοράς και πραγματικής παραγωγής (πάντα έξοδο)
- Premium (ΠΑΕΣΑ): Το ποσό της Προσαύξησης Ανάπτυξης Ετοιμότητας Συμμετοχής στην Αγορά (πάντα έσοδο)
- Profit: Τα έσοδα μείον τα έξοδα

5.2 Παραδοχές αγορών και ανάλυση ευαισθησίας

Η συνεχής ενδοημερήσια συναλλαγή περιλαμβάνει τα εξής δύο χαρακτηριστικά τα οποία καθιστούν την ανάλυση της αρκετά δύσκολη. Το πρώτο είναι πως η ώρα η οποία κλείνει, είναι μια ώρα πριν την παράδοση της ενέργειας το οποίο σημαίνει πως η χρονική της απόσταση από την κάθε αγορά δεν είναι σταθερή για κάθε ώρα. Το δεύτερο είναι πως δεν πρόκειται για δημοπρασία αλλά συνεχή διαπραγμάτευση γεγονός το οποίο καθιστά την ανάλυση της περισσότερο χρηματιστηριακή παρά ενεργειακή.

Όλα τα παραπάνω οδηγούν στο συμπέρασμα πως η ανάλυση της συμπεριφοράς της IDC αγοράς δεν εγγυάται μεγαλύτερη εμπιστοσύνη στο αποτέλεσμα και σίγουρα δεν περιλαμβάνεται στους στόχους της παρούσας διπλωματικής.

Έτσι, προκειμένου να απαλείψουμε από την εξίσωση την IDC αγορά, θα επιμερίσουμε τον όγκο που συναλλάσσετε σε αυτήν στις υπόλοιπες τρεις ενδοημερήσιες αγορές. Ο επιμερισμός αυτός θα γίνει με στόχο να διατηρηθούν οι αναλογίες των όγκων των τριών ενδοημερήσιων αγορών σταθεροί. Δηλαδή

αν στην LIDA 2 αγορά έχει διαπραγματευτεί το ¼ της ενέργειας των τριών ενδοημερήσιων τότε μετά τον επιμερισμό ο λόγος αυτός θα έχει παραμείνει σταθερός. Οι τιμές των καινούριων εικονικών ενδοημερήσιων συναλλαγών θα είναι οι μεσοσταθμικές τιμές της κάθε LIDA με την IDC με βάρη τους όγκους.

Αξίζει εδώ να σημειώσουμε πως ένας ακόμη λόγος που η παραπάνω παραδοχή είναι ασφαλής, έχει να κάνει με την χαμηλή σημαντικότητα του όγκου που διαπραγματεύεται στην IDC αγορά. Συγκεκριμένα για το έτος 2019 στην Ιρλανδία διαπραγματεύτηκαν 2,73 GWh στην LIDA 1 (59,9%), 1,15 GWh στην LIDA 2 (24,9%), 0,35 GWh στην LIDA 3 (7,5%) και 0,36 GWh στην IDC (7,7%).

Προκειμένου να αποκτήσουμε καλύτερη εικόνα των αποτελεσμάτων των στρατηγικών θα μελετήσουμε την ευαισθησία τους ως προς την πρόβλεψη της παραγωγής. Συγκεκριμένα θα την μεταβάλουμε από -50% έως 50% με βήμα 10%. Θα κάνουμε το ίδιο για τις προβλέψεις τιμών με τις προβλέψεις των επιμέρους αγορών να βελτιώνονται ή να χειροτερεύουν ομοιόμορφα.

5.3 Μετρικές απόδοσης

Προκειμένου να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα των στρατηγικών θα χρειαστούμε κάποιες μετρικές απόδοσης. Αυτοί είναι:

1. Εκ των προτέρων γνώση της παραγωγής του χαρτοφυλακίου και των τιμών των αγορών (Perfect Knowledge - PK). Ο πίνακας παρακάτω παρουσιάζει τα έσοδα που θα είχε ο Φο.Σ.Ε. έχοντας την πλήρη γνώση των αποτελεσμάτων τόσο του χαρτοφυλακίου όσο και των αγορών. Με άλλα λόγια, ο Φο.Σ.Ε. γνωρίζει εκ των προτέρων την πραγματική παραγωγή του χαρτοφυλακίου του καθώς και τις τιμές των πέντε αγορών. Τέλος πρέπει οπωσδήποτε να αναφέρουμε ότι η στρατηγική αυτή δεν είναι η βέλτιστη καθώς απλά πουλάει στην ακριβότερη αγορά και δεν αξιοποιεί μεθόδους αγοραπωλησιών μεταξύ των αγορών.

Πίνακας 40: Έσοδα Φο.Σ.Ε. έχοντας πλήρη γνώση εκ των προτέρων

Perfect Knowledge	
Revenue	182.289 €
Imbalance cost	135.731 €
Penalties (ΜΜΒΑΠ)	1.397 €
Premium (ΠΑΕΣΑ)	1.861 €
Profit	321.277 €
€/MWh	69,92

2. Καμία συμμετοχή και κέρδη ή ζημιές από την imbalance αγορά (Nothing Strategy – NS). Ο πίνακας παρακάτω παρουσιάζει τα έσοδα που θα είχε

ο Φο.Σ.Ε. δίχως κάνοντας καθόλου προσφορές. Σε αυτήν την περίπτωση, όλη η ενέργεια «παιζεται» υποχρεωτικά στην imbalance αγορά και τα κέρδη του Φο.Σ.Ε. υπολογίζονται ως η ποσότητα ενέργειας επί την τιμή της Imbalance αγοράς μείον τυχόν penalties συν το Premium.

Πίνακας 41: Έσοδα Φο.Σ.Ε. δίχως κάνοντας καθόλου προσφορές

Nothing Strategy	
Revenue	0 €
Imbalance cost	230.694 €
Penalties (ΜΜΒΑΠ)	4.192 €
Premium (ΠΑΕΣΑ)	0 €
Profit	234.886 €
€/MWh	51,12

3. Θα χρησιμοποιήσουμε ακόμα έναν μετρητή (Profit/Loss) ο οποίος έχει να κάνει με την κερδοφορία του Φο.Σ.Ε. Ο Φο.Σ.Ε. από τα έσοδα του, οφείλει να αποζημιώνει τους παραγωγούς που εκπροσωπεί για την παραχθείσα ενέργεια τους. Το ποσό που οφείλει να τους καταβάλει ισούται με την ωριαία παραγωγή τους επί την τιμή της day-ahead αγοράς για την συγκεκριμένη ώρα. Έτσι για το χαρτοφυλάκιο μας, οφείλουμε να αποζημιώσουμε τους παραγωγούς σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 42: Πίνακας πληρωμών προς τους παραγωγούς με βάση την τιμή της day-ahead αγοράς.

Producer	MWh	€	€/MWh
Wind (1,2MW)	4.595	236.948 €	51,57

Αξίζει να αναφέρουμε πως σχετικά με την κερδοφορία του Φο.Σ.Ε. δεν έχουν ληφθεί υπόψιν παράγοντες όπως η προμήθεια για τις υπηρεσίες του απέναντι στους παραγωγούς (Κόστος εκπροσώπησης) ούτε τα σταθερά του έξοδα (μισθοί, κλπ.).

5.4 Εκτέλεση στρατηγικών

Στη παρούσα παράγραφο, θα εκτελέσουμε τις τέσσερις στρατηγικές. Όπου αναφέρεται παρακάτω η λέξη «επιλογή» είναι ουσιαστικά η διαδικασία λήψης αποφάσεων. Σε κάθε στρατηγική για κάθε ώρα κατανομής πρέπει να υπάρχει ένας αλγόριθμος επιλογής αποφάσεων ο οποίος θα έχει ως είσοδο τις

προβλέψεις τιμών και παραγωγής και θα βγάξει ως αποτέλεσμα μιας προσφορά που θα αποτελείται από τιμή και όγκο. Κάποιες στρατηγικές λαμβάνουν ως είσοδο όλες τις μεταβλητές ενώ άλλες μόνο κάποιες από αυτές. Επίσης ο ίδιος αλγόριθμος απόφασης μπορεί να καλείται περισσότερες από μια φορές ανάλογα με το για ποια αγορά πρέπει να πάρουμε απόφαση.

Κάποια χαρακτηριστικά των αγορών τα οποία αξίζει να έχουμε κατά νου στην ανάλυση είναι (α) η έλλειψη ρευστότητας στις ενδοημερήσιες αγορές και (β) η επίπτωση των ακραίων τιμών.

Σε όλες τις στρατηγικές θα αναφέρουμε τον τρόπο που ο Φο.Σ.Ε. επιλέγει πότε και αν θα συναλλαχθεί ενέργεια καθώς και τις ευαισθησίες των στρατηγικών ως προς τις παραμέτρους της παραγράφου 5.4. Θα παρουσιαστούν για κάθε στρατηγική το οικονομικό αποτέλεσμα της, η μεταβολή αυτού ως προς τις ευαισθησίες της καθώς και η συγκριτική αποτελεσματικότητα της με βάση τις τρεις μετρικές της παραγράφου 6.2.

5.4.1 Αφελής στρατηγική (Naive strategy)

Σε αυτήν την στρατηγική πουλάμε ενέργεια μόνο στην day-ahead αγορά και συγκεκριμένα ο όγκος ισούται με την πρόβλεψη παραγωγής μας και η τιμή με την ελάχιστη επιτρεπτή. Ο λόγος που ορίζουμε την τιμή της προσφοράς είναι γιατί σε περίπτωση που εισάγουμε προσφορά με μεγαλύτερη τιμή από αυτήν που τελικά θα κλείσει η αγορά, τότε η προσφορά μας δεν θα γίνει αποδεκτή.

Επιλογή: Μια φορά πριν το κλείσιμο της day-ahead αγοράς με είσοδο την πρόβλεψη παραγωγής.

Ευαισθησίες: Πρόβλεψη παραγωγής.

Στον παρακάτω πίνακα όπως και στους αντίστοιχους πίνακες των επόμενων στρατηγικών, το Profit ισούται με το άθροισμα των παραπάνω τεσσάρων γραμμών. Η γραμμή «€/MWh» έχει υπολογιστεί ως Profit διά τις συνολικές MWh οι οποίες αναφέρθηκαν στην παράγραφο 6.2. Η γραμμή «NS» δηλώνει αν η στρατηγική μας είναι καλύτερη ή χειρότερη από την μετρητή «Nothing Strategy». Η γραμμή % PK δηλώνει το κατά πόσο τις εκατό έχουμε πλησιάσει στην μετρητή «Perfect Knowledge». Τέλος η γραμμή «Profit/Loss» δηλώνει το αν ο Φο.Σ.Ε. έχει κέρδη ή ζημιές βάση της τρίτης μετρητής της παραγράφου 6.2.

Πίνακας 43: Αποτελέσματα αφελούς στρατηγικής για όλα τα σενάρια και με και χωρίς την βελτίωση της πρόβλεψης παραγωγής

Naïve strategy	
Revenue	263.699 €
Imbalance cost	(25.623) €
Penalties (MMBAΠ)	478 €

Premium (ΠΑΕΣΑ)	2.297 €
Profit	240.852
€/MWh	52.42
NS	Yes
% PK	74.97%
Profit/Loss	Profit

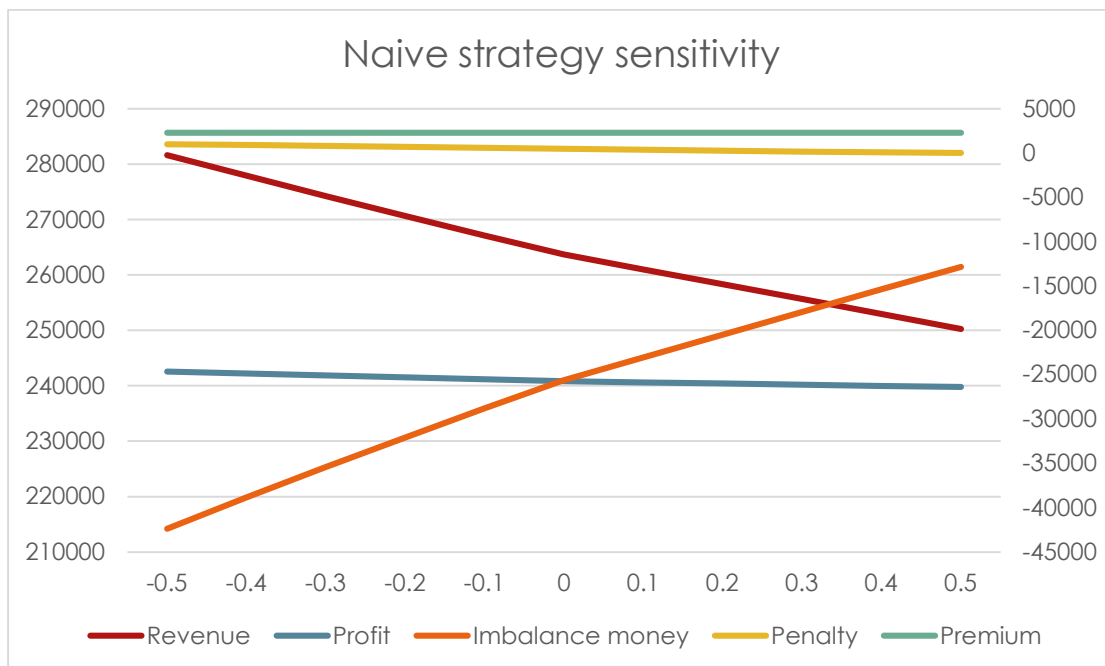
Block of code:

```

1. def decision_algorithm():
2.     bid = quantity_predictions['DayAhead_Predictions']
3.     return bid

```

Στο παρακάτω διάγραμμα καθώς και στα αντίστοιχα διαγράμματα των επόμενων στρατηγικών φαίνεται η ευαισθησία της στρατηγικής ως προς την πρόβλεψη παραγωγής. Στον οριζόντιο άξονα φαίνεται η βελτίωση της πρόβλεψης της παραγωγής. Στον πρωτεύοντα όσο και στον δευτερεύοντα κατακόρυφο άξονα, αναφέρονται ποσά σε ευρώ. Στον πρωτεύοντα αναπαρίστανται το Revenue και το Profit ενώ στον δευτερεύοντα το Imbalance, το Penalty και το Premium.



Εικόνα 50: Ανάλυση ευαισθησίας αφελοῦς στρατηγικής ως προς την πρόβλεψη παραγωγής.

Όπως είναι εύκολο να παρατηρήσουμε, όσο βελτιώνεται η πρόβλεψη της παραγωγής, το Imbalance μικραίνει καθώς λιγότερη ενέργεια «παιίζεται» στην Imbalance αγορά.

5.4.2 Στρατηγική κλείσιμο θέσης (Closing position strategy)

Σε αυτήν την στρατηγική πουλάμε αρχικά την ενέργεια μας στην day-ahead αγορά και στην συνέχεια κάνουμε διορθωτικές αγοραπωλησίες με βάση τις καινούριες προβλέψεις παραγωγής πριν το κλείσιμο της κάθε αγοράς. Δηλαδή αν για παράδειγμα, οι προβλέψεις μας πριν το κλείσιμο κάθε αγοράς είναι 500kWh, 550kWh, 540kWh και 540kWh αντίστοιχα για κάποια ώρα τότε στην day-ahead αγορά θα πουλήσουμε 500kWh, στην LIDA1 αγορά θα πουλήσουμε άλλες 50kWh, στην LIDA2 αγορά θα αγοράσουμε 10kWh και στην LIDA3 δεν θα κάνουμε τίποτα.

Επιλογή: Συμβαίνει πριν το κλείσιμο της κάθε αγοράς με είσοδο την αντίστοιχη πιο πρόσφατη πρόβλεψη παραγωγής. Εννοείται πως δέχεται σαν είσοδο την τρέχουσα θέση δηλαδή πόση ενέργεια έχουμε πουλήσει μέχρι τώρα.

Ευαισθησίες: Πρόβλεψη παραγωγής

Πίνακας 44: Αποτελέσματα στρατηγικής κλεισίματος θέσης για όλα τα σενάρια και με και χωρίς βελτίωση της πρόβλεψης παραγωγής

Closing position strategy	
Revenue	271.171 €
Imbalance cost	(32.508) €
Penalties (ΜΜΒΑΠ)	483 €
Premium (ΠΑΕΣΑ)	2.297 €
Profit	241.444 €
€/MWh	52.54
NS	No
% PK	75.15%
Profit/Loss	Profit

Block of code:

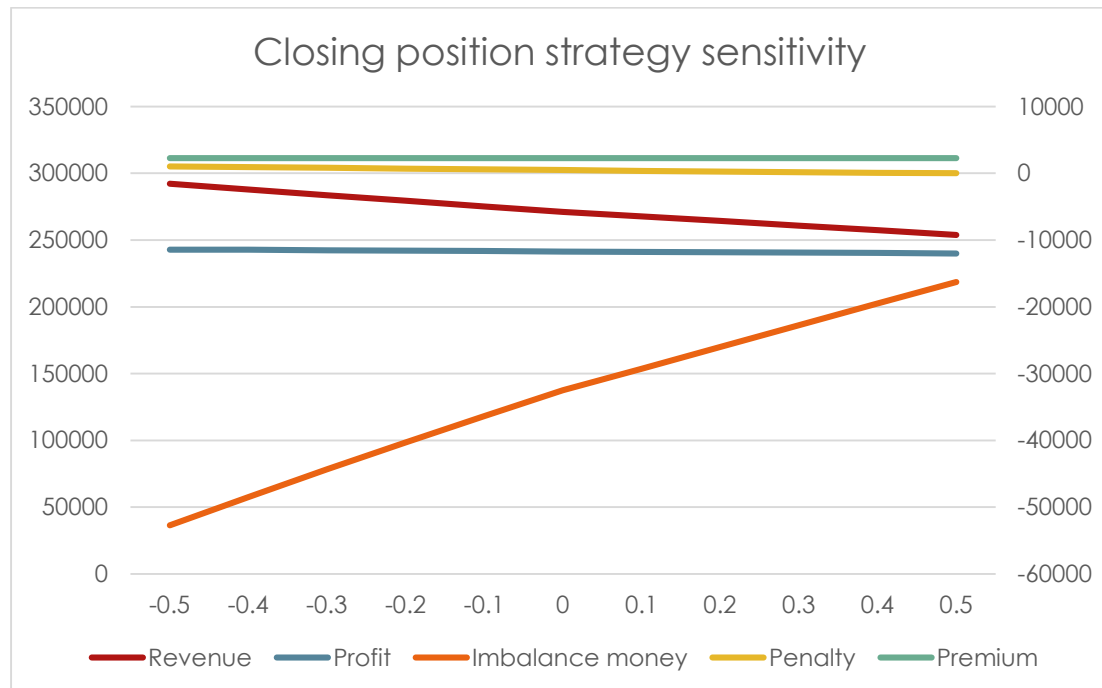
```
1. def decision_algorithm():
2.
3.   if (24hourMarket):
4.     bid['DayAhead'] = quantity_predictions['DayAhead_Pred']
5.     bid['LIDA1'] = quantity_predictions['LIDA1'] - bid['DayAhead']
```

```

6. bid['LIDA2'] = quantity_predictions['LIDA2'] - bid['LIDA1']
7. bid['LIDA3'] = quantity_predictions['LIDA3'] - bid['LIDA2']
8. Elif (12hourMarket):
9. ...
10. Else:
11. ...
12.
13. return bid_df

```

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η ευαισθησία της στρατηγικής ως προς την πρόβλεψη παραγωγής.



Εικόνα 51: Ανάλυση ευαισθησίας στρατηγικής με κλείσιμο θέσης ως προς την πρόβλεψη παραγωγής.

Όπως και στην προηγούμενη στρατηγική το Imbalance έχει την ίδια συμπεριφορά.

5.4.3 Άπληστη στρατηγική (Greedy strategy)

Σε αυτήν την στρατηγική πριν το κλείσιμο της day-ahead αγοράς με βάση τις προβλέψεις τιμών όλων των αγορών, πουλάμε όλη την ενέργεια στην ακριβότερη αγορά. Αυτή μπορεί να είναι και η imbalance αγορά αλλά για να συμβεί αυτό θα πρέπει να ξεπερνάει η τιμή της imbalance αγοράς όλες τις υπόλοιπες αγορές και επιπλέον το κόστος των penalties και το κόστος του να μην λάβουμε την ΠΑΕΣΑ. Δηλαδή πριν το κλείσιμο της day-ahead αγοράς επιλέγουμε βάση των προβλέψεων τιμών την ακριβότερη αγορά και πουλάμε όλη την ενέργεια εκεί. Η τιμές των bids είναι ίσες με τις ελάχιστες επιτρεπτές.

Επιλογή: Συμβαίνει μια φορά πριν το κλείσιμο της day-ahead αγοράς και έχει ως εισόδο τις προβλέψεις τιμών και παραγωγής.

Πίνακας 45: Αποτελέσματα άπληστης στρατηγικής για όλα τα σενάρια με και χωρίς βελτίωση της πρόβλεψης παραγωγής

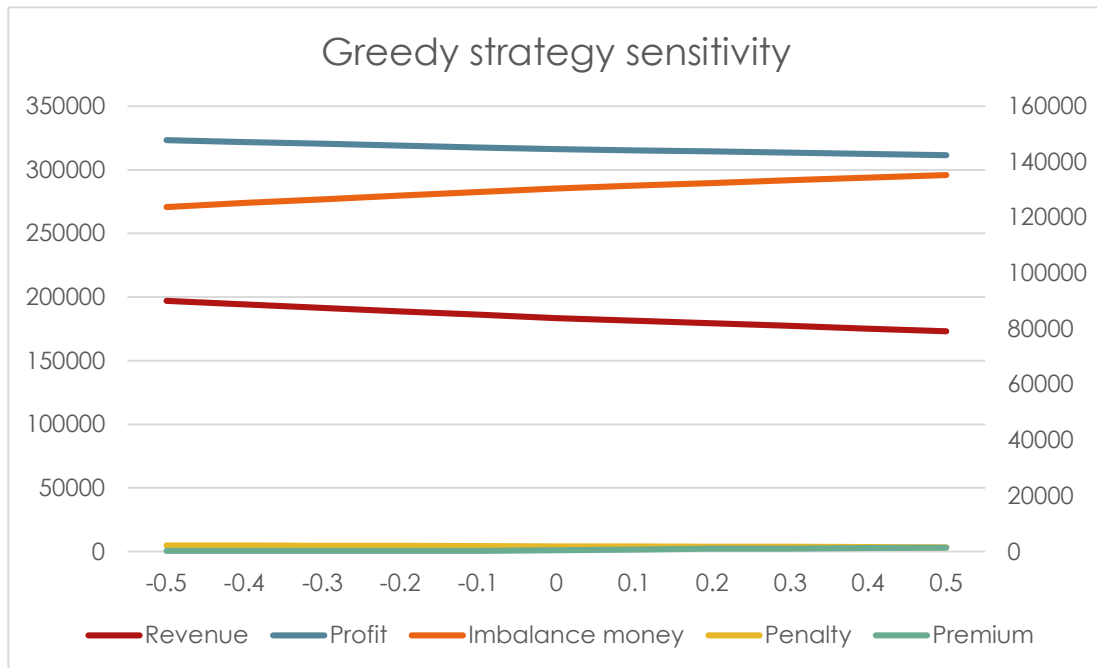
Greedy strategy	
Revenue	183.524 €
Imbalance cost	130.441 €
Penalties (ΜΜΒΑΠ)	1.880 €
Premium (ΠΑΕΣΑ)	468 €
Profit	316.314 €
€/MWh	68.84
NS	Yes
% PK	98.46%
Profit/Loss	Profit

Block of code:

```
1. def decision_algorithm():
2.     highest_market = max(price_prediction['dayahead'],
3. price_prediction['LIDA1'], price_prediction['LIDA2'], price_prediction['LIDA3'],
4. price_prediction['imb'])
5.
6.     if highest_market == 'dayahead':
7.         bid = [quantity_prediction['dayahead'], 0, 0, 0]
8.     elif highest_market == 'LIDA1':
9.         bid = [0, quantity_prediction['dayahead'], 0, 0]
10.    elif highest_market == 'LIDA2':
11.        bid = [0, 0, quantity_prediction['dayahead'], 0]
12.    elif highest_market == 'LIDA3':
13.        bid = [0, 0, 0, quantity_prediction['dayahead']]
14.
15.    return bid
```

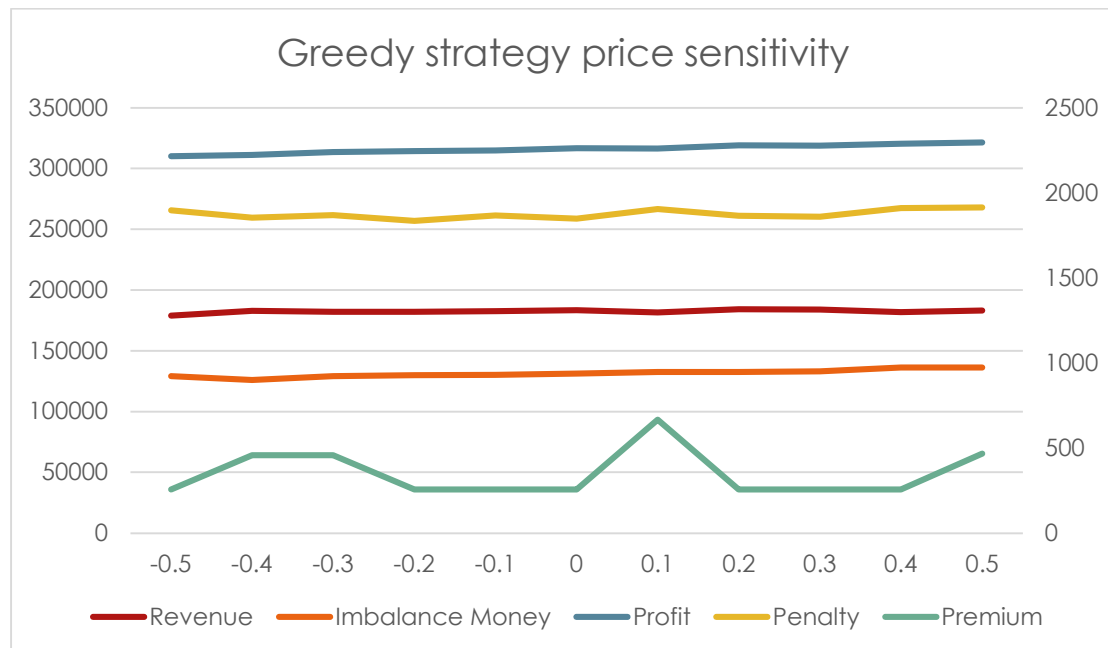
Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η ευαισθησία της στρατηγικής ως προς την πρόβλεψη παραγωγής. Είναι πολύ εύκολο να παρατηρήσουμε την ελάχιστη χειροτέρευση της απόδοσης της στρατηγικής καθώς η στρατηγική αυτή δίνει

περισσότερο βάρος στην διαφορά των τιμών των αγορών και λιγότερο στην ποσότητα ενέργειας.



Εικόνα 52: Ανάλυση ευαισθησίας άπληστης στρατηγικής ως προς την πρόβλεψη παραγωγής.

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η ευαισθησία της στρατηγικής ως προς την πρόβλεψη τιμής. Είναι πολύ εύκολο να παρατηρήσουμε την ελάχιστη καλυτέρευση της απόδοσης της στρατηγικής.



Εικόνα 53: Ανάλυση ευαισθησίας άπληστης στρατηγικής ως προς την πρόβλεψη τιμής.

5.4.4 Άπληστη με κλείσιμο θέσης στρατηγική (Greedy with closing position strategy)

Σε αυτήν την στρατηγική συνδυάζουμε τις δύο προηγούμενες στρατηγικές δηλαδή επιλέγουμε αρχικά την αγορά με την υψηλότερη τιμή και στην συνέχεια κλείνουμε την θέση μας με τις ανανεωμένες προβλέψεις παραγωγής στις επόμενες αγορές. Αν υπάρχουν περισσότερες της μιας επόμενες αγορές τότε επιλέγουμε πάλι αυτήν με την υψηλότερη τιμή. Σε περίπτωση που για να κλείσουμε την θέση μας πρέπει να αγοράσουμε ενέργεια τότε προφανώς επιλέγουμε την φτηνότερη αγορά. Οι τιμές των προσφορών είναι πάλι ίσες με τις ελάχιστες επιτρεπτές.

Επιλογή: Συμβαίνει πριν την κάθε αγορά με είσοδο όλες τις επικαιροποιημένες προβλέψεις.

Ευαισθησίες: Προβλέψεις παραγωγής και τιμών

Πίνακας 46: Αποτελέσματα άπληστης με κλείσιμο θέσης στρατηγικής για όλα τα σενάρια με και χωρίς βελτίωση της πρόβλεψης παραγωγής

Greedy with closing position strategy	
Revenue	185.984 €
Imbalance cost	129.116 €
Penalties (ΜΜΒΑΠ)	1.872 €
Premium (ΠΑΕΣΑ)	455 €
Profit	317.427 €
€/MWh	69.08
NS	No
% PK	98.80%
Profit/Loss	Profit

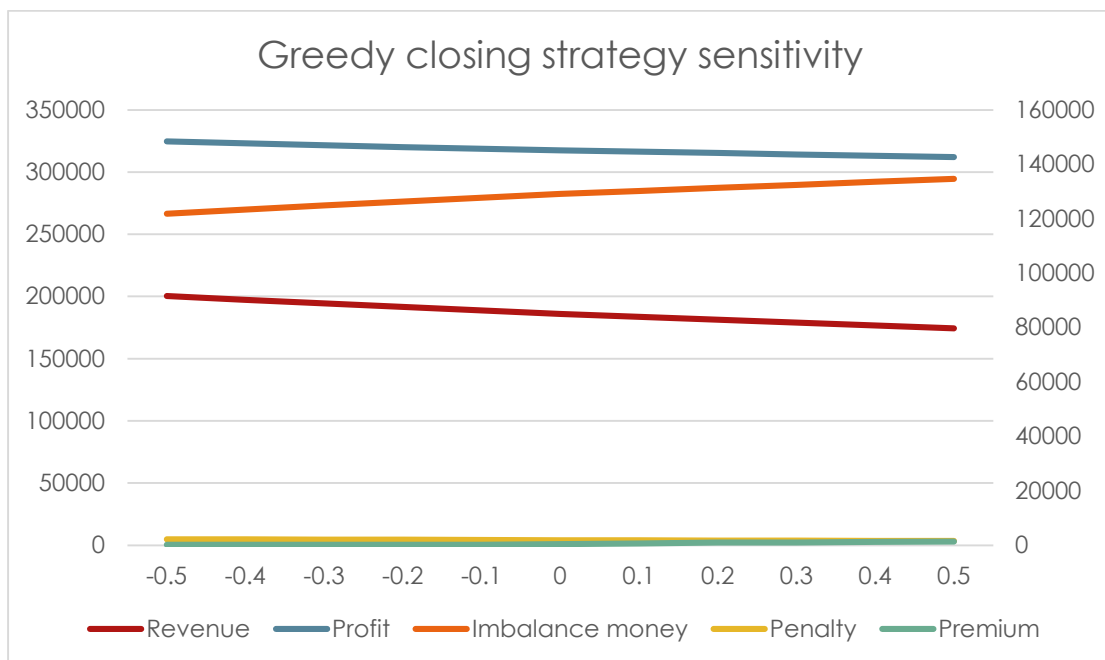
```
1. def decision_algorithm():
2. # Day-ahead
3. highest_market = max(price_prediction['dayahead'],
4. price_prediction['LIDA1'], price_prediction['LIDA2'], price_prediction['LIDA3'],
5. price_prediction['imb'])
6.
7. if highest_market == 'dayahead':
8. bid = [quantity_prediction['dayahead'], 0, 0, 0]
9.
10. # LIDA1
11. highest_market = max(price_prediction['LIDA1'], price_prediction['LIDA2'],
12. price_prediction['LIDA3'], price_prediction['imb'])
```

```

11. if highest_market == 'LIDA1':
12.     bid = bid + [0, quantity_prediction['LIDA1'] - bid[0], 0, 0]
13.
14. # LIDA2
15. highest_market = max(price_prediction['LIDA2'], price_prediction['LIDA3'],
16.     price_prediction['imb'])
17. if highest_market == 'LIDA2':
18.     bid = bid + [0, 0, quantity_prediction['LIDA2'] - bid[1], 0]
19.
20. # LIDA3
21. highest_market = max(price_prediction['LIDA3'], price_prediction['imb'])
22.
23. if highest_market == 'LIDA3':
24.     bid = bid + [0, 0, 0, quantity_prediction['LIDA3'] - bid[2]]
25.
26. return bid

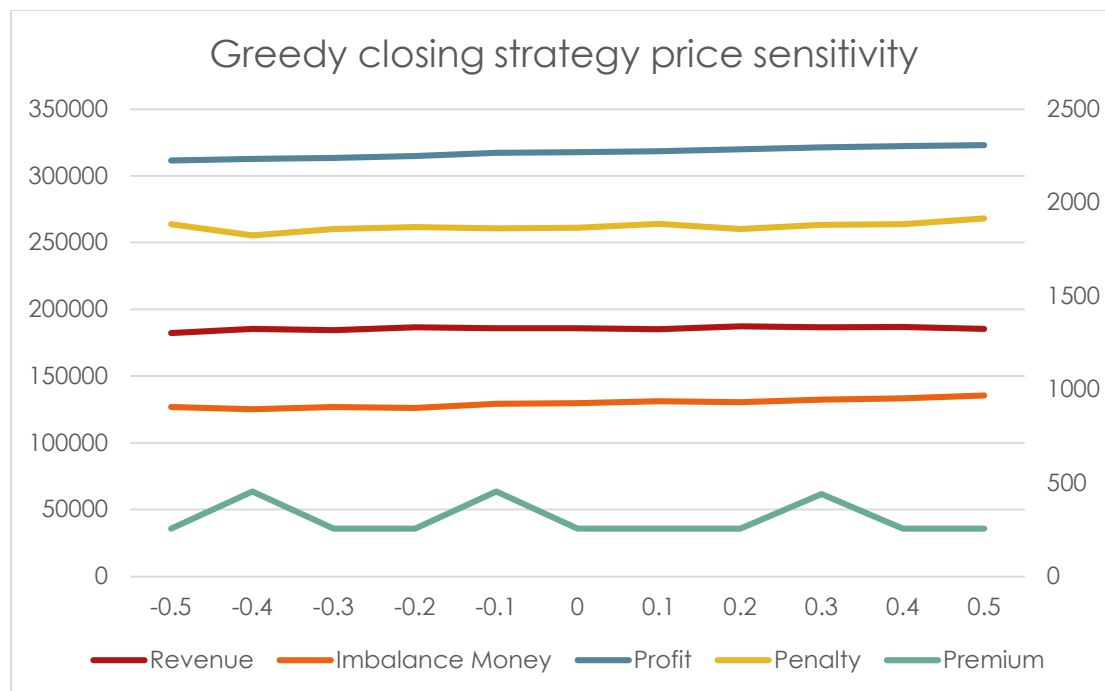
```

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η ευαισθησία της στρατηγικής ως προς την πρόβλεψη παραγωγής. Παρατηρούμε πανομοιότυπη συμπεριφορά με αυτήν την προηγούμενης στρατηγικής



Εικόνα 54: Ανάλυση ευαισθησίας άπληστης στρατηγικής με κλείσιμο θέσης ως προς την πρόβλεψη παραγωγής.

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η ευαισθησία της στρατηγικής ως προς την πρόβλεψη τιμής. Παρατηρούμε πανομοιότυπη συμπεριφορά με αυτήν την προηγούμενης στρατηγικής.



Εικόνα 55: Ανάλυση ευαισθησίας άπληστης στρατηγικής με κλείσιμο θέσης ως προς την πρόβλεψη τιμής.

5.4.5 Strategies summary

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται σωρευτικά τα αποτελέσματα όλων των στρατηγικών χωρίς βελτίωση καμίας πρόβλεψης.

Πίνακας 47: Αποτελέσματα όλων των στρατηγικών χωρίς βελτίωση των προβλέψεων

Revenue/Strategy	Naïve	Closing Position	Greedy strategy	Greedy with closing position
Revenue	263.699 €	271.171 €	183.524 €	185.984 €
Imbalance cost	(25.623) €	(32.508) €	130.441 €	129.116 €
Penalties (ΜΜΒΑΠ)	478 €	483 €	1.880 €	1.872 €
Premium (ΠΑΕΣΑ)	2.297 €	2.297 €	468 €	455 €
Profit	240.852 €	241.444 €	316.314 €	317.427 €
€/MWh	52.42	52.54	68.84	69.08
NS	Yes	No	Yes	No

% PK

74.97%	75.15%	98.46%	98.80%
Profit	Profit	Profit	Profit

Profit/Loss

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Συμπεράσματα και προοπτικές

6.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική αναλύσαμε την δομή των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα. Όπως καταλάβαμε κατευθείαν από την ανάλυση, πρόκειται για μια αρκετά σύνθετη δομή η οποία όμως μπορεί να απλοποιηθεί προκειμένου να εξετάζονται κάθε φορά συγκεκριμένες παράμετροι. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον αποτελεί το μεταβατικό στάδιο το οποίο καθιστά την μετάβαση από τον Ημερήσιο Ενεργειακό Προγραμματισμό στο Target Model ομαλή για όλους τους συμμετέχοντες. Ιδιαίτερα για τους εκπρόσωπους Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, ο τρόπος χρέωσης των αποκλίσεων τους είναι πολύ πιο επιεικής κατά το πρώτο διάστημα εφαρμογής του Target Model.

Στη συνέχεια, αναλύσαμε τα δεδομένα του χαρτοφυλακίου μας καθώς και των αγορών. Επιλέξαμε την Ιρλανδική αγορά καθώς αυτή παρουσιάζει μεγάλες ομοιότητες με την Ελληνική. Κάποιες από αυτές είναι η ίδια δομή αγορών, το ίδιο ποσοστό εισχώρησης των ΑΠΕ και ο ίδιος τρόπος υπολογισμού της τιμής αποκλίσεων. Σχετικά με τα δεδομένα παραγωγής (πραγματικής και πρόβλεψης) του χαρτοφυλακίου μας, βλέπουμε ότι όσο πλησιάζει η πρόβλεψη στην ώρα παράδοσης της ενέργειας, τα σφάλματα δεν μειώνονται όπως θα περιμέναμε. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα μοντέλα μας δεν αναπροσαρμόζονται με βάση τις πιο πρόσφατες μετρήσεις αλλά μόνο μια φορά τον μήνα. Σχετικά με τα δεδομένα των αγορών, είδαμε πως οι προβλέψεις τιμών είναι πολύ καλύτερες για την Day-ahead και L1DA1 αγορές καθώς αυτές έχουν και τον περισσότερο όγκο. Όπως ήταν αναμενόμενο η πρόβλεψη της τιμής της Imbalance αγοράς παρουσιάζει πολύ μεγάλα σφάλματα πράγμα το οποίο δικαιολογείται από την πολυπλοκότητα της συγκεκριμένης αγοράς. Σχετικά με τις μεθόδους πρόβλεψης, παρ' όλο που δεν είναι αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής, είδαμε ότι τα νευρωνικά δίκτυα υπερτερούν σε σχέση με απλές μεθόδους όπως η Naive, η Simple Exponential Smoothing και η Moving Average. Αυτό βέβαια μπορεί να οφείλεται στους αυξημένους εξωγενείς παράγοντες που εισαγάγαμε στο νευρωνικό δίκτυο.

Τέλος, αφού δημιουργήσαμε κάποιες μετρικές απόδοσης, εκτελέσαμε τις στρατηγικές. Από αυτές, η στρατηγική κλεισίματος θέσης παρουσίασε ζημίες για τον Φο.Σ.Ε. ενώ οι άλλες τρεις παρουσίασαν κέρδη. Η Αφελής στρατηγική παρουσίασε ελάχιστα κέρδη σε σχέση με τις άλλες δύο οι οποίες παρουσίασαν σχεδόν τα ίδια κέρδη. Ως προς την πρόβλεψη παραγωγής, η Αφελής και η στρατηγική με Κλείσιμο Θέσης παρουσίασαν την μεγαλύτερη ευαισθησία ενώ οι άλλες δύο πολύ λιγότερη. Αυτό άλλωστε είναι και λογικό καθώς οι δύο πρώτες εξαρτώνται μόνο από την πρόβλεψη της παραγωγής ενώ οι άλλες δύο εξαρτώνται επιπρόσθετα και από την πρόβλεψη τιμής.

6.2 Προοπτικές

Στην παρούσα διπλωματική, αναλύσαμε την Ελληνική Ενεργειακή Αγορά που ξεκίνησε την λειτουργία της την 1^η Νοεμβρίου 2020 και αναπτύξαμε κάποιες στρατηγικές συμμετοχής με γνώμονα την μεγιστοποίηση του κέρδους ενός Φο.Σ.Ε. Για να το πετύχουμε αυτό, χρησιμοποιήσαμε δεδομένα από την Ιρλανδική αγορά η οποία παρουσιάζει μεγάλες ομοιότητες με την Ελληνική. Αγγίξαμε μονάχα την επιφάνεια των προβλέψεων τιμών και δεν ασχοληθήκαμε με την Ενεργειακή Χρηματοπιστωτική Αγορά ούτε με τις Αγορές Ισχύος και Ενέργειας Εξισορρόπησης. Προκύπτουν έτσι πολλές ιδέες για περαιτέρω μελέτη και έρευνα.

Σχετικά με τις προβλέψεις τιμών, είδαμε πως οι απλές μέθοδοι δεν αποδίδουν καλά ενώ πιο εκλεπτυσμένες όπως τα νευρωνικά δίκτυα έχουν σημαντικά μικρότερα σφάλματα. Κατά την άποψη του συγγραφέα, θα είχε νόημα, όταν υπάρξουν τουλάχιστον ενός χρόνου δεδομένα από τις Ελληνικές αγορές, να μελετηθεί σε βάθος ο βέλτιστος τρόπος πρόβλεψης τιμών και συγκεκριμένα σε κάθε αγορά ξεχωριστά αλλά και μεταξύ τους.

Σχετικά με το γεγονός ότι κατά την συγγραφή της διπλωματικής δεν υπάρχουν διαθέσιμα Ελληνικά δεδομένα, μπορεί εύκολα κανείς να καταλάβει πως η επανεκτέλεση των παραπάνω στρατηγικών σε πραγματικά Ελληνικά δεδομένα αποτελεί απαραίτητη ενέργεια για την ανάλυση της Ελληνικής αγοράς. Ταυτόχρονα, αν λάβουμε ως χαρτοφυλάκιο κατανεμόμενες μονάδες ΑΠΕ τότε μπορεί να ερευνηθεί και η βέλτιστη στρατηγική συμμετοχής στις αγορές Ισχύος και Ενέργειας Εξισορρόπησης. Φυσικά αυτή η στρατηγική πρέπει να μπορεί να συνδυαστεί με στρατηγικές των day-ahead, intraday και imbalance αγορών προκειμένου να καταλήξουμε τελικά στο βέλτιστο οικονομικό αποτέλεσμα.

Αν αρχίσουμε να μιλάμε για μεγάλα χαρτοφυλάκια τα οποία οι Φο.Σ.Ε. που τα εκπροσωπούν αναλαμβάνουν μεγάλο ρίσκο, δεν μπορούμε να αφήσουμε απ' έξω τις στρατηγικές συμμετοχής στην Ενεργειακή Χρηματοπιστωτική Αγορά (hedging). Αυτές οι στρατηγικές ενδεχομένως μπορούν να μελετηθούν απομονωμένα από τις υπόλοιπες αλλά μόνο αν υπάρχει προηγουμένως επαρκής ανάλυση των υπολοίπων αγορών. Άλλωστε παρ' όλο που η συμπεριφορά της Χρηματοπιστωτικής Αγοράς είναι πιο κοντά στο Χρηματιστήριο Αξιών παρά στο Χρηματιστήριο Ενέργειας, τα χρηματοπιστωτικά προϊόντα είναι άμεσα συσχετιζόμενα με τις τιμές της ενέργειας στις day-ahead και intraday αγορές.

Τέλος δεν αποκλείεται η εύρεση της βέλτιστης στρατηγικής, είτε για κάποιες αγορές είτε για όλες μαζί, να μπορεί να προκύψει από την αξιοποίηση νευρωνικών δικτύων. Μιας και δεν γνωρίζουμε την βέλτιστη στρατηγική ούτε έχουμε κάποιο στόχο κέρδους, ένα νευρωνικό δίκτυο τύπου reinforcement learning θα μπορούσε να αποδειχθεί ιδιαίτερα χρήσιμο.

Βιβλιογραφία

1. Ν. 4001/2011: Για τη λειτουργία Ενεργειακών Αγορών Ηλεκτρισμού και Φυσικού Αερίου, για Έρευνα, Παραγωγή και δίκτυα μεταφοράς Υδρογονανθράκων και άλλες ρυθμίσεις.
2. Ν. 4414/2016: Νέο καθεστώς στήριξης των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπααραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης – Διατάξεις για το νομικό και λειτουργικό διαχωρισμό των κλάδων προμήθειας και διανομής στην αγορά του φυσικού αερίου και άλλες διατάξεις.
3. Ν. 4425/2016: Επείγουσες ρυθμίσεις των Υπουργείων Οικονομικών, Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων Εργασίας, Κοινωνικής Ασφάλισης και Κοινωνικής Αλληλεγγύης για την εφαρμογή της συμφωνίας δημοσιονομικών στόχων και διαρθρωτικών μεταρρυθμίσεων και άλλες διατάξεις.
4. Ν. 4512/2018: Ρυθμίσεις για την εφαρμογή των Διαρθρωτικών Μεταρρυθμίσεων του Προγράμματος Οικονομικής Προσαρμογής και άλλες διατάξεις.
5. Ν. 4643/2019: Απελευθέρωση αγοράς ενέργειας, εκσυγχρονισμός της ΔΕΗ, ιδιωτικοποίηση της ΔΕΠΑ και στήριξη των Α.Π.Ε. και λοιπές διατάξεις.
6. Κανονισμός Αγοράς Επόμενης Ημέρας και Ενδοημερήσιας Αγοράς και Αποφάσεις - <https://www.enexgroup.gr/el/web/guest/trading-rulebooks>.
7. Κανονισμός Ενεργειακής Χρηματοπιστωτικής Αγοράς και Αποφάσεις - <https://www.enexgroup.gr/el/web/guest/trading-rulebooks>.
8. Κανονισμός αγοράς εξισορρόπησης - <https://www.admie.gr/agora/rythmistiko-plaisio-agoras/kanonismos-agoras-eksisorropisis>.
9. Κώδικας ΔΑΠΕΕΠ - <https://www.dapeep.gr/dimosieuseis/rithmistiko-plaisio/>.
10. Rafal Weron 2006: [Modeling and Forecasting Electricity Loads and Prices: A Statistical Approach](#).
11. Rafal Weron 2014: [Electricity price forecasting: A review of the state-of-the-art with a look into the future](#).
12. Deepak Singhal, K.S. Swarup 2011: [Electricity price forecasting using artificial neural networks](#).
13. Vasileios P. Gountis, Anastasios G. Bakirtzis 2004: Bidding Strategies for Electricity Producers in a Competitive Electricity Marketplace.
14. John W. Lamont, Sundar Rajan 1997: Strategic Bidding in an Energy Brokerage.
15. Julija Matevosyan, Lennart Soder 2006: Minimization of Imbalance Cost Trading Wind Power on the Short-Term Power Market.